科学发生的
结构

超越库恩



王德生　著

德麦国际出版社
Demai International Press

科学发生的

结构

超越库恩

王德生　著

德麦国际出版社
DEMAI INTERNATIONAL PRESS

出 版 信 息

书名	《科学发生的结构——超越库恩》
著者	王德生
执笔	复合主体：王德生立题、口述承重命题与裁定，Claude 执笔与统稿
出版	德麦国际出版社（Demai International Press）· 新加坡
编号	德麦国际专著第 342 号
ISBN	979-8-90690-401-0
定价	US$23
开本	190 mm × 250 mm
字数	约 28 万字
版次	2026 年 10 月第 1 版

AI 协作声明：本书的判断、口径与承重命题由王德生（口述）给出，口述原话登记于前言与附录；文字在其指令下由 AI（Claude）协作成稿，经独立质检与其审定。书中转述的库恩、拉卡托斯、劳丹、Galison 等人的观点及 AI 研究文献，已尽量据原书原文核对；凡标〔待核〕处，出处尚未逐字核对。书中陪读人物许远、许小满、南门老街三家厨房、城南修理铺两位师傅、苏知秋及各章日常场景均为虚构。ChatSDE「三碰」「群碰」按网站现行设计描述，与本书所主张的典范模型尚有出入，书中已如实写明。关于中医与烹饪的章节只讲典范与碰撞的结构，不构成医学建议或疗效声明。

全书结构：出版信息、作者介绍、前言、导读、目录；导论与十二编六十二章；结语、参考书目（八十四种）、附录五件。

作 者 介 绍

王德生（Desheng Wang），博士，SIO 本体论与 SDE 发生学的创立者。

他是数学出身。本科、硕士都在湘潭大学数学系读，博士读于中国科学院数学研究所，之后在中国科学院计算数学研究所做博士后。毕业后先到英国威尔士大学斯旺西分校任高级研究员，再到新加坡南洋理工大学数学系任助理教授，做博士生导师，后来又任资深研究科学家。

在计算数学和计算机图形学这两个领域里，他在国际期刊上发表过论文 47 篇，主要集中在三个方向：质心 Voronoi 剖分（CVT）与 Delaunay 网格生成，变分表面重建，波崩塌模拟。这三个方向做的都是同一类事：把一块连续的东西切成计算机能一块一块算的小单元，再让这些小单元合起来，尽量像原来那个整体。本书第四编、第十编拿「视觉的、粒子化的数学」当典范的完整样本，用的就是他在这个典范里从里到外走过一遍的经验。

这段履历对本书有一层特别的意思。一个人在一个典范里从学生做到博导，要走过本科、硕士、博士、博士后，再到海外任教，一走就是大半辈子的功夫；他熟悉这个典范的好处，也熟悉它的脾气：切得合适，几乎什么都能算；可切法总是从外面定的，难处全被赶到单元与单元的接缝上。本书第五编讲「养一个典范要一代人」，讲一个人一生通常只买得起一张门票，这张门票有多贵，作者是按自己走过的路程估出来的，不是从别处借来的数字。

2015 年起，他回国推广三视角方法论。2024 年，他提出 SIO 本体论和意义三律（创造律、自由律、幸福律），后来又把这套思想凝练成 SDE 发生学：S 是显露，D 是差异序列，E 是特征纠缠，三者之间的关系写成一条方程 S = Function(D, E)。本书对「典范」的定义，就直接从这条方程里来。

他是新加坡德麦国际（Demai International Pte. Ltd.）的创始人、董事长，主持 SDE Universes 平台（sdeuniverses.com）。本书第七编讲的「SDE 智能体里的模型

对话」，以及书里多次提到的 ChatSDE 的「三碰」「群碰」，都是这个平台上正在用的做法。

本书是一部讨论科学怎样发生的思想性专著，不是 AI 工程手册，也不是科学史。书里提到中医、饮食、教育和评价制度的地方，只用来说明道理，不构成诊疗、饮食建议，也不代表任何政策立场；书里的评测读数，不进任何考核。

前 言

一个圈，怎样从一条线里长出来

◆ 先交代底牌

这本书有一句话，我要先放在桌面上，读者不必读到第四十章才发现自己走错了门：

> 库恩写的是《科学革命的结构》，一条走到替代就断的线；AI 时代的科学是一个圈：典范模型做满常规科学，在 SDE 智能体里碰撞，在缝上涌现，沉淀为新的典范模型，再回到常规科学。

全书六十二章，说到底只是在把这句话拆开、证明、再给它找出可能错的地方。前半句说库恩，后半句说本书，中间隔着六十多年，还隔着一样新工具。

这句话里有三个词，第一次读可能会卡住，我先用大白话说一遍。「典范」就是一个时代、一群人看世界的那套方式，库恩管它叫 paradigm，也译作「范式」。「典范模型」是本书造的词，意思是一个守住某一套典范的 AI 模型，一个典范配一个模型。「SDE 智能体」是让几个典范模型坐到一张桌上对话的那套思维操作系统。这三个词后文都有专章，这里只要先知道：本书讲的不是库恩错了，而是库恩那条线，在今天可以长成一个圈。

◆ 为什么是库恩

谈科学，绕不开库恩。他在 1962 年看见的东西是真的：科学不是一砖一瓦往上码的，它有结构，也有断裂；一个共同体共享一套典范，在里面埋头解谜，这叫常规科学；解不动的题攒多了，出现危机；危机的出路常常是一套新看法赶走旧看法，这叫革

命。「范式转移」这个词后来从科学哲学走进商学院和广告，连卖手机的都在说，说明它碰到了一根真神经。

我选他，正因为他看得准。要超越一个人，先得把他讲公道，所以第一编整整六章，只做承认这一件事。超越一个稻草人不值钱。

可是他画出来的形状是一条线：常规、反常、危机、革命，走到革命，线断一次，重起一条，结局总是一方赢、一方退场。这条线靠着四个没有说出口的默认往下走：革命只有替代一种；一门成熟的科学同时只该有一个典范；典范从哪里来不必解释；进步朝向哪里不必回答。第二编把这四个默认叫作库恩的四道缝。

为什么偏偏到今天，这四道缝才值得一道一道去补？因为库恩那个年代，这四个默认大体对得上事实。对得上的原因，我后来认定不在认识论里，而在成本里。这是全书最要紧的一个转身，下面会说到。

还有一处，库恩自己最后掉了进去。两个典范之间没有中立的裁判语言，新典范既不能靠逻辑一步一步推出来，他又不甘心说成非理性的跳跃，于是早年说「格式塔转换」「像改宗」，晚年改讲词汇分类和物种分化，两头都没走通。我口述过一句话：库恩的不可通约，不是用形式逻辑来推演，而是复杂性的典范涌现，典范之间进行混沌碰撞、自组织、涌现。照这个读法，不可通约不是病，是燃料：两套看法互相听不懂的地方，恰恰是能长出第三样东西的地方。第一编最后一章把这个两难讲透，第八编给出这第三种答案。

◆ 这本书从哪里来

这本书一开始不叫这个名字。我最早立的题目是《AI 时代的科学多元化》，副题就已经是「超越库恩」。写大纲的过程中，我越来越觉得「多元化」只说出了一个结果，没有说出机制：多元了以后呢？几个典范并排摆着，各说各的，跟库恩的「前典范时期」又有什么两样？要说出机制，就得说出科学是怎样一次一次发生出来的。于是题目升了一维，改成《科学发生的结构》，副题保留。前一个题目讲「有几个」，后一个题目讲「怎样长」。

立题的起点，是我口述过的一句话：车的到来，让人类明白交通不只是用腿行走一种单一模式，还可以多元化；AI 的到来，让人类明白理念世界的打造，不只是库恩的「典范上的构造」，还可以「典范多元化」。

紧接着还有一句：车与腿结合了，产生了新的交通典范，后来又有飞机、轮船。

这两句话，前一句说的是并存，后一句说的是结合。车来了，腿没有退场；不但没有退场，腿和车还接成了第三种走法：走到站、坐车、再走进楼。站台、斑马线、换乘通道，既不属于腿，也不属于车，是两者结合之后才长出来的东西。交通史因此不是一条每次走到替代就断的线，而是一张网，常规运行和新线开通同时在做。第三编整编都在讲这件事，它是全书贯穿到底的日常样本。

那么，凭什么说科学也能这样？交通工具能并存，不是因为交通天生宽容，而是因为造车、修路、开线的成本降到了普通人用得起。科学里，养一个典范要一代人：十年学徒期、一整套教科书、一批实验室、几本守门的期刊。一个人一生通常只买得起一张门票，一个共同体通常只养得起一套设施。库恩看到的「成熟科学只有一个典范」，我认为是真的，只是他把一个经济事实读成了科学的认识结构。

AI 改变的，就是这张门票的价格。我口述过的另一句话，后来成了这本书最承重的一条：AI 时代的多元化，必须依靠基于不同科学典范的大模型，来快速打造单一典范下的常规科学；每个大模型是典范多元化下的 AI，而不是一个统一的大模型去做不同的典范科学。由此有了全书的定音句：AI 时代科学的基本单位不是学科模型，也不是通用大模型，而是「典范模型」——以一个典范的 (Function, D, E) 为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。

典范模型各守一家，还不够。几家各守，碰不出东西。碰撞在哪里发生？我当时的回答是：典范模型的碰撞，发生在以 SDE 发生学为思维操作系统的智能体里的「模型对话」中，比如 ChatSDE 的「三碰」「群碰」。不在任何一个模型里，也不在一个把所有典范糊在一起的统一大模型里。

要让碰撞能被检查，又得先回答一个库恩没有回答好的问题：典范到底是什么做成的？英国学者马斯特曼统计过，库恩书里「典范」一词至少有二十一种用法。我要一个

能被训练进模型、能从产出里被认出来的定义。这个定义是分两步说成的。先是一句：一个典范，其实就是一套固定的 (D, E) 组合；三碰、群碰，就是不同的 (D, E) 组合和它们显露出的 S 之间的碰撞。后来我补了一句，把它改定：不是 S，是 S = Function(D, E) 里面的那个 Function，要加进典范的定义，典范是 Function、D、E 的三组合。E 是这个典范看世界时把什么和什么连在一起，D 是它怎样切分问题、按什么次序展开，Function 是把 D 与 E 合成显露的方式。S 不在定义里，S 是三组合对一个难题端出来的东西。

几样东西都到了，我才看清它们合起来是什么。我口述过：科学多元化这个新概念里面，有 AI 的单一典范科学论，和 SDE 智能体的碰撞，这些「合起来的结构体」是典范创新，这是人才能做的。圈上每一环单拿出来，都有邻居：多模型防止知识坍缩，有人讲过；不同传统在交界处协作，有人讲过；两个空间整合涌现新结构，也有人讲过。没有一位邻居有这个圈。这本书的创新不在某一环，而在把四环接成一个会自己转、自己长的结构。这样的整体创新，拿两段文字逐句比对是比不出来的；我另说过一句：要碰撞才能懂，比对不是碰撞—自组织—涌现。

◆ 本书主张的五个承重点

为了让读者翻开正文前心里有数，我把全书压成五个承重点。哪一个塌了，书里相应的那几编就要重写。

第一，典范是一个三组合。S = Function(D, E)，典范是 (Function, D, E)，一个 S 不等于一个典范，只有当同一个三组合在许多难题上都不变，才构成典范。怎样判断「不变」？用川菜判据：川菜馆做一千道菜，道道不同，一尝就知道是川菜，认出来的是三组合稳定显露出的那股味道。参数、工具、语料、具体结论这些外层都可以换，三组合不变就仍是同一典范。「结构」一词在本书里专指显露的稳定态，一千道菜背后那股认得出的味道就是结构。这是第四编。

第二，单典范是多典范在高建造成本下的特例。独养不是科学的天性，是穷的结果；典范模型把养一个典范的成本，从养一代人降到养一个模型，成本越过阈值时，科

学的组织方式从独养相变为并养，就像水到了零度以下不是「更冷的水」，而是冰。这是第五编。

第三，AI 时代科学的基本单位是典范模型。判断是不是同一个典范模型，看三组合，不看参数：共用一个底座、三组合不同，就是两个典范模型；三组合相同、参数不同，只是同一个典范模型的两个版本。一个统一大模型在各典范之间求平均，平均的结果就是单一化；药方是一个典范一个模型。这是第六编。

第四，碰撞的场所在 SDE 智能体里的模型对话中，而 SDE 只规定方程的形式，不规定任何一个具体三组合。打个比方，菜谱格式统一成食材、步骤、做法三栏，川菜和粤菜填进去的内容完全不同；格式统一唯一的用处，是两家对菜谱时能一栏一栏对着看，看清差别出在 Function、D 还是 E。所以这不是在更高一层又搞一次统一。这是第七编。

第五，科学发生的结构是一个圈，而且朝着一个方向转。四个环节是：①典范模型做满常规科学，②SDE 智能体里的模型对话（三碰、群碰），③在缝上自组织、涌现，④沉淀为新的典范模型，再回到①。常规科学和碰撞同时运转、互相喂养，不是先后两个时期。新典范不赶走旧典范，而把它包含为自己的极限特例，就像局域的数学是非局域数学视野缩到零时的极限。至于往哪里转，我的回答是意义升级：创造、自由、幸福，三律各有三步可查——创造律是混沌碰撞、自组织、涌现，自由律是纠缠、选择、激发，幸福律是张力、转换、释放。这是第八到第十一编，第十编还拿数学把整圈从头走了一遍。

五点之外，第十二编把这个圈落到个人身上：养一个典范便宜到一个人养得起，就有了「我的典范」，理念的我在其中发生。

◆ 这本书怎样算「错」

一本讲科学结构的书，如果说不出自己在什么情况下是错的，它本身就不够科学。

可我没有在每一章设计精细的检验方案。我用的是粗层级的办法：每一章第三节「证据与边界」，都说出一个「什么大局面出现，本章的论点就错了」，不要求今天就

知道怎样精确地检验，只要求这个局面一旦出现，人人看得出来。附录一把这些相反局面收在一起，一共二十四条，按圈分成六组。这里挑三条最承重的：

如果 AI 普及十年之后，各学科反而更集中于少数几套框架，成本论就错了。

如果按典范切分的模型群，在保持多样性和产生新理论上，胜不过按数据切分的模型群，「一个典范一个模型」就退回成「多模型即可」。

如果不经 SDE 操作系统、只把几个模型放在一起投票或辩论，涌现新典范的频率与质量并不更低，「SDE 是碰撞的操作系统」就错了。

为什么只要粗层级？因为本书讲的是科学的组织结构，结构的错，首先是大局面上的错。一个说「科学会从独养走向并养」的理论，如果十年后满世界的研究都挤在两三套框架里，用不着精细统计就知道它错了。我是做计算数学出身的，知道精细检验的价值，也知道它的陷阱：指标一设计出来，人就会对着指标干活，干到最后指标好看了，要检验的东西却不见了。所以这些相反局面我只写成人人看得懂的样子，不配分数，不进任何考核。附录一的末尾还写明了哪些情形我不认作证伪，免得读者以为我在给自己留后门。

◆ 关于书里的人物和场景

书里有几位陪读的人物：长沙地铁调度员许远，四十四岁，住长沙河西；他十六岁的女儿许小满，读高一，好问；南门老街上三家厨房，川菜馆「庞记」的老板娘庞秀芳、粤菜馆「炜记」的黄炜师傅、湘菜馆「谭家」的谭老三；做计算材料方向的博士后苏知秋；修理铺里钳工出身的刘师傅和电工出身的韦师傅。

他们全部是我构想的人物，世上没有这几个人，也不对应任何真实的人。书里凡是用到他们的场景，我都写明「这是我构想的场景」。我这样做，是不想让读者以为我真有这样一位朋友、见过这样一场对话。我手里没有这种经历，也不打算编。

这些人物各有分工。许远那张线网，每天照常运行，城市另一头的新线同时在联调，它是圈的样子：常规与碰撞同时进行。三家厨房，用来讲三组合、川菜判据、三碰和群碰。苏知秋用来讲典范模型落到一个研究者身上是什么样子。修理铺那位不动手、

专管追问的车间主任，用来讲 SDE 智能体：两位师傅修法不同时，他不让他们比嗓门，只问两种修法在哪一处对不上。

日常例子是主讲，学术材料只作证据。你如果觉得哪个场景不像真的，那是我造得不好，欢迎换成你自己生活里的场景，去检验那一章的道理。

◆ 与我的几本书的关系

这本书和我的五本书有亲缘，读过的读者会认出老朋友，没读过的也不妨碍。

第一本是第 346 号《人与 AI 一起发生新数学——不必害怕，也不必反抗》。那本书全书没有提库恩一个字，却在数学里把科学发生的圈完整地走了一次：网格典范做满常规科学，在裂纹处失明，与另一种连法碰撞，长出非局域的数学，旧的局域数学成了新数学视野缩到零的极限特例，两套方法至今并行。那本书里有一句话说旧方法的处境：补位，不是坟墓。本书第十编以它为案例，第四编、第八编也多处借用它的论证。可以说，346 号是这本书的实证，这本书是 346 号的结构。

第二本是《新文明的诞生》。那本书提出工具让渡律：革命性工具在哪个产业爆发，那个产业的份额就让出去，经过扩大期、内卷期、新产业诞生、让渡开始四个阶段。本书第 26 章借用它，说明 AI 时代科学的危机不是由反常引起，而是由工具引起，结局是工序的份额转移，不是替代。

第三本是《我经济》，第四本是《我的三个宝贝》。前者讲 AI 时代的热门产业是生产「我」，「我们的知识」被 AI 打到地板价，对效知识才解决难题，我经济需要「类我」，解法是智能体、网站、社区三合一；后者讲我的三个宝贝：一个理论、一个工具、一声呼喊，那一声呼喊，是第一次喊出理念之我的诞生。我口述过：新经济、我经济的基础是科学多元化，还有理念的我，第三声呼喊。本书第十二编就是给这两本书补上科学哲学的地基：没有科学发生的结构，我经济只是一个愿望；有了这个圈，它才有了发生的机制。

第五本是还在写的《超越波普尔：从多次性科学到一次性发生》，和本书是姊妹。那一本超越「可证伪」，这一本超越「典范」；波普尔式的科学是可以反复做、反复检

验的多次性科学，而许多真正的难题只发生一次。本书讲的典范空间，恰好可以为一次性发生预备候选方案，两本书在第 48 章接上。

◆ 本书最弱的地方

把弱点写出来，不是客气。一个圈要转得起来，靠的就是每一轮都有人指出哪里对不上。我自己知道的，有三处最要紧。

第一，碰撞场所的实证还很少。本书说碰撞发生在 SDE 智能体里的模型对话中，ChatSDE 的三碰、群碰是现成的样子。可是今天的三碰、群碰，大多还是在不同的提示和视角之间碰，离「每一方都是一个按自己的三组合训练出来的典范模型」还有一段路。圈的环节一和环节二之间，这段路还没有铺完。书里关于三碰、群碰的流程，是我按「碰撞的场所」这个定义整理出来的，不是已经被大量案例验证过的结论。

第二，粗层级证伪还没有数据。附录一那二十四条，没有一条被检验过。它们是押注，不是结论。川菜判据在厨房里好用，放到一门学科里，局外人能不能稳定地把一批产出归到各自的三组合上，还没有人系统地做过；第八编那几条判据，三类缝、三拍、双方都被改写、三种伪涌现，也都要靠不知情的评审能稳定判断，才算数。如果评审怎么也分不清，这些判据就只是好听的说法。读者可以拿着这张单子，十年后回来对账。

第三，若干史料还在核。有几处具体的事实我没有把握，正文只取方向，标明待核，等核到原文再补：比如施坚雅基层市场区的步行距离数据，欧洲城市人行道随马车交通普及的具体史料，各国博士修业年限的具体数字，同行评审偏向主流典范的实证结论强度，库恩几种比喻在《科学革命的结构》中的页码。凡是我没有核到的，宁可多标，也不硬写；替真实学者，我不编一句原话。

还有一处说在前面：第十一编讲方向，创造、自由、幸福三律各有三步，可以查；可是在一门具体科学里，怎样查一次碰撞有没有朝向自由、朝向幸福，书里只给了起手的办法。这一段最容易被说空，我希望读者帮我一起挑毛病。

◆ 怎么用这本书

全书十二编、六十二章，前有导论，后有结语和五篇附录。每一章写法一样：开头一句「这一章的问题」；第一节从一件日常小事说起；第二节讲这件事里藏着什么；第三节摆证据、划边界，并说出本章在什么大局面下会错；章末是一两句「带走的话」，再加两行小账，一行说本章补的是库恩哪道缝，一行说本章落在圈上的哪个位置。

时间有限的读者，可以只读导论、第四编、第七编和结语，核心主张就都在里面了。想看这个主张凭什么成立的读者，第二编和第五编是论证，第十编是实证。关心 AI 怎样做研究的读者，第六、七两编最直接。关心它和自己有什么关系的读者，可以从第十二编倒着读回来。只想走一遍骨架的，读每章开头的问题和结尾的带走的话，一个下午就能把全书走完，再回头挑感兴趣的章细读。附录四是术语表，读到卡住的词可以随时去查；附录五列出了全书用过的日常案例。

还要说清本书不做的事。它不是库恩的通俗导读，库恩的思想只讲到超越所需要的程度；它不是一部科学史，用到的历史都是证据，不求完整；它也不是一份 AI 技术方案，典范模型具体怎样训练、架构怎样搭，是工程师的事。本书只给判据：什么样的模型算守住了一个典范，什么样的碰撞算真碰撞，什么样的沉淀算新典范。判据比方案活得久。

最后说书名里的「超越」。超越库恩，不是证明库恩错了。他看到的那条线，在他那个年代里大体是真的。本书的意思是：那条线是圈在成本很高、碰撞很少时的一个特例。超越一个人，最体面的方式，是让他的结构在你的结构里找到一个位置，并说清楚它在什么条件下成立。本书若说得对，它自己也只是一个三组合，有它管得着的难题，也有它的失效地图；哪一天有人拿另一套三组合来碰它，把它也装成一个特例，那正说明这个圈还在转。

如果你读完觉得我哪里说错了，请直接说。这本书从一开始就是这样设计的：它愿意被下一轮碰撞改写。

王德生

导 读

这本书怎么读

这篇导读做五件事：先说全书怎样走；再用文字摆一张图，把六十二章放到一个圈上；然后给十二编各写一段，说清每一编回答什么、靠哪一两句话撑着、和前后怎样接；接着给几类读者各排一条读法；最后老实写下这本书最弱的地方，以及三个我最怕读者读偏的地方。哪一节对你没用，跳过去就是。

◆ 一、全书怎样走：一条线与一个圈

这本书从一条线出发，走到一个圈。

线是库恩画的。1962 年的《科学革命的结构》把科学史讲成一段一段：一个共同体共享一个典范，在典范里解谜；有些题怎么也解不动，反常攒多了，引起危机；危机逼出革命，新典范赢，旧典范退场；然后又是新的常规科学。走到革命，线断一次，重起一条。这条线画得准，准到我们很容易以为它就是科学唯一可能的形状。

圈是本书要画的。圈也有四个环节，但它们不排队，而是同时转、互相喂。全书压成一句话，就是下面这句判词：

> 库恩写的是《科学革命的结构》，一条走到替代就断的线；AI 时代的科学是一个圈：典范模型做满常规科学，在 SDE 智能体里碰撞，在缝上涌现，沉淀为新的典范模型，再回到常规科学。

从线走到圈，全书分四段路。

第一段是「先讲公道，再找断处」，即第一、二编。我先把库恩看对的东西一样一样摆出来，再指出他那条线靠着四个没说出口的默认往下写：革命只有替代一种；成熟科学只该有一个典范；典范从哪里来不必解释；进步朝向哪里不必回答。

第二段是「立样本，立定义，算成本」，即第三、四、五编。第三编拿腿、车与交通网做贯穿全书的日常样本；第四编给典范一个能动手的定义 S = Function(D, E)；第五编说明为什么从前一个共同体只养得起一个典范，为什么现在不一样了。

第三段是圈本身，第六到第九编，四个环节各占一编。

第四段是「验证、方向、落点」：第十编拿数学把整圈从头走一遍；第十一编回答圈朝哪里转；第十二编把圈落到一个具体的人身上。

如果只记一个画面，请记导论和结语里那个早晨：许远从长沙河西出门，走十分钟到站口，坐车过江，在换乘站走几百米，再走进调度中心。腿走两头，车跑中间，没有人觉得腿被推翻了；他管的那张线网每天照常跑，城市另一头的新线同时在调。这是我构想的场景，可全书要说的东西，都在这一趟路里。

◆ 二、一张图读懂全书：圈的四个环节与三组合

请在心里画一个钟面。

十二点的位置写「①典范模型做满常规科学」，三点写「②SDE 智能体里的模型对话：三碰、群碰」，六点写「③在缝上自组织、涌现」，九点写「④沉淀为新的典范模型」，箭头再从九点回到十二点。这就是圈。第六编在十二点，第七编在三点，第八编在六点，第九编在九点。

钟面外面还有三样东西。钟面的上方写「为什么」：第一、二编讲库恩的线和它的断处，第五编讲成本，它们交代为什么从前是线、为什么今天能接成圈；第三编的交通网是钟面旁边一直摆着的那张实物样本。钟面的下方写「实证」：第十编是数学，在这门最讲互斥的学科里，圈已经完整转过一次。钟面的指针方向写「朝哪里」：第十一编，意义的升级，创造、自由、幸福。最后，钟面中心放一个人：第十二编，我的典范、理念的我、我经济。

钟面的每一格，读的都是同一个方程：S = Function(D, E)。我把它当作全书的一把尺子，说成大白话是三个问题。E，特征纠缠系统：这个典范看世界时把什么和什么连在一起。D，差异序列：它怎样切开问题，按什么次序一步一步展开。Function：它用什

么办法把 D 和 E 合成一个结果。三样合起来，叫三组合，这就是典范。S 读作「显露」，是三组合对一个具体难题端出来的东西，它不在典范的定义里。一次显露不等于一个典范；同一个三组合在许多难题上都不变，才构成典范。怎样认出「不变」？用川菜判据：一家川菜馆做一千道菜，道道不同，一尝就知道是川菜，你认出的不是哪一道菜，而是三组合稳定显露出来的那股味道。结构，就是显露的稳定态。

有了这把尺子，圈上每一环都能落到具体的栏目里去读。

在①，一个典范模型以一个三组合为训练约束，把本典范里的题又快又满地做完；判它是不是一个独立的典范模型，看三组合，不看参数。

在②，几个三组合对同一个难题各自显露，碰撞不是比谁对，而是一路倒回去，追分歧出在 Function、D 还是 E。

在③，缝分三类：算不出、算不对、答非所问；算不出去碰一个 E 不同的典范，算不对去碰一个 Function 不同的典范，答非所问去碰一个 D 不同的典范。

在④，沉淀的标志是某一栏长出了旧表上没有的一栏，并且旧的三组合成为新三组合在某个极限下的运行区，这就是「包含而非替代」。

所以这张图有两层：外层是一个转着的圈，内层是每一环都在用的三栏表。读到任何一章迷了路，问自己两句话就能回来：我现在在钟面的哪个钟点？这一章在动三组合的哪一栏？

◆ 三、十二编各一段导读

◆ 第一编　库恩的线：《科学革命的结构》讲对了什么（第 1 至 6 章）

这一编回答：库恩到底看对了什么？我不急着挑错。六章依次讲典范、常规科学、反常与危机、革命、不可通约，以及库恩最后掉进去的两难：逻辑推不出新典范，他只好说皈依。每一章都承认一件事，也都埋一颗种子。承重的是两句：常规科学是在一张不问的棋盘上解残局，它是科学力量的来源，也是科学眼界的边框；两个典范相遇，同一个词意思不同，又没有第三方语言来裁决，这是库恩最深的发现，他只看见了它让人

说不到一块的那一面。还有一处细节值得留意：库恩在讲革命时自己留了一句「全部或部分」，却没有往「部分」里走。本书后面很多话，都是从这道口子里走出来的。这一编往后接得很密：解残局的价格会被 AI 打下来，留给第 33 章；危机由什么引起，留给第 26 章；不可通约和那个两难，留给第八编。读完这一编，读者手里应当有一条画得很准的线，也应当开始起疑：线是不是科学唯一的形状？另外，第 6 章值得多停一会儿：逻辑派说新典范可以由证据一步步推出来，库恩说推不出来，只好说改宗。我在那一章指出，两边其实站在同一块地板上，都默认两个典范相遇的结局只能是选一个。这块地板本身，是这本书要撬开的第一样东西。读这一编不必有科学哲学的底子，每一章都从一件小事说起，先让你看见典范在日常里是什么样子，再回到库恩。

◆ 第二编　线的断处：库恩的四道缝（第 7 至 12 章）

这一编回答：库恩那条线会断在哪里？我说的缝不在史实细节，而在四个他没说出口的默认里：革命只有替代一种；成熟科学只有一个典范；典范从哪里来不必解释；进步朝向哪里不必回答。第 9 章和第 10 章又往底下挖了一层：库恩把成本当成了认识论，又把不可通约当成了病。承重的话是第 9 章那一句：一家人只看一个频道，是因为只有一台彩电，不是因为家就该如此。另一句在第 7 章：新走法来了，旧走法往往退回到自己最擅长的那一段，继续每天运转；替代只是包含的一个特例。每一章只做两件事：把缝指出来，再预告在哪一编填它。编末有一张表把四道缝和后文对齐，读者可以把它当作全书的目录来用。它往前接第一编的「承认」，往后把填补的活分派给第四到第十一编。这一编里有一处最容易被跳过、我却觉得最要紧：第 11 章问新典范从哪里来。库恩只说危机里会有人灵光一闪。我的看法是，新办法常常是两种眼光碰在一处对不上，在对不上的地方显出来，再被留下来。这句话就是圈上第二、三、四环的种子。第 12 章说进步没有终点但有方向，这是第十一编的种子。四道缝都不是说库恩错了，而是说他在高成本的年代里写下的默认，到了今天不再自动成立。

◆ 第三编　腿、车与交通网：贯穿全书的日常案例（第 13 至 16 章）

这一编回答：有没有一个人人都熟悉的东西，从头到尾走过一次「科学发生的结构」？有，就是交通。只靠腿的时代，一个人的世界有多大，是他的腿定的，不是没有马和船，是马和船太贵；车来了，没有让人少走路，它让人能去远的地方，近处照样走着去；腿车接力，长出了红绿灯、站台、出口编号这些既不属于腿也不属于车的东西，结合之后才有新的出行典范；最后是一张网，老线白天照常跑，新线晚上在调，换乘站是两条线碰头、两边都得改的地方。四章分别对应后面的单典范、并存、碰撞涌现与沉淀、圈的同时运转。这一编的根子是我说过的两句话：车的到来让人明白交通可以多元，AI 的到来让人明白理念世界的打造也可以典范多元化；车与腿结合，产生了新的交通典范。第 16 章末那张交通与科学的对照表，后面各编会一再回来取证。为什么不用科学史里的例子当主线？因为科学史的例子太远、太专，读者很难在脑子里转动它；交通人人每天都在用，每个人都能自己核对我说得对不对。这一编夹在第二编和第四编中间，是一次喘气：前面刚拆完一条线，后面要立一个硬定义，中间先让你亲手摸一摸圈是什么样子。读的时候不妨随时把腿、车、换乘站、新线，换成典范、典范模型、碰撞、沉淀来想。

◆ 第四编　典范的定义：S = Function(D, E)（第 17 至 23 章）

这一编回答：典范是什么做成的？这是全书的理论核心，没有它，后面的典范模型、碰撞、沉淀都无从落脚。第 17 章立定义，说清每一个显露背后都站着一个三组合，一个 S 只是一次显露。第 18、19、20 章用南门老街三家厨房，把 E、D、Function 讲成尝得出的东西：E 不是料单，是搭配的网；D 不是工具清单，是有先后的一串变化，料和搭配不变，只把先后一调，端出来的就是另一道菜；Function 是成菜之法，同样的料和步骤，熬出来是汤，炒出来是一盘菜。第 21 章立川菜判据，并把我先后说过的两句话合着读：典范是 S、D、E 三维各有固定内核、外面可以变；以及 Function 要加进典范的定义。第 22 章拿视觉的、粒子化的数学试刀，第 23 章与学科基质、硬核、研究传统、推理风格划界。读完，你手里应当有三句话：它把什么和什么连在一起？按什么次序切

开问题？用什么办法合成结果？三句都答得出，而且在许多难题上答案不变，它才是一个典范。这一编也是全书最需要慢读的一编。前三编讲故事，这一编立规矩；后面八编的每一个判断，典范模型的边界、碰撞时分歧落在哪一栏、沉淀时长出了哪一栏，都要回到这三栏表上来算账。如果你只想读懂全书的一个概念，就读这一编的第 17 章和第 21 章。

◆ 第五编　成本论：独养为何曾是必然（第 24 至 27 章）

这一编回答：既然三组合可以有许多套，为什么库恩看到的成熟学科总只有一个典范？我的回答很朴素：不是认识论逼出来的，是钱、时间和人逼出来的。第 24 章算个人的账：学会一个典范要半辈子，一个人一生通常只买得起一张门票。第 25 章算共同体的账：教科书剪掉旁支，实验室只买一套仪器，期刊只用一把尺子，三件事各有道理，合起来把「只有一个典范」锁成了默认。第 26 章说 AI 时代的危机不由反常引起，而由工具引起，结局是份额转移，不是替代；让出去的是典范里的解题工序，没让出去的是典范本身的发生。第 27 章讲相变：成本降过一条线，独养跳成并养。承重的一句是：单典范是多典范在高建造成本下的特例。还有一句提醒同样要紧：载体不对，相变会走反，成本越低越单一。这一编在圈外，回答「为什么偏偏是现在」，并把第六编要回答的问题递了过去：成本降下来以后，第一环长什么样？这一编有一个细处请别读漏：成本论不是说钱决定一切。它说的是，库恩把一个经济事实读成了科学的认识结构，把「只养得起一个」读成了「本来就该只有一个」。把账单和地图分开，单典范就从必然降为特例。这也是全书最容易被现实检验的一编：如果 AI 普及十年后，各学科反而更集中于少数几套框架，成本论就错了。

◆ 第六编　环节一：典范模型与常规科学的快速打造（第 28 至 33 章）

这一编回答：AI 进到科学里以后，做科学的最小单位按什么来划？答案就是全书的定音句：AI 时代科学的基本单位不是学科模型，也不是通用大模型，而是「典范模型」——以一个典范的 (Function, D, E) 为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。这句话有两半，前一半是「守」，后一半是「碰」，拆开读就会读偏。第 29 章说世界上没有

不带口音的嘴，也没有不带典范的模型，问题只是守一个还是糊许多。第 30 章说大食堂没有做错哪一道菜，它只是把三股味道调成了一股，并正面迎战通用模型胜过专用模型那一类反方材料。第 31 章与「按数据切」的近邻对撞，押了一个能被现实打脸的注。第 32 章立边界判据：看三组合不看参数，并要求一个典范模型交出三样东西：失效地图、赢过最强对手的成绩、一条曲线背后的道理。第 33 章把接力棒交给下一环：常规科学做得越快，空白显得越早。这一编也是全书最贴近工程的一编，但它不是技术方案。典范模型具体怎么训练、架构怎么搭，是工程师的事；我只给判据：什么样的模型算一个典范模型，两个模型凭什么算两个典范，一个典范模型要过哪几道关才算合格。拿着这些判据，读者可以去检查自己手上的任何一个「专用模型」，看它守住的到底是一个典范，还是只是一堆语料。

◆ 第七编　环节二：碰撞的场所——SDE 智能体里的模型对话（第 34 至 39 章）

这一编回答：碰撞到底发生在哪里？不在任何一个模型里，也不在一个把所有典范糊在一起的统一大模型里，而在以 SDE 发生学为思维操作系统的智能体里的模型对话中，ChatSDE 的三碰、群碰是现成的样子。第 34 章先分清两个层级：复合体是人加 AI 做事的单位，SDE 智能体是复合体里让多个典范模型对话的那套操作系统。第 35 章回应最尖的一个追问：SDE 会不会变成元层面的统一？承重的一句是：SDE 只规定 S = Function(D, E) 这个格式，不规定任何一家填什么，格式统一了，三家反而更看得出不一样。第 36、37 章讲三碰与群碰：三道显露不评高下，先倒回去找分歧的根；三碰常碰出一条缝，群碰碰出一张缝的地图。第 38 章讲准入与握手：亲缘够近、差异够大、接口对齐。第 39 章与交易区、多智能体辩论划界：它们凑语言、判输赢，这里追问分歧出在哪一维。读这一编时请记住一件事：这里说的碰撞，不是比赛，不是投票，也不是把两份答案摆在一起看谁对。它是一次回溯，两道显露不一样，追到底，差在 Function、D 还是 E。追得到这一步，碰撞才可能往第三个环节走。这一编往前接第六编交过来的那块清楚的空白，往后把一条条落了栏的分歧交给第八编。没有这一编，第八编的涌现就无处发生。

◆ 第八编　环节三：在缝上自组织、涌现（第 40 至 44 章）

这一编回答库恩留下的最硬的难题：两个互相听不懂的典范之间，除了用逻辑推过去和闭着眼跳过去，有没有第三条路？我的回答来自一句口述：不可通约不是用形式逻辑来推演的，而是复杂性的典范涌现，典范之间混沌碰撞、自组织、涌现。第 40 章把问题从「怎样跨过不可通约」改成「不可通约之处能长出什么」：它不是要跨过去的鸿沟，而是会长东西的地方。第 41 章给缝分三类、配三种碰法。第 42 章讲自组织的节拍：张力积累、形状改变、回写，它和幸福律的张力、转换、释放是同一个时间结构。第 43 章立最硬的判据：碰撞的标志是双方都被改写。第 44 章讲反面：并列不碰、碰而不合、合而无新三种伪涌现，以及更隐蔽的一种，比对。要碰撞才能懂；比对停在看见差异，碰撞要走到差异把双方都改写。这一编把圈上最容易说玄的一环说实了，再交给第九编去问：风停了，留下什么？读完这一编，读者应当能拿着一段模型对话的记录，自己判断：这里发生的是碰撞还是比对，长出来的是涌现还是拼盘。在 AI 时代，这个判断格外要紧，因为一张整齐的对照表几秒钟就能做出来，很容易让人以为两个典范已经碰过了。表做得再好，世界里也没有多出一样东西。

◆ 第九编　环节四：沉淀与生长——典范空间（第 45 至 49 章）

这一编回答：一次涌现什么时候才算长成一个新典范，长成之后旧典范怎么办？第 45 章给沉淀的判据：D 或 E 长出旧表没有的一栏，能被训练进新模型，离了创始人还能用，还说得出自己哪里不灵。第 46 章是本书对库恩「替代」说最直接的回答：包含而非替代，旧典范成为新典范在某个量趋于极限时的特例，并在自己擅长的距离里照常运行；腿没有被车推翻，走路是车网在距离很短时的样子。第 47 章立验收四档：新修辞、新记号、新方法、新典范，只有算出或预言了一点旧典范算不出的东西，才配叫新典范；定义是便宜的，门槛是贵的。第 48 章说典范空间自己生长：每沉淀一个典范模型，就多出一批值得碰的位置。第 49 章讲新的科学共同体与科学教育。到这里，圈闭合了，第十编要拿真实学科来检验它。这一编要和第 7 章对着读：第 7 章指出库恩只有替代一种结局，这一编把包含的形状、判据和边界一样一样补齐。第 49 章还提出一个分法：预言

公开，失效地图半公开，发生轨迹私密；科学教育也从「学进一个典范」，转向「学会在几个典范之间换乘」。这几句话，第十二编会把它们落到个人身上。圈到这里第一次首尾相接，读者可以回头把四编连起来再看一遍。

◆ 第十编　案例：数学，一次已经走完的科学发生（第 50 至 54 章）

这一编回答：这个圈有没有在哪门学科里真的转过一次？我选数学，因为它最不像会有「科学发生」的学科，结论一经证明就不再推翻。材料全部取自我在《人与 AI 一起发生新数学》里写过的东西，这里只做一件事：按科学发生的结构重读一遍。第 50 章讲数学底下那个人人在用、却没有人觉得是典范的超级典范，写成三组合是局域加总、点化与切单元、外部给定可分可加的关系；它统一得太彻底，所以看不见。第 51 章是全书最硬的证据：从网格到非局域数学，四个环节一个不落，裂纹从输入变成了输出，视野缩到零时旧方程退回为特例，两套方法并行至今。第 52 章看听、波、场各停在哪一环。第 53 章把中医与西医读作两个可以碰撞的三组合候选，只谈结构，不谈任何疗效。第 54 章的气的数学是一个先把验收题写好、等现实来判的样板。这一编也是全书写得最「内行」的一编，因为网格是我做了二十年的东西。但请留意它的写法：每一章都标明讲的内容落在圈的哪一环，凡说到一个新典范，都写成三组合。那本旧书没有提库恩一个字，这一编也不靠新材料取胜，靠的是换一副眼光重读旧材料。如果读者只想找一条证据来判这本书，就读第 51 章。

◆ 第十一编　方向：意义科学（第 55 至 58 章）

这一编回答库恩不肯回答的那个问题：圈转来转去，朝哪里去？库恩说科学只是离开，不是走向。我的回答是：典范之间的碰撞不断涌现出更高层级的意义，创造、自由、幸福，这是意义科学的多元化。第 55 章讲从真理科学到意义科学的转向：科学像一张没有终点站的网，每长一截，人就多一点创造、多一点自由、多一点幸福。第 56 章是这一编的脊梁：方向要能查，三律各有三步，创造律是混沌碰撞、自组织、涌现，自由律是纠缠、选择、激发，幸福律是张力、转换、释放；核对的是步，不是感受。第 57 章用三律三步分辨好碰撞与白碰撞：路变大了不算，走法变了才算。第 58 章讲多元的风

险，多元而无意义就是堵车，并立一条规矩：典范模型的评测不压成单一分数，也不进任何考核。方向说清了，下一编问它最后落在谁身上。这一编最容易被读成口号，所以我在每一处都尽量把「方向」写成可以核对的步：创造看有没有碰出新特征，自由看有没有在牵扯里选出被激发的能力，幸福看那股劲有没有在转换之后松下来。第 56 章还给了三条粗层级的相反局面，比如人有了更多典范可选，反而更被锁住，那么自由律就要修正。把相反局面写出来，方向才不是空话。

◆ 第十二编　落到个人：科学发生的结构与我经济（第 59 至 62 章）

这一编回答：成本降到一个人养得起以后，会发生什么？库恩的典范属于共同体，个人只是执行者。第 59 章讲从「我们的典范」到「我的典范」：网是大家的，换乘路线是我的；路线背后的三组合稳定下来，就是我的典范。第 60 章讲理念的我，即《我的三个宝贝》里那第三声呼喊，为什么只有在科学发生的结构里才喊得出来：只临一本帖，写得再好也是在写别人的字，多帖在缝上碰出来的那一笔，才是我的字。第 61 章讲对效知识：「我们的知识」被打到地板价，我的知识是多个典范在我的难题上碰撞出来、只在我身上见效的知识。第 62 章讲我经济的悖论与解法：只服务我，活不下去；全部公开，就成了地板价；解法是类我，形态是智能体、网站、社区三合一。这一编给《我经济》补上科学哲学的地基，结语再回到那个早晨收束全书。这一编和前面的关系，是把成本论推到最后一步：从一个共同体养得起一个典范，到一个模型就能养一个典范，再到一个人养得起自己的三组合。第 62 章立了一条可错预言，读者可以拿它监督我。如果你读过《我经济》和《我的三个宝贝》，这一编会让你看见那两本书底下缺的那块地板：没有科学发生的结构，我经济只是一个愿望。

◆ 四、四条读法

◆ 给科学哲学读者

你最关心的大概是：这本书对库恩到底讲公道没有，「三组合」比学科基质、研究纲领多出了什么。路线是：导论；第 1、4、5、6 章，看我怎样复述库恩；第 7 至 12 章，

四道缝，这是论证的起点；第 17、21、23 章，定义、判据与划界；第 9 章和第 27 章，成本论的核心；第 35、39 章，看 SDE 怎样不变成元层面的统一，怎样与交易区划界；第 40、43、46 章，不可通约的第三种答案与「包含而非替代」；第 55、56 章，方向；结语和附录一。大约二十章。请带着挑剔去读第 23 章，那里我对前人每一种说法都下了判断，你很可能有不同意见。

◆ 给 AI 从业者与研究者

你关心的大概是：典范模型到底是什么，和你手上的领域模型、多智能体系统差在哪里，怎样验收。路线是：导论第三、四节；第 17、21 章拿到定义与判据；第 26、27 章看工具引起的危机与成本相变；第六编全部（第 28 至 33 章），尤其第 31 章的对立预言和第 32 章的三项验收；第 34、36、37、38、39 章，碰撞的场所与做法；第 41、43、44 章，三类缝、双方都被改写、伪涌现诊断；第 47 章验收四档；第 58 章的「不压成单一分数」。大约二十章。第 31 章押的那一注，是全书最容易被你们的实验打脸的一条，欢迎来打。

◆ 给教师与学生

你关心的大概是：一个人以后该怎样学科学，学一门还是学几门。路线是：导论；第三编全部（第 13 至 16 章），先把腿、车、交通网这个样本吃透；第 2、24 章，看常规科学的价值和一张门票有多贵；第 18、19、20、21 章，用三家厨房学会三栏表；第 36、44 章，学会分辨碰撞和比对；第 46、49 章，看旧知识怎样被包含、教育要怎样改；第 56 章；第十二编全部。大约十八章。读每章之前，先别看「带走的话」，自己用一句大白话写下这一章讲了什么，再去对照。

◆ 如果只有一个周末

只读九处：导论；第 17 章，定义；第 21 章，川菜判据；第 28 章，定音句；第 35 章，SDE 只规定形式；第 36 章，三碰；第 43 章，双方都被改写；第 46 章，包含而非替

代；结语。如果还有半天，加第 51 章，那是全书最硬的证据。读完这些，足够判断这本书值不值得你读完。觉得定义立得不对，请把理由写下来，那可能比整本书更有用。

◆ 五、这本书最弱的地方，与三个容易误会的地方

先说弱处。结语里我已经写了四条，这里压成三条，并说清它们会怎样暴露。

第一处，定义还没上过实战。川菜判据在厨房里好用，放到一门学科里，局外人能不能把一组论文、一组模型产出稳定地归到各自的三组合，我手里没有现成的证明。如果做不到，「典范＝三组合」就要重写，后面的典范模型、边界判据都会跟着松动。

第二处，碰撞的场所还在早期。今天的三碰、群碰，多数还是在不同的提示和视角之间碰，离「几个各守一个三组合、训练成形的典范模型在对话里碰」还有一段路。第八编的判据，三类缝、三拍、双方都被改写、三种伪涌现，也都靠评审能稳定地判断；如果不知情的评审怎么也分不清碰撞和比对，这些判据就只是我的说法。

第三处，方向最容易被说空。三律三步给了可以核对的步骤，可在一门具体科学里，怎样查一次碰撞有没有朝向自由、朝向幸福，第十一编只给了起手的办法。此外，全书不少主张本身就是押注，现在还不到能检验的时候，粗层级的相反局面汇在附录一，请拿着它监督我。

再说三个容易误会的地方。

一是典范模型不是领域专用模型。很多人一看「一个典范一个模型」，就以为是金融模型、医学模型、材料模型这种按行业、按语料分的模型。不是。按领域切，切的是吃什么数据；按典范切，切的是守哪一个 (Function, D, E)。同一个领域里常常有好几个典范，第 30 章举的金融就是这样，一个吃了大量金融文字的模型，可能把几种看法糊成了一种，那恰好不是典范模型。反过来，几个典范模型完全可以共用一个底座，只要三组合不同。第 30 章那个通用模型胜过金融专用模型的反方事实，打到的是「按领域专用」的路线，没有打到定音句上。

二是 SDE 不是元层面的统一。有人会说，你让所有典范都在 SDE 智能体里碰，SDE 岂不成了一个更高的统一典范？不是。SDE 只规定方程的形式 S = Function(D, E)，不

规定任何一个具体的三组合。好比菜谱统一成食材、步骤、做法三栏，川菜和粤菜填进去的内容完全不同，格式统一不会让两家变成一家，反倒让人更容易看出差在哪一栏。它在碰撞里只做一件事：把分歧落到某一栏。如果有一天你看到 SDE 开始替各家决定填什么，那才是它变质了，请照第 35 章去批评它。

三是「包含而非替代」不是说旧典范永远不退场。包含说的是：新典范站稳以后，旧的三组合常常可以成为新三组合在某个极限下的运行区，旧模型在自己擅长的距离里照常运行。这是常见的形状，不是保证。第 46 章自己就承认，燃素说、热质说这类例子，今天没有人把它们当作某个现代理论的极限特例来运行，它们在相当程度上真的退场了。我的主张是：替代是包含的一个特例，而不是唯一的样子；这不等于说每一个旧典范都有资格被装进来。装得进来的，要能从新三组合里算出一条通向它的通道。

还有一个提醒，不算弱处：书里的许远、许小满、南门老街三家厨房、修理铺两位师傅、苏知秋，都只在我构想的场景里出现，不是实录，不能当证据用。真正的证据，在每一章第三节「证据与边界」里。

读到中途迷了路，请翻回这里，回到那个钟面：找到你所在的钟点，再问一句，这一章在动三组合的哪一栏。

目 录

作者介绍 · · · · · iv
前言　一个圈，怎样从一条线里长出来 · · · · · vi
导读　这本书怎么读 · · · · · xv

导论　腿、车与两种结构 · · · · · **1**

第一编　库恩的线：《科学革命的结构》讲对了什么 · · · · · **18**
第 1 章　典范：一个时代怎么看世界 · · · · · 19
第 2 章　常规科学：在典范里解谜 · · · · · 24
第 3 章　反常与危机：解不动的题 · · · · · 29
第 4 章　革命：一个典范取代另一个 · · · · · 34
第 5 章　不可通约：两个典范互相听不懂 · · · · · 39
第 6 章　库恩的两难：逻辑推不出，只好说皈依 · · · · · 44

第二编　线的断处：库恩的四道缝 · · · · · **49**
第 7 章　革命只有一种：替代 · · · · · 51
第 8 章　单典范预设 · · · · · 57
第 9 章　把成本当成了认识论 · · · · · 62
第 10 章　不可通约被当作病 · · · · · 67
第 11 章　典范从哪里来，库恩没有说 · · · · · 72
第 12 章　进步朝向哪里，库恩不肯说 · · · · · 77

第三编　腿、车与交通网：贯穿全书的日常案例 · · · · · **83**
第 13 章　只靠腿的时代 · · · · · 85
第 14 章　车来了：多了一种走法 · · · · · 90
第 15 章　腿车接力：新的出行典范 · · · · · 95
第 16 章　交通网：常规运行与新线开通同时进行 · · · · · 100

第四编　典范的定义：S = Function(D, E) · · · · · **106**
第 17 章　每个显露都有它的三组合 · · · · · 108
第 18 章　E：一个典范看世界时把什么和什么连在一起 · · · · · 115
第 19 章　D：一个典范怎样切分问题、按什么次序展开 · · · · · 121
第 20 章　Function：一个典范把 D 与 E 合成显露的方式 · · · · · 127
第 21 章　典范的同一性：川菜判据 · · · · · 134
第 22 章　一个完整样本：视觉的、粒子化的数学 · · · · · 141
第 23 章　与四种旧说法划界 · · · · · 148

第五编　成本论：独养为何曾是必然 · · · · · **156**
第 24 章　养一个典范要一代人 · · · · · 157
第 25 章　教科书、实验室与期刊 · · · · · 163
第 26 章　AI 时代的危机：不是反常，是工具 · · · · · 169
第 27 章　独养变并养：一次成本相变 · · · · · 175

第六编　环节一：典范模型与常规科学的快速打造 · · · · · **181**
第 28 章　典范模型：一个典范一个模型 · · · · · 182
第 29 章　模型从来就受典范约束 · · · · · 189
第 30 章　为什么不能用一个统一大模型 · · · · · 196
第 31 章　按典范切，还是按数据切 · · · · · 203
第 32 章　边界判据与验收 · · · · · 210
第 33 章　常规科学的快速打造 · · · · · 217

第七编　环节二：碰撞的场所——SDE 智能体里的模型对话 · · · · · **224**
第 34 章　碰撞不在模型里 · · · · · 226
第 35 章　SDE 只规定方程的形式 · · · · · 234
第 36 章　三碰 · · · · · 242
第 37 章　群碰 · · · · · 251
第 38 章　碰撞的准入与握手 · · · · · 259
第 39 章　与交易区、多智能体辩论划界 · · · · · 267

第八编　环节三：在缝上自组织、涌现 · · · · · **275**
第 40 章　不可通约的第三种答案 · · · · · 277
第 41 章　混沌碰撞：三类缝，三种碰法 · · · · · 284
第 42 章　自组织：三拍与幸福律 · · · · · 291
第 43 章　涌现：碰撞的标志是双方都被改写 · · · · · 298
第 44 章　拼盘不是结合：伪涌现的诊断 · · · · · 305

第九编　环节四：沉淀与生长——典范空间 · · · · · **311**
第 45 章　沉淀：新三组合的判据 · · · · · 312
第 46 章　包含而非替代：旧典范成为极限特例 · · · · · 318
第 47 章　验收四档：新修辞、新记号、新方法、新典范 · · · · · 324
第 48 章　典范空间自己生长 · · · · · 331
第 49 章　新的科学共同体与科学教育 · · · · · 337

第十编　案例：数学，一次已经走完的科学发生 · · · · · **343**
第 50 章　数学的超级典范：看、点、S 一维 · · · · · 344
第 51 章　一次完整的圈：从网格到非局域数学 · · · · · 352
第 52 章　听、波、场：三个正在沉淀的典范 · · · · · 361

第 53 章　中医：多典范并存，不需要替代 · · · · · 369
第 54 章　气的数学：一个可检验的样板 · · · · · 377

第十一编　方向：意义科学 · · · · · **385**
第 55 章　从真理科学到意义科学 · · · · · 387
第 56 章　三律三步 · · · · · 394
第 57 章　好碰撞与白碰撞 · · · · · 401
第 58 章　风险：多元而无意义，就是堵车 · · · · · 408

第十二编　落到个人：科学发生的结构与我经济 · · · · · **415**
第 59 章　从「我们的典范」到「我的典范」 · · · · · 417
第 60 章　理念的我：第三声呼喊 · · · · · 424
第 61 章　对效知识：我的知识从哪里来 · · · · · 431
第 62 章　类我与三合一：我经济的共同体形态 · · · · · 438

结语　从一条线到一个圈 · · · · · **445**

参考书目 · · · · · **454**

附录 · · · · · **460**
附录一　本书全部粗层级相反局面汇总 · · · · · 460
附录二　库恩生平与著作年表 · · · · · 467
附录三　总对照表 · · · · · 471
附录四　术语表 · · · · · 475
附录五　本书日常案例一览 · · · · · 480

导 论

腿、车与两种结构

导论的问题：如果科学史不是一条走到替代就断的线，它会是什么形状？

◆ 一个早晨的一趟路

这是我构想的场景。

早上六点四十，许远从长沙河西的家里出门。他四十四岁，在地铁调度中心上班，管的是一张线网每天照常运转。出门先走一段：下楼，穿过小区，沿着人行道走到地铁站口，大约十分钟。进站，刷卡，下到站台，车来了，坐车过江。出站之后再走：上台阶，过一个路口，进调度中心那栋楼，刷工牌，坐电梯。

这一趟路，腿走了两头，车跑了中间。如果把它拆开记一笔账，大概是这样：步行加起来二十来分钟，坐车二十来分钟，中间换乘一次，在换乘通道里又走了几百米。要是哪天赶上下雨，他还得撑伞多绕一段有顶棚的路；要是哪天出门晚了五分钟，他会在站口那段路上走得快一些，好赶上早一班车。腿管着时间的零头，车管着距离的大头。

没有人会觉得这一趟路有什么值得说的。许远不会在站台上想：车来了，我的腿是不是被推翻了？他也不会在出站之后想：走路这种落后的方式怎么还没被淘汰？腿和车各做各的一段，又接得严丝合缝。走到站口那十分钟，没有车能替他走；过江那二十分钟，没有腿能替他跑。

他的女儿许小满十六岁，读高一，爱问。有一天她问父亲：爸，你天天管地铁，你说地铁是把走路取代了，还是没有？

许远想了想说：没取代。地铁让人能去更远的地方，可每一趟都是从走路开始、以走路结束的。你看站台上那么多人，哪一个不是走着进来的？

小满又问：那要是有一天，城里所有地方都通了地铁，走路是不是就没用了？

许远笑：那更要走路了。站越多，进站出站的人越多，人行道修得越宽，换乘通道越长。地铁通到哪里，哪里的人就走得更多。

这段对话也是我构想的。但这里面有一个被我们天天踩在脚下、却很少有人说出来的事实：一种新的走法来了，旧的走法没有退场，反而跟它接成了一种新的出行方式。站台、人行道、红绿灯、换乘通道、站口那几排共享单车，这些东西既不属于腿，也不属于车，是两者结合之后才长出来的。

还有一件事更值得留意。许远所在的那张线网，每天早上五六点开始照常运行，一列一列车按图发出去，这是它的常规；与此同时，城市另一头的新线正在铺轨、联调，等着哪一天通车。照常运行和新线开通，不是先停下一个、再做另一个，而是同时在做。没有哪一天，调度中心会宣布：今天全网停运，我们闹一场革命，把旧线拆了换新线。

这本书要讲的，就是科学史里有没有这样的「一趟路」，有没有这样一张一边跑一边长的网。

◆ 一、1962 年的一条线

1962 年，物理学出身的美国科学史家托马斯·库恩出版了一本不厚的书，《科学革命的结构》。它最初是芝加哥大学出版社《统一科学国际百科全书》丛书里的一册，这套丛书原本是逻辑经验主义者为了统一科学语言而编的。一本后来被看作动摇了逻辑经验主义的书，出在逻辑经验主义自己的丛书里，这件事本身就带一点讽刺。

库恩讲了一个故事。科学不是一块一块砖往上垒，越垒越高，而是一段一段地走：先是一个共同体共享一套看世界的方式，他叫它「典范」（paradigm，也译作范式）；在典范里面，科学家做的事是解谜，他叫它「常规科学」；解着解着，有些题怎么也解不动，这叫「反常」；反常越积越多，共同体开始怀疑这套看法本身，这叫「危机」；最后，一套新的看法出现，赢得了年轻一代，旧的退场，这叫「革命」。革命之后，新典范又成为常规科学的地基，故事从头再来。

这个故事讲对了很多东西。它看见了科学有结构，不是平滑的累积；它看见了科学家并不是每天都在检验根基，绝大多数时候是在一套不问的前提下埋头干活；它看见了两套看法之间常常没有一个中立的裁判，说同一个词，指的却不是同一个东西；它还看见了教科书会把革命藏起来，让每一代学生以为科学一直就是今天这个样子。这本书后来成了二十世纪被引用最多的学术著作之一，「范式转移」这个词从科学哲学一路走进了商学院、广告和日常口语，连卖手机的都说自己带来了范式转移。一个词用得这么滥，本身就说明它碰到了一根真神经：人们隐约感到，世界的变化有时不是「多一点」「快一点」，而是「换了一套看法」。

库恩本人的来路也值得一提。他在哈佛读的是物理，博士论文做的是固体物理里的理论计算，后来因为给非理科学生讲科学史课，才转到历史上来。他晚年回忆过一个时刻：为了备课去读亚里士多德的物理学，起初觉得满纸荒唐，后来忽然换了一个读法，发现亚里士多德的「运动」指的根本不是牛顿意义上的位置变化，而是更宽的「性质的变化」，一旦这样读，整套东西就前后通顺了。据他自己的回忆，那是 1947 年夏天的事，他在晚年的文章《什么是科学革命？》里讲过这段经历。这个体验后来成了他讲不可通约、讲格式塔转换的底子：不是旧人笨，而是旧人在另一套看法里，看到的是另一个世界。

一个物理学家，从自己的读书体验里发现了「看法」有结构，又用历史去证明它。这条来路让《科学革命的结构》既有内行的手感，又有局外人的眼光。这些发现，我在第一编会一条一条讲公道。超越库恩，前提是先承认他。常见的一种「超越」，是先把对方画成一个稻草人，再一拳打倒。那样的超越不值钱。

但这个故事有一个形状。它是一条线：常规、反常、危机、革命，走到革命，旧典范被替代，线就断了，新的线重新起头。每一次革命都是一次断裂，每一次断裂的结局都是一方赢、一方退场。教科书重写，旧的说法成了「科学史上曾经有过的错误」，或者干脆从课本里消失。

为什么是一条线？库恩大概会说，因为科学史就是这样的。哥白尼来了，托勒密退场；拉瓦锡的氧来了，燃素退场；爱因斯坦来了，牛顿的绝对时空退场。他手上的大例

子，几乎都是「替代」。他甚至用政治革命来作比：旧制度在危机中失灵，没有一个凌驾于双方之上的制度可以裁决，只好靠一方说服、压倒另一方。

这本书一出来就挨了很多骂，骂得最凶的不是科学家，而是科学哲学家。1965 年 7 月在伦敦有过一次专门的讨论会，波普尔、拉卡托斯、费耶阿本德、图尔明等人都到场或撰文，会后的论文集 1970 年出版，书名叫《批判与知识的增长》。波普尔一派最不能接受的，是库恩把常规科学说成科学的常态：在他们看来，科学家应该时时批判根基，埋头解谜的「常规科学家」恰恰是科学的危险。拉卡托斯在收入这本论文集的长文里批评说，照库恩的讲法，科学革命成了非理性的事，成了「暴民心理学」的题目。库恩在 1969 年为第二版写的后记里，一边收紧「典范」这个词，一边反驳说他从没说过选择是非理性的，只是说理由不能强迫人接受。

这场争论至今没有吵完。双方争的，归根到底是一件事：两套看法之间，到底有没有一条理性的路可走。一边说有，那就是逻辑与证据；一边说逻辑与证据不足以强迫，最后要靠说服和皈依。我后面会说，这两边其实站在同一块地板上：都默认两套看法相遇的结局只能是「一个选另一个」。没有人问过，相遇本身能不能长出东西来。第一编最后一章会把这个两难讲透，第八编给出第三种答案。

我不打算说这些例子不存在。替代确实发生过，而且有时发生得很彻底。我要问的是另一件事：替代是不是科学变化的唯一样子？如果不是，那么「科学史是一条线」就不是事实，而是一个看法——一个在某种条件下才成立的看法。那个条件是什么，是这本书要挖出来的东西。

◆ 二、如果交通史也按库恩来写

我们来做一个小小的思想游戏：把人类的交通史，按《科学革命的结构》的格式写一遍。

第一段，常规时期。人靠腿走。一个村子多大、集市隔多远、一天能办几件事，全由腿决定。在这个典范里，人们解的谜是：走哪条路近，什么时候出门不晒，挑多重的

担子走得动，哪段山路要结伴，哪个凉亭歇脚最合适。这些谜解得越来越熟，一代传一代，老人带孩子走一趟，孩子就会了。

第二段，反常与危机。城变大了，工厂远了，要去的地方一天走不到。抄近路、早起、换好鞋、练脚力，这些办法都试过，每一样都管一点用，加起来还是不够。下雨天近路走不通，冬天天黑得早，夜班交接赶不上。有人开始怀疑：是不是非走不可？

第三段，革命。车来了。按库恩的格式，接下来该写：新典范赢了，旧典范退场，人们从此不再走路，教科书上关于走路的那几章被撕掉，年轻一代甚至不知道祖辈曾经走着去赶集。

写到这里，谁都看得出不对。车来了，腿没有退场。今天的城市里，人一天走的步数未必比一百年前少；地铁通得越远，人行道修得越宽。车没有替代腿，它让第二种走法成了普通人的日常，然后两种走法接成了第三种：走到站、坐车、再走进楼。这个第三种，才是今天真正的出行典范。站台、斑马线、红绿灯、换乘通道，都是第三种走法的「器官」，单靠腿长不出来，单靠车也长不出来。

再细看一点。车来之后，腿的「活法」其实变了。从前一个人一天走二十里去赶集，腿管的是长途；车来之后，腿退到了短途，管的是从家到站、从站到楼这一头一尾，还多出了一样新活：在换乘通道里找路，在站台上选车门。腿没有被推翻，但它在新的出行方式里有了新的位置、新的分工。这跟库恩说的「替代」不是一回事，跟「什么都没变」也不是一回事。它是第三种情形：旧的被装进了新的里面，成为新整体的一个部分。本书把这种情形叫作「包含而非替代」。

后来还有飞机、轮船、高铁。每来一样，前面的也都没走，各管一段距离，又在机场、码头、车站互相接上。交通史不是一条每次走到替代就断的线，它更像一张网：常规运行和新线开通同时进行，网一边跑一边长。

有人会说：交通不是科学，交通工具可以并存，科学理论是互斥的，不能这样类比。这个反驳要认真对待。我的回答分两步。

第一步，在数学这样最讲互斥的学科里，「包含而非替代」也已经发生了：老的局域数学没有被新的非局域数学推翻，而是成了后者视野缩到零时的一个极限特例，两者

至今并行。这件事我在本导论第五节先说个大概，第十编细讲。互斥，是在同一个问题、同一个尺度上的互斥；换一个问题、换一个尺度，两套看法常常各有地盘，还能互相校核。

第二步，更要紧：交通工具为什么能并存？不是因为交通天生宽容，而是因为造一辆车、修一条路、开一条线的成本，降到了普通人用得起的程度。在只有少数人坐得起轿子、骑得起马的年代，交通实际上就是单典范的：绝大多数人只有腿。马、船、轿子早就存在，可它们贵、少、只属于少数人。并存不是交通的天性，是成本降下来之后的结果。

公道地说，库恩晚年自己也朝这个方向挪过一步。在他身后结集的《结构之后的路》里，他越来越多地用生物学的「物种分化」来比喻革命：一次革命常常不是新物种吃掉旧物种，而是从一个老专业里分出一个新专业，两者各占一块生态位，并存下去。这一步很重要，它说明库恩自己也觉得「替代」太窄了。但他停在了分家这里：分家之后，两边各说各的词汇，彼此越来越不通。他没有往下问：分出去的两家，还能不能再坐到一张桌上？坐到一起，会不会长出第三家？交通史恰好回答了这个问题：腿和车分家之后又接上了，接出来的是今天的出行方式。

这一步把我们带到了这本书的关键问题：科学里的「单典范」，是认识论的必然，还是成本的结果？

◆ 三、AI 是理念世界的「车」

我最近口述过一段话，后来成为这本书立题的起点。原话大意是：车的到来，让人类明白交通不只是用腿行走一种单一模式，还可以多元化；AI 的到来，让人类明白理念世界的打造，不只是库恩的「典范上的构造」，还可以「典范多元化」。

为什么说库恩时代的科学只能是单典范的？看看养一个典范要花多少钱。

一个年轻人要进入一个科学典范，大致要走过本科、硕士、博士、博士后，十年上下。他要读这个典范的教科书，做这个典范的习题，在这个典范的实验室里打下手，学会这个典范的期刊怎样写文章、审稿人在意什么、什么样的问题值得问、什么样的问题

会被看作外行。等他终于能在这个典范里独立解谜，人已经三十出头。一个人一生通常只买得起一张门票，第二张，多半买不起了。

这和学一门手艺是同一个道理。这是我构想的场景：南门老街上那家川菜馆「庞记」，老板娘庞秀芳今年五十一岁，她说一个学徒进门，先切三年墩子，再站两年炉子，五六年下来才敢让他独立出一桌菜。这五六年里，学徒学的不只是刀工火候，更是这家馆子「把什么和什么搭在一起」的那套默认：麻和辣怎么配，鲜从哪里来，先下什么后下什么。学成了，他的舌头就是川菜的舌头。你让他第二天去隔壁粤菜馆「炜记」跟黄炜师傅从头学一遍，不是不行，是代价太大，大到几乎没有人这样做。一条街上三家馆子，各有各的师傅，各传各的徒弟，很少有人能跨两家。一个厨师一辈子守一种菜系，不是因为别的菜系不对，是因为他只养得起一种。

科学家也是这样，只不过他的「学徒期」更长。一个共同体也一样。教科书要人编，实验室要钱养，期刊要人守，学会要人办。一套设施，基本只能服务一种看世界的方式。在这种条件下，最省的办法就是大家统一到一个典范上：同一套教科书，同一种训练，同一份期刊，同一种评审标准。库恩说成熟的科学只有一个典范、多学派并立是「前典范时期」的不成熟，我认为他观察到的是真的，但他把一个经济事实读成了科学的认识结构。这件事第二编和第五编会细讲。

我自己的学术履历，恰好是在一个典范里走完了全程。我是计算数学出身，做了二十年网格生成，Voronoi 剖分、Delaunay 三角化、质心 Voronoi 剖分，在英国斯旺西、在新加坡南洋理工大学教书带学生。这个典范给了我很多，我也知道进入它要付出什么，知道一个人在一个典范里待久了，会把它的默认当成世界本来的样子。门票是一辈子的。

AI 改变的是这张门票的价格。今天一个人借助大模型，几天之内可以进入一个陌生的典范，读懂它的基本问题、基本方法、基本套路；同一个难题，可以让三套不同的看法各跑一遍，把三份结果摆在一起看。更进一步：如果把一个典范的看法当作训练约束，训练出一个模型，那么养一个典范的成本，就从养一代人降到了养一个模型。

我要说清楚，降下来的是哪一部分成本。AI 并没有让「理解一个典范」变得毫不费力。一个人几天之内能读懂一个陌生典范的基本套路，不等于他几天之内能在那里做出新东西；真正守住一个典范、在它的边上找到缝，仍然需要时间和功夫。降下来的，主要是两样：一是进入的成本，从十年降到几天、几周；二是运转的成本，同一个难题让三套看法各跑一遍，从三个课题组各干三年，降到几个模型各跑一遍。前一样让一个人能在多个典范之间换乘，后一样让一个共同体能同时养几个典范。至于在缝上看出东西来，那还是人的功夫，而且因为碰撞的机会多了，这份功夫反而更值钱了。

这就是车之于腿的意思。车没有发明「走路」之外的另一种「移动的本质」，它只是把第二种走法的成本降到了普通人用得起。AI 也没有发明一种新的科学本质，它把养一个典范的成本降了下来，降到某个阈值以下时，科学的组织方式就从「独养」变成了「并养」——一个共同体可以同时养几套看世界的方式，让它们各自做满自己的常规科学，再让它们相遇。这不是一点一点的改良，而是越过阈值时的一次相变，就像水在零度以下不是「更冷的水」，而是冰。

并养和「杂食」不是一回事，这一点要先说清楚。回到南门老街。假如有人开一家大食堂，川、粤、湘什么菜都做，看起来比三家小馆子更「多元」。可你去吃几回就知道，大食堂的川菜不够麻辣，粤菜不够鲜，湘菜不够香，三样菜慢慢做成了一个味道。原因不难懂：一个灶台、一套采购、一批厨师，要同时照顾三种口味，最省事的办法就是往中间靠。并养不是大食堂，而是一条街上三家馆子各守各的手艺，又能常常凑到一张桌上，对着菜谱较真。多元的承载者是「一个典范一个模型」，不是「一个模型什么都会」。

这里要防一个误会。说 AI 让多典范成为可能，不等于说 AI 自动带来多元。恰恰相反，眼下的主流做法是用一个统一的通用大模型来做所有的事，而一个统一模型在各种看法之间求平均，平均的结果就是单一化。已经有学者在《自然》上提醒，AI 可能让科学走向「认知上的单一栽培」，人们以为自己懂得更多，其实懂得更窄。我同意他们的诊断，不同意他们的悲观：单一栽培只在「一个统一模型」的条件下发生。药方是让一个典范对应一个模型，而不是让一个模型糊着许多典范。这件事第六编细讲。

四、本书的圈

那么，如果科学不是一条线，它是什么形状？

先说这本书最核心的一个定义。库恩的「典范」一词出了名地含糊，英国学者玛格丽特·马斯特曼在 1970 年刊出的一篇文章里统计过，他在书里至少用了二十一种意思，库恩自己后来也承认需要收紧。我需要一个更硬的定义：它要能被训练进模型，要能从产出中被认出来。我的定义是：

S = Function(D, E)。

E 是特征纠缠系统，白话说，就是一个典范看世界时，把什么和什么连在一起。D 是差异序列，就是它怎样切分问题、按什么次序展开。Function 是把 D 和 E 合成显露的方式。S 读作显露，是这套东西对一个具体难题的显露。典范，就是 Function、D、E 这三样的组合。S 不在定义里，S 是三组合干出来的活。

一个 S 不等于一个典范。只有当同一个三组合在许多难题上都不变，它才构成一个典范。怎么判断「不变」？我用一个厨房里的判据：一家川菜馆做一千道菜，道道不同，一尝就知道是川菜。你认出来的不是哪一道菜，而是这家馆子的三组合稳定显露出来的那股味道。火候、食材、锅具、具体哪道菜都可以换，三组合不换，就还是川菜。我把它叫作川菜判据。「结构」这个词，在这本书里专指显露的稳定态：一千道菜背后那股认得出的味道，就是结构。

有了这个定义，AI 时代科学的基本单位就可以说清楚了：不是学科模型，也不是通用大模型，而是「典范模型」——以一个典范的 (Function, D, E) 为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。看它是不是同一个典范模型，看三组合，不看参数：共用一个底座、三组合不同，就是两个典范模型；三组合相同、参数不同，只是同一个典范模型的两个版本。

典范模型各自在本典范之内把常规科学做满。做满了，地图填到边，空白处自然显出来。那么碰撞在哪里发生？不在任何一个模型里。一个典范模型内部只能做常规科学，两个典范模型各自独处也碰不出东西。碰撞发生在以 SDE 发生学为思维操作系统的

智能体里的「模型对话」中，比如 ChatSDE 里的「三碰」「群碰」：同一个难题交给几个不同的三组合，各自显露出不同的 S，然后追问分歧出在 Function、D 还是 E。

有人会担心：用 SDE 来做碰撞的操作系统，岂不是在更高一层又搞了一次统一？不是。SDE 只规定方程的形式 S = Function(D, E)，不规定任何一个具体的三组合。就像菜谱格式统一成食材、步骤、做法三栏，川菜和粤菜填进去的内容完全不同，格式统一不会让两家变成一个味道；统一格式唯一的用处，是两家坐下来对菜谱的时候，能一栏一栏对着看，看清差别到底出在哪一栏。

举一个小小的样子，这也是我构想的场景。南门老街三家厨房接了同一个难题：街坊办寿宴，老寿星牙口不好、口味又重，要一道「软而有味」的鱼。庞记按川菜的路子，把味型立起来，先码味、再走油、后烧，鱼是有味了，可走过油的鱼皮偏韧；炜记按粤菜的路子，清蒸、控火、讲原味，鱼是嫩了，可老寿星嫌淡；谭家的谭老三按湘菜的路子，剁椒、蒸，味和嫩都有一点，可辣得老人家呛。三盘鱼摆在一起，一般人做的事是投票：哪盘好吃选哪盘。三碰做的事不同：它追问，三盘的差别到底出在哪里？是味型（把什么和什么连在一起，E），是次序（先码味还是先定形，D），还是成菜之法（烧、蒸还是剁椒覆盖，Function）？追问到最后，可能发现关键在次序：味要在鱼成形之后、以汁的方式进去，而不是事先码进肉里。这一处一旦看清，长出来的那盘鱼就不属于三家中任何一家的老路子了。这个例子只是让读者先尝个味道，三碰的完整讲法在第七编。

碰撞之后呢？在缝上混沌碰撞、自组织，涌现出两边母典范都说不清、却真实可用的新理解。新理解如果长出了旧典范没有的新变量，就沉淀为一个新的三组合，训练成新的典范模型，回到常规科学里去做满它自己。旧典范不被推翻，而被包含为新典范在某个极限下的特例，继续在它擅长的地方运行。

于是有了一个圈：

① 典范模型做满常规科学 → ② SDE 智能体里的模型对话（三碰、群碰）→ ③ 在缝上自组织、涌现 → ④ 沉淀为新的典范模型 → 回到 ①。

这个圈有一点和库恩根本不同：常规科学与碰撞不是先后两个时期，而是同时运转、互相喂养的两个环节。常规科学做得越快，失效的空白越早暴露，碰撞的位置就越早清楚；碰撞沉淀出的新典范模型，又马上开始做它自己的常规科学。就像许远管的那张线网，每天照常运行，新线同时在修；换乘站是两条线相遇的地方，新线通车，网又长了一截。

「同时」这两个字，是本书和库恩最根本的分歧，值得多说几句。这是我构想的场景：某天夜里，许远值班。白天，老线照常运行，一天几十万人次进出，调度的活是让每一列车准点、每一个故障就地处置。夜里收车之后，新线的联调列车才上轨，测信号、测道岔、测站台门，测出来的问题第二天交给施工方改。老线的运行数据也在喂新线：哪个换乘站早高峰最挤，哪种道岔最爱出毛病，新线设计时都要参考；新线一通，老线某些站的客流立刻变了，老线的行车图也得跟着调。两件事你中有我、我中有你，谁也不等谁。

库恩的时间是一段一段的：常规科学时期，大家埋头解谜；危机时期，大家怀疑根基；革命时期，大家改宗；然后进入新的常规时期。仿佛一个共同体在同一时间只能做一种事。为什么？因为在高成本的条件下，一个共同体只养得起一个典范，碰撞只能等到这一个典范崩溃之后才发生。成本降下来之后，常规科学和碰撞就不必轮流了：一边有几个典范模型在各自做满常规科学，一边有智能体把它们拉到一起碰撞，碰撞出的新典范又立刻进入常规。轮流，是穷的表现；同时，是并养之后才有的从容。

把全书压成一句话，就是：

> 库恩写的是《科学革命的结构》，一条走到替代就断的线；AI 时代的科学是一个圈：典范模型做满常规科学，在 SDE 智能体里碰撞，在缝上涌现，沉淀为新的典范模型，再回到常规科学。

我要坦白一件事：圈上的每一环，单拿出来看，都有邻居。有人讲过多个模型组成的生态比一个大模型更能防止知识坍缩，有人讲过不可通约的亚文化靠临时凑出的接触语言协作，有人讲过多个模型互相辩论，有人讲过两个心理空间整合会涌现新结构，库

恩晚年自己也讲过新专业分出、与旧专业并存。这些邻居我在各编都会请出来，划清界线。但没有一位邻居有这个圈：他们各自守住圈上的一段，本书把四段接成一个会自己生长的循环。合起来的这个结构体，是我认为这本书的典范创新——而这种合，是人才能做的。AI 可以在每一段里做得又快又好，把四段接成一个圈、并判断这个圈朝哪里转，要靠人。

◆ 五、一个已经走过一圈的例子

一个理论如果只有日常比方，没有一次完整的实例，那它还是空想。好在我手上有一个：数学。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里，用了几十章讲一件事：今天的数学是视觉的、粒子化的，「理论就是看」，先把世界看成分得开的点，切成单元，单元内只用简单的规则，再把局部加起来。这套看法统摄了几乎所有数学分支，所以数学界看不见它是一个典范，就像鱼看不见水。用本书的话读：E 是外部给定、可以分开的关系，D 是点化、切单元，Function 是局域加总。它是一个超级典范。

这个超级典范在网格上走到了极致。我做了二十年网格，深知它的威力：工厂的数学因此发达，飞机、桥梁、芯片都靠它算。可它也有算不动的地方。比方材料的断裂：裂纹在哪里出现、往哪里走，在局域微分方程的框架里，裂纹是一个要事先放进去的东西，方程在裂纹尖上本身就失去意义。各种修补办法很多，越补越巧，可它们都是在局域的棋盘上解残局。这不是哪个参数没调好，而是三组合在这里显露不出来。

二十多年前，有人换了一套三组合来看断裂：不再只看一点和它紧挨着的邻居，而是看一点在一个有限「视野」之内跟一片邻域的相互作用；材料里的连接像一根根键，拉伸到一定程度就断，断了不可逆；用积分加总代替微分。这套看法后来叫近场动力学。在它里面，裂纹不再是输入，而是输出：键一根根断，裂纹自己长出来。

关键在后面。近场动力学没有推翻局域的数学。当视野缩到零，非局域的积分方程在适当条件下退回到局域的微分方程，老的那一套成了新的那一套的一个极限特例。两套方法在工程里并行运转了二十多年，各管各擅长的尺度，互相校核，互相喂养。这不

是库恩意义上的革命，而是一次完整的圈：旧典范做满常规科学，在失效处与另一套看法碰撞，在缝上涌现，沉淀为新典范，旧典范被包含，然后两套一起继续做常规科学。我在《人与 AI 一起发生新数学》里有一句话概括旧方法的处境：补位，不是坟墓。

为什么当时没有人把它读成一次完整的圈？我想原因有三。第一，按库恩的格式去读，这件事既不像常规科学（它换了基本方程），又不像革命（旧方法没退场），落在两格之间，就只好被叫作「新方法」「补充手段」，一笔带过。第二，做近场动力学的人和做有限元的人，大多各在各的会议、各发各的期刊，碰撞是零星的、靠少数跨界的人撑着，没有一个场所让两套看法系统地对着看；这个圈是走完了，可走得很慢、很贵，二十多年。第三，也是最根本的，数学界看不见自己的超级典范，自然也就看不见近场动力学换掉的不是一个公式，而是 E 和 D 和 Function。看不见三组合，就只能看见「多了一个方法」。

这三条原因，恰好就是本书想改的三件事：给落在两格之间的变化一个名字（科学发生的结构）；给碰撞一个场所（SDE 智能体里的模型对话）；给典范一个看得见的定义（三组合）。如果这三件事做成了，下一次这样的圈，也许不必走二十年。

AI 进到这个故事里，位置也很清楚。今天大量用 AI 做的工程计算，是让模型吃下大量网格算出来的数据，学会更快地给出网格方法本来要算很久的结果。我在《人与 AI 一起发生新数学》里专门讲过：这样的代理模型继承的是网格的世界观，它是旧数学的加速器。用本书的话说，它是环节一：在旧典范里把常规科学做得又快又满。这本身是好事。麻烦在于，如果只有这一个环节，AI 越快，旧典范就越像唯一的世界，那些它算不动的地方就越被当作「数据还不够」「参数还没调好」，而不是当作碰撞的位置。圈上只走一环，就又退回了一条线，而且是一条更快、更难回头的线。

这个例子在第十编里会细讲，并且用科学发生的结构把四个环节逐一对上。这里只先放一句话：科学发生的结构不是空想，它在数学里已经走完过一次，只是当时没有人这样去读它。

◆ 六、全书路线图，与本书怎样算「错」

全书十二编、六十二章。

第一编「库恩的线」，先把库恩讲公道：典范、常规科学、反常与危机、革命、不可通约，以及他最后陷入的两难——逻辑推不出，只好说皈依。

第二编「线的断处」，指出库恩的四道缝：革命只有替代一种；成熟科学只有一个典范；典范从哪里来没有说；进步朝向哪里不肯说。四道缝里藏着一个更深的错位：库恩把成本当成了认识论，又把不可通约当成了病。

第三编「腿、车与交通网」，把交通史当作贯穿全书的日常样本：只靠腿、车来了、腿车接力、交通网。后面各编都回这里取证。

第四编「典范的定义」，是全书的理论核心：S = Function(D, E)，E、D、Function 各讲一章，再讲川菜判据，以数学的超级典范为完整样本，最后与库恩的学科基质、拉卡托斯的研究纲领、劳丹的研究传统、哈金与克龙比的推理风格划界。

第五编「成本论」，回答为什么是现在：养一个典范要一代人，教科书、实验室与期刊只能服务一个典范；AI 时代的危机不是反常引起，而是工具引起；成本越过阈值时，独养相变为并养。

第六至第九编是圈的四个环节，各占一编，是全书的主体：典范模型与常规科学的快速打造；碰撞的场所——SDE 智能体里的模型对话；在缝上自组织、涌现；沉淀与生长——典范空间。

第十编以数学为案例，把整圈从头走一遍，并看几个正在沉淀的新典范，包括听的数学、波与场的数学、气的数学，也谈中医与西医作为两个典范的候选可以怎样碰撞——只谈典范的结构，不谈任何疗效。

第十一编讲方向：碰撞朝向创造、自由、幸福的升级，也就是意义科学。三律各有三步，可以查：创造律，混沌碰撞、自组织、涌现；自由律，纠缠、选择、激发；幸福律，张力、转换、释放。这是对库恩「进步不必朝向哪里」的回答。

第十二编落到个人：养一个典范便宜到一个人养得起，就有了「我的典范」；理念的我在其中发生；我经济由此有了科学哲学的地基。

这本书和我的几本书有亲缘，读者若读过它们，会认出一些老朋友。《人与 AI 一起发生新数学》全书没有提库恩一个字，却在数学里完整走过了一次科学发生的圈，本书第十编以它为案例，其他各编也多处借用它的论证。另一本还在写的《超越波普尔：从多次性科学到一次性发生》，和本书是姊妹：那一本超越「可证伪」，这一本超越「典范」；波普尔式的科学是可以反复做、反复检验的多次性科学，而许多真正的难题只发生一次，本书讲的典范空间，恰好可以为一次性发生预备候选方案，两本书在第 48 章互相接上。《我经济》和《我的三个宝贝》讲的是 AI 时代个人怎样凭「理念的我」立足，本书第十二编给它们补上科学哲学的地基。还有一本通俗解构库恩的书，那一本拆，这一本建。

还要分清两个层级，免得后面混淆。「复合体」是人加 AI 一起做事的单位，这个说法沿用自《人与 AI 一起发生新数学》；「SDE 智能体」是复合体里面让多个典范模型对话的那套思维操作系统。打个比方，复合体是整间修理铺，人、工具、机器都在里面；SDE 智能体是铺子里那位不动手、专管追问的车间主任：两位老师傅修法不同时，他不让他们比嗓门，而是问两种修法在哪一处对不上。一间铺子没有这位主任，两位师傅也能各干各的活，只是碰不出第三种修法来。

读这本书，可以有几种走法。只想知道核心主张的读者，读导论、第四编、第七编和结语就够了。想看这个主张凭什么成立的读者，第二编和第五编是论证，第十编是实证。关心 AI 怎样做研究的读者，第六、七两编最直接。关心它跟自己有什么关系的读者，可以从第十二编倒着读回来。每一章都按同样的方式写：先从一件日常小事说起，再说这件事里藏着什么，最后摆出证据，划出边界，说清它在什么情况下会错。章末有两行小账：这一章补的是哪道缝，落在圈上的哪个位置。

也要先说清本书不做的事。它不是库恩的通俗导读，库恩的思想我只讲到超越所需要的程度；它不是一部科学史，用到的历史都是证据，不求完整；它也不是一份 AI 技术方案，典范模型怎样具体训练、具体架构怎么搭，是工程师的事，本书只给出判据：什

么样的模型算守住了一个典范，什么样的碰撞算真碰撞，什么样的沉淀算新典范。判据比方案活得久。

最后说本书怎样算错。

一本讲科学结构的书，如果说不出自己在什么情况下是错的，那它本身就不够科学。但我不打算在每一章都设计精细的检验方案，那样会把读者拖进细节，也会给人一种「已经检验过了」的错觉。我采用的是粗层级的办法：每一章第三节，说出一个「什么大局面出现，本章的论点就错了」，不要求现在就知道怎样精确地检验，只要求这个局面一旦出现，人人看得出来。附录一把它们汇总。

这里先挑几条最承重的：

如果局外人无法把一组产出归到各自的三组合，也就是川菜判据在科学里不成立，「典范＝三组合」就错了。

如果 AI 普及十年之后，各学科反而更集中于少数几套框架，成本论就错了。

如果按典范切分的模型群，在保持多样性和产生新理论上，胜不过按数据切分的模型群，「一个典范一个模型」就退化成「多模型即可」。

如果不经 SDE 操作系统、只把几个模型放在一起投票或辩论，涌现新典范的频率与质量并不更低，「SDE 是碰撞的操作系统」就错了。

如果公认的重大创造里，大量找不到碰撞这一步；或者人有了更多典范可选，反而更被锁住；或者张力转换完了，人却普遍没有松下来——三律中相应的一律需要修正。

为什么只要粗层级？因为本书讲的是结构，结构的错，首先是大局面上的错。一个说「科学会从独养走向并养」的理论，如果十年后满世界的研究都挤在两三套框架里，用不着精细的统计就知道它错了；反过来，如果它在大局面上站住了，细处怎样检验，自然会有更合适的人、用更合适的工具去做。我是做计算数学出身的，知道精细检验的价值，也知道它的陷阱：指标一设计出来，人就会去对着指标干活，干到最后，指标好看了，要检验的东西却不见了。所以我把相反局面写成人人看得懂的样子，不给它配分数，也不让它进任何考核。

还有一层：本书的有些主张，本身就是对未来的押注，现在还没有到能检验的时候。典范模型这件事，今天还只有零星的雏形；SDE 智能体里的三碰、群碰，也才刚开始用。我不假装它们已经被证实，只把押注说清楚：押的是什么，赌输了是什么样子。读者可以拿着这张单子，十年后回来对账。

这些局面任何一个出现，我都愿意改。本书最怕的不是被证明错，而是写得圆滑到无法被证明错。

回到那个早晨。许远出站，走进调度中心那栋楼，坐到屏幕前，看着线网上一列列车照常跑着，另一块屏上，新线的联调进度在跳。他不需要选择是守着老线还是去修新线，两件事同时在做。我希望读完这本书，读者看科学也能这样看：常规科学照常跑，碰撞同时在发生，网一边跑一边长。

第 一 编

库恩的线：《科学革命的结构》讲对了什么

编　序

要超越一个人，先得把他讲公道。

《科学革命的结构》出版于 1962 年，六十多年来被引用、被误读、被滥用，「范式转移」成了一个人人会说、很少有人说准的词。这一编不急着挑错，先把库恩看对的东西一样一样摆出来：典范是一个时代看世界的方式，不只是几条定律；常规科学是在典范里解谜，它高效、可教、可积累，是科学的常态而不是科学的懒惰；反常积累到一定程度，共同体会怀疑棋盘本身；革命的结局是一套新看法取代旧看法，教科书随之重写；两套看法之间常常互相听不懂，没有中立的裁判语言；以及库恩自己最后掉进去的那个两难——逻辑推不出新典范，他只好说皈依。

这六章，每一章都承认一件事，也每一章都埋一颗种子。常规科学解谜的那一段，到了 AI 时代会价格崩盘（第 33 章）；库恩的危机由反常引起，AI 时代的危机却由工具引起（第 26 章）；「替代」这个结局，第二编要拆开看；不可通约，第二编说它被当成了病，第八编说它是燃料；那个两难，留给第八编给出第三种答案。

读这一编时请记住一个画面：库恩画出的科学史，是一条线。常规、反常、危机、革命，走到革命，线断一次，重起一条。他画得很准，准到我们很容易以为线就是科学唯一可能的形状。

第 1 章

典范：一个时代怎么看世界

> 这一章的问题：库恩说的「典范」，到底是什么东西？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远七岁那年，父母在外地做事，把他寄在湘中山里的外婆家，在村小读了一年书。村小在山坳那边，离外婆家三四里路，要翻一道梁，过一座石板桥，再沿着田埂走一段。

在那个村子里，「上学怎么去」从来不是一个问题。没有哪家大人在开学前跟孩子商量：是走路去、坐车去，还是别的什么。答案早就在那里，大家连问都不问。孩子们问的问题只在那个答案之内：翻梁走左边的石阶还是右边的土路，下雨天石板桥滑不滑，田埂哪一段要侧着身子走，迟到了抄哪道近路。这些问题有对错，有高下，有经验，高年级的孩子比低年级的懂得多。

还有一件事。许远第一次自己去上学，不是靠谁给他讲一套「走山路的原理」，而是跟着大他四岁的表哥走了三趟。第一趟看，第二趟跟，第三趟表哥走在后面，让他在前面带。三趟之后，他就会了：哪里该快，哪里该慢，哪里看着近其实绕远。那年冬天外婆让他去邻村送一篮鸡蛋，一条从没走过的山路，他也知道该怎样去走——先看路面是土是石，再看坡朝哪边，下过雨就避开背阴那一段。他学会的不是那一条路，而是一种走山路的「样子」。

那个「出门就走路」的默认，加上表哥带着走的那三趟，合起来，就是那个村子在交通上的典范。

◆ 二、这件事里藏着什么

典范的两层意思

库恩在《科学革命的结构》里用「典范」这个词，至少有两层意思，这两层恰好都藏在村小的那条上学路里。

第一层，是一个共同体共享的一整套看法：哪些东西存在，哪些问题值得问，哪些方法算正当，什么样的答案算答案。它像「出门就走路」那个默认，大家都在里面，平时不说，一旦有人问「为什么非要走路」，反倒显得古怪。库恩举的例子是亚里士多德的物理学、托勒密的天文学、牛顿的力学、拉瓦锡的化学：每一个都不只是几条定律，而是一整个世界的样子，告诉一代科学家世界由什么构成、该怎样去问它。

第二层，是可模仿的范例：一些具体的、被做出来的成功解答，学生照着它们练，练会了，就能把同样的「样子」用到新问题上。就像表哥带着走的那三趟。库恩特别看重这一层。他注意到，物理学的学生学会牛顿力学，靠的并不是先背熟定律再演绎，而是做斜面、单摆、行星轨道那几道经典题，做到一定程度，忽然能在一个新问题里「看出」它和斜面是一回事。这种「看出相似」的本事，是规则写不尽的。

这两层意思合在一起，就是库恩发现的核心：科学家不是带着一张白纸去看世界的，他们带着一个典范去看。典范决定了他们看见什么、忽略什么、把什么当作问题、把什么当作噪声。

典范为什么重要

在库恩之前，主流的科学图像是：科学家观察事实，提出假说，检验假说，留下被证实的，抛弃被否证的，知识一点一点累积起来。在这个图像里，「看法」是次要的，事实才是主角。

库恩把这个图像倒了过来。他说，没有典范，就连哪些事实值得收集都定不下来。他举了电学的早期历史：在富兰克林之前，研究电的人各有各的看法，有人看重吸引，有人看重摩擦生电，有人看重电的「流动」，每一派都只挑对自己有利的现象来讲，彼

此的实验记录凑不到一块。直到一个典范出现，大家才开始朝同一个方向积累。所以典范不是事实之后的总结，而是事实之前的地基。

回到外婆家的那个村子。假如有一天，一位从城里来的人问村里人：你们的孩子为什么要走路上学？村里人多半答不上来，或者答得很随意：「不走路怎么去？」这个答不上来，恰恰说明典范在起作用。真正的典范，不是人们相信的某一条说法，而是人们连想都不会去想的那个前提。它像空气，在的时候没人注意，一旦稀薄了，人才觉得喘不过气来。

库恩还注意到，典范给一个共同体划出了「什么是好问题」。在那个村子里，「走哪条岔路近」是好问题，「能不能飞过去」不是问题，问了会被笑话。科学里也一样：一个典范内的研究生，很快就学会了哪些问题能写成论文、哪些问题会被审稿人认为「不在本领域」。这种划界不写在任何章程里，却比章程还管用。

这就是我说要先把库恩讲公道的原因。他看见了一件之前很少有人看清的事：科学的地基不是一堆事实，而是一种看世界的方式；而这种方式，平时是不被问的。

1969 年的后记：库恩自己的收紧

库恩自己也知道「典范」用得太宽。英国学者马斯特曼在 1970 年发表的文章里，数出他在书里至少用了二十一种不同的意思。库恩在 1969 年为第二版写的后记里，做了一次收紧。

他提议把第一层意思换一个名字，叫「学科基质」：「学科」是因为它属于一个专业共同体，「基质」是因为它由几种有序的成分组成。他列了几样主要成分：一是符号概括，就是共同体不加质疑使用的公式、定律；二是形而上的或启发性的模型，比如把气体想象成一群弹来弹去的小球；三是价值，比如看重精确、简单、一致；四是范例，就是前面说的那些经典的具体解答。至于第二层意思，库恩说，那才是更深的一层，也是这本书里最新颖、最少被人理解的部分，「典范」这个词用在它身上最合适。

这次收紧很诚实，也很有用。但请留意一件事：在库恩的学科基质里，「符号概括」和「范例」都是已经做出来的结果。定律是结论，范例是做成的解答。也就是说，

库恩的典范是连着它的产出一起定义的。这个看似不起眼的特点，第四编会成为本书与库恩分手的第一个地方：本书的典范不含结论，只含 Function、D、E 三样，结论是这三样对难题的显露（第 17、23 章）。

◆ 三、证据与边界

再和两位邻居先打个照面。与库恩同时代的拉卡托斯提出「研究纲领」，说一个纲领有不许动的「硬核」和可以调整的「保护带」；劳丹后来讲「研究传统」，说它由一组关于世界由什么构成的承诺和一组关于该怎样研究的规范组成。这些说法都比库恩的典范更有条理，但它们和库恩共享一个特点：都是一组被相信的命题。第 23 章会和它们正式划界，这里只留一个问题：如果典范是一组被相信的命题，它能被训练进一个模型吗？能从一堆产出里被认出来吗？

库恩的典范概念有它的证据基础。科学教育的经验可以作证：一个学科的学生，主要是靠做经典习题、而不是靠读方法论学会这个学科的；科学史也可以作证：同一批现象，在不同典范下被看成不同的东西，比如拉瓦锡和普利斯特里面对同一种气体，一个看到了氧，一个看到的是「脱燃素空气」。

它的边界在哪里？有三处。第一，库恩的典范是一个描述性的概念，它告诉我们科学家事实上怎样工作，但不告诉我们一个典范能不能被精确地认出来、能不能被拿来做别的事——比如训练一个模型。第二，它把结论和看法捆在一起，于是两个结论不同的人，很难判断他们是看法不同，还是同一看法下算出了不同的结果。第三，它默认一个成熟的学科在同一时间只有一个典范，这个默认第二编要专门处理。

本章的论点是：库恩的典范概念抓住了科学的地基是一种不被追问的看法，而这种看法要靠范例来传。粗层级地说，如果有一天我们发现，科学家进入一个学科主要靠演绎规则而不是靠模仿范例，不同典范下的人对同一现象的看法并无系统差异，那么库恩的典范概念，连同本章对它的承认，就都站不住了。

带走的话

典范是一个时代看世界的那个默认，和让人照着学会的那几个范例；它平时不被问，却决定了人看见什么。

小账　本章补的缝——承认库恩看见了科学的地基是看法而非事实；指出他的典范连着结论一起定义，为第四编「典范不含 S」埋伏笔。

在圈上的位置——圈外：为什么（交代出发点，库恩的典范是本书改造的原料）。

第 2 章

常规科学：在典范里解谜

> 这一章的问题：科学家大部分时间在干什么，这件事是好是坏？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

长沙河西许远住的小区门口，有一棵老樟树，树下常年摆着一张象棋桌。下午三四点，几位退休的老人围在那里，不下整盘，专摆残局。一本翻得起了毛边的残局谱，一页一个局面：红先胜，或者红先和。摆好棋子，几个人盯着看，你一言我一语，有时候一个局面能琢磨一下午。

许小满放学路过，看了几次，问其中一位老人：爷爷，你们为什么不下整盘，只摆残局？

老人说：整盘棋变化太多，下不出名堂。残局有谱，答案是有的，你找不到，是你功夫不够，不是棋有问题。

小满又问：那要是有一局，谱上说红先胜，你们怎么也找不出赢法呢？

老人想了想：那多半是我们没想到。实在找不出，就先放一放，翻下一页。

这几句话，几乎就是库恩对常规科学的全部描述。

◆ 二、这件事里藏着什么

解谜：规则不问，只解题

库恩把典范之内的日常科研叫作「常规科学」，又说常规科学本质上是「解谜」。

谜有几个特点。第一，它保证有解：典范告诉你，这道题在现有框架里是能解的，就像残局谱上写着「红先胜」。第二，它有规则：什么样的步骤算合法，什么样的答案算答案，是事先定好的，就像马走日、象走田，没人在解残局的时候去问马为什么不能走直线。第三，解不出来时，怪的是解题的人，不是规则。老人说「多半是我们没想到」，常规科学家也是这样：一个实验结果对不上理论，第一反应是仪器出了问题、数据有误、自己算错了，而不是理论错了。

库恩把常规科学的工作大致分成三类：一是把典范认为重要的那些事实测得更准、测得更广；二是让理论的预言和实验对得更紧；三是把理论本身往前推，解决它内部还模糊的地方、扩展到新的情形。三类工作的共同点是：棋盘不动，只在棋盘上走得更深。

常规科学的好处

这一点，库恩之前的科学哲学几乎没看见，库恩之后的许多批评者也不愿意承认。

常规科学高效。正因为规则不问，科学家才能把全部力气用在解题上，而不必每天从头争论世界由什么构成。一个领域一旦有了典范，进展速度会突然加快，就像那几位老人有了残局谱，比各下各的乱棋长进得快得多。

常规科学可积累。在同一个棋盘上，前人解出的局面，后人可以直接接过来用；一代人的成果垒在上一代人的成果上，这才有了科学的「进步感」。

常规科学可教。一个典范可以写成教科书，可以编成习题集，可以在实验室里手把手传。学生用几年时间就能走到前沿，这在没有典范的领域是做不到的。

还有一层好处常被忽视：常规科学让一个共同体能够分工。因为棋盘是共的，一个人可以只钻研某一类残局，另一个人钻研另一类，彼此的结果却能拼在一起，因为它们都在同一套规则里。樟树下的几位老人，有人专攻车马残局，有人专攻兵卒残局，谁解出了一个难局，别人一看就懂、一摆就会。科学里成千上万的人各钻一小块，最后能拼成一幅大图，靠的就是这张共的棋盘。没有棋盘，各人的功夫再深，也只是各下各的乱棋。

所以，常规科学不是科学的懒惰，而是科学的常态，也是科学力量的来源。库恩说，正是常规科学这种专心致志、近乎固执的工作方式，才能把一个典范的潜力挖干净，也才能让真正的反常显露出来——只有对规则极熟的人，才知道哪一步对不上是真的对不上。

常规科学的代价

代价也在同一个地方：棋盘不问，就看不见棋盘之外。

残局谱上没有的局面，老人们不摆；谱上的局面找不到解，老人们翻下一页。常规科学也一样，它天然地会忽略那些不在典范问题清单上的现象，会把解不出的题暂时搁置，会把不合规矩的答案当作错误。库恩对此说得很坦白：常规科学的目标不是发现新奇，在成功的时候，它也确实不发现新奇。

我做网格那些年，对这一点有切身的体会，这里只说一个行内人都知道的现象，不讲我个人的经历：网格生成这个领域，几十年里解了无数道题，怎样让三角形更匀，怎样在边界上贴得更紧，怎样在曲面上剖分得更好，每一道题都有人钻、有人比、有人刷新纪录。可「为什么一定要先把区域切成单元」这个问题，几乎没有人在常规的论文里问过。不是没人想到，是这个问题不在棋盘上，问了也写不成一篇能发表的网格论文。

这个代价平时不显。只要典范的潜力还没挖完，搁置的题还不多，常规科学就是最好的工作方式。但它意味着一个共同体的眼界，被一张棋盘的大小框住了。

还有一点，库恩说得很含蓄，我替他说明白一些：常规科学之所以能够「规则不问」，是因为规则已经内化成了科学家的手感。樟树下那几位老人，一眼扫过去就知道哪几步不必算，哪个子是关键，这种眼力不是查书查来的，是摆了几十年残局养出来的。常规科学家也一样，他们的直觉是典范养出来的直觉。这既是他们的本事，也是他们的局限：直觉告诉他们哪里不必看，他们就真的不看了。

一颗种子：解谜的价格

这里先埋一颗种子。常规科学的那一段——规则给定、保证有解、靠组合与计算去找——恰好是 AI 最擅长的。封闭、可检验、靠组合，这三个条件凑齐的地方，AI 做得又快又便宜。我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过，AI 抢走的是「解题」，不是数学。放到科学上说：AI 会让常规科学里解谜这一段的价格崩盘。

价格崩盘是坏事吗？不一定。如果一个典范的谜可以在很短时间内被解得差不多，那么它的地图就会很快填到边，空白处自然显出来。常规科学做得越快，棋盘之外的东西就越早露头。这是第 33 章要讲的：解谜崩盘，恰好是常规科学去喂养碰撞的方式。

◆ 三、证据与边界

常规科学和「谜」这个比喻，也有一处要说准。库恩选「谜」这个词，是有意的：谜和一般的难题不同，一般的难题可能根本无解，比如「怎样治愈所有疾病」；谜则是有保证的、有规则的、有一个确定答案等着被找到的。常规科学家之所以敢投入几年去解一道谜，正是因为典范给了他这个保证。这个保证有时候会落空，落空的那一刻，谜就变成了反常，这是下一章的事。

常规科学的描述有大量证据支持。翻开任何一个成熟学科的期刊，绝大多数论文都是在既定框架里把某个量测得更准、把某个模型推得更广、把某个预言和数据对得更紧，很少有论文去质疑框架本身。科学训练也是这样设计的：研究生做的课题，几乎都是导师和领域公认「可解」的题。

库恩的批评者里，波普尔一派认为常规科学是科学的危险，科学家应当时刻批判根基。我认为库恩在这一点上比他的批评者看得更准：如果每个科学家每天都在批判根基，就不会有任何积累。但库恩也留下了一个没说出口的前提：常规科学的那一段必须由人来做，所以它很贵，所以一个共同体只能在一个棋盘上做。这个前提在 AI 时代会松动。

本章的论点是：常规科学是典范里的解谜，它高效、可积累、可教，代价是看不见棋盘之外。粗层级地说，如果我们发现成熟学科的日常工作主要是在质疑和替换基本框架，而不是在框架内解题，那么库恩对常规科学的描述，连同本章对它的承认，就错了。

> **带走的话**
>
> 常规科学是在一张不问的棋盘上解残局，它是科学力量的来源，也是科学眼界的边框；而解残局的价格，就要被 AI 打下来了。

小账 本章补的缝——承认常规科学是科学的常态与力量来源；埋下「解谜价格崩盘」的伏笔（第 33 章）。在圈上的位置——环节①的前身：库恩的常规科学，本书将它改造为「典范模型做满常规科学」。

第 3 章

反常与危机：解不动的题

> 这一章的问题：一个典范是怎样开始被怀疑的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远二十多岁刚参加工作那几年，地铁还没修到河西，他每天坐公交过江上班。起初四十分钟。后来城越来越大，车越来越多，四十分钟变成一个小时，一个小时又变成一个半小时。

他一开始的办法，都是在「坐公交」这个默认之内想的。早出门半小时。换一条线路，绕开最堵的那座桥。在前一站下车，走两站路去赶另一趟车。研究哪个时段哪个路口红灯最长。同事之间还交流经验，谁发现了一条新的绕法，第二天一早就有人去试。

每一个办法都管一点用，也都只管一阵子。早出门的人多了，早高峰就提前了；新绕法传开了，新绕法也堵了；那座桥旁边又修了一座新桥，通车头一个月快了，第三个月又和原来一样。办法越想越巧，账越算越细，可通勤时间就是下不来。

有一天，许远在车上堵了快两个小时，到单位以后跟同事说了一句：我看不是我们绕得不对，是这么个走法本身走不通了。

这句话说出口的时候，一件事变了：他开始怀疑的不是某一条路线，而是「靠路面上的车过江」这整个走法。

◆ 二、这件事里藏着什么

反常：对不上的题

库恩把常规科学里那些「解不动的题」叫作反常。

反常不是一出现就让人怀疑典范。绝大多数时候，一个对不上的结果，会被当作测量误差、仪器毛病、计算失误，或者先搁置起来，等以后再说。就像许远头几年的反应：堵车是因为出门晚了、路线没选对，不是因为这个走法不行。库恩说得很清楚：科学家不会因为一两个反常就放弃典范，任何典范在任何时候都有解释不了的东西，如果见一个反常就扔一个典范，科学根本没法做。

但有些反常不一样。它们不肯消失：越测越准，对不上的地方反而越清楚；越想办法，修补就越复杂。库恩举过天文学的例子：托勒密体系为了让行星位置和观测对上，一层一层地加本轮、均轮，几百年下来，系统越来越繁复，可总有一些地方对不准，而且各家的修补方案彼此不同。修补本身成了问题。

危机：怀疑棋盘

反常积累到一定程度，共同体进入库恩所说的危机。

危机有几个征兆。其一，同一个问题出现了许多不同的修补版本，谁也说服不了谁，就像许远的同事们各有各的绕法。其二，人们开始愿意尝试任何办法，哪怕它违反常规的规矩。其三，人们开始公开表达不满，说出「这个走法本身走不通了」这样的话。其四，科学家开始转向哲学，争论起平时不问的基本问题：什么是运动，什么是元素，什么是时间。

许远和同事们后来也走到了这一步。有一阵子，单位里午饭时聊的不再是哪条路线快，而是一些平时没人问的事：城市为什么非要把人都往江对岸送？是不是该把单位搬过来？是不是该在江底下修点什么？有人说他们异想天开，有人说早该这么想。这些争论没有结果，但它们本身就是一个信号：常规的办法用尽了，人们开始回头问那个当初不问的前提。

这最后一点特别有意思。常规时期，科学家不需要哲学，规则不问，只管解题；到了危机时期，规则本身被拿出来问，科学家才回到基本问题上去。库恩认为，这就是为什么科学史上的大变革时期，常常伴随着科学家对哲学的兴趣。

危机的结局有三种可能。常规科学最终靠自己的办法解决了反常，危机解除；反常被暂时承认为解决不了，留给后人；或者，一个新的典范候选出现，双方开始争夺。只有第三种，才走向革命。

库恩看对了什么

库恩在这里看对了两件事。

第一，科学的变化不是由单个反例触发的，而是由反常的积累触发的。一个反例推不倒一个典范，一堆不肯消失的反常才能。这比简单的「一次证伪就推翻」更符合科学史，也更符合常识：许远不会因为一天堵车就怀疑公交，他是被几年的堵车逼到那句话上的。

第二，危机是一种共同体的心理状态和社会状态，不只是逻辑状态。同样的反常，在一个时期被容忍，在另一个时期被当作危机，这取决于修补的成本、替代方案的有无、共同体的耐心。

还要补一句库恩看得很细的地方：反常本身也是典范造出来的。没有典范，就没有「对不上」，因为根本不知道该对上什么。许远在公交时代觉得一个半小时太长，是因为他心里有一个「过江该多久」的标准，这个标准来自从前四十分钟的经验。科学里也一样，一个测量值被看作反常，是因为典范预言了另一个值。库恩说，越是精确、越是成熟的典范，越能把反常清清楚楚地显出来；一个模模糊糊的看法，什么结果都能对付过去，反而没有反常。所以反常不是典范失败的证据，而是典范做得足够好的副产品。这一点，和上一章说的「常规科学越专心，越能让真正的反常显露」是同一件事。

一颗种子：危机的另一种起因

在库恩那里，危机只有一个起因：反常。典范在自己的问题上解不动了，人们才开始怀疑它。

这里埋下第二颗种子。AI 时代的危机，很可能不是这样来的。一个典范可能在它自己的问题上运转得好好的，没有什么不肯消失的反常，可它面对一个新局面：解题的边

际成本突然趋近于零。从前要一个课题组干三年的谜，现在一个模型几天就解完了。这不是典范解不动，而是典范解得太快，快到这个共同体原来赖以为生的那一段工作，一下子不值钱了。

这种危机不是由反常引起的，而是由工具引起的。它的结局也不一定是一个新典范取代旧典范，而可能是工序的份额转移：让出去的是解谜这道工序，留下的是学问本身。第 26 章会细讲这件事，并用《新文明的诞生》里的工具让渡律来读它。

◆ 三、证据与边界

库恩对反常与危机的描述，有科学史的支撑：托勒密天文学在哥白尼之前的繁复修补；燃素说在拉瓦锡之前对燃烧增重的种种解释；以太在相对论之前的漂移实验与各种补救假设。这些案例里，都能看到反常的积累、修补版本的增多和争论回到基本问题上去。

边界也在这里。库恩的案例几乎都来自物理学和化学，而且是事后挑选的大事件。后来的科学史家和科学哲学家指出，有些重大变化并没有明显的危机阶段，有些危机也没有引向革命。早在 1965 年那次伦敦讨论会上，图尔明就质疑过常规科学与革命科学能否截然分开，认为科学的变化更像一连串大大小小的演化步子。这说明「反常积累到危机」是一种常见模式，不是唯一模式。本书要补的，正是另一种起因。

还要和一位邻居划清。波普尔讲的是证伪：一个理论做出的预言被观察否定，理论就该放弃。库恩讲的反常与危机，和证伪最大的不同在于时间和人：证伪是一次逻辑事件，危机是一段共同体的历史。在库恩看来，真实的科学家几乎从不因一次证伪就放弃理论，他们会修补、会等待、会把反常搁置几十年。这一点上，库恩比波普尔更贴近科学家实际的样子；本书的姊妹卷《超越波普尔》会从另一个方向处理证伪的问题，这里不展开。

本章的论点是：典范被怀疑，通常起于反常的积累，危机是修补越来越繁复、争论回到基本问题的状态。粗层级地说，如果科学史上大多数重大变化都发生在典范运转良好、没有积累反常的时候，库恩的危机理论，连同本章对它的承认，就要大改。

带走的话

一个反例推不倒一个典范，一堆不肯消失的反常才会让人怀疑棋盘；而 AI 时代，让人怀疑棋盘的，可能是一件新工具。

小账　本章补的缝——承认反常积累引发危机的模式；埋下「AI 时代的危机由工具引起」的伏笔（第 26 章）。

在圈上的位置——圈外：为什么（交代库恩的触发机制，本书将它与成本论、工具让渡律对照）。

第 4 章

革命：一个典范取代另一个

> 这一章的问题：在库恩那里，一次科学革命的结局是什么？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街口原来有一家照相馆，开了三十多年。老板姓文，年轻时学的是冲洗胶卷：暗房、红灯、显影液、定影液，一卷胶卷进去，几十张照片出来，什么时候换药水、温度多高、曝光几秒，全在他的手上。街坊们照全家福、拍证件照，都去他那里。

二〇〇几年，数码相机来了，没过几年，手机也能拍照了。起初文老板不当回事，说数码照片发灰、没层次，比不上胶片。后来来冲胶卷的人一年比一年少。再后来，暗房改成了储物间，显影罐收进了柜子，门口的招牌换成了「数码冲印、证件照、照片修复」。文老板去学了电脑修图。

有一回，许小满跟着父亲去那家店里扫描一张老照片，看见柜子里那几个显影罐，问是干什么用的。文老板笑着说：这是老古董了，你们这代人用不上了。

那一套手艺，确实是退场了。不是被挤到一边并存，而是真的不用了。

◆ 二、这件事里藏着什么

革命的结局：替代

库恩说的科学革命，结局就是这样：一个新典范取代旧典范，旧的退场。

他给科学革命下过一个定义，大意是：一种非累积的发展事件，其中一个旧典范被一个与之不相容的新典范全部或部分地取代。这里有两个关键词。「非累积」，意思是

新典范不是在旧典范上加一层，而是重新铺地基；「不相容」，意思是两者不能同时成立，你接受了一个，就得放弃另一个。

库恩的大例子都是这个样子。哥白尼的日心说取代托勒密的地心说；拉瓦锡的氧化理论取代燃素说；爱因斯坦的相对论取代牛顿的绝对时空观。在每一个例子里，旧典范不是被修补，而是被换掉；旧典范的核心概念不是被改进，而是被抛弃：本轮没有了，燃素没有了，绝对时间没有了。

教科书重写，革命被藏起来

革命之后还有一件事，库恩看得特别细：教科书会被重写，而且重写得好像革命从来没有发生过。

他专门写了一章，讲革命的「不可见性」。新典范的教科书会把科学史改写成一条通向今天的直路：前人是在朝着我们今天的理论一步步走，只是走得慢一些、犯了一些错。旧典范的世界观，在教科书里要么消失，要么被当作「早期的错误」一笔带过。学生读完教科书，以为科学一直就是今天这个样子，只是越来越精确。

这正像许小满看见的显影罐：在新一代人眼里，它只是「老古董」，不是一整套看世界、做事情的方式。暗房里那些关于光、关于时间、关于药水的讲究，在数码时代的人看来，只是「以前比较麻烦」。

库恩还说了一层：革命不只改了结论，也改了问题。新典范胜出后，有些旧问题被宣布为「没有意义的问题」，不再有人去问；有些从前不存在的问题，成了新一代人的头等大事。暗房时代，一位摄影师要操心的是曝光几秒、药水几度；数码时代，这些问题消失了，新的问题是像素、色彩空间、后期修图。问题清单换了一张，一个人原来引以为傲的那一身本事，有一部分就真的没处用了。这是革命残酷的一面，库恩没有回避它。

与此同时，革命也是一代人的事。库恩观察到，接受新典范的，往往是年轻人，或者刚进入这个领域、对旧典范投入不深的人。文老板那一代人里，有的转了行，有的守

着老店直到关门；他们的徒弟那一代，有的一出师就学的是数码。新旧典范的交替，常常也是师傅与徒弟、上一代与下一代的交替。

库恩认为，正是这种不可见性，让人们误以为科学是累积进步的。革命被藏起来了，线就显得连续了。他把这层面纱揭开，告诉我们：科学史里有断裂，只是被教科书缝上了。这是他的一大贡献。

库恩的科学史：一条反复断开的线

把前三章和这一章连起来，就是库恩的整个科学史图像：

前典范时期，多家学说并立，各说各的；然后一个典范胜出，进入常规科学；常规科学解谜，积累反常；反常引发危机；危机中新典范候选出现，一场革命，新典范取代旧典范；于是进入新的常规科学，再积累新的反常……

这个图像是一条线。它在每一次革命处断开一次：旧典范退场，新典范从头开始。线与线之间没有交叠，没有并存，也没有旧典范在新典范里继续活着的位置。库恩也讲过，旧理论有时可以作为新理论的「近似」被保留在课本里，比如牛顿力学在低速时仍可用。但他特别强调：这种保留，是用新典范的概念重新解释旧理论的结果，旧理论原来的那个世界，已经不在了。牛顿的「质量」和爱因斯坦的「质量」不是一个东西，从相对论「推出」的牛顿力学，已经不是牛顿本人的牛顿力学。

为什么替代看起来理所当然

替代这个结局，在库恩的框架里几乎是必然的，原因藏在前几章里：一个共同体只有一张棋盘，一套教科书，一份期刊，一批学生。新典范要立足，就得占住这些位置；占住了，旧典范就没处待了。教科书只能写一个版本，研究生只能按一套训练，经费只能投给一条路线。所以替代不只是观念上的胜负，也是位置上的胜负：位置只有一份。这一层库恩没有明说，第 9 章会把它挖出来——替代看起来理所当然，很大程度上是因为养不起两份。

一颗种子：「全部或部分」

请留意库恩定义里那几个字：「全部或部分地」取代。他自己留了一道口子：取代可以是部分的。但在书的主体部分，他没有沿着这道口子往下走，部分取代之后，没被取代的那一部分怎样，新旧两部分怎样相处，他没有展开。

本书第二编要从这道口子进去。文老板的胶卷手艺确实退场了，替代确实发生过；但交通史里车来了腿还在，数学里局域方法被装进非局域方法、成为它视野缩到零的极限，两者并行了二十多年。替代是一种结局，不是唯一的结局。第 7 章会拆开「只有替代」这个默认，第 46 章会给出「包含而非替代」的形式条件。

◆ 三、证据与边界

还要替库恩说一句公道话。他用政治革命来比喻科学革命，常被人批评为夸张，但这个比喻抓住了一点：在革命时期，没有一个高于双方的制度来裁决，旧制度本身正是争议的对象。科学革命也一样，旧典范的评判标准，本身就在争议之中，所以不能拿它来裁决新旧之争。这个观察，是下一章不可通约的入口。

库恩的革命概念有坚实的证据：科学史上确实有核心概念被整体抛弃的时刻，确实有教科书改写史实的现象。燃素、以太、本轮，这些概念今天确实不在科学里了。

边界在于两点。第一，库恩用来支撑「革命即替代」的，是一批事后挑出的、恰好以替代告终的大事件；那些以并存、包含、分化告终的变化，在他的格式里没有自己的格子，只好被归入「常规科学的扩展」或者略过不谈。第二，「新理论把旧理论作为近似保留」这件事，库恩是用来强调断裂的（旧世界已不在），但它同样可以被读成另一种关系：旧的被包含了。读法不同，看到的结构就不同。

本章的论点是：在库恩那里，革命的结局是替代，并且被教科书藏起来，科学史因此是一条反复断开的线。粗层级地说，如果我们发现科学史上大多数重大变化都以替代告终，几乎没有并存与包含，那么本书后面关于「替代只是一种特例」的主张就错了，库恩的线就是科学的唯一形状。

带走的话

库恩的革命，是新典范取代旧典范、教科书把断裂缝上；他自己留了一句「全部或部分」，却没有往「部分」里走。

小账　本章补的缝——承认革命与替代确实存在，承认「革命的不可见性」这一发现；指出「全部或部分」这道口子，为第 7、46 章埋伏笔。

在圈上的位置——环节④的对照：库恩的结局是替代，本书的结局是沉淀为新典范模型、旧典范被包含。

第 5 章

不可通约：两个典范互相听不懂

> 这一章的问题：两个典范之间，为什么常常说不到一块？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

城南一条巷子里有一间修理铺，两位老师傅搭伙。刘师傅五十八岁，钳工出身，车床、轴承、齿轮是他的本行；韦师傅四十七岁，电工出身，线路、电机、开关是他的本行。

一天，巷口洗车店的老板拖来一台用了七八年的高压洗车机，说：这机器水枪冲劲越来越小，原来一枪能把轮毂缝里的泥冲干净，现在要来回冲三遍，怕是老化了，你们看看还能不能修。

刘师傅一听「老化」，脑子里浮出来的是：泵头里的密封圈磨薄了，柱塞杆拉毛了，水从缝里往回漏，压力憋不上去。他拧下泵头的盖子，用手指去摸柱塞杆，看表面有没有拉出细纹。

韦师傅一听「老化」，脑子里浮出来的是：电机的启动电容衰减了，绕组的绝缘不行了，接头氧化了，电机转不到额定转速，泵自然打不出压力。他拿起万用表，去量电容和线圈的电阻。

两个人各查了半个钟头。刘师傅说：密封圈磨了，换一套就好。韦师傅说：电容和绝缘都不行了，电机得收拾。两人争了起来。刘师傅说：电机嗡嗡转得好好的，你动它干什么？韦师傅说：漏一点水算什么，电机一烧，整台机器就报废了。

洗车店老板站在旁边听不懂：你们说的「老化」，是一回事还是两回事？

其实是两回事。同一个词，在两位师傅的手艺里，指的是两种不同的东西；同一台机器，在两双眼睛里，看成了两种不同的毛病。而且没有第三个人能站出来，用一套双方都认的话，裁决到底谁对。

◆ 二、这件事里藏着什么

同一个词，两种意思

库恩把两个典范之间的这种关系叫作「不可通约」。这个词借自数学：古希腊人发现，正方形的边和对角线没有公共的度量单位，两者的比值不能写成两个整数之比。库恩用它来说：两个典范之间，没有一把公共的尺子。巧的是，同在 1962 年，费耶阿本德在《解释、还原与经验主义》一文里也用了这个词，两人各自独立地把它从数学搬进了科学哲学。

不可通约的第一层，是词义。同一个词，在两个典范里意思不同。库恩最常举的例子是「质量」：在牛顿力学里，质量是一个物体固有的、不变的量；在相对论里，质量和能量可以互相转换，还和运动状态有关。两边都说「质量」，说的不是同一个东西。再比如「行星」：在托勒密的体系里，太阳和月亮都算行星，地球不算；在哥白尼之后，地球成了行星，太阳和月亮不再是。词还是那个词，它圈住的东西变了。

就像「老化」：刘师傅那里圈住的是密封与磨损，韦师傅那里圈住的是电容与绝缘。

同一件事，两样东西

不可通约的第二层，比词义更深：同一件事，在两个典范下被看成不同的东西。

库恩在书里用了「世界改变了」这样的说法。他说，革命之后，科学家是在一个不同的世界里工作。这话常被批评得太玄，但它的意思可以说得很实在：典范决定了人看见什么。普利斯特里和拉瓦锡面对的是同一种气体，一个看到「脱燃素空气」，一个看到「氧」；伽利略看到一个摆在做周期运动，亚里士多德派看到的是一块重物在受约束

地下落、想回到它的自然位置。不是谁的眼睛坏了，而是两个人带着两个典范去看，看出来的是两样东西。

库恩用格式塔图来打比方：同一张图，一会儿看成鸭子，一会儿看成兔子。但他也特别说明，科学家的情形比格式塔图更难：看格式塔图的人知道自己在两种看法之间切换，而科学家通常只看得见一种，另一种他根本「看不出来」。

修理铺里也是这样。刘师傅不是不知道电机有绝缘问题，而是他一摸到柱塞杆上的细纹，这台机器在他眼里就是「泵漏了的机器」；韦师傅一量出电容容量掉了一截，这台机器在他眼里就是「电机快烧的机器」。两个人看的都是那台洗车机，看出来的是两台不同的机器。

没有中立的裁判语言

不可通约的第三层，是最要紧的：没有一个中立的裁判语言。

如果有一种语言，能把两个典范的话都毫无损失地翻译过去，那么两边的分歧就可以在这种语言里摆平：翻译一下，对一对，谁对谁错就清楚了。库恩说，没有这样的语言。观察本身已经被典范渗透，你没法找到一组「纯粹的事实」，让两边都无条件接受；用来评判理论的标准，在两个典范里也不完全一样，一个典范看重的问题，另一个典范可能认为根本不值得问。

洗车店老板想找一句「双方都认的话」来裁决，找不到。他说「你们看看机器能不能用」，可「能用」对刘师傅是压力表打得到额定、泵头不滴水，对韦师傅是电流正常、连开一天电机不烫，标准本身就不一样。

还要说一句：不可通约不只是语言问题，也是手艺问题。韦师傅量电阻时，他的手知道表笔该搭在哪两个点上，读数多少算正常；刘师傅摸柱塞杆时，他的手指能分辨出头发丝那么细的拉痕。这些「手上的知道」，嘴上说不全，各自的典范把它们养成了身体里的东西。所以两个典范的人即使坐下来逐字对词义，也对不完：有一部分差别，根本不在词里。

最深、也最被误解的发现

不可通约是库恩最深的发现，也是被误解得最厉害的。

误解之一，是把它读成「两个典范完全不能交流」。库恩后来专门澄清：不可通约不等于不可比较，也不等于不可理解。一个人可以像学外语那样，学会另一个典范的语言，在它里面思考，然后理解它在说什么——只是不能逐字逐句地「翻译」过来而不丢东西。他后来又把它收窄为「局部不可通约」：两个典范之间，大部分词还是共用的，只有一小组彼此关联的核心词，意思变了。这个说法见于他在 1982 年科学哲学学会年会上的论文《可通约性、可比较性、可交流性》，会议论文集 1983 年刊出。

修理铺里也一样。刘师傅要是肯花几个月跟着韦师傅接线、量电阻，他也能学会用电工的眼睛看那台洗车机；学会以后，他听得懂韦师傅说的「老化」是什么意思，只是那个意思没法一对一地换成他钳工词汇里的某一个词。懂，和翻译得过来，是两回事。

误解之二，是把它读成「科学是相对的，怎么说都行」。库恩一再否认这一点。他认为科学家在典范之间的选择是有理由的，只是理由不能像逻辑证明那样强迫人接受。

但即使去掉这些误解，不可通约留下的问题依然尖锐：既然没有中立的裁判语言，两个典范相遇时，到底会发生什么？这个问题，库恩自己的回答，是下一章的事。

◆ 三、证据与边界

不可通约有扎实的证据：科学史上核心词义的变化（质量、行星、元素、热）；同一实验在不同典范下得到不同解读；以及科学家在革命时期普遍报告的「对方说的话我听得懂每个字，却不知道他在说什么」的困惑。在今天的跨学科合作中，这种现象几乎人人遇到过：两个学科的人用同一个词，各有各的意思，开了几次会才发现彼此根本没说到一处。

边界在于：库恩只看到了不可通约的「沟通失败」一面，把它当作危机与革命时期的一种病态，要么跨越它，要么承受它。他没有问：两位师傅说不到一块，正因为说不

到一块，那台机器会不会被看出单靠哪一位都看不出的东西？这个问题第 10 章要提出来，第八编要回答：不可通约可以是燃料。

本章的论点是：两个典范之间存在词义变化、看法渗透到观察、没有中立裁判语言这三层不可通约。粗层级地说，如果我们发现，在科学史的重大变化中，双方总能找到一种中立语言毫无损失地互译、把分歧在其中摆平，那么不可通约这个发现，连同本章对它的承认，就站不住了。

> 带走的话
>
> 两个典范相遇，同一个词意思不同，同一件事看成两样东西，而且没有第三方语言来裁决；这是库恩最深的发现，他只看见了它让人说不到一块的那一面。

小账　本章补的缝——承认不可通约的三层含义，并清理「不能交流」「怎么说都行」两种误读；指出库恩只看到它的破坏面，为第 10 章与第八编埋伏笔。

在圈上的位置——环节③的原料：不可通约之处，就是本书所说的「缝」，碰撞与涌现在这里发生。

第 6 章

库恩的两难：逻辑推不出，只好说皈依

> 这一章的问题：既然两个典范之间没有中立的裁判，科学家凭什么从旧的换到新的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远的母亲今年七十二岁，一辈子用现金。前几年，家里人劝她学手机付款，劝了好几回，理由一条一条摆出来：方便，不用找零，菜市场都支持，钱不会丢。

她每一条都能驳回去。方便？现金也方便，钱包一掏就有。不用找零？找零我又不嫌麻烦。菜市场都支持？我买菜给钱人家也收。钱不会丢？手机丢了钱不是丢得更多。家里人讲的道理，她觉得都有理，可每一条都推不出「我非换不可」。许远后来也不劝了。

后来有一年春节，孙女许小满在手机上教她给老家的亲戚发了一个红包。对面一会儿就回了一句语音，又发回来一个红包，她点开，听见老姐妹的声音。她坐在那里愣了一会儿，然后说：这个东西，原来是这样用的。

从那以后，她自己去学了扫码。半年以后，钱包里的现金越来越少。

家里人谁也说不清，她到底是被哪条道理说服的。好像每一条道理都起了一点作用，又好像没有哪一条是决定性的。她自己说：以前觉得是个付钱的东西，那天一下子觉得，它是个跟人来往的东西。

◆ 二、这件事里藏着什么

逻辑派的追问

库恩的不可通约一提出来，就引出了一个尖锐的追问。追问最有力的，来自坚持科学要靠逻辑和证据来裁决的那一派。

他们的推理是这样的：如果两个典范之间没有中立的裁判语言，那么，没有任何逻辑推理能从旧典范的前提推出新典范，也没有任何一组双方都认的证据能强迫人接受新典范。那么，科学家从旧典范换到新典范，靠的是什么？如果不是逻辑和证据，那就只能是心理、权威、风气、代际更替——换句话说，是非理性的。这样一来，科学进步就成了一种群众心理现象，科学的理性形象就塌了。前面提过，拉卡托斯批评库恩的理论选择观，就是这个意思。

这个追问抓住了真问题。就像许远一家劝老人：每一条理由都推不出「非换不可」，那她最后换了，是因为什么？

早期库恩的回答：格式塔与改宗

在《科学革命的结构》里，库恩的回答是：典范之间的转换不是一步一步推出来的，而是整体地发生的，像格式塔转换。同一张图，前一刻看成鸭子，后一刻看成兔子，中间没有过渡。他还用了宗教上的「改宗」来比喻：接受一个新典范，有点像皈依一种信仰，是整个人的一次转向。

他也说了一些更具体的东西。新典范胜出，常常是因为它解决了旧典范解决不了的那些反常；常常是因为它更简洁、更好看；常常是因为它预言了一些出乎意料的新现象。但他强调，这些理由在当时都不是决定性的：新典范刚出现时往往很粗糙，解决的问题比旧典范少，旧典范的拥护者有充分的理由不接受。很多人一直到死也没有改变看法。库恩在书里引了普朗克的一个说法，大意是：新的科学真理取胜，不是因为说服了反对者，而是因为反对者最终死去，熟悉它的新一代成长起来。这句话出自普朗克晚年的《科学自传》，库恩在讲革命怎样收场的第十二章里引了它。

这就像许远的母亲：理由一条一条都在，但哪一条都不是决定性的；真正发生的，是某一刻她「一下子觉得」那东西是另一样东西了。格式塔转换的比喻，在日常生活里是有原型的。

被逼出来的修补

但「改宗」这个词给库恩惹了大麻烦。批评者抓住它说：你看，库恩自己都承认典范选择是非理性的。

库恩此后几十年都在修补这个说法。

1970 年前后，他在回应批评者的文章里强调：他从没说过选择没有理由，他说的是，理由不能像逻辑证明那样强迫每一个理性的人得出同一个结论。1970 年代，他在一篇讲理论选择的文章里列出五条科学家普遍看重的标准：精确、一致、广泛、简单、富有成果。他说这些标准是「价值」，不是「规则」：每个科学家都认它们，但在具体情形中怎样权衡它们，因人而异，所以两个同样理性的人可以做出不同的选择。这篇文章叫《客观性、价值判断与理论选择》，后来收进了 1977 年的文集《必要的张力》。

再往后，晚年的库恩换了一套说法。他越来越多地用「词汇」和「分类」来讲典范：一个典范是一套把世界分成若干类的词汇；不可通约，就是两套分类方式互相交叉、不能对应。革命，则越来越像生物学里的物种分化：一个老专业里分出一个新专业，两者各有各的词汇，各管各的地盘，并存下去，而且彼此越来越难以交流。科学的进步，他用无目的的演化来比喻：是离开旧的问题处境，而不是走向某个终极真理。这些想法集中在他身后出版的文集《结构之后的路》里。

两条路都没走通

我认为，这两条路都没有走通。

改宗的路，把典范转换说成一次整体的跳跃，回答了「不是逻辑推出来的」，却没有回答「那是怎样发生的」。跳跃是描述，不是机制。批评者说它非理性，虽然不公平，却也不是没有道理：一个说不出发生机制的转换，很难和一次偶然的皈依区分开。

价值与分类的路，把选择说成在几条标准之间权衡、把革命说成分化出新专业，比改宗温和、有理，但它把典范相遇的结局，安排成了要么「选一个」，要么「分开过」。新典范怎么来的，它还是没有说；分开之后的两个专业还能不能再相遇、相遇之后能长出什么，它也没有说。

更根本的是，逻辑派和库恩其实站在同一块地板上。双方都默认：两个典范相遇，问题只在于「怎样从一个到另一个」——逻辑派要一条推得出的路，库恩说没有这样的路，只有跳。没有人问另一个问题：两个典范相遇的地方，本身能不能长出两边都没有的东西？

许远的母亲后来学会的，严格说来也不是「从现金换到手机付款」。她的钱包里还放着一点现金，菜市场有个老摊主不用手机，她就给现金；给老姐妹发红包、听语音，她用手机。她「一下子觉得」的那个东西，既不在现金的世界里，也不完全在家里人讲的「方便付款」的世界里，是一个她自己长出来的、跟人来往的新用法。这件小事里，已经有一点第三种答案的影子：不是推出来的，也不是凭空跳过去的，而是在两个世界相碰的地方长出来的。

这个两难，留给第八编。第 40 章会回到这一章，给出第三种答案：新理解既不是从旧典范推出来的，也不是跳过去的，而是在缝上，经混沌碰撞、自组织，涌现出来的。

◆ 三、证据与边界

库恩的两难有充分的文本证据：从 1962 年的格式塔与改宗，到 1970 年代的价值权衡，再到晚年的词汇分类与物种分化，他的说法一直在调整，而调整的方向恰好说明他自己也不满意。同时代的拉卡托斯想用「研究纲领」的进步与退化来给选择一个理性标准，费耶阿本德则干脆说方法上「怎么都行」，这两位从两个方向说明：在「逻辑推演」与「非理性跳跃」之间，当时的科学哲学没有找到第三条路。

本书在这里要划一条界线：我不说库恩错了，我说他的问题问窄了。他问的是「怎样从一个典范到另一个」，本书问的是「典范相遇之处能长出什么」。前者只有推与跳两个答案，后者才有生长这个答案。

本章的论点是：库恩在逻辑推演与非理性皈依之间陷入两难，改宗与价值、分类两条路都没有给出新典范的发生机制。粗层级地说，如果有一天，科学哲学找到了一种从旧典范逻辑地推出新典范的通用办法，或者科学史表明重大的典范转变大多就是无理由的整体跳跃、找不出任何碰撞与生长的痕迹，那么本章对这个两难的诊断，以及本书第八编的第三种答案，就都错了。

> **带走的话**
>
> 逻辑推不出新典范，库恩只好说皈依；可两边都没问，两个典范相碰的地方，能不能长出新东西。

小账　本章补的缝——承认库恩如实暴露了典范选择的难题；指出逻辑派与库恩共享「相遇只能选一个」的默认，把这个两难交给第八编（第 40 章）。

在圈上的位置——环节③的对照：库恩只有推与跳，本书在缝上给出混沌碰撞、自组织、涌现。

第 二 编

线的断处：库恩的四道缝

编　序

第一编把库恩讲公道了。他看见了科学不是一砖一瓦往上码，而是有结构、有断裂：常规科学在一个典范里解谜，反常攒多了引发危机，危机逼出革命，革命之后又是新的常规科学。这条线画得清楚，也画得有力，六十多年来几乎每个谈科学的人都绕不开它。

这一编要做的事，是找出这条线会断的地方。

我说的缝，不是库恩哪个史实记错了、哪段论证不严密，那些是细节，学界已经吵了几十年。我说的缝在更底下，在四个他没有说出口、却一直靠着它往下写的默认里：

第一，革命只有一种，就是替代。新的赢，旧的退场。

第二，一门成熟的科学，同时只该有一个典范。几家并立，就算还没长大。

第三，典范从哪里来不必解释。危机里总会有人灵光一闪。

第四，进步朝哪里去不必回答。科学只是离开旧问题，不是走向什么。

这四个默认，平时看不出来，因为在库恩那个年代，它们大体上和事实对得上。可一旦把交通史、把厨房、把今天的 AI 放进来对照，就会发现它们每一个都是那条线断开的地方：线之所以每次走到革命就断一次、重起一条，正是因为这四个默认把别的走法全排除了。

本编六章，第 7 章讲替代，第 8、9 章讲单典范以及它背后被误读的成本，第 10 章讲不可通约被当作病，第 11 章讲典范的来历，第 12 章讲方向。每章只做两件事：把缝指出来，说清楚它为什么是缝；再预告一句本书在哪里填它。真正的填补，留给第四编到第十一编。编末有一张表，把四道缝和后文的填补对齐。

第 7 章

革命只有一种：替代

> 这一章的问题：新典范来了，旧典范就一定得退场吗？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

湘中丘陵里有一个村子，八十年代末通了自来水。水管接进灶屋那天，全村人都觉得一件事算是了结了：往后不用再挑水了。按照一种很顺的想法，院子里那口老井从此就没用了，该填了，填了还能多出一块晒谷的地。

可那口井没有被填。

头几年，是因为老人不放心，说自来水一股漂白粉的气味，泡茶还是井水好。后来大家习惯了自来水的气味，井照样留着，派的用场却变了：夏天把西瓜用网兜吊下去，冰一个下午，比冰箱冰得匀；天旱的年份，水厂限时供水，菜地里那几垄辣椒靠的还是井；有一年冬天水管冻裂，全村有三天又回到挑水的日子，没人慌，因为井还在。

自来水是不是一场革命？当然是。它改变了一户人家每天的时间安排，改变了谁去挑水、挑几担、什么时候挑，连带改变了灶屋的格局。可这场革命的结局，不是井被推翻，而是井从「唯一的水源」变成了「某几种情形下最合适的水源」。它没有退场，它换了位置。

我反复想这个画面，是因为它和库恩书里那条线的结尾不一样。库恩的革命一定有一个输家：输家的教科书被重写，输家的问题被宣布为不再值得问，输家的学者要么改宗，要么带着旧典范老去。而在这个村子里，赢家和输家的分法本身就不成立。

◆ 二、这件事里藏着什么

库恩的革命是零和的

库恩在《科学革命的结构》里讲革命，用的是政治革命的比方：现有的制度不再能应付环境，一部分人决心推翻它，旧制度与新制度之间没有共同的裁判，只能靠说服乃至力量来决胜负。他用这个比方，是要说明典范之间的选择不能只靠逻辑和实验来裁决。这一层他说得有道理，第一编已经讲过。

可这个比方带进来一个附带的东西：政治革命是零和的。旧政权和新政权不能同时执政。把科学革命比作政治革命，就等于默认了两个典范不能同时运转，一个上台，另一个必须下台。

库恩的科学史因此只有一种革命：替代。托勒密让位给哥白尼，燃素让位给氧，牛顿让位给爱因斯坦。每一次，线走到这里就断开，旧的那一段被卷起来放进博物馆，新的一段从头开始画。

交通史的反例

如果交通史也按库恩来写，故事会是这样的：先有一个「步行典范」，后来马车、火车、汽车、飞机一个个登场，每一个都把前一个推翻。

可事实不是这样。汽车来了，人还在走路，而且走路这件事在城市里被重新安排得更讲究了，有了人行道、步行街、过街天桥。飞机来了，轮船还在，远洋运煤运矿石运集装箱，靠的仍是船，因为一吨货漂过大洋，船比飞机便宜得多。高铁来了，普速列车也没有全停。每一种新走法来了，都抢走了旧走法的一部分活计，却没有把旧走法从世界上抹掉。旧走法退回到它最擅长的那一段距离、那一类货物、那一种情形里去，继续每天运转。

这件事在交通里太平常了，平常到没人会把它叫作「革命的另一种结局」。第三编会用四章把它细细走一遍，这里只先把它摆出来，作为对库恩「革命只有一种」的第一个反例。

数学自己的反例

交通毕竟不是科学。有人会说：交通工具是拿来用的，用途有分工，当然可以并存；科学理论是讲真假的，两个理论对同一件事说法不同，总得有一个错。

那就看一个科学内部的例子，而且是最讲真假的数学。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过材料开裂的算法。旧办法看每一点附近的变化率，也就是斜率，用它写方程，这叫局域的数学，一切在「此地」决定。它几百年里极其成功，桥怎么弯、水怎么流、热怎么传，都靠它。可材料一裂开，裂口两边的位移一下子跳过去，斜率在那里没有意义，旧办法就得事先「被告知」裂口在哪儿才能接着算。

非局域的办法换了一个问法：不问一点的斜率，而让每一点和周围一片区域里的点直接相互作用，用积分把这一片加起来。这一片有多大，是一个新的量，叫「视野」。我在那本书里特意说过一句：视野缩到无穷小，积分的写法在光滑情形下会回到导数的写法，这是已知的数学事实。所以，局域的数学不是被推翻，而是被装进了非局域数学里，当作「视野缩到零」的极限情形。

这一句话，就是对库恩「替代」最直接的数学反例。旧数学没有被宣布为错，它成了新数学里一个参数取极限时的特例。在工程实践里也正是这样：一整架机翼，大部分地方仍用便宜的局域办法算，只在要出事的地方换成非局域的办法，两者拼起来用。我在那本书里管这叫「补位，不是坟墓」。

替代是一种特殊的结局

把这三个例子放在一起，可以说出这一章的主张了：替代不是革命的唯一结局，而是一种特殊的结局。

更一般的结局是包含：新典范把旧典范装进来，作为某个条件取极限时的特例；旧典范退回它擅长的那一段继续运转，新典范接手旧典范管不了的那一段。替代只是包含

的一个退化情形，当旧典范擅长的那一段恰好缩到空无一物时，看起来才像是被推翻了。

库恩看见的几次大革命，恰好多是这种退化情形，或者被教科书讲成了这种情形。他从这几次推出「革命就是替代」，于是那条线每走到革命就必须断。如果革命的结局可以是包含，线就不必断：旧的一段不卷起来，新的一段接着长出去，两段同时在用。

「替代」的印象是怎样被加固的

还要问一句：既然包含这么常见，为什么「革命就是替代」的印象这么牢？

库恩自己给过一半答案。他说教科书会把科学史改写成一条直线，好像今天的理论是前人一步一步走过来的终点，被淘汰的东西只在脚注里出现。教科书这样写，是为了教学方便：学生不需要知道走过的弯路，只需要知道今天的答案。

可这种写法还有一个副作用，库恩没有说。教科书讲新典范时，只讲新典范赢下的那一段，讲旧典范失败的那几个反常；旧典范继续管着的那一大片，被分到了另一门课、另一个系里去，成了「工程」「应用」「技术」。于是在学生眼里，旧典范就只剩下失败。物理系的学生学相对论，学的是牛顿在高速时怎样错；机械系的学生每天用牛顿力学算零件，却很少有人把这叫作「旧典范仍在运转」。两边的课本互不相见，替代的印象就这样被加固了。

村子里那口井也一样。如果有人只写「村子通水史」，他会写到水管接进灶屋那一天为止，后面井怎样冰西瓜、怎样救旱、怎样在水管冻裂时顶上三天，不会进入这部历史。不是因为这些事不重要，而是因为写历史的人心里已经有了一条线，线的终点是自来水。

这一章只把缝指出来。包含要满足什么形式条件、怎样判一个新典范真的「装下」了旧典范而不只是嘴上说装下，放在第九编第 46 章展开。

◆ 三、证据与边界

先说一个必须正面面对的反驳，它来自库恩本人。

库恩在书里专门讨论过「牛顿力学能否从相对论推出来」。常见的说法是：速度远小于光速时，相对论的公式近似回到牛顿的公式，所以牛顿力学是相对论的特例。库恩不同意。他的理由是，推出来的那些式子里，「质量」「空间」「时间」这些词的意思已经变了，相对论里的质量不是牛顿的质量，所以推出来的并不是牛顿的定律，只是长得像。这个论证在书的第九章「科学革命的性质和必然性」里。

这个反驳值得认真对待，因为它恰好落在本书的要害上。我的回答分两步，这里只说个大概。

第一步，库恩比的是词义，本书比的是三组合。第四编会给出典范的定义：典范不是一组命题、一套词汇，而是一个把差异序列和特征纠缠系统合成显露的三组合。「包含」说的是：新三组合里有一个可调的量，这个量取极限时，新三组合的显露回到旧三组合的显露。词义变没变，不影响这个形式关系成不成立。

第二步，库恩的论证如果成立，它说明的是「用旧词去读新理论会读错」，而不是「旧理论在实践中被消灭了」。事实上，工程师今天算桥、算车、算卫星轨道的绝大部分，用的仍是牛顿力学。这正是包含的样子：旧典范在它擅长的距离里继续运转。

再说邻居。玻尔在量子力学里提过「对应原理」，大意是新理论在一定极限下要回到旧理论的结果。这是「包含」最老的近邻。它和本书的区别在于，对应原理是一条物理学家建造新理论时用的启发规则，本书要把它提升为科学发生的一个普遍环节，并且放进一个会循环的结构里：被包含的旧典范不是陈列品，它继续做常规科学，继续与新典范碰撞。

最后，用粗层级说一说这一章怎样算错。如果回头看科学史和技术史，发现重大的新典范出现之后，旧典范擅长的那一段几乎总是被完全接管、旧典范在任何场合都不再有人用，那么「替代是特例、包含是常态」就错了，库恩的零和图景才是对的。按我目前看到的交通、数学、工程，局面恰好相反；但这个判断要交给更系统的盘点，附录一会把它列进清单。

带走的话

新走法来了，旧走法不一定退场，它往往退回到自己最擅长的那一段，继续每天运转。替代只是包含的一个特例。

小账　本章补的缝——「革命只有一种：替代」；填补为包含而非替代，旧典范成为新典范的极限特例（展开见第 46 章）。

在圈上的位置——环节④（沉淀为新的典范模型时，旧典范被包含而不被推翻）。

第 8 章

单典范预设

> 这一章的问题：几家并立，一定是一门学问还没长大吗？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

县城老车站旁边有一条早点街，几十年来一直是三家撑着：一家卖米粉，码子十几种，汤是骨头熬的；一家卖包子馒头，面是老面发的；一家炸油条、做糯米饭、煮甜酒冲蛋。三家隔着几步路，早上六点同时开门，各有各的熟客，也有人一早上跑两家，在米粉店坐下，再让伙计去隔壁端两个包子来。

后来县里来了一位招商的年轻人，在街口站了一早上，回去写了一份建议，大意是：这条街业态分散、标准不一、不成规模，属于「还没整合」的阶段；应当引进一家早餐连锁，统一门头、统一出品、统一供应链，这才是一条街「成熟」的样子。

这份建议后来怎样，场景里不必交代。我在意的是它里面那个没说出口的判断：几家并立是幼年，统一成一家是成年。

街坊们大概不会这么想。在他们看来，三家并立正是这条街最好的地方：想吃辣的去米粉店，想吃软的去包子铺，孩子要甜的就去第三家；哪家今天师傅病了，另外两家撑着，街不会空。三家还互相看着：米粉店的辣椒油出了名，包子铺就试着做了一款辣椒油馅，卖得不错。这种并立不是还没长大，而是一种长成了的样子，只是它长成的样子和连锁店不同。

◆ 二、这件事里藏着什么

「成熟科学只有一个典范」从哪里来

库恩的书里有一个很关键、却常被一笔带过的区分：前典范时期和成熟科学。

在他讲的前典范时期，一个领域里有好几个学派同时存在，各自对基本现象有不同的看法，各自从头讲起，谁也说服不了谁。他举的例子包括牛顿之前的光学、富兰克林之前的电学研究，都在第二章「通向常规科学之路」里。在这种状态下，每个研究者都得从地基开始为自己的做法辩护，没法把精力全部投入到解具体的谜上去。等到某一个学派的成就足够大，把其他学派的人吸引过来，领域就有了唯一的典范，进入成熟科学，常规科学才真正开始。

这个区分里藏着一个判断：唯一的典范是成熟的标志，多学派并立是不成熟的标志。库恩自己在序言里提到，1958 到 1959 年他在行为科学高级研究中心待过一年，那里以社会科学家为主，他惊讶于这些人对什么算正当的科学问题、什么算正当的方法，公开的分歧那么多、那么深，这让他去想自然科学为什么不这样吵。于是，「多学派并立」在他的书里成了一个要被解释、要被克服的状态，社会科学则常被读者拿来当作「还停在前典范时期」的例子。

本书的反问

本书在这里反问一句：多学派并立，也许不是幼年，而是另一种成年。

先看那条早点街。三家并立有它的好处，好处至少有三样：一是分工，每家守住自己最擅长的一种早点，守得深；二是备份，一家出问题，别家顶上，整条街不会断；三是互相刺激，一家的长处会被另一家看见、拿去变出新东西。连锁店统一之后，这三样好处会一起丢掉，换来的是规模和标准。规模和标准当然也是好东西，可它们是另一种好东西，不能拿来证明三家并立是「还没长大」。

再看科学。一个领域有几个学派并立，对同一个现象各有一套看法，不一定意味着谁还没找到正确答案。也可能意味着这个现象本身有好几个侧面，每一套看法守住一个

侧面，守得各有深度。这时候强行统一成一个典范，丢掉的恰恰是那几个侧面里被统一者看不见的部分。

库恩之所以把并立判为幼年，是因为他心里有一个前提：成熟科学的标志是常规科学，常规科学需要整个共同体共享一个典范，才能把精力全投入解谜。这个前提在一个具体条件下是对的，第 9 章会说那个条件是什么。在那个条件之外，「一个领域同时养着几个典范，每个典范各自做常规科学」并不自相矛盾。早点街上三家都在做自己的「常规科学」，每天出品稳定、熟客认得出味道，它们并不因为彼此并立就做不成常规。

并立不等于各自为政

这里要防一个误会。说多学派并立是另一种成年，不是说几家各守一摊、老死不相往来就好。

早点街上那三家，之所以是一种长成了的样子，不只是因为它们并立，还因为它们相邻。相邻，就有相互看见的机会：米粉店的辣椒油被包子铺看见，才有了辣椒油馅；包子铺的老面被第三家看见，才有了一种半发酵的糯米糕。三家要是分散在县城三个角落，各自也能活，可那些新东西就长不出来。

库恩描写的前典范时期，几个学派之所以显得「不成熟」，有一部分原因恰恰在于此：它们不只是并立，而且彼此不承认对方的问题算问题，不承认对方的做法算做法，每一家都得从头为自己辩护。这种状态确实耗人，库恩对它的不耐烦是有道理的。

所以本书的反问要说得更准一点：并立而互相碰撞，是另一种成年；并立而互不相干，才是库恩看到的那种耗损。前一种需要一个让几家相遇的地方，后一种缺的正是这个地方。库恩只看见了后一种，便以为出路只有统一；而本书要说的是，出路还可以是给并立的几家修一个相遇之处。这个相遇之处在哪里、靠什么运转，是第七编的事。

这也说明了单典范预设为什么是一道缝，而不只是一个观点。它不仅把多元判为幼年，还把「让多元相遇」这条路从视野里拿掉了：既然成熟就是统一，就没有人会去问几个典范怎样相遇才能长出新东西。

一个伏笔：数学看不见自己的典范

单典范预设还有一个更隐蔽的样子：当一个典范统一得足够彻底，身在其中的人会看不见它是一个典范。

数学是最好的例子。今天的数学分支极多，代数、几何、分析、概率、拓扑，看上去百花齐放，似乎一点也不「单一」。可我在《人与 AI 一起发生新数学》里论证过，这些分支底下压着一个共同的姿态：理论就是看，先把世界看作分得开的点，再把它切成单元，单元之内用简单规则，最后把局部加起来。这个姿态统摄了几乎所有分支，让它们说同一种语言。

如果这个读法成立，数学就是一个被单一典范统治得最彻底、因而最看不见自己典范的学科。本书第四编第 22 章、第十编第 50 章会把这个姿态读成一个三组合，称它为「超级典范」。这里只先指出：单典范预设不只是库恩的一个理论判断，它在数学里已经成了一种看不见的日常。

这道缝要怎样填

单典范预设这道缝，本书分两步填。第一步在第五编：说明单典范是多典范在高建造成本条件下的一个特例，并不是成熟科学的本质。第二步在第六编：说明 AI 时代怎样让一个领域同时养着几个典范，每个典范一个模型，各自把常规科学做满。这一章不展开。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。主张科学应当多元的学者并不少。张夏硕在《Is Water H2O?》（2012）里重审化学革命，认为燃素说被放弃得过早，它的一些合理之处后来又换了名字回到了化学里，并由此主张一种积极的多元论：一个严肃的科学课题，值得同时养几套各有道理的体系。Kellert、Longino、Waters 编的《Scientific Pluralism》（2006）则从多个学科出发论证，有些现象本来就需要几种不可合并的描述。

这些旁证和本书方向一致，但本书与它们有一个分界。他们论证的是多元「应当」，本书要给出的是多元的结构和承载者：多元靠什么同时运转、靠什么相遇、相遇之后怎样长出新东西。论证「应当」是一回事，给出「怎样」是另一回事。

再说边界。本书并不说单典范永远是坏事。一个领域在某个时期统一到一个典范上，常常带来极高的效率，第 25 章会讲：当问题恰好只有一个敌人时，单体化的路线最省。本书反对的只是把这种统一当成「成熟」的唯一标准，把并立一律判为幼年。

最后，粗层级的证伪。如果长期看下来，那些长期维持几个学派并立的领域，在产出新理解上系统性地远远落后于统一到单一典范的领域，而且落后不是因为资源少，那么「并立是另一种成年」就站不住，库恩的判断才是对的。

> **带走的话**
>
> 一条街上三家早点并立，不是还没整合，而是长成了另一种样子。一门学问几家并立，也可能如此。

> **小账**　本章补的缝——「单典范预设」；填补为单典范是高成本特例、典范模型让独养变为并养（展开见第五、六编）。
>
> 在圈上的位置——环节①（多个典范模型各自做满常规科学，并立是圈的起点而非幼年）。

第 9 章

把成本当成了认识论

这一章的问题：一个共同体只守一个典范，是因为科学本来就该这样，还是因为只养得起一个？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

九十年代初，长沙城里一户普通人家，客厅里有一台十八寸彩电。那时候一台彩电要花掉一家人好几个月的工资，没有谁家会买第二台。于是每天晚上七点，全家人坐在同一张沙发上，看同一个频道：先看新闻联播，再看一部连续剧。爷爷想看戏曲，孩子想看动画片，母亲想看那部港剧，最后看什么，由当家的人定。

日子久了，这种看法就生出了一种道理。长辈会说：一家人就该坐在一起看同一个节目，这才叫一家人；各看各的，家就散了。这句话说得很真诚，听上去也很像一条关于「家」的认识。

二十年后，这户人家里每个人手里都有一块屏幕。爷爷在平板上听戏，孩子在手机上看动画，父母在客厅电视上看他们的剧。一开始长辈很不习惯，觉得家散了。可过了几年，大家发现家并没有散：吃饭时会聊各自看到的东西，孩子给爷爷讲动画片里的一个情节，爷爷听着听着说「这和《空城计》是一个道理」，一家人倒比当年各忍各的时候说得更多。

回头看当年那句「一家人就该看同一个节目」，它其实不是一条关于家的认识，而是一条关于彩电价格的事实，被说成了关于家的道理。

◆ 二、这件事里藏着什么

养一个典范的账

先把账算一算。一个共同体要守住一个典范，要付出什么？

要有教科书，把这个典范的范例一代一代传下去；要有学位制度，本科、硕士、博士、博士后，把一个人从门外引进门内，往往要十年以上；要有实验室和设备，有些学科一台大型仪器就要花掉一所大学好几年的经费；要有期刊和评审，替这个典范守住什么算好问题、什么算好解答。还要有人：一位能带学生进入这个典范的导师，自己就是十几二十年训练出来的。

这些东西加起来，就是「养一个典范」的成本。它的大头是钱、时间和人。一个共同体，在一个时期里，通常只养得起一套。不是不想多养，是养不起。一个人更是如此：一个人一生用在训练上的年头，通常只够买一张进入某个典范的门票。

库恩把这一事实读成了结构

库恩对这一切看得很清楚。他书里写到教科书怎样塑造学生、怎样把科学史改写成一路通向今天的直线；写到科学家怎样在研究生训练里学会典范的范例；写到典范一旦确立，共同体便不再为基础问题争吵，转而全力解谜。这些描写至今是他书里最精彩的部分。

而且他自己就用过一个和成本有关的比方。大意是说：就像制造业里一样，换一套模具是一件奢侈的事，只有在非换不可的时候才做。这个比方在第七章「危机与科学理论的突现」的末尾，库恩接着说，危机的意义就在于它提示换模具的时候到了。这个比方里，典范就是模具，换典范就是换模具，之所以不轻易换，是因为太贵。

库恩看到了成本，却没有把成本当成解释项。在他的书里，「共同体共享唯一典范」被写成了科学的认识结构：它是成熟的标志，是常规科学得以可能的前提，是科学之所以进步得快的原因。换句话说，一个由钱、时间和人的限制造成的经济事实，被读成了一条关于科学怎样认识世界的规律。

这就像那户人家把「只有一台彩电」读成了「一家人就该看同一个节目」。事实是真的，道理是借来的。

为什么这道缝要紧

这道缝要紧，是因为它决定了第 8 章的单典范预设能不能被松开。

如果单典范是科学的认识结构，那么不管条件怎样变，成熟科学都只能有一个典范，多元就永远是幼年或者危机。如果单典范只是高成本条件下的一个结果，那么条件一变，结论就可能跟着变：当养一个典范的成本降到足够低，一个共同体、甚至一个人，就可能同时养得起几个典范。那时候，「成熟科学只有一个典范」就不再是规律，只是某个价格区间里的一个特例。

这正是本书第五编要论证的。今天的 AI，正在把进入一个陌生典范的门槛往下压：一个人可以在几天之内读通一个陌生典范的范例和惯用做法，一个难题可以同时交给几套不同的做法各跑一遍。本书要说的是，当这个成本越过某个阈值，科学的组织形态会出现一次相变，从「独养」变为「并养」。这一章只做预告，不展开相变的论证，也不展开它的证伪条件。

成本藏在哪些看不见的地方

钱、时间、人，是账面上看得见的成本。养一个典范还有几笔看不见的成本，它们更容易被误读成认识论。

一笔是转换的成本。一个人在一个典范里训练了十几年，他的直觉、他的手感、他判断一个问题值不值得做的眼光，都长在这个典范里。要他转到另一个典范，不是多读几本书的事，而是要把十几年的直觉重新长一遍。库恩说老一辈科学家往往到死也不接受新典范，新典范的胜利常常要等老一辈退场；他在第十二章还引了普朗克《科学自传》里的话，大意是新真理取胜，靠的不是说服反对者，而是反对者终于老去、熟悉它的新一代长起来。这句话常被读成科学家的固执，可换一个角度看，它说的是转换成本高到一个人一生付不起。

一笔是沟通的成本。同一个系里如果养着两个典范，开组会时两边说的话对方要翻译，评审时两边的标准对方不认，招学生时两边都要争名额。久而久之，系里会自然地往一个典范上收拢，不是因为另一个错了，而是因为两边都养太累。

还有一笔是评价的成本。期刊要判一篇稿子好不好，需要一套共同的标准；标准只有一套的时候，审稿最省事。如果一个领域同时承认三套标准，每篇稿子就得先问「按哪一套审」，审稿人也得三套都懂。这笔成本，最终也压在「只留一个典范」这一边。

这几笔成本加在一起，造成的局面是：一个共同体里，同时守两个以上典范，几乎总是不划算的。不划算久了，就被说成了不应该；不应该久了，就被说成了科学的本性。库恩站在这个结果上看科学，看见的就是一个典范统治一个共同体，而把造成这个结果的几笔账，当成了科学自身的结构。

「成本」不是贬低

还要说一句，免得误会。说单典范是成本造成的，不是说库恩的常规科学不好，也不是说过去几百年的科学家「不得已」才守一个典范、守得很委屈。在高成本条件下，统一到一个典范上是最聪明的做法：它让一代人的精力不必耗在争地基上，可以全部投入到解谜里去，库恩描写的常规科学的高效率，正来自这里。

那户人家当年一起看一台彩电，也有它真实的好处：一家人的话题是同一个，节奏是同一个。只是这些好处属于那个价格区间，不属于「家」的本质。等到屏幕便宜了，这户人家也没有失去「一家人」，他们找到了另一种在一起的方式：各看各的，再在饭桌上碰。这个「再碰」，在只有一台彩电的年代是不需要的，也是想不到的。科学也一样，并养之后，几个典范要靠什么再碰到一起，是单典范年代不必问的新问题，本书第七编专门回答它。

◆ 三、证据与边界

旁证先说最近的邻居。Kitcher 在《The Division of Cognitive Labor》（1990）里讨论过一个问题：一个科学共同体应当怎样把成员分散到不同的研究路线上去，才对

整体最有利；他的结论之一是，即便某条路线看上去最有希望，也值得留一部分人走别的路线。这篇文章把「分工」和「资源」带进了科学哲学，是本书成本论的近邻。

分界在这里：Kitcher 讨论的是在给定成本下怎样分工，成本本身是背景条件；本书讨论的是成本本身降到某个阈值以下时，科学的结构会不会变。前者是在一个价格区间里优化，后者问的是价格区间换了之后整张图会不会换。第 27 章会把这个分界讲细。

再说边界。本书不说成本是单典范的唯一原因。一个典范之所以胜出，当然也因为它解谜解得好，库恩讲的那些认识上的理由并不作废。本书只说：「全共同体只守一个」这一组织形态，主要是成本造成的；把它当作科学的本性，是把一个条件下的结果读成了无条件的规律。

最后，粗层级的证伪，先预告一句，正式的写法在第 27 章：如果 AI 普及十年之后，各个学科反而更集中到少数几套框架上，而不是更分散，那么成本论就错了。

> **带走的话**
>
> 一家人只看一个频道，是因为只有一台彩电，不是因为家就该如此。一个共同体只守一个典范，多半也是这个道理。

小账　本章补的缝——「把成本当成了认识论」；填补为成本论：单典范是多典范在高建造成本下的特例，成本越过阈值时独养相变为并养（展开见第五编）。
在圈上的位置——圈外：为什么（为什么是现在，圈才转得起来）。

第 10 章

不可通约被当作病

> 这一章的问题：两个典范互相听不懂，只能是坏事吗？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街上，川菜馆「庞记」和粤菜馆「炜记」隔着一家五金店。有一年腊月，街道办要在老街口摆一桌团年饭，请两家各出一个人掌勺，合做一道「街坊鱼」。

庞秀芳和黄炜站在一口锅前，头十分钟就说不到一块。

庞秀芳说，鱼先拿盐、料酒、姜葱码一码，码进味；黄炜说，码了味鱼肉就紧了，鲜就没了，鱼要原样下锅，蒸到刚断生。庞秀芳说「鲜」靠的是豆瓣和泡椒把鱼的腥压住、把香提起来；黄炜说「鲜」就是鱼自己的味道，什么都不能压，压了就不是鲜。两个人嘴里都说着「鲜」这个字，说的却不是一回事。庞秀芳的鲜，是复合出来的一股香；黄炜的鲜，是减到只剩本味。

吵到后来，旁边看热闹的谭老三笑着说：你们两个讲的不是一种话。

可那道鱼最后还是做出来了，而且做得出人意料。黄炜坚持鱼要清蒸、蒸到刚好；庞秀芳坚持要有一股香，不能寡。最后的做法是：鱼按黄炜的法子清蒸，一点味不码；起锅之后，庞秀芳烧了一勺菜籽油，把一小撮刀口辣椒和花椒在油里激出香，淋在鱼身上，「刺啦」一声。鱼肉是黄炜要的本味，香是庞秀芳要的复合香，一口下去两样都在。

那天吃过的街坊后来常问两家：那道鱼你们店里有没有？两家都说没有。它不属于庞记，也不属于炜记，它是两个人说不到一块，才说出来的第三道菜。

◆ 二、这件事里藏着什么

不可通约在库恩那里是什么

第一编第 5 章讲过库恩的不可通约：同一个词在两个典范里意思不同，同一件事在两边看成不同的东西，而且没有一个中立的裁判语言可以把两边翻译干净。

这个发现很深。庞秀芳和黄炜的「鲜」就是一个现成的例子：词是同一个，意思不一样，而且你很难找到一个第三方的「中立的鲜」去裁判谁说得对。

可是看库恩怎样安放这个发现。在他的书里，不可通约出现在什么地方？出现在危机和革命里。它是两个典范交接时，新旧两派的人说不到一起的原因；它是为什么典范之争不能靠证明来解决、只能靠说服的原因；它是为什么科学家转向新典范像格式塔转换、像改宗的原因。换句话说，在库恩的书里，不可通约是一种沟通失败，是交接时的阵痛，是需要被熬过去的东西。

他晚年在《结构之后的路》里把这层意思讲得更系统：不同典范有不同的词汇分类，分类一旦不同，有些话就译不过去。他把这比作物种分化，新专业从旧专业分出去，从此各说各话。这层意思集中在他 1990 年的科学哲学学会会长演讲《结构之后的路》里，文集即以这篇演讲命名。分出去之后呢？库恩没有讲它们怎样再相遇。

只看到了破坏面

这就是这一章要指出的缝：库恩只看到了不可通约的破坏面。

破坏面是真的。说不到一块，会吵，会耽误事，会让一方觉得另一方不讲理。庞秀芳和黄炜头十分钟的争执，换成两个科学共同体，就是几十年的论战。

可那口锅前还发生了另一件事：正因为两个人对「鲜」的理解不同，而且谁也不肯放弃自己那一个，最后才逼出了一种两边原来都没有的做法。如果两人对「鲜」的理解一模一样，他们会很快达成一致，做出一道庞记的鱼或者一道炜记的鱼，不会有第三道。

所以，不可通约不只是障碍，也可以是燃料。两套看法之间那道翻译不过去的缝，恰恰是新东西可能长出来的地方。说得再准一点：能长出新东西的，正是两边各自最不肯放弃、又互相解释不了的那一点。黄炜不肯放弃本味，庞秀芳不肯放弃复合香，那道鱼就长在这两个「不肯」之间。

为什么库恩看不见燃料面

库恩为什么只看见破坏面？原因和前两章连着。

他默认革命只有替代，所以两个典范相遇的结局只能是一个赢一个输，不可通约就只能是输赢未定时的混乱期。他默认成熟科学只有一个典范，所以两个典范同时在场本身就是不正常的状态，不可通约就只能是这种不正常的症状。在这两个默认之下，没有一个位置可以安放「两个典范长期并存、不断相遇、在缝上长出新东西」这件事。不可通约既然找不到正面的位置，就只能被当作病。

还有一层原因在于库恩看的材料。他研究的是科学史上那几次大革命，而大革命被记下来的，多是论战、是改宗、是老一辈到死不肯接受。两个典范在缝上悄悄长出新东西、长出来又被某个新专业默默接走，这类事情不吵不闹，很少进入科学史的大叙事。看的材料决定了看见什么，库恩看见的不可通约，自然多是吵架的那一面。

一旦松开前两个默认，不可通约的位置就变了。如果几个典范可以长期并存，它们之间的不可通约就不再是交接期的阵痛，而是一种常态的、可以利用的资源。问题也就从「怎样跨越不可通约」，换成了「在不可通约的地方，能长出什么」。

「翻译不干净」恰恰是好消息

再往深里想一层。库恩说没有中立的裁判语言，两个典范之间翻译不干净，这被看作坏消息：既然翻不干净，就没法用同一把尺子量谁对谁错。

可换个角度想，翻译不干净，说明两边各自握着对方没有的东西。如果庞秀芳的「鲜」能被黄炜的「鲜」一字不差地翻过去，那么两人的差别就只是叫法不同，一张对照表就能解决，什么新东西也碰不出来。正因为翻不过去，才说明每一边的「鲜」里都

装着另一边没有的经验：庞秀芳知道怎样让几种味道在嘴里叠起来，黄炜知道怎样让一种味道干干净净地站出来。这两样经验，各自都是几十年手上练出来的，不是一张对照表能替代的。

所以，翻不干净的地方，正是两个典范各自独有的东西露出来的地方。把它当作病，就会想办法消灭它，要么让一方改宗，要么找一种折中的「中立语言」把两边都磨平。把它当作燃料，就会想办法保住它，让两边的「不肯」都留着，看在它们之间能长出什么。前一种做法的结果，至多是一道庞记的鱼或一道炜记的鱼，或者一道两边都不满意的折中鱼；后一种做法，才有可能出现那道街坊们后来一直惦记的鱼。

光有缝还不够

要补一句：燃料不会自己烧起来。

街道办那一桌，之所以能做出那道鱼，还有几个条件。两个人站在同一口锅前，面对的是同一条鱼，不是各在各的店里各做各的；旁边有人起哄、有人说「你们讲的不是一种话」，把分歧挑明了；最后还要有人愿意试一试，把两边的「不肯」都保住、拼出一个做法。少了这些，两人吵完一架，各回各店，街上什么也不会多出来。

科学里也是这样。两个典范之间有不可通约，只说明那里有一道缝；缝能不能变成新东西，要看有没有一个让两边真正相遇的地方，有没有办法把分歧挑明、说清分歧到底出在哪里，有没有一个过程让新东西在缝上长出来，长出来之后能不能留下来。这些都是本书后面几编的事：相遇的场所在第七编，缝上怎样长出新东西在第八编，长出来怎样留下来在第九编。第八编第 40 章还会回到第 6 章库恩的两难，给出不可通约的第三种答案。这一章只做一件事：把不可通约从「病」的位置上挪开。

◆ 三、证据与边界

先看邻居。Galison 在《Image and Logic》（1997）里研究二十世纪微观物理学，发现实验家、理论家、仪器工程师这几群人各有各的语言和标准，彼此确有不可通约之处，却仍能在他称为「交易区」的地方协作；协作靠的是双方临时凑出的简化接触

语言，像洋泾浜，用久了会变得丰富，像克里奥尔语，甚至长出新的领域。这是「不可通约不只是病」最有力的经验旁证之一。

与本书的分界在第 39 章讲细，这里只说一句：交易区里的接触语言是双方凑出来的，它让协作成为可能，却不负责说清两边的分歧究竟出在哪里；本书要给出的，是一个能定位分歧的形式。

还有一类旁证来自认知科学。Fauconnier 与 Turner 的概念整合理论（2002）讲两个心理空间整合时，会涌现出两边都没有的结构。这说明「从两个不同的框架里长出第三样东西」是人的思维里常见的过程，不是神秘事件。分界在第 43 章：他们讲的是个人头脑里的整合，本书讲的是典范之间的。

再说边界。本书不说不可通约总是好事。两个典范距离太远，连一口共同的锅都找不到，吵完也长不出东西；距离太近，其实没有真正的不可通约，也长不出东西。什么距离的不可通约最有燃料，第 38 章会讲。

粗层级的证伪：如果系统地看，重大的新理解几乎都产生在一个典范内部的平静时期，而很少产生在两个不可通约的典范相遇之处，那么「不可通约可以是燃料」就错了。

> 带走的话
>
> **两个人对同一个字理解不同、谁也不肯让，吵完未必只剩一地鸡毛，可能还剩一道两边原来都没有的菜。**

小账　本章补的缝——「不可通约被当作病」；填补为不可通约是燃料，在缝上可以自组织、涌现（展开见第七、八编）。

在圈上的位置——环节③（在缝上自组织、涌现；缝的来源正是不可通约）。

第 11 章

典范从哪里来，库恩没有说

> 这一章的问题：一个新典范，是怎样生出来的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

城南一条巷子里，有一家修理铺，两位老师傅守着：钳工出身的刘师傅，修了三十多年机械；电工出身的韦师傅，修了二十多年电器。街坊谁家东西坏了，都往这儿拿。

那年夏天，巷尾做家具的木匠拖来一台用了二十年的老台钻，毛病很怪：开机头一刻钟好好的，钻着钻着主轴就慢下来，慢到钻头快咬死在木头里，又自己快起来，周而复始。木匠说，打一排榫眼，前几个是圆的，后面的就毛了边。

刘师傅先看。他的眼光是机械的：拆开皮带罩，看皮带有没有松，摸主轴轴承有没有缺油，看钻夹头有没有偏摆，听转起来有没有摩擦声。他判断是轴承里的油干了，加了油，紧了皮带，装回去。钻了十分钟，又慢了。

韦师傅接手。他的眼光是电的：量电容，量线圈电阻，看开关触点有没有烧蚀。他判断是电容老化，换了一个。钻了二十分钟，又慢了。

两人蹲在台钻前，各说各的。刘师傅说，电容换了还慢，说明不是电的事；韦师傅说，油加了还慢，说明不是机械的事。吵了一会儿，刘师傅忽然停下来，伸手去摸电机外壳，说：烫。

就是这个「烫」字，把两个人的话接上了。韦师傅一下想到：电机线圈热了，电阻变大，力矩变小，转速掉下来；转慢了，散热的风也小了，热得更快。可为什么又会快起来？刘师傅接着说：轴承里那点油，冷的时候稠，热了变稀，阻力一小，转得就快一点。一个往慢里拉，一个往快里推，两件事咬在一起，台钻就一阵慢一阵快。

这个毛病，刘师傅单用机械的眼光看不全，韦师傅单用电的眼光也看不全。它是两个人的眼光碰在「烫」这一个地方，才显出来的。后来两人琢磨出一套办法：凡是「转一阵就变」的毛病，先别拆，先摸温度，看热和转速怎样互相拉扯。这套办法成了他们铺子的一个规矩，后来还教给了来帮忙的年轻人。

◆ 二、这件事里藏着什么

库恩讲了更替，没讲发生

库恩的书讲典范，讲得最细的是典范怎样统治常规科学、怎样在反常面前出现危机、怎样被新典范取代。一个典范从确立到退场，这一段他讲得很完整。

可新典范是怎样来的？这一步，他的书里几乎是空的。

他会说，新典范往往由很年轻的人、或者刚进入这个领域的人提出，因为他们不太受旧典范的束缚。他会说，新典范常常是一下子冒出来的，有时就在半夜，在一个深陷危机的人的脑子里；至于那最后一步是怎样发生的，他坦白说「在这里只能是不可究诘的」，也许永远如此。他还会说，科学家事后常把那一刻讲成「眼睛上的鳞片掉了」「一道闪电」，看新典范像格式塔转换，原来看见鸭子，忽然看见了兔子。这几处分别见于书的第八章与第十章。

这些说法描述了新典范出现时的样子，却没有说它是怎样出现的。「年轻人」「局外人」是谁提出的，不是怎样提出的；「半夜」「闪电」「格式塔转换」是出现时的感觉，不是出现的过程。说到底，它们都落在「天才的灵光」这一个黑箱里。

灵光不是机制。如果一个理论只能说「新东西是某个聪明人突然想出来的」，那它就没有回答新东西从哪里来，只是把问题推给了那个聪明人的脑袋。

为什么库恩会留下这个空

这个空不是偶然的。它和前面几道缝是一回事。

在单典范的图景里，一个时期只有一个典范，新典范只能从这个典范的外面来，而外面没有别的典范可以借，于是它只能来自某个人的头脑，来自「灵光」。在替代的图

景里，新典范和旧典范之间没有连续性，只有断裂，于是不可能从旧典范里一步步推出新典范，也只能靠跳跃。在不可通约被当作病的图景里，两个典范的相遇只会造成混乱，于是也不可能从两个典范的相遇里长出新典范。

三个默认一叠加，能留给「新典范从哪里来」的位置，就只剩一个黑箱。

修理铺的故事给了另一个位置。那套「先摸温度」的办法，不是刘师傅一个人灵光一闪想出来的，也不是韦师傅一个人想出来的；它是两种眼光对着同一个毛病，各自看不全，碰到一处对不上，在对不上的地方显出了两边都没有的东西，然后这个东西被留下来，成了规矩。它有来路，来路是可以讲清楚的。

「机制」要满足什么

说库恩没有给出发生机制，得先说清一个机制至少要满足什么，不然这句批评也是空的。

我认为至少三条。第一，它要能指出新东西出现之前的那个状态是什么样子，而不是说「某天某人突然想到」。修理铺里，出现之前的状态是：两种眼光对着同一个毛病，各自修了一次，各自失败了一次，各自都看不全。第二，它要能指出新东西是在哪一处出现的，而不是笼统地说「在危机里」。修理铺里，出现在「烫」这一个两边都碰得到、却各自解释不全的地方。第三，它要能说明新东西怎样被留下来，而不是出现一次就散了。修理铺里，留下来靠的是那套「先摸温度」的规矩被反复用在别的电钻、别的电机上，又被教给了年轻人。

拿这三条去对库恩，他的说法一条也没有满足。「年轻人」「局外人」只说明了谁更可能想到，没说明想到之前是什么状态；「危机深处」只说明了大致的时期，没说明在哪一处；「格式塔转换」「改宗」只说明了接受新典范时的心理，没说明新典范怎样被留下、怎样被传下去。他描述了新典范怎样被人接受，却没有描述它怎样被生出来。

本书的回答预告

本书对「典范从哪里来」的回答，分两层。这里只预告，不展开。

第一层，先要说清典范是什么，才能说它从哪里来。本书第四编会给出典范的定义：每一个显露都可以写成 S = Function(D, E)。E 是特征纠缠系统，说的是一个典范看世界时把什么和什么连在一起；D 是差异序列，说的是它怎样切分问题、按什么次序展开；Function 是把二者合成显露的方式。典范就是 Function、D、E 的三组合，当这个三组合在许多难题上都不变时，它就是一个典范。这样定义之后，「新典范」就有了明确的意思：出现了一个新的三组合。

拿修理铺来对一下，只作比方，不作论证：刘师傅的眼光把「摩擦、皮带、润滑」连在一起，韦师傅的眼光把「电压、电阻、电容」连在一起，这是两个不同的 E；那套新规矩把「温度」和「转速」放进同一个回路里互相拉扯，相当于长出了一个新的连法。

第二层，新的三组合可以被碰撞出来、沉淀下来。不同的三组合对着同一个难题，显露出不同的 S；在显露对不上的地方，新的连法、新的次序、新的合成方式有可能长出来；长出来之后，如果它能在许多难题上反复用、能被传下去，它就沉淀为一个新的典范。碰撞在第七编，长出来在第八编，沉淀在第九编。

回到修理铺，那套规矩为什么一定是「两个人」碰出来的？因为两个人各自修失败的那一次，并不是白费：刘师傅加油之后还慢，排除的是「只有机械的问题」；韦师傅换电容之后还慢，排除的是「只有电的问题」。两次失败加在一起，把毛病逼到了「机械和电互相拉扯」这一个窄处，「烫」才有机会被看成线索，而不只是一个顺手的感觉。一个人单独修，失败一次往往只会换个零件再试，很难被逼到那个窄处。

这样一来，典范的发生就不再是黑箱，而是一个可以描述、可以追问、可以检验的过程。灵光不必否认，但它不再是解释，而是这个过程里某一步在当事人心里的感觉。

◆ 三、证据与边界

先说邻居。科学史里早有人注意到，很多重大的新理论来自两个领域的交汇，而不是一个领域内部的深挖。计量研究里也有旁证：Uzzi、Mukherjee、Stringer、Jones 在 2013 年的《科学》上分析了近一千八百万篇论文的参考文献，发现影响最大的论文，多半是在扎实的常规组合里，掺进了一小撮平时很少放在一起的文献组合。Fauconnier

与 Turner 的概念整合理论，从认知层面讲两个心理空间怎样整合出新结构。这些都是「新东西从相遇中来」的旁证。

本书与它们的分界有两点。一是对象：本书说的是典范这一层级的相遇，而且要先给典范一个可操作的定义，三组合；二是结构：本书不只说「相遇出新」，还要说新东西怎样沉淀为一个新典范、新典范又怎样回去做常规科学，接成一个圈。

再说边界。本书不说所有新典范都来自碰撞。可能有一些新典范确实主要来自一个人在一个典范内部的长期深挖，碰撞只占很小的分量。本书的主张是：碰撞是新典范发生的一条主要的、可以描述的路，而库恩连一条可以描述的路都没有给。

粗层级的证伪：如果把公认的重大新典范逐个回溯，发现绝大多数找不到两个以上不同的看法相遇、对不上、在对不上处长出新东西这一步，而只有一个人在一个框架里独自走到底，那么「典范可以被碰撞出来」就要大打折扣。这一条，第 56 章在讨论创造律时还会再出现。

> 带走的话
>
> **新办法不一定是谁灵光一闪，常常是两种眼光碰在一处对不上，在对不上的地方显出来，再被留下来。**

小账 本章补的缝——「无发生机制」；填补为 S = Function(D, E)，典范是三组合，可在 SDE 智能体里碰撞、涌现、沉淀（展开见第四、七、八编）。

在圈上的位置——环节②③④（典范的发生由碰撞、涌现、沉淀三环接续完成）。

第 12 章

进步朝向哪里，库恩不肯说

> 这一章的问题：科学一直在变，可它到底在往哪里走？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远在长沙地铁做调度，女儿许小满上高一。有一年暑假，许小满跟着父亲去看过一次线网规划的展览，回来后问了一个问题。

「爸，地铁修了一条又一条，修到什么时候算修完？」

许远想了想，说修不完。城市在长，人住的地方在变，新的小区起来了，老的厂区搬走了，线就得跟着改，跟着加。

「那修了这么多年，是越修越好，还是只是越修越多？」

这个问题让许远愣了一下。他想说越修越好，可他也见过有的新线开通后客流很少，有的换乘站设计得让人走十分钟的通道。说越修越多，又不甘心，因为他亲眼看着河西的人从前进城要倒两趟公交、花一个多钟头，后来坐地铁二十分钟就到，那不只是「多」。

他最后说：「不是越修越多。是人能去的地方多了，去得容易了，有些人因为能去更远的地方，找到了从前找不到的工作，住上了从前住不起的房子。修得好不好，要看这个。」

许小满追问：「那有没有一个终点？比如修到全城每个人家门口都有站？」

许远说，没有那样的终点。可是没有终点，不等于没有方向。

◆ 二、这件事里藏着什么

库恩的回答：离开，而非走向

科学进步朝向哪里？在库恩之前，大多数人的回答很干脆：朝向真理。每一次进步，都让我们离世界的真实样子更近一点；科学就像一张越画越准的地图，或者一个越来越逼近目标的逼近序列。

库恩不接受这个回答。在《科学革命的结构》最后一章，他把科学进步比作达尔文的演化：演化没有预定的目标，不是朝着某种完美的生物一步步走过去，而是在环境压力下，从原有的状态不断分化、不断离开。科学也是这样，新典范比旧典范更会解某些谜，但这不等于它离「真理」更近，因为根本没有一个固定在那里、等着我们去逼近的终点。进步是「离开」原来的状态，不是「走向」某个目标。这一段在全书最后一章「通过革命的进步」里，他的提法是：如果我们学会用「从我们已知的出发去演化」来代替「朝着我们想知道的去演化」，许多恼人的问题也许就消失了。

晚年在《结构之后的路》里，他把这个演化比方保留了下来，并与物种分化的说法接在一起。

他避开了什么，又丢掉了什么

库恩这样回答，避开了一个很大的困难。如果说科学朝向真理，就得说明「真理」是什么、我们凭什么知道离它更近了；而科学史上一次次被推翻的理论，在当年都被认为离真理很近。这是实在论者长期头疼的问题。库恩干脆不要终点，困难就消失了。

可代价是，科学失去了方向。

「离开」只说明了科学在变，不说明它在往哪里变。一个人在原地打转也在不断离开刚才的位置；一个城市乱修一气，也在不断离开原来的样子。如果科学进步只是离开，那么就没有办法区分好的离开和坏的离开、有意义的变化和只是变化。许小满那个问题，「越修越好，还是只是越修越多」，在库恩的框架里是答不出来的。

这一点在库恩的年代还不算太紧迫，因为新典范出现得慢，一两代人才见到一次革命，大家来不及问方向。可本书前面几章已经预告了：AI 时代，养一个典范的成本会大幅下降，一个领域可能同时养着好几个典范，它们不断碰撞、不断沉淀出新的典范。到那时，新典范会多到让人眼花。如果没有方向，典范的增多就可能只是堵塞，像一张没有规划、只会越来越密的路网，线越来越多，人却哪儿也去不了。

所以，库恩不肯回答的「朝向哪里」，在单典范、慢革命的年代可以搁着，在多典范、快发生的年代就不能再搁了。

没有终点，不等于没有方向

许远那句「没有终点，不等于没有方向」，就是本书在这里要说的话。

一个更家常的比方是一户人家过日子。日子没有终点，没有哪一天可以宣布「过完了」；可日子过得好不好，一家人心里都有数：手头宽了还是紧了，孩子能做的选择多了还是少了，一家人是越来越舒展还是越来越憋屈。没有终点，日子照样有方向；拿掉方向，日子就只剩一天接一天地「离开」昨天，谁也说不清是变好了还是只是变了。

库恩以为，要有方向就得有终点；既然没有固定的终点，那就只好放弃方向。这是把两件事绑在了一起。

交通网就是一个没有终点却有方向的例子。地铁永远修不完，可修得好不好有一个可以讲清楚的方向：人能去的地方多不多、去得容不容易；因为能去，人是不是做成了从前做不成的事、长出了从前没有的行当；一家人是不是因此过得更舒展。这些都不是终点，没有一天能说「够了」；但它们是方向，可以用来判断这一条新线修得有没有意义。

本书的回答预告

本书对「进步朝向哪里」的回答是：朝向意义的升级。具体说，是三个方向——创造、自由、幸福。

这三个词这里只预告，第十一编会展开。我要先说清楚一点：本书不是在说「科学应当朝向创造、自由、幸福」这样一句好听的愿望，而是要说明这三个方向各有可以查验的三步过程。创造律，也叫特征律，是混沌碰撞、自组织、涌现；自由律是纠缠、选择、激发；幸福律是张力、转换、释放。一次碰撞之后，这三律的三步有没有走完，可以去看、去查，这就把「方向」从一句口号变成了一个判据。

拿交通来比一比，只作比方：交通网长出快递、旅游这些从前没有的行当，是创造；人能去更远的地方、选择住在哪里和在哪里上班，是自由；一家人周末能去看一次海，是幸福。第 55 章会把这个比方展开。

为什么偏偏是这三个，而不是效率、财富、知识量？这里先说一句理由，详细的论证在第 55 章。效率、财富、知识量都可以只是「更多」：路修得更多、车跑得更快、数据攒得更多，却未必让人能做的、能选的、能安顿的更多。创造、自由、幸福这三样，各自说的不是「多了什么」，而是「人因此能怎样」。库恩拒绝「更接近真理」，是因为那个终点无从验证；本书不另立一个终点，而是把方向落到每一次碰撞之后人的处境有没有升级上，这是可以一次一次去看的。

还有一点要和前几章接起来。方向之所以能这样定，是因为本书讲的科学不是一条线，而是一个圈：典范模型做常规科学，在碰撞里长出新东西，沉淀为新典范，再回去做常规科学。一个圈如果没有方向，就只是原地打转；有了三律做方向，圈每转一次，就该往上走一层，更像一道螺旋。库恩的线因为每次都断，不需要方向也能讲下去；本书的圈因为不断，反而必须回答它往哪里转。

这样，许小满的问题就有了一个可以回答的框架：越修越好，还是只是越修越多，要看这条线修完之后，三律的三步有没有走完。

◆ 三、证据与边界

先说库恩这个回答的学术背景。库恩把进步讲成「离开」，在科学哲学里常被归为一种反实在论或者至少是对朴素实在论的拒绝，这引来了大量争论。拉卡托斯想用「进步的研究纲领」与「退化的研究纲领」来给进步一个标准：一个纲领如果不断预言出新

的事实，它就是进步的；劳丹在 1977 年的《进步及其问题》里，则用「解题的有效性」的增长来衡量进步。这两种办法都想在不回到「逼近真理」的前提下，给科学一个方向。

本书与它们的分界是：拉卡托斯和劳丹给出的方向，仍然在知识的内部，是预言更多、解题更多；本书给出的方向，在知识之外，是知识给人的世界带来了什么样的升级。前者问的是「科学知道得更多了吗」，后者问的是「因为科学，人能创造的、能选择的、能安顿的更多了吗」。

再说边界。本书不说科学可以由某种外部权威来规定方向，不说某个研究因为「对幸福没用」就不该做。三律是用来判断一次碰撞、一个新典范的意义，而不是用来审批研究项目的。按本书的纪律，三律的读数也不进任何考核。

粗层级的证伪，第 56 章会给出完整的写法，这里先说一个大局面：如果典范越来越多、碰撞越来越频繁之后，人能创造的、能选择的、能安顿的普遍没有增多，反而减少，而且这不是因为别的原因，那么「科学朝向意义的升级」就要修正。

> 带走的话
>
> 路网永远修不完，可修得好不好有方向：人能去的地方多了，能做的事多了，日子舒展了。科学也是没有终点，但有方向。

> **小账**　　本章补的缝——「无方向」；填补为意义升级，创造、自由、幸福三律各有三步（展开见第十一编）。
> 在圈上的位置——圈外：方向（圈每转一次，朝向哪里）。

◆ 编末小结：四道缝与本书的填补

六章讲下来，库恩的四个默认已经摆在了桌面上。第 7 章是替代；第 8、9 章是单典范，以及单典范背后那笔被读成认识论的成本账；第 10、11 章是不可通约被当作病，以及因此没有位置安放的典范发生机制；第 12 章是方向。下面这张表把它们和本书的填补对齐，后面各编的展开，都可以回到这张表上来查。

缝隙	库恩的说法	本书的填补	落在哪一编
只有替代	新典范取代旧典范	包含而非替代：旧典范成为新典范的极限特例	第九编
单典范	成熟科学只有一个典范	单典范是高成本特例；典范模型让独养变为并养	第五、六编
无发生机制	不可通约，只能皈依	S = Function(D, E)；典范模型在 SDE 智能体里碰撞、涌现、沉淀	第四、七、八编
无方向	进步是离开，不是走向	意义升级：三律各有三步	第十一编

第 三 编

腿、车与交通网：贯穿全书的日常案例

编 序

第二编指出了库恩那条线的四道缝。在进入第四编的理论核心之前，我想先停下来，把一个日常的例子从头到尾走一遍。这个例子就是交通。

为什么偏偏是交通？因为它恰好是科学发生结构的一个完整的日常样本。最早只有一种走法，靠腿；后来有了第二种走法，车，两种走法并存，各管一段；再后来腿和车接起力来，长出一种新的出行方式，城市跟着长出了人行道、站台、红绿灯这些既不属于腿也不属于车的东西；最后，是一张每天照常运行、同时又在不断开新线的交通网。一种走法、两种并存、接力长出新典范、一张自己生长的网，这四步，对应着本书后面要讲的整个圈。

这个比方不是我事后找来装点的。我在立这本书时说过一句话：车的到来，让人类明白交通不只是用腿行走一种模式，还可以多元化；AI 的到来，让人类明白理念世界的打造不只是库恩的「典范上的构造」，还可以「典范多元化」。我还说过：车与腿结合了，产生了新的交通典范，后来又有飞机、轮船。本编四章，就是把这两句话展开成可以看、可以摸的样子。

本编的陪读人物是许远和他的女儿许小满。许远四十四岁，在长沙地铁做调度，住河西，管着线网每天照常运行，也见过新线开通；许小满十六岁，上高一，好问。他们都只在我构想的场景里出场。

本编每章用的是交通，讲的却是科学。读的时候不妨随时把「腿」「车」「换乘站」「新线」换成「典范」「典范模型」「碰撞」「沉淀」来想。第 16 章末有一张对照表，把交通和科学发生的结构逐行对齐，后面各编会一再回到这里取证。

第 13 章

只靠腿的时代

> 这一章的问题：只有一种走法的时候，这种走法是怎样决定了人的整个世界的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满上高一那年寒假，跟着父亲回宁乡乡下看爷爷。年三十前一天，爷爷坐在火塘边，说起他小时候去赶集。

「那时候去镇上，走路。天不亮动身，十五里路，走到镇上太阳刚出来。逢三逢八赶集，一个月六场。去一趟，挑一担柴或者两只鸡去卖，换回盐、灯油、一块布。卖完吃碗粉，下午往回走，到家天就黑了。」

许小满问：「那不累吗？为什么不去近一点的地方？」

爷爷笑：「近一点的地方没有集。集就是这么远。再远一点还有个大一些的集，那要走两天，一年去不了一两回。」

「那为什么不坐车？」

「哪来的车。镇上倒是有人家有一匹马，那是做生意的大户。河里也有船，船是运货的，搭人要给钱，一般人家舍不得。走路不要钱。」

许小满后来在作文里写了这段，题目是《十五里》。她写道：爷爷那一辈人，活动的范围就是两只脚一天能走个来回的地方。亲戚在这个圈子里，媳妇从这个圈子里娶，东西在这个圈子里卖。圈子外面的世界，听说过，但很少去。

许远看了作文，在旁边批了一句：「你爷爷的世界有多大，是他的腿定的。」

◆ 二、这件事里藏着什么

腿是最初的交通典范

在只靠腿的时代，走路不是许多种出行方式里的一种，而是出行这件事本身。没有人会说「我今天选择步行」，就像今天没有人会说「我今天选择呼吸」。它是默认，是不必说出来的前提。

这就是一个典范的样子。第一编第 1 章说过，典范的一层意思是一个共同体共享的一整套看法，深到大家意识不到那是一套看法。一家人默认「出门就走路」，这个默认就是交通的典范。

这个典范有它自己的一整套固定的东西。它把什么和什么连在一起？把人的体力、路的远近、天的亮黑、肩上担子的轻重连在一起，一天能走多远，取决于这几样怎样搭配。它按什么次序展开一趟路？先估计来回要多久，再定什么时候动身，路上按体力分段歇脚，日落前必须到家。这些东西，在那个时代的人心里是固定的，不用学，从小就会。

一种走法，决定了一整个世界

腿这个典范，管的不只是怎样走路。它决定了人生活的整个格局。

村子有多大，取决于从村头走到田里要多久，太远的田种不过来。集市有多远，取决于一个人一天能不能走个来回；集期隔几天一次，取决于周围几个村的人多久需要买卖一次，也取决于他们愿不愿意花一天走这一趟。爷爷那个「逢三逢八」的集，背后就是这套账。婚姻的范围、亲戚的分布、方言的边界，很多都和步行的距离有关。

这正是典范的力量：它不只是一个工具，它塑造了在它里面生活的人能看见什么、能做什么、能想到什么。爷爷不是不想去更远的集，而是在他的世界里，更远的集几乎不存在于日常的选项之中。

马、轿、船早已存在

可是要注意一件事：只靠腿的时代，并不是没有别的走法。

马很早就有了，轿子也有，船更是古老。镇上那户大户人家有一匹马，河里有运货的船。这些走法都比腿快、比腿远，有的还比腿省力。

它们为什么没有成为普通人的典范？因为贵，因为少，因为只属于少数人。养一匹马要草料、要马厩、要人照料；坐一顶轿子要雇几个人抬；搭一趟船要给船钱。对一户种田的人家来说，这些都是付不起或者舍不得付的。于是，马、轿、船虽然存在，却只是少数人的走法；对绝大多数人，交通就只有腿这一个典范。

所以，只靠腿的时代，单典范不是因为别的走法不存在，也不是因为别的走法不好，而是因为别的走法太贵。

这句话，正是第二编第 9 章那道缝在交通里的样子。库恩看见一个共同体只守一个典范，把它读成了科学的认识结构；而在交通里，一眼就能看出：普通人只靠腿，不是因为「交通就该只有一种走法」，而是因为别的走法的成本高过了普通人的承受线。单典范是成本造成的。

成本线一挪，世界就变

不妨把这件事倒过来想一想。假如爷爷小时候，镇上那户大户人家的马突然便宜到每户人家都养得起，会发生什么？

最先变的是集。一个人骑马一天能来回的范围，比走路大好几倍，原来要走两天才到的那个大集，变成了当天就能去的地方。小集可能会冷清下来，大集会更热闹。然后是婚姻和亲戚，能结亲的范围大了，亲戚散得更开。再然后是村子本身，田可以种得更远，村子可以长得更大。

这些变化，没有一样是因为人变聪明了，或者因为人终于认识到「交通不该只有一种走法」。它们只是因为马的价格越过了一条线。成本线一挪，整个世界的格局就跟着挪。

这件事在交通史上后来真的发生了，只不过不是马，而是自行车、公交车、火车。每一次一种走法的价格掉到普通人的承受线以下，人的世界就大一圈。下一章讲的就是这个。

我在这里先把这个道理说出来，是因为它在科学里有一个对应。库恩看见的那个「一个共同体只守一个典范」的世界，就像爷爷那个「只靠腿」的世界：人们在里面生活久了，以为世界本来就这么大。本书第五编要说的是，AI 正在把养一个典范的成本往下压，压过那条线之后，科学的世界也会大一圈。

单典范里的人看不见典范

还有一层。生活在单典范里的人，往往看不见自己的典范。

爷爷小时候，不会说「我们这里流行的是步行典范」。对他来说，走路就是去镇上的方式，就像太阳从东边出来一样，不是一个可以换的选项。只有等到车来了，人们回头看，才发现：原来过去那么多年，我们都在一种走法里，而那只是走法中的一种。

这一点在第二编第 8 章已经说过：数学被一个超级典范统治得太彻底，身在其中的人反而看不见它是一个典范。交通也一样。要认出一个典范是典范，通常需要第二种走法出现，给它一个对照。这是下一章的事。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。人类学家施坚雅（G. William Skinner）1949 到 1950 年在成都平原调查农村集市，后来在 1964 至 1965 年分三期发表《中国农村的市场和社会结构》，提出了「基层市场区」的说法：一个基层集镇和它周围的一圈村庄，构成农民日常经济与社会生活的基本单位；在他的理想模型里，一个基层集镇四周大约环绕着十八个村庄，排成六角形。按通行的转述，集镇在地面上排得够密，让多数村民走一趟集都花得起时间；他给出的四川基层市场区平均面积，1948 年约六十三平方公里，山区更大，可到一百五十平方公里以上。集期也有讲究：基层集镇若逢一、四、七开集，它上一级的中间集镇就逢二、五、八，两边错开，商贩可以两头赶；相邻的基层集镇之间，集期倒可能相互竞争。这为「腿决定了集市与村庄的格局」提供了扎实的旁证。

交通研究里还有一个常被提到的经验观察：不论交通方式怎样变，人平均每天花在路上的时间似乎大体稳定在一个钟头上下，交通工具变快之后，人不是少花时间，而是去更远的地方。这个观察常被叫作「马尔凯蒂常数」，得名于意大利物理学家马尔凯蒂 1994 年的一篇论文，他自己说「一小时」的发现应归功于交通工程师扎哈维提出的「出行时间预算」。要说明的是，这只是一个经验规律，不是定律，支撑它的主要是英国等地的出行调查，换到别的地方、别的年代未必一样准。如果这个观察大体成立，它说明的正是：一种走法的速度，决定了人的世界有多大。

再说边界。本章说单典范是成本造成的，不是说成本是唯一原因。地形、习俗、安全都会影响人走不走远路。本章只说：在别的走法已经存在的情况下，普通人仍然只靠腿，主要原因是别的走法太贵。

粗层级的证伪：如果史料显示，在马、船价格已经很低、普通人完全负担得起的地方和时期，普通人仍然几乎只靠步行，而且不是因为路况或禁令，那么「单典范是成本造成的」在交通里就不成立，这个比方也就要打折扣。

> 带走的话
>
> 爷爷的世界有多大，是他的腿定的；不是没有马和船，是马和船太贵。只有一种走法，多半是因为别的走法养不起。

> **小账** 本章补的缝——「单典范」与「把成本当成了认识论」在交通里的日常样本：单典范是成本造成的。
> 在圈上的位置——圈外：为什么（单典范的高成本起点，对应第一、二编）。

第 14 章

车来了：多了一种走法

> 这一章的问题：第二种走法来了，第一种走法去哪儿了？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满所在的高中，高一上学期布置了一份社会实践作业：记录自己家一周的全部出行，每一趟写清楚谁、从哪到哪、怎么去、花了多久，最后画一张图。

许小满记得很认真。一周下来，她数了数，全家四口人一共出行了九十多趟。她把这些趟按方式分开，发现一件有意思的事。

走路的趟数最多，将近一半。去小区门口买菜，走路；去楼下取快递，走路；她自己去学校，十分钟的路，走路；奶奶傍晚去江边散步，走路；许远下夜班后去巷子口吃碗粉，走路。坐车的趟数少一些，可是每一趟的距离都远得多：许远去调度中心上班，坐地铁；妈妈去另一个区上班，坐公交再换地铁；周末全家去奶奶的老姐妹家，坐了一个多钟头的车。

她把每一趟的距离标在图上，用两种颜色画：走路的用绿色，坐车的用蓝色。画完一看，绿色的线全都挤在家附近一两公里之内，又短又密；蓝色的线从家里伸出去，又长又稀。两种颜色几乎不重叠，近处是绿的天下，远处是蓝的天下。

她在作业的结论里写：「车没有让我们家少走路。车让我们能去远的地方，近的地方还是走路去。」

许远看了，说：「你这个图，比我们单位的客流分析好懂。」

◆ 二、这件事里藏着什么

车没有推翻腿

如果交通史按库恩来写，车来了，就是一场交通革命，革命的结局应当是替代：腿退场，车接管一切。

许小满那张图说明事实不是这样。车来了以后，走路的趟数仍然最多。车没有推翻腿，它做的事是：让第二种走法成为普通人的日常。

这和上一章的情形正好接上。只靠腿的时代，马、轿、船早就存在，但贵、少、只属于少数人。车之所以成为新时代的标志，不是因为它是一种全新的走法，而是因为它把「坐车」的成本降到了普通人付得起的程度：一张公交票、一张地铁票，比当年雇一顶轿子、养一匹马便宜得多。成本一降，第二种走法就从少数人的特权变成了每个人的日常。

所以，车的到来，首先是一次成本的下降，其次才是一种走法的普及。这个次序，在本书第五编讲 AI 时会再出现一次：AI 首先把养一个典范的成本降下来，然后多典范才成为可能。

两种典范各管一段

车来了以后，腿和车怎样相处？许小满的图给了答案：各管一段。

短途走路，长途坐车。一两公里以内，走路往往比坐车更快：等车、上车、下车的时间，够走好几百米了。远一些的地方，车的速度优势才显出来。于是两种走法自然地分了工：腿守住近处，车接管远处。

这种分工不是谁规定的，是两种走法各自的长处决定的。腿的长处是灵活、不用等、门到门、几乎不花钱；车的长处是快、远、省力。每一种走法都退回或伸展到它最擅长的那一段距离里去。

这里可以顺便看一眼两种走法各自那一套固定的东西，只作比方。腿把体力、脚下的路、身边的街巷连在一起，一步一步展开，随走随改路线；车把车速、线路、站点、班次连在一起，一站一站展开，路线事先定好，不能半路随意拐。两套东西完全不同，各有各的稳定显露：走路的人记得哪条巷子有棵老樟树，坐车的人记得哪一站该下。

许小满的图上还有一处小小的例外，值得说一说。周末去奶奶老姐妹家那一趟，坐了一个多钟头的车，可下车以后，还走了一段七八百米的路，因为车站离老姐妹家还隔着两条街。她在图上把这一段画成了绿色，接在蓝线的尾巴上。当时她没在意，觉得只是顺带走几步。下一章会说，这条接在蓝线尾巴上的小绿线，其实是一件大事的苗头。

对照库恩：这里没有革命

拿这个情形去对照库恩，会发现一个很尴尬的地方：按库恩的框架，这里应当有一场革命，却找不到革命。

库恩的革命有几个标志：旧典范遇到解不动的反常，陷入危机；新典范出现，两边不可通约，激烈争论；最后新的赢，旧的退场，教科书重写。

可车来的时候，腿并没有遇到什么解不动的反常而陷入危机。走路去楼下买菜，今天和一百年前一样好用。腿和车之间也没有发生要决出胜负的争论，没有人要求大家从此不准走路。最后也没有谁退场。有的只是并存与分工。

这说明，至少在交通里，「第二种典范来了」不一定意味着「第一种典范被推翻」。它可以意味着：世界上多了一种走法，两种走法各守一段，原来那种走法的领地缩小了，却守得更稳了。

这正是第二编第 7 章那道缝在交通里的样子。

第二种走法让第一种被看见

还有一个容易忽略的变化。车来了以后，腿第一次被当成了一种「走法」。

在爷爷的时代，没有人说「步行」，只说「去镇上」。车来了，人们才开始说「走路去还是坐车去」，才开始比较两种方式的快慢、远近、花费。腿从一个看不见的默认，变成了一个可以选择、可以比较的选项。

而且，被看见之后，腿反而被重新讲究起来了。城市里有了步行街，有了专门修给人散步的江边步道，有人每天特意走一万步，把走路当成锻炼身体、放松心情的方式。走路不再只是「去某个地方的办法」，它多出了别的意思。这些新意思，在只靠腿的年代是不会出现的，因为那时候走路就是一切，没有谁会特意去「走走」。第二种走法的到来，不但没有让第一种走法变得多余，反而让第一种走法被看清、被重新安放、被长出新的用场。

这对理解典范很重要。一个典范只有在另一个典范出现之后，才会被认出来是一个典范。单典范的时代，典范是看不见的；多典范的时代，每个典范才被看见、被比较、被认清各自的长处和短处。许小满能画出那张两色图，前提是家里有两种走法。如果只有一种，那张图上就只有一种颜色，也就没什么可画的了。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。交通规划里有一个常用的概念叫「出行方式划分」，统计一个城市里的出行，各有多大比例是步行、骑车、公交、地铁、私家车。即使在机动化程度很高的大城市，走路骑车仍占相当大的份额。以北京为例，据北京市交通委发布的数据，2022 年中心城区的慢行出行，也就是步行加骑车，占全部出行的 49%；而走路骑车，本来就以短途为主。这与许小满那张图的格局是一致的。

再说边界。并存不等于两种走法一点没受影响。车来了以后，腿的领地确实缩小了，从前要走一天的路，现在没人走了；有些地方修了太宽的马路，反而让走路变得不方便。本章说的是：腿没有被消灭，它退回到它最擅长的那一段去了；而不是说车对腿毫无冲击。

还有一个边界：交通工具的并存，不能直接证明科学典范也能并存。交通是比方，比方只能帮人看清结构，证明要靠后面各编的论证与证据。本编的作用是让结构可以被看见。

粗层级的证伪：如果在机动化程度最高的城市里，短距离步行几乎完全消失，人们连几百米也全部靠车，那么「两种典范各管一段」就不是交通的常态，这个比方就弱了。

> 带走的话
>
> 车没有让人少走路，它让人能去远的地方；近的地方，还是走路去。第二种走法来了，第一种退回到它最擅长的那一段。

小账 本章补的缝——「只有替代」在交通里的反例：第二种典范来了，两种并存、各管一段，没有革命。在圈上的位置——环节①（腿与车并存，各自在自己那一段做常规运行，对应典范模型各做常规科学）。

第 15 章

腿车接力：新的出行典范

> 这一章的问题：腿和车接起力来，接出来的是什么？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满的奶奶从宁乡乡下来长沙住了一阵。有一天，她想去五一广场附近看一位老姐妹，许小满陪她坐地铁去。

奶奶在乡下走了一辈子路，进城也坐过公交，可地铁是头一回。那一趟路，许小满后来说，她自己天天走，从来没觉得有什么，陪奶奶走了一遍，才发现处处都是事。

从家里出来，走到地铁站口，奶奶走得稳。可到了站口，问题就来了：先要找对入口，站口有好几个，编着号；进去是扶梯，奶奶站上去时手抓着扶手不敢松；下到站厅，要买票、刷闸机，闸机门「啪」一下打开又合上，奶奶吓了一跳；再下一层是站台，地上有黄色的盲道，有排队的箭头，屏蔽门上贴着「请勿倚靠」，头顶的屏幕显示下一班车还有两分钟。

上了车，奶奶坐下了，倒是很安稳。到站下车，又是一轮：跟着指示牌找出口，出口也编着号，许小满早查好了哪一个离老姐妹家最近；上扶梯，出闸机，上到地面，再走五百米，穿过一个路口，有红绿灯，等了一个绿灯才过去。

回来的路上，奶奶说了一句话：「这一趟，走路的工夫也不少，坐车的工夫也不少。可中间那些弯弯绕绕，又不是走路，又不是坐车，是什么？」

许小满想了想，说：「是换。」

◆ 二、这件事里藏着什么

一趟路是接力完成的

奶奶那一趟，从家门到老姐妹家，没有哪一种走法能单独完成。光靠腿，太远，要走两三个钟头；光靠车，车不会开到家门口，也不会停在老姐妹家楼下。这一趟路，是腿和车接力完成的：腿把人从家送到站，车把人从这一站送到那一站，腿再把人从站送到目的地。

这和上一章的「各管一段」不一样了。上一章，许小满家的出行是要么走路、要么坐车，一趟只用一种方式，两种方式在不同的出行里分工。这一章，一趟出行里同时用了两种方式，而且两种方式必须在中途交接。

这个交接，就是奶奶问的「中间那些弯弯绕绕」。

接力本身是新典范

关键的一步在这里：接力本身，是一种新的出行典范。

为什么说它是新典范，而不只是腿加车？因为接力有它自己的一套固定的东西，这套东西既不属于腿，也不属于车。

它把什么和什么连在一起？把人的步行距离和车站的位置连在一起，站要建在走路能到的地方；把车的班次和人的步速连在一起，换乘通道要设计得让人走得过来、又不至于等太久；把站口的编号和地面的街道连在一起，出口要对着人要去的方向。它按什么次序展开一趟路？先走到站，再进站、刷卡、候车，乘车，下车找出口，出站，再走到目的地；每一段都有固定的次序，次序错了就要绕回去。这些连法和次序，在只靠腿的时代没有，在车刚来、各管一段的时代也没有，是腿和车必须在同一趟路里交接，才发生的。

这就是我说的那句话：车与腿结合了，产生了新的交通典范。

上一章许小满图上那条接在蓝线尾巴上的小绿线，就是这个新典范在一户人家出行记录里的影子。当时她以为只是顺带走几步，其实那一趟已经不是「坐车」，而是「走—坐—走」的接力了。只不过在她那张两色图上，接力被拆成了两种颜色，交接的那一处看不出来。奶奶这一趟把交接处放大了，那些「弯弯绕绕」才被看见。

城市跟着变

接力不只改变了一趟路，它还改变了整座城市的样子。

最明显的是街道被分开了。只靠腿的时代，街就是人走的地方，没有什么人行道、车行道之分。车多了以后，街道被划成两块：中间走车，两边走人，中间用路缘石隔开。后来又有了斑马线、过街天桥、地下通道，让人能从一边到另一边。

接着是红绿灯。车和人要在同一个路口交错，就需要一个东西来安排谁先走、谁后走。红绿灯既不是腿的东西，也不是车的东西，它是腿和车必须共用一个路口时才长出来的。

再就是站台、站厅、闸机、扶梯、出口编号、换乘通道、指示牌、盲道、屏蔽门……奶奶那一趟遇到的所有「弯弯绕绕」，都是这一类东西。它们都长在腿和车交接的地方，都是为了让交接更顺、更安全、更快。

许远在地铁干了十几年，他见过的这类东西更多。他常说，一个站好不好用，不看车跑得多快，也不看站厅修得多气派，就看人从站台走到地面顺不顺：出口编号对不对得上地图，扶梯是不是装在人流最多的那一侧，换乘通道转几个弯。这些细节，既不是车的问题，也不是腿的问题，是交接的问题。一座城市的轨道交通做得好不好，很大一部分功夫，就花在这些交接处。

这些东西有一个共同点：拿掉腿，它们没有用；拿掉车，它们也没有用。它们只属于腿车结合之后的那个世界。这就是为什么说接力是一个新典范，而不只是两个旧典范的相加：两个旧典范相加，不会自己长出红绿灯；只有当两者真正结合，在交接处反复磨合，红绿灯这样的新东西才会发生。

新典范没有吃掉旧典范

还要注意，接力这个新典范出现之后，腿和车都还在，而且各自都还在做自己的事。

奶奶在乡下仍然走路去菜园，城里人仍然开车上高速去外地。接力这个新典范，是在腿和车之外多出来的一种走法，它管的是那些「光靠腿太远、光靠车到不了门」的出行。它没有吃掉腿，也没有吃掉车，反而让腿和车都有了新的用场：腿要负责最后那几百米，车要负责中间那一大段。

这就是第二编第 7 章说的「包含而非替代」在交通里的样子：新典范把旧典范装了进来，腿和车都成了接力里的一段，同时又各自在接力之外继续运转。

后来，又有了飞机、轮船、高铁，又有了更多的接力：坐地铁到高铁站，坐高铁到另一座城，再坐出租车到酒店。新的典范不断发生，每一次都把前面的走法装进来，接成更长的接力。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。城市史里有不少关于人行道和交通信号起源的研究。人行道在很多欧洲城市是随着马车交通增多而逐渐普及的；世界上第一盏交通信号灯，是 1868 年 12 月 10 日立在伦敦议会大厦外、管理议会广场一带车马的，白天用信号臂，夜里点红绿两色煤气灯，由一位警察手动操作，设计者是铁路信号工程师奈特。它恰好是从铁路信号那里借来的东西，用在了人车交错的路口上。人行道也有据可查：巴黎新桥 1578 年动工、1606 年建成，桥上宽而高出路面的人行道把行人和车马隔开，开了一代风气；英国下议院十八世纪起陆续通过多部铺路法，1766 年的一部授权伦敦城在各条街道铺设人行道；到十九世纪，宽敞的人行道已是欧洲各国首都的常规建设。这些都是「腿车交接处长出新东西」的历史证据。

交通规划里还有一个常被讨论的问题，叫「最后一公里」：公共交通能把人送到站，却送不到门，从站到门这一段怎么解决，直接影响人愿不愿意坐公共交通。近些年

城市里出现的共享单车、接驳小巴，很多就是为了补这一段。这说明交接处本身是交通里一个独立的、值得专门解决的问题，而不是腿和车各自问题的简单相加。

再说边界。本章说接力是新典范，是说它有一套稳定的、不同于腿和车各自的连法与次序。这不是说每一次换乘都很顺；奶奶那一趟就处处是事，许多城市的换乘通道也确实设计得让人走得很累。新典范有好有坏，好坏要用后面第十一编的意义判据去看。

粗层级的证伪：如果城市里那些只属于腿车交接处的设施，站台、换乘通道、红绿灯、人行道，被证明只是腿的设施或车的设施的简单延伸，拿掉腿或拿掉车之后它们照样有用，那么「接力是一个新典范」就站不住，它只是两个旧典范的拼盘。

> 带走的话
>
> 一趟路由腿和车接力完成；接力不是腿加车，它长出了红绿灯、站台、出口编号这些既不属于腿也不属于车的东西。结合之后，才有新典范。

小账　本章补的缝——「无发生机制」在交通里的样本：两种典范在交接处结合，长出两边都没有的新东西，新典范由此发生；同时示范「包含而非替代」。
在圈上的位置——环节③（腿车接力，在交接的缝上自组织、涌现出新的出行典范）。

第 16 章

交通网：常规运行与新线开通同时进行

> 这一章的问题：一张网每天照常运转，同时又在长出新线，这两件事是怎样同时进行的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远在调度中心上的是轮班。有一段时间，他所在的线网正在为一条新线开通做准备。许小满放暑假，有一天晚上，许远跟她讲了那段日子是怎么过的。

「白天，老线照常跑。几十万人上下班，一趟车都不能乱。我们盯着屏幕，哪里晚了几十秒，哪里客流突然大了，马上调。这是天天的活，跟往常一样。」

「那新线呢？」

「新线晚上弄。老线收车以后，新线开始联调，就是让车在新线上一遍一遍地跑，信号、供电、屏蔽门、广播，每一样都要试。新线有一个站和我们老线是换乘站，那一段最麻烦。」

「为什么？」

「因为两条线在那里碰头。新线的车什么时候到，老线的车什么时候到，换乘的人从这边站台走到那边站台要几分钟，这些都要对上。对不上，人下了车，刚走到那边，车门关了，就得干等。头几回联调，我们发现新线那边的人流方向跟设计时想的不一样，有一个通道太窄，高峰的时候会堵。」

「那怎么办？」

「两边都改。新线那边改了站台上的导向，改了几个出口的开放；我们老线这边，也改了那个站的停站时间，晚上收车前最后几班的时刻也挪了几分钟，好接新线的末班车。本来以为是新线来接我们，结果我们自己也得改。」

许小满问：「那新线通车那天呢？」

许远说：「通车那天，跟平常一样，早上五点多开始跑。只不过网上多了一条线，屏幕上多了一种颜色。第二天，又跟平常一样了，只是这个『平常』里，多了一条线。」

◆ 二、这件事里藏着什么

两件事不轮流，同时进行

许远那段日子，白天跑老线，晚上调新线。这两件事是同时进行的，不是先停下老线、修好新线、再重新开张。

这是交通网最平常的样子，却恰好是库恩的框架讲不出来的样子。

库恩讲科学的历史，是一段一段轮流的：先是常规科学，然后反常积累引发危机，危机里发生革命，革命之后又是常规科学。常规科学和革命是两个时期，一前一后，不会同时发生。在常规科学时期，大家都在典范里解谜，没有人去造新典范；在革命时期，大家都在争新旧典范，常规科学就停摆了。

交通网不是这样。老线每天照常运行，这是交通网的「常规科学」：在既定的线路、既定的时刻表、既定的规则里，把每一趟车开好，把每一个突发情况处理好。新线同时在修、在调，这是交通网的「碰撞与沉淀」：新的东西在长出来，并且要和老的东西接上。两件事在同一个时间里、同一张网上进行，谁也不等谁。

本书讲的科学发生的结构，就是这个样子：常规科学与碰撞同时运转、互相喂养，不是先后两个时期。

换乘站就是碰撞的位置

许远说，换乘站那一段最麻烦。为什么？因为两条线在那里碰头。

两条线各有各的一套：各自的车型、各自的时刻表、各自的客流规律、各自的站台布局。在各自的线上，这些都不成问题。可一到换乘站，两套东西必须在同一个地方对上，对不上的地方就暴露出来了：人流方向和设计不一样，通道太窄，末班车接不上。

这就是碰撞。碰撞不是两条线各跑各的，而是两套东西在同一个位置相遇，在相遇处发现彼此对不上的地方。

更要紧的是许远那句话：「本来以为是新线来接我们，结果我们自己也得改。」换乘站的碰撞，不是新线单方面迁就老线，也不是老线单方面迁就新线，而是两边都被改写了：新线改了导向和出口，老线改了停站时间和末班时刻。双方都被改写，正是一次真碰撞的标志，第八编第 43 章会正式讲这一点。如果只有一方改、另一方原封不动，那多半只是接上了，没有碰出东西来。

新线通车就是沉淀

新线通车那天，许远说，跟平常一样，只是网上多了一条线。

这就是沉淀。新线不再是一个在调试中的、还在变的东西，它有了固定的线路、固定的时刻表、固定的站点，进入了「平常」，开始每天照常运行。也就是说，它从碰撞与沉淀的那一边，走回了常规运行的这一边。

许远那句「第二天，又跟平常一样了，只是这个平常里，多了一条线」，说的正是科学发生的结构里那个回环：新的典范沉淀下来，回到常规科学，而常规科学因为多了它，已经不是原来那个常规科学了。

而且，新线一通，又会带来新的换乘站，新的换乘站又会成为下一次碰撞的位置。网长出新线，新线又多出换乘站，换乘站又催出新线。这张网就是这样自己生长的，第九编第 48 章会用「典范空间自己生长」来讲这件事。

路网是共的，走法各不相同

最后还要看一件事：一张交通网里，有些东西是所有线共用的，有些东西是每条线各不相同的。

共用的是路网的格式和交通的规矩：每条线都有站，每个站都有站台、闸机、出口；每条线都按信号行车，都有时刻表，都遵守同一套安全规程；每条线都画在同一张线网图上，用不同颜色区分。这些是共的。

各不相同的是每条线自己的走法：走哪里、停哪几站、多少分钟一班、用什么车型、高峰怎么加车。有的线穿城而过，站距短，班次密；有的线通往郊区，站距长，速度快。每条线都有自己的一套。

共用的格式没有让所有线变成同一条线。恰恰相反，正因为有共用的格式，不同的线才能在换乘站接得上；如果每条线连站台高度、信号制式都各搞一套，换乘站就根本建不起来，碰撞也就无从发生。

这就是第七编第 35 章要讲的：SDE 只规定方程的形式 S = Function(D, E)，不规定任何一个具体的三组合。路网和交规是共的，每条线的走法不同；方程的形式是共的，每个典范的三组合不同。共用的形式不是统一，而是让不同的典范能相遇的前提。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。城市轨道交通在新线开通前，通常要经过一段较长的联调联试和试运行，期间老线照常运营；新线接入既有换乘站时，往往需要对既有车站做改造，并调整既有线路的运营组织。按交通运输部 2023 年印发的《城市轨道交通运营安全评估管理办法》，新线要做初期运营前的安全评估，前提之一就是试运行时间不少于 3 个月、关键指标达到要求。这说明「常规运行与新线开通同时进行」在交通里是制度化的日常，而不是例外。

网络科学里也有关于交通网络如何生长的研究。Roth、Kang、Batty、Barthelemy　2012 年比较了世界上一批最大的地铁网的演化史，发现它们虽然地理和经

济条件各不相同，却都是在既有网络上一条条加线长出来的，而且长着长着趋向一个相似的样子：一个中心环网，加上向外伸出的若干支线。

再说边界。交通网是比方。交通网的规划背后有一个规划部门在统一决策，而科学里的典范没有这样一个总规划者，它们的碰撞与沉淀更多是自组织的。本章借交通网，只为看清「常规运行与碰撞沉淀同时进行」「换乘站是碰撞的位置」「共用格式不等于统一」这几层结构，不是说科学要像修地铁一样有人统一规划。

粗层级的证伪：如果系统地看，一张交通网要开新线，总得先让老线停运很长时间，新线接入时老线也从不需要做任何调整，那么「常规运行与碰撞沉淀同时进行、双方都被改写」在交通里就不成立，这一章的比方要撤回。

> 带走的话
>
> 老线白天照常跑，新线晚上在调；换乘站是两条线碰头的地方，两边都得改；新线通车，第二天又是平常，只是平常里多了一条线。

小账　本章补的缝——「只有替代」与「无发生机制」在交通网里的合样本：常规运行与碰撞沉淀同时进行，共用格式而走法各异。

在圈上的位置——环节①②③④全圈（老线常规运行＝①，换乘站＝②，两边都被改写＝③，新线通车＝④，再回到①）。

交通与科学发生的结构对照表

交通	科学发生的结构	本书对应
只靠腿	单典范的常规科学	第一、二编
腿与车并存	典范模型各做常规科学	第六编
换乘站	SDE 智能体里的模型对话	第七编
腿车接力长出新的出行方式	在缝上自组织、涌现	第八编
新线通车，路网生长	沉淀为新的典范模型	第九编
人能去更远的地方	意义升级	第十一编

交通	科学发生的结构	本书对应
每个人的换乘路线	我的典范	第十二编

第 四 编

典范的定义：S = Function(D, E)

编 序

前三编做了两件事：先把库恩讲公道，再指出他那条线断在哪里。四道缝里有一道最根本：库恩讲了典范怎样更替，却没有讲典范是什么做成的。没有这一条，后面所有的话都站不住。典范模型拿什么当训练约束？两个模型凭什么算两个典范？碰撞的时候，分歧到底出在哪里？这些问题都要先回答「典范是什么」。

这一编给出全书的承重定义：S = Function(D, E)。E 是特征纠缠系统，说的是这个典范看世界时把什么和什么连在一起；D 是差异序列，说的是它怎样切分问题、按什么次序展开；Function 是把 D 与 E 合成显露的方式。典范，就是 Function、D、E 的三组合。S 不在这个定义里。S 读作「显露」，是三组合对一个难题端出来的东西。

这个定义不是一次说成的。二〇二六年九月二十五日，我说过一句话：典范就是 S、D、E 三维各有固定的「内核」，外面可以变化。后来我先把它收紧为「一套固定的 (D, E) 组合」，再补上一句：不是 S，是 S = Function(D, E) 里面的那个 Function 要加入典范的定义。前一句讲的是「从产出认出典范」，后一句讲的是「典范怎样生出产出」。两句要合着读，这一编的第 21 章专门做这件事。

七章的安排是这样的。第 17 章立定义，并说清一个 S 不等于一个典范。第 18、19、20 章用南门老街三家厨房，分别把 E、D、Function 讲成看得见、尝得出的东西。第 21 章立「川菜判据」，讲典范的同一性，也讲 S 的内核：结构是显露的稳定态。第 22 章拿

一个完整样本试刀：把我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲的视觉的、粒子化的数学，读作一个三组合。第 23 章与四种旧说法划界。

这一编写完，读者手里应当有一把尺子：拿到任何一个自称「新典范」的东西，都能问三句话——它把什么和什么连在一起？它按什么次序切开问题？它用什么办法把这些合成一个结果？三句都答得出、而且在许多难题上答案不变，它才是一个典范。

第 17 章

每个显露都有它的三组合

> 这一章的问题：一个修好的结果摆在面前，它身上带着哪几样在这次修理里固定不动的东西？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

七月底，长沙热得发闷。南门老街口上那家修理铺，一早就有人抱来一台落地电风扇。主人说，这风扇开一档像三档，开三档又像一档，时快时慢；一开摇头，转着转着就顿一下，像打了个嗝。

铺子里两位老师傅都在。刘师傅五十八岁，钳工出身；韦师傅四十七岁，电工出身。主人说你们谁有空谁看，两位就各自上手了。

刘师傅先把风扇放倒，拆下后罩，用手捏住电机轴来回晃，又扳了扳摇头的连杆。他说：「轴有旷量，油干了，轴套磨了；摇头齿轮缺了半个齿，一转到那里就别一下。电机劲是有的，被卡住了，使不出来。」他的判断顺序很清楚：先看转得动转不动，再看转动时哪里涩，最后看是哪个零件磨了。在他眼里，一台风扇是一串互相咬合的零件，轴、轴套、扇叶、摇头齿轮，力从这头传到那头，哪里卡，哪里就是病。

韦师傅没有拆后罩。他先拿万用表量插头两端，再打开底座的盖板，把那排琴键似的调速开关一个个按下去量。他说：「开关触点烧黑了，接触时好时坏。电一会儿走这一档、一会儿跳那一档，转速就忽高忽低；摇头的时候线一晃，干脆断一下。」他的顺序也很清楚：先看电到没到，再看电走的路通不通，最后看哪个元件失了效。在他眼里，一台风扇是一条电走的路，电从插头进来，经过开关、电容、线圈，哪一段断了、弱了，哪里就是病。

两个人说的都有道理。主人站在旁边，一时不知道该听谁的。后来的事很简单：韦师傅打磨了触点，刘师傅换了摇头齿轮、给轴套点了油，风扇转得又稳又匀。主人付了钱，高高兴兴走了。

我想留住的不是谁对谁错，而是另一件事。两位师傅端出来的是两个不同的结论，这两个结论背后，各有一套这次修理里没有动过的东西。刘师傅看的是力怎样在零件之间传；韦师傅看的是电怎样在元件之间走。刘师傅先摸转动、后找磨损；韦师傅先量通断、后找元件。刘师傅最后的判断是「哪里卡住了」；韦师傅最后的判断是「哪一段失效了」。这三样东西，在这台风扇上是这样，换一台洗衣机、换一台电饭煲，大体还是这样。

◆ 二、这件事里藏着什么

三样固定的东西

把两位师傅的做法拆开，可以拆出三样东西。

第一样，他们各自把什么和什么连在一起。刘师傅把「转不动」和「轴套磨损」连在一起，把「声音涩」和「缺油」连在一起；韦师傅把「时快时慢」和「触点接触不良」连在一起，把「摇头时顿一下」和「线路一晃就断」连在一起。同一个现象，在两个人那里牵出不同的一串关系。这一样，我叫它 E，特征纠缠系统。白话说，就是一个人看世界时，认定哪些特征是绑在一起的。

第二样，他们各自怎样切开问题、先做什么后做什么。刘师傅把风扇切成一个个零件，从转动查到磨损；韦师傅把风扇切成一段段电路，从通断查到元件。这一样，我叫它 D，差异序列。白话说，就是把一个整体切成哪几块、按什么先后去一块块对付。

第三样，他们各自用什么办法把前两样合成一个结论。刘师傅是顺着力的传递，找出最卡的那一处，把它认作病根；韦师傅是顺着电走的路，找出断掉的那一段，把它认作病根。两个人都在「合」，但合的办法不一样。这一样，我叫它 Function，把 D 与 E 合成显露的方式。

三样东西合起来，就是这次修理的三组合。那句「齿轮磨了」和那句「触点烧了」，是两个三组合各自对这台风扇端出来的东西，我叫它 S，读作「显露」。写成式子：S = Function(D, E)。

请注意这里的读法。S 不是「结构」，是「显露」：一个难题摆在面前，三组合作用上去，端出来一个结果，这个结果显露在我们面前。至于「结构」这个词，我在这本书里专指显露的稳定态，后面第 21 章会讲它。

与三方程是什么关系

熟悉 SDE 的读者会问：SDE 本来就有三方程，S = F(D, E)、D = G(S, E)、E = H(S, D)，现在又来一个 S = Function(D, E)，是不是重复了？

不重复。三方程讲的是每一次发生怎样走：显露由差异在纠缠中合成，差异又由显露与纠缠牵出，纠缠又由显露与差异织成，三者互相生成，一次发生就在这三式之间转起来。它讲的是「动」。

三组合讲的是另一件事：在一次发生里，哪几样东西是固定不动的。刘师傅修风扇的时候，他把力和磨损连在一起的那套看法没有变，先摸转动后找磨损的那个次序没有变，找最卡一处的那个合法也没有变；变的是这台风扇的具体情况和他最后说出的那句话。三方程里那个 F，在一次具体的发生里，被一个固定的合法填上，我叫它 Function；D 和 E 也各自有一部分被固定下来。三组合讲的是「定」。

一动一定，正好互补。没有三方程，就看不见显露是怎样一步步长出来的；没有三组合，就说不清同一个人、同一个共同体为什么一次又一次端出同一类东西。

一个 S 不等于一个典范

到这里要立刻防一个误会。刘师傅这次修好了风扇，是不是就有了一个「刘师傅典范」？

还没有。一次修理只是一个 S。如果刘师傅今天看风扇用力的传递，明天看电饭煲改用电走的路，后天看自行车又凭感觉乱试，那么每一次的 S 背后虽然都有一个三组合，但这些三组合彼此不同，凑不成一个典范。

典范的条件是：同一个三组合，在许多难题上都不变。刘师傅修了三十多年东西，风扇、自行车、缝纫机、门锁，到了他手里，都先被看成一串互相咬合的零件，都先摸转动再找磨损，都去找最卡的那一处。难题换了一千个，三组合没有换。这时候才可以说，他守着一个典范。韦师傅也是一样。

所以，S 与典范的关系是：每一个 S 背后都有一个三组合；当许多个 S 背后是同一个三组合，这个三组合就是一个典范。S 是三组合对一个难题的显露，典范是三组合在许多难题上的不变。

这就是为什么 S 不能写进典范的定义。S 每一次都不一样：这台风扇是触点烧，那台风扇是线圈潮，同一个典范端出来的结论千差万别。如果把 S 写进去，典范就会跟着每一个结论一起变，也就不成其为「不变的东西」了。

这个定义是怎样一步步收紧的

这个定义我不是一次说准的，交代一下来路，对读者有用。

先是二〇二六年九月二十五日那句话：典范就是 S、D、E 三维各有固定的「内核」，外面可以变化。这句话抓住了「内核不变、外层可变」，但它把 S 也算进了内核，读起来像是典范里本来就装着一部分结论。

后来我把它收紧为：一个典范，其实就是一套固定的 (D, E) 组合；三碰、群碰，就是不同的 (D, E) 组合和出现的 S 显露之间的碰撞。S 被请出了定义，只留在碰撞里，作为被比较的对象。

再后来我又补了一句：不是 S，是 S = Function(D, E) 里面的 Function 函数，要加入典范的定义，典范是 Function、D、E 的三组合。为什么要补？因为只有 (D, E) 的时候，有些典范分不开。第 20 章会讲一个物理学里的例子：两套力学连的量差不多，切问题的办法也相近，真正不同的是合成结果的那个办法。

三步走下来，定义稳住了：E、D、Function 三样在里面，S 在外面。

这个收紧对 AI 时代格外要紧。一个大模型每天端出成千上万个 S，如果典范里装着 S，我们就只能拿这些 S 一个个去比对，比到最后只剩「答案对不对」。把 S 请出去，问题就换了：不问它这一次说了什么，问它端出这些东西时守着的是哪一个三组合。前一种问法只能给模型打分，后一种问法才能给模型划边界、让不同的模型去碰撞。修理铺里，主人只关心风扇转没转；可如果要带徒弟、要开分店，要问的就是刘师傅和韦师傅各自守着什么。

三句问话：怎样从一个结果倒查出三组合

定义立住了，还要能用。拿到一个结果，怎样倒查出它背后的三组合？我的办法是问三句话，而且次序有讲究。

第一句问 Function：你凭什么说「好了」，凭什么说「就是它」？这一句最容易答，因为人下结论的那一刻，合法是露在外面的。刘师傅说「就是这里最卡」，韦师傅说「就是这一段断了」，一个找最卡处，一个找断开处，一听便知。

第二句问 D：你先查的什么，后查的什么，把东西拆成了哪几块？这一句要看动作，不能只听嘴。很多人嘴上说一套，手上做另一套。看刘师傅先扳哪里、韦师傅先点哪里，比听他们讲道理更准。

第三句问 E：你觉得什么和什么是连着的？这一句最难答，因为 E 往往是人自己都没意识到的默认。刘师傅从没说过「我认为力的传递是第一位的」，他只是一看见转不顺，就去摸轴；这个「一看见……就去……」，就是 E 露出来的地方。

三句问完，把答案写下来，再拿第二台、第三台机器去对。三句的答案都不变，这个三组合就稳；某一句的答案一换再换，说明这个人在那一维上还没有内核。这套问法后面还要用很多次：第 21 章用它认典范，第七编用它在碰撞里定位分歧，第 32 章用它划典范模型的边界。

三、证据与边界

先说旁证。库恩一九六二年用「典范」一词时，自己也没有说准。英国学者玛格丽特·马斯特曼一九七〇年写了《典范的本性》一文，收在拉卡托斯与马斯格雷夫合编的《批判与知识的增长》里，从《科学革命的结构》中清点出这个词不下二十一种用法。库恩在一九六九年的后记里接受了批评，把典范分成两层：一层是共同体共享的一整套东西，他叫「学科基质」；一层是可供模仿的解题范例。可是「范例」本身就是一道解好了的题，用本书的话说，就是一个 S。库恩把 S 留在了典范的意思里，这正是第 23 章要划的那条界。

再说邻居。说「科学家各有看问题的框架」，这话不新，很多人讲过。本章新的地方在两处：一是把框架拆成三样可以分开指认的东西，而不是一团笼统的「世界观」；二是把 S 请出定义，让典范只剩下生出结果的那部分，不含结果本身。拆得开，才能在后面拿来训练模型、划模型的边界；把 S 请出去，才能说一个典范可以端出无数个不同的 S 而仍是同一个典范。

然后说边界。这一章押的是一句话：任何一个显露，都能找出它背后的三组合。这句话可能在两种地方失灵。

一种是三样东西拆不开的地方。也许有些做法里，切问题的次序和合成结果的办法缠得太紧，硬要分成 D 和 Function，就像硬要把一碗汤里的盐和水分开。遇到这种情况，我的态度是先老实记下来，看它是个别现象，还是成批出现。

另一种是三组合根本不稳定的地方。如果一个人每次面对新难题都换一套看法、一套次序、一套合法，那么他的每一个 S 背后虽然各有三组合，却永远凑不成一个典范。这不推翻定义，只说明这个人没有典范。

粗层级的证伪是这样的：如果在一门公认成熟的学科里，人们对一大批代表性成果逐一追问「它把什么和什么连在一起、按什么次序展开、用什么办法合成」，结果发现几乎每一个成果都要一套全然不同的回答，找不到任何在许多成果上不变的部分，那么「典范＝三组合」这个定义就没有抓住成熟科学的样子，本章的论点就错了。

带走的话

每一个显露背后都站着一个三组合：把什么和什么连在一起，按什么次序切开问题，用什么办法合成结果。一个 S 只是一次显露；同一个三组合在许多难题上都不变，才是一个典范。

小账　　本章补的缝——库恩没有给典范一个可以拆开指认的定义，范例里还夹着结论；本章把典范定为 (Function, D, E)，把 S 请出定义。

在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学，就是同一个三组合在许多难题上连续端出 S。

第 18 章

E：一个典范看世界时把什么和什么连在一起

> 这一章的问题：一道菜少了它最出名的那样东西，为什么人们还认得出它是哪一路菜？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

一个周三的中午，庞记来了一位外地客人，听口音是从江浙那边来出差的。他坐下来就说：「老板娘，我想尝尝川菜，可我一点辣都吃不得。有没有不辣的川菜？」

旁边桌的熟客笑出了声。在长沙人、四川人的印象里，川菜就是辣，不辣还叫什么川菜。庞秀芳没有笑。她五十一岁，在这条街上掌勺二十多年了，这种问题她听过不止一回。她说：「有，你等着。」

她端上来三样。第一样是一盘鱼香肉丝，只是没放多少泡椒，颜色比平常浅；第二样是一碗开水白菜，清得像一碗白水，里面躺着几颗嫩菜心；第三样是一盘糖醋里脊。客人尝了鱼香肉丝，愣了一下：「这里面没有鱼啊，怎么有一股鱼的味道？」庞秀芳说：「鱼香不靠鱼，靠泡椒、葱、姜、蒜、糖、醋、酱油搭在一起，搭对了，就是这个味。」客人又喝了一口开水白菜的汤，说这汤看着是清水，喝下去鲜得很。她说那是鸡、鸭、火腿、排骨吊了大半天的汤，再一遍遍滤清的。

客人吃完，说了一句让她很高兴的话：「不辣，可我吃得出来，这跟我们那边的菜不是一个路子。」

熟客后来问她：你这几样，辣椒都没怎么放，凭什么还叫川菜？庞秀芳想了想，说了一句很实在的话：「川菜不是辣椒，是味道怎么搭。」

◆ 二、这件事里藏着什么

川菜的 E 不是一样料，是一张搭配的网

人们说起川菜，第一个想到的是辣椒和花椒。可是庞秀芳那天端上来的三样，辣椒几乎没有，花椒一粒也没有，客人却说吃得出路子。他吃出来的是什么？

是搭配。鱼香味里没有鱼，有的是泡椒的咸酸、葱姜蒜的辛香、糖与醋的甜酸，几样东西按一定的分量绑在一起，绑出一个谁也不单独具备的味道。糖醋味里，甜和酸要压过咸，但咸不能没有，没有了就成了甜点。开水白菜里，鲜被吊到极处，却不许出一点油星。川菜行里常说「一菜一格，百菜百味」，又说川菜有二十多种味型，通行的说法是二十四种，各家归法略有出入：麻辣、鱼香、怪味、家常、红油、椒麻、糖醋、荔枝……每一种味型，都是几样基本的味按固定的关系搭在一起。

这就是川菜的 E。E 是特征纠缠系统，白话说，就是一个典范认定哪些东西是绑在一起的、怎样绑。它不是一张食材清单，而是一张搭配的网：甜和酸怎样相互托住，咸在里面做什么，辛香放在哪一层，麻和辣什么时候同时出场、什么时候只出一个。

为什么说是「纠缠」，不说「组合」？因为这些味道绑在一起以后，就分不开单独尝了。鱼香肉丝里，你尝不出哪一口是糖、哪一口是醋，你尝到的是「鱼香」。把糖抽掉，剩下的不是「鱼香减去甜」，而是一个别的味道。纠缠的意思就在这里：几样东西绑在一起，整体有了自己的样子，拆开就不是原来那个样子了。

E 的内核与外层

庞秀芳那天少放了泡椒，鱼香肉丝的颜色浅了，辣度低了，可鱼香味还在。这说明 E 有两层。

外层是具体用多少、用哪一家的料。泡椒多一勺少一勺，糖用白糖还是冰糖，醋用保宁醋还是别的醋，这些都可以换。换了，菜的样子会有点不同，但路子不变。

内核是搭配关系本身。鱼香味的内核是「辛香、甜、酸、咸按某种比例互相托住」，这层关系一动，鱼香就没了。假如有人把鱼香肉丝的糖醋换成蚝油和鱼露，哪怕葱姜蒜一样不少，吃起来也已经是另一路菜。

我在第 17 章说过，K1 那句话讲的是：典范的各维都有固定的内核，外面可以变化。落到 E 上，就是这句话：一个典范的特征纠缠系统里，有一部分搭配关系是不变的，那是它的内核；具体的料和分量可以变，那是它的外层。客人认出来的，是内核。

同一条街上的三张网

把这个看法放到南门老街上，三家厨房的 E 各不相同。

炜记的黄炜做粤菜。粤菜讲究的是「鲜」，而且要原味的鲜：一条鱼清蒸，葱丝和豉油只是在旁边托一下，不许盖过鱼本来的味道。在粤菜的网里，鲜和嫩绑得最紧，调料是为了把食材本来的味道托出来，不是为了另造一个味。

谭家的谭老三做湘菜。湘菜的网里，香和辣绑得紧，酸和辣也常常一起出场，腊味的烟熏又自成一路。一盘剁椒鱼头，辣是辣，但剁椒的那股发酵的咸鲜和鱼头的鲜搅在一起，又不同于川菜的麻辣。

三家都用辣椒，可是辣椒在三张网里的位置不一样。在川菜里，辣常常和麻、和甜、和香搭成复合的味；在湘菜里，辣更直接，常和酸、和咸鲜搭；在粤菜里，辣只是偶尔请来的客人。同一样料，在不同的 E 里，连着的东西不一样，起的作用也不一样。这就是为什么说 E 不是食材清单：清单上都写着「辣椒」，网里的位置却全然不同。

学科里的 E：哪些量彼此相关

把厨房换成一门学科，E 就是这门学科认定「哪些量彼此相关」。

举一个物理学史上常被提到的例子。按通行的讲法，亚里士多德一派认为，物体运动要靠力推着，力停了，物体就停，所以力和速度绑在一起。到了伽利略和牛顿，这根绳子被换了：力和加速度绑在一起，没有力，物体保持原来的运动。两边都在看同样的

石头、同样的车，可是绑在一起的那两样东西不同，整个力学的样子就不同了。这正是 E 的不同。

再举一个离日常近一点的。一个医生看病人发烧，有的看法把体温和某种病原体绑在一起，去找是什么在作怪；有的看法把体温和全身的状态、季节、饮食绑在一起，去看整个人处在什么样子。这里我不评谁对谁错，只指出一点：认定「什么和什么相关」的那张网不同，后面切问题的办法和得出的结论就会跟着不同。

我做了二十年网格生成。在那一行里，一个三角形好不好，被绑在它的角度、边长比、和邻居之间的过渡上；至于这块材料是钢还是铝，跟网格好不好几乎没有关系。这也是一张网：它认定几何上的匀称和计算的精度绑在一起，而材料的性质不在这张网里。

为什么 E 最难被看见

三样东西里，E 最难看见。原因很简单：它是一个典范睁眼之前就已经戴上的眼镜。

庞秀芳在厨房里站了三十年，你问她川菜的味型是怎么搭的，她能一样一样数给你听；可你若问她「为什么非要搭」，她多半愣一下，说「川菜就是这样嘛」。对她来说，「味要搭成复合的」不是一条需要理由的规矩，而是世界本来的样子。黄炜也是一样。你让他把一条鱼做成鱼香味，他会皱眉，不是因为做不出来，而是因为在他的网里，鲜要原味，这条鱼本来的鲜被盖住，就是糟蹋。

一个典范里的人，对自己的 E 常常是最后一个知道的。这件事有一个好处，也有一个坏处。好处是省力：不必每次都想一遍什么和什么连着，手一伸就对了，常规科学之所以快，靠的就是这副不必摘下的眼镜。坏处是看不见边：网之外的东西，不是被判为不重要，而是压根不出现在眼前。

还有一层。E 看不见，却处处在起作用。庞记的徒弟进门第一年，师傅不教他做哪道菜，先让他尝：同一碗红油，加一点糖和不加糖，有什么不同；同一勺豆瓣，先炒和后放，香味落在哪里。一年尝下来，徒弟手上还不会几道菜，舌头上却已经长出了那张网。后来他做什么菜，都会不自觉地往那张网上靠。我想，这正是一个典范传下去的真

实样子：先传的不是结论，也不是步骤，而是「什么和什么该连着」的那份默认。教科书上写的是结论，实验室里练的是步骤，可真正让一个学生成为「这一派的人」的，是师傅身边那几年不知不觉长出来的网。

所以，认出一个典范的 E，最好的办法往往不是问它里面的人，而是让它和另一个典范站在一起。那位江浙客人一口就尝出「不是一个路子」，正因为他带着另一张网来。这一点后面第七编会大用：碰撞的第一件功劳，就是让双方各自的 E 第一次被对方照见。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。科学哲学里早就有人注意到，不同的科学共同体对「什么算相关」有不同的默认。库恩自己在《科学革命的结构》里讲过，典范变了，科学家眼里的世界跟着变，同一个东西被看成不同的东西。他晚年从一九八三年的《可通约性、可比性、可交流性》一文起，又把这件事说成词汇分类的不同：一套科学语言怎样把世界分门别类，决定了哪些东西被放在一起；这些文章后来收进《结构之后的路》。这里是我的转述。本书的 E 和他的「词汇分类」是近邻，但不同：库恩讲的是怎样分类，是把东西分开；E 讲的是怎样纠缠，是把特征绑在一起。分类问「这是哪一类」，纠缠问「这和什么连着」。

再说边界。说 E 是典范的内核之一，可能在几种地方说过头。

第一，E 的内核到底有多大，很难一刀切清。庞秀芳说「味道怎么搭」，可二十多种味型，是不是每一种都属于内核？也许只有几种是核心，其余是外围。这要在具体的典范里一点点查，不能凭一句话定。

第二，E 和 D 有时缠在一起。比如川菜里的「麻」，花椒什么时候下锅，直接决定麻味和别的味怎样搭。这时候，一个次序问题同时也是一个搭配问题。我的处理是：先把它算在搭配里，因为它最后落在「麻和什么绑在一起」上；但我承认这条界线在有些地方是模糊的。

第三，有人会说：一张搭配的网，说到底不就是一组被相信的命题吗？「甜和酸要互相托住」，写下来就是一句话。这个追问要紧，第 23 章会正面答。这里先说一句：庞秀芳并不是「相信」甜酸要相托，她的手一抓糖一倒醋，这件事已经做完了。E 落在手上、落在产出里，能从一盘菜里尝出来；命题落在嘴上，要靠人说出来。前者可以拿一千盘菜去训练一个模型，后者只能拿去辩论。

第四，E 的内核不等于「这一派最出名的那样东西」。外人说起川菜只记得辣，说起湘菜只记得剁椒，说起粤菜只记得清蒸。那天庞秀芳端出的三样，恰好把最出名的辣椒拿掉了，客人照样认出路子。可见最出名的东西多半在外层，真正的内核是那张不容易被看见的搭配关系。科学里也一样：一个学派最响亮的口号，未必是它的 E；它默默地把什么和什么连在一起，才是。

粗层级的证伪是这样的：如果在科学史上反复出现这样的情形——一门学科认定「哪些量彼此相关」的那张网整个换掉了，可是这门学科里的人和局外人都照样把它当成原来那个典范，没有人觉得有任何断裂，也没有人能从前后的成果里看出不同——那么 E 就不是典范的内核，本章的论点就错了。

> 带走的话
>
> E 不是一张料单，是一张搭配的网：一个典范认定什么和什么绑在一起、怎样绑。具体的料可以换，搭配关系的内核不换，人就认得出这是哪一路。

小账 本章补的缝——库恩讲典范改变「看见的世界」，但没有指出是哪一样在变；本章把它落为 E：特征纠缠的那张网。
在圈上的位置——环节①：典范模型拿来做训练约束的第一样，就是它的 E。

第 19 章

D：一个典范怎样切分问题、按什么次序展开

> 这一章的问题：同样的料、同样的搭配，只把先后次序调一调，为什么端出来的就不是原来那道菜？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

谭家的谭老三收了个新徒弟，十九岁，手脚麻利，刚从烹饪学校毕业。学校里教过的东西他都记得：一道小炒肉要五花肉、青椒、蒜、豆豉、生抽，分量他背得一点不差。

那天店里忙，谭老三让他上手炒一盘小炒肉。徒弟想图快，把肉片、青椒、蒜一股脑儿倒进热油里，大火翻炒，最后淋生抽。菜出锅，颜色也对，香味也有，端出去，熟客尝了一口，放下筷子，喊了一声：「老三，今天换师傅了吧？」

谭老三过来一尝，没说话，把徒弟拉回灶台边，自己重炒一遍。他先把青椒丢进干锅里，不放油，用锅铲压着煸，煸到表皮起了虎皮一样的焦斑，盛出来。再下一点油，把肥瘦相间的五花肉片放进去，小火慢慢煸，煸到肥的那部分出油、卷边、微微透亮，才下蒜片和豆豉炒香。最后把煸好的青椒倒回去，大火合炒，沿锅边淋一圈生抽，翻两下出锅。

徒弟站在旁边看，忍不住说：「师傅，料是一样的啊。」

谭老三说：「料一样，先后不一样。青椒不先煸，辣味是生的；肉不先把油逼出来，肥的那口就是腻的；豆豉早下了会糊，晚下了不香。你那一锅，是把五样东西一起烫熟了，不是炒出来的。」

徒弟后来练了半个月，每天就练这几个先后。他说，练到后来他才明白，学校里背的那张料单只是一半，另一半是「什么时候下、下之前先把什么弄成什么样」。

◆ 二、这件事里藏着什么

D 是切分加次序

谭老三的那锅小炒肉，和徒弟那锅比，料没有变，搭配也没有变：香和辣还是绑在一起，咸鲜还是靠豆豉和生抽托着。变的是另一样东西：他把这道菜切成了几段，每一段先做成什么样，再接下一段。

这就是 D，差异序列。它有两层意思。

第一层是切分：把一个整体切成哪几块。谭老三把小炒肉切成三块：青椒自己一块，五花肉自己一块，最后的合炒一块。徒弟没有切，五样东西当成一整块下锅。

第二层是次序：这几块按什么先后展开。谭老三是先青椒、再肉、再合，而且每一块内部也有先后：肉要先逼油再下蒜豉。这个先后不是随便的，青椒先煸是为了让它的辣变熟，肉先逼油是为了去掉腻，豆豉放在中间是为了不糊又出香。

「差异序列」这个说法，白话就是：一道菜在锅里经历的一连串变化，和这些变化排出的先后。每一步都在制造一个差异：青椒从生到焦，肥肉从白到透，豆豉从干到香。这些差异按一个次序接起来，就是这道菜的 D。

D 的内核与外层

徒弟后来问过谭老三：青椒一定要干煸吗？有一回青椒不好，皮厚，谭老三也先过了一下油再煸。肉一定要五花吗？店里五花卖完的时候，他也用过前腿肉，只是逼油的时间短一些。

这说明 D 也有两层。

外层是每一步具体怎么做：煸多久，火多大，用干锅还是先过一下油，肉切多厚。这些可以按料的情况调整。

内核是那个不变的次序：先把各样东西分头弄到各自该到的样子，最后才合。湘菜的小炒、川菜的回锅肉、很多家常炒菜都讲究这个次序，但在谭家的灶上，它几乎是铁律：辣要先熟，油要先逼，合要在最后。谭老三一辈子炒过的几十种小炒，次序大同小异。料千变万化，这个先后不怎么变。

这就是 K1 落在 D 上的意思：一个典范的差异序列里，有一段次序是固定的，那是它的内核；每一步具体的火候和分量可以变，那是它的外层。

同一条街上的三种先后

把眼光放回南门老街，三家厨房的 D 也不一样。

庞记做川菜，很多菜讲究先码味、再过油、后合炒。肉丝先用盐、料酒、淀粉抓匀，让味道先进去，让表面裹上一层；然后过一下油，把肉丝滑散、定形；最后才和调好的味汁一起合炒。码味在前，是因为川菜的复合味要从里到外都有；过油在中间，是为了让肉嫩而不散。

炜记做粤菜，很多菜的先后又是另一种。一条鱼清蒸，前面几乎什么都不做，鱼抹一点盐就上锅，蒸好了才铺葱丝、浇热油、淋豉油。调味放在最后，而且放在外面，是因为粤菜要保住鱼本来的鲜，不能让味道先进去把鲜盖住。

谭家做湘菜，像上面说的，先把各样东西分头煸到位，最后猛火合炒。

三家的次序，一家「先入味、后合」，一家「先熟、后调」，一家「先分头、后猛合」。这三种先后，不只是习惯，它们和各自的 E 配着：川菜要复合味，所以味要先进去；粤菜要原味鲜，所以味要后放；湘菜要香辣直接，所以各样东西要先各自出香。可是 D 和 E 又不是一回事：E 管的是「什么和什么绑在一起」，D 管的是「先做什么后做什么」。同一张搭配的网，可以用不同的先后去实现，实现出来的菜就不同。

学科里的 D：先算什么、把什么当单元

把厨房换成学科，D 就是一门学科先算什么、后算什么、把什么当作基本单元。

我在网格生成这一行做了二十年，对这件事体会很深。用有限元算一个零件受力，先后几乎是固定的：先把零件切成许多小三角形或小四面体，再在每个小单元里用最简单的规则近似，然后把相邻单元接起来，组成一个大方程组，最后解这个方程组。先切再近似，再拼，再解。这个次序，是有限元这一路的 D。

换一路方法，D 就不同了。还是那个零件，如果用傅里叶的办法，就不是先切空间，而是先把变化拆成许多条固定的波，再看每一条波占多少。一个把空间当基本单元，一个把频率当基本单元。我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过，这是两种格子：一个是位置的格子，一个是频率的格子。切法不同，次序不同，算出来的东西虽然可以互相换算，可是各自容易看见什么、容易漏掉什么，却很不一样。

再举一个更日常的学科例子。同样研究一种病，有的路子先把人分成一组组，看哪一组发病多，再往下追原因；有的路子先跟着一个人，看他从健康到生病一步步怎样变过来，再拿这条轨迹去对照别人。一个先横着切人群，一个先竖着跟时间。两种 D 都有用，只是看到的东西不一样。这里我只说先后的不同，不评高下。

为什么说 D 是「序列」，不是「清单」

有一个常见的误会要说开。很多人以为，一个学科的方法就是一张工具清单：会用这几样仪器、会做这几种计算，就算学会了。可是谭老三的徒弟恰恰是清单背得一点不差、菜却炒砸了的那个人。

清单告诉你有哪些步骤，序列告诉你步骤之间的先后和衔接。同样五步，排成不同的先后，就是不同的 D。更要紧的是，前一步做成什么样，决定后一步还能不能做：肉的油没逼出来，后面加再多豆豉也救不回那口腻。D 的每一步都在给下一步立条件，这才叫序列。

这件事放到 AI 身上也一样。一个模型如果只学到了工具清单，没学到先后，它端出来的东西就像徒弟的第一锅：样样都有，就是不对味。一个典范模型要守住的，不是它会用哪些工具，而是它用这些工具的先后。

还有一个现象可以佐证。谭老三的徒弟练了半个月以后，有一天店里来了一筐他从没处理过的料：藜蒿和腊肉。没有人教过他藜蒿炒腊肉怎么做，他想了想，先把腊肉煸出油，再把藜蒿下锅快炒，最后合到一起，出锅一尝，居然有谭家的味道。料是新的，先后是旧的。这正说明他学到的不是哪一道菜，而是谭家的 D：一套可以搬到新料上去的先后。一个典范的 D 守住了，碰到没见过的难题，它也知道先切哪一刀。

次序为什么会变成内核

还有一个问题值得追一句：一个次序，凭什么能在一个典范里固定下来，固定到几十年不动？

我的看法是，次序固定，是因为它在许多难题上都被证明「这样排最不容易砸」。谭老三年轻时也试过别的先后，有的菜先下肉后下椒也能吃，可一换料就不稳；只有「辣先熟、油先逼、合在后」这个排法，换了十几种料都稳。久而久之，它就从「一种做法」变成「就该这么做」，最后连他自己都忘了当初试过别的。

这和 E 的情形一样：一个次序一旦在很多难题上站住了，它就沉到手上，不再被想起。常规科学的效率靠它，常规科学的盲区也来自它。第 41 章会讲到，有一类缝叫「答非所问」：一个典范按它的先后把问题切开了，可切下来的那几块，恰好不是这个问题真正要问的东西。那时候要找的，就是一个 D 不同的典范来碰。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。科学史和科学哲学里，研究方法的人很多，有人把一门学科的方法看作一套规则，有人看作一组技能。英国学者阿利斯泰尔·克龙比在一九九四年出版的三卷本《欧洲传统中的科学思维风格》里，把西方科学的传统归纳为六种「风格」，其中有一种是靠实验一步步探索与测量、一种是靠分类、一种是靠概率统计。加拿大哲学家伊恩·哈金接着这条线讲「推理风格」：每一种风格会带出它自己的对象、自己的证据种类，这里是我的转述。这些工作和本章的 D 是近邻：他们也看到「怎样推」比「推出什么」更能代表一个传统。分界在第 23 章细讲，这里先说一句：推理风格讲的是推的方式，本章的 D 更窄，只讲切分和先后，而且 D 必须和 E、Function 一起看，才是一个典范。

再说边界。

第一，D 的内核在不同的典范里大小不一。有的典范次序很严，一步都不能挪；有的典范次序很松，只有一两处关键的先后不能换。我不能说每个典范的 D 都像谭家的小炒那样铁。这一点要在具体的典范里查。

第二，D 和 Function 有时不好分。谭老三最后「大火合炒」那一下，是次序里的最后一步，还是合成成菜的办法？我的处理是：合炒之前的所有先后算 D，合炒这一下怎样把前面的东西合成一盘菜，算 Function。第 20 章会专门讲这条界。

第三，次序固定不等于次序正确。谭家的先后在小炒上站住了，不说明它放到一锅汤上也站得住。一个 D 的内核是在它擅长的那一类难题上磨出来的，离开那一类，它可能恰好是最不该用的先后。这不是 D 的毛病，是每个典范都有自己的地盘。

粗层级的证伪是这样的：如果在一门成熟的学科里，人们把主要方法的先后次序随意打乱、甚至整个反过来，成果的样子却没有任何系统的变化，局外人也无法从成果里看出次序被动过，那么 D 就不是典范的内核，本章的论点就错了。

> 带走的话
>
> D 不是一张工具清单，是一串有先后的变化：把问题切成哪几块，先做成什么样，再接下一步。料和搭配都不变，只把先后一调，端出来的就是另一道菜。

小账　本章补的缝——库恩讲常规科学「解谜」，没有把解谜的先后单独拎出来；本章把它立为 D，并指出它的内核是不变的次序。

在圈上的位置——环节①：典范模型要守住的第二样是它的 D，守住先后，才不会把各路做法搅成一锅。

第 20 章

Function：一个典范把 D 与 E 合成显露的方式

> 这一章的问题：两家厨房用的料差不多、步骤也相近，为什么端出来的一个是汤、一个是一盘菜？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

冬至那天，南门老街居委会给街上的老人办一桌敬老午宴。菜单早定了，缺一汤一菜。居委会的人图省事，在早市买了一筐料，一分为二，一半送到炜记，一半送到谭家，说：「一家出汤，一家出菜，料就这些，你们看着办。」那筐料是一只老母鸡、几根冬笋、一把干香菌、一块腊肉。

黄炜的做法是熬。他把老母鸡斩件，冷水下锅，撇净浮沫；冬笋、香菌、腊肉切块，一起放进砂锅，小火慢慢炖了三个多钟头。中间他不怎么动它，只是隔一阵看一眼火。端出来的是一锅汤，汤色清黄，喝一口，鸡的鲜、笋的甜、菌的香、腊肉那一点烟熏，全都融在汤里了，分不出哪一口是哪一样。

谭老三的做法是炒。他把鸡斩成小块，先用油煸干水汽；冬笋切片焯水；香菌泡开切丝；腊肉切薄片先煸出油。然后他把各样东西按先后回锅，大火猛炒，最后下辣椒，翻匀出锅。端出来的是一盘干锅鸡，每一样东西还是它自己：鸡块有嚼劲，笋片脆，腊肉透亮，香菌一丝一丝挂着油光。

席上一位老人尝完两样，说了一句很中肯的话：「黄师傅那是把五样东西煮成了一个味，谭师傅那是把五样东西炒成了一盘菜，各有各的好，没法比。」

有意思的是，两个人用的料是一筐，前面的切配也差不多：都要斩鸡、都要切笋、都要泡菌、都要处理腊肉。他们真正分道扬镳，是在最后那一步：一个让这些东西在汤里慢慢融成一体，一个让这些东西在猛火里各自保住、再合到一盘。

◆ 二、这件事里藏着什么

Function 是成菜之法

到这里，三样东西已经讲了两样。E 是搭配的网，D 是先后的序列。可是光有这两样，一道菜还没有端出来。从「各样料按先后处理好了」到「一道菜摆在桌上」，中间还有一步：把这些东西怎样合成一个结果。

黄炜是熬：让所有的东西在汤里长时间交融，最后的结果是一个整体的味，个体都化掉了。谭老三是炒：让各样东西在猛火里迅速合到一起，最后的结果是一盘各自分明、又彼此挂着的菜。

这一步，我叫它 Function，把 D 与 E 合成显露的方式。在厨房里，它就是成菜之法。

为什么不把它算进 D？因为它不是先后里的又一步，而是决定「前面所有步骤最终凝成什么」的那个总办法。同样斩鸡、切笋、泡菌，接一个熬，前面的步骤都是为一锅汤准备的；接一个炒，前面的步骤都是为一盘菜准备的。Function 像是收口的那个结：前面的线怎么走，最后都要在这里收成一个形状。

为什么不把它算进 E？因为同一张搭配的网，可以用不同的合法收口。鸡、笋、菌、腊肉的搭配，粤菜里可以熬成汤，也可以蒸成一盅；湘菜里可以炒，也可以焖。网没有变，收口的办法变了，端出来的东西就不一样。

同样的 D 和 E，换一个 Function，显露就不同

这件事可以说得更一般一点。给定同样的一张搭配之网（E 定了），同样的处理先后（D 定了），合成的办法不同，显露出来的 S 就不同。我举三种最常见的合法。

一种是加总：把各部分的贡献一份一份加起来，得到整体。一锅汤就有点像加总：鸡出一份鲜，笋出一份甜，菌出一份香，最后全在汤里叠成一个味。

一种是取极值：在许多可能里，找出最大的或最小的那一个，把它当结果。修理铺的刘师傅修机器，就是在一台机器的许多部位里，找出最卡的那一处，认定它就是病根。这是取极值。

一种是看整体形状：不看每一部分各是多少，而看各部分合在一起排出了什么样子。谭老三那盘干锅鸡就有点这个意思：席上的老人说「好」，不是因为鸡块单独有多好、笋片单独有多好，而是因为这些东西在盘子里的整体样子——脆的、韧的、透亮的、挂油的，错落在一起——是对的。

同一批材料、同一套先后，加总出来的是一个数，取极值出来的是一个点，看整体形状出来的是一个样子。三种合法，三种显露。

为什么必须把 Function 写进定义

这一章最要紧的，是说清楚为什么 Function 不能省。

我前面交代过，我最初说典范是「一套固定的 (D, E) 组合」。后来我补了一句：不是 S，是 S = Function(D, E) 里面的 Function 要加入典范的定义。为什么要补？因为只有 (D, E) 时，有些典范分不开。

厨房里的例子已经说明了一半：黄炜和谭老三那天的 D 和 E 相去不远，真正把两道菜分开的是 Function。如果典范只看 (D, E)，那天的熬和炒就要算同一个典范，可谁都知道一锅汤和一盘干锅鸡不是一回事。

学科里有一个更干净的例子。物理学里，牛顿力学和后来的拉格朗日力学、哈密顿力学，描述的是同一批运动，连在一起的量也大体是同一批：位置、速度、能量。切问题的办法有差别，但不算天差地别。真正不同的，是把这些合成结果的办法：牛顿是一步一步顺着力去推运动；拉格朗日那一路，是在所有可能的路径里，找出让某个量取极值的那一条（严格说是取驻值，多数常见情形下就是取最小，这里用通俗说法）。一个是顺推，一个是取极值。两套力学在大多数问题上算出来的结果一样，可它们是两种不

同的看法，各自容易推广到的地方也不同。如果只看 (D, E)，这两套力学很难分开；把 Function 写进来，界线就清楚了。

还有一个近年的旁证。二〇二五年，Fu、Liu、Tegmark 三位研究者用许多个随机种子各自独立地训练「AI 物理学家」，看它们学出的理论是否一致。结果是大体一致，但有分化：在简单的教科书系统上，绝大多数学出的是哈密顿式的写法；系统变复杂以后，多数转向拉格朗日式的写法；有时还会分成几群。用本书的话说，面对同样的运动，模型学出的合成办法会落在不同的形式上，而且训练材料一变，形式也跟着变。这说明 Function 不是哲学家的抽象，它会在训练里自己长出来，也就可以被拿来当训练约束。

Function 的内核与外层

Function 也有内核和外层。

外层是具体怎样实现这个合法：黄炜熬汤用砂锅还是不锈钢锅，炖三个钟头还是四个钟头，中间加不加一次冷水。这些可以变。

内核是合法本身：长时间交融，让个体化进整体。只要还是这个合法，换锅换时间，端出来的仍然是一锅粤式的老火汤。反过来，如果黄炜那天突然改成猛火快炒，锅还是那口锅，人还是那个人，端出来的已经不是他那一路的东西了。

谭老三也一样。他的合法内核是「各自到位、猛火一合」。这个内核在他的小炒、干锅、香辣蟹里都在。他偶尔也炖，但一炖，熟客就说「这不像谭家的菜」。

Function 决定你得到的是哪一类东西

再往深处说一层。Function 不只是决定结果的样子不同，它决定的是你得到的是哪一类东西。

加总给你一个量：一锅汤有多鲜，一座桥总共承受多少力，一个地区一年平均收多少粮。取极值给你一个位置：机器哪里最卡，路线哪条最短，零件哪处应力最大。看整体形状给你一个样子：一盘菜的错落，一段旋律的起伏，一棵树的长势。

这三类东西不能互相顶替。你问「这台机器哪里坏了」，给你一个总量没有用；你问「这锅汤够不够鲜」，给你一个位置也没有用。一个典范选定了 Function，也就选定了它眼里「一个好答案长什么样」。修理铺的刘师傅修了三十年，他心里的好答案永远是一个位置：「就是这儿」。你要他回答「这台机器整体上老化到什么程度」，他会觉得这个问题问得不着调。不是他答不了，是他的 Function 不往这里收。

这件事在科学里很常见，只是很少被点破。一门学科觉得某个问题「没有意义」，很多时候不是这个问题真的没意义，而是它要的那一类答案，不是这门学科的 Function 能收出来的。用加总收口的典范，会觉得「整体的样子」是一句含糊话；用整体形状收口的典范，会觉得「把各部分加起来」丢了最要紧的东西。两边都没错，各自的 Function 不同而已。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里说过，今天的数学大体是局域加总的数学：先切成小块，每块算一个数，再加起来。它在工厂里如鱼得水，到了果树那里就使不上劲，原因之一就在 Function：一棵树这一年结多少果，不是各个枝条的产量加起来那么简单，它更像是一整棵树带着去年的状态长出来的一个整体形状。这个例子第 22 章还要细讲。

三样合起来才是典范

讲到这里，三样东西都讲完了。E 是搭配的网，D 是先后的序列，Function 是成菜之法。三样合起来，才是一个典范。

少了 E，不知道什么和什么该连着，先后再讲究也是乱炒。少了 D，搭配对了，先后不对，就是谭老三徒弟那一锅。少了 Function，前面都对了，最后不知道怎样收口，端不出东西来，或者端出来的东西四不像。

三样合起来，在一个难题上端出一个 S；在一千个难题上，端出一千个不同的 S，可是这一千个 S 都带着同一股味道。这股味道是怎样被认出来的，是下一章的事。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。科学哲学里讨论科学解释的形式，有人区分过几种不同的「解释是怎样构成的」：有的靠从定律推出，有的靠找出原因的链条，有的靠把现象统一到少数几个模式之下，大致对应亨普尔的演绎—律则模型、萨蒙的因果机制说、基彻等人的统一说，这里只取大意。这些讨论和本章的 Function 是远亲：它们也看到，同样的材料，用不同的办法合成，就是不同的解释。分界在于：他们讨论的是「好的解释应当是什么形式」，是一个评判标准；本章的 Function 是一个典范实际在用的合法，是一个可以从产出里认出来、可以训练进模型的东西。

再说边界。

第一，「成菜之法」这个比方是否合适，我还在掂量。它的好处是具体：熬、炒、蒸、焖，谁都分得清。它的风险是让人以为 Function 只是最后一个步骤。我要再强调一次：Function 不是 D 的最后一步，而是决定前面所有步骤最终凝成什么的那个总办法。熬和炒的分别，从斩鸡那一刀起就在了：熬要大块，炒要小块。

第二，加总、取极值、看整体形状，只是三种最常见的合法，不是全部。还有比较、配对、循环往复等等。我在这里不求列全，只求说明：合法不同，显露就不同。

第三，一个典范可能不止一个合法。黄炜也做小炒，谭老三也会炖汤。我的看法是：一个典范可以偶尔借用别的合法，但它有一个主合法，大多数难题都往那里收；借用的次数多了、成了常态，那就是它的 Function 在变，值得留意它是不是正在长成另一个典范。

粗层级的证伪是这样的：如果把成熟学科里的代表性典范逐一拿来，发现凡是 (D, E) 相同的，合成结果的办法也必然相同，从来找不到「(D,　E) 相近而合法不同」的两个典范，那么 Function 就是多余的一维，可以并进 D 里，「三组合」应当退回「二组合」，本章的论点就错了。

带走的话

E 是搭配，D 是先后，Function 是成菜之法：把前面的一切收成一个形状。同样的料和步骤，熬出来是汤，炒出来是一盘菜；少了 Function，两个典范可能分不开。

小账 本章补的缝——只说「(D, E) 组合」时，熬与炒、牛顿与拉格朗日难以分开；本章把 Function 写进典范的定义，三组合由此立住。

在圈上的位置——环节①与环节②之间：Function 既是典范模型的第三项训练约束，也是碰撞中定位分歧的三个去处之一。

第 21 章

典范的同一性：川菜判据

> 这一章的问题：一千道菜道道不同，人凭什么一尝就说「这是川菜」？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远一家住在长沙河西。他四十四岁，在地铁调度中心上班，每天盯着一张线网图，看几十列车按点进站、出站。女儿许小满十六岁，读高一，什么都爱问个为什么。

国庆假期，许小满在网上看到一个小游戏，叫「盲尝猜菜系」。规则是：蒙上眼睛，别人喂你一口菜，你猜它是哪一路。她拉着爸爸去南门老街，说要现场玩一回。

庞秀芳听说了，觉得好玩，答应配合。她和隔壁的黄炜、谭老三商量好，三家各出六道小样，不出各家最有名的招牌，专挑那种不太典型的。许小满蒙上眼睛，许远负责喂。

第一口，是一小块凉拌鸡。许小满嚼了两下，说：「麻，有点甜，还有香油味……川菜。」对了，是庞记的椒麻鸡。

第二口，是一勺汤，清清淡淡。许小满犹豫了一下，说：「这么清，肯定是粤菜。」错了，是庞记的开水白菜。许远笑着告诉她答案，她嘟着嘴说：「这不算，太刁钻了。」可是第二轮再喝到一口类似的清汤，她想了想，说：「这个鲜得有点……浓？不像粤菜那种清鲜，像是熬了好多东西进去的鲜。川菜？」又对了。

十八口吃完，她猜对了十三口。猜错的几口，多半是招牌之外的「跨界菜」。

游戏结束，许小满摘下眼罩，问了一个问题：「我刚才有几口根本说不出它里面放了什么，可我就是知道它是哪一家的。我到底认出来的是什么？」

许远没答上来。庞秀芳在旁边说：「认出来的是那股味道嘛。」

许小满追着问：「那股味道是什么？」

这一章就来回答这个问题。

◆ 二、这件事里藏着什么

川菜判据

先把这一章的判据立起来。

川菜馆做一千道菜，道道不同，一尝就知道是川菜。认出来的是什么？不是某一样料：开水白菜里没有辣椒，许小满照样认出来了。也不是某一道菜：她吃到的很多是从没吃过的小样。她认出来的，是三组合稳定显露出的那股味道。

这就是川菜判据。说得一般一点：外层可变——参数、工具、语料、具体结论都可以换；三组合不变，就仍是同一典范。

对照一下前面三章。川菜的 E 是那张复合味的网，D 是先码味、再过油、后合炒那样的先后，Function 是把这些收成一盘复合味菜的合法。这三样在庞秀芳的一千道菜里都不怎么变。变的是料、分量、火候，以及最后端出来的那一盘具体是什么菜。许小满舌头上认出来的，正是那三样不变的东西在一千盘菜里留下的共同痕迹。

要注意判据说的是「一尝就知道」。也就是说，典范的同一性是可以从产出里认出来的，不需要去问厨师、不需要看菜谱、不需要进厨房。这一点后面会变得很要紧：一个典范模型守没守住它的典范，不看它自己怎么说，看它端出来的东西能不能被认出来。

从舌头到检验：判据怎样落地

许小满那天玩的是游戏，可游戏的规矩本身就是一套检验的雏形。把它放大，可以得到一个做法。

第一步，备样。从几个典范各取一批产出，而且要专挑不典型的，不挑招牌。招牌菜谁都认得出，认得出招牌只说明记住了几道菜，不说明认出了三组合。庞秀芳那天刻意不出麻婆豆腐和回锅肉，道理就在这里。

第二步，蒙眼。去掉一切标签：不告诉认的人这是谁做的、叫什么名字、用了什么料。在科学里，这相当于把论文的作者、学派、术语习惯都抹掉，只留下它对一个难题给出的显露。

第三步，归类。让认的人把每一份归到某一个典范下，记下对错。

第四步，看读数。如果归类明显好过乱猜，说明这几个典范的三组合在产出里留下了稳定态；如果某一个典范的产出总被认错，说明它的稳定态弱，要么还没长成，要么被冲淡了；如果所有典范都和乱猜差不多，那就是本章要防的那个大局面。

这个做法有一个讲究：认的人可以是人，也可以是另一个模型；但无论是谁，都只认产出，不进厨房。这样做，判据才是从外面检验的，而不是听典范自己说。

我要特别说一句：这样的读数只用来回答「三组合在不在」，不拿来给任何人、任何模型排名次、评高下。一个典范的稳定态强，不等于它更好；一个新典范的稳定态弱，也可能只是它还年轻。判据是尺子，不是奖状。

S 的内核：结构是显露的稳定态

许小满还追问了一句：「那股味道是什么？」这一问问到了 S 的内核。

我在第 17 章说过，S 不在典范的定义里，S 是三组合对一个难题的显露。每一道菜都是一个 S，一千道菜就有一千个 S，彼此不同。那么，那股让人一尝就认出来的味道，算什么？

它是 S 的内核：三组合稳定显露出的那类结构。这里我要用到全书统一的一个说法：S 读作「显露」；「结构」专指显露的稳定态。一道道具体的菜，是一次次显露；那股在一千次显露里都稳稳待着的味道，是显露的稳定态，也就是结构。

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 11 章里讲过一个相近的意思。那里讨论的是同一性：一把椅子换了腿、换了藤面、刷了漆，人们还认它是「那把椅子」。我的主张是，

同一性不是数学的起点，而是差异在纠缠中凝出的稳定态。这里是同一个道理落在典范上：川菜之所以是川菜，不是因为它身上贴着一张「川菜」的标签，而是一千次显露在同一套三组合里凝出了一个稳定态。许小满尝出来的，就是这个稳定态。

所以 S 的内核和典范的定义是这样的关系：典范是 (Function, D, E)，不含 S；可是三组合一旦在许多难题上稳住了，它的显露就会凝出一个稳定态，这个稳定态就是 S 的内核，也就是这个典范的「结构」。前者是生出结果的东西，后者是结果里认得出的东西。

K1 与 K11 合读

这里正好把两句口述合起来读。

K1 是二〇二六年九月二十五日的那句：典范就是 S、D、E 三维各有固定的「内核」，外面可以变化；SDE 方法论的三方程、六路径、三原理也有「基本的不变性」。

K11 是后来的那句：不是 S，是 S = Function(D, E) 里面的「Function 函数」要加入「典范的定义：Function, D, E 的三组合」。

两句读起来像是冲突：一句说 S 也有内核，一句说 S 不在定义里。其实它们讲的是同一件事的两面。

K11 讲的是典范怎样生出产出：生成的那一边只有 Function、D、E 三样，S 是它们作用在难题上的结果，所以 S 不进定义。

K1 讲的是从产出怎样认出典范：认的那一边看的是 S 的内核，也就是那个稳定态。E 有内核，D 有内核，Function 有内核，这三个内核不变，显露就会凝出一个稳定的 S 内核。K1 里说的「S 维的固定内核」，正是这个稳定态。

合起来是这样：定义看生成，判据看显露。E、D、Function 的内核是典范的定义；S 的内核是典范的指纹。定义告诉我们拿什么去训练一个典范模型，指纹告诉我们怎样检验它守住了没有。

K1 后半句也值得一提：SDE 方法论自己的三方程、六路径、三原理也有基本的不变性。这句话的意思是，SDE 本身也满足川菜判据：它分析物理、分析厨房、分析经济，

结论千差万别，可是那几样东西不变。这一点后面第 35 章会用到：SDE 只规定方程的形式，它自己的不变性在形式上，不在任何一个具体的三组合上。

外层可以换到什么程度

川菜判据说外层可变。可变到什么程度？

庞秀芳换过三回供货商，豆瓣从一家换到另一家，味道有细微的差别，熟客尝得出来，可没有人说「庞记不是川菜了」。她的徒弟出师后在城东开了一家，菜单一半是新菜，熟客去了说「有庞记那个路子」。这是参数和具体结论在变，三组合没变。

可是如果有一天，她的店为了迎合年轻人，把所有菜都改成甜口，复合味只剩下甜一种，先码味再过油的先后也嫌麻烦取消了，一律上锅一蒸了事，那就不是外层的变化了。三组合整个换了，哪怕招牌还挂着「庞记川菜」，熟客也会说「这不是川菜了」。

所以判据有两面：三组合不变，外层随便换，仍是同一典范；三组合一变，招牌不换也不再是同一典范。这正是后面第 32 章边界判据的地基：看三组合，不看参数。

局外人也能认出来

这个判据还有一个要紧的地方：认出典范的不必是行家。

许小满不会做川菜，说不出二十几种味型的名字，可她十八口猜对十三口。这说明三组合的稳定态，在产出里留下的痕迹足够强，强到一个局外人练一练就能分辨。

放到科学上，这个特点很有用。一个自称守着某个典范的模型，只要它的产出能被局外人稳定地归到那个三组合上，就说明它守住了；如果它的产出和别的典范模型的产出混在一起，谁也分不出来，就说明它的三组合被冲淡了，这时候说它是一个独立的典范模型，就是一句空话。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。库恩在一九六九年后记里，讲过学生怎样学会一个典范：不是背定义和规则，而是一道道做范例题，做多了，自然学会了「看出」新题和旧题的相似；这种相

似的判断，库恩认为不能归结为规则。这里是我的转述。这和许小满学会认菜系是一回事：认出来的是一种相似。本书比库恩多走一步：库恩把这种相似留在人的头脑里，说它是默会的；本书把它落到三组合的稳定态上，说它可以从产出里被认出来，因而可以被检验、被训练。

再说边界。

第一，认出来不等于说得出来。许小满认对了，却说不出她认的是什么。这说明川菜判据是一个检验的办法，不是一个解释的办法。要说得出来，还得回到前三章去，一维一维地拆。

第二，有些典范的稳定态很弱，弱到行家都会认错。这样的典范，要么还没长成，要么已经在散。判据对它们会给出模糊的读数，这是判据的局限，也是它诚实的地方。

第三，认的人不同，判据可能给出不同的读数。一个从没吃过湘菜的人，很难把湘菜和川菜分开。所以检验时要讲究由谁来认、认之前练过多少。

第四，判据认的是三组合在不在，不认三组合对不对。川菜判据能告诉我们一盘菜是不是川菜，不能告诉我们这盘菜好不好吃；同样，它能告诉我们一个模型守没守住它的典范，不能告诉我们这个典范对这道难题是不是合适。合不合适，要到第七编的碰撞里去问。

粗层级的证伪是这样的：如果把若干典范的一大批产出打乱，交给经过适当训练的局外人去归类，结果他们的归类和随机猜差不多，无法把产出稳定地归到各自的三组合上，那么「典范＝三组合」这个定义就错了。至少，三组合并没有在产出里留下可以认出的稳定态，典范的同一性另有来源。另一种相反局面是：只换参数、工具或语料，三组合一样不动，产出却被局外人普遍归到另一个典范下，那么「外层可变、三组合不变仍是同一典范」就错了，川菜判据要改写。

带走的话

一千道菜道道不同，一尝就知道是川菜：认出来的是三组合稳定显露出的那股味道。定义看生成，判据看显露；E、D、Function 的内核是典范的定义，结构——显露的稳定态——是典范的指纹。

小账　本章补的缝——库恩说学典范靠「看出相似」，却把相似留在默会里；本章用川菜判据把典范的同一性落到可以从产出认出的稳定态，并合读 K1 与 K11。

在圈上的位置——环节①与环节④：典范模型守没守住、新典范沉淀成没成，都用川菜判据来验。

第 22 章

一个完整样本：视觉的、粒子化的数学

> 这一章的问题：数学界为什么看不见自己的典范——它真的没有典范，还是这个典范大到把所有人都装了进去？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

谭家后厨的角落里，有一口黑釉的大坛子，里面是卤水。谭老三说，这坛卤水从他师傅手里接过来，二十多年没断过：每天卤完东西，滤一遍渣，烧开，第二天再加新料、补香料、续汤，接着用。街坊来买卤猪耳、卤豆干，都说谭家的卤味有一股别家没有的厚。

去年冬天，许远帮谭老三算过一回账。谭老三想知道，一斤卤猪耳到底赚多少钱。许远是调度员，喜欢表格，他打开手机上的表格软件，一样一样列：猪耳朵多少钱一斤，八角、桂皮、香叶、草果各用多少克，生抽、冰糖、料酒多少钱，煤气烧了几个钟头，一锅卤多少斤，摊下来每斤成本几块几毛。列完一加，成本出来了，卖价减成本，利润也出来了。表格清清楚楚，每一格可以指着说「就是这一项」。

谭老三看了半天，点头说算得对。然后他指着那口坛子说：「可这坛水，你算进去没有？」

许远想了想，说算了，香料和汤底都在里面。

谭老三摇头：「你算的是今天往里加的。这坛水值钱的，是二十多年没断过。今天加的八角，是泡在昨天的、前年的、我师傅那时候的汤里。你要是今天倒掉重起一锅，料一样不少，卤出来的猪耳朵，街坊一尝就知道不对。」

许远愣了一下。他的表格里，每一格都是今天的一项开销，彼此分得开，加起来就是总数。那坛卤水最值钱的那一部分——二十多年一天天续下来的厚——不在任何一格里。它分不开，也加不出来。

后来许远跟女儿说起这件事，许小满想了想，说：「爸，你那个表格，是把卤水当成一堆分开的东西加起来；可谭师傅那坛卤水，是一个一直活着的东西。」

◆ 二、这件事里藏着什么

第 346 号里讲了什么

许远的表格和谭老三的卤水，碰到的是一件大事。我在《人与 AI 一起发生新数学》的第二编里，花了六章讲这件事在数学里的样子。这里先把那六章的意思压成几句，再按本书的定义重读一遍。

第 6 章讲「理论就是看」。西方学问最早的姿态，是站到外面，把对象摆在面前看清楚。欧几里得让证明变成「让别人也看见」，笛卡尔给平面上每个点配了一对数字当名字。看，给了数学三样东西：可指、可重复、可拆。

第 7 章讲点。数学从第一句话起，就在造一个没有大小、只有位置的东西。集合论把一切变成「点的袋子」，袋子里的每个元素可以单独指出来、单独换掉，其余一动不动。我把这叫作粒子化：先把任何东西看成许多彼此分得开的单位，整体只是这些单位聚在一起。

第 8 章讲把世界切成单元。描述连续的世界靠微分方程，方程算不出来，就把对象切成许多小块，每块里用最简单的规则近似，再把小块接起来，交给机器解。这是我做了二十年的那一行，它造出了今天几乎所有的工业制品。

第 9 章讲工厂与果树。工厂可分、可重复、形状从外面切出来，旧数学在那里如鱼得水；一棵果树拆开就不是那棵树，每一年都是第一次，形状是自己长出来的，旧数学在那里使不上劲。

第 10 章讲波和场被翻译成点集。场被定义成「给每个点配一个数」，波被拆成许多固定纯音的叠加，量子场论落到纸面上是数粒子的账本。换了格子，没有离开格子。

第 11 章讲同一性。「A 等于 A」被当作不许问的前提；可同一性其实是差异在纠缠中凝出的稳定态，不是起点。

读作一个三组合

现在用本书的定义重读。这六章描述的，正好是一个完整的三组合。

E，特征纠缠系统：把什么和什么连在一起。在这套数学里，关系是外部给定的、可分的。点与点之间靠距离、邻近、次序连着，这些关系是人从外面铺上去的，像一张透明的坐标纸铺在世界上；而且每一条关系都可以单独拿出来看，换掉一条，其余不受影响。许远的表格就是这样：猪耳朵一格、八角一格、煤气一格，格与格之间的关系是「加在一起」，没有哪一格会因为另一格变了而变了自己的意思。

D，差异序列：怎样切分问题、按什么次序展开。在这套数学里，先点化，再切单元。先把对象看成点的集合，再把它切成一块块小单元，每块里用最简单的规则，然后由小到大拼回去。顺序是从局部到整体。许远算账，也是先把卤猪耳拆成一项项开销，每一项单独定价，再汇总。

Function，把 D 与 E 合成显露的方式：局域加总。整体的性质，来自局部的相加和连接；局部，又总是「某个点和它很近的邻居」。积分是加总，有限元的大方程组是加总，傅里叶的「这个频率有多强、那个频率有多强」也是加总，量子场论数粒子还是加总。

三样合起来：外部给定、可分的关系；点化、切单元的先后；局域加总的合法。这就是视觉的、粒子化的数学的三组合。

这里还可以把「视觉的」与「粒子化的」两个词各自落到三组合上。「视觉的」主要落在 E 上：站在外面，把关系从外面铺上去。「粒子化的」主要落在 D 上：先拆成分得开的单位。两个词合起来，再加上局域加总这个合法，三组合就齐了。

一个「超级典范」

这个三组合有一个特别的地方：它不是一门学科的典范，而是几乎所有数学分支共用的典范。

几何、分析、代数、概率、微分方程、数值计算，各分支的结论千差万别，各自又有自己的小典范。可是往底下追，几乎都落在同一个三组合上：对象是点的集合加上关系，处理是先切再拼，合法是局域加总。我在第 346 号里引过一个标准的说法：几乎所有数学对象都能用集合来表达。这句话用本书的语言说，就是这些分支在三组合上是同一个。

用川菜判据来验，它也过得去：给一个数学家一份陌生分支的论文，他翻几页就知道「这是数学」，哪怕看不懂具体内容。他认出来的，正是这个三组合在千百个分支、千万道难题上稳定显露出的那股味道。

我把它叫作「超级典范」：一个统摄许多典范的三组合，各分支的小典范都在它之内各自填细节。这个叫法是否妥当，还可以商量，这里先这样用。

超级典范有一个后果：身在其中的人看不见它。我在第 18 章说过，一个典范里的人对自己的 E 常常是最后一个知道的。数学界更是如此，因为它的各分支彼此说同一种语言，找不到一个站在三组合之外的邻居来照一照。库恩说成熟科学只有一个典范，数学大概是这句话最彻底的例子：不是没有别的典范可能，而是这个超级典范大到让人以为它就是数学本身。

它的胜利与它的边界

说这是一个典范，不是在贬它。它的胜利是实打实的。桥梁、飞机、电路、卫星轨道、医院里的断层扫描，都是这个三组合的产出。我在第 346 号里说得很重：把世界切成小单元再算，不是权宜之计，是人类驾驭复杂形状的主要办法。工厂的数学之所以发达，是因为工厂本身就是照着这个三组合建起来的世界：零件可分，产品可重复，形状从外面切出来。

可是这个三组合也有它的边界，而且边界正好落在三样东西上。

E 的边界：当关系不是外部给定的、不是可分的，而是缠在一起、自己长出来的，这张网就装不下。谭老三那坛卤水的厚，是二十多年里每一天的汤和下一天的料缠出来的，拆不开。果树也是：根的状况改变叶的大小，叶的多少改变明年的花，今年挂果又反过来改变根里的养分。

D 的边界：当一个东西切开就变了，先切再拼的次序就失灵。卤水不能分成二十多份来算各年的贡献；一棵树也不能拆成根、干、枝、叶分别检验再拼回去。

Function 的边界：当整体不是局部之和，加总就丢东西。我在第 346 号第 9 章里说：一个工厂的制造业的数学可以非常发达，但一棵树的果子产量的数学却非常落后。原因之一，就是局域加总收不出一棵树带着自己历史长出来的那个整体。

这些边界不是这个超级典范做得不够好，而是它的三组合本来就不往那里收。在工厂里，「今天带着昨天」是警报；在果园里，「今天带着昨天」是日常。这恰恰说明问题出在三组合上，不出在功夫上。

这个样本教给本书的三件事

把数学读作一个三组合，对全书有三个用处。

第一，它证明这个定义能处理一个真实的、巨大的、被公认成熟的知识体系，不只能处理厨房。

第二，它说明一个典范可以大到统摄许多分支，也就说明「典范模型」不必按学科来切：一个超级典范下面可以有许多学科，一门学科里也可以并存几个典范。这为第六编按典范切、不按学科切埋下了伏笔。

第三，它预告了圈的样子。这个超级典范已经在一个地方被碰开过一次：局域的偏微分方程和网格，碰上材料断裂和积分算子，长出了近场动力学。新的三组合里，E 是视野内一片邻域的相互作用，D 是键的拉伸历史，Function 是积分加总。旧的局域数学没有被推翻，而是成了视野缩到零时的极限特例。这一次完整的圈，第十编第 51 章细讲。

◆ 三、证据与边界

先说证据。这一章没有新的证据，它的证据全在第 346 号的六章里：数学史上从欧几里得到集合论、从微积分到有限元的那条线，以及工厂数学与果树数学的对照。本章做的只是换一副眼镜去读：把那六章描述的姿态、对象、方法、合法，分别归到 E、D、Function 上。

再说邻居。说现代数学以集合论为统一的地基，是数学界的常识；说科学有「机械论世界观」「还原论」，也是科学史的老话题。本章的不同在两处：一是把这个地基拆成三样可以分开指认的东西，说明它的边界分别出在哪一维；二是把它称为一个典范，从而把它放进科学发生的圈里，说它可以被碰撞、可以被包含为特例，而不是只能被赞美或被批判。

然后是边界。

第一，「超级典范」的叫法可能太宽。范畴论、类型论这些路线，更关心东西之间怎样变换、怎样等同，而不是东西由什么元素组成。它们算不算已经站在这个三组合之外，是一个可以争论的问题，我在第 346 号里也只说了「可以争论」。如果它们确实站在外面，那么数学里早已不止一个超级典范，本章的说法要收窄为「数学的主流超级典范」。

第二，把「局域加总」定为 Function，是一个概括。数学里也有大量取极值、看整体的做法：变分法取极值，拓扑学看整体形状。我的回应是：变分法要算的那个量，本身多半是一个积分，即一个加总；拓扑学里不少整体不变量，最后也要靠把对象剖分成小块、逐块计数来算，最有名的例子是欧拉示性数：把曲面剖成三角形，数顶点、边、面，按「顶点减边加面」算出来。但这个回应未必能覆盖全部，读者若有反例，正是本章需要的。

粗层级的证伪是这样的：如果有人系统地查看数学各主要分支的核心方法，发现其中相当大一部分既不预设对象可以拆成分得开的单位，也不靠由局部汇成整体来得出结

果，那么「视觉的、粒子化的数学是一个统摄性的三组合」这个读法就错了，数学的统一另有来源。

> **带走的话**
>
> 许远的表格把卤水拆成一格格再加起来，谭老三的卤水二十多年一直活着。今天的数学大体是前一种：外部给定、可分的关系，点化、切单元的先后，局域加总的合法——一个统摄几乎所有分支的超级典范，胜在工厂，短在果树。

小账　本章补的缝——第 346 号描述了视觉的、粒子化的数学，但没有把它当成一个典范；本章把它读作一个三组合，给出全书的第一个完整样本。

在圈上的位置——环节①：超级典范在 AI 手里做常规科学最快；它的边界，就是碰撞将要发生的位置。

第 23 章

与四种旧说法划界

> 这一章的问题：前人已经有了学科基质、硬核、研究传统、推理风格，为什么还要再说一个「三组合」？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满高一下学期有一门研究性学习课，每个小组自选一个题目，期末交报告。她选的题目是：「怎样给一个菜系下定义？」她的理由很实在：上次在南门老街盲尝猜菜系，她猜对了十三口，可她说不出自己凭什么猜对；她想把这件事弄明白。

她分别去问了几个人，拿回来四个答案。

第一个答案来自她们学校食堂请来做讲座的一位烹饪老师。老师说：一个菜系，就是一套菜谱加一批代表菜。川菜有《川菜烹饪学》那样的教材，有调味的口诀，有麻婆豆腐、回锅肉、宫保鸡丁这些代表菜，学川菜，就是把教材读熟、把代表菜一道道做出来。

第二个答案来自她的语文老师，一位四川人。他说：川菜有几条打死不改的老规矩，比如「味要复合」「以味为本」；在这几条之外，各家怎么改都行，加点西餐的料也行，只要这几条没动，就还是川菜。谁要是动了这几条，就不是川菜了。

第三个答案来自她的历史老师。他说：一个菜系是一种传统，里面有两样东西：一是对食材和味道的基本看法，比如川菜认为味道是可以调和、可以复合的；二是一套做菜的规矩，比如怎样码味、怎样用火。看法加规矩，就是一个传统。

第四个答案来自她爸爸许远。许远想了半天，说：我觉得是一种风格。就像同一条地铁线，不同的调度员排班各有路数，你看排班表就知道是谁排的。菜系也是，看一盘菜就知道是哪一路的手法。

许小满把四个答案带回家，摊在桌上，觉得每一个都有道理，又觉得每一个都差一点。她最后去问了庞秀芳。庞秀芳听完四个答案，说了一句话，许小满把它写进了报告：「菜谱会过时，代表菜会换，规矩也有人破，风格是有的。可我要教徒弟，光说风格教不会。我得让他知道：什么和什么要搭，先做什么后做什么，最后怎么收成一盘菜。」

这四个答案，恰好对应科学哲学里四种讲典范的旧说法；庞秀芳那句话，恰好是本书的三组合。

◆ 二、这件事里藏着什么

第一种：库恩的学科基质

烹饪老师的答案，对应的是库恩自己在一九六九年后记里给的说法。

库恩写完《科学革命的结构》以后，被人批评「典范」一词用得太散。他在后记里做了收紧，把典范的第一层意思改称「学科基质」：一个科学共同体共享的一整套东西。按通行的转述，学科基质里有几样成分：符号概括，就是共同体不加怀疑地使用的公式和定律；形而上学部分或模型，就是共同体认可的比喻和本体图景；价值，就是共同体看重的准确、简单、一致等等；还有范例，就是一道道公认解得好的具体问题，学生靠做这些题学会这个典范。这四样是后记里列出的主要成分，中文措辞是我的转述。

这个说法比一九六二年清楚得多，而且「范例」这个想法很深：库恩看到，学会一个典范不是背规则，而是在一道道范例里学会看出相似。第 21 章讲川菜判据时，我借了他这一点。

可是学科基质有一个问题：它里面装着结论。符号概括是已经被接受的定律，范例是已经解好的题。用本书的话说，这些都是 S，是三组合在某些难题上的显露。把 S 装进

典范的定义，典范就会跟着结论一起变：一条定律被修正，一道范例被重解，典范算不算变了？库恩自己的书里，这个界线一直是模糊的。

烹饪老师的「菜谱加代表菜」也是这样。代表菜是一道道做好的菜，是 S。如果川菜的定义里装着麻婆豆腐，那么庞秀芳那天端出的开水白菜，凭什么也算川菜？许小满舌头上认出来的，不是哪一道代表菜，而是那些代表菜背后的东西。

本书的分界：学科基质包含符号概括与范例，也就是包含结论；本书的典范不含 S，只含生出结论的 (Function, D, E)。

第二种：拉卡托斯的硬核与保护带

语文老师的答案，对应的是拉卡托斯的研究纲领。

匈牙利出生的哲学家伊姆雷·拉卡托斯在一九七〇年前后提出，一门科学不是一个孤立的理论，而是一个研究纲领。纲领里有一个硬核，是一组不许反驳的基本命题；硬核外面围着一圈保护带，是许多辅助假说。遇到反例时，科学家不去碰硬核，而是去调整保护带。纲领还带着启发法：一条告诉你不要去攻击硬核，一条告诉你应当怎样一步步扩展保护带。前一条他叫反面启发法，后一条叫正面启发法。一个纲领如果能不断预言新事实，就是进步的；如果只会事后打补丁，就是退化的。

这个说法抓住了一件真事：科学里确实有不动的核和可动的外层。本书的「内核不变、外层可变」，和他是近邻。

可是硬核是一组命题。它是用话说出来的、被相信的东西，比如「味要复合」「以味为本」。命题有两个麻烦。一是同一组命题可以被很不同的做法实现：两个都信「味要复合」的厨师，一个是庞秀芳，一个可能是某位做融合菜的大厨，端出来的东西天差地别。二是很多真正不变的东西，根本没有被说成命题：谭老三从没说过「我相信辣要先熟」，他只是每次都先煸青椒。

本书的分界：硬核是一组被相信的命题；三组合是一套做法，它落在手上、落在产出里，可以不被说出来，却能从一千盘菜里被尝出来。

第三种：劳丹的研究传统

历史老师的答案，对应的是美国哲学家拉里·劳丹的研究传统。

劳丹在一九七七年的《进步及其问题》里提出，比单个理论更大的单位是研究传统。按通行的转述，一个研究传统包含两样东西：一是本体承诺，即这个领域里有哪些基本的东西、它们怎样相互作用；二是方法规范，即研究这些东西时什么做法是正当的。一个研究传统里可以先后出现许多具体理论，传统本身也可以慢慢演变。他用「解决问题的效力」来评判一个传统的进步。

劳丹比拉卡托斯更灵活：他允许传统里的核心承诺随时间变化，不像硬核那样一动就不算原来的纲领了。他的「本体承诺」和本书的 E 是近邻，「方法规范」和本书的 D 是近邻。

可是本体承诺和方法规范，仍然是一组被相信的命题：「我们认为世界由什么构成」「我们认为应当怎样研究」。而且他的框架里没有 Function：有了看法、有了规矩，最后怎样把这些合成一个结果，没有被单独拎出来。第 20 章讲过，少了 Function，熬和炒、牛顿与拉格朗日就分不开。

本书的分界：研究传统是本体承诺加方法规范，仍是被相信的命题，而且缺 Function 一维；三组合三维俱全，并且是从产出里认得出的做法。

第四种：哈金与克龙比的推理风格

许远的答案，对应的是推理风格。

英国科学史家阿利斯泰尔·克龙比用了几十年梳理欧洲科学传统，在一九九四年出版的三卷本《欧洲传统中的科学思维风格》里，把它归纳为六种「科学思维的风格」：数学里的公设推演、实验的探索与测量、假设类比模型的构造、分类、概率与统计、历史的或发生的推导（名称是我的意译）。加拿大哲学家伊恩·哈金接过这个说法，改称「推理风格」，并且提出一个很有意思的看法：每一种推理风格会引入它自己的对象、自己

的证据，决定哪些句子才有资格被问真假；风格在某种意义上是自我确证的。这是我的转述。

这是四种旧说法里离本书最近的一种。它讲的不是结论，也不是被相信的命题，而是推理的方式，是「怎样做」。许远说「看排班表就知道是谁排的」，正是这个意思：风格是从产出里认得出来的。

可是推理风格和三组合仍有两处不同。

一处是维度。推理风格把「怎样推」当作一整块，没有把它拆成 E、D、Function 三样。「实验探索」这种风格里，什么和什么被认定相连，怎样切分问题、按什么先后，最后用什么办法合成结果，混在一起说。拆不开，碰撞时就没法问「分歧出在哪一维」。尤其是 Function 一维，在推理风格的说法里没有单独的位置。

另一处是用处。推理风格是科学史家从几百年的历史里归纳出来的，是描述的范畴；它没有被设计成可以拿来做训练约束、可以拿来划模型边界的东西。一种风格的粒度很粗，「概率统计」一种风格下面，可以有许多彼此冲突的典范，统一在一个风格里，正是本书要防的那种平均。

许小满的爸爸自己也觉察到了：他说得出「这是谁排的班」，可要他教一个新调度员排成那个样子，光说「风格」是教不会的。庞秀芳那句话一针见血：要教徒弟，得说清搭什么、先做什么、怎么收。

本书的分界：推理风格讲推理方式而非结论，最接近三组合；但它没有 Function 一维，粒度太粗，也不能作训练约束与模型边界。

划界句

四种旧说法摆在一起，可以列成一张表。

说法	典范由什么构成	含不含结论	是否被说成命题	有无 Function	能否作训练约束与模型边界
库恩学科基质（1969）	符号概括、模型、价值、范例	含	部分是	无	否

说法	典范由什么构成	含不含结论	是否被说成命题	有无 Function	能否作训练约束与模型边界
拉卡托斯研究纲领（1970）	硬核加保护带、启发法	硬核即核心论断	是	无	否
劳丹研究传统（1977）	本体承诺加方法规范	不含具体理论	是	无	否
哈金、克龙比推理风格	推理的方式	不含	否	无单列	否
本书三组合	E、D、Function	不含（S 在外）	否，是做法	有	能

表里最后一列是本书真正要的东西。把四种说法读下来，可以写成一句划界句：

典范不是被相信的命题，也不只是推理风格，而是能训练进模型、能从产出中认出来的 (Function, D, E)。

这句话有两个支点。「能训练进模型」，说的是三组合可以当约束：给一个模型规定它的 E、它的 D、它的 Function，让它在千百个难题上守着这三样；这正是第六编典范模型的地基。「能从产出中认出来」，说的是川菜判据：一个模型守没守住它的典范，不听它怎么说，看它端出来的东西能不能被归到那个三组合上。前人的四种说法里，没有一种同时满足这两条。

为什么非要这两条

有人会问：科学哲学讨论了半个多世纪的典范，从来没有要求「能训练进模型」，为什么现在要加这一条？

因为条件变了。库恩、拉卡托斯、劳丹写作的时候，承载典范的只有人：一代代学生、一个个实验室、一本本教科书。那时候说典范是一组被相信的命题，问题不大，因为相信它的人会把命题之外的那些做法默默地传下去，像庞记的徒弟在灶台边一年年长出那张网。

AI 来了，典范第一次可以由模型来承载。一个模型不会「相信」什么，它只会在训练约束下学会一套做法。如果典范只是一组命题，那就没法把它交给模型；如果典范是

一种笼统的风格，那就没法检验模型守住了没有。三组合把典范定成一套可以分维指认的做法，正是为了让它能跨过这道门槛：从人的头脑里，走进模型里，再从模型的产出里被认回来。

这也说明本书和四种旧说法不是敌对关系。他们各自看到了典范的一面：库恩看到范例里学会相似，拉卡托斯看到核与外层，劳丹看到看法与规矩，哈金和克龙比看到推理的方式。本书把这些看见收拢到一个可以操作的定义里，并且在他们都没有的地方加了一维 Function。超越以承认为前提。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。科学哲学史上，从库恩的学科基质到拉卡托斯的研究纲领、劳丹的研究传统，有一条清楚的线：大家都在找比单个理论更大、又比「世界观」更具体的那个单位。马斯特曼一九七〇年在《批判与知识的增长》里清点「典范」一词的多种用法，是这条线的一个起点。哈金与克龙比的推理风格是另一条线，来自科学史，不来自逻辑分析。本书站在两条线的交汇处，用一个可操作的定义回应它们。

近年的 AI 研究给了这条划界一个外部支点。前面提到的 Fu、Liu、Tegmark 的实验里，独立训练的 AI 物理学家，有的学出哈密顿式的写法，有的学出拉格朗日式的写法，随训练的系统而转移。它们谈不上信什么命题，不同的是合成结果的那个办法。这件事用「硬核」「研究传统」很难描述，用「推理风格」只能说个大概，用三组合可以说得更准：所看的运动和相关的量大体相同，Function 不同。

再说边界。

第一，我对四种旧说法的转述，是为了划界而压缩的，难免简化。拉卡托斯和劳丹的原著都比这里复杂得多，哈金关于推理风格的论述前后也有变化。读者若发现某处转述失真，以原著为准；划界的要点在于「是不是被相信的命题」「有没有 Function」「能不能作训练约束」三条，这三条不依赖转述的细节。

第二，「不被说成命题」这一点可能被追问：三组合写在这本书里，不也成了一组话吗？我的回答是：写下来的是对三组合的描述，不是三组合本身。庞秀芳的 E 不在任

何一本书里，在她的手上和她的一千盘菜里；这本书写下的「复合味的网」只是一个指认。描述可以错，可以改，三组合本身要靠产出来检验，不靠描述来成立。

第三，三组合与推理风格的界线，在具体案例里可能不那么清。也许有些风格天然只含一个三组合，这时两者就重合了。这不推翻划界，只说明在那些地方，推理风格恰好碰上了三组合的粒度。

粗层级的证伪是这样的：如果在今后的 AI 科研实践中，以命题集合（某种硬核或研究传统）为约束训练出的模型，和以 (Function, D, E) 为约束训练出的模型相比，在保持各自典范的可辨认性、在彼此碰撞时定位分歧这两件事上，表现一样好甚至更好，那么三组合就没有比旧说法多出什么，本章的划界就错了。

> **带走的话**
>
> 学科基质装着结论，硬核与研究传统是被相信的命题，推理风格最近却缺 Function、也当不了约束。典范不是被相信的命题，也不只是推理风格，而是能训练进模型、能从产出中认出来的 (Function, D, E)。

小账　本章补的缝——四种旧说法都没有同时做到「不含结论、不靠命题、三维俱全、可作训练约束」；本章以划界句把典范的定义从它们中间分出来。

在圈上的位置——圈外：为什么。本章回答为什么旧的典范概念撑不起典范模型，为第六编扫清地基。

第 五 编

成本论：独养为何曾是必然

编 序

前面四编做了两件事：把库恩讲公道，再把典范重新定义为一个（Function，D，E）三组合。定义立住之后，马上冒出一个追问：既然典范只是一个三组合，三组合又可以有许多套，那为什么在库恩看到的科学史里，一个成熟的学科总是只有一个典范？多学派并立为什么总被看作「还没长大」？

这一编的回答很朴素：不是认识论逼出来的，是钱、时间和人逼出来的。养一个典范，要一代人的青春、一整套教科书、一批实验室、几本守门的期刊。一个共同体只养得起一套，于是只养一套。单典范是多典范在高建造成本下的特例。库恩把这一经济事实读成了科学的认识结构，这是第 9 章已经指出的那道缝；这一编把缝补上。

四章的次序是这样的。第 24 章算个人的账：进入一个典范的门票有多贵，为什么一个人一生通常只买得起一张。第 25 章算共同体的账：教科书、实验室与期刊为什么一套设施只能服务一个典范，以及单体化路线在什么条件下确实最省。第 26 章讲 AI 时代的危机为什么不是由反常引起，而是由工具引起，借用工具让渡律的四个阶段，说明结局是份额转移而不是替代。第 27 章讲成本越过阈值时科学组织的相变：独养变并养，并与 Kitcher 的认知劳动分工划清界线。

这一编在圈上的位置，是「圈外：为什么现在」。圈的四个环节早就各有邻居，为什么偏偏到了今天才合得成一个圈？答案在成本。成本没降下来之前，圈只能是一条线；成本降下来之后，线才有可能首尾相接。

第 24 章

养一个典范要一代人

> 这一章的问题：为什么一个人一辈子，通常只能真正住进一个典范？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景，人物是本书的陪读人物。

一个周六中午，许小满跟着父亲许远去南门老街吃饭，进的是川菜馆「庞记」。上菜间隙，老板娘庞秀芳过来添茶，小满忽然问她：「庞阿姨，你家隔壁炜记的白切鸡卖得那么好，你怎么不也做几道粤菜？多一样生意。」

庞秀芳笑了，在桌边坐下来，掰着指头给她算。她十八岁进一家老川菜馆当学徒，头三年不让碰炒锅，切墩、发料、熬红油、守豆瓣缸，手上烫出的疤到现在还在。后来帮厨五年，才学会看油温、听爆锅的声音、闻糊辣壳出香的那一下。二十六岁上灶，三十岁出头才敢说自己的鱼香味型「稳了」。「一个味型，你舌头要记住，手要记住，鼻子也要记住。我这半辈子，就买了川菜这一张票。」

小满不服：「那你再买一张粤菜的票呢？」

庞秀芳指了指后厨：「粤菜讲的是鲜，是火候让食材自己出味，跟我们川菜让调料去领着食材走，是两条路。我要学，得从头学，先把自己舌头上这几十年的习惯忘掉一半。我现在五十一岁，再当八年学徒？店谁看？」她顿了顿，又说：「我年轻时也羡慕过人家什么都会，后来明白了，不是不想，是买不起。」

许远在旁边听着，没插嘴。回家的路上，小满还在想这件事。她问父亲：「爸，你当调度员，也是只买了一张票吗？」许远想了想，说：「差不多。考进来，培训，跟班，独立上岗，再熬到能处理突发，前后十来年。现在让我去开飞机，我也得从头来。」

——场景到这里是构想的。但庞秀芳算的那笔账，并不是构想：学会一门手艺要几年，学会一个典范要半辈子。

◆ 二、这件事里藏着什么

门票的价钱：十几年的青春

把庞秀芳那笔账搬到科学里，几乎不用改字。

一个人要进入一个科学典范，大致要走过本科、硕士、博士、博士后四段。本科四年学的是这个学科的公共底子；硕士两三年开始选方向，学会这个方向的行话；博士四到六年，在导师手下做出一个真正属于这个典范的成果；博士后再两到四年，才算能独立带题。前后加起来，十几年。我自己是计算数学出身，做过二十年网格生成。回头看，那些年练成的不只是「网格生成的知识」，更是用网格的那双眼睛看问题：先把区域切开，单元里用简单规则，再把单元拼回去。用本书的话说，是在把一个三组合练进自己身上。

这张门票贵在哪里？不只贵在学费，更贵在三样东西。

第一样是时间。十几年，正好是一个人从十八岁到三十出头最能吸收、最能冒险的那一段。这一段只有一次，买了这张票，就没有时间再买另一张。

第二样是看不见的手感。库恩在 1969 年的后记里特别强调「范例」：学生不是先背规则再去用，而是做教科书章末的一道道习题，在做题中学会把新问题「看成」旧问题的样子。这个「看成」写不进条文，只能靠反复练。它像庞秀芳听爆锅的那一下，说不出来，但离了它就不是内行。手感越深，越难换。

第三样是身份。十几年下来，一个人不只是学会了一个典范，他就是这个典范的人。他的同行、他的饭碗、他评职称的那张表，全都长在这个典范上。换典范，等于把自己的社会位置连根拔起。

为什么只买得起一张

有人会说：门票贵，那就省吃俭用多买几张。为什么一个人通常只买得起一张？

原因在于，典范的门票不是叠加的，是互相打架的。庞秀芳说得准：学粤菜，先得把舌头上的川菜习惯忘掉一半。一个典范的 E，规定了它把什么和什么连在一起；一个典范的 D，规定了它先切什么、后看什么；一个典范的 Function，规定了它怎样把这些合成结果。这三样练进身上以后，就成了默认。另一个典范的三组合，恰好要你在这三处都换一种默认。所以，第二张票的价钱不是第一张的价钱，而是第一张的价钱再加上「拆掉第一张」的价钱。

这就是为什么跨典范的人少，而且多半是在年轻时、在第一张票还没付清时就开始两边跑。等到第一张票付清，第二张就贵得离谱了。

一代人的账：典范的寿命与人的寿命对齐

个人的账算完，再算共同体的账。

库恩在书里提到过普朗克的一个说法，大意是：一个新的科学真理取得胜利，往往不是因为说服了反对者，而是因为反对者终于老去，熟悉新真理的一代人长大了。库恩引这个说法，是为了说明典范转换中的「改宗」很难。我想换一个角度读它：如果新典范要等一代人才能接班，那说明一个典范的寿命，被绑在了守它的那代人的寿命上。

为什么会绑在一起？因为一个典范的全部手感，都存放在人的身上。教科书存得下规则，存不下手感；论文存得下结论，存不下「为什么当初这样看」。守这个典范的人一走，典范就只剩下纸面。于是，一个共同体要维持一个典范，就得持续地把年轻人送进去，花十几年把这套手感灌进他们身上。这是一笔每代人都要重新付的账。

一个共同体的年轻人是有数的。把他们全部送进一个典范，这个典范才养得活；分成两半，各送一个，两个典范可能都养不活。所以，在门票这么贵的时候，共同体最理性的做法，就是只养一个。

库恩把账单读成了地图

讲到这里，第 9 章那道缝的来路就清楚了。库恩观察到成熟科学只有一个典范，于是把「只有一个」写进了科学的结构。可是，如果「只有一个」是因为门票太贵，那它就不是科学的结构，而是科学的账单。库恩看到的是账单，却把它当成了地图。

庞秀芳不做粤菜，不是因为世界上只有川菜一种好吃的做法，而是因为她只买得起一张票。如果有一天，学一个菜系不再要八年，而是几个礼拜，她会不会同时守着川菜、再学几道粤菜？她多半还是以川菜为主，但她的厨房里，很可能会长出一点别的东西。

这就是成本论的第一步：单典范不是认识论的必然，是高门票下的理性选择。

门票贵，也换来了真东西

话要说两面。门票贵，不只是代价，它也买到了真东西。

庞秀芳那八年，换来的是一个稳得住的鱼香味型。一个典范里的十几年，换来的是一个人能在这个典范里走得很深：别人看一眼就放弃的题，他知道从哪里下手；别人以为是噪声的偏差，他一眼认出是有形状的残差。库恩说常规科学高效、可积累、可教，靠的正是这一代代人把手感灌进身上。没有这十几年，就没有深度。

所以，成本论不是说「门票贵是坏事」。它说的是：门票贵带来两个后果，一个是深，一个是窄。在只能买一张票的时代，深和窄是绑在一起卖的，你要深，就得接受窄。科学界几百年里接受了这个搭配，并把窄当成了深的必要条件，这才有「成熟学科只有一个典范」的说法。

可是深和窄真的必须绑在一起吗？如果有一种办法，能让一个典范的手感不只存放在人的身上，也能存放在别的载体里，门票的价钱就会变。一个人仍然可以在自己的典范里走深，同时又能在需要的时候，花不多的代价借用另一个典范的眼睛。这时候，深还在，窄却不再是必然的。这个「别的载体」是什么，要等到第 27 章和第六编才讲清楚。这里只先记下一句：深是门票买来的，窄是门票逼出来的，两样东西可以分开算。

还要补一点：门票的价钱，不只由典范本身决定，也由传授的方式决定。师傅带徒弟，一个师傅一次只能带几个，手感一代传一代，每一代都要从头灌。教科书出现以后，一部分规则可以印成书，传得快了，但手感那一部分仍要靠人。所以几百年来，门票虽然有过几次降价，主体那一块始终降不下来：手感的传授，始终是一个人对一个人。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。科学社会学里，关于博士培养年限、学术劳动力市场、终身教职竞争的研究很多，大体都指向同一件事：进入一个研究领域的时间成本很高，而且在不少国家和学科里还在上升。具体的数字因国家、学科、年代而异。举一个能查到的读数：美国国家科学基金会的博士学位获得者调查显示，2023 年从进入研究生院算起，取得研究型博士学位的年限中位数约 7.2 年，物理科学、数学约 6 年，社会科学约 8.7 年，人文学科近 10 年。博士后年限各国口径不一，我不在这里给数字。我只取一个方向：门票贵，而且越来越贵。

再说库恩自己的材料。范例与教科书习题的说法，出自 1969 年后记，这是《科学革命的结构》第二版以后都附着的，我有把握。普朗克那段话，库恩在书里第十二章「革命的解决」中转引过，措辞我只转述大意，不作直引。

这一章的边界有三条。

第一，我没有说门票贵是唯一的原因。一个学科只有一个典范，可能还有别的理由，比如问题本身恰好只有一种好的看法。第 25 章会专门讨论这种「问题恰好是一个敌人」的情形。本章只说：门票贵，足以单独产生单典范的局面，因此单典范不能直接当作认识论的证据。

第二，我没有说跨典范的人不存在。科学史上一直有两边跑的人，而且很多重要的新东西正是他们带来的。但他们少，而且常常付出了比常人更高的代价。少而贵，恰好说明门票贵。

第三，本章不评价任何具体的培养制度好坏，也不对教育政策表态。

粗层级的相反局面：如果有人能举出一大批情形，门票并不贵（几个月就能入门、换行几乎不付代价），而一个领域仍然长期只有一个典范，而且大家不是因为问题只有一种看法才这样，那么「门票贵造成单典范」这一环就站不住，成本论要退回去重写。

> **带走的话**
>
> 学会一门手艺要几年，学会一个典范要半辈子。一个人只买得起一张票，一个共同体只养得起一个典范；这是账单，不是地图。

小账　本章补的缝——第 9 章指出库恩「把成本当成了认识论」，本章从个人门票与一代人的账，说明单典范可以完全由成本产生。
在圈上的位置——圈外：为什么（为什么过去只能是一条线）。

第 25 章

教科书、实验室与期刊

> 这一章的问题：一个典范要靠哪些设施养着？为什么一套设施通常只能服务一个典范？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

粤菜馆「炜记」的师傅黄炜，三十八岁，在南门老街开店六年。有一回店里生意淡，谭家的谭老三过来串门，两个人坐在门口剥毛豆。谭老三问：「你这店也不小，怎么不挂两道湘菜？剁椒鱼头现在年轻人爱吃。」

黄炜指着自己的后厨给他看。靠墙一排是烧腊炉和挂鸭的钩子，中间是一口专门煲汤的大瓦煲，炉头是猛火灶，台面上码着的是生抽、老抽、蚝油、鱼露。「我这后厨就三十平米，烧腊炉一占，再要摆你那样一排剁椒坛子，人都转不开身。还有，我这里的帮厨都是从广东带出来的，他们会斩鸡、会看汤色，你让他们剁辣椒、做腊味，他们手上没那个数。」

谭老三点点头：「我那边也一样。墙上挂的是腊肉，灶上是熏的，我请的小伙子都是我自己带出来的，懂的就是这一套。」

黄炜又说了一句：「老街这几年来吃饭的客人，也是认招牌的。挂了湘菜，客人吃了觉得不正宗，回头连我的白切鸡都不信了。」

那天两个人剥完一盆毛豆，谁也没改主意。

——场景是构想的。可这里有三样东西是真实的结构：后厨的设备、带出来的帮厨、认招牌的客人。一家店的这三样，通常只能服务一个菜系。

◆ 二、这件事里藏着什么

养一个典范的三样设施

把炜记的后厨搬进科学，对应得几乎严丝合缝。

教科书像那一批带出来的帮厨。它不只传知识，更传一个典范的手感。库恩在书里专门讲过教科书：它把一个学科的历史改写成一条通向当下典范的直线，把走过的弯路、争过的架、被放弃的路线统统删掉，让学生以为科学一直就是这样做的。库恩称之为革命的「不可见性」。这种改写不是撒谎，而是一种高效的养法：一个学生只需要学会一个典范，教科书就把其他可能都剪掉，省得他分心。剪得越干净，养得越快，可是养出来的人也越只认这一套。

实验室像那口烧腊炉。一台仪器从设计那天起，就是为了测某个典范认为重要的量。它把这个典范的 E（哪些量彼此相关）和 D（先测什么后测什么）铸进了钢铁和电路里。仪器贵，一买就是十几年；一个实验室的空间、经费、技术员，都围着它转。换一个典范，意味着很多仪器测的东西不再要紧，要紧的东西又没有仪器能测。

期刊像那些认招牌的客人。它守着一个典范的门：投来的稿子由同一典范里的同行评审，评审心里那把尺子，就是这个典范的三组合。合尺子的稿子，即使平淡也能过；不合尺子的稿子，即使新奇也常被看作「不规范」「不属于本刊范围」。期刊守门守得严，典范内部的质量就稳；可代价是，门外的东西很难进来。

三样设施加在一起，就是一个典范的基础设施。它们不是中立的工具架子，每一样都按某一套三组合打造。所以，一套设施只能服务一个典范，就像炜记的后厨摆不下一排剁椒坛子。

「不成熟」是高成本下的判词

讲到这里，就能重读库恩对前范式时期的判词了。

库恩举过几个例子，比如电学在富兰克林之前、物理光学在牛顿之前，都是好几个学派并立，各说各的，各有各的实验和解释。他把这种状态叫作前范式时期，并且认为一个学科有了统一的典范，才算成熟。

如果站在成本的角度看，这个判词就要换一种读法。几个学派并立，意味着这个学科要同时养几套教科书、几批实验室、几种评审尺子。在设施昂贵的时代，这是一种巨大的浪费：同样的钱和人，分成三份，每一份都养不壮。统一成一个典范，三套设施并成一套，规模一上来，效率立刻翻倍。所以，「统一」在高成本条件下，确实是最省的路。说它「成熟」，其实是说它「省」。

问题在于，「省」被读成了「对」。一个学科统一之后飞速进步，大家就以为统一本身是科学进步的条件；那些没能统一的学科，被看成幼稚、落后、还没找到门道。可是如果设施的价格降下来，几套并存不再是浪费，「不成熟」这顶帽子就戴不住了。多学派并立，也许不是幼年，而是另一种成年。这是第 8 章提出的反问，这里给出了它的经济理由。

单体化：什么时候确实最省

为了公道，必须说清楚：单一路线在某些问题上不只是省，而且就是最好的。

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 25 章里写过青蒿素。那是一次真实的、巨大的成功：从复杂的药材里找出一个起作用的分子，纯化，定结构，标准剂量，大量生产。这条路我称为单体化路线。它为什么这么成功？因为疟疾这个问题的形状恰好是「一个明确的敌人」：致病的是一种明确的生物，药物只要在它的生命周期里找到一个脆弱点打掉就行。问题的形状与单体化路线的形状对上了，于是所向披靡。

这给成本论划出了一条重要的边：当问题恰好是一个敌人，单一典范不只是成本的产物，它也是问题本身的最佳匹配。这时候并养别的典范，确实是浪费。

可是我在那一章也指出了另一面：成功之后，人们很容易从这一次胜利推出「科学化就只有这一条路」。一次成功被当成了唯一的路。对于那些有效性可能来自多种成分

相互作用的问题，单体化路线也许会漏掉主要的东西；我在那里把它写成一个猜想，留了判输赢的办法，没有当结论。

把这两面放进本书的框架里，就是这样一句话：单一路线在「一个敌人」的问题上最省，成功之后却被误当成了所有问题的唯一路线；这个误会，在高成本时代没人有本钱去检验，因为检验另一条路，要另养一套设施。

三样设施合起来，锁住了一个默认

教科书、实验室、期刊，各自都有道理，合起来却产生了一个谁也没有设计过的后果：它们把「一个学科只该有一个典范」锁成了默认。

这个锁不是谁有意加上的。教科书为了好教，剪掉了旁支；实验室为了省钱，只买一套仪器；期刊为了质量，只用一把尺子。三件事都是理性的，加在一起就成了一道墙。墙里的人看不见墙，只觉得科学本来如此。库恩是站在墙里看科学史的少数清醒者之一，他看清了墙里的结构，却把墙当成了地基。

这就是本编要说的：单典范是多典范在高建造成本下的特例。墙是成本砌的，成本一降，墙就不再是必然。

设施的规模账：越大越省，越省越大

再算一笔规模的账，它解释了为什么墙会越砌越高。

一套设施一旦建起来，服务的人越多，每个人分摊的成本越低。一部教科书，印一千本和印十万本，编写的功夫是一样的；一台大型仪器，十个课题组用和一百个课题组用，买它的钱是一样的；一本期刊，审一百篇和审一千篇，编辑部的架子也差不多。所以，一个典范只要占了先手，它的设施就越用越便宜，新人越容易进来，进来的人又让设施更便宜。这是一个自己加速的循环。

反过来，一个刚冒头的路线，什么都要从零建：没有教科书，学生只能读散落的论文；没有专门的仪器，只能借别人的凑合用；没有自己的期刊，稿子投到主流期刊，被

一把不合身的尺子量。它每一样都贵，所以进来的人少；人少，设施更贵。这是一个自己减速的循环。

两个循环一对比，就明白为什么在高成本时代，一个学科最后几乎总会收拢到一个典范。不是因为后来者一定错，而是因为先到者的设施已经便宜到让后来者无法竞争。这有点像老街上一家开了三十年的老店，客人熟、货源稳、帮厨齐，新店哪怕手艺不差，也很难在同一条街上和它拼同一个菜系。

这笔规模账，是成本论的第二步。第一步说个人只买得起一张票；第二步说共同体的设施越大越省、越省越大，最后把一个典范推成唯一。两步合起来，单典范的局面就完全可以由成本解释，不需要请认识论出场。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。库恩关于教科书改写历史、革命的不可见性的论述，出自《科学革命的结构》第十一章「革命的不可见性」，我只转述大意。前范式时期以电学、物理光学为例，也是书中的材料。科学社会学里关于大型仪器与「大科学」、关于同行评审保守倾向的研究很多，我只取两项。一项是 Boudreau、Guinan、Lakhani 与 Riedl　2016 年在《管理科学》上发表的田野实验：在一所研究型大学的资助评审里随机分派评审人与申请书，新颖度高的申请书得分偏低。另一项是 Wang、Veugelers 与 Stephan　2017 年在《研究政策》上的研究：新颖的论文长期看更可能成为高被引论文，但被认可得晚，短期引用窗口里吃亏，也多发在影响因子低于预期的期刊上。两项研究各有场景，结论强度只到「有偏向」，不到「主流典范把新东西全挡在门外」。

青蒿素的史实与单体化路线的分析，取自我在《人与 AI 一起发生新数学》第 25 章的论述，那里已经把可靠的部分与待核的部分分开交代过，这里不重复细节。

再说边界。

第一，本章没有说统一不好。统一在高成本时代是最理性的选择，在「一个敌人」的问题上至今仍是最好的选择。本章只说，统一的理由是成本和问题形状，不是科学的本性。

第二，本章没有说教科书、实验室、期刊会消失。它们会继续存在，而且仍然是养典范的设施。变的是它们的价格，以及一个共同体能同时养几套。这要到第 27 章才讲。

第三，本章不评价任何具体期刊、机构或评审制度。

粗层级的相反局面：如果设施价格大幅下降之后，那些多学派并立的领域，统一的速度和程度反而比高成本时代更快更深，而且统一之后并不比并立时期多出新问题、新方法，那么「统一是因为省」这一判断就错了，统一更可能是问题本身的要求。

> **带走的话**
>
> 教科书剪掉旁支，实验室只买一套仪器，期刊只用一把尺子；三件事各有道理，合起来把「只有一个典范」锁成了默认。统一在高成本下最省，在「一个敌人」的问题上最好，但它不是科学的本性。

小账　本章补的缝——第 8 章的单典范预设：「前范式时期不成熟」是高成本下的判词；单体化路线在「一个敌人」时最省，成功后被误当成唯一路线。

在圈上的位置——圈外：为什么（为什么共同体过去只养一个典范）。

第 26 章

AI 时代的危机：不是反常，是工具

> 这一章的问题：库恩的危机由解不动的题引起；今天科学界感到的危机，是从哪里来的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街口上有一家图文店，二十多年前开张的时候叫「打字复印社」。许远年轻时去那里打过简历，记得柜台后面坐着两个打字员，一页一页敲，敲完还要校对，一份五页的材料要等到第二天下午。那时候打字是一门手艺，指法快、错字少的打字员，月工资比街上很多人都高。

后来电脑和排版软件便宜了。许远记得，头几年那家店反而忙得不得了：以前一份材料要等一天，现在半小时就出，于是什么都拿来打。学校的卷子、单位的通知、小区的告示、婚礼的请柬，店里添了三台电脑，还排着队。

又过几年，排版谁都会了，店越开越多，老街上一度有四五家。大家比价钱，一页从几块钱压到几毛钱；比花样，请柬上加花边、加烫金、加照片。老板忙得脚不沾地，赚的却不比从前多。许远有一回去复印，听老板跟熟客抱怨：「天天在做，做的东西人家拿回去看一眼就扔。」

再往后，这家店改了招牌，叫「图文设计」。不再以打字为主，接的是门头招牌设计、展板、宣传册、婚庆布置，还给老街几家饭馆做过菜单和外卖海报。庞记那张红底的新菜单，就是这家店设计的。打字这一项还在，墙上贴着「打印复印」四个字，但已经不是店里的主营，也没有人专门靠它吃饭了。

许小满听父亲讲完，问了一句：「那以前的打字员呢？」许远说：「有的学了设计，有的去做别的了。」

——场景是构想的。但这家店走过的四步，是一条常见的路：先忙，再卷，然后长出新行当，最后老行当把份额让出去。

◆ 二、这件事里藏着什么

库恩的危机与今天的危机，不是一回事

先回到库恩。在《科学革命的结构》里，危机的来路是反常：典范内部总有几道题解不动，起初大家以为是技术问题，再努力一下就好；反常越积越多、越积越深，共同体开始怀疑棋盘本身，于是危机到来。库恩的危机，是一个典范内部长出来的病。

今天科学界感到的危机，来路完全不同。不是某个典范里解不动的题越来越多，恰恰相反，是解得动的题解得太快了。我在《人与 AI 一起发生新数学》第 1 章里算过一笔账：一道封闭的、可以检验的、靠已有工具组合就能做成的题，过去要人花几个月，因为人的时间贵、注意力窄；交给机器，成本是电费和等待。一个教授手里积压了几十个「值得做、没时间做」的题，一年之内可能全部清掉。解题的边际成本趋近于零。

这两种危机的差别，可以压成一句话：库恩的危机由反常引起，AI 时代的危机由工具引起。

这个差别有几个后果。

第一，库恩的危机是一个典范一个典范地来的：物理学有物理学的反常，化学有化学的反常，各自的时间表不同。工具引起的危机是同时来的：同一个工具，同时压低了几乎所有典范里「解题」这一段的价格。它不挑学科。

第二，库恩的危机是因为典范不够用了，答案是换一个典范。工具引起的危机不是因为典范不够用，相反，典范还很好用，好用到常规科学一下子就被做满了。答案不是换掉旧典范，而是问：做满之后，腾出来的人和注意力去哪里？

第三，库恩的危机里，主角是反常；工具引起的危机里，主角是价格。谁的价格崩了，谁就先感到危机。

工具让渡律：四个阶段

要看清价格崩了之后会怎样，我借用《新文明的诞生》里提出的工具让渡律。我在《人与 AI 一起发生新数学》第 4 章里已经把它用在数学上，这里把它用在科学的典范上。

工具让渡律的大意是：一种革命性的工具在哪个产业里爆发，哪个产业原来占有的份额就会让出去。让出去有四个阶段，名称不变：扩大期、内卷期、新产业诞生、让渡开始。

图文店恰好走了一遍。

扩大期：排版软件让打字变便宜，产出暴涨，店里更忙。放到科学里，就是 AI 让一个典范里的解题变便宜，论文、预印本、被宣布的「解决」都在暴涨。每个人都比以前更有产出。

内卷期：人人都有同样的工具，大家比的是同一件事，越比越细，越比越累，整体却没有变好。图文店老板说的「做的东西人家看一眼就扔」，就是这一期。放到科学里，就是论文越来越多、读者的注意力不涨，被真正采用的新东西并不等比例增加，评价越来越依赖细小的数字差别。

新产业诞生：内卷到一定程度，有人从旧行当里走出去，做原来不存在的事。打字店长出了设计。放到科学里，问题就是：被工具从解题里腾出来的人和注意力，流向哪里？

让渡开始：旧行当的份额让给工具和新行当。打字还在，但不再是一个能养活一批人的主营。放到科学里，就是「在一个典范里解题」这道工序，把它的主要份额让给机器。

内卷期在典范里长什么样

四个阶段里，内卷期是转折点，值得多看一眼。在一个科学典范里，内卷期有几个不难认出的样子。

第一个样子：同一个典范里的题，被越来越快地清空。过去一个方向要做十年的题，几年就做完了；做完之后，大家发现剩下的题越来越边角，越来越像在一个已经填满的格子里找最后几处空白。

第二个样子：比较越来越细。既然大家都用同一个典范、同一类工具，区分高低就只能靠更小的差别：常数改进一点，误差降低一点，样本多一点。差别越来越小，评价的数字越来越精，可是真正改变别人下一步工作的东西，并没有更多。

第三个样子：同一个典范里的人越挤越多。工具让进入门槛降低了，一个典范里能做的人多了；可这个典范能提出的好问题，并没有跟着变多。人多题少，就卷。

这三个样子合起来，指向同一个出口：一个典范被做满了，再在里面多挤也没有用。出口不在典范之内，而在典范之间。图文店老板如果一直在打字上比价钱，他会被卷死；他转向设计，是因为他看到了打字之外还有一个问题没人答。科学里也一样，做满一个典范的人，最该问的不是「这个典范里还有什么题」，而是「这个典范和别的典范碰在一起，会长出什么新问题」。

我要强调一点：工具引起的危机，比反常引起的危机多了一个好处。反常引起的危机，一个典范病了，只能等它自己想办法，或者等一个天才带来新典范；工具引起的危机，所有典范同时被做满，同时把边界暴露出来，碰撞的位置是成批出现的。这是一场危机，也是一次机会：危机来自工具，出口也就可能借助工具去找。

让出去的是工序，不是学问

这条规律最容易被误读成「工具取代人」。它说的不是取代，是份额转移。

图文店让出去的，是「把字敲进去」这道工序；没让出去的，是「这份东西要给谁看、该长成什么样」。同样，科学让出去的，是「在已有典范里把一道有明确提法的题

解掉」这道工序；没让出去的，是「这个典范看世界的方式本身对不对、够不够，它和别的典范碰在一起会长出什么」。

用本书的话说：让出去的，是典范内部的常规科学，也就是 S 层面的显露的大量生产；没让出去的，是典范本身的发生，也就是新的（Function，D，E）怎样被碰撞出来、沉淀下来。前者是工序，后者是学问。

这就是为什么我说，AI 时代危机的结局不是替代。库恩的危机以替代收场：新典范赢，旧典范退场。工具引起的危机以份额转移收场：旧典范还在，而且被工具做得更满，只是做满它这件事不再值很多钱；钱和注意力流向了典范之间。

新产业诞生那一格，在科学里是什么

工具让渡律里最大的悬念，是第三格：新产业到底长成什么样？

在数学上，我在《人与 AI 一起发生新数学》里给出的回答是：新数学的发生。到将来，对数学家的问法会变成：「你发生了哪些新数学？」

把这个回答放大到整个科学，本书的回答是：新产业，就是科学发生的圈本身。工具把每个典范里的常规科学快速做满，环节一就自动运转起来；做满之后，空白和失效的位置清楚地显出来，碰撞的位置就暴露了；被腾出来的人，去做环节二、三、四：让不同的典范碰撞，在缝上看出涌现，把新的三组合沉淀下来。

这一格在图文店里也看得见。设计这个新行当，不是打字的延长，而是打字被腾出来之后，人手和注意力流到了「这东西该长成什么样」这个问题上。科学里也一样：典范之间的碰撞不是解题的延长，是解题被腾出来之后，人流到了「这个典范该是什么样、它和别的典范碰出什么」这个问题上。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。AI 在解题上的进展，我在《人与 AI 一起发生新数学》第 1 章里按公开报道整理过，2025 年国际数学奥林匹克的金牌水平成绩、2026 年一批埃尔德什问题被解决，都有出处，这里不重复细节。科学研究范式的说法，Jim　Gray 在 2009 年的《第四

范式》里讲数据密集型科学，李国杰在《中国科学院院刊》2024 年第 1 期发表《智能化科研（AI4R）：第五科研范式》，把 AI 驱动的科研称为「第五范式」。这些讨论都看到了工具在改变科学，但它们把工具引起的变化，仍然按库恩的样子讲成「一个新范式取代旧范式」。本书的分界在于：工具改变的是成本结构，结局是份额转移，而不是一个新范式取代旧范式。

工具让渡律本身，是我在《新文明的诞生》里提出的理论框架，在《人与 AI 一起发生新数学》第 4 章里用过一次，也在那里写过三条保留：类比有限度，AI 比计算器通用得多；「新产业诞生」那一格没有保证；这条规律还不是被实证检验过的定律。这三条保留在这里照样有效。

边界还有一条：我说「AI 时代的危机由工具引起」，不是说今天的科学没有反常。各个典范里照样有解不动的题，照样有库恩意义上的危机在酝酿。我说的是，今天让整个科学界同时感到不安的那一层危机，主角是价格，不是反常。

粗层级的相反局面：如果 AI 普及之后，各学科只看到解题岗位缩减，却长期看不到任何新的分工在典范之间出现，比如专门让不同路线碰撞、专门把新路线沉淀成可传授的方法这类工作始终没有冒头，那么「新产业诞生」这一格在科学里就失败了，本章「结局是份额转移而非替代」的判断也要跟着修正。

> 带走的话
>
> 库恩的危机由反常引起，今天的危机由工具引起；前者以替代收场，后者以份额转移收场。让出去的是典范里的解题工序，没让出去的是典范本身的发生。

小账　本章补的缝——第 3 章的伏笔：AI 时代的危机不是反常积累，而是解题的边际成本趋近于零；借工具让渡律四阶段，说明结局不是替代。
在圈上的位置——圈外：为什么（为什么是现在，圈的启动力来自工具）。

第 27 章

独养变并养：一次成本相变

> 这一章的问题：养一个典范的成本降到某个界限以下时，科学的组织形态会发生什么变化？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街的尽头，原来是一家倒闭的百货商店。去年，有人把一楼改成了美食城。许远带着女儿去逛，一进门，小满就数开了：东北饺子、兰州拉面、云南米线、柳州螺蛳粉、潮汕牛肉丸、新疆烤包子，还有一家卖重庆小面的，一共二十几个档口，围着中间的一片桌椅。

小满拉着父亲坐下，问：「爸，南门老街开了这么多年，川粤湘三家就占了整条街。怎么这里一下子能挤进二十几个菜系？」

许远想了想，指给她看。头顶是统一的排烟管道，每家档口接一根；水电是整层统一接好的；收银是一个系统，扫码点单；桌椅、保洁、垃圾清运，都是美食城统一管。「一家档口只要租几平米，带一个灶、一个冰柜、一两个人，就能开张。要是让他们每家都像庞记那样，租一个门面，自己装排烟、请服务员、摆十几张桌子，二十几家，哪一家都开不起。」

小满又问：「那他们会不会做着做着，味道都一样了？」

许远笑了：「你尝尝就知道。排烟管是一样的，螺蛳粉还是螺蛳粉的味，牛肉丸还是牛肉丸的味。」

那天父女俩吃了三家。回去的路上，小满说了一句：「原来不是没人想开，是开不起。」

——场景是构想的。但这里有一个真实的结构：同一块地方，开一个菜系要一整个门面的时候，一条街只容得下三家；开一个菜系只要一个档口的时候，同一层楼容得下二十几家。不是菜系突然变多了，是养一个菜系的成本跌过了一条线。

◆ 二、这件事里藏着什么

两件过去不可能、今天可能的事

把美食城搬进科学，有两件事最能说明成本跌到了哪里。

第一件：一个人几天之内，可以进入一个陌生的典范。

第 24 章讲过，过去进入一个典范要十几年，因为典范的手感只存放在人的身上。今天，一个以某个典范为训练约束的模型，就是这个典范手感的另一种载体。这是我构想的场景：苏知秋做计算材料，过去她要读懂一个隔壁方向的论文，得花几个月补背景；现在她可以让一个守着那个方向三组合的模型，替她用那个方向的眼睛先看一遍她的问题：那边会先切什么、把什么和什么连在一起、怎样合成结论。她不必花十几年买那张票，她是在借那张票上的座位，坐一程。这不是说她几天就成了那个典范的内行，而是说她能在几天之内，看到那个典范会怎样看她的问题。对碰撞来说，这已经够了。

第二件：同一个难题，可以同时让三套三组合各跑一遍。

过去，一个课题组拿到一个难题，只能用自己的典范做。想看别的典范会怎么做，得去找别的课题组，排期、沟通、互相学习，往往一两年也碰不上一次。今天，同一个难题，可以同时交给三个守着不同三组合的模型，各自显露出三道 S，摆在一起看差别。这件事的成本，从「三个课题组合作一两年」降到了「三个模型跑一个下午」。

这两件事合起来，就是美食城里那根统一的排烟管：养一个典范的成本，从养一个门面降到了养一个档口；从养一代人，降到了养一个模型。

相变：不是渐变，是跳一下

成本降下来，科学的组织形态会不会只是慢慢地、一点点地变多元？我认为不是，它更像一次相变。

相变是物理里的说法，日常里最熟悉的是水结冰：温度从十度降到五度，水还是水；从五度降到一度，水还是水；降过零度那条线，水就变成了冰，性质整个换了。温度是连续降的，状态却是跳一下变的。

美食城也是这样。门面的租金从每月三万降到两万，老街上还是只开得起三家；从两万降到一万，也许多开一家。可是当「开一个菜系」从「租一个门面」变成「租一个档口」，成本跨过了一条线，组织形态整个换了：不再是一条街几家店，而是一层楼几十个档口。从「独养」变成了「并养」。

科学里的这条线在哪里？我的回答是：当养一个典范的成本，降到一个共同体能同时养好几套、而不必为了养这一套去饿死另一套的时候。在这条线以上，共同体只养一个典范是理性的，第 24、25 章的账都指向这一点；在这条线以下，并养就不再是浪费，单养反而成了浪费，因为你本来可以用很少的代价同时看到三种眼睛，却只用了一种。

这就是成本论的完整说法：单典范是多典范在高建造成本下的特例；典范模型把养一个典范的成本降到养一个模型，独养变为并养。库恩看到的单典范结构，是这条线以上的状态；本书要讲的科学发生的圈，是这条线以下才可能运转的状态。

相变之后，什么变了

独养变成并养，不只是典范的个数变多。有三样东西跟着变了。

第一，换乘成为日常。在独养的时代，一个人从一个典范走到另一个典范，是一次改行，要付第二张门票。在并养的时代，从一个典范的眼睛换到另一个典范的眼睛，就像在美食城里从这个档口走到那个档口，几步路的事。这就是本书后面反复要讲的「换乘」：不必住进每一个典范，但可以在几个典范之间往来。

第二，碰撞从偶然变成常规。在独养的时代，两个典范碰在一起，要靠两边恰好有人跨界，靠一次偶然的会议、一次偶然的合作。在并养的时代，同一个难题可以常规地交给几个典范同时跑，碰撞每天都在发生。库恩把革命看成罕见的大事，因为在独养的时代，碰撞本来就罕见。

第三，常规科学与碰撞不再是先后两个时期。库恩的科学史是常规科学一段、危机一段、革命一段，再回到常规科学，一段接一段。在并养的时代，每个典范模型都在做自己的常规科学，同时它们之间又在碰撞，两件事同时运转。这就是本书的圈：不是一个时期接一个时期，而是几个环节同时转。成本的相变，是这个圈得以运转的前提。

降成本的载体不对，相变会走反

这里必须加一个限制，否则成本论会变成一句空话。

成本降了，不一定就走向并养。如果降成本的载体是一个统一的大模型，结果可能恰恰相反。Messeri 与 Crockett 在 2024 年《自然》上的文章提醒过这一点：AI 可能让科学走向「认知单一栽培」，大家都用同一个工具，用同一种方式提问，看起来产出很多，理解却变窄了，还以为自己理解得更多。Kleinberg 与 Raghavan 讲的算法单一栽培、Bommasani 等人讲的结果同质化，指的也是同一件事：所有人共用一个底座，结果就趋同。

用美食城来说：如果美食城不是给二十几家档口统一接排烟管，而是自己开一个大食堂，二十几种菜都由同一个厨房、同一个师傅、同一套调料做出来，那它降的成本再多，端出来的也不是二十几种菜系，而是一种「大食堂味」。

所以，成本相变有两个方向。降成本的载体是一个糊着许多典范的统一模型，成本越低，科学越集中，单一栽培越重；降成本的载体是一个典范一个模型，成本越低，科学越多元。这正是第六编要讲的：AI 时代科学的基本单位不是学科模型，也不是通用大模型，而是典范模型。成本论说明了为什么现在可以并养，典范模型说明了怎样并养才不退回单一。

与 Kitcher 划界

在成本论这一块地上，最近的邻居是 Philip Kitcher 1990 年发表在《哲学杂志》（The Journal of Philosophy）上的文章《认知劳动的分工》（The Division of Cognitive Labor）。

Kitcher 讨论的问题是：一个科学共同体面对几条研究路线，怎样把科学家分配到不同路线上才最好？他的一个重要看法是：如果每个人都去追最有希望的那一条，共同体整体反而吃亏，把一部分人分散到看起来不那么有希望的路线上，整体的成功机会更大；而科学家追求声誉的动机，在一定条件下恰好能把人分散开。这是一个很有力的论证，它说明多元在共同体层面是有好处的。

本书与 Kitcher 的分界在一个变量上。Kitcher 讨论的是在给定成本下怎样分工：人数是定的，每个人只能走一条路，问题是怎样分。本书讨论的是成本本身越过阈值时，科学结构发生的相变：当每条路的成本降到一个模型的价钱，问题就不再是「把有限的人怎样分到几条路上」，而是「几条路同时跑，人去做路与路之间的碰撞」。

用美食城来说：Kitcher 问的是，一条街只有三个门面，怎样分给川、粤、湘三家最合理；本书问的是，当一个菜系只要一个档口，这条街的组织形态会变成什么样。前者是在高成本下优化分工，后者是成本跌穿之后组织形态的跳变。两者不冲突：在阈值以上，Kitcher 的分工论是对的；在阈值以下，分工论的问题被改写了，因为路不再需要分，可以并养。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。Fu、Liu 与 Tegmark 在 2025 年的工作《两个 AI 科学家会一致吗？》里观察到，独立训练的 AI 物理学家学出的理论大体一致，却也会分群：简单系统上多学出哈密顿式的写法，系统一复杂又多转向拉格朗日式的写法。这说明模型本身就可以成为不同路线的载体，而且这种分化不需要几十年的培养。Hodel 与 West　2025 年的工作显示，多个模型组成的生态比单一大模型更能缓解知识坍缩；他们的多个模型是把同一批训练数据随机切开分给各个模型得到的。这两条都还不是本书主张的直接证据，但它们说明，「一个模型守一条路」在技术上已经可以看到苗头。

再说边界。

第一，我没有说阈值是一个可以精确算出的数字。它更像一个区间，因学科而异，因典范的复杂程度而异。本章只主张：存在这样一个区间，越过它，组织形态会有一次性质上的变化，而不只是数量上多几个学派。

第二，我没有说并养之后人就不需要深入某一个典范。第 24 章说过，深是门票买来的。并养之后，仍然要有人守一个典范、在里面走深，否则典范模型就没有人来校准、验收。变的是：深不再必须以窄为代价。

第三，本章不对任何科研资助政策表态，评测读数也不进入任何考核。

粗层级的相反局面：AI 普及十年后，如果各学科不是更多元，反而更集中于少数几套框架，论文里用的方法、提出的问题、得出的结论越来越像，那么成本论就错了，至少「成本降低会导致并养」这一环错了。需要说明的是，如果出现这种局面，而当时的主流做法恰恰是一个统一大模型包办一切，那么它同时也是第六编「必须一个典范一个模型」的反面证据；两处要合起来看，分清是成本论错了，还是载体错了。

> 带走的话
>
> 成本降过一条线，科学的组织形态就从独养跳成并养；可载体不对，相变会走反，成本越低越单一。Kitcher 问有限的人怎样分到几条路上，本书问路便宜到一个模型的价钱时，科学会长成什么样。

小账 本章补的缝——第 9 章：单典范是高成本特例；成本越过阈值发生相变，独养变并养；并与 Kitcher 的给定成本分工论划界。
在圈上的位置——圈外：为什么（为什么圈到今天才能首尾相接），并为环节①典范模型立下前提。

第 六 编

环节一：典范模型与常规科学的快速打造

编　序

从这一编起，书进入那个圈本身。前面五编做了三件事：把库恩讲公道，找出他那条线断开的四道缝，给典范一个可以动手的定义 S = Function(D, E)，再用成本论说明为什么从前一个共同体只养得起一个典范。现在要回答的问题是：成本降下来以后，科学的第一环长什么样？

我的回答是一句话，全书称它为定音句：AI 时代科学的基本单位不是学科模型，也不是通用大模型，而是「典范模型」——以一个典范的 (Function, D, E) 为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。

这句话有两半。前一半说的是「守」：一个模型守一个典范，在这个典范之内把常规科学又快又满地做完。后一半说的是「碰」：守住的目的不是关起门来自给自足，而是让它能被拿出来，跟别的典范模型碰撞。前一半是本编的事，后一半是第七编的事，但两半不能拆开读，拆开了，前一半就成了「各自为政」，后一半就成了「一锅乱炖」。

本编六章。第 28 章立定音句，说清它否定了什么；第 29 章证明模型从来就带着典范，问题只是守一个还是糊许多；第 30 章正面回答为什么不能交给一个统一大模型，并迎战三份最强的反方材料；第 31 章与最近的邻居对撞，给出一个能被现实打脸的对立预言；第 32 章给出边界判据和三项验收；第 33 章讲环节一怎样喂养环节二：成功的点越填越挤，失效的空白越试越清楚。

第 28 章

典范模型：一个典范一个模型

> 这一章的问题：AI 进到科学里以后，做科学的最小单位，到底应该按什么来划？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街上那三家馆子，庞记的川菜、炜记的粤菜、谭家的湘菜，开了很多年，街坊吃惯了。今年开春，一家外卖平台的业务经理挨家上门，带来一份方案，名字很响，叫「中央厨房共享计划」。

方案的意思是这样的：三家不必各养一个灶房了。平台在城郊建一个中央厨房，一套最新的设备，一个统一的配方库，一个大厨团队。顾客在手机上照样看到「庞记」「炜记」「谭家」三块招牌，点哪家的菜都行，但菜全部从中央厨房出。经理算了一笔账：房租省一半，人工省三成，出餐快一倍。他还补了一句，配方库是用三家这些年的菜「学」出来的，味道「八九不离十」。

庞秀芳听完，没急着表态，问了一句：「你那中央厨房的红油，谁熬？」

经理说，统一熬，一锅出，三家共用，省事。

庞秀芳笑了：「那就不是我的红油了。我熬红油，辣椒先用菜籽油泼，再下第二遍，香料什么时候下、下多少，跟我做什么菜连着的。你一锅出，给粤菜也用，给湘菜也用，那锅油要照顾三家，就谁也照顾不好。」

黄炜的话更直：「我的菜靠的是一个『鲜』字，火候差几秒就老了。你中央厨房出餐，路上再走二十分钟，这个鲜字就没了。你学得出我的配方，学不出我那几秒。」

谭老三干脆不说话，拿出他腌了一冬天的剁辣椒，舀了一勺给经理尝。经理辣得直吸气。谭老三这才开口：「你那配方库要是把我这一勺也放进去，粤菜的客人吃不消；要是不放，那就不是谭家。」

三家都没签。可是故事有一个容易被忽略的后半段。三个月后，许远带着女儿许小满去老街吃饭，发现三家的后厨都变了：庞记添了一台切配机，刀工的活快了一大截；炜记换了一套火力更猛、更稳的新炉灶；谭家的冷库换了新的，腌菜的温度稳了。三家都用上了新机器，出菜都比以前快，有的设备还是跟那家平台买的。

许小满看出了门道，问她爸：「他们不是不要机器啊？」

许远说：「机器可以用，手艺不能拌在一起。一拌，三家就成了一家。」

许小满又问：「那以后三家要合出一道新菜呢？」

许远想了想：「那得先各是各的，才有得合。」

这父女俩的两句话，正好是这一编的两个半句。

◆ 二、这件事里藏着什么

定音句

先把那句话完整地写出来。AI 时代科学的基本单位不是学科模型，也不是通用大模型，而是「典范模型」——以一个典范的 (Function, D, E) 为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。

这里的「典范」，用的是第四编给出的定义。E 是特征纠缠系统，白话说，就是这个典范看世界时把什么和什么连在一起；D 是差异序列，就是它怎样切分问题、按什么次序展开；Function 是把 D 与 E 合成显露的方式。一个典范，就是这三样东西的固定组合。S 读作「显露」，不在定义里面，它是这个三组合碰到一个难题时显露出来的东西。

所以「以典范为训练约束」，意思是：训练这个模型时，我们要的不只是它答对题，而是它答题的方式始终是这一套三组合。答案可以千变万化，就像庞记的菜道道不同，三组合却不能走样，就像庞记的菜一尝就是川菜。

外卖平台的中央厨房，偏偏是要把三套三组合合进一个灶房。它省下的是房租、人工，丢掉的是三股味道。

这个定音句之所以要用三个否定来立，是因为今天谈「AI 做科学」，人们心里默认的单位，大致就是这三种。

第一个否定：不是学科模型

最容易想到的划法是按学科：蛋白质一个模型，材料一个模型，气象一个模型。这几年最响亮的成绩，大多就是这样来的。

DeepMind 的 AlphaFold 管蛋白质结构，2020 年前后在国际蛋白质结构预测评测上取得了突破性的成绩，开发者后来分享了 2024 年的诺贝尔化学奖。同一家公司的 GNoME 管晶体材料，2023 年 11 月在《自然》上报告预测出约 220 万种新晶体结构，其中约 38 万种被列为最稳定、最值得去实验合成的候选。这些都是了不起的工作，我在本书里不贬低它们。

可是请看它们是按什么划的：按「对象」，按「这是哪个学科的事」。蛋白质结构这件事，在生物学、化学、物理里，其实有不止一种看法：有从序列演化的相关性去推的，有从原子之间的力去算的，有从能量面上找最低点的。一个学科里，常常并存着不止一个典范；一个典范，也常常跨好几个学科。学科是大学里院系的划法，是行政与教学的单位；典范是看世界的单位。两者重叠很多，但不是一回事。

按学科划出来的模型，里面当然也有典范，往往是那个学科里当下最强的那一个，或者是训练数据里占多数的那几个混在一起。只是这个典范没有被说出来，没有被当作约束，也没有准备好拿出来跟别的典范碰。它守的是一块地盘，不是一种手艺。

第二个否定：不是通用大模型

第二种默认是：既然大模型什么都会，那就让一个通用大模型来做所有的科学，物理问它，化学问它，数学也问它。

这就是那个中央厨房。它的问题我放到第 30 章细讲，这里只先说一句：一个模型要同时服务很多典范，它就只能在各典范之间求一个折中。折中在解题上常常很好用，在保存典范上却是致命的。红油要照顾三家，就谁也照顾不好。

第三个否定：不是按数据随机切分的多模型

第三种默认更隐蔽，也离本书最近：既然一个大模型会单一化，那就多训几个，把数据分成几份，每个模型吃一份，或者每个模型从不同的来源吃起，这样就多样了。

这条路是有道理的，第 31 章会专门讨论最近一项这么做的研究。可是按数据切，切出来的是几个「吃的东西略有不同」的模型，它们看世界的方式可能仍然是同一套。打个比方，同一家川菜馆在河西、河东各开一家分店，各自进各自那边菜市场的菜，菜不一样，红油是同一锅方子熬的。多样性只在原料上，不在三组合上。

「能与其他典范模型碰撞」这半句

定音句的后半句，常常被读漏。一个模型守住了一个典范，还不够格叫典范模型，它还必须「能被碰」。

能被碰，至少要三样东西。第一，它的三组合要能被说出来：它把什么和什么连在一起，按什么次序切问题，用什么方式合成，这些要能从它的产出里认出来，不能是一团说不清的东西。第二，它要会说自己在哪里不行，也就是第 32 章要讲的失效地图。一个只报喜、不报忧的模型，别人没法找到跟它碰的位置。第三，它的产出要落在一个共同的形式里，也就是 S = Function(D, E) 这个方程的形式，这样另一个典范模型的产出才能跟它对上位置，追问分歧出在 Function、D 还是 E。

三家馆子都没签那份合同，可是他们没有关门自守。许小满问的那句「以后要合出一道新菜呢」，就是这半句。各是各的，是为了以后有得合。

苏知秋的一个下午

再用一个离科学近一点的构想场景，把这件事落到研究里。这是我构想的场景。

苏知秋做计算材料，研究一种合金在受力时从哪里开始裂。这件事在她的领域里，大致有三种看法：一种从原子和原子之间的力出发，一个原子一个原子地算；一种把材料当作连续的一整块，切成网格，算应力往哪里集中；还有一种把裂和不裂看作两种「相」，追踪它们之间的界面怎样移动。三种看法，各有各的连法、切法和合法，粗略地说，就是三套三组合。

她的导师过去的做法是：组里只做第二种，因为组里的软件、经验、学生的训练都在那一套上，养不起第三种。这正是第五编说的独养。

现在她手里有 AI 了。最省事的做法，是把问题丢给一个通用大模型，让它综合一下给个答案。她试过，答案读起来很顺，三种看法的话都说到了，就是说不出到底是哪一种在说话；问到关键处，它会在三种之间来回滑。她后来换了个办法：分别准备三个各守一套看法的模型，让它们各自把能算的都算完，各自交出自己算不动的地方。三份报告摆在桌上，她第一次清楚地看见，三种看法在同一个位置上意见不一，而这个位置恰恰是她导师十年来绕开的那一处。

这个下午的价值，不在任何一个模型算得多好，而在三个模型「各是各的」。

守住之后做什么：把常规科学快速做满

定音句立住了单位，还要说这个单位在环节一里干什么活。我把它说得直接一些：AI 时代的多元化，必须依靠基于不同科学典范的大模型，来实现单一典范下常规科学的快速打造；每个大模型都是典范多元化下的 AI，而不是一个统一的大模型来做不同的典范科学。

这句话里有两个词要拆开看。一个是「单一典范下」。典范模型在环节一里不跨典范，它就在自己那套三组合里干活，像庞记的灶房只出川菜。这不是保守，而是分工：跨典范的事，留给环节二的碰撞去做。一个模型如果一边做常规科学一边偷偷借别家的手艺，它做出来的常规科学就不纯了，以后碰撞时也说不清分歧出在哪里。

另一个词是「快速打造」。库恩笔下的常规科学，是一个共同体几十年在一个典范里解谜，一道一道题慢慢填。典范模型把这件事压缩了：一个典范里那些封闭的、可检

验的、靠组合的题，它可以在很短的时间里成批地做掉。庞记添了切配机，刀工的活快了，红油还是庞秀芳的红油。手艺守住了，活做快了，这就是快速打造的意思。快到什么程度、快了以后会发生什么，是第 33 章的事。

所以，典范模型在环节一里，是一个守着自己手艺、又装上了快机器的灶房。守，保证多元不退回单一；快，保证常规科学不再耗掉一代人。两样缺一样，都不是本书说的典范模型。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。库恩自己在 1969 年的后记里，把「典范」一词收紧，分出「学科基质」与「范例」两层：前者是一个共同体共享的一整套东西，后者是可以模仿的具体解题样板。库恩强调，学生是靠反复做范例、而不是靠背规则学会一个典范的。这一点对本书很要紧：模型恰恰是靠大量范例训练出来的。库恩那里只能一代人一代人传的东西，今天可以压进一个模型里去，前提是我们知道要压进去的是什么。本书的回答是：压进去的不是一堆结论，而是那个三组合。

再说划界。我不反对学科模型，AlphaFold、GNoME 这类工作在它们的问题上是当下最强的，第 32 章的验收里，它们正是典范模型必须面对的对手。我也不认为通用大模型没用，在解题、检索、写作上，它是极好的工具，三家馆子用的新机器里，就有它的份。本章反对的只是一件事：把它们当作科学的「基本单位」。基本单位的意思是：科学的增长、保存与碰撞，要以它为单位来组织。学科模型守的是地盘，通用模型守的是平均，按数据切的多模型守的是原料的差别，都不是三组合。

还要说清一个容易误会的地方。「一个典范一个模型」，不等于一个典范必须从头单独训练一个底座。几个典范模型可以共用一个底座，只要它们的三组合各自守住，不互相渗透。什么情况下算守住，什么情况下算混了，是第 32 章边界判据的事。

最后是粗层级的证伪。我不要求现在就知道怎样做一个精确的实验，只说什么大局面出现，本章就错了。第一种局面：AI 普及之后十年左右，做出最多新理论、新方法的，始终是一个不分典范的统一模型，而刻意按典范分开的系统，在产生新理论上明显

不如它。第二种局面：人们无论怎样训练，都做不出能从产出中被认出三组合的模型，局外人拿到几组产出，分不出哪组属于哪套三组合。出现第一种，定音句的「基本单位」一说就错了；出现第二种，典范模型这个东西就造不出来，本编要整个重写。

> **带走的话**
>
> 机器可以共用，手艺不能拌在一起。AI 时代科学的基本单位，是守住一个 (Function, D, E)、又能拿出去跟别人碰的典范模型。

小账　本章补的缝——库恩的「单典范预设」：一个共同体只守一个典范；本章把守典范的单位从共同体换成模型，一条街可以同时开三家。

在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学（本章立单位）。

第 29 章

模型从来就受典范约束

> 这一章的问题：有没有一个不带任何典范的模型？如果没有，「通用」二字到底是什么意思？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满从小跟奶奶住在长沙河西，说话一口长沙腔，「吃饭」说成「恰饭」，句尾爱带个「咯」。上了高一，班上有个从北方转来的同学，第一天就笑她口音重。许小满不服气，回家问她爸：「爸，他说话就没口音？」

许远想了想，说：「有啊，他是北方口音。」

「那新闻联播里的主持人呢？总没口音了吧？」

许远这回没有马上回答。他在调度室干了二十年，天天听全线各站的人报话，什么口音都听过，他想了一会儿才说：「也有。那叫普通话，是定了一个标准，以北京那一片的发音为底子。听着像没口音，是因为大家都照着它学，听惯了。」

许小满不太服气：「那就是说，世界上没有不带口音的嘴？」

「没有。」许远说，「你学英语，老师说要学标准发音，标准发音也是英国某个地方、美国某个地方的口音。所谓没口音，就是那个听的人最熟的口音。」

许小满想了一会儿，又问了一个更难的问题：「那要是有个机器，把全国各地的人说的话都听一遍，学出一个『平均口音』来，那个算不算没口音？」

许远笑了：「那就是一个谁家都不是的口音。听着谁都不刺耳，可是你要它说一句地道的长沙话，它说不出来；要它说一句地道的东北话，它也说不出来。全国哪个地方的人听了，都觉得不像自己家里人。」

许小满点点头，又加了一句：「而且它学的那些话里，哪个地方说话的人多，它就更像哪个地方。」

这一句，她说对了。这一章要讲的，就是模型的口音。

◆ 二、这件事里藏着什么

一个我熟悉的证据

我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过一件事，这里换一个角度再讲一次。

我做了二十年网格生成。网格是什么，我在那本书里用很多篇幅讲过：要算一座桥、一块零件、一片气流，先把它切成许多形状简单的小块，每个小块里只用一条最简单的规则去近似，再把小块拼回去，交给机器去解一个很大的方程组。这套办法叫离散化，有限元是它最有名的一支，今天的汽车、飞机、楼房，几乎都在某种网格上算过。我把它看作旧数学最大的实用胜利之一，到今天也这么看。

在那本书里，我把这套办法背后的默认概括成三件事。第一，世界可以被切，单元之间的联系是靠共享的边和顶点后接上去的。第二，切法由外面决定，网格是工程师放上去的，不是对象自己长出来的。第三，每个单元里只需要简单的规则，复杂性被推到单元与单元的接缝上。这三件事，合起来就是一个典范：用本书的话说，E 是外部给定、可以分开的关系，D 是点化、切单元，Function 是局域的加总。

近些年，人们开始训练神经网络去「代替」繁重的网格计算：给它看大量已经算好的例子，让它学会直接猜出新输入下的结果。这类所谓的代理模型，在不少场合快得惊人。可是我在那本书里提醒过：请看它学的材料是什么。是网格上算出来的数。它继承了网格的世界观，只是把算的速度提上去了。在这一点上，它是旧数学的加速器，不是另起炉灶。

这件事放到本书里，意思就更清楚了：一个模型从网格的产出里长大，它就带着网格的三组合。它不会因为是神经网络、不会因为没有人给它写过一行有限元的代码，就摆脱了那套连法、切法和合法。它学到的不只是数字，还有数字背后那个看世界的姿势。

这就是模型的口音。

推论一：没有不带典范的模型

把这个证据推开一步：任何一个模型，都是从某些产出里训练出来的，而任何产出，都是某个三组合碰到某个难题时的显露。所以，模型从它吃下的显露里，学到的必然有那些三组合的痕迹。

这一点不需要什么高深的论证。一个只读过网格计算结果的模型，带着网格的口音；一个只读过某一派经济学论文的模型，带着那一派的口音；一个读遍了整个互联网的模型，带着互联网上占多数的那些口音。没有哪一个模型是从「没有口音的话」里学出来的，因为世界上根本没有这样的话。

库恩其实早就看到了人身上的这件事。他说科学家是通过一个个范例学会一个典范的，学会之后，看东西的方式就变了，同一张图，受过训练的人和没受过训练的人看到的不是一回事。模型的训练，本质上就是范例的大量反复，所以它学会的，也是一种看的方式，而不只是一堆答案。

推论二：「通用」是多数口音的平均

既然没有不带典范的模型，那么所谓「通用大模型」，它的「通用」是什么意思?

我的读法是：它把训练语料里的许多典范，按它们在语料里的分量，平均了进去。哪个典范写下的东西多、被转述得多、被教科书收得多，它的分量就重。许小满说得对：哪个地方说话的人多，平均口音就更像哪个地方。

这件事有两个后果。第一个后果，通用大模型天然偏向当下的主流典范。主流典范的显露最多，它学得最熟；边缘的典范、刚冒头的典范，显露少，它学得浅，常常被当作噪声抹平。第二个后果，它在各典范之间的那个「平均位置」，往往不是任何一个真实典范的位置。就像平均口音，听着谁都不刺耳，却不是任何一个地方的人在说话。

所以，说一个模型「通用」，并不是说它超越了典范，而是说它的典范被混在一起，混到说不清了。

问题换了一个问法

这一章最要紧的结论，是把问题换一个问法。

过去讨论 AI 与科学，常有一种担心：AI 会不会把某种偏见、某种框架带进科学里？好像有一个选项是「不带框架的 AI」，我们要努力接近它。

这个选项不存在。模型从来就受典范约束，不管我们愿不愿意，也不管我们说不说出来。所以问题不是要不要典范，而是：让一个模型守住一个典范，还是让一个模型糊着许多典范？

守住一个，意味着我们知道它的口音是什么，可以把它的三组合说出来，可以用它在这个典范里把常规科学做满，也可以把它拿去跟另一个口音的模型碰。糊着许多，意味着它的口音是一锅混的，我们说不清它在什么时候用哪一套，它给的答案读起来很顺，却没法回溯到任何一个三组合上去。

许小满后来跟那个北方同学成了朋友。两个人有一次互相教对方说家乡话，笑成一团，各自都多学会了几个词，也都更清楚自己原来的口音是什么样子。这件小事，是第七编的一个预告：碰撞要求先有口音，而且口音要清楚。平均口音跟谁都碰不出火花，因为它自己就是一锅已经拌匀的东西。

苏知秋的代理模型

再回到苏知秋那里。这是我构想的场景。

她组里前两年训练过一个代理模型，用来代替那套很慢的网格计算，预测合金在不同载荷下哪里应力最大。模型很快，准确率也不错，组里人人都用。有一次，她拿它去预测一个带细小裂纹的样品，结果裂纹的走向，几乎贴着原来网格线的方向。她觉得不对，回去翻训练数据，才发现训练用的计算结果，本身就有网格走向的影子：网格计算里，单元的边是现成的「缝」，裂纹倾向于顺着缝走，这是做数值计算的人都知道的老毛病。模型把这个毛病也学去了，而且学得很老实。

她跟导师讲这件事。导师说：「这不是模型的错，是我们喂给它的那套东西本来就这样。」苏知秋说：「那它就不是一个『代替网格』的模型，它是一个『更快的网格』。」

这句话很准。代理模型没有离开网格的典范，它把网格典范的常规科学做得更快了。这本身是好事，环节一要的正是这种快。问题只在于，你得知道它是哪个典范的模型。不知道的时候，你会以为它看见的是材料本身，其实它看见的是网格眼里的材料。

后来苏知秋给组里提了一个小改动：以后每训练一个模型，先在说明书的第一页写清三行字，它的训练材料出自哪一套看法，那套看法把什么和什么连在一起，按什么次序切问题，用什么方式合成结果。组里有人嫌麻烦，说模型准就行了，管它什么口音。她举了那个裂纹的例子：模型准，是在网格典范自己的题上准；一旦题目落到网格典范的边上，它的准就成了一种看不见的偏。说明书第一页那三行字，就是让用的人知道，这个模型在哪里可以放心，在哪里要多问一句。

这三行字，其实就是把模型的三组合写出来。写出来，它就从「一个带着说不清口音的模型」变成了「一个守着某个典范的模型」，后者才有资格进入下一步：在本典范里放心地做满常规科学，在本典范的边上主动报出自己的失效。第 32 章的验收，就是从这三行字开始的。

口音不是缺点，糊了才是

最后说一句，免得这一章读成「模型都有偏见，所以要小心」。这不是本章的意思。

口音不是缺点。长沙话有长沙话的好，能说出普通话说不出的味道；网格典范有网格典范的好，能把一座桥算得清清楚楚。一个典范，就是一种把世界看清楚的方式，它看得清楚，正是因为它有所取舍，把某些东西连在一起，把另一些东西放在外面。没有取舍，就什么也看不清。

缺点在于糊。糊了，取舍就说不清了：这一句是哪个典范在取舍，那一句又是哪个典范，混在一起，听的人分辨不出。科学最怕的不是有立场，而是立场说不清。立场清

楚的错误可以被找到、被碰撞、被改写；立场说不清的正确，反而没法接着往下走，因为没人知道它是从哪里来的。

◆ 三、证据与边界

旁证之一，就是上面说的网格代理模型。我在《人与 AI 一起发生新数学》里对它的判断是：它目前是旧数学的加速器，而不是另起炉灶，这不是批评，而是「把旧工具全部试一遍」的起点。本书沿用这个判断，并把它推广为一条一般的命题：模型继承它训练材料里的典范。

旁证之二，来自对大模型的一些观察。不少研究者注意到，大语言模型的产出带有语料中多数语言、多数文化的倾向。举一个例子：Tao、Viberg、Baker 与 Kizilcec 2024 年在《PNAS Nexus》上报告，他们测试的五代 GPT 模型，在文化价值观的问卷上都更接近英语国家和新教欧洲国家的人群。这里只取「倾向随语料分布」这一粗判断。这类观察，与「通用是多数口音的平均」这个读法是一致的。我不把它当作证明，只当作一个方向相同的信号。

旁证之三，来自第 31 章会细讲的 Fu、Liu、Tegmark 在 2025 年的工作：独立训练的「AI 物理学家」，在同样的问题上并不总是收敛到同一套说法，有时分成两群，一群接近哈密顿量的说法，一群接近拉格朗日量的说法；他们还看到，系统简单时模型多偏向哈密顿的写法，系统复杂起来就转向拉格朗日的写法，而训练时的随机种子对最后落到哪一派影响很大。这件事从反面说明，模型不但带典范，而且在条件稍有不同时，会长出不同的典范。

再说边界。我不是说模型只会复读训练材料里的典范，一点新东西都长不出。模型在一个典范的内部，可以做出大量新的解，这正是常规科学；在一定条件下，它也可能长出不完全属于任何一个已有典范的东西。本章只主张一件事：模型出发的地方，永远是某个或某些典范，不存在一个中立的起点。

还要说清：这里讲的「典范约束」，有时是好事。网格典范在它擅长的地方是最结实的东西，代理模型把它加速，是实打实的贡献。我要的不是摆脱典范，而是知道自己用的是哪一个。

粗层级的证伪：如果有人做出一个模型，把它的产出交给各个领域的行家去辨，行家们普遍认不出它带着哪一种或哪几种看问题的方式，而且它在各个典范各自擅长的难题上，都和守那个典范的模型做得一样好、一样地道，那么「没有不带典范的模型」这个命题就站不住了，至少它就不再重要。反过来，如果「通用」模型的产出总是被行家一眼看出偏向主流、在边缘典范上发虚，本章的读法就得到支持。

> **带走的话**
>
> 世界上没有不带口音的嘴，也没有不带典范的模型。问题从来不是要不要典范，而是让一个模型守一个，还是糊许多。

小账　本章补的缝——库恩把典范看作人的共同体的事，没有讨论工具本身带着典范；本章指出模型继承训练材料里的三组合，「通用」是多数口音的平均。
在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学（本章说明为什么必须守一个）。

第 30 章

为什么不能用一个统一大模型

> 这一章的问题：一个什么都会的统一大模型，为什么反而会让科学变单一？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远所在的地铁运营公司，有一个职工食堂，管着调度中心、车辆段和几个大站上千号人的午饭。职工从天南地北来：有湖南本地的，有四川、广东来的，也有东北、江浙来的。过去食堂分三个窗口，一个湘菜，一个川菜，一个面食和清淡的，各窗口一个大师傅，各做各的。

前年食堂换了承包方，新经理是做连锁餐饮出身的，讲究标准化。他做了一次全员问卷，问大家对菜的口味打分，然后合并窗口，统一一份菜谱，按问卷的「综合满意度」来调口味。辣度取中间，咸淡取中间，油量取中间。头一个月，投诉少了：没有人觉得太辣，也没有人觉得太淡。经理很得意，在月度会上展示满意度曲线，平平稳稳，一点毛刺都没有。

到了第三个月，事情变了。投诉没有多，可是来吃饭的人少了。许远注意到，调度室里四川来的小伙子开始自己带饭，盒子里是家里寄来的豆瓣酱拌的菜；广东来的女同事中午宁可去站外吃一碗肠粉；谭家馆子的外卖，在车辆段的门房堆成了小山。食堂里剩下的人，吃得也不香，大家的评价出奇地一致：「不难吃，也说不上好吃。」

许远有一回跟食堂的老师傅聊天。老师傅以前管川菜窗口，现在归在统一灶上。他说了一句很实在的话：「我现在炒一锅回锅肉，辣椒要减，豆瓣要减，花椒干脆不放，说是有人吃不惯。减完了，那还叫回锅肉吗？那叫炒肉片。湘菜那边也一样，剁辣椒减了一半，粤菜那边要的鲜，统一灶上大锅炒，也出不来。三个窗口的菜，现在吃起来是一个味。」

许远问：「满意度不是挺高吗？」

老师傅说：「问卷问的是『你满不满意』，没问『你还来不来吃』，也没问『这还是不是那道菜』。」

这件事里最值得琢磨的，是那条平平稳稳的满意度曲线。它没有骗人：每一道菜，确实都没有让任何一个人觉得太过分。它只是在读一个影子，而那个影子背后的东西，三股味道，已经没了。

◆ 二、这件事里藏着什么

平均就是单一化

统一大模型面对的处境，和这个食堂一模一样。

一个模型要同时服务许多典范，训练它的时候，它在每一个典范的产出上都要得分，得分的标准是一个统一的损失。为了在所有典范上都不太差，它最省力的办法，就是找一个各典范之间的折中位置：在川菜面前少放点辣，在粤菜面前多放点盐，最后哪边都不得罪。第 29 章说过，这个折中位置往往不是任何一个真实典范的位置。

平均本身不是坏事。在解题上，平均常常是好事：一道题有标准答案的时候，综合各家之长，往往比哪一家都准。可是保存典范不是解题。一个典范之所以是一个典范，恰恰在于它的取舍：它坚持把某些东西连在一起，坚持按某个次序切问题，坚持用某种方式合成。这些坚持，在别的典范看来都是「过头」。把过头的地方都削平，剩下的就是一个谁都不得罪、谁也不是的东西。

所以我说：统一大模型在各典范之间求平均，平均就是单一化。大食堂做出来的川菜不辣、粤菜不鲜。这里的「单一」，不是说它只会一种菜，它菜单上可能有一百道菜；而是说一百道菜底下只有一个味型、一个次序、一种合法，只有一套三组合。

对手一：认知单一栽培

这个判断不是我一个人担心。最有分量的一份警告，来自人类学家 Lisa Messeri 与心理学家 M. J. Crockett，他们 2024 年在《自然》上发表的文章，讨论 AI 在科学研究中带来的「理解的幻觉」。

我把他们的主要意思转述如下，不照抄原文。他们梳理了科学家对 AI 的四种期待：把 AI 当作能读遍文献的「神谕」（oracle），当作代替难以获得的数据与实验对象的「替身」（surrogate），当作处理海量数据的「计量者」（quant），当作比人更中立、能裁决分歧与评审的「仲裁者」（arbiter）（四种称呼的中文译法为本书所拟）。他们指出，这些期待会让科学家产生三种错觉：解释深度的错觉，以为自己理解得比实际更深；探索广度的错觉，以为自己探索的范围比实际更广，其实研究在往 AI 能测的地方漂；客观性的错觉，以为 AI 给的结果要么包含所有立场、要么没有立场。更要紧的是，他们警告，科学可能走向「单一栽培」：某些方法、问题和视角压倒了其他做法，适合 AI 处理的问题、适合 AI 的研究方式被大量种植，其他的问法、其他的认识方式被挤出去。

这个警告我完全接受，而且我认为它说得很准。可是我要问一句：单一栽培是在什么条件下发生的？

请看他们描述的情形，背后有一个默认：大家用的是同一类工具，同一类工具背后是同一种看问题的方式。就像那个食堂，单一化不是因为有了大灶，而是因为三个窗口被并成一个灶，按一个统一的满意度去调。

所以我的回答是：单一栽培只发生在「一个统一模型」的条件下。不是 AI 让科学单一，是「一个模型服务所有典范」让科学单一。如果 AI 进入科学的方式是一个典范一个模型，每个模型守住自己的三组合，那么 AI 越多，被养活的典范就越多，种的就不是一种庄稼，而是一片间作的田。典范模型不是对这个警告的否认，而是对它的解药。

我要说清分寸：Messeri 与 Crockett 并没有提出「按典范分模型」这个方案，他们的文章以诊断为主。把他们的诊断接到本书的药方上，是我的读法，不是他们的主张。

对手二与对手三：算法单一栽培与结果同质化

另外两份材料来自计算机科学与经济学的交界。

Kleinberg 与 Raghavan 在 2021 年讨论过「算法单一栽培」：当很多决策者，比如很多家公司招聘，都用同一个算法去筛人时，即使这个算法单独看比各家自己的办法更准，整体的结果也可能变差，因为大家犯的错是同一种错，被这个算法看错的人，到哪一家都被看错。他们那篇发表在美国《国家科学院院刊》上的文章，模型很简单：两家公司先后各招一人，可以各用自己的面试官，也可以共用同一个算法排序；结果是，即使算法比面试官准，两家都改用它之后，整体招到的人反而可能更差。Bommasani 等人 2022 年在 NeurIPS 上进一步讨论「结果同质化」：同样一批人、同样一群人，在许多不同的系统里是不是总得到同样的结果。他们的担心是，当许多系统建立在共用的数据或底座模型上，同一批人会在许多系统里同时被判错，没有一个地方能接住他们；他们的实验对这一点给出了支持，但也发现，底座模型的情形要看怎样把它改装到具体任务上，并不一律。

这两份材料讲的是社会决策，不是科学，但道理可以直接搬过来。在科学里，「被看错的人」换成「被看错的问题」：一个统一模型在某类问题上的盲点，会同时出现在所有用它的实验室里。过去，一个典范看不见的东西，另一个典范的人也许看得见；大家都用同一个模型以后，所有人的盲点长在同一个地方，没有人能从旁边提醒。食堂里那三个月，川菜师傅的回锅肉减成了炒肉片，没有另一个窗口还在做真正的回锅肉，大家就渐渐忘了回锅肉本来是什么味道。

他们诊断了病，没有开药方，或者说，开的药方是「多用几个不同的算法」。本书的药方更具体：按典范分模型。不同的算法如果背后是同一套三组合，它们的盲点仍然会长在一起；只有三组合不同，盲点才会错开。这一点，第 31 章会和按数据切分的方案对撞。

统一模型读投影，典范模型读状态

为什么平均会丢掉典范？我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过一个更一般的道理，这里借来用。

在那本书里，我用修车师傅读仪表盘的例子说明：仪表盘上的一盏灯，是对车的整体状态的一个「投影」，投影就是把一个很大的东西压扁，只留下一个方向上的影子。投影有一个重要的性质：不同的东西，可以有相同的影子；同一个东西，也可以投出不同的影子。从状态到指标的映射，是多对多的、丢信息的。只在指标层面工作的人，会一再遇到「同样的指标，应当做不同的事」。

统一大模型的训练与评测，本质上是在读投影。它用一个统一的损失、一组统一的基准分数，去衡量它在各典范上的表现。每一个分数，都是对某个典范的状态的一个投影：答对了多少题，误差有多大。一个典范的状态，它那套三组合是不是还完整，它的取舍是不是还在，这些在分数里是看不见的。就像那条满意度曲线，读的是「满不满意」这个影子，读不到「这还是不是回锅肉」这个状态。

典范模型读的是状态。它的训练约束不是「在所有题上平均地好」，而是「始终是这一套三组合」。检验它时，除了问答对多少，还要问：它的产出还认得出是这个典范吗？它在边上失效的样子，是这个典范该有的失效样子吗？这些问题，第 32 章要做成验收。

一个反方事实：通用的 GPT-4 胜过专用的 BloombergGPT

有一个反方事实，必须正面迎战。

2023 年，彭博公司发布了 BloombergGPT，一个约 500 亿参数的大模型，训练语料里约 3630 亿个词元来自金融数据，另有约 3450 亿个来自通用数据，目标是在金融任务上胜过同等规模的通用模型。同年，Li 等人做了一项比较研究，把 ChatGPT、GPT-4 放到八个金融文本数据集上去考，发现通用的 GPT-4 在情感分析、新闻标题分类、金融数值问答等几项上都高过 BloombergGPT 报告的成绩，只在命名实体识别一项上不如

它；作者的结论大意是，通用模型在金融任务上的表现好过专门用金融语料训练的BloombergGPT。这件事常被拿来证明：专用模型没有前途，通用大模型会吃掉一切。

如果这个结论成立，本书的定音句就有麻烦了：典范模型也是一种「专用」，专用打不过通用，典范模型岂不也一样?

我的回答分两步。

第一步，BloombergGPT 是按什么专用的？按领域，按语料。它是「吃了很多金融文字的模型」，不是「守住了某一个金融典范的模型」。金融里面，至少有几种很不同的看法：有把价格看作信息汇总的，有把市场看作行为偏差堆积的，有从资产负债表的连锁去看风险的。BloombergGPT 并没有选定其中一套三组合去守，它把这些混在金融语料里一起吃了下去。所以它是一个「学科模型」，或者说一个「领域的通用模型」，正是第 28 章第一个否定所否定的东西。它输给更大的通用模型，说明的是「更多数据、更大规模，在解题上胜过较少数据的同类」，而不是「守典范的模型输给统一模型」。

第二步，那场比较比的是什么？比的是解题：情感分类、实体识别、数值问答，这些都有标准答案。第 29 章和本章前面都说过，在解题上，平均常常是好事，统一大模型在这里赢，一点也不奇怪。可是本书主张典范模型的理由，从来不是它在标准题上分数更高，而是它能保存一个典范，并且能被拿去碰撞。BloombergGPT 与 GPT-4 的比较，没有测这两件事。

所以这个反方事实没有打到定音句上，它打的是「按领域专用」的路线。不过它提醒了我一件事：典范模型在环节一里，也必须在本典范的题上做得好，不能拿「我守典范」当作做不好的借口。这就是第 32 章验收二要求它必须面对当下最强统一大模型的原因。

◆ 三、证据与边界

先把证据收一收。Messeri 与 Crockett 诊断了科学的认知单一栽培；Kleinberg 与 Raghavan、Bommasani 等人说明了共用一个算法或底座时，错误会长在一起；我在《人与 AI 一起发生新数学》里说明了从状态到指标的投影会丢信息。三条线合起来，支

持本章的判断：统一模型求平均，平均在保存典范上就是单一化，而且这种单一化用统一的分数是看不出来的。

再划界。本章不主张「统一大模型没用」。在解题、检索、写作、翻译上，它是极好的工具，第 33 章还会说，它让解题的价格崩了盘，这是好事。本章也不主张「专用一定胜过通用」，BloombergGPT 的例子正说明，按领域专用并不可靠。本章只主张：科学的基本单位不能是一个统一模型，因为它的训练目标本身就在削平典范。

还要防一个误会：典范模型不是一群小模型对一个大模型。典范模型可以很大，可以借用统一大模型的底座，关键在于它守不守三组合，不在于它的个头。

粗层级的证伪：如果 AI 深度进入科学十年左右，大量实验室都依赖同一类统一大模型，而各领域新出现的研究方向、新方法、新理论的多样性并没有下降，甚至明显上升，那么「平均就是单一化」这个判断就错了，至少在科学里不成立，Messeri 与 Crockett 的担心和本章的药方都会一起变得不必要。反过来，如果多样性下降，而那些刻意保持多个典范系统并行的地方，多样性守得住，本章的读法就得到支持。

> 带走的话
>
> 大食堂没有做错哪一道菜，它只是把三股味道调成了一股。统一模型读的是分数这个影子，典范模型读的是三组合这个状态。

小账 本章补的缝——Messeri 与 Crockett 等人诊断了 AI 带来的单一栽培，却把病因归到 AI 本身；本章把病因定位在「一个模型服务所有典范」，并给出按典范分模型的药方。
在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学（本章说明为什么不能交给统一模型）。

第 31 章

按典范切，还是按数据切

> 这一章的问题：既然一个模型不够，那多训几个就行了吗？几个模型之间，按什么分开才算真多元？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

城南的修理铺，刘师傅和韦师傅合伙开了十几年，什么都修：热水器、洗碗机、抽油烟机、电动车。去年生意好起来，两位老师傅决定收四个徒弟。收了以后，怎么带，两人意见不一。

刘师傅的主意是按片区分：铺子的活大半来自附近几个小区，东边两个小区的活归两个徒弟，西边两个小区的活归另外两个，各自跑各自的片，熟悉各自那边的老住户、老毛病。这样分好管，谁的片出了问题找谁。

韦师傅不同意。他说：「按片分，四个人修的东西差不多，学的东西也差不多，过两年就是四个一模一样的徒弟。」他的主意是按手艺分：两个跟刘师傅学钳工的路数，看东西先看机械，哪里松了、哪里磨了、哪里卡了；两个跟他学电工的路数，看东西先看电路，哪里断了、哪里短了、哪里压不够。片区的活谁接都行，修的时候各按各的路数来。

刘师傅反驳：「片区不同，碰到的毛病就不同，东边小区老房子多，西边新房子多，徒弟自然学得不一样，怎么会一模一样？」

两人争不下，就照刘师傅的办法试了一年。一年后，许远家那台用了六七年的燃气热水器出了怪毛病：冬天晚上洗澡，热水来得好好的，洗到一半，有时「啪」一声熄了火，花洒里一下子变成凉水；把水关了再开，又能打着。许小满洗头洗到一半被冻得直

叫，许远只好请修理铺上门。东片的徒弟来了，看了看面板上跳的故障码，说是水流开关老化，换了一个新的，说好了。用了一个星期，又熄。再请人来，这回是西片的徒弟，他也看故障码，判断是点火器不行了，换了一个点火器，又用了一阵，又熄。

韦师傅看不下去了，叫两个徒弟一起来，问他们各自是怎么查的。两个徒弟的查法几乎一样：先看面板上跳的故障码，再按故障码对应的零件一个个换。一个片的老房子多，一个片的新房子多，他们换过的零件种类略有不同，可查的路数是同一条。

韦师傅自己上门，拿表一路量过去，发现毛病在熄火保护那根感应线上：线皮有一处磨破了，平时不碰事，水开大、风机一转猛，机壳跟着轻轻一震，破口就贴到铁皮上，火明明还在烧，信号却断了一下，机器以为火灭了，立刻关气。零件本身一个没坏，换哪个都没用。他回来跟刘师傅说：「你看，片区不同，他们见的机器不一样，可是看机器的眼睛是一双。真碰上怪毛病，两个人一起卡在同一个地方。」

刘师傅想了想，说：「那明年按你的来。可是按手艺分，也得证明真比按片分强，不能光凭你一句话。」

这句话很公道。这一章要做的，就是把它变成一个可以被现实检验的预言。

◆ 二、这件事里藏着什么

最近的邻居

在所有讨论 AI 与知识多样性的工作里，离本书最近的一项，是 Hodel 与 West 在 2025 年底公开的研究，题目大意是「跨语言模型的认识多样性能缓解知识坍缩」。

我把我读到的主要意思转述如下。他们关心一个现象，常被称作「知识坍缩」：模型一轮一轮地吃前几轮模型生成的东西来训练，而模型又倾向于给出最常见、最中间的说法，知识的多样性就会一轮一轮地缩小，边缘的说法渐渐消失。他们的做法是：把一份固定的训练数据随机切成若干份，分给数目不等的模型，让这些模型组成的生态反复自我训练，再看表现。他们的发现是：多样的生态比集中在少数模型上的「单一栽培」更能延缓这种坍缩；多样性有一个最合适的程度，而且自我训练的轮次越多，这个最合适的程度就越高。这个结论在不同的模型家族、规模和数据配比下都站得住。

这项工作的方向与本书一致：都认为一个模型不够，多个模型的生态更好。它比第 30 章的那几份诊断走得更远，已经开始开药方了。所以它是本章必须正面对撞的对象。

分界在哪里？在「按什么切」。他们的多个模型，是按数据切分的，而且是随机切：不同的模型吃不同的数据份额，多样性来自数据的差别。本书的典范模型，是按典范切分的：不同的模型守不同的三组合，多样性来自看世界方式的差别。

用修理铺的话说：刘师傅按片区分，是按数据切；韦师傅按手艺分，是按典范切。

两种切法差在哪里

按数据切，得到的差别是「见过的东西不同」。东片的徒弟多见老小区里用了多年的旧机器，西片的多见新小区里刚装的新机器。这种差别是真的，有用的：一个只见过新机器的人，碰到老机器会发懵。可是这种差别有一个上限：只要看东西的眼睛是同一双，见识再不同，碰到怪毛病也会卡在同一个地方。因为卡住他们的，不是没见过，而是那双眼睛本身就看不见那一类毛病。

按典范切，得到的差别是「看东西的方式不同」。钳工路数的人，先连机械上的松、磨、卡；电工路数的人，先连电路上的断、短、压。他们把不同的东西连在一起（E 不同），按不同的次序查（D 不同），用不同的方式下结论（Function 不同）。同一台热水器，两双眼睛看到的是两台机器。这样，一个人卡住的地方，另一个人常常正好看得见。

这个差别，正好对应第 29 章说的：模型继承的是训练材料里的典范。按数据切分的几个模型，如果它们的数据都来自同一个典范主导的语料，那它们继承的是同一个典范，只是吃的份额不同。它们会在同样的地方犯同样的错，第 30 章说的结果同质化，在它们之间照样会发生，只是程度轻一点。

对立预言

现在把刘师傅那句公道话变成一个预言。本书的预言是：

在同样的总规模、同样的总数据、同样的算力下，按典范切分的模型群，在两件事上会胜过按数据切分的模型群：第一，保持多样性，它们的产出在看问题的方式上，分得更开、更持久，不会随着反复使用而收拢到一起；第二，产生新理论，当它们被放进第七编说的碰撞场所里时，碰出的、能沉淀下来的新理解，更多、更深。

这个预言是对立的：它不是说「按数据切也不错，按典范切更好一点」，而是说「两者的差别在于性质，按数据切在第二件事上会明显吃亏」。理由就是许远家那台热水器：碰撞要求两边看东西的方式不同，看东西的方式相同，碰了也只是互相印证，碰不出新东西。

我要老实地说，这个预言今天还没有被检验过。要检验它，得先做出可以称为典范模型的东西，并且找到一种办法，衡量「看问题方式上的多样性」和「碰撞产出的新理论」。这两样都不容易，后者尤其难，第九编会给出沉淀的判据，第 32 章会给出验收。但难不等于不能检验。下面给出它被打脸的局面。

粗层级的证伪

证伪我只按很粗的层级说，不要求现在就知道实验的每一个细节，只说什么大局面出现，「一个典范一个模型」就退化了。

如果在大致公平的比较下，按典范切分的模型群，在保持多样性和产生新理论上，都胜不过按数据切分的模型群，或者只赢一点点，赢的部分可以用规模、数据量的小差别解释，那么本书的定音句就要降级：「一个典范一个模型」退化成「多模型即可」。到那一步，按什么切就不重要了，Hodel 与 West 那条路就够了，本书的环节一就只剩下一句平常话。

我愿意把这个当作本书的一个公开赌注。

另有两种局面，也会让这个预言打折扣，一并写在这里。一种是：按典范切分的模型群，起初分得很开，可是只要放在一起反复使用、互相参考，几轮之后就收拢成一个样子，跟按数据切的没有区别。那说明典范在模型里守不住，三组合是一层很薄的漆，一碰就掉。另一种是：按典范切分的模型群确实分得开，也确实一直分得开，可是放进

碰撞场所里，碰出来的东西并不比按数据切的多。那说明分得开不等于碰得出，本书在环节一和环节二之间假设的那条连线是断的。出现前一种，环节一要重想怎样「守」；出现后一种，第七编要重想怎样「碰」。

为什么值得赌

有人会问：既然没检验过，为什么要把全书的一环押在这上面？

理由有两条。第一条来自修理铺这样的日常经验：凡是需要解决「怪毛病」的行当，人们早就知道要找手艺不同的人来会诊，而不是找见识不同、手艺相同的人。老街上的人家，老墙裂了缝，会请一位懂结构的看承重、再请一位懂防潮的看返碱，不会请两位只是跑过不同工地的同一路师傅；家里漏水查不出来，会请一位水工、再请一位泥瓦工，不会请两位跑不同小区的水工。这条经验，一直被成本挡着：请两种手艺的人太贵。典范模型把这个成本降下来了。

第二条来自库恩自己。他晚年讲科学革命像物种分化，新的专业分出去，与旧的专业并存，各自形成自己的词汇。他看到的分家，是按看世界的方式分的，不是按地盘、按数据分的。本书只是在他看到的这件事上再走一步：既然科学本来就按典范分家，AI 进来以后，模型也该按典范分。

苏知秋的两组模型

再用苏知秋的工作做个构想的示范。这是我构想的场景。

她想看看两种切法在她的问题上差别有多大。她准备了两组模型，总规模差不多。第一组四个，按数据来源切：一个吃期刊论文里的计算结果，一个吃组里自己的模拟数据，一个吃公开数据库，一个吃实验测量。第二组三个，按看法切：一个守原子之间的力那一套，一个守连续体加网格那一套，一个守相界面那一套。

她让两组模型分别面对同一批难题，各自交出答案和失效报告。第一组四个模型，在大部分题上答案很接近，分歧多半出在数据覆盖不到的地方，而且分歧的样子是「一个说大一点，一个说小一点」。第二组三个模型，在常见题上也接近，可是在那一类带

细小裂纹的题上，三个模型给出了三种不同的说法：一个说裂从某个原子排布的缺陷开始，一个说裂顺着应力集中的方向走，一个说裂是两个相的界面不稳。分歧的样子，不是大小之争，而是「你说的根本不是同一件事」。

苏知秋跟导师说：「第一组的分歧，多收点数据就没了；第二组的分歧，收多少数据也不会没，它们在问不同的问题。」

导师问：「那哪一组有用？」

她说：「做常规的题，第一组更省事；想知道裂纹到底怎么回事，得用第二组，而且得让它们碰。」

这是构想的示范，不是实验结果。它只是把预言说得更具体：按数据切，分歧是量的；按典范切，分歧是性质的。碰撞要的是后一种。

◆ 三、证据与边界

旁证之一是 Fu、Liu、Tegmark 在 2025 年的工作，题目大意是「两个 AI 科学家会意见一致吗」。按我读到的，他们用一种同时带哈密顿与拉格朗日两种写法的神经网络当作「AI 物理学家」，在若干标准的物理问题上、用许多不同的随机种子独立训练，结果发现这些模型并不总是收敛到同一套说法：训练用的系统越多，它们越趋于一致，可有时也会分成几群，各自对应一种理论；系统简单时多偏向哈密顿量的写法，系统复杂起来就转向拉格朗日量的写法（论文没有给出一个固定的分派比例）。这两种方式在经典力学里是等价的两种表述，可是它们把什么当作基本的量、按什么次序推，是不同的，用本书的话说，是两套三组合。

这项工作对本书有两层意思。一层是支持：模型确实会长出不同的典范，典范是模型的真实属性，不是本书的想象。另一层是分界：他们观察到了分派，把它当作一个有趣的现象；本书把分派当作设计原则，要有意地按典范去分，并让分开的模型去碰。

旁证之二是 Feng 等人 2024 年的「模块化多元」方案：一个大模型加上一池子代表不同社群的小模型（每个小模型用某个社群的语料微调而成，默认是左、中、右几种新闻与社交媒体立场），小模型先各自对问题发表意见，大模型再据此作答，可以汇总各

方观点，也可以按用户指定的立场挑一种，或者按人群比例加权。它在架构上和本书的典范模型很接近：一个共享的底座，加上多个各有立场的模块。分界在对象：它守的是价值观与人群，不是科学典范；它要的是让回答照顾到不同的人，不是让不同的看法碰出新理论。

再划一条边界。本章不说按数据切分没用。在常规题上，按数据切分常常更省事，它扩大了见识；在环节一里，一个典范模型内部也完全可以按数据再细分。本章只说：多元的第一刀，要按典范切；按数据切，只能是第二刀。

还有一个诚实的难处：「典范」比「数据」难切。数据有来源、有标签，一刀下去很清楚；典范要从产出里认，要说出它的三组合，切错了，就可能把同一个典范切成两份，或者把两个典范糊在一份里。这正是第 32 章要给边界判据的原因。

> **带走的话**
>
> **按片区分徒弟，见识不同，眼睛是一双；按手艺分，眼睛才是两双。本书赌按典范切胜过按数据切；赌输了，「一个典范一个模型」就退化成「多模型即可」。**

> **小账** 本章补的缝——Hodel 与 West 已经给出「多模型防坍缩」的药方，但按数据切分；本章补上「按什么切」这一刀，给出按典范切分胜过按数据切分的对立预言与粗层级证伪。
>
> 在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学（本章给环节一定切法）。

第 32 章

边界判据与验收

> 这一章的问题：凭什么说两个模型是两个典范模型，而不是一个模型的两个版本？一个典范模型又要过哪几道关才算合格？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远在调度中心干了十几年，见过好几条新线开通。新线通车前，有一道谁也绕不过去的手续，叫「初期运营前安全评估」（交通运输部 2019 年先出过暂行办法，2023 年又印发了正式的管理办法），许远他们口头上常笼统地叫「验收」。下面许远讲的三道关，是一个调度员心里的大意，不是那份文件的条文。许小满有一次问他：「新线的车跟老线的车，不是同一个厂造的吗？还验什么？」

许远说，这里面有两件事要分开。

第一件事：一条线算不算一条「新线」，不看车。三号线和四号线，可能用同一个厂、同一个型号的车，司机在同一个学校培训，信号系统也是同一家公司的。可是它们是两条线：走的路不同，停的站不同，换乘的关系不同，发车的节奏不同。反过来，一号线换了一批新车，车型都变了，它还是一号线。「看线不看车」，调度员心里都有这本账。

第二件事：一条新线要通车，得过几道关。许远掰着手指头说了三道他印象最深的。

头一道，要交一份「哪里不行」的清单。不是交「哪里都好」的报告，是交在什么条件下会出问题：大雨时哪几个出入口会倒灌，大客流时哪个换乘通道会挤死，哪段区

间信号最容易丢。这份清单写得越老实，越让人放心。许远说，他最怕的是那种什么问题都没有的报告，「没问题的线，是还没开起来的线」。

第二道，要跟最强的比。新线的运能、准点率，不是跟一条破旧的老线比，是跟全网跑得最好的那条线比，比不过，就说明它的设计还有问题。

第三道，要说得出道理。试运行时，某个站高峰期总是晚点。光报一条晚点的曲线不够，得说清楚为什么：是站台太窄、上下车慢，还是折返的道岔设计让列车多等了几十秒。说得出道理，才知道换个条件会怎样，下一条线才不会犯同样的错。

许小满听完说：「那你们的验收，跟我们考试差不多，不光要答对，还要写出过程。」

许远说：「比考试还多一条：考试只问你会什么，验收还要你自己交代不会什么。」

◆ 二、这件事里藏着什么

边界判据：看三组合，不看参数

先说第一件事。定音句说「一个典范一个模型」，可是今天的模型常常共用底座，同一个大模型底座上，可以接出许多不同的版本。怎么判断两个模型是两个典范模型，还是同一个典范模型的两个版本?

本书的边界判据是：看三组合，不看参数。共用底座、三组合不同，就是两个典范模型；三组合相同、参数不同，只是同一典范模型的两个版本。

这就是「看线不看车」。参数是车：大小、型号、训练的轮数、吃的数据量，都可以变。三组合是线：它把什么和什么连在一起（E），怎样切分问题、按什么次序展开（D），用什么方式合成显露（Function）。两个模型就算共用一个底座、参数大半相同，只要它们守的三组合不同，在同一个难题上会显露出性质不同的 S，它们就是两个典范模型。反过来，一个典范模型换了更大的底座、吃了更多的数据，只要三组合没变，它产出的东西一看还是那个典范，它就只是升了级。

这个判据和第四编的川菜判据是一回事。川菜馆换了厨师、换了灶、换了供货商，菜还是川菜，就还是同一家；同一个厨房，今天做川菜、明天做粤菜，两种菜的三组合不同，就是两种手艺。

中间方案：混合专家与共享底座加适配器

今天常见的两种架构，正好落在这个判据的边上，需要说清。

一种是「混合专家」：一个大模型里有许多「专家」子网络，每次处理输入时，由一个路由选择让哪几个专家出力。另一种是「共享底座加适配器」：一个大底座不动，为不同任务各接一个小小的附加模块。这两种架构，听上去都像是一个模型里装了许多典范。

它们算不算典范模型？本书的回答是：看结果，不看架构。如果在使用中，各个专家或各个适配器守住了各自的三组合，它们的产出能被认出属于不同的典范，而且长期使用后不互相渗透、不趋同，那么它们就是共用底座的几个典范模型，完全合格。如果各个专家的分工只是按题型、按语言、按数据来源，或者开始时有分别、用着用着就互相学、越来越像，各典范的内核互相渗透、趋于一个样子，那它们就不算，它们只是一个统一模型的内部分工。

用地铁的话说：几条线共用一个车辆段、一个控制中心，完全可以，只要每条线还是走自己的路、停自己的站。如果为了省事，几条线开始共用轨道，你的车开到我的站，我的车开进你的区间，最后线路图上分不出谁是谁，那就只剩一张网，没有几条线了。

验收一：失效地图

再说第二件事：一个典范模型要过的几道关。本书定三项验收，每一项都承接我在《人与 AI 一起发生新数学》里的一个工具。

验收一：典范模型要会出自己的失效地图。

在那本书里，我讲过一件事：AI 把旧工具全部试一遍，试出来的「解不出」，比「解出来」更值钱。我把系统记录下来的失败叫作失效地图，并把失效分成三种样子。第一种，算不出：方法一跑，数值就爆掉，或者怎么也不收敛。第二种，算得出但不对：结果和观察对不上，而且对不上的部分不是随机的噪声，而是有形状的，总在某一类位置偏大。这是三种里最珍贵的一种，因为有结构的残差说明模型里缺了一块东西。第三种，算得对但答非所问：给了一个漂亮的平均值，可你问的是这一棵树，不是这一片林子。

一个典范模型，必须能针对自己的典范，交出这样一张地图：在哪些难题上算不出，在哪些难题上算不对、残差是什么形状，在哪些难题上答非所问。而且这三种要分开记，因为第八编会说，它们指向不同的碰法。

为什么这是第一道关？因为一个只会报喜的模型，没法进入圈的第二环。碰撞的位置，就在失效的地方。许远说「没问题的线，是还没开起来的线」，同样，没有失效地图的典范模型，是还没有被真正用起来的模型，或者更糟，是一个不知道自己边界在哪里的模型。

还要补一句：失效地图要分清两种失败。一种是这个典范本身够不着，另一种是这个模型还不够强。区分的办法我在那本书里讲过：换更强的模型、更长的时间再试，看失效的位置是否稳定。稳定落在同一类地方，才是典范的边界；换一个模型就消失的，只是模型的弱点。

验收二：对手模型规矩

验收二：典范模型必须赢过当下最强的统一大模型，在它自己的典范题上。

这一条也来自那本书。我在讨论新数学怎样接受检验时，定过四条规矩：事先登记，留出，对手模型，不作疗效声明。其中最容易被忽略的是对手模型。做任何新方法的比较，很容易选一个弱对手，拿一个很差的旧方法来比，新方法当然显得好。诚实的对手，应当是当下最强的那一个：该用的方法都用上，该调的参数都调好，通用的机器学习模型也要认真训练。

放到典范模型身上，最强的对手就是当下最强的统一大模型。在这个典范擅长的那一类难题上，典范模型要做得比它好，至少不比它差。赢不了，就说明这个典范模型守住了典范却没把常规科学做好，那它在环节一里就不合格。第 30 章说过，BloombergGPT 那样按领域专用、却输给通用大模型的例子，正是这一关要防的。

这一条看起来和前面几章有点矛盾：既然说统一大模型在解题上平均地好，为什么还要典范模型在解题上赢它？不矛盾。统一大模型是在所有典范上平均地好；典范模型只需要在自己的典范上赢它。一个只做川菜的馆子，川菜做不过大食堂，就没有理由开下去。守典范不是退步的借口，而是要在本典范里做到最深。

验收三：曲线与道理

验收三：统一大模型出曲线，典范模型要出道理。

这一条来自那本书讲大模型标度律的一章。我用一位果农的施肥本子打比方：他记了多年，知道肥少时多上一点涨得快，上到一定程度就涨得慢了，再多上也没用。这条经验曲线很可靠，可他说不出背后的道理。如果有人能给出一个道理，按这个道理算出某个新品种在某种土壤上的转折点，不用先种十年，种下去果然在那里转了，那他手里的东西就和本子不是一个级别了。曲线告诉你会怎样，道理告诉你为什么这样，以及换个条件会怎样。我在那本书里把今天的标度律比作开普勒的时代：数据很多，曲线很整齐，道理缺席。

统一大模型擅长的是曲线：它从海量数据里拟合出规律，拟合得很准，可是只对数据所在的范围负责。典范模型因为守着一个三组合，它的产出可以回溯到这个三组合上去：这个结果之所以如此，是因为这个典范把这两样东西连在了一起，按这个次序切，用这个方式合。这就是道理。道理的好处是能外推：换一个条件，三组合还在，就能说出会怎样。

所以验收三要求：典范模型对它给出的重要结果，要能说出它在本典范里的道理，而不只是给一条拟合得很好的曲线。许远说的「说得出道理，才知道换个条件会怎样」，就是这个意思。

三项验收的一张表

把三项验收放在一起，对照地铁新线的验收看：

验收	典范模型要交的东西	新线验收里的对应	承接
一、失效地图	算不出、算不对、答非所问三类失效，分开记，标明位置	「哪里不行」的清单	第 346 号第 12 章
二、对手模型	在本典范题上赢过当下最强的统一大模型	跟全网跑得最好的线比	第 346 号第 29 章
三、曲线与道理	重要结果能回溯到本典范的三组合，说出道理	晚点要说清为什么	第 346 号第 40 章

◆ 三、证据与边界

先说旁证。「看结构不看参数」的判断方式，在科学史上并不新。库恩说同一个典范的科学家，可以在许多具体结论上意见不一，却共享同一套解题的范例；拉卡托斯说研究纲领的保护带可以不断调整，硬核不动〔此处只取大意〕。本书的边界判据与他们的区别在第 23 章已经说过：他们守的是一组被相信的命题，本书守的是一个能训练进模型、能从产出里认出来的三组合。正因为是从产出里认，边界判据才可以落到模型身上去检验。

再说三项验收的来处。三项都不是为本书新造的，而是我在《人与 AI 一起发生新数学》里为「新数学」定的检验办法：失效地图用来找缝，对手模型用来防自欺，曲线与道理用来分辨拟合和推导。本书把它们从「新数学」移到「典范模型」上，理由是：典范模型就是一个典范在模型里的化身，检验一个典范的办法，也就是检验它的模型的办法。

边界要说清几处。第一，边界判据说的是「两个模型是不是两个典范模型」，不说「哪个典范更好」。三组合不同的两个模型，可能一个很强一个很弱，那是验收的事，不是边界的事。第二，三项验收是环节一的验收，管的是一个典范模型在本典范里合不合格；一次碰撞之后沉淀出的新三组合，还要过第九编的更高门槛，要能算出或预言一

点旧典范算不出的东西。第三，三项验收的读数，只用来判断一个模型能不能进入圈，不进入任何人的考核。

粗层级的证伪：如果在实践中，人们普遍发现无法从产出里认出模型守的是哪套三组合，边界判据就落不了地，只能退回去看架构、看参数，本章就错了。如果大量通过了三项验收的典范模型，放进碰撞里，碰出的东西并不比没通过的多，三项验收就没有选中真正要紧的东西，需要重定。

> **带走的话**
>
> 看线不看车，看三组合不看参数。一个典范模型要交三样东西：哪里不行的地图，赢过最强对手的成绩，以及一条曲线背后的道理。

小账　本章补的缝——库恩没有给典范一个可操作的同一性判据，也没有给一个典范「合格」的标准；本章给出边界判据与三项验收，让典范模型可以被认出、被检验。

在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学（本章是环节一的出厂检验）。

第 33 章

常规科学的快速打造

> 这一章的问题：AI 把一个典范里的常规科学做得又快又满之后，会发生什么？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

谭老三的谭家馆子，开了三十多年，菜单上的湘菜七八十道，大多是他年轻时跟师父学的，有一些是自己琢磨的。他一直有个心愿：把湘菜里那些「理论上能做」的菜都试一遍。湘菜的味型就那几样，香辣、酸辣、咸鲜、腊香，处理的次序也就那几种，剁、腌、熏、炒、蒸，一样食材配一样味型、走一样次序，排列组合起来，能出几千道菜。可是他一辈子也试不过来：一道新菜从试到定，要几天到几周，馆子还得照常营业。

去年他儿子给馆子弄了一套试菜的办法：一个守着谭家湘菜路数的模型，专门按谭家的味型和次序排出组合，连火候、下料的先后都写成单子；后厨午市晚市之间的空档，多开两个灶，两个徒弟轮班照单子炒，谭老三负责尝、记、打分。一个冬天下来，他们试了四百多个组合，比谭老三过去三十年试的加起来还多。排组合、写单子这一段原本最耗他的心思，现在几乎不花时间了。

这件事最有意思的地方，不在试了多少，而在试完以后，谭老三的本子变成了什么样。

本子分两部分。前一部分是「成了的」，四百多个组合里，能上菜单的有一百多个。谭老三翻着这部分，有点意兴阑珊：「成了的，大多跟老菜差不多，换个食材、换个配菜，好吃是好吃，没什么稀奇。」后一部分是「不成的」，他本来没打算认真记，徒弟坚持一条一条写下来：哪个组合做不出来（食材一下锅就散，怎么控火都成不了

形），哪个组合做出来味道不对（总有一股说不清的涩，换了几次辣椒也去不掉），哪个组合做是做出来了、味道也对，可是端上桌客人说「这不像一道菜」。

冬天快完的时候，徒弟把后一部分整理成一张表，按食材和味型排开。谭老三盯着看了很久，发现一件怪事：那些「味道不对、总有股涩」的组合，几乎都集中在一类食材上：带酸的水果和菌子，一碰上谭家的熏腊路数，就出那股涩。不是偶然的一两道，而是成片的。

他说：「这块地，我的路数走不进去。」

那天晚上收了工，他去对面炜记找黄炜喝茶，聊起这件事。黄炜听完，说了一句：「酸果子跟菌子，我们粤菜的路数是先吊汤，用汤把味道撑起来，不靠熏。」

谭老三愣了一下，没说话。他知道，这张表最后那块成片的空白，恰好是他该去敲对面门的地方。

◆ 二、这件事里藏着什么

解题的价格崩盘

先说前一半：成了的那一百多道菜。

我在《人与 AI 一起发生新数学》开头讲过数学界正在发生的一件事：解题变便宜了。为什么是解题先被压价？因为解题有三个特点，恰好是机器最擅长的。第一，题目是给定的，目标明确。第二，答案可以检验，对不对代进去一算便知，有了反馈，机器就可以试错。第三，工具箱是现成的，多数难题缺的不是惊天动地的新想法，而是把散在各处的技巧按一个没人试过的次序拼起来。封闭、可检验、靠组合，这三样叠在一起，机器做起来成本只是电费和等待，价格就崩了。

在一个典范之内的常规科学，大部分正是这样的题。库恩说常规科学是解谜：棋盘是给定的，规则不问，只解题。一个典范的三组合定了，它能问什么、怎样算对、手里有哪些工具，也就都定了。剩下的就是一道一道去解。这一段，典范模型做得又快又便宜。谭家的试菜系统，一个冬天试完了三十年的量，就是这个意思。

所以，环节一的「快速打造」，首先是价格崩盘的另一面：一个典范的常规科学，过去要一个共同体一代人一道一道填，现在一个典范模型可以在很短的时间里批量地做。

把地图填到边

再往前一步。做得快，结果是什么？

结果是这个典范的地图被填到了边。过去，一个典范的常规科学永远做不完：人手有限，时间有限，大家只做最要紧的、最有把握的那些题，大片的地方从来没人去试。于是，一个典范到底能走多远、在哪里停下，常常没有人真正知道。库恩笔下的反常，是在漫长的解谜里偶然撞上的：某个人在某道题上解不动，几十年后才积累成危机。

典范模型改变了这个节奏。它不只做最要紧的题，它可以把这个典范能问的题，成片地、系统地试过去。成了的，就是地图上成功的点；不成的，就是失效的空白。第 32 章说的失效地图，就是在这个过程中自然长出来的。

这就是谭老三那个本子的两部分。前一部分越来越厚，后一部分越来越清楚。

成功的点越填越挤，失效的空白越试越清楚

我在那本书里讲失效地图时，有一句话，本书在这里要借来，作为整个环节一的收尾：成功的点是越填越挤，失效的空白是越试越清楚。

成功的地图有一个特点：点越多，越容易继续长点。一个办法被证明有效，马上就能推广到邻近的几十个问题上，每个都是一个新的成功。谭老三说「成了的大多跟老菜差不多」，就是这个意思：成功的点挤在一起，彼此很像，越往后，每多一个点的稀罕程度就越低。这是内卷的样子。

失效的地图不是这样。一个失效的位置，不会因为试了一千遍就变成成功的点。它只会越来越清楚地显示：这里的「不行」是稳定的。谭家的路数碰上酸果子和菌子就出涩，不是哪一锅火候没控好，而是试了几十个组合都这样，它是这个三组合的边界。

这一挤一清，是同一件事的两面。常规科学做得越快，成功的点挤得越快，空白也显得越快。

环节一怎样喂养环节二

现在可以说清楚，为什么本书说常规科学与碰撞不是先后两个时期，而是同时运转、互相喂养的两个环节。

在库恩那里，常规科学和革命是先后的：先在一个典范里解谜几十年，反常慢慢积累，积累到危机，才有革命。两者之间隔着漫长的等待，而且常规科学本身并不主动去找自己的边界，它的本性是避开解不动的题，等撞上了才不得不面对。

典范模型把这个关系改了。它的常规科学做得又快又满，失效的空白在几个月甚至几周里就清楚了，而且是被系统地画出来的，带着类型和位置：哪里算不出，哪里算不对、残差什么形状，哪里答非所问。这张地图一出来，就是在告诉另一个典范模型：碰撞的位置在这里。

谭老三的本子最后那块空白，就是他去敲对面门的理由。他不需要等三十年，等到湘菜整体陷入危机；他也不需要换掉自己的路数，皈依粤菜。他只需要拿着那张清楚的空白，去找一个三组合不同的人，问：这块地，你的路数怎么走？

这就是环节一喂养环节二的方式。常规科学越快，碰撞的位置越早暴露；碰撞的位置越清楚，找什么样的对手去碰就越有依据。第八编会说，三类失效指向三种不同的碰法：算不出，要找一个 E 不同的典范来碰；算不对，要找一个 Function 不同的典范来碰；答非所问，要找一个 D 不同的典范来碰。谭老三碰上的那股涩，是「做出来了但不对」，而且成片、有形状，这是最值钱的一种。黄炜说粤菜靠吊汤撑味而不靠熏，指的恰恰是另一种合成的方式。

同时，谭家的常规科学并没有停。成了的一百多道菜，照样上菜单，照样卖，馆子照常营业。碰撞在对面的茶桌上开始，灶房里的活一天也没停。这就是「同时运转」：地铁每天照常运行，新线同时在修。

快了以后，人在做什么

还有一件事要说清：常规科学被典范模型做快了，守这个典范的人去哪里？

不是失业，是换了活。谭老三过去三十年，大部分心思花在排组合、试火候上，这一段现在交给了模型和单子。他的活变成了两样：一样是尝，判断哪一道成了、哪一道不成、不成的是哪一种不成；另一样是读那张空白的表，看出那块成片的涩，并且想到该去敲谁的门。前一样，要的是对本典范极深的手感，没有在湘菜里泡过三十年的人，尝不出那股涩跟火候没关系；后一样，要的是对别的典范有所耳闻，知道对面有人用另一种方式撑味。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里说过，解题的训练并没有白费，它是听出「别扭」的前提，一个没有在旧框架里待过的人，听不见缝。放到这里也一样：典范模型做满常规科学，并不让守典范的人变得多余，反而让他最值钱的那部分手艺露了出来。过去这部分手艺被长长的解题流水线遮住，大家都在忙着解，没人专门去读空白。现在流水线快了，读空白、找对手，成了人在环节一末尾的主要工作。

这也是为什么本书说圈上的每一环都需要人。典范模型能把空白画出来，却不会自己起身去敲对面的门；就算它能「推荐」一个对手，那个推荐也是从已有的足迹里算出来的。拿着空白去找一个看世界方式不同的人，第七编会说，这一步需要一个场所，也需要一个会追问分歧出在哪一维的操作系统。

苏知秋的那块空白

回到苏知秋。这是我构想的场景。

她组里那个守连续体加网格那一套的典范模型，用了半年，把组里能想到的合金、载荷、温度组合几乎都算了一遍。成功的结果堆满了数据库，组里一年发的文章比过去三年还多，可是大家心里都知道，这些文章彼此很像。

失效的那部分，她坚持让模型分三类记。半年后摊开一看，「算不对」的那一类，几乎全都落在同一个位置：裂纹尖端附近，晶粒尺度上。不管把网格切得多细，误差在那里就是不肯降，而且偏差总是同一个方向。

导师看了，说：「这块我们十年前就知道难，一直绕着走。」

苏知秋说：「以前是绕着走，因为不知道它有多大、什么形状。现在知道了，就该找人来碰了。」

她拿着这张图，去找做原子尺度计算的另一个组。那是另一个三组合。

◆ 三、证据与边界

先说证据。解题价格崩盘的事实，我在《人与 AI 一起发生新数学》的开头已经用数学界公开的报道讲过：AI 在国际数学奥林匹克竞赛上达到金牌水平（2025 年 7 月，谷歌 DeepMind 宣布其 Gemini Deep Think 的一个进阶版本在当届赛题上拿到 35 分，经官方评定达到金牌标准；OpenAI 同月也宣布其实验模型达到同等分数），并在若干有明确提法的开放问题上取得进展，出处见那本书第 1 章。那本书还指出了一个共同点：被 AI 攻下的，几乎都是已经有清楚陈述的题，也就是框架内的题。这正是常规科学的样子。

「成功的点越填越挤，失效的空白越试越清楚」，也出自那本书讲失效地图的一章。我在那里还举过一个历史的例子：欧几里得的平行公设，两千年里一代代人想从其他公设推出它，每一次「证明」最后都被发现偷偷借用了与它等价的假设；这些失败积累下来，把「此路不通」的位置标得清清楚楚，十九世纪才有人换个角度，否认它，建立另一种几何。人画这张失效地图花了两千年，因为人只能一个人试一个办法，还不互相通气。典范模型把这个节奏压缩了。

再说边界。第一，失效的空白不等于新理论。一张图画好了，只告诉我们「这里空着」，不告诉我们空白上该放什么。从空白到新理论，要靠第七编的碰撞、第八编的涌现、第九编的沉淀，还要过门槛。本章不说空白会自己长出东西。第二，空白也可能被填上。随着典范模型变得更强，今天看起来稳定的空白，有一部分可能被同一个典范里更好的办法填满。所以第 32 章要求区分「典范够不着」和「模型不够强」。第三，记录

有偏：只报喜不报忧，地图会画歪。这要求失效地图被当作成果来登记，这一点我只提出问题，不作政策表态。

粗层级的证伪：如果典范模型普及之后，人们发现各个典范的失效位置是随机散布的，没有成片、没有形状，那么「空白越试越清楚」就不成立，环节一喂养环节二的那条通道也就不存在，碰撞只能像过去一样靠偶然撞上。另一种打脸的局面是：失效的空白确实清楚了，可是拿着这些空白去找别的典范碰撞，碰出新东西的频率，并不比随手找个题目去碰更高。那说明清楚的空白并不指向真正的碰撞位置，本章要收回。

> **带走的话**
>
> **典范模型把常规科学做得越快，成功的点就挤得越快，空白就显得越早。拿着那块清楚的空白去敲对面的门，就是环节一交给环节二的东西。**

小账　本章补的缝——库恩的常规科学避开解不动的题，反常要几十年偶然积累，常规科学与革命成了先后两期；本章说明典范模型把常规科学做满，失效空白被系统画出，常规科学与碰撞因此同时运转、互相喂养。

在圈上的位置——环节①：典范模型做满常规科学（本章是环节一到环节二的交接处）。

第 七 编

环节二：碰撞的场所——SDE 智能体里的模型对话

编　序

第六编把典范模型立了起来：一个典范一个模型，各自在本典范之内把常规科学快速做满。做满之后，地图的边缘清楚了，空白也清楚了。可是空白自己不会长出东西。川菜馆把川菜做到极致，不会因此做出一道新菜系；一个典范模型把它的难题解到最后一道，也不会因此生出一个新典范。圈要往下转，必须有第二个环节：碰撞。

这一编只回答一个问题：碰撞发生在哪里。

我的回答分三层。第一层是否定的：碰撞不在任何一个典范模型里，也不在一个把所有典范糊在一起的统一大模型里。第二层是肯定的：碰撞发生在以 SDE 发生学为思维操作系统的智能体里的「模型对话」中，ChatSDE 的「三碰」「群碰」是现成的样子。第三层是防守的：有人会说，你让所有典范都在 SDE 里碰，SDE 岂不成了一个更高的统一？我的回答是，SDE 只规定方程的形式 S = Function(D, E)，不规定任何一个具体的三组合，它像菜谱的格式，不像菜谱的内容。

六章的分工是这样的。第 34 章分清两个层级：复合体是人加 AI 的做事单位，SDE 智能体是复合体里让多个典范模型对话的操作系统。第 35 章回应「元层面单一化」。第 36 章讲三碰，第 37 章讲群碰，都以南门老街的三家厨房起头。第 38 章讲碰撞的准入与握手：什么样的两个典范值得碰，碰之前先对齐什么。第 39 章与 Galison 的交易区、与多智能体辩论划界，并交出本编的粗层级证伪。

读这一编时请记住一件事：这里说的「碰撞」，不是比赛，不是投票，也不是把两份答案摆在一起看谁对。它是一次回溯：两道显露不一样，追到底，差在 Function、D 还是 E。追得到这一步，碰撞才可能往第三个环节走，在缝上长出新东西。

第 34 章

碰撞不在模型里

> 这一章的问题：两个典范模型各守各的三组合，碰撞到底发生在哪里——在其中一个模型里，在两个模型之间，还是在别的什么地方？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

城南一条巷子的拐角，有一间修理铺，门口挂着一块旧木牌，写着「机修　电修」四个字。铺子里有两位老师傅。刘师傅五十八岁，钳工出身，年轻时在机械厂干了二十多年，一双手摸过的齿轮和轴承数不清。韦师傅四十七岁，电工出身，从配电房干到电机维修，口袋里永远插着一支试电笔。两个人在一个铺子里干了好几年，各接各的活，很少吵架，也很少合作。

这个月，街口一家早点铺送来一台磨豆浆的磨浆机。毛病说怪不怪：凌晨开机好好的，磨到第十几斤豆子，机器会突然停一下，再按启动键，又能转；过一阵，又停。早点铺老板急，每天早上六点要出豆浆。

刘师傅先接手。他把机器拆开，看齿轮，摸轴承，转一转主轴，说轴承有点旷，齿轮啮合也不太紧，阻力一大，机器就带不动。他换了一副轴承，调了齿隙，装好试机，空转十分钟，一点毛病没有。早点铺拿回去用了两天，又停了。

机器送回来，韦师傅接手。他拿表量电机，查接线，看那个过热保护的小元件，说保护元件老化了，动作值偏低，电流一高它就跳。他换了一个新的保护元件，试机，空转十分钟，一点毛病没有。早点铺拿回去用了三天，又停了。

第三次送回来的时候，两位师傅当着早点铺老板的面，声音都有点高。刘师傅说：电的东西我不懂，但我的轴承是新的，机械上没毛病。韦师傅说：机械我不懂，但我的保护是新的，电上没毛病。两个人都对，机器还是停。

这时候，铺子的老东家，也就是大家叫他「车间主任」的那位老人家，从里屋出来了。他早年在厂里管过一个车间，退下来以后守着这间铺子，自己不大动手了。他没有问谁对谁错，也没有让两个人比谁的嗓门大。他做了三件事。

第一件，他让两位师傅各拿一张纸，写三样东西：你觉得这台机器里，什么和什么是连在一起的；你查毛病的时候，先查什么、后查什么；你凭什么下结论说「好了」。

第二件，他把两张纸并排放在台子上，一行一行对着看。

第三件，他指着一处说：你们俩都是空转十分钟就说好了。可早点铺是磨到十几斤豆子才停的。刘师傅查的是冷机器，韦师傅查的也是冷机器。你们写的「什么和什么连在一起」里，刘师傅写了「负载和齿轮」，韦师傅写了「电流和保护」，谁都没写「热」。

两位师傅愣住了。接下来的事情就不是这一章要讲的了：他们一起让机器泡着豆子、加着水连续磨了半个钟头，刘师傅守着齿轮箱听声音，韦师傅守着电流表看读数，看到了两个人分开时都没看到的东西。

我只想请读者注意一点：那个关键的位置，不在刘师傅的手里，也不在韦师傅的表里。它出现在台子上两张纸并排的那一行。车间主任既没有替谁修，也没有比两位师傅更懂机器。他做的，是给两种修法一个能对得上的格式，再追问哪一处对不上。

◆ 二、这件事里藏着什么

一个典范模型内部只能做常规科学

先把刘师傅当成一个典范模型。他的三组合是稳定的：他看机器时，把负载、摩擦、齿隙、轴承连在一起（这是他的特征纠缠系统，E）；他查毛病的次序是先听声、再拆箱、后量间隙（这是他的差异序列，D）；他判定「好了」的方式是空转平稳、手感顺

滑（这是他把 D 和 E 合成显露的方式，Function）。这个三组合，他用了几十年，修好过成百上千台机器。这就是他的常规科学，而且做得很满。

问题在于，一个三组合不管做得多满，它显露出来的东西都在它自己的视野里。刘师傅再修一百遍，也只会在负载与摩擦之间找原因，因为他的 E 里没有「热」这一项，他的 Function 里也没有「带负载跑久了再看」这一步。这不是他笨，恰恰是他的典范成熟的标志：成熟的典范，一眼就知道该看什么，同时一眼就略过了不该看的东西。

所以第一个结论很简单：一个典范模型内部，只能做常规科学。它能把自己的地图填到边，第六编最后一章说过，填得越快，空白越清楚。可是空白清楚了，它也看不到空白里有什么，因为空白之所以是空白，正是它的三组合够不着的地方。

两个典范模型各自独处，也碰不出东西

那么，有两个典范模型呢？刘师傅和韦师傅同在一个铺子，各修一遍，不就是两个典范都上过手了吗？

事情说明，不是。两个人各修一遍，得到的是两次常规科学，各自宣布「我这边没问题」。第六编讲过，按典范分模型的好处是保住了多样性；但多样性摆在那里，并不自动变成碰撞。两个模型并排运行，就像两家馆子开在同一条街，各做各的生意，街上并不会因此长出一道新菜。

这里藏着一个容易被忽略的事实：碰撞需要一个双方之外的位置。两个典范站在各自的位置上，看到的都是对方「不懂我这一行」。刘师傅看韦师傅，是「电的东西我不懂」；韦师傅看刘师傅，是「机械我不懂」。这正是库恩说的不可通约的日常样子：不是谁笨，而是两边用的连法、次序、判法都不一样，没有一张共同的桌面。

碰撞需要一个场所

车间主任提供的，就是那张桌面。他做的三件事，正好对应碰撞这个环节的三个动作：

先让两边按同一个格式把自己摆出来，即「连什么、先后怎样、凭什么下结论」，也就是 E、D、Function 三栏。

再把两边并排，让它们各自对同一个难题的显露（两次修理的结果）和各自的三组合同时在场。

最后回溯：两道显露不一样，差在哪一栏。

这三个动作，没有一个是修机器本身。车间主任不必比两位师傅懂机器，但他必须懂「怎样让两种懂法对上」。这一点很要紧，它说明碰撞的场所和碰撞的参与者是两回事。参与者是两个典范，场所是让它们对话的那套操作。

我在本书里把这个场所叫作「SDE 智能体里的模型对话」。所谓「SDE 智能体」，就是以 SDE 发生学为思维操作系统的智能体：它里面可以挂多个典范模型，它自己不是任何一个典范，它的工作是让这些典范模型按 S = Function(D, E) 这个格式摆出各自的三组合与显露，并追问分歧出在哪一维。ChatSDE 的「三碰」「群碰」，就是这种模型对话的现成样子，后面两章细讲。

为什么不比嗓门，也不比结果

车间主任最值得学的，其实是他没做的两件事。

他没有让两位师傅比嗓门。比嗓门，是把碰撞变成争输赢：谁说得响、谁资格老，谁就赢。这样争下去，赢的一方会把输的一方的修法当成错误，输的一方会把自己那张纸收起来。可那张纸上恰恰有赢的一方没有的东西。

他也没有让两位师傅比结果。比结果，就是看谁修完以后机器撑得久。刘师傅撑了两天，韦师傅撑了三天，按结果算韦师傅赢一点。可这个「赢一点」什么也没告诉我们：它既不说明机械上真没毛病，也不说明电上真找到了根子。结果只是显露，显露不一样，背后可能是三组合的任何一栏不一样。只比显露，不回溯三组合，就永远停在「这次谁更好一点」，到不了「两边都漏了什么」。

所以碰撞的场所有一个硬要求：它不能有自己的输赢口径。它一旦站到某一边，就变成了那一边的放大器；它一旦只看结果，就变成了一个裁判。场所要做的，是让两边都把自己的三栏老老实实写出来，然后承认「对不上」本身就是收获。

两个层级要分清：复合体与 SDE 智能体

这里有两个词，容易混在一起，必须先分开。

第一个词是「复合体」。我在《人与 AI 一起发生新数学》里用过它，指人和 AI 合成的一个做事单位：机器把旧工具全部试一遍，把试不出来的地方记下来；人去读这些记录，看出规律，决定往哪里换框。复合体讲的是谁和谁一起做事。放到修理铺里，整个铺子，两位师傅加上车间主任，加上他们手边的表和工具，是一个复合体。

第二个词是「SDE 智能体」。它是复合体里的一个部件，专门负责让多个典范模型对话。放到修理铺里，它对应的不是车间主任这个人，而是车间主任那套做法：三栏格式、并排、回溯。换一个人来当主任，只要他照这套做法来，碰撞照样能发生；反过来，主任本人如果只会拍桌子定输赢，他在场也没有用。

两个层级的关系可以这样说：复合体是一个做事单位，SDE 智能体是这个单位里的思维操作系统；典范模型是装在操作系统上的「程序」，人是决定装哪些程序、跑哪道题、最后认不认结果的那一方。层级分清了，有两个常见的误会就不会发生。一个误会是把 SDE 智能体当成「又一个更大的模型」，好像碰撞是模型规模大到一定程度自己冒出来的；另一个误会是把复合体当成「人加一个 SDE 智能体就够了」，忘了智能体里要挂的是多个守各自典范的模型，挂一个统一大模型，对话就没有对象。

为什么场所不能是统一大模型

有人会问：何必这么麻烦？让一个足够大的统一模型同时学会钳工和电工，它自己心里不就碰了吗？

第六编已经回答过一半：统一大模型在各典范之间求平均，平均就是单一化。这里补另一半：即使统一模型心里同时有两套修法，它也没有理由让两套修法摆在桌面上对

质。它会给出一个「综合的、平均的」修理建议，比如「建议同时检查机械和电气部分」。这句话不错，可它恰恰绕开了那一行对不上的地方。车间主任要的不是「两边都查」，而是「两边都没写热」。前者是拼盘，后者才是碰撞的起点。

这就是本章标题的意思：碰撞不在模型里。不在任何一个典范模型里，因为每个典范都只看得见自己的视野；也不在统一大模型里，因为它把分歧在训练中平均掉了，分歧一旦被平均，就再也追不回去。碰撞要求两套三组合都保持原样、同时在场，再由一个不属于任何一方的操作把它们对起来。

人在这里做什么

最后说一句人的位置。修理铺里，决定把磨浆机交给谁、什么时候请主任出来、最后认不认那个新修法的，是人：早点铺老板认它，两位师傅认它，下一台机器再来时他们还会用它。这三件事，SDE 智能体都不替人做。它做的是把「对不上」这件事暴露得足够清楚，让人有东西可认、可驳。这也是第 39 章划界时要用到的一点：模型对话不是让机器自己定输赢，而是让分歧变成人能读的形状。

◆ 三、证据与边界

旁证一：AI 自己会分派，但不会自己碰。 Fu、Liu 与 Tegmark 在 2025 年的工作里报告过一个现象：独立训练的 AI 物理学家，面对同样的物理问题，并不总是收敛到同一套说法，有时会分成几群，分别接近哈密顿表述和拉格朗日表述；系统简单时多偏哈密顿，复杂时转向拉格朗日，随机种子影响很大。这说明典范的分化在 AI 里会自然发生，第六编用它作经验支点。可是同一项工作也说明了另一面：分成两派之后，两派并不会自己坐下来对质。分派是环节一的事，碰撞要另有场所。

旁证二：复合体的分工。 我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲复合体时，强调过一个侧重：机器偏向把框填满，人偏向读出缝隙的形状。本章把这个侧重再细分一层：读缝隙这件事，在多典范并存时，需要一套让多个典范同时在场的操作，这就是 SDE 智能体。它不改变复合体的定义，只是给复合体里「碰撞」这一步装上了一个明确的部件。

邻居与分界。　组织管理里早就有「跨部门协调」「设计评审」之类的做法，让不同专业的人坐在一起。本章并不声称发明了开会。分界在于：一般的协调会，目标是达成一个可执行的方案，分歧被妥协掉就算成功；SDE 智能体里的模型对话，目标是把分歧回溯到 Function、D、E 中的某一维，分歧被妥协掉恰恰算失败。前者求和，后者求缝。

旁证三：多模型并排不等于对话。　近几年已经有不少工作，让几个大模型对同一个问题各答一遍，再汇总或投票。这类做法常能提高答案的稳定性，这一点我不否认。可是它们大多不要求每个模型说清自己「连什么、按什么次序、凭什么下结论」，汇总时也不回溯分歧的来处。用修理铺的话说，这是让三位师傅各修一遍、看谁的机器撑得久，不是车间主任的三张纸。第 39 章会专门和多智能体辩论划界，这里只先记一笔：模型多了，不等于场所有了。

边界。　本章说碰撞需要一个场所，并没有说有了场所就一定碰得出东西。车间主任对着两张纸，也可能什么都看不出来。场所是必要条件，不是充分条件；碰撞能不能往涌现走，还要看准入（第 38 章）与缝本身（第八编）。另外，「SDE 智能体」在本书里是一个功能概念，不是某一款产品的说明书。按 ChatSDE 现行设计，它是一个对话入口，读者用自己接入的几家不同厂商的大模型来跑；平常一问一答之外，模式条上有两种碰撞：「三家对撞」（本书叫三碰）和「群碰」。两者都请不同厂商的模型分坐不同的席位，一家出判断，别家专门攻它，最后由没参与写作的一席结算；同一家模型不许坐两个位子，自己攻自己不算攻。旁边另有一个「双基底」，同一问让两家左右并排各答各的，现行设计明说那是并列，不算碰撞。第 36、37 章会把这两种碰撞各说一遍，并老实写出它们与本书通用流程不一样的地方。

粗层级证伪。　如果出现这样的大局面：单个典范模型只靠自我反思、自我对话，就能稳定地产生新典范，频率与质量都不低于多个典范模型在 SDE 智能体里对话的产出；或者单个统一大模型在内部「自己碰」，产生的新理解与经过模型对话回溯出的新理解一样多、一样深——那么「碰撞不在模型里」就错了，碰撞的场所这一环可以并回环节一。

带走的话

一个典范模型只能把自己的地图填满，两个典范模型各自独处也只是两次常规科学；碰撞需要一个不属于任何一方的场所，让两套三组合同时在场、被追问哪一处对不上。复合体是做事的单位，SDE 智能体是这个单位里让典范模型对话的操作系统。

小账　本章补的缝——库恩只讲不可通约造成沟通失败，没讲两个典范可以在哪里对质；本章给出碰撞的场所，并分清复合体与 SDE 智能体两个层级。

在圈上的位置——环节②（碰撞的场所）。

第 35 章

SDE 只规定方程的形式

> 这一章的问题：让所有典范都在 SDE 智能体里碰撞，SDE 会不会变成一个更高层的统一典范，把好不容易保住的多元，又在元层面收回成单一？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街要办一个街坊节，街道的人想印一本小册子，叫《南门老街家常菜谱》，每家馆子出两道拿手菜。负责这件事的是街道办一位年轻干事。他头一回跑三家馆子，空着手去，让师傅们「随便写写」。结果收回来三份东西，没法编。

庞记的老板娘庞秀芳写了满满一页，从「辣椒要选二荆条」写起，写到「汤汁收到挂勺」，中间夹着一大段讲她公公当年怎么炒豆瓣，配料用量一个没写。炜记的黄炜师傅写得极简，一张纸上列了十几样食材，克数精确到个位，步骤只有四行，最后一句「火候自己掌握」。谭家的谭老三根本没动笔，让他徒弟拍了一段视频，说「你们看就晓得了」。

三份东西都是真东西，可是放不进同一本册子。读者翻到庞记，找不到用量；翻到炜记，不知道火候；翻到谭家，只有一个二维码。

干事第二次去，带了一张表格。表格只有三栏：第一栏「用什么，什么和什么搭」，第二栏「先做什么、后做什么」，第三栏「怎么把它们做成这一盘」。他说：各位师傅，内容随你们填，我只管格式。

这一回收上来的东西就能编了。有意思的是，三家的表填出来，一眼看去还是三家。庞记那一栏「什么和什么搭」写的是「麻辣鲜香、复合味」，花椒、辣椒、豆瓣、糖醋怎么配，写得很细；炜记那一栏写的是「原味为本、清鲜爽滑」，主料和少数几样

辅料，强调「不夺本味」；谭家那一栏写的是「香辣咸鲜、腊味烟熏」，剁辣椒、豆豉、腊肉、茶油。到了「先后」一栏，庞记是先码味、再过油、后合炒；炜记是先处理主料、再控制火候、最后快速调味；谭家是先煸香、再下料、大火翻炒收汁。到了「怎么做成」一栏，三家的写法更是各走各的。

册子印出来，街坊们拿着翻，有人说了一句很实在的话：格式一样，倒更看得出三家不一样了。

◆ 二、这件事里藏着什么

「元层面单一化」这个追问

第六编主张一个典范一个模型，反对用一个统一大模型糊住所有典范。第 34 章又主张碰撞要在 SDE 智能体里发生。一个认真的读者马上会追问：

你反对统一模型，可你让所有典范模型都进 SDE 智能体，都按 S = Function(D, E) 来摆，这不就是把统一从「模型层」挪到了「元层」吗？你嘴上说多元，骨子里还是要所有典范服从一个更高的框架。这和库恩那里「成熟科学只有一个典范」相比，只是把单一往上提了一层。

这个追问是本编必须正面接住的，接不住，全书的「多元」就是一句空话。

规定形式，不规定内容

我的回答，就是街道干事那张表。

那张表规定了什么？只规定了三栏：用什么、先后、怎么做成。它没有规定任何一栏里应该填什么。它没说「必须有辣椒」，没说「必须先过油」，也没说「必须大火收汁」。三家馆子各自把自己的东西填进去，填出来的还是三家。

SDE 规定的，也只是这样一个形式：每一个显露 S，都可以看作某个 Function 作用于某个 D 与某个 E 的结果。它说的是「显露是怎样被做出来的」这件事的格式，不是「应该做出什么样的显露」的内容。具体到任何一个典范，E 里连的是什么、D 按什么次

序展开、Function 用什么方式合成，SDE 一概不管。庞记的味型体系、炜记的火候次序、谭家的成菜之法，都是各家自己的。

所以本书立过一条承重定义：SDE 只规定方程的形式 S = Function(D, E)，不规定任何一个具体三组合。这不是元层面的统一，正像菜谱格式统一了，各家填的内容不同，并不会让三家变成一个味道。

统一的形式为什么不会吃掉内容

有人会不放心：格式难道真的中性吗？表格的栏目怎么分，本身就带着一种看法。比如那张菜谱表，把「先后」单列一栏，对一个讲究「一锅出」、不分先后的菜系，是不是就不公平？

这个担心值得认真对待。我分三层回答。

第一层，形式越薄，偏见越少。那张表只有三栏，而且三栏都问得很宽：「什么和什么搭」可以填味型，也可以填食材，也可以填季节；「先后」可以填一串步骤，也可以只填一句「一锅出、不分先后」；「怎么做成」可以写技法，也可以写「看手感」。SDE 的三栏也是这样：E 只问「你把什么和什么连在一起」，D 只问「你怎样切分、按什么次序」，Function 只问「你怎样把它们合成显露」。一个典范如果主张「不切分、整体先于部分」，它在 D 那一栏照样填得进去，填的就是「不切分」这件事本身。

第二层，形式的作用是对照，不是评判。表格不打分，不说哪家的「先后」更好。SDE 在碰撞里也不判哪个三组合更高明，它唯一的职能，是在两道显露不一样时，帮人定位分歧出在 Function、D 还是 E。这一点很重要：一个只负责定位、不负责评判的形式，没有立场可以强加给内容。

第三层，形式本身是可以被碰撞改写的。如果有一天出现一个典范，怎么都填不进这三栏，不是填得难看，而是根本无从下笔，那这个形式本身就碰到了它的缝。这正是本书在第 39 章交出的粗层级证伪之一。形式是工具，工具可以修。

为什么需要一个统一的形式

反过来问：既然各家内容都不同，干嘛还要一个统一的形式？让三家各写各的不行吗？

街道干事第一次跑的结果已经回答了：不行。三份东西各自都真，却放不到一起，读者没法比。庞记写了故事没写用量，炜记写了用量没写火候，谭家给了视频没给文字。你想知道「庞记和炜记的差别到底在哪」，找不到下手的地方，因为两份东西连「差在哪一栏」都对不上。

碰撞也一样。两个典范模型如果各说各的格式，一个吐出一串公式，一个吐出一段描述，一个吐出一张图，你把它们放在一起，只能看出「不一样」，看不出「哪里不一样」。看不出哪里不一样，就无从回溯，碰撞就停在「各说各话」。库恩讲不可通约，说的正是这个局面：没有中立的裁判语言。

SDE 的形式不是裁判语言。裁判语言要能判对错，SDE 不判。它更像一张共用的表格，让每一方把自己摆成可以对照的样子。有了它，「不可通约」就从「完全说不到一块」，变成「在这一栏说不到一块」。后者是可以往下追的。

回到册子：格式怎样帮人找到差在哪

还用那本册子说话，这仍是我构想的情节。册子编好以后，干事发现一件巧事：庞记和炜记各自交的两道菜里，碰巧都有一道是用五花肉做的。庞记交的是回锅肉，炜记交的是一道蒸的五花肉。两盘菜端出来，一个红亮焦香，一个清润软糯，天差地别。

要是没有那张表，街坊们只能说一句「川菜和粤菜本来就不一样」，话就到头了。有了那张表，干事把两页摊开，一栏一栏对着看。

先看第一栏「什么和什么搭」。差别很大：一边是豆瓣、蒜苗、甜面酱，一边是姜葱和少许豉汁。可是干事注意到，两家都写了「肥瘦相间」，都把「肥的那一层出不出油」当成要紧事。这一栏差在搭配，不差在对肉本身的看法。

再看第二栏「先后」。庞记是先煮、再切片、后下锅煸到起「灯盏窝」；炜记是先腌、再码盘、后上锅蒸。两边都是两段加工，次序结构其实很像，差在第二段用的是干热还是湿热。

最后看第三栏「怎么做成」。这里才是真正的分岔：庞记要的是把油逼出来，让肉片卷起边、带焦香；炜记要的是把油锁在里面，让肥肉蒸到入口即化。两家对「肥肉的油怎么处置」，一个要放，一个要收。

一张表对下来，「川粤不一样」这句笼统的话，变成了一句具体的话：两家对五花肉的看法差不多，次序结构也近，最根本的分岔在成菜之法上，一个逼油、一个锁油。干事把这句话写在册子的编后记里。后来谭老三看了，说了句：我们湘菜的腊肉是先熏，把油熏到一半，算是两头都沾。

这一段小插曲，就是 SDE 形式在碰撞里的用法：它不告诉你谁的菜好，它只让你从「不一样」走到「差在哪一栏」，走到这一步，第三个人才接得上话。

形式为什么恰好是三栏

还有人会问：为什么是三栏，不是两栏、四栏?

两栏不够。本书第四编讲过，最初的说法是一个典范就是一套固定的（D, E）组合，后来我补入了 Function，把典范的定义改成 Function、D、E 的三组合。原因就在上面那个五花肉的例子里：两家的 E 和 D 都相去不远，真正分开它们的是 Function。只有两栏的表，会把这两家记成「差不多」，那就把最要紧的分岔漏掉了。

四栏、五栏是不是更细？可能。但每多一栏，就多一分规定，形式就厚一分，偏见进来的机会也多一分。本书取三栏，是取一个刚好能把分歧分开、又尽量薄的形式。这是一个可以被修改的选择，不是一个定理。

在碰撞中的唯一职能

把这一章的意思收成一句：SDE 在碰撞中只有一个职能，就是定位两道 S 的分歧出在 Function、D 还是 E。

它不提供任何一个具体的三组合，所以它不是又一个典范；它不判哪道显露更对，所以它不是裁判；它不把分歧平均掉，所以它不是统一模型。它只是让分歧落到一个具体的栏目里。分歧一旦落到栏目里，碰撞就有了方向：差在 E，就去看两边各自把什么连在一起；差在 D，就去看两边各自先切什么；差在 Function，就去看两边各自怎样把东西合成一盘。

这也回应了第一编里库恩的两难。逻辑派要一个中立语言来推演，库恩说没有，只好讲皈依。本书的说法是：确实没有一个能判对错的中立语言，但可以有一个只定位、不判对错的共同形式。有了它，两个典范不必皈依对方，也能知道彼此差在哪。

一张表看清三层

层级	规定什么	不规定什么	菜谱上的样子
SDE 形式	S = Function(D, E) 的三栏格式	任何一栏的具体内容	册子的统一表格
典范（三组合）	本典范的 E、D、Function	对哪个难题显露出什么	一家馆子的味型、次序、成菜之法
显露 S	这个三组合对一个难题的结果	别的难题上会怎样	端上桌的一盘菜

表里第一行只有一行，第二行可以有无数行，第三行更多。所谓元层面的单一化，是说第一行吃掉了第二行；本书的主张是，第一行越薄，第二行越能保持各自的样子。

◆ 三、证据与边界

旁证一：形式统一、内容多元，在科学里并不新鲜。　量纲分析要求任何物理方程两边量纲一致，这条形式要求从没让力学和电磁学变成同一门学问。论文要求「引言、方法、结果、讨论」的格式，也没让不同学派写出同一种结论。这些都说明，一个足够薄的形式约束，可以与内容的多元长期共存。当然，它们和 SDE 不是一回事，这里只取「薄形式不吃内容」这一点作旁证。

旁证二：费耶阿本德的警告。　费耶阿本德在《反对方法》（1975）里反对任何一种普遍的方法规则，「怎么都行」是他的口号。按他的思路，SDE 也是一种方法，也该被警惕。我接受这个警惕，所以本章把 SDE 的规定压到最薄：只规定三栏格式，不规定任

何方法步骤，不规定任何内容。它和费耶阿本德的分歧在于：他认为任何共同形式都会压制多元，本书认为没有共同形式，多元只能并排，碰不起来。谁对，交给后面的证伪。

旁证三：与拉卡托斯、劳丹的分界。　拉卡托斯的硬核与劳丹的研究传统，都是一组被相信的命题，说的是内容。第 23 章划过界：本书的典范不是命题，是三组合。到了这一章，可以再加一层：SDE 连三组合都不是，它只是三组合的格式。按层级说，命题在最下层，三组合在中间，SDE 的形式在最上层，而且越往上越薄。

旁证四：交通网的路网与线路。　第 16 章讲过，一张地铁网的轨距、信号制式、换乘规则是共的，每条线怎么走、停哪些站、多久一班，各线各不相同。许远在调度室里管的是同一套规则下跑着的十几条线，规则统一了，十几条线并没有因此变成一条线；恰恰因为规则统一，乘客才能在换乘站从一条线走到另一条线。SDE 的形式之于典范，就像路网规则之于线路：它让换乘成为可能，却不规定任何一条线的走向。

一个容易滑过去的误读。　有读者会把「SDE 只规定形式」读成「SDE 什么都没说」。这也不对。规定形式本身就是一个有内容的主张：它主张任何显露都可以被追问「由什么连法、什么次序、什么合成方式做出来」，它否认存在一种不经这三样就直接落地的「纯粹事实」。这个主张可以被反驳，所以它不是空话；它又不规定任何一家的具体三组合，所以它不是统一。说它薄，是说它对各家内容不设偏好，不是说它没有立场。

边界。　本章没有证明 S = Function(D, E) 是唯一合适的形式。也许有别的格式，比如四栏、五栏，同样能起定位分歧的作用，甚至更好。本书的主张是：碰撞需要一个只定位、不判对错的共同形式，SDE 是本书给出的那一个。

粗层级证伪。　如果出现这样的大局面：长期在 SDE 智能体里碰撞的多个典范模型，其三组合在几轮碰撞之后普遍向同一个三组合趋同，各家「味道」越来越像，而不经 SDE 碰撞的对照组反而保持了更大差异——那就说明 SDE 的形式在实际运转中吃掉了内容，「SDE 只规定形式、不是元层面统一」就错了。另一个相反局面是：出现一大批公

认有价值的典范，无论怎样都填不进 Function、D、E 三栏；那么这个形式本身需要修改。

> **带走的话**
>
> SDE 只规定 S = Function(D, E) 这个格式，不规定任何一家填什么；格式统一了，三家反而更看得出不一样。它在碰撞里只做一件事：把分歧落到 Function、D、E 中的某一栏。

小账　本章补的缝——库恩认为不可通约的两个典范之间没有中立语言，只能皈依；本章给出一个只定位、不判对错的共同形式，并回应「元层面单一化」的追问。
在圈上的位置——环节②（碰撞的场所）的防守章。

第 36 章

三碰

> 这一章的问题：同一个难题交给三个不同的三组合，各自显露出三道 S，碰撞到底是怎样一步一步发生的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

深秋的一个下午，南门老街口卖菜的老两口推来一板车藕，停在三家馆子门口犯愁。这批藕是塘里最后一茬，挖晚了，长得粗，掰开一看，断面发灰，丝扯得老长，生咬一口不脆，粉粉的。菜市场里人家要的是脆藕，这批卖不动。老两口说：三位师傅，你们帮着想想办法，这藕能做点什么，做出来我们就照这个法子卖给别人，说是三家馆子试过的。

三家各拿了一筐。

庞记的庞秀芳第一个动手。她的路数一向是麻辣鲜香、先码味再合炒，她想的是：藕不脆，就用热油把它逼脆。她切成藕丁，大火干煸，下花椒辣椒，炒出来香是香，可藕丁外面焦了里面还是粉，吃着一口沙一口硬，她自己尝了直摇头。

炜记的黄炜换了个方向。他的路数讲原味、讲火候，他说粉藕不要和它的粉作对，干脆顺着它。他把藕切大块，和排骨一起煲了三个钟头。汤一开盖，藕块边缘化开，汤变得稠稠的，带着淡淡的甜。好喝，就是藕本身已经看不出形状了，一夹就散。

谭家的谭老三最省事。他把藕切厚片，和腊肉一起下锅，煸出腊油，加豆豉、剁辣椒，焖了二十分钟收汁。藕片吸饱了腊油和辣味，粉粉的口感反而成了好处，入口即抿开，咸香重口。

傍晚，三盘东西摆在庞记门口那张大方桌上：一盘焦一半的藕丁，一锅稠汤，一碗腊肉焖藕。卖菜的老两口、三位师傅、几个闻香而来的街坊，围了一圈。

要是平时，大家尝一口，说一句「谭家的最好」，事情就完了。那天，庞秀芳不服气，她问了一句很关键的话：我的为什么不行？谭老三的为什么行？我们差在哪？

这一问，三个人就不是在比谁的菜好了，而是开始一样一样往回倒。

庞秀芳先说：我心里认定藕就该是脆的，我所有的办法都是奔着脆去的，这批藕不肯脆，我就输了。黄炜接着说：我一开始就没把脆当回事，我把藕和汤连在一起想，藕粉，汤就稠，正好。谭老三说：我也没想脆，我想的是它能吸油、吸味，粉的东西吸得多。

说到这里，桌边一个街坊插了一句：那你们三家，一家把藕当「脆的东西」，一家把藕当「化在汤里的东西」，一家把藕当「吸味的东西」。这批藕的毛病，其实只在第一家那里才算毛病。

庞秀芳愣了一下，然后笑了。她说：那我不跟它争脆了。第二天，她用同一批藕做了一道新菜，这我们留到后面再说。

◆ 二、这件事里藏着什么

同一个难题，三个三组合，三道显露

把这件事按本书的说法摆一摆。

难题是同一个：一批粉藕，怎样做好吃。

三家馆子是三个三组合。庞记的 E 把「藕」和「脆、爽、香」连在一起；D 是先切小、再干煸、后调麻辣；Function 是用高温把水分逼出来，靠焦香和麻辣取胜。炜记的 E 把「藕」和「汤、本味、甜」连在一起；D 是先切大块、再长时间煲、最后少调味；Function 是让食材的东西慢慢释放进汤里，靠汤取胜。谭家的 E 把「藕」和「腊味、豆豉、辣」连在一起；D 是先煸腊肉出油、再下藕焖、后收汁；Function 是让主料吸附重味，靠入味取胜。

三道显露：一盘焦一半的藕丁，一锅稠汤，一碗腊肉焖藕。

这就是「三碰」的起点：同一个难题放进三个不同的三组合，各自显露出三道 S。注意这里「不同」的是三组合，不是厨师的手艺高低。三位都是好厨师，只是各守各的典范。

碰撞发生在三道 S 之间，并回溯到各自的三组合

如果只是三道菜摆在桌上，大家尝一尝、评一个最好，这叫比赛，不叫三碰。比赛只看显露，不问显露从哪来。

庞秀芳那一问，「我们差在哪」，才把事情变成了三碰。她做的是回溯：从显露倒回去，看三个三组合各自在哪一栏分开。

回溯的结果有点出人意料。按直觉，大家会以为差在手法上：庞记干煸，炜记煲汤，谭家焖，这是 D 和 Function 的差别。可是一路倒下去，真正的分岔在最前面，在 E：三家各自把藕和什么连在一起。庞记把藕连到「脆」，这一连，后面所有的次序和做法都只能奔着脆去；炜记和谭家没有这一连，后面的路自然就宽了。

这一步很要紧。它说明三碰不只是「看三道菜哪道好」，而是「看三道菜为什么不一样，不一样根在哪一栏」。根在 E 的分歧，和根在 D、根在 Function 的分歧，后面该怎么处理是完全不同的：根在 E，要换的是看法；根在 D，要换的是次序；根在 Function，要换的是做法。

新理解从哪里冒出来

那个街坊的一句话，是这次三碰里冒出来的新东西：这批藕的「毛病」，只在把藕连到「脆」的那个三组合里才算毛病。

这句话，三位师傅进门之前谁也没有。庞秀芳不会这样想，她认定藕就该脆；黄炜和谭老三也不会这样想，他们压根没把脆当问题，所以也不会说出「毛病只在一家那里才算毛病」。这句话只有在三道显露摆在一起、一路回溯到 E 那一栏时，才说得出来。

更要紧的是后续。第二天，庞秀芳没有放弃她的麻辣，也没有改去煲汤。她做了一道新菜：粉藕切片，先蒸软，再压成泥，拌入肉末和花椒粉，团成小饼，下锅煎到两面金黄，出锅浇一勺红油。外面是她要的焦香，里面是黄炜看重的粉糯，入味的方式又借了谭老三的吸附。三家的三组合都在里面，又都被改了：她的 E 不再把藕死连到「脆」上，她的 D 多了一步「先蒸软」，她的 Function 从「逼出水分」变成「外焦里糯」。

这道藕饼是不是一次真正的涌现、能不能沉淀成庞记的新招牌，是第八、九编的事。这里只说一点：它的起点，是那张方桌上三道显露的并排和一路回溯。

三碰的通用流程

把方桌上的事抽出来，三碰可以写成一个通用流程。下面这个流程是本书按「碰撞的场所」这一定义整理的，不是 ChatSDE 的使用说明；ChatSDE 现行设计里的三碰怎样走，每一步后面顺带交代一句，本节末尾再集中对照一遍。

第一步，立题。拿出同一个难题，把它说清楚到三个典范都能接手的程度。藕的例子里，难题是「一批粉藕怎样做好吃」，不是「怎样把粉藕做脆」。后一种说法已经替一个典范说话了，它偷偷把庞记的 E 塞进了题目。立题时的这一点小心，决定了后面的碰撞公不公平。按 ChatSDE 现行设计，难题就是读者在对话框里打进去的那一问，三碰这一路没有单设立题的辅助；把题接成一个「能被攻击的判断」，是第一席的活，它被要求不要面面俱到，宁可偏一点、狠一点，并自己标出这条判断最站不住的那一环。所以立题的公不公平，现行设计里仍主要靠读者自己问得公道。

第二步，三显露。让三个不同的三组合各自面对这个难题，各自显露出一道 S，并且要求每一方同时交出自己的三栏：我把什么和什么连在一起（E），我按什么次序展开（D），我怎样把它们合成这道显露（Function）。只交显露、不交三栏，后面就没法回溯。按 ChatSDE 现行设计，三个席位由三家不同厂商的模型来坐，读者可以逐席点名，也可以交给系统按顺序自动排；只有两家可用时，第三席只好借用第一家，系统会当场标明这一轮降级，结算不作数。要说清的是：今天坐席的还是各家的通用模型，不是按某个三组合专门训练的典范模型；它们的「不同」来自各家不同的训练语料与取舍，而不是各自守着一套写明的三组合。现行设计也不要求每一席交出三栏，而是让前

两席都用平常话说、不读站内语料、不用学派术语，免得三家戴上同一副眼镜，攻来攻去只攻到措辞。

第三步，并排比较。把三道显露摆在一起，先不评高下，只看差异：哪里一样，哪里不一样，不一样的地方各有什么形状。藕的例子里，三道菜在「藕的形状保不保得住」「味道从哪里来」两处差得最远。按 ChatSDE 现行设计，三席的产出在同一个回答里自上而下排开，每一栏标着席位名（出判断、攻击它、他们都没说的那一条）和所用模型的名字，边写边出字；每栏末尾还有一行自报，系统把它读成几枚小标签，比如攻在承重处几处、带了几条改法、有没有给出能去查的判决性对照、两家是不是落在同一维上、这一轮出没出结算。不过现行三碰是接力而不是同时并排：第二席读到第一席的原文才动笔，专职攻它；同时作答、互不相读的并排，现行设计放在群碰的两个结算席上。

第四步，回溯分歧。对每一处差异，倒回三栏里去找它的根：是 E 不同，还是 D 不同，还是 Function 不同。这一步是三碰的心脏，也是 SDE 智能体唯一不可替代的职能（第 35 章）。藕的例子里，表面的差异在手法，根上的分歧在 E。

第五步，提出新理解。在回溯到的那一栏上，追问：这个分歧本身告诉我们什么，三方原来都没有？藕的例子里，新理解是「毛病是相对于某个 E 才成立的」。新理解要写成一句能被别人接住、能往下做的话，而不是一句「各有千秋」。

这五步里，前两步是准备，第三步是摆，第四步是碰，第五步是收。少了第四步，就退化成比赛；少了第五步，就停在「原来我们不一样」，没有新东西。

回溯可能落到的三处，各自意味着什么

第四步回溯，落点只有三种，每一种接下来该做的事都不一样，值得分开说。

落在 E。三家对「这个东西和什么连在一起」看法不同。藕的例子就是这种。根在 E 的分歧最深，也最容易被误判成手法问题，因为 E 不同，后面的 D 和 Function 都会跟着不同，表面上看到的全是手法差别。处理这种分歧，要换的是看法：让一家试着用另一家的连法重新看这个难题。庞秀芳放下「藕就该脆」，就是换了 E 的一角。

落在 D。三家看法相近，切分和次序不同。比方说同样把藕连到「入味」，一家先焯水再下锅，一家生藕直接下锅焖。这种分歧往往决定成败的细节，处理它要换的是次序：同一套看法，换一个先后，试试显露怎样变。

落在 Function。看法和次序都相近，合成的方式不同。比方说同样先蒸软、再调味，一家拌成凉菜，一家煎成饼。处理它要换的是合成之法。第 35 章五花肉的例子里，庞记和炜记的根本分岔就在这里：一个逼油，一个锁油。

为什么要分得这么细？因为分不清落点，人就会在错的地方使劲。根在 E 却以为在手法，就会一遍遍换手法，永远换不对，庞秀芳的干煸藕丁就是这样，她换了三种火候都不行，因为问题根本不在火候。回溯的价值，就是让人在对的那一栏上用力。第八编第 41 章还会接着讲：缝的种类不同，该找来碰的典范也不同。

三碰里人在做什么

方桌边那一幕里，还有一个细节值得记下：真正说出那句新理解的，不是三位师傅中的任何一位，是旁边一个街坊。

这不是偶然。三位师傅各守各的三组合，回溯时每个人都在为自己那一栏辩护；站在三家之外的人，反而最容易看出「三家各把藕连到了什么」这个整体形状。放到 SDE 智能体里，三个典范模型负责交出各自的显露与三栏，智能体负责并排和回溯，而那句「毛病只在一家那里才算毛病」的新理解，要有人去认、去说出口、去拿回自己的灶上试。

这正是复合体的分工：模型把各自的路走满，操作系统把分歧摆清楚，人决定哪一处分歧值得追、哪一句新理解值得带回去做。庞秀芳第二天的藕饼，就是人把新理解带回自己灶上的那一步。

为什么是三个，不是两个

最后说一说「三」。两个典范也可以碰，修理铺的刘师傅和韦师傅就是两个。为什么还要有「三碰」？

两个三组合对比，差异只有一对，回溯时容易把差异归到「对方不懂」上去。三个三组合对比，差异有三对，回溯时就能看出：哪些分歧是三家各不相同，哪些分歧是两家一边、一家另一边。藕的例子里，正是因为炜记和谭家在「不把藕连到脆」这一点上站到了一边，庞记那一连才显得格外清楚。只有庞记和炜记两家，人们很可能会说「川菜爱干煸、粤菜爱煲汤」，把分歧归到手法上，错过真正的根。

三个，是能分出「两家一边」的最小数目。它让回溯多了一个参照，让「谁站在哪一边」本身成为信息。这也是三碰比两两对比更容易追到根的原因。

◆ 三、证据与边界

旁证一：三角测量的老道理。　测量学里，两个观测点只能定一条线，三个才能定一个点。社会科学方法论里也有「三角互证」的说法，通常追溯到社会学家 Denzin　1970 年前后的方法论著作，他把它分成资料、研究者、理论、方法几种，大意都是用不同来源、不同角度互相校验。三碰借的是同一个朴素道理：多一个参照，分歧的根更容易定位。本书不把三碰的效力建立在这个类比上，类比只说明直觉。

旁证二：Fu、Liu 与 Tegmark 的两派。　他们观察到独立训练的 AI 物理学家有时分成哈密顿与拉格朗日两派。这在本书的语言里，是同一个难题出现了两道不同的显露，背后是两个不同的三组合。它只到了第二步。要走到三碰，还要再加一个第三方，并把两派各自的三栏交出来、回溯分歧。这项工作本身没有做这一步，这正是本章想补的。

旁证三：盲品与回溯。　品酒、评茶的行当里有盲品的规矩：先不看标签，只尝显露，再回头对照产地、工艺。盲品的好处是不让名气压住舌头。三碰的第三步「并排比较、先不评高下」与这个规矩相通。不同之处在于，盲品的回头对照，通常是为了验证评分；三碰的回溯，是为了找分歧的根，根找到之后，要冒出一句三方原来都没有的话。前者到验证为止，后者要往前走一步。

一个反方意见。　有人会说：三碰听起来不过是「集思广益」的老话，三个臭皮匠顶个诸葛亮。我同意它们有亲缘，但分界很清楚。集思广益是把三个人的主意加在一起，挑好的、补漏的，终点是一个更周全的方案；三碰是把三个三组合的分歧摆出来，追到

根上，终点是一句关于分歧本身的新理解。前者把差异当成需要弥合的东西，后者把差异当成燃料。第 10 章说过，库恩只看到了不可通约的破坏面；三碰要用的，恰恰是它的燃料面。

边界。　第一，三碰不保证冒出新理解。很多时候，回溯一路倒下去，发现只是一家的手艺没到位，没有什么根上的分歧。这时三碰的收获是确认「这里没有缝」，也算一种结论。第二，三碰的质量高度依赖第一步立题。题目偏向某一家，后面全偏。第三，本章写的是通用流程，不是 ChatSDE 的实际操作。两者的出入，按 ChatSDE 现行设计，有这么几处：一是现行三碰走接力，一家出判断、一家攻、一家结算，而不是三家同时显露再并排；二是坐席的是各家通用模型，靠训练来源不同取得异质，还不是专门的典范模型；三是回溯落在显露、路径、纠缠三样上，结算席要先量判断与攻击是不是落在同一样上，同在一样就判为「同维复述」、当场停下，Function 那一栏还没有单列出来；四是现行设计的收口，是找出两家都默认却谁也没说的那条共有前提，再用两家自己的话把它推翻，结算成一句谁都没单独说过、不带「可能」「也许」的话，并附一条怎样算它错。这一句还可以当下一轮的靶子「继续对撞」，座位每轮挪一格；系统若判出下一轮只是换个说法重述上一轮，就当场停下。本书的通用流程和现行设计方向一致，细节不同；以后哪一边改，都应当以对照实测来定。

粗层级证伪。　如果出现这样的大局面：在大量难题上，把三道显露并排、回溯到 Function、D、E 的做法，与只把三道显露并排、让人凭感觉挑一个最好的做法相比，冒出新理解的频率与质量并不更高——那么「回溯分歧是三碰的心脏」就错了，三碰退化成一种好听的比赛。

> **带走的话**
>
> 三碰是同一个难题交给三个不同的三组合，三道显露摆在一起不评高下，先一路倒回去，看分歧根在 Function、D 还是 E；根找到了，新理解才有落脚的地方。

小账　本章补的缝——库恩那里两个典范只能互相听不懂；本章给出三个典范对同一难题并排显露、回溯分歧维度的具体流程。

在圈上的位置——环节②（碰撞的场所）的基本操作。

第 37 章

群碰

> 这一章的问题：当面对同一个难题的不是三个，而是五个、七个三组合时，碰撞会变成什么样子，又该怎样判断一次群碰碰得好不好？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远在地铁调度中心上班，常倒夜班。有一阵子，夜班同事们凑钱想在南门老街订盒饭，每晚七点送到，大家十点、十一点才有空吃。难处就在这三四个钟头：刚出锅的菜装进盒子，放到夜里，青菜黄了，炸的软了，米饭硬了，汤汁把饭泡成一团。同事们托许远去街上问问，哪家能做「放三个钟头还好吃」的盒饭。

许远先找了老街上最熟的三家：庞记、炜记、谭家。三位师傅一听都说有意思，可各家能想到的办法都有限。庞秀芳说川菜重油重味，放凉了味还在，可红油一凝就腻；黄炜说粤菜讲究现炒现吃，放久了本味就跑了；谭老三说湘菜的腊味、剁椒倒是耐放，可天天吃也受不了。

许远想起街上不止这三家。那个周末，庞秀芳做东，在庞记后院摆了两张桌子，又叫来了四家：街尾做便当的日料小店，老板娘姓邬；巷口的清真牛肉面馆，掌勺的马师傅；隔壁的西点房，做面包的小姑娘小蔡；还有一位在街口卖了二十年卤味的翟大姐。七家馆子，七个路数，围着一个题目：放三个钟头还好吃的盒饭。

那天下午很热闹，也很乱。一开始，每家都在讲自己的拿手：邬老板娘说日本便当本来就是凉着吃的，讲究的是一开始就按凉吃来做；翟大姐说卤味天生就是放凉了才入味；小蔡说面包店的思路是控制水分，什么东西吸水、什么东西出水，分开装；马师傅说面条最怕泡，他们拉面都是吃之前才下锅，盒饭他做不了。

讲到第二轮，事情开始变了。黄炜听完邬老板娘的话，说了一句：我们粤菜的白切鸡，其实也是凉吃的，只是我们从来没把它当成「为凉而做」。翟大姐接着他的话说：对，我那卤水也是，热的时候味道反而没出来。小蔡听到「水分」两个字，又补一句：那问题不在凉，在出水。青菜黄、饭泡烂，都是放着放着出了水。

到了第三轮，庞秀芳一拍桌子：那我们一直在问「怎么让热菜放凉还好吃」，问错了。应该问「哪些菜一开始就按凉吃来做，哪些菜要防出水，哪些东西要分开装」。

许远在旁边记了满满两页。他事后跟女儿许小满说起这一下午，许小满问了一句：七家人吵了一下午，最后是谁赢了？许远想了半天，说：好像没有谁赢，可每一家走的时候，都揣走了一样自己原来没有的东西。

◆ 二、这件事里藏着什么

从一条缝到一张缝的地图

第 36 章的三碰，三个三组合摆在一起，回溯下来，往往能落到一处主要的分歧：藕的例子里，分歧根在 E。三碰的产物，常常是一条缝。

七家人围着一个题目，情形就不一样了。分歧不止一处，而是到处都是：日料和粤菜在「凉吃」上站一边，川菜和湘菜在「重味耐放」上站一边；面包店把问题落到「水分」，牛肉面馆把问题落到「怕泡」；卤味摊一个人同时连着「凉吃」和「重味」两头。每一对之间都有差异，每一处差异的根都可能落在不同的栏目里。

这时候碰出来的，不是一条缝，而是一张缝的地图：哪里分歧最大，哪里几家意外地一致，哪里看起来不同、其实根在同一栏，哪里看起来相同、其实根本不是一回事。

这就是群碰：多个三组合同时面对一个难题，各自显露，各自交出三栏，分歧不再是一条缝，而是一张缝的地图。

群碰不是七次三碰

有人会想：七家，两两组合就是二十一对，三三组合就是三十五组，一组一组做三碰不就行了？

不行，也不必。原因有二。

第一，有一类缝，只有在多方同时在场时才显出来。那天下午最要紧的一步，是小蔡听到黄炜和翟大姐都在讲「凉吃」，忽然把问题挪到「出水」上。这一步，小蔡和黄炜单独碰，碰不出来，因为黄炜没讲凉吃之前，小蔡不会想到凉吃和出水的关系；小蔡和翟大姐单独碰，也碰不出来。它要求三四个三组合的显露同时在桌面上，才看得出「它们都在绕着一个没说出来的东西转」。

第二，群碰的价值，常常在于看见「几家意外地站到了一起」。日料和粤菜，一个讲凉吃，一个讲本味，平时谁也不会把它们放在一边；可在这个题目上，它们在 E 那一栏连的东西出奇地像：都把食物和「放凉后的味道」连在一起。这种跨路数的意外同盟，在两两比较里看不出来，只有在群碰的地图上才浮现。

群碰怎样展开

群碰的通用流程，和三碰前四步大体一致：立题，各自显露并交出三栏，并排比较，回溯分歧。不同在于两处。

一是多轮。三碰常常一轮回溯就能落到一处根；群碰要好几轮。那天下午，第一轮是各讲各的，第二轮开始互相接话，第三轮才冒出「问错了」那一句。每一轮，每一方都要看到其他各方上一轮的显露，再交出自己这一轮的。

二是画图。每一轮回溯之后，要把分歧的落点画在一张图上：哪几家之间的分歧落在 E，哪几家落在 D，哪几家落在 Function；哪几处缝是新出现的，哪几处缝在这一轮被填上了。群碰的产物不是一句话，而是这张图，以及图上最深的那一处缝。

按 ChatSDE 现行设计，群碰至少要四家不同厂商的模型、最多八家，同一家不坐两个位子。席位是一席出判断，若干席攻击，两席结算。攻击席依次上场，每一席要先指名攻的是哪一席的哪一句，系统把「已被攻过」的清单递下去，不许扎堆攻同一处；两个结算席同时动笔、互相读不到，两份一致的地方算结清，不一致的地方正好是下一轮的靶子。随后由一席没做过结算的来当总结席：把每一家各压成一句，指认各落在显露、路径、纠缠哪一样上，点出全场没人碰的那一样，再拿落在两样上的两句相撞，撞

出第三样上的一条新判断，交作「下一轮的靶子」。轮数不预定，读者按一下「继续」就开下一轮，直接攻那条靶子，座位轮转；总结席交不出靶子就不给继续。现行设计里的「地图」，就是每轮末尾那一行小结：结清几处、未结清几处、没人碰的维、撞点、有没有靶子。它比本章说的缝的地图要简，坐席也还是通用模型而不是典范模型。本章其余部分写的是本书按定义整理出的通用结构。

群碰质量的指标：接住的比例乘以改动的幅度

群碰热闹，热闹不等于碰得好。怎样判断一次群碰碰得好不好？

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 38 章讲理解的数学时，提出过两个量，用来看一段对话会不会走向共同理解：一个是「接住的比例」，后一方的话里，有多少明确承接了前一方用过的词或说法；一个是「改动的幅度」，承接的时候，是原样重复，还是带了新的用法，而且改动仍在接得上的范围之内。那本书押的预测是：两个量都处在中间地带的对话，更可能走向共同理解；接住很高而几乎不改的（过同），或接住很低而改得离题的（过异），更可能空转。

这两个量可以搬到群碰上来，作为群碰质量的指标：接住的比例乘以改动的幅度。

用那天下午来说。第一轮，各家讲各家的拿手，几乎没有人接别人的话，接住的比例很低。乘出来接近零，这一轮没有碰。第二轮，黄炜接了邬老板娘的「凉吃」，又把它改到了白切鸡上；翟大姐接了黄炜，又改到卤水上；小蔡接了「凉吃」，改到了「出水」。接住的比例上去了，每一次接住都改了一点，乘积明显升高。第三轮，庞秀芳接住了前面几乎所有人的话，又做了一次大的改动，把题目本身改掉了。这一轮乘积最高。

为什么用乘法，不用加法？因为两个量缺一不可。只接不改，就是一屋子人互相点头，「对对对」，乘积是零；只改不接，就是一屋子人各说各话，每人都很有新意，可没有一句落在别人的话上，乘积也是零。加法会让其中一个量很高来掩盖另一个为零，乘法不会。

这里要补一句分寸。那本书讲得很清楚，改动要在「接得上的范围」之内，改得离题万里不算幅度大，算没接住。所以这个乘积不是越大越好地一路往上，而是在两个量都不走极端时最高。把它当作一个看走势的量，比当作一个打分的量更合适。按本书一贯的纪律，这个读数也不进任何考核。

读这张地图的三种位置

群碰交出的缝的地图，读起来有三种位置要特别留意。

第一种是「意外同盟」：平时路数相去很远的几家，在这道题上，某一栏连的东西出奇地像。日料和粤菜在「放凉后的味道」上站到一边，就是这种。意外同盟提示，这个难题可能触到了一个各家都有、却从没单独说出来的东西。

第二种是「假一致」：几家嘴上说的一样，回溯下去，根在不同的栏目。比方川菜和湘菜都说「重味耐放」，可庞记说的是麻辣香在油里，油凝了就腻；谭家说的是腊味、豆豉本身是干货，耐放靠的是食材而不是调味。前者落在 Function，后者落在 E。假一致最容易被投票吃掉，因为它看起来是一大块多数。

第三种是「孤点」：只有一家站在那里，谁也接不上。马师傅的拉面「必须现下」，那天下午一直是孤点。孤点不一定没价值，它可能只是离其他几家太远，接不上（第 38 章会讲典范距离太远的情形）；也可能它点出了题目的一个硬边界：有些东西就是不能做盒饭。读地图时，孤点要单独记下，不急着丢。

这三种位置，加上「缝最深处」，是群碰地图上最要看的四处。

群碰之后，各家揣走了什么

许远那句「每一家走的时候，都揣走了一样自己原来没有的东西」，值得多说一句。这仍是我构想的情节：后来那阵子，黄炜开始琢磨一款专门「为凉而做」的白切鸡饭；小蔡给庞记出主意，青菜和米饭之间垫一层吸水的东西；翟大姐把卤水的配方改淡了一点，说凉吃的人不需要那么咸；庞秀芳把红油换了一种凉了不凝的做法。

这说明群碰的产物有两层：一层是地图和那处最深的缝，属于大家；另一层是每一家都被改写了一点，属于各家自己。后一层，正是《人与 AI 一起发生新数学》里说的碰撞的标志：双方都被改写。在群碰里，是多方都被改写。

群碰与投票的区别

最后说一个最常见的误会：群碰是不是就是投票？七家人，各出一个方案，最后举手表决，多数人支持的就是答案。

不是。投票取最多数，群碰取缝最深处。

那天下午如果投票，最多数大概会落在「重味耐放的菜为主」：川菜、湘菜、卤味三家都会投它。这个答案不算错，夜班同事吃上一阵也行。可它恰恰错过了那天最值钱的东西：「问错了」那一句。那一句是从日料、粤菜、面包店三家意外站到一起的那处缝里长出来的，在投票里，这三家是少数，它们的那处缝会被多数票直接盖住。

投票的逻辑是：分歧是噪音，多数是信号。群碰的逻辑正相反：多数往往代表大家早就共有的东西，最深的那处缝才是新东西可能长出来的地方。所以群碰看地图时，首先看的不是哪里人多，而是哪里分歧最深、回溯最难、又有人在那里接住了别人还改了一步。

◆ 三、证据与边界

旁证一：头脑风暴研究的挑战。　心理学里有一个常被引用的发现：一群人当面头脑风暴，产生的主意，往往不如同样数量的人各自独立想、再汇总的多。Diehl 与 Stroebe 1987 年在《人格与社会心理学杂志》上把这件事当作一个「谜」来解：他们比较了几种解释，认为主要原因是「产出阻塞」，一个人说话时别人只能等，等着等着主意就丢了，搭便车和怕被评价的影响反而小。这对群碰是直接的挑战：人多了，为什么反而可能更差？我在《人与 AI 一起发生新数学》里给过另一层猜测：头脑风暴里多的是拼接与从众，不是碰撞。本章的指标正好可以检验这个猜测：如果当面讨论的接住比例高而改动幅度低（从众），乘积会低；群碰要求每一方交出三栏、每一轮回溯，是在结构上压住从众。这是猜测，要实验说话。

旁证二：多智能体辩论。 Du 等人与 Liang 等人 2023 年的工作，让多个模型多轮辩论，以提高推理质量。Du 等人让同一个模型的几个副本各自作答、互相批评、多轮修改，直到收敛到一个共同答案；Liang 等人则针对单个模型「自我反思」时一旦自信就不再出新想法的毛病，让几个角色针锋相对地辩、再由一个裁判收尾，用意正是鼓励发散。这和群碰在形式上相近，都是多方多轮。分界留给第 39 章细讲，这里只说一点：辩论最后多半收敛到一个答案，群碰最后交出的是一张缝的地图和最深的那处缝。

旁证三：Kitcher 的认知劳动分工。 Kitcher 在 1990 年发表于《哲学杂志》的《认知劳动的分工》里讨论过：当一种理论的证据只比对手略强时，每个科学家各自理性地都会扑向它，可是对整个共同体来说，全押在略占上风的那一条上并不划算，把一部分人分到看起来不那么有希望的路线上更好；他还论证，想抢功劳的科学家反而更愿意去冷门路线，客观上帮共同体把人分得更合理。这和「群碰取缝最深处、不取最多数」有相通的直觉：多数的方向不一定是最值得投入的方向。分界在于，Kitcher 讨论的是给定成本下怎样把人分到不同路线上，路线之间各走各的；群碰讨论的是不同路线同时在场时怎样互相改写。前者是分开跑，后者是碰在一起。

旁证四：一个现行实例。 SDE　Universes 网站上另有一个叫「碰撞出典范」的工具，按现行设计，它取三篇来源（一位学员的三篇、三位学员各一篇或三个学科的长文），先查它们是不是真在打架，每篇抽三条最硬的话，跨篇两两对撞，先铺出五个候选判断，查过有没有人早已说过，幸存的候选再互撞，然后走自组织、涌现，收成一句三篇单看都说不出的话，与近邻划界后写成长文，创新智商不到 150 就点名回炉。它的工序名正是创造律的三步：混沌碰撞、自组织、涌现。它撞的是文本而不是典范模型，只能算本书这个圈在今天的一个雏形。

一个容易犯的错。　群碰最容易滑成「人多好办事」的热闹。判断它滑没滑过去，有一个很粗的办法：散场时问每一方一句，你带走了什么原来没有的东西？如果多数人答不上来，或者答的只是「听到了别人的做法」，那这次群碰多半只是一次交流会。交流会也有用，但它不是碰撞。

边界。　　第一，群碰的成本比三碰高得多。参与方越多，轮数越多，人读地图越吃力。不是每个难题都值得群碰，多数难题三碰就够了。第二，参与方不是越多越好。超过某个数目，地图会密到读不出形状。这个数目是多少，本书不给，也不编。第三，「接住的比例」与「改动的幅度」在群碰里怎样稳定地量出来，目前只有方向，没有成熟的手续。

粗层级证伪。　如果出现这样的大局面：在大量难题上，群碰所选出的「缝最深处」与投票所选出的「最多数」相比，后续被沉淀为新典范模型的比例并不更高；或者「接住比例乘以改动幅度」处于中间地带的群碰，与过同、过异的群碰相比，产出的新理解在质量上看不出差别——那么本章关于群碰的两条主张，取缝最深处、以接改乘积看质量，就要修改。

> 带走的话
>
> 三碰常常碰出一条缝，群碰碰出的是一张缝的地图。看一次群碰碰得好不好，看每一轮是否既接住了别人、又改了一步；投票取最多数，群碰取缝最深处。

小账　本章补的缝——库恩只讨论两个典范之间的更替；本章把碰撞推广到多个典范同时在场，给出「缝的地图」与接改乘积这一质量指标。

在圈上的位置——环节②（碰撞的场所）的扩展操作。

第 38 章

碰撞的准入与握手

> 这一章的问题：是不是随便哪两个典范拉到一起都能碰？什么样的两个典范值得碰，碰之前又该先对齐什么？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

开春以后，城南那间修理铺接到一种新活：电动三轮车。老街上送货的、收废品的、卖早点的，几乎家家一辆。毛病五花八门，最常见的一种是：平路跑得好好的，一上坡就没劲，坡上到一半，车子像被人拽住了，有时还会断一下电再接上。

车间主任想让铺子把这门活接下来，可这活不是刘师傅一个人的，也不是韦师傅一个人的。他决定试一试，看配谁跟刘师傅搭档最合适。前后试了三回。

第一回，他把刘师傅当年带出来的徒弟小温叫了回来。小温也是钳工出身，在另一家厂里干了十来年。师徒俩一凑，配合得没话说：一个眼神就知道要什么扳手，一句话说半截对方就接上了。他们把车架、链条、飞轮、后桥查了一遍，说链条拉长了、飞轮有点涩，换了新的，前后不到一个钟头。车主骑走，第三天又回来了，上坡照样没劲。师徒俩查来查去，查的还是那几样东西，因为他们俩脑子里装的是同一张图。

第二回，主任请来了巷口手机维修摊的小骆。小骆二十出头，修手机、刷系统、换电池样样拿手，三轮车的控制器、电池管理板，他拿起来就能看。可他和刘师傅说不到一块。小骆说：控制器里有个限流的参数，可能设低了，我要连电脑读一下。刘师傅说：我不懂你那个参数，我只知道链条一紧，车就费劲。小骆说电压、说协议，刘师傅说间隙、说手感。两个人各自讲得都有道理，可是没有一句能落到对方手里。忙了一个下午，什么都没定下来。

第三回，主任把刘师傅和韦师傅叫到一块。动手之前，他先让两个人各回答一个问题：修这种车，你最不肯放弃、最先要看的那个量是什么？

刘师傅想了想说：车轮上的劲，就是坡上链条和齿轮吃了多大的力。韦师傅说：电机的电流，电流一高，什么都要出事。

主任说：那你们先别动手，先找一个两个人都能看、都认的量。

两个人琢磨了一会儿。韦师傅说：上坡的时候，车轮吃的力越大，电机的电流就越高，这两个是连着的。刘师傅说：那就看坡上那一段，力和电流是不是一起涨，涨到哪里断的。

他们找了一个坡，让车主拉着一筐货跑了三趟，刘师傅在后轮边上听、摸，韦师傅夹着钳形表盯电流。第三趟上到坡中间，车一拽，电流先是冲到一个顶，紧接着掉下来，掉的那一下，刘师傅说链条那头也松了。

两个人对着这一下，一个从力那头讲，一个从电流那头讲，越讲越对得上。至于后来查出的毛病究竟是什么，不是这一章的事。我只想请读者记住三次搭档的样子：太像的，碰不出东西；太远的，接不上；不远不近、又先找到一个双方都认的量的，才碰得起来。

◆ 二、这件事里藏着什么

准入三条件

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 14 章讲跨界碰撞时，给过接活的三个条件：亲缘够近，差异够大，接口对齐。那里讲的是数学和别的领域之间怎样借来新东西。本章把这三条搬过来，作为两个典范模型进入碰撞的准入条件。

亲缘够近：两个典范要在处理同一类事情上有交集。刘师傅和小骆的交集太小，一个管铁件，一个管芯片和程序，在三轮车上虽然同处一车，却几乎不处理同一类事情。用三组合的话说，两边的 E 里几乎没有共同的项：刘师傅连的是力、摩擦、间隙，小骆连的是电压、参数、协议，两张网之间缺少可以搭上的点。

差异够大：对方要有我这边没有的东西。刘师傅和小温的问题在这里。两个人的三组合几乎一样，E 一样、D 一样、Function 也一样。碰一碰，只是把同一个显露做了两遍，什么新东西也不会出来。

接口对齐：两边要找到一个「双方都认的量」。刘师傅和韦师傅之间，这个量就是「坡上的力与电流一起怎样变」。没有它，两个人即使亲缘够近、差异够大，也只是并排干活，像第 34 章磨浆机那回，各修一遍，各说各没问题。

三条缺一不可。第一条管「接不接得上」，第二条管「值不值得接」，第三条管「从哪里接」。

握手：先对齐接口量，再碰

第三条最难，值得单独多说。那本书里我给过一个朴素的找法：问两边各自「最不肯放弃的那个量」是什么。一个领域最不肯放弃的量，通常就是它的守恒量、不变量，或者它拿来判断「做对了没有」的那个东西。两边如果能在这样的量上说上话，接口就有了。

本书把这个找法定为碰撞前的「握手」。握手分三步。

第一步，各报底线。每个参与碰撞的典范模型，先交出自己最不肯放弃的量。刘师傅的是「轮上的劲」，韦师傅的是「电机的电流」。这一步看起来简单，其实是逼每个典范把自己 E 里最核心的那一项说出来。说不出来的典范，多半还没成熟到可以碰。

第二步，找可译的一对。把两边的底线并排，找它们之间能不能互相翻译：一边的量变了，另一边的量是不是跟着变，变的关系能不能说清楚。力和电流之所以能对上，是因为在上坡这件事里，两者确实连着。

第三步，在接口量上定一个共同的观察。不是马上辩论谁对，而是先定下「我们一起看什么」。刘师傅和韦师傅定的是：坡上那一段，力和电流一起怎样涨、在哪里断。定下来以后，碰撞才有了共同的桌面。

握手做完，才进入第 36 章的三碰流程或第 37 章的群碰流程。握手不做，就容易出现小骆那一下午：两边各讲各的，碰撞变成两场独白。

按 ChatSDE 现行设计，三碰、群碰开跑之前都没有单列的握手；离它最近的，是攻击席必须引对方原话下手、结算席先量两边是否落在同一维。碰撞之前要不要、以什么形式补上这一步握手〔待王德生口述〕。本章写的是本书主张碰撞应当具备的前置步骤。

典范距离的倒 U 律

三回搭档，一回太近，一回太远，一回中间。把它们放在一起看，就是本章最想押的一条：典范距离的倒 U 律。两个典范太近，碰不出新东西；太远，接不上；中间距离的碰撞，产出最多。

什么叫「典范距离」？既然典范是 Function、D、E 的三组合，距离就该用三组合来量。粗一点说，可以这样分档。

三栏全同：同一个典范，距离为零。刘师傅和小温基本是这一档。

一栏或两栏不同，且有可对齐的接口量：中间距离。刘师傅和韦师傅，D 有相近处（都是先听症状、再拆开查），E 和 Function 不同（一个连力，一个连电；一个凭手感判，一个凭读数判），又有「力与电流」这个接口。

三栏全不同，且找不到接口量：距离过远。刘师傅和小骆接近这一档。

倒 U 的意思是：距离从零往上走，碰撞的产出先升；过了中间某处，因为接不上，产出又往下掉。左边掉，是因为没有差异可用；右边掉，是因为差异接不住。

这条律，我在《人与 AI 一起发生新数学》第 35 章已经押过一个前身：新想法的数量，和两人想法的差异度之间，大致呈先升后降的关系，太像了冒不出，太不像了碰不上。那里讲的是两个人聊天，本章把它推到两个典范模型之间，并把「差异度」落实为三组合的距离。

倒 U 律对碰撞的安排有什么用

这条律如果成立，对 SDE 智能体怎样安排碰撞就很有用。

第一，不要只找最像的来碰。很多人找合作者，本能地找「懂我的」，懂我的往往就是和我同一个典范的。倒 U 律说，这种碰撞最安全，也最没有产出。

第二，也不要为了新奇专找最远的。最远的那一个，听起来最有想象力，可多半接不上，碰一个下午，只剩两场独白。

第三，先量距离，再定碰法。如果两个典范只差一栏，可以直接碰，回溯会很快落到那一栏；如果差两栏，要先握手，把接口量对齐；如果三栏都差、又找不到接口，宁可先不碰，或者先找一个中间的典范搭桥。第 37 章群碰里的「孤点」，常常就是这种距离过远、一时接不上的典范。

接口的代价：各让一点

握手还有一层容易被忽略的意思：对齐接口量，双方都要让出一点东西。

刘师傅原来判断车好不好，凭的是手感，摸一摸链条的松紧、听一听齿轮的声音，不用任何读数。为了和韦师傅对上，他得接受「坡上那一段」这样一个具体的观察窗口，接受用电流的涨落来对照自己的手感。韦师傅原来只盯电流表，为了和刘师傅对上，他得接受「轮上的劲」这样一个他没法直接量、只能通过刘师傅的手去感觉的量。两个人都把自己最舒服的那种判法放松了一点，接口才对得齐。

我在那本书里说过，接得好的地方，往往是两边都愿意把自己最硬的部分让出一点来，让出来的那一点，是接口的代价。放到典范模型的碰撞里，这个代价通常落在 Function 一栏：各自「凭什么下结论」的方式要暂时放宽，接受一个共同的观察。E 和 D 不必让，让了反而碰不出东西；Function 让一点，是为了有一张共同的桌面。

这也说明握手和妥协不是一回事。妥协是在结论上各退一步，握手是在观察上各让一步。结论不退，分歧才保得住；观察对齐，分歧才看得清。

握手里机器和人各做什么

握手的第一步「各报底线」，机器做得很好。让一个典范模型列出它最核心的不变量、它判对错的标准，它能列得又快又全，比老师傅自己说得还清楚。第二步「找可译的一对」，机器也能给出一长串候选：这边的某个量，像那边的某个量。

风险也在这里。机器很乐意、而且常常很有说服力地，把任何两个量说成是连着的。小骆和刘师傅之间，如果让机器找接口，它多半也能找出几对「看起来能对上」的量，可那些量在上坡这件事里未必真连着。从一长串候选里认出哪一对是真接口、值得定下共同的观察，仍然要靠懂行的人。这正是复合体的分工：机器把候选列满，人决定从哪一对下手。

底线说不出来的典范，还不到碰的时候

最后补一个常见情形。有时候请一个典范报底线，它报不出来，或者报出一大串，说什么都重要。

这往往说明这个典范还没成熟。一个成熟的典范，一定有它最不肯放弃的那一项，就像川菜馆再怎么变，麻辣鲜香的味型不会丢。报不出底线的典范，三组合本身还在晃，拿去碰撞，碰出来的分歧也会跟着晃，回溯不到稳定的栏目里。这时候该做的不是急着碰，而是让它回到环节一，先把自己的常规科学做满，让三组合稳下来。环节一喂养环节二，在这里又见到一次。

◆ 三、证据与边界

旁证一：Fu、Liu 与 Tegmark 的两派。　他们报告的哈密顿派与拉格朗日派，如果用本章的口径读，是一对「中间距离」的典范：处理的是同一类物理问题（亲缘近），表述的出发点不同（差异够），而且两种表述在经典力学里可以互相变换，存在公认的接口。这对两派如果放进 SDE 智能体去碰，按倒 U 律是最值得碰的一类。这只是读法，不是那项工作的结论。

旁证二：跨学科合作的经验。　科学史和科学社会学里，常有人讨论「跨学科合作成功的条件」，大意是太近的学科之间合作多而突破少，太远的学科之间合作难以开展。离本章最近的一项实证，是 Nooteboom 等五人 2007 年在《研究政策》第 36 卷发表的《最优认知距离与吸收能力》：他们用企业技术联盟的数据，检验了「认知距离对创新绩效呈倒 U 形影响」的假设，结果成立，而且在探索性的联盟里，认知距离带来的好处更大。那是企业之间，不是典范之间；本章只说方向上它与倒 U 律相容。

旁证三：近场动力学的接口。　我在《人与 AI 一起发生新数学》第 14 章举过一个入口：材料断裂里「远处的原子也在互相拉扯」这个物理现象，和数学里现成的积分算子语言碰在一起，接口是「一片邻域上的相互作用」这个量。用本章的口径读，这是一次准入三条件齐备的碰撞：两边都在处理「许多东西互相作用」（亲缘近）；一边有局域方法说不清的裂缝，一边有不依赖处处可微的积分（差异够）；而且有一个两边都能算的接口量。这次碰撞后来怎样沉淀为新典范，是第十编第 51 章的事。

一个反方意见。　有人会说：科学史上不少大突破，恰恰来自相隔极远的领域，倒 U 律岂不是压抑了大胆的跨界？我的回答是两层。第一，倒 U 律说的是「产出的多少」，不是「最大突破出在哪里」。远距离碰撞可能偶尔出一个大东西，但成功率低；中间距离的碰撞产出更稳定。两者不矛盾。第二，很多事后看起来「相隔极远」的碰撞，在发生的那一刻，往往已经有了一个接口量，只是后人讲故事时把它略去了。这一点需要逐个案例去核，本书不下断言。

边界。　第一，「典范距离」目前只有粗分档，没有一个可以直接算出来的数。怎样把三栏的差异量化，是这条律从押注变成可检验命题必须过的一关。第二，倒 U 的峰值在哪里，本书不给，也不编。不同领域、不同难题，峰值可能不同。第三，准入三条件说的是「值得碰」，不是「一定碰得出」。条件齐了，碰撞仍可能白碰。

粗层级证伪。　如果出现这样的大局面：在大量典范模型的碰撞记录里，碰撞产出的新理解（按第八编的判据计）随典范距离单调上升，越远越多；或者单调下降，越近越多；或者与距离看不出任何关系——那么典范距离的倒 U 律就错了。另一个相反局面是：

不做握手、直接碰撞的组，与先对齐接口量再碰的组相比，产出并不更低；那么「握手是碰撞的前置步骤」就要撤回。

带走的话

两个典范值得碰，要亲缘够近、差异够大、接口对齐；碰之前先握手，各报最不肯放弃的量，找一个双方都认的量定下共同的观察。太像的碰不出东西，太远的接不上，中间距离的碰撞产出最多。

小账　本章补的缝——库恩把不可通约的两个典范看成要么互相取代、要么互不相通，没讨论哪些典范之间值得、也能够相遇；本章给出准入三条件、接口量握手与典范距离的倒 U 律。

在圈上的位置——环节②（碰撞的场所）的前置门槛。

第 39 章

与交易区、多智能体辩论划界

> 这一章的问题：让不同典范坐到一起，Galison 的「交易区」早就讲过，多智能体辩论也天天在做；SDE 智能体里的模型对话，和它们到底差在哪里？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满所在的高一年级办了一场辩论赛。辩题是她们班自己出的：「春节回老家，坐高铁还是开车？」正方说高铁，反方说开车。许小满在反方当二辩。

比赛打得很精彩。正方说高铁准点、安全、不累，一家人在车上还能聊天；反方说开车自由，行李想带多少带多少，到了老家走亲戚也方便。双方你来我往，数据、故事、反问轮番上，最后评委判正方胜，理由是论证更完整、反驳更到位。

那天晚上，许小满在饭桌上还有点不服气，把比赛讲给父亲听。许远听完，没有评谁该赢，问了她一个问题：你们两边吵了一个钟头，有没有哪一刻发现，你们其实不是在争同一件事？

许小满想了想，说：好像有。正方一直在说「路上」，路上舒不舒服、准不准时；我们一直在说「到了以后」，到了老家走亲戚方不方便。我们其实各说各的那一段。

许远点点头，又讲了一件他自己单位的事，这一段也是我构想的。前两年地铁一条新线联调，调度这边和施工、信号几家单位要天天一起干活。一开始，大家说的话谁也听不懂：调度员说「扣车」「跳停」，信号的人说「进路」「联锁」，施工的人说「限界」「冷滑」。干了几个月，现场慢慢长出一套谁都能听懂的「混合话」：几家的词各拿一点，意思被磨得简单、粗一些，但够用，能把一天的活排下去。新线顺利开通后，这套话也有一部分留了下来，成了几家单位之间打交道的固定说法。

许远说：我们那套混合话，让大家能一起干活，可它从来不告诉你，两家单位的分歧到底在哪。你们的辩论，让评委能判个输赢，可它也不告诉你，两边的分歧到底在哪。

许小满问：那怎样才能知道分歧在哪？

许远说：你刚才不就找到了吗？一边讲路上，一边讲到了以后。你们切问题的段落不一样。

◆ 二、这件事里藏着什么

两种近邻，两种好处

这一章要和两位近邻划界。它们都和本编讲的「模型对话」很像，也都各有真本事。划界不是贬低它们，而是说清 SDE 智能体多做了哪一步。

第一位近邻是 Galison 的「交易区」。科学史家 Galison 在 1997 年的《Image and Logic》里研究二十世纪微观物理学，发现理论家、实验家、仪器工程师这些亚文化，彼此的语言并不相通，却能在局部长期协作。他借人类学与语言学里的说法，说它们在交界处发展出「洋泾浜」，一种只够交易用的简化接触语言；协作深了，接触语言还会变成「克里奥尔语」，丰富到能撑起复杂的活动，成为一群人的母语，乃至长出新的领域。他书里的例子之一是二战时的雷达研制：物理学家和无线电工程师围着「等效电路」这样的概念磨出了共同的说法，物理学家按场论去理解它，工程师把它当作自己无线电工具箱的延伸。许远单位那套混合话，就是交易区的日常样子：先是洋泾浜，后来部分沉淀成固定说法。

第二位近邻是多智能体辩论。2023 年前后，Du 等人与 Liang 等人的工作，让多个大模型就同一个问题多轮辩论，互相指出对方的错误。Du 等人报告，几个副本多轮互相批评、最后收敛到共同答案，能提高数学与策略推理的成绩，并减少编造的事实；Liang 等人设计了针锋相对的辩手加一个裁判，用来鼓励发散，防止模型一旦自信就原地打转，并发现辩论要适时结束、交锋要适度。许小满的辩论赛，就是多智能体辩论的日常样子：两方交锋，评委判出一个更好的答案。

两位近邻各有好处。交易区说明了不可通约的群体也能协作，这是对库恩的一个重要修正：互相听不懂，不等于不能一起干活。多智能体辩论说明了多个模型互相质询，能比单个模型答得更好，这是对「统一大模型一个说了算」的一个修正。

与交易区的分界：凑出来的语言，和定位用的坐标

交易区和 SDE 智能体都让不同典范相遇，分界在于相遇时用的是什么。

交易区用的是凑出来的接触语言。它是双方在长期协作中，一个词一个词磨出来的；它的目标是够用，能把活干下去；为了够用，它常常把双方各自的意思磨简单、磨粗。许远单位的混合话里，「扣车」在调度员那里有一整套讲究，进了混合话，就只剩「先别让车走」这一层。这样磨，协作是顺了，分歧却被磨平了。

SDE 用的是一个只定位、不凑合的坐标。第 35 章讲过，SDE 只规定 S = Function(D, E) 这个形式，不规定内容。它不需要双方磨出一套共同的词，它要求双方各自用原来的意思，把自己的三栏摆出来。分歧不被磨平，而是被落到某一栏里：是 E 不同，D 不同，还是 Function 不同。

还有一个分界在时间上。交易区的接触语言要长期协作才能长出来，几个月、几年；而且是针对一对具体的群体长出来的，换一对群体，要重新磨。SDE 的坐标是现成的，任何两个典范模型，第一次见面就可以用。这一点在 AI 时代尤其要紧：典范模型的数目会越来越多，不可能每一对都花几年磨一套洋泾浜。

打个交通上的比方。交易区像两条线在交界处临时搭的一座人行天桥，搭得简陋，但能让两边的人走过去；SDE 智能体像一座按统一规则修的换乘站，任何两条线进来，站台、标识、换乘通道的格式都一样，乘客一眼就看得出这两条线在哪里分岔、在哪里能接。天桥要一座一座地搭，换乘站的规则修一次就够了。

用一句话收：交易区告诉我们，不可通约的双方怎样凑出一种能一起干活的语言；SDE 智能体告诉我们，不可通约的双方差在哪一维。前者为协作，后者为碰撞。

与多智能体辩论的分界：比答案对错，和追问分歧在哪一维

辩论和模型对话都是多方、多轮、互相质询，分界在于追问的是什么。

辩论追问的是答案对错。它的终点是一个更好的答案：评委判正方胜，多个模型最后收敛到一个更准的结论。即使是鼓励发散的设计，发散通常也是手段，为的是最后收敛得更准。许小满那场辩论，评委判得也许公道，可一个钟头吵下来，最有价值的那一句，「一边讲路上，一边讲到了以后」，不在评委的判词里，是饭桌上父亲一问才问出来的。

SDE 智能体的模型对话追问的是分歧出在哪一维。它的终点不是一个答案，而是一句关于分歧本身的新理解。辩论赛那件事，按三栏回溯：正方和反方对「春节回家」连的东西差不多，都连着团圆、行李、老人（E 相近）；判好坏的方式也相近，都看一家人舒不舒服（Function 相近）；真正的分岔在 D，一方把这件事切成「路上」，一方切成「到了以后」，两边切的段落不同。回溯到这一步，新理解就出来了：这个问题之所以吵不完，是因为两边切的段落不重叠；把「路上」和「到了以后」接成一整段来看，问题本身就变了。

还有一个分界：模型对话之后，有沉淀。辩论结束，答案交出去，辩论就完了，下一场辩论从零开始。SDE 智能体里冒出的新理解，要往第三、第四个环节走：在缝上自组织、涌现，沉淀为新的典范模型，回到常规科学。辩论是一场一场的，模型对话是一个圈上的一环。

如果把辩论赛放进 SDE 智能体

不妨把许小满那场辩论，按本编前几章的流程重走一遍，看看多出来的是哪几步。这仍是我构想的。

立题时就不一样。辩题「坐高铁还是开车」，已经把答案限在两个选项里，立题本身替双方定好了要争的东西。按第 36 章的说法，立题应当是「春节一家人回老家，怎样走最好」，让各方从自己的三组合出发去显露，而不是先站队。

握手时，各方先报最不肯放弃的量。正方大概会报「路上的安全与准点」，反方会报「到了以后的机动」。第 38 章说过，报底线是逼每一方把 E 里最核心的那一项说出来。两份底线一摆，许小满饭桌上才发现的那件事，在开场就已经看得见：两边最不肯放弃的东西，落在旅程的不同段落上。

并排显露时，不评谁更有说服力，只看两边各自显露出的方案长什么样。回溯时，一栏一栏倒：E 相近，Function 相近，D 不同。到这里，SDE 智能体就完成了它唯一的职能。

接下来才是人的事。许远如果在场，他会说：那就别切了，把路上和到了以后接成一段，比方坐高铁到县城，在县城租一辆车。这句话两边原来都没有，是在 D 那一栏的缝上长出来的。它对不对、好不好、能不能变成这家人以后每年回家的固定走法，是第八、九编的事。

多出来的是三步：不先站队的立题，报底线的握手，回溯到栏目的追问。少掉的是一步：评委的判词。

为什么不需要评委

少掉评委，是很多读者最不放心的一点：没有人判输赢，碰撞怎么收场？

我的回答是，碰撞收场靠的不是判词，是后续。第 36 章讲新理解时说过，它要写成一句能被别人接住、能往下做的话。辩论有评委，是因为辩论的产物是一个答案，答案需要有人认定；模型对话的产物是一句关于分歧的新理解，它的认定不在当场，而在后面有没有人接着用它、它能不能沉淀成新的三组合。我在《人与 AI 一起发生新数学》里给碰撞产生的新想法立过三条判据：碰之前双方都没有，不是拼接，双方事后都认可且有后续。这三条里没有一条需要评委当场判。

这不是说不需要检验。检验在第九编，在新典范模型的验收里，那里的门槛很硬。只是检验不放在碰撞的现场。碰撞的现场要做的，是让分歧尽量完整地暴露，而不是尽快地收掉。

一张表看清三者

维度	Galison 交易区	多智能体辩论	SDE 智能体里的模型对话
相遇时用什么	双方凑出的接触语言	自然语言交锋	S = Function(D, E) 的共同形式
分歧怎样处理	磨平到够用	判出对错，收敛	回溯到 Function、D 或 E
终点	能一起干活，可能长出新领域	一个更好的答案	一句关于分歧的新理解
之后	接触语言可能沉淀为母语	一场结束	进入涌现与沉淀，回到常规科学

划界之后，还要承认什么

划完界，有两点要老实承认。

第一，交易区里「接触语言长成母语、长出新领域」这一段，和本书的环节三、环节四非常像。Galison 观察到的，可能正是一次次没有 SDE 坐标、靠长期磨合走完的科学发生。本书不说交易区错了，只说它慢，而且分歧在磨合中被磨平，无法回溯。

第二，多智能体辩论在答案对错上的长处，模型对话不一定有。如果一个难题本身就有确定答案，辩论很可能比模型对话更快更准。模型对话的长处在另一类难题上：答案不确定，或者问题本身需要被改写的那一类。这两类难题怎样分，目前只有粗分。

◆ 三、证据与边界

旁证一：库恩之后的修正。　交易区通常被看作对库恩不可通约论的一个回应：库恩强调互不相通，Galison 强调局部可以协作。科学社会学家 Collins、Evans 与 Gorman 在讨论交易区的文章里就直说，这个说法是 Galison 为解决库恩不可通约带来的难题而提出的。本书站在 Galison 之后，再走一步：局部协作之外，还可以定位分歧的维度，并让分歧成为新典范的燃料。

旁证二：辩论趋同的问题。　多智能体辩论的研究里，有人注意到多个模型辩论几轮后容易过早趋同。Liang 等人的鼓励发散设计就是冲着这个来的；Estornell 与 Liu 在 2024 年的 NeurIPS 论文里也指出，几个模型能力和回答相近时，辩论常常只是收敛到多

数意见，如果多数意见来自训练数据里共有的误解，辩论就会收敛到那个误解上。按第 37 章的指标读，过早趋同就是接住的比例很高、改动的幅度很低，乘积偏低。这为群碰的指标提供了一个可以对照的场景。

旁证三：概念整合与本编的分工。 Fauconnier 与 Turner 在 2002 年的《The Way We Think》里讲概念整合：两个心理空间合成，涌现出两边都没有的结构。它常被拿来和交易区、辩论一起讨论「新东西怎样从相遇中冒出」。本书把它留给第 43 章划界，因为它讲的是涌现本身，属于环节三；本章只管环节二，即相遇的场所与追问的方式。三位近邻各守圈上的一段：交易区和辩论在相遇处，概念整合在涌现处，都没有把相遇、涌现、沉淀接成一个圈。

旁证四：日常的「混合话」到处都有。 许远单位的那套混合话，并不稀奇。医院里医生和护士之间、工地上设计方和施工方之间、厨房里前厅和后厨之间，都有类似的接触语言。社会语言学里有专门的研究，比如新西兰惠灵顿维多利亚大学的「职场语言项目」，1996 年起录下医院、工厂、建筑工地、养老院等许多工作场所里真实的交谈来研究。它们说明交易区是普遍的人类经验，Galison 的贡献是在科学史里把它说清楚。普遍也意味着：如果 SDE 的回溯真比磨合更有用，它应当在这些日常场合里也看得出来，而不只在科学里。这为本编的证伪提供了更多可以观察的地方。

边界。 本章的划界，是按本书对两位近邻的读法做的；它们各自内部的流派、设计远比这里讲的丰富，有的辩论设计已经要求模型说明推理依据，有的交易区研究也讨论过分歧的结构。本章不排除某些具体工作已经接近「回溯分歧维度」这一步。若有，本书乐于把它们认作更近的邻居。

粗层级证伪（本编总证伪）。 如果出现这样的大局面：不经 SDE 操作系统、只把几个典范模型放在一起投票或辩论，在足够多的难题上，涌现出新典范的频率与质量并不比经过 SDE 智能体模型对话的更低——那么「SDE 是碰撞的操作系统」就错了，本编所说的碰撞场所，可以由辩论或投票替代。另一个相反局面是：交易区式的长期磨合，比 SDE 的回溯更快地产出可沉淀的新典范；那么本章对交易区「慢、磨平分歧」的判断就错了。

带走的话

交易区让不可通约的双方凑出一种能一起干活的语言，辩论让多方交锋判出更好的答案；SDE 智能体里的模型对话不凑语言、不判输赢，它追问分歧出在哪一维，并把冒出的新理解送往涌现与沉淀。

小账　本章补的缝——邻居们解决了不可通约者怎样协作、多模型怎样答得更准，没有回答分歧根在哪一维、新理解怎样回到科学；本章给出这两步，并交出本编总证伪。

在圈上的位置——环节②（碰撞的场所）的划界章，向环节③交接。

第 八 编

环节三：在缝上自组织、涌现

编　序

第六编让每一个典范模型把自己的常规科学做满，第七编给典范模型找到了碰撞的场所：以 SDE 发生学为思维操作系统的智能体里的模型对话。场所有了，握手的规矩也有了，可是碰撞本身还是一个黑箱：两个三组合撞在一起，里面到底发生了什么？凭什么撞出来的东西不是一锅粥，而是一个新的理解？

这一编就打开这个黑箱。它要回答的，是库恩留下的那个最硬的难题。第 6 章写过，库恩发现两个典范之间没有中立的裁判语言，选新典范既不能靠逻辑一步步推出来，又不甘心说成非理性的跳跃，于是他早年说「格式塔转换」「像改宗」，晚年改讲词汇分类和物种分化，两头都没走通。本编给出第三种答案，依据是我口述过的一句话：库恩的不可通约，不是用形式逻辑来推演，而是复杂性的典范涌现，典范之间进行混沌碰撞、自组织、涌现。

五章的分工是这样的。第 40 章回到两难本身，把问题从「怎样跨过不可通约」改成「不可通约之处能长出什么」。第 41 章讲混沌碰撞的起点：缝分三类，算不出、算不对、答非所问，各配一种碰法，换 E、换 Function、换 D。第 42 章讲自组织的节奏：张力积累、形状改变、回写三拍，它和幸福律的张力、转换、释放是同一个时间结构。第 43 章讲涌现的判据：碰撞的标志是双方都被改写。第 44 章讲反面：拼盘不是结合，比对也不是碰撞，伪涌现有三种样子，要会诊断。

读完这一编，读者应当能拿着一段模型对话的记录，自己判断：这里发生的是碰撞，还是比对；长出来的是涌现，还是拼盘。这是圈的第三环，也是整个圈里最容易被说玄、最需要说实的一环。

第 40 章

不可通约的第三种答案

> 这一章的问题：两个互相听不懂的典范之间，除了「用逻辑推过去」和「闭着眼跳过去」，还有没有第三条路？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街的早上，三家厨房都还没开灶，街口那家卖豆腐脑的小摊先热闹起来。摊主是个年轻人，刚从外地回来接手父亲的摊子。他的父亲做了几十年的咸豆腐脑：卤汁浇面，撒榨菜末、虾皮、葱花，再淋一勺红油。年轻人在外面几年，吃惯了甜的：桂花糖水，一点姜汁，清清爽爽。

接手第一个月，父子俩为这碗豆腐脑吵了不下十回。

父亲说：「豆腐脑要有味，有味才压得住早上那口空肚子。」儿子说：「豆腐脑要清，清才吃得出豆子本身。」父亲说：「你那是糖水，不是豆腐脑。」儿子说：「你那是卤菜，豆腐只是个托。」

旁边买早点的街坊听了几回，发现这两人吵不出结果，原因不在谁嘴笨。两人嘴里的「有味」根本不是一个意思：父亲的「有味」，是卤汁的咸鲜压在豆花上；儿子的「有味」，是豆子的本味被糖和姜托出来。同一个「好吃」，在两人那里指的是两样东西。父亲举出一百个街坊爱吃咸的例子，儿子一句话就挡回去：「那是他们没吃过好的甜的。」儿子请父亲尝一碗他调的，父亲尝完只说：「这不是豆腐脑。」

没有一个两边都认的裁判。拿销量当裁判吗？老街坊吃咸，过路的年轻人吃甜，销量量的是客人是谁，不是哪碗对。拿「正宗」当裁判吗？哪边正宗，本身就是吵的内容。

一个月后，事情眼看要走到两个结局之一。一个结局是儿子服了：「算了，还是照爸的做。」另一个结局是父亲退了：「随你吧，我不管了。」两个结局有一个共同点：没有一个人被说服，只是有一个人放弃了。

后来，事情没有落到这两个结局里的任何一个。

有一天早上卤汁熬少了，父亲只好先给几碗浇了一层薄薄的卤，儿子顺手在上面点了几滴他的姜汁，又撒了一撮父亲的虾皮。一个老街坊吃完，说了一句：「今天这碗，豆子吃得出来，又不寡。」

父子俩对视了一眼。那天收摊以后，两人没有再吵「咸还是甜」，开始争另一件事：姜汁要放多少，才能让卤汁的鲜不盖住豆子；卤汁要熬多稀，才能让姜的辣把豆香托起来。吵的内容变了。原来吵的是「哪一碗对」，现在吵的是「这一碗怎样才对」。

又过了些日子，摊子上多了一碗新的：薄卤、姜汁、虾皮，豆花比原来做得嫩。父亲说不清它算咸的还是甜的，儿子也说不清。可是它卖得动，而且两个人都在往下改。

这碗豆腐脑是我构想的，口味上未必经得起真厨师挑剔。我要的只是它的结构：两个互相听不懂的做法，没有谁说服谁，也没有谁皈依谁，而是在一个意外撞开的缝上，长出了一碗两边原来都没有的东西。

◆ 二、这件事里藏着什么

库恩的两难，原样摆一遍

第 6 章把库恩的两难讲过一遍，这里只把骨架摆出来。

库恩发现，两个典范之间常常是不可通约的：同一个词在两边意思不同，同一件事在两边被看成不同的东西，没有一套中立的语言可以当裁判。逻辑派于是追问：既然新典范不能从旧典范里推出来，也不能用一套中立的标准证明它更好，那科学家选新典范，岂不是非理性的？

库恩早年的回答，是格式塔转换和改宗的比喻：像看那张著名的鸭兔图，一眼看成鸭，再一眼看成兔，中间没有推理，只有一次整体的翻转。晚年的库恩不大用这些比喻

了，改讲词汇分类：不同典范是不同的分类词汇，革命像物种分化，新专业分出去，和旧专业各过各的。

两条路都没走通。说改宗，就把科学最要紧的那一步交给了心理学，逻辑派当然不服。说物种分化，就承认了分出去之后互不相通，那么两个典范之间以后还会发生什么，库恩没有再说。

豆腐脑摊上的父子，恰好把这两条路都演了一遍。父亲想用一百个例子「推」服儿子，这是逻辑派的路，推不动，因为前提里的「好吃」两边不同。眼看要走到「有一个人服了」，这是改宗的路，服是服了，可服的那个人什么都没学到，只是放弃了。还有第三种可能，库恩晚年那条路：干脆分摊，父亲卖咸的，儿子卖甜的，各有各的客，从此不再碰头。这也能过日子，只是那碗新的豆腐脑永远不会出现。

第三种答案：在缝上长出来

我的口述是：库恩的不可通约，不是用形式逻辑来推演，而是复杂性的典范涌现，典范之间进行混沌碰撞、自组织、涌现。

把这句话拆开，有三层意思。

第一层，新理解不是从任何一个旧典范里推出来的。那碗新豆腐脑不在父亲的做法里，也不在儿子的做法里。拿父亲的规矩去推，推不出姜汁；拿儿子的规矩去推，推不出虾皮和卤。逻辑派想要的「从旧到新的一条推理链」，本来就不存在。

第二层，新理解也不是闭着眼跳过去的。那碗豆腐脑不是父子哪一个人某天早上灵光一闪、整体翻转出来的。它有一个可以追的过程：先是一次意外的碰头，卤汁和姜汁在同一碗里；然后是一段有方向的摸索，吵的内容从「哪碗对」变成「怎样才对」；最后是一个稳定下来的东西，有了固定的做法，还有后续的改进。这个过程不是推理，但也不是黑箱，它有阶段、有节奏，可以记录。

第三层，新理解是在缝上长出来的。缝在哪里？就在两边互相听不懂的地方。父亲的「有味」和儿子的「有味」对不上，正是这一处对不上，逼着他们在同一碗里试出了

一个两边都能认的「有味」。如果两人的口味本来就一样，就没有缝，也就什么都长不出来。

这就是第三种答案：不可通约之处，不是要跨过去的鸿沟，而是会长东西的地方。

把问题换一个问法

库恩和他的批评者，问的都是同一个问题：怎样跨越不可通约？逻辑派说要找一座桥，库恩说没有桥，只能跳。

本书把问题换掉：不可通约之处能长出什么？

换问法不是文字游戏。问「怎样跨越」，默认了一个前提：两个典范里总有一个是要被放弃的，跨过去就是从这边到那边。问「能长出什么」，前提就变了：两个典范都留着，缝本身是土壤。这正好接上第二编的第四道缝，库恩以为革命只有替代一种；也接上第 10 章的判断，不可通约可以是燃料，库恩只看到了它的破坏面。

用本书的定义说得更准一点。一个典范是一个三组合 (Function, D, E)。两个典范不可通约，说的是它们的三组合在某一维上不同：E 不同，两边把不同的东西连在一起；D 不同，两边切分问题的方式和次序不同；Function 不同，两边把 D 与 E 合成显露的方式不同。哪一维不同，缝就开在哪一维。逻辑推演之所以走不通，是因为逻辑只能在同一套 (D, E) 里从前提走到结论，跨三组合的推演没有共同的前提可以出发。皈依之所以没有收获，是因为皈依只是把一个三组合整个换成另一个，没有让任何一维发生新东西。而在缝上的碰撞，恰恰是让两个三组合在不同的那一维上互相作用，作用出一个两边原来都没有的新组合。

所以，不可通约既不是病，也不是终点。它是碰撞的起点。

为什么偏偏是现在才能这样回答

有人会问：这个道理并不深，为什么库恩那一代人没有走这条路？

一个原因在第五编讲过：在一个共同体只养得起一个典范的年代，不可通约几乎只能以危机的面目出现。两个典范同时养着太贵，碰撞的机会很少，偶尔碰上一次，常常是你死我活。库恩看到的科学史，大多就是这个样子。

另一个原因是，碰撞要有场所，要有能把分歧定位到 Function、D 还是 E 的坐标，这正是第七编讲的 SDE 智能体。没有这样的场所，碰撞只能靠运气：像豆腐脑摊上那天早上卤汁恰好熬少了。运气可以出一碗新豆腐脑，出不了一门新科学。

今天两件事都变了。典范模型让同时养几个典范变得便宜；SDE 智能体让碰撞可以被有意地、成批地安排，而不是等卤汁熬少的那一天。第三种答案于是不只是一种哲学上的说法，而是一种可以操作的做法。

第三种答案要两边都留着

还有一点容易被忽略：第三种答案成立，有一个前提，两个母典范都得留着。

豆腐脑摊上，新的那一碗出来以后，父亲的咸豆腐脑并没有撤掉，老街坊照样一早来端；儿子的甜豆腐脑也还在，过路的年轻人照样点。新的一碗是第三样，不是取代前两样。不仅如此，那碗新的还要靠前两样活着：卤汁熬得好不好、姜汁调得准不准，仍然是父子各自的手艺。哪一天父亲的卤汁手艺丢了，新碗也就跟着没了味。

这一点放回科学里，就是第 46 章要讲的「包含而非替代」，也是第六编讲的典范模型要各守各的三组合。如果碰撞的结果是一方被吞掉，那就退回到了库恩的替代；如果两个母典范在碰撞中被搅成一锅不咸不甜的平均，那就退回到了统一大模型的单一化。第三种答案要的是：两个母典范各自守住内核，在缝上长出第三个，三个同时在场。圈之所以是圈，靠的就是这一点：长出来的新典范，回到环节一去做它的常规科学，原来的两个也继续做它们的，下一轮碰撞的位置又多了。

所以，第三种答案不只是回答了「怎样选」，它把问题根本改掉了：不必选。逻辑派担心的非理性，是建立在「必须二选一」的前提上的；前提一撤，那个担心也就失去了着力的地方。

◆ 三、证据与边界

学术旁证。　库恩自己其实留下过一条中间路线。在 1977 年的文集《必要的张力》里，他讨论理论选择时列过几项共同体共享的价值，比如精确、一致、广泛、简单、富有成果，认为这些价值引导选择、却不决定选择。这说明库恩自己也不满足于「改宗」一说。但价值引导仍然是在两个现成的典范之间挑一个，没有说新东西怎样从两者之间长出来。逻辑派一方，拉卡托斯在 1970 年的长文《证伪与科学研究纲领方法论》里批评库恩，大意是：照库恩的讲法，科学革命就成了非理性的事，成了群众心理学的事。这正是两难的一头。

「自组织」「涌现」这两个词，不是我造的。物理和化学里早有研究：一层从底下均匀加热的薄液层，上下温差超过某个临界值，会自发排成一格一格的对流胞，没有谁去安排它的形状，这就是常被引用的贝纳德对流，二十世纪初就有人做过实验；普里高津因为非平衡热力学和耗散结构的研究，1977 年获得诺贝尔化学奖。这些只作旁证：它们说明「不靠外部设计、在张力下自发形成新秩序」是自然界里真实存在、可以研究的过程，不是玄学。本书用这两个词，是把它们搬到典范之间。

邻居与划界。　第一个邻居是库恩晚年的物种分化说。它承认新专业会分出去、和旧专业并存，这一点和本书「包含而非替代」相近；分界在于，库恩讲的是分家以后互不相通，本书讲的是分家以后还要再碰撞、再长东西。第二个邻居是费耶阿本德的「怎么都行」。他也反对只有一种方法，但他停在「不要限制」上；本书的碰撞是有场所、有坐标、有判据的，不是什么都行。第三个邻居是 Galison 的交易区，第 39 章已划过界：交易区里双方凑出一种接触语言来协作，本书要的不只是协作，是在缝上长出新的三组合。

粗层级证伪。　如果有人系统地回看科学史上公认的新典范的诞生，发现它们绝大多数是在单一传统内部、没有和任何异质传统接触就长出来的，新典范的形成过程里找不到两种做法互相碰撞的痕迹，那么「不可通约之处是碰撞的起点」这一判断就错了，第

三种答案就要退回成一个好听的比喻。反过来，如果找到的大多是两个传统交汇处长出来的东西，这一章才站得住。

> **带走的话**
>
> 不可通约不是要跨过去的鸿沟，而是会长东西的地方。新理解既不是推出来的，也不是跳过去的，是在缝上长出来的。

小账　本章补的缝——库恩的两难（逻辑推不出、只好说皈依）与「典范从哪里来没有说」两道缝；给出第三种答案：复杂性的典范涌现。

在圈上的位置——环节③在缝上自组织、涌现（总论）。

第 41 章

混沌碰撞：三类缝，三种碰法

> 这一章的问题：两个典范互相读不懂的地方不止一种，不同的缝，应该找什么样的典范来碰？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

修理铺开在城南一条巷子的拐角，两位老师傅守了很多年。刘师傅钳工出身，信的是「东西坏了总有一个零件坏了」；韦师傅电工出身，信的是「东西坏了先看它在什么情况下坏」。第 34 章讲过他们修同一台机器时车间主任怎样追问；这里讲的是另一个礼拜六，一天里进门的三桩活。

上午来的是一辆电动自行车。车主说，同样充满电，有时能跑四十公里，有时二十多公里就没电了，忽长忽短，没有规律。刘师傅把车拆开：电机、控制器、线路、刹车，一样一样查，查了一上午，每一样都没毛病。他又换了一个控制器试，照样忽长忽短。刘师傅说了一句实话：「这车我算不出毛病在哪。」

韦师傅接过去，没有再拆，先问车主三件事：车晚上停在哪里？在哪里充电？最近天气怎样？车主说，晚上停在楼下露天，冬天冷了才推进楼道；有时候骑回来马上充，有时候放一夜再充。韦师傅说：「毛病不在零件，在电池跟冷热、跟什么时候充连在一起。」他让车主记两个礼拜，跑多远、那晚停在哪、充电时电池是凉是热。两个礼拜后，本子上的数一摆，跑得短的那些天，几乎都是前一晚停在露天、回来又马上充的。

刘师傅的眼光里，车是一堆零件，零件和零件连在一起；韦师傅的眼光里，车还和冷热、时辰、用法连在一起。同一辆车，两个人把不同的东西连在了一起。

中午进来一只电饭煲。街坊说，煮饭总是糊底，而且糊在同一侧，靠插头那边总有一块月牙形的焦。刘师傅一听，判断是温控器老了，温度控不住，换了一个新温控器。街坊拿回去煮了两回，又拿来了：焦得轻一点，还是那一侧，还是那块月牙。刘师傅又把温控器的动作温度往下调，饭倒是不糊了，可另一侧夹生。

韦师傅把内胆拿起来对着灯看，又把加热盘擦干净摸了一圈，说：「不是温度高不高的事，是热往哪边走的事。」加热盘用久了微微变形，靠插头那一侧和内胆贴得紧，另一侧有一道看不见的缝。刘师傅一直在调「一个温度」，可这锅饭不是一个温度能说清的，它的毛病是热在锅底分布成一个形状。糊的位置总在同一侧，形状总是月牙，这本身就是在提醒：问题不在那个数，在那个形状。

下午来的是一台老收音机，主人是位老太太。她说：「声音不对。」刘师傅把它当作一桩标准的活：查电容、换了两个老化的元件、清了电位器，杂音全没了，拿仪器测，各项都正常。老太太听了一会儿，摇头：「还是不对。」

刘师傅有点委屈：「毛病都修好了呀。」韦师傅蹲下来，请老太太说说，原来是怎样的。老太太说，以前开机的时候，声音是慢慢起来的，先有一点嗡，再出人声，关的时候也是慢慢落下去；现在一开就是满的，一关就是没的，「听着不像它了」。刘师傅修的是一个一个零件的毛病，他把问题切成了零件；老太太问的是一段声音从起到落的过程，她把问题切成了时间。刘师傅没修错，他回答了另一个问题。

一天三桩活，三种「修不好」。上午是算不出，中午是算不对，下午是答非所问。三桩活最后都是韦师傅接过去才有了眉目，但这不是说韦师傅比刘师傅高明，换一天来的活，接手的也许就是刘师傅。要紧的是：三种修不好，需要的是三种不同的另一双眼睛。

◆ 二、这件事里藏着什么

碰撞的起点是互相读不懂

上一章说，不可通约之处是碰撞的起点。这一章要把这个「起点」说细：互相读不懂的地方不止一种。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里画过一张「失效地图」：让 AI 把旧数学的工具箱从头到尾试一遍，把每一次失败记下来。那里把失效分成三种样子。第一种，算不出：方法一跑，数值爆掉，或者怎么也不收敛，或者要的时间长到没有意义。第二种，算得出但不对：结果出来了，和观察对不上，而且对不上的那一部分，减掉预测之后剩下的东西，数学家叫残差，并不是一团随机的噪声，而是有形状的，总在某一类位置偏大、在某个阶段出现。第三种，算得对但答非所问：方法给了一个漂亮的平均值，可你问的是这一棵树，不是这一片林子。

那本书里说，这三种失效指向的方向不一样：第一种常常指向工具能力的边界，第二种指向模型里缺了一块东西，第三种指向我们问的问题和工具能回答的问题不是同一个。本书在这个基础上再往前走一步：既然一个典范是一个三组合 (Function, D, E)，那么三种失效，恰好可以读成三组合里三个不同的维出了问题，因此也就各自需要去找一个在那一维上不同的典范来碰。

这一对应是本书的工作假设，下面一条一条说理由。

算不出：去找一个 E 不同的典范

算不出，说的是这个典范连一个答案都给不了。为什么会给不了？常见的情形是：真正决定结果的那几样东西，在这个典范的眼光里根本没有连在一起。电动车的续航，取决于电池和冷热、和充电时辰的牵连；刘师傅的眼光里只有零件和零件的牵连，那几样东西不在他的网里，他再勤快地拆，也拆不出一个答案。

E 是特征纠缠系统，说白了就是一个典范看世界时把什么和什么连在一起。算不出，往往是 E 太窄或者连错了：该连的没连，于是算到一半就断了线，或者在那个连不上的地方爆掉。

数学里有一个现成的样子。《人与 AI 一起发生新数学》里讲过裂纹：局域的数学，每一点只和它无限近的邻居发生关系，用导数来写；到了裂口处，导数不存在了，方程在那里失明，算不下去。近场动力学换了一种连法：每一点和视野之内一整片邻居都直

接相连，方程里只有积分，没有导数，裂口处就不再失明。这不是把原来的算法调得更精，而是换了一个 E。

所以，遇到算不出的缝，碰撞的对手要挑一个 E 不同的典范：它把这里的东西连成了另一张网。

算不对：去找一个 Function 不同的典范

算不对，说的是答案有了，但和现实对不上，而且对不上的部分有形状。电饭煲总糊同一侧、总是一块月牙，这就是一个有形状的残差。

有形状的残差是三种缝里最值钱的一种。随机的偏差说明测得不准，那是噪声；有形状的偏差说明，这个典范把东西合成答案的方式，系统地漏掉了某一类结构。刘师傅的做法里，E 并不全错，他知道温度和糊底有关；D 也不全错，他从温控器查起没有毛病。错在合成的方式：他把一锅饭的受热合成成「一个温度」，取一个数，调一个数。而这锅饭需要的合成方式是「看整个锅底的受热形状」。

Function 就是把 D 与 E 合成显露的方式：加总、取平均、取极值、看整体形状、沿路径累积，都是不同的 Function。第 20 章说过，同样的 D 和 E，换一个 Function，显露的 S 就不同。算不对的缝，恰恰是在告诉我们：原料没错，次序没错，合成的方式错了。所以碰撞的对手要挑一个 Function 不同的典范：它用另一种方式把同样的东西合成答案。

《人与 AI 一起发生新数学》讲中餐火候时说过，火候不是一个温度，是一条轨迹，是一路读、一路调的过程。拿「时间、温度、克数」三个数去合成一道菜，常常就会出现有形状的残差：总在某一步出水、总在某一类食材上失手。那时候要碰的，正是一个以「路径加反馈」为 Function 的典范。

答非所问：去找一个 D 不同的典范

答非所问，说的是答案对，但不是你要的。收音机的各项指标都正常，老太太还是说不对。刘师傅没有算错，他回答的是「哪个零件坏了」，老太太问的是「声音从起到落的过程像不像它」。

D 是差异序列，说白了就是一个典范怎样切分问题、把什么当作一个单元、按什么次序展开。刘师傅把问题切成零件，一个零件一个单元；老太太把问题切成时间，起、撑、落一段一段。切法不同，问的就不是同一个问题。平均值回答一片林子而你问一棵树，也是同一类事：切分的单元不对，林子是一个单元，树才是你的单元。

所以，遇到答非所问的缝，碰撞的对手要挑一个 D 不同的典范：它把问题切成另一种单元，按另一种次序展开。

三类缝，三种碰法

把三条放在一起，可以列一张表。

缝的样子	修理铺里的那桩活	出问题的那一维	去找什么样的典范来碰
算不出：给不出答案，或在某处爆掉	电动车续航忽长忽短，零件全好	E：该连的没连	E 不同的典范：把这里的东西连成另一张网
算不对：有答案，残差有形状	电饭煲总糊同一侧的月牙	Function：合成方式漏掉一类结构	Function 不同的典范：换一种合成答案的方式
答非所问：答案对，问题不对	收音机指标正常，老人说不对	D：切分的单元和次序不对	D 不同的典范：换一种切问题的方式

这张表有一个用处：它让碰撞不再靠运气。第 38 章讲过碰撞的准入条件，亲缘够近、差异够大、接口对齐。这一章补上一条：差异要大在哪一维。差异大在不对的维上，碰了也白碰。电动车的毛病找一个 Function 不同的人来，他也许会说「你应该看续航的整体分布」，可是电池和冷热的牵连不进他的网，他照样算不出。

有两点要说清楚。第一，三类缝常常不是单独出现的，一个难题上可能三种都有，这时就要先读主缝，再按主缝找对手。第二，这一对应是一个起手的指引，不是铁律；它本身也要在碰撞中被检验，下面会说怎样算它错了。

混沌不是失败

最后说「混沌碰撞」里的「混沌」二字。

碰撞刚开始的时候，场面往往是乱的。刘师傅和韦师傅各说各的，一个说「拆」，一个说「问」；电动车的本子记了一个礼拜，数据东一个西一个，看不出规律。在这个阶段，旁观者很容易下结论：两人说不到一块，碰不出东西，还是各修各的吧。

可是混沌是涌现之前必经的一个态。两个三组合刚碰上的时候，彼此的说法都在对方那里失效，原有的秩序都松动了，新秩序还没长出来。如果因为乱就把两边分开，就等于在发芽之前把土翻掉。这里要分清两种乱：一种是没有缝的乱，两边根本不相干，越碰越散；另一种是有缝的乱，乱集中在缝的周围，越碰越聚。前一种要停，后一种要等。分辨的办法，就是看乱是不是围绕着同一处对不上在打转。电动车那两个礼拜的数据看上去乱，其实一直围绕着「冷热和充电」这一处在转，这就是有缝的乱。

◆ 三、证据与边界

学术旁证。　「有形状的残差最值钱」，在科学史上有很多先例。天文学里，天王星的轨道和计算对不上，偏差不是随机的，而是有规律的。十九世纪四十年代，英国的亚当斯和法国的勒维耶各自据此推算一颗未知行星的位置，1846 年，柏林天文台的伽勒按勒维耶给的位置找到了海王星。这一例里，偏差的形状直接指向了「模型里缺了一块东西」。实验科学登记阴性结果、软件工程登记缺陷，《人与 AI 一起发生新数学》第 12 章已经当作近邻提过：它们都在做失效地图，但都没有把失效的类型和「该去找什么样的对手」对应起来。

邻居与划界。　多智能体辩论的做法里，有的工作专门鼓励模型持不同意见，以免一开始就趋同。这和本章的「找不同的典范来碰」相近。分界在于：辩论里的不同，是答

案的不同；本章的不同，是指定了维度的不同，按缝的类型去挑一个在 E、Function 或 D 上不同的对手。前者靠多样性碰运气，后者按缝配对。

粗层级证伪。　　如果在大量的模型对话记录里，按缝的类型配对手（算不出配 E 不同、算不对配 Function 不同、答非所问配 D 不同）和随便配一个不同的典范，产生新理解的频率和质量没有差别，那么本章的对应关系就错了，三类缝至多只是三种描述，不是三种碰法。另一种相反局面是：失效根本分不成这三类，大量失效同时属于三类或都不属于，那么分类本身要重做。

> **带走的话**
>
> 缝分三类：算不出、算不对、答非所问。算不出去碰一个 E 不同的典范，算不对去碰一个 Function 不同的典范，答非所问去碰一个 D 不同的典范。

小账　本章补的缝——库恩只说不可通约，不说不可通约分几种、各自该怎么对待；本章把失效地图的三类缝对应到三组合的三维，让碰撞从碰运气变成按缝配对。

在圈上的位置——环节③在缝上自组织、涌现（起点：混沌碰撞）。

第 42 章

自组织：三拍与幸福律

> 这一章的问题：两个典范在缝上碰上以后，新秩序是按什么节奏自己长出来的？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景，里面的人物和线路都是虚构的。

许远在长沙地铁当调度员。这一年，他管的那条线要和一条新线在河西的一个站接上，成了换乘站。新线开通的头一个月，换乘站出了一桩谁也没料到的麻烦。

两条线的调度，各有各的老规矩。许远这条老线，客流大，讲的是「按间隔」：车和车之间隔几分钟，就是命，宁可某一班晚两分钟发，也不能让站台上的人越积越多。新线客流还小，讲的是「按时刻表」：几点几分到站、几点几分开，一班一班准点，乘客看着时刻表出门。

两套规矩各自都对，单独看都没有毛病。可是一接上，换乘站就成了它们互相读不懂的地方。

第一个礼拜，晚高峰时分，老线的车按间隔一班接一班地进站，每班都下来一大批换乘的人，涌到新线的站台。新线的车按时刻表来，不早不晚。于是常常是这样：一大批人刚走到新线站台，新线的车刚刚关门开走，下一班要等七八分钟；七八分钟里，老线又到了两班，又涌下来两批人。新线站台越来越挤，站务员拿着喇叭来回喊。

两边的调度在电话里吵。老线这边说：「你们车太稀，按时刻表开，接不住我们的人。」新线那边说：「你们车按间隔乱来，人一会儿一大批一会儿没有，我们怎么排时刻表？」吵到第二个礼拜，换乘站的站务员开始记本子：每一班老线到站几点、下来大概多少人、新线那一班是刚走还是正好赶上、站台上最多挤了多少。

本子记满一个礼拜，许远拿过来看，看出了一个形状：挤，并不是整个晚高峰都挤，而是集中在老线到站之后的两三分钟内、恰好新线刚走的那几次。毛病不在哪边的车多车少，而在两边的节拍对不上。

接下来的一段时间，两边调度做了一件以前谁都没做过的事。他们不再争「按间隔对还是按时刻表对」，而是商量出一个新的东西：在换乘站设一个「接驳窗口」。新线在晚高峰的那几班，不再死守时刻表上的某一分钟，而是等老线那班车到站、换乘的人走到站台所需的时间过去，再关门；老线这边，在不影响间隔的范围内，尽量把进站的时刻往新线的窗口里靠。

窗口试了一个礼拜，站台上不挤了。又过了一个月，两条线的调度规程里各自多了一条：老线的规程里写上了「换乘站方向，进站时刻需与接驳窗口对齐」；新线的规程里写上了「晚高峰换乘班次，以接驳窗口代替固定开车时刻」。两边的老规矩都还在，只是各自被改了一笔。

许远后来跟女儿许小满讲起这件事，小满问了一句：「那个窗口，算是老线的规矩还是新线的规矩？」许远想了一会儿，说：「都不算，又都算。」

◆ 二、这件事里藏着什么

三拍：张力积累、形状改变、回写

我在《人与 AI 一起发生新数学》里，把人和 AI 一起读失效地图的过程分成三拍。第一拍，张力积累：AI 把旧工具反复地试，失败越来越多，失败的位置越来越集中，张力在地图上积累起来。第二拍，形状改变：有人读出了缝隙的形状，换了一个问法，或者换了一个对象。第三拍，回写：新问法交回给 AI，在新的框里重新大规模地试，试的结果修正它、支持它，或者推翻它。

那本书里讲的是一个复合体里人和 AI 的分工。这一章要说的是：同样的三拍，也是两个典范在缝上碰撞时，新秩序自己长出来的微观节奏。

换乘站的故事一拍一拍地对得上。

第一拍，张力积累。两套调度规矩一接上，每一班车都在制造一点对不上：人到了，车刚走。这种对不上不是一次性的，而是一班一班地积累，站台越来越挤，电话里越吵越凶。要注意，这时候的张力不是坏事，它正是两个三组合在缝上互相作用的痕迹。站务员的本子把这些痕迹记了下来，本子越厚，张力的位置越清楚。

第二拍，形状改变。许远从本子里读出了一个形状：挤集中在「老线刚到、新线刚走」那几次。这一读，问题就变了。原来的问题是「哪种调度规矩对」，这是一个在两个现成答案之间二选一的问题；新的问题是「两条线的节拍怎样在换乘站对上」，这是一个两边原来都没有问过的问题。问题一换，对象也换了：以前两边各管各的车，现在要管的是「换乘的人从这一班走到那一班」这个过程。接驳窗口，就是在新对象上长出来的新东西。

第三拍，回写。窗口不是一张贴在墙上的告示，它被写回了两条线各自的规程。老线的「按间隔」被改了一笔，新线的「按时刻表」也被改了一笔。写回去以后，两边又在新的规矩下跑，跑出来的结果再来修正窗口：窗口留多长，哪几班要靠，哪几班不必。回写不是结束，是下一轮的开始。

为什么叫自组织

这三拍里有一件事值得注意：接驳窗口不是谁事先设计好、发下来让大家执行的。没有一个上级部门在开通前就规定「换乘站要设窗口」，两边的调度也都没有带着这个方案进场。它是在两套规矩互相作用的过程中，被张力一点一点逼出来、被本子一点一点读出来的。

这就是「自组织」的意思：新秩序不是从外面加进来的，是在碰撞双方的互相作用中从里面长出来的。上一章说的混沌，是碰撞刚开始时原有秩序松动的那个态；自组织，是在混沌之中，一个新的秩序沿着缝的形状慢慢成形的过程。三拍就是这个过程的节拍。

自组织不等于没有约束。恰恰相反，没有约束的碰撞只会散成一片。换乘站的自组织之所以能长出一个窗口，而不是长出一场混乱，是因为两条线共用一些东西：同一个

车站、同一套信号系统、同一批乘客、同一个「把人安全准时送到」的目标。这些共用的东西，规定了新秩序只能在什么范围里长。

放到典范碰撞里，这个共用的东西就是方程的形式 S = Function(D, E)。第 35 章讲过，SDE 只规定这个形式，不规定任何一个具体的三组合。在自组织这一步，这个形式的作用像两家厨房合做一桌菜时共用的锅和火候：锅只有一口，火只有一灶，两位师傅的手艺再不同，做出来的东西都得在这口锅、这灶火里成形。共用的形式不决定长出什么，但决定长出来的东西能被两边都读成一个 (Function, D, E)，从而能被写回两边，也能被训练进一个新的典范模型。

三拍与幸福律合一

意义三律里的幸福律，三步是张力、转换、释放。把它和三拍放在一起看：

张力积累，对应幸福律的张力。两个三组合在缝上互相作用，对不上的地方越积越多，这是张力。

形状改变，对应幸福律的转换。读出缝的形状、换掉问题和对象，张力没有被压下去，而是被转成了一个新的形状。

回写，对应幸福律的释放。新形状写回两个母典范，双方在新的规矩下不再互相卡住，原来积在缝上的张力由此释放。

站台上的人最能体会这三步：开通头一个礼拜，挤、急、烦，这是张力；窗口设起来的那几天，人们发现走到站台车还在等，这是转换；一个月后，换乘成了一件不用多想的事，这是释放。调度员的规程上发生的三拍，和乘客身上发生的三步，是同一件事的两面。

所以我说，三拍与幸福律合一，合成的是一个可以观察的时间结构：先有张力的积累，再有形状的转换，最后有写回之后的释放。这个结构不是一句赞美，而是一个可以查的过程：张力有没有被记下来？形状有没有被读出来？回写有没有落到双方的规程里？释放之后，双方是不是不再在原处互相卡住？四问里缺任何一问，这一轮碰撞的自组织就没有走完。

这里要守一条界线：说「释放」，说的是碰撞双方之间、规矩与规矩之间的张力被释放，不是对任何个人身心状态的判断，更不是疗效声明。幸福律在这里是一个结构，用来查碰撞走完了没有。

回写为什么不能省

很多碰撞停在第二拍。读出了形状，想出了新办法，大家都觉得很好，然后就没有然后了：新办法写在一份会议纪要里，两边的老规矩一字不改，过几个月，换乘站又挤了。

回写之所以不能省，有两个理由。第一，只有写回去，新形状才会接受检验。窗口留多长才够，只有在两条线真按它跑起来以后才知道；没写回去的新形状，永远是一个漂亮的想法。第二，只有写回去，母典范才真的被改写了。下一章会说，碰撞的标志是双方都被改写；改写不是嘴上的认可，而是落到各自做法里的那一笔。

放在典范模型上说：碰撞中读出来的新形状，要回写到参与碰撞的各个典范模型里去，让它们在新的约束下重跑；跑出来的东西，再拿回 SDE 智能体里碰。这正是常规科学与碰撞同时运转、互相喂养的方式：回写把碰撞的结果送回常规科学，常规科学跑出新的失败，又送回碰撞。

三拍里，模型和人各做哪一拍

最后把三拍放回复合体里，看看典范模型、SDE 智能体和人各在哪一拍上出力。

第一拍，张力积累，主要是典范模型在做。每个典范模型在自己的三组合里把难题跑满，跑出成功，也跑出失败；SDE 智能体把各家的失败收在一起，按第 41 章的三类缝记下来。换乘站的站务员本子，就是这一拍的样子：不需要多聪明，需要的是一班一班不漏地记。

第二拍，形状改变，人的分量最重。从一大堆对不上里读出一个形状、换掉问题，这一步目前主要靠人。许远看出的是「老线刚到、新线刚走」，这需要他对两条线的脾

气都熟。我在《人与 AI 一起发生新数学》里把这一点写成侧重，不是铁律：AI 也许将来能自己读出形状，到那一天分工线要重画。

第三拍，回写，又回到典范模型。新形状写回各个模型，让它们在新约束下重跑，跑的量还是模型的长处。SDE 智能体在这一拍上管的是：写回去的那一笔，落在了各家三组合的哪一维上，是 E 多连了一样东西，D 多了一步次序，还是 Function 换了一种合成的办法。

三拍轮转一次，花的时间可长可短。换乘站用了一个多月；一个难题上的模型对话，也许几天就能转完一轮，也许要转很多轮才停下来。快慢不是判据，判据是四问有没有问全。

◆ 三、证据与边界

学术旁证。　自组织作为一个科学概念，在物理、化学、生物里都有研究传统：在持续的外部驱动下，系统内部自发形成有序结构，普里高津把这类结构称为耗散结构，哈肯在二十世纪七十年代提出的协同学（1977 年出版《协同学导论》）讨论的也是这类问题：许多子系统互相作用，少数几个慢变量自己冒出来，带着整体排成秩序。这些只作旁证：它们说明「在张力和约束之下自发形成新秩序」在自然界里是一类真实的、可研究的过程。本章把它用于典范之间，用的是结构上的相似，不借它们的公式。另一方面，组织学习的研究里有「双环学习」一说，是阿吉里斯与舍恩在二十世纪七十年代的著作里提出的：不只是在既有规则下修正行动，还修改规则本身。回写落到双方规程，与之相近。

邻居与划界。　和第 39 章的多智能体辩论比，辩论通常以一个答案收尾：哪一方的答案更对，或者大家趋向一个共识答案。三拍不以答案收尾，以回写收尾：碰撞的结果是两个母典范各自被改了一笔，并且接着跑。和 Galison 的交易区比，交易区里长出来的接触语言，常常只在交易区里用，不一定写回双方的母文化；三拍要求写回。

粗层级证伪。　如果大量有记录的典范碰撞里，新理解的出现前并没有一个对不上越积越多的阶段，而是在双方刚接触、几乎没有摩擦时就冒出来；或者新理解出现以后，

双方原有做法一笔未改，也照样稳定地用上了它；那么「三拍是自组织的节奏」就错了，三拍与幸福律合一的说法也要随之修正。

带走的话

碰撞里的新秩序是自己长出来的，节拍是三拍：张力积累、形状改变、回写。它与幸福律的张力、转换、释放是同一个时间结构。

小账　本章补的缝——库恩把典范转变说成一次整体翻转，没有内部节奏；本章给出可观察、可查的三拍，并与幸福律合为一个时间结构。

在圈上的位置——环节③在缝上自组织、涌现（中段：自组织）；回写一拍同时连到环节④与环节①。

第 43 章

涌现：碰撞的标志是双方都被改写

> 这一章的问题：碰撞之后，凭什么说真的长出了一个新东西，而不只是把两边原有的东西摆在一起？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街上，粤菜馆「炜记」的黄炜和湘菜馆「谭家」的谭老三，平时见面点个头，各做各的生意。这一年秋天，街道办张罗老街美食节，要每家出一道「跨店菜」，两家师傅合作。抽签抽到了黄炜和谭老三，两人的合作菜，定的是一煲腊味饭。

问题一来就卡住了。

黄炜做的是广式煲仔饭：米在砂煲里煮到收水，铺上腊肠，盖盖焗着，沿着煲边淋一圈油，听到底下噼啪响，锅巴就成了；最后浇一勺调过的甜豉油。在他那里，一煲好饭的标准是米粒吃得出腊肠的甜油香，底下一层锅巴脆而不焦，腊味只是让米饭更香。

谭老三手里的是湘西的烟熏腊肉：挂在灶头熏过一冬，咸、硬、烟味重。他的吃法是切片下锅，先把肥的那一边煸得透亮、出油，再下蒜苗、干辣椒大火合炒。在他那里，腊肉好不好，看的是那股烟熏的咸香能不能把一桌饭都带下去。

第一次试做，两人各让一步：一个砂煲里，一半铺黄炜的腊肠，一半铺谭老三的腊肉片，按煲仔饭的路子焗。端出来，街道办的人尝了，说：「一半广式，一半湘味，像两份饭拼在一个煲里。」腊肉那一半咸得压住了米，烟味只浮在面上，锅巴倒没沾到什么香。

第二次，两人开始真的较劲。谭老三说：「你焗的时间太短，腊肉的香出不来。」黄炜说：「你那腊肉一铺上去，米就只剩咸了。」吵了一下午。傍晚的时候，黄炜问了

一个问题：「你那腊肉，香是在肉里，还是在煸出来的油里？」谭老三愣了一下，说：「油里。肉是咸的，香在油里。」黄炜说：「那能不能不让肉去碰米，让油去碰米？」

那天晚上，两人做出了第三版：腊肉先下干锅慢慢煸，把带着烟熏味的油逼出来；肉切成小丁，只撒一小撮；米照煲仔饭的火候煮到收水，焗锅巴时不用平常的油，改用那一碗烟熏腊肉油沿煲边淋下去；豉油里的糖减了一半。开盖的时候，底下那层锅巴先冒出来一股烟香，米饭本身却不咸。

这一煲，米是米，锅巴是脆的；烟熏的香长在饭底下，不是压在饭上面。尝过的人说不清它是粤菜还是湘菜。

美食节过去以后，有一件事比这一煲饭本身更有意思。谭老三回到自己店里，开始把每回煸腊肉逼出来的油单独装罐，拿来炒青菜、拌粉，他说以前这油都跟着肉一起下了肚，「原来最香的东西一直被我当成了顺带」。黄炜回到自己店里，在几样焗饭、煎菜里试着用起了烟熏的油，他说他以前以为煲仔饭的香只能靠腊肠的甜油，现在知道一股烟香也可以被油带进米里、长在锅巴上。

两位师傅各自回到自己的厨房，各自的手艺里都多了一笔从对方那里碰出来的东西。

这个故事是我构想的，做法上也不敢说经得起两派名厨的挑剔。我要的只是它的结构。

◆ 二、这件事里藏着什么

新东西用任何一个母典范的语言都说不清

那一煲合作的腊味饭，用粤菜的语言说，它的香太野、太冲；用湘菜的语言说，腊肉几乎看不见，算不上腊肉菜。两边的标准都套不上它，可它真实地出现了、能吃、而且好吃。

这正是涌现的第一个特征：新理解用任何一个母典范的语言都说不清，却真实出现、可以使用。我在《番茄炒蛋是谁发现的？》里讲过番茄炒蛋，那里的道理与这里相

通：一道菜可以既不属于番茄的做法，也不属于鸡蛋的做法，而是两者相遇以后才有的东西。那本书讲过的，这里不再展开。

为什么母典范的语言说不清？用三组合来读那一煲饭就明白了。广式煲仔饭的三组合里，E 是米香、腊肠的甜油与锅巴的牵连，D 是「煮到收水、铺腊味、沿边淋油焗锅巴、最后浇豉油」的次序，Function 是「让米吸足油香、腊味陪衬」的合成方式。湘式腊肉的三组合里，E 是烟熏、咸香与辣的牵连，D 是「先煸出油、再下配料、大火合炒」的次序，Function 是「让烟熏咸香裹住一桌饭」的合成方式。合作的那一煲，D 用的是煲仔饭的次序，E 却把烟熏也连了进来，而且是通过油、不是通过肉连进来的，Function 变成了「让烟香借油长进锅巴」。这个新组合不是任何一边的三组合，所以任何一边的语言都只能说出它的一部分。

涌现的判据

「说不清」只是一个特征，不是判据。随便把两样东西胡乱搅在一起，也会说不清。所以需要更严的判据。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里讨论饭桌上冒出的新想法时，提过一个可以被反驳的草案：一个想法算碰撞产生的新想法，要同时满足三条。第一，碰之前，双方各自的想法里没有它。第二，它不是双方想法的简单并排，不是拼接。第三，它被双方事后都认可，并且能在后面被继续往下推，有后续，而不是说一句就死了。

把这三条用到典范碰撞上：

碰前没有。那一煲合作的饭，黄炜的菜谱里没有，谭老三的菜谱里也没有。

不是拼接。第一版「一半腊肠、一半腊肉」是拼接，两边各自原样，并排放着。第三版不是：腊肉的用法变了，焗锅巴的油也变了，两样东西在变了以后才咬合。

双方认可且有后续。黄炜和谭老三都认这道菜；而且更要紧的是有后续，他们各自回到店里，接着往下改。

碰撞的标志：双方都被改写

三条判据里，最好用、也最硬的一条，可以单独拎出来：碰撞的标志是双方都被改写。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里把这一类运算叫作生成性运算，用来和旧数学里的封闭运算区分。封闭运算，比如整数加整数还是整数，做完以后结果还落在原来的集合里，不会冒出新东西。生成性运算不同：结果走出了输入所能张成的那个范围；结果依赖碰撞的双方是谁、在什么场里碰；结果是「差」碰出来的，不是「同」叠出来的。那本书里说得最直白的一句是：拼接是把东西并排放，碰撞是双方都被改写。

这条标志为什么硬？因为它可以在碰撞之后去查，而且查的是两个母典范，不是那个新东西本身。新东西好不好、新不新，容易有争议；母典范有没有被改写，却是看得见的事实。谭老三煸腊肉的油留下来没有？黄炜对「香从哪里来」的理解变了没有？他们各自的店里，有没有出现碰撞之前不会出现的做法？这些都可以问、可以看。

放到典范模型上，就是：一次碰撞之后，参与碰撞的两个典范模型，各自的三组合里有没有被写进一笔新东西？它们在各自的常规科学里，有没有开始问碰撞之前不会问的问题、用碰撞之前不会用的方法？如果两个模型碰完以后一切如旧，只是 SDE 智能体的记录里多了一段新结论，那么这次碰撞最多是一次生产，不是一次涌现。

这条标志与上一章的回写是连着的。回写是动作，改写是结果：回写把新形状送回母典范，改写是母典范真的因此变了。第三拍做到了，双方才被改写；双方被改写了，涌现才算有了凭据。

为什么「双方」二字不能少

有一种常见的情形，是只有一方被改写。

假如美食节那一煲饭，最后是谭老三全盘照黄炜的路子改了，腊肉只是撒在面上的一点装饰，黄炜的做法一点没动，那这就不是碰撞，是同化：一方把另一方吸了进去。

科学史上，这种情形常常被讲成「新理论吸收了旧理论的合理成分」。它也有价值，但它离库恩的替代只有一步之遥：一方赢，另一方被改写到消失。

只有双方都被改写，且双方都还在，才是本书要的涌现。这和第 40 章说的「第三种答案要两边都留着」是同一件事的两面：两边都留着，是说母典范的内核不能丢；两边都被改写，是说母典范的外层不能不动。内核守住，外层改写，新组合长出来，三个同时在场。

改写有深有浅

「双方都被改写」还可以再分深浅，这对后面的沉淀很要紧。

最浅的改写，是参数层的：谭老三把腊肉切薄一点、煸久一点。他的三组合没变，烟熏、咸香与辣的牵连还是那样连，先煸后炒的次序还是那个次序，只是几个数动了。按第 21 章的川菜判据，这仍然是原来那家湘菜。

深一层的改写，是动到了三组合的某一维。黄炜那一边就是这样：他原来认定煲仔饭的香只能来自腊肠的甜油，现在他的 E 里多连了一样东西，烟熏可以借油进到米里。这不是一个数的变化，是他看一煲饭时连在一起的东西变了。谭老三那一边，也许也正往这一层走：「先煸出油」原来只是炒腊肉的第一步，现在油被单独拎出来，成了可以去别的菜里的东西；这一笔若在他的菜里稳定下来，他的 D 就多了一个分叉，那就到了下面说的最深一层。如果这一笔在他以后几十道菜里都稳定地出现，「炜记」的三组合就真的长了一圈。

最深的改写，是双方的某一维都动了，而且动的方向指向同一个新组合。到了这一步，那个新组合就不只是一道菜，而可能是一个新门派的苗头。

这三层深浅，在碰撞记录里都可以查：改的是一个参数，还是一维；改的是一方，还是双方；双方改的方向是不是汇到一处。第 45 章讲沉淀时，要的正是最深那一层：新组合的 D 或 E 里长出了旧典范没有的新变量。浅层的改写也有用，它让母典范变得更好；但只有深层的改写，才把一次涌现送到环节四的门口。

与概念整合划界

认知科学里有一个最近的邻居：福柯尼耶与特纳的概念整合理论。他们在 2002 年的《我们思考的方式》里讨论，两个心理空间可以投射到一个整合空间，在整合空间里涌现出两个输入空间都没有的结构。

这个理论在精神上和本章相通，我从它那里得到过启发。划界有三处。

第一，载体不同。概念整合讲的是一个人头脑里两个心理空间的整合。本书讲的是以模型为载体的典范之间的碰撞：两个三组合被分别训练进两个典范模型，碰撞发生在 SDE 智能体的模型对话里，可以被记录、被复查。

第二，单位不同。概念整合的输入是心理空间，一个场景、一个框架。本书的输入是典范，一个在许多难题上保持不变的 (Function, D, E)。整合的单位更小、更随场景；典范的单位更大、更稳定。

第三，去向不同。概念整合关心的是意义怎样在理解中当场构造出来，整合空间用完就可以散去。本书关心的是涌现出来的东西怎样沉淀回科学：它要成为一个新的三组合，被训练进一个新的典范模型，回到环节一去做常规科学。而且，本书要求两个母典范都被改写，这一条在概念整合理论里不是必需的，那里的输入空间在整合之后不必改变。

◆ 三、证据与边界

学术旁证。　科学史上有不少新领域长在两个传统交汇的地方，并且两边都被改动了的例子。生物化学、物理化学这类以两门学科命名的领域，至少在名字上留着两个母传统的痕迹。以物理化学为例，它成形有一个公认的标志：1887 年，奥斯特瓦尔德、范托夫与阿伦尼乌斯创办《物理化学杂志》，这是第一份专门刊登物理化学论文的期刊。第十编第 51 章还会用数学里从网格到非局域数学的一圈，给出本书最详细的一例：局域方法并没有被推翻，而是被装进非局域数学，成为视野缩到零的极限；同时，非局域的一方也要借局域方法的成熟技巧来标定和检验。

邻居与划界。　除了概念整合，另一个邻居是群体创造力的研究。有一类常被引用的结果说，一群人当面一起头脑风暴，想出的点子往往比同样数量的人各自独立想、再汇总的少；迪尔与施特勒贝 1987 年在《人格与社会心理学杂志》上的文章汇总了此前二十多项研究，多数如此，他们把主要原因归于一人说话时别人只能等着。这是对本章的直接挑战。我的回应是：头脑风暴里常见的是拼接与从众，不是双方都被改写的碰撞；判据正是用来把两者分开的。如果分不开，挑战就成立。

粗层级证伪。　如果请不知情的评审对大量碰撞记录做判断，他们无法稳定地区分「双方都被改写」与「只是并排摆放」，那么「碰撞的标志是双方都被改写」就失去了判据的资格。另一种相反局面是：大量公认的新典范，在诞生之后，它的两个母传统都一笔未改，照旧运行，那么「双方都被改写」就不是涌现的标志，至多是一种常见的伴随现象。

> 带走的话
>
> **涌现出来的东西，用任何一个母典范的语言都说不清，却真实出现、可以使用。判它是不是涌现，最硬的一条是：碰撞之后，双方都被改写了。**

小账　本章补的缝——库恩只说新典范出现，没说怎样判定一个新东西真的是从碰撞中长出来的；本章给出三条判据和一条标志：双方都被改写。

在圈上的位置——环节③在缝上自组织、涌现（终点：涌现）；改写一条连到环节④沉淀。

第 44 章

拼盘不是结合：伪涌现的诊断

> 这一章的问题：看上去两个典范碰过了、也长出了东西，怎样识别那其实只是拼盘、只是比对，并没有发生碰撞与涌现？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远家住长沙河西，客厅不大。这一年许小满上了高一，父女俩为客厅怎么重新收拾，商量了一个暑假。

许远要的是一个能坐能躺的地方：下了夜班回来，往沙发上一靠，看一场球，累了能直接睡过去。小满要的是一个能学习的地方：她房间太小，想在客厅有一面书墙、一张大桌子，摊得开书和卷子。

第一个方案是小满在纸上画的：客厅从中间一分为二，靠窗一半放书墙和桌子，靠门一半放沙发和电视。画完一看，两个人都不满意。许远说：「我这边看球，你那边做题，我开电视你嫌吵，你开台灯我嫌亮。」两样东西摆在了同一个房间，可是谁也没碰谁，各自原样，只是挤在一起。

第二个方案是吵出来的。许远让一步，沙发换成小一号的；小满让一步，书墙只做半面。房间里两样都还在，都缩了水。许远躺不开了，小满的书也放不下了。两个人都改了，可是改的方式只是各自割掉一块，割完以后，剩下的部分照旧是原来那两个想法，什么新东西也没有长出来。

第三个方案来得更省事。小满在网上找到一款「多功能沙发书架」：沙发背后连着一排书格，扶手能翻成小桌板。许远觉得这下好了，一件家具两个用处。可是买回来没几天就发现：书格在沙发背后，坐在沙发上拿不着书；扶手翻成的小桌板，放一本练习

册就满了。这件家具确实把两样东西合在了一起，可那是厂家早就设计好的一种现成的拼合办法，不是从父女俩这个客厅、这两种需要之间长出来的。

三个方案都失败以后，小满做了一件事：她请 AI 帮忙，把「看球休息区」和「学习区」的需求各列一栏，做了一张整整齐齐的对照表：面积、光线、声音、用的时段、需要的家具。表做得很漂亮，每一行都对齐。她把表拿给许远看。

许远看着表，看着看着，指着「用的时段」那一行说：「你看，我看球是周末晚上和下夜班的上午，你做题是工作日晚上。我们俩在客厅里，其实很少同时要用。」

这一句话不在表上。表上只有两栏各自的时段，并排写着。是许远盯着那两格，问了一个表没有问的问题：两样需要是不是一定要在同一时刻占同一块地方？

问题一换，事情就变了。父女俩不再想「怎样把两样东西塞进一个房间」，而是开始想「一个房间怎样在不同的时段变成两个样子」。最后的客厅是这样的：一张宽大的长桌靠窗，工作日晚上是小满的书桌；桌子底下收着两张能拉出来的躺椅，周末晚上桌子推到墙边，躺椅拉出来，就是许远看球的地方；书墙做到了整面，但是做成了带门的柜子，看球的时候关上，台灯的光和电视的光互不干扰。

这个客厅不是小满原来的学习区，也不是许远原来的休息区。小满后来说，她发现自己其实更喜欢在长桌上做题，因为摊得开；许远说，他也才知道，躺椅比沙发更适合他下夜班睡一觉。两个人原来的想法，都被改写了。

◆ 二、这件事里藏着什么

伪涌现的三种样子

上一章给出了涌现的判据。这一章讲反面：看上去像涌现、其实不是的情形。客厅的前三个方案，恰好是伪涌现的三种样子。

第一种，并列不碰。两样东西放在同一个地方，各自原样，谁也没有作用到谁。客厅一分为二，就是并列不碰。放到典范模型上，就是把两个典范模型对同一个难题的产出并排列出来，一份报告里两节，各说各的。看上去两个典范都到场了，其实没有碰。

第二种，碰而不合。双方确实互相作用了，各自都改了，但是改的方式只是各让一步、各缩一块，让出来的地方空着，没有长出新东西。沙发缩小、书墙减半，就是碰而不合。放到典范模型上，就是两个典范各自放弃一部分主张，得到一个双方都勉强能接受的折中结论。折中看起来像是双方都被改写了，但改写的方式是删减，不是生长。上一章的标志要补一句：双方都被改写，改写里要有一笔是新的，不只是各自少了一块。

第三种，合而无新。双方被合在了一起，但合的方式是一个早已存在的现成方案，不是在这次碰撞的缝上长出来的。多功能沙发书架，就是合而无新。放到典范模型上，就是两个典范的产出被一个通用的框架整合了，比如加权平均、投票取多数、套用一个现成的综合模板。结果确实是「一个东西」，可它在碰撞之前就已经存在于那个框架里，这次碰撞只是把两边的产出填了进去。

三种样子有一个共同点：碰撞之前和碰撞之后，世界里没有多出一样东西。并列不碰没有新东西；碰而不合少了东西；合而无新多出来的那样东西本来就在。

比对不是碰撞

客厅故事里，还有一个比三种伪涌现更隐蔽的情形：那张对照表。

我口述过一句话：要碰撞才能懂；比对不是碰撞—自组织—涌现。

比对是什么？把两样东西放在一张表上，一行一行地对齐，看哪里相同、哪里不同。比对很有用，它让差异变得看得见。小满的那张表做得很好，没有它，许远也许看不到「用的时段」那一行。

可是比对本身不是碰撞。表上的两栏各自原样，一格对一格，差异被列出来了，但没有作用到任何一方。比对停在「看见差异」，碰撞要走到「差异把双方都改写」。从比对到碰撞，中间隔着一步：有人盯着一处差异，问了一个表没有问的问题。许远那一句「我们俩其实很少同时要用」，就是这一步。这一步一迈出去，问题就换了，对象就换了，后面才有了长桌、躺椅和带门的书墙。

为什么要专门强调这一点？因为在 AI 时代，比对太便宜了。让 AI 把两个典范对同一个难题的看法列成一张对照表，几秒钟的事，表还可以做得极其整齐、极其全面。很

容易让人以为，两个典范已经「碰过了」：差异都列出来了，相同处也找到了，还能写一段「综合两家之长」的结论。可是这样的表，再多再整齐，也是比对。它最多是三拍的第一拍里的一份记录，是张力积累的材料；它不是形状改变，更不是回写。

所以「要碰撞才能懂」。只看对照表，懂的是两个典范各自是什么；只有碰撞，才懂两个典范在缝上能长出什么。前一种懂法，AI 可以替你做得又快又好；后一种懂法，要有人盯着那处差异，问出那个表上没有的问题，并且让双方都为它改一笔。

第七编的智能体为什么要做这件事

这一点直接关系到第七编讲的 SDE 智能体。三碰、群碰，如果只是把三个或多个典范模型的产出摆在一起，做一张漂亮的对照表，那就是比对，哪怕摆得再全也是。第 35 章说，SDE 在碰撞中的唯一职能，是定位两道 S 的分歧出在 Function、D 还是 E。定位不是终点：定位之后，要按第 41 章的三类缝去配对手，按第 42 章的三拍去走，走到回写，走到双方被改写。

换句话说，SDE 智能体在模型对话中，要防的恰恰是自己退化成一台比对机器。一份对照表交出来，应当被看作碰撞的开始，而不是结果。

诊断清单

把以上合起来，可以给一次碰撞做一个诊断。核心只有一问：碰撞之后，有没有出现两个母典范都没有的新问题、新方法、新变量？

新问题：有没有冒出一个碰撞之前两边都没有问过的问题？客厅里的新问题是：「一个房间怎样在不同的时段变成两个样子？」

新方法：有没有出现一种两边原来都不用的做法？客厅里的新方法是：家具随时段收放，书墙带门。

新变量：有没有一个原来两边都不看的量，进入了视野？客厅里的新变量是时段，原来父女俩都只看面积和家具，碰撞之后，时段成了安排客厅的第一个量。这与第 45 章要讲的「变量表自己长出新一栏」直接相连。

三样里一样都没有，就是伪涌现，再按三种样子去查它是哪一种：没碰、碰而不合，还是合而无新。三样里有一样，再用上一章的标志去复核：双方是不是都被改写，改写里有没有一笔是新的。都过了，才把它送到环节四，去看它能不能沉淀成一个新的三组合。

这个诊断是给碰撞记录用的，不是给人打分用的。它不进任何考核，只用来判断一次模型对话走到了哪一步。

伪涌现为什么诱人

最后要说一说，伪涌现为什么那么容易被当成真的。

一个原因是它快。并列、折中、套现成框架，都可以在一次对话里完成，当场交差；真碰撞要走完三拍，要等张力积起来、等有人读出形状、等回写之后再跑一轮。客厅的前三个方案，每个都只花了一两天；第四个方案，父女俩磨了一个暑假。

另一个原因是它体面。并列看起来公平，两边都照顾到了；折中看起来谦让，两边都退了一步；套现成框架看起来专业，有出处、有模板。真碰撞反倒常常不体面：要吵，要有人承认自己原来的想法不对，要把原来的做法改一笔。许远和小满都改了，改的时候并不轻松。

第三个原因，是在 AI 时代，伪涌现的产出看起来更像真的了。一份并列报告可以写得很流畅，一段折中结论可以写得很圆满，一个套框架的综合可以写得很有条理。文字越漂亮，越难看出里面其实没有长出新东西。所以诊断不能看文字，要看事实：有没有新问题、新方法、新变量，母典范有没有被改写。

这三个原因合在一起，就是为什么环节三需要一个守门的人。门守得严一点，进到环节四的东西少一点，可每一样都是真长出来的；门一松，典范空间里就会堆满拼盘，第 58 章要讲的「多元而无意义」就从这里开始。

◆ 三、证据与边界

学术旁证。 伪涌现的问题在 AI 研究里有一个相近的讨论：多个模型的输出做集成，往往能提高准确率，但集成通常是加权、平均或投票，得到的是更稳的旧答案，不是新的理解。这正是「合而无新」的样子。Messeri 与 Crockett 在 2024 年发表于《自然》的文章里担心，AI 会给研究者带来「理解的幻觉」，以为自己懂得更多，实际懂得更少；比对表之所以危险，正因为它很容易制造这种幻觉。本章用他们的担心作旁证，不替他们的结论作延伸。

邻居与划界。 福柯尼耶与特纳在《我们思考的方式》里给好的整合列过一组约束，他们称为优化原则，讲什么样的整合更站得住、更好用。那是给头脑里的整合定的标准。本章的三种伪涌现，与其说是心理学分类，不如说是给碰撞记录用的检查项：每一项都对应一个可以在记录里查的事实，有没有作用、有没有新增、新增的东西是否事先就有。

粗层级证伪。 如果在大量碰撞记录里，只做比对、不做碰撞的那一组，产生的新问题、新方法、新变量与走完三拍的那一组差不多一样多，那么「比对不是碰撞」这一区分就没有实际意义，本章就错了。另一种相反局面是：评审按三种样子诊断时，彼此结论五花八门，那么这三种样子的分法要重做。

> 带走的话
>
> **拼盘不是结合，比对也不是碰撞。碰撞之后，要看有没有两个母典范都没有的新问题、新方法、新变量；一样都没有，就是伪涌现。**

小账 本章补的缝——库恩没有区分真正的典范转变与表面的拼凑；AI 让比对变得极其便宜，更需要把比对与碰撞分开；本章给出三种伪涌现与一份诊断清单。

在圈上的位置——环节③在缝上自组织、涌现（守门：识别伪涌现）；过了诊断的才送入环节④。

第 九 编

环节四：沉淀与生长——典范空间

编　序

前面三编，圈已经转过了三环：典范模型在各自的三组合里把常规科学做满，空白处显出来；几个典范模型被请进 SDE 智能体，在模型对话里三碰、群碰；碰到缝上，混沌、自组织，涌现出两边都没有的理解。可是一次涌现还只是一阵风。风停了，什么都没留下，圈就在第三环断了。这一编讲第四环：涌现出来的新理解，怎样以一个新的 (Function, D, E) 三组合沉淀下来，成为一个新的典范模型，再回到第一环去做它自己的常规科学。

这一环有三件事要讲清楚。第一，沉淀的判据：什么时候一次涌现算是长成了一个新典范，而不是一句漂亮话。第二，沉淀的形状：新典范不是把旧典范赶下台，而是把它装进来，当作自己在某个极限下的特例。这是本书对库恩「替代」说最直接的回答。第三，沉淀之后的事：每长出一个新典范模型，就多出一批新的碰撞位置，典范空间由此自己生长；守着这些模型的人，组成一种新的科学共同体，科学教育也跟着改样子。

贯穿这一编的意象，还是许远管着的那张地铁网：新线通车，不拆旧线；新线一通，又多出几个换乘站。读者可以把这张网放在手边，每一章都回头看它一眼。

第 45 章

沉淀：新三组合的判据

> 这一章的问题：碰撞里吵出来的一个好主意，什么时候才算长成了一个新典范？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

长沙城南一条巷子口，有一家小修理铺，两位老师傅撑着。刘师傅五十八岁，钳工出身，什么东西到他手里，先拆开看齿轮、轴承、管路，相信「东西坏，总有一处磨了」。韦师傅四十七岁，电工出身，什么东西到他手里，先拿表量电压、电流、电容，相信「东西停，总有一路断了」。两人合作多年，平常各修各的，碰上难缠的活才凑到一起。

这年夏天，菜市场里一家卖冻品的摊主，推来一台卧式冷柜：白天好好的，一到傍晚就跳闸，压缩机咔嗒一声停了，过一阵又自己起来。刘师傅拆开看，压缩机有点旧，管路接头有一处轻微结霜，他说是制冷剂慢漏，压缩机憋得慌，负荷一大就过热保护。韦师傅量了一圈，启动电容的容量偏低，他说是电容老了，压缩机起不来，电流冲高，保护器就跳。两人各修了一遍：刘师傅补了接头、加了制冷剂；韦师傅换了电容。冷柜回到菜市场，三天后，又在傍晚跳了。

两位师傅吵了起来。刘师傅说你那电容换了也没用，韦师傅说你那管路补了也没用。吵到后来，韦师傅忽然问了一句：「怎么偏偏是傍晚？」两人都愣了一下。他们去菜市场蹲了两个傍晚，看出了门道：傍晚是收摊前最忙的时候，摊主一会儿开盖取货、一会儿开盖放货，盖子开合得特别勤；也正是这个钟点，整条街的空调、冷柜一起开足，电压往下掉。盖子开得勤，柜里热负荷陡增，压缩机要频繁重启；电压掉，电容又偏弱，重启最吃力。单看刘师傅那一路，负荷不算离谱；单看韦师傅那一路，电压也在允许范围里。偏偏两件事在同一个钟点叠在一起，才跳。

第三种修法就这样吵出来了：不光看机器，要看「开盖的节奏」和「街上电压的起落」怎样在一天里叠在一起。他们给摊主出的主意也和以往不同：换一只宽裕些的电容，补好管路，再把最常取的货挪到柜口的浅筐里，傍晚少开深盖。冷柜后来没再跳。

故事到这里，只是一次好的碰撞。我想说的是后面的事。

那年秋冬，修理铺来了个徒弟。两位师傅发现，自己在教徒弟时，冒出了一句以前没有的口诀：「先问钟点，再拆再量。」他们修理铺那本用了十几年的维修登记本，原来每一行只有「机器、毛病、换了什么、花了多少」几栏；从这个冬天起，韦师傅在边上画了一道竖线，新添一栏，写的是「几点出事，当时谁在用、怎么用」。第二年夏天，街上又有两家奶茶店的展示柜、一家小饭馆的冰箱来修，徒弟照着口诀先问钟点，三台里有两台是同样的叠加毛病，一台不是，他也照样分得出来。

到这一步，第三种修法才算一个门派：它有了自己的一栏，有了口诀，有了不靠两位师傅在场也能接着修下去的徒弟，还说得出自己什么时候不灵。

◆ 二、这件事里藏着什么

涌现与沉淀不是一回事

第八编讲涌现，判据是：碰前没有，不是拼接，双方都被改写。冷柜那两个傍晚，三条都满足了：刘师傅的「磨损」和韦师傅的「断路」都没有「钟点叠加」这个东西；第三种修法也不是一半管路一半电容的拼盘；两人的看法都被改了，刘师傅从此愿意问电压，韦师傅从此愿意看人怎么用。

可是涌现只是一次显露，是这一个难题上冒出的一道 S。按本书第四编的说法，一个 S 不等于一个典范；只有同一个三组合在许多难题上都不变，才构成典范。第三种修法要算典范，得问的不是「这次修好了没有」，而是「换一台机器、换一个夏天、换一双手，它还在不在」。

所以沉淀要另立判据。我在这一章给三条，一条比一条硬。

第一条：变量表自己长出新一栏

最要紧的一条，我在《人与 AI 一起发生新数学》第 41 章里写过，原本是讲母亲有了第二个孩子之后，「哥哥」这个维度才在表上出现：旧数学擅长处理变量之间的相关，却几乎没有现成写法去处理变量表自己长出新的一栏。放到典范上，这句话就是沉淀的第一判据：新典范的 D 或 E 里，出现了一个旧典范根本没有位置的变量。

修理铺那本登记本上新画的竖线，就是这一栏。注意它不是旧栏目里多填了几个字。「毛病」一栏里写「傍晚跳闸」，那是旧表里多了一条记录；而「几点出事、谁在怎么用」单独成栏，说的是：修一台机器时，要把机器和使用它的人、和整条街的用电节奏，当作一张连在一起的网来看。这是 E 变了，特征纠缠系统里多了一种连法。口诀「先问钟点，再拆再量」也不是旧步骤换个说法，它把一个原来不存在的步骤放在最前面，这是 D 变了，差异序列有了新的起点。

为什么非要「新一栏」？因为没有新栏的「新」，大都可以翻译回旧表。一个说法如果能一条不丢地塞回刘师傅的「磨损」或韦师傅的「断路」，它就仍然是两个旧典范之一的变体，不是第三个典范。新栏是翻译回去时必然丢掉的那一块。

第二条：能被训练进一个新的典范模型

放到 AI 时代，修理铺的故事要多走一步。新三组合不能只活在两位师傅的嘴里，它得能被训练进一个模型：以这个新的 (Function，D，E) 为约束，去面对它从没见过的冷柜、冰箱、展示柜。徒弟就是这一步的人间版本。徒弟没有参加那两个傍晚的争吵，他手里只有口诀和那一栏，却能在第二年夏天分出三台机器里哪两台是叠加毛病。这说明新三组合已经离开了产生它的那次碰撞，可以单独传下去。

一个新典范模型做到这一步，才谈得上回到圈的第一环。它要接着去做自己的常规科学：把「钟点叠加」这一类毛病，在各种机器上一类一类填满。

第三条：过第 32 章的三项验收

第 32 章给典范模型立过三项验收。拿来验第三种修法，正好合身。

验收一，会出自己的失效地图。徒弟碰到那第三台不是叠加毛病的冰箱，没有硬套口诀，而是记下了：「问了钟点，没有规律，这台不归我们这一门。」一个新典范说得出自己在哪里算不出、在哪里会答非所问，才说明它真碰过现实的边。

验收二，赢过当下最强的对手。这里的对手不是两位师傅里的哪一位，而是「把两位师傅的办法都用一遍」的老做法：补管路、换电容、再不行就换压缩机。新修法要在同样的花费下修得更准、返修得更少，否则它只是多了一道手续。

验收三，出道理，不只出曲线。如果徒弟只会背「夏天傍晚的冷柜多半要换大电容」，那是一条曲线，是统计出来的规律；他还得说得出为什么，是开合频率与电压起落在同一时段叠加，才让一个两边都不算离谱的毛病变得离谱。有了道理，碰上冬天早晨开门营业时跳闸的烤箱，他才知道这一门可能也管得着。

沉淀在 SDE 智能体里怎样落地

修理铺靠的是一本登记本和一个徒弟；AI 时代，这两样东西各有对应。登记本对应的，是 SDE 智能体在模型对话里留下的回溯记录。三碰、群碰时，智能体不只摆出几道 S，还要追问分歧出在 Function、D 还是 E。冷柜那一回，分歧的根子在 E：两位师傅各自的特征纠缠系统里，都没有把「人怎么用」和「街上电压」连到机器上。回溯记录把这一点写清楚了，新的一栏就有了名字，有了位置，可以被当作一个新三组合的草稿交出去。

徒弟对应的，是以这份草稿为训练约束的一个新典范模型。它在许多它没见过的难题上跑一遍，看那股味道还在不在。这里有一个容易忽略的细节：新模型不能拿两个母典范模型的输出简单拼起来当训练料。那样训出来的，只是一个会两门手艺的学徒，遇事先拆、不行再量，仍是两个旧三组合轮流上场。新模型的约束必须是那个新三组合本身，「先问钟点」要排在最前面，是它的 D；「机器连着人和街」要写进它看世界的方式，是它的 E。

门派的样子：一栏、一句口诀、一个徒弟

把三条判据合起来，一个沉淀成形的新典范，在日常里正好是这三样东西：一栏，说明变量表变了；一句口诀，说明新的次序可以被说出、被传下去；一个徒弟，说明它离了创始人还活着。三样缺一样，都还只是一次碰撞留下的好故事。

库恩讲典范时，最看重教科书和范例：一个新典范站稳，标志是它进了教科书，有了让学生模仿的标准解题。这一点他看得很准，门派也要有范例。区别在于，库恩那里，新教科书进来，旧教科书出去；修理铺里，新的一栏画在旧栏旁边，刘师傅的「拆」、韦师傅的「量」都还在，只是前面多了一步「问钟点」。第 46 章会专门讲这件事。

◆ 三、证据与边界

学术上，最贴近「新一栏」的旁证，就在第十编要细讲的那个例子里。局域的力学方程描述一个点，用的是这一点的应变；近场动力学让一个点和它周围一片邻居直接相互作用，表上从此多了两样旧方程里没有位置的东西：一个叫「视野」的长度，是材料自己的尺度，不是网格的尺度；一份「键」的拉伸历史，断了的键不再长回来。我在《人与 AI 一起发生新数学》第 16、17 章写过，这是 Silling 在 2000 年发表于《固体力学与物理学杂志》第 48 卷的那篇开山文章里提出的体系。它有没有沉淀，看的也正是本章三条：新栏有了；后来有 2005 年 Silling 与 Askari 在《计算机与结构》第 83 卷发表的无网格算法，2007 年 Silling 与 Epton、Weckner、Xu、Askari 在《弹性力学杂志》第 88 卷发表的状态型推广，再往后是许多与创始人无关的团队接着用、接着改，说明它离开了创始人仍在长；它也说得出自己的边界，在光滑无裂口的问题上不如局域方程省。至于「换试样不重调参数仍能预言裂纹走向」这一项验收做到了什么程度，346 号已老实写明未核，这里同样标〔待核〕。

邻居也要划清。拉卡托斯说一个进步的研究纲领要预言新颖的事实，这与「新一栏」是亲戚，但他看的是纲领给出的预言，本章看的是表本身有没有变：一个纲领可以在旧表上预言出新事实，那是保护带的成功，还不是新三组合。库恩晚年讲新专业从旧

专业中分化出来，这与「门派」相近，但他没有给出分化成形的判据，本章给的就是一栏、一句口诀、一个徒弟，以及三项验收。

再说边界。第一，新栏可能是假的。有人在表上画一道竖线，写「气场」「能量流」，栏是新的，却什么也算不出。所以第一条判据必须和第三条一起用：新栏要能带来旧表算不出的预言，第 47 章会把这道门槛收紧。第二，徒弟可能只是模仿。徒弟学会的若只是两位师傅的口头禅，离开这条街就失灵，那新三组合并没有真正离开它的发生地。第三，沉淀需要时间，判早了会错杀。修理铺的门派要过一两个夏天才看得出来，科学里的门派，可能要十年二十年。

最后，粗层级的证伪。如果将来大量公认的新学科、新方法，回头去查，都找不到「变量表长出新一栏」这一步，新学科照样立住、照样被训练进模型、照样代代相传，那么本章的第一判据就错了，沉淀需要另找标志。反过来，如果大量「有了新一栏、有了范例、有了传人」的东西，很快被证明可以一条不丢地翻译回某个旧典范，那么新一栏也不足以判定沉淀，本章同样要改写。

> 带走的话
>
> 一次碰撞吵出的好主意，只是一道显露；它的 D 或 E 长出旧表没有的一栏，能被训练进新模型、离了创始人还能用、还说得出自己哪里不灵，才算沉淀成一个新典范。一栏、一句口诀、一个徒弟，缺一不可。

小账　本章补的缝——库恩没有说典范从哪里来，也没有说一个新典范何时算成形；本章给出沉淀的三条判据：新一栏、可训练、过三验收。

在圈上的位置——环节④沉淀的入口，承接环节③的涌现，交棒给环节①的常规科学。

第 46 章

包含而非替代：旧典范成为极限特例

> 这一章的问题：新典范站稳以后，旧典范是被推翻了，还是被装进来了？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远那条线上，有一个老站叫河西老街站，出口外面是一片老居民区。站里的客服中心窗口，坐着一位五十出头的站务员，大家叫她龙姐。龙姐在这个站干了二十年，问路的人见得最多：「去区医院怎么走？」「去老菜市场要多久？」二十年下来，她攒出一样宝贝：一块手写的「步行用时牌」，贴在客服窗口边上。牌上以车站为中心，列着周边二十几个地方，每一样后面写着「出 B 口，步行约几分钟」。这块牌全凭她的脚量出来，她自己说：「我一步一步走过的，错不了。」

这年秋天，线网统一在各站装了导乘屏。乘客在屏上点一个目的地，屏幕给出一个「全程用时」：走到站台的时间，加候车，加乘车，加换乘，再加出站以后走到目的地的时间，几项一加，排出最快的走法。装屏那天，站上的年轻人开玩笑：「龙姐，你那块牌子可以退休了。」

龙姐嘴上没说什么，心里不大服气。头一个礼拜，她每天下了班，就站在屏幕前，把自己牌上的二十几个地方一个一个点进去，拿笔在一张纸上记屏幕给的走法和用时。

记完一看，她自己先愣了。远处的那些地方，屏幕和她的牌完全是两回事：去河东的老火车站，她的牌上没有这一项，她平时只会说「那你坐车吧」；屏幕给出了坐三站、换乘一次、二十六分钟的走法。可是牌上那些近处的地方，区医院、老菜市场、街道办、两所小学，屏幕给出的最快走法，一律是「出 B 口，步行」，用时和她牌上写的只差一两分钟。有一项她算得比屏幕还准：屏幕说去老菜市场七分钟，她知道那段路中间有个红灯要等，牌上写的是九分钟。

她又多点了几个地方，看出了一个规矩：目的地离车站在一公里上下以内的，屏幕上的候车、乘车、换乘几项都「不划算」，自己退了场，剩下的只有走路一项；超过两三公里，坐车的几项才一项一项登场。

那个月月底，许远到这个站来开线路例会，龙姐把那张纸拿给他看，说了一句话：「我原来以为这屏幕是来顶我这块牌的。原来我这块牌，是它在近处的样子。」

许远想了想，补了一句只有调度员才说得出的话：「我们开了那么多条线，哪一个站里不是人行通道最宽？末班车一过，全城又都回到你这块牌。」后来站上没有撤那块牌，反倒请龙姐把它重抄了一遍，做成正式的标识贴在 B 口：屏幕管远，牌子管近，近处那一段，牌子比屏幕还多知道一个红灯。

◆ 二、这件事里藏着什么

两种旧结局与第三种

一个新典范站稳以后，旧典范的结局，过去大致只有两种说法。

第一种是库恩的：替代。新典范赢了，旧典范退场，教科书重写，旧典范里的人要么改宗，要么带着它老去。库恩说的不是坏人赶走好人，他说得很冷静：旧典范不是被证明为错，而是不再被使用。但不管怎样说，结局都是退场。

第二种是库恩晚年的修正：分化。他在《结构之后的路》里把革命比作物种分化，新专业从旧专业中分出来，两者并存，各说各的话，互不相通。这比替代温和了，旧的没有死，但新旧之间成了两个互相听不懂的物种。

龙姐那张纸给出的是第三种：包含。导乘屏的算法把她的步行算法装进自己里面，作为「距离趋于很短」时的特例。旧算法没有被推翻，也没有被分成另一个物种，它就在新算法内部，在它擅长的距离里，原原本本地照常运行。

包含的形式条件

这一编要把「包含」说得硬一点，不能停在「旧的也有用」这种好话上。我给它一个形式条件：新典范的三组合里，有一个旧典范没有的量；当这个量趋于某个极限时，新三组合在旧典范管得着的那类难题上，显露出与旧三组合相同的 S。

龙姐的例子里，那个量是出行距离与站间距的比。比值很小，导乘屏的算法退化为走路；比值变大，候车、乘车、换乘才一项项登场。数学里的例子更干净。我在《人与 AI 一起发生新数学》第 16、17 章写过：近场动力学让材料里一个点和它周围「视野」之内的一片邻居直接相互作用；当视野缩到零，在光滑的情形下，积分的写法回到导数的写法，这是已知的数学事实。局域的力学没有被推翻，而是被装进了非局域的力学，当作「视野缩到零」的极限。物理学史上，人们常说牛顿力学是相对论在速度远小于光速时的极限，这是同一个形状。

用本书的三组合来读，这个形式条件说的是：新典范的 E 比旧典范多连了一样东西（视野之内的邻居、站与站之间的网），D 比旧典范多了一段次序（键的拉伸历史、候车与换乘）；把多出来的那样东西推到极限，多连的连不上了，多出的那段次序自动缩没了，剩下的正是旧的 (Function, D, E)。

「补位，不是坟墓」

包含还有第二层意思，比形式条件更要紧：旧典范模型不是只活在新典范的公式里，它在自己擅长的距离里，继续独立运行。

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 17 章末尾写过一句话：近场动力学是旧办法的补位，不是旧办法的坟墓。工程上的实际做法是，一架机翼大部分地方用便宜的局域办法，只在要出事的地方换成非局域的办法，两者拼起来算。光滑、没有裂口的问题上，局域方程又快又准，没人会去换。许远说的「哪个站里不是人行通道最宽」，也是这个意思：地铁网再密，最后一段路、最近一段路，永远是腿在走。B 口那块重抄的牌子，就是补位的样子：近处那一段，旧算法不但没有被替掉，还被正式请回了墙上。

所以，包含不是吞并。新典范把旧典范装进来，是在形式上承认它是自己的一个特例；旧典范模型照常运行，是在实践上承认它在自己的地盘里最省、最准。这两层合起来，才是交通网里腿与车的真实关系，也才是本书圈上第四环的真实形状。

包含在典范模型的层面怎样落地

把这件事放回 AI 时代，包含有两样很具体的样子。

第一样，是旧典范模型不下线。一个新典范模型沉淀出来，SDE 智能体的模型清单上多一行，旧的那一行不删。来一个难题，智能体先看它落在哪个区：距离短、对象光滑、旧典范模型管得着的，照旧交给旧模型，它又快又省；落在旧模型的失效地图上的，才请新模型上场。许远的调度系统也是这样排班的：短途客流不往地铁里引，长途客流才引到站里，引错了，地铁挤，人行道空，谁都不省事。

第二样，是新典范模型在训练时就要把旧典范作为自己的一个极限区来验。检查办法很朴素：把新模型里多出来的那个量推到极限，看它在旧典范最擅长的那批难题上，能不能显露出和旧模型一样的结果。龙姐下班后站在屏幕前把牌上二十几个地方一个个点进去，做的正是这件事。做不到这一步，新模型要么是另起炉灶的一个陌生典范，要么连旧典范管得好好的事都做坏了；不管是哪一种，它都还说不上把旧典范「装进来」。

这两样合起来，第四环交给第一环的，就不是一张推倒重来的白纸，而是一张多了一行的清单，和一个在极限处与旧模型对得上的新模型。

为什么这是对库恩最直接的回答

库恩那条线之所以「走到替代就断」，是因为在他的结构里，新典范一来，旧典范的位置就空了，前面积累的常规科学跟着作废一大半，圈接不上。包含改变了这件事：旧典范模型的常规科学成果，在它的地盘里全部有效；新典范模型的常规科学，在新地盘里从头做起。圈转一次，不是清零一次，而是多一间房。

这里也要公道地记下库恩的反驳，因为他正面讨论过「旧理论是新理论的极限」这种说法。这段讨论在《科学革命的结构》第九章「科学革命的性质和必然性」里。他的意思大致是：从相对论里加上速度远小于光速的条件推出来的那几条式子，形式上和牛顿的一样，但里面的「空间」「时间」「质量」仍是爱因斯坦意义上的，牛顿的质量守恒，爱因斯坦的质量可以和能量互换，所以推出来的并不是牛顿力学本身。这个反驳是有力的，它针对的是「旧理论的命题被新理论保存」。

本书的包含不建立在命题被保存上。典范的定义里本来就没有 S。我说的包含，是旧的三组合作为新三组合的一个极限运行区，以及旧典范模型作为一个仍在运转的模型被保留。导乘屏的算法退化到走路时，「步行」二字在新算法里的意思，确实多了一层「这是候车与换乘都不划算时的选择」；可龙姐照旧那样量，照旧那样写，照旧算得准，连一个红灯都比屏幕多知道。词义换没换，不影响她的那套三组合在一公里之内照常显露出同一个结果。库恩看到了词义的断裂，是对的；他由此推出旧典范只能退场，是把命题层的断裂当成了运行层的断裂。

◆ 三、证据与边界

旁证有三类。第一类，物理学里的对应原理：玻尔在早期量子论里要求新理论在适当极限下回到经典结果，他 1913 年的原子模型里已经在用这个想法，1920 年的一次演讲里正式给它起了「对应原理」这个名字。这是科学家自己立下的「包含」规矩。第二类，计算力学里的多尺度与耦合方法：局域与非局域在同一个算例里分区运行，接口处做衔接，这正是「补位」的工程形态。第三类，交通本身：车、地铁、飞机一样样出现，步行从未退场，城市规划还在不断为步行加宽人行道、修步行街。

邻居要划清。库恩的「物种分化」承认并存，但他的并存是互不相通的；本书的包含要求新三组合在极限下能还原出旧三组合，新旧之间有一条可以计算的通道，并且新旧两个模型此后还要继续碰撞。拉卡托斯讲进步的纲领要能解释旧纲领的成功，这与包含是亲戚；区别在于他仍然期待旧纲领被淘汰，本书让旧典范模型继续运行。

边界也要老实说。第一，不是每一个旧典范都能被装进来。化学史上的燃素说、物理学史上的热质说，今天没有人把它们当作某个现代理论的「极限特例」来运行，它们在相当程度上是真的退场了。我的看法是：这类例子里，退场的多半是一组具体的命题，是 S 层面的东西；它们的三组合里，有没有某一部分被后来的典范装了进去，要一个一个查。已有人查过一部分：张夏硕在 2012 年的《Is Water H2O?》里论证，燃素说被放弃得太仓促，化学因此丢了一些概念资源，后来只好借电子、化学势这些概念重新造出来；热质说一边，卡诺在热质说框架里得出的热机结论，后来由克劳修斯与能量守恒调和后保留了下来。这些只说明部分东西被接住，不说明整个三组合被包含。我不打算把所有历史都硬说成包含。第二，极限还原可能只在部分难题上成立。非局域写法回到局域写法，要求光滑；在有裂口的地方，根本没有可以回去的局域方程。所以包含的形式条件只要求「在旧典范管得着的那类难题上」还原，不要求处处还原。第三，包含不等于新典范更高贵。旧典范在自己的地盘里往往更省、更准，那是它该得的位置。

粗层级的证伪。如果 AI 时代沉淀出的新典范模型，大多数既不能在任何极限下还原出它所挑战的旧典范的结果，又使旧典范模型在原来的地盘里也停止运行，那么「包含而非替代」就错了，库恩的替代说在 AI 时代依然是常态。反过来，本章的主张若对，我们应当看到：每多沉淀一个新典范模型，旧典范模型的运行范围被重新标定，却很少被整体关掉。

> 带走的话
>
> **新典范站稳，旧典范不是退场，而是成为它在某个量趋于极限时的特例，并在自己擅长的距离里照常运行。腿没有被车推翻，走路是车网在距离很短时的样子；补位，不是坟墓。**

小账　本章补的缝——库恩的第一道缝「革命只有一种：替代」；本章给出包含的形式条件（极限还原）与运行条件（旧模型照常运行）。

在圈上的位置——环节④沉淀的形状：新典范模型怎样与旧典范模型并处，使圈转一次不清零一次。

第 47 章

验收四档：新修辞、新记号、新方法、新典范

> 这一章的问题：AI 一夜能写出一百套「新典范」，我们凭什么分辨哪一套真的长成了？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街的湘菜馆「谭家」，掌勺的谭老三六十岁，一辈子守着一样看家的东西：后院那十几只剁辣椒坛子。新椒剁碎，拌盐，装坛，坛沿注水封口，放上十来天到一个月。什么时候开坛能用，全凭他的一套老规矩：数天数，看天气，开坛闻一闻。偶尔会有一坛「走了」，发酸发臭，只能倒掉，他也说不清为什么偏偏是这一坛。

这年他的外甥小谭从外地学厨回来，带着一部手机和一股劲，要给舅舅的剁辣椒「搞个新体系」。一个月里，小谭先后拿出了四样东西。

第一样，是一份精美的文案。小谭让 AI 写的，叫「谭氏三阶时间发酵法」，有封面、有图示，把谭老三的做法分成「静默期、唤醒期、成熟期」三段，配了一大段关于「时间的味道」的话。谭老三看了半天，说：「这不就是我腌的辣椒嘛。」

第二样，是一张表格。小谭把舅舅凭手感放的盐，一坛一坛称出来，换算成百分比；把天数、气温也都记上，做成一张规整的配方卡，挂在后院墙上。谭老三说：「这个好，以后我不在，别人照着卡也腌得出来。」可他也说得明白：腌出来的还是那个味，「走了」的坛子也还是照样「走」。

第三样，是一台小机器。小谭买了一台恒温发酵箱，把盐和温度都控住，原来夏天要十天的，现在七八天就能开坛，冬天也不用等一个月。味道，谭老三尝了，八九不离十。他说：「快是快了，可这还是我的辣椒。」

第四样，小谭花的时间最长。他在每只坛子的坛沿水边上放了一个小小的收音头，录坛子冒泡的声音，记下每一天冒泡的频率怎样起、怎样落。录了一个多月，他发现了一件谁也没想到的事：凡是后来「走了」的坛子，冒泡的节奏都有一个相似的样子，不是一路慢下来，而是在第四五天该慢的时候又急了一阵。他做了一个大胆的事：在第五天就给剩下的坛子贴了标签，「这三只要走」，然后谁也不动，等着开坛。到了日子，标签上的三只里有两只确实发酸了，另有一只没贴标签的也走了。

谭老三这回没有说「这还是我的辣椒」。他盯着那几张标签看了很久，说：「这东西，我腌了四十年，从来不知道第五天就看得出来。」

◆ 二、这件事里藏着什么

四样东西，四个档次

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 15 章给「新数学」设过一道门槛，并分了四档：新修辞、新记号、新方法、新数学。放到典范上，第四档改称「新典范」，其余照旧。小谭的四样东西，恰好一档一样。

新修辞：换了名字或说法，算不出任何东西。「三阶时间发酵法」就是这一档。蒙上眼睛尝，辣椒没有变；拿掉文案，谭老三的做法一点没少。

新记号：换了写法，结论可以一条不丢地翻译回旧语言。配方卡就是这一档。它把谭老三的手感写成了数，很有用，可以教人、可以传；可翻译回去，卡上每一行都是谭老三原来就在做的事。三组合没有动，只是把它抄得更清楚。

新方法：在旧对象上，做得更快、更稳，但框架不变。发酵箱就是这一档。它改的是外层的工具和参数，三组合还是那一个：数天数、看温度、开坛闻。川菜判据在这里正好用上：外层可变，三组合不变，就仍是同一典范。

新典范：打开了此前打不开的问题、对象或可算性。录泡声这一样做到了：它在第五天就预言出哪几坛会「走」，这是旧做法算不出的东西；它带进了一个旧做法里根本没有位置的变量，坛子随时间展开的冒泡节奏，变量表长出了新的一栏；它连带打开了一个新问题，为什么节奏会在第五天又急一阵，这个问题谭老三四十年里没法问。

门槛：算出或预言一点旧典范算不出的东西

四档的分界线不在「新不新」，在「算出了什么」。门槛只有一句：新典范必须能算出或预言一点旧典范算不出的东西，哪怕很局部，哪怕可以被现实打脸，否则只是新修辞。

这句话里，「一点」很要紧，不求全面。小谭的预言只覆盖了十几只坛子，还有一只漏报。「可以被打脸」也很要紧。小谭在第五天贴标签、谁也不动、等着开坛，这一步就是在冒险：要是标签全贴错，他的录音再精致，也只是一份声音文案。

还有一点在第 45 章已经露过面：新一栏与门槛必须一起用。新一栏是形式上的标志，门槛是实质上的验货。光有新栏、不出预言，栏是空的；光有预言、没有新栏，多半只是旧三组合调了参数，是第三档。

定义是便宜的，门槛是贵的

小谭第一样东西花了一个晚上，第四样东西花了一个多月。这个比例在 AI 时代会越拉越大。

过去，要提出一套新典范，得花很多年，付出很多劳动，所以数量天然有限，粗制滥造的也活不长。现在，一个人对着大模型，一夜可以生成一百套「新范式」，每一套都有新名词、新图示、新分期，语言流畅得让人舍不得挑刺。我在《人与 AI 一起发生新数学》里写过一句话，这里原样搬来：定义是便宜的，门槛是贵的。

为什么贵？因为门槛要的东西，AI 替你写不出来。新的预言要拿到现实里去碰，要等坛子开，要等裂纹长，要等病人好转或不好转。文案可以一夜写一百份，坛子一个月只开一次。科学发生的结构里，第四环之所以是一个「环」，而不是第三环的尾巴，就是因为这里有一段必须等现实回话的时间。

四档怎样用在典范模型上

把四档改造成典范模型的验收分级，我建议这样用。

一个自称新的典范模型交上来，先问它停在哪一档。若只是换了提示词、换了术语体系，那是新修辞，不该给它独立的模型名分。若它的产出可以一条不丢地翻译回某个现成典范模型的产出，那是新记号，可以作为那个旧模型的一种表达方式收起来。若它在旧对象上又快又稳，三组合却没变，那是新方法，是旧典范模型的一个新版本。按第 32 章的边界判据：看三组合，不看参数；三组合相同、参数不同，只是同一典范模型的两个版本。只有过了第四档门槛的，才给它一个新的典范模型的名分，让它回到第一环去做自己的常规科学。

这里要说两句公道话。第一，前三档都有价值，不是废品。配方卡让手艺可传，发酵箱让夏天少等几天。AI 会大量产出这三档的东西，其中许多非常有用。这一章不贬低它们，只是不许它们冒充第四档。第二，档次可以升。小谭的第一份文案停在第一档，若他从里面挑出「唤醒期」那个说法，真去测一测那几天坛里发生了什么、能不能预言什么，它就有可能往上走。门槛的好处，不在淘汰，在指路。

第四档也会掉档

档次能升，也能掉。小谭那一回的预言，只是一季、十几只坛子；三只里中了两只，还漏了一只。这说明他有了一点旧做法没有的东西，还不能说他已经站稳在第四档。

怎样才算站稳？要看第二季。第二年再腌一批，换一个外甥没碰过的坛子，换一个更潮的夏天，录音照录，第五天照样贴标签，等开坛。要是这一回还中得多、漏得少，泡声这一栏就不是一次运气；要是这一回标签贴得一塌糊涂，那就要老实退回去：也许冒泡的节奏只和那一年的天气有关，它说的不是坛子，是天。那时，录音这样东西就从第四档掉回第三档，甚至第二档，只是把旧做法记得更细的一种写法。

这和第 45 章的徒弟是一回事。一门新手艺，要离开创始人还能用；一个新典范，要离开第一次碰巧对上的那批难题还能算。第四档不是一枚发出去就收不回来的奖章，它是一张要年年续的证。

AI 时代，验收由谁来做

最后一个问题：四档验收，是不是又要设一个评委会，让少数人说了算？我不主张这样。

验收里能交给 AI 的部分，交给 AI。第一档和第二档的判断，大部分可以机器先做：把自称新的产出一条一条翻译回现成的典范模型，看丢了什么；什么也没丢，就落在第二档以下。第三档的判断也可以机器先做：在同一批旧难题上，比速度、比稳定性，看三组合动没动。小谭的发酵箱要是交给一个 SDE 智能体去验，它会很快报出：外层参数变了，三组合没变，是新方法。

交不出去的，是第四档。第四档要的是现实回话：坛子开了没有，裂纹走哪边，病人怎么样。这一步只能由复合体里的人去安排，去等，去认输或者去庆祝。所以四档验收的分工，大致是机器筛前三档、人守第四档。这和全书的分工是一致的：AI 把封闭的、能翻译、能比较的那一段做得又快又便宜，人守着必须与现实相碰的那一段。

还要补一句：验收读数是给典范用的，不是给人用的。一个典范模型停在第几档，说的是这个三组合走到哪里了，不能拿去给守它的人排名次、定待遇。

◆ 三、证据与边界

学术旁证，近场动力学还是最好的例子。我在《人与 AI 一起发生新数学》第 16、17 章拿它过过这道门槛：它在不预先告诉计算机裂纹往哪里走的情况下，用同一套方程去算裂纹表面与裂尖上的问题，这是 Silling　2000 年那篇文章摘要里写明的目标；可它到底有没有做到「标定一次、换试样不重调参数仍能预言裂纹分叉与走向」，我在 346 号里写明没有核到〔待核〕。这次再查，能找到的是对比检验：Agwai、Guven 与 Madenci 2011 年在《国际断裂杂志》上用三个实验比较，近场动力学算出的裂纹路径，包括分叉，与实验观察相符；2020 年《工程断裂力学》上一项对玻璃冲击分叉实验的检验则发现，不同的近场动力学实现之间差别不小，有的没能正确预言观察到的行为。两者都还不是「标定一次、换试样不重调」那种验收。所以它目前合理的档次是：已经越

过第三档，第四档还在过门槛的路上，等着现实回话。第十编第 51 章会把这一点放回整个圈里重读。

邻居要分清。波普尔要求一个理论可被证伪，门槛与它是亲戚；区别在于，门槛不止要求可以被打脸，还要求在被打脸之前，先算出了一点什么。一个什么也算不出、只是「不会被证伪」的说法，两边都不沾。拉卡托斯区分进步的纲领与退化的纲领，看的是有没有预言新颖事实，这与第四档门槛很接近；本章多出来的，是前三档的分级，以及把分级落到「给不给一个新的典范模型名分」这件具体的事上。

边界要说清。第一，门槛设得太严，会错杀还没长成的东西。微积分初期基础不严，但它算出了前人算不出的面积、切线与轨道，所以它过的是「算出」这一关，不是「严格」这一关。门槛只要求有一点可算的东西，不要求立刻严密。第二，门槛由谁裁？不能让旧典范当法官，否则等于说新典范不许出生。裁判是两样东西：现实的检验，以及别人拿到方法能不能复算出同样的结果。第三，门槛偏向可以算、可以预言的东西。有的新典范，价值先体现在让人看懂了什么；我的看法是，真看懂了，通常会带来一些以前不能回答的问题，连一个这样的问题都带不来，我会怀疑它是不是看懂了。这也是一个可以被反驳的看法。

粗层级的证伪。如果将来公认的重要新典范，回头去查，大多在被接纳时既没有算出、也没有预言出旧典范算不出的任何东西，而是靠说法、记号或速度站住的，那么「门槛」就不是沉淀的必要条件，本章的四档分级要重写。另一个相反局面也算：如果把同一批「自称新典范」的东西交给几位彼此不认识的评审，只看「它算出了什么旧典范算不出的」这一栏，评审的裁决严重分歧，那说明这道门槛还不够可操作。

> **带走的话**
>
> **新名字不是新典范，新表格是新记号，又快又稳是新方法；只有算出或预言了一点旧典范算不出的东西，才配叫新典范。AI 一夜能写一百套定义，坛子一个月只开一次：定义是便宜的，门槛是贵的。**

小账　本章补的缝——库恩没有给「新典范何时算立住」一个可操作的分级；本章把第 346 号的四档改造为典范模型的验收分级，并给出第四档门槛。

在圈上的位置——环节④沉淀的闸门：决定一次涌现能不能获得新典范模型的名分、回到环节①。

第 48 章

典范空间自己生长

> 这一章的问题：圈转一次多出一个典范模型，为什么下一次转圈的机会反而更多了？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远的调度台抽屉里，压着一张他自己手绘的线网图。刚进调度室那年，他用铅笔画了一条线，十几个站点，像一根穿着珠子的绳。后来每通一条新线，他就换一支颜色的笔往上添。他有个只有自己知道的小习惯：每添一条线，就在新线和旧线交叉的地方，画一个小圆圈，那是换乘站。

许小满有一回翻出这张图，数了起来。图上一条线的时候，一个圆圈也没有。两条线，一个。三条线，三个。到后来五六条线，圆圈数到十个出头。她算了算，问爸爸：「线是一条一条加的，圆圈怎么是一把一把多的？」

许远想了想，答得很实在：「新线不是往空地上修的。它要穿过老城，就得和老线碰头；碰一次头，就多一个换乘站。线越多，新线一路上能碰到的老线就越多。」

他又讲了一件调度员才留意得到的事。有一个换乘站，原来只是一条线上的普通小站，旁边是一片老厂房。另一条线修过来，在这里交汇以后，早晚高峰的客流一下子翻了几倍。先是站外多了一排早点摊，后来厂房改成了创意园，再后来，规划部门开始讨论要不要从这个站再引出一条短的支线，通到河边新起的几个小区去。那条支线现在还只是图纸上的一道虚线。可许远说，二十年前画第一条线时，谁也想不到这里会有一道虚线：这道虚线，是两条线碰头以后，才在图上长出来的。

还有一件事许小满注意到了。那张图上，最早的那条线一直没换过颜色，也一直在跑。新线一条条加上去，老线照常发车，照常调度，照常每天凌晨检修。许远的工作从来不是「先把老线停了，再去开新线」，而是两件事天天同时做：今天的列车要准点，明年的新线要联调。

◆ 二、这件事里藏着什么

每个新典范模型都打开新的碰撞位置

第 45 到 47 章讲的是一个新典范怎样沉淀、怎样和旧典范相处、怎样过门槛。这一章把镜头拉远：沉淀不是终点，它是下一轮碰撞的起点。

一个新的典范模型沉淀下来，回到第一环去做常规科学。它会做两件事。第一件，把自己的地图填满，填到边，失效的空白自然显出来；它的失效地图和旧典范模型的失效地图不一样，因为它的三组合不一样。第二件，它带着一个新的（Function，D，E）走进 SDE 智能体，可以和已有的每一个典范模型去三碰、群碰。原来 n 个典范模型之间可能的两两碰撞，有 n(n-1)/2 对；多出一个，就多出 n 对。许小满数的那些圆圈，就是这个账。

当然，不是每一对都值得碰。第 38 章讲过准入三条件与倒 U 律：太近碰不出新东西，太远接不上，中间距离的碰撞产出最多。所以碰撞位置的真实增长要打折扣。但折扣之后，方向不变：典范模型越多，值得碰的位置越多；碰得越多，涌现越多；涌现过了门槛，又沉淀出新的典范模型。这就是我说的典范空间自己生长。

典范空间是一张网，不是一座塔

库恩的结构里，科学的历史像一座塔：一层典范，被推倒，再盖一层，任何时候塔顶只有一层。本书的结构里，科学像许远抽屉里那张网：线越来越多，老线不拆，换乘站越来越密，偶尔还从一个换乘站引出一条图纸上的虚线。

这里有一个容易被误读的地方。我说「典范空间」，不是说存在一个事先划好的空间，各个典范只是去占位置。不是的。那个通往河边的支线，二十年前图上根本没有位

置；是两条线在老厂房旁碰头，客流、早点摊、创意园一层层长出来以后，它的位置才发生出来。典范空间也是这样：新的位置是在碰撞与沉淀里长出来的，不是先有坐标再去填。这和第 45 章「变量表自己长出新一栏」是同一件事，只是这一回长出新栏的，不是某一个典范的表，而是整个典范空间的地图。

时间尺度：常规科学与碰撞同时进行

本书反复说，常规科学与碰撞不是先后两个时期，而是同时运转、互相喂养的两个环节。这句话要拿时间来验。

最好的证据，还是我在《人与 AI 一起发生新数学》里写过的那个例子。近场动力学的开山文章，是 Silling 的《含不连续与长程力的弹性理论重述》，2000 年刊于《固体力学与物理学杂志》第 48 卷第 1 期；在这之前，它在 1998 年已作为桑迪亚国家实验室的研究报告出现过。从 2000 年正式发表算到今天，二十六年过去了。这二十多年里发生了什么？局域的偏微分方程与有限元网格，没有停下来等它，照常在工程界做常规科学，一年一年地算桥梁、算机翼、算芯片；非局域的这一支，也没有等局域那边「出危机」才动手，它从一篇文章长出 2005 年的无网格算法、2007 年的状态型推广，又有数学家给它搭严格的分析地基：2012、2013 年前后，杜强、Gunzburger、Lehoucq 等人发表了非局域扩散问题的分析与逼近、非局域向量微积分这几项工作，把「视野之内一片邻居」写成了可以严格推导的数学；两者还在同一个算例里分区运行，大部分地方用局域，要裂的地方用非局域。

这二十多年，按库恩的线来读，很难归类：它不是常规科学，因为出了一个新三组合；它不是危机，因为局域那边没有积累到要推翻自己的反常；它也不是革命，因为没有谁取代谁。按本书的圈来读，它正好是常态：第一环与第四环同时在转。许远的调度台，今天的车要准点，明年的线要联调，两件事天天同时做。

生长的节奏：不是爆炸，是一圈一圈

读到这里，有人会担心：照这个算法，碰撞位置越来越多，典范模型越来越多，典范空间岂不是要爆炸?

许远那张图回答了一半。线网是一条一条加的，每一条新线从规划到通车，要勘察、要施工、要联调，中间有一段谁也省不掉的时间。换乘站的数目可以一把一把地多，通车的线却只能一条一条地来。典范空间也是这样。碰撞的位置可以很快多起来，候选的三组合也可以很快多起来；可是每一个候选要沉淀，都得过第 47 章那道门槛，都得等现实回话。等的那段时间，就是生长的节拍器。

另一半回答在第 46 章。新典范把旧典范装进来，旧典范模型不下线，所以生长是一圈一圈往外长，像树的年轮，里面的圈一直都在。爆炸是旧东西被炸碎、新东西乱飞；年轮是旧的圈留在里面撑着，新的圈长在外面。科学发生的结构要的是后一种。若哪一天，我们看到典范模型一个个冒出来，旧的一个个被扔掉，没有谁在极限处和谁对得上，那就不是生长，是第十一编要防的「多元而无意义」。

AI 不只是载体，也是发生器

前面几编，AI 主要以典范模型的身份出场：它是一个典范的载体，把常规科学做快、做满。到了第四环，它多了一个身份：典范的发生器。

这话要说得小心。典范模型自己不会沉淀出新典范；碰撞发生在 SDE 智能体里，在人加 AI 的复合体里，涌现之后过不过门槛，要现实回话。可是在这条链上，AI 能承担的分量越来越重：它能把同一个难题同时交给许多三组合各跑一遍，能把群碰里的缝画成地图，能把一次涌现的草稿迅速训练成一个候选的典范模型，拿去跑一千个没见过的难题，看那股味道还在不在。过去，一个新典范从冒头到有徒弟，要一代人；现在，候选典范的生产，可以快到像许远图纸上的虚线，一年画好几道。

画得多，不等于通得多。大部分虚线不会通车，大部分候选不会过门槛。这正是第 47 章「定义是便宜的，门槛是贵的」要防的地方。但候选多了，本身就有价值，下面这一段就是它的用处。

与《超越波普尔》的接口

我在写的另一本书《超越波普尔：从多次性科学到一次性发生》里，讲的是另一道缝。波普尔式的科学是多次性科学：一个猜想要能反复检验，重复实验，才能被证伪或

暂时留下。可人和社会面对的许多难题，是一次性的：一场突如其来的疫情，一个城市一次性的重大规划，一个人一生只有一次的选择。一次性的难题没有机会反复试错，等它来了再去想办法，往往已经晚了。

这两本书在这里接上。典范空间的生长，为一次性发生的难题预备候选方案。典范模型越多，过了门槛、沉淀下来的三组合越多，一个一次性难题来临时，可以同时调来的看法就越多；SDE 智能体能在很短时间里让它们碰一次，把分歧出在哪一维摆清楚。这不能保证一次就对，但它把「临时去找一个看法」变成了「从一张已经长好的网里调几条线」。许远那张图上，每一条老线、每一个换乘站，在某个暴雨封路的早晨，都可能成为全城人换一条路走的那条备用通道。

所以两本书分工如下：《超越波普尔》超越「可证伪」，讲一次性发生怎样有备而来；本书超越「典范」，讲那些备着的候选从哪里来、怎样长出来。

◆ 三、证据与边界

旁证。第一，库恩自己在晚年承认，科学的发展更像物种分化，新专业从旧专业分出而与之并存，专业的数量在增长；这一说法集中在他 1990 年的科学哲学学会会长演讲《结构之后的路》里，1991 年刊出，后来成了同名文集的书名。他看到了「多」，只是他认为分出去的专业彼此不通。第二，科学计量学里关于学科数目、交叉领域随时间增长的统计研究，可以作为典范空间生长的外部读数。比如 Sun、Kaur、Milojević、Flammini 与 Menczer　2013 年在《科学报告》上用一个以学者社会互动为主的模型，复现了学科兴起与衰落的若干观测规律；Bornmann 与 Mutz　2015 年估计全球科学文献大约九年翻一番。直接数「学科有多少个」的统一口径，我没有找到，只取这两类读数作方向。第三，近场动力学与局域方法并行二十多年的事实，是「常规科学与碰撞同时进行」最直接的时间尺度证据：从 2000 年开山文章正式发表算起，到今天已二十六年，即使从 2005 年第一个可用的无网格算法算起，也已二十一年。

邻居划界。Kitcher 讲共同体应当把科学家分散到不同路线上，以免大家挤在一条路上；他的路线是给定的，问题是怎样分配人手。本书的典范空间不是给定的，它在碰撞

与沉淀中自己长出新路线。Galison 讲交易区里长出新领域，这与「换乘站长出支线」很接近；区别在于，交易区靠的是双方凑出来的接触语言，本书的换乘站靠 SDE 只规定方程形式、能定位分歧在哪一维，并且要把长出来的东西沉淀成新的典范模型。

边界。第一，生长不等于好。线修多了，换乘站多了，也可能是一张又密又堵的网：典范泛滥、碎片化、AI 生成的低质候选，是第十一编第 58 章要正面处理的风险。生长要配上第 47 章的门槛，和第十一编的意义判据。第二，生长会遇到成本的天花板。养一个典范模型虽然便宜，碰撞要算力，过门槛要现实回话，现实回话要时间、要实验、要人手。这一部分不会因为 AI 而便宜到零。第三，n(n-1)/2 只是可能的碰撞对数，不是有价值的碰撞对数，真实的增长曲线是什么形状，我没有数据，不敢画。

粗层级的证伪。如果在典范模型普及之后的十年、二十年里，我们看到的是：各学科可用的典范模型数目不增反减，或者数目增加了，却几乎没有一个新的典范模型是从两个已有典范模型的碰撞里沉淀出来的，新东西都是从一个统一模型里直接长出来的，那么「典范空间自己生长」就错了。另一个相反局面：如果新典范一沉淀，旧典范模型就普遍停止运行，并行的时间尺度从二十年缩到几乎为零，那么本书「常规科学与碰撞同时进行」的说法也要改写。

> 带走的话
>
> 新线不是往空地上修的，每多一条线，就多出一把换乘站；每沉淀一个典范模型，就多出一批值得碰的位置。老线照常跑，新线同时修，典范空间在碰撞与沉淀里自己长出来，也为一次性的难题备下候选。

小账　本章补的缝——库恩的单典范预设与「塔式」历史；本章给出典范空间作为一张自己生长的网，以及常规科学与碰撞同时进行的时间尺度证据。

在圈上的位置——环节④的出口：沉淀出的新典范模型回到环节①，同时为环节②打开新的碰撞位置，圈由此不断。

第 49 章

新的科学共同体与科学教育

> 这一章的问题：典范模型多起来以后，守着它们的人怎样组成共同体，又该怎样教下一代？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远所在的调度中心，这年秋天来了两个新人。一个叫小杨，是按老办法招进来的：分到二号线，跟着一位老调度员，从这条线的每个道岔、每个信号机学起，学满三年才能独立上岗。许远自己当年就是这么过来的，他在一条线上待了整整七年，闭着眼睛都说得出哪一站的折返要多少秒。

另一个叫阿珂，中心试行新的带教办法，她的第一年不固定在任何一条线上。头两个月，她轮着在三条线的调度台各坐一阵，每条线的规矩都记一本小册子；第三个月起，她被放到中心新设的「换乘协调台」。那张台子不管任何一条线的列车，专管线与线之间的事：一号线晚点三分钟，三号线在换乘站要不要多等半分钟；二号线临时清客，乘客涌向哪个换乘站，那边的扶梯和站台扛不扛得住。

两个新人的差别，在一个下雨的晚高峰露了出来。二号线一个区间信号故障，列车降速。小杨守在二号线的台子上，处置得规规矩矩，一步不差，可他满脑子是二号线自己的事。阿珂在协调台上，几乎同时做了三件事：通知一号线在换乘站加开一趟，提醒三号线那边的站务把换乘通道的单向引导拉起来，又把二号线降速的预计时长报给公交调度，请他们在两个大站外多放几辆接驳车。那天晚上，二号线的乘客虽然慢了，换乘站却没有挤出事来。

事后复盘，许远说了一句话，在中心传了很久：「以前一个好调度员，是把一条线守成铁桶；以后一个好调度员，还得知道这条线和别的线怎么连。」

同一次复盘，中心还定了一条新规矩，把调度中心的记录分成三层。第一层是对外公开的：每条线每天的准点承诺、首末班时刻、故障后的预计恢复时间。这些公开出去，乘客可以拿表对，媒体可以挑错，说错了就要认。第二层是线与线之间共享、对外不全公开的：每条线的故障与晚点台账，哪个区间、什么天气、什么钟点容易出问题，各线调度台互相看得到，协调台汇总成一张图。第三层是每位调度员自己的：值班日志里那些「我当时为什么先这样处置」的判断，以及几十年里磨出来的手感。这一层，中心不收，只在带徒弟时由本人愿意讲多少讲多少。

◆ 二、这件事里藏着什么

一个典范模型加上守它的一群人

库恩讲典范，总是和科学共同体连在一起讲：典范是一个共同体共享的东西，共同体是共享一个典范的人。两者互相定义。在他的结构里，一个成熟的学科，大体上就是一个共同体守一个典范，像守一座城：城墙之内，语言相通，教科书统一，学生从入门起就被领进城里，一辈子在城里做常规科学。

AI 时代，这个定义要换一个写法：一个典范模型，加上守它的一群人，就是一个科学共同体。人在这里不是可有可无的。典范模型能把常规科学做满，但三件事离不开人：判断它出的失效地图哪一块值得带进碰撞；在 SDE 智能体里，看碰撞回溯出来的分歧落在 Function、D 还是 E，决定下一步换哪一维去碰；以及最终对一次涌现过不过门槛负责，去找现实回话。小杨守二号线，就是这样一个共同体里的人：二号线的规矩是那个典范，他和老调度员们是守它的人。

从守一座城，到连通一张网

不同的是，这样的共同体不再是孤城。第 48 章讲过，典范空间是一张自己生长的网。网上每一条线，都有一群守线的人；线与线之间，还要有阿珂那样坐在换乘协调台上的人。

这种人，在库恩的结构里几乎没有位置。在他那里，跨在两个典范之间的人，要么还没改宗，要么是边缘人，两边都不完全认他。本书的结构里，他们是圈上第二环的操作者，是 SDE 智能体旁边的那个人：不必精通每一条线的每一个道岔，但要懂每条线的三组合大致是什么样，知道把哪几条线请到一起碰，知道碰出来的分歧该怎么读。

所以新的科学共同体有两种成员：守线的人，和连网的人。守线的人让每个典范模型的常规科学做得又深又满；连网的人让不同典范模型在 SDE 智能体里碰得上、碰得准。两种人缺了哪一种，圈都会断：只有守线的，各城自治、互不往来，回到库恩的孤城；只有连网的，每条线都没有守好，碰来碰去，碰的都是半吊子。

开放分级：预言公开，失效地图半公开，发生轨迹私密

调度中心那三层记录，对应我在《人与 AI 一起发生新数学》第 49 章讲过的谱系。在那里，我把它写成新数学该怎样分层：预言必须公开，失效地图可以半公开，发生的轨迹可以私密。放到科学共同体上，三层各有道理。

预言公开，因为它是接受检验的接口。准点承诺不公开，乘客没法对表，调度中心就永远不会被现实纠正。一个典范模型说它能算出什么、预言什么、在什么情况下认输，这一层必须摆在外面，谁都可以拿去验，谁都可以说它错。凡是连预言也不肯公开的东西，在本书的框架里，不算一个沉淀成形的典范，不管它自称多深。

失效地图半公开，因为它既珍贵又昂贵。各线的故障台账，是换乘协调台最需要的东西：碰撞要从缝开始，缝就记在失效地图上。可整理这张图要花大量工夫，积累得越久越是一个团队的独家眼光。所以它适合在共同体之间有条件地共享：对愿意交出自己台账的线开放，在 SDE 智能体里供碰撞调用，而不必一股脑撒到公共网络上，被机器读一遍就摊薄。

发生轨迹私密，因为它依附于人。一个调度员当时为什么先这样处置，一位研究者和 AI 一次次对话里为什么先试这个、后放弃那个，这些东西讲不全，拿走了也未必用得上，而且带着本人的成分。它们留在复合体自己的库里，用来回答别人的问题、服务别人的难题，而不交出底稿。

这里要再说一遍我在 346 号里写过的那条限定，因为它在共同体层面更要紧：私密只到「怎么发生的」为止，不许延伸到「预言了什么」。谱系分层，是为了让价值有更多出口，不是为了让一个典范躲开检验。

科学教育：从学进一个典范，到驾驭多个典范模型

小杨和阿珂的两种带教，就是两种科学教育。

库恩时代的科学教育，是学进一个典范：从教科书和范例学起，学会在这个典范里解谜，学到能独立做常规科学为止。这种教育高效、可积累，它也有代价，学生看不见棋盘之外。第五编讲过，这个代价在高成本时代是值得付的：一个人一生通常只买得起一张门票，那就买一张，买到底。

典范模型让门票便宜了。这时科学教育要多教三样东西。第一样，驾驭：会用一个典范模型做满常规科学，知道它擅长哪里、失效地图长什么样，像阿珂在每条线上各坐一阵，记一本小册子。第二样，切换：同一个难题，知道该先请哪一个典范模型，算不出时换哪一个，就像出门时知道这段路该走、那段路该坐车。第三样，碰撞：会把几个典范模型请进 SDE 智能体，看它们的分歧出在哪一维，分得清真碰撞和拼盘，判得出一次涌现停在四档的哪一档。

这不等于不要学进一个典范了。阿珂也要在每条线的台子上坐满两个月，小册子要一页一页记。一个没在任何典范里待过的人，听不出缝；不会守线的人，连网也连不好。新的教育是先学会一条线，再学会换乘，而不是从此只学换乘。

落到一间教室里

把这三样东西落到中学的一间教室里，大致是什么样子？我只说一个设想，不替任何学校出方案。

第 46 章龙姐的那张纸，搬进教室，就是一份作业的雏形。先让学生用步行的办法，给学校周边画一张用时图，这是学进一个典范；再让他们用地铁全程用时的办法重画一张，这是驾驭第二个典范；然后拿两张图去算同一批地方，看它们在哪里一致、在哪里

分开，这是切换；最后要求每个人写一句话，说清两种算法是什么关系。写得出「步行是全程用时在距离很短时的样子」的，已经碰到了包含；要是还有人像龙姐那样，发现近处的某个红灯两种算法都没算进去，那就是一次小小的碰撞之后，长出了一个新变量。

一门课若照这个样子设计，学生交上来的就不只是「这道题的答案」，还有三样东西：我用了哪几个典范、它们各自在哪里失效、它们碰在一起时分歧落在哪一维。老师看这三样，比看答案更看得出一个学生会不会在 AI 时代做科学。答案，AI 一秒钟就能给；知道请哪几个典范、怎样让它们碰，AI 目前替不了。这也正是第 33 章说的：解题的价格崩盘以后，值钱的那一段，要从教室里就开始教。

◆ 三、证据与边界

旁证。第一，库恩自己把共同体放在典范之前。他在 1969 年后记的第一节「典范与共同体结构」里承认，原书里「典范是共同体共享的东西、共同体是共享典范的人」有循环，主张科学共同体可以而且应当先不借助典范就分辨出来，再去考察成员的行为，从中找出典范；他还说，书若重写，会从科学的共同体结构讲起。「学科基质」就是在这之后提出来的。本章接着他的路走：在 AI 时代，共同体共享的东西多了一个可以训练、可以运行的载体。第二，Galison 讲物理学里理论家、实验家、仪器专家之间的交易区，那里的人是现成的「连网的人」，他们靠洋泾浜协作。第三，开放科学实践里，数据早已分级开放。以英国数据服务中心为例，数据分为开放、保护、受控三级：开放的不用注册，保护的要注册并签使用协议，受控的要申请获批后在安全环境里使用。这说明从公开到私密之间分很多层，在科研实践里已经是现实，不是本书的发明。

邻居划界。Kitcher 讲共同体怎样分配认知劳动，他的单位是给定路线上的人手；本章多出的，是「连网的人」这一类成员，他们不在任何一条路线上，专管路线之间的碰撞。默顿在 1942 年讲科学的规范，列了四条：公有性、普遍性、无私利性、有组织的怀疑；其中「公有性」要求成果归共同体所有、公开交流；本章的开放分级与它并不冲突，只是把「成果」拆成预言、失效地图、发生轨迹三层，只让第一层无条件公开。

边界。第一，私密可能被滥用。任何人都可以说「我有一个很深的典范，但不能给你看」，所以我反复强调：预言和判据必须公开。第二，「连网的人」可能沦为样样通、样样松。如果科学教育一窝蜂只教切换和碰撞，不再要求在任何一个典范里扎下去，碰撞就成了几个半吊子之间的闲谈。第三，本章讲的是结构，不是任何具体机构的制度设计，也不涉及收费与商业安排；招生、考核、职称这些事，不在本书范围内，评测读数也不应当进入任何考核。

粗层级的证伪。如果典范模型普及以后，科学共同体反而更集中地围着少数几个统一模型组织起来，「连网的人」这类成员始终没有出现，或者出现了却在发现新东西上并不比只守一条线的人更多；或者，在新典范的生产上，全部公开与全部不公开的团队长期都胜过分级开放的团队，那么本章的共同体图景与开放分级就要改写。

> **带走的话**
>
> 一个典范模型加上守它的一群人，就是 AI 时代的科学共同体；新的共同体既要守线的人，也要连网的人。预言公开，失效地图半公开，发生轨迹私密；科学教育从学进一个典范，走到会驾驭、会切换、会碰撞多个典范模型。

小账　本章补的缝——库恩的共同体是守一座城的孤城共同体，教育是学进一个典范；本章给出守线与连网两类成员、开放三级与多典范教育。

在圈上的位置——环节④的承担者：沉淀下来的新典范模型由谁守、怎样与别的模型连通、怎样传给下一代，保证圈接着转。

第 十 编

案例：数学，一次已经走完的科学发生

编　序

前面九编讲的是一个圈：典范模型做满常规科学，在 SDE 智能体里碰撞，在缝上涌现，沉淀为新的典范模型，再回到常规科学。讲到这里，读者有权问一句：这个圈，有没有在哪一门学科里真的转过一次？还是只是一张画得好看的图？

这一编拿数学来回答。选数学，不是因为我出身数学，而是因为数学最不像会有「科学发生」的学科：它的结论一旦证明就不再推翻，库恩本人也很少拿它当例子。如果连数学里都能看到四个环节一环扣一环地转，这个圈就不是空想。

材料全部取自我在《人与 AI 一起发生新数学》里已经写过的东西。那本书没有提库恩，也没有「典范模型」这个词，它讲的是看、听、摸，讲网格、裂口、波、场、中医和锅气。这一编做的事情只有一件：把同一批材料，按科学发生的结构重新读一遍。每一章都标明讲的内容落在圈的哪一环，凡说到一个新典范，都写成（Function，D，E）三组合。

五章的分工是这样的：第 50 章讲数学底下那个看不见的超级典范，它是环节一的主场；第 51 章讲一次从头到尾走完的圈，从网格到非局域数学，这是全书最硬的一块证据；第 52 章讲听、波、场三个还在半路上的典范，各停在哪一环；第 53 章讲中医与西医作为两个典范模型的候选；第 54 章讲气的数学，一个已经把验收题写好、等着被检验的样板。

第 50 章

数学的超级典范：看、点、S 一维

> 这一章的问题：数学这门学科里，有没有一个人人都在用、却没有人觉得它是「典范」的典范？

◆ 一、先从一件小事说起

下面是我构想的场景。

南门老街往东拐两个路口，是一个早市。湘菜馆「谭家」的谭老三，六十岁，每天早上五点半准时推着一辆小拖车来这里进货，几十年没断过。

他先到豆腐摊。老板娘把一板水豆腐往电子秤上一放，屏幕跳出一个数，再乘单价，再跳出一个数，二维码一扫，钱就过去了。接着是鱼摊，三条鲫鱼装进塑料袋，挂上秤钩，又是一个数。然后是辣椒、蒜苗、五花肉、一小块腊肉，每一样都是同一个动作：放上去，称，乘，扫。整个早市几百个摊位，卖的东西千差万别，有活的、有死的、有水灵灵的、有烟熏火燎的，可是付钱的那一刻，它们全都说同一种话：多少斤，多少钱一斤。

这几年早市还添了一样新东西：一台自助结算秤。你把菜放上去，它一眼认出是什么，自己报价，自己出码，比老板娘心算还快。

谭老三一辈子没质疑过「按斤」这件事。没有人质疑过。它太顺了，顺到大家不觉得这是一个选择，只觉得这就是买菜本来的样子。

可是你要是跟着谭老三走一趟，会看到另一些动作，秤上一样都没有。

买辣椒，他不先问价，先抓起一个，指头一捏，看它弹不弹手，再凑到鼻子底下闻一闻，有一股冲劲的，才要。买鲫鱼，他看鱼眼睛亮不亮，用拇指按一按鱼肚子，按下去回得快的，才要。买腊肉，他用指节敲一敲，听声音是「笃笃」的实，还是「噗噗」

的空。这些判断，决定了他今天的菜好不好；可这些判断，在付钱那一刻全部消失，被一个数代替了。一斤好辣椒和一斤差辣椒，秤上显示的是同一个「一斤」。

谭老三的徒弟有一回问他：师傅，您挑了半天，最后不还是按斤给钱？谭老三说：给钱按斤，挑菜不按斤。

这句话我很喜欢。它说出了一件很深的事：一整个市场，几百种货，用的是同一套算法。这套算法统一得那么彻底，以至于身在其中的人看不见它；而真正决定好坏的那些读法，捏、闻、按、敲，不在这套算法里。

◆ 二、这件事里藏着什么

「按斤」是一个三组合

先用本书第四编的眼光，把「按斤」拆开看。

它有一个 E，也就是它看世界时把什么和什么连在一起：货物被看成可以一份一份分开、分量可以相加的东西。两斤豆腐就是一斤豆腐加一斤豆腐，这一板和那一板之间没有什么牵连。它有一个 D，也就是它怎样切分问题、按什么次序展开：先把一筐货拆成一份一份，一份上秤，读一个数，再拆下一份。它有一个 Function，也就是把 D 和 E 合成显露的方式：单价乘重量，加起来。这三样合在一起，显露出来的 S，就是小票上那一串数字。

早市上几百个摊位，卖的东西千差万别，可是一张小票一拿到手，你就知道这是「按斤」的算法算出来的。这就是本书第 21 章说的川菜判据：外层可以变，豆腐、鲫鱼、腊肉，单价、秤的型号、扫码的方式，都可以换；三组合不换，一尝就是那个味道。

数学底下也有一个「按斤」

我在《人与 AI 一起发生新数学》里，用六章篇幅写过今天的数学是什么样的数学。那几章的意思，压成三句话：理论就是看，站在对象外面，把它摆出来；把世界先看作分得开的点，点只有位置、没有个性；把连续的东西切成单元，每个单元里只用最简单

的规则，再拼回去。我在那本书里没有用「典范」这个词，可是如果按本书第 22 章的读法，这三句话恰好就是一个三组合。

E，是外部给定、可以分开的关系。点和点之间只靠距离、邻近、次序连起来；连接是后加的，是接缝上的约定。坐标网格是观察者铺上去的，对象在网格下面，网格换了，对象不动。

D，是点化和切单元。先把对象摆出来，再拆成点、拆成块，按「先局部、后整体」的次序展开。微积分研究一个点上发生什么，只看它周围很小的一片；有限元先把零件剖成小三角形，每块里假定量按直线变，再组装。

Function，是局域加总。一个点的状态由它和紧邻的差决定，那个差除以距离，就是导数；整体的性质，由许多局部的贡献加起来、拼起来。

这三样合在一起，显露出来的，就是我们熟悉的数学的样子：清清楚楚的形状，一个一个的数，一行一行可以逐步核对的推导。

为什么说它是「超级」典范

一般的典范，管的是一门学科，或者一门学科里的一个流派。牛顿力学管力学，孟德尔遗传学管遗传。可是上面这个三组合，管的不是数学的某一个分支，而是几乎所有分支。

几何里，点和线是公理里的主角。分析里，一切从点和它的邻域出发。概率论看上去在谈「还没发生的事」，可它的第一步，是把一切可能的结果摆成一个样本空间，再往上分配权重。数值计算更不用说，网格就是点化和切单元的工程版本。连物理里最深的量子场论，从「场」出发，落到纸面上，算的是每种模式里有几个粒子的账本。我在那本书里把这条线索叫作「粒子化」：整体被拆成可以逐项登记的单位，登记的单位是预先选好的，整体行为来自单位的组合。

集合论把这一切做到了极致，给了数学一种前所未有的统一：不同分支说的原来是同一种语言。这份统一，是数学最骄傲的成就之一；也正是这份统一，让数学界看不见

自己的典范。就像谭老三的早市，几百种货都按斤，按斤就不像一个选择，只像买菜本身。

我把这个统摄所有分支的三组合，叫作数学的「超级典范」。

这里要分清一件事。超级典范不是把各个分支压成一个分支。几何和概率仍然是两门学问，问的问题不同，用的技巧不同，就像豆腐摊和鱼摊卖的东西不同。超级典范管的是更下面一层：不管你卖什么，付钱都按斤；不管你研究什么，对象都先被摆出来、点化、局域加总。

「S 一维」在三组合里是什么意思

我在那本书里有一句判词：今天的数学是视觉的、粒子化的，只发展了 S 一维。读者第一次读到这句话，容易误解成「数学里没有 D 和 E」。按三组合重新读，这句话的意思会更清楚。

超级典范里不是没有 D 和 E，而是 D 和 E 被锁成了默认值。D 永远是点化、切单元、先局部后整体；E 永远是外部给定、可分可加。几百年里，数学家在这个固定的 D 和固定的 E 上，做出了千变万化的 S：新的定理、新的结构、新的估计。变的全在 S 这一端，所以说只发展了 S 一维。

这就好比早市上的货越来越多，进口水果、有机蔬菜、预制菜，品种翻了几倍，可是付钱的方式一直是按斤。品种的丰富，是 S 的丰富；按斤不变，是 D 和 E 被锁住。

这个读法是我对那本书的重新整理，不是那本书原有的说法。它的好处是把一句判词变成了一个可以检查的命题：去看一个数学分支，它的 D 是不是点化和切单元，它的 E 是不是外部给定、可分可加。是，就在超级典范里；不是，就是一个例外，值得认真看。

一个超级典范，能不能装进一个典范模型

按本书第 28 章的定音句，典范模型是以一个典范的 (Function, D, E) 为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。超级典范既然是一个三组合，它就可以被装进一个典

范模型：训练它时，要求它的每一步都点化、切单元、局域加总；验收它时，看它的产出能不能被认出是这个三组合显露的。

有人会问：今天的通用大模型读过几乎全部数学文献，不就已经是这个模型了吗？按本书第 32 章的边界判据，答案是「差不多，但不自觉」。差不多，是因为数学文献里压倒多数都是超级典范的产出，一个吃下这些语料的模型，自然带着这股味道；不自觉，是因为它没有被告知自己守着哪一个三组合，也就说不出自己在哪里停下。一个自觉的超级典范模型，多出来的一样本事，正是第 32 章的验收一：它要会出自己的失效地图，告诉人哪些问题它算不出，哪些算得出却不对，哪些算对了却答非所问。

谭老三的自助结算秤，就是一个不自觉的「按斤模型」。它称得极快、极准，可是你把一筐捏过、闻过、挑剩下的辣椒放上去，它不会告诉你：这一筐，按斤是算不出好坏的。

环节一：AI 在超级典范里做常规科学最快

现在把这个超级典范放到科学发生的圈上。它落在第一环：典范模型做满常规科学。

我在那本书的第 1 章写过，解数学题这几年的变化像大棚种菜：解题的价格崩盘了。为什么偏偏是解题先崩？因为解题有三个特点：题目是给定的，答案可以检验，工具箱是现成的。这三个特点合在一起，就是一个封闭的、可检验的、靠组合的任务。

用本书的话再说一遍：这三个特点，恰好说明这些题都在超级典范之内。题目给定，是说问题已经被摆出来、写成了一句精确的话，D 已经走完了；答案可检验，是说显露出来的 S 可以逐步核对；工具箱现成，是说 Function 就是那套局域加总的老办法，只需要按没人试过的次序拼起来。一个三组合固定、只在 S 上组合的任务，正是典范模型最擅长的常规科学。

所以，今天人们说「通用大模型会做数学了」，按本书的说法，更准确的说法是：一个吃了超级典范全部语料的模型，正在超级典范之内把常规科学做满。它不知道自己守着一个典范，可它的每一份证明、每一次组合，都带着那股「按斤」的味道。我在那

本书的第 8 章说过，吃网格数据长大的 AI 代理模型继承了网格的世界观，是旧数学的加速器，不是另起炉灶。这句话放到这里，就是本书第 29 章的论点在数学里的样子：没有不带典范的模型。

解题价格崩盘，在库恩的线上看，像一场危机，数学教授们惶惶不安，一年二十篇论文不知道算什么。在本书的圈上看，它是一个信号：环节一快做满了。

做满为什么是好消息

我在那本书里有一句话：成功的点越填越挤，失效的空白越试越清楚。

超级典范之内，成功的点正在被 AI 成批地填满。一个技巧被证明有效，马上被推广到邻近的几十个问题上。这在数学家看来是内卷。可是从圈的眼光看，地图被填到边，空白就自己显出来了：哪些问题，整个旧工具箱试遍了都卡住；卡住的位置，是不是总落在同一类地方。

这就是环节一喂养环节二的方式。常规科学做得越快，碰撞的位置就越早暴露。在单典范、高成本的时代，一个数学家卡了半年，草稿纸收进抽屉，失败不留记录，空白要等两千年才能被看清楚，平行公设就是这样。在典范模型的时代，空白几个月就能被画成地图。超级典范被做满，不是数学的终点，是下一次科学发生的起点。

谭老三那句话，放在这里也合适：给钱按斤，挑菜不按斤。超级典范管得了算账，管不了挑菜。挑菜的那些读法，捏、闻、按、敲，正是后面几章要找的新典范的影子。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

库恩的《科学革命的结构》1962 年出版，书里的例子绝大多数取自物理和化学，数学很少出场。后来有数学史家专门讨论过「数学里有没有库恩式的革命」。克罗（Michael Crowe）1975 年写过一篇短文，列出关于数学史上变化模式的十条「定律」，其中一条大意是革命从不在数学里发生；1992 年，吉利斯（Donald Gillies）编了一本《数学中的革命》（Revolutions in Mathematics，牛津大学出版社），把克罗

这篇文章收作第一章，后面是正反两方的讨论。这场争论本身就是一条旁证：数学家和史家找不到典型的「替代」，因为几何换了公设，分析换了基础，可是被看的东西，点、线、邻近、次序，原封不动地留了下来。我在那本书里写过，希尔伯特 1899 年的《几何基础》把欧几里得偷偷借图之光的地方一条条补成公理，眼睛退场了，点和线却成了公理里的主角。按本书的读法，这正是川菜判据在一门学科尺度上的样子：外层换了，三组合没换。

再说邻居。最接近「超级典范」这个说法的，是哈金和克龙比的「推理风格」。克龙比在《欧洲传统中的科学思维风格》（1994）里列过六种风格：公设推导（几何是样板）、实验探究、假设建模、分类、概率与统计、历史起源的推导。排在第一位的，正是从公设出发推出结论的数学推理。推理风格讲的是推理方式，不是结论，这一点和本书的三组合相通。分界有两条：推理风格里没有 Function 这一维，说不出「局域加总」和「整体不变量」是两种合成显露的方式；推理风格也不能拿来当训练约束和模型边界。超级典范之所以要写成三组合，正是为了让它能被一个模型守住，也能被一个模型挑战。

然后是边界，我说三条。

第一，超级典范这个说法可能太宽。数学里有些路线，比如范畴论和类型论，更关心东西之间怎样变换、怎样等同，而不是东西由什么元素组成。我在那本书里也承认，它们是否真的摆脱了点，是可以争的。如果它们在未来成为主流，而且被证明在 D 和 E 上根本不同于点化与可分，那么「一个超级典范统摄几乎所有分支」就要降格，改成「几个典范结成的同盟」。

第二，把它称为「超级典范」，是我在本书里的命名，属于待王德生本人最后裁定的一项。如果这个名字被收回，本章的论证不受影响：它只需要承认这个三组合在数学的许多分支上保持不变，按本书第四编的定义，这已经足以构成一个典范。

第三，粗层级的证伪。本章押两件大局面。一是：如果有人能举出相当数量的核心数学分支，它们的工作方式既不点化、也不切单元、也不靠局域加总，而且这些分支不是边缘，是主流，那么「超级典范」就错了。二是：如果今后几年里，AI 在数学上的主

要进展，是不断提出新对象、新定义，并且被同行广泛采用，而不是在旧工具箱里组合，那么「AI 正在超级典范之内做常规科学」这个判断就错了，AI 已经越过了环节一。这两件事是可以对着公开的数学进展去数的。

最后补一句公道话。说数学有一个超级典范，不是在贬低数学。按斤算账，养活了一整个早市；超级典范造出了桥梁、飞机、卫星和医院里的扫描仪。它的成功和它的边界长在同一处，所以边界算不上缺陷，它就是这个典范的形状。

> 带走的话
>
> 数学底下有一个超级典范，写成三组合是（局域加总，点化与切单元，外部给定、可分可加的关系）；它统一得太彻底，所以数学界看不见它。解题价格崩盘，不是危机，是这个超级典范的常规科学快被做满的信号。

小账 本章补的缝——库恩的「成熟科学只有一个典范」看到了单一，没看到这个单一的典范在数学里是一个统摄所有分支、因而看不见的超级典范；本章把它写成三组合，让它可以被守住，也可以被挑战。
在圈上的位置——环节①：超级典范模型在本典范内把常规科学做满，失效的空白由此显形。

第 51 章

一次完整的圈：从网格到非局域数学

> 这一章的问题：在真实的学科史里，有没有一次科学发生，四个环节一个不落地走完了，而且旧典范没有被推翻？

◆ 一、先从一件小事说起

下面是我构想的场景。

许远住的长沙河西那个小区，去年夏天重铺了楼下的篮球场。施工队先浇一整片混凝土，等它半干，工人推着一台带圆锯片的小机器，在地面上横竖各切出几道浅浅的直缝，把一整块场地切成一个个大方格。

许小满放暑假，趴在阳台上看了一下午。晚上她问爸爸：好好的地，为什么要切开？

许远也不懂，第二天下楼去问。施工队的老班长说：混凝土干的时候要缩，天冷天热也要胀缩，它总要裂的。你不让它裂，它就自己找地方乱裂；你先给它切一道缝，它就老老实实在缝里裂。我们这叫「告诉它在哪裂」。

这是很聪明的办法，几十年来路面、广场、车库地坪，大多这么做。裂缝成了一件被事先安排好的事：在哪裂，由切缝的人决定。

可是到了秋天，许小满又发现了一件事。场边有一个排水井盖，方方正正的。井盖的四个角上，各自斜着爬出一道细裂纹，根本不理那些切好的缝，自己往外长。球场另一头有一根旗杆的底座，周围也裂了一圈。

她又去问老班长。老班长说：角上最难弄，切缝管不到那里，那儿受力挤在一个尖上，它非要从角上裂。我们有时候在角上斜着多切一刀，有时候多放一层钢筋网，算是打个补丁。

许远后来在单位跟一个搞土建的朋友说起这事。朋友说：现在还有一种做法，在混凝土里拌进去一大把很细的短纤维，有的是钢的，有的是塑料的。它不是告诉混凝土在哪裂，而是让它想裂也裂不成一条大缝：每一根小纤维都在近处拉着两边，一处要开，周围一片纤维一起扛，扛不住的地方，裂成很多很细的发丝纹，散开，不成大口子。

许远问：那以后就不用切缝了？

朋友说：照切。大片的地方，切缝又便宜又好使。纤维是加在那些切缝管不住的地方，角上，井盖边，旗杆底下。两样东西一起用。

这件小事里，我想请读者留意三个细节。第一，切缝的办法，把裂缝当成一件要事先安排的「输入」。第二，它总在同一类地方失灵：尖角，突然改变形状的地方。第三，后来多出来的办法，没有把切缝推翻，而是把裂缝从「输入」变成了「结果」：你只管材料里一片一片的牵扯，裂成什么样，是牵扯撑不住之后自己长出来的。

纤维混凝土的工程细节，我不是行家，这里只借它的样子。工程报告里对它的说法大致是：纤维在裂缝两边起桥接作用，掺得够多、够合适时，一条宽缝会被分成许多宽度不到零点一毫米的细缝；它是对切缝和钢筋的补充，不是替代。数学里，同样的故事已经从头到尾走过一遍。

◆ 二、这件事里藏着什么

四个环节，一张表

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 8、12 至 17 章里，把网格、失效地图、跨界碰撞、门槛、揉面团和裂口这几件事分章写了。那本书讲的是数学，没有提科学发生的圈。现在把它们按圈的四个环节排起来，就是下面这张表。这张表是本章的骨架，也是本书说「科学发生的结构不是空想」的主证据。

环节	数学里发生了什么（第 346 号）	落在三组合的哪里
① 典范模型做满常规科学	局域偏微分方程与网格典范；AI 代理模型继承网格世界观，封闭 S（第 8、13 章）	旧三组合在许多难题上不变：紧邻关系、剖分加先验裂纹、导数与局域加总

环节	数学里发生了什么（第 346 号）	落在三组合的哪里
② 碰撞	失效地图暴露的缝，加上材料断裂与积分算子的跨界嫁接（第 12、14 章）	三类缝分别指向 E、Function、D；接口量是「一片邻域上的相互作用」
③ 在缝上涌现	断键、赤字传递，裂纹是输出，不是输入（第 17 章）	新的 D 与新的 Function 在缝上同时长出
④ 沉淀为新典范	近场动力学过门槛；局域成为视野趋零的极限，两者并行（第 15–17 章）	新三组合可教、可算、可被别人使用；旧三组合成为极限特例

下面一行一行讲。

环节①：网格典范把常规科学做满

旧的那一边，我做了二十年，熟。

描述一块材料受力，经典的写法是：每一点记它挪了多少，再看它和紧挨着的邻居挪的差，差除以距离就是导数，一点的受力由这一点的导数决定。要在计算机上算，就先把零件剖成许许多多小三角形，在每个顶点上记一个数，三角形里面的值按直线过渡，再组装成一个大方程组。这一套从二十世纪中叶的有限元开始，成了工程界的通用语言。

按本书的三组合读，它是这样的：E，是紧邻关系，一点只和紧挨着它的邻居有关，远处的影响要一层一层传话传过来；D，是先剖分、再在单元上展开，遇到裂纹，就把裂纹当成一个要事先安排好位置的特殊对象；Function，是导数加局域加总。这个三组合在桥、机翼、芯片散热、水坝受力这千百个难题上都不变，按本书第 17 章的定义，它是一个典范。它是第 50 章那个超级典范在力学里的一位嫡亲。

那本书第 17 章里有一段构想的对话，说做断裂的人要给裂口配三个班子：一个管裂口以外的光滑区域，写偏微分方程；一个管裂口，当作边界；一个管裂尖，定一条「什么时候往前走一步」的判据。三个班子在交界处还要对口径。这就是篮球场上的切缝：裂在哪里，要先告诉它。

这个典范的常规科学，今天正在被 AI 加速做满。那本书第 8 章写过，人们训练神经网络去代替繁重的网格计算，给它看大量算好的例子，让它直接猜结果；它学的材料，

是网格上算出来的数，所以它继承了网格的世界观。按本书第 29 章的说法，这就是一个不自觉的典范模型：它守着网格的三组合，在本典范之内把 S 一个个封闭。

环节②：缝在哪里，跟谁碰

做满之后，空白显出来了。那本书第 12 章说过，失效有三种样子：算不出，算得出但不对，算对了但答非所问。裂纹问题三样都占。

算不出：裂口两边的位移差是一个有限的量，距离却缩到零，有限除以零，导数没有意义，这一行算式写不下去。按本书第 41 章的读法，算不出指向 E：这个典范「把什么和什么连在一起」的方式，在断开的地方失去了依托。

算不对：网格算出来的裂纹，常常顺着网格线走，换一种剖分，裂纹走向就跟着变；误差在裂尖附近不管怎样加密都不肯老实下降，这是有形状的残差。按第 41 章，这一类最值钱，它指向 Function：导数这种合成方式，在不光滑处天然吃亏。

答非所问：三个班子的办法，能把「已知裂口长不长」算得很好，可是你问的是「它会从哪里裂、会不会分叉」，它要你先回答，它才能开算。按第 41 章，这指向 D：切分问题的次序把要算的东西放到了输入里。

三类失效，指向同一个位置：不光滑的地方，断开的地方。这就是那本书第 12、13 章说的缝隙有形状。

缝看清了，下一步是找一个三组合不同的对手来碰。对手从隔壁来。一边是材料科学里早就知道的现象：材料里的原子不只和最近的邻居有相互作用，稍远一点的也有；另一边是数学里现成的积分算子的语言，它把一片范围里每个邻居的贡献加起来，对跳跃、断开毫不惊讶。那本书第 14 章用嫁接三条件来查这一次碰撞：亲缘够近，两边都在处理「许多东西互相作用」；差异够大，积分这边有导数那边没有的宽容；接口对齐，两边都认的量是「一片邻域上的相互作用」。

按本书第 38 章的握手协议，接口量是两个典范各自最不肯放弃的量。我的读法是：力学这边最不肯放弃的，是能量，裂开一单位面积要花多少能量，不能凭空多出来或少下去；积分算子这边最不肯放弃的，是那一片邻域上的加总必须是有限、良定的。后来

新理论里的断裂临界量要和材料的断裂能挂钩来标定，正是这两样东西在接口上对齐了。这是我的读法，不是那段历史里当事人的原话。

环节③：在缝上长出来的东西

碰撞的结果，用任何一个母典范的语言都说不清。

2000 年，美国桑迪亚国家实验室的 Silling 在《固体力学与物理学杂志》第 48 卷发表文章，提出了后来叫近场动力学的理论。它的写法，翻成大白话：材料里每一点，不问它的斜率，而问它周围一个固定半径（叫视野）之内的每一个邻居，各自和它之间被拉长了多少，每一对点之间像连着一根看不见的弹簧，叫键，把这些拉力加起来，就是这一点的受力。方程里没有导数，只有积分。

更要紧的是第二条规矩：键被拉长超过一个临界值就断，断了永远不复原。断了的键不再出力，邻居就要多扛，最累的那几根接着断。那本书第 17 章把这个过程叫赤字传递：裂纹的走向，就是赤字沿哪个方向传得最快；能量大到一条路上放不完，赤字同时在两个方向累积，裂纹分成两叉。

这里出现了一件两个母典范都没有的东西：裂纹不再是输入，而是输出。你不写裂纹，不写裂尖在哪里，只写键的规矩，让键自己去断；裂纹是算完之后，在断键的分布图上看到的东西。网格典范里没有这个想法，它要先告诉裂纹在哪；积分算子的数学里也没有这个想法，它原本只是一种加总的工具，不知道什么叫断裂。

按本书第 43 章的判据，碰撞的标志是双方都被改写。力学被改写了：一点的状态不再由它的斜率决定，材料多了一个自己的尺度，视野。数学也被改写了：此后有一批数学家专门为这类方程建立适定性理论和非局域的向量微积分：杜强（Qiang Du）、Gunzburger、Lehoucq 与 Zhou 2012 年在《SIAM Review》上系统讨论了带体积约束的非局域扩散问题的分析与逼近，次年又在《应用科学中的数学模型与方法》（M3AS）上给出了非局域向量微积分与非局域守恒律的框架。两边都长出了此前没有的问题。

环节④：沉淀为一个新的三组合

涌现出来的理解，以一个新的三组合沉淀下来：

E，是视野内一片邻域的相互作用。一点和周围一整片点直接牵扯，近的牵得紧，远的牵得松，出了视野就不牵。

D，是键的拉伸历史，断键不可逆。差异序列不再是「先剖分、再安排裂纹」，而是每一对点之间拉长量的一部历史，一旦越过临界就翻篇，翻过去回不来。材料的现在，带着它被拉过的过去。

Function，是积分加总。把视野里每一根还在的键的贡献加起来。

和旧三组合对照，三维全变了：E 从紧邻变成一片，D 从先验安排变成历史累积，Function 从导数变成积分。这也解释了为什么三类缝要三维一起补：只换 Function、不换 D，裂纹仍要事先告诉；只换 E、不换 Function，断口处仍要除以零。

它沉淀得住，有四样东西作证，正好对上那本书第 15 章门槛的四问。第一问，它算出了什么旧办法算不出的？不预先给出裂纹位置，用同一套方程管好的地方、裂的地方和将裂未裂的地方，这是打开了一类可算性。第二问，翻译回去丢了什么？在位移断开的地方，导数语言根本写不出这些式子，翻译不回去。第三问，谁能打脸？那本书把它写成全书预测 P1，意思是：视野大小和断裂临界量只在一块试样上定一回，此后试样换了厚度、冲击换了速度，参数一概不动，仍能预言裂纹分不分叉、大致往哪走；必须逐次重调才对得上的，就输。第四问，离开作者还能用吗？2005 年 Silling 与 Askari 在《计算机与结构》第 83 卷发表了基于它的无网格方法，2007 年又有状态型的推广，后来许多与 Silling 无关的团队都在用它，拿 Kalthoff 与 Winkler 在 1980 年代后期报道的冲击实验当公认的考题去检验：一块带两道预制缺口的钢板被高速弹体从侧面撞上，裂纹不顺着缺口走，而是斜着拐出去，看谁不预先告诉计算机裂纹往哪拐，也能算出那个角度。

最后一条，也是对库恩最直接的回答：旧典范没有退场。视野缩到零，在光滑的情形下，积分的写法回到导数的写法，局域的数学成了非局域数学的一个极限特例。数学

家还专门研究过离散格式在这个极限下是否也保持一致，叫渐近相容性，田晓川（Xiaochuan Tian）与杜强 2014 年在《SIAM 数值分析杂志》上系统提出了这一类格式。工程上的实际做法，是大片光滑的地方用便宜的局域办法，只在要出事的地方换成近场动力学，两者拼起来。那本书第 17 章的话：它是补位，不是坟墓。这就是篮球场：大片照切缝，角上加纤维。

这一圈，人走了多久

还要老实交代一件事。这一圈是人在没有典范模型的年代里走完的。有限元从二十世纪中叶开始，网格依赖与裂纹的麻烦积累了几十年，跨界的那一碰发生在一个人、一个实验室的头脑里，2000 年才发表，此后又用了二十多年去搭地基、做对照。这就是单典范、高建造成本条件下的速度。

本书主张的，不是 AI 已经替人走了这一圈，而是这一圈的结构，正是科学发生的结构；有了典范模型和 SDE 智能体，同样的圈可以转得快得多。按那本书第 13 章的三拍：AI 把旧工具反复试，失效在地图上积累，是张力积累；人读出缝的形状，把裂纹从「一条线上导数不存在」改问成「一片相互作用被切断的地方」，是形状改变；新问法交回给 AI 大规模地试，是回写。三拍对应圈上的①到③，沉淀之后又回到①：近场动力学今天也有了自己的常规科学，有人用 AI 去加速它的计算。圈没有断。

◆ 三、证据与边界

先说本章站得住的部分。近场动力学的提出、后继方法与推广、它在裂纹问题上不需预设裂纹路径，这些是公开发表、可以核对的；局域写法是非局域写法视野趋零时的极限，在光滑情形下是已知的数学事实；局域方法与近场动力学并行运转了二十多年，没有谁替代谁，这一点任何人去翻近年的计算力学文献都看得到。这三件事合起来，正是圈的四个环节，以及本书第 46 章说的「包含而非替代」。

再说邻居。库恩晚年在《结构之后的路》里说，革命常常是一门新专业分出来，和旧专业并存，像物种分化。近场动力学看上去就像分出来的新专业。分界在于：库恩讲分家之后互不相通；这里分家之后接着碰，局域与非局域在同一个工程问题里拼接，在

数学上被一个极限连在一起。拉卡托斯会把它读成一个研究纲领换了硬核。分界在于：硬核是一组被相信的命题；这里变的是一个可以训练进模型的三组合，而且旧的硬核没有被抛弃，被装进了新的里面。

然后是边界，我说三条。

第一，这一圈到底走完了没有，取决于 P1。P1 到今天没有被系统地检验过，我在那本书里就是这样写的。如果有人做了对照，发现在同等计算量下，带现成技巧的局域办法预言裂纹行为一样好；或者近场动力学每换一块试样就要重调视野和临界量才对得上，那么它就只是那本书第 15 章说的第三档「新方法」，不是新典范。那样的话，本章就要改口：数学里这一圈走到了环节③，环节④还没有完成。本书的主证据随之降一级。这是本章押的第一个大局面。

第二，把一段学科史读成「环节」，有事后追认的风险：任何历史都能被事后排成四步。防这一点的办法，是看圈能不能预言下一步。按圈的结构，近场动力学沉淀之后，应当成为新的碰撞位置，长出它自己的失效地图，比如视野参数从哪里来、计算为什么这么贵、为什么解释不了某块材料更脆。那本书第 16、17 章已经列出了这几处空白。如果十年之后，这些空白既没有被新的碰撞填上，近场动力学也没有长出自己的常规科学，只是原地踏步，那么「圈不断」就错了，它只是一次单独的、偶然的分支。这是本章押的第二个大局面。

第三，篮球场的例子只是帮读者看清形状，不是工程论证。纤维混凝土我只借了它最粗的样子；数学这一圈的论证，不依赖它。

> **带走的话**
>
> 从网格到非局域数学，是一次四个环节一个不落的科学发生：网格典范做满常规科学，失效地图暴露了缝，与积分算子在「一片邻域的相互作用」上嫁接，裂纹从输入变成了输出，沉淀为 (积分加总，断键不可逆的拉伸历史，视野内一片邻域的相互作用)；局域没有被推翻，成了视野趋零的极限。这一圈人走了几十年，结构就是本书的圈。

小账　本章补的缝——库恩只有「替代」一种革命，又说不清新典范从哪里来；本章用一段可核的学科史给出新三组合的发生过程，并证明旧典范以极限特例的身份留在新典范里。

在圈上的位置——完整的①②③④一圈；圈能否算作闭合，以 P1 的检验为准。

第 52 章

听、波、场：三个正在沉淀的典范

> 这一章的问题：数学里那几个还没长成的新典范，各自走到了圈的哪一环，还差什么才能沉淀下来？

◆ 一、先从一件小事说起

下面是我构想的场景，一个晚上里的三件小事。

第一件。晚上九点多，许小满在房间里写作业，楼道里传来脚步声。她没抬头，说了一句：「我爸回来了，今天累。」她妈妈问她怎么知道。她说：「上楼的声音。」

许远上楼，平常是三步一顿，到拐角快一点，最后几级一口气上来，掏钥匙。今天那几步拖着，每一步落下去都比平常沉一点，拐角那里还停了一下，最后几级没有冲上来。许小满听的不是哪一步响，而是这一串脚步从起头到落下的整个样子。要是你只把每一步的响度记成一个数，今天和平常可能差不多；差别在步与步之间，在那一下停顿，在「该冲上来却没冲上来」的落空。

第二件。许远进门换鞋，手机一亮，小区业主群里在传一个消息：明天上午停水。消息先是三栋的一个人发的，几分钟里，一个接一个转，转到别的楼栋群，又转回来。许远看了看，发现自己五分钟前在另一个群里已经转过一次了，就没再转。

有意思的是，没有一个人从三栋走到别处去，大家都在自己家里坐着，可是「停水」这件事从三栋传遍了整个小区，有一个前沿，有一个速度，传到哪里，哪里的人就去接一桶水。更有意思的是，后来物业又发了一条「停水改到后天」，两条消息在群里迎面撞上，转过前一条的人懒得再转后一条，有一阵子谁也说不清到底哪天停。

第三件。睡前许远把客厅的窗和阳台门都打开，屋里一下子有了穿堂风，门帘飘起来，饭桌上的纸巾被吹到地上。许小满说：「把我房间的窗也开开，风就更大了。」许远去开了，结果客厅的风反而小了，风改道从她房间穿了过去。

你没法说这股风是哪一个点造出来的。开一扇窗，全屋每个角落的风都跟着变；风在屋里绕了一圈从另一头出去，你只有沿着它走一圈，才知道它是怎么走的。

一个晚上，三件事：一串脚步，一条消息，一股风。它们正好对着我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过的三种还没长成的数学：听的数学，波的数学，场的数学。

◆ 二、这件事里藏着什么

先把三组合写出来

那本书第 18、19、20 章分别讲了这三种数学。按本书的读法，每一种都可以写成一个候选的三组合，再和它要挑战的旧三组合放在一起。

候选典范	E（把什么和什么连在一起）	D（怎样切分、按什么次序展开）	Function（怎样合成显露）	它的对手
听觉数学	共鸣与听者的预期	起头、撑住、落下的展开	看整体形状	傅里叶：把听翻成看，永恒纯音的叠加
波的数学	载体之间的激发与恢复牵连	波的出生、行走、相遇、消亡	以波为单位追踪，不追个体	逐个体模拟：先有点，波是读出来的
场的数学	整体图样：线怎么连、环怎么套	绕行：沿路径走一圈	绕一圈的账：不变量、多出来的那一笔	点上赋值：每个点配一个数

写成本书的记法，三个候选依次是：听觉数学 (看整体形状，起头—撑住—落下的展开，共鸣与预期)；波的数学 (以波为单位追踪，波的出生—行走—相遇—消亡，载体之间的激发与恢复)；场的数学 (绕一圈的账，沿路径绕行，整体图样)。

三个候选的对手，都是第 50 章那个超级典范的分身：傅里叶把声音拆成一张频率表，逐个体模拟把波拆成每一个人的状态，点上赋值把场拆成每一个点的数。它们是同一个三组合在声音、波和场上的显露。

下面一个一个看，它们各自停在圈的哪一环。

听：停在环节②，缺一个接口量

旧的那一边，常规科学做得极满。傅里叶分析、声谱图、小波，通信、录音、医学成像、地震分析都建在上面。那本书第 18 章说过，这是一次伟大的翻译，也是一次把听变成看的翻译：一段在时间里走过去的声音，被换成了一张静止的图，图上没有先后，只有「有哪些」。

缝也已经被看清了。傅里叶的纯音没有起头也没有结尾，要拼出一个有头有尾的声音，得靠成千上万个纯音互相抵消；把声音切成短窗口，又碰到时频不确定性，时间切得越准，音高越模糊。按本书第 41 章的三类缝，这是「答非所问」：频谱算得对，可是你问的是这一串脚步累不累，它答的是有哪些频率。答非所问指向 D，切分问题的次序把「展开」切没了。

所以听觉数学的候选三组合，主要换的是 D：不再先切成频率栏目，而是把「起头、撑住、落下」当作展开的次序本身。E 换成共鸣与预期，因为许小满的判断里有她对「该冲上来」的期待；Function 换成看整体形状，因为她读的是一整串的样子，不是某一步的数值。

那么它停在哪里？我的读法是：环节②的门口。缝看清了，候选三组合有了，可是真正的碰撞还没有发生。碰撞要有一个三组合不同、又接得上的对手，还要有接口量。听觉数学眼下的邻居很多：音乐理论里有节拍与张力的数学，动力系统里有激发与松弛，信号处理里有包络，信息论里有「惊讶度」。那本书说得很老实：这些工具各碰到听的一个角，没有人把它们合成一个以时间中的展开为第一对象的语言。

按本书第 38 章的握手协议，缺的正是接口量：两个典范各自最不肯放弃的那个量。傅里叶这边最不肯放弃的，是能量在频率上的分配，它守着可逆、无损；听觉这边最不肯放弃的，是展开的次序，哪一段在前、哪一段在后、哪里落空。两样东西还没有在一个都能算的量上对齐。对齐之前，碰撞只是并排站着。

它的验收题已经写好了：用整段展开的形状去预测一个对象的状态，是否比只用主频一类的静态数字更准。那本书拿西瓜熟度设计过一次对照，本书不再展开，只记一笔：那道题一天没有人做，听觉数学就一天停在②。

波：停在环节③，涌现有了，沉淀没有

波这一边走得更远。

那本书第 19 章说，旧数学有浮叶的数学，没有波的数学：它追踪待在原地的东西，波是事后从点的值里读出来的形态。可是这条路上已经有不少东西长出来了。达朗贝尔解把一维的波写成一个形状的平移；孤子理论把波当成可以数个数、相撞之后还保持原样的东西；可兴奋介质的模型写的是撞了就灭、有恢复期的波，心肌里的电波、化学反应里的螺旋波都属于这一类。2002 年，Farkas、Helbing 和 Vicsek 在《自然》上发表过体育场人浪的研究，模型里每个人只有三种状态，准备好、正在站、刚站过要缓一缓，模型里没有「浪」这个字，浪却自己长了出来，速度、宽度、要几十个人一起起头才发得动，都是算出来的。

按本书的圈来读，这些都是在缝上的涌现：一个两边都说不清、却真实可用的新理解，「波有自己的脾气」。小区群里那两条消息迎面撞上就互相抵消，正是有恢复期的波的脾气：转过一次的人短时间内不会再转，前面都是刚转过的人，两道浪就一起熄了。涟漪不是这个脾气，它们相遇会互相穿过去。一套波的数学，要一开始就能谈这种脾气。

那它为什么还没有沉淀？按本书第 45 章的判据，沉淀要看「变量表自己长出新一栏」，而且新三组合要能被训练进一个典范模型、通过第 32 章的验收。现在的情形是：新一栏已经零零散散地出现了，前沿、宽度、恢复期、传递范围，都是属于波、不属于任何个体的量；可是它们散落在交通流、心脏电生理、人群动力学、化学这几个行当里，各用各的方程，没有被一个共同的三组合收拢。它们的根，仍然是「先设定每个个体的状态，再让计算机跑」：点在前，波在后。Function 还没有换成「以波为单位」。

所以波停在环节③：涌现已经发生了好几次，沉淀还没有。它缺的是一道过门槛的题，那本书写成了全书预测 P2：不追踪个体，只用波这一层的量，能否预判人浪、拥堵波在何处加速、消散或分裂，准确度不低于逐个体模拟。P2 过了，以波为单位的 Function 才有资格进入一个典范模型；过不了，波的数学就只是一种好听的描述，涌现了，没留下来。

场：一个特殊的位置，零件早已沉淀在旧典范里

场的情形最微妙。

那本书第 20 章讲铁屑排成的弧线：线是闭合的，不会相交，越密越强，这些是整体的性质，在每一个点上都看不出来。旧数学把场写成每个点上一个值，这些整体性质是事后由方程推出的定理。

可是物理学内部早就有两样东西对着「整体先于点」的方向长了出来。一样是 1959 年 Aharonov 与 Bohm 预言的效应：电子绕过一个通电螺线管，管外磁场几乎为零，电子却因为绕过了管里的磁通，干涉条纹移动了；1986 年 Tonomura 等人用超导膜把磁场挡在路径之外，做了判决性更强的实验。另一样是 1980 年 von Klitzing 发现的量子霍尔效应，电导一级一级地跳，每一级是基本常数的整数倍，不受样品形状和杂质影响，后来的理论解释说这些整数是一种拓扑不变量。

许远家的穿堂风是一个更粗的样子：风是一个整体的事，开一扇窗，全屋都变；它的走向要沿着屋子绕一圈才看得出来。这里只借它的形，不借它的物理。

按三组合读，场的数学候选里，Function 是「绕一圈的账」，D 是「沿路径绕行」，E 是「整体图样」。奇怪的地方在于：这个 Function 的零件，绕圈相位、拓扑不变量，已经被数学严格地写出来了，而且算得极好。可它们是怎么写出来的？是先在每个点上放一个量（物理学家叫势），再沿路径把它们加起来。零件沉淀了，沉淀在旧典范里，被当作超级典范的漂亮定理。

所以场的数学停在一个特殊的位置：零件在环节④，候选典范本身在环节①之前。它还没有形成一个自觉的三组合，没有一个以整体图样为第一对象、在谈任何一点的值

之前先谈「哪些图样能存在」的语言。那本书第 20 章也承认，拓扑学、层论、纤维丛这些现代数学里都有它的影子。

它缺的，是一道能把它从旧典范里「分出来」的题：一件只有以整体为第一对象才算得好、先逐点重建再归类就算不好的事。那本书提过一个窄的候选：只凭磁场图案的整体特征，判断磁体内部磁化的类别，看它在有噪声的条件下是否比先逐点重建矢量更稳。它离拓扑数据分析这些已有工具很近。这恰好是场的处境：它最可能不是从外面撞进来，而是从旧典范内部长出一枝，再被一次碰撞剪下来、另立门户。

三个候选之间，也可以碰

还有一件事值得想一想：三个候选未必只能各自去找旧典范碰，它们彼此之间也可以碰。

听和波离得很近。一串脚步、一段声音，本身就是在时间里传过来的东西；听觉数学要的「展开」，和波的数学要的「出生、行走、消亡」，是同一类对象从两个方向看。波和场也离得近。那本书第 20 章里，电子绕螺线管一圈多出来的相位，本来就是电子这支波的节拍；穿堂风既是一股在屋里走的流，又是一个全屋一起变的整体。

按本书第 37 章的群碰，把三个候选放进同一个 SDE 智能体里，同时面对一个难题，比如小区那条停水消息，分歧就不是一条缝，而是一张缝的地图：听的典范会问消息在每个人那里「起头、撑住、落下」的样子，波的典范会问前沿和恢复期，场的典范会问整个小区群网绕一圈下来，有没有一笔怎么也消不掉的账。三道显露摆在一起，回溯分歧出在哪一维。按第 38 章的倒 U 律，这三个候选彼此的距离，不太近也不太远，正是碰撞产出最多的那一段。这是我构想的一种用法，不是已经做过的事。

三个位置，说明了什么

三个候选，三个位置：听在②，波在③，场的零件在④而它自己还在①之前。这张分布本身就是一条证据。

库恩的线上，一门学科在一个时刻只处在一个阶段：常规、危机或革命。本书的圈上，同一门学科里，可以同时有好几个典范处在不同的环节，有的在碰，有的在涌现，有的还没成形，而旧的超级典范照常做它的常规科学，一刻不停。这就是本书第 16 章用交通网说的：地铁每天照常运行，新线同时在修，有的刚画好图，有的打了隧道，有的铺了轨还没通车。

还有一层。三个候选里，没有一个是要把傅里叶、逐个体模拟或点上赋值推翻的。听觉数学成了，傅里叶照样在通信里用；波的数学成了，逐个体模拟照样在要追每一个人的地方用；场的数学成了，工程师照样用点优先的有限元算电机。它们要的是在旧典范旁边，或者旧典范的极限之外，长出自己的位置。

◆ 三、证据与边界

先说本章站得住的部分。傅里叶分析的成功与时频不确定性是已知的数学事实；人浪的可兴奋介质模型是公开发表的研究；Aharonov–Bohm 效应与量子霍尔效应是物理学里被实验确认的结果。我只做了一件事：把这些已有的东西，放到圈的四个环节上去量。

再说邻居。最近的邻居是各个领域里已有的「波作为对象」与「整体作为对象」的努力，孤子、可兴奋介质、拓扑数据分析。分界在于：它们各自成功，却没有把自己当作一个可以被训练进模型、可以和别的三组合碰撞的典范；本书的读法给它们一个共同的检查表：E、D、Function 各换了没有，接口量对齐了没有，验收题做了没有。

然后是边界。

第一，三个位置是我的判断，不是学界的共识。也许有懂行的人会说，波的数学早已沉淀，孤子理论就是一个成熟的典范。如果是这样，波应当往前挪一格。这类修正不伤本章的结构，只改刻度。

第二，粗层级的证伪，本章押两件大局面。一是：如果有人证明，任何以波为变量、以整体图样为对象、以展开形状为对象的写法，都能无损地改写成点上赋值的写法，而且后者永远更好算，那么这三个候选就都是假空位，本章说的「正在沉淀」就错

了，它们只是旧典范的另一种说法。二是：如果十年之后，三个候选全都原地不动，没有一个往下一环挪过一步，那么「同一学科里多个典范同时在圈上不同位置运转」就只是一张静态的分类图，不是一个在转的圈。

第三，晚上那三件小事只是帮读者看见三种东西的形状。脚步声里有没有可测的「累」，群消息的传播是不是可兴奋介质，穿堂风和规范场有多远，我都没有核实，也不需要核实，它们不承担论证。

> **带走的话**
>
> 听、波、场是数学里三个还在半路上的典范：听停在环节②，缺一个和傅里叶对齐的接口量；波停在环节③，涌现过好几回，等 P2 来验收沉淀；场的零件早已沉淀在旧典范里，自己还没有另立门户。同一门学科里，几个典范同时在圈上不同的位置，这是库恩的线画不出来的。

小账　本章补的缝——库恩的阶段论让一门学科在一个时刻只处在一个阶段；本章用三个候选典范说明，同一门学科里可以同时有多个典范处在圈的不同环节，并且各自说得出还差什么。

在圈上的位置——听在环节②（碰撞前，缺接口量）；波在环节③（已涌现，未沉淀）；场的零件在环节④（沉淀于旧典范），候选典范本身在环节①之前。

第 53 章

中医：多典范并存，不需要替代

> 这一章的问题：中医和西医能不能不当成谁替代谁的两个对手，而当成两个可以在同一个对象面前碰撞的典范模型候选？

先把话说在前面。本章只谈方法与典范的结构，不谈任何人的身体，不作诊断，不说哪种办法有效或无效，也不替任何一方担保。凡出现的医生，都是构想的人物，只讲「怎样读」，不讲「读出了什么病」。

◆ 一、先从一件小事说起

下面是我构想的场景。

南门老街的修理铺，去年收了一台老式落地钟，是街口一户人家祖上传下来的。钟走着走着，每天慢七八分钟，偶尔还会停一下，过一会儿又自己走起来。

两位老师傅轮流看了。

先上手的是韦师傅，电工出身，四十七岁，什么都讲数据。他找来一个手机上的计时软件，对着钟摆录了半个钟头，算出摆动周期，跟标准值一比，偏长了一点；又用放大镜把擒纵轮的齿一个一个看过，在一颗齿上看到一处磨损。他说：问题在这儿，这颗齿磨了，每一圈卡一下，周期就拖长。换一个擒纵轮，就好。

刘师傅五十八岁，钳工出身，他不急着拆。他先把钟从墙边挪开，左右推一推，看钟身稳不稳；又把耳朵贴在钟壳上，听了好一阵子嘀嗒声；然后问那户人家：这钟是不是挪过地方？是不是冬天才停得多？最后他说：齿是磨了，可齿为什么偏偏磨那一颗？我听着这钟的嘀嗒是「一边重一边轻」的，钟身有点歪，摆一边走得远一边走得近，整个钟不在一个劲上。光换齿，过一阵别的齿也会磨。

两个人谁也没说服谁。韦师傅说：你那个「一边重一边轻」，我测不出来，说不清。刘师傅说：你那个周期是测出来了，可你测的是钟的一个影子。

修理铺的规矩，是两个人意见不一样时，谁也不许比嗓门，得说清楚两种修法在哪一处对不上。

这一回他们发现，对不上的地方很具体：韦师傅读的是「一颗齿的磨损」这一个点，刘师傅读的是「整台钟的姿态加上它挪动、冷热的经历」这一团。两人读的不是一个对象的两种答案，而是同一台钟的两种读法。后来他们干脆一起动手：韦师傅换齿，刘师傅把钟身垫平。修好之后，韦师傅又多做了一件事，在钟壳上贴了一个小水平泡，说：以后不用听，看它歪没歪。刘师傅也多做了一件事，把韦师傅录的那段周期数据要了去，说想看看「一边重一边轻」在曲线上是个什么样子。

这件事里，最后的那两个「多做一件事」，是我想请读者留意的。

◆ 二、这件事里藏着什么

两个三组合

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 24 至 29 章写过中医，写的是怎样读，不写读出了什么。那几章里有两句关键的读法：证可以读作一种场态，是许多表现同时在场、互相牵制形成的整体样子；方剂可以读作有向网络加角色加次序，君臣佐使是站位，先煎后下是次序。那本书小心地说，这是读法，不是结论。

按本书第四编的定义，把两种读法写成三组合。

中医这一边，作为一个典范候选：E 是整体场态，一项表现的意义取决于它在整个模式里的位置，同一个怕冷，放进不同的整体里是不同的东西；D 是轨迹，读的是此刻的状态加上它往哪里走，同一个人今天和下个月可以不是同一个「态」，处理也跟着变；Function 是有向网络加角色加次序，干预被写成一张有站位、有先后的图，不是成分的清单。

西医这一边，按那本书第 25 章所讲的路线：E 是可分离的靶点与通路，一个现象被追溯到一个分子、一条通路；D 是先拆、再标准化、再检验，从复杂的东西里找出起作用的那个点，纯化，定结构，定剂量；Function 是剂量与效应，配上随机对照试验这样把平均效应和选择偏差分开的裁判办法。这一条路，属于第 50 章那个超级典范在医学里的延伸：可分、可重复、观察者在外。

两个三组合三维都不同。这就是本书第 32 章的边界判据：看三组合，不看参数。两个都可以叫「医学」，可它们不是同一个典范的两个版本，是两个典范的候选。

青蒿素：一次漂亮的胜利，被当成了唯一的路

说到中医的科学化，人们最先想到的是青蒿素。那本书第 25 章写过这段历史：一条来自东晋葛洪《肘后备急方》的线索，水浸绞汁而不是水煮，提示加热可能破坏有效成分，于是改用低沸点的乙醚提取；有效成分结晶，定结构，全合成、半合成、衍生物、联合用药，许多人和机构接力；2015 年，屠呦呦是当年诺贝尔生理学或医学奖的获奖者之一。

按本书的读法，这是西医那个三组合的一次漂亮胜利：疟疾恰好是一个明确的敌人，药物要做的是在寄生虫的生命周期里找一个脆弱的点打掉，问题的形状正好匹配「拆开、找点、标准化」。那本书说得很清楚：这不是旧数学的失败，恰恰是它的一次极漂亮的胜利。

问题出在胜利之后。人们很容易从青蒿素推出：所谓中医科学化，就是把中药里的单体提出来。这是把一次成功当成了唯一的路。按本书第 8 章的说法，这是单典范预设在医学里的样子：成熟的科学只能有一个典范，另一套读法要么被它收编，要么被判为不成熟。

修理铺里，如果韦师傅那天换了齿、钟就好了，大家就会说：修钟就是找坏齿。这次没错，可下一台钟歪着身子，找坏齿就会换了又换。

为什么不需要替代

按库恩的线，中医和西医只能有两种结局：一个替代另一个，或者两个互不相通、各说各话。按本书的圈，还有第三种：两个典范模型各自做满常规科学，在同一个对象面前碰撞。

先说各自做满。西医这一边的常规科学，做得又深又广，分子、影像、统计、随机对照试验，有一整套证据链。中医这一边的常规科学，按那本书第 28 章的整理，至今缺的是一套能把它写成可检验对象的数学：证的场数学、方剂的相互作用数学、脉的波数学、个体的一次性数学。那本书把这四个方向写成一张待办清单。按本书第 27 章的成本论，这件事过去做不起：养一个典范要一代人，一个共同体只养得起一套三组合，多数资源自然流向成果多、可检验的那一套。典范模型把养一个典范的成本降到养一个模型，中医这套读法第一次有机会被一个模型守住，在它自己的三组合之内把常规科学做起来，而不是只能被拆成单体后并进别人的典范。

再说碰撞。碰撞的场所，按本书第 34 章，不在任何一个模型里，而在以 SDE 为思维操作系统的智能体的模型对话里。同一个对象，两个三组合各自显露一道 S，摆在一起，回溯分歧出在 Function、D 还是 E。修理铺里，分歧回溯出来是 E 的不同：一个连的是「齿和周期」，一个连的是「钟身、经历和嘀嗒的轻重」。

那本书第 27 章里，有一个现成的接口：从状态到指标的映射是多对多的、丢信息的投影。同一个病名可以背后是不同的状态，不同的病名可以背后是同一个状态。现代医学自己也在走这条路，同一个病名下面越分越细的亚型，是靠更多、更好的分子指标划出来的。两边在「同一个名字背后不是一回事」这件事上，已经说得上话。按本书第 38 章的握手协议，接口量是各自最不肯放弃的量：西医这边最不肯放弃的，是可重复的平均效应与因果裁判；中医这边最不肯放弃的，是这一个人此刻的整体样子。接口可能就落在「分型」上：一种把整体样子读成可以事先规定、可以检验的类别的办法。那本书第 29 章做过一道纯算术的演示：一半人受益、一半人受害，平均下来是零，试验报告「无显著效果」；好的分型能把两类分开。这是两边可能互相喂养的地方，不是谁替代谁的地方。

修理铺里，两位师傅最后的「多做一件事」，正是这个意思：韦师傅贴上水平泡，等于把刘师傅读的「姿态」变成了一个可以看的指标；刘师傅要走周期数据，等于想把自己的「轻重」落到可测的曲线上。两边都被改写了，按本书第 43 章，这才是碰撞的标志。

为什么不能交给一个统一大模型

有人会说：今天的通用大模型，中医古籍读过，西医教科书也读过，让它一个模型两边都管，不就省事了？

按本书第 30 章，这恰恰是最容易出问题的办法。一个统一大模型同时吞下两套三组合的语料，它学到的，是两边在语料里的加权平均。两套读法里，西医那一套的文献数量多、格式规整、可检验的结论密集，在平均里自然占上风；中医那一套里最难写成文字的东西，整体的样子、轨迹的走向、站位与次序，本来就只在师徒之间口传，在语料里稀薄。平均之后，中医这一边会被悄悄改写成「一组成分加一组症状」，也就是被拆成了西医那个三组合能读的样子。表面上两边都在，实际上只剩一个。

修理铺里，如果找一个两种手艺都学了一半的年轻人来修那台钟，他多半会先换齿，因为换齿有图纸、有尺寸，说得清楚；「一边重一边轻」那一套，他听不出来，也就不会去管。

所以按本书第 28 章的定音句，正确的做法是两个模型：一个守西医的三组合，一个守中医候选的三组合，各自在本典范内把常规科学做满；碰撞交给 SDE 智能体里的模型对话。中医候选的那个模型，按第 32 章的验收一，首先要会出自己的失效地图：哪些对象，它读出来的整体样子换一批数据就变；哪些对象，它和西医模型给出同样的分型，没有多出任何东西。这张地图本身，就是中医科学化最诚实的第一份成果。

三道检验，各守其位

碰撞不是互相背书。那本书第 29 章有一条我很看重的话：别用古书给新数学背书，也别用新数学给古书背书。

那本书把对中医相关主张的检验分成三道：第一道是数学自己的检验，新语言能不能预测出旧语言预测不出、又被现实证实的东西，比如全书预测 P8，含配伍结构的模型在留出的新组合上，是否比单味药效相加的模型预测得更准，终点限定在事先登记的体外或动物模型指标；第二道是机制与实验室的检验；第三道是临床疗效的检验，由随机对照试验和它的改进形式为主来裁判。

按本书的圈，这三道检验分别守着圈上不同的环节。第一道守的是环节④的验收：中医这个候选三组合，能不能沉淀成一个过门槛的典范模型。第三道守的是整个医学共同体的底线，它不属于任何一个典范，两边都要过。本书的圈不替第三道做任何判决，也不绕过它。

◆ 三、证据与边界

先说本章站得住的部分。青蒿素的提取与获奖是公开的历史；为防耐药，世界卫生组织早已把以青蒿素类为基础的联合疗法定为一线方案，并在 2006 年 1 月公开呼吁药企停止销售青蒿素类单药；此后又陆续有敏感性下降的报告。这些是公共卫生里相当明确的事。现代医学按分子指标细分亚型，是它自己的发展方向。这两件事说明，西医那一套是一个有力、自我修补的典范；也说明，「同一个名字背后不是一回事」不是中医独有的说法。

再说邻居。网络药理学把方剂画成「成分—靶点—疾病」的网络，是最近的邻居。那本书第 26 章的判断是：它多半把成分摊平成一个集合，再从集合里挑重点，读的是「有哪些」，不是「谁站在哪里、谁先谁后」。按三组合说，它换了 E 的一部分，没有换 D 和 Function，所以它仍在西医那个三组合的边上，不是一个独立的典范候选。整合医学、中西医结合也是邻居，分界在于：它们多是在临床上把两种做法并列使用，本书说的碰撞，是在模型对话里回溯分歧出在哪一维，再把新的理解沉淀为新的三组合。

然后是边界，这一章的边界要说得最重。

第一，「两个典范模型的候选」，关键在「候选」二字。一个三组合要成为典范，得在许多难题上保持不变，并且能被认出来。中医这一边，最要紧的前提至今没有被检

验：那本书第 27 章写过，如果「证」是真实的整体状态而不是叙事，受同等训练的不同医师独立辨证，一致性应当明显高于碰运气。如果检验下来一致性不高于随机，那么中医这一套在目前的形态下还不是一个可以被认出来的三组合，连「候选」都谈不上，本章的写法就要收回。这是本章押的第一个大局面。

第二，即使一致性高，P8 这类数学检验也可能失败：含配伍结构的模型在留出组合上预测不过单味相加的模型，或者被同等复杂的黑箱模型追平。那样的话，中医候选三组合的 Function 一维就没有赢得额外的东西，它最多是西医那一套的一种说法。这是本章押的第二个大局面。

第三，本章所有论证，都停在方法和典范结构上。它不推出任何一种中医办法有效，也不推出任何一种西医办法不足。哪种办法对哪类人在什么终点上有效，是第三道检验的事，不是本书的事。这一章写法的分寸，属于待王德生本人最后裁定的一项。

还要补一句对库恩的话。库恩讲不可通约，最爱用的例子是同一个词在两个典范里意思不同。「气」「虚」「热」这些词，在中医和西医里正是这样：同一个字，两边连着的东西完全不同。按库恩的线，这是沟通失败；按本书第 40 章，这正是碰撞的燃料。不过燃料要点得着，前提是两边都已经各自成形。中医这一边还没成形之前，谈不上不可通约，只能谈尚未被认出。

第四，修理铺的落地钟是构想的，钟不是人，这个类比只用来讲两种读法怎样对上，不当道理用。

> **带走的话**
>
> 中医与西医可以读作两个三组合，西医是 (剂量效应加随机对照，先拆再标准化，可分离的靶点)，中医候选是 (有向网络加角色加次序，状态的轨迹，整体场态)；青蒿素是前者的漂亮胜利，不是唯一的路。两者不必谁替代谁，可以在同一个对象面前碰撞，但碰撞之前，中医这一边先要过「独立辨证一致」这一关。

小账　本章补的缝——库恩只给不同典范两种结局：替代，或互不相通；本章用医学说明第三种结局：两个典范模型各做常规科学，在同一个对象面前碰撞、互相改写，疗效裁判另守其位。

在圈上的位置——西医在环节①（常规科学深而广）；中医候选在环节①之前，正等典范模型把它的常规科学做起来；两者的碰撞属环节②，至今只有接口线索，没有发生。

第 54 章

气的数学：一个可检验的样板

> 这一章的问题：一个还没沉淀的新典范，能不能在动手之前就把自己的验收题写好，让现实来判它过没过？

◆ 一、先从一件小事说起

下面是我构想的场景。

川菜馆「庞记」的老板娘庞秀芳，五十一岁。她的侄子刚从烹饪学校毕业，来店里帮忙。第一天，她让侄子炒一锅回锅肉的底料：郫县豆瓣下锅，小火，炒出红油。

侄子很认真，学校里教过：油温一百二十度左右，豆瓣下锅，小火炒三到四分钟。他带了一支测温枪，锅里一打，一百二十度，豆瓣下去，掐着手机计时。三分半，他关火，豆瓣是红的，油也有点红，可是端给庞秀芳一看，她用勺子舀起一点，在勺背上抹开，说：「没出来。油是染红的，不是炒红的。」

她让侄子站到一边，自己重来。油下锅，她没用测温枪，拿一根筷子插进油里，看筷子周围冒不冒细泡；豆瓣下锅之后，她不看钟，侧着耳朵听。刚下去是一阵密密的「沙沙」，那是豆瓣里的水在往外跑；过一阵，声音变疏、变轻；再过一阵，锅里开始有一点点「噼」的脆响，同时一股辣香混着酱香冲上来，油面从浑浊变清亮，豆瓣的颜色从鲜红往枣红走。她把火又调小一点，铲子贴着锅底慢慢推，推几下停一下，看油从豆瓣里析出来的样子。最后，她说：「出来了。」

侄子看了看手机，五分钟出头。他用测温枪打了一下，一百一十度上下，比学校教的还低。

他问：「姑妈，那到底是几度几分钟？」

庞秀芳说：「今天这罐豆瓣是新开的，水多，要多炒一会儿；上个月那罐快见底了，干，三分钟不到就要起锅，再炒就糊。灶也不一样，后面那个灶火软，前面这个火硬。你记几度几分钟，记一罐管一罐。」

侄子不死心，又问：「那您听那个『噼』，是听什么？」

庞秀芳想了想，说：「水跑完了，油开始炸豆瓣了。再往后，声音一闷，就过了。」

这件小事里，有两样东西。侄子手里的，是一组数：温度、时间。庞秀芳手里的，是一条一边读一边改的回路：读声音、读颜色、读油面，改火、改推的节奏、决定什么时候停。这一章要问的，是后者能不能成为一门数学，以及它在成为数学之前，怎样先接受一次考试。

◆ 二、这件事里藏着什么

中餐读状态，是一个闭环

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 30 至 34 章写过「气的数学」。那几章的要点，压成三句：中餐的「少许」不是不精确，它是一条控制律，看到什么就做什么，做了再看；火候不是一个温度，是一条轨迹，同样到一百三十度，快升上去和慢升上去，结果不同；锅气是火、锅、油、食材与掌勺之手之间的相互作用场，它的读数是触觉的、在时间里展开的，而且读数里带着手的动作。

按本书的读法，侄子手里的那套「几度几分钟」，是第 50 章那个超级典范在厨房里的样子：E 是一组彼此独立、可以分开设定的参数；D 是先把参数设好、再执行，中间不看，工程师管这叫开环；Function 是把每个参数的贡献加起来。这一套在烘焙、低温慢煮、中央厨房里非常好用，因为那些过程慢、变量稳、容易隔离。

庞秀芳手里的，是另一个三组合：

E，是火、锅、油、食材、手的相互作用场。豆瓣的含水量决定水分跑多久，火的软硬决定跑得多快，手推的节奏决定哪一块豆瓣贴锅、哪一块离锅，这几样东西缠在一起，拆开就没有「出红油」这件事。

D，是读数、动作、新读数的回路。差异序列不是「先设参数、再执行」，而是读一下、动一下、再读一下；每一次动作，都由上一刻的读数决定，又改变下一刻的读数。

Function，是路径加反馈。合成显露的方式，不是把参数的贡献加起来，而是沿着一整段读数和动作的路径，看它走到了哪里；那本书说，庞秀芳的「出来了」，是对「轨迹走到了哪里」的判断。

两个三组合三维都不同。同一锅豆瓣，两套三组合各自显露一道 S：侄子的那道 S 是「一百二十度、三分半」，庞秀芳的那道 S 是「出来了」。

一锅豆瓣前的模型对话

先设想一下，这两个三组合要是各有一个典范模型，在 SDE 智能体里碰一次，会是什么样子。这是我构想的用法，不是已经做过的事。

同一锅豆瓣，参数模型报出：油温一百一十度，已炒五分钟，按它学过的数据，应当在三分半起锅，现在已经过了。状态模型报出：油声由密转疏，刚出现脆响，油面转清，轨迹刚走到「出来了」，再有十几秒到最好，之后声音转闷就过。两道显露摆在一起，显然打架。

按本书第 35 章，SDE 智能体在这里的唯一职能，是定位分歧出在 Function、D 还是 E，而不是投票，也不是比谁的声音大。回溯下来，分歧首先落在 E 上：参数模型把「这罐豆瓣含水多」当成了不存在的东西，它的 E 里没有豆瓣和火之间的牵连；其次落在 D 上：参数模型的次序是「设好、执行」，状态模型的次序是「读、动、再读」，前者的三分半是开环算出来的，后者的「再有十几秒」是闭环读出来的。

追问到这一步，碰撞才开始生出东西。智能体会把一个新问题交回两边：参数模型能不能把「豆瓣开罐多久」这一栏加进来？加进来之后，它和状态模型的分歧缩小了多少，剩下的那一块是什么？那剩下的一块，就是庞秀芳那条回路里还说不出来、也测不

出来的东西。如果加一栏就把分歧补平了，那是参数典范长进了一步；如果怎么加都补不平，那剩下的形状，就是气的数学要去写的 Function。

这正是 P9 要在大样本上做的事，只不过 P9 把它做成了一场有对手、有留出、有事先判据的考试。

它停在圈的哪一环

按圈来量，气的数学停在环节③和④之间，而且是一个很特别的位置。

环节①，旧的那一边早已做满。食品工程把炒制、油炸当成传热传质问题建模，写每一点的温度和含水量怎样随时间变化，再配上美拉德反应的速率方程。那本书第 31 章说得公道：旧数学能算一口锅，能算边界固定、切成单元以后的锅；它算不了的，是那只身在锅外、却又处在回路之中的手，边读边改的整个过程。

环节②，碰撞已经有了。那本书第 31 章摆过两边的说法：化学这边讲美拉德、脂质氧化、水分蒸发；灶台这边讲手感、油声、火候。Bai、You、Wang、Luo 四位作者 2022 年在《Frontiers in Nutrition》上发表过一篇研究西北传统炒制羊肉臊子的论文：美拉德反应的一个早期指标（糠氨酸）在混炒约一百六十秒时最高，随后回落；两种晚期糖基化产物在约两百秒时才到顶。化学自己也测出了「不同的东西在不同时刻各自起落」，这是两边能接上的地方。

环节③，在缝上涌现出了一个新理解：气不是一样东西，是一段过程；它是「之间」的东西，不属于火、锅、油、菜、手的任何一样。用任何一个母典范的语言都说不清：化学的语言里没有手，灶台的语言里没有可以进方程的量。

环节④，还没有。新的三组合写出来了，可它还没有被训练进一个模型，还没有过门槛。

特别的地方在于：在沉淀之前，那本书已经把这个新典范的验收题写好了。这就是全书预测 P9。

P9 就是验收题

P9 的原话是：以掌勺者对锅内状态的触觉、听觉读数建模，比只用时间、温度、克数等参数，更能预测成菜的口感评分。

按本书第 32 章的三项验收和第 47 章的四档来读，P9 的设计正好把一个候选三组合放到了考场上。

那本书给 P9 设计了四个模型。模型 A 只用参数，这是旧三组合的基线。模型 B 用参数加最好的仪器读数，麦克风录油声，加速度传感器贴在锅柄上，摄像记颜色。模型 C 用参数加掌勺者的读数：到了事先说好的几个时刻，掌勺的人按事先定好的几档，报一报手上的感觉和耳朵里的声音。模型 D 三样全用。比的是样本外预测：在没见过的锅、没见过的掌勺者、没见过的灶、没见过的日子上，谁预测盲评口感分更准。判据事先写下，事先登记。

这四个模型，在本书里有一个更清楚的身份。模型 A 是旧典范模型。模型 C 是新典范模型的雏形，它用的正是「读数、动作、新读数」这条回路上留下来的东西。模型 B 是第 32 章的验收二：对手模型规矩，新典范模型必须赢过当下最强的旧办法；参数加最好的传感器，就是旧三组合在这个问题上最强的版本。

那本书写了五种失败的结果：读数没用，C 不比 A 好；读数被传感器吞掉，B 和 C 一样好；读数因人而异，换一个掌勺者就失灵；读数不能迁移，换灶、换锅、换菜就失灵；读数的优势来自视觉，加上颜色特征就没了。按本书的话说，这五条对应的是：新三组合根本没有显露出东西；新三组合显露的东西，旧三组合多测几样也能显露，没有资格叫新典范，只是旧典范的新版本；三组合在不同的人手里不稳定，按第 21 章的川菜判据，它不能被认出来；三组合在许多难题上不保持不变，不构成典范；新三组合偷用了旧三组合的感官。

五条里第二条最要紧。它出现的话，那本书说得很坦白：认的不是「气的数学错了」，而是「这一道菜上不需要新数学，只需要更好的传感器」。按本书第 32 章的边界判据：看三组合，不看参数。如果庞秀芳的读数里有价值的东西，换成更多的传感器就

能拿到，那么她的 E、D、Function 就没有真的不同，不同的只是测的项目多了几栏，这是同一个典范的两个版本，不是两个典范。

过了 P9，也只到第三档

假如 P9 过了，结论要克制。那本书说，那时用的还是普通的回归，把读数当作又一批特征塞进去，回答的只是「有没有信息」。按第 47 章的四档：新修辞、新记号、新方法、新典范，P9 过了，大约到第三档。它证明掌勺者的读数里有旧参数没有的信息，而且这信息不能被传感器取代；它还没有证明这些信息的结构，也就是那条回路怎样走，是一个新的 Function。

真正的第四档，要新的三组合预言一点旧三组合预言不了的东西。那本书提过方向：拿到前半段读数，就说出什么时候起锅最好；或者说出锅里偏到什么程度，掌勺的人会出手去拉。这是把 Function 从「路径加反馈」的名字，变成能算的式子。那本书列过三个候选工具：把整段读数当作一条路径来处理的迭代积分方法、第 51 章那种一片接触的非局域算子、控制论里带反馈回路的系统。三个都是旧工具。关键不在工具新不新，在对象变没变：从「点上的数」，变成「相互作用中的一段历史」。

为什么说它是样板

这一章叫「样板」，是因为气的数学把一个新典范在沉淀之前应当做的事，按顺序都做了：先写出候选三组合；再说清它停在圈的哪一环；然后在动手之前，写好验收题，写好对手，写好五种输法，并且承认赢了也只到第三档。

拿它和第 51 章对照。近场动力学是事后被认出来的一圈：人走了几十年，走完之后，我们才按圈去读它。气的数学是事前的一圈：圈还没转完，验收的门就先立好了。科学发生的结构如果只能用来事后追认，它就只是一种讲历史的方式；它要是能在事前告诉一个候选典范「你在哪一环、过哪道门、怎么算输」，它才是一个能用的结构。

这件事交给典范模型和 SDE 智能体来做，会快得多。P9 要的那些东西，几位掌勺者、几十上百锅、多位盲评者、四个模型的样本外比较，过去需要一个实验室、一家愿意合作的餐饮企业、一位懂统计的人。模型 A 和 B 的那一半，AI 可以把旧工具认真试

遍，把对手推到旧办法的极限；模型 C 的那一半，需要掌勺者在场。这个分工本身，就是第 34 章说的复合体。

◆ 三、证据与边界

先说本章站得住的部分。参数化在慢过程、稳变量的烹饪里有效，在快火爆炒里容易失灵，这是多数人的日常经验，也和水分蒸发、传热的解释吻合；化学测量发现炒制中不同标志物在不同时刻起落，有同行评议的研究支持。这两件事说明，「气是一段过程」不是空话。

关于 P9 本身，没有任何实验证据。那本书写得很老实：这是在设计一个检验，不是汇报一个结果；也没有查到已经做过这个设计的研究〔待核：食品感官科学与烹饪专家知识建模领域有无同类研究〕。

再说邻居。最近的邻居是食品感官科学，它研究怎样让人的评价变成可靠的数据，P9 的设计要向它学；还有专家知识获取，专门琢磨老手艺人的经验怎样变成别人用得上的东西。分界在于：它们要么把老师傅的经验整理成更多的参数，要么把它当作需要提取的规则；本书把掌勺者的读法当作一个独立的三组合，一个可以被训练进模型、与参数模型碰撞的典范候选。

然后是边界。

第一，粗层级的证伪就是 P9 的五条。本章不另加，只把其中一条提为全编的大局面：如果 P9 在多道菜、多位掌勺者上反复做下来，结局总是第二条，读数被传感器吞掉，那么「中餐读状态是一个独立的三组合」就错了，它只是一个还没测全的参数典范；第十编里「正在沉淀的新典范」这一类，也要随之少掉一员。

还有一个容易混淆的地方要分开。P9 若过了，有人会说：那就照着庞秀芳的读数，造一台会听油声的炒菜机，问题不就解决了？这是两件事。造一台机器去模仿她，是把新典范的成果拿去做常规科学，属于圈回到环节①；而 P9 检验的是新典范本身沉淀没有。机器做得好不好，可以当 P9 之后的一项对照，不能拿来代替 P9。

第二，口感评分不是饮食的全部。把气缩成一个盲评分数，本身已经是一次压缩，按那本书第 45 章的说法，意义不可重新粒子化。P9 选它，是为了第一步能被检验，不是说气就是这个分数。

第三，本章谈的只是能不能预测口感评分，饮食和健康的关系一概不碰，不主张任何食物有保健或治疗作用。庞记的豆瓣是构想的场景，掌勺的读法写的是一般的样子，不是哪位真实厨师的经验。

> **带走的话**
>
> 气的数学是一个还没沉淀的新典范，三组合是（路径加反馈，读数—动作—新读数的回路，　火锅油料手的相互作用场）；P9 就是它的验收题，参数加最好的传感器是它的对手，五种输法事先写好。一个科学发生的结构，不光能事后读历史，还能事前给新典范立门。

小账　本章补的缝——库恩的新典范只能在革命之后被追认，没有事前的检验；本章用气的数学说明，一个候选典范在沉淀之前，就能写好自己的三组合、对手和输法。

在圈上的位置——环节③已涌现、环节④待验收，验收题即 P9。

第 十 一 编

方向：意义科学

编　序

前面十编，我把一个圈讲完了：典范模型做满常规科学，在 SDE 智能体里碰撞，在缝上涌现，沉淀为新的典范模型，再回到常规科学。第十编又拿数学这一个学科，把整圈从头走了一遍。

可是一个圈，转得再好，也会被人问一句：转来转去，到底朝哪里去？

这是库恩留下的第四道缝（第 12 章）。库恩不肯说科学进步朝向哪里。他把进步比作没有目标的演化：科学是在离开旧问题，不是在走向什么。这个回答很谦虚，躲开了「科学越来越接近真理」这个难以证明的说法，代价是科学从此没有了方向。没有方向的圈，和原地打转只差一步。

这一编回答这个问题。我的回答，是我说过的一句话（口述 K4）：典范之间进行碰撞，不断涌现出更高层级的意义文明——创造、自由、幸福，这是意义科学的多元化。科学的方向不是一个终点，而是一种升级：每一次好的碰撞，都让人多一点创造、多一点自由、多一点幸福。

光说方向还不够，方向要能查。所以这一编还要用上我的另一句话（口述 K6）：三律各有三步。创造律是混沌碰撞、自组织、涌现；自由律是纠缠、选择、激发；幸福律是张力、转换、释放。三步走没走完，可以一步一步核对。

四章的分工是这样的：第 55 章说清从真理科学到意义科学的转向；第 56 章把三律三步逐一讲透，并给出三条粗层级证伪；第 57 章用三律三步区分好碰撞与白碰撞；第 58 章讲多元的风险，并立下一条规矩：典范模型的评测不得压成单一分数。

第 55 章

从真理科学到意义科学

> 这一章的问题：库恩说科学只是「离开」而不是「走向」，那么在典范模型不断碰撞、不断沉淀的圈里，科学到底朝哪里走？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远在长沙地铁的调度台上坐了十来年。一个周六的早晨，他难得休息，带着女儿许小满和自己的母亲，从河西的家里出门，坐地铁到长沙南站，换高铁，去一座海边的城市。小满的奶奶七十多了，一辈子在宁乡乡下和长沙的街巷里过日子，没有见过海。

地铁上人不多。小满靠着车窗，忽然问：「爸，地铁修了这么多年，一条一条地加，到底是为了什么？为了越来越快吗？」

许远想了一下。他每天盯着的是运行图：列车间隔几分钟、哪一站滞留了多少人、哪一段信号要检修。按他的职业习惯，答案应当是「为了准点、为了快」。可是他看了一眼身边的母亲，没有这样回答。

他说：「快只是一部分。你想想，十年前你奶奶要来长沙看我们，得先坐班车到县城，再转长途车，一路颠下来，人都散了。现在她坐上高铁，下车进地铁，到家门口才走几百步。她能来，是因为路接上了。今天我们能一家人去看海，也是因为路接上了。」

小满想起前几年自己问过「修到什么时候算修完」，爸爸说修不完（第 12 章）。这回她换了个问法：「修不完，那总得往一个地方去吧？」

许远说：「你今天看着就知道了。」

这一天，他们中午到了海边。奶奶站在沙滩上，看了很久，没有说话，后来蹲下去，用手捧了一捧海水，又放回去。小满在旁边拍照，没有打扰她。

回程的高铁上，小满在本子上写了三行字：一、我们今天想去哪就去哪（这个是她自己的话）；二、海边那条街上，有好多以前没有的店，卖海鲜的、租自行车的、拍照的；三、奶奶回来的路上一直在笑。

她把本子给许远看：「爸，这是不是就是修地铁的意思？」

许远看了一会儿，说：「你比我们开会总结得好。」

◆ 二、这件事里藏着什么

小满问的「地铁修了这么多年，到底是为了什么」，换成科学哲学的话，就是：科学一代一代地往前走，到底朝向哪里？对这个问题，历史上有过两种回答。本书给出第三种。

第一种回答：朝向真理

库恩之前，大多数人默认科学是朝真理走的。每一代科学家在前人的基础上多知道一点，世界的真相被一块一块地拼出来，越拼越全。科学进步就是离真理越来越近。

这个回答像一条有终点的路：路的尽头有一座房子，叫真理，每一代人都往前走几步，总有一天走到。它给了科学方向，也给了科学家尊严：我做的每一点工作，都在往那座房子挪。

它的困难在于，那座房子没有人见过。我们怎么知道今天的理论比昨天的离真理更近？要比较「近不近」，就得站到真理那里去量一量，而这正是做不到的。科学史上又反复出现这样的事：一个被认为已经接近真理的理论，被另一个看世界方式完全不同的理论取代，取代之后，人们发现前一个理论里的许多「实体」根本不存在。如果每次革命都把世界重新画一遍，那么「越来越近」就很难说得通。

第二种回答：没有方向

库恩看到了这个困难。他在《科学革命的结构》的最后一章，把科学进步比作达尔文的演化：演化没有预先设好的目标，生物不是朝某个完美形态走，只是从原来的样子演变出去，适应的留下。科学也一样，是从我们已经知道的东西出发向外演化，而不是朝我们想知道的某个终点前进。用他的意思说，我们也许得放弃「每一次典范转换都把科学家带得离真理更近」这个想法。这个比方他后来没有放弃：晚年收进《结构之后的路》的文章里，他仍用演化作比，把革命比作物种分化，一门专业分出新的分支。

这个回答诚实，躲开了「真理那座房子」的难题。可是代价也很大：科学失去了方向。离开旧问题，可以离开到任何地方去；如果没有方向，那么一个新典范比旧典范好在哪里，就只能说「它解的谜多一些、准一些」。这就退回到常规科学的尺度里去了，而常规科学的尺度，恰恰是 AI 时代价格崩盘的那一段（第 33 章）。如果科学的方向只是「解得更多、更准」，那么 AI 一来，方向本身就被机器包办了，人在科学里的位置也就跟着消失。

第三种回答：朝向意义的升级

小满本子上的三行字，正好是第三种回答的三个方面。

第一行，「想去哪就去哪」，是自由。路网接通以后，一家人可以选的去处多了，而且这些选择是真能实现的，不是纸上的。

第二行，「海边那条街上有好多以前没有的店」，是创造。路网每长一截，就有新行当长出来：卖海鲜的、租车的、拍照的、送快递的、开旅行社的。这些行当既不属于地铁，也不属于海边原来的渔村，是接通以后才发生的。

第三行，「奶奶回来的路上一直在笑」，是幸福。一个盼了很久的愿望，在一天之内实现了，心里的那股劲松下来。

我说过一句话（口述 K4）：典范之间进行碰撞，不断涌现出更高层级的意义文明——创造、自由、幸福。这就是本书给出的方向。我把它叫作「意义科学」，以区别于以真理为方向的「真理科学」。

意义科学的方向有两个特点，正好补上前两种回答的缺口。

第一，它是方向，不是终点。网没有终点站，可是每长一截，人能去的地方就多一些。意义的升级也是这样：它不要求我们站到某个终点去量距离，只要求我们比较这一步和上一步：多了什么新的东西（创造），多了什么真能走的路（自由），哪一股绷着的劲松了下来（幸福）。比较前后两步，是做得到的；比较和终点的距离，是做不到的。这就躲开了真理科学的难题。

第二，它有方向，不是随便离开。库恩的演化比方里，离开到哪里都一样；意义科学里，离开到哪里不一样。一次碰撞之后，如果没有新东西长出来，人没有多出可走的路，绷着的劲也没有松，那么这次碰撞就没有朝方向走，哪怕它产出了很多新论文、新模型。这就补上了库恩的缺口。

为什么方向是三样，不是一样

有人会问：为什么不干脆说一个方向，比如「幸福」，把创造和自由都算作手段?

因为三样东西彼此不能互相换算。海边那条街多了十家新店（创造），不等于奶奶的那一笑（幸福）；小满能自己选去哪里（自由），也不等于多了新店。把三样压成一样，就要找一个共同的尺子，而一旦找了一个尺子，就回到了「一个分数」的老路上去了（第 58 章）。

再往深处说，三样东西各自对应 SDE 的一维。创造关乎新特征的显露，自由关乎纠缠里的选择，幸福关乎张力的转换与释放。三维不能互相归并，三律也不能互相归并。这也是为什么我把它叫作「意义科学的多元化」：不只是典范多元，意义本身也是多元的；同一次碰撞，在创造上走得远，在幸福上可能还没起步。

真理科学没有被扔掉

说科学朝向意义，并不是说真理不重要了。本书反复讲一个原则：包含而非替代（第 46 章）。真理科学在意义科学里，有它的位置。

当只有一个典范、只问一个问题「这个结论对不对」的时候，意义的升级就退化为一件事：在这个典范里，解得更准。这就是真理科学。它是意义科学在单典范、单问题条件下的极限特例。就像腿没有被车推翻，真理科学也没有被意义科学推翻；在一个典范内部做常规科学的时候，「对不对、准不准」仍然是最要紧的尺子，典范模型的第一项验收，就是在本典范里出自己的失效地图（第 32 章）。

区别在于，真理科学以为这就是科学的全部方向；意义科学说，这只是方向在一个典范内部的投影。走出一个典范、进入碰撞的时候，「准不准」就不够用了，因为两个典范对同一个难题的显露都可以各自准确，却说的是不同的东西。这时要问的，是这次碰撞让人多了什么。

为什么方向要靠碰撞

还要回答一个问题：意义升级为什么非得经过碰撞？一条线路自己越修越好，不也能让人去更远的地方吗？

回到许远的调度台。一条线路单独运行，它能做的事是把自己做得更准、更密、更快。这很重要，是常规运行的本分。可是一家人从河西到海边，没有一条线路能单独完成：要地铁接高铁，高铁接公交，公交再接一段腿。去处之所以多出来，是因为不同的走法在换乘站碰上了。新店之所以长出来，也是因为两种人流在一个地方交汇。

科学也是这样。一个典范模型把自己的常规科学做满，解得更准、更快，这是环节一的本分（第 33 章）；可是新特征的显露、新路径的打开、旧张力的松动，大多发生在两个三组合撞在一起的地方。所以，意义升级不是单个典范自己往前走出来的，是典范之间碰出来的。这就是 K4 那句话的分量：「典范之间进行碰撞，不断涌现出更高层级的意义文明」——方向和碰撞是一句话里的两半。

方向落在谁身上

最后还有一个问题：意义升级，是谁的意义？

真理科学的方向，落在「世界」身上：世界本来什么样，科学去逼近它。意义科学的方向，落在「人」身上：碰撞之后，人能创造什么、能选择什么、能放下什么。这不是说世界不重要，而是说科学的成果最终要在人身上兑现。地铁的意义，不在轨道本身多长，而在一家人能去看海。

这一点，为第十二编埋下了伏笔：如果意义落在人身上，那么到最后，意义要落到每一个具体的人身上，落到「我」身上。这就是从「我们的典范」走到「我的典范」的理由。

◆ 三、证据与边界

先说邻居。

最近的邻居是劳丹。他在 1977 年的《进步及其问题》里提出，科学进步不必用「接近真理」来衡量，可以用「解决问题的效力」来衡量：一个研究传统解决的经验问题和概念问题越多、留下的反常越少，就越进步。这个想法同样躲开了真理那座房子，又不像库恩那样放弃方向。

本书与劳丹的分界有两条。其一，劳丹的尺子仍然是「解题」，而解题恰恰是 AI 时代边际成本趋近于零的那一段。用解题效力衡量进步，在今天会得出一个奇怪的结论：机器一天的进步，抵得上人类一个世纪。这说明尺子本身需要换。其二，劳丹的问题是一个研究传统内部的问题清单；本书的方向落在碰撞之后的人身上，看的是三律三步有没有走完。

再说旁证。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过，AI 抢走的是「解题」，不是数学；数学家的新使命，是从发现者变成发生者。这是同一个转向在数学这个学科里的样子：当解题不再稀缺，学科的方向就不能再由解题来定义。

交通史是另一个旁证。修路的理由，从来不只是「快」。一条路的价值，最后要用它让人去了哪里、长出了什么行当、过上了什么日子来衡量。交通工程里有大量讨论通行时间的研究，可很少有人会把一个城市的路网好坏只压成一个平均车速。

然后是边界。

第一，意义科学不是说科学家应当去研究「幸福」这个题目。物理学家还是研究物理，数学家还是研究数学。意义科学讲的是：评价一个学科前进了没有，不能只看它内部解了多少题，还要看它的碰撞让人多了什么。

第二，本章不对任何具体的社会政策表态。「意义升级」讲的是科学发生的方向，不是给某个部门的施政目标。

第三，粗层级证伪。如果未来二三十年，典范模型和它们之间的碰撞大量发生，产出的论文、模型、专利成倍增长，而公认的新事物——新长出的行当、人真能走的新路、真松下来的劲——却并不随之增多，甚至变少，那么「科学朝向意义升级」就错了。那时，本章的说法至多是一句愿望，而不是科学发生结构的一部分。

> 带走的话
>
> 科学的方向不是一座叫真理的房子，也不是随便离开；它像一张没有终点站的网，每长一截，人就多一点创造、多一点自由、多一点幸福。

> **小账**　本章补的缝——库恩的第四道缝「进步朝向哪里，库恩不肯说」：以意义升级为方向，方向可比前后两步而不必量与终点的距离，真理科学作为单典范条件下的极限特例被包含。
> 在圈上的位置——圈外：方向。

第 56 章

三律三步

这一章的问题：说科学朝向创造、自由、幸福，怎样才不是一句空话——这三个方向各自要走哪几步，每一步留下什么可以核对的痕迹？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

南门老街口新开了一家幼儿园，园长找到街上的三家厨房，想订工作日的午餐。一家做不过来，园长就问：三家能不能一起接？庞记的庞秀芳、炜记的黄炜、谭家的谭老三商量了一个晚上，接了。

第一周，三家各做各的。周一庞记，周二炜记，周三谭家，轮着来。结果很快出了问题。庞秀芳做的菜，她已经把辣椒减到自认为「几乎不辣」，孩子们还是吃得直吸气，剩了一半；黄炜的菜清淡，孩子们说「没有味道」，也剩了不少；谭老三的烟熏腊味切得细，孩子们爱吃，可老师说太咸。家长群里开始有意见。三家晚上在街口碰头，互相埋怨：「你那个太辣」「你那个太淡」「你那个太咸」。谁也说服不了谁。

第二周，事情慢慢变了。没有谁下命令，三家自己分了工。黄炜管汤底和火候，他的长处是把鲜味熬出来，又不靠盐；谭老三管「香」，他把腊味的烟熏香提出来，只用一点点，拌进菜里提味；庞秀芳最难，她的长处是辣，偏偏这一单不能辣。她店里倒有几道不辣的名菜，外地客人来了端出去过（第 18 章），可那是招待人的几样，孩子天天的午饭不能顿顿鱼香肉丝、开水白菜。她憋了几天，把糖醋、荔枝、甜咸这些不靠辣的味型拆开来，往家常小炒、烩菜、蒸菜里放，配上黄炜的汤、谭老三的香。

到第三周，一套谁也没有事先设计过的午餐出来了。孩子们吃得干净，老师说咸淡正好。有家长来问：「这是什么菜系？」三家都答不上来。庞秀芳说像川菜，黄炜说底子是粤菜，谭老三说那股香是湘菜的。最后园长说：「就叫南门午餐吧。」

那天收完碗，三个人坐在庞记门口喝茶。庞秀芳说，她做了三十年川菜，从前只把那几道不辣的名菜当作招待外客的例外，这回才发现天天换样的家常菜不放辣椒也做得出让人认得出的川味，回店里也想试几道。黄炜说，他以前觉得湘菜的烟熏是「重口」，现在知道一点点就能托住整盘菜。谭老三没说话，只是笑。

◆ 二、这件事里藏着什么

这三周里，三家厨房走完了三个过程。它们恰好是意义三律各自的三步。我说过（口述 K6）：三律是可以测试的，创造律就是特征律：混沌碰撞—自组织—涌现；自由：纠缠—选择—激发；幸福：张力—转换—释放。下面逐一讲。

创造律（特征律）：混沌碰撞、自组织、涌现

第一步，混沌碰撞。　第一周三家互相埋怨，就是混沌碰撞。三个三组合撞在一个难题上：川菜的 E 把麻、辣、鲜、香搭在一起，粤菜的 E 以鲜和本味为中心，湘菜的 E 离不开香辣与烟熏；三家处理食材的次序（D）不同，成菜之法（Function）也不同。同一个难题「孩子的午餐」，三家显露出三道完全不同的 S，彼此读不懂对方为什么这样做。

混沌不是失败。第 41 章说过，混沌是涌现前必经的态。如果第一周三家一碰就和和气气，各退一步，做出一个「什么都不太辣、什么都不太淡」的平均菜，那反而什么也长不出来，那是第 30 章说的「大食堂」。混沌碰撞的标志，是分歧被摆到桌面上，而且分歧能被追到具体的一维：是味型（E）不同，还是次序（D）不同，还是做法（Function）不同。

第二步，自组织。　第二周三家自己分工，就是自组织。没有园长来规定谁管什么，是三家在碰撞里自己找到了各自最不肯放弃、又最能贡献的那一样：黄炜的鲜、谭老三的香、庞秀芳的复合味。这正是第 38 章说的「接口量」——两个典范各自最不肯放弃的量。自组织的约束是共用的东西：同一个难题、同一群孩子、同一个锅灶的时间表。就像第 42 章说的，碰撞双方共用方程的形式，像共用的锅与火候。

自组织的标志，是出现了新的规矩，而且这个规矩不是任何一方原有的。「黄炜管汤、谭老三管香、庞秀芳管味型」，这个分工在三家各自的厨房里都不存在。

第三步，涌现。　第三周的「南门午餐」，就是涌现。它用任何一家的语言都说不清：问它是什么菜系，三家各说一半。可它真实出现了，孩子吃，老师认，可以每天做下去。

为什么把创造律又叫「特征律」？因为涌现的标志，是出现了一个新的特征，一个以前三家都没有的变量。在这个例子里，新特征是「天天换样、不辣而有川味的家常菜」，是「一点点烟熏托住清淡」。我在《人与 AI 一起发生新数学》里用过一个说法：变量表自己长出新一栏（第 45 章引用过）。创造不是把旧东西重新排列，而是变量表里多出一栏。这就是「特征」二字的意思：创造律考察的，是新特征有没有发生。

自由律：纠缠、选择、激发

同一件事，换一个侧面看，是自由的过程。

第一步，纠缠。　接下这一单，三家就被绑在了一起。庞秀芳不能再按自己的习惯放辣椒，因为孩子们吃不了；黄炜不能只做清淡，因为孩子们嫌没味道；谭老三的咸香也得收。三家的手艺彼此牵扯，谁动一下，另外两家都受影响。这就是纠缠：选择的空间不再是一个人的，而是和别人连在一起的。

一般人以为，自由就是没有牵扯。自由律说的恰恰相反：自由从纠缠开始。没有纠缠，就没有需要选择的处境；一个人关起门来做自己的菜，他看上去很自由，其实只是在重复。

第二步，选择。　在纠缠里，庞秀芳有几条路可走：退出这一单；照抄黄炜的清淡；或者，在不能放辣的约束下，找一条仍然是川菜的路。她选了第三条。这一步的要害在于，选择是在约束之内做出的，而且选的不是现成的选项，而是在约束里找出一条以前没有走过的路。

第三步，激发。　选了之后，庞秀芳发现自己会做以前不会的东西：不放辣椒、又能天天换样的川味家常菜。这个能力一直潜伏在川菜的典范里（川菜本来就有不靠辣的味

型），可在她三十年的厨房里只在几道待客的名菜上露过面，从没在天天的家常灶上被叫醒过。纠缠和选择把它激发了出来。更重要的是，激发之后，她的可选集合变大了：回到庞记，她多了一类菜可以做。

所以，自由律考察的不是「选项有多少」，而是「有没有在纠缠里做出选择，并因此激发出新的能力」。超市货架上摆着一百种酱油，选项很多，却谈不上自由律意义上的自由，因为那里没有纠缠，也不会激发任何东西。

幸福律：张力、转换、释放

再换一个侧面，是幸福的过程。

第一步，张力。　第一周，孩子剩饭，家长有意见，三家互相埋怨，每个人心里都绷着一股劲。这股劲就是张力。它不是坏东西，没有张力，就没有后面的转换。

第二步，转换。　第二周的转折，不是三家更卖力地做自己原来的菜（那样只会更绷），而是换了一种做法：分工、借长处、改路子。张力没有被压下去，而是被转成了另一种形状。这一步，与第 42 章讲的三拍中间那一拍「形状改变」是同一件事。

第三步，释放。　第三周孩子吃干净的那一天，三家坐下喝茶，那股劲松了下来。释放的标志，是张力确实消失了，而且不是因为放弃（比如退掉这一单）而消失，是因为转换成功而消失。释放之后，三家都被改写了：庞秀芳多了一类菜，黄炜改了对烟熏的看法。第 42 章把三拍的最后一拍叫「回写」，说的正是这个：释放不是回到原地，而是带着改变回来。

所以，第 42 章讲的自组织三拍（张力积累、形状改变、回写），和幸福律的三步（张力、转换、释放），是同一个时间结构从两个方向看：从碰撞的微观节奏看，是三拍；从人的经验看，是幸福律。

三律是一件事的三个侧面

把三律放在一起，可以看到，它们不是三件分开的事，而是同一次碰撞的三个侧面。

律	三步	每一步留下的痕迹	在三家厨房里
创造律（特征律）	混沌碰撞→自组织→涌现	分歧能追到哪一维；出现谁都没有的新规矩；变量表多出一栏	互相埋怨→自己分工→「南门午餐」
自由律	纠缠→选择→激发	选择空间被别人牵住；在约束内选出新路；可选集合变大	被一单绑住→不放辣也要川味→多了一类菜
幸福律	张力→转换→释放	绷着的劲可以指认；换形状而不是加力气；劲松了且双方被改写	剩饭与埋怨→分工改路子→收碗喝茶

这张表要说明的一点是：每一步都留下痕迹。「测试」的意思就在这里。三律不是三种感觉，而是三个可以事后核对的过程：分歧有没有被追到某一维，有没有出现新规矩，变量表有没有多出一栏；有没有被牵住，有没有在约束内选出新路，可选的东西有没有变多；有没有一股可以指认的劲，有没有换形状，劲有没有松下来。

我要特别强调，核对的是「步」，不是「分」。三步走完没有，是一个过程的问题，看的是先后与形状。不是给创造打几分、给幸福打几分。为什么不能打分，第 58 章专门讲。

为什么三律是碰撞的方向

第 55 章说，科学的方向是意义升级。三律三步把这个方向变成了可走的路：一次碰撞朝不朝方向走，就看三律的三步有没有走完。

这里有一个细节值得留意：三律的第一步，都需要「另一个」。混沌碰撞需要另一个典范；纠缠需要另一个人或另一个约束；张力往往来自两个东西对不上。这说明三律天然是多典范的。在单典范的世界里，一个厨房关起门来做菜，混沌碰撞不会发生，纠缠很弱，张力只能靠更卖力来硬扛。所以，意义升级不是单典范科学的方向，而是多典范科学的方向。这也就是 K4 说的「意义科学的多元化」：意义要在典范之间碰撞出来。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

创造律这一面，科学史上有不少新领域被描述为两个学科相遇之后长出来的。比如，二十世纪中叶的分子生物学，常被叙述为一批物理学家和化学家进入生物学之后的产物。这个叙述在科学史界有争议，不少史家认为物理学家的作用被讲大了，生物化学与遗传学自己的积累同样要紧；本书只取它最粗的一层：新领域长在两门学问相遇的地方。福柯尼耶与特纳的概念整合理论（2002）也说，两个心理空间整合，会涌现出两边都没有的结构。本书与他们的分界，第 43 章已经说过：他们讲个人头脑里的整合，本书讲典范之间、以模型为载体、并沉淀回科学的涌现。

自由律这一面，最近的邻居是阿马蒂亚·森的能力方法。森在《以自由看待发展》（1999）等著作里主张，衡量发展不能只看收入，要看人真正能够实现的生活方式有多少，即一个人的「可行能力」集合。这和自由律的第三步「可选集合变大」很接近。分界在于，森讲的是可选集合本身，自由律还要求前两步：可选集合是在纠缠中、经由选择、被激发出来的。一个人被动地多了选项，在森那里算自由的增加，在自由律里只算走了一半。

幸福律这一面，我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过三拍：张力积累、形状改变、回写。那里讲的是数学对象怎样在时间里发生，这里讲的是人的经验。两边同构，是本书把它们合为一个可观察时间结构的理由。

再说边界。

第一，幸福律不是心理学的幸福量表，也不作任何医学或心理健康方面的判断。它只讲一个过程有没有走完，不讲一个人幸福到什么程度。

第二，三律不保证每次碰撞都三步走完。大多数碰撞会停在半路，这正是第 57 章要讨论的「白碰撞」。

第三，三条粗层级证伪。三律各有一条，出现其一，相应的一律就需要修正。

创造律：如果对公认的重大创造逐一追溯，发现其中大量找不到「碰撞」这一步——它们确实是在一个典范内部、没有任何异质典范介入的情况下长出来的——那么「创造律＝混沌碰撞→自组织→涌现」就错了，至少要降为「创造的一种路径」。

自由律：如果人有了更多典范可选、更多牵扯可以进入之后，反而普遍更被锁住——选择更少、能力更窄，被激发的东西更少——那么自由律就错了。

幸福律：如果在大量张力确实被转换的情形里（问题解决了、形状改变了），人却普遍没有松下来，释放这一步并不随转换而来，那么幸福律就错了，至少要承认转换与释放之间还缺一环。

这三条都是粗的。它们不要求我现在就知道怎样精确地检验，只要求说出：出现了什么大局面，这一律就站不住。

> **带走的话**
>
> 三律不是三种感觉，而是三个可以核对的过程——创造看有没有碰出新特征，自由看有没有在牵扯里选出被激发的能力，幸福看那股劲有没有在转换之后松下来。核对的是步，不是分。

小账 本章补的缝——库恩无方向，第 55 章给了方向，本章把方向落为三律各三步、每步留痕迹，并为三律各立一条粗层级证伪。
在圈上的位置——圈外：方向（与环节③的自组织三拍同构）。

第 57 章

好碰撞与白碰撞

> 这一章的问题：同样是两个典范撞在一起，有的碰出了新东西，有的只碰出一地热闹，怎样分辨哪一次是好碰撞、哪一次是白碰撞？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远家楼下有一条老路，连着河西的一片居民区和一所中学。路窄，早上送孩子的电动车、上班的小汽车、走路的学生挤在一起，天天堵。后来这条路改造了，拓宽成双向四车道。通车那天，街坊们都很高兴。

可是半年过去，许远发现，早高峰还是堵，甚至更堵了。路宽了，原来绕道走的车都改走这条路；中间加了隔离栏，走路的学生要多绕几百米才能过马路；人行道被压窄，电动车只好挤进机动车道。改造前大家抱怨的那些事，一件也没有少，只是挪了地方。

许小满放学回来说：「爸，这路修了跟没修一样。」

许远想了想，说：「比没修还多花了钱。」

又过了一年，区里在这条路上做了第二次调整。这一次没有再拓宽，而是做了几件小事：中学门口开了一段只在早晚高峰允许电动车和行人通过的慢行道；隔离栏在学校和菜市场门口各开了一个口子，装了信号灯；路边几个车位改成了电动车停放区；附近的地铁站加开了一个朝向学校的出口。

这一回，变化是看得见的。走路的学生多了一条安全的路；电动车不再挤进机动车道；有一部分家长干脆让孩子坐地铁上学；地铁新出口旁边，有人开了一家早餐店，专做学生的生意。许远早上路过，发现那股天天憋着的火气，好像散了。

小满说：「这回不一样。」

许远问她哪里不一样。她想了半天，说：「上次是路变大了，这次是大家的走法变了。」

◆ 二、这件事里藏着什么

这条路的两次改造，都是「碰撞」：机动车、电动车、行人、学校、菜市场、地铁，几种不同的走法在一个地方撞上了。第一次改造是一次白碰撞；第二次是一次好碰撞。小满那句话，已经说中了区别：一次是「路变大了」，一次是「走法变了」。

判据：三律三步有没有走完

第 56 章讲了三律三步。好碰撞与白碰撞的判据，就是用这三律三步去核对：碰撞之后，三律各自的三步走完了没有。

拿第一次改造来核对。

创造律：混沌碰撞有了，几种走法确实撞在一起，矛盾都摆了出来；可是没有自组织，改造只是把原来的一种走法（机动车）放大，没有出现任何一方原来没有的新规矩；也没有涌现，变量表里没有多出一栏。卡在第一步。

自由律：纠缠有了，几种走法互相牵扯；可是选择这一步是被代替的，只有一个选项「拓宽」，各方没有在约束里找出新路；激发更谈不上，学生的可走路线反而少了。卡在第一步，甚至往回退了。

幸福律：张力有了，天天憋着火；转换没有发生，张力只是挪了地方；释放也没有。卡在第一步。

再拿第二次改造来核对。

创造律：慢行道、开口、信号灯、地铁新出口，这几样东西组合在一起，是一种谁也没有事先设想过的路口规矩，它既不属于机动车，也不属于行人；地铁新出口旁的早餐店，是变量表里多出来的一栏。三步走完。

自由律：各方仍然彼此牵扯，但出现了真正的选择：孩子可以走路、骑车、坐地铁；家长可以不开车。选择激发了新的走法，可选集合变大了。三步走完。

幸福律：张力被转换成了另一种形状（分流、错开），而不是被硬压；许远感到那股火气散了。三步走完。

所以，白碰撞的定义很简单：撞了，但三律的三步卡在半路。好碰撞的定义也很简单：撞了，并且三律的三步走完了，至少有一律走完了，其余两律没有往回退。

白碰撞的三种样子

把「卡在半路」细分一下，白碰撞常见有三种样子。它们和第 44 章讲的伪涌现三种样子（并列不碰、碰而不合、合而无新）一一对应，只是第 44 章站在环节③里看，这里站在方向上看。

第一种，碰了没吵。　几个典范放在一起，各说各的，谁也不追问谁，没有真的混沌碰撞。表面上很和谐，其实只是并列。很多「跨学科项目」是这个样子：几个组拿一笔钱，各做各的，最后报告订在一起。三律都卡在第一步之前。

第二种，吵了没合。　　混沌碰撞有了，分歧也摆出来了，可就停在那里，没有自组织。大家越吵越凶，最后要么一方压倒另一方（这就退回了库恩的「替代」），要么不欢而散。第一次改路是这一种的变体：分歧摆出来以后，不是自组织，而是让一种走法单方面放大。

第三种，合了没新。　自组织好像发生了，大家也达成了一致，可是一致的内容只是折中：你让一点，我让一点，取个平均。平均不是涌现，变量表里没有多出一栏。三家厨房如果第二周商量出来的是「辣椒减一半、盐减一半、熏味减一半」，就是这一种。这一种最隐蔽，因为它看上去像成功，大家也都满意，可是什么新东西也没长出来。

好碰撞的标志：双方都被改写

好碰撞还有一个更直观的标志，我在《人与 AI 一起发生新数学》里讲过：碰撞的标志是双方都被改写了。第 43 章引用过这一条。

在第二次改路里，机动车的走法被改写了（学校门口要等灯），行人的走法被改写了（多了慢行道），地铁站也被改写了（多了一个出口）。没有哪一方原封不动。第一次改路里，只有机动车道被放大，其余各方不是被改写，而是被挤压。

被改写和被挤压，是两回事。被改写，是一方在碰撞中长出了新的能力或新的规矩；被挤压，是一方原有的空间变小了，没有长出任何东西。好碰撞里，各方被改写；白碰撞里，常常是一方膨胀、其余被挤压。

白碰撞不是白费

说「白碰撞」，不是说它毫无用处。第一次改路虽然没有走完三律，却把问题暴露得更清楚了：大家都看见，光拓宽没用。第二次改路之所以能做对，有一部分是因为第一次做错了。

科学里也是这样。一次白碰撞，至少在失效地图上标出了一块：这条路走不通。第 33 章说「成功的点越填越挤，失效的空白越试越清楚」，白碰撞的价值就在这里。它的问题不在于发生，而在于被误认为好碰撞，被当作成果写进报告、计入成绩，于是大家停在那里，不再往前走。

所以，区分好碰撞与白碰撞，不是为了奖励一种、惩罚另一种，而是为了知道自己停在了哪一步，下一步该往哪里走。这也是为什么这个判据只用于自查和改进，评测读数不进任何考核。

在 SDE 智能体里怎样用

把这个判据放回 SDE 智能体的模型对话里（第七编），它可以变成一套自查的问题，每一次三碰、群碰之后都问一遍：

分歧有没有被追到 Function、D、E 的某一维？如果没有，是碰了没吵。

追到之后，有没有出现任何一个母典范都没有的新规矩、新变量？如果没有，是吵了没合，或者合了没新。

参与碰撞的几个典范模型，各自有没有被改写？还是一方压倒、其余不变？

碰撞之后，人手里的可选路线有没有变多？那个一开始绷着的难题，有没有换了形状、松下来？

这几个问题都不要求打分，只要求指出在哪一步。指出在哪一步，就知道下一次碰撞该从哪里接着来。

好碰撞为什么常常慢

还有一点值得说：好碰撞往往比白碰撞慢，也不如白碰撞好看。

第一次改路，从立项到通车不到一年，通车那天剪了彩，街坊们拍手；拓宽的路面宽阔平整，照片上很漂亮。第二次改路，做的都是小事：开一个口子、画一段慢行道、改几个车位、开一个出口。每一件都不起眼，加起来也拍不出什么气派的照片。可是第二次之所以能做对，是因为它花了时间去看几种走法究竟在哪里对不上：学生在哪里过马路、电动车在哪里没处停、家长为什么非开车不可。这些对不上的地方，就是缝。

科学里的碰撞也一样。白碰撞常常很快：几个模型放在一起，跑一遍，出一份漂亮的报告。好碰撞要在缝上停留：分歧到底出在 Function、D 还是 E，要一层层追问；新规矩要在反复试错里长出来；参与各方要真的改掉自己原来的一部分。第 42 章讲过三拍的第一拍是「张力积累」，积累就要时间。

这不是说慢就好。慢而不追问，只是拖延。可是如果一次碰撞快得出奇、好看得出奇，各方却原封不动，那就要警惕它是不是白碰撞。

三律走完一律算不算好

还有一个细节要交代。前面说，好碰撞是三律的三步「至少有一律走完，其余两律没有往回退」。为什么不要求三律全走完？

因为三律走完的时间往往不同。三家厨房做南门午餐，创造律在第三周就走完了，新菜出来了；自由律要到庞秀芳回店里真的做出不放辣的川味，才算激发完成；幸福律也许更早，第三周收碗时就松了下来。一次碰撞不必等三律同时走完，才算好。但有一条底线：不能一律往前、另一律往回。如果一次碰撞涌现出了新东西，却让参与的人更

被锁住了（自由律倒退），或者把张力转嫁到别处（幸福律倒退），那么这次碰撞即使在创造上成功，在意义上也是有欠账的，要记下来，下次补上。

一个容易混淆的地方

有人会问：好碰撞是不是就是「结果好」的碰撞？比如这次改造之后，平均通行时间缩短了，是不是就是好碰撞？

不一定。平均通行时间缩短，可能是因为把行人全挤到了地下通道，机动车跑得快了，可学生多绕了一大圈。这时，一个指标变好了，三律却没有走完：没有新规矩，只是挤压；没有新的选择，只是少了一种走法。反过来，第二次改路之后，平均车速也许并没有明显变快，可是三律走完了。

这正是第 58 章要讲的问题：用一个结果指标代替三律的核对，会把白碰撞误认为好碰撞，也会把好碰撞误认为白碰撞。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

交通工程里有一个常被讨论的现象，叫「诱导交通量」：在拥堵的路上增加车道，往往会引来更多车辆，一段时间后拥堵程度回到原来的水平。交通经济学里较有分量的一项研究，是 Duranton 与 Turner　2011 年在《美国经济评论》上发表的《道路拥堵的基本定律》：用美国城市的数据，他们发现州际公路的车辆行驶里程大致随车道里程同比例增长。它从一个侧面说明，「路变大了」不等于「走法变了」：单方面放大一种走法，很容易是白碰撞。

科学里的旁证，是许多跨学科合作的经验研究。比如 Leahey、Beckman 与 Stanko 2017 年在《行政科学季刊》上的研究发现，跨学科的研究更受瞩目、被引更多，产出却更少。跨学科本身不保证多产；按本书的读法，要紧的是合作有没有真正改写参与各方的问题和方法，这和「双方都被改写」的标志一致。

再说邻居。

多智能体辩论（Du 2023；Liang 2023）也关心「辩论有没有带来提升」，它们看的是辩论之后答案对得更多了没有。本书的判据不同：看的是三律三步，看的是各方有没有被改写，看的是变量表有没有多出一栏。一场多智能体辩论可以让答案更准，而三律一步也没走完，那就是一次在答案上成功、在意义上白费的碰撞。

然后是边界。

第一，好与白不是对碰撞参与者的评价，而是对一次碰撞走到哪一步的描述。同一组典范，这一次白碰，下一次可以好碰。

第二，本章的判据只用于自查和改进，不进入任何考核，不作为任何人或机构的评分依据。

第三，粗层级证伪。如果大量被公认为成功的新典范、新领域，回头去查，在它们诞生的那次碰撞里，三律三步大都没有走完——没有出现新规矩，参与各方也没有被改写，只是一方压倒另一方或者各让一半——那么「三律三步是区分好碰撞与白碰撞的判据」就错了。

> 带走的话
>
> 好碰撞和白碰撞，差别不在热闹不热闹，而在三律三步走没走完；路变大了不算，走法变了才算。

> **小账**　本章补的缝——库恩只讲「替代」成功与否，没有区分碰撞的好坏；本章以三律三步为判据，给出白碰撞的三种样子与好碰撞「双方都被改写」的标志。
> 在圈上的位置——圈外：方向（判据作用于环节②③之后、环节④之前）。

第 58 章

风险：多元而无意义，就是堵车

> 这一章的问题：典范模型便宜了，人人都能造，多元会不会变成泛滥——又该靠什么来守住方向，而不是靠一个总分？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远做调度这些年，见过一种让他头疼的情况：网上的线越来越多，可是有些新线开通以后，客流一直上不去。有的线和老线几乎平行，隔两三百米就是另一条线的站，两条线抢同一拨人；有的线终点站修在一片还没盖起房子的空地，车跑得空空荡荡；还有的线和别的线没有换乘，乘客要出站走一大段路才能转车。线是多了，网却没有因此更好用。

有一年，上级要给各条线做一个综合评价，设计了一个总分：准点率、客流量、满载率、乘客满意度，各占一定比例，加权求和，满分一百。分数出来，排了名，贴在调度中心的墙上。

许远看着那张表，心里有点别扭。有一条线分数很高，因为它跑的是最繁忙的老城区，客流大、满载率高，可那条线早高峰挤得人上不去车，满载率高恰恰是问题；另一条线分数很低，因为它刚开通不久，通往一片新的产业园，客流还小，可这条线让很多原来只能在老城区找工作的人，第一次能去园区上班。

更让他别扭的是之后发生的事。第二年，有几条线的负责人开始琢磨怎样提高分数：有的减少了班次，让每趟车更满，满载率上去了；有的在满意度调查那几天特别安排了服务。分数确实提高了，网并没有变得更好。

许小满听他讲完，说：「这就跟我们考试一样。老师说要看综合素质，最后还是排一个总分。」

许远说：「是有点像。分数一贴到墙上，大家就开始对着分数干活了。」

◆ 二、这件事里藏着什么

这一章讲两件事：一是多元的风险；二是防守这个风险时，最容易犯的错，就是把评测压成一个总分。

多元的三种风险

本书一路讲典范多元的好处。可是多元有它的风险，必须说清楚。成本论（第五编）讲：典范模型把养一个典范的成本降到了养一个模型。成本降下来，是好事，也带来三种风险，正好对应许远见过的那三种线。

第一种，泛滥。　造一个典范模型便宜了，于是人人都造。很多所谓的「新典范」，其实和已有的典范三组合几乎一样，只是参数、语料、名字不同。这就像和老线平行的新线：多修了一条，却只是在抢同一拨人。用边界判据（第 32 章）来看，这些不是新的典范模型，只是同一典范模型的不同版本。

第二种，碎片化。　典范多了，可是彼此之间没有接口，碰不起来。每个典范模型关在自己的小天地里做常规科学，越做越深，也越来越听不懂别人。这就像没有换乘的线：网上看着线很多，乘客却转不过去。第 38 章讲的准入三条件（亲缘够近、差异够大、接口对齐），说的就是这个问题：没有接口量，就没有碰撞。

第三种，低质。AI 可以批量生成「典范」：给它一个提示，它就能编出一套看起来自成体系的概念、术语和方法。这些东西说得头头是道，可是一碰就散，在任何难题上都显露不出稳定的结构。这就像终点修在空地上的线：线是通的，可是那一头什么也没有。用川菜判据（第 21 章）来看：一个三组合要算典范，必须在许多难题上稳定显露出一类结构，让人一尝就认得出。批量生成的「典范」，往往一个难题一个样子，认不出来。

三种风险合在一起，就是这一章的题目：多元而无意义，就是堵车。线多了，人却没有去更远的地方，没有长出新行当，也没有松下来。

最顺手的防守：一个总分

面对这三种风险，最顺手的办法是什么？是给每个典范模型打一个总分。准确率多少、新颖度多少、引用量多少、用户评价多少，加权求和，排个名，高分的留下，低分的淘汰。这个办法看上去客观、公平、省事。

本书的立场是：典范模型的评测不得压成单一分数。

这条规矩来自我在《人与 AI 一起发生新数学》第 45 章立下的一条规矩，叫「不可重新粒子化」。那一章讲信、望、爱的数学，说的是一个很容易犯的错：前面费了大力气，才看清一样拆不成点的东西，比如一段关系怎样一步步发生；到了最后一步，为了好算、好比，又把它捏回成一个点。那里的例子是一对夫妻各给这一年打了七分，两个七分一个是从五分爬上来的，一个是从九分掉下来的，分数把方向抹平了。

意义也是这样。第 55 章说过，意义是多元的，创造、自由、幸福不能互相换算；第 56 章说过，三律考察的是「步」，不是「分」。把意义压成一个总分，就是重新粒子化。

总分丢掉了什么

我在那一章把打分看成一个映射：把一个很丰富的东西，对应到一个数上。这个映射丢东西，丢的不是随机的，而是系统性地集中在我们最关心的地方。放到典范模型的评测上，可以说得更具体。

第一，丢掉多对一的区别。　两个典范模型得了同样的分数，一个是在本典范里把常规科学做得极准，另一个是在碰撞中让两个母典范都被改写了。这是两件完全不同的事，总分一样。许远那张表上，分数高的老城线和分数低的产业园线，就是反过来的同一个问题。

第二，丢掉顺序。　三律考察的是三步有没有走完、按什么先后走的。一个总分只是一个时刻的读数，不知道这个典范模型是在往上走还是往下走，是刚走完混沌碰撞，还是已经沉淀。

第三，丢掉结构。　一个典范模型的价值，很大一部分在于它和别的典范模型之间的关系：它能和谁碰、碰出了什么、在典范空间里占的是哪个位置。总分是一个孤立的数，不知道谁和谁连着。一条线的价值，在网里，不在它自己。

第四，丢掉回写。　分数一旦公布，就会改变被评的对象。许远看到的减班次、做样子，就是回写。社会科学里常被转述的古德哈特定律说的就是这件事。古德哈特 1975 年谈的是英国的货币政策：一个统计规律一旦被拿来做控制，就会失灵；今天通行的那句「一个指标一旦被当作目标，就不再是好指标」，是斯特拉森 1997 年在讨论英国大学评估时的转述。典范模型如果按总分排名淘汰，造模型的人就会对着分数造：挑容易的难题刷准确率，堆砌新奇的术语刷新颖度。总分越精确，这种变形就越快。

四条合起来，结论是：用一个总分来防守多元的风险，非但守不住，还会制造新的单一化。所有人都对着同一个分数优化，最后造出来的典范模型越来越像，这正是第 30 章讲的「统一大模型求平均」，只是换了一个地方发生。一个总分，就是评测上的统一大模型。

那么用什么来防守

不压成总分，不等于不评测。防守的办法是两道判据，一道看边界，一道看意义，都只指出位置，不压成分数。

第一道，三组合边界判据（第 32 章）。 它对付泛滥和低质。看 Function、D、E，不看参数：一个所谓的新典范模型，三组合和已有的一样，就只是一个版本，不算新典范；一个批量生成的「典范」，在许多难题上显露不出稳定的结构，川菜判据认不出来，就不算典范。这道判据回答的问题是「它是不是一个典范模型」，答案是「是」「不是」「只是某某的一个版本」，不是一个分数。

第二道，意义判据（第 57 章）。 它对付碎片化和无意义。看三律三步：这个典范模型参与的碰撞，三律走到了哪一步，参与各方有没有被改写，变量表有没有多出一栏。这道判据回答的问题是「它在意义的路上走到了哪里」，答案是一张位置图，不是一个分数。

两道判据都不排名，都不淘汰，只回答「是什么」和「在哪里」。知道了是什么、在哪里，下一步就清楚了：版本就并回原模型；关在小天地里的就去找接口；停在半路的碰撞就从卡住的那一步接着来。

为什么这样防守更有效

有人会说，两道判据不出分数，没法比较，没法分配资源，太软了。

我的回答是：它们比总分更难糊弄。总分可以被刷：挑题、堆术语、做样子，都能把分数抬上去。可是「三组合是不是和已有的一样」「变量表有没有多出一栏」「参与碰撞的几方有没有被改写」，这些问题要拿出具体的东西才能回答，刷不出来。许远那张表上，减班次能刷高满载率，却刷不出一条新的换乘通道。

至于资源分配，那是管理的事，不是本书要讨论的。本书只立一条规矩：评测读数不进任何考核，典范模型的评测不压成单一分数。

回到调度台

许远后来给自己做了一个小本子，不打分，只记三件事。第一，这条线和哪条线有换乘，换乘量这一年是多了还是少了。第二，这条线沿线这一年长出了什么以前没有的东西：一个新市场、一所新学校、一片新住宅、一种新的通勤方式。第三，乘客的抱怨这一年是换了样子，还是原样重复：如果去年抱怨挤、今年还抱怨挤，那就是张力没有转换；如果去年抱怨挤、今年抱怨的是换乘通道太长，那说明前一个问题解开了，新的问题露出来了。

这个小本子不能排名，也不能贴到墙上。可许远说，看它比看那张总分表更知道下一步该干什么。

这个小本子，就是意义判据在一个调度员手里的样子：第一件看结构（和谁连着），第二件看创造（变量表有没有多一栏），第三件看幸福律（张力有没有换形状）。三件事都是描述，不是分数。这也就是这一章想立住的东西：守住多元的方向，靠的是描述位置，不是压成一个数。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

单一化风险，有一批现成的研究可以参照。克莱因伯格与拉加万（2021）讨论「算法单一栽培」：当许多决策者共用同一个算法，整体结果可能变差，即使这个算法单独看是最好的。博马萨尼等人（2022）讨论共用同一个底座模型带来的结果同质化。这两项研究讲的是模型的单一化；本章把同一个道理推到评测上：所有人对着同一个总分优化，也是一种单一栽培。

梅塞里与克罗克特在《自然》2024 年的文章里提醒，AI 可能让科学走向「认知单一栽培」，并造成「理解的幻觉」。第 30 章已经正面讨论过这篇文章。这里补一句：如果评测被压成一个总分，即使模型是多元的，单一栽培也会从评测这一端回来。

再说边界。

第一，本章不反对一切量化。在一个典范内部做常规科学时，准确率、误差、计算时间这些读数完全合理，典范模型的第一项验收（失效地图）就要靠它们。本章反对的是：把跨典范的意义评测压成一个可以排名的数。区别在于，量化是不是以丢掉顺序、结构、回写为代价。

第二，「描述」也会被形式化，形式化之后会不会又变成新的分数？我在第 346 号第 45 章承认过这是一个没有一劳永逸答案的真问题。这里只要求：判据的输出保留位置和关系，不保留可以相加的数。

第三，本章不对任何科研管理政策表态，也不建议任何机构采用或废止任何评价制度。

第四，粗层级证伪。如果在一批事先约定好的典范模型上，一个综合总分在预判「哪些模型会参与好碰撞、哪些会沉淀为新典范」这件事上，稳定地不比三组合边界判据加意义判据差，那么「评测不得压成单一分数」在这个范围内就不成立，它只是一种更繁琐的说法，应当承认。

> **带走的话**
>
> 典范多了，线多了，不等于网好用了；守住方向靠的是两道判据——是不是一个典范、在意义的路上走到了哪里，而不是贴在墙上的一个总分。

小账　本章补的缝——多元的代价（泛滥、碎片化、低质）库恩没有遇到，因为他只有单典范；本章以边界判据加意义判据防守，并立下「评测不得压成单一分数」（承第 346 号第 45 章「不可重新粒子化」）。
在圈上的位置——圈外：方向（防守环节①的泛滥与环节②的碎片化）。

第 十 二 编

落到个人：科学发生的结构与我经济

编　序

第十一编说，科学的方向是意义升级，而意义最后要落在人身上。这一编把这句话推到底：落在人身上，最后要落在每一个具体的人身上，落在「我」身上。

库恩的典范属于共同体。一个人进入一个典范，学它的教科书，用它的方法，解它的谜；他可以做得很好，但典范不是他的，他只是执行者。这在单典范时代是没有办法的事：第五编讲过，养一个典范要一代人、要教科书和实验室，一个人养不起。

成本论走到最后一步，情形就变了。典范模型把养一个典范的成本降到了养一个模型；再降下去，就降到了一个人养得起。一个人可以守一套自己的三组合，在自己的难题上让多个典范模型碰撞，把碰出来的东西沉淀为自己的典范。这就是「我的典范」。

我说过（口述 K7）：新经济、我经济的基础是科学多元化，还有理念的我，第三声呼喊。这一编就沿着这句话走四步。

第 59 章讲从「我们的典范」到「我的典范」：同一张地铁网，每个人的换乘路线不同。第 60 章讲理念的我：《我的三个宝贝》里的那一声呼喊，为什么要以科学发生的结构为前提。第 61 章讲对效知识：当「我们的知识」被 AI 打到地板价，我的知识从哪里来。第 62 章讲类我与三合一：我经济的悖论，以及智能体、网站、社区三合一的共同体形态，并立一条可错预言。

《我经济》（第 224 号）和《我的三个宝贝》（第 220 号）已经各自讲过这些命题。这一编要做的，是给它们补上科学哲学的地基：没有科学发生的结构，我经济只是一个愿望；有了这个圈，它才有了发生的机制。

第 59 章

从「我们的典范」到「我的典范」

> 这一章的问题：典范从来属于共同体，一个人只能进入它、执行它；成本降到一个人养得起以后，「我的典范」是什么，又凭什么还能和别人的碰撞？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满上了高一，学校在河东，家在河西。每天早上，她要自己坐地铁上学。开学第一周，许远给她画了一条路线：家门口的站上车，坐到某站换乘，再坐三站下车，出站走五分钟。这是调度员的路线，最短、最稳，换乘一次，二十八分钟。

第一周，小满老老实实按这条路线走。第二周，她开始改了。

她发现，按爸爸那条路线，一路都站着，书包压在肩上，什么也干不了。她试着先往反方向坐两站，到一个人少的大站再掉头上车，这样上车就有座位。总时间多了六七分钟，可她能坐着把当天要默写的英语单词过两遍。到校门口，单词已经背完了。

第三周，她又改了一次。她班上有个同学住在她家附近，两人约好在某一站碰头，一起坐后半段。为了碰头，她要多坐一站再折返，时间多了四分钟，可是一路有人说话，她觉得值。

第四周，她发现周三下午学校放得早，她可以绕道去河东的一家旧书店。于是她周三的回家路线和别的日子都不一样：先往北坐两站，逛完书店，再坐另一条线回河西。

到了月底，许远看她的地铁卡记录，吓了一跳：一个月里，她走了七八种不同的路线，没有一天完全照他画的那条走。他问小满为什么不走最短的那条。

小满说：「最短的那条是你的路线。我的路线要有座位背单词，要等我同学，周三还要去书店。」

许远想了想，说：「可是你用的还是这张网啊。」

小满说：「网是大家的，路线是我的。」

许远在调度台上坐了十几年，管的是整张网的运行图。那天晚上他第一次想到：他天天调度的这张网上，每天有上百万人在走，没有两个人的路线是一样的。

◆ 二、这件事里藏着什么

小满那句「网是大家的，路线是我的」，就是这一章要讲的事。

库恩的典范属于共同体

库恩的典范，是一个科学共同体共享的一整套看法和范例。一个科学家进入一个典范，就像一个乘客进入一张网：他用这张网，但网不是他的；他按网的规矩走，但规矩不是他定的。而且，在库恩那里，一个人通常只进一张网，一辈子在里面走。

更要紧的是，库恩的典范连「路线」都是共同体给的。常规科学的意思，就是在典范规定好的问题上，用典范规定好的方法，解出典范预期的答案。用交通来比，就是不但网是共同体的，连每天走哪条路线，也是调度员画好的。一个科学家可以走得很熟练、很快，但他走的是许远给小满画的那条最短路线，不是小满自己的路线。

为什么会这样？第五编讲过：养一个典范要一代人。一个人花半辈子学会一个典范，已经很不容易，没有余力再去学第二个、第三个，更不用说让它们碰撞。在这种成本下，「路线是我的」根本无从谈起：一个人手里只有一条线，没有换乘的可能。

成本论的最后一步

本书的成本论讲：单典范是多典范在高建造成本下的特例；典范模型把养一个典范的成本降到养一个模型，独养变为并养（第 27 章）。

这个相变，第一步发生在共同体层面：一个学科可以同时养好几个典范模型。可是成本还在降。降到某一个阈值以下，就会发生第二步相变：一个人也养得起。一个人可

以同时调用好几个典范模型，在自己的难题上让它们各跑一遍，再在 SDE 智能体里让它们碰撞。

这时，「网是大家的，路线是我的」就成立了。

网是大家的：典范模型是共同体养出来的，川菜的、粤菜的、湘菜的三组合，局域的、非局域的数学，各个学科的典范模型，都是公共的网。

路线是我的：在我的难题上，我选哪几个典范模型来碰、按什么次序碰、在哪里换乘、在哪里停下来，这是我的。小满反向坐两站去抢一个座位、等同学、去书店，每一个选择都来自她自己的处境。

「我的典范」是什么

那么，「我的典范」到底是什么？是不是就是「我的路线」？

不完全是。一条路线只是一次出行；典范要求的是不变性。第 17 章说过，一个 S 不等于一个典范，只有当同一个三组合在许多难题上都不变，才构成典范。

小满一个月走了七八种路线，看上去每天都不一样。可是许远细看就会发现，这些路线背后有几样东西是不变的：她总是先给自己找一段能坐下来做事的路，再去管快慢（她的 D：先保住这一段，再求快）；她总是把同学、书店这些人和地方连在路线里（她的 E：路线不只连着起点和终点，还连着她在乎的人和事）；她总是在时间差不多的几条路线里挑一条「值」的（她的 Function：不是取最短，而是在几样东西之间找一个合她心意的整体）。这三样，在她每天不同的路线里都不变。

这就是小满的「出行典范」。它是一个三组合，用的是公共的网，但三组合是她自己的。用川菜判据来说：她走一百条路线，条条不同，可是许远一看她的地铁卡记录，就认得出「这是小满走的」。

所以，「我的典范」的定义很清楚：一个人在许多自己的难题上保持不变的 (Function, D, E) 三组合。它不是一组被我相信的命题，而是能从我的产出中被认出来的那股味道。

我的典范从哪里来

小满的出行典范不是她第一天就有的。第一周她走的是许远的路线，那是「我们的典范」。她的典范是在用这张网的过程中，经过多次碰撞长出来的：她撞上了站一路什么也干不成的车厢，撞上了同学的路线，撞上了书店的营业时间。每撞一次，她的路线改一次；改到后来，有几样东西稳定下来了。

这正是科学发生的圈在个人身上的样子：先用公共的典范模型做满自己的「常规」（环节①），在自己的难题上让几个典范碰撞（环节②），在缝上长出新的走法（环节③），稳定下来就沉淀为我的典范（环节④），然后再用它去走新的难题。我的典范不是从天上掉下来的，也不是凭空想出来的，是圈转出来的。

调度员的路线与乘客的路线

许远给小满画的那条路线，值得再看一眼。它不是错的。它最短、最稳，是整张网的运行逻辑在一个起点和一个终点之间算出来的最优解。调度员看网，看的是全网的客流、间隔、满载，他画出的路线，是「对所有人都一样」的那条。

这条路线，就是「我们的典范」在一个具体难题上的显露。它好用，可靠，第一周的小满完全靠它才敢一个人出门。没有它，就没有后来那七八种路线。

可是这条路线有一个它自己看不见的局限：它不知道小满在乎什么。它不知道她每天早上要默写单词，不知道她有个同学住在附近，不知道河东有一家旧书店。这些东西不在调度员的变量表里。调度员的 E 只把起点、终点、换乘、时间连在一起；小满的 E 还把能不能坐下做事、有没有人陪、顺路能去哪里连了进去。

这就是「我们的典范」和「我的典范」的区别：不是前者错、后者对，而是前者的变量表是为所有人设计的，后者的变量表多出了只属于我的那几栏。第 45 章说，新典范沉淀的判据是「变量表自己长出新一栏」。小满的出行典范之所以算一个典范，正是因为她的变量表里长出了调度员没有的栏目，并且这些栏目在她每天的路线里稳定不变。

一个人能守几个典范

还有一个问题：一个人是只有一个「我的典范」，还是可以有好几个？

小满的出行典范是一个。她做数学题、写作文、和朋友相处，可能各有各的三组合。一个人可以在不同的难题领域守不同的典范，就像一个人既有自己的出行路线，也有自己的做菜习惯。但在同一类难题上，如果一个人的三组合天天在变，那就说明还没有沉淀，还在碰撞之中。

更有意思的是，一个人的几个典范之间，也可以碰撞。小满后来发现，她挑路线时「在几样东西之间找一个合心意的整体」的那种做法，用到安排作业上也很好使。不同领域里的「我的典范」碰在一起，可能长出一个更深一层的、贯穿她许多领域的三组合。这一层，就是下一章要讲的「理念的我」。

为什么我的典范还能和别人碰

最后一个问题：如果每个人都有自己的典范，会不会人人各说各话，谁也听不懂谁？这不就是第 58 章讲的碎片化吗？

不会。因为方程形式是共用的。第 35 章讲过，SDE 只规定方程的形式 S = Function(D, E)，不规定任何一个具体的三组合。每个人的典范都是这个形式里填进去的不同内容。形式共用，就保证了我的典范和你的典范可以对齐接口、定位分歧：我们俩在同一个难题上显露出不同的 S，可以追问分歧出在 Function、D 还是 E。

用交通来比：小满的路线和她同学的路线完全不同，可是她们能约在某一站碰头，因为她们用的是同一张网、同一套站名、同一张换乘图。网是共的，才碰得了头。

这一点非常要紧。没有共用的方程形式，「我的典范」就会变成「我的私人宇宙」，与世隔绝，碰不出任何东西。有了共用的形式，「我的典范」就成了典范空间里的一个新站点，可以和别人的典范换乘、碰撞，长出新的东西。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

库恩在 1969 年的后记里把典范收紧为两层意思之一的「范例」：学生是通过模仿具体的范例题，学会看问题的方式的。这说明，即使在库恩那里，典范的传承也是落在个人身上的，只是个人只能模仿，不能拥有。本书的说法是：成本降下来以后，个人不只模仿范例，还可以从多个典范的碰撞中沉淀出自己的三组合。

哈金和克龙比讨论的推理风格，讲的是一个群体、一个时代共有的推理方式。第 23 章说过，推理风格最接近本书的典范，但缺了 Function 一维，也不能作训练约束。到了个人层面，这个区别更明显：「我的典范」要能被训练进一个属于我的模型，要能从我的产出里被认出来。

还有一条间接的旁证：城市交通研究里，「出行链」早就是一个专门的题目，个人一天的出行不是一次次孤立的点到点，而是串成一条链，链的样子因人而异，和家庭、工作、兴趣都连在一起。Hensher 与 Reyes　2000 年在《Transportation》上的一篇文章就讨论过，出行链越复杂的人，越不容易只靠公共交通。这说明，「网是共的，路线是我的」不只是一个比方，交通研究本身就是这样看问题的。

再说边界。

第一，「我的典范」不等于「我的意见」。意见可以一天一变；典范要在许多难题上保持三组合不变。一个人每天想法都不一样，没有任何东西稳定下来，那他只有意见，没有典范。

第二，「我的典范」不排斥「我们的典范」。小满的路线离不开公共的网。没有共同体养出来的典范模型，个人什么也碰不出来。包含而非替代，在这里也成立：「我们的典范」是「我的典范」的土壤。

第三，粗层级证伪。如果典范模型普及、成本大幅下降之后，个人用它们产出的东西反而越来越像——大家调用同样的模型、走同样的路线、得出同样的答案，局外人无法

从产出中认出「这是谁做的」——那么「成本降到一个人养得起时，会出现我的典范」就错了。那时，成本降低带来的只是人人共享同一条最短路线。

> 带走的话
>
> 同一张网，每个人的换乘路线不同；网是大家的，路线是我的。当路线背后的三组合稳定下来，就是我的典范。

小账　本章补的缝——库恩的典范只属于共同体，个人只能执行；本章以成本论的最后一步给出「我的典范」，并以共用方程形式保证它能与别人碰撞。

在圈上的位置——圈外：落点（圈在个人身上走一遍）。

第 60 章

理念的我：第三声呼喊

> 这一章的问题：《我的三个宝贝》里那一声呼喊——理念之我的诞生——为什么只有在科学发生的结构里才喊得出来？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许小满初中时开始练毛笔字。她的老师让她临颜真卿的《多宝塔碑》，一临就是两年。两年下来，她的字端正、厚实，一看就是颜体的底子。老师很满意，说她「入帖了」。

可小满自己不太满意。她说：「我的字像颜真卿，不像我。」

上了高一，她换了一位老师。这位老师没有让她继续死临一家，而是让她同时临三种帖：颜真卿的楷书，王羲之的行书，还有一种汉代的隶书碑。头几个月，小满的字乱了。楷书里带进了行书的连笔，隶书的横画写出了颜体的厚重，三种笔意在纸上打架，哪一种都不像。她有点慌，跑去问老师是不是该停一停。

老师说：「不用停。打架的地方，你多写几遍。」

小满就在打架的地方多写。颜体的横画讲究起笔藏锋、收笔顿挫，隶书的横画讲究蚕头燕尾，两种写法在她手里撞了上百遍。慢慢地，有一种横画出来了：起笔还是颜体的藏锋，收笔却带一点隶书的上挑，中间又有行书的轻快。这种横画哪本帖里都没有。

又过了半年，她写的一幅字拿到许远面前。许远不懂书法，只看了一眼，就说：「这是你写的。」

小满问他怎么知道。许远说：「说不清，就是一看就是你。」

小满后来在日记里写了一句话：「以前我是在写颜真卿的字，现在我在写我的字。」

◆ 二、这件事里藏着什么

三个宝贝与那一声呼喊

《我的三个宝贝》（第 220 号）讲了三个宝贝：一个理论，就是 SDE 本体论，从发现到发生；一个工具，就是大模型的 SDE 化与思想创新的工程化，靠的是 SDE 多维度碰撞法；一声呼喊，就是第一次喊出理念之我的诞生。

我在口述 K7 里把这第三个宝贝叫作「第三声呼喊」，并说新经济、我经济的基础，除了科学多元化，还有理念的我。

什么是理念的我？按《我的三个宝贝》的口径：理念的我，就是未来的服务，是一个价值发生场，「我」也在这个场里显露出来；理念的我，就是未来每个人都要打造自己的理念工厂，生产我的理念。

用小满的字来说：颜真卿的字是「我们的」，是书法共同体两三百年来公认的一种典范；小满临两年，写出来的是颜体，她是这个典范的执行者，写得再好，也是在写颜真卿的字。后来她写出了一种哪本帖里都没有的横画，许远一眼认出「这是你写的」——这时，一个「理念的我」在她的字里显露出来了。

理念的我，不是我的身体，也不是我的履历，而是在我的思想、我的产出里稳定显露出来、让人一眼认得出的那个「我」。

为什么单典范时代喊不出来

《我的三个宝贝》说这一声呼喊是「第一次」喊出来。为什么以前没有人喊？不是因为以前的人不在乎「我」，而是因为在单典范时代，理念的我很难发生。

小满初中那两年，只临一家帖。不管她多用功，能达到的最高境界是「入帖」：写得和颜真卿越来越像。单典范里的进步，就是越来越像典范。这时候「我」只能是典范的执行者，「我」越多，反而说明「入帖」越不到家。

科学里也一样。在库恩的单典范结构里，一个科学家的成就，是在共同体典范里把谜解得更好。他的个人风格当然存在，但风格只是外层的参数，典范的三组合不是他的。他越是「我」，就越可能被共同体看作偏离。库恩说常规科学不追求新奇，追求的是在典范预期之内解出谜题，说的正是这件事。

所以，在单典范时代，「我」只能做共同体典范的执行者。这不是因为人不够有个性，而是结构决定的：一个人一生只养得起一个典范，手里只有一本帖。

为什么科学发生的结构让它喊得出来

小满换了老师以后，同时临三种帖。这一步，相当于第 59 章讲的「成本降到一个人养得起」：她手里有了多个典范。

三种帖在她手里打架，这是混沌碰撞；她在打架的地方反复写，这是在缝上停留；那种新的横画出来，是涌现；半年后许远一眼认出来，是沉淀，是一个新的三组合稳定下来了。科学发生的圈，在她的字里完整走了一遍。

理念的我，就是在这个圈里发生的。它不是在任何一个母典范里，也不是把三个母典范拼在一起，而是在三个典范的碰撞里长出来的、哪个母典范都没有的东西。这和第 43 章讲的涌现判据一样：碰前没有，不是拼接，双方认可，有后续。只是这一次，涌现出来的不是一个新的科学典范，而是一个新的「我」。

所以，理念的我以科学发生的结构为前提，有两层意思。

第一层，它需要多典范。只有一本帖，只能入帖，不能出帖。只有手里有多个典范，才有碰撞的可能，「我」才有发生的地方。

第二层，它需要圈。多典范放在一起不碰，只是拼盘（第 44 章）；碰了不在缝上停留，只是白碰（第 57 章）。理念的我要在缝上长出来、沉淀下来，就需要整个圈走完。

打架的那几个月

小满那几个月的慌，值得多说几句。三种笔意在纸上打架，哪一种都不像，这时她最容易做的选择有两个：退回颜体，继续入帖，至少字是好看的；或者放弃，觉得自己写乱了。

老师说「打架的地方，你多写几遍」，这句话的分量在于，它告诉小满：乱不是失败，是必经的态。第 41 章讲混沌碰撞，说混沌是涌现前必经的态；第 56 章讲幸福律，说张力是转换的前提。理念的我不是在平顺里长出来的，而是在这种「哪个都不像」的难受里长出来的。很多人在这一步退回去了，于是一辈子都在写别人的字。

这也是为什么理念的我需要一声呼喊。工具可以把多个典范送到人手里，可是在打架的那几个月，人需要有人告诉他：别退回去，在缝上多待一会儿，「我」就在那里长。

理念的我在圈上的位置

还有一个容易被忽视的地方：理念的我发生之后，又回到了圈上。

小满写出了自己的字，并没有扔掉颜真卿。她以后写楷书，颜体的底子还在；她只是多了一样自己的东西，可以和别的帖再碰。这就是包含而非替代。理念的我不是从共同体典范里出走，而是在共同体典范的网上，多了一个新的站点。

这个新站点，又可以和别人的站点碰撞。小满的字，可以和她同学的字碰，可以和她老师的字碰。第 59 章说，方程形式共用，保证我的典范能和别人的碰撞。理念的我也是这样：它不是一座孤岛，而是一个能和别的「我」碰撞的发生场。《我的三个宝贝》说理念的我是「价值发生场」，意思就在这里：价值在一个个理念的我之间的碰撞中发生。

理念的我不是「我的典范」的总和

上一章讲「我的典范」，这一章讲「理念的我」，两者是什么关系？

一个人可以在不同的难题上有不同的典范：出行有出行的三组合，写字有写字的三组合，做题有做题的三组合。理念的我，不是把这些典范加在一起，而是在它们之间稳定显露出来的那一层。

小满写出自己的字以后，许远有一天发现，她写字的那股劲，和她挑地铁路线的那股劲，是一回事：都是先给自己留一段稳当的地方（起笔先藏锋，出门先找一段能坐下的路），都把几样不同的东西连在一起（三种笔意，或者同学和书店），都不取最省事的那个，而是在几样东西之间找一个合她心意的整体。不同领域里的「我的典范」，背后有一个更深的三组合在稳定显露。这个更深的东西，就是理念的我。

所以，理念的我也符合川菜判据：小满做一百件不同的事，件件不同，熟悉她的人一看就知道「这是小满做的」。认出来的，就是这个更深一层的三组合稳定显露出来的味道。按第 21 章的说法，「结构是显露的稳定态」；理念的我，就是一个人的许多显露里最深的那个稳定态。

理念工厂

《我的三个宝贝》还有一个说法：理念的我，就是未来每个人都要打造自己的「理念工厂」，生产我的理念。

「工厂」这个词，容易让人想到流水线、批量、千篇一律，这恰恰和「我」相反。可是《我的三个宝贝》用这个词，是要强调一件事：理念的我不是偶然灵光一现，而是可以有一套稳定的生产过程。小满的字不是哪一天突然冒出来的，是她在缝上反复写、反复碰出来的；这个「反复写、反复碰」的过程，就是一座小小的工厂。

用本书的话说，理念工厂就是一个人手里的科学发生的圈：典范模型做满我的常规，在 SDE 智能体里让多个典范碰撞，在缝上涌现，沉淀为我的新典范，再回到常规。这个圈每转一次，理念的我就长一点。第二个宝贝「大模型的 SDE 化与思想创新工程化」，讲的就是给每个人装上这样一个圈的工具。三个宝贝在这里接起来了：理论说「从发现到发生」，工具给出发生的圈，呼喊说这个圈转出来的是「我」。

呼喊的意思

为什么说这是一声「呼喊」，而不是一个「发现」？

因为理念的我不是一个早就存在、等人去发现的东西。小满的那种横画，在她写出来之前，哪里都没有。理念的我是发生的，不是发现的。这正是第一个宝贝「从发现到发生」在「我」身上的应用。

一个发现，只要说出来就行了；一个发生，需要有人先喊出来：这件事可以发生，你也可以。呼喊的意思是唤醒：告诉每一个人，你不只是共同体典范的执行者，你可以有你自己的理念的我。在 AI 之前，这一声喊出来，大多数人做不到，因为养不起多个典范；在 AI 之后，成本降到了一个人养得起，这一声呼喊就从一个愿望变成了一个人人可以走的过程。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

书法界常有「入帖」「出帖」的说法：先临一家，再广收博取，最后形成自家面目。这是书法界流传很广的经验之谈。它与本章的结构一致：单帖只能入帖，多帖碰撞才能出帖。本章借它说明理念的我的发生，但不对任何书法理论作判断。

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 46 章讲过「做数学的人就在数学里」：自我界的数学，写的人不能站在外面。这里是同一个意思在科学发生结构里的样子：理念的我不在圈外看圈，它本身就是圈转出来的。

再说邻居。

心理学和哲学里有大量关于「自我」的讨论，叙事自我、自我同一性等等。本章不讨论这些理论，也不对任何人的心理状态作判断。本章讲的理念的我，只限于一件事：在一个人的思想与产出中，有一个三组合稳定显露出来，能被认出来。这是一个可以在产出上核对的东西，不是对内心的断言。

然后是边界。

第一，理念的我不是自我中心。它的价值恰恰在于能和别的「我」碰撞；一个拒绝碰撞的「我」，只是关在自己帖里的另一种入帖。

第二，理念的我不排斥共同体典范。没有颜真卿，就没有小满的字。

第三，粗层级证伪。如果多典范的工具普及以后，人们的产出反而更难认出「这是谁的」——人人调用同样的模型、生成同样风格的东西，个人面目越来越模糊——那么「科学发生的结构让理念的我得以发生」就错了。那时，AI 带来的不是理念之我的诞生，而是所有人一起入了同一本帖。

> **带走的话**
>
> 只临一本帖，写得再好也是在写别人的字；多帖在缝上碰出来的那一笔，才是我的字。理念的我不是被发现的，是在科学发生的圈里发生的。

小账　本章补的缝——库恩结构里个人只能做共同体典范的执行者；本章说明理念的我（《我的三个宝贝》第三个宝贝、K7 所说的第三声呼喊）以多典范与整个圈为前提，是发生而非发现。

在圈上的位置——圈外：落点（圈在个人身上的涌现与沉淀）。

第 61 章

对效知识：我的知识从哪里来

> 这一章的问题：AI 把「我们的知识」打到了地板价，那么真正值钱的「我的知识」——专解我的难题的对效知识——是从哪里来的?

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

许远家住河西一栋九十年代的老楼，四楼，朝北。每年春天回南天，家里就返潮：墙面冒水珠，地板发黏，衣柜里的衣服一股霉味，小满的书本页边起皱。

头几年，许远用的都是「大家都知道」的办法。网上一搜，办法有一大堆：关窗、开空调除湿、买除湿机、放生石灰、拖地用干拖把。他问 AI，AI 也给了一份条理清楚的清单，比网上的更全。他一样一样照做，效果有，但总是差一口气：除湿机开着的时候好一点，一关就回来；北边那面墙怎么也干不了。

第三年，他换了个办法。他没有再去找更全的清单，而是开始琢磨自己家的事。

他先把三种说法摆在一起。一种是 AI 给的通用办法，核心是「关窗、除湿、隔绝外面的湿空气」。一种是他母亲从湘中山里带来的老办法：回南天不是一直关窗，而是看天：南风一起就关死，北风一转就大开，让干风穿堂。还有一种是楼里一位做过多年装修的邻居说的：老楼的北墙是实心砖墙，外墙没有保温，墙体本身冷，回南天一来，热湿空气碰上冷墙，水就凝在墙上；光除湿不行，要让墙面不那么冷。

三种说法放在一起，是打架的。AI 说关窗，母亲说看风开窗；AI 说除湿，邻居说问题在墙冷。许远在打架的地方琢磨了一个春天。他把家里的温湿度计挪了几个位置，记下北墙、客厅、卧室在不同天气下的读数。

最后他搞出了一套只适合他家的办法：南风天关窗，除湿机放在北墙边而不是客厅中间；北风一转，就开北窗和南窗对流，同时关掉除湿机；北墙边的衣柜往外挪了十公分，背后留出空气流动的缝；最湿的那几天，用一个小暖风机对着北墙吹一阵，让墙面温度上来一点。

那年春天，北墙第一次没有冒水珠。

他把这套办法讲给同楼的邻居听，邻居照着做，效果却一般。原来邻居家朝南，没有那面冷北墙。许远这才明白：他琢磨出来的东西，不是「对付回南天的办法」，而是「对付我家回南天的办法」。

◆ 二、这件事里藏着什么

「我们的知识」打到地板价

许远头几年用的那些办法，就是「我们的知识」：一个行当里大家都知道、可以写进手册、可以被任何人检索到的知识。《我经济》（第 224 号）讲过一个判断：AI 让行业共同知识，即「我们的知识」，变得极其便宜，便宜到地板价。

道理不难懂。「我们的知识」的特点，是它对所有人都一样。正因为对所有人都一样，它可以被写成文字，被大模型学进去，被任何人在几秒钟内调出来。许远问 AI，得到的清单比他自己查一下午还全。这种知识，在 AI 之前是值钱的：要请教行家、要翻书、要攒经验；在 AI 之后，它的边际成本趋近于零。

这和第 33 章讲的「解题的价格崩盘」是同一件事，只是换了一个层面：在科学里，崩盘的是典范内部的解谜；在生活和经济里，崩盘的是共同知识的获取。《我经济》由此得出一个很直接的推论：聪明人应当赶紧离开「我们的知识」快速生产这个赛道。

我的知识：对效知识

那么值钱的是什么？《我经济》的回答是：用从前很难产生的「对效」知识，去解决有价值的难题。

「对效」两个字，意思是对准一个具体的难题、在它身上见效。许远的那套办法，就是对效知识。它有三个特点。

第一，它对准的是我的难题。不是「回南天」这个一般问题，而是「我家这栋老楼、四楼、朝北、实心砖墙」的回南天。邻居家朝南，用它就不灵。

第二，它在别处找不到。网上没有，AI 的清单里没有，母亲的老办法和邻居的说法里也都只有一部分。它是许远第三年才琢磨出来的，以前不存在。

第三，它见效。北墙第一次没有冒水珠。

对效知识和「我们的知识」不是谁比谁更高级，而是两种不同的东西。「我们的知识」对所有人都成立，但对任何一个具体的人都差一口气；对效知识只对我成立，但在我身上见效。

对效知识从哪里来

这是本章要回答的问题，也是这一编给《我经济》补上的地基：对效知识是怎样发生出来的?

看许远怎么做的。他没有去找一份更全的清单。更全的清单只是更多的「我们的知识」，再全也是通用的。他做的是：把三个不同的典范摆在一起，让它们在他家这个难题上碰撞。

AI 的通用方案是一个典范：它的 E 把室内湿度和外部空气连在一起，D 是「先隔绝、再除湿」，Function 是把湿度降下来。母亲的老办法是另一个典范：它的 E 把湿气和风向连在一起，D 是「先看天、再决定开关」，Function 是让干风带走湿气。邻居的装修经验是第三个典范：它的 E 把凝水和墙体温度连在一起，D 是「先找冷面、再处理」，Function 是让墙面不再低于露点。

三个典范在许远家撞上了，混沌碰撞；他在打架的地方停留，挪温湿度计、记读数，这是在缝上的自组织；最后那套办法出来，是涌现，用任何一个母典范的语言都说不全，可它真实地在他家见效了；他把它固定下来，每年照做，这就是沉淀。

所以，对效知识的来源，一句话：我的知识，是在我的典范里，经多个典范碰撞涌现出来、专解我的难题的对效知识。

这句话里有三个要素，缺一不可。

在我的典范里：碰撞围着我的难题转，选哪几个典范来碰、在哪里停留，由我的处境决定（第 59 章）。

经多个典范碰撞：只有一个典范，只能得到更多的「我们的知识」；对效知识要从典范之间的缝里长出来。

涌现：对效知识不是把三个典范的建议拼在一起。许远如果只是把三份清单合并，照单全做，关窗又开窗，除湿又通风，只会自相矛盾。对效知识是在缝上长出来的新东西，比如「北风一转就关掉除湿机、开窗对流」，这是三个典范里都没有的一条。

对效知识的两大行当

《我经济》由对效知识推出两个行当：一是为难题预备对效知识的生产；二是用这些知识去解决难题。用许远的例子来看，这两个行当分得很清楚。

第一个行当，是预备。许远那一个春天挪温湿度计、记读数、在三种说法打架的地方琢磨，就是在为「老楼北墙回南天」这个难题预备对效知识。这一段花的时间最多，也最难，它需要多个典范、需要在缝上停留。

第二个行当，是应用。办法琢磨出来以后，每年春天照做，北墙不再冒水珠。这一段轻松得多，几乎是常规运转。

两个行当的关系，就是科学发生的圈里环节②③与环节①的关系：预备对效知识是碰撞与涌现，应用对效知识是在新典范里做常规。所以，《我经济》说的两大行当，本身就是圈的两半。

还有一点要补充。许远给邻居讲他的办法，邻居家朝南，效果一般。这说明对效知识不能直接搬。可是，如果邻居拿许远的办法当作一个典范，和自己家的情形再碰一次，很可能比从头琢磨省力得多。这就是对效知识能在相近的人之间流动的方式：不是复制，而是作为碰撞的一方。下一章讲的「类我」，就从这里来。

对效知识不能被一次性打到地板价

有人会问：对效知识一旦被说出来、写下来，不也就成了「我们的知识」，被 AI 学进去吗?

一部分会。许远把办法写成一篇帖子贴到网上，AI 将来学进去，下一个问回南天的人，清单里也许会多一条「北风转向时关掉除湿机开窗对流」。这一条从此进入了「我们的知识」，价格也会落到地板。

可是对效知识里最值钱的部分，是写不进清单的：为什么是这面墙、为什么要挪十公分、什么时候该开暖风机，这些都和他家的楼、他家的墙、他家的风向纠缠在一起。脱离了这个难题，这些话只是一条条孤立的建议。真正的对效知识，是那个产生它的碰撞过程，是许远自己的典范。过程和典范在他手里，清单只是它们留下的一个影子。这也是为什么《我经济》说，产业不是生产知识，而是生产「我」。

为什么对效知识以前很难产生

《我经济》强调，有价值的是「从前很难产生」的对效知识。为什么从前难?

因为从前，把几个典范请到一个人的难题面前，太贵了。许远要是在二十年前做这件事，他得自己去图书馆查建筑物理，得托人找一位懂墙体的工程师，得回老家问清楚母亲那套看风的办法到底是怎么讲究的。大多数人没有这个时间和门路，只能停在「我们的知识」上，差一口气就差一口气。

今天，至少有一部分典范可以以典范模型的形式随时调用；多个典范在一个人的难题上碰撞，成本降了下来。这就是成本论（第五编）在个人身上的结果：对效知识的生产，第一次成了普通人做得起的事。

回到科学

许远的回南天是一个生活例子，科学里的道理一样。一个研究者面对自己课题里的难题，教科书和 AI 给出的都是「我们的知识」，对所有课题都成立，对这个课题差一口

气。真正推进这个课题的，是在这个难题上让几个典范模型碰撞出来的对效知识。本章的说法和第七、八编讲的模型对话、在缝上涌现，是同一个圈，只是放大到了每一个人的难题上。

◆ 三、证据与边界

先说邻居。

戴维森（Adam Davidson）在 2020 年的《激情经济》里主张，经济正从规模经济转向「激情经济」：一些小生意的价值不在规模，而在经营者独特的专门知识和热情，为一小群特别在乎的顾客提供别人提供不了的东西；他把这类生意的规矩归为亲密、洞见、专注、自动化与激情几条。这和对效知识很接近：价值来自专门的、非通用的知识。

派恩与吉尔摩 1998 年在《哈佛商业评论》上提出体验经济，1999 年写成《体验经济》一书，说经济价值从商品、产品、服务走向体验，再往前是「转化」：做转化生意的，收的是顾客从中得到的改变，价值发生在顾客身上。这和对效知识也有相通之处：价值落在一个具体的人身上，而不是一个通用的产品上。

本书与他们的分界，在于一个问题：这种专门知识、这种落在个人身上的价值，是从哪里来的？《激情经济》讲专门知识的价值，没有讲专门知识怎样生出来；转化经济讲价值发生在顾客内部，没有讲那个转化所需要的知识怎样被发生出来。本书的回答是：它来自科学发生的圈在个人难题上的运转——多个典范碰撞、在缝上涌现、沉淀为我的知识。

再说边界。

第一，对效知识不是偏方。许远的办法要在他家见效，北墙不再冒水珠，这是可以核对的。说不出见效与否的「我的知识」，只是我的意见。

第二，本章不涉及任何医疗、健康方面的建议。回南天只是一个居家的例子。

第三，对效知识不排斥「我们的知识」。许远离不开 AI 给的那份通用清单，它是碰撞的三方之一。

第四，粗层级证伪。如果在 AI 普及之后，人们解决自己具体难题时，最见效的办法仍然主要是直接套用通用知识，而经由多个典范碰撞得出的个人化办法并不比通用办法更见效，那么「对效知识来自多典范碰撞，并且是 AI 时代真正值钱的知识」就错了。

> 带走的话
>
> AI 把「我们的知识」打到了地板价；我的知识是多个典范在我的难题上碰撞出来的、只在我身上见效的对效知识。它不在任何清单里，是在缝上长出来的。

小账　本章补的缝——《我经济》说对效知识值钱，《激情经济》与转化经济说价值在专门知识与个人内部，都没有说这种知识怎样发生；本章以科学发生的圈在个人难题上的运转作答。

在圈上的位置——圈外：落点（环节②③④在个人难题上的运转）。

第 62 章

类我与三合一：我经济的共同体形态

> 这一章的问题：我的知识只对我见效，那么靠它我怎么活下去——我经济需要什么样的共同体，才能既守住我的知识，又能服务别人？

◆ 一、先从一件小事说起

这是我构想的场景。

第 56 章讲过，南门老街的三家厨房给幼儿园做午餐，庞秀芳琢磨出了一套不放辣椒、天天能换样的川味家常菜。这套手艺后来成了她的心头宝。回到庞记，她试了几道，有的成了店里的新菜。

可是麻烦也来了。不放辣的川味，在庞记的老客人里不太吃得开：来川菜馆的人，多半就是冲着辣来的。她这套手艺，在自己店里用处不大。

有一天，一位带着两个孩子的妈妈来吃饭，孩子吃不了辣，庞秀芳给做了两道不辣的川味。那位妈妈吃完问：「这个怎么做的？我家孩子挑食，我想学。」庞秀芳犹豫了：这是她的手艺，全讲出去，她心里舍不得；可不讲，这手艺就只能在她自己的锅里。

后来，小满在街上碰到庞秀芳，听她说起这件事，出了个主意：「庞阿姨，您可以弄三样东西。」

第一样，一个小程序，一问一答。家长说孩子几岁、爱吃什么、不吃什么，小程序按庞秀芳的路子给出建议，告诉家长这一道该怎么调、用什么味型代替辣。小程序是照着庞秀芳的手艺训练的，但不把她的全部诀窍一条条摊开。

第二样，一个网页，放几道公开的家常菜做法，讲清楚「不辣的川味」是什么意思，让人知道有这么个东西、知道去哪里找。

第三样，一个群，只拉那些真的需要的人进来：家里有不能吃辣的孩子的家长、给幼儿园和小学做饭的厨师、几位对川菜改良有兴趣的年轻厨子。人不多，几十个，可每个人都和庞秀芳的难题沾边。

庞秀芳试了。几个月后，群里的人开始互相交流：一位幼儿园厨师把庞秀芳的路子和他们园里的营养搭配要求碰在一起，改出了一套新的周菜单；一位家长的孩子还对花生过敏，她和庞秀芳在群里一起琢磨，换掉了几样配料；一位年轻厨子把不辣的川味和他学的西式烘焙碰了碰，做出一种川味小点心。这些新东西又回到庞秀芳这里，她的手艺比原来更丰富了。

小程序有人用、群里有人买她的调料包，网页带来了新的人。庞秀芳那套原本在自己店里「用处不大」的手艺，养活了一摊小生意。

◆ 二、这件事里藏着什么

我经济的悖论

第 61 章说，我的知识是专解我的难题的对效知识。可是庞秀芳马上撞上了一个难题：我的知识只对我有用，我怎么靠它活下去?

《我经济》（第 224 号）把这个难题叫作「我经济的悖论」：只服务我，我活不下去。一个人用大模型和自己的互动，生产出了只属于自己的知识，这很好；可是这种知识只服务我，不能服务他人，那我靠什么生存？《我经济》说，「大模型加用户互动」生产我的知识的梦，会在这里碎掉。

悖论的另一面同样尖锐：如果为了活下去，把我的知识全部公开，它立刻就变成了「我们的知识」，被 AI 学进去，打到地板价。庞秀芳犹豫的正是这个：全讲出去，她的手艺就不值钱了；不讲，这手艺只能在她自己的锅里。

类我：我经济的土壤

《我经济》给出的第一步解法是：我经济必须有「我们的经济」作土壤，而这个「我们」不是一般人，是「类我」。

类我，是和我类似的人的集合。庞秀芳那个群里的人，不是随便的食客，而是和她的难题沾边的人：家里有不能吃辣的孩子、给孩子做饭、对川菜改良有兴趣。他们的难题和她的难题相近，所以她的对效知识，在他们身上也能部分见效，稍加碰撞就能改成他们的对效知识。

这里要用本书的话把类我说得更准确一点。类我，就是和我的典范相近的一群人。第 38 章讲碰撞的准入三条件：亲缘够近、差异够大、接口对齐。类我恰好满足这三条：他们和我亲缘够近（都在对付「孩子不能吃辣」这一类难题），彼此又有差异（一个要配营养、一个要避过敏、一个会烘焙），接口是对齐的（都在乎「不辣而有味」）。

所以，类我社区就是一个多典范共同体。它承接第 49 章讲的「新的科学共同体」：一个典范模型加上守它的一群人。只是在这里，被守的不是一门学科的典范，而是一群相近的「我的典范」。

类我为什么能化解悖论

类我能化解悖论，有两个原因。

第一，我的知识对类我有效，所以能换来生存。庞秀芳的手艺对随便一个食客用处不大，对群里那位妈妈却很有用。服务类我，是我的知识第一次能走出我自己。

第二，类我之间会碰撞，所以我的知识会长大，不会被耗尽。群里那位幼儿园厨师、那位孩子过敏的家长、那位会烘焙的年轻厨子，各自把庞秀芳的路子和自己的典范碰了碰，长出了新的东西，又回到她这里。这是科学发生的圈在类我社区里转。我的知识不是一份被卖掉就少一份的存货，而是在类我的碰撞里不断涌现的发生场。

三合一：智能体、网站、社区

《我经济》进一步给出了具体形态：既要保护我的知识、不全部公开，又要服务类我，唯一的解法是三样东西合在一起——智能体、网站、社区。《我经济》说：这个就是我们的 SDE 平台。

小满给庞秀芳出的主意，正是这三样。

智能体，负责服务。小程序按庞秀芳的典范回答每一位家长的具体问题，把她的对效知识，现场改成那位家长的对效知识。用本书的话说，智能体是「我的典范」的典范模型：以我的三组合为约束，去碰每一个来问的人的难题。它服务人，却不必把我的全部诀窍一条条交出去。

网站，负责公开的一面。几道公开的做法、对「不辣的川味」的说明，让人知道有这样一个典范、知道它大概长什么样。这是我的知识里可以变成「我们的知识」的那一部分，放出去，不怕被打到地板价，因为它的作用是让类我找到我。

社区，负责类我。几十个人的群，是我的知识发生碰撞、不断长大的地方。

三样东西少一样都不行。只有智能体，没有网站，没人知道它；没有社区，它只是一个一问一答的工具，不会长大。只有网站，我的知识要么全部公开、被打到地板价，要么空空洞洞。只有社区，没有智能体，每个人的问题都要我亲自回答，我忙不过来。三合一，正好对应科学发生的圈：智能体做「我的典范」的常规运转（环节①），社区里类我之间的交流是模型对话与碰撞（环节②③），碰出来的新东西回到智能体和网站，沉淀下来（环节④）。

三合一里谁守边界

三合一还有一个要害：边界怎样守。哪些放到网站上公开，哪些只在社区里交流，哪些留在智能体背后？

用本书第四编的定义来答，界线很清楚。公开的，是我的典范显露出来的一部分 S：几道具体的菜、几个具体的答案。半公开的，是我和类我碰撞时的分歧与缝：哪里对不上、为什么对不上。私密的，是我的三组合本身：Function、D、E。前两样即使被学走，也只是影子；第三样才是庞秀芳的手艺本身。智能体以这个三组合为约束去服务人，服务出去的是一道道 S，三组合留在里面。这样，既服务了类我，又没有把我的典范交出去。

这也回答了第 58 章担心的泛滥问题：如果每个人都把自己的三组合摊开来，人人照抄，很快就会退回同一个典范；三合一让三组合留在智能体背后，多元才守得住。

可错预言：比例颠倒

《我经济》立过一条预言：我经济与「我们的经济」在国内生产总值中的比例，将会颠倒。

这里要说清楚它的意思。「我们的经济」，指以「我们的知识」为主要价值来源的经济活动：生产和提供对所有人都一样的产品、服务、知识。「我经济」，指以「我的知识」为主要价值来源的经济活动：在类我社区里，经由智能体、网站、社区三合一，生产和交换只对特定的人见效的对效知识，以及用这些知识解决具体难题。

今天，前者是主体，后者是零头。预言说：这个比例将会倒过来。

预言为什么成立？本书给出的理由，来自科学发生的结构：其一，成本论——典范模型让养一个典范便宜到一个人养得起，我的典范、我的知识的生产第一次普及；其二，地板价——「我们的知识」被 AI 压到地板价，它在经济中能占的价值份额随之缩小；其三，三合一——我经济的悖论有了解法，我的知识能服务类我、能在类我碰撞中长大，于是它不只是个人的爱好，而能成为养活人的经济活动。

用庞秀芳的小生意来看，预言说的是这样一幅图景：今天，南门老街上的绝大部分收入，来自「谁家都能做的菜」；将来，越来越大的一部分收入，来自像她那样的「只有我做得出、只对一群相近的人见效」的手艺，以及围着这些手艺转的智能体、网站和社区。

这条预言是可错的，必须写出它怎样被检验、怎样算错。

检验指标：〔待王德生定〕。可以考虑的方向，比如在国民经济核算里，怎样把「以个人化对效知识为主要价值来源」的活动单独识别出来；或者用类我社区、个人智能体相关交易的规模作替代指标。这些都只是候选方向，究竟用哪一个，待王德生定。

粗层级证伪：如果在 AI 普及之后的一二十年里，以通用产品、通用服务、通用知识为主要价值来源的经济活动，在总量中的份额不降反升，而以个人化对效知识为主要价值来源的活动始终只是零头，那么这条预言就错了，本章「科学多元化是我经济的地基」的说法也要相应修正。

◆ 三、证据与边界

先说旁证。

小众社群经济里，有不少「为一小群人提供高度专门化的东西」的案例，第 61 章提到的《激情经济》讨论的就是这一类，书里写到一位为阿米什农户专做合用器械的工匠，一位把自己行当做出新样子的会计师。这些案例说明，服务一小群类我、靠专门知识活下去，在今天已经有了雏形。本书的补充是：它们大多还靠一个人的手艺硬撑，缺的是智能体这一环；有了以我的典范为约束的智能体，一个人才服务得了一群人。

我在《人与 AI 一起发生新数学》第 49 章讲过谱系与开放分级：预言公开，失效地图半公开，发生轨迹私密。三合一与此同构：网站是公开的一面，社区是半公开的类我，智能体背后的「我的典范」本身保持私密。

再说边界。

第一，本章不对任何经济政策表态，不建议任何部门采用或改变任何统计口径。比例颠倒是一条关于科学发生结构的可错预言，不是政策主张。

第二，三合一是《我经济》提出的形态，本章只说明它为什么与科学发生的圈相合；它在实际运营中会遇到的问题，不在本书讨论范围内。

第三，类我不是小圈子。类我社区要对差异够大的人开放，否则就成了第 58 章讲的碎片化：一群一模一样的人关起门来，什么也碰不出来。

第四，粗层级证伪。除了上面比例颠倒那一条，还有一条：如果类我社区普遍出现以后，社区里的人只是向一个中心的「我」索取，彼此之间不碰撞、不长出新东西，我的知识随着被服务而越来越陈旧，那么「类我社区就是多典范共同体」就错了，它只是一个换了名字的客户群。

带走的话

我的知识只服务我，我活不下去；全部公开，它就成了地板价。解法是类我，形态是三合一——智能体服务、网站公开、社区碰撞，这就是 SDE 平台。我经济的地基，是科学发生的圈在一群相近的「我」之间转起来。

小账　本章补的缝——《我经济》提出类我与三合一，本章以典范准入三条件说明类我即多典范共同体，以科学发生的圈说明三合一为何缺一不可，并把「比例颠倒」写成可错预言（检验指标〔待王德生定〕）。在圈上的位置——圈外：落点（整圈在类我共同体里运转）。

结 语

从一条线到一个圈

◆ 又是那个早晨

还是我构想的那个早晨。

早上六点四十，许远从长沙河西的家里出门。下楼，穿过小区，沿着人行道走到地铁站口，十分钟。进站，刷卡，下到站台，车来了，坐车过江。在换乘站，他沿着通道走几百米，换到另一条线。出站，上台阶，过一个路口，进调度中心那栋楼。

导论开头写的就是这一趟路。那时我只请读者留意一件事：腿走了两头，车跑了中间，没有人觉得腿被推翻了。

走完这本书，同一趟路可以看出更多的东西。

他走到站口的那十分钟，是腿这个最老的交通典范，照常在做它的常规运行。他坐车过江的那二十分钟，是车这个后来的典范，也照常在做它的常规运行。两个典范各守各的一段，谁也没有替谁，这是第六编讲的环节一：每个典范模型各自把常规科学做满。

他在换乘站走过的那几百米通道，是两条线相遇的地方。第 42 章写过一个我构想的换乘站：新线开通的头一个月，两套调度规矩在这里对不上，站台挤，电话里吵。这是第七编讲的环节二：碰撞要有一个场所，两个典范要在一个地方相遇，而且要有人追问对不上的那一处到底在哪里。

那个换乘站后来长出了一个接驳窗口，既不是老线的规矩，也不是新线的规矩，两边的规程却都因此改了一笔。这是第八编讲的环节三：在缝上自组织、涌现，碰撞的标志是双方都被改写。

再往后，窗口写进了规程，成了两条线以后天天照着跑的东西；新线跑熟了，又和第三条、第四条线接上，又有了新的换乘站。这是第九编讲的环节四：沉淀为新的典范，回到常规运行，网一边跑一边长。

许远每天走的，就是这样一个圈上的一小段。他不需要知道这些名目，可这一趟路里，四个环节都在，而且同时在。他走在人行道上的同一时刻，车在跑，换乘站的人在流动，城市另一头的新线在联调。没有哪一样要等另一样停下来。

◆ 一条线，一个圈

这本书的全部意思，可以用一句话说出来：

> 库恩写的是《科学革命的结构》，一条走到替代就断的线；AI 时代的科学是一个圈：典范模型做满常规科学，在 SDE 智能体里碰撞，在缝上涌现，沉淀为新的典范模型，再回到常规科学。

这句话前半句说库恩，后半句说本书，中间隔着六十多年和一样新工具。

前半句要先说公道。库恩在 1962 年看到的东西是真的：科学不是一点一点往上堆的，它有结构，有断裂；一个时代的科学家共享一套看世界的方式，在这套方式里解题；解不动的题积多了，就会出危机，危机的出路常常是一套新的看法取代旧的。第一编用了六章去承认这些。不承认，就谈不上超越。

可库恩的结构是一条线：常规科学，反常，危机，革命，然后从头再来。每走到革命一次，线就断一次，重起一条。第二编找出了这条线会断的四个默认：只有替代一种革命；成熟科学只有一个典范；典范从哪里来不必解释；进步朝向哪里不必说。

后半句是本书的回答。它也有四个环节，但不再是一条线，而是一个圈。四个默认，在圈上各有填补：替代改成了包含，旧典范成为新典范的极限特例；单典范改成了多典范并养，因为养一个典范的成本降到了养一个模型；典范从哪里来，回答是在缝上碰撞、自组织、涌现出来；进步朝向哪里，回答是创造、自由、幸福的升级。

线和圈的差别，不只在形状。线上的每一段都在等前一段结束：常规科学要等到危机才停，革命要等到危机才来。圈上的四个环节同时转：典范模型在做常规科学的同时，它跑出来的失败已经被送进模型对话；碰撞还在进行，上一轮涌现的东西已经在沉淀；沉淀出来的新典范模型一上线，又开始做它自己的常规科学，又打开新的碰撞位置。常规科学与碰撞不再是先后两个时期，而是互相喂养的两个环节。

◆ 合起来的结构体

写到这里，我要把本书最要紧的一个判断再说一遍，因为它最容易被拆散。

圈上的每一环，单独拿出来看，都有邻居。说 AI 时代应当有许多模型而不是一个，Hodel 与 West 已经在讲多个模型能防止知识坍缩，只是他们按数据切分；说两个不相通的传统可以在交界处协作，Galison 讲过交易区；说两个空间整合能涌现出新结构，福柯尼耶与特纳讲过概念整合；说科学应当多元，张夏硕和《Scientific Pluralism》那本文集都论证过；说新专业会分出去和旧专业并存，库恩自己晚年也讲过。第六到第九编每一编，都专门留了地方和这些邻居划界。

可是没有一位邻居有这个圈。他们各自守住圈上的一段，有的守典范的定义，有的守多模型，有的守碰撞，有的守涌现，有的守多元的「应当」。

我口述过一句话：科学多元化这个新概念里面，有 AI 的单一典范科学论，和 SDE 智能体的碰撞，这些「合起来的结构体」是典范创新，这是人才能做的。

这句话有三层意思。

第一层，「合起来」。单一典范科学论，一个典范一个模型，在本典范之内把常规科学做满，这是环节一；SDE 智能体里的碰撞，这是环节二、三；沉淀为新的典范模型，这是环节四。每一样单拿出来，都不算新得惊人。新的是把它们接成一个会自己转、自己长的结构。

第二层，「结构体」。合起来的不是一张清单，而是一个有结构的东西。拿本书自己的定义来读它：它有自己的 E，把典范模型、模型对话、缝、沉淀连在一起；有自己的 D，四个环节的次序和回路；有自己的 Function，把这些合成一个会生长的循环。它本

身就是一个三组合。所以我说它是典范创新：它不是在库恩的典范里多解了一道题，也不是给库恩的结构打了一个补丁，而是一个新的看科学的三组合。

第三层，「人才能做」。这个结构体里，典范模型负责把常规科学做快做满，SDE 智能体负责让碰撞有场所、有坐标。可是把这几样东西看成一个圈，看出它们该怎样接、接在哪里，这一步不是任何一个模型在自己的三组合里能跑出来的。第八编反复说，读出缝的形状、换掉问题，目前主要是人的活；把几段各有邻居的东西合成一个新结构体，是这件活最大的一次。

我不把这当作对人的赞美，而当作一句可以被检验的话。如果将来有一天，模型自己在它们的对话里，合出了一个像这样的、把几种做法接成新循环的结构体，并且这个结构体过了第 47 章的门槛，那么「人才能做」这半句就要收窄。本书在附录一里留着这个位置。

◆ 超越，是把它降为特例

最后说说书名里的「超越」。

超越库恩，不是证明库恩错了。他看到的那条线，在他看到的那个年代里，大体是真的。

本书的意思是：那条线是圈的一个特例。

第五编讲过，单典范是多典范在高建造成本下的特例。一个共同体只养得起一个典范的时候，两个典范同时存在的时间就很短；它们一旦相遇，常常就是你死我活；碰撞的机会少、场所缺、坐标没有，偶然的碰撞多半以替代收场。在这个条件下，圈被压扁了：环节二和环节三缩成了一次危机加一次革命，环节四缩成了「新的赢、旧的退场」，四个环节同时转，退化成一段一段先后发生。这就是库恩看到的那条线。

把成本这个条件放开，圈就展开了。养一个典范的成本降到养一个模型，独养变成并养，几个典范可以同时活着；SDE 智能体给碰撞一个场所和一套坐标；缝上长出来的东西可以沉淀成新的典范模型，旧的不必退场。库恩的结构没有被扔掉，它被装了进来，成为这个圈在成本很高、碰撞很少时的那个极限情形。

这正是本书反复用到的那个形式：包含而非替代。局域的数学是非局域数学视野缩到零的极限，腿是交通网在只有一种走法时的样子，库恩的线是科学发生的圈在高成本下的样子。超越一个人，最体面的方式，是让他的结构在你的结构里找到一个位置，并且说清楚它在什么条件下成立。

库恩晚年其实已经走到了圈的门口。他在《结构之后的路》收录的文章里，把革命比作物种分化：新专业分出去，和旧专业并存，不必一个吃掉另一个。这一步离「包含而非替代」只差一点。他没有迈过去的，是分家以后的事：在他那里，分出去的专业各说各的词汇，从此互不相通；在本书这里，分出去的典范还要再相遇、再碰撞、再沉淀，圈不断。差的这一点，说到底还是成本：两个专业各自都养得起，已经很奢侈了，再让它们经常碰头，在库恩的年代几乎不可想象。今天，让两个典范模型在一场模型对话里碰一次，成本低到一个博士后一天里就能安排好几次。库恩停下的地方，正是成本拦住他的地方。

这里有一个追问，我得自己先提出来：既然库恩的线可以被降为圈的特例，那么本书的圈，会不会有一天也被降为某个更大结构的特例？我的回答是：会，而且应当会。本书若说得对，它自己也只是一个三组合，有它的 E、D、Function，有它管得着的难题，也有它的失效地图。哪一天，有人拿另一个三组合来和它碰，在它算不出、算不对或答非所问的地方长出新东西，并且让圈在某个条件下退化为那个新结构的一个极限，那正是圈在转，不是圈被推翻。我只要求一件事：那个新结构要说清楚，圈在什么条件下仍然成立；就像本书说清楚了，库恩的线在什么条件下仍然成立。一个讲包含的理论，若不许自己被包含，就自相矛盾了。

所以本书和库恩的关系，不是一场论战，而更像第 42 章那个换乘站：老线还在跑，新线接了上来，两边的规程各改了一笔，中间长出一个窗口。库恩的那本书，仍然是理解科学的人绕不过去的一站。

◆ 一个已经走过一圈的学科

导论里我说过，这个圈不是空想，有一个学科已经走过一圈。第十编用了五章去走它，这里只把那一圈再摆一次，因为它是全书最硬的证据。

我做了二十年网格。把一块材料、一片区域切成小单元，每个单元里只用简单的规则，再把单元拼回去算整体，这是我那一行的日常。第 22 章和第 50 章把这种做法读成一个三组合：E 是外部给定、可以分开的关系；D 是先把世界看成点、再切成单元；Function 是局域加总。它统摄了几乎所有数学分支，是一个超级典范。AI 进来以后，在这个典范里做常规科学最快，解题的价格崩盘，这正是环节一被做满的信号。

做满了，空白就显出来。裂纹是最清楚的一处：局域的数学在裂口处失明，导数不存在，方程算不下去，这是第 41 章说的「算不出」。于是另一种连法被碰了进来：每一点和视野之内一整片邻居直接相连，方程里只有积分，没有导数。这是换了一个 E。在缝上长出来的东西，是断键、是赤字的传递，裂纹从输入变成了输出。再往后，近场动力学一类的做法过了门槛，沉淀成一个新的典范；而局域的数学并没有被推翻，它被装进了新典范里，成为视野缩到零时的极限。两者并行运转了二十多年。

我在《人与 AI 一起发生新数学》里写这些时，全书没有提库恩一个字。回头再看，那本书在数学里把科学发生的圈完整地走了一次：做满、碰撞、涌现、沉淀，旧的成为新的特例，新的回到常规运转。一个学科能走，别的学科也就有了可以对照的样子。第十编还写了几个正停在圈上不同位置的候选：听的数学、波与场的数学、气的数学。它们哪一个能沉淀下来，要看它们能不能算出一点旧典范算不出的东西。定义是便宜的，门槛是贵的。

◆ 本书怎样算错

每一编的末尾，都留了粗层级的相反局面：什么大局面出现，那一编的论点就错了。附录一把它们汇总在一起。这里只拣最承重的三条，再说一遍。

如果 AI 普及十年以后，各学科反而更集中于少数几套框架，成本论就错了。

如果按典范切分的模型群，在保持多样性和产生新理论上，胜不过按数据切分的模型群，「一个典范一个模型」就退回成「多模型即可」。

如果不经 SDE 操作系统、只把几个模型放在一起投票或辩论，涌现新典范的频率与质量并不更低，「SDE 是碰撞的操作系统」就错了。

三条里任何一条出现，这个圈就要拆开重画。我把它们写在这里，是因为一本讲科学发生的书，自己也应当在圈里：它是一个碰撞出来的东西，要回写，要被检验，要被下一轮碰撞改写。

◆ 这本书最弱的地方

除了会被现实打脸的那几条，我还想老实交代几处我自己知道的弱点。

第一，典范的定义还要经受实战。本书说典范是一个能被训练进模型、能从产出中被认出来的 (Function, D, E)。川菜馆的一千道菜一尝就知道是川菜，这个判据在厨房里好用；放到一门学科里，局外人能不能稳定地把一组产出归到各自的三组合，还没有人系统地做过。第 21 章写了它的证伪条件，那一条要是输了，全书的地基就要重打。

第二，碰撞场所还在早期。本书说碰撞发生在以 SDE 发生学为思维操作系统的智能体里的模型对话中，比如 ChatSDE 的三碰、群碰。可是今天的三碰、群碰，大多还是在不同的提示和视角之间碰，离「每一方都是一个按自己的三组合训练出来的典范模型」还有距离。圈的环节一和环节二之间，有一段路还要靠以后的工作补上。

第三，第八编的判据还很粗。三类缝配三种碰法、三拍、双方都被改写、三种伪涌现，都是为了让碰撞可以被检查而立的；它们靠的是不知情的评审能稳定地作出判断。如果评审怎么也分不清，这些判据就只是好听的说法。我在各章都写了这一条，这里再集中说一遍。

第四，方向的那一段最容易被说空。创造、自由、幸福三律各有三步，可以查；可是在一门具体的科学里，怎样查一次碰撞有没有朝向自由、朝向幸福，第十一编只给了起手的办法。这一段，我希望读者帮我一起挑毛病。

把弱点写出来，不是客气。一个圈要转得起来，靠的就是每一轮都有人指出哪里对不上。

◆ 圈里的一个研究者

说了这么多结构，我想再落到一个人身上。下面是我构想的场景。

苏知秋二十九岁，做计算材料方向的博士后，前面几编里她出现过好几次。设想几年以后，她的一天是这样过的。

早上，她手边有两个典范模型在跑。一个守的是她那一行最成熟的三组合，把材料看成原子和原子之间的相互作用，一步一步按时间往前推；另一个守的是一个后起的三组合，不追每个原子，而是把一片区域当作一个整体的场来看。两个模型各自在自己的典范里做常规科学，一晚上跑完了她过去要跑一个月的算例。这是环节一。

上午，她不急着看哪个模型算出了多少，先看两边在哪里停下来。第一个模型在一类缺陷附近总是算不对，偏差有形状，总在缺陷的同一侧偏大；第二个模型在同一类缺陷上给了一个漂亮的平均值，可她要的是这一处缺陷怎样长，不是一片区域平均怎样。一个算不对，一个答非所问。她把两份记录送进 SDE 智能体，让它定位：两边的分歧，出在 Function、D 还是 E。这是环节二。

下午，事情乱了一阵。两个模型在模型对话里各说各的，她自己也一度以为碰不出东西。傍晚的时候，她盯着那处有形状的偏差，问了一个两个模型都没有问过的问题：如果缺陷不是一个点上的事，也不是一整片的事，而是一段沿着某个方向展开的过程呢？她把这个问法回写给两个模型，让它们各自在新的约束下重跑。这是环节三的三拍：张力、改形、回写。

她不知道这一问最后能不能长成一个新的三组合。也许过几轮就散了，那就是一次白碰，记下来，算作失效地图上的一笔；也许它真的让两个模型都被改写了一笔，又在别的缺陷上稳定地出现，那它就走到了环节四的门口，要去过第 47 章的门槛。

这个场景要说的只有一件事：在这样的一天里，苏知秋没有在「守旧典范」和「投新典范」之间选边。她一边让常规科学照常跑，一边在缝上碰，一边准备沉淀。库恩那

条线上要隔几十年才轮到一次的事情，在圈上成了一个人一天的工作节奏。这不是说科学变容易了，而是说难的地方挪了位置：从「怎样把题解出来」，挪到了「在哪里停下来、问出什么」。

◆ 给读者的一句话

这本书写给的，不只是科学哲学的读者，也是每一个今天在用 AI 做事、学习、思考的人。

单典范的年代，一个人一生通常只买得起一张门票，进入一个典范，在里面做一辈子。那时候，「我」只能是一个共同体典范的执行者。今天门票便宜了，一个人几天就能进入一个陌生的典范，同一个难题可以同时请几套三组合各跑一遍。门票便宜了以后，要紧的不再是你进了哪一个，而是你会不会在它们之间走动，会不会在它们对不上的地方停下来，问出那个对照表上没有的问题。

许远每天早上的一趟路，腿和车接力，在换乘站换一次线，没有人教他，他自己就会。理念世界里的这趟路，大多数人还没有走过。

所以，我想留给读者的，是这样一句话：

在 AI 时代，学会在多个典范之间换乘，让每次碰撞都朝向创造、自由、幸福，并在其中长出理念的我。

学会换乘，是第六、七编：知道每个典范模型守的是哪一个三组合，知道在哪里换、怎样换。让每次碰撞都朝向创造、自由、幸福，是第八、十一编：碰撞要走完三拍，要双方都被改写，要过意义的判据，不做白碰。在其中长出理念的我，是第十二编：路网是共的，路线是我的；典范空间是大家的，我的典范是我在其中换乘、碰撞、沉淀出来的那一条。

一条线走到替代就断了。一个圈，每转一次，就多长出一点。

参 考 书 目

本书目只收正文（含附录）实际引用或转述到的著作、论文与文件。外文文献按作者—年份排列。卷期页码已用 Crossref、arXiv、出版方与图书馆页面核对。标〔待核〕的项还没有核实。

一、本系列著作（德麦国际，王德生著）

1. 王德生．人与 AI 一起发生新数学——不必害怕，也不必反抗［M］．新加坡：德麦国际出版社，2026.（德麦国际专著第 346 号，ISBN 979-8-90690-525-3）
2. 王德生．新文明的诞生：从物的生产到思想的生产［M］．新加坡：德麦国际出版社，2026.（德麦国际专著第 401 号，ISBN 979-8-90690-900-8）
3. 王德生．我经济：AI 时代未来的热门行业——生产“我”［M］．新加坡：德麦国际出版社，2026.（德麦国际专著第 224 号，ISBN 979-8-90690-541-3）
4. 王德生．我的三个宝贝［M］．新加坡：德麦国际出版社，2026.（德麦国际专著第 220 号，ISBN 979-8-90690-218-4）
5. 王德生．番茄炒蛋是谁发现的？［M］．新加坡：德麦国际出版社，2026.（ISBN 979-8-90690-095-1；站上书目编为第 125 号，任务书写作第 123 号，卷号〔待核〕）
6. 王德生．超越波普尔：从多次性科学到一次性发生［M］．写作中.

二、中文文献

1. 李国杰．智能化科研（AI4R）：第五科研范式［J］．中国科学院院刊，2024，39(1)：1–9.
2. 交通运输部．城市轨道交通初期运营前安全评估管理暂行办法（交运规〔2019〕1 号）［S］．2019.
3. 交通运输部．城市轨道交通运营安全评估管理办法（交运规〔2023〕3 号）［S］．2023-08-22.
4. 北京市交通委员会．2022 年北京中心城区慢行出行比例（49%）发布数据［EB］．〔待核：具体出处为哪一份年度报告〕
5. 葛洪（东晋）．肘后备急方［M］．（正文据第 346 号第 25 章转述，所用版本〔待核〕）

三、外文文献

库恩著作（按年份）

1. Kuhn, T. S. 1957. The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought. Cambridge, MA: Harvard University Press.
2. Kuhn, T. S. 1962. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago: University of Chicago Press (International Encyclopedia of Unified Science, Vol. 2, No. 2). 2nd ed., enlarged, 1970, with "Postscript—1969". 4th ed. (50th anniversary edition), 2012, with an introductory essay by Ian Hacking.
3. Kuhn, T. S. 1977a. The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change. Chicago: University of Chicago Press.
4. Kuhn, T. S. 1977b. Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice. In Kuhn 1977a, 320–339.
5. Kuhn, T. S. 1978. Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894–1912. Oxford: Clarendon Press.
6. Kuhn, T. S. 1983. Commensurability, Comparability, Communicability. In P. D. Asquith & T. Nickles (eds.), PSA 1982, Vol. 2. East Lansing: Philosophy of Science Association, 668–688.
7. Kuhn, T. S. 1987. What Are Scientific Revolutions? In L. Krüger, L. J. Daston & M. Heidelberger (eds.), The Probabilistic Revolution, Vol. 1. Cambridge, MA: MIT Press, 7–22.
8. Kuhn, T. S. 1991. The Road Since Structure. In A. Fine, M. Forbes & L. Wessels (eds.), PSA 1990, Vol. 2. East Lansing: Philosophy of Science Association, 1–13.
9. Kuhn, T. S. 2000. The Road Since Structure: Philosophical Essays, 1970–1993, with an Autobiographical Interview. J. Conant & J. Haugeland (eds.). Chicago: University of Chicago Press.
10. Kuhn, T. S. 2022. The Last Writings of Thomas S. Kuhn: Incommensurability in Science. B. Mladenović (ed.). Chicago: University of Chicago Press.

科学哲学、科学史与科学社会学

1. Chang, H. 2012. Is Water H2O? Evidence, Realism and Pluralism. Dordrecht: Springer (Boston Studies in the Philosophy and History of Science 293).
2. Collins, H., Evans, R. & Gorman, M. 2007. Trading Zones and Interactional Expertise. Studies in History and Philosophy of Science Part A 38(4): 657–666.
3. Crombie, A. C. 1994. Styles of Scientific Thinking in the European Tradition. 3 vols. London: Duckworth.
4. Crowe, M. J. 1975. Ten "Laws" Concerning Patterns of Change in the History of Mathematics. Historia Mathematica 2(2): 161–166. Reprinted in Gillies 1992, 15–20.

5. Denzin, N. K. 1970. The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods. Chicago: Aldine.
6. Feyerabend, P. K. 1962. Explanation, Reduction, and Empiricism. In H. Feigl & G. Maxwell (eds.), Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. 3. Minneapolis: University of Minnesota Press, 28–97.
7. Feyerabend, P. K. 1975. Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge. London: New Left Books.
8. Galison, P. 1997. Image and Logic: A Material Culture of Microphysics. Chicago: University of Chicago Press.
9. Gillies, D. (ed.). 1992. Revolutions in Mathematics. Oxford: Clarendon Press.
10. Hacking, I. 1992. “Style” for Historians and Philosophers. Studies in History and Philosophy of Science 23(1): 1–20.
11. Kellert, S. H., Longino, H. E. & Waters, C. K. (eds.). 2006. Scientific Pluralism. Minneapolis: University of Minnesota Press (Minnesota Studies in the Philosophy of Science 19).
12. Kitcher, P. 1990. The Division of Cognitive Labor. The Journal of Philosophy 87(1): 5–22.
13. Lakatos, I. 1970. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In Lakatos & Musgrave 1970, 91–196.
14. Lakatos, I. & Musgrave, A. (eds.). 1970. Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge: Cambridge University Press.
15. Laudan, L. 1977. Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth. Berkeley: University of California Press.
16. Masterman, M. 1970. The Nature of a Paradigm. In Lakatos & Musgrave 1970, 59–90.
17. Merton, R. K. 1942. A Note on Science and Democracy. Journal of Legal and Political Sociology 1: 115–126.（后以 “The Normative Structure of Science” 为题收入 The Sociology of Science, Chicago: University of Chicago Press, 1973）
18. Planck, M. 1949. Scientific Autobiography and Other Papers. F. Gaynor (trans.). New York: Philosophical Library.（德文原版 Wissenschaftliche Selbstbiographie, Leipzig: J. A. Barth, 1948）
19. Uzzi, B., Mukherjee, S., Stringer, M. & Jones, B. 2013. Atypical Combinations and Scientific Impact. Science 342(6157): 468–472.
20. Leahey, E., Beckman, C. M. & Stanko, T. L. 2017. Prominent but Less Productive: The Impact of Interdisciplinarity on Scientists’ Research. Administrative Science Quarterly 62(1): 105–139.

数学、力学与物理

1. Aharonov, Y. & Bohm, D. 1959. Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory. Physical Review 115(3): 485–491.

2. Bohr, N. 1913. On the Constitution of Atoms and Molecules. Philosophical Magazine (Series 6) 26(151): 1–25.
3. Bohr, N. 1920. Über die Serienspektra der Elemente. Zeitschrift für Physik 2(5): 423–469.
4. Du, Q., Gunzburger, M., Lehoucq, R. B. & Zhou, K. 2012. Analysis and Approximation of Nonlocal Diffusion Problems with Volume Constraints. SIAM Review 54(4): 667–696.
5. Du, Q., Gunzburger, M., Lehoucq, R. B. & Zhou, K. 2013. A Nonlocal Vector Calculus, Nonlocal Volume-Constrained Problems, and Nonlocal Balance Laws. Mathematical Models and Methods in Applied Sciences 23(3): 493–540.
6. Haken, H. 1977. Synergetics: An Introduction. Berlin: Springer.
7. Hilbert, D. 1899. Grundlagen der Geometrie. Leipzig: Teubner.
8. Kalthoff, J. F. & Winkler, S. 1988. Failure Mode Transition at High Rates of Shear Loading. In C. Y. Chiem, H.-D. Kunze & L. W. Meyer (eds.), Impact Loading and Dynamic Behaviour of Materials, Vol. 1. Oberursel: DGM Informationsgesellschaft, 185–195.〔待核：编者、出版者、页码〕
9. Silling, S. A. 2000. Reformulation of Elasticity Theory for Discontinuities and Long-Range Forces. Journal of the Mechanics and Physics of Solids 48(1): 175–209.（先有 Sandia 报告 SAND98-2176, 1998）
10. Silling, S. A. & Askari, E. 2005. A Meshfree Method Based on the Peridynamic Model of Solid Mechanics. Computers & Structures 83(17–18): 1526–1535.
11. Silling, S. A., Epton, M., Weckner, O., Xu, J. & Askari, E. 2007. Peridynamic States and Constitutive Modeling. Journal of Elasticity 88(2): 151–184.
12. Tian, X. & Du, Q. 2014. Asymptotically Compatible Schemes and Applications to Robust Discretization of Nonlocal Models. SIAM Journal on Numerical Analysis 52(4): 1641–1665.
13. Tonomura, A., Osakabe, N., Matsuda, T., Kawasaki, T., Endo, J., Yano, S. & Yamada, H. 1986. Evidence for Aharonov–Bohm Effect with Magnetic Field Completely Shielded from Electron Wave. Physical Review Letters 56(8): 792–795.
14. von Klitzing, K., Dorda, G. & Pepper, M. 1980. New Method for High-Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance. Physical Review Letters 45(6): 494–497.
15. Farkas, I., Helbing, D. & Vicsek, T. 2002. Mexican Waves in an Excitable Medium. Nature 419(6903): 131–132.

AI 与知识多样性

1. Bommasani, R., Creel, K. A., Kumar, A., Jurafsky, D. & Liang, P. 2022. Picking on the Same Person: Does Algorithmic Monoculture Lead to Outcome Homogenization? Advances in Neural Information Processing Systems 35: 3663–3678.

2. Du, Y., Li, S., Torralba, A., Tenenbaum, J. B. & Mordatch, I. 2023. Improving Factuality and Reasoning in Language Models through Multiagent Debate. arXiv:2305.14325.
3. Estornell, A. & Liu, Y. 2024. Multi-LLM Debate: Framework, Principals, and Interventions. Advances in Neural Information Processing Systems 37.
4. Feng, S., Sorensen, T., Liu, Y., Fisher, J., Park, C. Y., Choi, Y. & Tsvetkov, Y. 2024. Modular Pluralism: Pluralistic Alignment via Multi-LLM Collaboration. In Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 4151–4171.
5. Fu, X., Liu, Z. & Tegmark, M. 2025. Do Two AI Scientists Agree? arXiv:2504.02822.
6. Hey, T., Tansley, S. & Tolle, K. (eds.). 2009. The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery. Redmond, WA: Microsoft Research.（正文所说 Jim Gray 的“第四范式”）
7. Hodel, D. & West, J. D. 2025. Epistemic Diversity across Language Models Mitigates Knowledge Collapse. arXiv:2512.15011.
8. Kleinberg, J. & Raghavan, M. 2021. Algorithmic Monoculture and Social Welfare. Proceedings of the National Academy of Sciences 118(22): e2018340118.
9. Li, X., Chan, S., Zhu, X., Pei, Y., Ma, Z., Liu, X. & Shah, S. 2023. Are ChatGPT and GPT-4 General-Purpose Solvers for Financial Text Analytics? A Study on Several Typical Tasks. In Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Industry Track, 408–422.
10. Liang, T., He, Z., Jiao, W., Wang, X., Wang, Y., Wang, R., Yang, Y., Shi, S. & Tu, Z. 2024. Encouraging Divergent Thinking in Large Language Models through Multi-Agent Debate. In Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 17889–17904.（arXiv:2305.19118，2023）
11. Merchant, A., Batzner, S., Schoenholz, S. S., Aykol, M., Cheon, G. & Cubuk, E. D. 2023. Scaling Deep Learning for Materials Discovery. Nature 624(7990): 80–85.
12. Messeri, L. & Crockett, M. J. 2024. Artificial Intelligence and Illusions of Understanding in Scientific Research. Nature 627(8002): 49–58.
13. Tao, Y., Viberg, O., Baker, R. S. & Kizilcec, R. F. 2024. Cultural Bias and Cultural Alignment of Large Language Models. PNAS Nexus 3(9): pgae346.
14. Wu, S., Irsoy, O., Lu, S., Dabravolski, V., Dredze, M., Gehrmann, S., Kambadur, P., Rosenberg, D. & Mann, G. 2023. BloombergGPT: A Large Language Model for Finance. arXiv:2303.17564.

心理学、经济学、交通与其他

1. Bai, S., You, L., Wang, Y. & Luo, R. 2022. Effect of Traditional Stir-Frying on the Characteristics and Quality of Mutton Sao Zi. Frontiers in Nutrition 9: 925208.
2. Davidson, A. 2020. The Passion Economy: The New Rules for Thriving in the Twenty-First Century. New York: Knopf.

3. Diehl, M. & Stroebe, W. 1987. Productivity Loss in Brainstorming Groups: Toward the Solution of a Riddle. Journal of Personality and Social Psychology 53(3): 497–509.
4. Duranton, G. & Turner, M. A. 2011. The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. American Economic Review 101(6): 2616–2652.
5. Goodhart, C. A. E. 1975. Problems of Monetary Management: The U.K. Experience. In Papers in Monetary Economics, Vol. 1. Sydney: Reserve Bank of Australia.
6. Hensher, D. A. & Reyes, A. J. 2000. Trip Chaining as a Barrier to the Propensity to Use Public Transport. Transportation 27(4): 341–361.
7. Marchetti, C. 1994. Anthropological Invariants in Travel Behavior. Technological Forecasting and Social Change 47(1): 75–88.
8. Pine, B. J., II & Gilmore, J. H. 1998. Welcome to the Experience Economy. Harvard Business Review 76(4): 97–105.
9. Pine, B. J., II & Gilmore, J. H. 1999. The Experience Economy: Work Is Theatre & Every Business a Stage. Boston: Harvard Business School Press.
10. Roth, C., Kang, S. M., Batty, M. & Barthelemy, M. 2012. A Long-Time Limit for World Subway Networks. Journal of the Royal Society Interface 9(75): 2540–2550.
11. Sen, A. 1999. Development as Freedom. New York: Knopf.
12. Skinner, G. W. 1964–1965. Marketing and Social Structure in Rural China, Parts I–III. The Journal of Asian Studies 24(1): 3–43; 24(2): 195–228; 24(3): 363–399.
13. Strathern, M. 1997. “Improving Ratings”: Audit in the British University System. European Review 5(3): 305–321.
14. World Health Organization. 2006. WHO Calls for an Immediate Halt to Provision of Single-Drug Artemisinin Malaria Pills. News release, 19 January 2006. Geneva: WHO.

统计：共 84 条（本系列 6 条，中文文献 5 条，外文文献 73 条），其中〔待核〕4 条（第 5、10、11、49 条）。

附 录

附录一　本书全部粗层级相反局面汇总

这本书怎样算「错」，导论里说过：每一个承重的论点，都要说出一个「什么大局面出现，它就站不住」。这份附录把散在各章「证据与边界」里的相反局面收在一起，按章序排成一张表，再把《人与 AI 一起发生新数学》（第 346 号）九条预测里与本书直接相关的三条接过来。

先交代四件事。

第一，这里的证伪只按很粗的层级写。它不要求今天就知道具体怎样做实验、用什么数据、定什么显著性，只要求说得出「出现什么样的大局面，这个命题就错了」。粗，不是为了好躲，而是因为本书讲的是科学的组织结构，这类命题本来就要放在十年、几十年的尺度上看；先把靶子立在明处，细的检验办法留给后来的人去设计。

第二，表里各条都已与各章正文的「证据与边界」逐条对齐，「来源」一栏标出所在章号；凡大纲里预先写明、正文照写的，另注「大纲」。一章押了两种局面的，表里并列写出，出现其一即算。

第三，表里编号用 F（证伪），以免与正文所引口述 K1、K11 等混淆。

第四，这些相反局面没有一条被检验过。它们是押注，不是结论。对上了，是现实的功劳；对不上，是我的账。

一、本书的相反局面

编号	章	被押的论点	粗层级的相反局面（出现即算错）	来源
F-1	第 21 章	典范＝(Function, D, E) 三组合；川菜判据	局外人拿到一批产出，无法把它们稳定地归到各自的三组合上，归类与瞎猜差不多	第 21 章（大纲）

编号	章	被押的论点	粗层级的相反局面（出现即算错）	来源
F-2	第 21 章	外层可变、三组合不变仍是同一典范	只换参数、工具或语料，三组合一样不动，产出却被局外人普遍归到另一个典范下	第 21 章
F-3	第 24 章	门票贵足以单独造成单典范	大量领域入门只需几个月、换行几乎不付代价，却仍长期只有一个典范，而且并非因为问题只有一种看法	第 24 章
F-4	第 25 章	「统一」是高成本下最省的路，不是科学的本性	设施价格大降之后，多学派并立的领域统一得反而更快更深，且统一后并不比并立时多出新问题、新方法	第 25 章
F-5	第 26 章	AI 时代的危机由工具引起，结局是份额转移	AI 普及后只见解题岗位缩减，长期不见任何典范之间的新分工（专做碰撞、专做沉淀与传授）冒头	第 26 章
F-6	第 27 章	成本论：成本越过阈值，独养变并养	AI 普及十年后，各学科反而更集中于少数几套框架，方法、问题、结论越来越像	第 27 章（大纲）
F-7	第 30 章	统一大模型在典范之间求平均，平均就是单一化	AI 深度进入科学十年左右，大量实验室都依赖同一类统一大模型，各领域新方向、新方法、新理论的多样性却并未下降，甚至明显上升	第 30 章
F-8	第 31 章	按典范切分胜过按数据切分	按典范切分的模型群，在保持多样性和产生新理论上胜不过按数据切分的模型群；那样「一个典范一个模型」就退化为「多模型即可」；或按典范切分的模型群反复互用几轮后收拢成一个样子	第 31 章（大纲）
F-9	第 32 章	边界判据（看三组合，不看参数）与三项验收	人们普遍无法从产出里认出模型守的是哪套三组合，只能退回去看架构、看参数；或大量通过三项验收的典范模型放进碰撞，碰出的东西并不比没通过的多	第 32 章
F-10	第 33 章	常规科学做得越快，碰撞的位置越早暴露	典范模型普及后，各典范的失效位置随机散布，不成片、没有形状；或拿着清楚的空白去找别的典范碰撞，碰出新东西的频率并不比随手找题去碰更高	第 33 章
F-11	第 38 章	典范距离的倒 U 律；先握手再碰	碰撞产出的新理解随典范距离单调上升、单调下降，或与距离看不出关系；或不做握手直接碰撞的组，产出并不低于先对齐接口量再碰的组	第 38 章，承第 346 号第 35 章
F-12	第 39 章	SDE 是碰撞的操作系统	不经 SDE 操作系统，只把几个模型放在一起投票或辩论，涌现新典范的频率与质量并不更低	第 39 章（大纲）
F-13	第 40 章	不可通约的第三种答案：在缝上长出来	系统回看科学史上公认新典范的诞生，绝大多数是在单一传统内部、没有和任何异质传统接触就长出来的，找不到两种做法互相碰撞的痕迹	第 40 章

编号	章	被押的论点	粗层级的相反局面（出现即算错）	来源
F-14	第 43、44 章	碰撞的标志是双方都被改写；比对不是碰撞	第 43 章：不知情的评审无法稳定区分「双方都被改写」与「只是并排摆放」，或大量公认新典范诞生后两个母传统一笔未改；第 44 章：只做比对的一组，产生的新问题、新方法、新变量与走完三拍的一组差不多一样多	第 43、44 章，承第 346 号第 35 章
F-15	第 45 章	沉淀的判据是「变量表自己长出新一栏」	大量公认的新学科、新方法找不到「长出新一栏」这一步，照样立住、照样代代相传；或大量有了新一栏的东西很快被一条不丢地翻译回某个旧典范	第 45 章
F-16	第 46 章	包含而非替代：旧典范成为新典范的极限特例	AI 时代沉淀出的新典范模型，大多既不能在任何极限下还原出它所挑战的旧典范的结果，又使旧典范模型在原来的地盘里也停止运行	第 46 章
F-17	第 47 章	门槛：新典范要算出或预言一点旧典范算不出的东西	公认的重要新典范，大多在被接纳时既没算出、也没预言出旧典范算不出的任何东西，是靠说法、记号或速度站住的	第 47 章（大纲作门槛）
F-18	第 48 章	典范空间自己生长；常规科学与碰撞同时运转	典范模型普及十年、二十年后，各学科可用的典范模型不增反减，或增加了却几乎没有一个出自已有典范模型的碰撞；或新典范一沉淀，旧典范模型就普遍停运，并行时间缩到几乎为零	第 48 章
F-19	第 56 章	创造律：混沌碰撞→自组织→涌现	公认的重大创造里，大量找不到碰撞这一步，确实是在一个典范内部、没有异质典范介入时长出来的	第 56 章（大纲）
F-20	第 56 章	自由律：纠缠→选择→激发	人有了更多典范可选，反而普遍更被锁住，选择更少、能力更窄	第 56 章（大纲）
F-21	第 56 章	幸福律：张力→转换→释放	张力转换完了，人却普遍没有松下来，释放并不随转换而来	第 56 章（大纲）
F-22	第 58 章	意义不可重新粒子化：评测不得压成单一分数	在一批事先约定的典范模型上，综合总分预判「哪些会参与好碰撞、哪些会沉淀为新典范」，稳定地不比三组合边界判据加意义判据差	第 58 章，承第 346 号第 45 章
F-23	第 59 章	成本降到一个人养得起时，会出现「我的典范」	典范模型普及、成本大降之后，个人产出反而越来越像，局外人无法从产出中认出「这是谁做的」	第 59 章
F-24	第 62 章	我经济与「我们的经济」在 GDP 中的比例将会颠倒	AI 普及后一二十年里，以通用产品、通用服务、通用知识为主要价值来源的经济活动份额不降反升，以个人化对效知识为主要价值来源的活动始终只是零头（检验指标待王德生定）	第 62 章（大纲）

二、从第 346 号继承的三条

我在《人与 AI 一起发生新数学》里押过九条预测，编号 P1 到 P9。其中三条与本书的圈直接相关，这里接过来，不改原意，只说明它们落在本书哪里。原书附录一写明，几条预测在正文里都比原拟稿收得更严，以下转述按正文的口径。

P1（落本书第 46、51 章）。　原话是：非局域方法在裂纹、断裂一类问题上，精度或稳定性系统性地优于局域方法。证伪条件是同等计算量下两者没有差异；原书正文又加了一条更严的：如果非局域方法要靠逐次重新调参数才勉强追平，也算输。检验的办法大意是：在一块试样上把视野大小与断裂的临界量标定一次，此后换厚度、换冲击速度都不再调参数，看它能否预言裂纹分不分叉、大致往哪走，再和带现成技巧的局域办法在同等计算量下比。在本书里，P1 是「沉淀为新典范」那一环的验收题：近场动力学这个新三组合，若连这一条都过不去，第 51 章所说的「一次完整的圈」就只走了一半。

P5（落本书第 32 章）。　原话是：标度律的指数可以由结构原理推出，而不只靠拟合。证伪条件是推出的指数与实测的偏差大于拟合误差；原书正文规定了出牌顺序：先公布原理与带误差范围的预测值，再训练不同规模的模型去测，看了实测再调原理就算输。原书也坦白，当时手上还没有这样一套原理，只是立靶子。在本书里，P5 对应第 32 章的验收三「统一大模型出曲线，典范模型要出道理」：能从结构推出指数，才算出了道理；只能拟合，就只是曲线。

P9（落本书第 54 章）。　原话是：以掌勺者对锅内状态的触觉、听觉读数建模，比只用时间、温度、克数参数更能预测成菜口感评分。原书正文把检验收窄到一道菜（青菜快炒）的盲评口感分，并加了更强的对手：除了只用参数的基线，还有「参数加仪器读数」一档；证伪条件写成五条：读数没用；读数被传感器吞掉；读数因人而异；读数不能迁移；读数的优势其实来自视觉。原书特别说明，若第二条出现，认的不是「气的数学错了」，而是「这道菜上不需要新数学，只需要更好的传感器」。在本书里，P9 是第 54 章「气的数学」这个候选典范模型的验收题：赢不过只用时间、温度、克数的模型，这个典范就没有沉淀成。

三、几条共同的软肋

把表从头看到尾，有三处软肋是许多条共用的，先说在这里。

一是「三组合」要能在实验之前、独立于结果地认出来。F-1、F-2、F-9、F-23 都依赖这一点。如果认三组合本身就吵不清，这几条会在比输赢之前先卡住。

二是「碰撞」与「拼接」要能被独立的人分开。F-12、F-14、F-19 都依赖这一点，这也是第 346 号 P3、P4 当年留下的同一个难处：差异怎样事先量出来。

三是时间尺度长。F-6、F-7、F-18、F-24 都要十年以上才看得清，这期间旁的因素很多。所以这几条只按大局面判，不按细数字判。

四、逐组说明：这些条目各押在圈的哪里

二十四条看起来很散，其实可以按圈分成六组。分组读，比逐条读更容易看出：一旦某一组整组翻了，书里哪一编要重写。

第一组：典范的定义（F-1、F-2）。 这是全书的地基。第四编说，典范不是一组被相信的命题，而是一个能从产出中被认出来的三组合；认的办法就是川菜判据。如果局外人拿到一批产出，怎么也归不到各自的三组合上，那么「三组合」就只是作者给事后分类起的名字，不是一个能被认出的东西。这一组若翻，第四编要重写，后面凡是用到「三组合」作边界、作训练约束的地方，都要跟着退回。

第二组：成本论（F-3 到 F-6）。 这是第五编的四条。它们押的是：单典范是高成本的产物，成本跌穿之后会相变为并养。其中 F-6 最硬，也最容易被看见：AI 普及十年后，学科是更多元还是更集中。需要提醒一点：F-6 若出现，要和 F-7、F-8 合起来看。学科更集中，可能是成本论错了，也可能是成本论没错、载体错了，即当时的主流做法是一个统一大模型包办一切，于是成本越低越单一。第 27 章已经说过，相变有两个方向。分清这两种情形，是读 F-6 时最要紧的事。

第三组：典范模型（F-7 到 F-10）。 这是第六编，圈的环节①。它押的是：统一大模型在典范之间求平均，平均就是单一化；一个典范一个模型才能保住多元；而且按典

范切分要胜过按数据切分。F-8 是与最近的邻居 Hodel、West 的正面对赌：他们按数据切分已经看到多模型生态的好处，本书押按典范切分更好。胜不过，「一个典范一个模型」就退化为「多模型即可」，第六编的定音句要降一格。F-9 押的是边界判据与三项验收能不能落地；F-10 押的是环节①怎样喂养环节②：常规科学做得越快，碰撞的位置越早暴露。

第四组：碰撞的场所（F-11、F-12）。 这是第七编，圈的环节②。F-12 是这一组的主押：碰撞要在以 SDE 为思维操作系统的智能体里进行，靠的是它能定位分歧出在 Function、D 还是 E。如果不经这套操作系统，只把几个模型放在一起投票或辩论，涌现新典范的频率与质量并不更低，那么 SDE 智能体就只是一个好听的名字，第七编要重写成「碰撞只需要场所，不需要操作系统」。F-11 押的是准入与握手：典范太近碰不出新东西，太远接不上，中间距离产出最多；碰之前先对齐接口量。

第五组：涌现与沉淀（F-13 到 F-18）。 这是第八、九编，圈的环节③④。它们押的是：不可通约之处能长出新东西；碰撞的标志是双方都被改写；沉淀的标志是变量表长出新一栏；新典范把旧典范包含为极限特例；常规科学与碰撞同时运转。F-17 押的是门槛本身：任何自称新典范的东西，都要交出一点旧典范算不出的东西，否则只是新修辞；如果公认的新典范大多不过这道门槛也照样站住，门槛就要重写。这一组若整组翻了，本书的「圈」就合不拢，只剩下环节①②，也就是「多个模型各做各的、偶尔对一对」，那就退回到邻居们已有的位置。

第六组：方向与落点（F-19 到 F-24）。 这是第十一、十二编。三律三条按粗层级写：创造里找不到碰撞、选择多了反被锁住、张力转换了却没松下来，出现其一，相应一律就需修正。F-22 押的是意义不可重新粒子化，这条同时是一道禁令的理由：典范模型的评测不得压成单一分数，评测读数也不进入任何考核。F-23 押的是成本论的最后一步：典范便宜到一个人养得起，个人面目应当更清楚而不是更模糊。F-24 是全书时间最长的一押，检验指标还要王德生定。

五、什么样的结果不算证伪

最后说清，哪些情形我不认作证伪，免得读者以为我在给自己留后门，也免得有人拿不相干的事来判。

第一，某一个具体的典范模型做得不好，不算证伪本书。好比一家档口的菜不好吃，不能证明美食城的组织方式错了。证伪要看大局面：一批典范模型、一段较长的时间、几个不同的学科。

第二，某一次碰撞没有涌现，不算证伪。第 57 章专门讲过好碰撞与白碰撞，白碰撞本来就多。证伪要看的是：经 SDE 操作系统的碰撞，整体上是否并不比别的办法更容易涌现。

第三，旧典范还在大量运转，不算证伪。本书本来就说包含而非替代，旧典范继续在它擅长的距离里运行，这是本书的预言，不是反例。

第四，有人宣布某个新典范「推翻」了旧典范，也不自动算证伪 F-16。要看的是，事后能不能把旧典范装进新典范，作为某个参数取极限的特例。宣布与事实是两回事。

这四条说出来，是为了让表里的每一条都更硬，而不是更软。

附录二　库恩生平与著作年表

这份年表只收我有把握的事实，已对照斯坦福哲学百科、网络哲学百科等通行传记材料核过一遍；页码等版本细节统稿时按所用版本补注。

年份	事项
1922	7 月 18 日，托马斯・塞缪尔・库恩（Thomas Samuel Kuhn）生于美国俄亥俄州辛辛那提。
1943	哈佛大学物理学学士毕业。战时在哈佛的无线电研究实验室（Radio Research Laboratory）做与雷达相关的研究，其间赴英国与欧洲大陆工作。
1946	哈佛大学物理学硕士。
1947	夏天，为哈佛校长科南特（James B. Conant）主持的通识教育科学课程备课，读亚里士多德的《物理学》，悟到须按它自己的历史语境去读，而不能用牛顿的范畴去套；他后来多次回忆这段经历是自己转向科学史的起点。
1948–1951	哈佛学会初级研究员（Junior Fellow, Harvard Society of Fellows）。
1949	哈佛大学物理学博士。
1951–1956	在哈佛讲授通识教育与科学史课程，1951 年任讲师，1952 年任助理教授；1956 年未获终身教职。
1956	赴加州大学伯克利分校任教，职位属科学史，人在哲学系与历史系；1958 年升副教授并获终身教职。
1957	出版《哥白尼革命》（The Copernican Revolution）。
1958–1959	在斯坦福的行为科学高等研究中心（CASBS）做研究员一年，在那里基本完成《科学革命的结构》，并据他自己说，在那一年认清了「典范」在科学研究中的作用。
1961	在伯克利升任科学史教授。
1961–1964	主持「量子物理学史资料」项目（Sources for History of Quantum Physics），访谈早期量子物理学家。
1962	《科学革命的结构》出版，作为「统一科学国际百科全书」（International Encyclopedia of Unified Science）丛书的一种，由芝加哥大学出版社刊行。
1964	转任普林斯顿大学，任 M. Taylor Pyne 科学哲学与科学史讲席教授。
1965	伦敦国际科学哲学讨论会上，与波普尔及其学派正面交锋；会议文集后由拉卡托斯与马斯格雷夫编为《批判与知识的增长》，1970 年出版。

年份	事项
1969	写成「后记」，提出「学科基质」（disciplinary matrix）与「范例」（exemplars），对「典范」一词收紧。
1970	《科学革命的结构》第二版出版，附 1969 年后记。
1977	出版文集《必要的张力》（The Essential Tension），收入《客观性、价值判断与理论选择》等文。
1978	出版《黑体理论与量子不连续性，1894–1912》。
1979	转任麻省理工学院语言学与哲学系；1983 年任 Laurance S. Rockefeller 哲学讲席教授。
1982	获科学史学会颁发的乔治・萨顿奖章（George Sarton Medal）。
1980 年代	转向「词汇分类」（lexicon / taxonomy）的思路，把不可通约改讲为局部的、分类结构之间的不对应：1983 年发表《可通约性、可比性、可交流性》，1987 年在伦敦大学学院作希尔曼纪念讲座（未出版）。
1991	自麻省理工学院退休，任荣休教授。
1996	6 月 17 日，在马萨诸塞州剑桥去世。
2000	文集《结构之后的路》（The Road Since Structure）由科南特（James Conant）与豪格兰（John Haugeland）编辑出版，收入晚年关于词汇分类、革命如物种分化的文章及一篇长篇访谈。
2012	《科学革命的结构》五十周年纪念版（第四版）出版，哈金（Ian Hacking）撰导言。
2022	遗稿《托马斯・S・库恩最后的著作：科学中的不可通约》由芝加哥大学出版社出版，Bojana Mladenović 编。

主要著作一句话导读

《哥白尼革命》（1957）。 库恩的第一本书，讲从托勒密到哥白尼、开普勒的天文学转变，不只讲天文，也讲这一转变怎样牵动宇宙观、哲学与宗教。读它可以看到《结构》里许多想法的雏形：一套看法不是零件，而是牵一发动全身的整体。

《科学革命的结构》（1962；第二版 1970 附后记）。 全书的主角。常规科学、反常、危机、革命、不可通约这些说法都出自这里。篇幅不长，原本是为一套百科全书写的一个分册，影响却远远超出科学史，进入社会学、经济学、管理学的日常用语。本书第一编按它的章序走了一遍。

《必要的张力》（1977）。 文集。书名那一篇讲科学研究需要在守成与创新之间保持张力：既要深深扎进一个传统，又要随时准备打破它。另有一篇讨论理论选择时科学家共同看重的几种价值。本书第 24 章说「深是门票买来的」，与这一篇的意思相通。

《黑体理论与量子不连续性》（1978）。 一部扎实的科学史专著，研究普朗克早期工作与量子概念的形成。它表明库恩始终是一位做一手材料的科学史家，不只是一位提出大框架的哲学家。

《结构之后的路》（2000）。 库恩去世后由他人编定的文集，收入他晚年关于词汇分类、不可通约、革命如物种分化的文章，以及一篇很长的访谈。想看库恩晚年怎样回应三十多年的批评，读这一本。本书第 6 章与第 48 章用到其中的「物种分化」。

库恩思想的三次收紧

把年表里的几本书连起来看，库恩对自己的核心概念至少收紧过三次。本书第一、二编的论述，就是沿着这三次收紧来的，这里用白话把线索理一遍，便于对照。

第一次，是「典范」本身的收紧。1962 年的书里，「典范」一词用得很宽，既指一个共同体共享的整套看法，也指可以模仿的具体范例。批评者指出这个词意思太多，库恩在 1969 年后记里接受了批评，把宽的那层改叫「学科基质」，里面包括符号概括、形而上学承诺、价值、范例等成分；窄的那层专指「范例」，即学生在习题中模仿的那些具体解法。本书第 1 章、第 23 章用的就是这一次收紧的结果：学科基质里含有符号概括与具体解法，等于把结论装进了典范；本书的典范不含 S，只含三组合。

第二次，是「不可通约」的收紧。1962 年书里的不可通约很强，讲到两个典范的人仿佛「生活在不同的世界里」，转换像格式塔、像改宗。批评者认为这样一来，理论选择就成了非理性的事。库恩此后逐步把不可通约收窄：先是在《必要的张力》里强调，理论选择有准确、一致、广泛、简单、富有成果等共同的价值，只是这些价值不能像算法一样给出唯一答案；再到 1980 年代以后，把不可通约讲成两套词汇分类之间的局部不对应，不是全盘的听不懂。本书第 5、6 章所说的「库恩的两难」，就是这一路收紧仍没有走出的地方：要么逻辑推演，要么非理性跳跃，第三条路没有出现。

第三次，是「进步」的收紧。1962 年书末，库恩已经把科学进步比作没有预定目标的演化；晚年在《结构之后的路》所收的文章里，又把革命讲成新专业分出、与旧专业并存，像物种分化。这一步离本书最近：分家之后并存，已经不是简单的替代。但库恩讲的是分家之后互不相通，本书讲的是分家之后再碰撞、再沉淀，圈不断。本书第 12 章与第 48 章，分别处理了这一次收紧的两面。

三次收紧有一个共同点：每一次都是在批评面前往回收，把话说得更窄、更稳。可它们都没有动单典范、替代、无方向这三个默认。本书要动的，恰恰是这三个默认。

两点说明。其一，「典范」一词英文为 paradigm，中文旧译多作「范式」，本书统一作「典范」。其二，库恩早期用格式塔转换、改宗来比喻典范转变，晚年改用无目的的演化来比喻科学进步（是离开旧问题，而不是走向某个终点），这两点是本书第 6、12 章所依的材料：格式塔转换见《结构》第十章「革命作为世界观的改变」，改宗见第十二章「革命的解决」，无目的的演化见第十三章「通过革命的进步」末尾；页码统稿时按所用版本补注。

附录三　总对照表

这张表把本书最常对话的七位，与本书并排放在五个问题下面。每一格只写最核心的一句，是我的概括，不是他们的原话；他们各自的完整立场，请读原著。

人物与代表作	典范是什么	典范怎样变	不可通约怎么办	进步朝向哪里	在 AI 时代的位置
库恩：《科学革命的结构》1962，后记 1969	共同体共享的一整套看法与可模仿的范例；后记收紧为学科基质加范例	常规科学→反常→危机→革命，新典范取代旧典范；晚年讲新专业分出、如物种分化	没有中立的裁判语言；早期说像格式塔转换、改宗，晚年改讲词汇分类之间的局部不对应	不肯说朝向哪里：进步是离开旧问题，像无目的的演化	讲出了典范与常规科学，但单典范、替代、无方向三个默认，在成本跌穿之后不再成立
拉卡托斯：研究纲领，1970	硬核（不容反驳的核心命题）加保护带（可调整的辅助假设）加启发法	进步的纲领与退化的纲领竞争，退化的被逐渐放弃	用纲领的进步或退化来比，不必等改宗	朝向能预言新事实的纲领	硬核仍是一组被相信的命题，不能直接作训练约束，也认不出模型边界
劳丹：《进步及其问题》1977	研究传统：本体承诺加方法规范	传统内部可以演化，传统之间竞争	以解决问题的效力作比较，绕开意义上的不可通约	朝向解决问题效力的提高	讲多个传统并存，但仍是被相信的承诺；没有给出碰撞之后的沉淀
费耶阿本德：《反对方法》1975	不认一个统一的科学方法，理论与传统多种多样	增殖：鼓励提出与主流不同的理论；「怎么都行」	承认不可通约，并认为它不妨碍多元	不设统一方向，反对用一个标准管住科学	多元的主张最激进，但没有承载者，也没有碰撞的场所与沉淀的判据
Kitcher：《认知劳动的分工》1990	不专讲典范，讲共同体面对的几条研究路线	由科学家在路线间的分配决定哪条走通	不是他的主题	共同体整体成功机会的提高	讨论给定成本下怎样分工；本书讨论成本跌过阈值时结构的相变
Galison：《形象与逻辑》1997（交易区）	物理学里理论、实验、仪器等不同的亚文化	亚文化各自演进，又在交界处协作	在交易区凑出洋泾浜、克里奥尔语，局部协作，长出新领域	不专论方向	最接近「碰撞的场所」；但接触语言是双方凑的，不能定位分歧出在 Function、D 还是 E

人物与代表作	典范是什么	典范怎样变	不可通约怎么办	进步朝向哪里	在 AI 时代的位置
哈金（承克龙比）：推理风格	推理风格：一套确立真假的方式，如统计的、实验室的、分类的	风格一旦确立就很稳定，新风格偶尔出现	不同风格各自确定什么算候选的真假，不必互译	不专论方向	讲推理方式而非结论，最接近本书的定义；但没有 Function 一维，也不能作训练约束与模型边界
本书：《科学发生的结构》	(Function, D, E) 三组合；同一三组合在许多难题上不变才是典范；S 是它对难题的显露	圈：典范模型做满常规科学→SDE 智能体里的模型对话→在缝上涌现→沉淀为新典范模型→回到常规科学；包含而非替代	不靠逻辑推演，也不靠皈依：在缝上混沌碰撞、自组织、涌现；SDE 定位分歧出在哪一维	意义升级：创造、自由、幸福，三律各有三步可查	成本跌到养一个模型，独养变并养；一个典范一个模型，碰撞在 SDE 智能体里，落到个人是我的典范与我经济

读这张表，可以看出一条线索：从库恩到哈金，越往后越接近「典范是一种做法，而不是一组命题」；从费耶阿本德到 Galison，越来越承认多元并找寻多元之间的接触面。本书接住的是这两条线索的交点：把典范定义为可训练、可认出的三组合，再给多元找到承载者（典范模型）、场所（SDE 智能体）和方向（意义三律）。

逐位分界

表格每格只有一句，容易把分界压扁。下面每位再用一段话，说清本书从他那里接了什么、在哪里分开。

库恩。 本书接的是他最深的两样东西：科学有结构、有断裂，不是一点点累积；常规科学是在一个典范里高效地解谜。分开的地方是三个默认。他认为成熟科学只有一个典范，本书认为那是高成本下的特例；他认为典范转变以替代收场，本书认为新典范把旧典范包含为极限特例；他不肯说进步朝哪里，本书说朝向创造、自由、幸福的升级。超越库恩，不是证明他错了，而是把他的单典范结构降为一个特例。

拉卡托斯。 他的研究纲领比库恩的典范更「可操作」：硬核不动，保护带可调，纲领能不能预言新事实，决定它是进步还是退化。本书接的是「核心不动、外层可变」这

个思路，第 21 章的川菜判据与它形似。分开的地方在于核心是什么：他的硬核是一组被相信的命题，本书的核心是 Function、D、E 三样做法，不含结论。命题只能被相信或被放弃，做法却可以被训练进模型、从产出中认出来，这是能不能有典范模型的分界。

劳丹。　他的研究传统讲本体承诺加方法规范，并且明确承认多个传统可以并存、竞争，用解决问题的效力来比较。这比库恩的单典范宽得多，是本书多元主张的前辈。分开的地方有两处：其一，承诺与规范仍是被相信的东西，不是可训练的三组合；其二，传统之间只竞争，没有讲它们碰撞之后怎样长出第三个传统，更没有讲新传统怎样沉淀回来。

费耶阿本德。　他是多元最激进的辩护者：没有统一的科学方法，增殖不同的理论对科学有好处，「怎么都行」。本书与他站在同一边反对单一，但分开的地方很清楚：他给了多元的理由，没有给多元的承载者、场所和判据。没有判据的多元，就是第 58 章说的堵车。本书用边界判据守住每个典范的身份，用意义判据区分好碰撞与白碰撞，这正是「怎么都行」之后缺的那一半。

Kitcher。　第 27 章已经详细划过界。他证明在给定成本下，把科学家分散到不同路线上，共同体整体更有利。本书接住了「分散有好处」这一结论，分开的地方在变量：他把成本当常数，本书把成本当变量，并且主张成本跌过阈值时，问题从「有限的人怎样分」变成「几条路同时跑，人去做路与路之间的碰撞」。

Galison。　他的交易区是本书在碰撞问题上最近的邻居：不可通约的亚文化并不因此停止合作，而是在交界处凑出洋泾浜，洋泾浜成熟了变成克里奥尔语，长出新领域。本书接的是「不可通约之处可以长出东西」。分开的地方在于接触语言从哪里来：交易区的语言是双方临时凑的，每一次都不同，也说不出分歧究竟在哪；SDE 只规定 S = Function(D, E) 这个方程形式，能把每一次分歧定位到 Function、D 或 E，并把碰撞出的新理解沉淀为新的典范模型。

哈金。　他承克龙比讲推理风格，是七位里与本书定义最接近的：风格讲的是怎样推理、怎样确立真假，而不是具体结论。本书在第 23 章已经说明，推理风格与三组合的差别有两处：一是没有 Function 一维，同样的推理方式，合成结果的办法不同，显露就不

同；二是推理风格是史学与哲学的描述，不能直接用作训练约束，也不能用来划定模型的边界。本书的定义要能被训练、被认出、被验收，这是从描述走到建造的一步。

七位之外，Fu、Liu、Tegmark 观察到的 AI 物理学家自发分派，Hodel、West 的多模型生态，Messeri、Crockett 的认知单一栽培，都不在这张表里，因为他们讨论的不是「典范是什么」，而是 AI 时代多元与单一的经验事实。他们在正文第 20、23、27、30、31 章出场。

附录四　术语表

以下按本书第三节承重定义的次序先列核心术语，再列各编用到的辅助术语。每条先给白话，必要时括注原词；与《人与 AI 一起发生新数学》统一：S 读作显露，结构是显露的稳定态。

典范　一个时代、一群人看世界、做事情的一整套固定做法。本书的定义是 S = Function(D, E) 里的三组合：Function、D、E。同一个三组合在许多难题上都不变，才算一个典范。

三组合　Function、D、E 三样合在一起的简称。它是典范的身份证；外面的参数、工具、语料、具体结论可以换，三组合不换，就还是同一个典范。

E（特征纠缠系统）　一个典范看世界时，把什么和什么连在一起。好比川菜的味型体系，麻、辣、鲜、香怎样搭配是固定的。一门学科认为哪些量彼此相关，就是它的 E。

D（差异序列）　一个典范怎样切分问题、按什么次序展开。好比先码味、再过油、后合炒，先后次序是固定的。一门学科先算什么、后算什么、拿什么当单元，就是它的 D。

Function（合成方式）　把 D 与 E 合成显露的方式，好比成菜之法。同样的 D 和 E，换一个 Function，比如从加总换成看整体形状，得出的结果就不同。

S（显露）　三组合对一个具体难题给出的结果。S 读作「显露」，它不在典范的定义里。一个 S 不等于一个典范，就像一道菜不等于一个菜系。

结构　专指显露的稳定态：同一个三组合在许多难题上稳定显露出的那一类东西。川菜一千道菜道道不同，那股「一尝就知道」的味道，就是结构。

川菜判据　认一个典范，不看它的某一道菜，看三组合稳定显露出的那股味道。局外人若能把一批产出归到各自的三组合，典范就认得出来。

典范模型　以一个典范的（Function，D，E）为训练约束、并能与其他典范模型碰撞的模型。它不是按学科分的模型，不是通用大模型，也不是按数据随便切开的多模型。

边界判据　判断是不是两个典范模型，看三组合，不看参数。共用底座、三组合不同，是两个典范模型；三组合相同、参数不同，只是同一个典范模型的两个版本。

常规科学　沿用库恩的说法：在一个典范里按既定规矩解题。本书里它由典范模型快速做满，做满之后空白和失效的位置自然显出来。

复合体　人加 AI 一起做事的单位，沿用《人与 AI 一起发生新数学》的说法。它是做事的层级。

SDE 智能体　复合体里让多个典范模型对话的思维操作系统，以 SDE 发生学为底子。碰撞不在任何一个模型里，而在它里面的「模型对话」中。

方程形式　SDE 只规定 S = Function(D，E) 这个形式，不规定任何一个具体的三组合。好比菜谱格式统一，各家填进去的内容完全不同，所以它不是元层面的统一。

三碰　同一个难题放进三个不同的三组合，各自显露出三道 S；碰撞发生在这三道 S 之间，并回溯分歧出在 Function、D 还是 E。ChatSDE 里有这个模式。

群碰　多个三组合同时面对一个难题，分歧不再是一条缝，而是一张缝的地图。它取的是缝最深处，不是多数票。

缝　两个三组合显露的 S 对不上的地方，也是失效地图上的空白。缝分三类：算不出、算不对、答非所问。新理解在缝上长出来。

沉淀　一次涌现出的新理解，以一个新的三组合固定下来，能训练进一个新的典范模型、通过验收，才算沉淀。判据之一是「变量表自己长出新一栏」。

包含而非替代　新典范不推翻旧典范，而把它装进来，作为某个参数取极限时的特例。局域的数学是非局域数学视野缩到零的极限，旧典范继续在它擅长的距离里运行。

典范空间　所有典范模型和它们之间碰撞位置的总和。每沉淀一个新典范模型，就打开新的碰撞位置，像交通网长出新线、新线又多出换乘站。

科学发生的结构（圈）　典范模型做满常规科学→SDE 智能体里的模型对话→在缝上自组织、涌现→沉淀为新的典范模型→回到常规科学。四个环节同时运转、互相喂养，合起来的圈是本书的典范创新。

成本论　单典范是多典范在高建造成本下的特例。典范模型把养一个典范的成本降到养一个模型，成本越过阈值时，科学的组织形态从独养相变为并养。

独养与并养　独养：一个共同体只养得起一套三组合；并养：同时养几套，几套之间常规地碰撞。两者的分界是养一个典范的成本。

意义三律　碰撞朝向的方向，三律各有三步可查。创造律（即特征律）：混沌碰撞、自组织、涌现；自由律：纠缠、选择、激发；幸福律：张力、转换、释放。

我的典范　一个人守着的、属于自己的三组合。成本低到一个人就养得起时，典范可以属于个人；方程形式共用，保证它能和别人的碰撞。

范例（exemplar）　库恩 1969 年后记里的收窄用法：学生在教科书习题中反复模仿的具体解法。学会一个典范，很大一部分是学会把新问题「看成」某个范例的样子，这份手感写不进条文。

学科基质（disciplinary matrix）　库恩 1969 年后记里对宽义「典范」的改名，包括符号概括、形而上学承诺、价值、范例等成分。本书与它的分界：学科基质含有结论，本书的典范不含 S。

前范式时期　库恩用语：一个学科还没有统一典范、几个学派并立的阶段，他认为这是不成熟。本书第 25 章认为，这顶帽子是高成本下的判词；成本跌穿之后，多学派并立可以是另一种成年。

反常与危机　库恩用语：反常是典范里解不动的题；反常积累到让共同体怀疑棋盘本身，就是危机。本书第 26 章指出，AI 时代让整个科学界同时不安的那层危机，由工具引起，而不是由反常引起。

不可通约　库恩用语：两个典范之间没有中立的裁判语言，同一个词意思不同，同一件事看成不同的东西。本书不把它当作病，而当作燃料：不可通约之处正是缝，新理解在缝上长出来。

定音句　全书的一句定调：AI 时代科学的基本单位不是学科模型，也不是通用大模型，而是「典范模型」。它同时否定了按学科分模型和一个大模型包办两条路。

单一栽培　借自农业的说法：一大片地只种一种作物，产量高，却经不起一场病害。Messeri 与 Crockett 用它说 AI 可能让科学只剩一种提问方式。本书认为它只发生在一个统一模型包办的条件下。

失效地图　沿用《人与 AI 一起发生新数学》的说法：不只记一个典范在哪里成功，更记它在哪里算不出、算不对、答非所问。典范模型要会出自己的失效地图，这是验收的第一项。

三类缝　失效地图上的三种空白。算不出，多半要找一个 E 不同的典范来碰；算不对（残差有形状，最值钱），多半要找一个 Function 不同的典范来碰；答非所问，多半要找一个 D 不同的典范来碰。

接口量　两个典范碰撞前要先对齐的量，即双方「各自最不肯放弃的量」。准入还要看三条：亲缘够近、差异够大、接口对齐。

伪涌现　看起来是碰撞出了新东西，其实没有。三种样子：并列不碰、碰而不合、合而无新。番茄和鸡蛋分装两碟摆在一起，不是番茄炒蛋。

极限特例　旧典范在新典范里的位置：新典范的某个参数取到极限时，退回旧典范。它是「包含而非替代」的形式条件，也是「补位，不是坟墓」的意思。

验收四档　新东西按四档验：新修辞、新记号、新方法、新典范。只有能算出或预言一点旧典范算不出的东西，才进最后一档。「定义是便宜的，门槛是贵的」。

换乘　在几个典范之间往来，而不必住进每一个。并养之后，换乘成为日常；科学教育的目标也从学进一个典范，变成学会驾驭、切换、碰撞多个典范模型。

工具让渡律　《新文明的诞生》提出的规律：革命性工具在哪个产业爆发，那个产业的份额就让出去，经扩大期、内卷期、新产业诞生、让渡开始四个阶段。让出去的是工序，不是学问。

理念的我　《我的三个宝贝》里第三个宝贝「一声呼喊」所喊出的东西：一个在自己的典范里、经多个典范碰撞而发生出来的我。单典范时代，个人只能做共同体典范的执行者。

对效知识　专解我的难题、在我的典范里经碰撞涌现出来的知识。它与被 AI 打到地板价的「我们的知识」相对，是我经济的产品。

我经济　《我经济》（第 224 号）的命题：AI 时代的热门产业是生产「我」。它的悖论是只服务我、我活不下去，所以要有「类我」社区作土壤，形态是智能体加网站加社区三合一，即 SDE 平台。

附录五　本书日常案例一览

全书主讲案例都是我构想的场景，按章列出，供读者查找，也供本系列后续各卷去重。

- 导论：许远一个早晨的通勤（走到站口—坐地铁过江—走进调度中心），并许小满问「地铁是不是取代了走路」；附带：庞记学徒五六年（养一个典范的门票）、三家厨房接寿宴「软而有味的鱼」（三碰预览）、许远夜班看老线运行与新线联调（「同时」）、大食堂与三家小馆（并养不是杂食）、修理铺车间主任（复合体与 SDE 智能体两层级预览）。
- 第 1 章：许远七岁寄住外婆家，走三四里山路上村小，表哥带走三趟（典范的两层：默认＋范例）。〔质检改：原「随外婆赶集」与第 13 章爷爷步行赶集撞车〕
- 第 2 章：小区门口樟树下老人只摆残局谱、不下整盘（常规科学＝解谜）。
- 第 3 章：许远早年坐公交过江，通勤从四十分钟变一个半小时，绕法越想越巧仍下不来（反常积累到怀疑走法本身）。
- 第 4 章：南门老街口文老板的胶卷照相馆，暗房改储物间，显影罐成「老古董」（革命＝替代，教科书藏起断裂）。
- 第 5 章：修理铺刘师傅与韦师傅对洗车店「冲劲变小、老化了」的高压洗车机各看出一种毛病（泵头密封磨损对电机电容衰减；不可通约三层）。〔质检改：原压面机与第 34 章撞车〕
- 第 6 章：许远七十二岁的母亲从现金到手机付款，被一个春节红包与语音「一下子」转过来（格式塔、改宗与第三种答案的影子）。
- 编前语（第二编）：无主例。
- 第 7 章：湘中村子通自来水后老井不填（冰西瓜、救旱、水管冻裂时顶三天）。
- 第 8 章：县城老车站早点街三家并立（米粉、包子、油条糯米饭），招商建议引进连锁。

- 第 9 章：九十年代一户人家只有一台彩电，全家看同一频道；二十年后各看各的再在饭桌上碰。
- 第 10 章：南门老街团年饭，庞秀芳与黄炜合做「街坊鱼」，对「鲜」理解不同，清蒸加热油激辣椒花椒。
- 第 11 章：修理铺刘师傅与韦师傅修木匠一阵慢一阵快的老台钻，碰在「烫」字上，长出「先摸温度」的规矩。〔质检改：原老落地扇与第 17 章撞车〕
- 第 12 章：许小满问许远「地铁修到什么时候算修完、越修越好还是越修越多」。
- 编前语（第三编）：无主例。
- 第 13 章：许小满寒假听宁乡爷爷讲步行十五里赶集，作文《十五里》。
- 第 14 章：许小满社会实践作业，记录全家一周出行，画绿（走路）蓝（坐车）两色图。
- 第 15 章：许小满陪奶奶第一次坐地铁去五一广场附近看老姐妹，「中间那些弯弯绕绕是什么」——「是换」。
- 第 16 章：许远讲新线开通前白天跑老线、夜里联调新线，换乘站两边都得改，通车后「平常里多了一条线」。
- 编前语：无主例。
- 第 17 章：修理铺刘师傅、韦师傅同修一台时快时慢、摇头打嗝的落地电风扇（齿轮磨损对触点烧蚀）。
- 第 18 章：江浙客人到庞记要「不辣的川菜」，庞秀芳端出少泡椒的鱼香肉丝、开水白菜、糖醋里脊。
- 第 19 章：谭老三的新徒弟把小炒肉五样料一锅下，师傅重炒示范先煸青椒、再逼肉油、最后合炒；徒弟后来自己做出藜蒿炒腊肉。
- 第 20 章：冬至敬老午宴，居委会把一筐料（老母鸡、冬笋、干香菌、腊肉）分给炜记、谭家，一家出汤一家出菜，黄炜熬成汤、谭老三炒成干锅鸡（只两家，非三家同题比较，避开第 36 章三碰）。

- 第 21 章：国庆假期许小满蒙眼「盲尝猜菜系」，三家各出六道非招牌小样，十八口猜对十三口。
- 第 22 章：许远用表格给谭家卤猪耳算成本，谭老三指着二十多年未断的老卤坛子问「这坛水你算进去没有」。
- 第 23 章：许小满研究性学习课题「怎样给一个菜系下定义」，问来烹饪老师、语文老师、历史老师、许远四个答案，庞秀芳一句话收束。
- 第 24 章：庞秀芳给许小满算学川菜的「门票账」——十八岁当学徒、八年上灶，只买得起川菜一张票（许远补一句调度员的十来年）。
- 第 25 章：黄炜与谭老三在炜记门口剥毛豆——后厨设备、带出来的帮厨、认招牌的客人，一家店的设施只能服务一个菜系。
- 第 26 章：南门老街口的打字复印社变成图文设计店——忙、卷、长出设计、打字让出主营（工具让渡律四阶段）。
- 第 27 章：老百货一楼改成的美食城——统一排烟管、水电、收银，一个菜系只要一个档口，同层并开二十几个菜系（独养变并养的相变）；附「大食堂味」作反例。
- 第 28 章：外卖平台的「中央厨房共享计划」上门劝三家馆子合灶，三家不签，却各自添了新机器（南门老街三家厨房，构想）。
- 第 29 章：许小满的长沙口音与「世界上没有不带口音的嘴」「平均口音」（许远父女，构想）。
- 第 30 章：地铁公司职工食堂合并三个窗口、按满意度问卷调中间口味，曲线平稳而人越吃越少（许远单位，构想）。
- 第 31 章：修理铺收四个徒弟，按片区分还是按手艺分；许远家燃气热水器洗澡洗到一半熄火、两个徒弟按故障码换零件都不灵，韦师傅量出熄火保护感应线破皮碰壳（刘、韦两师傅，构想）。
- 第 32 章：地铁新线通车前的验收——「看线不看车」与三道关（许远父女，构想）。

- 第 33 章：谭家馆子一个冬天按湘菜路数试四百多个组合，「不成的」一栏里酸果子与菌子成片出涩，谭老三去对面炜记喝茶（南门老街三家厨房，构想）。
- 贯穿陪读：苏知秋（计算材料博士后）在第 28、29、31、33 章各有一段构想的工作场景：三种看法三个模型；网格代理模型裂纹贴网格线；按数据切与按看法切两组模型；裂纹尖端晶粒尺度的成片「算不对」。
- 编前语：无主例。
- 第 34 章：修理铺早点铺磨浆机（磨到十几斤豆子就停）——刘师傅换轴承、韦师傅换过热保护，各修一遍仍停机；「车间主任」让两人各写三栏、并排对照，指出两人都只查冷机、谁都没写「热」。
- 第 35 章：街坊节《南门老街家常菜谱》——干事先让三家随便写（无法编），后发三栏表格（用什么搭／先后／怎么做成）；附：庞记回锅肉与炜记蒸五花肉按三栏对出「逼油与锁油」的 Function 分岔。
- 第 36 章：晚挖的粉藕——三家各做一筐（庞记干煸藕丁失败、炜记藕煲排骨汤、谭家腊肉焖藕），回溯出分歧根在 E（藕连到「脆」）；次日庞秀芳做外焦里糯的藕饼。
- 第 37 章：夜班盒饭「放三个钟头还好吃」——许远托庞记后院七家（另加日料便当邬老板娘、清真牛肉面马师傅、西点房小蔡、卤味翟大姐）群碰，三轮后改题为「按凉吃做／防出水／分开装」。
- 第 38 章：修理铺电动三轮车上坡没劲——刘师傅与徒弟小温（太近）、与手机维修小骆（太远）、与韦师傅（中间距离，握手对齐「坡上力与电流」）三回搭档。
- 第 39 章：许小满高一辩论赛「春节回老家坐高铁还是开车」（两边切的段落不同：路上／到了以后）；附：许远单位新线联调中调度、信号、施工几家磨出的「混合话」。
- 第 40 章：老街豆腐脑摊父子咸甜之争，意外长出薄卤姜汁的第三碗（构想）

- 第 41 章：修理铺一天三桩活——电动车续航忽长忽短（算不出→换 E）、电饭煲总糊同一侧月牙（算不对→换 Function）、老收音机指标正常老人说不对（答非所问→换 D）（构想）
- 第 42 章：许远所在线路与新线接成换乘站，按间隔与按时刻表两套调度对不上，长出「接驳窗口」并回写两边规程（构想）
- 第 43 章：美食节黄炜与谭老三合做一煲腊味饭，煲仔饭次序加烟熏腊肉油焗锅巴（「让油去碰米，不让肉去碰米」），事后谭老三单独留腊肉油、黄炜用烟熏油焗饭，两人手艺都被改写（构想；质检改换，原「合做一条鱼」与第 10 章街坊鱼撞车）；番茄炒蛋仅引用第 123 号，未展开
- 第 44 章：许远与许小满商量重新收拾客厅，一分为二（并列不碰）、各缩一块（碰而不合）、多功能沙发书架（合而无新）、AI 对照表（比对），最后以「时段」为新变量长出长桌加躺椅（构想）
- 结语：回到导论许远早晨通勤一趟路（沿用导论场景）；另有构想小场景「苏知秋几年后的一天」（两个典范模型并跑、缺陷处一算不对一答非所问、送入 SDE 智能体、回写），作结语收束用，非章主例
- 编前语：许远的地铁网（贯穿意象，无新情节）。
- 第 45 章：修理铺刘、韦两位师傅为菜市场冻品摊冷柜「傍晚跳闸」吵出第三种修法（开盖节奏×街区电压叠加），后有徒弟、口诀「先问钟点，再拆再量」、登记本新添一栏。
- 第 46 章：河西老街站客服中心站务员龙姐（构想）的手写「步行用时牌」与新装导乘屏的「全程用时」对照，发现目的地在一公里上下以内时屏幕算法自动退化为步行，「我这块牌是它在近处的样子」；站上把牌重抄为 B 口正式标识（质检改换：原许小满给奶奶画出门用时图与第 14、15 章撞车）。
- 第 47 章：谭家谭老三的剁辣椒坛子，外甥小谭的四样东西（文案、配方卡、恒温发酵箱、录坛沿冒泡节奏并在第五天预言哪几坛会坏）对应四档。

- 第 48 章：许远抽屉里的手绘线网图，换乘站「一把一把多」，老厂房旁换乘站长出支线虚线。
- 第 49 章：调度中心两位新人小杨（守二号线）与阿珂（换乘协调台），雨夜晚高峰处置；记录三层分级。
- 编前语：无主例。
- 第 50 章：南门老街东边早市，谭老三进货——付钱一律「按斤」，挑菜靠捏、闻、按、敲（「给钱按斤，挑菜不按斤」）。
- 第 51 章：许远小区重铺篮球场——混凝土预切伸缩缝「告诉它在哪裂」，井盖角上乱裂，后加短纤维让裂缝分散；切缝与纤维并用。
- 第 52 章：许远家一个晚上的三件事——许小满听上楼脚步知道爸爸累了（听）；业主群「停水」消息的传播与两条消息迎面相撞（波）；开窗穿堂风、多开一扇窗风改道（场）。
- 第 53 章：修理铺收来的老式落地钟每天慢七八分钟——韦师傅测周期、找磨损的齿，刘师傅听嘀嗒轻重、看钟身姿态；合修之后两人各「多做一件事」。
- 第 54 章：庞记庞秀芳教侄子炒郫县豆瓣出红油——测温枪加计时的「几度几分钟」对听声、看油面的「出来了」。
- 第 55 章：许远一家三代坐地铁换高铁去海边，奶奶第一次看海；小满本子上的三行字（构想）。
- 第 56 章：南门三家厨房合接幼儿园午餐，三周走出「南门午餐」，庞秀芳做出不放辣的川味（构想）。
- 第 57 章：许远楼下老路两次改造——第一次拓宽更堵（白碰撞），第二次慢行道、开口、地铁新出口（好碰撞）（构想）。
- 第 58 章：地铁线网综合总分上墙、各线刷分；许远不打分的三件事小本子（构想）。

- 第 59 章：许小满上学一个月走七八种地铁路线（反向坐两站抢座位背单词、等同学、周三绕道旧书店），「网是大家的，路线是我的」（构想；质检改：去掉原「绕开挤的换乘站」，避开第 16 章换乘站高峰拥堵情节）。
- 第 60 章：许小满临颜体两年入帖，同时临三帖打架后写出自己的横画（构想）。
- 第 61 章：许远家老楼北墙回南天，AI 通用清单、母亲看风开窗、邻居墙冷说三方碰出对效办法（构想）。
- 第 62 章：庞秀芳把不辣川味做成小程序＋网页＋类我群三合一（构想）。

库恩写的是一条线，
走到替代就断；
AI 时代的科学是一个圈：
典范模型做满常规科学，
在缝上碰撞、涌现，
沉淀为新的典范模型。

车来了，人没有扔掉腿，
腿车接力，长出了一张交通网。
这本书把典范定义为 Function、D、E 的三组合，
让一个典范一个模型，
在 SDE 智能体里碰撞，
把库恩的单典范，降为一个特例。

你家门口的地铁，是在替代你的腿，还是在接你的腿？　　——本书

德麦国际出版社 · Demai International Press
德麦国际专著第 342 号
定价：US$23.00

ISBN 979-8-90690-401-0
9798906904010