

# 钢结构多功能教学实验平台的研制与实践

王伟,赵宪忠,郭小农,陈以一

(同济大学 土木工程学院,上海 200092)

**摘要:**从实验装置的研制、实验教学组织等方面介绍了同济大学在国内率先构建土木工程钢结构多功能教学实验平台的实施过程。该实验平台将先进的实验设备与技术、前沿的科技成果和工程中的实际问题引入本科生、研究生的钢结构教学实验之中,培养了学生的实践能力和创新意识,收到良好效果。

**关键词:**教学实验;实验平台;钢结构;本科教学;研究生教学

**中图分类号:**TU391-4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2009)02-0102-03

实验教学是土木工程专业本科教学和人才培养的关键环节,它具有其他教学环节不可替代的重要作用。作为实验教学得以有效实施的载体,教学实验平台建设已逐渐成为土木工程专业教学改革与研究的重点。

钢结构是土木工程最重要的专业课程之一,各高校土木工程专业均开设有此课程,课程体系大体包括钢结构基本原理和建筑钢结构设计两部分。钢结构教学一般以理论讲解为主,辅以习题及课程设计,而在与课程相配套的教学实验环节上十分缺乏。与此同时,另外一门土木工程方向的专业技术课程——建筑结构实验主要以使学生获得结构试验方面的基础知识和技能为目标进行课堂讲解,中间穿插的若干实验课时多以应变片粘贴、电桥连接、仪器标定等操作技能训练为主,适当进行钢筋混凝土简支梁的静载实验演示,对于钢结构构件和节点的基本性能实验则尚未开展。目前的现状表明,作为土木工程专业教学实验平台必不可少的组成部分,钢结构教学实验平台的建设已成当务之急。

为适应新形势下高等土木工程教育的发展需求,我们在985工程二期建设经费的支持下,结合同济大学钢结构国家级精品课程和国家级教学团队的建设要求,在国内率先研制并构建了钢结构多功能教学实验平台。该实验平台具有实验项目多样化、实验装置可调化、实验系统集成化、测试手段精细化、实验模式多层次化和实验演示生动化的特点,从而保证了教学改革的科学性、系统性、规范性和高效性,其目的是使学生通过实验加深对钢结构基本概念和基本理论的理解,对钢构件和钢结构连接的实验技能进行训练,同时培养学生的创新意识与创新能力。

收稿日期:2009-01-24

基金项目:同济大学“985”工程二期建设项目;国家精品课程和国家级教学团队“钢结构”建设项目

作者简介:王伟(1977-),男,同济大学土木工程学院博士,主要从事结构工程研究,(E-mail)weiwang

## 一、研制内容与方法

### (一) 多用途钢结构反力架设计

反力架是钢结构教学实验平台的核心部件。从方便进行不同尺度的模型实验考虑,我们设计了若干承载能力可调的自平衡反力架,包括演示性实验反力架和设计性实验反力架,以适应不同的教学实验形式。前者根据是否设置中央竖向立柱,承载能力可达1000kN至2000kN不等;后者根据学生设计性实验的特点,承载能力设置为100kN。此外,在该反力架上既可进行钢结构构件实验,也可进行钢结构连接实验,具有多种用途的特点。由于反力架采用自平衡体系,大大节省了额外开设实验室地槽的成本。

教学实验相对于研究型实验来说具有试件更换频繁的特点,故为了使试件安装便捷,反力架各节点均采用螺栓连接,柱上孔位的模数化使得横梁在立柱间可实现无极升降调节,且易于拆装和移动。反力架顶部设置有小型电动吊机或手摇式吊机,大大方便了试件的安装与更换。

为保证钢结构教学实验的安全性,反力架前还特意配置了透明的防护挡板,可有效防范构件失稳或螺栓弹出等突发破坏模式下的不可预见风险。

### (二) 实验系统的集成化设计

对于演示性实验,该平台的实验系统将反力架、单双向作动器、液压泵站、液压传感器及管路、工控机等单元融为一体,并装备有国际先进的独立强数据采集系统,加载与测试系统完备。对于设计性实验,该平台的实验系统集成了反力架、小型机械式千斤顶、荷载传感器、应变显示仪、荷载显示仪等单元,并设计了不同单元的连接系统,便于学生独立动手操作。

### (三) 先进测试手段的应用

实验平台对传统的结构实验测试手段进行了一系列改进,自研制或自开发了若干新型精细化测试仪器,保证了教学实验测试结果的精度。例如,针对钢结构构件失稳时变形较大的特点,研制了大量程拉线电阻式位移计,克服了传统导杆式位移计测试精度的不足;当测点变形较大时,一维测试往往无法准确得到目标点的真实单向位移,因此开发了二维位移测量方法和相应的位移传感器。目前这些成果均已申请了相关专利。

### (四) 实验项目的设计

在夯实实验平台硬件基础的同时,我们还以项目设计为抓手,大力加强软件建设。针对不同层次

的教学实验要求,分别设计了基础性实验项目和综合设计性实验项目。基础性实验项目包括工字型截面、T型截面、L型截面、十字型截面柱的整体稳定、工字型截面柱的局部稳定以及工字型截面梁的整体稳定实验;设计性实验项目包括截面型式对轴心受压柱整体稳定性的影响、长细比对轴心受压柱整体稳定性的影响、钢材强度对轴心受压柱整体稳定性的影响、约束条件对轴心受压柱整体稳定性的影响、加载方式和边界约束对梁整体稳定性的影响、加劲肋对梁腹板局部稳定性的影响、焊缝连接和螺栓连接的传力特点和破坏模式以及连接方式对梁柱节点转动性能的影响等。

### (五) 虚拟模型实验、多媒体及网络技术的应用

由于钢结构教学实验平台每学年需承担学校土木工程专业500余名学生的教学任务,受实验场地限制,每名学生不可能参加所有实验项目。为保证实验教学内容的完整性,我们采用实体建模的方式,在电脑程序中再现各类截面的钢结构构件形式、失稳模态以及复杂节点的构造方式与传力机理。然后在特定的程序环境中实现对虚拟模型的三维观察(包括缩放、平移、旋转等),必要时还可通过点击模型上的特定部件对其进行拆解和细节观察。

部分实验还通过多媒体技术制成动画进行演示,手段简单清晰,节省课时,提高了教学效率。此外,钢结构教学实验平台还利用校园网络将实验内容、实验课件和实验数据链接到院系主页,以便学生在进入实验室前对实验内容、要求及仪器有较全面的了解并作好充分准备,实验后及时动手处理实验数据,总结实验结果。

## 二、实验教学的组织与实施

钢结构教学实验平台的教学工作主要围绕同济大学国家级精品课程钢结构的同步必修课——钢结构基本原理实验展开。该课程面向全校土木工程及相关专业的学生开设,每学年500余人修学。

根据钢结构教学实验平台建设的总体指导思想:可动手性、可设计性、可研究性,在教学组织上采用了以下形式以满足基础、综合、创新3个不同层次的需要,从而避免了实验的低层次重复,逐步构筑了从简单到复杂、从单点到多点,循序渐进的钢结构实验教学体系。

### (一) 基础层次的教学实验

适用于一般本科生教学,主要以认知性、演示性

和技能操作性实验为主。认知实验中学生观看实验录像、参观并感性认识典型钢构件及连接的实物特征和破坏形态,初步了解钢结构的实验流程和方法。演示性实验则以稳定和连接这两个钢结构基本原理课程的教学难点为突破口,开设钢结构构件稳定性能与钢结构连接工作机理的验证性实验,着重让学生观察破坏模式,处理实验数据,解读实验现象;同时进行规范化实验操作程序的训练。

### (二)综合层次的教学实验

适用于学有余力的本科生教学,主要以突出学科知识综合运用的实验为主。学生可根据预先设定的实验目的,自己独立制定实验方案,利用小型切割机和焊机加工实验模型,并动手完成实验。如对比不同截面型式、长细比、端部约束条件等参数对构件整体稳定性的影响,不同构造方式对节点转动能力的影响等。通过该类实验培养学生独立思考、综合运用所学知识解决实际问题的能力。

### (三)创新层次的教学实验

适用于优秀本科毕业生及研究生的创新课题研究,以设计性、研究性实验为主。学生可结合大学生创新性实验计划项目或毕业论文选题开展具有一定探索意义的工程实验研究,如新型构件或节点的性能实验、低周反复拟动力实验等。该类实验着重在更高层次上引导学生进行创造性思维,通过自主选题、自设方案,实验与分析相结合等手段完成将所学知识向应用转化的训练,培养学生的创新意识和创新能力。

## 三、教学效果与应用范围

钢结构教学实验平台研制成功并投入使用后,完善了钢结构课程的教学模式,受到学校土木工程专业师生的普遍欢迎。教师精心设计的钢结构教学实验项目融合了力学基本理论与钢结构工程实践背景,实验中坚持启发式、讨论式的教学模式。一个学年的教学实践表明,学生对钢结构实验兴趣浓厚,主动参与热情高涨。他们一方面通过该教学实验平台加深了对钢结构基本理论的理解,另一方面也开阔了学术视野,加快了从书本走向工程实践和科学研究步伐。

该实验平台不仅满足了学校土木工程专业500余名本科生的钢结构实验教学任务,同时,通过向工程力学等相关专业开放教学实验、为大学生创新实践训练计划(SITP)项目提供实验场地和设备,以及支撑本科生毕业论文实验等方式,最大限度的提高了实验室的利用率。目前,钢结构教学实验平台作为土木工程专业教学实验平台的重要组成部分,已成为钢结构领域本科教学、研究生培养和科学研究的多功能实验基地。

### 参考文献:

- [1] 萨布尼斯. 结构模型和试验技术[M]. 北京:中国铁道出版社,1989.
- [2] 沈祖炎,陈扬骥,陈以一. 钢结构基本原理(第2版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 朱高峰. 论我国高等工程教育的问题与对策[J]. 高等工程教育研究,1998(4):56-60.

## Development and practice of multi-functional teaching experiment platform for steel structures

WANG Wei, ZHAO Xian-zhong, GUO Xiao-nong, CHEN Yi-yi

(Department of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** We described the implementing procedure of a multi-functional teaching experiment platform for steel structures in civil engineering developed by Tongji University in terms of the innovation of test set-up and the practice of teaching experiment. It is the first teaching experimental platform for steel structures in P. R. China, integrating advanced test facilities and technology, state-of-the-art research outcome and practical engineering issues into teaching experiments for undergraduates and postgraduates. Favorable feedbacks show that this platform helps students to foster practice ability and creative consciousness.

**Keywords:** teaching experiment; experiment platform; steel structure; undergraduate teaching; postgraduate teaching

(编辑 周虹冰)