

第六章 阀门中的压力损失

第一节 阀门的流量系数

阀门的流量系数是衡量阀门流通能力的指标,流量系数值越大说明流体流过阀门时的压力损失越小。国外工业发达国家的阀门生产厂家大多把不同压力等级、不同类型和不同公称口径阀门的流量系数值列入产品样本,供设计部门和使用单位选用。流量系数值随阀门的尺寸、形式、结构而变化,不同类型和不同规格的阀门都要分别进行试验,才能确定该种阀门的流量系数值。

1. 流量系数的定义

流量系数表示流体流经阀门产生单位压力损失时流体的流量。由于单位的不同,流量系数有几种不同的代号和量值。

2. 阀门流量系数的计算

1) 一般式

$$C = q_v \sqrt{\rho / \Delta p} \quad (1-1)$$

式中 C ——流量系数;

q_v ——体积流量;

ρ ——流体密度;

Δp ——阀门的压力损失。

2) A_v 值计算式

$$A_v = q_v \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (1-2)$$

式中 A_v ——流量系数(m^3/h);

q_v ——体积流量(m^3/s);

Δp ——阀门的压力损失(Pa);

ρ ——流体密度(kg/m^3)。

3) K_v 值的计算式

$$K_v = q_v \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (1-3)$$

式中 K_v ——流量系数(m^3/h) ;
 q_v ——体积流量(m^3/h) ;
 Δp ——阀门的压力损失(bar) ;
 ρ ——流体密度(kg/m^3)。

4) C_v 值的计算式

$$C_v = q_v \sqrt{\frac{G}{\Delta p}} \quad (1-4)$$

式中 C_v ——流量系数(USgal/min) ;
 q_v ——体积流量(USgal/min) ;
 Δp ——阀门的压力损失($1\text{bf}/\text{in}^2$) ;
 G ——水的相对密度 = 1。

5) 流量系数 A_v 、 K_v 、 C_v 间的关系 :

$$C_v = 1.167K_v \quad (1-5)$$

$$C_v = \frac{10^6}{24}A_v \quad (1-6)$$

$$K_v = \frac{10^6}{28}A_v \quad (1-7)$$

3. 流量系数的典型数据及影响流量系数的因素

公称通径 $DN50\text{mm}$ 的各种型式阀门的典型流量系数见表 1-31。

流量系数值随阀门的尺寸、形式、结构而变。几种典型阀门的流量系数随直径的变化如图 1-9 所示。

表 1-31 $DN50\text{mm}$ 阀门的典型流量系数

型 式		C_v	A_v
截 止 阀		40 ~ 60	$0.96 \times 10^{-3} \sim 1.44 \times 10^{-3}$
角式截止阀		47	1.13×10^{-3}
Y 型阀门	阀杆与管道中心线夹角为 45°	72	1.73×10^{-3}
	阀杆与管道中心线夹角为 60°	65	1.56×10^{-3}
V 形孔旋塞阀		60 ~ 80	$1.44 \times 10^{-3} \sim 1.92 \times 10^{-3}$
蝶阀	蝶板厚度为通道直径的 7%	333	7.99×10^{-3}
	蝶板厚度为通道直径的 35%	154	3.70×10^{-3}
常规闸阀		300 ~ 310	$7.20 \times 10^{-3} \sim 7.44 \times 10^{-3}$
夹 管 阀		360	8.64×10^{-3}
旋启式止回阀		76	1.82×10^{-3}
隐蔽式旋启止回阀		123	2.95×10^{-3}
球阀(缩径)		131	3.14×10^{-3}

型 式	C_v	A_v
球阀(全径)	440	10.5×10^{-3}

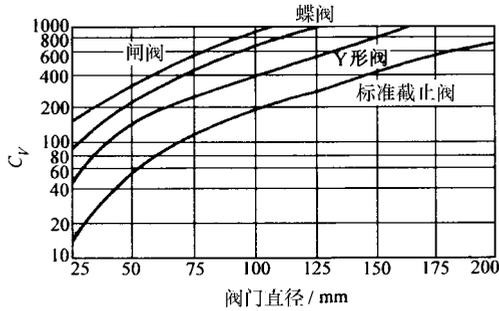


图 1-9 流量系数近似值与阀门直径的关系

对于同样结构的阀门,流体流过阀门的方向不同。流量系数值也有变化。这种变化一般是由于压力恢复不同而造成的。如图 1-10 所示。如果流体流过阀门使阀瓣趋于打开,那么阀瓣和阀体形成的环形扩散通道能使压力有所恢复。当流体流过阀门使阀瓣趋于关闭时,阀座对压力恢复的影响很大。当阀瓣开度为 50% 或更小时,阀瓣下游的扩散角使得在两个流动方向上都会有一些压力恢复。

对于图 1-11 所示的高压角阀,当流体的流动使阀门趋于关闭时流量系数较高,因为此时阀座的扩散锥体使流体的压力恢复。阀门内部的几何形状不同,流量系数的曲线也不同。

阀门内部压力恢复的机理,与文丘里管的收缩和扩散造成的压力损失机理一样。当阀门内部的压降相同时,若阀门内压可以恢复,流量系数值就会较大,流量也就会大些。压力恢复与阀门内腔的几何形状有关,但更主要的是取决于阀瓣、阀座的结构。

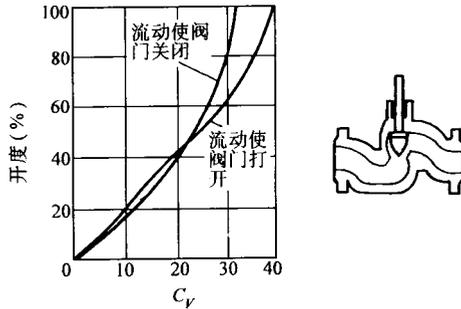


图 1-10 单座截止阀(节流阀)
 C_v 与开度的美系

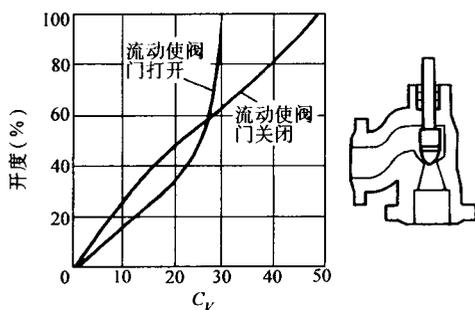


图 1-11 角式截止阀(节流阀)
 C_v 与开度的关系

第二节 阀门的流阻系数

流体通过阀门时,其流体阻力损失以阀门前后的流体压力降 Δp 表示。

对于紊流流态的液体:

$$\Delta p = \zeta \frac{u^2 \rho}{2} \quad (1-8)$$

式中 Δp ——被测阀门的压力损失(MPa);
 ζ ——阀门的流阻系数;
 ρ ——流体密度(kg/mm^3);
 u ——流体在管道内的平均流速(mm/s)。

1. 阀门元件的流体阻力

阀门的流阻系数 ζ 取决于阀门产品的尺寸、结构以及内腔形状等。可以认为,阀门体腔内的每个元件都可以看作为一个产生阻力的元件系统(流体转弯、扩大、缩小、再转弯等)。所以阀门内的压力损失约等于阀门各个元件压力损失的总和,即:

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_i$$

式中 $\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_i$ ——管路中介质流速相同的
阀门元件阻力系数。

应该指出,系统中一个元件阻力的变化会引起整个系统中阻力的变化或重新分配,也就是说介质流对各管段是相互影响的。

为了评定各元件对阀门阻力的影响,现引用一些常见的阀门元件的阻力数据,这些数据反映了阀门元件的形状和尺寸与流体阻力间的关系。

(1)突然扩大 如图 1-12 所示,突然扩大会产生很大的压力损失。这时,流体部分速度消耗在形成涡流、流体的搅动和发热等方面。局部阻力系数与扩大前管路截面积 A_1 和扩大后管路截面积 A_2 之比的近似关系可用式(1-9)及式(1-10)表示,阻力系数见表

1-32。

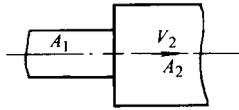


图 1-12 突然扩大

$$\zeta = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \quad (1-9)$$

$$\zeta' = \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \quad (1-10)$$

式中 ζ ——扩大后管路内介质速度下的阻力系数；

ζ' ——扩大前管路内介质速度下的阻力系数。

表 1-32 突然扩大时局部阻力系数 ζ 、 ζ' 值

$\frac{A_2}{A_1}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	—
ζ	81	64	49	36	25	16	9	4	1	—
$\frac{A_1}{A_2}$	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
ζ'	0	0.01	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.49	0.64	0.81

(2) 逐渐扩大 如图 1-13 所示, 当 $\theta < 40^\circ$ 时, 逐渐扩大的圆管的阻力系数比突然扩大时小, 但当 $\theta = 50^\circ \sim 90^\circ$ 时, 阻力系数反而比突然扩大时增大 15% ~ 20%。逐渐扩大的最佳扩张角 θ : 圆形管 $\theta = 5^\circ \sim 6^\circ 30'$; 方形管 $\theta = 7^\circ \sim 8^\circ$; 矩形管 $\theta = 10^\circ \sim 12^\circ$ 局部阻力系数按下式计算:

$$\zeta = \xi \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 + \frac{\lambda_m}{8 \tan \frac{\theta}{2}} \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right] \quad (1-11)$$

式中 ξ ——系数, 见表 1-33;

λ_m ——平均沿程阻力系数,

$$\lambda_m = \frac{1}{2} (\lambda_1 + \lambda_2)$$

λ_1 、 λ_2 ——分别为相应于小管和大管的沿程阻力系数。

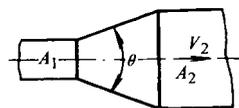


图 1-13 逐渐扩大

表 1-33 ξ 值

$\theta/(^\circ)$	2.5	5	7.5	10	15	20
ξ	0.18	0.13	0.14	0.16	0.27	0.43
$\theta/(^\circ)$	25	30	40	60	90	180
ξ	0.62	0.81	1.03	1.21	1.12	1

(3) 突然缩小 如图 1-14 所示, 突然缩小的局部阻力系数见表 1-34。

ζ 亦可按以下经验公式计算:

$$\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \quad (1-12)$$

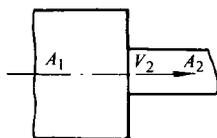


图 1-14 突然缩小

(4) 逐渐缩小 如图 1-15 所示, 逐渐缩小产生的压力损失不大, 局部阻力系数按下式计算:

$$\zeta = \xi \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 + \frac{\lambda_m}{8 \tan \frac{\theta}{2}} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad (1-13)$$

式中 ξ_c ——系数, 见表 1-35;

ε ——系数, 见表 1-36。

ζ 值亦可由图 1-16 直接查得。

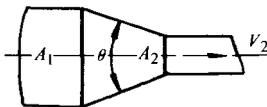


图 1-15 逐渐缩小

表 1-34 突然缩小的局部阻力系数 ζ 值

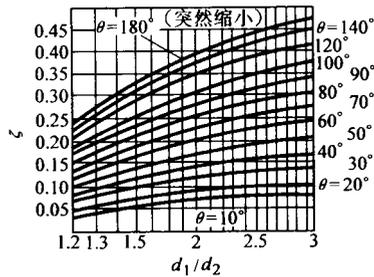
$\frac{A_2}{A_1}$	1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
ζ	0.50	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06	0.02	0

表 1-35 ξ_c 值

$\theta/(\circ)$	10	20	40	60	80	100	140
ξ	0.40	0.25	0.20	0.20	0.30	0.40	0.60

表 1-36 ε 值

$\frac{A_2}{A_1}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ε	0.661	0.612	0.616	0.622	0.633	0.644	0.662	0.687	0.722	0.781

图 1-16 逐渐缩小的局部阻力系数 ζ 值

(5) 平滑均匀转弯 如图 1-17 所示, 当雷诺数 $R_e > 10^5$ 时, 局部阻力系数按下式计算:

$$\zeta = K \zeta_{90^\circ} \quad (1-14)$$

式中 K ——系数, 见表 1-37;

ζ_{90° ——转角为 90° 时的局部阻力系数, 见表 1-38。

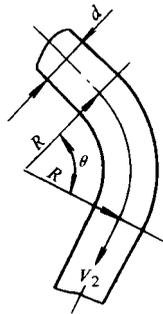


图 1-17 平滑均匀转弯

表 1-37 K 系数值

$\theta/(\circ)$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
K	0.40	0.55	0.65	0.75	0.83	0.88	0.95	1.0	1.05	1.13	1.20	1.27	1.33

表 1-38 ζ^{90° 值

$\frac{R}{d}$		1	2	4	6	10
ζ^{90°	光滑	0.22	0.14	0.11	0.08	0.11
	粗糙	0.52	0.28	0.23	0.18	0.20

(6)折角转弯 如图 1-18 所示,折角转弯主要产生在锻造阀门中,因为锻造阀门的介质通道是用钻孔方法加工的。在焊接阀门中也会产生急剧转弯。局部阻力系数可按下列下式计算:

$$\zeta = (1 - \cos\theta) \zeta_{Z90^\circ} \quad (1-15)$$

式中 ζ_{Z90° ——折转 90° 时的局部阻力系数,见表 1-39。

表 1-39 ζ_{Z90° 值

d/mm	20	25	34	39	49
ζ_{Z90°	1.7	1.3	1.1	1.0	0.83

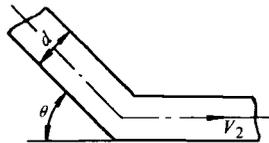


图 1-18 折角转弯

(7)对称的锥形接头 如图 1-19 所示,对称的锥形接头类似阀门缩口通道,其局部阻力系数可按下列下式确定:

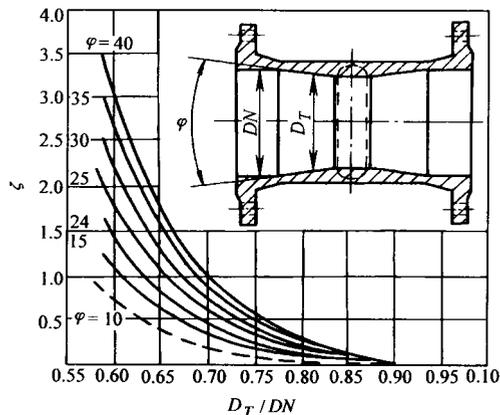


图 1-19 对称接头的局部阻力系数

$$\zeta = 2.54 \tan \frac{\theta}{2} \left(\frac{A}{A_T} \right) \quad (1-16)$$

式中 A ——未缩口的通道面积，

A_T ——按缩口通道直径 D_T 计算的截面积。

2. 阀门的流体阻力

阀门的流阻系数随阀门的种类、型号、尺寸和结构的不同而不同，表 1-40 列出了各类阀门流阻系数的参考值。

表 1-40 各类阀门的流阻系数 ζ

闸 阀		DN/mm	50	80	100	150	200 ~ 250	300 ~ 400	500 ~ 800
		ζ	0.5	0.4	0.2	0.1	0.08	0.07	0.06
截 止 阀	直通式	DN/mm	15	20	40	80	100	150	200
		ζ	10.8	8.0	4.9	4.0	4.1	4.4	4.7
	直角式	DN/mm	25	32	50	65	80	100	150
		ζ	2.8	3.0	3.3	3.7	3.9	3.8	3.7
	直流式	DN/mm	25	40	50	65	80	100	150
		ζ	1.04	0.85	0.73	0.65	0.60	0.50	0.42
止 回 阀	升降式	DN/mm	40	50	80	100	150	200	—
		ζ	12	10	10	7	6	5.2	—
	旋启式	DN/mm	40	100	200	300	500	—	—
		ζ	1.3	1.5	1.9	2.1	2.5	—	—
隔膜阀(堰式)		DN/mm	25	40	50	80	100	150	200
		ζ	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9
旋塞阀		DN/mm	15	20	25	32	40	65	80
		ζ	0.9	0.4	0.5	1.2	1.0	1.1	1.0

注 1. 闸阀的数据适用于平行双闸板结构。

2. 球阀没有缩径时 ζ 值很小，流体阻力损失仅相当于相同通径的管道(管的长度等于其结构长度)，流阻系数一般约为 0.1。

3. 蝶阀的 ζ 主要与蝶板的形状和板的相对厚度有关，对菱形板 $\zeta \approx 0.05 \sim 0.25$ ，对饼形板 $\zeta \approx 0.18 \sim 0.6$ 。

4. 直通式隔膜阀的流阻系数小于堰式隔膜阀，一般约为 0.6 ~ 0.9。

对于缩径闸阀，当 $D_T/DN = 0.6 \sim 0.8$ 、锥角 $\theta = 15^\circ \sim 40^\circ$ 时，其阻力系数按下式确定：

$$\zeta = C \tan \frac{\theta}{2} \left(\frac{A}{A_T} - 1 \right)^2 \quad (1-17)$$

式中 C ——系数， $C = 6 \sim 8$ 。

缩径闸阀的流阻系数亦可参见表 1-41。

表 1-41 缩径闸阀的流阻系数 ζ

阀门通径/mm(in)	DT/DN					
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1
15(1/2)	374	53.6	18.26	7.74	2.204	0.808
20(3/4)	308	34.9	9.91	4.23	0.920	0.280
25(1)	211	40.3	10.15	3.54	0.882	0.233
50(2)	146	22.5	7.15	3.22	0.739	0.175
100(4)	67.2	13.0	4.62	1.93	0.412	0.164
150(6)	87.3	17.1	6.12	2.64	0.522	0.145
200(8)	66.0	13.5	4.92	2.19	0.464	0.103
250(10)	96.2	17.4	5.61	2.29	0.414	0.047

阀门的流阻系数还随阀门的开度变化而变化,表 1-42 及表 1-43 分别给出了蝶阀和旋塞阀在不同开度下的流阻系数值。图 1-20 至图 1-23 分别给出了截止阀、闸阀、蝶阀及隔膜阀的 K_1 值与阀门开度的关系,而阀门的流阻系数 ζ 为 K_1 值与阀门全开启时的流阻系数的乘积。

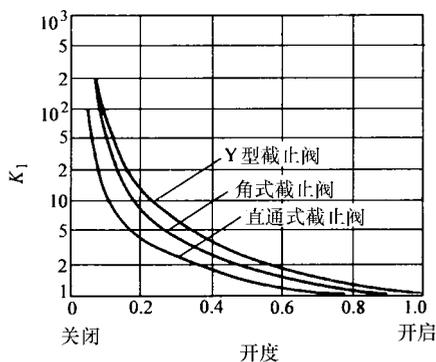
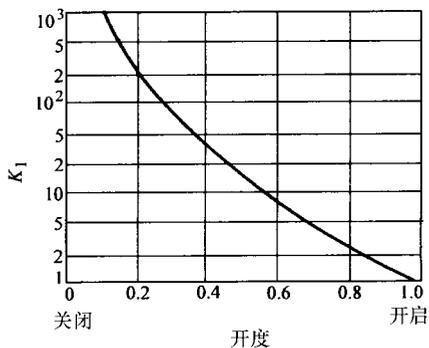
图 1-20 截止阀开度与 K_1 的关系图 1-21 闸阀开度与 K_1 的关系

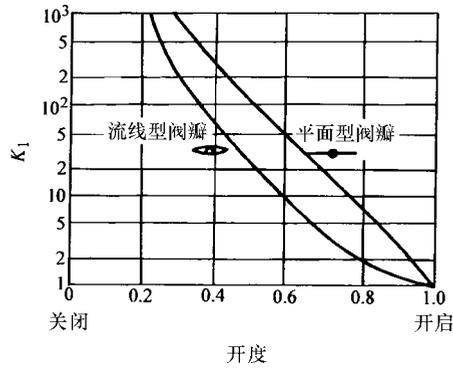
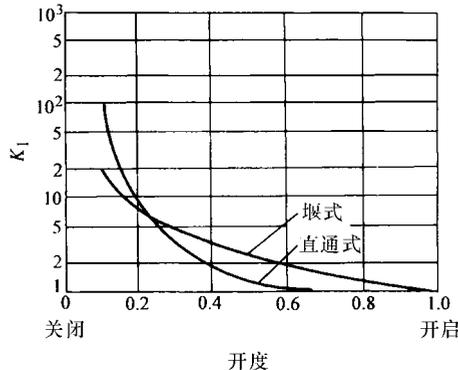
表 1-42 蝶阀在不同开度下的流阻系数

$\theta(^{\circ})$		5	10	20	30	40	50	60	70
ζ	圆管	0.24	0.52	1.54	3.91	10.8	32.6	118	751
	长方形管	0.28	0.45	1.34	3.54	9.27	24.9	77.4	368

表 1-43 旋塞阀在不同开度下的流阻系数

$\theta(^{\circ})$		5	10	20	30	40	50	55	60
ζ	圆管	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	106	206
	长方形管	0.05	0.31	1.84	6.15	20.7	95.3	275	—

阀门对流体的阻力还可用管子的等效长度来表示,在管子的流阻计算公式中,管子的阻力系数 ζ 是沿程阻力系数 λ 与管子等效长度 $\frac{L}{D}$ 的乘积,即。

图 1-22 蝶阀开度与 K_1 的关系图 1-23 隔膜阀开度与 K_1 的关系

$$\zeta = \lambda \frac{L}{D}$$

因此,管子等效长度可表示为:

$$\frac{L}{D} = \frac{\zeta}{\lambda} \quad (1-18)$$

式中 $\frac{L}{D}$ ——管子等效长度;

L ——计算沿程损失的管段长度;

D ——管子水力直径;

λ ——沿程阻力系数。

如果沿程阻力系数可以近似为管路系统的沿程阻力系数,这时由于阀门的等效长度可以叠加到管子的等效长度上,所以用等效长度的方法可以简化管路系统的计算。