

TQ531
Y-419

煤质化验仪器的使用与维修

主 编 杨金和

副主编 张自劭 施玉英 赵永瑞

煤炭工业出版社

821582 · 2

基础理论篇

第一章 温度测量仪表

第一节 测温元件

温度是表征物体冷热程度的物理量。几乎所有的煤质分析项目都与温度有关。温度的测量通过温度测量仪表来实现。它通常由测温元件和显示仪表两部分组成。

测温元件

测温元件的作用是把被测温度转换成容易显示的物理量,如:电压、电阻、位移等。

在煤质分析仪器中,常用到的测温元件有金属管感温器、热电偶、热电阻等。

1. 金属管感温器

金属管感温器又称为杆式温度计,其感温部分结构如图 1-1 所示。

测量管 1 是用膨胀系数大的金属(如青铜、黄铜、铝等)制成,并且其上端固定在仪器的壳体上;传递杆 2 是用膨胀系数小的材料(钢或石英)制成,其下端固定在测量管上,上端可上、下自由移动。当温度变化时,测量管受热膨胀,带动传递杆一起上、下移动,再经过传递机构和指针就可以指示出温度的数值。干燥箱、水浴等仪器上的控温装置中的一部分就采用这种测温元件,其测温上限可达 250°C 。

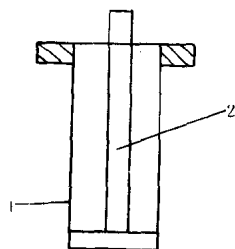


图 1-1 杆式温度计感温部分

1—测量管; 2—传递杆

2. 热电偶

热电偶是煤质分析仪器中广泛应用的一种测温元件。它的测量范围为 $0\sim 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，其工作原理是热电效应，即通过热电偶可以把温度信号转换为电压信号。

1) 热电偶的结构 热电偶的结构如图 1-2 所示。它由热电极、绝缘子、保护套管和接线盒等部分组成。热电极是两根不同材料的热偶丝，它们的一端焊在一起，称为热端或工作端，另一端不焊在一起，称为冷端或自由端；绝缘子在两根热偶丝之间起绝缘作用，以防短路；保护套管则保护热偶丝免受机械损伤和化学腐蚀，以有较长的使用寿命和测温的准确性。在煤质分析仪器中最常用的保护管是瓷管，而接线盒常省去不用。

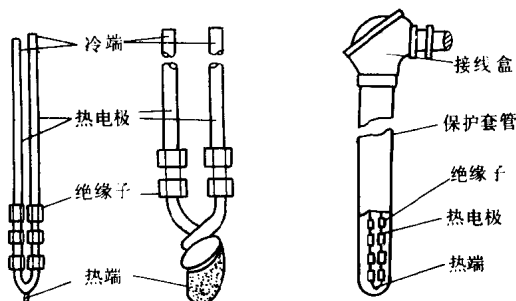


图 1-2 热电偶的结构

2) 热电偶的分类 在煤质分析仪器中，常用的热电偶有：

(1) 铂铑—铂热电偶 在铂铑—铂（分度号为 S）热电偶中，铂铑丝为正极，纯铂丝为负极；测量范围为 $-20\sim 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在良好的使用环境下可短期测量 $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；适用于氧化性或中性介质。它的优点是耐高温，不易氧化；有较好的化学稳定性；具有较高测量精度，可用于精密温度测量和作基准热电偶。

它的缺点是热电势较小，且热电势与温度之间的关系是非线

性的，价格较贵。

(2) 镍铬—镍硅热电偶 该热电偶（分度号为K）中镍铬为正极，镍硅为负极；测量范围为 $-50\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，短期可测量 1200°C ；在氧化性和中性介质中使用，在 500°C 以下低温范围内，也可用于还原性介质中测量。此种热电偶其热电势大，线性好，测温范围较宽，造价低，因而应用很广。

它的缺点是：镍硅材料材质较脆，焊接性能与抗辐射性能差。

(3) 铂铑30—铂铑6热电偶（也称双铂铑热电偶） 此种热电偶（分度号为B）以铂铑30丝（铂70%，铑30%）为正极，铂铑6丝（铂94%，铑6%）为负极；其测温范围为 $300\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ；短期可测 1800°C 。其优点同铂铑—铂热电偶。

此外，从结构上还有一种较特殊的热电偶，这就是应用较广泛的套管热电偶。它是为满足小型化、长寿命、结构牢固的要求而研制的，这种热电偶采用“金属套管，陶瓷绝缘”的结构，由热电极、绝缘材料和金属套管三者组合加工而成，电偶丝被周围致密的氧化物粉末所绝缘，并有着对称的间距。在煤质分析仪器中，常用的是测温 1100°C 以下的镍铬—镍硅套管热电偶，其主要优点是：反应速度快；高度的可挠性；适应性强；寿命长。

3) 使用注意事项 热电偶在使用过程中，为保证测量精度，应注意如下问题：

(1) 热电偶的校验 热电偶在长期使用过程中，受被测介质的影响及受氧化、腐蚀等，使热电偶的热电特性发生变化，而使测量误差越来越大。为了使温度的测量能保证一定的精度，必须定期校验热电偶，以测出热电势变化的情况。当其变化超过规定的误差范围时，可以更换热电偶丝或把原来热电偶的热端剪去一段，重新焊接后再使用，在使用前必须重新进行校验。

热电偶的校验是一项比较重要的工作。根据国家规定的技术条件，各种热电偶必须在表1-1规定的温度点进行校验。各温度点的最大误差不能超过允许的误差范围，否则不能应用。具体校验过程和方法可参考有关资料。

表 1-1 常用热电偶校验允许偏差

分度号	热电偶材料	校验温度点 ($^{\circ}\text{C}$)	热 电 偶 允 许 偏 差			
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	偏差 ($^{\circ}\text{C}$)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	偏 差 ($^{\circ}\text{C}$)
S	铂铑—铂	600、800、1000、1200	0~600	± 2.4	>600	占所测热电势的 $\pm 0.4\%$
K	镍铬—镍硅 (镍铝)	400、600、800、1000	0~400	± 4	>400	占所测热电势的 $\pm 0.75\%$
E	镍铬—铜镍	300、400、600	0~300	± 4	>300	占所测热电势的 $\pm 1\%$

(2) 热电偶的冷端温度补偿 在测温过程中, 只有当热电偶的冷端温度保持不变时, 热电偶的输出信号才反映被测温度的变化。然而, 在应用中, 由于热电偶的热端与冷端相距很近, 冷端又暴露于空间, 容易受到周围环境温度波动的影响, 因此, 冷端温度难以保持恒定。为此, 必须采取冷端温度补偿措施。常用的处理方法有下列几种:

A. 补偿导线法 为了使热电偶的冷端处于温度固定或波动较小的环境中, 当然可以把热电偶做得很长, 连同测量仪表一起置于恒温或波动较小的环境中。但这存在两方面的问题, 其一, 安装使用不方便; 其二, 有些热电偶是贵重金属, 如果做得很长, 将浪费很多贵重金属, 不经济。这样, 一般是用一种导线 (称为补偿导线) 将热电偶的冷端延伸出来。这种导线在一定范围内 ($0\sim 100^{\circ}\text{C}$) 具有和所配用的热电偶相同的热电性能, 其材料又是廉价金属。需要说明的是对一些廉价金属制成的热电偶则可用本身作为补偿导线, 将冷端延伸到温度恒定的地方。

必须强调指出, 只有当新移的冷端温度恒定或配用仪表本身具有冷端温度自动补偿装置时, 应用补偿导线才有意义。否则, 补偿导线将毫无作用。此外, 热电偶和补偿导线连接处的温度不应超过 100°C , 否则也会由于热电特性不同而带来新的误差。

B. 冷端温度校正法 热电偶的热电势——温度曲线是在冷

端保持为 0°C 的情况下刻度的。因此,如果热电偶的冷端(加补偿导线后的新冷端或不加补偿导线的原冷端)尽管已处于温度恒定的地方,但只要不等于 0°C ,则就必须对仪表的指示值加以修正。在要求不高的情况下,可把显示仪表的机械零点直接调在冷端所处的温度上。

C. 冰浴法 为避免经常校正的麻烦,可采用冰浴法使冷端温度保持为恒定的 0°C ,此法尤其对实验室更适用。在实验室条件下采用冰浴法,通常是把冷端放在盛有绝缘油的试管中,然后将其放入装有冰水混合物的容器中,使冷端温度保持为 0°C 。

D. 其它方法 在实际中,还有其它一些冷端补偿的方法,这些方法的共同点是在热电偶和显示仪表中间插入一个补偿装置,该补偿装置产生一个与冷端温度有关的电信号,此信号与热电偶的输出信号相叠加,这样,就可保证输入到显示仪表的信号不随冷端温度发生变化,从而起到补偿作用。产生补偿信号的方法很多,在此不再逐个叙述。

(3) 热电偶的插入深度 热电偶在使用过程中,必须要保证足够的插入深度,否则也会产生测温误差。一般情况下,热电偶插入被测对象的深度应在 $150\sim 300\text{mm}$ 之间。

3. 热电阻

在煤质分析仪器中,除采用热电偶测温外,还采用热电阻测温,它是把温度信号转化为电阻信号,然后再通过显示仪表把电阻信号显示出来,这样即可实现温度的测量。在煤质分析仪器中,常用的热电阻有如下几种:

1) 铂电阻 铂电阻的特点是精度高,稳定性好,性能可靠。这是因为铂在氧化性介质中,甚至在高温下的物理、化学性质都非常稳定。铂电阻温度计还是基准温度计。但是,铂在还原性介质中,特别是在高温下很容易被从氧化剂中还原出来的蒸汽所沾污,使铂丝变脆,并改变它的电阻与温度间的关系。

铂电阻体是用很细的铂丝绕在云母、石英或陶瓷支架上制成的。常用的 WZB 型铂电阻体是用直径为 $0.03\sim 0.07\text{mm}$ 的铂丝

绕在云母片制成的平行板支架上，云母片的边缘上开有锯齿形的缺口，铂丝绕在齿缝内以防短路，铂丝绕组两面盖以云母片绝缘。此外，为了改善热电阻的动态特性和增加机械强度，再在其两侧用金属薄片制成的夹持件与它们铆合在一起。铂丝绕组的线端与银丝引出线相焊，并穿以陶瓷管加以绝缘和保护。目前，我国常用的铂电阻的分度号为 Pt100，在 0°C 时的温度为 100Ω 。除上述的铂电阻外，还常用微型铂电阻，其特点是体积小、热惯性小，气密性好。在煤质分析仪器中，常用测温范围为 $-200\sim+500^{\circ}\text{C}$ 的铂电阻，它的支架和保护套管均由特殊玻璃制成（JR-7A 型量热仪所用的就是此类）。微型铂热电阻的结构是由刻有螺纹的圆柱形玻璃棒上绕 $\phi=0.04\sim0.05\text{mm}$ 的铂丝，引出线用 $\phi0.5\text{mm}$ 的铂丝制成，外面套以 $\phi4.5\text{mm}$ 的特殊玻璃管作为保护套管，如图 1-3 所示。

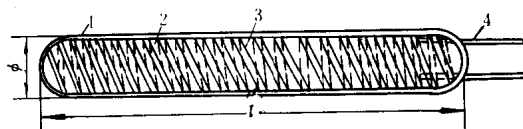


图 1-3 微型铂电阻的结构

1—套管；2—感温铂丝；3—玻璃棒；4—引出线

2) 铜电阻 除铂热电阻外，还有铜热电阻，但由这种热电阻只能测 $-50\sim+150^{\circ}\text{C}$ 的温度，故在煤质分析仪器中，应用较少。

第二节 显示仪表

一、动圈式温度指示调节仪

动圈式温度指示调节仪仍然是目前各煤质化验室常用的温度指示和控制仪表，它与热电偶或热电阻相配合，可以显示和控制各种加热装置或其它设备的温度，具有结构简单、操作方便等优点。它由测量和控制两大部分组成。

动圈式温度指示调节仪的型号以 XCT- $\times\times\times$ 表示, 由两节组成。第一节有三位, 以大写汉语拼音字母表示; 第二节用阿拉伯数字表示, 也有三位; 中间以短划线分开。

拼音字母 XCT 的表示意义如下:

X——显示仪表;

C——磁电式;

T——指示调节仪。

第二节各阿拉伯数字, 从左至右其意义表示如下:

第一位表示设计序列或种类;

第二位表示调节规律:

0——双位调节;

1、2——三位调节;

3——时间比例调节;

4——时间比例加双位调节;

5——时间比例加时间比例调节;

6——比例积分微分加双位调节;

8——比例调节 (连续电流输出);

9——比例积分微分调节 (连续电流输出)。

第三位表示输入信号:

1——热电偶毫伏;

2——热电阻阻值。

1. 工作原理

1) 测量部分 动圈式仪表测量部分的核心部件是一个磁电式动圈测量机构, 也就是在永久磁铁的磁场内部放有一个可动线圈。线圈是用绝缘的细铜线绕制成的矩形框, 当有电流流过线圈时所产生的磁场与永久磁铁的磁场相互作用, 在动圈的两有效边上产生了大小相等、方向相反的力 F_1 和 F_2 , 并形成力矩使线圈在磁场中旋转, 如图 1-4 所示。

在实际的测量机构中, 动圈上还固定着指针、平衡锤、平衡杆和铝旗等, 整个动圈由张丝悬吊在磁场中, 如图 1-5 所示。当

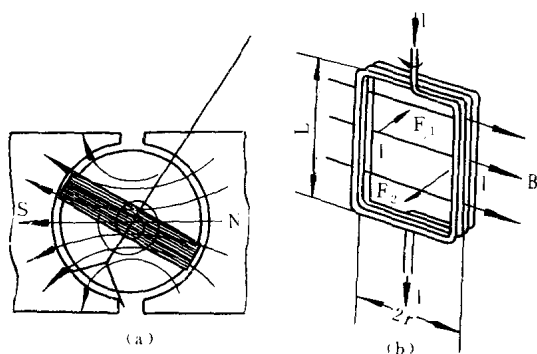


图 1-4 可动线圈

动圈转动时，指针和铝旗等也随之转动；与此同时，张丝也产生扭转变形，产生反作用力矩。当由电流产生的力矩和张丝产生的反作用力矩平衡时，动圈停止转动，指针就指示出相应的温度。

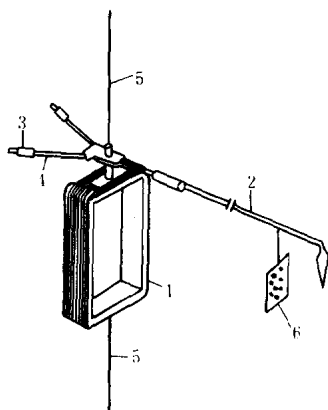


图 1-5 动圈测量机构中的可动部分

1—动圈；2—指针；3—平衡锤；
4—平衡杆；5—张丝；6—铝旗

2) 控制部分 控制部分由给定机构、铝旗、检测线圈、高频振荡放大器和继电器等组成，如图 1-6 所示。

被测温度由热电偶转换为直流毫伏信号输入到测量部分，使动圈连同其上的指示指针、铝旗随输入信号的大小产生相应的偏转，指针指示出测量值，同时铝旗也处于一个相应的位置。它与给定指针上附有的平面检测线圈构成偏差检

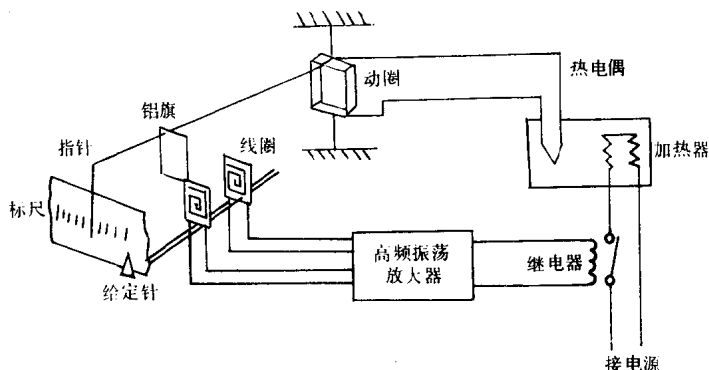


图 1-6 XCT 动圈式指示调节仪工作原理

测机构，把指示值与给定值的偏差变成了铝旗与平面检测线圈的相互位置变化，检测线圈是控制电路中的一个电感元件。当指示值低于给定值时，铝旗在检测线圈外面，检测线圈有较大的电感量，高频振荡放大器有信号输出，使继电器吸合；当指示值到达给定值时，指示指针与给定指针重合，装在指示针上的小铝旗进入两平行检测线圈之间，使检测线圈的电感量减少，高频振荡器停振，此时流过继电器线圈的电流变为零，于是继电器触点断开，使加热电路断电，温度逐渐下降。当指示值又小于给定值时，也即小铝旗退出检测线圈时，高频振荡器又起振，输出较大的电流，使继电器触点重新吸合。如此反复循环，就实现了加热器的温度指示和控制。

在煤质分析仪器中，常用的动圈式温度指示调节仪的型号为 XCT-101，其内部整机接线图如图 1-7 所示；整机内部和面板结构如图 1-8 所示。

动圈式温度指示调节仪的面板上有红灯，它指示继电器断开，代表温度的指示值已达到给定值；而面板上的绿灯则指示继电器

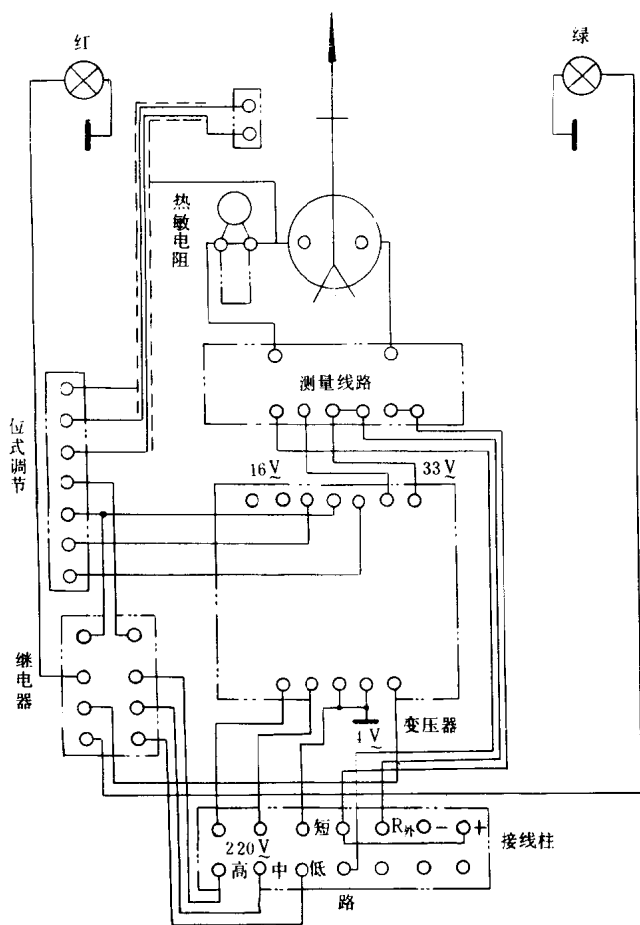


图 1-7 内部整机接线图

吸合，表示指示值还低于给定值。零位调节用以调整指示指针的机械零点；给定针调节用来调节给定值。当指示值超过给定值的量为全量程的 5% 时，有止挡装置挡住指示针，以防止铝旗越出检测线圈而发生二次动作。

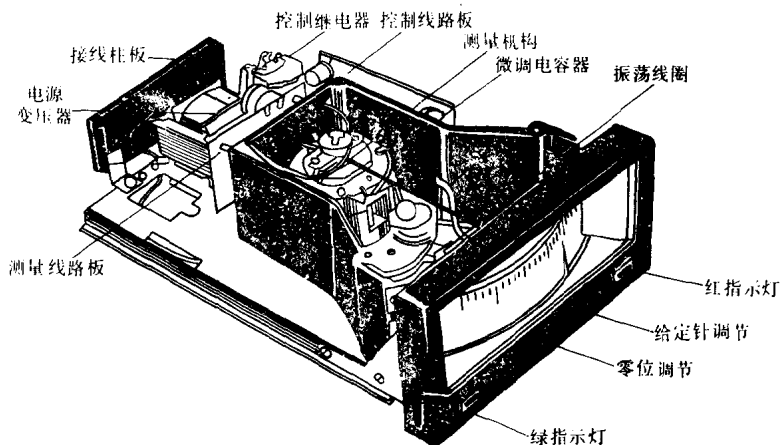


图 1—8 内部和面板结构图

2. 技术指标

常用的 XCT-101 动圈式温度指示调节仪的主要技术指标如下：

安装型式

仪表盘式

测量范围：

测量元件	分度号	测量范围 (C)
镍铬—铜镍	E	0~300, 0~400, 0~600
镍铬—镍硅	K	0~1000, 0~1200
铂铑 10—铂	S	400~1600
铂铑 30—铂铑 6	B	800~1800

精度等级

1.0 级

工作环境

温度为 0~50 C，相对湿度不超过 85% 的无振动、无腐蚀性气体的场合

设定误差	小于全量程的 $\pm 1.0\%$
不灵敏区	小于全量程的 0.5%
设定范围	全量程的 $0\sim 100\%$
越限	大于全量程的 5%
输出接点容量	3A220V (交流无感负载)
电源	220V $\pm 10\%$
刻度弧长	110mm
消耗功率	小于5W
质量	小于3kg

3. 使用方法

动圈式温度指示调节仪与热电偶或热电阻相配合可以实现温度指示与控制。在使用中要注意如下问题:

1) 外线路电阻问题。动圈式仪表测量的是流过动圈的电流,而热电偶所产生的的是直流电压信号,所以,为保证电压信号与指针偏转角一一对应,就要求当热电偶和动圈表形成回路时,电阻必须一定(因为 $\text{电流} = \text{电压} \div \text{电阻}$)。该回路电阻由两部分组成,一部分是仪表内的电阻,这部分电阻在仪表出厂时已固定下来;另一部分是仪表外的电阻,即外线路电阻。

配热电偶的动圈仪表的外线路电阻一律规定为 15Ω 。外线路电阻是热电偶电阻、冷端补偿装置等效内阻、补偿导线电阻、铜导线电阻以及外线路调整电阻的总和,即 $R_{\text{外}} = R_{\text{热}} + R_{\text{桥}} + R_{\text{补}} + R_{\text{铜}} + R_{\text{调}} = 15\Omega$ 。

外线路电阻直接影响仪表的精度,因此,必须调整的较精确。当线路接好后,如果外线路电阻不足 15Ω 时,借助于仪表附带的锰铜丝绕制的外线路调整电阻加以调整补足。

2) 仪表机械零点的调整。仪表在使用前要调整机械零点。若没有采取冷端补偿措施,为方便起见,可以用普通温度计测出冷端温度 t_0 后,将仪表的输入端短路,然后把仪表的机械零点调在 t_0 上即可;如果采取了冷端温度补偿措施,则要根据采取措施对仪表机械零点的影响,恰当加以调节。

3) 在选用仪表时,必须注意仪表所能配用的热电偶的型号,

两者必须一致。

4) 仪表在使用前, 必须除去后部接线板上连接于“短—短”两个接线柱上的短路片。

5) 仪表的校准。在煤质分析仪器中, 可采取下面的简单方法进行校正。这种方法是把动圈仪表和热电偶作为一体考虑, 较适合于现场。其方法是: 将被校设备升至所需温度, 如马弗炉需要 500°C , 并恒温一段时间; 取一支校验过的二等或三等标准热电偶和电位差计一台, 几次测取该点热电势, 由分度表查出对应的温度, 反复测量几次, 取其平均值, 如果被校表指示误差较大, 则调整被校表, 直到实际温度达到规定的范围内为止。此方法简单易行, 能满足一般要求。值得指出的是, 在实际校验时, 要保护好标准热电偶(加上保护套管), 以防止炉内介质或被校热电偶污染标准热电偶。此外, 读数时要使被校对象温度变化尽可能小, 并多次恒温后再读数。在有些场合, 电磁干扰会影响电位差计的正常工作, 要可靠接好地线, 并尽量减少干扰, 电位差计的精度也要较高才行。

如果校验时, 室温变化很小, 可不采用冷端冰点装置, 但对读数要加以修正。

实例: 对一台马弗炉的炉温进行校正。假设实验要求的炉温为 500°C , 采用 K 型热电偶和 XCT-101 动圈式温度指示调节仪进行指示和控制。

- (1) 将炉温升至 500°C , 并恒温一段时间;
- (2) 将标准热电偶加保护管后插入炉内, 并与电位差计连接;
- (3) 恒温几次后, 读数四次取平均值;
- (4) 查 S 型热电偶的分度表, 得出实际的温度;
- (5) 如果实际温度与要求值相差过大, 则相应地调整给定指针, 直至满足要求。

6) XCT-101 仪表设计了断偶保护电路, 当热电偶烧断时, 指示指针处于满度且抖动, 要与一般温度达到设定值的情况相区分。

另外, 在使用动圈式仪表的过程中, 还要防震、防冲击、否

则，将可能把测量部分悬挂动圈的张丝震断，造成仪表失灵。

作为动圈表本身来说，常见的故障是指示灯烧坏，可更换同规格的指示灯。

近几年，针对 XCT-101 仪表怕震、灵敏度低等缺点，研制生产了 XFT-101 温度指示调节仪，它与前者的区别在于增加了一个放大器。该放大器首先把热电偶送来的直流毫伏信号进行放大，然后再加以测量。这样，悬挂动圈的张丝就可以粗一些，因此，仪表的抗震性能和灵敏度大大提高。此外，由于该放大器的输入电阻较高，因此，对外线路的电阻无要求，可不进行外线路电阻调整。

二、数字式温度指示调节仪

上面已经介绍了动圈式温度指示调节仪，这种仪表是以指针的偏转角度来表示温度的高低，称为模拟式仪表。随着煤质分析技术的发展，对温度的测量和控制也提出了新的要求，为此，发展了数字式温度指示调节仪。

数字式温度指示调节仪和动圈式温度指示调节仪一样，与热电偶、热电阻配套后，可对各种设备的温度进行测量和控制，是动圈式温度指示调节仪的替代产品。相对于模拟式仪表，数字式温度指示调节仪有如下特点：

- (1) 准确度、灵敏度高；
- (2) 测量速度快，从每秒几十次到每秒上万次；
- (3) 仪表的量程和被测量的极性自动转换，可自动检查故障、报警以及完成指定的逻辑程序；
- (4) 可以方便地实现多点测量；
- (5) 可以与电子计算机配合，给出一定形式的编码输出。

在煤质分析仪器中，所用的数字式温度指示调节仪主要有两种型号：XMT-101 和 XMT-102，前者所配测温元件为热电偶，后者所配测温元件为热电阻。其型号中各字母含义为：X——显示仪表；M——模拟输入；T——指示调节仪；后面数字所代表的含义同动圈式温度指示调节仪。

1. 数字式温度指示调节仪的组成

仪表组成如图 1-9 所示。

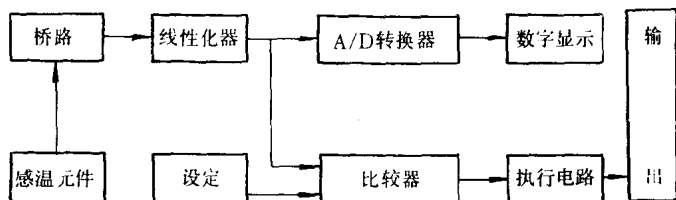


图 1-9 仪表组成方框图

各部分的作用是：

(1) 感温元件：可采用热电偶或热电阻。

(2) 桥路：其作用是对热电偶的冷端进行自动补偿或把热电阻输出的电阻信号转换为电压信号。

(3) 线性化器：由于感温元件的输出信号与温度之间是非线性关系，因此，需对感温元件的输出信号经桥路补偿或转换后再进行线性化，使线性化器输出的电压信号与温度之间呈线性关系，以保证测量的精度。

(4) A/D 转换器：该部分的作用是把由线性化器输出的模拟信号转换为数字信号，并把该数字信号进行译码，以驱动显示部分，是一大规模集成电路。

(5) 数字显示：受 A/D 转换器的控制，进行温度数值显示。在 XMT 系列仪表中，该部分采用七段 LED（发光二极管）显示器，具有示值清晰、直观可靠的优点。

(6) 调节电路，由设定器、比较器、执行电路等组成。设定器采用多圈电位器，根据用户的要求可由操作者自行设定，该电位器在仪表的面板上；比较器是一个运算放大器，它把设定值和实际温度值进行比较，根据比较的结果，输出高或低的信号；执行电路是一个灵敏继电器，受比较器的控制，输出“通”或

“断”的信号，当实际值高于设定值时，“高”—“中”通、“低”—“中”断，当实际值低于设定值时，“高”—“中”断、“低”—“中”通，继电器的触点容量为 220V、3A 阻性负载。需要说明的是，带有报警功能的 XMT 系列仪表还有一套与调节电路相同的报警电路，当超温时，报警电路输出报警信号。

2. 技术指标

XMT 型数字式温度指示调节仪主要技术指标如下：

安装形式

仪表盘式

测量范围：

热电偶类：

测量元件	分度号	测量范围 (C)
镍铬—铜镍	E	0~300, 0~400, 0~600
镍铬—镍硅	K	0~1000, 0~1200
铂铑 10—铂	S	400~1600
铂铑 30—铂铑 6	B	800~1800

热电阻类：

测量元件	分度号	测量范围 (C)
铜电阻	Cu50, Cu100	-50~50, -50~100, 0~150
铂热电阻	Pt50, Pt100	-200~50, -50~100, 0~200, 0~400, 0~600

测量精度 $\pm 0.5\% \pm 1$ 个字

设定精度 $\pm 0.3\% \pm 1$ 个字

控制精度 $\pm 0.3\% \pm 1$ 个字

设定范围 0~100%

采样速率 3 次/s

触点输出容量 220V/1.5A, DC28V/3A

供电范围 $220V \begin{pmatrix} +10\% \\ -15\% \end{pmatrix}$, 50Hz

消耗功率 小于 5W