

ICS 75.180.30
E 98



中华人民共和国国家标准

GB/T 21391—2008

用气体涡轮流量计测量天然气流量

Measurement of natural gas flow by turbine meters

2008-02-02 发布

2008-08-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
4 测量原理	3
5 计量性能	3
6 流量计要求	4
7 安装要求、使用及维护	7
8 流量计算方法及测量不确定度估算	11
附录 A(规范性附录) 实流校准	14
附录 B(资料性附录) 流量计的其他性能特性	21
附录 C(资料性附录) 流量计的现场检验	24
附录 D(资料性附录) 天然气流量计算实例	25

前　　言

本标准与欧洲标准 EN 12261:2002《气体流量计——气体涡轮流量计》的一致性程度为非等效，并参考了 AGA No. 7;2004《测量燃料气体用涡轮流量计》、ISO 9951:1993《密封管道气体测量——涡轮流量计》和 JJG 198—1994《速度式流量计检定规程》的部分内容，同时结合现场使用的实际要求，增加了天然气气体体积和发热量计算的标准参比条件、用涡轮流量计测量天然气流量的防爆要求、一体化智能流量计要求、用涡轮流量计测量天然气流量的计算、压缩因子的计算、不确定度估算、实流校准及其校准后的应用等方面的技术规定。

本标准与 EN 12261:2002 相比主要差异如下：

- 增加了第 4 章“测量原理”、第 6 章“流量计要求”、第 7 章“安装要求、使用及维护”、第 8 章“流量计算方法及测量不确定度估算”；
- 增加了附录 B“流量计的其他性能特征”、附录 C“流量计的现场检验”、附录 D“天然气流量计算实例”；
- 删除了 EN 12261 第 4 章流量计分类、第 5 章和第 6 章中部分型式试验的内容；
- 将一些适用于国际标准的表述改为适用于我国标准的表述。

本标准的附录 A 是规范性附录，附录 B、附录 C 和附录 D 是资料性附录。

本标准由中国石油天然气集团公司提出。

本标准由油气计量及分析方法专业标准化技术委员会归口。

本标准负责起草单位：国家原油大流量计量站成都天然气流量分站。

本标准参加起草单位：中国石油西南油气田分公司。

本标准主要起草人：何衍、苏荣跃、郭绪明、任佳、罗明强、何敏、闵伟、夏寿华、赖忠泽、袁平凡。

本标准为首次发布。

用气体涡轮流量计测量天然气流量

1 范围

本标准规定了用于天然气流量测量的气体涡轮流量计(以下简称流量计)的测量条件、要求、性能、安装、实流校准和现场检查。

流量计所测量的天然气组分应在 GB 17820—1999、GB/T 17747. 1—1999、GB/T 17747. 2—1999 和 GB/T 17747. 3—1999 所规定的范围内, 天然气的真实相对密度为 0.55~0.80。

本标准规定天然气体积流量计量的标准参比条件和发热量测量的燃烧标准参比条件均为绝对压力 p_0 等于 0.101 325 MPa 和热力学温度 T_0 等于 293.15 K。也可采用合同压力和合同温度作为参比条件。

除非特别声明本标准所指的压力均为表压。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件, 其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准, 然而, 鼓励根据本标准达成各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本适用于本标准。

GB 3836. 1—2000 爆炸性气体环境用电气设备 第 1 部分: 通用要求 (eqv IEC 60079-0:1998)

GB 3836. 2—2000 爆炸性气体环境用电气设备 第 2 部分: 隔爆型“d”(eqv IEC 60079-1:1990)

GB 3836. 4—2000 爆炸性气体环境用电气设备 第 4 部分: 本质安全型“i”(eqv IEC 60079-11:1999)

GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)

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(neq ISO 6976:1995)

GB/T 13610—2003 天然气的组成分析 气相色谱法

GB/T 15464 仪器仪表包装通用技术条件

GB/T 17747. 1—1999 天然气压缩因子的计算 第 1 部分: 导论和指南 (eqv ISO 12213-1:1997)

GB/T 17747. 2—1999 天然气压缩因子的计算 第 2 部分: 用摩尔组成进行计算 (eqv ISO 12213-2:1997)

GB/T 17747. 3—1999 天然气压缩因子的计算 第 3 部分: 用物性值进行计算 (eqv ISO 12213-3:1997)

GB 17820—1999 天然气

GB/T 18603—2001 天然气计量系统技术要求

GB/T 18940—2003 封闭管道中气体流量的测量 涡轮流量计 (ISO 9951:1993 ,IDT)

JJG 198 速度式流量计检定规程

SY/T 6143—2004 用标准孔板流量计测量天然气流量

3 术语、定义和符号

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

气体涡轮流量计 turbine gas meter

在气流作用下叶轮受力旋转, 其转速与气体体积流量成函数关系的测量设备。通过流量计的气体体积流量是基于叶轮旋转数得到的。

3.2

量程比 rangeability

q_{\min} 和 q_{\max} 的比值, 即: 在最大允许误差范围内流量计的最小流量和最大流量之比。

3.3

工作压力范围 working pressure range

流量计经过校准后满足计量性能要求的压力范围。

3.4

工作温度范围 working temperature range

满足流量计计量性能要求的温度范围。

3.5

压损 pressure loss

管路中由涡轮流量计引起的不能恢复的压降。

3.6

K 系数 K factor

单位体积流体通过流量计时, 流量计输出的脉冲数。

3.7

分界流量 transition flow rate

低于该流量要采用扩展误差限的流量值。

3.8 符号

本标准中使用的符号和下标见表 1。

表 1 符 号

符号	所代表的量	量纲	单位
C	流量计类型所代表的压损系数	L^{-4}	mm^{-4}
D	流量计的入口/出口管径	L	mm
E	相对示值误差	1	%
G_t	气体相对密度	1	
H_s	标准参比条件质量发热量	$L^2 T^{-2}$	J/kg
\tilde{H}_s	标准参比条件体积发热量	$ML^{-1} T^{-2}$	J/m^3
K	K 系数	L^{-3}	$1/m^3$
M	摩尔质量	MN^{-1}	$kg/(k mol)$
M_f	流量计系数	1	
N	气体摩尔分数	1	
p	绝对静压力	$ML^{-1} T^{-2}$	MPa
q_e	瞬时能量流量	$ML^2 T^{-3}$	MJ/s
q	体积流量	$L^3 T^{-1}$	m^3/s
R	通用气体常数	$L^2 T^{-2} N^{-1} \Theta^{-1}$	$J/(k mol)$
T	热力学温度	Θ	K
t	时间	T	s
u_T	热力学温度测量不确定度	1	
u_Y	绝对静压测量或热力学温度测量的不确定度	1	

表 1(续)

符号	所代表的量	量纲	单位
u_z	压缩因子测量不确定度	1	
u_a	安装引起的附加流量测量不确定度	1	
u_q	流量测量不确定度	1	
u_s	校准用标准装置的流量测量不确定度	1	
u_r	校准数据的 A 类不确定度	1	
V	气体体积	L^3	m^3
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	气体压缩因子		
ρ	天然气密度	ML^{-3}	kg/m^3
ψ	测量范围	1	
ξ_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 N 为物质的量, 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。
注 3: Y_i, Y_k 的量纲与被测物理量相关。
注 4: 下标 f 代表在操作条件下的参数, 下标 n 代表在标准参比条件下的参数, 下标 s 代表在规定条件下的参数, 下标 max 代表最大值, 下标 min 代表最小值, 下标 t 代表分界点。

4 测量原理

4.1 基本原理

涡轮流量计是一种流体流量测量装置,流动流体的动力驱使叶轮旋转,其旋转速度与体积流量近似成比例。通过流量计的流体体积是基于叶轮的旋转数得到的。

4.2 影响测量准确度的因素

流量计的测量准确度主要受下列因素影响:

- a) 轴承的摩擦力大小。
- b) 气体黏度变化。
- c) 气体密度变化: 气体密度变化可能带来流量计的范围度、压力损失以及准确度的变化。
- d) 流体温度、压力的变化: 当工作时流体的温度、压力与校准或检定的温度、压力有显著不同时, 将引起系数的变化。
- e) 介质脏污的影响。
- f) 管道安装结构的影响。
- g) 脉动流的影响。应尽量把流量计设置在远离脉动的地方, 或者在脉动源后附加脉动衰减器。

5 计量性能

5.1 概述

每一台流量计应按第 6 章进行检验, 应单独进行校准, 并应遵守本标准第 7 章的技术要求。用于不同压力下天然气流量测量的流量计, 宜按附录 A 进行实流校准。

5.2 误差

5.2.1 流量计误差要求

操作条件下流量计的误差应小于表 2 规定的最大允许误差。其中,分界流量参考表 3 规定。

表 2 最大允许误差

流量 q	最大允许误差
$q_{\min} \leq q < q_t$	±2%
$q_t \leq q \leq q_{\max}$	±1%

表 3 分界流量 q_t

量程比	q_t
1 : 10	0.20 q_{\max}
1 : 20	0.20 q_{\max}
1 : 30	0.15 q_{\max}
$\geq 1 : 50$	0.10 q_{\max}

5.2.2 一体化智能流量计误差要求

一体化智能流量计在其指定的流量范围内,其误差应不大于±1.5%。

5.3 重复性

每台流量计各流量点操作条件下流量的重复性应不超过流量计最大允许误差的 1/3。一体化智能流量计的重复性应不超过流量计最大允许误差的 1/2。

5.4 校准

应根据用户规定的工作压力,对流量计在一个或多个压力下进行校准。如果流量计在校准压力 p_{test} 下进行校准,那么该流量计适合的工作压力范围为 $0.5 p_{test} \sim 2.0 p_{test}$ 。流量计 p_{test} 的选择见附录 A。

5.5 短期过载

流量计应能在 $1.2 q_{\max}$ 流量下运行 30 min 不损坏,并且不影响流量计的性能。

5.6 工作温度范围

满足流量计性能要求的气流温度范围至少应为 $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

5.7 安装条件

安装条件对流量计的影响应不大于表 2 规定的最大允许误差的 1/3。安装条件对流量计的影响试验参见 GB/T 18940—2003 附录 E 进行。

5.8 最大允许压损

生产厂家应提供各种类型和口径的流量计或流量计组件的压损数据。更详细的内容参见附录 B。

6 流量计要求

6.1 总则

相同型号、相同压力等级和相同类型的流量计和元件应能互换。

流量计的外表面应具备防雨水、抗腐蚀和外力冲击等的能力。

与气流直接接触的流量计的轴承和机械驱动装置应采取保护措施以防止气流中的杂质进入。

流量计的所有内部元件应选用几何尺寸稳定的材料制造,并应采取保护措施以防被测气体的腐蚀。

以上的要求应通过目测来评定,必要时宜通过仪器进行检测。

6.2 耐压强度及严密性

6.2.1 耐压强度

流量计出厂前,其承压部件应按有关标准进行强度试压,并由生产厂家提供合格证书。

6.2.2 严密性

生产厂家应提供组装好的流量计按相关标准进行泄漏试验合格的证书。

6.3 流量计的连接和长度

流量计的入口和出口连接应符合认可的标准。

流量计的入口连接端和出口连接端之间的长度应不大于 $5D$ 。

6.4 取压口

取压口的设计应确保连接端不伸入气流中。

流量计上任何压力测试点或取压口均应配置适当的密封件。

6.4.1 测量取压口

流量计上通常应至少提供一个测量取压口,以便能在测量条件下测量涡轮叶轮处的静压。该取压口用“ p_m ”标识,如果流量计上有多个“ p_m ”取压口,则在用常压(± 10 kPa)下的空气作测试时,各取压口压力读数的差值应不超过 50 Pa。

6.4.2 其他取压口

流量计上用于其他目的的取压口应用“ p ”标识。

6.4.3 尺寸

圆形取压口直径应在 3 mm~12 mm 之间,其长度最小应等于孔径。此外,其他均应符合 SY/T 6143—2004 的规定。

槽形取压口在流动方向上尺寸应至少为 2 mm,最大尺寸为 10 mm,横截面积应不超过 80 mm²,且最小横截面积为 10 mm²。

6.5 可拆卸的流量计机芯

6.5.1 完整性

具有可拆卸机芯的流量计,其拆卸和更换应不影响流量计的结构和完整性,并应符合 6.2.2 的严密性要求。

6.5.2 性能

流量计的可拆卸机芯在同型号和同口径的流量计上反复更换或拆卸后,仍应保证其性能。

流量计的可拆卸机芯应有唯一的编号,并被清晰地标在流量计外表面。

每一种流量计的可拆卸机芯应能密封,未经许可不得擅自拆卸。

6.6 润滑

为使流量计运行良好,其结构应使所需的任何润滑装置密封不泄漏,可采用永久性免维护方式或外部加注泵的形式。

当使用外部润滑油时,厂家应标明加注润滑油的类型和数量。当加注正确时,无论自动加注或手动加注,流量计的操作或性能不应受润滑剂的影响。

润滑油泵应能承受在流量计额定状态下的最大设计压力。

润滑系统的设计应考虑防水。

6.7 电气安全

流量计的所有电气部件应当进行严格的测试和老化处理。流量计应具备接地装置。流量计的防爆等级应符合 GB 3836.1—2000 的规定,隔爆型应符合 GB 3836.2—2000 的规定,本质安全型应符合 GB 3836.4—2000 的规定,其他防爆型式的流量计应符合相应的专用标准规定。

电缆护套、橡胶、塑料和其他裸露部分应当耐紫外光、油脂、高温和阻燃。

6.8 输出和显示

流量计的输出和显示应符合 GB/T 18940—2003 第 9 章的规定。

6.9 流量计标志

6.9.1 概述

下列标志和铭牌应被固定在流量计上。在正常使用条件下,这些标志应清晰可见、不易损坏。当流量计处于正常工作位置时,标志和铭牌是可见的。

6.9.2 铭牌

流量计铭牌应至少标有以下内容:

- a) 名称;
- b) 出厂编号;
- c) 最大工作压力;
- d) 公称直径;
- e) 操作条件下的流量范围;
- f) 防爆等级和防爆合格证标志。

6.9.3 流动方向

气体流动的方向应有明显的永久性标志。

6.9.4 安装方式

应标示出流量计的安装方式。

6.9.5 其他连接

驱动杆、电脉冲发生器、压力和温度取样口都应有清晰的、不易磨损的标志。

6.10 外观质量

流量计外表应整洁、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;

所有文字、符号和标志应清晰、不易脱落。

6.11 适应环境的能力

流量计外壳、指示设备、铭牌和外部元件应能抵抗气候影响(阳光、湿度和温度变化)和在使用过程中的常规清洗剂的影响。

流量计外壳防护要求应符合 GB/T 4208 的规定,至少应达到 IP65 的等级要求。

6.12 运输和储存

流量计的连接端面应妥善保护,以防止在运输和储存过程中其他杂质进入流量计或损坏连接端面。

流量计包装应符合 GB/T 15464 的规定,对 DN100 或以上的带连接件的流量计,在运输中应确保将流量计固定在包装箱内。

流量计经运输和安装过程中的搬运后仍应符合第 5 章的计量性能要求和 6.2.2 的密封性要求。

6.13 流量积算

流量计应具备体积流量积算的功能。对一体化智能流量计还应具备自动采集流体压力、温度和实时计算标准参比条件下的体积流量的能力。

当天然气的真实相对密度偏离设计密度造成不能接受的偏差、组分变化较大或必须进行精确计算时,应缩短气体组分取样分析周期或采用在线组分分析仪,对计量结果进行修正。

6.14 一体化智能流量计

6.14.1 概述

一体化智能流量计是集流量测量、压力测量、温度测量、温压修正、压缩因子修正和流量积算一体的流量计。一般应具备以下功能:

——就地显示被测介质的压力、温度、标准参比条件下的瞬时流量和累计流量;

- 实时远传相关数据；
- 数据存储功能；
- 参数设置及管理权限设置。

对用于温、压修正，压缩因子修正等的计量数学模型或软件应进行使用后确认。

6.14.2 压力传感器

压力传感器取压口应符合 6.4 的规定，压力传感器可直接安装在取压口上，但应确保不伸入气流中。

6.14.3 温度传感器

温度传感器应安装在流量计叶轮的下游端，其离叶轮的距离应小于 $5D$ ，伸入管道公称内径大约 $1/3$ 处，但长度不能超过 150 mm。

6.14.4 输出

应能显示压力、温度、标准参比条件下的瞬时体积流量和标准参比条件下的体积极积流量。若具备远传通讯功能，则应提供通讯协议和接口形式。流量计至少应能存储一年内每个月的累积流量和最近 300 次的瞬时流量数据（一般包括时间、压力、温度、瞬时标准参比条件下的体积流量和标准参比条件下的体积极积流量）。

6.14.5 电源

电源可采用内电源供电或外电源供电，如果采用内电源供电则电池应能连续工作一年以上。外电源供电一般宜采用直流，其电压应不超过 24 V。

6.14.6 其他要求

计量性能应符合第 5 章要求。其他应符合第 6 章其他条款的规定。

7 安装要求、使用及维护

7.1 安装环境

7.1.1 温度

流量计使用的外界环境温度应在 $-25^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 之间，如果超出上述温度范围，应向生产厂提出专门的要求。同时应根据安装点具体的环境及操作条件，对流量计采取必要的隔热、防冻及其他保护措施（如遮雨、防晒等）。

7.1.2 振动及脉动

流量计的安装应尽可能远离振动和脉动流的测量环境。

7.1.3 其他

在安装流量计及其相关的连接导线时，应避开可能存在电磁干扰或较强腐蚀性的环境，否则应咨询生产厂家并采取必要的防护措施。

选择的安装位置应便于流量计的维护及检修。

7.2 管道配置

7.2.1 最小直管段长度

7.2.1.1 直通式流量计的推荐安装方式见图 1。流量计上游宜具有最短 $10D$ 的直管段长度，流动调整器出口到流量计入口的直管段长度为 $5D$ ，流量计下游宜具有最短 $5D$ 的直管段。

典型计量管路的推荐安装方式见图 2。上游配管或下游配管管径减少值应不大于 $1D$ 。流量计运行过程中其上游阀门应全开。过滤器或过滤筛应保持清洁。

7.2.1.2 当不能满足按图 1 进行安装所需空间的情况下，可按下述方式进行安装。

——如果空间受到限制，可如图 3 所示使用短管安装方式。流量计应内置一体化流动调整器。流动调整器安装在流量计上游，最小直管段长度为 $4D$ ，流动调整器出口到流量计入口的直管段长度应不小于 $2D$ 。流量计可通过弯管或三通与立管相连，弯管和立管之间的最大缩径为立管

公称直径的一倍。阀、过滤器或过滤筛可安装在立管上。

- 如果空间受到限制,可如图 4 所示使用紧凑连接安装方式。流量计应内置一体化流动调整器。流量计可通过弯管或三通与立管相连。弯管和立管之间的最大缩径为立管公称直径的一倍。阀、过滤器或过滤筛可安装在立管上。
- 流量计内置流动调整器如图 5 所示。其结构满足 $H/D < 0.15$, $S/L < 0.35$ 。

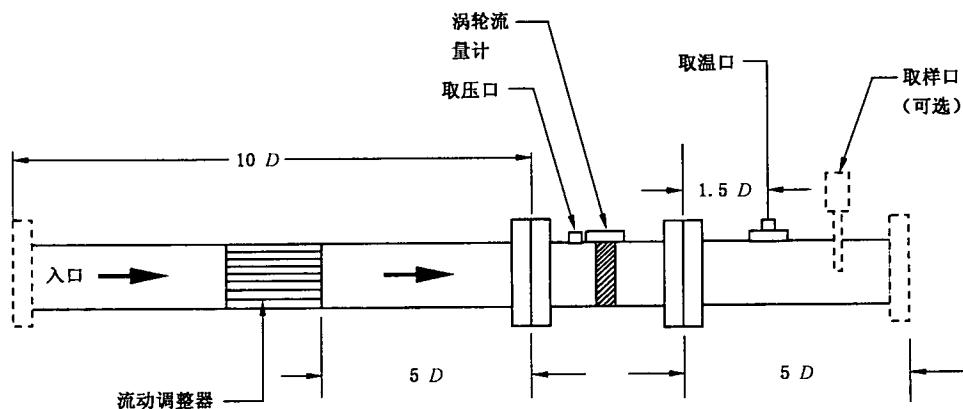


图 1 直通式流量计的安装配置

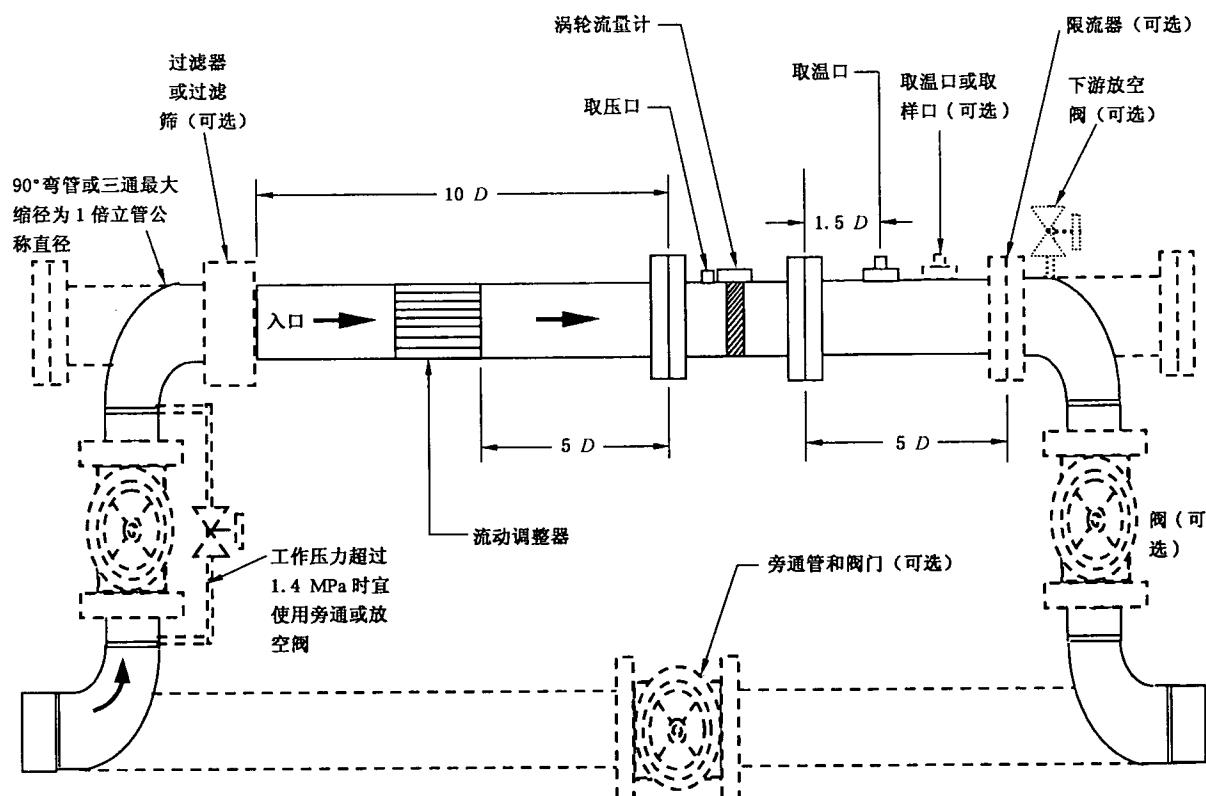
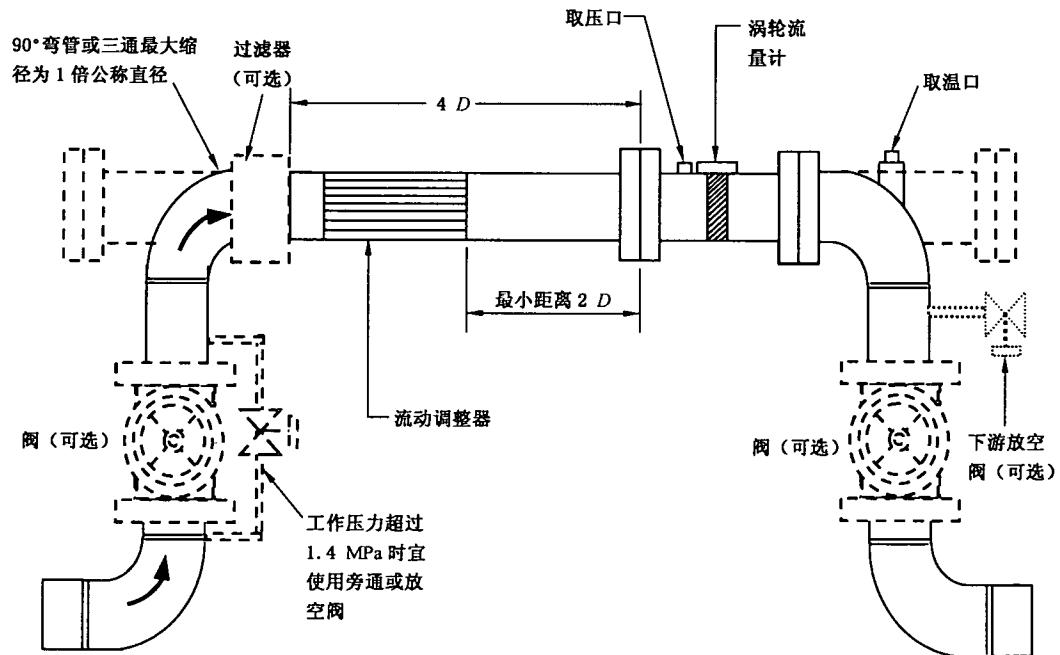
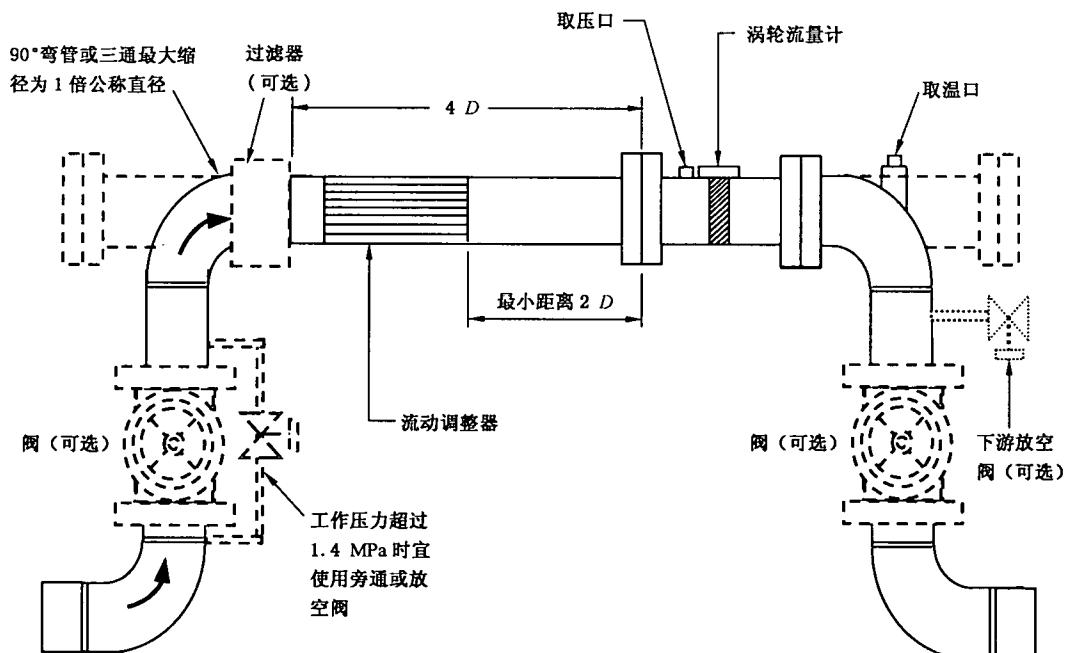


图 2 带辅助设备的直通式流量计的安装配置



注：涡轮流量计应内置流动调整器。

图 3 短管安装方式



注：涡轮流量计应内置流动调整器。

图 4 紧凑连接安装方式

内置流动调整器前鼻锥

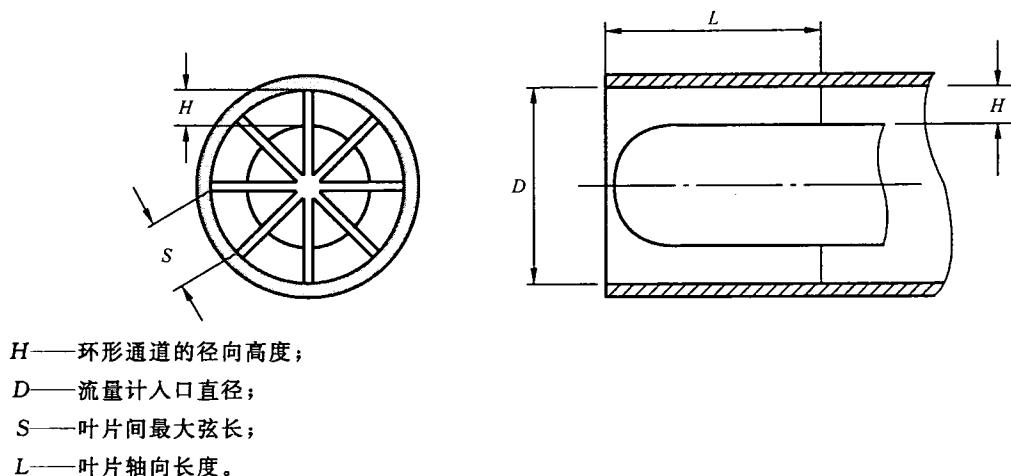


图 5 内置流动调整器的尺寸参数

7.2.2 突入物

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±1%以内；流量计及其紧邻的直管段在组装时应同轴，并保证其内部流通通道的光滑、平直，不得在连接部位出现台阶及突入的垫片等扰动气流的障碍。

7.2.3 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机械杂质等附属物。使用中也应保持介质流通通道的干净与光滑。

7.2.4 测温口

当流量计带有测温套、温度计套管或温度传感器时，应将其视为流量计的一部分。它们在流量计校准前应安装完毕，其插入深度按 6.14.3 规定。

若流量计本体上不带有测温孔，推荐在流量计下游直管段上测量温度，其离叶轮的距离宜在 $5D$ 内，尽可能靠近流量计，且在任何出口阀或限流器的上游。

7.2.5 安装方式

流量计宜水平安装并且进、出口不得反装，其他安装方式应咨询生产厂家。

7.2.6 过滤器或过滤筛

在气质较脏的场合，应在流量计的上游安装效果良好的气体过滤器或过滤筛。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，并尽可能减少流态畸变。

7.2.7 旁通

对于重要的计量回路，可设置备用计量旁通，并能够对旁通装置检漏。

7.2.8 放空阀

如果流量计下游安装有放空阀，其尺寸不得大于流量计公称直径的 $1/6$ ，以避免排气时叶轮超速导致流量计的损坏。

7.2.9 限流器

在现场，当有足够的压力可以利用时，宜在流量计管线下游安装一台临界流孔板或者一台临界流文丘利喷嘴，并限制它的尺寸，使实际流速接近流量计最大额定速度的 1.2 倍，以避免流量计受到超高速天然气气流的冲击。

7.2.10 在线实流校准接口

在重要计量场合或供需双方有合同约定时，可预留在线实流校准接口用于在线校准。在线校准标准表宜安装在被校表的下游，并留有适宜的空间。

7.2.11 其他安装要求

安装流量计和测量管路时应尽量减小管路安装时产生的应力。

在有液体的地方,应采取措施防止液体积聚。

不应在靠近流量计的地方施焊,以防损坏流量计内部的构件。

7.3 使用

流量计在开始安装前,特别是安装在新管路或经维修的管路上时,首先应清扫管路,去除所有堆积的渣、铁锈及其他管路碎屑。在进行所有流体静压试验和清扫管路操作期间,应拆下流量计或流量计机芯,以避免测量部件的损坏。

流量计应缓慢地加压和启动,快速打开阀门产生的冲击通常会损坏流量计的叶轮。

流量计不宜用在频繁中断和/或有强烈脉动流或压力波动的场合。

7.4 维护和检查周期

应根据生产厂家建议的润滑油加注周期,数量和品种对流量计的叶轮进行维护。

在使用过程中,宜通过监视过滤器两端的差压来防止流动异常或供气中断,并应定期进行污物排放和滤芯清洗。

流量计检查周期取决于气质状况,应结合运行情况确定适当的检查周期。

对流量计的现场检查参见附录 C。

8 流量计算方法及测量不确定度估算

8.1 体积流量计算

8.1.1 操作条件下的体积流量计算实用公式[见式(1)]

$$q_f = \frac{f}{K} \quad (1)$$

式中:

q_f ——操作条件下的体积流量,单位为立方米每秒(m^3/s);

f ——输出工作频率,单位为赫兹(Hz),由频率计采集得到;

K —— K 系数,单位为每立方米(m^{-3}),可按流量计铭牌上给出值,或翻查流量计参数设置值,或检定证书或校准证书给定值。

8.1.2 标准参比条件下的体积流量实用公式[见式(2)]

$$q_n = q_f \left(\frac{p_f}{p_n} \right) \left(\frac{T_n}{T_f} \right) \left(\frac{Z_n}{Z_f} \right) = q_f F_z^2 \left(\frac{p_f}{p_n} \right) \left(\frac{T_n}{T_f} \right) \quad (2)$$

式中:

q_n ——标准参比条件下的体积流量,单位为立方米每秒(m^3/s);

p_f ——操作条件下的绝对静压力,单位为兆帕(MPa);

Z_f ——操作条件下的气体压缩因子;

T_f ——操作条件下的气体绝对温度,单位为开(K);

p_n ——标准参比条件下的绝对静压力,单位为兆帕(MPa);

Z_n ——标准参比条件下的气体压缩因子;

T_n ——标准参比条件下的气体热力学温度,单位为开(K);

F_z ——天然气超压缩系数。

天然气超压缩系数 F_z 是因天然气特性偏离理想气体定律而导出的修正系数,其定义式见式(3):

$$F_z = \sqrt{\frac{Z_n}{Z_f}} \quad (3)$$

8.1.3 天然气压缩因子计算

本标准推荐按以下方法确定天然气压缩因子 Z 或超压缩系数 F_z 值:

8.1.3.1 当天然气计量系统符合 GB/T 18603—2001 表 A.1 准确度为 A、B 级要求时,应按 GB/T 17747.1~GB/T 17747.3—1999 计算压缩因子值,其中标准参比条件下的气体压缩因子 Z_n 也可按 GB/T 11062—1998 计算。

GB/T 17747.1~GB/T 17747.3—1999 提供了以摩尔组成数据(见 GB/T 17747.2—1999)和物性值数据(见 GB/T 17747.3—1999)为基础进行压缩因子计算的两个方程。编程用数学模型参见 GB/T 17747.2—1999 或 GB/T 17747.3—1999。

标准参比条件下的气体压缩因子 Z_n 也可按 GB/T 11062—1998 确定,其值按式(4)计算:

$$Z_n = 1 - \left(\sum_{j=1}^n X_j \sqrt{b_j} \right)^2 \quad (4)$$

式中:

$\sqrt{b_j}$ ——天然气 j 成分的求和因子,可由 SY/T 6143—2004 表 A.3 查取。

8.1.3.2 当天然气计量系统为非贸易计量系统或属于符合 GB/T 18603—2001 表 A.1 准确度为 C 级要求时,可按 AGA NX-19 计算 F_z 值。计算方法和公式可参见 SY/T 6143—2004 附录 A.1。

8.2 质量流量计算

质量流量由式(5)计算:

$$q_m = q_n \times \rho_n \quad (5)$$

式中:

q_m ——瞬时质量流量,单位为千克每秒(kg/s);

ρ_n ——标准参比条件下的天然气密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

8.3 能量流量计算

能量流量可以通过体积流量或质量流量与发热量 \tilde{H}_s 或 H_s 的乘积计算得到。

按体积流量计算的公式见式(6):

$$q_e = q_v \times \tilde{H}_s \quad (6)$$

按质量流量计算的公式见式(7):

$$q_e = q_m \times H_s \quad (7)$$

式中:

q_e ——瞬时能量流量,单位为兆焦每秒(MJ/s);

\tilde{H}_s ——标准参比条件下天然气的体积发热量,可采用直接测量或按 GB/T 11062—1998 计算,单位为兆焦每立方米(MJ/m³);

H_s ——标准参比条件下天然气的质量发热量,可采用直接测量或按 GB/T 11062—1998 计算,单位为兆焦每千克(MJ/kg)。

8.4 测量不确定度估算

8.4.1 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(8)和式(9)估算标准参比条件下流量测量综合不确定度:

$$u_{q_n} = \sqrt{u_{q_f}^2 + u_{p_f}^2 + u_{T_f}^2 + u_{Z_f}^2 + u_{Z_n}^2 + u_{\rho_n}^2} \quad (8)$$

$$U_{q_n} = 2u_{q_n} (95\% \text{ 的置信概率}) \quad (9)$$

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不确定度;

u_{q_f} ——操作条件下的流量测量不确定度,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不确定度;根据使用的静压测量仪表性能按式(12)估算;

u_{T_f} ——操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(12)估算;

u_{z_i} ——操作条件下的压缩因子测量不确定度,压缩因子计算方法若采用 GB/T 17747.2—1999 或 GB/T 17747.3—1999,则取 0.1%,采用 AGA.3 NX-19 则取 0.5%;

u_{z_0} ——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—2003 规定进行,并使用二级标准气体时,可取 0.3%;

u_a ——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 $1/3$ 。

8.4.2 质量流量测量不确定度估算

根据式(8)可用式(10)估算标准参比条件下质量流量测量综合不确定度:

扩展不确定度参照式(9)计算。

u_{p_0} ——标准参比条件下的密度计算不确定度,按 GB/T 11062—1998 计算可取 0.3%。

8.4.3 能量流量测量不确定度估算

根据式(8)可用式(11)估算标准参比条件下能量流量测量综合不确定度:

扩展不确定度参照式(9)计算。

$u_{\bar{H}}$ ——标准参比条件下的发热量计算不确定度,按 GB/T 11062—1998 计算可取 0.05%。

8.4.4 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(12)估算:

式中：

u_y ——绝对静压测量或热力学温度测量的不确定度；

ξ —静压测量仪表或温度测量仪表的准确度值等级；

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
(规范性附录)
实流校准

A.1 概述

用于天然气贸易计量的流量计在使用前、修理后和使用中达到检定周期时应按 JJG 198 进行检定。在流量计检定合格的基础上,对用于不同压力下天然气流量测量的流量计,可根据用户要求按本附录进行实流校准,以减少流量计的测量误差。在有条件的情况下可进行在线实流校准。

A.2 校准条件

A.2.1 标准装置的技术要求

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。

标准装置的不确定度应不大于被校流量计最大允许误差限的 1/2。

A.2.2 严密性

校准前,应将被校流量计安装在校准装置上一起进行严密性试验。试验介质为空气、天然气等气体,试验压力至少应为最高校准压力且小于被校流量计的最大工作压力。在试验压力下至少稳压 15 min,经检查无泄漏为合格。

A.2.3 安装条件

校准时的安装应符合 7.2 的要求。

流量计取压口和温度计插孔应满足 6.4 和 7.2.4 的要求。

A.2.4 实流校准流体

根据实际情况,实流校准流体可采用天然气或其他气体,流体能自由流动且没有凝液、油污和粉尘,其组分应基本稳定。校准时的雷诺数范围宜与流量计实际使用时的雷诺数范围相近。

如使用天然气进行实流校准,则其气质应至少符合 GB 17820—1999 二类气的要求,其物性参数值应采用 GB/T 17747.1~GB/T 17747.3—1999 和 GB/T 11062 中相关条款进行计算。

A.2.5 环境条件

实流校准时的环境温度一般为 -25℃ ~ 55℃,相对湿度一般为 5% ~ 95%,大气压力一般为 86 kPa~106 kPa。

实流校准应在压力、温度和流量稳定后进行。

实流校准应避免外界磁场和机械振动的影响。

A.2.6 由客户提供的信息

客户宜提供流量计使用条件的相关信息,即:工作压力范围、工作温度范围以及工作介质等。

A.3 实流校准内容和方法

A.3.1 随机文件及外观检查

实流校准前应对流量计的外观进行检查。

流量计应附有说明书、出厂证书(或上一次检定证书或校准证书)和其他有关技术指标文件,流量计表体上的铭牌和流量计外观质量符合 6.9 和 6.10 的要求。

A.3.2 实流校准内容

实流校准前应首先确定校准流量和校准压力,根据校准数据确定流量计的校准系数,运用校准系数对流量计进行调整,如:更换机械输出装置的变速齿轮、修正 K 系数、提供流量计系数等,最后对校准后

的结果进行验证。

A.3.3 校准流量及压力的确定

A.3.3.1 校准流量

实流校准时,应结合表 A.1 和流量计的实际工作流量范围确定测试流量点。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,一般来说,校准雷诺数宜达到流量计实际使用雷诺数的一半。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±5%。

表 A.1 校准流量点

量程比	1 : 10	1 : 20	1 : 30	1 : 50
用 q_{max} 倍数表示的校准流量点				0.02
			0.03	
	0.05	0.05	0.05	0.05
	0.1	0.1	0.1	
				0.15
	0.25	0.25	0.25	0.25
	0.4	0.4	0.4	0.4
	0.7	0.7	0.7	0.7
	1.0	1.0	1.0	1.0

A.3.3.2 校准压力

- a) 对用户规定的工作压力小于或等于 0.4 MPa 的流量计,可在常压(±10 kPa)下进行校准。校准结果适用于工作压力 0 MPa~0.4 MPa 范围内。
- b) 对用户规定的工作压力大于 0.4 MPa 的流量计,需在一个或多个压力下进行校准。

如果用户规定的工作压力范围的上限值小于或等于 4 倍下限值,那么仅需在 p_{test} 下对流量计进行校准。校准结果适用于工作压力 $0.5p_{test} \sim 2.0p_{test}$ 范围内。

这里: p_{test} 表示流量计的校准压力(表压)。

例 1:(仅需在一个压力下进行校准)

如果用户规定的工作压力为 0.5 MPa,流量计在 $p_{test} = 0.5$ MPa 下进行校准,那么该校准结果适用的工作压力范围为 $0.25 \text{ MPa} \sim 1.0 \text{ MPa}$ 。

例 2:(仅需在一个压力下进行校准)

如果用户规定的工作压力范围为 $1.5 \text{ MPa} \sim 3.5 \text{ MPa}$,流量计在 $p_{test} = 2.0$ MPa 下进行校准,那么该校准结果适用的工作压力范围为 $1.0 \text{ MPa} \sim 4.0 \text{ MPa}$ 。

如果用户规定的工作压力范围的上限值大于 4 倍下限值,需分别在 $p_{test min}$ 和 $p_{test max}$ 两个压力下对流量计进行校准。校准结果适用于工作压力 $0.5p_{test min} \sim 2.0p_{test max}$ 范围内。

这里: $p_{test min}$ 、 $p_{test max}$ 分别表示流量计的最小和最大校准压力(表压)。

例 3:(需在两个压力下进行校准)

如果用户规定的工作压力范围为 $0.3 \text{ MPa} \sim 1.5 \text{ MPa}$,就需在两个压力下进行校准。但是,并不止一种方式能满足这些条件。如果流量计在 $p_{test min} = 0.4$ MPa, $p_{test max} = 0.8$ MPa 下进行校准,那么该校准结果适用的工作压力范围为 $0.2 \text{ MPa} \sim 1.6 \text{ MPa}$ 。如果用户规定的工作压力范围为 $0.3 \text{ MPa} \sim 1.5 \text{ MPa}$,但建议该流量计通常在 1.0 MPa 下工作,那么应分别在 $p_{test min} = 0.4$ MPa 和 $p_{test max} = 1.0$ MPa 下进行校准,且该校准结果适用的工作压力范围为 $0.2 \text{ MPa} \sim 2.0 \text{ MPa}$ 。如果用户有特殊要求,应对流量计作进一步的校准。

注: p_{test} 可根据校准装置的实际情况和用户的要求选择,只要用户规定的工作压力(或压力范围)在 $0.5p_{test} \sim 2.0p_{test}$ 或 $0.5p_{test min} \sim 2.0p_{test max}$ 范围内,就能满足要求。

A. 3. 4 测试次数及时间

在校准时,每个流量点应至少测试3次,在条件允许的情况下应测试6次,并取各次测试值的算术平均值作为该测试点的测量结果。每次数据采集时间不得小于60 s。

A.3.5 预运行

实流校准前,整个校准系统应在最大流量下预运行至少 5 min,待压力、温度和流量稳定并达到 A. 2. 2 的要求后才能进行校准。

A.3.6 采集的数据

在每次测试过程中，应采集流量计和标准装置的相关参数。

A.4 校准后的修正

A. 4. 1 机械输出装置中齿数比的修正计算

对于带有机械输出装置的流量计,可将机械输出装置中的一对变速齿轮更换为不同齿数比的另一对变速齿轮,以修正流量计机械输出装置显示的流量值。修正后的齿数比可按式(A.1)~式(A.6)计算。

$$E_{ic} = \left[\frac{q_i}{(q_s)_i \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{(q_s)_i}} - 1 \right] \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (A.3)$$

式中：

ΔE ——修正后流量计的相对示值误差偏移量, %;

E_{ic} ——修正后,第*i*校准点流量计的流量相对示值误差,%;

E_i —第 i 校准点流量计的流量相对示值误差, %;

$(q_s)_i$ ——第 i 校准点标准装置的流量示值, 单位为立方米每秒(m^3/s);

q_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时流量计的流量示值, 单位为立方米每秒(m^3/s);

$(q_s)_{ij}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准装置的流量示值(与流量计相同工况条件下的流量),单位为立方米每秒(m^3/s);

n —第 i 校准点的测试总次数。

A. 4. 2 电子脉冲发生装置 K 系数的修正计算

通过校准,可以在流量计全量程范围内得到一个 K 系数(可取每个流量点 K 系数的算术平均值)或对每个流量点得到一个 K 系数,这个或这些 K 系数可被输入到流量计的二次仪表中,以对流量输出进行修正。每个流量点的 K 系数可按式(A.7)~式(A.9)计算。

或

式中：

K_i ——第 i 校准点流量计的 K 系数, 单位为每立方米(m^{-3});

K_{ii} ——第 i 校准点第 j 次校准时流量计的 K 系数, 单位为每立方米(m^{-3});

K_0 ——上一次检定证书或校准证书上给出的 K 系数, 单位为每立方米(m^{-3});

f_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准的流量计输出的频率值,单位为赫兹(Hz)。

A. 4. 3 流量计系数的计算

校准后,也可提供流量计系数来对流量计机械装置或电子脉冲发生装置的输出进行修正,流量计系数的计算见式(A.10)。

七

(M_i) —第 i 校准点的流量计系数。

可采用算术平均法、流量加权平均法及多项式拟合法对各流量点的流量计系数进行处理,得到最终的流量计系数 M_f 。

A.4.4 流量加权平均误差修正方法

根据实际情况的不同,确定校准系数有多种方法。如果流量计的流量输出在其工作流量范围内是线性的,那么采用流量加权平均误差法能有效地减小流量计的测量不确定度。如果流量计的输出是非线性的,还可采用更复杂的误差修正技术。下面介绍通过流量加权平均误差法计算单校准系数,从而对流量计的测量误差进行修正的方法。

采用式(A.4)中得到的误差值计算 E_{FWM} , 并应在每一个 p_{test} 下计算一个 E_{FWM} 和单校准系数 F (流量加权平均误差法的计算实例见 A.4.9)。

E_{FWM} 按式(A.11)计算:

$$E_{\text{FWM}} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i/q_{\max}) E_i}{\sum_{i=1}^n (q_i/q_{\max})} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{A.11})$$

武中

E_i —第*i*校准点流量计的相对示值误差, %;

a_i —第 i 校准点流量计的流量示值, 单位为立方米每时 (m^3/h);

q_{max} —流量计的最大工况流量,单位为立方米每时(m^3/h)。

注: q_i/q_{\max} 为第 i 校准点权重系数, 用 m_{pi} 表示; 当 $q_i = q_{\max}$ 时, 权重系数取 0.4。可根据流量计实际运行的流量范围对权重系数进行调整。

A.4.5 单校准系数的计算

单校准系数 F 按式(A.12)计算:

A.4.6 修正后的误差计算

在修正后,应以式(A.4)中得到的 E_i 值为基础计算出另一个经加权平均修正后的相对示值误差 $E_{i,F}$,再按式(A.11)计算一个新的 E_{FWM} 值,并核查 E_{FWM} 的值是否接近零。 $E_{i,F}$ 按式(A.13)计算:

A.4.7 校准后K系数和流量的计算

校准后流量计 K 系数按式(A.14)计算:

式中：

K_{i_0} —流量计出厂时的 K 系数或上一次校准后的 K 系数。

通过校准得出新的 K 系数可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 K 系数在下次校准前不得作任何修改。

校准后流量计的流量按式(A-15)计算:

武中。

q_{i0} —流量计,第 i 校准点的流量,单位为立方米每时 (m^3/h)。

A.4.8 修正的要求

对仅需一次校准的流量计,修正后应尽可能使 E_{sym} 趋近零。

当流量计在不同压力下进行校准后,应用在最靠近用户规定的工作压力下得到误差值进行 E_{FWM} 计算,并用于修正。在没有规定工作压力的情况下,需要用两个 E_{FWM} 的平均值进行修正,即:

利用由式(A.4)计算得出的值画出两条全雷诺数范围内的示值误差曲线,用在相同雷诺数、但不同压力下得到的两个加权平均误差的算术平均值作为用于计算单校准系数 F 的 E_{FWM} 值,以有效地消除测量误差。

A.4.9 流量加权平均误差法计算实例

以一台 DN80 的涡轮流量计的实流校准数据为例,介绍流量加权平均误差系数的误差修正方法。

表 A.2 一台 DN80 滚轮流量计的实流校准数据

推荐的测试流量点	推荐点的测试流量/ (m ³ /h)	标准装置实际流量/ (m ³ /h)	流量计实际流量/ (m ³ /h)	流量计误差/ %
q_{\min}	16	16.14	16.09	-0.29
$0.25 q_{\max}$	40	40.89	40.77	-0.31
$0.4 q_{\max}$	64	63.89	63.91	0.03
$0.7 q_{\max}$	112	112.41	111.95	-0.41
q_{\max}	160	158.16	158.43	0.17

将表 A-2 中测试数据代入式(A-11), 计算结果如表 A-3 所示

表 A.3 流量计 E —计算汇总表

标准装置实际测试流量/ (m ³ /h)	$m_{Fi} = q_i / q_{max}$	$E_i / \%$	$(m_{Fi} \times E_i) / \%$
16.14	0.100 9	-0.29	-0.029 3
40.89	0.255 6	-0.31	-0.079 2
63.89	0.399 3	0.03	0.012 0
112.41	0.702 6	-0.41	-0.288 1
158.16	0.4	0.17	0.068 0
	$\sum_{i=1}^n m_{Fi} = 1.858 4$		$\sum_{i=1}^n (m_{Fi} \times E_i) = -0.316 6$

根据表 A.3 可计算得到：

$$E_{\text{FWM}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{Fi} E_i}{\sum_{i=1}^n m_{Fi}} = \frac{-0.3166}{1.8584} = -0.1704$$

$$F = 100/(100 + E_{\text{FWM}}) = 100/(100 - 0.1704) = 1.0017$$

根据式(A.13)可计算得到经加权平均修正后的实流校准数据,见表 A.4。

表 A.4 经修正后的实流校准数据汇总表

$E_i / \%$	m_{Fi}	E_{icF}	$(m_{Fi} \times E_{icF}) / \%$
-0.29	0.1009	-0.1205	-0.012158
-0.31	0.2556	-0.1405	-0.0359118
0.03	0.3993	0.2001	0.0798999
-0.41	0.7026	-0.2407	-0.16911582
0.17	0.4	0.3403	0.13612
	$\sum_{i=1}^n m_{Fi} = 1.8584$		$\sum_{i=1}^n (m_{Fi} \times E_i) = 0.0012$

从表 A.4 可以得到：

$$E_{\text{FWM}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{Fi} E_{icF}}{\sum_{i=1}^n m_{Fi}} = \frac{0.0012}{1.8584} = -0.00063(\text{接近零})$$

A.5 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

实流校准可以有离线校准和在线校准两种方式,校准方式不同,其流量测量不确定度估算方法也不同。

A.5.1 离线实流校准

标准参比条件下的流量测量不确定度 u_{q_n} 按式(A.16)估算:

$$u_{q_n} = \sqrt{u_{q_{fx}}^2 + u_{p_f}^2 + u_{T_f}^2 + u_{Z_f}^2 + u_{Z_a}^2 + u_{s_n}^2} \quad (\text{A.16})$$

式中:

$u_{q_{fx}}$ ——流量计校准后在校准条件下的流量测量不确定度,按式(A.18)估算。

其余符号与式(8)相同。扩展不确定度参照式(9)计算。

A.5.2 在线实流校准后流量测量不确定度估算

在线实流校准,其校准条件与操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按式(A.17)估算:

$$u_{q_n} = \sqrt{u_{q_{fx}}^2 + u_{p_f}^2 + u_{T_f}^2 + u_{Z_f}^2 + u_{Z_a}^2} \quad (\text{A.17})$$

扩展不确定度参照式(9)计算。

A.5.3 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按式(A.18)估算:

$$u_{q_n} = \sqrt{u_r^2 + u_s^2} \quad (\text{A.18})$$

式中:

u_s ——校准用标准装置的流量测量不确定度;

u_r ——校准数据的 A 类不确定度。

A.6 校准证书

对每项测试结果,应以书面报告形式记录下来,并形成流量计的校准证书,由生产厂家或校准部门提供给用户。对每一台流量计,其校准证书应至少包含下列信息:

- 生产厂家的名称;
- 校准机构的名称和地址;
- 流量计的型号和系列号;
- 校准日期;
- 校准方法;
- 校准时流量计的安装条件;
- 校准结果数据,包括流量计的输出值(流量或频率)、校准压力、校准温度、校准介质密度、校准装置的流量测量不确定度、K 系数等参数。

附录 B (资料性附录)

B. 1 压损

B. 1. 1 概述

流量计的压力损失由驱动流量计所需的能量以及包括改变流动面积和方向引起的内部通道摩擦损失所决定。压力损失应在流量计上游管道 $1D$ 与下游管道 $1D$ 间测量, 上下游管道的尺寸应与流量计尺寸相同。选择和加工测量点时, 应保证流动剖面的畸变不影响压力的读数。

压力损失按式(B.1)进行估算(较小的流量除外):

式中：

Δp_f ——操作条件下压力损失,单位为兆帕(MPa);

c ——取决于流量计类型的压损系数,单位为每四次方毫米(mm^{-4});

ρ_f ——操作条件下气体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

q_f ——操作条件下时气体体积流量,单位为立方米每时(m^3/h)。

考虑到规定条件下的压力损失和理想气体状态方程，则压力损失按式(B.2)或式(B.3)计算：

或

式中：

Δp_n ——标准参比条件下压力损失,单位为兆帕(MPa);

ρ_n ——标准参比条件下气体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

q_n ——标准参比条件下气体体积流量,单位为立方米每时(m^3/h);

d_f ——操作条件下气体相对密度；

d_n ——标准参比条件下气体相对密度；

T_i ——操作条件下气体绝对温度,单位为开(K);

T_r ——标准参比条件下气体绝对温度,单位为开(K);

Z_t ——操作条件下气体压缩因子;

γ ——标准参比条件下气体压缩因子。

B.1.2 最大允许压损

B.1.2.1 要求

生产厂家应提供各种类型和口径的流量计或流量计组件的压损数据。

一台新制造的流量计用常压下(± 10 kPa)的空气作介质、在 q_{\max} 下进行测试的压损应低于表 B. 1 列出的值。其中，最大流量的额定值见表 B. 2 规定。

表 B. 1 在 q_{\max} 下用常压下的空气作介质进行测试时, 流量计的最大压损

公称直径	压损/Pa
C 系列	1 000
B 系列	1 500
A 系列	2 500

注 1: A 系列系指高流速。
注 2: B 系列系指正常流速(推荐值)。
注 3: C 系列系指低流速。

表 B. 2 依赖于最小流速及公称直径的最大流量的额定值

$q_{\max} / (m^3/h)$	量程比				公称直径 DN/mm		
	1 : 10	1 : 20	1 : 30	1 : 50	A 系列	B 系列	C 系列
	$q_{\min} / (m^3/h)$						
40	4	2	1.3	0.8	25		50
65	6	3	2	1.3		50	
100	10	5	3	2		50	80
160	16	8	5	3	50	80	100
250	25	13	8	5		80	100
400	40	20	13	8	80	100	150
650	65	32	20	13	100	150	
1 000	100	50	32	20		150	200
1 600	160	80	50	32	150	200	250
2 500	250	130	80	50	200	250	300
4 000	400	200	130	80	250	300	400
6 500	650	320	200	130	300	400	
10 000	1 000	500	320	200	400	500	
16 000	1 600	800	500	320	500	600	
25 000	2 500	1 300	800	500	600	750	

B. 1.2.2 测试

流量计以及为满足安装条件要求附加的组件(上游直管段或流动调整器)的压损应在两个取压点之间测得。这两点应分别在流量计上游和下游与流量计相同公称通径的 $1D$ 距离内。应注意取压孔的选择和加工, 以保证流态的改变不影响压力的读取。测试应在 q_{\max} 下进行。该测试应在流量计的型式试验中进行。

B. 2 最大和最小流量

为了不超过一定的涡轮转速和一定的压力损失, 流量计通常按最大流量 q_{\max} 进行设计。除另有说明外, 流量计这一最大流量对于所有的操作条件都是相同的, 包括到规定的最大允许工作压力。根据生产厂规定的最小流量、压力、温度和气体组分, 操作条件下的最小流量可近似按式(B. 4)计算:

式中：

ρ_0 ——规定条件下的气体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

ρ_t ——操作条件下的天然气密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

q_{min} ——操作条件下的最小流量,单位为立方米每时(m^3/h);

q_{\min} ——规定条件下的最小流量,单位为立方米每时(m^3/h)。

B.3 范圍度

由于最大流量通常不变化,而最小流量可能变化,所以气体涡轮流量计的范围度一般随气体密度的平方根而变化,见式(B.5):

式中：

ψ ——操作条件下工作范围；

ψ_3 ——规定条件下工作范围。

B. 4 温度和压力的影响

当流量计的工作温度和工作压力与校准条件有很大差别时,其性能可能发生变化。这些变化的原因可能是尺寸变化、轴承阻力变化或物理现象变化。

B. 5 各种流态对流量计性能的影响

B. 5. 1 漩涡影响

如果流量计入口处的流体有大的漩涡，就会影响涡轮叶轮的转速。与涡轮叶轮旋转方向相同的漩涡使叶轮速度增加，而与旋转方向相反的漩涡则使叶轮速度减小。对于高精度的流量测量，宜通过对流量计的适当安装，把这种漩涡影响减小到轻微的程度。

B.5.2 速度分布影响

流量计是以其入口处为接近均匀速度分布的条件进行设计和校准的。当明显偏离这一速度分布时,涡轮叶轮处的实际速度分布就会影响到给定流量下的叶轮速度。对于一个给定的平均流量,非均匀速度分布与均匀速度相比,通常将产生更高的叶轮速度。在高精度流量测量时,宜通过对流量计的适当安装,确保涡轮叶轮处的速度分布基本均匀。

附录 C
(资料性附录)
流量计的现场检验

C. 1 概述

涡轮流量计最常使用的现场检验是目检法检查和旋转时间试验。对运行中的流量计,通过观测其产生的噪音或振动,常可获知流量计的工作情况。

流量计的剧烈振动通常表明涡轮叶轮已失去平衡的损坏,这会导致流量计完全失效。在较低流量时,常能听到涡轮叶轮的摩擦声和轴承工作不良的声音,这种噪音不会被正常的流动噪音所掩盖。

C. 2 目检法检查

目检法检查时,应检查涡轮叶轮是否缺叶、是否积聚固体物或腐蚀以及是否有可能影响涡轮叶轮平衡和叶片组态的其他损坏。也应检查流量计的内部,以确保其中没有积聚的碎屑。

流动通道、排水孔、通气孔和润滑系统也应检查,以确保没有积聚的碎屑。

C. 3 旋转时间试验

旋转时间试验是用来确定流量计机械阻力现在和过去比较的相对变化。在流量计区域干净和其内部没有损坏的情况下,如果机械阻力没有重大变化,则流量计精度应不变化。若机械阻力有较大增加,则表明流量计精度特性在小流量处已经降级。按用户要求,生产厂可以提供流量计典型的旋转时间。

旋转时间试验必须在无气流的区域内进行,而测量机构应位于其正常的工作位置。涡轮叶轮以适当的速度旋转,例如最小速度约为与 q_{\max} 对应的额定速度的 1/20,时间测量应从旋转开始直至叶轮停止转动。

旋转试验应至少重复 3 次且取其平均值。旋转时间减少的原因通常是因为涡轮叶轮轴承的阻力增加。然而,应注意到还有其他影响旋转时间的机械阻力,如轴承润滑过度,环境温度低、气流和黏附物。

注:只要规定方法,也能用其他方法进行旋转时间试验。

C. 4 其他检验

涡轮叶轮处装有脉冲发讯器的流量计提供了检测叶轮上叶片缺损的可能性。通过观测涡轮叶轮脉冲发讯器的输出脉冲曲线或通过该输出脉冲与连到叶轮轴的从动轮上脉冲发讯器输出脉冲的比较,有可能获悉叶片的缺损情况。

叶轮叶片或叶轮和指示器间传动轮系中任何其他位置触发的脉冲发讯器与指示器上的脉冲发讯器相结合,可以用来确定传动轮系的完整性。来自于指示器的低频脉冲与来自于甚至传动轮系中任何位置产生的高频脉冲之比应是一个与流量无关的常数。

附加在涡轮流量计上的某些体积转换装置也指示流动条件下的体积。转换装置上所记录的体积应等同于同一时间周期内涡轮流量计机械计数器所记录的体积。

附录 D (资料性附录)

D. 1 已知条件

- a) 涡轮流量计 K 系数: $K = 2548 \text{ m}^{-3}$;
 - b) 气流常用温度: $t_1 = 21^\circ\text{C}$;
 - c) 气流常用表静压: $p_1 = 1.28 \text{ MPa}$;
 - d) 当地常用大气压: $p_a = 0.0965 \text{ MPa}$;
 - e) 实测频率为 50 Hz;
 - f) 天然气组分见表 D. 1。

表 D.1 天然气的组分

组分	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	2-甲基丙烷 (异丁烷)	氦气	氮气	二氧化 碳
摩尔分数	0.966 30	0.014 66	0.001 88	0.000 24	0.000 34	0.000 14	0.005 30	0.011 14

D.2 计算

D.2.1 求涡轮流量计操作条件下的体积流量

按式(1)计算得出操作条件下的体积流量: $q_f = \frac{f}{K} = 50/254.8 \text{ m}^3/\text{s} = 0.01962 \text{ m}^3/\text{s}$

D. 2.2 确定天然气压缩因子 Z 或超压缩系数 F_z 值

D.2.2.1 当天然气计量系统符合 GB/T 18603—2001 表 A.1 准确度为 A、B 级要求时：

D. 2. 2. 1. 1 求天然气在标准参比条件下的压缩因子 Z_n :

根据式(4)和表 D.1 计算得到: $Z_n = 1 - 0.0447^2 = 0.9980$

D. 2. 2. 1. 2 求天然气在操作条件下压缩因子 Z_t :

按本标准 8.1.3.1 规定用 GB/T 17747.2—1999 编程计算得： $Z_f = 0.9739$

D.2.2.2 当天然气计量系统为非贸易计量系统或属于符合 GB/T 18603—2001 表 A.1 准确度为 C 级要求时：

按本标准 8.1.3.2 规定用 AGA NX-19 公式编程计算得到: $F_z = 1.0124$

D.2.3 求天然气摩尔质量 M [见式(D.1)]

$$\begin{aligned} \text{根据表 D.1 可以得到: } M &= (15.5024 + 0.4408 + 0.0829 + 0.0198 + 0.0140 + 0.0006 + \\ &\quad 0.1485 + 0.4903) \text{ kg/kmol} \\ &= 16.699 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

D.2.4 求天然气标准条件下气体密度

按 GB/T 11062 规定计算得到天然气标准条件下密度, 见式(D. 2):

$$\rho_n = \left(\frac{p}{RTZ_n} \right) \sum_{j=1}^N x_j M_j = \frac{0.101\ 325}{0.008\ 314\ 51 \times 293.15 \times 0.998\ 0} \times 16.699 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0.6956 \text{ kg/m}^3$$

D. 2.5 天然气发热量计算

D. 2.5.1 天然气在标准参比条件下体积发热量计算

按规定求天然气摩尔发热量 \bar{H}_s , 见式(D.3):

$$\begin{aligned}\bar{H}_s &= \sum_{j=1}^n X_j \bar{H}_{s,j} \\ &= (861.0603 + 22.8903 + 4.1738 + 0.9787 + 0.6887) \text{ MJ/kmol} \\ &= 889.792 \text{ MJ/kmol}\end{aligned}\quad (\text{D.3})$$

天然气在标准参比条件下理想体积发热量 \tilde{H}_s^0 , 见式(D.4):

$$\begin{aligned}\tilde{H}_s^0 &= \bar{H}_s \times \frac{p_n}{RT_n} \\ &= 889.792 \times \frac{0.101325}{0.00831451 \times 293.15} \text{ MJ/m}^3 = 36.989 \text{ MJ/m}^3\end{aligned}\quad (\text{D.4})$$

天然气在标准参比条件下真实体积发热量 \tilde{H}_s :

$$\tilde{H}_s = 36.989 / 0.9980 \text{ MJ/m}^3 = 37.064 \text{ MJ/m}^3$$

D. 2.5.2 天然气质量发热量计算

天然气质量发热量 H_s :

$$H_s = \frac{\bar{H}_s}{M} = 889.792 / 16.699 \text{ MJ/kg} = 53.284 \text{ MJ/kg}$$

D. 2.6 求涡轮流量计标准条件下的体积流量

D. 2.6.1 当天然气计量系统符合 GB/T 18603—2001 表 A.1 准确度为 A、B 级要求时:

按式(2)计算得到涡轮流量计标准条件下的体积流量:

$$\begin{aligned}q_n &= q_f \left(\frac{p_f}{p_n} \right) \left(\frac{T_n}{T_f} \right) \left(\frac{Z_n}{Z_f} \right) \\ &= 0.01962 \times [(1.28 + 0.0965) / 0.101325] \times [293.15 / 294.15] \times (0.9980 / 0.9739) \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.2722 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

D. 2.6.2 当天然气计量系统为非贸易计量系统或属于符合 GB/T 18603—2001 表 A.1 准确度为 C 级要求时:

按式(2)计算得到涡轮流量计标准条件下的体积流量:

$$\begin{aligned}q_n &= q_f F_z^2 \left(\frac{p_f}{p_n} \right) \left(\frac{T_n}{T_f} \right) \\ &= 0.01962 \times 1.0124^2 \times [(1.28 + 0.0965) / 0.101325] \times [293.15 / 294.15] \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.2723 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

D. 2.7 求涡轮流量计的质量流量

按式(5)计算得到涡轮流量计的质量流量:

$$q_m = q_n \times \rho_n = 0.2722 \times 0.6956 \text{ kg/s} = 0.1894 \text{ kg/s}$$

D. 2.8 求涡轮流量计的能量流量

在标准参比条件下天然气的体积发热量为 37.064 MJ/m³, 其能量流量 q_e 按式(6)计算得到:

$$q_e = q_n \times \tilde{H}_s = 0.2722 \times 37.064 \text{ MJ/s} = 10.0901 \text{ MJ/s}$$

天然气的质量发热量为 53.284 MJ/kg, 其能量流量 q_e 按式(7)计算得:

$$q_e = q_m \times H_s = 0.1894 \times 53.284 \text{ MJ/s} = 10.0901 \text{ MJ/s}$$

中华人民共和国
国家标准

用气体涡轮流量计测量天然气流量

GB/T 21391—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码：100045

网址 www.spc.net.cn

电话：68523946 68517548

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 2 字数 54 千字
2008年5月第一版 2008年5月第一次印刷

*

书号：155066·1-31198 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权所有 侵权必究
举报电话：(010)68533533



GB/T 21391-2008