

高等学校教学用书

冶金生产过程自动化

东北工学院冶金机械教研室編



中国工业出版社

不可能在軋
量厚度，而測
高的地方，此
秒)。因此，
节作用可能
下装置运动
差大时，

高等学校教学用书



冶金生产过程自动化

东北工学院冶金机械教研室編

中国工业出版社

全书共分六章：前三章着重叙述生产过程自动化的基本概念、有关冶金生产过程的非电量测量技术，以及液压、气压和电动调节器等；后三章专门叙述有关炼铁生产过程、炼钢生产过程和轧钢生产过程的自动控制和自动调节系统等。

本书经冶金工业部教育司推荐，作为高等学校冶金机械专业的教学用书，亦可供工厂工程技术人员参考。

本书由东北工学院冶金机械教研室何健同志编写，参加审核工作的有曹大本、刘毅贞等同志。

冶金生产过程自动化

东北工学院冶金机械教研室编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $9^{3/4}$ ·插页1·字数216,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—1,637·定价(10—6)1.20元

统一书号15165·729（冶金—193）

目 录

緒論	4
第一章 生产过程自动化的基本概念	5
§1-1 生产过程自动化的一般概述	5
§1-2 自动检测	6
§1-3 自动控制	6
§1-4 自动调节	7
第二章 参数测量	11
§2-1 温度测量	11
1. 热电高温计	11
1) 热电偶	12
2) 热电偶的构造形式	13
3) 测量仪器	17
4) 用热电高温计测量温度的主要误差及其消除方法	25
2. 辐射高温计	29
1) 加热体的辐射定律	29
3. 光学高温计	31
4. 全辐射高温计	35
§2-2 压力和负压的测量	37
1. 液体压力计	38
1) U形压力计	38
2) 微压计	38
3) 环天平	39
2. 弹簧压力计	40
1) 管弹簧压力计	40
2) 膜片压力计和膜片吸力计	41
§2-3 流量的测量	42
1. 节流测量装置——孔板	42
2. 测量流量的新技术	45
1) 超声波流量计	45
2) 磁流量计	47
§2-4 气体成分的测量	47
§2-5 气体湿度的测量	50
§2-6 力和扭矩的测量	51
1. 力的测量	52
1) 电阻法	52
(i) 电阻法测量原理	52
(ii) 电阻丝变换器	53
(iii) 电阻丝变换器的粘贴	54
(IV) 电阻变换器电阻变化与受力的关系	56

(V) 动态电阻应变仪	58
(VI) 磁电式示波器	62
(VII) 軋制压力的测量	63
2) 电感法测量原理	64
3) 电容法测量原理	65
4) 晶体压电法测量原理	65
2. 扭矩的测量	65
1) 滑环接触式测扭装置	65
2) 非接触式测扭装置	66
3. 零件应力的测量	67
§2-7 冷轧带钢厚度的测量	68
1. 接触式厚度测量计	68
2. 无触点式厚度测量计	68
1) X射线厚度测量计	68
2) 放射性同位素厚度测量计	69
第三章 自动调节	71
§3-1 自动调节对象的基本性质	71
1. 容量	71
2. 自衡	72
3. 滞后	74
4. 负荷	74
§3-2 自动调节器的基本性质和特性	74
1. 调节器的基本性质	74
2. 调节器的特性	76
1) 无定位调节器	77
2) 静定调节器	78
3) 再调调节器	79
§3-3 调节器的构造	80
1. 液压调节器	80
1) 压力调节器	80
2) 流量调节器	87
3) 比例调节器	88
2. 气压调节器	89
3. 电动调节器	90
1) 触点毫伏计	90
2) ИР-130 电动再调调节器	90
3) РДМ-35 型压力调节器	98
第四章 炼铁生产过程自动化	100
§4-1 炼铁生产过程中检查和调节的参数	100
§4-2 高炉热风温度的自动调节	101
§4-3 热风炉内燃烧的调节	103
§4-4 高炉炉顶煤气压力的调节	106

§4-5 高炉炉况的综合自动调节	106
1. 按照高炉风口到炉顶压差的综合自动调节	106
2. 采用逻辑计算机的综合自动调节	108
第五章 炼钢生产过程自动化	109
§5-1 平炉燃烧过程的自动调节	109
1. 按平炉炉顶温度来调节平炉燃烧过程的系统	110
2. 用三个比例调节器来调节平炉燃烧过程的系统	112
3. 科什嘉尔工程师的燃烧调节系统	112
§5-2 平炉熔炼室(平炉炉膛)压力调节	113
§5-3 自动控制平炉火焰换向	114
§5-4 某厂 180 吨平炉的热工状态检查和自动调节系统	115
§5-5 平炉热工过程的程序调节	118
§5-6 电弧炉的自动调节	119
1. 带有并联自激放大机的线路	120
2. 带有交磁放大机的线路	121
第六章 轧钢生产过程自动化	124
§6-1 轧钢机辅助机械拖动装置的自动化	124
1. 滑座式热锯拖动装置的控制线路	125
2. 剪切机拖动装置的控制线路	127
3. 飞剪拖动装置的控制线路	130
1) 飞剪电力拖动装置中应用随动系统的理论基础	130
2) 飞剪的测速计式系统控制线路原理	132
3) 飞剪的自整角机系统的控制线路原理	133
§6-2 可逆式轧钢机主传动的自动控制	136
1. 可逆式轧钢机轧制的工艺特点	136
2. 可逆式轧钢机主传动控制的自动化问题	136
1) 自动选择主电动机旋转方向的环节	137
2) 自动选择咬入速度的环节	137
3) 自动计算轧制道次的环节	137
4) 检查轧辊是否咬入金属的环节	139
5) 控制抛钢速度的环节	139
§6-3 热轧连轧机拖动装置的自动化	141
1. 热轧连轧机工艺过程的特点	141
2. 连轧机中带有电机放大机的电压和速度调节器	143
§6-4 冷轧机拖动装置的自动化	145
1. 冷轧机工艺过程的特点	145
2. 机架间带钢张力自动调节	146
3. 机架与卷取机间带钢张力的自动调节	147
4. 在轧制过程中钢板厚度的自动调节	150

緒 論

冶金生产过程（主要指黑色冶金生产）自动化主要是研究通过什么方法和采用什么自动仪器和装置，对表征冶金生产过程的基本参数进行自动测量、自动控制 and 自动调节。

冶金生产过程的进行情况，可通过许多基本参数来表达，这些参数的大小和变化规律必需符合生产过程的要求。例如，在正常的生产情况下，要求送入高炉的热风温度保持一定；要求按平炉炼钢的不同熔炼阶段，改变供给平炉的煤气流量；要求连轧机组各机架电动机之间严格保持一定的转速比等等。

自动化的任务就是要通过自动仪器和装置来检测冶金生产过程的基本参数，并使它们按着生产过程的要求，保持一定的大小和按一定的规律变化。早些时候，这些要求是由人工操作来完成的。但是，随着生产技术的发展，生产过程的不断强化，这些参数的检测、控制工作也日益显得繁重复杂和要求高的准确度，这就只有通过自动仪器和装置才能完成这些任务。因此，生产过程自动化是科学技术发展的方向之一，随着现代工业技术水平的提高，将在冶金工业中得到广泛采用。

在现阶段，还只是工艺过程中个别机组或部分环节实现了自动化，整个生产过程的控制依然由操纵人员来担任。今后的发展应该是由某些机组的自动化向全盘自动化过渡，向整个车间、工艺过程和整个企业的自动化过渡。

为此目的，目前自动化系统中愈来愈多地采用各种最新科学成就；如电机自动装置、磁放大器、电子、离子和光子仪器，半导体元件等；放射性同位素仪器、计算装置也已被广泛用来研究自动化系统。

近来世界各国在生产自动化的领域中已取得了很大的成就，在冶金生产中也达到了高度的自动化。如高炉的自动装料、高炉炉况的自动调节、初轧机的钢锭从加热炉出来到轧制完毕的全部自动化等。

冶金生产过程包括采矿、选矿、烧结、炼铁、炼钢和轧钢等生产。它们共同的特点是：(1)工艺过程连续性；(2)大部分生产过程在高温下进行；(3)企业规模和能量消耗大，因此对自动化系统提出了如下要求：

第一，自动化系统应当可靠地连续工作，这是由生产过程连续性所决定的。因为工艺回路中各个环节都是按一定生产率设计的，任何机组的中断将会影响整个工厂的工作，不仅会造成减产，有时会使主要设备受到损坏。例如，短时停止对高炉或平炉冷却水的供应，就会使被冷却的设备过热。

第二，自动化系统的各个组成元件应该容易制造和更换方便，以便维护、检查和更换设备的元件时，能在最短时间内完成，而不影响生产的正常进行。

第三，除了上述对自动化系统的一般要求外，对个别元件和装置有时还有特殊要求。例如，对调节高炉热风温度的自动调节系统，除了要求保证热风温度稳定外，调节器所控制的温度值应该能改变。因为根据冶炼和炉料供应的情况，往往需要改变热风温度的大小。

第一章 生产过程自动化的基本概念

§ 1-1 生产过程自动化的一般概述

生产过程是生产状态顺次的更换，是将原料或半成品转变成成品时，被加工产品按一定规律的运动。

在技术上所有的生产过程都是由许多物理量（例如：电压、转速、温度、压力、位移等）来表明它的特性。在生产过程中有些物理量按着技术的要求，必须维持在给定的数值或者按预先给定的一个规律变化。

生产过程的自动化是使得某一生产过程在无人直接参加的情况下自动地进行，人的作用仅在于对机构和装置进行监督和调整。

自动化的过程可以按自动化的性质分为三种不同的情况：在第一种情况下，自动的仪表和装置仅用来检查过程的进行，要改变过程的进行还必须有人参加；在第二种情况下自动装置在无人参加时，仅仅完成事先为此自动装置所给定的任务，而完成这些任务的信号也是由人来发出；在第三种情况下自动装置保持过程进行的状态不变或按一定的程序来变化。

最后，自动装置还能解决一整套的任务，即同时完成对生产过程的检查，保持一定状态和按照一定程序变化等任务。

自动化的程度可按全部生产过程总的工序数中自动化工序数量的多少来衡量，可能仅仅是单个工序自动化，而其它工序则通过人来完成；也可能是生产过程中全部的生产工序都已自动化。

到达不同的自动化程度取决于生产过程的特点，取决于过程的复杂情况，譬如，那些物理量可以决定此过程，以及这些物理量可能怎样的变化和测量。例如，要保持某一对象温度不变则自动装置应当调节的物理量是进入或送出对象的热量。再如在比较复杂的高炉生产过程中，熔炼生铁决定于许多的因素：矿石的质量、炉料的成分、风量和风温等。所有这些因素并不是都能够加以考虑。由于有些因素很难考虑就造成生产过程自动化的许多困难。

根据自动化程序的不同通常可以分为三种自动化形式：即自动检查与测量自动控制

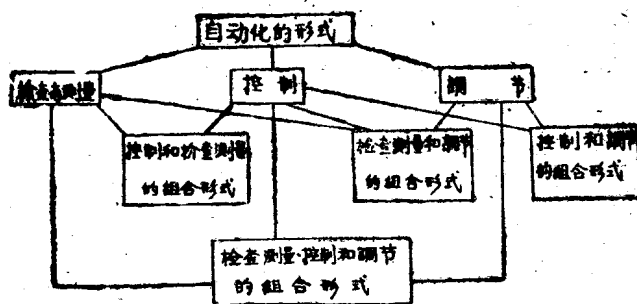


图 1-1 自动化形式原理性描述图

自动化形式除了可以单独形式出现外，组合的形式也获得广泛的应用。如图 1-1 所表示。

§ 1-2 自动检测

通过自动检测可以直接观察生产过程的进行情况，在生产过程的进行中能得到的指示表明了一定的物理量和状态；同时，也可能自动地用仪表记录下来，利用遙测系統可将指示傳遞到中央控制站。按照这些指示生产人員根据生产要求对生产过程作一定的校正。例如煉铁生产中，热风温度的指示和自动记录可作为自动检测的例子。

对自动检测的要求是，对表征过程的状态参数应在測量誤差允許的范围之内。

自动检测系統的结构及作用以图 1-2 来表示。

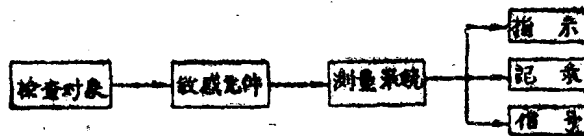


图 1-2 自动检测系统的结构及作用器

§ 1-3 自动控制

自动控制是指在人的参加下，通过自动装置对生产机组的作用，保证生产工艺过程合理的进行，保证机械各个机件所必須的移动或生产机组和其他被控对象工作状态的变换。这些生产过程要求具有重复的性质（经过一定的时间间隔重复发生的性质），但对表征生产过程状态参数的变化并不要求有高的准确度。

生产机组的自动控制最常采用电力拖动，而采用电磁离合器、液压拖动和气体拖动的情況較少。

自动控制系统通常都装有各种不同的保护装置，当生产机组出现故障时则发出让机组自动停車的信号，如果故障是在机组不工作的状态下被发现的話，則不让机组启动。这种系統通常很容易利用一些简单的小功率的控制器械而轉为远距离控制。

自动控制系統的结构及作用如图 1-3 所示。

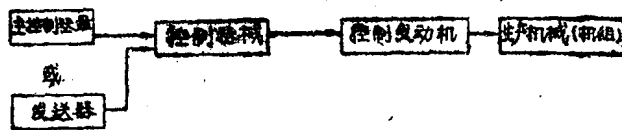


图 1-3 自动控制系统的结构及作用图

自动控制的第一个特点是由发送器或控制器发出一次初級信号后，机组以后的工作就与此信号无关，而只决定于控制器的动作。它的第二个特点为这个系統是一个开环的系統，即在系統中被控制的参数不再反回作用（反饋）到控制器械上。

电机以時間、电流或电压为函数的启动可作为自动控制的例子。图 1-4 所示的直流电动机轉速控制系统也可作为例子。移动电位計 1 的滑臂 2，我們就可以改变发电机 4 的激磁繞組 3 中的电流。这就使得电动机的电樞 5 里的电流变化，因而引起它的轉速变

化。轉速可以利用測速發電機 6 和測量儀器 7 來測定。在這類系統中沒有轉速的返回作用，所以系統是開環系統。

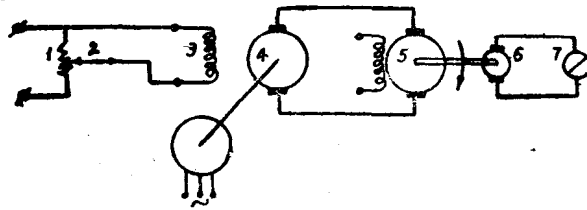


圖 1-4 開環控制系統

§ 1-4 自動調節

自動調節是在沒有人直接參加的情況下，通過自動裝置來保持一個或幾個參數（物理量）為一恒值或按某一定的規律變化。需要保持為一常數的量或按某給定的規律變化的量稱為被調量（或稱被調節參數）。

生產過程全部或局部被調節的生產機組，稱為調節對象。

例如，用各種調節系統調節平爐的燃燒時，平爐就是調節對象，被調節量就是送入平爐作為燃料的高爐煤氣和焦爐煤氣的流量，此時，可以使送入爐內的高爐煤氣流量在整個冶煉期間內保持不變，或者使高爐煤氣流量自動地按照預先給定的規律改變。

自動調節器（或調節儀器）是作用於調節對象上的儀器。使表征生產過程狀態的物理量保持於給定的數值或按給定的規律變化。

自動調節是比自動控制更複雜的一種自動化形式，自動調節系統的結構及作用如圖 1-5 所示：圖中測量元件、控制裝置和調節機構組成自動調節器。

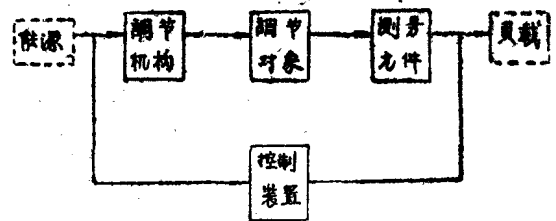


圖 1-5 自動調節系統的結構及作用圖

調節對象和自動調節器組成調節系統。

能量由能源進入調節對象，能量的消耗者——負載——與對象相聯，調節機構可以改變進入對象的能量，能量的消耗決定於負載。

當能量的輸入等於能量的輸出時，則被調量可以保持為一恒值，而系統處在動態平衡中，如果此一平衡因某種原因而被破壞，則系統中能量儲蓄的情況改變，結果使被調量變化。為了恢復平衡必需通過調節器的執行和調節環節（即改變調節機構的位置）來使輸入的能量向所要求平衡的方向改變，直到達到平衡為止。

自動調節系統的特點是系統的封閉性，故其又稱為閉環控制系統，因為在系統中被調量的因素（即被調量的信息）不斷地返回作用到調節機構上。

圖 1-6 的直流電動機轉速控制系統可以作為閉環系統的例子。它與圖 1-4 線路不同的地方是：表征電動機轉速大小的測速發電機 6 的端電壓要和由電位計 1 上取下來的電壓（表示轉速的規定值）相比較。如果電動機的轉速與規定值不同，那末兩個電壓就不

相等,因而产生误差信号电压。信号放大后,作用于发电机4的激磁绕组,改变电动机的转速,使转速误差信号减少,转速向规定值恢复。很明显图1-6线路乃是闭环系统。

自动调节系统按其给定值性质的不同,可以分为下述三类:

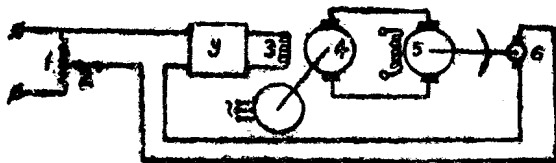


图1-6 闭环控制系统—自动调整系统

1) 自动锁定系统,被调量给定值为常数的系统,如高炉炼铁生产中保持给定的热风温度的自动调节系统。

2) 程序调节系统,被调量给定值按一事先给定的程序变化的系统,如平炉燃烧的程序调节系统。

3) 随动系统,被调量的给定值在很广阔的范围内按事先不知道的规律变化,如高射炮的瞄准。在飞剪驱动控制中,飞剪鼓轮必需保持和最后机架轧辊一定的速度比(或角位移之比),而影响最后机架速度的因素很多,无法预先测知,故飞剪驱动须采用随动系统。

在现代工程中,多个被调量的自动调整系统应用得愈来愈广泛。有时这类系统可以称作混合系统。混合系统乃是由锁定系统、程序调节系统和随动系统连接而成为统一复合系统。

对调节系统的要求取决于其用途和具体的工作条件,通常可以分成下述四类:

- 1) 对系统稳定性的要求;
- 2) 对静态误差的要求或者说对静准确度的要求;
- 3) 对系统在过渡过程中行为的要求(这些要求通常叫做品质条件);
- 4) 对系统动态准确度的要求或者说当有连续变化着的作用时,对误差值的要求。

任何调节系统首先要保证稳定的调节,同时应该有一定的安全储备(裕度)。

所谓稳定的调节是这样一种调节,它使被调量均匀地恢复到预先的数值而无振荡(图1-7)或经过数次衰减(阻尼)振荡(图1-8,图1-9)。

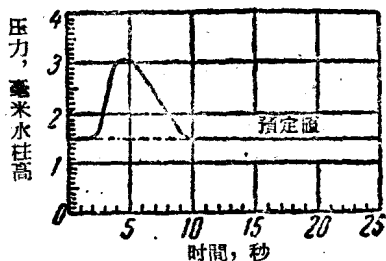


图1-7 非周期调节

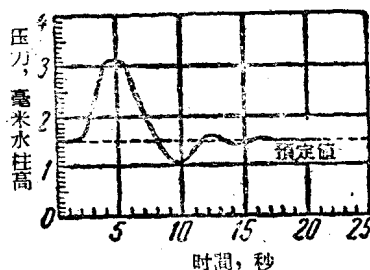


图1-8 稳定调节(衰减度为75%)

振荡的衰减有快有慢,决定衰减的特性值是衰减度,它是一个百分数,表示后半周期的振幅由于衰减比前半周期减少了百分之几,数学表示式如下:

$$P = \frac{a_{前} - a_{后}}{a_{前}} \quad (1-1)$$

式中 P ——衰减度;

$a_{前}$ ——前半周期的振幅;

a 后——后半周期的振幅。

实际上对大多数的过程来说衰减度为75%已经令人十分满意,在个别情况下,衰减度50%也就能满足要求。

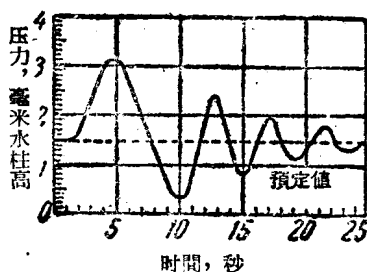


图 1-9 稳定调节(衰减度为25%)

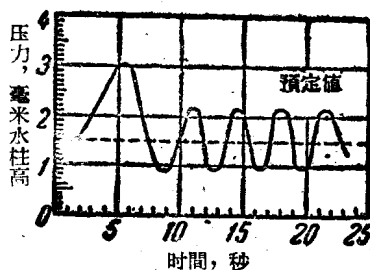


图 1-10 非稳定调节(不衰减谐振)

所谓非稳定调节乃是指不衰减振荡即振荡长时存在(图1-10)和增大振荡,即振荡随时间而增大(图1-11)的二种调节。

显然在调节系统中振荡增大的非稳定调节是完全不允许的,至于振荡不变的不衰减振荡的调节,如果振幅不大,那在工业中许多情况下应用效果很好。在某些情况下,为了达到稳定调节不得不采用较复杂的调节器。

调节系统受到外来作用时,被调量发生变化,这种变化反映所调节系统中,引起一定的系统状态变化的过渡过程。当过渡过程衰减以后(假设满足稳定条件,则过渡过程一定要衰减),系统趋于某一定态。相应于前后这两个阶段,提出了对定态行为的要求和对过渡过程行为的要求,对定态行为的要求是被调量静误差一定要在允许范围内。被调量的静误差 $\varepsilon_{(\infty)}$,即时间趋于无限时(此时认为过渡过程已衰减)的误差值($\varepsilon_{(\infty)}$ 有时可能等于零)。

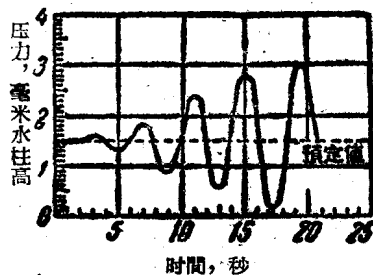


图 1-11 非稳定调节(增大的振荡)

$$\varepsilon_{(\infty)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) \quad (1-2)$$

系统在过渡过程中的行为,或者说所谓系统的品质,用下列品质指标来表示(图1-12):

- 1) 被调量最大误差 ε_{max} 或超调度 $\sigma\%$:

$$\sigma\% = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{(\infty)}}{\varepsilon_{(\infty)}} \times 100\% \quad (1-3)$$

- 2) 调节时间 t : 是从加入作用的时刻起,到满足下列不等式的最短时间

$$|\varepsilon(t) - \varepsilon_{(\infty)}| \leq \Delta \quad (1-4)$$

式中 Δ —— 一个给定的小恒量

- 3) 被调量在调节时间 t 内的振荡次数 n

如上述三指标不超过相应的允许值,那么通常就认为系统具有所要求的品质。当系统受到迅速变化的连续作用时,调节系统过渡过程这一概念已失去意义。故品质指标也

就失去意义。有意义的就是最大误差 ε_{max} ，它和静误差 $\varepsilon_{(\infty)}$ 不同。它是表示系统在非静态时的动态误差。但是由于很难鉴定误差的最大值，并且这种最大值通常不足以表示系统在连续迅速变化作用的工作特性。在这种情况下一般研究误差 $\varepsilon(t)$ 的某些平均值，用此决定系统在某段时间内的动态准确度。

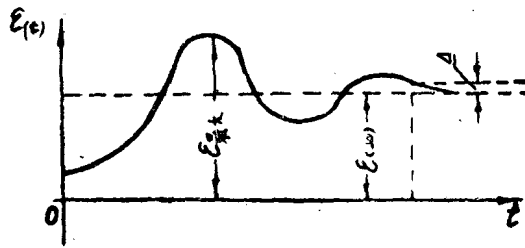


图 1-12 误差变化曲线与品质指示

第二章 参数测量

§ 2-1 温度测量

温度测量是冶金厂进行多种参数测量中最重要的一种，因为所有的基本过程（炼铁、炼钢和轧钢）和几乎所有的辅助过程（制造水蒸汽、压缩空气、耐火砖）都需要在一定的最适的温度状况（普通是温度区间不大的温度状况）下进行工作，其效果最为良好。

常用的温度测量仪器如表 2-1 所示。

表 2-1 温度测量仪器的种类

仪器类别	测量原理	温度测量范围℃
膨胀温度计	物体加热时膨胀	从 -70 到 150
压力 " " "	温度计受热部分里的液体或气体（为一闭合系统）因加热而改变压力	从 -40 到 550
热电高温计	加热两种不同热电量的接点产生电动势	从 -50 到 1600
电阻温度计	导线的电阻随其温度改变	从 -50 到 500
辐射高温计	加热体的亮度（辐射强度）随其温度改变	从 500 到 2000
比色高温计	加热体的颜色随其温度改变	从 800 到 2000
全辐射高温计	加热体辐射的能量随其温度改变	从 700 到 1800

下面讨论一下冶金企业中最常用的温度计：热电高温计、光学高温计和全辐射高温计。

1. 热电高温计

热电高温计在冶金厂中应用最广，因为与其它温度计比较有许多优点：

- (1) 可以用它很精确的测量高温。
- (2) 读数可以传到很远的距离。
- (3) 读数可以自动记录。

用热电高温计测量温度的原理是基于热电效应：即用两种不同的导线（A、B）在 1 和 2 两端（所谓接点）连接起来构成一闭合电路（图 2-1），如果两个接点的温度不同，就会产生热电势，它的数值等于两个连接端的电动势（是温度函数）之差。即：

$$E_{AB}(t_1, t_0) = e_A(t_1) - e_{AB}(t_0) \quad (2-1)$$

由二导线热电极构成的这种热电线路称为热电偶。

导线两端产生的电动势 $e_{AB}(t)$ 和 $e_{AB}(t_0)$ 只与该两端温度有关。一般可表为：

$$e = f(t) \quad (2-2)$$

热电势与温度的关系 $e = f(t)$ 只能用实验来确定。要测量热电势必须在线路内接一电气测量仪器（图 2-2）。

从热电偶理论可知，把某一导线接入热电偶线路中，如果该线两端温度相同，则热电势不变。如图 2-2 所示接入连接导线后，热电势并不改变。

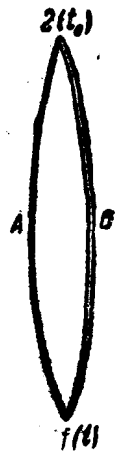


图 2-1 两种导线连成的热电线路

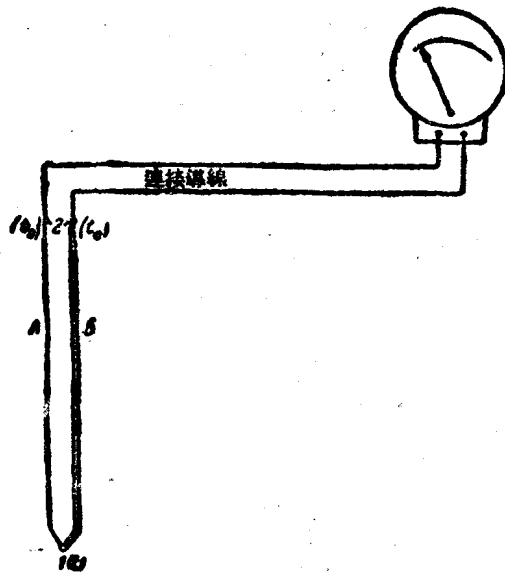


图 2-2 热电高温计的线路图

放到待测物中的连接端 1 叫测量端（工作端、热接点），放在已知低温的物质中的连接端 2 叫自由端（冷接点）。由式(2-1)可得一重要结论：热电偶产生的热电势与测量端和自由端的温度都有关。只有当自由端温度保持不变，即式(2-1)中第二项为一常数 C 时，热电偶产生的热电势才只是测量端温度的函数。

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - C = f(t) \quad (2-3)$$

所以要得到正确的测量结果，保持自由端的温度不变是非常重要的。

热电势的绝对值非常小，所以必须用很精密的仪器（毫伏特计或电位计）来测量。毫伏计是用铜线跟热电偶相连的，铜线与热电偶自由端或者直接连接，或者中间接一段所谓补偿导线（补偿导线的用途是把自由端从测量地点移开某一距离使其温度不至有大的变动并保持较低的数值）。

所以，热电高温计由三部分构成：热电偶、测量仪器和连接导线。

1) 热电偶

测定低于 1100°C 的温度时，一般采用普通金属制成的热电偶；测定高于 1100°C 而低于 1600°C 的温度时，采用铂类贵金属制成的热电偶；测量高于 1600°C 的温度时，则采用能耐高温金属制成的各种热电偶。

实际上用得最广的热电偶有：铂铑——铂；铬镍合金——铝镍合金和铬镍合金——考铜。

铬镍合金——考铜在氧化剂中化学上是稳定的，而在还原剂中（在 600°C 以下的温度范围里）则差些，长使用时温度上限为 600°C ，短时为 800°C ，其特点是有较大的热电势。

铝镍合金——铝镍合金热电偶在长使用时温度上限为 900°C ，短时为 1100°C 。由于加热时在金属表面上产生一层氧化膜，防止了氧侵入金属内部。所以这种热电偶可在

氧化剂里工作。相反，在还原剂里则破坏了氧化膜，对热电偶起到有害的影响。当加热时间很短（如测熔化的青铜和其它金属的温度）且热电机要保护得很好，不受气体作用时，这种热电偶还可以测到高达 1250°C 的温度。它的性质较稳定且读数较精确，在冶金厂中应用很广，尤其是用来测量热风温度，退火炉内蓄热室格子砖下等处的温度最为合适。

铂铑合金——铂热电偶是由贵金属做的一种热电偶。这种热电偶长时间使用时可测量到 1300°C ，短时可测量到 1500°C 。许多事实证明，由纯金属做的这种热电偶，能够在很长的时间内维持它的热电势不变。因此它常用做标准器，去校正其它金属做的热电偶。

用来制造热电偶的金属应该是化学纯态，少量的混合物就会影响热电偶的精度，并缩短使用期限。另外热电偶所处的周围气体也对精度和使用期限有很大的影响。铂铑合金——铂热电偶在氧化气体中很稳定，但在还原气体（特别 CO ）和砷磷硅等蒸气中就不稳定。要是这些气体和蒸气在高温下和热电偶接触，热电偶就很快迟钝不能使用了。所以这种热电偶应当在高温下用不透气的装置很好的保护。这种热电偶产生的热电势非常小， 1600°C 时才约 17 毫伏，这就需要灵敏的毫伏计进行测量。

除上述几种标准热电偶外，工厂里为了研究还使用 鎢-鎢，鎢-石墨，磷-磷化硅热电偶，它可测到 1800°C 的温度，并且能在这一温度下产生大约 500 毫伏的热电势。

2) 热电偶的构造形式

热电极绝大多数制成导线的形状。对于非贵金属的热电极直径为 $1.5\sim 3$ 毫米；铂铑合金——铂的热电极为 0.5 毫米。测量表面温度的热电偶制成带状、圆状和插入式的。

两热电极只应该在测量端相接触，而在其余部分完全绝缘。非贵金属热电偶的两热电极的内部绝缘采用耐火土管或磁管（图 2-3）。对于铂铑合金——铂热电偶，普通用很长的磁管，它的外径为 3 毫米，内径为 1 毫米。为了保护热电极免受机械损害和有害气体的直接作用，将它们放到一个保护管里（图 2-4）。保护管的总长 L 达 2000 毫米，而



图 2-3 热电偶的测量端和热电极的绝缘

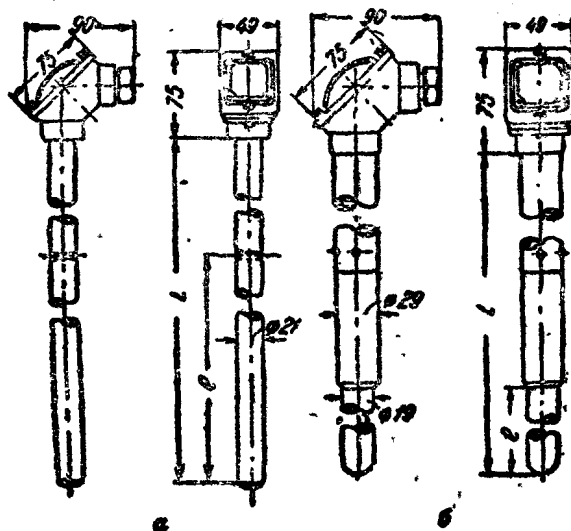


图 2-4 热电偶的保护管
a—金属管；b—耐火土管

插入深度 l 为 900 毫米。

对于非贵金属的热电偶，测量温度在 650°C 以下时，它的保护管采用无缝钢管。当温度超过 650°C 时，管上就会呈现很硬的铁皮（氧化铁鳞片），使它立刻损坏。所以测量高温时要用镀以各种保护层的钢管，镀铝和镀锌的管子都能很好的防止氧化。不过经验指出，更可靠的还是耐热钢做的无缝管套。

铂铑合金——铂热电偶的保护管采用耐火材料做的管子。温度在 1000°C 以下用石英管，它有很难得的性能，易于忍受温度的急剧改变。管子加热到 1000°C 后，放到冷水中去也不会破裂。高于 1000°C 时石英管就开始透气，因而不能适用。此外，在温度 $1050\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 下长时间加热后，管子会成为粗结晶的，变的特别脆，一击即碎。因此温度高于 1000°C 时，要用难熔的材料，主要用陶瓷材料做的保护管。

陶瓷管可用到 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 。现在，由难熔陶瓷料制成的管子已经忍受高温至 1400°C 。要使保护管不透汽，表面常涂一层釉（一种玻璃状熔合物质）。这种管子有个缺点：难以忍受温度的急剧变化，所以在插入热电偶和从炉内取出时需要特别小心。

除上述各种物质外，保护管还有用下述物质制成的，硅线石（ $57\%\text{Al}_2\text{O}_3, 43\%\text{SiO}_2$ ）、碳化硅（ SiC ）、烧结刚玉（ $99.8\%\text{Al}_2\text{O}_3, 0.2\%\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$ ）等等。

用来保护热电偶的还有水冷管。管子构造可从图 2-5 看出。整个热电偶除了测量端上一小段外，水套都能保护的很好。实际上水冷热电偶用的不多，长时测量时用的更少。

图 2-6 是用于热风管道的一种热电偶装置。由图可见，在风道上焊了一个有锥孔的

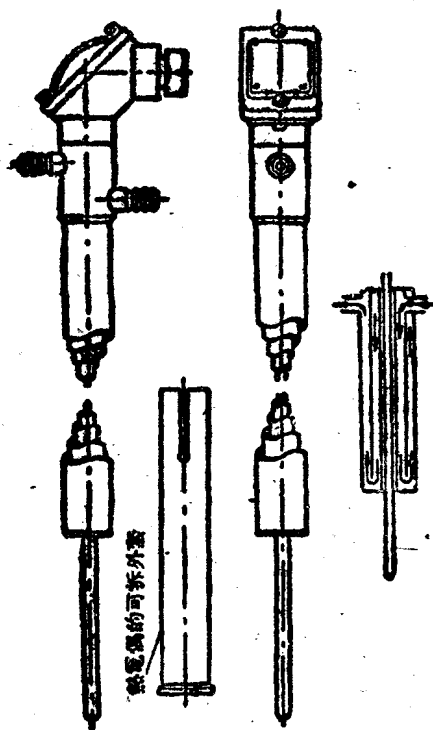


图 2-5 热电偶的水冷装置

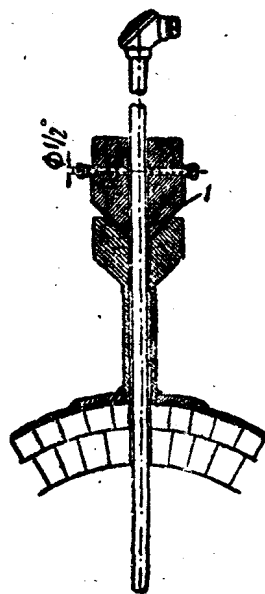


图 2-6 热电偶在热风道处的装置
1—石棉绳圈