

基于工程设计流程的初中科学跨学科项目 学习实践

——以“制作塔台”为例

方杉杉, 方琦

杭州师范大学教育学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2026年5月1日; 录用日期: 2026年5月29日; 发布日期: 2026年6月8日

摘要

《义务教育科学课程标准(2022年版)》强调技术与工程实践是培养学生核心素养的重要途径。针对当前跨学科教学中存在的“拼盘式”“学用割裂”等问题, 本文以“制作塔台”项目为例, 构建了以工程设计流程为主线的跨学科学习模型。该模型引导学生经历五个阶段, 在此过程中有机整合物理、数学等学科知识与思维方法。实践表明, 该项目学习能有效激发学生内在动机, 培养其系统思维、设计思维、批判性思维及团队协作能力, 为在初中科学领域开展深度跨学科项目学习提供了可资借鉴的范式。

关键词

工程设计流程, 跨学科学习, 项目学习, 塔台模型, 初中科学

Interdisciplinary Project-Based Learning Practice in Junior Secondary Science Based on the Engineering Design Process

—Taking “Making a Tower” as an Example

Shanshan Fang, Qi Fang

School of Education, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

Received: May 1, 2026; accepted: May 29, 2026; published: June 8, 2026

Abstract

“The Science Curriculum Standards for Compulsory Education (2022 Edition)” emphasize that

technology and engineering practices are important pathways for cultivating students' core competencies. Addressing the prevalent issues of "patchwork" integration and "disconnection between learning and application" in current interdisciplinary teaching, this paper takes the "Making a Tower" project as an example to construct an interdisciplinary learning model centered on the engineering design process. The model guides students through five stages, integrating knowledge and thinking methods from physics, mathematics, and other disciplines. Practice shows that this project-based learning effectively stimulates students' intrinsic motivation and cultivates their systems thinking, design thinking, critical thinking, and teamwork skills, providing a replicable paradigm for in-depth interdisciplinary project-based learning in junior secondary science.

Keywords

Engineering Design Process, Interdisciplinary Learning, Project-Based Learning, Tower Model, Junior Secondary Science

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/>



1. 引言

在当今时代, 现实问题日益多样化与复杂化, 单一学科难以有效应对, 亟需跨学科整合。《义务教育科学课程标准(2022年版)》及相应学科标准均设立了跨学科实践主题, 推动学习方式从知识堆砌转向实践与理性深度融合[1]。跨学科实践能促使学生认知结构再造、激发创造力, 是弥合人才培养与现实鸿沟的重要途径。然而, 当前跨学科教学常陷入“拼盘式”或学用割裂的困境, 缺乏系统化设计模式与实践检验。

国际上, 以美国《新一代科学教育标准》为代表, 工程实践已被明确纳入科学教育的核心维度[2]。相关研究已从单纯模仿流程转向对设计思维与迭代思维的系统培养。Crismond 与 Adams 提出的“知情设计”(Informed Design)理论框架, 为区分新手与专家的设计认知提供了基准[3]; Fortus 等人则强调, 工程设计不仅是学习的终点应用, 更应作为驱动知识建构的核心情境[4]; Arık 与 Topçu 通过文献计量分析系统梳理了 K-12 科学课堂中工程设计流程的实施趋势与现存问题[5]。国内学者虽已在理论与实践层面展开探索, 但多数研究聚焦于单一学科内的工程任务, 在跨学科整合的知识联结机制以及挖掘各阶段学习科学原理方面仍有待深入。为此, 本文构建了以工程设计流程为主线的跨学科学习模型, 引导学生经历“体认需求与约束→界定工程问题→探索与创生方案→建模、测试与迭代→展示与元认知反思”五个阶段, 以“制作塔台”项目为载体, 有机整合物理、数学、美术、地理、语文等学科知识与思维方法, 实现知识、思维与能力的深度融合[6]。该模型在两方面作出推进: ① 以“约束-问题-原理”映射表实现跨学科知识的显性整合; ② 将“迭代循环”与元认知反思阶段深度绑定, 回应了工程教育中“动手多、反思少”的现实问题。

跨学科实践活动的系统化设计需要明确的核心逻辑与实施策略。冯春艳等提出的 PTP 双环设计模式——问题-任务-作品/表现, 为本文模型构建提供了重要参照[7]。董泽华指出, 中小学工程教育应彰显工程思维的多维性, 让学生像工程师一样开展工程设计实践[8]。为直观呈现该模型的内在结构与运行机制, 本研究构建了跨学科项目学习模型, 见图 1。以下将以“制作塔台”项目为例, 详细阐述该模型在初中科学教学中的具体实施过程与成效。

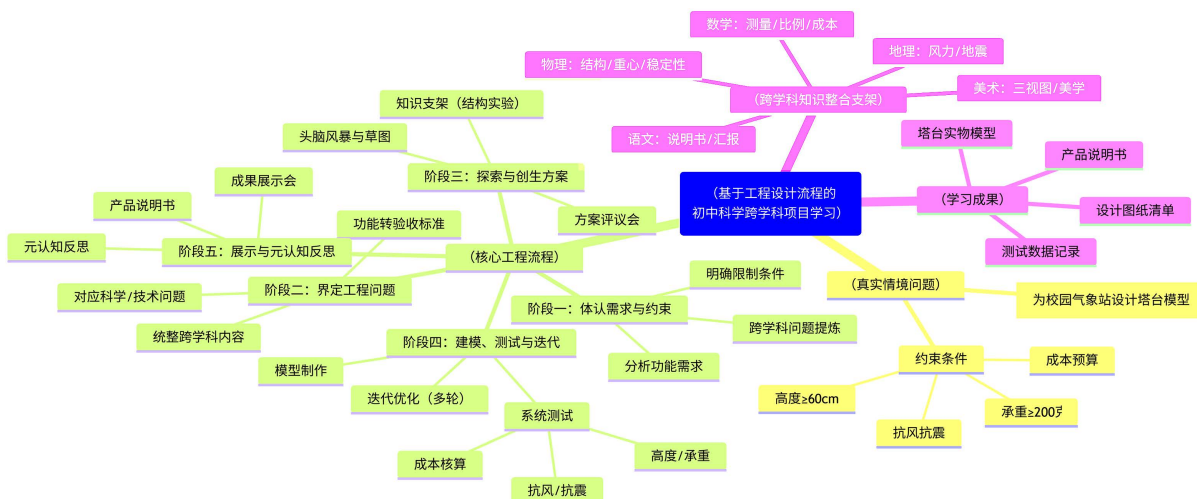


Figure 1. Interdisciplinary project-based learning model based on engineering design process

图 1. 基于工程设计流程的跨学科项目学习模型

2. 教材分析与设计思路

跨学科主题学习是发展学生核心素养的必然要求。然而，实践中常陷入知识简单堆砌、活动流于形式的困境[9]。真正的跨学科学习应始于真实问题，本文以工程设计这种核心的认知方式，贯穿始终，实现知识、思维与能力的深度融合。本研究于 2024~2025 学年第二学期在浙江省金华市某民办初中实施，研究对象为七年级两个平行班的学生，共 50 人(男生 24 人，女生 26 人)。项目作为“科学”课程的拓展性学习模块实施，共安排 8 课时，分 3 周完成。课程性质为必修课内的跨学科项目，不额外占用课外时间。学生以 4~5 人小组形式开展活动，组内采用异质分组。在项目开始前，教师统一接受了工程设计流程相关培训。基于上述背景，我们创设了“为校园气象站设计并建造一座兼具稳固性、功能性和美观性的塔台模型”这一真实项目任务。该项目不仅涉及科学原理的应用，更迫使学生综合考量环境因素、成本限制、人性化设计等工程现实问题，为跨学科学习提供了天然载体。设计思路见图 2，核心围绕工程设计的迭代流程展开。技术与工程实践导向的跨学科教学同样强调让学生在真实问题中经历“体认价值→界定问题→解决问题→反思活动”的完整过程。

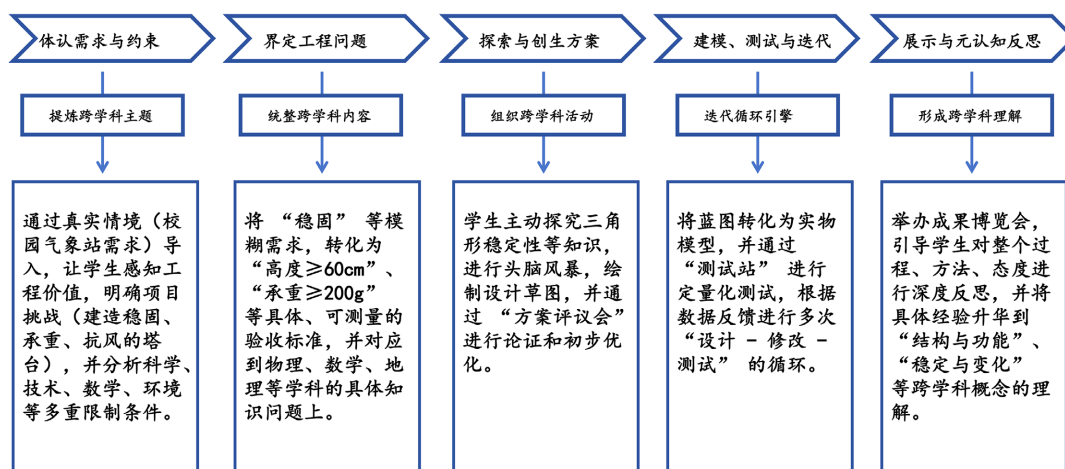


Figure 2. Interdisciplinary teaching process of the tower project

图 2. 塔台项目跨学科教学流程

3. 教学目标

1) 科学观念: 理解稳定性、承重结构、抗风抗震等工程原理, 掌握成本控制的基本知识, 能够将所学科学概念应用于塔台设计与优化过程中。

2) 科学思维: 发展系统思维与批判性思维, 能够在设计、测试与改进过程中进行分析、推理与决策; 运用模型建构与优化方法, 理解结构与功能、稳定与变化之间的关系。

3) 探究实践: 经历完整的工程设计流程, 包括明确问题、设计方案、实施计划、检验作品、改进完善与发布成果; 掌握基本工具使用与模型制作技能, 提升动手操作、合作探究与数据处理能力。

4) 态度责任: 培养面对复杂问题时的耐心、韧性与创造性; 树立精益求精的工匠精神和实事求是的科学态度; 增强在工程决策中综合考虑技术、环境、成本与伦理的责任意识。

5) 跨学科概念: 形成系统与模型、结构与功能、稳定与变化、优化与权衡等跨学科概念的理解与运用。王翀等指出, 以“系统与模型”为核心概念构建学习单元, 有助于学生从整体视角理解复杂系统的结构与运行机制[10]; 李月媚等则认为, “稳定与变化”跨学科概念的落实需要依托学科核心概念层层递进[11]。

4. 教学过程: 工程设计流程的五阶段实践

以下流程并非线性步骤, 而是一个充满回溯与迭代的动态循环系统。项目式学习视域下的跨学科实践往往需要将驱动性问题拆解为可操作的子任务, 汪胜军提出的“问题链型”项目化学习路径正是这一思路的体现[12] [13]。

阶段一: 体认需求与约束——从生活走向工程

1) 情境导入: 展示世界各地著名塔楼, 如广州塔、埃菲尔铁塔等, 及义乌当地气象站图片, 讨论其功能与结构特点。播放一段强风吹袭下建筑物摇晃的视频, 引发学生对结构稳定性的关注。

2) 发布挑战: 提出项目核心任务——“用限定材料, 如吸管、胶带、细线等为我校‘校园气象站’建造一座高度不低于 60 厘米的塔台模型。它必须能稳固站立, 承受一定重量, 并能抵御模拟的‘强风’和‘地震’。”

3) 明确约束, 引导学生共同分析项目限制条件:

- 科学约束: 如何保证结构稳定? 抗风抗震原理是什么?
- 技术约束: 现有材料和工具能实现什么连接方式?
- 数学约束: 成本预算如何计算? 比例尺如何把握?
- 环境约束: 本地常见的气象条件, 如风力、地质, 对设计有何影响?
- 人文约束: 设计是否美观? 是否便于维修?

设计意图与理论依据: 依据情境学习理论, 真实问题情境能激发内在动机; 引导学生识别科学、技术、数学、环境、人文等多元约束, 是工程思维的起点[14]。此环节使学生初步建立系统观, 理解工程是多重约束下的优化过程。

阶段二: 界定工程问题——将想法转化为规格

1) 功能分析: 小组讨论, 将“稳固、承重、抗风、抗震”等模糊需求转化为具体的、可测量的验收标准, 即工程规格。

2) 定义问题: 引导学生将工程挑战转化为可探究的科学与技术问题, 形成类似表 1 的问题定义单[4];

设计意图与理论依据: 依据 Sweller 的认知负荷理论, 将模糊的工程需求转化为可测量的验收标准和具体科学问题, 能有效降低问题复杂度, 避免学生陷入无效试错[15]。此环节是设计思维的起点, 通过跨学科知识映射, 实现内容的有机统整。

Table 1. Problem definition sheet for the tower project**表 1.** 塔台项目问题定义单

验收标准	限制条件	对应的科学/技术问题(跨学科知识指向)
高度 ≥ 60 cm	材料长度有限、重心过高易倾倒	数学: 如何计算与分配材料? 物理: 如何降低重心? 如何增大底部摩擦?
顶端承重 ≥ 200 g	材料强度有限、结构易变形	物理: 哪种结构(三角形/四边形)承重更好? 如何加强节点? 如何运用杠杆原理?
能抵御 3 级风力	风会产生推力, 风会对塔台产生“扭转”或“推倒”的力矩, 风会“穿过”塔台, 产生复杂的作用力	物理/地理: 风压与风速关系? 如何设计抗风结构(如流线型、镂空、防风栅栏)?
能抵御 3 级震动	地基不稳、结构刚性过强	物理/地球科学: 减震原理? 如何设计抗震结构(如柔性连接——减少震动的连接方式、阻尼设计——弹性形变和能量吸收)?
成本控制在预算内	材料有相应“价格”	数学: 如何优化设计以节省材料? 如何进行成本效益分析?

阶段三：探索与创生方案——从原理到蓝图

1) 知识支架：教师提供“结构稳定性探秘”学习单，引导学生通过简单实验，如用木棒搭接不同形状，探究三角形稳定性、重心位置等关键概念。

2) 头脑风暴与原型设计：各小组基于前期研究，进行头脑风暴，绘制塔台设计草图。要求草图包含三视图、材料清单、成本估算和简要设计说明。

3) 方案评议会：举行“设计招标会”。小组展示设计方案，阐述其如何满足各项标准并解释其中的科学原理。接受其他小组和教师的质询，根据反馈进行初步修改。

设计意图与理论依据：体现 Piaget 的建构主义学习观——学生为解决问题而主动建构知识。教师提供的“结构稳定性探秘”学习单作为脚手架，支持学生在探究中形成原理认识。方案评议会则引入社会建构元素，通过同伴质疑与反馈促进方案优化[16]。

阶段四：建模、测试与迭代——从蓝图为产品

1) 模型制作：小组根据最终设计方案，选择合适的连接技术，如插接、捆绑、粘合，动手建造塔台模型。教师巡视指导，重点关注工艺精度与设计的一致性。

2) 系统测试与数据记录：建立“测试站”，对模型进行定量化测试，测试清单表如表 2：

- 高度测量：使用尺子。
- 承重测试：逐步添加砝码，记录最大承重值。
- 抗风测试：用电风扇的不同档位模拟风力，观察稳定性。
- 抗震测试：在摇晃的平台上测试其抗震性能。
- 成本核算：计算实际所用材料成本。

3) 分析反馈与迭代优化：这是迭代循环的核心。各小组分析测试数据，对照测试清单表，找出模型缺陷，如“承重不足是因为支柱太细”、“抗风差是因为侧面投影面积过大”。然后返回“设计 - 修改 - 再制作 - 再测试”的循环。这个过程可能重复 2~3 轮。程建军的研究表明，在模型制造完成后必须进行测试与迭代，学生的创造力和问题解决能力正是在多轮“设计 - 修改 - 再制作”中得到提升[13]。

设计意图与理论依据：此阶段是工程实践的精髓。根据 Crismond 与 Adams 的知情设计教学与学习矩阵，新手工程师在测试失败后易陷入低效试错，而有经验的迭代重在“诊断缺陷→定位原理→针对性

修改” [3]。本环节要求小组对照测试清单表分析数据, 将迭代从“碰运气”转向循证改进, 从而培养学生的批判性思维与实证精神。迭代循环同时借助形成性评价机制, 使每次失败都成为学习资源[17]。

Table 2. Test checklist for the tower model

表 2. 塔台测试清单表

测试项目	测量工具与步骤	数据记录与计算
1) 高度测量	工具: 钢直尺或卷尺 步骤: a) 将塔台模型放置在水平桌面。 b) 将尺子垂直于桌面, 紧贴塔台一侧。 c) 读取从桌面到塔台最高点的垂直距离。	记录: - 最终高度 $H = \underline{\quad}$ cm 合格性判断: <input type="checkbox"/> $H \geq 60$ cm (合格)
2) 承重测试	工具: 砝码、承重板(轻质, 如泡沫板) 步骤: a) 将承重板平稳置于塔台顶端。 b) 逐级加载: 每次缓慢、平稳地添加一个砝码。 c) 每次加载后, 保持 5 秒, 观察结构是否发生永久性变形(如弯曲、开裂)或倒塌。 d) 记录导致结构失效(变形或倒塌)前的总质量。	记录: - 最大承重质量 $M = \underline{\quad}$ g 合格性判断: <input type="checkbox"/> $M \geq 200$ g (合格)
3) 抗风测试	工具: 可调档电风扇、标尺 步骤: a) 将风扇置于距离塔台模型 50 cm 的固定位置。 b) 从最低档开始吹风, 持续 10 秒。 c) 观察并记录塔台的晃动和位移情况。 d) 逐级提高风扇档位, 重复步骤 2~3, 直到模型倒塌或达到最高档 e) 记录模型能保持稳定的最高档位。	记录: - 稳定档位: <u> </u> 档 - 观察现象: 合格性判断: <input type="checkbox"/> 能在模拟 3 级风的档位下保持稳定(合格)
4) 抗震测试	工具: 自制简易震动台、秒表 步骤: a) 在震动前, 为塔台拍照或测量其关键部位的高度、角度。 b) 施加标准化震动后, 再次拍照或测量。 c) 观察并记录: 是否倒塌? 是否严重倾斜? 主要杆件是否弯曲或断裂?	记录: <input type="checkbox"/> 优秀: 无明显变形, 顶端承重物未掉落。 <input type="checkbox"/> 合格: 轻微变形, 但未散架。 <input type="checkbox"/> 待改进: 严重倾斜或倒塌。
5) 成本核算	工具: 材料价格表、计算器 步骤: a) 列出所有使用的材料(如木条 10 根, 胶水 1 瓶)。 b) 根据统一的《材料价格表》查询单价。 c) 计算每种材料的成本(数量 \times 单价)。 d) 累加所有材料成本, 得出总成本。	记录: - 材料清单与成本明细: - 材料 A: <u> </u> 元 - 材料 B: <u> </u> 元 - 总成本 $C = \underline{\quad}$ 元 合格性判断: <input type="checkbox"/> $C \leq$ 预算金额(合格)

阶段五: 展示与元认知反思——从产品到智慧

1) 成果展示会: 举办“校园塔台工程博览会”。各小组展示最终作品、设计图、测试数据和迭代过程记录, 并准备一份产品说明书, 介绍设计理念、创新点和改进历程。

2) 元认知反思: 引导学生超越具体作品, 进行高层次反思:

- 在项目中, 你用到哪些不同学科的知识? 它们是如何结合在一起的?
- 你最大的挑战是什么? 是如何克服的? 几次迭代给你什么启示?

- 工程设计与科学探究有什么相同点和不同点?
- 如果重新开始, 你会做哪些改变?

3) 概念提升: 教师总结, 引导学生将实践体验升华到跨学科概念的理解, 如: 结构与功能(三角形结构为何稳定)、系统与模型(塔台是一个由子系统构成的整体)、稳定与变化(如何应对外界扰动)、优化与权衡(成本与性能的平衡)。

设计意图与理论依据: 依据 Flavell 的元认知理论, 引导学生超越具体作品, 思考“用了哪些知识”“如何克服挑战”“迭代带来什么启示”, 能够促进知识的迁移与能力的内化[18]。成果展示会则运用社会建构机制, 通过公开陈述与问答, 强化沟通能力与学科自信[16]。

5. 教学反思与结论

“制作塔台”项目通过嵌入工程设计流程, 成功地将一个手工活动转变为一场深入的跨学科学习旅程。实践表明, 以“迭代循环”为引擎的模型, 真正做到了以学生为中心, 尊重了其认知节奏和创造潜能; 以真实问题为起点, 赋予了学习活动强大的内在驱动力; 以设计思维为主线, 系统培养了学生解决复杂问题的综合能力。将总驱动任务拆解为子项目, 引导学生经历认识、设计、制作与调试的全过程, 是落实工程实践的有效路径[19]。此外, 任务驱动的教学方式强调从现象出发, 以问题链引导学生层层深入, 这与本文的驱动性问题设计策略高度契合[20]。

本模型在“制作塔台”中取得良好效果, 但其有效运行依赖于三个前提: 第一, 任务具有明确的物理结构与可量化测试指标, 如承重、抗风; 第二, 跨学科知识以力学和空间几何为核心, 整合难度较低; 第三材料和测试条件可控。当迁移至其他类型的科学项目时, 建议作如下变通:

生化类项目, 如“水质净化装置”, : 约束条件更侧重浓度、反应速率等连续变量, 可将“高度 $\geq 60\text{ cm}$ ”式的二元标准改为“净化效率 $\geq 80\%$ ”等阈值, 并增加化学检测环节。地理/环境类项目, 如“校园雨水收集系统”: 需增加“时间尺度”维度, 可增设数据采集周或模拟降雨时长阈值。社会探究类项目, 如“社区噪声地图”: 工程约束较少, 人文约束, 如隐私、法规等突显, 模型可缩减“建模测试”轮次, 强化“需求界定”与“方案评议”两阶段。

总体而言, 五阶段的核心逻辑——约束驱动、迭代反思、跨学科显性映射——具有普遍适用性, 但具体工具需根据项目知识类型重新设计。未来的教学实践中, 可进一步探索如何利用数字化工具辅助设计与测试, 以及如何将评价更全面地嵌入过程的每一个环节, 从而更好地发挥工程设计流程在培育时代所需创新人才方面的巨大潜力。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准: 2022 年版[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.
- [2] NGSS Lead States (2013) Next Generation Science Standards: For States, by States. The National Academies Press.
- [3] Crismond, D.P. and Adams, R.S. (2012) The Informed Design Teaching and Learning Matrix. *Journal of Engineering Education*, **101**, 738-797. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- [4] Fortus, D., Dershimer, R.C., Krajcik, J., et al. (2004) Design-Based Science and Real-World Problem-Solving. *International Journal of Science Education*, **26**, 1469-1492.
- [5] Arik, M. and Topçu, M.S. (2022) Implementation of Engineering Design Process in the K-12 Science Classrooms: Trends and Issues. *Research in Science Education*, **52**, 21-43. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09912-x>
- [6] 胡春露. 基于设计型学习的小学科学技术与工程领域教学实施与效果研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州师范大学, 2022.
- [7] 冯春艳, 詹泽慧. 初中生物学跨学科实践的模式构建及设计策略[J]. 课程·教材·教法, 2026, 46(1): 133-140.
- [8] 董泽华. 中小学工程教育课程体系的构建研究[J]. 课程·教材·教法, 2025(5): 39-46.

-
- [9] 孟湘莲, 占晨达. 技术与工程实践导向的初中科学跨学科教学设计——以“防噎仪”项目为例[J]. 中学生物教学, 2025(19): 45-48.
- [10] 王翀, 宗琼, 陈雯, 等. 基于跨学科概念“系统与模型”的乡土地理单元设计——以“探究北京城市发展中的人水关系”为例[J]. 中学地理教学参考, 2025(24): 4-8.
- [11] 李月媚, 邱伟光. 跨学科概念视角下初中科学分科教材内容构建研究——以“稳定与变化”为例[J]. 化学教学, 2025(6): 8-13.
- [12] 汪胜军. 基于项目化学习的初中科学跨学科实践——以“体验胚胎发育学家”为例[J]. 中学科学教学, 2025(2): 1-3.
- [13] 程建军. 工程实践类物理跨学科实践活动的设计与实施研究——以“制作多肉植物大棚环境控制系统模型”为例[J]. 物理教师, 2025, 46(6): 67-71.
- [14] Lave, J. and Wenger, E. (1991) *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.
- [15] Sweller, J. (1988) Cognitive Load during Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, **12**, 257-285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- [16] Vygotsky, L.S. (1978) *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- [17] Black, P. and Wiliam, D. (1998) Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, **5**, 7-74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- [18] Flavell, J.H. (1979) Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-Developmental Inquiry. *American Psychologist*, **34**, 906-911. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.34.10.906>
- [19] 黄永顺, 李少铭. 基于项目式学习的“龙骨水车模型的设计与制作”[J]. 物理教师, 2024, 45(10): 1-6.
- [20] 赵征, 王学光. 基于任务驱动的深度教学设计——以“闭合电路的欧姆定律”教学为例[J]. 物理教学, 2025, 47(10): 24-26.