

钢结构基本原理实验教学探索

郭小农, 王伟, 蒋首超, 赵宪忠, 陈以一

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘要:配合土木工程专业钢结构课程的教学, 同济大学在国内率先构建了钢结构多功能教学实验平台, 并开设了钢结构基本原理实验课程。实验课分为认识实验、演示实验和自主实验三个部分, 满足了不同层次学生的学习需求。演示实验由教师演示讲解, 试验项目丰富多彩、紧扣教学大纲, 加深了学生对理论知识的理解, 弥补了课堂教学的不足; 自主实验由学生自主设计和实施, 培养了学生的动手能力和学习主动性。实验课开设3年多来, 共完成了1 500余人次的教学任务, 收到了良好的教学效果。

关键词:教学实验; 钢结构; 演示实验; 自主实验

中图分类号: TU39-4; G642.423

文献标志码: A

文章编号: 1005-2909(2011)01-0149-06

钢结构是土木工程最重要的专业必修课程之一, 各高校土木工程专业均开设此课程。1998年, 土木工程专业教学指导委员会采纳了教育部“面向21世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题组的建议, 将原有的钢结构课程分为原理和设计两大部分, 原理部分作为专业基础教学内容, 设计部分作为专业教学内容。因此, 钢结构基本原理课程的主要目的是使学生全面掌握钢结构材料、构件和连接的基础知识, 理解钢结构分析的基本原理, 为进一步学习各类钢结构与金属结构的设计、制作和建造提供基础。

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。但是, 传统的钢结构基本原理教学一般以课堂理论讲解为主, 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, 因此, 建设和基本原理相配套的实验课程, 已经成为当前土木工程专业教学改革的重点和当务之急。

一、实验课程的教学内容

为适应新形势下高等土木工程教育的发展需求, 同济大学在“985工程”二期建设经费的支持下, 结合同济大学国家级精品课程“钢结构”的建设要求, 在国内率先构建了钢结构多功能教学实验平台, 并首次开设了钢结构基本原理实验课程。实验课分为认识实验、演示实验和自主实验三个部分, 满足了不同层次学生的学习需求。钢结构基本原理实验是专业基础课钢结构基本原理的同步必修课, 其教学目的是通过实验加深学生对钢结构基本概念和基本理论的理解, 对钢结构基本构件和基本连接的实验技能进行训练, 同时培养学生的创新意识。

(一) 认识实验

认识实验是钢结构基本原理实验教学的第一个层次, 主要的教学内容有:

收稿日期: 2010-08-01

基金项目: “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: 郭小农(1977-), 男, 同济大学土木工程学院讲师, 博士, 主要从事钢结构研究, (E-mail) guo

-xiao-nong@tongji.edu.cn。

(1)介绍钢结构实验平台的构成和主要设备及其使用方法;(2)介绍钢结构实验的流程和方法;(3)通过观看录像和实物认识钢结构基本构件和连接的破坏模式;(4)介绍平台已经开设的实验项目,让学生自行选择感兴趣的项目作为听课内容;(5)强调实验室的规章制度和安全操作规定。通过认识实验的教学,可以使学生对钢结构实验建立基本的了解,掌握实验平台的设备及其初步使用方法,了解钢结构实验的流程和方法,对钢结构基本构件和连接的破坏模式形成感性的认识。

(二)演示实验

认识实验是钢结构基本原理实验教学的第二个层次。演示实验课的主要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认识。因此,演示实验项目的设置必须紧扣钢结构基本原理的教学大纲,选择实验难度较低和易于控制的基本构件和基本连接实验项目,力求用最简洁形象的实验来演绎复杂的概念和理论。表1列出了实验平台的演示实验项目,其中第1—8项是已经开发实验项目,其余部分是待开发的实验项目。图1给出了部分演示实验项目的试件破坏图片。

表1 演示实验项目

项目编号	项目名称	实验内容和教学目的
1	H型截面轴心受压构件整体稳定性实验	使学生了解两端铰接的H型截面轴心受压构件发生弯曲失稳的失稳过程和破坏模式;掌握其极限承载力的计算方法;掌握轴压构件整体稳定系数的计算方法
2	T形截面轴心受压构件整体稳定性实验	使学生了解两端铰接的T型截面轴心受压构件发生弯扭失稳的失稳过程和破坏模式;掌握其极限承载力的计算方法;掌握轴压构件弯扭失稳等效长细比的计算方法
3	十字形截面轴心受压构件整体稳定性实验	使学生了解十字形截面轴心受压构件发生扭转失稳的失稳过程和破坏模式;掌握其极限承载力的计算方法;了解扭转失稳和板件局部失稳之间的关系;了解扭转失稳轴压构件的计算方法
4	L形截面轴心受压构件整体稳定性实验	使学生了解长细比对于L型截面轴心受压构件失稳模式的影响,较长试件发生弯曲失稳,较短试件发生弯扭失稳;了解构件整体失稳的失稳过程和破坏模式;掌握其极限承载力的计算方法;掌握轴压构件弯扭失稳等效长细比的计算方法
5	H型截面梁的整体稳定性实验	使学生了解H型截面受弯构件发生整体弯扭失稳的失稳过程和破坏模式;了解受弯构件整体稳定承载力的影响因素及其计算方法;掌握受弯构件整体稳定系数的计算方法
6	薄壁矩形管受压构件局部稳定性实验	使学生了解薄壁矩形管发生局部失稳的失稳过程和破坏模式;认识板件的相关屈曲现象;掌握有效宽度的计算方法;掌握薄壁矩形受压构件的极限承载力计算方法
7	摩擦型高强螺栓抗剪连接实验	使学生了解摩擦型高强度螺栓连接的不同受力阶段和破坏过程;掌握高强螺栓摩擦型连接的计算方法
8	普通螺栓抗剪连接实验	使学生了解普通螺栓连接的不同受力阶段和破坏过程;掌握普通螺栓抗剪连接的计算方法
9	对接焊缝连接实验	使学生了解对接焊缝的破坏过程和破坏模式;掌握对接焊缝的计算方法
10	角焊缝连接实验	使学生了解角焊缝的破坏过程和破坏模式;掌握对接焊缝的计算方法
11	H型截面偏压构件整体稳定性实验(平面内失稳)	使学生了解H型截面压弯构件发生平面内弯曲失稳的失稳过程和破坏模式;了解相关公式的推导过程;掌握压弯构件平面内弯曲失稳的计算方法
12	H型截面偏压构件整体稳定性实验(平面外失稳)	使学生了解H型截面压弯构件发生平面外弯扭失稳的失稳过程和破坏模式;了解相关公式的推导过程;掌握压弯构件平面外弯扭失稳的计算方法

从表1可以看出:在实验项目的设置上,基本做到了紧扣钢结构基本原理的教学大纲。实验项目全部是基本构件和基本连接的实验。

稳定问题是钢结构最重要的问题,而重中之重则是轴心受压构件的整体失稳问题,在钢结构基本原理的教学中,轴心受压构件是最为重要的一章。因此,共设置了4个轴心受压构件的实验项目,通过选择不同截面类型的构件来分别实现轴压构件的弯

稳定问题是钢结构最重要的问题,而重中之重

曲失稳、扭转失稳和弯扭失稳,使学生对轴压构件的整体失稳有了全面和深入的认识。

对于受弯构件的整体失稳,选择了最典型的H型截面钢梁来进行实验。受弯构件的弯扭失稳是观赏性最强的一个实验,能够充分调动学生的学习热情和积极性,因此,在课时安排上,受弯构件实验的次数要比其他实验多2次。

局部稳定是钢结构基本原理的一个难点,最初考虑了两个局部稳定的实验方案,一个是薄腹板梁的受剪腹板局部失稳,一个是薄壁矩形管受压局部失稳。考虑到梁的受剪腹板失稳比较复杂,而均匀

受压的薄壁矩形管更为直观,因此,选择了后者作为演示实验项目。薄壁矩形管受压构件实验还可以帮助学生理解板件的相关屈曲现象和有效宽度的计算方法,比薄腹板梁更适合于教学演示实验。

钢结构连接形式多样,我们从最基本的连接形式入手,开发了摩擦型高强螺栓抗剪连接实验和普通螺栓抗剪连接实验,帮助学生了解和掌握螺栓连接的计算方法。

焊缝连接实验和压弯构件实验相对复杂,因此,如何选择最简单的实验来演绎相对复杂理论和概念,是今后进一步开发这些实验项目的重点。



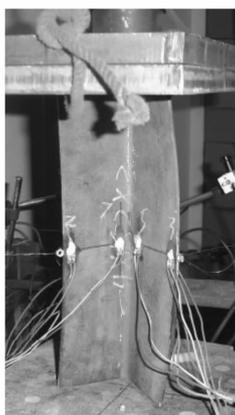
项目 1: H型柱弯曲失稳



项目 2: T型柱弯扭失稳



项目 3: 十字型柱扭转失稳



项目 4: L型柱弯扭失稳



项目 5: H型梁弯扭失稳



项目 6: 薄壁矩形管局部失稳

图 1 部分演示实验图片

(三) 自主实验

自主实验是钢结构基本原理实验教学的第三个层次。自主实验则要求学生从实验设计阶段就开始介入,通过试验对课堂所学理论知识进行验证。自主实验除了要求学生熟练掌握钢结构的基本概念和基本理论外,还要求学生更进一步理解这些理论和公式的来源,既要知其然也要知其所以然;此外,自主实验还要求学生实验设备要做到熟练运用,因此,自主实验主要供学有余力的学生选修。

自主试验的主要目的是使学生深入掌握钢结构的基本原理和理论,熟练运用实验设备,培养学生的自主精神和科研素质。针对自主实验的教学目的,在设计实验项目时给予了学生充分的自主性和设计空间,实验的难度比演示实验高出一个层次。

表2列出了实验平台的自主实验项目,其中第1项是已经开发实验项目,其余部分是待开发的实验项目。图2给出部分自主实验项目的开展情况。

表2 自主实验项目

项目编号	项目名称	实验内容和教学目的
1	轴心受压构件整体失稳的影响因素	研究轴心受压构件整体失稳的影响因素,包括:长细比、截面类型、失稳形式、初始弯曲等因素;掌握整体稳定系数的和柱子曲线的推导过程
2	H型截面梁整体弯扭失稳的影响因素	研究H型截面梁整体弯扭失稳的影响因素,包括:截面尺寸、长细比、约束条件、荷载作用方式、荷载作用点位置等影响因素
3	梁柱连接节点的转动性能的影响因素	研究梁柱连接节点的转动性能及其影响因素,包括:节点类型、螺栓数量,连接板尺寸等因素;了解节点刚度的表达方式和计算方法,比较各类连接节点的转动刚度

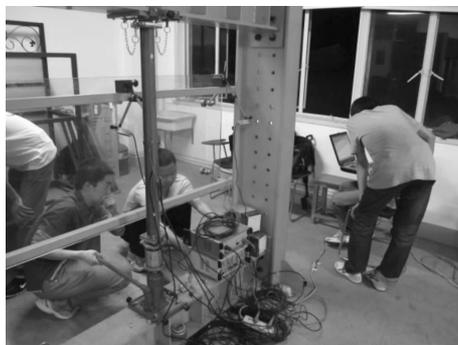


图2 部分自主实验照片

从表2可以看出,所有的自主实验项目有一个共同的特点:即每个实验项目其实不是单个的实验点,而是一组或者若干组实验的合集。这就要求所有参与的学生共同完成一个实验,因此,自主实验还培养了学生的团队合作精神。

由于轴心受压构件实验相对简单,对设备的要求相对较低,因此,目前仅开发了第1个实验项目。通过这个实验,学生可以研究长细比、截面类型、失稳形式和初始弯曲等因素对轴心受压构件整体稳定性的影响,从而加深对轴压构件整体失稳的认识,并掌握整体稳定系数和柱子曲线的推导过程。

二、实验课程的教学方法

针对实验课程的教学目的,将实验课的学时规定为8学时;其中认识实验每个学生必须参加1次(2学时),演示实验每个学生必须参加2次(6学时),另外开设有自主实验供学有余力的学生选学(4学时)。为了配合主课的教学进度,实验课的上课时间一般从第5个教学周开始,此时钢结构基本原理课程已经开始进入轴心受压构件的讲解。

(一)认识实验

认识实验的主要教学手段是课堂讲解,并辅以录像、动画及实物参观。认识实验为2学时,一般从第5周开始,先作1课时的课堂讲解,然后让学生观看录像、动画,时间允许的情况下再分批带领参观实验平台。根据现有的教学经验,认识实验课可分两

批上课,一次250人左右,教学效果较好。

(二)演示实验

由于教学场地的限制,为了获得最佳的教学效果,每次演示实验的上课人数一般控制在35~40人以内,每个学期大约要进行25~30次演示实验。通常每周安排3~4次演示实验,大约需要8~9个教学周才能完成所有的演示实验的教学。

在教学进度的安排上,演示实验要尽量做到与基本原理课程同步进行,因此,在实验项目的开设顺序上,一般最先进行轴心受压构件实验,其次是受弯构件实验,然后是局部稳定实验,最后是连接实验。演示实验一般从第6周开始,经历8~9个教学周后,第14~15个教学周结束。

实验课和钢结构基本原理课安排在大三下学期开设。对于土木工程专业来说,大三下学期的学业最重、课程最多,为了避免和其他课程冲突,演示实验均在晚上进行。每个学生根据自己的课程安排和兴趣爱好选择2次合适的时间参与演示实验。

针对演示实验课程的教学目的,设计了最为合理的课堂教学流程(如图3所示)。

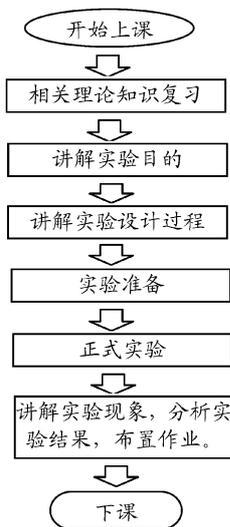


图3 演示实验课堂教学流程

在进行实验之前,首先花 20~30 分钟复习相关理论知识,简明扼要的选取和实验相关的基本概念和重要知识点进行讲解,并采用启发式、讨论式的教学模式,调动学生的学习积极性。然后,进行试验目的的讲解,即:告诉学生本次实验要验证哪些理论和哪些公式,使学生明确实验目的,把握听课的方向。

演示实验的设计过程是由教师事先完成的,但是这个过程对于学生了解钢结构的实验方法十分重要的,因此,在课堂上安排了 20 分钟左右进行了重点讲解。讲解的主要内容包括:(1)试件的设计:为了实现实验目的如何选取试件的截面和长度;(2)支座的设计:如何设计合理的装置模拟理想铰支座或固支;(3)测试方案的设计:如何布置测点,如何测试应变、位移、转角等数据;(4)加载方案的设计:如何确定合理的加载方案和加载制度;(5)承载力的估算:如何估算试件的极限承载力,便于控制加载过程和选择加载设备。通过对实验设计过程的讲解,使学生了解结构的实验方法,体会从理论到实验转换的过程。

准备阶段主要讲解的内容包括:试件截面实测、试件材料特性的实测、设备标定、测点检查、试件对中以及预加载等内容。这个阶段适于学生积极参与和互动教学,如:请学生测量试件、安排学生检查测点等。在这个阶段的教学中,可以充分调动学生的积极性。

正式实验阶段的时间根据不同的实验项目而定,例如:轴心受压构件实验采用千斤顶加载,一般加载时间可以控制在 20 分钟以内。又如:受弯构件实验,由于采用人工加载,所以加载时间较长,这就要求上课时根据不同的实验项目合理调节各个教学步骤的时间。正式实验阶段是整个演示实验课的高潮部分,尤其是当试件接近破坏时,学生们热情高涨,课堂氛围热烈,因此,在正式实验阶段要注意以下几点:(1)随时用高清摄像机切换播放实验现象,并对实验现象作配合讲解;(2)提前预测和及时跟踪实测曲线,让学生对试件的破坏过程有更深入的理解;(3)掌握课堂氛围,做好安全措施,预防实验中的突发危险出现。

实验完成后主要对实验数据进行分析讲解,并布置思考题,同时简单讲解实验报告的要求,并要求每个学生独立完成 1 个项目的实验报告。

(三) 自主实验

和演示实验相比,自主实验的教学要求更高,因此,每堂课对教师的配比要求也更高。根据现有教

学经验,自主实验每组安排 4~5 人时教学效果最为理想;现有 4 套自主实验设备,故每堂课最多可同时容纳 20 人。每次自主实验一般配置 1 名指导教师和 2 名实验室专业技师,这样可以基本保证学生按时完成实验。

自主实验通常在第 12 周之后,此时学生对钢结构基本原理的学习已经进入到后半阶段,根据选修人数不同,通常 2~3 周可完成所有教学任务。

针对自主实验的教学特点,设计了与之相适应的教学流程(如图 4 所示)。

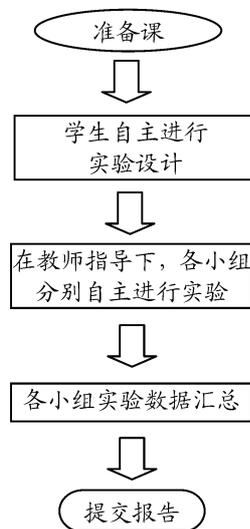


图 4 自主实验教学流程

首先是自主实验准备。准备课一般提前 1 个星期上课,在自主实验室现场进行,上课人数可控制在 80~100 人,讲解时间约 1 学时。自主实验准备的主要有以下内容:(1)简单讲解自主实验的目的、相关理论知识以及实验设计注意事项;(2)演示设备的使用方法,如:荷载显示仪、静态应变仪、手动千斤顶等;(3)请各小组学生选择试件、测量试件实际尺寸、练习设备使用方法。

准备课之后,接下来的实验设计留给学生课后完成。实验设计的内容主要包括:测点布置、承载力估算、加载制度设计、成员分工等,要求学生在正式开始自主实验课时,必须提交测点布置图和加载制度表。目前由于实验条件限制,实验设计的自主性还相对有限,学生仅仅进行了部分实验设计。

在正式实验阶段,教师不再进行课堂讲解,主要分组进行辅导。各小组的成员配置一般是 4~5 人,其中 1 人负责加载,1 人负责记录数据,1~2 人负责读数,1 人负责拍照,各司其职。

根据实验流程,学生需要依次完成以下 13 个步骤:(1)根据测点布置图在试件上画线;(2)贴应变

片;(3)安装试件;(4)连接荷载显示仪;(5)连接应变仪;(6)仪器调零;(7)试件对中;(8)预加载;(9)正式加载;(10)读数、记录数据;(11)判断试件是否达到极限承载力;(12)卸载;(13)拆除试件、整理设备。整个过程中,学生较难掌握的步骤是第5和第11步骤,因此,对于这两个内容需要重点指导。尤其是当试件接近破坏时,要辅导检查每组学生的荷载位移曲线,辅导学生判断试件是否达到极限承载力;如果试件已经达到极限承载力,应立即停止加载,避免加载过量,造成试件弹出,引发安全事故。

正式实验完成后,要求各小组学生按规定格式整理成果,包括:测点布置图、截面实测表、荷载应变和位移读数、实测极限承载力数值以及试件破坏的照片等,并将成果提交教师。所有小组实验完成后,由教师汇总所有小组的成果,然后下发至每个小组,供每个小组撰写实验报告。自主实验的考核方式是提交实验报告,要求每个小组提交1份。报告分为两部分,一部分是各小组自己的实验成果,另一部分是所有小组汇总后的实验成果及其数据分析结果。

三、实验课程的教学效果

钢结构基本原理实验课程开设3年来,共承担

了1500人次的教学任务,共完成演示实验约80次,自主实验约30组。3年来的教学实践表明,学生对钢结构实验兴趣浓厚,主动参与的热情高涨,经常有很多学生听完所有的实验项目。实验课程受到了学校土木工程专业师生的普遍欢迎,获得了广泛好评。

实验课程的开设完善了钢结构基本原理的教学模式,将基本原理和实验有机生动的结合起来,能够有效的加深学生对钢结构基本理论的理解,并能开阔学生的学术视野,培养学生的动手能力和创新能力,加快其从书本走向工程实践和科学研究的步伐。

参考文献:

- [1] 王伟,赵宪忠,郭小农,等. 钢结构多功能教学实验平台的研制与实践[J]. 高等建筑教育,2009,18(2):102-104.
- [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] 李国强,陈以一,朱合华,等. 土木工程专业结构工程课程体系与教学内容改革总体方案[J]. 高等建筑教育,2002,11(2):53-54.

On experimental teaching of basic principles of steel structures

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

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

Abstract: As a supplement of steel structure course, Tongji University took the lead in building a multi-functional test platform for teaching in P. R. China, on which a course named basic principles of steel structures was offered. The test course included cognition test, demo test and self-designed test for students of different levels. Practiced and explained by teachers, a large variety of tests in close accordance with syllabus were included in demo tests, which could deepen students' understanding of basic theories and make up for the disadvantage of classroom teaching. Self-designed tests were designed and practiced by students, which could improve their practical abilities and study initiative. Within three years of practice, 1500 students have been involved in the test lessons. The test course achieved good teaching effect.

Keywords: teaching experiment; steel structure; demonstrative experiment; independent experiment

(编辑 梁远华)