

 现代检测技术与质量工程实验丛书

热工检测技术 实验指导

河北大学现代检测技术与质量工程实验中心 编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

现代检测技术与质量工程实验丛书

热工检测技术 实验指导

河北大学现代检测技术与质量工程实验中心 编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

热工检测技术实验指导/河北大学现代检测技术与质量工程实验中心编. —北京: 中国计量出版社, 2009. 9

(现代检测技术与质量工程实验丛书)

ISBN 978 - 7 - 5026 - 3106 - 2

I. 热… II. 河… III. 热工测量—实验 IV. TK3 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 123683 号

内 容 提 要

热工检测技术主要包括温度检测技术、压力检测技术、真空检测技术、流量检测技术和热物性检测技术。其中温度检测技术、压力检测技术、流量检测技术是热工检测技术最常用、最经典的检测内容。本书内容包括温度、压力、流量检测技术实验; 测控电路、传感器技术、单片机原理、控制工程技术、信号分析与处理、人工智能基础实验。共 9 章, 61 个实验。

本书主要介绍检测工作用仪器仪表和计量标准器具的检定、校准与调修及基本理论知识、仪器使用。本书可作为热工检测专业的大中专院校教材, 也可供相关专业技术人员的参考用书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

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

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 13 字数 292 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 27.00 元

前言

河

北大学现代检测技术与质量工程实验中心(以下简称“中心”)成立于2000年,前身为计量测试技术实验中心。中心成立以来,紧紧围绕质量技术监督行业特色,确立了“瞄准检测,面向应用,夯实基础,彰显特色”的实验教学理念,形成了以检测为核心,以质量、计量、标准为主线,涉及热工检测、光电检测、特种设备检测、食品质量安全检验及化工产品质量检验等领域的实验课程体系。

中心利用优质实验教学资源,根据多年的实验教学经验,通过整合测控技术与仪器、安全工程、产品质量工程、机械设计制造及其自动化、电子信息工程、理化测试与产品质量技术等8个专业、103门课程的实验教学和毕业设计内容,结合工程实际应用,整理编写成“现代检测技术与质量工程实验丛书”,包括《检测技术基础实验指导》《热工检测技术实验指导》《电磁检测技术实验指导》《光电检测技术实验指导》《特种设备检测技术实验指导》《食品质量检验技术实验指导》《化工产品质量检验技术实验指导》等。

本系列丛书的编写力求从实际应用出发,强化理论联系实际,各分册及其各章内容相对独立,可供不同层次、不同专业的人员和相关专业技术人员参考。

热工检测技术主要包括温度检测技术、压力检测技术、真空检测技术、流量检测技术和热物性检测技术等。其中温度检测技术、压力检测技术、流量检测技术是热工检测技术最常用、最经典的检测内容。重点是热工检测工作用仪器仪表和计量标准器具的检定、校准与调修。通过实验能够充分学习和理解计量器具的工作原理和计量性能技术参数、计量标准器具的选择原则、检定项目、检定原理与检定方法、检定结果的处理等知识,内容包括:

温度、压力、流量检测技术实验 主要介绍检测工作用仪器仪表和计量标准器具的检定、校准与调修。使学生通过实验能够充分学习和理解计量器具的工作原理和计量性能技术参数、计量标准器具的选择原则、检定项目、检定原理与检定方法、检定结果的处理等知识。

测控电路、传感器技术、单片机原理、控制工程基础、信号分析与处理、人工智能基础实验 主要介绍热工检测中仪器设备的检定、校准与调修所涉及的基本理论知识、仪器使用、测定方法等,为后续专业课实验提供扎实的基础。

参加编写人员:

宋占表(实验1);李金海(实验2);方立德、孔祥杰(实验3);董芳(实验4);祝彦、贾克军(实验5,6,9);李红莲(实验7);丁振君(实验8)。

全书由宋占表副教授统稿,任建立老师协助统稿、整理及补充。

由于编者水平有限,书中难免不妥之处,恳请读者批评指正。

编者
2009年6月

目 录

1 温度检测技术实验

实验 1.1 恒温槽技术性能测试	(1)
实验 1.2 K 型热电偶温度特性测试	(4)
实验 1.3 工作铂热电阻温度计的检定	(7)
实验 1.4 工作热电偶温度计的检定	(10)
实验 1.5 配热电偶的 (指针式) 位式调节动圈表的检定	(13)
实验 1.6 便携式红外测温仪的检定	(17)

2 压力计量检测技术实验

实验 2.1 弹簧管式精密压力表的检定与调修	(22)
实验 2.2 活塞式压力计的检定	(25)
实验 2.3 数字式压力计的检定	(31)
实验 2.4 压力变送器检定	(35)
实验 2.5 压力传感器的检定	(40)

3 流量计量测试技术实验

实验 3.1 单相流动流态演示	(44)
实验 3.2 气、液两相流流型演示	(48)
实验 3.3 油、水两相流流型演示	(54)
实验 3.4 油、气、水三相流动演示	(57)
实验 3.5 管道沿程阻力测试	(60)
实验 3.6 局部阻力系数测定	(65)
实验 3.7 水流量测量与控制	(67)
实验 3.8 气流量测量与控制	(71)
实验 3.9 油流量测量与控制	(75)
实验 3.10 标准孔板流量计流出系数标定	(78)
实验 3.11 文丘里管流出系数标定	(81)
实验 3.12 电磁流量计检定	(84)
实验 3.13 涡轮流量变送器检定	(88)

实验 3.14 超声波流量计检定	(91)
实验 3.15 玻璃转子流量计检定	(94)
实验 3.16 水表检定	(97)

4 测控电路实验

实验 4.1 集成运算放大器参数	(102)
实验 4.2 基本放大电路	(108)
实验 4.3 高共模抑制比放大电路	(112)
实验 4.4 电桥放大电路	(115)
实验 4.5 高输入阻抗放大电路	(118)
实验 4.6 相敏检波电路	(121)

5 传感器技术实验

实验 5.1 箔式应变片性能——应变电桥	(124)
实验 5.2 箔式应变片三种桥路性能比较	(128)
实验 5.3 差动变压器性能	(130)
实验 5.4 差动变压器零点残余电压的补偿	(133)
实验 5.5 电涡流式传感器的静态标定	(135)
实验 5.6 霍尔传感器的直流激励特性	(138)
实验 5.7 压电加速度传感器的动态响应特性	(141)
实验 5.8 差动面积式电容传感器的静态及动态特性	(143)

6 单片机原理实验

实验 6.1 清零程序	(146)
实验 6.2 拆字、拼字程序	(151)
实验 6.3 数据排序	(154)
实验 6.4 数据区传送程序	(156)
实验 6.5 无符号双字节快速乘法程序	(158)
实验 6.6 P1 口演示程序	(160)
实验 6.7 单片机中断	(162)
实验 6.8 定时器	(164)
实验 6.9 计数器	(166)

7 控制工程基础实验

实验 7.1 下水箱液位的前馈 - 反馈控制系统	(168)
实验 7.2 单闭环流量定值控制系统	(171)

实验 7.3	单容自衡水箱液位特性测试	(173)
实验 7.4	盘管出水口温度滞后控制系统	(177)
实验 7.5	二阶系统的阶跃响应	(179)
8	信号分析与处理实验	
实验 8.1	用同时分析法观测 50Hz 非正弦周期信号的分解与合成	(181)
实验 8.2	无源和有源滤波器	(184)
实验 8.3	信号的采样与恢复 (抽样定理)	(188)
9	人工智能基础实验	
实验 9.1	产生式系统	(191)
实验 9.2	搜索策略	(193)
实验 9.3	自动规划	(196)

1 温度检测技术实验

实验 1.1 恒温槽技术性能测试

相关知识 各种用恒温槽检定的温度计的检定方法及对恒温槽的技术性能要求。

一、实验目的

- (1) 了解恒温槽的结构、工作原理及使用注意事项。
- (2) 掌握恒温槽技术性能指标的测试方法及数据处理方法。

二、实验原理

根据热平衡原理，依照 JJF 1030—1998 恒温槽技术性能测试规范规定，采用标准温度计法或温度计比对法对恒温槽技术指标进行测试并进行数据处理。

三、实验仪器设备及实验条件

1. 实验仪器设备

(1) 标准铂电阻温度计或标准水银温度计 2 支；(2) 测温电桥或同精度的其他电测设备；(3) 电阻温度计转换开关 1 个；(4) 读数望远镜 1 台；(5) 符合要求的其他测试仪器等。

2. 实验条件

所有仪器设备其分辨力和短期稳定性均应优于被测恒温槽最高温场指标 3 倍。

四、实验步骤及注意事项

1. 测试项目

- (1) 温度偏差；(2) 温度波动度；(3) 温度均匀度。

2. 实验步骤

(1) 测试点的选择：一般选择恒温槽使用温度范围的下限、上限及中间点，也可根据用户需要选择实际常用的温度点或抽测工作温度范围内的任意温度点。

(2) 测试点的位置选择：在恒温槽工作区域内上、下两层分别选 4 个点，如图 1.1—1 和图 1.1—2 所示。

图 1.1—1 和图 1.1—2 中顶面 $ACBD$ 与底面 $EGFH$ 距恒温槽上表面的距离应根据被检定的计量器具而定。

图中工作区域指恒温槽技术指标中规定的区域或计量器具在恒温槽中所能触及的满足要求的最大范围。

- (3) 温度偏差的测试：将温度计放置在工作区域中心，将恒温槽的温度控制器设定

到所要求的标称温度，使设备正常工作。稳定后开始读数，每分钟记录任意 1 个测试点的温度 1 次，15min 内共测试 15 次。

(4) 温度波动度的测试：将恒温槽升温（或降温）到上限（或下限）温度，然后将测试用温度计插入到工作区域内的测试点任意一个位置，恒温槽温度稳定后，每分钟记录测试点的温度至少 1 次，至少 15min。

(5) 温场温度均匀度的测试：温场温度均匀度是指工作区域内任意两点之间的温差。

(6) 标准铂电阻温度计法

① 按图 1.1—1 和图 1.1—2 所示位置将两支温度计 m 和 n 首先垂直插入温场中的 A 点和 B 点位置，温度稳定后，分别读取 2 支温度计的示值 $t_{m_{A_1}}$ 和 $t_{m_{B_1}}$ ；

② 然后将 2 支温度计交换位置，温度稳定后，再次读取两支温度计的示值 $t_{n_{A_2}}$ 和 $t_{n_{B_2}}$ ；

③ 重复①②步骤，共读取 4 组示值。 A, B 两点间的温差用 Δt_{AB} 表示。

④ 重复①②③步骤分别测得其他两点间的温差，分别记为： Δt_{CD} , Δt_{EF} , Δt_{GH} , Δt_{AF} , Δt_{CH} 。

(7) 温度计比对法：将测试用的 2 支温度计感温部分整体尽可能靠近的放置在工作区域内。恒温槽温度稳定后，轮换读取 2 支温度计的示值各 4 次。

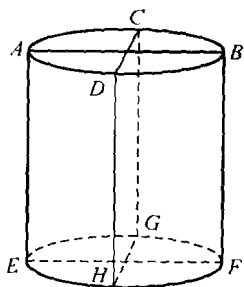


图 1.1—1 圆柱形槽选点示意图

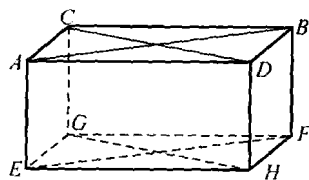


图 1.1—2 长方形槽选点示意图

五、实验数据处理及记录格式

1. 数据处理

(1) 温度偏差计算

$$\Delta t_d = t_d - t_o \quad (1.1-1)$$

式中 Δt_d ——温度偏差，℃；

t_d ——设备显示温度平均值，℃；

t_o ——中心点 n 次测量的平均值。

(2) 温度波动度计算

$$\Delta t_f = \pm \frac{1}{2} (t_{i_{\max}} - t_{i_{\min}}) \quad (1.1-2)$$

式中 Δt_f ——温度波动度，℃；

$t_{i_{\max}}$ ——测试点位置 n 次测量中的最高温度，℃；

$t_{i\min}$ ——测试点位置 n 次测量中的最低温度,℃。

(3) 温度均匀度计算

① 标准铂电阻温度计法:

$$\Delta t_{AB} = \frac{1}{4} [(t_{mA_1} + t_{nA_2} + t_{mA_3} + t_{nA_4}) - (t_{nB_1} + t_{mB_2} + t_{nB_3} + t_{mB_4})] \quad (1.1-3)$$

Δt_{CD} , Δt_{EF} , Δt_{GH} , Δt_{AF} 同式 (1.1—2) 计算。

② 温度计比对法:

$$\Delta t_{mn} = \frac{1}{4} (t_m - t_n) \quad (1.1-4)$$

结果要求: 要求(1)~(3)这3个指标均不超过被检定的温度计的相应允许误差, 或实际使用要求误差。

2. 性能测试结果记录格式

经测试恒温槽主要技术性能记录格式如表 1.1—1 所示。

表 1.1—1 温度波动度

下限温度_____℃ 时, ± _____℃/15min 上限温度_____℃ 时, ± _____℃/15min 抽测温度_____℃ 时, ± _____℃/15min		
检测温度点	工作区域内水平方向最大温差/℃	工作区域内不同深度任意两点最大温差/℃
温度均匀度_____℃		

六、实验报告要求

要求根据实验结果判断出恒温槽较佳恒温区域; 同时写出实验过程中对恒温槽如何正确应用的体会。

思考题

1. 代表恒温槽温场温度的最佳位置点是何处? 为什么?
2. 检定工作用玻璃液体温度计, 要求恒温槽温场波动度范围和温度均匀度范围?
3. 检定工作用铂、铜热电阻温度计, 要求恒温槽温场波动度范围和温度均匀度范围?
4. 不同温度下、不同位置恒温槽温场性能指标测试结果是否相同? 为什么?

实验 1.2 K 型热电偶温度特性测试

相关知识 热电偶的结构、工作原理；热电偶测温四定律；K型热电偶的应用场合及误差来源。

一、实验目的

- (1) 了解 K 型热电偶的结构、工作原理及使用注意事项。
- (2) 掌握 K 型热电偶的特性测试方法与应用。

二、实验原理

两种不同的导体或半导体组成一个回路，其两端互相连接，只要两节点处的温度不同，则回路中就有电流产生，即回路中存在热电势。该热电势的产生符合热电偶测温四定律。

三、实验仪器设备及实验条件

1. 实验仪器设备

(1) THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪包括 PID 智能温度传感器, 风扇电源, 加热电源, +5V 直流稳压电源、直流数字电压表, 温度传感器调理电路;

(2) THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源 1 个; 铂热电阻 Pt100 1 支; K 型被测热电偶 1 支。

2. 实验条件

所有电测仪器设备实验环境温度应为 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

四、实验步骤及注意事项

(1) K 型热电偶调理电路接线原理图如图 1.2—1 所示。

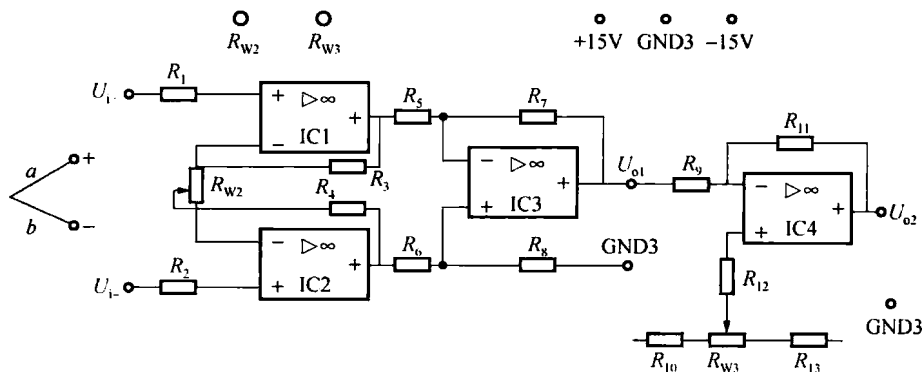


图 1.2—1 K 型热电偶调理电路原理图

(2) 接线方法及调整步骤

① 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出, 将风扇电源接至加热源。

② 将 Pt100 传感器插入加热源其中 1 个插孔, 其三端引线按插头颜色插入调节器“Pt100 输入”插孔。

③ 将 K 型热电偶插入加热源另 1 个插孔, 其两端引线按插头颜色插入温度传感器调理电路单元 $a+$ 、 $b-$ 插孔。

④ 将 $\pm 15V$ 直流稳压电源接至 $+15V$ 、 $GND3$ 、 $-15V$ 插孔, 给仪器放大器供电; 并将热电偶输出电压接至仪器放大器 ($a+$ 对应 U_i+ 、 $b-$ 对应 U_i-), 将仪器放大器输出 U_{o2} 接至直流数字电压表 (U_{o2} 对应 $+$ 、 $GND3$ 对应 $-$), 电压表量程选择 $2V$ 档。

⑤ 给实验仪上电 (电源开关打开), 记录调节器显示窗显示的室内环境温度 (PV) 测量值, 记为 t_0 , 将加热源给定值 (SV) 设定在初始温度 $40^\circ C$: 按调节器显示窗下的 SET 键, 出现 “SV” 后, 调节调节器右上角的 “ $\leftarrow$ ” 键进行小数点移位, 将小数点移动到要调整温度的位置, 调整 “ $\uparrow$ ” 键进行温度值的增加和减小, 直到调整到需设定的温度为 $40^\circ C$ 为止 (加热源可依相同方法设定, 温度范围为室温至 $120^\circ C$); 长按 “SET” 键, 直到显示窗显示: 第一次报警 (上限报警) “AL-1”、第二次报警 (下限报警) “AL-2”。按上述做法, 再把设定值调整到高于设定值 $SV0.5^\circ C$ 上;

⑥ 调整增益调节电位器 R_{w2} 顺时针旋到底 (增益最大), 实验过程中此位置保持不变。

⑦ 将仪器放大器输入端 U_i+ 和 U_i- 短接, 调节调零电位器 R_{w3} , 使数字电压表显示为 0, 去掉短接线, 实验过程中此位置保持不变。

(3) 开启加热源开关, 给加热器加热, 此时加热源电源开关指示灯处于 “亮” 的状态, 当调节器温度显示值稳定在温度给定值左右时 (至少升温、降温变化两个循环以上), 记录电压表读数 $V_0(V)$ 。在温度变化过程中, 加热源电源开关指示灯明、暗程度代表升温 and 降温的变化状态。

(4) 按 $\Delta t = 5^\circ C$ 设定 SV 值, 使加热器升温并恒定在该温度下, 记录对应 $40 \sim 120^\circ C$ 的电压输出值。

五、实验数据处理及数据记录格式

1. 数据处理

(1) 实验数据记录填入表 1.2—1。

(2) 绘制 V_0-t 实验曲线, 观察非线性情况, 并计算非线性误差大小;

(3) 计算温度补偿后对应的输出电压值 V_0 : 依据热电偶测温中间温度定律, $E_{AB}(T, T_0) + E_{AB}(T_0, 0) = E_{AB}(T, 0)$, 查 K 型热电偶的分度表, 得 $E_{AB}(T, 0)$ 和 $E_{AB}(T_0, 0)$, 则温度补偿后热电偶对应的电压输出值由式 (1.2—1) 计算。

$$V = \frac{E_{AB}(T, 0)}{E_{AB}(T, 0) - E_{AB}(T_0, 0)} V_0 \quad (1.2-1)$$

2. 数据格式

根据式 (1.2—1) 计算, 将所得数据记录在表 1.2—1 中。

表 1.2—1 温度补偿后的电压输出

检测项目	实验数据								
调整温度 $t/^\circ\text{C}$	40	45	50	55	60	65	70	75	80
输出电压 V_0/V									
检测项目	实验数据								
调整温度 $t/^\circ\text{C}$	85	90	95	100	105	110	115	120	
输出电压 V_0/V									

绘制 V_0-t 实验曲线, 观察非线性情况, 并计算非线性误差大小;

3. 注意事项

(1) 热电偶两个电极不能接错, 注意按插头颜色接线。

(2) 增益调零电位器 R_{w2} 、 R_{w3} 调节好后, 实验过程中不能改变其位置, 否则增大非线性误差。

六、实验报告要求

要求根据实验结果判断出热电偶在 $40 \sim 120^\circ\text{C}$ 内的非线性较严重区域; 同时写出在实验过程中如何正确应用热电偶的体会。

思考题

1. 热电偶若电极接反会出现什么情况? 为什么?
2. 热电偶温度特性为非线性的原因是什么? 其接近线性的温度范围是什么?
3. 热电偶冷端温度补偿的方法是什么?
4. 热电偶测温四定律中中间温度定律的应用? 没有冷端温度补偿, 其冷端温度为 23°C 时, 电压表示值为 8.32mV , 则加热器内的实际温度为多少摄氏度?
5. K 型热电偶测温的误差来源是什么?
6. 热电偶在实际测温中应如何正确安装?

实验 1.3 工作铂热电阻温度计的检定

相关知识 热电阻温度计的结构、分类、工作原理和温度计的检定方法。

一、实验目的

- (1) 了解热电阻温度计的结构、工作原理及使用注意事项。
- (2) 掌握热电阻温度计的检定方法、测量误差来源及数据处理方法。

二、实验原理

根据热平衡原理,采用标准温度计法与被检温度计处于同一温场下,进行比较达到检定的目的。

三、实验仪器设备及实验条件

1. 实验仪器设备

- (1) ZH1023 热电偶热电阻温度自动检定系统 1 套;
- (2) 恒温油槽 1 台;
- (3) 恒温水槽 1 台、自制冰点槽 1 个、二等标准热电阻 1 支或同等精度的测温仪表 1 台;
- (4) 绝缘电阻表 1 个、油浸式四刀多点转换开关、导线若干、热电偶热电阻测试仪 1 台。

2. 实验条件

- (1) 标准及电测设备恒温 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- (2) 热电阻浸入深度应大于等于 20cm;
- (3) 热电阻工作电流为 1mA。

四、实验步骤及注意事项

1. 检定项目

- (1) 外观检查;
- (2) 绝缘电阻测定;
- (3) 示值检定。

2. 实验步骤

(1) 外观检查:用目力检查热电阻装配质量;检查有无损坏脱落部件等缺陷,并用万用表粗测热电阻的电阻值。

(2) 绝缘电阻检查:用绝缘电阻表分别测量热电阻引线与被保护管间绝缘电阻,应符合检定规程相关规定,一般大于 $20\text{M}\Omega$ 。

(3) 示值检定:检定点一般在 0°C , 100°C 和必要时在 t 检定。

(4) 0°C 时电阻 $R(0^\circ\text{C})$ 的测定:将标准和被检热电阻按四线制接入线路,插入零点槽内 30min 后,依次测定标准和被检的电阻值或温度示值。读数顺序为标准、被检、电流

换向、被检、标准。共计 2 个循环 4 次数据，将数据记入记录表中。

(5) 100℃时电阻 $R(100^\circ\text{C})$ 的测定

① 将标准热电阻插入油恒温槽的水平中心位置，插入深度大于等于 20cm；将标准与被检的 4 个端子都接到十路转换开关上。

② 检定顺序：由低温到高温逐点升温检定，该步骤可通过自动检定系统设定。

③ 在电脑上通过键盘操作，进入“温度计自动检定系统”

用户名：——→Admin 无密码

添加检定者姓名 无密码

A. 在打开的窗口的菜单选项中选——→“系统”并填写下列各项：

“送检单位”，如实验中心或××班级等送来被检热电偶的单位名称；

“制造厂商”，填被检热电偶生产厂家，如天津仪表厂；

“被检温度计档案”——→“热电阻档案”——→天津仪表厂——→选择具体的被检热电阻的具体分度号和序号，如 Pt100 铂热电阻。

“标准温度计”——→标准器件、标准热电阻（选具体用的标准阻型号，如 Pt100）。若档案中没有备选的应新建。

B. 在打开的窗口的菜单选项中选——→“热阻”按下列步骤操作：

“检定分组”，在左上角首先选择被检的热电阻，如 Pt100 铂热电阻；

“检定分组”：在被选组的合适位置选择“新组”后，选择填写下列各项：“××班级”“审核人”，点击*选择“新组”的人员；“标准器编号”；点击*选择具体编号；“恒温时间”：选最少 4min；在“实验中心子文件夹”中选择被检电阻分度号“Pt100 铂热电阻”；点击右键选择被检电阻所在扫描开关的通道（如通道 1，2，3，4 等）；在自己所在分组处选中后，点击“保存”。

A 和 B 步骤设置完，检查无误后，在菜单栏点击“检定”，在弹出菜单中选择“检定点”，如 100/150/200/250/300，要求至少 3 点。

A 和 B 步骤完成后，在菜单栏点击“检定”，在弹出菜单中选择“检定热电阻的设备编号”如检定炉编号为 0724，再点击“确定”。

当设定的第 1 个检定点温度通信传输到温控仪进行显示后，同时“检定”操作完成后，手动开启恒温槽（启动加热槽开关按下），进入自动升温状态。

当恒温槽温场温度变化小于 0.02°C 并经过设定时间恒温时，自动检定装置进入自动检定状态。期间可通过炉温变化曲线和检定数据界面对检定过程进行监控。

C. 当第 1 个检定点检定完成后，装置将数据自动填入数据表，并自动进入下一个检定点的升温过程，以后进入自动检定状态。

D. 当所有检定点检定完后，点击“查看”，所有检定点数据就显示在数据表中。

3. 注意事项

零点槽在检定过程中温场温度变化不得超过规程相关要求；温度计插入深度应距离槽壁大于 2cm；零点槽注意恒温 30min 以上才可读数。

五、实验数据处理与检定记录打印

1. 数据处理

(1) 冰点槽内的 t_i 按式 (1.3—1) 计算：

$$t_i = \Delta R^* / (dR/dt)_{t=0}^* \quad (1.3-1)$$

$$\Delta R^* = R_i^* - R^*$$

$$R^* = R_{tp}^* / 1.0000398$$

$$(dR/dt)_{t=0}^* = 0.00399 R_{tp}^*$$

式中 R_i^* , R^* ——分别表示标准铂电阻温度计在温度 t_i 和 0°C 的电阻, Ω ;

R_{tp}^* ——标准铂电阻温度计在水三相点的电阻, Ω ;

$(dR/dt)_{t=0}^*$ ——标准铂电阻温度计在 0°C 时电阻随温度的变化率, $\Omega/^\circ\text{C}$ 。

(2) 被检热电阻的 $R'(0^\circ\text{C})$ 按式 (1.3—2) 计算:

$$R' = R_i - (dR/dt)_{t=0} t_i \quad (1.3-2)$$

式中 R_i ——被检热电阻在温度 t_i 时的电阻, Ω ;

$(dR/dt)_{t=0}$ ——被检热电阻在 0°C 时电阻随温度的变化率, $\Omega/^\circ\text{C}$;

(对铂热电阻, $(dR/dt)_{t=0} = 0.00399 R'$; 对铜热电阻, $(dR/dt)_{t=0} = 0.00428 R'$)

R' ——被检热电阻在 0°C 的标称电阻, Ω 。

(3) 被检热电阻在 0°C 时的偏差 E_0 按式 (1.3—3) 计算:

$$E_0 = R - R' / (dR/dt)_{t=0} \quad (1.3-3)$$

2. $R(100^\circ\text{C})$ 的检定记录打印

① 在系统菜单中, 选择“档案”——→“被检表管理”——→“温度计出库”——→将所检温度计(选择“热电阻”)出库(一般检定完后电脑自动保存检定数据, 不用出库);

② 点击“检定记录打印”, 在检定分组目录中找出自己所检要打印的数据, 点击“打印”, 电脑自动打印出检定记录。检定完成后, 首先手动关闭恒温槽加热开关, 再做其他必要的操作。

六、实验报告要求

要求根据实验结果分析产生误差的原因; 同时写出实验过程中对如何正确操作、应用热电阻检定的体会。

思考题

1. 计算热电阻的误差公式是什么?
2. 检定工作用热电阻温度计, 要求恒温场温度均匀度范围是多少?
3. 分别简述分度号为 Pt100 型、Pt10 型、Cu50 型、Cu10 型的热电阻其测量范围及应用场合。
4. 分别简述热电阻测温的误差来源及使用注意事项。

实验 1.4 工作热电偶温度计的检定

相关知识 热电偶温度计的结构、分类、工作原理和温度计的检定方法及冷端温度补偿方法。

一、实验目的

- (1) 了解热电偶温度计的结构、工作原理及使用注意事项。
- (2) 掌握热电偶温度计的检定方法及数据处理方法。

二、实验原理

根据热平衡原理,采用标准温度计法与被检温度计处于同一温场下进行比较达到检定的目的。

三、实验仪器设备及实验条件

1. 实验仪器设备

- (1) ZH1023 热电偶热电阻温度自动检定系统 1 套;
- (2) 管式高温炉 1 个;
- (3) 二等标准热电偶 1 支;
- (4) 绝缘电阻表 1 台导线若干。

2. 实验条件

- (1) 电测设备恒温 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- (2) 标准与被检热电偶工作端应处于同一温场。

四、实验步骤及注意事项

1. 检定项目

- (1) 外观检查;
- (2) 绝缘电阻检查;
- (3) 示值检定。

2. 实验步骤

- (1) 外观检查:用目力检查热电偶应符合工作用热电偶检定规程相关规定。
- (2) 绝缘电阻检查:用绝缘电阻表分别测量热电偶引线间、引线与外壳间绝缘电阻应符合检定规程相关规定。

(3) 示值检定

① 将标准热电偶与被检热电偶用镍铬丝捆在一起,工作端位于同一平面,包括标准热电偶在内总数不超过 6 支。

② 将捆扎成束的热电偶装入管式高温炉的中间区域,且位于内管轴中心,一般插入深度为 30cm;将标准热电偶与被检热电偶的参考端都接到十路转换开关上。

③ 检定炉两端炉口,用石棉堵严。