

---

# 目录

- 1 概述
- 2 产品结构与测量原理
  - 2.1 产品结构
  - 2.2 测量原理
- 3 产品技术性能
- 4 产品型式规格
  - 4.1 通径规格
  - 4.2 取压型式
  - 4.3 产品材质
- 5 流量测量系统的配置
  - 5.1 流量测量系统的组成
  - 5.2 流量测量系统的配置
- 6 流量计的标（检）定
  - 6.1 流量计的出厂标定
  - 6.2 标定方法
  - 6.3 标定用设备的不确定度要求
  - 6.4 实标流出系数及其不确定度计算方法
- 7 产品的使用安装要求
  - 7.1 内文丘里管流量计使用的一般性要求
  - 7.2 内文丘里管的安装要求
  - 7.3 差压信号管路的敷设与安装要求
  - 7.4 使用维护与检定、校准要求
- 8 用户测量系统的流量调试与流量在线实时修正方法
  - 8.1 流量计算基本公式
  - 8.2 流量调试计算方法
  - 8.3 流量在线实时修正方法
  - 8.4 流体密度
  - 8.5 可膨胀性系数计算方法
  - 8.6 标准状态体积流量的换算方法
- 9 用户流量测量不确定度的评估方法
- 10 产品选型订货须知
- 附录 1: 差压信号管路的敷设及其安装原则
- 附录 2: EMSW007内文丘里管流量计产品订货咨询单

---

---

# EMSW007

## EMSW007 内文丘里管流量计

### 使用说明书

---

#### 1 概述

EMSW007 内文丘里管流量计是以内文丘里管为节流件的新型差压式流量测量仪表。内文丘里管是基于传统文丘里管测量原理并对传统文丘里管结构作了质的变革而集经典文丘里管、环形孔板和耐磨孔板、锥形入口孔板优点为一体的新一代异型文丘里管，它的计量特性与使用性能优于标准孔板、喷嘴和经典文丘里管，可用于测量各种液体、气体和蒸汽，特别适用于测量其它型式计量仪表难以测量的各种煤气、非洁净天然气、高含湿气体以及其它各种脏污流体，在大多数的工业测量场合，都可成为取代传统孔板、喷嘴、经典文丘里管的理想换代产品。

#### 2 产品结构与测量原理

##### 2.1 产品结构

内文丘里管由一圆形测量管 1 和置于测量管内并与测量管内圆同轴的特型芯体 2 所构成（参见图 1 内文丘里管结构示意图和图 2 特型芯体结构示意图）。特型芯体是一几何旋转体，它由前段圆锥 6（或圆锥台 6）、中段圆柱 7 和后段圆锥台 8 连接而成。上述三段轴向长度比例及圆锥和圆锥台的夹角，依测量条件的不同而不同。特型芯体与测量管内圆之间形成一环形过流通道，其轴向过流横截面面积的变化规律和传统文丘里管轴向过流横截面面积的变化规律相同。特型芯体在测量管内的放置，是用芯体的支承轴 9、10（小型、中型产品只有后支承轴 9）和与测量管内圆同轴的支承环 3.4 定位，并用止动件将其压紧固定。支承环由具有同轴的内环、外环和将内外环联结成一体的三个或四个支承肋构成。在测量管管壁上，设有用于测量流体节流件前后静压的取压接头 5。测量管两端是用于和现场工艺管道连接的法兰。

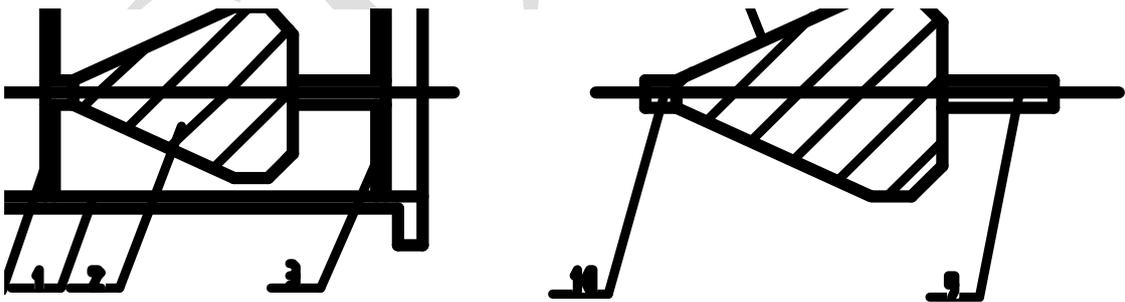


图 1、2-1、2-2

##### 2.2 测量原理

就基本测量原理而言，内文丘里管与经典文丘里管的测量原理相同，都是以能量守恒定律—伯努利方程和流动连续性方程为基础的流体测量方法。根据差压式流量计这一基本测量原理，充满管道的流体流经内文丘里管时，流体在节流部位造成局部收缩，从而使流速增加，静压力下降，在节流件前后产生静压力差（简称差压），流体的流速越大，形成的差压也越

大，流体流经内文丘里管的流动与节流过程同流经典文丘里管时相似，通过测量差压，便可得知流体流过内文丘里管流量的大小。

### 3 产品技术性能

流出系数不确定度： $\pm 0.5\%$ （测量范围度 10：1）

可膨胀系数不确定度：符合 GB/T2624-93

测量范围度：10：1，还可以更宽

流出系数稳定性：在现有各类差压流量计中，稳定性最好

压力损失：测量差压的 1/5（约为孔板压损的 1/3）左右。

安装直管段长度要求：与经典文丘里管相当或更短些，一般上游 3D,下游 1D.

适测介质范围：可测各种液体、气体和蒸汽，包括各种煤气、非洁净天然气、高含湿气体以及含有较多气泡或一定量固体颗粒的脏污流体。还可以测强腐蚀性流体。

适用雷诺数范围： $Re_D \geq 4 \times 10^3$  适用雷诺数下限还可以更低，此时其流出系数的不确定度要相对大些。

适用管道通径范围：25mm~1500mm（根据用户需要也可以提供通径小于 25mm 和大于 1500mm 的产品）。

### 4 产品型式规格

#### 4.1 产品规格

按测量管通径制成 DN25mm~DN1500mm 系列产品：

25、(40)、50、80、100、150、200、(250)、300、(350)、400、500、600、(700)、800、(900)、1000、(1100)、1200、1400、1500

测量管两端与用户工艺管道的连接采用国家标准法兰，应用户要求也可以采用化工标准法兰，并可以提供焊接或其它连接形式的产品。

芯体结构形式，采用图 2-1 型或图 2-2 型，根据测量条件与测量要求由设计确定。

#### 4.2 取压型式

按差压的取压方式，EMSW007内文丘里管流量计分普通取压和远传法兰取压两种类型。远传法兰取压用于不适宜采用导压管导压的测量场合，如测量重油等高粘度或其它特别容易堵塞取压通道的脏污流体。

#### 4.3 产品的材质

芯体、支承环的材质为 1Cr18Ni9Ti 或为碳钢化学镀镍表面处理，也可以采用用户指定的其它材质；取压口接头的材质为 1Cr18Ni9Ti 或 1Cr13。以上材质均由用户选订。

凡用于强腐蚀介质的产品，其所用材质均需与用户协商确定。

### 5 流量测量系统的配置

#### 5.1 流量测量系统的组成

由 EMSW007流量计组成的典型流量测量系统应包括以下几部分（参见图 3 测量系统示意图）：

图 3

- ① EMSW007内文丘里管
  - ② 差压变送器、差压信号管路及附件
  - ③ 压力、温度传感器
  - ④ 智能流量（或流量、能量）显示、积算仪或流量计算机
- 如上序号②、③、④可以由我公司代为成套配置，也可由用户自行配置。

#### 5. 2 流量测量系统的配置

- ① EMSW007内文丘里管，每台产品的结构参数均根据用户提供的使用条件及测量范围具体设计，同一规格的产品对不同的测量条件不一定具有通用性。
- ② 差压变送器的类型（普通取压或远传取压）按取压方式确定，差压变送器的规格，其上限量程对应于内文丘里管随机文件计算单给出的现场使用最大流量所对应的最大差压  $\Delta P_{max}$  选取，所选的测量范围上限应稍高于  $\Delta P_{max}$  并接近  $\Delta P_{max}$  的相当档次产品。差压变送器的精度，应根据使用条件和测量系统对流量不确定度的要求合理选取。差压信号管路的导压管及所配置的附件，应根据测量条件参照差压式流量计检定规程 JJG640-94 附录 1 “差压信号管路的敷设方法及其安装原则” 合理配置。
- ③ 压力、温度传感器的规格，按测量工况合理配置，当测量系统对流量的测量并无压力、温度补偿修正要求时，压力、温度传感器可以不配。
- ④ 流量显示积算仪，其功能应满足测量条件与测量系统对流量的测量、显示及信号远传要求，合理选型配置。

### 6 流量计的标（检）定

#### 6. 1 流量计的出厂标定

如果用户对流量计并无特殊标定要求，每台流量计在出厂前，都在水标定装置上对流出系数  $C$  进行实流标定，并开具标定证书。

产品用于测量气体或蒸气时，可膨胀性系数  $\epsilon$  采用计算值（可膨胀系数无法单独进行标定）。应订货者的要求，也可以用气体对产品的流出系数与可膨胀性系数的乘积  $\epsilon C$  一并进行标定，并开具标定证书。

内文丘里管流量计出厂前的标定并不是必须进行的,当使用者的测量现场具有标定手段或者经使用者确认采用制造厂提供的经验数据就可以满足测量要求而不需单独进行标定时,出厂前的标定也可以免做。

#### 6. 2 标定方法

流量计的出厂标定与使用过程中的检定，均采用“JJG640-94 差压式流量计检定规程”中的系数检定法。流出系数的标定流量范围，一般应将实际使用的流量测量范围覆盖，当受标定设备能力所限不能满足上述覆盖要求时，其标定的上限应不小于  $2 \times 10^5$ 。当标定用介质的运动粘度同实

际使用工况下介质的运动粘度不同时，应按等雷诺数原则，对标定用的流量范围进行换算。换算用公式如下：

$$q_{vb} = q_{vg} \times \frac{v_b}{v_g}$$

式中： $q_{vb}$ 、 $q_{vg}$ ——分别为标定用介质和使用工况实测介质的体积流量  $m^3/h$   
 $v_b$ 、 $v_g$ ——分别为标定用介质和实测介质的运动粘度  $m^2/s$

### 6. 3 标定用设备的不确定度要求

标准流量装置：|  $E_s$  | ≤ 0.1%

差压变送器：|  $E_{\Delta p}$  | ≤ 0.1% 满量程

温度计：0—50℃ 标准水银温度计，分度值为 0.1℃

电流表：±0.2%

计时器：分度值 0.1 秒

差压变送器的量程配置，应保证各流量检定点实际使用差压值的不确定度不大于 0.2%，允许使用差压变送器检定证书给出的校正曲线（值）核定差压值的不确定度。

流出系数的标定允许使用标准表法，标准表的不确定度应优于 0.2%。

### 6. 4 实标流出系数及其不确定度的计算方法

#### 6. 4. 1 检定点的流出系数

用水标定时，每个流量检定点的流出系数  $C_i$  用公式（1）计算，用气体标定时，每个检定点的  $(\varepsilon C)_i$  用公式（2）计算。

$$C_i = \frac{4q_v \sqrt{1-\beta^4}}{\pi D^2 \beta^2 \sqrt{2\Delta P / \rho_1}} \dots\dots\dots (1)$$

$$(\varepsilon C)_i = \frac{4q_v \sqrt{1-\beta^4}}{\pi D^2 \beta^2 \sqrt{2\Delta P / \rho_1}} \dots\dots\dots (2)$$

公式（1）、（2）中  $q_v$  是标定时各流量检定点的标准体积流量值。

6. 4. 2 流量计的实际流出系数，取实际检定范围内全部检定点中的最大流出系数  $C_{i\max}$  和最小流出系数  $C_{i\min}$  的平均值，按公式（3）计算。

$$C = \frac{1}{2}(C_{i\max} + C_{i\min}) \dots\dots\dots (3)$$

#### 6. 4. 3 实标流出系数的不确定度

实标流出系数的不确定度  $\frac{\delta C}{C}$  按公式（4）计算。

$$\frac{\delta C}{C} = \pm \left( E_r^2 + E_l^2 + E_s^2 + \frac{1}{4} E_{\Delta p}^2 + \frac{1}{4} E_{\rho_1}^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

公式（4）中：

$E_r$ —测量重复性，取标定范围内全部检定点中  $E_r$  的最大值

$E_l$ —检定范围内流出系数的线性度，按公式（5）计算

$E_s$ —标准流量装置不确定度

$E_{\Delta p}$ —差压测量不确定度

$E_{\rho_1}$ —检定用流体密度不确定度，在实验室用水检定时， $E_{\rho_1}$  可以忽略不计

$$E_l = \frac{C_{i\max} - C_{i\min}}{C_{i\max} + C_{i\min}} \dots\dots\dots (5)$$

在标定证书中，可以只给各标定点的雷诺数  $R_{eD}$  及其对应的流出系数值而不做线性度及标定流出系数的计算。

用气体进行标定时，标定证书只需给出各标定点的雷诺数  $R_{eD}$ 、 $\Delta P/P_1$  值及其对应的  $\varepsilon C$  值，且不做  $\varepsilon C$  不确定度的计算。

## 7 产品的使用安装要求

### 7.1 内文丘里管流量计使用的一般性要求

- 7.1.1 本流量计只适用于测量圆形横截面管道内的流体，且流体必须充满测量管道。
- 7.1.2 本流量计只适用于测量处于亚音速流动的流体。
- 7.1.3 本流量计不适用于脉动流的测量。
- 7.1.4 如果实际安装条件不能满足本说明书 8.2 的有关要求时，使用者则应参照 GB/T2624-93 合理引入附加测量不确定度。
- 7.1.5 出于对用户的负责，如用户拟将原订货流量计用于超出原订货要求的使用条件与测量范围时，请事先向我公司进行咨询。
- 7.1.6 安装使用本流量计的人员应熟悉本说明书的内容并应受过有关差压式流量计使用方面的专业的技术培训。

### 7.2 内文丘里管的安装要求

- 7.2.1 内文丘里管的自身特性决定了安装直管段的要求，可以低于经典文丘里管所要求的直管段长度要求，通常应保证上游不小于  $3D$ ，下游不小于  $1D$ ，具体视管路状况而定。
- 7.2.2 法兰连接处密封垫圈压紧后不能突入管内。
- 7.2.3 系统中用于调节流量的阀门应装于内文丘里管的下游。
- 7.2.4 用于测量焦炉煤气或其他有特殊保温要求的流体时，内文丘里管（包括取压接头）及管道连接法兰处应加装保温设施。
- 7.2.5 与内文丘里管相连接的管道，在入口法兰上游  $2D$  长度范围内，用目测法检查，管道内径应呈圆筒形，且任一直径测量值与直径平均值之差应不超过直径平均值的 2%。连接于内文丘里管下游的管道内径应与内文丘里管的公称通径相同，但可不必精确测量。
- 7.2.6 内文丘里管的上游管道轴线与内文丘里管轴线之间的偏移距离应小于  $0.005D$ ，与内文丘里管轴线的夹角应小于  $1^\circ$ 。

### 7.3 差压信号管路的敷设与安装要求

差压信号管路及附件的敷设与安装对保证测量系统的测量精度与工作的可靠性至关重要。在这方面差压式流量测量技术经多年实践已积累了非常丰富的经验。本说明书规定引用 JJG640—94 “差压式流量计检定规程”附录 1 “差压信号管路的敷设方法及其安装原则”作为内文丘里管流量计对差压信号管路的敷设与安装要求。详见本说明书附录。

### 7.4 使用维护与检定、校准要求

- 7.4.1 使用过程中对内文丘里管的流出系数  $C$  应定期进行检定。由于内文丘里管的流出系数能够长期保持恒定，其检定周期可以比差压式流量计检定规程 JJG640 规定的标准差压装置的检定周期大大延长，具体视被测介质条件而定。建议：洁净流体检定周期一般为 8 年；非洁净流体检定周期一般为 6 年。当由于某种原因而对内文丘里管工作可靠性产生质疑时，检定工作应提前进行。
- 7.4.2 对内文丘里管配套使用的差压变送器应定期进行检定。检定周期参照差压变送器产品使用要求或执行国家行业的相关技术标准。
- 7.4.3 对配套的流量显示积算仪定期进行校准，校准周期不长于一年。
- 7.4.4 对差压信号管路及附件要经常进行检查并定期进行维护保养，有伴热和保温层的，包括对伴热系统和保温层的检查。特别要注意检查三阀组的平衡阀和旁通管路阀工作的可靠性。定期保养周期，由用户自行酌定。
- 7.4.5 将内文丘里管用于非洁净流体测量时，应定期检查二取压口有无异物堵塞（检查周期

由用户酌定), 如有异物堵塞应予清除, 清除堵塞物时注意不应对取压口本体造成损坏。使用过程中, 允许从三阀组前对取压口进行吹除。

#### 7. 4. 6 对测量故障的判断与处理

系统在运行过程中, 当发现有流量数据异常时, 应按以下程序进行检查, 排除故障;

- ① 检查信号传输线路是否正常;
- ② 检查流量显示积算仪或计算机工作是否正常;
- ③ 检查差压信号管路系统是否正常, 有无泄漏发生, 要特别注意检查三阀组的平衡阀及旁通管路上旁通阀工作是否可靠;
- ④ 检查差压变送器的工作是否正常;
- ⑤ 检查内文丘里管二取压口有无异物堵塞。

### 8 用户测量系统的流量调试与在线实时修正方法

#### 8. 1 流量计算基本公式

EMSW007内文丘里管作为差压式流量计, 其流量计算方法同孔板、经典文丘里管相同, 国家标准 GB/T2624 给出的流量计算公式, 完全适用于内文丘里管。仅有一点需要说明的是, 内文丘里管节流件的喉部是内置芯体圆柱段外圆部位与测量管内圆之间构成的环形缝隙, 内文丘里管的节流直径比  $\beta$  定义为等效  $\beta$  值。所谓等效  $\beta$  值是指喉部环形过流通道横截面面积折算成具有相同(等效)流通面积的圆形节流孔的孔径  $d^1$  与测量管内径  $D$  之比, 即  $\beta = \frac{d^1}{D}$ , 而

$d^1 = \sqrt{D^2 - d_1^2}$  (这里  $d_1$  为芯体圆柱段直径), 故内文丘里管的等效  $\beta$  值的数学表达式为:

$$\beta = \frac{\sqrt{D^2 - d_1^2}}{D} \dots\dots\dots (6)$$

在使用标准公式计算内文丘里管的流量时, 原标准公式中的孔径  $d$  应改换成  $\sqrt{D^2 - d_1^2}$ , 或用  $D \cdot \beta$  来取代。内文丘里管的质量流量  $q_m$  计算公式如公式 (7), 体积流量计算公式如公式 (8)。

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \varepsilon_1 \frac{\pi}{4} D^2 \beta^2 \sqrt{2\Delta p \times \rho_1} \dots\dots\dots (7)$$

$$q_v = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \varepsilon_1 \frac{\pi}{4} D^2 \beta^2 \sqrt{2\Delta p / \rho_1} \dots\dots\dots (8)$$

公式 (7)、(8) 中各符号的名称意义与国标 GB/T2624 相同, 其中流出系数  $C$  采用实流标定值, 可膨胀性系数  $\varepsilon_1$  采用计算值。

#### 8. 2 流量调试计算方法

对于用户来说, 测量系统的流量调试一般并不需要使用公式 (7)、(8) 进行计算。在 NV2118 内文丘里管产品出厂随机文件“流量计算单”中, 均给出了比公式 (7)、(8) 要简化得多的专用计算公式 (9)、(10), 在计算单中还给出了常用工况流量、最大流量、最小流量的计算结果, 供用户参考。

$$q_m = K * \sqrt{\Delta P} * \sqrt{\rho_1} * \varepsilon \dots\dots\dots (9)$$

$$q_v = K * \sqrt{\Delta P} / \sqrt{\rho_1} * \varepsilon \dots\dots\dots (10)$$

公式 (9)、(10) 中:

$q_m$ —工况质量流量            kg/h

$q_v$ —工况体积流量            m<sup>3</sup>/h

$K$ —内文丘里管装置系数, 根据每个内文丘里管的结构参数及实际流出系数  $C$

按公式 (7)、(8) 进行计算, 在计算单中均给出具体数值

$\Delta P$ —测量差压                    kPa

$\rho_1$ —节流前流体的密度        kg/m<sup>3</sup>

$\varepsilon$ —气体可膨胀性系数, 计算方法见本说明书 8.5

公式(9)、(10)中的差压  $\Delta P$ , 需根据差压变送器的输出电流值  $I$  用公式(11)进行计算。

$$\Delta P = (I - 4) \times \frac{\Delta P_{\max}}{16} \dots\dots\dots (11)$$

上式中:

$\Delta P_{\max}$ ——差压变送器满量程 (输出电流 20mA) 对应的差压值 kPa

$I$ ——差压变送器的输出电流值 mA

使用公式 (9)、(10), 不需要配套的二次仪表, 只要测出差压变送器输出电流值, 再根据已知工况密度  $\rho_1$  和可膨胀性系数  $\varepsilon$ , 便可方便地算得工况流量。在系统调试和运行过程中, 如发现流量显示异常, 断开二次仪表, 采用上述手工计算方法, 便能判断出问题究竟出在差压装置、差压变送器还是出在流量计算机 (组态设置不当或其他操作失误等) 等二次仪表。

### 8.3 流量在线实时修正方法

系统运行过程中, 工况变化幅度较大, 用户对测量精确度要求较高时, 需要对因流体密度变化和可膨胀性系数变化 (只发生在气体、蒸气测量时) 所导致的流量测量偏差进行在线实时修正。这种修正, 因使用传统差压式流量仪表一样, 必须借助于配套使用的流量计算机或计算机等二次仪表的修正运算功能方能实现。使用具有完善流量补偿运算处理功能的二次仪表, 在系统调试时, 按照使用说明书, 根据测量条件和补偿修正需要, 选择相应运算处理功能, 正确完成组态操作, 流量在线实时修正便可自动完成。

关于流量测量在线实时修正的内容与具体计算方法, 目前尚未形成统一标准, 众多仪表制造厂家市面出售的流量演算器、积算仪, 其补偿修正运算功能、计算精确度也有一定差别, 为此, 用户需根据自己的测量要求, 合理选配二次仪表。为便于使用计算机与内文丘里管组成测量系统的用户能有效地实施如上的流量在线修正, 这里就一般补偿修正方法予以原则性的讨论。

#### ① 满刻度百分比计算修正法

以公式 (9)、(10) 为基础, 先根据仪表系数和测量条件计算出差压变送器满刻度差压  $\Delta P_{\max}$

(对应输出电流为 20mA) 对应的满刻度流量  $q_{m\max}$  或  $q_{v\max}$ , 再根据实测流量点  $q_{mi}$  或  $q_{vi}$  及其对应差压  $\Delta P_i$  (对应输出电流  $I_i$ )、流体密度  $\rho_{li}$ 、可膨胀性系数  $\varepsilon_{li}$ , 按公式 (12) 或 (13) 组态编程进行计算。

$$q_{mi} = q_{m\max} * \sqrt{\frac{I_i - 4}{16}} * \sqrt{\frac{\rho_{li}}{\rho_{1\max}}} * \frac{\varepsilon_{li}}{\varepsilon_{1\max}} \dots\dots\dots (12)$$

$$q_{vi} = q_{v\max} * \sqrt{\frac{I_i - 4}{16}} * \sqrt{\frac{\rho_{1\max}}{\rho_{li}}} * \frac{\varepsilon_{li}}{\varepsilon_{1\max}} \dots\dots\dots (13)$$

如果测量的是液体,  $\varepsilon_{li} / \varepsilon_{1\max} = 1$ ; 如果测量的是气体, 但因工况变化极小而无需进行密度和可膨胀性系数修正时, 公式 (12)、(13) 的后两项都等于 1。

需要特别说明的是, 公式 (12)、(13) 中的  $\rho_{1\max}$ 、 $\varepsilon_{1\max}$  分别是指计算满刻度流量时

所使用的工况密度  $\rho_1$  和可膨胀性系数  $\varepsilon_1$ ,  $\rho_{1\max}$ 、 $\varepsilon_{1\max}$  并不代表测量过程中可能出现的最大密度和最大可膨胀性系数。满刻度流量对应的  $\varepsilon_{1\max}$  应根据满刻度差压  $\Delta P_{\max}$  和工况压力  $P_1$  按  $\varepsilon$  计算公式计算。

## ② 实时计算法

以公式 (9)、(10)、(11) 为基础, 直接组态编程进行计算, 此时各检测点的流量  $q_{mi}$  或  $q_{vi}$  均根据实测的  $\Delta P_i$  (对应的实测  $I_i$ )、 $\rho_{1i}$  (对应的实测工况压力  $P_1$ 、温度  $T$ )、 $\varepsilon_{1i}$  (对应实测  $\Delta P$  和  $P_1$ ) 进行计算。如果测量的是液体,  $\varepsilon = 1$ ; 如果测量的是气体但需要进行密度和可膨胀性系数补偿修正, 此时  $\rho_1$ 、 $\varepsilon$  视为常数并与公式中装置系数  $K$  合并成一个新的常数项, 这是最简单的流量测量运算情况。

可能是受传统作法的影响, 目前市场上出售的多种流量计算器、显示积算仪, 几乎都采用满刻度百分比计算修正法。测量气体且工况变化幅度较大时, 采用满刻度百分比法的可膨胀性系数修正误差要比实时计算法来得大些。

流量在线实时修正, 关键是处理好流体密度变化修正, 对于气体、蒸气的测量, 还必须做好可膨胀性系数的补偿修正, 下节将具体讨论流体密度与可膨胀性系数问题。

## 8.4 流体密度

### 8.4.1 流体密度

从流量计算公式可知, 流体密度是影响差压式流量计使用的主要物性参数, 使用的密度值是否准确, 对流量测量的精确度有着直接影响。

液体, 气体, 蒸汽的密度是温度、压力的函数, 多组分的混合流体, 其密度还是与组分的比例有关, 当测量工况的温度、压力或流体的组分有所变化时其密度也将随之发生变化, 工业测量中所遇到的流体, 其密度绝大多数都可以根据流体组分、压力、温度从工具书中直接查得或根据给出的计算公式而算得。在实际测量中, 往往也使用测量现场的取样化验值, 对于流体组分、温度、压力变化频繁且对测量精确度要求高的计量场合, 在测量系统中可以安装在线密度计进行密度的实时测量。

#### 8.4.1.1 液体密度

水的密度可以查表获得; 原油的密度随其产地 (组分) 不同而不同, 多采用现场检测值; 各行业已形成标准的典型油品和具有相应标准的其他液体, 可以采用标准规定的密度值; 对于没有标准密度的液体, 最好采用现场取样检测值。系统运行过程中, 对液体温度变化而进行的密度修正, 如对供热系统的热水密度修正, 最好采用二次多项式的计算修正方法。

#### 8.4.1.2 水蒸气的密度

水蒸气的密度一般从标准规定的水蒸气表中查取。由于水蒸气的物性远离理想气体, 系统在运行过程中, 对同工况温度、压力变化而进行的水蒸气密度修正, 不能采用“与压力成正比, 比温度成反比”的简单作法。

#### 8.4.1.3 一般干气体的密度

干的空气和各种单组分的气体密度, 一般都是以该气体在标准状态下的密度  $\rho_n$  为基础, 根据测量工况的压力、温度按公式 (14) 进行换算。

$$\rho = \rho_n \frac{PT_n Z_n}{P_n TZ} \dots\dots\dots (14)$$

上式中,  $\rho_n$ 、 $P_n$ 、 $T_n$ 、 $Z_n$  和  $\rho$ 、 $P$ 、 $T$ 、 $Z$ , 分别为标准状态下和测量工况状态下的气体密度、压力、温度、压缩系数, 其中温度应为绝对温度, 压力应为绝对压力。标准状态下的干空气和其他单一组分气体密度及压缩系数, 一般都可以从工具书中查得。

#### 8.4.1.4 混合气体的密度

标准状态下, 混合气体密度, 根据标准状态下各组分的气体密度及其容积百分含量按公式 (15) 计算。

$$\rho_n = \rho_{n1}x_1 + \rho_{n2}x_2 + \dots + \rho_{nm}x_m \quad (15)$$

公式 (15) 中:

$\rho_n$ —混合气体在标准状态下的气体密度

$\rho_{ni}$ —混合气体中  $i$  组分在标准状态下的密度,  $i=1\sim m$

$x_i$ —混合气体中  $i$  组分在标准状态下的容积百分含量,  $i=1\sim m$

测量工况下混合气体密度, 以标准状态下的混合气体密度为基础, 根据测量工况温度、压力按公式 (14) 计算。

混合气体压缩系数的计算方法比较复杂, 但可以采取简化处理方法。其中: 对各类煤气, 由于测量工况一般比较低, 多在 0.5MPa 以下, 温度也接近于常温, 可取压缩系数  $Z=1$ 。

天然气的主要成分是甲烷 ( $\text{CH}_4$ ), 其中干井天然气一般  $\text{CH}_4$  含量在 98% 左右, 如果缺少可靠的气体组分分析数据, 天然气的密度可近似按  $\text{CH}_4$  计算。

用于贸易结算的计量, 天然气的密度需要精确计算, 请参见石油天然气作业标准和相应国家标准。

#### 8. 4. 1. 5 湿气体的密度

一般情况下, 现场测量的空气、各类煤气、烟道气等, 都是含有一定量水蒸气的湿气体, 湿气体的密度, 根据其相对湿度用公式 (15)、(16)、(17) 进行计算。

$$\rho_s = \rho_{sg} + \rho_{ss} \quad (16)$$

$$\rho_{sg} = \rho_{gn} \frac{P - \varphi P_{s \max}}{P_n} \frac{T_n Z_n}{TZ} \quad (17)$$

$$\rho_{ss} = \varphi \rho_{s \max} \quad (18)$$

公式 (15)、(16)、(17) 中:

$\rho_s$ —湿气体密度  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{sg}$ —湿气体中的干气体密度  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{ss}$ —湿气体中的水蒸气密度  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{gn}$ —标准状态下干气体密度  $\text{kg/m}^3$

$P$ 、 $T$ 、 $Z$ 、 $P_n$ 、 $T_n$ 、 $Z_n$ —分别为测量工况状态和标准状态的绝对压力、绝对温度、压缩系数

$\varphi$ —湿气体的相对湿度

$P_{s \max}$ —温度为  $T$  时的水蒸气最大压力 (饱和蒸汽压力)  $\text{kPa}$

$\rho_{s \max}$ —温度为  $T$  时的水蒸气最大密度 (饱和蒸汽密度)  $\text{kg/m}^3$

#### 8. 5 可膨胀性系数计算方法

由于气体 (含蒸汽, 下同) 具有可膨胀性, 气体在节流后, 因静压力下降而导致其密度比节流前相对减小, 这种因压力的下降而造成的密度变化基本符合热力学的等熵变化过程; 同样由于气体具有可膨胀性, 使得流体流过同一节流件喉部时的流束收缩程度, 气体和液体是不同的, 气体的最小流束收缩横截面要比液体的大。流量计算公式中的可膨胀性系数, 就是针对使用已知流出系数的节流件来测量气体时对上述气体密度变化与流束收缩差异的科学修正。

前人的大量研究结果表明, 可膨胀性系数  $\epsilon$  是  $\Delta P/P_1$  的函数, 并与气体的等熵指数  $\kappa$  有关, 与节流件的  $\beta$  值有关; 可膨胀性系数还与节流件的收缩形式有关, 如具有曲面过渡呈逐渐收缩喷嘴、文丘里管与具有直角锐边呈突然收缩的标准孔板, 可膨胀性系数是不一样的; 当节流件的结构形式及  $\beta$  值确定之后, 对于即定的被测气体而言, 当温度变化幅度不是很大时等熵指数  $\kappa$  的变化可忽略不计, 此时可以认为可膨胀性系数  $\epsilon$  只随  $\Delta P/P_1$  而变化。所以, 系统运行过程中, 一般来说, 可膨胀性系数的变化均可以只根据变量  $\Delta P/P_1$  的变化进行在线实时修正。

理论分析与实验结果表明，EMSW007内文丘里管的  $\varepsilon$  值与经典文丘里管的  $\varepsilon$  值接近。当  $\Delta P/P_1 \leq 0.04$  时，两者  $\varepsilon$  值基本相同，可用公式 (19) 经典文丘里管可膨胀性系数计算公式进行计算。当  $\Delta P/P_1$  值较大时，内文丘里管的  $\varepsilon$  将稍大于经典文丘里管的  $\varepsilon$ 。为此， $\Delta P/P_1$  较大且对流量测量精确度要求较高时， $\varepsilon$  值可采用经实验修正后的经验公式 (20) 进行计算。

$$\varepsilon_1 = \left[ \left( \frac{\kappa \tau^{(2/\kappa)}}{\kappa - 1} \right) \left( \frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \tau^{(2/\kappa)}} \right) \left( \frac{1 - \tau^{(\kappa-1)/\kappa}}{1 - \tau} \right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

$$\varepsilon_1 = 1 - (A + B\beta^4) \times \frac{\Delta P}{\kappa P_1} \dots\dots\dots (20)$$

公式 (19)、(20) 中：

- $\varepsilon_1$ —可膨胀性系数
- $\tau$ —节流前后压力比， $\tau = P_2/P_1$
- $\kappa$ —气体等熵指数
- $\beta$ —内文丘里管节流直径比
- $P_1$ 、 $P_2$ —分别为节流前、后绝对压力，kPa
- $\Delta P$ —测量差压，kPa

A、B—系数，具体数值将在内文丘里产品随机文件的“流量计算单”中给出

#### 8. 6 标准状态体积流量的换算方法

空气、煤气、天然气等气体的计量单位，往往使用标准状态体积流量，习惯记作  $\text{Nm}^3/\text{h}$ 。由测量工况体积流量  $q_v$  换算为标准状态的体积流量  $q_{vn}$  用公式 (21)

$$q_{vn} = q_v \frac{P T_n Z_n}{P_n T Z} \dots\dots\dots (21)$$

公式 (21) 中  $P_n$ 、 $T_n$ 、 $Z_n$ 、 $P$ 、 $T$ 、 $Z$ ，分别代表标准状态和测量工况状态的绝对压力、绝对温度、压缩系数。

#### 9 用户流量测量不确定度的评估方法

参照 GB/T2624-93，用户使用内文丘里管流量计进行流量测量时的体积流量测量不确定度按公式 (22) 进行评估，质量流量测量不确定度按公式 (23) 进行评估。

$$\frac{\delta q_v}{q_v} = \left[ \left( \frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta P}{\Delta P} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \rho_1}{\rho_1} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (22)$$

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \left[ \left( \frac{\delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \Delta P}{\Delta P} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\delta \rho_1}{\rho_1} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (23)$$

公式 (22)、(23) 中，未计入流量计算显示仪等二次仪表的计算误差。

公式 (22)、(23) 中  $\delta C/C$  是实流标定给出的流出系数不确定度， $\delta \varepsilon / \varepsilon$  是可膨胀性系数不确定度，按 GB/T2624-93 中文丘里管  $\delta \varepsilon / \varepsilon$  的计算公式计算。公式 (22)、(23) 中， $\delta \Delta P / \Delta P$ 、 $\delta \rho_1 / \rho_1$  应由使用者根据自己所使用的差压变送器及密度值的测量不确定度，合理确定。换算密度时，对于一般气体的测量标准状态气体密度  $\rho_n$  的不确定度可以视为二阶小量，不予考虑，气体压缩系数的不确定度，在压力不是很高时一般也不予考虑。用于贸易结算计量的天然气密度的不确定度应按相应的行业标准处理。

关于流体密度不确定度的估算方法，如无专门的规定，使用者也可参阅“JJG640-94 差压式

流量计检定规程”附录 6 流体密度误差的估算进行评估。

## 10 选型定货须知

10.1 用户选型定货需填写 EMSW007 内文丘里管流量计产品订货咨询单，我公司可以根据咨询单协助用户做出合理选型。该咨询单也是我公司为用户订货进行产品设计的依据。

10.2 设计院做工程设计时可以根据我公司出版的 EMSW007 产品选型样本进行设计选型，业主或工程成套单位订货时，仍需提供填写完善的 EMSW007 产品订货咨询单。

EMSW007 内文丘里管流量计产品订货咨询单附后。

## 附录 1：差压信号管路的敷设方法及其安装原则

### 1、说明

为了保证节流装置的输出差压可靠，准确地传送到差压计或差压变送器上，差压信号管路应按附录规定敷设。

### 2、导压管

2.1 导压管应该按被测流体的性质和参数使用耐压、耐腐蚀的材质制造，其内径不小于 6mm，长度最好在 16m 之内，视被测流体的性质而定。不同长度下的最小内径值，见表 1。

表 1 导压管的内径和长度 (mm)

导压管直径 被测流体	导压管长度		
	<16000	16000~45000	45000~90000
水、水蒸气、干气体	7~9	10	13
湿气体	13	13	13
低、中粘度的油品	13	19	25
脏液体或气体	25	25	38

2.2 导压管应垂直或倾斜敷设，其倾斜度小于 1:12，粘度较高的流体，其倾斜度还应增大，当差压信号传送距离大于 30m 时，导压管应分段倾斜，并在各高点和低点分别装设集气器（或排气阀）和沉降器（或排污阀）。

2.3 为了避免差压信号传送失真，正负压导管应尽量靠近敷设。严寒地区导压管应加防冻保护物，与主管道采取同样措施。用电或蒸气加热保温时，要防止过热。低沸点、易汽化的流体，同样应与主管道采取相同措施，防止流体在导压管中汽化产生假差压。

### 3、取压口

取压口一般设置在法兰、环室或夹紧环上。法兰、环室和压紧环的安装，应考虑被测流体为液体时，防止气体进行导压管；被测流体为气体时，防止水和脏污进入导压管。

3.1 安装节流装置的主管道水平或倾斜时，取压安装位置如图 4 所示。

图 4

图 4 在水平线或倾斜管道上取压口的位置示意图

3.2 安装节流装置的主管道垂直时，取压口的位置在取压装置的平面上，可任意选择。

### 4、截止阀

在靠近节流件的信号管路上应装截止阀。信号管路上装有冷凝器时，在靠近冷凝器的位置上应装截止阀。

截止阀的耐压和耐腐蚀性能应与主管道相同。截止阀的流通面积不应小于导压管的流通面积。截止阀的结构应能防止在其本体中聚积气体或液体。避免影响差压信号的传送，建议采用直孔式截止阀。

### 5、冷凝器

5.1 冷凝器的作用是使导压管中的被测蒸气冷凝，并使正负压导压管中的冷凝液面有相等高度且保持恒定。为此，冷凝器的容积应大于全量程内差压计或差压变送器工作空间的最大容积变化的 3 倍。水平方向的横截面积不得小于差压计或差压变送器的工作面积，以便忽略由于冷凝器中冷凝液面波动而产生的附加误差。

5.2 被测流体为高压 ( $>200 \times 10^5 \text{Pa}$ 、 $400^\circ\text{C}$ ) 蒸气时，在节流件和冷凝器之间应装设冷凝水捕集器，以防波动很大时，冷凝水返回主管道并使节流件变形。

### 6、集气器和沉降器

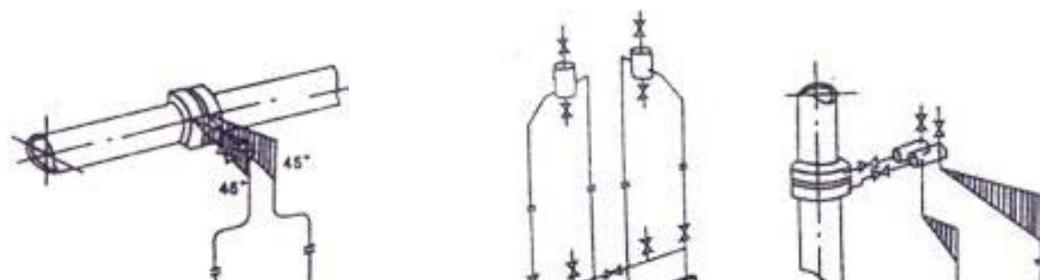
6.1 被测流体为液体时，在导压管的各最高点上应装设集气器或排气阀，以便收集和定期排出信号管路中的气体。当差压计或差压变送器的安装位置高于主管道时，更应设置集气器或排气阀。

6.2 对于各种被测流体，在导压管的最低点应装设沉降器或排污阀，以便收集和定期排出信号管路中的污物和气体信号管路中的积水。

为了便于吹洗，建议采用直孔式排气阀和排污阀。

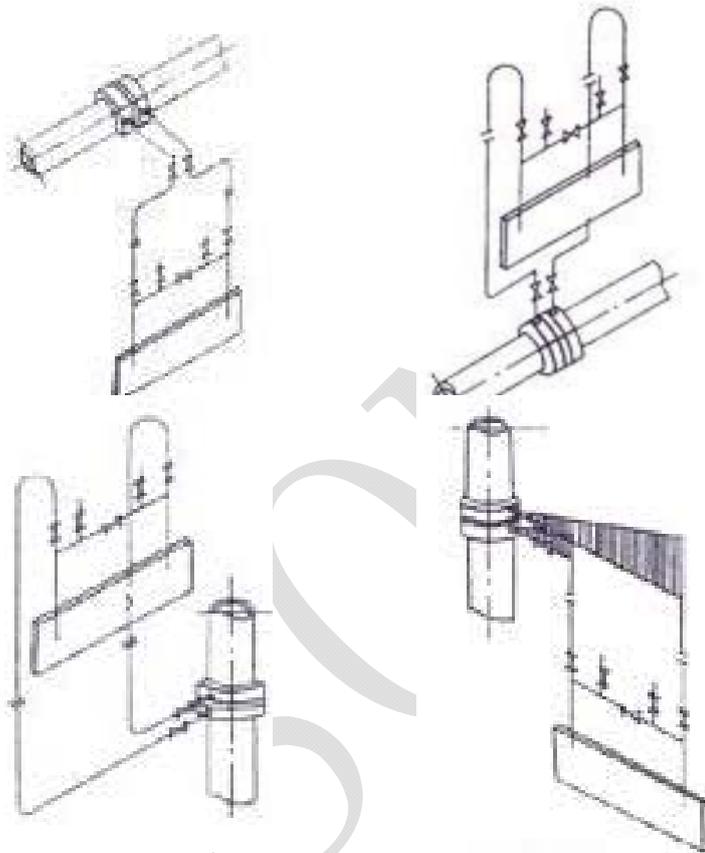
7、根据被测介质的性质和节流装置与差压变送器（或差压计）的相对位置，差压信号管路有以下几种安装方式。

① 被测流体为清洁液体时，信号管路的安装方式如图 1.4.28 所示。

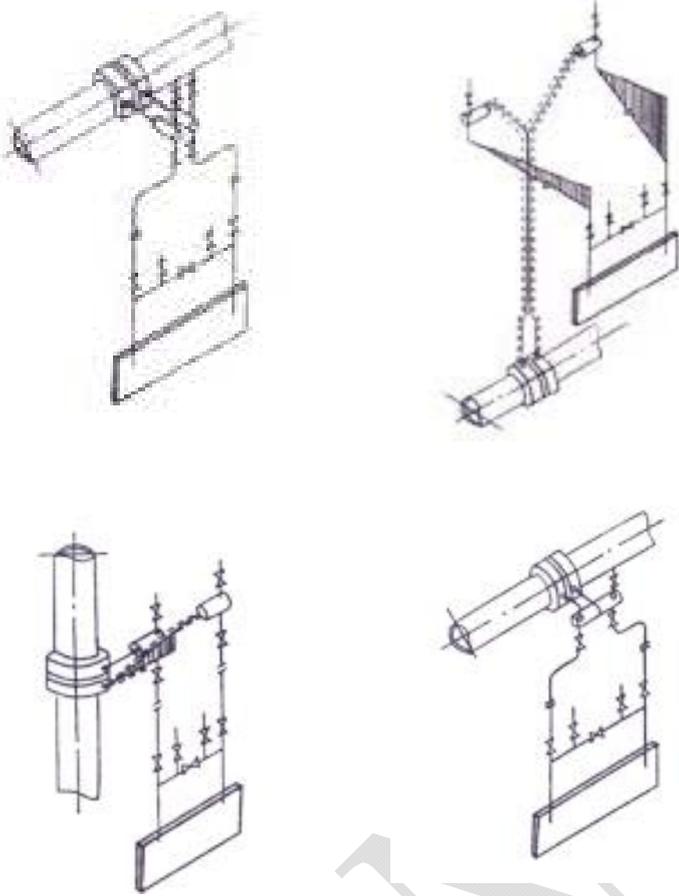


---

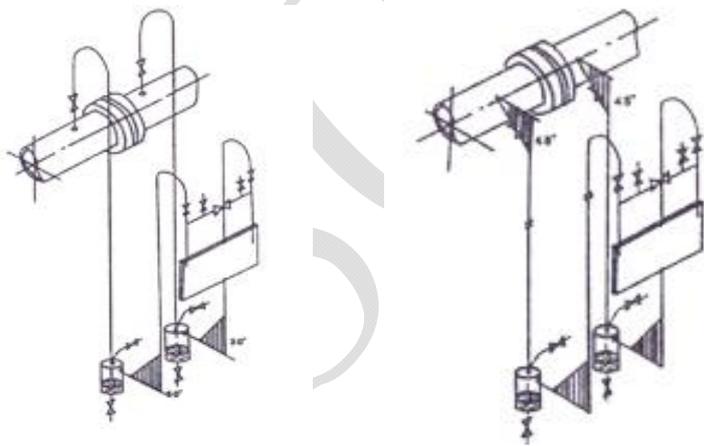
② 被测流体为干气体时，信号管路的安装方式如图 1.4.29 所示。

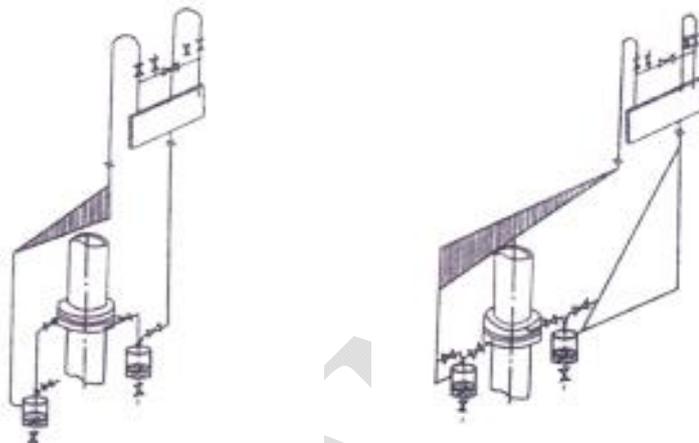
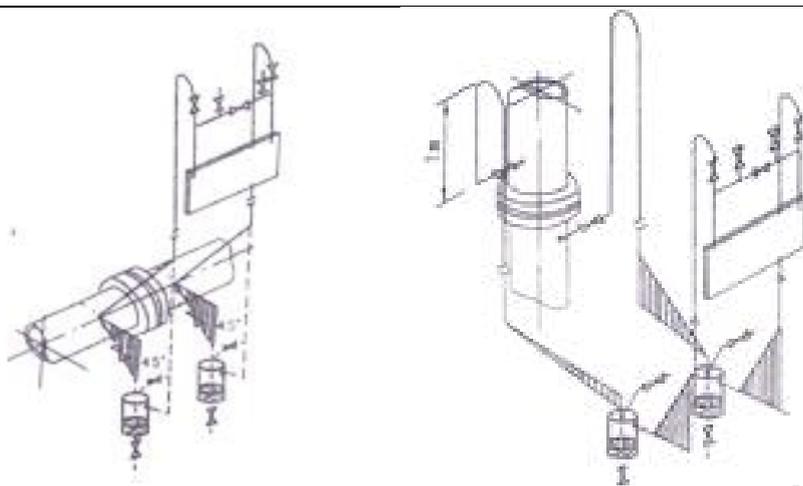


③ 被测流体为水蒸气时，信号管路的安装方式如图 1.4.30 所示。



④被测流体为清洁气体时，信号管路的安装方式如图 1.4.31 所示。





SOL

附录 2: NV2118 内文丘里管流量计产品订货咨询单。

### 用户工况咨询单

订 货 单 位	名 称			联系人	
	通讯地址			邮 编	
	电 话			传 真	
	E-mail				
测 量 流 体	名 称				
	工矿密度				
	工况粘度				
使 用 工 况	流体压力(表压)	常用	最高	最低	
	流体温度℃	常用	最高	最低	
	流量 m <sup>3</sup> /h 或 kg/h	常用	最大	最小	
管道内径 mm					
有效量程比要求					
标定方式要求					
流量计安装直管段条件		上游	D	下游	D
流量计使用环境		全年气温范围:		当地年平均大气压力:	
流量计使用地址		省	市	县	
订货数量					
要求交货时间					
用户补充说明					
<p><b>咨询单填写说明:</b></p> <p>1、测量流体为混合物时,如用户给不出工况密度、粘度,则必须给出流体主要组分百分比。测量流体为脏污流体时尽量详细说明流体中的异物种类及其脏污程度。</p> <p>2、测量流体为煤气、天然气等到气体时,流量单位也可以用每小时标准状态立方米 Nm<sup>3</sup>/h。</p> <p>3、用户对流量计标定方式无专门要求时,此项可以不填。</p> <p>4、只有咨询单各项内容完全相同时,才能共用一张咨询单。</p> <p>5、需要我公司代为成套测量系统时,请予说明。</p>					

---

SONIC