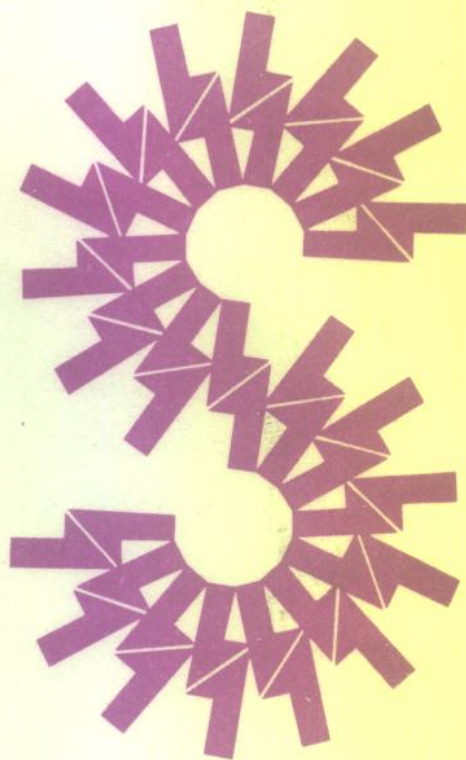


大学物理

实验 (下册)

耿完桢 马 晶 薛洪福 编



哈尔滨工业大学出版社



大学物理实验

下 册

耿完桢 马 晶 薛洪福 编

哈尔滨工业大学出版社
哈 尔 滨

内 容 简 介

本书参照高等工业院校物理实验课程教学基本要求,结合哈尔滨工业大学多年的教学实践经验编写。全书分上下两册。下册共分两章。第三章给出有一定难度的力学、热学、电磁学、光学及近代与综合实验共计 23 个选题供学生选做。第四章提供十一个具有一定新意的设计性实验课题。

本书可作为高等工科院校各专业的物理实验教材,也可供业余大学、职大及函授学生选用。

大学物理实验(下册)

Daxue Wuli Shiyan

耿完桢 马 晶 薛洪福 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

黑龙江省教育委员会印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 7.5 字数 173 千字

1998 年 12 月第 2 版 1998 年 12 月第 2 次印刷

印数 4001—10 000

ISBN 7-5603-0694-X/O·69 (上下册)定价 24.00 元

如发现印、装质量问题,请与本厂质量科联系调换。

地址:哈尔滨市南岗区中兴路 147 号 邮编:150080

前 言

本书参照教育部高等工科院校物理课程教学指导委员会发布的“高等工业学校物理实验课程教学基本要求”及“重点高等学校工科物理实验课程教学改革指南”编写。本书的选题以哈尔滨工业大学历年使用的几本实验教材为版本,在吸收多年成功经验的基础上,力求体现本门课程教学改革成果,以期使本书成为一本适用性较为广泛并具有一定新意的大学物理实验教材。

为了适应不同专业及不同层次的学生对物理实验课程不同的需要,将第一章实验误差及数据处理及包括 20 个力学、热学、电磁学及光学基本实验的第二章汇编成上册。将第三章选做实验和第四章设计性实验汇编为下册。

每次实验的内容一般按三学时安排。编者无论在整体安排上还是在某个实验的编写中,尽量注意了由浅入深、循序渐进的原则。在许多实验中还加入了选做内容,使教师和学生在学习的过程中都能有较大的选择余地。

参加本书下册编写工作的有:耿完桢(实验 32,33,34,35,37,42);马晶(实验 30,31,52);薛洪福(实验 22,29,36,39,47,48,51);金恩培(实验 21,25,40,50);钱守仁(实验 26,27,28,45,49);叶奕镭(实验 24,44,46);赵海发(实验 23,38,41,43,53)。全书由耿完桢教授审阅。

一本实验教材的形成,凝聚着全体任课教师和实验技术人员长期共同努力的心血。由于我们的水平有限,书中还有缺点和不足,恳请读者批评指正。

编 者

1998 年 10 月

目 录

第三章 选做实验	(1)
----------	-----

力学热学实验

实验二十一 测定空气的比热容比	(1)
实验二十二 准稳态法测不良导体的比热和导热系数	(4)
实验二十三 空气中声速的测量	(8)
实验二十四 动力学法测定金属材料杨氏模量	(11)

电磁学实验

实验二十五 动态磁滞回线的测定	(15)
实验二十六 RC 电路的充放电过程	(18)
实验二十七 霍耳效应及其应用	(23)
实验二十八 用非平衡电桥测电阻温度关系	(28)

光学实验

实验二十九 迈克尔逊干涉仪	(33)
实验三十 光的偏振	(38)
实验三十一 蔗糖溶液旋光性的研究	(43)

近代与综合性实验

实验三十二 电子电荷的测定(密立根油滴法)	(47)
实验三十三 钨的逸出功的测定	(51)
实验三十四 夫兰克-赫兹实验	(56)
实验三十五 全息照相	(61)
实验三十六 光电效应法测定普朗克常数	(66)
实验三十七 双曝光全息干涉法测量微小形变	(70)
实验三十八 $F-P$ 干涉仪测定光的波长差	(73)
实验三十九 氢原子光谱	(77)
实验四十 光纤温度传感器	(83)
实验四十一 用光谱仪测定介质的吸收曲线	(85)
实验四十二 真空的获得与测量	(88)
实验四十三 高温超导实验	(94)
第四章 设计性实验	(97)
实验四十四 重力加速度的测定	(97)
实验四十五 激光束参数的测量	(100)

实验四十六	测定固体的线膨胀系数	(102)
实验四十七	静压力电阻应变式传感器测量电路设计	(104)
实验四十八	欧姆表的设计与组装	(109)
实验四十九	用 UJ31 型电势差计校验电表	(111)
实验五十	非线性电阻的伏安特性	(111)
实验五十一	电表内阻的测量	(112)
实验五十二	自组望远镜与显微镜	(113)
实验五十三	棱镜色散关系的研究	(114)

第三章 选做实验

力学热学实验

实验二十一 测定空气的比热容比

气体的定压比热 c_p 与定容比热 c_v 之比 γ (称为“比热容比”) 在热力学过程中是一个重要的参量。许多空气中的绝热过程都与 γ 有关, 譬如本书的实验“空气中声速的测定”中谈到的声速就涉及到 γ , 见本书实验二十三。

实 验 装 置

本实验的主要装置如图 21-1 所示。我们研究的对象是贮在玻璃瓶中的空气。玻璃瓶塞上装有进气管、排气管、压强传感器和温度传感器。用与进气管相连的橡胶气囊向瓶中压气。瓶中的压强和温度通过传感器由测试仪显示出来。

测试仪面板如图 21-2 所示, 压强传感器的信号线接到面板的“气压”专用接口上, 以一个三位半数字电压表显示气压 (20mV/kPa)。该读数是瓶内气压与大气压之差。温度传感器的信号线串联 6V 直流电源后接到面板上的“温度”接口上。以一只四位半数字电压表显示温度 (50mV/°C)。

本实验测气压用的是扩散硅压力传感器。常用的压力传感器有多种, 如金属电阻应变片、半导体压力传感器等。前者利用金属丝变形时电阻的变化, 后者利用半导体的压阻效应来测量压力。两者通常都是利用电桥电路来测量由电阻变化所反映的压力变化。

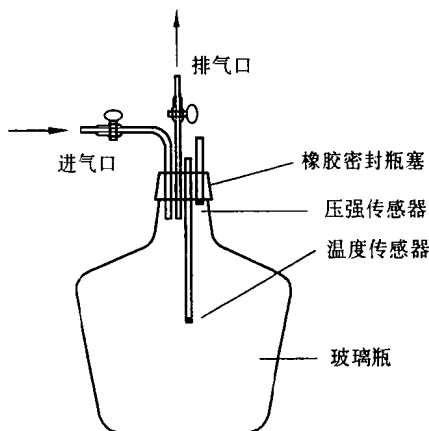


图 21-1 贮气瓶

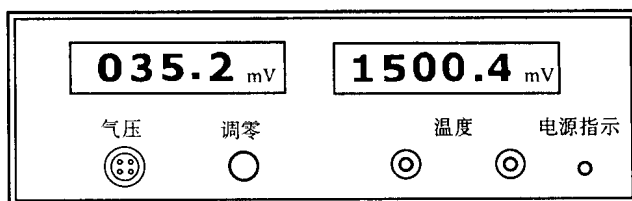


图 21-2 测试仪面板

“扩散硅压力传感器”是利用半导体扩散工艺,在硅片上将扩散电阻组成电桥,通常还将信号放大与处理电路、温度补偿电路等都集成在一个片子上,具有测量灵敏度高、稳定性好、使用方便等优点。

测温度用的是半导体集成温度传感器。常用的温度传感器有多种,如金属丝电阻温度传感器、热电偶、热敏电阻、红外辐射测温器件以及半导体集成温度传感器等。本实验中用的是后者。它利用半导体 PN 结特性对温度的敏感性进行温度测量。这里用的 AD590 温度传感器是典型的电流输出型集成电路温度传感器,它的测量灵敏度高、线性好,经校准后测量误差很小,使用也很方便。

实 验 原 理

本实验的过程如下:

初始状态是使玻璃瓶与大气相通,瓶中空气的温度与室温一样。实验时首先向瓶中打气,使压强和温度升高;待温度与室温平衡后,突然打开排气阀门,迅速放气至排气的哨音停止,此时压强又恢复为大气压,而温度则降到室温以下。

1. 把原来处于大气压强 P_0 及室温 T_0 下的空气称为状态 0 (P_0, T_0)。关闭排气口阀门,从进气口用打气囊将空气打入贮气瓶内,到状态 I' (P_1', T_1')。打气过程进行得很快,可以近似地看作是绝热压缩过程,这个过程使瓶中的空气压强增大,温度升高,即 $P_1' > P_0$, $T_1' > T_0$ 。

2. 关闭进气阀门,瓶中空气向瓶外放热,直到系统温度由 T_1' 降至室温 T_0 ,而压强也由 P_1' 减为 P_1 。待稳定后瓶内空气达到状态 I (P_1, T_0)。这是一个等容放热过程, $P_1 > P_0$ 。

3. 突然打开放气阀门,使瓶内与大气相通,瓶内空气急速冲出瓶外,并伴有哨音发生。待哨音一停,立即将放气阀门关上。这是一个绝热膨胀过程,系统压强减小至大气压 P_0 ,温度降低,达到状态 II (P_0, T_1), $T_1 < T_0$ 。

4. 关上放气阀门后瓶内空气从瓶外吸热,温度慢慢回升,直到室温 T_0 。瓶内压强则由 P_0 增大到一个新的值 P_2 ,这是一个等容吸热过程。待稳定后达到状态 III (P_2, T_0), $P_2 > P_0$ 。

由过程 I $\rightarrow$ II $\rightarrow$ III,可以求出空气的定压比热容 c_p 与定容比热容 c_v 之比 γ , $\gamma = c_p / c_v$ 。

状态 I 到 II 是绝热过程。我们把绝热膨胀后留在瓶内的这一部分气体当作热力学系统(状态 I 时它只占有瓶内的一部分体积,但压强与温度分别是 P_1, T_0)。于是有

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^{\gamma} \quad (21-1)$$

状态 II 到 III 是等容过程。对同一系统,有

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\gamma} \quad (21-2)$$

由此可推导出

$$\gamma = \frac{\log(P_1/P_0)}{\log(P_1/P_2)} \quad (21-3)$$

只要测出 P_0, P_1, P_2, γ 即可求得。由于过程不是真正的准静态过程,以及放气时间控制不准、气压的测量误差等,测量结果是比较粗略的。

实 验 内 容

1. 准备工作: 打开控制仪电源, 进行预热。同时关闭放气阀门, 打开进气阀门, 用橡胶囊向瓶内打气。然后关闭进气阀门, 观察气压显示值。如果一直下降而稳定不下来, 就说明系统有漏气的地方。应检查瓶塞和上面的各接口, 哪里可能漏气, 以密封胶封堵之。

练习按 I → II → III 过程进行操作, 观察各过程中温度和压强的变化。操作时, 放气要迅速、放气时间需恰到好处, 待放气哨音刚一停止立即关闭阀门。测量气压时, 要达到平衡态。打开放气阀门, 稳定后进行气压表调零, 记录室温 T_0 。

2. 正式操作: 关闭放气阀门, 打开进气阀门。用橡胶囊向瓶内打气, 然后关闭进气阀门。观察温度显示值的变化。待温度降到室温时, 读出气压值 ΔP_1 , 则 $P_1 = P_0 + \Delta P_1$ 。

突然打开放气阀门放气, 待放气哨音刚一停止立即关闭阀门。随后温度慢慢回升, 压强增大, 待气压稳定后, 读出气压值 ΔP_2 , 则 $P_2 = P_0 + \Delta P_2$ 。

进行多次测量。

大气压强 P_0 用福廷气压计(用法见附录)测得, 不过需将单位 mmHg 换算为 kPa。1mmHg = 0.133 3kPa。

数据纪录表格自拟。需纪录 P_0 、 ΔP_1 、 P_1 、 ΔP_2 、 P_2 和计算结果 γ 及其平均值。最后给出与标准值 $\gamma = 1.402$ 间的相对误差。

讨 论

1. 控制放气时间应达到什么目的? 关闭阀门停止放气后, 发现气压并不稳定为大气压, 而是上升, 这能否说明放气时间控制不准? 为什么?

2. 本实验中温度和气压的自动测量都已通过传感器解决, 你能否设想一个解决放气过程自动控制的方案?

附 录 福廷气压计介绍

福廷气压计用于测量大气压强。它由一根顶端封闭、内部充有水银的玻璃管倒置于水银杯内构成。玻璃管和水银杯都装在黄铜套管内。水银杯底部是一只羊皮囊, 可通过气压计下端的水银面调节旋钮改变它的形状, 从而改变水银面的高度。利用羊皮作底的另一个用意是使空气能够通过它进入水银杯内, 以使杯内的水银面上保持大气压强 P_0 。由于玻璃管顶部是封闭的, 而下端开口插在水银内, 所以玻璃管中水银柱的高度 H 恰恰反映了大气压的高低。

水银柱的重量与大气压强的作用力相平衡, $P_0 = \rho g H$ (SI), ρ 为水银密度, g 为当地的重力加速度。如果用“托”作为压强单位(1托 = 1mmHg = 133.3Pa), 则大气压强就等于 H 。高度 H 用黄铜套管上的标尺和游标测量。

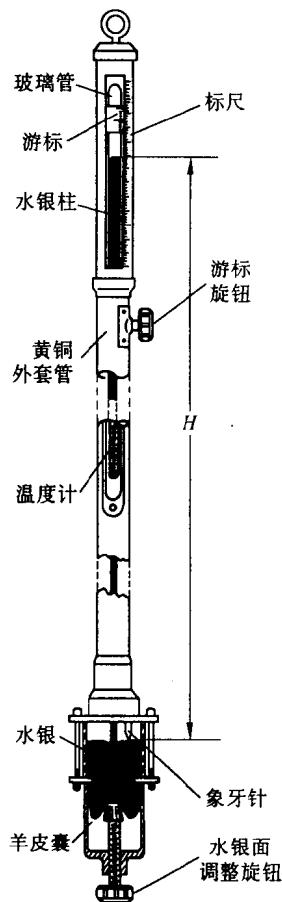


图 21-3 福廷气压计

测量时,先调节下部的旋钮,使水银杯内的水银凸面恰好与象牙针尖接触。此时的水银面就是标尺的零位。然后调节游标旋钮,使游标下移至游标零线(即游标下端面)与水银的凸面相切,读出 H 值。注意使眼睛保持水平,以消除视差。

由于气压是在 0°C 下标定的,而水银的体积会随温度升高而膨胀,其密度变小,使 H 偏大。同时,黄铜标尺的长度也会随温度变化。这两点都会引起系统误差,需对读出的 H 值进行修正。其修正值为

$$\delta H = - (18.2 - 1.9) \times 10^{-5} H t$$

式中 t 是环境温度,由套管上的温度计读出。 $18.2 \times 10^{-5}(\text{C})^{-1}$ 是水银的体膨胀系数, $1.9 \times 10^{-5}(\text{C})^{-1}$ 是黄铜的线膨胀系数。

修正后的大气压强为

$$P_0 = H + \delta H$$

另外,由于各地的重力加速度不同,也会是同样高的水银柱所代表的大气压强不同。因此,当测量要求高时也需对此进行修正。哈尔滨市的重力加速度(9.8030m/s^2)与标准重力加速度(9.8067m/s^2)相差不大,仍可以不考虑此项修正。

实验二十二 准稳态法测不良导体的比热和导热系数

导热系数和比热是表征材料传热性质的重要参数。此二参数的测定对于建筑,航空航天、化工、热工等领域的工程设计都具有重要意义。

实 验 目 的

1. 快速测定不良导体的导热系数和比热;
2. 掌握使用温差电偶测量温度的方法。

实 验 原 理

本实验是根据一个特殊的传热学,即一维无限大平板传热学问题来设计的。假设有厚度为 $2R$ 的无限大平板,原始温度为 t_0 ,从平板的两端面同样地以不变的均匀热流加热,求出在任何瞬间沿平板厚度方向的温度分布函数。利用传热学基本微分方程式和相应的初始边界条件

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}$$

$$t(x, \tau)_{\tau=0} = t_0$$

$$-\left. \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=R} + \frac{q_c}{\lambda} = 0$$

$$\left. \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$$

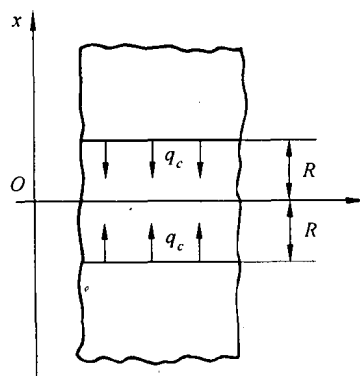


图 22-1

可解得

$$t(x, \tau) - t_0 = \frac{q_c}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{R} - \frac{R^2 - 3x^2}{6R} + R \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \cos\left(\mu_n \frac{x}{R}\right) \exp(-\mu_n^2 F_0) \right] \quad (22-1)$$

式中 x ——试件厚度方向坐标, τ 代表时间;

q_c ——沿 x 方向从端面向试件加热的稳定热流密度;

λ ——试件热传导系数;

a ——试件导温系数;

$\mu_n = n\pi \quad n = 1, 2, 3, \dots$

$F_0 = \frac{a\tau}{R^2}$ ——傅里叶准数;

t_0 ——初始温度。

经过一定时间后,当 $F_0 = \frac{a\tau}{R^2} > 0.5$ 时,(22-1) 式中的级数求和项变得很小,可以忽略,(22-1) 式变成

$$t(x, \tau) - t_0 = \frac{q_c R}{\lambda} \left[F_0 + \frac{x^2}{2R^2} - \frac{1}{6} \right] \quad (22-2)$$

在试件中心面 $x = 0$ 处, $t(0, \tau) - t_0 = \frac{q_c R}{\lambda} \left(\frac{a\tau}{R^2} - \frac{1}{6} \right)$

在试件加热面 $x = R$ 处, $t(R, \tau) - t_0 = \frac{q_c R}{\lambda} \left(\frac{a\tau}{R^2} + \frac{1}{3} \right)$

可见在 $F_0 > 0.5$ 后,在试件中心面和加热面处的温度和时间成线性关系,并且变化速率相同,两面的温度差为

$$\Delta t = t(R, \tau) - t(0, \tau) = \frac{1}{2} \frac{q_c R}{\lambda} \quad (22-3)$$

即加热面加热的时间 τ 达到使得 $F_0 > 0.5$ 的数值后,加热面处和试件中心面的温度差 Δt 和时间没有直接关系,保持恒定,系统各处的温度和时间是线性关系,温升速率亦是常数,这种状态称为准稳态。

在准稳态时,据(22-3) 式

$$\lambda = \frac{q_c R}{2\Delta t} \quad (22-4)$$

无限大平板这个条件无法满足,实验总是用有限截面的试件来进行。一般,试件的横向尺寸取厚度的六倍以上,传热方向则可以认为只在厚度 x 方向进行。 q_c 和 R 可以给定,只要测出 Δt ,就可以根据(22-4) 式计算出导热系数 λ 。

由比热定义,如试件的横向截面积为 F , (即热流通过的面积),则有关系式

$$q_c F = c \rho R F \frac{dt}{d\tau}$$

比热

$$c = \frac{q_c}{\rho R \frac{dt}{d\tau}} \quad (22-5)$$

式中 ρ ——试件材料的密度;

$\frac{dt}{d\tau}$ ——在准稳态下试件中心温升速率。

实 验 装 置

1. 试件

将被测材料有机玻璃加工成一定大小的正方形截面,厚为 R 的试件。加工尺寸要准确,表面要光滑。

2. 加热器

加热器面积和形状与试件完全相同,两个加热器尽量做到完全一致,精确测量其电阻值。

3. 热电偶

使用直径为 0.1mm 的康铜丝和铜丝制成热电偶,共二对。热电偶的冷端插入试管中,试管插在冰水混合物中,温度保持零度。

4. 电位差计

使用 UJ-31 型电位差计,按图 22-2 接线。热电偶 1 的测量端接在电位差计未知 1 端上,用来测量试件 2 和试件 3 之间的温升速率。热电偶 1 和热电偶 2 反向串接后其测量端接在电位差计的未知 2 端上,以测量试件 2 和 3 的接触面及试件 3 和 4 的接触面之间的温度差。

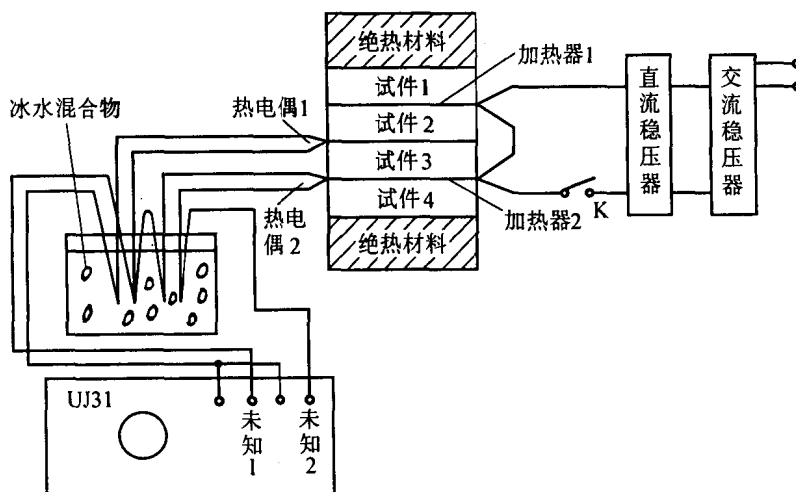


图 22-2 实验装置简图

实验时,将四个试件对齐叠放在一起,分别在试件 1 和 2 之间及试件 3 和 4 之间放入加热器 1 和 2,试件和加热器要对齐,然后在试件 2 和 3 之间及试件 3 和 4 之间放入热电偶 1 和 2。热电偶测温头要放在试件的中心部位。在试件的顶部和底部要放置绝热材料,适当加以压力以保持各试件之间接触良好。

5. 电源

电源为一电子仪器,功能件包含:

(1) 直流稳压电源 A 路,为电位差计提供工作电压。主要参数:输出电压 6V ;工作电流: 0.5A 以下;电压稳定度小于 0.05% 。

(2) 直流稳压电源 B 路,为加热器提供电流。主要参数:输出电压: $20 \sim 30\text{V}$ 可调,工作

电流 2.0A 以下,电压稳定度小于 0.07%。

(3) 输出电压数字显示,准确显示 B 路输出电压,有效数字四位。

实 验 步 骤

1. 按图 22-3 放置好试件、加热器和热电偶,并接线,接通直流稳压电源的开关,预热电源 15 分钟。

2. 使用 UJ-31 电位差计,将量程开关指示在 $\times 1$ 的位置,在测量过程中经常校对工作电流,将测量转换开关转至“未知 1”,测出试件在加热前的温度,此温度即为 t_0 。再将测量转换开关转到“未知 2”,测出加热前试件 2 和 3 的接触面及试件 3 和 4 的触面之间的温度差,此热电势差值最大不得超过 $4\mu\text{V}$,即相应起始温度差不得超过 0.1°C 。

3. 接通加热器的开关 K,给加热器两端加上一定值的电压(此数值事先经实验确定),同时启动秒表,每隔一分钟测出一个数值。奇数值时刻(如 1 分,3 分,5 分…)测出未知 2 端热电势的微伏数,偶数值时刻(2 分,4 分,6 分…)测出未知 1 端热电势的微伏数。经过一段时间后(随所测材料不同,一般在 10 ~ 20 分钟),系统进入准稳态,未知 2 端热电势的数值保持不变,由此值即可求出在准稳态下试件 2 和 3 的接触面及试件 3 和 4 的接触面之间的温度差。

4. 将加热器开关 K 切断,取下试件及加热器,用电风扇将加热器吹凉,待和室温平衡后再做下次实验,但试件不能连续做实验,必须经过四小时以上的放置和室温平衡后才能做下一次实验。

本实验中,各物理量的单位做如下规定:

加热器的电阻 r Ω ;加热器的端电压 V ;试件和加热的尺寸 m 。一个平面加热器向一个方向发出的热流密度为

$$q_c = \frac{V^2}{2Fr} = \frac{I^2 r}{2F} \quad \text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

温差 Δt $^\circ\text{C}$;密度 ρ kg/m^3 ;温升速率 $\frac{\Delta t}{\Delta \tau}$ $^\circ\text{C}/\text{s}$;导热系数 λ $\text{J}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s})$;比热 c $\text{J}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg})$ 。

5. 测量试样面积 F ,厚度 R ,密度 ρ ,加热器电阻 r 由实验室给出。

6. 将有关数据代(22-4)及(22-5)式,算出导热系数 λ 及比热 c 。

讨 论 问 题

1. 实验时,热电偶的端部应放在什么位置?为什么?
2. 如果热电偶用直径较粗的金属丝,对实验结果将会有何影响?
3. 为什么说只要热电偶冷端温度恒定而不需要冷端保持零度就不影响实验结果?

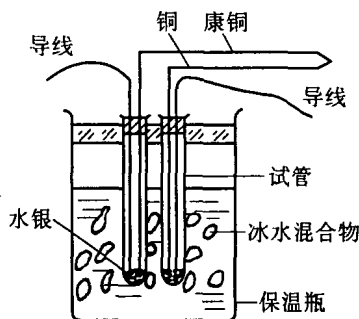


图 22-3 温差电偶冷端装置

实验二十三 空气中声速的测量

声波是一种在弹性媒质中传播的机械波,由于振动方向与传播方向一致,所以是纵波。如果波动的频率在 20Hz 到 20kHz 之间,能够引起人的听觉,称为“可闻声波”,简称“声波”;频率高于 20kHz 的声波则称为“超声波”,俗称“超声”。超声波(特别是高频超声波)比起声波来,最明显的特征之一是方向性好,波束能定向传播。超声波的穿透本领很强,在液体、固体中传播时,衰减较小。超声波碰到密度不同的媒质界面时会发生反射,使之成为探伤、测距、定位直至人体断层分析等的重要手段之一。

超声波在媒质中的传播特性,如声速、声压等,都与媒质的许多物理量有着密切关系。如,声速与媒质的弹性模量、密度、温度、气体的成份等有关,因而通过媒质中声速的测量,可以了解被测媒质的特性和状态的变化。

实 验 目 的

1. 通过超声波在空气中传播速度的测定,了解超声波的传播特性;
2. 进一步熟悉信号发生器、示波器等仪器的使用;
3. 练习使用逐差法处理数据。

实 验 原 理

声波在空气中传播的速度

$$v = \sqrt{\frac{\gamma k T}{m}} \quad (23-1)$$

式中 γ 为空气定压比热与定容比热之比(即比热容比), k 为玻耳兹曼常数, m 为空气分子的平均质量, T 为绝对温度。由于 γ 和 m 都与空气的成分有关,特别是空气中水蒸汽的含量,对声速的大小很有影响。不过,我们是在近于干燥的空气中进行测量的,可以不作考虑。在 0°C 时声速 $v = 331.45\text{m/s}$,在 $t^\circ\text{C}$ 时则为

$$v_t = v_0 \sqrt{\frac{T}{273.15}} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s} \quad (23-2)$$

我们知道,在波动过程中,波速(声速) v 、波长 λ 和频率 f 之间存在以下关系

$$v = \lambda f \quad (23-3)$$

在本实验中,将两个超声换能器沿同一轴线相对地放置。现在让我们看看在两个换能器之间声波传播的情况。由信号发生器产生的声波信号,通过发射端的压电陶瓷电声换能器(发射器),转换成在空气中传播的声波。其位移幅值随时间和距离变化的规律为

$$y_1 = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x) \quad (23-4)$$

此声波传播到在接收端的另一只换能器(接收器),并发生反射。在理想的情况下,声波反射形成同频率的反射波

$$y_2 = A \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x + \pi) \quad (23-5)$$

式中 π 为考虑半波损失而加入的相位因子。前进波和反射波合成的结果为

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) + A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda}x + \pi\right) \\ &= \left[2A \sin \frac{2\pi}{\lambda}x\right] \sin \omega t \end{aligned} \quad (23-6)$$

上式表明,其间各点都在作同频率的振动。而各点振幅是位置 x 的正弦函数。有的点振幅最大,称为波腹;有的点静止不动,称为波节,两相邻波腹间的距离为 $\lambda/2$,即半波长。见图 23-1。

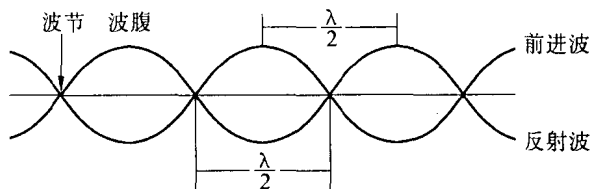


图 23-1 前进波反射波的合成

当然,这只是简单的理想结果,实际情况比这要复杂得多。

理论计算还表明,由于超声波在换能器中的传播速度比在空气中大得多,在接收器一端,从声压来说是波腹;从位移来说是波节。改变二换能器的距离,当其等于半波长的整数倍时,在发射器和接收器处,波的幅度(声压)都达到极大值,此时称为“共振”。在二极大值之间,二换能器的距离变化 $\lambda/2$ 。

实际上由于超声波还有一定发散性,有杂散反射的影响以及二换能器平面不完全平行等影响不能完全避免,波形不会这么理想。固定发射器的位置,而连续改变接收器的位置,可测得一系列声压峰值,但空气对声波是有吸收的,总的趋势将是衰减的,如图 23-2 所示,但二峰值间的距离确是 $\lambda/2$ 。

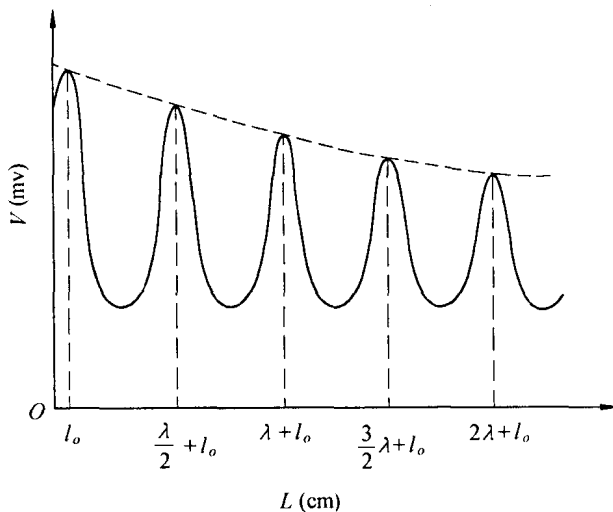


图 23-2 超声共振曲线

在本实验中,通过测定声波的波长 λ 及频率 f 来求得声速 v 。频率可通过频率计测量,而测定波长常用的方法有极值法和位相比较法,现分别介绍于下。

1. 极值法

如上所述,固定发射器的位置,移动接收器,即改变接收器与发射器之间的距离 l ,接收器可测得一系列声压峰值和谷值,相邻两次声压达到峰值(或谷值)所对应的位置差即为半波长。

理论计算表明,虽然两极大值间和两极小值间的间距都是半波长,但二者随距离变化

的变化率是不同的。在极大值附近变化要急剧得多,因此应选择声压峰值去测量,而不应选择谷值去测量。这一点从图 23-2 曲线上也可以看得很清楚。

保持频率 f 不变,通过测量相邻两次接受信号达到最大值时接收器之间的距离 ($\lambda/2$),就可以用公式 $v = f\lambda$ 计算声速了。

2. 位相比较法

一般说来,在同一时刻,发射器处的声波位相与接收器处的声波位相是不同的,其位相差以 Φ 表示。理论推导表明, Φ 随 l 而变化,而且 l 改变 $\lambda/2$ 时 Φ 值的变化为 π 。

现在,我们将输入发射器的信号和在接收器接收到的信号同时输入到示波器的 X 轴与 Y 轴,观察两信号合成的李萨如图形,因为二者频率相同,一般应为椭圆,其形状由两者的位相差 Φ 决定。移动接收器,改变 l , Φ 发生变化,则李萨如图形的形状随之改变。当位相差为 $0(2\pi)$ 或 π 时图形均为直线,只是斜率的正负不同。在移动接收器过程中,如果连续观察到这两种直线,则相应距离 l 的改变量即为半波长,由此就不难求得声速 v 了。

实 验 装 置

实验系统主要由“声速测定实验仪”和信号发生器、示波器组成。“声速测定实验仪”如图 23-3 所示,其中超声发射器和超声接受器分别由压电陶瓷换能器构成。发射器的位置是固定的,而接收器安装在可移动的支架上,支架可通过转动右侧的手轮移动,并由游标显示其所在位置。

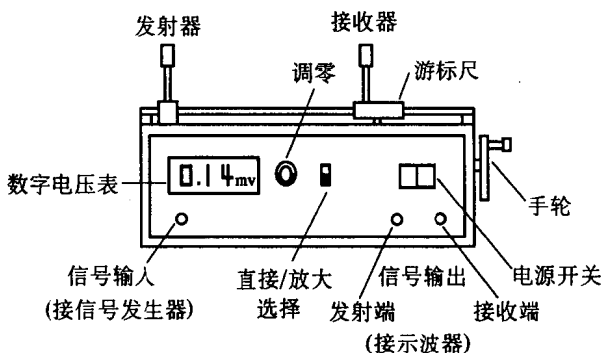


图 23-3

信号发生器产生的超声波信号 (频率在超声范围的正弦波) 由实验仪前下方的“信号输入”接口输入,该信号直接联接到发射器上,由它发射出超声波。接收器接收经空气传播来的超声波,将其转变为电信号。该信号经过“直接/放大”开关的选择,直接联接到实验仪面板下方的“信号输出 - 接收端”接口;或经放大后,再联接到“信号输出 - 接收端”接口。是否需要放大,视信号的强弱决定,以便于观察为准。两种方式可通过仪器面板上的转换开关进行选择。

仪器含有一数字电压表,并联在“信号输出 - 接收端”接口。因而其电压值显示了超声接收信号(经放大或不放大)的强度(相对值)。

面板上的“调零”旋钮,是调节放大器零点用的,当没有信号输入时,放大器的输出原则上该为零,但因难免有干扰,实验时只需在没有信号输入时将输出调到最小即可。

面板下方的“信号输出 - 发射端”接口,在仪器内部直接联接到超声信号的“信号输入”接口。因而它可提供输入的超声信号,供观察输入波形和利用位相比较法进行声速测量用。

实 验 要 求

1. 准备工作

(1) 用信号电缆连接各仪器,并给各仪器通电预热(10 分钟)。注意要将“信号输出 -

发射端”和“信号输出 - 接收端”分别联接到双路示波器(YB4324 型)的“CH1”输入钮和“CH2”输入钮上,MODE 选“ALT”键。此时示波器同时显示出发射端的信号波形和接收端的信号波形,但对两路波形可分别独立地进行调节。

(2) 将放大方式开关指向“直接”,并将信号输出的电缆短路,调节“调零”旋钮,使电压指示最小。

(3) 熟悉示波器的使用,练习观察和调节信号波形。

(4) 调节信号频率,同时移动接收器,直到声速实验仪的输出信号波形幅值最大,而且波形稳定,同时电压显示值也达到最大。此时供给超声换能器的信号频率正好达到其共振点。共振频率值 f 由频率计(或信号发生器附带的频率显示器)测出。

2. 用极值法测声速

先由数字电压表观察接收器的输出信号,注意其变化规律。然后用示波器观察信号波形的变化,连续找到幅值最大点,记录相应的接收器位置 x_i 。

3. 用位相比较法测声速

仍将“信号输出 - 发射端”和“信号输出 - 接收端”分别联接到双路示波器(YB4324 型)的“CH1”输入钮和“CH2”输入钮上,MODE 选“ALT”键。扫描频率旋钮旋向“X - Y”档,此时扫描信号被切断,CH1 和 CH2 分别将发射端的信号和接收端的信号通过机内放大电路送到水平偏转板和垂直偏转板。通过对李萨如图形的观察,连续找到对应于出现正斜线和负斜线的接收器位置 x_i 。

4. 数据处理

要求利用逐差法处理数据,分别对用两种测量方法测得的数据,算出当前室温下的声速 v_i ,求出平均值 $\bar{v}_i$ 。

有关逐差法的理论和做法,见本书上册第一章第十节。至于本实验中的测量数据为何符合适用逐差法的要求,请实验者自行分析。

按(23-2)式对当前室温下的声速进行温度修正,求出相应温度下的声速理论值 v_i' 。将 $\bar{v}_i$ 与 v_i' 相比较,计算其相对误差 K 。

讨 论 问 题

1. 在本实验中,声速测量误差的主要来源是什么?试做具体分析。

2. 试分析本实验中的测量数据为何适合用逐差法进行数据处理?如不用逐差法,而是把各个相邻极大值的位置差,分别算出相应的 $\lambda/2$,再进行平均,最后求出声速,有何不妥?

实验二十四 动力学法测定金属材料杨氏模量

杨氏模量是固体材料的重要物理参量,对它的测量有许多不同的方法。在实验三中曾用拉伸法测量钢丝的杨氏模量,但这种方法过于粗糙,测量精度不高。在有关的国家标准(GB/T2105-91)中推荐采用“动力学法测杨氏模量”。用该法测量,比起拉伸法不仅测量精度高,而且使用范围宽,比如也可以用来测量脆性材料(如玻璃)的杨氏模量。