

中等专业学校教学用书

冶金仪表与自动调节

冶金工业出版社

68.2/

2

中等专业学校教学用书

冶金仪表与自动调节

宫航家等编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书
冶金仪表与自动调节
宫毓家等 编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

山西新华印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张14 字数322千字

1979年12月第一版 1981年4月第二次印刷

印数13,001~17,700册

统一书号: 15062·3437 定价 1.20 元

前 言

《冶金仪表与自动调节》是根据冶金部中等专业学校冶金类教学计划编写的，为冶金工业中等专业学校教学用书，适于炼铁、炼钢、轧钢，轻冶、重冶等冶金各专业使用。

本书讨论了有关温度测量与温度变送器、压力（差压）测量与压力（差压）变送器、流量测量与流量变送器、显示仪表、自动调节基本原理、调节器、执行器、冶金生产工艺参数检测与控制、自动称量仪表等方面内容。对每一种仪表及系统着重讨论它的作用原理和结构特点，同时也适当地介绍了有关仪表使用的基本知识。

本书由北京钢铁学校宫毓家同志主编，参加编写的有包头钢铁学校王茂荣同志。第二、三、四章由王茂荣同志编写，第一、五、六、七、八、九、十章由宫毓家同志编写，全书由宫毓家同志作最后审校。

一九七八年十二月

绪 论

在连续性热力生产过程中,如冶金、石油、化工、电站等,其工艺参数都必须严格地保持在预定的条件下,生产才有可能高效率地进行,才能保证产品的产量和质量,才能确保安全生产。为了达到这个目的,首先必须准确地检测出生产过程中各有关的工艺参数,如温度、压力、流量、液位、成分、浓度……等,然后根据检测结果,通过人工或自动控制装置(如调节器,计算机),改变输入或输出物质的数量和能量,使生产过程始终维持在预定的条件下进行。

目前工业生产逐渐向大型化、自动化、连续化、高速化的方向发展,对自动化技术的要求愈来愈高。开始从对生产过程的个别设备、个别环节的自动控制发展到整个工段、车间,甚至全厂的自动控制;从单参数的简单调节系统发展到多参数的综合调节系统;从分散的控制和操作发展到远距离的集中控制和操作。

因此,原来适用于单参数简单调节系统的基地式仪表就远远满足不了生产的需要。这些基地式仪表,大都以记录和指示仪表为主体,附加调节机构,实现对生产工艺参数的简单调节,实现局部自动控制。

为了适应生产自动化更高的要求,我国从1958年开始研究和试制以电子管为主要放大元件的DDZ-I型电动单元组合仪表,至1964年全套仪表投入使用。从1965年开始研究和试制以晶体管为主要放大元件的DDZ-II型电动单元组合仪表,至1970年全套仪表投入使用。从1973年开始研究和试制以集成电路为主要放大元件,具有七十年代初期水平的本质安全防爆的DDZ-III型电动单元组合仪表,生产实践证明,这套仪表性能稳定可靠。此外尚有QDZ型气动单元组合仪表。

本书包括三部分内容:一是有关冶金生产各工艺参数(主要是热工参数)的测量方法,二是自动调节的基本原理及调节系统,三是为实现主要热工参数检测与调节所需要的自动化仪表的作用原理、结构特点及有关仪表使用的基本知识。主要介绍DDZ-II型电动单元组合仪表以及由DDZ-II型电动单元组合仪表组成的测量和控制系统及原理,适当兼顾其它仪表。

本书为冶金中等专业学校教学用书,它的任务是使学生掌握现代冶金生产主要工艺参数的检测原理及方法;熟悉DDZ-II型电动单元组合仪表中主要单元仪表的作用原理,结构特点及使用方法,使同学具有选择和使用的知识;了解冶金生产过程自动调节的基本原理及调节系统,使之具有自动化操作的基本知识。

本书的基础知识是物理学、电工学、电子技术等,由于各专业普遍开设电子技术课,本书对各自动化仪表的电子线路做了适当介绍,使用时可酌情删减。

目 录

绪 论	
第一章 概述	(1)
第二章 温度测量与温度变送器	(8)
第一节 基本概念	(8)
第二节 热电偶	(9)
第三节 热电阻	(16)
第四节 温度变送器	(18)
第三章 压力 (差压) 测量与压力 (差压) 变送器	(30)
第一节 基本概念	(30)
第二节 压力测量弹性元件的工作原理及分类	(31)
第三节 压力变送器与差压变送器	(32)
第四章 流量测量与流量变送器	(43)
第一节 基本概念	(43)
第二节 节流式流量计	(44)
第三节 电动靶式流量计	(70)
第四节 涡轮流量计	(73)
第五节 电磁流量计	(78)
第五章 显示仪表	(80)
第一节 DXZ 型动圈仪表	(80)
第二节 自动电子电位差计	(81)
第三节 自动电子平衡电桥	(87)
第四节 JF-12 型晶体管放大器	(90)
第六章 自动调节基本原理	(100)
第一节 自动调节概述	(100)
第二节 自动调节系统的过渡过程及品质指标	(102)
第三节 调节对象的动态特性	(104)
第四节 调节器的调节特性	(108)
第五节 自动调节系统	(119)
第六节 DDC 直控仪组成的自动控制系统	(129)
第七章 调节器	(132)
第一节 DTL 型调节器工作原理方框图	(132)
第二节 输入回路	(133)
第三节 放大器前置电路	(135)
第四节 PID 反馈回路	(135)
第五节 手动操作与自动跟踪	(145)

第六节	自激振荡调制放大器	(148)
第七节	DTL-121 型调节器的整机线路分析	(152)
第八章	执行器	(153)
第一节	电动执行器	(153)
第二节	电-气阀门定位器	(165)
第九章	冶金生产过程工艺参数检测与控制	(168)
第一节	炼铁生产过程工艺参数检测与控制	(168)
第二节	炼钢生产过程工艺参数检测与控制	(174)
第三节	轧钢生产过程热工参数检测与控制	(181)
第四节	有色冶金生产过程热工参数检测与控制	(187)
第十章	自动称量仪表	(191)
第一节	电阻应变式自动称量仪表	(191)
第二节	压磁式自动称量仪表	(195)
附 录		(198)
附表一	温度与毫伏对照表 (分度表)	(198)
附表二	温度与电阻对照表 (分度表)	(207)
附表三	气体中的含水量和饱和蒸汽压	(213)
附表四	由 X 求 d/D	(214)

第一章 概 述

一、自动化仪表的分类及自动调节

现代工业生产中常用的自动调节仪表有气动调节仪表和电动调节仪表两种不同类型，而电动调节仪表按其结构形式又可分为基地式和单元组合仪表两类。

基地式仪表一般以指示记录仪表为主体，附加调节机构而组成。它接受检测元件发出的信号，经指示和记录机构的动作，带动调节机构，发出控制信号，通过执行机构，实现自动调节。

单元组合仪表是根据自动调节系统中各个环节的不同功能，将整个调节系统划分成若干个具有独立作用的单元，各单元之间以统一信号互相联系。单元的品种为数不多，但可按照生产工艺的需要加以组合，构成各种单参数的或多参数的自动调节系统。

电动单元组合仪表不仅可以灵活地组成各种调节系统，还可以和气动单元组合仪表、数据处理装置、工业控制计算机等配合使用，而且这套仪表的设计、制造、维修等工作又比较简单，因此在冶金、电站、石油、化工等工业部门中得到了广泛的应用，并已成为现代工业生产中一套相当重要的自动化仪表。

用电动单元组合仪表构成的简单调节系统，如图 1-1 所示，图中调节对象代表生产过程中的某个环节，调节对象的输出量是被调量，如温度、压力、流量等工艺参数。这些工艺参数经变送单元转换成相应的电信号，一方面送到显示单元供指示和记录，同时又送到调节单元中，与给定单元送来的给定值相比较，调节单元按照比较后得出的偏差，发出调节信号，控制执行单元的动作，将管路的阀门开大或关小，改变控制量，直至被调量与给定值相等为止。

从图 1-1 中可以看出，对于不同的调节对象只需更换一个或几个单元，就可以满足不同的调节要求。

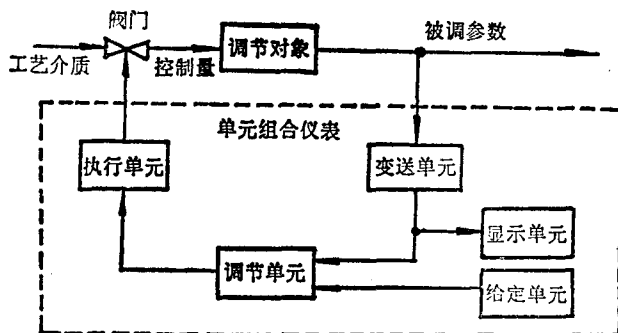


图1-1 电动单元组合仪表组成的简单调节系统

二、我国电动单元组合仪表的发展概况

我国从1958年开始设计，试制电动单元组合仪表，经过反复试制和改进，不断提高仪表的性能，至1964年全套仪表投入生产，称为 DDZ-I 型电动单元组合仪表。这套仪表采用 $0\sim 10\text{mA}$ 、D.C 作为统一联络信号，以磁放大器和电子管作为主要放大元件，可

靠性较高,在我国各有关工业部门中获得了广泛的应用。

从1965年开始设计和试制以晶体管为主要放大元件的DDZ-II型电动单元组合仪表。在仪表的设计中,尽量利用DDZ-I型电动单元组合仪表已经取得的成果,考虑到与工业控制机的配合,使DDZ-II型电动单元组合仪表不仅可以组成简单的调节系统,而且还可以组成电-气复合调节系统和更复杂的调节系统。到1970年,DDZ-II型电动单元组合仪表已经能够大量生产,对我国工业生产自动化起了有力的促进作用。

三、DDZ-II型电动单元组合仪表总体说明

DDZ-II型电动单元组合仪表采用晶体管为主要放大元件,以 $0\sim 10\text{mA.D.C}$ 为统一联络信号,允许的负载电阻为 $0\sim 1500$ 欧姆。当负载电阻在规定范围内变化时,信号电流保持恒定。若采用 0.6 毫米直径的电线,其信号的传输距离可达 2 公里以上。DDZ-II型电动单元组合仪表又采用 $0\sim 10\text{mV}$ 和 $0\sim 2\text{V}$ 直流电压作为辅助联络信号,以便于和其它仪表配套使用。

DDZ-II型电动单元组合仪表的单元划分、技术特点、主要性能指标和型号命名规则如下:

1.单元划分和技术特点 根据DDZ-II型电动单元组合仪表在自动调节系统中的作用和特点的不同,可将全套仪表划分为变送单元、转换单元、计算单元、显示单元、给定单元、调节单元、辅助单元和执行单元等八大类。各单元作用如下:

(1) 变送单元:变送单元能将被测参数转换成 $0\sim 10\text{mA.D.C}$ 电流信号,传送到显示单元和调节单元,以供指示、记录和调节。变送单元主要品种有温度变送器、压力变送器、差压变送器、流量变送器等。

(2) 转换单元:转换单元是DDZ-II型电动单元组合仪表与其它系列仪表之间联系的桥梁,把不同系列的仪表与DDZ-II型仪表的调节系统联结起来。转换单元的品种有直流毫伏转换器、频率转换器、气-电转换器等。

(3) 计算单元:计算单元的作用是将几个 $0\sim 10\text{mA.D.C}$ 电流信号进行加、减、乘、除、开方、平方等数学运算,适用于多参数综合调节。计算单元的主要品种有加减器、乘除器和开方器等。

(4) 显示单元:显示单元对被测参数起指示、记录、积算和报警作用,供运行管理人员操作、监视调节系统工况之用。显示单元的主要品种有比例积算器和开方积算器。

DDZ-II型仪表系统中的指示、报警仪表可配用DXZ型指示仪表和DXB型指示报警仪。记录仪表可配用XWC型、XWD型等电子电位差计记录仪。

(5) 给定单元:给定单元输出 $0\sim 10\text{mA.D.C}$ 电流作为被调参数的给定值送到调节单元,实现定值调节或时间程序调节等。给定单元的输出也可以供给其它仪表作为参考基准值。给定单元的主要品种有恒流给定器和分流器。

(6) 调节单元:调节单元将被调参数信号与给定值信号进行比较,按着偏差的情况给出调节信号,控制执行器的动作实现自动调节。调节单元的品种有比例积分调节器、比例积分微分调节器和微分调节器。

(7) 辅助单元:辅助单元用来增加系统组合的灵活性,如操作器和选择操作器用于手动操作,阻尼器用于压力或流量信号的平滑阻尼,限幅器用于限制 $0\sim 10\text{mA}$ 信号的上下极限。

(8) 执行单元: 执行单元按着调节器发出的控制信号或手动操作信号, 操作阀门之类的执行机构, 控制调节对象的工况。执行单元的主要品种有角行程电动执行器和直行程电动执行器。

DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表的统一信号, 可以通过电-气转换器转换成气动单元组合仪表的统一信号 ($0.2 \sim 1$ 公斤力/厘米²), 驱动 QDZ 系列的气动执行器或气动调节阀。 $0 \sim 10\text{mA.D.C}$ 电流还可以通过电气阀门定位器直接操作气动执行器。

DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表系统图如图 1-2 所示。

2. 统一性能指标

(1) 统一信号: $0 \sim 10\text{mA.D.C}$;

(2) 辅助信号: $0 \sim 10\text{mV.D.C}$ 和 $0 \sim 2\text{V.D.C}$ 两种;

(3) 基本精度: 0.5级和1.0级;

(4) 负载电阻: $0 \sim 1.5\text{K}\Omega$;

(5) 恒流精度: $0.5\%/1.5\text{K}\Omega$;

(6) 灵敏度: $\leq 0.1\%$;

(7) 长期漂移: 预热 4 小时后长期漂移 $\leq 0.5\%$;

(8) 抗干扰性能: 纵向干扰 $220\text{V}, 50\text{Hz}$;

横向干扰 输入信号满量程的1% (不小于5mV), 50Hz ;

(9) 供电电源: $220^{+20}_{-30}\text{V}, 50 \pm 1\text{Hz}$;

(10) 环境条件:

① 环境温度: 室内仪表 $0 \sim 45^\circ\text{C}$;

室外仪表 $-10 \sim +60^\circ\text{C}$;

② 相对湿度: 室内仪表 $\leq 85\%$;

室外仪表 $\leq 95\%$;

③ 环境振动: 频率 $\leq 25\text{Hz}$, 双振幅 ≤ 0.1 毫米;

(11) 绝缘电阻: 信号回路对地 $\geq 20\text{M}\Omega$;

供电电源回路对信号回路 $\geq 50\text{M}\Omega$;

(12) 绝缘强度: 信号回路对地 $500\text{V}, 50\text{Hz}, 1$ 分;

电源回路对地 $1000\text{V}, 50\text{Hz}, 1$ 分。

3. 型号命名规则 DDZ-Ⅱ型仪表根据各单元的习惯用语, 将指示、记录单元称为指示仪、记录仪, 其余各单元都称为“器”, 如变送器、转换器、计算器、给定器、调节器、执行器等。

整套仪表以电 (Dian)、单 (Dan)、组 (Zu) 三字的汉语拼音第一个大写字母为标志, 如 DDZ-Ⅱ代表晶体管型的电动单元组合仪表。

各大类产品的代表符号:

B——变送单元; T——调节单元; K——执行单元;

X——显示单元; J——计算单元; G——给定单元;

Z——转换单元; F——辅助单元。

各小类产品的代表符号:

Y——压力； C——差压； U——液位； L——流量；
W——温度； F——成份分析； L——连续调节； Z——指示；
J——记录； D——电动操作； Q——气动操作； F——分流；
P——频率； Q——气-电转换； A——恒流给定； S——积算；
S——乘除； J——角行程； Z——直行程； J——加法。

型号举例：

DBY-110代表压力变送器，其量程范围为0~0.1至0~1.0公斤力/厘米²。

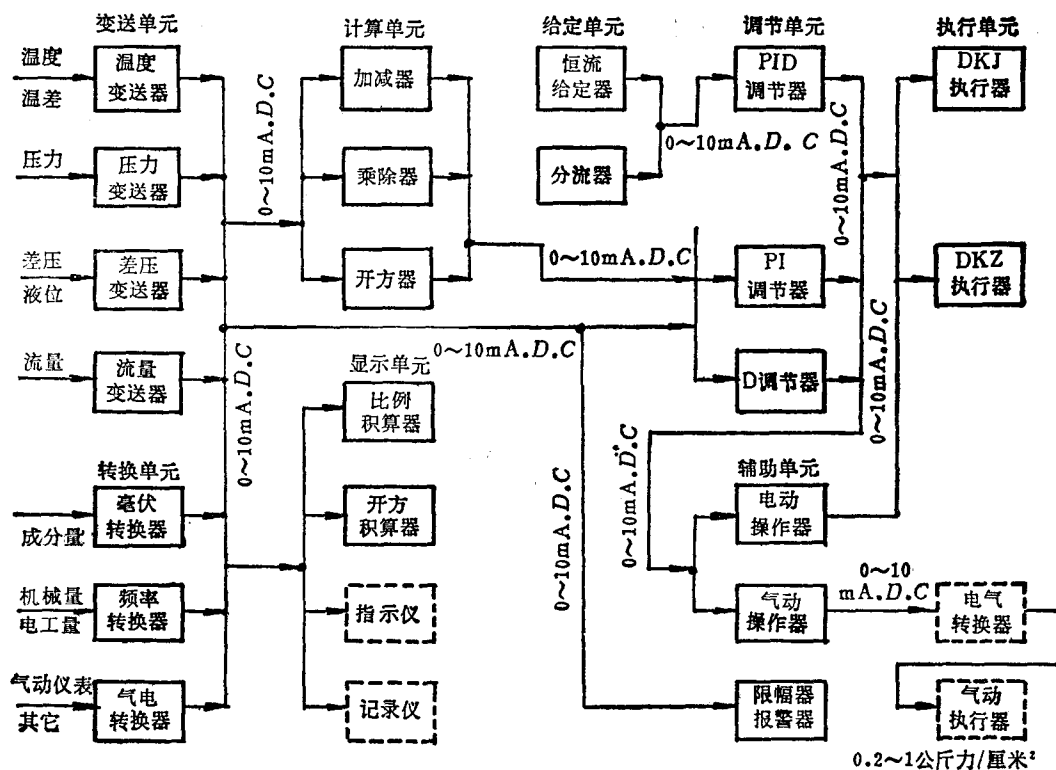


图1-2 DDZ-I 电动单元组合仪表系统示意图（虚线框内为配套仪表）

四、DDZ-III型电动单元组合仪表简介

为了适应国民经济高速度发展，我国在广泛推广使用DDZ-II型仪表的基础上，又成功地研制出具有先进水平的新型仪表，DDZ-III型电动单元组合仪表，并已在现场正常运行使用。经实践证明，这套仪表性能稳定可靠。

1. DDZ-III型电动单元组合仪表的特点

(1) 采用国际标准信号制 现场传输信号为4~20mA.D.C，控制联络信号为1~5V.D.C，信号电流与电压转换电阻为250欧姆。这种信号制的零点不是从零开始，其优点是充分利用了晶体管的线性段，有利于识别断电、断线等故障，而且信号范围大，有利于提高变送器的性能。

(2) 扩大了调节器的功能 在基型调节器的基础上，增加不同的附加单元就可以构成各种不同品种的调节器。如间歇调节器、前馈调节器、自选调节器、自动/手动外

部切换调节器、SPC 给定点调节器、DDC 备用调节器等。

(3) 采用线性集成电路 由于集成电路均采用差动放大器, 故输入级对称性好、漂移小、增益高、功耗小, 而且由于采用直接耦合, 使线路简单, 可靠性大大提高。

(4) 采用24V.D.C 集中供电 采用24V.D.C集中供电并与备用电池构成无停电装置, 其优点是不直接用工频电源供电, 各单元之间无需电源变压器, 有利于防爆, 可实现二线制。

(5) 整套仪表构成本质安全防爆系统, 可用于危险场所。

2. DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表的品种与分类 根据各单元功能及结构特点, DDZ-Ⅲ型仪表大体有下列八个基型品种:

- (1) 差压二线制变送器;
- (2) 温度变送器;
- (3) 安全保持器;
- (4) 调节器;
- (5) 指示记录仪;
- (6) 计算单元;
- (7) 电-气转换单元;
- (8) 电源箱。

按仪表在自动调节系统中的作用和特点, DDZ-Ⅲ型仪表可分为变送单元、转换单元、显示单元、调节单元、计算单元、安全单元和辅助单元。

DDZ-Ⅱ型仪表与 DDZ-Ⅲ型仪表性能比较

性 能	系 列	DDZ-Ⅰ	DDZ-Ⅲ
1. 信号制		0~10mA.D.C	4~20mA.D.C
2. 电源		220V.A.C	24V.D.C
3. 现场变送器		四线制	二线制
4. 传输方式		串联制	并联制
5. 防爆形式		隔爆型	安全火花型HⅡ
6. 电气元件		分立元件	集成电路
7. 手动方式		硬手动	硬手动和软手动
8. 自动-手动切换		需先平衡	直接切换
9. 温度变送器		无线性化电路	有线性化电路
10. 差压变送器		双杠杆机构	矢量机构
11. 调节器		无保持电路	有保持电路
12. 调节器指示		偏差指示	全刻度及偏差指示
13. 与计算机联用		兼容性差	兼容性好
14. 互换性		差	好
15. 稳定性		差	好
16. 可靠性		一般	高
17. 维护检修		较难	方便

DDZ-Ⅲ型仪表的产品名称及型号命名基本上采用了DDZ-Ⅱ型仪表的规定，而规格编号和附件编号是重新规定的。

DDZ-Ⅱ型仪表与DDZ-Ⅲ型仪表的性能比较见上表。

五、有关测量的一般知识

1. 绝对误差 在同一个测量条件下，测量仪表的指示值和标准仪表的标准值之差称为绝对误差。例如：测量仪表的指示温度为600℃，标准仪表的标准值为615℃，则绝对误差为600℃ - 615℃ = -15℃，绝对误差可以是正值，也可以是负值或为零。绝对误差不能完全说明仪表的准确程度，例如两只仪表的绝对误差都是15℃，则对指示值为600℃和1000℃的两只仪表来说，其准确程度是不一样的，显然指示值为1000℃的那只仪表准确程度较高。所以判断仪表准确程度一般不用绝对误差而用相对误差。

2. 相对误差 指示仪表的绝对误差与该仪表的指示值或标准仪表准确值之比称为相对误差。

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{指示值}} \times 100\%$$

在上例中，指示值为1000℃的那只仪表，其相对误差为 $\frac{15^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C}} \times 100\% = 1.5\%$ ，

即每100℃实际误差为1.5℃，对指示值为600℃的那只仪表，其相对误差为 $\frac{15^\circ\text{C}}{600^\circ\text{C}} \times 100\% = 2.5\%$ ，即每100℃实际误差为2.5℃。

要求仪表的指示值绝对正确是办不到的，根据仪表的不同用途，常对某一类仪表规定在一个正常情况下容许的最大相对误差，如果仪表在使用时的实际相对误差超过容许的最大相对误差，即仪表在测量范围内任意刻度上的读数误差超过规定值，则仪表需要校验和修理。

3. 容许的最大相对误差 仪表出厂时，制造厂保证仪表在正常使用条件下，最大绝对误差与测量上限之比值称为容许的最大相对误差。例如：仪表测量上限为1000℃，最大绝对误差为10℃，则该仪表的最大容许相对误差为 $\frac{10^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C}} \times 100\% = 1.0\%$ ，即

100℃的绝对误差不容许超过1.0℃。在制造仪表时，一般是将仪表容许的最大相对误差的百分数刻在仪表的刻度盘上，或刻在其它标记上，称为精度等级。在上例中，仪表容许的最大相对误差为1.0%，则该仪表的精度等级为1.0级。DDZ-Ⅱ型仪表的精度等级有0.5级、1.0级、1.5级和2.0级。

4. 灵敏度 测量参数变化一个单位，仪表指示角位移或直线位移的大小称为灵敏度。例如：在一只温度显示仪表上，指针每移动1毫米代表1℃，而另一只温度显示仪表指针每移动2毫米代表1℃，则后一只温度显示仪表的灵敏度较高。提高仪表的灵敏度，可以得到更准确的读数，单纯追求仪表的小型化而不考虑仪表的灵敏度是不合理的。

5. 变差 变差是标志仪表恒定性的指标。对于直接读数的仪表，可以认为是在同一外界条件下，同一只仪表当指针从上限或下限两个方向接近这个读数时，会得到不同的结果，也就是在同一个校验点上，仪表正行程指示值和仪表反行程指示值之差称为变

差。例如：实际温度由低温升到100℃时，仪表的读数为99℃，而由高温降到100℃时，仪表的读数为101℃，可见在校验点100℃处有两个读数，其差值为2℃，这个差值被仪表的量程除，得到的百分数表示仪表的变差。在上例中，如果仪表的量程为0~400℃，精度为1.0级，看其变差是否超过仪表的精度

$$\text{变差} = \frac{2^{\circ}\text{C}}{400^{\circ}\text{C}} \times 100\% = 0.5\%$$

由计算结果可知，该仪表的变差不超过仪表的精度，这个变差是允许的。当仪表的变差超过仪表的精度时，表示仪表的恒定性变坏，需要校验和修理。

第二章 温度测量与温度变送器

温度是冶金生产中最普遍的最重要的热工参数之一。许多冶金产品的质量和产量，都直接与温度这一参数有关，因此实现精确的温度测量，特别是用电子计算机控制的一些生产设备，如能实现远距离温度测量，就具有更重要的意义。在钢铁和有色金属生产过程中，需要进行温度测量的范围是很广的。在这样广的温度测量范围内，必然应用到各种各样的测温方法和测温仪表。本章主要介绍热电偶和热电阻的测温原理、结构以及与热电偶和热电阻配合使用的温度变送器。

第一节 基本概念

一、温度

温度是用来表示物体的冷热程度（或受热程度）的。物体的受热程度是由热运动过程中所呈现的内部动能决定的。一切物体均由分子构成，分子总是处于运动状态，物体受热或变冷，其内部分子的动能增加或减小，表现为温度升高或降低，这种现象被描述为物体的热势或能量效应，当用数值加以表示时，称之为温度度数。

二、常用“温标”

为了精确地确定温度的数值，首先必须建立衡量温度的标尺。即确定温度读数起点（零点）和测量温度的基本单位（度）。

用来衡量物体温度的标尺称为“温度标尺”，简称“温标”。

1. 华氏温标（°F） 华氏温标是将水的冰点和水的沸点之间的温度差分为180等份（或度），每一等份就称为华氏一度。并规定冰点的温度数值为32°F，沸点为212°F。

2. 摄氏温标（°C） 摄氏温标是将水的冰点和水的沸点之间的温度差分为100等份（或度），每一等份就称为摄氏一度。并规定冰点的温度数值为0°C，沸点为100°C。

华氏温标与摄氏温标之间的换算关系为

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

由上式可以看出，摄氏的零点是华氏的32度，摄氏的100°C是华氏的212度。摄氏温标和华氏温标的读数起点不同，而且基本单位的大小也不同。

3. 国际实用温标 目前国际上通用的温标是“国际实用温标—1968”（简称为“IP TS—38”）。它是1967年底国际权度大会建议采用的。我国从1973年1月1日开始正式采用这一温标。

“IP TS—68”规定对温度有两种表示方法，即摄氏温标和凯氏温标（也称热力学温标）。凯氏温标是一种绝对温标，这种温标规定分子运动停止时的温度为绝对零度或最低理论温度。凯氏温标是基本温标，用符号 T 表示，其单位是凯尔文，用符号 K 表示。凯氏温标与摄氏温标之间的换算关系为

$$t = T - T_0$$

式中 $T_0 = 273.15\text{K}$, $t =$ 摄氏温标度数

例如水的冰点用摄氏温度来表示是 0°C 。根据上式,若用绝对温度表示,则是 273.15K 。水的沸点是摄氏 100°C ,若用绝对温度表示则为 373.15K 。水的沸点与冰点之间的温度差用摄氏温度表示时等于 $100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}$,即 100 摄氏度;用绝对温度表示时等于 $373.15\text{K} - 273.15\text{K} = 100\text{K}$,即 100 凯尔文度。可见摄氏温度与绝对温度的差别仅在于零点不同。两者基本单位的大小则是一致的。

华氏温标、摄氏温标及凯氏温标三者的关系与测量器件如图2-1所示。

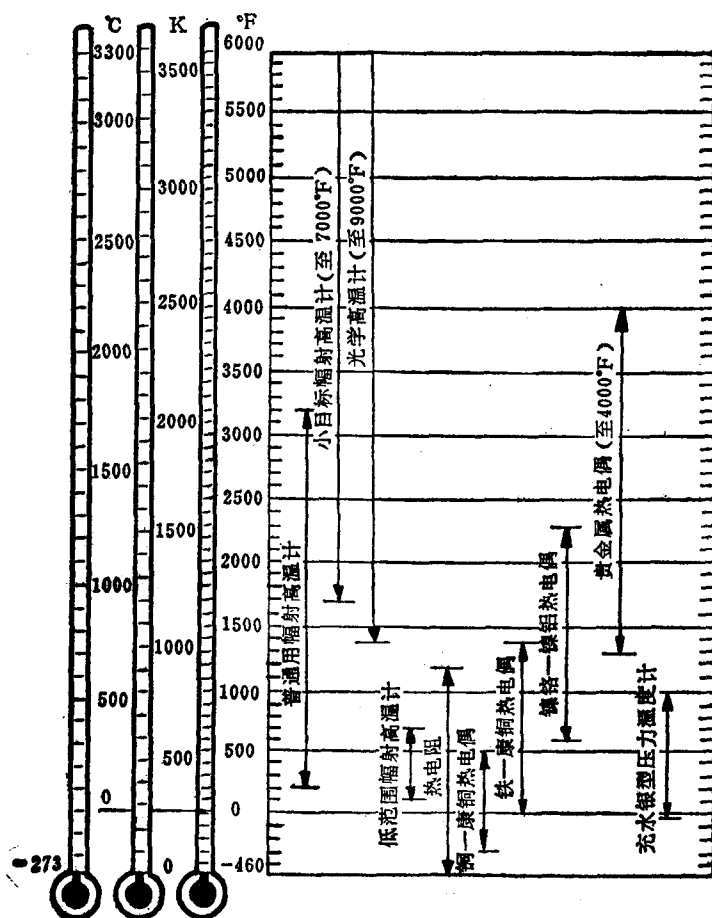


图2-1 华氏温标、摄氏温标及凯氏温标的关系与测量器件

第二节 热 电 偶

在温度测量中,热电偶是一种广泛使用的测量元件。它具有结构简单,测量精度高,测量范围宽,便于远距离传送与集中检测控制等优点。

一、热电偶的测温原理

图2-2是最简单的热电偶测量温度系统。它由热电偶和测量显示仪表两部分组成,

两者之间用导线连接。本节只对热电偶加以说明,显示仪表详见第五章。

用热电偶来测量温度的基本原理是基于热电现象。如图2-3所示, A 和 B 为两种不同成分的导线,将其两端1和2互相焊接或绞接形成一闭合回路。若两端所处的温度分别为

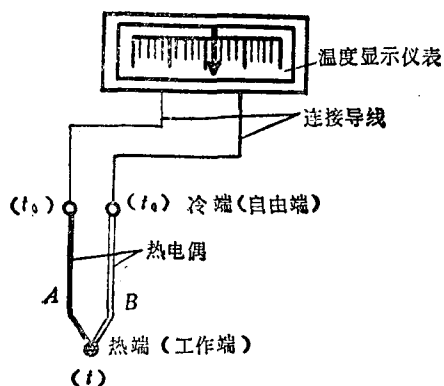


图2-2 热电偶测温系统

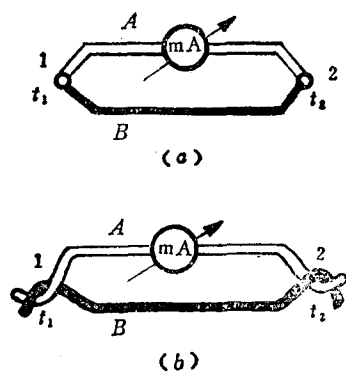


图2-3 热电极连结方法与测温原理
(a)焊接; (b)绞接

t_1 和 t_2 , 并且 $t_1 \neq t_2$, 在闭合回路中就会有电势产生。如在回路中串接一只毫安表, 其指针就会偏转。 t_1 和 t_2 相差越大, 闭合回路中产生的电流强度也就越大; 或者说电流强度的大小取决于导体两端所处的温度差。这种现象称为热电效应。这种导体的组合称为热电偶, 单独的导线称为热电极, 两个接合点其中温度高的一端称为工作端或热端, 温度低的一端称为自由端或冷端。热电偶就是根据这种温度差和所产生的热电势的关系来求知被测处的未知温度。

上述热电现象的产生, 其解释方法可利用电子学的理论加以说明。我们知道, 所有金属都具有自由电子, 而且在不同的金属中自由电子密度是不同的。当两种不同导体 A 和 B 接触时, 由于电子密度的不同, 在接触处便发生自由电子的扩散作用。若金属 A 的自由电子密度大于金属 B 的自由电子密度, 则在同一瞬间内由金属 A 扩散到金属 B 中去的自由电子将比由金属 B 扩散到金属 A 中去的自由电子多。如此, 在同一瞬间, 金属 A 相对于金属 B 失去电子而带正电, 金属 B 获得电子而带负电。由于正负电荷的存在, 在接触的地方便产生了电场, 它将阻碍扩散作用的进一步进行, 直到电子的扩散速度等于电场所引起的反方向电子转移速度时, 就达到了动平衡状态。在这种状态下, A 、 B 间就产生了一定的电位差, 电位差的数值取决于金属的性质和接触点的温度。由于导体 A 的自由电子密度大于导体 B 的自由电子密度, 经电子扩散后所形成的电位差, A 金属为正, B 金属为负。

为了便于理解和讨论, 上述关系可以利用数学关系式来加以描述。在图2-3中, 假设1端的温度为 t_1 , 产生的热电势为 $E_{AB}(t_1)$, 2端的温度为 t_2 , 产生的热电势为 $E_{AB}(t_2)$ 。闭合回路的总热电势用 $E_{AB}(t_1, t_2)$ 表示, 其方向如图2-4所示, 它的大小为