

第3章 过程控制仪表（下）

3.3 数字式控制器

过程仪表的定义及作用

模拟式调节器的局限性越来越明显：

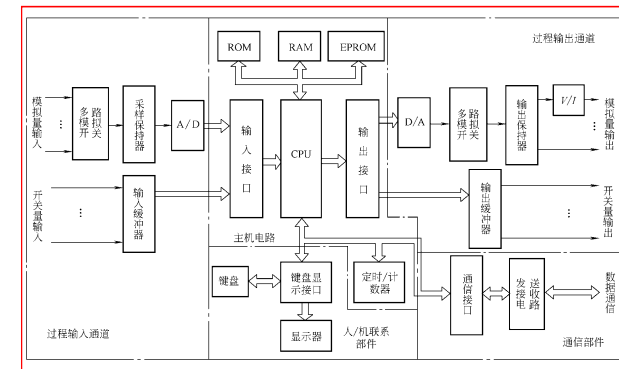
- 1) 功能单一，灵活性差；
- 2) 信息分散，所用仪表多，且监视操作不方便；
- 3) 接线过多，系统维护难度大。

3.3.1 数字式控制器的基本构成

数字式控制器的硬件电路由主机电路、过程输入通道、过程输出通道、人/机接口电路以及通信接口电路等构成。

1. 数字式控制器的硬件电路

YS100单回路调节器



数字式控制器的硬件电路

(1) 主机电路 主要由微处理器CPU、只读存储器ROM和EPROM、随机存储器RAM、定时/计数器CTC以及输入/输出接口等组成，它是数字控制器的核心，用于数据运算处理和各组成部分的管理。

(2) 过程输入通道 包括模拟量输入通道和开关量输入通道两部分，其中模拟量输入通道主要由多路模拟开关、采样/保持器和A/D转换器等组成，其作用是将模拟量输入信号转换为相应的数字量；而开关量输入通道则将多个开关输入信号通过输入缓冲器将其转换为能被计算机识别的数字信号。

(3) 过程输出通道 主要包括模拟量输出通道和开关量输出通道两部分，其中模拟量输出通道由D/A转换器、多路模拟开关输出保持器和V/I转换器等组成，其作用是将数字信号转换为1~5V模拟电压或4~20mA模拟电流信号。开关量输出通道则通过输出缓冲器输出开关量信号，以便控制继电器触点或无触点开关等。

(4) 人/机联系部件 主要包括显示仪表或显示器、手动操作装置等，它们被分别置于数字式控制器的正面和侧面。正面的设置与常规模拟式控制器相似，有测量值和设定值显示表、输出电流显示表、运行状态切换按钮、设定值增/减按钮、手动操作按钮等。侧面则有设置和指示各种参数的键盘、显示器等。

(5) 通信部件 主要包括通信接口、发送和接收电路等。通信接口将发送的数据转换成标准通信格式的数字信号，由发送电路送往外部通信线路，再由接收电路接收并将其转换成计算机能接收的数据。数字通信大多采用串行方式。

2. 数字式控制器的软件

(1) 系统管理软件 主要包括监控程序和中断处理程序两部分，它们是控制器软件的主体。监控程序又包含系统初始化、键盘和显示管理、中断管理、自诊断处理及运行状态控制等模块；中断处理程序则包含键处理、定时处理、输入处理和运算控制、通信处理和掉电处理等模块。

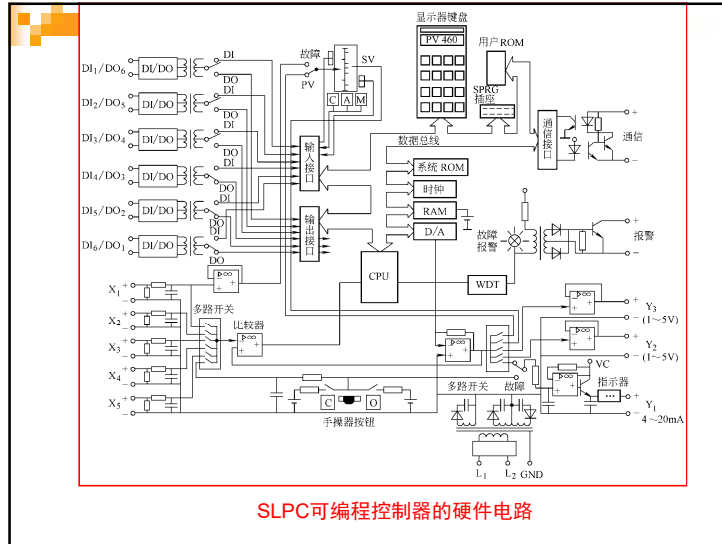
(2) 用户应用软件 用户应用软件由用户自行编制，采用POL(面向过程语言)编程，因而设计简单、操作方便。在可编程控制器中，这些应用软件以模块或指令的形式给出，用户只要将这些模块或指令按一定规则进行连接（亦称组态）或编程，即可构成用户所需的各种控制系统。

3.3.2 数字式控制器实例

目前广泛使用的产品有DK系列的KMM数字调节器、YS-80系列的SLPC数字调节器、FC系列的PMK数字调节器以及Micro760/761数字调节器等，由于它们的运算与控制功能是靠组态或编程实现的，且只控制一个回路，所以又常将它们称为**单回路可编程数字调节器**。以SLPC数字调节器为例。

1.SLPC可编程数字调节器的硬件构成

具有基本的PID、微分先行PID、采样PI、批量PID、带可变滤波器设定的PID等多种控制功能，还可构成串级、选择性、非线性等多种复杂的过程控制系统，并具有自整定、自诊断、通信等许多特殊功能



各部分电路的具体构成及其功能简述如下：

(1) 主机电路 主机电路中的CPU采用8085AHC芯片,时钟频率为10MHz;系统ROM为64KB,用于存放监控程序和各种功能模块;用户ROM为2KB,用于存放用户程序;RAM为16KB。

(2) 过程输入/输出通道 具有如下特点：

1) 输入通道中有5路模拟量输入和6路开关量输入。模拟量输入由RC滤波器、多路开关、PC648D型高速12位D/A转换器和比较器等组成,通过CPU反馈编码,实现比较型模/数转换。

2) 输出通道中有3路模拟量输出和6路开关量输出。模拟量输出中有1路输出为4~20mA.DC直流电流,可驱动现场执行器;另两路输出为1~5V.DC直流电压,提供给控制室的其它模拟仪表。

3) 用一片PC648D型12位高速D/A芯片,将CPU输出的数字量转换为模拟量输出,在CPU的程序支持下,通过比较器将模拟量输入转换成数字量输出;开关量输入与开关量输出共用同一通道,其选择由使用者用程序确定;所有开关量输入/输出通道与内部电路之间均用高频变压器隔离。

4) 在过程输入/输出通道中分别设计了“故障/保持/软手动”功能。模拟输入信号经滤波后分为两路,一路经模数转换后进入CPU;另一路则送往故障/PV开关。当仪表工作不正常时,由CPU的自检程序通过WDT电路发出故障报警信号,并自动将“故障/PV”开关切换到故障位置,直接显示被控量;与此同时,故障输出信号则将模拟量输出中的输出电流切换成保持状态,以便进行软手动操作。

(3) 人/机联系部件 SLPC的人/机联系部件的正面面板与模拟式调节器类似,其不同之处是测量值与给定值显示器有模拟动圈式和数字式两种;此外,还设置了给定值增/减按键、串级/自动/软手动切换/操作按键、故障显示和报警显示灯等。它的侧面面板设置有触摸式键盘和数字显示器、正/反作用开关以及编程器和写入程序的芯片插座等,可以很方便地进行数据修改、参数整定等操作。

(4) 通信接口电路 SLPC的通信接口电路由8251型可编程通信接口芯片和光电隔离电路组成。该电路采用半双工、串行异步通信方式,一方面将发送信号转换成标准通信格式的数字信号,另一方面则将外部通信信号转换成CPU能接受的数据。

2. SLPC可编程数字调节器的软件

为便于用户编程,SLPC为用户提供的是采用面向问题、面向过程的“自然语言”编程平台。生产商预先将常用的运算控制功能编制成标准程序模块,以指令命名。使用时将所需运算模块和控制模块“组态”,实现控制功能。

SLPC的用户基本指令共46种分三类

数据传输类指令两种: LD, ST

结束指令: END

功能指令: 43种

1) 基本运算模块 11个

有 $+$ 、 $-$ 、 \times 、 \div 运算； $\sqrt{\quad}$ 、 $\sqrt[n]{\quad}$ 运算（小信号切除点固定的开方、小信号切除点可变的开方）；取绝对值运算；高选、低选；高、低限幅。

2) 函数运算模块 13个

折线函数、一阶惯性、微分运算、纯滞后运算、变化率运算、变化率限幅、移动平均运算、状态变化监测、计时、程序设定、脉冲计数、积算脉冲输出。

3) 条件判断运算模块 14个

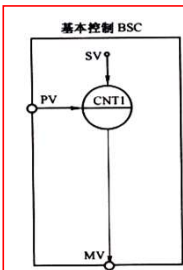
上下限报警、逻辑运算、转移指令、转子指令、子程序块、比较指令、信号切换

4) 运算寄存器位移指令 CHG ROD

5) 控制模块 3种

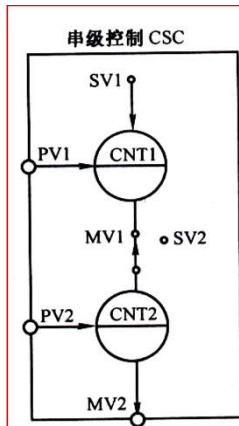
(1) 基本控制模块BSC

内含1个调节单元CNT1，相当于模拟仪表中的1台PID调节器，其功能框图如图所示。



(2) 串级控制模块CSC

内含两个调节单元CNT₁和CNT₂，根据串级开关状态，CNT₂可接受CNT₁的输出作为设定信号，组成双回路串级控制系统，也可直接接受另一设定信号SV₂，实现副回路的单独控制。



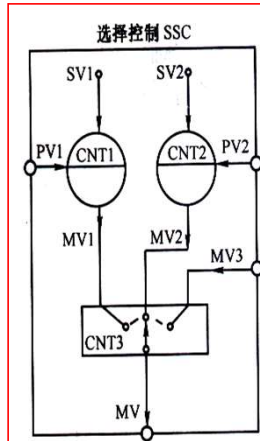
(3) 选择控制模块SSC

内部包含两个并行工作的PID调节单元CNT₁和CNT₂，另有一自动选择单元CNT₃。

CNT₃的控制规律为三选一：

CNT₃ = 0 为低选

CNT₃ = 1 为高选



编程举例：

例1 把两个输入变量 X_1 、 X_2 相加后，从 Y_1 端口输出。

```

程序： LD  $X_1$     (读入 $X_1$  数据)
        LD  $X_2$     (读入 $X_2$ 数据)
        +      (对 $X_1$ 、 $X_2$ 求和)
        ST  $Y_1$     (将结果送往 $Y_1$ )
        END      (结束程序)

```

用户程序的写入和调试

1) 利用编程器逐句键入用户程序：

主程序 (MPR) \Rightarrow 子程序 (SBP) \Rightarrow 指定DIO功能
 \Rightarrow 指定控制字 $CNT_1 \sim CNT_5$ \Rightarrow 其它参数 \Rightarrow END

2) 程序的调试

仿真调试 \Rightarrow 真实对象调试 \Rightarrow 写入EPROM
 \Rightarrow 移入ROM插座

3.4 执行器及安全栅**3.4.1 执行器的构成原理**

执行器由**执行机构**和**调节机构（调节阀）**两部分组成。接受调节器输出的控制信号，并转换成直线位移或角位移来改变调节阀的流通面积，以控制流入或流出被控过程的物料或能量，从而实现对过程参数的自动控制。

执行器有自动调节阀门、自动电压调节器、自动电流调节器、控制电机等。其中自动调节阀门是最常见的执行器，种类繁多。

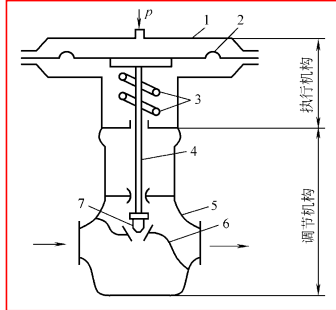
自动调节阀按照工作所用能源形式可分为：

- **电动调节阀**：电源配备方便，信号传输快、损失小，可远距离传输；但推力较小。
- **气动调节阀**：结构简单，可靠，维护方便，防火防爆；但气源配备不方便。
- **液动调节阀**：用液压传递动力，推力最大；但安装、维护麻烦，使用不多。

工业中使用最多的是气动调节阀和电动调节阀。

1. 气动执行机构

它由膜片、阀杆和平衡弹簧等组成，是执行器的推动装置。它接受气动调节器或电/气转换器输出的气压信号，经膜片转换成推力并克服弹簧力后，使阀杆产生位移，带动阀芯动作。



1-上盖 2—膜片 3—平衡弹簧 4—阀杆 5—阀体 6—阀座 7—阀芯

气动执行机构有正作用和反作用两种形式：

当输入气压信号增加时阀杆向下移动时称**正作用**；

当输入气压信号增加时阀杆向上移动时称**反作用**。

在工业生产中口径较大的调节阀通常采用正作用方式。

气动薄膜执行机构的静态特性表示平衡状态时输入的气压 p 与阀杆位移 l 的关系，即

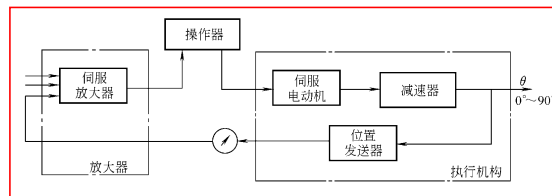
$$p \times A = K \times l$$

A 为膜片的有效面积； K 为平衡弹簧的弹性系数

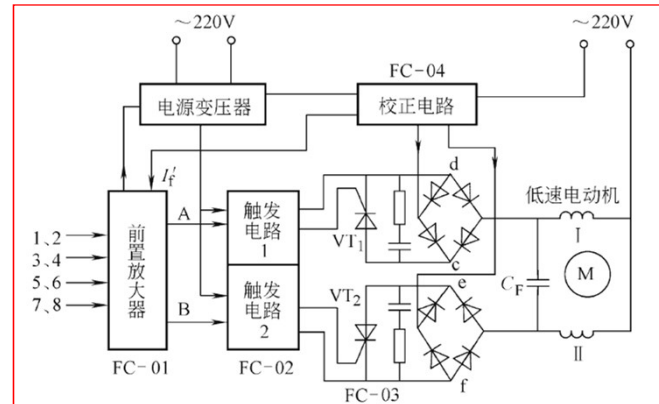
气动执行机构的动态特性可近似成一阶惯性环节，其惯性的大小取决于膜头空间的大小与气管线的长度和直径。

2. 电动执行机构

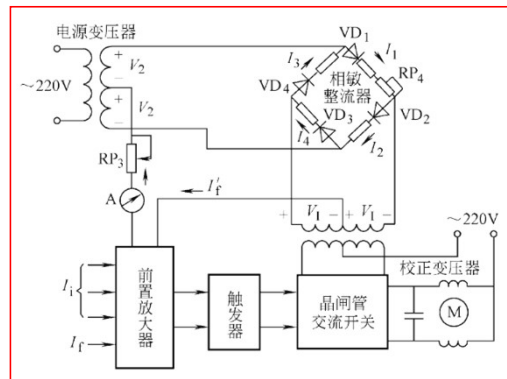
电动执行机构根据配用的调节机构不同，其输出方式有直行程、角行程和多转式三种类型，其电气原理完全相同，仅减速器不一样。



电动执行机构的组成框图



伺服放大器原理图



校正网络原理图

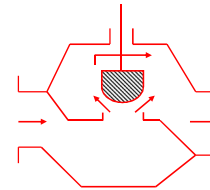
3. 调节机构

调节机构就是阀门，是一个局部阻力可以改变的节流元件。根据不同的使用要求，阀门的结构型式很多。

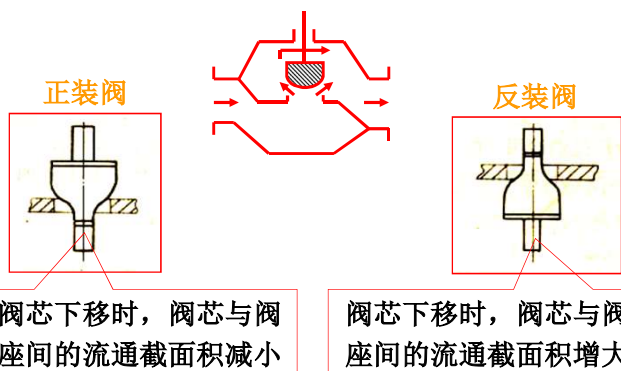
(1) 直通单座阀

❑结构简单、泄漏量小。

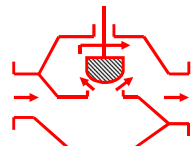
流体对阀芯的不平衡作用力大。一般用在小口径、低压差的场合。



阀门中的柱式阀芯可以正装，也可以反装。



阀芯下移时，阀芯与阀座间的流通截面积减小

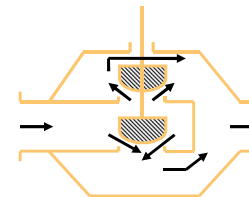


阀芯下移时，阀芯与阀座间的流通截面积增大

(2) 直通双座阀

阀体内有两个阀芯和阀座。

❑ 流体流过时，作用在上、下两个阀芯上的推力方向相反且大小相近，可以互相抵消，所以不平衡力小。



但是，由于加工的限制，上下两个阀芯阀座不易保证同时密闭，因此泄漏量较大。

(3) 角形控制阀

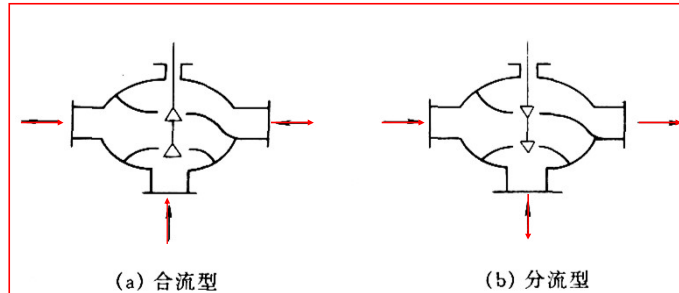
两个接管呈直角形，一般为底进侧出，这种阀的流路简单、对流体的阻力较小。



□ 适用于现场管道要求直角连接，介质为高粘度、高压差和含有少量悬浮物和固体颗粒状的场合。

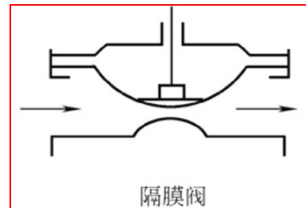
(4) 三通控制阀

有三个出入口与工艺管道连接。流通方式有合流型（两种介质混合成一路）和分流型（一种介质分成两路）两种。适用于配比控制与旁路控制。



(5) 隔膜控制阀

采用耐腐蚀材料作隔膜，将阀芯与流体隔开。



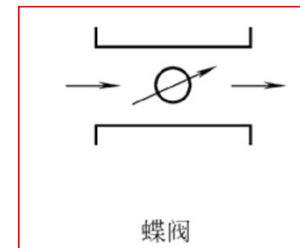
□ 结构简单、流阻小、流通能力比同口径的其他种类的阀要大。由于介质用隔膜与外界隔离，故无填料，介质也不会泄漏。

□ 耐腐蚀能力强，适用于强酸、强碱、强腐蚀性介质的控制，也能用于高粘度及悬浮颗粒状介质的控制。

(6) 蝶阀

又名翻板阀。

结构简单、重量轻、流阻极小，但泄漏量大。



□ 适用于大口径、大流量、低压差的场合，也可以用于含少量纤维或悬浮颗粒状介质的控制。

3.4.2 气动执行器的应用

1. 调节阀的尺寸

通常用公称直径 D_g 和阀座直径 d_g 表示，它们的确定是合理应用执行器的前提条件。确定调节阀尺寸的主要依据是流通能力，它定义为调节阀全开、阀前后压差为0.1MPa、流体重度为1g/cm³时，每小时通过阀门的流体流量（m³或kg）。

当流体为不可压缩时，通过调节阀的体积流量为：

$$q_v = \alpha A_0 \sqrt{\frac{2g}{r} (p_1 - p_2)}$$

α 为流量系数，它取决于调节阀的结构形状和流体流动状况，可从有关手册查阅或由实验确定； A_0 为调节阀接管截面积； g 为重力加速度； r 为流体重度。

依据流通能力的定义，则有

$$C = \alpha A_0 \sqrt{2g}$$

流通能力 C 与调节阀的结构参数有确定的对应关系。这就是确定调节阀尺寸的理论依据。

可得流通能力与流体重度、阀前后压差和介质流量三者的定量关系，即

$$C = q_v \sqrt{\frac{r}{\Delta p}} \quad (3-35)$$

调节阀尺寸的确定过程为：

根据通过调节阀的最大流量 q_{\max} ， r 流体重度

以及调节阀的前后压差 Δp ，先由式（3-35）求得最大的流通能力

C_{\max} ，然后选取大于 C_{\max} 的最低级别的 C 值，

即可依据表3-2确定出 D_g 和 d_g 的大小。

公称直径 D_g (mm)								20				25	32	40	50	65
阀门直径 d_g (mm)		2	4	5	6	7	8	10	12	15	20	25	32	40	50	65
流通能力 C	单座阀	0.08	0.12	0.20	0.32	0.50	0.80	1.2	2.0	3.2	5.0	8	12	20	32	56
	双座阀											10	16	25	40	63
公称直径 D_g (mm)		80		100		125		150		200		250		300		
阀门直径 d_g (mm)		80		100		125		150		200		250		303		
流通能力 C	单座阀	80		120		200		280		450						
	双座阀	100		160		250		400		630		1000		1600		

表3-2 调节阀流通能力 C 与其尺寸的关系

通常将调节器的输出随反馈输入的增大而增大时，称为**正作用调节器**；

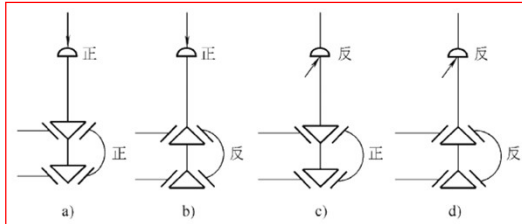
而将调节器的输出随反馈输入的增大而减小时，称为**反作用调节器**。

气动执行机构有正作用和反作用两种形式：

当输入气压信号增加时阀杆向下移动时称**正作用**；

当输入气压信号增加时阀杆向上移动时称**反作用**。

执行器的“气开、气关”有四种构成方式

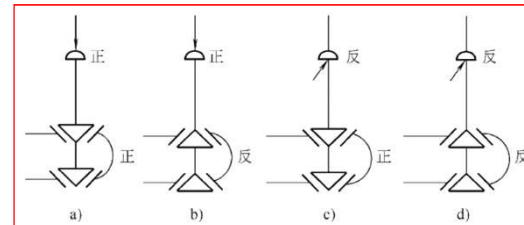


序号	执行机构作用方式	阀体作用方式	执行器气开、气关形式
a	正	正	气关
b	正	反	气开
c	反	正	气开
d	反	反	气关

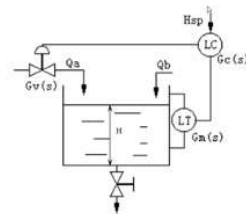
确定调节阀开关方式的原则是：当信号压力中断时，应保证工艺设备和生产的安全。

* 加热炉的燃料气或燃料油管路上的调节阀，应选用气开阀，当信号中断后，阀自动关闭，燃料被切断，以免炉温过高而发生事故；

* 锅炉进水管路上的调节阀，应选用气关阀，当信号中断后，阀自动打开，仍然向锅炉内送水，可避免锅炉烧坏。



气动调节阀的作用方式



如果，介质是由强腐蚀性的，再生产过程中不允许溢出，调节阀的作用形式？

气开

如果后面的环节不允许没有物料，调节阀的作用形式？

气关

3 调节阀的流量特性

调节阀的阀芯位移与流量之间的关系，对控制系统的调节品质有很大影响。

流量特性的定义：

被控介质流过阀门的相对流量与阀门的相对开度（相对位移）间的关系称为调节阀的流量特性。

$$\frac{q}{q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right)$$

q/q_{\max} — 相对流量

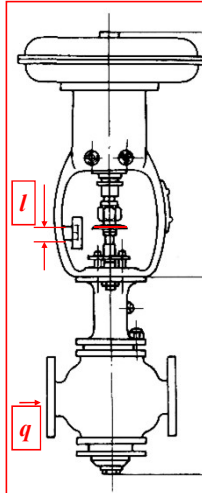
l/L — 相对开度

相对流量 q/q_{\max} 是控制阀某一开度流量 q 与全开时流量 q_{\max} 之比；

相对开度 l/L 是控制阀某一开度行程 l 与全开行程 L 之比。

$$\frac{q}{q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right)$$

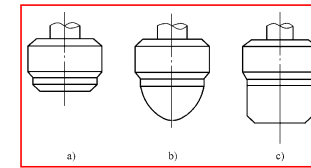
调节阀的流量特性不仅与阀门的结构和开度有关，还与阀前后的压差有关，必须分开讨论。



为了便于分析，先将阀前后压差固定，然后再引伸到实际工作情况，于是有**固有流量特性**与**工作流量特性**之分。

1、固有（理想）流量特性

在将控制阀前后压差固定时得到的流量特性称为**固有流量特性**。它取决于阀芯的形状。



(a) 快开特性 (b) 直线特性 (c) 等百分比特性

(1) 直线流量特性

控制阀的相对流量与相对开度成直线关系，即单位位移变化所引起的流量变化是常数。用数学式表示为：

$$\frac{d\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)}{d\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)} = K$$

积分

$$\frac{q}{q_{\max}} = K \times \frac{l}{l_{\max}} + C$$

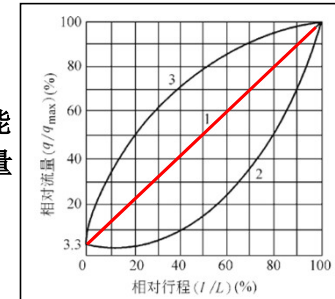
C为积分常数

$$\frac{q}{q_{\max}} = \left(1 - \frac{1}{R}\right) \times \frac{l}{l_{\max}} + \frac{1}{R}$$

可调比 R 为调节阀所能控制的最大流量与最小流量的比值。

$$R = \frac{q_{\max}}{q_{\min}} = \frac{1}{C}$$

其中 q_{\min} 不是指阀门全关时的泄漏量，而是**阀门能平稳控制的最小流量**，约为最大流量的2~4%
一般阀门的可调比 $R=30$ 。



- **调节阀可控制的最小流量**是指当调节阀关到最小的一个开度时，这个流量能够稳定住，并随着开大，能够按着流量特性曲线规律变化，从此开度关小阀门时，流量不能够按着流量特性曲线规律变化时，就把这个流量叫做调节阀可控制的最小流量
- **调节阀泄露**是指调节阀全关，在规定的压差条件下，阀门仍有流体流过，这种现象叫做泄露，流过的流体量，叫阀门的泄露量。

❖ 直线阀的流量放大系数在任何一点上都是相同的，但其对流量的控制力却是不同的。

控制力：阀门开度改变时，相对流量的改变比值。

例如在不同的开度上，再分别增加10%开度，相对流量的变化比值为

10%时：

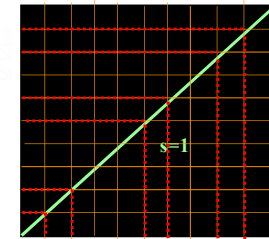
$$[(20-10)/10] \times 100\% = 100\%$$

50%时：

$$[(60-50)/50] \times 100\% = 20\%$$

80%时：

$$[(90-80)/80] \times 100\% = 12.5\%$$



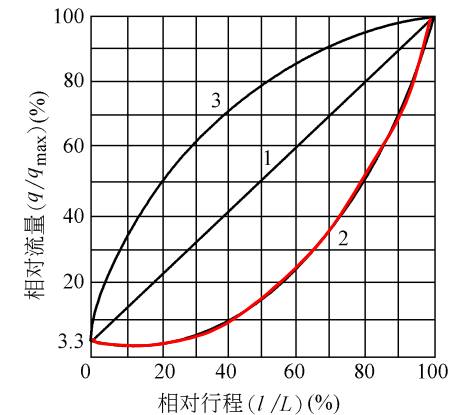
(2) 等百分比 (对数) 流量特性

单位相对行程变化所引起的相对流量变化与此点的相对流量成正比关系：

$$\frac{d\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)}{d\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)} = K_1 \times \frac{q}{q_{\max}} = K_1 \quad \Rightarrow \quad \ln \frac{q}{q_{\max}} = K_1 \times \frac{l}{l_{\max}} + C_1$$

❖ 曲线斜率（放大系数）随行程的增大而增大。流量小时，流量变化小；流量大时，流量变化大。

$$\frac{q}{q_{\max}} = R \left(\frac{l}{l_{\max}} - 1 \right)$$



❖ 等百分比阀在各流量点的放大系数不同，但对流量的控制力却是相同的。

同样以10%、50%及80%三点为例，分别增加10%开度，相对流量变化的比值为：

10%处：

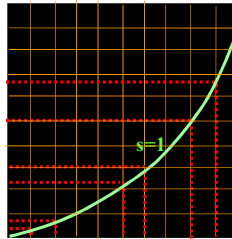
$$(6.58\% - 4.68\%) / 4.68\% \approx 41\%$$

50%处：

$$(25.7\% - 18.2\%) / 18.2\% \approx 41\%$$

80%处：

$$(71.2\% - 50.6\%) / 50.6\% \approx 41\%$$



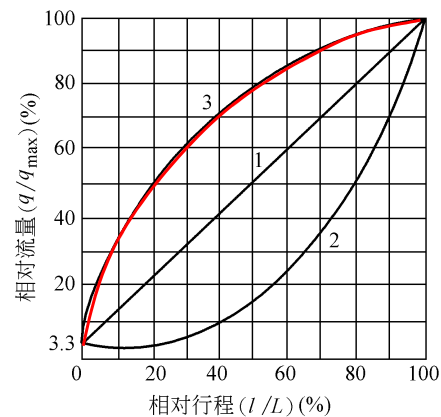
(3) 快开特性

开度较小时就有较大流量，随开度的增大，流量很快就达到最大，故称为快开特性。适用于迅速启闭的切断阀或双位控制系统。

$$\frac{d\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)}{d\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)} = K_2 \times \left(\frac{q}{q_{\max}}\right)^{-1}$$

积分

$$\frac{q}{q_{\max}} = \frac{1}{R} \times \left[(R^2 - 1) \frac{l}{l_{\max}} + 1 \right]^{1/2}$$

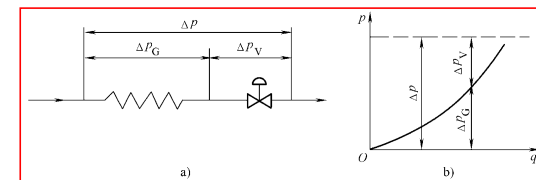


2、调节阀的工作流量特性

实际使用时，调节阀装在具有阻力的管道系统中。管道对流体的阻力随流量而变化，阀前后压差也是变化的，这时流量特性会发生畸变。

1) 管道串联时的工作流量特性

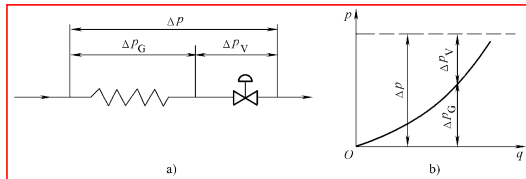
如图，管道系统总压力 ΔP 等于管路系统的压降 ΔP_G 与控制阀的压降 ΔP_T 之和。



从串联管道中调节阀两端压差 ΔP_T 的变化曲线可看出，调节阀全关时阀上压力最大，基本等于系统总压力；调节阀全开时阀上压力降至最小。

为了表示调节阀两端压差 ΔP_T 的变化范围，以阀权度 s 表示调节阀全开时，阀前后最小压差 ΔP_{Tmin} 与总压力 ΔP 之比。

$$s = \Delta P_{Tmin} / \Delta P$$



以 q_{max} 表示串联管道阻力为零时($s=1$)，阀全开时达到的最大流量。可得串联管道在不同 s 值时，以自身 q_{max} 作参照的工作流量特性。

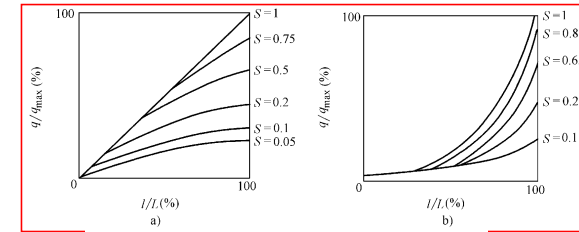
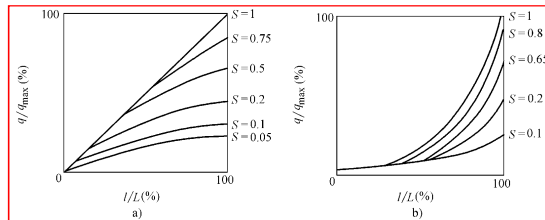


图3-33 调节阀的流量特性曲线
a) - 直线; b) - 对数 (等百分比)

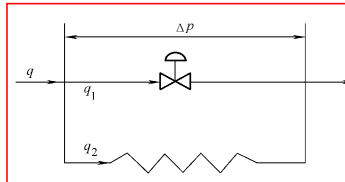
❖ 流量特性畸变: $s \downarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{直线阀变为快开阀} \\ \text{对数阀变为直线阀} \end{array} \right.$

结论

- ❑ 串联管道使调节阀的流量特性发生畸变。
- ❑ 串联管道使调节阀的流量可调范围降低，最大流量减小。
- ❑ 串联管道会使调节阀的放大系数减小，调节能力降低， s 值低于0.3时，调节阀能力基本丧失。



2) 与管道并联工作时的流量特性



图中 $s'=1$ 时，旁路阀关闭，工作流量特性即为理想流量特性。随着旁路阀逐渐打开，值逐渐减小，调节阀的可调范围也将大大降低，从而使调节阀的控制能力大大降低，影响控制效果。根据实际经验，值不能低于0.8。

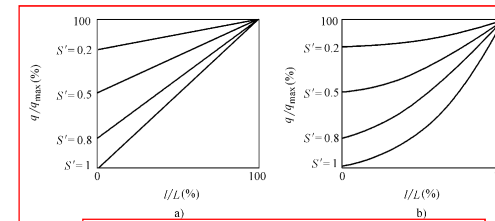


图3-37 并联管道时调节阀工作流量特性
a) 直线阀 b) 对数阀

(3) 流量特性的选择

调节阀流量特性的选择有理论分析法和经验法。前者还在研究中，目前较多采用经验法。一般可从以下几方面考虑。

1) 依据过程特性选择。

一个过程控制系统，在负荷变动的情况下，要使系统保持期望的控制品质，则必须要求**系统总的放大系数在整个操作范围内保持不变**。一般变送器、已整定好的调节器、执行机构等放大系数基本上是不变的，但过程特性则往往是非线性的，其放大系数随负荷而变。因此，必须通过合理选择调节阀的工作特性，以补偿过程的非线性，其选择原则为

$$K_v K_0 = \text{常数}$$

调节阀的放大系数

被控过程的放大系数

2) 依据配管情况选择。

在根据过程特性进行选择之后，再按照配管情况进行进一步的选择，其选择原则可参照表3-4进行。

配管状况	S=1-0.6		S=0.6-0.3	
工作特性	直线	等百分比	直线	等百分比
理想特性	直线	等百分比	等百分比	等百分比

3) 依据负荷变化情况选择。

在负荷变化较大的场合，宜选用对数调节阀，因为对数调节阀的放大系数可随阀芯位移的变化而变化，但它的相对流量变化率则是不变的，所以能适应负荷变化大的情况；此外，当调节阀经常工作在小开度时，则宜选用对数调节阀。因为直线调节阀工作在小开度时，其相对流量的变化率很大，不宜进行微调。

3.4.3 电/气转换器与阀门定位器

1 电/气转换器

为了使气动调节阀能够接收电动调节器的输出信号，必须把标准电流信号转换为标准气压信号。

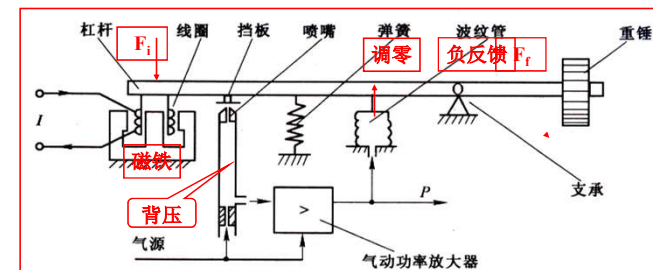
电/气转换器作用：

将4~20mA的电流信号转换成20~100KPa的标准气压信号。



力平衡式电/气转换器的原理图

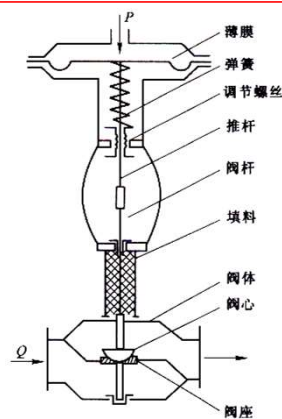
$I \uparrow \Rightarrow$ 吸力 $F_i \uparrow \Rightarrow$ 杠杆偏转 \Rightarrow 挡板与喷嘴间隙 \downarrow
 \Rightarrow 背压 $\uparrow \Rightarrow$ 放大器输入 $\uparrow \Rightarrow$ 输出压力 $P \uparrow \Rightarrow$ 杠杆的反馈力 $F_f \uparrow \Rightarrow$ 杠杆平衡 $\Rightarrow P \propto I$



2 阀门定位器

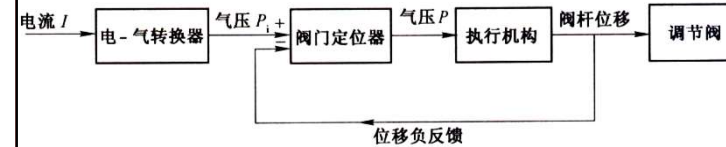
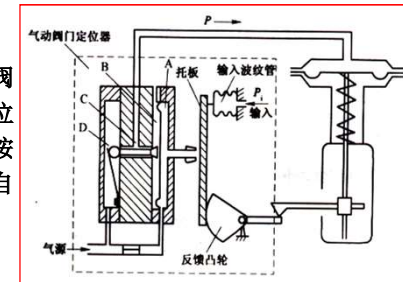
气动调节阀中，阀杆的位移是由薄膜上气压推力与弹簧反作用力平衡确定的。

为了防止阀杆处的泄漏要压紧填料，使阀杆摩擦力增大，且个体差异较大，这会影响输入信号 P 的执行精度。



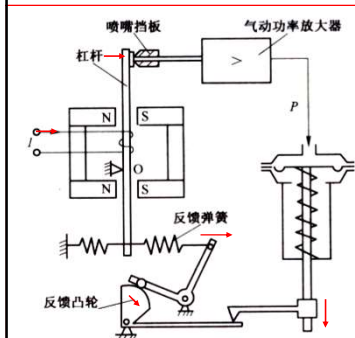
解决措施

在调节阀上加装阀门定位器，引入阀杆位移负反馈。使阀杆能按输入信号精确地确定自己的开度。



电/气阀门定位器

实际应用中，常把电/气转换器和阀门定位器合成一体，组成电/气阀门定位器。



$I \uparrow \Rightarrow$ 杠杆上端右移 \Rightarrow
挡板靠近喷嘴 $\Rightarrow P$ 压力 \uparrow
 \Rightarrow 阀杆下移 \Rightarrow 反馈凸轮
右转 \Rightarrow 反馈弹簧右拉 \Rightarrow
杠杆平衡

3.4.4 智能式电动执行器

1. 智能电动执行器的特点

与常规电动执行器相比，智能电动执行器有如下特点：

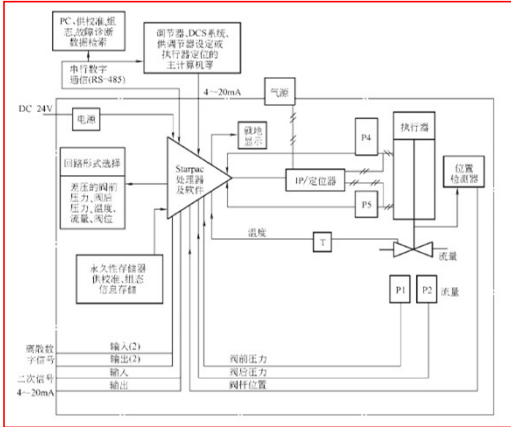
1) 具有智能化和高精度的控制功能。可直接接收变送器信号，按设定值自动进行PID调节，控制流量、压力和温度等过程变量。通过组态可按折线形成多种形状的非线性流量特性，实现对过程非线性特性的补偿，以提高系统的控制精度，同时也摆脱了长期以来依靠改变阀芯形状来改变流量特性的落后状况；

2) 一体化的结构设计思想。将位置控制器、PID控制器、伺服放大器、电-气转换器、阀位变送器等装在一台现场仪表中，减少了信号传输中的泄漏和干扰等因素对系统控制精度的影响；还采用电制动和断续调节技术代替机械摩擦制动技术，以提高整机的可靠性；

3) 具有智能化的通信功能。与上位机或控制系统之间可通过现场总线按规定的通信协议进行双向数字通信，并构成所需要的控制系统，这是智能执行器与常规电动执行器的重要区别之一。

- 4) 具有智能化的自诊断与保护功能。当电源、气动部件、机械部件、控制信号、通信或其它方面出现故障时，均能迅速识别并能有效采取保护措施，确保控制系统及生产过程的安全。
- 5) 具有灵活的组态功能，“一机多用”，提高了经济效益。例如，对于输入信号，可通过软件组态来选择合适的信号源；对于执行器的运行速度和行程，也可通过组态软件进行任意设置，所有这些都无需更换硬件。这样一来，只要用少量类型的智能执行器就能够满足各种工业过程的不同需求，从而大大提高了制造商和用户的经济效益。

2. 智能电动执行器的实例简介



美国Valtek公司生产的STARPAC智能执行器

3.5 安全栅

安全栅（又称防爆栅）是防止危险电能从控制系统信号线进入现场仪表的安全保护器。

1 安全防爆的基本概念

在大气条件下，气体蒸汽、薄雾、粉尘或纤维状的易燃物质与空气混合，点燃后燃烧将在整个范围内传播的混和物，称为**爆炸性混合物**。

含有爆炸性混合物的环境，称为**爆炸性环境**。

按爆炸性混合物出现的频度、持续时间和危险程度，又可将危险场所划分成不同级别的危险区。

不同的危险等级对电气设备的防爆要求不同，煤矿井下用电气设备属I类设备；有爆炸性气体的工厂用电气设备属II类设备；有爆炸性粉尘的工厂用电气设备属III类设备。

对于II类电气设备，电路电压限制在30VDC时，各种爆炸性混合物按最小引爆电流分为三级。

爆炸性混合物的最小引爆电流

级 别	最小引爆电流 (mA)	爆炸性混合物种类
I	$i > 120$	甲烷、乙烷、汽油、甲醇、乙醇、丙酮、氨、一氧化碳
II	$70 < i < 120$	乙烯、乙醚、丙烯晴等
III	$i \leq 70$	氢、乙炔、二硫化碳、市用煤气、水煤气、焦炉煤气等

2 安全火花防爆系统

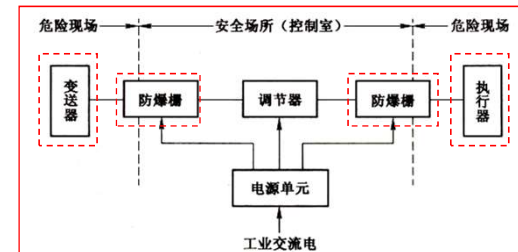
电动仪表存在电路打火的可能。如果从电路设计就开始考虑防爆，把电路在短路、开路及误操作等各种状态下可能发生的火花都限制在爆炸性气体的点火能量之下，则此仪表称为**安全火花防爆仪表**。

安全火花防爆仪表只能保证本仪表内部不发生危险火花，对其它仪表通过信号线传入的能量是否安全则无法保证。如果在与其它仪表的电路连线之间设置安全栅，防止危险能量进入，则完全做到了安全火花防爆。

构成安全火花防爆系统的二要素：

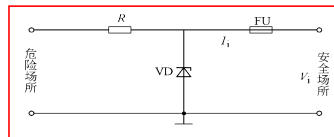
① 在危险现场使用的仪表必须是安全火花防爆仪表（本安仪表）。

② 现场仪表与危险场所之间的电路连接必须经过安全栅（防爆栅）。



3.5.1 齐纳式安全栅

安全栅的种类很多，有电阻式安全栅、中继放大式安全栅、齐纳式安全栅、光电隔离式安全栅、变压器隔离式安全栅等。



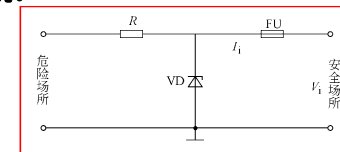
基本原理：简单齐纳式安全栅是利用齐纳二极管的反向击穿特性进行限压、用固定电阻进行限流。

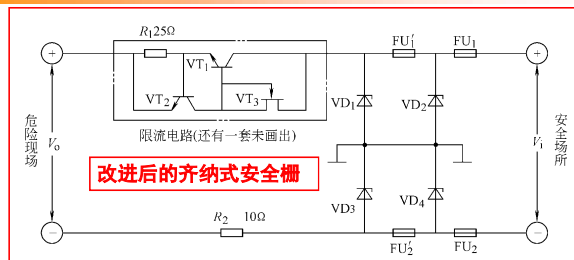
当输入电压 V_i 在正常范围（24V）内时，齐纳二极管VD不导通；当电压高于24V并达到齐纳二极管的击穿电压（约28V）时，齐纳二极管导通，在将电压钳制在安全值以下的同时，安全侧电流急剧增大，使快速熔断丝FU很快熔断，从而将可能造成事故的高压与危险现场隔断。固定电阻R的作用是限制流往现场的电流。

两点不足：

一、固定的限流电阻其大小难以选择，选小了起不到很好的限流作用，选大了又影响仪表的恒流特性，理想的限流电阻应该是可变的，即电流在安全范围内其阻值要足够小，而当电流超出安全范围时其电阻要足够大；

二、接地不合理，通常一个信号回路只允许一点接地，若有两点以上接地会造成信号通过大地短路或形成干扰。





(1) 用晶体管限流电路取代固定电阻。VT₃ 作为零偏压，作为恒流源向VT₁提供足够的基极电流，保证信号在4~20mA范围内VT₁处于饱和状态。

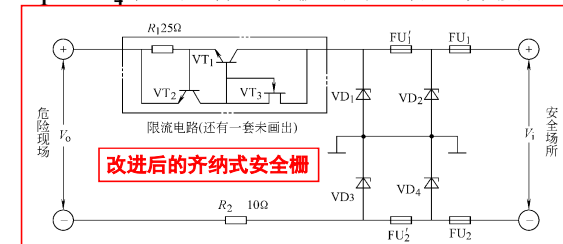
(2) 由VD₁~VD₄和F₁~F₂组成限压电路。背靠背的齐纳管中点接地，改直接接地为保护时接地。

工作原理

正常时VT₁饱和导通 $\Rightarrow V_{R1} = 0.1 \sim 0.5V \Rightarrow$ VT₂不过流时 $V_{R1} > 0.6V \Rightarrow$ VT₂导通，分流VT₃的电流 \Rightarrow VT₁退饱和 $\Rightarrow V_{ce1} \uparrow$ 呈现较高的电阻

过压时VD₁~VD₄中至少有一个被击穿，限压并接地

❖ 要求
快速熔断
熔断时间
<1ms

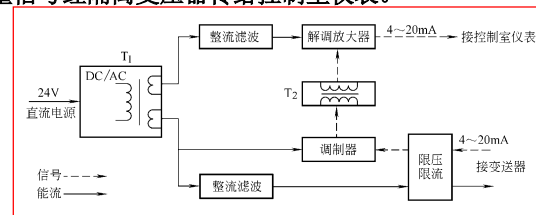


3.5.2 隔离式安全栅

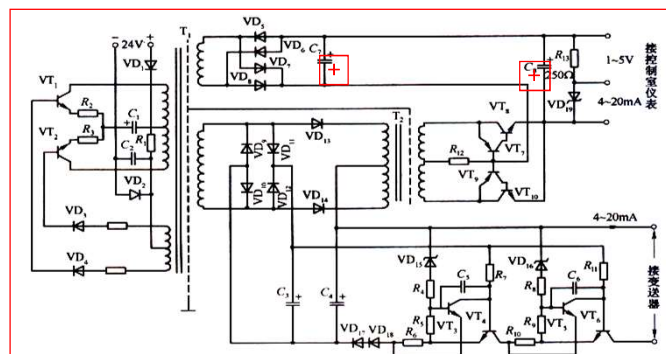
用变压器作为隔离元件，分别将输入、输出和电源进行隔离，可以对二线制变送器进行隔离供电。因而分检测端安全栅和执行端安全栅。

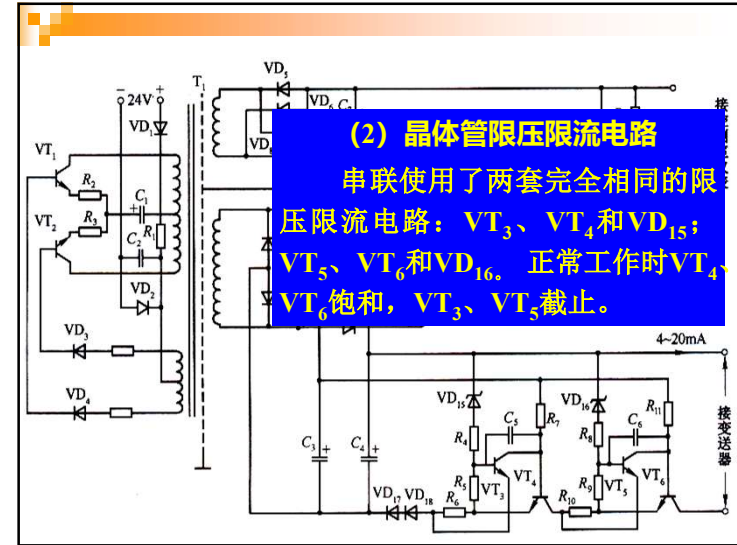
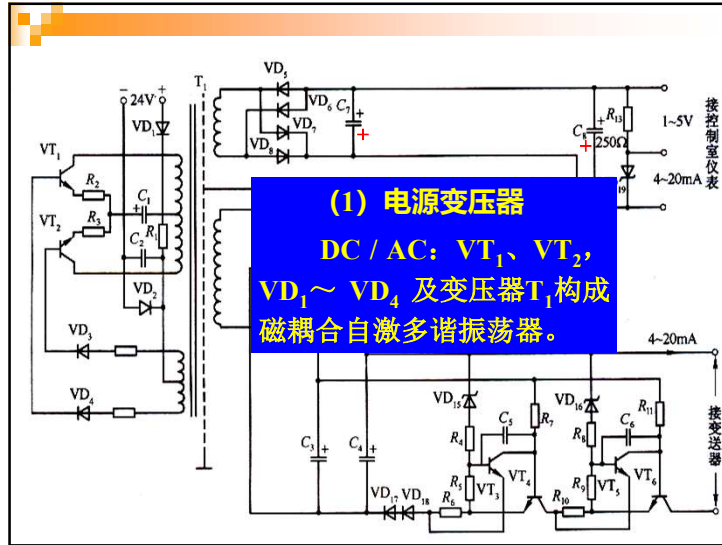
1 检测端安全栅

检测端安全栅在向变送器提供电源的同时，将变送器的测量信号经隔离变压器传给控制室仪表。



检测端安全栅是一个传递系数为1的传送器，电源、变压器、控制室仪表之间用磁耦合，电路上是隔离的。简化原理图如图所示。

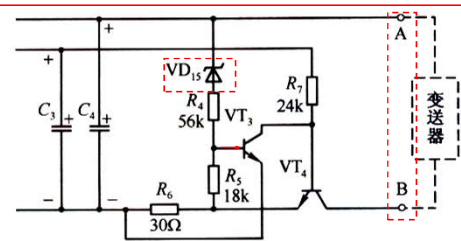




晶体管限压限流电路原理

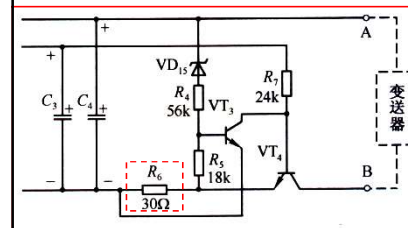
① 电源出现过电压 \Rightarrow VD₁₅击穿 (30V) \Rightarrow

$$\Rightarrow I_{B3} = \frac{R_5 + R_6}{R_4 + R_5 + R_6} \times 30 \approx 0.54mA \Rightarrow VT_3 \text{ 饱和}$$



$V_{ce3} \approx 0$
 \downarrow
VT₄截止
 \downarrow
 $V_{AB} \downarrow$ — 限压

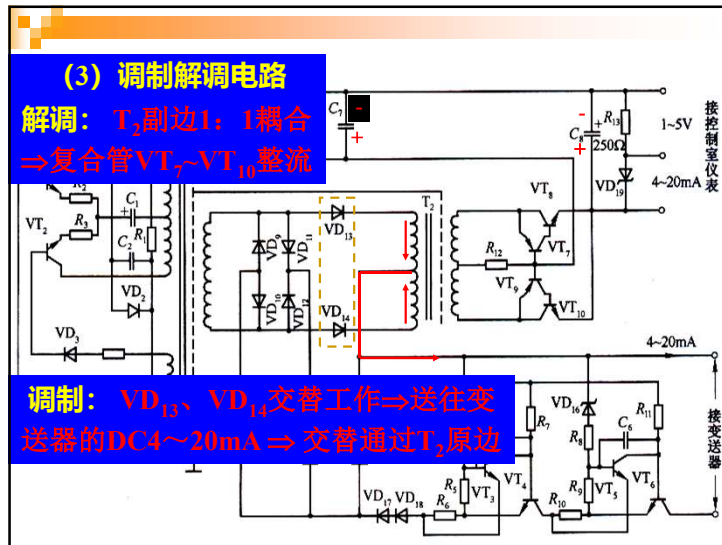
② 变压器出现过电流



$V_{R6} > 0.6V$
 \downarrow
VT₃导通, 分流
 \downarrow
VT₄退饱和
 \downarrow
 $V_{ce4} \uparrow$ — 限流

限压特性

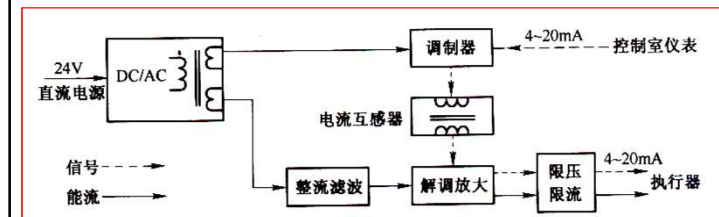
限流特性



2 执行端安全栅

用于控制室中调节器和现场执行器之间，是 $4 \sim 20mA$ 调节信号送往现场的安检通道。与检测端安全栅的区别：

- ① 信号传输方向相反，② 不需给现场供电。
- 电路原理基本相似。



隔离式安全栅与齐纳式安全栅相比较，发见有如下优点：

- 1) 可以在危险区或安全区认为合适的任何一个地方接地，使用方便，通用性强；
- 2) 隔离式安全栅的电源、信号输入、信号输出均可通过变压器耦合，实现信号的输入、输出完全隔离，使安全栅的工作更加安全可靠；
- 3) 隔离式安全栅由于信号完全浮空，大大增强了信号的抗干扰能力，提高了控制系统正常运行的可靠性。

本章结束，谢谢！