

管路限流孔板的设置

HG/T 20570.15—95

编制单位：中国寰球化学工程公司

批准部门：化 学 工 业 部

实施日期：一九九六年九月一日

编制人：

中国寰球化学工程公司 吕文璞

审核人：

中国寰球化学工程公司 汪清裕

化工部工艺系统设计技术中心站 龚人伟

1 应用范围

1.0.1 限流孔板设置在管道中用于限制流体的流量或降低流体的压力。限流孔板应用于以下几个方面：

1.0.1.1 工艺物料需要降压且精度要求不高。

1.0.1.2 在管道中阀门上、下游需要有较大压降时，为减少流体对阀门的冲蚀，当经孔板节流不会产生气相时，可在阀门上游串联孔板。

1.0.1.3 流体需要小流量且连续流通的地方，如泵的冲洗管道、热备用泵的旁路管道（低流量保护管道）、分析取样管等场所。

1.0.1.4 需要降压以减少噪声或磨损的地方，如放空系统。

1.0.2 本规定除注明外，压力均为绝对压力。

2 分类及选型要点

2.0.1 分类

限流孔板按孔板上开孔数分为单孔板和多孔板;按板数可分为单板和多板。

2.0.2 选型要点

2.0.2.1 气体、蒸汽

为了避免使用限流孔板的管路出现噎塞流,限流孔板后压力(P_2)不能小于板前压力(P_1)的 55%,即 $P_2 \geq 0.55P_1$,因此当 $P_2 < 0.55P_1$ 时,不能用单板,要选择多板,其板数要保证每板的板后压力大于板前压力的 55%。

2.0.2.2 液体

(1) 当液体压降小于或等于 2.5MPa 时,选择单板孔板。

(2) 当液体压降大于 2.5MPa 时,选择多板孔板,且使每块孔板的压降小于 2.5MPa。

2.0.3 孔数的确定

2.0.3.1 管道公称直径小于或等于 150mm 的管路,通常采用单孔孔板;大于 150mm 时,采用多孔孔板。

2.0.3.2 多孔孔板的孔径(d_0),一般可选用 12.5mm,20mm,25mm,40mm。

在计算多孔孔板时,首先按单孔孔板求出孔径(d),然后按式(2.0.3)求取选用的多孔孔板的孔数(N)。

$$N = d^2 / d_0^2 \quad (2.0.3)$$

式中

N ——多孔限流孔板的孔数,个;

d ——单孔限流孔板的孔径,m;

d_0 ——多孔限流孔板的孔径,m。

3 计算方法

3.0.1 单板孔板

3.0.1.1 气体、蒸汽

(1) 气体、蒸汽的单板孔板按式(3.0.1-1)计算:

$$W=43.78 \cdot C \cdot d_0^2 \cdot P_1 \sqrt{\left(\frac{M}{ZT}\right) \left(\frac{k}{k-1}\right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]} \quad (3.0.1-1)$$

式中

W ——流体的重量流量, kg/h;

C ——孔板流量系数, 由 Re 和 d_0/D 值查图 6.0.1;

d_0 ——孔板孔径, m;

D ——管道内径, m;

P_1 ——孔板前压力, Pa;

P_2 ——孔板后压力或临界限流压力, 取其大者, Pa;

M ——分子量;

Z ——压缩系数, 根据流体对比压力(P_r)对比温度 T_r 查气体压缩系数图求取;

T ——孔板前流体温度, K;

k ——绝热指数, $k=C_p/C_v$;

C_p ——流体定压热容, kJ/(kg·K);

C_v ——流体定容热容, kJ/(kg·K)。

(2) 临界限流压力(P_c)的推荐值

饱和蒸汽: $P_c=0.58P_1$

过热蒸汽及多原子气体: $P_c=0.55P_1$

空气及双原子气体: $P_c=0.53P_1$

上述三式中 P_1 为孔板前的压力。

3.0.1.2 液体

液体的单板孔板按式(3.0.1-2)计算:

$$Q=128.45 \cdot C \cdot d_0^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}} \quad (3.0.1-2)$$

式中

Q ——工作状态下体积流量, m^3/h ;

C ——孔板流量系数, 由 Re 值和 d_0/D 查图 6.0.1 求取;

d_0 ——孔板孔径, m ;

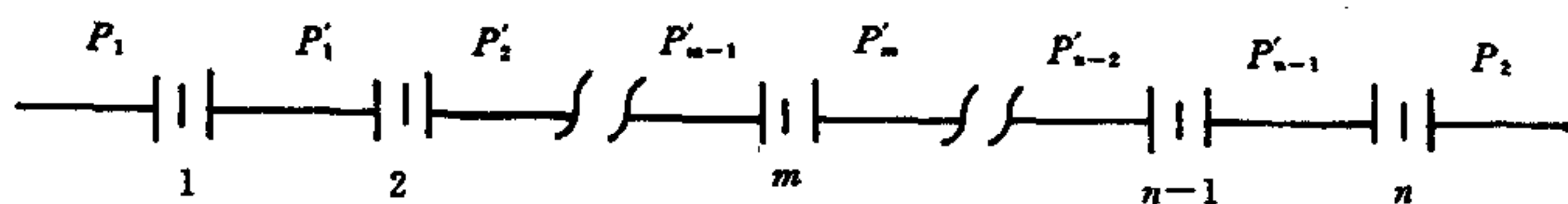
ΔP ——通过孔板的压降, Pa ;

γ ——工作状态下的相对密度, (与 4°C 水的密度相比)。

3.0.2 多板孔板

3.0.2.1 气体、蒸汽

(1) 先计算出孔板总数及每块孔板前后的压力(见下图)



以过热蒸汽为例:

$$P'_1 = 0.55P_1$$

$$P'_2 = 0.55P'_1$$

.....

$$P_2 = 0.55P'_{n-1}$$

$$P_2 = (0.55)^n P_1$$

$$n = \lg(P_2/P_1) / \lg 0.55$$

$$= -3.85 \lg(P_2/P_1)$$

(3.0.2-1)

n 圆整为整数后重新分配各板前后压力, 按式(3.0.2-2)求取某一板的板后压力:

$$P'_m = (P_2/P_1)^{1/n} \cdot P'_{m-1}$$

(3.0.2-2)

式中

n ——总板数;

P_1 ——多板孔板第一块板板前压力, Pa ;

P_2 ——多板孔板最后一块板板后压力, Pa ;

P'_m ——多板孔板中第 m 块板板后压力, Pa ;

(2) 根据每块孔板前后压力, 计算出每块孔板孔径, 计算方法同单板孔板。同样 n 圆整为整数后, 重新分配各板前后压力。

3.0.2.2 液体

(1) 先计算孔板总数(n)及每块孔板前后的压力

按式(3.0.2-3)计算出 n , 然后圆整为整数, 再按每块孔板上压降相等, 以整数 (n) 来平均分配每板前后压力:

$$n = \frac{P_1 - P_2}{2.5 \times 10^6} \quad (3.0.2-3)$$

式中 n 、 P_1 、 P_2 定义同前。

(2) 计算每块孔板孔径, 计算方法同单板孔板计算法。

3.0.3 气-液两相流

先分别按气-液流量用各自公式计算出 d_L 和 d_v , 然后以下式求出两相流孔板孔径:

$$d = \sqrt{d_L^2 + d_v^2} \quad (3.0.3)$$

式中

d ——两相流孔板孔径, m;

d_L ——液相孔板孔径, m;

d_v ——气相孔板孔径, m。

3.0.4 限流作用的孔板计算

按式(3.0.1-1)或式(3.0.1-2)或式(3.0.3)计算孔板的孔径(d_0), 然后根据 d_0/D 值和 k 值由表 6.0.2 查临界流率压力比(γ_c), 当每块孔板前后压力比 $P_2/P_1 \leq \gamma_c$ 时, 可使流体流量限制在一定数值, 说明计算出的 d_0 有效, 否则需改变压降或调整管道的管径, 再重新计算, 直到满足要求为止。

4 计算实例

4.0.1 有一股尾气经孔板降压后去燃料气管网,气体组成如下:

组成	CH_4	H_2	N_2	Ar	NH_3
V%	6.09	63.38	29.08	1.43	0.02

气体流率 3466kg/h,气体绝对压力 10.3MPa,温度为 57℃,降压前气体粘度为 $1.305 \times 10^{-5} \text{mPa} \cdot \text{s}$,降压后气体绝对压力为 2.0MPa,降压前管子内径 $D = 38.1 \text{mm}$,计算限流孔板尺寸。

解:按式(3.0.2-1)计算所需孔板数

$$\begin{aligned} \text{总板数 } n &= -3.85 \lg(P_2/P_1) \\ &= -3.85 \lg(2.0/10.3) \\ &= 2.74 \end{aligned}$$

取 $n=3$

再按式(3.0.2-2)计算:

$$\begin{aligned} P'_m &= (P_2/P_1)^{1/3} P'_{m-1} \\ P'_1 &= (2.0/10.3)^{1/3} 10.3 = 5.96 \text{MPa} \\ P'_2 &= (2.0/10.3)^{1/3} 5.96 = 3.45 \text{MPa} \\ P_2 &= (2.0/10.3)^{1/3} 3.45 = 2.00 \text{MPa} \end{aligned}$$

按式(3.0.1-1)计算第一块孔板:

孔径

$$d_0^2 = \frac{W}{43.78 \cdot C \cdot P_1 \sqrt{\left(\frac{M}{ZT}\right) \left(\frac{k}{k-1}\right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}}$$

已知: $P = 10.3 \times 10^6 \text{Pa}$

$W = 3466 \text{kg/h}$

$M = 11.0$

$T = 330 \text{K}$

计算 Z 和 k 值

组成	CH_4	H_2	N_2	Ar	NH_3
$T_c(K)$	190.7	33.3	126.2	151	405.6
$P_c(MPa)$	4.64	1.30	3.39	4.86	11.40
k	1.33	1.4	1.41	1.67	1.34

混合气体: $T_c=71.66K$, $P_c=2.16MPa$

取混合气体: $k=1.4$

对比温度: $T_r=330/71.66=4.6$

对比压力: $P_r=10.3/2.16=4.77$

根据 P_r 、 T_r 查气体压缩系数图得 $Z=1.08$

质量流速: $G=3466/(3600 \times 0.785 \times 0.0381^2)=844.9 kg/m^2 \cdot s$

粘度: $\mu=1.305 \times 10^{-5} mPa \cdot s$, $D=0.0381m$

$$Re = \frac{DG}{\mu} = \frac{0.0381 \times 844.9}{1.305 \times 10^{-5}} \\ = 2.5 \times 10^6$$

$$d_0^2 = 3466/43.78 \times C \times 10.3 \times 10^6 \sqrt{\left(\frac{11}{1.08 \times 330}\right) \left(\frac{1.4}{0.4}\right) \left[\left(\frac{5.96}{10.3}\right)^{\frac{2}{1.4}} - \left(\frac{5.96}{10.3}\right)^{\frac{2.4}{1.4}}\right]}$$

$$d_0^2 = 9.256 \times 10^{-5} / C$$

设 $C=0.60$, 求得 $d_0=12.4mm$

取 $d_0=12.5mm$, $d_0/D=12.5/38.1=0.328$

由图 6.0.1 查得 $C=0.601 \approx 0.60$, 这说明求得的 $d_0=12.5mm$ 有效。

第二块板:

对比压力 $P_r=5.96/2.16=2.76$

假定 T_r 不变, 根据 P_r 、 T_r 查气体压缩系数图, 查得 $Z=1.04$; $k=1.4$

为简化计算, 假定气体粘度不变, 则 $Re=2.5 \times 10^6$

将有关数据代入求取 d_0^2 的公式中得到

$$d_0^2 = 3466/43.78 \times C \times 5.96 \times 10^6 \sqrt{\left(\frac{11}{1.04 \times 330}\right) \left(\frac{1.4}{0.4}\right) \left[\left(\frac{3.45}{5.96}\right)^{\frac{2}{1.4}} - \left(\frac{3.45}{5.96}\right)^{\frac{2.4}{1.4}}\right]}$$

$$d_0^2 = 1.557 \times 10^{-4} / C$$

设 $C=0.61$, 得 $d_0=0.01598m$, 取 $d_0=16mm$, $d_0/D=0.42$

查图 6.0.1: $Re=2.5 \times 10^6$

$$d_0/D=0.42$$

得 $C=0.61$, 这说明取 $d_0=16mm$ 有效。

第三块板:

对比压力 $P_r = 3.45/2.16 = 1.597$

假设 T_r 不变, 根据 P_r 、 T_r 查气体压缩系数图, 得气体压缩系数 $Z = 1.0$; 取 $k = 1.4$ 。

假定气体粘度不变, 则 $Re = 2.5 \times 10^6$

$$d_0^2 = 3466/43.78 \times C \times 3.45 \times 10^6 \sqrt{\left(\frac{11}{1 \times 330}\right) \left(\frac{1.4}{0.4}\right) \left[\left(\frac{2.0}{3.45}\right)^{\frac{2}{1.4}} - \left(\frac{2.0}{3.45}\right)^{\frac{2.4}{1.4}}\right]}$$

求得 $d_0 = 2.61 \times 10^{-4}/C$

设 $C = 0.63$, $d_0 = 0.02035\text{m}$

取 $d_0 = 20\text{mm}$, $d_0/D = 0.525$

查图 6.0.1: $Re = 2.5 \times 10^6$, $d_0/D = 0.525$

得 $C = 0.63$, 这说明取 $d_0 = 20\text{mm}$ 有效。

4.0.2 已知某脱碳溶液, 流量为 $1150\text{m}^3/\text{h}$, 采用限流孔板降压, 降压前绝对压力为 $P_1 = 2.06\text{MPa}$, 降压后绝对压力为 $P_2 = 0.74\text{MPa}$, 管道内径为 $D = 509\text{mm}$, 溶液温度 $t = 110^\circ\text{C}$, 粘度为 $0.56 \times 10^{-3}\text{mPa} \cdot \text{s}$, 相对密度 $\gamma = 1.24$, 求此限流孔板孔径:

解: $\Delta P = 2.06 - 0.74 = 1.32\text{MPa} < 2.5\text{MPa}$

因此选用单板限流孔板。

溶液质量流速 $G(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为:

$$G = \frac{1150 \times 1240}{3600 \times 0.785 \times 0.509^2} = 1947.7\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

$$Re = \frac{0.509 \times 1947.7}{0.56 \times 10^{-3}} = 1.77 \times 10^6$$

采用式(3.0.1-2):

$$Q = 128.45 \times C \times d_0^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}}$$

$$1150 = 128.45 \times C \times d_0^2 \sqrt{\frac{1.32 \times 10^6}{1.24}}$$

$$d_0^2 = 8.68 \times 10^{-3}/C$$

设 $C = 0.595$ 则 $d_0 = 0.12\text{m}$ $d_0/D = 0.12/0.509 = 0.2358$

由图 6.0.1 查得 $C = 0.595$, C 值选取合适, 这说明 $d_0 = 0.12\text{m}$ 有效(单孔、单板)。

若选用多孔孔板, 取孔径为 0.02m , 则总孔数为: $N = (0.12)^2 / (0.02)^2 = 36$ 个。

5 计算表和限流孔板汇总表

5.0.1 限流孔板计算表

限流孔板计算表见表 5.0.1。

5.0.2 限流孔板汇总表

限流孔板汇总表的用途和表格格式见行业标准《工艺系统专业提交文件内容的规定》(HG 20558.2—93)中规定的“限流孔板汇总表编制说明”。

限流孔板计算表

表 5.0.1

工程_____		限流孔板计算表					工 程 号_____								
装置_____							第 页 共 页								
车间或工段(区)_____															
限流孔板位号						PI 图图号									
						液 体		气 体							
管道编号															
管道类别:表号或外径×壁厚															
介质															
流量 液体 (Q) m³/h															
气体 (W) kg/h															
孔板流量系数 (C)															
液体密度 (ρ) kg/m³															
分子量 (M)															
压缩系数 (Z)															
孔板前温度 (T) K															
绝热指数 (k)															
粘度 (μ) mPa·s															
板数															
						第一块板	第二块板	第三块板	第四块板	第五块板	第一块板	第二块板	第三块板	第四块板	第五块板
孔板允许压差 (ΔP) kPa															
孔板前绝压 (P ₁) kPa															
孔板后绝压 (P ₂) kPa															
开孔数															
计算孔径 mm															
选用孔径 mm															
管路示意图															
版次或修改	版 次														
	日 期														
	编 制														
	校 核														
	审 核														

6 附图和附表

6.0.1 限流孔板的流量系数

限流孔板的流量系数(C)与 Re 、 d_0/D 关系见图 6.0.1 所示。

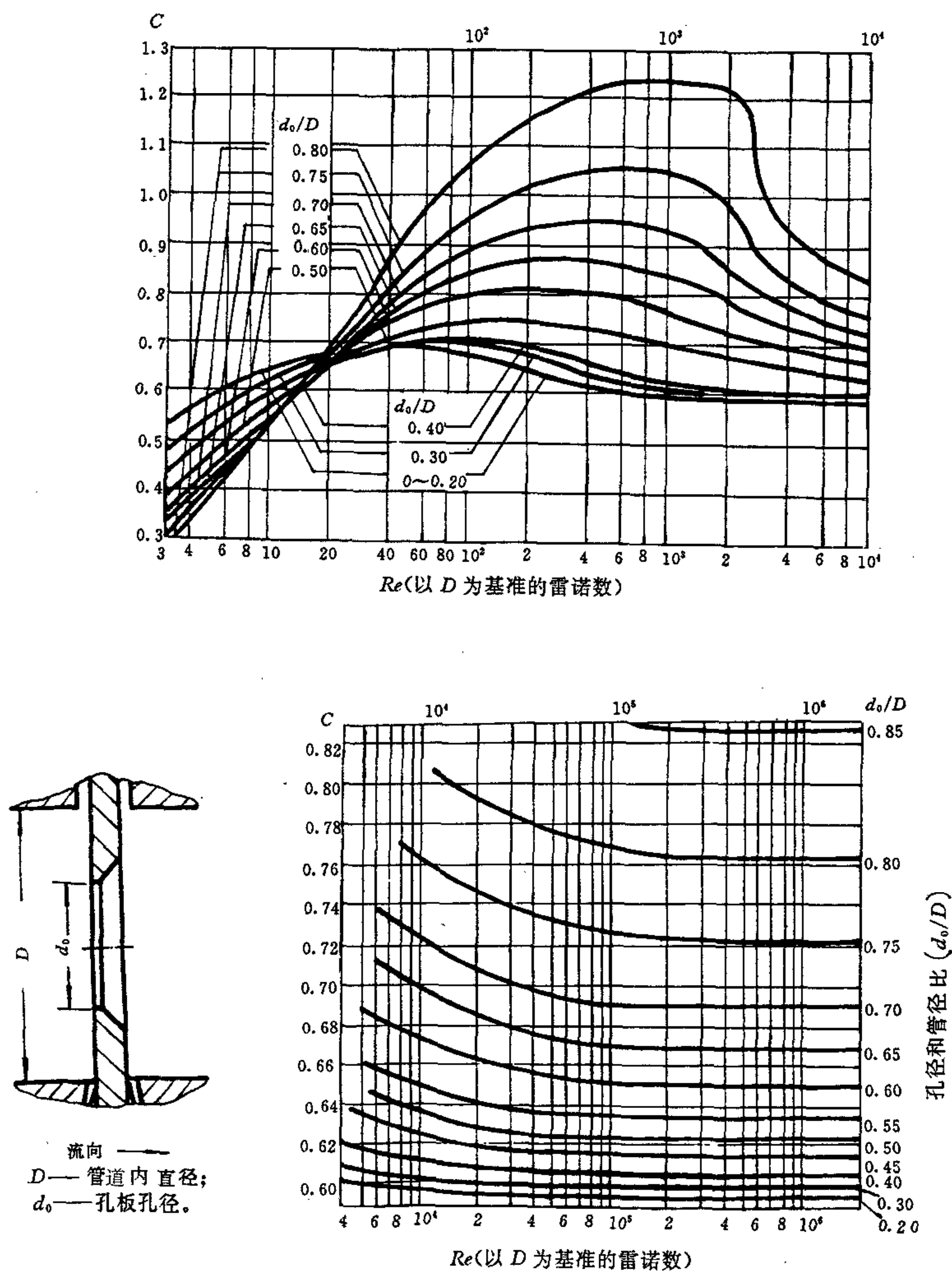


图 6.0.1 限流孔板 $C-Re-d_0/D$ 关系图

6.0.2 临界流率压力比(γ_c)

临界流率压力比(γ_c)与流体绝热指数(k)及孔板孔径(d_0)和管道内直径(D)的关系见表 6.0.2。

γ_c-k-d_0/D 关系表^{注①}

表 6.0.2

$\begin{array}{c} k \\ d_0/D \quad \gamma_c \end{array}$		$k = \frac{C_p}{C_v}$									
		1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
0.05		0.5954	0.5847	0.5744	0.5645	0.5549	0.5457	0.5369	0.5283	0.5200	0.5120
0.10		0.5954	0.5847	0.5744	0.5645	0.5549	0.5457	0.5369	0.5283	0.5200	0.5120
0.15		0.5954	0.5847	0.5744	0.5645	0.5550	0.5458	0.5369	0.5283	0.5201	0.5121
0.20		0.5956	0.5849	0.5746	0.5647	0.5551	0.5459	0.5370	0.5285	0.5202	0.5122
0.25		0.5958	0.5851	0.5748	0.5649	0.5554	0.5462	0.5373	0.5288	0.5205	0.5125
0.30		0.5963	0.5856	0.5753	0.5654	0.5559	0.5467	0.5378	0.5293	0.5210	0.5130
0.35		0.5971	0.5864	0.5762	0.5663	0.5567	0.5476	0.5387	0.5302	0.5219	0.5139
0.40		0.5983	0.5877	0.5774	0.5676	0.5580	0.5489	0.5400	0.5315	0.5232	0.5153
0.45		0.6001	0.5895	0.5793	0.5694	0.5600	0.5508	0.5420	0.5335	0.5252	0.5173
0.50		0.6027	0.5921	0.5819	0.5721	0.5627	0.5536	0.5448	0.5363	0.5281	0.5201
0.55		0.6062	0.5957	0.5856	0.5758	0.5664	0.5574	0.5486	0.5401	0.5320	0.5241
0.60		0.6111	0.6006	0.5906	0.5809	0.5715	0.5625	0.5538	0.5454	0.5373	0.5294
0.65		0.6175	0.6072	0.5973	0.5877	0.5784	0.5695	0.5609	0.5525	0.5445	0.5367
0.70		0.6262	0.6160	0.6062	0.5968	0.5877	0.5788	0.5703	0.5621	0.5541	0.5464

$\begin{array}{c} k \\ d_0/D \quad \gamma_c \end{array}$		$k = \frac{C_p}{C_v}$									
		1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
0.05		0.5043	0.4968	0.4895	0.4825	0.4757	0.4690	0.4626	0.4564	0.4503	0.4444
0.10		0.5043	0.4968	0.4895	0.4825	0.4757	0.4691	0.4626	0.4564	0.4503	0.4445
0.15		0.5043	0.4968	0.4896	0.4825	0.4757	0.4691	0.4627	0.4565	0.4504	0.4445
0.20		0.5045	0.4970	0.4897	0.4827	0.4759	0.4693	0.4628	0.4566	0.4505	0.4447
0.25		0.5048	0.4973	0.4900	0.4830	0.4762	0.4696	0.4631	0.4569	0.4508	0.4450
0.30		0.5053	0.4978	0.4906	0.4835	0.4767	0.4701	0.4637	0.4575	0.4514	0.4455
0.35		0.5062	0.4987	0.4914	0.4844	0.4776	0.4710	0.4646	0.4584	0.4523	0.4464
0.40		0.5075	0.5001	0.4928	0.4858	0.4790	0.4724	0.4660	0.4598	0.4537	0.4479
0.45		0.5096	0.5021	0.4949	0.4879	0.4811	0.4745	0.4681	0.4619	0.4558	0.4500
0.50		0.5124	0.5050	0.4978	0.4908	0.4840	0.4774	0.4711	0.4648	0.4588	0.4530
0.55		0.5164	0.5090	0.5018	0.4948	0.4881	0.4815	0.4752	0.4690	0.4630	0.4571
0.60		0.5218	0.5144	0.5073	0.5004	0.4936	0.4871	0.4808	0.4746	0.4686	0.4628
0.65		0.5291	0.5218	0.5147	0.5078	0.5011	0.4946	0.4883	0.4822	0.4762	0.4704
0.70		0.5389	0.5317	0.5247	0.5178	0.5112	0.5048	0.4985	0.4924	0.4865	0.4807

注①: $P_2/P_1 \leq 0.63$ 管道大小不限, 见 3.0.4 规定。

$0.2 \leq d_0/D \leq 0.7$ 管道流体雷诺数不限。

P_2 ——孔板前压力, Pa; P_1 ——孔板后压力, Pa; d_0 ——孔板孔径, m; D ——管道内径, m。