

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2014.04.030

# 土木工程结构试验的教学改革研究

陈云, 韩建刚, 杨东全, 段晓农, 肖天峯

(海南大学土木建筑工程学院, 海口 570228)

**摘要:**文章介绍了目前土木工程结构试验的教学现状, 剖析了其不足之处, 提出了结构试验课程教学改革的一些措施, 并特别指出利用计算机仿真分析和改进结构试验考核办法对结构试验的教学改革具有重要意义, 对结构试验的教学改革内容和方向具有重要指导价值。

**关键词:**教学改革; 教学研究; 结构试验; 仿真分析

**中图分类号:** G642.0; TU317

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-2909(2014)04-0133-04

土木工程是一门实践性很强的学科, 仅通过书本上的理论学习很难使学生对土木工程有深入的理解和认识。鉴于此, 土木工程实习和试验是学生对土木工程获得感性认识的重要途径, 并且可以增强学生的学习兴趣。除此之外, 结构试验还具有理论联系实际的重要作用, 学生在书本上学习了半理论半经验的计算公式后, 非常有必要通过一些简单的试验进行验证, 通过试验可以使学生了解试验和理论的各自优点和不足, 也可以使学生对书本上的公式和理论有更深入的理解, 还能培养学生的探索精神, 并掌握科学试验的方法和技术手段。

土木工程结构试验是土木工程专业的一门专业技术基础课程, 其目的是通过实验手段测量结构的实际工作性能, 是本科生应该掌握的一项基本技能。但目前土木工程结构试验教学中存在一些不足之处, 有必要探索切实可行的结构试验教学方法。笔者曾在博士期间进行了大量的结构试验, 包括大型结构模型地震模拟振动台试验、大型结构试件拟静力低周反复加载试验, 除此之外还参与了一些拟动力试验, 在结构试验方面积累了较为丰富的经验。因此, 文章拟结合现有结构试验课程的教学现状, 根据笔者的研究经验, 探索一些结构试验的教学改革方法。

## 一、结构试验的任务和分类

工程结构试验的任务就是在结构物或试验对象上, 利用设备仪器, 以各种实验技术为手段, 在荷载(重力荷载、地震作用和风荷载等)或其他因素(温度、变形)作用下, 通过量测与结构工作性能有关的各种参数(变形、挠度、应变、振幅等), 从强度(稳定性)、刚度以及结构实际破坏形态来判断结构的实际工作性能, 估计结构的承载力, 并用以检验和发展结构的计算和设计理论<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2014-04-12

基金项目: 海南大学科研启动基金资助项目(kyqd1401); 海南大学中西部计划学科重点领域建设项目; 海南省自然科学基金(514208)

作者简介: 陈云(1980-), 男, 海南大学土木建筑工程学院讲师, 博士, 主要从事工程结构抗震与防灾研究, (E-mail) chenyunhappy@163.com。

按照试验目的,工程结构试验可以分为科学研究性试验和生产鉴定性试验。科学研究性试验的研究对象一般为缩尺结构试验模型(也有少部分全比例结构试验模型),目的是验证结构设计的某一理论,或验证各种科学判断、推理、假设及概念的正确性,或是创造某种新型结构体系及其计算理论。生产鉴定性试验的对象一般是真实的结构构件,目的是检验结构构件是否符合结构设计规范或施工验收规范,并对检验结构作出技术性结论<sup>[2]</sup>。

## 二、教学现状及存在的不足

限于试验条件限制,目前国内各高校的土木工程结构试验教学实验以静力试验为主。土木工程结构试验课程的教学包含理论与实验两部分,实验与理论课程同步进行,其中理论教学占30学时左右,实验教学占10学时左右。理论教学部分侧重静载试验的教学,动载部分只简单介绍,而实验部分以静载为主。根据笔者的课程教学经验,并参阅其他高校的教学现状,目前结构试验教学中主要存在如下的不足之处<sup>[3-4]</sup>。

第一,学生学习上不够重视。由于学分较少,部分学生缺乏学习该课程的主动性和积极性,甚至有学生认为结构试验课是一门无足轻重的辅助课程,所以学习态度不端正,积极性不足,导致对大学生实践能力的培养不足。

第二,学生在试验前的准备不够,学生上课前只看看任务书,然后仅依赖教师讲解、操作,学习比较被动。实际上,学生在上课前应做较详细的、充分的准备工作,这样才能在试验时有的放矢,取得较好的效果。

第三,由于教学课时少,而内容多,不能对该课程系统讲授。目前国内大多数高校的结构试验课程课时较少,一般在40课时以下,而教学内容较多,导致很多重要的结构试验难以系统讲授。

第四,传统的结构试验教学不仅告诉学生试验项目、详细的试验原理、使用仪器、测试方法、试验步骤乃至数据记录表格等,而且有的教师以试验数据是否相符来判断学生的试验结果正确与否。因此,结构试验课后,仍有很多学生还是既不会设计试验,也不会试验中观察、分析问题,试验完毕,甚至连仪器、仪表的使用操作方法都没多少印象。学生处于被动学习状态,缺少现场试验前的动手锻炼,这种教学方法仅能传授知识,而不利于培养学生的创新精神和思维能力。

## 三、提高结构试验课程教学的一些改革措施

针对目前结构试验课程教学中存在的一些不足

之处,提出如下一些改革方案。

### (一)增强学生对结构试验课程重要性的认识

通常来讲,结构试验课程学生还是比较感兴趣的,毕竟相对理论教学的枯燥,试验课程还是比较有吸引力的。但学生在主观认识上对试验课程重视不够,认为试验课程就是去玩。针对这个问题,必须对学生讲清楚,土木工程是一门实践性强的学科,在土木工程学科发展中非常依赖试验科学的进步。除此之外,应向学生阐明在设计计算的时候已对计算模型进行了较多简化,所以有必要通过试验来进一步加深对理论计算公式的理解,并增强自己的感性认识和试验创新能力。譬如即使将梁的钢筋骨架构成讲得很详细和生动,也不如试验时学生获得的直观认识。

### (二)增加试验课时

该措施未必对所有的高校都适用,毕竟结构试验需要耗费大量的财力、物力和人力,以及受试验条件的限制,进行较多的结构试验在有些高校也是不现实的。鉴于此,在试验费用不增加的情况下,可以采取两种办法来增强结构试验的教学效果。第一,通常绝大多数学校的土木工程专业都有硕士点,很多研究生做了大量的结构试验,学校可以将所有的试验资料(包括试验图片、录像、数据)在学生毕业之后收集在一起。在结构试验的课堂教学上,可以讲解一些已做过的试验,讲解试验的研究目的、内容、方法和技术手段,并总结试验的不足,启发学生思考改进措施。第二,很多学校的实验室都有开放日,在开放日可以带学生去观摩别人的试验,在试验现场对学生讲解,在不增加费用的情况下使学生获得较好的感性认识。开放性实验室就是给有兴趣的学生提供一个充分开放和自由的实验环境,充分发挥学生的主体作用。目前海南大学土木工程试验中心在211建设中得到了长足的发展,不论硬件还是软件建设上都有了很大的进步,在开放性实验室方面更具条件。除了课程上的必做试验外,试验室教师每学期初会向学生公布本学期试验室开放的试验内容、指导教师及试验学时。学生可以利用业余时间,学习到新的测试手段,接触到先进的试验设备。这对丰富学生的课堂知识,提高学生的学习兴趣很有帮助。课内的创新性、设计性试验也与试验室的开放是分不开的,只利用课程时间不能完成复杂的设计性试验。

### (三)利用计算机仿真改进教学方法

结构试验是一门综合性课程,这门课程要上好,涉及较多的方面,该课程通常在大四上学期进行,所

以很多高校的本科生在此之前已经学习了一款常用的结构分析软件, 譬如 ANSYS、ABAQUS、ADINA 等通用有限元分析软件或 SAP2000、ETABS、PKPM 等土木工程专用分析设计软件。本科生可以利用上述常用的计算软件进行简单的结构分析。

无论是科学研究性试验还是生产鉴定性试验, 在试验课之前都应让学生进行如下工作: 首先, 清楚试验研究目的。如工字型钢截面的抗剪承载力试验, 这是一个简单的试验, 应让学生了解试验的研究目的: 复核工字型钢截面受剪承载力计算公式、学习常用结构分析软件的有限元分析方法、了解工字型钢构件受剪破坏全过程、了解常用结构试验仪器的使用方法等。其次, 将试验模型的截面尺寸及材料属性提前发给学生, 学生可以提前根据书本上工字型钢受剪承载力计算公式计算截面的屈服承载力, 但承载力计算仅能得到较少的结果, 不能预测试件的破坏顺序和破坏形态, 因此有必要通过数值仿真分析提前对试验模型建模并进行初步分析。第三, 让学生根据自己掌握的分析软件在试验前进行数值仿真分析。利用数值仿真软件进行结构仿真试验的过程可分为 4 个步骤: (1) 根据所要模拟的结构建立数值计算模型; (2) 确定结构构件各相关几何参数, 材料的本构关系或物理模型; (3) 模拟实际荷载作用施加过程和边界条件; (4) 选择有效的数值分析方法进行分析。最后比较数值分析计算的承载力与理论公式计算的承载力, 并整理分析结果, 比如可能破坏的先后顺序、结构或构件的滞回曲线、关键受力构件的应变发展等。在试验前应先对结构试件的反应进行预测, 这样在试验中才能有的放矢。

这里特别指出, 应充分利用和发挥好结构仿真分析在结构试验教学中的重要作用和意义。结构试验在结构工程理论的发展过程中起着非常重要的作用, 结构设计规范(《混凝土结构设计规范》、《钢结构设计规范》和《建筑抗震设计规范》等) 都是以大量的试验数据为基础而建立的, 建筑结构中的大量计算和设计公式都是半理论半经验的计算公式, 都是建立在试验基础上的。对体型特殊、受力体系复杂的结构物还需进行结构的模型试验来验证设计的可行性。但是大型结构试验受到场地和设备的限制, 大都只能进行缩尺模型试验, 此类试验有缩尺效应, 试验结果会有某种程度的失真。若要研究某一物理参数对结构的影响需要制作多个类似构件, 进行多次结构试验, 往往需要耗费大量的人力和财力。在此情况下, 可进行少量的计算模型验证性试验, 然后建立其数值计算模型, 在试验验证数值模型

的基础上进行仿真分析, 不仅可以节省费用, 而且可获得各种变参数下的分析结果。

结构计算数值模拟的任务有两方面: 一是构件(或结构)在加载过程中的荷载-变形关系的仿真分析, 二是构件(或结构)破坏全过程的仿真模拟<sup>[5]</sup>。混凝土结构(构件)荷载-变形关系的计算机仿真分析方法, 按材料性能和变形特征可分为弹性分析方法和弹塑性分析方法。弹性分析方法只适用于结构(构件)开裂前且为小变形时的情况, 弹塑性(包括材料非线性和几何非线性)分析方法则适用于结构(构件)开裂后或为大变形时的情况。破坏过程的计算机仿真可以反映结构(构件)的薄弱部位、破坏机理和破坏特征, 为结构方案的比较、结构性能的评估、事故原因的分析、结构的修复和加固提供必要的理论依据。但需要指出的是, 利用有限元软件进行构件的破坏全过程仿真分析的结果仅具有一定的参考意义, 要审慎评估应用计算机仿真分析的结果。据笔者多年的仿真分析经验, 仿真分析严重依赖于个人的理论水平、软件精通程度以及积累的经验。所以, 一般本科生仅需进行简单构件的简单加载试验的仿真分析, 使其掌握正确的建模方法和分析过程, 获得合理的结果即可, 无需吹毛求疵, 主要目的是培养其正确的科学试验研究方法。

#### (四) 增加综合性、创新性试验项目

为培养学生的创新能力, 试验指导书中只需给出方向, 指导学生自己确定试验目的, 设计试验方案, 并制定试验方法步骤, 经指导教师检查批准后, 由学生独立完成。通过这种探索性试验, 使学生在加深对专业课理论知识理解的同时, 初步将所学的专业知识用于实践, 并了解本专业研究方向, 掌握一些必要的专业技能, 并通过试验锻炼其观察能力、操作能力、分析和解决问题的能力。在掌握了一定的试验方法和技能后, 应独立设计试验方案。其目的是锻炼学生对专业知识的综合应用能力和提高分析和解决问题的能力。譬如, 课题组需要进行某项研究, 但做试验人手短缺, 可以发动学习较好、善于思考的高年级本科生参与试验研究, 锻炼学生的实践能力。在此基础上, 学生在参与试验研究的过程中积累了研究经验, 并对课题研究产生了浓厚的兴趣, 可以启发学生自己独立进行相关的研究探索, 教师主要进行点拨指导。

除此之外, 实验室可成立学生课外科技活动指导小组, 组织学生开展科研实验。学生可以自拟课题, 也可以参与教师课题。对自拟课题学院应给予一定的经费资助。参加教师科研课题由于有经费来

源,学生按勤工俭学对待,给予适当补助。譬如,海南大学土木建筑工程学院建筑系组织的第一届“阳光海岛”国际砌块空间构成大赛就具有非常好的示范作用,高年级的本科生参与热情很高,既锻炼了学生的空间想象能力、动手能力,也增强了学生的绘图能力和创新能力,对学生科研探索精神的培养具有非常积极的意义。

#### (五)改进结构试验考核办法

实践能力评价是课程考核的重要方面。因此,应对学生实践环节专门评价,提高实践环节所占分值比重。将学生成绩分为课堂成绩(10%)、数值仿真学习(20%)、实验实践成绩(40%)和理论考试成绩(30%)四部分。其中,数值仿真学习主要是学生在教师指导下学习有限元软件,并课后自学,能独立地建立简单试验模型的计算模型,并会进行有限元分析和查看计算结果。实验实践成绩主要对学生的实验了解情况、参与次数和程度以及完成实验大纲和报告的质量作出评价。对学生的实验大纲和报告进行评价可以采用答辩形式,课程所有任课教师组成答辩组,各组学生分工完成答辩汇报,由答辩组提问并评定成绩。

#### (六)实验与生产实际相结合

为了培养结构工程师应具有的基本素养,提倡将教学、科研和社会服务有机地合,让学生参加符合工程实际状况的实践活动,逐步培养解决工程实际问题的能力和意识,及吃苦耐劳的精神。实践教学必须走产学研合作的道路,要在科研活动中积极为学生开展第二课堂活动,建立业余科研小组,让学生利用节假日或业余时间参与科研活动,使他们

在科研活动中学到书本上学不到的知识,以培养其实验设计能力、实验组织能力和知识应用能力。譬如,在检测中心进行校外委托的横向项目检测时,可以让高年级本科生参与检测,并给予一定报酬。这样既可以提高学生的实践能力,使学生获得一些常用结构检测仪器的使用方法(如回弹仪、经纬仪等),又可以锻炼学生处理数据的能力,增强学生的感性认识和学习兴趣。

#### 四、结语

土木工程是实践性很强的专业之一,结构试验在结构工程的发展过程中具有极其重要的地位和作用。因此,根据目前大多数本科院校结构试验教学中存在的不足,文章提出了一些结构试验的教学改革措施和建议,重点阐述了利用计算机仿真改进教学方法和改进结构试验考核办法的具体措施,期望起到抛砖引玉的作用,促进结构试验的教学工作不断进步。

#### 参考文献:

- [1]易伟建,张望喜. 建筑结构试验[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [2]姚振纲,刘祖华. 建筑结构试验[M]. 上海:同济大学出版社,1996.
- [3]陈友兰,谭菊香. 土木工程专业《结构试验》课实验教学改革探讨[J]. 长沙铁道学院学报:社会科学版,2006(7):75-76.
- [4]梁学杰,李小娟. 探析土木工程结构试验教学改革[J]. 陕西建筑,2010(5):7-9.
- [5]王仪. 结构仿真试验在土木工程教学中的作用[J]. 高等建筑教育,2007(16):126-128.

## Teaching reform of structural testing of civil engineering specialty

CHEN Yun, HAN Jiangang, YANG Dongquan, DUAN Xiaonong, XIAO Tianyin

(College of Civil Engineering and Architecture, Hainan University, Haikou 570228, P. R. China)

**Abstract:** This paper introduces the current status of the teaching of structural testing in civil engineering. According to the shortcoming of the teaching in structural testing, the paper presents some of the reform measures of teaching. Particularly the use of computer to conduct simulation analysis and improvement of examination approach of structural testing has a great significance. This paper has important guiding value for the reform of the teaching of structural testing.

**Keywords:** teaching reform; teaching research; structural testing; simulation analysis