doi:10. 11835/j. issn. 1005-2909. 2024. 03. 015

欢迎按以下格式引用:闫渤文,周旭,杨庆山,等. 融合工程实践项目的风工程类实验教学探索[J]. 高等建筑教育,2024,33(3):123-129.

融合工程实践项目的风工程类实验教学探索

闫渤文, 周　旭, 杨庆山, 刘　猛, 谢　强, 黄国庆, 韩　军, 郑妮娜

(重庆大学 土木工程学院,重庆　400045)

摘要:根据目前土木工程专业课实验教学现状,从重视程度、硬件条件、组织管理和考核方式四个方面分析存在的问题,提出以解决实际工程项目问题为主线的实验教学方法,采用"学生为中心,小组为单位"的教学模式,优化成绩评定标准,引导学生建立系统的知识体系,激发学生积极参与实验探索的兴趣和动力。以风荷载实验教学为例,讨论了教学改革方案的实施情况。从课后反馈可以看出,该教学方法培养了学生分析解决问题和团队协作能力,并明显提升了学生的科研创新能力,教学效果较为显著。

关键词:工程实践项目;风工程;实验教学;教学改革

中图分类号:G642　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1005-2909(2024)03-0123-07

土木工程专业具有明显的工科特点,强调综合性和实践性。创新型和综合型土木工程专业人才的培养,不仅要求学生掌握扎实的理论基础知识,同时还要求学生具备发现问题、分析解决问题、综合设计和创新实践能力。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和高校工程教育认证的关键环节[1],有助于学生夯实基础理论知识、提升创新实践能力,同时也是衡量学校科研水平、教学水平和学生综合能力的重要指标[2]。目前,实验教学存在弱化、形式化、理论教学和实验教学结合不紧密等问题[3-5],学生缺乏相关工程实践经验,仅仅通过传统的"填鸭子式"课堂理论教学,难以对理论知识进行综合运用。充分利用高等院校大型科研仪器设备平台,结合实际工程案例系统化地开展实验教学,强化实验教学在人才培养中的作用,是目前高等院校普遍关注和讨论的焦点问题之一,也是高等教育教学改革研究面临的重点和难点。

以重庆大学土木工程学院本科生专业基础课荷载与结构设计方法中的建筑结构抗风设计为例,探索风工程类实验教学方法。该课程的目的是培养学生具备一定的结构抗风分析理论基础,掌握抗风设计原理,熟悉风洞实验抗风研究方法,并结合行业规范从事简单建筑结构的风荷载受力分析。该课程集成了空气动力学、随机振动学、结构力学等理论课程,同时又涉及风洞实验基本理论

修回日期:2022-08-23

基金项目:教育部第二批新工科研究与实践项目(E-TMJZSLHY20202144);重庆大学本科实验教学改革项目(2021S14);重庆大学土木工程学院教学改革研究项目(TMJG201807);重庆大学本科教学改革项目(2023Y20);重庆大学研究生教学改革项目(CQU230319)

作者简介:闫渤文(1989—),男,重庆大学土木工程学院副教授,博士,主要从事防灾减灾工程研究,(E-mail)bowenyancq@cqu.edu.cn。

和实验方法，知识面广而分散，相关概念和假定晦涩难懂。将实际工程项目和实验教学有机地结合起来，相互融合促进，引导学生建立起系统的知识体系，培养学生分析解决问题的综合能力，值得积极研讨。

基于土木工程专业课的特点，分析目前实验教学中存在的主要问题，提出以解决实际工程项目问题为主线，并结合理论教学内容系统性地开展实验教学的改革探索，并通过风工程实验教学案例实践加以验证。

一、教学现状分析

目前本科生风荷载实验教学主要存在以下几个方面的问题。

(1)风荷载因其随机性、作用机理复杂、作用现象难以观测等特点，是教学过程中学生最难以理解和掌握的知识点之一。与土木工程重力、压力等传统的荷载作用相比，风荷载作用具有显著的学科交叉特征，从Davenport风荷载链[6]可以看出，风荷载在工程实践运用中涉及较多基础课程，如流体力学、空气动力学和结构(动)力学、气候学、随机振动学等，知识面广而分散、逻辑性不强，如图1所示。仅仅靠传统枯燥乏味的课堂教学，学生难以建立起系统完整的知识体系，往往“知其然而不知其所以然”，难以运用相关知识分析实际工程问题。特别是对于随机振动学和空气动力学，虽然教学过程中涉及的专业理论深度较浅，但由于其理论性强、不易掌握，且土木工程专业学生没有相关的知识储备，直接跳过该部分内容又容易造成学生对风荷载的理解不深入，甚至无法理解的情况，严重影响教学效果[7]。

图1 Davenport风荷载链

(2)高校普遍存在重理论轻实践、重科研轻教学的现象，实验教学未得到充分的重视，教学经费投入和课时分配不足。

风洞实验室作为承担国家级或省部级纵向科研基金和重大工程项目抗风研究的大型科研实验平台，投资额较大，基本在百万级或千万级，建设的初衷和定位主要着重于科研和学科建设发展，使用群体主要集中于高校教师、硕士和博士研究生，以及其他相关科研人员[8]，实验教学功能一般未纳入其重点考量的范围。风洞实验室一般同时承担着多个学科方向的实验研究，例如工程结构抗风防灾、城市风环境和风资源利用等，纵向科研课题及横向服务项目较多，难以抽出独立的时间开展本科生实验教学。

高校实验课程体系不完善，实验教学被软化、弱化甚至逐步走向形式化[9]，未得到足够的重视，实验教学所分配的课时严重不足。以荷载与结构设计方法课程为例，实验教学仅分配4课时，低于总课时的20%。在如此短的课时内，要求学生熟悉风洞实验室并进一步独立开展风洞实验几乎不可能，因此，通常的做法是将本科生带到风洞实验室参观，简要介绍实验室的构造、功能、仪器设备及所完成的风洞实验项目。该做法缺乏系统的讲解，“走马观花”式的实验教学并不能产生较好的教学效果。

(3)实验设备硬件条件和教学人员不足。

风洞实验室的仪器设备大部分是较为精密的贵重进口设备，种类多但数量少，主要面向于科研

项目,采购初期一般未考虑实验教学的需求,基本为单机形式,且一旦操作不当易损坏,维保周期长、费用高,仪器设备损坏风险大,管理成本高、责任大。面对数量庞大的本科生群体,较难保证每个学生都有实操的机会。

长期以来,高等院校特别是“双一流”建设高校中实验技术岗位人员与教学科研岗位人员待遇方面有一定差异,科研工作在高校教师工作绩效中占比较高,使得较少有教师愿意投入专业实验教学一线工作,而专业实验教学岗位人员编制较少,以重庆大学风洞实验室为例,目前仅有1名专业实验教学人员。高校内实验教学人员严重不足,且教学队伍不稳定、结构不合理、缺乏长远规划和培养[10]。

(4)考核方式不合理,无法对学生起到充分的约束和激励作用。

实验教学考核内容主要包括相关基本实验原理的理解和运用、实验操作、实验数据分析处理,以及实验报告撰写等,考核内容体现出实践性、真实性和全面性特点,以期对学生的实验开展情况进行监督和促进[11]。一方面,实验教学仅占总成绩较少的一部分,且考核结果往往和理论课程学习成绩的挂钩,难以引导学生积极主动地投入实验课程;另一方面,实验教学考核方式单一,如仅根据上课考勤或实验报告的撰写情况进行成绩评定,不能完全反应学生在实验教学课程中表现出来的综合能力,特别是实验报告存在较为普遍的抄袭现象,实验数据、实验结果和分析结论雷同,无法区分学生是否认真参与了实验,为此,仅以实验报告来考核学生会严重挫伤认真做实验学生的积极性[12]。

二、实验教学改革实践方案

基于以上实验教学现状和存在的问题,为充分发挥实验教学在高等教育体系中的重要作用,从实验项目设计、组织方式和成绩评定标准等方面进行改革。

(一)加强重视,优化实验教学项目内容

首先,无论是教师还是学生,应从思想上加强对实验教学的重视,作为课堂理论教学的延伸和补充,特别是土木工程这种专业实践性较强的理工学科,实验教学应和理论教学并重,需优化教学课时安排,提高实验教学课时所占比例,让学生有足够的时间开展实验。

其次,优化现有实验教学项目内容,减少验证型、演示型实验,提升实验教学项目的综合性、设计性和探索性。土木工程学科着重培养学生解决工程实际问题能力和工程设计能力,实验教学作为联系理论课堂知识和实践运用之间的纽带,实验教学项目的设置应以问题为导向,提升学生投入时间开展实验探索的兴趣。对于类似风工程这种具有典型学科交叉特点的教学内容,学生面对广而分散的知识点往往无从下手而感到茫然,从而失去学习兴趣,通过参与带有问题属性的实验教学项目,激发学生积极探索欲望,并将知识点中的重要部分联系起来,有助于建立起系统性的知识体系,在解决实际工程问题的过程中提升成就感,培养分析和解决问题的能力,达到“知行合一”的培养目标。

(二)改革实验教学组织管理方式

面对人数众多的本科生群体,可通过分组的方式控制每个实验项目中的学生人数,采用“学生为中心,小组为单位”的模式,在数量有限的实验设备条件下保证实验教学开展的质量。根据以解决某一典型实际工程问题为目标所需的实验内容,合理细分出若干实验子项目,一个教学班级分组的数量与实验项目的数量一致。考虑到仪器设备台套数和实验场地有限,特别是对于大型科研设备平台,基本为单机形式,各小组同时开展实验具有较大的难度,而实验教学课时又非常有限,因此

每个小组仅选择一个实验项目开展实验，各小组之间实验内容互不相同，但均属于同一实际工程问题中的一部分，是一个有机的整体，可通过课堂汇报讨论的方式将各部分联系起来。

实验室应在每学期或每一学年为实验教学提供足够的、固定的连续使用时间，而不是一味地向纵横向科研项目让步，实验教学项目开展的时间可安排在学期末的教学活动周，学生在时间上具有较大的灵活性，不受其他课程安排和考试的干扰，实验教学项目可连续开展，提升实验室的利用效率，减少实验场地的占用时间。

实验教学是将学习的主动权交还给学生自己，其难点不在于教师的讲授，而在于对学生实验开展过程中的引导和监管。针对目前实验教学人员不足的问题，可充分整合利用现有资源，如鼓励具有一定实验经验的高年级研究生或博士生参与实验教学监督管理，保障人员和设备的安全。

（三）改进成绩评定标准

成绩评定标准是一面旗帜，对实验教学的开展具有重要的引导作用，应提高实验部分成绩所占的比例，引起学生的重视。实验成绩的评定需全面综合反映学生在利用理论知识解决实际工程问题过程中所表现出来的综合素养，如创新思维、团队协作能力、发现问题和分析解决问题的能力等。成绩的评定应采用灵活多样的方式，如成果汇报、答辩、学生互评等，不再拘泥于“标准答案”，鼓励学生查阅课外文献资料，完善实验方案和成果报告，对比分析实验结果，培养基本的自主科研能力。

三、教学实践案例分析

为充分体现实验教学改革方案具体实践细节和教学成效，以重庆大学土木工程学院本科生专业基础课荷载与结构设计方法中的建筑结构抗风设计为例进行试点探讨说明。

（一）实验教学组织管理

实验教学中的实验项目从实验室已完成的横向科研项目中转化而来，每学年更新一次，具有显著的工程背景，同时可利用现有实验模型，减少教学经费支出。根据Davenport风荷载链，风工程问题均可从风环境、风荷载和风响应三个方面进行风洞实验抗风分析，因此每学年实验项目的更新主要体现在工程背景和实验模型对象的不同。以CAARC高层建筑抗风分析为例，该项目需确定B类地貌条件下建筑模型的风荷载作用特征和风致振动响应，可分解为B类地貌边界层风场模拟、刚性模型测压和气弹模型测振三个风洞实验项目，如表1所示。学生结合自身兴趣，按照“自愿选择、合理调配”的原则分为三个对应的实验小组，每个小组的学生人数基本一致，10人左右。各小组根据所选取的实验项目所需解决的实际问题进行组内分工，拟定实验方案，包括实验目的、实验方法、实验模型及仪器等内容，并在课堂上通过PPT展示汇报，各组学生可现场提出问题和建议，展开讨论，指导教师控制讨论的节奏和方向，在关键问题上进行把关，引导学生不断细化完善，形成可执行开展的实验方案。

（二）时间和人员安排

实验教学安排于学期末的教学活动周，即在学期内所有课程和考试结束之后，使学生有整块充裕的时间参与实验教学项目。课堂理论教学结束到实验教学开始之前的时间内，学生有足够的时间对实验方案进行论证、优化，并利用课余时间到实验室参与科研实验辅助工作，开阔科研视野，同时学熟悉实验流程和仪器设备的使用，为实验项目的开展做准备。

实验室在新学期开始前预留一周的实验教学使用时间，供各组开展实验项目。实验以学生自主开展为主，教师引导为辅。同时，为保障人员和设备的安全，需加强对学生的实验过程监管。针对目前实验教学管理人员的不足，改革结合重庆大学学术型硕士和博士研究生培养方案中对“三助

表1　各组实验内容概要

项目	组1	组2	组3
实验名称	B类边界层风场模拟	刚性模型测压实验	气弹模型实验
实验目的	调试出满足B类风场风速和紊流度剖面	测定CAARC建筑模型表面风压分布	测定CAARC建筑模型风振响应
实验设备	TFI Cobra风速仪、三轴移测架	皮托管、电子压力扫描阀	TFI Cobra风速仪、加速度传感器、激光位移计
实验内容	利用尖劈、粗糙元等被动模拟装置调试目标风场，与规范要求的理论值对比分析吻合度	设计加工实验模型，连接扫描阀和各测压管道，测定模型在不同风偏角下的表面风压分布	设计加工实验模型，调试模型弹性参数，测定模型在不同风速下的位移和加速度响应

一辅”的学时要求：硕士生至少120学时、博士生至少200学时，让熟悉风洞实验开展的硕士生和博士生参与实验教学管理工作，规范本科生实验操作，及时发现、制止、排除安全风险，保障实验教学安全有序开展。

（三）成绩考核评定方式

采用“小组+个人”的考核方式，通过PPT课堂答辩的方式并结合实验成果报告书，从文献拓展阅读、实验方案、实验数据处理分析等方面对小组进行考核，考察小组自主学习、分工协作、运用基础理论知识分析解决问题等方面的综合能力；个人考核主要采用个人工作汇报的方式，考察学生在实验项目开展过程中的参与程度和个人收获。小组和个人均采用互评的考核方式，每个学生的成绩根据小组得分并结合个人表现确定，培养学生团队协作能力和集体荣誉感。

各组学生按照既定实验方案开展风洞实验，严格遵守实验室的安全管理制度，规范操作仪器设备，并对实验照片、实验结果和实验现象如实记录。各组学生克服困难，顺利圆满地完成了实验项目内容，图2—图6为部分实验图片。

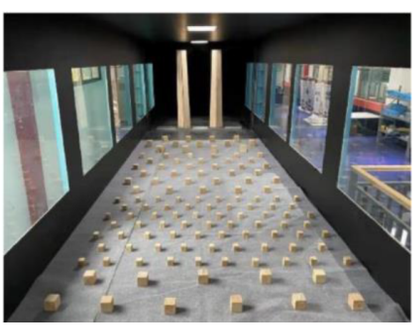

图2 边界层风场模拟实验

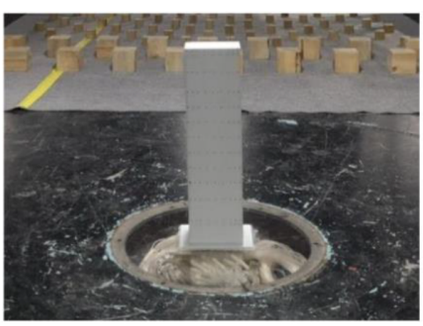

图3 刚性模型测压实验

图4 气弹模型实验

第1组学生在调试B类大气边界层风场的过程中，发现无论怎么调整尖劈和粗糙元的排列组合方式，底部区域的风速均偏大，通过查找文献、专著、论文等，尝试采用在风洞地面铺设地毯的方式，最终调试出了符合规范要求的风速和紊流度剖面。第3组学生在完成既定实验内容的情况下，针对在7 m/s左右实验风速下，气弹模型进入涡激振动锁定风速区间，振动幅度较大，学生们充分发挥想象力，通过指导教师的引导并结合文献资料，在模型表面粘贴条形附属物，改变模型气动外形，大幅度减小了模型风致振动响应。

各组实验项目属于同一个工程问题中的一部分，相互衔接，是一个有机的整体，如边界层风场的模拟是刚性模型测压和气弹模型测振实验开展的风场条件基础；而刚性模型测压实验得到的模型表面风压数据可通过理论公式计算出风振响应，与气弹模型测振实验结果形成交叉对比验证，如

图5 学生学习仪器设备操作

图6 学生连接扫描阀

图7所示。通过课堂展示、成果互评的考核方式，各组之间相互讨论交流，不再囿于所在小组的实验内容，有利于建立起系统的知识体系，完整地掌握针对于实际工程抗风问题的实验研究方法。

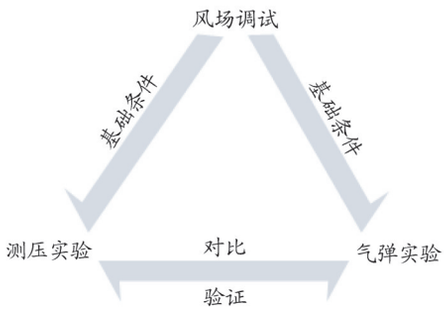

图7 实验项目关联图

学生表示，结合实际工程问题开展的风洞实验项目让自己在参与中充满目标感和成就感，不仅激发了自己参与实验的激情，而且增加了自身的团队协作能力和创新探索意识。实验教学开展过程中采用“学生为中心、小组为单位”的教学模式，让学生掌握学习的主动权，虽然充满困难和挑战，但学生一一克服并坚持到最后，在此过程中加强了对理论知识的理解和运用，提升了发现问题、分析问题和解决问题的能力，同时培养了创新思维意识。在课堂展示和成果互评中，学生自学数据分析软件对实验数据进行处理，并通过图表的方式汇报交流，增强了学生数据处理、成果整理和语言表达能力，提升了综合素质。

四、结语

工程类高校应重视实验教学在人才培养中的作用，保障足够的时间和人力物力投入，避免形式主义。实验教学项目的设置应结合实际工程问题，激发学生兴趣，充分调动学生的积极性，引导学生自主学习探索，在完成实验项目的过程中，锻炼其分析和解决问题的能力，并加强对课堂理论知识的理解和运用，建立起系统的知识体系，培养综合型土木工程人才，以期实现实验教学改革的目标。

参考文献：

[1] 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.
[2] 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.

[3] 刘俊生,周明贵,刘小翠,等. 加强实践环节培养创新人才[J]. 实验室研究与探索,2006, 25(10):1183-1185,1193.
[4] 陈六平. 关于当前实验室管理及实验教学中若干问题[J]. 实验室研究与探索,2009,28(1):152-156.
[5] 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.
[6] Davenport A G. The application of statistical concepts to the wind loading of structures[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers,1961,19(4):449-472.
[7] 马文勇,尉耀元,谷玉荣,等. 本科生风工程教学方法探索[J]. 教育教学论坛,2012(31):118-120.
[8] 许福友,张哲,姜峰,等. 高校风洞实验室本科生实验教学[J]. 科技创新导报,2009,6(29):151-152.
[9] 余世策,蒋建群,万五一. 高校本科生风工程探究性实验的教学实践[J]. 实验室研究与探索,2016,35(5): 162-165.
[10] 宋永臣,杨明军,刘卫国,等. 本科生专业实验教学研究探讨[J]. 实验室研究与探索,2014,33(2):161-165.
[11] 吴巧云,李仁治. 以工程教育认证理念为导向的土木工程实验教学体系改革探讨[J]. 高等建筑教育,2020, 29(3): 159-167.
[12] 王承鑫,徐龙军,张天伟."新工科"背景下实验教学改革的探讨[J]. 高等建筑教育,2019,28(2):101-105.

Exploration of wind engineering experimental teaching integrating engineering practice projects

YAN Bowen, ZHOU Xu, YANG Qingshan, LIU Meng, XIE Qiang, HUANG Guoqing, HAN Jun, ZHENG Nina

(School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: To solve the problems encountered in the civil engineering courses pertinent to the experimental tests, this study analyzes the existing problems from the aspects of attention degree, hardware conditions, organization management and assessment methods. And an experimental teaching method to solve the practical engineering project problems was proposed. The teaching mode of "student as center, group as unit" optimizes performance evaluation standards, guides students to establish a comprehensive knowledge system, and stimulates the interests of students and motivations to actively be involved in the experimental investigations. Taking the experimental teaching of wind loads as an example, the implementation of the teaching reform program is discussed in detail. The results show that the proposed teaching method could cultivate the ability to analyze and solve practical problems in engineering practices, teamwork spirits and scientific innovations, and the teaching effects are quite remarkable.

Key words: engineering practice project; wind engineering; experimental teaching; teaching reform

(责任编辑　邓　云)