

基于桥梁虚拟实验室的桥梁工程教学模式创新研究

任雅露^{1,*}, 刘昱¹, 李昊¹

1. 辽宁科技大学, 土木工程学院, 辽宁 鞍山, 114051

摘要: 本文围绕传统桥梁工程教学中教学内容同实际工程脱节、理论学习和实践训练彼此分开、考核方式不完善等比较突出的问题, 提出一种用桥梁虚拟实验平台作为技术支持的创新教学方式; 文章首先分析了传统桥梁工程教学中的三个主要痛点, 然后从理论与实践深度融合、评价反馈推动教学改进、教学科研同企业需求相互协同三个维度, 说明了桥梁虚拟实验平台教学模式的优势; 在这个基础上, 选择 MIDAS CIM 三维建筑信息模型平台作为工具, 搭建桥梁工程教学模式, 提出“三层次、四模块”的整体架构, 并设计了线上自主学习、线下集中指导、软件工程师讲解、项目驱动实践相结合的混合式教学安排; 同时建立了三个部分结合的综合考核评价体系, 还提出了教学保障办法; 研究结果显示, 基于桥梁虚拟实验平台的教学模式能够有效弥补传统教学的短板, 明显提升了学生的理论应用能力、工程设计思维与创新意识, 为桥梁工程教学改革提供了可行参考。

关键词: 桥梁工程; 桥梁虚拟实验室; 教学虚拟仿真; 工程实践

A Study on Innovative Teaching Models in Bridge Engineering Based on the Virtual Bridge Laboratory

Ren Yalu^{1,*}, Liu Yu¹, Li Hao¹

1. University of science and technology, School of civil engineering, Anshan, Liaoning, China, 114051

Abstract: Addressing the prominent challenges in traditional bridge engineering education—such as a disconnect between course content and real-world engineering practice, a separation between theoretical instruction and practical training, and an imperfect assessment and evaluation system—this paper proposes an innovative teaching model supported by a virtual bridge laboratory. The paper first analyzes the three core challenges in traditional bridge engineering education and then elaborates on the advantages of the virtual bridge laboratory teaching model from three dimensions: the deep integration of theory and practice, the use of evaluation and feedback to drive teaching optimization, and the synergy between teaching, research, and industry needs. Building on this foundation, the paper constructs a bridge engineering teaching model using the MIDAS CIM 3D BIM platform as its platform, proposes a “three-tier, four-module” overall architecture, and designs a blended teaching model that combines online self-directed learning, in-person group instruction, software engineer-led tutorials, and project-driven practice. Additionally, a three-pronged assessment and evaluation system is established, and measures to ensure teaching quality are proposed. The study indicates that the teaching model based on the virtual bridge laboratory can effectively address the shortcomings of traditional teaching, significantly enhance students’ ability to apply theoretical knowledge, foster engineering design thinking and innovative awareness, and provide a viable reference for educational reform in bridge engineering.

Keywords: Bridge Engineering; Midas Bridge Virtual Laboratory; Educational Virtual Simulation; Engineering Practice

桥梁工程作为土木工程专业培养方案的一门核心课程, 这门课程的教学质量会直接影响到学生工程实践能力和职业素养的养成。随着现代桥梁工程朝着大跨度、复杂结构以及智能化建造的方向发展, 行业对专业人才在工程实践能力和创新思维能力上的要求也变得更加严格^[1]; 长期以来, 桥梁

工程专业的教学活动主要依靠课堂上的理论讲解,再配合少量的现场实习环节,在工程技术越来越复杂和多样的背景下,这种模式已经很难满足培养高层次技术技能人才的目标。

虚拟仿真的高速发展,这给桥梁工程教学改革带来了新的机会;借助搭建高度接近真实的虚拟工程场景,学生可以在安全可控的数字化环境里完成桥梁结构受力分析、施工工序模拟、病害检测与加固等实训项目,这些项目以前因为场地、经费和安全因素很难开展,这样做也弥补了现场实习资源不够、高危环节无法实际操作的不足^[2];同时,虚拟仿真平台可以把抽象的力学原理和复杂的构造细节用可视化的方法直观地展示出来,帮助学生把理论知识和工程实践更紧密地联系起来,明显提高知识迁移能力和工程思维素养,所以把虚拟仿真技术深入融入道桥专业教学体系,已经成为摆脱传统教学困境、提升人才培养质量的迫切要求和必然趋势^[3-4],基于这样的考虑,本文围绕桥梁虚拟实验室的桥梁工程教学模式展开研究,目的是为提升桥梁工程教学质量、培养高素质工程技术人才提供理论支持和实践参考。

1 传统桥梁工程教学存在的主要痛点

1.1 教学内容与工程实际脱节,知识体系更新滞后

桥梁工程这门课包含的内容体系比较庞大,知识点多而且零散,传统教学却往往更重视经典理论和标准构造的讲解,对现代桥梁工程里跨度大、结构复杂、新材料以及智能化施工等新技术的引入不够,这就造成了课程内容与行业实际需要之间有比较明显的差距;同时,各章节之间没有形成有效的关联,学生也就不容易建立起系统而完整的工程知识框架。

1.2 理论教学与实践训练脱节,实训环节薄弱

实践教学是桥梁工程课程体系里的一个核心组成部分,在以往的教学模式当中,实践环节一直处在从属的位置上,并且存在很多比较明显的问题;一方面,一些教师自己的工程实践经验并不丰富,很难把理论知识和施工现场真正结合起来,另一方面,学生出去实习的时间比较固定,而且每次的时间都不长,所以在这么短的实习时间里,学生很难把整个施工过程都了解清楚,对那些关键的施工环节和技术就更缺少深入认识。

1.3 实践教学考核评价机制不完善,过程性评价缺失

传统桥梁工程教学对实践教学环节不够重视,考核方式也比较落后^[5];很多教师虽然会引导学生参与实践学习,但是对于实践学习的过程和结果缺少系统性和过程性的评价,这就使得学生容易忽视实践学习。当前实践成绩的评定主要依靠实习报告和最终成果,这种评定方式既不能如实反映学生在实践过程中的学习状态和能力成长情况,还可能因为报告质量的好坏而误判学生的实际水平。

2 桥梁虚拟实验室教学模式优势

2.1 理论教学与实践教学深度融合

桥梁虚拟仿真技术用到桥梁工程教学中,可以推动理论教学和实践教学紧密地融合,它的明显优势主要有三个方面:第一,通过可视化技术把复杂的力学模型和不容易理解的工程原理直观地展示出来,帮助学生完成从抽象理论到具体实践的认识转变;第二,虚拟场景可以让学生不限次数地反复进行操作训练,使他们能够牢固掌握核心的技术要领;第三,虚拟仿真平台提供了一个安全的操作环境,学生能在里面开展高风险作业的模拟操作,这样就有效提高了实训教学的安全保障能力。

其次,运用虚拟仿真技术能明显降低道路与桥梁工程技术专业在实训环节上的经济负担,也减少了对高端实验设备的依赖;借助虚拟仿真平台,可以为学生建立高度还原工程现场的实训条件,从而让教学资源的利用效率得到明显提升^[6];另外,这样还能让教学安排变得更加灵活方便,学校可

可以根据实际教学需要随时组织实训活动；特别重要的一点是，虚拟仿真技术很好地解决了传统教学中复杂工程操作不能重复进行的难题，学生可以在虚拟场景中全程参与工程建设的各个阶段，通过反复模拟来了解每一道工序的技术要求和操作方法，这样就弥补了传统教学模式中固有的缺陷^[7]。

2.2 评价反馈机制助推理论教学优化

利用虚拟仿真平台，教师可根据学生的实时学习动态持续调整教学策略，鼓励学生围绕虚拟仿真平台的功能提出优化的意见，更要在师生高频互动的过程中，加快教学软硬件环境的升级步伐，以此推动教学体系的不断健全，最终建成融合现代化理念、信息化手段与智能化特征的全新教学范式，为桥梁工程课程的教学改革注入持久动力。

2.3 推动教学科研与企业需求的深度融合

在教育部产学研协同育人项目的推动下，产学研协同育人机制已成为高校深化实践教学改革的重要手段。高校与企业联合共建桥梁实训基地虚拟实验室，为高校教学与科研的协同发展注入了新的动力。企业为虚拟实验室提供了真实的工程案例数据、前沿的施工技术标准及一线工程师的实践指导，有效弥补了高校教学资源与工程实际脱节的短板，显著提升了实践教学真实性。虚拟实验室的建设构建了“教学促科研、科研反哺教学”的良性循环。图1列出了传统桥梁工程教学痛点与虚拟实验室教学模式优势对比。



图1 传统桥梁工程教学痛点与虚拟实验室教学模式优势对比

Fig.1 Comparison of Challenges in Traditional Bridge Engineering Education and the Advantages of the Virtual Laboratory Teaching Model

3 桥梁虚拟实验室教学模式构建

3.1 体系构建理念与目标

MIDAS CIM 是一种面向桥梁工程全生命周期的三维设计平台，这个平台能够用来完成快速建模、施工阶段模拟、工程量自动统计和可视化交底等工作^[8-9]，基于该软件构建虚拟实验教学体系，可以打破传统桥梁工程教学中理论与实践脱节以及实训资源受限的瓶颈；这样能让学生熟练掌握虚拟仿真软件，具备独立完成桥梁三维建模和施工模拟的能力；借助虚拟实验把抽象的力学原理和构造知识用可视化方式呈现出来，加深学生对桥梁设计与施工全过程的系统认识；教学体系中构建出递进式的实验教学模块，以便满足不同年级和不同层次学生的学习需要；同时建立过程性评价和结果性评价相结合的考核机制，用来全面评估学生的工程实践能力与创新思维。

3.2 体系架构设计

本文所提出的虚拟实验教学体系采用了“三层次、四模块”的整体架构，三层次是按照能力培养规律来划分的，包括基础认知层、综合应用层以及创新拓展层；基础认知层主要面向低年级学生，核心内容是软件操作入门和桥梁构造认知，借助三维可视化功能帮助学生建立桥梁的空间形状认识，

理解桥梁各个部位之间的构造关系和受力特点；综合应用层则面向中高年级学生，把桥梁设计和施工模拟综合实验作为核心，要求学生能够独立完成从方案建模、受力分析到施工阶段模拟的整个流程训练，从而培养工程设计思维和实践操作能力；创新拓展层面向高年级和毕业设计阶段的学生，以实际工程项目为载体，结合建筑信息模型协同设计、施工方案优化、工程量管控等拓展内容，鼓励学生进行创新性实验研究，提高他们解决复杂工程问题的能力；四模块是按照实验内容的性质来划分的，包括软件操作模块、桥梁设计模块、施工模拟模块和协同创新模块，这些模块既相对独立又互相衔接，图 2 展示了四模块的核心内容以及对应的学生层次和学时安排。

基于虚拟实验室教学体系四模块设计			
模块名称	核心内容	对应层次	学时建议
 软件操作模块 	midas CIM 的虚拟作、参数化建技基础、材料与城市定义、模型编辑与查询	基础认知层	8-12学时
 桥梁设计模块 	梁桥/拱桥/斜拉桥等桥型三建建模、结构验算、构造细部设计、工程量设计	综合应用层	16-24学时
 施工模拟模块 	施工阶段划分、支架法/悬臂浇筑法/顶推法等施工工艺模拟、施工过程受力分析	综合应用层	12-16学时
 协同创新模块 	BIM协同设计、施工方案比选优化、工程实际项目成权建造、创新设计竞赛	创新拓展层	16-20学时

图 2 基于虚拟实验教学的四模块设计

Fig.2 Design of a Four-Module Program Based on Virtual Laboratory Instruction

3.3 教学组织与实施

虚拟实验教学采用 "线上自主学习 + 线下集中指导 + 项目驱动实践" 相结合的混合式教学模式：

线上自主学习环节依托虚拟仿真实验教学平台，上传 MIDAS CIM 操作视频教程、实验指导书、案例模型库等学习资源，学生可根据自身进度随时开展软件操作练习与理论知识预习。平台自动记录学生的学习时长、操作次数、实验完成情况等数据，为过程性评价提供依据。图 3 为虚拟实验室平台模拟建模效果。

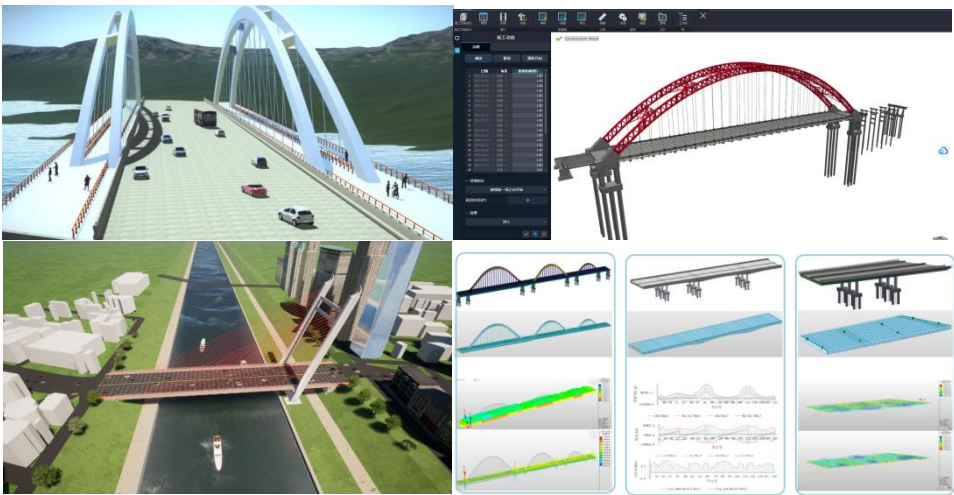


图 3 虚拟实验室平台模拟建模效果

Fig.3 Simulation and Modeling Results of the Virtual Laboratory Platform

线下集中指导环节是在实验室安排集中授课与答疑，教师会针对实验中的重点难点进行现场演示和讲解，学生分组完成实验任务，这种形式鼓励学生主动思考与协作交流；同时定期邀请软件公

司的技术工程师到课堂上开展专题讲座与实操指导,软件工程师结合自身工程实践经验,围绕真实桥梁工程项目中的应用流程与常见问题进行系统讲解,并针对学生实验操作中遇到的共性问题进行针对性答疑。

项目驱动实践环节会引入校企合作真实项目或者学科竞赛项目,以项目为载体组织学生开展综合性虚拟实验;学生以小组为单位承担项目中的建模、分析、模拟等任务,在真实工程语境中锻炼解决复杂问题的能力,教师与企业工程师共同进行指导,确保实验内容与工程实际紧密结合。

4 AI 助教三位一体的考核评价体系

为了全面评估学生的实验学习成效与综合能力,本文建立了“过程性评价+结果性评价+创新性评价”三位一体的考核评价体系;在评价实施过程中,借助 AI 助教系统来采集数据和分析学情,作为辅助手段,这样能提高评价的客观性和精准度,不过评价的主要负责人和最终判定还是由教师来完成。

过程性评价占比 40%,这个评价主要关注学生在实验学习全过程中的成长情况;评价的依据有线上学习时长、软件操作熟练程度、实验任务完成进度、课堂参与情况以及小组协作表现等,借助 AI 助教系统自动采集学生的学习行为数据并进行初步统计,生成学情诊断参考报告,教师在这个基础上再结合课堂观察和日常记录,对学生的学习态度、努力程度以及知识掌握进程进行综合评价,这样就能避免传统评价中只看结果不看过程的不足。

结果性评价同样占比 40%,这个评价以实验成果作为核心评价对象,主要考察学生对知识的掌握程度和实操能力;评价内容包括模型文件是否完整准确、实验报告是否规范有深度、设计计算书是否合理、施工模拟动画的质量如何等,评价方式采用教师评价与小组互评相结合。

创新性评价占比 20%,这个评价主要针对创新方面,重点看学生在方案设计、技术应用和问题解决这些方面表现出来的创新能力;鼓励学生在虚拟实验室平台上提出新的设计思路、优化施工方案或者探索新的桥型设计,对具有创新性的实验成果给予加分奖励,评价方式以教师专业判断为主,同时结合成果汇报和答辩表现进行综合评定。

通过实施三位一体的考核评价机制,既关注学生的学习过程和能力成长,又重视实验成果的质量与创新水平,这样就能对学生综合素养进行全面客观的评价,也为教学持续改进和人才培养质量提升提供了有力保障。

5 教学保证和措施

为了保证虚拟实验教学体系能够有效运行,需要从四个方面来建立教学保证体系:

(1) 师资队伍方面,学校要定期组织教师参加软件培训和企业工程实践,这样可以提升教师的软件应用能力和实践指导能力;同时还要建立教学研讨和集体备课的机制,让教师之间能够分享经验、解决问题。

(2) 硬件条件方面,需要配备能够满足三维建模和施工模拟要求的高性能计算机;还要搭建虚拟仿真实验教学云平台,让学生可以远程访问和自主练习,从而打破时间和空间的限制;同时也要配备投影仪、大屏幕等演示设备,保障课堂教学和成果展示能够顺利进行。

(3) 教学资源方面,要系统地建设虚拟案例教学资源库,里面包括操作教程、案例模型、实验指导书、考核题库以及工程项目资料等内容;按照三层次进行分类整理,满足不同学生的学习需求;还要建立动态更新的机制,及时补充新案例和新技术,保证资源具有时效性。

(4) 校企协同方面,学校需要与软件公司和桥梁企业建立长期合作关系,构建产学研协同育人的

机制；企业提供真实项目资料、工程师指导和技术支持，学校则输送人才并提供科研支撑；通过共建实验室、联合开发项目、共同指导毕业设计等方式，让教学内容与行业需求紧密对接。

6 结论

针对传统桥梁工程教学中存在的理论与实践脱节、实训资源不足以及考核评价不完善等突出问题，本文把 MIDAS CIM 三维 BIM 设计平台作为技术支撑，对桥梁工程虚拟仿真教学模式开展了实践研究；研究结果显示，传统桥梁工程教学的主要痛点包括教学内容与工程实际脱节、理论教学与实践训练割裂、考核评价机制不完善等，本文由此提出了基于该平台的“三层次、四模块”虚拟实验教学体系，该体系涵盖软件操作、桥梁设计、施工模拟、协同创新四个实验模块，同时配合线上自主学习、线下集中指导、项目驱动实践相结合的混合式教学模式，使教学的灵活性和工程适配性得到有效提升；另外，“过程性评价 + 结果性评价 + 创新性评价”三位一体的考核评价体系兼顾了学习过程与成果质量，师资队伍、硬件条件、教学资源、校企协同四位一体的教学保障措施为体系运行打下了牢固基础；基于桥梁虚拟实验室的教学模式是解决传统桥梁工程教学困境、提升人才培养质量的有效路径，能够为桥梁工程领域高素质复合型人才提供更有力的支撑。

参考文献

- [1] 徐明,刘艳,陆金钰,等.土木工程虚拟仿真实验教学资源建设[J].实验技术与管理,2015,32(12):116-119.
- [2] 阎西康,梁栋,张静娟,等.虚拟仿真在土木工程类实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2021,38(3):207-209+218.
- [3] 段鹏鹏,赵岩荆.虚拟仿真技术在道路与桥梁工程专业教学中的应用研究[J].中国现代教育装备,2025,(17):17-20.
- [4] 杨腾,陆凡婷,李伟,等.虚拟仿真技术在道路与桥梁工程检测教学中的应用探索[J].郑州铁路职业技术学院学报,2025,37(1):91-94.
- [5] 李平,李希,黄楚健.虚拟仿真在道路桥梁与渡河工程专业人才培养中的应用[J].就业与保障,2021,(14):104-105.
- [6] 陈建平,项宏亮,徐勋倩.桥梁工程实验虚拟仿真示范课程实践研究[J].实验技术与管理,2018,35(8):221-224.
- [7] 肖林,卫星,何畏,等.基于 BIM 的桥梁工程虚拟仿真实实践教学体系研究[J].高教学刊,2026,12(17):63-66.
- [8] 孙亭亭,郭景全.虚拟仿真技术在桥梁挂篮施工教学中的应用[J].中国现代教育装备,2025,(19):107-110.
- [9] 张坚,陈志伟,齐丰妍,等.智能建造技术赋能土木工程实践教学的创新改革与探索[J].科教文汇,2025,(19):107-112.

基金项目：教育部产学合作协同育人项目—实践条件和实践基地建设—桥梁实训基地虚拟实验室建设（241102554052051）；辽宁科技大学 2025 年度实验教学改革项目—Midas 桥梁虚拟实验室 建设与教学改革（2025XNFZ-25453）。

第 1 作者&通讯作者简介：任雅露（1992-），女，博士研究生在读，讲师，研究方向：建筑材料、桥梁智能检测。 E-mail: yalul@ustl.edu.cn。