

电机工程手册

第 44 篇 检 测 仪 表

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

电机工程手册

第 1 卷 电机工程

主编 王 明

中国电力出版社
北京 100088



中国电力出版社

电机工程手册

第44篇 检测仪表

(试 用 本)

机械工程手册

电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

编辑说明

(一) 我国自建国以来，机械工业在毛主席的革命路线指引下，贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验，同时采用国外先进技术，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式，数据、资料，关键问题以及发展趋向。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的，有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、

协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《电机工程手册》第44篇，由上海工业自动化仪表研究所主编，参加编写的有上海机械学院，西安工业自动化仪表研究所，北京分析仪器研究所等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明	44-Ⅱ
常用符号表	44-Ⅴ

第1章 温度测量仪表

1 概 述	44-1
2 1968年国际实用温标——1975年 修订版 及我国温标传递系统	44-2
2.1 1968年国际实用温标的符号和单位	44-2
2.2 1968年国际实用温标的内容	44-3
2.3 我国温标传递系统	44-6
3 双金属温度计	44-8
3.1 作用原理	44-8
3.2 分类	44-8
3.3 感温元件的计算	44-8
3.4 基本参数	44-8
3.5 结构	44-9
3.6 主要用途	44-9
4 压力式温度计	44-9
4.1 作用原理	44-9
4.2 分类	44-9
4.3 基本参数	44-10
4.4 结构	44-11
4.5 用途	44-11
4.6 使用注意事项	44-11
5 玻璃液体温度计	44-11
5.1 作用原理	44-11
5.2 分类	44-11
5.3 基本参数	44-12
5.4 结构特点和用途	44-13
6 热电阻	44-14
6.1 作用原理	44-14
6.2 分类	44-14
6.3 热电阻的电阻与温度的关系特性	44-14
6.4 基本参数	44-15
6.5 普通工业用热电阻的结构	44-16
6.6 铠装热电阻	44-16
6.7 专用热电阻	44-17
6.8 热电阻与显示仪表的连接	44-18

7 热电偶	44-18
7.1 作用原理	44-18
7.2 分类	44-19
7.3 热电偶的热电势与温度的关系特 性	44-19
7.4 热电偶材料、特点和用途	44-19
7.5 基本参数	44-21
7.6 普通工业用热电偶的结构	44-21
7.7 铠装热电偶	44-27
7.8 专用热电偶	44-30
7.9 补偿导线	44-31
8 低温温度计	44-32
8.1 概述	44-32
8.2 对低温温度计的要求	44-33
8.3 常用低温温度计的结构及基本参 数	44-33
8.4 低温热电偶	44-36
9 辐射测温法概要	44-36
9.1 辐射能的度量	44-36
9.2 黑体辐射基本定律	44-38
9.3 辐射测温法	44-38
10 光学高温计	44-40
10.1 原理和分类	44-40
10.2 隐丝式光学高温计	44-42
10.3 恒亮式光学高温计	44-44
10.4 影响光学高温计正确读数的主要 因素	44-45
11 辐射温度计 (热电堆)	44-46
11.1 原理和分类	44-46
11.2 辐射感温器	44-46
11.3 辐射感温器外接电阻	44-48
11.4 辅助装置	44-48
11.5 辐射温度计的正确瞄准	44-49
11.6 辐射温度计的发射率修正	44-49
12 部分辐射温度计	44-50
12.1 原理和分类	44-50
12.2 典型仪表的主要性能和应用范围	44-53
12.3 远程红外测温仪	44-56

12.4	红外线火源探测仪	44-57
12.5	红外线亮度测温仪	44-58
12.6	光电温度计	44-60
12.7	光电高温计	44-61
13	比色温度计	44-62
13.1	原理和分类	44-62
13.2	红外单通道比色温度计	44-64
13.3	单通道比色温度计	44-65
13.4	双通道比色温度计	44-66

第2章 压力测量仪表

1	概 述	44-67
1.1	压力及压力测量仪表	44-67
1.2	压力测量仪表的分类及比较	44-68
1.3	压力的度量单位及其换算	44-69
2	液柱式压力计	44-70
2.1	分类及比较	44-70
2.2	误差分析及修正计算	44-70
2.3	常用的工作液	44-71
2.4	使用维护要点	44-71
3	活塞式压力计	44-71
3.1	分类及比较	44-72
3.2	主要技术指标及修正计算	44-73
3.3	测量小压力时存在的问题	44-73
3.4	使用维护要点	44-73
4	弹性式压力表	44-73
4.1	分类及比较	44-74
4.2	弹性元件的特性及其选用	44-78
4.3	几种常用的传动机构	44-86
4.4	特殊条件下的压力测量	44-88
5	压力传感器	44-91
5.1	电位器式压力传感器	44-92
5.2	应变式压力传感器	44-92
5.3	霍尔式压力传感器	44-94
5.4	电感式压力传感器	44-95
5.5	振频式压力传感器	44-95
5.6	压阻式压力传感器	44-96
5.7	压电式压力传感器	44-97
5.8	电容式压力传感器	44-97

第3章 流量测量仪表

1	概 述	44-98
1.1	流量、总量和流量计	44-98
1.2	管流和雷诺数	44-99
1.3	流量计的选用	44-99
1.4	节流件的选用	44-103
2	流量测量用节流装置和差压计	44-104
2.1	差压流量计特点	44-104
2.2	差压流量计基本原理	44-104
2.3	节流装置的结构和设计计算	44-105
2.4	差压计	44-128
2.5	差压流量计安装和使用注意事项	44-134
3	转子流量计	44-136
3.1	特 点	44-136
3.2	原理和结构	44-136
3.3	刻度换算	44-137
3.4	安装使用须知	44-141
4	容积式计量表	44-141
4.1	特 点	44-141
4.2	原理和结构	44-141
4.3	特 性	44-144
4.4	安装使用须知	44-146
5	速度式叶轮计量表	44-146
5.1	特 点	44-146
5.2	水 表	44-146
5.3	涡轮流量计	44-146
6	靶式流量计	44-149
6.1	特 点	44-149
6.2	原理和结构	44-150
6.3	特 性	44-151
6.4	计算和标定	44-151
7	电磁流量计	44-152
7.1	特 点	44-152
7.2	原理和结构	44-152
7.3	转换器	44-153
7.4	几种特殊的电磁流量计	44-154
7.5	安装使用须知	44-154
8	旋涡流量计	44-154
8.1	特 点	44-154
8.2	旋进旋涡流量计	44-155

44-VI 目 录

8.3 涡轮流量计	44-155	3.3 浮力式液位仪表的性能	44-186
9 超声波流量计	44-157	4 差压式物位仪表	44-187
9.1 特 点	44-157	4.1 压力式物位仪表	44-187
9.2 原理和结构	44-157	4.2 差压式液位仪表	44-188
10 热式流量计	44-159	4.3 储罐液体称重仪	44-190
10.1 特 点	44-159	4.4 差压式物位仪表使用中的几个 问题	44-191
10.2 原理和结构	44-159	5 电学式物位仪表	44-191
11 质量流量计	44-162	5.1 电阻式物位仪表	44-191
11.1 概 述	44-162	5.2 电容式物位仪表	44-193
11.2 分 类	44-162	5.3 电感式液位仪表	44-197
11.3 原理和结构	44-162	6 声波式物位仪表	44-198
12 流量测量新技术和新型流量仪 表	44-167	6.1 声波的发射与接收	44-198
12.1 电容式流量计和电导率式流量计	44-167	6.2 特性、分类及工作原理	44-198
12.2 相关流量计	44-167	6.3 声波阻断式物位信号器 (声开关)	44-199
12.3 激光多普勒流速计	44-168	6.4 连续测量的声波式物位仪表	44-200
12.4 核磁共振流量计	44-169	7 核辐射式物位仪表	44-202
12.5 射流流量计	44-170	7.1 特 点	44-202
12.6 冲量式流量计	44-170	7.2 工作原理	44-202
13 流量测量和控制系统	44-172	7.3 连续测量的核辐射物位仪表	44-202
13.1 流量指示积算系统	44-172	7.4 辐射源的计算	44-203
13.2 流量记录系统	44-172	7.5 防 护	44-204
13.3 流量记录调节系统	44-172	8 射流和光学式物位仪表	44-204
13.4 空气与氧气流量配比调节系统	44-172	8.1 射流式液位仪表	44-204
13.5 多种流体的比例调节系统	44-172	8.2 光学式物位仪表	44-205
13.6 空气与燃油配比调节控制系统	44-173	9 其它类型物位仪表	44-206
13.7 定量装车控制系统	44-173	9.1 音叉式物位信号器	44-206
13.8 温度压力补偿系统	44-174	9.2 回转翼轮式料位信号器	44-207
13.9 应用计算装置实现流量配比控制 系统	44-174	9.3 重锤探测式料位计	44-207
14 流量计校验和校验装置	44-174	9.4 连续铸钢锭结晶器中钢水液位的 测量	44-208
14.1 流量计的校验	44-174	9.5 氦液位的测量	44-208
14.2 流量校验装置	44-175	9.6 微波式物位仪表	44-210
14.3 校验须知	44-180	10 相界面位置的测量	44-210

第 4 章 物位测量仪表

1 概 述	44-181
2 直读式液位仪表	44-181
3 浮力式液位仪表	44-182
3.1 浮子式液位仪表	44-182
3.2 浮筒式液位仪表	44-184

第 5 章 机械量测量仪表

1 概 述	44-212
1.1 机械量测量仪表的组成	44-213
1.2 机械量测量仪表的分类	44-213
2 位移测量仪表	44-213
2.1 位移传感器的分类与特性	44-213

2.2 模拟式位移传感器	44-214	2 热导式气体分析器	44-267
2.3 数字式位移传感器	44-224	2.1 工作原理	44-267
3 力测量仪表	44-231	2.2 测量线路	44-268
3.1 力的单位	44-231	2.3 热导池结构	44-269
3.2 力测量仪表的分类	44-232	2.4 热导式气体分析器的组成	44-270
3.3 压磁式测力仪	44-232	2.5 热导式气体分析器的应用	44-270
3.4 电阻应变式测力仪	44-235	3 磁式氧分析器	44-271
4 转矩测量仪表	44-238	3.1 气体的磁性	44-271
4.1 转矩测量仪表的基本原理和分类	44-238	3.2 测量方法	44-271
4.2 电阻应变式转矩测量仪	44-239	3.3 热磁式氧分析器	44-271
4.3 磁致伸缩式转矩测量仪	44-240	3.4 转子磁力机械式氧分析器	44-273
4.4 振弦式转矩测量仪	44-241	4 不分光吸收式分析仪器	44-274
4.5 光电式转矩测量仪	44-242	4.1 工作原理	44-274
4.6 相位差式转矩测量仪	44-242	4.2 仪器的组成	44-275
5 厚度测量仪表	44-244	4.3 红外线气体分析器	44-275
5.1 接触式电感测厚仪	44-244	4.4 紫外线分析器	44-277
5.2 高频涡流测厚仪	44-246	4.5 流程光电比色计	44-278
5.3 微波测厚仪	44-247	5 流程色谱仪	44-280
5.4 射线式测厚仪的基本原理和特性	44-247	5.1 色谱分析法的基本原理	44-280
5.5 β 射线测厚仪	44-249	5.2 流程气相色谱仪	44-281
5.6 X射线测厚仪	44-250	5.3 流程液相色谱仪	44-285
5.7 γ 射线测厚仪	44-252	6 电化学式分析仪器	44-286
6 转速测量仪表	44-253	6.1 流程酸度计及离子浓度计	44-286
6.1 转速-位移变换器	44-253	6.2 流程电导仪、盐量计和电磁浓度计	44-289
6.2 频闪法测速	44-254	6.3 电化学式氧分析器	44-291
6.3 测速发电机	44-255	7 湿度和水分测量仪器	44-293
6.4 转速传感器	44-255	7.1 湿度的基本概念	44-293
6.5 模拟式电子转速表	44-257	7.2 测量气体露点的湿度计	44-295
6.6 数字式电子转速表	44-257	7.3 测量气体中微量水蒸汽的仪器	44-296
7 振动测量仪表	44-257	7.4 测量空气相对湿度的仪器	44-298
7.1 加速度传感器	44-258	7.5 测量固体和液体水分的仪器	44-298
7.2 速度传感器	44-261	7.6 湿度计和水分计性能比较	44-299
7.3 位移传感器	44-263	7.7 湿度和水分测量仪器的应用	44-300
7.4 振动传感器的校准和选用	44-264	8 粘度测量仪器	44-300
第6章 流程分析仪器			
1 概 述	44-265	8.1 粘度的基本概念	44-300
1.1 分析仪器和流程分析仪器及其组成	44-265	8.2 流程粘度计	44-301
1.2 流程分析仪器的用途及分类	44-265	8.3 选择流程粘度计应考虑的问题	44-303
1.3 流程分析仪器的的发展	44-266	8.4 粘度计在工业中的应用	44-304
9 其它流程分析仪器	44-305	9 其它流程分析仪器	44-305
9.1 安全报警用自动分析仪器	44-305	9.1 安全报警用自动分析仪器	44-305
9.2 流程质谱计	44-306	9.2 流程质谱计	44-306

10 流程分析仪器的取样和预处理	11 数据处理装置
系统	11.1 定义及用途
10.1 取样系统的组成	11.2 种 类
10.2 取样及预处理原则	11.3 基本组成部分
10.3 取样探头	11.4 输出信息的形式
10.4 除尘与净化装置	11.5 基本功能
10.5 除湿装置	11.6 色谱仪用数据处理装置
10.6 减压与抽引装置	11.7 数据处理装置的发展
10.7 有害成分处理	附录 I 铂热电阻分度表 ($R_0 = 46 \Omega$)
10.8 流量调节指示	附录 II 铂热电阻分度表 ($R_0 = 100 \Omega$)
10.9 其它装置	附录 III 铜热电阻分度表 ($R_0 = 50 \Omega$)
10.10 连接管道	附录 IV 铜热电阻分度表 ($R_0 = 100 \Omega$)
10.11 典型的取样系统	参考文献

常用符号表

A ——截面积	Re ——雷诺数
B ——磁通密度	r ——半径
C ——电容	S ——距离、位移
D, d ——直径	T ——绝对温度
E ——电动势、弹性模量	t ——温度、时间
E_t ——热电势	U ——电压
F ——力	U_H ——霍尔电势
f ——频率	V ——体积
G ——重量、重量流量	v ——流速
H ——磁场强度、高度	W ——流体总量
I ——电流	γ ——重度
I_0 ——射线强度	ϵ ——发射率、介电常数
K ——应变灵敏系数	η ——动力粘度
M ——转矩、质量流量	λ ——波长
p ——压力	λ_e ——有效波长
Δp ——压差	μ ——粘度、磁导率
Q ——体积流量	ν ——运动粘度
R ——电阻	ρ ——密度、电阻率

第1章 温度测量仪表

1 概 述

温度是表示物体的冷热程度的一个物理量。为了测量温度必须确定温度基准值和温标。在理论上讲,物质的任何一种依温度而变化的性质都可以做为温标,也可以利用这些性质制成温度计。目前较常用的测量温度变化的物理性质主要有:体积或压

力的变化(气体、液体、固体的热膨胀);电阻的变化;两种金属(或非金属)接点处的热电势变化;热辐射效应等。此外还可以利用颜色、形状的变化,晶体共振频率的变化以及微波、核磁共振、激光等方法。

各种温度计按其测量方式可分为接触式和非接触式两大类,见表44·1-1。

表44·1-1 温度测量仪表的原理和分类

测量方式	测 量 原 理		温 度 仪 表 名 称
接 触 式	体 积 或 压力变化	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
	电阻变化	金属热电阻	铂、铜、镍、铑铁电阻等
		半导体热敏电阻	锗、碳、金属氧化物等半导体热敏电阻
	热 电 势 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、铂铑-铂铑热电偶等
		难熔金属热电偶	钨-铼、钨-钼热电偶等
		非金属热电偶	碳化物-硼化物热电偶等
	非接触式	辐射测温	亮度法
全辐射法			辐射温度计(热电堆)
比色法			比色温度计
部分辐射法			部分辐射温度计

接触式温度计的检测部分与被测对象有良好的热接触,通过传导或对流达到热平衡,这时,温度计的示值即表示被测对象的温度。在一定的测温范围内,接触式测温可以测量物体内部的温度分布。但对于运动体、小目标或热容量小的对象,接触式测温将会引起较大的测量误差。

非接触式温度计的检测部分与被测对象互不接触。目前最常用的是通过辐射热交换实现测温。其主要特点是可测运动体、小目标及热容量小的或温度变化迅速(瞬变)对象的表面温度,也可以测温度场的温度分布。

表44·1-2 温度测量仪表的精度等级和分度值

仪 表 名 称	精 度 等 级	分 度 值 ℃
双金属温度计	1, 1.5, 2.5	0.5~20
压力式温度计	1, 1.5, 2.5	0.5~20
玻璃液体温度计	0.5~2.5	0.1~10
热 电 阻	0.5~3	1~10
热 电 偶	0.5~1	5~20
光学高温计	1~1.5	5~20
辐射温度计(热电堆)	1.5	5~20
部分辐射温度计	1~1.5	1~20
比色温度计	1~1.5	1~20

工业上常用的温度测量仪表的精度等级和分度值见表 44-1-2。其测温范围如图 44-1-1 所示, 图中标志的“可能范围”, 对于接触式温度计 (图的上半部分) 系指根据测温原理有可能达到的测温范围; 对于非接触式温度计系指目前分度方法能够实现的测温范围。

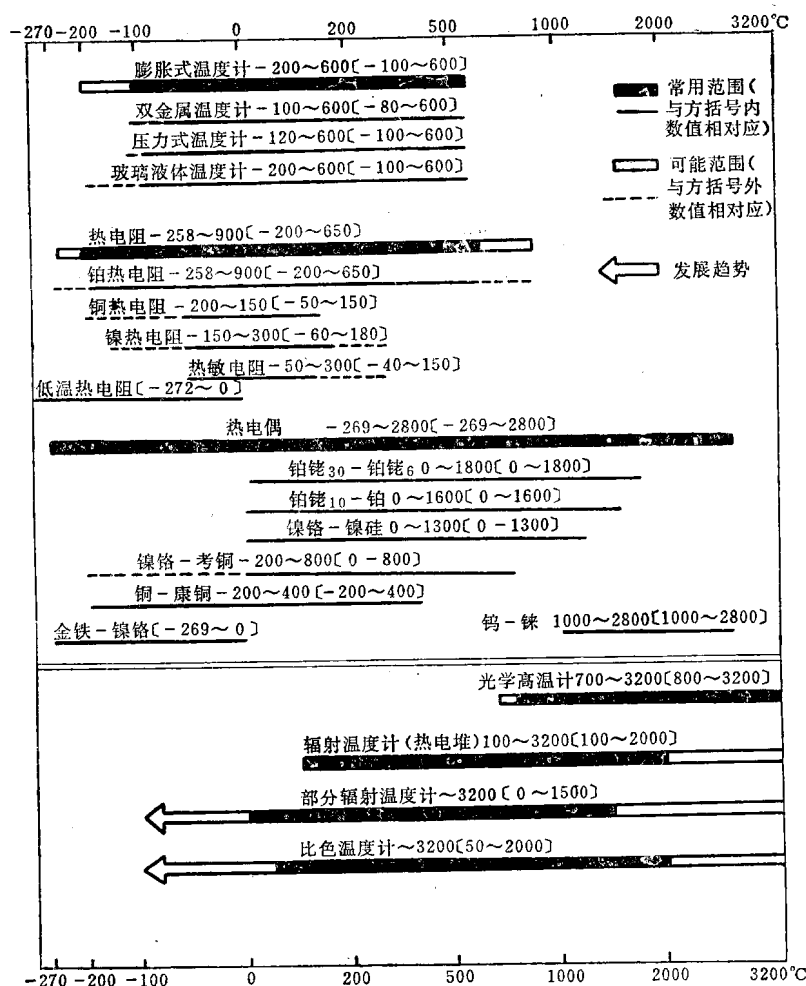


图 44-1-1 温度测量仪表的测温范围

2 1968年国际实用温标——1975年修订版 及我国温标传递系统

在温度测量中, 实际上采用的温标主要有两种, 即热力学温标与国际实用温标。热力学温标以热力学第二定律为基础, 是理想状况下的理论温标, 它是国际实用温标的基础, 国际实用温标是为了统一温度量值和进行温标的传递而建立的。目前在国际

间通用的温标是1975年第十五届国际权度大会通过的《1968年国际实用温标——1975年修订版》, 下面介绍它的主要内容。

2.1 1968年国际实用温标的符号和单位

1968年国际实用温标——1975年修订版规定:

“热力学温度”这个基本物理量的符号是 T , 单位是开尔文, 符号是 K , 开尔文定义为水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。

此外, 温度也往往用“摄氏温度”来表示。摄氏温度的符号是 t , 单位是摄氏度, 符号是 $^{\circ}C$ 。 T 和 t 的关系定义为:

$$t = T - 273.15 K$$

(44-1-1)

根据这个定义, 热力学温度与摄氏温度的区别仅在于零点的不同, 开尔文与摄氏度在量值上是相等的。

但是, 直接测量热力学温度既困难, 又不准确。为此, 制订出1968年国际实用温标; 根据这个实用温标测出的温度, 在数值上十分接近于热力学温度, 而且它的测量既容易进行, 复现性又高, 1968年国际实用温标简称 IPTS-68 $\ominus$ 。

IPTS-68 并行使用“国际实用开尔文温度”, 符号是

T_{68} , 以及“国际实用摄氏温度”, 符号是 t_{68} 。 T_{68} 和 t_{68} 的关系是:

$$t_{68} = T_{68} - 273.15 K \quad (44-1-2)$$

T_{68} 的单位是开尔文, 符号是 K , t_{68} 的单位是摄氏度, 符号是 $^{\circ}C$ 。

$\ominus$ IPTS 系国际实用温标的英文名称 (International Practical Temperature Scale) 缩写。

2.2 1968年国际实用温标的内容

IPTS-68 包括两方面的内容：对一些纯物质的可复现的平衡态的温度规定指定值，并称为“定义固定点”；对于定义固定点之间的温度，则规定了标准内插工具和内插公式，这些标准内插工具在定义固定点标定后，通过内插公式把它们的示值与国

际实用温度值联系起来。

2.2.1 定义固定点和第二类参考点

定义固定点列于表44.1-3中。

除表 44.1-3 列出的 IPTS-68 定义固定点外，其它参考温度也可利用。其中一些列于表 44.1-4 中，这些点称为第二类参考点。

表44.1-3 IPTS-68定义固定点①

平 衡 态	国际实用温标的指定值	
	T_{68} K	t_{68} °C
平衡氢固相、液相、汽相间的平衡(平衡氢三相点)②	13.81	-259.34
平衡氢在33330.6帕压力下(25/76标准大气压)液相、汽相间的平衡②③	17.042	-256.108
平衡氢液相、汽相间的平衡(平衡氢沸点)②③	20.28	-252.87
氦液相、汽相间的平衡(氦沸点)③	27.102	-246.048
氧固相、液相、汽相间的平衡(氧三相点)	54.361	-218.789
氙固相、液相、汽相间的平衡(氙三相点)④	83.798	-189.352
氧液相、汽相间的平衡(氧冷凝点)③④	90.188	-182.962
水固相、液相、汽相间的平衡(水三相点)	273.16	0.01
水液相、汽相间的平衡(水沸点)⑤	373.15	100
锡固相、液相间的平衡(锡凝固点)⑤	505.1181	231.9681
锌固相、液相间的平衡(锌凝固点)	692.73	419.58
银固相、液相间的平衡(银凝固点)	1235.08	961.93
金固相、液相间的平衡(金凝固点)	1337.58	1064.43

① 除各三相点和一个平衡氢(17.042K)以外，温度的指定值均指在压强 $p_0 = 101325$ 帕(一个标准大气压)的平衡态。压力对温度值有一定的影响，同时，不同的同位素丰度也能显著地影响固定点的温度。

② 氢有两种分子变态，分别以“正”和“仲”加在氢字的前面来表示。正一仲混合的平衡成分与温度有关，在室温下，75%的正氢和25%的仲氢叫“正常氢”，在液化或沸点时，成分随时间而缓慢地变化，而物理性质也有相应的变化。这里所写的平衡氢，就是指在相关的温度下，氢已具有平衡的正一仲成分。

③ 同位素或杂质的分离，要求氢、氦使用沸点(近消失的少量蒸汽成分)，氧使用冷凝点(近消失的少量液体成分)。

④ 氙三相点可作为氧冷凝点的替用点。

⑤ 锡凝固点可作为水沸点的替用点。

表44.1-4 第二类参考点①

平 衡 态②	国际实用温度	
	T_{68} K	t_{68} °C
正常氢固相、液相、汽相间的平衡(正常氢三相点)	13.956	-259.194
正常氢液相、汽相间的平衡(正常氢沸点)	20.397	-252.753
$\lg \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + CT_{68} + DT_{68}^2$ $A = 1.734791; B = -44.62368K$ $C = 0.0231869K^{-1}; D = -0.000048017K^{-2}$ 适用于13.956~30K		
氮固相、液相、汽相间的平衡(氮三相点)	24.561	-248.589
$\lg \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + CT_{68} + DT_{68}^2$ $A = 4.61152; B = -106.3851K$ $C = -0.0368331K^{-1}; D = 4.24892 \times 10^{-4}K^{-2}$ 适用于24.561~40K		

(续)

平 衡 态②	国际实用温度	
	T_{68} K	t_{68} °C
氮固相、液相、汽相间的平衡(氮三相点)	63.146	-210.004
氮液相、汽相间的平衡(氮沸点)	77.344	-195.806
$\lg \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + C \lg \frac{T_{68}}{T_0} + DT_{68} + ET_{68}^2$ $A = 5.893271; B = -403.96046\text{K}; C = -2.3668$ $D = -0.0142815\text{K}^{-1}; E = 72.5872 \times 10^{-6}\text{K}^{-2}; T_0 = 77.344\text{K}$ 适用于63.146~84K		
氩液相、汽相间的平衡(氩沸点)	87.294	-185.856
氧液相、汽相间的平衡		
$\lg \frac{p}{p_0} = A + \frac{B}{T_{68}} + C \lg \frac{T_{68}}{T_0} + DT_{68} + ET_{68}^2$ $A = 5.961546; B = -467.45576\text{K}; C = -1.664512$ $D = -0.01321301\text{K}^{-1}; E = 50.8041 \times 10^{-6}\text{K}^{-2}; T_0 = 90.188\text{K}$ 适用于54.361~94K		
二氧化碳固相、汽相间的平衡(二氧化碳升华点)	194.674	-78.476
$T_{68} = \left[194.674 + 12.264 \left(\frac{p}{p_0} + 1 \right) - 9.15 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 \right] \text{K}$ 适用于194~195K		
汞固相、液相间的平衡(汞凝固点)③	234.314	-38.836
冰和空气饱和水的平衡(冰点)④	273.15	0
苯氧基苯(二苯醚)固相、液相、汽相间的平衡(苯氧基苯三相点)	300.02	26.87
苯甲酸固相、液相、汽相间的平衡(苯甲酸三相点)	395.52	122.37
铟固相、液相间的平衡(铟凝固点)③	429.784	156.634
铋固相、液相间的平衡(铋凝固点)③	544.592	271.442
镉固相、液相间的平衡(镉凝固点)③	594.258	321.108
铅固相、液相间的平衡(铅凝固点)③	600.652	327.502
汞液相、汽相间的平衡(汞沸点)	629.81	356.66
$t_{68} = \left[356.66 + 55.552 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 23.03 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 14.0 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] ^\circ\text{C}$ 适用于 $p = 90 \sim 104$ 千帕		
硫液相、汽相间的平衡(硫沸点)	717.824	444.674
$t_{68} = \left[444.674 + 69.010 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 27.48 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 19.14 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3 \right] ^\circ\text{C}$ 适用于 $p = 90 \sim 104$ 千帕		
铜-铝共晶点固相、液相间的平衡	821.41	548.26
铈固相、液相间的平衡(铈凝固点)③	903.905	630.755
铝固相、液相间的平衡(铝凝固点)	933.61	660.46
铜固相、液相间的平衡(铜凝固点)	1358.03	1084.88
镍固相、液相间的平衡(镍凝固点)	1728	1455
钴固相、液相间的平衡(钴凝固点)	1768	1495
钼固相、液相间的平衡(钼凝固点)	1827	1554
铂固相、液相间的平衡(铂凝固点)	2042	1769
铱固相、液相间的平衡(铱凝固点)	2236	1963
氧化铝固相、液相间的平衡(氧化铝一熔化温度)	2327	2054
铋固相、液相间的平衡(铋凝固点)	2720	2447
铈固相、液相间的平衡(铈熔化温度)	2750	2477
钼固相、液相间的平衡(钼熔化温度)	2896	2623
钨固相、液相间的平衡(钨熔化温度)	3695	3422

① 列于本表中的温度乃是较常用的值,目前尚未评价这些温度的准确度水平,今后待国际计量委员会随时公布。

② 本表中除三相点和那些有明确允许的压力范围外,平衡态均指 $p_0 = 101325$ 帕(一个标准大气压)下的状态。

③ 压力变化影响凝固点温度。

④ 冰点是一个低于并非常接近于水三相点0.01K的温度。

2.2.2 标准内插工具和定义固定点之间的内插公式

整个温标分成四段。其中,在1064.43℃(金凝固点)以上的温度范围,由黑体辐射普朗克公式决定温度;630.74~1064.43℃由铂铑-铂热电偶决定温

度;630.74℃以下至13.81K,由铂电阻温度计决定温度。值得注意的是630.74℃以下的温度范围内,虽然标准内插工具相同,但0℃以上和0℃以下的内插公式并不一样。上述四段范围内所用的标准内插工具和内插公式见表44.1-5。

表44.1-5 标准内插工具和内插公式

标准内插工具	温度范围	内插公式	说明
铂电阻温度计	13.81~273.15K (0℃)	$W(T_{68}) = W_{\text{CCT-68}}(T_{68}) + \Delta W_i(T_{68})$	1. $W(T_{68}) = \frac{R(T_{68})}{R(273.15\text{K})}$ 电阻比的测量值 2. $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 由参考函数①给出,它表示特定铂的电阻比与温度的关系,各个固定点温度所对应的 $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 见表44.1-5(a) 3. $\Delta W_i(T_{68})$ 为偏差函数, $\Delta W_i(T_{68}) = W(T_{68}) - W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$,在不同的温度范围内,偏差函数有不同的表示式,如表44.1-5(b)所示
	0~630.74℃	$t_{68} = t' + 0.045 \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} \right) \times \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419.58^\circ\text{C}} - 1 \right) \times \left(\frac{t'}{630.74^\circ\text{C}} - 1 \right)^\circ\text{C}$	1. t' 是为了计算方便而引进的中间变量 $t' = \left\{ \frac{1}{\alpha} [W(t') - 1] + \delta \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} - 1 \right) \right\}^\circ\text{C}$ 式中 α, δ 均为常数; $W(t') = \frac{R(t')}{R(0^\circ\text{C})}$ 电阻比的测量值 2. t' 的表示式中 $\alpha, \delta, R(0^\circ\text{C})$ 由水的三相点、水沸点(或锡凝固点)和锌凝固点的电阻实测值决定
铂铑-铂标准热电偶	630.74~1064.43℃	$E(t_{68}) = a + bt_{68} + ct_{68}^2$	1. $E(t_{68})$ 是标准铂铑-铂热电偶一端温度为0℃,另一端为 t_{68} 时的热电势 2. 常数 a, b, c 分别根据热电偶在 $630.74 \pm 0.2^\circ\text{C}$ (温度值由铂电阻温度计测出),及银、金凝固点测得的 E 值决定,其中规定: $E(\text{Au}) = 10334 \pm 30 \mu\text{V}$, $E(\text{Au}) - E(\text{Ag}) = 1186 \mu\text{V} + 0.17[E(\text{Au}) - 10334 \mu\text{V}] \pm 3 \mu\text{V}$, $E(\text{Au}) - E(630.74) = 4782 \mu\text{V} + 0.631[E(\text{Au}) - 10334 \mu\text{V}] \pm 5 \mu\text{V}$ 3. 铂丝纯度为 $W(100^\circ\text{C}) \geq 1.3920$,铂丝名义上应含铑10%、铂90%(质量比)
	1064.43℃以上	$\frac{L_b(\lambda, T_{68})}{L_b[\lambda, T_{68}(\text{Au})]} \frac{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_{68}(\text{Au})}\right] - 1}{\exp\left[\frac{c_2}{\lambda T_{68}}\right] - 1}$	1. 该公式②是由黑体辐射普朗克公式导出, IPTS-68 对 1064.43℃以上的温度并无规定标准工具,实际复现时可采用光学高温计、光电光谱高温计等 2. $L_b(\lambda, T_{68})$ 和 $L_b[\lambda, T_{68}(\text{Au})]$ 分别表示温度为 T_{68} 及金凝固点处,波长为 λ (真空中的数值)的黑体光谱辐射亮度 3. $c_2 = 1.4388 \text{cm} \cdot \text{K}$ (第二辐射常数)

① $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 是由参考函数: $T_{68} = \sum_{j=0}^{20} a_j \left(\frac{\ln W_{\text{CCT-68}}(T_{68}) + 3.28}{3.28} \right)^j$ K 计算得到,其中系数 a_j 的数值可从

参考文献[7]中查找。 $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 的下标“CCT”是温度咨询委员会(Comité Consultatif de Thermométrie)法文缩写。

② 在 IPTS-68 的有关文献中,黑体辐射亮度之比写作: $\frac{L_\lambda(T_{68})}{L_\lambda(T_{68}(\text{Au}))}$,本章中考虑前后各节写法一致,改写为 $\frac{L_b(\lambda, T_{68})}{L_b[\lambda, T_{68}(\text{Au})]}$ 。

表44·1-5(a) 定义固定点温度对应的 $W_{\text{CCT-88}}(T_{88})$ 值

定 义 固 定 点	T_{88} K	t_{88} °C	$W_{\text{CCT-88}}(T_{88})$ 值
平衡氢三相点	13.81	-259.34	0.00141208
平衡氢17.042K点	17.042	-256.108	0.00253445
平衡氢沸点	20.28	-252.87	0.00448517
氮 沸 点	27.102	-246.048	0.01221272
氧三相点	54.361	-218.789	0.09197253
氩三相点	83.798	-189.352	0.21605705
氧 凝 点	90.188	-182.962	0.24379912
冰 点	273.15	0	1
水 沸 点	373.15	100	1.39259668

表44·1-5(b) 在不同的温度范围内偏差函数表示式

温 度 范 围 K	偏差函数 $\Delta W_i(T_{88})$ 的表示式	确 定 常 数 的 方 法
90.188~273.15	$\Delta W_4(T_{88}) = b_4(T_{88} - 273.15 \text{ K})$ $+ e_4(T_{88} - 273.15 \text{ K})^3(T_{88} - 373.15 \text{ K})$	常数 b_4 、 e_4 由氧冷凝点(或氩三相点)和水沸点测出的偏差确定
54.361~90.188	$\Delta W_3(T_{88}) = A_3 + B_3 T_{88} + C_3 T_{88}^2$	常数 A_3 、 B_3 、 C_3 由氧三相点、氧凝固点(或氩三相点)测出的偏差以及偏差函数 $\Delta W_4(T_{88})$ 在氧凝固点处的一阶导数确定
20.28~54.361	$\Delta W_2(T_{88}) = A_2 + B_2 T_{88} + C_2 T_{88}^2 + D_2 T_{88}^3$	常数 A_2 、 B_2 、 C_2 、 D_2 由平衡氢沸点、氮沸点和氧三相点测出的偏差以及偏差函数 $\Delta W_3(T_{88})$ 在氧三相点处的一阶导数确定
13.81~20.28	$\Delta W_1(T_{88}) = A_1 + B_1 T_{88} + C_1 T_{88}^2 + D_1 T_{88}^3$	常数 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 由平衡氢三相点、17.042K点和平衡氢沸点测出的偏差以及偏差函数 $\Delta W_2(T_{88})$ 在平衡氢沸点处的一阶导数确定

2·3 我国温标传递系统

测量物体温度时,被测对象的温度值是由国际温标确定的 $\ominus$ 。温标的传递过程是将国际温标所定义的固定点通过标准内插工具和内插公式使国际实用温度值与标准仪器的示值相一致,并逐级传递到被分度的温度仪表。我国温标传递系统大致如图44·1-2所示,其中工业温度测量仪表检定时所采用

的高一等标准温度计,目前尚无统一规定。

我国于1973年1月1日开始正式采用1968年国际实用温标,在此以前使用的是48温标(1960年修订版)。

$\ominus$ 温度值可采用 T_{88} 或者 t_{88} 表示,但为了书写方便,在以后各节中,温度值直接以 T (开尔文)或者 t (摄氏度)表示,并简写为 T K或者 t °C。

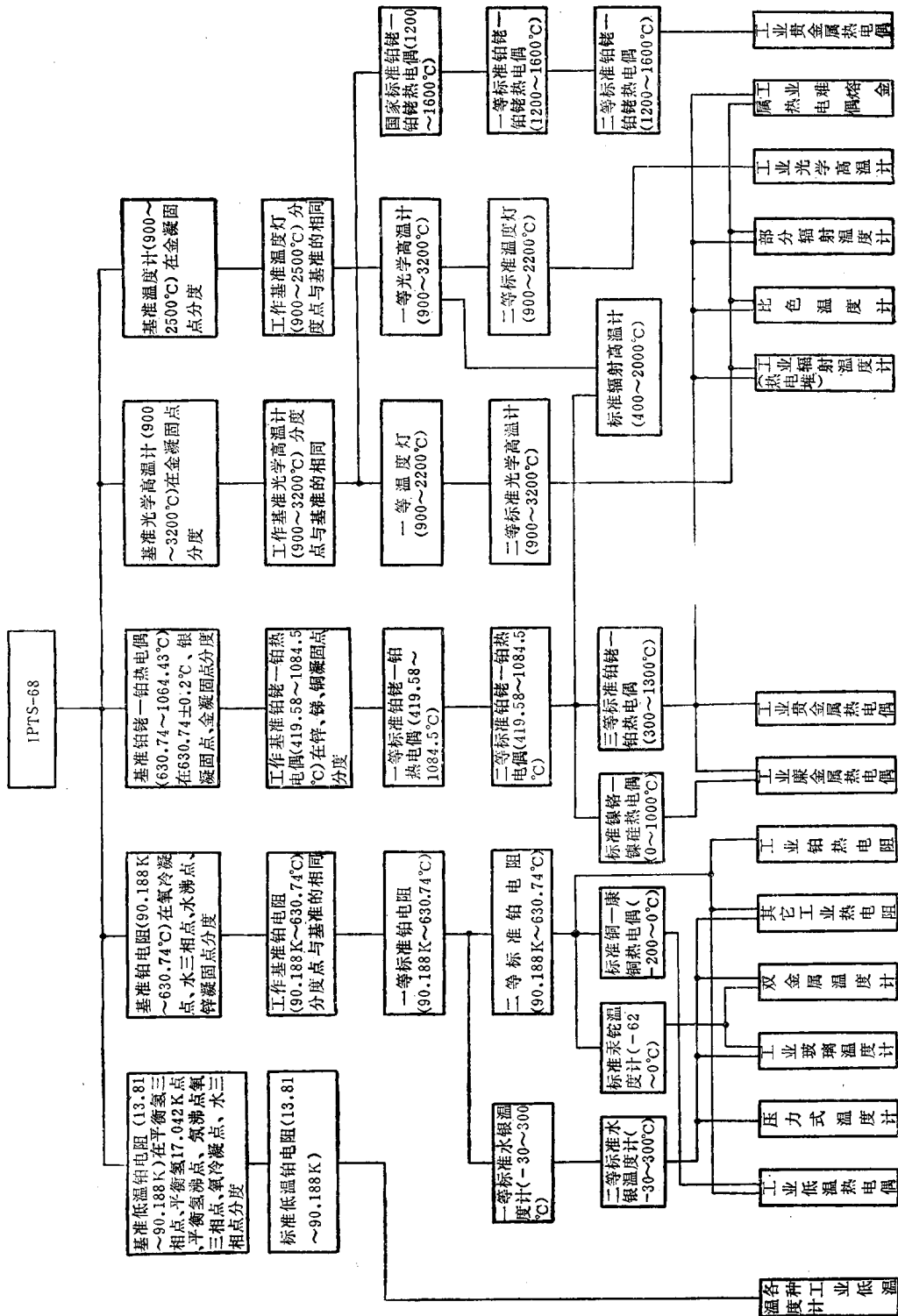


图44-1-2 我国温标传递系统

注：图中最下面一行仪表是工业用的温度测量仪表。若该仪表有其它精度等级（基准、标准、一等、二等、三等），则名称上附加“工业”二字，以示区别。