

21世纪高等院校实验教学改革与创新教材

无机非金属材料综合实验

WUJI FEIJINSHU CAILIAO ZONGHESHIYAN

主 编 陈远道 陈贞干 左成钢

湘潭大学出版社

21 世纪高等院校实验教学改革与创新教材

无机非金属材料综合实验

主 编 陈远道 陈贞干 左成钢

参 编 周诗彪 肖安国 庄永兵

黄小兵 杨基峰 欧利辉

湘潭大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料综合实验/陈远道, 陈贞干, 左成
钢主编 — 湘潭: 湘潭大学出版社, 2013.9
ISBN 978-7-81128-532-1

I. ①无… II. ①陈… ②陈… ③左… III. ①无机非
金属材料—实验 IV. ①TB321-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 211481 号

责任编辑: 丁立松

封面设计: 刘 扬

出版发行: 湘潭大学出版社

社 址: 湖南省湘潭市 湘潭大学出版大楼

电话(传真): 0731-58298966 0731-58298960

邮 编: 411105

网 址: <http://press.xtu.edu.cn/>

印 刷: 长沙超峰印刷有限公司

经 销: 湖南省新华书店

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 10

字 数: 249 千字

版 次: 2013 年 9 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81128-532-1

定 价: 25.00 元

(版权所有 严禁翻印)

前 言

无机非金属材料实验教学是为了让学生进一步巩固和运用所学的材料科学与工程方面的基本理论,掌握材料制备与材料性能测试的基本知识和基本技能,培养和提高学生的实践动手能力和创新能力,提高学生的综合素质,为正确设计材料、生产材料和合理应用材料打下良好基础。

无机非金属材料综合实验课是高等学校材料科学与工程、无机非金属材料等专业的一门重要的独立课程。为了满足高等学校材料科学与工程、无机非金属材料等专业的实验教学需要,同时为了适应新时代发展的需要,培养出具有宽广扎实的专业基础和较强的知识能力的无机非金属材料科学技术人员,我们在查阅参考了大量的文献资料,吸收国内外本学科专业的最新成果和国内有关的新标准、新规范的内容后,编写此书,名为《无机非金属材料综合实验》,以供材料类专业、应用化学专业实验教学参考。

所谓“综合实验”,一是它将多门课程如材料科学基础、材料工程基础、粉体工程、材料性能学、无机非金属材料工艺学、材料制备与测试所涉及的实验综合,独立设课,从而实验教学可以不依附于理论课程,便于集中连贯进行实验教学;二是它综合多种简单验证型实验在一次实验中完成;三是它综合多种过程和方法完成一个较复杂的实验。

全书共分8章,第1章为材料科学基础实验,第2章为粉体工程实验,第3章是无机材料性能学实验,第4章为玻璃工艺学实验,第5章是陶瓷工艺学实验,第6章是水泥工艺学实验,第7章为无机非金属材料测试方法实验,第8章为综合型和设计型实验,共43个实验项目,在每个实验后均附有思考题。本书系统地介绍了无机非金属材料的基本性质及其典型性能的测量原理和实验方法,还介绍了现代材料结构分析的基本原理和实验方法。实验教材的主要内容包括了综合型实验和综合设计型实验、现代测试方法实验、物理性能实验、工艺性能实验、基础实验等。书后附有8个附录,供实验教学数据处理参考用。

本书由陈远道、陈贞干、左成刚等教师完成编写工作。在编写过程中参考了许多兄弟院校的实验教材和有关著作,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在纰漏,书中不当之处,热忱欢迎读者批评指正,以便进一步订正和修改。

编 者

2013年8月

目 录

绪 论	(1)
第 1 章 材料科学基础实验	(8)
1.1 黏土泥浆 ζ -电位测定	(8)
1.2 表面张力系数的测定	(11)
1.3 凝聚系统的相图制作(淬冷法)	(14)
1.4 固相反应	(15)
1.5 材料烧结性能实验	(17)
第 2 章 粉体工程实验	(23)
2.1 粉体比表面积测定	(23)
2.2 粉体真密度测定	(29)
2.3 球磨机粉磨实验	(31)
2.4 Bond 球磨功指数的测定	(32)
2.5 粉体粒度分布测定	(37)
2.6 粉体流动性的测定	(38)
第 3 章 无机材料性能学实验	(41)
3.1 无机材料显微硬度的测定	(41)
3.2 材料抗折强度的测定	(45)
3.3 材料抗压强度的测定	(47)
3.4 材料线膨胀系数的测定	(49)
3.5 材料阻温特性的测定	(52)
3.6 材料色度、光泽度的测定	(54)
3.7 材料磁化率的测定	(61)
3.8 材料化学稳定性的测定	(64)
第 4 章 玻璃工艺学实验	(67)
4.1 玻璃析晶性能的测定	(67)
4.2 玻璃软化温度的测定	(70)
4.3 玻璃内应力的测定	(72)
4.4 玻璃退火温度的测定	(75)
4.5 玻璃熔制实验	(77)

第 5 章 陶瓷工艺学实验	(80)
5.1 黏土或坯料可塑性指标的测定	(80)
5.2 泥浆相对黏度及厚化度的测定	(83)
5.3 黏土或坯体线收缩率的测定	(85)
5.4 黏土或坯体干燥强度的测定	(88)
5.5 造型材料烧结温度范围的测定	(89)
第 6 章 水泥工艺学实验	(93)
6.1 水泥标准稠度用水量的测定	(93)
6.2 水泥净浆凝结时间的测定	(96)
6.3 水泥安定性的测定	(97)
6.4 水泥胶砂流动度的测定	(100)
6.5 水泥干缩性实验	(102)
6.6 水泥膨胀性实验	(105)
第 7 章 无机非金属材料测试方法实验	(108)
7.1 X 射线衍射分析	(108)
7.2 扫描电镜结构、原理及图像衬度观察	(112)
7.3 红外光谱分析	(116)
7.4 热分析	(119)
第 8 章 综合型和设计型实验	(124)
8.1 粉体工程综合实验	(124)
8.2 水泥熟料设计与制备综合实验	(126)
8.3 玻璃设计与制备综合实验	(127)
8.4 陶瓷设计与制备综合实验	(128)
附 录	(130)
附录 1 实验误差与数据处理	(130)
附录 2 国际相对原子量表(1995 年)	(143)
附录 3 常用分子量	(144)
附录 4 法定计量单位制的单位	(145)
附录 5 常用计量单位换算表	(146)
附录 6 基本物理量	(147)
附录 7 各种筛子的规格	(148)
附录 8 水泥标号等级与混凝土强度	(150)
参考文献	(151)

绪 论

材料是可以直接用来制造有用成品的物质,是人类生存与发展、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文明不断进步的标志。从科学技术发展史可以看出,每发现一种新材料,都将带动科学的发展和技术的进步。材料是一切科学技术的物质基础,是当代科学研究的前沿。目前,材料、能源、信息技术是现代文明的三大支柱,已经得到国际社会的广泛认可。世界上现有传统材料为几十万种,新材料还在以每年约 5% 的速度不断增长。在当代社会,科学技术还会有更大的发展,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,以便将来迎接挑战,开拓材料研究与制造的新天地,为人类文明的进步做出应有的贡献。

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领域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、用天然黏土为主要原料制作而成的黏土制品、用多种非金属矿物原料生产出的水泥、玻璃、陶瓷、耐火材料以及用成分比较纯的非金属矿物原料生产出的人工晶体等。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。现代无机非金属材料的定义已经扩展到包括除金属材料、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,在现代社会中发挥着重要的作用。

2. 无机非金属材料实验的特点

(1) 无机非金属材料实验的概念

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

“实验”是指科学上为了阐明某一现象而创造特定条件,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以及所从事的某种活动。“实验”的这些定义似乎带有验证的意思。

“试验”是指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,一般习惯于说成“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”。

由以上分析可知,“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,不再做具体的说明。

(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无机非金属材料制备方法和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。随着科学技术的飞速发展,各行业需要各种传统材料的同时,还需要性能特殊的新材料,这就促进了无机非金属材料的研究、开发与生产。在无机非金属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。有时候,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。如果获得的材料已能满足使用的要求,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,石材从古到今一直在使用,没有注意到有什么问题,可近年来,花岗岩、大理石的放射性就引起了人们的警惕。一些用“三废”研制的材料是否有放射性或毒性,也让人们不放心。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许多种,从温度范围来划分,有高温和低温制备方法;从物质形态来划分,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以及材料的研究与生产特点来考虑。

当前,社会还需要大量的传统无机非金属材料,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依据。

随着社会和科学技术的发展,各行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,不能准确地指明新型材料开发的方向。从现有新型材料的发展情况来看,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、微观研究与宏观研究相结合、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型材料的设计,通过各种先进的技术来探索新型材料的生产方法。

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工作风格的科学家和工程师。

二、无机非金属材料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,与无机非金属材料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和培养。

1. 实验课的目的

开设无机非金属材料实验课,其宗旨是让学生受到科学家和工程师般素质的基本训练。目前,传统无机非金属材料很多,新型无机非金属材料也在不断增多,这就确定了无机非金属材料实验课的两个特点:许多传统实验还要继续开设,学生对这些实验技能要掌握;新型材料实验的原理和方法陆续出现,并处于不断完善和不断改进之中,学生对其中的一些实验要掌握,对其中的某些实验要了解。

长期以来,传统观点认为学生进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根于人们的大脑之中。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型实验,还是一种材料的性能测试实验,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,然后根据各种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或几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以及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。一方面,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,因此在教学过程中做到以点带面是可行的。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,就能具备适应将来工作岗位的基础知识和能力。

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的培养;对学生进行理论联系实际能力和积极主动精神的培养等。

(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。

对于材料类专业的学生来说,他们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。从某种意义上来说,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以及测量这些性能的理论知识,加深对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的意义。

(2) 培养和提高能力

无机非金属材料实验课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,按照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和判断;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,或根据小型科研及部分实际生产环节的需求,完成简单的设计型实验。

(3) 培养和提高素质

学生素质的教育与培养是大学教育的重要一环。实验教学不仅要培养学生理论联系实际,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,有许多实验单凭个人是无法独立完成的,有的实验要花上十几个小时甚至几天的时间才能顺利完成,实验过程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获得成功。要通过做这类实验来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凝聚力,为将来的工作打下良好的基础。

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,他们几乎都是在实验室里刻苦工作出来的。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炼,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,才能为国家和社会做贡献。

④ 人文素质。人文素质通常是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差,写作水平低下。在实验教学中要求学生通过撰写较高质量的实验预习报告、设计型实验开题报告、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。当今社会对人们道德的评价,是以社会公认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、文明的行为,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,让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出贡献。

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,为人类做出了很多贡献。在相同的条件下培养出不同质量的学生,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化为主动,但对于学生来说,无论教师采取什么方式教学,自己发挥主观能动性,自己把被动转化为主动,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。

1. 重视实验

随着改革开放的不断深入以及社会主义市场经济体制的建立和运行,社会需要的是复合型人才。专业人才不能只独树一帜,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。

美籍华裔科学家丁肇中是一个非常看重实验工作的人,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谢词时说:“得到诺贝尔奖是一个科学家的最大荣誉。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。中国有句古话:‘劳心者治人,劳力者治于人’,这种落后的思想,对发展中国家的青年们有很大的害处。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,它是从实验中产生的。我希望由于我这次得奖,能够唤起发展中国家学生们的兴趣,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”,其中的卡文迪许实验室,就出了 25 人次的诺贝尔奖。实验是一种实践活动,是基本技能训练和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。

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。”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。通常实验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、性能和正确操作步骤;
- 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,应当尽量把表格设计好;
- ⑤ 实验教材中的思考题或作业题是加深对实验内容或关键问题的理解、开发学生视野的题目,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 对于不理解的问题,要及时查阅有关教科书,或列出清单请老师解答。

3. 实验

做实验有时候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,他们几乎都是在实验室里刻苦工作出来的。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工作,为国家和社会做出贡献,我们要学习这种精神,现在就要在实验室里进行磨炼,认真把实验做好。

一般来说,在大学学习期间所做的实验与有成就的科学家们所做的实验是有区别的。科学家们所做的实验尽管有的现在看起来比较简单,但这些实验是为了达到某种科研目的而自行设计的。学生在实验室里所做的课程实验,一般是根据实验教科书上所规定的实验方法和实验步骤来进行操作的,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,并把观察到的实验现象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相符合,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 实验过程中遇到疑难问题而自己难以解决时,应及时提请老师解答;
- 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内,保质保量地完成实验。

4. 撰写实验报告

实验成功只是实验教学要求的一部分。学生做完实验之后,必须撰写实验报告,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,对于验证型实验,应解释实验的每个现象,并做出结论;对于测试型实验,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,并交由指导老师评阅。评阅实验报告是指导老师检查学生学习情况和教学效果的一种重要方法,实验报告的优劣是指导老师给予学生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,重要的是要看指导老师批阅后发还的实验报告,要明白哪些地方做对了,哪些地方做错了。

四、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、综合型实验的特点分别是什么?
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,有没有设计型实验?
4. 你认为本书所列的实验项目中,哪些实验是原料性质的测试研究,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?

第 1 章 材料科学基础实验

1.1 黏土泥浆 ζ -电位测定

ζ -电位是固液界面电位中的一种,其值的大小与固体表面带电机理、带电量多少密切相关,直接影响固体微粒的分散特性、胶体物系的稳定性等。对于陶瓷泥浆系统而言, ζ -电位高时,泥浆的稳定性好,流动性和成型性能也好。

一、实验目的

1. 了解固体颗粒表面带电的原因,表面电位高低与固体颗粒分散特性、胶体物系稳定性之间的关系。
2. 了解黏土粒子的荷电性,观察黏土胶粒的电泳现象。
3. 掌握通过测定电泳速率来测量黏土-水系统 ζ -电位的方法,进一步熟悉 ζ -电位与黏土-水系统各种性质的关系。

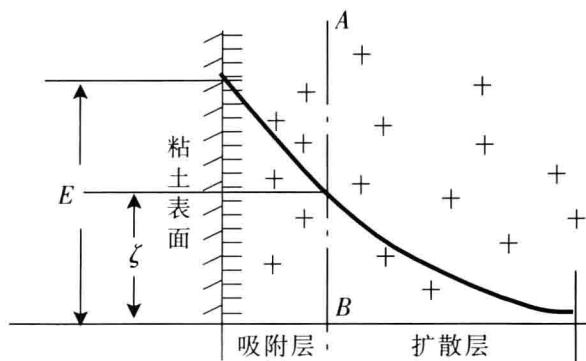
二、实验原理

在硅酸盐工业中经常遇到泥浆、泥料系统。泥浆与泥料均属于黏土-水系统,该系统是一种多相分散物系,其中黏土为分散相,水为分散介质。由于黏土颗粒表面带有电荷,在适量电解质作用下,泥浆具有胶体溶液的稳定特性。但是,泥浆粒度分布范围很宽,就造成了黏土-水系统胶体化学性质的复杂性。

固体颗粒表面由于摩擦、吸附、电离、同晶取代、表面断键、表面质点位移等而带电。带电量的多少与发生在固体颗粒和周围介质接触界面上的界面行为、颗粒的分散与团聚等性质密切相关。带电的固体颗粒分散于液相介质中时,在固液界面上会出现扩散双电层,有可能形成胶体物系,而 ζ -电位的大小与胶体物系的诸多性质密切相关。固体颗粒表面的带电机理、表面电位的形成机理及控制等是现代材料科学关注的焦点之一。

根据胶体溶液的扩散双电层理论,胶团结构由中心的胶核与外围的吸附层和扩散层构成。胶核表面与分散介质(即本体溶液)的电位差为热力学电位 E 。吸附层表面与分散介质之间的电位差即 ζ -电位,如图 1-1 所示。

带电胶粒在直流电场中会发生定向移动,这种现象称为电泳。根据胶粒移动的方向可以判断胶粒带电的正负,根据电泳速度的快慢可以计算胶体物系的 ζ -电位的大小,进而通过调整电解质的种类及含量,就可以改变 ζ -电位的大小,从而达到控制工艺过程的目的。

图 1-1 热力学电位 E 与 ζ -电位和胶团结构示意图

胶体分散相在直流电场作用下定向迁移。通过光学放大系统将胶粒运动情况投影到投影屏上。通过测量胶粒泳动一定距离所需要的时间,就可以计算出电泳速率。依据赫姆霍茨方程即可计算出 ζ -电位。

$$\zeta = 300^2 \times \frac{4\pi\eta v}{\epsilon E} \quad (1-1)$$

上式中, η 为黏度, ϵ 为介电常数, 它们都是温度的函数, v 是电泳速率, E 是电位梯度(其值等于电极两端电压 U 除以电泳池的长度 L)。根据欧姆定律可得:

$$E = \frac{U}{L} = \frac{IR}{L} = \frac{i}{\lambda_0 A} \quad (1-2)$$

上式中, 电阻 $R = \rho L/A$, A 为电泳池测量管的截面积; $\lambda_0 = 1/\rho$ 为电导率; i 为通过电泳池测量管的电流, 其值可以通过电流表读得的电流值 I 乘以因子 $1/f$ 得到, 即 $i = I/f$ 。因此

$$E = \frac{I}{f\lambda_0 A}$$

将 E 代入赫姆霍茨方程可得:

$$\zeta = \frac{300^2 \times 4\pi\eta}{\epsilon} \times \frac{fA v \lambda_0}{I} \quad (1-3)$$

令 $C = 300^2 \times 4\pi\eta/\epsilon$ (C 是一个与温度有关的常数), $B = fA$ (B 是一个取决于电泳池结构的仪器常数, 标于仪器上面), 则有:

$$\zeta = C v \lambda_0 B / I \quad (1-4)$$

考虑到 $C \sim T$ (C 值 $\sim$ 温度) 对应关系中物理量单位以及仪器常数中有关单位的限制, 上述公式中各物理量的单位分别为: v —— $\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; λ_0 —— $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$; ζ —— mV 。

三、实验器材

微电泳仪(也可用表面电位粒径仪)、电导率仪、托盘天平、玻璃杯、玻璃研钵、温度计、pH 试纸、氯化钠溶液(0.1 mol/L)、氢氧化钠溶液(0.01 mol/L)、蒸馏水、黏土试样。

四、实验过程

1. 称取 0.2 g 黏土, 研磨 5 min 后放入玻璃烧杯内。
2. 加入氯化钠溶液至 250 mL, 再加入氢氧化钠溶液调节 pH 值为 8。

- 3. 接通电导率仪的电源,把电极置于盛有胶体溶液的烧杯内。
- 4. 将“测量-校正”开关置于“校正”位置,调节旋钮使指针达到满刻度。
- 5. 将“测量-校正”开关置于“测量”位置,调节倍率旋钮使表头有明显的读数。
- 6. 测量完毕后,取出电极置于盛有蒸馏水的烧杯内,关掉电导率仪的电源。
- 7. 将温度计置于胶体溶液内测量胶体溶液内的温度,查表得出 C 值。
- 8. 清洗电泳池。
- 9. 缓慢注入胶体溶液。
- 10. 将电压调节至 200 V 左右,按复零开关,选择投影屏中心线附近的胶粒,按正向或反向开关使胶粒对准一条垂直线。
- 11. 按正计开关,胶粒运动一个格子后,按反计开关,使胶粒返回出发点。如此反复 5~6 次,记录胶粒运动的距离和所用的时间,得出胶粒的电泳速度。
- 12. 重新选择胶粒,重复上述步骤,共测量 5~6 个胶粒,计算出电泳速度的平均值。
- 13. 按下正向开关,记录电流值 I 及仪器常数 B 的值,并打印出结果。
- 14. 抽出胶体溶液,用蒸馏水清洗电泳池,最后注入蒸馏水以保护电极。

五、数据处理

将各种数据进行整理,记录在表 1-1 中。根据实验结果,通过式(1-4)计算出 ζ -电位。

表 1-1 实验数据表

胶粒 编号	时间/ s	平均时间/ s	溶液的 C 值	电压/ mV	电泳池的长度 mm	平均速度/ (mm · s ⁻¹)	ζ -电位/ mV
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

六、思考题

- 1. 影响电泳速率的因素主要有哪些?
- 2. 影响 ζ -电位的因素主要有哪些?
- 3. 黏土带什么电荷? 它会带相反的电荷吗? 为什么?

1.2 表面张力系数的测定

一、实验目的

1. 学习 FD-NST-I 型液体表面张力系数测定仪的使用方法。
2. 用拉脱法测定室温下液体的表面张力系数。

二、实验原理

液体分子之间存在相互作用力,这个相互作用力属于分子力。液体内部每个分子都被同类的其他分子包围,受到周围分子的作用,合力为零。而液体表面层(其厚度等于分子的作用半径,约为 10^{-8} cm)内的分子所处的环境跟液体内部的分子相比缺少了一半与它相互吸引的分子。由于液体表面气相层的分子数很少,表面层内每个分子受到向上的引力比受到向下的引力小,合力不为零,出现一个指向液体内部的吸引力,所以液面具有收缩的趋势。我们把液体表面分子受内部分子的作用力,称为表面张力。

表面张力 f 是存在于液体表面上任何一条分界线两侧间液体的相互作用,其方向沿液体表面,且恒与分界线垂直,大小与分界线的长度成正比,即:

$$f = \alpha L \quad (1-5)$$

上式中, α 称为液体的表面张力系数,单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$,在数值上等于单位长度上的表面张力。实验证明,表面张力系数的大小与液体的温度、纯度、种类及其上方的气体成分有关。温度越高,液体中所含杂质越多,则表面张力系数就越小。

将内径为 D_1 、外径为 D_2 的铝合金吊环悬挂在测力计上,然后把它浸入盛水的玻璃器皿中。当缓慢地向上拉起铝合金吊环时,铝合金吊环就会拉起一个与液体相连的水柱。由于液体表面张力的作用,测力计的拉力逐渐达到最大值 F (超过此值,水柱立即破裂),则 F 应当是铝合金吊环重力 G 与水柱拉引铝合金吊环的表面张力 f 之和,即:

$$F = G + f \quad (1-6)$$

由于水柱有两个液面,并且两个液面的直径与铝合金吊环的内外径相同,则有

$$f = \alpha \pi (D_1 + D_2) \quad (1-7)$$

则液体表面张力系数为

$$\alpha = \frac{f}{\pi (D_1 + D_2)} \quad (1-8)$$

液体表面张力系数的值一般很小,测量微小的力时必须使用特殊的仪器。本实验使用 FD-NST-I 型液体表面张力系数测定仪进行测量,它采用的测力计是硅压阻力敏传感器,该传感器灵敏度高,线性和稳定性好,以数字式电压表输出显示。

若力敏传感器的拉力为 F 时,数字式电压表的示数为 U ,则有

$$F = \frac{U}{B} \quad (1-9)$$