

教育部世行贷款21世纪初高等教育教学改革资助项目

高等学校教材

无机非金属材料实验

WUJI FEIJINSHU CAILIAO SHIYAN

第二版

伍洪标 主编 谢峻林 冯小平 副主编



化学工业出版社

教育部世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革资助项目

高等学校教材

无机非金属材料实验

第二版

伍洪标 主编

谢峻林 冯小平 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材是结合无机非金属材料专业的发展以及学科、行业发展对人才的需求而进行编写的。在第一版的基础上,本教材在实验内容的设计方面更加注重培养学生的综合分析能力和知识的应用能力,增加了部分综合性实验项目,强化了无机非金属材料工程实践能力的培养。

本书在“绪论”中从实验教学改革的角度,对“无机非金属材料实验的特点和任务”、“实验课的目的和任务”、“学习方法”等方面进行探索性介绍。在第一章结合有关实验,对“实验误差”、“数据处理”的基础知识进行介绍,力图满足实验中的需要。在第二章编写 54 个精选的主题实验项目,涵盖了在无机非金属材料科研与生产中需要做的基本实验。第三章编写了 4 个不同内容、不同风格的设计型实验。

本书可作为相关大专院校本科生、专科生的教材,对从事无机非金属材料研究、生产的研究人员和工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料实验/伍洪标主编. —2 版. —北京:化学工业出版社,2010.7

教育部世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革资助项目.
高等学校教材

ISBN 978-7-122-08554-2

I. 无… II. 伍… III. 无机材料:非金属材料-实验-高等学校-教材 IV. TB321.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088344 号

责任编辑:杨 菁
责任校对:陶燕华

文字编辑:冯国庆
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 24 $\frac{3}{4}$ 字数 660 千字 2011 年 6 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究



前言

本书自 2002 年出版以来,已先后印刷了 4 次。在这 8 年间,无机非金属材料科学在不断发展,社会对材料专业人才的需求也发生了变化。为了适应这种变化和需求,无机非金属材料实验教学内容 and 教学方法也随之变化,通过对无机非金属材料专业教学体系的研究,结合多年教学实践,对本书的内容进行了一次修订。本书修订后充分反映近年来武汉理工大学在无机非金属材料工程专业教学改革的发展和成果。

1996 年,由四川大学主持、七校联合参加的教育部面向 21 世纪高等学校教学改革项目“材料类专业人才培养方案及教学内容体系改革研究”启动,武汉理工大学承担了无机非金属材料专业改革内容,2000 年该项目通过国家鉴定,确立了面向一级学科专业立足二级学科专业的办学思路,新的“无机非金属材料工程专业教学计划”理论体系得到认可。

为深化教学改革,确立与新的理论教学体系相适应的实验课程体系,武汉理工大学提出“无机非金属材料工程专业实验教学体系整体优化的研究与实践”课题,并于 2000 年 8 月正式被教育部获准立项。通过对教学资源进行优化组合,成立具有较大规模的、能适应拓宽后专业实验教学改革“无机非金属材料实验中心”。对无机非金属材料专业实验室建设与管理、实验教材建设、实验教学方法与组织形式等方面进行了全面改革与实践,本教材的出版正是该项目成果的具体体现。同时于 2003 年出版了与之配套的《无机非金属材料实验 CAI 课件》,供无机非金属材料专业实验教学使用。

2006 年“无机非金属材料实验”课程成为国家级精品课程,2007 年以无机非金属材料专业实验教学为主要特色的武汉理工大学“材料科学与工程实验教学示范中心”作为国家级实验教学示范中心被教育部批准立项。与此同时无机非金属材料专业实验教学体系得到进一步完善,教学内涵得到延伸。

本次修订,是结合无机非金属材料专业的发展,以及学科、行业发展对人才的需求而进行的。在实验内容的编排上,在更新教学内容的同时,注重按照实验教学模块进行排列,便于使用者查阅。在实验内容的设计方面,注重培养学生的综合分析能力和知识的应用能力,增加部分综合性实验项目,强化了无机非金属材料工程实践能力的培养。

为了使读者了解本书,在此将编写思路简介如下。

一、无机非金属材料专业实验课程体系

新的无机非金属材料专业实验课程体系,在与学科基础课配套设置物理实验、化学实验、电工与电子技术实验的同时,对原附属于理论课的硅酸盐物理化学、粉体技术、热工技术、硅酸盐工艺实验等课程实验内容进行全面整合,同时为拓宽专业实验内涵,强化工程能力训练,增设了粉体工程实验、流体力学实验、材料制备与性能测试、研究方法 with 测试技术等课程实验内容,优化后形成了由学科基础实验平台、一级专业基础实验平台、二级专业实验平台三个层次,以及材料科学基础实验、材料工程基础实验、材料制备与性能实验、材料研究方法 with 测试技术七个课程模块组成的专业实验课程体系(表 1)。无机非金属材料实验课中每级课程模块的教学目的见表 2。

无机非金属材料实验由材料科学基础实验、材料工程基础实验、材料制备与性能实验三个模块组成。在实验教学改革中,这三个模块分别在不同的学期进行,在进行修订的过程

中，将实验项目按照这三个模块进行编排，方便实验教学的管理和教材的使用。

表 1 无机非金属材料工程专业实验课程体系

实验层次	课程名称	课程模块
二级专业实验平台	研究方法 with 测试技术	研究方法 with 测试技术实验
	无机非金属材料实验	材料制备 with 性能测试
一级专业基础实验平台		材料工程基础实验
		材料科学基础实验
学科基础实验平台	电工电子技术	电工实验
	物理实验	物理实验
	基础化学实验	有机化学实验
		分析化学实验
		无机化学实验

表 2 无机非金属材料实验各课程模块教学目的

实验层次	课程模块	教学目的
一级专业基础实验平台	材料工程基础实验	熟悉流体、粉体、传热、燃烧等工程理论，能理论联系实际，进行现象综合分析
	材料科学基础实验	研究材料组成、结构、性能之间的关系
二级专业实验平台	材料制备 with 性能测试	熟悉无机非金属材料组成设计、制备方法、使用性能常规测试手段，具备研究各要素之间关系的能力

二、实验教学主要内容

无机非金属材料实验课程结构发生了根本变化，拓宽了专业内涵，在实验课设置中，突出了培养材料工程师和材料科学家应具备的“材料研究”、“材料制备”和“材料生产”的基本能力与综合能力的训练，加大了对过去陈旧的、演示性、验证性实验项目的整合力度，以学生为主体，开发了一批综合性、设计性实验项目。

在课程实验项目的安排上采取从基础到前沿、从传授知识到培养综合能力，逐级提高的方式。使学生从较高起点进入专业实验，逐步走向研究前沿。材料科学基础实验模块安排的实验项目全部是基本型，目的在于巩固专业基础理论知识，同时进行材料研究基本能力的训练。材料工程基础实验模块安排的实验项目有基本型和综合型两种类型，目的在于巩固粉体、热工、流体等基础理论知识、掌握基本实验技能的同时，加强工程研究能力培养及综合现象分析能力的训练。材料制备与性能实验模块安排的实验项目则由基本型、综合型、设计型三种类型组成，重点在于训练学生专业实验技能和产品设计能力，培养创新研究精神。

实验教学内容设计方面注重技术性、综合性和探索性相结合，有效地培养学生的创新思维和独立分析问题、解决问题的能力。

实验技术体现先进性：将实验教学与科研、工程、社会应用实践密切联系，鼓励将科研成果转化为教学实验项目，实现基础与前沿、经典与现代的有机结合。例如按最新国家标准和行业标准改革的无机材料性能测试内容；根据企业关注热点，增设煤的燃烧特性分析实验；根据原料制备技术需要，开设粉体粒度表征实验项目等。

实验项目体现综合性：以是否能使学生真正达到对所学理论知识、实践技能的自主、综合运用效果，综合实验能力得到提高为标准，选择与设计综合型实验项目。如在“材料制备与性能测试”课程模块中，按照各种材料的制备和性能测试的系统性去安排实验，并根据各

种材料的研究需要去体现实验的综合性，让学生系统地理解所开实验的目的、意义及原理，掌握实验方法，掌握材料生产质量控制和科学研究基本技能，提高分析问题、解决问题的能力。

实验过程体现探索性：在教学过程中，在使学生掌握了基本实验技能后，安排不具有唯一测试手段或唯一结果的实验项目，分组进行，由学生去探索研究，发现不同测试手段所揭示的信息，比较不同结果所反映的问题，通过资料查询，完成综合实验报告。如在“材料工程基础实验”课程模块中，安排的燃料燃烧特性分析实验，需要用四种测试手段，从不同角度反映煤质的燃烧信息。而且同一测试手段，采用的不同实验条件，也可以揭示出更多的信息；同一测试数据，分析方法不同，结果也会有一定区别。

三、实验教学的几点建议

1. 实验总学时

本教材的建议教学总时数为 166~230 学时。在使用本书时的学时安排见表 3。实验教师可根据传统型实验、综合实验、设计型实验等教学需要进行调整。

表 3 建议学时安排表

实验名称	实验项目	学 时
材料科学研究基础实验	实验 1~实验 5	16~20
材料工程基础实验	实验 6~实验 15	60~90
无机非金属材料工程实验	实验 16~实验 54	90~120

材料科学基础实验和材料工程基础实验建议在理论课期间或之后开设。材料科学基础实验一般在第 5 学期进行，材料工程基础实验一般在第 6 学期进行，实验项目及数量可以根据设备情况进行选择。无机非金属材料制备与性能实验是在上完《无机非金属材料工学》课程后进行，一般在第 7 学期。

2. 实验教学方法与组织形式

专业实验一般是从第 4 学期以后开始，学生基本完成了基础课程的学习，开始进入专业课程的学习，这期间，学生的选修课程比较多，并且每位学生所选的课程不尽相同，这为实验教学的组织方法带来一定的困难。下面介绍一下武汉理工大学实验教学的组织形式，仅供参考。

武汉理工大学的无机非金属材料实验教学一般采用的是分散与集中相结合的方式。如无机非金属材料制备与性能实验是 120 学时，4 个教学周的时间。在实际执行时，采取 3 周集中和 1 周分散的组织形式。即 3 周时间，学生没有其他课程的学习，全部进行实验，另外，在全学期中，利用学生空堂时间安排实验。一般流程如下：统计每位学生的选修课程及上课时间情况，了解学生的空堂时间及学生人数，由于单项实验项目相对独立，尽量安排在空堂时间单元，将综合设计型实验尽量安排在集中周进行，便于在较短时间内完成各项测试，保证实验的连续性。通过实验教学管理系统发布每项实验的开放时间，可以根据实验设备的台（套）数，每项实验的开放时间单元可以不一样，以保证实验教学质量，保证每位同学都有动手的机会。如学生总人数为 200 人，如果设备只有 2 台（套），可以开放 50 个单元时间，每次每台设备 2 个人进行实验，如果有 10 台（套）设备，开放 10 个单元时间就可以保证每次每台设备 2 个人进行实验。实验教学开放时间发布后，学生可以根据自己上课的时间进行上网教学选课，并按照选课的时间参加实验即可。这种实验教学组织方法，弥补了设备台（套）数不足对实验教学质量的影响，也充分利用学生空堂时间进行实验教学，可以让每位

学生都能有动手的机会。

对于设计型实验的开设，一般对学生提出实际的基本思路，由学生根据自己的兴趣爱好，并结合《无机非金属材料工学》的相关知识，通过广泛查阅科技文献资料，独立完成成分设计、工艺参数的制定、材料的合成以及材料性能的测试，并初步分析材料组成、结构、性能与合成工艺之间的关系。

四、结束语

在高等教育的教学改革中，实验教学的改革难度是很大的，涉及教学思想、教学体系、教学内容、教学方法、教学场地、教学设备等诸多问题。从近几年国内几个重要的材料专业教学改革会议的讨论情况来看，编一本从学科的角度和专业的角度来看都符合要求的实验教材是必须的。但是，由于各高等院校的办学特点有所不同，实验教学条件有较大的差别，要编一本通用的实验教材是很困难的。因此，按照无机非金属材料专业的特点和实验教学的基本要求，结合武汉理工大学的实验室条件尽量编写好这本书是我们的主导思想和力争达到的目标。

本书由伍洪标主编，第一版参编人员及编写分工如下：前言、绪论、实验误差及数据处理、综合设计实验、实验报告方法，实验 25、26、27、28、45、46、47、48 由伍洪标编写；实验 6、11 由叶菁编写；实验 7、8、9、10、12 由吉晓莉编写；实验 20、33、34、40、41、43 由万惠文编写；实验 13、14、15、24 由何仁德编写；实验 1、2、3、4、5 由黄学辉编写；实验 16、17、18、19、44 由武七德编写；实验 35、36、37、38、39、42 由陈玲莉编写；实验 21、22、23、49 由韩建军编写；实验 50、51、52、53、54 由裴新美编写；实验 29、30、31、32 由陈文、苗君编写；附表由何仁德编辑。

本次修订版，由谢峻林组织编写，参编人员分工如下：谢峻林策划教材内容的增减和目录重排，新编实验 13；实验 2、3、4、29、45 由冯小平修改与完善；实验 22、24、50、51、52、53 由文进修改与完善；实验 33、34、35、36、37、38、39、42 由赵青林修改与完善；实验 7、11、12 由吉晓莉重新编写和完善；实验 30、32 由韩春华修改与完善；实验 27、28 由梅书霞修改与完善，在修订的过程中，实验中心的其他老师也给予了很多帮助。全书由冯小平统稿，谢峻林、伍洪标审稿。

在这次修订中，我们尽量吸收武汉理工大学教师及有关兄弟院校老师的有益建议，在此表示衷心感谢。我们希望本书更为完善，但是，由于编写者的水平有限，书中不妥之处仍然难免存在，真诚希望使用本书的教师、学生及有关读者进一步批评指正。

最后，衷心感谢化学工业出版社为本书做了大量的工作，没有他们的无私奉献，本书就不可能与读者见面。

编 者

2009 年 12 月 于武汉



目 录

绪论	1
一、无机非金属材料实验的特点和任务	1
二、实验课的目的和任务	2
三、学习方法	4
第一章 实验误差与数据处理	7
一、测量方法分类	7
二、测量误差及其分类	7
三、误差表示方法	9
四、随机误差及其分布	9
五、系统误差的发现与消除	11
六、过失误差的发现与消除	11
七、有效数字的修约与运算规则	12
八、实验数据的处理	14
九、实验结果的表示方法	19
第二章 实验部分	23
实验 1 粘土-水系统 ζ 电位测定	23
实验 2 固相反应	26
实验 3 淬冷法研究相平衡	29
实验 4 差热分析	31
实验 5 材料的显微结构观察	34
实验 6 Bond 球磨功指数的测定	37
实验 7 物料易磨性指数测定 (Hardgrove 法)	45
实验 8 粉体粒度分布测定	47
I. 筛析法	47
II. 沉降天平法	50
实验 9 粉体真密度测定	55
实验 10 粉体比表面积测定	58
I. 勃氏法	58
II. BET 吸附法	63
实验 11 粉体综合流动性实验	70
实验 12 粉体的剪切实验	77
实验 13 煤的燃烧特性综合实验	80
实验 14 强制对流平均换热系数的测定	94
实验 15 墙角电热模拟实验	98

实验 16	材料孔径分布的测定	101
实验 17	材料体积密度、吸水率及气孔率的测定	104
实验 18	材料显微硬度的测定	108
实验 19	材料弹性模量的测定	112
实验 20	材料机械强度的测定	115
I.	水泥机械强度的测定	115
II.	混凝土机械强度的测定	121
III.	玻璃机械强度的测定	124
IV.	陶瓷机械强度的测定	128
实验 21	材料线膨胀系数的测定	132
实验 22	材料热导率的测定	136
I.	稳态球壁导热测定法	136
II.	非稳态平壁导热测定法	139
实验 23	材料热稳定性的测定	144
I.	玻璃热稳定性的测试	144
II.	陶瓷热稳定性测试	146
实验 24	材料表面热发射率的测定	149
实验 25	材料透光性能的测定	152
I.	玻璃总透射比的测定	152
II.	材料半球透射比与半球雾度的测定	156
实验 26	材料折射率的测定	159
I.	阿贝折射仪法	160
II.	浸液法	164
实验 27	材料色度的测定	167
实验 28	材料光泽度的测定	177
实验 29	材料导电性能的测定	180
I.	绝缘电阻的测定	180
II.	阻-温曲线的测绘	185
实验 30	材料介电性能的测定	187
实验 31	材料压电系数的测量	193
实验 32	材料磁学性能的测量	198
I.	磁化曲线和磁滞回线	198
II.	材料磁化率的测定	204
实验 33	气硬性胶凝材料性能的测定	208
I.	石灰性能的测试	209
II.	石膏性能的测试	211
实验 34	水硬性胶凝材料标准稠度用水量、凝结时间和安定性的测定	215
I.	水泥标准稠度用水量的测定	215
II.	水泥净浆凝结时间的测定	218
III.	水泥安定性的测定	220
实验 35	水泥熟料中游离氧化钙的测定	223
实验 36	水泥中三氧化硫含量的测定	226
I.	硫酸钡重量法	227

II. 二次静态离子交换法	228
实验 37 水泥水化热的测定	232
I. 直接法	232
II. 溶解法	238
实验 38 水泥胀缩性实验	245
I. 水泥胶砂流动度的测定	245
II. 水泥干缩性实验	247
III. 水泥膨胀性实验	251
实验 39 水泥压蒸安定性实验	253
实验 40 集料性质测试	257
I. 砂的质量测试	257
II. 石的质量测试	264
实验 41 普通混凝土拌和物性能测试	271
I. 坍落度测定	271
II. 维勃稠度测定	273
III. 容重测定	274
实验 42 材料抗渗性实验	276
I. 砂浆试件法	276
II. 混凝土试件法	277
实验 43 混凝土耐久性能测试	281
I. 混凝土抗冻融性能测试 (慢冻法)	281
II. 混凝土收缩性能测试	283
III. 混凝土碳化性能测试	285
IV. 钢筋锈蚀快速试验法	287
实验 44 材料的高温制备	291
I. 玻璃的高温熔制	291
II. 陶瓷的高温烧成	295
III. 水泥熟料的高温烧成	298
实验 45 玻璃析晶性能的测定	301
实验 46 高温熔体粘度的测定	304
实验 47 玻璃软化点温度的测定	307
实验 48 玻璃内应力和退火温度测定	312
I. 玻璃内应力的测定	312
II. 玻璃退火温度的测定	315
实验 49 材料化学稳定性的测定	318
I. 陶瓷化学稳定性的测定	318
II. 玻璃化学稳定性的测定	321
实验 50 粘土或坯料可塑性的测定	327
I. 可塑性指标的测定	328
II. 可塑性指数的测定	330
实验 51 泥浆性能的测试	333
I. 泥浆相对粘度及触变性的测定	333
II. 泥浆粘度及厚化度的测定	337

实验 52 粘土或坯体干燥性能的测定	340
I. 线收缩率与体积收缩率的测定	341
II. 干燥强度的测定	344
实验 53 陶瓷材料烧结温度范围的测定	347
实验 54 陶瓷坯釉应力的测定	350
第三章 综合设计实验	354
I. 胶凝材料的综合设计实验	358
II. 玻璃材料的综合设计实验	361
III. 陶瓷材料的综合设计性实验	362
IV. 普通混凝土配合比的设计实验	363
第四章 实验报告的编写方法	365
一、实验报告的基本格式	365
二、检测报告的内容与格式	367
三、设计型实验报告的基本要求	368
附录	369
附录一 法定计量单位制的单位	369
附录二 基本物理量	370
附录三 各种筛子的规格	370
附录四 铂铑-铂热电偶电动势分度表	371
附录五 铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶电动势分度表	375
附录六 镍铬-镍硅（镍铬-镍铝）热电偶电动势分度表	378
附录七 镍铬-考铜热电偶电动势分度表	381
附录八 铜-康铜热电偶电动势分度表	383



绪 论

材料是可以直接用来制造有用成品的物质,是人类生存和发展、征服自然和改造自然的物质基础。材料的使用与发展是人类不断进步和文明的标志。从科学技术发展史中可以看到,每当发现一种新材料,就将带动科学的发展和技术的革命。材料是一切科学技术的物质基础,是当代科学研究的前沿。现在,材料与能源、信息技术是现代文明的三大支柱已经得到国际的公认。世界上现有的传统材料约有几十万种,新材料还在以每年约 5% 的速度不断增长。在 21 世纪中,科学技术将有更大的发展,材料的研究与制造将显得十分重要,在材料科学与工程领域里奋斗的人们将有无量的前途。未来的科学家与工程师们现在要努力学习,以便将来去迎接挑战,去开拓材料研究与制造的新天地,为人类进步与文明做出应有的贡献。

一、无机非金属材料实验的特点和任务

1. 无机非金属材料现状

从古到今,无机非金属材料在材料中都占有较大的比重。但在不同的历史阶段,无机非金属材料定义有一定的差别。在 20 世纪 40 年代以前,无机非金属材料仅被认为是由自然产出的石头加工而成的制品;用天然粘土为主要原料制作而成的粘土制品;用多种非金属矿物原料生产出的水泥、玻璃、陶瓷、耐火材料;用成分比较纯的非金属矿物原料生产出来的人工晶体等。20 世纪 40 年代以后,随着航空航天工业、电子信息工业、机械工业、生物材料工业等的发展,人们开发出了一系列的新型材料,极大地增加了无机非金属材料的品种和名目。现代无机非金属材料的定义已经扩展,品种包括除金属材料、有机高分子材料以外的几乎所有的材料,种类繁多,用途广泛。其中的结构材料、耐磨材料、电子材料、声光材料、敏感材料、生物材料等,是现代社会不可缺少的支柱材料,在 21 世纪中将发挥重要的作用。

2. 无机非金属材料实验的特点

(1) 实验的概念

在现代汉语中,有“实验”、“试验”、“测试”、“检验”等词。这些词的含义相似,容易混淆。

“实验”是指科学上为了阐明某一现象而创造的条件,以便观察它的变化和结果的过程,或者为了检验某种科学理论或假设而进行的某种操作、所从事的某种活动。“实验”的这些定义似乎带有验证的意思。

“试验”,指的是为了察看某事的结果或某物的性能而从事的某种活动,侧重于表达研究的意思。

“测试”的含义偏重于对某物性能的数值测量。因此在科学研究或生产中,当需要定量确定材料的某些(个)性能时,一般习惯于说做“测试”。

“检验”则是指用工具、仪器或其他(物理或化学的)分析方法检查事物是否符合规格的过程。所以,在工厂对产品的质量进行鉴别和评定时,一般说进行产品“检验”;同样,在商品流通过程中对商品的质量进行鉴别和评定时,一般也是说进行商品“检验”。

由以上分析可见,“实验”一词的含义与“试验”、“测试”、“检验”等词的含义是不同的。为了论述方便,在此约定将“试验”、“测试”、“检验”等词的含义都合并到“实验”之

中。在本书的其他叙述中,所说的“实验”属于这个扩充的含义,不再具体说明。

(2) 无机非金属材料实验的特点

无机非金属材料实验是研究材料制取方法和材料性能测量方法的科学。在不同的历史阶段,无机非金属材料实验具有不同的研究内容和特点。在现代,无机非金属材料定义已经扩展,品种包括除金属材料、有机高分子材料以外的几乎所有的材料,所以其研究内容十分广泛,具有新的特点。

① 与科学研究和生产实践紧密结合 随着科学技术的不断发展,各行各业需要各种传统材料的同时,还需要性能特殊的新材料,这促进了无机非金属材料的研究、开发与生产。在材料的研究与开发中,人们对新材料进行设计,然后通过实验获得新材料,通过测试获得新材料的性能数据,并根据测量数据判断其是否满足应用的需要。如果没有满足需要,则继续进行设计与实验。有时,为了改进材料的种类或性能的测量方法,人们还要研究新的实验方法和测量手段。如果获得的材料已满足使用的要求,则组织规模化生产,向社会提供商品。所以,无机非金属材料实验与科学研究和生产实践紧密相连,互相促进,共同发展。

② 与物理、化学、物理化学等多学科相结合 在现代,随着生活水平的提高,人们对新材料品种和功能的要求越来越多,对传统材料的使用也提出了新的问题。例如,石材从古到今地使用,没发现什么问题,但近年来,花岗岩、大理石的放射性引起人们的警惕。一些用“三废”研制的(新)材料是否有放射性或毒性,目前也使人们不放心。此外,材料在自然或人工环境长期作用下的变质问题也越来越引起人们的重视。要解决这些众多的问题,需要物理、化学、物理化学等多门学科的理论知识和实验方法。因此,无机非金属材料实验是综合多门学科的科学。

③ 传统实验方法与现代实验方法相结合 无机非金属材料的制备方法有多种。从温度范围来分,有高温和低温制备方法。从物质形态来分,有固相、液相和气相制备方法。其中,有的是传统方法,有的是现代方法。在无机非金属材料成分、结构、性能的测试方法中,有许多是传统的测试方法,也有不少是现代测试方法。因此,无机非金属材料实验是传统实验方法与现代实验方法相结合的实验。

3. 无机非金属材料实验的任务

无机非金属材料实验的任务,应从社会的发展和科学技术的发展对无机非金属材料的需要、材料的研究与生产的特点来考虑。

当前,社会还需要大量的、传统的无机非金属材料,这些材料的传统研究方法以经验、技艺为基础,依靠配方筛选和性能测试与分析的方式来进行的。因此,通过对原料的特性、界面性质、工艺性能与材料(及其制品)性能之间规律性的研究,可以表征材料的本质,形成和完善材料生产、应用的质量控制体系,为无机非金属材料的发展提供理论和实践的根据。

随着社会和科学技术的发展,各行各业将需要大量的新型材料。然而,沿用传统的方法是不大可能研制出具有独特性能的新型材料的,因为通过传统的宏观现象的研究只能对材料的宏观性能提供某种定性的解释,而不能准确地预示材料的性能,不能准确地指明新材料开发的方向。从现有新材料的发展来看,几乎所有新型功能材料的研究中都体现出化学与物理相结合、微观与宏观研究相结合、理论与技术相结合的特点。因此,要通过综合各门学科的知识来研究传统材料的改进和新材料的设计,通过各种先进技术来探索新材料的生产方法。

要从事无机非金属材料的研究和生产就得有人才。因此,无机非金属材料实验还有一个任务,即通过科学实验和生产实验工作培养出能理论联系实际、有分析问题和解决问题的能力、有严谨态度和实事求是的工作作风的科学家与工程师。

二、实验课的目的和任务

以上所讨论的无机非金属材料实验的特点,与实验课的特点是有区别的,后者的侧重点

在于对在校学生的教育与培养。

1. 实验课的目的

开设无机非金属材料实验课,其宗旨是使学生受到科学家和工程师素质的基本训练。现在,传统无机非金属材料很多,新型无机非金属材料不断增加,这就确定了无机非金属材料实验课的两个特点:许多传统实验要继续开展,学生对这些实验技能要掌握;新实验的原理和方法陆续出现,并处于不断完善和不断进步之中,学生对其中的一些实验要掌握,一些实验要了解。

长期以来,传统观点认为学生上实验室做实验是验证所学的书本知识,加深对知识的理解和记忆,“实验”这个词的验证含义已经深深地植入人们的大脑之中。当然,由于理论教学的需要,适当做些验证型的实验是必要的,但只做验证型的实验是不够的。改革开放的形势要求大学毕业生要具有较强的动脑和动手能力,传统的教育观念必须改变。学生不仅要验证型的实验,还要做测试型、综合型和设计型的实验。

在实际工作中,无论是一个科研项目的探索性实验,还是一种材料的性能实验,一般都由一系列的单项实验组成,都要按计划一个一个地做,然后根据各项实验现象或数据分析判断,得出最终实验结果(结论)。无机非金属材料实验也是这样,从实验类型来看,可以分为验证型实验、综合型实验或设计型实验等,可以按教学要求或实验室的条件选择一种类型进行实验教学。但无论选择做何种类型的实验,都是由一系列的单项实验组成的,每个单项实验都为实验设计的总目标服务,要按计划一个一个地做。为此,在做每个实验时要有整体实验的概念,要考虑每个实验之间的联系、每个实验可能对最终实验结果产生的影响。

现代无机非金属材料种类很多,研究方法、生产方法和质量检验方法也有区别。由于教学时间和实验条件的限制,要全面涉足是不可能的。突出重点,兼顾其他是目前唯一的选择。另一方面,从思维方式和技术方法这两个角度来看,各种无机非金属材料的科研、生产和质量检验也有许多相同之处,因此在教学上以点带面是可能的。学生通过认真做一些经过精选、具有代表意义的实验,再经过举一反三,融会贯通,就会具备适应将来工作岗位的基础和能力。

2. 实验课的任务

无机非金属材料实验课的任务可以概括为对学生进行实验思路、实验设计技术和方法的培养;对学生进行工程、创新能力培养的;对学生进行理论联系实际和主动精神的培养。

(1) 完善本专业的知识结构

在高等教育中,理论教学和实验教学是大学教育的两个主项,两者相辅相成,并由此构成完整的教学体系。

对材料类专业的学生来说,在大学期间主要是学习材料科学与工程方面的基本理论,材料制备与材料性能测试的基本知识和基本技能,掌握材料性能的变化规律,为正确设计材料、生产材料和合理应用材料打好基础。

无机非金属材料实验课是“无机非金属材料工学”课程的后续课程。从某种意义上说,实验也是材料工学知识的具体应用与深化。通过实验教学环节,使学生巩固在理论课中所学的材料制备、各种基本物理化学性能及测量这些性能的理论知识,加深本专业的认识和理解,完善本专业的知识结构,从而达到专业应有的水平。这对于学生今后在材料科学与工程领域从事有关实际工作具有重要意义。

(2) 培养和提高能力

无机非金属材料实验课程的主要任务是通过基础知识的学习和实际操作训练,使学生初步掌握无机非金属材料实验的主要方法和操作要点,培养学生理论联系实际、分析问题和解

决问题的能力。这些能力主要包括如下几点。

① 自学能力。能够自行阅读实验教材,按教材要求做好实验前的准备,尽量避免“跟着老师做实验,老师离开就停转”的现象。

② 动手能力。能借助教材和仪器说明书,正确使用仪器设备;能够利用工学理论对实验现象进行初步分析判断;能够正确记录和处理实验数据、绘制曲线、说明实验结果、撰写合格的实验报告等。

③ 创新能力。能够利用所学的工学知识,或根据小型科研或部分实际生产环节的需求,完成简单的设计性实验。

(3) 培养和提高素质

素质的教育与培养是大学教育的重要一环。实验教学不仅是让学生理论联系实际,学习科研方法,进而提高科研能力,还要使学生具有较高的科研素质。科研素质主要包括以下几个方面。

① 探索精神。通过对实验现象的观察、分析和对材料物理化学性能测量数据的处理,探索其中的奥妙,总结其中的经验,提出新的见解,创立新的理论等。

② 团队精神。在实验教学环节中,有许多实验是单个人无法独立完成的,有的实验要花上十几个小时甚至几天才能完成,实验中必须多人分工合作才能使其进行,要尽量发挥集体的力量才能使实验成功。要通过做这类实验提高实验组成员的凝聚力,使学生之间的关系更加融洽;要通过做这类实验使学生认识到团队协作精神在材料这个行业中的重要性,增强责任感和事业心,培养团队协作精神和能力,为将来的工作打好基础。

③ 工作态度。做实验有时是枯燥无味和艰苦的。但是,纵观做出较大贡献的科学家或工程师,几乎都是在实验室里刻苦工作才取得巨大成就。因此,在实验教学中要教育学生,要求学生刻苦钻研、严谨求实、一丝不苟地做实验,要督促他们在实验室里进行磨练,认真把实验做好。要使之明白“先苦后甜”的道理,只有在大学的学习中学会对工作、对生活的正确态度,才能胜任将来材料研究或生产的工作,才能为祖国和人民做出贡献。

④ 人文素质。人文素质通常指人文科学知识和素养。材料类专业的学生在大学期间这方面的课程学得不多,因而有的学生人文素质极差,写作水平低下。在实验教学中要求学生通过写较高质量的实验预习报告、设计实验开题报告、实验课题总结报告等形式,提高学生的人文科学知识和素养。

⑤ 优良品德。21世纪对人们道德的评价,是以社会公认的人的公民素质为主来评判的。其标准是具有高度的公民觉悟和公民意识,即具有整体意识、高尚的情操、健全良好的人格;具有奉献精神、自尊自爱、尊重他人、关心他人、先人后己;具有热情、文明行为,诚实守信,会合作、有良好的人际关系;有个性、有主见,有较强的控制力、坚定的信念、良好的情绪,不因为时势所动;有敬业精神、开拓精神,有新的观念、宽阔的视野、会生存等。只有具备高尚品质的人,才能受人尊重并在自己工作中做出突出成绩。

在实验教学的过程中,教师要对学生进行引导,使学生克服不良的习惯,提高道德品质的素质,为提高大学生的综合素质做贡献。

三、学习方法

传统的实验教学方法是灌输式,学生围着老师转,有许多缺点。但是,传统教育也培养出许多优秀的学生,他们会思考,动手能力强,在工作中做出了不少成绩,或为人类做出了较大的贡献。在相同的条件下培养出了不同质量的学生,答案只有一个,那就是学生个体的特性在起作用,而学习方法不同无疑是主要的影响因素之一。当然,实验教学改革的目的是重点是要让学生从被动转为主动,但对学生来说,无论教师采取什么方式教学,自己发挥主

观能动性，自己把被动转为主动，就能把学习工作做好，就能成为具有真才实学的人。

为了达到期望的实验教学效果，本书提出以下建议供读者参考。

1. 重视实验

随着改革开放的不断深入及社会主义市场经济体制的建立和运行，社会需要的是综合性复合型人才。专业人士不能只树一帜，必须博学多才，身怀多种绝技。为了将来能适应改革开放的环境，在校大学生不能满足课堂上所学的理论知识，而是要千方百计地拓宽知识面、扩大视野以增强自己的竞争实力，尤其是实验方面的实力。

华裔科学家丁肇中是一个对实验非常看重的人，他说：“研究成功原子弹，实验方面起的作用非常重要，因为真正困难的是独立解决实验技术问题”。丁肇中的成功也是得益于实验。他在诺贝尔颁奖典礼致答词时说：“得到诺贝尔奖是一个科学家的最大的荣誉。我是在旧中国长大的，因此想借这个机会向发展中国家的青年强调实验工作的重要性。中国人有句古话：‘劳心者治人，劳力者治于人’，这种落后的思想，对于发展中国家的青年们有很大害处。由于这种思想，很多发展中国家的学生们都倾向于理论研究而避免实验工作。事实上，自然科学离不开实验的基础。特别是物理学，它是从实验产生的。我希望由于我这次得奖，能够唤起发展中国家的学生们的兴趣，使他们注意实验室工作的重要性。”

实验室是人才的诞生地，英国剑桥大学是“科学家的摇篮”，其中的卡文迪什实验室，就出了 25 人次的诺贝尔奖。实验是一种实践活动，是基本技能训练、动手能力培养的重要环节。现代的理工科大学学生要成才，就要足够重视实验，在实验室里努力学习，经受训练。在大学学习期间全身心地投入实验将会受益终身。

2. 预习

为了使实验有良好的效果，实验前必须进行预习。看实验教材应达到什么程度呢？我国南宋哲学家、教育家朱熹的说法可供参考，他说：“大抵观书须先熟读，使其言皆若出吾之口；继以精思，使其意皆若出于吾之心，然后可有得尔”。要达到这种程度当然不容易，对即将要做的实验心中有数则是应该做到的。通常，预习应达到下列要求。

① 浏览实验教材，知道计划要做的实验项目的总体框架。

② 了解实验目的、实验原理、实验重点和关键之处。

③ 了解仪器设备的工作原理、性能、正确操作步骤。

④ 定量实验必须记录测量数据，因此在预习实验项目时，应画好记录数据的表格。设计表格是一项重要的基本功，应当尽力把表格设计好。

⑤ 实验教材中的思考题或作业题，是加深实验内容或对关键问题的理解、开发学生视野的一些问题；在实验前应把这些问题看一遍或进行一番琢磨，可提高实验的质量。

⑥ 对不理解的问题，及时查阅有关教科书，或列出清单请老师解答。

3. 实验

做实验有时是枯燥无味和艰苦的，但“先苦后甜”。纵观已做出较大贡献的科学家，几乎都是在实验室里刻苦工作才取得巨大成就。例如，赫兹成功地证实了麦克斯韦的理论，发现了电磁波，为人类文明做出了伟大的贡献，这是他几乎整日整夜地沉浸在实验室中的结果。他在一封信中写道：“无论从时间上还是从性质上，我都像一个工人在工厂里那样工作，我上千次地重复每一个单调的动作，一个挨一个地钻孔、弯铁片、接下来还要把它们涂上漆……”。为了今后能胜任无机非金属材料的研究或生产的工作，为祖国和人民做出贡献，我们要学习这种精神，现在就要在实验室里进行磨练，认真把实验做好。

一般来说，在大学学习期间要做的实验与有成就的科学家们所做的实验是有区别的。这些科学家们所做的实验尽管有的现在看起来比较简单，但做这些实验是为了达到某种科研目

的而自行设计的。而学生在实验室所做的课程实验，一般是根据实验教科书上所规定的实验方法、步骤来进行操作的，因此，要达到教学的要求得注意以下几点：

- ① 认真操作、细心观察，并把观察到的现象，如实、详细地记录在实验报告中；
- ② 如果发现实验现象与实验理论不符合，或者测试结果出现异常，就应该认真检查原因，并细心重做实验；
- ③ 实验中遇到疑难问题而自己难以解释时，应及时提请教师解答；
- ④ 在实验过程中应保持安静，严格遵守实验室工作规则，防止出现各种意外事故。
- ⑤ 要在实验教学安排的有限时间里，保质、保量地完成实验。

4. 编写实验报告

实验成功只是实验教学要求的一部分。学生做完实验之后，必须写实验报告，这是实践训练的重要环节之一。

实验报告是学生动手能力、写作能力的一种体现，是实验水平的一种证明。如果实验很成功，但实验报告却写的一塌糊涂，就不能反映真正的实验水平。因此，做完实验之后要尽心尽力地把实验报告写好，要写出深度，写出水平。

实验报告是实验总结的一种方式，对于验证型的实验，应解释每个实验的现象，并得出结论；对于测试型的实验，应根据测得的数据进行计算，求出最终结果，并分析测试结果的可信程度。对于综合型或设计型的实验，还要写出总体实验研究报告。

要按时完成实验报告，并交指导教师评阅。评阅实验报告是教师检查学生学习情况和教学效果的一种重要方法，实验报告的优劣是教师给予实验成绩的根据之一。当然，实验分数的高低不应是学生所关心的主题，重要的是要看教师批阅后发还的实验报告，要明白哪些做对了，哪些做错了。

思考题

1. 原料、材料、原材料的含义有何差别？
2. 验证型实验、测试型实验、设计型实验、综合型实验的特点是什么？
3. 你认为本书所列的实验项目中，哪些实验是验证型？哪些实验是测试型？有没有设计型？
4. 你认为本书所列的实验项目中，哪些实验是原料（燃料）性质的测试研究？哪些实验是材料形成规律的实验研究？哪些实验是材料性质的测定分析？
5. 你认为在做实验的整个过程中，误差分析和数据处理的基础知识有没有用？为什么？
6. 你是否喜欢到实验室做实验？为什么？

参考文献

- [1] 唐小真主编. 材料化学导论. 北京：高等教育出版社，1997：1-17.
- [2] 刘万生主编. 无机非金属材料概论. 武汉：武汉工业大学出版社，1996：1-3.
- [3] 徐海龙. 现代无机非金属材料分类与发展. 国外建材科技，1997，4：13-18.
- [4] 欧阳国恩，欧国荣主编. 复合材料试验技术. 武汉：武汉工业大学出版社，1993：1-3.
- [5] 杨建邨等编. 杰出物理学家的失误. 武汉：华中师范大学出版社，1986.
- [6] 赵家凤主编. 大学物理实验. 北京：科学出版社，2000.
- [7] 丁振华，谢景山主编. 物理实验预习与实验报告. 成都：成都科技大学出版社，1997.
- [8] 陈金忠等. 浅议面向 21 世纪实验教学改革的形势与任务. 实验技术与管理，2000，1：102，101-104.
- [9] 范昌波. 编写实验教材和培养学生能力的实践与体会. 实验技术与管理，2000，1：133-134.