

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.01.018

欢迎按以下格式引用:勾红叶,蒲黔辉,李小珍,等.土木工程专业实验教学改革与探讨[J].高等建筑教育,2020,29(1):133-139.

# 土木工程专业实验教学改革与探讨

勾红叶,蒲黔辉,李小珍,肖林

(西南交通大学 土木工程学院,四川 成都 610031)

**摘要:**土木工程专业实验教学作为高校人才培养计划中的重要组成部分,是培养卓越土木工程师的关键环节。针对目前土木工程专业实验教学课程体系和实验室管理模式欠完善、实验教学内容陈旧、学生对实验教学不重视等问题,文章提出划分实验教学层次、构建网络实验教学平台、完善实验教学大纲及开设电算课等改革措施,以培养满足社会需求的具有实践能力和创新能力的高素质土木工程专业人才。

**关键词:**土木工程;实验教学;教学改革;高素质人才

**中图分类号:**G642.0;TU      **文献标志码:**A      **文章编号:**1005-2909(2020)01-0133-07

高校实验教学水平是衡量一个学校科研水平、教学水平和学生综合能力的一个重要指标<sup>[1]</sup>。实验教学是理论教学的延伸与拓展,它能将抽象的问题具体化,将课堂理论转化为实际应用。在实验教学中引导学生发现并解决问题,深化学生对理论知识的理解,培养学生的科研兴趣<sup>[2]</sup>。土木工程实验作为高校实验教学体系的重要组成部分,是培养卓越土木工程师的关键环节,它在激发学生兴趣、夯实基础、强化实践及引导创新等方面有着理论教学无法替代的作用。为了顺应科学技术的发展,满足社会对高素质人才的需求,本文在综合分析当前高校土木工程专业实验教学现状,以及学生对实验教学反馈意见的基础上,对土木工程专业实验教学改革进行了探讨。改革路径为:整合实验资源,优化实验项目,构建基础验证型、综合设计型及开放创新型三个层次相结合的实验教学体系<sup>[3]</sup>;通过构建虚拟仿真实验室为学生提供更多实践锻炼的机会;通过开设电算课,指导不同专业方向的学生学习使用有限元计算软件,提升学生理论知识的应用能力;将传统实验教学和多媒体教学相结合,加深学生对理论知识的理解,为学生奠定扎实的理论基础;着力培养学生的实践能力,使学生始终保持严谨认真的科学态度和实事求是的工作作风,为国家输送面向科研事业和实际工程的高水平专业人才。

## 一、土木工程专业实验教学现状

### (一) 实验课课程体系不够完善,缺乏系统的实验教学计划

长期以来,许多教育者一直认为实验教学依附于理论教学,实验教学是理论知识的验证过程,是为

修回日期:2019-04-29

作者简介:勾红叶(1983—),女,西南交通大学土木工程学院教授,博士,主要从事土木工程专业实验教学研究,(E-mail) gouhongye@

swjtu.edu.cn.

理论课程服务的,他们没有充分认识到对学生来说实验教学是直接获得对自然科学规律感性认识的最简单和最直接的途径。重理论而轻实验的教学方式也让学生的动手能力无法得到应有的培养,这一切都不符合理论教学和实验教学并重的人才培养理念。高校实验课程体系不完善,导致本该独立开设的实验课没有独立开课,只能作为课内实验,且课时少,以相关理论课程的验证性和演示性实验为主,缺乏实用性和创新性;各门理论课之间的实验教学内容联系不紧密,缺乏实践性和综合性。学科间没有交叉和融合,致使大部分学生对跨学科知识认识模糊,似是而非,无法实现培养学生综合能力和综合素质的教学目标<sup>[4]</sup>。

## (二) 实验教学内容陈旧,教学模式缺乏创新

高校土木工程专业本科实验主要有工程材料实验、结构工程实验、工程测量实验、水力学实验及土力学实验等<sup>[5]</sup>。长期以来,这类实验受实验资源、环境和师资条件等因素的制约,内容呆板陈旧,各学科缺乏有效的交叉联系。例如混凝土实验就只有与混凝土相关的实验,结构实验就只有与结构相关的实验,二者之间完全独立,互不关联。但在实际工程中,混凝土在不同的结构形式下有不同的受力特性,学生应在实验或实际工程中,根据不同需求设计不同结构形式的构件,充分发挥混凝土材料的性能。但学生往往不能将相关知识进行实际应用,这也是目前实验教学的不足之处。学生的实验课基本上为相关理论课的验证性实验,缺乏将理论课程和实际应用相结合的综合设计型实验和开放创新型实验。例如学生都知道混凝土材料有较强的抗压性能,钢材有较强的抗拉性能,但是在实际工程应用中,学生不能将两种材料灵活结合在一起使用,以充分发挥两种材料的优势。此外,实验教学多年来始终保持传统模式,不符合时代发展的潮流和当代社会对高素质人才的要求。传统实验教学模式以理论教学为主,实验教学为辅,即实验教研室编写详细实验指导书,实验指导书把实验目的、原理、步骤、材料、实验设备及实验现象介绍得十分详细。学生对实验内容不知其然也不知其所以然,但也能根据实验指导书的详细步骤应付式地完成实验任务。传统教学模式本质上缺乏教学层次感,对学生进行灌输式教学,客观上把学生引向形式化、记忆型的学习方式,学生的创造潜力得不到激发,在一定程度上限制了学生创新能力的培养和分析实际问题能力的提升。

## (三) 学生对实验教学重视不够,实验教学考核方式不够严谨

据调查,有相当数量的学生认为,实验教学对他们未来职业发展没有帮助,因而忽视实验教学,对实验课程缺乏积极性和主动性。造成这种现象的原因有两个方面:一是课程设置不合理,实验教学课时不足,以致无法开展综合型和创新型实验,学生缺乏足够的学习兴趣;二是实验课程考核方式不够严谨,无法体现实验课程的重要性。实际情况是,多数学生在实验前没有进行充分的实验预习,实验时仅根据实验指导书草草完成实验,没有认真思考实验过程中出现的问题,更不探究解决问题的方法,甚至有学生通过篡改、拼凑数据完成实验。许多高校实验教学考核又都停留在简单的查阅学生实验报告上,学生是否重视或认真开展实验,并不能在考核环节得到充分体现,这也在客观上助长了学生的消极学习态度。传统实验教学方式难以培养学生的实践能力和创新能力,既浪费了教学课时,也浪费了宝贵的实验资源<sup>[6]</sup>。

## (四) 实验室建设有待加强,实验教学不能因材施教

当前部分高校实验室设备老化陈旧问题突出,但受实验教学经费不足和学校对实验教学重视不够等因素影响而长期得不到解决。实验设备不足,多数实验学生只能通过相关演示视频了解相关的实验过程和实验结果,而不能进行实际的操作,学生实验能力得不到应有的锻炼,无法培养学生的基础实验

技能。此外,实验教师队伍建设存在诸多问题,特别是专职实验教师严重不足。多数实验室由理论课教师兼职实验管理人员,实验室管理混乱,影响了实验教学的顺利实施,也制约了实验教学的改革。由于实验设备短缺和专职实验教师人员不足,实验教学只能采取统一且单一的培养方式而不能因材施教,无法满足不同能力和兴趣学生的个体化学习需求,限制了学生综合素质的提升<sup>[7]</sup>。

## 二、土木工程专业实验教学改革方案

实验教学和理论教学相互依存、相互促进,二者是辩证统一、缺一不可的。通过实验教学改革调动学生参与实验研究的积极性和主动性,提升学生的学习兴趣,为其理论知识的学习奠定扎实的基础。同时也通过理论教学,提高学生的知识水平,反过来指导实验课程的学习。教学改革应始终坚持以学生为根本,以能力培养为核心,知识、能力、素质协调发展的教育理念,真正达到培养学生实践能力和创新能力的教学目的。针对现阶段实验教学存在的问题,提出以下改革措施。

### (一) 划分实验教学层次,梳理教学大纲

土木工程实验教学体系内容繁多,多数理论课程均有一些对应的实验教学内容。将实验教学划分为三个层次:基础型实验、综合设计型实验和创新实践型实验,合理制定实验教学大纲,让学生对基础课程和专业课程有整体认识的同时,兼顾学生的理论课程学习和实践应用能力的培养。应对不同学习阶段的学生,提出不同的学习要求,既能充分利用实验资源,兼顾不同学习能力的学生,让他们学有所获,又能达到引导学生走进实验、了解实验、创新实验的教学目的<sup>[8]</sup>。

第一层次:基础型实验。基础型实验包含验证性和演示性实验。这类实验课程主要面向刚刚接触专业基础课的学生,通过基础实验让学生熟悉实验的基本操作过程和学习基础实验技能<sup>[9]</sup>。例如水力学实验中的管路测压管水头线实验、雷诺实验及沿程水头损失实验等,又或建筑材料中的石料软化系数、吸水率试验和混凝土抗压强度、抗拉强度、静力弹性模量实验等。这些实验的目的就是验证理论教学中各类公式的正确性,让学生熟悉实验的基本操作过程,了解实验的注意事项,增强基本实验意识。在基础型实验教学中,要充分发挥多媒体技术的作用,重视学生基本实验技能和实验思维的培养。实验前,教师应介绍各类基础实验的操作步骤,制作实验过程的3D演示动画,让学生直观了解实验的详情;之后学生再根据实验指导书,在专业实验指导教师的指导下进行实验。基础实验阶段要让学生充分认识到实验的重要性,向学生介绍各类实验在实际生活中的应用,深入浅出地讲解超级工程在修建前所做的各种实验准备,播放各类超级工程视频,拓展学生视野,激发学生学习兴趣,提高学生参与实验的动力。

第二层次:综合设计型实验。此类实验课程主要面向已学习了专业基础课程和专业课程的学生。这部分学生经过一年理论课和基础实验的学习,已有了一定的理论基础,掌握了主要的基础实验技能。综合设计型实验是指学生在自己已有理论知识的基础上,通过查阅相关资料,将原属于理论课的专业实验内容进行整合,自主设计实验方案,并通过小组讨论优化实验方案,最终完成的实验<sup>[10]</sup>。学生通过自主设计实验既能巩固理论知识,又能在实验过程中发现问题、解决问题,锻炼实践能力。以水力学综合设计型实验为例,学生在学习开展水力学管路测压管水头线实验、雷诺实验、孔口管嘴实验、文丘里流量计实验及沿程水头损失实验等基础实验后,就能独立根据实验目的和要求,完成如明渠流速分布实验和孔口管嘴出流系数实验等综合设计型实验。

第三层次:创新实践型实验。创新实践型实验是学生在熟练掌握实验技能的基础上,教师给定实

验目的和实验要求,学生自主设计实验方案,在验证方案的可行性之后进行的实验。完成实验后,学生自主分析实验数据,并撰写实验报告及科研小论文。通过创新实践型实验充分激发学生的学术潜力和创造力,培养学生的创新意识、创新能力及团队合作意识,提升学生自主学习能力和独立工作能力<sup>[10]</sup>。创新实践型实验对有兴趣和有能力的学生开放,不限定年级。但要求学生向专业实验教师提交实验申请并获同意后方能进行实验,以保障学生的安全和实验资源的合理使用。创新实践型实验内容主要源于三个方面:一是学校创新实验教学方案;二是学校教师的科研项目,如疲劳实验、耐久性实验、抗震实验、检测加固试验等;三是学生课外学习中产生的实验需求。以西南交通大学创新实践型实验为例,在桥梁系实验课程教学中设计了一些贴近工程实际、与桥梁结构力学性能分析相关的创新实验方案,为学生提供开展实验的条件。需要指出的是,创新实践型实验要求只给出实验目的,具体实验方案由学生自主设计。目前学校已实施的部分创新实践型实验项目如下。

(1) T型梁桥荷载横向分布实验。研究T型梁桥的荷载横向分布及中横隔板对T型梁桥的荷载横向分布的影响。

(2) 箱梁实验。箱型截面以良好的空间整体受力性能在桥梁上部结构中得到广泛的应用。通过结构在静、动荷载作用下的工作性能研究箱梁结构的力学性能。

(3) 钢—混凝土组合箱梁侧向稳定性测试方法实验研究。稳定性是桥梁设计中重要的参考因素,通过测试了解荷载类型、荷载作用位置、支承条件及钢材材质等因素对梁体稳定性的影响程度。

实验教学按上述三种层次划分,体现了从简单到复杂、从基础到综合逐渐提高学生综合能力的过程。西南交通大学土木工程国家级实验教学示范中心始终秉承起点高、基础厚、重实践、严要求的人才培养原则,提出构建个性化创新实验室的构想。个性化实验室以“有利于张扬学生个性,有利于培养学生工程实践能力,有利于塑造学生探索和创新精神”为指导思想,以综合设计型和个性化创新型实验项目为主体,建立开放的实验教学平台。通过构建基础型、综合型和创新型三个层次的实验课程,实现实验教学与科学研究的有机结合。表1为西南交通大学本科生土力学实验教学中三个层次的实验课程、实验项目和实验模块。

## (二) 构建网络实验教学平台,丰富教学内容

在信息化时代,通过构建网络实验教学平台,搭建教师和学生实时互动的桥梁,弥补课堂教学的不足,拓展教学时间和内容,使学生的学习更加自主、自由和便捷,为学生个性发展,以及学生间的相互交流提供条件。网络实验教学平台包含虚拟实验室、实验教学及实验管理三个模块<sup>[11]</sup>。

### 1. 虚拟实验室

针对土木工程专业实践教学安全隐患大、资源消耗大,交通土建工程高复杂性和时效长等问题,构建学科专业和信息技术深度融合的虚拟仿真实验室,这是未来实验教学的发展方向。虚拟仿真实验室的建设,应充分利用信息化教学资源,依托虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通讯等技术,构建高度仿真的虚拟实验环境和实验对象,实现真实实验不具备或难以完成的教学功能。西南交通大学土木工程国家级示范中心构建了包括建工、岩土、铁道、道路、桥梁、地下六大专业模块和一个公共基础模块的虚拟仿真实验教学体系,建设了30套贯穿土木工程规划、设计、建造、管养、防灾全生命周期的虚拟仿真实验教学系统,开放多层次实验项目达229项。学生可以在课外时间通过虚拟仿真实验室了解实验,并进行实验预习、实验模拟及实验方案的验证等。

表 1 西南交通大学实验课程、实验项目及实验模块一览表

序号	实验课程	层次	实验项目	专业模块			
				桥梁	隧道	道路与铁道	建筑与市政
1	土力学实验	基础型	岩土辨别实验				
2			土的物性指标、土的物理性质实验				
3			压缩实验				
4			直接剪切实验				
5			三轴压缩试验				
6		综合型	土的渗透实验				√
7			粘性土强度及压缩性的实验研究				
8			CBR 实验				√
9		创新型	地基压板实验				√
10			地基静力触探实验				√
11			挡墙土压力的实验研究		√	√	

## 2. 实验教学模块

开设电算培训课程及建立网络教学平台。有限元分析是利用数学近似方法对真实物理系统(几何和荷载工况)进行模拟,利用简单而又相互作用的元素(单元),将一个拥有无限未知量的真实系统模拟为有限数量的未知量的数值计算模型。这种方法被广泛应用于土木工程实践和理论研究上。随着社会和信息化技术的发展,土木工程行业不仅需要懂理论的人才,更需要既懂理论又懂计算的复合型人才。

电算课教学目标是通过对软件的学习,让学生真正明白所学知识与解决工程实际问题的联系。电算课教学大纲主要内容的顺序:一是通过土木工程软件概述与数值计算模型的实现来讲述软件的开发过程和原理;二是通过矩阵位移法的回顾与有限元计算软件各类单元的介绍和用法来讲述有限元软件的开发原理和基本方法;三是通过实际案例的介绍、有限元模型的建立和边界条件的假定来讲述软件应用的基本操作方法;四是通过复杂模型建模、工程实际和课程设计来帮助学生掌握和熟悉所学软件。

学习使用至少两门有限元计算软件,是培养现代卓越土木工程师必不可少的内容。学生应能熟练使用一个与专业相关的专业计算软件和一个通用计算的有限元软件。比如桥梁方向的学生,可以学习 Midas civil、桥梁大师、桥梁博士等计算软件;结构方向的学生可学习 SPA2000 等计算软件。这些软件能很好地模拟施工各阶段的状态,对实际工程有较强的适用性。通用有限元计算软件则能帮助学生在实际应用中进行分析科学研究。

构建网络教学平台是加强师生互动、延展课堂教学广度的有效途径。在实验教学中,很多介绍性的内容可以通过网络教学平台教师录制的慕课,以及其他教学视频图片或文字来介绍,既节省了大量的教学课时,又方便学生课余自学。此外,通过构建教学论坛、教学 QQ 群、微信群等网络交流互动平台,拓宽师生之间交流的渠道,学生可以随时向教师咨询问题,学生之间也可以自由地讨论和交流。师生互动的加强,有利于提高教学效率,也有助于引导学生积极思考,锻炼学生解决实际问题的能力<sup>[12]</sup>。

## 3. 实验管理模块

实验管理模块包含教学大纲、视频录像、实验课程安排、实验预约、实验设备借用与归还、实验方案

审核、实验报告管理、实验成果展示、实验考核及成绩查询等。使用网络教学平台极大地减少了各种行政事务的时间,减轻了学生和教师的负担,使他们能将时间和精力最大限度地投入学习和教学研究。

### (三) 完善实验教学大纲,推进实验教学改革

主要通过教学模式和考核方式的改革,进一步完善实验教学大纲。

#### 1. 教学模式的改革

必须明确的是,实验教学和理论教学应并重<sup>[13]</sup>,实验教学是课堂教学的延伸。在理论教学和实验教学的课时安排上,应设定合理的比例,让学生有足够的时间开展实验。此外,实验指导书是指导实验教学的媒介,在基础型实验教学中,应通过编制详细的实验指导书,帮助学生认识、了解实验<sup>[14]</sup>,让学生对实验产生浓厚的兴趣。在综合设计型实验和开放创新型实验教学中,要逐渐淡化实验指导书的作用,让学生根据实际需要自主选取实验仪器、制定实验步骤、观察实验现象和分析实验结果,着力培养学生自行查阅文献,并独立设计实验方案的能力。在教学过程中要有意识地从以教师为主导转变为以学生为主导<sup>[15]</sup>,构建讨论—引导—讨论—验证的实验教学模式,充分发挥学生的潜在能力。

#### 2. 考核方式的改革

传统实验考试方式只重视笔试成绩和操作考试的结果,而忽视对学生实践能力、创新能力、分析和解决问题能力以及表达能力等的考核,考核方式过于单一,也不全面。实验预习是开展实验前的重要环节,但也往往是现行实验教学模式中最容易被忽视的环节,应加大对实验预习的审核力度。学生在申请实验的时候,必须有完整的实验预习方案。在评定学生实验综合成绩时,要兼顾实验预习、实验操作、实验报告、实验成果汇报及笔试成绩等多个方面,使实验考核既客观全面,又能让学生重视实验课。图1为实验成绩评定标准。

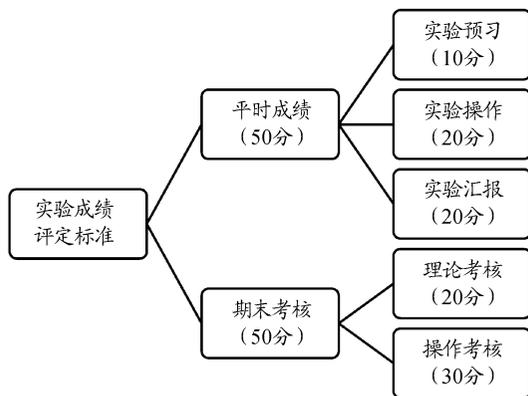


图1 西南交通大学实验成绩评定标准

## 三、结语

土木工程专业是一门实践应用性较强的专业,学生的专业理论知识应在实践中得到巩固,应用能力应在实践中得到提高,专业素养也应在实践中得到培养。21世纪土木工程建设对专业人才提出了更高的要求,高校实验教学只有遵循社会发展规律,积极进行改革创新,才能始终保持活力,满足社会对高素质人才的需求。

#### 参考文献:

[1] 门进杰,史庆轩,钟炜辉,等. 土木工程专业改革与建设实践[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(5): 31-35.

- [2] 翟诚, 贾艳东, 孔祥清, 等. 材料力学实验教学改革探索[J]. 实验室科学, 2015, 18(6): 155-157.
- [3] 章敏, 董晓强, 郭昭胜. 科研课题引入土木工程实验教学的探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2017, 26(4): 104-107.
- [4] 张建良, 卢慧芬, 赵建勇, 等. 基于学科交叉融合的创新性实验平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(1): 173-176.
- [5] 杨凤, 刘军, 高金贺, 等. 土木工程专业实验教学改革与实践研究[J]. 高等建筑教育, 2014, 23(5): 110-114.
- [6] 李富荣, 荀勇, 孙锡元. 大数据背景下土木工程专业实习网络平台的构建与成效分析[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(6): 184-187.
- [7] 李琮琦, 肖鹏, 张靖静. 土木工程专业本科系列实验教学平台的构建[J]. 结构工程师, 2011, 27(S1): 215-218.
- [8] 贾福萍, 王玥. 建构土木工程专业翻转课堂教学模式促进创新人才培养[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(4): 51-57.
- [9] 孙旭峰, 陶阳. 土木工程专业结构力学课程实验教学实践探讨[J]. 高等建筑教育, 2013, 22(5): 133-136.
- [10] 余玲玲. 土木工程专业实验教学考核模式的改革与实践[J]. 实验室科学, 2016, 19(1): 109-112.
- [11] 鲁正, 上官玉奇. 基于本科生导师制的新工科人才培养探究——以同济大学土木工程学院为例[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(2): 1-4.
- [12] 张婷婷, 王宝民, 陈廷国, 等. 面向卓越工程师的土木工程专业实验教学方法研究[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(6): 189-191.
- [13] 邵晓蓉. 基于“四位一体”的土木工程实验教学改革与实践[J]. 大学教育, 2016, 5(7): 152-154.
- [14] 杨艳敏, 郭靳时, 王勃. 土木工程结构实验教学体系的改革与实践[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(2): 66-67.
- [15] 黄显彬, 邹祖银, 廖曼, 等. 土木工程材料课程试验与创新——以水泥混凝土抗渗试验为例[J]. 高等建筑教育, 2017, 26(2): 119-123.

## Reform and discussion on the experimental teaching of civil engineering

GOU Hongye, PU Qianhui, LI Xiaozhen, XIAO Lin

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P. R. China)

**Abstract:** As an important part of the talent training plan for colleges and universities, civil engineering experimental teaching is the key link for cultivating excellent civil engineers. At present, the curriculum system and laboratory management pattern of civil engineering experimental teaching is not perfect, the experimental teaching content is outdated, and the students do not pay attention to experimental teaching. In view of this, some teaching reform measures have been put forward, such as dividing experimental teaching level, constructing network experimental teaching platform, improving the experimental teaching syllabus and opening computer course. It is aimed at cultivating high-quality talents with practical ability, creative ability and satisfying social needs.

**Key words:** civil engineering; experimental teaching; teaching reform; high-quality talents

(责任编辑 王 宣)