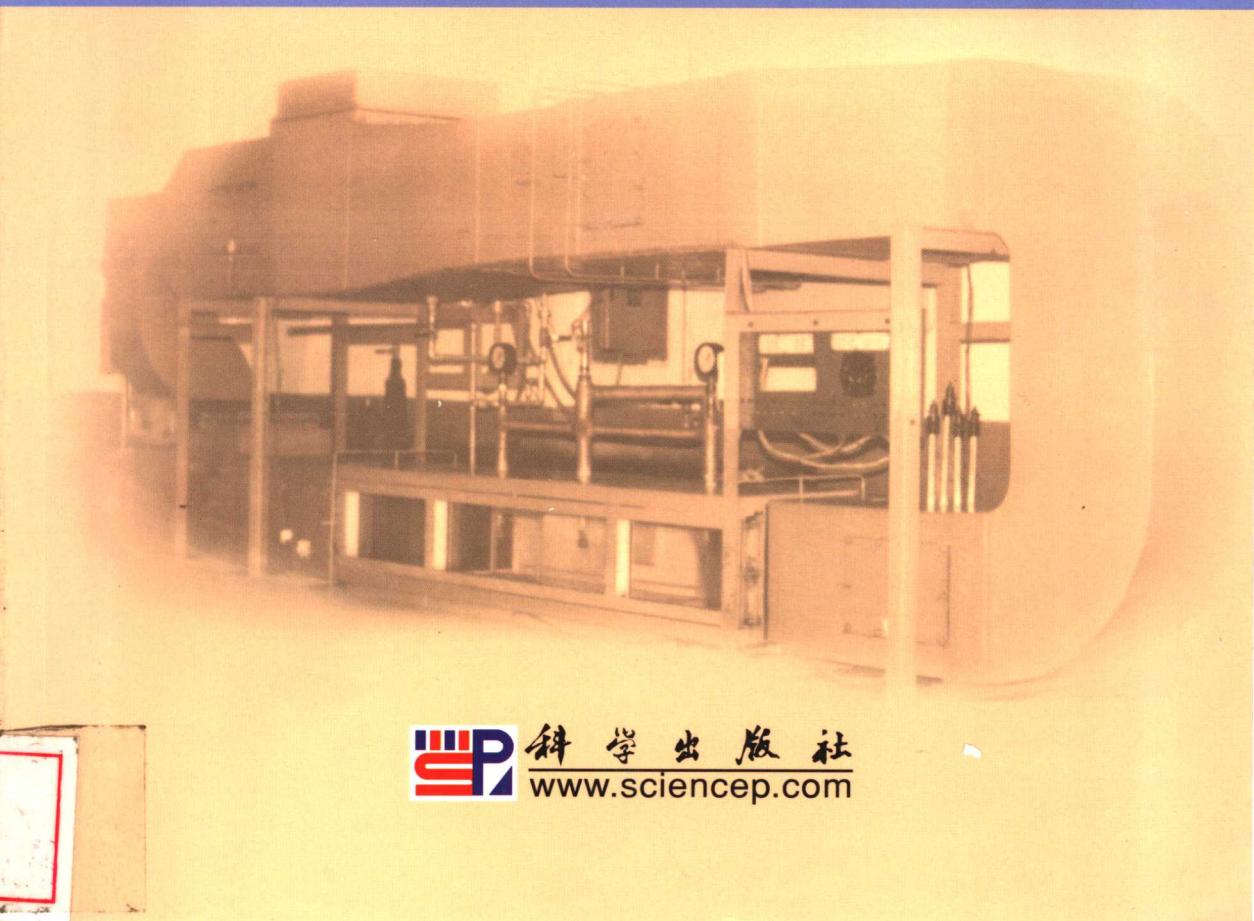



高等院校建筑环境与设备工程专业教学用书

建筑环境与设备工程 实验及测试技术

王智伟 杨振耀 主编



 科学出版社
www.sciencep.com

X83

W460

高等院校建筑环境与设备工程专业教学用书

建筑环境与设备工程 实验及测试技术

王智伟 杨振耀 主编

科学出版社

北京

内 容 提 要

本书着重阐述建筑环境与设备工程中的供热、通风、空调、锅炉、制冷等各项实验及测试技术。主要内容包括:在建筑环境与设备工程实验及测试技术中常用的各种测量仪器仪表的测量参数、结构与原理;测量误差的分析及实验数据的整理;暖通空调中各项实验装置和系统,以及实验目的、原理、方法和步骤;建筑室内环境测量;建筑环境与设备工程测试新技术等。本书内容系统、实用。

本书可作为高等学校建筑环境与设备工程专业大学本科教材,也可供本专业的专科生、进修生、培训人员及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与设备工程实验及测试技术/王智伟,杨振耀主编. —北京:科学出版社,2004

(高等院校建筑环境与设备工程专业教学用书)

ISBN 7-03-012549-5

I. 建… II. ①王…②杨… III. ①房屋建筑设备—实验—高等学校—教材②居住环境—环境试验—高等学校—教材 IV. ①TU-023②X83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 118058 号

责任编辑:刘宝莉/责任校对:刘小梅

责任印制:刘士平/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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年2月第一版 开本:B5(720×1000)

2004年2月第一次印刷 印张:21 3/4

印数:1 3 500 字数:420 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

本书是在西安建筑科技大学自编的实验教学用书《供热通风实验测试技术》(内部使用)的基础上编著完成的,它是多年实验教学经验的总结。

建筑环境与设备工程专业中的供热、通风、空调、锅炉、制冷等各项实验及测试技术,是本专业一项十分重要的教学环节。为使实验教学规范化、系统化,我们编写了本书以指导和帮助学生顺利完成本专业的实验任务。

建筑环境与设备工程实验及测试技术属暖通空调领域的一门实用技术。暖通空调领域的众多课题可通过实验测试得以解决,工程竣工验收可通过实验测试加以量化评定,工程实际中出现的问题可通过实验测试找出症结而加以改进,因此本书的编写出版也是暖通空调科研和工程应用的客观需要。

随着科学技术的迅猛发展,建筑环境与设备工程实验的测试技术也在不断发展和提高,涌现出许多新概念、新方法、新的测试仪表及测试技术等,及时反映这些新技术、新方法是本学科发展的需要,因此,本书的编写中除了重点叙述暖通空调中各项实验装置和系统,以及实验目的、原理、方法和步骤外,还增添了建筑室内环境测量、建筑环境与设备工程测试新技术等内容。

本书涉及的暖通空调实验装置和实验系统是自行设计、研制的,在小型化、可视化方面具有自己的特色,在反映本学科对实验技能的要求上,具有广泛的共性,仪器仪表的选用上能代表一般性。

本书在实验测试理论的阐述上注重对结论应用的诠释,摒弃繁杂的数学推导;在实验测试方法和仪器仪表的选择与使用上,着重对基本的有代表性的及常用的给予详细介绍,以求重点突出,简明实用。本书还较为系统、完整地阐述了建筑环境与设备工程实验及测试技术所涉及的内容,包括本专业常用测试仪器、仪表及设备,测试误差分析及实验数据处理,实验装置及系统,建筑室内环境测量,测试新技术等。

本书由西安建筑科技大学王智伟(第1章、第5章5.1节、第6章、第10章10.1~10.4节)、朱陆莉(第2章)、马耀星(第4章4.1节)、杨振耀(第4章4.2~4.3节、第5章5.2~5.6节、第7章7.1~7.2节)、严双志(第4章4.4~4.5节、第8章)、王劲松(第7章7.3~7.4节)、刘艳峰(第9章、第10章10.5~10.6节)和中原工学院郑慧凡(第3章)共同编写。全书由王智伟副教授、杨振耀高级工程师主编及统稿,马仁民教授主审。

本书在编写过程中,得到了西安建筑科技大学暖通、热工、流体力学各教研室及实验室许多教师和实验人员及部分同学的大力协助,特别是吴稚璞高工对于本

书的编写出版给予了无私的支持和帮助,梁守信高工认真审阅了前 8 章书稿,在此一并表示衷心感谢。

由于编者的学识和经验有限,书中难免有许多缺点和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

1 常用测试仪表	1
1.1 常用仪表概述	1
1.2 温度测量仪表	1
1.2.1 温度的基本概念和测量仪表分类	1
1.2.2 玻璃管液体温度计	2
1.2.3 双金属温度计	5
1.2.4 热电偶温度计	6
1.2.5 电阻温度计	11
1.3 相对湿度测量仪表	14
1.3.1 普通干湿球温度计	14
1.3.2 通风干湿球温度计	15
1.3.3 毛发湿度计	16
1.3.4 电阻湿度计	17
1.4 流速测量仪表	18
1.4.1 叶轮风速仪	18
1.4.2 卡他温度计	19
1.4.3 热电风速仪	20
1.4.4 测压管(动压测速)	21
1.5 压力测量仪表	28
1.5.1 液柱式压力计	28
1.5.2 弹簧式压力计	34
1.6 流量测量仪表	36
1.6.1 差压式流量计	37
1.6.2 涡轮流量计	44
1.7 辐射热测量仪表	45
1.7.1 辐射热温计	45
1.7.2 热电堆辐射热计(单相辐射热计)	46
1.8 烟气测量仪表	47
1.8.1 奥氏气体分析仪	47
1.8.2 烟气测试仪	48

2	测量误差分析	51
2.1	测量概述	51
2.1.1	被测参数	51
2.1.2	测量过程	51
2.1.3	一次仪表和二次仪表	52
2.1.4	测量方法分类	52
2.2	测量误差与测量精度	53
2.2.1	真值与测量值	53
2.2.2	测量误差分类	53
2.2.3	测量的准确度、精密度和精确度	54
2.3	测量仪表的基本技术性能	55
2.3.1	静态特性	55
2.3.2	动态特性	57
2.4	有效数字及其计算规则	58
2.4.1	有效数字	58
2.4.2	计算规则	59
2.5	直接测量系统误差分析	60
2.5.1	系统误差的来源	60
2.5.2	消除系统误差的方法	61
2.5.3	系统误差的综合	61
2.6	直接测量随机误差分析	62
2.6.1	随机误差的特性	62
2.6.2	测量的最佳值(对被测量 x 的真值 x_0 的估计)	65
2.6.3	随机误差的衡量标准	67
2.7	直接测量误差综合	69
2.7.1	测量误差综合的概念	69
2.7.2	测量误差的综合方法	69
2.8	间接测量误差分析	70
2.8.1	间接测量系统误差传递	70
2.8.2	间接测量标准误差传递	71
3	实验数据处理与整理	74
3.1	异常数据的剔除	74
3.1.1	物理判别与消除法	74
3.1.2	统计判别法	74
3.2	测量结果的处理	77
3.2.1	一般处理步骤	77

3.2.2	应用示例	77
3.3	实验数据整理方法概述	79
3.3.1	列表法	79
3.3.2	绘图法	79
3.3.3	公式法(回归分析法)	79
3.4	实验数据整理的列表法	79
3.4.1	列表法的要点	79
3.4.2	列表的插值法	80
3.4.3	插值公式	81
3.5	实验数据整理的图解法	82
3.5.1	图解法的基本步骤和规则	82
3.5.2	曲线的拟合和校正方法	85
3.6	实验数据整理的公式法	87
3.6.1	公式法的基本方法及步骤	87
3.6.2	数学模型的建立	87
3.6.3	一元线性回归分析	88
3.6.4	一元多项式回归分析	95
3.6.5	多元线性回归分析	97
4	供热工程实验与测定	99
4.1	散热器热工性能实验	99
4.1.1	实验目的	99
4.1.2	实验原理	99
4.1.3	实验装置及仪器	100
4.1.4	实验方法与步骤	100
4.1.5	数据处理	103
4.1.6	问题讨论	105
4.2	热网水力工况实验	105
4.2.1	实验目的	106
4.2.2	实验原理	106
4.2.3	实验装置	107
4.2.4	实验步骤	107
4.2.5	数据处理	108
4.2.6	问题讨论	109
4.3	热水供暖系统模型实验	109
4.3.1	实验目的	109
4.3.2	实验原理	110

4.3.3	实验装置	111
4.3.4	实验步骤	112
4.3.5	问题讨论	112
4.4	热交换器性能实验	112
4.4.1	实验目的	112
4.4.2	实验原理	112
4.4.3	实验装置及仪器	114
4.4.4	实验方法及步骤	115
4.4.5	数据处理	115
4.4.6	问题讨论	115
4.5	疏水器性能实验	116
4.5.1	实验目的	116
4.5.2	实验原理	116
4.5.3	实验装置及仪器	117
4.5.4	实验方法与步骤	117
4.5.5	数据处理	119
4.5.6	问题讨论	120
5	通风工程实验与测定	121
5.1	管道内风速及风量的测定(测压法)	121
5.1.1	比托管法	121
5.1.2	笛形流量计	126
5.1.3	双扭线集流器	126
5.1.4	孔板流量计	127
5.1.5	喷嘴流量计	128
5.1.6	综合的测定实验	128
5.1.7	数据处理	130
5.1.8	问题讨论	133
5.2	通风系统局部构件(排风罩)性能测定	133
5.2.1	实验目的	133
5.2.2	实验原理	133
5.2.3	实验装置及仪器	137
5.2.4	实验方法与步骤	137
5.2.5	数据处理	137
5.2.6	问题讨论	140
5.3	粉尘真密度的测定	140
5.3.1	实验目的	140

5.3.2	实验原理	140
5.3.3	实验装置及仪器	141
5.3.4	实验方法与步骤	142
5.3.5	数据处理	142
5.3.6	问题讨论	143
5.4	粉尘质量分散度测定	143
5.4.1	实验目的	143
5.4.2	实验原理	143
5.4.3	实验装置及仪器	144
5.4.4	实验方法与步骤	145
5.4.5	数据处理	146
5.4.6	问题讨论	147
5.5	工作区空气含尘浓度的测定	147
5.5.1	实验目的	147
5.5.2	实验原理	147
5.5.3	实验装置及仪器	147
5.5.4	实验方法与步骤	148
5.5.5	数据处理	149
5.5.6	问题讨论	150
5.6	旋风除尘器性能测定	151
5.6.1	旋风除尘器性能测定(质量法)	151
5.6.2	旋风除尘器性能测定(浓度法)	158
6	空调工程实验与测定	171
6.1	气象条件测定	171
6.1.1	实验目的	171
6.1.2	实验原理	171
6.1.3	实验装置及仪器	171
6.1.4	实验方法与步骤	171
6.1.5	数据整理	172
6.1.6	问题讨论	173
6.2	空气调节机的性能测定	173
6.2.1	实验目的	173
6.2.2	实验原理	173
6.2.3	实验装置及仪器	174
6.2.4	实验方法	175
6.2.5	实验步骤	175

6.2.6	计算公式及数据整理	175
6.2.7	问题讨论	180
6.3	空气的热湿交换设备(喷水室)性能测定	180
6.3.1	实验目的	181
6.3.2	实验原理	181
6.3.3	实验装置及仪器	181
6.3.4	实验方法	182
6.3.5	实验步骤	182
6.3.6	计算公式及数据整理	183
6.3.7	问题讨论	187
6.4	空调系统送风量的调整测定	187
6.4.1	实验目的	187
6.4.2	实验原理	187
6.4.3	实验装置及仪器	189
6.4.4	实验方法	189
6.4.5	实验步骤	190
6.4.6	数据整理	191
6.4.7	问题讨论	191
6.5	空气加热器性能的测定	192
6.5.1	实验目的	192
6.5.2	实验原理	192
6.5.3	实验装置及仪器	193
6.5.4	实验方法	194
6.5.5	实验步骤	194
6.5.6	数据整理	195
6.5.7	问题讨论	197
7	工业锅炉实验与测定	198
7.1	燃料分析	198
7.1.1	燃煤的工业分析	198
7.1.2	煤的发热量测定	205
7.1.3	燃油燃气特性分析简介	221
7.2	烟气分析	221
7.2.1	实验原理	222
7.2.2	实验仪器及药液的配制	223
7.2.3	实验方法与步骤	223
7.2.4	测定结果计算	225

7.2.5	问题讨论	225
7.3	锅炉热平衡测定(或热效率试验)	226
7.3.1	试验原理	226
7.3.2	试验要求及测试项目	226
7.3.3	试验准备	228
7.3.4	试验方法	229
7.3.5	热工试验数据处理	232
7.3.6	锅炉热工试验报告的主要内容	246
7.3.7	锅炉热工试验计算举例	247
7.3.8	蒸汽湿度的测定	255
7.3.9	问题讨论	259
7.4	硬度、碱度及溶解氧的测定	259
7.4.1	硬度的测定	259
7.4.2	碱度的测定	262
7.4.3	溶解氧的测定	266
8	制冷工程实验与测定	271
8.1	制冷循环系统演示实验	271
8.1.1	实验目的	271
8.1.2	实验原理	271
8.1.3	实验装置及仪器	274
8.1.4	实验方法与步骤	274
8.1.5	问题讨论	275
8.2	压缩机制冷量的测定	275
8.2.1	实验目的	275
8.2.2	实验原理	275
8.2.3	实验装置及仪器	278
8.2.4	实验方法与步骤	278
8.2.5	数据处理	279
8.2.6	问题讨论	280
8.3	制冷装置变工况运行实验	280
8.3.1	实验目的	280
8.3.2	实验原理	280
8.3.3	实验装置	281
8.3.4	实验方法与步骤	281
8.3.5	问题讨论	281
9	建筑室内环境测量	282

9.1	室内声环境测量	282
9.1.1	室内噪声测量方法	283
9.1.2	测量仪器	284
9.2	室内光环境测量	286
9.2.1	室内光环境测量方法	286
9.2.2	测量仪器	288
9.3	室内环境污染物测定	288
9.3.1	气相色谱法测量气体成分	289
9.3.2	室内环境中苯及苯系物的测定	290
9.3.3	室内环境中甲醛的测定	292
9.3.4	室内环境中氨的测定	295
9.3.5	室内环境中TVOC的测定	298
9.3.6	室内环境中氡的测定	300
9.3.7	室内空气中可吸入颗粒物的测定	304
10	建筑环境与设备工程测试新技术简介	306
10.1	激光多普勒测速仪(LDV)测试技术	306
10.1.1	激光多普勒测速基本原理	306
10.1.2	激光多普勒典型测速系统	308
10.1.3	激光多普勒测速的信号处理	310
10.2	粒子图像速度场仪(PIV)测试技术	312
10.2.1	PIV测速的基本原理	312
10.2.2	PIV测试系统	313
10.2.3	粒子图像处理	316
10.3	粒子动态分析仪(PDA)简介	316
10.4	流动显示技术简介	318
10.5	红外热像仪测温技术	319
10.5.1	红外热像仪的发展	319
10.5.2	红外热像仪的原理与组成	320
10.5.3	探测器	321
10.5.4	使用效果的影响因素	322
10.6	建筑热工温度与热流巡回检测仪检测技术	323
10.6.1	GWX-100A精密温度巡回检测仪	323
10.6.2	JJW-Ⅱ型建筑热工温度与热流巡回检测仪	324
10.6.3	XMD系列数字智能巡回检测仪	325
	附录	327
	参考文献	334

1 常用测试仪表

1.1 常用仪表概述

在建筑环境与设备工程所涉及的供热、通风、空气调节、锅炉、制冷等的实验与测定中,需要测量大量的空气温湿度、烟气状态参数、冷热媒物理参数以及系统工况等,而完成这些参数及工况的测定需要比较精确的测量仪表和正确的使用方法。

按测量的参数分类,常用的建筑环境与设备工程测试仪表大体有:

1) 温度测量仪表:包括膨胀式温度计(液体、固体膨胀)、热电式温度计、电阻式温度计等。

2) 相对湿度测量仪表:包括普通干湿球温度计、通风干湿球温度计、毛发湿度计、电阻湿度计等。

3) 流速测量仪表:包括叶轮风速仪、卡他温度计、热电风速仪、测压管等。

4) 压力测量仪表:包括U形管压力计、单管式压力计、斜管式压力计、补偿式微压计、膜盒式压力计、弹簧管式压力计等。

5) 流量测量仪表:包括转子流量计、进口流量管(双纽线集流器)、孔板流量计、喷嘴流量计、涡轮流量计等。

6) 辐射热测量仪表:包括辐射热温计、单相辐射热计等。

7) 烟气测量仪表:包括奥氏气体分析仪、烟气测试仪等。

另外,常用的测量重量、时间及电工仪表等这里不再一一叙述。某些特殊用途的仪表将在有关的实验及测试中加以介绍。

各种测量仪表所测参数和仪表的结构与原理都不相同,而它们不论采用什么原理,其被测参数一般都要经过一次或多次的信号能量形式的转换,最后得到便于测量的信号能量形式,或指针摆动,或液面位移,或数字显示将被测参数表现出来。

为了保证测定的精确度,使仪表按技术要求工作,仪表应定期或使用前进行校验以确保其准确度和灵敏度。

我们在使用仪器仪表前,应仔细阅读有关产品样本及使用说明,以指导我们既能准确、顺利地完测定,又能保证仪表的正常工作。

1.2 温度测量仪表

1.2.1 温度的基本概念和测温仪表分类

物质受热程度用其温度表述,温度不能像长度、重量、时间等物理量能直接测

量,它是通过观察某些测温物质(如水银、热电偶等)在受热时物理性质的变化而间接确定的。温度常以符号 t 或 T 表示,单位分别为国际实用摄氏温标 $^{\circ}\text{C}$ 和绝对温度(热力学温度)的开氏温标 K ,两者的关系为

$$t = T - 273.15 \quad (1.1)$$

测定温度的仪表,当测量范围在 550°C 以下时叫做低温温度计,通称为温度计;在 550°C 以上时叫做高温温度计,通称为高温计。按照它们构成的物理性质和作用原理又可分为接触式(测温元件与被测物体接触)和非接触式(测温元件与被测物体不接触),其分类如表 1.1 所示。接触式测温仪表结构简单,成本低,精确可靠,但滞后性较大,测量上限低。非接触式测温仪表测量上限高,且可以测量运动中物体的温度,但误差较大。

表 1.1 温度测量仪表的原理和分类

测量方式	测量原理		温度测量仪表名称
接触式	体积或压力随温度变化	固体热膨胀	双金属温度计
		液体热膨胀	玻璃液体温度计 压力式(充液体)温度计
		气体热膨胀	压力式温度计
	热电势随温度变化	廉金属热电偶	铜-康铜、镍铬-镍硅热电偶等
		贵金属热电偶	铂铑-铂热电偶等
	电阻随温度变化	金属热电阻	铂、铜、镍电阻
半导体热敏电阻		锗、碳、金属氧化物等半导体热敏电阻	
非接触式	辐射测温	亮度法	光学高温计
		辐射法	辐射温度计(热电堆)

1.2.2 玻璃管液体温度计

液体温度计是由玻璃管内所充液体(如水银、酒精等)受热膨胀、受冷收缩来测量温度的。当周围温度变化时,玻璃管内的液体因体积变化而使液面上升或下降,这样就可以从标度尺上读出代表温度数值。它是膨胀式温度计的一种,是液体膨胀式温度计。

液体温度的变化引起的体积变化为

$$\Delta V = \alpha_v V \Delta t \quad (1.2)$$

式中: ΔV ——液体的体积变化, m^3 ;

α_v ——液体的体积膨胀系数, $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

V ——液体体积, m^3 ;

Δt ——液体温度变化, $^{\circ}\text{C}$ 。

通常水银温度计的测温范围为 $-30 \sim +700^{\circ}\text{C}$,酒精温度计的测温范围为

-100~+75℃。本专业测定多用水银温度计,下面重点加以介绍。

1. 水银温度计

常用的水银温度计如图 1.1 所示。它主要由温包、毛细管、膨胀器、标尺等组成。按结构不同分为棒式温度计[见图 1.1(a)]和内标式温度计[见图 1.1(b)]。

水银温度计刻度分度值有 2.0℃、1.0℃、0.5℃、0.2℃、0.1℃等,还有可用于高精度测量的分度值 0.05℃、0.02℃、0.01℃等。

水银温度计具有足够的精度且构造简单、价格便宜,所以应用相当广泛。它的缺点主要有:由于水银的膨胀系数小,致使其灵敏度较低;玻璃管易损坏,无法实现远距离测量;热惰性大等。

水银温度计的使用似乎很容易,其实许多人尤其初学者往往因使用不当,造成不应有的测量误差。使用水银温度计测温时应注意如下事项:

1) 按所测温范围和精度要求选择相应温度计,并进行校验。当所测温度不明时,宜用较高测温范围的温度计进行快速测量,密切注视液柱变化情况,从而确定被测温度范围,再选择合适的温度计。

2) 因为水银温度计的热惰性大,所以温度计一般应置于被测介质中 10~15min 后才能读数。

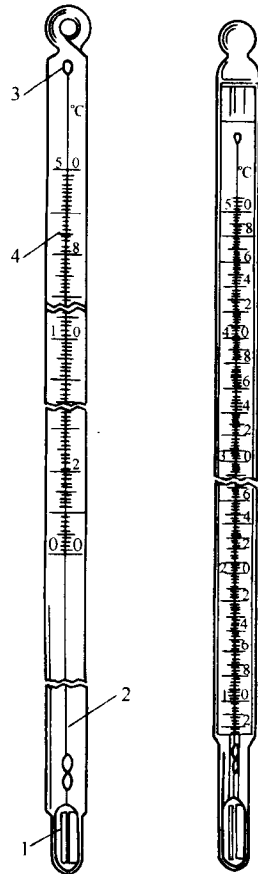
3) 观测温度值时,人体应离开温度计,更不要对着温包呼气,读数的一刻应屏住呼吸。有时因光线和角度等原因不得不用手扶持时,一定要扶持温度计的上部。

4) 为了消除人体温度对测温的影响,读数时要快,并且要先读小数后读大数。这是因为一般外界干扰的波动总是反映在小数的范围内。例如被测温度为 18.3℃,应先读 0.3℃,然后再读 18℃,这样较为准确。另外,读数时应使我们的眼睛和刻度线、水银面保持在一条直线上,以免因眼睛位置高低而产生读值的误差。

5) 有时温度计的水银柱会断开,形成断柱,此时可采取如下办法恢复:

① 冷却法。将温度计温包置于冰水中,使水银全部回到温包里,断柱即可消除。

② 加热法。将温包置于热水中慢慢加热,水银柱升高并进入膨胀器内,在水银



(a) 棒式温度计 (b) 内标式温度计

图 1.1 水银温度计

1. 温包; 2. 毛细管;
3. 膨胀器; 4. 标尺

柱升高的过程中断柱即可消除,这时应立即从热水中取出温度计。要注意的是水银不能充满膨胀器内,否则将胀坏温度计。

③ 冲击法。手握空拳用手指夹紧温包上部,温度计呈垂直状,在桌子边沿处将温包让出,用手掌部在桌子上冲击,断柱即可消除。冲击时力度要适当,并注意保护好温度计。

用以上方法消除断柱后,温度计应校验以后方可再用。

玻璃管水银温度计的校验通常在恒温水浴中进行。把它们的指示值与标准水银温度计的指示值作比较,给出修正值。校验装置如图 1.2 所示。

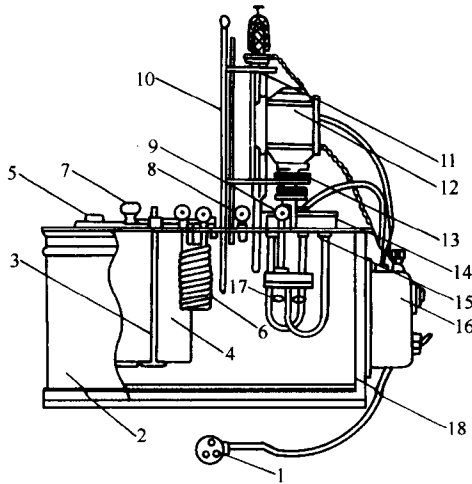


图 1.2 水浴恒温器结构简图

1. 电源插头;2. 筒体外壳;3. 恒温筒上下活动支架;4. 恒温筒;5. 恒温筒加水盖;
6. 冷凝管;7. 恒温筒盖子;8. 水泵进水口;9. 水泵出水口;10. 水银温度计;
11. 电接点水银温度计;12. 水泵电动机;13. 水泵;14. 电加热元件接线盒;
15. 电加热器(外附保护管);16. 电子继电器;17. 搅拌器;18. 保温层

2. 电接点式玻璃管水银温度计

电接点水银温度计是在普通水银温度计的基础上加两根电极接点制成的,其构造如图 1.3 所示。钨丝触点 7 烧结在温度计下部毛细管中与水银柱 6 接触作为电接点的固定端,钨丝 5 插在温度计上部毛细管中作为电接点的另一端。

电接点温度计大多做成可调式。可调式是上部那根钨丝可用磁钢来调节其插入毛细管的深度,即可调节控制的温度值。以恒定加热温度为例,当被加热介质的温度达到控制温度时,水银柱上升到该位置即与上部那根钨丝接触,由继电器控制使加热器停止工作,当温度下降低于控制温度时,水银柱下降与上部那根钨丝离开,由继电器控制使加热器投入工作,经反复动作,控制温度值保持在一个允许范围内。