·实验室建设与管理·

道路桥梁工程虚拟仿真实训系统开发与研究

高　伟[1]，田　亮[1]，刘　姹[2]，袁进宝[1]

（1. 北京交通运输职业学院，北京 通州区 101121；2. 北京睿格致科技有限公司，北京 海淀区 102303）

摘要：基于虚拟仿真技术进行实训教学是职业教育领域发展的一个热点方向。为充分发挥虚拟仿真技术在高职院校实训教学中的优势，从道桥专业施工技术实训教学的实际应用出发，协同施工企业，构建了虚实结合的实训教学模式，并开发了道路桥梁工程施工虚拟仿真实训教学系统。通过虚拟仿真技术与实训教学有机融合，实现了道路桥梁工程领域高危、高耗能及大型综合、过程不可逆项目的实训教学，丰富了学生实训的内容，提高了学生实训的效果，促进了职业院校教学模式的改革与创新。

关　键　词：道路桥梁工程；虚拟仿真；实训系统

中图分类号：G420　　**文献标志码：**A　　DOI: 10.12179/1672-4550.20190250

Development and Research of Virtual Simulation Training System for Road and Bridge Construction

GAO Wei[1], TIAN Liang[1], LIU Cha[2], YUAN Jinbao[1]

（1. Beijing Vocational College of Transportation, Tongzhou Beijing 101121; 2. Beijing Rui Ge Zhi Technology Co, Haidian Beijing 102303, China）

Abstract: Training teaching based on virtual simulation technology is a hot development direction in the field of vocational education. In order to give full play to the advantages of virtual simulation technology in the training teaching of higher vocational colleges, starting from the practical application of road and bridge professional construction technology training teaching, and with the cooperation of construction enterprises, a practical and practical training teaching mode was constructed and developed. A virtual simulation training and teaching system for road and bridge engineering construction was presented. Through the organic integration of virtual simulation technology and practical training teaching, the practical teaching of high-risk, high energy-consuming and large-scale comprehensive, process irreversible projects in the field of road and bridge engineering has been realized, which has enriched the content of student training and improved the effect of student training. At the same time, it has promoted the reform and innovation of teaching models in vocational colleges.

Key words: road and bridge engineering; virtual simulation practical; training system

虚拟仿真教学是计算机技术、虚拟现实技术、人机交互技术、多媒体技术结合的产物，也是教育领域应用信息技术的一种创新[1−2]。道路桥梁工程具有结构体量大、建设周期长、参与建设单位多、信息量大、综合性强，遇到高危或是极端环境的情况，真实实训无法再现或难以完成的特点。相关教学实验选课学生人数多，专业实训操作复杂，实训费用高，学生实训安排难度大，在实训中学生自我能动性不强。利用虚拟仿真技术结合专业设备构建基于工程实际数据的虚拟环境，将真实的施工现场情境进行“再现”，可以使学生在虚拟场景中进行人机交互，减少理论或实践知识掌握不足造成的设备损坏和安全事故，从而从整体上提高实训项目任务的学习质量[3]；利用虚拟仿真实训系统进行实训教学，能够实现教学资源的零消耗、实训过程的零污染、教学内容的无限化，并且能够提高教学的安全性，显著增加学生动手操作的机会，为提高职业技术人才的

收稿日期：2019−06−20；**修回日期：**2019−10−28

基金项目：高等职业教育创新发展行动计划（2015—2018 年）——道路桥梁工程虚拟仿真实训中心（XM-07_H43_X14279）；中国交通教育研究会 2018—2020 年度交通教育科学研究课题——交通类院校开放实验室建设及运行机制研究（交教研 1802-59）。

作者简介：高伟（1985−），男，硕士，主要从事土木工程领域信息化技术应用研究与教学工作。

培养质量提供更加可靠的保障[4–6]。运用虚拟仿真技术辅助完成高校的实验与实训课程，是近年来教育信息化领域的一个热点方向[7]。

基于以上，本文以道路桥梁工程技术专业为依托，以培养技术技能型人才为目标，开展虚拟施工实训教学研究，设计并开发了道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统，实现了理论和实践教学一体化，构建了虚实结合的实训教学模式。

1　虚拟仿真实训系统总体架构

道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统主要由云服务器、教师端与学生端 3 部分组成，总体架构如图 1 所示。

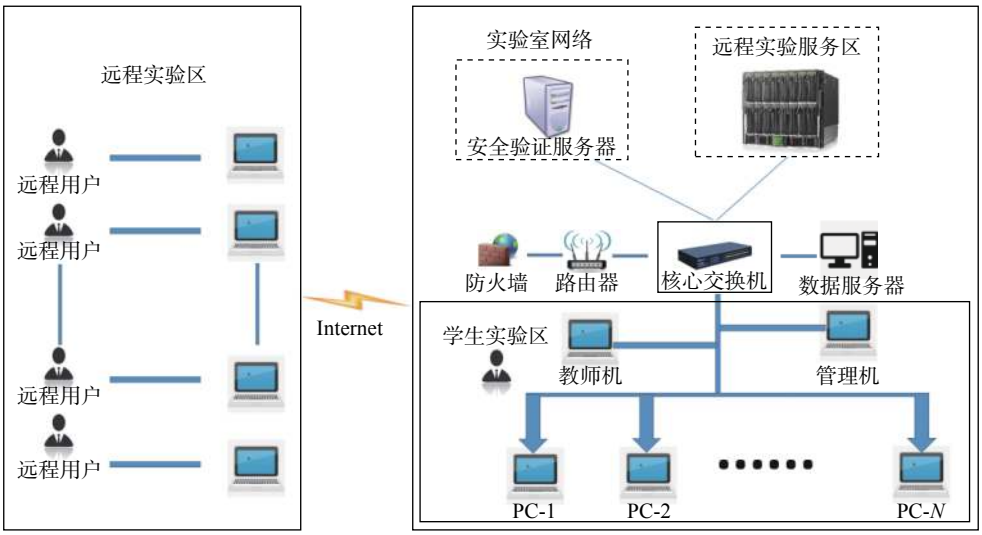

图 1　总体框架

云服务器是整个系统的核心，它不但存储系统中老师、学生信息，学校信息，还记录每次学生考试和训练的信息，这些信息平时供各系统查询和浏览，需要时，可以直接升级为人工智能的大数据系统。对于不同学生的精准数据分析，是专业教师实现“因材施教”的关键因素。教师端用于专业教师教学，主要是播放微课及互动教学内容；学生端用于学生练习，除了微课播放，还有各种知识点的互动。学生端允许学生在任何有网络的地方登陆，进行不受时间和地点限制的学习。

教师端和学生端通过分布式仿真系统(DDS)与云服务器进行数据通信，DDS 不但保证了数据传输的稳定性和可靠性，并且支持多用户并发访问，使整个系统的通信效率大大提高。教师端和学生端 C/S 版本系统使用 Unity3D 图形平台开发，支持动态光阴、全局光照等效果，可以让教师和学生在进行教学和学习的过程中，有更好的视觉体验和身临其境的感觉。规范、图片、视频等全部都搭设在以 Unity3D 为引擎的模式下。

2　虚拟仿真实训系统功能架构

道路桥梁工程虚拟仿真实训系统包括 TIM 云教学系统、3D 仿真实训平台、后台管理系统 3 个应用模块，用于辅助教师教学及学生三维仿真实训，功能框架如图 2 所示。

2.1　TIM 云教学系统

道路桥梁工程施工虚拟仿真系统，依托 TIM 云教学系统为教师提供丰富素材。教师可通过实训任务对每个知识点详细讲解，知识点内容贯穿整个施工周期，使学生熟练掌握该知识点在施工流程中的正确应用，实现了道路桥梁工程施工的实训教学。

教师利用包含完整技术交底、施工准备、施工规范、施工现场视频、开工报告、首件报告等施工过程中所涉及的全套资料及文件的教学资源库进行备课、讲课。以 4D 微课的形式还原施工现场，讲解时可以实现随时暂停播放，可以对三维模型进行 360°自由旋转并且可以进行放大缩小查看，可以对知识点分步查看，并配有语音讲解，且有小画笔可随意添加视频和图片等功能；以施工现场技术交底的形式进行课程讲解，实现了利

用专业的业务流程进行教学，学生通过技术交底确定施工工艺，并根据规范的要求对成品进行检查验收，在对专业知识学习的同时实现了对施工现场工作流程的学习，如图 3 所示。

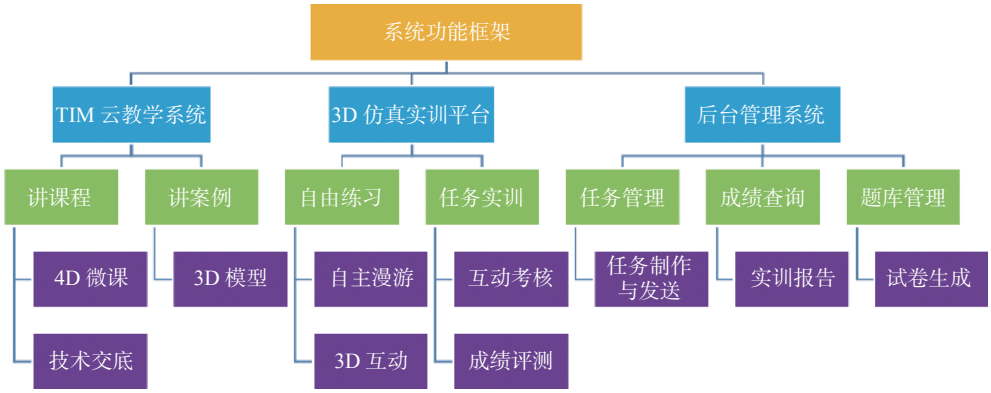

图 2　功能框架

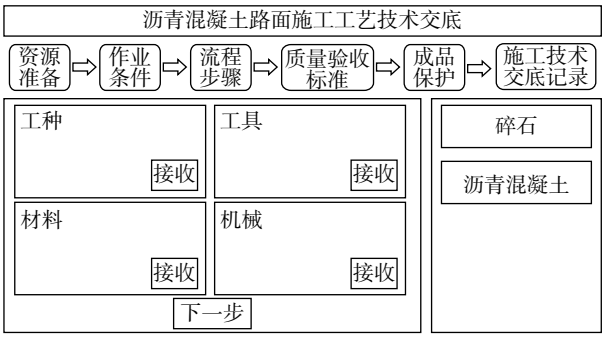

图 3　技术交底

以企业的实际工程数据为基础开发了多套典型案例，案例内容还原施工现场，通过 3D 模型查看、互动等功能，可查看案例细部构造及属性信息，加强学生的感性认识、激发学生的学习兴趣，提高课堂教学效率。

2.2　3D 仿真实训平台

道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统，基于《路基路面工程施工技术》《桥梁工程施工技术》等国家规划教材和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)、《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30-2014)等规范与标准，采用虚拟仿真技术，通过 Untiy3D 等编程开发工具来实现道路桥梁工程中抽象化知识重点和难点的实训教学。系统中包含了路基、路面、桥梁等施工项目的实训。路基路面方面包括土质路基、石质路基、土石质路基、特殊路基、沥青路面、混凝土路面的施工工艺及注意事项等；桥梁方面包含了主流桥型 T 梁桥的下部结构、上部结构和附属结构的完整施工工艺，并且还包含了箱梁桥的挂篮施工和顶推施工，以及梁拱组合桥、特大斜拉桥、悬索桥的主体结构的施工工艺。施工实训内容的设计，充分考虑了学生主观能动性的调动，不仅层层递进，考虑知识性，还要具有适当的趣味性和挑战性，使之成为联系理论知识与实际系统之间的桥梁[8−9]。

学生以第一人称视角，通过鼠标、键盘操作在虚拟施工现场中自由行走，同时可查看路桥的细部构造，可通过点击具体工程部位详细了解该节点内容，以游戏的形式激发学生的兴趣。这种让学生自主漫游学习的模式极大地提高了学生自主学习的积极性，并且用高度还原的大场景代替了现实中的施工现场，让平日里施工危险系数较高且难以见到的桥梁工程完整地展现在学生面前。在技术上，攻克了地形复杂、场景过大难以渲染的问题，并且所有模型人物还原一比一的比例，让学生能够置身于真实的施工现场当中，如图 4 所示。学生利用 3D 仿真实训平台进行预习和练习，通过 3D 互动，模拟还原施工场景，可完成整个施工工艺流程。

设计了多样的考核内容，包括工种、工具、材料、机械、位置、时间和流程，结合相应的图集、规范和规程等学习资料，使学生掌握实训项目中对应的全部知识内容，使学习不再枯燥。学生利用 3D 仿真实训平台完成教师布置的任务后，通过自动评价完成重点、难点考核，最终达到熟练掌握施工技能的目的。

图 4 自主漫游

2.3 后台管理系统

后台管理系统包括任务书管理、成绩查询与题库管理三部分，教师可通过后台管理系统进行任务书制作与发放，学生考核完成后，教师可通过后台管理系统进行成绩查询，同时教师可进行习题的上传与删减。系统对学生操作给予客观的检测评分，减少了学生在实训中对教师的依赖，也使得开放性实训更容易开展[10]。

普通的教学模式采用教师授课、布置作业、批改作业、定期考试和卷面打分的形式，工作量繁重，并且考核形式单一；而后台管理系统则无论是对老师还是学生，都有非常大的改善和优化。

任务书是教师了解学生掌握知识点情况的途径，通过虚拟仿真任务书管理功能可实现学生实时查看教师布置的任务，而且教师可查询每个班级布置任务的情况，使教师对学生的任务管控更严谨。

教师面临学生多、问题复杂等问题，精细化评分系统降低教师的评测难度和工作量，可实时监控了解学生学习情况以及学习成果。学生考核完成后系统会自动生成成绩，能够查看每个考核部分具体得分情况，如图 5 所示，并显示正确答案及答案解析，学生可通过答案解析寻找自己错误，有针对性地进行提高训练；同时后台会收到实训报告，教师可根据学生作答情况进行有针对性辅导，使得教学的效率大幅提升。

图 5 成绩评测

题库由教师设定和管理，可随时批量导入与更新，可使教师随机组卷并一键生成试卷，也可根据具体需求对试题进行上传与删减，使考试不再依托于空间、时间，可实时进行测试，既节省时间又降低了测评难度。

3 虚拟仿真实训系统的特色

道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统，能够显著提高学生对于传统道路桥梁工程施工技术探究的兴趣，提高学生的实践动手能力[11]。虚实结

合的教学模式，加强了职业教育内涵建设，推动了职业教育教学改革[12]。

3.1　构建了完整的实训教学综合体系

TIM 云教学系统丰富的资源内容、3D 仿真实训平台、逼真的人机交互与后台管理系统数据对接，实现了备、讲、练、考、评 5 大教学环节的联动。通过虚拟仿真技术，解决了实训教学中“高投入、高耗材、高危险、难实施、难观摩、难再现”的实训问题[13]，切实提高了学生的综合施工能力。

3.2　综合运用现代信息技术，激发学习兴趣

道路桥梁工程施工虚拟仿真系统，融合多种媒体表现形式，将文字、声音、图像、动画以及人机交互融合一体[14]，力求体现工程数据真实化、场景虚拟化、过程虚实一体化。系统的开发体现了先进性、前瞻性、实用性、可操作性及示范性，使得纯知识性的教学与实训变得更加生动和形象。学生的虚拟终端操作环境与生产实际高度接近，有利于行动导向教学的实施，在这样的虚拟实训环境中学生的职业意识得到了提高，能够更快地融入企业的生产中，切实解决学生实践能力差的问题，加快推动了教育信息化发展和实验教学改革与创新[15]。

3.3　构建了虚实结合的实训教学模式

企业实际的施工现场和实际工程案例结合虚拟仿真实训系统构建了虚实结合的实训教学模式，道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统，在开发的过程中收集的工程案例均来自实际工程，用到的工程数据均为施工企业的实际工程数据，保证了系统的实用性。教学过程中，校企共同制定教学计划，与企业导师共同实施教学。学生在课程的初期进行施工现场参观，课程中期使用道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统进行学习，课程后期结合实际工程案例进行施工方案设计并进行汇报答辩。将来，依托道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统，不仅学校可以开展面向实际生产过程的实训教学，还可以面向施工企业开展员工培训，提高虚拟仿真实训系统的利用率，更好地促进道路桥梁工程领域科学技术水平的发展。

4　案例教学展示与应用效果

道路工程土石质路基填方施工学习过程依据《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)、《公路工程质量检验评定标准》(JTG F801-2017)、《公路土工试验规程》(JTG E40-2007)、《公路路基施工技术规范》(JTG F10-2006)进行施工工艺设计。

首先通过学习对应的 4D 微课，学习工程结构知识及施工功法、工艺，制作填筑方案及施工技术准备；然后依据方案进行测量放样、排水梳干、路基基底清理与掘除、原地面碾压检查、分层填筑压实、分层检测密实度并进行路基整修；再通过人机互动考核深化学习，牢固掌握施工工艺中涉及的人、材、机等关键元素；最后，从资源准备、作业条件、流程步骤、质量验收标准、成品保护和施工技术交底记录，全面学习土石质路基填方施工工艺。

2018—2019 学年第一学期，从道路桥梁工程技术专业中选取两个班级进行了实验，实验结果表明：应用道路桥梁工程施工虚拟仿真实训系统班级比传统教学班级的学生满意度提高了 20.32%，如表 1 所示。学生对土石质路基填方施工知识点的掌握情况较好，在期末考试中对该知识点的得分率提高了 13.76%，如表 2 所示，取得了良好的应用效果。

表 1　学生满意度统计表

	总人数/个	不满意/人数	满意/人数	满意度/%
传统班级	30	9	21	70.00
实验班级	31	3	28	90.32

注：满意度(%)=满意(人数)÷总人数

表 2　学生得分率统计表

	总人数/个	不得分/人数	得分/人数	得分率/%
传统班级	30	8	22	73.33
实验班级	31	4	27	87.09

注：得分率(%)=得分(人数)÷总人数

5　结束语

目前，国内道路桥梁工程领域施工类课程在教学过程中以理论讲解和施工现场参观实习为主，依托基于现代化信息技术构建的实训系统进行面向企业生产过程的教学还处在探索研究阶段。

1)突破客观限制，实现技术技能训练。道路桥梁工程结构复杂、危险性高、极端破坏性大、施工周期过长，无法进行全过程施工现场教学。利用道路桥梁工程虚拟仿真实训系统，突破了道

路桥梁工程施工教学客观条件限制，实现了道路工程、桥梁工程结构及施工工艺的仿真教学，满足了实际的课堂教学需求，提高了学生的学习效果。

2)丰富学习方式，实现主动学习。实现了被动学习向主动学习的转变，提高了学生兴趣，打破了时间、空间对教学的限制，为学生学习提供了更灵活、更便利的条件，极大地提高了学生的入职技术水平，实现了学校与企业的零培训对接。

3)虚实结合，提高学习效果。在实际的教学中，利用虚实结合的教学模式，通过虚拟仿真技术把理论课程中的相关内容融入实训项目中，并结合实际工程案例和数据进行教学。实践结果表明，教学效果得到了大幅的提升。

基于现代化信息技术的虚拟仿真实训也有一定的局限性，教学过程中不能过度地依赖虚拟实训，虚拟实训不能完全取代实际操作，结合小组探究式学习、改进教学评价体系、注重虚拟仿真实训与实习、实践相结合，根据各专业领域的特点，有针对性地选择恰当的虚拟仿真实训项目，才能有效提高学生的实践能力、创新能力和科学素养。

参 考 文 献

[1] 魏丽. 汽车仿真实训教学系统开发及应用[J]. 中国教育技术装备, 2012, 33: 44−45.

[2] 韩芝侠, 魏辽博, 韩宏博, 等. 仿真虚拟实验教学的研究与实践[J]. 实验技术与管理, 2006, 23(2): 63−65.

[3] 林徐润, 段虎. 虚拟仿真技术在高职实训教学中的运用[J]. 深圳信息职业技术学院学报, 2012, 10(2): 21−22.

[4] 尹立孟, 朱光俊, 万新, 等. 钢铁生产虚拟仿真实验教学的建设与思考[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版), 2014(9): 142−143.

[5] 朱冬银, 吴海浩, 李楷. 油田集输系统仿真模型教学软件开发及应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(1): 92−96.

[6] 马文顶, 吴作武, 万志军, 等. 采矿工程虚拟仿真实验教学体系建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(9): 14−18.

[7] 张智焕, 张惠娣. 机械工程控制的虚拟仿真实验教学实践[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(7): 102−103.

[8] SABIH Guzelgoz, HÜSEYIN Arslan. A wireless communications systems laboratory course[J]. IEEE Transactions on Education, 2010, 53(4): 532−541.

[9] ZAHER Dawy, AHMAD Husseini, ELIAS Yaacoub, et al. A wireless communications laboratory on cellular network planning[J]. IEEE Transactions on Education, 2010, 53(4): 653−661.

[10] 成丹, 崔瑾, 鲁燕舞, 等. 生物学野外实习虚拟仿真实训系统构建与应用[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(12): 128−131.

[11] 王琳, 李子夏, 汪峰, 等. 论虚拟仿真实训系统在口腔在实验教学中的应用[J]. 科技资讯, 2016(18): 159−161.

[12] 于双和, 刘祺, 张美薇, 等. 虚拟仿真技术与职业教育教学融合应用研究[J]. 工业和信息化教育, 2015(8): 67−67.

[13] 焦红茹, 谢春梅. 虚拟仿真实训基地在高职教育中的应用探析[J]. 热带农业工程, 2017, 41(3): 78−79.

[14] 包志炎, 方贵盛, 李增芳. 基于项目教学的虚拟仿真实训平台构建[J]. 新课程学习(社会综合), 2011(11): 45−46.

[15] 王卫国. 虚拟仿真实验教学中心建设思考与建议[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(12): 5−7.

编辑 张俊