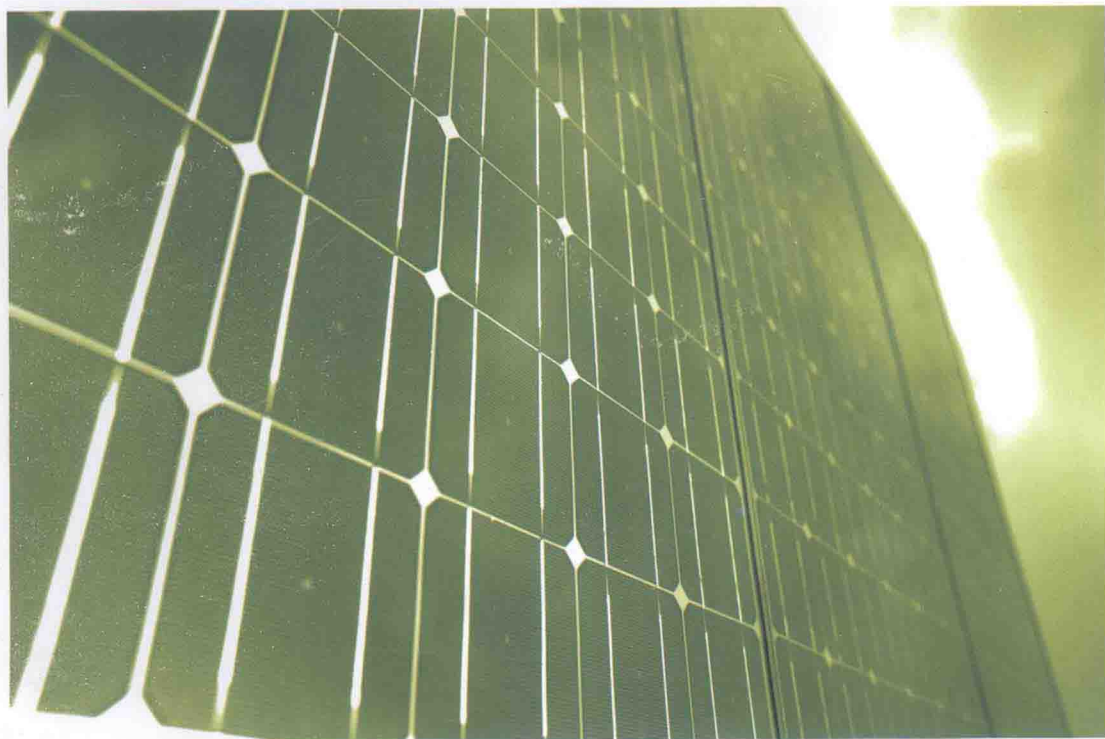


新能源科学与工程专业 实验教程

吴复忠 李水娥 陈敬波 © 编写



贵州大学出版社
Guizhou University Press

新能源科学与工程专业 实验教程

吴复忠 李水娥 陈敬波 © 编写



贵州大学出版社
Guizhou University Press

图书在版编目 (C I P) 数据

新能源科学与工程专业实验教程 / 吴复忠, 李水娥, 陈敬波 编写. — 贵阳 : 贵州大学出版社, 2016.3
ISBN 978-7-81126-856-0

I. ①新... II. ①吴... ②李... ③陈... III. ①新能源—高等学校—教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 051334 号

新能源科学与工程专业实验教程

作 者: 吴复忠 李水娥 陈敬波
责任编辑: 但明天
出版发行: 贵州大学出版社
印 刷: 贵阳海印印刷有限公司
开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张: 7.25
字 数: 206 千字
版 次: 2016 年 3 月 第 1 版
印 次: 2016 年 4 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-81126-856-0
定 价: 24.00 元

版权所有 侵权必究

本书若出现印装质量问题, 请与本社联系调换
电话: 0851-88292951

编 委 会

主 编

吴复忠

副主编

李水娥

参 编

陈敬波

徐芹芹

麦 毅

谷肄静

前 言

本实验教程是在新能源科学与工程专业主干课程,包括:传热学、流体力学、能源系统工程、可再生能源及其利用、光伏科学与工程、生物质能工程、化学电源等课程基础上编排的实验,实验内容有基础性实验和专业性实验两大类,包含四大模块,共 22 个实验,阐述了实验目的、实验原理、实验设备、实验内容、实验步骤以及实验方法和实验报告等内容。编排顺序上,采取先基础性实验,后专业性实验,从而使学生可以循序渐进地进行学习。

通过实验,使学生掌握基本操作技能,增强感性认识,加深对基本概念、基本原理的理解。了解实验装置,掌握测试仪器、仪表的使用方法,培养和提高学生综合应用所学知识解决实际问题的能力,同时培养学生的科学态度和对实验数据进行处理、误差分析和书写实验报告的能力,为专业知识学习和今后从事科学研究奠定良好的基础。

本实验教程适合新能源科学与工程专业高年级本科生及以上师生使用。

参加本书编写的人员有吴复忠、李水娥、陈敬波、徐芹芹、麦毅、谷肆静等。

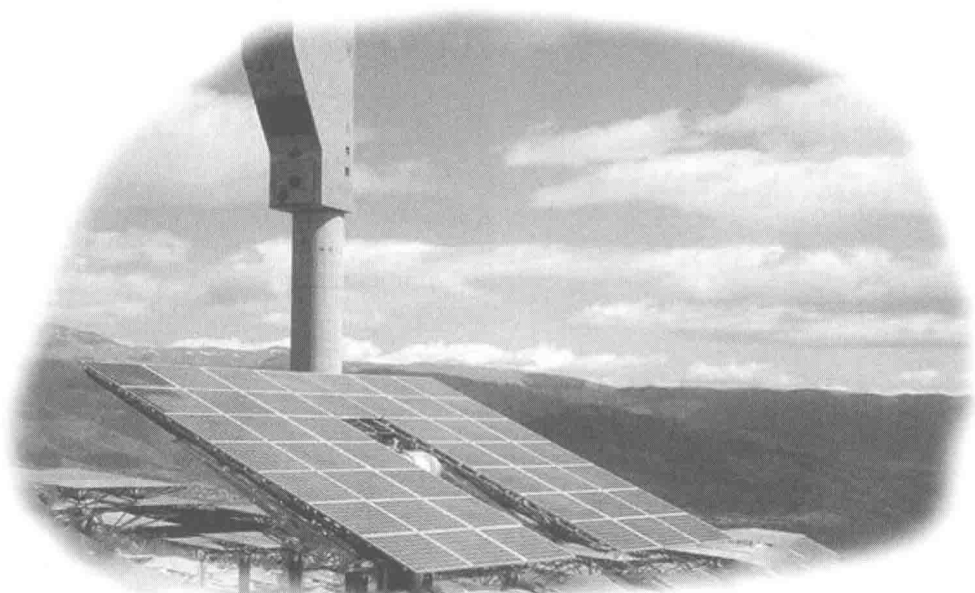
由于编者水平有限,书中难免存在缺陷与不足之处,敬请广大读者批评、指正!

编 者

目 录

模块一 传热学实验	1
实验一 用稳态平板法测定绝热材料的导热系数	3
实验二 用稳态球体法测定粒状材料的导热系数	9
实验三 用非稳态（准稳态）法测量材料的导热系数	13
实验四 强迫对流表面传热系数的测定	17
实验五 空气在水平横管外自然对流时表面传热系数测定	25
实验六 中温法向辐射时物体黑度测定	30
实验七 换热器综合实验	35
模块二 流体力学实验	41
实验八 动量方程实验	43
实验九 管路串并联实验	46
实验十 伯努利方程实验	48
实验十一 雷诺实验	51
模块三 可再生能源类实验	55
实验十二 太阳能电池的基本特性测定	57
实验十三 环境对光伏转化的影响	63
实验十四 无源网络系统的风力发电供电研究	68
实验十五 大气中 TSP 的测定	70
实验十六 生物质挥发成分的含量测定	73
实验十七 生物质不饱和碳的含量测定	76

实验十八 生物质热解液化试验	79
模块四 电化学及新能源电池类实验	81
实验十九 原电池电动势的测定	83
实验二十 线性扫描伏安法与循环伏安法实验	87
实验二十一 锂离子电池充放电性能的测定	92
实验二十二 燃料电池特性测定实验	95
贵州大学实验报告	103



模块一 传热学实验

实验数目：7 个

实验学时：14 学时

实验类型：基础性实验，验证

实验要求：必修

实验一 用稳态平板法测定绝热材料的导热系数

一、实验目的

1. 巩固和深化稳定导热过程的基本理论，学习用平板法测定绝热材料导热系数的试验方法和技能。
2. 测定试验材料的导热系数。
3. 确定试验材料导热系数与温度的关系。

二、实验原理

导热系数是表征材料导热能力的物理量。不同的材料，导热系数各不相同。同一材料，导热系数还会随着温度、压力、湿度、物质的结构和重度等因素而变化。各种材料的导热系数都可用试验方法来测定，如果要分别考虑不同因素的影响，就需要针对各种因素加以试验，而不能只在一种实验设备上进行。

稳态平板法是一种应用一维稳态导热过程的基本原理来测定材料导热系数的方法，可以用来进行导热系数的测定试验，测定材料的导热系数及其与温度的关系。

实验设备是根据在一维稳态情况下，通过平板的导热量 Q 与平板两面的温差 Δt 成正比，与平板的厚度 h 成反比，以及和导热系数 λ 成反比的关系来设计的。

我们知道，通过薄壁平板（壁厚小于 1/10 壁长和壁宽）的稳定导热量为

$$Q = \frac{\lambda}{h} \times \Delta t \times S \quad (1-1)$$

其中： Q —为传到平板的热量（W）；

λ —导热系数（W/m·°C）；

h —为平板厚度（m）；

Δt —为平板两面温差（°C）；

S —为平板表面积（m²）。

测试时,将平板两面的温差 Δt 、平板厚度 h 、垂直热流方向的导热面积 S 和通过平板的热流量 Q 测定后,就可以根据式(1-2)得出导热系数。

$$\lambda = \frac{Q \times h}{\Delta t \times S} \quad (1-2)$$

其中: $\Delta t = T_u - T_d$, T_u 为平板上测温度, T_d 为平板下侧温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

这里,由公式(1-2)所得出的导热系数是在当时的平均温度下材料的导热系数值,此平均温度为

$$\bar{t} = \frac{1}{2}(T_u + T_d) \quad (1-3)$$

在不同的温度和湿度条件下测出相应的 λ 值,然后按 λ 值标在 $\lambda - \bar{t}$ 坐标图上,就可以得出 $\lambda = f(\bar{t})$ 的关系曲线。

三、实验装置及测试仪器

用稳态平板法测定绝热材料的导热系数的电器连接图和实验装置分别如图 1.1 和图 1.2 所示。

将试验材料做成两块方形薄壁平板试件,其面积为 $300 \times 300 \text{ (mm}^2\text{)}$,实际导热计算面积 S 为 $200 \times 200 \text{ (mm}^2\text{)}$,平板厚度为 $h \text{ (mm)}$ 。平板试件分别夹持在加热器的上下热面和上下水套冷面之间。加热器的上下面、水套与试件的接触面都设有铜板,以使温度均匀。利用薄膜式加热实现对上、下试件热面的加热,上下导热面积水套的冷却通过循环冷却水(或通以自来水)来实现。在中间 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 部位安设的加热器为主加热器。

为了使加热器的热量能够全部单项通过上下两个试件,并通过水套的冷水带走,在主加热器四周(即 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 之外的四面)设有 4 个辅助加热器,利用专用的温度跟踪控制器使主加热器以外的四周保持与中间主加热器的温度相一致,以免热流量向旁侧散失。主加热器的中心温度 t_h 和水套冷面的中心温度 t_c 用 4 个热电偶来测量,辅助加热器 1 和辅助加热器 2 的热面分别设置两个辅热电偶 t_2 和 t_6 (埋设在铜板相应位置上),其中一个辅热电偶 t_2 (或 t_6)接到温度跟踪控制器上,与主加热器中心接来的主热电偶 t_0 的温度信号相比较,通过跟踪器使全部辅加热器都跟踪到与主加热器的温度相一致。

在试验进行时，可以通过热电偶 t （或 t_0 ）和热电偶 t_3 （或 t_4 ）测量出一个试件的两个表面的中心温度。也可以再测量一个辅热电偶的温度，以便与主热电偶的温度相比较，从而了解主、辅加热器的控制和跟踪情况。温度是利用仪器直接读取数值。主加热器的电功率可以用电功率表或电压表和电流表来测量。

表 1.1 实验台主要参数

名 称	规 格	备 注
试验材料		
试件外型尺寸	300mm×300mm	
导热计算面积 F	200mm×200mm	主加热器的面积
试件厚度 h	mm	实测
主加热器电阻值	Ω	
辅加热器（每个）电阻值	Ω	
电热偶材料	镍铬—镍硅	
试件最高加热温度	80℃	

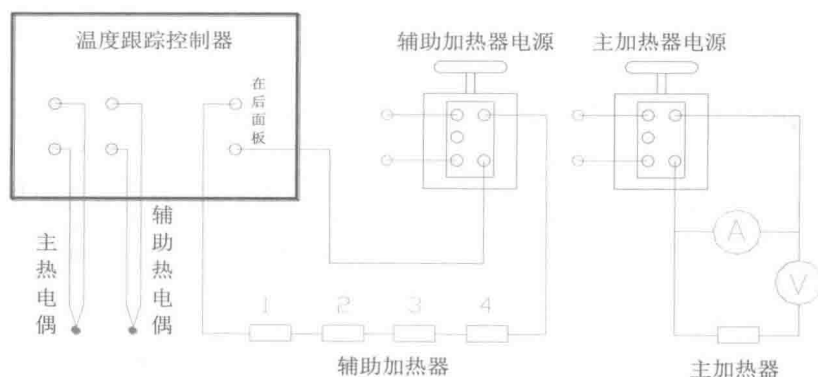
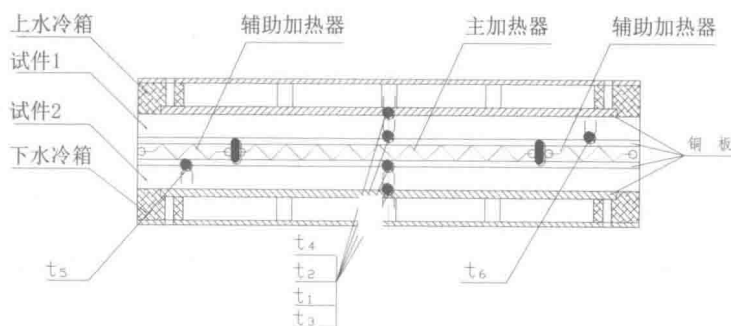


图 1.1 试验台的电气连接图



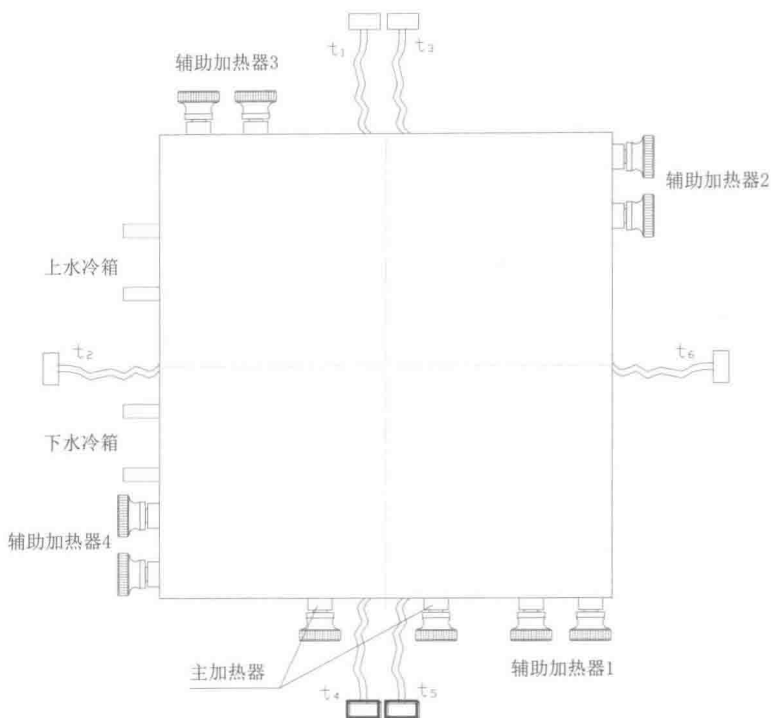


图 1.2 试验台主题示意图

四、实验方法和步骤

(1) 将两个平板试件仔细地安装在主加热器的上下面之间，试件表面应与铜板严密接触，不应有空隙存在。在试件、加热器和水套等安装到位后，应在上面加压一定的重物，以使它们能紧密接触。

(2) 连接并仔细检查各接线电路。将主加热器的两个接线端用导线接至主加热器电源；4 个辅助加热器经两两并联后再串联成串联电路（实验台上已连接好），然后按图 1.1 所示连接到辅助加热器电源和跟踪控制器上。电压表和电流表（或电功率表）应按要求接入电路。将主加热电偶之一 t_1 或 t_5 接到跟踪控制器面板上左侧的主热电偶接线柱上，将辅助电偶之一 t_2 或 t_6 接到跟踪控制器上的相应接线柱上，再把主热电偶 t_5 或 t_1 和辅助热电偶 t_2 或 t_6 都接到稳态平板法测定绝热材料导热系数仪上。

(3) 检查冷却水水泵及其通路能否正常工作，各热电偶是否正常完好，并检查稳态平板法测定绝热材料导热系数仪是否连接好。

(4) 接通加热器电源, 并调节到合适的电压。开始加温, 同时开启温度跟踪控制器。在加热过程中, 可通过各测温点的测量控制了解加热情况。开始时, 先不启动冷水泵, 待试件的热面温度达到一定水平后, 再启动水泵或接通自来水, 向上下水套通入冷却水。试验经过一段时间后, 试件的热面温度和冷面温度开始趋于稳定。在此过程中, 可以适当调节主加热器电源、辅加热器电源的电压, 使其更快或更利于达到稳定状态。待温度基本稳定后, 可以每隔一段时间进行一次电功率 W (或电压 V 和电流 I) 读数记录和温度测量, 从而得到稳定的测试效果。

(5) 各工况试验后, 可以将设备调到另一工况, 即调节主加热器功率后, 再按上述方法进行测试, 得到另一工况的稳定测试结果, 但是调节的电功率不宜过大, 一般以 $5\sim 10W$ 为宜。

(6) 根据试验要求, 进行多次工况的测试 (工况可以从低温到高温)。

(7) 测试结束后, 先切断加热器电源, 关闭跟踪器, 10 分钟左右再关闭水泵或停放自来水。

(8) 填写导热系数测定记录表, 如表 1.2 所示。

表 1.2 导热系数测定记录表

序号	主加热器			热面温度 t_R ($^{\circ}\text{C}$)	冷面温度 t_L ($^{\circ}\text{C}$)	备注
	电流 I (mA)	电压 V (V)	功率 W (W)			
1	21	19		40.2	30.7	
2	22.5	21		41	32.5	
3	27.4	25		46.9	37.5	

五、实验结果处理

实验数据取实验进入稳定状态后的连续三次稳定结果的平均值。导热量即主加热器的电功率, 由式 (1-4) 计算。

$$Q = W (\text{或 } I \times V) \quad (1-4)$$

式中: W —主加热器电功率值 (W);

I —主加热器的电流值 (A);

V —主加热器的电压值 (V)。

由于设备为双试件型，导热量向上下两个试件（试件 1 和试件 2）传导，所以

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q}{2} = \frac{W}{2} \text{ (或 } \frac{1}{2} I \cdot V \text{)} \quad (1-5)$$

试件两面的温差

$$\Delta t = t_R + t_L \quad (1-6)$$

式中： t_R — 试件的热面温度（即 t_1 或 t_2 ， $^{\circ}\text{C}$ ）；

t_L — 试件的冷面温度（即 t_3 或 t_4 ， $^{\circ}\text{C}$ ）。

平均温度为

$$\bar{t} = \frac{1}{2}(t_R + t_L) \quad (1-7)$$

平均温度为 $\bar{t}$ 时的导热系数为

$$\lambda = \frac{w \cdot \delta}{2(t_R - t_L)F} \text{ (或 } \frac{I \cdot V \cdot \delta}{2(t_R - t_1)F} \text{)} \quad (1-8)$$

将不同平均温度下测定的材料导热系数，绘成 $\lambda - \bar{t}$ 关系曲线，进而求出 $\lambda = f(\bar{t})$ 的关系式。

实验二 用稳态球体法测定粒状材料的导热系数

一、实验目的

1. 在稳定状态下, 利用球体法测定粒状材料的导热系数。
2. 掌握实验的基本原理、实验装置结构, 学会使用实验仪器与设备。
3. 对实验数据进行处理和误差分析。

二、实验原理

两个直径不同的空心圆球, 圆球壁很薄, 放在同一圆心位置, 两球之间充满一定容量的需要测定的颗粒状材料。内球装有一个电加热器, 产生热量 Q , 沿圆球表面法线方向通过颗粒状材料向外传递热量。假定内球壁面温度为 t_1 , 外球壁面温度为 t_2 , 且 $t_1 > t_2$ 。球面各点温度场均是一维的, 当温度不随时间变化, 达到稳定状态时, 根据傅里叶定律可得通过球壁的传热量为

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -\lambda \pi r^2 \frac{dt}{dr} \quad (2-1)$$

求解式 (2-1) 并带入边界条件, 可得

$$\lambda = \frac{Q \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)}{2(t_1 - t_2)} \quad (2-2)$$

在热平衡时, 认为传热量与电加热量相等

$$Q = IU \quad (2-3)$$

其中: λ — 导热系数 ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$);

Q — 热量 (W);

d_1 — 内球直径 (m);

d_2 —外球直径 (m);

t_1 —内球温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 —外球温度 ($^{\circ}\text{C}$);

I —电流 (A);

U —电压 (V)。

通过以上各式即可求出待测材料的导热系数。

三、实验仪器与设备

实验装置由两个很薄的空心圆球组成, 内球直径 $d_1=80\text{mm}$, 外球直径 $d_2=160\text{mm}$ 。内球内部装有电加热器, 被测材料置于两同心球之间, 热量通过被测材料传给外球, 然后通过外球表面与空气之间的对流传给空气。内球表面均匀分布三对铜—康铜热电偶, 可测内球壁温 t_{1w} 、 t_{2w} 和 t_{3w} , 外球内表面也均匀分布三对铜—康铜热电偶, 测量外球壁温 t_{4w} 、 t_{5w} 和 t_{6w} 。

实验台面由圆球导热仪、冰瓶、电源开关、加热按钮、测试按钮、电源指示灯、加热指示灯、测试指示灯、SY821 型转换开关、PZ158A 型直流数字电压表、WYJ 型可调式直流稳压电源、电压表以及 XMT606 型显示、控制、变送智能仪表组成, 如图 2.1 所示。

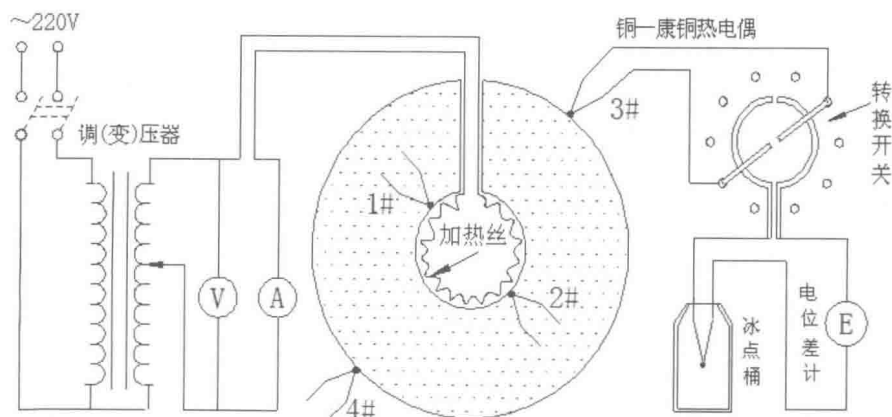


图 2.1 圆球导热仪体及测量系统