



南開大學
Nankai University

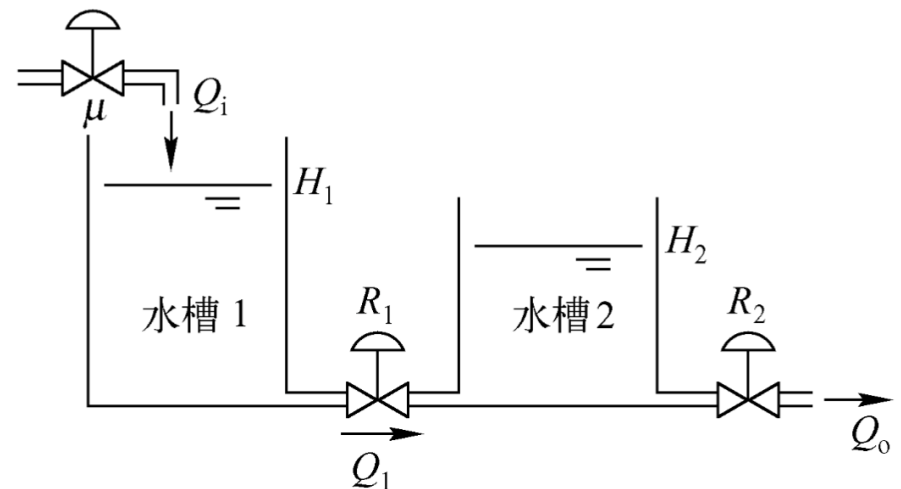
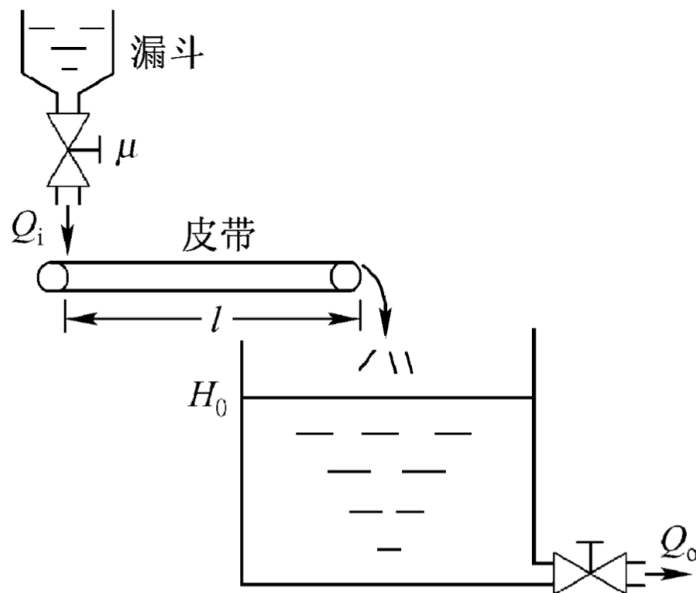
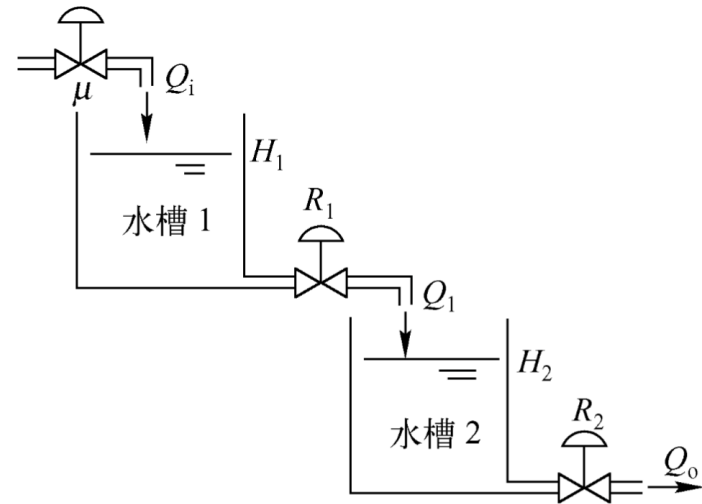
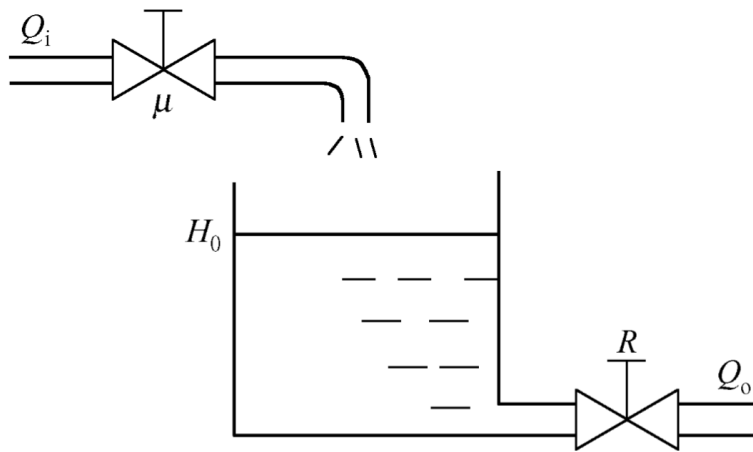
《过程控制系统》

第3章 执行器

于宁波

南开大学人工智能学院

$$\Delta Q_i = k_s \cdot S \cdot \sqrt{P_1 - P_2} = k_\mu \cdot \Delta \mu \cdot \sqrt{P_1 - P_2}$$



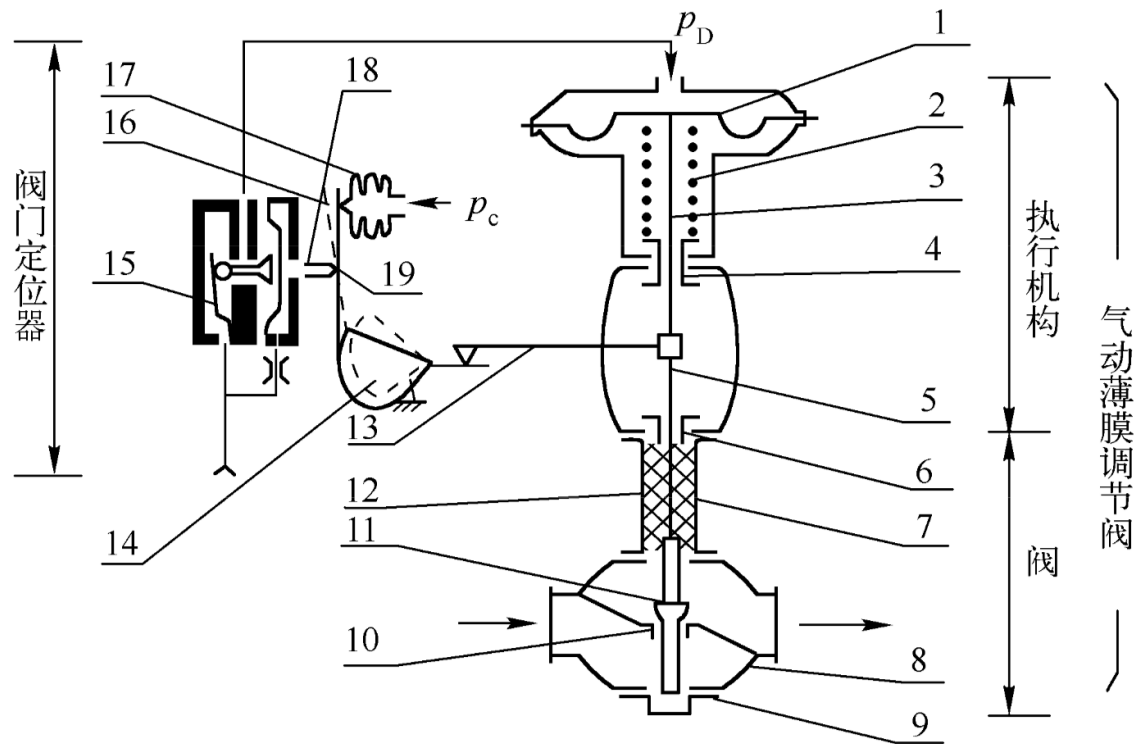
控制阀（调节阀）

- 在过程控制系统中，最常用的执行器是**控制阀**，也称调节阀。
- **调节阀**包括**执行机构**和**阀**两部分。
- 调节阀是**按照控制器所给定的信号大小和方向，改变阀的开度**，从而实现**调节流体流量**的装置。
- 调节阀按其所用能源可分为**气动**、**电动**和**液动**三类。它们有各自的优缺点和适用场合。
- **气动调节阀**以压缩空气为能源，由于其结构简单、动作可靠、维修方便和价格低廉且适用于防火防爆场所，因而广泛应用于化工、石油、冶金、电力和轻纺等工业部门。

第3章 执行器

- 3.1 气动调节阀的结构
- 3.2 调节阀的流量系数
- 3.3 调节阀结构特性和流量特性
- 3.4 气动调节阀的选型
- 3.5 利用MATLAB确定调节阀的口径

气动调节阀的结构简图



- 气动调节阀由**执行机构**和**阀** (或称阀体组件)两部分组成。
- **执行机构**按照控制信号的大小产生相应的输出力，带动**阀杆移动**。
- **阀**直接与介质接触，通过改变阀芯与阀座间的**节流面积**调节流体介质的流量。
- 有时为改善调节阀的性能，在其执行机构上装有**阀门定位器**（图左边部分）。阀门定位器与调节阀配套使用，组成**闭环系统**，利用反馈原理提高阀的灵敏度，并实现阀的准确定位。

1—波纹膜片；2—压缩弹簧；3—推杆；4—调节件；5—阀杆；
6—压板；7—上阀盖；8—阀体；9—下阀盖；10—阀座；
11—阀芯；12—填料；13—反馈连杆；14—反馈凸轮；
15—气动放大器；16—托板；17—波纹管；18—喷嘴；19—挡板

气动执行机构

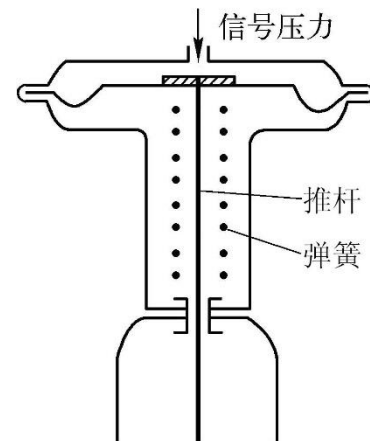
气动执行机构有薄膜式、活塞式、拨叉式和齿轮齿条式四种：

- **活塞式**行程长，适用于要求有较大推力的场合；
- **薄膜式**行程较小，只能直接带动阀杆；
- **拨叉式**具有扭矩大、空间小、扭矩曲线更符合阀门的扭矩曲线等特点，常用在大扭矩的阀门上；
- **齿轮齿条式**有结构简单，动作平稳可靠，并且安全防爆等优点，在发电厂、化工，炼油等对安全要求较高的生产过程中有广泛的应用。

单作用和双作用，正作用和反作用

➤ 气动执行器可以分为**单作用**和**双作用**两种类型：

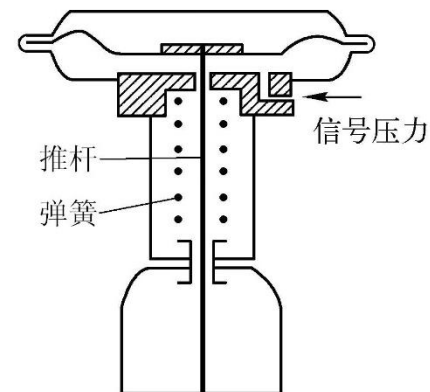
- 执行器的开、关动作都通过气源来驱动执行，叫做双作用；
- 单作用的开、关动作只有开动作是气源驱动，而关动作是弹簧复位。



(a) 正作用执行机构

➤ 气动薄膜执行机构有**正作用**和**反作用**两种形式：

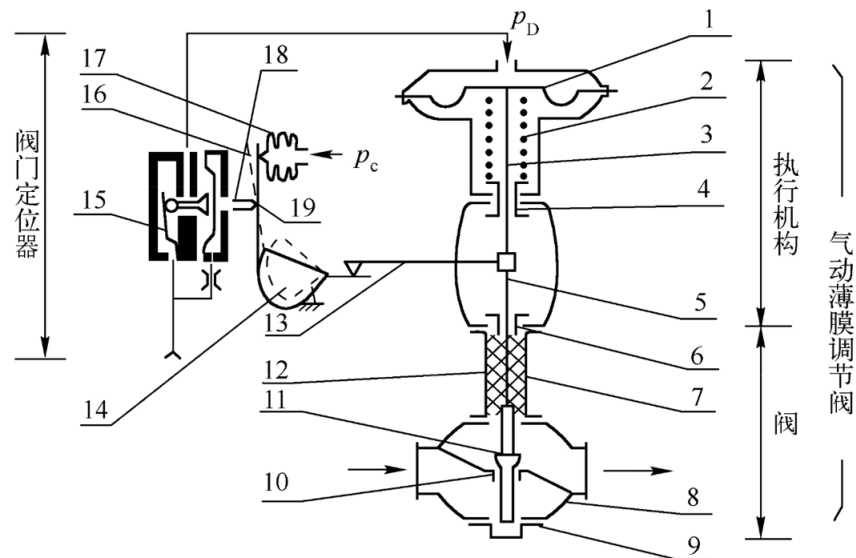
- 信号压力增加时，推杆向外伸出的称为正作用；
- 信号压力增大时，推杆向里退回的称为反作用。



(b) 反作用执行机构

閥

- 阀（或称阀体组件）是一个**局部阻力可变**的节流元件。
- 它由阀体、上阀盖组件、下阀盖组件和阀内件组成。
- 上阀盖组件包括上阀盖和填料函。
- 阀内件是指阀体内部与介质接触的零部件。对普通阀而言，包括阀芯、阀座和阀杆等。

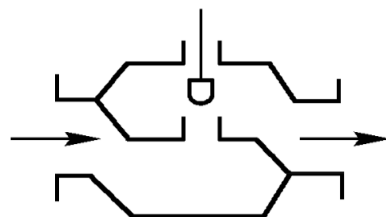


1—波纹膜片；2—压缩弹簧；3—推杆；4—调节件；5—阀杆；
6—压板；7—上阀盖；8—阀体；9—下阀盖；10—阀座；
11—阀芯；12—填料；13—反馈连杆；14—反馈凸轮；
15—气动放大器；16—托板；17—波纹管；18—喷嘴；19—挡板

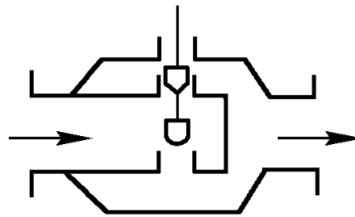
阀的结构形式

➤ 阀按**结构形式**分为：

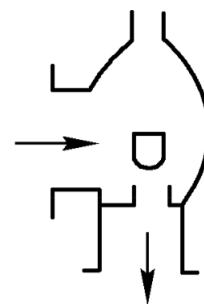
- 直通单座阀
- 直通双座阀
- 角形阀
- 蝶阀
- 三通阀
- 隔膜阀
- 其他



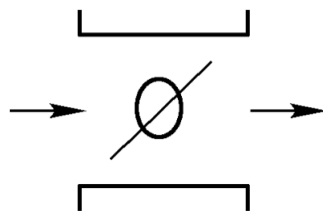
(a) 直通单座阀



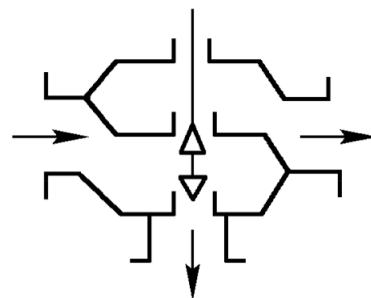
(b) 直通双座阀



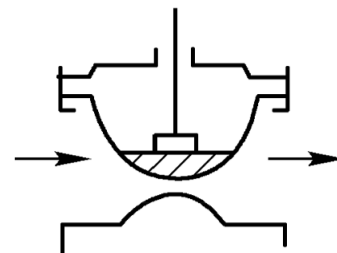
(c) 角形阀



(d) 蝶阀



(e) 三通阀



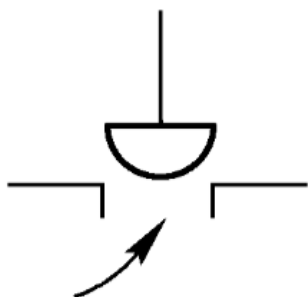
(f) 隔膜阀

➤ 按**阀座数目**可分为单座阀和双座阀：

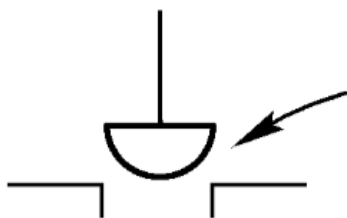
- 一般阀为单座阀
- 双座阀所需的推动力较小，动作灵敏

阀芯的作用方向

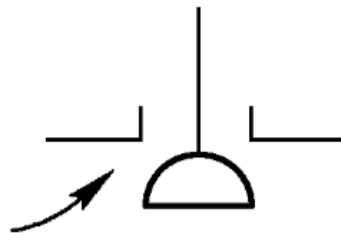
- 根据流体通过调节阀时对阀芯作用方向分为**流开阀**和**流闭阀**。
- 流开阀稳定性好，有利于调节。一般情况，多采用流开阀。



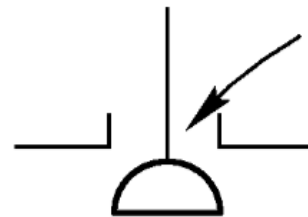
(a) 流开阀



(b) 流闭阀



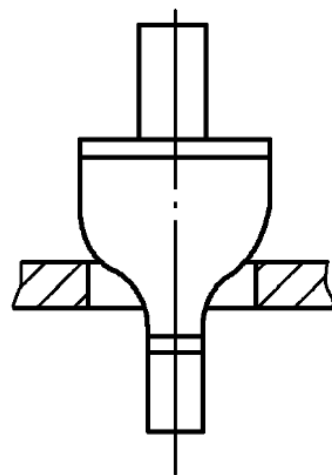
(c) 流闭阀



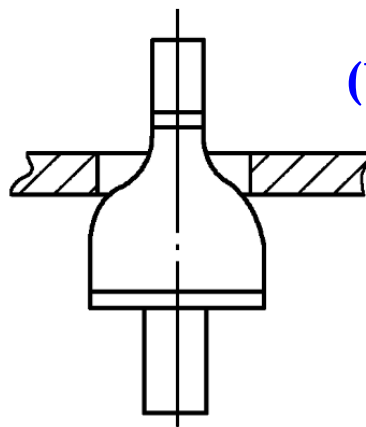
(d) 流开阀

阀芯的正装和反装形式

- 阀芯有正装和反装两种形式。
- 阀芯下移，阀芯与阀座间的流通**截面积减小**的，称为**正装阀**；
- 阀芯下移，阀芯与阀座间的流通**截面积增大**的，为**反装阀**。
- 对于双导向正装阀，只要将阀杆与阀芯下端连接处相接，即得到反装阀。



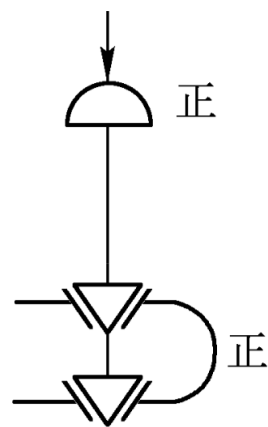
(a) 正装阀



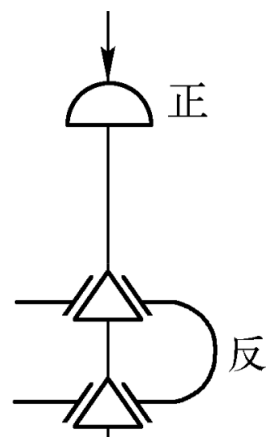
(b) 反装阀

阀的气开、气关作用方式

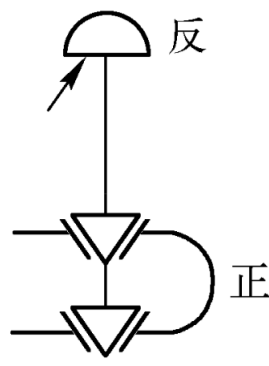
- 气动调节阀又可分为气开、气关两种作用方式：
 - **气开式**，即信号压力 $p > 0.02\text{MPa}$ 时，阀开始打开，也就是说“有气”时阀打开；
 - **气关式**则相反，信号压力增大阀反而关小。
- 根据执行机构正、反作用型式，以及阀芯的正装、反装，实现气动调节阀气开、气关作用方式可有四种不同的组合。



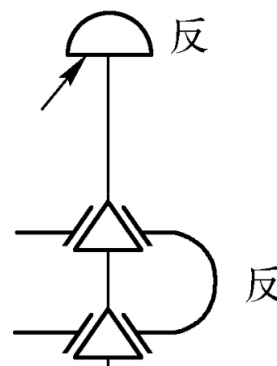
(a) 气关阀



(b) 气开阀



(c) 气开阀



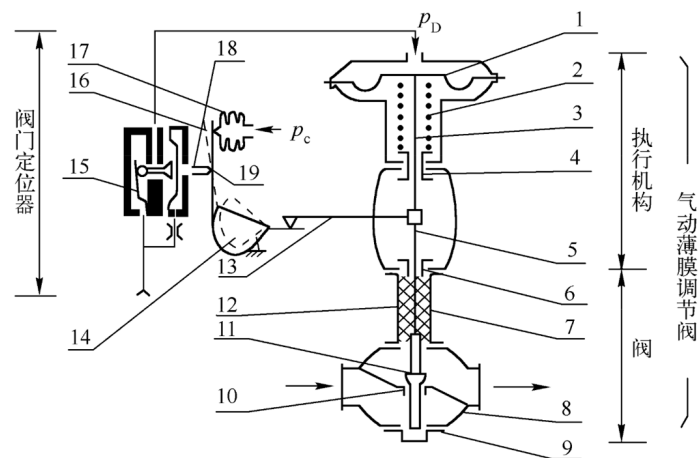
(d) 气关阀

阀门定位器

阀门定位器常见的应用场合如下：

1) 增大执行机构的输出推力

- 如高、低温或高压调节阀，以及控制易在阀门零件挂胶或固结的工艺流体的调节阀等，**需要克服阀杆摩擦力**；
- 如温度、液位和成分等参数，其控制过程缓慢，**需提高调节阀的响应速度**；
- 如 $D_g > 25\text{mm}$ 的单座阀， $D_g > 100\text{mm}$ 的双座阀，或者前后压降 $\Delta p > 1\text{MPa}$ ，阀前压力 $p_1 > 10\text{MPa}$ 等，**需要增加执行机构输出力和切断力**。



2) 系统需要改变调节阀的流量特性

3) 组成分程控制系统

第3章 执行器

- 3.1 气动调节阀的结构
- **3.2 调节阀的流量系数**
- 3.3 调节阀结构特性和流量特性
- 3.4 气动调节阀的选型
- 3.5 利用MATLAB确定调节阀的口径

调节阀的流量方程

- 调节阀是一个局部阻力可变的节流元件。
- 对于不可压缩流体，由能量守恒原理可知，调节阀上的压力损失为

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \xi_v \frac{w^2}{2g}$$



- 层流
- 湍流光滑区
- 湍流粗糙区

式中, ξ_v 为调节阀阻力系数; g 为重力加速度; ρ 为流体密度; p_1 , p_2 为调节阀前、后压力; w 为流体平均速度。

- 压降, 水头损失, pressure drop, head loss

调节阀的流量方程

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \xi_v \frac{w^2}{2g}$$

➤ 因为 $w = Q / F$

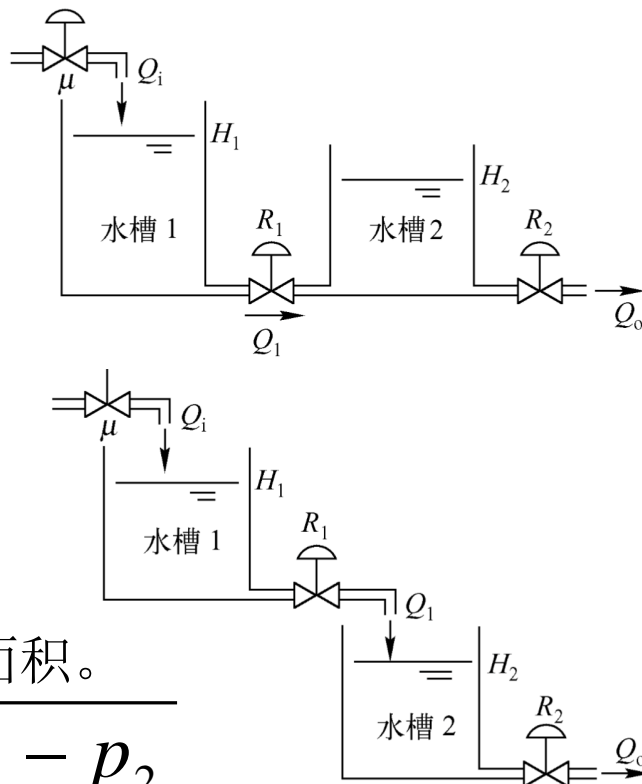
式中， Q 为流体体积流量； F 为调节阀流通截面积。

可得调节阀流量方程

$$Q = K \frac{F}{\sqrt{\xi_v}} \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\rho}}$$

式中， K 为与量纲有关的常数。

- 当 $(p_1 - p_2) / \rho$ 不变时， ξ_v 减小，流量 Q 增大；反之， ξ_v 增大， Q 减小。
- 调节阀按照输入信号，通过改变阀芯行程来改变阻力系数，从而达到调节流量的目的。



流量系数的定义

国际上流量系数通常用符号C表示。国际上对流量系数C的定义略有不同，主要有以下两种定义：

➤ 按照**我国法规计量单位**，流量系数的定义为

- 温度为5~10℃的水，在给定行程下，
- 阀两端压差为100kPa，密度为1g/cm³时，
- **每小时**流经调节阀水量的**立方米数**，
- 以符号**Kv**表示。

国际上也通用这一定义，采用的单位制称为**公制**。

➤ 有些国家使用**英制单位**，此时流量系数的定义为

- 温度为60°F的水，在给定行程下，
- 阀两端压差为1Psi（磅/平方英寸），密度为1g/cm³时，
- **每分钟**流经调节阀水量的**加仑数**，
- 以符号**Cv**表示。

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

$$1 \text{ PSI} = 6.895 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ 加仑(美)} = 3.785 \text{ 升}$$

流量系数示例

- 一台额定流量系数为32的调节阀，表示阀全开且其两端的压差为100kPa时，每小时最多能通过32m³的水量。
- 由于采用的单位制有公制和英制之分，国际上通用两种不同的流量系数 K_v 和 C_v 。通过单位制变换它们与 C 有如下关系：

$$K_v \approx C$$

$$C_v = 1.167 C$$

流量系数与阀

➤ 根据流量系数的定义，式 $Q = K \frac{F}{\sqrt{\xi_v}} \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\rho}}$

令 $p_1 - p_2 = 100, \rho = 1$ ，可得 $C = 10K \frac{F}{\sqrt{\xi_v}}$

➤ 对于其它的阀前后压降和介质密度，则有 $C = \frac{10Q}{\sqrt{(p_1 - p_2)/\rho}}$

➤ 由此可见，流量系数 C 不仅与流通截面积 F（或阀公称直径 Dg）有关，而且还与阻力系数 ξ_v 有关。

➤ 同类结构的调节阀在相同的开度下具有相近的阻力系数，因此口径越大流量系数也随之增大

➤ 口径相同类型不同的调节阀，阻力系数不同，因而流量系数就各不一样。

额定流量系数

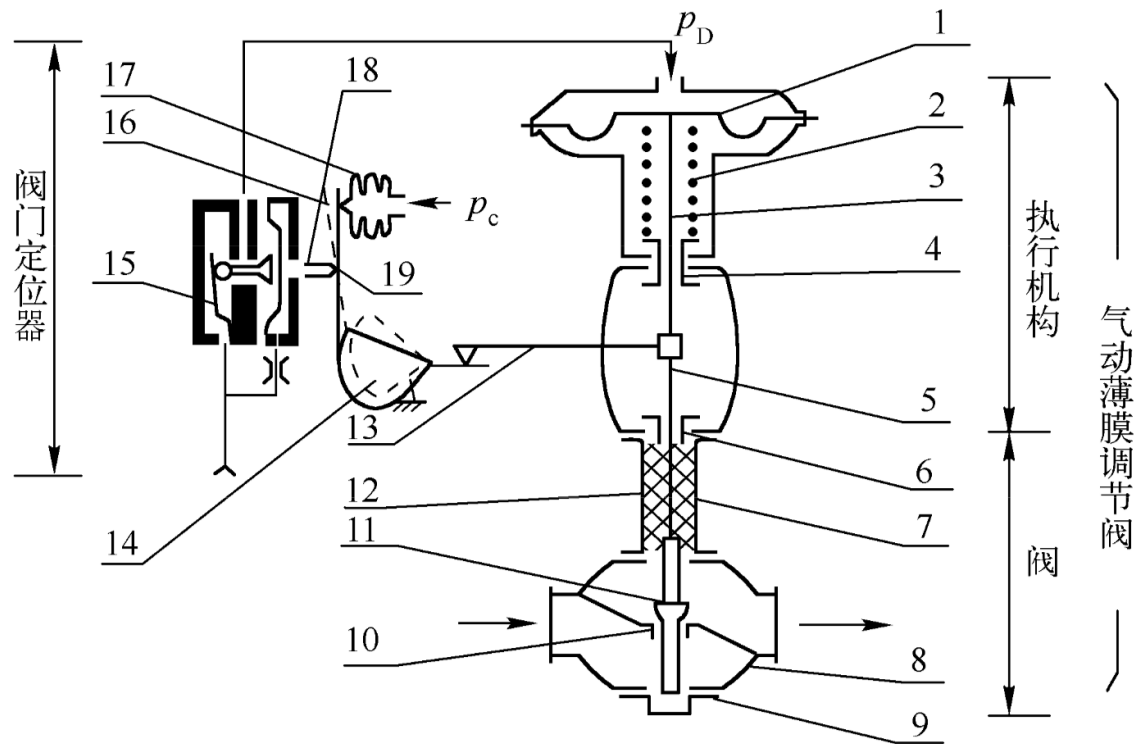
- 阀全开时的流量系数称为**额定流量系数**，以 C_{100} 表示。
- C_{100} 是表示**阀流通能力**的参数。
- 如表为某直通阀的流量系数：



- 公称直径
- 阀座直径

公称直径 D_g/mm		19.15 (3/4")						20				25
阀座直径 d_g/mm		3	4	5	6	7	8	10	12	15	20	25
额定流量系数 C_{100}	单座阀	0.08	0.12	0.20	0.32	0.50	0.80	1.2	2.0	3.2	5.0	8
	双座阀											10
公称直径 D_g/mm		32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
阀座直径 d_g/mm		32	40	50	60	80	100	125	150	200	250	300
额定流量系数 C_{100}	单座阀	12	20	32	56	80	120	200	280	450		
	双座阀	16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600

气动调节阀的结构简图



- 气动调节阀由**执行机构**和**阀** (或称阀体组件)两部分组成。
- **执行机构**按照控制信号的大小产生相应的输出力，带动**阀杆移动**。
- **阀**直接与介质接触，通过改变阀芯与阀座间的**节流面积**调节流体介质的流量。
- 有时为改善调节阀的性能，在其执行机构上装有**阀门定位器**（图左边部分）。阀门定位器与调节阀配套使用，组成**闭环系统**，利用反馈原理提高阀的灵敏度，并实现阀的准确定位。

1—波纹膜片；2—压缩弹簧；3—推杆；4—调节件；5—阀杆；
6—压板；7—上阀盖；8—阀体；9—下阀盖；10—阀座；
11—阀芯；12—填料；13—反馈连杆；14—反馈凸轮；
15—气动放大器；16—托板；17—波纹管；18—喷嘴；19—挡板

流量系数计算

- 流量系数 C 的计算是选定调节阀口径的最主要的理论依据，但其计算方法目前国内外尚未统一。国外对调节阀流量系数进行了大量研究，国外几家主要调节阀制造厂相继推出各自计算流量系数的新公式。
- 下表列举了液体、气体和蒸汽等常用流体流量系数 C 值的计算公式。
- 对于两相混合流体，可采用美国仪表学会推荐的有效比容法计算流量系数 C 值。

流量系数C的计算公式

流 体	流动工况及判别式	计 算 公 式
液体	非阻塞流: $\Delta p < F_L^2(p_1 - F_F p_v)$	$C = 10Q_L \sqrt{\rho_L / (p_1 - p_2)}$
	阻塞流: $\Delta p \geq F_L^2(p_1 - F_F p_v)$	$C = 10Q_L \sqrt{\rho_L / (F_L^2(p_1 - F_F p_v))}$
气体	非阻塞流: $x < F_K x_T$	$C = \frac{Q_g}{5.19 p_1 Y} \sqrt{\frac{T_1 \rho_H Z}{x}}$
	阻塞流: $x \geq F_K x_T$	$C = \frac{Q_g}{2.9 p_1} \sqrt{\frac{T_1 \rho_H Z}{k x_T}}$
蒸汽	非阻塞流: $x < F_K x_T$	$C = \frac{W_s}{3.16 Y} \sqrt{\frac{1}{x p_1 \rho_s}}$
	阻塞流: $x \geq F_K x_T$	$C = \frac{W_s}{1.78} \sqrt{\frac{1}{k x_T p_1 \rho_s}}$

流量系数计算

- 前表的计算公式仅适用于**牛顿型不可压缩流体**(如低粘度液体)和**可压缩流体**(气体、蒸汽)。
- 所谓**牛顿型流体**是指其**切向速度正比于切应力的流体**。
- 关于牛顿型不可压缩流体和可压缩流体的均匀混合流体的计算公式可参看其他有关文献。
- 由表可知，**不同性质的流体，以及同一流体在不同的流动工况条件下，流量系数 C 要采用不同的计算公式。**

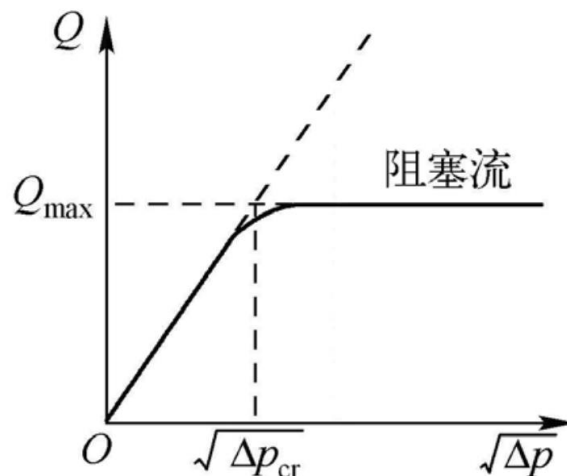
流量系数计算：复杂工作流

➤ 表中流量系数 C 的计算公式都是在流体比较简单的流动情况下得到的，实际生产中存在着各种**复杂工作流**情况，例如存在阻塞流、可压缩流体、层流和管件形状不规范等情况，此时需要根据不同的情况对表中的流量系数 C 加以修正，得到符合实际工作流的流量系数。

- 阻塞流
- 可压缩流体
- 流态
- 管件形状

流量系数计算：阻塞流对流量系数的影响

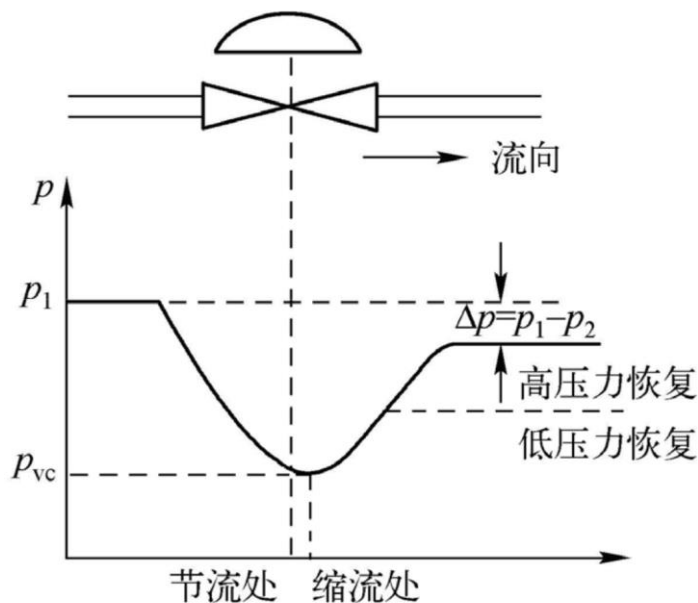
- 所谓**阻塞流**是指，当阀前压力 p_1 保持恒定而逐步降低阀后压力 p_2 时，流经调节阀的流量会增加到一个最大极限值 Q_{\max} ，此时若再继续降低 p_2 流量也不再增加，这个极限流量称为阻塞流。如图所示。
- 当出现阻塞流时，调节阀的流量与阀前后压降 $\Delta p = p_1 - p_2$ 的关系已不再遵循前述公式规律。此时，如果再按前述公式计算流量，其值会大大超过阻塞流时的最大流量 Q_{\max} 。
- 因此，在计算 C 值时首先要确定**调节阀是否处于阻塞流**情况。



p_1 恒定时的 Q 与 $\sqrt{\Delta p}$ 的关系

流量系数计算：阻塞流对流量系数的影响

- 对于不可压缩液体，其压力在阀内变化情况如图所示。
- 图中阀前静压为 P_1 ，通过阀芯后流束断面面积最小，成为缩流，此处流速最大而静压 P_{vc} 最低，以后流束断面逐渐扩大，流速减缓，压力逐渐上升到阀后压力 P_2 ，这种压力回升现象称为压力恢复。
- 当液体在缩流处的 P_{vc} 小于入口温度下流体介质饱和蒸汽压 P_v 时，部分液体发生相变，形成气泡，产生闪蒸。继续降低 P_{vc} ，流体便形成阻塞流。
- 产生阻塞流时的 P_{vc} 值用 P_{vcr} 表示。该值与液体介质的物理性质有关： $p_{vcr} = F_F p_v$



调节阀内流体压力梯形图

F_F 为液体临界压力比系数，是 p_v 与液体临界压力 p_c 之比的函数，可由公式近似确定。

$$F_F = 0.96 - 0.28\sqrt{p_v / p_c}$$

流量系数计算：阻塞流对流量系数的影响

➤ 不同结构的阀，压力恢复程度不同。阀的开度不同，压力恢复程度也不同。阀全开时自压力恢复程度用压力恢复系数 F_L 表示。

➤ 在非阻塞流工况下，压力恢复系数 F_L 为

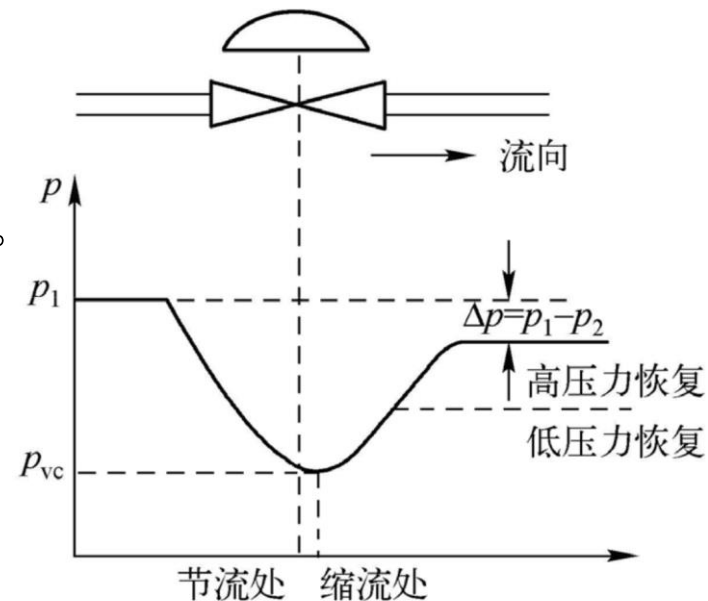
$$F_L = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_{vc}}} = \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_{vc}}}$$

➤ 在阻塞流工况下，压力恢复系数 F_L 为

$$F_L = \sqrt{\frac{\Delta p_{cr}}{\Delta p_{vcr}}} = \sqrt{\frac{(p_1 - p_2)_{cr}}{p_1 - p_{vcr}}} = \sqrt{\frac{(p_1 - p_2)_{cr}}{p_1 - F_F p_v}}$$

➤ 不可压缩液体产生阻塞流的临界条件

$$\Delta p_{\max} = F_L^2 (p_1 - F_F p_v)$$



调节阀内流体压力梯形图

压力恢复系数 F_L 只与阀结构、流路形式有关，而与阀口径大小无关。

流量系数计算：阻塞流对流量系数的影响

- 对于气体、蒸汽等可压缩流体，引入一个系数，称为压差比

$$x = \Delta p / p_1$$

- 大量实验表明，若以空气为实验流体，对于一个给定的调节阀，产生阻塞流时其压差比达到某一极限值，称其为临界压差比。此值只取决于调节阀的结构，即流路形式。
- 对于其他可压缩流体，产生阻塞流的临界条件为

$$x = F_K x_T$$

式中， F_K 为比热比系数，定义为可压缩流体绝热指数 k 与空气绝热指数 $k_{\text{air}}(=1.4)$ 之比。

流量系数计算：气体（蒸汽）流量系数的修正

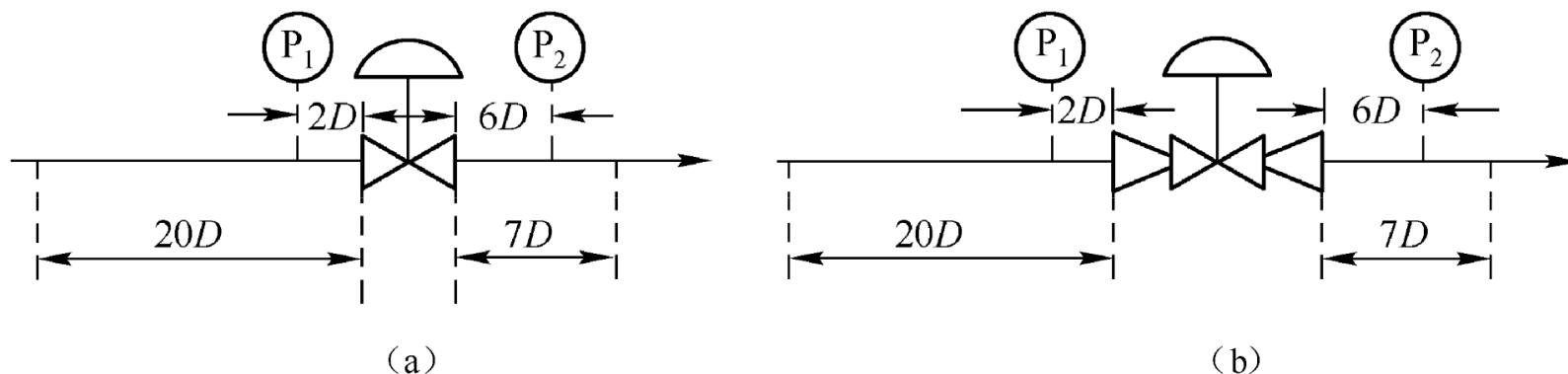
- 气体、蒸汽等可压缩流体，在调节阀内其体积由于压力降低而膨胀，其密度也随之减小。
- 利用前述公式计算气体的流量系数，不论代入阀前气体密度还是阀后气体密度，都会引起较大误差，必须对气体这种可压缩效应作必要的修正。
- 国际上目前推荐的膨胀系数修正法，其实质就是引入一个膨胀系数 Y 以修正气体密度的变化。
- 此外，在各种压力、温度下实际气体密度与按理想气体状态方程求得的理想气体密度存在偏差。为衡量偏差程度大小，引入压缩系数 Z 。

流量系数计算：低雷诺数对流量系数的修正

- 流量系数 C 是在流体湍流条件下测得的。
- 雷诺数 Re 是判断流体在管道内流动状态的一个无量纲数：
 - 当 $Re > 3500$ 后，流体处于湍流情况，可按前述公式计算 C ；
 - 当 $Re < 2300$ 时，流体已处于层流状态，其流量与阀压降成线性关系，而不再遵循前述公式。
- 因此，必须对低雷诺数流体的 C 值加以修正。修正后的流量系数可按下式计算：
$$C' = \frac{C}{F_R}$$
- 在工程应用中气体流体的流速一般都比较髙，相应的雷诺数也比较大，一般都大于3500。因此，对于气体或蒸汽一般都不必考虑进行低雷诺修正问题。

流量系数计算：管件形状对流量系数的影响

- 调节阀流量系数 C 计算公式是有一定的前提条件的，**调节阀的公称直径必须与管道直径相同**，而且管道要保证有一定的直管段，如图所示：



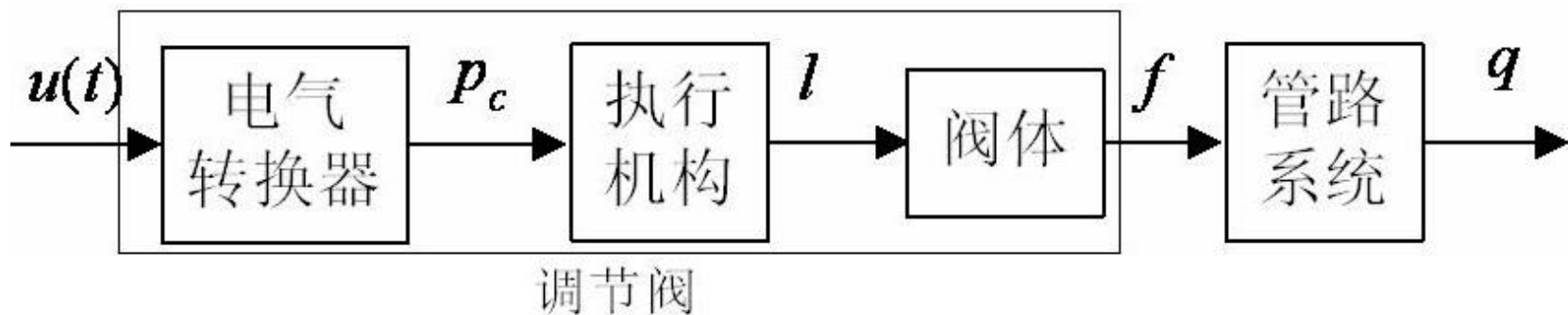
- 如果调节阀实际配管状况不满足上述条件，必须对未考虑附接管件计算得的流量系数加以修正。管件形状修正后的流量系数按下式计算：

$$C' = \frac{C}{F_P}$$

第3章 执行器

- 3.1 气动调节阀的结构
- 3.2 调节阀的流量系数
- **3.3 调节阀结构特性和流量特性**
- 3.4 气动调节阀的选型
- 3.5 利用MATLAB确定调节阀的口径

调节阀的信号联系



- $u(t)$: 控制器输出 (4~20 mA 或 0~10 mA **DC**);
- p_c : 调节阀气动控制信号 (0.02 ~0.1MPa) ;
- $l=L/L_{100}$: 相对开度;
- $f=F/F_{100}$: 相对节流面积;
- $q=Q/Q_{100}$: 相对流量。

调节阀的静态特性

➤ 调节阀的静态特性

$$K_v = dq / du$$

其中

- u 是调节器输出的控制信号,
 - q 是被调介质流过阀门的相对流量。
 - 符号由调节阀作用方式决定: 气开式, K_v 为“+”; 气关式, K_v 为“-”。
- 执行机构静态时输出 l （阀门的相对开度）与 u 成比例关系，所以调节阀静态特性又称调节阀流量特性，即

$$q = f(l)$$

它主要取决于阀的结构特性和工艺配管情况。

调节阀的动态特性

➤ 调节阀的动态特性

$$G_v(s) = \frac{q(s)}{U(s)} = \frac{K_v}{T_v s + 1}$$

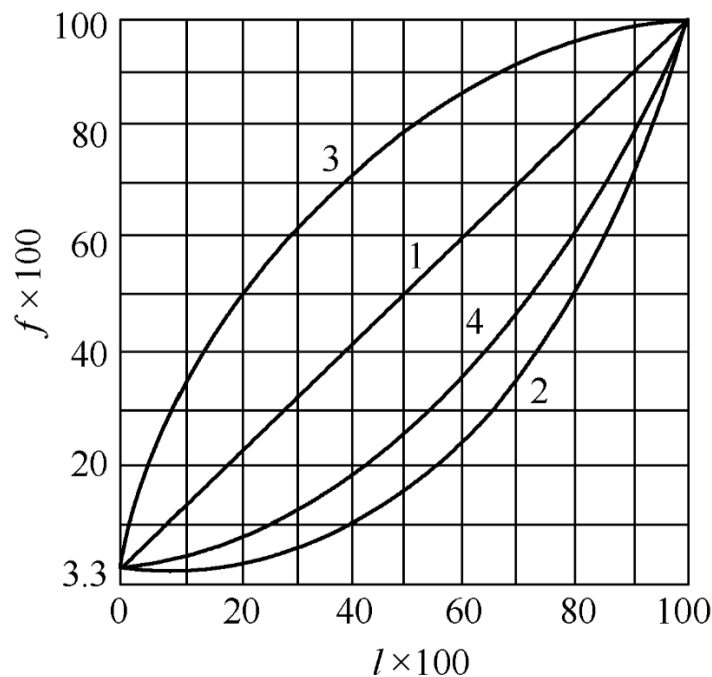
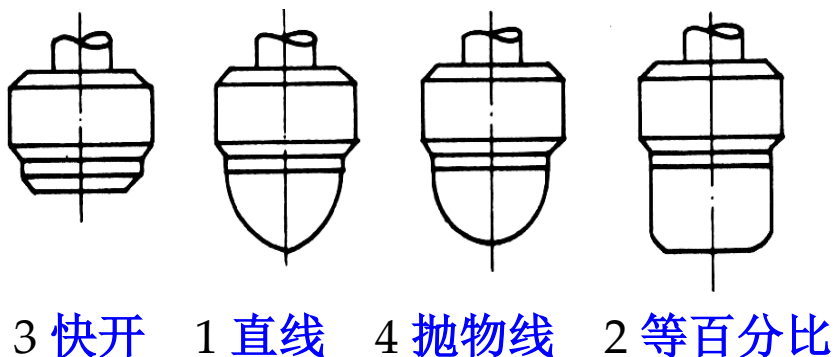
其中， T_v 为调节阀的时间常数:

- 一般很小，可以忽略
- 但在如流量控制这样的快速过程中，有时不能忽略。

调节阀的结构特性

- 调节阀**结构特性**是指阀芯与阀座间**节流面积与阀门开度之间的关系**
- 通常用相对量表示为 $f = \varphi(l)$
式中, $f=F/F_{100}$ 为相对节流面积; $l=L/L_{100}$ 为相对开度。
- 调节阀结构特性取决于**阀芯的形状**, 不同阀芯曲面对应不同的结构特性。
- 如图所示, 阀芯形状有**快开、直线、抛物线**和**等百分比**等

阀芯曲面形状与结构特性 ($R=30$)



1) 线性结构特性

- 线性结构特性是指调节阀的节流面积与阀的开度成直线关系
- 用相对量表示即有

$$\frac{df}{dl} = k$$

- 对上式积分可得

$$f = kl + c$$

式中， k 、 c 均为常数。

线性结构特性 $f = kl + c$

➤ 若已知边界条件为：

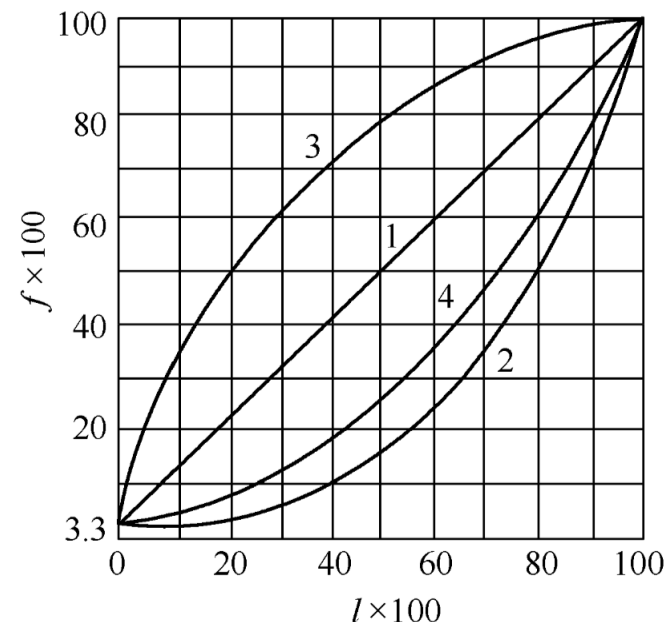
- $L=0$ 时, $F=F_0$;
- $L=L_{100}$ 时, $F=F_{100}$ 。
- 即 $l=0$ 时, $f=F_0/F_{100}$; $l=1$ 时, $f=1$ 。

➤ 把边界条件代入可得 $c = F_0 / F_{100}$

➤ 则：
$$f = \frac{1}{R}[1 + (R-1)l] = (1 - \frac{1}{R})l + \frac{1}{R} \quad k = 1 - c$$

式中 $R = F_{100} / F_0$ 为全开节流面积和全关节流面积之比，被称为
调节阀可调范围。

➤ 国产调节阀一般取 $R=30$ ，即调节阀全关 $l=0\%$ 时, $f=3.3\%$



1—直线；2—等百分比；3—快开；4—抛物线

线性结构特性下节流面积变化

$$f = \frac{1}{R}[1 + (R - 1)l] = (1 - \frac{1}{R})l + \frac{1}{R}$$

- 调节阀的**相对节流面积与相对开度为线性关系**。这种结构特性的斜率在全行程范围内是一个常数。
- 不论阀杆原来在什么位置，只要阀芯位移变化量相同，则节流面积变化量也总是相同的。
- 如当相对开度变化**10%**时，所引起的相对节流面积的增量总是**9.67%**，但相对节流面积的相对变化量却不同。

线性结构特性下节流面积的相对变化

$$f = \frac{1}{R}[1 + (R - 1)l] = (1 - \frac{1}{R})l + \frac{1}{R}$$

① 当 $l = 10\%$ 时, $f|_{l=10\%} = (1 - 1/30) \cdot 10\% + 1/30 = 0.13$

相对节流面积的相对变化量为 $\frac{f|_{l=20\%} - f|_{l=10\%}}{f|_{l=10\%}} = \frac{0.2267 - 0.13}{0.13} \times 100\% = 74\%$

② 当 $l = 50\%$ 时, $f|_{l=50\%} = 0.5167$

相对节流面积的相对变化量为 $\frac{f|_{l=60\%} - f|_{l=50\%}}{f|_{l=50\%}} = \frac{0.0967}{0.5167} \times 100\% = 19\%$

③ 当 $l = 80\%$ 时, $f|_{l=80\%} = 0.8067$

相对节流面积的相对变化量为 $\frac{f|_{l=90\%} - f|_{l=80\%}}{f|_{l=80\%}} = \frac{0.0967}{0.8067} \times 100\% = 12\%$

线性结构特性的分析

- 对于同样大小的阀芯位移，
 - **小开度**时的相对节流面积的相对变化量大，这时灵敏度过高，控制作用过强，容易产生振荡，对控制不利；
 - **大开度**时的相对节流面积的相对变化小，这时灵敏度又太小，控制缓慢，削弱了控制作用。
- 因此，这种结构特性的缺点是
 - **在小开度时调节灵敏度过高**
 - **在大开度时调节又不够灵敏**
- 当线性结构特性阀工作在小开度或大开度的情况下，控制性能都较差，不宜在负荷变化大的场合使用。

2) 等百分比(对数)结构特性

- 等百分比(对数)结构特性是指，在任意开度下，单位行程变化所引起的节流面积变化都与该节流面积本身成正比关系，用相对量表示时即有

$$\frac{df}{dl} = kf$$

- 对上式积分并代入前述的边界条件，可得 $f = R^{(l-1)}$
- 可见， f 与 l 之间成对数关系。这种特性又称为对数特性。
- 这种特性的调节阀，
 - 小开度时节流面积变化平缓
 - 大开度时节流面积变化加快
 - 可保证在各种开度下的调节灵敏度都一样。

3) 快开结构特性

- 快开结构特性调节阀的特点是结构特别简单
- 阀芯的最大有效行程为 $d_g / 4$ (d_g 为阀座直径)。

- 特性方程为

$$f = 1 - \left(1 - \frac{1}{R}\right)(1 - l)^2$$

- 从调节灵敏度看, 这种特性比直线结构还要差, 因此很少用作调节阀。

4) 抛物线结构特性

➤ 抛物线结构特性是指阀的节流面积与开度成抛物线关系。

➤ 特性方程为

$$f = \frac{1}{R} [1 + (R^{\frac{1}{2}} - 1)l]^2$$

➤ 它的特性很接近等百分比特性。

调节阀的流量特性

- 调节阀的**流量特性**是指，**流体流过阀门的流量与阀门开度之间的关系**，可用相对量表示为

$$q = f(l)$$

- 式中，
 - $q = Q / Q_{100}$ 为**相对流量**，即调节阀某一开度流量与全开流量之比。
 - $l = L / L_{100}$ 为**相对开度**。
- 调节阀一旦制成以后，它的结构特性就确定不变了。
- 但是，流过调节阀的**流量不仅取决于阀的开度**，也取决于**阀前后的压差**和它所在的整个**管路系统**的工作情况。

1) 理想流量特性

➤ 在调节阀前后压差固定情况下得到的流量特性，称为理想流量特性。

➤ 假设调节阀流量系数与阀节流面积成线性关系，即 $C = C_{100}f$

式中 C 、 C_{100} 分别为调节阀流量系数和额定流量系数。

➤ 根据流量系数定义 $C = \frac{10Q}{\sqrt{(p_1 - p_2)/\rho}}$ ，通过调节阀的流量为

$$Q = 0.1C \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} = 0.1C_{100}f \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

➤ 调节阀全开时， $f=1$ ， $Q=Q_{100}$ ，上式变为 $Q_{100} = 0.1C_{100} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$

➤ 当 Δp = 常数时，可得 $q = Q / Q_{100} = f$

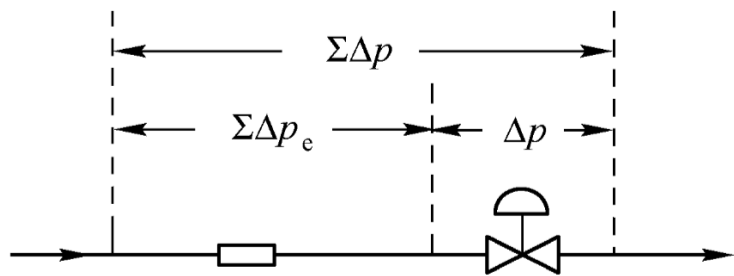
➤ 若调节阀流量系数与节流面积成线性关系，则调节阀的结构特性就是理想流量特性。

2) 工作流量特性

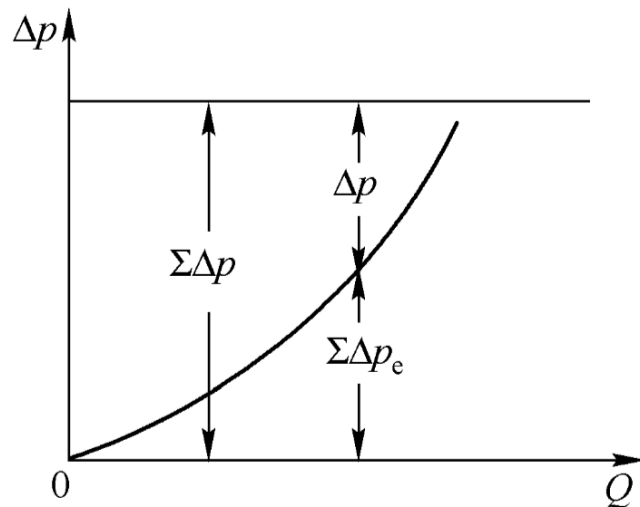
- 调节阀在**实际使用**情况下，流量与开度之间的关系称为**工作流量特性**。
- 根据调节阀所在的管道情况，可以分串联和并联管系来讨论。

(1) 串联管系调节阀的工作流量特性

- 调节阀与工艺设备串联工作时，阀上压降是管道系统总压降的一部分。
- 由于设备和管道上的**压力损失** $\Sigma\Delta p_e$ 与通过的**流量成平方关系**，所以，当总压降 $\Sigma\Delta p$ 一定时，随着阀开度增大，管道流量增加，调节阀上的压降 Δp 将逐渐减小。
- 在相同阀芯位移下，现在的流量比调节阀上压降保持不变的理想情况小。



调节阀与管道串联工作



串联管系调节阀上压降变化

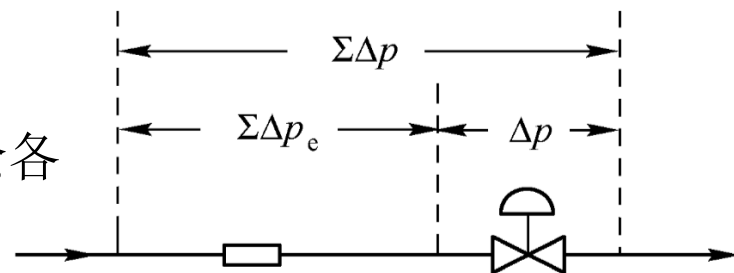
- 以 S_{100} 表示调节阀全开时的压降 Δp_{100} 与系统总压降 $\Sigma\Delta p$ 之比，并称之为**全开阀阻比**，即

$$S_{100} = \frac{\Delta P_{100}}{\sum \Delta P} = \frac{\Delta P_{100}}{\Delta P_{100} + \sum \Delta P_e}$$

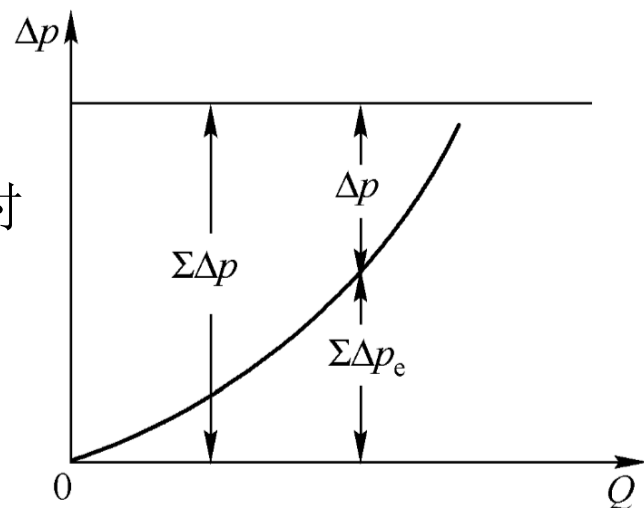
- 式中， $\Sigma\Delta p_e$ 为管道系统中除调节阀外其余各部分压降之和。
- 串联管系中调节阀相对流量为(**自己推导**)

$$q = \frac{Q}{Q_{100}} = f \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{1}{S_{100}} - 1\right)f^2 + 1\right]}}$$

- 式中， Q_{100} 为理想情况下 $\Sigma\Delta p_e = 0$ 时阀全开时流量。
- 代入调节阀结构特性 $f = \varphi(l)$ ，得其以 S_{100} 为参比值的工作流量特性。
- q 相对于 S_{100} ，在 $[0, 1]$ 之间**单调变化**



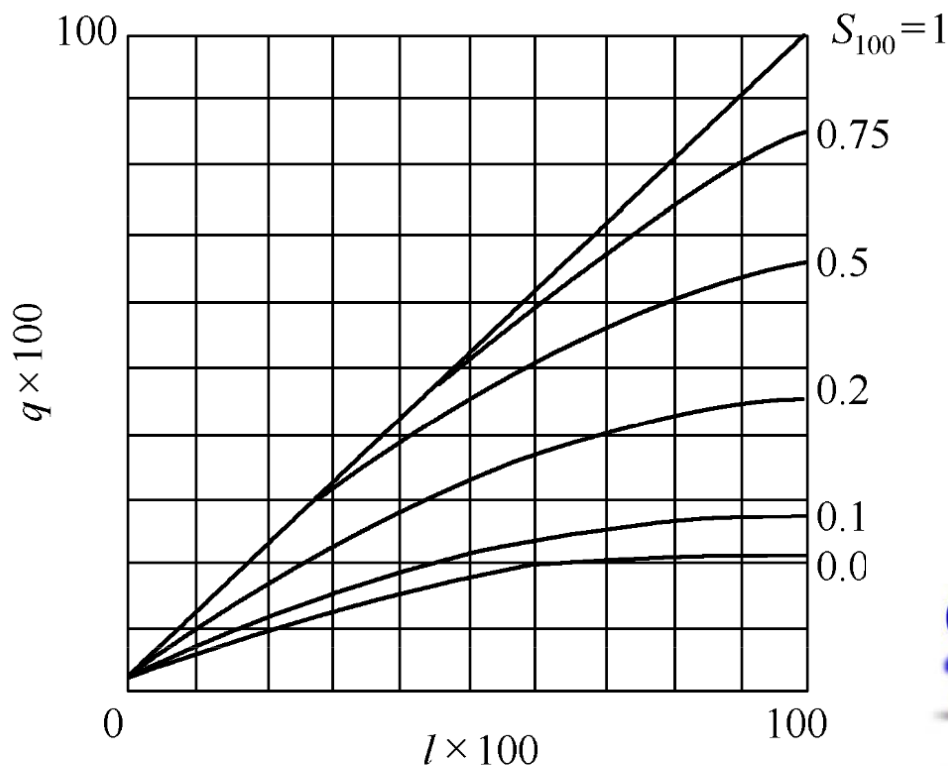
调节阀与管道串联工作



串联管系调节阀上压降变化

串联管系中调节阀工作流量特性

$$q = \frac{Q}{Q_{100}} = f \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{1}{S_{100}} - 1\right)f^2 + 1\right]}}$$



直线结构特性

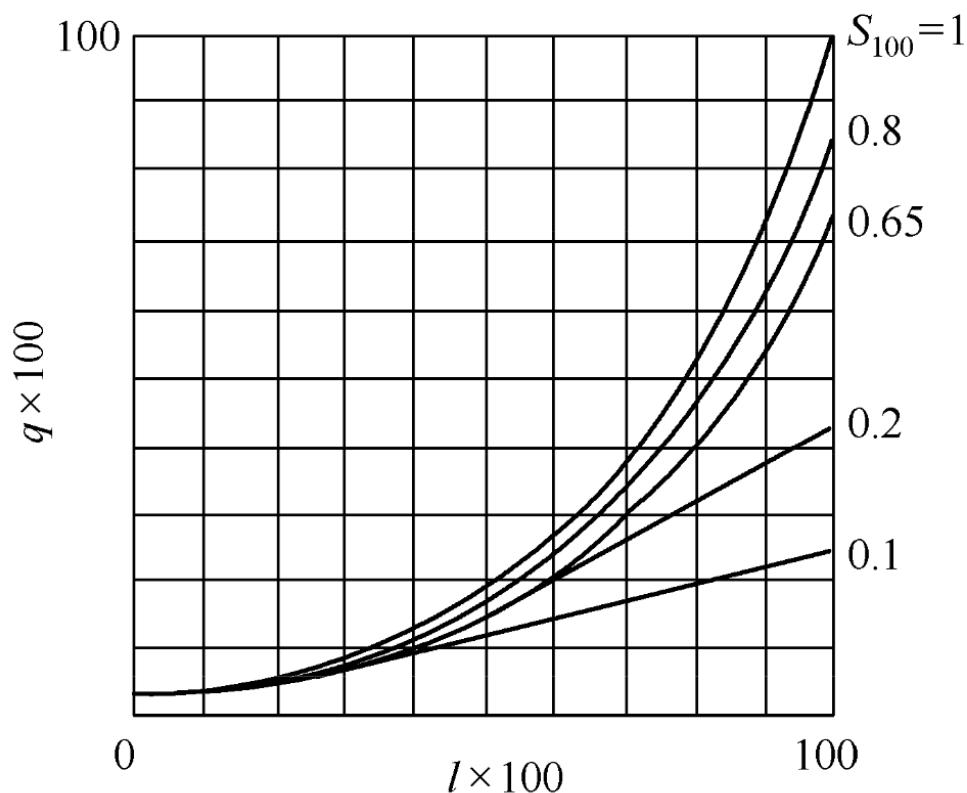
- 对于线性结构特性调节阀，由于串联管道阻力的影响，线性的理想流量特性畸变成一组斜率愈来愈小的曲线。
- 随着 S_{100} 的减小，流量特性畸变为快开特性，以致开度到达 50~70% 时，流量已经接近其全开时的数值。



有什么问题？

串联管系中调节阀工作流量特性

$$q = \frac{Q}{Q_{100}} = f \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{1}{S_{100}} - 1 \right) f^2 + 1 \right]}}$$



等百分比结构特性

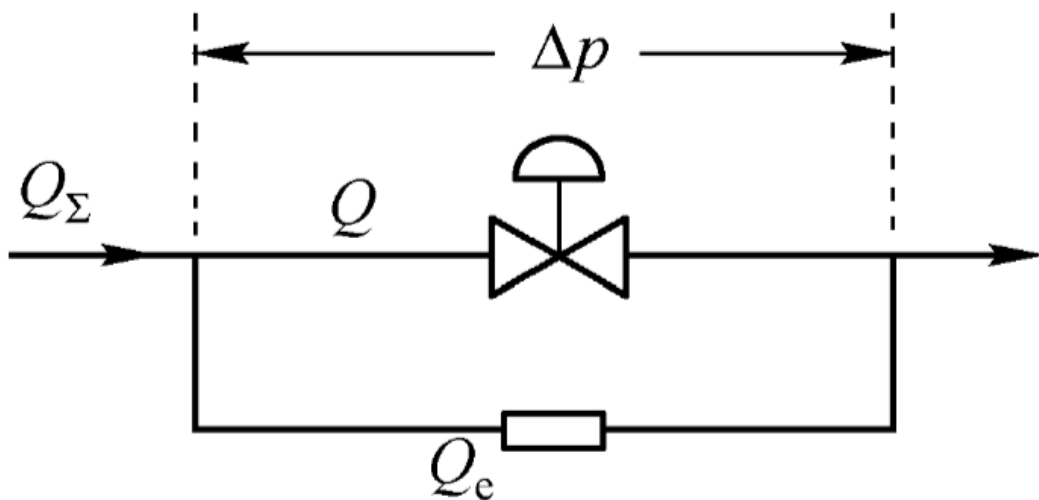
- 对于等百分比结构特性调节阀，随着 S_{100} 的减小，流量特性将畸变为直线特性。

串联管系中调节阀工作流量特性

- 阀门的实际流量特性，向着大开度时斜率下降的方向畸变，即：
 - 直线阀的实际流量特性向着快开阀特性畸变；
 - 等百分比阀的实际流量特性向着直线阀特性畸变。
- 在实际使用中， S_{100} 值一般不希望低于0.3~0.5。
- S_{100} 很小，意味着调节阀上的压降在整个管道系因压降中所占比重甚小，无足轻重，所以它在较大开度下调节流量的作用也就很不灵敏。
- 一些老的生产设备，其工艺管道上的调节阀往往尺寸失之过大，这时就会出现上述问题。

(2) 并联管系调节阀的工作流量特性

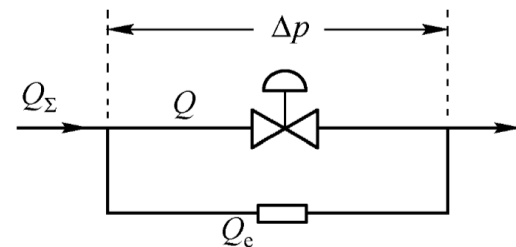
- 在实际使用中，调节阀一般都装有旁路阀，以备手动操作和维护调节阀之用。
- 生产量提高或者其它原因使介质流量不能满足工艺生产要求时，可以把旁路打开一些，以应生产所需。
- 图示为并联管系中调节阀的工作情况。



调节阀与管道并联管工作

- 令 S'_{100} 为并联管系中调节阀全开流量 Q_{100} 与总管最大流量 $Q_{\Sigma \max}$ 之比，称为阀全开流量比。即

$$S'_{100} = \frac{Q_{100}}{Q_{\Sigma \max}} = \frac{C_{100}}{C_{100} + C_e}$$



调节阀与管道并联管工作

- 显然，并联管路的总流量是调节阀流量与旁路流量之和，即

$$Q_\Sigma = Q + Q_e = C_{100} f \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} + C_e \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

- 调节阀全开时，管路的总流量最大，有

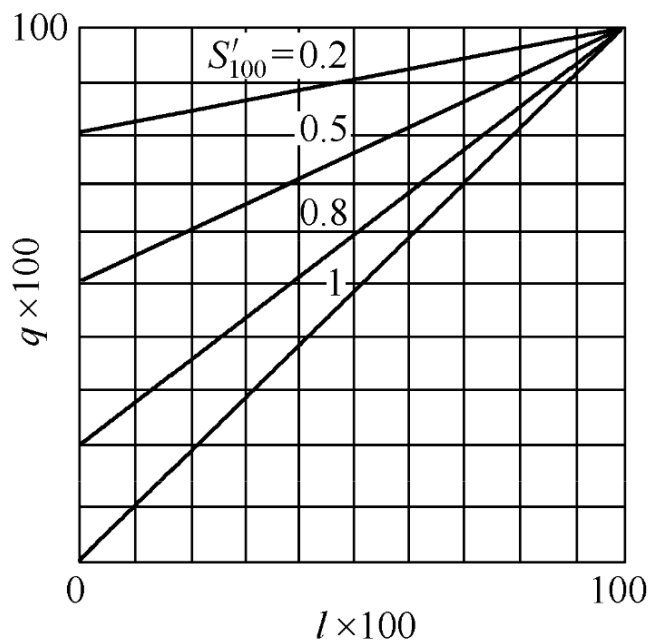
$$Q_{\Sigma \max} = Q_{100} + Q_e = (C_{100} + C_e) \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

- 并联管道工作流量特性为
- $$q = \frac{Q_\Sigma}{Q_{\Sigma \max}} = S'_{100} f + (1 - S'_{100})$$

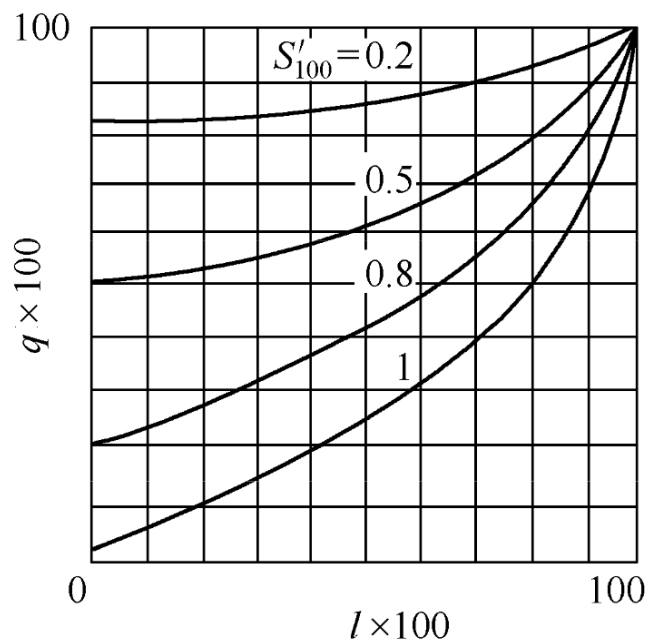
- 以调节阀结构特性代入上式，可得以其工作流量特性。

并联管系调节阀的工作流量特性

$$q = \frac{Q_{\Sigma}}{Q_{\Sigma \max}} = S'_{100}f + (1 - S'_{100})$$



(a) 直线结构特性



(b) 等百分比结构特性

- 当 $S'_{100} = 1$ 时，旁路关闭，并联管道工作流量特性就是调节阀的理想流量特性。
- 随着 S'_{100} 值的减小，即旁路阀逐渐开大，尽管调节阀本身流量特性无变化，但管道系统的可控性却大大下降，这将使管系中可控流量减小，严重时甚至会使并联管系中调节阀失去控制作用。

调节阀的可调比

- 调节阀的可调比是反映调节阀特性的一个重要参数，是选择调节阀是否合适的指标之一。

1. 理想可调比

- 调节阀的**理想可调比** R_0 是指，在阀压降恒定的情况下，它能控制的最大流量 Q_{100} 与最小流量 Q_0 之比，即

$$R_0 = \frac{Q_{100}}{Q_0}$$

- 式中， Q_0 是指**阀压降在恒定的情况下可控制流量的下限值**，通常是 Q_{100} 的2~4%。
- 它**不同于阀的泄流量**。泄流量则是由于阀不能真正关死造成的，一般为 Q_{100} 的0.01~0.1%，难以控制。

- 在调节阀压降恒定情况下，有

$$R_0 = \frac{Q_{100}}{Q_0} = \frac{0.1C_{100}\sqrt{\Delta p / \rho}}{0.1C_0\sqrt{\Delta p / \rho}} = \frac{C_{100}}{C_0}$$

- 式中， C_0 为阀全关时的流量系数； C_{100} 为阀全开时的流量系数。
- 由于 $C_0 = C_{100}f_0 = C_{100}(F_0 / F_{100})$,

$$R_0 = \frac{F_{100}}{F_0} = R$$

- 式中，R即为调节阀的可调范围。
- 从使用的角度来看，理想可调比越大越好。
- 但是，最小节流面积 F_0 受阀芯结构设计和加工等因素的限制，不可能做得太小。

2. 实际可调比

- 实际使用中，调节阀前后的压降是随管道阻力的变化而变化的。此时，**调节阀实际控制的最大和最小流量之比称为实际可调比。**

(1) 串联管系中的可调比

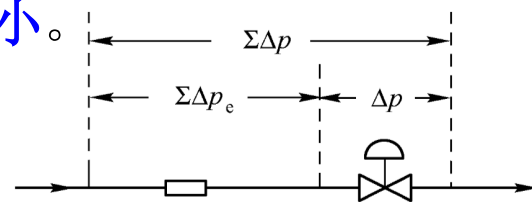
- **串联管系中管道阻力的存在会使调节阀的可调比变小。**

- 在串联管系中($S_{100} < 1$)，调节阀的实际可调比为

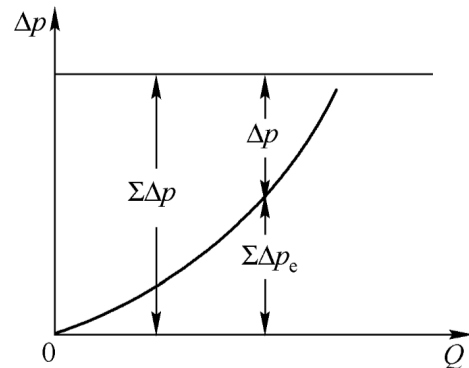
$$R_s = \frac{Q_{r100}}{Q_{r0}}$$

- 根据流量系数的定义可得

$$R_s = \frac{C_{100}}{C_0} \sqrt{\frac{\Delta p_{100}}{\Delta p_0}}$$



调节阀与管道串联工作



串联管系调节阀上压降变化

- 考虑到调节阀全关时，其上压降 Δp_0 近似为管道系统中总压降 $\Sigma\Delta p$ ，因此

$$R_0 = \frac{Q_{100}}{Q_0} = \frac{0.1C_{100}\sqrt{\Delta p/\rho}}{0.1C_0\sqrt{\Delta p/\rho}} = \frac{C_{100}}{C_0}$$

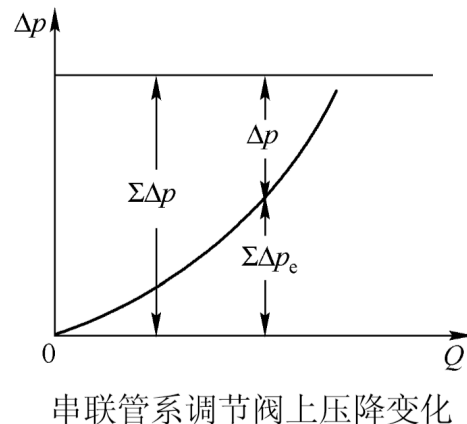
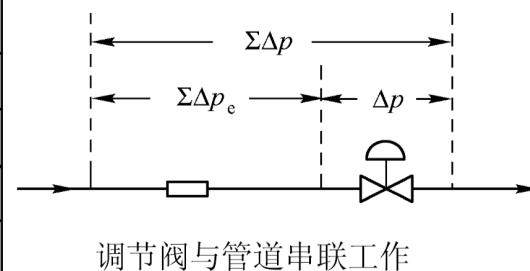
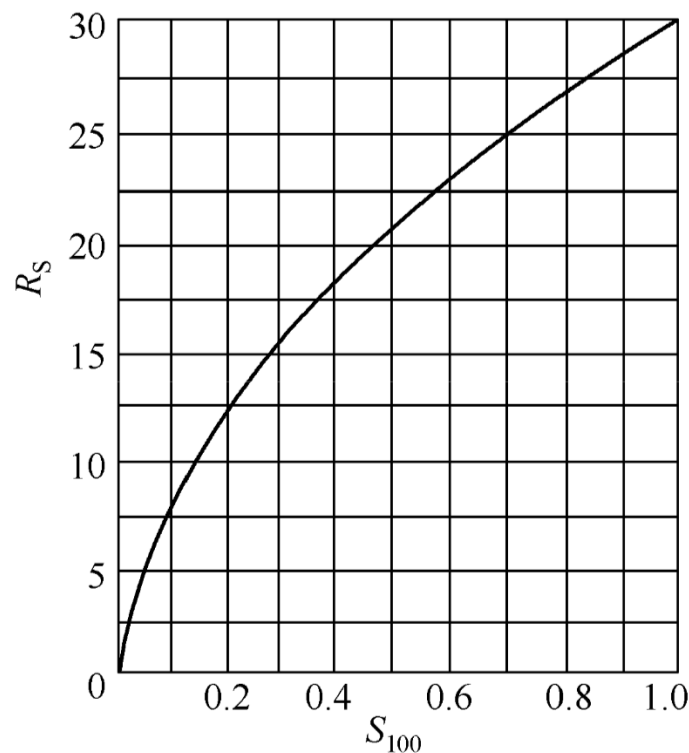
$$S_{100} = \frac{\Delta P_{100}}{\Delta P_{100} + \sum \Delta P_e} \approx \frac{\Delta P_{100}}{\Delta P_0}$$

$$R_s \approx R_0 \sqrt{S_{100}}$$

串联管系中调节阀的实际可调比与 S_{100} 的关系

$$R_s = \frac{C_{100}}{C_0} \sqrt{\frac{\Delta p_{100}}{\Delta p_0}}$$

- 图示 R_s 与 S_{100} 之间的关系。在串联管系中调节阀的实际可调比降低。
- S_{100} 值越小，即串联管道阻力损失越大时，实际可调比越小。



(2) 并联管系中的可调比

- 与串联管系情况相类似，并联管系的可调比 R_p 可定义为

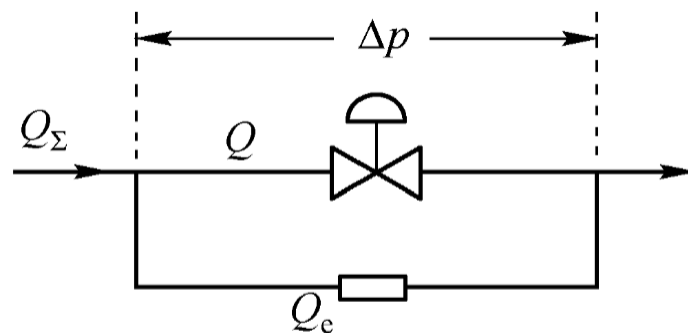
$$R_p = \frac{Q_{\Sigma \max}}{Q_0 + Q_e} = \frac{Q_{100} + Q_e}{Q_0 + Q_e}$$

- 式中 Q_0 为调节阀所控制的最小流量。
➤ 同理，可推导出 R_p 的计算式如下：

$$R_p = \frac{R_0}{R_0 - (R_0 - 1)S'_{100}}$$

$$R_0 = \frac{Q_{100}}{Q_0}$$

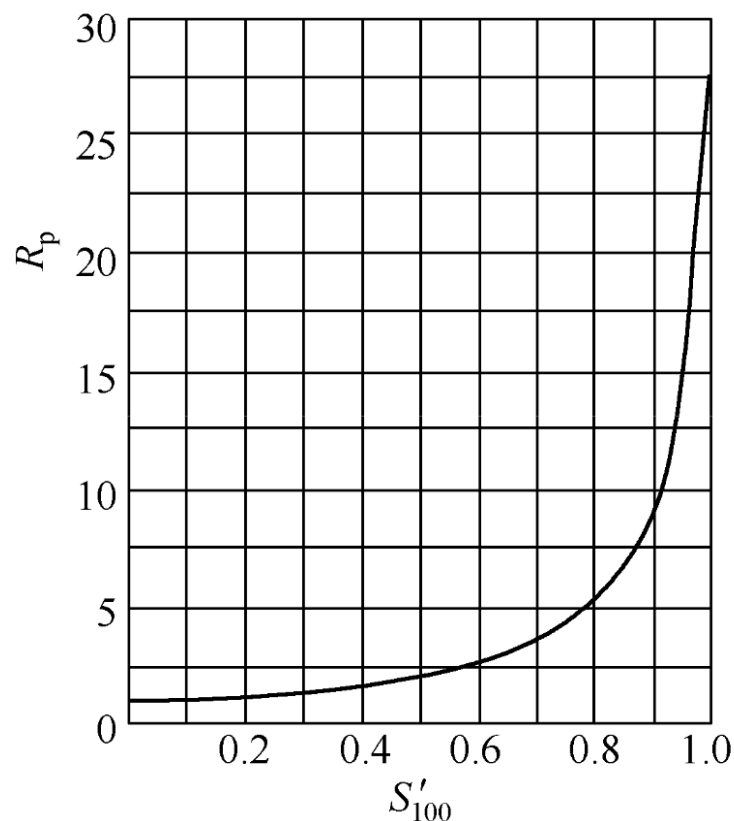
$$S'_{100} = \frac{Q_{100}}{Q_{100} + Q_e}$$



调节阀与管道并联管工作

$$R_p = \frac{R_0}{R_0 - (R_0 - 1)S'_{100}}$$

并联管系中调节阀的实际可调比
与 S'_{100} 之间的关系

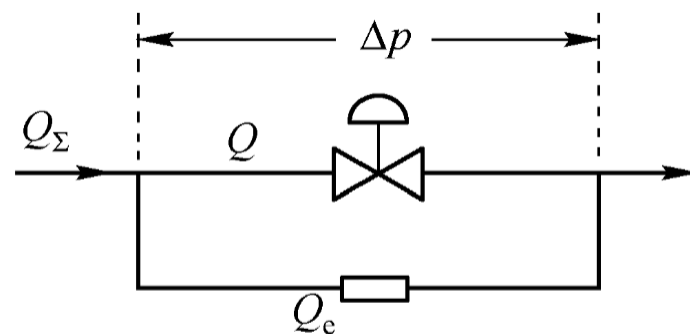


➤ 由图可见，随 S'_{100} 值减小， R_p 急剧下降。因此，打开旁路，调节阀的控制效果很差。

➤ 实际使用时，一般要求

$$S'_{100} > 0.8$$

也就是说，旁路流量只占管道总流量的百分之十几。



调节阀与管道并联管工作

- 实际使用的调节阀既有旁路又有串联设备，因此其理想流量特性畸变，管道系统可调比下降更严重，调节阀甚至可能起不了调节作用。

串、并联管系中调节阀工作情况比较

调节阀使用场合	流量特性	可调比	最大流量	静态增益
串联管系	畸变严重	降低较小	减小	大开度时增大，小开度减小
并联管系	畸变较轻	降低较大	增大	均减小

第3章 执行器

- 3.1 气动调节阀的结构
- 3.2 调节阀的流量系数
- 3.3 调节阀结构特性和流量特性
- **3.4 气动调节阀的选型**
- 3.5 利用MATLAB确定调节阀的口径

调节阀选型考虑因素

- 调节阀是自动控制系统的终端控制元件之一。其选型的正确与否对系统工作好坏关系很大。调节阀选型中，一般应考虑以下几点：
 - 根据工艺条件，选择合适的调节阀的结构形式和材质。
 - 根据工艺对象的特点，选择合理的流量特性。
 - 根据工艺参数，计算出流量系数，选择合理的阀门口径。

调节阀结构形式的选择

- 不同结构的调节阀有各自的特点，适应不同的需要。在选用时，要注意：
 - (1) 工艺介质的种类，腐蚀性和粘性。
 - (2) 流体介质的温度、压力(入口和出口压力)、比重。
 - (3) 流经阀的最大、最小流量，正常流量以及正常流量时阀上的压降。
- 一般情况下应优先选用直通单、双座调节阀：
 - 直通单座阀一般适用于泄漏量要求小和阀前后压降较小的场合；
 - 直通双座阀一般适用于对泄漏量要求不严和阀前后压降较大的场合，但不适用于高粘度或含悬浮颗粒的流体。

调节阀结构形式的选择

- 对于高粘度或含悬浮物的流体，气-液混相或易闪蒸的液体，以及要求直角配管的场合，可选用**角形阀**。
- 对于浓浊浆液和含悬浮颗粒的流体以及大口径、大流量和低压降的场合，可选择**蝶阀**。
- **三通调节阀**既可用于混合两种流体，又可以将一种流体分为两股，多用于换热器的温度控制系统。
- **隔膜阀**具有结构简单、流道阻力小、流通能力大、无外漏等优点，广泛用于高粘度、含悬浮颗粒、纤维以及有毒的流体。
- 此外，根据需要还可选用**波纹管密封阀**，**低噪声阀**、**自力式调节阀**等。
- 对于特殊工艺生产过程，还需选用**专用调节阀**。
- 其它阀型及适用范围可参阅有关参考文献。

调节阀气开与气关形式的选择

- 应根据具体生产工艺的要求，主要考虑当气源供气中断或调节阀出现故障时，调节阀的阀位（全开或全关）应使生产处于安全状态。例如，
 - 进入工艺设备的流体易燃易爆，为防止爆炸，调节阀应选**气开式**。
 - 如果流体容易结晶，调节阀应选**气关式**，以防堵塞。
- 通常，选择调节阀气开、气关形式的原则是不使物料进入或流出设备（或装置）。一般来说要根据以下几条原则进行选择。
 - (1) 首先要从**生产安全**出发。(2) 从保证**产品质量**出发。
 - (3) 从降低原料、成品和动力的**损耗**来考虑。(4) 从**介质**的特点考虑。
- 当以上选择阀气开、气关形式的原则出现矛盾时，主要要从**工艺生产的安全**出发。当仪表供气系统故障或控制信号突然中断，调节阀阀芯应处于使生产装置安全的状态。

调节阀流量特性的选择

- 目前国产调节阀流量特性有**直线**、**等百分比**和**快开**三种：
 - 它们基本上能满足绝大多数控制系统的要求。
 - **快开**特性适用于双位控制和程序控制系统。
 - 调节阀流量特性的选择实际上是指**直线和等百分比特性的选择**。
- 选择方法大致可归结为**理论计算方法**和**经验法**两类：
 - 这些方法都较复杂
 - **工程设计多采用经验准则**，从**控制系统特性**、**负荷变化**和**阀阻比S值**大小等三个方面综合考虑，选择调节阀流量特性。

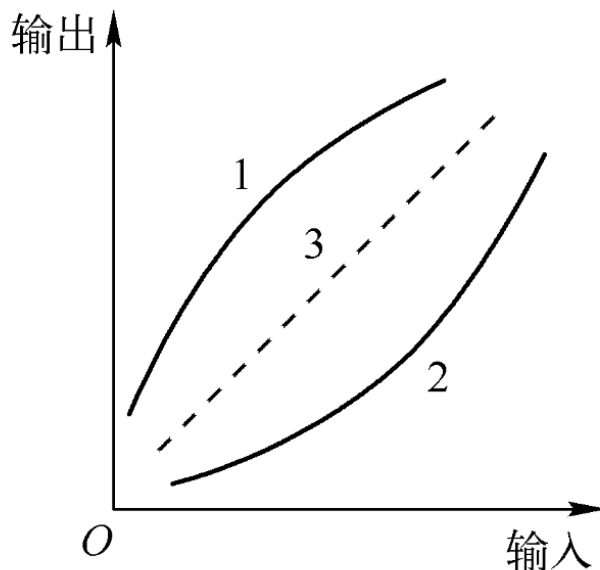
****双位控制：**

- 当测量值大于给定值时，控制器输出为最大(或最小)
- 当测量值小于给定值时，控制器输出为最小(或最大)
- 即控制器只有两个输出值，相应的控制机构只有开和关两个极限位置
- 又称**开关控制**

1) 从改善控制系统控制质量考虑

➤ 线性控制回路的总增益，在控制系统整个操作范围内应保持不变。

- 通常，测量变送装置的转换系数和整定好的控制器的增益是一个常数。但有的被控对象特性却往往具有非线性特性。
- 因此，可以适当选择调节阀特性，以其放大系数的变化补偿对象增益的变化，使控制系统总增益恒定或近似不变。
- 例如，对于增益随着负荷增大而变小的被控对象，应选择放大系数随负荷增加而变大的调节阀特性。如匹配得当，就可得到总增益不随负荷变化的系统特性



被控对象与调节阀特性的匹配

- 1-对象静特性；
- 2-调节阀流量特性；
- 3-补偿后的特性

2) 从配管状况 (S_{100} 值大小) 考虑

- 调节阀总是与设备、管道等串联使用，其工作流量特性不同于调节阀的理想流量特性，必须：
- 首先，根据“1) 改善控制系统控制质量”的要求，选择希望的工作流量特性，
 - 然后，考虑工艺配管状况，
 - 最后，确定调节阀流量特性。

配管状况与阀工作流量特性关系

配管状况	阀阻比 $S_{100}=1\sim0.6$		阀阻比 $S_{100}=0.6\sim0.3$		阀阻比 $S_{100}<0.3$
阀工作流量特性	直线	等百分比	快开	直线	不适宜控制
阀流量特性	直线	等百分比	直线	等百分比	

调节阀口径的确定

- 调节阀口径的选择非常重要，直接影响工艺生产的正常进行、控制质量以及生产的效果。
- 目前选定调节阀口径的通用方法是流通能力法（简称C值法）。该方法
 - 首先，利用给定的条件和参数，计算出最大流量系数 C_{\max} ，并对其圆整；
 - 然后，根据圆整后的额定流量系数 C_{100} 的值，查表决定阀的口径（公称直径 D_g 和阀座直径 d_g ）；
 - 最后，再对选定的阀进行开度和可调比验算。

1) 确定计算流量系数需要的主要数据

- 为了计算出流量系数C的值，必须首先确定所需要的各项参数，如
- 最大、正常和最小流量；
 - 阀前、后压力；阀阻比；
 - 流体密度以及其他修正系数等。

(1) 计算液体介质C值所需数据

- ① 最大体积流量 Q_{\max} (m³/h)或质量流量 W_{\max} (kg/h)；
- ② 正常体积流量 Q_n (m³/h)或质量流量 W_n (kg/h)；
- ③ 正常情况下阀压降 Δp_n (kPa)；
- ④ 阀前绝对压力 p_1 (kPa)；
- ⑤ 正常阀阻比 S_n ；
- ⑥ 液体密度 ρ_L (kg/m³)；
- ⑦ 液体的运动粘度 ν (m²/s)；
- ⑧ 介质的临界压力 p_c (kPa)；
- ⑨ 阀入口温度下介质饱和蒸汽压力 p_v (kPa)；
- ⑩ 压力恢复系数 FL ；
- (11) 阀上下游管道直径 D_1 和 D_2 (mm)。

(2) 计算气体介质C值所需数据

- ① 最大体积流量 Q_{\max} (m³/h)或正常体积流量 Q_n (m³/h);
- ② 正常情况下阀压降 p_n (kPa);
- ③ 阀前绝对压力 p_1 (kPa);
- ④ 正常阀阻比 S_n ;
- ⑤ 标准状态下(273K, 100kPa)气体密度 ρ_H (kg/m³);
- ⑥ 气体压缩系数 Z ;
- ⑦ 气体绝热指数(等熵指数) k ;
- ⑧ 临界压差比 x_T ;
- ⑨ 介质入口温度 T_1 (K) ;
- ⑩ 阀上下游管道直径 D_1 和 D_2 (mm)。

(3) 计算蒸汽液介质C值所需数据

- ① 最大体积流量 Q_{\max} (m³/h)或正常体积流量 Q_n (m³/h);
- ② 正常情况下阀压降 p_n (kPa);
- ③ 阀前绝对压力 p_1 (kPa);
- ④ 正常阀阻比 S_n ;
- ⑤ 标准状态下(273K, 100kPa)蒸汽密度 ρ_s (kg/m³);
- ⑥ 气体压缩系数 Z ;
- ⑦ 气体绝热指数(等熵指数) k ;
- ⑧ 临界压差比 x_T
- ⑨ 介质入口温度 T_1 (K) ;
- ⑩ 阀上下游管道直径 D_1 和 D_2 (mm)。

2) 求调节阀应具有的最大流量系数

- 如果工艺提供的流量为最大流量 Q_{\max} 和在计算最大流量时阀压降 Δp_{\max} 等数据时，根据表中的公式计算得到的流量系数 C 即为最大流量系数 C_{\max} 的值。
- 如果工艺提供的流量为正常流量 Q_n 和在正常流量条件时阀压降 Δp_n 等数据时，根据表中的公式计算得到的流量系数 C 即为正常流量系数的值。它与最大流量系数 C_{\max} 的关系如下。

$$C_{\max} = mC_n$$

式中， m 称为流量系数放大倍数，它由下式确定：

$$m = n\sqrt{S_n / S_{\max}}$$

3) 对最大流量系数 C_{\max} 进行圆整，确定额定流量系数 C_{100}

根据选定的调节阀类型，在该系列调节阀的各额定流量系数中，选取不小于并最接近最大流量系数 C_{\max} 的一个作为选定的额定流量系数，即 C_{100} 。

4) 选定调节阀口径

根据与上述选定的额定流量系数 C_{100} 值，查表确定与其相对应的调节阀口径 D_g 和 d_g ，即为选定的调节阀公称直径和阀座直径。

5) 调节阀相对开度的验算

- 由于在选定 C_{100} 值时是根据标准系列进行圆整后确定的，故需要对计算时的最大流量 Q_{\max} 进行开度验算。
- 调节阀工作时其相对开度应处于下表所列范围：

调节阀相对开度范围

		相对开度/%	
流量 \ 阀特性		直线特性	等百分比特性
	最大	80	90
	最小	10	30

6) 调节阀可调比验算

- 对于选定的调节阀也要对其可调比进行验算。
- 串联管系中工作的调节阀可以通过 $R_s = R_0 \sqrt{S_{100}} = 30 \sqrt{S_{100}}$ 验算其可调比。

① 对于调节阀上、下游均有恒压点的场合

$$S_{100} = \frac{1}{1 + \left(\frac{C_{100}}{C_n} \right)^2 \left(\frac{1}{S_n} - 1 \right)}$$

② 对于调节阀装于风机或离心泵出口， $S_{100} = \frac{1 - \frac{\Delta h}{\Sigma \Delta p}}{1 + \left(\frac{C_{100}}{C_n} \right)^2 \left(\frac{1}{S_n} - 1 \right)}$
而下游又有恒压点的场合

例3-1 某控制系统拟选用一台直线特性气动直通单座调节阀(流开形)。已知流体为液氨。最大计算流量条件下的数据为:

$$p_1 = 26200 \text{ kPa}; \quad \Delta p = 24500 \text{ kPa};$$

$$Q_L = 10.86 \text{ m}^3/\text{h}; \quad \rho_L = 0.58 \text{ kg}/\text{m}^3;$$

$$\nu = 0.1964 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \quad D_1 = D_2 = 20 \text{ mm}。$$

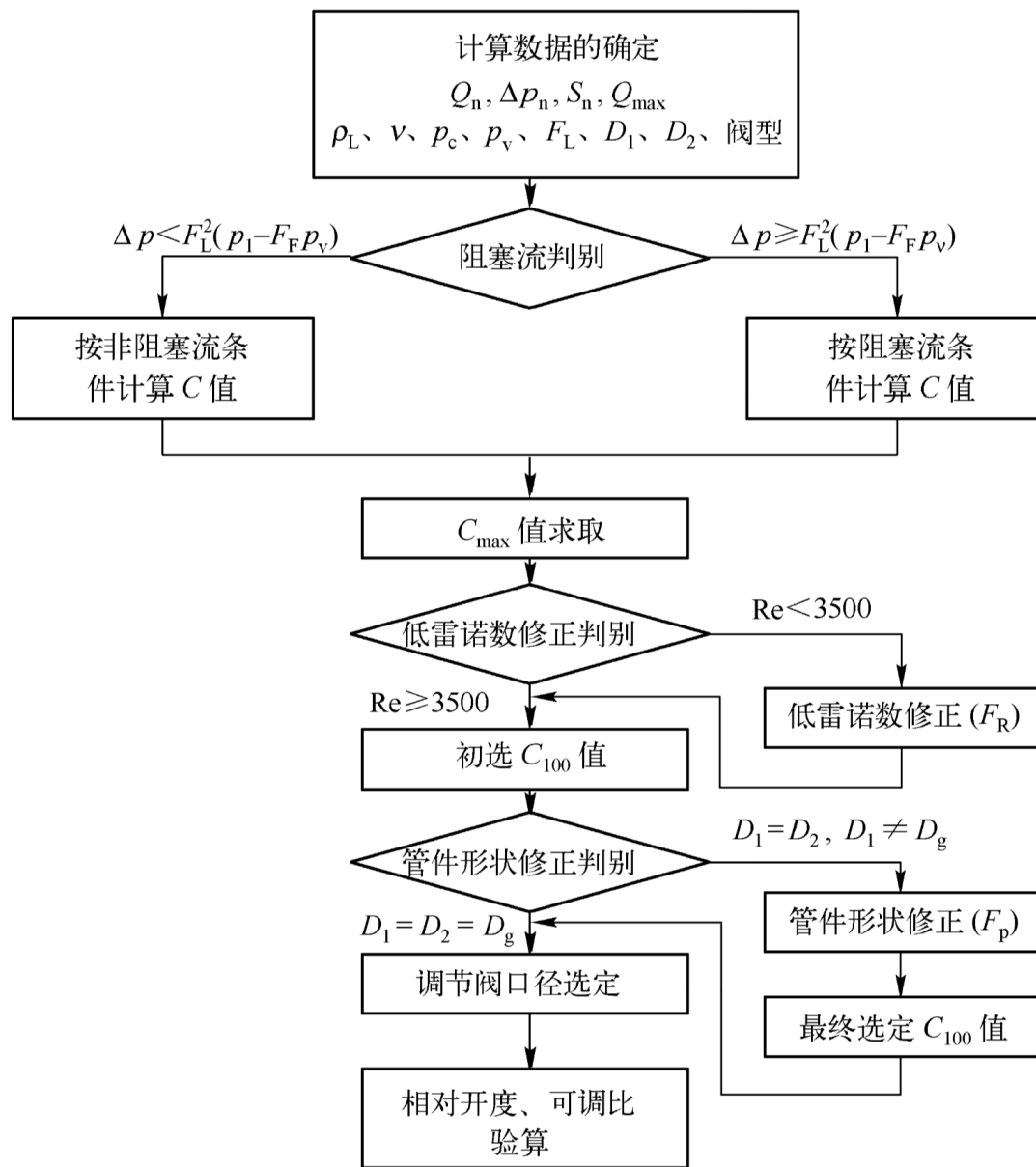
解 由液体理化数据手册查得

$$p_c = 11378 \text{ kPa}; \quad p_v = 1621 \text{ kPa}。$$

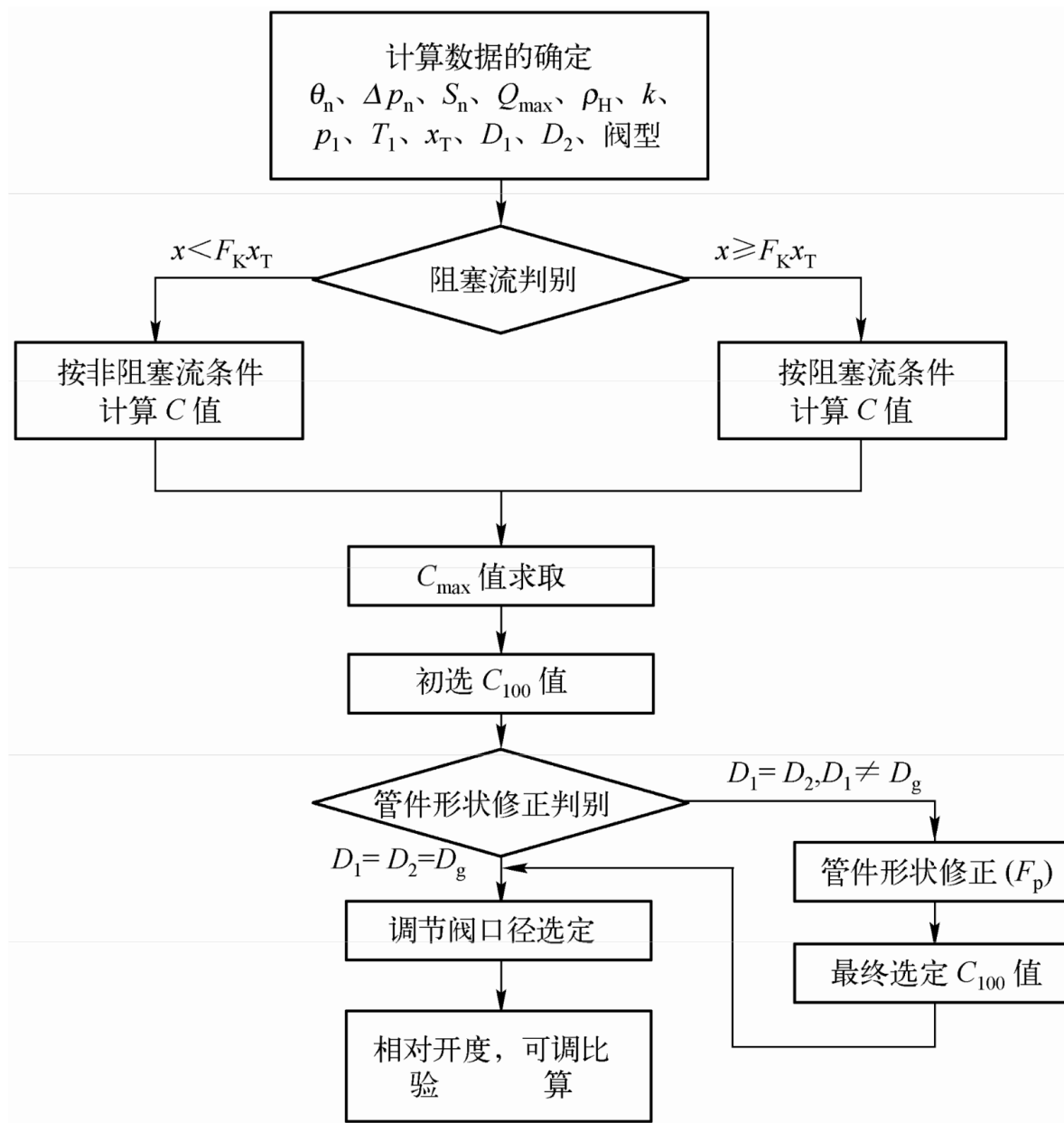
- | | |
|------------|--------------------|
| (1) 阻塞流判别 | (2) C_{\max} 值计算 |
| (3) 低雷诺数修正 | (4) 初选 C_{100} |
| (5) 管件形状修正 | (6) 相对开度验算 |

第3章 执行器

- 3.1 气动调节阀的结构
- 3.2 调节阀的流量系数
- 3.3 调节阀结构特性和流量特性
- 3.4 气动调节阀的选型
- 3.5 利用MATLAB确定调节阀的口径



液体介质调节阀口径计算程序框图



气体介质调节阀口径计算程序框图

本章小结

- 在过程控制系统中最常用的执行器是调节阀，按所用能源可分为气动、电动和液动三类。
- 气动调节阀由执行机构和阀（或称阀体组件）两部分组成。气动执行机构有薄膜式和活塞式两种。气动薄膜执行机构有正作用和反作用两种。阀芯有正装和反装两种。气动调节阀又可分为气开、气关两种作用。在调节阀气开与气关形式的选择上，应根据生产工艺的要求，使生产处于安全状态。
- 流量系数 C 的计算是选定调节阀口径最主要的理论依据，阀全开时的流量系数称为额定流量系数，以 C_{100} 表示，是表示阀流通能力的参数。对不同性质的流体，以及同一流体在不同的流动工况条件下，流量系数要采用不同的计算公式。
- 调节阀结构特性是指阀芯与阀座间节流面积与阀门开度之间的关系。调节阀结构特性取决于阀芯的形状，不同的阀芯曲面对应不同的结构特性。阀芯形状有快开、直线、抛物线、等百分比四种。
- 调节阀的流量特性是指，流体流过阀门的流量与阀门开度之间的关系。调节阀流量特性的选择实际上采用经验准则，即从控制系统特性、负荷变化和阀阻比值大小三个方面综合考虑。
- 调节阀的可调比 R （也称可调范围）是反映调节阀特性的一个重要参数，也是选择调节阀是否合适的指标之一。全开阀阻比 S_{100} 是表示串联管系中配管状况的一个重要参数，而阀全开流量比 S'_{100} 是表征并联管系配管状况的一个重要参数。
- 目前选定调节阀口径的通用方法是流通能法。