



中华人民共和国国家标准

GB/T 20727—2006/ISO 14511:2001

26071112

封闭管道中流体流量的测量 热式质量流量计

Measurement of fluid flow in closed conduits—Thermal mass flowmeters

(ISO 14511:2001, IDT)



2006-12-13 发布

2007-07-01 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 术语和定义	1
3.1 常用术语	1
3.2 专用术语	2
4 热式质量流量计的选型	3
5 毛细管热式质量流量计(CTMF 流量计)	4
5.1 测量原理	4
5.2 典型结构	6
5.3 应用和使用限制	6
5.4 流量计的选择	7
5.5 安装和试运行	9
6 插入式和(或)管道式热式质量流量计(ITMF 流量计)	9
6.1 测量原理	9
6.2 典型结构	12
6.3 应用和使用限制	13
6.4 流量计的选择	15
6.5 安装和试运行	16
7 仪表规格单和标志	18
7.1 用户规格单	18
7.2 制造厂数据单	18
7.3 标志	19
8 校准	20
8.1 总则	20
8.2 使用待测过程气体	20
8.3 使用替代气体	20
8.4 现场校准	20
8.5 插入式 ITMF 流量计	20
8.6 校准周期	20
8.7 校准证书	21
9 安装前的检查和测试	21
10 维护	21
10.1 总则	21
10.2 目视检查	21
10.3 功能测试	22
10.4 记录保存(维护评审跟踪)	22
参考文献	23

前 言

本标准旨在对热式气体质量流量计的技术条件、测试、检查、安装、操作和校准提供指导。

本标准等同采用 ISO 14511:2001《封闭管道中流体流量的测量 热式质量流量计》(英文版)。

本标准等同翻译 ISO 14511:2001。

本标准在制定时按 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写规则》和 GB/T 20000.2—2001《标准化工作指南 第2部分:采用国际标准的规则》的有关规定做了如下编辑性修改:

——删除了 ISO 标准的前言;

——原引用标准的引导语按 GB/T 1.1—2000 的规定改成规范性引用文件的引导语;

——“本国际标准”一词改为“本标准”。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国工业过程测量和控制标准化技术委员会第一分技术委员会归口。

本标准负责起草单位:上海工业自动化仪表研究所。

本标准参加起草单位:上海仪器仪表及自控系统检验检测所、矽翔微机电系统(上海)有限公司、上海建怡自动化仪表有限公司、上海奇琳实业有限公司。

本标准主要起草人:李明华、蔡闻智、谢承炎、范德林、董道宽。

本标准为首次发布。

封闭管道中流体流量的测量

热式质量流量计

1 范围

本标准提出的技术条件、测试、检查、安装、操作和校准指南适用于测量各种气体和混合气体的热式气体质量流量计,不适用于采用热式质量流量计测量液体质量流量。

本标准不适用于测量点速度的热线风速计和其他热膜风速计。

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协议的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/T 17611 封闭管道中流体流量的测量 术语和符号(GB/T 17611—1998, idt ISO 4006:1991)

GB/T 17626(所有部分) 电磁兼容 试验和测量技术(idt IEC 61000-4)

ISO 7066-2 流量测量装置在校准和使用中的不确定度的评估 第2部分:非线性校准关系

测量不确定度的表示方法(GUM). BIPM、IEC、IFCC、ISO、IUPAC、IUPAP、OIML, 第一版, 于1995年更正和再版

3 术语和定义

GB/T 17611 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

注:术语“气体”作为单一气体、混合气体和蒸汽的同义字。

3.1 常用术语

3.1.1

流量 flowrate

流经管道横截面的流体量与该量通过该截面所用时间之比。

注:除另有说明外,术语“流量”在本标准中作为质量流量的同义词。

3.1.2

质量流量 mass flowrate

流体量用质量表示的流量。

注:除另有说明外,术语“流量”在本标准中作为质量流量的同义词。

3.1.3

测量精确度 accuracy of measurement

测量结果与被测量真值的一致程度。

注:精确度是一个定性的概念。

3.1.4

测量不确定度 uncertainty of measurement

与测量结果相关、表征被测量合理赋值弥散的参数。

3.1.5

重复性 repeatability

在相同的测量条件下,测量仪表对多次施加的同一被测量给出极为近似的示值的能力。

注：这些条件包括：

- 由观测者造成的变化最小；
- 相同的测量程序；
- 同一观测者；
- 在相同的条件下使用相同的测量装置；
- 相同的场所；
- 在短时间内重复测量。

3.1.6

流动剖面 flow profile

速度分布的图解表示。

注：通过管道横截面的点流速不是固定的。它因上、下游扰动及随着流动流的雷诺数而变化。对于充分发展的流动，点流速从管壁处的 0 m/s 变化到管道中心的最大流速。流动剖面描述了通过管道横截面的流速变化并且可以用数学或图解来表示。

3.2 专用术语

3.2.1

检测元件 sensor

测量仪表或测量链内直接感受被测量的元件。

3.2.2

层流元件 laminar flow element

插在气流中，使主气流与通过检测元件的旁通气流之间形成一个恒定比值的元件。

3.2.3

热式质量流量计 thermal mass flowmeter

TMF 流量计 TMF meter

利用热传递原理测量和指示质量流量的流量测量装置。

注：术语“热式质量流量计”还适用于热式质量流量控制器的测量部分，但不适用于其控制功能。

3.2.4

毛细管热式质量流量计 capillary thermal mass flowmeter

CTMF 流量计 CTMF meter

通常由层流元件、旁通管(毛细管)、温度传感器(某些结构形式含有单独的加热器)组成并配有辅助电子装置和外壳的 TMF 流量计。

3.2.5

插入式和(或)管道式热式质量流量计 insertion and/or in-line thermal mass flowmeter

ITMF 流量计 ITMF meter

通常由一个或两个温度传感器(某些结构形式含有单独的加热器)组成并配有支承结构、电子装置和外壳，温度传感器直接暴露在整个气流中的 TMF 流量计。

3.2.5.1

插入式 ITMF 流量计 insertion-ITMF meter

检测元件安装在探杆上，通过过程管道的管壁插入到气流中的 ITMF 流量计。

3.2.5.2

管道式 ITMF 流量计 in-line ITMF meter

检测元件安装在作为管道一部分的表体内的 ITMF 流量计。

3.2.6

热式质量流量控制器 thermal mass flow controller

由 TMF 流量计、阀和电子控制装置组成的流量控制装置。

注：TMF 的输出与可调整的设定点相比较，阀相应地开或关，使被测流量保持在设定值。

3.2.7

转换器 transmitter

为电加热器提供电源并将来自温度传感器的信号转换成被测参数输出的相关电气装置。

注：转换器可与 TMF 流量计组成一体，但在某些应用场合也可以安装在远离流量检测元件的位置。

3.2.8

收放机构 retractor mechanism

(插入式 ITMF 流量计)包含一个隔离阀，以便流量检测元件在管道中定位和(或)取出的机械装置。

3.2.9

范围度 rangeability

检测元件可以测量和指示的最小和最大限值的声明。

例如：最大流量=1 000 kg/h，最小流量=10 kg/h，范围度是 10 kg/h~1 000 kg/h。

3.2.9.1

可调比 turndown

检测元件可以测量的最大值与最小限值的数值比。

例如：最大流量=1 000 kg/h，最小流量=10 kg/h 时，可调比是 1 000/10=100:1。

注：在实际应用中，术语“范围度”和“可调比”可互换使用，并与不确定度声明相关。

3.2.10

k 系数 k-factor

每一台 TMF 流量计所独有的用数字表示的系数。它与质量流量有关，是通过校准取得的。将该系数编入转换器的程序中可保证流量计按指定的技术要求工作。

注：采用替代气体进行校准时，用生产厂的气体系数表或数据库转换成过程条件下所要测量的气体。

3.2.11

标准体积流量 normalized volumetric flowrate (GB); standardized volumetric flowrate (US)

计算出已知和固定压力和温度条件下的流体密度，用体积来表示流体量的流量。

注1：各行业和各国家所确定的这些参比条件(也称作“标准参比条件”)的值各不相同，因而在使用时应明确说明。
典型的参比条件是 0℃ 和 101.325 kPa。

注2：CTMF 和 ITMF 流量计通常采用标准体积单位或标准参比条件的规定体积单位(如 Nm³/h)，但此类单位既非国际单位制的单位也不是符号，并且在不了解参比条件的情况下使用将会导致重大错误，因此不推荐采用这种做法。本标准采用在标准参比条件的规定体积单位后加“(标准)”字样的表示方式，如：m³/h(标准)。

3.2.12

标准流速 normalized velocity (GB); standardized velocity (US)

计算出已知和固定的压力和温度条件下的流体密度，用流速来表示流体量的流量。

注1：各行业和各国家所确定的这些参比条件(也叫做“标准参比条件”)的值各不相同，因而在使用时应明确说明。
典型的参比条件是 0℃ 和 101.325 kPa。

注2：CTMF 和 ITMF 流量计通常采用标准体积单位或标准参比条件下的规定体积单位(如 Nm/s)，但此类单位既非国际单位制的单位也不是符号，并且在不了解参比条件的情况下使用将会导致重大错误，因此不推荐采用这种做法。本标准采用在标准参比条件的规定体积单位后加“(标准)”字样的表示方式，如：m/s(标准)。

4 热式质量流量计的选型

TMF 流量计分成两种基本类型：

- a) 毛细管 TMF 流量计(CTMF 流量计)。
- b) 全孔 TMF 流量计，包括下列两种型式：
 - 1) 插入式；
 - 2) 管道式。

对于不同的应用场合,流量计的选型主要依据:

- 所需的流量和范围;
- 气体的清洁度;
- 管道的直径。

如表 1 所示,两种基本类型 TMF 流量计的流量范围和管道直径有重叠。还有其他一些因素可能会影响最终根据应用场合选择流量计。表 1 只是一个指南,具体限值应参考制造厂的技术条件。

表 1 TMF 流量计初步选型依据

特性	CTMF 流量计	ITMF 流量计	
		管道式	插入式
典型流量范围	在 0℃ 和 101.325 kPa 参比条件下 < 2 000 m ³ /h ^{a,b}	0.22 kg/h~7 000 kg/h ^{a,b}	>>5 kg/h ^{a,b,c}
典型管径	3 mm~200 mm	8 mm~200 mm	>80 mm
气体条件	清洁、干燥	最好清洁、干燥 ^d	
气体温度	<70℃	<500℃	
a 流量范围取决于管径。 b 列举的是空气或氮气的流量范围。 c 此为 80 mm 管道中的最小流量。在大管径管道中流量可超过 100 t/h。 d ITMF 流量计可用于不干净的和(或)潮湿的气体,但其性能有所下降。			

5 毛细管热式质量流量计(CTMF 流量计)

5.1 测量原理

典型的 CTMF 流量计由表体和流量检测元件组成。流量检测元件安装在表体内与之构成一个整体。流经表体的一部分规定量的气体转入(旁通)流量检测元件,由此测出气体流量。

图 1 所示为一个简化的 CTMF 流量计,典型的流量检测元件由一根薄壁管和两个温度传感器组成。加热器的设置取决于制造厂,可以和每个温度传感器组合在一起,也可以单独设置在流量检测元件的中部,即设置在气流上游的温度传感器(T_1)与气流下游的温度传感器(T_2)中间。

由一个精密的电源给流量检测元件提供恒定的热量。在流体静止的条件下,两个传感器测得的温度相同。当流量增大时,热量从上游传感器(T_1)传向下游传感器(T_2)。由一个桥路判读两者的温差,并由一个放大器提供流量输出信号。

两个传感器之间的温差与质量流量成正比。

流量检测元件测量的质量流量是温差的函数。根据热力学第一定律(无损失条件下,吸热=放热),它可由下式表示:

$$P = \left[q_m \times c_p \times \frac{T_2 - T_1}{f_{\text{CTMF}}} \right] + L \quad \dots\dots\dots (1)$$

或将式(1)重新排列成:

$$q_m = \frac{(P - L) \times f_{\text{CTMF}}}{c_p (T_2 - T_1)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

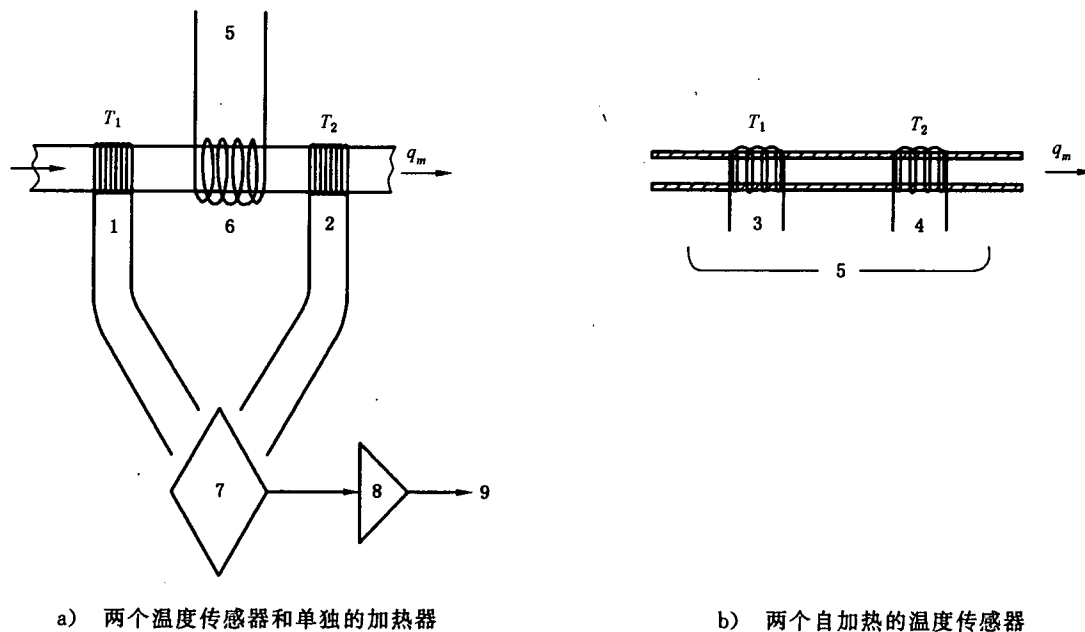
q_m ——质量流量,kg/s;

c_p ——气体的定压比热容,J/(kg·K);

$T_2 - T_1$ ——温差,K;

P ——恒定输入功率,W;

L ——末端传导损失¹⁾, W;
 f_{CTMF} ——与 CTMF 流量计结构有关的仪表常数。



图中:

- 1——上游温度传感器 T_1 ;
- 2——下游温度传感器 T_2 ;
- 3——上游温度传感器 T_1 (带加热器);
- 4——下游温度传感器 T_2 (带加热器);
- 5——恒定电源 P ;
- 6——加热器;
- 7——桥路;
- 8——放大器;
- 9——流量信号输出(通常为 0 V~5 V(d. c.)或 4 mA~20 mA)。

图 1 简化的 CTMF 流量计

直通式热式质量流量检测元件用于相对较小流量才精确。因此,为了能精确测量较大流量,必需对整个气流进行分流。分流由流量计表体内的一个层流元件完成。此元件产生的线性压力降与质量流量成正比。

CTMF 流量计的满度(FS)流量范围直接受过程气体(定压)比热容 c_p 的影响。

并非所有校准都能使用被测过程气体。如果过程气体是腐蚀性或危险气体,就必须采用参比气体,即空气或氮气进行校准。在这种情况下,必需计算出过程气体的 c_p 值。

注: CTMF 制造厂应提供气体转换系数表或相应的数据库。

k 系数定义为:

$$k = \frac{c_{p, \text{ref}}}{c_{p, \text{proc}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

过程气体的满度流量由下式给出:

$$q_{m, \text{proc, FS}} = q_{m, \text{ref, FS}} \times k \quad \dots\dots\dots (4)$$

1) 末端传导损失取决于流量计的结构,是热量通过传感器安装支架传导到流量计表体上造成的损失。称之为末端传导损失是因为传感器通常都是利用其一个端部安装的。

式中：

k —— k 系数；

$c_{p,ref}$ ——参比气体的定压比热容；

$c_{p,proc}$ ——过程气体的定压比热容；

$q_{m,ref,FS}$ ——参比气体的满度质量流量；

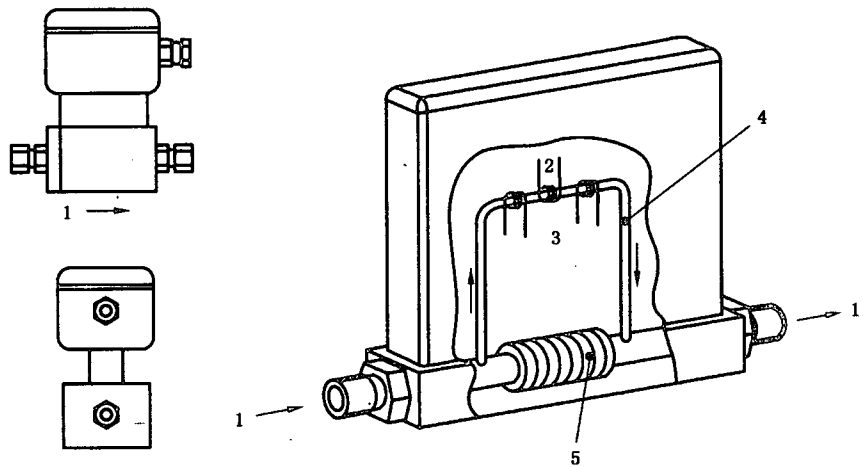
$q_{m,proc,FS}$ ——过程气体的满度质量流量。

利用这个关系式和气体比热表，用户和制造厂就能方便地用“安全”气体校准(或复校)流量计。

5.2 典型结构

由于在较大流量下传导的热量过多，采用基本型 CTMF 流量计只能准确测量很低的流量，因此 CTMF 流量计常常和一个层流元件配合使用。层流元件放置在主管道中产生小压降。毛细管的两端与层流元件的入口和出口相连，产生一个较小的分流通过毛细管。这种结构可确保总的气流中有固定比率的气流流过毛细管用于测量。加热器和温度传感器通常放在毛细管上而不是主管道上。但在其他一些结构中传感器直接放在主管道上，即没有毛细管和层流元件。

虽然 CTMF 流量计可以配法兰式管接头，但通常都配备螺纹管接头。这种 TMF 流量计通常与检测元件下游的流量控制器配套成为一个质量流量控制器。电子接口同旁通回路一样位于同一单元内。图 2 所示是一个典型的 CTMF 流量计结构型式。



图中：

1——流动方向；

2——加热器；

3——温度传感器；

4——旁通回路；

5——层流元件。

图 2 典型的 CTMF 流量计

5.3 应用和使用限制

5.3.1 气体特性影响

CTMF 流量计只能用于测量干燥和清洁的气体。应避免饱和蒸汽凝结，以防止堵塞或污染流量检测元件。

从公式(1)~公式(4)可以看出，CTMF 流量计的校准与气体的性质有关。因此 CTMF 是一种“推导”质量流量计。尽管 CTMF 流量计响应质量流量的变化，但是校准取决于被测气体和工作条件。流体性质的变化，例如混合气体的成分、过程压力和(或)温度的变化会影响比热值，从而影响 CTMF 流量计的性能。当出现这种情况时，可能需要对这些变化进行补偿。

5.3.2 应用和流体特性

为指定的应用选择最适用的流量计，首先必须确定流量计的工作条件范围，包括：

- 工作流量；
- 被测气体的性质、气体的类型或混合气体的成分；
- 过程压力范围；
- 过程温度范围。

5.3.3 温度影响

温度变化会影响 CTMF 流量计的性能。对温度影响的补偿通常在转换器内完成。温度变化还可能引起流量计的零流量输出产生偏移。因此,应在实际过程温度下调整流量计的零点。

温度影响通常用百分数或摄氏度表示。

此外,温度变化会影响最初校准 CTMF 流量计时的比热值。在这种情况下,应在校准后采用气体制造厂提供的已知气体数据值确定此影响。

5.3.4 压力影响

压力变化会影响气体的比热和(或)传感器与层流元件之间的流量比。因此,它可能改变 CTMF 流量计的 k 系数。一些制造厂在预定的压力条件下校准流量计,使这种影响降至最小。但其他情况下,则需要在校准后参考气体制造厂提供的已知气体数据。

5.3.5 脉动影响

如果是脉动流,应保证转换器的响应速度能适应脉动。当要求脉动情况下的输出信号稳定时,某些制造厂会提供自适应输出阻尼。此时应遵循制造厂对流量输出响应和(或)阻尼的详细说明。

5.3.6 压力损失

流体流过 CTMF 流量计会产生压力损失。压力损失的大小是层流元件上下游差压的函数,与流量有关。大部分制造厂对此影响都有规定,通常满度流量时的压力损失小于 10 kPa(100 mbar)。压力损失的值应包括 CTMF 流量计、管件和入口过滤器。

5.3.7 气体的清洁度

固体沉淀物、结垢或残留冷凝物会影响流量计的性能,应避免出现这种状况。应遵从制造厂的首选清洁度要求。大部分制造厂对允许颗粒大小都有规定或提供入口过滤器作为 CTMF 流量计的标准配置。

5.3.8 安装方位的影响

大部分制造厂都会说明安装方位的影响。对于大多数流量计,这种影响可忽略不计。用于高压场合时,由于可能出现零点偏移的缘故,最合适的安装位置是水平方向。为达到规定的性能,应遵循制造厂的安装指南。

5.3.9 安装对流动剖面的影响

流体旋涡和上、下游管道布局引起的非均匀流速分布不影响 CTMF 流量计的性能。通常没有特别的直管段要求,但这取决于制造厂。虽然如此,任何时候都需注意保证安装良好。

流量计的上游宜配备过滤器或其他防护装置以去除可能引起测量误差的固体颗粒或液滴。

5.3.10 水力振动和机械振动

过程管线的振动对 CTMF 流量计的性能一般没有影响,但所有振动都宜保持在正常极限范围内。

5.3.11 阀

安装在 CTMF 流量计上、下游的阀主要供隔离和调整零点时使用,可以采用任何型式的阀。但这些阀应具有良好的阻断性能以确保能达到真正的零流量。与 CTMF 流量计串联的控制阀应靠近 TMF 流量计安装以便尽量减少滞留体积。

5.4 流量计的选择

5.4.1 主要要求

对测量系统的主要要求是系统应按规定的不确定度测量气体质量流量。在选择合适的流量计时必须考虑 5.4.2~5.4.7 所提各要点。

5.4.2 性能技术条件

应考虑下列性能技术条件：

- a) 不确定度：
 - 1) 实际安装条件和工作条件与制造厂数据的一致程度；
 - 2) 校准程序和校准装置的溯源性。
- b) 重复性。
- c) 范围度。
- d) 稳定性。
- e) 温度影响。
- f) 压力影响。
- g) 安装方位影响。

5.4.3 物理技术条件

应考虑下列物理技术条件：

- 安装流量计所需的空間(流量计的尺寸,上、下游管道直径)。如果需要和可能的话,还要考虑现场校准所需的空間。
- 管道连接件的等级和类型。
- 材料的兼容性,包括 O 形环、阀座的材料等。
- 任何非破坏性试验程序。
- 危险区域分类。
- 电气连接。
- 气候和环境对流量计的影响。
- 适用的国家和国际要求。

5.4.4 流量计额定值

应考虑流量计的下列额定值：

- 允许最大过程压力；
- 最大流量下的压力降；
- 环境温度和过程气体温度；
- 外部泄漏完整性等级。

5.4.5 应用特性和流体特性

应考虑下列应用特性和流体特性：

- 工作流量；
- 被测气体特性,包括气体类型或混合气体的组分；
- 工作压力范围；
- 工作温度范围；
- 若使用标准体积流量单位[即: m^3/h (标准)、 L/min (标准)],过程参比条件。

5.4.6 腐蚀

接触介质的材料发生腐蚀,包括电化腐蚀,会影响 CTMF 流量计的性能并最终缩短流量计的使用寿命。在选择制造材料时应注意确保其与过程气体,包括净化或清洗气体相容。应对所有接触过程流体的材料做出规定。

5.4.7 转换器技术条件

应考虑转换器的下列技术条件：

- 电气、电子、气候和安全兼容性；
- 必需的输出选项。

5.5 安装和试运行

5.5.1 总则

通常,应考虑以下几点:

- 过程气体应比较清洁和干燥;
- 安装 TMF 流量计所需的空間(包括在需要进行现场校准时,连接标准表检定 TMF 流量计所需的空間,详见 8.4);
- 管道连接件的等级和类型,所用设备的材料和外形尺寸;
- 危险区域分类;
- 气候和环境对检测元件的影响,如:温度、湿度、腐蚀性大气、机械冲击、振动和电磁场。

5.5.2 安全

安全方面应考虑如下几点:

- 流量计应在流量计技术要求限定的过程条件下工作;
- 流量计应符合必要的危险区域分类和所有适用的国家或国际要求;
- 只有经过培训的有相应资格的人员才能安装、操作和(或)维护流量计。

5.5.3 机械应力

机械应力方面应考虑如下几点:

- 应根据所要承受的温度、压力和管道振动选择流量计,并应根据相应的标准用合适的流体进行耐压试验;
- 应保证临界应用状态下的密封性,最好参照相应标准在真空条件下用氦气对所有流量计进行测试。

5.5.4 过程条件下的调整

5.5.4.1 总则

如果实际工作条件和流量计校准时不一致,可能需要另行调整。

5.5.4.2 零点调整

在流量计安装完毕并经检查符合制造厂提出的所有建议以及各项法定要求后,可能需要在过程条件下用某些过程气体进行零点调整,以补偿前面所述的影响。此调整过程必须在实际过程温度和压力条件下进行。过程条件应稳定并且绝对不应有气体流量。根据气体的品质和(或)应用的性质,可能还需要定期重复此项调整。

5.5.4.3 量程调整

CTMF 流量计通常依据实际过程条件进行校准。如果实际过程条件不同于校准条件,或者气体类型或品质不同于规定校准用气体,就可能需要调整量程。但现场装置必需提供条件取得参比流量值与 CTMF 流量计的读数进行比对才能进行量程调整(见第 8 章)。量程调整必须在实际过程温度和压力条件下进行。调整过程中实际温度、压力和流量应保持稳定。根据气体的品质和(或)应用的性质,可能还需要定期重复此项调整。

6 插入式和(或)管道式热式质量流量计(ITMF 流量计)

6.1 测量原理

6.1.1 总则

典型的 ITMF 流量计由两个温度传感器组成(见图 3)。

一定量的加热功率 P 施加至其中一个传感器上,使其温度升高至被测值 T_2 。另一个传感器测量气体温度 T_1 。根据被加热传感器和气体的温差($\Delta T = T_2 - T_1$)和所加热功率 P 就可以确定气体的质量流量。

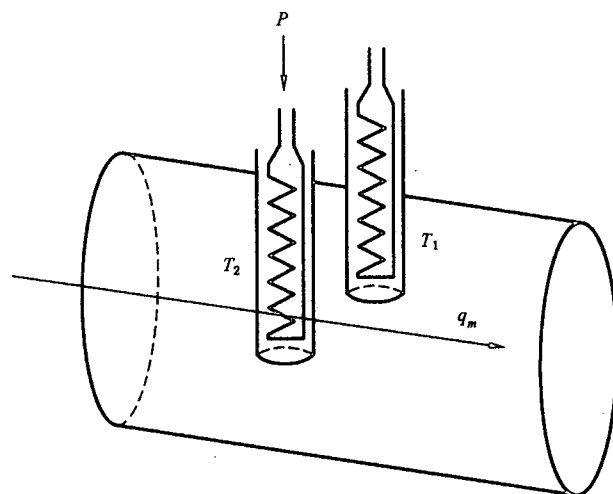


图3 典型的ITMF流量计传感器结构

加热功率 P 、温差(ΔT)和质量流量(q_m)之间的关系可用下式表示:

$$\frac{P}{\Delta T} = K_1 + K_2 \times (q_m)^{K_3} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

K_1, K_2, K_3 ——设计和校准参数;

ΔT ——温差($= T_2 - T_1$), K;

P ——输入加热功率, W;

q_m ——质量流量, kg/s。

这被称为金氏定律。 K_1 和 K_2 取决于传感器的几何尺寸和气体特性,如热导率、粘度和比热容。 K_3 与雷诺数有关。

这些系数的数值是流量计和气体所特有的,因此 ITMF 流量计必须根据所要测量的气体进行校准。

在实际应用中,测量气体质量流量的方法有两种:恒定功率法或恒定温差法。

6.1.2 恒功率法

这种方法在测量温差(ΔT)时保持电加热功率 P 恒定。简化公式是:

$$\Delta T = K_4 + K_5 \times (q_m)^{K_6} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

K_4, K_5, K_6 ——设计和校准参数。

通常,热变电阻器既测量气体温度又测量被加热传感器的温度。这两个温度的温差是质量流量 q_m 的函数(见图4)。

6.1.3 恒温差法

在测量加热功率(P)的变化时保持温差(ΔT)恒定。简化的公式是:

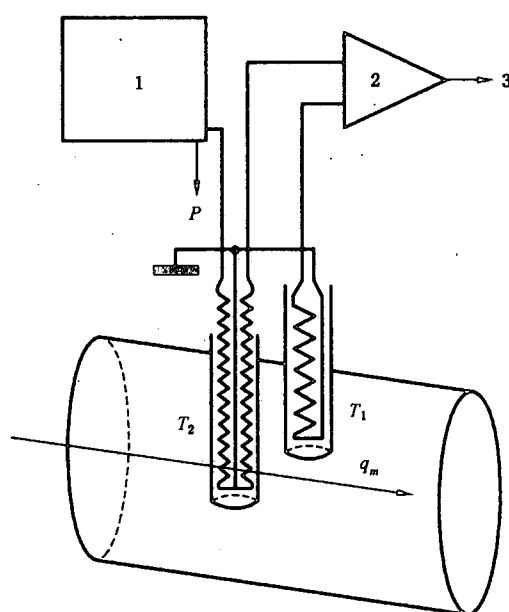
$$P = \Delta T \times [K_7 + K_8 \times (q_m)^{K_9}] \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

K_7, K_8, K_9 ——设计和校准参数。

被加热传感器和气体温度传感器都是典型的²⁾热变电阻器。通过一个桥路保持被加热传感器(T_2)与气体温度传感器(T_1)之间的温差恒定(见图5)。

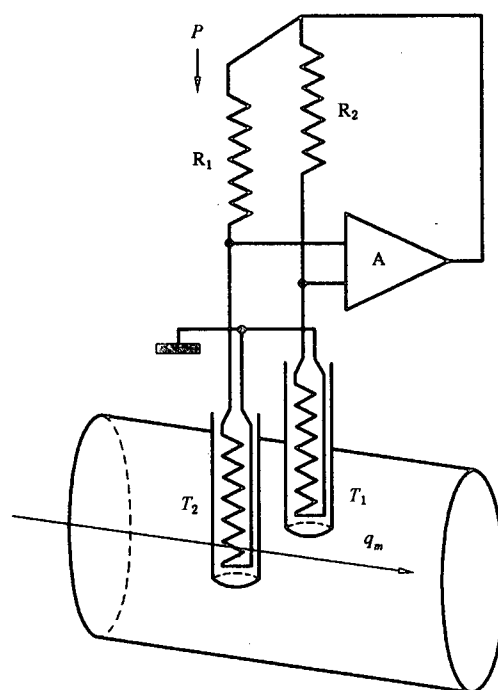
2) 另有利用硅二极管、热电偶、电阻温度计(亦称作电阻温度检测器)(RTD)等的热特性的配置。



图中：

- 1——恒压电源；
- 2——放大器；
- 3——质量流量测定。

图 4 “恒功率”ITMF 流量计传感器电路简图



图中：

- R_1 ——电阻 1；
- R_2 ——电阻 2；
- A——放大器。

图 5 恒温差 ITMF 流量计的简化电路

6.2 典型结构

6.2.1 ITMF 流量计的基本结构

ITMF 流量计由三个基本功能部件组成：表体或探头、检测元件和电子模块。这些部件的排列显示出不同流量计结构的特征。

电子模块被认为是二次装置，可远离流量计表体。它为检测元件和过程电子装置提供电源。ITMF 流量计的输出通常可以规定为各种单位的流量输出和（或）总量输出。通常还能提供附加输出，例如流量计算机能提供其他性能和诊断信息。

ITMF 流量计有不同的结构形式，根据其管件通常可分为：法兰型、螺纹型、夹装型或插入型（见图 6 和图 7）。前三种类型都是气流流经表体的管道式流量计。插入式 ITMF 流量计的表体只用于安装和保护检测元件。标准 ITMF 流量计的管道配件有多种形式可供选用，如 ANSI 和 DIN 法兰、卫生型耦合接头和 NPT 螺纹。

6.2.2 管道式 ITMF 流量计

检测元件安装在一段两端带螺纹或法兰接头的直管段内。气流流过流量计和检测元件。某些这种型式的 ITMF 流量计在检测元件的上游和下游可能都有一段直管段，以降低流动干扰的影响。图 6 所示是典型的管道式 ITMF 流量计。

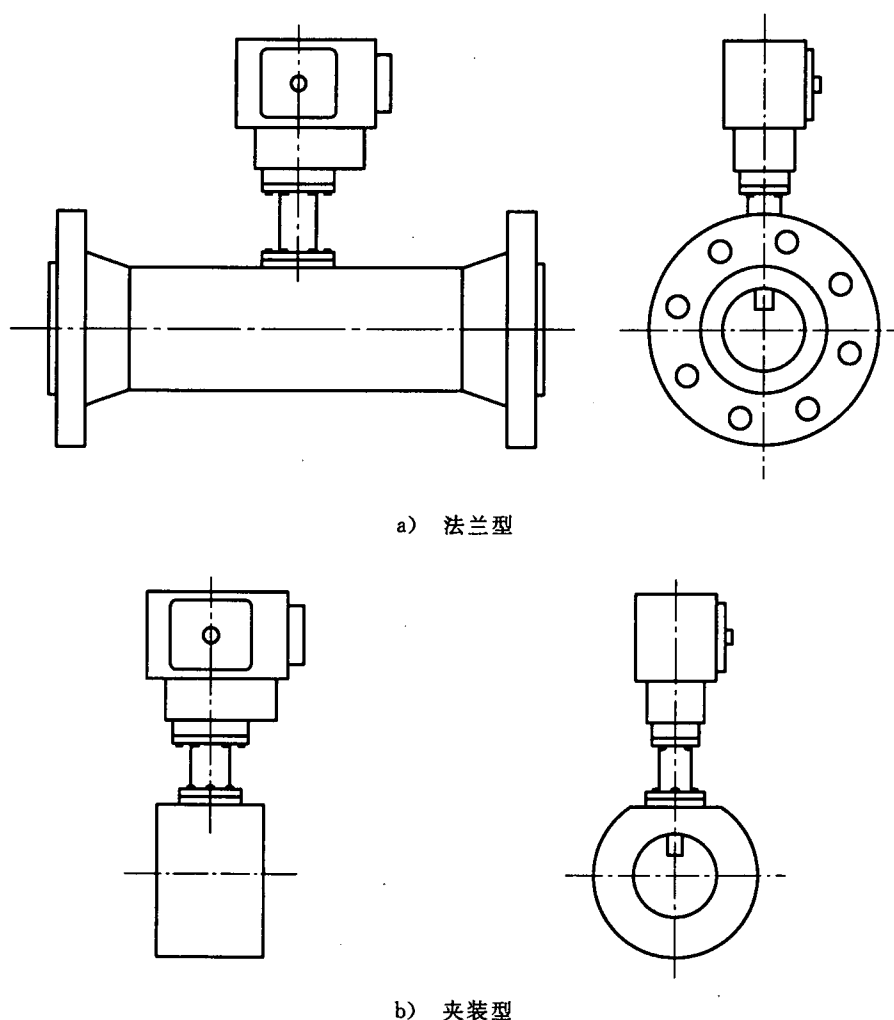


图 6 典型的法兰型和夹装型管道式 ITMF 流量计结构

夹装型的管道式 ITMF 流量计应夹装在原有的两个管道法兰之间。其安装长度或表体宽度的标准值通常为 65 mm。

检测元件的结构取决于制造厂,但它至少由一个热源和两个温度传感器组成。检测元件在管道横截面上的位置是固定的。另外还可能含有其他部件用于流动调整或机械防护。

6.2.3 插入式 ITMF 流量计

插入式 ITMF 流量计通常都用于大口径管道,但某些结构可用于小到 50 mm 口径的管道。检测元件安装在探杆的末端插入到流动气流中。根据测量点的流量、横截面面积和流动剖面补偿测定总的质量流量。检测元件通常都有一定程度的机械保护。图 7 描述了两两种典型的插入式 ITMF 流量计,每一种都有不同的安装形式。其他形式包括:卡套式、密封压盖式、卫生型和超高洁净管件。

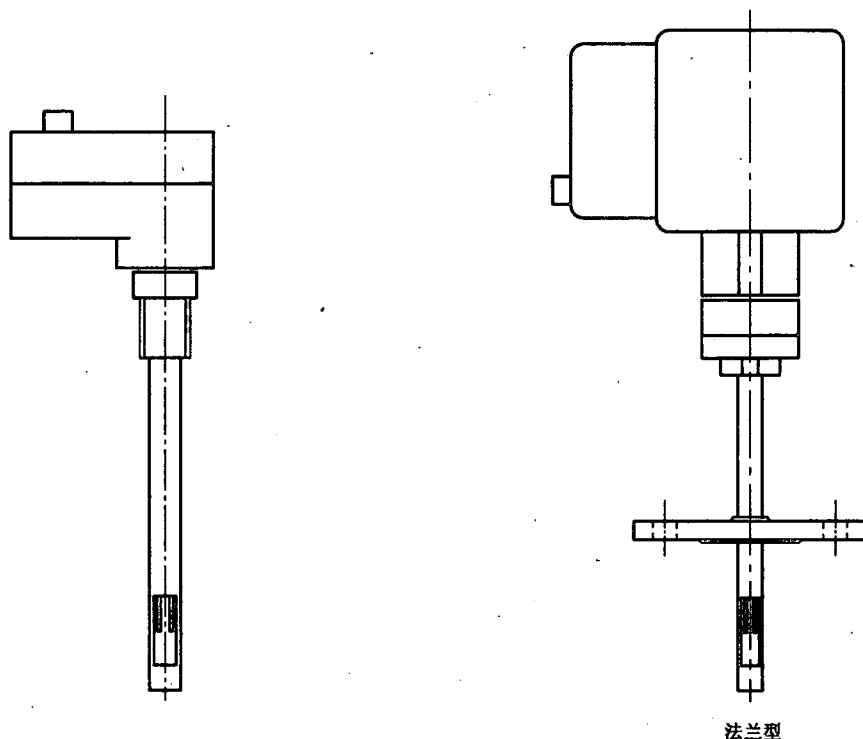


图 7 典型的插入式 ITMF 流量计结构

检测元件在管道横截面中的位置对于流量计的最佳性能至关重要(见 6.5)。如果检测元件不能按制造厂的建议进行安装,就必需做进一步调整。某些结构的插入式 ITMF 流量计允许调整检测元件在管道内的位置以便于完善安装。

在管道外表面上焊接一个连接装置使插入式 ITMF 流量计能够安装到管道中。(焊接质量要符合安全要求。)插入式 ITMF 流量计利用这个连接装置安装在管道中。连接装置的安装连接件应与插入探杆的连接件相匹配。

6.2.4 多点插入式 ITMF 流量计

有一种特殊形式的插入式 ITMF 流量计,它由多个流量检测元件组成,每个检测元件的功能都和单点插入式流量计的功能相同。多个检测元件沿着插入探杆的长度方向排列,在管道横截面的多个点上测量流量。二次装置接收各个检测元件的测量值并计算出管道内的平均气体质量流量。

这种多点测量技术可降低上游流动扰动引起的流速分布畸变造成误差的影响。

这种装置通常用于管径大于 600 mm、横截面面积大于或等于 0.4 m² 的管道。

6.3 应用和使用限制

6.3.1 概述

本条简述对 ITMF 流量计的性能有直接影响的因素。

公式(5)~公式(7)表明 ITMF 流量计的校准取决于气体的特性,因此 ITMF 流量计是一种推导性

的质量流量计。尽管 ITMF 流量计响应质量流量的变化,但考虑到气体的类型和实际工作条件,有必要对其进行校准。ITMF 流量计的所有技术条件通常是根据干燥的清洁气体给出的。因此,在最初校准后,气体特性的任何变化都将影响测量性能。

6.3.2 标准体积流量单位

标准体积流量输出[$\text{m}^3/\text{h}(\text{标准})$]是用测得的质量流量值除以规定参比压力和温度条件下的气体密度导出的。

例如:对于空气,在 0°C 和 101.325 kPa 下的标准密度等于 $1.293\text{ kg}/\text{m}^3$, $12.93\text{ kg}/\text{h}$ 的质量流量等于 $10\text{ m}^3/\text{h}(\text{标准})$ 的标准体积流量($12.93/1.293$)。

如果使用标准体积流量单位,应考虑以下两点避免测量误差:

- 参比温度和压力条件应与校准时使用的条件相同;
- 在参比压力和温度条件下,混合气体成分的变化对气体密度的影响。

6.3.3 流体特性影响

流体特性变化影响热导率、比热和粘度,直接影响 ITMF 流量计的性能。

6.3.4 温度影响

温度对 ITMF 流量计的影响有以下几种:

- 动态:如果气体温度的变化比 ITMF 流量计的温度响应时间快,会引起测量误差。
- 稳态:温度变化引起的气体特性的变化会引起零点误差和校准误差,这取决于气体的类型。在实际过程温度下调整 ITMF 流量计的零点可以校正这些变化(校准误差通常可在转换器设定中进行补偿)。
- 环境:环境温度急剧变化引起的流量计表体的热损失变化会导致测量误差。ITMF 流量计应安装得能避免受到环境温度急剧变化影响,并且(或)在必要时采取措施,以维持一个比较稳定的工作环境(例如流量计和管道采取绝热措施)。

6.3.5 压力影响

压力变化引起的气体特性变化可能引起零点误差和校准误差,这取决于气体的类型和变化的幅度。零点误差可在零流量条件和实际过程压力下通过调整 ITMF 流量计的零点加以校正(校准误差通常可在转换器设定中进行补偿)。

6.3.6 流体态

应控制过程工作条件以保证检测元件周围的流体态不发生变化。这种变化会显著影响 ITMF 流量计的性能。

6.3.7 双向流

ITMF 流量计一般能测量任一方向的流量。但若不另外加装检测元件它们不能辨别实际流向。

6.3.8 脉动影响

脉动流会引起测量误差(最典型的是输出偏高),其程度和脉动的幅度和频率有关。这种影响常可通过改变转换器的设定加以补偿。

6.3.9 压力损失

压力损失的发生取决于测量元件在管道横截面中的阻塞效应。对于大多数 ITMF 流量计结构而言,它相当于一段无扰动短管引起的压力损失。这种损失一般很小,只有几百帕斯卡(几毫巴),但在某些管径、流量计类型和过程条件下也可能较大。

6.3.10 检测元件污染

固体颗粒沉积、结垢或滞留冷凝物可能会影响流量计的性能。

6.3.11 安装方位的影响

在大多数应用场合中,安装方位不影响 ITMF 流量计的性能。虽然如此,仍应采用正常的安装方式并遵循制造厂的特定安装指南。

对于某些结构的流量计而言,在流量较小时,由于管道内自然热对流的缘故,安装方位会成为重要因素。如果需要精确测量小和微小流量时,应寻求制造厂的指导。

6.3.12 安装影响

流动剖面畸变和(或)气流中的旋涡会影响 ITMF 流量计。应始终采用正确的安装方式以避免测量误差。流量计的上、下游需要一段规定长度、无扰动、管径不变的直管段。制造厂一般用管径(D)的倍数来表示所需的直管段长度。直管段长度取决于流量计上游出现的扰动的类型(例如:单个或复合弯头、渐缩管、渐扩管、阀门等)。任何指定的建议均宜视为“最小”长度建议,特别是在上游有组合扰动和(或)气体很轻(例如:氢气、氦气)的场合。

例如:直径 150 mm 的管道,单个 90°弯头,典型的上游直管段要求是 $20D$,即相当于 3 000 mm。

在安装管道的这个规定直管段内,应考虑如下事项:

- 安装管道应有清洁的焊接连接件(管道和法兰);
- 流量计的上游直管段应使用无缝管道;
- 安装管道应与管道法兰或过程管件对准;
- 安装管道的密封件和(或)垫圈应正确固定,不能突入管道内;
- 只要有可能,控制阀应安装在流量计的下游。

如有疑虑,可考虑使用流动调整器将扰动的影响降到最小。某些类型的 ITMF 流量计可选用一体化的流动调整器。

6.3.13 管道振动

管道振动一般对 ITMF 流量计的性能没有影响,但使用条件应在常用极限范围以内。应确保任何振动都不会损坏流量计。插入式 ITMF 流量计应刚性地固定在管壁上防止共振。

6.4 流量计的选择

6.4.1 总则

对测量系统的主要要求是系统应按规定的不确定度测量气体质量流量。在选择最合适的流量计时要考虑 6.4.2~6.4.7 所述各点。

6.4.2 性能技术条件

应考虑如下性能技术条件:

- a) 不确定度:
 - 1) 实际安装条件和工作条件与制造商数据的一致程度;
 - 2) 校准程序和校准装置的溯源性。
- b) 重复性。
- c) 范围度。
- d) 稳定性。
- e) 温度影响。
- f) 压力影响。
- g) 范围度。
- h) 检测元件响应时间。
- i) 最大流量时的压力损失。

6.4.3 物理技术条件

应考虑如下物理技术条件:

- 安装流量计所需的空間(例如:流量计的尺寸、上游、下游管道直径)。如果需要和可能的话,还包括现场校准-检查/校准和收放机构所需的空間。
- 管道连接件的等级和类型。
- 材料的兼容性。

- 非破坏性试验程序。
- 危险区域分类。
- 气候和环境影响。
- 任何适用的国家和国际要求。

6.4.4 流量计的额定值

应考虑流量计的下列额定值：

- 最大允许过程压力；
- 环境温度和过程气体温度。

6.4.5 应用和流体特性

应考虑如下应用和流体特性：

- 工作流量；
- 被测气体特性，包括气体类型或混合气体的组分；
- 过程压力范围；
- 过程温度范围；
- 若使用标准体积流量单位[m^3/h (标准)、 L/min (标准)]，过程参比条件。

6.4.6 腐蚀

接触介质的材料发生腐蚀，包括电化腐蚀，会影响 CTMF 流量计的性能和使用寿命。在选择制造材料时应注意确保其与过程气体，包括净化或清洗液体兼容。应对所有接触过程流体的材料做出规定。

6.4.7 转换器技术要求

应考虑转换器的下列技术要求：

- 电气、电子、气候和安全兼容性；
- 必需的信号输出选项；
- 输入功率要求。

6.5 安装和试运行

6.5.1 总则

流动剖面畸变和(或)气流中的旋涡会对 ITMF 流量计产生不利影响。应始终采用正确的安装方式以避免测量误差。可遵循 6.3.12 的建议(见图 8)，以确保正确安装。为达到最佳性能：

- ITMF 流量计应安装在过程条件(温度和压力)和环境条件最稳定的场合；
- 在任何情况下都应考虑使用流动调整器；
- 应考虑提供在线校准检定的手段。

6.5.2 清洗

对于某些应用(如卫生设施)，应为现场清洗 ITMF 流量计的检测元件作好准备。清洗的方法有：

- 消毒(就地蒸汽，SIP)；
- 化学或生物清洗(就地清洗，CIP)。

在清洗过程中，ITMF 流量计停止工作。使用清洗液后应注意避免交叉污染。

6.5.3 安全

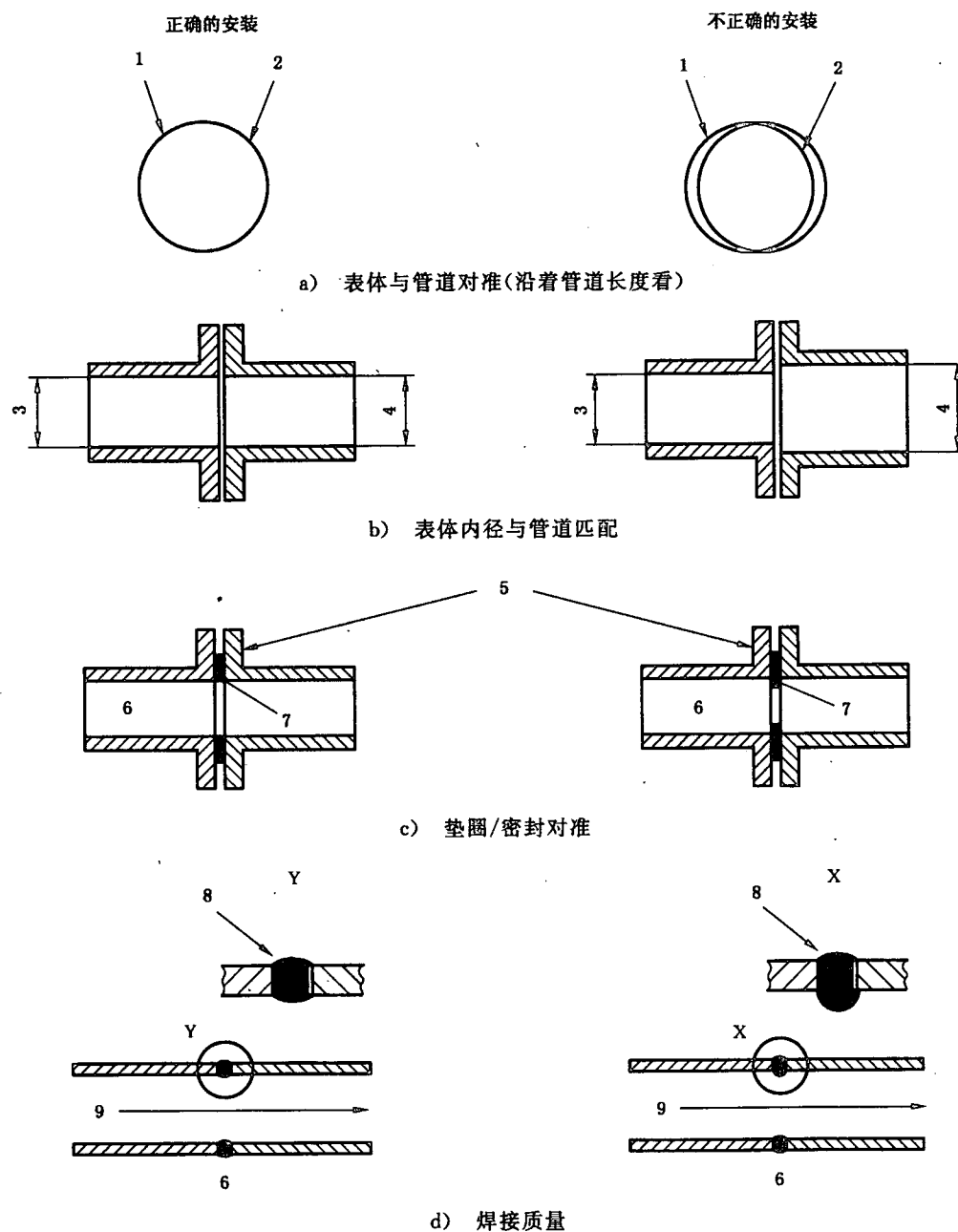
安全方面应考虑如下几点：

- 流量计应在技术要求限定的过程条件下工作。
- 流量计应符合必要的危险区域分类和所有适用的国家或国际要求。
- 应考虑气流中的固体颗粒可能冲击损坏检测元件，造成检测元件的密封被损坏导致气体泄漏。
如有可能，一次装置可配备一个辅助气密封装置，以防检测元件或密封发生故障。
- 只有经过培训的有相应资格的人员才能安装、操作和(或)维护流量计。

6.5.4 机械应力

有关机械应力应考虑以下几点：

- 应根据所要承受的温度、压力和管道振动选择流量计，并应根据相应的标准用合适的流体进行耐压试验；
- 应保证临界使用状态下的密封性，最好参照相应标准用氮气对流量计进行测试。



图中：

- | | |
|--------------------|--------------|
| 1——管径； | 6——管道； |
| 2——管道式 ITMF 表体的内径； | 7——垫圈和(或)密封； |
| 3——管径 1； | 8——焊缝； |
| 4——管径 2； | 9——流动气体。 |
| 5——过程管件； | |

图 8 ITMF 的安装：正确的安装和不正确的安装

6.5.5 过程条件

6.5.5.1 总则

如果实际工作条件与流量计校准时的设置不一致,可能需要另行调整。

6.5.5.2 零点调整

在流量计安装完毕并经检查符合制造厂提出的所有建议以及各项法定要求后,可能需要在工作过程条件下用某些过程气体进行零点调整,以补偿 6.3 所述的影响。

此调整过程必须在实际过程温度和压力条件下进行。过程条件应稳定并且绝对不应有气体流量。

根据气体的品质或应用的性质,可能还需要定期重复此项调整。

6.5.5.3 量程调整

ITMF 流量计通常依据实际过程条件进行校准。如果实际过程条件不同于校准条件,或者气体类型或品质不同于规定校准用气体,就可能需要调整量程。但现场装置必需提供条件取得参比流量值与 ITMF 流量计的读数进行比对才能进行量程调整(见第 8 章)。量程调整必须在实际过程温度和压力条件下进行。调整过程中实际温度压力和流量应保持稳定。根据气体的品质或应用的性质,可能还需要定期重复此项调整。

7 仪表规格单和标志

7.1 用户规格单

用户应提供如表 2 所示的使用要求和最少量的附加信息供制造厂确定适用的 TMF 流量计。

7.2 制造厂数据单

制造厂在确定 TMF 流量计和与用户规定要求不相符的信息时,应提供如表 3 所示的信息。

表 2 由用户提供的信息

说 明	单位实例或信息	类型
由气体制造厂提供的已知气体数据(包括有关混合物和含水量的信息)	氩 +5℃露点	数据
最小、公称和最大流量	—	数据
流量单位,如果要求采用标准体积单位还应包括参比条件	kg/s m ³ /s(标准) (0℃;101.325 kPa)	数据
最小、公称和最大过程压力	Pa	数据
最小、公称和最大过程温度	℃或 K	数据
最小、公称和最大环境温度	℃或 K	数据
要求的不确定度(若对应用有重要意义)	流速的%, 满标度的%	数据
要求的重复性(若对应用有重要意义)	%	数据
要求的输出时间响应(若对应用有重要意义)	s	数据
过程连接件	—	说明
电连接	—	说明
电源	V, d. c.	数据
输出信号型式	4 mA~20 mA, 脉冲	说明
防爆要求	—	说明

表 2(续)

说 明	单位实例或信息	类型
安装方位	垂直,水平	说明
配置选择	远程电子装置	说明
其他相关应用数据	—	说明

表 3 制造厂规定的信息

说 明	单位范例或信息	类型
流量计识别符	—	说明
工作压力范围和设计压力	Pa(bar)	数据
工作温度范围和设计温度	℃或 K	数据
环境温度	℃或 K	数据
湿度范围	露点℃	数据
流量单位,如果要求采用标准体积单位还应包括参比条件	kg/s m ³ /s(标准) (0℃,101.325 kPa)	数据
最小响应时间(流量和温度)和定义	s($\tau=63\%$)	数据
某一规定工作期限内过程压力和温度的瞬时影响	%/Pa,%/℃,%/K	数据
最大流量下的压力损失	Pa(mbar)	数据
测量范围内符合 ISO 7066-2 和 GUM 的校准条件下的测量不确定度和重复性	流速的%, 满标度值的%	数据
输出信号型式(模拟、频率、脉冲、通信接口)	—	数据
必要的上、下游直管段	—	数据
安装位置和方向说明	—	说明
一次装置和二次装置外壳环境保护等级	IP65 ^[8] ,NEMA 4X ^[9]	数据
贮存条件	—	数据
接触流体部件的材料	—	说明
一次装置和二次装置的尺寸和质量	mm,kg	图纸,数据
电缆长度和规格(一次装置和二次装置之间)	m	数据,说明
电源(电压,频率,功耗,a.c./d.c.,及其公差)	V,VA,Hz	数据
应要求提供的:校准、防爆、压力试验、泄漏试验、焊接、产品、结构材料合格证书	—	数据和说明
符合 GB/T 17626 的电磁兼容(EMC)要求	—	数据
任何特殊要求和(或)建议	—	说明

7.3 标志

7.3.1 强制性标志

流量计上的强制性标志如下所示:

- 制造厂名称;
- 流量计的型号;
- 唯一的识别符号(例如编号);

- 最大压力和温度额定值；
- 防爆标志和批准号；
- CE 标志和(或)其他管理标志。

7.3.2 可选标志

流量计上的可选标志如下所示：

- 有关过程气体、工作条件和流量的信息；
- 其他相关补充信息。

8 校准

8.1 总则

TMF 流量计应逐台校准。校准结果和校准条件应列入校准证书。

TMF 流量计的校准与其他流量计的校准类似。在要求的测量范围内，将流量计的模拟和(或)数字输出与一个不确定度更优的可溯源标准表作比较。

典型的标准表类型包括：临界流文丘里(音速喷嘴)、涡轮流量计、容积式流量计、激光多普勒风速计、活塞式校准装置或钟罩式校准装置。当采用容积式测量装置作为标准表时，需要作温度和压力补偿才能计算质量流量。

校准时还需考虑：

- 校准条件应尽可能接近流量计的实际工作条件。
- 校准装置应能溯源到国家标准或原始标准。
- 数据采集和不确定度计算宜符合 ISO 7066-2 和 GUM。

校准可按 8.2~8.5 进行。

8.2 使用待测过程气体

校准最好使用待测过程气体，以给出最佳不确定度声明。但这种方法是否可行取决于实际情况。

8.3 使用替代气体

选用便于使用和(或)类似于待测过程气体的替代气体校准 TMF 流量计。然后用 k 系数进行修正或进行数值计算，转换成待测过程气体和(或)过程条件。

在不能模拟实际过程条件的情况下，这个方法最为实用，但它会增加最终的测量不确定度。

8.4 现场校准

由于现场校准能在实际过程条件下进行，并且还能将安装对 TMF 流量计的影响综合在最终结果中，因而能取得最好的校准效果。然而，要进行符合要求的现场校准，基准装置必须具有可溯源校准记录。通常的做法是用可溯源到国家标准的“标准表”作为基准装置。应注意，在校准时基准流量计与被校准 TMF 流量计之间应无泄漏，在采集数据时过程条件应稳定。

8.5 插入式 ITMF 流量计

由于涉及的管径较大，往往无法按实际管径对插入式 ITMF 流量计进行工厂校准。因此，通常是依据标准流速而不是满管流量进行校准。根据最终的管径和所需的流量单位调整转换器的数值比例，最终实现流量校准。由于计算取决于管道直径上的流动剖面，这种测量装置的不确定度会增大。

8.6 校准周期

正确安装的 TMF 流量计在正常使用时没有磨损部件，因此流量计的校准没有理由会产生漂移。因此，对流量计的性能进行现场检定要比重新进行全面校准更为合适。流量计的检定(或者重新校准)周期通常取决于机构内部的质量管理程序，并且受控于应用的临界状态(如：性能要求、气体的清洁度和干燥程度、过程条件的稳定性)。

若有疑虑，建议每年一次或二次，并可根据取得的流量计性能记录相应减少次数。

8.7 校准证书

校准证书应包含以下信息：

- a) 唯一的证书编号,连同页码和总页数一起标在每一页上；
- b) 接收、测试流量计和颁发证书的日期；
- c) 校准的方位；
- d) 连接管道的尺寸和类型；
- e) 校准所用气体的名称和条件；
- f) 环境条件；
- g) 校准不确定度声明；
- h) 校准装置的溯源性；
- i) 整个校准范围的校准结果；
- j) 校准实验室的名称；
- k) 校准装置的编号；
- l) 被校准流量计唯一识别符详细说明；
- m) 流量计的 k 系数(若适合)；
- n) 校准过程中转换器中的配置数据；
- o) 授权人签字；
- p) 应用条件(若了解)。

9 安装前的检查和测试

TMF 流量计是过程管道的组成部分,因而宜考虑和管道中安装的其他装置一样接受类似的测试。除了校准/性能检查以外,为了满足某些要求,还可进行以下任选项目试验：

- a) 尺寸检查；
- b) 按用户要求,根据可溯源标准进行水压试验；
- c) 检查一次装置,检测内部缺陷和焊接的完整性(如射线摄影或超声波)。

除上述报告外,在最终检查时还需具备以下证书：

- 所有承受压力部件和(或)接触介质部件的材料证书；
- 一致性证书(如电气场所类别)；
- 合格证书；
- 校准证书和试验结果。

10 维护

10.1 总则

为了使 TMF 流量计保持最佳性能,建议按 10.2~10.4 所述的一般维护指南定期进行维护。

目视检查、清洗或功能测试的周期应根据实际应用情况和该类装置或类似装置的历史运行经验而定。

如果认为合适,管道式 ITMF 流量计采用旁通回路,或者插入式 ITMF 流量计采用收放机构可以简化维护程序。

10.2 目视检查

按下述方法进行目视检查：

- 外壳(包括一体型和分离型):常规检查腐蚀和(或)进水迹象。核实外壳是否关闭,盖子是否盖严,所有的密封(如垫圈或 O 形圈)有无损坏。
- 配线:检查输入电源,流量检测元件和输出信号电缆有无老化迹象和(或)绝缘或保护套有无

损坏。

——检测元件:检查过程连接件有无泄漏迹象。去除所有残留物,检查有无积垢或腐蚀。

——清洗:使用恰当的溶剂和布或软刷。不可过于用力。

10.3 功能测试

按下述方法进行功能测试:

——根据生产厂的指南执行可用的诊断程序。

——如有必要,使用可溯源基准装置(见第8章)检查仪表的零点和量程。

——检定接收仪表(如:显示仪、报警器、记录仪、分散型控制系统)的标度和设定点的设定。

10.4 记录保存(维护评审跟踪)

每一台 TMF 流量计的维护记录详细记载如检查/试验的日期及其结果等信息,保存这个维护记录十分有用。这些记录可用于帮助诊断故障和指导将来的维护工作。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3358.1—1993 统计学术语 第一部分 一般统计术语.
 - [2] GB/T 3358.2—1993 统计学术语 第二部分 统计质量控制术语.
 - [3] GB/T 3358.3—1993 统计学术语 第三部分 试验设计术语.
 - [4] GB/T 3369—1989 工业自动化仪表用模拟直流电流信号.
 - [5] GB/T 3370—1989 工业自动化仪表用模拟直流电压信号.
 - [6] GB 4208—1993 外壳防护等级(IP 代码).
 - [7] GB/T 6592—1996 电工和电子测量设备性能表示.
 - [8] ISO 5168 流体流量测量——不确定度的评估.
 - [9] ANSI/NEMA 250 电器设备的外壳(最大 1 000 V).
 - [10] 国际基本和通用计量术语词汇(VIM). BIPM、IEC、IFCC、ISO、IUPAC、IUPAP、OIML. 第二版, 1993.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
封闭管道中流体流量的测量
热式质量流量计

GB/T 20727—2006/ISO 14511:2001

*

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 1.75 字数 45 千字
2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-29430 定价 22.00 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)68533533



GB/T 20727-2006