

**第一章绪论** **讨论系统是指**被控量为温度、压力、流量、湿度、液位等一些过程参数的自动控制系统。由测量元件、变送器、调节器、调节阀、被控过程等环节构成。被控过程、过程检测控制仪表、

表示仪表的小圆圈上半部第一位字母表示被测量, 后继字母表示仪表的功能, 小圆圈下半部中的阿拉伯数字的第一位表示工段号, 后续数字 (二位或三位数字) 表示仪表位号。**被控对象 (调节对象)**: 需要控制的过程、机械或生产过程。如锅炉、汽罐。**被控变量 (被控参数)**: 对对象内部保持设定值的物理量。如热蒸汽温度。**操作变量 (调节参数)**: 受调节装置控制, 用以使被控变量保持设定值的物料或能量。如高温水流量。**干扰**: 除操作变量外, 作用于对象并引起被控变量变化的一切因素。如负荷变化、环境温度 and 压力的变化。**给定值**: 工艺要求被控变量所要保持的数值, 又称设定值。**过程控制特点**: 系统由过程检测测量仪表组成; 被控过程多变量; 惯性、滞后、非线性等; 控制方案的多变性; 单回路、串级、比值、均匀、分程、选择等; 控制过程在大多为慢过程参数控制; 定值控制是过程控制的一种主要控制形式。**过程控制系统分类**: 按结构特点分为反馈、前馈、反馈-前馈控制系统; 按给定信号分为定值、随动、程序控制系统。**系统过渡过程的性能指标**: 余差 (静差)、最大偏差和超调量、过渡过程时间和超调比。**误差性能指标**: 平方误差积分 ISE、时间乘误差平方根 ISTE、误差绝对值积分 IATIE、时间乘误差绝对值积分 IATAE。**字母代表**: A 分析、报警 C 电导率、控制 E 电压 检测元件 F 流量 I 电流 指示 L 物位 P 压力 Q 质量 积分器 R 放射性 J 记录打印 S 速度频率 开关 T 温度 传送 V 粘度 阀

**被测物理量** 被测量的物理量。即： $B_x = x_{up} - x_{inf}$ ，①**零点**：是检测仪表输出下限值相对应的被测物理量的最大值。**真值**：被测物理量的真实值。**绝对误差**  $\Delta x = x - x_0$ ， $x_0$ 是绝对误差真值， $x$ 是仪表的示值。规定控制仪的精度等级有：0.005、0.02、0.1、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5、4级。在选用仪表精度等级时，应根据实际需要来定，不能片面追求高精度等级。**测量仪表**是指测量过程中用来实现被测参数能量转换和比较的工具。泛指各种能指示仪表值、各类变送器以及模拟或数字显示仪表。测量仪表一般具有变换、比较和显示三个部分。按信号的连接方式分为直接变换型和平衡变换型。直接变换型各组成部分之间的信号直接联系，是一开环系统。大多数为直接作用的仪表，如弹簧管压力表、电动式指示仪表。平衡变换型通过平衡变换器输入负反馈信号与测量信号相平衡，当信号达到平衡时，显示测量结果。该仪表构成一个闭环系统。大多数

产生器、自动平衡显示仪等多种结构。**第三章 热工测量方法** **一、温度的测量方法** **1.接触式测温法** 通过热交换使被测物体与测温物体达到热平衡，通过测温物体来测量被测物体的温度。优点：测温简单、可靠、测温精度高。缺点：1.因需与被测物体进行热交换而干扰被测物体温度。2.与被测物体发生化学反应。3.受测温物体材料限制，不能用于高温场合。**2.非接触式测温法** 通过接受被测物体发出的辐射热来判断温度。优点：测温范围广、速度快，可对运动物体进行测温。缺点：测温误差较大。一般，工业测温仪表大多只能测热辐射，辐射式测温仪不适用于固体。只有热电偶测温精度高，信号又便于远传。**二、热工测量仪表** 工业上最常用的温度检测元件之一，具有结构简单、体积小、使用方便、输出信号便于远传等特点。测温范围：-50~1800℃。**热电偶的工作原理** 将两种不同性质的导体（半导体）在端部焊接成闭合回路，只要两端温度不同，回路中就会产生热电流，该现象称为**热电效应**。这两个不同性质的导体接入点就是**热电偶**。其工作原理是利用热电偶的塞贝克效应来测量温度的。热电偶回路的热电势由两种不同性质的导体（半导体）的**接触电势**和**温差电势**组成。 $E_{AB}(T) = E_{AB}(T_1) + E_{AB}(T_2)$  **接触电势** 两种不同材质的导体自由电子密度不同而在断端处产生电子扩散形成的电势，沿单一导体方向的温度梯度而产生的电势，它是由于同一导体中温度不同而产生的。**温差电势** 因温差引起接触电势很小，故忽略不计。两种不同导体A、B所组成的热电偶，当两端温度分别为 $T_1$ 和 $T_2$ 时，产生的**总热电势**见末尾公式②。②：单位电势 $E$ ：波尔兹曼常数 $K$ ；导体自由电子密度 $N$ ；导体自由电子密度 $N$ ；导体自由电子密度 $N$ ；总热电势 $E$ 与两导体的自由电子密度、两端温度有关。所以，两热电偶A、B材料一定时，热电偶回路的热电势是其两端温度 $T_1$ 和 $T_2$ 的函数。 $E(T_1, T_2) = (T_1 - T_2) \cdot E(T_1, T_2)$  **总结** 热电偶产生的热电流 $I$ 与接触电势 $E$ 和两热电偶A、B两点的材料有关，与热电偶形状、大小、热电

细丝的粗细无关。当  $t_0=0$  时, 尽管导体 A、B 材料不同,  $E_{AB}(t_0)=0$ ; 当  $A=B$  时, 无论端点温度如何,  $E_{AB}(t_0)=0$ 。热电偶测温的基本原理: 当  $t_0$  一定时,  $E_{AB}(t_0)=\varphi_B(t_0)-\varphi_A(t_0)$  是单值函数。只要测出热电势, 就可确定相应的被测温度。**基本定律**——**中间导体定律**: 中间导体回路中引入第三种导体, 只要第三种导体的两端温度相同, 则热电偶所产生的热电势保持不变, 不受第三种导体接入的影响。利用这一定律, 可在热电偶回路中接入各种仪表、连接导线等, 而不影响其测量精度。应用中导体定律应注意: 中间导体的两端温度必须相同。**基本定律**——**中间温度定律**: 接点温度为  $t$  和  $t_0$  的热电偶, 其热电势  $E_{AB}(t, t_0)$  等于接点温度分别为  $t$  和  $t_1$ 、 $t_1$  和  $t_0$  的两支相同性质热电偶的热电势的代数和, 且其值不受中间温度  $t_1$  变化的影响, 即中间温度定律为热电偶的冷端补偿提供了理论依据。**基本定律**——**标准电极定律**: 若两种导体 A 和 B 分别与第三种导体 C 组成热电偶产生热电势  $E_{AC}(t, t_0)$ 、 $E_{BC}(t, t_0)$  已知, 则由这两种导体 A、B 组成的热电偶的热电势为  $E_{AB}(t, t_0)=E_{AC}(t, t_0)-E_{BC}(t, t_0)$ 。该定律的应用可靠性和具有足够精度, 组成标准电极的材料具有一定的要求: 测温范围宽、物理化学性质稳定、热电特性不随时间变化、不易氧化和腐蚀、电阻温度系数小、热电势与温度成线性或简单函数关系、复现性好等等。目前, 国际上常用的标准热电偶有 7 种, 分度号为: S、B、K、T、E、J, 其中用量的是 S、B、K 三种。所谓分度表就是热电偶的标准热电势

[illegible]

最大处,避免安装在死角。接点宜用热电偶、铂电阻、铜电阻的护套套并应分别超过电流中心线5~10mm、50~70mm、25~30mm。测温元件应有足够插入深度,以减少测量误差。为此,测温元件应斜插安装或插入弯头处安装。热电偶、铜电阻的接点宜朝下安装,以免雨水或其它液体渗入盒内影响测量。为防止热量损失,测温元件应在有保温层的管道或设备上。接点穿过密封圈的导线,应予以加强保护,采用扎线槽或金属软管穿接;应尽量远离热源、潮湿、电磁干扰源等区域;导线与动力线及散射线尽量分开,若只能并行敷设,则两者之间应保持适当距离,避免产生噪声干扰;导线应有良好绝缘性,禁止与交流输电线路共用一根导线;导线中必须通入20mA交流线和分线盒,补偿信号应尽可能保持连续;当不可避免要使用接线时,应采用焊接的连接方式;出板线(1~20mA)接线盒、供电显示表或显示控制柜应装设温度控制,防止供电过热;热电阻与温度传感器的连接信号线和非线性变送器温度变送器应通过同一数字化仪表中的主要单元设备,它直接与热电偶或电阻温度传感器相连接,输出标准信号(4~20mA)经板外处理。变送器输出 $\geq 20$ mA标准信号,经输出线由板外温度控制温度传感器相连接。

第 2 章 第二节 压力测量与变送 1. 压力定义：垂直均匀地作用于单位面积上的力，国际单位为帕斯卡 Pa。**绝对压力**：介质所承受的实际压力。**表压**：压力表所测得的压力。 $P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - P_{\text{大}} - P_{\text{大}} = 101.325 \text{ kPa}$ 。**压力表分类**：液柱式、弹性式、负荷式、电测式。**液柱式压力计**利用液体静力学原理，将被测压力转换成液柱的高度来进行压力测量，具有结构简单等特点，主要用于实验室中的低压基准测量。液柱式压力计大多是一根直的或弯成 U 形的玻璃管，其中充以工作液体，常用的工作液体为蒸馏水、水银和酒精。因玻璃管刻度有限，产生读数限制，因此所测压力一般不超过 0.3MPa。**弹性式压力计**利用弹性元件受力变形的原理来测量压力，具有结构简单、结实耐用、测量范围宽等特点，是压力测量领域中应用最多的一种。弹性式压力表按采用的弹性元件不同，可分为弹簧管压力表、波纹管压力表和膜片压力表等。**负荷式压力计**利用液体传递压力的原理，将被测压力转换成活塞上施加的平衡砊码重量来进行压力测量。由于活塞和砊码均可精确加工和测量，因此这类压力计与标准差很小，主要作为压力基准使用。测量范围从几十帕至 2500MPa。常见的负荷式压力计有活塞式压力计、浮球式压力计和标准器压力计。

表。电测式压力表(精度范围大)利用金属或半导体的物理特性,直接将测压压力转换为电压、电信号或频率信号输出,或通过电阻应变片等,将弹性体的形变转换为电压、电信号输出。这类压力表反应快、精度可达0.02级,测量范围从数帕至700兆帕。代表性产品有压力式、压阻式、频式、电容式和应变式等压力传感器所构成的电测式压力。压力表选型应根据被测压力的大小确定,对于弹性压力表,测量量程选压力上限,下限按被测压力最大值的1/3;测量波动较大的压力时,压力表的1/2上限应为被测压力最大值的3/2。为保证测量精度,一般被测压力的最小值应不低于仪表量程的1/3。标准化系列为:1.6、2.5、4、6、10、16 MPa(为整数或奇数)。精度选择 根据生产工艺对压力测量允许的最大误差来确定。工业用表:1.5级或2.5级;实验室或科研用表:0.4级或0.25级以。例:用硅阻管压力表测量10MPa左右的压力,要求测量误差不大于0.2%,应选择压力表。解:压力表的量程为0~16MPa,精度为1.5级。压力表的量程选择 取压力点应在被测介质自给流动的主管段部分,不要选在管路拐弯、分叉、死角和管接头等易形成湍流的地方;测量流动介质压力时,应使

取压点与流向垂直,并消除管壁沾污及冲蚀;测量液体压力时,取压点应在管道下部,使导管内不积存气体;测量气体压力时,则应在管道上部,以免导管内积存液体。**导压管的敷设原则:**当被测介质易冻结或结晶时,必须加保温、伴热管线;取压口与压力表之间应装切断阀,其位置靠近取压口。压力表安装要求:压力表应安装在便于观察和检修的地方;压力表的安装点内应力避免振动和高温影响;测量蒸汽压力时,应加装冷凝管,以防止高温介质直接与测量元件接触。对于有腐蚀性介质测量时,应加装有中性介质的隔离罐等。压力表与导压管的连接处应加密封垫片,一般可用石棉纸和铝片,温度及压力较高时可用高温石墨纸和铝垫片。此外,还要考虑介质腐蚀,如测量蒸汽压力禁用带油或有机化合物的垫片,否则会引起爆炸;测量乙炔压力时禁用铜垫片。平衡式压力变送器:可防止(喷嘴挡板、气动放大器、杠杆系统)和电动式压力变送器因被测介质腐蚀而损坏。在生产过程中,流量是控制的重要物理量,通过测量各种介质的流量,可以进行整个生产过程的物料和能量衡算,提高能源利用率。**流量定义:**单位时间内流过管道有效截面的流体流量。流量测量仪表

为速度式和容积式。**速度式流量计**和**利用流体力学法测量流量**即以测量流体在管道内的流速作为依据来计算流量,如差压式流量计、转子流量计、电磁流量计、涡轮流量计等。**容积式流量计**和**利用容积法测量流量**即以单位时间内所排出流体的固定容积数作为依据来计算流量,如椭圆齿轮流量计、腰轮流量计和刮板流量计和旋转活塞式流量计等。**容积式流量计**结构简单、运行可靠且适合多种介质流量检测,应用广泛约占流量总流量70%。它依据流体流动的节流原理,利用流体流经节流装置时产生的压力差来实现流量测量,一般由**节流装置(孔板喷嘴文丘里管)**和**差压计**两部分组成。**节流装置**的节流原理:当流体通过节流装置的节流孔时,流体形成局部收缩,流速加快,动能增加,静压降低,在节流装置前后产生压差,根据流体的连续性原理和伯努利方程可得压差与流量之间的关系为:  $Q_M = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{2\Delta p / \rho}$ ,  $Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{2\Delta p / \rho}$ , 式中:  $Q$  为流量系数,  $\alpha$  为节流孔面积,  $A$  为节流面积,  $\Delta p$  为节流装置两测压差,  $\rho$  为流体密度;当被测介质的物理性质偏离了方程的设计工况时,则因介质性质的变化,需对流量计的读数进行修正,  $Q = Q_0 \cdot \rho_0 / \rho$  式中:  $Q_0$  为流量系数,  $Q$  为修正流量,  $\rho_0$  为设计流量,  $\rho$  为修正流量。

$\rho_1$ 为实际介质密度,  $\rho_0$ 为设计介质密度。转子上浮以流体流动的节流原理为基础测量流量, 适用于小流量、低雷诺数介质的测量, 一般测量精度在1.5~2.5%, 压力损失小。当液体自下而上通过环隙时, 在转子两侧产生压差, 转子受到一个向上的冲力, 使转子浮起。当转子的浮力正好等于转子重力时, 转子达到平衡, 停留在某一高度。这样, 转子的平衡位置高度与流量Q的关系为:  $Q = A \sqrt{\rho_1 (\rho_1 - \rho_0) / \rho_0}$ ,  $\rho_1$ 为转子材料密度,  $\rho_0$ 为被测液体密度, K为比例系数,  $\psi$ 为流量系数。测量液体流量的转子上浮式流量计, 制造厂是在工业标准状态 (标准温度15℃、20℃下用水标定刻度), 如果实际被测介质不是水, 则因介质密度不同, 必须对流量读数进行修正。对于一般液体而言, 温度与压力的变化对其精度的影响甚小, 则可按下述式进行液体流量的换算:  $Q = Q_0 \sqrt{\frac{\rho_1 (\rho_1 - \rho_0)}{\rho_0 (\rho_1 - \rho_0) \rho_0}} \rho_0 / \rho_0$ ,  $Q_0$ 为被测液体标准状态流量;  $Q$ 为用水标定的仪表测得的流量指示值 (标准状态下);  $\rho_1$ 为转子材料密度 (通常用钢或不锈钢,  $\rho_1 = 7920 \text{ kg/m}^3$ );  $\rho_0$ 为被测液体密度 (在101.32kPa、293K下,  $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$ )。测量气体流量的转子上浮式流量计, 制造厂是在工业标准状

个标准大气压、20℃)下用空气定标得到的。气流速度换算:  $Q_1/Q_0 = p_0/p_1 \cdot p_0/p_{10} \cdot p_0/p_{11} \cdot T_1/T_0$ , 式中:  $Q$  为被测气体工作状态下实际体积流量;  $Q_0$  为用空气定标的仪表刻度体积流量指示值 (标准状态下);  $P_1$ ,  $T_1$  为工作状态下被测气体的绝对压力 (+101.32Kpa) 和绝对温度 (+273.15);  $P_0$ ,  $T_0$  为工作标准状态的绝对压力和绝对温度 (101.32Kpa, 293K);  $p_0$ ,  $p_{10}$  为空气和被测气体标准状态下的密度 ( $p_0=1.205 \text{ kg/m}^3$ )。| 被测气体在标准状态下的实际流量值, 可按下式计算:  $Q_{10} = Q_0 \cdot p_0/p_{10} \cdot p_0/p_{11} \cdot T_1/T_0$ ,  $Q_{10}$  为被测气体标准状态下的实际流量值。用金属管转子流量计测量液体 (温度不超 +200℃) 的密度:  $Q_M/Q_0 = 29.56 \cdot \rho$ , 式中  $Q_M$  为被测液体和气体的质量流量,  $Q_0$  为仪表刻度体积流量指示值 (101.32KPa, 293K, 用水定标);  $\rho$  为被测液体和蒸汽密度。转子流量计的安装: 垂直安装, 不允许有倾斜; 被测介质的流向一定要自上而下, 其进出口要安装在直管段上 (或等于) 5D (D 为管道直径) 的直管段。一般采用法兰连接。为便于拆卸拆卸一般加装旁通管路和切断阀。密度流量计和流量式传感器原理: 垂直管道中流体的质量,  $Q_M = 4.57KD \cdot (B - B_0) \cdot F \cdot \rho$ ,  $K$  为流量系数,  $D$  为管道外径,  $B - B_0$  为碟片

可见, 被测流量 $Q$ 与靶片受力 $F$ 呈平方关系, 靶式流量计尤其适用于大流量检测。**旋涡流量计**: 当管道中流体遇到横置的非流线型柱状物时, 就会在柱状物后两侧交替产生有规律的旋涡序列。根据旋涡出现的频率来测量介质的流量, 即为靶式流量计(卡门涡街流量计)的基本思想。流量 $QV$ 与旋涡频率 $f$ 的关系为:  $QV \propto Kf$ , 旋涡流量与测量精度高, 一般用于 $\phi 150\text{mm}$ 以下管道气体流量测量。**椭圆齿轮流量计**由金属齿轮与一对相互啮合的椭圆齿轮组成, 当齿轮与壳体间的月牙形容积 $V$ 一定时, 只要测出齿轮转速, 则被测流体的流量 $QV \propto \Delta V \cdot n$ 。该流量计主要用于测量各种不导电液体流量, 特别适用高粘度液体检测, 如树脂、重油等。**电磁流量计**利用法拉第电磁感应定律, 测量管道中导电性流体的流量。 $E \propto QV$ 。该流量计应用范围广, 可测各种腐蚀性液体流量、各种悬浮固体微粒的流体流量。但不能测量气体、蒸气及石油制品等流量, 且温度一般低于 $200^\circ\text{C}$ , 压力也有所限制。**涡轮流量计**利用力矩平衡原理测量流量。当流体流经涡轮流量计时, 推动叶轮转动, 当流量一定时, 动力矩和阻力矩平衡, 叶轮转速保持一定。磁感应叶轮均匀分布的叶片随叶轮转动, 周期性改变检测线圈磁路磁阻, 产生电脉冲, 其信号频率与叶轮转速成正比, 而叶轮转速正比于流量, 所以脉冲频率就与流量成正比。通过测量频率 $f$ 就能确定流量 $Q$ 。**质量流量计**: 直捷型质量流量计直接测量与质量流量成正比例的量, 实现对质量流量的测量。间接型质量流量计

通过液位、流量计量和密度的组合,实现对物料质量的测量。

第三章第五节 液位检测仪表: 测量液体和颗粒状材料的液面和堆装高度的工业自动化仪表。通过液位检测可确定容器中的原料、产品或半成品的数量,保证各生产环节所需的物料,并进行经济核算。按液位计的工作原理分为: 浮力式、静压式和电容式。**浮力式液位计**是根据阿基米德原理即液体对一个物体浮力的大小,等于物体所排开液体的重量。结构简单、运行可靠、应用非常广泛。**恒浮力式液位计**根据浮在液面上的浮标随液位的高低而产生上下位移来测量液位,如浮球式、浮筒式和浮子等。**变浮力式液位计**根据浮筒在液体中受浮力随液位不同而有所变,浮力不同来测量液位,如浮筒式液位计等。**静压式液位计**是利用容器内液位改变时,液柱所产生的静压力也随之变化的原理而工作的。**单法兰液位计**适用于敞口容器液位测量,用一个法兰将压力与容器底部连通。 $p = \rho g h$ ,其中:**双法兰液位计**适用于闭口容器液位检测,采用压力变送器用两个法兰与容器相连接,通过测量差压来测定液位。 $P1$

$P2 = h1\rho g$ 。若气相含有蒸汽并有冷凝, 则  $P1 - P2 = (h2 - h1)\rho g$  中,  $h2$  为冷凝液高度。吹气式液位计工作原理: 吹气式液位计结构简单, 实用, 特别适用于腐蚀性液体的液位测量, 唯不能用于顶部封闭的容器设备。静压式液位计的缺点: 检测元件在容器内不与气相空间, 只需在容器壁上开一个或两个孔即可; 检测元件只有两根导压管, 结构简单, 安装方便, 便于操作维护, 工作可靠; 采用法兰式差压变送器可解决高精度、易结晶、易结垢、腐蚀性、含悬浮物介质的液位测量问题; 静压式液位计通用性强, 可用于测量液体和流量参数。吹气式液位计的注意事项: 遇到含有杂质、结晶、凝固或易自聚的被测介质时, 普通差压变送器会引起堵塞现象, 此时, 需采用法兰式差压变送器, 解决堵塞问题; 测量腐蚀性介质液位时, 差压变送器与容器之间安装以中性和耐腐蚀的隔离液, 需进行零点迁移。静压式液位计测量时, 其正压室与容器液相相通, 负压室与容器气相相通。如果差压计的负压室取压口与起始

当 $H=0$ （即同一水平面上， $P=H\rho_1 g + p_0 = p_0$ ， $H=0$ ， $P=p_0$ ），对于气动液体和气体， $H=0$ 时，变送器输出 $\Delta p=0$ ，输出20kPa； $H=H_1$ 时，变送器输出 $\Delta p=H_1\rho_1 g$ ，输出100kPa。此时，差压变送器的工作特性称为无迁移。**负迁移**：(最大时，输出的 $P$ 还不到最大) $P=H\rho_1 g + p_0$ ，为防止容器内液体和气体进入变送器造成堵塞或误差，并保证负压差压稳定，在变送器与取压点之间分别加装隔离液。 $P=H\rho_1 g + h_2\rho_2 g + p_0$ ， $\Delta p=P-P_0=P-H\rho_1 g-(h_2-h_1)\rho_2 g$ 。当 $H=0$ 时， $\Delta p=-(h_2-h_1)\rho_2 g$ ，变送器输出必然小于20kPa； $H=H_1$ 时，变送器输出也小于100kPa。为使变送器输出能直观反映所测液位，必须通过调整变送器杆系统上迁移弹簧的拉力，用以平衡附加在负压室上的固定静压 $P_2$ ，使 $H=0$ 时，输出20kPa； $H=H_1$ 时，输入 $\Delta p=H_1\rho_1 g-(h_2-h_1)\rho_2 g$ ，变送器输出仍为100kPa，即为负迁移。**正迁移**：调整零差压变送器杆系统上的迁移弹簧的拉力，用以平衡附加在正压室上的固定静压，即为正迁移。 $P_2=(H_1 h_1)\rho_1 g + p_0 = p_0$ ， $\Delta p=P-P_0=P-(H_1 h_1)\rho_1 g$ 。由电容式液位检测方法之一，它直接把液位变化量转换成电容的变化量，然后再转换成标准电信

号, 供显示用; 通过指示、记录、报警等元件, 实现液位信号的显示、报警等。电容式液位计是根据电容原理进行工作的。其测量范围较广, 可测范围: 液体、粉末、块状 (固体颗粒) 的液位都可测量; 检测元件不与被测介质接触, 适用于强腐蚀性、高粘度、有毒介质和低温介质的液位和界面测量; 缺点是检测元件不能承受高温, 声速小, 受介质的温度、压力影响, 应用有局限性。电路复杂, 价格高。10—20mA 气式、液式和固介式三种。超声波液位计是根据超声波液位计工作原理, 根据从发射至接收到反射回波的时间间隔与液位高度成比例的原理, 来测量被测介质的液位。工业上应用较多的超声波液位计分接触式和非接触式两种。接触式超声波液位计无活动部分, 探头的压电晶片垂直运动, 但接触简单, 寿命长; 仪表不受湿度、精度的影响, 并介质的介电系数、电导率、热导率等无关, 可测范围: 液体、粉末、块状 (固体颗粒) 的液位都可测量; 检测元件不与被测介质接触, 适用于强腐蚀性、高粘度、有毒介质和低温介质的液位和界面测量; 缺点是检测元件不能承受高温, 声速小, 受介质的温度、压力影响, 应用有局限性。电路复杂, 价格高。10—20mA

四、过程控制仪表：包括调节器、执行器、操作器及可逆调节器等各种新型控制仪表及装置。过程控制仪表按使用能源分类：有气动仪表和电动仪表；按结构形式分：有基地式单元、单元组合式仪表、组装式仪表等；按信号类型分：有模拟式仪表和数字式仪表。DDZ—III型调节器有两个基本品种，全刻度直读调节器和偏差指示调节器。DDZ—II型调节器由控制单元和指示单元组成。调节器的组成与作用：调节器接收输入信号，PD和PI电路、输出电路、软启动与硬手动操作电路；指示单元包括输入指示电路和给定信号指示电路。调节器的作用是将变送器输出的1~5VDC标准信号，与1~5VDC的给定信号进行比较得到偏差信号，将偏差信号进行PID运算后，输出4~20mA的直流信号，通过执行器，实现对过程参数的控制。执行器由执行机构和调节机构（调节阀）两部分组成。在过程控制系统中，它将调节器输出的控制信号，转换成位移或力（或力矩）位移来改变调节阀的流通面积，控制流入或流出被控过程的物料流量，实现对过程参数的控制。执行器按使用能源分：有“气动、电动和液动”三种。执行器具有结构简单、工作可靠、防火防爆等优点。在过程控制中应用广泛。电动执行器适用于

根据要求不高及缺乏气源的情况,根据所用调节阀的结构不同,电动执行机构的输出方式有直行程、角行程和多转式三种类型。电动执行机构由伺服放大器和伺服电动机两部分组成。电动执行机构的工作原理:来自调节器的ID作为伺服放大器的输入信号,与位置反馈信号IF进行比较,其差值经放大后去控制两伺服电动机ID1正反转或反转,经减速器减速后,改变输出轴由伺服电动机开度(或挡板的角位移)。与此同时,输出轴的位置经位置变送器转换成电动反馈信号IF,当IF与ID相等时,电动机停转,调节阀的开度就稳定在与调节器输出信号ID成比例的位置上。**气动执行机构**接受气动调节器或电动阀门定位器输出的 $\bar{P}$ 压信号,经膜片转换成推力,克服弹簧力后,使推杆产生位移,带动阀芯动作。**正作用**:当输入气压信号增加时,推杆向下移动。**反作用**:当输入气压信号增加时,推杆向上移动。**调节阀的流量特性**:从流体力学观点来看,安装在水平管道上的调节阀可视为一个变节流装置。流体通过时的变化过程与流过孔板时的变化过程类似,只是调节阀的流通面积是可变的。当不可压缩流体通过时,若阀门开度不变,则调节阀的流量损失为 $\Delta h=1/2 \cdot v^2$ ;  $v$ 为平均流速;为调节阀的阻力系数,随阀门开度而变。由于调节阀前管径一般

样，则流体流速相同，根据能量守恒有 $\rho(p_1 - p_2) / \rho \Delta = \Delta v \sqrt{\xi} \cdot 2 \Delta p / \rho$ ，调节阀就是通过改变阀门开度来调节流量。**气动执行器的选择**（输入气压信号，输出阀门开度）：调节阀的口径常用公称直径 $D_g$ 和阀座直径 $d$ 来表示，选择其大小的主要依据是流通能力 $C$ ；**④调节阀的结构形式选择**：气开、气关形式；调节流量特性选择；调节阀的流通能力 $C$ ：当调节阀全开、阀前后的压差为100kPa、流体的密度为 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 时，每小时通过阀门的流量流量 $Q$ 。阻力系数 $\xi$ ： $C = 0.09 A \sqrt{\xi}$ ； $Q = C \sqrt{\Delta p / \rho}$ ； $\xi = (Q - Q_0) \sqrt{\rho / 10 A}$ 根据流通能力 $C$ 可以确定 $C$ 。**调节阀的结构形式**④调节阀的结构形式选择单座阀：泄漏小，但受流体不平衡力而产生的不平衡力较大，仅适用于小口径（ $D \leq 25 \text{ mm}$ ）的场合；双座阀：泄漏大，受流体不平衡力的不平衡力较小，适用于大口径的场合；角形阀：阀体受流体不平衡力，体内不易堵塞，适用于高粘度、含杂质液体和颗粒物的流体；套筒阀：流阻小，适用低压差、大流量气态或固态介质的场合；隔膜阀：受流体中的腐蚀性介质代替阀芯，适用于高腐蚀性介质的场合。**调节阀的气开、气关形式**气开式：当信号压力 $p_n = 0 \text{ MPa}$ 时，阀门关闭；

开。气关式:当信号压力增加时,阀门关。主要从工艺安全考虑,选择原则:当信号压力中断时,以阀门处于全开还是全关状态,对工艺生产造成的危害性大小而定。**调节阀的相对流量**:系指介质流过阀门的相对流量与阀门相对开度之间的关系。 $Q/Q_{max}(1/L)$ 。理想流量特性:调节阀前后压差一定的情况下所得到的流量特性,为理想流量特性,它仅取决于阀门的**形状**。**直线流量特性**:调节阀的相对流量与阀门的相对开度成直线关系。调节阀在小开度工作时,相对流量变化小,控制作用太弱,易产生振荡;在大开度工作时,相对流量变化大,控制作用太强,引起控制不及时。**对数(等百分比)流量特性**:调节阀阀门的相对位移(开度)变化引起的相对流量变化与该点的相对流量成正比。从过程控制看,利用对数(等百分比)流量特性,调节阀在小开度时流量小,控制较平缓;调节阀在大开度时流量大,控制及时有效。**快开流量特性**:该特性在小开度时流量变化较大,随着开度的增大,流量很快达到最大,故称为**快开特性**。快开特性的阀门形状为平板型。有效行程 $l$ 为阀座直径 $d$ 的4/3,当行程 $l \geq 4d/3$ 时,阀的流通面积不再增大,只能控制流量,不能控制压力。实际应用中,调节阀的流量系数 $K_v$ 越大,则流量越大,此时,调节阀的相对流量与

图 2 相邻位置之间的关系称为 **流量特性**。调节阀流量特性的选择：依据过程特性选择，K、 $\tau$  常数，依据负荷情况选择，依据负荷变化情况选择，在负荷变化较大的场合，或调节阀经常工作在小开度的场合，宜选用等百分比流量阀。例 1 定位器利用负反馈原理，改善调节阀的定位精度，提高灵敏度，从而使调节阀能按控制器输出的控制信号实现准确定位。实现准确定位，改善调节阀的动态特性，实现分程控制，改变调节阀的流量特性。

**第五节 单回路控制系统设计** 只有一个测量变送器、一个调节器、一个调节阀组成的控制系统，对一个被控参数进行控制的反馈控制系统。**过程控制系统的三要素**：稳：控制系统必须稳定，且有一定的稳定裕量。准：系统被控参数的实际值与给定值之间的剩余误差尽量小，具有足够的控制精度。快：系统应是一个衰减振荡过程，过渡过程时间要短。**过程控制系统设计的方法与步骤**：系统设计的主要任务是确定合理的控制系统，选择正确的检测元件、控制元件，并进行参数整定。控制系统的基本要求或性能指标：建立系统的数学模型；建立系统的方块图；进行系统稳定性、动态特性的计算；实验和仿真。**单回路控制系统**：被控参数选择，选

对产品、产量和质量、安全生产、经济运行和环境保护具有决定性作用的,可直接测定的工艺参数为被控参数;若难以选择直接参数为被控参数时,应选择与直接参数有单值函数关系的时间间接参数为被控参数;被控参数必须具有足够大的灵敏度和被控参数的选取,还应考虑工艺过程的合理性和所用仪表的性能、价格等因素。**控制参数的选择:**选择过程控制通道的放大系数 $K_0$ 要适当大一些,时间常数 $T_0$ 要适当小一些,时间常数 $T_0$ 应小于 $0.1\tau$ , $0.70T_0$ 比 $0.1\tau+0.3$ 。比值大时,则不利于控制要求;扰动通道的放大系数 $K_1$ 应尽可能小,时间常数要大。扰动引入系统的位置应尽可能远离扰动源;广义被控过程由一个惯性环节串联组成时,应尽量把时间常数错开,使其中的最大值与最小值之比尽量大;注意工艺操作的合理性、经济性。**调节阀的选择:**调节范围 $D$ 、 $d$ 的选择,正常情况下,要求调节阀的开度应在 $15\% \sim 85\%$ 之间;调节阀的形式选择:调节气阀、气动的选择,调节流量的特性选择。**调节器PID参数整定的选择:**控制系统的选择:当广义过程的时间常数大、纯延迟小时,引入微分控制,此时,PID效果最好,PD效果,PI次,PI次差;当广义过程的时间常

制方案。根据 0.70 的比值的数学模型可近似表示为  $(s) = k \cdot e^{-T_0 s} / (s + T_0)$ 。当  $T_0 > 0.70$  时, 选用 P 或 PD 调节规律; 当  $0.2 < T_0 < 0.70$  时, 选用 PID 调节规律; 当  $T_0 < 0.2$  时, 选用 PID 调节规律。当  $0.70 < 1$  时, 单回路控制方案较难以满足控制要求, 应采用其它控制方案。根据被控对象的特性选择调节规律: P 调节规律: 控制质量较高, 有余量, 过渡过程时间较长, 适用于控制通道容量大, 纯延足够小, 负荷变化不大, 工艺要求不高的场合; PI 调节规律: 由于引入的积分作用能消除余量, 适用于过程容量较小, 负荷变化较大, 工艺要求无差差的场合; PD 调节规律: 由于引入的微分作用具有超前作用, 适用于大容量滞后的场合; PID 调节规律: 控制质量高, 适应不同被控过程。调节器正、反作用的选择: 与被过程的特性及调节器的气开、气关形式有关。正作用被控过程: 当被控过程的输入增加 (减少) 时, 其输出 (被控参数) 也随之增加 (减少)。反作用被控过程: 当被控过程的输入增加时, 其输出 (被控参数) 随之减少。

出被控参数)却减少。**正作用调节器**:当反馈到调节器输入端的系统测量值PV增加(减少)时,则 $E = PV - SP$ 增加(减小),则调节器的输出也随之增加(减少)。**反作用调节器**:当系统测量值PV增加时,调节器的输出却减少。要使系统正常工作,构成系统的各个环节的**静态放大系数的乘积必须为正**,以保证系统为负反馈。**正作用被控KP取正**,**反作用被控过程KP取负**,**正作用调节器KC取负**;**反作用调节器KC取正**;**气开阀KV正**;**气关阀KV负**。



<p>公式 1</p> $k_m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{B_y}{B_x} = \frac{y_{up} - y_{inf}}{x_{up} - x_{inf}}$ <p>公式 2</p> $E_{AB}(t, t_0) = \frac{K}{e} \int_{t_0}^t \ln \frac{N_A}{N_B} dt$	<p>3 热电阻连接方式</p>	<p>13 主副流量动态的动态比值问题</p>	<p>4 调节阀的结构形式</p>
	<p>5 反应器的单回路控制</p>	<p>6 反应器的串级控制</p>	
	<p>8 开环比值</p>	<p>10 双闭环比值</p>	<p>11 变比值</p>
<p>相除和相乘方案</p>	<p>9 单闭环比值</p>	<p>被控参数是冷物料流量 控制参数是蒸汽流量</p>	<p>前馈反馈控制系统</p>
<p>KQ1作为Q2的给定</p>	<p>10 双闭环比值</p>	<p>11 变比值</p>	<p>12 比值控制</p>