

# 用气体超声流量计测量天然气流量

## 1 范围

本标准适用于传播时间差法气体超声流量计,其通径等于或大于 100mm,压力不低于 0.1MPa(表压)。一般用于气质符合本标准第 5.1 条款规定的生产装置、输气管线、储藏设施、配气系统和用户计量系统中的天然气流量测量。

本标准使用的天然气体积计算标准参比条件是:压力为 0.101 325 MPa(绝压),温度为 20℃(293.15K)。也可采用合同规定的其他参比条件。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB 3836.1—1983 爆炸性气体环境用电气设备 第 1 部分:通用要求
- GB 3836.2—1983 爆炸性气体环境用电气设备 第 2 部分:隔爆型“d”
- GB 3836.4—1983 爆炸性气体环境用电气设备 第 4 部分:本质安全型“λ”
- GB/T 13610—1992 天然气的组成分析气相色谱法
- GB/T 17820—1999 天然气
- GB/T 17747—1999 天然气压缩因子计算
- GB 50251—1994 输气管道工程设计规范
- SY/T 0599—1997 天然气地面设施抗硫化物应力开裂金属材料要求

## 3 术语和符号

### 3.1 术语

本标准采用下列术语:

3.1.1 气体超声流量计(简称流量计) ultrasonic gas flow meter

安装在流动气体的管道上,并用超声原理测量气体流量的流量计。只有一个声道的流量计称为单声道气体超声流量计,有两个或两个以上声道的流量计称为多声道气体超声流量计。

3.1.2 传播时间差法 means of transit time difference

在流动气体中的相同行程内,用顺流和逆流传播的两个超声信号的传播时间差来确定沿声道的气体平均流速所进行的气体流量测量方法。

3.1.3 超声换能器 ultrasonic transducer

把声能转换成电信号和反过来把电信号转换成声能的元件。

3.1.4 信号处理单 signal processing unit

是流量计的一部分,由电子元件和微处理器系统组成。

3.1.5 流量计表体 meter body

安装超声换能器和测压接头等部件,并经过特殊制造,在各方面都符合有关标准规定的被测气体通过的管段。

### 3.1.6 声道 acoustic path

在发射和接受的两个超声换能器间的超声信号的实际路径。

### 3.1.7 声道长度 $L$ length of acoustic path $L$

两个超声换能器端面之间的直线长度(见图 1)。

### 3.1.8 声道距离 $X$ distance of acoustic path $X$

声道长度在管道轴线的平行线上的投影长度(见图 1)。

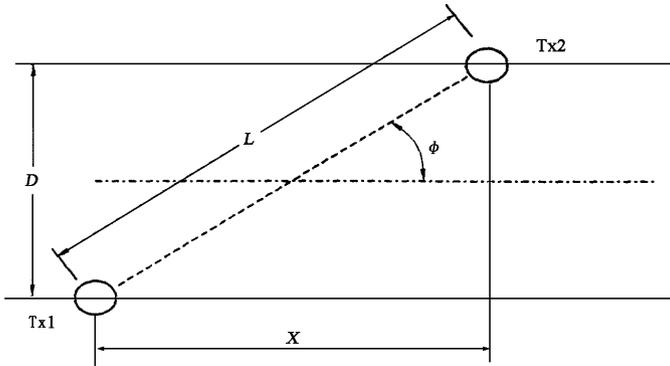


图 1 气体超大型直插流钎测量的简化几何关系

### 3.1.9 倾斜角 $\phi$ angle of inclination 中 $\phi$

声道与管道轴线间的夹角(见图 1)

### 3.1.10 气体沿声道的平均流速 $\bar{V}$ average flow velocity along acoustic path $\bar{V}$

在声道和流动方向所决定的平面内的气体流速。

### 3.1.11 气体轴向平均流速 $V$ average flow velocity along pipe axle $V$

流量与测量横截面面积之比。

### 3.1.12 速度分布校正系数 $k_c$ correction factor of velocity distribution $k_c$

气体轴向平均流速与沿声道的平均流速之比。

### 3.1.13 速度采样间隔 velocity sampling interval

由整套超声换能器或声道进行相邻两次气体流速测量的时间间隔。

### 3.1.14 零流量读数 zero-flow reading

在气体静止状态下的最大允许流速读数。

### 3.1.15 分界流量 $q_t$ transition gas flow rate $q_t$

低于该流量要采用扩展误差限的流量值(见第 6 章图 2)。

### 3.1.16 最大峰间误差 maximum peak-to-peak error

上限最大误差点和下限最大误差点之间的最大允许差值(见第 6 章图 2)。

### 3.1.17 实流校准系数(简称校准系数)flow calibration factor

将流量计进行实流校准测试,并将测试结果按一定修正方法得出的流量计系数。

## 3.2 符号

本标准所用符号见表 1。

表1 符号

符号	名称	量纲	单位
$D$	气体流通面直径	L	m
$K_c$	速度分布校正系数	1	
$L$	声道长度	L	m
$P_f$	工作条件下的绝对静压	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$P_n$	标准参比条件下的绝对压力	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$q$	被测流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/h$
$q_f$	工作条件下的瞬时流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/h$
$q_{max}$	最大流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/h$
$q_{min}$	最小流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/h$
$q_n$	标准参比条件下的瞬时流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/h$
$q_i$	分界流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/h$
$Q_n$	标准参比条件下一段时间内的累积量	$L^3$	$m^3$
$T_f$	工作条件下的热力学温度	$\theta$	K
$T_n$	标准参比条件下的热力学温度	$\theta$	K
$t$	时间	T	s
$U_{a_n}$	安装引起的附加流量测量不确定度	1	
$U_{q_f}$	工作条件下的流量测量不确定度	1	
$U_{q_x}$	校准条件下的流量测量不确定度	1	
$U_{q_n}$	标准参比条件下的流量测量不确定度	1	
$U_{q_f}$	工作条件下的绝对静压测量不确定度	1	
$U_s$	校准数据的不确定度	1	
$U_{T_f}$	工作条件下的热力学测量不确定度	1	
$U_x$	校准用标准装置的流量测量不确定度	1	
$U_y$	绝对静压测量或热泪盈眶热力学温度测量的不确定度	1	
$U_{z_f}$	工作条件下的压缩因子测量不确定度	1	
$U_{z_n}$	标准参比条件下的压缩因子测量不确定度	1	
$V$	气体轴向平均流速度	$LT^{-1}$	m/s
$\bar{V}$	气体沿声道的平均流速	$LT^{-1}$	m/s
$X$	声道距离	L	m
$Y_i$	预定静压测量值或预定温度测量值	注3	
$Y_k$	静压测量仪表或温度测量仪表的刻度上限值	注3	
$Z_f$	工条条件下的压缩因子	1	
$Z_n$	标准参比条件下的压缩因子	1	
$\varphi$	倾斜角	1	rad
$\xi_y$	静压测量仪表或温度测量仪表的准确度等级	1	

注:

- 1 量纲中的符号 L 为长度,符号 T 为时间,符号 M 为质量,符号  $\theta$  为热力学温度。
- 2 表中未列符号在文中出现处加以说明
- 3 误差  $Y_i, Y_k$  的量纲与被测物理量相关。

## 4 测量原理

### 4.1 基本原理

传播时间差法气体超声流量计是通过测量高频声脉冲传播时间得出气体流量的速度式流量计。让声脉冲在管道内向逆流和顺流沿斜线方向传播(见图 1),分别测量它们的传播时间,其传播时间差与气体的轴向平均流速有关,从而使用数值计算技术计算出在工作条件下通过气体超声流量计的气体轴向平均流速和流量。

更详细的内容见本标准附录 C(提示的附录)。

### 4.2 对测量准确度的影响因素

流量计的测量准确度受下列等因素影响:

- a) 流量计表体几何尺寸和超声换能器位置参数的准确度;
- b) 流量计设计中所采用的积分技术;
- c) 速度分布剖面性质、气流脉动程度和气体均匀度;
- d) 传播时间测量准确度。

传播时间测量准确度取决于电子时钟的稳定性和对声脉冲波参考位置检测的一致性以及对电子元件和超声换能器信号滞后的合适补偿。

## 5 工作条件

### 5.1 天然气气质

流量计所测量的天然气组分一般应在 GB 17820 和 GB/T 17747 所规定的范围内,天然气的真实相对密度为 0.55~0.80。

如果出现下列任一情况,应向制造厂提出相应的专门要求:

- a) CO<sub>2</sub> 含量超过 10%;
- b) 在接近天然气混合物临界密度的条件下工作;
- c) 总含硫量超过 460mg/m<sup>3</sup>,包括硫醇、H<sub>2</sub>S 和元素硫。

正常输气工况下,在流量计表体内的附着物(如凝析液或带有加工杂质的油品残留物、灰和砂等)会减少流量计的流通面积而影响计量准确度,同时附着物还会阻碍或衰减超声换能器发射和接收超声信号或者影响超声信号在流量计表体内壁的反射,因此对流量计应定期检查清洗。

### 5.2 压力

流量计的工作压力应符合本标准第 1 章的规定。同时超声换能器对气体的最小密度(它是压力的函数)有一定要求,最低工作压力应保证声脉冲在天然气中能正常传播。

### 5.3 温度

流量计的工作温度范围(包括介质温度和环境温度)为(-25~55)℃。

如果超出上述温度范围,应向制造厂提出专门的要求。

### 5.4 流量范围及流动方向

流量计的流量测量范围由气体实际流速确定,被测天然气的流速范围一般为(0.3~30)m/s。用户须核实被测天然气的实际流速不超过制造厂所规定的流量范围,其相应的测量准确度应符合本标准第 6 章的规定。

流量计具有双向测量的能力,且双向测量的准确度相同。用户应当指出是否需要双向测量,以便制造厂适当组态信号处理单元参数。

### 5.5 速度分布

进入流量计的天然气流态应是对称的充分发展的紊流速度分布。计量管路中的各种阻流件和管道配置会对天然气速度分布产生影响,从而影响测量准确度。具体的安装要求按本标准第 8 章的规定。

## 6 测量性能要求

本章规定了流量计必须满足的一组最低测量性能要求。在作实流校准系数调整之前,流量计就应满足这些性能要求,以保证不因使用较大的校准系数调整而掩盖了流量计自身的问题和缺陷。

用户应根据本标准第 7 章和附录 C(标准的附录)的规定,要求对流量计进行检验和实流校准,并应遵守本标准第 8 章的安装要求,以确保其测量性能符合本章的规定。

对每一结构尺寸的流量计,制造厂应规定流量界限值,即最小流量  $q_{\min}$ 、分界流量  $q_t$  和最大流量  $q_{\max}$ 。不论是否经过实流校准,在所规定的流量范围内,流量计都应满足本章的测量性能要求。

### 6.1 多声道气体超声流量计测量性能要求

#### 6.1.1 通则

在进行任何校准系数调整之前,所有多声道气体超声流量计的一般测量性能应满足下列要求:

重复性:  $0.2\%, q_t \leq q \leq q_{\max}$

$0.4\%, q_{\min} \leq q < q_t$

注:  $q$  为被测流量,下同。

分辨力:  $0.001\text{m/s}$

速度采样间隔:  $\leq 1\text{s}$

最大峰间误差(见图 2):  $0.7\%, q_t \leq q \leq q_{\max}$

零流量读数: 对于每一声道:  $< 12\text{mm/s}$

#### 6.1.2 大口径流量计的准确度

在进行任何校准系数调整之前,口径等于或大于  $300\text{mm}$  的多声道气体超声流量计应满足下列测量准确度要求(见图 2):

最大误差:  $\pm 0.7\%, q_t \leq q \leq q_{\max}$

$\pm 1.4\%, q_{\min} \leq q < q_t$

#### 6.1.3 小口径流量计的准确度

在进行任何校准系数调整之前,口径小于  $300\text{mm}$  的多声道气体超声流量计应满足下列测量准确度要求(见图 2):

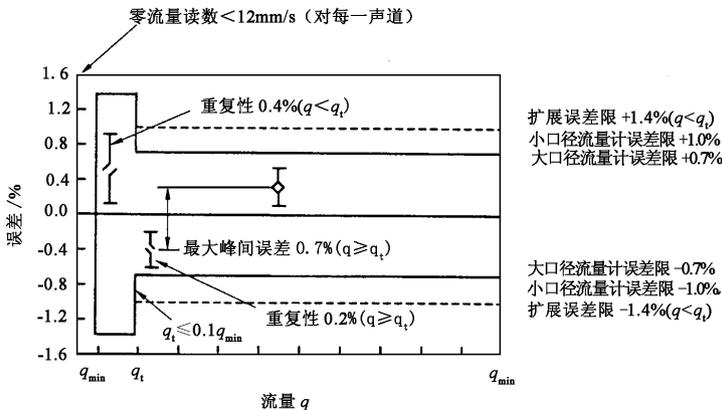


图 2 多声道气体超大型声流量计测量性能要求汇总

最大误差:  $\pm 1.0\%, q_t \leq q \leq q_{\max}$

$\pm 1.4\%, q_{\min} \leq q < q_t$

注:当声道长度较短时,在紊流气体中测量声波传播时间比较困难,因此对小口径流量计的要求较低。

## 6.2 单声道气体超声流量计测量性能要求

单声道气体超声流量计的测量性能可比多声道气体超声流量计的测量性能要求低,具体指标由制造厂提供。

## 6.3 工作条件对测量性能的影响

在本标准第 5 章规定的工作条件下,流量计不需任何人工调整就应当满足第 6.1 和 6.2 条款规定的测量性能要求。如果需要输入物性参数来确定天然气流动条件下的物性参数(密度和粘度等),制造厂应给出流量计受这些参数影响的程度,以便当工作条件改变时,用户可确定这些改变所带来的影响是否可以接受。

# 7 流量计要求

## 7.1 组成和基本规定

### 7.1.1 组成

流量计主要由以下两部分组成:

a) 流量计表体、超声换能器及其安装部件,它们直接与被测介质接触。

b) 由电子元件和微处理器系统组成的信号处理单元(SPU),它接受超声换能器信号,且具有处理测量信号和显示、输出及记录测量结果等功能。位于现场的电信号处理及转换部分安装在转换器内。

### 7.1.2 基本规定

流量计表体和其它所有部件,包括承压构件和外部电子元件,应当用适合于流量计工作条件的材料进行设计和制造,并且应当适于工作在 GB 50251 所规定的装置上。若用户有特殊要求,则应符合适用于用户所指定的每一特定安装条件的相应规范或规定。

## 7.2 流量计表体

### 7.2.1 最大工作压力

流量计的最大设计工作压力应当是下列部件的最大工作压力中的最小者:流量计表体、法兰、超声换能器部件及其安装联接件。

流量计表体的联接法兰应当符合通用的行业标准、国家标准或国际标准。用户应当给制造厂提供安装现场的适用标准和其它要求。

### 7.2.2 抗腐蚀要求

流量计所有与介质接触的部件应使用适用于天然气的材料制造,用于含  $H_2S$ 、 $CO_2$  等腐蚀性介质的流量计材料应符合 SY/T 0599 的规定。

流量计的所有外部零件应当用抗腐蚀材料制造或者用适合在天然气工业典型大气环境中使用的抗腐蚀涂层进行保护。

### 7.2.3 长度和口径

制造厂应给出各个压力等级和口径下的流量计表体的标准长度。为了与已有的管路相匹配,用户可指定不同的长度和口径。

流量计表体的口径应与紧邻其上、下游带法兰的管段的内径相同,它们之间内径的差别不超过  $\pm 1\%$ 。对双向应用场合,流量计的两端都应视为上游。

### 7.2.4 超声换能器端口

天然气中可能含有杂质(如凝析液或粉尘),所设计的超声换能器端口应尽量减少液体或固体在其上停留的可能性,应能带压拆装超声换能器和排放超声换能器端口上的污物。

### 7.2.5 取压孔

流量计表体上应至少有一个取压孔用以测量静压。每个取压孔的公称直径应在(4~10)mm 之间,若流量

计表体的壁厚小于 20mm,取压孔公称直径为 4mm,并且从流量计表体内壁起,至少在 2.5 倍取压孔直径的长度内为圆柱形,且取压孔轴线应垂直于测量管轴线。流量计表体内壁取压孔边缘应为直角,且无毛刺和卷边。

每个取压孔应具有装隔离阀的内螺纹,并且具有能将隔离阀直接装在取压孔上的回转空间。取压孔应设在流量计表体的顶部、左侧或右侧。必要时可增设取压孔,以便为用户提供安装压力变送器的灵活性,并利于维护和将压力变送器导压管内的凝析液排回流量计表体内。

#### 7.2.6 流量计标记

在流量计上应设置含有下列内容的铭牌:

- a) 制造厂名,型号,系列号和制造年月;
- b) 公称压力和总质量;
- c) 公称直径和内径;
- d) 测量误差或测量不确定度;
- e) 工作压力和工作温度范围;
- f) 在工作状态下最大和最小实际每小时流量;
- g) 气体流动的正方向;
- h) 防爆等级和防爆合格证编号。

为便于识别,每一个超声换能器端口应标有永久性的独特标志。如果在流量计表体上用压模标记,则应使用低应力压模形式,即圆底印迹。

#### 7.2.7 外观质量要求

- a) 流量计的外表应整洁、美观,表面应有良好的处理,不得有毛刺、刻痕、裂纹、锈蚀、霉斑和涂层剥落现象;
- b) 所有文字和符号应鲜明、清晰;
- c) 密封面应光滑,不得有损伤。

#### 7.2.8 其他要求

流量计应设计成当将其放在坡度达 10% 的光滑平面上时不滚动,以防止在安装或维护期间将其临时放在地面上时损坏突出的超声换能器和信号处理单元。

流量计还应设计成在运输和安装期间容易安全搬动,并应设计有吊孔和吊索放置的空间。

### 7.3 超声换能器

#### 7.3.1 技术规格

制造厂应对超声换能器提出一般的技术规格,如关键的尺寸、最大允许工作压力、工作压力范围、工作温度范围及气体组分限制等。

制造厂应根据超声换能器型号、超声流量计尺寸和期望的工作条件指定最小工作压力。该最小工作压力应标记在流量计上,以便提醒现场工作人员,当管道压力低于该压力时流量计可能不记录流量。

#### 7.3.2 压力变化率

流量计突然降压时,超声换能器内部存留的气体膨胀可导致其损坏,制造厂应对安装、启动、维护和工作期间流量计的降压和升压速率给予明确的说明。

#### 7.3.3 更换

超声换能器应可更换或重新安装而不会明显改变流量计的性能。也就是在更换超声换能器和对信号处理单元软件常数作相应调整后,流量计的测量性能仍然满足本标准第 6 章的要求。制造厂必须指明更换超声换能器的工作程序及需要进行的机械、电气和其它方面的测试及调整。

#### 7.3.4 测试

制造厂应对每一只或每一对超声换能器进行测试,其测试结果应作为超声流量计质量保证体系的一部分进入文档。每一只超声换能器应标有永久系列号并按本标准第 7.3.1 条款提供一般数据。如果信号处理单元要求专门的超声换能器特性参数,则应提供每一只或每一对超声换能器的测试文件,其中包括专门的校准测试数据,使用的校准方法及特性参数。

#### 7.4 电子部件

##### 7.4.1 一般要求

流量计的电子部件,即电源、微处理器、信号处理组件和超声换能器激振电路等,可组装在一个或多个箱体体内并安装在流量计上或流量计旁,统称为信号处理单元(SPU)。

电源部分和工作接口等远程单元可选择安装在非危险区域,并用多芯电缆将其与信号处理单元连接。

信号处理单元应在本标准第 6 章中规定的流量计测量性能要求指标范围内和第 5 章的整个指定环境条件下工作,并且当更换整个信号处理单元或更换任何现场替换模块时,不会导致流量计测量性能的明显改变。在第 7.3.3 条款里对“不会明显改变”作出了说明。

信号处理单元应有监视计时器功能,以保证在程序故障锁死的情况下重新启动信号处理单元。

流量计供电电源一般为 50Hz、220V 的交流电源或者 24V 的直流电源或电池。

##### 7.4.2 输出信号技术规格

信号处理单元应至少具有下列输出信号:

- a) 代表工作条件下流量的频率信号;
- b) 串行数据接口,例如 RS-232、RS-485 或等效的接口。

流量计还应具有针对工作条件下流量的(4~20)mADC 模拟信号。流量信号应当可调节到最大流量  $q_{\max}$  的 120%。

应设置小流量切除功能,即当流量低于某一最小值时设定其输出为 0(但对串行数据输出时不适用)。

对双向流应用场合,应提供两个独立的流量输出和一个流向状态输出及串行数据值,由相应的流量计算机和流向状态输出信号分别进行流量的累积计算。

所有输出信号应与地隔离并具备必要的电压保护。

##### 7.4.3 电气安全要求

流量计的所有电子部件,应当由具备资质的实验室进行分析、测试和取证,然后在每台流量计上贴上标签。流量计的电气设备和仪表的防爆等级应符合 GB 3836.1 的规定,隔爆型电器设备和仪表应符合 GB 3836.2 的规定,本质安全型电路和电器设备应符合 GB 3836.4 的规定,其它防爆型式的电器设备也应符合相应专用标准的规定。用户可指定流量计应满足的防爆等级,以适应更加安全的安装要求。

电缆护套、橡胶、塑料和其它裸露部分应当耐紫外光、油脂和阻燃。

#### 7.5 流量计算机

##### 7.5.1 硬件

用于流量计控制和工作的计算机代码应当存储在非易失性存储器中,所有流量计算常数和人工输入的参数也应当存储在非易失性存储器中。

为了进行查验,当流量计工作时应当确认所有流量计算常数和参数。

制造厂应当保存所有对硬件修改的记录,包括修改系列号、修改日期、适用的流量计型号、电路板修改和对硬件改变的描述。

检查者通过目测检查硬件模块、显示器或数据通信口,就应能得到硬件修改号、修改日期、系列号和检查次数。

制造厂可随时提供改进的硬件,以改变流量计的性能或增加更多的功能。制造厂应当通知用户硬件的

修改是否影响经实流校准的流量计的准确度。

### 7.5.2 组态和维护软件

流量计应当具有对信号处理单元进行就地和遥控组态及监控流量计运行的能力。该软件至少应当显示和记录下列数据:瞬时流量、轴向平均流速、平均声速、沿每一声道的声速和每一超声换能器所接受的声波信号的质量。制造厂可用流量计的部分嵌入软件来提供这些软件功能。

### 7.5.3 检查和检验功能

检查或检验人员可察看和打印信号处理单元的流量测量组态参数,比如,校准系数、流量计尺寸、时间平均周期和采样速率。

应当采取措施,确保影响流量计性能的参数不能意外或未察觉地被改变。其措施包括铅封的开关或跳线、固化的可编程只读存储器芯片或在信号处理单元中设置密码。检验人员应当能够验证任一特定流量计所采用的全部算法、常数和组态参数,确保流量计达到或优于原来流量计实流测试时的性能,或者达到或优于该特定流量计经最近一次实流校准且改变其校准系数时的性能。

### 7.5.4 报警

应以失效安全型、干继电器接点或与地隔离的无电压固体开关的形式提供下述报警状态输出:

- a) 输出失效:当在管输条件下指示的流量无效时;
- b) 故障状态:当若干个监视参数中的任一个在相当的一段时间内超出了正常工作范围;
- c) 部分失效:当多路声道的一个或多个无法使用时。

### 7.5.5 诊断测量

制造厂应当通过 RS-232、RS-485 或同等的串行口提供下列和其它诊断测量:

- a) 通过流量计的平均轴向流速;
- b) 每一声道的流速(或相当于评价流速分布);
- c) 沿每一声道的声速;
- d) 平均声速;
- e) 平均时间间隔;
- f) 每一声道接收到的脉冲的百分比;
- g) 状态和测量效果指示;
- h) 报警和故障指示。

## 8 安装要求及维护

### 8.1 安装环境

#### 8.1.1 温度

安装流量计的外界环境温度应符合本标准第 5.3 条款的规定,同时应根据安装点具体的环境及工作条件,对流量计采取必要的隔热、防冻及其它保护措施(如遮雨、防晒等)。

#### 8.1.2 振动

流量计的安装应尽可能避开振动环境,特别要避开可引起信号处理单元、超声换能器等部件发生共振的环境。

#### 8.1.3 电气噪声

在安装流量计及其相关的连接导线时,应避开可能存在较强电磁或电子干扰的环境,否则应咨询制造厂并采取必要的防护措施。

### 8.2 管道配置

#### 8.2.1 流动方向

如果所使用的流量计具有双向流测量功能,并且也准备将其运用于这种测量场合,那么在设计安装时,流量计的两端都应视为上游,即下游的管道配置形式和相关技术要求应与上游一致并符合第 8.2.2~8.2.9 条款的规定。

### 8.2.2 管道安装

紧邻流量计的上、下游须安装一定长度的直管段(见本标准附录 E 的图 EI 中的  $l_1$ 、 $l_2$ ),在该直管段上除取压孔、温度计插孔和密度计(或在线分析仪)插孔外应无其它障碍及连接支管。上、下游直管段的最短长度可按本标准附录 E(提示的附录)的要求配置。

### 8.2.3 突出物

流量计的内径、连接法兰及其紧邻的上、下游直管段应具有相同的内径,其偏差应在管径的  $\pm 1\%$  以内;流量计及其紧邻的直管段在组装时应严格对中,并保证其内部流通通道的光滑、平直,不得在连接部分出现台阶及突入的垫片等扰动气流的障碍。

### 8.2.4 内表面

与流量计匹配的直管段,其内壁应无锈蚀及其它机械损伤。在组装之前,应除去流量计及其连接管内的防锈油或沙石灰尘等附属物。使用中也应随时保持介质流通通道的干净、光滑。

### 8.2.5 温度计插孔

温度计插孔轴线宜垂直或逆气流  $45^\circ$  相交于管道轴线,温度计插入深度应尽可能让感温元件位于管道中心,并控制在  $(75\sim 150)$ mm 以内。如果所安装的流量计仅是单向流进行测量,应将温度计插孔设在流量计下游距法兰端面  $(2\sim 5)D$  之间;如果所安装的流量计是准备用于双向流测量,温度计插孔应设在距流量计法兰端面至少  $3D$  的位置处。

### 8.2.6 声学噪声干扰

来自于被测介质内部的噪声可能会对流量计的准确测量带来不利影响,在设计及安装过程中应让流量计尽可能远离噪声源或采取措施消除噪声干扰。

### 8.2.7 流动调整器

是否安装流动调整器以及安装哪种形式的流动调整器将主要取决于两个方面的因素:即所选择的流量计种类(单声道或多声道)及上游速度分布剖面受干扰的严重程度。在设计和安装过程中应向制造厂咨询。

### 8.2.8 流量计安装

流量计应水平安装,其它安装方式须咨询制造厂。在设计和安装时,应留有足够的检修空间。

### 8.2.9 气体过滤

在气质较脏的场合,可在流量计的上游安装效果良好的气体过滤器,过滤器的结构和尺寸应能保证在最大流量下产生尽可能小的压力损失和流态改变。在使用过程中,应监测过滤器的差压,定期进行污物排放和清洗,确保过滤器在良好的状态下工作。

## 8.3 维护

### 8.3.1 一般操作维护

制造厂应负责对现场工作人员进行基本操作及维护技能的培训。日常管理主要是根据其自诊断系统反馈的信息有针对性地进行检查和维护。

### 8.3.2 定期检查监测

应根据制造厂的建议周期对流量计进行定期检查,比如信号处理单元及计时系统是否工作正常、声道有无故障、零流量测量是否准确、超声换能器表面是否有沉积物等。还应根据实际情况,检查邻近管道内是否有沉积物。

## 9 现场验证测试要求

当需要对气体超声流量计进行现场验证测试时,应按下列要求进行:

### 9.1 测试内容及步骤

#### 9.1.1 外观检查

在外观检查中,应仔细检查流量计内腔和超声换能器端头是否有污物沉积、磨损或其它可能影响流量计性能的损伤。

#### 9.1.2 零流量测试

在无流动介质的情况下,检查流量计的读数是否为零或在流量计本身规定的允许范围内。

#### 9.1.3 声速测试及分析

在进行现场验证测试时,若有必要,可进行声速测试和分析。首先测出某一工况条件下的实际声速,再计算出相同条件下的理论声速,二者之间的差值应当在流量计本身规定的允许范围内。

#### 9.1.4 声道长度测试及分析

首先测量出实际声道长度;然后在零流量的条件下,由理论声速和测量出的传播时间计算出声道长度,二者之间的差值应当在流量计本身规定的允许范围内。

#### 9.1.5 声道间读数差异检查

对于多声道气体超声流量计,应检查不同声道在零流量条件下的读数,其读数差异应当在流量计本身规定的允许范围内。

### 9.2 测试报告

根据第 9.1 条款的测试、检查及分析结果,应作出包括流量计名称、型号规格、制造厂、投运日期、工况条件(气质、流量、压力、温度及安装方式等)、测试机构(人员)、测试内容及方法、测试结果、异常情况原因分析及建议措施等在内的测试报告。

## 10 流量计算方法及测量不确定度估算

### 10.1 标准参比条件下的流量计算

流量计是用超声传播原理和数字积分技术设计制造的,按附录 F 中式(F18)测出的值是工作条件下的天然气流量。在标准参比条件下的流量应根据在线实测的气流静压和温度,按气体状态方程进行计算。

#### 10.1.1 标准参比条件下的瞬时流量计算

标准参比条件下的瞬时流量按式(1)计算:

$$q_n = q_f (P_f / P_n) (T_n / T_f) (Z_n / Z_f) \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $q_n$ ——标准参比条件下的瞬时流量,  $m^3/h$ ;

$q_f$ ——工作条件下的瞬时流量,  $m^3/h$ ;

$p_n$ ——标准参比条件下的绝对压力,其值为 0.101 325MPa;

$P_f$ ——工作条件下的绝对静压力,MPa;

$T_n$ ——标准参比条件下的热力学温度,其值为 293.15K;

$T_f$ ——工作条件下的热力学温度,K;

$Z_n$ ——标准参比条件下的压缩因子,按 GB/T 17747 计算得出;

$Z_f$ ——工作条件下的压缩因子,按 GB/T 17747 计算得出。

#### 10.1.2 标准参比条件下的累积流量计算

标准参比条件下的累积流量按式(2)计算:

$$Q_n = \int_0^t q_n dt \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $Q_n$ ——标准参比条件下在  $t_0$  至  $t$  一段时间内的累积量,  $m^3$ ;

$\int_{t_0}^t$ ——对  $t_0$  至  $t$  时间段的积分;

$dt$ ——时间的积分增量。

### 10.2 标准参比条件下的流量测量值的确定

制造厂已将流量计和相关流量计算机做成一个流量计量系统,其输出功能齐全、灵活,用户可根据自己的需要选择。

#### 10.2.1 输出为合同参比条件下的流量

当输出为合同参比条件下的流量时,视合同参比条件是否与标准参比条件相同,如果相同,则输出指示值为标准参比条件下的流量值;如果不同,应按式(1)、式(2)计算标准参比条件下的流量,计算结果值为标准条件下的流量测量值。

#### 10.2.2 输出为工作条件下的流量

当输出为工作条件下的流量时,应按式(1)、式(2)计算标准参比条件下的流量,计算结果值为标准参比条件下的流量测量值。

### 10.3 工作条件下的流量计算

在流量计选型时,应将标准参比条件下的流量  $q_n$  按式(1)计算到工作条件下的流量  $q_t$ ,合理地选择流量计规格。

### 10.4 流量测量不确定度估算

#### 10.4.1 不经实流校准的标准参比条件下的流量测量不确定度估算

流量计不经实流校准就应达到本标准第 6 章的测量性能要求。根据式(1)可用式(3)估算标准参比条件下的流量测量不确定度  $U_{q_n}$ 。

$$U_{q_n} = \sqrt{U_{q_t}^2 + U_{p_t}^2 + U_{T_t}^2 + U_{Z_t}^2 + U_{z_n}^2 + U_a^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $U_{q_n}$ ——标准参比条件下的流量测量不确定度;

$U_{q_t}$ ——工作条件下的流量测量不确定度。对大口径多声道气体超声流量计,当  $q_1 \leq q \leq q_{max}$  时可取 0.70%,当  $q_{min} < q_t$  时可取 1.40%;对小口径多声道气体超声流量计,当  $q_t \leq q \leq q_{max}$  时可取 1.0%,当  $q_{t,min} \leq q < q_t$  时可取 1.40%;单声道气体超声流量计的  $U_{q_t}$  值由制造厂提供;

$U_{p_t}$ ——工作条件下的绝对静压测量不确定度,根据使用的静压测量仪表性能按式(4)估算;

$U_{T_t}$ ——工作条件下的热力学温度测量不确定度,根据使用的温度测量仪表性能按式(4)估算;

$U_{z_t}$ ——工作条件下的压缩因子测量不确定度,根据工作条件和天然气组分按 GB/T 17747 确定,对管输条件下的天然气一般取 0.1%;

$U_{Z_t}$ ——标准参比条件下的压缩因子测量不确定度,与天然气组分分析方法和标准气体有关。当组分分析按 GB/T 13610 规定进行,并使用二级标准气体时,可取 0.05%;

$U_a$ ——安装引起的附加流量测量不确定度,取 0.3%。

#### 10.4.2 绝对静压和热力学温度测量不确定度估算

绝对静压或热力学温度测量不确定度按式(4)估算:

$$U_y = \frac{2}{3} \xi_y \frac{Y_k}{Y_i} \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $U_y$ ——绝对静压测量或热力学温度测量的不确定度;

$\xi_y$ ——静压测量仪表或温度测量仪表的准确度等级;

$Y_k$ ——静压测量仪表或温度测量仪表的刻度上限值;

$Y_i$ ——预定静压测量值或预定温度测量值。

### 10.4.3 经实流校准后的标准参比条件下的流量测量不确定度估算

实流校准分离线和在线两种方式,均应具有可溯源性。校准方式不同,其流量测量不确定度估算方法也不同。

#### 10.4.3.1 离线实流校准

离线实流校准应按本标准附录 C(标准的附录)规定进行。标准参比条件下的流量测量不确定度  $U_{q_n}$  按式(5)估算:

$$U_{q_n} = \sqrt{U_{q_{fx}}^2 + U_p^2 + U_T^2 + U_Z^2 + U_{Z_n}^2 + U_a^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中: $U_{q_{fx}}$ ——校准条件下的流量测量不确定度,按式(7)估算;

其余符号含义同式(3)。

#### 10.4.3.2 在线实流校准

在线实流校准,其校准条件与工作条件几乎相同或相近。标准参比条件下的流量测量不确定度  $U_{q_n}$  按式(6)估算:

$$U_{q_n} = \sqrt{U_{q_{fx}}^2 + U_p^2 + U_T^2 + U_Z^2 + U_{q_n}^2 + U_a^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: $U_{q_{fx}}$ ——含义同式(5);

其余符号含义同式(3)。

#### 10.4.3.3 校准条件下的流量测量不确定度估算

校准条件下的流量测量不确定度  $U_{q_{fx}}$ ;按式(7)估算:

$$U_{q_{fx}} = \sqrt{U_x^2 + U_s^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中: $U_{q_{fx}}$ ——含义同式(5);

$U_x$ ——校准用标准装置的流量测量不确定度;

$U_s$ ——校准数据的不确定度,可近似取校准数据处理的流量计示值误差值。

## 附录 A (标准的附录) 出厂测试要求

### A1 概述

在流量计出厂之前,制造厂必须对每一台流量计进行出厂测试和检查。出厂测试和检查可参照国家计量检定规程 JJG198 的有关规定进行。所有的测试和检查结果应记录在制造厂的报告中,并提交给用户。

### A2 强度试验

对流量计表体应进行强度试验,试验介质为水或煤油,试验压力为 1.5 倍公称压力,并至少保持 5min,经检查无泄漏和损坏。

### A3 严密性试验

对装有超声换能器和取压隔离阀的流量计应进行严密性试验,试验介质为干空气或氮气,试验压力为公称压力,并至少保持 5min。经检查无泄漏。

### A4 几何尺寸测量

#### A4.1 流量计表体的平均内径 $D$

用 12 个不同方位(大致等角距)的内径测量值,算出流量计表体平均内径  $D$ ,或由座标测量仪确定其等效值,分别在流量计表体的三个截面上测量内径,三个截面分别位于:

- a) 靠近上游的超声换能器组;
- b) 靠近下游的超声换能器组;
- c) 两组超声换能器的中间处。

#### A4.2 声道长度的测量

可直接测量。如果声道长度不能直接测量,可采用直角三角函数法,用可直接测量的距离进行计算。有时虽然被测量角度不变,但难于得到准确结果,则该测量值不能用计算方法求距离。

A4.3 所有测量的尺寸应修正到温度为 20℃时的长度。对修正过的多个测量值取平均数,并修约到 0.01mm。

A4.4 测量值和计算值应当记录在检验证书上,证书上应有流量计制造厂名称、型号、序列号、测量时流量计表体温度、测量人姓名和签署日期,还应有检验人的签名。

### A5 零流量检验测试

A5.1 每台流量计应进行零流量检验测试,并遵循以下步骤:

a) 在流量计两端联接盲法兰后,用抽吸或置换的方法把流量计内的所有空气排出,压进声速已知的纯气体(或混合气体),在这个测量腔内保持零流量。

b) 从测试开始,气体的压力和温度应保持稳定,对每一声道的声速应至少记录 30s。并安装相应准确度等级的温度和压力测量仪表,然后计算出在零流量时的传播时间。从理论上讲,在零流量时,信号的顺流传播时间和逆流传播时间是相等的。

但流量计测出的传播时间包括了超声换能器、电子电路和电缆中的延迟时间。

c) 计算出每一声道的气体平均声速和标准偏差,并与理论声速进行比较,对流量计进行必要的调整,使零流量读数达到制造厂的技术要求。

A5.2 记录流量计所用的全部参数,包括超声换能器和电子电路及电缆的传播时间延迟、递增延迟修正值、声道长度、角度、测量管内径和零流量偏移系数。

### A6 实流校准测试

为减少流量计的测量误差,出厂前可进行实流校准,实流校准应按本标准附录 C(标准的附录)的要求和方法进行。

### A7 质量保证

制造厂应以书面形式提供质量保证体系证书,比如 ISO 9000 系列认证。

## 附录 B

### (标准的附录)

#### 电子部件的检验测试

### B1 一般规定

气体超声流量计的电子部件应经过试验,以保证在其受到允许的环境影响和干扰的条件下仍满足本标准第 6 章规定的测量性能要求。

B1.1 在测试时,电子部件应处于零流量的工作状态,在瞬间高压和静电放电测试时,仪表可以暂停工作,但应在 30s 内自动恢复。

B1.2 在测试时,超声换能器可放置在一较小而轻便的测试装置内进行,不必安装在流量计表体上进行,但超声换能器和其它电子部件应处于相同的测试条件。

B1.3 除环境条件试验外,其它试验均在下列正常大气条件下进行。即:

a)温度:(15~35)℃;

b)相对湿度:(45~75)%;

c)大气压力:(86~106)kPa。

## B2 测试项目及要求

### B2.1 静态低温测试

按 GB 2423.1“试验 Ad”进行。处于低温-40℃的条件下 2h,恢复时间 2h,升温和降温的温度变化率不超过 1℃/min。对空气湿度要求在整个试验期间应避免凝结水。

### B2.2 静态高温测试

按 GB 2423.2“试验 Bd”进行。处于高温 55℃条件下 2h,恢复时间 2h,升温和降温的温度变化率不超过 1℃/min。对空气湿度要求在整个试验期间应避免凝结水。

### B2.3 恒定湿热测试

按 GB 2423.3“试验 Ca”进行。处于温度 30℃、湿度 93%条件下 48h,恢复时间 2h,应避免出现凝结水。

### B2.4 交变湿热测试

按 GB 2423.4“试验 Db”进行。温度在 25℃和 55℃之间交替变化,在温度下限时保持 95%以上相对湿度,在温度上限时保持 93%相对湿度。当温度上升时,电子器件表面可能发生凝结水。试验时间两个 24h 周期,每个周期依照 GB 2423.4 的规定程序进行。

### B2.5 随机振动试验

随机振动条件:

a)试验频率范围:(10~150)Hz;

b)驱动振幅加速度:1.6m/s<sup>2</sup>;

c)振动时间:2min;

d)坐标轴数:3。

在给定的频率范围内,在一个扫描循环上完成。试验过程中记录危险频率,包括机械共振频率和工作条件下导致故障及影响性能的频率。

### B2.6 正弦波振动试验

按 GB 2423.10“试验 Fc”规定的方法进行。加速度为 2m/s<sup>2</sup>,以每分钟 1 个倍频在振动频率为(10~150)Hz 内做正弦波振动试验,分别在三个互相垂直的轴线方向进行振动。

### B2.7 运输包装件跌落试验

对受试流量计,将运输包装件处于准备运输状态,按 GB 4857.2 中 2.1 条表中条件 6 规定进行预处理 4h。

将运输包装件按 GB 4857.5 中 3.5.2 条 a 的要求,使其一底倾斜 25mm 高度,而后使其自由跌落到刚性面上。任选四面,每面跌落一次。试验后检查包装件的损坏情况,并对受试样品进行最后检测。

### B2.8 电源电压变化试验

在供电状态下放置足够长时间,将电源电压分别调至正常电压的±10%交流电源(频率 50HZ±1HZ),然后检查流量计测量性能,应达到本标准第 6 章规定的要求。

### B2.9 电源中断试验

在正常供电状态下,供电电源中断试验重复 10 次,每次间隔时间至少为 10s。

### B2.10 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按 GB/T 17626.4 规定的试验设备和方法进行,试验等级为 1 级,脉冲上升时间为 5ns,脉冲持续时间为 50ns,在试验过程中允许受试样品出错,在瞬变过程结束后 30s 重新启动,工作应正常。

### B2.11 静电放电抗扰度试验

按 GB/T 17626.2 规定的试验设备和方法进行,试验等级为 3 级,每次静电放电时间为 10s,试验 10 次,每次放电有一定时间间隔,工作应正常。

### B2.12 工频磁场抗扰度试验

按 GB/T 17626.8 规定的试验设备及方法进行,稳定持续磁场实验等级为 3 级,试验过程中检查仪表,工作应正常。

## 附录 C

### (标准的附录)

#### 实流校准

### C1 概述

气体超声流量计在出厂使用前、修理后和使用达到检定周期时应进行实流校准。实流校准用于减少因流量计声道长度、声道角度、测量管内径和声道位置等的误差所造成的流量测量误差。输出信号和流速之间的平均比率(或称流量计系数)可以通过实流校准来确定。并通过实流校准来判断流量计的测量性能是否满足本标准第 6 章的要求。

### C2 校准条件

#### C2.1 标准装置的要求

C2.1.1 实流校准标准装置及其辅助测量仪表都应具有有效的检定证书,可溯源到相应的国家标准上。

C2.1.2 标准装置的不确定度应不大于被校流量计不确定度的 1/2。

C2.1.3 标准装置的所有电气仪表应接同一地线。

#### C2.2 实流校准流体

实流校准流体为天然气或其它气体,其组分应基本稳定,天然气气质应符合本标准第 5.1 条款的要求,其物性或热物理参数值(如密度、压缩因子、声速、临界流函数等)应采用 GB/T 17747“详细特征化方法状态方程”来计算。在实流校准单点测试过程中,流体温度变化应不大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,压力波动应不大于 $\pm 0.5\%$ ,流量波动应不大于 $\pm 0.2\%$ 。

#### C2.3 环境

实流校准的环境:大气温度一般为 $(-20\sim 55)^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度一般为 $(45\sim 85)\%$ ,大气压力一般为 $(86\sim 106)\text{kPa}$ 。实流校准应没有外界磁场和机械振动的影响。

### C3 实流校准项目和方法

#### C3.1 随机文件和外观检查

实流校准前应对流量计的随机文件和外观进行检查。

流量计应附有说明书、出厂证书(或上一周期检定证书)、测量误差或测量不确定度和其它有关技术指标

文件。流量计表体上应有符合本标准第 7.2.6 条款要求的铭牌,流量计外观质量应符合本标准第 7.2.7 条款的规定。

### C3.2 零流量测试

零流量测试的方法、步骤及要求按本标准附录 A 中 A5 条款的规定。

### C3.3 实流校准测试

实流校准测试应当尽可能在用户规定接近预计工作条件的气体温度、压力和密度下进行,如有必要,测试可在任何特定的压力、温度和密度范围内进行,应取得充分的测试数据。

#### C3.3.1 测试指标

实流校准测试至少应测试:重复性、流量示值误差、最大峰间误差等指标。必要时还应对流量(或流速)范围和压力范围等作出评定。

#### C3.3.2 安装

流量计的上、下游应安装足够长的直管段或流动调整器,至少必须达到本标准第 9 章的安装技术规定,保证稳定、充分发展的紊流速度分布,不存在涡流和脉动流。流量计取压孔和温度计插孔应分别符合本标准第 7.2.5 和第 8.2.5 条款的规定。将标准装置在标准参比条件下的流量转换成被校流量计处的工作条件下的流量时,其转换压力取压孔和转换温度的温度计插孔应与被校流量计的对应相同或在其附近。

#### C3.3.3 测试流量点

实流校准应测试下列流量点: $q_{\min}$ ,  $0.10q_{\max}$ ,  $0.25q_{\max}$ ,  $0.40q_{\max}$ ,  $0.70q_{\max}$  和  $q_{\max}$ 。可在  $q_{\min}$  和  $0.10q_{\max}$  之间插入一个点。对于大口径流量计的实流校准可能达不到上限流量值,用户与制造厂协商可指定低于  $q_{\max}$  的实流校准流量范围,一般宜达到  $0.8q_{\max}$  测试流量点总数仍不少于 6 个。在测试过程中,每个流量点的每次测试流量与布点流量相比,其偏差应不大于  $\pm 5\%$ 。

#### C3.3.4 测试次数

在实流校准测试时,每个流量点至少测试 3 次,在流量的下限部分,测试可增加至(5~6)次,并取各次测试的平均值作为该测试点的流量值。

#### C3.3.5 测试时间

每次数据采集时间不得小于 100s,一般为 200s。

#### C3.3.6 预运行

实流校准前,整个校准系统应在一定流量范围内预热运行至少 5min,待压力、温度和流量稳定并达到第 C2.2 条款的要求后方可进行校准。

#### C3.3.7 采集数据内容

在每次测试过程中,除采集流量计显示仪表的示值、标准装置的示值和测试时间外,还应根据需要,测试并采集流量计安装处的流体温度、压力等。

#### C3.3.8 双向流校准

对于双向流测量的流量计,须进行正、反两个流动方向的实流校准。

### C3.4 测试数据处理

#### C3.4.1 流量计的相对示值误差

流量计的流量和标准装置的流量应为同一状态下的流量。流量计各校准流量点的相对示值误差按下列

公式计算:

$$E_i = \frac{q_i - (q_s)_i}{(q_s)_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C1)$$

$$q_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad \dots\dots\dots (C2)$$

$$(q_s)_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (q_s)_{ij} \dots\dots\dots (C3)$$

式中： $E_i$ ——第  $i$  校准点流量计的相对示值误差，%；  
 $q_i$ ——第  $i$  校准点流量计的流量示值， $m^3/h$ ；  
 $(q_s)_i$ ——第  $i$  校准点标准装置的流量示值， $m^3/h$ ；  
 $q_{ij}$ ——第  $i$  校准点第  $j$  次校准时流量计的流量示值， $m^3/h$ ；  
 $(q_s)_{ij}$ ——第  $i$  校准点第  $j$  次校准时标准装置的流量示值， $m^3/h$ ；  
 $n$ ——第  $i$  校准点共测试的次数。

$$E = |E_i|_{\max} \dots\dots\dots (C4)$$

式中： $E$ ——流量计的相对示值误差。

C3.4.2 流量计的重复性

流量计的重复性按下列公式计算：

$$(E_r)_i = \frac{2}{k_i} \left[ \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (k_{ij} - k_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \dots\dots\dots (C5)$$

$$k_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij} \dots\dots\dots (C6)$$

$$k_{ij} = \frac{q_{ij}}{(q_s)_{ij}} \dots\dots\dots (C7)$$

$$\text{或 } k_{ij} = \frac{Q_{ij}}{(Q_s)_{ij}} \dots\dots\dots (C8)$$

式中： $(E_r)_i$ ——第  $i$  校准点的重复性；  
 $k_i$ ——第  $i$  校准点的平均流量计系数；  
 $k_{ij}$ ——第  $i$  校准点第  $j$  次校准的流量计系数；  
 $Q_{ij}$ ——第  $i$  校准点第  $j$  次校准时在校准时间内流量计测得的累积量， $m^3$ ；  
 $(Q_s)_{ij}$ ——第  $i$  校准点第  $j$  次校准时在校准时间内标准装置测得的累积量， $m^3$ ；

其它符号的含义同式(C2)和式(C3)。

$$E_r = [(E_r)_i]_{\max} \dots\dots\dots (C9)$$

式中： $E_r$ ——流量计的重复性。

C3.4.3 流量计的最大峰间误差

$$\text{流量计的最大峰间误差} = (E_i)_{\max} - (E_i)_{\min} \dots\dots\dots (C10)$$

C3.5 校准系数调整方法

C3.5.1 确定校准系数可采用以下方法：

- a) 流量加权平均误差法(见 C4)；
- b) 多点或多项式算法、分段线性插值法等。

C3.5.2 校准系数调整

在进行任何核准系数调整之前，流量计的测量性能应满足第 6 章的要求。通过实流校准得出新的校准系数并置入流量计，对流量计的测量误差进行修正。修正后可再测试部分流量点以确认修正效果。确认后的校准系数在下次实流校准前不得作任何修改。

C3.5.3 模拟现场测试

对实流校准后的流量计，可模拟使用现场安装条件作安装影响的测试、由于安装影响造成的流量计示值附加误差应不大于  $\pm 0.3\%$ 。

C3.5.4 对用于双向测量的流量计,需要第二组校准系数,以用于反向流动的测量。

如果在零流量检验测试期间,建立了偏移系数,那么按照实流校准的结果可对其进行修正,以便使流量计的整个准确度性能最优化。制造厂应当把这一系数的变化记录下来,以提醒用户,为了提高 $q_{\min}$ 的准确度,零流量输出可能包括某些人为引入的偏差。

#### C3.5.5 校准证书

对每项测试结果,应以书面报告形式记录下来,并形成校准证书,由制造厂或校准测试部门提供给用户。对每一台流量计,该证书应至少包括下列内容:

a)制造厂名称及地址;b)校准装置名称及地址;c)型号和系列号;d)校准日期;e)测试人和检验人签名;f)安装条件;g)对校准步骤的简要描述;h)测试管道安装示意图;i)校准结果数据,包括重复性、流量计相对示值误差、最大峰间误差和流量、压力、温度、气体组分、校准装置的流量测量不确定度、校准系数等参数;j)与所要求的测试条件不同或有偏差的说明;k)评定结果。

#### C4 流量加权平均误差( $E_{FWM}$ )计算实例

下面介绍一种利用单校准系数——流量加权平均误差系数的误差修正方法。如果流量计的流量输出在其工作流量范围内是线性的, $E_{FWM}$ 修正方法能有效地减小流量计的测量不确定度。还有其他的单校准系数修正方法,当一台流量计的流量测量输出在其工作流量范围内是非线性时,还可采用更复杂的误差修正技术。例如,根据得到的测试数据,采用二阶或三阶多项式等高阶曲线拟合算法来描述流量计的输出特性。

当只采用单校准系数修正流量计输出结果时,根据实流测试数据计算流量计的 $E_{FWM}$ 值,是一种校准流量计的方法。这种对流量计读数进行修正的方法,类似于在涡轮流量计或腰轮流量计上采用了齿轮传动比系数。如上所述,采用 $E_{FWM}$ 系数只是根据校准结果对流量计进行调整的可选方法之一,其目的是减小流量测量的不确定度。

例如:有一台300mm的流量计,制造厂给出的额定流量值如下:

$$q_{\max} = 7020 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_t = 702 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_{\min} = 234 \text{ m}^3/\text{h}$$

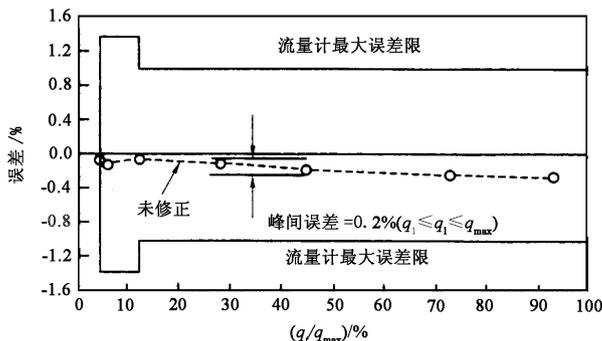


图 C1 未修正的流量计误差图

在实验室对该流量计进行实流校准,在接近每个规定测试流量点处进行多次测量,并取其平均值,得到表 C1 所列结果。

用上例可说明如何计算一台300mm的流量计的 $E_{FWM}$ ,该流量计已经在接近现场实际条件的工况下进行了实流校准。确定了单校准系数 $F$ (即一个 $E_{FWM}$ 修正系数),并应用于上述测试结果,这样会使得 $E_{FWM}$ 终

值等于零。

表 C1 300mm 流量计的实流校准数据

推荐的测试 流量点	推荐点的测流量/ (m <sup>3</sup> /h)	标准装置实际 测试流量/ (m <sup>3</sup> /h)	流量计指示流量/ (m <sup>3</sup> /h)	流量计率差/ %
$q_{min}$	234	236.25	235.86	-0.1651
$0.05q_{max}$	351	384.90	384.18	-0.1871
$0.1q_{max}$	702	750.54	705.02	-0.0691
$0.25q_{max}$	1755	1943.88	1941.90	-0.1019
$0.4q_{max}$	2808	3160.66	3154.26	-0.2026
$0.7q_{max}$	4914	5045.48	5032.59	-0.2551
$q_{max}$	7020	6430.36	6405.93	-0.2712

对表 C1 的数据,按如下方法计算  $E_{FWM}$  值:

$$E_{FWM} = \frac{\sum_{i=1}^N [(q_i/q_{max}) \times E_i]}{\sum_{i=1}^N (q_i/q_{max})} \dots\dots\dots (C11)$$

式中:  $\sum_{i=1}^N$ ——对每个校准点的各项求和;

$q_i/q_{max}$ ——每  $i$  校准点的权重系数,用  $m_{Fi}$  表示;

$E_i$ ——第  $i$  校准点流量计的相对示值误差, %。

另一个可供选择的  $E_{FWM}$  计算方法是减小最高流量点的影响,即采用一个经换算的权重系数,例如当  $q_i \geq 0.95q_{max}$  时,权重系数取 0.4。也可使用其他的权重系数,这取决于流量计是否主要运行在低流量、中流量或上限流量范围。

将表 C1 中测试数据(此处  $q_{max} = 7020m^3/h$ )代入上述有关公式,计算结果如表 C2 所示。表中的  $m_{Fi}$  项为相对于每个  $E_i$  值的权重系数。

根据表 C2 中的测试数据,计算出  $E_{FWM}$  单校准系数  $F$  值如下(数据中没有任何校准系数):

$$F = 100/(100 + E_{FWM}) \dots\dots\dots (C13)$$

在这个实例中,  $E_{FWM}$  为 -0.2246%, 而计算的单校准系数  $F$  为 1.00225。将流量计输出值乘以 1.00225 (即采用了校准系数)再计算  $E_{FWM}$ , 其值应等于零。修正后的测试数据列于表 C3。在该表中,已对每一校准点的流量计相对示值误差  $E_i$  进行修正,以得到一个经修正的校准系数  $E_{icF}$ , 如式(C13):

$$E_{icF} = (E_i + 100) \times F - 100 \dots\dots\dots (C13)$$

表 C2 300mm 流量计  $E_{FWM}$  计算汇总表

标准装置实际 测试流量/ (m <sup>3</sup> /h)	$m_{Fi} = q_i/q_{max}$	$E_i/\%$	$m_{Fi} \times E_i(\%)$
236.25	0.0337	-0.1651	-0.0056
384.90	0.0548	-0.1871	-0.0103
750.54	0.1069	-0.0691	-0.0074
1943.88	0.2769	-0.1019	-0.0282
3160.66	0.4502	-0.2026	-0.0912
5045.48	0.7187	-0.2551	-0.1833
6430.36	0.9160	-0.2712	-0.2484

标准装置实际 测试流量/ (m <sup>3</sup> /h)	$m_{F_i} = q_i / q_{\max}$	$E_i / \%$	$m_{F_i} \times E_i (\%)$
$\sum_{i=1}^N m_{F_i} = 2.5572$		$\sum_{i=1}^N (m_{F_i} \times E_i) = -0.5744 (\%)$	

图 C2 表明,通过采用单校准修正系数对所有测试数据进行修正,在气体流量大于流量计最大流量的 25% 以上时,有效地消除了测量误差。然而,在流量低于流量计最大流量的 25% 时,由于流量计在其流量范围内的该区域中呈非线性特性, $E_{FWM}$  修正系数不能完全消除测量误差,需采用更复杂的修正方法来减小测量误差。

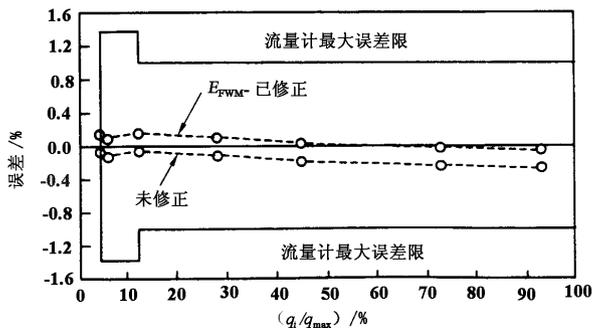


图 C2 修正前与修正后流量计误差经较图

表 C3 300mm 流量计“经  $E_{FWM}$ 修正”的实流校准数据汇总表

$E_i / \%$	$m_{F_i}$	$E_{ic_F} / \%$	$m_{F_i} \times E_{ic_F} (\%)$
-0.165 1	0.033 7	0.059 5	0.002 0
-0.187 1	0.054 8	0.037 5	0.002 1
-0.691	0.106 9	0.155 7	0.034 0
-0.101 9	0.276 9	0.122 9	0.034 0
-0.202 6	0.450 2	0.021 9	0.009 9
-0.255 1	0.718 7	-0.030 7	-0.022 0
-0.271 2	0.916 0	-0.046 8	-0.042 9
$\sum_{i=1}^N m_{F_i} = 2.5572$		$\sum_{i=1}^N (m_{F_i} \times E_{ic_F}) = 0.000 (\%)$	

注:该  $E_{FWM}$  计算实例子中的实验数据由国家原油大流量计量站成都天然气流量分站提供。

## 附录 D

(提示的附录)

### 具备的文件

#### D1 概述

除本标准其它部分要求提供流量计测量准确度、安装影响、电子部件检验测试、超声换能器和零流量检验测试的记录文件及实流校准证书外,对特定的流量计,制造厂还应对仪表的正确组态、启动和使用向用户提供必要的文件、证书和文件。这些文件包括用户手册、压力测试证书、材质证书、流量计表体内部几何尺寸测量报告和零流量检验证书。

## D2 记录文件

制造厂至少应当向用户提供具有下列内容的记录文件,所有记录文件应注明日期:

- a) 对流量计的描述,给出其技术特点和工作原理;
- b) 流量计轴测剖视图和照片;
- c) 零部件名称和材料;
- d) 带有零部件名称和编号的装配图;
- e) 标有尺寸的安装图;
- f) 表示检验标记和铅封位置的示意图;
- g) 与计量密切相关的零部件的尺寸图;
- h) 标牌或面板以及刻字布置图;
- i) 附属装置图;
- j) 安装工作、周期维护和故障检修说明书;
- k) 维护记录文件,包括现场维护部分的图纸;
- l) 信号处理单元及其布局的说明和工作说明;
- m) 对输出信号的说明和对任何可调整部分的说明;
- n) 电气接口和用户接线端子及其主要特征清单;
- o) 软件功能和信号处理单元的组态参数说明,包括故障值和工作说明;
- p) 符合安全规程规范要求的设计和制造文件;
- q) 流量计测量性能满足本标准第 6 章要求的记录文件;
- r) 流量计系统完全通过本标准附录 B(标准的附录)规定的电子部件检验测试的记录文件;
- s) 影响流量的附加误差不超过 $\pm 0.3\%$ 的最小上下游直管段长度;
- t) 影响流量的附加误差不超过 $\pm 0.3\%$ 的最大允许速度分布干扰;
- u) 如本标准第 9 章所述的现场验证测试步骤;
- v) 提交的文件清单。

## D3 收到订单后应提供的资料

收到订单后,制造厂应向用户提供下列资料:

- a) 所指定的流量计的安装图,包括法兰端面间的尺寸、内径、维修空间、电缆管连接点和流量计的总质量;
- b) 推荐的备件清单;
- c) 所指定的流量计的仪表电子线路图。该图应示出用户接线端子点和相应的反回到第一个隔离部件(如光电隔离器、继电器、运算放大器等)的所有电子元件的电子接线图,使用户能合理设计接口电路。

## D4 发货前应准备的文件

在流量计发运前,制造厂应准备好下列文件供检验人员审查:

- a) 材料的金相分析报告;
- b) 焊接检查报告;
- c) 压力测试报告;
- d) 最终尺寸测试报告。

## 附录 E

(提示的附录)

## 上、下游直管段长度要求

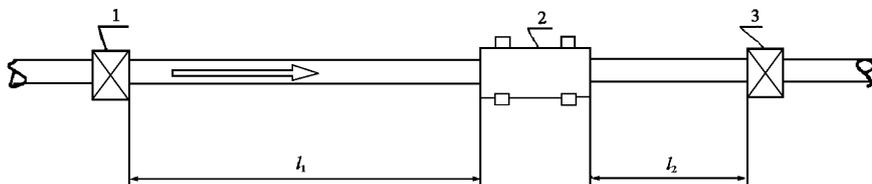
目前对流量计安装要求的试验研究还十分有限,下面是流量计上、下游最短直管段长度的推荐值。

E1 不安装流动调整器,多声道气体超声流量计上游的最短直管段长度为  $10D$ ,下游最短直管段长度为  $5D$ , $D$ 为流量计内径。应当强调的是,该项要求在上游条件较为理想(如涡流强度很小,速度分布稍有不对称)时方能成立,且应视为最低要求。

E2 不安装流动调整器,单声道气体超声流量计上、下游最短直管段长度按图 E1 和表 E1 的要求配置。

E3 在单声道或多声道气体超声流量计的上游安装了流动调整器,其上、下游所需的最短直管段长度及流动调整器的安装位置应符合制造厂的要求。

E4 若现场安装条件不能满足上述规定,可模拟实际安装条件对流量计进行实流校准,安装影响引起的附加误差不得大于  $\pm 0.3\%$ 。



1—上游侧第一阻流件; 2—流量计; 3—下游侧第一阻流件

图 E1 流量计安装示意图

表 E1 单声道理气体超声流量计上、下游最短直管段长度

阻流件形式	单个 $90^\circ$ 弯头或三通 (气体仅从一个支管 理体制流出)	在同一平面上布置 的两个或多个 $90^\circ$ 弯 头	在不同平面上布置 的两个或多个 $90^\circ$ 弯 头	渐缩管(在 $1.5D \sim$ $3D$ 的长度内由 $2D$ 变为 $D$ )
上游最短直管段长 度( $l_1$ )	36	42	70	22
下游最短直管段长 度( $l_2$ )	8			
阻流件形式	渐扩管(在 $1D \sim 2D$ 的长度内由 $0.5D$ 变 为 $D$ )	球阀全开	全孔球阀或 闸阀全开	任何其它形式 的阻流件
上游最短直管段长 度( $l_1$ )	38	36	24	145
下游最短直管段长 度( $l_2$ )	8			

注:直管段长度均以流量计内径  $D$  的倍数表示。

### 附录 F

(提示的附录)

#### 基本原理

##### F1 概述

气体超声流量计是由流量计表体、电子元件及微处理器系统、超声换能器等构成的流量计量器具。超声换能器通常沿管壁安装,且直接同气体接触,并承受气体的压力。由一个超声换能器发射的超声波脉冲被另一个超声换能器所接收,反之亦然。如本标准第 3 章图 1 所示为 TX1 和 TX2 两个超声换能器的简化几何关系,声道与管轴线间的夹角为  $\phi$ ,管径为  $D$ ,声道长度为  $L$ ,声道距离为  $X$ 。在某些流量计中采用了反射声道,此时声波脉冲在管壁上经一次或多次反射。

超声脉冲穿过管道如同渡船渡过河流。如果气体没有流动,声波将以相同速度向两个方向传播。当管道中的气体流速不为零时,沿气流方向顺流传播的脉冲将加快速度,而逆流传播的脉冲将减慢。因此,相对于没有气流的情况,顺流传播的时间  $t_U$  将缩短,逆流传播的时间会增长,这两个传播时间都由电子部件进行测量。根据这两个传播时间,可以计算测得的流速  $\bar{V}$ :

$$\bar{V} = \frac{L^2(t_U - t_D)}{2X t_U t_D} \dots\dots\dots (F1)$$

可根据式(F2)计算声速:

$$C = \frac{L(t_U - t_D)}{2 t_U t_D} \dots\dots\dots (F2)$$

##### F2 天然气中的声速

流量计从上游和下游的两个方向,向天然气气流中发射声脉冲信号,声波的逆流传播时间和顺流传播时间之差为传播时间差,且消除了声速的影响。从式(F1)可以明显地看到,用流量计进行流量测量,不要求知道声速就可测量气流速度。式(F2)表明,用声道长度除以传播时间,流量计就能够测量声速。将实测的声速值与理论计算值相比较,可判断流量计是否正常工作。

然而,对于流量计的用户而言,了解气体性质变化对声速的影响规律是很重要的。天然气的声速与压力、温度、真实相对密度及组分有关,其变化如图 F1 至图 F3 所示。

图中的三种天然气混合物为美国 GRI-93/0181 号报告中的 GRI 参比天然气,与我国标准 GB/T 17747 所列举的天然气基本相同,其组分和特性见表 F1。

表 F1 GRI 参比天然气混合物的组分和特性表

	Gulf Coast GRI 参比天然气混合物	Amarillo GRI 参比天然气混合物	Ekofisk GRI 参比天然气混合物	空气
声速/(m/s)	430.5	420.0	416.2	340.78
真实相对密度 Gr	0.581 078	0.608 657	0.649 521	1.00
高位发热量/(MJ/m <sup>3</sup> )	38.600	38.556	41.285	
摩尔分数/%				
甲烷	96.522 2	90.672 4	85.906 3	
氮	0.259 5	3.128 4	1.006 8	78.03
二氧化碳	0.595 6	0.467 6	1.495 4	0.03
乙烷	1.818 6	4.527 9	8.491 9	

	Gulf Coast GRI	Amarillo GRI	Ekofisk GRI	空气
	参比天然气混合物	参比天然气混合物	参比天然气混合物	
丙烷	0.459 6	0.828 0	2.301 5	
异丁烷	0.097 7	0.103 7	0.348 6	
正丁烷	0.100 7	0.156 3	0.350 6	
异戊烷	0.047 3	0.032 1	0.050 9	
正戊烷	0.032 4	0.044 3	0.048 0	
正己烷	0.066 4	0.039 3	0.000 0	

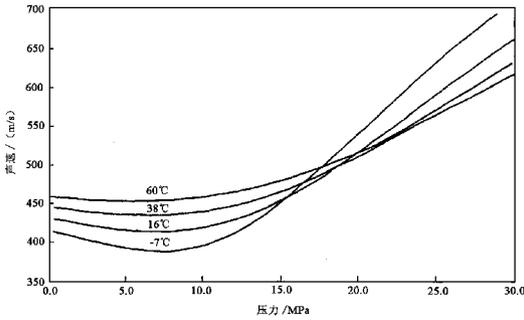


图 F1 “Gulf Coast”天然气(Gr=0.58)的声速

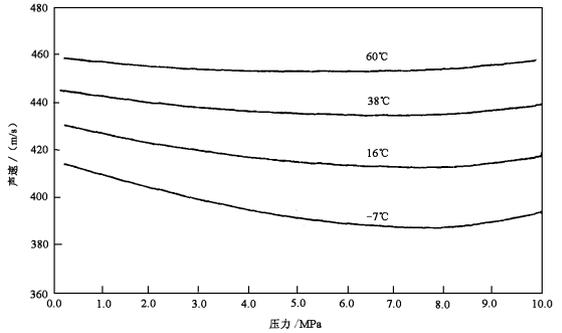


图 F2 10MPa 下“Gulf Coast”天然气(Gr=0.58)的声速

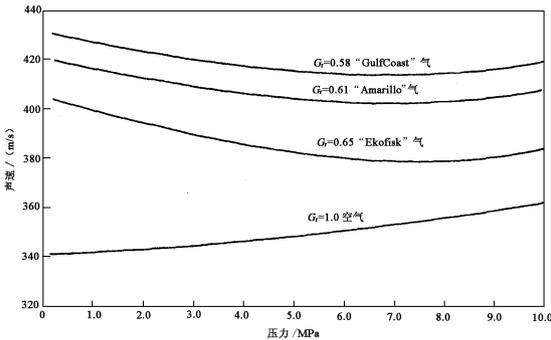


图 F3 几种天然气在 16°C 下的声速

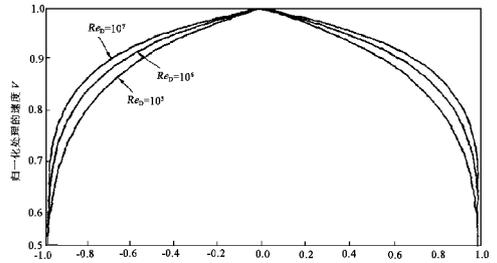


图 F4 光滑管紊流整流速度分布 ( $Re_D = 10^5$ ,  $Re_D = 10^6$ ,  $Re_D = 10^6$ ,  $Re_D = 10^7$ )

### F3 超声流量测量理论

#### F3.1 管道中的流速

可以用一个三维速度矢量  $v$  描述流速,流速通常与空间位置  $x$  和时间  $t$  有关: $v=v(x,t)$ 。对于半径为  $R$  的长直管内的定常无涡流动,唯一的非零时均速度分量是沿轴线方向的,且仅仅是径向位置  $r$  的函数。对于充分发展的紊流速度分布,它可以用半经验的幂函数表示:

$$v(r) = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (F3)$$

此处  $n$  是管道雷诺数  $Re_D$  和管道粗糙度的函数。对于光滑管,可用普朗特方程表示为:

$$n = 2 \log_{10} \left( \frac{Re_D}{n} \right) - 0.8 \dots\dots\dots (F4)$$

如果雷诺数已知,则可以计算  $n$ 。再利用该  $n$  值就可计算速度分布  $v(r)$ ,这实际上是对定常流动状态的描述。

图 F4 是按上述公式计算得出的速度分布曲线,且已按管道中心处最大流速  $v_{max}$  做归一化处理,3 个雷诺数的取值分别为  $Re_D=10^5$  ( $n=7.455$ )、 $Re_D=10^6$  ( $n=9.266$ )、 $Re_D=10^7$  ( $n=11.109$ )。

对于充分发展的紊流,瞬时流速是时间和空间的复合函数。根据海因兹(Hinze,1975)的推导, $v=v(x,t)$  可以分解成:

$$v(x,t) = u(x,t) + \omega(x,t) \dots\dots\dots (F5)$$

此处  $u$  代表当地流速平均值(一般为时间的函数), $\omega$  代表零均紊流速度脉动值。这些紊流速度脉动总是以稳定紊流出现,故可以看作是随机过程。

### F3.2 超声流量测量

在超声流量测量中,声脉冲靠一对压电传感器发射和接收,声波在流体中的传播已有理论描述(Lighthill,1972),它是由一个特定的速度来表征的,通常是压力、密度和流体组分的函数。用热力学理论可计算该速度:

$$C^2 = \frac{\partial P}{\partial \rho} \dots\dots\dots (F6)$$

此处  $P$  是压力, $\rho$  表示流体密度  $\partial$  表示偏导数。但是,热力学声速是无限大流体在零频率下的值(Goodwin,1994)。在管道中,由于温度和粘度的影响。在超声频率下的实际声速与热力学声速可能稍有不同。对于气体测量而言,这一差异可以忽略。另外,若不计频率对声速的影响,则意味着相速度与组速度之间的差异也可忽略。

超声脉冲沿声道传播,可以用几何声学的声线跟踪方法进行计算。如果声速只有轴向分量( $x$  方向),则它只与径向位置有关  $v=v(r)$ ,这样可用斯耐尔(Snell)定律(Morse 和 Ingard,1986)确定其形式:

$$\frac{C(r)}{\cos\phi(r)} + v(r) = \text{常数} \dots\dots\dots (F7)$$

此处  $\phi(r)$  表示必需品部声道夹角。为了进一步简化,可追求定声速度  $C$  则根据 Boone 和 Vermaas (1991)的推导,声线跟踪方程可写成:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= C\cos\phi(r) + v(r) \\ \frac{dr}{dt} &= C\sin\phi(r) \dots\dots\dots (F8) \\ \frac{d\phi}{dt} &= -\cos^2\phi(r) \frac{dv(r)}{dr} \end{aligned}$$

如果给定超声换能器的位置,则可求解这些方程,确定声道。由于沿管道截面的速度不是常数,故声道不是直线而是曲线,相对于管道轴线的声道角也不是常数,且逆流声道也不同于顺流声道。声道的曲率取决于雷诺数和马赫数,且随着马赫数和速度分布曲率的增加而增加。

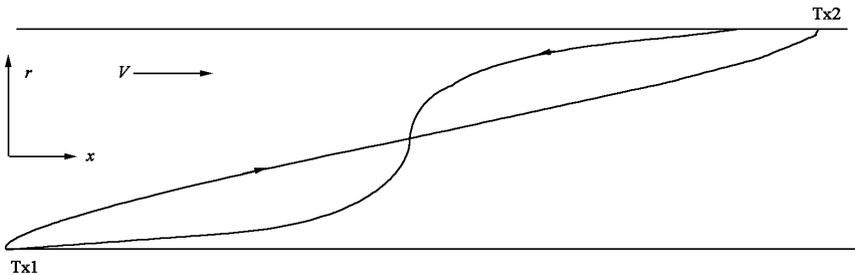


图 F5 给出了经夸张的声道曲率

可将以下公式代入式(F1)和式(F2):

$$t_U = \frac{L}{\sqrt{C^2 + V^2 \sin^2 \phi} - \bar{V} \cos \phi} \dots\dots\dots (F9)$$

$$t_D = \frac{L}{\sqrt{C^2 + V^2 \sin^2 \phi} + \bar{V} \cos \phi} \dots\dots\dots (F10)$$

此处上划线表示沿声道的线积分：

$$\bar{V} = \frac{1}{L} \int_L v(r) dr \dots\dots\dots (F11)$$

换言之，流量计所检测到的速度等于沿声道方向流体速度分量的平均值。如果将超声换能器抽出至气流边界外，则应对方程(F9)和(F10)进行适当修改。如果存在温度梯度，则超声换能器安装凹座处会产生声速效应，故一般要求沿整个声道的声速应能代表流动介质的声速。

用户通常对介质的体平均速度感兴趣，它是管道横截面 A 上的平均流速， $v(r)$  在管道横截面 A 上的面积分再除以 A，即：

$$V = \frac{1}{A} \iint_A v(r) dA \dots\dots\dots (F12)$$

如果  $v$  只有垂直于横截面的分量，则体平均流速为：

$$V = k_c \cdot \bar{V} \dots\dots\dots (F13)$$

这里  $k_c$  是由式(F14)定义的速度分布校正系数：

$$k_c = \frac{\frac{1}{A} \iint_A v(r) dA}{\frac{1}{L} \int_L v(r) dL} \dots\dots\dots (F14)$$

若已知  $v(r)$ 、L 上和 A，就可计算  $k_c$ 。因  $v(r)$  是  $Re_D$  的函数，所以  $k_c$  也是  $Re_D$  的函数。如果声道在通过管道轴线的平面内，则由式(F15)给出  $k_c$  的一个近似值(可以有多个近似值)：

$$k_c \approx \frac{1}{1.12 - 0.011 \log_{10} Re_D} \dots\dots\dots (F15)$$

对于充分发展的紊流，如果声道不在通过管道轴线的平面内(即沿着倾斜的弦线)，则  $k$  系数及它与雷诺数的关系都将不同。

在许多实际场合，并不精确地已知雷诺数，但知道雷诺数的范围，此时可选择固定的  $k$  系数值，该值应能在给定的雷诺数范围内最大限度地减小相对于真值的偏差。例如，当弦线横向位置  $y$  等于  $R/2$  时，在雷诺数为  $10^4 \sim 10^8$  范围内在  $k_c$  的平均值为 0.996。对于这一特定的横向声道位置，在给定的雷诺数范围内， $k_c$  的变化量小于 0.4%。这种方法同样能用于多声道结构，它可以减小因流速分布偏离假定的轴对称幂函数而引起的误差。

在多声道气体超声流量计中，超声换能器有多种布置形式。声道可以相互平行，也可能是其它取向。流量计可以沿两个或多个倾斜弦线直接传播声波或经反射传播声波。用于将各个声道的测量值合成为平均流速的方法也随流量计的特定结构而变化。特别值得一提的是，并非所有方法都要使用前述的  $k$  系数计算平均流量。

在多声道气体超声流量计中，根据一系列不连续的  $y$  值计算  $v(y)$ 。由于  $V$  可以表示为：

$$V = \frac{2}{A} \int_k^R \bar{v}(y) \sqrt{R^2 - y^2} dy \dots\dots\dots (F16)$$

此处是沿声道(弦线横向位置为  $Y$ )方向的平均流速，采用适当的数字积分技术，如高斯积分方法，可对上式积分。这样，就可根据每一声道的  $\bar{V}(y)$  计算出轴向平均流速  $V$  的近似值。其表达式如下：

$$V = \sum_{i=1}^N m_i \bar{v}(y_i) \dots\dots\dots (F17)$$

这里  $m_i$  是与所用积分技术有关的权重系数， $y_i$  是超声换能器的弦线横向位置。这是一种广泛使用的

数字积分技术,在流量计中有多种方式能实现这种技术。所选择的声道位置应能使权重系数作为常数处理,而不要求对速度分布做假设,但这取决于所用的方法。

轴向平均流速与流通面积  $A$  的乘积是工作条件下的体积流量  $q_f$  :

$$q_f = VA \dots\dots\dots (F18)$$

### F3.3 超声信号的产生

测量流量所需的超声信号由超声换能器发射和接收,压电超声换能器采用石英或陶瓷材料。给压电元件加上交变的电压后,就会产生振动,振动元件在流体中发出声波。由于压电效应的可逆性,在入射声波的作用下石英晶体产生变形,压电元件会出现电子偏振,产生与机械应力相关的电压。由于气体的声阻远远小于压电元件的声阻,通常要在气体和压电元件之间采用一层匹配材料以最大限度地发挥声音效率,该层材料的声阻介于气体和压电元件之间。

超声换能器表面通常为扁圆形,扁圆形柱状结构的声学特性已经过许多资料证明(StePanishen, 1971; Harris, 1981)。当连续发射单一频率的声波时,声压场具有声波束的性质,其宽度取决于声波波长与圆柱直径之比,即该比值越大,声波波长越宽。而且,随着在气体中被吸收,声波会衰减。尽管在某些气体(如二氧化碳)中,吸收较为严重,但在天然气应用中,在声道长度内,通常可忽略吸收影响。

随着在每个方向上一次或多次发射,会同步或交替地激励超声换能器。声波频率和脉冲重复性会因设计结构的不同而变化。

### F3.4 信号处理

信号处理方法可划分为两类:一类属于时间范畴的方法;一类属于频率范畴的方法。采用这两类方法中的哪一种特定方法,取决于传播时间与超声脉冲周期的关系或声道长度与声波波长的关系。对于用于天然气测量的大多数流量计而言,声道长度(0.1m~1m)比声波波长(通常约 3mm)要大得多,因此都采用属于时间范畴的方法。

在属于时间范畴的方法中,采用最广泛的是单脉冲传播时间测量法和相关峰值位移法。第一种方法要求进行两项重要的操作:先检测接收脉冲,再估计其到达时间。实际上,所有检测技术的实现方法都是在接收脉冲中识别出一个或几个预先确定的零电平交点。简单但常用的方法是,当接收脉冲达到预定的幅值电压时,给出触发信号,接着检测其后的第一个零电平交点,如图 F6 所示。采用更宽的脉冲并在脉冲稳定部分检测几个零电平交点可改进该技术,并能避免脉冲过渡阶段出现的脉冲周期变化。另外,每个脉冲的传播时间按对应于每个零电平交点的各个传播时间的平均值计算。第二种方法更先进,它是利用脉冲过渡阶段幅值相对不变的波形,其不同之处是采用了相关技术,即发射脉冲和接收脉冲相关联,按对应于峰值相关函数的时间来计算传播时间。

当声波信号出错时,增加了信号检测的难度,此时会出现两种误差:脉冲丢失和零位错误,后者会导致计时误差。接收幅值改变、波形变化或噪声,都不能合理地判别正确的计时点。合理设计检测器结构能最大限度地减少误差出现。在实践中,零位错误所带来的后果比脉冲丢失还严重。通过有效性检测,可以剔除错误信号。

通常要对传播时间进行伪值检验,并从数据组中剔除伪值。有若干可供选择的检验方法,应随时对数值进行检验,以保证这些数值所提供的流体速度和声速在实际中是可能存在的。最后,根据测得的几个顺流传播时间和几个逆流传播时间,可计算顺流平均传播时间和逆流平均传播时间。

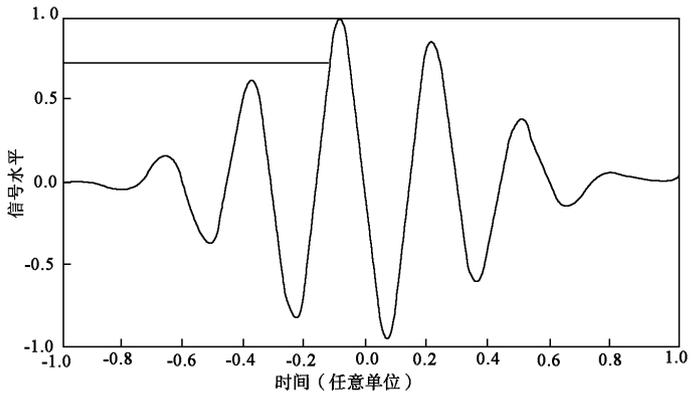


图 F6 接收脉冲的简单检测