



中华人民共和国国家标准

GB/T 18604—2014
代替 GB/T 18604—2001

用气体超声流量计测量天然气流量

Measurement of natural gas flow by gas ultrasonic flow meters

2014-02-19 发布

2014-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 量、术语和定义	1
4 测量原理	4
4.1 基本原理	4
4.2 测量准确度的影响因素	4
5 工作条件	5
5.1 天然气气质	5
5.2 压力	5
5.3 温度	5
5.4 流量范围及流动方向	5
5.5 速度分布	5
6 测量性能要求	6
6.1 多声道气体超声流量计测量性能要求	6
6.2 单声道气体超声流量计测量性能要求	7
6.3 工作条件对测量性能的影响	7
7 流量计要求	7
7.1 组成和基本规定	7
7.2 流量计表体	8
7.3 超声换能器	9
7.4 电子部件	10
7.5 流量计算机	11
8 安装要求及维护	12
8.1 安装影响因素	12
8.2 管道配置	12
8.3 维护	14
9 现场验证测试要求	14
9.1 测试内容及步骤	14
9.2 测试报告	14
10 流量计算方法及测量不确定度估算	14
10.1 标准参比条件下的流量计算	14
10.2 标准参比条件下的流量测量值的确定	15
10.3 工作条件下的流量计算	16
10.4 流量测量不确定度估算	16

附录 A (资料性附录)	基本原理	18
附录 B (规范性附录)	流量计组件的实流校准	25
附录 C (规范性附录)	出厂测试要求	29
附录 D (资料性附录)	具备的文件	31
附录 E (资料性附录)	声学噪声的产生及防治措施	33
附录 F (资料性附录)	流量计和流动调整器的性能验证测试	36
附录 G (资料性附录)	流量计现场测量性能的监测和保证	37

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 18604—2001《用气体超声流量计测量天然气流量》。与 GB/T 18604—2001 相比,除编辑性修改外主要技术变化如下:

- 增加了一个声道失效时测量误差的最大偏移、声速偏差和流量计组件 3 个定义(见 3.2.17、3.2.18 和 3.2.19);
- 修改了测量准确度的影响因素,将影响因素分为内因和外因两类(见第 4 章);
- 工作温度范围进一步明确为介质温度和环境温度(见 5.3);
- 提高了多声道气体超声流量计零流量读数要求,增加了声速偏差和最大声速差两个干标技术要求。修改了分界流量以上的最大峰间误差要求(见 6.1);
- 增加了根据环境条件和工作条件,对流量计组件(包括上下游直管段、流量计及流动调整器、测温孔和取样孔)采取必要的隔热、防冻等措施的要求,以及声学噪声、脉动的相关要求(见 8.1.1、8.1.4、8.1.5 和附录 E);
- 修订了管道安装上游直管段和流动调整器安装位置、测温孔和取样孔插入深度、流动调整器的相关要求(见 8.2.2、8.2.5 和 8.2.7 和附录 F);
- 增加了日常维护中为保证超声流量计现场测量性能的要求(见 8.3.1 和附录 G);
- 增加了理论声速按 AGA Report No.10《天然气和其他相关烃类气体中的声速》提供的方法或其他相关与其计算结果相同的方法计算的要求(见 9.1.3);
- 增加了质量流量和能量流量计算方法和不确定度估算(见第 10 章);
- 将实流校准修订为流量计组件的实流校准,并对温度、压力的稳定度要求,测试流量点进行了修改(见 B.2.2 和 B.3.3.3);
- 删除了原附录 E“上、下游直管段长度要求”;
- 增加了“声学噪声的产生及防治措施”技术要求(见附录 E);
- 增加了“流量计和流动调整器的性能验证测试”技术要求(见附录 F);
- 增加了“流量计现场测量性能的监测和保证”技术要求(见附录 G)。

本标准使用重新起草法参考 AGA Report No.9:2007《用多声道超声流量计测量天然气流量》进行修订。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本标准起草单位:国家石油天然气大流量计量站成都分站、中石油西南油气田分公司、中石油集团工程设计有限责任公司西南分公司。

本标准主要起草人:段继芹、何敏、文代龙、任佳、黄和、刘勇明、陈荟宇、王强、陈琦、倪锐。

用气体超声流量计测量天然气流量

1 范围

本标准规定了气体超声流量计的测量性能要求、流量计本体要求、安装和维护、现场验证测试要求，以及流量计算方法及测量不确定度估算。

本标准适用于插入式传播时间差法气体超声流量计(以下简称流量计)，一般用于集输装置、输气管线、储存设施、配气系统和用户计量系统中的天然气流量测量。外夹式气体超声流量计的使用可参考本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求

GB 3836.2 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的的设备

GB 3836.4 爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的的设备

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)(IEC 60529)

GB/T 11062—1998 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

GB/T 17747(所有部分) 天然气压缩因子的计算

GB/T 21446—2008 用标准孔板流量计测量天然气流量

SY/T 0599—2006 天然气地面设施抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的金属材料要求

JJG 1030—2007 超声流量计

ISO 5167-1:2003 用安装在充满流体的圆形截面管道中的差压装置测量流量 第1部分：总则和技术要求(Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full—Part 1:General principles and requirements)

AGA Report No.10 天然气和其他相关烃类气体中的声速(Speed of sound in natural gas and other related hydrocarbon gases)

3 量、术语和定义

3.1 量

本标准所用量和单位的名称及符号见表1。

表 1 量和单位的名称及符号

量的符号	量的名称	量纲	单位符号
D	流量计内径	L	m
k_c	速度分布校正系数	1	
L	声道长度	L	m
P	静压	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
q_v	体积流量	L^3T^{-1}	m^3/s
q_m	质量流量	MT^{-1}	kg/s
q_e	能量流量	L^3T^{-1}	J/s
q_t	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体积累积量	L^3	m^3
T	气流热力学温度	Θ	K
t	时间	T	s
V	气体轴向平均流速	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
Z	压缩因子	1	
φ	倾斜角	1	rad

注 1: 量纲中: 符号 L 为长度, 符号 T 为时间, 符号 M 为质量, 符号 Θ 为热力学温度。
注 2: 表中未列符号在文中出现处加以说明。

3.2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.2.1

传播时间差法 transit-time difference method

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。

3.2.2

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组件, 一般都是成对安装, 并同时工作。

3.2.3

信号处理单元 signal processing unit

流量计的一部分, 由电子组件和微处理器系统组成。

3.2.4

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。

3.2.5

声道 acoustic path

在一对发射和接受超声换能器间的超声信号的实际路径。

3.2.6

声道长度 path length

L

一对超声换能器端面之间的直线长度(见图1)。

3.2.7

声道距离 axial distance

X

声道长度在管道轴线的平行线上的投影长度(见图1)。

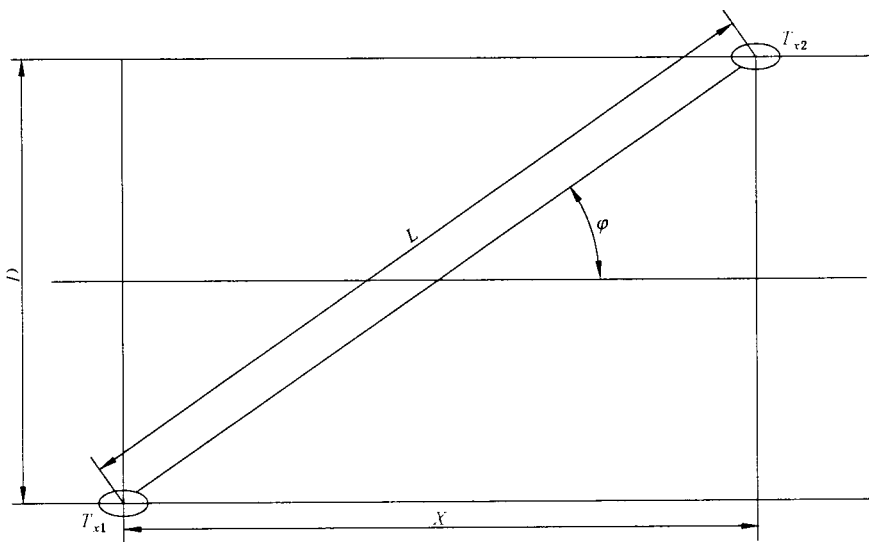


图1 插入式气体超声流量测量的简化几何关系示意图

3.2.8

倾斜角 path angle

φ

声道与管道轴线间的夹角(见图1)。

3.2.9

气体沿声道的平均流速 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。

3.2.10

气体轴向平均流速 mean axial fluid velocity

V

流量与测量横截面面积之比。

3.2.11

速度分布校正系数 velocity distribution correction

k_c

气体轴向平均流速与沿声道的平均流速之比。

3.2.12

速度采样间隔 velocity sampling interval

由一对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。

3.2.13

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。

3.2.14

分界流量 transition flow rate

q_t

在最大流量和最小流量之间的流量值,它将流量范围分割成允许误差不同的两个区,即“高区”和“低区”(见图 2)。

3.2.15

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差值(见图 2)。

3.2.16

实流校准系数 flow calibration factor

将流量计进行实流校准,并将测试结果按一定修正方法得出的流量计系数,以下简称校准系数。

3.2.17

一个声道失效时测量误差的最大偏移 maximum error shift with one path failed

在同一流量下,全部声道工作时的测量误差与其中任一声道失效时的测量误差之间的最大差值。

3.2.18

声速偏差 speed of sound(SOS) deviation

流量计测量得到的气体中的平均声速与理论声速间的最大相对偏差。

3.2.19

流量计组件 metering package

由流量计、配套使用的上下游直管段、测温孔、取压孔以及流动调整器共同组成的组件。

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。传播时间是通过在管道外或管道内成对的换能器之间传送和接收到的声脉冲进行测量的。声脉冲沿斜线方向传播(见图 1),顺流传送的声脉冲被气流加速,而逆流传送的声脉冲则会被减速。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。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。超声换能器与气体直接接触时,称为插入式。超声换能器不与气体直接接触时,称为外夹式。

更详细的内容参见附录 A。

4.2 测量准确度的影响因素

4.2.1 内部因素,包括:

- a) 流量计表体几何尺寸和超声换能器位置参数的准确度及稳定性;

- b) 用于传播时间测量的超声换能器和电子部件的质量和准确度(包括电子时钟的稳定性);
- c) 用于传播时间检测和平均流速计算的采样周期和积分计算方法;
- d) 校准(包括对电子部件和超声换能器信号滞后的补偿)。

4.2.2 外部因素,包括:

- a) 气流速度分布;
- b) 温度梯度;
- c) 气流脉动;
- d) 声学 and 电磁噪声;
- e) 固体和液体沉积;
- f) 几何尺寸随时间推移的变化。

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/T 17747(所有部分)所规定的范围内,天然气的相对密度为 0.55~0.80。

如果出现下列任一情况,应向制造厂咨询流量计的材质、超声换能器的选型,以及流量计计量准确度是否满足要求:

- a) CO₂ 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) 总硫含量超过 460 mg/m³,包括硫醇、硫化氢和元素硫。

正常输气工作条件下,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

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

制造厂应根据用户的实际工况要求提供满足温度范围要求的流量计。流量计的工作介质温度为 -20℃~60℃,工作环境温度范围为 -40℃~60℃。

5.4 流量范围及流动方向

流量计的流量测量范围由气体的实际流速确定,被测天然气的典型流速范围一般为 0.3 m/s~30 m/s。用户应核实被测气体流速在制造厂规定的流量范围内,其相应的测量准确度应符合第 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

理想条件下,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。上游管路配置(即各种上游管道配件、调压阀以及直管段的长度等)会影响进入流量计的气体速度剖面,从而影响测量准确

度,影响的大小和正负在一定程度上与流量计的补偿能力相关。

6 测量性能要求

本章规定了流量计应满足的一组最低测量性能要求。在进行实流校准系数调整之前,流量计就应满足这些性能要求,以保证不因进行校准系数调整而掩盖了流量计自身的问题和缺陷。

用户应根据第7章和附录B的规定,要求对流量计进行检验和实流校准,并应遵守第8章的安装要求,以保证在满足最低性能要求基础上提高流量计的测量准确度。

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,在制造厂规定的流量范围内,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:

- a) 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。
- b) 分辨力: $0.001 \text{ m/s};$
- c) 速度采样间隔: $\leq 1 \text{ s};$
- d) 零流量读数: 对于每一声道: $< 6 \text{ mm/s};$
- e) 声速偏差: $\pm 0.2\%;$
- f) 各声道间的最大声速差: $0.5 \text{ m/s}。$

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 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):

- a) 最大误差:
 - $\pm 0.7\%, q_t \leq q \leq q_{\max};$
 - $\pm 1.4\%, q_{\min} \leq q < q_t;$
- b) 最大峰间误差:
 - $0.7\%, q_t \leq q \leq q_{\max};$
 - $1.4\%, q_{\min} \leq q < q_t。$

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 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):

- a) 最大误差:
 - $\pm 1.0\%, q_t \leq q \leq q_{\max};$
 - $\pm 1.4\%, q_{\min} \leq q < q_t;$
- b) 最大峰间误差:
 - $1.0\%, q_t \leq q \leq q_{\max};$

$$1.4\%, q_{\min} \leq q < q_1。$$

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。

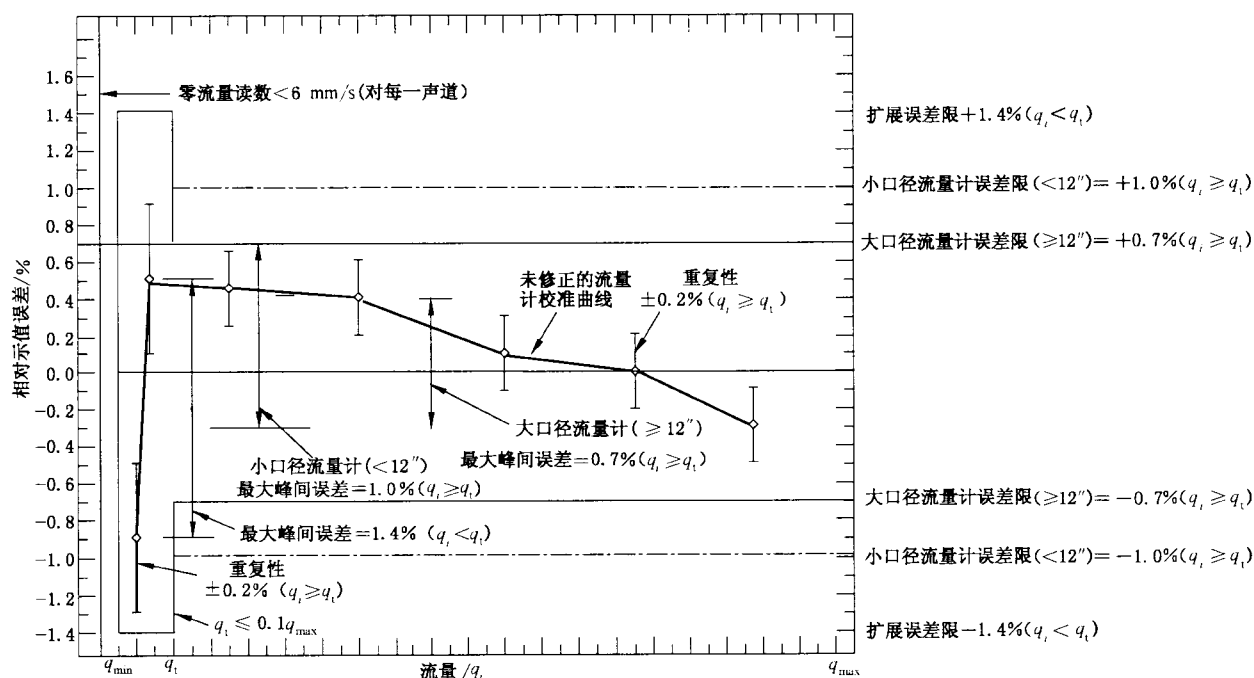


图2 多声道气体超声流量计测量性能要求汇总

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6.1和6.2规定的测量性能要求。如果需要人工输入物性参数来确定天然气流动条件下的物性参数（密度和黏度等），制造厂应给出流量计受这些参数影响的敏感程度，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：

- 流量计表体、超声换能器及其安装部件。
- 由电子组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

流量计表体和其他所有部件,包括承压构件和外部电子组件,应当用适合于流量计工作条件的材料进行设计和制造,并满足所在计量系统工艺要求。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。

在流量计出厂前,制造厂应对其进行出厂测试,并向用户提供出厂测试报告。出厂测试要求见附录 C。并应具备相应的文件,参见附录 D。

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连接件。

流量计表体的连接法兰应当符合通用的行业标准、国家标准或国际标准。

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 适应环境的能力

流量计外壳、铭牌和各个组件应能符合 GB/T 4208 的规定,至少应达到 IP65 的等级要求。

7.2.4 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。

7.2.5 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,根据用户要求可设置带压拆装超声换能器的阀。

7.2.6 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 mm~10 mm 之间,若流量计表体的壁厚小于 20 mm,取压孔公称直径为 4 mm,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。内螺纹的规格宜为 1/4"NPTF 或 1/2"NPTF。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液排回流量计表体内。

7.2.7 流量计标记

在流量计上应设置至少含有下列内容的铭牌:

- a) 制造厂名称,流量计的型号、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) 最高和最低储存温度;
- e) 工作压力和工作温度范围;
- f) 在工作状态下最大和最小的每小时流量;
- g) 气体流动的正方向;
- h) 防爆等级。

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。

7.2.8 外观质量要求

外观质量要求包括:

- a) 流量计的外表应整洁、美观,表面应有良好的处理,不应有毛刺、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,不应有损伤。

7.2.9 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。

用户可要求制造厂提供流量计上下游法兰上的定位销,以保证流量计现场安装的正确定位。

7.3 超声换能器

7.3.1 技术要求

制造厂应给出超声换能器的一般技术指标,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。流量计的压降速率不宜超过 0.5 MPa/min。

7.3.3 更换、拆卸和重新安装

更换、拆卸或重新安装超声换能器时,应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第 6 章的要求。制造厂应指明更换超声换能器的工作程序及需要进行的机械、电气和其他方面的测试及调整。

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

一部分以文档的形式记录并保存。每一只超声换能器应标有永久系列号并由制造厂提供 7.3.1 要求的技术参数。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并安装在流量计上或流量计旁,统称为信号处理单元(SPU)。制造厂应给出 SPU 的唯一性的标识。电子部件的测试应符合 JJG 1030—2007 附录 A“型式评价”中的相关要求。

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,并用屏蔽电缆将其与信号处理单元连接。

信号处理单元应在第 6 章中规定的流量计测量性能要求指标范围内和第 5 章规定的环境条件下工作,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(见 7.3.3)。制造厂应提醒用户,更换整个 SPU 或其中的模块时是否会明显地影响流量计的测量性能。

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 50 Hz、220 VAC 的交流电源或者 12 V~24 VDC 的直流电源或电池。

7.4.2 输出信号技术要求

信号处理单元应至少具有下列输出信号:

- a) 代表工作条件下体积流量的频率信号;
- b) 串行通信数据接口,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体积流量的 4 mA~20 mA 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(但对串行通信数据输出时不适用)。

当超过流量计的最大流量时,制造厂应向用户提供可以选择的流量输出,这些流量输出可以是零、最大流量或用户确定的流量。

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通信数据值,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过电压保护。

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,其他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、塑料和其他裸露部分应当耐紫外光、油脂和阻燃。

7.4.4 部件更换

更换或重新安装超声换能器、线缆、电子部件和软件后,制造厂应向用户提供一套可靠的工作程序和足够的数据库,以保证任一部件进行更换或重新安装后,流量计的测量性能仍然满足第 6 章的要求,且更换后的功能不低于更换前的标准功能。

对这些部件进行更换而不对流量计重新校准时,可能会导致附加测量不确定度。在更换部件前,应保存一套参考数据(见 7.5.5),当更换部件后,用户应将各声道间的速度比、声速比等与参考数据进行比较,确保流量计的测量性能仍然满足第 6 章的要求。

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。

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气体流速、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

为了进行查验,当流量计工作时应当能在流量计算机上检查和确认所有流量计算常数和参数。

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。

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。

用户应建立流量计的基础资料,保存流量计在出厂测试、实流校准和初始安装等过程中的声道传播时间、声道自动增益控制、沿每一声道的声速、平均声速、轴向平均流速以及未经修正的体积量等数据之间的关系,以确定不同条件下的流量计是否工作正常,并决定在更换电子组件或硬件后是否需要对接流量计进行校准。

7.5.4 报警

应以故障安全型继电器触点或与地隔离的无源触点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何一个在设定的时间段内超出了正常工作范围;
- c) 部分失效:当多个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 或同等的串行通信口至少提供下列诊断测量:

- a) 每一声道的自动增益控制水平;
- b) 每一声道的信噪比;

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

7.5.6 其他

流量计算机应具有工作条件下理论声速计算的功能,该理论声速计算方法应是 AGA Report No.10 中提供的声速计算方法或其他与其计算结果相同的方法。其他技术要求参见 GB/T 21446 附录 H“天然气流量计算机系统基本技术要求”。

8 安装要求及维护

8.1 安装影响因素

8.1.1 温度

安装流量计的外界环境温度应符合 5.3 的规定,同时应根据安装点具体的环境及工作条件,对流量计组件采取必要的隔热、防冻及其他保护措施(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。

8.1.4 声学噪声

流量计的安装应尽量防止声学噪声对测量性能产生的不利影响。在调压计量站中,流量计通常应安装在调节阀的上游。其他技术要求参见附录 E。

8.1.5 脉动

应考虑在流量计附近可能存在的流动脉动,并采取适当的措施,尽量减小脉动导致的附加测量不确定度。

8.2 管道配置

8.2.1 流动方向

如果流量计具有双向测量功能,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 8.2.2~8.2.9 的规定。

8.2.2 管道安装

为保证在流量计的全量程范围内,流量计的现场测量性能满足第 6 章的要求,且安装条件引起的附加测量误差不超过 $\pm 0.3\%$,制造厂应按照用户提供的流量计预期安装条件,推荐流量计上、下游直管段长度,以及是否带流动调整器。用户可要求制造厂提供遵照附录 F 的规定进行测试的相关测试报告。

如果制造厂未提供流量计上、下游直管段长度要求和流动调整器的安装要求时,或者用户无法提供预期的安装条件时,不带流动调整器的情况下,流量计上游至少需要 $50D$ 的直管段;带有流动调整器的情况下,流量计上游至少需要 $30D$ 的直管段,且流动调整器宜安装在流量计上游 $10D$ 处。流量计下游直管段长度至少应为 $5D$ 。

8.2.3 突入物和对中

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 1% 以内,且不超过 3 mm 。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,不应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他机械损伤。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 测温孔和取样孔

如果流量计只是进行单向流测量,那么应将测温孔和取样孔设在流量计下游距法兰端面 $2D\sim 5D$ 之间;如果流量计是用于双向流测量,那么测温孔和取样孔应设在距流量计法兰端面 $3D\sim 5D$ 之间。多个测温孔不应呈直线排列,制造厂或供货商应向用户提供与流量计声道布置有关的最佳测温孔位置。

制造厂应推荐测温孔相对于声道的安装方位。一般来说,测温孔轴线与管道轴线垂直。测温孔的安装应保证管道的热传递、测温套的附属组件和太阳的热辐射不影响气体温度的测量。温度计和取样器插入深度宜为 $1/3D$,对于大口径流量计(DN 300 及以上),插入深度应不超过 125 mm 。应注意避免高速气流引起测温套的共振。

当环境温度和气体温度差异很大时,宜在流量计上游管道至下游管道上最远的测温孔下游 $1D$ 处加装隔热层,并在流量计上安装遮阳棚。

8.2.6 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)及流量计上游速度剖面受干扰的严重程度。超声流量计宜安装整流板,整流板应符合 ISO 5167-1:2003 附录 C“流动调整器”的相关要求,其性能测试要求参见附录 F。

8.2.7 流量计安装方位

流量计应水平安装,其他安装方式应咨询制造厂。在设计和安装时,应留有足够的检修空间。

8.2.8 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培训。日常管理主要是根据超声流量计的自诊断系统反馈的信息有针对性地进行检查、维护,以确保流量计的现场测量性能,相关技术要求参见附录 G。

8.3.2 定期检查

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、信号增益是否有明显变化等。还应根据实际情况,检查邻近管道内是否有沉积物,根据检查情况进行排污。

9 现场验证测试要求

制造厂应向使用者提供进行流量计现场验证测试的书面文件,以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、磨损或其他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

在进行现场验证测试时,若有必要,可进行声速测试。首先测出某一工作条件下的实际声速,再根据 AGA Report No.10 提供的方法或其他与其计算结果相同的方法计算出相同工作条件下的理论声速,二者之间的差值应符合 6.1.1 中的规定。

9.2 测试报告

根据 9.1 的测试、检查及分析结果,应做出包括流量计名称、型号规格、制造厂、投运日期、现场条件(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

本标准采用的标准参比条件为:对于体积计量,压力为 101.325 kPa(绝对压力),温度为 20 °C;对于能量计量,压力为 101.325 kPa(绝对压力),温度为 20 °C,干基。也可使用合同规定的其他参比条件。

流量计是用超声传播原理和数字积分技术设计制造的,按式(A.18)计算出的流量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体积流量计算

标准参比条件下的瞬时体积流量按式(1)计算:

$$q_n = \frac{q_f \times p_f \times T_n \times Z_n}{p_n \times T_f \times Z_f} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

q_n ——标准参比条件下的瞬时体积流量,单位为立方米每小时(m^3/h);

q_f ——工作条件下的瞬时体积流量,单位为立方米每小时(m^3/h);

p_n ——标准参比条件下的绝对压力,单位为兆帕(MPa);

p_f ——工作条件下的绝对静压力,单位为兆帕(MPa);

T_n ——标准参比条件下的热力学温度,单位为开尔文(K);

T_f ——工作条件下的热力学温度,单位为开尔文(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体积量计算

标准参比条件下的累积体积量按式(2)计算:

$$Q_n = \int_{t_0}^t q_n dt \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Q_n ——标准参比条件下在 $t_0 \sim t$ 一段时间内的累积体积量,单位为立方米(m^3);

t_0 ——进行累积流量积分的初始时间,单位为秒(s);

t ——进行累积流量积分的结束时间,单位为秒(s);

dt ——时间的积分增量。

10.1.3 质量流量计算

质量流量按式(3)计算:

$$q_m = q_n \times \rho_n \dots\dots\dots (3)$$

式中:

q_m ——质量流量,单位为千克每小时(kg/h);

ρ_n ——标准参比条件下的气体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

10.1.4 能量流量计算

能量流量按式(4)计算:

$$q_e = q_n \times \tilde{H}_s \dots\dots\dots (4)$$

式中:

q_e ——能量流量,单位为焦耳每小时(J/h);

\tilde{H}_s ——标准参比条件下的气体发热量,单位为焦耳每立方米(J/m^3)。

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,计算结果值为标准参比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_f ,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 未经实流校准的标准参比条件下的流量测量不确定度估算

根据式(2)可用式(5)、式(6)估算未经实流校准的标准参比条件下流量测量扩展不确定度:

$$u_{q_n} = \sqrt{u_{q_f}^2 + u_{p_f}^2 + u_{T_f}^2 + u_{z_f}^2 + u_{z_n}^2 + u_{a_n}^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$U_{q_n} = 2u_{q_n} \quad (k=2) \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- U_{q_n} —— 标准参比条件下的流量测量扩展不确定度;
- u_{q_n} —— 标准参比条件下的流量测量标准不确定度;
- u_{q_f} —— 操作条件下的流量测量标准不确定度,由流量计的准确度等级确定;
- u_{p_f} —— 操作条件下的绝对静压测量标准不确定度,根据使用的静压测量仪表性能按式(9)估算;
- u_{T_f} —— 操作条件下的热力学温度测量标准不确定度,根据使用的温度测量仪表性能按式(9)估算;
- u_{z_f} —— 操作条件下的压缩因子测量标准不确定度,压缩因子计算方法若采用 GB/T 17747,其扩展不确定度取 0.1%($k=2$),采用 AGA NX-19:1997 则取 0.5%($k=2$);
- u_{z_n} —— 标准参比条件下的压缩因子测量标准不确定度,与天然气组分分析方法和标准气体有关,按 GB/T 13610 规定进行计算;
- u_{a_n} —— 安装引起的附加流量测量不确定度,取流量计最大允许误差的 1/3。

10.4.2 经实流校准的标准参比条件下的流量测量不确定度估算

可用式(7)、式(8)估算经实流校准的标准参比条件下流量测量扩展不确定度:

$$u_{q_n} = \sqrt{u_s^2 + u_m^2 + u_{T_f}^2 + u_{z_f}^2 + u_{z_n}^2 + u_{a_n}^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$U_{q_n} = 2u_{q_n} \quad (k=2) \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- u_s —— 校准用标准装置的流量测量标准不确定度;
- u_m —— 校准数据的标准不确定度,可近似取校准数据处理的流量计重复性。

10.4.3 质量流量测量不确定度估算

可用式(9)估算标准参比条件下质量流量测量合成不确定度:

$$u_{q_m} = \sqrt{u_{q_n}^2 + u_{\rho_n}^2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

扩展不确定度参照式(6)计算。

式中:

u_{ρ_n} ——标准参比条件下的密度计算不确定度,按 GB/T 13610 规定进行计算。

10.4.4 能量流量测量不确定度估算

根据式(6)可用式(10)估算标准参比条件下能量流量测量合成不确定度:

$$u_{q_e} = \sqrt{u_{q_n}^2 + u_{\tilde{H}_s}^2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

扩展不确定度参照式(6)计算。

式中:

$u_{\tilde{H}_s}$ ——标准参比条件下的发热量计算不确定度,按 GB/T 11062—1998 计算,其扩展不确定度可取 0.05%($k=2$)。

10.4.5 绝对静压或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(11)估算:

$$u_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} \zeta_Y \frac{Y_K}{Y_i} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

u_Y ——绝对静压测量或热力学温度测量的标准不确定度;

ζ_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。

附录 A
(资料性附录)
基本原理

A.1 概述

气体超声流量计是由流量计表体、电子组件及微处理器系统、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。如图 1 所示为 T_{x1} 和 T_{x2} 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 φ ,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_D 将缩短,逆流传播的时间 t_U 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,按式(A.1)可以计算测得的流速 \bar{V} :

$$\bar{V} = \frac{L^2}{2X} \frac{(t_U - t_D)}{t_U t_D} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

\bar{V} —— 气体沿声道的平均流速,单位为米每秒(m/s);

L —— 声道长度,单位为米(m);

X —— 声道距离,单位为米(m);

t_U —— 声脉冲逆流传播的时间,单位为秒(s);

t_D —— 声脉冲顺流传播的时间,单位为秒(s)。

可根据式(A.2)计算声速:

$$C = \frac{L}{2} \frac{(t_U + t_D)}{t_U t_D} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

C —— 声波在气流中的传播速度,单位为米每秒(m/s)。

A.2 天然气中的声速

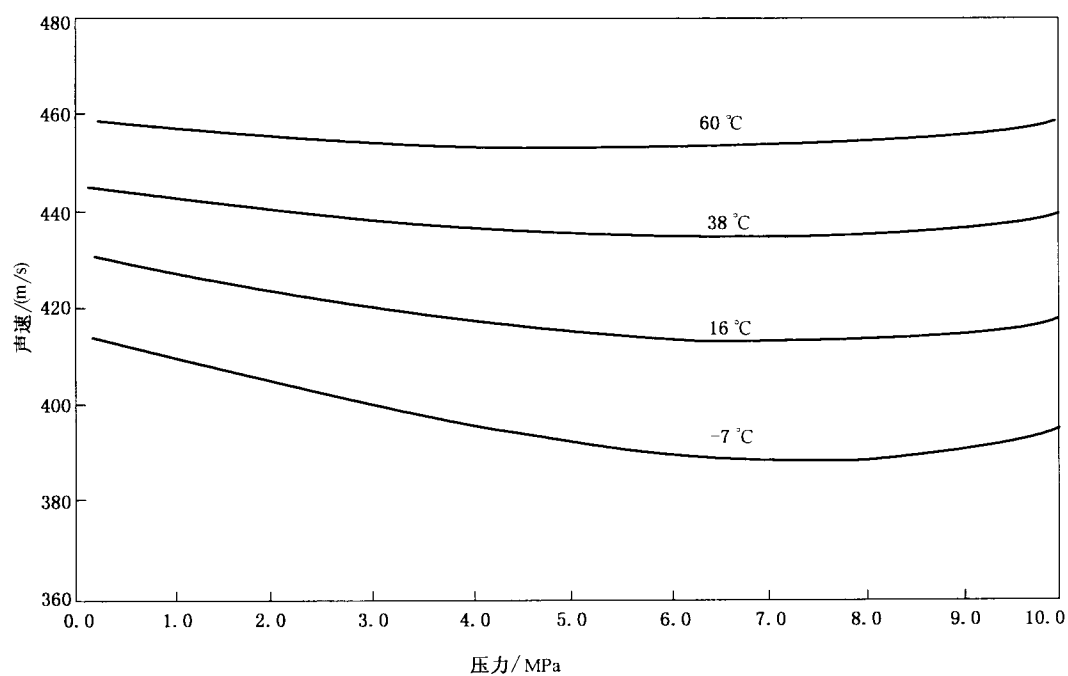
流量计从上游和下游的两个方向,向天然气气流中发射声脉冲信号,声波的逆流传播时间和顺流传播时间之差为传播时间差,且消除了声速的影响。从式(A.1)可以明显地看到,用流量计进行流量测量,不要求知道声速就可测量气流速度。式(A.2)表明,用声道长度除以传播时间,流量计就能够测量声速。将实测的声速值与理论计算值相比较,可判断流量计是否正常工作。

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 A.1 和图 A.2 所示。

图中的三种天然气混合物为美国西南研究院气体研究所(简称 SwRI GRI)GRI-93/0181 号报告中的 GRI 参比天然气,其组分和特性见表 A.1。

表 A.1 GRI 参比天然气混合物的组分和特性表

参数		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 G_r		0.581 078	0.608 657	0.649 521	1.00
高位发热量/(MJ/m ³)		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	3.228 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	
	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 A.1 “Gulf Coast”天然气($G_r = 0.58$)的声速

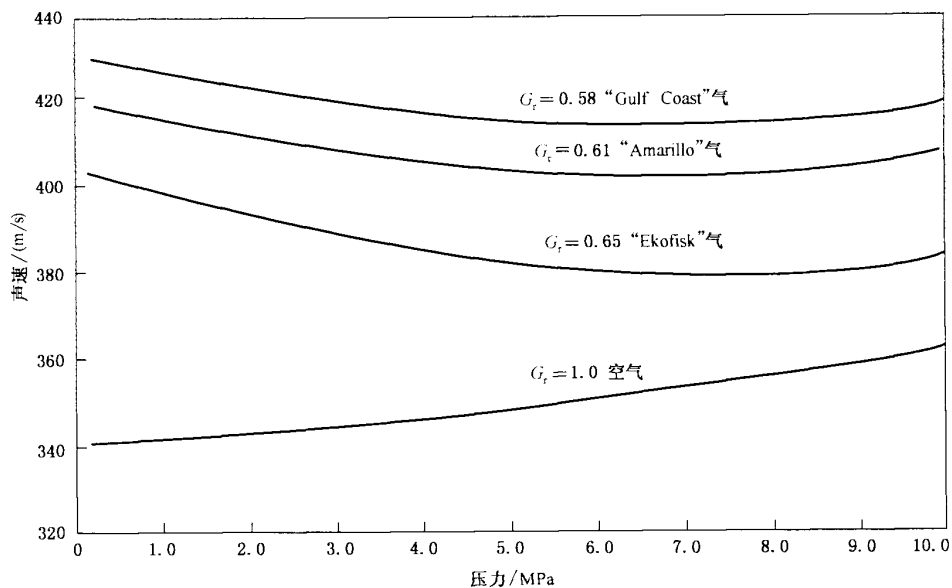


图 A.2 几种天然气和空气在 16 °C 下的声速

A.3 超声流量测量理论

A.3.1 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：

$$v(r) = v_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (A.3)$$

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：

$$n = 2 \lg \frac{Re_D}{n} - 0.8 \dots\dots\dots (A.4)$$

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 A.3 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 $Re_D = 10^5$ ($n = 7.455$)、 $Re_D = 10^6$ ($n = 9.266$)、 $Re_D = 10^7$ ($n = 11.109$)。

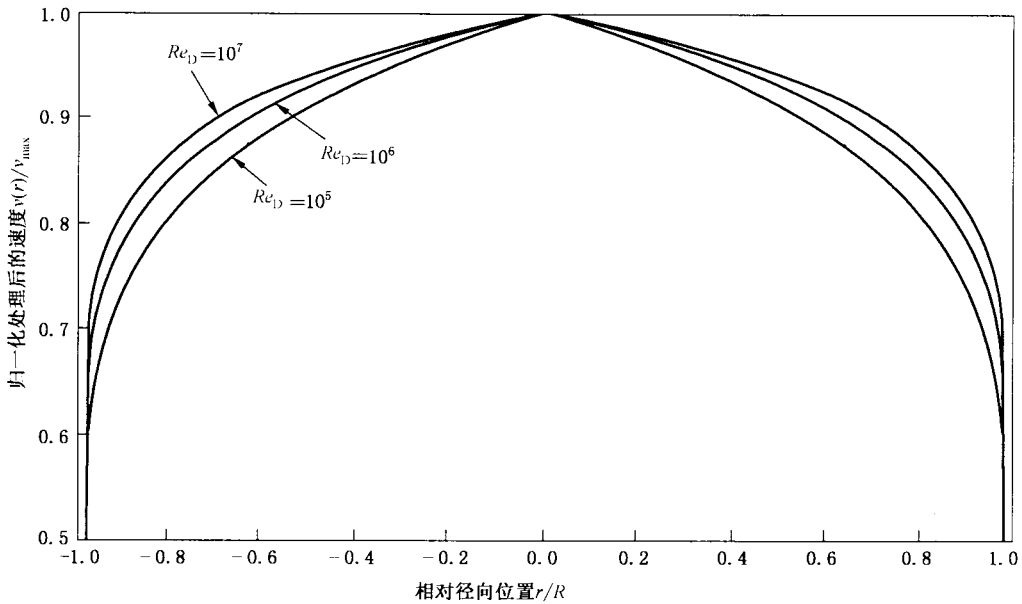


图 A.3 光滑管紊流速度分布

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:

$$v(x, t) = u(x, t) + w(x, t) \dots\dots\dots (A.5)$$

此处 u 代表瞬时流速平均值(一般为时间的函数), w 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。

A.3.2 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:

$$C^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} \dots\dots\dots (A.6)$$

此处 p 是压力, ρ 表示流体密度, ∂ 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,由于温度和黏度的影响。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。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:

$$\frac{c(r)}{\cos\varphi(r)} + v(r) = \text{常数} \dots\dots\dots (A.7)$$

此处 $\varphi(r)$ 表示声道夹角。为了进一步简化,可假定声速 C 为常数,则根据 Boone 和 Vermaas (1991)的推导,声线跟踪方程可写成:

$$\frac{dx}{dt} = C \cdot \cos\varphi(r) + v(r) \dots\dots\dots (A.8)$$

$$\frac{dr}{dt} = C \sin\varphi(r) \dots\dots\dots (A.9)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\cos^2\varphi(r) \frac{dv(r)}{dr} \dots\dots\dots (A.10)$$

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 A.4 给出了经夸张的声道曲率。

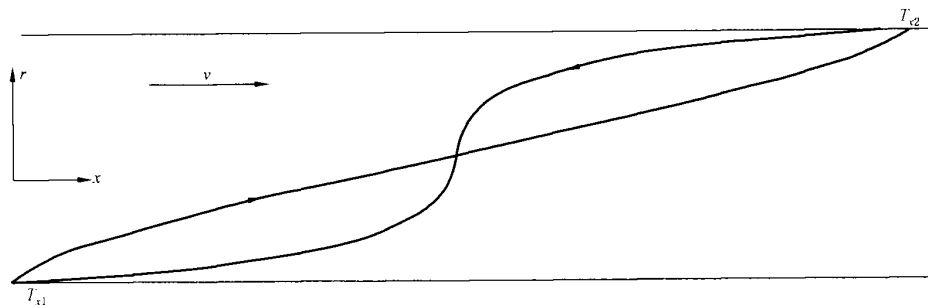


图 A.4 夸张的声道曲率

可将式(A.11)、式(A.12)代入式(A.1)和式(A.2):

$$t_U = \frac{L}{\sqrt{C^2 - \bar{V}^2 \sin^2 \varphi} - \bar{V} \cos \varphi} \dots\dots\dots (A.11)$$

$$t_D = \frac{L}{\sqrt{C^2 - \bar{V}^2 \sin^2 \varphi} + \bar{V} \cos \varphi} \dots\dots\dots (A.12)$$

此处上划线表示沿声道的线积分:

$$\bar{V} = \frac{1}{L} \int_L v(r) dL \dots\dots\dots (A.13)$$

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,则应对式(A.11)和式(A.12)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。

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

$$V = \frac{1}{A} \iint_A v(r) dA \dots\dots\dots (A.14)$$

如果 v 只有垂直于横截面的分量,则体平均流速为:

$$V = k_c \times \bar{V} \dots\dots\dots (A.15)$$

这里 k_c 是由下式定义的速度分布校正系数:

$$k_c = \frac{\frac{1}{A} \iint_A v(r) dA}{\frac{1}{L} \int_L v(r) dL} \dots\dots\dots (A.16)$$

若已知 $v(r)$ 、L 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(A.17)给出 k_c 的一个近似值(可以有多个近似值):

$$k_c \approx \frac{1}{1.12 - 0.0111 \lg Re_D} \dots\dots\dots (A.17)$$

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_c 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—个固定的 k_c 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, 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,也可能是其他取向。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速度分布校正系数计算平均流量。

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 $\bar{v}(y)$ 。由于 V 可以表示为:

$$V = \frac{2}{A} \int_{-R}^R \bar{v}(y) \sqrt{R^2 - y^2} dy \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

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:

$$V = \sum_{i=1}^N m_{c_i} \bar{v}(y_i) \quad \dots\dots\dots (A.19)$$

这里 m_{c_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 :

$$q_f = V \times A \quad \dots\dots\dots (A.20)$$

A.3.3 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。给压电组件加上交变的电压后,就会产生振动,振动组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,压电组件会出现电子偏振,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组件的声阻,通常要在气体和压电组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组件之间。

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。

A.3.4 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。对于天然气测量的大多数流量计而言,声道长度(0.1 m~1 m)比声波波长(通常约 3 mm)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 A.5 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。

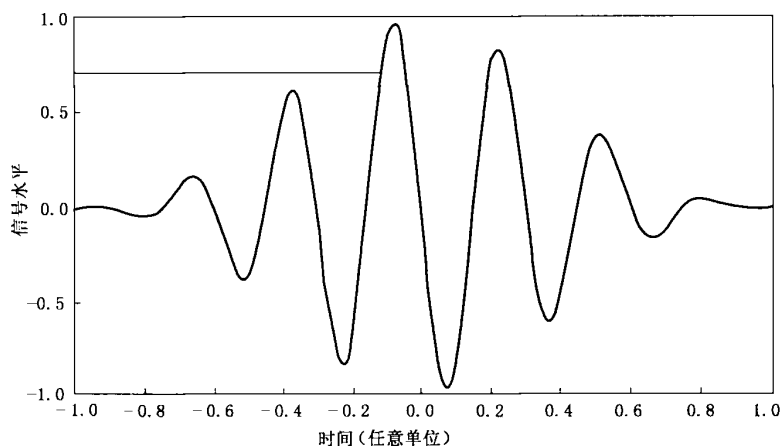


图 A.5 接收脉冲的简单检测

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。

附 录 B
(规范性附录)
流量计组件的实流校准

B.1 概述

流量计组件应该用可溯源至国家标准的流量校准设备或校准系统进行实流校准,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。可以通过实流校准来确定流量计系数,并通过实流校准来判断流量计的测量性能是否满足第6章的要求。

B.2 校准条件

B.2.1 标准装置的要求

B.2.1.1 实流标准装置及其辅助测量仪表都应具有有效的校准证书,可溯源到相应的国家标准上。

B.2.1.2 标准装置的不确定度通常宜优于被检流量计的不确定度。

B.2.1.3 标准装置的所有电气仪表应采用等电位接地。

B.2.2 实流校准流体

实流校准流体为天然气或其他气体,其组分应基本稳定,天然气气质应符合5.1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 17747.2“详细特征化方法状态方程”和GB/T 11062来计算。在实验室进行实流校准时,在100 s时间内,流体温度变化应不大于0.25℃,压力波动应不大于0.2%,流量波动应不大于3%。在线校准可参考此要求。

B.2.3 环境

实流校准的环境:大气温度一般为-40℃~60℃,相对湿度一般为45%~85%,大气压力一般为86 kPa~106 kPa。实流校准应没有外界磁场和机械振动的影响。

B.3 实流校准项目和方法

B.3.1 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他有关技术指标文件。流量计表体上应有符合7.2.7要求的铭牌,流量计外观质量应符合7.2.8的规定。

B.3.2 零流量测试

零流量测试的方法、步骤及要求见C.5。

B.3.3 实流校准

实流校准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。

B.3.3.1 测试指标

实流校准至少应测试重复性、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)范围和压力范围等做出评定。

B.3.3.2 安装

流量计应安装有符合 8.2.2 的足够长的上下游直管段、测温孔、取样孔和任何流动调整器,该流动调整器能够保证在实验室测试时的气体流速分布与最终安装后的流速分布无明显不同,保证稳定、充分发展的紊流速度分布,不存在涡流和脉动流。流量计取压孔和测温孔应分别符合 7.2.6 和 8.2.5 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测温孔应与被校流量计的对应相同或在其附近。

B.3.3.3 测试流量点

实流校准时推荐至少测试下列流量点: q_{\min} , $0.05 q_{\max}$, $0.10 q_{\max}$, $0.25 q_{\max}$, $0.40 q_{\max}$, $0.70 q_{\max}$ 和 q_{\max} 。设计方也可以增加其他流量点进行附加实流校准试验。对于大口径流量计的实流校准可能达不到上限流量值,可指定低于 q_{\max} 的实流校准流量范围,一般宜达到 $0.4 q_{\max}$ 以上,此时,应以标准装置实际能够达到的最大流量 $q_{\max, \text{facility}}$ 作为校准时的最大流量,推荐测试流量点为: q_{\min} , $0.05 q_{\max, \text{facility}}$, $0.10 q_{\max, \text{facility}}$, $0.25 q_{\max, \text{facility}}$, $0.40 q_{\max, \text{facility}}$, $0.70 q_{\max, \text{facility}}$ 和 $q_{\max, \text{facility}}$ 。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 $\pm 5\%$ 。

B.3.3.4 测试次数

在实流校准时,每个流量点至少测试 6 次。

B.3.3.5 测试时间

每次数据采集时间不应小于 100 s。

B.3.3.6 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 5 min,待压力、温度和流量稳定并达到 B.2.2 的要求后方可进行校准。

B.3.3.7 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。在校准过程中,应至少进行一次声速的检查。

B.3.3.8 双向流校准

对用于双向流测量的流量计,应进行正、反两个流动方向的实流校准。

B.3.4 数据处理**B.3.4.1 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换算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式(B.1)~(B.3)计算:

$$E_i = \frac{q_i - (q_s)_i}{(q_s)_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$q_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{ij} \dots\dots\dots (B.2)$$

$$(q_s)_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (q_s)_{ij} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

- E_i ——第 i 校准点流量计的相对示值误差,无量纲;
- q_i ——流量计第 i 校准点 n 次测量的平均流量,单位为立方米每小时(m^3/h);
- $(q_s)_i$ ——标准装置第 i 校准点的 n 次测量的平均流量,单位为立方米每小时(m^3/h);
- q_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时流量计的流量示值,单位为立方米每小时(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,单位为立方米每小时(m^3/h);
- n ——第 i 校准点重复测量的次数。

$$E = |E_i|_{\max} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

E ——流量计的相对示值误差,无量纲。

B.3.4.2 流量计的重复性

流量计的重复性按式(B.5)~(B.9)计算:

$$(E_r)_i = \frac{1}{k_i} \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (k_{ij} - k_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.5)$$

$$k_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$k_{ij} = \frac{(q_s)_{ij}}{q_{ij}} \dots\dots\dots (B.7)$$

或

$$k_{ij} = \frac{(Q_s)_{ij}}{Q_{ij}} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

- $(E_r)_i$ ——第 i 校准点的重复性,无量纲;
 - 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,单位为立方米(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,单位为立方米(m^3)。
- 其他符号的含义同上。

$$E_r = [(E_r)_i]_{\max} \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

E_r ——流量计的重复性,无量纲。

B.3.4.3 流量计的最大峰间误差

$$\text{流量计的最大峰间误差} = (E_i)_{\max} - (E_i)_{\min} \dots\dots\dots (B.10)$$

B.3.5 校准系数调整方法

B.3.5.1 确定校准系数可采用以下方法:

- a) 算术平均误差法;

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

B.3.5.2 校准系数调整:应使用校准修正系数对流量计的示值误差进行修正。

应用校准系数的方法有:

- a) 在流量计的规定流量范围内使用流量加权平均误差；
- b) 使用多项式算法、分段线性插值法或其他认可的方法等。

校准系数的调整量不应超出 6.1 中相应的最大误差要求。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。在应用修正系数后至少应测试一个验证流量点,以确认修正计算和修正的应用是正确的。如果利用了线性化算法来修正流量计的性能,那么至少应测试两个验证点。确认后的校准系数在下次实流校准前不应作任何修改。

B.3.5.3 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 $\pm 0.3\%$ 。

B.3.5.4 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。

B.3.5.5 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) 标准装置名称及地址；
- c) 流量计型号和系列号；
- d) 信号处理单元硬件版本修订号；
- e) 所有配管和流动调整器的系列号；
- f) 校准时,软件配置参数的诊断报告；
- g) 校准日期；
- h) 测试人和检验人签名；
- i) 安装条件；
- j) 对校准步骤的简要描述；
- k) 测试管道安装示意图；
- l) 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、标准装置的流量测量不确定度、校准系数等参数；
- m) 与所要求的测试条件不同或有偏差的说明；
- n) 不确定度评定结果。

附 录 C
(规范性附录)
出厂测试要求

C.1 概述

在流量计出厂之前,制造厂应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 JJG 1030 的有关规定或相关国际标准进行。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。

C.2 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 5 min,经检查无泄漏和损坏。

C.3 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 5 min。经检查无泄漏。

C.4 几何尺寸测量

C.4.1 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 ,或由坐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。

C.4.2 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。

C.4.3 温度影响修正

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

C.4.4 记录

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。

C.5 零流量检验测试

C.5.1 零流量检验测试步骤

零流量检测测试步骤如下：

- a) 在流量计两端连接盲法兰后,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 30 s。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,并与根据 AGA Report No.10 提供的方法或其他与其计算结果相同的方法计算出相同工作条件下的理论声速进行比较,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。

C.5.2 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。

C.6 实流校准

为减少流量计的测量误差,出厂前可进行实流校准,实流校准应按照附录 B 的规定进行。

附 录 D
(资料性附录)
具备的文件

D.1 概述

除本标准其他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的数据、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。

D.2 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、操作、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第 6 章要求的记录文件;
- r) 流量计系统完全通过 JJG 1030 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) 如第 9 章所述的现场验证测试步骤;
- v) 提交的文件清单。

D.3 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返回到第一个隔离部件(如光电隔离器、继电器、运算放大器等)的所有电子组件的电子接线图,使用户能合理设计接口电路。

D.4 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

(资料性附录)

声学噪声的产生及防治措施

E.1 声学噪声的产生及影响

与气流扰动相关的很多因素,如:高速气流流经管道、突出的探头、流动调整器以及附近工作中的调节阀均可能会产生声学噪声。

当声学噪声的频率范围与流量计的工作频率相近时,就可能会干扰声脉冲检测,从而干扰传播时间的测量。如果流量计不能检测到声脉冲,就不能测量声脉冲在换能器间的传播时间,因此也无法进行流量测量。声学噪声干扰还会引起脉冲“误检测”,导致传播时间的错误测量,从而导致计量误差。

E.2 声学噪声的评估和防治

E.2.1 声学噪声的评估

制造厂规定了超声换能器的工作频率,根据工作频率就能知道特定流量计可能受噪声影响的频率范围。同时,流量计都有自诊断输出,可根据自诊断信息来评估噪声对流量计性能的影响程度。

一般来说,噪声源安装在超声流量计的上游比安装在下游时对流量计的影响要大,即使将调压阀和其他产生噪声的设备安装在流量计的下游,也不能保证对流量计的测量性能不造成影响。

用户应考虑在特定的安装条件下是否会存在噪声干扰,从而在站场设计阶段就采取措施,防止噪声干扰对流量计的性能产生不利影响。应特别注意采用了笼式消声结构设计的调压阀,由于其结构特点,产生的噪声超出了人的听力范围,但其频率往往是超声波频率的倍数。因此,对超声换能器的工作频率有较大的影响。

在考虑流量计的安装位置时,特别是安装在调节阀的附近,应在站场设计阶段对下列因素加以评估:

- a) 调节阀(即噪声源)安装在流量计的上游还是下游;
- b) 流量计与噪声源之间的安装距离;
- c) 流量计与噪声源之间管件的数量和类型;
- d) 流量计超声换能器的工作频率以及噪声源产生的噪声频率范围;
- e) 是否需要增加管件以进一步衰减噪声。

E.2.2 声学噪声的防治

当在噪声源附近安装流量计时,建议用户在最终审定设计图纸前,向制造厂咨询声学噪声的影响。一般来说,可以通过以下方式来减小声学噪声对流量计的影响:

- a) 增强信号处理功能,以提高声脉冲的识别和检测能力;
- b) 信号过滤,以减小检测的带宽,从而更好更快地进行脉冲识别;
- c) 安装盲三通、过滤器等管件将流量计和噪声源隔离。但同时应注意,紧凑连接的盲三通等管件可能会引起流态的畸变;
- d) 研制专用消声器,并将其安装在流量计和噪声源之间,以隔离流量计和噪声源;
- e) 增加噪声源与流量计之间的距离或管件数量。

E.3 调节阀产生的噪声对流量计性能影响的评估

E.3.1 总则

噪声的产生和频谱分布是由调压阀和管路布置决定的。特定频率声学噪声的释放特征可用调压阀权重系数(N_v)来表示。确定了这个调压阀特征参数后,就可定义一个包含流量计、管道安装条件(弯管、三通和/或消声器等)的数学模型,也包括计算调压阀权重系数的方法。为了评估给定条件下声学噪声对流量计性能的影响,应测量或计算以下参数:

- a) 调压阀产生的噪声,与调压计量站工作条件成函数关系;
- b) 调压阀到流量计的噪声传播(N_d);
- c) 流量计的信号强度(p_s);
- d) 得到流量计的信号和噪声的比率,比较流量计所需的最小信号噪声比(δ_{min}),就可以预测声学噪声对流量计性能的影响。

E.3.2 调压阀噪声的测量和计算

调压阀产生的声压和通过调压阀的压降、流量的平方根是成比例的。因此,可用式(E.1)来计算噪声:

$$p_n = N_v \times dp \times \sqrt{q_n} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- p_n —— 调压阀产生的声压,单位为帕(Pa);
- N_v —— 调压阀的权重系数,无量纲;
- dp —— 调压阀产生的压降,单位为帕(Pa);
- q_n —— 标准参比条件下的流量,单位为立方米每小时(m^3/h)。

调压阀权重系数反映了特定频率和位置(上游或下游)的调压阀产生的噪声程度。 N_v 值越大,调压阀产生的噪声就越大。为了确定操作条件下,特定的调压阀和管路布置组合时调压阀的权重系数,需要测量压降、流量和声压。图 E.1 中给出了噪声测量时的安装示意图。

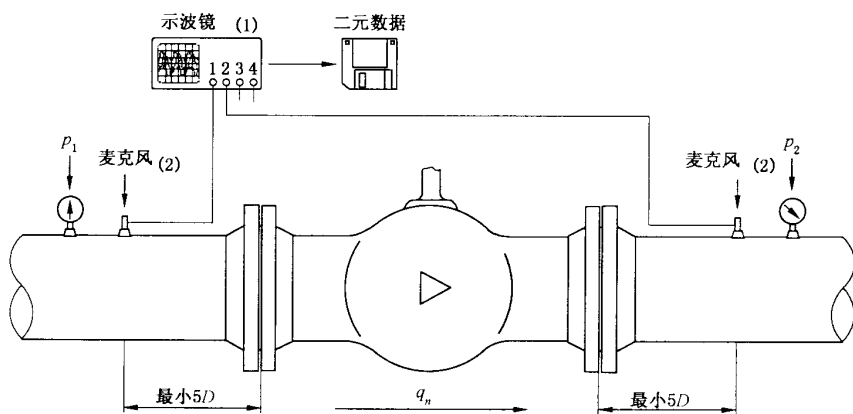


图 E.1 噪声测量安装示意图

安装时,麦克风和调压阀之间的距离可为 $5D$ 或更长,中间的管道是直通的,无弯头和三通等管件。测量时,首先安装麦克风,与管道内壁垂直。在测量噪声相关参数前应首先测量背景噪声,测量背景噪

声时,管道内气体应静止不流动,调压阀前后的压损 Δp 和流量均为零,压力为运行压力。应待操作条件稳定后再进行测量,每次测量至少重复 3~5 次。测量结束后,可再测量一次背景噪声。

E.3.3 从调压阀到超声流量计的噪声传播(N_d)

超声流量计是在高频范围工作,在这个范围噪声很容易传播。为减小高频超声噪声的强度,有必要阻碍声波的传播或让声波经过管壁反射,从而减弱噪声的能量。因此,管道组件(如:弯管和三通或专门开发的消声器等)可用做降低超声噪声。这里,用衰减系数 N_d 来表示从调压阀传到超声流量计的噪声的衰减。

所有的管道组件都可衰减噪声,衰减的程度与频率相关。根据线性系统理论效应,可用一个数字表示在相应频率段内,管道组件对超声噪声的衰减量。表 E.1 给出了噪声频率为 200 kHz 时,不同管道组件对噪声的衰减量。

表 E.1 200 kHz 时管道组件对噪声的衰减量

管道组件名称	系数 N_d	噪声衰减量/dB
90°弯头	0.56	5
45°弯头	0.79	2
三通	0.32	10
两个不同平面的弯头	0.20	14
100 m 直管道	0.56	5

弯头和三通对超声噪声具有明显的衰减作用,而直管道几乎没有降噪作用。当噪声强度超过可接受的限度时,可另外安装弯头或三通作为消声器,或安装专门设计的消声器。

E.3.4 超声流量计的信号强度(p_s)

超声流量计的信号强度适用以下原则:

- 与压力成正比,压力越高信号越强;
- 与声波的传播路径成反比,传播路径越长,信号就越弱;
- 与积分时间或采样的数量成正比,积分时间越长,采样的数量越多,信号就越强。

E.3.5 超声流量计的信噪比

衰减系数 N_d 和调压阀产生的噪声共同产生了在超声流量计处的声压级 $P_{n,meter}$,按式 E.2 计算。

$$P_{n,meter} = N_d \times N_v \times dp \times \sqrt{q_n} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

因此,可导出式(E.3):

$$\delta = \frac{P_{n,meter} \times \sqrt{t}}{N_d \times N_v \times L \times dp \times \sqrt{q_n}} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

- δ ——流量计的信噪比;
- t ——积分时间;
- L ——声道的长度;
- N_d ——噪声衰减系数。

流量计能够工作的最小信噪比 $\delta_{critical}$ 由制造厂给出,当计算得到超声流量计的信噪比 δ 大于等于 $\delta_{critical}$ 时,流量计就能够工作,否则,流量计就会出现故障。

附录 F

(资料性附录)

流量计和流动调整器的性能验证测试

F.1 总则

为使流量计在不同的工作条件下均能够满足第 6 章的性能要求,制造厂应进行性能验证测试,并根据性能验证测试的结果,向用户提供流量计上、下游直管长度的最低要求,并说明是否需要安装流动调整器。

进行验证测试时,应在流量计上游位置安装一套标准的扰流组件(见 F.2.2),用以验证流量计的测量性能。测试安装条件与流量计实际使用的安装条件应尽可能相同。

F.2 性能验证测试步骤

F.2.1 在基本管路安装条件下对流量计组件进行测试

基本管路安装条件即在流量计组件入口处的气体速度分布是充分发展的、对称的、无旋涡扰动的。在此条件下,至少需要在包括最大和最小流量的 5 个流量点下进行测试。如果可能,测试压力应尽可能接近流量计的实际工作压力。

F.2.2 扰流测试

在与基本管路测试相同的 5 个流量点下进行 4 种扰流测试,包括:

- a) 两个紧凑连接、不在同一平面的 90°长半径弯头安装在流量计组件上游,以评估中等旋涡流(旋涡角达到 15°)和非对称速度分布的影响;
- b) 一个弯头安装在流量计组件上游,以评估在无旋涡流情况下,强次生流和非对称速度分布的影响;
- c) 一个半开的闸阀安装在流量计组件的上游,以评估强不对称速度分布的影响;
- d) 在流量计组件上游安装一个类似于涡流产生器的管件,以评估强旋涡流(旋涡角超过 25°)的影响。

以上扰流测试可验证现场可能出现的典型流速分布扰动对流量计测量性能的影响。通过将扰流测试结果与基本管路安装条件下的测试结果进行比较,评价流量计相对示值误差等的变化,从而得到流动扰动对流量计测量性能的影响。

附录 G

(资料性附录)

流量计现场测量性能的监测和保证

G.1 总则

用户应对流量计进行跟踪检查,并充分利用流量计的自诊断功能,或采用串联核查流量计比对的方法,来保证流量计在使用过程中能持续地满足测量性能要求。

G.2 保存关键文件和关键特征参数

用户应收集流量计生产、工厂验收测试、校准(包括重新校准)和现场监测中产生的关键文件和关键特征参数,并以档案的形式保存。

关键文件主要包括以下:

- a) 流量计生产许可证;
- b) 出厂测试证书;
- c) 校准证书;
- d) 流量计参数变化记录;
- e) 流量计组件更换记录;
- f) 检查报告。

关键特征参数主要包括:

- a) 声速随时间的变化曲线;
- b) 增益设置和其他诊断数据的变化趋势;
- c) 与核查流量计相互比对的结果(如果适用);
- d) 日志文件。

G.3 诊断信息的分析

G.3.1 测量声速和理论声速的比较(绝对声速比较)

可通过 AGA Report No.10 提供的方法或其他与其计算结果相同的方法计算出相同工作条件下的理论声速,然后将测量得到的声速与理论声速相比较。利用统计技术监测测量声速和理论声速随时间的变化,根据两者间差异,分析是否存在以下几个方面的问题:

- a) 气体组分波动和分析时间延迟;
- b) 流量计、压力测量、温度测量或气体组分分析设备故障;
- c) 在换能器和/或流量计表体中有沉积物,改变了声道长度。

G.3.2 各声道测量声速的比较(相对声速比较)

三个声道及以上的流量计可通过每个声道声速值的比较对流量计各声道的工作情况进行监测。这种相对声速比较一般都包括在流量计的自诊断信息中,且与气体组分无关,可以在流动状态下进行分析。相对声速比较可用相对声速偏差曲线图表示。图 G.1 为一台 5 声道流量计的相对声速偏差曲线

图,显示了在干标和实流校准时测得的各声道的相对声速偏差。图中,横坐标(声道编号比)按照声道数进行编号,5/1表示声道5与声道1的相对声速偏差,依此类推。流量计声道的结构布置不同,产生的曲线图形状也可能不同。

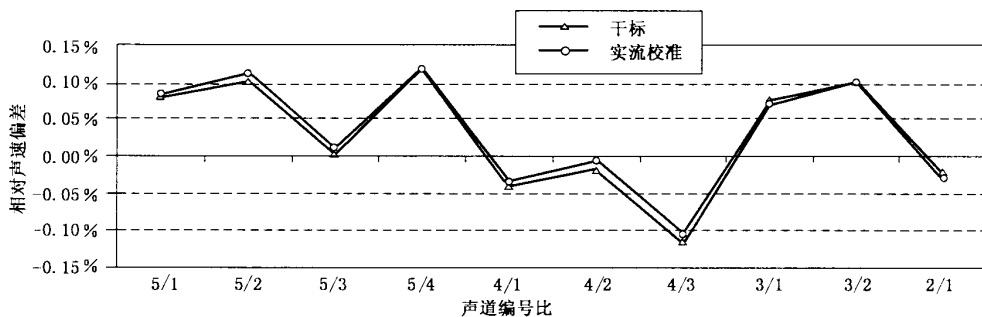


图 G.1 一台 5 声道流量计用氮气干标和实流校准时的相对声速偏差曲线图

相对声速比较随时间的变化趋势可显示流量计声道的故障及可能造成的测量误差。可对出厂测试、实流校准和流量计现场计量时的相对声速偏差曲线图进行比较,以监测流量计的工作状态。

G.3.3 流速比

流量计各声道测量得到的流速之间有着独特的关系,这种关系可反映由管路结构决定的速度剖面。在流量计的正常工作条件下,当流速高于 1 m/s~2 m/s 的时候,各声道测量流速间的比值(即:流速比)不会随着时间产生大的变化。因此,可以利用这一特性来了解各声道是否正常工作。

G.3.4 速度剖面系数

速度剖面系数描述了进入流量计的气体流速剖面的形状。恒定的速度剖面系数表明,流量计每个声道测得的流速之间相关性强,因此测量的质量就能得到保证。

G.3.5 其他参数

除了声速核查这一最重要的参数核查之外,还有许多的参数需要监测,以确保流量计的最佳性能。这些参数的组合可作为形成专用监测系统的基础。表 G.1 是有关自诊断信息分析方法的示例。

表 G.1 自诊断信息分析示例表(pp 代表每个声道)

存在的问题	性能 pp(接收率)	AGC pp	SNR pp	声速 pp	流速 pp
换能器故障	×	×		×	×
信号检测问题	×	×		×	×
超声噪声	×	×	×		
工作状态压力测量故障			×		
工作状态温度测量故障				×	
脏污	×	×		×	×
流速剖面的变化					×
流速过高	×	×	×		

注：“×”表示存在问题。

G.4 核查流量计比对法

可采用核查流量计的方法来对流量计的现场测量性能进行监测。核查流量计和流量计串联安装,可以是永久串联安装或短期串联安装,通过对每个流量计的输出和关键参数进行监测和比较,来确定两台流量计之间的一致性。推荐使用与工作流量计工作原理不同的流量计作为核查流量计。

不论核查流量计是永久还是短期使用,应在计量系统投运前就确定两台流量计之间的工况体积流量或标准参比条件下体积流量差异的控制限,并且在操作中定期检查两台流量计的差异。如果这些差异超过了控制限,那么应首先检查单个流量计是否出现故障,或者是否有外界因素对流量计的测量性能产生了影响。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
用气体超声流量计测量天然气流量
GB/T 18604—2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

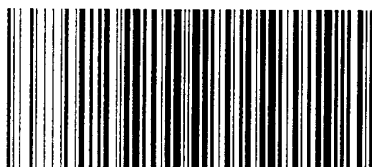
*

开本 880×1230 1/16 印张 3 字数 80 千字
2014年6月第一版 2014年6月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49183 定价 42.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 18604—2014