

中华人民共和国国家标准

容积式压缩机流量测量方法

GB/T 15487—1995

Methods of flow measurement for  
displacement compressor

1 主题内容与适用范围

本标准规定了容积式压缩机(以下简称“压缩机”)流量的测量装置和测量方法。

本标准适用于压缩机流量的测量。输气管内流量的测量也可参照采用。

本标准不适用于管道内流量不稳定、气体有相变、气体中有固体或液体等物质析出以及节流件上游气体是音速或超音速流等情况下流量的测量。

2 引用标准

GB/T 2624 流量测量节流装置 用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量

GB 3853 一般用容积式空气压缩机性能试验方法

GB 4975 容积式压缩机名词术语

GB 4976 压缩机分类

GB/T 13928 微型往复式空气压缩机

ZB J72 014.1 全无油润滑往复式空气压缩机 型式与基本参数

ZB J72 041 往复式空气压缩机 储气罐

ZB J72 025 往复压缩机 术语

3 符号

在无特殊说明的情况下,本标准各主要符号的意义如表 1。

表 1 符号

符 号	名 称 或 定 义	量 纲	单 位
A	有效截面积	L <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
C	① 工作状态下节流件流出系数 $C = a \cdot \sqrt{1 - \beta^4}$ ② ASME 喷嘴的喷嘴系数 $C = a\epsilon \sqrt{p_1/p_b}$	—	—
C*	临界流系数	—	—
D	工作状态下节流件上游管道内径	L	m
f	频率	T <sup>-1</sup>	Hz
g	储气罐净重	M	kg
G	① 充气后储气罐总重量 ② 以百分数表示的压力表精度级	M —	kg —

国家技术监督局 1995-02-19 批准

1995-10-01 实施

续表 1

符 号	名 称 或 定 义	量 纲	单 位
$\Delta h$	气柜下沉高度	L	m
$Ho$	安德逊数	—	—
$k$	气体等熵指数	—	—
$K$	管壁等效粗糙度	L	m
$p$	气体的静压力	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$p_m$	压力表满刻度值	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$p_a$	实测压力值	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$\Delta p$	气体流经节流件时的压力差或气流在管道内压力降	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$q_m$	质量流量	$MT^{-1}$	kg/s
$q_v$	容积流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/s$
$Q$	换算到压缩机 1 级吸气状态下容积流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/s$
$Q_0$	未计及冷凝水的压缩机容积流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/s$
$Q_1$	压缩机容积流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/s$
$R$	理想气体常数	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	J/kg·K
$t$	摄氏温度	$\theta$	℃
$T$	热力学温度		K
$U$	节流件上游管道内气体平均轴向速度	$LT^{-1}$	m/s
$V$	有效容积	$L^3$	$m^3$
$\mu$	气体的动力粘度	$ML^{-1}T^{-1}$	Pa·s
$\nu$	气体的运动粘度 $\nu = \mu/\rho$	$L^2T^{-1}$	$m^2/s$
$\rho$	密度	$ML^{-3}$	$kg/m^3$
$\tau$	① 压力比 $\tau = p_2/p_1$	—	—
	② 测量时间	T	s
$\alpha_t$	喷嘴材料的热膨胀系数	$\theta^{-1}$	1/K
$\zeta$	真实气体可压缩性系数	—	—
下标 1	压缩机 1 级或节流件上游取压口	—	—
下标 2	节流件下游取压口		
下标 b	大气		
下标 f	流量计		
下标 h	气柜		
下标 k	储气罐		
下标 L	压缩机自身外泄漏		
下标 n	系统泄漏		
下标 x	压缩机吸气		

注：量纲符号：L—长度；M—质量；T—时间； $\theta$ —温度。

4 术语

本标准除规定下述术语外,其余术语见 GB 4975、GB 4976 及 ZB J72 025。

4.1 一次装置

安装于被测流体的管道,用来测量流体流量的装置。

一次装置还包括取压口。

4.2 二次装置

除一次装置外,在测量中所需要的其他装置。

4.3 喉部

节流元件开孔最小横截面处。

4.4 喷嘴

由入口收缩部分和与其相连的喉部组成。

4.5 文丘里管

由入口收缩部分、喉部和圆锥形扩散部分共同组成。

4.5.1 圆弧文丘里喷嘴

收缩部分是圆弧旋转面的文丘里管。

4.6 喷嘴直径( $d$ )

喷嘴喉部直径。

4.7 管壁取压

取压口开在管壁上,其内边缘与管道内壁平齐。

开孔一般是圆形的,但也可以开成一个环形缝隙。

4.8 压差( $\Delta p$ )

一次装置的两个取压口处,采取管壁取压测得的静压差。

4.9 压力比( $\tau$ )

一次装置的两个取压口处,测得的下游静压力与上游静压力之比,即: $p_2/p_1$ 。

4.10 直径比( $\beta$ )

一次装置在工作状态下,喷嘴直径与上游直管段内径(以下简称管径)之比,即: $d/D$ 。

4.11 雷诺数( $Re_D$ )

本标准所用的雷诺数是节流件上游直管内气体平均轴向速度与管径乘积和气体运动粘度之比,即: $UD/\nu$ 。

4.12 流量系数( $\alpha$ )

用名义上不可压缩的流体对一次装置进行标定,实测出质量流量  $q_m$  和与之对应的压差  $\Delta p$  后,按(1)式计算出来的无量纲数  $\alpha$ 。

$$\alpha = \frac{q_m}{(1/4)\pi d^2 (2\rho_1 \Delta p)^{1/2}} \dots\dots\dots (1)$$

对于几何相似的一次装置,流量系数仅与雷诺数有关。

4.13 膨胀系数( $\epsilon$ )

用可压缩的流体对一次装置进行标定,实测出质量流量  $q_m$  和与之对应的压差  $\Delta p$  后,按(2)式计算出来的无量纲数  $\epsilon$ 。

$$\epsilon = \frac{q_m}{(1/4)\pi d^2 (2\rho_1 \Delta p)^{1/2}} \dots\dots\dots (2)$$

对于给定直径比的一次装置,膨胀系数只与压力比和等熵指数有关。

4.14 不确定度( $\delta$ )

可期望被测量的真值能以一定的概率存在的一个范围,详见 10.1 条。

## 5 总则

- 5.1 可以采用 GB/T 2624 所规定的任一方法测量压缩机流量,但必须完全满足 GB/T 2624 的要求。
- 5.2 如果不能全部满足 GB/T 2624 推荐的一次装置的安装要求时,允许缩短其上游直管段长度,但应增设整流器,如采用 ISA 1932 喷嘴为节流件时,按第 7 章规定的方法测量压缩机流量。
- 5.3 对于动力用空气压缩机(以下简称“空压机”)以及其它压缩介质允许放空的气体压缩机,推荐采用第 8 章规定的方法测量压缩机流量。
- 5.4 在要求用简单、快速且经济的方法测量空压机流量的场合,而测量精度要求不严格时,可以采用圆弧文丘里喷嘴测量临界流状态下空气容积流量的装置,详见第 9 章。
- 5.5 在上述几种测量方法都不适合时,可以采用附录 A(补充件)、附录 B(补充件)、附录 C(参考件)和附录 D(参考件)给出的四种流量测量的任一种方法。

## 6 测量的一般要求

- 6.1 根据 GB 3853 或供需双方商定的压缩机测试工况确定流量的测量工况。每一流量测量工况读数五次,各次读数时间间隔应均匀,各测点参数应尽可能同时读取。以各参数的平均值计算压缩机流量。
- 6.2 测量应在压缩机运转平稳,工况稳定时进行。测量过程中各被测参数的波动不得超出表 2 的规定。
- 6.3 测试仪器仪表的精度应符合本标准有关条款的规定,并经计量部门检验合格。
- 6.4 压缩机 1 级吸气压力、吸气温度及大气压力的测量应符合 GB 3853 的规定。
- 6.5 对于无消声器及进气管,直接从大气吸气的空压机,其 1 级吸气压力等于测试处大气压力。
- 6.6 测试前应对测试系统的全部设备、连接管路、测压点及测温点作密封性检查,不应泄漏。节流件内表面应清洁,不应有污物粘附。

表 2 被测参数允许的波动值

被测参数	实测值与规定值间允许的最大相对偏差	任一参数的一组读数相对于其平均值的最大允许波动范围
压缩机吸气压力	±10%	±0.5%
总压力比	±5%	±5%
压缩机吸气温度	—	±2℃
主轴转速	±4%	±1%
冷却水流量	±10%	±10%
冷却水和气体间温差	±10℃	±2℃
节流件温度	—	±2℃
节流件压差	—	±3%

- 6.7 应尽可能测量压缩机排出气体的流量来计算压缩机实际流量。如果不能实测排出气体的流量,但能够以足够的精度测量压缩机泄漏损失,则允许测量压缩机吸气流量来推算出压缩机实际流量。
- 6.8 节流件一般应逐个进行标定,给出流量系数及其相应的不确定度,供流量测量和误差分析时采用,以提高测量精度。
- 6.9 对于未经标定的节流件,其制造要求和使用条件应严格地符合本标准的规定。
- 6.10 在用喷嘴装置测量往复式压缩机等的脉动排气流量时,测量系统中必须接入一定容积的缓冲罐。

6.10.1 缓冲罐容积应根据所要求的测量精度按(3)式计算。

$$V = \frac{p_{av} Q_{av} H_o}{f \Delta p} \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $V$ ——压缩机排气口与喷嘴装置之间的缓冲罐(包括管道)容积,  $m^3$ ;

$f$ ——气流脉动频率,  $Hz$ ;

$\Delta p$ ——压缩机排气口到喷嘴上游取压口的总压力降,  $Pa$ ;

$p_{av}$ ——缓冲罐气体平均绝对压力,  $Pa$ ;

$Q_{av}$ ——喷嘴上游取压口状态的平均容积流量,  $m^3/h$ ;

$H_o$ ——安德逊数,按 6.10.2 条选择。

6.10.2 对于单作用或单缸压缩机按图 1,对于多缸双作用压缩机按图 2 确定排气脉动流特性,分别根据所要求的流量测量精度从表 3 和表 4 中选择相应的安德逊数。

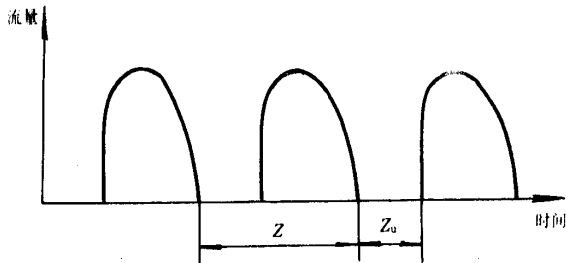


图 1 间隙脉动流特性

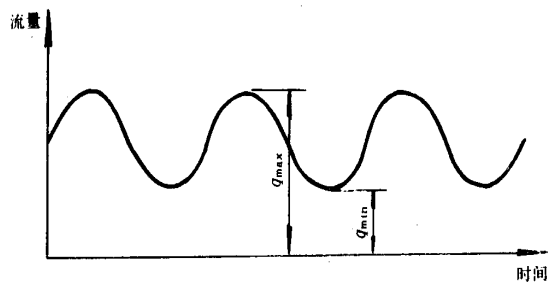


图 2 脉动流特性

表 3 间隙脉动流时的安德逊数  $H_o$

特性 $Z_0/Z$	脉动流附加不确定度	
	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$
	$H_o$	
1.0	2.5	1.70
0.8	1.85	1.25
0.6	1.35	0.9
0.4	0.95	0.65
0.2	0.65	0.45
0	0.50	0.35

6.10.3 表3和表4中所规定的为脉动流附加不确定度,在流量不确定度计算中应代数加入。

6.10.4 流量测量系统中接入缓冲容积后,如能确定缓冲罐出口气流特性  $q_{\max}/q_{\min} \approx 1$ ,则认为是稳定流动,按本标准的规定测量流量可以不计入脉动气流附加不确定度。

表4 脉动流时的安德逊数  $Ho$

特性 $q_{\max}/q_{\min}$	脉动流附加不确定度	
	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$
	$Ho$	
2	0.14	0.09
3	0.24	0.15
4	0.30	0.19
6	0.35	0.23
8	0.38	0.26
10	0.40	0.27

## 7 用 ISA 1932 喷嘴加整流器的测量装置测量压缩机流量

### 7.1 测量装置

#### 7.1.1 测量装置的组成和布置

ISA 1932 喷嘴(本章内简称“喷嘴”)加整流器的测量装置由一个喷嘴和一个整流器以及若干圆的同径直管段组成,按图3布置。

注: ISA 1932 喷嘴是国际标准 ISO 1217 87《容积式压缩机 验收试验》采用的喷嘴。

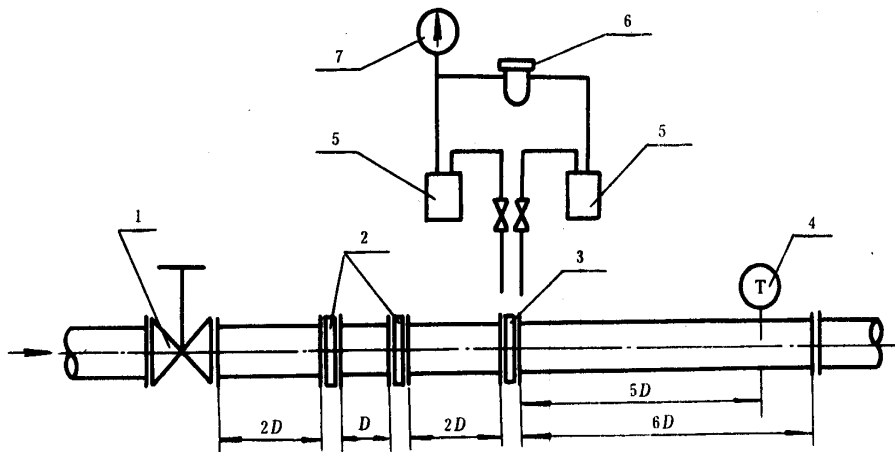


图3 ISA 1932 喷嘴加整流器测量装置示意图

1—通径为  $D$  的阀门;2—按图6规定加工的穿孔板;3—喷嘴;  
4—温度计;5—压力缓冲器;6—压差计;7—压力表

#### 7.1.2 喷嘴

7.1.2.1 喷嘴可用任何不易锈蚀的材料制成,推荐使用青铜或黄铜。

7.1.2.2 喷嘴形状、尺寸和公差应符合表5及图4或图5的规定。喷嘴内表面的轮廓度不得超过表5

的规定值,收缩曲面与圆柱部分应相切,并过渡圆滑。

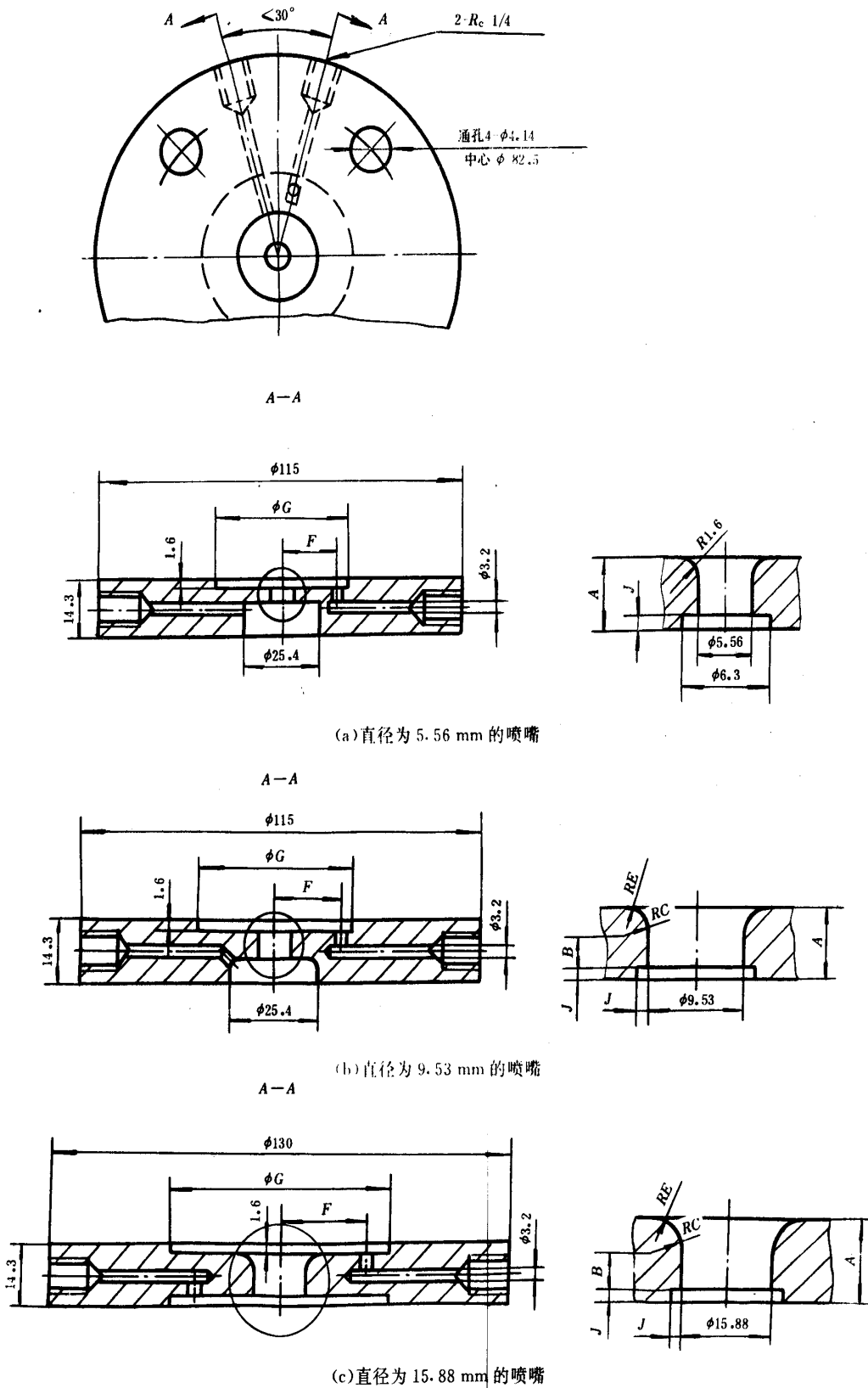
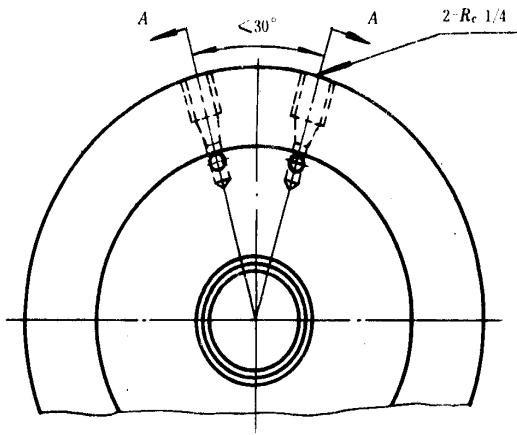


图 4 喷嘴直径  $d$  不大于 15.88 mm 的喷嘴示意图

表 5 喷嘴尺寸及公差

mm

管径 $D$	$d$	$A$	$B$	$C$	$E$	曲面轮廓度	$F$	$G$	$H$	$J$	$K$
25	$5.56 \pm 0.01$	$3.18 \pm 0.06$	—	—	—	0.26	19.05	44.45	—	0.46	—
25	$9.53 \pm 0.01$	$5.77 \pm 0.06$	2.87	3.15	1.91		—	—	—	—	—
40	$15.38 \pm 0.01$	$9.60 \pm 0.06$	4.78	5.23	3.18		26.19	60.33	—	—	—
65	$25.4 \pm 0.03$	$15.37 \pm 0.08$	7.62	8.38	5.08	0.36	38.89	85.73	—	0.80	29.17
90	$38.1 \pm 0.03$	$23.06 \pm 0.10$	10.29	12.57	7.62	0.36	51.59	111.13	11.11	1.60	44.45
150	$63.5 \pm 0.05$	$38.43 \pm 0.13$	19.05	20.96	12.70	0.50	84.93	177.80	—	2.46	74.22
276	$101.6 \pm 0.05$	$61.47 \pm 0.13$	30.48	33.53	20.32		141.29	292.10	12.7	3.20	117.67
375	$152.4 \pm 0.10$	$92.20 \pm 0.18$	45.72	50.29	30.48	0.50	206.38	425.45	15.88	4.80	177.80
600	$254.0 \pm 0.18$	$153.67 \pm 0.25$	76.20	83.82	50.80	0.50	323.85	660.4	—	8.00	293.10
900	$381.0 \pm 0.25$	$230.51 \pm 0.38$	114.30	125.73	76.20		497.43	971.55	19.05	12.20	419.1



A-A

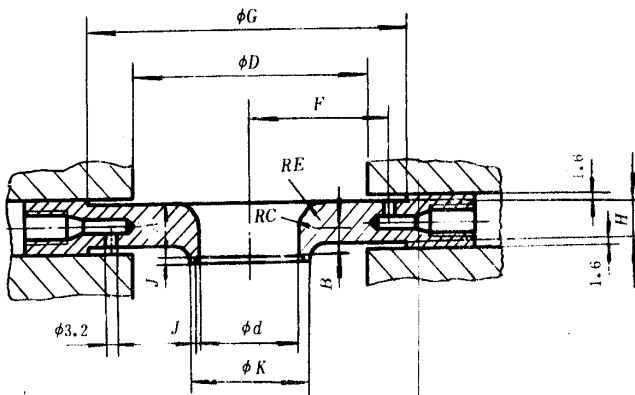


图 5 喷嘴直径  $d$  不小于 2.5 mm 的喷嘴示意图

7.1.2.3 喷嘴的内表面应光滑,无肉眼能见的划痕、坑凹等缺陷。

7.1.2.4 喷嘴上游端面及喉部表面粗糙度应为  $R_a \leq 10^{-4}d$ 。

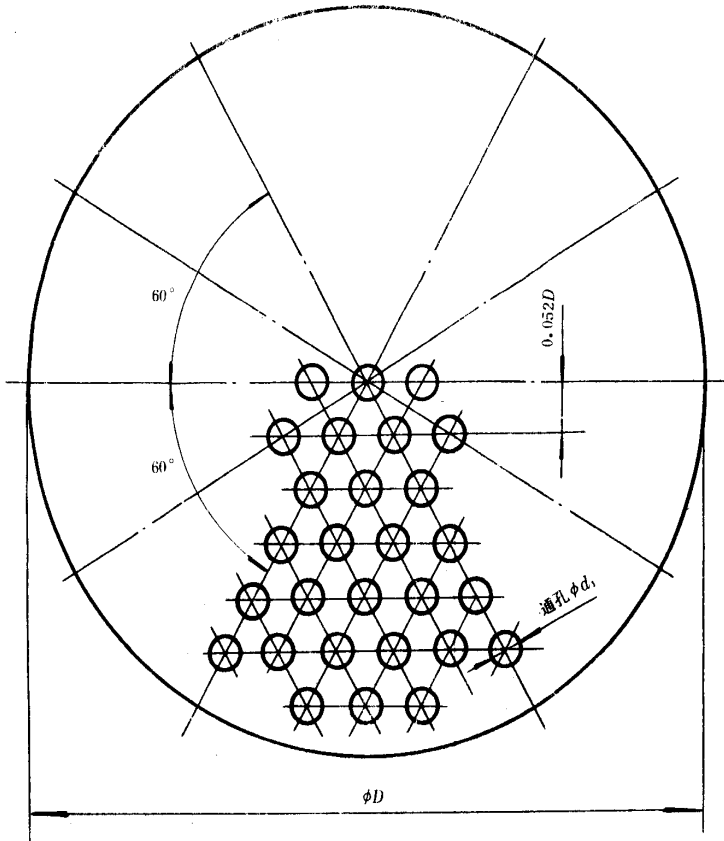


7.1.2.5 喷嘴加工完成后应检验喷嘴喉部。至少应在四个间隔角度大致相等的方位上测量喷嘴直径并计算出平均直径。喷嘴喉部任何截面的直径与这个平均直径的偏差不应大于平均直径的 0.05%。

7.1.3 整流器

7.1.3.1 整流器由两个穿孔板中间连接一个长度与管径  $D$  相等的直管段构成。

7.1.3.2 穿孔板的尺寸应符合图 6 的规定。



注：穿孔率与厚度  $t_1$  均为 0.011

图 6 整流器穿孔板

7.1.4 直管段

7.1.4.1 各直管段管径应相同，符合表 5 的规定，并与所用的喷嘴相对应。

7.1.4.2 喷嘴上游至少二倍管径长度内的管道任何截面的管径与按 7.3.5 条测得的平均管径的偏差不应大于平均管径的 0.3%。喷嘴下游至少二倍管径长度内的管道任何截面的管径与按 7.3.5 条测得的平均管径的偏差不应大于平均管径的 3%。

7.1.4.3 喷嘴上游直管段内壁相对等效粗糙度不应超过表 6 规定的数值，表 6 中的  $K$  值见附录 E(参考件)。

表 6 相对等效粗糙度限值

直径比 $\beta$	$\leq 0.35$	0.36	0.38	0.40	0.42
相对等效粗糙度 $10^4 K/D$	25	18.6	13.5	10.6	8.7

7.2 安装要求

7.2.1 喷嘴喉部与上游侧、下游侧管道应同轴，喉部中心线与上游和下游的管道中心线之间的偏差应不大于  $0.0025 D / (0.1 + 2.3\beta^3)$ 。如果实际偏差超过此值，但不超过  $0.005 D / (0.1 + 2.3\beta^3)$ ，则流出系

数  $C$  的不确定度应算术相加  $\pm 0.3\%$  的附加不确定度。

7.2.2 直管段上可以设置排污孔和放气孔,但孔径应小于  $0.08D$ ,且与喷嘴的距离不得小于  $0.5D$ ,与喷嘴取压口中心线周向错角应大于等于  $90^\circ$ 。测量时不得排污和放气。

7.2.3 喷嘴上游端面应与管道轴线垂直,其偏差不应超过  $\pm 1^\circ$ 。

7.2.4 安装喷嘴时应尽可能保证上游取压口中心线与节流阀阀杆处于大致相同的管道轴向平面内。

7.2.5 整个测量管段内表面应清洁,没有坑凹和沉积物。

7.2.6 管段间连接处的密封垫不得突入管道。

7.2.7 喷嘴两端的密封垫应尽可能薄,且内径不得小于喷嘴的  $G$  值(见表 5 和图 4 或图 5)。安装时,密封垫不得突入喷嘴  $\phi G$  的范围内。

7.2.8 从喷嘴上游二倍管径至下游六倍管径范围内应保温。

### 7.3 测量

#### 7.3.1 喷嘴的选择

7.3.1.1 在测量压缩机流量之前,根据估计的平均质量流量和选用的压差计量程范围以及测量位置的气体参数,按(4)式计算,选用适当的喷嘴直径:

$$d = \left[ \frac{q_m}{(1/4)\pi\alpha\epsilon(2\Delta p\rho_1)^{1/2}} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

式中:  $d$ ——喷嘴直径,  $m$ ;

$q_m$ ——估计的平均质量流量,  $kg/s$ ;

$\alpha$ ——喷嘴的流量系数,按(8)式估算;

$\epsilon$ ——气体流经喷嘴时的膨胀系数,按(9)式估算;

$\Delta p$ ——选用的压差计的量程范围内适当位置,  $Pa$ ;

$\rho_1$ ——测量位置气体密度,  $kg/m^3$ 。

7.3.1.2 在选择压差计时,应考虑气体流过喷嘴时的压力比  $\tau$  不小于  $0.75$ 。

#### 7.3.2 压力测量

7.3.2.1 喷嘴上游压力从喷嘴上游取压口按管壁取压方式测得,喷嘴压差从上、下游取压口按管壁取压方式测得。如图 3 所示。

7.3.2.2 压力表或压差计应通过缓冲器与取压口相接,缓冲器最小容积为  $5L$ ,内直径至少是高度的  $1/4$ ,如图 7 所示。引压管内径应不小于  $6mm$ 。可以通过增加缓冲器容积或加长引压管以消除测量时的压力波动。若管道中压力波动很小时,也允许省略缓冲器。

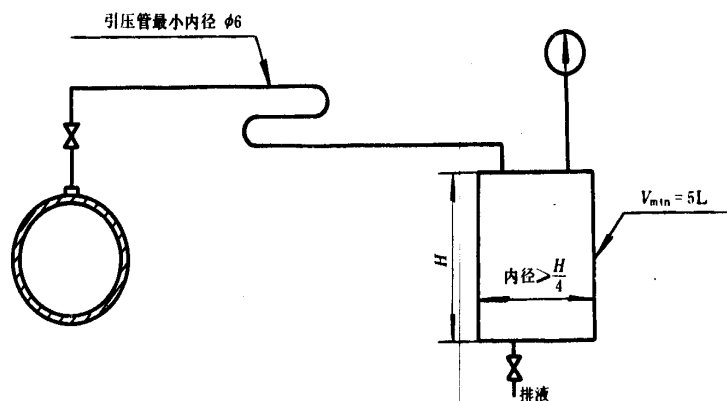


图 7 供测压用的缓冲器示意图

7.3.2.3 压力表精度应不低于0.4级。压差计应采用刻度不大于1mm,相对误差不大于±0.2%的液柱压差计或精度不低于它的其它压差计。

7.3.3 温度测量

7.3.3.1 温度测点位于喷嘴下游,距喷嘴下游端面五倍管径的截面处。

7.3.3.2 测温截面上应设有两套测温装置,它们在圆周方向上布置成90°角,并与邻近的取压口错开成45°角。温度计应尽量直接插入气道,必要时允许加温度计套管,但套管壁应尽可能薄,用钢材制成。套管内充以油或其他液体。温度计或温度计套管应沿管道径向插入。从管道内壁计起,插入深度应为管径的1/3~1/2,管径大于300mm时,插入深度取100mm。如果管道较细,允许将温度计或温度计套管逆流斜插,插入深度应大于温度计感温部分。

7.3.3.3 对于采用棒式水银温度计测量温度,其刻度不应大于0.2℃。

7.3.3.4 对于采用电阻温度计或热电偶温度计测量温度,在300℃以内测量的不确定度不应大于±1℃。

7.3.4 喷嘴直径*d*测量

7.3.4.1 喷嘴直径*d*应尽可能在喷嘴工作温度下测量,至少应在四个间隔角度大致相等的方位上测量喷嘴直径,测量误差不得大于±0.01mm,测得的这四个直径的平均值用于流量计算。

7.3.4.2 不能在工作条件下测量时,允许根据实际温度按(5)式换算。

$$d = d_b [1 + \alpha_L (t_1 - t_b)] \dots\dots\dots (5)$$

式中:*d*——流量计算用喷嘴直径,mm;  
*d<sub>b</sub>*——大气温度下喷嘴直径,mm;  
 $\alpha_L$ ——喷嘴材料的热膨胀系数,mm/mm·℃;  
*t<sub>1</sub>*——喷嘴上游气体温度,按(6)式计算,℃;  
*t<sub>b</sub>*——大气温度,℃。

7.3.5 管径*D*测量

流量计算用的管径*D*应为喷嘴上游半个管径长度内的实测平均管径。在喷嘴的上游侧,距上游取压口0*D*、0.25*D*和0.5*D*处各取与管道轴线垂直的一个截面。在每个截面上,以大致相等的角距离测量四个管径的单测值,所得12个单测值的算术平均值则为实测平均管径。

7.4 流量计算

7.4.1 喷嘴上游取压口处的温度按(6)式计算。

$$T_1 = [p_1 / (p_1 - \Delta p)]^{(k-1)/k} T_2 \dots\dots\dots (6)$$

式中:*T<sub>1</sub>*——喷嘴上游气体温度,K;  
*p<sub>1</sub>*——喷嘴上游气体压力,Pa;  
 $\Delta p$ ——喷嘴压差,Pa;  
*T<sub>2</sub>*——喷嘴下游气体温度,K;  
*k*——气体等熵指数。

7.4.2 喷嘴的流出系数,在没有标定值时按(7)式计算。

$$C = 0.9900 - 0.2262\beta^{4.1} - (0.00175\beta^2 - 0.0033\beta^{4.15})(10^6/Re_D)^{1.15} \dots\dots\dots (7)$$

式中:*C*——喷嘴的流出系数;  
 $\beta$ ——直径比;  
*Re<sub>D</sub>*——喷嘴上游气体流动的雷诺数。

7.4.3 喷嘴的流量系数按(8)式计算。

$$\alpha = CE \dots\dots\dots (8)$$

式中: $\alpha$ ——喷嘴的流量系数;

C——喷嘴的流出系数；

E—— $E=(1-\beta^4)^{-1/2}$ 。

7.4.4 气体流经喷嘴时的膨胀系数按(9)式计算。

$$\epsilon = \left[ \left( \frac{k\tau^{2/k}}{k-1} \right) \left( \frac{1-\beta^4}{1-\beta^4\tau^{2/k}} \right) \left( \frac{1-\tau^{(k-1)/k}}{1-\tau} \right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots(9)$$

式中：ε——气体流经喷嘴时的膨胀系数；

β——直径比；

k——气体等熵指数；

τ——压力比。

注：本公式只能用于τ≥0.75时。

7.4.5 流经喷嘴的气体质量流量按(10)式或(11)式计算。

$$q_m = (\pi/4)\alpha\epsilon d^2(2\Delta p\rho_1)^{1/2} \dots\dots\dots(10)$$

或

$$q_m = (\pi/4)CE\epsilon d^2(2\Delta p\rho_1)^{1/2} \dots\dots\dots(11)$$

式中：q<sub>m</sub>——流经喷嘴的气体质量流量,kg/s；

α——喷嘴的流量系数；

ε——气体流经喷嘴时的膨胀系数；

C——喷嘴的流出系数；

E—— $E=(1-\beta^4)^{-1/2}$ ；

d——喷嘴直径,m；

Δp——喷嘴压差,Pa；

ρ<sub>1</sub>——喷嘴上游气体密度,kg/m<sup>3</sup>。

注：在使用(10)式或(11)式计算质量流量时,应先估计一个质量流量,用于计算雷诺数 Re<sub>D</sub> 和喷嘴的流量系数或流出系数。利用迭代法逐次逼近质量流量。

7.4.6 未计及冷凝水的压缩机容积流量按(12)式计算。

$$Q_0 = q_m/\rho_{s1} \dots\dots\dots(12)$$

式中：Q<sub>0</sub>——未计及冷凝水的压缩机容积流量,m<sup>3</sup>/s；

q<sub>m</sub>——流经喷嘴的气体质量流量,kg/s；

ρ<sub>s1</sub>——流经喷嘴的气体在压缩机1级吸气状态下的气体密度,kg/m<sup>3</sup>。

7.5 不确定度

7.5.1 采用本章所规定的流量测量方法时,稳定流动的条件下,标定喷嘴的流量测量不确定度估算值为±1.3%；未标定喷嘴的流量测量不确定度估算值为±2%。

7.5.2 不计 β, D, Re<sub>D</sub> 的不确定度, K/D 符合 7.1.4.3 条的规定,流出系数 C 的相对不确定度为±0.8%。

7.5.3 膨胀系数 ε 的相对不确定度按(13)式计算。

$$\delta_\epsilon/\epsilon = \pm 2(\Delta p/p_1)\% \dots\dots\dots(13)$$

式中：δ<sub>ε</sub>/ε——膨胀系数相对不确定度；

Δp——喷嘴压差,Pa；

p<sub>1</sub>——喷嘴上游气体压力,Pa。

7.5.4 本章所规定的流量测量装置在喷嘴的上游采用了控制阀门,引入附加不确定度±0.5%,在流量不确定度计算中应代数加入。

## 8 用 ASME 喷嘴测量装置测量压缩机流量

### 8.1 测量装置

8.1.1 ASME 喷嘴(本章内简称“喷嘴”)测量装置的结构见图 8。

注: ASME 喷嘴是 ASME PTC9-1970《容积式压缩机、真空泵、风机试验规范》采用的喷嘴。

8.1.2 喷嘴

喷嘴形状和尺寸应符合图 9 和表 7 规定,收缩曲面与圆柱部分应相切,并过渡圆滑。其余要求应符合 7.1.2.1 条~7.1.2.5 条(7.1.2.2 条除外)的规定。

8.1.3 储气罐

8.1.3.1 储气罐应符合 ZB J72 041 的规定,储气罐容积应不小于该标准的推荐值。

8.1.3.2 对于微型往复式空压机,储气罐容积应不小于 GB/T 13928 的规定值。

8.1.3.3 对于全无油润滑往复式空压机,储气罐容积应不小于 ZB J72 014.1 的规定值。

8.1.4 直管段

8.1.4.1 在喷嘴上游至少二倍管径长度内的管道任何截面的内径与其平均管径的偏差不应大于平均管径的 0.3%。

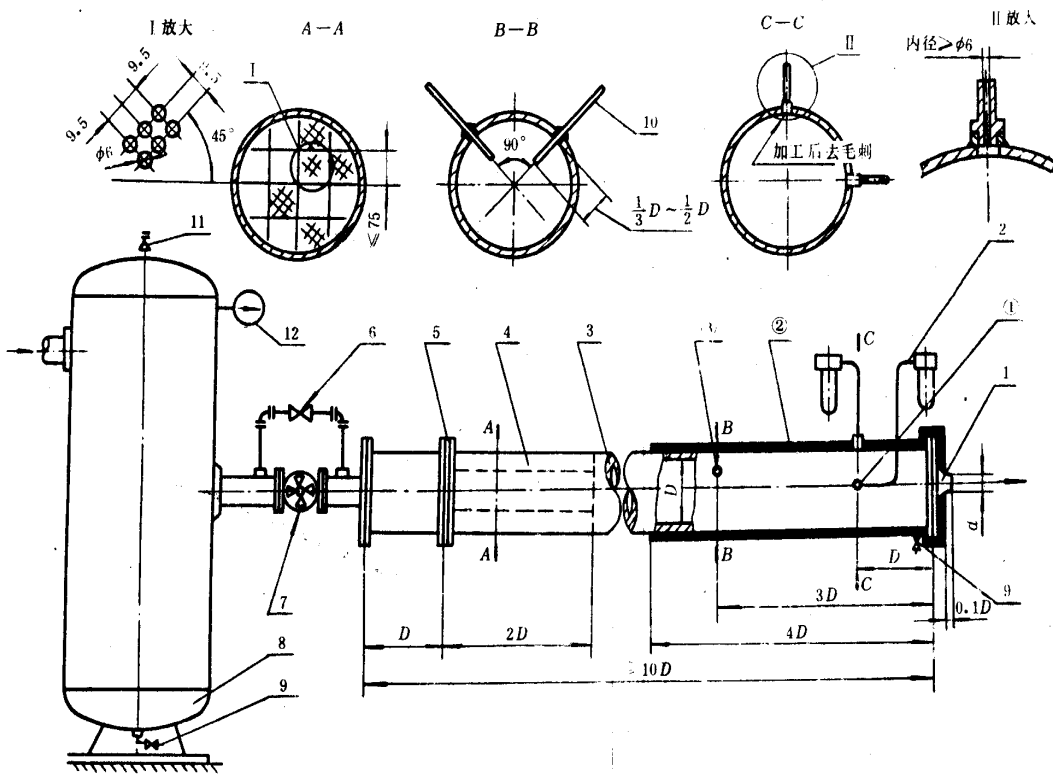


图 8 ASME 喷嘴测量装置示意图

- 1—喷嘴;2—压差计;3—直管段;4—导板;5—隔板;6—调压阀(微调);7—调压阀;  
 8—储气罐;9—排液阀;10—水银温度计;11—安全阀;12—压力表;①—测压点;  
 ②—保温层;③—测温点; $d$ —喷嘴直径; $D$ —管径, $D \geq 4d$

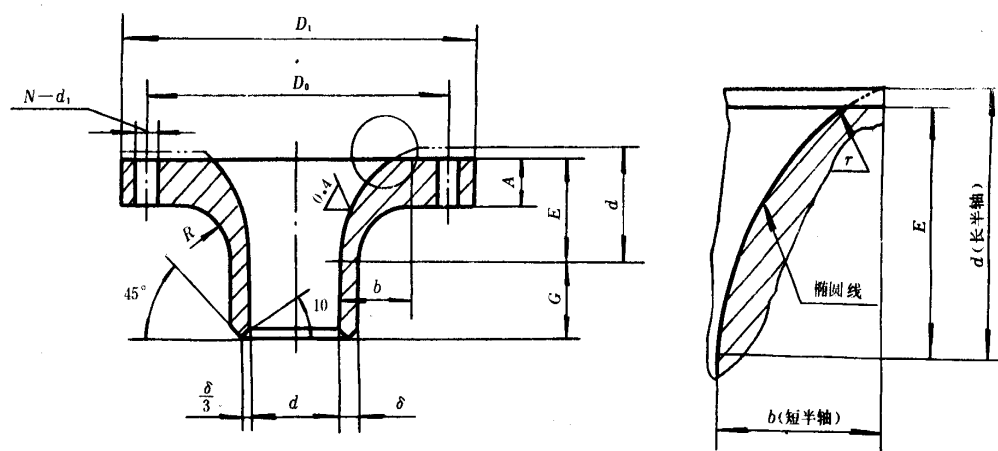


图9 喷嘴

表7 喷嘴尺寸

d	A	δ	b	E	r	G	R	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	N	d <sub>1</sub>	容积流量测量范围 m <sup>3</sup> /min							
												最小	最大						
mm																			
3.18	11.10	6.35	2.29	3.07	0.25	11.10	5	108	80	4	12.5	0.028	0.057						
4.76			3.30	4.60		11.89						0.057	0.113						
6.35			4.32	6.15		12.70						0.113	0.226						
9.52	15.88	6.35	6.35	9.22	0.76	14.27	10	190	152	4	16.5	0.255	0.510						
12.70			8.64	12.29		15.88						0.453	0.906						
19.05			12.70	18.44		19.05						1.019	2.011						
25.40	23.80	6.35	17.02	24.61	1.27	22.22	12	228	190	4	16.5	1.756	3.597						
34.92	25.40		23.37	33.83		1.78						27.00	15	280	242	8	20.5	3.370	6.768
50.80			7.95	33.78		49.22						2.54	38.10					24	7.165
63.50		9.52	42.42	61.52	3.30	47.62	34	11.243	22.373										
76.20	28.58	11.12	50.80	73.81	3.81	57.15	44	342	298	4	16.5	16.001	31.917						
101.60			23.37	33.83		1.78						27.00	15	280	242	8	20.5	28.603	57.206
127.00			30.18	12.70		84.58						123.04	6.35					95.25	82
152.40	31.75	101.60	147.62	7.62	114.30	103	482	432	12	24.5	64.003	127.723							

8.1.4.2 管径应大于等于四倍的喷嘴直径,但不得大于 630 mm,且不小于 50 mm。

8.1.4.3 直管段内壁等效粗糙度 K 值见附录 E(参考件),它相对于管径 D 的值应为:  $K/D \leq 10 \times 10^{-4}$ 。

8.2 安装要求

8.2.1 直管段安装应符合 7.2.1 条~7.2.6 条(7.2.4 条除外)的规定。

8.2.2 在喷嘴上游四倍管径到喷嘴(包括喷嘴)范围内应保温,但不得影响喷嘴排气。

8.2.3 直管段应水平置于支架上,底部与地面距离不小于 500 mm。在喷嘴下游不得有任何影响测量的障碍物。

8.3 测量

8.3.1 压差测量

8.3.1.1 喷嘴压差应用两套水柱压差计采用管壁取压自喷嘴上游取压口测量,取压口轴线与喷嘴端面距离等于管径。取压口应光滑,除尽毛刺。

8.3.1.2 水柱压差计刻度应不大于 10 Pa(或 1 mmH<sub>2</sub>O),相对误差不大于±0.2%,管内径应不小于 10 mm。充以清水。必要时,允许加入微量水溶性染料,以利读数。

8.3.2 温度测量

8.3.2.1 喷嘴上游气体温度的测点位于喷嘴上游,距离喷嘴端面三倍管径截面处。用两只不带套管的水银温度计测量或精度不低于它的其他温度计测量。温度计在圆周方向上错开 90°角,并与喷嘴压差取压口错开 45°角。温度计应沿管道径向插入。从管道内壁计起,插入深度应为管径的 1/3~1/2,对于管径大于 300 mm 时,插入深度取 100 mm。温度计杆身应与管道绝热。

8.3.2.2 温度的测量精度应符合 7.3.3.3 条和 7.3.3.4 条的规定。

8.3.3 喷嘴直径  $d$  应按 7.3.4.1 条和 7.3.4.2 条规定测量。

8.4 流量计算

8.4.1 流量系数  $\alpha$  与膨胀系数  $\epsilon$  的乘积按(14)式计算。

$$\alpha\epsilon = C(p_b/p_1)^{1/2} \dots\dots\dots(14)$$

式中:  $p_1$ ——喷嘴上游气体压力,Pa;  
 $p_b$ ——试验处大气压力,Pa;  
 $C$ ——喷嘴系数,按图 10 的规定从表 8 中选取。

8.4.2 通过喷嘴的气体质量流量按(10)式计算。

8.4.3 未计及冷凝水的压缩机容积流量按(12)式计算。对于空压机,按(15)式计算。

$$Q_0 = 18.82Cd^2 \frac{T_{s1}}{p_{s1}} \left( \frac{\Delta p \cdot p_b}{T_1} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(15)$$

若空压机吸气压力等于试验处大气压力时,按(16)式计算。

$$Q_0 = 18.82Cd^2 T_{s1} \left( \frac{\Delta p}{T_1 p_b} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(16)$$

式中:  $Q_0$ ——未计及冷凝水的压缩机容积流量,m<sup>3</sup>/s;  
 $C$ ——喷嘴系数,按图 10 的规定从表 8 中选取;  
 $d$ ——喷嘴直径,m;  
 $T_{s1}$ ——压缩机 1 级吸气温度,K;  
 $p_{s1}$ ——压缩机 1 级吸气压力,Pa;  
 $\Delta p$ ——喷嘴压差,Pa;  
 $T_1$ ——喷嘴上游气体温度,K;  
 $p_b$ ——试验处大气压力,Pa。

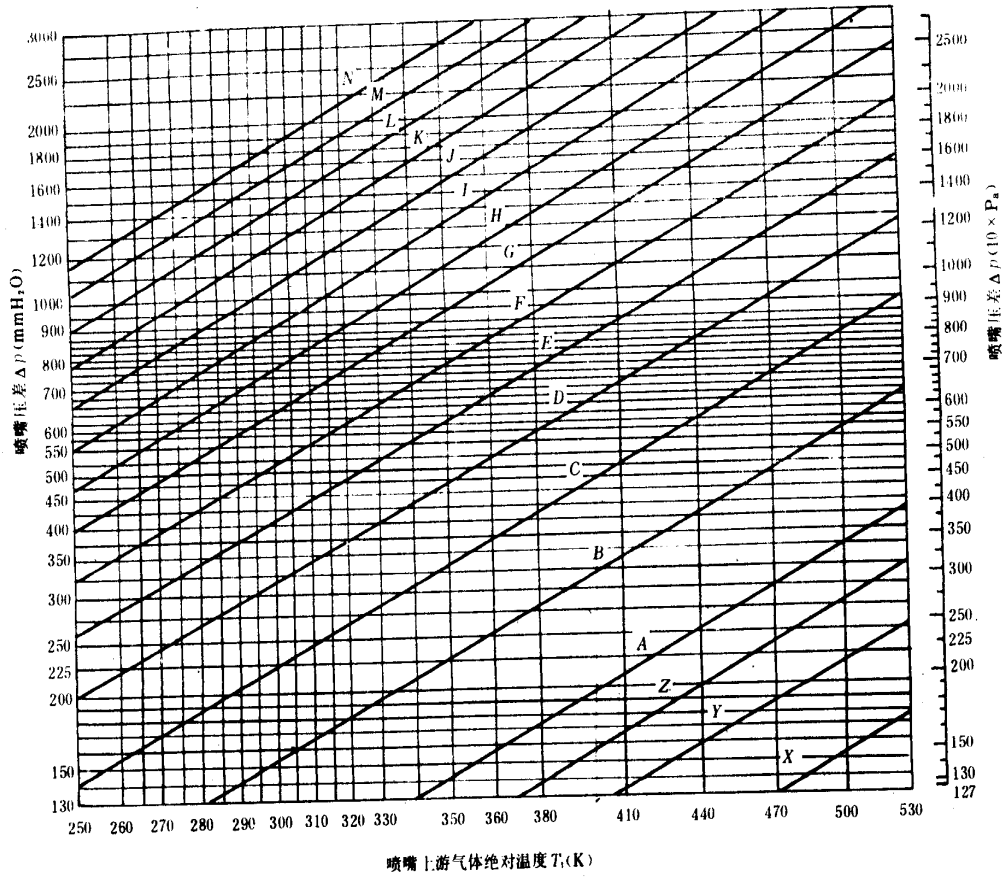


图 10 选择喷嘴系数特性线图



表 8 喷嘴系数

特性 线	喷嘴直径,mm													
	3.18	4.76	6.35	9.52	12.70	19.05	25.40	34.92	50.80	63.50	76.20	101.60	127.00	152.40
A	0.938	0.946	0.951	0.957	0.963	0.968	0.973	0.977	0.982	0.984	0.986	0.990	0.993	0.994
B	0.942	0.948	0.955	0.960	0.965	0.971	0.975	0.979	0.984	0.987	0.989	0.992	0.994	
C	0.944	0.952	0.959	0.964	0.968	0.974	0.978	0.981	0.986	0.990	0.991	0.994		
D	0.947	0.954	0.961	0.966	0.970	0.976	0.980	0.983	0.988	0.991	0.993			
E	0.950	0.957	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.985	0.990	0.992	0.994			
F	0.953	0.958	0.964	0.969	0.973	0.978	0.983	0.986	0.991	0.993				
G	0.956	0.960	0.966	0.970	0.974	0.979	0.984	0.988	0.992	0.994				
H	0.958	0.962	0.967	0.972	0.976	0.980	0.985		0.993					
I	0.959	0.964	0.968	0.974	0.978	0.982	0.986	0.989	0.994			0.995		
J	0.960	0.965	0.970	0.975	0.979	0.983	0.987	0.990						
K	0.961	0.966	0.971	0.976	0.980	0.984	0.988	0.991	0.995			0.995		
L	0.962	0.967	0.972	0.977	0.981	0.985	0.989	0.992						
M	0.963	0.968	0.973	0.978	0.982	0.986	0.990	0.993	0.995					
N	0.964	0.969	0.974	0.979	0.983	0.987	0.991	0.994						

8.5 不确定度

8.5.1 按本章所规定的喷嘴装置和储气罐容积,流量不确定度计算中不计入脉动气流附加不确定度。

8.5.2 气体流经喷嘴时的膨胀系数  $\epsilon$  按(9)式计算,流量系数按(17)式计算。

$$\alpha = \frac{C}{\epsilon} \cdot \left( \frac{p_b}{p_1} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (17)$$

式中:  $\alpha$ ——喷嘴的流量系数;

$C$ ——喷嘴系数;

$\epsilon$ ——气体流经喷嘴时的膨胀系数;

$p_b$ ——试验处大气压力,Pa;

$p_1$ ——喷嘴上游气体压力,Pa。

8.5.3 不计  $\beta, Re_D$  的不确定度,流量系数的不确定度按(18)式计算。

$$\frac{\delta_\alpha}{\alpha} = \pm (2.5 - 5\beta)\% \dots\dots\dots (18)$$

式中:  $\beta$ ——直径比。

8.5.4 膨胀系数  $\epsilon$  的不确定度按(13)式计算。

9 用圆弧文丘里喷嘴测量装置在临界流状态下测量空压机流量

注:本章定义临界流状态是指气流在喷嘴喉部达到音速。

9.1 测量装置

9.1.1 测量装置的组成和布置

用圆弧文丘里喷嘴(本章内简称“喷嘴”)测量临界流状态下空压机流量的测量装置由1个喷嘴和1

个整流器以及若干直管段组成,按图 11 布置。

9.1.2 基本要求

9.1.2.1 喷嘴直径的选取应保证喷嘴上下游压力比能使气流在喷嘴喉部达到音速。

9.1.2.2 在喷嘴的下游允许装有一段管子和消声器,但该管和消声器造成的压力降不得影响喷嘴喉部临界流工况。

9.1.3 喷嘴

喷嘴应按图 12 和表 9 给出的尺寸加工,并符合 7.1.2.1 条,7.1.2.3 条和 7.1.2.5 条的规定。

9.1.4 整流器

整流器应符合 7.1.3.1 条和 7.1.3.2 条的规定。

9.1.5 直管段

9.1.5.1 图 11 中的各管段应是圆形直管。检验时,允许以管道的外圆面作为参考面。

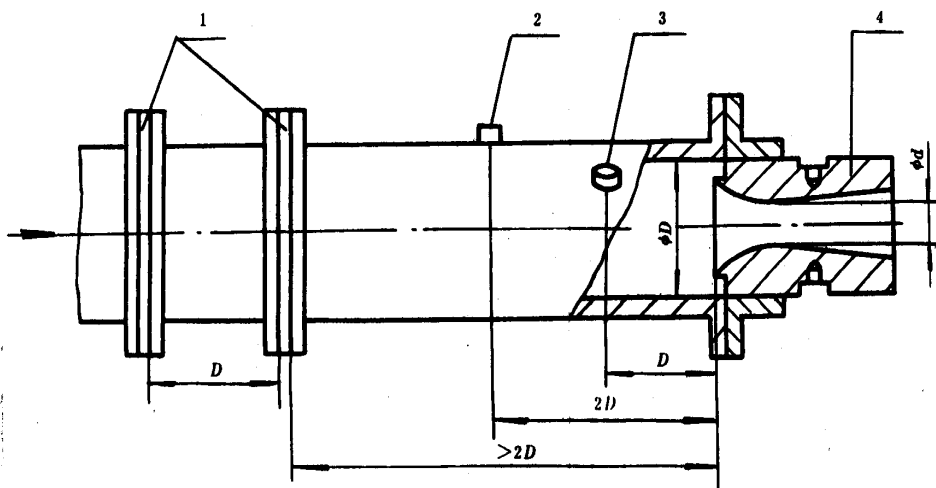


图 11 圆弧文丘里喷嘴测量装置示意图

1—穿孔板(见图 6);2—测温点;3—取压口;4—喷嘴

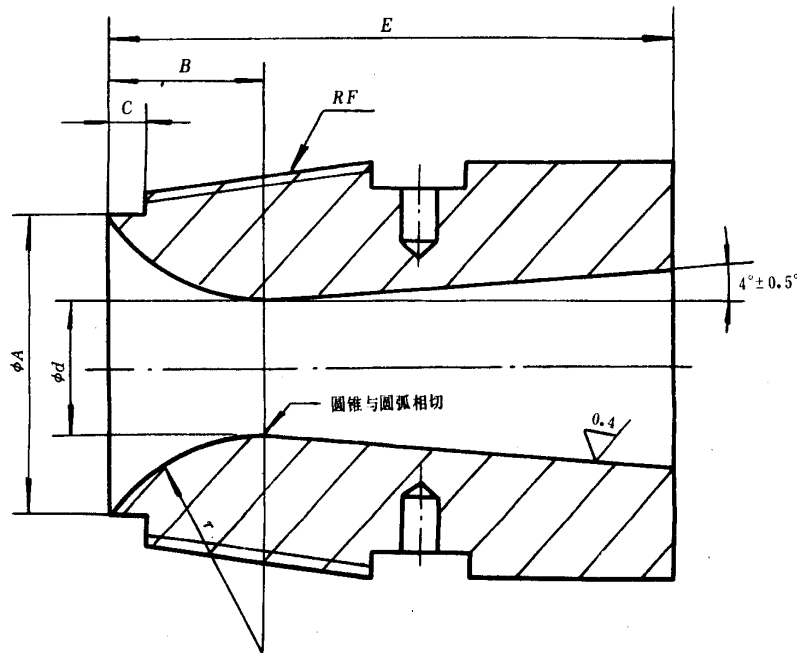


图 12 喷嘴  
表 9 喷嘴尺寸

$d$ mm	$A$ mm	$C$ mm	$B$ mm	$r$ mm	$E$ mm	$F$ in	流量 $10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$
6.350	16.00	2.40	9.96	12.70	60.5	1	12~40
9.525	24.00	3.60	14.95	19.05	91.0	1½	24~90
12.700	32.00	4.60	19.93	25.40	121.5	2	50~160
19.050	48.00	7.10	29.89	38.10	182.0	2½	100~360
25.400	64.00	9.60	39.85	50.80	243.0	3	180~650
31.750	80.00	12.00	49.82	63.50	303.5	3½	280~1 000
38.100	95.00	14.20	59.38	76.20	364.0	4	400~1 500

注：流量为流经喷嘴的空气在喷嘴上游气体状态下的容积流量。

9.1.5.2 联接整流器与喷嘴的直管段的管径不得小于四倍的喷嘴直径，长度不得小于二倍的管径，内表面应光滑，不得有沉积物。

9.1.5.3 在喷嘴上游二倍管径到喷嘴(包括喷嘴)范围内应保温，但不得影响喷嘴排气。

## 9.2 测量

### 9.2.1 压力测量

取压口位于喷嘴上游，与喷嘴距离等于管径的截面处，采用管壁取压方式测量喷嘴上游气体压力，并符合 7.3.2.2 条和 7.3.2.3 条的规定。

### 9.2.2 温度测量

温度测点位于喷嘴上游距离喷嘴端面二倍管径截面处，按 7.3.3.2 条的规定测量喷嘴上游气体温度。温度计测量的不确定度应不低于  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

## 9.3 流量计算

9.3.1 临界流系数按(19)式计算。

$$C^* = 0.684\ 858 + (3.705\ 75 - 4.769\ 02 \times 10^{-2} \times t_1 + 2.630\ 19 \times 10^{-4} \times t_1^2) p_1 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(19)$$

式中:  $C^*$ ——临界流系数;

$t_1$ ——喷嘴上游气体温度, °C;

$p_1$ ——喷嘴上游气体压力, MPa。

9.3.2 流经喷嘴的气体质量流量按(20)式计算。

$$q_m = \frac{\pi d^2 C C^* p_1}{4(RT_1)^{1/2}} = \frac{4.58 \times 10^{-2} d^2 C^* p_1}{T_1^{1/2}} \dots\dots\dots(20)$$

式中:  $q_m$ ——流经喷嘴的气体质量流量, kg/s;

$d$ ——喷嘴直径, mm;

$C^*$ ——临界流系数;

$C$ ——喷嘴流出系数, 根据试验数据及规定精度取  $C=0.988\ 8$ ;

$p_1$ ——喷嘴上游气体压力, MPa;

$T_1$ ——喷嘴上游气体温度, K;

$R$ ——气体常数, 对于空气取  $R=287.1\ \text{J/kg} \cdot \text{K}$ 。

9.3.3 未计及冷凝水的压缩机容积流量按(21)式计算。

$$Q_0 = \frac{1.315 \times 10^{-5} d^2 C^* p_1 T_{x1}}{p_{x1} T_1^{1/2}} \dots\dots\dots(21)$$

式中:  $Q_0$ ——未计及冷凝水的压缩机容积流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$d$ ——喷嘴直径, mm;

$C^*$ ——临界流系数;

$p_1$ ——喷嘴上游气体压力, MPa;

$T_1$ ——喷嘴上游气体温度, K;

$p_{x1}$ ——压缩机1级吸气压力, MPa;

$T_{x1}$ ——压缩机1级吸气温度, K。

#### 9.4 不确定度

对于符合本章要求的测量装置, 在稳定的工况下流量测量的不确定度为 $\pm 2.5\%$ 。

### 10 压缩机流量测量不确定度估算

10.1 本标准定义不确定度为一个数值范围, 在此范围内测量的真值估计是以95%的概率处于其中。其数值等于统计学术语标准偏差的二倍。

10.2 不确定度可以用绝对值或相对值表示, 流量测量结果可以以下列任一种形式给出。

$$\text{流量} = q \pm \delta q$$

或  $\text{流量} = q(i \pm \delta q/q)$

或  $\text{流量} = q$  在  $100\delta q/q\%$  之内

10.3 流量测量不确定度详细计算方法应参照 GB/T 2624。

10.4 本标准认为用于流量计算的各独立量的随机误差符合拉普拉斯-高斯正态分布规律, 同时只要测量符合本标准和 GB 3853 的规定, 与这些独立量测量不确定度有关的系统不确定度亦作为随机化系统不确定度处理。

10.5 本标准认为对于多数实用场合下,  $\epsilon$ 、 $\Delta p$  和  $p_1$  的不确定度彼此独立, 同时也与  $\alpha$  和  $d$  的不确定度无关。

10.6 不确定度的计算

10.6.1 如果用于流量  $q$  计算的各独立量为  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ , 流量可以表示为它们的函数:

$$q = f(X_1, X_2, \dots, X_i)$$

且  $X_1, X_2, \dots, X_i$  相应的不确定度为  $\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_i$ , 则流量的不确定度为:

$$\delta q = \left[ \left( \frac{\partial q}{\partial X_1} \delta x_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial X_2} \delta x_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial q}{\partial X_i} \delta x_i \right)^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (22)$$

10.6.2 如果变量  $X_i$  测量了若干次, 各次测量都是独立的, 则  $X_i$  单独测量的不确定度为:

$$\delta x_i = 2 \left[ \frac{\sum_{j=1}^n (X_i - X_j)^2}{n-1} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (23)$$

式中:  $\bar{X}_i$ ——各次测量的算术平均值;

$X_j$ ——各次单独测量的观测值;

$n$ ——测量次数。

10.6.3 如果变量  $X_i$  测量了若干次, 各次测量都是独立的, 那么, 其平均值  $\bar{X}_i$  是最可信值, 它的不确定度为:

$$\delta \bar{x}_i = \delta x_i / \sqrt{n} \dots \dots \dots (24)$$

式中:  $\delta x_i$ —— $x_i$  单独测量的不确定度;

$n$ ——测量次数。

10.6.4 如果变量  $X_i$  不能重复测量或重复次数太少, 则应估算出  $X_i$  取值可能的最大上、下偏差,  $X_i$  的单独测量不确定度为此最大上、下偏差和的一半。

10.7 流量测量不确定度的实际运算

10.7.1 质量流量不确定度  $\delta q_m$  实用公式为(25)式:

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \left[ \left( \frac{\delta \alpha}{\alpha} \right)^2 + \left( \frac{\delta \epsilon}{\epsilon} \right)^2 + 4 \left( \frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\delta D}{D} \right)^2 + 4 \left( 1 + \frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\delta d}{d} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta p}{\Delta p} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \rho_1}{\rho_1} \right)^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (25)$$

10.7.2 在用喷嘴装置测量气体流量时, 换算到压缩机一级吸气状态的容积流量  $Q_0$  (未计入冷凝水) 的基本公式为:

$$Q_0 = \frac{\pi a e d^2 T_{s1}}{4 p_{s1}} (2 R \Delta p p_1 / T_1)^{1/2} \dots \dots \dots (26)$$

以(26)式为基础, 压缩机容积流量不确定度  $\delta Q_0$  实用公式为:

$$\frac{\delta Q_0}{Q_0} = \left[ \left( \frac{\delta \alpha}{\alpha} \right)^2 + \left( \frac{\delta \epsilon}{\epsilon} \right)^2 + 4 \left( \frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\delta D}{D} \right)^2 + 4 \left( 1 + \frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\delta d}{d} \right)^2 + \left( \frac{\delta p_{s1}}{p_{s1}} \right)^2 + \left( \frac{\delta T_{s1}}{T_{s1}} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta p}{\Delta p} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta T_1}{T_1} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta p_1}{p_1} \right)^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (27)$$

10.7.3 对于采用流出系数  $C$  代替流量系数  $\alpha$  计算流量时, (25)式和(27)式中  $\delta \alpha / \alpha$  应换为  $\delta C / C$ , 同时不计入变量  $E$  不确定度的影响。

注:  $E = (1 - \beta^4)^{-1/2}$ 。

10.8 独立量测量的不确定度

压力、压差、温度等独立量测量不确定度应参照 GB 3853。

10.8.1 压力测量的不确定度

10.8.1.1 弹簧管型压力表的不确定度  $\delta p$  按(28)式估算。

$$\frac{\delta p}{p} = \pm G \frac{p_m}{p_d} \% \dots \dots \dots (28)$$

式中:  $G$ ——以百分数表示的压力表精度级(如果压力表高于 0.2 级, 取  $G=0.2$ );

$p_m$ ——压力表满刻度值;

$p_d$ ——实测压力值。

10.8.1.2 液柱压差计测量的不确定度

对精度为±10 Pa(或1 mmH<sub>2</sub>O)的液柱压差计,实测值  $\Delta p$  在  $10^3\text{Pa} \leq \Delta p \leq 10^4\text{Pa}$  的范围内,其测量不确定度  $\delta\Delta p$  按(29)式计算。

$$\frac{\delta\Delta p}{\Delta p} = \pm \frac{10}{\Delta p} \dots\dots\dots(29)$$

当  $\Delta p > 10^4\text{Pa}$  时:

$$\frac{\delta\Delta p}{\Delta p} = \pm 0.1\%$$

10.8.2 温度测量的不确定度

10.8.2.1 对于校验有效,使用正确的玻璃棒式水银温度计,其测量值的绝对不确定度  $\delta T$  符合表 10 的规定。

表 10 棒式水银温度计测量温度的不确定度  $\delta T$  °C

温度范围	刻 度		
	0.1	0.2	0.5
-50~-5	0.6	0.8	1.7
-5~60	0.3	0.4	1.0
60~110	0.5	0.6	1.0
110~210	—	1.0	2.0
210~310	—	—	3.0

10.8.2.2 对于校验有效,二次仪表在 0.1 级以上的热电偶或电阻温度计,其测量值的绝对不确定度取为±1 K。

10.8.3 如测量仪表经法定计量部门标定,并给出其测量不确定度,则测量不确定度按标定证书取值。

**附录 A**  
**用充罐法测量压缩机容积流量**  
(补充件)

用充罐法测量压缩机容积流量,由于截止阀的泄漏以及难以准确测量储气罐内气体温度,因此测量误差较节流装置测量方法大。

### A1 测量装置

A1.1 系统示意图如图 A1。全部管路、阀门及附件均应进行密封性检查,不应泄漏。

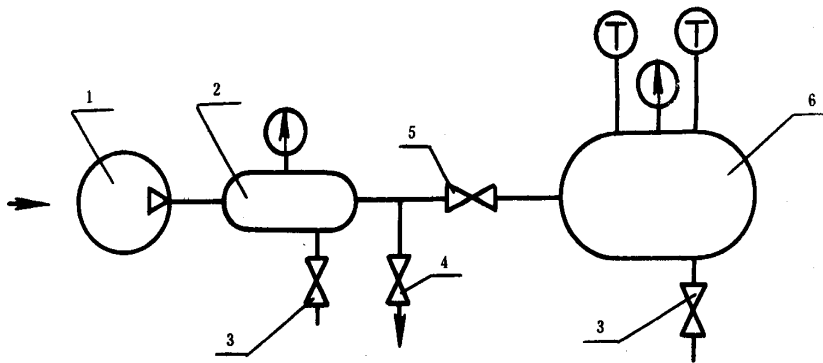


图 A1 充罐法系统示意图

1—压缩机;2—缓冲器;3—排液阀;4—放空阀;5—连通阀;6—储气罐

A1.2 缓冲器 2 和储气罐 6 的容积按下列原则确定。

压缩机向缓冲器充气至公称排气压力的时间应不少于 30 s。

压缩机向储气罐充气至公称排气压力的时间应不少于 5 min。

A1.3 准确测量储气罐容积,测量的相对误差应不大于  $\pm 0.2\%$ ,推荐充水测量。计算流量用储气罐容积  $V_k$  包括连通阀 5 与储气罐之间的管道容积。

### A2 测量步骤

A2.1 启动压缩机首先向缓冲器充气,微微开启放空阀 4,关闭连通阀 5。保持压缩机规定的排气压力。压缩机运转稳定后,排净缓冲器和储气罐中的冷凝液。

A2.2 稍微开大放空阀 4 使缓冲器内气体压力下降,然后关闭阀 4。

A2.3 这时,压缩机继续向缓冲器充气,当达到规定压力时,缓慢开启连通阀 5,并保持缓冲器内气体为规定的排气压力。

A2.4 当储气罐内气体压力接近规定排气压力的 90% 时,进一步开大连通阀 5 使缓冲器内压力略微下降,然后全闭阀 5。

A2.5 这时,缓冲器内压力将升高,当达到规定的排气压力时,压缩机停车或卸载。

A2.6 充气时间应以开启储气罐的连通阀 5 时开始计算,直到全闭阀 5 后,缓冲器内压力达到规定排气压力的瞬时为止。

A2.7 在开启阀 5 之前应记录储气罐内气体的温度  $T_{k1}$  和压力  $p_{k1}$ 。

A2.8 储气罐热平衡后,记录其中气体的温度  $T_{k2}$  和压力  $p_{k2}$ ,然后排放冷凝液并进行称量。

A3 流量计算

A3.1 未计及冷凝水的压缩机容积流量为:

$$Q_0 = \frac{V_k T_{x1}}{\tau p_{x1}} \left( \frac{p_{k2}}{T_{k2}} - \frac{p_{k1}}{T_{k1}} \right) \dots\dots\dots (A1)$$

式中:  $Q_0$ ——未计及冷凝水的压缩机容积流量,  $m^3/min$ ;

$V_k$ ——储气罐容积,  $m^3$ ;

$\tau$ ——充气时间,  $min$ ;

$p_{x1}$ ——压缩机 1 级吸气压力,  $MPa$ ;

$T_{x1}$ ——压缩机 1 级吸气温度,  $K$ ;

$p_{k1}$ ——充气开始时储气罐内气体压力,  $MPa$ ;

$T_{k1}$ ——充气开始时储气罐内气体温度,  $K$ ;

$T_{k2}$ ——充气终止, 热平衡后储气罐内气体温度,  $K$ ;

$p_{k2}$ ——充气终止, 热平衡后储气罐内气体压力,  $MPa$ 。

A3.2 如果压缩气体需要按真实气体处理, 则在用 A3.1 条计算流量时应计及气体的可压缩性系数。按 (A2) 式计算。

$$Q_0 = \frac{V_k T_{x1}}{\tau p_{x1}} \left( \frac{p_{k2}}{\zeta_{k2} T_{k2}} - \frac{p_{k1}}{T_{k1}} \right) \dots\dots\dots (A2)$$

式中:  $\zeta_{k2}$ ——充气终止, 热平衡后储气罐内气体的可压缩性系数。

附录 B

用称瓶法测量压缩机容积流量

(补充件)

用称瓶法测量压缩机容积流量的方法适用于小容积流量的高压压缩机, 由于截止阀的泄漏, 因此测量误差较节流装置的测量方法大, 但排除了难以准确测量储气罐内气体温度的影响, 测量精度较充罐法高。

B1 测量装置

B1.1 系统示意图如图 B1。全部管路、阀门及附件均应进行密封性检查, 不应泄漏。

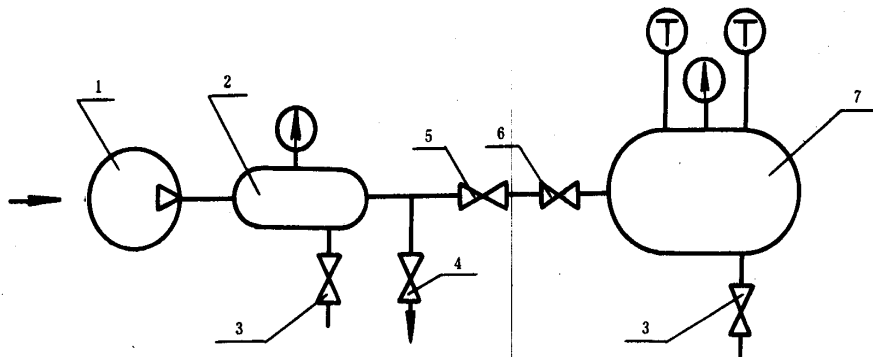


图 B1 称瓶法系统示意图

1—压缩机; 2—缓冲器; 3—排液阀; 4—放空阀;

5、6—连通阀; 7—储气罐



- B1.2 缓冲器 2 和储气罐 7 的容积应不小于附录 A 中 A1.2 条的规定。
- B1.3 带阀 6 准确测量储气罐容积,测量误差不应大于±0.2%,推荐充水测量。
- B1.4 带阀 6 准确称量储气罐净重  $g$  (净重  $g$  不包括储气罐内气体或液体重量),测量误差不应大于±0.2%。

**B2 测量步骤**

- B2.1 试验时全开阀 6,试验步骤按附录 A 中 A2.1 条~A2.7 条进行。
- B2.2 关闭阀 6,并从阀 6 前拆掉连接管路。
- B2.3 准确称量充气后储气罐重量  $G$ ,测量误差不应大于±0.2%。

**B3 流量计算**

B3.1 未计及冷凝水的压缩机容积流量为:

$$Q_0 = \frac{1}{\tau \rho_{x1}} (G - g - V_k \rho_{k1}) \dots\dots\dots (B1)$$

- 式中:  $Q_0$ ——未计及冷凝水的压缩机容积流量,  $m^3/min$ ;  
 $\tau$ ——充气时间,  $min$ ;  
 $\rho_{x1}$ ——压缩机 1 级吸气状态下气体密度,  $kg/m^3$ ;  
 $G$ ——充气后储气罐重量,  $kg$ ;  
 $g$ ——储气罐净重,  $kg$ ;  
 $V_k$ ——储气罐容积,  $m^3$ ;  
 $\rho_{k1}$ ——充气前储气罐内气体密度,  $kg/m^3$ 。

**附录 C**  
**用气柜法测量压缩机容积流量**  
 (参考件)

气柜法适用于从气柜吸气的压缩机容积流量的测量,测量误差较节流装置测量方法大。

C1 试验装置示意图如图 C1。

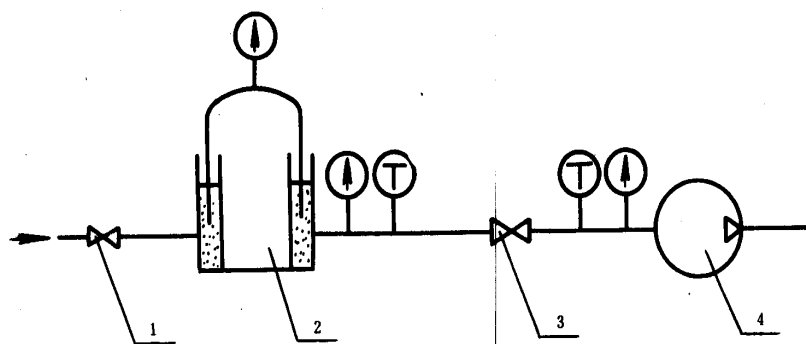


图 C1 气柜法系统示意图

1—进气阀;2—气柜;3—连通阀;4—压缩机

- C2 准确测量气柜的有效截面积  $A$  或按竣工图确定。
- C3 试验宜在阴天或夜间进行。

- C4 检查测量系统各阀门以及压缩机各级连接管路,不应有泄漏。
- C5 在正式试验前或试验后,应在整个气柜到压缩机吸气口范围内做泄漏试验,确定测量系统的外泄漏量  $Q_n$ 。
- C6 气柜压力应用水柱压差计在气柜出口测量,精度不低于  $\pm 10$  Pa。
- C7 气柜温度应在气柜出口处测量。如果采用玻璃棒式水银温度计测量温度,其刻度不应大于  $0.2^\circ\text{C}$ 。
- C8 试验步骤
- C8.1 除被测压缩机和气源造气外,应有效地切断气柜与外界的一切联系,且尽量关闭靠近气柜处的阀门。
- C8.2 工况稳定后,加大气柜进气量,待气柜升至一定高度时,切断气柜进气,然后测量一段时间  $\tau$  内气柜的下沉高度  $\Delta h$  或者测量下沉一定高度  $\Delta h$  所需要的时间  $\tau$ 。不论那种方法,气柜上应均匀分布四个测点,测量时间  $\tau$  应不少于 5 min,升降高度  $\Delta h$  的测量误差应不大于  $\pm 2$  mm,时间  $\tau$  的测量误差应不大于  $\pm 0.5$  s。用于流量计算的下沉高度  $\Delta h$  和测量时间  $\tau$  为四个测点测量值的平均值。
- C8.3 在测量时间  $\tau$  内应两次读取气柜的压力  $p_h$  和温度  $T_h$ ,以及压缩机各测点的测量值。
- C8.4 尽量在气柜升降的同时,用干式或湿式流量计测量压缩机各级填函的外泄漏量  $Q_L$ 。
- C8.5 打开进气阀,开始向气柜充气,待气柜上升到一定高度后进行第二次测量,每一工况,应测量三次。
- C9 压缩机容积流量为:

$$Q_1 = \frac{p_h T_{s1}}{p_{s1} T_h} \cdot \frac{A \Delta h}{\tau} - Q_n - Q_L \quad \dots\dots\dots (C1)$$

- 式中:  $Q_1$ ——压缩机容积流量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;
- $p_h$ ——气柜绝对压力, MPa;
- $p_{s1}$ ——压缩机 1 级吸气压力, MPa;
- $T_h$ ——气柜出口气体温度, K;
- $T_{s1}$ ——压缩机 1 级吸气温度, K;
- $A$ ——气柜有效截面积,  $\text{m}^2$ ;
- $\Delta h$ ——气柜下沉高度, m;
- $\tau$ ——气柜下沉时间, min;
- $Q_n$ ——换算到压缩机 1 级吸气状态下的气柜系统泄漏量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;
- $Q_L$ ——换算到压缩机 1 级吸气状态下的各级填函外泄漏量,  $\text{m}^3/\text{min}$ 。

- C10 对于气柜到压缩机之间有增压机和工艺装置时,应考虑到从气柜到压缩机之间冷凝水的析出以及化学反应对气体体积带来的改变,同时按 C5 条做泄漏试验应尽可能模拟实际运行工况。

#### 附录 D

#### 用流量计测量压缩机容积流量

(参考件)

本方法是采用干式或湿式流量计直接测量压缩机容积流量,因此测量范围受流量计的限制。

- D1 在测量前应对流量计进行泄漏检查,流量计不应有泄漏。
- D2 对于采用液体密封的流量计,液体应饱和于被测气体。
- D3 在测量流量的同时应记录流量计进口的气体压力  $p_i$  和温度  $T_i$ 。
- D4 每工况测量次数为五次,每次测量不少于 5 min,记录单位时间流量计的读数  $q_{vi}$ 。
- D5 未计及冷凝水的压缩机容积流量为:

$$Q_0 = q_v \frac{p_i T_{x1}}{p_{x1} T_i} \dots\dots\dots (D1)$$

式中:  $Q_0$ ——未计及冷凝水的压缩机容积流量,  $m^3/min$ ;  
 $q_v$ ——单位时间流量计读数,  $m^3/min$ ;  
 $p_i$ ——流量计前气体压力, MPa;  
 $T_i$ ——流量计前气体温度, K;  
 $p_{x1}$ ——压缩机 1 级吸气压力, MPa;  
 $T_{x1}$ ——压缩机 1 级吸气温度, K。

附录 E  
 管壁等效粗糙度 K 值举例  
 (参考件)

管道材料	状 况	等效粗糙度 K, mm
黄铜, 紫铜 铝 塑料	光洁、无沉渣	<0.03
钢	新冷拔无缝管 新热拉无缝管 新轧制无缝管 新纵缝焊接管 新螺旋缝焊接管 轻微锈蚀管 锈蚀管 镀锌管	<0.03 0.05~0.10 0.05~0.10 0.05~0.10 0.10 0.10~0.20 0.20~0.30 0.13
铸件	新铸铁管 · 生锈铸铁管 新涂复铸铁管	0.25 1.0~1.5 0.03~0.05

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。  
 本标准由全国压缩机标准化技术委员会归口。  
 本标准由机械工业部合肥通用机械研究所负责起草。  
 本标准主要起草人肖矛、薛正学。