

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2022.05.019

欢迎按以下格式引用:赵必大,王建东,刘代春. 钢结构实验教学改革[J]. 高等建筑教育,2022,31(5):151-157.

# 钢结构实验教学改革

赵必大<sup>1</sup>,王建东<sup>1</sup>,刘代春<sup>2</sup>

(1. 浙江工业大学 土木工程学院,浙江 杭州 310023;2. 烟台新天地试验技术有限公司,山东 烟台 264003)

**摘要:**土木工程结构试验是一门重要的专业课程,按材料主要分为钢结构和混凝土结构两部分。针对当前钢结构部分实验教学重理论轻实践、实验内容少、无法加强理论教学效果、学生动手实践环节少等问题,从教学方法、教学内容等方面进行教学改革探索。在实验教学方法上,强调学生自主性,利用社交信息平台增加师生互动环节。在教学内容上,提出将钢梁受弯试验从演示性实验改为学生自主设计的破坏性试验,以增强理论教学效果,如对梁的整体失稳、局部板件屈曲等概念的理解。此外,提出在整体结构试验中增加将构件装配成整体结构的实践环节。教学改革的目的在于提高钢结构课程的实验教学质量,进而提高钢结构理论和课程设计实践的教学效果,为强化学生的动手能力、工程能力和创新能力培养提供参考。

**关键词:**土木工程结构试验;破坏性试验;实验教学;教学改革

**中图分类号:**TU391;G642.42 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2022)05-0151-07

随着我国经济实力的提升和工程科学技术的发展,新材料和新型结构体系在土木工程中得到了广泛应用。其中,以各种钢材建造的钢结构可用于各种复杂的建筑结构体系。当前,钢结构建筑工程呈现建筑造型新颖、结构体系复杂化的发展趋势,建筑结构和施工领域对从业者的要求也越来越高,硕士研究生和本科毕业生正逐渐成为这两个领域的中坚力量。

从业人员的工作能力、学习并接受新技术能力及综合素质均与其在校期间的培养密切相关。然而,土木工程专业本科教育面临的一个突出问题是毕业生的质量越来越难以满足用人单位实际要求,大部分用人单位反映当前的大学生普遍存在结构概念认识欠缺、设计思路不清晰等问题。非985高校的硕士研究生导师也反映学生存在专业基本功弱、动手能力差、创新意识差等问题。这不仅影响了本科教育发展,也不利于后续研究生教育,学校培养的本科生难以胜任工程结构复杂化背景下的设计和施工工作。很多用人单位和硕士研究生导师一致反映本科毕业生创新能力和意识

修回日期:2020-12-24

基金项目:浙江省高等教育“十三五”第二批教学改革研究项目(jg20190077);教育部2019年第二批产学研合作协同育人项目(201902302007)

作者简介:赵必大(1976—),男,浙江工业大学土木工程学院副教授,博士,主要从事钢结构、高层建筑结构、结构抗震研究,(E-mail) zhaobida@126.com。

差,导致当前本科毕业生质量不佳的一个重要原因是大学生实践能力培养方面有所欠缺,因此,需要在课程教学中加强实践能力的培养。实验教学是本科阶段实践能力培养的一个重要环节,但当前土木工程结构试验课程教学存在一些问题<sup>[1-5]</sup>,如课程内容实用性不高、教师知识技能水平有待提高、考核方式单一等。钢结构是土木工程重要且相对难学的专业课程,包含理论教学和实践教学两部分。理论教学的内容包括钢结构的构件、连接节点和结构设计,实践教学包括课程设计、毕业设计、实验教学。为让学生全面掌握钢结构设计的基本方法,毕业后能较快胜任钢结构的设计与施工工作,已有研究从理论教学、课程设计和毕业设计角度,对钢结构课程的教学方法提出了一些改革建议<sup>[6-10]</sup>。本文从钢结构实验教学的角度出发,提出其面临的一系列问题并探讨改革措施。

## 一、钢结构实验教学的特点及其面临的问题

浙江工业大学土木工程专业建筑工程方向与钢结构相关的课程包括钢结构基本原理(48个课时)和钢结构设计(40个课时+1周“钢结构课程设计”实践)2门必修课,以及公共(大跨)建筑设计选修课(32个课时)。根据土木工程专业认证的要求,3门课程调整后依次安排在第5、6、7学期。与钢结构有关的实验教学则主要安排在土木工程结构试验和结构自主试验这两门课程中,与钢结构相关的实验教学内容包括钢材拉伸试验(材料力学实验教学内容)、钢梁弯曲静力试验、角钢桁架静力试验、单层门式刚架静力试验、小尺寸多层钢框架的动力性能试验。其中,角钢桁架静力试验和单层门式刚架静力试验属于结构自主试验。然而,随着用人单位对毕业生的要求越来越高,当前的钢结构实验教学越来越难以适应创新型人才培养的需要,也不利于强化学生实践能力的培养,钢结构实验教学面临的问题主要体现在以下几个方面。

### (一) 教学理念上依然“重理论、轻实践”

尽管越来越多的教师已开始重视实验教学的实践过程,但教学时仍偏重于理论背景内容的讲解,甚至一些教师把实验课当作理论教学的附属,留给学生动手实践的时间偏少。此外,由于过于担心学生操作不当影响仪器的使用,教师在实验课中往往过多讲解理论知识和实验仪器操作方法。当前的教学理念导致实验课枯燥乏味。

### (二) 教学方法不利于培养学生

钢结构实验教学主要采用“教师演示+学生模仿”或“学生完全复制实验步骤”的方式。采用这种教学方式原因是担心学生操作不当(不规范)而导致实验仪器发生故障乃至破损。在实验仪器价格高、易出故障的30年前(甚至更早时期),这种教学方式尚可理解,然而在绝大部分本科教学实验仪器稳定性较好的今天则完全没必要,只要教学时讲解好操作流程即可。从学生角度看,造成这种“复制”性实验的一个重要原因是学生对实验课程内容感到厌倦,为尽快“顺利”地完成实验而采取了这种最简单、不走“弯路”的方式。然而,这种“复制”性实验明显不利于培养学生独立思考的能力,导致学生不能熟练掌握实验技能,实验过程中出现的情况与教材中所述的步骤和内容稍有不同就让很多学生束手无策。这种方式直接造成学生动手能力低下,不会分析处理实验数据和编写实验报告,缺乏分析和解决综合性问题的能力,甚至扼杀了学生的探索精神。

### (三) 钢结构实验内容少且难以对理论教学起到促进作用

一方面,钢结构实验教学过分注重对实验仪器和步骤的细节性描述,而关于实验设计思路等讲解较少,往往限制在枯燥乏味的演示性和验证性实验。另一方面,钢结构实验教学的数量和类型与

众多的理论教学内容严重不匹配。众所周知,钢结构课程的教学内容非常广泛,从钢梁、钢柱、组合梁、组合楼板等构件到桁架、门式刚架、网架、网壳、多高层钢结构等整体结构。对比之下,有关钢结构课程的实验类型则较少。

实验教学的一个重要作用是促进相关课程的理论教学,学生通过实验加强对理论课程中一些概念的理解。比如,钢筋混凝土结构(梁和偏压柱等)试验就较好地加强了其理论课程教学效果。以钢筋混凝土梁受弯试验为例,学生观察适筋梁的开裂、钢筋屈服、混凝土压溃等全过程,非常直观地了解相关的课堂理论教学内容,再通过实验数据处理和编写报告(如对比构件承载力的试验值和理论计算值之间的差异),加深了学生对钢筋混凝土梁的破坏特征、承载力计算公式的理解。学生在进行混凝土结构试验时,可全面了解设计试件、绑扎钢筋、浇筑混凝土、加载、破坏过程中的各种现象,破坏性试验得到构件的承载力实测值,可以用来与理论教学承载力公式计算值进行对比分析。

当前钢结构实验教学很难起到加强理论教学的作用,一个重要的原因是钢结构的相关实验是非破坏性的(钢材拉伸试验除外)。学生通过演示性实验很难对钢结构概念有深入理解,无法给理论教学提供支撑。以钢结构中常见的构件(梁或柱)失稳问题为例,尽管教师通过图片及动画演示来强化讲解结构构件稳定的概念,但由于专业基础课程的课时不断缩减,学生在钢结构课程学习前缺乏结构稳定理论知识,而非破坏性的钢结构实验教学无法对结构或构件稳定提供辅助教学,这严重影响了钢结构课程的理论教学效果(稳定是钢结构的重要内容)。通过调研发现,不少地方院校的土木工程专业因为课时压缩过多而导致材料力学和结构力学课程几乎不教授结构稳定部分知识(除了简单介绍欧拉临界力),其中,材料力学和结构力学最少的分别仅48和64个课时,而20年前二本院校土木工程专业这两门课程大多为96~120个课时。

结构稳定相关的问题(如钢结构的稳定承载公式)比结构强度问题(如混凝土结构截面承载力计算公式)更加复杂和难以理解,但钢结构构件(梁或柱)试验却是非破坏性的。这导致钢结构的实验教学与理论教学脱节,比如,理论教学中强调钢结构及构件的各种稳定问题,梁的翼缘和腹板局部屈曲、梁的整体失稳、柱的弯曲屈曲、柱子的扭转屈曲等,而钢结构实验教学没有关于钢柱压弯构件试验的内容,虽有钢梁试验但被严格限制在非破坏条件下,没有向学生展现梁的板件局部屈曲或整体屈曲。因此,大多数学生对梁(或柱)的失稳概念往往一知半解,即使教师提供了失稳动画或虚拟仿真等演示环节,学生也大多停留在表面认知,无法彻底了解结构构件发生失稳的条件及工程设计时如何防止失稳破坏,只能生搬硬套教材或规范给出的稳定计算公式。

#### (四) 实验设备落后

很多地方本科院校(尤其是21世纪初专科院校合并升级而来的本科院校)由于历史原因和经费问题,其实验室设备往往比较落后和陈旧——有些甚至是20乃至30年前的,很少有能用于应用技术创新实验的仪器。学生无法接触新的设备和仪器,在学校学习过时的实验仪器操作方法,毕业后无法和企业对接。这些落后时代发展的仪器设备也是导致实验课程内容设置实用性差的原因之一。

## 二、钢结构实验教学改革探讨

为满足钢结构人才的社会需求,提高学生创新能力,浙江工业大学在土木工程结构试验教学改

革方面进行了一些尝试,并取得了一定成果。

### (一) 教学方法

改变以往演示性实验为主的局面,实验教学强调学生的自主性。比如:让学生通过小组讨论后设计加载位置、布置应变片和位移计等。让学生充分参与实验设计和教学全过程,保证学生会并掌握必要的实验方法和基本技能。在实验教学中,教师除了向学生讲解当前先进仪器设备的功能、操作和测量方法外,更多的是引导学生自己查找资料并提出问题,通过师生互动讨论解决问题。比如:学生设计的位移计布置方式有没有达到预期的目的,是否需要进一步改进等。总之,实验教学的目的是引导学生积极主动学习、独立自主完成实验,培养学生发现问题、解决问题的能力,培养学生的创新意识和能力。

在实验教学中,应注重巩固学生的理论知识,将理论知识与实验教学结合,引导学生开展自主、开放、探究、合作式的学习。实验教学应注重培养学生的独立操作能力,培养学生综合运用所学知识分析实验结果、处理实验数据的能力,培养学生严肃的科学态度和严谨的科学作风。

在传统教学模式下,学生和教师的相互交流基本上仅限于课堂,而借助微信、钉钉等社交软件可构建课后师生互动交流平台,学生通过这些信息交流平台向教师请教课堂上没理解的问题。同时,教师通过观察和分析社交平台的信息反馈与数据统计,可以了解学生的学习动态、常见的疑惑、难懂知识点等,从而方便教师调整讲解内容,加强实验教学效果。

### (二) 增加钢结构实验教学类型

对比钢结构实验教学(几乎都是非破坏性试验),混凝土结构实验教学(破坏性试验)对强化理论教学效果的作用更为明显,实验与教学环节紧密结合,例如,适筋梁的试验破坏过程和课堂上的理论知识点形成对应。钢结构破坏性试验很少的一个重要原因是早期钢材价格高、试验成本相对较高。但进入21世纪,尤其是2010年以来,中国钢铁产量约占世界总产量的一半,钢产能过剩,H型钢等土木工程用钢材的价格持续走低,钢梁破坏性试验所需的经费已不是问题。因此,实验教学不应再采用以前受限于钢材价格而制定的钢结构非破坏试验,完全可考虑将钢梁的受弯试验改成破坏性试验。同时,为调动学生学习的主动性和积极性,要求各个实验小组根据课堂所学理论知识设计不同截面尺寸的H型钢梁,不同小组的实验结果可能会出现不同的破坏模式,如板件局部屈曲、构件整体屈曲等。实验报告完成后,各小组之间相互交流,如此能更好地让学生全面理解整体失稳、局部失稳,实验教学起到强化课堂理论教学效果的作用。

此外,还可以用产学研结合的方法增加本科生参与破坏性试验的机会,比如,将学院实验中心承接的科研项目作为实验课程教学的重要平台。同时,还可以让本科生参与实际工程研究项目的测试和分析,以及相关科研项目的工作。图1为浙江工业大学土木工程专业本科生全程参与由学院钢结构研究所承接的钢结构加劲板轴压稳定性能研究项目。学生表示,通过参与这次实验(包括教师的现场解释及与研究生的交流),理解了钢结构理论课程中构件稳定性和屈曲模态等难懂的概念。通过钢结构破坏性试验,不仅获得了理论课堂难以达到的教学效果,消除了学生的畏难心理,增加了学生对结构试验和测试的了解,并初步掌握了包括前期准备、设计、实施,以及数据分析处理方法,培养学生的创新精神和科研能力。

除了破坏性试验,还要增加非破坏性试验。目前包括浙江工业大学在内的大多地方高校,土木工程专业本科生的整体钢结构非破坏性试验只有角钢屋架和单层门式刚架两类,如图2所示。实

验教学的目的是让学生了解开展结构静力试验所需要的各种仪器设备,学会荷载、应变、位移等测量方法,以及数据采集方式和试验加载方式。通过整体结构试验,让学生全面学习结构静力试验中应用的加载装置(加载系统和反力系统)、测量和测试系统基本组成设备,以及加载方法、应变和位移测点布置方法等内容。此外,通过实验教学强化钢结构的课堂理论教学和课程设计实践的效果,培养学生理论联系实践的能力。比如,通过测量屋架中某个杆件内力的数值,将其与理论计算值对比;对比门式刚架柱顶侧移的理论计算值和实验值,分析理论计算值与实测值之间的差异。部分学习成绩较好的学生可应用有限元软件建立模型,并将数值模拟计算结果与理论计算值及实验结果进行对比。



图1 本科生参与的破坏性试验

然而,钢结构的结构体系类型很多,除了门式刚架和桁架(屋架)外,工程中常见的还有网架、网壳、多高层钢框架等<sup>[11]</sup>。尽管教师在课堂理论教学中展示了各种工程图片和照片,但教学效果并不理想。一个重要的原因是学生在平时生活中见到钢结构的工程案例较少(远少于混凝土结构),但钢结构的连接构造又比混凝土结构复杂,对学生空间想象力提出了更高的要求。钢结构生产实习等实践环节相对偏少,不像混凝土结构试验有搅拌混凝土、支模、绑扎钢筋、浇筑、养护等一个完整的模拟施工过程,钢结构实验教学缺乏让学生将构件装配成整体结构这一施工过程。因此,当前的钢结构实验课程根本没有让学生体会到钢结构工程的最大特点——工厂加工制作配件和现场装配。钢结构非常适合建筑工业化和装配式,在全面推广装配式建筑的背景下,钢结构实验教学迫切需要能让学生将部件装配成结构再拆除的装置系统。浙江工业大学即将引进的由烟台新天地试验技术有限公司开发的一种可重复拆装的钢桁架结构就是这样一套试验系统,如图3所示。通过装配和拆解过程,让学生更好地理解钢结构各构件之间的连接构造,达到一定的模拟现场装配效果。



图2 本科生常见的两类整体钢结构非破坏性试验

由于钢结构类型众多,不可能也完全没必要对各种结构类型进行实物试验,完全可以通过虚拟仿真试验来加以补充,如钢柱的弯曲屈曲和扭转屈曲等。通过虚实结合强化钢结构实验教学效果,进而获得更好的理论教学效果和课程设计教学效果,比如,学生在课程设计时能看懂教材附页的钢

屋架施工图,并运用自己所学知识进行设计计算和绘图,而不是照葫芦画瓢。

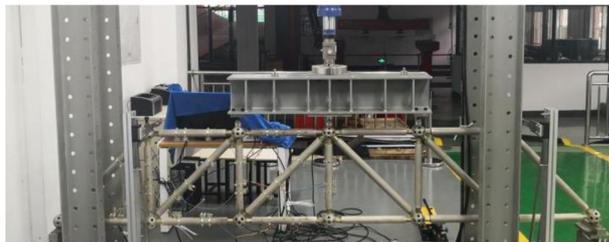


图3 可拆卸和装配的钢桁架结构试验系统

### (三) 实验教学与课程设计结合

浙江工业大学钢结构课程设计安排在第六学期结束后的暑假短学期,而与钢结构相关的实验主要安排在第六学期。浙江工业大学钢结构课程设计内容为钢屋架或一榀单层门式刚架,这两类结构正是工程结构自主试验课程中钢结构部分的实验教学内容(安排在第六学期)。因此,可以考虑将实验教学与课程设计相结合,不仅能提高课程设计(专业课实践环节)的教学效果,而且能加深学生对实验设计部分内容的理解。

### (四) 考评方式改革

实验教学的一个重要环节是考评学生的学习效果。当前,主要考评依据是学生撰写的实验报告,但这显然无法反映学生的真实水平,也不够准确。因此,需要对考评方式进行改革,考评不仅要看实验报告,更应加入对互动环节的评价。互动环节的考评可以通过答疑来实现,在答疑过程中考查学生对钢结构知识的实际掌握情况,给出评分,还可以在提交实验报告后举行小组答辩,教师及其他小组的学生在答辩中提出问题(如实测结果与理论值之间差异的原因),根据答辩情况给出评分(小组内各个成员获得相同的评分)。小组答辩的互动形式,强化了学生对理论概念的理解,培养了小组成员相互协作的团队精神。

### (五) 加快更新实验设备和加强教师队伍建设

设备仪器是实验教学的载体,更是培养学生创新能力不可或缺的设施。先进的实验设备能让学生更快地与社会接轨,也有助于继续深造学生的科研能力培养。因此,学校应结合实际情况加大实验室的资金投入力度,购置新型仪器设备,替换陈旧、明显落后时代发展的仪器设备,不能让学生花费时间和精力去学习社会上已淘汰仪器的操作方法。此外,应加大实验耗损材料(如破坏性试验所需钢材等)的投入,让更多学生亲自动手参与每个环节,让学生了解和掌握前沿技术,为实验教学改革提供物质保证。

提高实验教学质量离不开教师队伍建设。当前,大多学校钢结构实验课程的专职教师人数少,且很多高水平教师不愿意从事本科实验教学工作。另外,很多教师因为课程繁重等原因而缺少外出培训,导致教师的实验教学水平难以提高,缺乏对新仪器设备的了解。这种情况下,显然不利于培养高水平土木工程技术人员。鉴于此,学校应加强实验教学队伍建设,增加专职实验课教师数量——专职招聘或部分教师转岗聘用,并为实验课教师提供外出学习交流的机会。如有必要,可以聘请责任心强、相关业务能力强的专家对实验课教师进行定期培训指导,提升其教学能力。通过引进、转岗、培训等管理机制,提高钢结构实验课程教师队伍水平,使其能及时掌握最新仪器设备的操作方法和技巧,提高实验教学能力。

### 三、结语

钢结构实验课程是整个钢结构教学的重要组成部分,不仅具有很强的实践性,而且起到了加强理论教学效果的作用。钢结构实验课对培养学生分析和解决工程设计问题的能力起到重要作用。通过改革实验课程的教学内容和教学方法,激发学生对钢结构的学习兴趣,强化学生分析解决问题的能力,提高学生综合应用能力和团队协作能力,有助于实现“卓越工程师”的人才培养目标。

#### 参考文献:

- [1] 毛江鸿,周峥栋,朱焱锋,等. 土木工程结构试验课程实践环节存在的问题及改革探索[J]. 时代教育,2015(7):35-36.
- [2] 袁苗苗. 建筑结构试验之钢桁架静力实验教学方法探讨[J]. 教育教学论坛,2019(43):187-190.
- [3] 沈建生,毛江鸿. 土木工程结构试验科研型教学环节的改革与实践[J]. 高等建筑教育,2016,25(3):140-144.
- [4] 庄一舟,朱梦琦,郑国平. 建筑结构试验课程教学改革与再思考[J]. 高教学刊,2020(18):87-91.
- [5] 刘洋. “建筑结构实验”课程改革与发展模式探讨[J]. 中国建设教育,2017(3):14-16.
- [6] 李方慧,田春竹. 钢结构设计课程实践教学方法探讨[J]. 高等建筑教育,2011,20(1):135-137.
- [7] 李昆. 基于实践能力培养的“钢结构设计”课程教学改革研究[J]. 中国电力教育,2011(16):122-123.
- [8] 余卫华,王正中,蔡坤. 钢结构课程设计教学改革与实践[J]. 高等建筑教育,2015,24(1):69-71.
- [9] 王晓菡. 钢结构课程的教学方法分析与探讨[J]. 高等建筑教育,2009,18(3):118-119.
- [10] 赵必大,赵真生. 基于工程应用型人才培养的钢结构设计课程教学改革[J]. 高等建筑教育,2018,27(2):72-75.
- [11] 陈绍蕃,郭成喜. 钢结构(下册):房屋建筑钢结构设计[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,2014.

## Teaching reform of the steel structure experiment

ZHAO Bida<sup>1</sup>, WANG Jiandong<sup>1</sup>, LIU Daichun<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, P. R. China;  
2. Yantai XTD Test Technology Co., Ltd., Yantai 264003, P. R. China)

**Abstract:** Civil engineering structure experiment is a very important professional course, which is divided into steel structure experiment and concrete structure experiment according to materials. In view of the problems in the current steel structure experimental teaching such as focusing on theory neglecting practice, lack of experimental content, inability to strengthen the theoretical teaching effect, and few practical links for students, teaching reforms are explored in terms of teaching methods and teaching content. In terms of teaching methods, student autonomy experiments is emphasized, and teacher-student interaction is increased by the use of social information platforms. In terms of teaching content, it is proposed to change the steel beam bending test from a demonstrative test to a destructive test designed by students to enhance the theoretical teaching effect, e. g., improving the understanding of partial plate buckling and overall instability of the beam. In addition, the practice of assembling the steel components into the overall steel structure in the test is also proposed. The purpose of the teaching reform is to improve the quality of steel structure test teaching and then improve the teaching effect of steel structure theory and curriculum design practice. The paper also provides a reference for strengthening students' practical ability, engineering ability, and innovation ability training.

**Key words:** civil engineering structure experiment; destructive test; experimental teaching; teaching reform

(责任编辑 周沫)