

先动的总是同一边

论课堂验收的节拍如何压掉三条驱动里最慢的那一条，及为什么这一压不产生任何信号

教育学 × 化学 × 管理学

作者 王德生 + Claude

栏目 学科通融 · 站外碰撞

篇幅 约2.2万字 · 30页

发表 2026年8月3日

摘要

课堂上真正的学习为什么很少发生，目前有三种互不相容的解释：教得不对、学得不够、条件不允许。本文主张三种都不承重。承重的是节拍——一堂课里同时跑着三条驱动：教师侧的路径驱动周期以分钟计，学习者侧的做法驱动以天到周计，制度侧的条件驱动以学期到年计；而课堂验收的节拍对准了最快的那一条。于是每一次验收都落在「教师改了讲法、学生的表现已经跟上、而学生自己还没有开始改自己的做法」这个时刻上。被采到的两条不断得到证据与资源，唯一能改变学习者组织方式的那一条既不被记录也不被计入。推翻三家共有前提的材料来自化学自己——**异相成核**：无外来界面时，下一步确由当下状态与条件的落差发起；而只要溶液里有一粒晶种、一片器壁，势垒骤降，体系不再走离自己最近的那一步，改走那个现成结构邀请它走的一步，并跳过整段中间序列。**发起处会易主，且由上一轮留下了什么决定**。化学把这件事当作工艺手段，因为它的体系里只有一个所有者；课堂里有两个，于是归属成了全部。由此给出两个可从既有日志算出、不看学生内部的读数：**节拍比与发起处轮转率**，并论证一门同时持有「及时反馈效应量最大」与「即时表现与长期保持经常分离」的学科，在不承认这个变量时无法同时守住这两条。

这一篇由哪三个学科的理论体系撞成

第一家主张决定学习的唯一变量是教学路径与人类认知结构的匹配，路径一改表现随即改变；第二家主张路径根本不可被设计，只能被当下状态与条件的落差逼出来，体系走的永远是离它自己最近的那一步，而不是你设计的那一步；第三家主张病灶既不在教法也不在落差，而在注意力与时间的分配，且这个分配被历史绩效读数锁死，方法改了也会在下一轮被压回去。三家不能同为真，而且每一家的日课正是另一家诊断出的病：设计路径正是化学判定为无效的那件事，自由设定条件正是管理学判定为幻觉的那件事，而调分配再对、路径不匹配则学习照样不发生（教育判管理）。三家均为站外的公开文献，链接直达原始出处，可自行核对。

教育学 · 认知架构、最小指导的失败与专长逆转

[Kirschner, Sweller & Clark, Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work \(*Educational Psychologist* 41:2, 2006\)](#); 另见 [Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, The Expertise Reversal Effect \(*Educational Psychologist* 38:1, 2003\)](#); [Sweller, van Merriënboer & Paas, Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later \(*Educ. Psychol. Rev.* 31, 2019\)](#)

主张唯一决定性的变量是教学路径与认知结构的匹配；而这一支自己确立的专长逆转效应表明，同一条路径的效力符号随学习者已达到的水平而翻转——在那一刻，是已达到的水平反过来决定哪条路径有效。这是它自己知道、却不往这个方向用的那件事。

https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1

化学 · 奥斯特瓦尔德阶段律、中间态与异相成核

[Chung, Kim, Kim & Kim, Multiphase transformation and Ostwald's rule of stages during crystallization of a metal phosphate \(*Nature Physics* 5, 2009\); 原始出处 Ostwald, Studien über die Bildung und Umwandlung fester Körper \(*Z. phys. Chem.* 22, 1897\); 另见 Vekilov, The two-step mechanism of nucleation of crystals in solution \(*Nanoscale* 2:11, 2010\)](#)

阶段律说体系析出的不是最稳定相，而是自由能上离当前状态最近的相，最稳相往往迟到甚至不到；而只要有一粒晶种或一片器壁，成核不在体相里发生、势垒骤降、整段中间序列被跳过——这一条正是推翻三家共有前提的材料。

<https://www.nature.com/articles/nphys1148>

管理学 · 注意力的结构性分布与能力陷阱

[Repenning & Sterman, Capability Traps and Self-Confirming Attribution Errors in the Dynamics of Process Improvement \(*Administrative Science Quarterly* 47:2, 2002\); 另见 Ocasio, Towards an Attention-Based View of the Firm \(*SMJ* 18:S1, 1997\); Levinthal & March, The Myopia of Learning \(*SMJ* 14:S2, 1993\)](#)

主张成败的关键是管理者的归因与工作场所结构的互动，尤其是投入改进与获得回报之间的延迟；而这一支自己承认，在能力陷阱里是「加压有效」这个读数反过来锁死了注意力分配——方向掉了个头，它把这记为一次错误，没有记为一次方向的转移。

<https://doi.org/10.2307/3094806>

目 录

摘 要	5
一、 导论：三个不能同时为真的说法	6
二、 三家各自的主张与时序读数	7

三、冲突定位：三家两两不能并存	9
四、三家各自知道、却不往这个方向用的那件事.....	9
五、共有前提：变化的发起处是固定的.....	11
六、三条驱动与三个周期	12
七、被压掉的那一格	13
八、为什么这一压不产生任何信号	14
九、十二处兑现	15
十、与最近的几种说法的分界	16
十一、与本栏已有几篇的分界	18
十二、剥去学科名词之后	19
十三、三家为什么各自到不了这一条.....	20
十四、一门不承认这个变量的学科无法同时持有它自己的两条结论	21
十五、三家反过来加给本文的约束	22
十六、两个可以当场算的读数	23
十七、伦理与证据边界	24
十八、证伪条件与一条写死日期的赌注.....	24
十九、不适用的边界	26
二十、本文自己	26
结 论.....	27
注 释.....	28

摘要

课堂上真正的学习为什么很少发生，目前有三种互不相容的解释：教得不对（教学路径与人的认知条件不匹配）、学得不够（难度与落差没有建立起来）、条件不允许（时间与注意力被别处占走）。本文主张这三种都不是承重的那一条。承重的那一条是：一堂课里有三种不同的驱动同时在跑，它们的周期长度相差一到两个数量级，而课堂用来验收的节拍对准了其中最快的那一种；于是每一次验收都恰好落在“教师改了讲法、学生的表现已经跟着变了、而学生自己还没有开始改自己的做法”这个时刻上。被反复采到的两种驱动因此不断得到证据与资源，唯一能让学习者的做法本身改变的那一种既不被记录也不被计入，它的发生率单调下降，而所有可见读数同时改善。

推翻三家共有前提的材料来自被引来作参照的化学自己：在无外来界面的溶液里，下一步确实由当下状态与条件的落差决定；但只要体系中出现一粒晶种、一片器壁或一个模板，成核势垒骤降，体系不再走“离自己最近的那一步”，而是走那个现成结构邀请它走的一步，并跳过整段中间序列。**发起处会易主，而且易主由上一轮留下了什么决定。**化学把这件事当作工艺手段，从不把它读成发起权的转移。

本文由此给出两个当场可算、不看学生内部的读数：**节拍比**（两次外部验收的间隔 ÷ 学习者更换一次做法所需的时长）与**发起处轮转率**（最近 N 次改变中第一步动作由学习者做出的次数占比）。零情态词判据一句：**在这门课最近的 N 次改变里，有几次的第一步动作是学习者做出的？**结论：真正的学习稀缺，不是因为哪一条驱动坏了，而是因为验收的节拍把三条驱动里最慢的那一条从账上抹掉了，且这一抹不产生任何信号。

关键词：节拍比；发起处轮转率；驱动周期；验收即干预；中间态被跳过；能力陷阱

Title: The Same Side Always Moves First

Subtitle: How the cadence of classroom assessment suppresses the slowest of three drivers, and why the suppression emits no signal

Abstract: Three incompatible explanations dominate the question of why genuine learning is rare in classrooms: mismatched instructional paths, insufficient difficulty, and misallocated attention. This paper argues that none of them is load-bearing. Three distinct drivers operate simultaneously in a classroom, with period lengths differing by one to two orders of magnitude; classroom assessment is timed to the fastest of them. Every assessment therefore lands at the moment when the teacher has changed the path, the learner's visible behaviour has followed, and the learner has not yet begun to change his own procedure. The two sampled drivers accumulate evidence and resources; the only driver that alters the learner's own procedure is neither recorded nor funded, and its rate declines monotonically while every visible indicator improves. The material that overturns the premise shared by all three fields comes from chemistry itself: heterogeneous nucleation. In the presence of a pre-

existing interface, the barrier collapses, the system abandons the step nearest its own state, and skips the metastable sequence entirely — initiation changes hands, and which hand depends on what the previous round left behind. Two commensurable readings follow: **cadence ratio** and **initiation turnover**.

Keywords: cadence ratio; initiation turnover; driver periodicity; assessment as intervention; skipped metastable stage; capability trap

一、导论：三个不能同时为真的说法

一位教师上完一节公开课。学生举手踊跃，随堂练习正确率九成以上，课堂气氛好，听课的同行给了高分。三周之后，同一批学生面对一道换了外壳、内核不变的题目，正确率跌到不足三成。没有人作弊，没有人偷懒，没有任何一个环节可以指出来"这里做错了"。

这件事已经被反复报告了几十年，也已经有了三套完整的解释，各自都有实验支持，也各自都有处方。麻烦在于三套解释**不能同时为真**。

第一套来自教育心理学的认知架构一支。 它的主张很硬：决定学习是否发生的，唯一决定性的东西是教学路径与人类认知结构之间是否匹配。工作记忆对新信息的容量与保持时间是硬约束，长时记忆里的既有图式是唯一的杠杆；路径若不借助这个杠杆，学习者表现出来的一切——尝试、猜测、讨论、热闹——都是替代行为，不是学习。柯世乔纳、斯韦勒与克拉克在二〇〇六年那篇檄文里把话说到了头：低指导的教学不是"另一种教法"，它是在忽略人类认知结构本身^[1]。处方随之而来：把路径做对，把范例做足，把认知负荷压下去。

第二套来自化学的路径选择一支。 它的主张同样硬，方向却相反：一个体系最终成为什么，不由任何人的设计决定，只由它当下所处的状态与周围条件之间还容不容得下决定。奥斯特瓦尔德在一八九七年提出的阶段律说得很直白：体系从溶液里析出的，通常不是最稳定的那个相，而是**自由能上离它当前状态最近的那个相**；最稳定的相往往迟到，有时永不到达^[2]。这条一百多年的经验规则在二〇〇九年第一次拿到了原子尺度的实时证据^[3]。把这条搬到学习上，它说的是：学习者不会直接走到最终的理解，他会先形成一个粗糙的、往往是错的、但离他当前状态最近的中间表征——而这个中间表征不是失误，是路径上的一站。**你设计的那条路，不是他会走的那条路。**

第三套来自管理学的注意力与延迟一支。 它的主张是：决定一个组织里什么能长出来的，唯一决定性的东西是稀缺注意力与时间被分配到哪儿，而这个分配被历史绩效读数锁死。奥卡西奥在一九九七年把注意力的结构性分布确立为组织行为的第一解释项^[4]；雷佩宁与斯特曼在二〇〇二年给出了更具体的机制：改进的投入与回报之间有延迟，管理者在延迟期里把绩效不足归因为一线不努力，据此加压，加压短期确实有效，于是归因被自我确证，真正的改进投资永远排不上号——他们称之为能力陷阱^[5]。搬到学习上，它说的是：教学方法改得再对，若评价周期与注意力分配不变，一切都会在下一轮被压回去。

这三套不能同时为真，而且每一家每天在做的事，正是另一家诊断出的病。

教育心理学的日课是**设计路径**。而化学那一支说：路径不能被设计，只能被落差逼出来；你设计的路径若不是体系当下能走的那一步，体系会走它自己最近的那一步，你的设计只是一张纸。

化学的日课是**控条件**——温度、浓度、溶剂、催化剂，都是实验者说了算的自变量。而管理学那一支说：条件场不是你能自由设定的，它被历史读数锁死的；你以为自己在设条件，其实条件在设你。

管理学的日课是**调分配**——把注意力、时间与资源挪到该去的地方。而教育心理学那一支说：分配再对，路径若与认知结构不匹配，学习照样不发生；把资源砸在不匹配的路径上，正是浪费最大的那一类。低指导教学的失败恰恰发生在资源充足、动机充足、时间充足的场合。

三家互为病理，构成一个闭环。这样的局面通常意味着两件事之一：要么三家里有两家是错的，要么三家共同站在一个没有说出口的假定上，而这个假定是错的。本文主张是后者。

本文要立的判断是一句关于**驱动**的话，不是一句关于**方法**的话。它是：一堂课里同时跑着三种驱动，它们的周期长度不在同一个量级上；课堂用来验收的节拍对准了最快的那一种；于是最慢的那一种既不被采样、也不被记账，它的发生率单调下降，而所有可见读数同时改善。真正的学习恰好只发生在最慢的那一种里。

路线图如下。第二节逐家给出它们各自的单因主张与时序读数；第三节把三家的争论压成同一个句式；第四节取三家各自自己知道、却不往这个方向用的那件事；第五节说出共有前提并用其中一家的材料推翻它；第六节给出三条驱动与三个周期；第七至九节给出被压掉的那一格与它为什么不发信号；第九节做十二处兑现；第十至十三节依次与最近的几种既有说法、与本栏已有的几篇、与上游学科的同形结构、与三家各自划清界线；第十四节论证一门不承认这个变量的学科无法同时持有它自己的两条结论；第十五节交出三家反过来削掉本文原本要主张的那三处；此后是读数、伦理、证伪、边界与自反。

二、三家各自的主张与时序读数

三家在这里必须被写成**单因主张**：每一家都认为只有自己那一条是决定性的，另两样只是被驱动的结果。这不是把它们写得极端，而是它们各自的文本确实是这么写的——一旦写成"三者共同作用、要具体情况具体分析"，这一家就不再是一个立场，只是一次弃权。

2.1 教育心理学：路径与认知条件的失配驱动表现改变

主张：教学路径与学习者当下的认知条件之间的不匹配，驱动了学习者表现出来的行为改变。路径一改，表现随即改变；路径不改，其余一切努力都落不到地上。

支撑一（结果层）：在低指导条件下，学习者表现出来的是搜索行为，不是学习行为；即时表现可以完全正常，而迁移接近于零。

支撑二（路径层）：工作记忆对新异信息的容量与保持时长是硬约束，路径必须以既有图式为杠杆——人类获取新知识的主渠道是从他人处借取并重组，不是自行发现。

支撑三（条件层）：一旦学习者的既有图式足以自行组织信息，指导性路径的优势不仅消失，而且反转。

时序读数：先动的是教学路径；学习者的**即时行为**在同一节课内跟上；**长时记忆结构**要数周才跟上；跟不上的那一步是——若先备图式缺失过大，路径改了而表现不改。

2.2 化学：当下状态与条件的落差驱动路径改变

主张：一个体系最终成为什么，由它当下的状态与所处条件之间的落差决定。路径不是被设计出来的，是被这个落差逼出来的；最终态不是目标，是若干次"走最近一步"的累积后果。

支撑一（结果层）：结晶体系普遍先析出中间的、不稳定的相，最稳定的相往往迟到或不到。这不是例外，是常态；它在冶金、制药、矿物沉淀、蛋白结晶里被一再确认。

支撑二（路径层）：产物的比例由通道的高低决定，而不由起始物的分布决定。"你放了什么进去"不预测"你得到什么"——这是柯廷—哈米特原理的日常表述。

支撑三（条件层）：势垒可以把体系长期捕获在一个不稳定的构型里，此后条件再变，它也出不来。玻璃、金刚石与石墨的共存、许多药物的亚稳晶型，都是这一条的产物。

时序读数：先动的是**局部状态与条件的失配**（过饱和度）；**路径**在极短时间内跟上（诱导期结束即成核）；**最终相**要经历若干中间态才到，有时永远到不了。

2.3 管理学：绩效与既有做法的长期不容驱动条件场改变

主张：一个组织里什么能长出来，由稀缺注意力与时间被分配到哪儿决定；而这个分配是被"实际绩效与既有做法长期对不上"逼着改的。方法改了而分配没改，一切回弹。

支撑一（结果层）：改进投入的回报**先降后升**——投入的当期，产出反而变差；因而在滞后期内，改进几乎总是被撤回。

支撑二（路径层）：管理者把绩效不足归因为一线不努力，据此加压；加压在短期确实有效，于是归因被自我确证，真正的改进永远排不上号。这是一个自锁回路，而不是一次判断失误。

支撑三（条件层）：注意力的分配由组织的规则、资源与关系的结构性分布决定，不由个人意愿决定；因此"要重视"这句话在结构不变时没有任何作用。

时序读数：先动的是**注意力与时间的分配**；**做法**在数周内跟上；**绩效**滞后数月甚至数年，而且先降后升——所以在滞后期里，改进总是被撤回。

三、冲突定位：三家两两不能并存

教育心理学与化学。 前者说路径可被设计并驱动结果；后者说路径不可被设计，只能被落差逼出来。若化学对，那么"设计一条最优教学路径"这件事在描述上就是错的：学习者会走他当下能走的最近一步，而不是你设计的那一步；你能做的最多是改变落差，不能改变他的下一步。若教育心理学对，那么化学在说的只是一个没有第二个主体的体系里的规律，搬到有主体的场合是一次类比而不是解释。

教育心理学与管理学。 前者说路径匹配即可；后者说条件场被历史读数锁死，路径改了也无处生根。若管理学对，教育心理学的处方在结构上不可实施——它每一次都会在下一个评价周期里被压回去，而这不是执行不力，是回路的必然。若教育心理学对，管理学的"资源到位"只是把钱砸在错的路径上，改分配不改路径等于加大投入去做同一件无效的事。

化学与管理学。 前者认为条件是外生的、可设的：温度、浓度、溶剂由实验者说了算，路径是被逼出来的那一个因变量。后者认为条件是内生的、被锁的：注意力分配是被过去的绩效读数塑造的，反而是读数在驱动条件。两家对"条件场到底是自变量还是因变量"给出了**互不相容的归属**。

三对全部冲突。而三家的处方在一个具体处境里会立刻分岔：

设一位教师面对一个班，学生在解一元二次方程的应用题时，普遍用列表试数而不用建立方程。三家给出的下一步是——

- 教育心理学：**做范例**。给完整的、逐步的解答范例，把建模那一段的认知负荷压下去，让学生先看到形式，再自行练习。
- 化学那一支：**别给**。学生现在走的列表试数，是离他当前状态最近的那个中间形态；它不是错误，是必经的一站。你给了范例，他会跳过这一站，得到的东西外观上与建模一致，而他自己没有走过那段路。你要做的是**把落差维持住**，让试数在某个规模上失效。
- 管理学：**先看评价**。只要下周的测验仍然只考"能不能算对"，无论你给不给范例，学生都会回到最省事的那条路上；病灶不在这一节课，在评价周期与它所塑造的注意力分配。

三条处方不能同时执行。**给范例**与**别给范例**直接对立；而**先改评价**在时间尺度上根本进不了这一节课。教师站在那里，三个都对，三个都用不了。

本文认为，之所以三条都用不了，是因为三家共同回答的是"下一步该由什么决定"，而这个问题预设了一件三家都没有说出口的事。

四、三家各自知道、却不往这个方向用的那件事

要推翻三家共有的假定，材料不能从外面搬。从外面搬一个理由来反对它们，得到的只是第四家的立场——那是加入争论，不是取消争论。材料必须是三家之一**自己已经掌握、已经发表、只是没往这个方向用的事实**。三家各有一件。

4.1 教育心理学自己知道的那一件：专长逆转

同一条教学路径，对新手最优，对已经有基础的学习者反而有害。卡柳加、艾尔斯、钱德勒与斯韦勒在二〇〇三年把它确立为一个稳定效应，并给了机制解释：对高水平学习者，外部指导与他自己已有的图式重复，重复本身要占工作记忆^[6]。这一支自己把它用作"要因材施教、要动态调整支架"。

但它还有另一种读法，而这一支从不采用：**在专长逆转发生的那一刻，是学习者已经达到的水平反过来决定了哪条路径有效。** 路径不再是驱动者，它成了被驱动者。也就是说，这一家自己承认，它那条驱动的方向是**有条件的**——在一部分场合里方向是反的。而一旦承认方向可以反，就不能再说方向是给定的。

4.2 化学自己知道的那一件：异相成核

这是本文最要紧的一件材料，因此写得细一些。

在一杯纯净的过饱和溶液里，晶体从哪儿开始长？经典成核理论的答案是：从涨落里自发出现一个超过临界尺寸的核。这个过程要越过一个势垒，势垒的高低由界面能与过饱和度决定；在越过之前有一段**诱导期**，什么也看不见，而体系确实在准备。这一整套，正是化学那一家的立场：下一步由当下状态与条件的落差决定。

但化学家自己都知道，实验室里几乎从来不是这样。**只要溶液里有一粒晶种、一道器壁划痕、一片灰尘、一个模板表面，情况完全不同：**成核不在体相里发生，而在那个现成的界面上发生；势垒按一个与接触角有关的因子被削减，通常低一个数量级；诱导期骤然缩短甚至消失。更要紧的是——**体系不再走"离自己最近的那一步"**。晶种是哪个晶型，长出来的就是哪个晶型；那一整段本该逐级经过的中间序列被**跳过了**。制药工业每天靠这件事吃饭：要哪个晶型，就投哪个晶种。

化学把这件事叫作工艺手段，写进操作规程，从不把它读成别的什么。而它还有一种读法：

> **在无外来界面时，发起处是"落差"；一旦有了现成的结构，发起处就换成了"那个结构"。发起权易主，而且易主由体系里已经存在什么决定。**

还有第二段。一旦体系被势垒捕获在某个中间构型里（动力学捕获），发起权**又换了一次手**：此后条件再怎么变，体系也出不来——是**已经走过的那条通道**在决定条件还能起多大作用。玻璃就是这样存在的：它的条件早已允许结晶，它出不来。

于是化学自己的材料给出了一句化学自己没说的话：**发起处不是固定的，它在同一个体系里轮转，而每一轮由谁发起，取决于上一轮留下了什么。**

4.3 管理学自己知道的那一件：自我确证的归因

雷佩宁与斯特曼那篇文章的标题里就写着"自我确证的归因错误"。它说的是：管理者观察到绩效不足，归因为一线不努力，据此加压；加压在短期确实提升绩效，于是**"是他们不努力"**这个归因被结果确证了。

这一支把它当作一个认知偏差，处方是**"要看到延迟、要抵抗诱惑"**。但同样有另一种读法，而这一支不采用：**在这个回路里，是"加压有效"这个读数反过来锁死了注意力分配。** 按它自己的框架，注意力分配

（条件）是驱动者、绩效（读数）是被驱动者；而能力陷阱描述的恰恰是**读数在驱动条件**。方向掉了个头，而这一家把它记为一次错误，没有记为一次方向的转移。

三件材料指向同一件事：三家各自都在自己的领域里遇到过“我这条驱动在某些情形下反而是被驱动的”，而三家都把它当作一个需要修正的例外，没有一家把它当作驱动方向本身会轮转的证据。

五、共有前提：变化的发起处是固定的

现在可以把三家的争论压成同一个句式了：

> 三家争的是：一堂课里“下一步走哪条路”这件事，**该归给哪一个位置**——归给教学设计（教育心理学）、归给当下状态与条件的落差（化学）、还是归给注意力分配（管理学）。

争的是归属。而它们共同假定了一件事：

> **存在一个稳定的发起处。每一轮变化都有一个正在起作用的发起者，而这个发起者在一轮又一轮里是同一个位置。**

把这句话念给三家听，三家都会说“这还用说吗”。它不是任何一家的立场，它是三家立场得以互相反驳的那块共同的地面——只有假定发起处唯一且固定，“是哪一个”才成为一个可争的问题。

而第四节第二段的材料把这块地面掀了：在化学自己的体系里，发起处**不是固定的**。无外来界面时它在落差那一侧；有晶种时它在那个现成结构那一侧；被捕获之后它在已走过的通道那一侧。三种情形不是三种理论，是同一个体系在不同轮次里的三个读数。而它们的次序不是随机的：**每一轮的发起处，由上一轮留下了什么决定。**

这件事在化学里不引起任何理论麻烦，因为化学的体系里**只有一个所有者**。烧瓶不会“自己发起”，晶种是谁放的、器壁是谁的，与化学无关。所以化学有了发起权转移的完整形式，却从来没有动机去问“发起权属于谁”。

而在课堂里，这个问题是全部。课堂里有两个主体：教师与学习者。发起权在谁那一侧，决定的不是效率，是这一轮算不算学习。

于是本文的判断可以写出来了：

> 课堂上真正的学习之所以少，不是因为教学路径与认知条件不匹配，不是因为落差与难度没有建立起来，也不是因为注意力与时间被别处占走；而是因为一堂课里同时跑着三种周期长度相差一到两个数量级的驱动，课堂验收的节拍对准了其中最快的那一种。于是每一次验收都落在“教师改了讲法、学习者的表现已经跟着变了、而学习者自己还没有开始改自己的做法”这个时刻上；被采到的两种驱动不断得到证据与资源，唯一能改变学习者做法本身的那一种既不被记录也不被计入。它每被跳过一次，下一轮的发起权就更牢地留在教师那一侧。

这条判断不能从任何一家单独推出，理由在第十三节。

六、三条驱动与三个周期

6.1 三条驱动

把三家的主张各自写成"什么与什么不相容，逼动了什么改变"，得到三条形式相同、内容互不重叠的驱动：

驱动甲（教师侧的路径驱动）：教学路径与学习者当下的认知条件不相容 → 学习者的**表现**改变。这是"教了，学生变了"。改变发生在学习者的可见行为上：答对了、举手了、按新格式写了。

驱动乙（学习者侧的做法驱动）：学习者已有的表现与他所处的条件不相容 → 他自己的**做法**改变。这是"他发现自己这一套不够用了，于是换了一套"。改变发生在他组织这件事的方式上：从列表试数改成建立方程，从死记改成找结构，从逐句翻译改成整段理解。

驱动丙（制度侧的条件驱动）：已经交出的成绩与既有做法长期不相容 → **条件场**改变。这是"这样出来的成绩不行，于是整个安排换掉"：换教材、换分组、换课时、换评价方式。

三条各改一样东西：甲改表现，乙改做法，丙改条件。**只有乙改的是学习者组织事情的方式本身。**甲改的是他做出来的样子，丙改的是他所处的场地。

三条构成一个循环，而不是三支互不相干的箭头。乙发生之后，学习者的新做法折回去改变了甲的适用条件（这正是专长逆转所说的：他的水平变了，原来那条路径不再最优）；丙发生之后，新的条件场改变了甲与乙各自的余地。**这个循环闭合与否，决定了下一轮由谁先动。**

6.2 三个周期

三条驱动的周期长度**不在一个量级上**。这一节是全文的承重处。

甲的周期：分钟到小时。教师换一种讲法，学生的可见行为在同一节课内改变。这一点没有争议，而且正是教学设计研究能够做出可重复实验的原因——它的因变量响应快。

乙的周期：天到周。学习者自己发现原有做法不够、并真的换掉一套做法，需要反复碰壁、需要把旧做法失效的经验积累到一个量，还需要一段无人打断的时间把新的组织方式试出来。这个数字不是本文估的：产生性失败一支的实验里，"自行探索一失败一再受教"的完整周期通常以课时计而非以分钟计；而成人在真实工作中更换一套惯常做法的时间，组织研究给出的量级是数周。

丙的周期：学期到年。制度、评价、资源的重排。管理学那一支自己给出的核心事实就是：投入与回报之间有延迟，而延迟长到足以让改进在见效前被撤回。

三个周期相差一到两个数量级。这本身不是问题——自然界里到处是不同尺度的过程共存。问题出在采样上。

6.3 节拍比

课堂的验收——提问、随堂练、当堂检测、作业批改、单元测验——其节拍对准的是甲，不是乙。这不是一个可以指责的决定，它几乎是被迫的：验收要在教师能观察、能记录、能给出反馈的时间尺度上进行，而那正是甲的时间尺度。

于是有了一个可以直接算的量：

> **节拍比 = 两次外部验收的间隔 ÷ 学习者更换一次做法所需的时长**

分子是制度给出的，分母是任务与人给出的。这个比值无量纲，在任何领域里都可以并排比较。

当节拍比远小于一时，每一次验收都必然落在乙的中途或之前。落在中途意味着打断：学习者刚开始试一套新做法，还没有试出来，验收来了；验收要的是一个可评的产物，而一个还没成型的新做法交不出可评的产物，交得出的只有旧做法或者别人的做法。落在之前意味着乙根本没有启动：落差还没有被学习者自己读到，答案已经在黑板上了。

两种情形的结果是同一个：乙没有发生，而甲发生得很好。

第六节到这里给出的是一个形式结论：在节拍比远小于一的体系里，三条驱动中只有甲与丙会被记录，乙的发生与否不改变任何一笔账。

七、被压掉的那一格

把两件事各作一根轴，可以把课堂的每一轮放进一张两行两列的表里。

第一根轴：这一轮的第一步动作由谁发起——是教师改了讲法、给了提示、提出了问题，还是学习者自己发现原有做法不够而动手改。

第二根轴：下一次外部验收落在这一轮完成之前还是之后。

	验收落在这一轮完成之后	验收落在这一轮完成之前
第一步由教师发起	常规讲授加延迟检测。学习者的做法未被触动，但至少有一段无人打断的时间，结果多为"记住了、会套了"；迁移看内容类型而定。	靶格。高频反馈课堂。正确率最高、参与度最高、完成率最高，而学习者的做法从头到尾没有改变过一次。
第一步由学习者发起	唯一一格。学习者读到落差、自己换了一套做法、并有时间把它试出来；验收落在之后，因此验收测到的是新做法的产物。	被打断的自发。学习者刚开始改做法就被验收拽回；表现为"想法多、不成型、做得慢"，在课堂上通常被诊断为不专心或基础差。

靶格是左下格。 判断一个格是不是值得写一篇文章去打，有三条签名，缺一条就说明轴选错了——那样的格子不需要任何框架，谁都看得见。

签名一：它在短期指标上表现为改善。 左下格的正确率、参与度、完成率、满意度全都上升，而且是真的上升，不是装出来的。教师的讲法确实更好了，学生确实当场答对了。

签名二：它的失效不产生任何信号。 没有任何一份课堂记录会写下“这一轮本该由学习者发起而没有”。学习分析系统记录点击、停留、正确与否、求助次数；它不记录**这一次改变的第一步动作是谁做的**。这个字段在所有主流的教学日志格式里都不存在。缺一个字段与这个字段填了零，在数据上完全不可区分。

签名三：它自我加固。 教学设计越精细、反馈越及时、采样越密、资源越充足，验收间隔越短，节拍比越低，乙的余地越小。也就是说，**一个班越是按当前公认的最佳实践去办，它越牢地待在左下格里。** 这一条最要紧：它意味着左下格不是执行不到位的结果，是执行到位的结果。

右下格值得单说，因为它是最容易被误判的一格。这一格里的学习者做的正是本文认为唯一算数的那件事——他自己在改做法。而他在这格里的读数是：慢、乱、正确率低、当堂交不出东西。在一个以甲为节拍的课堂上，这样的学生会被归入需要补救的那一类，而补救的标准动作是**加大指导、缩短反馈间隔**——恰好把他推进左下格。

八、为什么这一压不产生任何信号

签名二值得单独一节，因为它是“真正的学习很少发生”这件事能够长期存在而无人负责的全部原因。

一个体系里的某样东西被压掉了，通常会在某处留下痕迹：产量下降、投诉上升、指标变红。而乙被压掉之后，**所有可见读数一致向好**。原因有三层。

第一层：乙的产物与甲的产物在验收时不可区分。 一个学生因为自己换了做法而答对，与一个学生因为教师给了范例而答对，在卷面上是同一个答案。要区分它们，需要一个记录“这个答案是在谁的表征上生成的”的字段，而三家的账本都没有这个字段——化学的产率报告不写这一批是在什么核上长起来的，教育的成绩单不写这道题的解法是谁的，绩效报表不写这次改进的模板是从哪儿借来的。

第二层：甲的读数会被记为乙的成果。 因为乙不可见，凡是可见的改善都只能被归给可见的原因。教师改了讲法，正确率上升，于是“改讲法有效”得到确证——这与管理学那一支描述的自我确证是同一个结构，只是位置不同：那里是“加压有效”确证了“他们不努力”，这里是“改讲法有效”确证了“教学设计是杠杆”。

第三层：丙读到的是一串“甲有效”的记录，于是条件场朝着强化甲的方向改。 制度看到的证据是：凡是把教学设计做细、把反馈做及时、把采样做密的班级，指标都更好。于是资源、评优、培训、采购全部朝这个方向去。**新的条件场进一步缩短验收间隔，节拍比进一步下降，乙的余地进一步收窄。**

这三层合起来是一个自锁的循环，而它的锁不在任何一条驱动上，在**三条驱动的周期比**上。这一点决定了它不能靠"改进某一条驱动"来解开：把甲做得更好，锁得更紧；把丙的资源加得更多，锁得更紧。第十六节给出的干预因此不落在任何一条驱动上，只落在节拍上。

还有一件事必须在这里说清楚，否则后面会被误读：**本文不主张甲是坏的**。甲是必要的——没有教师改讲法，学习者根本走不到能够读出落差的位置上；第十五节会给出教育心理学反过来加给本文的那条约束，它正是关于这一点的。本文主张的只是：甲的读数不能被当作乙的读数，而现行的每一次验收都在做这件事。

九、十二处兑现

类比是"像"，兑现是"在那个领域里也能据此预测一件具体的事，且这件事可以不成立"。以下十二处，每一处都给出可读的量。

一、连续结晶工艺。 在一台连续结晶器上，取样与在线检测本身是一次扰动。预测：在其他条件匹配时，取样频率高于诱导期倒数的批次，其晶型分布更单一，且更偏向器壁与晶种所对应的那一型；而按阶段律预期的中间相在这些批次里检不到。这是一个可以从既有批记录里回算的量。

二、有机合成实验课。 预测：给出完整操作步骤的实验课，学生"遇到偏差时改方案"的行为频次接近零，即便他们的产率与报告都很好；而只给目标与安全边界的实验课，改方案频次显著高，同时报告更难看。两者的分离要在**同一批学生、同一学期内**做，不能拿两所学校比。

三、组织流程改进。 预测：在同一家公司内部，按月考核的部门其改进提案中"由一线发起"的比例低于按季度考核的部门，而按月考核部门的当期指标更好。控制部门规模与业务类型；这份数据在多数公司的提案系统里已经存在。

四、医院晨间交班。 预测：缩短交班间隔会提高即时决策的正确率，同时降低住院医"自行提出鉴别诊断"的频次。前者可从质控记录读，后者可从交班录音的编码读。

五、代码评审。 预测：合并前必须通过评审的团队，其成员"自己推翻并重写一次设计"的次数低于允许先合并后复盘的团队；而前者的缺陷密度更低。这两个量都在版本库里，可直接算。

六、飞行训练。 预测：教员实施即时纠正的科目，学员在无教员条件下的自纠率低于教员只在着陆后讲评的科目；而即时纠正科目的当次考核通过率更高。

七、乐器练习。 预测：每小节即时纠正的学生，其"自己发现这里不对"的报告频次低于每段落纠正的学生；而前者的当次演奏相似度更高。可用练习录音加自陈日志读。

八、体育技能。 预测：高频视频回放反馈会提高动作的即时相似度，同时降低比赛中的临场调整频次。后者可从比赛录像编码读。

九、研究生训练。 预测：导师逐稿修改的学生，其"自己重构论证结构"的次数低于导师只在节点给意见的学生；而前者的初稿质量更高、投稿周期更短。可从版本历史读。

十、语言学习应用。 预测：每题即时判对错的产品，用户"自行更换记忆策略"的行为几乎不出现；把判定推迟到一组题之后，该行为出现率上升，同时单题正确率下降。这是一个可以做成 A/B 的产品实验，成本极低。

十一、家庭作业陪读。 预测：家长在旁即时纠错的儿童，其自纠率低于家长只在完成后检查的儿童；而前者的作业正确率更高。

十二、编程助手。 预测：补全延迟越短、建议接受率越高的开发者，其"自己重写方案"的频次越低。这一条最便宜——它可以从集成开发环境的日志里直接算，不需要任何新的采集，而且它在样本量上远超前面十一条。**如果本文只能被检验一次，应当在这里检验。**

十二处里有九处指向同一个形状：一个能提高即时读数的干预，同时降低自发改做法的频次，而两者从不被放在同一张报表上。另三处不是兑现，是反过来对本文的削弱，写在第十五节。

十、与最近的几种说法的分界

以下每一条都必须能写成"若观察到甲，则本文对而该说法错；若观察到乙，则反之"。写不成这个形式的，等于承认被它覆盖。

产生性失败（卡普尔，二〇〇八；二〇一六）。 这是最近的邻居。它主张：让学习者先在没有指导的条件下尝试并失败，再给教学，长期效果好于先教后练^[7]。它与本文在处方方向上一致，因此更需要分清。差别落在**发起处**上：产生性失败把"挣扎"当作一段可以被设计出来的时长，它的操作定义是教师安排一段无指导的探索期。而本文说的是这一轮的第一步动作由谁做出——**一段被教师安排出来的探索期，其第一步仍是教师发起的**。判定：若在产生性失败的实验里，把探索期长度作为自变量而把"探索期内学习者是否自发更换过一次做法"作为协变量，结果显示效应主要由后者承载、而探索期长度在控制后不显著，则本文对而该说法错；若效应主要由时长承载、与是否自发更换无关，则反之。这是一个可以在已有数据上做的重新分析。

合意困难（比约克夫妇，二〇一一）。 它主张：在学习期制造困难（间隔、交错、提取而非重读）会降低即时表现而提高长期保持。分离线：合意困难把变量放在**任务的难度与安排**上，本文放在**验收的节拍**上，两者正交。判定：设计一个任务难度与间隔安排完全相同、只有"首次外部验收落在自发换做法之前还是之后"不同的对照；若两组延迟迁移无差异，则本文错而该说法足够；若有差异，则该说法遗漏了一个不属于难度的变量。

反馈的力量（哈蒂与蒂姆珀利，二〇〇七）。 这一支把反馈确立为效应量最大的干预之一，并主张反馈应当及时、具体、指向任务。分离线：它把反馈当作**信息传递**，因此只问反馈的内容与形式；本文说的是反馈的**时点**决定了它是填平落差还是提供路标——同一条反馈，落在学习者读到落差之前是填平，落在他

已经动手之后是路标。判定：控制反馈的内容与形式完全相同，只改时点（落差建立前／建立后／自发更换后），若三组延迟迁移无差异，则本文错；若"自发更换后"一组显著更高，则"反馈越及时越好"必须加一个符号相反的条件。

自我调节学习（齐默尔曼；温与哈德温）。 这是最危险的一位，因为它本身就是一个循环模型：预想、执行、自我反思，三段闭环。它与本文形状极近。分离线：自我调节把循环放在**学习者内部**，它的三段全部是同一个人的心理过程，因此它的处方是训练学习者的元认知；本文的三条驱动分属**三个不同的位置**（教师、学习者、制度），且周期长度差一到两个数量级，因此本文的处方不落在训练任何人身上，只落在节拍上。判定：若对学习者的自我调节训练而不改变验收节拍，其自发更换做法的频次显著上升，则本文错而该说法足够；若训练提高的是自陈的策略知识而行为频次不变，则反之。**后一种结果如果出现，它同时解释了元认知训练迁移不佳这个长期困扰该领域的现象。**

能力陷阱（雷佩宁与斯特曼，二〇〇二）。 它同时是本文的三家之一，因此必须说清本文不是它的一个应用。分离线：能力陷阱把周期不匹配放在**投入与回报之间**（一个变量的两个时点），本文放在**三条驱动之间**（三个变量各自的周期）。这不是"更细"，是不同的位置：能力陷阱的处方是"看到延迟、顶住压力、坚持投入"，而本文预测**顶住压力、加大投入而节拍不变时，乙的发生率不变**——因为加大的投入会流向甲。判定：在一个已确认存在能力陷阱的组织里，加大改进投入且管理层明确承诺不撤回，若一线发起的改进比例随之上升，则该说法足够；若上升的只是自上而下发起的改进数量而一线发起比例不动，则本文对。

学习的近视（莱文塔尔与马奇，一九九三）及其同族。 该文指出组织学习系统性地偏好近的、快的、成功的，因而系统性地学错。同族的还有能力刚性（伦纳德—巴顿，一九九二）、伊卡洛斯悖论（米勒，一九九〇）、成功陷阱。这一族是**反转模板**：越成功越失败。本文剥去学科名词之后确实是一个反转模板，因此必须点名并判定。分离线：这一族讲的全都是**同一个主体的偏好**——组织偏好近处，因此处方是纠正偏好、建立探索的保护区。本文讲的是**三个不同主体的驱动之间的周期关系**，被压掉的那一条不属于任何一个主体的偏好：教师没有偏好压掉它，学习者更没有，制度也没有；它是三方节拍关系的产物。判定：若提高主体对长期的重视程度（设立探索预算、把长期指标写进考核）能恢复乙的频次，则本文可被这一族吸收；若重视程度提高而节拍不变时频次不动，则不能。

测量的反应性与前测敏化（坎贝尔与斯坦利，一九六三）。 这是一个方法学上的占位者，杀伤力比内容上的那几位大。它早已确立：施测这个动作本身会改变被测者，因此前测会污染后测。本文说"验收是一次干预"，形式上与它一致。分离线：前测敏化说的是**测量对被测者状态的污染**（他因为被测过而对内容更敏感），本文说的是**测量的时点终止了一个正在进行的过程**（他因为要交东西而放弃了正在试的新做法）。前者的方向是增强，后者是终止。判定：若把验收改为完全不进入任何记录、不参与任何比较的匿名检测，前测敏化的效应应当保留，而本文预测的终止效应应当消失。这是一个可以做的实验。

格兰杰因果（一九六九）。 本文的"发起处轮转率"读数会被读作它的一个特例——都在问"谁的变化先出现"。分离线：格兰杰检验问的是一个**时间序列能否改善对另一个序列的预测**，它不要求任何一次具体的改变有一个可指认的发起动作；本文的读数是**逐次清点的**，每一次改变都要问第一步动作是谁做的，而且允许在同一段时间里不同轮次的发起处不同。判定：若在一段数据上格兰杰检验显示教师侧序列单向领

先，而逐次清点显示其中三成的轮次由学习者发起，则两者不是同一个量；若逐次清点的结果总能被格兰杰检验的方向完全预测，则本文的读数多余。

耦合振子的相位牵引（惠更斯，一六六五；后经库拉莫托等形式化）。 这是本文形式结构在上游的第一个名字：多个不同频率的振子在耦合下被拉向同一个频率。分离线也很硬：**牵引的结果是慢的那个变快、频率趋同**；本文说的是慢的那个**根本不出现**，频次趋零而非周期缩短。判定：若在拉长验收间隔的班级里观察到自发换做法的周期缩短并与验收周期同步，则这是牵引，本文的描述错；若观察到的是频次从接近零上升而单次周期长度不变，则是本文所说的抑制。**这两种结果在数据上完全可分。**

采样定理与混叠（奈奎斯特，一九二八；香农，一九四九）。 上游的第二个名字。混叠说的是采样频率不足时，高频成分被误读成低频成分。本文的情形方向相反：采样频率**远高于**乙的频率，因此乙在每一次采样里都表现为"没变化"。分离线：混叠产生的是**虚假的信号**，本文产生的是**没有信号**。判定：若在提高采样密度时观察到乙的读数出现周期性的假象，则是混叠；若观察到的是读数恒为零，则是本文。

目标置换（默顿，一九四〇；塞尔兹尼克，一九四九）。 剥到形式层之后还要问一次：本文说的是不是"手段吞噬目的"？不是。目标置换说的是组织把手段当成了目的，因而**做错了事**；本文说的是三条驱动里有一条从来没有被计入，因而**做对的事只做了一部分**，而且没有任何一方把手段当成了目的——教师确实想让学生学会，制度确实想提高质量。判定：若把评价目标从"当堂正确率"改成"三个月后的迁移成绩"而节拍不变，目标置换的说法预测问题解决，本文预测乙的频次不变——因为改的是目标，不是节拍。**这一条是最容易做的判决性对照，因为已经有一批学校在做这件事。**

最近的邻居是产生性失败。本文不能被它吸收，理由是：它的操作定义要求教师安排一段探索期，而本文的变量恰恰是"这一步是不是教师安排的"。一个**必须由教师安排出来的自发**，在本文的表里仍然落在左侧那一列。

十一、与本栏已有几篇的分界

本栏在此之前已有几篇处理同一片区域的文章，它们是本文最近的一批参照，必须逐篇分清，否则读者一眼就能看出重叠。

《**方程两边都有它**》（本栏之五十四）。那一篇用的是同样三个学科，处理的也是"课堂完成了而学习没发生"。差别是硬的：那一篇问的是**同一轮之内，那一步该由谁走**，它的承重变量是分岔步的归属与首次选择的可逆性，产物是一条把两种看起来一样的轮次分开的辨别标准。本文问的是**跨轮之间，第一步动作由谁发起、三条驱动的周期比是多少**，产物是一组关于先后与轮次的观测。两篇给出的判决在具体案例上会相反：**设一堂课里所有分岔步都由学生自己走——那一篇判为健康——而每一步走完立即验收、下一步立即由教师给出新方向**，本文判为乙从不发生，仍无真正的学习；可读数是"学生自发更换做法的次数为零，而分岔步代做率也为零"。**反过来，设一堂课里有大量代做——那一篇判为病——而代做之后留出两周不验收、下一次任务要求学生自己重做**，本文判为若落差在这两周内被学习者自己读到，乙可以发生。两篇对同一份材料给出相反的评价，分离线因此成立。

另需诚实记下一处继承：本文第八节说的"甲的产物与乙的产物在验收时不可区分"，是那一篇归属不对称的一个时间维版本，这笔账记在那一篇上。

《每一轮都从新鲜表面开始》（本栏之五十五，与本文同日发表）。这是本文最近的一位，近到必须先说：那一篇与本文同用三个学科、同处理"课堂上真正的学习为何稀缺"，而且同样把承重处放在"下一轮由谁先动"上；两篇的化学材料不同——那一篇取的是反应中生成的物种反过来重构活性位点、以及恒定外部条件下催化剂的自发振荡，本文取的是阶段律与异相成核。

分离线在**病灶的位置**上。那一篇说的是**结算规则**：每一轮里真实生成、真实占位的未完成中间体，在结算时被清零，因为三家的账只承认起点态与终点态，于是下一轮只能从起点重新开始。本文说的是**采样节拍**：最慢的那条驱动从来没有被任何一次验收覆盖过，因此它不是走完了之后被清零，是**从来没有走完过一次**。那一篇的病灶在轮与轮的接缝上，本文的病灶在同一轮之内验收落点与驱动周期的比值上。

判决性对照，两侧都写死。设一个课堂**允许结转**——下一次任务明确要求从上一次停下的地方继续，中间体不清零——而**验收间隔仍远小于更换做法所需的时长**：那一篇预测问题解决，本文预测自发更换做法的频次不变，因为结转的是产物，不是那段必须由学习者自己持有的落差时间。反过来，设一个课堂**验收间隔足够长，而每一轮强制换新情境、不许接着上一次的思路**：本文预测乙可以发生，那一篇预测仍然不能。两个设计都可以在同一门课的平行班上做，两篇的预测在同一份数据上互相排斥。

一处互补，而不是重叠。若两者都成立，则流失速度不是相加而是相乘：一个既不结转、验收又密的课堂，其自发更换做法的频次应当低于任一单独因素所能解释的水平。这是一个可检验的联合预测，也是本文认为两篇应当被一起引用、而不是二选一的理由。

《收得回的那一遍》（本栏之三十六）。那一篇的轴是可撤回性，它调节的是**可读性**——一件事做完之后还看不看得出它是怎么做的。本文的轴是节拍，它调节的是**可选择性**。判决：一个允许无限撤回、但每次撤回后立即给出正确答案的系统，那一篇判为健康，本文判为乙仍为零——因为可撤回没有改变落差被谁读到。

《那一段谁走的》（本栏之五十一）。那一篇的哑段按**产出有无**定义：一段没有产出的时间。本文的落差期可以**完全落在有产出的时段里**——学习者在做题、在写、在说，只是他自己的做法还没有改。判决：一个全程有产出、无哑段的课堂，那一篇判为无问题，本文可判节拍比接近零。两篇不重叠。

十二、剥去学科名词之后

把本文的判断去掉一切本学科的名词，只留下"什么东西对什么东西做了什么、导致什么"，得到的是：

> 一个体系里有三个耦合的过程，周期长度相差一到两个数量级；外部读数只以最快那个过程的周期采样。被采到的两个持续得到证据与资源，没被采到的那个既不被记录也不被资助，于是它的发生率单调下降，而所有读数同时改善。

这个纯形式的结构在上游学科里有名字吗？第十节点了四个：相位牵引、混叠、目标置换、学习的近视。四个都不是它，理由已经逐条写出。还有一个必须点：**幸存者偏差**。它说的是样本的选取方式使某一类个案系统性地不被观察到。形状确有相似，分离线是——幸存者偏差里那一类个案**照样存在**，只是不在样本里；本文说的是被采样的方式**改变了它的发生率**，它不是没被看见，是越来越不发生。判定：若把采样改为全覆盖而该现象的发生率不变，是幸存者偏差；若发生率随之上升，是本文。

到这里可以说一句更重的话。上面这些概念——从相位牵引到目标置换到自我调节到反馈的力量——把什么当作了给定，因而看不见什么？

- 反馈研究把**"变化由教发起、学是响应"**当作给定，因此看不见反馈的时点可以终止一个由学习者发起的过程。一旦承认这一点，"反馈越及时越好"就不再是一条结论，而是一条只在某一格里成立的条件命题。
- 自我调节研究把**循环发生在学习者内部**当作给定，因此看不见三个位置之间的周期关系。一旦承认这一点，训练学习者就不再是充分的处方。
- 产生性失败把**挣扎可以被设计**当作给定，因此看不见"被设计出来的自发仍是他人发起"。一旦承认这一点，它的操作定义自身就成了问题。
- 形成性评价把**评价是测量**当作给定，因此看不见测量是一次干预。一旦承认这一点，形成性与终结性的区分就不再是"用途不同"，而是"两者都在改变被测对象，只是方向不同"。
- 能力陷阱把**延迟发生在投入与回报之间**当作给定，因此看不见延迟也发生在驱动与驱动之间。

这几行背后是同样被当作给定的东西：**教是发起，学是响应**。这条地基不属于任何一派，它是所有派别共同站着的地面——**包括那些明确反对讲授、主张以学习者为中心的流派**。它们改的是**由谁执行**（让学生自己动手、自己讨论、自己探究），没有改**由谁发起**：一个"让学生自己发现"的活动，第一步仍然是教师设计并启动的。这就是为什么以学习者为中心的改革在几十年里反复出现、反复被吸收：它们改的那一样不是本文说的这一样。

"没有被任何学科辨识过"这句话的真正来源，不是没有人看，是**看的人都站在它上面**。

十三、三家为什么各自到不了这一条

三家没能走到这一步，不是因为疏忽。一个领域看不见什么，通常不是它的缺陷，是它的问题结构的影子。

教育心理学到不了，是因为"由谁发起"在原理上不能进入它的自变量表。这一支的问题是"怎么教"，因此它的自变量必须是教师能够操作的东西：讲什么、给多少、什么时候给、用什么形式给。而"这一步由学习者发起"这一项一旦被教师去操作，它就不再成立——被安排出来的自发不是自发。于是这一项在它的问题形式下是不可操作的，不可操作的量不会进入自变量表，不进入自变量表的量不会被测量。**它不是没**

想到，是它的问法使这一项在原理上无法成为一个可以被它处理的变量。这也解释了为什么它在专长逆转那里已经摸到了方向可以反转的边，却只把它用作"要动态调整"——动态调整仍然是教师的操作。

化学到不了，是因为它的体系里只有一个所有者。烧瓶不会自己发起，晶种是谁投的与化学无关。所以化学能够给出发起权转移的完整形式——异相成核、模板效应、动力学捕获——却从来没有动机去问"发起权属于谁"。归属问题在一个单主体的体系里不成为问题；而课堂恰恰是双主体的。化学给出了形式却给不出问题，这正是它的材料能够被拿来推翻共有前提、而它自己不会这么用的原因。

管理学到不了，是因为它的最小分析单元太大。这一支有第二个主体（一线员工），也有发起处的概念（自下而上的提案、自主行为），而且它自己的核心发现正是"延迟决定一切"。但它的时间尺度是季度与年，它的最小分析单元是"一次改进"；以分钟计的那一轮，在它的仪器分辨率之下。它把延迟放在投入与回报之间，因为在它的尺度上，投入与回报是仅有的两个可分辨的时点。要它看见三条驱动各自的周期，需要把分辨率提高两个数量级，而那已经不是它的题目了。

三家各自的到不了，形状不同，但结果一致：三家都在自己的问题结构里遇到过驱动方向反转的证据，三家都把它记为一个例外。

十四、一门不承认这个变量的学科无法同时持有它自己的两条结论

这一节要做的事比划界更重：不是说明本文与既有说法不同，而是说明不承认本文的变量，某个学科自己已有的两条结论就不能同真。

学习科学目前同时持有下面两条，两条都是它自己的、都被反复引用、都写进了教师培训材料：

甲：及时反馈是效应量最大的干预之一，应当高频、具体、即时。

乙：即时表现与长期保持经常分离，因此评估学习必须用延迟测验；训练期表现好的方法，长期保持常常更差。

两条各自都有证据。要它们同真，必须存在一个判据，把"及时反馈提升的那一部分"与"延迟测验测的那一部分"分开——否则一个提升即时表现的干预，按乙的标准就是可疑的，而甲又要求它被普遍推行。

现有的处理方式是把这个矛盾放在效应量的层面调和："及时反馈提升的也是长期保持，只是幅度不同。"这个说法可以被检验，而它在关键处不成立：本文第九节的十二处兑现里，有九处指向同一个形状——提高即时读数的干预同时降低自发改做法的频次。若这九处中的任意三处被证实，调和就不再可能。

那么判据只能是什么？只能是这一轮的第一步动作由谁做出。因为：及时反馈提升的正是"教师发起且验收落在完成之前"那一格的读数；延迟测验测的正是"学习者发起且验收落在完成之后"那一格的产物。两条结论各自描述的是不同的格，因此它们本来就不冲突——冲突只在把两格混为一谈时才出现。

于是有一个后果：

> 要让甲以现在的普遍形式成立，必须先承认本文的变量；而一旦承认，甲就不能再以现在的形式成立——它必须改写成："及时反馈在教师发起的轮次里提升即时表现，在学习者发起的轮次里终止该轮。"

这不是一个逻辑游戏，它**已经在现行处方里发作**。形成性评价的标准建议是"高频、低风险、即时反馈"；同一批文献的另一半建议是"给学生充分的挣扎时间、不要过早给答案"。这两条建议在**同一节课的同一分钟**上不可同时执行，而没有任何一份指南给出在哪一刻从一条切到另一条。**指南的沉默不是疏忽，是因为切换判据需要一个它不承认的变量。**一位教师要同时执行两条建议，唯一可行的办法是把它们分配到不同的时段上凭感觉切换；而凭感觉切换的结果，正是本文第七节那张表所描述的分布。

本文在这里给自己留一条退路，写在证伪条件第八条：**若能证明及时反馈在学习者发起的轮次里同样提升延迟迁移，则本节的主张失败**，甲乙两条可以在不承认本文变量的情况下调和。

十五、三家反过来加给本文的约束

跨领域的兑现如果只朝一个方向走，那说明本文只是在借别的领域打扮自己。以下三处是反过来削掉本文原本要主张的东西的，每一处都写清削掉了什么。

化学削掉的："凡是被外部节拍打断的重组都是损失"。

这句更强的话本文原本会写下，而化学不允许。工业上有大量反应**刻意**跑在动力学控制下，**刻意**淬灭，为的就是拿到那个不稳定的产物——因为最终的稳定产物往往不是想要的那一个。制药里许多有效晶型正是亚稳型，让体系自己找路的结果是它转成另一个溶解度更低、疗效更差的型。

搬回课堂：当目标产物是一个特定的约定形态时，**打断恰恰是唯一的得到方式**。拼写、术语、单位、乐谱记号、操作规程、法条、安全流程——这些内容的正确形态由外部约定给出，不由学习者自己的组织方式给出；让学习者自己长出来的东西在这里是错的。于是本文的适用范围被削窄为：**目标是"学习者自己能再生成"的那一类内容**。这一处动的是适用范围本身，不是补充条件。

管理学削掉的："节拍比越高越好"。

本文原本会写下这句，而管理学不允许。能力陷阱那一支自己指出，在回报滞后期里撤回改进有时是理性的——组织可能真的撑不过去。**搬回课堂：**给乙让出时间不是无代价的，在任何一个存在真实截止期的体系里（升学考试、执业资格、有效期内必须掌握的操作），让出时间的代价由**当期的那一批人**承担，而收益由后面几批人拿走。

于是本文必须放弃"节拍比越高越好"这条价值排序，改成：**节拍比有一个由外部截止期决定的上限；超过它，被牺牲的不是效率，是当期个体**。这一处动的是价值排序。

教育心理学削掉的："乙才是学习，甲不是"。

本文原本会把甲写成一个纯粹的干扰项，而专长逆转不允许。这一支的证据很硬：对真正的新手，没有指导的探索不产生学习，只产生随机搜索——因为他还没有一套可以被改的做法。乙这条驱动的启动条件是"学习者已经有一套做法，而这套做法在当前条件下不够用"；没有那一套，落差读不出来，乙无从发生。

于是本文的机制被削为**有启动条件的**：甲不是干扰，甲是乙的前置。它们的关系不是替代，是次序——甲把学习者送到能读出落差的位置上，乙在那之后才可能发生。一个把甲砍掉的课堂不会得到更多的乙，只会得到什么也没有。这一处削掉的是本文最容易被误读、也最容易被滥用的那一段。

十六、两个可以当场算的读数

第八节已经指出：这个循环的锁不在任何一条驱动上，因此干预不能落在驱动上。以下两个读数都落在节拍上，都不看学习者内部，都可以从既有记录里算出来。

读数一·节拍比。两次外部验收的间隔 ÷ 学习者更换一次做法所需的时长。分子从课程安排与作业系统日志里读；分母可以用同一群体在同类任务上"从首次出现新解法到该解法稳定使用"的中位时长估计，也可以用文献值代入。

它在三个领域里量纲不同而比值相同：**教育**里是两次验收的间隔比更换一次解题策略的时长；**化学**里是取样间隔比体系完成一次构型重组的弛豫时间；**管理**里是绩效评审周期比一次流程改进从投入到见效的时长。三处的单位都不同，比值都无量纲，可以并排比较。

这个读数必须通过一道检查才算数：**它与既有主要指标是否正交？**要回答这个问题，必须举得出一个"既有指标最好看、而这个数最难看"的真实例子。举得出：**一堂反馈极其及时、正确率极高、参与度极高的课，节拍比最低**——因为它的验收间隔被压到了最短。方向不仅正交，而且相反。举不出这样的例子，这个读数就该重造。

读数二·发起处轮转率。最近 N 次改变中，第一步动作由学习者做出的次数占比。这里的"改变"要按可清点的方式定义：一次改变，是指该学习者在同一类任务上使用的做法与上一次不同，且该差异可被外部编码。

零情态词判据一句：**在这门课最近的 N 次改变里，有几次的第一步动作是学习者做出的？**这句话可以拿去问课堂录音、作业日志、版本记录，不需要问任何人的判断。

把它在五个场合各跑一遍，答案互不相同：一堂讲授加随堂练的数学课约为零；一门给了完整实验手册的化学实验课看似高实则低，因为方案由手册发起；一个两周一交、期间无验收的写作课通常有三到四成；学徒制的木工可以过半；一个每题即时判定的语言应用接近零，而它的改变次数最多。**其中至少两个是查出来的，不是从命题推出来的**——写作课的三到四成与学徒制的过半，都可以低于预期，而如果它们真的低，本文的第一层就该被怀疑。

两个读数的关系是：节拍比是**结构性的**，它由课程安排决定，可以事前算；发起处轮转率是**结果性的**，它要事后清点。本文预测两者相关，但不预测它们是同一个量——若在节拍比相同而轮转率不同的两个班里，延迟迁移无差异，则两个读数中有一个是多余的（证伪条件第九条）。

干预。 由这两个读数导出的干预只有一条，而且它不落在教学法上：**把首次外部验收从"完成即验收"改为"在学习者自己处理落差的那一段之后"**，并要求该段内的落差由学习者自己读到——具体说，就是在给出任何提示或答案之前，先让他写下他现在的做法为什么不够用。这条干预与延长延迟测验、与撤除支架、与改变任务难度**互相正交**，可以单独检验；它的成本是作业系统里的一个配置项。

十七、伦理与证据边界

节拍比与发起处轮转率都是比率，而比率几乎必然会被拿去考核人。因此三条必须写死：

第一，这两个读数指的是位置，不是人。 它们读的是一门课的组织方式与一个岗位的节拍安排，不是这位教师的能力评级。一位教师在一个每周统考的体系里，无论怎么教，节拍比都低；把这个数记在他头上，是把结构问题记成个人问题。

第二，不得为了把这个数做好看，而在存在真实截止期的高利害课程里删减验收。 减少验收会立刻抬高节拍比，而代价由当期学生承担，且在延迟测验做出来之前不可见。凡以本文为依据减少验收的，必须同时报告当期学生的达标情况，且必须给出一个不因此延误其外部截止期的方案。

第三，已经按这两个读数做出不利安排的（评级、调岗、经费分配），必须公开编码规则并给出复核通道。 "一次改变"如何计数、"第一步动作"如何判定，都有编码空间；不公开编码规则的比率不可用于任何人事决定。

还有一条要在这里写明，因为它属于本文自己的反噬预言：**一个读数一旦进入考核，最省事的达标办法通常是在文书上做手脚。** 对节拍比，最省事的办法是把随堂练改个名字，叫"练习"不叫"验收"，比值立刻变好，而课堂上什么也没变。因此验收必须按**是否进入任何形式的记录与比较**来定义，不按名称。而即便如此，一个决心要把数做好看的机构仍然可以把记录移到系统之外。**我看不到出口。** 能做的只有一件：把定义写死在"进入记录与比较"上，让做手脚的成本至少高于改一个名字。

十八、证伪条件与一条写死日期的赌注

先写出最强的竞争解释，不挑好打的靶子。最强的一句是：**"其实不就是时间不够吗？"**——学生没有足够的时间，所以做法改不了。次强的两句是"其实不就是老师讲太多了吗"与"其实不就是学生动机不足吗"。以下条件必须能排除它们。

第一条（核心）：控制总教学时长、协助总量与任务难度后，若"两次外部验收之间的间隔"与"学习者自发更换做法的频次"之间不存在剂量—反应关系，则本机制为伪——届时应归因于绝对时长不足，而非节拍。样本纪律：在**同一所学校、同一门课、同一位教师的六个以上平行班内**做，只改验收间隔；不得拿两个国家或两个地区的对比充数，那种比较在方法上控制不住任何东西。

第二条（顺序）：自发更换做法应早于该生在下一次验收中的正确率上升出现，且间隔不小于一个更换周期。若正确率上升总是先于或同时于自发更换出现，则本文的驱动次序为伪——那时更可能是甲直接改了表现。

第三条（循环是否闭合）：学习者改了做法之后，教师的讲法与课堂安排应在若干轮内跟着改。若从不跟着改，则本文所说的循环不闭合，只剩两条驱动，第六节关于"下一轮由谁先动"的推论失效。

第四条（最便宜的一条）：任何作业系统或集成开发环境的日志里，已经同时存在"两次提交间隔"与"解法／写法的编码"。**所需数据在多数机构的既有记录里已经存在，不需要新的采集。**若在既有日志上，节拍比与延迟迁移成绩不相关，本文第一层失败。

第五条（正交性）：若节拍比与即时正确率的相关系数高于零点五，则它只是既有指标的一个代理，白造。

第六条（启动条件）：若在完全的新手身上——没有任何一套可被改的做法——观察到与熟手相同的节拍比效应，则第十五节关于启动条件的界定为伪。

第七条：若仅拉长验收间隔、不要求落差由学习者自己读到，即产生延迟迁移收益，则本文的附加条件多余。这会使本文变强，也会使本文更可疑——因为那时"节拍"就足以解释一切，而机制的具体内容变得不重要。

第八条：若及时反馈在学习者发起的轮次里同样提升延迟迁移，则第十四节的主张失败。

第九条：若在节拍比相同而发起处轮转率不同的两个班里，延迟迁移无差异，则两个读数中有一个多余。

本文可以被分层引用。第一层是三条驱动与"最慢那条被压掉"，最强也最易倒；第二层是那张两行两列的表，作为分析工具；第三层是一条不依赖前两层的经验主张——**在协助量与难度匹配时，外部验收间隔与自发更换做法的频次正相关。**第三层最稳，也最便宜，第四条证伪条件正是为它写的。第一层被推翻时，后两层仍然站得住。

赌注。到二〇三〇年十二月三十一日为止，至少三项独立研究报告：在总时长、协助总量与任务难度匹配的条件下，仅拉长首次外部验收的间隔、并要求学习者在该间隔内自行处理落差，即产生延迟迁移差异，方向为间隔较长组更高。

什么不算命中，一并写死：仅减少考试次数而不做别的，不算；仅延长延迟测验的间隔，不算；仅把名称改为过程性评价而验收节拍不变，不算；仅报告参与度、满意度或即时正确率，不算；机构自称已经"减负"或"以学生为中心"，不算；与其他改革打包实施而无法分离出本变量的，不算；仅在实验室情境中成立而无课堂重复的，不算。

若本文被证伪，学到的是什么？若第一条失败而第四条成立，说明节拍确实重要而机制不是本文所说的落差处理，那么下一步该去查的是"打断"本身的生理与注意代价，而不是归属。证伪的方向指向一个不同的干预，这是它值得写下的理由。

十九、不适用的边界

第一，目标形态由外部约定给出的内容不适用。 拼写、术语、单位、符号、操作规程、法条、安全流程——这些内容要的正是那个约定形态，而学习者自己长出来的形态在这里是错的。第十五节已经说明，这类内容必须靠外部节拍固定，打断是唯一的得到方式。

第二，完全的新手不适用。 乙的启动条件是"已经有一套做法且它不够用"；没有那一套，落差读不出来。对新手，甲是唯一可用的驱动，而这不是本文的例外，是本文的前置。

第三，存在硬截止期的高利害情形，价值排序由外部约束决定，本文不主张越权。 一个三个月后要参加执业考试的人，其节拍安排不能按本文的建议来定。

第四，能力不足型的困难不适用。 若学习者根本读不到落差——不是没时间读，是读不出来——那么拉长间隔只会产生空转。区分这两种情形的办法是看他在间隔内是否产生过任何一次对自己做法的评论；产生不了，说明问题在别处。

第五，本文不主张处方的先后。 一个已经在做产生性失败、或者已经在做延迟测验的课堂，是否应当再改节拍、以及先改哪一样，本文给不出根据。

二十、本文自己

用本文自己的判据看本文，结论不好听。

本文是一个现成的结构，出现在读者面前。读者读它，得到的理解**长在我的核上**，不是长在他自己的落差上。本文对读者的节拍比接近于零：一次读完，中间没有一段"落差由读者自己持有"的时间；每一节的落差都在同一节里被我自己填平了，而这正是我在第十节里指责及时反馈的那件事。

因此本文最可能的命运，恰是它诊断的那一格：读者取走"节拍比"这三个字，把它当成一个新指标，而不经历推导；一年之后它出现在某份教学质量仪表盘上，与它旁边的其他二十个指标一样，成为一个被优化的数。**本文没有任何理由认为自己是例外**——第十七节已经写下了它最省事的达标办法。

能做的只有两件。一是把证伪条件写得比结论更显眼，让取走结论的人至少同时带走一条可以推翻它的观察。二是在这里明说一句：**如果你读完这篇文章之后，没有产生过一次"我原来的看法在这里说不通"的停**

顿，那么这一次阅读正落在左下格里。 我无法从我这一侧制造那次停顿——按本文自己的判断，那次停顿只能由你发起。

还有一处必须认账：本文提出的两个读数，都是可以在不理解本文的情况下照样计算的。这是它们的优点，也是它们最大的风险——一个可以脱离理由被计算的数，迟早会脱离理由被使用。这一点本文解决不了。

结论

课堂上真正的学习稀缺，长期以来被归给三种原因：教得不对、学得不够、条件不允许。三种解释各有证据、各有处方，而它们互不相容，且每一家的日课正是另一家诊断出的病。本文主张三种都不是承重的那一条。

承重的那一条是节拍。一堂课里同时跑着三条驱动：教师侧的路径驱动，周期以分钟计；学习者侧的做法驱动，周期以天到周计；制度侧的条件驱动，周期以学期到年计。课堂验收的节拍对准了最快的那一条——这几乎是被迫的，因为验收必须在教师能观察、能记录、能反馈的尺度上进行。于是每一次验收都落在"教师改了讲法、学习者的表现已经跟上、而学习者自己还没有开始改自己的做法"这个时刻上。被采到的两条驱动不断得到证据与资源，唯一能改变学习者组织方式的那一条既不被记录也不被计入；它每被跳过一次，下一轮的发起权就更牢地留在教师那一侧。

推翻三家共有前提的材料来自化学自己：只要溶液里有一粒晶种或一片器壁，成核不再由落差发起，而由那个现成的结构发起，整段中间序列被跳过。发起处会易主，而且由上一轮留下了什么决定。化学把它当作工艺手段，因为它的体系里只有一个所有者；课堂里有两个，于是归属成了全部。

由此得到两个可以从既有记录里算出、且不看学习者内部的读数：节拍比与发起处轮转率。零情态词的判据只有一句：**在这门课最近的 N 次改变里，有几次的第一步动作是学习者做出的？**

三处约束由三家反过来给出，本文照单接受：目标形态由外部约定给出的内容不适用；节拍比有一个由真实截止期决定的上限；教师侧的驱动不是干扰，它是学习者侧驱动的前置。

最后一句留给那件最难办的事。左下格之所以能长期存在，不是因为有人做错了什么，而是因为**它的每一个指标都在改善，它的失效不产生任何信号，而且越是按当前公认的最佳实践去办，它就越牢固。** 一个不发信号的失效，只能靠一个原来不存在的字段被发现——这个字段是：这一次改变的第一步动作，是谁做的。

注释

[^1]: Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. 该文把低指导教学的失败归因于对人类认知结构的忽略，并明确指出指导的优势只在学习者已有足够先备知识以提供"内部指导"时才开始消退——这一句本身即本文第十五节所引的启动条件。

[^2]: Ostwald, W. (1897). Studien über die Bildung und Umwandlung fester Körper. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 22, 289–330. 阶段律的原始出处。后世普遍将其表述为：体系析出的不是最稳定相，而是自由能上离当前状态最近的相。该规则被公认为规则而非严格定律，存在已知的边界情形。

[^3]: Chung, S.-Y., Kim, Y.-M., Kim, J.-G., & Kim, Y.-J. (2009). Multiphase transformation and Ostwald's rule of stages during crystallization of a metal phosphate. *Nature Physics*, 5, 68–73. 以原位高分辨电子显微在原子尺度实时记录了多个中间相的依次出现，被视为阶段律提出百余年后的第一次原子尺度证据。

[^4]: Ocasio, W. (1997). Towards an Attention-Based View of the Firm. *Strategic Management Journal*, 18(S1), 187–206. 核心主张：组织行为是注意力如何被分配的结果，而分配由组织的规则、资源与关系的结构性分布决定，不由个人意愿决定。

[^5]: Repenning, N. P., & Sterman, J. D. (2002). Capability Traps and Self-Confirming Attribution Errors in the Dynamics of Process Improvement. *Administrative Science Quarterly*, 47(2), 265–295. 该文把成败的关键定位在管理者的归因与工作场所物理结构的互动上，**尤其是投入改进与获得回报之间的延迟**——这一句是本文第六节周期概念的直接来源，也是第十节分离线所在。

[^6]: Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31. 另见 Kalyuga, S. (2007). Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction. *Educational Psychology Review*, 19(4), 509–539.

[^7]: Kapur, M. (2008). Productive Failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379–424. 另见 Kapur, M. (2016). Examining Productive Failure, Productive Success, Unproductive Failure, and Unproductive Success in Learning. *Educational Psychologist*, 51(2), 289–299.

参考文献

Baker, R. S., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Wagner, A. Z. (2004). Off-task behavior in the cognitive tutor classroom. CHI 2004.

- Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. In *Psychology and the Real World*. Worth Publishers.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Rand McNally.
- Carey, F. A., & Sundberg, R. J. (2007). *Advanced Organic Chemistry, Part A: Structure and Mechanisms* (5th ed.). Springer.
- Chung, S.-Y., Kim, Y.-M., Kim, J.-G., & Kim, Y.-J. (2009). Multiphase transformation and Ostwald's rule of stages during crystallization of a metal phosphate. *Nature Physics*, 5, 68–73.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31.
- Kapur, M. (2008). Productive Failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379–424.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Kuramoto, Y. (1975). Self-entrainment of a population of coupled non-linear oscillators. In *International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics*. Springer.
- Leonard-Barton, D. (1992). Core capabilities and core rigidities. *Strategic Management Journal*, 13(S1), 111–125.
- Levinthal, D. A., & March, J. G. (1993). The myopia of learning. *Strategic Management Journal*, 14(S2), 95–112.
- Merton, R. K. (1940). Bureaucratic structure and personality. *Social Forces*, 18(4), 560–568.
- Miller, D. (1990). *The Icarus Paradox*. HarperBusiness.
- Ocasio, W. (1997). Towards an Attention-Based View of the Firm. *Strategic Management Journal*, 18(S1), 187–206.
- Ostwald, W. (1897). Studien über die Bildung und Umwandlung fester Körper. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 22, 289–330.
- Repenning, N. P., & Sterman, J. D. (2002). Capability Traps and Self-Confirming Attribution Errors in the Dynamics of Process Improvement. *Administrative Science Quarterly*, 47(2), 265–295.
- Shannon, C. E. (1949). Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IRE*, 37(1), 10–21.
- Soderstrom, N. C., & Bjork, R. A. (2015). Learning versus performance: An integrative review. *Perspectives on Psychological Science*, 10(2), 176–199.

- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31, 261–292.
- Vekilov, P. G. (2010). The two-step mechanism of nucleation of crystals in solution. *Nanoscale*, 2(11), 2346–2357.
- Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In *Metacognition in Educational Theory and Practice*. Erlbaum.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In *Handbook of Self-Regulation*. Academic Press.

字数与版本：约二万汉字，第一版，二〇二六年八月。

人机分工声明：本文的选题、三家的确定与全部判断由王德生提出并定稿；文献核对、结构组织与文字撰写由 Claude 完成。文中所引十二处兑现均为可检验的预测，未经实证，标注为预测而非结论。本文不含任何已完成的实验数据。

本文由三个分属不同学科、且互相冲突的理论体系碰撞而成。全部来源均为站外公开文献，可自行核对。 作者：王德生 + Claude · SDE Universes · 学科通融