

化工自动化及仪表 学习及实验指导书

李伯川 聂盛尧 编

中央广播电视大学出版社

学 习 指 导

第一章 自动控制系统基本概念

教学内容及要求

本章是全书的基础,主要包括:自动控制系统概述、定值控制系统的过渡过程及其品质指标。只有很好地理解、掌握本章的内容,才能学好以后各章。

第一节 自动控制系统概述

一、化工生产过程的控制

由于化工生产只有在规定的工艺变量条件下进行操作,才能保证安全,实现高产、优质、低消耗,所以必须对生产过程进行控制。自动控制就是为化工过程、设备等配置一些自动化装置,代替人工进行控制,使生产自动地在最佳状态下进行。因此,在学习自动控制前必须先了解人工控制如何进行。

仍以主教材^①图 1-1 所示锅炉水位控制为例来加以说明。当锅炉的汽包水位保持一定的高度时,锅炉才能正常供汽又不会发生事故。若为人工控制,如主教材图 1-1(a)所示,首先操作人员用眼睛观察玻璃管液位计中水位的实际值,并与规定水位高度进行比较,经运算得出偏差的大小和正负,然后根据操作经验作出开关阀门的决定;人的手根据大脑的命令去改变阀门的开度,以改变进入锅炉的给水量,经反复调节,使水位高度与规定水位的高度相符。由于人工控制很难满足大型现代化生产及恶劣环境下操作的需要,为了提高控制精度和减轻劳动强度,所以用一套自动化装置来代替人工操作,进行自动控制。如主教材图 1-1(b)所示,用液位变送器代替玻璃管液位计和人眼,进行检测并把信号送给代替人大脑的液位调节器,调节器同时还接受了设定值信号((b)图上未标出,但不可忽视它的存在),将这两个信号进行比较、运算后,调节器输送信号给执行器,执行器代替人的手和阀门,接受液位调节器的命令,改变调节阀的开度使给水量发生变化,最终使汽包中水位高度与规定水位高度一致。为了加深理解,再将人工控制和自动控制列表对比如下。

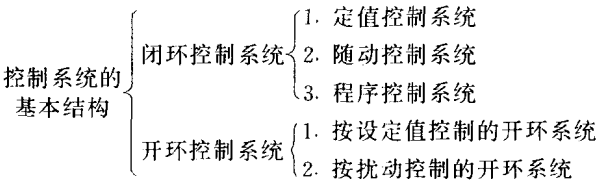
功 能	控制方式	
	人 工 控 制	自 动 控 制
检 测	眼睛观察指示型仪表	检测元件及变送器

^① 指新编《化工自动化及仪表》(中央电大出版社 1993)一书,以下同。

功 能 \ 控制方式	人 工 控 制	自 动 控 制
比 较、运 算、命 令	大 脑	调 节 器
执 行	手 开 关 阀 门	执 行 器

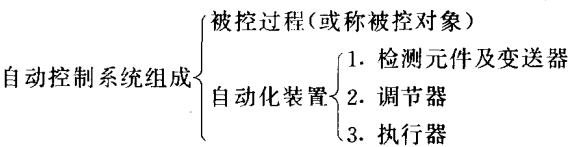
通过锅炉水位控制归纳出的控制系统中常用的几个术语及其含义必须理解并牢记。对温度、压力、流量等自动控制系统中这几个术语的具体含义应都能一一说明。

二、自动控制系统的分类



通过主教材了解闭环控制系统和开环控制系统的区别。而自动控制系统中以闭环控制系统中的定值控制系统在化工生产中用得最多，因此是重点了解的内容。

三、自动控制系统的组成及方块图



结合主教材掌握自动控制系统中四个重要组成部分的名称及其作用。在带控制点的工艺流程示意图上，有关自控系统的各种符号，请参看附表一。

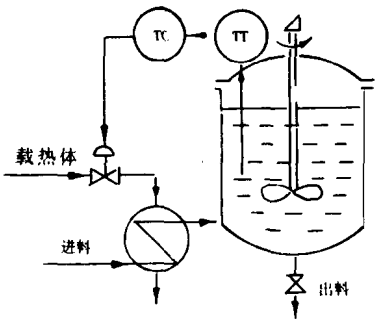
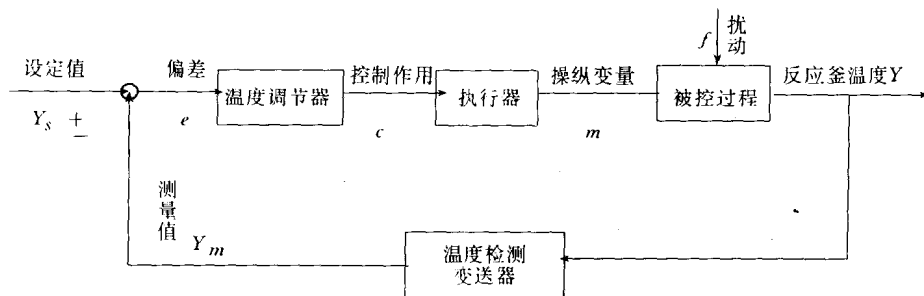


图 1-1 釜式反应器反应温度控制方案

方块图是指用方块来表示系统中各个组成部分，并把它们之间的联系及信号的走向都用带箭头的线段表示出来，以便对系统进行分析、研究。由于我们首先讨论的是单回路定值控制系统的方块图，它是具有负反馈的闭环控制系统，因此，对一个带控制点的工艺流程示意图，从任意一个环节开始画方块图都是可行的，但要注意必须构成闭环；必须按控制的步骤一步步顺序画出。下面以图 1-1 所示釜式反应器温度控制系统为例画出方块图。先将系统中的四个组成部分用四个方块来表示，即“被控过程”方块、“温度检测及变送器”方块、“调节器”方块、“执行器”方块。然后从被控变量——反应釜温度 Y 开始，将信号流动的方向标出来。当被控变量 Y (即反应釜温度) 受扰动作用 (载热体压力波动或进料温度等变化) 升高时，由“温度检测及变送器”检测，其输出的温度测量值 Y_m 与设定值 Y_s 不相等，经调节器比较，运算发出控制作用

C, 执行器接受控制作用关小调节阀, 减小载热体流量, 从而使进料温度降低, 反应釜温度也下降, 经过反复调节最后被控变量即反应釜温度回到设定值。可见, 这一温度控制系统是具有负反馈的闭环控制系统。通过画方块图要弄清楚各组成部分之间相互关系及信号联系; 系统的被控变量、操纵变量、扰动等各是什么量; 被控对象具体是什么设备或机器。如本例中被控对象就是换热器和反应釜所组成的被控过程。



通过对方块图的分析可知, 扰动是引起被控变量变化的外因, 控制作用是用来克服扰动的影响, 使被控变量回到设定值及其附近的校正作用。当自动控制系统的输入及输出都保持不变时, 整个系统处于相对平衡状态。一旦扰动出现, 被控变量变化, 系统中各环节都要相应地发生变化, 整个系统就处于动态之中。可见必须很好地了解系统的动态, 以利于生产过程的控制。

第二节 定值控制系统的过渡过程及其品质指标

一、定值控制系统的过渡过程

在阶跃扰动作用下, 被控变量发生变化偏离设定值, 控制作用克服扰动的影响重新使被控变量稳定下来的过程称为定值控制系统的过渡过程。在扰动和控制作用下, 被控变量随时间的变化有如主教材图 1-7 所示的几种基本形式。必须掌握每一种基本形式的名称、图形及有无实用价值。

二、过渡过程的品质指标

掌握根据衰减振荡过渡过程曲线衡量控制系统质量的几个单项指标的名称、意义以及如何根据给出的具体数据从过渡过程曲线上求取这几个单项指标。下面举例说明。

例 某换热器的温度控制系统在单位阶跃扰动作用下的过渡过程曲线如图 1-2 所示。试分别求出最大偏差、衰减比、余差、振荡周期和过渡时间(设定值为 200°C)。

解 最大偏差: $A = 250 - 200 = 50^{\circ}\text{C}$

衰减比: 因第一个波峰值 $B = 250 - 210 = 40^{\circ}\text{C}$, 第二个波峰值 $B' = 220 - 210 = 10^{\circ}\text{C}$, 所以衰减比 $n = B : B' = 40 : 10 = 4 : 1$ 。

余差: $C' = 210 - 200 = 10^{\circ}\text{C}$

振荡周期为同向两波峰之间的时间间隔, 即周期 $T = 15 - 5 = 10$ (分钟)。

过渡时间: 假定被控变量进入新稳态值的 $\pm 3\%$, 就可认为过渡过程已经结束, 那么 $210 \times (\pm 3\%) = \pm 6.3^{\circ}\text{C}$ 为稳态区, 在图上画出这一区域(斜线区), 从而可以求出过渡时间为 16 分

钟。

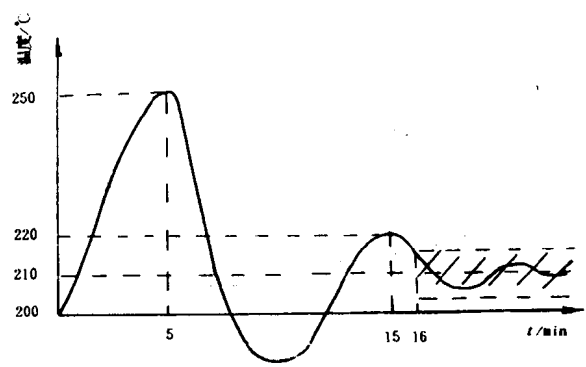


图 1-2 温度调节系统过渡过程曲线

第二章 被控过程特性

教学内容及要求 本章内容包括:描述被控过程特性的参数;被控过程特性的实验测定。其中重点掌握表征过程特性的三个参数——放大系数 K 、时间常数 T 、时滞 τ 的物理意义及其对控制质量的影响;而对过程特性的实验测定方法作一般了解。

第一节 描述被控过程特性的参数

所谓被控过程是指在自动控制系统中反映操纵变量、扰动与被控变量之间关系的环节。它可以是一个设备或机器、一段管道、塔器的一部分,也可以是一段工艺流程。例如,主教材的图 1-1(b)中过程是锅炉的汽包;主教材图 1-2 中过程是蒸汽加热器。而在图 1-1 所示釜式反应器温度控制系统中,过程包括换热器和反应釜这一段流程。

所谓被控过程特性是指当输入量发生变化时,过程的输出量是如何变化的,变化的快慢及最终变化的数值等。对于一个过程来说输入量有控制作用和扰动作用,输出量是被控变量。如图 2-1 所示。因此通道有控制通道与扰动通道之分。

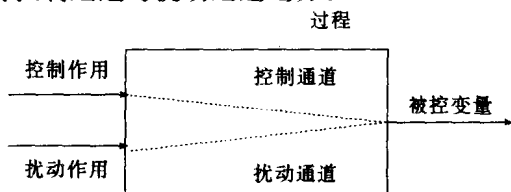


图 2-1 控制通道和扰动通道示意图

描述被控过程特性的参数有放大系数 K 、时间常数 T 、时滞 τ 。下面分别予以讨论。

一、放大系数 K

在阶跃输入作用下,过程的输出量发生变化,当到达稳定状态时,输出的最终变化量与输入变化量之比为放大系数 K 。

$$K = \frac{\text{输出变化量}}{\text{输入变化量}} \quad (\text{稳态时})$$

若输入变化量为控制作用下操纵变量的变化量,则为控制通道的放大系数 K_p ;若输入变化量为扰动作用,则为扰动通道的放大系数 K_i ,归纳为

$$K \begin{cases} K_p = \frac{\Delta Y(\infty)}{\Delta m} & (f \text{ 不变}) \\ K_i = \frac{\Delta Y(\infty)}{\Delta f} & (m \text{ 不变}) \end{cases}$$

K_p 大,单位操纵变量作用下,被控变量 Y 的变化大,由于操纵变量的变化是由调节器控制的,所以 K_p 大时表示控制作用的影响大,对扰动补偿的能力强。反之, K_p 小,被控变量变化缓慢,这时就需要适当增强调节器控制作用的影响。

K_f 的大小对控制的影响是: K_f 小, 扰动对被控变量影响小; K_f 很大扰动出现时会引起被控变量大幅度变化, 对控制十分不利。在这种情况下需要采取一定措施, 降低扰动的影响。

二、时间常数 T

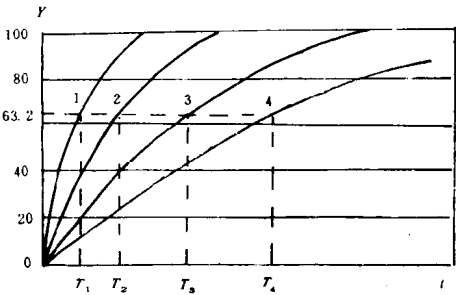


图 2-2 不同时间常数下的响应曲线

时间常数 T 表示被控变量变化的快慢程度。如图 2-2 所示为在相同的阶跃输入作用下, 不同的过程被控变量的响应曲线。时间常数的求法是, 通过被控变量变化至新稳态值的 63.2% 那一点作平行线与四条曲线分别交于 1、2、3、4 点, 这四点在横坐标上的四个时间, 分别是四条曲线的时间常数 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 。显然由图可以看出, $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$ 。时间常数小, 被控变量变化速度快, 反之, 时间常数大, 被控变量变化速度慢。另一种求时间常数的方法可

参看主教材的图 2-5 及有关内容。注意, 若有纯滞后时间 τ_0 存在, 横坐标上时间常数的表示方式应为图 2-3(a), 而不是 (b)。此外, 通过主教材理解时间常数对控制质量的影响。

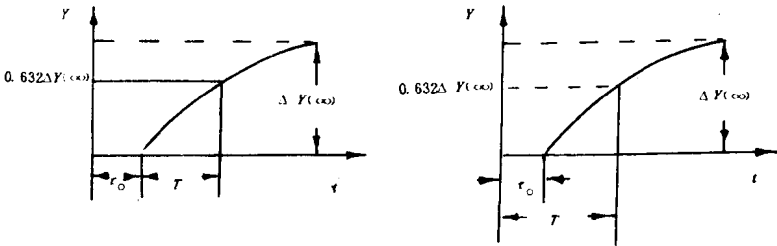


图 2-3 时间常数表示方式

三、时滞 τ

时滞分为纯滞后和容量滞后。通过主教材的图 2-6 和图 2-7, 掌握这两种滞后产生的原因。对于不同的通道, 滞后对控制的影响是不相同的。对于控制通道来说, 滞后的存在对控制十分不利, 要设法尽量减小滞后时间; 对扰动通道来说, 纯滞后只是推延扰动进入系统的时间, 并不影响控制系统的品质; 容量滞后大, 将使扰动的影响趋于缓和, 因而对系统是有利的。

综上所述, 放大系数是过程的静态特性参数, 而时间常数和时滞是过程的动态特性参数。

第二节 被控过程特性的实验测定

了解何谓过程特性的实验测取法。

常用过程特性的实验测取方法有响应曲线法和矩形脉冲法两种。响应曲线法是在需要求取特性参数的过程或设备上, 人为施加一个阶跃输入信号。利用记录仪表记录下被控变量随时间的变化曲线, 经分析整理得到过程的特性参数。这种方法简单可行, 但精度不高。矩形脉冲法以矩形脉冲作为过程的输入量, 由于这一输入量过一段时间就折除了, 因此加入的幅度可比反应曲线法大, 提高了实验精度。

第三章 检测仪表及变送器

教学内容及要求

本章内容较多,下面分节予以介绍:

第一节为概述。要求了解工程用检测仪表及变送器的组成;掌握仪表品质指标的含义,特别是精确度与误差的关系、精确度等级的求法。

第二节为温度检测仪表及变送器。要求了解温度检测仪表的分类;掌握热电偶的工作原理、补偿导线的作用及参比端温度补偿方法;了解热电阻的工作原理及结构;掌握 DBW 型电动温度变送器的组成及测量桥路的作用和电子电位差计的整机工作原理及测量桥路的作用,能正确使用这两种仪表;了解电子自动平衡电桥的工作原理;掌握三线制接线法对电阻温度计准确测量的重要性;XC 系列动圈仪表是面授内容,要求了解 XCZ-101 型和 XCZ-102 型动圈指示仪的组成及工作原理以及使用时的注意事项;了解接触式测温仪表选择与安装的一般原则。

第三节为压力检测仪表及变送器。本节为面授内容。要求了解压力及其检测仪表的有关概念及分类;单圈弹簧管压力表的工作原理及电接点压力表的特点;电气式压力计的组成、压力传感器的工作原理及特点;压力表的安装原则。掌握压力检测仪表的选择原则。

第四节为流量检测仪表及变送器。要求了解流量检测仪表的分类;掌握差压式流量计的组成及工作原理、流量基本方程式的意义;掌握气动差压变送器的组成及工作原理、电容式差压变送器检测部分的组成及工作原理;了解差压式流量计安装的一般原则;理解指示型转子流量计的组成、工作原理及刻度条件;了解转子流量变送器的组成及转换原理。

第五节为液位检测仪表及变送器。本节为面授内容。要求了解液位检测仪表的分类;掌握运用差压变送器测量液位的原理及迁移问题;了解沉筒式、电容式液位计的工作原理。

第六节为自动成分分析仪器。本节为面授内容。要求了解自动成份分析仪器的组成;了解热导式、红外线气体分析器和工业 pH 计的检测原理。

第七节为数字式显示仪表。要求了解数字式显示仪表的分类、组成及模-数转换原理。

第一节 概 述

一、测量及测量误差

所谓测量就是将被测变量与其相应的测量单位进行比较,而实现这种比较的工具称为检测仪表。用来检测温度、压力、流量、液位以及成分等,并将这些变量指示、记录出来的仪表称为化工检测仪表。而检测各种变量并把它们转换为相应的、统一标准的 $20\sim 100\text{kPa}$ 气压或 $0\sim 10\text{mA}$ (或 $4\sim 20\text{mA}$) 直流电流信号输出的仪表称为变送器,例如温度变送器、压力变送器等。

由于各种因素的影响使得仪表的测量值与被测变量的真实值之间产生的差异就是测量误差。测量误差可分为:

$$\text{误差} \begin{cases} \text{绝对误差 } \Delta = x - x_0 \\ \text{相对百分误差 } \delta = \frac{\Delta}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% \end{cases}$$

对于同一变量来说,我们以精确度较高的标准表测得的值为真实值 x_0 ;而工程用仪表(精确度较低)测得的值为测量值 x 。

二、检测仪表的品质指标

品质指标用来评价检测仪表质量的优劣。常用品质指标包括:精确度、变差、灵敏度等。

精确度是指用代表进行测量时,其测量结果的可靠程度。用精确度等级来表示。例如,精确度等级为 0.5 级的仪表,其允许误差为 $\pm 0.5\%$,若仪表的测量范围为 $0 \sim 600^\circ\text{C}$,那么用这台仪表进行测量,可能产生的最大绝对误差为 ± 3 ;而对于精确度等级为 1 级,仪表测量范围仍为 $0 \sim 600^\circ\text{C}$ 的仪表来说,测量时可能产生的最大绝对误差为 $\pm 6^\circ\text{C}$ 。可见,精确度等级数值越小,仪表的精确度越高,测量时的误差也相应小些,可靠程度高些。确定仪表的精确度等级时,分为两种情况,一是仪表厂生产的仪表要确定精确度等级或者仪表经一段时间使用后要确定该仪表是否符合原来的精确度等级;二是根据工艺需要选择一个具有一定精确度的仪表来满足测量的要求。无论哪种情况,确定精确度等级的顺序是:

$$(1) \text{计算相对百分误差的最大值 } \delta_{\max} \rightarrow (2) \text{确定允许误差 } \delta_{\text{允}} \begin{cases} \text{校验仪表时, } \delta_{\text{允}} \geq \delta_{\max} \\ \text{新选仪表时, } \delta_{\text{允}} \leq \delta_{\max} \end{cases} \rightarrow (3)$$

去掉允许误差的“ $\pm$ ”号及“ $\%$ ”号的数值,为仪表的精确度等级。

变差也是仪表的一个重要品质指标。仪表变差的大小,是指同一被测变量值(外界条件相同),正、反行程仪表指示值绝对误差的最大值与仪表量程之比的百分数。仪表的变差不能超过仪表的允许误差,否则,仪表应予以调整修理。

灵敏度表示输入单位变量时,仪表指针会产生多大线位移或角位移。注意,灵敏度高的仪表不一定精确度高。下面举例说明。

例 两只表面尺寸相同的压力表,其测量范围分别为 $0 \sim 10\text{MPa}$ 和 $0 \sim 100\text{MPa}$,若他们的最大绝对误差都是 0.4MPa ,问哪只仪表精确度高?哪只仪表灵敏度高?

解 因两只仪表表面尺寸相同,可认为其角(或线)位移相同。

$$\text{表 I 的精确度为 } \delta_{\max} = \pm \frac{0.4}{10} \times 100\% = \pm 4\% = \delta_{\text{允}}$$

精确度等级为 4 级

$$\text{表 II 的精确度为 } \delta_{\max} = \pm \frac{0.4}{100} \times 100\% = \pm 0.4\% = \delta_{\text{允}}$$

精确度等级为 0.4 级

可见表 I 的精确度比表 II 的精确度低。

$$\text{表 I 灵敏度 } S_1 = \frac{\Delta\alpha}{10}$$

$$\text{表 II 灵敏度 } S_2 = \frac{\Delta\alpha}{100}$$

可见表 I 的灵敏度比表 II 的灵敏度高。

此外,选择仪表时尽量选择时间常数小的仪表。尽量缩短纯滞后时间,以减小动态误差。

第二节 温度检测仪表及变送器

一、概述

通过主教材表 3-1 了解温度检测仪表的分类及特点。

二、温度检测元件

在接触式测温仪表中,热电偶温度计和热电阻温度计应用最为广泛。因此,这里只介绍热电偶和热电阻这两种感温元件。

(一) 热电偶

两种不同的导体一端焊接在一起就构成一支热电偶。当然,构成热电偶的两根导体必须满足一定的要求才行。

1. 热电偶的工作原理

两种不同的导体 A、B 组成闭合回路,当两个接点的温度 $t \neq t_0$ 时,回路中就会产生热电势。热电偶就是利用这一“热电效应”来测温度。热电势包括:不同导体接触产生的接触电势 $e_{AB}(t)$ 和 $e_{AB}(t_0)$;同一导体两端温度不同而产生的温差电势。但因温差电势远小于接触电势,所以只用接触电势来表示回路中总电势的大小。其表达式为

$$\begin{aligned} E_{AB}(t, t_0) &= e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \\ &= e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) \end{aligned}$$

要使热电偶产生的热电势只与热电偶测量端温度也即被测介质温度 t 有关,必须使热电极 A、B 的材料成份和参比端温度 t_0 保持一定, $E_{AB}(t, t_0) = f(t)$ 这一单值函数关系才能成立。因此,通过测热电势可测得温度 t 的高低。

根据热电效应可知,组成热电偶回路的两导体材料成份相同,无论两接点温度如何不同,因无接触电势产生,而两温差电势大小相等方向相反,所以回路中总势电势为零;若两导体材料成份不同,而两接点温度相同,回路中无温差电势产生,而两接触电势大小相等方向相反,所以回路中总电势仍为零。可见,两导体材料不同,两接点温度不同才是热电偶回路产生热电势的必备条件。

要测热电势必然要用仪表,这就相当于在热电偶回路中引入第三种导体 C。根据热电偶的“中间导体定律”热电偶回路中可以接入各种显示仪表、变送器及连接导线而不会改变原回路中产生的热电势,这才使热电偶测温的理论得到了实际应用。

2. 工业常用热电偶

通过主教材表 3-2 了解我国定型生产的几种常用热电偶的名称、分度号及主要特性。熟悉通过附录所列热电偶分度表,查找热电势对应的温度或反之。必须注意的是,热电偶参比端温度不为 0°C 测得的热电势,不能直接查分度表。

3. 补偿导线

由于热电偶长度有限,参比端温度常受被测介质温度和周围环境温度变化的影响,不但不恒定更不可能为 0°C 。因此要使用一种名叫补偿导线的专用导线将热电偶延长,使它的参比端从原有的位置移到补偿导线的末端温度较恒定处,以便与各种仪表相连或进行参比端温度补偿。下面画出两个图进行对比,如图 3-1 所示。由 A、B 材料组成的热电偶,工作端温度为 t , (a) 图为使用了补偿导线,热电偶的参比端温度 20°C ,产生的热电势为 $E_{AB}(t, 20)$; (b) 图为使

用普通铜导线,所以热电偶参比端温度为 40°C ,产生的热电势为 $E_{AB}(t, 40)$ 。可见连接了补偿导线的热电偶,相当于这支热电偶变长了,参比端也就远离了工作端。

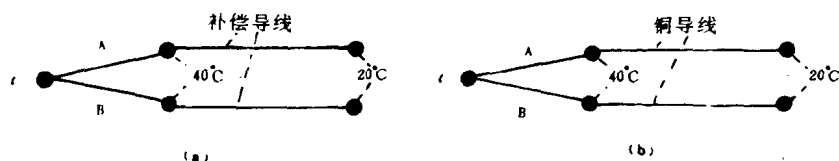


图 3-1 热电偶与导线的连接

各种常用热电偶的补偿导线列于主教材表 3-3 中。使用时注意与热电偶匹配,不可接错,否则会产生很大的测量误差。

4. 参比端的温度补偿

由于参比端温度不为 0°C 就不能直接利用分度表,会给热电偶测温带来误差,为此必须对参比端温度进行补偿。

0°C 恒温法:如主教材图 3-6 所示,热电偶通过补偿导线使参比端置于冰水混合的容器内,参比端保持 0°C 。由于热电偶产生的热电势为 $E(t, 0)$,因此可直接与显示仪表(例如 XCZ-101 型动圈指示仪)配套使用或者直接测出热电势值再查分度表求出温度 t 的值。这种方法用于实验室测温中。

计算校正法:先直接测出热电偶产生的热电势 $E(t, t_1)$,再利用校正公式求出 $E(t, 0)$,查表求出温度 t 值。

动圈指示仪零位调整法:参看主教材图 3-5。热电偶通过补偿导线与动圈表相连,在开路情况下,预光将仪表指针拨至参比端温度 t_1 值的刻度处,再接通回路测温,仪表指出被测介质温度 t 。这是一种补偿精确度不高的方法。

补偿电桥法:参看主教材图 3-7。利用参比端温度补偿器对参比端温度的变化进行自动补偿,使送到动圈指示仪去的热电势为 $E(t, 0)$ 或 $E(t, 20)$,前者直接由仪表显示温度 t ;后者,通过拨机械零点仍可指示被测介质温度 t 。

(二) 热电阻

热电阻是利用某些纯金属的电阻随温度变化而变化的特性来测量温度。

工业上常用热电阻有铜电阻和铂电阻两种,它们的测温范围及特点参看主教材表 3-4。

三、DBW 型电动温度变送器

DBW 型电动温度变送器是电动单元组合仪表的变送单元。它主要由输入回路和电压-电流转换器两部分组成,它的作用是将热电偶或热电阻所测温度转换成相应的 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流信号输出,供显示仪表或调节器作输入信号用。对这一仪表着重掌握其输入回路的作用,而对电压-电流转换器可作一般性了解。

(一) 输入回路

输入回路是一个直流电桥,参看主教材图 3-10 所示热电偶输入回路。热电偶通过补偿导线与端子①、②相连,输入回路(即测量桥路)的作用为:对热电偶参比端温度变化进行补偿;实现零点调整和迁移;对仪表作定值检查。

若将主教材图 3-10 中的①、②端子短路,将热电阻通过三根铜导线分别与端子③、④、⑤

相连取代 R_{c0} , 构成主教材图 3-11 所示热电阻输入回路。这时感温元件热电阻作为电桥的一个桥臂接入测量桥路中, 桥路的作用是: 将电阻(即温度)的变化转换成相应的直流毫伏电压信号输出; 实现零点迁移及对仪表作定值检查。

(二) 电压-电流转换器

它是一个具有电流负反馈的放大器, 其作用是将测量桥路输出的电压信号转换为相应的 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流信号输出。总的来说 DBW 型电动温度变送器输出的 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流信号与感温元件(热电偶或热电阻)所测温度高低成正比。

四、温度显示仪表

(一) 电子自动平衡温度显示仪表

1. 电子电位差计

电子电位差计是利用已知电势与未知电势比较的电压平衡法来进行测量的。参看主教材图 3-14 可知, 已知电势 V_{c0} 由测量桥路提供。桥路输出的电压 V_{c0} , 与热电偶的热电势 E 反相串接, 当两者不等时, 其偏差信号由电子放大器放大驱动可逆电机转动, 可逆电机转动带动测量桥路中的触点 C 在滑线电阻上移动, 改变已知电热 V_{c0} 的大小, 当已知电势与未知电势平衡时, 指针和记录笔就指示或记录出温度的数值。

与热电偶配套测温度的电子电位差计, 测量桥路中的电阻 R_2 是一个铜电阻, 其作用是对热电偶参比端温度变化进行自动补偿。桥路中其它电阻是锰铜电阻制成的; 此外, 仪表的刻度标尺是按某一分度号的热电偶电热与温度关系刻成的, 因此, 使用时热电偶必须用补偿导线与电子电位差计相连, 且热电偶、补偿导线、电子电位差计的分度号要一致, 否则测量会出现很大的误差。

2. 电子自动平衡电桥

参看主教材图 3-16, 热电阻通过三根铜导线接入测量桥路, 使桥路构成一个完整的电桥。测温时, 热电阻 R_t 阻值变化, 电桥失去平衡输出不平衡电压, 经放大驱动可逆电机转动带动测量桥路的滑动触点在滑线电阻上移动, 直至电桥重新平衡, 指针及记录笔指示、记录出被测温度的数值。

由于仪表是以温度刻度的, 因此, 使用时除要以三线制接线将热电阻与电子自动平衡电桥相连接外, 必须使热电阻的分度号与仪表要求分度号一致, 否则不能准确测温。

(二) 动圈指示仪

1. XCZ-101 型动圈指式仪

XCZ-101 型动圈指式仪配上热电偶用来测量温度。如主教材图 3-17 所示, 它由测量机构和测量线路两部分组成。

测量机构是一个磁电式表头, 它测量的电流是热电偶的热电势提供的。所以仪表指针偏转的角度(即电流的大小)与热电势也即与被测温度成正比。但由于动线圈是漆包铜丝绕制的, 环境温度变化时其阻值 R_D 要发生变化, 因此必须对动线圈采取一定措施, 进行温度补偿。

测量线路中热敏电阻 R_T 与锰铜电阻 R_B 并联, 当环境温度升高其阻值线性下降, 而动线圈电阻却线性升高, 但从 $(R_D + R_T // R_B)$ 整体来看就不随环境温度的变化而改变, 因此, $R_T // R_B$ 对 R_D 起到了温度补偿作用。此外, R_B 是个锰铜电阻, 它的作用是改变其阻值可以改变仪表的量程。

仪表内部的电阻 R_M 一定后, 要使电流 I 只随热电势而变化, 必须使 R_B 为一定值, 为此规

定 $R_{\text{外}}$ 为 15Ω 。

主教材图 3-7 就是工业上常用的热电偶和动圈指示仪配套的典型连接图。使用时热电偶、补偿导线、参比端温度补偿器、动圈表的分度号必须一致,把外电阻调成 15Ω ,就可确保测量的精确度。

2. XCZ-102 型动圈指示仪

它与热电阻配套用来测量温度。仪表仍由测量机构和测量线路组成。如主教材图 3-18 所示,由于热电阻的阻值要转换成电势才能由测量机构检测,因此测量线路中增加了一个不平衡电桥。当被测介质温度变化,热电阻阻值变化,使电桥失去平衡时,输出的不平衡电压由动圈表头检测,温度越高电桥输出的不平衡电压越大,最后由仪表指针指出温度的数值。

使用 XCZ-102 型动圈仪表时,要求热电阻与动圈表的分度号一致,且热电阻以三根导线(每根导线电阻为 5Ω)与仪表相连,确保测量准确。归纳起来三种仪表分别与热电阻配套使用时,仪表与热电阻之间都必须采用三线制接线法,目的是尽量减小环境温度变化对连接导线电阻的影响,从而减少了测量误差。

五、接触式测温仪表的选择和安装

对接触式测温仪表的选择和安装的原则作一般性的了解。

第三节 压力检测仪表及变送器

一、概述

压力是垂直而均匀地作用在单位面积上的力。压力的单位是帕斯卡(Pa)。由于这个单位太小,因此工程上经常使用千帕(kPa)和兆帕(MPa)为单位。

压力有绝对压力、大气压力、表压(力)、负压(力)或真空度之分,它们之间又有一定的联系,可参看主教材的图 3-21。

检测压力的仪表类型很多,如果按其转换原理的不同,大致可分为液柱式压力计、弹性式压力表及压力变送器、电气式压力计、活塞式压力计等四类。其中压力变送器是单元组合仪表的变送单元,它检测压力并把压力转换为相应的 $20\sim 100\text{kPa}$ 的气压信号、 $0\sim 10\text{mA}$ (或 $4\sim 20\text{mA}$)直流电流信号输出。有关压力变送器的工作原理将在差压变送器一节予以介绍。

二、弹性式压力表

主教材图 3-22 所示为各种类型的弹性元件示意图。在压力作用下弹性元件发生弹性变形,根据弹性元件位移的程度来度量压力的大小。

以单圈弹簧管压力表为例了解弹性式压力表的工作原理。

由于弹簧管可以采用不同的材质及管壁厚度,因此,弹簧管压力表测量范围极广,再加上结构简单,使用方便的优点,因而在工业上得到广泛的应用。若附加一些装置就成为能发讯号的电接点压力表。

使用时要注意的是对某些介质的压力测量,需用专用表,例如测氨气压力时要用氨气压力表,弹簧管不能用铜质材料;测氧气时选用氧表,严禁与油接触,否则有爆炸的危险。

三、电气式压力计

它由压力传感器、测量电路和显示装置组成如主教材图 3-25 所示。

常用的传感器有霍尔片式和应变片式压力传感器。

霍尔片式压力传感器是利用霍尔片(半导体错片)的霍尔效应来工作的。如主教材图 3-26 所示,将霍尔片固定在单圈弹簧管的自由端,置于非均匀的磁场中,当压力使弹簧管及霍尔片位移时,霍尔片产生的霍尔电势与所测压力大小成正比。

应变片式压力传感器原理是通过紧贴于传感筒上的应变丝将压力的变化转换为电阻变化,如主教材图 3-27 所示,再通过测量桥路将电阻变化变成不平衡电压输出。可见凡是可测电压信号的仪表,例如动圈仪表,电子电位差计等都可用来检测并显示压力的大小。

四、压力表的选择和安装

(一)压力表的选择包括压力表类型和型号、测量范围及精确度等级的选择。

压力表选择的有关内容请参阅主教材第三章第三节的内容“四”。下面举例说明压力表的选择。

例 某塔需要测量约 15MPa 的压力,要求测量误差不超过 $\pm 0.5\text{MPa}$,试选择一只合适的、就地显示的压力表(类型、测量范围、精确度等级)。

解 塔内压力按稳定压力考虑,故仪表的上限值应为:

$$15 \times \frac{3}{2} = 22.5\text{MPa}$$

根据压力表标尺刻度上限值的标准值系列,选取 25MPa 为仪表标尺上限值,下限为 0,则仪表的测量范围为 0~25MPa。

根据测量误差的要求,先计算相对百分误差的最大值:

$$\delta_{\max} = \pm \frac{0.5}{25-0} \times 100\% = \pm 2\%$$

所以,精确度等级为 1.5 级(允许为 $\pm 1.5\%$)的仪表可满足误差的要求。

由于要求就地显示,所以可以选择一只测量范围为 0~25MPa、精确度等级为 1.5 级的单圈弹簧管压力表来测某塔的压力。

(二)压力表的安装

了解压力表安装的一般原则。其中对检测高温蒸汽及腐蚀性介质时所采取的安装措施要加深了解,参看主教材图 3-28。

第四节 流量检测仪表及变送器

一、概述

流量分为瞬时流量和累计流量。

检测瞬时流量的仪表一般称为流量计(表);检测流体总量的仪表称为计量表。

工业上所需的流量测量范围很宽、所测介质及其物理化学性质各不相同,因此流量检测仪表种类繁多,主教材表 3-6 列出了化工、炼油生产中常用流量计及其技术性能供参考。

二、差压式流量计

差压式流量计是化工、炼油等工厂中使用得较多的流量计,它由节流装置、差压计(或差压变送器)、引压导管等三部分组成。

(一)节流装置测量流量的基本原理

参看主教材图 3-29。在流体流过的管道中安装一个开孔截面积比管道截面积小的节流元

件(例如孔板),流体流过节流元件时流束发生收缩,如(a)图所示。于是在节流元件前后的静压能和动能都发生了变化如图(b)和(c)所示。

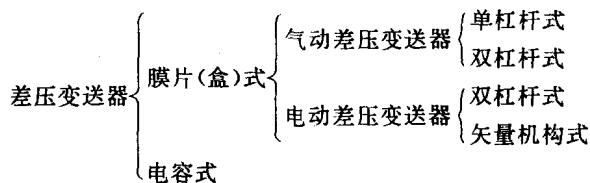
由(b)图可知,流动流体由于受节流元件的阻挡,流体的部分动能转换为静压能,使得节流元件入口端面靠管壁处的流体静压力升高,而节流元件出口处的静压力低些,且节流装置前后的静压差 ΔP 与流量大小有一定的关系,即

$$Q = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho_1} \Delta P}$$

可见流量 Q 的大小与节流装置前后产生的压差 ΔP 的平方根成正比。其它条件一定时,测出 ΔP 的大小就可知道流量的大小。

(二)差压变送器

差压变送器是单元组合仪表中的变送单元,它测量压差并将压差转换成相应的统一标准的气压或电流信号输出。通过测压差可间接测得流量、液位及密度等。差压变送器包括:



其中,只介绍双杠杆式气动差压变送器和电容式差压变送器。

1. 气动差压变送器

(1)气动元件及组件

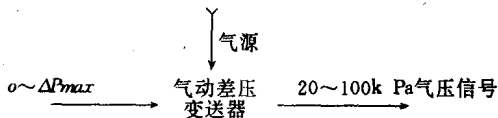
主教材表 3-7 介绍了各种气动元件及组件的组成和作用以及表示符号。这是了解气动仪表必需具备的基础知识。

(2)单杠杆气动差压变送器

单杠杆气动差压变送器如主教材图 3-30 所示,由检测部分和气动转换部分组成。

检测部分的作用是利用膜片或膜盒将压差转换成作用在主杠杆下端的力;气动转换部分的作用是通过主杠杆把测量力变成主杠杆上端挡板相对于喷嘴的位移,引起喷嘴背压变化,经气动功率放大器放大输出的气压信号 P_{II} 一方面作为变送器的输出,同时进入反馈波纹管产生负反馈作用,当杠杆平衡时,输出的 20~100kPa 的气压信号与所测压差 ΔP 成一一对应的关系。若用方块图来表示,其输出与输入关系为

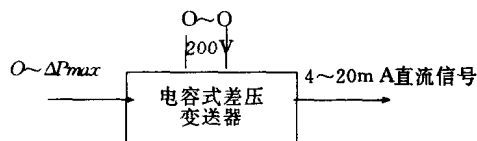
将检测元件改为单圈弹簧管或波纹管,其余部分基本不变,就成了气动压力变送器。



2. 电容式差压变送器

电容式差压变送器由差动电容式传感器、转换部分及电流放大器等组成。其作用是把所测压差转换成相应的 4~20mA 直流信号输出。用方块图来表示其输出与输入的关系为

主教材着重介绍了差动电容式传感器的结构和工作原理。由主教材图 3-32 可知,动极膜片 1 和左右两侧的定极 2 分别形成电容 $C_1=C_2$;当所测压差 $\Delta P=0$ 时, $C_1=C_2$;当 $\Delta P \neq 0$ 时,由于动极膜片受压靠近一定极必然远离另一定极,于是 $C_1 \neq C_2$,通过转换部分将电容的变化转换为电流变化,再经电流放大器放大变成 4~20mA 直流电流信号输出。



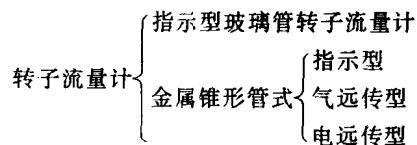
(三)差压式流量计的安装

差压式流量计的安装包括节流装置、引压导管及差压计(或差压变送器)的安装。各个部分的安装必须符合一定的技术要求,否则会带来很大的误差。

通过主教材了解差压式流量计安装的一般原则。

三、转子流量计

转子流量计是广泛用于中小管道测量中小流量的仪表。它包括以下几种类型:



(一)工作原理

如主教材图 3-37 所示,转子流量计由锥形管和管内的转子组成。利用流体流过转子和锥形管间的环隙时产生的节流作用,在转子前后产生了压力差,使转子受到一个向上的推力。而转子在流体中有一个向下的重力,这两个力相等时,转子就停留在一定高度上。当流量增大时,假设转子仍停留在原处不动,则转子前后压差随流量增大而增大,向上的力大于向下的力,于是转子上浮,转子与锥形管间环隙增大,因而转子前后压差减少,当向上的力重新等于向下的重力时,转子已处一新的位置高度上了。因此,转子在锥形管中位置的高低 h 可代表流量 Q 的大小,两者之间的关系为

$$Q = K \cdot h$$

将转子流量计的工作原理与差压式流量计的进行对比可以看出:转子流量计是采用恒压降变节流面积的方法测量流量;而差压式流量计是采用恒节流面积、变压降的方法测量流量。

常用的玻璃转子流量计是直接把流量标尺刻在玻璃锥形管和管上,在生产现场就地显示流量数值。

(二)远传式转子流量计

远传式转子流量计由检测部分和转换部分组成。检测部分包括金属锥形管和管内的转子。这对于电远传或气远传转子流量计来说都是相同的,两者不同的是转换部分,前者将转子的位

移转换成统一标准的 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流信号输出;后者将转子的位移转换为统一标准的 $20\sim 100\text{kPa}$ 的气压信号输出。

(三)转子流量计的刻度换算

由于转子流量计出厂时只用工业基准状态(293K , 0.10133MPa)下的水和空气进行刻度,因此,在实际使用时,一个很重要的问题是对转子流量计的刻度进行换算。把转子流量计刻度标尺上水或空气的流量,换算为在实际状态(或工业基准状态)下某介质的流量。

这一部分可通过习题来加深理解。

第五节 液位检测仪表及变送器

一、概述

若按工作原理的不同,液位检测仪表可分为直读式液位计、浮力或液位计、差压式液位计以及电测式液位计。本节重点掌握差压式变送器测量液位的原理及零点迁移问题。其次了解沉筒式和电容式液位计的工作原理。

二、差压式液位计

(一)利用静压原理测量液位

参看主教材图 3-41 可知,液柱高度 H 对某定点 B 产生的压力(或压差),根据流体静力学原理可用 $\Delta P = P_B - P_A = H\rho g$ 公式表示。可见测出压差 ΔP 就可知道容器内液位的高度 H 。对于敞口容器可用压力表或压力变送器来测量器内液位高度;对于密闭容器可用差压计或差压变送器来测量器内液位高度。

(二)差压变送器的应用

1. 液位的测量

用差压变送器测量液位高度时,可能出现的情况有三种:

一是“无迁移”,即压差与液位高度间具有 $\Delta P = H\rho g$ 关系,如主教材图 3-42 所示。若用气动差压变送器测液位,当 $H=0$ 时, $\Delta P=0$, 气动差压变送器输出气压信号为 20kPa ;当 $H=H_{\max}$, 则 $\Delta P=\Delta P_{\max}$, 变送器对应输出 100kPa 的气压信号,液位在 $0\sim H_{\max}$ 之间变化,变送器的输出气压就在 $20\sim 100\text{kPa}$ 范围内变化。将这一气压信号送至显示仪表进行检测就可直接显示液位的高度,也可送给调节器作为控制的依据。

二是“正迁移”,即压差与液位高度间的关系为 $\Delta P = H\rho g + h_0\rho g$ 。如主教材图 3-43 所示。由上式可见,容器内液位高度未变,但因差压变送器安装的位置比图 3-42 的安装位置低 h_0 , 因此, h_0 产生的静压力 $h_0\rho g$ 作用于差压变送器的正压侧,使挡板进一步靠近喷嘴(参看主教材图 3-30),输出的气压信号比“无迁移”时的偏大,致使显示仪表显示的液位高度比实际液位高度高,造成误差。为此,必须用调整气动差压变送器正迁移弹簧张力的方法,使存在正迁移量 $h_0\rho g$ 的情况下,变送器的输出仍与无迁移时一样,这样显示仪表仍显示实际液位高度。

三是“负迁移”,即压差与液位高度间具有 $\Delta P = H\rho_1 g - (h_1 - h_0)\rho_2 g$ 关系,如主教材图 3-44 所示。在相同液位高度低下,差压变送器输出的气号信号比“无迁移”时的要小些,致使显示仪表显示的液位高度比实际液位的高度低而造成测量误差。为此,必须调整气动差压变送器的负迁移弹簧的张力,使存在负迁移量的情况下,变送器的输出与无迁移时的一样,显示仪表正确显示液位高度。