

新工科背景下混凝土结构设计实验课教学改革探讨

辛勤*, 杨少冲, 张影

河北大学建筑工程学院, 河北 保定

收稿日期: 2026年3月1日; 录用日期: 2026年3月27日; 发布日期: 2026年4月7日

摘要

本文针对混凝土结构设计实验课普遍存在的核心问题, 结合新工科与工程教育认证对土木工程专业人才的培养要求, 构建了全员全环节覆盖 - 工程案例结合 - 深度分析 - 拓展模拟的综合实验教学体系。通过轮值负责和单人实操考核的模式, 确保每位学生参与所有环节, 结合工程实景化教学、分层递进式数据分析训练、实验后虚拟仿真拓展模拟体系, 提高学生的基础知识掌握度、全流程实操能力、工程认知水平与数据分析能力。为土木工程专业结构类实验课程改革提供可复制的实践范式。

关键词

混凝土结构设计, 工程实景融合, 数据分析, 教学改革

Discussion on Teaching Reform of Concrete Structure Design Experiment Course under the Background of New Engineering

Qin Xin*, Shaochong Yang, Ying Zhang

College of Civil Engineering and Architecture, Hebei University, Baoding Hebei

Received: March 1, 2026; accepted: March 27, 2026; published: April 7, 2026

Abstract

This paper addresses core issues prevalent in concrete structural design laboratory courses. Aligning with the requirements for civil engineering talent cultivation under the New Engineering Initiative and Engineering Education Accreditation, it establishes a comprehensive experimental teaching system

*通讯作者。

featuring: Through a model of rotating responsibilities and individual practical assessments, every student participates in all stages. This is complemented by engineering scenario-based teaching, tiered progressive data analysis training, and a post-experiment virtual simulation extension system. These measures enhance students' grasp of fundamental knowledge, end-to-end practical skills, engineering cognition, and data analysis capabilities. This provides a replicable practical paradigm for reforming structural experimental courses in civil engineering programmes.

Keywords

Concrete Structural Design, Engineering Scenario Integration, Data Analysis, Teaching Reform

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

新工科建设与工程教育认证的深入推进，对土木工程专业人才的工程实践能力、复杂工程问题解决能力与全员培养质量提出了要求。混凝土结构设计作为土木工程专业核心主要课程，其实验教学是衔接结构设计理论、施工规范与工程实践的核心载体，也是实现学生从书本知识到工程能力转化的关键环节。现有围绕土木工程结构实验教学改革的研究已形成丰富成果：杨松等[1]、徐树全等[2]、孙式霜等[3]分别从自主探究式教学、项目式校企协同、开放实验模式等维度优化了教学环节，有效改善了学生实操参与度不足的问题，但多聚焦单一环节优化，未形成全链条闭环教学体系，实验内容碎片化问题仍未根本解决；曾伟等[4]、王一鸣等[5]结合新工科要求与 OBE 理念重构实验课程体系，为教改提供了顶层设计参考，但多为宏观框架构建，缺乏保障全员深度参与的微观执行机制，难以解决小组实验中“少数人主导、多数人搭便车”的共性痛点；缪玉松等[6]、李华等[7]分别探索了虚拟仿真技术融合与全过程考核体系构建，为教学工具与评价机制优化提供了范例，但未形成完整培养链条，且考核未细化至个人全流程履职，难以精准保障全员能力达成。综上，现有研究仍存在教学体系闭环性不足、全员培养执行机制缺失、能力培养进阶性薄弱三大核心缺口，难以完全契合工程教育认证“以学生为中心、覆盖全体学生、确保全员能力达成”的核心要求。基于此，本文以混凝土结构设计实验课程为研究对象，构建“全环节全员覆盖 - 工程实景贯穿 - 深度分析赋能 - 拓展模拟延伸”的闭环整合教学体系，设计“双轨责任制 + 轮值负责 + 单人全环节考核”的全员全责机制，系统阐述教改方案核心理念、实施路径、配套考核体系与实践成效。本研究的核心贡献在于，通过全链条闭环体系弥补了现有研究碎片化的缺陷，以全员全责机制从制度上杜绝了搭便车问题，通过分层递进式培养实现了学生从实操能力到复杂工程问题解决能力的进阶。

2. 传统实验教学的核心痛点

结合本校多年教学实践与行业院校调研结果，传统混凝土结构设计实验课普遍存在六大核心痛点：

2.1. 全员参与度不足

混凝土结构设计实验多采用固定角色的小组分工模式，部分学生仅参与单一环节，甚至全程未动手实操，对实验全流程缺乏完整认知，能力培养覆盖不全；

2.2. 基础知识掌握不扎实

实验所使用的构件，学生自主设计空间小，对混凝土结构设计规范、受弯承载力计算原理、材料性

能等基础知识仅停留在书本层面，未能通过实操深化理解；

2.3. 全流程认知碎片化

实验内容多为孤立的“钢筋绑扎”“加载试验”等碎片化环节，缺乏从设计、施工到检测、分析的全链条系统性训练，学生无法建立完整的工程逻辑；

2.4. 工程实景严重脱节

实验内容与实际工程场景割裂，未融入工程建设的技术交底、质量管控、规范执行等核心流程，学生对实际工程的全流程管理、质量问题溯源缺乏认知；

2.5. 数据分析流于表面

实验报告多为数据整理与简单的曲线绘制，缺乏对试验结果与理论值偏差的深度溯源，未能结合工程场景解读数据背后的结构性能规律，数据分析能力培养严重不足；

2.6. 教学闭环不完整

实验教学随加载试验完成而终止，缺乏实验后的拓展学习与能力延伸，学生无法通过参数化模拟、工程案例复盘进一步深化对结构性能的理解。

3. 课程教学改革

3.1. 改革思路

针对实验过程中的核心问题，本文构建“双轨责任制 + 轮值负责 + 单人实操考核”的全员全环节参与机制，确保每位学生深度参与所有实验环节，实现能力培养全覆盖；建立“工程实景全贯穿”教学模式，将实际工程的设计逻辑、质量管控、检测标准全流程融入实验，实现实验室与工地的能力迁移；系统性强化学生的数据分析与工程问题解读能力；搭建实验后“虚拟仿真 + 工程案例 + 创新设计”的拓展模拟学习体系，形成“预习 - 实操 - 分析 - 拓展”的完整教学闭环。

3.2. 教改整体实验体系设计

本次教改将原有的碎片化验证性实验，整合为开放学时全流程综合实验项目，控制小组人数。整体体系分为六大核心模块，形成完整的闭环教学逻辑，每个模块均设置单人实操任务、基础知识考核点、工程实景对标项，具体见表 1。

Table 1. Specific steps of experimental system design

表 1. 实验体系设计具体环节

核心环节	单人必做任务	知识考核点	工程对标
结构与配合比自主设计	全套设计计算书、小组合议、设计规范答辩	混凝土结构设计规范、受弯受剪承载力计算原理、混凝土配合比设计规范	工程图纸对标、设计校审流程
试件制备全流程实操	钢筋下料绑扎、混凝土拌合浇筑振捣、全流程养护操作	钢筋施工规范、混凝土施工工艺、质量控制要点	工程技术交底、三检制、现场质量管控
梁体静载试验	测点布置、仪器安装、分级加载、数据记录、现象观测全流程	结构试验检测规范、结构受力机理、测试仪器原理	结构实体检测流程、检测规范执行

续表

分层递进式数据分析	数据整理、偏差溯源、工程化解读, 提交个人分析报告	误差分析、数据统计、结构性 能评定规范	工程质量问题分析、检 测报告编制
实验后拓展模拟学习	独立完成有限元建模、参数化模 拟、案例复盘, 提交拓展学习报告	有限元分析原理、结构优化设 计、工程事故处理方法	工程结构优化、质量整 改方案编制
成果汇报与全流程复盘	全流程履职汇报、知识点复盘、参 与小组互评	全流程知识点整合、工程逻辑 梳理	工程竣工复盘、技术总 结汇报

3.3. 操作细则

(1) 教师下达设计任务时, 同步提供对应跨度、荷载等级的实际工程结构施工图纸, 明确设计基本参数(简支梁计算跨度、截面尺寸、设计荷载、混凝土强度等级、钢筋牌号), 要求学生对标实际工程的设计逻辑, 完成符合国家规范的设计。

1) 个人初设: 每位学生必须独立完成梁的正截面受弯承载力、斜截面受剪承载力计算, 独立确定纵向钢筋、箍筋的规格与布置, 独立完成混凝土配合比设计, 提交个人完整设计计算书与配筋图, 确保每位学生都能掌握设计原理与规范应用;

2) 小组合议: 3 名学生分别讲解自己的设计方案, 对比不同方案的优劣, 针对设计中的问题开展讨论, 整合形成小组最优设计方案;

3) 优化定稿: 教师对小组方案的规范符合性、计算准确性、施工可行性进行审核, 提出修改意见, 小组全员参与优化, 形成最终定稿;

4) 全员答辩: 教师随机抽取小组内每位学生, 提问设计计算原理、规范条文依据、方案优化逻辑, 回答不合格者需重新修改设计, 直至完全掌握, 确保每位学生都能吃透设计环节的基础知识。

(2) 将试件制备拆解为钢筋下料、箍筋制作、钢筋绑扎、模板安装、混凝土拌合、浇筑振捣、拆模养护 7 道核心工序, 每道工序执行“全员上手操作 + 单人实操考核”模式:

1) 每位学生必须独立完成该工序的完整操作, 例如: 独立完成 1 组箍筋制作、独立完成 1 m 长度的钢筋绑扎、独立完成混凝土拌合与振捣操作, 确保全工序无死角参与;

2) 每道工序完成后, 教师对每位学生的操作成果进行单人考核, 考核合格方可进入下一道工序, 不合格者需重新操作, 直至符合质量标准, 确保每位学生都能掌握核心施工工艺。

3) 自检: 每位学生完成自己的操作工序后, 对照施工规范进行自检, 填写自检记录表; 互检: 小组内学生交叉检查, 互相指出质量问题, 共同整改; 交接检: 上一道工序全部考核合格后, 方可交接进入下一道工序, 教师对交接环节进行复检, 确保全流程质量可控。

(3) 将试验拆解为测点布置、仪器安装调试、分级加载操作、数据实时记录、试验现象观测 5 个核心岗位, 3 名学生在每一级加载中轮流更换岗位, 确保每位学生都能完整操作所有岗位:

1) 分级加载过程中, 每完成一级加载, 更换一次岗位负责人, 确保每位学生都能上手操作加载设备、安装调试仪器、记录试验数据、观测裂缝开展与梁体变形情况;

2) 试验过程中, 教师随机提问每位学生, 当前荷载下梁体的受力状态、裂缝开展的机理、规范对挠度与裂缝宽度的限值要求, 学生结合试验现象深化对理论知识的理解。

(4) 要求每位学生必须独立完成数据分析, 提交个人完整数据分析报告, 禁止小组共用数据成果, 具体分为三个层级, 层层递进强化能力:

1) 基础层: 数据整理与基础绘图。每位学生必须独立整理试验数据, 绘制荷载 - 跨中挠度曲线、荷载 - 钢筋应变曲线、裂缝宽度 - 荷载关系曲线, 计算开裂荷载、屈服荷载、极限荷载, 确保每位学生都能掌握基础的数据处理与绘图方法;

2) 进阶层：理论值与试验值对比及偏差溯源分析。要求学生独立计算梁的理论开裂荷载、极限承载力、理论挠度，对比试验值与理论值的差异，从设计计算、原材料性能、施工工艺、试验操作四个维度，深度分析偏差产生的原因，例如：施工中钢筋间距偏差、混凝土振捣不密实、养护不到位对结构性能的影响，倒逼学生回溯全流程，深化对各环节影响因素的理解；

3) 提升层：试验数据的工程化解读。要求学生结合现行规范，评定试验梁的承载力、挠度、裂缝宽度是否满足工程设计要求，针对试验中出现的质量问题，对应分析实际工程中同类问题会引发的工程隐患，提出对应的预防与整改措施，实现从“实验室数据分析”到“工程问题解决”的能力进阶。

(5) 要求每位学生基于自己设计的混凝土梁，使用 ABAQUS、ANSYS 或 PKPM 软件，独立完成有限元建模与受力模拟，对比有限元模拟结果、理论计算结果与试验结果的差异，分析偏差产生的原因；同时要求学生开展参数化模拟分析，自主改变配筋率、混凝土强度等级、截面尺寸等参数，分析不同设计参数对梁体受力性能的影响，提交个人有限元模拟分析报告，深化对结构设计原理的理解，拓展结构优化设计能力。教师提供 3~5 个实际工程中混凝土梁体开裂、挠度超标、承载力不足的质量事故案例，要求每位学生独立分析事故产生的原因，结合本次实验学到的知识，提出对应的检测方案、整改措施与预防方法，模拟实际工程的质量问题处理全流程，强化学生的工程问题解决能力。

(6) 成果汇报与全流程复盘

1) 个人全流程履职汇报，每位学生独立制作汇报 PPT，汇报自己在全流程每个环节的实操任务、完成情况、知识点掌握情况、遇到的问题与解决方法、学习收获。

2) 小组互评与教师点评，小组之间开展互评，针对汇报内容提出问题与建议，教师针对每位学生的汇报情况、全流程履职情况、知识点掌握情况进行点评。

3) 全流程知识点梳理：教师带领学生梳理从设计、施工、检测到分析、拓展的全流程核心知识点，串联结构设计、施工工艺、材料性能、受力机理的完整知识体系。

3.4. 配套考核评价体系改革

为确保全员参与、全环节能力达成，打破传统以实验报告为主的考核模式，构建过程隔热板考核为主小组报告为辅的考核评价体系，考核权重与个人任务完成质量相关，以此加强对学生能力的培养。具体考核内容、权重与评分标准见表 2。同时，建立考核结果的持续改进机制：针对考核中发现的学生基础知识薄弱、实操能力差等问题，持续后续教学设计；针对学生普遍存在的问题，补充专项教学内容，契合工程教育认证的持续改进要求。

Table 2. Specific standards of the assessment and evaluation system

表 2. 考核评价体系具体标准

考核维度	权重占比	核心评分标准	考核对象
基础知识前置考核	15%	各模块线上考核成绩取平均值，80 分为合格，不合格按比例扣分	个人
全环节个人实操履职	35%	各环节个人实操质量、单人考核结果、规范执行情况、全过程履职记录，分环节评分后取平均值	个人
个人设计与数据分析	30%	个人设计计算书质量、独立数据分析报告深度、数据处理准确性、工程化解读能力	个人
拓展模拟学习成果	10%	个人有限元模拟报告、工程案例复盘、创新设计拓展完成质量	个人
小组协同与成果汇报	10%	小组整体实验成果、个人汇报完整性、知识点掌握程度、团队协作表现	个人 + 小组

4. 讨论

本研究构建的「全环节全员覆盖 - 工程实景贯穿 - 深度分析赋能 - 拓展模拟延伸」混凝土结构设计综合实验教学体系,有效解决了传统实验教学中学生参与不均、基础知识掌握不牢等核心痛点,显著提升了学生的综合能力与课程教学质量。为进一步客观审视本教改方案的应用价值与适用边界,本章节从推广应用的挑战与应对策略、研究局限性两个维度展开深入讨论。

4.1. 推广应用的挑战与应对策略

(1) 师资队伍能力与精力的双重挑战及应对

本方案要求教师全程覆盖 6 个模块的单人实操考核、一对一指导、全流程质量管控,不仅需要教师精通混凝土结构设计理论、现行规范、试验检测方法,还需具备丰富的工程实践经验与有限元分析能力,对教师的综合能力要求极高;同时,单班学生的全环节单人考核,教学工作量成倍增长,对专任教师的精力提出了严峻考验。

构建「专任教师 + 企业工程师 + 实验技术人员 + 研究生助教」四维协同教学团队,明确分工分摊压力:专任教师负责理论教学、方案设计总指导与成果终评;

(2) 实验场地、设备与耗材的配套压力及应对

本方案要求每位学生独立完成全流程实操,相较于传统「一组一试件、多人围观」的模式,对实验室工位、加载试验设备、养护室空间、钢筋/混凝土等耗材的需求大幅提升;同时,全员实操带来的安全管控压力、设备损耗率上升问题,对实验室管理提出了更高要求。

采用「分批次错峰实验 + 模块化工位设置」提升空间与设备利用率:将班级拆分为 2~3 个批次,错峰开展钢筋绑扎、混凝土浇筑、静载试验等占用场地设备的环节;将实验室划分为设计区、钢筋加工区、混凝土拌合区、加载试验区、养护区 5 个模块化工位,实现流水式作业,最大化提升场地与设备的周转效率。

(3) 全流程单人考核的工作量挑战及应对

本方案的考核体系以个人全环节过程性考核为核心,需对每位学生的 6 个模块、数十项细分任务进行逐一考核评分,相较于传统「一份实验报告定成绩」的模式,考核工作量呈指数级增长,大范围推广中易出现考核不细致、评分不客观的问题。

制定标准化、量化的考核评分量表:为每个环节的单人考核制定固定的评分细则、合格标准与扣分规则,减少主观评分偏差,同时大幅降低评分的工作量;搭建信息化考核管理系统:将线上预习考核、成果提交、评分统计、成绩分析等功能整合至线上平台,系统自动统计客观题成绩、计算模块平均分,辅以助教初评、教师复评的分级考核模式,实现考核工作的轻量化、标准化管理。

4.2. 本研究的局限性

本研究虽取得了显著的教学实践效果,但受研究条件、实施范围等因素限制,仍存在以下 2 个方面的局限性:

研究周期与成效评价的局限性:本研究仅完成了 1 个完整教学周期的教改实践,虽通过课程内考核、问卷调查、课程目标达成度分析验证了短期教学效果,但教学改革对学生能力的长期影响,包括对学生后续毕业设计质量、结构设计类竞赛成绩、职业发展中的工程实践能力、注册结构工程师执业资格考试相关知识掌握度的影响,仍需更长周期的跟踪观察与验证,目前的成效评价仍以短期课程内评价为主,存在一定的局限性。

评价体系的全面性仍有提升空间：本研究的教学成效验证，主要以校内教师主导的课程考核、学生主观反馈为核心，缺乏第三方主体的客观评价，包括合作企业对学生工程实践能力的评价、同类院校的横向对比评价、行业专家对学生培养质量的评价，评价维度的全面性仍有待进一步完善。

5. 结论与展望

本文针对混凝土结构设计实验课的核心问题，以工程教育认证全员能力达成为核心要求，构建了“全环节全员参与、工程实景全贯穿、数据分析深强化、拓展模拟广延伸”的闭环式综合实验教学体系。通过单人实操考核、双轨责任制等机制确保学生的全员参与度和实操能力的培养。通过与工程案例结合的教学模式，增强学生对实际工程的认识，通过数据分析、偏差溯源、工程结合的数据分析方法，强化学生的数据分析能力。实验后拓展模拟学习，实现学生能力的持续进阶。未来，将持续以新工科建设与工程教育认证要求为引领，进一步优化全员培养机制，深化校企协同育人，融入 BIM 技术、数字孪生、智能检测等行业前沿内容，持续完善“预习 - 实操 - 分析 - 拓展 - 改进”的闭环教学体系，不断提升实验教学质量，为土木工程行业培养更多具备扎实理论基础、突出工程实践能力、创新能力与职业素养的高素质复合型人才。

基金项目

高校土木工程专业“一核三阶”的课程思政教学改革研究(2025GJJG043)。

参考文献

- [1] 杨松, 董坤, 杨树桐. 《土木工程结构试验》实验教学改革与实践[J]. 工程与试验, 2020, 60(4): 116-118.
- [2] 徐树全, 曾庆龙. 新工科背景下土木工程结构试验与测试技术课程教学改革与实践[J]. 教学与研究, 2025(2): 89-91.
- [3] 孙式霜, 郝秀红, 董旭. 新工科背景下土木工程专业开放实验教学模式改革探讨[J]. 济南职业学院学报, 2025(1): 67-69+73.
- [4] 曾伟, 潘金龙. 新工科背景下土木工程实验技术课程教学改革与探索[J]. 科技风, 2024(18): 52-54.
- [5] 王一鸣, 皇民. 基于 OBE 理念和硕士点建设的土木工程实验课程教学探索[J]. 河南工程学院学报 (社会科学版), 2023, 38(4): 90-93.
- [6] 缪玉松, 王浩, 刘京红, 张晋, 关锐钟, 郭凯强. 人工智能与虚拟仿真赋能基础力学实验教学改革初探[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(1): 215-219.
- [7] 李华, 刘平, 刘阳, 王步, 王毅红. 工程教育认证背景下混凝土结构实验课程全过程考核体系构建[J]. 高等建筑教育, 2024, 33(2): 132-138.