



天津市地方计量技术规范

JJF (津) 133-2024

均速管流量传感器校准规范

Calibration Specification of Averaging Pitot-Type Flow Transducer

2024-08-01 发布

2024-11-01 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

均速管流量传感器

校准规范

Calibration Specification of

Averaging Pitot-Type Flow Transducer

JJF(津) 133-2024

归口单位：天津市流量容量计量技术委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

天津市产品质量监督检测技术研究院自行车研究中心

本规范委托天津市流量容量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

马云峰（天津市计量监督检测科学研究院）

张 璋（天津市计量监督检测科学研究院）

刘继萍（天津市产品质量监督检测技术研究院自行车研究中心）

安海骄（天津市计量监督检测科学研究院）

刘 明（天津市计量监督检测科学研究院）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 术语.....	1
3.2 符号与单位.....	1
4 概述.....	2
4.1 工作原理.....	2
4.2 分类.....	2
4.3 用途.....	2
5 计量特性.....	3
5.1 示值误差.....	3
5.2 重复性.....	3
6 校准条件.....	3
6.1 外观条件.....	3
6.2 介质条件.....	3
6.3 环境条件.....	3
6.4 安装条件.....	3
6.5 主标准器及配套设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 校准项目.....	4
7.2 校准方法.....	4
7.3 校准结果的计算.....	5
8 校准结果表达.....	6
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 校准记录参考格式.....	7
附录 B 校准证书内页参考格式.....	9
附录 C 不确定度评定示例.....	10

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1004《流量计量名词术语与定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范参考了 JJG 640-2016《差压式流量计》、GB/T 2624.1-2016《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第一部分 一般原理及要求》、CJ/T 3054.1-1995《水量计量仪表 均速管流量计》、JB/T 5325-1991《均速管流量传感器》，并结合天津区域内均速管流量传感器的生产和应用现状制定。

本规范为首次发布。

均速管流量传感器校准规范

1 范围

本规范适用于使用液体介质校准安装在圆形截面管道中，用于测量满管单相流的均速管流量传感器的流量系数。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 640-2016 差压式流量计

JB/T 5325-1991 均速管流量传感器

凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包含所有的修订单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 均速管流量传感器 averaging pitot-type flow transducer [JB/T 5325-1991, 术语 3.1]

横贯管道直径，在传感器迎流面测多点总压平均值。在背流面测多点（或一点）静压的平均值，并按总压与静压的平均差压值来推算管道流量的传感器；或采用管壁取静压代替传感器背流面测静压的方法，并按总压与静压的平均差压值来推算管道流量的传感器。

3.1.2 差压装置 differential pressure device [JJG 640-2016, 术语 3.1.15]

由差压件、取压装置和前后测量管组成的装置。分为包括节流装置和非节流式差压装置两种。

3.1.3 流量系数 flow coefficient

为不可压缩流体确定的表示通过非节流式差压件的实际流量与理论流量之间关系的参数。

3.2 符号与单位

本规范相关符号与含义见表 1。

表 1 符号与单位

代号	量	量纲	单位符号
α	流量系数	无量纲	——
D	工况条件下, 上游测量管内径	L	m
q_m	质量流量	MT^{-1}	kg/s
q_v	体积流量	L^3T^{-1}	m^3/s
Re	雷诺数	无量纲	——
Re_D	与 D 有关的雷诺数	无量纲	——
t	液体温度	θ	$^{\circ}C$
U_{rel}	相对扩展不确定度	无量纲	——
Δp	差压	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ν	流体的运动黏度	L^2T^{-1}	m^2/s
ρ	流体密度	ML^{-3}	kg/m^3

注：在“量纲”栏中，长度、质量、时间和热力学温度的量纲，分别用 L、M、T、 θ 表示。

4 概述

4.1 工作原理

均速管流量传感器是以伯努利方程和流动连续性方程为依据，当被测介质流经均速管流量传感器时，在其前后产生差压，而这一差压与流量的平方成正比，通过测量差压确定流体的流量。

4.2 分类

- (1) 按检测杆外形分类：圆形、菱形、子弹头形、T形、双龟翼形等；
- (2) 按结构形式分类：分离型、悬臂型、支撑型；
- (3) 按检测杆取出方式分类：断流取出型、不断流取出型；
- (4) 按工作条件分类：普通型、高温高压型、耐腐形等；
- (5) 按连接方式分类：插入型、一体型；
- (6) 按静压取压方式分类：检测杆背部取静压、管壁取静压；
- (7) 按开孔方式分类：等面积法、等流量法、线性-对数法、切比雪夫积分法、高斯法等。

4.3 用途

均速管流量传感器主要用于封闭管道中满管单相流气体、液体和蒸汽流量的测量。

5 计量特性

5.1 示值误差

均速管流量传感器的准确度等级、最大允许误差应符合表 2 的要求

表 2 均速管传感器最大允许误差

准确度等级	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
最大允许误差/%	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0	±2.5

5.2 重复性

均速管流量传感器的重复性不得超过相应最大允许误差绝对值的 1/3。

注：以上指标不用于合格判据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 外观条件

6.1.1 均速管流量传感器的外表应有良好的处理，不得有毛刺、刻痕、裂纹、锈蚀、霉斑，涂镀层不得有起皮、剥落等现象。

6.1.2 均速管流量传感器的连接部分的焊接应平整光滑，不得有虚焊、脱焊等现象。

6.1.3 均速管流量传感器密封面应平整，不得有损伤。

6.2 介质条件

6.2.1 被测介质必须充满整个管道且为单相连续流动的液体，不应存在临界流。

6.2.2 流体的流量应该稳定。

6.2.3 流体在传感器上游侧应为充分发展湍流。

6.2.4 检测用流体应是清洁的，无可见颗粒、纤维等杂质。

6.3 环境条件

环境条件一般应满足：

环境温度：5℃～45℃；

环境湿度：35%RH～95%RH；

大气压力：86kPa～106kPa

6.4 安装条件

6.4.1 传感器可水平或垂直（或倾斜）安装在与上、下游公称通径一致的相应管道上。

6.4.2 安装均速管流量传感器的测量管段应是直的，距上下游侧直管段长度不得小于

说明书规定的最短长度。

6.4.3 均速管流量传感器的总压孔必须正对流向。

6.4.4 均速管流量传感器应沿着管道直径方向插入到底。

6.4.5 均速管流量传感器高、低引压管应处于同一平面上。

6.4.6 对于水平管道，均速管流量传感器插入位置应位于管道横截面与水平面中心线 45° 以下的范围内。

6.4.7 均速管流量传感器通过接头固定在管道上，拧紧接头后不得松动或漏气。

6.5 主标准器及配套设备

6.5.1 校准所用的主标准器为液体流量标准装置。液体流量标准装置的扩展不确定度应不大于均速管流量传感器最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

6.5.2 差压变送器、温度计的测量误差对检测结果的影响应不超过均速管流量传感器最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

6.5.3 管道内径测量使用游标卡尺、钢卷尺和超声波测厚仪。具体要求见表 3。

表 3 管道内径测量设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	钢卷尺	优于 II 级（包括 II 级）	测量试验管道外直径（DN200 及以上）
2	游标卡尺	量程：200mm；MPE： $\pm 0.03\text{mm}$	测量试验管道外直径（DN200 以下）
3	测厚仪	MPE： $\pm 0.1\text{mm}$	测量试验管道壁厚

6.5.4 校准所用主标准器及配套设备应具备有效期内且符合校准要求的检定或校准证书。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

均速管流量传感器流量系数的校准。

7.2 校准方法

均速管流量传感器所插入的管道内径必须实测，在均速管流量传感器前后各取一个垂直于管道轴线的截面，测量其内径，每个位置测量三次，取六个测量值的平均值作为管道内径。

如客户无要求，校准点选择 Q_{\max} 、 $0.75Q_{\max}$ 、 $0.5Q_{\max}$ 、 $0.25Q_{\max}$ 和 Q_{\min} 。如客户对校准

点有要求,按照客户的要求选择校准点。每个流量点至少校准6次。

将均速管传感器安装到液体流量标准装置上,打开差压计平衡阀,然后打开正、负压力阀;开启流量装置,让液体在管路中以不低于70%的最大校准流量循环不少于10min,同时排除差压测量系统中的空气和堵漏现象;关闭正、负压力取压阀,校准差压变送器带静压的零位;打开正、负压力阀,将流量调到流量上限值,关闭差压变送器平衡阀,待差压、温度、压力稳定后开始检测。测量标准流量值 $(q_s)_{ij}$,并同时采样差压值 Δp_{ij} ,然后测量水温,查出水的密度值 ρ 。

7.3 校准结果的计算

7.3.1 均速管流量传感器每次测量的流量系数按公式(1)计算:

$$\alpha_{ij} = 7.90848 \frac{(q_s)_{ij}}{D^2} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_{ij}}} \quad (1)$$

式中:

α_{ij} ——第*i*校准点第*j*次检测出的流量系数值,无量纲;

$(q_s)_{ij}$ ——第*i*校准点第*j*次检测时的标准流量值, m^3/h ;

D ——测量管内径, mm ;

Δp_{ij} ——第*i*校准点第*j*次检测时的差压值, kPa ;

ρ ——介质的密度, kg/m^3 。

7.3.2 管道雷诺数按式(2)计算

$$\text{Re}_{D_j} = 0.3537 \frac{(q_s)_{ij}}{\nu D} \quad (2)$$

式中:

Re_{D_j} ——第*i*校准点第*j*次检测时的管道雷诺数,无量纲;

ν ——水的运动粘度(见JJF1590-2016附录C), m^2/s 。

7.3.3 均速管流量传感器各校准点的流量系数按式(3)计算:

$$\alpha_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \quad (3)$$

7.3.4 均速管流量传感器的最大示值 E 误差按式 (4) 计算:

$$E = \frac{(\alpha_i)_{\max} - (\alpha_i)_{\min}}{(\alpha_i)_{\max} + (\alpha_i)_{\min}} \times 100\% \quad (4)$$

7.3.5 测量结果的重复性

均速管流量传感器各校准点的重复性按式 (5) 计算:

$$(E_r)_i = \frac{1}{\alpha_i} \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\alpha_{ij} - \alpha_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \quad (5)$$

8 校准结果表达

校准原始记录格式见附录 A, 校准证书 (报告) 内页格式见附录 B。

测量结果的不确定度评定示例见附录 C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔 1 年。具体复校时间间隔可根据仪器的使用频率、安装环境、工作状态等实际情况由使用单位自主决定。

附录 A

校准记录参考格式

校准原始记录参考格式

被校仪器信息						
送检单位		客户地址		生产厂家		
名称		型号		出厂编号		
校准依据						
JJF (津) xxx-xxxx 《均速管流量传感器校准规范》						
主标准器信息						
名称	编号	测量范围	不确定度/准确	证书号	有效期至	溯源机构
校准条件						
环境温度		环境湿度		大气压力		校准介质
管道直径		介质温度		运动粘度		

试验管道几何尺寸测量记录

测量位置	前直管段			后直管段			平均值
内径 (mm)							

附录 B

校准证书（内页）参考格式

校准结果

(一) 校准结果

校准点(m ³ /h)	雷诺数	流量系数	重复性 (%)	扩展不确定度 (k=2)

(二) 校准条件

- 1、介质名称
- 2、最大允许误差
- 3、校准管道直径
- 4、其他相关参数

以下空白

说明：

根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下_____个月校准一次。

声明：

1. 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员：

核验员：

第 X 页 共 X 页

附录 C

不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 测量条件：测量介质为纯净水，环境温度 20.4℃，环境湿度 56%RH。

C.1.2 测量标准器：标准表法水流量标准装置，扩展不确定度为 $U_{rel}=0.15\%$ ， $k=2$ 。

C.1.3 测量辅助设备：游标卡尺，MPE：±0.02mm；差压变送器，准确度等级为 0.075 级。差压变送器量程 10kPa。

C.1.4 被校均速管传感器：德尔塔巴均速管传感器，口径 DN200。

C.1.5 测量数据：

表 C.1 试验管道几何尺寸测量记录

测量位置	传感器前直管段			传感器后直管段			平均值
内径 (mm)	201.24	201.28	201.28	201.66	201.74	201.86	201.51

表 C.2 传感器校准数据

校准点 (m ³ /h)	标准流量 (m ³ /h)	差压值 (kPa)	流量系数	重复性 (%)
280	284.29	7.326	0.6563	0.10
	283.26	7.308	0.6547	
	283.47	7.306	0.6553	
	284.65	7.354	0.6558	
	284.66	7.363	0.6555	
	283.96	7.341	0.6548	

C.2 数学模型

计算均速管流量传感器流量系数的数学模型为：

$$\alpha = 7.90848 \frac{q_s}{D^2} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (C.1)$$

式中： q_s —标准流量值；

D —管道内径；

ρ —介质密度；

Δp —差压值

因此，在不确定度评定中需考虑 q_s 、 D 、 Δp 、 ρ 这些分量的不确定度。

根据传播率计算公式，均速管流量传感器流量系数的相对标准不确定度公式为：

$$u_r(\alpha) = \sqrt{u_r(q_s)^2 + 4u_r(D)^2 + \frac{1}{4}u_r(\Delta p)^2 + \frac{1}{4}u_r(\rho)^2} \quad (\text{C.2})$$

C.3 不确定度来源分析

C.3.1 标准流量测量引入的不确定度分量

使用液体流量标准装置对均速管流量传感器在 $280\text{m}^3/\text{h}$ 的校准点下连续测量 6 次，测量结果见表 C.2。

流量测量平均值的实验标准偏差为：

$$s(\bar{q}_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((q_s)_i - \bar{q}_s)^2}{n(n-1)}} = 0.242\text{m}^3/\text{h} \quad (\text{C.3})$$

标准表法水流量标准装置的相对扩展不确定度为 0.15%， $k=2$ 。那么标准流量引入的相对标准不确定度 $u_r(q_s)$ 为

$$u_r(q_s) = \sqrt{(s(\bar{q}_s)/\bar{q}_s)^2 + (0.15/2)^2} = 0.1135\% \quad (\text{C.4})$$

C.3.2 管道内径测量引入的不确定度分量

使用游标卡尺分别对均速管流量传感器前后管道内径进行测量，测量结果见表 C.1。管道内径测量平均值的实验标准偏差为：

$$s(\bar{D}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((D)_i - \bar{D})^2}{n(n-1)}} = 0.112\text{mm} \quad (\text{C.5})$$

游标卡尺的最大允许误差为 $\pm 0.02\text{mm}$ ，其分布为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。那么管道内径测量引入的相对不确定度 $u_r(D)$ 为

$$u_r(\bar{D}) = \sqrt{(s(\bar{D}))^2 + (0.02/\sqrt{3})^2} / \bar{D} = 0.0558\% \quad (\text{C.6})$$

C.3.3 差压测量引入的不确定度分量

使用差压变送器对正负取压口的差压值进行测量，测量结果见表 C.2。差压测量平均值的实验标准偏差为：

$$s(\bar{\Delta p}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((\Delta p)_i - \bar{\Delta p})^2}{n(n-1)}} = 0.0097\text{kPa} \quad (\text{C.7})$$

差压变送器的准确度等级为 0.075 级，量程为 10kPa，其分布为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。那么差压测量引入的相对标准不确定度为：

$$u_r(\bar{\Delta p}) = \sqrt{\left(\frac{s(\bar{\Delta p})}{\bar{\Delta p}}\right)^2 + \left(0.075 \times \frac{10}{7.3} / \sqrt{3}\right)^2} = 0.1458\% \quad (\text{C.8})$$

C.3.4 流体密度引入的不确定度分量

被测流体密度是指工作状态下均速管流量传感器上游流体密度的值。它与状态参数压力、温度及流体成分等有关。对于液体介质， $E_p = \pm 0.06\%$ ，服从均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。

那么流体密度引入的相对标准不确定度 $u_r(\rho)$ 为

$$u_r(\rho) = \frac{0.06\%}{\sqrt{3}} = 0.0346\% \quad (\text{C.9})$$

C.4 合成标准不确定度

不确定度分量及相对合成标准不确定度一览表见表 C.3

表 C.3 相对标准不确定度汇总表

序号	符号	来源	相对标准不确定度 $u_r(x_i)/\%$	灵敏度系数 c_i	$ c_i(x_i) u_i(x_i)/\%$
1	$u_r(q_s)$	标准流量测量	0.1135	1	0.1135
2	$u_r(D)$	管道内径测量	0.0558	-2	0.1116
3	$u_r(\Delta p)$	差压测量	0.1458	-1/2	0.0729
4	$u_r(\rho)$	流体密度	0.0346	1/2	0.0173
α 相对合成标准不确定度：			$u_{c_r}(\alpha) = 0.17\%$		

C.5 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，流量系数的相对扩展不确定度为：

$$U_r(\alpha) = k \cdot u_c(\alpha) = 2 \times 0.17\% = 0.34\% \quad (k=2) \quad (\text{C.10})$$

C.6 校准结果

$$\underline{\alpha=0.6554 \quad U_{\text{rel}}=0.34\% \quad (k=2)}$$

