

# 材料专业本科实验教学课程设置的思考

庞超明, 秦鸿根, 张亚梅, 张 萍, 王修田, 梅建平

(东南大学 材料科学与工程学院, 江苏省土木工程材料重点实验室, 江苏 南京 211189)

**摘要:** 根据现代大学人才培养的需求, 提出实验科学应该是抽象知识的具体化, 是理论课程的延伸, 是与课程紧密相关但又相对独立的课程体系。针对材料科学专业实验课程的特点, 分析了不同高校材料科学与工程专业之间的差异性和课程设置的难度。根据东南大学材料科学与工程学院专业的设置, 探讨了实验教学的改革方法, 提出了实验课程设置的思路, 在原有实验课程设置的实验资源的基础上, 提出了土木工程材料专业方向实验课程的具体设置方案。

**关键词:** 实验教学; 课程设置; 材料专业; 教学改革; 土木工程材料

**中图分类号:** G643.0   **文献标志码:** B   **文章编号:** 1002-4956(2011)06-0271-05

## Thinking on curriculum setting of experimental teaching for materials science and engineering specialty

Pang Chaoming, Qin Honggen, Zhang Yamei, Zhang Ping, Wang Xiutian, Mei Jianping

(School of Materials Science and Engineering, Southeast University, Jiangsu Key laboratory of Construction Materials, Nanjing 211189, China)

**Abstract:** According to the needs of the modern undergraduates' training, abstract knowledge of experimental practice should be put forward and it is the extension of the theoretical course. It is closely related with theoretical course but relatively independent of curriculum system. The difference between materials science and engineering departments of the different universities and difficulty of the curriculum development are analyzed based on the characteristics of material science experiments. According to the department setting of School of Materials Science and Engineering of Southeast University, the reform of the experimental teaching method and thoughts of experimental curriculum system are proposed. Also the detailed experimental course or program of civil engineering materials specialty is proposed based on the original course and laboratory.

**Key words:** experimental teaching; curriculum setting; materials specialty; teaching reform; civil engineering materials

为适应时代的发展, 各用人单位对高等学校人才的培养模式和人才能力的培养提出了更高的要求, 要求学生具有较强的实践能力、科研能力和创新能力。现在高等院校的人才培养中, 理论教学可有效地培养学生的基础知识和创新性思维, 而培养学生在实践中观察问题、发现问题、思考问题进而解决问题的能力, 才能使有效地解决未来工程实践或科研中所出现的各种问题, 从而培养出具有创新型和动手能力强的工程技术人员和科学研究人员。因此, 加强实践性教学环节建设, 有效地改进实践教学内容, 制定出合

理的实验教学体系, 改革实验教学方法和手段, 使学生从实验中培养自己的动手能力和创新能力, 才能满足现代人才培养的发展需要。

### 1 正确定位实验教学

材料科学是研究材料的组织结构、性质、生产流程和使用效能, 以及它们之间相互关系的科学<sup>[1]</sup>。按物理化学属性分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料。材料学科是以实验为基础的学科, 实验教学不同于理论教学, 目的是培养学生的动手能力或实践能力, 利用理论知识解决和分析问题的能力。动手能力, 是指通过动手或实验分析问题、解决问题的能力。传统的教学模式是重基础理论教学而轻实验教学, 侧重于加深和提高学生对基本理论知识的理

收稿日期: 2011-04-06

作者简介: 庞超明(1977—), 女, 湖南宁乡, 博士, 工程师, 建筑材料实验室主任, 研究方向为先进土木工程材料。

E-mail: pangchao@seu.edu.cn

解,忽略了对学生能力与素质的培养。目前大部分高校的实践课程总学分低,单独设课少之又少,一般仅几个学分,大部分实验只是理论课程的辅助,课程实验内容之间缺乏知识的连贯性,实验课程体系缺乏独立性、整体性和系统性,实验课内容比较陈旧。

部分高校已认识到原有实验的不足,采取了一些相应的措施,如:安徽理工大学土木工程测试技术课程教学在总学时减少的情况下,其课程实验反而增加2学时<sup>[2]</sup>;武汉理工大学将材料科学基础实验,由每个实验2小时增加为8小时<sup>[3]</sup>。但这仍然不够。很多高校也在寻求更好的实验课程体系或课程内涵设计,如:西安工业学院材料科学与工程系设置了“材料科学基础实验”、“材料工程基础实验”、“设计型综合实验”3门独立实验课<sup>[4]</sup>;宝鸡文理学院探索了新的实验教学模式,突出学生创新能力和工程能力的培养,减少验证性实验,增加综合性、设计性和研究探索性实验<sup>[5]</sup>。

一个完整的实验过程,应能形成与该实验相关的知识体系,包含文献综述,熟悉和了解与实验内容相关的材料性能、整个实验设计原理和方法、实验过程的影响因素、实验可能的结果、实验过程的操作、结果计算,以及对实验过程出现的现象进行分析总结等。另外,应满足实验所需的学时,只有通过一个与课程紧密相关但又相对独立的完整实践体系,才能实现培养学生的动手能力和实践能力。实验课程体系应该按照理论教学计划的严谨制定方式,在整个院、系层次上,由有教学经验和实验经验的教师,在教学体系思想和原则的基础上制定,而不是单独由课程任课教师和实验室根据资源环境开设出来的某门课程的附属。实验课程宜定位为理论课程抽象知识的具体化,应是课程的延伸,甚至是某些理论内容在实践方面的深化。

## 2 材料专业实验教学的课程设置思路

从18世纪工业革命人类进入钢铁时代开始,直到20世纪中叶,金属材料在材料工业中一直占有主导地位。20世纪中叶以后,人工合成高分子材料问世,并得到广泛应用。20世纪50年代,合成化工原料和特殊制备工艺的发展,推动了先进陶瓷的发展和新型功能陶瓷的产业化,结构材料也进一步发展。同时,锗单晶、硅单晶和化合物半导体等的出现,使电子技术领域由电子管发展到晶体管、集成电路、大规模和超大规模集成电路。随着现代材料科学技术的发展,金属、非金属无机材料和高分子材料之间的联系进一步加强,从而出现了一个新的材料领域——具有高性能的结构和功能一体化的复合材料。

在材料科学技术发展的基础上,各个高等院校也相继建立了材料学专业。大部分高等院校的材料学专

业是以从其他专业剥离出来的金属材料专业为基础,并逐渐吸纳或增加一些其他材料的研究方向。如:清华大学材料科学与工程系建于1988年,由原工程物理系材料物理教研组、原机械工程系金属材料教研组和化学工程系无机非金属材料教研组组建而成,设一个本科专业——材料科学与工程专业,含材料物理、金属物理、无机非金属材料、复合材料、电子材料等5个学科培养方向<sup>[6]</sup>;浙江大学材料科学与工程学系成立于1978年,由当时化工系的硅酸盐、机械系的金相和铸造以及无线电系的半导体材料等专业整合而成<sup>[7]</sup>;东南大学材料科学与工程学院由原机械工程学院的金属教研室、金属材料研究室、分析测试中心组建,成立于1984年12月,之后又相继并入原土木工程学院的建筑材料与制品教研组、原机械工程学院材料加工工程学科组<sup>[8]</sup>。

随着社会经济和科学技术的发展,各种材料之间交叉融合也越来越密切,由于材料千差万别,不同大类材料的组织结构、性质、设计技术、使用方法等各方面均大不相同,同时由于不同材料技术本身和各学科之间发展水平的差异性,使得各高等院校由不同专业组成的材料院系,其课程设置难度很大。各院校结合自身学科的发展和院系内专业之间的交叉程度,在课程设置上差异较大。本文结合东南大学材料学院各研究专业的特点和原有实验课程的设置,提出了以下实验课程设置的思路。

目前东南大学的材料科学可分为以下方向:传统的金属材料、土木工程材料、电子信息材料和新型功能材料等,其中功能材料主要为以金属或陶瓷为基础的功能材料,因此在实验课程的设置上,仍然以金属材料和土木工程材料为基础。目前我院公共实验课程有单独设置的材料科学基础实验,课程辅助实验——必修课材料物理性能、材料力学性能、材料分析及选修课材料测试技术的课程实验,另设有特色专业实验——独立设置的各专业方向的大型材料综合实验课程。总体说来,实验课程偏少,单独设置的实验课程更少,缺乏系统性,同时除专业大型实验外,其余均为专业公共基础实验。

现有的材料专业教学课程设置,普遍强调“厚基础”。事实上,厚实的理论基础确实可以有效地拓展学生的思维,然而,如果过于强调厚实践基础,会使得学科跨度较大的公共实验基础适用性不强,甚至学生感觉学之无用,因此兴趣不浓,无法有效调动学生的学习积极性,教学效果不佳。为增强学生的兴趣,更好地培养学生的实践能力、动手能力和科研创新能力,在增强实验教学队伍业务水平的基础上,应完善实验课程体系的设置。可加大实践课程总量和课时的设置,减少

公共基础实验, 增加专业基础实验, 设置专业综合实验, 将实验课程设置有: 少量的材料专业通用基础实验, 适量基于研究方向的专业实验、实践应用型综合实

验和毕业论文设计, 以单独的实验课程为主, 尽量少设或不设课程辅助实验。拟设置的实验课程如图 1 所示。

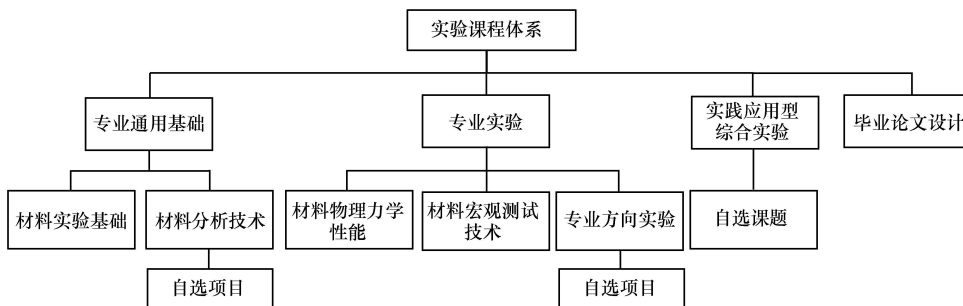


图 1 实验课程设置框图

材料科学的主要任务, 是以现代物理学、化学等基础学科理论为基础, 从电子、原子、分子间结合力, 晶体及非晶体结构、显微组织、结构缺陷等观点研究材料的各种性能以及材料在制造和应用过程中的行为, 了解结构-性能-应用之间的规律关系, 提高现有材料的性能, 发挥材料的潜力, 并能动地探索和发展新型材料, 设计出满足要求的新材料。因此专业公共基础实验课程以延伸理论知识和培养基础科研能力为目的。考虑到几乎所有的材料性能都是通过材料分析和测试技术来实现的, 且材料学是实验为基础的学科, 材料分析和测试技术在材料学的科研工作中具有极其重要的地位, 可以说掌握了材料分析和测试技术, 就掌握了材料科学的研究技术基础。因此, 专业公共基础实验设置为材料实验基础和材料分析技术, 充分考虑大型设备的台套数问题, 结合学生的兴趣, 以学生自选若干项目形式来设置课程。

基于研究方向的专业实验课, 主要考虑为后续的实践应用型综合实验、毕业论文设计等后续的科研工作和工程技术能力打下坚实的实践基础, 以培养学生与实践工程和科研工作中的实验能力和动手能力为目的, 以研究方向为基础设置实验。可设置专业方向的材料物理力学性能实验和材料宏观测试技术, 专业方向如土木工程材料基础实验。材料宏观测试技术主要包含除物理力学性能以外的其他测试技术, 以新的试验方法和试验理论为主, 如各种无损检测技术等。每门实验课程中, 均可根据实验的难度, 设置不同形式, 如以验证型、提高型、设计型中的某类为主, 每单项实验自成小体系, 但整个实验课程为一完整的大体系, 即每项实验都是大体系中的某一分项实验。专业实验课程的实验以学生自选为主, 学生可结合自己的研究兴趣来选择相应的实验内容。

专业实践应用型综合实验以综合性实验为主, 应包含多个基础实验, 以解决工程实际问题为目的, 给出

一定的工程应用背景或实际问题, 以小型应用性设计或问题分析为基础, 需要合理设计实验方案, 综合分析各个实验结果, 方能取得问题的答案。在教师的指导下, 学生自行设计整个实验方案、选取实验方法, 进行实验测试和结果的分析等, 以培养学生解决实际问题的能力和启发创新性思维。

根据以上思路设置实验课程时, 公共基础实验至少设置为 6 学分, 专业综合 6 学分, 专业大型综合 4 学分, 毕业设计若干学分。总体而言, 部分实验课程采取自选性质, 学生可结合自己的兴趣、发展需要和专业方向来选择实验内容, 可有效地提高学生的兴趣, 调动学生的学习积极性。另一方面, 通过实验课程体系的调整, 增强实验技术的通用性和实用性, 达到提高学生各方面实践能力的目的。

### 3 材料专业公共基础实验教学的具体设置

#### 3.1 材料科学实验基础

通过调研部分高等院校的材料科学基础实验, 如: 清华大学材料科学与工程系结合自身的专业材料科学基础的实验设置为相结构的计算机模拟、滑移系统的计算机分析、Cu-Zn 系反应扩散的相分析、Fe-C 合金、二元和三元合金、回复与再结晶显微组织; 西安科技大学的材料科学基础内容包含材料的结构、晶体缺陷、晶体理论、二元相图、三元相图、塑性变形理论、再结晶, 其材料科学基础是以金属材料为主<sup>[9]</sup>; 北京科技大学的材料科学基础实验设置了 9 个实验, 几乎全部为金属材料科学基础实验<sup>[10]</sup>, 这是由于该材料科学专业都是从金属材料专业发展转型而来。可见部分高校的材料科学基础实验仍然是主要针对金属学, 未能真正实现材料科学的通用基础。结合东南大学材料学院金属材料 and 土木工程材料专业特点, 考虑部分以金属材料为主的材料科学基础实验, 同时拟由土木工程材料方向设置以下四大实验, 其中每个实验由 2~ 3 个小实验

组成:

(1) 硅酸盐晶体即粘土电动电位及离子交换容量的测定。根据光学显微镜观察结果,研究粘土表面结构与粘土电动电位、离子交换容量之间的关系,进而分析粘土的组成、结构与性能的关系。

(2) 部分材料设计以材料的紧密堆积为理论基础,如微粉材料的紧密堆积、沥青混凝土、水泥混凝土等,因此以紧密堆积理论为基础,测试不同粒径大小组成材料的颗粒分布,通过计算各原材料的最紧密堆积的搭配,得出最优级配组合。采用不同堆积下的材料制备试件,并测试其宏观性能,分析不同堆积情况与宏观性能的相互关系。

(3) 通过显微镜观察和分析胶凝材料在凝结硬化过程中晶体的生长等微观结构发展变化过程,研究晶体的变化与宏观性能的关系。

(4) 比较胶凝材料在不同养护工艺条件下(干燥养护、标准养护、蒸汽养护、热水养护等)形成的产物与微观结构的差异,分析工艺条件对微观结构的影响,从而解释对宏观行为的影响等。

### 3.2 材料分析技术

当前大部分高等院校材料的分析技术几乎都依赖于价格昂贵的大型设备,各单位的台套数都不可能太多,绝大部分都只有一台,因此设备的资源极大地限制了该实验课程的设置。以往该门课程的设置以示范性为主,几乎都是带领学生走马观花式地看看设备和实验过程。因此结合本院的设备,考虑将材料分析技术设置成若干限制人数(如 5~20 人)的选修课程,如 SEM 实验课、ESEM 实验课、XRD 实验课、CT 实验课、MIP 实验课、TEM 实验课、显微硬度、纳米压痕等。每门课程设置成 16 实验学时的课程,包含从样品制备技术、测试技术和设备原理、结果分析和讨论等整个系统过程。每个学生必须在修完材料分析技术理论课程后,根据自己的兴趣和科研工作的需要,在随后的 2~3 个学期选修至少 2 个分析技术实验,这样,一方面将学生有效地分散到了各个不同的时段,另一方面有效调动了学生的学习兴趣 and 积极性,从而更好地提高学习效果。

## 4 专业实验教学课程的具体设置和安排

### 4.1 专业实验课程的具体设置

大部分材料学科专业均设置了材料物理力学课程,并作为公共基础的理论课程,介绍材料物理性能和力学性能。然而不同材料物理力学性能差异很大,从学生知识实用性的角度考虑,不同于理论教学,在实验课程的设置上,材料物理力学性能实验更适宜于作为专业基础课程设置。

由于材料科学是多学科交叉与结合的结晶,是一门与工程技术密不可分的应用科学,材料的发展是以应用为基础的,那么考虑实际应用,以某种材料(如以学科内的主要研究材料)为基础,从相应材料的最强特性和最大局限性,以及材料性能的改进方法方面来设计材料物理力学性能的实践课程。学生采取自选形式,选择其中的 3~4 种材料,对应若干次实验,分组来实验室进行实验。

课程在实验前,要求学生在听完课程讲解后,能熟练掌握实验材料的性能及性能的改性方法,并要求进行文献综述,提供综述性的研究报告作业,然后再进行实验。对于工程中利用其力学行为的材料,多数应用为结构材料,如钢筋、混凝土、木材等,那么实验课程安排就以这些材料的力学性能测试为主,如设置金属材料钢筋的拉伸和弯曲性能、改性或经处理后的钢筋的拉伸和弯曲性能,铝及铝合金型材的拉伸和弯曲性能,混凝土的劈裂抗拉和抗折性能等。改性方法可采用复合材料方式,如纤维增强后混凝土的拉伸和弯曲性能,天然木材的拉伸、弯曲和抗压性能,复合地板木材的拉伸、弯曲和抗压性能,橡胶的拉伸、撕裂等力学性能等。实验改性材料的选择,应为按最先进的改性方法制备的已市场化材料进行实验,并给学生提供上届学生或上次学生实验的改性方法、实验结果,从而达到与时俱进,课程内容及时跟上科研步伐。

对于工程中主要应用其物理性能的材料,在土木工程材料方向可设置如下实验课程:如玻璃的使用主要利用其光学特性,但是在应用中还要考虑其声学性能,因此可设置玻璃的太阳光透射比、紫外光透射比、辐射率等的实验,其镀膜玻璃的透射比、辐射率等;有机高分子材料很多利用其保温隔热等性能,那么可设置聚苯泡沫板的导热系数实验或其他材料热膨胀系数的实验测定;材料的电阻性能关系到材料在很多方面应用,因此可设置材料电阻性能或材料介电常数、电阻率等实验。在材料物理力学性能实验课程外,宜选择性设置更接近专业的实验基础课,如土木工程材料专业设置土木工程材料专业实验课,仍然参照一贯的实验内容,可安排与专业非常接近的水泥、集料、混凝土配合比、砂浆、外加剂、沥青、砖瓦、防水材料性能等实验,学生以选修的形式选择其中的 4~5 项内容,各项内容均拍摄成录像,由学生使用录像自学后,按组自由选择时间来实验室进行实验。

材料的性能几乎都是通过测试结果来表征,因此测试技术与表征方法非常重要,但不同材料之间测试技术的差异和难度等跨度均较大。要体现基础实验课的通用性和公共性,设置难度较大,故考虑成专业实验。如考虑成通用基础实验课程,则可通过相同方法

在不同专业方向上的应用和具体测试技术的差别来设置,从而启迪学生在测试方法上的思考,促进学科之间的交叉融合,甚至可以通过比较拓展某些方法的应用范围。由于无损检测方法不破坏材料的使用性能,在各种材料的测试技术中有着重要的地位,因此材料的测试技术以无损检测方法为主,可设置土木工程材料,如混凝土和金属的无损检测方法实验(如各种材料均有应用的超声法和不同专业应用的其他无损检测方法等),进行不同材料无损检测方法的比较。电测法是一种通用的测试材料变形性能或微应变的方法,在各种不同材料中均有极其广泛的应用,因此可设为公共基础实验。弹性模量和泊松比也是材料的重要性能,因此可设置不同材料的弹性模量和泊松比实验。不同材料的某些相似性能,可采用不同的表征方法,用不同方法测试材料的不同细度,可用筛余法、比表面积法、BET 吸附法、激光粒度分析法等。通过对不同材料使用不同设备和方法来进一步对比相近性能的不同测试方法,促进学科不同专业之间的交叉和融合。

#### 4.2 专业方向综合实验课程的具体设置

为培养学生独立利用实验解决问题的能力,培养学生的创新能力,很多高等院校都非常重视综合型实验课程的设置。如:南昌航空工业学院材料科学与工程系对金属材料工程类学生,结合工程实践,开展跨金属材料及热处理和金属材料腐蚀与防护 2 个专业的综合实验课程<sup>[11]</sup>;上海工程技术大学在“纳米材料工程”课程中设计了具有开放性、创新性和综合性的课程实验<sup>[12]</sup>,专业大型实验也是本院系实验课程的特色,已开设有 6 年时间,以综合性和设计性实验为主,并结合学科的发展,将最新的研究方向纳入实验设计内容,能有效地激发学生的学习兴趣,发挥学生在实验过程中的主观能动性,培养学生独立分析和解决问题的能力,教学效果良好。

为进一步加强学生和教师之间的互动性,专业方向综合实验课程可设置成实验研讨课形式,要求较多的实验学时,给定学生一个实验题目或实验目标,学生可结合前述自选的材料物理力学性能和专业自选实验来自主选择课题。其中实验课题的设置要求实验内容涵盖制备技术、性能测试和表征、性能与组织结构的关系、工程应用等几方面的内容。要求学生紧紧围绕该实验题目和目标,首先进行文献检索和实验设计,教师给予必要的基础理论知识的讲解。此后实验过程以学生为主体,2~3 个学生为一组,让学生从实验设计开始,独立地进行整个实验。实验报告以论文的形式,最后全班进行统一的汇报和交流,使学生在动手能力、表达能力和综合分析能力等方面得到有效的锻炼。

## 5 结束语

依据上述思路设置实验课程,则每门实验课程都是一个完整的实验体系,每项实验作为大体系中的一部分,也自成小体系。按该方式设置实验课程,对实验教师的理论知识和设备技术知识等也提出了更高的要求。实验教学是实践的教学,是知识应用的教学,因此应以实验设计原理和实验影响因素等为主,如材料物理力学性能中,不介绍材料特性的理论基础和改性的理论基础,而主要介绍材料表现出的性能、实际应用中利用的特性、使用的局限性,以及为改善局限性所采用的主要改性手段及改性效果等。至于实验操作过程和仪器设备的操作,拟拍摄成电影短片或制成动画形式,由学生自行观看后,根据实验要求独立完成实验,并进行相应的分析和总结,从而有效提高学生的工作效率和实验效果,达到培养学生实践能力的目的。

通过专业公共基础实验到专业实验,学生可有效地掌握材料基础实验和通用的研究方法,其基础的实践能力、动手能力得到有效的锻炼;而通过专业方向的大型综合实验和毕业设计,学生思考问题和解决问题的能力、综合科研能力、创新能力得到最基本的训练和培养。实验教学改革初步形成了以培养学生实践能力、科研能力和创新能力为目的的实践教学体系。

## 参考文献(References)

- [1] 百度百科. 材料科学[EB/OL]. [2016-01-18]. <http://baike.baidu.com/view/22775.htm>.
- [2] 庞建勇. 土木工程专业测试技术课程教学改革的探讨[J]. 安徽技术师范学院学报, 2004, 18(5): 60-62.
- [3] 顾少轩. 材料科学基础实验的创新研究[J]. 中国水运, 2007, 7(8): 236-237.
- [4] 杨通, 范新会, 王正品. 材料类专业实验课程体系的改革[J]. 实验室研究与探索, 2004, 23(10): 71-74.
- [5] 崔芳. 环境工程专业创新实验教学体系改革[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(2): 139-142.
- [6] 清华大学. 材料科学与工程系[EB/OL]. [2011-01-12]. <http://www.tsinghua.edu.cn/publish/ms/e/61/index.html>.
- [7] 浙江大学材料科学与工程学系. 材料系概况[EB/OL]. [2011-01-12]. [Http://mse.zju.edu.cn/chinese/redir.php?catalog\\_id=76](http://mse.zju.edu.cn/chinese/redir.php?catalog_id=76).
- [8] 东南大学材料科学与工程学院. 历史沿革[EB/OL]. [2011-01-12]. <http://mse.seu.edu.cn/s/37/t/1302/p/1/c/5546/d/5554/list.htm>.
- [9] 杜双明. 材料科学基础课程教学质量保障系统[J]. 技术与创新管理, 2008, 29(6): 649-651.
- [10] 北京科技大学材料学院. 《材料科学基础实验》教学大纲[EB/OL]. [2011-01-12]. <http://seam.ustb.edu.cn/UploadFile/20060602105942453.pdf>.
- [11] 周雅, 王春霞, 罗军明, 等. 材料科学综合实验课新探[J]. 南昌航空工业学院学报: 社会科学版, 2005, 7(1): 87-90.
- [12] 林文松, 李曼萍, 童建华, 等. 纳米材料工程课程实验的设计与教学实践[J]. 实验技术与管理, 2007, 24(11): 123-125.