

法兰取压节流装置计算手册

燃化部第一石油化工建设公司设计研究所编

兰化设计院石油化工自控设计建设组

毛 主 席 语 录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

前 言

法兰取压节流装置在燃化系统的一些工厂中已被广泛采用，经几年实践证明，完全能够满足工业生产计量及调节要求。由于它具有计算简单、安装制造方便等特点，深受使用单位的欢迎。在兰化公司化工设计院石油化工自控设计建设组组织编制燃化部“石油化工自控安装图册”时，把法兰取压与角接取压的安装制造图同时编入图册，作为推广。为了使法兰取压测流量的方法更好地推广使用，受石油化工自控设计建设组的委托，我们把法兰取压的计算进行了编译和整理，供使用参考。

手册的一部分是从国外资料翻译整理的。为了计算方便，手册还收集了有关石油化工自控设计常用的数据及图表。

手册分设计计算和使用计算两部分。主要供从事石油、化工自动化设计和有关专业人员使用。

由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高、实践不多、业务水平有限，本手册一定还存在不少缺点和错误，热忱希望读者及时提出批评指正。

编 者

18008

目 录

一、概述	(1)
二、计算公式	(1)
三、设计计算的步骤及方法	(2)
附：关于使用计算的说明	(5)
四、计算举例	
1.液体用同心锐孔板设计计算举例	(6)
2.气体用同心锐孔板设计计算举例	(7)
3.液体用偏心锐孔板设计计算举例	(7)
4.气体用文丘里管设计计算举例	(8)
5.气体用同心锐孔板使用计算举例(对照举例2)	(9)

图表:

表 1 饱和水蒸汽压 P_s 及饱和湿气体中的水份含量	(10)
表 2 各种介质的临界温度 T_c 及临界压力 P_c	(10)
表 3 气体的多变指数 K	(11)
表 4 饱和水蒸汽及过热水蒸汽的重度	(11)
表 5 标准状态下干气体的重度 γ_0 及对空气的比重	(16)
表 6 水的重度(公斤/米 ³)与温度和压力的关系	(17)
表 7 混合气体各组分的重度	(18)
表 8 气体的动力粘度 η (微泊)	(20)
表 9 水的动力粘度 η 及运动粘度 ν	(21)
表10 水及过热水蒸汽的动力粘度 η (微泊)	(21)
表11 动力粘度 η 单位换算表	(22)
表12 运动粘度 ν 单位换算表	(22)
表13-1 Dg50同心锐孔板流量系数 I	(23)
表13-2 Dg80同心锐孔板流量系数 I	(26)
表13-3 Dg100同心锐孔板流量系数 I	(29)
表13-4 Dg150同心锐孔板流量系数 I	(32)
表13-5 Dg200同心锐孔板流量系数 I	(35)
表13-6 Dg250同心锐孔板流量系数 I	(38)
表13-7 Dg350同心锐孔板流量系数 I	(41)
表14-1 Dg100偏心锐孔板流量系数 I	(44)
表14-2 Dg150-350偏心锐孔板流量系数 I	(46)
表15 文丘里管流量系数 I	(48)
图1-1 Dg50同心锐孔板雷诺数校正系数 Fr	(50)
图1-2 Dg80同心锐孔板雷诺数校正系数 Fr	(50)

图1-3	Dg100同心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(52)
图1-4	Dg150同心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(53)
图1-5	Dg200同心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(54)
图1-6	Dg250同心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(55)
图1-7	Dg350同心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(56)
图2-1	Dg100偏心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(57)
图2-2	Dg150-350偏心锐孔板雷诺数校正系数Fr	(58)
图3	Dg50及大于Dg50文丘里管雷诺数校正系数Fr	(59)
图4	一次元件面积膨胀校正系数Fa	(60)
图5-1	K = 1.3同心锐孔板膨胀系数Y	(61)
图5-2	K = 1.4同心锐孔板膨胀系数Y	(62)
图6	偏心锐孔板膨胀系数Y	(63)
图7-1	K = 1.3文丘里管膨胀系数Y	(64)
图7-2	K = 1.4文丘里管膨胀系数Y	(65)
图8-1	对比压力Pr0~6气体的压缩系数Z	(66)
图8-2	对比压力Pr0~40气体的压缩系数Z	(67)
图9	各种一次元件的永久压力损失	(68)
图10-1、图10-2	锐孔板、流量喷嘴和文丘里管所需要的直管段长度	(69)
图11	石油比重图	(71)
图12	烷烃比重图	(72)
图13	油品粘度图(低粘度)	(73)
图14	油品粘度图(高粘度)	(74)
附：法兰取压节流装置设计计算表		

一、概 述

本手册适用于法兰取压同心锐孔板、偏心锐孔板及文丘里管差压流量计的计算。计算公式根据流体力学的伯努利方程演推而来。主要数据摘自《Flowmeter Computation Handbook》(ASME1961年)

差压流量计计算根据不同需要分为设计计算和使用计算两种情况。

设计计算的内容如下:

已知条件: 工艺给定的操作温度、操作压力、重度、粘度、管径、流量等。

选择项目: (1) 仪表刻度值

(2) 仪表差压值

计算项目: 确定相应的锐孔板或文丘里管的孔径。

使用计算的内容如下:

已知条件: 现场实际生产过程的操作温度、操作压力、重度、管径、孔径、仪表实际指示值、仪表差压值等。

计算、校正项目: (1) 一般情况下, 计算仪表刻度在生产过程中所对应的实际流量值, 并得出实际流量刻度值与设计值相比较的校正系数。

(2) 在仪表指示超程或过低时, 则需根据实际流量值和既定的孔板直径重新选择仪表差压值, 并按此进行现场调整。使得校正后相应的新的仪表刻度值符合实际流量的计量要求。

二、计 算 公 式

用于液体、蒸气:

$$W = \frac{1}{28690} \cdot Fr \cdot Fa \cdot Y \cdot I \cdot D^2 \cdot \sqrt{h \cdot \gamma} \quad (\text{式 1})$$

用于气体:

$$Q = \frac{1}{28690} \cdot Fr \cdot Fa \cdot Y \cdot I \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{h}{\gamma}} \quad (\text{式 2})$$

式中:

W - 操作状态下介质的重量流量, 公斤/小时。

Q - 操作状态下介质的体积流量, 米³/小时。

γ - 操作状态下介质的重度, 公斤/米³

h - 差压、毫米水柱

D - 管道内径、毫米

Fr - 雷诺数校正系数

Fa - 面积膨胀校正系数

Y - 膨胀系数

I - 流量系数

三、设计计算的步骤及方法

1. 选择仪表刻度值和差压值

(1) 仪表的流量刻度值根据工艺给定的正常流量值来选择。一般要求正常流量为仪表最大刻度值的70%左右, 即选择流量刻度值 $= \frac{10}{7} \times \text{正常流量}$, 但是还要考虑到刻度值的上限应大于工艺操作的最大流量。由于流量与差压成方根关系, 而在差压低限时, 方根刻度过于密集, 视差较大, 所以流量计的有效测量范围应以刻度值的30~100%为宜, 如果工艺条件中流量的范围过宽, 使得当小流量值对应着刻度的30%时, 最大流量值超出了刻度上限, 这种情况下, 建议分段选用不同差压的二台仪表或安装二块不同的孔板。

(2) 选择仪表的差压值时, 要考虑两个主要因素: 一是永久压力损失(图9); 一是经过计算后能得到合适的 β 值, 当然也要考虑仪表的选型和照顾操作维护的方便。一般可按下述范围来选择。

低压气体: 100~400毫米水柱, 推荐160毫米水柱

液体: 160~250毫米汞柱(相当于2176~3400毫米水柱) 推荐160毫米汞柱。

中、高压气体: 400~630毫米汞柱(相当于5440~8568毫米水柱), 推荐400毫米汞柱。

关于差压的单位, 一般来说微差压、低差压可取毫米水柱, 中差压、高差压则按毫米汞柱取成一个整数值, 以便于现场校表。但在代入公式进行计算时, 要注意把差压值的单位都化为毫米水柱。

2. 数据换算

对于气体介质的计算, 必须由工艺给定的标准状态下的数据换算为操作状态下的数据。

(1) 体积流量换算:

$$\text{干气体换算: } Q = Q_0 \frac{TP_0 Z}{T_0 P} \quad (\text{式 3})$$

$$\text{湿气体换算: } Q = Q_0 \frac{TP_0 Z}{T_0 (P - \varphi P_b)} \quad (\text{式 4})$$

式中:

Q_0 - 标准状态下干气体介质体积流量

Q - 操作状态下介质体积流量

P_0 - 标准压力(绝对) $P_0 = 10333$ 毫米水柱

P - 操作压力(绝对), 毫米水柱

T_0 - 标准温度 $T_0 = 273^\circ\text{K}$

T - 操作温度 $T = (T_0 + t)^\circ\text{K}$, t - 操作温度 $^\circ\text{C}$

φ - 相对湿度(以小数表示), 根据工艺条件

P_b - 操作温度下的饱和蒸汽压, 毫米水柱。根据表1

Z - 压缩系数(高压气体计算时用), 根据对比温度 Tr 及对比压力 Pr 由图8-1, 8-2查得。

Tr 及 Pr 的确定方法如下:

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (\text{式 } 5)$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad (\text{式 } 6)$$

式中:

T_c - 临界温度, 根据表 2

P_c - 临界压力, 根据表 2

对于混合气体的 T_c 及 P_c 用下式平均法计算:

$$T_c = N_1 T_{c1} + N_2 T_{c2} + \dots + N_n T_{cn} \quad (\text{式 } 7)$$

$$P_c = N_1 P_{c1} + N_2 P_{c2} + \dots + N_n P_{cn} \quad (\text{式 } 8)$$

式中:

$N_1, N_2, \dots, N_n$ 为混合气体中每一组分的体积浓度 (以小数表示)

$T_{c1}, T_{c2}, \dots, T_{cn}$ 为混合气体中每一组分的临界温度, 根据表 2。

$P_{c1}, P_{c2}, \dots, P_{cn}$ 为混合气体中每一组分的临界压力, 根据表 2。

<例> 求混合气体的压缩系数 Z

已知: 混合气体组成 (体积 %): H_2 71%; N_2 23%; CO 4%; CO_2 2%, 操作温度 $t = 50^\circ C$; 操作压力 $P = 650$ 公斤/厘米² (绝对) 求压缩系数 Z 。

由表 2 查得各组分的 T_c 及 P_c 值。

T_c 值: H_2 33.1; N_2 126; CO 132.8; CO_2 304.2;

P_c 值: H_2 12.8; N_2 33.5; CO 34.53; CO_2 72.9;

混合气之 $T_c = 0.71 \times 33.1 + 0.23 \times 126 + 0.04 \times 132.8$
 $+ 0.02 \times 304.2 = 63.89 (^{\circ}K)$

混合气之 $P_c = 0.71 \times 12.8 + 0.23 \times 33.5 + 0.04 \times 34.53$
 $+ 0.02 \times 72.9 = 19.63$ (公斤/厘米²)

混合气之 $T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{273 + 50}{63.89} = 5.05$

混合气之 $P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{650}{19.63} = 33.1$

由图 8-2 查得压缩系数 $Z = 1.61$

(2) 重度换算:

$$\text{干气体换算: } \gamma = \gamma_0 \cdot \frac{T_0 P}{T P_0 Z} \quad (\text{式 } 9)$$

$$\text{湿气体换算: } \gamma = \gamma_0 \cdot \frac{T_0 (P - \varphi P_b)}{T P_0 Z} + \varphi \gamma_b \quad (\text{式 } 10)$$

式中:

γ_0 - 标准状态下干气体的重度, 公斤/标米³, 由工艺给定或根据表 5

γ - 操作状态下介质重度, 公斤/米³

γ_b - 操作温度下饱和水蒸汽的重度, 即操作温度下单位体积湿气体中的水份含量, 公斤/米³, 根据表 1

对于混合气体的 γ_0 用下式平均法计算:

$$\gamma_0 = N_1 \gamma_{01} + N_2 \gamma_{02} + \dots + N_n \gamma_{0n} \quad (\text{式 } 11)$$

式中:

$N_1, N_2, \dots, N_n$ 为混合气体中每一组分的体积浓度 (以小数表示)

$\gamma_{o1}, \gamma_{o2}, \dots, \gamma_{on}$ 为混合气体中每一组分在标准状态下的重度根据表 5

混合气体之 γ_o 也可按气体成份从表 7 中查出各组分相应重度相加求得。

〈例〉 求混合气体操作状态下的重度 γ

已知: 混合气体组成(体积%) H_2 75%; N_2 25%; 操作温度 $t = 30^\circ C$; 操作压力 $P = 400$ 毫米水柱 (表压); 相对湿度 70%, 求混合气体在操作状态下的重度 γ

由表 5 查得各组分的 γ_o 值: H_2 0.08985; N_2 1.2507

混合气体之 $\gamma_o = 0.75 \times 0.08985 + 0.25 \times 1.2507 = 0.38$ (公斤/标米³)

或按表 7 进行计算: $\gamma_o = 0.0674 + 0.3127 = 0.3801$ (公斤/标米³)

在操作温度 $30^\circ C$ 时的饱和蒸汽压 $P_b = 432.5$ 毫米水柱 (表 1)

在操作温度 $30^\circ C$ 时的饱和水蒸汽重度 $\gamma_b = 0.0303$ 公斤/米³ (表 1)

$$\gamma = \gamma_o \frac{T_o(P - \varphi P_b)}{TP_o} + \varphi \gamma_b = 0.38 \times \frac{273 \times (10333 + 400 - 0.7 \times 432.5)}{(273 + 50) \times 10333} + 0.7 \times 0.0303 = 0.347 \text{ (公斤/米}^3\text{)}$$

3. 简化计算

根据简化公式计算流量系数 I 的简算值, 由此查出直径比 β 的简算值。(同心锐孔板见表 13-1~13-7; 偏心锐孔板见表 14-1~14-2; 文丘里管见表 15)

根据式 1、式 2 先不考虑校正系数即可得到计算流量系数 I 的简化公式:

$$\text{液体、蒸汽: } I_{\text{简}} = \frac{28690 W}{D^2 \sqrt{h \cdot \gamma}} \quad (\text{式12})$$

$$\text{气 体: } I_{\text{简}} = \frac{28690 Q}{D^2} \sqrt{\frac{\gamma}{h}} \quad (\text{式13})$$

由 I 的简算值查得的 β 值不应小于 0.2, 也不应大于下述范围:

一般推荐: 液体 0.65 气体 0.6

扩大范围也可: 液体 0.75 气体 0.7

考虑管垢和其它外来物质堵塞, 除最干净的介质之外, 在所有情况下, 锐孔直径 d 不得小于 13 毫米。

如果 β 值不符合上述要求, 则应重新选择仪表差压值 h , 或者建议修改工艺设计中的管道直径 D , 再行计算, 直到得出合适的 β 值为止。

4. 精确计算

计算流量系数 I 的精确值, 由此再查表得到 β 的最后值, 从而确定孔径 d

$$I = I_{\text{简}} / Fr \cdot Fa \cdot Y \quad (\text{式14})$$

式中:

Fr - 雷诺数校正系数。根据 β 的简算值及雷诺数 Re 由图查得 (同心锐孔板见图 1-1~1-7; 偏心锐孔板见图 2-1~2-2; 文丘里管见图 3)

雷诺数按下列公式之一计算:

$$Re = 354 \times 10^{-4} \times \frac{W_{\text{nor}}}{D \eta} \quad (\text{式15})$$

$$Re = 354 \times 10^{-3} \times \frac{Q_{nor}}{Dv} \quad (式16)$$

式中:

η - 操作状态下介质的动力粘度, 微泊。

v - 操作状态下介质的运动粘度, 厘沱*。

W_{nor} 、 Q_{nor} - 操作状态下介质的正常流量, 在设计计算时一般可取仪表刻度流量上限的70%

D - 管道内径, 毫米。

*介质的运动粘度与动力粘度二者的换算关系为:

$$v = \frac{\eta}{\gamma} \quad (式17)$$

式中单位: v - 厘沱; η - 厘泊; γ - 克/厘米³

Fa - 面积膨胀校正系数, 根据材质、温度, 由图4查得。

Y - 膨胀系数, 根据 K 、 β 、 X 由图查得。(同心锐孔板见图5-1~5-2, 偏心锐孔板见图6, 文丘里管见图7-1~7-2)

其中:

K - 多变指数见表3

$$X = 27.7 \frac{h_w}{P} \quad (式18)$$

$$h_w = \left(\frac{\text{正常流量}}{\text{刻度流量}} \right)^2 \cdot h_{max} \text{ 或取 } h_w = \frac{1}{2} h_{max} \quad (式19)$$

h_w - 实际的读数差压或预计的读数差压, 毫米水柱

h_{max} - 仪表最大差压毫米水柱

P - 操作压力(绝压)毫米水柱

根据流量系数 I 精确值, 由表查得 β 最后值, 由此确定孔径 d

$$d = \beta \cdot D \quad (式20)$$

附: 关于使用计算的说明

在很多场合下, 现场实际生产的操作条件(操作温度、操作压力、介质重度等)有时与设计计算时采用的数据有出入, 往往在流量计上会出现较大的误差, 为了校正这类误差, 需要进行流量计的使用计算。

(1) 一般情况下, 是校正流量刻度问题。对于液体和蒸汽, 根据式1

$$W_{实} = \frac{1}{28690} \cdot Fr_{实} \cdot Fa_{实} \cdot Y_{实} \cdot I \cdot D^2 \sqrt{h \cdot \gamma_{实}} \quad (式21)$$

$$\text{令 } \frac{W_{实}}{W_{设}} = A \quad A \text{ 即为校正系数}$$

$$W_{实} = A \cdot W_{设} \quad (式22)$$

对于气体, 根据式2

$$Q_{实} = \frac{1}{28690} \cdot Fr_{实} \cdot Fa_{实} \cdot Y_{实} \cdot I \cdot D^2 \sqrt{\frac{h}{\gamma_{实}}} \quad (式23)$$

由于气体介质 q_v 流量刻度都要给出标准状态下的数值,因而还需进行换算。考虑到所有的因素;由式4、式10。

$$Q_{0实} = \frac{1}{28690} \cdot Fr_{实} \cdot Fa_{实} \cdot Y_{实} \cdot I \cdot D^2 \cdot T_0 (P_{实} - \varphi P_{b实}) \cdot \sqrt{\frac{h}{T_{实} \cdot P_0 \cdot Z_{实} [\gamma_0 T_0 (P_{实} - \varphi P_{b实}) + T_{实} P_0 Z_{实} \varphi \gamma_{b实}]}} \quad (式24)$$

但对于一般的非高压干气体, $Z = 1$, $\varphi = 0$, 于是:

$$Q_{0实} = \frac{1}{28690} Fr_{实} \cdot Fa_{实} \cdot Y_{实} \cdot I \cdot D^2 \sqrt{\frac{h}{\gamma_0} \cdot \frac{T_0 P_{实}}{T_{实} P_0}} \quad (式25)$$

$$\text{令 } \frac{Q_{0实}}{Q_{0设}} = B \quad B \text{ 即为校正系数}$$

$$Q_{0实} = B \cdot Q_{0设} \quad (式26)$$

式中各符号的意义及 $Fr_{实}$ 、 $Fa_{实}$ 、 $Y_{实}$ 等确定方法均可参见设计计算的有关内容。其中根据式15式16计算雷诺数 $Re_{实}$ 时, $W_{nor实}$ 、 $Q_{nor实}$ 、可按现场仪表实际指示部位的未校正前的流量刻度取值。

(2) 在流量超程或过低时, 要根据仪表指示的情况, 估算实际的流量值并重新选择仪表的差压, 现场调整仪表差压值后, 再以上述使用计算公式求得对应的新的流量刻度值(以校正后的差压值代入)直至符合现场实际流量的计量要求。

四、计 算 举 例

1. 液体用同心锐孔板设计计算举例:

已知: 常压三线油。操作温度 $t = 30^\circ\text{C}$; 操作压力 $P = 6$ 公斤/厘米²(表压); 操作重度 $\gamma = 720$ 公斤/厘米³; 粘度 $\eta = 0.29$ 厘泊; 管道内径 $D = 105$ 毫米; 最大流量: $W_{max} = 26,000$ 公斤/小时; 正常流量: $W_{nor} = 20,000$ 公斤/小时; 最小流量 $W_{min} = 10,000$ 公斤/小时。

计算锐孔板的孔径 d ;

选择仪表的刻度上限为30,000公斤/小时, 仪表的差压为160毫米汞柱

$$I_{筒} = \frac{28690 W}{D^2 \sqrt{h \cdot \gamma}} = \frac{28690 \times 30000}{105^2 \times \sqrt{160 \times 13.6 \times 720}} = 62.4$$

$$\beta = 0.526 \quad (\text{表13-3})$$

$$Re = 354 \times 10^4 \times \frac{W_{nor}}{D \eta} = 354 \times 10^4 \times \frac{20000}{105 \times 0.29 \times 10^4} = 2.32 \times 10^5$$

$$Fr = 1 \quad (\text{图1-3})$$

锐孔板材质用1Cr18Ni9Ti 在 30°C $Fa = 1$ (图4)

对非压缩性介质 $Y = 1$

$$I = I_{筒} \cdot Fr \cdot Fa \cdot Y = I_{筒}$$

$$d = \beta \cdot D = 0.526 \times 105 = 55.2 \text{ (毫米)}$$

2. 气体用同心锐孔板设计计算举例:

已知: 空气。操作温度 $t = 300^{\circ}\text{C}$; 操作压力 $P = 1000$ 毫米水柱(表压); 重度 $\gamma_0 = 1.293$ 公斤/标米³; 粘度 $\nu = 43.9$ 厘沱; 管道规格 $\phi 377 \times 3$; 最大流量: $Q_{\max} = 2700$ 标米³/小时; 正常流量: $Q_{\text{nor}} = 2460$ 标米³/小时; 最小流量: $Q_{\min} = 1500$ 标米³/小时
 $\varphi = 0$

计算锐孔板的孔径 d :

选择仪表的刻度上限为 3200 标米³/小时, 仪表的差压为 250 毫米水柱。

$Z = 1$

$$Q = Q_0 \frac{TP_0}{T_0P} = 3200 \times \frac{(273 + 300) \times 10333}{273 \times (10333 + 1000)} = 3200 \times 1.91 = 6120 (\text{米}^3/\text{小时})$$

$$\gamma = \gamma_0 \frac{T_0P}{TP_0} = 1.293 \times \frac{1}{1.91} = 0.676 (\text{公斤}/\text{米}^3)$$

$$I_{\text{筒}} = \frac{28690Q}{D^2} \times \sqrt{\frac{\gamma}{h}} = \frac{28690 \times 6120}{371^2} \times \sqrt{\frac{0.676}{250}} = 66.4$$

$$\beta = 0.541 (\text{表} 13-7)$$

$$Q_{\text{nor}} = Q_{0\text{nor}} \frac{TP_0}{T_0P} = 2460 \times 1.91 = 4700 (\text{米}^3/\text{小时})$$

$$Re = 354 \times 10^3 \times \frac{Q_{\text{nor}}}{D\nu} = 354 \times 10^3 \times \frac{4700}{371 \times 43.9} = 1.02 \times 10^5$$

$$Fr = 1.006 (\text{图} 1-7)$$

锐孔板材质用碳钢嵌焊 1Cr18Ni9Ti 不锈钢在 300°C

$$Fa = \frac{1.0074 + 1.010}{2} = 1.0087 (\text{图} 4)$$

$$h_w = \left(\frac{2460}{3200} \right)^2 \times 250 = 147.8 (\text{毫米水柱})$$

$$X = 27.7 \frac{h_w}{P} = \frac{27.7 \times 147.8}{11333} = 0.361$$

$$k = 1.4 (\text{表} 3)$$

$$Y = 0.996 (\text{图} 5-2)$$

$$I = I_{\text{筒}} / Fr \cdot Fa \cdot Y = \frac{66.4}{1.006 \times 1.0087 \times 0.996} = 65.6$$

$$\beta = 0.538 (\text{表} 13-7)$$

$$d = \beta \cdot D = 0.538 \times 371 = 200 (\text{毫米})$$

3. 液体用偏心锐孔板设计计算举例:

已知: 油浆。操作温度 $t = 310^{\circ}\text{C}$; 操作压力 $P = 4.9$ 公斤/厘米²(表压); 操作重度 $\gamma = 720$ 公斤/厘米³; 粘度 $\eta = 0.49$ 厘泊; 管道规格 $\phi 219 \times 10$; 最大流量: $W_{\max} = 150,000$ 公斤/小时; 正常流量: $W_{\text{nor}} = 110,000$ 公斤/小时; 最小流量: $W_{\min} = 60,000$ 公斤/小时。

计算偏心锐孔板的孔径 d :

选择仪表的刻度上限为 160000 公斤/小时, 仪表的差压为 250 毫米汞柱。

$$I_{\text{筒}} = \frac{28690W}{D^2 \sqrt{h \cdot \gamma}} = \frac{28690 \times 160000}{199^2 \sqrt{250 \times 13.6 \times 720}} = 74.1$$

$$\beta = 0.559 \text{ (表14-2)}$$

$$Re = 354 \times 10^4 \times \frac{W_{nor}}{D\eta} = 345 \times 10^4 \times \frac{110000}{199 \times 0.49 \times 10^4} = 3.99 \times 10^5$$

$$Fr = 1 \text{ (图2-2)}$$

锐孔板材质用1Cr18Ni9Ti 在 310°C

$$Fa = 1.0102 \text{ (图4)}$$

对非压缩性介质 $Y = 1$

$$I = I_{筒}/Fr \cdot Fa \cdot Y = \frac{74.1}{1.0102} = 73.3$$

$$\beta = 0.556 \text{ (表14-2)}$$

$$d = \beta \cdot D = 0.556 \times 199 = 110 \text{ (毫米)}$$

4. 气体用文丘里管设计计算举例:

已知: 空气。操作温度 $t = 20^\circ\text{C}$; 操作压力 $P = 1$ 公斤/厘米²(绝压); 相对湿度 φ 为 70%; 重度 $\gamma_0 = 1.293$ 公斤/标米³; 粘度 $\nu = 15.1$ 厘沱; 管道内径 $D = 800$ 毫米; 最大流量: $Q_{o_{max}} = 51000$ 标米³/小时。

计算文丘里管直径 d ;

选择仪表的刻度上限为 60000 标米³/小时, 仪表的差压为 400 毫米水柱。

$$P_b = 238 \text{ 毫米水柱 (表1)} \quad \gamma_b = 0.0173 \text{ 公斤/米}^3 \text{ (表1)}$$

$$Z = 1$$

$$Q = Q_0 \cdot \frac{TP_0}{T_0(P - \varphi P_b)} = 60000 \times \frac{(273 + 20) \times 10333}{273 \times (10333 - 0.7 \times 238)} = 65600$$

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{T_0(P - \varphi P_b)}{TP_0} + \varphi \gamma_b = 1.293 \times \frac{273 \times (10333 - 0.7 \times 238)}{(273 + 20) \times 10333}$$

$$+ 0.7 \times 0.0173 = 1.197$$

$$I_{筒} = \frac{28690 Q}{D^2} \times \sqrt{\frac{\gamma}{h}} = \frac{28690 \times 65600}{800^2} \times \sqrt{\frac{1.197}{400}} = 160.9$$

$$\beta = 0.644 \text{ (表15)}$$

$$Re = 354 \times 10^3 \times \frac{Q_{nor}}{D\nu} = 354 \times 10^3 \times \frac{0.7 \times 65600}{800 \times 15.1} = 13.5 \times 10^5$$

$$Fr = 1 \text{ (图3)}$$

文丘里管材质 20# 钢在 20°C $Fa = 1$ (图4)

$$hw = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 400 = 200 \text{ 毫米水柱}$$

$$X = 27.7 \cdot \frac{hw}{P} = 27.7 \times \frac{200}{10333} = 0.536$$

$$K = 1.4 \text{ (表3)}$$

$$Y = 0.987 \text{ (图7-2)}$$

$$I = I_{筒}/Fr \cdot Fa \cdot Y = \frac{160.9}{0.987} = 163$$

$$\beta = 0.647 \text{ (表15)}$$

$$d = \beta \cdot D = 0.647 \times 800 = 518 \text{ (毫米)}$$

5. 气体用同心锐孔板使用计算举例:

已知: 对照例题 2。空气。现场实际生产操作温度 $t_{\text{实}} = 400^{\circ}\text{C}$; 操作压力 $P_{\text{实}} = 1800$ 毫米水柱; (表压); 仪表指示流量刻度的 60% 处, 管道规格 $\phi 377 \times 3$; 仪表最大差压为 250 毫米水柱; 孔板直径 $d = 200$ 毫米。

计算并校正仪表的实际流量刻度值。

由例 2 或由表 5 $\gamma_0 = 1.293$ 公斤/标米³

$Z = 1$

$$\gamma_{\text{实}} = \gamma_0 \frac{T_0 P_{\text{实}}}{T_{\text{实}} P_0} = 1.293 \times \frac{273 \times (10333 + 1800)}{(273 + 400) \times 10333} = 0.616 (\text{公斤/米}^3)$$

由表 8, 400°C 时空气的 $\eta = 330$ 微泊

$$\nu = \frac{\eta}{\gamma} = \frac{330 \times 10^{-4}}{0.616 \times 10^{-3}} = 53.6 (\text{厘沱})$$

取仪表实际指示部位在未校正前的数值为 $Q_{\text{nor, 实}}$ 计算雷诺数:

由例 2 仪表刻度上限设计值 $Q = 6120$ 米³/小时

$$Q_{\text{nor, 实}} = 6120 \times 60\% = 3672 (\text{米}^3/\text{小时})$$

$$Re_{\text{实}} = 354 \times 10^3 \frac{Q_{\text{nor, 实}}}{D \nu} = 354 \times 10^3 \frac{3672}{371 \times 53.6} = 6.536 \times 10^4$$

$$\beta = 0.538$$

$$I = 65.6$$

$$Fr_{\text{实}} = 1.012 (\text{图 } 1 - 7)$$

由例 2 锐孔板材质用碳钢嵌焊 1Cr18Ni9Ti 不锈钢在 400°C

$$Fa_{\text{实}} = \frac{1.0103 + 1.0135}{2} = 1.0119 (\text{图 } 4)$$

$$\text{取 } h_w = \frac{1}{2} h_{\text{max}} = \frac{1}{2} \times 250 = 125 (\text{毫米水柱})$$

$$X = 27.7 \frac{h_w}{P_{\text{实}}} = \frac{27.7 \times 125}{12133} = 0.285$$

$$K = 1.4 (\text{表 } 3)$$

$$Y_{\text{实}} = 0.997 (\text{图 } 5 - 2)$$

$$Q_0_{\text{实}} = \frac{1}{28690} \cdot Fr_{\text{实}} \cdot Fa_{\text{实}} \cdot Y_{\text{实}} \cdot I \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{h T_0 P_{\text{实}}}{\gamma_0 T_{\text{实}} P_0}}$$

$$= \frac{1}{28690} \times 1.012 \times 1.0119 \times 0.997 \times 65.6 \times 371^2 \times$$

$$\sqrt{\frac{250 \times 273 \times 12133}{1.293 \times 673 \times 10333}} = 3084 (\text{标米}^3/\text{小时})$$

由例 2, $Q_0_{\text{设}} = 3200$ 标米³/小时

$$\text{校正系数 } B = \frac{Q_0_{\text{实}}}{Q_0_{\text{设}}} = \frac{3084}{3200} = 0.964$$

$$Q_0_{\text{实}} = 0.964 \times 3200 = 3084$$

表 1 饱和水蒸汽压 p_b 及饱和湿气体中的水份含量

温 度 t °C		-25	-20	-15	-10	-5	0	2	4	6	8	10	12	14
饱和水蒸汽压	毫米水柱	6.39	10.47	16.86	26.5	40.9	62.3	72.1	83	95.2	108.8	125.1	142.8	163.2
	毫米汞柱	0.47	0.77	1.24	1.95	3.01	4.58	5.3	6.1	7	8	9.2	10.5	12
完水 全份 饱和 时量	r_b 公斤/米 ³ 湿	0.0005	0.0009	0.0014	0.0021	0.0032	0.0048	0.0056	0.0064	0.0073	0.0083	0.0094	0.0107	0.0121
	f_b 公斤/标米 ³ 乾	0.0005	0.0008	0.0013	"	"	"	"	0.0066	0.0075	0.0086	0.0098	0.0113	0.0129
	f_b' 公斤/标米 ³ 湿	"	"	"	"	0.0033	"	"	0.0065	0.0074	0.0085	0.0097	0.0111	0.0127

16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
185	210.8	238	269.3	304.6	342.7	384.9	432.5	48.5	542.6	606.6	675.9	752.1	836.4	928.9
13.6	15.5	17.5	19.8	22.4	25.2	28.3	31.8	35.7	39.9	44.6	49.7	55.3	61.5	68.3
0.0136	0.0154	0.0173	0.0194	0.0218	0.0244	0.0272	0.0303	0.034	0.037	0.041	0.046	0.051	0.056	0.062
0.0147	0.0167	0.0189	0.0215	0.0244	0.0275	0.0311	0.0351	0.0396	0.0445	0.0501	0.0563	0.0631	0.0708	0.0793
0.0144	0.0164	0.0185	0.0209	0.0237	0.0266	0.0299	0.0336	0.0377	0.0422	0.0471	0.0526	0.0585	0.0650	0.0722

温 度 t °C		46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
饱和水蒸汽压	毫米水柱	1029.5	1138.3	1259.4	1385.6	1530	1683.7	1851	2031.8	2227.7	2438.5	266.7	2913	3178.3
	毫米汞柱	75.7	83.7	92.6	102.1	112.5	123.8	136.1	149.4	163.8	179.3	196.1	214.2	233.7
完水 全份 饱和 时量	r_b 公斤/米 ³ 湿	0.068	0.075	0.083	0.090	0.099	0.108	0.119	0.130	0.142	0.154	0.168	0.182	0.198
	f_b 公斤/标米 ³ 乾	0.089	0.0995	0.1144	0.125	0.139	0.156	0.175	0.196	0.222	0.249	0.281	0.318	0.361
	f_b' 公斤/标米 ³ 湿	0.0802	0.0886	0.0979	0.108	0.119	0.131	0.144	0.158	0.174	0.190	0.208	0.228	0.249

72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
3462.6	3769.9	4099	4451.3	4829	5235	5668.5	6132	6625	7151	7711	8308	8943	9619	10336
254.6	277.2	301.4	327.3	355.1	384.9	416.8	450.9	487.1	525.8	567	610.9	657.6	707.3	760
0.214	0.232	0.251	0.271	0.293	0.316	0.340	0.367	0.394	0.423	0.454	0.487	0.522	0.559	0.597
0.409	0.466	0.534	0.617	0.716	0.840	0.996	1.205	1.480	1.877	2.492	3.541	5.732	13.818	∞
0.271	0.295	0.321	0.349	0.379	0.411	0.445	0.482	0.521	0.563	0.608	0.655	0.705	0.760	0.816

表 2 各种介质的临界温度 T_c 及临界压力 P_c

	氢	氮	一氧化碳	氧	二氧化碳	硫化氢	氨	二氧化硫	空气	氯	水
T_c °K	33.1	126	132.8	154.2	304.2	373.5	405.6	430.5	132.3	417	647.3
P_c 公斤/厘米 ²	12.8	33.5	34.53	49.7	72.9	88.9	111.5	77.8	37.25	76.1	218.4

甲烷	乙烷	丙烷	正丁烷	异丁烷	正戊烷	异戊烷	己烷	乙烯	丙烯	庚烷	一氯甲烷	二氧化氮
190.5	305.3	369.8	425.01	407.98	469.6	460.7	507.72	282.9	364.9	540.0	421	431.2
45.8	48.2	42.01	37.47	36	33.3	32.9	29.92	50.49	45.5	27.01	66	100

表 3 气体的多变指数 k 值

气 体	空气	一氧化碳	氢气	氮气	氧气	二氧化碳	乙炔	乙烷	乙烯	丁烷	甲烷	丙烷	蒸汽
k	1.4	1.4	1.41	1.4	1.4	1.3	1.238	1.193	1.25	1.094	1.308	1.133	1.32

表 4 饱和水蒸汽及过热水蒸汽的重度

压力 (绝) 公斤/厘米 ²		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4
饱和温度 °C		99.09	101.76	104.25	106.56	108.74	110.79	112.73	114.57	116.33	118.01	119.62	121.16	122.65	124.08	125.46
重 度 公斤/米 ³		0.5797	0.6338	0.6876	0.7411	0.7944	0.8474	0.9001	0.9524	1.004	1.057	1.109	1.161	1.212	1.264	1.315
温 度 °C	100	0.578														
	110	0.562	0.619	0.677	0.734	0.791										
	120	0.547	0.602	0.658	0.714	0.769	0.826	0.881	0.938	0.994	1.051	1.107				
	130	0.532	0.586	0.641	0.695	0.748	0.803	0.857	0.912	0.967	1.022	1.077	1.132	1.187	1.242	1.298
	140	0.519	0.571	0.625	0.677	0.729	0.782	0.835	0.888	0.942	0.995	1.048	1.102	1.155	1.209	1.263
	150	0.506	0.557	0.609	0.660	0.711	0.763	0.814	0.866	0.918	0.970	1.021	1.073	1.125	1.178	1.230
	160	0.4943	0.544	0.594	0.644	0.694	0.745	0.794	0.845	0.895	0.946	0.996	1.047	1.097	1.148	1.199
	170	0.4828	0.531	0.580	0.629	0.678	0.727	0.776	0.825	0.875	0.923	0.972	1.022	1.071	1.120	1.170
	180	0.4719	0.519	0.567	0.615	0.662	0.710	0.757	0.805	0.853	0.901	0.950	0.998	1.046	1.094	1.142
	190	0.4615	0.508	0.554	0.601	0.647	0.694	0.741	0.787	0.834	0.881	0.928	0.975	1.022	1.069	1.116
	200	0.4525	0.4969	0.542	0.588	0.633	0.679	0.725	0.770	0.816	0.862	0.907	0.954	0.999	1.045	1.091
	210	0.4419	0.4864	0.531	0.575	0.620	0.664	0.709	0.754	0.799	0.844	0.888	0.933	0.978	1.023	1.067
	220	0.4327	0.4763	0.520	0.563	0.607	0.650	0.694	0.738	0.782	0.826	0.870	0.913	0.957	1.001	1.045
	230	0.4240	0.4666	0.509	0.552	0.594	0.637	0.680	0.723	0.766	0.809	0.852	0.894	0.937	0.980	1.023
	240	0.4156	0.4573	0.4990	0.541	0.583	0.624	0.667	0.709	0.751	0.792	0.835	0.876	0.918	0.961	1.003
	250	0.4075	0.4484	0.4893	0.530	0.571	0.612	0.654	0.695	0.736	0.776	0.818	0.859	0.900	0.942	0.983
	260	0.3998	0.4399	0.4800	0.520	0.560	0.601	0.640	0.681	0.722	0.761	0.802	0.842	0.883	0.923	0.964
	270	0.3924	0.4317	0.4711	0.510	0.550	0.590	0.629	0.668	0.708	0.747	0.787	0.826	0.866	0.906	0.946
	280	0.3852	0.4239	0.4625	0.501	0.540	0.579	0.617	0.656	0.695	0.734	0.773	0.811	0.850	0.889	0.928
	290	0.3783	0.4163	0.4542	0.4922	0.530	0.568	0.606	0.644	0.682	0.721	0.759	0.797	0.835	0.873	0.911
度	300	0.3717	0.4089	0.4462	0.4835	0.521	0.558	0.595	0.633	0.670	0.708	0.745	0.783	0.820	0.858	0.895
	310	0.3653	0.4019	0.4385	0.4751	0.512	0.548	0.585	0.622	0.658	0.695	0.732	0.769	0.806	0.843	0.879
	320	0.3591	0.3951	0.4311	0.4670	0.503	0.539	0.575	0.611	0.647	0.683	0.719	0.756	0.792	0.828	0.864
	330	0.3531	0.3885	0.4239	0.4592	0.4947	0.530	0.566	0.601	0.636	0.672	0.707	0.743	0.778	0.814	0.850
	340	0.3472	0.3821	0.4169	0.4517	0.4866	0.521	0.556	0.591	0.626	0.661	0.696	0.731	0.765	0.800	0.836
	350	0.3416	0.3758	0.4101	0.4444	0.4787	0.513	0.547	0.581	0.616	0.650	0.684	0.719	0.753	0.787	0.822
	360	0.3362	0.3698	0.4035	0.4373	0.4710	0.505	0.538	0.572	0.606	0.640	0.673	0.707	0.741	0.775	0.809
	370	0.3309	0.3641	0.3972	0.4304	0.4636	0.4968	0.530	0.563	0.596	0.630	0.663	0.696	0.729	0.763	0.796
	380	0.3258	0.3585	0.3911	0.4238	0.4564	0.4891	0.522	0.555	0.587	0.620	0.653	0.685	0.718	0.751	0.784
	390	0.3209	0.3531	0.3852	0.4174	0.4495	0.4817	0.514	0.546	0.578	0.610	0.643	0.675	0.707	0.740	0.772
	400	0.3161	0.3478	0.3795	0.4112	0.4429	0.4746	0.506	0.538	0.570	0.601	0.633	0.665	0.696	0.728	0.760

续表 4 饱和水蒸汽及过热水蒸汽的重度

压力(绝) 公斤/厘米 ²		2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
饱和温度 ℃		126.79	128.08	129.34	130.55	131.73	132.88	135.08	137.18	139.18	141.09	142.92	144.68	146.38	148.01	149.59	151.11
重 度 公斤/米 ³		1.366	1.417	1.469	1.520	1.570	1.621	1.722	1.823	1.924	2.024	2.124	2.224	2.323	2.422	2.521	2.619
温	度	100															
		110															
		120															
		130	1.354	1.409	1.465												
		140	1.317	1.371	1.425	1.480	1.534	1.588	1.698	1.808	1.918						
		150	1.282	1.335	1.387	1.440	1.493	1.546	1.652	1.758	1.865	1.973	2.081	2.189	2.298	2.407	2.517
		160	1.250	1.301	1.352	1.403	1.455	1.506	1.609	1.719	1.816	1.921	2.025	2.130	2.235	2.341	2.447
		170	1.220	1.269	1.319	1.369	1.419	1.469	1.569	1.669	1.770	1.872	1.973	2.074	2.177	2.289	2.382
		180	1.191	1.239	1.288	1.336	1.385	1.434	1.531	1.629	1.727	1.826	1.924	2.023	2.123	2.222	2.321
		190	1.163	1.211	1.258	1.305	1.353	1.400	1.495	1.591	1.686	1.783	1.878	1.974	2.071	2.168	2.264
度	℃	200	1.137	1.184	1.230	1.276	1.322	1.368	1.461	1.554	1.648	1.741	1.834	1.929	2.023	2.117	2.211
		210	1.113	1.158	1.203	1.248	1.293	1.338	1.429	1.520	1.611	1.702	1.793	1.885	1.977	2.068	2.161
		220	1.089	1.133	1.177	1.221	1.266	1.310	1.398	1.487	1.576	1.665	1.754	1.844	1.934	2.022	2.113
		230	1.066	1.110	1.153	1.196	1.239	1.283	1.369	1.456	1.543	1.630	1.717	1.805	1.892	1.979	2.067
		240	1.045	1.087	1.130	1.172	1.214	1.257	1.341	1.426	1.511	1.596	1.682	1.767	1.853	1.937	2.024
		250	1.024	1.065	1.107	1.148	1.190	1.231	1.314	1.397	1.481	1.564	1.648	1.731	1.815	1.898	1.982
		260	1.004	1.045	1.085	1.126	1.167	1.207	1.288	1.370	1.452	1.533	1.615	1.697	1.779	1.860	1.943
		270	0.985	1.025	1.065	1.105	1.145	1.184	1.264	1.344	1.424	1.504	1.584	1.664	1.745	1.824	1.905
		280	0.967	1.006	1.045	1.084	1.123	1.162	1.240	1.319	1.397	1.476	1.554	1.632	1.712	1.790	1.869
		290	0.950	0.988	1.026	1.064	1.102	1.141	1.218	1.295	1.371	1.448	1.525	1.602	1.680	1.757	1.834
℃	度	300	0.933	0.970	1.008	1.045	1.083	1.121	1.196	1.271	1.346	1.422	1.497	1.573	1.649	1.725	1.800
		310	0.916	0.953	0.990	1.027	1.064	1.101	1.174	1.248	1.323	1.397	1.471	1.545	1.620	1.694	1.768
		320	0.900	0.937	0.973	1.009	1.045	1.082	1.154	1.227	1.300	1.373	1.445	1.518	1.591	1.664	1.737
		330	0.885	0.921	0.956	0.992	1.027	1.063	1.135	1.206	1.278	1.350	1.420	1.492	1.564	1.635	1.707
		340	0.870	0.906	0.940	0.976	1.010	1.045	1.116	1.186	1.256	1.327	1.397	1.467	1.538	1.608	1.679
		350	0.856	0.891	0.925	0.960	0.994	1.028	1.097	1.166	1.235	1.305	1.374	1.443	1.513	1.582	1.651
		360	0.842	0.876	0.910	0.944	0.978	1.012	1.080	1.147	1.215	1.284	1.352	1.420	1.488	1.556	1.624
		370	0.829	0.862	0.896	0.929	0.963	0.996	1.062	1.129	1.196	1.263	1.330	1.397	1.464	1.531	1.598
		380	0.816	0.849	0.882	0.915	0.948	0.980	1.046	1.112	1.177	1.243	1.309	1.375	1.441	1.507	1.573
		390	0.804	0.836	0.869	0.901	0.934	0.965	1.030	1.095	1.159	1.224	1.289	1.354	1.419	1.484	1.549
		400	0.792	0.824	0.855	0.887	0.919	0.951	1.014	1.078	1.142	1.206	1.269	1.333	1.397	1.461	1.525