JJF

陕 西 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（陕）XXX－2021

热量表耐久性试验装置校准规范

Calibration Specification for durability test facility of heat meters

（报批稿）

2021－XX－XX 发布　　2021－XX－XX 实施

陕 西 省 市 场 监 督 管 理 局 发 布

热量表耐久性试验装置校准规范

Calibration Specification for durability test facility of heat meters

JJF（陕）XXX－2021

归 口 单 位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：陕西省计量科学研究院

西安交通大学

本规范条文由陕西省市场监督管理局负责解释

本规范主要起草人：

周秉直（陕西省计量科学研究院）

姜洪权（西安交通大学）

李　锋（陕西省计量科学研究院）

李　勍（陕西省计量科学研究院）

参加起草人：

张俊亮（陕西省计量科学研究院）

臧　鹏（陕西省计量科学研究院）

周　彬（陕西省计量科学研究院）

李　宁（陕西省计量科学研究院）

目　　录

引言.....（Ⅲ）
1 范围.....（1）
2 引用文件.....（1）
3 术语和计量单位.....（1）
4 概述.....（2）
4.1　装置的结构.....（2）
4.2　装置的功能.....（2）
4.3　装置的用途.....（3）
5 计量特性.....（3）
5.1　流量示值误差.....（3）
5.2　流量重复性.....（3）
5.3　温度示值误差.....（3）
5.4　稳定性.....（3）
5.5　压力示值误差.....（3）
5.6　液位示值误差.....（4）
6 校准条件.....（4）
6.1　环境条件.....（4）
6.2　校准介质.....（4）
6.3　测量标准及其他设备.....（4）
7 校准项目及方法.....（5）
7.1　流量示值误差.....（5）
7.2　流量重复性.....（5）
7.3　温度示值误差.....（5）
7.4　稳定性.....（5）
7.5　压力示值误差.....（8）
7.6　液位示值误差.....（8）
8 校准结果表达.....（8）
9 复校时间间隔.....（8）
附录 A　热量表耐久性试验装置校准原始记录格式.....（9）

附录 B　校准证书内容及内页（参考）格式.....（11）
附录 C　耐久性试验装置流量示值误差校准结果不确定度评定示例.....（13）
附录 D　流量稳定性校准结果不确定度评定示例.....（17）
附录 E　温度稳定性校准结果不确定度评定示例.....（20）

引　言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范文件进行制定。

本规范为首次发布。

热量表耐久性试验装置校准规范

1 范围

本规范适用于热量表耐久性试验装置（以下简称装置）的校准。

2 引用文件

JJG 164-2000 液体流量标准装置

JJG 225-2001 热能表

JJG 229-2010 工业铂、铜热电阻

JJG 882-2019 压力变送器

JJG 971-2019 液位计

JJG 1033-2007 电磁流量计

GB/T 32224-2020 热量表

CJ/T 357-2010 热量表检定装置

EN 1434-4:2015 热量表

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（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 热量表耐久性试验装置（Durability test facility of heat meters）

验证热量表的流量传感器和组件能否长久保持其性能特性的试验装置。

3.2 最小流量 q_i（The minimum flow-rate）

介质流经热量表时的下限流量，在此流量下，热量表的示值误差不应超过最大允许误差。

3.3 常用流量 q_p（The permanent flow-rate）

热量表允许的可长期连续运行时的最大流量，在此流量下，热量表的示值误差不应超过最大允许误差。

3.4 最大流量 q_s（The maximum flow-rate）

每天小于1h，且每年小于200h的时间内，介质流经热量表时的上限流量，在此流量下，热量表的示值误差不应超过最大允许误差。

3.5 耐久性（Durability）

热量表被正确安装、维护，在适宜的环境条件下使用，持续保持合格计量特性的能力。

3.6 计量单位

流量的计量单位为:立方米每小时（m^3/h）；压力的计量单位为：兆帕（MPa）；温度的计量单位为：摄氏度（℃）。

4 概述

4.1 装置的结构

热量表耐久性试验装置主要由冷热水源系统、流量测量系统、温度测量系统、压力测量系统、管路及夹表器、控制系统和影像监视系统等组成。装置的结构示意图见图 1。

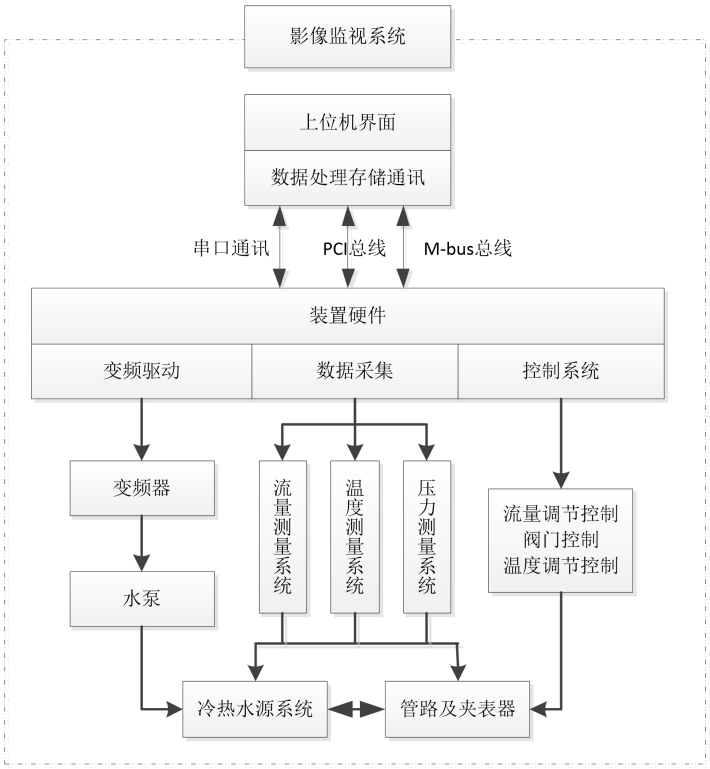


图 1 装置的结构示意图

4.2 装置的功能

热量表耐久性试验装置的功能有基本耐久性试验、附加耐久性试验和加速耐久性试验。装置可包含其中一种功能或三种功能的组合。

基本耐久性试验，采用加热控温系统的热水箱提供稳定热水源，通过流量测量系统和控制系统调节常用流量、1.5 倍最小流量和最大流量进行流量循环冲击试验。

附加耐久性试验，采用加热控温系统的热水箱提供稳定热水源，通过流量测量系统和控制系统稳定最大流量进行流量持续冲击试验。

加速耐久性试验，采用加热控温系统的热水箱提供稳定热水源和含制冷机组的冷水箱提供稳定的冷水源，通过流量测量系统和控制系统（四个电动阀的开闭）调节热水、冷水交替

进入试验管道以最大流量进行温度循环冲击试验。

4.3 装置的用途

装置用于对热量表流量传感器进行耐久性试验。

5 计量特性

5.1 流量示值误差

流量示值误差在规定的流量范围内其最大允许误差应符合表1的规定。

表1 最大允许误差

准确度等级	0.2	（0.25）	0.5	1.0
最大允许误差	±0.2%	（±0.25%）	±0.5%	±1.0%

5.2 流量重复性

流量重复性不得超过相应最大允许误差绝对值的1/3。

5.3 温度示值误差

温度示值误差应符合表2的规定。

表2 热电阻允差等级及允差值

热电阻类型	允差等级	有效温度范围/℃		允差值
		线绕元件	膜式元件	
PRT	A	-100~+450	-30~+300	±（0.150℃+0.002｜t｜）
	B	-196~+600	-50~+500	±（0.30℃+0.005｜t｜）
	C	-196~+600	-50~+600	±（0.6℃+0.010｜t｜）

5.4 稳定性

5.4.1 流量稳定性

装置的流量稳定性是装置在不同设定流量下运行稳定后，流量实际值与设定值的偏差来表示。

a）1.5 倍最小流量 q_i，偏差不超过±5 %；

b）常用流量 q_p，偏差不超过±5 %；

c）最大流量 q_s，偏差不超过-5%~0。

5.4.2 温度稳定性

装置的温度稳定性是装置在不同设定温度下运行稳定后，温度实际值与设定值的偏差来表示。

温度偏差不超过(-5~0)℃。

5.5 压力示值误差

压力示值误差应符合表3规定。

表3 压力准确度等级及最大允许误差

准确度等级	最大允许误差	回差
0.1 级	±0.1%F•S	≤0.1%
0.2 级（0.25 级）	±0.2%（±0.25%）F•S	≤0.2%(≤0.25%)
0.5 级	±0.5%F•S	≤0.5%

5.6 液位示值误差

液位的示值最大允许误差满足±（a%F•S+b）。

其中：a可以是0.1，0.2，0.5，1.0；

b为数字指示液位计的分辨力，cm或mm。

上述流量、温度、压力、液位测量设备应有有效的检定或校准证书。

注：

1 以上序列中的准确度等级或最大允许误差是指出厂应满足的指标。

2 优先采用不带括号的指标。

3 在5.4中基本耐久性试验每个周期的流量单调上升和单调降低调整过程中，调整时间不大于15min；在加速耐久性试验每个周期温度单调上升和单调降低调整过程中，调整时间不大于1min。

4 表2中$|t|$为温度的绝对值，单位为℃。

5 本规范所列计量特性指标不适用于合格判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：（15~35）℃；

环境湿度：（15% ~85%）RH；

大气压力：（80~106）kPa。

6.2 校准介质

校准介质应该是单相循环的流动液体，其流动是稳定流。

6.3 测量标准及其他设备

测量标准的技术要求及用途见表4。

表4　测量标准的技术要求及用途

序号	仪器设备名称	技术要求	用途
1	流量标准装置	装置扩展不确定度：U_{rel}=0.05%　k=2，或流量标准装置测量结果的扩展不确定度应不大于被校装置最大允许误差绝对值的 1/3。	流量示值误差校准
2	二等铂电阻标准温度计标准装置	校准时用的标准器、电测设备以及配套设备引入的扩展不确定度（置信概率 p=95%）换算成温度值应不大于被校铂热电阻允差绝对值的 1/4。	温度示值误差校准
3	秒表	分辨力 0.01s。	稳定性校准
4	压力、液位测量设备按照相关计量检定规程规定的要求执行。		

7　校准项目及方法

7.1　流量示值误差

流量示值误差的校准方法参照 JJG 1033-2007 进行。

按公式（1）计算出相对示值误差：

$$E=\frac{q\rho_1-q_s}{q_s}\times 100\% \tag{1}$$

式中　E—被校流量计流量相对示值误差，%；

q—被校流量计显示的瞬时流量值，m^3/h；

ρ_1—水的密度，kg/m^3；

q_s—流量标准装置测得的质量流量值，kg/h。

各校准流量点相对误差按公式（2）计算：

$$E_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}E_{ij} \tag{2}$$

式中：E_i——第 i 校准点被校流量计流量相对示值误差，%；

流量的相对误差值 E 为流量计各个流量点相对示值误差 E_i 中的最大误差。

流量的相对误差值 E 符合应本规范 5.1 的要求。

7.2　流量重复性

按公式（3）、公式（4）计算流量重复性，符合本规范 5.2 的要求。

$$(E_r)_i=\left[\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(E_{ij}-E_i)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$E_r=[(E_r)_i]_{max} \tag{4}$$

式中：$(E_r)_i$——流量第 i 校准点的重复性；

E_r——流量的重复性。

7.3 温度示值误差

温度示值误差的校准方法参照 JJG 229-2010 进行，其结果应符合本规范 5.3 要求。

7.4 稳定性

将试验用表具夹好，待冷、热水箱温度达到设定值并稳定，启动装置、设置基本参数、设置试验方式，开始进入稳定性校准。

a）基本耐久性试验稳定性校准

将流量设置为1.5q_i，管路热水温度设定为95℃，在此流量下检查管路温度，温度偏差符合试验要求，可进行下一步。

1）用秒表开始计时，待流量单调上升到q_p并稳定时，结束计时，并将所用时间t_1记录下来。

2）在q_p下运行，开始计时，同时观察运行是否稳定并记录实际流量q_1、设定流量q_p及实际温度θ_1，运行8h。然后再用秒表开始计时，待流量单调上升到q_s并稳定，结束计时，并将所用时间t_2记录下来。

3）在q_s下运行，开始计时，同时观察运行是否稳定并记录实际流量q_2、设定流量q_s及实际温度θ_2，运行1h。然后用秒表开始计时，待流量单调降低到q_p并稳定，结束计时，并将所用时间t_3记录下来。

4）在q_p下运行，开始计时，同时观察运行是否稳定并记录实际流量q_3、设定流量q_p及实际温度θ_3，运行8h。然后用秒表开始计时，待流量单调降低到1.5q_i并稳定，结束计时，并将所用时间t_4记录下来。

5）在 1.5q_i 下运行，开始计时，同时观察运行是否稳定并记录实际流 q_4、设定流量 1.5q_i 及实际温度θ_4，持续运行 6h。一个周期结束。

至此完成一个周期的试验流量变化调整。流量随时间变化见图2。

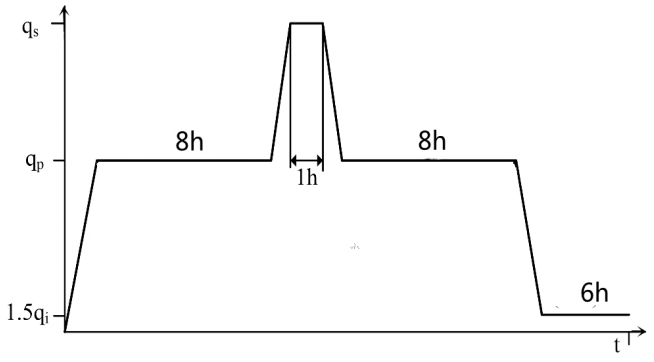


图 2　基本耐久性测试一个周期

注：

1 当装置处于流量点与流量点之间过渡阶段时，实际流量与设定流量的允许偏差｜△q｜≤10%（阀门调节瞬间除外）。t 时间内从一个流量点线性的过渡到另外一个流量点，设定流量与过渡时间成正比。

2 曲线变化趋势必须是单向的，即在流量增加阶段，不能出现流量突然低于前面流量的情况，在流量减少阶段，不能出现流量突然高于前面流量的情况。

重复上述 1）～5）步骤，连续运行至少 6 个周期，并记录数据。t_1、t_2、t_3、t_4 应不超过 15min。

b）附加耐久性试验稳定性校准

将流量设置为 q_s，管路热水温度设定为 95℃，流量稳定运行至少 1h，运行期间观察运行是否稳定，并记录 q_s 的实际流量 q_5 和管路热水实际温度θ_5。

c）加速耐久性试验稳定性校准

将流量设置为 q_s，热水管路水温设定为 85℃，冷水管路水温设定为 20℃，流量稳定开始试验：

1）试验管路温度从 80℃~85℃下运行开始，并记录实际流量 q_6 及管路实际温度θ_6。

2）运行 2.5min，然后开始计时，温度转换到 15℃~20℃时，结束计时，并将所用时间 t_5 记录下来。

3）在 15℃~20℃温度条件下运行，并记录实际流量 q_7 及管路实际温度θ_7，运行 2.5min 后开始计时，温度转换到 80℃~85℃时，结束计时，并将所用时间 t_6 记录下来。至此一个周期完成。4000 次加速耐久性试验一周期如图 3 所示。

整个过程在 q_s 条件下运行。重复上述 1）~3）步骤，连续运行至少 6 个周期，并记录数据。t_5、t_6 应不得超过 1min。

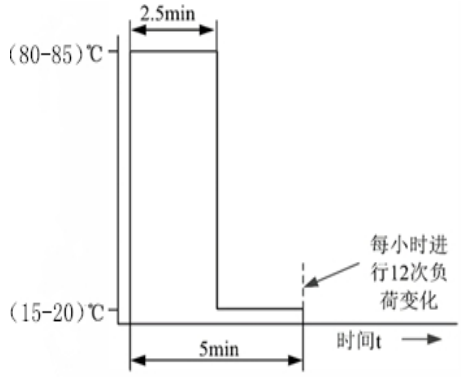


图 3　加速耐久性试验一周期

7.4.1 流量稳定性计算

根据公式(5)，计算 q_1、q_2、q_3、q_4、q_5、q_6、q_7 与流量设定值 q_{setj} 的偏差 e_q，e_q 应符合本规范 5.4.1 的要求。

$$e_q = q_j - q_{set\,j} \tag{5}$$

式中　e_q—运行稳定后流量实际值与设定值的偏差，m^3/h；

q_j—运行稳定后流量实际值，j=1，2，3，4，5，6，7，m^3/h；

q_{setj}—耐久性试验流量设定值，j=1，2，3，4，5，6，7，m^3/h；其中 $q_{set2}=q_{set5}=q_{set6}=q_{set7}=q_s$，$q_{set4}=1.5q_i$，$q_{set1}=q_{set3}=q_p$。

7.4.2 温度稳定性计算

根据公式(6)，计算温度θ_1、θ_2、θ_3、θ_4、θ_5、θ_6、θ_7 与温度设定值θ_{setj} 的偏差 e_θ，e_θ应符合本规范 5.4.2 的要求。

$$e_\theta = \theta_j - \theta_{set\,j} \tag{6}$$

式中　e_θ—运行稳定后温度实际值与设定值的偏差，℃；

θ_j—运行稳定后温度实际值，j=1，2，3，4，5，6，7，℃；

θ_{setj}—耐久性试验温度设定值，j=1，2，3，4，5，6，7，℃；其中θ_{set6}=85℃，θ_{set7}=20℃，$\theta_{set1}=\theta_{set2}=\theta_{set3}=\theta_{set4}=\theta_{set5}$=95℃。

7.5 压力示值误差

压力示值误差参照 JJG 882-2019 中的方法进行校准，其结果应符合本规范 5.5 要求。

7.6 液位示值误差

液位示值误差参照 JJG 971-2019 中的方法进行校准，其结果应符合本规范 5.6 要求。

8 校准结果表达

经校准后的装置出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映。校准证书内容及内页格式见附录B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过24个月。

热量表耐久性试验装置复校时间间隔是由装置的使用情况、使用者、装置本身质量等诸多因素所决定的，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A

热量表耐久性试验装置校准原始记录格式

记录（证书）编号：　　第 1 页　共 2 页

委托单位：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　校准地址：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

装置名称：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　型号规格：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

制 造 厂：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　出厂编号：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

环境温度：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　相对湿度：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

大气压力：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

流量示值误差	计量标准		标准器名称			编号	
			测量范围				
			准确度等级或最大允许误差或不确定度				
			证书编号			有效期	
	项目		标准累积流量（m^3）	显示累积流量（m^3）	相对示值误差（%）	平均相对示值误差（%）	各校准点重复性（%）
	校准点	次数					
	q_s	1					
		2					
		3					
	$0.75q_s$	1					
		2					
		3					
	$0.50q_s$	1					
		2					
		3					
	$0.25q_s$	1					
		2					
		3					
	$0.10q_s$	1					
		2					
		3					
	q_i	1					
		2					
		3					
	校准结果		U=，k=2				
流量重复性		$E_r = [(E_r)_i]_{max}$					

校准员：　　核验员：　　校准日期：

热量表耐久性试验装置校准原始记录格式

记录（证书）编号：　　第 2 页　共 2 页

温度示值误差	计量标准		标准器名称		编号	
			测量范围			
			准确度等级或最大允许误差或不确定度			
			证书编号		有效期	
	项目		R_i^*	R_h^*	R_0	R_{100}
	测量值Ω	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
	平均值/Ω					
	修正值 Δt*/℃					
	换算成电阻值/Ω					
	R_a	修正后R_t/Ω				
	R_b	修正后R_t/Ω				
	$2R_a-R_b$/Ω					
	Δt/℃					
	a/×10^{-3}℃$^{-1}$					
	常温绝缘电阻/MΩ					
	校准结果		U=，k=2			
稳定性校准	基本耐久性试验		所用时间	t_1：	t_2：	t_3：	t_4：
			实际流量	q_1：	q_2：	q_3：	q_4：
			流量设定值	q_p：	q_s：	q_p：	$1.5q_i$：
			流量偏差				
			实际温度	θ_1：	θ_2：	θ_3：	θ_4：
			温度设定值	θ：95℃			
			温度偏差				
	附加耐久性试验		实际流量	q_5：			
			流量设定值	q_p：			
			流量偏差				
			实际温度	θ_5：			
			温度设定值	θ：95℃			
			温度偏差				
	加速耐久性试验		所用时间	t_5：	t_6：		
			流量设定值	热水q_s：	冷水q_s：		
			实际流量	q_6：	q_7：		
			流量偏差				
			实际温度	θ_6：	θ_7：		
			温度设定值	θ：85℃	θ：20℃		
			温度偏差				
压力变送器			证书号	1　　/2	符合：1□ 2□不符合：1□ 2□		
液位计			证书号	1　　/2	符合：1□ 2□不符合：1□ 2□		

校准员：　　核验员：　　校准日期：

附录B

校准证书内容及内页（参考）格式

B.1 校准证书至少应包括以下内容：

a）标题：“校准证书”；

b）实验室的名称和地址；

c）进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d）证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e）送校单位的名称；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及测量不确定度的说明；

m）对校准规范的偏离的说明；

n）校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对校准对象有效的声明；

p）未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

B.2 校准证书内页（参考）格式：

证书编号：XXXX-XXXX

校准结果

序号	校准项目		校准结果
1	流量示值误差		
	流量扩展不确定度		
2	流量重复性		
3	温度示值误差		
	温度扩展不确定度		
4	稳定性	基本耐久性试验	
		附加耐久性试验	
		加速耐久性试验	
5	压力变送器		
	液位计		

附录 C

耐久性试验装置流量示值误差校准结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 环境条件：环境温度（20±5）℃，环境湿度≤75% RH。

C.1.2 主要标准器：流量标准装置。

C.1.3 测量方法：将流量计按要求安装在静态质量法流量标准装置中，启动水流循环系统，使水以规定的流量通过流量计，进入称重衡器，用静态质量法流量标准装置测出此次测量过程的实际流量作为约定真值，并与流量计示值进行比较，从而确定示值误差，采用多次测量（一般为三次），取其平均值作为该流量点的示值误差。

C.2 测量模型

$$E=(\frac{q\rho_1-q_s}{q_s})\times100\%=(\frac{\rho_1 q}{q_s}-1)\times100\% \tag{1}$$

式中 E—相对示值误差，%；

ρ_1—水的密度，kg/m³；

q—流量计测得瞬时流量，m³/h；

q_s—静态质量法流量标准装置测得质量流量，kg/h。

采用被校表脉冲输出进行校准时，q 可按下式计算

$$q=\frac{N}{Kt} \tag{2}$$

式中 N——流量计所输出的脉冲数；

K——流量计 K 系数，单位体积的流体经过流量计时流量计发出的脉冲数，应该由流量计说明书或铭牌获得，$(m^3)^{-1}$。

C.3 不确定度传播律

由测量模型和不确定度传播律，示值误差的标准不确定度见式（3）

$$u_c^2(E)=c_1^2u^2(q)+c_2^2u^2(q_s)+c_3^2u^2(\rho_1) \tag{3}$$

式中：

$u_c(E)$——E 的合成标准不确定度；

$u(q_s)$——由标准装置测量质量流量引入的标准不确定度分量；

$u(q)$——由流量计测得瞬时流量引入的标准不确定度分量；

$u(\rho_1)$——由水密度测量引入的标准不确定度分量。

灵敏系数 $c_1=\frac{\rho_1}{q_s}$，$c_2=-\frac{q\rho_1}{q_s^2}$，$c_3=\frac{q}{q_s}$

C.4 各分量的标准不确定度评定

C.4.1 标准装置测量瞬时流量引入的相对标准不确定度分量 $u(q_s)$

由标准装置检定证书可知，静态质量法水流量标准装置的扩展不确定度为：$U_r=0.05\%(k=2)$，校准点 7 m^3/h，密度 987.3 kg/m^3，得：

$$u(q_s)=\frac{0.05\%\times 7\times 987.3}{2}=1.728\ \text{kg/h}$$

C.4.2 流量计测得瞬时流量引入的相对标准不确定度分量 $u(q)$

由式（2）可知，有

$$u_r(q)=\sqrt{u_r^2(N)+u_r^2(t)} \tag{4}$$

式中：

$u_r(N)$ —脉冲计数引入的相对标准不确定度；

$u_r(t)$ —时间测量引入的相对标准不确定度。

C.4.2.1 脉冲计数引入的相对标准不确定度 $u_r(N)$

$u_r(N)$ 的主要来源是脉冲测量误差和测量重复性。

C.4.2.1.1 脉冲测量误差引入的标准不确定度分量 $u_{r1}(N)$

采用双时间法测量被校表的累积脉冲整周期个数，单次计数误差趋近于 0。因此，$u_{r1}(N)=0.00\%$。

C.4.21.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{r2}(N)$

示值误差 E 的 3 次重复测量结果见表 1.

表 1 示值误差 E 的 3 次重复测量结果

电磁流量计编号	瞬时流量 q（m^3/h）	累计脉冲数	累计流量（L）	水质量（kg）	管道水温（℃）	水密度（kg/ m^3）	质量流量 q_s(kg/h)	标准流量(L)	相对误差（%）
YSNE7168089595	7.013	67906	94.314	92.878	53.044	987.279	6906.22	94.075	0.254
	7.021	67843	94.226	92.846	52.943	987.327	6918.17	94.038	0.200
	7.033	67767	94.121	92.725	53.008	987.296	6928.69	93.918	0.216

单次测量示值误差的试验标准偏差为：

$$s(E)=\left[\frac{1}{(3-1)}\sum_{i=1}^{3}(E-\overline{E})^2\right]^{1/2}\times 100\%=0.0279\%$$

实际校准时取 3 次测量的平均值，故有：

$$u_{r2}(N)=\frac{s(E)}{\sqrt{3}}=0.0161\%$$

则有：

$$u_{r}(N)=\sqrt{u_{r1}^2(N)+u_{r2}^2(N)}=0.0161\%$$

C.4.2.2 时间测量引入的相对标准不确定度$u_r(t)$

标准装置测量标准器校准时间引入的标准不确定度分量由两部分组成，一是计时准确度引入的标准不确定度分量，二是计时分辨力引入的标准不确定度分量。由于计时器的准确度优于 1×10^{-7}，远小于计时分辨力带来的不确定度，因此，计时准确度引入的不确定度分量忽略不计。

标准装置测量标准器校准时间的计时分辨力为 0.001s，其半宽为 0.0005s，按均匀分布考虑：

$$u_{r}(t_s)=\frac{0.0005}{t_s}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 100\%$$

以 $7m^3/h$ 流量点时 t_s=48.116s 为例：

$$u_{r}(t)=\frac{0.0005}{t_s}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 100\%=\frac{0.0005}{48.116}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times 100\%=0.001\%$$

由式（4）可得流量计测得瞬时流量引入的标准不确定度分量

$$u_r(q)=\sqrt{u_r^2(N)+u_r^2(t)}=0.01613\%$$

其在 $7m^3/h$ 流量点时的标准不确定度分量为

$$u(q)=u_r(q)\times 7m^3/h=0.0011\ m^3/h$$

C.4.3 密度测量引入的标准不确定度分量$u(\rho_l)$

由密度计校准证书可知，密度计的最大允许误差为±0.01%，按均匀分布考虑：

$$u(\rho_l)=\frac{0.01\%}{\sqrt{3}}\times 987.3=0.0570\,kg/m^3$$

C.5 合成标准不确定度

C.5.1 标准不确定度汇总表见表

表 3　标准不确定度一览表

序号	标准不确定度分量	不确定度来源	输入量的标准不确定度 $u_i(x_i)$	灵敏系数 c_i	$\lvert c_i . u_i(x_i)\rvert$
1	$u(q)$	流量计测得瞬时流量	0.0011 m^3/h	0.1430（m^3/h）$^{-1}$	0.016%
1.1	$u_{r1}(N)$	脉冲测量误差	0.0000%	--	--
1.2	$u_{r2}(N)$	测量重复性	0.0161%	--	--
1.3	$u_r(t)$	时间测量	0.0010%	--	--
2	$u(q_s)$	标准装置测量瞬时流量	1.7280kg/h	-0.0001（kg/h）$^{-1}$	0.025%
3	$u(\rho_l)$	水密度测量	0.0570kg/m^3	0.0010（kg/m^3）$^{-1}$	0.057%

C.5.2 合成标准不确定度的计算

各标准不确定度分量不相关，故按公式（3）合成标准不确定度为：

$$u_c(E)=\sqrt{c_1^2u^2(q)+c_2^2u^2(q_s)+c_3^2u^2(\rho_l)}=0.064\%$$

C.6 扩展不确定度的评定

取 $k=2$，故相对扩展不确定度 $U(E)=ku_c(E)=0.128\%$。

C.7 测量不确定度的报告

被校流量计在 q=7m^3/h 流量点下的示值误差测量结果为：

E=0.22%，$U(E)$=0.13%，k=2。

附录D

流量稳定性校准结果不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 环境条件：环境温度（20±5）℃，环境湿度≤75% RH。

D.1.2 测量方法：装置的流量稳定性是用装置在不同流量下运行稳定后，流量实际值与设定值的偏差来表示。

D.2 测量模型

$$e_{\mathrm{q}} = q_j - q_{set\,j} \tag{1}$$

式中 e_q—运行稳定后流量实际值与设定值的偏差，m³/h；

q_{j}—运行稳定后流量实际值，m³ /h；

q_{setj}—耐久性试验设定值，m³ /h。

D.3 不确定度传播律

由测量模型和不确定度传播律，流量稳定性结果标准不确定度见公式（2）

$$u_{\mathrm{c}}^2 = u^2(q) + u^2(\mathrm{s}) \tag{2}$$

式中 u_{c}—运行稳定后流量实际值与设定值的偏差合成标准不确定度；

$u(q)$—由流量计自身引入的标准不确定度分量；

$u(\mathrm{s})$—由实际流量的重复性引入的标准不确定度分量；

D.4 各分量的标准不确定度评定

D.4.1 流量计自身引入的标准不确定度分量 $u(q)$

由流量计校准结果可知，流量计在 7 m³ /h 的扩展不确定度为：U=0.1%，k=2，得：

$u(q)$=0.1%/2×7 m³ /h =0.0035 m³ /h

D.4.2 实际流量的重复性引入的标准不确定度分量 $u(\mathrm{s})$

在耐久性试验运行中，设一个运行周期为 T，当流量稳定后，选取一个点记录实际流量，每隔 nT（n 为整数，且 n≥1）后再次记录实际流量，总共记录 6 次。

当测量次数 n≥6，则每流量点的单次测量重复性可依据公式 3 计算依次得出：

$$(E_r)_i = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n} (E_{ij} - E_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

其中：$(E_{\mathrm{r}})_{\mathrm{i}}$---流量第 i 试验点的重复性；

E_{i}---流量第 i 试验点流量偏差，其值可按公式 4 计算；

n---第 i 试验点检定次数

$$E_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} E_{ij} \tag{4}$$

注：基本耐久性试验 3 个试验点：q_s、q_p、$1.5q_i$；附加耐久性试验一个试验点：q_s；加速耐久性试验 1 个试验点：q_s。

为了减小风险，取最大单次测量偏差作为流量重复性引入的标准不确定度：

$$E_r = [(E_r)_i]_{max}$$

表 1　流量校准点测量数据和重复性

流量点	次数	实际流量（m^3/h）	设定流量（m^3/h）	E_{ij} 偏差（m^3/h）	E_i 偏差（m^3/h）	$(E_r)_i$ 重复性（m^3/h）	E_r 重复性（m^3/h）
q_s	1	6.998	7.000	-0.002	-0.0165	0.009268	0.016
	2	6.978	7.000	-0.022			
	3	6.989	7.000	-0.011			
	4	6.986	7.000	-0.014			
	5	6.973	7.000	-0.027			
	6	6.977	7.000	-0.023			
q_p	1	3.51	3.500	0.01	-0.01183	0.016018	
	2	3.498	3.500	-0.002			
	3	3.497	3.500	-0.003			
	4	3.481	3.500	-0.019			
	5	3.475	3.500	-0.025			
	6	3.468	3.500	-0.032			
$1.5q_i$	1	0.101	0.105	-0.004	-0.00583	0.002714	
	2	0.098	0.105	-0.007			
	3	0.099	0.105	-0.006			
	4	0.103	0.105	-0.002			
	5	0.095	0.105	-0.01			
	6	0.099	0.105	-0.006			

实际流量的重复性引入的标准不确定度分量 $u(s)= E_r=0.016\ m^3/h$

D.5 合成标准不确定度

D.5.1 标准不确定度汇总表见表

表 2　标准不确定度一览表

序号	标准不确定度分量	不确定度来源	输入量的标准不确定度 $u_i(x_i)$	灵敏系数 c_i	$\lvert c_i . u_i(x_i)\rvert$
1	$u(q)$	流量计自身	0.0035	1	0.0035
2	$u(s)$	实际流量的重复性	0.016	1	0.016

D.5.2 合成标准不确定度的计算

各标准不确定度分量不相关，故按公式（2）故合成标准不确定度为：

$u_c = \sqrt{u^2(q) + u^2(s)} = 0.164\ m^3/h$

D.6 扩展不确定度的评定

取 $k = 2$，故扩展不确定度 $U = k \bullet u_c = 0.328\ m^3/h$

D.7 测量不确定度的报告

流量稳定性在基本耐久性试验的测量结果扩展不确定度为：

U=0.33 m^3/h ，k=2。

附录 E

温度稳定性校准结果不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 环境条件：环境温度（20±5）℃，环境湿度≤75% RH。

E.1.2 测量方法：装置的温度校准稳定性是用装置在不同温度下运行稳定后，温度实际值与设定值的偏差来表示。

E.2 测量模型

$$e_\theta = \theta_j - \theta_{set\,j} \tag{1}$$

式中 e_θ—运行稳定后温度实际值与设定值的偏差，℃；

θ_j—运行稳定后温度实际值，℃；

θ_{setj}—耐久性试验温度设定值，℃。

E.3 不确定度传播律

由测量模型和不确定度传播律，温度稳定性结果标准不确定度见公式（2）

$$u_c^2 = u^2(\theta) + u^2(G) \tag{2}$$

式中 u_c—运行稳定后温度实际值与设定值的偏差合成标准不确定度；

$u(\theta)$—由工业铂热电阻引入的标准不确定度分量；

$u(G)$—由实际温度的重复性引入的标准不确定度分量；

E.4 各分量的标准不确定度评定

E.4.1 工业铂热电阻引入的标准不确定度分量 $u(\theta)$

由工业铂热电阻校准结果可知，B 级工业铂热电阻的最大允许误差为：Δ=±0.303℃，按均匀分布，得：

$u(\theta)$=0.303/$\sqrt{3}$ ℃=0.175 ℃

E.4.2 实际温度的重复性引入的标准不确定度分量 $u(G)$

在耐久性试验运行中，设一个运行周期为 T，当温度稳定后，选取一个点记录实际温度，每隔 nT（n 为整数，且 n≥1）后再次记录实际温度，总共记录 6 次。

当测量次数 n≥6，则每温度点的单次测量重复性可依据公式 3 计算依次得出：

$$(E_r)_i = \left[\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(E_{ij} - E_i)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

其中：$(E_r)_i$---温度第 i 试验点的重复性；

E_i---温度第 i 试验点温度偏差，其值可按公式 4 计算；

n---第 i 试验点检定次数

$$E_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} E_{ij} \tag{4}$$

注：基本耐久性试验 1 个温度试验点：θ_{max}=95℃；附加耐久性试验 1 个温度试验点：θ_{max}=95℃；加速耐久性试验 2 个试验点：θ_{s1}=85℃和θ_{s2}=20℃。

为了减小风险，取最大单次测量偏差作为温度重复性引入的标准不确定度：

$$E_r = [(E_r)_i]_{max}$$

表 1　温度校准点测量数据和重复性

温度点	次数	实际温度（℃）	设定温度（℃）	E_{ij} 偏差（℃）	E_i 偏差（℃）	$(E_r)_i$ 重复性（℃）	E_r 重复性（℃）
θ_{s1}	1	84.5	85.0	-0.5	-0.767	0.308	0.376
	2	84.4	85.0	-0.6			
	3	83.8	85.0	-1.2			
	4	84.3	85.0	-0.7			
	5	83.9	85.0	-1.1			
	6	84.5	85.0	-0.5			
θ_{s2}	1	19.8	20.0	-0.2	-0.683	0.376	
	2	18.9	20.0	-1.1			
	3	19.5	20.0	-0.5			
	4	19.2	20.0	-0.8			
	5	19.6	20.0	-0.4			
	6	18.9	20.0	-1.1			

实际温度的重复性引入的标准不确定度分量 u(G)= E_r=0.376℃

E.5 合成标准不确定度

E.5.1 标准不确定度汇总表见表

表 2　标准不确定度一览表

序号	标准不确定度分量	不确定度来源	输入量的标准不确定度 $u_i(x_i)$	灵敏系数 c_i	$\lvert c_i . u_i(x_i)\rvert$
1	$u(\theta)$	工业铂热电阻	0.175	1	0.175
2	u(G)	实际温度的重复性	0.376	1	0.376

E.5.2 合成标准不确定度的计算

各标准不确定度分量不相关，故按公式（2）故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(\theta) + u^2(\mathrm{G})} = 0.415 \ ℃$$

E.6 扩展不确定度的评定

取$k=2$，故扩展不确定度$U=k\bullet u_{c}=0.83$℃

E.7 测量不确定度的报告

温度稳定性在加速耐久性试验下的测量结果扩展不确定度为：

U=0.83℃，k=2。