



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理实验立体化教材 / 熊永红 主编

大学物理实验

任忠明 张 炯 王阳恩 许明耀 主编

(第二册)



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
大学物理实验立体化教材/熊永红主编

大学物理实验

(第二册)

任忠明 张 炯 王阳恩 许明耀 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本套书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本套书以培养学生的科学实验的基础知识、方法、技能和综合素质,创新意识、创新思维和创造能力为目的。因此,本书除了基本内容外,还有许多“弹性”内容和丰富的多媒体资料供学有余力的同学设计或做探索性实验时参考。全套书分为四册,第一册突出“三基”训练和初级综合与设计性实验,可作为理、工、医、农、商、管等各学科本科生的科学实验入门教材;第二册为提高性实验,适合作为理、工、医各专业物理实验教材;第三册为综合、设计与探究性实验,适合作为理、工、医、农、商、管、文等各学科本科生课内外的实验研究和公选课教材;第四册为近物和专题研究性实验,涉及国内外前沿研究课题,适合作为理科类各专业基础实验教材。

本套教材还可以作为中学物理教师的参考书,前三册可作为涉及物理实验方法和测量技术的广大青年和成人教育的参考书,第四册也可供涉及物理学的广大科技工作者或科普工作者参考。为方便教学,本书将配有光盘出版。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 第2册/任忠明等主编. —北京:科学出版社,2008
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-022244-2

I. 大… II. 任… III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 081943 号

责任编辑:胡云志 唐保军 / 责任校对:李奕莹
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年6月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:1—14 000 字数:332 000

定 价: 20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

前言

物理实验作为高校公共基础课,是大学生系统地学习科学实验的基础知识、实验方法、测量技术的入门课程,对学生科学思维方式、创新意识、科研能力、科学作风和综合素质的培养都具有极其重要的作用,是高校基础教学中不可缺少的重要环节。物理学是新兴技术学科的源头和基础,与其他学科的“嫁接”、“交汇”都可能产生巨大的能量,成为促进现代高科技发展和新兴学科诞生的催化剂。面对科学技术的飞速发展,我们感受到社会对高素质创新人才的迫切需求向大学物理实验教学提出了严峻的挑战。

为此,本套书力求在突出物理实验的设计思想,物理实验的基本知识、基本方法、基本测量技术的基础上,将现代教育理念、先进教育技术和现代科技进步的成果融入到基础物理实验的教学之中。在实验的编写上,采取开篇设问的方式,提出一些“预备问题”,让学生带着问题进行学习,使他们更好地理解 and 掌握实验的原理、方法、技术。在“引言”中介绍了实验原理和相关资料(更详细的描述、背景资料和最新进展放到配套光盘中)。“仪器设备”仅作了简要的介绍(配套光盘中的视频介绍和演示更加直观和生动)。“实验程序”包含实验的基本内容,并强调实验研究过程的规范性。“数据处理与结果分析”中包含数据处理和实验结果表述。“拓展问题”是基本内容的延伸,或者是实验原理(或物理效应)的灵活应用,或者是对实验中发现新问题的深入研究。本教材增加拓展问题的目的是:①引导学生理论联系实际,做到学以致用;②给学有余力的同学更多的实践机会,有利于因材施教;③鼓励学生勇于质疑,探索创新,对一些难题课内无法解决,可以带到课外进行研究。

随着科技的飞速发展,现代测试技术和仪器也进入物理实验室,数字仪表正在逐步取代各种老式的指针式仪表,传感器和计算机在物理实验的教学中正凸显其测量快捷、记录和存储方便、便于数据的分析预处理等诸多优势,促使许多高校物理实验教学中采用了计算机来进行采集、记录、绘图或监控等,提高了物理实验的现代化水平。针对目前国内部分教学仪器的盒装化和暗箱化,制约了学生动手能力的培养和对测量原理的理解,我们增加了一些组合式(开放式)、模块化(散件化)的实验,并将数字仪表、存储示波器、显微技术(扫描隧道显微镜和原子力显微镜)、真空与镀膜技术、数字信号光纤传输技术、低温技术、等离子体技术、微波技术、磁共振技术、传感器技术、虚拟技术和现代测控技术用于其中。

本套教材分为四册,以引导学生主动观察物理实验现象和规律、发现和提出问题、分析和解决问题为主线,将创新教育理念和以围绕“问题”组织教学的方法运用到各个教学层次之中。

第一册主要介绍物理实验的基本程序和规范,介绍科学实验的基础知识(测量与不确定度的基本概念、数据处理与结果分析的方法等)、基本实验方法和基本技能,加入少量设计与综合性实验内容。在基础实验之外,利用多媒体提供背景知识、相关仪器、测量方法和技术的介绍,以及相关扩展实验内容和影像资料。

第二册在“三基”训练的基础上,增加部分综合、设计、近代物理实验内容,并将科技前

沿的部分最新成果融入到教材之中,引导学生进行主动学习,在完成基本实验要求后,选做“弹性”内容或进行自选实验的探索和研究。

第三册简要论述了科学思维方法和物理实验方法论,实验课题以各种综合、设计、系列和专题研究性实验为主,也加入了一些定性与半定量的探究性实验,实验内容由易到难,实现了由经典到现代前沿课题的过渡,以满足不同层次的学生进行自主学习与创新设计的需求。

第四册按研究型课程要求编写教材,将实验根据近代物理的物理概念、方法和技术等方面的特点划分为若干模块,使学生很容易了解每个实验的内涵和外延,使教材有助于学生创新能力的培养。

本套书博采众长,吸收了国内外优秀物理实验教材的精华,融入了华中科技大学、长江大学等高校几十年来的教学改革与实践的成果。物理实验课是一门体现集体智慧和教学研究果实的课程,是工作在物理实验教学第一线的广大教师和实验技术人员辛勤耕耘的结晶。在此,我们衷心感谢多年来在华中科技大学物理实验教学中辛勤劳作和无私奉献的所有老师!尽管一些老师没有直接参加教材编写,但这套教材仍凝聚着他们辛勤的汗水和智慧的结晶。

本套教材吸纳了国内多所高校在实验教学方面具有较高造诣的教授参与讨论和编写,大多数教师具有丰富的实验教学经验、精湛的技艺和较高的学术水平。在主编和编委会的参与和指导下,集体讨论、以个人执笔的方式完成书稿,撰写人都署名在各自撰写的章节或实验之后。

本套教材在编写的过程中听取了北京大学、清华大学、中国科技大学、南京大学、东南大学、合肥工业大学、武汉大学、华中师范大学、湖北大学、长江大学等高校的院士、专家和教授给本书提出的宝贵意见和建议。本套书在编写过程中,华中科技大学主管校长、教务处和物理系及科学出版社领导对本教材编写给予了极大的鼓励和支持,在本套书出版之际,向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

由于我们的水平和条件有限及时间紧迫,书中不妥和疏漏之处在所难免,恳请广大师生和同行专家及时批评指正。

熊永红

2007年6月

目 录

前言

第 1 章 固体和液体物性测量..... 1

实验 1.1 金属线膨胀系数的测定 1

实验 1.2 用闪光法测定不良导体的热导率 3

实验 1.3 稳态法测不良导体的热导率 9

实验 1.4 良导体导热系数的测定 11

实验 1.5 金属比热容的测定 15

实验 1.6 传感器测空气相对压力系数 18

实验 1.7 液体黏滞系数的测定 22

实验 1.8 液体表面张力系数的测量 25

实验 1.9 流体力学实验 30

第 2 章 电磁学实验 35

实验 2.1 电路的暂态过程 35

实验 2.2 谐振电路 42

实验 2.3 交流电桥 47

实验 2.4 居里温度测量 52

实验 2.5 介电常量测量 55

实验 2.6 混沌电路与混沌同步 58

实验 2.7 电子荷质比的测量 63

实验 2.8 法拉第磁光效应 65

实验 2.9 周期信号的傅里叶分解与合成研究 68

实验 2.10 CCD 工作原理及特性测量..... 73

第 3 章 光学实验 81

实验 3.1 光栅特性与光波波长测量 81

实验 3.2 偏振与双折射 86

实验 3.3 激光全息照相 92

实验 3.4 双光栅测量微弱振动位移量 97

实验 3.5 音频信号光纤传输技术实验 102

实验 3.6 用干涉法测量空气的折射率 110

实验 3.7 旋光性及旋光性溶液浓度的测量 115

实验 3.8 氢原子光谱 119

第 4 章 著名物理实验..... 123

实验 4.1 密立根油滴实验 123

实验 4.2	黑体辐射基本特性研究	128
实验 4.3	光电效应和普朗克常量的测量	132
实验 4.4	迈克耳孙干涉仪	138
实验 4.5	弗兰克-赫兹实验	142
实验 4.6	核磁共振研究	146
实验 4.7	高温超导材料特性的测试	152
实验 4.8	氧化物巨磁电阻材料的电磁特性	158
第 5 章	综合与设计实验	163
实验 5.1	碰撞过程的瞬态数字测量	163
实验 5.2	电磁感应与磁悬浮	167
实验 5.3	基础综合光学	171
实验 5.4	分光光度计的应用	180
实验 5.5	光纤综合实验	183
实验 5.6	光纤位移传感器的应用	191
实验 5.7	数字信号光纤传输技术实验	194
实验 5.8	激光散斑	204
实验 5.9	验证动量与动能的相对论关系	207
实验 5.10	超声波无损检测实验	213
附录		218
附录 1	热电偶简介	218
附录 2	铜-康铜热电偶分度表	219
附录 3	在不同温度下与空气接触的水的表面张力系数	219
附录 4	TDS1002 型数字存储示波器使用简介	220
附录 5	偏振光实验中常用的各种光学器件	221
附录 6	全息干板、暗室设备及使用方法	222
附录 7	力传感器和数字毫秒计	222

第1章 固体和液体物性测量

实验 1.1 金属线膨胀系数的测定

绝大多数物体都具有“热胀冷缩”的特性,这是由物体内部分子热运动加剧(或减弱)从而使物质分子平均间距变大(或变小)造成的.固体的热膨胀虽然很小,却可以引起很大的应力.所以,在工程设计(如桥梁、铁轨等)、机械制造、材料加工等过程中都必须对物质的膨胀特性予以充分的考虑.线膨胀系数 α 是反映物质热膨胀本领大小的物理量.其物理意义是,温度升高1 K(或1℃)时固体的伸长量与原长的比值.在国际单位制中, α 的单位为 K^{-1} .实验室中测量线膨胀系数常用千分尺、百分表、光杠杆、传感器、光学干涉法等方法.本实验采用迈克耳孙干涉仪来精确测量线膨胀系数.

【预备问题】

- ① 用迈克耳孙干涉法测量微小位移的原理是什么?
- ② 把试件装进电热炉内的步骤有哪些? 要注意些什么?
- ③ 如何调整迈克耳孙干涉仪使观察屏上出现清晰的干涉条纹?

【引言】

线膨胀是固体材料在受热时在一维方向上的伸长.在一定的温度范围内,固体受热后,其长度都会增加,设固体在两个温度 t_1 、 t_2 ($t_2 > t_1$) 时的长度分别为 L_1 、 L_2 ,实验表明,固体的相对伸长量与温度的变化成正比:

$$\frac{L_2 - L_1}{L_1} = \alpha(t_2 - t_1) \quad (1.1.1)$$

即

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1(t_2 - t_1)$$

固体的线膨胀系数为

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\delta}{L_1(t_2 - t_1)} \quad (1.1.2)$$

测量线膨胀系数的关键问题是怎样测准温度变化引起的长度的微小变化量 δ .本实验采用迈克耳孙干涉仪(参见实验4.4)来精确测量物体受热后长度的微小伸长量.仪器原理如图1.1.1所示,当待测固体试件被电热炉加热时,试件因线膨胀,向上推动迈克耳孙干涉仪的动镜,使到达观察屏的两束激光的光程差发生连续的变化,致使观察屏上的环形干涉条纹连续地“收缩”进圆心.因为每当试件伸长 $\lambda/2$ (λ 为激光的波长),两束激光的光程差就变化一个波长 λ ,于是有一个干涉环在圆心“湮灭”,若当温度变化 $t_2 - t_1$ 时,发

生了 N 个干涉环的“湮灭”,则试件长度的变化量为

$$\delta = L_2 - L_1 = N \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (1.1.3)$$

所以,所测固体材料的线膨胀系数为

$$\alpha = \frac{\delta}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{N\lambda}{2L_1(t_2 - t_1)} \quad (1.1.4)$$

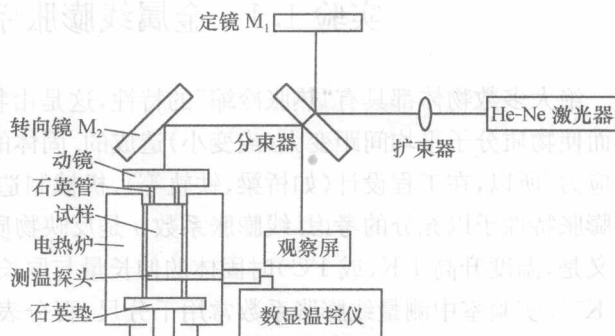
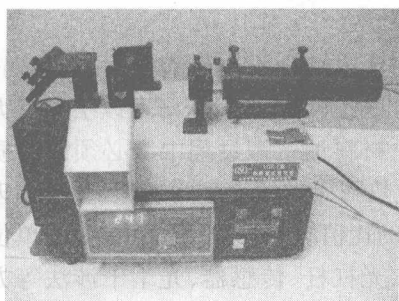


图 1.1.1 热膨胀实验装置及其原理图

【仪器设备】

SGR-1 型热膨胀实验装置一套(He-Ne 激光器:功率约 1 mW, 波长 632.8 nm;数字测温最小分度为 0.1℃;升温范围为室温~60℃;试件品种有铝棒、黄铜棒、钢棒), 游标卡尺。

【实验程序】

1. 安放试件

先用 M4 长螺钉旋入试件(铝棒)一端的螺纹孔内, 将其从试件架中提拉出来。用游标卡尺测量并记录试件长度 L_1 。旋出两固定电热炉的螺钉后将其从仪器左侧的台板上平移取下。手提 M4 螺钉把试件送进电热炉(注意:试件的测温孔与炉侧面的测温探头圆孔一定要对准)。然后卸下 M4 螺丝, 用圆形平面镜(动镜)背面的螺纹将平面镜与试件连接起来。将炉体从台板开口向右推到底复位, 将测温探头穿过炉壁插入试件下半截的测温孔内。将炉内电阻丝引出的电缆插头插入炉旁的插座上。将炉体下部用两个螺钉锁紧在侧台板上。

2. 调节迈克耳孙干涉光路

接好激光器的线路(正负不可颠倒), 再接通仪器的总电源。按“激光”开关, 拨开扩束器之后, 调节 M_1 和 M_2 两个平面镜背后的调节螺钉, 使观察屏上的两组光点中的两个最强的光点重合, 然后把扩束器转到光路中, 屏上即出现干涉条纹, 这时微调平面镜 M_1 和 M_2 的方位, 可将椭圆干涉环的环心调到视场的适中位置。对扩束器作二维调节, 可纠正观察屏上光照的不均匀。

3. 测量试件受热后的伸长量

测量前, 先将温控仪选择开关置于“设定”, 转动设定旋钮, 直到显示出预定温度值。然

后,将选择开关置于“测量”,记录试件初始温度 t_1 ,认准干涉图样中心的形态,按“加热”键,同时仔细默数干涉环“收缩”进圆心的个数.待达到预定数(如 50 个环或 100 个环)时,记录温度显示值 t_2 ,当接近和达到设定温度时,红灯亮(绿灯闪灭),加热电路自动切断.也可以采用升高一定的温度(如 10°C)测量试件的伸长量(默数干涉环的变化量)的方法.

4. 更换试件

一种样品测试完毕后,直接按“暂停”键停止加热.松开加热炉下部的螺钉,使炉体平移,离开侧台板.旋下动镜,取出测温头,再换上 M4 螺丝提手从炉内取出试件.用风冷法或其他方法,使炉内温度降到最接近室温的稳定值后,按第 1 步要求安放另一材料的待测试件(黄铜棒),重新调节光路后按“加热”键,即开始新一轮的加热测量过程.实验完毕,切断加热炉电源.

注意事项

① 本实验宜在低照度的实验室内进行,室内应避免强烈的空气流动.地面和实验桌面不可有震动.实验室应保持安静.

② 在圆形平面镜与铜螺丝之间粘接的石英细管质脆易损,不能承受较大的扭力和拉力;炉底上的石英垫不能承受试件落体的冲击;试样入炉与出炉必须用 M4 长螺钉做辅助工具.

③ 仪器分束器、扩束器和平面镜,在湿热季节或海滨地区使用时,应定期用脱脂棉浸乙醇乙醚混合液清除各种污染.若长时间不用,可卸下来放进干燥器内保存.

④ 使用 He-Ne 激光器做实验,须注意保护眼睛,不要正面直接注视激光光束或激光干涉图样,以免视网膜受到损伤.

【数据和结果分析】

① He-Ne 激光的波长 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$.

② 将样品铝棒的长度 L_1 ,温度变化量 $t_2 - t_1$,对应的观察屏上干涉环的变化量 N 代入式(1.1.4)计算样品的线膨胀系数 α ,与相应温度下的标准值比较计算其相对不确定度.

③ 用黄铜棒的观测数据计算样品的线膨胀系数及其相对不确定度.

【参考文献】

[1] 杨述武.普通物理实验.北京:高等教育出版社,2000

[2] SGR-1 型热膨胀实验装置说明书

(张昆实)

实验 1.2 用闪光法测定不良导体的热导率

热量的传递一般分为三种:热传导、热对流和热辐射.热传导是指发生在固体内部或静止流体内部的热量交换过程.其微观机制是,自由电子或晶格振动波作为载体进行热量交换的过程.宏观上是由于物体内部存在温度梯度,发生从高温区向低温区域传输能量的

过程. 导热系数是描述物体热传导性能的重要物理量,也是表征材料性质的基本参数之一. 导热系数的测量,是工程热物理、材料科学、固体物理及能源、环保等研究领域的课题. 不同的物质具有不同的导热系数,同种物质的导热系数也由于其微观结构、温度、压力以及杂质含量不同而很不一样. 在科学实验和工程设计中,所用材料的导热系数都需要用实验的方法精确测定.

测量材料导热系数的方法大体分为稳态法和非稳态法两类. 稳态法是在加热和散热后达到平衡状态,试样内部形成稳定温度分布的条件下进行测定. 而非稳态法测量时,试样内部的温度分布呈一定规律的变化(如周期性变化),变化规律不仅受实验条件的影响,同时与导热系数有关. 本实验将用非稳态法——闪光法测量不良导体的导热系数. 通过本实验,学习一种测定材料热物性参数的方法,学习正确使用高压脉冲光源和光路调节技术以及用微机控制实验和采集处理数据.

【预备问题】

设计用常规仪器测定试样密度和比热容的方法.

【引言】

1. 傅里叶导热定律和热导率

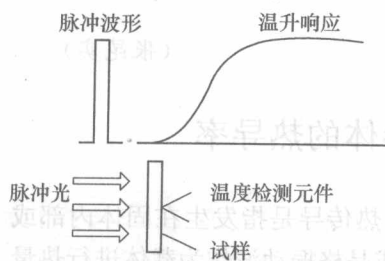
1822年,傅里叶首次在他的著作《热的理论分析》中阐述了导热热流和温度梯度的正比关系. 如用热流密度的矢量形式表示,傅里叶导热定律可以表示为

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \text{grad}T$$

式中, $\mathbf{q}$ 为热流密度矢量,表示在单位等温面上沿温度降低方向单位时间内传递的热量; λ 为热导率(也称导热系数),是反映物质导热能力的重要物性参数,其物理含义是:每单位时间内在每单位长度上温度降低1 K时,每单位面积上通过的热量,其单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

2. 材料热导率的测量方法

非稳态法是用非稳态导热微分方程,通过测量温度随时间的变化关系,先得到热扩散率,再利用材料的已知密度和比热容求得热导率. 闪光法是测定热扩散率最常用的一种方法,采用圆形薄板试样,在一端面上用一脉冲型的热流加热,测量另一端面上温度随时间的变化关系,从而确定热扩散率 α ,再由公式 $\lambda = \alpha \cdot \rho \cdot c$ 得到热导率 λ ,其中, c 和 ρ 分别为材料的比热容和密度. 原理示意图见图1.2.1,假设有一束能量为 Q 的光脉冲在 $t=0$



时刻照射在试样表面(试样为薄圆片状,光脉冲沿垂直于圆面的轴线方向照射),且被试样均匀吸收,可以认为在距表面的微小距离 l 内样品温升为

$$T(x,0) = \frac{Q}{\rho c x}, \quad 0 < x < l \quad (1.2.1)$$

$$T(x,0) = 0, \quad l < x < L$$

式中, Q 为单位面积吸收的能量, L 为样品厚度,且 $L \gg l$. 当试样周围的热损失很小以至可以忽略不计时,

可以认为侧面绝热,这时可用一维导热微分方程

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L \quad (1.2.2)$$

来描述其物理过程,其中 α 是试样材料的热扩散率.由初始条件式(1.2.1),解方程式(1.2.2)得

$$T(x,t) = \frac{Q}{\rho c L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{n\pi x}{L} \cdot \frac{\sin(n\pi l/L)}{(n\pi l/L)} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \alpha t\right) \right] \quad (1.2.3)$$

在试样背面 $x=L$ 处,温升可表示为

$$T(L,t) = \frac{Q}{\rho c L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \alpha t\right) \right] \quad (1.2.4)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, $T(L,t)$ 达到最大,有

$$T_M = \frac{Q}{\rho c L}$$

定义 $V(L,t) = \frac{T(L,t)}{T_M}$, $\omega = \frac{\pi^2 \alpha t}{L^2}$,则

$$V = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-n^2 \omega) \quad (1.2.5)$$

对式(1.2.5)作图,如图1.2.2所示.

令 $V=1/2$,求得 $\omega=1.38$.将对应的时间记为 $t_{1/2}$,可得热扩散率为

$$\alpha = 1.38 \frac{L^2}{\pi^2 t_{1/2}} \quad (1.2.6)$$

进而有热导率为

$$\lambda = 1.38 \frac{\rho c L^2}{\pi^2 t_{1/2}} \quad (1.2.7)$$

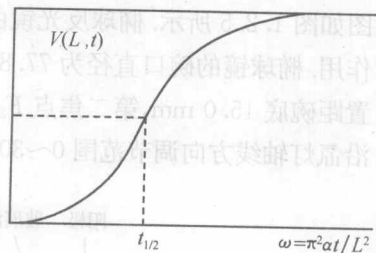


图 1.2.2 $V-t$ 曲线

上述处理过程要满足的条件是:试样面积 $\gg$ 厚度,则侧面散热可忽略,可视为一维热流;试样温升小,则向环境的散热可忽略不计;试样材料均匀,各向同性;试样一面受光辐照,在极薄层内吸收并转化为热量;光照射时间远远小于热量在试样内传播的时间等.

本系统用于测定不良导体的热导率,还可以同时测定不良导体的热扩散率和比热容.此方法的特点是:试样尺寸可以做得很小(如直径为1 cm);测量周期短(十至几十秒);待测温度为相对测量量,故测温仪器不需做绝对定标;测温元件灵敏度高,响应时间短;数据处理方法简便,使用微机采集和处理数据快捷等.

【仪器设备】

闪光法热导仪(包括高压脉冲氙灯和电源),光学调节系统,待测样品(酚醛胶布板、大

理石、瓷砖等各一片), PN 结温度传感器, 放大电路, AD/DA 卡, 计算机, 软件等
本试验装置分为三部分, 装置框图见图 1.2.3 所示.

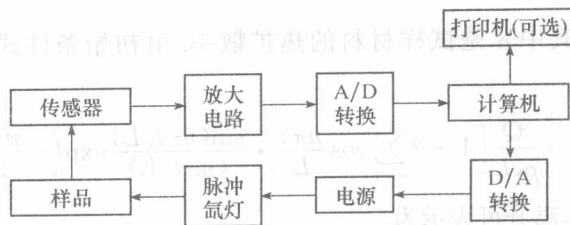


图 1.2.3 测量系统示意框图

1. 光学系统

包含高压脉冲氙灯、氙灯电源、椭球反光镜、样品和样品盒、氙灯及样品的三维调节装置. 实验所用的高压脉冲氙灯形状为直管式, 如图 1.2.4 所示. 当电极两端加高压 600~800 V 时, 极间放电, 发出耀眼的白光(切勿用肉眼直视). 本实验利用氙灯的瞬间放电对试样进行加热. 闪光脉冲宽度约为 0.2 ms, 脉冲能量最高达 150 J/次(若电源电压为 1.0 kV, 加 300 μ F 电容时), 氙灯寿命达 10^5 次(降低工作电压可延长氙灯寿命). 高压脉冲电源输出电压可调, 为 0~1.0 kV(因实验电压无需太高, 故实验室对电源输出电压做了限制, 在 0.8 kV 以内). 椭球反光镜的作用是聚集氙灯发出的光线, 提高对样品的辐照效率, 其光路图如图 1.2.5 所示. 椭球反光镜由玻璃制成, 内表面镀铝薄层, 铝层表面是 SiO_2 膜, 起保护作用. 椭球镜的碗口直径为 77.8 mm, 碗底直径为 20.0 mm, 深度为 52 mm, 第一焦点 F_1 位置距碗底 15.0 mm, 第二焦点 F_2 距碗口 106.6 mm, 椭圆度误差 < 0.5 mm. 氙灯三维微调架沿氙灯轴线方向调节范围 0~30 mm, 上下、左右调节范围各为 0~5 mm.

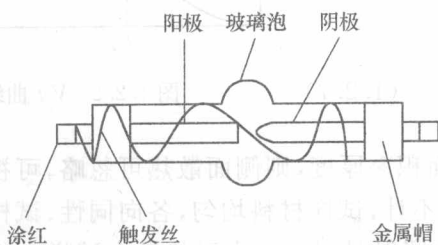


图 1.2.4 脉冲氙灯示意图

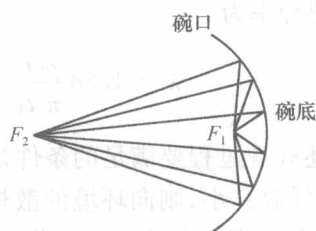


图 1.2.5 光路示意图

2. 测温系统

包括 pn 结温度传感器(BTS 202, 粘贴在试样背面)、测温电路板(插于计算机主机中)、试样等. 传感器 2 只, 均为 I 级互换水平. 灵敏度为 2 mV/ $^{\circ}\text{C}$, 响应时间 ≤ 0.1 s. 它的作用是将其对温度变化的响应以电压形式输出. 为了能被计算机识别, 需将输出信号放大. 两只温度传感器的作用分别是作为测温元件和用于补偿电路. 放大电路中所用放大器为低噪声场效应运算放大器, 其信噪比高, 放大倍数在 $1 \sim 10^2$ 可调. 试样为酚醛胶布板、大理石、瓷砖, 形状为薄圆片, 尺寸为直径 14 mm, 酚醛树脂胶布板厚度为 (3.08 ± 0.02) mm、大理

石厚度为 (3.05 ± 0.02) mm、瓷砖厚度为 (3.07 ± 0.02) mm。

3. 数据采集和处理系统

包括计算机,多通道高速 AD/DA 转换卡,软件等。本实验测量样品温度随时间变化的规律,全过程仅十几秒,时间短,使用计算机能快速进行数据采集和处理。本实验对计算机要求为 80 486 以上,考虑到一机多用,选用了 Pentium 4 1.7 GHz CPU,128 M 内存,40 G 的硬盘和 48 倍速的光驱。

使用 AD/DA 转换卡(PC-7483),A/D 功能是将模拟量(即电压信号,它来自放大电路的输出电压)转换为数字量,使计算机能识别,其分辨率有 12 位数,增益为 15 倍(已调好),转换时间为 $10 \mu\text{s}$,输入电压幅度可达 10 V。此 AD/DA 转换卡为 16 路多路转换,用此卡可以实现多路信号采集(本实验只用了“0”路),还可以做其他实验用,做到一卡多用。D/A 转换功能用于输出 5 V 电压去触发高压脉冲电源,使氙灯极间放电发出闪光。实验中利用 D/A 转换功能触发光脉冲,同时用 A/D 转换功能采集由 pn 结温度传感器接收到的样品背面的温升信号,由计算机屏幕显示出温升曲线。微机操作系统是 Windows98,实验所用软件界面友好,操作方便,用于数据采集和处理的全过程。

【实验程序】

(1) 调节测量系统首先调节光学系统,需注意:

① 调节氙灯的三维微调架,微调架上有刻线,以便较快调节光学元件的共轴,使氙灯的电极中心位置在距椭球反光镜底口约 15 mm,即椭球反光镜的第一焦点处(光学架装有标尺,光学元件已基本调好并用螺丝固定,可先使用,待熟练后再自行调节)。

② 样品已被事先装入样品架内,调节样品架位置距反光镜碗口距离约为 96.6 mm,则样品位置距反光镜碗口 106.6 mm(即椭球反光镜的第二焦点处)。实际上由于很难准确调节氙灯发光部位在反光镜的第一焦点上,往往需要进行实验去找到样品实际接收最大光强处(用软件中的“模拟聚焦”功能可知,偏离焦点微小距离可造成反光镜会聚光线位置的极大改变)。

③ 高压脉冲电源已由实验室接通氙灯阴、阳极。开启电源开关,用面板上的多圈电位器将高压调到 600 V 左右。按下“触发”钮,此时氙灯会打火并闪光。如有可能,可以使用感光纸或热敏纸找到一个被氙灯辐照能量最大的位置(通过调节光学系统),将样品置于此位置。若无上述条件,则判断光路调节的好坏就要依据实测样品温升的结果了。

其次实验电路已由实验室事先连接好,放大电路板及 AD/DA 卡都已置入微机中。实验时只需将测温二极管与补偿二极管用专用线接入放大电路即可。

最后开启计算机,了解数据采集的过程:在桌面上找到“TC-II 闪光法热导仪”的快捷方式并用鼠标点击两下,则进入程序。从主菜单中选“文件”,在“文件”菜单中选“新建”项,则当前屏幕的主窗口中新打开一个子窗口,包括数据区和图像区。再选择主菜单中“数据”项中的“选项”,设置 AD/DA 卡参数,再选择“采集与报警”,点击“确定”后,再打开主菜单中“数据”,点击“开始采集”项,则窗口中显示出实时采集的“温升-时间”图像。若在“采集与报警”中设置“外触发脉冲”为“5 V”,高压脉冲电源将自动触发氙灯打火辐照样品,同时采集一幅“温升-时间”图像,这就是由样品背面采集的温升曲线。

(2) 测量待测样品的温升曲线,每隔 10 min 测一次,共测三次,求出 $t_{1/2}$ 。

(3) 对同一样品在不加热的情况下取其“温升-时间”曲线(此曲线为“本底”),观察由于环境温度的波动、二极管本身的热噪声等因素对测量结果的影响,给出评价。

(4) 直接从计算机屏幕上用光标读取 T_0 (样品初始温度)和 T_M (样品最高温度),算出 $(T_M + T_0)/2$,再用光标读取相对应的 $t_{1/2}$ 。

(5) 用“数据平滑”功能平滑曲线,用“数据拟合”功能对实验数据进行多项式拟合,从拟合曲线上求出 $t_{1/2}$,与用光标直接读取的 $t_{1/2}$ 结果相比较。

(6) 用实验室提供的测量装置测量样品的密度和比热容(测定比热容时,应将方块材料破成小碎块)。

注意事项

① 实验室电网地线接地要良好,否则噪声较大。

② 高压脉冲电源接线柱的裸露部分及氙灯电极不能用手触摸。未接氙灯时不要按“触发”,否则损坏电源!使用完毕将电源关闭。

③ 调节光学系统时,动作要轻,要小心,氙灯易碎;椭球镜为玻璃材料,内表面镀铝,表面最外层为 SiO_2 保护层,为保证反光良好,请勿用手或其他材料触摸;氙灯触发丝一端接阳极,另一端距阴极金属帽 1 cm 以上,否则极间放电时金属丝与阴极金属帽导通,氙灯不工作。更换待测样品插拔样品盒时要小心,不要触碰灯管以免损坏氙灯或触电。

④ 样品加热前,先看样品的本底温升,最好在 0°C 附近(微机机箱后面板设有电位器可调零点,仪器出厂前已基本调到 0°C 附近,在加温进行连续测量时就不要再调零,以免超量程)。

⑤ 每一次测量后最好等 10 min,待样品温度下降后再进行下一次测量,避免超量程(温升 $\pm 1.67^\circ\text{C}$),避免测温温度传感器热噪声的影响,以及由于样品温度升高,热损不能忽略,造成对测量结果的较大影响。

⑥ 温度传感器表面没有封装(为减小传感器本身热容),引线极易折断,实验中若样品脱落,需要重新安装时,注意温度传感器引线根部不能扭折。

⑦ 由于本实验使用高压脉冲电源,电源线(棕色)尽可能远离测量专用线(黑色),不可交叠,测量线本身也要理顺,否则将给测量带来较大噪声。

⑧ 不要将带电插拔连接到计算机上的任何信号电缆。

【数据和结果分析】

① 根据式(1.2.7),由 $t_{1/2}$ 及 ρ, c, L 计算热导率 λ 。

② 分析热导率的测量误差,并评价测量结果的不确定度。

【拓展问题】

从你的实验曲线估计试样对环境的散热对实验结果带来的影响,取若干数据点实测散热速率并对实测的曲线进行散热修正,与程序中自动进行“散热修正”的结果进行比较,读取 $t_{1/2}$ 修正值。表 1.2.1 中列出了几种常见固体物的物性值。

表 1.2.1 几种常见固体物的物性值

材料 \ 物性	温度 T/K	密度 ρ / (kg/m ³)	比热容 c / [kJ/(kg · K)]	热导率 λ / [W/(m · K)]	热扩散率 a / (mm ² /s)
大理石	293	2 600	0.80	2.8	1.3
水泥	293	2 400	0.90	1.2	0.57
瓷砖*	300	2 090		1.1	
酚醛树脂	300	1 450~1 900	1.17~1.34	0.33~0.67	
聚乙烯橡胶	300	860	2.2	0.36	0.19
聚苯乙烯树脂	293	1 050	1.16	0.15	0.13

引自：陈则韶等. 量热技术和热物性测定. 合肥：中国科技大学出版社，1990. 带*号者除外.

(李香莲)

实验 1.3 稳态法测不良导体的热导率

导热系数是表征物质热传导性质的物理量. 材料结构的变化与所含杂质等因素都会对导热系数产生明显的影响, 在科学实验和工程设计中, 所用材料的导热系数常常需要用实验方法来精确测定.

本实验的目的是, 了解热传导现象的物理过程, 学习用稳态平板法测量不良导体的导热系数, 并用作图法求冷却速率.

【预备问题】

- ① 什么叫稳定导热状态? 如何判定实验达到了稳定导热状态?
- ② 待测样品盘是厚一点好, 还是薄一点好? 为什么?
- ③ 如何根据冷却曲线来求出温度 T_2 附近的冷却速率?

【引言】

本实验装置原理如图 1.3.1 所示. 在支架 D 上先放进圆铜盘 C, 在 C 盘的上面放上待测样品盘 B(热的不良导体), 再把带发热器的圆铜盘 A 从立柱上放下紧贴在盘 B 上, 发热器通电后, 热量从 A 盘传到 B 盘, 再传到 C 盘. 由于 A、C 盘都是热的良导体, 其温度可以代表 B 盘上、下表面的温度 T_1 、 T_2 . T_1 、 T_2 分别由插入 A、C 盘边缘小孔的热电偶 E 来测量. 热电偶的冷端则浸在杜瓦瓶 H 中的冰水混合物中, 通过双刀双掷开关 G, 切换 A、C 盘中的热电偶与数字电压表 F 的连接回路. 当热传导达到稳定状态时, 由傅里叶热传导定律, 通过样品盘 B 的导热速率为

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{h_B} S_B \tag{1.3.1}$$

式中, h_B 为样品厚度, $S_B = \pi R_B^2$ 为样品上、下表面的面积, $(T_1 - T_2)$ 为样品上、下表面的温度差, λ 为样品盘的导热系数.

实验中, 上铜盘 A 的温度 T_1 和下铜盘 C 的温度 T_2 稳定不变, 所以, 通过样品盘 B 的热量就等于下盘 C 向周围散发的热量, 即 B 盘的导热速率等于 C 盘的稳定散热速率

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{\text{稳}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1.3.2)$$

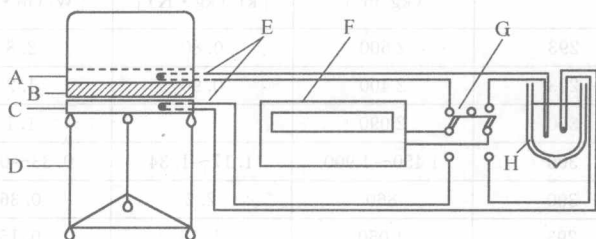


图 1.3.1 实验装置原理图

A. 发热盘; B. 样品盘; C. 散热盘; D. 支架; E. 热电偶; F. 数字毫伏表
G. 双刀双掷开关; H. 杜瓦瓶

在测量稳态时的 T_1 和 T_2 之后,将样品盘 B 移去,使上发热盘 A 的底面与下散热盘 C 直接接触.当盘 C 温度上升到比 T_2 高 10°C 左右,再将圆盘 A 移开,让盘 C 全部外表面与空气接触自然冷却.观察其温度 T 随时间变化情况,然后由此求出盘 C 在 T_2 的冷却速率

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{\text{冷}} = cm \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1.3.3)$$

式中, m 和 c 分别为散热盘 C 的质量和比热容.要注意,在观察测试样品盘的稳态传热时,下盘 C 的上表面是被样品盘 B 覆盖着的;而在测量下盘 C 的冷却速率时,下盘 C 的全部外表面都暴露在空气中自然冷却.考虑到物体的散热速率与它的散热面积成正比,所以有

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{\text{稳}} = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{\text{冷}} \cdot \frac{\pi R_C^2 + 2\pi R_C h_C}{2\pi R_B^2 + 2\pi R_C h_C} = mc \frac{R_C + 2h_C}{2R_C + 2h_C} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1.3.4)$$

由式(1.3.1)和式(1.3.2)可求出样品盘 B 的导热系数 λ

$$\lambda = \frac{mch_B(R_C + 2h_C)}{2\pi R_B^2(T_1 - T_2)(R_C + h_C)} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1.3.5)$$

式中, $m, R_B, h_B, R_C, h_C, T_1$ 和 T_2 都可由实验测量出准确值,因此,只要求出 $\frac{\Delta T}{\Delta t}$,就可以求出样品盘 B 的导热系数 λ .

【仪器设备】

导热系数测定仪一套(TC-2、TC-2/A 型),杜瓦瓶,游标卡尺,物理天平.

【实验程序】

① 用游标卡尺多次测量样品盘 B 和铜盘 C 的直径 R_B, R_C 及厚度 h_B, h_C .用物理天平称出 C 盘的质量 m .

② 将橡胶样品盘 B 放在散热铜盘 C 的上面,从立柱上放下发热盘 A 与 B 盘接触,用螺钉固定发热盘 A.调节支架 D 的三个螺旋头,使样品盘 B 的上、下表面分别与发热盘 A 和散热盘 C 紧密接触.