

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

● 伍洪标 主编

33



化学工业出版社
教材出版中心

高 等 学 校 教 材

无机非金属材料实验

伍洪标 主编



A0968152

化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心
· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机非金属材料实验/伍洪标主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.5
高等学校教材
ISBN 7-5025-3666-3

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 (2002) 第 014974 号

高等学校教材

无机非金属材料实验

伍洪标 主编

责任编辑: 杨 菁

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 25 $\frac{3}{4}$ 字数 638 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3666-3/G·1007

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书由武汉理工大学《无机非金属材料实验》讲义改编而成。编写本书是教育部世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革项目——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（编号：1282B0021）的重要内容之一。因此，本书充分反映近年来我校在无机非金属材料工程专业教学改革方面的进展和成果。

学校于 1996 年招收二级材料学科专业试点班，1998 年确定了“立足二级，面向一级”的专业调整思路，按“无机非金属材料工程专业”进行招生。为了进行新专业的实验教学，材料学院将各研究所管理的粉体、热工、硅酸盐物理化学这三个基础教学实验室，水泥、玻璃、陶瓷、建筑材料这四个专业实验室进行优化组合，成立具有较大规模的、能适应新专业实验教学改革的“无机非金属材料实验中心”。实验中心成立后，马上组织有理论教学和实验教学经验的 10 多个教师对实验教材的发展历史和新世纪对教材要求的问题进行研究，经过一年努力后编写出实验讲义，于 1999 年付印供 96 级、97 级和 98 级的学生试用。现在出版的这本书，是听取广大师生的意见，请有关专家教授进行审查后修改与补充的第二稿。因此，本书的出版是我们材料学院集体努力的成果。

为了使读者了解本书，在此将编写思路简介如下。

一、专业课程体系与实验体系

教育部 1998 年 7 月正式颁布实施的普通高校本科专业目录中，对各专业均作了较大的调整。新专业目录的指导思想是要进一步拓宽专业口径，以满足社会主义市场经济和改革开放对人才的需求。为此，应以学科群体构建实验教学，在课程设置时，要打破以往实验隶属于课程的传统做法，按教育部制定的培养目标要求来设置实验课。

“无机非金属材料实验”课是高等学校无机非金属材料工程专业的一门独立、重要的课程，它以数、理、化、材料科学研究基础等课程为基础，与“无机非金属材料工学”课程相衔接，构成该专业完整的课程体系。

按专业特点的要求，无机非金属材料实验应由粉体工程实验、热工工程实验、材料科学研究基础实验和无机非金属材料工程实验组成专业实验体系。我们在实验教学改革中，改革传统工科专业将“专业基础实验”、“专业实验”教学完全分开的做法，在实验教学大纲制订、实验教材编写中将专业基础实验和专业实验融合为一体，避免交叉重复，形成更为合理的专业实验教学体系，更便于教学研究和教学管理。

二、教材体系与主要内容

本书按现代无机非金属材料研究与生产的总体需要选择实验项目，以有关国家标准和行业标准为基础资料，以误差分析和数据处理等为实验基础知识进行编写，形成了无机非金属材料实验课的教材体系。

在编写本教材时，不是简单地分成粉体工程实验、热工工程实验、材料科学研究基础实验和无机非金属材料工程实验这 4 大块列出实验项目，而是根据专业的特点，把一些实验性质和实验内容相近的项目进行归类、调整，形成以原料（燃料）性质或质量的测试研究、材料形成规律的实验研究、材料功能（性质）的测定分析为主线的比较科学的实验系列。

本书第二章中确定 54 个主题实验。从实验类型看,有的属于验证型、有的属于测试型。每个主题实验编排有:实验目的与要求、实验原理、实验器材、实验步骤、数据记录和处理、思考题和参考文献 7 个部分。

在 54 个主题实验项目中,主题实验是单一性能测试的有 26 个,主题实验是对同一性能进行测试,但有两种以上测试方法的有 9 个,主题实验是对同一材料进行测试但要测两种以上性能的有 13 个,在一个主题实验中要测多种材料性能的有 6 个。如果以单项计算,实验项目总数约 90 个。

在本书 54 个实验项目之后还编写了“第三章 综合设计实验”,其中设计有四个不同内容、不同风格的选做实验,目的是为了培养学生的创新能力。

通过实验基础知识的学习和实际操作训练,能使學生初步掌握国内外无机非金属材料科研与生产试验的主要方法和操作要点;了解各个实验项目的原理、计算公式和影响测试结果的主要因素,利用数理统计知识处理实验数据,表达实验结果,加深对无机非金属材料特点的认识;能够培养学生理论联系实际,分析问题和解决问题的能力,以及在实验研究中严谨的态度与求实的作风。

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学时为 160~170 学时。我们在使用本书时的学时安排如下表所示。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。

热工工程实验、粉体工程实验和材料科学研究基础实验一般在上该理论课期间进行。实验学时一般包含在理论教学学时内,由上该理论课的教师进行调定。实验数量及实验项目由上该理论课的教师从本书中挑选。因此,安排这三部分实验比较容易。

建议学时安排表

实验名称	学时	实验名称	学时
热工工程实验	20~26	材料科学研究基础实验	16~20
粉体工程实验	6~12	无机非金属材料工程实验	120

按传统教学计划,要安排 120 学时的无机非金属材料实验是比较困难的。我们在“无机非金属材料工学”理论课程讲了一半或讲完之后用连续四周的时间完成无机非金属材料实验。对比结果表明,这两种安排各有优缺点,以理论课结束后再做实验效果好些。

2. 实验教学方法

本书编写的实验项目中,除热工工程实验、粉体工程实验和材料科学研究基础实验已选做的实验之外,大约还有 60 多个单项实验。如果每个实验按 3 学时计算,在一个月內(双休日不安排实验)要做完这些实验是有困难的。因此,研究适用的实验组织方法是十分重要的。下面列举几种方案供读者参考。

按照传统的实验教学方法,教师根据实验室的条件和给予的教学时间,从教材中挑选一些验证型、测试型的实验让学生做,可以达到使学生受到基本训练的目的。

如果教师以一种无机非金属材料产品为对象,围绕这种产品的科研、生产和质量检验指定实验项目让学生做,就会收到综合实验的效果。

如果教师仅指定一种无机非金属材料为对象(或者干脆不加指定,让学生自选一种感兴趣的材料),让学生自己设计材料的性质与成分,自己动手制造材料,自己确定要测试的性

能和性能测试方法,则这种实验就可算是设计型的了。

实验指导教师也可以先选定一些基本实验让学生做,再让学生在“综合设计实验”这一章中自选一道题做。

在无机非金属材料科研和生产实际中,需要做的实验少说也有数百个。本书虽然从中进行精选,但实验数量还是有点多。我们认为,专业合并后,无机非金属材料工学要讲的内容很多,因为学时的限制,涉及实验的内容很少。因此,实验项目编写多一些,即使不能全做,通过看书自学也可以扩大学生的知识面和视野。为了让学生自学,我们在编写中加强了实验原理的阐述,注意与基础理论课程和工学理论课程的联系;着重说明在每个实验中如何将实验目的通过一定的实验方法建立起来;使学生预习和做实验时既知其然,又知其所以然,对这些基本的测量有比较系统的了解和掌握,提高实践动手能力,为创新提供基础,为今后开展科学实验工作打下基础。此外,每一实验结尾的思考题和参考文献,也为学生深入研究该实验的内容、特点等提供了方便。所以,采用适当的实验组织方法,虽然没有做完本书中所列的实验,也会获得比较满意的实验教学效果。

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,涉及到教学思想、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需的。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,结合我校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,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、实验报告的编写方法,实验18、20、35、36、47、48、49、50由伍洪标编写;实验1、5由叶菁编写;实验2、3、4由吉晓莉编写;实验6、7、13、27、30、42由万惠文编写;实验8、9、10、11、12、46由何仁德编写;实验14、15、16、17、19由黄学辉编写;实验21、38、39、40、41由武七德编写;实验22、23、24、25、26、28由陈玲莉编写;实验29、43、44、45由韩建军编写;实验31、32、33、34、37由裴新美编写;实验51、52、53、54由陈文、苗君编写。

这次修订出版,陈玲莉对实验4、13、21、30、42等的内容进行补充或修改,何仁德对实验44等的内容进行补充或修改。全书由伍洪标进行统稿。

本书适用于大专院校本科生、大专生,对从事无机非金属材料科研工作及生产的工程技术人员也有一定的参考价值。希望本书能成为读者喜爱的教科书。当然,一本实验教材是否受读者的欢迎,关键不在于书名,而在于是否具有改革的气息,其中的内容是否具有科学性、知识性、可读性和可操作性。虽然我们在编写过程中,力求结合学生实际,争取符合实验教学要求,兼顾科研与生产的需要,但由于编者的水平有限,缺点错误难以避免,离预定的目标还有一定的距离。为了提高本书的质量,我们诚恳本书读者批评指正,以便作进一步的修改。

在编写过程中,我们参考了许多兄弟院校的实验教材和有关著作,在此表示衷心地感谢。

编 者

2001年11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	3
三、学习方法	5
第一章 实验误差及数据处理	8
一、测量方法分类	8
二、测量误差及其分类	8
三、误差表示方法	10
四、随机误差及其分布	10
五、系统误差的发现与消除	12
六、过失误差的发现与消除	12
七、有效数字的修约与运算规则	13
八、实验数据的处理	15
九、实验结果的表示方法	20
第二章 实验部分	24
实验 1 Bond 球磨功指数的测定	24
实验 2 粉体粒度分布的测定	32
I. 筛析法	32
II. 沉降天平法	35
实验 3 粉体真密度的测定	41
实验 4 粉体比表面积的测定	44
I. 勃氏法	44
II. BET 吸附法	48
实验 5 粉体综合流动特性的测定	56
实验 6 集料性质测试	63
I. 砂的质量测试	63
II. 石的质量测试	69
实验 7 气硬性胶凝材料性能的测定	77
I. 石灰性能的测试	77
II. 石膏性能的测试	79
III. 菱苦土性能的测试	81
实验 8 煤的工业分析	83
实验 9 煤的发热量测定	87
实验 10 强制对流平均换热系数的测定	92
实验 11 流体阻力系数的测定	96

实验 12 墙角电热模拟实验	100
实验 13 水硬性胶凝材料标准稠度用水量、凝结时间、安定性的测定	103
I. 水泥标准稠度用水量的测定	103
II. 水泥净浆凝结时间的测定	105
III. 水泥安定性的测定	107
实验 14 粘土-水系统 ζ 电位测定	111
实验 15 固相反应	115
实验 16 淬冷法研究相平衡	118
实验 17 差热分析	121
实验 18 玻璃析晶性能的测定	125
实验 19 材料的显微结构观察	129
实验 20 高温熔体粘度的测定	132
实验 21 材料的高温制备	136
I. 玻璃的高温熔制	136
II. 陶瓷的高温烧成	141
III. 水泥熟料的高温烧成	144
实验 22 水泥熟料中游离氧化钙含量的测定	147
实验 23 水泥中三氧化硫含量的测定	151
I. 硫酸钡质量法	151
II. 二次静态离子交换法	152
实验 24 水泥水化热的测定	157
I. 用直接法测定水泥水化热	157
II. 用间接法测定水泥水化热	162
实验 25 水泥胀缩性试验	169
I. 水泥胶砂流动度的测定	169
II. 水泥干缩性试验	171
III. 水泥膨胀性试验	175
实验 26 水泥压蒸安定性试验	178
实验 27 普通混凝土拌合物性能的测定	182
I. 坍落度测定	182
II. 维勃稠度测定	184
III. 容重测定	185
实验 28 材料抗渗性的测定	187
I. 砂浆试件法	187
II. 混凝土试件法	188
实验 29 材料化学稳定性的测定	192
I. 陶瓷化学稳定性的测定	192
II. 玻璃化学稳定性的测定	195
实验 30 混凝土耐久性能的测试	202
I. 混凝土抗冻性能测试 (慢冻法)	202

II. 混凝土收缩性能测试	204
III. 混凝土碳化性能测试	205
IV. 钢筋锈蚀快速试验法	207
实验 31 粘土或坯料可塑性的测定	212
I. 可塑性指标的测定	212
II. 可塑性指数的测定	214
实验 32 泥浆性能的测定	218
I. 泥浆相对粘度及厚化度的测定	218
II. 泥浆绝对粘度及厚化度的测定	222
实验 33 粘土或坯体干燥性能的测定	226
I. 线收缩率与体积收缩率的测定	226
II. 干燥过程曲线的测定	230
III. 干燥强度的测定	233
实验 34 造型材料烧结温度范围的测定	236
实验 35 玻璃软化点温度的测定	239
实验 36 玻璃内应力及退火温度的测定	244
I. 玻璃内应力的测定	244
II. 玻璃退火温度的测定	247
实验 37 陶瓷坯釉应力的测定	250
实验 38 材料孔径分布的测定	254
实验 39 材料体积密度、吸水率及气孔率的测定	258
实验 40 材料显微硬度的测定	262
实验 41 材料弹性模量的测定	267
实验 42 材料机械强度的测定	270
I. 水泥机械强度的测定	270
II. 混凝土机械强度的测定	275
III. 玻璃机械强度的测定	278
IV. 陶瓷机械强度的测定	282
实验 43 材料线膨胀系数的测定	286
实验 44 材料热导率的测定	290
I. 稳态球壁导热测定法	290
II. 准稳态平壁导热测定法	293
III. 非稳态平壁导热测定法	296
实验 45 材料热稳定性的测定	300
I. 玻璃热稳定性的测试	300
II. 陶瓷的热稳定性测试	302
实验 46 材料表面热发射率的测定	306
实验 47 材料透光性能的测定	309
I. 玻璃总透射比的测定	309
II. 材料半球透光率与半球雾度的测定	313

实验 48 材料折射率的测定	317
I. 阿贝折射仪法	317
II. 浸液法	321
实验 49 材料色度的测定	325
实验 50 材料光泽度的测定	335
实验 51 材料导电性能的测定	339
I. 绝缘电阻的测定	339
II. 阻温曲线的测绘	344
实验 52 材料介电性能的测定	347
实验 53 材料压电系数的测定	353
实验 54 材料磁性的测定	359
I. 磁化曲线和磁滞回线	359
II. 材料磁化率的测定	363
第三章 综合设计实验	368
I. 胶凝材料的综合设计实验	371
II. 玻璃材料的综合设计实验	375
III. 陶瓷材料的综合设计实验	376
IV. 普通混凝土配合比的设计实验	377
第四章 实验报告的编写方法	379
一、实验报告的基本格式	379
二、检测报告的内容与格式	381
三、设计型实验报告的基本要求	382
附录	383
附录 1 法定计量单位制的单位	383
附录 2 基本物理量	384
附录 3 各种筛子的规格	384
附录 4 铂铑-铂热电偶电动势分度表	386
附录 5 铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶电动势分度表	390
附录 6 镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶电动势分度表	394
附录 7 镍铬-考铜热电偶电动势分度表	397
附录 8 铜-康铜热电偶电动势分度表	399

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限的前途。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

（一）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，无机非金属材料的定义有一定的差别。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的人工晶体等。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。

（二）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，我们在此约定将“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，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，随着人民生活水平的提高，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，没有注意有什么问题，可近年来，对花岗岩、大理石的放射性就引起人们的警惕。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是以经验、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和工程师。

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。

（一）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不少，新型无机非金属材料不断增多，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，学生对这些实验技能要掌握；新实验的原理、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，适当做些验证性的实验是必要的，但只做验证性的实验是不够的。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。学生不仅要验证性的实验，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，都得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课也是这样，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，得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的种类很多，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、兼顾其他是目前惟一的选择。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。

（二）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、创新能力的培养；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 and 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。这些能力主要包括以下几点。

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干出来的。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,才能为祖国和人民作出贡献。

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、健全的良好的人格;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。可是，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和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，就能把学习搞好，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。

（一）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。他在诺贝尔奖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。

（二）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。

(三) 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干出来的。例如，赫之成功地证实了麦克斯韦的理论，发现了电磁波，给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，为祖国和人民作出贡献，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。

一般地说，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。

(四) 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。如果你的实验很成功，但实验报告却写得一塌糊涂，就不能反映你的真正的实验水平。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，并做出结论；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我们所关心的主题，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?

主要参考文献

- 1 唐小真主编. 材料化学导论 (第1版). 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 (第1版). 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的分类与发展. 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 (第1版). 武汉: 武汉工业大学出版社, 1993, 1~3
- 5 杨建邺等编. 杰出物理学家的失误 (第1版). 武汉: 华中师范大学出版社, 1986
- 6 赵家凤主编. 大学物理实验 (第1版). 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 (第1版). 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