



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 835—1993

速度-面积法流量装置

Flowrate Facilities by

Velocity-Area Method

1993-07-16 发布

1994-02-01 实施

国家技术监督局 发布

速度-面积法流量装置

检 定 规 程

Verification Regulation of Flowrate

Facilities by Velocity-Area Method

JJG 835—1993

本检定规程经国家技术监督局于1993年07月16日批准，并自1994年02月01日起施行。

归口单位：河南省技术监督局

起草单位：河南省计量测试研究所

中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

肖汉卿 （河南省计量测试研究所）

段慧明 （中国计量科学研究院）

王继东 （河南省计量测试研究所）

参加起草人：

苏彦勋 （中国计量科学研究院）

张宝珠 （中国航空工业总公司三〇四所）

杨德钦 （贵州省计量测试技术研究所）

韩 晖 （北京市计量测试所）

目 录

一 概述	(1)
二 技术要求	(1)
(一) 一般要求	(1)
(二) 流体条件	(3)
(三) 计量要求	(3)
三 检定条件	(6)
四 检定项目和检定方法	(6)
(一) 外观检查	(6)
(二) 示值误差检定	(6)
(三) 流量稳定性的检定	(10)
五 检定结果的处理和检定周期	(10)
附录 1 计量横截面内测点的定位和数目	(11)
附录 2 用算法法计算轴向平均速度时测点的分布与计算	(12)
附录 3 用皮托管测速时的计算公式	(15)
附录 4 环形横截面与矩形缺角或矩形圆角横截面中测点的分布与轴向 平均速度的计算	(16)
附录 5 测量圆管中处于漩涡及非对称流动状态下流体流量的速度 面积测量方法	(19)
附录 6 t_0 数值表与 d_n 数值表	(21)
附录 7 计量横截面检定记录表	(22)
附录 8 示值误差检定记录表	(23)
附录 9 流量稳定性检定记录表	(24)
附录 10 检定证书内容	(25)

速度-面积法流量装置检定规程

本规程适用于新安装和维修后的测量封闭管道中流体流量的速度-面积法流量装置（以下简称流量装置）的检定。

一 概 述

该流量装置的原理是通过测量出封闭管道（圆形或矩形）计量横截面的面积和流过该计量横截面的轴向流体平均流速，从而计算出体积流量。

该流量装置由一定长度的前后直管段、计量段、流速测量装置（旋桨式流速计或皮托静压管等），以及温度、压力测量仪表等部分组成，其结构简图如图 1 所示。

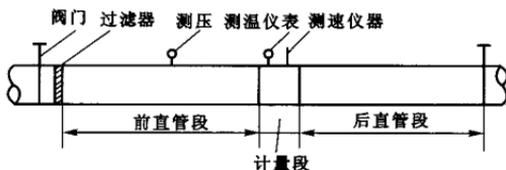


图 1

二 技 术 要 求

(一) 一般要求

1 外观

1.1 流量装置配套设备齐全、装配完好。

1.2 计量段上游直管段长度至少为 20 倍的圆形截面直径（或 80 倍的矩形横截面水力半径），下游直管段长度至少等于 5 倍的圆形截面直径（或 20 倍的矩形截面水力半径）。采用在计量横截面内单点（在轴向平均速度点或轴线上）测速时，上游直管段长度至少为表 1 所列值。

表 1

计量段上游 的干扰类型	上游最短直管段长度*	
	在轴向平均速度点测量	在管道轴线上测量
90°弯头或一个 T 形弯	50	25
同一平面上几个 90°弯头	50	25
不同平面上几个 90°弯头	80	50
总收缩角 18°~36°	30	10
总扩张角 14°~28°	55	25
全开蝶阀	45	25
全开闸阀	30	15

* 以管道直径的倍数表示。

1.3 装置铭牌上应标有以下内容:

1.3.1 流量的计量单位: L/h 或 m^3/h 等;

1.3.2 流量范围、适用介质、不确定度;

1.3.3 制造厂名称或商标、出厂编号、生产日期, 以及  标志。

1.4 计量段上的测速仪器插孔应保证测速仪器可以自如地取出与放入并能准确定位, 且应保证在最大工作压力下密封良好。

1.5 计量段内壁应光洁, 测温孔应设在距离计量横截面不超过 $1D$ (D 为圆形管道内径) 或 $1H$ (H 为矩形管道的高度) 的范围内。

1.6 若计量段是独立的, 则安装后应保证其轴线与前后直管段轴线一致。

1.7 流量调节阀应安装在装置计量段的下游段的后面, 并应能保证流量性能稳定。

2 测速仪器

本规程仅考虑旋桨式流速计 (以下简称流速计) 和皮托静压管 (以下简称皮托管) 测速仪器。

2.1 流速计应符合下列条件:

2.1.1 流速计的轴承应自由旋转, 旋桨应无变形, 整套仪器 (包括速度的检出装置) 应有有效的检定证书。

2.1.2 流速计对管道的相对阻塞率 (流速计迎流面面积与管道计量横截面面积的比值) 不得大于 6%。

2.2 皮托管应符合下列条件:

2.2.1 JJG 518—1988 规程中有关皮托管的技术要求且应有有效的检定证书。

2.2.2 皮托管直径 d 对管道直径 D 的比值不得大于 $1/50$ ，在困难的条件下，比值允许大到 $1/25$ 。但应对阻塞影响进行修正，修正方法如下：

对每个差压测量值 Δp 的修正值由式 (1) 给出。

$$\delta(\Delta p) = -0.7 K_b(S/A)\Delta p_{\max} \quad (1)$$

式中： Δp ， Δp_{\max} ——分别为差压示值和管轴上的差压示值；

S ——在管道内部的支杆部分的正面投影面积；

K_b ——圆柱形支杆的阻塞系数（见图 2）。

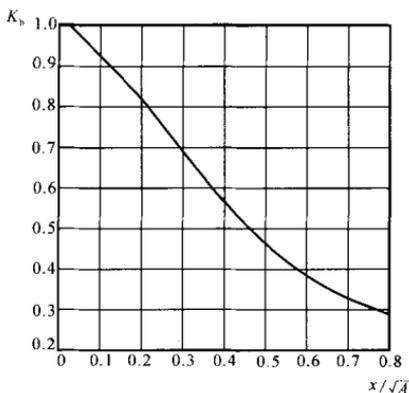


图 2

x —从诸静压孔平面到皮托管的支杆之间的距离

2.2.3 对于皮托管全压孔直径计算的雷诺数应不小于 200，局部马赫数不大于 0.25。

(二) 流体条件

3 被计量的流体应满足以下条件：

3.1 流体应是一种连续的单相流体，液体应是牛顿流体，其马赫数不大于 0.25。

3.2 流体应充满管道且应清洁，必要时在流量装置的入口处安装过滤器。

3.3 流体的压力、温度、粘度等物理参数应符合流量装置使用说明书上的要求。

3.4 在流量装置上应采取必要的稳压措施。由流体源压力缓慢波动所引起的瞬时流量波动系数不大于 1%。

瞬时流量波动系数指瞬时流量的最大值与最小值的差除以平均流量。

(三) 计量要求

4 计量横截面的测量：符合 1.2 条的计量段中的任一横截面均可作为计量横截面。

4.1 圆形横截面（环形横截面见附录 4）

4.1.1 在可以直接测量管道内径时，应至少在管道内四个相互之间大致相等角度的直径上进行测量，如果相邻两个直径之差大于 0.5%，则实测直径的数目加倍，取所有直

径的算术平均值作为管道直径。

4.1.2 当不能直接测量管道内径时，可以通过测量管道外周长和壁厚由下式计算计量横截面积。

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{l - \Delta l}{\pi} - 2e \right)^2 \quad (2)$$

式中：A——计量横截面积；

l ， Δl ——分别是周长与周长的修正值；

e ——管道壁厚。

使用此方法，管道的外表面应仔细除去粗糙部分。若有任何如焊缝这种的高点，应从周长的测量值中减去各高点由式（3）计算的修正值：

$$\Delta l = \frac{8}{3} a \left(\frac{a}{D} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中： a ——高点高度；

D ——管道内径。

当凸出物的位置不允许测量仪器接触其间的表面或任何凸出物的高度大于管道直径的1%时，不能用此方法。

4.2 矩形横截面（矩形缺角与矩形圆角截面见附录4）。

至少在通过各个测点的垂直于管壁的直线上都应测量管道的宽度和高度。如果对应于相邻两条测线的宽度（或高度）之间的差大于1%，则实测的宽度（或高度）的数目应增加一倍。取所有宽度（或高度）的算术平均值作为管道的宽度（或高度）的值。

5 局部速度的测量

局部速度的测量分为多点测速和单点测速两种类型。多点测速测点的数目和定位见附录1，单点测速只适用于圆形横截面。

采用多点测速时，可以同时测速，也可逐点测速，然后取其算术平均值或加权平均值。附录2给出了采用算法计算轴向平均流速时测点的分布与计算。

5.1 圆形横截面采用单点测速时，可以在轴向平均速度点，即距管壁距离为 $(0.242 \pm 0.013)R$ 的圆环上测速（ R 是圆形横截面半径），也可在管轴上测速。

5.1.1 在轴线上测速时，需事先标定，以确定轴向平均速度与管道轴线上速度之比。对于充分发展的紊流，该速度比值为0.862。

5.1.2 管道的水力阻力系数不能大于0.06，流动必须是完全粗糙的紊流，而且雷诺数 Re_D 不小于下列数值：

在轴向平均速度点测速时如表2所示；在管道轴线上测速时如表3所示。

表 2

λ	≥ 0.03	0.025	0.02	0.01
Re_D	10^4	3×10^4	10^5	10^6

表 3

λ	0.06	0.05	0.04	0.03	0.025	0.02	0.01
Re_D	3×10^4	5×10^4	10^5	3×10^5	5×10^5	10^6	5×10^7

注：表中 λ 是由式 (4) 定义的压头损失系数。

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (4)$$

式中： Δp ——管长 L 上的压力损失；

ρ ——流体密度；

v ——轴向平均速度；

D ——管道内径。

在给定相对粗糙度的管道中，当水力阻力系数与雷诺数无关时出现完全粗糙紊流。可以假定 $Re_D > 1850 D/k$ 时出现 (k 为平均粗糙度)。

5.1.3 在计量横截面的任意点上，局部流速的方向和管轴之间的夹角不超过 5° ，该条件可用专用测量探头检测。

5.2 皮托管轴线与管轴夹角不得大于 3° ，流速计旋桨轴线与管轴夹角不得大于 5° 。

5.3 用流速计测速时，如果相对阻塞率不大于 2% 则无需修正；大于 6% 则不能进行测量；在 2% 与 6% 之间应进行修正，修正后流量值降低 $K\%$ 。

$$K = 0.12 S + 0.03 S_C \quad (5)$$

$$S_C = \frac{\pi z d^2}{4 A} \quad (6)$$

式中： S ——阻塞百分率；

z ——流速计个数；

d ——旋桨外径；

A ——管道计量横截面面积。

流量测量附加不确定度 $2 K/3\%$

5.4 同时测量

因一般来讲，流量处于长期波动中，所以为正确的测量平均速度就需要有一个足够

长的周期，在该时间周期对同一流量测量时，每相邻周期间的平均速度的变化值不大于0.2%。

同时测速只适用于以流速计为测速仪器的流量装置，而不适用于以皮托管为测速仪器的流量装置。

5.5 非同时测量

计量横截面中的速度分布廓形必须保持稳定，在测量周期内不受可能有的流量变化的影响。

6 准确度等级

装置的总不确定度应符合表4的要求。

表 4

装置的准确度等级	2	3
总不确定度	$\delta \leq 2\%$	$\delta \leq 3\%$

三 检 定 条 件

7 下述主要设备均应具有检定证书：

- 7.1 流量标准装置（包括标准流量计），不确定度优于0.5%。
- 7.2 流速计（包括速度的检出装置），不确定度优于1%。
- 7.3 皮托管，不确定度优于0.5%；差压测量装置，不确定度优于1%。
- 7.4 测高仪，带游标。
- 7.5 游标卡尺及内径千分尺。
- 7.6 超声波测厚仪， ± 0.1 mm。
- 7.7 叁等标准钢卷尺， ± 0.1 mm。

四 检定项目和检定方法

（一）外观检查

- 8 目测检测，流量装置应符合1.1，1.3~1.7条的要求。
- 9 用钢卷尺检测，流量装置应符合1.2条的要求。
- 10 目测检测和用卡尺检测，测速仪器应符合2.1，2.2条的要求。
- 11 用测速仪器等仪器检测时，流量装置应符合3.1~3.4条的要求。

（二）示值误差检定

- 12 用流量标准装置检定

- 12.1 将流量装置正确连接到流量标准装置上，保证密封。
- 12.2 调节流量到公称流量，试运行一段时间，一般不少于 10 min。
- 12.3 测速时选择从最小流量（包括最小流量）到最大流量（包括最大流量）之间均布的至少 5 个流量值上进行。
- 12.4 将测速仪器置于检测点上（检测点用测高仪准确定位），测量该点的流速 v_{i1} ，每点测 3 次，取其算术平均值作为 v_{i1} 的值。（ v_{i1} 指在第 i 个流量下第 1 个测点的局部速度）。
- 12.5 依次将测速仪器置于每个测点上测量局部速度 v_{i2} ， v_{i3} ， \dots ， v_{in} （ n 指测点个数）。
- 12.6 用测得的各点的局部速度按测点分布规律合成第 i 个流量下的轴向平均速度 v_i 。
- 12.7 用下式计算流量值 Q_i ：

$$Q_i = A \times v_i \quad (7)$$

式中： A ——计量横截面面积，由受检单位给出。

- 12.8 读取流量标准装置在第 i 个流量下的流量示值 Q_{Si} 。
- 12.9 用下式计算第 i 个流量下，流量装置的流量测量不确定度 δ_i 。

$$\delta_i = \frac{Q_i - Q_{Si}}{Q_{Si}} \times 100\% \quad (8)$$

- 12.10 取所有 δ_i 中最大值作为该流量装置的不确定度 δ 。若有 m 个流量点，则

$$\delta = \delta_{i\max} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

13 现场检定

13.1 计量横截面的检定

13.1.1 圆形横截面

a. 在可以直接测量管道内径时，按 4.1.1 款的要求，用内径千分尺测量管道内径 D_j ，每个直径读 3 次，取其算术平均值作为 D_j 的值。

$$\text{即} \quad D_j = \frac{1}{3}(D_{j1} + D_{j2} + D_{j3}) \quad (10)$$

式中： D_{j1} ， D_{j2} ， D_{j3} ——分别为第 j 个直径的 3 次读数。

若直径的测量个数为 n ，即 $j=1, 2, \dots, n$ ，则

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_j \quad (11)$$

$$A = \frac{\pi}{4} \bar{D}^2 \quad (12)$$

$$\sigma_D = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{d_n} \quad (13)$$

$$\delta_A = \pm 2t_\alpha \frac{\sigma_D}{\bar{D}} \quad (14)$$

式中： \bar{D} ——计量横截面的平均直径；

A ——计量横截面面积；

D_{\max} , D_{\min} ——分别为所有 D_j 中的最大值与最小值；

d_n , t_α ——分别为测量次数为 n 的极差系数和置信度 0.95 的 t 分布系数，其值见附录 6；

δ_A ——面积测量的不确定度。

b. 在不能直接测量管道内径时，按 4.1.2 条的要求，用超声波测厚仪和三等标准钢卷尺，分别测量管道计量横截面处的壁厚 e_j 和周长 l_j ，至少在 4 个相互大致相等角度的地方读数。若测 n 个值，即 $j=1, 2, \dots, n$ ，则

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{l_j - \Delta l}{\pi} - 2e_j \right) \quad (15)$$

式中： Δl ——按公式 (3) 计算得到的周长的修正值。

高点的高度 α 用卡尺测量，读 3 次，取其算术平均值作为该高点的值。

按公式 (12)、(13)、(14) 分别计算， A ， σ_D ， δ_A 。

13.1.2 矩形横截面

按 4.2 条的要求，用游标卡尺或内径千分尺测量管道宽度 L_j （或高度 H_j ），每条宽度（或高度）读 3 次，取其算术平均值作为该测线的宽度 L_j （或高度 H_j ）的值。若有 m 条宽度线（或 n 条高度线）， L_{j1} , L_{j2} , L_{j3} 为第 j 条宽度线的 3 次读数（ H_{j1} , H_{j2} , H_{j3} 为第 j 条高度线的 3 次读数），则

$$\bar{L} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{L_{j1} + L_{j2} + L_{j3}}{3} \quad (16)$$

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{H_{j1} + H_{j2} + H_{j3}}{3} \quad (17)$$

$$\sigma_L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{d_m} \quad (18)$$

$$\sigma_H = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{d_n} \quad (19)$$

$$\delta_A = \pm \left[\left(t_{\alpha 1} \frac{\sigma_L}{\bar{L}} \right)^2 + \left(t_{\alpha 2} \frac{\sigma_H}{\bar{H}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

式中： \bar{L} , \bar{H} ——分别为宽度和高度的平均值；

L_{\max} , L_{\min} ——分别为所有 L_j 中的最大值与最小值；

H_{\max} , H_{\min} ——分别为所有 H_j 中的最大值与最小值;

d_m , d_n ——分别为测量次数为 m 和 n 的极差系数;

t_{a1} , t_{a2} ——分别为测量次数为 m 和 n 的 t 分布系数。

13.2 流场不对称性检定

13.2.1 圆形横截面应选择至少 4 个相互之间大致相等角度的直径与至少 4 个圆环的交点来检测流场中速度分布的不对称性。在每个半径上的以下区域内至少应有一个测点:

$$0 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.3 \quad 0.3 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.6$$

$$0.6 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.8 \quad 0.8 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 1.0$$

式中: r ——测点半径值;

R ——计量横截面半径。

a. 将测速仪器置于每个测点上依次测得各点的局部速度 v_{ij} (v_{ij} 指第 i 个圆环上第 j 个测点), 每点读 3 次, 取其算术平均值作为 v_{ij} 的值。若第 i 个圆环上有 m 个测点, 则

$$\bar{v}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_{ij} \quad (21)$$

b. 流场不对称性引起的流量测量不确定度 δ_v

$$\delta_{v_i} = \frac{v_{i\max} - v_{i\min}}{v_i} \quad (22)$$

式中: $v_{i\max}$, $v_{i\min}$ ——分别为 v_{ij} 中的最大值与最小值。

$$\delta_v = 0.14 \delta_{v_{i\max}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

式中: n ——圆环的个数。

13.2.2 矩形横截面至少选择如图 3 所示的关于 X 轴和 Y 轴分别对称的 30 个点检测流场中流速分布的不对称性。

a. 将测速仪器依次置于每个测点测量局部速度 v_i , v_j , 每点测 3 次, 取其算术平均值作为 v_i , v_j 的值。若 v_i 与 v_j 是一组对称点, 则

$$v_{ij} = \frac{1}{2}(v_i + v_j) \quad (24)$$

b. 流场不对称性引起的流量测量不确定度 δ_v

$$\delta_{ij} = \frac{v_i - v_j}{v_{ij}} \quad (25)$$

$$\delta_v = 0.14 \delta_{ij\max} \quad (26)$$

关于 X 轴对称的点和关于 Y 轴对称的点都要计算 δ_{ij} 。

13.3 流量装置的不确定度 δ

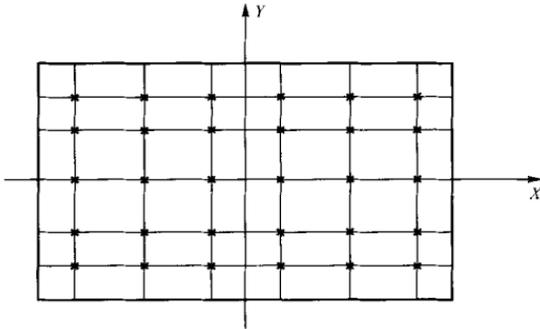


图 3

$$\delta = (\delta_A^2 + \delta_v^2 + \delta_1^2 + \delta_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

式中： δ_1 ， δ_2 ——分别为测速仪器和横截面的测量仪器的不确定度。

(三) 流量稳定性的检定

14 流量稳定性的检定

14.1 流量稳定性可通过检测计量横截面中心流速的稳定性来获得。流量稳定性的检定应在装置的最大流量和最小流量下进行。

14.2 将装置流量调至最大，将测速仪器置于计量横截面的中心，测量该点的流速，至少测 10 次，得 v_1, v_2, \dots, v_n (n 为测量次数)。

装置的流量稳定度 δ_q 按下式计算。

$$\delta_q = \pm t_\alpha \cdot \frac{\sigma_v}{\bar{v}} \quad (28)$$

其中：

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (29)$$

$$\sigma_v = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

14.3 将装置流量调至最小，重复 14.2 条的操作与计算。

14.4 取最大流量和最小流量下所得 δ_q 的绝对值大者作为装置的流量稳定度 δ_q 。

五 检定结果的处理和检定周期

15 经检定合格的流量装置发给检定证书，经检定不合格的流量装置发给检定结果通知书。

16 速度-面积法流量装置的检定周期一般为 3 年，根据实际使用情况可适当延长或缩短。

附录 1

计量横截面内测点的定位和数目

1 用流速计测速

- 1.1 流速计轴线与管壁间的最小距离为 $0.75 d$ (d 为流速计旋桨外径)。
- 1.2 两只流速计轴线之间的最小距离为: $d + 0.03 \text{ m}$ 。
- 1.3 对流速计的位置应进行测量, 测量精度以下列两种允差的较小者为准:
 - $\pm 0.001 L$, 其中 L 是与流量计的定位测量方向平行的管道尺寸;
 - $\pm 0.02 y$, 其中 y 是流速计最近管壁距离。

2 用皮托管测速

- 2.1 皮托管测量头的轴线与管壁的距离不得小于测头直径。
- 2.2 皮托管的位置应测准到下列两个允差中的较小者:
 - $\pm 0.005 x$, 其中 x 是平行于皮托管定位方向的管道尺寸;
 - $\pm 0.05 y$, 其中 y 是皮托管到最近管壁的距离。
- 3 矩形横截面测量点的最小数目为 25。测点位置应根据平行于各管壁的五条直线的交叉点来确定。若采用算术法计算轴向平均速度测点分布按有关规定执行。
- 4 圆形横截面的各测点应被设置在同心圆上, 在横截面上至少为两个相互正交的直径上, 每个半径上至少 3 点, 因而在一个截面中至少有 12 个测点。

附录 2

用算术法计算轴向平均速度时测点的分布与计算

1 对数——线性法

假设每个截面元上速度分布的数学模型为

$$v = A \log y + By + C$$

式中： y ——距管壁的距离；

A, B, C ——3 个任意常数。

1.1 圆形横截面：测点分布见表 1。

表 1

每个半径上测点数目	r/R	y/D	$\left(\frac{D}{d}\right)_{\min}$
3	$0.358\ 6 \pm 0.010\ 0$	$0.320\ 7 \pm 0.005\ 0$	23.4
	$0.730\ 2 \pm 0.010\ 0$	$0.134\ 9 \pm 0.005\ 0$	
	$0.935\ 8 \pm 0.003\ 2$	$0.032\ 1 \pm 0.001\ 6$	
5	$0.277\ 6 \pm 0.010\ 0$	$0.361\ 2 \pm 0.005\ 0$	39.7
	$0.565\ 8 \pm 0.010\ 0$	$0.217\ 1 \pm 0.005\ 0$	
	$0.695\ 0 \pm 0.010\ 0$	$0.152\ 5 \pm 0.005\ 0$	
	$0.847\ 0 \pm 0.007\ 6$	$0.076\ 5 \pm 0.003\ 8$	
	$0.962\ 2 \pm 0.001\ 8$	$0.018\ 9 \pm 0.000\ 9$	

表中： R, D ——计量横截面半径与直径；

r ——测点所在圆环半径；

y ——测点距管壁近距离；

d ——流速计旋桨外径或皮托管探头外径。

轴向平均速度等于各个半径上平均速度的算术平均值。

1.2 矩形横截面（26 点方法）：测点分布见表 2。

表 2

y/H	x/L			
	0.092	0.367 5	0.632 5	0.908
0.034	2	3	3	2
0.092	2			2
0.250	5	3	3	5
0.367 5		6	6	
0.500	6			6
0.632 5		6	6	
0.750	5	3	3	5
0.908	2			2
0.966	2	3	3	2

表中： L ， H ——计量横截面的宽度和高度；

x ， y ——测点距管壁的横向距离和纵向距离。

对于所用测速仪器要求 $H/d \geq 22$ 。

轴向平均速度 v 等于各个局部速度的加权平均值，表 2 中给出了各被测点的加权

系数 K_i ，则 $v = \frac{\sum K_i v_i}{\sum K_i}$ 。本方法 $\sum K_i = 96$ 。

2 对数——契比雪夫法

假设，作为离管壁距离函数的速度分布其数学模型，在计量横截面周边的截面元中为对数性质，而在其他截面中为多项式。

2.1 圆形横截面：测点分布见表 3。

轴向平均速度等于各个半径上平均速度的算术平均值。

2.2 矩形横截面：测点分布见表 4。

选择平行于矩形短边的数目 (e) 至少等于 5 根的横向直线, 在每根直线上安置数目 (f) 至少等于 5 点的测量点。

表 3

每个半径上测点数目	r/D	y/D	$\left(\frac{D}{d}\right)_{\min}$
3	$0.375\ 4 \pm 0.010\ 0$	$0.312\ 3 \pm 0.005\ 0$	23.4
	$0.725\ 2 \pm 0.010\ 0$	$0.137\ 4 \pm 0.005\ 0$	
	$0.935\ 8 \pm 0.003\ 2$	$0.032\ 1 \pm 0.001\ 6$	
4	$0.331\ 4 \pm 0.010\ 0$	$0.334\ 3 \pm 0.005\ 0$	32.0
	$0.612\ 4 \pm 0.010\ 0$	$0.193\ 8 \pm 0.005\ 0$	
	$0.800\ 0 \pm 0.010\ 0$	$0.100\ 0 \pm 0.005\ 0$	
	$0.952\ 4 \pm 0.002\ 4$	$0.023\ 8 \pm 0.001\ 2$	
5	$0.286\ 6 \pm 0.010\ 0$	$0.356\ 7 \pm 0.005\ 0$	39.7
	$0.570\ 0 \pm 0.010\ 0$	$0.215\ 0 \pm 0.005\ 0$	
	$0.689\ 2 \pm 0.010\ 0$	$0.155\ 4 \pm 0.005\ 0$	
	$0.847\ 2 \pm 0.007\ 6$	$0.076\ 4 \pm 0.003\ 8$	
	$0.962\ 2 \pm 0.001\ 8$	$0.018\ 9 \pm 0.000\ 9$	

表中各项含义同表 1。

表 4

e 或 f	X_i/L 或 Y_i/H 的值			$\left(\frac{H}{d}\right)_{\min}$	
5	0	± 0.212	± 0.426	10.1	
6	± 0.063	± 0.265	± 0.439	12.3	
7	0	± 0.134	± 0.297	± 0.447	14.2

表中 X_i , Y_i ——以矩形中心为坐标原点的横坐标和纵坐标。

附录 3

用皮托管测速时的计算公式

$$v = (1 - e) \left(\frac{2\xi\Delta p}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中 $(1 - e)$ 是可压缩性修正系数，在液体中 $e = 0$ ，在低马赫数的可压缩性流体中可按下式计算。

$$1 - e = \left[1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\gamma + 1}{6\gamma^2} \left(\frac{\Delta p}{\rho} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中： γ ——比热比；

p ——局部静压；

ρ ——流体密度；

Δp ——差压示值；

ξ ——皮托管校准系数。

可压缩性流体的密度 ρ 由下式计算：

$$\rho = \frac{pM}{ZRT}$$

式中： $R = 8.3143 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，摩尔质量 M 以 kg/mol 表示，并对空气为 0.028 95。

Z ——气体定律偏差系数，在绝对压力小于 10 倍大气压，温度在 273~373 K 之间的空气 Z 几乎等于 1；

T ——由下式确定的局部静温度。

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\Delta p}{p}$$

式中： T_0 ——采用一个理想的全温探头在管轴上测得的总温度。

附录 4

环形横截面与矩形缺角或矩形圆角横截面中 测点的分布与轴向平均速度的计算

1 环形横截面

1.1 环形横截面面积的测量与计算

$$\text{环形横截面面积 } A = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_0^2)$$

式中： D ， D_0 ——分别为外环直径与内环直径。

若环距为 h ，即 $h = \frac{1}{2} (D - D_0)$ ，则

$$A = \pi h (D_0 + h)$$

1.1.1 h 至少要在 6 个大致相等角度的半径上测量。若相邻两个 h 的差值大于 1%。则实测的数目加倍，取所有测得值的算术平均值作为 h 的值。

1.1.2 D_0 可以用测量内环周长除以 π 获得。

1.2 测点的分布：每半径四点分布见表 1。

表 1

$\left(\frac{D_0}{D}\right)^2$	$\frac{y_1}{D}$	$\frac{y_2}{D}$	$\frac{y_3}{D}$	$\frac{y_4}{D}$	$\left(\frac{D}{d}\right)_{\min}$
0.1	0.021 32	0.087 72	0.175 93	0.288 00	35.2
0.2	0.018 89	0.077 07	0.151 96	0.239 27	39.7
0.3	0.016 47	0.066 69	0.129 54	0.198 59	45.5
0.4	0.014 07	0.056 55	0.108 40	0.162 88	53.3
0.5	0.011 69	0.046 63	0.088 35	0.130 66	64.2
0.6	0.009 32	0.036 93	0.069 23	0.101 07	80.5

表 1 (续)

$\left(\frac{D_0}{D}\right)^2$	$\frac{y_1}{D}$	$\frac{y_2}{D}$	$\frac{y_3}{D}$	$\frac{y_4}{D}$	$\left(\frac{D}{d}\right)_{\min}$
0.7	0.006 97	0.027 43	0.050 92	0.073 54	108
0.8	0.004 63	0.018 11	0.033 33	0.047 69	162
0.9	0.002 31	0.008 97	0.016 38	0.023 25	325

注：表中 y_1, y_2, y_3, y_4 均指距外环的距离。

1.3 轴向平均速度等于各个半径上平均速度的算术平均值。

2 矩形缺角或矩形圆角横截面

2.1 测点应分布在垂直于长边的至少 6 条线上，其分布规律遵循矩形横截面的对数——契比雪夫法，每条线上至少有 6 个测点，如果有的点离管壁太近，可减少到 5 点，但总点数不得少于 35 点。

2.2 测点的分布：表 2 与表 3 给出了每条测线的分布，其上测点的分布参照表 2。

2.2.1 矩形缺角横截面：测线分布见表 2。

表 2

m	X_1/L				X_2/L	X_3/L	X_4/L
	L/H						
	1	1	2	2			
	r/H						
	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$			
6	± 0.419	± 0.420	± 0.417	± 0.422	± 0.265	± 0.063	
7	± 0.431	± 0.432	± 0.429	± 0.431	± 0.297	± 0.134	0

注：表中 X_1, X_2, X_3, X_4 均为以矩形缺角横截面中心为原点的横坐标；
 m ——测线个数；
 r ——矩形缺角的直角边长度。

2.2.2 矩形圆角横截面：测线分布见表3。

表 3

m	X_1/L						X_2/L	X_3/L	X_4/L
	L/H								
	1	1	2	2	3/2	3			
	r/H								
	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$			
6	± 0.427	± 0.430	± 0.432	± 0.436	± 0.430	± 0.440	± 0.265	± 0.063	
7	± 0.438	± 0.439	± 0.440	± 0.443	± 0.441	± 0.451	± 0.297	± 0.134	0

表中： m ， X_1 ， X_2 ， X_3 ， X_4 含义同表2；
 r ——矩形圆角横截面的圆角半径。

2.3 体积流量的计算

第 m 条测线上的平均流速 \bar{v}_m 由该线上 n 个测点的流速 v_1, v_2, \dots, v_n 的算术平均值获得。

$$\bar{v}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

体积流量 q_V 由平均流速 \bar{v}_j 与相应的宽度 L_j 的乘积得到的单元流量的算术平均值乘以矩形高 H 得到

$$q_V = \frac{H}{m} \sum_{j=1}^m \bar{v}_j L_j$$

注：以上测点分布与流量计算只适用于以流速计为测速仪器的流量装置。

附录 5

测量圆管中处于漩涡及非对称流动状态下 流体流量的速度面积测量方法

1 应用的范围及场合

尽管下面介绍了在漩涡及非对称流下进行流量测量的速度面积法，但仍应尽可能选择一个漩涡及非对称性尽量小的计量横截面，流动中即使有很小的径向分量都应加以考虑。在计量横截面的任意测点上，如处于以下情况则不能进行测量：局部速度方向与管道轴线间夹角大于 40° ；不对称指数 \bar{A} （其含义见 3.4）大于 0.15。

2 计量横截面的选择

只要有可能，计量横截面不应处于能引起漩涡的管件的下游，同时还应避免处于任何改变管道截面的调节阀的下游。

3 局部速度的测量

3.1 测点的位置与数量

除了在中心的测点外，每个半径上至少应有 5 个测点，如果流动是非对称的，半径的最小数目为 6 个，在管道内每根半径上的以下每个区域内，至少应有一个测点。

$$0 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.2 \quad 0.2 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.4$$

$$0.4 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.6 \quad 0.6 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 0.8$$

$$0.8 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 1.0$$

式中： r ， R ——分别为测点所处圆环半径与管道半径。

3.2 采用一只皮托管测量轴向速度

3.2.1 皮托管在每个测点上都沿着管轴方向，并用特定的皮托管对局部流向给出不同角度输出特性。这种方法只能用于 20° 以内的漩涡角。

在每个测点上用偏角探头确定漩涡角 φ 之后，将皮托管头部调到平行于管道轴线后记下差压示值 Δp_φ ，用下式计算每点的流速。

$$v_x = K_\varphi (1 - e) \left(\frac{2\xi \Delta p_\varphi}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中： v_x ——轴向速度；

K_φ ——定向校验系数。

$$K_{\varphi} = \left(\frac{\Delta p_0}{\Delta p_{\varphi}} \right)^{\frac{1}{2}} \cos \varphi$$

式中： Δp_0 ， Δp_{φ} ——分别为探头流向间夹角为 0 和 φ 时的差压。

3.2.2 皮托管在每个测点上都沿着局部速度方向。这种方法只能用于 40° 以内的漩涡角。

$$v_X = v \cos \theta$$

式中： v ——测点速度；

θ ——流向与管轴夹角。

3.3 采用一只流速计测量轴向速度

当确信在计量横截面上有漩涡时，最好采用一种具有自动补偿功能的特殊桨叶结构，这种结构可以直接测出与轴线成 30° 角以内的局部速度的轴向分量 $v \cos \theta$ 。

3.4 非对称性指数 \bar{A}

\bar{A} 是每个半径上所测速度的平均流速 v_i 的标准偏差 σ_{vi} ，除以管道的轴向平均速度 v ，即

$$\bar{A} = \frac{\sigma_{vi}}{v} = \frac{1}{v} \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - v)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(n 为半径的个数)

4 由轴向不对称性引起的流量测量不确定度 $\delta_{\bar{A}}$

$$\delta_{\bar{A}} = 0.14 \bar{A} \quad \text{当 } n = 4$$

$$\delta_{\bar{A}} = 0.07 \bar{A} \quad \text{当 } n = 6$$

$$\delta_{\bar{A}} = 0.05 \bar{A} \quad \text{当 } n = 8$$

5 流量测量的总不确定度

一般在 2% 与 4% 之间。

附录 6

 t_{α} 数值表与 d_n 数值表表 1 置信度 0.95 的 t_{α} 数值表

$n-1$	1	2	3	4	5	6	7
t_{α}	12.71	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36
$n-1$	8	9	10	11	12	13	14
t_{α}	2.31	2.26	2.23	2.20	2.18	2.16	2.14
n ——测量次数							

表 2 d_n 数值表

n	2	3	4	5	6	7	8
d_n	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85
n	9	10	11	12	13	14	15
d_n	2.97	3.08	3.17	3.26	3.34	3.41	3.47
n ——测量次数							

附录 7

计量横截面检定记录表

检定记录, 单位 _____

		测线(点)序号						
		1	2	3	4	5	6	7
x_n	1							
	2							
	3							
\bar{x}_n								

检定日期:

检定:

复核:

注:

1. x_n 可为直径、周长、壁厚、高度、宽度及管外壁高点高度。
2. 检定记录一栏填 D 或 L 等所检项目符号, 单位一栏填 m 或 mm 等。

附录 8

示值误差检定记录表

序 号 N	1	2	3	4	5	6	7
测点位置 Y/R							
标准容积 V_s							
时间 τ							
标准温度 t_s							
测点温度 t_m							
差压 Δp							
测点流速 v_m							
标准流量 Q_s							
被测流量 Q_m							

检定日期:

检定:

复核:

附录 9

流量稳定性检定记录表

	流速 v_i	
	最大流量	最小流量
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
\bar{v}		
σ_v		
δ_q		

检定日期：

检定：

复核：

附录 10

检定证书内容

(背面)

检定结果

1. 计量横截面尺寸
2. 流量范围
3. 流量测量不确定度
4. 流量稳定度
5. 所用测速仪器名称型号精度