

《土木工程材料》课程“三维四阶”案例式 教学方案探索

周 雄

中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京

收稿日期: 2026年1月30日; 录用日期: 2026年3月10日; 发布日期: 2026年3月20日

摘 要

针对《土木工程材料》课程传统教学模式中与工程实践脱节、教学方法单一、考核机制片面等问题, 文章提出“三维四阶”混合式教学模式。该模式以“知识-能力-素质”三维目标为核心, 通过“案例导入→问题分析→验证优化→创新实践”四阶递进路径重构教学流程。以国产盾构轴承钢的研发为案例: 学生从事故案例构建材料性能知识框架, 经多目标决策分析选型方案, 通过虚实结合实验验证优化, 最终产出创新方案。未来计划深化校企协同与分层教学, 重点建设混凝土、沥青等核心章节案例库, 开发标准化教学方案, 联合企业共建虚实结合实验平台, 优化资源整合与师资配置, 推动模式系统化与标准化应用。

关键词

《土木工程材料》, “三维四阶”, 教学设计, 工程案例, 考核机制

Exploration of a “Three-Dimensional and Four-Stage” Case-Based Teaching Scheme for “Civil Engineering Materials” Course

Xiong Zhou

School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing

Received: January 30, 2026; accepted: March 10, 2026; published: March 20, 2026

Abstract

Addressing the issues in the traditional teaching mode of the “Civil Engineering Materials” course—such as disconnection from engineering practice, a single teaching method, and a one-sided assessment mechanism—this paper proposes a “Three-Dimensional and Four-Stage” hybrid teaching model.

Centered around the three-dimensional objectives of “knowledge-ability-quality,” this model reconstructs the teaching process through a four-stage progressive path: “case introduction → problem analysis → verification and optimization → innovative practice”. Using the development of domestic shield-bearing steel as a case study, students construct a knowledge framework of material properties based on accident cases, analyze the selection scheme through multi-objective decision-making, verify and optimize through a combination of virtual and physical experiments, and ultimately produce innovative solutions. Future plans include deepening university-enterprise collaboration and hierarchical teaching, focusing on building case libraries for core chapters such as concrete and asphalt, developing standardized teaching programs, jointly establishing virtual-physical integrated experimental platforms with enterprises, optimizing resource integration and faculty allocation, and promoting systematic and standardized application of the model.

Keywords

“Civil Engineering Materials”, “Three-Dimensional and Four-Stage”, Teaching Design, Engineering Case, Assessment Mechanism

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

《土木工程材料》课程作为城市地下空间工程、土木工程等专业的核心基础课程，对学生理解材料基本性能、掌握工程应用技术和提高综合实践能力具有关键作用[1]-[3]。然而，传统教学模式存在以下痛点：课程内容以理论讲授为主，缺乏与工程实际的紧密联系；教学方式单一，以“教师讲授-学生听讲”为主；考核机制重结论轻过程，难以全面衡量学生解决复杂工程问题的能力。这些问题制约了学生从“知识获取”向“能力转化”的进阶[4]。

针对上述问题，本文以中国地质大学(北京)城市地下空间工程专业《土木工程材料》课程为例，提出基于“三维四阶”混合式教学模式的实践方案。在40课时的教学计划中，重新设计了课程内容(如图1所示)，并融入实验实践环节。在教学过程中，关注学生个体进步与多维度能力提升，并对课程考核机制进行优化。最后，通过系统分析教学实施成效与现存问题，旨在为同类课程的教学改革提供可借鉴的实践范式与优化路径。

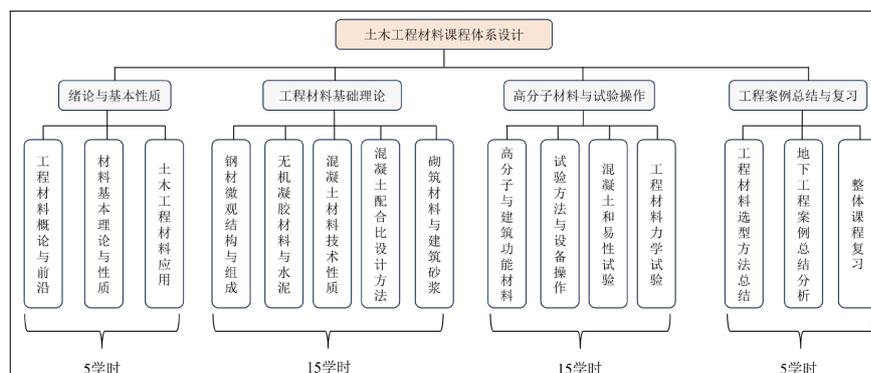


Figure 1. Curriculum system and class hour allocation for “Civil Engineering Materials”

图1. 《土木工程材料》课程体系及课时分配

2. 课程特点与教学设计内涵

2.1. 《土木工程材料》课程特点

《土木工程材料》课程以实际应用为导向，强调对材料性能与工程应用场景的深度解析，教学过程中系统引入专业术语与核心概念[5]。通过这种教学设计，引导学生扎实掌握材料基本性质，在无需复杂公式推导的条件下理解材料行为机理。课程内容体系涵盖传统材料(如混凝土、钢材)与新型复合材料等多类别，各章节虽保持相对独立性，结构看似松散，实则映射土木工程实践中材料选择的多样性与灵活性特征，要求学生基于具体工程条件与技术需求开展综合研判与应用实践[6]。

2.2. “三维四阶”混合式教学设计内涵

“三维四阶”混合式教学模式是指以“知识维、能力维、素质维”为目标，以“案例导入-问题分析-验证优化-创新实践”为实施路径的系统性教学框架。该模式立足课程应用属性与人才培养需求，通过整合建构主义(Constructivism)与 CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate)工程教育模式的理论框架，深入分析虚实结合实验对深度学习(Deep Learning)的促进作用[7][8]，实现教学过程的立体化设计与递进式推进。

如图 2 所示，“三维”中知识维度聚焦理论体系的系统构建，通过课程内容的整合与情境化设计，帮助学生建立完整的知识网络，理解材料性能与工程应用之间的逻辑关联。能力维度强调解决复杂工程问题的实践技能培养，注重从单一知识点掌握到综合应用能力的跃升，引导学生在分析、设计、验证等环节中形成科学思维与技术应用能力。素质维度注重工程伦理与创新意识的渗透，将社会责任、可持续发展观念融入教学全过程，激发学生的职业使命感和探索精神。三者相互支撑，贯穿“四阶”教学始终，为学生提供多维度的成长路径。

“四阶”教学流程以循序渐进的方式推动学生能力跃升。第一阶段通过案例导入构建知识框架，从真实工程场景出发，帮助学生建立对材料性能与工程需求的初步认知；第二阶段分析工程问题并设计解决方案，引导学生在任务驱动下开展主动探究，培养系统性思维与协作能力；第三阶段根据具体工程案例和学校实验室条件，选择采用室内试验或企业参观调研等多种方式验证方案；第四阶段推动成果转化与创新实践，鼓励学生将学习成果转化为实际应用，强化工程问题解决与创新能力。

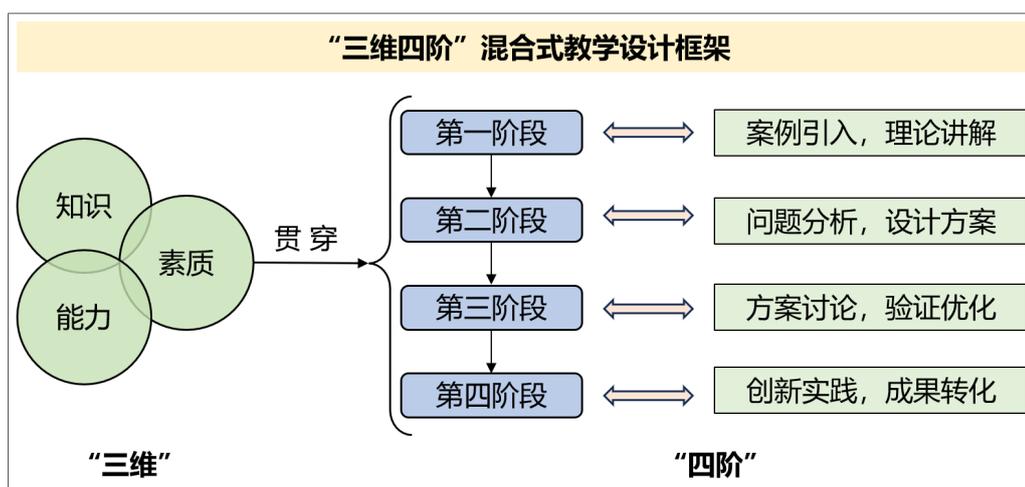


Figure 2. “Three-Dimensional Four-Stage” blended teaching design framework

图 2. “三维四阶”混合式教学设计框架

3. “三维四阶”教学设计案例

为探索“三维四阶”案例式教学模式在《土木工程材料》课程中的实践应用，以建筑钢材章节教学为例展开具体阐述。建筑钢材是《土木工程材料》课程中的重要章节，本章的教学目标主要是让学生了解钢材的生产、组成、性质和用途，掌握建筑钢材的主要技术性能和加工工艺，熟悉各种钢材在工程上的应用范围和选用原则。建筑钢材以其高强度、良好的塑韧性、优异的可焊接性等优势被广泛应用于各类结构中。基于城市地下空间工程专业的培养目标，本文以地铁建设工程中常用的盾构机为例，引出大直径主轴承钢的极端工况要求及其重大“卡脖子”难题。通过对我国自主开发“低氧稀土钢”材料的研究过程和成果展开分析，引导学生掌握钢材性能的微-细-宏观力学机理假设与验证方法，构建从工程问题到材料创新的完整认知链条。目前该模式已在钢材章节完成教学试点，后续将逐步扩展至混凝土、沥青等核心章节，以验证其跨材料类型的适用性。

3.1. 理论与案例引入

作为“三维四阶”教学模式的首个环节，本阶段通过双案例驱动构建知识框架。以2008年上海地铁盾构刀盘轴承断裂事故为工程问题切入点，引导学生分析钢材纯净度不足导致疲劳失效的微观机理，建立“微观结构→性能指标→工程应用”的逻辑链条；同步引入“低氧稀土钢国产化突破”案例，对比阐释材料性能对工程安全的决定性作用。学生通过解读盾构工程地质勘察报告，明确屈服强度、冲击韧性等关键性能指标的工程意义，最终以小组合作完成盾构钢材性能需求方案。此阶段在夯实知识维度的同时，通过事故案例渗透工程伦理教育，培养学生的安全责任意识。

3.2. 案例分析与讨论

基于前序知识框架，本阶段聚焦能力维度培养，通过任务驱动深化案例分析。任务一，要求学生对比国产低合金钢与进口瑞典钢材进行多维度量化评估，围绕强度、成本及耐腐蚀性等性能指标构建权重评分体系，掌握多目标决策方法在材料选型中的应用；任务二，结合钢材冷加工强化理论，设计不同冷拉率对屈服强度的影响曲线，并分析焊接工艺适配性参数。课堂采用“方案展示-质疑辩论-优化迭代”的互动模式，引导学生在技术经济性平衡中强化工程思维。通过国产钢材替代方案的可行性论证，进一步激发学生的民族自豪感与技术创新自信。

3.3. 方案验证与优化

作为“三维四阶”教学模式的第三阶段，本环节针对盾构主轴承加工工艺复杂、现场教学受限于安全保密的现实痛点，构建“虚实互补、深度探究”的验证体系。

首先依托数字化资源拓展认知边界(虚)：学生基于建构主义学习理论，通过虚拟仿真技术模拟钢材冷加工全过程，利用数值模拟软件分析不同冷拉率下晶粒尺寸演变规律，绘制“冷拉率-强度关系曲线”，完成理论预测的初步验证。这种沉浸式虚拟实验通过“情境建构-认知冲突-知识重构”的路径，有效促进了深度学习的发生。

其次立足校内实验室开展实体性能验证(实)：学生依据前序环节形成的选材方案，利用学校现有实验条件分组完成钢材冲击韧性、冷弯及拉伸试验，获取关键性能参数的实测数据。通过将实验结果与虚拟仿真数据进行交叉对比，学生不仅验证了材料“强韧匹配”的工艺难点，更实现了从“被动验证”到“主动探究”的思维转变，在理论与实践的映射中提升工程实践技能与科学分析素养，为后续创新实践奠定实证基础。

3.4. 创新与实践

本阶段聚焦于工程综合决策能力与创新思维的实战深化，旨在实现从数据验证到工程决策的跨越。

课程组织“盾构主轴承材料选型模拟答辩会”，构建高仿真的工程采购与技术论证情境。学生分组扮演“材料研发团队”，深度整合前序环节的实验数据与仿真结论，运用层次分析法量化评估不同方案(如论证国产与进口钢材的综合性能)，最终形成选材技术论证报告。

在答辩环节，各小组需向由教师组成的“甲方专家组”全方位阐述方案，从技术指标适配性(强度与韧性平衡)、经济效益(国产替代成本优势)及工艺可行性三个维度进行防御性辩护。模拟答辩环节采用三维评分量表及组内成员个人贡献评定标准，如表 1 所示。该评价体系通过量化指标与多维评估结合，避免“搭便车”现象，确保考核结果的科学性与公平性。

Table 1. Simulation defense session evaluation criteria

表 1. 模拟答辩环节评定标准

评价环节	评价维度	权重占比
模拟答辩评分	逻辑性(论证结构与逻辑连贯性)	30%
	技术准确性(数据可靠性与理论支撑)	40%
	创新性(方案新颖性与应用价值)	30%
组内个人贡献评定	任务分工记录	20%
	过程贡献度互评	30%
	教师现场观察	50%

在此过程中，学生展现了极强的创新意识，例如提出“表面渗氮以弥补基体硬度不足”和“镀锌 + 环氧树脂复合防腐涂层”等优化设想。通过这种对抗式的模拟演练，学生不仅锻炼了逻辑思维与语言表达能力，更通过应对复杂工程问题的训练，逐步培养了在多重约束下进行分析、权衡与决策的能力，实现了从被动接受知识到主动构建解决方案的思维转变。

4. 课程考核与教学效果评估

4.1. 考核机制设计

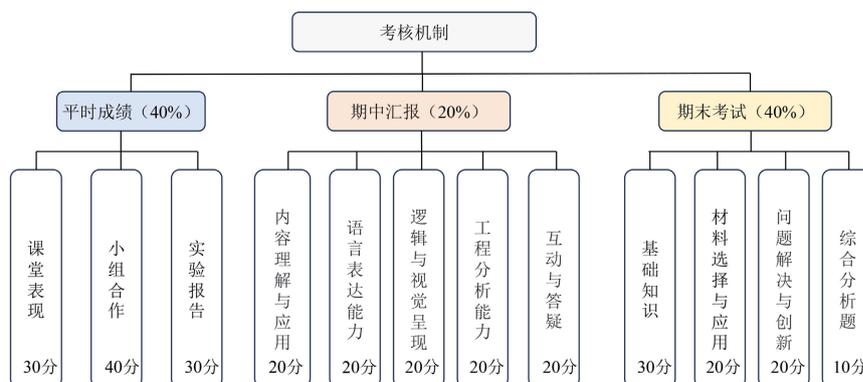


Figure 3. “Civil Engineering Materials” course assessment mechanism diagram

图 3. 《土木工程材料》课程考核机制图

为适配“三维四阶”教学模式的能力导向目标，本阶段构建“过程 - 结果”双维度考核体系，突出“非标准化答案”评价导向。如图 3 所示，考核权重分配为：平时成绩 40% (含课堂表现、小组协作质量、实验报告创新性)、期中汇报 20% (采用 PPT 形式展示工程材料应用方案，重点考察逻辑推理与工程问题

分析能力)、期末考试 40% (闭卷形式侧重基础知识迁移能力, 增设材料选用方案设计、工程问题解决方案等开放性题目)。通过多维度评价实现对“知识 - 能力 - 素质”三维目标的综合检验, 避免传统考核中重记忆、轻应用的局限。

4.2. 教学效果评估

为系统性评估“三维四阶”教学模式的应用潜力, 本方案采用对照实验与多维度测评相结合的方法, 通过以下途径开展验证工作: 其一, 对比传统教学班级与试点班级的成绩数据, 运用 t 检验分析新模式与传统模式在成绩方面的差异, 以验证试点班级平均成绩与传统班级成绩差异的显著性; 其二, 借助 ANOVA 分析验证不同年份成绩差异的显著性。数据分布特征分析结果表明: 传统教学模式下学生成绩较为分散, 而新模式下学生成绩更为集中且整体有所提升。采用 5 分制 Likert 量表(1 = 非常不符合, 5 = 非常符合)进行测量, 结果显示学生在“批判性思维”与“工程伦理”维度的自我效能感相较于教学改革前明显提升($p < 0.05$)。基于部分章节的试讲实践反馈, 学生对课程的满意度较高, 课程评教结果均达到 99 分以上。通过对学生创新方案的技术评审发现, 部分小组提出的创新方案在技术构思上具有新颖性, 初步具备申请专利的条件, 部分小组已按照专利申报规范完成了技术交底书的撰写, 通过创新成果验证了“创新实践”环节的育人成效。

4.3. 实施挑战与应对策略

“三维四阶”教学模式在实施过程中可能面临三方面关键挑战: 一是实践资源约束, 高端实验设备与典型工程案例不足可能制约深度实践环节的开展; 二是教师负荷显著增加, 项目教学的复杂性对教学设计、过程指导与多元评价提出更高要求; 三是学生差异化管理难度加大, 基础与能力差异在分组协作及高阶任务中可能导致学习成效不均。为此, 计划从三方面应对: 重点建设混凝土、沥青等核心章节的案例库, 开发标准化教学包以拓展模式适用性; 联合企业共建虚实结合实验平台, 缓解高端设备资源约束; 实施分层任务设计与动态分组机制, 提升教学过程的精准性与公平性。

5. 结语

“三维四阶”教学模式以实现学生“知识 - 能力 - 素质”三维度协同发展为核心目标, 通过“案例导入→问题分析→验证优化→创新实践”的四阶递进路径, 构建了理论与实践深度融合的教学闭环。该模式有效驱动学生在复杂工程情境中主动构建知识体系、锻炼工程决策能力、深化实践认知并激发创新潜能, 显著提升了课程教学的高阶性与挑战度。目前, 该模式已在钢材章节完成教学验证, 为《土木工程材料》课程提供了可操作的教学实施框架, 其在教学内容组织、学习过程设计及工程能力培养等方面的创新实践, 为同类工科课程的教学改革提供了具有参考价值的实践路径。未来可进一步拓展至混凝土、沥青等核心章节, 通过校企协同深化资源建设, 推动模式的系统化与标准化应用。

参考文献

- [1] 段海娟, 陈兵. 土木工程材料研究性实验教学的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(6): 203-206.
- [2] 余亚琳, 孟二从, 王鹏. “土木工程材料”教学现状及其混合式教学模式构建[J]. 广西城镇建设, 2023(7): 76-80.
- [3] 袁晓露, 彭艳周, 刘冬梅, 等. 基于科研能力培养的土木工程材料实验教学模式探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2018(23): 140-141.
- [4] 金祖权, 牛景轶, 张苹, 侯东帅. 培养具有工程创新能力的土木工程材料专业人才探索与实践[J]. 高教学刊, 2024, 10(23): 55-58.
- [5] 钟金兔, 何勇毅, 薛志成. 混合式教学模式下“土木工程材料”课程的改革与实践——以广东石油化工学院为例[J].

黑龙江教育(高教研究与评估), 2024(19): 56-60.

- [6] 张雄, 刘斯凤, 杨正宏. 面向“中国制造 2025”的土木工程材料专业人才培养模式的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(3): 268-271.
- [7] Edström, K., Malmqvist, J. and Roslöf, J. (2020) Scholarly Development of Engineering Education—The CDIO Approach. *European Journal of Engineering Education*, **45**, 1-3. <https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1704361>
- [8] McCloskey, D.W., McAllister, E., Gilbert, R., O'Higgins, C., Lydon, D., Lydon, M. and McPolin, D. (2024) Embedding Civil Engineering Understanding through the Use of Interactive Virtual Reality. *Education Sciences*, **14**, 6. <https://doi.org/10.3390/educsci14010006>