

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.01.019

欢迎按以下格式引用:杨溥,贾传果,刘立平,等.工程实验与理论教学的融合方法研究[J].高等建筑教育,2020,29(1):140-147.

工程实验与理论教学的融合方法研究

杨溥,贾传果,刘立平,郑妮娜,夏洪流

(重庆大学 土木工程学院,重庆 400030)

摘要:针对土木工程课程专业理论与工程实验密切结合的特点,分析目前专业理论课程和实验课程教学中普遍存在的问题,提出工程实验与理论教学相互融合的教学方法,探讨教学内容的调整优化、典型实验项目的选取、考核方式以及教研实验平台的建立和利用等教学改革措施,并分别以土木工程专业课、工程结构试验课程为教学案例,细致描述了该教学方法的主要思路和关键实施步骤,从学生撰写的实验报告、课后讨论反馈等方面列举学生在创新思想和专业素质方面的收获和启发,从而验证工程实验与理论教学融合取得的良好效果。

关键词:土木工程;工程实验;理论教学;教学改革

中图分类号:G642.423;TU-4

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2020)01-0140-08

土木工程类高校培养方案中,一般包含理论教学和实验教学两部分内容,两者相互影响和促进。工程结构试验课程是推动专业基础理论发展的主要手段,有助于学生夯实专业基础、理论联系实际,提高科技创新能力,实验环节实质上是创新型人才培养的重要部分。以培养复合型土木工程专业人才为目标,以实验课程为平台,创新教学方法和教学思路,积极展开教学改革,才能真正实现教学相长,推动教学质量的提高。

重视实践已成为当前中国工程教育的一项重要任务,不论是基于《华盛顿协议》教育互认的要求,还是“卓越工程师”计划的推行,实践都是核心教学环节。因此,面对诸多专业课程,如何将工程实践、实验教学与理论教学有效融合是目前高校教学普遍讨论和广为关注的焦点之一,也是本科和研究生教学改革面临的一大难点。以建筑结构抗震设计课程为例,该课程的目的是培养学生具备一定的结构抗震计算理论基础,掌握基本的抗震设计原理,能从事普通房屋结构抗震设计工作。这门课程集成了结构力学(尤其是动力学)、地震学、荷载与结构可靠度原理、结构基本原理等理论课程,涉及的概念较为抽象、计算方法繁琐难懂。针对当前教学中存在的问题,如何利用工程实验有

修回日期:2019-07-12

基金项目:重庆大学研究生重点课程建设项目(201805024);重庆大学研究生专业学位教学案例建设项目(201802018)

作者简介:杨溥(1969—),男,重庆大学土木工程学院教授,博士,主要从事防灾减灾工程研究,(E-mail)yangpu@cqu.edu.cn。

效促进课程学习、培养学生独立思考和解决问题的能力,是需要积极探索的问题。

针对土木工程专业课程的特点,结合工程结构试验,分析目前工程实验和理论教学现状及存在的主要问题,提出工程实验与理论教学相互融合的教学方法,系统探讨相应的教学内容、实验项目、考核方式等教学改革措施,并通过工程结构试验教学案例分析进行验证。

一、工程实验和理论教学现状分析

目前实验教学和理论教学尚存诸多问题,不仅源于学生对实验教学的认识度和重视度不足,更主要的是和高校专业培养方案的要求、教师的教学理念、实验室的硬件条件、教学方式、实验组织和管理等因素有密切关系。对于土木工程专业的结构抗震设计课程和结构实验而言,主要体现在3个方面。

1)“压缩课时,提高效率”的教学改革使各专业课程的理论教学课时不断减少,如何有效安排教学内容并在有限的教学时间让学生掌握专业课程的精髓,为将来从事该领域工作准备必要的专业知识已成为当前理论课程教学改革与建设面临的主要问题^[1]。

对于结构抗震设计课程而言,其中重要的一章为结构减震控制,教学内容有隔震原理与方法、减震原理与方法、结构主动控制初步等,该类技术已在实际工程中得到广泛应用,但分配的相应课时仅为1~2学时,仅靠课堂教学根本无法透彻讲述这些原理和设计方法,只能大致列出结构控制的分类、特点及应用概况。学生毕业后碰到该类设计和施工问题仍需重新自学,严重制约了该门课程的教学效果和应用前景。如何弥补这个短板,是一直需要探索的问题,依靠课外引导学习和必要的实验不失为弥补此短板的有效方式。实验教学是对专业理论知识的补充和验证,但目前绝大多数学生不重视实验课,其原因在于教师和教学管理人员仍受传统教育理念的束缚,不愿投入更多的时间去思考和实践,未能形成具有特色的实验教学模式。教师不转变教育思想、教育理念,不能与时俱进,就不能构建新的实验教学模式,课堂的枯燥陈旧造成学生重知识轻技能。

2)囿于实验室硬件条件,目前普遍以验证性、演示性实验居多,学生参与度几乎为零,学生发现问题和解决问题的能力及创新能力受到限制。

由于实验室面积和实验经费有限,实验仪器设备陈旧,台套数偏少,即使有些院校购买了新设备,学院也没有充分考虑教学方面,而是重点考虑科研。在实际操作过程中省去了很多实际工程中必须处理的步骤,如设备调试、仪表使用、线路连接、数据采集、结果整理等,这些步骤是在课本中没有出现的,但在将来的工作中又必定会遇到。实验教学和考核中缺乏相应的刺激措施,没有给学生参与实验方案构思、设计、制作和对结果分析的机会,学生只需按照实验指导书列出的实验目的、实验内容、实验步骤操作,并在相应的表格填写数据即可。

另外,实验教学方法大多为灌输式教学,缺少互动,学生动手操作机会较少,限制了学生发现问题和解决问题的能力及自主性和创新性^[2-3],导致学习积极性不高。大多数高等院校的实验课时偏少,特别是单独的实验课程开设比例偏低,学时偏少,实验内容交叉重复,缺乏实验课程之间的关联性^[4]。

3)理论课程和实验教学脱节,不能有机结合和融会贯通。实验教学的组织和管理不当。土木工程专业课程的实验内容复杂,被动灌输式的实验教学使学生来不及消化,加上学生对实验的兴趣及积极性不高,长此以往教师的目标是完成教学任务,学生的目标是完成实验教学作业(实验数据处理、实验报告撰写等),在实验过程中没有得到启发思考^[5-9],完成数据处理和实验报告后,缺少集中讨论和总结环节。

二、教学内容和方式改革研讨

针对上述工程实验和理论教学存在的问题,首先应注重培养教师和学生的工作学习态度,充分认识到实验教学是专业理论课的有效提升和拓展。教师要精心设计实验方案,注重实验过程,严格要求实验过程及实验结果。教师应以身作则,培养学生实事求是、严谨认真的科学态度。在此基础上,对教学内容、方法和考核方式进行改革。

(一) 改进教学内容,优化实验项目

充分利用课余时间,课前安排学生有针对性地查阅文献资料,了解相关知识点或技术的特色和应用现状,适当自学相关原理和推导相应的公式,从而弥补课堂教学课时的不足。另外,改革实验教学内容,注重培养学生的研究和创新能力,为提高学生的实验动手能力,培养学生科研能力,尽量减少验证性实验,增加综合性、设计性、研究性实验,突出创新能力的培养。同时采取必要的手段激励教师增加研究性、启发性的实验内容。

(二) 改革实验课程的考核与评价方式

在大多数工程类高校中,考核方式主要根据平时作业、测验、考勤及期末集中考试评定课程的最终成绩,实验部分成绩所占比例非常小甚至可忽略不计,自然导致学生重视理论学习而轻视实验教学。因此,课程考核中应加大实验成绩所占比重,并以论文撰写、答辩、主动提问及集中难点研讨等方式,全面培养学生的科学研究综合素养。

(三) 加强与科研融合的实验平台建设

土木工程专业实验主要针对材料及结构受力性能,这类实验以典型工程为背景,给出工程的主要技术特点,引导学生查阅相关的文献资料以深入了解工程概况和具体参数,增强学生对结构实验的重视程度,提高学习的积极性。实验指导教师对学生在实验中遇到的困难给予帮助,对操作上的错误及时给予必要的启发和指导。

学校应大力搭建实验平台,教师和研究者共同提出实验项目及细则,供学生根据自己兴趣自由选择,按项目报名分组。在对应项目教师的指导下,分小组开展实验,对实验过程中的疑惑,教师应为学生耐心讲解。实验后学生分析实验现象,对实验数据进行处理,探讨分析结果,完成实验报告,集中对比研讨和反思。工程实验与理论教学融合教学方法示意框图见图1。

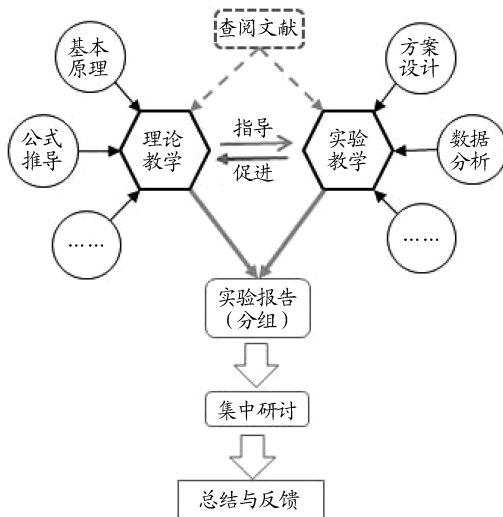


图1 融合教学方法示意框图

三、教学案例分析

为充分发挥理论教学和结构实验有机结合的效果,选取土木工程学院为本科生开设的专业课程——结构抗震设计方法和为研究生开设的实验类课程——工程结构试验技术为例,说明教学改革方法、具体措施和教学收获。

(一) 结构抗震设计专业课程

以重庆大学 2015 级土木工程学院卓越工程师班(以下简称卓越班)为研究对象进行了试点探讨。针对结构抗震设计课程中结构减震控制的知识,以结构减震试验为契机,利用实验室的小型振动台进行实验(Quanser Shake II,见图 2)。振动台是加拿大 Quanser 公司为高等教育和振动研究机构使用而特别研发的第二代振动台,由小型振动台、功率放大器 UPM、数据收集卡和配套的 Q4 终端扩展板、紧急停止按钮和相应的电脑控制程序 QUARC 组成。另外,利用实验室的加速度传感器等数据采集设备,安排结构减震技术之调谐质量阻尼器(Tuned Mass Damper, TMD)试验研讨课。



图 2 小型振动台装置

调谐质量阻尼器 TMD 作为被动控制技术之一,在生产实践中不断得到应用^[10-12],是最常用的一种被动控制系统,在结构物顶部或上部某位置加载惯性质量,并配以弹簧和阻尼器与主体结构相连。TMD 作为一种被动控制方式,其构造简单、易于安装、维护方便、经济实用,且不需外力作用,具有其他方式无法比拟的优点,因此,在高层建筑风振控制、桥梁及海洋平台振动控制等领域得到重视。

TMD 控制系统由主体结构和附加在主结构上的子结构组成。附加的子结构具有质量、刚度和阻尼,通过调节子结构的自振频率,使其尽量接近主结构的基本频率或激振频率。当主结构受激振而振动时,子结构会产生一个与主结构振动方向相反的惯性力作用在主结构上,从而减小主结构的响应,减轻结构构件的损伤。

TMD 形式有多种,实验中 TMD 主要针对水平单摆,将砝码用细绳悬挂于单层单跨钢框架上,实验原理如图 3 所示,模型实验见图 4。其中框架梁处 $M_0 = 2\ 000\text{ g}$,调谐质量 M 分别取 100 g 和 200 g ,通过改变吊绳的长度调整单摆的自振频率,将其调整至主结构自振频率附近,以改变结构共振特性,同时调整砝码的质量,以达到最佳的减振效果。

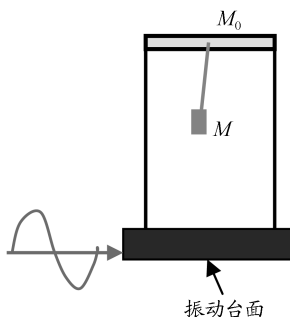


图 3 实验原理图

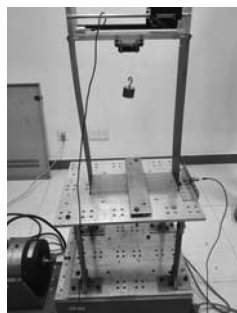


图 4 模型实验

为弥补课堂授课时间的不足,首先引导学生利用课外时间查阅 TMD 技术的相关文献资料以了解其应用现状,如,美国波士顿 60 层的 John Hancock 大楼、中国台北 101 大楼、澳大利亚的悉尼电视塔和中国广州电视塔等工程应用。同时,要求学生推导单摆自振周期的理论计算公式,掌握 TMD 减震原理,从而确定单摆的最优摆长计算公式。结合结构减震试验,帮助学生更直观地了解 TMD 技术应用于结构的减震效果和结构动力反应的相关知识。

TMD 理论在高层建筑抗震、高耸结构风振控制以及桥梁振动控制方面取得许多成果。合理选取质量、刚度系数、阻尼比及在被控结构上的位置是成功使用 TMD 系统的关键,围绕这些参数进行系统最优设计。

参加 TMD 减震控制试验的卓越班学生共 28 人,分 4 组(每组 7 人)。首先,通过输入白噪声,测定普通框架结构的自振频率 $f(f=1.461 \text{ Hz})$ 。为便于观测,仅输入正弦波,即 $y=A\sin(2\pi ft)$,其中 $A=1.0 \text{ m/s}^2$,每组采用不同的频率 f ,分别进行普通结构(即质量 $M=0$)、TMD 结构(即 M 分别取 100 g 和 200 g)动力试验。实验结果对比见表 1 及图 5。

表 1 结构减震效果对比表

组别	输入频率 f/Hz	结构顶点最大加速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$		
		$M=0$	$M=100 \text{ g}$	$M=200 \text{ g}$
1	1.410	1.350	0.869	0.327
2	1.465	4.730	0.514	0.403
3	1.520	3.200	0.510	0.500
4	1.540	2.460	0.734	0.543

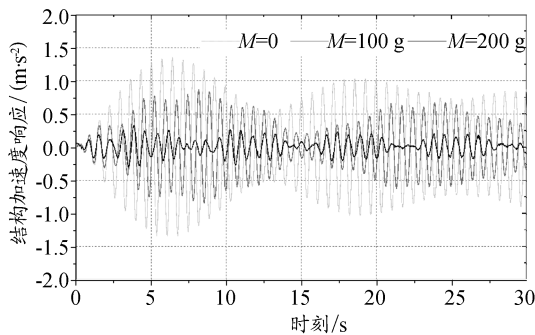


图 5 结构减震效果对比(第 1 组加速度响应)

通过实验,对比分析结构顶点加速度反应,由表 1 可明显地看到 TMD 减震效果,图 3 绘制了结构顶点加速度时程曲线,让学生直观了解整个结构的振动过程。从实验报告和实验反馈中,可发现工程实验与理论教学融合的教学效果良好,主要收获和启发反映在以下方面。

1) 每组学生全程参与,分工明确(如查阅资料、推导公式、单摆摆长设计、拍照、处理数据及撰写报告等),协作完成。从每组报告中,都发现了 M 的不同,减震效果不同的普遍规律,仅从每组实验数据(表 1)来看,似乎质量 M 越大,减震效果越好,但学生的实验报告中均指出并非 M 越重减震效果越好,这是难能可贵的,主要因为自学了 TMD 减震原理和单摆自振频率的计算公式。

第 1 组学生事先依据框架结构的质量 M_0 和刚度,计算结构自振频率,掌握了单摆式 TMD 理论自振频率计算方法,从而根据 TMD 减震理论得到单摆的理论最优摆长。即对于自振频率为 1.465 Hz 的结构,其单摆的最优摆长为 4.07 cm。在巩固理论知识的同时,提高了实验效果,也极大增强了主动学习的积极性。

2)第2组学生在实验观测及数据处理过程中,发现自己组的结构顶点加速度时程曲线(图6)与其他组的曲线(图5)规律不同,敏锐地察觉到所在组的结构发生了共振现象,并主动与文献[11]中的图形进行对比分析,说明这是有阻尼结构的共振现象,如果是无阻尼结构,结构振动将无限增大。

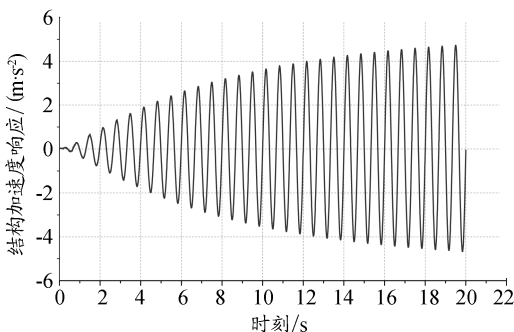


图6 结构顶点响应时程曲线(第2组)

3)学生主动学习 MATLAB 编程软件来处理测试数据,各组采用 Excel、Original 等工具软件绘制插图,以获取更佳的效果。

4)此次实验没有延续传统上交实验报告给出考核成绩的习惯,而是组织学生讲述实验过程,总结收获得失。教师启发大家进行4组之间的数据和图像对比,绘制结构振幅-频率特征曲线(图7),并与文献[10]和文献[11]中的图片进行对比分析,从而巩固了动力学知识,加深对结构共振概念与原理的理解。

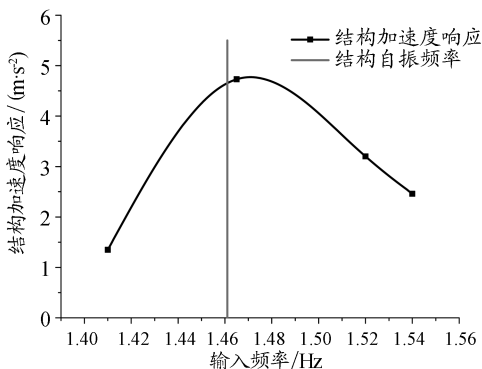


图7 振幅-频率特征曲线

此次实验与理论教学融合课以卓越班为试点,首次探索了专业课程的实验教学模式和方法,得到土木工程学院的大力支持,受到卓越班学生的一致好评,让学生熟悉以 TMD 为主的结构被动调谐减振控制装置在建筑中的应用,更能理解建筑抗震和减震控制技术的重要性。

(二) 工程结构试验技术课程

工程结构试验技术课程是土木工程专业硕士研究生的一门重要必修课程,教学内容主要包括建筑结构试验的基本理论、实验仪器、仪表和设备的操作规程以及结构试验测试技术与方法,通过学习获取该专业领域所必需的实验基本技能和结构检测能力。

对结构试验技术课程已开展了诸多教学内容及方法的研讨,但多数聚焦于土木工程本科教学,目前多数课程进行的都是演示性实验,学生参与度不高,如何针对硕士研究生开展该门课程的教学改革,是目前研究生教学改革关注的焦点之一^[7]。近年来,在教学内容、教学方式及考核方法等方

面进行了探讨,对实验课程和专业课程的融合教学展开深入研究,具体包括:

1. 课程基本教学内容

教师课堂教学部分共 8 学时,主要讲述建筑结构试验的基本理论、实验仪器、仪表和设备的操作规程以及结构试验测试技术与方法等,并充分利用最新科研项目的图片、动画、振动台实验录像等资料,聚焦于结构动力、抗震、减震控制等技术及其实际应用展望,以提高课堂教学质量。

2. 融合教学方法

在课程基本教学内容的基础上,采用项目分组教学法,根据具体研究方向分组,选取与每位导师科研相关的最新研究题目。每组题目经授课教师确认后,以 20 min 左右的多媒体课件在课堂上讲述,内容包括该课题最新的研究现状和文献综述、编制实验大纲、实验技术准备工作(如试件制作、预埋传感元件、实验装置、安装和调试标定实验设备以及相关材料性实验等)、具体实验过程(如采集并记录实验数据、实验观察等)以及实验数据分析与总结,该部分主要偏重于实验技术自身讲解。在小组汇报结束后,其余小组学生或教师针对试件的受力简图及机理、结构破坏模式等提问,由答辩组成员解答。表 2 给出了近两年来的课程分组表。

小组实验题目都是最新的结构研究前沿课题,包括建筑工业化装配式建筑、韧性设计方法、结构抗震及减震技术等。通过工程结构试验技术和专业课程的融合,进一步拓宽学生的研究视野,培养学生发现关键问题、深入思考问题和解决工程实际问题的能力,得到师生一致好评。

表 2 实验课程分组表

学年	小组	题目	人数
2017—2018 学年	1	特高压输电塔体的风洞试验	8
	2	钢框架-组合楼板结构试验方案	8
	3	组合结构-栓钉连接件试验	9
	4	自复位框架柱脚抗震性能试验	7
	5	暗梁配箍对空心楼盖板柱节点抗冲击性能影响的试验研究	8
	6	新型圆钢管约束混凝土柱-混凝土梁中节点抗震性能试验研究	7
	7	钢屋盖卸载阶段制作焊缝处剪应力分析研究	8
	8	典型山地掉层框架结构抗震性能拟静力试验	9
	9	防屈曲支撑试验	5
2018—2019 学年	1	新型圆钢管约束 RC 柱-RC 梁中节点抗震性能试验研究	8
	2	自复位工字钢梁试验与抗震性能分析研究	8
	3	轻钢墙体层间连接抗侧性能影响试验	8
	4	轴力水平对套筒浆锚连接柱的抗震性能影响	7
	5	低风压导线气动特性风洞试验	8
	6	模拟酸雨大气环境下 Q420B 高强钢输电角钢腐蚀疲劳性能试验研究	5
	7	小车过桥检测桥梁损伤试验	8
	8	工业建筑钢管混凝土柱的地震火灾耦合研究试验	8

相应地,该实验类课程的考核方法也由单一集中考试或实验报告转变为集中考试与平时成绩

组合、学生自评与教师评价相结合,从实验方案、测试方案、数据处理等方面进行考评,兼顾文献综述、研究报告及成果等。充分利用课内外时间,从文献资料、实验方案、实验装置和实验方法等方面总体考虑和集中讲述,完成课程学习,收到良好的教学效果。

四、结语

工程类高校对于专业课程的教学,强调结构受力原理、基本概念和设计方法,不仅应保证课堂理论教学质量,避免满堂灌的传统教学模式,同时应加强理论教学和实验教学操作的融合性和创新性,通过设置必要的实验项目,充分发挥学生主动学习和查阅文献的能力,利用精心设计的实验课程,引导和启发学生主动思考,培养其分析和解决问题的能力,开放实验室培养学生的探索精神,以实现土木工程实验教学改革与实践目标。对于实验类课程的教学,在强调实验方案设计、测试方法的同时,重在领会实验目的、实验原理等,做到融会贯通。

参考文献:

- [1] 杨溥,李英民,夏洪流,等.《建筑结构抗震设计》教材修编与创新[J].高等建筑教育,2012,21(2):45-47.
- [2] 金亮星,郑国勇.基于土木工程专业创新型人才培养的土力学课程教学改革与实践[J].高等建筑教育,2019,28(2):53-57.
- [3] 杨凤,刘军,高金贺,等.土木工程专业实验教学改革与实践[J].高等建筑教育,2014,23(5):110-114.
- [4] 马魁,许立强,付明琴.基于卓越工程师需求的土木工程专业层次化实践教学体系探索[J].教育现代化,2019(26):122-124.
- [5] 李飞,陈湘赞,张飞.加强建筑与土木工程专业学位研究生绿色建筑教育教育的尝试[J].教育教学论坛,2019(20):30-33.
- [6] 陈云,韩健刚,杨东全,等.土木工程结构试验的教学改革研究[J].高等建筑教育,2014,23(4):133-136.
- [7] 杨溥,刘立平,贾传果.工程结构试验技术专业硕士课程教学改革研讨[J].高等建筑教育,2016,25(3):55-58.
- [8] 彭苗.土木工程专业结构试验课程教学改革实践[J].大学教育,2017(10):36-39.
- [9] 杨毅刚,唐浩,宋庆,等.企业视角下新工科建设与工程教育改革[J].高等工程教育研究,2018(3):18-23.
- [10] 施卫星,王梁坤,严俊,等.改进的自调频单摆式TMD的减振性能研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2018,46(2):40-45.
- [11] 施卫星,何斌,李晓玮,等.一种新型调谐质量阻尼器的试验研究[J].振动与冲击,2015,34(12):207-211.
- [12] 李英民,杨溥.建筑结构抗震设计[M].重庆:重庆大学出版社,2016.

Research on combining method of engineering experiment and theoretical teaching

YANG Pu, JIA Chuanguo, LIU Liping, ZHENG Nina, XIA Hongliu

(School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: According to the characteristics of close combination of professional theory and engineering experiment of civil engineering, based on the general existing problems during current course teaching, a teaching approach of combination of engineering experiment and theoretical teaching is proposed and related measures about course content modification, selection of typical experimental projects, checking method, and establishment and utilization of teaching and research experiment platforms are discussed. Taking civil engineering specialized courses and engineering structure experiment course as teaching cases, the main ideas and key implementation steps of the teaching method are described in detail. Students' gains and inspirations in innovative ideas and professional quality are listed from experiment reports written by students and discussion and feedback after class, so as to verify the effect of the proposed method.

Key words: civil engineering; engineering experiment; theoretical teaching; teaching reform

(责任编辑 周沫)