

费曼学习法对学生学习效果的影响： 一项包含41项实证研究的元分析

戴圣军¹, 于胜男², 高冬昕¹, 李敏¹, 何峰^{1*}

¹山东师范大学生命科学学院, 山东 济南

²山东建筑大学外国语学院, 山东 济南

收稿日期: 2026年7月31日; 录用日期: 2026年8月29日; 发布日期: 2026年9月4日

摘要

近年来, 费曼学习法作为以输出驱动为核心的“以教代学”学习策略, 被广泛应用于各阶段教学实践, 但现有实证研究对其学习增益效果尚未形成统一结论。为系统厘清费曼学习法对学生学习效果的整体作用及适用边界, 本研究整合国内外41项对照实验开展元分析, 以学段、学习组织形式、学科领域、知识类型四大维度构建亚组分析框架, 探究该方法效应的调节机制。研究共纳入44个独立效应量, 总样本量4071人; 发表偏倚检验结果显示文献无显著发表偏差。随机效应模型分析表明, 费曼学习法对学生学习效果存在中等程度正向促进效应($g = 0.468$, 95% CI [0.379, 0.556], $P < 0.001$)。亚组分析结果显示: 费曼学习法在K12与在职教育阶段、自主学习模式、非STEM学科、陈述性知识教学场景下, 效应更显著且稳定; 大学阶段、合作学习模式、STEM学科、程序性知识场景下虽仍存在正向效果, 但研究间异质性更高。研究证实费曼学习法具备可靠的教学推广价值, 但不存在普适性, 其实施效果受多重情境因素约束。据此建议教师结合学生认知发展阶段、学习组织形式、学科与知识类型差异化设计教学方案, 精准发挥费曼学习法的育人优势。

关键词

费曼学习法, 学习效果, 元分析, 亚组分析

The Impacts of the Feynman Learning Method on Students' Learning Outcomes: A Meta-Analysis of 41 Empirical Studies

Shengjun Dai¹, Shengnan Yu², Dongxin Gao¹, Min Li¹, Feng He^{1*}

*通讯作者。

文章引用: 戴圣军, 于胜男, 高冬昕, 李敏, 何峰. 费曼学习法对学生学习效果的影响: 一项包含 41 项实证研究的元分析[J]. 教育进展, 2026, 16(9): 216-225. DOI: 10.12677/ae.2026.1691896

¹College of Life Sciences, Shandong Normal University, Jinan Shandong²School of Foreign Languages, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: July 31, 2026; accepted: August 29, 2026; published: September 4, 2026

Abstract

In recent years, as an output-driven learning strategy centered on “learning by teaching”, the Feynman Learning Method has been widely adopted in teaching practices across various educational stages. However, existing empirical studies have not reached a consistent conclusion regarding its promoting effect on learning performance. To systematically clarify the overall effect of the Feynman Learning Method on students’ learning outcomes as well as its applicable boundary conditions, this paper conducts a meta-analysis synthesizing 41 controlled experiments worldwide. A subgroup analysis framework covering four dimensions (educational stage, learning organization form, disciplinary field and knowledge type) is constructed to explore the moderating mechanism of the method’s effect. A total of 44 independent effect sizes involving 4071 participants are included in this research. Publication bias tests via funnel plot and Egger’s regression indicate no significant publication bias among the selected literature. Results from the random-effects model reveal that the Feynman Learning Method exerts a moderate positive effect on students’ learning outcomes ($g = 0.468$, 95% CI [0.379, 0.556], $P < 0.001$). Subgroup analyses demonstrate that the method yields more significant and stable effects in K12 and on-the-job education, self-directed learning settings, non-STEM disciplines, and declarative knowledge teaching. Although positive effects still exist for university education, collaborative learning contexts, STEM disciplines and procedural knowledge learning, substantial heterogeneity is observed among relevant studies. This study verifies that the Feynman Learning Method possesses reliable promotion value in teaching, yet it is not universally applicable, and its effectiveness is constrained by multiple contextual factors. Accordingly, teachers should design differentiated teaching plans by taking students’ cognitive development levels, learning organization form, disciplines and knowledge types into full consideration, so as to maximize the educational advantages of the Feynman Learning Method.

Keywords

Feynman Learning Method, Learning Outcomes, Meta-Analysis, Subgroup Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

教育部在《中国学生发展核心素养》¹中明确提出，学生应具备“学会学习”的能力，而费曼学习法(Feynman Learning Method)作为一种以“输出驱动”为核心的学习策略，能够有效引导学生从被动接受转向主动学习。其理论根基涵盖学习金字塔理论、信息加工学习理论与“再创造”学习理论[1]。该方法的核心逻辑为“以教代学”：学习者需要把专业概念简化、借助类比通俗讲解，向零基础受众完整阐释知识；学界普遍认为，只有能够向外行清晰讲清复杂概念，才代表真正完成知识内化，该过程可同步强化知识记忆、深度理解与迁移应用能力[2]。

¹<http://edu.people.com.cn/n1/2016/0914/c1053-28714231.html>

当前已有大量实证研究检验费曼学习法的教学成效,但受样本选取、实验设计、效果测量工具等变量干扰,现有研究结论存在明显分歧。部分研究证实该方法可显著提升学习表现:Wang 等[3]开展中学生物理概念教学实验,使用费曼学习法的实验组即时测试得分显著高于传统学习对照组($P = 0.03$, Cohen's $d = 0.21$);王亚沁[4]的教学对照实验显示,两组学生成绩存在统计学显著差异($P = 0.003 < 0.05$),实验组平均分高出对照组 6.06 分;郝莉等[5]的教学干预实验同样证明,实验组考核得分显著优于对照组($t = 7.952$, $P < 0.001$)。但另有部分研究未能观测到费曼学习法的正向增益:Lorenzis 等[6]开展延时后测实验,实验组与对照组的学习留存成绩无显著差异;Jacob 等[7]针对理论、推论两类问题开展测试,各组得分均未出现统计学区别;Lachner 等[8]的实验甚至出现反向结果,不同干预条件下学生概念掌握水平无差异,实验组得分存在小幅下滑。综上,学界尚未形成关于费曼学习法有效性的统一共识。

元分析作为定量整合多项独立实证结果的标准化研究方法,既能够提炼跨研究的普遍规律,也可依托亚组分析识别研究异质性的来源[9]。为系统解释现有结论分歧,本研究从四大维度设置调节变量开展异质性检验。首先,学段维度(K12、大学教育、在职教育等)的认知发展差异构成关键调节变量。认知心理学研究表明,大学生群体展现出更成熟的复杂问题解决能力,而在职学习者则表现出显著的目标导向特征[10],这种发展性差异可能影响学习策略的有效性。其次,学习组织形式对学习效果的塑造作用不容忽视。不同的学习组织形式塑造了学生获取和加工知识的不同路径,进而影响学习策略的有效性。在教育实践中,学习组织形式通常可以分为两类:一类是自主学习模式,学生独自完成学习任务,依据自身节奏开展知识建构,强调自主性和自定步调;另一类是合作学习模式,学生通过小组互动、同伴讲解和共同探究来建构知识,强调社会互动和意义协商。自主学习有助于学生增强自我监控与知识内化的深度,而合作学习则通过同伴间的解释、反馈与知识共建,促进认知冲突的解决和理解的深化。不同文化背景和地域的教育传统会影响课堂中学习组织形式的偏好与实施方式[11]。第三,学科领域维度。参照美国国土安全部 2023 版 STEM 专业目录,将学科划分为 STEM 与非 STEM 两类;两类学科知识结构、思维要求差异显著,理科侧重逻辑推演,人文社科侧重表达与归纳,会对输出式学习的效果产生不同影响[12]。第四,知识类型维度。依托安德森认知分类理论[13][14],将知识分为陈述性知识与程序性知识;陈述性知识侧重事实记忆,程序性知识依赖实操练习,不同知识类型适配的学习策略存在天然区别。

基于上述分析,本研究提出两大核心研究问题:第一,费曼学习法能否显著提升学生整体学习效果?第二,若该方法具备正向作用,其效应强度是否会随学段、学习组织形式、学科领域、知识类型发生变化?本文通过元分析整合国内外 41 项对照实验数据,量化测算费曼学习法的整体效应,并解析四类调节变量的约束作用,为一线教学落地提供循证依据。

2. 研究方法 with 过程

2.1. 文献检索与筛选

中文文献检索数据库选定中国知网(CNKI),检索关键词包含“费曼学习法”“费曼技巧”“以教代学”“以教促学”,仅限定学术期刊文献,检索时间区间为 2013 年 1 月至 2024 年 11 月,初步检索获得中文文献 102 篇。英文文献选取 Web of Science、Elsevier Science Direct、PsycINFO 和 ERIC 数据库,主题检索词为“Feynman Learning Method”“Feynman Technique”“Feynman Method”“learning by teaching”搭配“Learning Outcome”“academic achievement”“teaching performance”,检索时间同步限定为 2013 年 1 月至 2024 年 11 月,初步检索得到英文文献 2038 篇。

本研究制定标准化纳入、排除标准逐层筛选文献。纳入标准包括:① 研究为对照实验设计,设置使用费曼学习法的实验组与传统教学对照组;② 以学生成绩、实操评价作为学习效果观测指标;③ 完整

提供可计算效应量的量化数据(均值、标准差、t 值、样本量、P 值、组间均值差等); ④ 中英文正式发表实证论文。排除标准包括: ① 综述、理论思辨类非实证文献; ② 无对照组、仅单一群体的纯质性研究; ③ 数据缺失, 无法换算效应值; ④ 重复刊发、同一数据集多次发表的文献。

经去重、初筛标题摘要、通读全文三轮筛选后, 最终纳入合格文献共 41 篇[2]-[8] [15]-[46], 其中中文文献 18 篇、英文文献 23 篇, 文献筛选流程详见 PRISMA 流程图(图 1)。

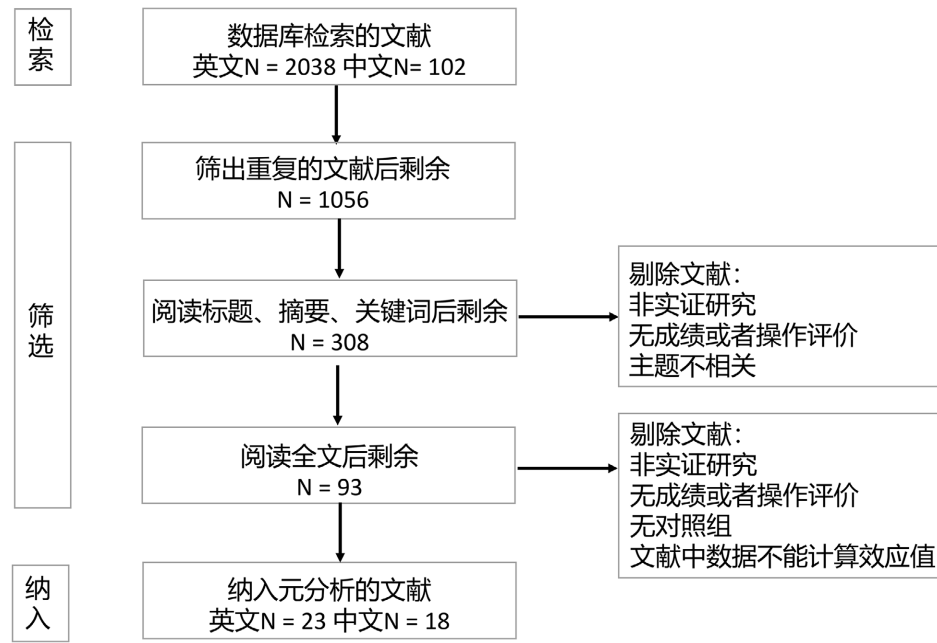


Figure 1. PRISMA flow diagram
图 1. PRISMA 流程图

2.2. 数据提取与编码

设计标准化编码表提取文献信息, 编码条目涵盖作者、发表年份、学段类型、学习组织形式、学科分类、知识类型、各组样本量、组间量化结果。鉴于原始文献对课堂互动及学习组织形式的描述有限, 本研究依据各研究实施国家的主流教学模式特征进行归类, 以此作为学习组织形式的操作化区分依据; 该分类方式的局限性在讨论部分予以说明。其中 3 篇文献同步开展两类知识的对照实验, 因此对该类文献拆分编码, 最终得到 44 个独立效应量。

样本整体概况: 41 项研究覆盖全球 11 个国家, 总样本量 $N = 4071$; 学段分布: K12 共 8 个效应量、大学 31 个效应量、在职教育 5 个效应量; 学习组织形式: 合作学习模式 26 个效应量、自主学习模式 18 个效应量; 学科领域: STEM 学科 13 个效应量、非 STEM 学科 31 个效应量; 知识类型: 陈述性知识 33 个效应量、程序性知识 11 个效应量。

2.3. 发表偏倚检验

为检验文献收录是否存在发表偏倚, 本研究综合采用漏斗图可视化法与 Egger 线性回归检验。整体漏斗图散点呈对称分布, 样本集中于图形中上区域、贴近中线, 初步判断发表偏倚程度较低; Egger 回归检验结果无统计学显著性($t = 1.968, P = 0.056$), 综合证明本次纳入的 41 项文献不存在显著发表偏差, 元分析结果具备可信度(图 2)。

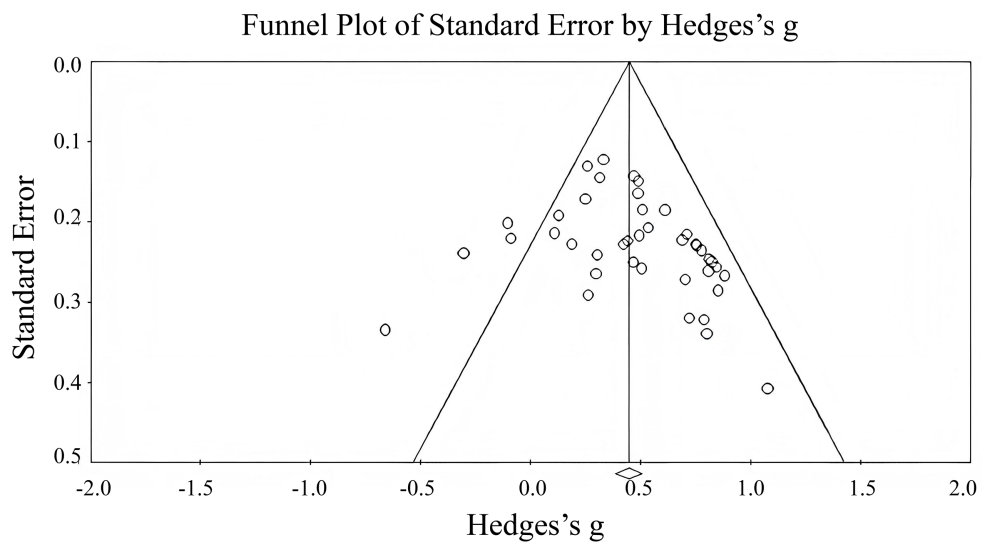


Figure 2. Funnel plot for overall meta-analysis
图 2. 整体元分析漏斗图

3. 研究结果

3.1. 整体效应值计算

异质性检验结果显示，纳入研究存在中度异质性($I^2 = 46.448\%$, $Q = 80.296$, $P < 0.001$)，因此选用随机效应模型测算整体效应值。模型输出结果表明，费曼学习法对学生学习效果的 Hedges'g = 0.468，95%置信区间[0.379, 0.556]， $Z = 10.345$ ， $P < 0.001$ 。依据 Cohen 效应量判定标准[47]，0.2 为低效应、0.5 左右为中等效应、0.8 为高效应，本研究整体效应属于中等正向效应，置信区间未包含 0，说明费曼学习法提升学习效果的作用具备统计学显著性(表 1)。

Table 1. Effects of the Feynman Learning Technique on students' learning outcomes
表 1. 费曼学习法对学生学习效果的影响

效应模型	效应数	效应值	95%置信区间		双尾检验		Q 值	P 值	I ²
			下限	上限	Z 值	P 值			
固定	44	0.447	0.384	0.509	13.990	0.000	80.296	<0.001	46.448
随机	44	0.468	0.379	0.556	10.345	0.000***			

注：*** $P \leq 0.001$ 。

3.2. 异质性检验及亚组分析

整体研究中度异质性说明，学段、学习组织形式、学科、知识类型四类变量会调节费曼学习法的作用强度，因此开展分维度亚组分析，各分组效应量与异质性指标见表 2。

(1) 学段差异

K12 基础教育组共 8 个效应量，组内异质性极低($I^2 = 3.040\%$)，效应值 $g = 0.412$ (95% CI [0.285, 0.540])，代表该阶段使用费曼学习法可产生稳定中等正向效果；大学阶段共 31 个效应量，组内中度异质性($I^2 = 54.942\%$)，效应值 $g = 0.472$ (95% CI [0.348, 0.596])，提升幅度更高，但不同研究间效果波动较大；在职教育组共 5 个效应量，组内低异质性($I^2 = 34.143\%$)，效应值 $g = 0.495$ (95% CI [0.293, 0.697])，增益

效果最优且结果一致性较强。

(2) 学习组织形式差异

自主学习模式组共 18 个效应量，中度异质性($I^2=58.988\%$)，效应值 $g=0.333$ (95% CI [0.168, 0.498])，正向效应偏弱、研究间差异明显；合作学习模式组共 26 个效应量，低异质性($I^2=25.528\%$)，效应值 $g=0.530$ (95% CI [0.436, 0.625])，效应强度更高，不同研究结论高度统一。

(3) 学科领域差异

STEM 学科共 13 个效应量，中度异质性($I^2=57.997\%$)，效应值 $g=0.336$ (95% CI [0.137, 0.535])，整体提升效果有限，组内差异突出；非 STEM 学科共 31 个效应量，低异质性($I^2=37.538\%$)，效应值 $g=0.509$ (95% CI [0.415, 0.604])，学习增益显著且实施效果稳定。

(4) 知识类型差异

陈述性知识共 33 个效应量，低至中度异质性($I^2=45.137\%$)，效应值 $g=0.466$ (95% CI [0.363, 0.569])，应用效果稳定；程序性知识共 11 个效应量，中度异质性($I^2=54.304\%$)，效应值 $g=0.476$ (95% CI [0.295, 0.658])，平均提升幅度略高于陈述性知识，但不同实验结果波动更大。

Table 2. Results of effect sizes and heterogeneity tests for moderator variables
表 2. 调节变量效应量和异质性检验结果

调节变量	编码对象	k	n	效应值	95%置信区间		双尾检验		异质性(Q 检验)			Tau-squared	
					下限	上限	Z 值	P 值	Q	P 值	I ²	Tau	Tau ²
学段	K12	8	1005	0.412	0.285	0.540	6.343	0.000***	7.219	0.406	3.040	0.033	0.001
	大学	31	2413	0.472	0.348	0.596	7.450	0.000***	66.581	0.000	54.942	0.257	0.066
	在职	5	653	0.495	0.293	0.697	4.811	0.000***	6.074	0.194	34.143	0.133	0.018
学习组织形式	自主学习	18	1435	0.333	0.168	0.498	3.962	0.000***	41.451	0.001	58.988	0.272	0.074
	合作学习	26	2636	0.530	0.436	0.625	11.035	0.000***	33.569	0.117	25.528	0.120	0.014
学科领域	STEM	13	991	0.336	0.137	0.535	3.312	0.001***	28.569	0.005	57.997	0.273	0.075
	非 STEM	31	3080	0.509	0.415	0.604	10.536	0.000***	48.029	0.020	37.538	0.160	0.026
知识类型	陈述性知识	33	2919	0.466	0.363	0.569	8.837	0.000***	58.327	0.003	45.137	0.198	0.039
	程序性知识	11	1152	0.476	0.295	0.658	5.149	0.000***	21.884	0.016	54.304	0.220	0.048

注：k = 效应数；n = 总样本量；Q = Cochran’s Q 统计量；I² = 异质性指数；Tau² = 研究间方差估计值；***P ≤ 0.001。

4. 讨论

本研究通过元分析整合 2013~2024 年 41 项国内外对照实验数据，证实费曼学习法能够对学生学习效果产生中等水平的正向增益，具备规模化教学推广的基础价值，国内杜郎口中学、洋思中学、东庐中学等课改院校的“先学后教、同伴授课”模式，也从实践层面印证了以教代学类学习策略的有效性[48]。但同时，部分院校照搬费曼学习法开展课堂改革后未能取得预期成效，结合亚组分析结果可说明费曼学习法依赖于一定的作用路径在不同情境中差异化实现。

4.1. 学段维度：不同认知发展阶段的适配性差异

从学习过程的起点来看，费曼学习法首先依赖于“输出驱动”的激活。元分析结果表明，该法在 K12 阶段的效果稳定可靠，适合常态化落地。依据皮亚杰认知发展阶段理论，中小学生对具象思维为主，同

龄人之间的讲解更容易贴合彼此认知水平，相比教师抽象化授课更易理解；同时青少年注意力持续时间有限，分段式、同伴互讲的多样化学习模式可缓解课堂疲劳。这类学生更容易激活主动提取过程，强化记忆痕迹并促进知识结构的初步组织。在职学习者的效应值最高，源于成人学习的问题导向、自我实现特征[49]；费曼学习法要求简化重构知识，能够辅助成人解决职场结构不良问题，而当众讲解、同伴互评的过程也可满足成人学习者的成就感与归属感。因此，讲解任务的关键不在于形式，而在于能否有效引发学习者的主动表达。

4.2. 学习组织形式：自主学习与合作学习的效果分化

从学习组织形式视角分析，以合作学习模式为特征的教学情境中费曼学习法适配度更高。费曼学习的核心环节“向他人讲解”本质是社会化知识加工活动，在以小组合作、同伴互助为常规教学组织形式的课堂中，学生已习惯于协作学习模式[50]，与该方法天然契合；同时该环境下学生较为在意他人评价，为避免讲解疏漏、出现认知错误，会主动深度梳理知识体系，间接强化学习加工深度。标准化班级授课场景下，学生可快速获取同伴、教师的即时反馈，及时修正认知盲区，这也是我国课堂推广该方法的天然优势。与之相对，以自主学习模式为主导的教学情境更强调独立自学，同伴讲解活动参与意愿偏低，因此整体效应偏弱、研究波动更大。

4.3. 学科领域：非 STEM 与 STEM 学科效应稳定性差异

在输出得以实现之后，学习效果的进一步提升依赖于“概念重构”的完成。元分析结果表明，非 STEM 学科更适配费曼学习法。该类学科侧重隐喻、类比、多观点整合[51]，学生在讲解过程中需要主动简化复杂理论、协调矛盾观点，推动知识系统化建构；而 STEM 学科高度依赖严谨逻辑推导、符号运算与公式演算，单纯口头讲解难以替代演算推理与实验操作训练，且讲解过程中大量专业符号和抽象关系的编码与转换可能增加学习者的外在认知负荷，因此整体增益有限，不同实验实施效果差异显著。从认知负荷理论视角来看，相关认知负荷是通过将工作记忆资源从多余活动重新分配到学习任务的核心元素互动，从而降低总负荷并促进理解[52]。当元素的互动性较低时，如侧重概念重构和框架搭建的非 STEM 学科，讲解活动所需的加工资源可转化为促进深度理解的相关认知负荷。而 STEM 学科本身具有高元素互动性，若教学设计未能提供充分支架，则简化与重构可能成为额外的外在认知负荷，导致资源无法有效重新分配，引发认知过载。

自我解释效应理论进一步提示，解释的效果取决于解释质量而非仅解释行为本身[53]。在非 STEM 学科和陈述性知识中，概念重构的门槛较低，学习者更容易生成基于原理的深层解释，因此各组实验效果一致性更强。而浅层的自我解释难以促进真正的概念理解。STEM 学科与程序性知识类似的特征使得讲解活动更容易停留于步骤的复述，难以触及概念本身。

4.4. 知识类型：陈述性与程序性知识的适配逻辑

从知识类型维度分析，两类知识均存在正向效应，但稳定性存在区别。陈述性知识以事实、概念记忆为主，入门门槛低，因此各组实验效果一致性更强；但受认知负荷理论约束，学习者容易忽略细节，长期记忆增益略有不足。程序性知识依赖分步实操，讲解时一旦出现步骤偏差会快速被识别，学习者可针对性修正操作逻辑，短期后测提升幅度更高；但程序性能力需要长期重复练习维持，若缺少持续实操训练，学习效果易出现衰退，最终造成组内异质性偏高。

4.5. 研究局限与未来方向

本研究存在以下局限，有待未来研究进一步完善。第一，本研究对学习组织形式的分类系依据文献

研究实施国家的主流教学模式特征进行推断,而非直接获取各实验课堂中实际采用的学习组织形式数据。该操作方式虽能一定程度上反映不同教育情境中合作学习与自主学习的差异,但难以捕捉同一国家内部不同课堂学习的差异。未来研究应在原始实验设计中同步收集课堂互动形式信息,或采用标准化量表对学习组织形式进行直接测量,以更精确地考察其调节效应。第二,异质性来源的探索仍不充分。针对 STEM 学科($I^2 = 57.997\%$)、大学阶段($I^2 = 54.942\%$)和程序性知识($I^2 = 54.304\%$)等中高度异质性亚组,受限于原始文献报告信息的不足,本研究未能开展深入的元回归分析。未来研究可进一步编码干预时长、讲解形式(口头或书面)、对照组类型、样本量等变量,采用元回归方法更精细地解析效应量的变异来源。第三,本研究所纳入的实验干预时长从单次课程到学期制不等,但现有文献对干预时长的报告不够统一和完整,限制了本研究对其调节效应的考察,建议未来研究在报告中规范描述干预方案的实施周期与强度。

5. 总结

本元分析证实费曼学习法整体可显著提升学生学习效果,但实施效果受学段、学习组织形式、学科领域、知识类型四大变量约束。结合研究结论提出分层落地建议:第一,学段层面。K12 阶段可标准化常态化应用;大学阶段需结合学科、知识类型灵活调整活动设计;在职继续教育可全面推广,匹配成人问题导向学习需求。第二,学习组织形式层面。依托我国集体协作的本土教育优势,以小组为单位开展同伴讲解、互教互评,同步兼顾知识掌握与协作能力培养。第三,学科层面。人文、语言等非 STEM 学科可重点使用费曼学习法,借助类比讲解简化复杂理论;STEM 学科单独使用该方法效果有限,需搭配习题推演、实操实验同步开展。第四,知识层面。陈述性知识教学可稳定使用费曼学习法巩固记忆;程序性知识教学搭配持续实操训练,缓解能力消退问题。

针对大学阶段、STEM 学科等高异质性应用场景,教师需强化课堂干预设计,长期追踪学生学习成果并动态调整教学方案。整体教学实践应当摒弃“一刀切”的推广思路,依托循证教育结论搭建差异化实施框架,结合学习者认知特征、课程属性动态优化学习活动,实现单纯工具使用向完整认知生态建构升级。

基金项目

山东省本科教学改革研究重点项目(Z2024251); 山东师范大学本科教学改革研究项目(2024MJ35, 2025ZS03)。

参考文献

- [1] Acland, C.R. (2017) American AV: Edgar Dale and the Information Age Classroom. *Technology and Culture*, **58**, 392-421. <https://doi.org/10.1353/tech.2017.0041>
- [2] 李雪, 龚文姜, 杨杰, 等. 费曼式学习法对提高居家腹膜透析患者的自我管理依从性及透析充分性的影响[J]. 中国血液净化, 2021, 20(2): 134-137.
- [3] Wang, Y., Lin, L. and Chen, O. (2021) The Benefits of Teaching on Comprehension, Motivation, and Perceived Difficulty: Empirical Evidence of Teaching Expectancy and the Interactivity of Teaching. *British Journal of Educational Psychology*, **91**, 1275-1290. <https://doi.org/10.1111/bjep.12416>
- [4] 王亚沁. 基于产出导向法理论的大学英语混合式教学模式构建与实践研究[J]. 中国电化教育, 2022(11): 117-122.
- [5] 郝莉, 郑鑫, 王鹏, 等. 费曼学习法联合思维导图在糖尿病慢性并发症护理临床教学中的应用[J]. 中华护理教育, 2023, 20(4): 451-456.
- [6] De Lorenzis, F., Praticò, F.G., Repetto, M., Pons, E. and Lamberti, F. (2022) Immersive Virtual Reality for Procedural Training: Comparing Traditional and Learning by Teaching Approaches. *Computers in Industry*, **144**, Article 103785. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103785>
- [7] Jacob, L., Lachner, A. and Scheiter, K. (2021) Does Increasing Social Presence Enhance the Effectiveness of Writing

- Explanations? *PLOS ONE*, **16**, e0250406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250406>
- [8] Lachner, A., Jacob, L. and Hoogerheide, V. (2020) Learning by Writing Explanations: Is Explaining to a Fictitious Student More Effective than Self-Explaining? *Learning and Instruction*, **74**, Article 101438. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101438>
 - [9] 夏凌翔. 元分析及其在社会科学研究中的应用[J]. 西北师大学报(社会科学版), 2005(5): 61-64.
 - [10] 宋丽哲, 魏顺平, 顾丽凤, 等. 两类在线学习者行为分析——同一课程的成人与在校行为对比[J]. 广播电视大学学报(哲学社会科学版), 2021(4): 76-86.
 - [11] Ma, C., Rose, J. and McKeown, S. (2026) How Cultural and Educational Experiences Affect Chinese and UK Students' Learning Preferences: A Qualitative Study of Perceptions, Attitudes, and Beliefs. *Cogent Education*, **13**, Article 2611448. <https://doi.org/10.1080/2331186x.2025.2611448>
 - [12] 滕兆敏. 不肢解课文, 语文课还能怎么上? [J]. 人民教育, 2022(Z1): 101-102.
 - [13] (美)约翰·R·安德森. 认知心理学[M]. 杨清, 张述祖, 译. 长春: 吉林教育出版社, 1989: 11-37.
 - [14] 刘潇, 贺肖肖, 冯廷珺, 等. 增强现实画面与知识类型的适配性研究——基于安德森的细化知识分类[J]. 现代教育技术, 2023, 33(10): 53-62.
 - [15] 邓小容, 李萍, 李雪, 等. 费曼式学习法干预模式改善终末期肾脏疾病患者健康素养及生活质量的研究[J]. 华南国防医学杂志, 2021, 35(5): 334-337+343.
 - [16] 杨洁, 范菊红, 李玉. 费曼式学习法在低年资护士儿童 PICC 维护培训中的应用[J]. 全科护理, 2024, 22(5): 942-947.
 - [17] 李师祁. 费曼学习法在初中双手头上前掷实心球教学中的应用研究[J]. 安徽体育科技, 2024, 45(3): 84-87.
 - [18] 胡维, 朱晶. 费曼学习法在精神科理论教学中的应用研究[J]. 科教导刊, 2024(21): 66-68.
 - [19] 胡康丽, 张黎, 李伟, 等. 混合教学模式在提升护士多媒体推送制作能力中的应用[J]. 护理与康复, 2023, 22(7): 23-25.
 - [20] 史玉龙, 刘金涛, 周永飞, 等. 基于费曼学习法的教学模式在重症医学科住院医师规范化培训中的应用[J]. 中国现代医生, 2024, 62(16): 112-114.
 - [21] 徐燕娟, 李欣, 洪慧, 等. 基于费曼学习法的微课教学模式在护士规范化培训中的应用研究[J]. 全科护理, 2022, 20(36): 5178-5180.
 - [22] 王惠, 王美英, 王敏, 等. 基于网络的费曼学习法在提升护士自主学习和知识共享能力中的运用[J]. 江苏卫生事业管理, 2024, 35(8): 1182-1185.
 - [23] 赵颜娟, 王东俞, 高宇飞. 思维导图联合费曼学习法在产科临床护理教学中的应用[J]. 河南大学学报(医学版), 2023, 42(6): 462-464.
 - [24] 彭江滨, 伍书香. 学生自主授课式费曼学习法在心内科教学中的应用[J]. 长治医学院学报, 2024, 38(4): 319-322.
 - [25] 董军, 张格林, 孙园, 等. Mind Master 引导下的费曼学习法在骨科实习中的应用研究[J]. 中国继续医学教育, 2023, 15(7): 84-88.
 - [26] 岳阳, 刘作良, 龙燕琼, 等. 需求导向、以教促学的培训模式的应用价值[J]. 中国继续医学教育, 2022, 14(4): 133-137.
 - [27] 闫长红. “以教促学”模式下大学生英语自主学习实证研究[J]. 宁波广播电视大学学报, 2014, 12(3): 98-101.
 - [28] 苏丽红. PBL 为基础的以教促学模式在内分泌科临床教学中的应用[J]. 中国卫生产业, 2015, 12(18): 40-42.
 - [29] 王福兴, 黄宇, 张洋, 等. 提示对学习自我生成教学过程和学习效果的作用[J]. 心理学报, 2024, 56(4): 469-481.
 - [30] Jacob, L., Lachner, A. and Scheiter, K. (2022) Do School Students' Academic Self-Concept and Prior Knowledge Constrain the Effectiveness of Generating Technology-Mediated Explanations? *Computers & Education*, **182**, Article 104469. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104469>
 - [31] van Brussel, S., Timmermans, M., Verkoeijen, P. and Paas, F. (2023) Comparing Instructional Strategies to Support Student Teachers' Learning to Prepare an Open-Minded Citizenship Education Lesson. *Instructional Science*, **51**, 451-473. <https://doi.org/10.1007/s11251-023-09623-x>
 - [32] Jacob, L., Lachner, A. and Scheiter, K. (2020) Learning by Explaining Orally or in Written Form? Text Complexity Matters. *Learning and Instruction*, **68**, Article 101344. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101344>
 - [33] Shadiev, R., Hwang, W., Yeh, S., Yang, S.J.H., Wang, J., Han, L., et al. (2014) Effects of Unidirectional vs. Reciprocal Teaching Strategies on Web-Based Computer Programming Learning. *Journal of Educational Computing Research*, **50**, 67-95. <https://doi.org/10.2190/ec.50.1.d>

- [34] Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S.M.M., Heijltjes, A. and van Gog, T. (2016) Gaining from Explaining: Learning Improves from Explaining to Fictitious Others on Video, Not from Writing to Them. *Contemporary Educational Psychology*, **44**, 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.005>
- [35] Hoogerheide, V., Visser, J., Lachner, A. and van Gog, T. (2019) Generating an Instructional Video as Homework Activity Is Both Effective and Enjoyable. *Learning and Instruction*, **64**, Article 101226. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>
- [36] Pi, Z., Zhang, Y., Liu, C., Zhou, W. and Yang, J. (2022) Generative Learning Supports Learning from Video Lectures: Evidence from an EEG Study. *Instructional Science*, **51**, 231-249. <https://doi.org/10.1007/s11251-022-09602-8>
- [37] Silvervarg, A., Wolf, R., Blair, K.P., Haake, M. and Gulz, A. (2020) How Teachable Agents Influence Students' Responses to Critical Constructive Feedback. *Journal of Research on Technology in Education*, **53**, 67-88. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1784812>
- [38] Xia, Q., Ke, L. and Zheng, Z. (2022) Is Video Creation More Effective than Self-Exercise in Motor Skill Learning? *Frontiers in Psychology*, **13**, Article ID: 1032680. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1032680>
- [39] Veloso, S.G., Pereira, G.S., Vasconcelos, N.N., Senger, M.H. and de Faria, R.M.D. (2019) Learning by Teaching Basic Life Support: A Non-Randomized Controlled Trial with Medical Students. *BMC Medical Education*, **19**, Article No. 67. <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1500-7>
- [40] Kobayashi, K. (2021) Learning by Teaching Face-to-Face: The Contributions of Preparing-to-Teach, Initial-Explanation, and Interaction Phases. *European Journal of Psychology of Education*, **37**, 551-566. <https://doi.org/10.1007/s10212-021-00547-z>
- [41] Kuhn, J., Mamede, S., van den Berg, P., Zwaan, L., van Peet, P., Bindels, P., et al. (2022) Learning Deliberate Reflection in Medical Diagnosis: Does Learning-by-Teaching Help? *Advances in Health Sciences Education*, **28**, 13-26. <https://doi.org/10.1007/s10459-022-10138-2>
- [42] Hermida, M.J., Perez Santangelo, A., Calero, C.I., Goizueta, C., Espinosa, M. and Sigman, M. (2021) Learning-by-teaching Approach Improves Dengue Knowledge in Children and Parents. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **105**, 1536-1543. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0253>
- [43] Fiorella, L. and Mayer, R.E. (2014) Role of Expectations and Explanations in Learning by Teaching. *Contemporary Educational Psychology*, **39**, 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>
- [44] Roscoe, R.D. (2013) Self-Monitoring and Knowledge-Building in Learning by Teaching. *Instructional Science*, **42**, 327-351. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>
- [45] van Brussel, S., Timmermans, M., Verkoeijen, P. and Paas, F. (2021) Teaching on Video as an Instructional Strategy to Reduce Confirmation Bias—A Pre-Registered Study. *Instructional Science*, **49**, 475-496. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09547-4>
- [46] Koh, A.W.L., Lee, S.C. and Lim, S.W.H. (2018) The Learning Benefits of Teaching: A Retrieval Practice Hypothesis. *Applied Cognitive Psychology*, **32**, 401-410. <https://doi.org/10.1002/acp.3410>
- [47] Cohen, J. (1992) A Power Primer. *Psychological Bulletin*, **112**, 155-159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- [48] 洪明, 余文森. “先学后教”教学模式的理念与实施条件——基于杜郎口中学、洋思中学和东庐中学教学改革思考[J]. 中国教育学刊, 2011(3): 47-50.
- [49] 李森林, 张肇龙. 成人学习特点分析与继续教育教学改进[J]. 成人教育, 2024, 44(12): 9-16.
- [50] 徐晶. 开展合作学习增强课堂活力[J]. 中学地理教学参考, 2014(12): 20-21.
- [51] 鞠晶, 孙启耀. 中国英语学习者隐喻能力发展障碍探索[J]. 东北师大学报(哲学社会科学版), 2011(5): 108-111.
- [52] Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. and Paas, F. (2019) Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, **31**, 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- [53] Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P. and Glaser, R. (1989) Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, **13**, 145-182. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1302_1