

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2026.03.018

欢迎按以下格式引用:吴巧云,宋彦朋.数字化驱动的混凝土结构设计原理课程改革[J].高等建筑教育,2026,35(3):150-158.

数字化驱动的混凝土结构设计原理 课程改革

吴巧云¹, 宋彦朋^{1,2}

(1. 武汉工程大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430073; 2. 武汉工程大学邮电与信息工程学院 建筑工程学院, 湖北 武汉 430073)

摘要:随着我国建筑业的蓬勃发展与转型升级,土建类专业教育正面临新挑战。中共中央、国务院及住房和城乡建设部相继出台政策文件,强调推进建筑工业化、数字化、智能化发展,这不仅为建筑业的发展指明了方向,也对教育体系培养适配新时代需求的专业人才提出了更高要求。混凝土结构设计原理作为土木工程专业的核心课程,在传统教育模式下日益凸显诸多痛点:教材更新滞后,致使知识与行业脱节;线上资源匮乏,无法满足多元学习需求;课堂互动形式单一导致师生交流受限;繁杂的手工计算加重学生负担;评价体系欠科学,难以精准衡量学习成效。因此,深化该课程教学改革势在必行。此次改革以新形态数字化教材建设为抓手,构建多维度数字资源群,搭建赋能课堂的教学数字化平台,创设信息化教学情境,采用多元可量化的教学评价体系。重点介绍了新形态数字化教材、多类型数字资源,以及BIM、Matlab软件、数字图像(DIC)等技术在激发学生的学习兴趣、强化工程实际应用能力方面的作用。改革成效显著,不仅提升了学生的课堂参与度,更有效培养了其解决复杂工程问题的能力,为造就适应新时代需求的复合型人才奠定了坚实基础。

关键词:数字化教学;混凝土结构设计原理;数字化资源;BIM技术;数字化平台;评价体系

中图分类号:G642

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2026)03-0150-09

2020年,住房和城乡建设部联合发展改革委、科技部、工业和信息化部等联合发布了《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》,明确指出要推进建筑工业化、数字化、智能化升级。2024年7月18日,党的二十届三中全会审议通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》提出要深化教育综合改革,推进教育数字化。中国建筑业正向工业化、数字化、智能化方向快速发展,对专业人才的知识和技能等提出了新的要求^[1-2]。混凝土结构设计原理是土木

修回日期:2024-12-08

基金项目:湖北高校省级教学研究项目“‘三个一流’建设背景下土建类专业核心课程‘多元融合’建设的教学改革与实践”(2023327)

作者简介:吴巧云,副院长,三级教授,楚天英才计划“楚天名师”,主要从事工程结构振动控制与健康监测研究,(E-mail)wuqiaoyun@wit.edu.cn;(通信作者)宋彦朋,教授,主要从事工程结构健康监测研究,(E-mail)songyanpeng2022@163.com。

工程专业的核心课程,必须适应这一趋势,改革教学内容和方法,增强学生在智能建造背景下的综合素养,培养其解决复杂工程问题的能力,使其掌握新时代土木工程施工建造所需的系统性、创新性和跨学科知识体系,进而在土木工程行业的转型升级中发挥更大的作用。

一、混凝土结构设计原理课程教学现状

(一) 教材内容滞后,与行业发展动态脱节

随着现代建筑工程向超高层、大跨度、深基坑等复杂方向演进,BIM(建筑信息模型)、人工智能、虚拟仿真等新技术的广泛应用,行业设计标准与规范亦随之持续更新。然而,传统纸质教材受限于出版周期,内容更新滞后,新理论、新技术、新规范及前沿科研成果难以及时融入课程教学^[3]。这导致教材内容与行业最新动态脱节,缺乏前瞻性与实用性,既难以激发学生学习兴趣,又难以适应现代建筑行业对复合型人才的要求。

(二) 信息化资源匮乏,难以契合教学需求

信息化时代背景下,知识的获取与传授方式发生了深刻变革,传统教学资源已难以支撑高质量的“教”与“学”。以混凝土结构设计原理课程承载力计算教学为例,受力过程涉及复杂的内部机理,学生仅依靠传统平面教材与静态讲解,难以直观感知构件受力的空间演化过程与破坏形态,导致认知停留在表层。这种教学资源的局限不仅限制了学生对复杂工程问题的探究路径,更在一定程度上制约了其工程直觉的培养与未来职业发展。

(三) 教学模式单一,师生互动与反馈不足

传统教学多采用“以教师为中心”的灌输式模式,教学进程严格受制于大纲与学时,课堂互动形式单一且频次不足。学生在课堂上多处于被动接收状态,缺乏主动探究与深度参与的积极性。这种单向输出的教学氛围导致“教”与“学”双向反馈缺失。课堂教学单调,不仅难以激发学生的专业兴趣,更使得高阶教学目标(如知识应用与工程思维培养)难以有效达成。

(四) 计算工作量大,创新思维培养空间受限

混凝土结构设计原理课程涉及大量复杂的受力分析与截面设计计算,计算过程烦琐,学生不得不将大量时间与精力耗费在重复的机械运算中。尽管这在一定程度上训练了学生的计算能力,但“重计算、轻构思”的倾向严重挤压了创新思维与工程逻辑的培养空间。导致学生在面对真实工程问题时,往往陷入“会算不会设”的困境,缺乏对工程方案的统筹优化与灵活应用能力。

(五) 评价体系单一,难以精准衡量综合素养

传统课程评价高度依赖期末考试成绩这种单一的终结性评价,重结果轻过程,难以全面、客观地衡量学生的工程实践能力与创新思维。在强调能力导向的现代工程教育背景下,这种“一考定音”的评价模式的局限性愈发凸显。亟需构建科学合理的多元评价体系,通过引入过程性、项目驱动、团队协作等维度的评价,从而实现对学习成效与综合应用能力的多维度、精准化刻画。

二、数字化背景下混凝土结构设计原理课程改革措施

依托国家级一流课程建设与省级高校教学团队的师资保障,混凝土结构设计原理秉持“以学生

为中心、让学生有期待、使课堂有惊喜,面向学生产出、开展持续创新”的教学理念。将“知理论、悟重点、感情景、集创意、划重点、练技能、评成效”七个专项教学环节,有机融入“课前导学、课中探究、课后拓展”三段式教学过程,形成了“三七纵横”的特色教学模式,如图1所示。该模式下,课程实施基于过程评价的分层组队与分组帮扶机制,驱动学生协作共达课程目标。同时,创新提出了“案例植入的思政专技互促分层教学方法”,如图2所示。在资源建设方面,构筑了“团队协同、师生共建、线上资源、线下资源、科教研融合、企业同行”六元共建模式。



图1 “三七纵横”理论授课案例简图

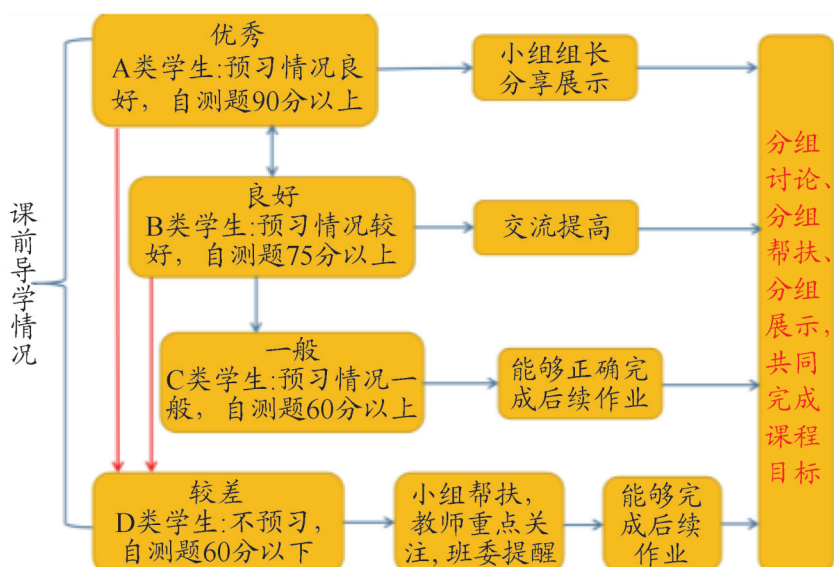


图2 互促分层组队教学简图

此外,课程深入实践了基于任务明细的理论与实践对称融合式教学模式,如图3所示。通过创设辩论研讨、主题脱口秀、小组互考、项目实操等多元互动形式,构建了持续改进的拟态循环互动场。该模式明晰了各环节教师和学生的任务,强化师生和生生的多维深度互动。在评价体系上,实施了多元可量化的阶段化、实时化、个性化“三化”教学评价,对学生的学习成效进行全程、实时跟踪,为教师适时调整教学策略提供依据。总之,课程改革过程以数字化赋能为引擎,通过引入优质数字化资源与平台、创设信息化教学情境,不仅大幅提升了教学效果,更有效拓展了学生的创新思维与工程实践能力。

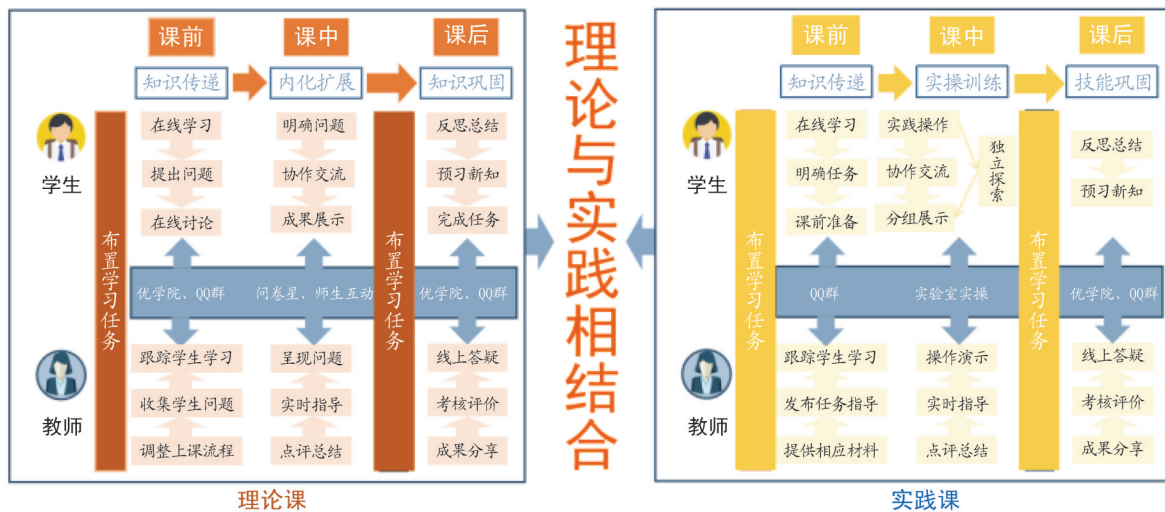


图3 基于任务明细的理论与实践对称融合式教学模式

(一) 构建基于教材建设的多类型数字化资源体系

1. 开发新形态数字化教材

为适应行业发展趋势,武汉工程大学土木工程与建筑学院教学团队联合学校绿色土木工程材料与结构团队,将最新的科研成果与学术前沿融入混凝土结构设计原理课程教材编写。教材突破传统内容框架,拓展了智能建造、BIM技术、3D打印混凝土、“双碳”目标下的碳封存技术、固碳混凝土、再生混凝土、高性能混凝土及装配式混凝土等前沿知识,帮助学生及时掌握国内外混凝土结构领域的新材料、新技术与新工艺,凸显了课程的时代性和前沿性。同时,教材紧密结合工程实际,引入“赛格广场振动事件”等真实案例,强化课程的现实意义与工程示警作用。

此外,教材创新性地融入了多种数字资源,赋予教材动态化与交互性属性。一是微课视频:将课程核心知识点提炼为简短精炼的视频,便于学生随时学习和复习。例如,在绪论章节,通过图片和视频等多媒体影像全景展示超高层建筑的发展历程,回顾混凝土结构的历史与最新成就,激发学生的专业认同感与时代使命感^[4]。二是动画和三维视图:利用动画和三维视图直观展示混凝土结构的受力过程和构件设计原理,帮助学生更清晰地理解复杂概念。如在讲解钢筋的布置方式和构造要求时,通过三维立体图片和视频动画演示揭示构造措施背后的力学逻辑,学生深刻认知“构造与结构计算同等重要”。三是虚拟仿真和AR技术:重构施工现场与实验过程,支持学生在虚拟环境中进行操作和实验。例如,在钢筋和混凝土的物理力学性能章节,通过虚拟仿真全程演示受力变化,学生直观理解这两种材料的力学特性。

学生扫描教材中的二维码即可访问数字教学资源,打破了时空局限,实现了“无书包”“无课堂”“无教师”限制的实时学习体验,极大提升了学习的灵活度与效率^[5]。

2. 构建多类型数字化资源体系

课程教学团队紧跟新时代教育变革的步伐,依托超星、优学院、问卷星等在线学习、测试和监测平台,结合国家级在线示范课,构建了多类型的数字化教学资源体系。具体包括:高新工程案例专题库、基于“问卷星”的调查问卷库、PKPM等工程应用软件库,对应的教学视频库、实验短视频库,以及混凝土结构设计原理知识要点及习题等。其中,团队着重强化了试题库和习题库的系统化建设,习题的类型多样,涵盖各高校历届混凝土考研真题、注册结构工程师考试真题及科教融合拓展习题等,并配套出版了《混凝土结构设计原理知识要点及习题》一书,为学生提供全面、高效的学习支持。

(二) 搭建“课前一课中一课中”全链条数字化教学平台

数字化教学平台为学生提供了个性化学习与自我评测的场域,能使其能够掌握学习的主动权,有效激发自主学习动力^[6]。课题组在优学院、超星学习通等在线学习平台建成了丰富的课程资源,开发了学习任务发布、视频讲解、在线测试与讨论等功能。同时,联动微信、QQ、腾讯会议等实时互动工具,开展课堂教学和课后辅导。贯穿课前、课中、课后三环节的全链条学习支持体系如图4所示。

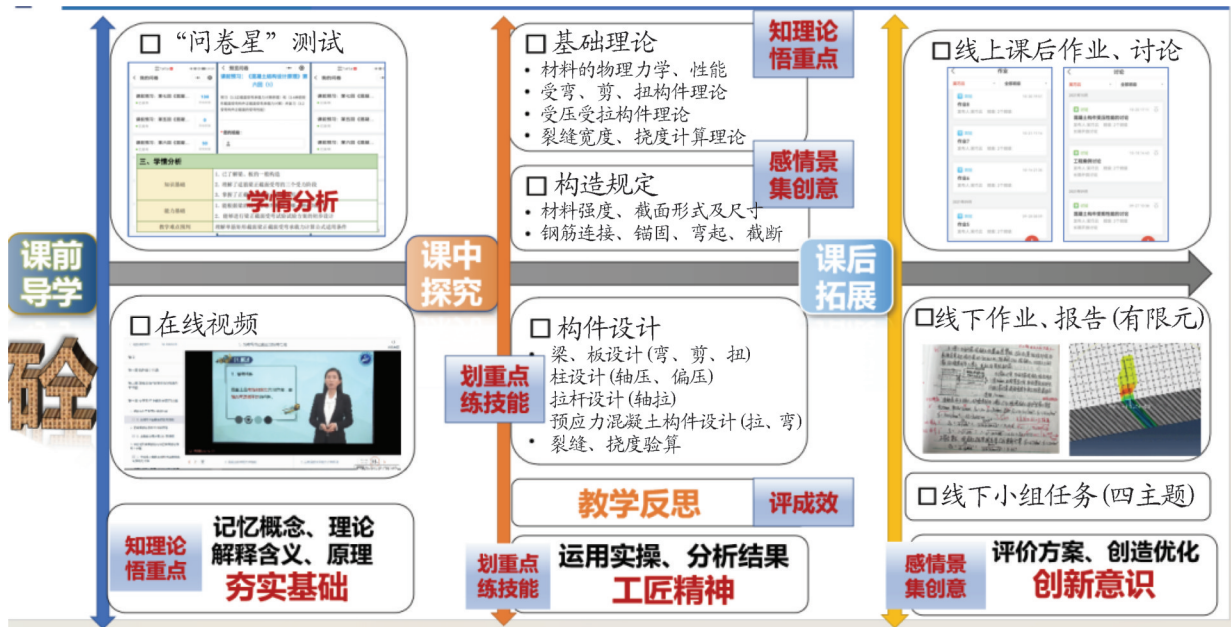


图4 课堂教学数字化平台结构图

1. 课前导学

课前,教师通过超星学习通平台发布导学任务、微课视频与预习测试等,引导学生自主构建基础知识,教师则依据平台学情数据,精准定位教学痛点,实现“以学定教”。例如,教师可在平台上发布关于混凝土结构材料力学性能的预习视频,学生通过观看视频,回顾课前知识点内容并预习新知识。此外,教师还可以利用信息化手段设计闯关游戏,将预习任务融入其中,通过游戏元素激发学生的学习兴趣,加深其对知识的理解和记忆。预习视频和游戏等资源支持循环播放、倍速播放和拖拽功能,学生可根据自身学习进度灵活地选择播放模式。测试题部分允许学生自行查阅答案,确保

其对教学内容的掌握。基于学生的预习情况,教师在课堂讲解中更有针对性地突出重难点。同时教师通过分析学生的作业和反馈问题,深入了解学情,从而优化线下课堂教学设计^[7]。

2. 课中探究

在课堂教学中,教师通过视频、图片等多媒体形式引入实际工程案例,唤醒学生的求知欲。利用学习通平台的“词云”功能回顾前序知识点,借助思维导图将碎片化的知识点系统化,并对重难点部分进行深入剖析。理论讲解后,教师发布小组讨论任务,学生协作探究、分享汇报,并进行组间互评,教师最终点评、归纳总结。同时,课堂深度融合实时问答与弹幕互动功能,学生可随时提问,教师实时答疑,彻底打破传统课堂单一授课模式,显著提升互动质效。

3. 课后拓展

课后,教师通过微信、QQ等社交平台,向学生推送教学内容的重难点解析小视频、典型例题习题及工程实景等资料,支持学生随时随地查漏补缺。同时,依托平台发布课后十分钟速测,并设定完成时间。根据在线测试结果,教师能够精准了解学生的学习效果,进而提供个性化指导,满足学生差异化发展需求,实现教学效果的闭环提升。

(三) 创设“虚实结合”的信息化教学情境

教师可以依托信息化手段创设生动的教学情境,重点引入BIM、Matlab及数字图像相关技术(DIC),重构学生的工程认知路径,最大程度地激发学生的学习兴趣。

1. BIM技术的应用:实现钢筋构造可视化

BIM技术具有可视化、协调性、模拟性、优化性和出图能力等显著优势^[7-8]。在受弯构件承载力计算教学中,教师基于BIM技术建立结构和构件的三维空间立体可视化动态模型,结合标准规范和图集,直观展示梁和楼板钢筋的空间分布。同时,使用不同颜色区分梁的架立钢筋与受力钢筋、板的受力钢筋和分布钢筋,并动态显示不同钢筋的锚固措施。BIM技术的应用不仅增强了学生在信息化环境中理解钢筋构造和连接方式的能力,而且提升了学生的空间认知力,为其未来理解结构施工图奠定了坚实基础。

2. Matlab结构计算软件应用:推动复杂计算程序化

混凝土结构设计原理课程涉及繁杂的手工计算,耗时且易错,例如基本构件的受力计算、构件截面设计和复核等。引入Matlab软件辅助计算,将学生从机械运算中解放出来,同时避免了教师在课堂上大篇幅推演复杂繁琐计算过程。例如,在探究混凝土柱的正截面极限承载力状态N—M曲线时,通过Matlab程序快速成图,便捷地分析截面尺寸、材料强度等级及配筋率等因素对柱N—M曲线的影响规律。这不仅提高了计算效率,更引导学生将精力聚焦于参数影响机制与底层逻辑的理解。

3. 数字图像相关技术(DIC)的应用:赋能微观力学感知直观化

针对课程实践性强的特点,教学引入了再生混凝土、超高性能混凝土等前沿构件受力实验。为突破传统实验观测手段的局限,团队引入先进的数字图像相关技术(DIC),精准捕捉构件受力全过程的裂缝演化与应变场分布。以再生混凝土梁加载实验为例,DIC技术提供了高精度的全场应变云图(图5)。在15 kN荷载下(图5a),云图红色区域呈现线性特征,直观印证了梁体处于弹性阶段;在105 kN荷载下(图5b),云图显示应力高度集中且裂缝显著扩展,清晰揭示了梁体进入塑性变形与临近破坏的非线性阶段。

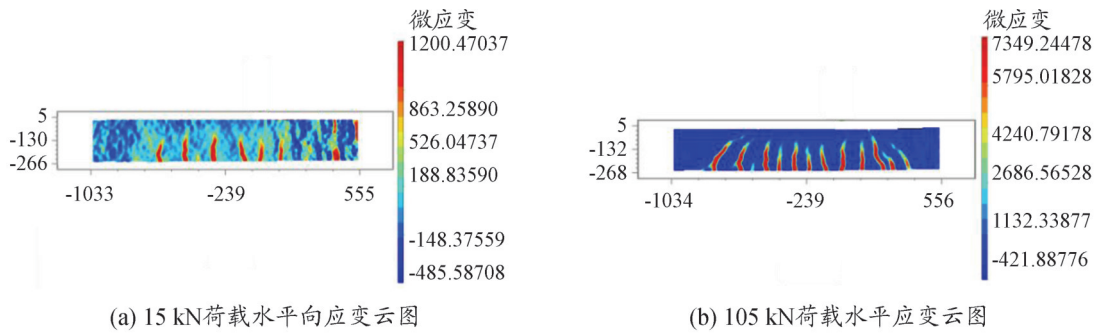


图5 DIC技术测量应变云图

DIC技术不仅提供了高精度的应变测量数据,还将不可见的应力应变转化为可视化的色彩场,使学生深度透视混凝土的破坏机制,能够直观地看到再生混凝土梁在不同荷载作用下的应力应变分布,实现了从宏观现象到微观力学本质的认知飞跃。这一技术的应用显著提升了实验教学的效果,帮助学生更好地理解和掌握混凝土结构的基本原理以及实际工程中的应力应变分析方法。

(四) 完善多元可量化的评价体系

根据混凝土结构设计原理课程特点,对标工程教育认证理念,课程构建了阶段化、实时化、个性化的教学评价,如图6所示。该体系融合形成性与终结性评价,贯穿线上与线下、理论与实践、专技与思政,客观、公正、准确地反映了学生的学业水平和课程目标的达成情况。为切实减负增效,多元量化考核评价大多嵌入课堂教学的师生和生生互动环节,高效利用了45分钟。近三年,在试题难度相对稳定的条件下,各级学生混凝土结构设计原理课程的平均成绩稳步提升,印证了评价体系的合理性,并显著提升学生学习效率。

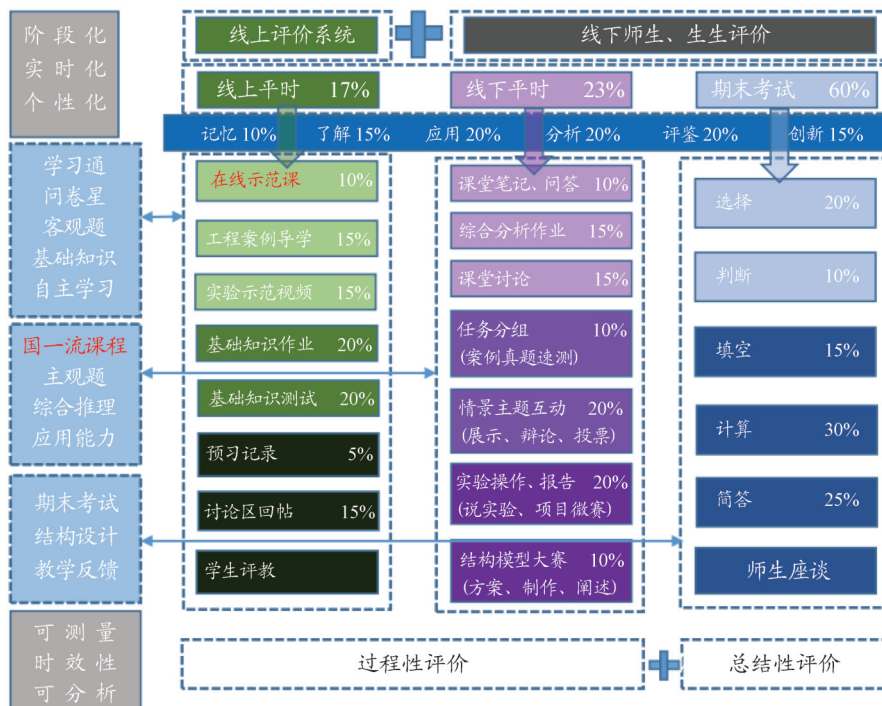


图6 多元可量化评价体系

1. 多元评价方式,实施全过程考核

通过学习通、问卷星、优学院等平台,实施“线上测试+线下作业+小组讨论+实践项目”的多元评价。每学期进行多次在线测试、作业和小组主题任务能力测试,实现课前、课中、课后全过程考核^[7]。课前,通过预习测试精准诊断学情;课中,将签到、讨论、随堂测、互动问答纳入考核;课后,对作业、小组任务、资料查阅及课堂笔记进行综合评定。全过程、多维度的评价体系,确保了学习成果评价的全面性与准确性。

2. 强化过程考核,构建“六元”成绩评定机制

结合工程教育认证要求,优化课程成绩结构,提升平时成绩权重。新的考核体系包括不少于20次的随堂测试、15次及以上的分组帮扶情景主题互动、15次以上的课程(综合)作业、百余次的线上线下讨论、实验操作与实验报告、期末考试等十余项指标。平时成绩与期末考试均严格按照教学大纲规定的评分标准进行量化,确保评价的科学性和公正性,注重课程教学过程的全面考核^[9]和动态跟踪。教师基于学习成效反馈及时调整教学策略和教学内容,不断提升教学质量和学生的学习效果。

三、结语

通过构建数字化资源、数字化教学平台、信息化教学情境,以及多元可量化的教学评价体系,混凝土结构设计原理课程在教学过程中实现了形式与内容的双重“活化”。这种教学模式不仅显著提升了学生的学习兴趣 and 参与度,还极大地增强了教学效果和学生的实际应用能力。未来,随着技术的发展,数字资源的应用将不断拓展和深化,为混凝土结构设计原理课程的教学改革提供更广阔的空间和更多的可能性,推动教学质量的持续提升。

参考文献:

- [1] 丁烈云. 智能建造推动建筑产业变革[N]. 中国建设报, 2019-06-07(08).
- [2] 叶浩文. 新型建筑工业化的思考与对策[J]. 工程管理学报, 2016, 30(2): 1-6.
- [3] 高鸽子, 常艳婷. “互联网+”时代高职院校专业课程教材开发研究与实践——以混凝土结构设计原理为例[J]. 创新创业理论与实践, 2024, 7(8): 69-71.
- [4] 杜毛毛, 许斌. “新工科”背景下面向港澳台侨学生的课程升级建设——以“混凝土结构基本原理”课程为例[J]. 福建建材, 2023(2): 102-104.
- [5] 宿辉, 刘英, 原小窝. 基于“互联网+”《工程化学》新数字化教材的探索与建设[J]. 林区教学, 2019(7): 94-95.
- [6] 胡仲邦, 薛凌云. 高校开展数字化教学的应对与推广[J]. 中国高等教育, 2014(7): 40-42.
- [7] 张诚紫, 吴思瑶, 欧珉志. 信息化背景下《混凝土结构设计原理》课程教学改革[J]. 福建建筑, 2023(3): 138-143.
- [8] 李柏. 基于BIM的装配式建筑一体化设计方法研究[J]. 土木工程信息技术, 2021, 13(1): 89-95.
- [9] 朱志刚, 吴枫琪. “双万计划”背景线下一流本科课程建设实践——以混凝土结构设计原理课程为例[J]. 西部素质教育, 2021, 7(22): 153-155.

Reform of the principles of concrete structure design driven by digitalisation

WU Qiaoyun¹, SONG Yanpeng²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, P. R. China;

2. *School of Architectural Engineering, College of Post and Telecommunication of WIT, Wuhan 430073, P. R. China)*

Abstract: With the rapid development and transformation of China's construction industry, the education system is also facing new challenges. The Ministry of Housing and Urban-Rural Development, in collaboration with the Central Committee of the Communist Party of China, has issued a document emphasising the advancement of industrialisation, digitalisation, and intelligent development in the construction sector. This not only provides direction for the industry but also sets new requirements for the education system to cultivate professionals who meet the demands of the new era. As a core course in civil engineering, principles of concrete structure design has highlighted several issues under traditional teaching models: outdated textbooks that are disconnected from industry practices, insufficient online resources to meet diverse learning needs, limited classroom interaction and inadequate teacher-student communication, heavy computational workloads that burden students, and unscientific evaluation system that fails to accurately measure learning outcomes. Therefore, course reform is imperative. Key measures include developing new digital textbooks, building diverse digital resource libraries, establishing digital platforms centred on classroom teaching, creating information-based teaching environments, and adopting a multi-dimensional, quantifiable evaluation system. The reform particularly focuses on enhancing student engagement and practical application skills through new digital textbooks, diverse digital resources, and technologies such as BIM, Matlab, and Digital Image Correlation (DIC). These changes have improved student participation and learning outcomes, fostered the ability to solve complex engineering problems, and laid the foundation for cultivating versatile professionals suited to the needs of the new era.

Key words: digital teaching; principles of concrete structure design; digital resources; BIM technology; digital platform; evaluation system

(责任编辑 邓云)