

天津市地方计量技术规范

JJF(津)98-2023

流量显示仪表在线校准规范

Online Calibration Specification for Flow Integration Meters

2023-06-30 发布

2023-09-30 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

流量显示仪表在线校准规范

Online Calibration Specification for Flow

Integration Meters

JJF(津) 98-2023

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

于劲竹（天津市计量监督检测科学研究院）

赵 轶（天津市计量监督检测科学研究院）

路 遥（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）

参加起草人：

王锡钢（天津市计量监督检测科学研究院）

李 坡（天津市计量监督检测科学研究院）

甄 杨（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 计量单位	(1)
4 概述	(2)
4.1 工作原理	(2)
4.2 流量信号输入形式	(2)
4.3 配套仪表信号输入形式	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 一般要求	(3)
6.3 标准器及配套设备	(3)
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)
8 校准结果的表达	(7)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 校准记录参考格式	(8)
附录 B 校准证书(内页)参考格式	(10)
附录 C 不确定度评定实例	(11)
附录 D 热量标准值计算	(16)
附录 E d_n 数值表	(17)

引言

本规范根据流量积算仪的使用和溯源现状，参考 JJG1003-2016 《流量积算仪》和 GB/T2624 《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量》进行制定，主要技术指标也参照执行。

本规范所用术语，除在本规范中专门定义的外，均采用 JJF1001 《通用计量术语及定义》和 JJF1004 《流量计量名词术语及定义》。

本规范是首次制定。

流量显示仪表在线校准规范

1 范围

本校准规范适用于与流量传感器配合使用，进行流量积算、指示、体积修正等各类流量显示仪表的在线校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 1003-2016 《流量积算仪》

JJF 1001 《通用计量术语及定义》

JJF 1004 《流量计量名词术语及定义》

JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

GB/T 2624 《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量》

GB/T 32224-2015 《热量表》

GB/T 34060-2017 《蒸汽热量计算方法》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包含所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 流量显示仪表 (flow integration meters)

一种包含模数转换器并以十进制数码形式显示流量测量值的指示仪。

3.1.2 设计状态 (designated state)

按照设计要求，得到指定的流量时，介质的工作状态。即得到指定流量时的压力、温度值等。

3.2 计量单位

3.2.1 体积单位：立方米，符号 m^3 ；或升，符号 L。

- 3.2.2 质量单位：千克，符号 kg；或吨，符号 t。
- 3.2.3 时间单位：小时，符号 h；分钟，符号 min；秒，符号 s。
- 3.2.4 瞬时流量单位：立方米每小时，符号 m³/h；或升每分钟，符号 L/min；或千克每小时，符号 kg/h；或吨每小时，符号 t/h。
- 3.2.5 压力单位：帕[斯卡]、千帕、兆帕，符号 Pa、kPa、MPa。
- 3.2.6 温度单位：摄氏度，符号℃。
- 3.2.7 热量单位：焦耳，符号 J。

4 概述

4.1 工作原理

通过对与之配套的流量变送器、流量传感器和其他变送器（温度、压力变送器）输出模拟信号、脉冲信号或者数字信号的采集，用相关的数学模型计算出瞬时流量、累积流量等，并进行显示、储存和传送。

4.2 流量信号输入形式

流量显示仪表的输入信号一般有模拟信号、脉冲信号、数字信号三种形式，也可使用说明书中给出的其他信号形式。

模拟信号：电流：DC(4~20)mA 或 DC(0~10)mA 或 DC(0~20)mA；

电压：DC(1~5)V 或 DC(0~10)V 或 DC(0~20)V。

脉冲信号：电流脉冲、电压脉冲，其频率通常为 10kHz 以下。

4.3 配套仪表信号输入形式

模拟信号：电流：DC(4~20)mA 或 DC(0~10)mA 或 DC(0~20)mA；

电压：DC(1~5)V 或 DC(0~10)V 或 DC(0~20)V。

电阻：(0~9999.99) Ω。

热电偶：分度号为 S、R、B、K 等。

5 计量特性

5.1 示值误差

流量显示仪表准确度等级、最大允许误差见表 1。

表 1 流量显示仪表准确度等级及最大允许误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0
最大允许误差/%	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0

注：以上指标不用于合格判据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(5~35)℃；

相对湿度：(15%~85%)RH；

交流电源：(220±22)V，频率：(50±1)Hz。

6.2 一般要求

6.2.1 流量显示仪表的说明书上应注明适用流量计的类型、设置方法、操作步骤、适用介质、是否带有温度压力补偿及其他功能、设计状态的温度、压力等，提供引用的标准。

6.2.2 仪表内部应设置流量计的类型，适用介质，是否带有温度压力补偿及其他功能，设计状态的温度、压力，每个通路对应的信号类型及测量范围等。

6.2.3 仪表显示部分文字、数字、符号、标志应清晰鲜明、无重叠，仪表显示亮度均匀，不应有缺笔画等现象。仪表按键反应良好，无粘连。

6.2.4 瞬时流量显示分辨力引入的误差应不超过最大允许误差的 1/10，累积流量显示位数不少于 6 位。

6.2.5 须有说明书或铭牌明确标明输入信号的连接方式和端口位置。

6.3 标准器及配套设备

标准器及配套设备均应有有效的检定/校准证书。

6.3.1 标准器

按照流量显示仪表设定的输入信号型式选取相应的标准器。

标准器输出模拟信号：电流：DC(4~20)mA 或 DC(0~20)mA，其最大允许误差或不确定度应不超过被测显示仪表最大允许误差的 1/5。

标准器输出模拟信号：电压：DC(1~5)V 或 DC(0~20)V，其最大允许误差或不确定度应不超过被测显示仪表最大允许误差的 1/5。

标准器输出脉冲信号：频率通常为 10kHz 以下，其最大允许误差 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 。

标准器输出模拟信号：电阻：DC (1~5)V 或 DC (0~20)V，其最大允许误差或不确定度应不超过被测显示仪表最大允许误差的 1/5。

6.3.2 配套设备

配套设备见表 2。

表 2 配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	计时器	分辨力：0.01s	测量累积热量测量时间
2	直流稳压电源		提供稳定电源电压

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目一般有：瞬时流量、累积热量、补偿参量等。

以上校准项目相互独立，可由客户选择及指定具体校准项目。

7.2 校准方法

7.2.1 一般检查

检查仪表是否符合 6.2 的要求。

7.2.2 校准前的准备

校准前，按照仪表内部设定参数，根据图 1 选择连接被测仪表与标准器，根据说明书规定的时间通电预热。

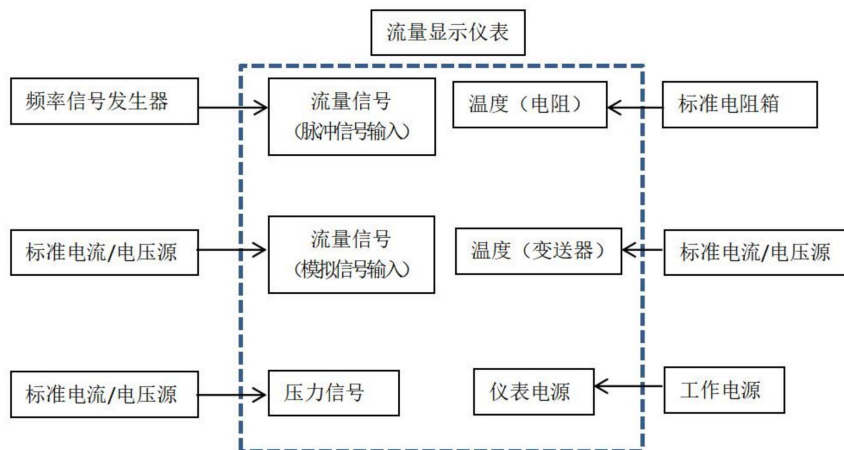


图 1 流量显示仪表校准接线示意图

7.2.3 校准点的选择及要求

瞬时流量的试验点,取在设计状态下,流量传感器对应的输入信号的量程下限、0.5倍、1倍量限进行校准。具有压力、温度补偿功能的显示仪,可另外在压力不变,温度在设计范围内任取两点,流量为最大;温度不变,压力在设计范围内任取两点,流量为最大情况下分别进行校准。

补偿参量显示值的试验点取零点、0.5倍、1倍量限进行测量。

累积热量在设计状态下进行,测量时间不少于10分钟。

各试验点也可由客户和技术机构协商确定。

7.2.4 校准次数

瞬时流量每个校准点至少测量3次。

补偿参量每个校准点至少测量1次。

累积热量测量1次。

7.2.5 校准方法

7.2.5.1 现场校准前应核对仪表内部设置参数,确定仪表配套传感器型式及相关参数、设定介质及补偿方式、流量设计范围、压力设计范围、温度设计范围、设计状态的壓力值、温度值等。

7.2.5.2 瞬时流量测量

按照7.2.3的规定选取校准点。将压力输入信号和温度输入信号调整到指定状态标准值。将流量输入信号依次调整到流量传感器对应的输入信号的量程下限、0.5倍、1倍量限,分别记录被校表对应的显示数值,并计算瞬时流量示值误差。

7.2.5.3 补偿参量测量

将压力输入信号依次调整到测量范围对应的输入信号的量程下限、0.5倍、1倍量限,分别记录被校表对应的显示数值,并计算压力补偿参量示值误差。

将温度输入信号依次调整到测量范围对应的输入信号的量程下限、0.5倍、1倍量限,分别记录被校表对应的显示数值,并计算温度补偿参量示值误差。

7.2.5.4 累积热量测量

累积热量在客户要求的工作状态(指定温度、压力下)进行测量,或在设计状态下进行测量。累积热量显示分辨力引入的不确定度应优于最大允许误差的1/5,测量时间一般为10min。

7.2.6 示值误差及重复性的计算

7.2.6.1 瞬时流量示值误差的计算

第 i 个流量点, 第 j 次校准的示值误差 E_{ij} 按式 (1) 计算:

$$E_{ij} = \frac{q_{ij} - q_{si}}{q_{si}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

q_{ij} ——第 i 个流量点, 第 j 次校准的流量显示仪表示值, m^3/h 或 kg/h 或 t/h ;

q_{si} ——该流量点的流量理论计算值, m^3/h 或 kg/h 或 t/h 。

注: q_{si} 的计算。流量标准值的计算应根据使用流量计的型式及被测介质的对应状态, 依据该种流量计国家有关标准和计量检定规程进行计算, 或使用通过法定计量检定单位认证的计算机软件进行计算。介质物性计算参照 JJG1003-2016 附录 A。

在第 i 个流量点, 多次校准所测得的该点示值误差的平均值按式 (2) 计算:

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad (2)$$

式中:

E_i ——第 i 个流量点示值误差的平均值;

n ——重复测量次数。

7.2.6.2 重复性的计算

在第 i 个流量点, 示值误差 E_i 的重复性按式 (3) 计算:

$$(E_r)_i = \frac{E_{imax} - E_{imin}}{d_n} \quad (3)$$

式中:

$(E_r)_i$ ——第 i 个流量点的重复性, %;

E_{imax} ——该流量点的最大误差, %;

E_{imin} ——该流量点的最小误差, %;

d_n ——极差系数。

7.2.6.3 补偿参量示值误差的计算

按式 (4) 计算每个测量点的误差。

$$E_{A_i} = \frac{A_i - A_{si}}{A_{\max}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

A_i ——该测量点的流量显示仪表示值, Pa 或 $^{\circ}\text{C}$;

A_{si} ——该测量点的输入信号对应的理论计算值, Pa 或 $^{\circ}\text{C}$;

A_{\max} ——输入信号对应的理论计算值的最大值, Pa 或 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.2.6.4 累积热量的示值误差计算

累积热量的示值误差 E_w 按式 (5) 计算:

$$E_w = \frac{W_m - W_s}{W_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

W_m ——流量显示仪表累积热量示值, MJ 或 kWh;

W_s ——累积热量理论计算值, MJ 或 kWh。

注: W_s 的计算见附录 D。

8 校准结果的表达

校准记录和校准证书格式见附录 A 和 B。

不确定度评定实例见附录 C。

9 复校时间间隔

被校仪表复校周期建议不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪表的使用状况及其性能等诸多因素决定, 使用单位可根据仪表实际工况合理决定复校时间间隔。

附录 A

校准记录参考格式

送校单位_____ 器具名称_____

型号规格_____ 器具编号_____ 制造单位_____

环境温度_____℃ 相对湿度_____%RH 校准地点_____

校准日期_____

校准员_____ 核验员_____

校准依据_____

校准所用的主要标准器：

名称_____ 型号_____

编号_____ 测量范围_____

准确度等级□/最大允许误差□/扩展不确定度□：_____

证书编号_____ 有效期限_____

配套仪表参数：

仪表名称	量程范围	输出信号类型	输出信号范围	准确度等级

显示仪表设置参数：_____

附录 B

校准证书（内页）参考格式

1. 校准依据：

2. 校准所用主要标准器

名称：

不确定度或准确度

有效期至：

3. 环境和介质条件

环境温度：_____ 大气压力：_____ 相对湿度：_____

4. 配套仪表参数：

仪表名称	量程范围	输出信号类型	输出信号范围	准确度等级

显示仪表设置参数：_____

5. 校准结果

序号	校准项目	示值误差 (%)	重复性 (%)	相对扩展不确定度% ($k=2$)
1				
2				
3				

6. 复校时间间隔建议：_____ 年

附录 C

不确定度评定实例

C.1 概述

某厂使用涡街流量计来计量过热蒸汽，以此为例，积算仪设定配套仪表参数如下：流量输入信号为：(4~20)mA，流量传感器测量范围：(0~1000)m³/h；压力通路输入信号为：(4~20)mA，压力变送器测量范围：(0~1.6)MPa，设计压力为：1.0MPa；温度通路输入信号为 PT100，铂电阻温度计测量范围：(0~600)℃，设计温度：300℃。设计状态密度为：4.2805kg/m³。现对其设计状态下的瞬时流量的示值误差进行校准，使用多参数校准仪作为标准电流信号源，根据其校准证书得到电流、电阻源各通路的不确定度均为： $U=0.02\%$ ($k=2$)。

C.1.2 数学模型和合成方差

C.1.2.1 流量积算仪瞬时流量值的示值误差定义为：

$$E = \frac{q_m - q_s}{q_s} \times 100\%$$

式中：

E —— 单次测量的相对误差 (%)；

q_m —— 被检表的示值，t/h；

q_s —— 通过被检表的气体实际值，t/h。

其中： $q_s = \rho \cdot q_V$ ，由此可知： $E = \frac{q_m - \rho \cdot q_V}{\rho \cdot q_V} \times 100\% = \frac{q_m}{\rho \cdot q_V} - 1$ 。

C.1.2.2 灵敏系数

由上述可知，各影响量的灵敏系数如下：

$$c(q_m) = \frac{\partial E}{\partial q_m} = \frac{1}{\rho q_V}$$

$$c(\rho) = \frac{\partial E}{\partial \rho} = -\frac{q_m}{q_V \rho^2}$$

$$c(q_V) = \frac{\partial E}{\partial q_V} = -\frac{q_m}{q_V^2 \rho}$$

C.1.2.3 合成方差

流量积算仪瞬时流量的示值误差的合成方差表示为:

$$u_c^2(E) = c^2(q_m) \cdot u^2(q_m) + c^2(\Delta p) \cdot u^2(\Delta p) + c^2(\rho) \cdot u^2(\rho)$$

C.1.3 标准不确定度分析及评定

C.1.3.1 标准不确定度 A 类评定

在设计状态下, 瞬时流量测量数据如下:

次数	压力值 (MPa)	温度值 (°C)	瞬时流量显示值 (kg/h)
1	1.0	300	4280.604
2			4280.624
3			4280.686

$$\bar{q}_m = 4280.638 \text{ kg/h.}$$

由重复测量引入的不确定度评定:

$$u(q_{m1}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}}, \text{ 计算得: } u(q_m) = 0.028 \text{ kg/h.}$$

由分辨力引入的不确定度评定:

显示仪表的分辨力 δ_x 为 0.001 kg/h, 区间半宽度 $a = \delta_x / 2$, 按矩形分布计算, 则 $k = \sqrt{3}$, 则有: $u(q_{m2}) = 0.29 \delta_x = 0.00029 \text{ kg/h.}$

由上可知, $u(q_{m1}) > u(q_{m2})$, 根据 JJF 1033-2016 的规定, $u(q_m)$ 取较大者, 则 $u(q_m) = 0.028 \text{ kg/h.}$

C.1.3.2 过热蒸汽的密度 ρ 所引入的标准不确定度 $u(\rho)$

过热蒸汽的密度由温度及压力两个关键因素决定, 密度所引入的测量不确定度分量中, 应综合考虑温度输入信号和压力输入信号所引入的测量不确定度分量。因此, 对于过热蒸汽的密度 ρ 所引入的不确定度, 需要对压力补偿信号不确定度分量和温度补偿信号不确定度分量进行合成, 其合成方差表示为:

$$u^2(\rho) = c^2(p) \cdot u^2(p) + c^2(T) \cdot u^2(T)$$

本实例中, 压力补偿信号为 (4~20) mA 电流信号, 温度补偿信号为 PT100 铂电阻电阻信号。

C.1.3.2.1 温度补偿信号输入量 T 所引入的标准不确定度 $u(T)$

根据校准证书得到电阻源的不确定度为: $U = 0.02\%$ ($k=2$)。查表得到: 300°C 时, PT100 铂电阻的阻值为: 212.050 Ω , 考虑到铂电阻阻值与温度的对应关系, 查表得到设计状态

温度点附近温度梯度为 $2.8090^{\circ}\text{C}/\Omega$ ，即灵敏系数 $c(R)=2.8090^{\circ}\text{C}/\Omega$ ，则，温度补偿信号输入量 T 引入的不确定度为：

$$u(T) = c(R)u(R) = 0.0688^{\circ}\text{C}$$

C.1.3.2.2 压力补偿信号输入量 p 的标准不确定度 $u(p)$

积算仪使用标准电流源模拟压力补偿信号，压力值与电流信号为线性对应关系，由标准电流源的校准证书可查到，标准器电流通路的不确定度为： $U=0.02\%$ ($k=2$)，则可知，区间半宽度为 0.02% ，设计状态压力值为 1.0MPa ，则灵敏系数为： $c(I_p) = \frac{\partial p}{\partial I} = 0.1\text{MPa}/\text{mA}$ 。则：

$$u(p) = c(I_p)u(I_p) = 0.0002\text{MPa}$$

C.1.3.2.3 由于蒸汽密度计算公式较复杂，使用数值方法计算灵敏系数，即当温度和压力分别有一个小增量时将导致密度的变化，其比值即为灵敏系数。

综上：

$$u^2(\rho) = c_1^2(p) \cdot u^2(p) + c_2^2(T) \cdot u^2(T), \quad u(\rho) = 0.00098\text{ kg}/\text{m}^3$$

C.1.3.3 体积流量 q_V 的输入信号所引入的不确定度 $u(q_V)$

显示仪表测量使用标准电流模拟体积流量信号，因此有：

$$q_V = 62.5I - 250$$

根据证书，电流通路的不确定度为： $U=0.02\%$ ($k=2$)，则：

$$u(I) = \frac{20 \times 0.02\%}{2} = 0.002\text{mA}$$

且 $c(q_V) = \frac{\partial q_V}{\partial I} = 62.5\text{ m}^3/\text{h}/\text{mA}$ ，则： $u(q_V) = 0.002 \times 62.5 = 0.125\text{ m}^3/\text{h}$ 。

C.1.3.4 灵敏系数

$$c(q_m) = 0.000234\text{h}/\text{kg}; \quad c(\rho) = 0.2336\text{ m}^3/\text{kg}; \quad c(q_V) = 0.001\text{h}/\text{m}^3。$$

C.1.4 合成标准不确定度评定

C.1.4.1 主要标准不确定汇总表

序号	符号	输入量	标准不确定度 $u_r(x_i)$	灵敏系数 c_{r_i}	对合成不确定度贡献 $ c_{r_i} u_r(x_i)/\%$
1	$u(q_m)$	重复测量	0.028 kg/h	0.000234 h/kg	0.00000654
2	$u(\rho)$	密度	0.00098 kg/m ³	0.2336m ³ /kg	0.000229
3	$u(q_V)$	体积流量	0.125 m ³ /h	0.001h/ m ³	0.000125

C.1.4.2 合成标准不确定度计算

以上各项标准不确定度分量互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c(E) = \sqrt{c^2(q_m) \cdot u^2(q_m) + c^2(\rho) \cdot u^2(\rho) + c^2(q_V) \cdot u^2(q_V)} = 0.000261$$

C.1.5 扩展不确定度的评定

$$U(E) = k \cdot u_c(E) = 0.05\% \quad (k=2)$$

C.2 概述

某厂使用涡街流量计来计量过热蒸汽，以此为例，积算仪设定配套仪表参数如下：流量输入信号为：(250~2500)Hz，流量传感器测量范围：(100~1000)m³/h；压力通路输入信号为：(4~20)mA，压力变送器测量范围：(0~1.6)MPa，设计压力为：1.0MPa；温度通路输入信号为PT100，铂电阻温度计测量范围：(0~600)℃，设计温度：300℃。设计状态密度为：4.2805kg/m³。现对其设计状态下的瞬时流量的示值误差进行校准，使用多参数校准仪作为标准电流信号源，根据其校准证书得到电流、电阻源各通路的不确定度均为：

$U=0.02\%$ ($k=2$)，脉冲源的不确定度为： $U=0.001\%$ ($k=2$)。

C.2.1 标准不确定度分析及评定

数学模型同示例 C.1。

C.2.1.1 标准不确定度 A 类评定

在设计状态下，瞬时流量测量数据如下：

次数	压力值 (MPa)	温度值 (℃)	瞬时流量显示值 (kg/h)
1	1.0	300	4280.437
2			4280.507
3			4280.483

$$\bar{q}_m = 4280.476 \text{ kg/h.}$$

由重复测量引入的不确定度评定：

$$u(q_{m1}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}}, \text{ 计算得: } u(q_m) = 0.041 \text{ kg/h.}$$

由分辨力引入的不确定度评定：

显示仪表的分辨力 δ_x 为 0.001kg/h，区间半宽度 $a = \delta_x / 2$ ，按矩形分布计算，则 $k = \sqrt{3}$ ，

则有：

$$u(q_{m2}) = 0.29\delta_x = 0.00029 \text{ kg/h}$$

由上可知, $u(q_{m1}) > u(q_{m2})$, 根据 JJF 1033-2016 的规定, $u(q_m)$ 取较大者, 则

$$u(q_m) = 0.041 \text{ kg/h}$$

C. 2. 1. 2 体积流量 q_V 的输入信号所引入的不确定度 $u(q_V)$

显示仪表测量使用标准脉冲模拟体积流量信号, 根据证书, 频率通路的不确定度为: $U=0.001\%$ ($k=2$), 则:

$$u(q_V) = \frac{2500 \times 0.001\%}{2} = 0.0125 \text{ (l/s)}$$

C. 2. 1. 3 过热蒸汽的密度 ρ 所引入的标准不确定度评定同 C. 1 示例

C. 2. 2 合成标准不确定度评定

C. 2. 2. 1 主要标准不确定汇总表

序号	符号	输入量	标准不确定度 $u_i(x_i)$	灵敏系数 c_i	对合成不确定度贡献 $ c_i u_i(x_i)/\%$
1	$u(q_m)$	重复测量	0.041 kg/h	0.000234 h/kg	0.00000654
2	$u(\rho)$	密度	0.00098 kg/m ³	0.2336 m ³ /kg	0.000229
3	$u(q_V)$	体积流量	0.0125 m ³ /h	0.001 h/m ³	0.0000125

C. 2. 2. 2 合成标准不确定度计算

以上各项标准不确定度分量互不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c(E) = \sqrt{c^2(q_m) \cdot u^2(q_m) + c^2(\rho) \cdot u^2(\rho) + c^2(q_V) \cdot u^2(q_V)} = 0.000229$$

C. 2. 3 扩展不确定度的评定

$$U(E) = k \cdot u_c(E) = 0.05\% \quad (k=2)$$

附录 D

热量标准值计算

D.1 液体热量（能量）计算公式

$$q_e = q_m \Delta H \quad (\text{D.1})$$

式中：

q_e ——单位时间载热液体释放的热量，单位为千焦每秒(kJ/s)；

q_m ——单位时间载热液体的质量流量，单位为千克每秒(kg/s)；

ΔH ——热交换系统中入口温度与出口温度所对应的载热液体比焓（对于水，按 GB/T 32225-2014 附录 A 规定的方法确定）之差，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

D.2 蒸汽能量计算公式

$$q_e = q_{m1} H_1 - q_{m2} H_2 \quad (\text{D.2})$$

式中：

q_e ——单位时间蒸汽释放的能量，MJ/s；

q_{m1} 、 q_{m2} ——分别为热交换系统中入口与出口的蒸汽质量流量，单位为千克每秒(kg/s)；

H_1 、 H_2 ——分别为热交换系统中入口与出口蒸汽的比焓值，单位为兆焦每秒(MJ/s)，按 GB/T 34060-2017 规定的方法确定。

附录 E

 d_n 数值表

在多次测量中，若各独立测量值 q_1, q_2, \dots, q_n 服从正态分布，则选出最大值 Q_{\max} 和最小值 Q_{\min} ，它们的差 $Q_{\max} - Q_{\min} = \omega_n$ 成为极差。

一次测量的标准偏差 $\sigma = \frac{\omega_n}{d_n}$ ，其中 d_n 称为极差系数，与测量次数有关，其值可由表 E1 查出。

表 E1 d_n 数值表

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

