

综合设计大实验教学模式的探索与实践

张亦良 李晓阳

(北京工业大学机电学院, 北京 100022)

摘要 在以综合设计型大实验为主的材料力学提高教学模式中, 将科研课成果转化成为实验教学资源, 采用完全开放式方法, 引导学生自行设计具有明确工程背景的实验, 加强工程概念及工程意识的同时, 全面考察并提升了学生的综合能力, 包括多学科的知识学习与运用, 培养了科学思维方式及创新精神. 通过实验论文及考试方法等系列改革, 兼顾“大众教育”与“精英教育”, 保证全体学生受益. 文中还列举了几个学生自行设计的创新实验.

关键词 实验教学, 综合设计实验, 工程素质, 创新能力

1 引 言

作为工科大学的教学任务, 既强调工程科学基础和工程技术手段的学习^[1,2], 更强调工程创新理念的建立和工程综合创造方法的掌握^[3~5]. 材料力学课程就其特殊性而言, 它在工科大学教育中处于第 1 个工程技术教育的转变时期, 是学生进入大学以来第 1 门与工程联系最为广泛的技术基础课. 充分利用其大量的实验教学, 在加强学生广义工程概念, 培养工程素质、创新精神方面有着重要的作用^[6,7].

笔者近几年来一直承担机械专业 3 个班材料力学的教学任务, 采取了 64+16 的教学模式, 第 2 学期 16 学时的提高教学中将重点放在综合设计型实验上. 该学期教学为 8 周, 综合实验的课内学时为 4 学时 (2 人一组, 自行选题), 从下达任务到实验结束一般为 3~4 周. 此过程完全开放, 并采取实验论文演讲等系列措施, 保证每一个学生参与, 全面提升学生综合设计的工程应用能力.

2 提高教学中的措施

2.1 明确要求, 鼓励学生自主发挥

面对一百多个学生, 数十个不同的实验选题, 做到高质量高效率, 须抓住几个关键环节: (1) 方案制定阶段: 此阶段至少需要一周时间, 要求学生写出计划书, 明确做什么 (必须有明确工程背景), 怎么做, 预期目标是什么? 即想好了再做; (2) 实验实施阶段: 由学生自己动手, 学生随时可去实验室做实验 (实验室从早 8:00~ 晚上 22:30 全天候开放); (3) 结果分析、总结提高、论文写作阶段: 此阶段是研究性实验的重点, 事先给出论文参考格式: 包括研究问题、工程背景、理论分析模型、实验过程数据结果、讨论分析及结论. 学生初步完成实验后, 需加强引导, 起到画龙点睛作用. 大实验的完成, 学生们一般都是几进实验室、反复实验研究才得出结论. (4) 论文演讲阶段: 给学生搭建展示自我的舞台, 是表达能力的训练, 也是公开的考核.

2.2 考核方式 —— 论文 + 演讲

期末成绩计算法: 实验成绩: 40% (其中大实验论文 30%); 实验后 3 个班大课堂交流 (PPT 形式): 40%, 平时成绩 (作业): 20%. 大会交流一般占 10~12 学时 (基本为课外), 实验交流成绩评定由两部分组成: (1) 全体学生都参与评分: 包括自评分 (对本组实验及讲解的评分) 和给其它实验小组评分; (2) 教师评分; 综合各项评分后给出最终成绩.

该考核方法已实行 4 年, 体现了“大众教育”与“精英教育”的结合. 大会报告自己小组实验论文、回答同学质疑、每个同学均参与评分的方法为“大众教育”, 避免了开放实验中不易控制学生实际投入程度的弊端, 体现了公平公正原则. 每年的优秀学生论文集、学生论文参加北京市力学年会等则为“精英教育”.

2.3 科研为教学奠定了基础, 科研成果不断转化为实验教学资源

随着我校科研领域的扩大, 多数科研成果已成为本科生综合实验的内容. 实验中心建立了基于残余应力、磁记忆、动态应力位移测量的研究性前沿性实验平台, 开出了“残余应力测定实验”、“弹塑性应力及电测法综合实验”、“金属磁记忆检测实验”等不同层次的系列实验, 将大量工程实际问题及仪器操作步骤拍摄制作成多媒体课件, 成功尝试了高档贵重设备的开放实验形式. 在学生选择综合实验时, 只要有适合的, 就让他们真题真做, 将知识运用于实际中, 如北京焦化厂的鼓风机叶轮断裂事故, 铁道科学研究所的火车动态试验桥梁、火车车轮及铁轨的测试等. 工程性研究课题大大开阔了学生的眼界, 激发了学生兴趣, 同时又深化及扩展了理论知识的学习, 形成良性循环.

3 学生的几个创新型实验

实验 1 城市轻轨的力学性能研究

对于工程实际构件, 除了需综合运用力学的理论知识外, 还涉及到铁轨运行状态、火车车轮与铁轨的接触方式等多方面新知识, 同时还要求学生从机械结构上实现不同的加载方式, 是一种涉及多学科的综合知识与能力的训练.

研究对象: 北京城市轻轨. 长 1 m, 高 138 mm, 质量 41 kg, 截面形状: 不对称工字钢.

研究内容及提出问题: (1) 轻轨的结构形式及几何参数: 截面为何采用不对称工字钢? 中性轴位置及惯性矩如何确定? 连接孔为何不位于腹板几何中心处? (2) 轻轨材料的力学特性: 弹性模量 E 及泊松比 ν 的测定; (3) 轻轨受

力特性：模拟实际载荷的作用形式——设计斜弯曲加载方式。（4）截面各部分的应力分布特性，腹板上的切应力。

实验解决方案：贴片、力学模型的简化、加载方式确定。见图 1~ 图 4。

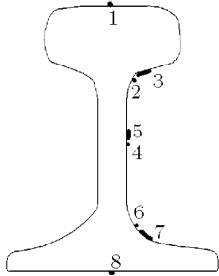


图 1 轻轨截面形式及贴片

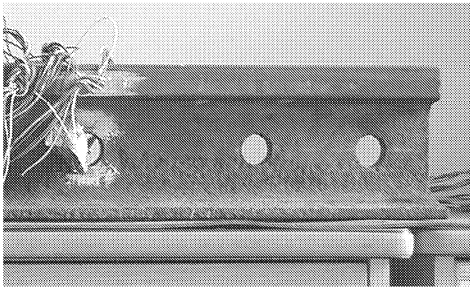


图 2 轻轨连接孔

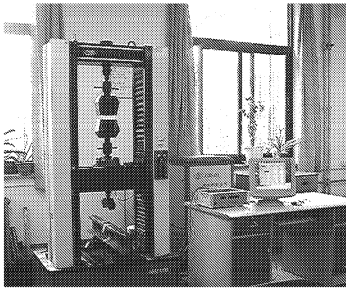
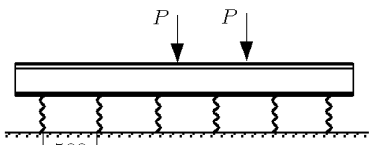


图 3 实验加载装置



枕木等效为等间距弹簧支撑模型

图 4 轻轨实际支撑及承载示意图

深入研究的问题：在同期另一项学生参与的课题——火车车轮残余应力测试基础上，考虑车轮与铁轨的配合方式，铁轨斜弯曲受力特征。见图 5~ 图 7。

实验结论：（1）纯弯曲加载得到 $E = 201.8 \text{ GPa}$ 和 $\nu = 0.28$ 。（2）实验测试与理论计算相结合得到中性轴位置及惯性矩。（3）实验证明轻轨腹板上连接孔部位确为中性层。（4）轻轨的截面形式与工字钢相比，在实际斜弯曲受力

情况下，降低最大应力，减缓了应力集中，具有良好的力学性能。

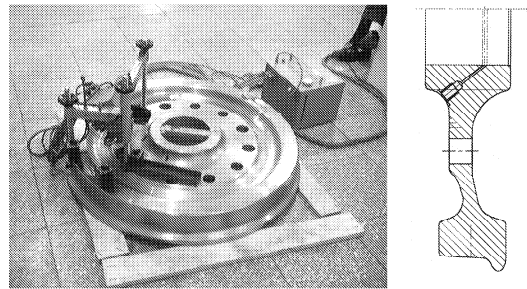


图 5 进行残余应力测试的火车车轮

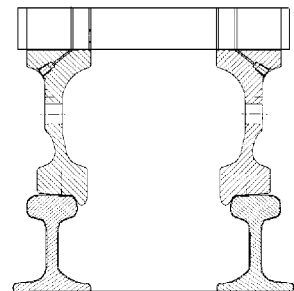


图 6 车轮与铁轨的配合示意图

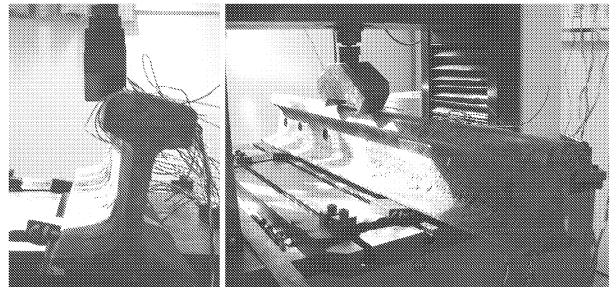


图 7 斜弯曲加载方案

实验 2 双杠的力学性能研究

该题目为学生自选项目。鉴于室外实验环境的特殊性，除了培养观察、分析、知识运用的能力外，还特别锻炼了学生们整体计划、协调安排、团队配合的能力，是一次综合能力的训练。

研究对象：学校操场上双杠。见图 8。

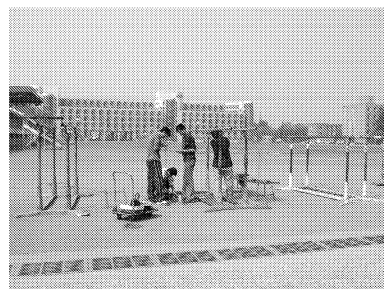


图 8 学生研究双杠力学特性

研究内容及提出问题：(1)人在双杠运动,变形比较大,静载时是否有水平位移?其对弯曲应力及变形公式的影响?(2)双杠是铰链还是固定连接?(3)位移互等定理在此是否成立?(4)截面为什么采用椭圆形薄壁结构?(5)不同支撑形式受力状况?

实验解决方案:电测法测试.贴片、力学模型的简化、加载方式——在双杠表面及支撑附近处粘贴多枚电阻应变片,用 $\Delta P = 10\text{ kg}$ 的砝码加载,测量应变及应力变化情况,并考察支撑附近是否存在弯矩,以此判断其是固定还是铰支连接方式.见图9~图11.

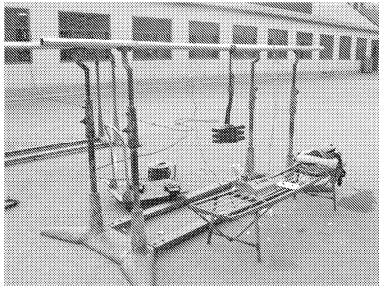


图9 双杠贴片及加载方案

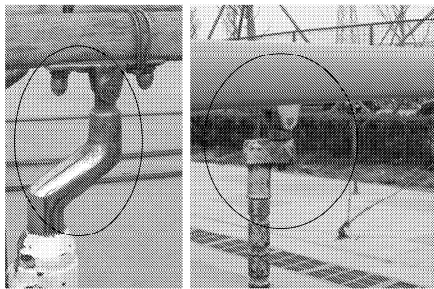


图10 研究双杠不同的支撑方式

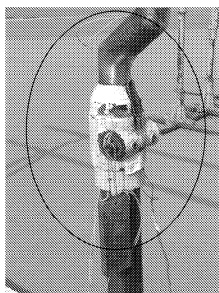


图11 布片方案

实验结论:通过理论计算分析,当 dy/dx 较小时,略去高阶项后,水平位移与竖直位移相比可忽略,由此引起的应力与变形亦可略去;从实验数据分析,双杠为铰链连接;通过不同的加载点测量位移与应变,验证了位移互等定理;双杠为椭圆形薄壁截面,与圆截面相比,除了便于人运动外,其抗弯性能好,同时闭口薄壁杆件,抗扭性能好,重量轻.不同的支撑方式,主要为调节两杠之间的宽度,其力学性能

均可达到要求.

实验3 桁架的力学性能分析

学生模拟工程结构自制模型,进行力学性能测试计算研究,锻炼了动手能力与综合分析能力.

研究对象:工程结构中的桁架.见图12,图13.

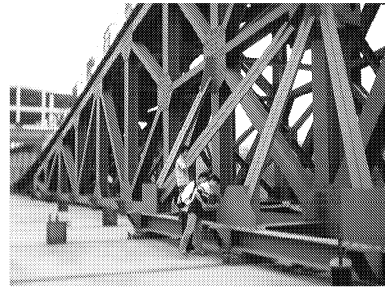


图12 桥梁结构中的桁架

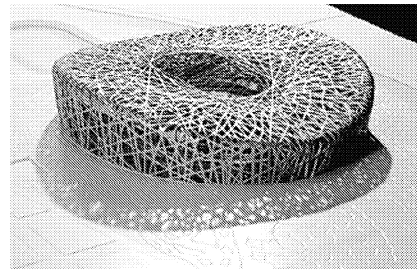


图13 奥运场馆——鸟巢

研究内容及提出问题：(1)桁架各部分的承载能力;(2)比较载荷作用方式(均布与集中加载)的优劣性;(3)验证以下几个假设的正确性:桁架的杆件均为直杆,可简化为光滑铰链连接;所有的负载均作用于节点;构件的重量可忽略不计.

实验解决方案:学生自己动手制作桁架,并粘贴应变片,用电子万能试验机改装的综合力学实验框架进行加载,时时采集载荷及应变信号.见图14,图15.

实验结论:均布载荷与集中载荷作用时,只对上下梁有影响;对中间杆件影响不大,均布载荷引起的应力较小.实验数据表明桁架中的每一构件(除上下梁)均为二力杆,作用力沿杆件轴线方向,由此证明假设的正确性.

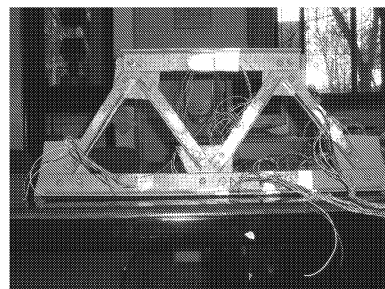


图14 自行制作的桁架

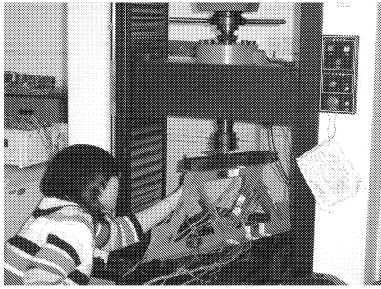


图 15 在试验机上加载

4 结 论

(1) 综合设计性大实验是对学生的工程化训练过程, 全面考察并提升了学生的综合应用能力, 对学生工程素质的提高及创新精神的培养大有益处.

(2) 实验中心的建设为科研奠定了广泛基础, 科研成果不断转化为实验教学资源, 学生由此得到锻炼, 而学生的创新性实验又大大促进了实验中心的建设, 丰富了综合设计型

实验的内容.

参 考 文 献

- 1 左伟清. 中美创新型人才培养机制比较. 嘉应大学学报, 2002(2): 89~92
- 2 陈定圻, 朱为玄. 培养学生创造能力与创新精神的实践. 力学与实践, 2004, 26(5): 74~75
- 3 安丽桥, 吕恬生等. 结合工程项目进行基础工程训练. 实验室研究与探索, 2003, 25(4): 11~14
- 4 蔡水国, 周贤良, 刘志和等. 工程教学和工程训练相结合的人才培养模式的研究与实践. 南昌航空工业学院学报(社会科学版), 2002(3): 20~24
- 5 李洪升, 张小鹏, 刘增利. 加强实验教学以培养学生的工程素质. 力学与实践, 2004, 26(6): 76~77
- 6 孙建国. 关于材料力学实验教学改革的设想. 力学与实践, 2004, 26(3): 88~89
- 7 谢仲贤. 工程力学实训课中, 题目引导式教学法应用. 力学与实践, 2004(4): 67~70

关于单位载荷法解静不定结构位移的讨论

胡伟平 孟庆春

(北京航空航天大学航空科学与工程学院固体力学研究所 508 教研室, 北京 100083)

摘要 从虚功原理的要求和静不定结构的受力特点出发, 指出将单位力加在静定基上的本质是构造了原结构的静力许可场, 从而论证了“在静定基上加单位力求静不定结构位移”这一方法的正确性.

关键词 虚功原理, 单位载荷法, 静不定结构

1 问题的提出

在材料力学中, 单位载荷法是求解位移的一个常用而有效的方法. 在解出多余约束反力从而确定结构内力之后, 为求静不定结构的位移, 最直接的做法是在原结构上施加单位力, 得到单位载荷状态下的内力, 计算得到位移. 该解法是单位载荷法的直接应用, 很好理解, 但需解静不定才能得到单位状态的内力. 因此, 如果所求位移不是实际载荷的相应位移, 通常的作法是在原静不定结构的静定基(基本系统)上施加欲求位移对应的单位力, 得到单位载荷状态进行计算, 比如文献 [1,2] 就是如此处理的. 很明显, 该单位载荷状态下内力的确定是静定问题, 求解简单; 但是单位力并非加在原结构上, 而是加在其静定基上, 即拆除了原静不定结构中的一部分约束, 如何理解这一做法? 一般的解释是从相当系统说起, 即将原问题看成在外载荷与多余反力共同作用下的静定问题, 于是在与相当系统一致的静定基上施加单位力求

位移, 就是很自然的了. 这一解释是可以的, 但很表面, 且在有些情况下解释起来非常不便. 比如, 应用力法正则方程时, 为求出单位力作用下的位移系数需选取不同的静定基, 这些静定基与相当系统并不全一致. 文献 [3,4] 试图对这一问题进行“一般性的数学证明”, 取两个载荷状态: 一是单位力加在原静不定结构上, 二是将结构的多余约束反力加在静定基上. 将这两个状态的内力与外力作为静力许可场, 真实载荷引起的位移和应变为运动许可场, 两次应用虚功原理并利用叠加原理, 即可证明. 这种做法非常麻烦, 且对于内力外力非线性的情况不适用.

实际上, 上述解法根本无需证明, 只要从虚功原理的角度加以说明就可以非常简单地阐明解法的道理, 且这一解释是本质上的.

2 虚功原理是单位载荷法的理论基础

单位载荷法以虚构的外力和内力作为结构的静力许可场, 是由虚力原理(余虚功原理)引出的方法. 在材料力学中, 一般不介绍虚力原理, 而是将真实位移和变形视为虚位移和虚变形, 将单位外力及其引起的内力作为结构的外力和内力, 根据虚功原理, 导出了单位载荷法的表达. 因此说, 单位载荷法的理论基础是虚功原理.