

实验结构力学教学改革初探¹⁾

陈再现^{*,2)} 王焕定[†]

^{*}(哈尔滨工业大学(威海), 山东威海 264209)

[†](哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150090)

摘要 现有结构力学教学存在教学手段呆板、手算内容过多等问题, 严重影响了学生对理论内容的理解和掌握. 本文在实验结构力学思想指导下, 在自主研发的积木式结构力学实验平台基础上, 通过《实验结构力学》课程和结构力学实验室建设, 制定科学、合理的实验教学计划, 初步完成了实验结构力学教学内容. 文中对初步的实验结构力学教学模式进行较为系统的总结和讨论, 以供同行参考, 共同推进实验结构力学教学改革.

关键词 实验结构力学, 积木式, 开放实验

中图分类号: TU311.1 **文献标识码:** A

doi: 10.6052/1000-0879-14-248

创新是一个民族的灵魂, 大学生创新能力的培养不论是对国家、民族, 还是对大学生个人的发展都是极其重要的. 力学是国家基础工程建设研究的基础学科, 是土木工程科学研究的创新来源, 是解决重大工程建设难题的利器. 传统上, 工科力学划分为理论力学、材料力学和结构力学是学习前苏联的结果, 沿用至今至少 50 多年. 三门力学除材料力学有拉压、弯、剪、扭、稳定、疲劳等力学性能实验外^[1-3], 一般来说理论力学与结构力学均没有任何实验. 我校基础力学基地经多年研究, 开发并开设了理论力学实验^[4], 为提高理论力学教学质量、培养创新能力做出了贡献. 而是土木工程最主要基石的结构力学^[5-9]体系和内容, 相对 50 多年前除增加了矩阵位移法内容外, 基本没有变化. 而且限于学时, 从所传授的知识内容看反而比早期减少了, 仍然没有实验教学环节. 虽然土木工程现有教学计划也有结构实验课程, 但模型尺寸较大, 导致实验模型和实验装置庞大而昂贵, 因此或者是演示性实验, 或者是大组实验, 学生不能更多地参与, 对创新

能力的培养作用甚微. 如果在结构力学中引入小比例尺模型实验, 虽然受相似理论影响不可能从小尺寸模型实验结果定量反推原型结构的性态, 但可以实现学生自行设计、通过精细测量研究合理建模及分析技术和算法, 无疑可极大地调动学习热情、钻研精神和创新能力.

同时, 随着土木工程技术的发展, 结构向大型化、复杂化发展, 要求设计分析尽可能更接近实际, 即所谓进行精细化分析; 对一些重要建筑, 还要对它进行服役期内的健康监测或检测, 从而给出安全状况评定等等. 显然时代对结构力学提出了新的要求, 土木工程专业开设的结构力学必须修改体系, 引入实验力学内容, 解决实际结构应该如何确定计算模型——力学建模的问题和相应的技术、方法^[10-13]. 基于此, 结构力学国家级教学名师王焕定教授创建一套全新的结构力学教学思路, “从实验入手获取真实结构信息, 通过计算分析进行模型修正, 最终建立精细化力学分析的计算模型.” 这一教学思想在教育部结构力学及弹性力学课程指导小组 2010 工作(扩大)会议上以主题报告的形式向国内同行作介绍了, 获得了国内同行的一致好评并已引起指导小组的重视. 在上述思想指导下, 本教研团队经过两年的筹备和初步工作, 已完成了相关内容的组织、论证工作, 并自主研发一套积木式结构力学实验平台^[14-15], 完成了相应的实验教学内容. 本文对近年来的一些成果进行介绍.

1 现有教学问题

1.1 现有教学手段单一, 缺乏实践教学内容

传统《结构力学》课程是没有实验内容的, 加之传统手算理论较为枯燥无味, 学生在学习这门课程

本文于 2014-07-09 收到.

1) 黑龙江省教育厅教学改革项目(JG2014011176), 哈尔滨工业大学(威海)校精品课程建设和国家自然科学基金项目(51208150)资助.

2) 陈再现, 副教授, 博士. E-mail: zaixian_chen@sina.com.cn

引用格式: 陈再现, 王焕定. 实验结构力学教学改革初探. 力学与实践, 2015, 37(5): 647-651

Chen Zaixian, Wang Huanding. Preliminary study on teaching reform of experimental structural mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2015, 37(5): 647-651

时普遍存在枯燥感、茫然感甚至是畏惧感,这严重影响了学生对理论内容的理解和掌握。

1.2 现有教学内容所讲解的理论模型与工程实际严重脱节

结构力学从19世纪中期开始成为一门独立的学科至今100多年的时间里,虽然分析手段、研究范围不断延伸,但其计算模型始终沿用100多年前的计算模型,无可避免的是绝对理想化而与工程实践相差甚大。以结构中最简单的钢桥为例,简化后的计算简图为直杆铰接“桁架”,而实际工程杆与杆之间或铆接或焊接,根本不存在理想光滑的铰链,学生学完这些内容后对实际工程的计算简图及计算手段、理论仍是一无所知。用人单位无疑希望所接收的毕业生很快就能做所需承担的工作,由于几乎只教手算方法,没有介绍计算力学相关的更多内容,只了解书本上在手算条件下的理想化计算简图,对实际工程问题如何建模、如何分析等等近乎一无所知。显然,上述情况与用人单位的要求是极不相适应的。随着土木工程技术的发展,用现代计算工具和软件进行结构分析,不能采用传统的极端简化的计算模型,应该如何科学合理地建立与计算技术相应的模型或简图,这就离不开结构的实验测量。

2 实验结构力学教学思路

2.1 自行设计实验模型

古往今来,许多科学问题都是来源于某种实验现象,这种现象就当时的知识水平难以理解和解释,从而引起科学家的兴趣,继续探究下去。本项目基于上述思想,根据科学研究的某种思路,进行设计和编制实验内容,让学生演习科学探索的思路,同时积极开动脑筋,主动探究并针对实验目的自行设计实验模型。

2.2 自行设计实验方案

教师通过精心设计的具有诱惑性的实验,使学生对为什么会出现这种现象产生浓厚的兴趣,在这种欲答不能,欲放不忍的状态下产生企盼渴知的心理,继而大脑开始激活并启动。学生因此而自发地进入探索和研究的科学发现的模拟阶段,这一阶段学生是主体,积极主动地通过自我探索来推测实验现象产生的原因,并提出各种推测的实验验证方法;在这个过程中,教师要注意巡视及时获取信息,发现学生的思维偏差,随时进行调整和纠正,将学生的思维逼入科学研究的“正路”。

2.3 提出实验模型计算理论和想法

在上述自行设计实验模型及实验方案基础上,让学生通过实验来验证目前的计算模型,并能创造性地提出适合实际模型的计算理论和想法。让学生在反复探究分析后,通过亲自实验来体会成功的喜悦,留下深刻的印象。这样使学生对所学知识能更牢固地纳入自身的知识结构之中,在认识上得到一次升华,同时,在亲身经历发现问题、解决问题的过程中学习分析问题,探究问题,掌握处理实际问题的方法和技巧。

3 教学改革目标

实验结构力学教学改革,旨在在研发一系列实验平台自动化、实验模型积木化、测量系统数字化的实验加载体系基础上,开创以力学学科为依托,注重结构工程、防灾减灾与防护工程、岩土工程等多学科交叉渗透,以专业基本技能训练为基础,以创新能力培养和个性发展为目标,紧密结合大土木专业核心课程,注意从力学基本概念向结构总体性能的逐步渗透的全新的覆盖一级土木工程学科的新课程《实验结构力学》。新课程体系实现由注重单门学科的系统性向多学科交叉渗透、注重工程综合性的转变,并采取优选实验项目与开放选修实验项目相结合的教学模式,从分开放选修实验,给学生以足够的创新、研学的空间,还可直接参与力学竞赛、结构设计竞赛进行延伸学习和创新实践。

4 实验结构力学平台建设

在实验结构力学教学思想基础上,课题组自主研发一套积木式实验结构力学平台^[14-15],只要较少的设备资金投入即可实现多组学生自主设计、开放式、创新性实验的目的,使学生明确理想化计算简图与实际工程结构受力变形是有差异的,实际工程结构的计算模型是需要通过实验进行模型修正才能得到的,弥补了国内进行《结构力学》实验教学的空白,在国内尚属首创,目前已获得发明专利。目前,我们在此平台基础上编写了相应的实验指导书(初步讲义),并已用两台/套实验平台完成初步实验教学任务:(1) 力法基本原理验证;(2) 位移法基本原理验证;(3) 静定结构内力、位移测量;(4) 超静定结构内力、位移测量;(5) 互等定理验证等。

5 课程管理模式

本课程以实验教学为主,课堂教学为辅,采用教师主导作用和学生主体作用密切联系的教学过程:

(1) 不限学时, 在一个学期内学生自行安排时间完成指定内容的实验; (2) 不限模型, 学生自行设计实验模型和实验流程, 但需完成指定的实验内容; (3) 教师只做必要的指导, 从头到尾都由学生自己操作; (4) 带有研究性质, 学生自行分析实验失败或误差原因, 自行提出改进方案措施, 直到实验结果满足教师的要求; (5) 鼓励创新实验, 鼓励学生在完成指定实验内容的基础上, 提出完成自行设计的实验内容; (6) 实验成绩计入课程成绩, 创新实验内容予以加分鼓励.

6 实例

图 1 为学生利用积木式实验平台自主搭建的二次超静定构件, 竖杆由两个杆件固结连接, 水平横杆与竖杆通过一个 T 型连接件连接 (如图 2 所示), 水平方向一侧为单个杆件, 一侧为三个杆件采用一字型连接件 (如图 3 所示) 固结连接, 竖杆底部采用实验机底座上的固定端支座 (如图 4 所示), 水平横杆一端为竖向滑动铰支座 (如图 5 所示), 在竖杆顶部与水平杆相交处连接部位向下位置设置水平铰支座 (如图 6 所示), 加载示意图如图 7 所示. 加载采用砝码在悬臂端加载, 采用分级加载, 一次加载 1 kg, 最终载荷值为 15 kg (147 N). 内力测试采用粘贴应变片, 通过连接计算机的应变仪自动采集, 位移采用应变式位移传感器, 同样通过连接计算机的应变仪自动采集. 最终位移实测值与按结构力学超静定结构求解基本方法理论分析结果的比较曲线如图 8 和图 9 所示. 从图 8 和图 9 可以看出, 实测值和结构力学方法计算结果之间误差均小于 10%, 基本能满足结构力学教学实验研究.

上述误差产生的原因, 主要是由于结构力学方法计算模型与实际模型存在偏差: 结构力学计算模



图 2 T 型连接件



图 3 一字型连接件



图 4 底板固定端支座



图 5 竖向横梁滑动铰支座图



图 1 实例示意图



图6 水平横梁滑动铰支座

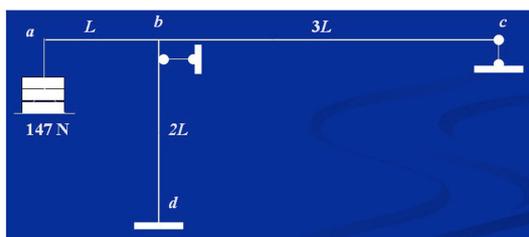


图7 实验加载示意图

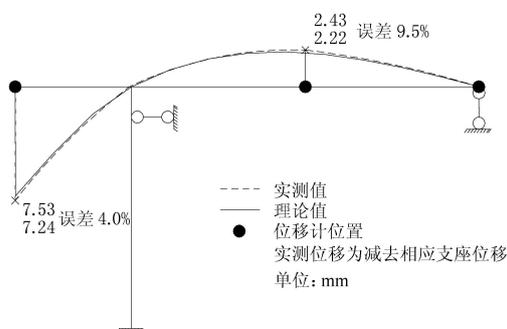


图8 模型竖向位移实验值与理论值比较图

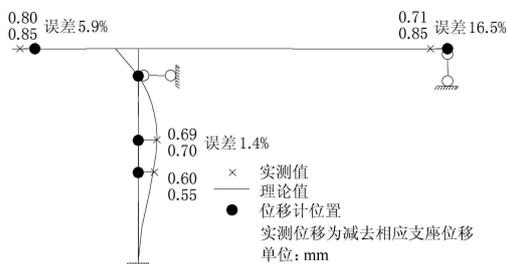


图9 模型水平位移实验值与理论值比较图

型采用的为等直截面杆,而实际模型由于是杆件拼装,在拼装节点处必定发生截面变化;此外,结构力学计算模型的杆件交点为一个点,而实际模型却为一个节点域,节点域的刚度和长度的选择均影响理论计算结果.如果想得到更精确的实验结果,可采用逐步精细化分析和模型识别方法进行分析,其做法就是通过实验(对工程结构是实测)获取结构响应的

可靠信息,利用这些信息对理想化的简化模型进行修正,确定结构当前的性能状态,从而判断结构的安全裕度有多少,进而判断何时或是否需要进行检修等等.这种逐步分析过程也正是我们开设本门课程——《实验结构力学》的目的,让学生知道,传统的理想化模型实际并不存在,理想化模型的计算结果与实验测试结果必然存在差异,要想更真实地反映实际受力变形,需要通过实验信息来进行模型修正.

7 结论

目前,我们在自主研发的积木式实验结构力学平台基础上,编写了相应的实验指导书(初步讲义),并已用两台/套实验平台完成初步实验教学任务,从初步教学实践表明:

(1) 开设实验结构力学既可提高结构力学教学质量,还可使学生深刻理解力学建模只是在一定计算(工具)环境下的一种近似简化,要想更精确地掌握结构在载荷等作用下的真实状态,需要利用实验测量信息来“反演真实的”结构计算简图.

(2) 开设《实验结构力学》课程可加强学生对土木工程专业知识特别是力学模型的理解和掌握,培养学生的动手能力、创新思维、严肃认真的科学态度和良好的工作作风,为培养土木工程精英人才提供良好的基础设施和教学课程,从而推动土木工程课程体系、教学内容等方面的改革.

(3) 实验教学是培养学生工程实践能力和创新意识的一种重要手段,通过实验教学能使同学们更好地理解结构力学理论课程的基本概念和分析方法,启发学生的创造思维和培养创新能力,使学生掌握本专业结构实验常用仪器的基本原理、测试技术技巧、熟悉结构实验基本方法和程序,为今后工作和进一步学习深造奠定基础.

参考文献

- 1 鲁阳,吕荣坤.面向21世纪的材料力学实验教学改革.高等工程教育研究,2000,(4):79-82
- 2 段纪成.材料力学课程体系改革管见.高等工程教育研究,2003,(1):81-82
- 3 吕荣坤,鲁阳.材料力学实验教学若干问题的探讨.高等工程教育研究,1997,(1):89-91
- 4 张方洪,庄表中.“理论力学创新应用实验室”初见成效.高等工程教育研究,2001,(4):91-92
- 5 李廉锟.结构力学.北京:高等教育出版社,2004
- 6 龙驭球,包世华.结构力学教程.北京:高等教育出版社,2000
- 7 朱慈勉,张伟平.结构力学.北京:高等教育出版社,2004
- 8 单建.趣味结构力学.北京:高等教育出版社,2008

- 9 王焕定, 章梓茂, 景瑞. 结构力学. 北京: 高等教育出版社, 2000
- 10 耿淑伟. 结构力学课堂教学探讨. 高等建筑教育, 2013, 22(1): 79-81
- 11 付果, 彭旭龙. “结构力学”课程教学改革与实践探讨. 中国电力教育, 2013, (10): 88-89
- 12 马崇武, 徐有基, 秦怀泉. 土木工程专业力学课程改革的研究与实践. 高教论坛, 2007, (2): 112-113
- 13 任九生, 朱怀亮, 张俊乾. 结构力学的对比式教学. 2012 年力学课程报告论坛, 2012
- 14 陈再现, 王焕定, 王瑞. 积木式平面结构力学性能万能实验台架. 中国专利, 201110266352.8, 2013-04
- 15 陈再现, 王焕定, 王瑞等. 《实验结构力学》教学实验平台探究. 力学与实践, 2015, 37(3): 383-388

(责任编辑: 胡 漫)

聚合物熔体黏性耗散测量装置研制及教学应用¹⁾

徐 斌²⁾ 李良超

(西南科技大学制造科学与工程学院, 四川绵阳 621010)

摘要 针对聚合物熔体流动过程中黏性耗散现象的理论教学不足, 在双料筒毛细管流变仪基础上研制了聚合物熔体黏性耗散测量装置并进行实验. 根据绝热边界条件径向温度分布方程, 对实验结果进行理论分析计算. 组织学生学习 POLYFLOW 软件, 利用其可视化功能对黏性耗散引起的温度场变化进行数值模拟, 并与理论计算结果对比分析. 通过让学生自己动手, 改变了理论模式教学, 对加深黏性耗散知识的理解起到积极的作用.

关键词 聚合物熔体, 黏性耗散, 径向温度分布方程, 数值模拟

中图分类号: TG76, TQ320 **文献标识码:** A

doi: 10.6052/1000-0879-14-149

聚物流变学是重要的专业基础课程, 聚物流变测量理论, 特别是毛细管口模中的聚物流变, 无论在理论研究还是在高校教学中都占有重要的地位. 聚合物熔体是高黏度流体, 流动时由于黏性耗散作用, 将机械能转化为热能, 使流动过程中温度升高, 这是一个很有趣的现象. 然而, 在聚物流变学教学过程中, 基于相关假设, 仅从理论上对上述现象进行了简单而抽象的分析^[1-3], 学生对此很难理解. 为使能够对此物理现象和过程有一个清晰的认识, 我们开展了创新实验教学. 在双料筒毛细

管流变仪基础上开发了毛细管口模聚物流变过程中黏性耗散测量装置, 根据径向温度分布方程, 计算了温度的径向分布, 实现了实验装置在实际教学中的应用.

1 实验装置及分析

流变仪是测量聚物流变特性常用仪器, 在测量流变特性时, 黏性耗散热向毛细管口模传递, 通常将聚合物熔体流动看作等温过程, 但实际是一个非等温过程^[4]. 如果毛细管口模中聚合物熔体的剪切速率保持恒定, 聚合物熔体连续不断地被挤出. 该过程中黏性耗散热会向毛细管口模壁面传递并且热交换会达到一个平衡状态, 分别测量熔体在毛细管口模入口处和出口处的温度, 用挤出熔体温度减去入口熔体温度就能得到黏性耗散温升. 基于这一思想, 在 Rosand-RH7 双料筒高分辨率毛细管流变仪基础上开发的黏性耗散测量装置如图 1 所示.

在流变仪左侧料筒毛细管口模 2 出口处安装一个温度传感器, 用于测量挤出熔体的温度, 用垫片 5 调整传感器测量部位与毛细管口模出口处的间距, 同时也在流变仪右侧料筒中安装一个温度传感器. 当流变仪料筒外侧加热圈 1 对料筒中的物料加热并保温时, 两个料筒中物料的温度相同. 因此右侧

2014-04-18 收到第 1 稿, 2014-06-19 收到修改稿.

1) 四川教育厅项目 (132d1001), 教育部制造过程测试技术重点实验室开放基金 (122xzk07) 和教改项目 (14syjs-81) 资助.

2) E-mail: haroldexu@163.com

引用格式: 徐斌, 李良超. 聚合物熔体黏性耗散测量装置研制及教学应用. 力学与实践, 2015, 37(5): 651-653

Xu Bin, Li Liangchao. Measuring device development of polymer melt viscous dissipation and teaching application. *Mechanics in Engineering*, 2015, 37(5): 651-653