

# 费曼学习法在培养高中生数学核心素养中的作用研究

## ——以逻辑推理与直观想象为例

易 婧, 董金辉\*

黄冈师范学院数学与统计学院, 湖北 黄冈

收稿日期: 2025年11月12日; 录用日期: 2026年1月6日; 发布日期: 2026年1月19日

### 摘 要

《普通高中数学课程标准(2017年版2020年修订)》将数学核心素养作为课程目标的核心内容。其中, 逻辑推理与直观想象不仅是数学学习的关键素养, 也是学生普遍面临的难点。费曼学习法作为一种以“输出”为导向的深度学习策略, 其核心流程包括概念选择、模拟教学、查漏补缺与简化内化, 为上述两大素养的培养提供了可行路径。文章旨在探讨费曼学习法在促进逻辑推理与直观想象素养发展中的作用机制, 结合高中数学典型案例, 阐释其在显化推理过程、提升思维严谨性, 以及外化想象图景、强化数形结合能力方面的独特价值, 从而为数学核心素养的教学实践提供理论参考与实践范本。

### 关键词

费曼学习法, 数学核心素养, 逻辑推理, 直观想象, 高中数学教学

# Research on the Role of Feynman Technique in Cultivating High School Students' Core Mathematical Competencies

## —Taking Logical Reasoning and Intuitive Imagination as Examples

Jing Yi, Jinhui Dong\*

School of Mathematics and Statistics, Huanggang Normal University, Huanggang Hubei

Received: November 12, 2025; accepted: January 6, 2026; published: January 19, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 易婧, 董金辉. 费曼学习法在培养高中生数学核心素养中的作用研究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(1): 228-235. DOI: 10.12677/ces.2026.141030

## Abstract

The “Mathematics Curriculum Standards for Ordinary High Schools (2017 Edition, 2020 Revision)” regards core mathematical competency as the core content of the curriculum objectives. Among them, logical reasoning and intuitive imagination are not only key competencies in mathematics learning, but also common difficulties faced by students. The Feynman Technique, as an output oriented deep learning strategy, has a core process that includes concept selection, simulated teaching, leak detection, and simplified internalization, providing a feasible path for the cultivation of the two major competencies mentioned above. This article aims to explore the mechanism of Feynman Technique in promoting the development of logical reasoning and intuitive imagination literacy. Combining typical cases of high school mathematics, it explains its unique value in the process of explicit reasoning, enhancing thinking rigor, externalizing imagination, and strengthening the ability to combine numbers and shapes. This provides theoretical reference and practical examples for the teaching practice of mathematical core literacy.

## Keywords

Feynman Technique, Core Mathematical Competencies, Logical Reasoning, Intuitive Imagination, High School Mathematics Teaching

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

随着数学教育从“知识本位”向“素养本位”的纵深发展，如何在日常教学中有效落实核心素养的培养，已成为一线教师与研究者共同关注的重点。数学学科核心素养不仅凝练了课程目标，也体现了数学特有的思维方式、能力结构及其蕴含的情感价值取向[1]。逻辑推理与直观想象作为数学核心素养体系中相互支撑的两个维度，分别代表数学的理性思维与感性直觉。然而，当前教学中学生常出现“推理链条断裂、论证跳步”或“想象模糊、数形转换困难”等问题，其根源在于传统的“讲授-练习”模式偏重知识的被动接受与机械模仿，未能充分激发学生内在的深度认知加工。

费曼学习法由美国物理学家理查德·费曼提出，核心理念为“以教促学”，即通过将知识以简单清晰的方式讲授给他人，来深化理解与记忆[2]。该方法强调通过“讲解”行为促使学习者厘清思路、发现认知盲区并实现知识重构。这一过程与逻辑推理所要求的清晰严谨、直观想象所依赖的具象关联高度契合。费曼学习法能够推动学生从被动接受转向主动探索，增强学习兴趣，有助于学科能力与素养的协同发展[3]。因此，本研究聚焦于费曼学习法，系统阐释其在逻辑推理与直观想象素养形成中的作用机制，以期素养教学的实践突破提供新的视角与方法支持。

## 2. 费曼学习法与数学核心素养的契合性分析

费曼学习法的有效性并非偶然，其核心流程与认知心理学中关于人类如何高效学习、记忆和建构知识的经典理论高度契合。从认知视角审视其运作机制，能够为我们理解其在培养数学核心素养方面的价值，提供坚实的科学依据。

## 2.1. 逻辑推理素养与“显化”机制：提取练习与自我解释效应

逻辑推理是获取数学结论、构建数学体系的重要方式，体现了数学的严谨性，也是数学交流中必备的思维品质[4]。该素养强调从已知事实与命题出发，依据规则推导出新命题的思维能力，其核心在于思维过程的连贯性与严谨性。费曼学习法的“模拟教学”环节，正是通过强制“输出”来达成这一目标的。

“模拟教学”作为高效的“提取练习”：认知心理学研究表明，与被动重复阅读相比，提取练习——即主动地从记忆中回想信息——能产生更强大、更持久的长期记忆痕迹，此即“测试效应”。费曼学习法中的“讲解”行为，正是一种强效的提取练习。学生并非简单地复述，而是需要在没有外部提示的情况下，主动重构知识网络，提取出定义、定理和推理步骤。这个过程本身就能强化记忆，并暴露出哪些知识是模糊的、未被真正掌握的，从而为后续的“查漏补缺”提供了精准的目标。

“自我解释效应”的驱动：在讲解过程中，学生为了让他人理解，必须不断地对自己进行“自我解释”：“我为什么要用这个定理？”“这一步为什么是合理的？”“这个条件和结论之间是如何连接的？”。自我解释被证实能促进学习者将新信息与已有知识整合，发现知识间的内在联系，并监控自己的理解过程。这正是逻辑推理所需的元认知技能。通过持续自我解释，学生被迫审视并完善其内在的逻辑链条，从而有效避免了思维“跳步”，锤炼了思维的严密性。

因此，费曼学习法对逻辑推理素养的促进，本质上是通过“提取练习”强化知识通达性，并通过“自我解释”驱动内在逻辑的精细化与整合化。

## 2.2. 直观想象素养与“简化内化”：图式建构与认知负荷理论

直观想象素养指借助几何直观和空间想象感知数学对象的形态与变化，并运用图形理解和解决数学问题的能力。直观想象素养的关键在于建立灵活、可迁移的心理表征(图式)。费曼学习法的“简化内化”阶段，直接服务于高质量图式的构建[5]。

“简化重构”促进“图式建构”：人类的知识在脑中是以“图式”——即组织化的知识结构——的形式存储的。高效的专家拥有数量众多、组织良好且高度抽象的图式。费曼学习法要求学习者“简化”知识，并非简单地删除信息，而是去芜存菁，提炼出核心概念与关系，并用自己的语言和类比进行重构。这个过程本身就是图式化合与抽象化的过程。例如，学生将“奇函数”从抽象的 $f(-x)=-f(x)$ 重构为“中心对称的旋转意象”，就是构建了一个更具包容性和迁移性的视觉-概念图式。这个图式比原始的代数公式更利于在解决新问题时被快速识别和调用。

“类比化”降低“认知负荷”：认知负荷理论指出，工作记忆的容量有限，是学习的主要瓶颈。复杂的数学概念常常会给新手的学习者带来极高的“内在认知负荷”。费曼学习法鼓励使用类比和生活实例，其本质是将陌生的、抽象的知识与熟悉的、具体的情境相连接。这相当于为复杂知识提供了一个“认知脚手架”，极大地降低了处理新信息所需的心理努力，使工作记忆的资源能够集中于更深层次的理解和图式建构，而非被表面细节所淹没。一旦稳定的图式形成，它便能在长时记忆中作为一个整体单元被存储和提取，从而在应用时彻底解放工作记忆。

因此，费曼学习法对直观想象素养的促进，是通过“简化重构”驱动图式的精炼与优化，并利用“类比化”作为认知脚手架，有效管理认知负荷，最终实现知识的深度内化和灵活迁移。

## 3. 作用机制与实践路径：基于典型案例的分析

前述理论分析揭示了费曼学习法与核心素养之间的内在联系，而为了更清晰地展现其作用路径，有必要深入到具体教学情境中予以考察。下面将结合高中数学的典型内容，分别以“立体几何证明”与“函数性质”为例，阐释费曼学习法在逻辑推理与直观想象素养培养中的具体应用机制与实践流程。

### 3.1. 费曼学习法促进逻辑推理素养的机制——以“立体几何证明”为例

课题：证明线面平行的判定定理。

费曼学习法的四步应用：

1) 选择概念：学生选择定理“若平面外一条直线与此平面内一条直线平行，则该直线与此平面平行”。

2) 尝试讲解(暴露逻辑断裂点)：

典型困难与错误：学生 A 直接陈述：“因为  $a \parallel b$ ，所以  $a \parallel \text{平面 } \alpha$ 。”当被追问“为什么？”时，他无法清晰指出其依据是“线面平行的判定定理”本身，陷入了循环论证。另一名学生 B 在尝试反证法时，卡在“假设  $a$  与  $\alpha$  不平行，则交于点 P”后，无法继续。他的思维断裂点在于：无法建立点 P 与已知直线  $b$  的有效联系，只是模糊地觉得“这样就不平行了”，但推导不出矛盾。

教师针对性指导：教师不应直接纠正，而应通过追问引导：“你现在是想用定义还是判定定理来证明？”“在反证法中，点 P 既然在平面  $\alpha$  内，那么过点 P 在  $\alpha$  内可以作多少条直线？这些直线与  $b$  可能是什么关系？这与  $a \parallel b$  的条件有没有冲突？”这样的提问旨在引导学生自我意识到“过直线外一点有且只有一条平行线”这一核心公理的应用场景。

3) 反思修正(强化严谨性)：

学生行为：在教师提问的引导下，学生 B 重返教材，重点审视“平行公理”和“线面平行定义”。他意识到，自己的错误在于忽略了“过点 P 作直线  $c \parallel b$ ”这一关键构造性操作，而正是这一操作，才能利用公理推出“ $c$  与  $a$  重合”或直接与  $a \parallel b$  产生矛盾。

教师角色：教师在此阶段肯定学生的自我发现，并强调在立体几何证明中，“辅助线的构造”常常是逻辑链条得以连接的关键，鼓励学生将此类“构造性思维”纳入自己的推理图式。

4) 简化重构(内化推理模式)：

学生成果：学生最终将证明思路提炼为逻辑流程图：“目标(证无交点)→方法(反证法)→关键构造(过交点作线平行于已知线)→依据(平行公理)→矛盾点(出现两条过一点的平行线)→结论”。这个过程不仅掌握了该定理，更内化了一种严谨的推理模式。

典型困难：部分学生在“简化”时，可能过度简化，遗漏关键步骤。例如，只写下“反证法→矛盾”，却不指明矛盾的具体内容。

教师指导：教师需强调，“简化”不等于“缺失”，而是“精炼”。要求学生确保流程图中的每一步都是逻辑上不可或缺的，并能口头展开说明。

作用机制小结：“以教促学”体现了学习与表达的辩证统一，要求学习者将抽象概念转化为简明语言，实现知识的再加工与重构[6]。费曼学习法通过“讲解暴露-修正-重构”的循环，将内隐的、可能模糊的逻辑思维强制显化。学生遇到的困难(如循环论证、构造缺失)正是其逻辑漏洞的体现。教师的针对性提问(而非直接告知)，引导学生完成了一次有效的“自我解释”与“提取练习”，从而使其对数学推理的严谨性产生切身体会和深刻理解。

### 3.2. 费曼学习法促进直观想象素养的机制——以“函数性质”为例

课题：理解函数的奇偶性及其图像特征。

费曼学习法的四步应用：

1) 选择概念：学生选择“奇函数”的概念： $f(-x) = -f(x)$ 。

2) 尝试讲解(暴露想象空白)：

典型困难与错误：学生 C 仅能背诵公式。当被要求向“小白”解释时，他画了一个关于原点对称的



草图,但解释说:“就是把一边的图像翻折过去。”这暴露了他将中心对称与轴对称(翻折)混淆的常见错误。学生D则无法将公式与图像联系起来,陷入沉默。

教师针对性指导:对学生C,教师可拿起一张纸,在图像上取一个点 $(x, f(x))$ ,然后问:“如果你说的是‘翻折’,应该是沿哪条线翻折?翻折后的坐标是什么?而公式 $f(-x)=-f(x)$ 告诉我们,这个点应该对应到 $(-x, -f(x))$ ,这是翻折能得到的吗?我们该如何用动作来描述这种变换?(引导出‘旋转’)”对学生D,教师可降低难度:“你能不能举一个具体的奇函数的例子?比如 $y=x^3$ ,然后在图像上标出几个点,比如 $(2, 8)$ ,然后根据公式,哪个点也必须在图像上?”

### 3) 反思修正(链接数与形):

学生行为:在教师引导下,学生C通过具体点坐标计算,发现 $(2, 8)$ 的“对称点”是 $(-2, -8)$ ,而非翻折得到的点。他通过动态几何软件(如 GeoGebra)拖动点观察,直观感受到“旋转 $180^\circ$ ”的效果,从而厘清了概念。学生D则通过具体函数的点对验证,建立了初步的代数与几何联系。

教师角色:提供从具体到抽象的“脚手架”,如鼓励使用图形计算器、动态软件进行验证,让抽象的数学关系“动起来”,降低认知负荷。

### 4) 简化重构(创造心智意象):

学生成果:学生C创造出新的类比:“奇函数图像就像是一个旋涡,或者一个电风扇的叶片,绕中心旋转 $180$ 度后还是老样子。”学生D则说:“像一对关于原点对称的‘影子’,一个在东北角,另一个就在西南角。”

典型困难:学生的初始类比可能不准确(如最初的“翻折”)。

教师指导:教师应鼓励类比创造的勇气,并通过追问检验其准确性(“你这个类比在哪些情况下是成立的?有没有例外?”),引导类比从粗糙走向精确。同时,分享优秀的类比范例,拓宽学生的思路。

作用机制小结:费曼学习法通过“要求简化与类比”,迫使学生将抽象的数学关系转化为具体的、可视的心理图像。学生暴露的困难(如概念混淆、数形脱离)正是其直观想象图式存在缺陷的表现。教师通过具身化演示(动作)、技术工具辅助和分层提问,引导学生完成图式的修正与建构,使直观想象从一种潜在的、可能出错的直觉,发展为一种可被主动调用、检验和修正的清晰能力。

## 4. 教学启示与实施建议

费曼学习法的有效实施需系统整合教学理念、课堂组织与评价方式,而非简单的方法介绍。基于前述机制分析,提出如下教学建议。

### 4.1. 课堂范式转型:构建以学生为主体的费曼式课堂

常态化“微费曼”环节:教师应鼓励学生设想自己是一名老师,要向一个或多个学生解释某个数学知识点。这个场景可以是课堂或小组讨论[7]。在新授课或习题课中设置 $5\sim 8$ 分钟的“同伴教学”时段,组织学生分组轮流担任“讲解者”与“提问者”。提问者模仿“初学者”持续追问(如“为什么这一步成立?”“公式与图形有何联系?”),促使讲解者澄清思路。教师巡视指导,收集典型误区,实现靶向教学。

打造“思维可视化”的板书文化:鼓励学生在板演或讲解时,不仅写出步骤,更要使用不同颜色的粉笔标注出关键推理步骤(如“这里应用了余弦定理”),或同步绘制辅助理解的草图。将费曼学习法中“显化思维”的要求,通过板书这一外部载体固定下来,让全班同学都能观摩、学习一个清晰的思维过程是如何展开的。

### 4.2. 学习流程重塑:将费曼学习法融入课外学习全过程

推行“费曼笔记法”与“概念卡”:指导学生将笔记页分为两栏,左栏记录课堂内容,右栏以个人语

言、类比或图示重新阐释知识点。另可设计“数学概念费曼卡”，正面写概念名称，背面用三两句话与一幅图示向“小学生”讲解，便于自我检测与复习。

设计“分层讲解”作业：在传统解题作业外，设置讲解类任务。例如，基础层写出解题关键步骤与依据；能力层录制音频简述思路；创新层寻求生活类比或替代性直观解法，以满足不同学生的发展需求。

#### 4.3. 评价体系革新：构建关注思维过程与表达质量的多元评价

引入“说题评价量规”：制定专门量表，评估学生讲解在“逻辑连贯性”“语言准确性”“步骤依据明确性”及“直观化手段运用”等方面的表现，引导学生明确高质量讲解的标准。

实施“成长档案袋评价”：为学生建立电子或实物档案，收录其在不同阶段的讲解视频、音频或概念卡。通过纵向对比，清晰呈现学生逻辑表达与直观想象能力的进步，支持教师个性化指导，并缓解“唯分数”焦虑，聚焦思维成长[8]。

#### 4.4. 教师角色进化：从知识传授者转向认知教练

精于提问，而非急于解答：学生讲解受阻时，教师应以高阶问题(如“能否复述定理条件？”“图形变动后会如何？”“能否举例验证？”)引导其自我发现并修补认知缺口，体现学生在学习中的主体地位[9]。

示范“专家的费曼”：教师可亲身示范如何理解复杂概念，展示个人构建的类比或心智图，既传授知识，也呈现专家思维过程，发挥示范引领作用。

#### 4.5. 现实挑战与应对策略：迈向可持续的课堂实践

费曼学习法的落地面临诸多现实挑战，预先规划应对策略是成功的关键。

挑战一：教学时间紧张

应对策略：推行“微费曼”。将核心活动压缩至5~10分钟，如“概念快讲”“步骤阐释”，并将其有机嵌入常规课堂，而非每节课进行大型活动。

挑战二：学生参与度不均

应对策略：构建安全的表达环境。从压力最小的“同桌互讲”开始，允许使用草稿，并提供“表达脚手架”(如讲解模板)来降低难度，鼓励全员参与。

挑战三：同伴互教传播错误概念

应对策略：教师扮演“监听与纠偏”角色。巡视小组讨论，及时捕捉并公开讨论共性错误，将其转化为全班的学习资源。同时，鼓励学生进行批判性倾听和提问。

### 5. 实证研究设计

为验证前述理论机制与教学建议的有效性，并用量化与质性数据支撑本文观点，特设计如下准实验研究方案。

#### 1) 研究目的

通过准实验研究，探究在高中数学教学中系统实施费曼学习法，对学生逻辑推理与直观想象素养发展的实际影响，并对其作用机制进行深入分析。

#### 2) 研究对象与分组

采用准实验前后测对照组设计。

在某高中高二年级中，选取两个在入学成绩、上学期期末数学成绩及男女比例上无显著差异的平行班。

通过随机抽样，确定一个班为实验班( $n \approx 50$ )，另一个班为对照班( $n \approx 50$ )。为确保伦理，向学生及家

长说明研究目的,并确保对照班在研究结束后也能体验该教学法。

### 3) 研究流程与干预方案

研究持续一个学期(约4个月)。

前测阶段:

两个班同时进行数学核心素养测试(后测卷同),试卷包含精心设计的逻辑推理(如证明题、逻辑判断题)与直观想象(如图形识别、数形结合问题)题目;使用数学学习情感态度问卷,测量学生的学习兴趣、自我效能感与元认知意识;对两个班部分学生进行初步访谈,了解其惯常的学习方法。

干预阶段:

对照班:采用常规教学法,即以教师讲授、学生练习为主的教学模式。实验班:在常规教学基础上,系统嵌入费曼学习法,干预措施基于本文第四章的教学建议,具体包括:每周固定“费曼日”:每周至少一节课开展“微费曼”环节;“费曼笔记”制度化:检查并定期展示优秀“费曼笔记”与“概念卡”;“分层讲解”作业:每月布置1~2次,并纳入平时成绩考核;教师培训:确保实验班教师熟练掌握费曼学习法的引导与提问技巧,扮演好“认知教练”角色。

后测与数据收集阶段:

学期末,两个班再次进行数学核心素养测试(与前测等值);再次发放数学学习情感态度问卷。

学生访谈:从实验班中根据成绩提升幅度(高、中、低)分层抽取6~8名学生进行半结构化访谈,深入了解其学习体验、思维变化及遇到的困难。

课堂录像分析:在实验中期和后期,对实验班的2~3次“费曼式课堂”进行录像,重点分析学生讲解时的思维逻辑、语言表达及使用图示类比的情况。

### 4) 数据分析方法

定量分析:

使用SPSS软件,采用独立样本t检验或协方差分析,比较两个班后测成绩的差异,控制前测成绩的影响;对情感态度问卷数据进行描述性统计和差异性检验,分析实验班学生在学习兴趣、自信心等方面是否有显著提升。

定性分析:

对访谈录音和课堂录像进行转录与编码。采用主题分析法,提炼出如“思维显化”“认知冲突与解决”“类比创造”“自信心变化”等主题,用以解释定量结果,并丰富费曼学习法的作用机制。

### 5) 预期结果

定量数据预期显示,实验班在核心素养后测,尤其是逻辑推理的严谨性与直观想象的应用题上,得分显著高于对照班。

问卷数据预期显示,实验班学生的学习自我效能感和元认知水平有显著提升。

访谈和录像分析预期揭示,学生经历了从“模糊理解”到“清晰讲解”的认知挣扎,最终在简化与类比能力上得到实质性发展。

### 6) 研究局限性

样本来自同一学校,代表性有限。

无法完全排除“霍桑效应”。

教师的教学热情与投入度可能对结果产生影响。

## 6. 结语

费曼学习法以其“以教促学”的简洁核心理念,为破解高中生数学核心素养培养的难题提供了一把

关键的钥匙。本研究通过理论阐发与案例剖析,论证了该方法如何通过“输出”驱动深度思考,借助“显化”锤炼逻辑推理,利用“具象”激活直观想象,从而有效地促进了知识的内化与素养的生成。

更为重要的是,成功的实践并非机械套用步骤,而是需要教师在深刻理解其认知科学原理的基础上,进行灵活而富有创造性的课堂转化。这意味着从课时安排、活动设计到评价反馈的系统性调整,以及教师自身从知识传授者到学习设计者与思维教练的角色进化。

展望未来,费曼学习法与智能技术的深度融合、其在不同数学主题与学业水平学生中的差异化应用模式,都将是有待深入探索的方向。我们相信,让“讲解”与“重构”成为数学课堂的新常态,将能更好地赋能学生,引导他们不仅学会数学,更会学数学,最终成长为具备批判性思维与创新能力的自主学习者。

## 基金项目

黄冈市教育科学规划课题——基于费曼学习法培养高中生数学自主学习能力的策略研究(2024JB49)。

## 参考文献

- [1] 李婵平. 核心素养导向的高中数学教学助力学生素养发展——评《高中数学核心素养》[J]. 教育理论与实践, 2025, 45(26): 2.
- [2] 王珏. “费曼学习法”教学原理分析及应用[J]. 广西职业技术学院学报, 2020, 13(4): 98-102+115.
- [3] 马莉. 以“输出”倒逼“输入”: 费曼学习法在初中历史教学中的应用[J]. 中学历史教学参考, 2025(8): 11-13.
- [4] 谢先成. 基于核心素养的《普通高中数学课程标准(2017 年版)》解读——访数学课程标准修订组组长、东北师范大学原校长史宁中教授[J]. 教师教育论坛, 2018, 31(6): 4-7.
- [5] 曹文慧. 基于费曼学习法的高校数学分析课程教学创新路径[J]. 教育观察, 2025, 14(13): 78-80+87.
- [6] 王志学. 费曼学习法下初三数学专题复习课的重构——以“二次函数”复习课为例[J]. 新课程研究, 2025(14): 4-6.
- [7] 徐梅琼. 基于费曼学习法的高中语文学科核心素养培养[J]. 课程教材教学研究(下半月刊), 2025(4): 30-32.
- [8] 郑志宏. 智能技术赋能费曼学习法: 提升自主学习能力的 newPath[J]. 北京教育(普教版), 2025(9): 79-80.
- [9] 张莉. 费曼学习法在小学数学作业讲评中的实践运用[J]. 甘肃教育, 2025(11): 129-132.