

流量曲线和计算结果

技术信息

DEBUL2007XCN2

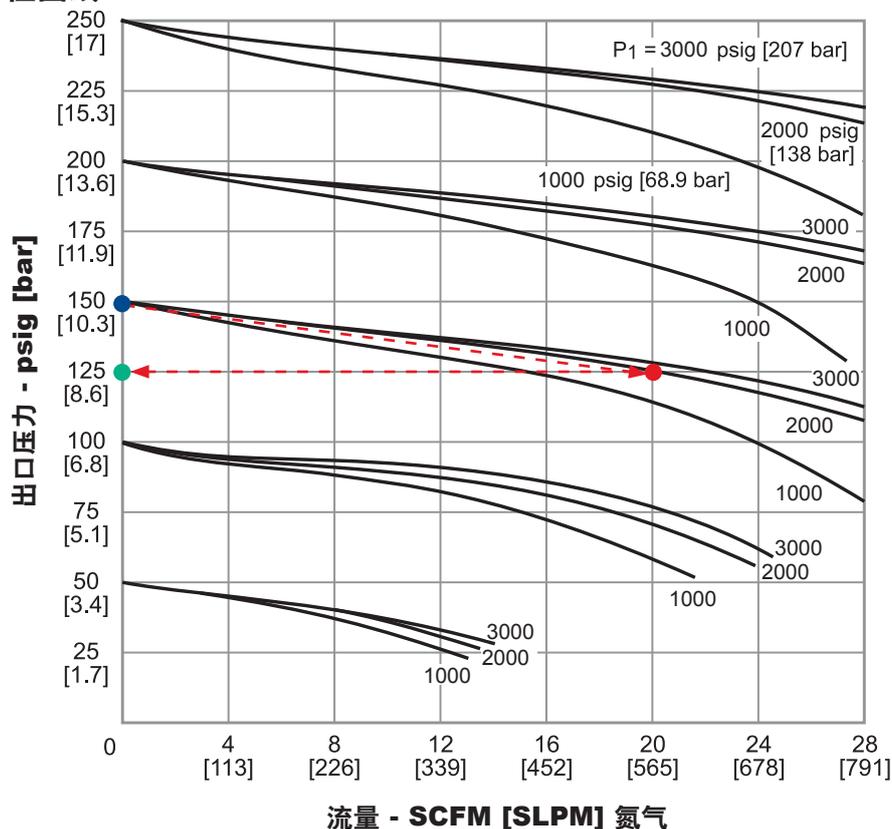
流量曲线

TESCOM流量图是通过图形来表示测试结果，其示出了在流速不断变化的情况下，对应的出口压力(P₂)的变化。所有的曲线均基于环境温度，使用氮气作为介质（除非另作说明）的情况下。在每个曲线的右端显示入口压力(P₁)。若想使用这些图表，选择满足以下条件的曲线：

- 调压器型号
- 验证该型号的C_v
- 适用于您应用的入口压力(P₁)
- 适用于您应用的出口压力(P₂)

确定您系统所能允许的最大极端（零流量）P₂压力值。在P₂轴（垂直）上定位该压力。如果没有与该压力值相对应的点，那么在现有曲线上最靠近该压力值的两个曲线之间沿着零流量点绘制所对应的新曲线，找到该曲线与所需流量的垂直坐标交叉部分重新绘制出一条新的曲线，水平读取并定位出相应的P₂压力值。

调压器释压特性曲线



示例：

使用上面的流量图，确定压降（在20 SCFM / 565 SLPM条件下的P₂）。

- ① 在带有零(0)流量的P₂轴上，找到最大出口压力(150 psig / 10.3 bar)。
- ② 沿着释压曲线，找到与20 SCFM / 565 SLPM对应的竖线交叉的点。
- ③ 沿着水平轴找到与该交叉点相对应的垂直P₂轴上的点，读取相应的压力值125 psig / 8.6 bar。因此，压降为25 psig / 1.7 bar (150-125)。

注：假定P₁ = 2000 psig / 138 bar；P₂ = 150 psig / 10.3 bar（最大值），Q = 20 SCFM。

流量曲线

除了要读懂曲线，还应理解影响流量曲线的一些其他概念。这里使用了一些通用术语（请参见流量图2）：

闭锁

在流量减少至零流量时，导致出口压力增加并超过“设定压力”范围。

迟滞

流量增加（压降）和流量减小（闭锁）之间的出口压差。

初始压降

当流速刚刚开始增加时，出口压力相对于“设定压力”发生的变化。

最佳流量范围

在特定压力下，最适用于特定调压器的流量范围。

阻塞流量范围

调压器过小，无法处理所需流速的位置点。调压器完全打开，不再调节压力。

什么是压降？

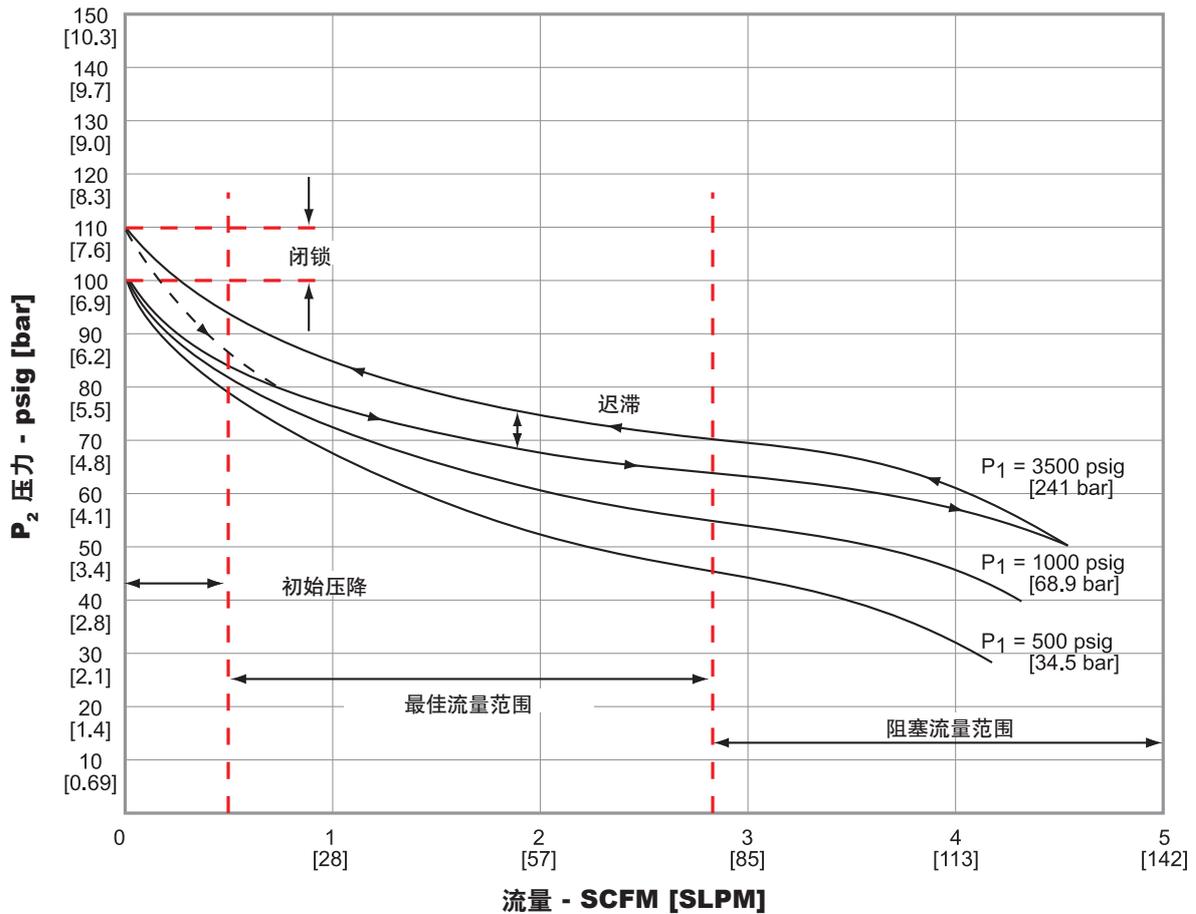
是指当流量增加时，出口压力(P_2)相对设定(静态)压力的变化(偏差)。当提及调压器性能时，我们最常听到的术语就是压降，但是我们大多数人都未能完全理解该术语的含义。在减压型调压器中，出口压力将随着流量增加而下降(或产生压降)。随着流量减少， P_2 压力将会上升，或者恢复到刚刚高于原始设定点(闭锁)。压降是调压器中负载力变化的结果，主要由负载弹簧造成。

工作原理是什么呢？

为了能更好地理解压降，我们来评估一下调压器在典型应用中的性能(请参见流量图2)。对于用于氮气工况的调压器，设置为100 psig / 6.9 bar。气源是气缸，压力为2600 psig / 179 bar (P_1 压力)。大多数氮气气缸在充满氮气时，即压力为2200-2600 psig / 152-179 bar时进行封装。如果气缸置于日晒的气垫上，您可以推断出初始气缸压力将在该范围的高压侧。封装的小气阀瓶在低压侧，但是随着气体的不断消耗，将会出现压力衰减。目标调压器需要输出的流量为2 SCFM / 57 SLPM。如果您参考该目标调压器的流量曲线(或压降)，您将注意到在零流量处，建立的调压器设定点(P_2)为100 psig / 6.9 bar。

因为入口压力为2600 psig / 179 bar，因此我们将使用针对 $P_1=3500$ psig / 241 bar 进行标记的流量曲线，来评估我们的目标调压器性能。为了能够确定在2 SCFM / 57 SLPM处的压降，沿着3500 psig / 241 bar流量曲线，找到与标记为2 SCFM / 57 SLPM的竖直线相交的点。此时，向左侧绘制一条水平线，直到其与标记有 P_2 压力值的竖轴相交，然后读取在竖轴(P_2)上的压力值。在该例中，该调压器的出口压力将从100降至68 psig / 从6.9降至4.7 bar；压降为32 psig / 2.2 bar。继续沿着压降曲线移动到3 SCFM / 85 SLPM，我们看到 P_2 的当前压力值为63 psig / 4.3 bar。在流量接近2.8 SCFM / 79 SLPM时，压降曲线开始显著下降。该点处，调压器的主阀完全打开，不再调节压力。我们称此流量曲线的该区域为阻塞流量范围。我们通常不将阻塞流量范围视作为调压器工作流量范围的一部分，因此，目标调压器的流量需求值不应落至在阻塞流量量范围内。如果我们缩减流量(从3 SCFM / 85 SLPM减少至零流量)，我们注意到 P_2 压力值不断升高并接近初始的100 psig / 6.9 bar设定点。因此，有趣的事情出现了。随着流量不断增加，当流量到达2 SCFM / 57 SLPM处时， P_2 压力大约为75 psig / 5.2 bar，而不是我们所观察到的68 psig / 4.7 bar。这种情况称为迟滞。但是在评估调压器性能时，即便我们知道会有迟滞现象，我们通常也不会将迟滞视作一个问题。

流量图2



为了更好地了解调压器在我们的应用中的整个工作性能，我们还应当考虑到入口压力下降这种情况，因为我们会消耗气缸中的气体——有时在拆卸气缸之前，运行气缸的压力会下降至200 psig / 13.8 bar。因此，我们应当在 $P_1=500$ psig / 34.5 bar处执行压降评估，以查看调压器是否仍满足期望要求。使用标记为 $P_1=500$ psig / 34.5 bar的流量曲线，我们可以看到在2 SCFM / 57 SLPM处的压降大约为52 psig / 3.6 bar，或者接近初始压力设定值100 psig / 6.9 bar的一半。很显然，随着入口压力的下降，压降增加了。如果已指定出口压力为100 psig / 6.9 bar， ± 40 psig / 2.8 bar，我们认为该目标调压器适用于此应用（如果我们仅考虑气缸满时的性能）。但是，通过执行低入口压力评估，我们可以看出在该条件下，调压器将无法满应用的需求，因此将不会选择该调压器。

您可以使用流量曲线来评估气体（除空气或氮气）的压降。使用流量计算结果下方的补偿因子，通过适当的乘数因子与流量值相乘，以获得所涉及气体的新流量值。例如，若将氮气流量变换为氢气流量，乘数是3.79；那么1 SCFM / 28 SLPM的氮气相当于3.79 SCFM / 107 SLPM的氢气，2 SCFM / 57 SLPM的氮气相当于7.58 SCFM / 215 SLPM的氢气，以此类推。流量曲线的曲线的形状保持相同，仅流量值发生变化。

什么是压力徐变?

闭锁导致的出口压力的增加，通常是一个压力长期缓慢增加的过程。压力徐变表明调压器有泄漏，需要立即拆卸并维修。造成原因可能是由于调压器上游的污染物沉积在阀座上，或者在流动过程中损坏了阀座 - 这将影响阀杆在阀座上的密封（由于表面损坏）。一旦出现这种情况，将无法实现严密关断，并且下游压力将逐渐变化，最终达到与入口压力相同（取决于介质流量）。

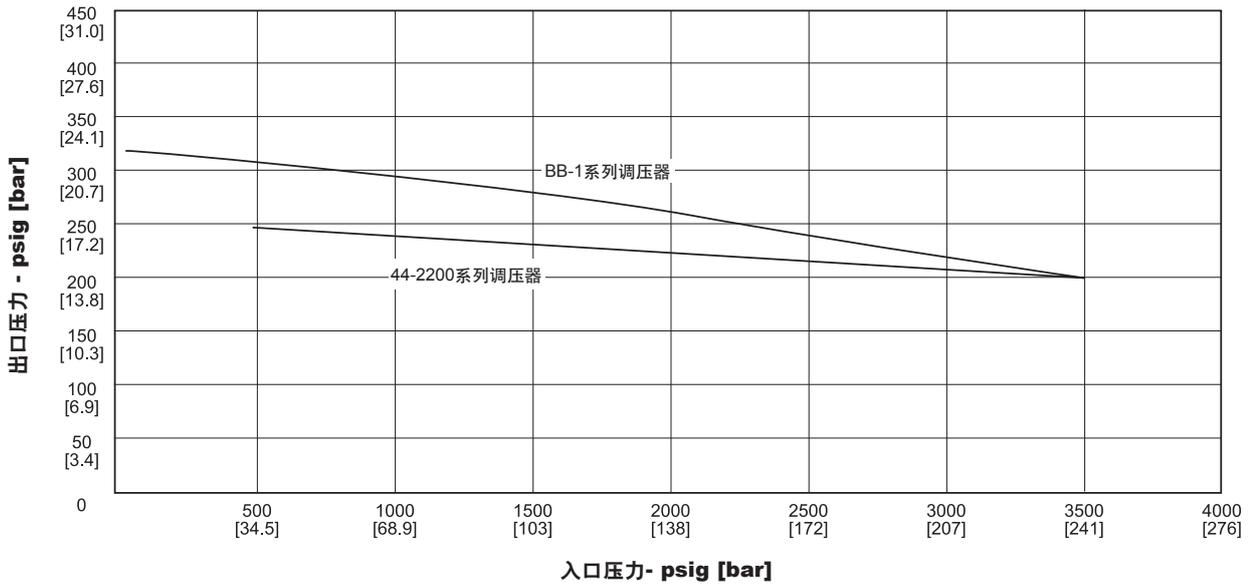
什么是进口压力衰减特性?

由于入口压力变化而对调压器设定压力产生的影响。入口压力的减少，通常也就意味着出口压力的增加。操作人员可能一直对调压器进行操作，却从不知道调压器内部的真实状况。TESCOM用了大量时间来向我们的分销商和客户讲解关于调压器关键工作特性的知识。客户一旦理解了这些特性并使用流量曲线，就可以正确地评估调压器在某种应用中的性能，这也是无故障安装的关键所在。

定义

进口压力衰减特性是指，随着入口压力改变，减压型调压器出口压力的变化值。对于单级调压器，因存在进口压力衰减特性，其入口和出口压力成反比；即随着入口压力下降，出口压力上升（请参见下图）。

进口压力衰减特性



注意事项

当压力为受限源（例如气缸或长管拖车）时，我们必须考虑衰减。当我们的气源来自压缩机或者液体源时（例如杜瓦瓶），入口压力相当稳定，进口压力衰减特性对设定点的影响可以忽略。

工作原理

若想获知进口压力衰减特性的工作原理，我们可以通过在同一应用中对照几款TESCOM调压器的性能进行总结。

参数

应用：在压力为3500 psig / 241 bar时封装的压缩气体。工艺要求的设定点为：200 psig / 13.8 bar。

场景A

要了解BB-1系列的性能，其额定压力为3500 psig / 241 bar（最大入口压力），进口压力衰减特性为：4 psig/100 psig (0.28 bar/6.9 bar)（即在入口压力每减少100 psig / 6.9 bar，则出口压力将增加4 psig / 0.28 bar）。假定起始时额定入口压力3500 psig / 241 bar，在减压或重新充压之前，入口压力将衰减到500 psig / 34.5 bar，则调压器入口的净压力变化为3000 psig / 207 bar。如果调压器初始设置为当入口压力为3500 psig / 241 bar时，则出口压力为200 psig / 13.8 bar；那么出口压力将增加120到320 psig / 8.3到22.1 bar。

$$\begin{aligned} & \text{入口压力变化 } 3000 \text{ psig} \div 100 \text{ psig} = \text{因子 } 30 \\ & \text{因子 } 30 \times 4 \text{ psig 进口压力衰减特性} = 120 \text{ psig 增量} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{入口压力变化 } 207 \text{ bar} \div 6.9 \text{ bar} = \text{因子 } 30 \\ & \text{因子 } 30 \times 0.28 \text{ bar 进口压力衰减特性} = 8.4 \text{ bar 增量} \end{aligned}$$

场景B

44-2200系列具有相对更低的进口压力衰减特性0.75 psig/100 psig (0.05 bar/6.9 bar)。在将其用于相同的工作条件下（即上述工况）时，我们发现这些调压器的出口压力升高为22.5 psig / 1.6 bar，从200到222.5 psig / 13.8到15.3 bar。很明显，使用这些调压器，我们可以获得更好的出口压力稳定性。

场景C

为了进一步减少进口压力衰减特性的影响，我们应当分两步（或两级减压的方式）减小压力。我们通常使用两级调压器（例如，44-3400系列）来实现。44-3400系统由两个44-2200系列的调压器组成，这两个调压器内置于同一阀体中，内部彼此串联在一起。44-2200系列的进口压力衰减特性为0.75 psig/100 psig (0.05 bar/6.9 bar)。一级调压器预设在额定压力250 psig / 17.2 bar。将二级调压器调整到我们的初始设定点200 psig / 13.8 bar。当入口压力从3500衰减到500 psig/从241衰减到34.5 bar时，在一级调压器入口上的净压差为3000 psig / 207 bar。一级调压器的出口压力将从22增加至522 psig / 1.5至36.0 bar。二级调压器入口压力净增为22 psig / 1.5 bar。二级调压器的出口压力将降低0.17 psig / 0.01 bar (22 psig \div 100 psig = 0.22 psig \times 0.75 psig = 0.17 psig) (1.5 bar \div 6.9 bar = 0.22 bar \times 0.05 bar = 0.01 bar)。在读取二级调压器下游侧的典型压力仪表值时，进口压力衰减特性可以忽略。

控制进口压力衰减特性

两级压力调压器常在封装的特殊气体应用中用作气缸调压器。流量通常很低，且操作员通过两级减压可以为过程提供稳定的输出压力。有时，在气缸上使用单级调压器，该气缸在实验室或者过程设施中用作集管。使用点调压器沿着该集管安装，各个用户可以根据需要调整他们各自的压力。单级调压器与使用点调压器配合使用，可提供两级降压，这对于控制进口压力衰减特性来说非常必要。对于较大流量应用，TESCOM可以提供具有平衡主阀（例如，44-1300系列）的调压器。44-1300系列的主阀高度平衡，因此它的进口压力衰减特性非常的低，控制压力为0-300 psig / 0-20.7 bar时，进口压力衰减特性仅为0.1 psig/100 psig (0.007 bar/6.9 bar)。如果入口压降为3000 psig / 207 bar，则44-1300系列的出口压力将增加3 psig / 0.21 bar，这对使用该调压器的所有人员来说都是非常容易发现的。由于44-1300系列的进口压力衰减特性非常低，因此总是将其用作长管拖车的调压器。凭借这些特性，用户仅需安装一个调压器，就可实现过程所需的工作压力。

错误认定

许多时候，不了解实际状况的用户一旦发现进口压力衰减特性，即将其误认为调压器泄漏。在非流动情况下，用户观察到设定点已提升到高于初始设定点，认为调压器的压力正在发生徐变。一个快速确认调压器是不是发生压力徐变的方法是观察仪表读数一段时间。如果压力稳定在略高于初始设定点的位置，那么可能是进口压力衰减特性。如果压力缓慢上升，且不稳定，那么调压器阀座可能受到污染，且必须卸下调压器并对其进行维修。通过确认压力源是压缩压力源（例如气缸），您可以快速地通过入口压降推断出设定点的压力增量。

调压器选型

当评估调压器的性能时，基于以下几个原因，您需要考虑进口压力衰减特性。首先，系统能否对出口压力的增加进行处理？例如，如果出口压力衰减到触发泄压阀工作或者防爆膜破裂的压力点会怎样？其次，过程自身能否承受所涉及的压力变化？在我们之前讨论的BB-1实例中，过程能否承受在设定点处的压力增加120 psig / 8.3 bar？调压器下游的仪表和其他设备的规格是否满足处理该压力增量的条件？作为应用专家，我们的职责就是在为用户的应用选择调压器时，考虑到所有可能性。在您选择调压器时，应考虑进口压力衰减特性，从而确保您将调压器投入使用时，避免发生任何意外。

流量计算

本节讲述如何对调压器和调压阀进行气体或液体的流量计算。

C_v

调压器和阀的流量系数，用于表达在全开状态下，调压器或阀的流通能力。对于液体，该系数定义为在60°F / 16°C温度环境下，每降低一个psig时，每分钟流过的水的体积（单位：加仑）。对于气体，此系数定义为在标准条件下，每psig进口压力条件下，通过的气体流量（单位：立方英尺/分钟）。

S_L

液体相对于水的比重（均在标况温度60°F / 16°C）。（在标况温度60°F / 16°C条件下，水的比重为1.0）

S_g

气体相对于空气的比重；等于气体分子量与空气分子量的比率。（在标况温度60°F / 16°C条件下，空气的比重为1.0）

P

管道压力 (psia)。

P_1

入口压力 (psia)。

P_2

出口压力 (psia)。

ΔP

压降($P_1 - P_2$)。

psia

绝对压力（仪表压力 (psig) 加上14.7（大气压力））。

Q_L

液体流量，单位：加仑/分钟 (GPM)。

流量计算

气体的流量公式*

a. $C_V = \frac{Q_g \times 2 \sqrt{S_g}}{P_1}$ 当 P_1 等于或者大于 $2 \times P_2$ 时使用。
 (参考作为临界流量)

示例：确定当入口压力 (P_1) 等于或者大于出口压力 (P_2) 两倍，且已知以下参数时，调压器所需的 C_V ：
 假定：

$P_1 = 1000 \text{ psia}$

$P_2 = 400 \text{ psia}$

$Q_g = 400 \text{ SCFM}$

$S_g = 1.0$ (本例中假定为空气)

$C_V = \frac{Q_g \times 2 \sqrt{S_g}}{P_1} = \frac{400 \times 2}{1000} = 0.8 C_V$

*注意：当为流量控制应用选择组件时，还应考虑管件的规格。当流量应用要求为低压时，管件可能会成为限流元件，而非调压器或阀。

b. $C_V = \frac{Q_g \times \sqrt{S_g}}{\sqrt{\Delta P \times P_2}}$ 当 P_1 小于 $2 \times P_2$ 或者 P_2 大于入口压力的一半时使用。
 注意：这被称为亚临界流量。

示例：使用 C_V 因子计算以下条件下通过相同调压器（例如，实例中）的最大流量：
 假定：

$P_1 = 1000 \text{ psia}$

$P_2 = 600 \text{ psia}$

$C_V = 0.8$

$S_g = 1.0$ (本例中假定为空气)

Q_g 的求解公式：

$Q_g = \frac{C_V \sqrt{\Delta P \times P_2}}{\sqrt{S_g}}$
 $= \frac{0.8 \sqrt{1000-600 \times 600}}{\sqrt{1}} = \frac{392}{1}$

$Q_g = \underline{\underline{392}}$

流量计算

液体的流量公式

$$C_V = \frac{Q_L \sqrt{S_L}}{\sqrt{\Delta P}} \quad \therefore \quad Q_L = \frac{C_V \sqrt{\Delta P}}{\sqrt{S_L}}$$

示例：计算在以下条件下，通过调压器的液体流量（假定为水），单位为加仑/分钟：

假定：

$$P_1 = 1000 \text{ psia}$$

$$P_2 = 600 \text{ psia}$$

$$S_L = 1.0$$

$$C_V = 0.08$$

$$\begin{aligned} Q_L &= \frac{C_V \sqrt{\Delta P}}{\sqrt{S_L}} = \frac{0.08 \sqrt{1000-600}}{\sqrt{1}} = \frac{0.08 \times 20}{1} \\ &= \underline{\underline{1.6 \text{ GPM (水)}}} \end{aligned}$$

流量从CFM转换到SCFM

$$Q_g = \frac{Q \times P}{14.7}$$

示例：将气体流量的单位从立方英尺/分 (CFM) 转换为标准立方英尺 (SCFM)。

假定：

$$Q = 20 \text{ CFM}$$

$$P = 294 \text{ psia}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= \frac{Q \times P}{14.7} = \frac{20 \text{ CFM} \times 294 \text{ psia}}{14.7 \text{ psia}} \\ &= \underline{\underline{400 \text{ SCFM}}} \end{aligned}$$

将气体的质量流量转换为空气的体积流量 (SCFM)

$$Q_g (\text{空气}) = \frac{M (\text{任意气体}) \times 13.36}{S_g (\text{任意气体}) \times \sqrt{\frac{1}{S_g (\text{任意气体})}}}$$

示例：将任意气体的质量流量 (SCFM) 转换为空气的体积流量 (SCFM)

假定：M (He) = 1 lb. min, $S_g (\text{He}) = 0.138$

$$\begin{aligned} Q_g &= \frac{M \times 13.36}{S_g \times \sqrt{\frac{1}{S_g}}} = \frac{1 \times 13.36}{0.138 \times \sqrt{\frac{1}{0.138}}} \\ &= \underline{\underline{35.96 \text{ SCFM (空气)}}} \end{aligned}$$

流量计算

介质表

A. 当将水的流量 (GPM) 转换为液体的流量时使用的近似转换因子:

原油	1.015至1.11
汽油	1.15
液压矿物油	1.12
液压磷酸酯油	0.95
液压油流标准Mil 5606	1.10
液压油水乙二醇基	0.98
煤油	1.10
水	1.00

示例: 如果最大水流量为5 GPM, 计算通过调压器的最大煤油流量。

$$\begin{aligned} \text{煤油流量} &= 5 \text{ GPM (水)} \times 1.10 \text{ (煤油因子)} \\ &= \underline{\underline{5.5 \text{ GPM}}} \end{aligned}$$

B. 当将空气的流量 (SCFM) 转换为其他气体的流量时使用的近似转换因子:

空气	1.000
氦	1.295
氩	0.852
肫	0.609
二氧化碳	0.810
氮	2.690
氢气	3.790
氯化氢	0.888
氮	1.015
氧	0.951
硅烷	0.915

示例: 如果最大空气流量为300 SCFM, 计算通过调压器的最大氦流量。

$$\begin{aligned} \text{氦流量} &= 300 \text{ SCFM (空气)} \times 2.69 \text{ (氦因子)} \\ &= \underline{\underline{807 \text{ SCFM}}} \end{aligned}$$

$$\text{空气流量} = \frac{25 \text{ SCFM}}{2.69} = 9.3 \text{ SCFM 氮气}$$

C. 各种液体的近似比重 (S_L):

原油	0.81至0.97
汽油	0.75
液压矿物油	0.80
液压磷酸酯油	1.10
液压油流标准 Mil 5606	0.83
液压油水乙二醇基	1.05
煤油	0.82
水	1.00

若想将水 (比重为1.0) 的流量转换为比重不是1.0的液体的流量时, 使用以下公式:

$$Q_L (\text{任意液体}) = Q_L (\text{水}) \sqrt{\frac{1}{S_L (\text{任意液体})}}$$

D. 各种气体的近似比重 (S_g):

空气	1.000
氦	0.596
氩	1.379
肫	2.695
二氧化碳	1.529
氮	0.138
氢气	0.070
氯化氢	1.268
氮	0.967
氧	1.105
硅烷	1.195

若想将空气 (比重为1.0) 的流量转换为比重不是1.0的气体的流量时, 使用以下公式:

$$Q_g (\text{任意气体}) = Q_g (\text{空气}) \sqrt{\frac{1}{S_g (\text{任意气体})}}$$



警告! 在您未阅读并完全理解 TESCOM 安全、安装和操作注意事项之前, 切勿尝试选择、安装、使用或者维护本产品。