

高等专科学校试用教材

测温仪表与感应加热装置

陈特夫 编

机械工业出版社

1.07

GAOZHUANJIAOCAI

测温仪表与感应加热装置

陈特夫 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $15\frac{3}{4}$ · 字数 385 千字

1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷

印数 0,001—7,000 · 定价2.50元

*

统一书号: 15033·5845

前 言

本书是高等专科学校金属热处理专业的试用教材，是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生、学制为三年的教学大纲组织编写的。

全书内容包括两大部分，分七章讲完，每章后面附有习题。前五章内容主要讲测温仪表和炉温调节。测温仪表以热电偶、动圈式温度仪表和电子电位差计为主，在介绍结构和基本工作原理的基础上，着重加强了仪表的选择、使用、维修和现场检定等知识。炉温自动调节一章阐述了位式和连续调节规律和电路原理，并介绍了位式温度调节精度的改善和炉温调节方案选择方面的内容。此外，根据专业需要，对压力、流量和碳势测量仪表，亦列为一章作了适当介绍。第二部分内容为感应加热装置，分高频和中频两章讲完。以电子管式高频装置和机式中频感应加热装置为主阐述了电路基本原理，分析了电参数的调整 and 影响因素，也适当介绍了设备的选择、使用和调试的知识。

本书亦适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供金属热处理专业的工程技术人员参考。

本书由陈特夫编写，由劳天福主审。孙乃圣、张国梁、蔡晓仑、张静等参加集体审稿。

本书在编写过程中，曾得到辽宁电子设备厂夏越良、洛阳拖拉机厂沈庆通的指教和帮助，此外，西安仪表厂、西安热工仪表研究所、上海大华仪表厂、上海自动化仪表三厂和六厂、北京电子管厂、湘中仪表厂、天津高频设备厂等单位也给予了热情支持。在此，对所有为本书的审阅提出宝贵意见和在编写出版过程中给予热情支持的单位和个人，表示衷心感谢！

限于作者水平，编写又仓促，书中一定有不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

1983. 11. 于北京

目 录

第一章 概述	1	四、XCZ-102型动圈式仪表特点	49
§ 1-1 自动化仪表的分类及组成	1	§ 2-6 电子电位差计	50
一、按测量参数分类	1	一、电子电位差计的组成和原理	50
二、按仪表功能分类	2	二、电子电位差计的测量桥路	52
三、按仪表结构形式分类	3	三、JF-12型晶体管放大器	56
§ 1-2 测量误差及其表示方法	3	四、可逆电机和同步电机	62
一、绝对误差	4	五、电子电位差计的抗干扰问题	65
二、相对误差	4	六、电子电位差计的结构	68
三、基本误差和基本误差限	4	七、电子电位差计的选择、安装调 试和维护	72
§ 1-3 测量仪表的质量指标	5	八、电子电位差计的常见故障及其判断	79
一、精确度和精密度等级	5	§ 2-7 电子平衡电桥	83
二、灵敏度	5	一、平衡电桥测量桥路的基本原理	83
三、死区和回差	6	二、电子平衡电桥实际测量电路	84
四、时间常数和响应时间	6	三、电子平衡电桥的选用	85
第二章 测温仪表	8	§ 2-8 辐射式高温计	85
§ 2-1 温度、温标及测温仪表的分类	8	一、辐射测温的理论基础	86
一、温度	8	二、光学高温计	87
二、温标	8	三、光电高温计	89
三、测温仪表的分类	10	四、全辐射高温计	90
§ 2-2 膨胀式和压力式温度计	11	五、光电比色高温计	93
一、膨胀式温度计	11	第三章 测温仪表的检定、选择及 测温技术	99
二、压力式温度计	15	§ 3-1 常用测温仪表的检定	99
§ 2-3 热电偶	16	一、直流电位差计及其配套仪器	99
一、概述	16	二、热电偶的检定方法	105
二、热电偶的测温原理	16	三、动圈式温度指示仪指示误差的检 定方法	106
三、标准化热电偶的种类	20	四、电子电位差计的检定方法	107
四、热电偶的结构及类型	22	五、测温系统总误差计算方法	108
五、热电偶冷端温度的补偿	30	六、测温仪表的成套检定方法	108
六、热电偶的选择、安装和使用	33	§ 3-2 各类测温仪表的比较及选用原则	109
七、热电偶的故障与维修	35	一、各类测温仪表的比较	109
§ 2-4 热电阻	37	二、热处理用测温仪表的选择	109
一、铂电阻	38	§ 3-3 热处理温度测量技术	113
二、铜电阻	40	一、常用热处理炉温度的测量	113
三、热敏电阻	41	二、感应加热工件的测温	116
§ 2-5 动圈式温度指示仪	42	三、离子氮化炉温度的测量	117
一、测温原理	43		
二、仪表的结构	44		
三、仪表常见故障及排除措施	48		

四、固体表面温度的测量	118	§ 6-3 电子管振荡器	196
五、淬火介质冷却能力的测定	119	一、振荡管及其放大作用	196
六、温差的测量	120	二、电子管自激振荡器原理	199
第四章 热处理炉温的自动调节	122	三、电子管振荡器的工作状态及其调整	204
§ 4-1 炉温的位式调节	122	四、电子管振荡器实际电路	209
一、位式调节规律	122	§ 6-4 保护装置、监视装置和控制电路	214
二、XCT 型动圈式温度位式调节仪表	125	一、保护装置	214
三、热处理炉炉温位式调节线路	136	二、监视装置	216
§ 4-2 炉温的连续调节	141	三、控制电路和开机程序	216
一、比例、积分、微分调节规律及其 实现方法	141	四、闭机程序	219
二、电动 PID 调节器简介	146	§ 6-5 高频感应加热装置的安装、调试 和维护	219
三、温度连续调节用执行器和调节线路	149	一、高频感应加热装置的结构	219
第五章 其它测量仪表	159	二、安装要求	219
§ 5-1 压力测量仪表	159	三、调试	221
一、液柱式压力计	159	四、维护常识	224
二、弹性式压力计	161	§ 6-6 感应加热装置的选择	225
三、真空计	163	一、感应加热装置电流频率的选择	225
§ 5-2 流量测量仪表	164	二、感应加热装置功率的确定	227
一、毕托管	165	第七章 中频感应加热装置	230
二、节流装置	165	§ 7-1 中频发电机感应加热装置	230
三、转子流量计	167	一、概述	230
§ 5-3 碳势测量仪表和碳势调节装置	170	二、中频发电机的结构原理	231
一、测量和调节碳势的基本原理	170	三、中频发电机电路原理	232
二、露点仪	171	四、中频淬火变压器和中频电热电容器	234
三、红外线 CO ₂ 分析和调节仪	175	五、电容量和匝比的选择和调整	234
四、氧探头	179	§ 7-2 晶闸管中频电源	236
第六章 高频感应加热装置	182	附表	240
§ 6-1 概述	182	附表 1 铂铑 10-铂热电偶分度表	240
§ 6-2 可控整流器	184	附表 2 镍铬-镍硅热电偶分度表	242
一、闸流管	184	附表 3 镍铬-考铜热电偶分度表	245
二、闸流管栅极电压的控制	186	附表 4 铂热电阻分度表 ($R_0 = 100.00\Omega$)	246
三、三相可控整流器实际电路	192	附表 5 铜热电阻分度表 ($R_0 = 100\Omega$)	247
四、高压硅整流器	195	主要参考文献	247

第一章 概 述

对工业生产过程中的温度、压力、流量、物位、成分等参数进行测量的仪表统称为工业自动化仪表。

工业自动化是实现工业现代化的重要标志，自动化仪表则是实现生产过程自动化所必须的信息工具，被喻为工业的眼睛。它在工业生产中起着检测、监视、记录、调节、控制和管理的作用，这对于保证产品质量，提高劳动生产率、降低能耗、保证安全生产和改善劳动条件有着十分重要的意义。

工业自动化仪表被广泛应用于冶金、机械、电力、石油、化工、轻工和食品等工业部门。在金属材料及热处理领域中，自动化仪表亦不可缺少。研制新材料，制定新工艺，设计制造新设备，必须使用温度、成分、压力和流量等测量与控制仪表，以获得必要的参数；在热处理生产上，工件在各种加热炉中的加热速度、加热温度、保温时间和冷却速度，都需要用测温仪表进行检测和控制，以保证按预定的最佳工艺过程进行生产；在可控气氛热处理上，必须配备碳势仪表，以测定和控制炉内的碳势；真空热处理炉上，必须借助真空计，以测定和控制真空度。

工业自动化仪表是随着科学技术和工业的发展而发展的，而工业自动化仪表的发展又反过来促进科学技术和工业的发展。本世纪四十年代，自动化仪表处于初期发展阶段，仪表体积大，表内装有调节机构，只能进行单参数的就地检测和就地调节。四十年代末至五十年代初，普遍使用气动仪表和集中控制仪表盘，开始进入机组的集中控制。五十年代至六十年代，出现了统一信号的气动及电动单元组合仪表和巡回检测装置，仪表尺寸趋于小型化，自动化的水平提高到由中央控制室进行的集中控制。到六十年代后期，为适应工业发展的要求，自动化仪表已与电子计算机连用，将企业管理与工厂的信息处理、过程控制紧密地结合起来，实现了综合自动化。特别是七十年代以来，以大规模集成电路为基础的微处理器和微型电子计算机的出现，使工业自动化进入了一个新的时代。它作为智能部件已应用于自动化仪表中，使自动化仪表装置微型化、智能化、灵巧化、标准化。在综合自动化中，它起着神经中枢的作用，严格而可靠地调节、控制和管理各种复杂的生产过程。近几年在热处理生产上已采用微处理器将装料、工艺周期、温度、炉内气氛等所有变量彼此联系起来进行综合控制。

§ 1-1 自动化仪表的分类及组成

工业自动化仪表种类很多，从不同角度科学地予以分类，有助于我们了解各类仪表的作用及其相互间的关系。

一、按测量参数分类

自动化仪表按测量和控制参数的不同，分热工量、机械量、电工量和成分量等类。其中以热工量的测量仪表应用最为普遍，因此也最重要。所谓热工量是指热力工程中的参数，如温度、压力、流量、物位等。所以，凡测量热工量的仪表，人们常称热工测量仪表。在热处理

生产中，以热工量中的温度、压力和流量，以及成分量中的碳势测量仪表应用最广，也是本书的讨论范围。

二、按仪表功能分类

按仪表功能的不同，工业自动化仪表又分成四大类，即检测仪表、显示仪表、调节仪表和执行器。一般地讲，一台自动测量仪表或一个自动测量系统可以分解为这四个基本部分。

（一）检测仪表

检测仪表也称感受元件、敏感元件、传感器或一次仪表。它直接与被测对象相联系，感受被测参数的变化，并将感受到的被测参数的变化转换成电的或其它形式的信号输出。例如，热电偶高温计中的热电偶，就是感温元件，它把被测物体的温度变化转变成热电势的变化。对检测仪表的基本要求是：输出信号必须随被测参数的变化而变化，二者之间应是单值关系，且最好是线性关系。

（二）显示仪表

显示仪表用来向观察者显示被测参数的变化，一般有以下几种：

1. 指示仪表 用来指示被测参数的瞬时值。指示仪表又有指针指示和数字显示之分。
2. 记录仪表 用来记录被测参数随时间的变化。
3. 积算仪表 用来显示被测参数对时间的积分结果。例如测定某一时间间隔内流过的总流量可采用流量积算器。
4. 信号仪表 又称报警器，用来反映被测参数是否超过允许值。当被测参数达到或超过允许值时，仪表自动发出声、光或其他报警信号，引起操作者注意。

同一台显示仪表可能兼有指示、记录或报警等多种显示功能。有的仪表还能接受多种参数的检测信号，具有轮流对多种参数进行显示、记录和报警的功能，例如巡回检测仪。

显示仪表按其显示方式又分直读式和自动平衡式两类。直读式显示仪表将与被测参数成比例变化的参量，直接显示出来。如水银温度计、压力式温度计、动圈式仪表等；自动平衡式显示仪表采用平衡测量法，借助于电子放大器和伺服机构，自动地实现已知参量与被测参量的平衡来显示被测参量，如电子电位差计。

（三）调节仪表

调节仪表又叫调节器。调节仪表能根据检测仪表测出的参数与预先要求的给定值之间的偏差情况，对执行器发出调节信号。有的自动测量系统不单独配备调节仪表，而是在显示仪表内附加一调节机构，如动圈式温度指示调节仪表和电子电位差计等。

（四）执行器

执行器接受调节仪表或操作人员发出的信号，去调节生产过程中所需要的能量大小，使被测参数保持在预定的数值，以达到控制生产的目的。控制热处理电炉输入功率的交流接触器、晶闸管调压器都是执行器。

在自动控制中，上述四类仪表彼此关联，组成对测量控制对象的自动调节系统。图 1-1 为热处理炉炉温的一般自动调节系统示意图。热处理炉因有能量输入而

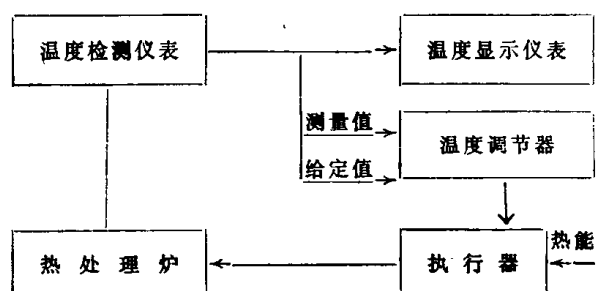


图1-1 炉温自动调节系统示意图

被加热升温，炉内温度的高低由输入炉内能量的多少来决定。要控制炉温，就必须通过控制输入炉内能量的多少来实现。常见的热处理炉炉温的位式调节系统就说明了这个问题。作为温度检测仪表的热电偶，插入电炉内感受炉子温度的变化并将这种变化转换成热电势信号，然后通过导线传送给作为温度显示仪表的电子电位差计，指示出炉温的瞬时值并记录炉温的变化。与此同时，通过附加在电子电位差计内部的温度调节器，将温度测量值（由指示指针位置决定）与给定值（由给定指针位置决定）进行比较。根据偏差情况，由调节器（它实际上是一个电接点）向作为执行器的接触器发出“通”或“断”的调节信号，使接触器闭合或断开，从而改变输送给热处理炉的热能。只要指示值低于给定值，接触器就一直闭合，炉温一直上升，直到指示值达到给定值，偏差消失后才断开。这样，通过反复通断，炉温就被控制在某一给定值上。由此可见，炉温的调节系统就是由温度检测仪表、温度显示仪表、温度调节器和执行器等四类不同功能的仪表组成对测温对象——热处理炉的一个闭合自动调节系统。

三、按仪表结构形式分类

工业自动化仪表按结构形式分基地式仪表和单元组合仪表两大类。

（一）基地式仪表

一般地说，基地式仪表是以指示和记录仪表为主体，附加调节器（有的还附加执行器）而组成的整体仪表。基地式仪表又有电动和气动之分。目前我国热处理生产上绝大多数应用电动基地式仪表，如动圈式温度指示调节仪和电子电位差计等。基地式仪表结构紧凑，安装使用方便，但体积大、较笨重、要求有特定的检测仪表（如一定型号规格的热电偶）与之配套，并且只能用于单一参数的测量与调节。

（二）单元组合仪表

单元组合仪表是把自动调节系统中的各个不同功能的环节（如检测、显示、调节等）分别设计制造成具有独立作用的单元（如变送单元、显示单元、调节单元、给定单元、计算单元、转换单元和辅助单元等），彼此间用统一信号互相联系。单元组合仪表不仅可以按照生产工艺的要求，像积木一样灵活地组成各种单参数或多参数的自动调节系统，而且还可以方便地和数据处理装置、工业控制计算机等配合使用，实现集中控制的综合自动化。单元组合仪表已成为实现现代工业生产自动化的重要工具。

必须指出，虽然单元组合仪表在综合自动化上显示出它的优越性，但是，由于基地式仪表具有它自己的特点，在热处理生产上仍在普遍使用。而且掌握了基地式仪表的基本知识，也就不难了解单元组合仪表。本书所讲授的温度仪表，只限于电动基地式仪表。

§ 1-2 测量误差及其表示方法

从本质上说，测量就是将被测参数与相应的标准量进行比较的过程。

测量一个参数，不论采用何种测量方法，永远不可能获得真值。这是因为测量工作都是由操作者使用某种仪器，按照一定的操作方法，在一定的外界条件下进行的。由于人们感觉和视觉的限制、外界条件的变化及标准测量仪器本身的不完善，使测量不可避免地存在误差。

测量误差的大小是评价一台测量仪表好坏的主要标志，仪表的很多指标，都是围绕误差

这个核心问题来考虑的。

一、绝对误差

仪表的指示值与被测量真值之间的代数差称为绝对误差 Δx ，即

$$\Delta x = x - A \quad (1-1)$$

式中 x ——仪表指示值；

A ——被测量的真值。在检定仪表时，通常用标准仪器的示值代替真值。而仪表的指示误差即指绝对误差。

若将仪表的指示值加上一个与绝对误差大小相等而方向相反的修正值 C ，便可求得被测量的真值，即

$$A = x + C \quad (1-2)$$

式中 $C = -\Delta x$ 称为误差的修正值。

例如，某温度测量仪表指示值为 820°C ，在检定该表时，测得 820°C 刻度处的修正值为 -5°C ，则被测温度的真值为

$$t = 820^\circ\text{C} + (-5)^\circ\text{C} = 815^\circ\text{C}$$

这说明有误差的测量值加上修正值后，就可以基本消除误差的影响。因此测量仪器应当定期进行检定，主要目的就是获得准确的修正值。

绝对误差不能充分反映测量的精确程度。例如在 100°C 和 1000°C 处的绝对误差都是 $+1^\circ\text{C}$ ，显然，在 1000°C 点上差 1°C 要比在 100°C 点差 1°C 精确得多。为了解决这个问题引入相对误差的概念。

二、相对误差

绝对误差与仪表指示值的百分比称为相对误差 γ_x 。即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-3)$$

如上例中，测量 100°C 时的相对误差为 1% ，而测量 1000°C 时的相对误差就是 0.1% 。可见，绝对误差都是 $+1^\circ\text{C}$ ，但两处的相对误差差别很大。

三、基本误差和基本误差限

相对误差能较好地反映测量的精确程度，但它不能评价仪表的精确程度，也不便于划分仪表的精确度等级。因为仪表的可测范围不是一个点而是一段量程。在量程范围内被测量可处于不同的位置，由式 (1-3) 可看出，分子和分母都是变数，这样，就难以标注仪表的精确度。

为了表征仪表的精确度，由相对误差引出基本误差和基本误差限的概念。基本误差是指仪表在规定的参比条件下（环境温度为 $18\sim 22^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $60\sim 70\%$ ，大气压力为 $860 \times 10^2 \sim 1060 \times 10^2 \text{ Pa}$ ，工作条件在此范围内变化对测量结果的影响可忽略）绝对误差与仪表测量范围（即量程）的百分比；基本误差限是指基本误差的最大允许值。因此，基本误差限 γ_0 可表示为

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 $\Delta x_{\max}$ ——容许的最大绝对误差；

$A_{\max}$ ——仪表的测量上限即标尺上限值；

$A_{\min}$ ——仪表的测量下限即标尺下限值。

例如某测温仪表的容许最大绝对误差为 $\pm 12^{\circ}\text{C}$ ，温度标尺范围是 $0\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，则该表的基本误差限为

$$\gamma_0 = \frac{\pm 12}{800 - 0} \times 100\% = \pm 1.5\%$$

如果仪表在规定的使用范围内工作，由于环境温度、相对湿度、电源电压、电源频率等因素偏离参比条件，使仪表产生超出基本误差限的误差，称为附加误差。

§ 1-3 测量仪表的质量指标

任何一类产品都有它的质量指标，测量仪表的质量指标主要有精确度、灵敏度、死区和回差、时间常数和响应时间等。虽然对于每一种仪表还有它各自的其它性能指标，但是上述的几个指标是各类仪表应具备的基本指标。为了正确评价、选用和检定测量仪表，我们必须了解这些指标的含意及其表示方法。

一、精确度和精确度等级

精确度是指仪表测量的精确程度，它是仪表质量指标中最基本的，也是最重要的指标。

精确度是用仪表的基本误差限去掉“%”符号取其数字的绝对值，常用 k 表示。上例中，基本误差限为 $\pm 1.5\%$ 的仪表，其精确度 $k = 1.5$ 。知道仪表精确度，就可知道仪表的基本误差限，从而可推算出仪表的允许最大绝对误差。即

$$\Delta x_{\max} = \pm k\% (A_{\max} - A_{\min}) \quad (1-5)$$

仪表按精确度高低分成的等级称精确度等级。由国家统一规定划分成的等级有

0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.05	0.1, 0.2, 0.5	1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 5.0
I 级标准仪表	II 级标准仪表	一般工业用仪表

仪表的精确度等级通常都标明在仪表的面板上，表示方法是等级数字写在圆圈或三角符号里面，例如 1.5 级就用 $\textcircled{1.5}$ 或 $\triangle 1.5$ 表示。仪表精确度等级的标出，表明仪表制造厂家保证该仪表在规定的参比工作条件下，其测量误差不会超过此等级。

仪表的精确度只取决于仪表本身的性能和质量。这里必须纠正一个错误概念，即不要认为提高仪表读数的精确性就能提高测量的精确度。应该指出，超过仪表精确度等级的读数是毫无意义的。因此，常规定仪表刻度标尺的最小分格值，不小于仪表容许的最大绝对误差。

仪表的精确度和精确度等级，习惯上称为精度和精度等级。

因为 $\Delta x_{\max}$ 与仪表指示值 x 的百分比就是最大相对误差 γ_{xm} 于是可由下式表示出影响 γ_{xm} 的因素

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta x_{\max}}{x} \times 100\% = \pm k\% \times \frac{(A_{\max} - A_{\min})}{x} \quad (1-6)$$

由式(1-6)可知，最大相对误差 γ_{xm} 不仅与仪表的精确度有关，而且还与仪表量程与指示值的比值有关，其比值愈大，相对误差也愈大。当指针在满刻度时，即 $x = A_{\max}$ 时，相对误差最小，所以指示值愈接近刻度上限值，其测量精确度愈高。

二、灵敏度

灵敏度是反映测量仪表对被测参数变化的灵敏程度。对于指针指示的仪表，用指针的线

位移或角位移与被测参数变化量的比值来表示灵敏度。比值愈大,说明被测参数改变一个单位时,引起指针的位移量就大,仪表的灵敏度就愈高。一般地讲,精度等级高的仪表,它的灵敏度也相应的高。

三、死区和回差

死区是指仪表示值不变的情况下,被测参数的变化范围,死区又称不灵敏区。一般要求仪表的死区小于它的基本误差限。

在外界条件不变时,如果使用同一仪表对某一参数进行正反行程的测量时就会发现,在同一被测参数值上相应的仪表指示值不同,其最大差值称为回差,如图 1-2 所示。回差的大小有时也用同一被测参数值上两个指示值的最大差值与仪表量程的百分比来表示,即

$$\text{回差} = \frac{\Delta x'_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $\Delta x'_{\max}$ ——同一被测参数指示值的最大绝对差值;

$A_{\max}$ ——仪表的测量上限;

$A_{\min}$ ——仪表的测量下限。

回差是由于仪表运动系统的摩擦,间隙和弹性元件的滞后性等原因所造成。

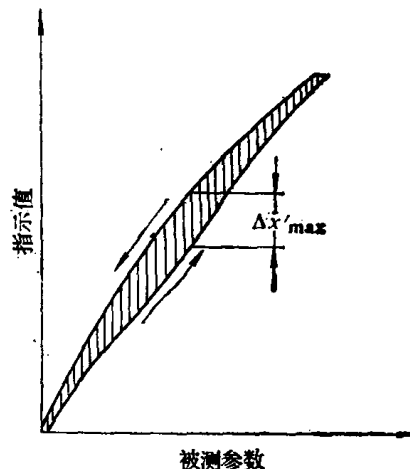


图1-2 测量仪表的回差

四、时间常数和响应时间

当仪表输入一阶跃信号时,仪表指针要经过一段时间后才能准确指示出被测值来。这就是说,仪表存在一个对被测参数响应快慢的问题。它反映了仪表的一种动态特性,通常用时间常数和响应时间来表示。

如图 1-3 a 所示,当仪表加一阶跃参量时,指示值慢慢增加,经过一段时间后,达到被测值。用体温表测量体温或用热电偶测量炉温都属这种情况。这种情况下的动态特性用时间常数来表示。所谓时间常数,是指参数作阶跃变化后,仪表指示值达到参数变化值的63.2%时所经过的时间,即图 1-3 a 中的 τ 。对于感温元件,有时把时间常数叫热惯性或热惰性时间。

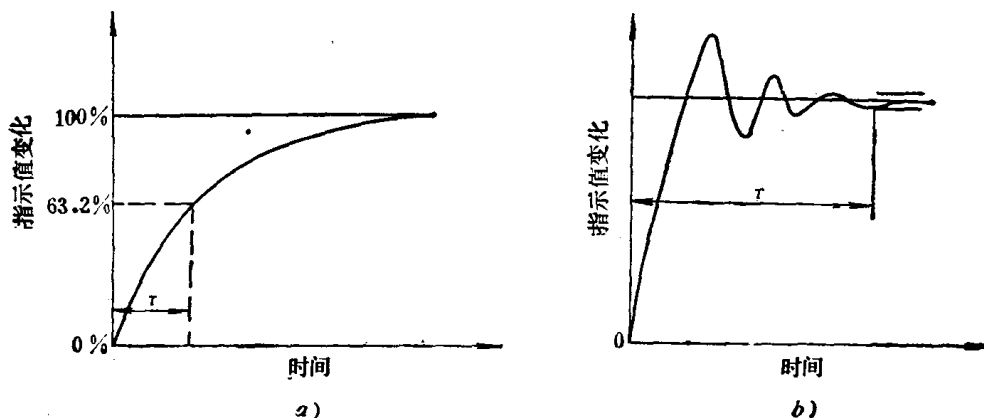


图1-3 仪表的动态特性

a) 时间常数 b) 响应时间

另一种情况如图 1-3 b 所示, 当仪表加一阶跃参量时, 仪表指示迅速改变, 但要经过几次摆动后, 才能稳定在被测参数上。如电流表、动圈式温度指示仪就是这种情况。这种情况下的动态特性通常用响应时间来表示。响应时间是指仪表从输入一个阶跃信号开始, 到仪表指示值与输入参数之差在规定范围内所需的时间, 即图 1-3 b 中的 τ 。规定范围常取仪表的基本误差限。

时间常数和响应时间是决定仪表动态误差的主要因素, 它对温度的自动控制精度以及快速测定的精确度影响很大。

习 题

1-1 什么是单元组合仪表? 什么是基地式仪表? 热处理测温常用的是哪类仪表?

1-2 一只普通的水银温度计, 按其功能可分哪几部分?

1-3 有一测温范围为 $0\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的测温仪表, 最大误差在 500°C 上, 其指示值为 505.5°C , 试求:

(1) 该温度点的绝对误差; (2) 在该温度点上的修正值; (3) 该温度点的相对误差; (4) 仪表的精确度。

1-4 一只量程为 $600\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 的测温仪表, 精度为 0.5 级, 求该表的最大绝对误差。

1-5 某热处理工件要求加热温度为 $600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 现用一只量程为 800°C , 精度为 1.5 级的测温仪表测温, 是否能满足要求? 为什么?

1-6 有两只量程分别为 $0\sim 600^{\circ}\text{C}$ 和 $0\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的测温仪表, 精度均为 1.0 级, 若用在一般回火炉上, 应选用哪一种量程的测温仪表较好? 为什么?

1-7 一只 $0\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 和一只 $0\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 的动圈式仪表, 满刻度弧长均为 110 mm, 精度等级相同, 问哪台仪表的灵敏度较高?

第二章 测 温 仪 表

温度是热处理生产中最常见也是最重要的工艺参数。因此，作为热处理技术工作者，熟悉热处理车间常用测温仪表的原理、构造和使用方法，是十分必要的。

§ 2-1 温度、温标及测温仪表的分类

一、温度

温度是表征物体冷热程度的一个物理量。物体愈热，通常就说它的温度愈高。温度的本质与物体内部质点（分子、原子、离子、电子）的运动相联系，温度的高低反映物体内部质点运动剧烈的程度。物体的温度愈高，它内部质点的运动愈剧烈，即平均运动动能愈大。

温度是无法直接测量的。但可以利用两个与温度有关的物理现象来实现测温。一个现象是当两个温度不同的物体相接触时，必然发生热交换现象，热量将由温度高的物体传到温度低的物体直到两物体的温度趋于一致，即达到热平衡状态为止；另一个现象是当温度变化时，物体的某些物理量（如体积、电阻等）相应发生变化。体温表就是利用上述现象进行测温的，测体温时，人的热量传给体温表的感温包，感温包内水银温度逐渐升高，它的体积随之膨胀，待感温包内水银温度与人体温度相等时，在体温表的刻度标尺上即显示出体温的高低。

二、温标

用来度量温度高低而规定的标尺称为温度标尺，简称温标。温标规定了温度的读数起点和测量温度的基本单位，它是温度数值的表示方法。各种温度计的刻度均由温标来确定。温标有好几种，在国际上常用的温标有华氏温标，摄氏温标和热力学温标。

（一）华氏温标（°F）

华氏温标是 1714 年由德国物理学家华伦海特所确立，故而得名。这个温标把在标准大气压下冰的熔点定为 32°F，水的沸点定为 212°F，再用一支水银玻璃温度计放在冰点和水平沸点中。因为水银的膨胀系数比玻璃大得多，温度变化时，玻璃毛细管中的水银面就会上升或下降，分别记下水沸腾时和冰融化时水银面的位置，并刻上线，在两线之间再等分成 180 份，每一份就叫做华氏一度。华氏温标目前仍为欧美一些国家所广泛采用。

（二）摄氏温标（°C）

摄氏温标是瑞典化学家摄尔修斯在 1742 年建立的一种温标。它把标准大气压下冰的熔点定为 0°C。水的沸点定为 100°C，也是用水银温度计进行刻度，把两者之间等分成 100 份，每一份叫做摄氏一度。故摄氏温标又叫百分温标。因为它比华氏温标的分度简单，所以，百分温标通用于世界各国。

摄氏温标 t_c 和华氏温标 t_f 之间的换算关系如下式所示：

$$t_c = \frac{5}{9}(t_f - 32) \quad (2-1)$$

$$t_f = \frac{9}{5}(t_c) + 32 \quad (2-2)$$

从式 (2-1) 和式 (2-2) 可算出, 当摄氏为 0°C 时, 华氏为 32°F ; 摄氏为 100°C 时, 华氏为 212°F 。

可见, 用不同的温标所确定的温度数值是不同的。随着生产和科学技术的发展, 人们又发现不同材质的玻璃和不同纯度的水银制成的水银温度计, 尽管在 0°C 和 100°C 指示是一致的, 但是在中间温度的示值就不完全一样, 这是由于不同材质玻璃和不同纯度水银的膨胀系数有所差别而引起的。这样, 势必造成温度量值上的不同。同时, 上述温标只规定了冰点和沸点之间的温标, 这个范围太窄, 不能满足日益发展的生产和科学研究的要求。因此有必要制定一个统一的更为科学的温标。

(三) 热力学温标 (K)

热力学温标由英国物理学家开尔文于 1848 年提出, 它规定理想气体分子热运动停止时的温度为绝对零度, 因此, 热力学温标又称开氏温标或绝对温标。

热力学温标是根据热力学第二定律导出的, 它与物质的种类和性质无关。因此, 热力学温标是理想的科学的温标, 已由国际权度大会规定为国际统一的基本温标。

但是, 热力学温标是纯理论的, 不能付诸实用, 只能借助于气体温度计来复现热力学温标。因为理想气体实际并不存在, 所以, 实际采用的氢、氦和氮等近似理想气体制作的定容式气体温度计, 在复现热力学温标时, 必须根据热力学第二定律定出气体温度计的修正值。此外, 气体温度计结构复杂、不适于实际应用。因此, 有必要建立一种既非常接近热力学温标, 在使用上又很方便的温标, 这就是国际实用温标。

国际实用温标是用来复现热力学温标的, 它是一种国际协议性的统一温标。自 1927 年建立国际温标以来, 随着科学技术的发展, 人们对热力学温标的认识愈来愈精确, 曾先后对国际温标做了多次修改, 使它愈来愈接近热力学温标。最近一次修改过的是 1968 年第十三届国际权度委员会公布的国际新温标, 命名为“1968 年国际实用温标 (IPTS-68)”。它在目前测量精确度极限之内与热力学温标是相符合的。世界各国已相继采用了新温标, 我国自 1973 年 1 月 1 日起也已正式采用。

“1968 年国际实用温标”规定以热力学温度为基本温度, 用符号 T 表示。温度的单位名称是开尔文, 单位符号用 K。另外还规定水的三相点热力学温度为 273.16 K , 并定义开尔文一度为水三相点热力学温度的 $\frac{1}{273.16}$ 。

为了实际测量“1968 年国际实用温标”, 引用了两种国际实用温度, 即国际实用开尔文温度和国际实用摄氏温度, 分别用 T_{90} 和 t_{90} 表示。 T_{90} 和 t_{90} 采用和热力学温度 T 与摄氏温度 t 相同的单位, 即开尔文 (符号 K) 和摄氏度 (符号 $^{\circ}\text{C}$)。按定义两者的换算关系是:

$$t_{90} = T_{90} - 273.15 \quad (2-3)$$

可见, t_{90} 和 T_{90} 温度单位的量值相同, 只是计算温度的起点不同, 两者只相差一个常数 273.15。实际应用时, 为计算方便, 在不影响测量误差的许可范围内, 此常数可简化为 273。此外, 为书写方便, t_{90} 和 T_{90} 常简写为 t 和 T 。

“1968 年国际实用温标”建立的要点如下:

(1) 选择了十一种高纯度物质的平衡温度作为温标的基准点, 并用气体温度计来定义这些点的温度值 (见表 2-1)。

(2) 在不同的温度范围内, 规定用稳定性较高的温度计作为复现热力学温标的基准仪

器。从 -259.34°C 到 630.74°C (铟凝固点) 用铂电阻温度计; 从 630.74°C 至 1064.43°C 用铂铑-铂热电偶; 1064.43°C 以上未做规定, 我国采用基准光学高温计。

(3) 在基准点之间及以外的温度, 规定了标准的插补公式, 用这些公式来建立基准仪器示值与国际温标温度之间的关系, 以实现测温的连续性。

表2-1 IPTS-68定义的基准点

定 义 基 准 点	国 际 实 用 温 度 给 定 值	
	T/K	$t/^{\circ}\text{C}$
平衡氢三相点	13.81	-259.34
平衡氢在 $3330.6\text{N}/\text{m}^2$ 压力下的沸点	17.042	-256.108
平衡氢沸点	20.28	-252.87
氦沸点	27.102	-246.048
氧三相点	54.361	-218.789
氧沸点	90.188	-182.962
水三相点	273.16	0.01
水沸点	373.15	100
铟凝固点	692.73	419.58
银凝固点	1235.08	961.93
金凝固点	1337.58	1064.43

注: 1. 除各三相点和平衡氢沸点 (17.042K) 外, 温度的给定值都是指一个标准大气压 ($101325\text{N}/\text{m}^2$) 下的平衡态;

2. 锡的凝固点给定值 $t = 231.9681^{\circ}\text{C}$, 可用来代替水沸点。

三、测温仪表的分类

测温仪表的种类繁多, 但可按作用原理, 测量方法, 测量范围作如下分类:

(一) 按作用原理分类

前面我们谈到, 温度的测量是借助于物体在温度变化时, 它的某些性质随之变化的原理来实现的。但是, 并不是任意选择某种物理性质的变化就可做成温度计。用于测温的物体的物理性质要求连续、单值的随温度变化, 不与其它因素有关, 而且复现性好, 便于精确测量。目前按作用原理制作的温度计主要有膨胀式温度计、压力式温度计、电阻温度计、热电偶高温计和辐射高温计等几种。它们是分别利用物体的膨胀、压力、电阻、热电势和辐射性质随温度变化的原理制成的。

(二) 按测量方法分类

测温时按感温元件是否直接接触被测温度场 (或介质) 而分成接触式测温仪表 (膨胀式温度计、压力式温度计、电阻温度计和热电偶高温计属此类) 和非接触式测温仪表 (如辐射式高温计) 两类。

(三) 按测量温度范围分类

通常将测量温度在 600°C 以下的测温仪表叫温度计, 如膨胀式温度计, 压力式温度计和电阻温度计等。测量温度在 600°C 以上的测温仪表通常叫高温计, 如热电高温计和辐射高温计。

上述分类可归纳如表 2-2 所示。

表2-2 测温仪表的分类

测温仪表种类		感温元件作用原理	测温范围	热处理测温应用
接触式	膨胀式温度计	液体膨胀式 固体膨胀式	利用液体或固体受热膨胀的特性	-200~600℃ 常用于测量碱槽、油槽、法兰槽、 淬火槽、低温烘箱的温度
	压力式温度计	液体式 蒸气式 气体式	利用封闭在一定容积中的气体、液体或液体饱和和蒸气受热后压力变化的特性	-100~600℃ 用于低温测量，不常用
	电阻式温度计		利用导体或半导体受热后电阻值变化的特性	-200~500℃ 用于低温测量，不常用
	热电式高温计		利用热电偶的热电效应	0~1600℃ 广泛用于各种炉子的测温
非接触式	辐射式高温计	光学高温计 辐射高温计 比色高温计	利用物体的热辐射作用	600~6000℃ 高温盐炉及感应加热工件的测温

§ 2-2 膨胀式和压力式温度计

一、膨胀式温度计

(一) 液体膨胀式温度计

液体膨胀式温度计又叫玻璃管式温度计。它构造简单，使用方便，精确度较高，价格便宜，故广泛用于实验室和热处理车间的淬火槽、发兰氧化槽、清洗槽、酸洗槽及一些冷却设备的测温。其缺点是测量温度不高、测量结果不能远传、不能记录。

液体膨胀式温度计通常由装有液体的玻璃温包、毛细管、刻度标尺和玻璃外壳等部分组成。温包内液体的体积和温度的关系可用下式表示：

$$V_{t_2} - V_{t_1} = V_{t_0} (\alpha - \alpha') (t_2 - t_1)$$
 (2-4)

式中 V_{t_1} 、 V_{t_2} ——液体分别在 t_1 和 t_2 时的体积；
 V_{t_0} ——同一液体在 0℃时的体积；
 α ——液体体积膨胀系数；
 α' ——温包的体积膨胀系数。

液体受热后体积膨胀越大，液体在毛细管内上升的高度愈高，被测温度愈高。液体膨胀系数 α 愈大，体积随温度的升高而增加的数值也愈大，因此选用 α 值大的工作液体可提高温度计的测量精度。液体膨胀式温度计的测量范围取决于工作液体性质和玻璃材质。其测量上限由工作液体的沸点和玻璃的软化变形程度而定。如果在液面以上空间充以一定压力的惰性气体，则可提高工作液体的沸点，从而扩大测量上限。其测温下限与液体的凝固点有关。

水银温度计是应用最广的液体膨胀式温度计。水银的膨胀系数虽然不大，但具有其它液体所不能比拟的优点：不沾玻璃；容易得到纯度很高的水银；保持液态的温度范围比较大（-38~+356.66℃）。此外，在200℃以下水银的体膨胀和温度几乎成直线关系。水银温度计的测温范围一般是 -30~+600℃。因为水银在常压下的沸点为356.66℃，故不加压的水银温度计的测量上限只能到300℃，若充以加压的氮气，并采用热变形较小的石英玻璃管，测量上限可达600℃或更高。近来，国内已试制成功可测1200℃的高温水银温度计。

有机液体温度计是采用酒精、戊烷、二甲苯等有机液体作工作液制成的液体膨胀式温度

计。有机液体温度计的缺点是：工作液易粘附在玻璃管壁上，从而降低测量精度；热容量和热惰性大，因而时间常数较大；不易造成纯净的工作液，膨胀系数随温度的变化较大，易造成刻度不均匀。尽管如此，因有机液体具有凝固点较低的特点，且膨胀系数较大，故有机液体温度计特别适用于低温测量。例如酒精温度计测温下限为 -80°C ，戊烷温度计测量下限可达 -200°C 。

玻璃管式温度计的结构有棒式、内标尺式和外标尺式三种，如图 2-1 所示。棒式温度计(图 2-1 a)的标尺直接刻在玻璃管的外表面上，测量精度较高。内标尺式温度计(图 2-1 b)有一块乳白色的玻璃片温度标尺安置在连有玻璃温包的毛细管后面，将毛细管和标尺一起固定在玻璃外壳内。这种温度计热惯性较大，但观测比较方便。外标尺式温度计(图 2-1 c)是将连有玻璃温包的毛细管固定在单独的外标式板上，室温计通常做成这种形式。

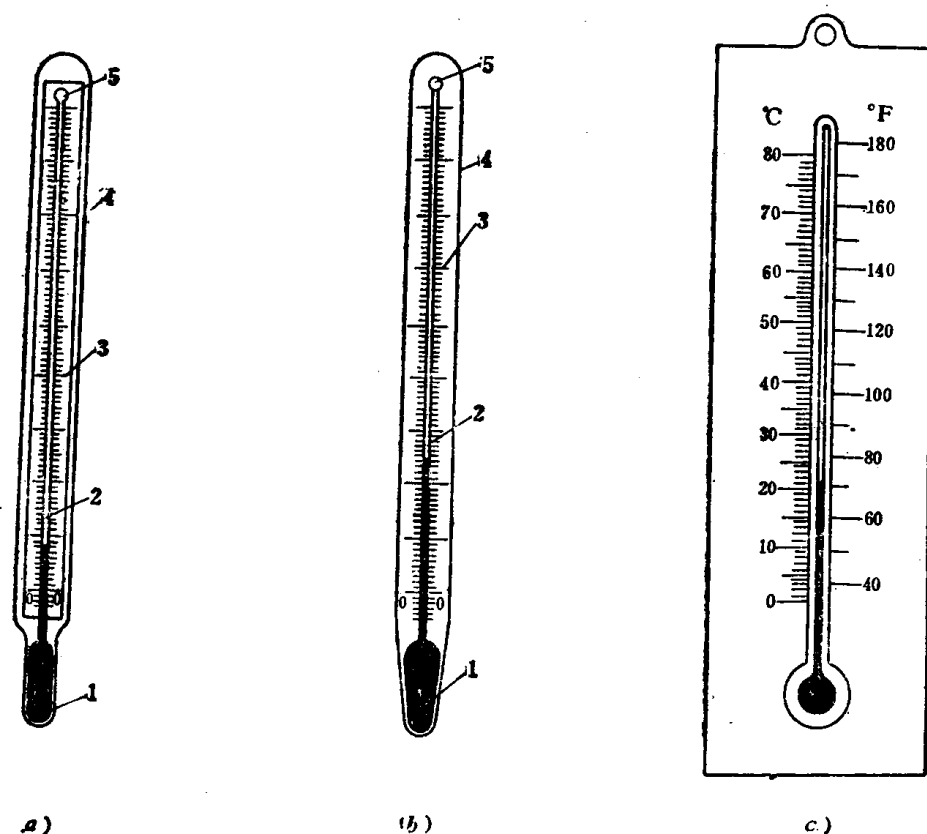


图2-1 玻璃管式温度计

a) 棒式温度计 b) 内标尺式温度计 c) 外标尺式温度计
 1—温包 2—毛细管 3—刻度标尺 4—玻璃外壳 5—安全泡

工业用温度计常做成内标尺式，其尾部形状有直形、直角形和 135° 钝角形。为防止碰伤，玻璃管装在金属保护管内，如图 2-2 所示。为了减小由于套管而增加热惰性，在玻璃温包与套管之间填有良导热材料。还有一种电接点水银温度计，除能指示温度外，还能控制温度，用于恒温控制、信号和报警等自动装置中。国产工业用玻璃管式温度计型号采用汉语拼音字母命名，第一个字母W代表温度仪表；第二个字母N代表玻璃管式，X代表电接点式；第三个字母G代表水银(汞)，Y代表有机液体。如WNG型即指玻璃管式水银温度计。国产工业用玻璃管式温度计的主要规格见表2-3。