

中华人民共和国工业和信息化部
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXX-XXXX

液氮比较器校准规范

Calibration Specification for liquid nitrogen comparators
(报批稿)

XXXXX-XX-XX发布

XXXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

液氮比较器校准规范

Calibration Specification for liquid
nitrogen comparators

JJF（石化）XXX-XXXX

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：南京市计量监督检测院

参加起草单位：南京工业大学

淮安市计量测试中心

常州检验检测标准认证研究院

句容市气象局

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

冯 鑫（南京市计量监督检测院）

蒋军成（南京工业大学）

黄雪莲（南京市计量监督检测院）

徐凌云（南京市计量监督检测院）

参加起草人：

李 磊（南京市计量监督检测院）

周 逸（常州检验检测标准认证研究院）

吕茂超（淮安市计量测试中心）

王慧娟（句容市气象局）

目 录

引 言..... II

1 范围..... 1

2 引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

3.1 术语..... 错误！未定义书签。

3.2 计量单位..... 错误！未定义书签。

4 概述..... 1

5 计量特性..... 2

6 校准条件..... 2

6.1 环境条件..... 2

6.2 测量标准及其他设备..... 3

7 校准项目和校准方法..... 3

7.1 校准项目..... 3

7.2 校准方法..... 3

8 校准结果..... 6

8.1 校准记录..... 6

8.2 校准证书..... 6

8.3 不确定度..... 6

9 复校时间间隔..... 6

附录 A 液氮比较器校准记录格式..... 7

附录 B 液氮比较器校准证书的内页格式..... 9

附录 C 液氮比较器均匀性测量结果不确定度评定示例..... 10

附录 D 液氮比较器波动性测量结果不确定度评定示例..... 13

附录 E 液氮比较器示值误差测量结果不确定度评定示例..... 15

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》等基础性系列规范进行编制。

本规范主要参考 JJF 1030-2023《温度校准用恒温槽技术性能测试规范》制定。

本规范为首次发布。

液氮比较器校准规范

1 范围

本规范适用于封闭型体积小于 30L 的液氮比较器的校准,其他类似设备也可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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

3.1 液氮比较器 Liquid nitrogen comparator

以液氮为存储介质,具有均匀稳定温度场,用于低温温度计比对、校准的实验装置。

3.2 温度均匀性 Temperature uniformity

液氮比较器内,不同温度计测试孔之间的最大温差。

3.3 温度波动性 Temperature fluctuation

液氮比较器加入液氮稳定后,各个温度计测试孔在一定时间间隔内,温度变化的最大幅度。

4 概述

液氮比较器广泛应用于生物实验、医药化工等研究领域,是超低温传感器开展溯源的重要实验装置。液氮比较器内部主要由杜瓦瓶、恒温器、保温棉;外部主要由液氮注入孔、温度测试孔等组成。整个装置通过存储液氮形成稳定的低温环境,使被检对象处于恒定的超低温场中,并对其温度进行测量。典型液氮比较器的结构示意图见图 1。

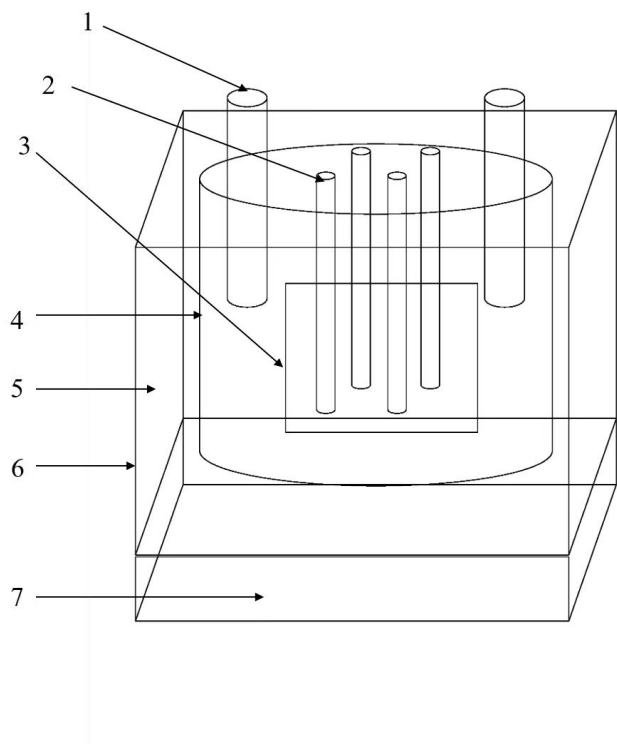


图 1 液氮比较器示意图

1—液氮注入孔；2—温度计测试孔；3—恒温器；4—杜瓦瓶；5—保温棉；6—外壳；7—底座

5 计量特性

具体计量特性见表 1。

表 1 液氮比较器计量特性一览表

序号	计量特性	技术指标
1	温度均匀性	不大于 20mK
2	温度波动性	不大于 10mK/10min
3	温度示值误差*	±2℃
*带显示的液氮比较器需校准其示值误差。		
注：以上所有指标不用于合格性判定，仅供参考。		

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度条件

环境温度：（5～30）℃。

6.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

6.1.3 其他条件

校准时，液氮比较器周围应避免其他冷、热源影响，保持测量环境通风换气，避免液氮蒸发造成惰性气体聚集，环境条件还应满足电测设备（数字多用表或测温电桥）的正常工作要求。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1	温度均匀性	(1) 标准铂电阻温度计：测量范围(-196~0)℃， 准确度等级：二等； (2) 数字多用表或测温电桥：测量范围(0~100)Ω，准确度等级(电阻)0.005级，或换算成温度后分辨力不低于0.0001℃，具有自动采集和存储功能； (3) 电子秒表：测量范围(0~3600)s，MPE:±0.10s/h
2	温度波动性	
3	温度示值误差	
注： 1、也可以选用符合要求的其它测量标准。 2、建议采用相同型号的标准铂电阻温度计。		

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

液氮比较器的校准项目见表 2。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

校准前应对液氮比较器液面进行检查，液面高度应满足液氮比较器使用说明书要求或按照实际测试的需求，最高不能从温度计测试孔溢出。

校准前应对电测设备进行预热，预热时间不少于 30 min 或满足电测设备（数字多用表或测温电桥）使用说明书要求。

校准前需要提前通过泵机，将液氮从注入孔加注到液氮比较器中，不应通过漏斗等直接倒入，避免液氮飞溅对人员造成的伤害。

7.2.2 温度均匀性

本规范的均匀性指液氮比较器上端四个温度计测试孔之间的最大温差，如图 2 所

示。

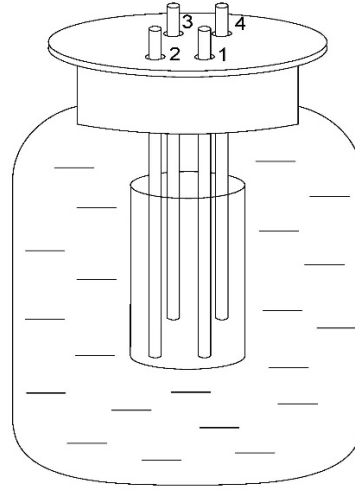


图 2 液氮比较器四孔示意图

7.2.2.1 校准过程

(1) 将两支标准的铂电阻温度计，其中一支作为固定的温度计 A，另外一支作为移动温度计 B，分别从测试孔 1 和 2 插入到液氮比较器的底端，将固定温度计 A 在测试孔 1 的顶部（如图 2 所示）固定；稳定 5min 后或者按照液氮比较器使用说明书要求的时间开始读数，按照固定温度计 → 移动温度计 → 移动温度计 → 固定温度计顺序，读取两支温度计的数值，测量两个循环，记录四次数据，分别记录为： t_{11} 、 t_{21} 、 t_{22} 、 t_{12} 、 t_{13} 、 t_{23} 、 t_{24} 、 t_{14} 。

固定温度计 A 的测量平均值： $\bar{t}_{1A} = (t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14}) / 4$

移动温度计 B 的测量平均值： $\bar{t}_{2B} = (t_{21} + t_{22} + t_{23} + t_{24}) / 4$

测试孔 2 相对于测试孔 1 的温差： $\Delta_{1A-2B} = \bar{t}_{2B} - \bar{t}_{1A}$ 。

(2) 保持固定温度计 A 在测试孔 1 的位置不变，拔出移动温度计 B，分别插入到测试孔 3 和 4 的底部，按照步骤 (1) 的方法，得到测试孔 3、4 相对于测试孔 1 的温差，分别为： $\Delta_{1A-3B} = \bar{t}_{3B} - \bar{t}_{1A-3}$ 、 $\Delta_{1A-4B} = \bar{t}_{4B} - \bar{t}_{1A-4}$ 。

(3) 完成上述测量后，将温度计 B 固定在测试孔 4，温度计 A 作为移动温度计，分别插入到测试孔 2 和 3，按照步骤 (1) 的方法，得到测试孔 2、3 相对于测试孔 4 的温差，分别为： $\Delta_{4B-2A} = \bar{t}_{2A} - \bar{t}_{4B-2}$ 、 $\Delta_{4B-3A} = \bar{t}_{3A} - \bar{t}_{4B-3}$ 。

(4) 完成上述测量后, 将温度计 A 在测试孔 3 固定, 移动温度计 B 插入到测试孔 1 中, 按照步骤 (1) 的方法, 得到测试孔 1 相对于测试孔 3 的温差:

$$\Delta t_{3A-1B} = \bar{t}_{1B} - \bar{t}_{3A-1}。$$

7.2.2.2 数据处理

测试孔 2 和测试孔 3 之间的温差为:

$$\Delta t_{2-3} = \Delta t_{1A-2B} - \Delta t_{1A-3B} \quad (1)$$

Δt_{2-3} —测试孔 2 和测试孔 3 之间的温差, mK;

Δt_{1A-2B} —测试孔 2 相对于测试孔 1 的温差, mK;

Δt_{1A-3B} —测试孔 3 相对于测试孔 1 的温差, mK。

根据上述的计算方法, 可计算其他测试孔之间的温差, 如下:

$$\Delta t_{2-4} = \Delta t_{1A-2B} - \Delta t_{1A-4B} \quad (2)$$

$$\Delta t_{3-4} = \Delta t_{1A-3B} - \Delta t_{1A-4B} \quad (3)$$

$$\Delta t_{1-2} = \Delta t_{1A-4B} + \Delta t_{4B-2A} \quad (4)$$

$$\Delta t_{1-3} = \Delta t_{1A-4B} + \Delta t_{4B-3A} \quad (5)$$

$$\Delta t_{1-4} = \Delta t_{4B-3A} + \Delta t_{3A-1B} \quad (6)$$

取孔间温差最大值作为液氮比较器的温度均匀度性, 结果保留到 0.1mK:

$$\Delta t_u = \max(|\Delta t_{2-3}|, |\Delta t_{2-4}|, |\Delta t_{3-4}|, |\Delta t_{1-3}|, |\Delta t_{1-2}|, |\Delta t_{1-4}|) \quad (7)$$

Δt_u —液氮比较器温度均匀性, mK。

7.2.3 温度波动性

7.2.3.1 校准过程

将一支标准铂电阻温度计从液氮比较器的任意一个测试孔插入到底部, 稳定 5min 后或按液氮比较器使用说明书要求的时间。读数时, 每隔 20s (或小于 20s) 读取一次数据, 10min 至少记录 31 个数据, 取最大值和最小值之差作为液氮比较器的温度波动性, 结果保留到 0.1mK。

7.2.3.2 数据处理

$$w_t = t_{\max} - t_{\min} \quad (8)$$

式中:

w_t —温度波动性, mK;

$t_{\max}$ —10min 内标准铂电阻温度计读数的最大温度值, °C;

$t_{\min}$ —10min 内标准铂电阻温度计读数的最小温度值, °C。

7.2.4 温度示值误差

7.2.4.1 校准过程

对于有显示的液氮比较器, 温度示值误差的校准与温度的波动性同时进行。在记录标准温度计测量值的同时, 记录液氮比较器的显示值, 以显示温度平均值与标准温度计实测平均值之间的差值作为温度示值误差, 结果保留到 0.1mK。

7.2.4.2 数据处理

$$\Delta t = \bar{t}_{xian} - \bar{t}_{ce} \quad (9)$$

式中:

Δt —温度示值误差, mK;

$\bar{t}_{xian}$ —液氮比较器显示平均值, °C。

$\bar{t}_{ce}$ —标准温度计的实测平均值, °C。

8 校准结果

8.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果, 推荐的校准记录格式见附录 A。

8.2 校准证书

经校准的测定仪应出具校准证书, 校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071-2010 中 5.12 的要求, 推荐的校准证书的内页格式见附录 B。

8.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度, 评定示例见附录 C、附录 D、附录 E。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由液氮比较器的使用情况、使用者、液氮比较器本身质量等诸多因素决定的。因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔, 复校时间间隔建议不超过 12 个月。

附录 A

液氮比较器校准记录格式

基本信息						
委托单位		原始记录号		校准证书号		
仪器名称		规格型号		设备编号		
制造厂商		环境温度	℃	相对湿度	%	
校准结果 (均匀性)						
测试孔		1-A	2-B	1-A	3-B	
读数/℃	1					
	2					
	3					
	4					
平均值/℃						
固定温度计与移动温度计温差/mK		$\Delta t_{1A-2B} =$		$\Delta t_{1A-3B} =$		
测试孔		1-A	4-B	4-B	2-A	
读数/℃	1					
	2					
	3					
	4					
平均值/℃						
固定温度计与移动温度计温差/mK		$\Delta t_{1A-4B} =$		$\Delta t_{4B-2A} =$		
测试孔		4-B	3-A	3-A	1-B	
读数/℃	1					
	2					
	3					
	4					
平均值/℃						
固定温度计与移动温度计温差/mK		$\Delta t_{4B-3A} =$		$\Delta t_{3A-1B} =$		
孔间温差/mK	Δt_{2-3}	Δt_{2-4}	Δt_{3-4}	Δt_{1-2}	Δt_{1-3}	Δt_{1-4}
温度均匀性/mK						
不确定度 $U(k=2)$ mK						

液氮比较器校准记录格式(续)

校准结果（波动性和示值误差）													
标准温度 计	次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	读数/℃												
	次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	读数/℃												
	次数	25	26	27	28	29	30	31					
	读数/℃												
显示值	次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	读数/℃												
	次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	读数/℃												
	次数	25	26	27	28	29	30	31					
	读数/℃												
温度波动性/（mK/10min）						不确定度 $U(k=2)$ mK							
温度示值误差/mK						不确定度 $U(k=2)$ mK							
标准器													
名称	编号			证书号			测量范围			有效期		不确定度或准确度等级或最大允许误差	
技术依据	JJFZ(石化)012-2024 《液氮比较器校准规范》												
校准地点							校准日期		年	月	日		
备注													

校准员：

核验员：

附录 B

液氮比较器校准证书的内页格式

证书编号××××××—×××××					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF（石化）XXX-XXXX《XXXXXXXX 校准规范》					
校准环境条件及地点					
地点					
环境温度	℃	相对湿度	%	其他	
校准使用的标准器					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源单位	证书号	有效期至
校准结果					
序号	项目	技术要求	校准结果		
			测量值	扩展不确定度（ $k=2$ ）	
1	温度均匀性	$\leq 20\text{mK}$			
2	温度波动性	$\leq 10\text{mK}/10\text{min}$			
3	温度示值误差	$\text{MPE: } \pm 2.0^\circ\text{C}$			
备注					

附录 C

液氮比较器均匀性测量结果不确定度评定示例

C.1 校准方法

校准方法如本规范的 7.2.2。

C.2 测量模型

$$\Delta t_u = \max(|\Delta t_{2-3}|, |\Delta t_{2-4}|, |\Delta t_{3-4}|, |\Delta t_{1-3}|, |\Delta t_{1-2}|, |\Delta t_{1-4}|) \quad (C.1)$$

式中：

Δt_u —液氮比较器的均匀性，mK；

Δt_{2-3} 、 Δt_{2-4} 、 Δt_{3-4} 、 Δt_{1-3} 、 Δt_{1-2} 、 Δt_{1-4} —各测试孔之间的温差。

假设测试孔 2、3 之间的温差为最大温差，可以表示为：

$$\Delta t_{2-3} = |\Delta t_{1-2} - \Delta t_{1-3}| = |t_{2-B} - t_{1-A} - (t_{3-B} - t_{2-A})| = |(t_{2-B} - t_{3-B}) - (t_{1-A} - t_{2-A})| = |\Delta t_{yidong} - \Delta t_{guding}| \quad (C.2)$$

式中：

Δt_{2-3} —测试孔 2、3 之间的温差，mK；

Δt_{yidong} —移动温度计在测试孔 2、3 间的温差，mK；

Δt_{guding} —固定温度计在测试孔 1 两次测量的温差，mK。

则：

$$\Delta t_u = |\Delta t_{yidong} - \Delta t_{guding}| \quad (C.3)$$

C.3 不确定度来源和标准不确定度分量评定

C.3.1 不确定度的来源

不确定度主要来源有：测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ，固定温度计、移动温度计引入的标准不确定度为 u_2 、 u_3 ，液氮比较器测试孔间温差引入的标准不确定度 u_4 ，测温电桥引入的标准不确定度 u_5 。

C.3.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

表 C.1 孔间温差测量结果（mK）

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
孔间温差	1.5	1.2	2.2	1.8	1.2	1.5	1.2	0.9	1.3	1.6

测量的实验标准差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \Delta \bar{t})^2}{n-1}} = 0.37 \text{ (mK)} \quad (\text{C.4})$$

则:

$$u_1 = 0.37 \text{ (mK)}$$

C.3.3 固定标准温度计引入的标准不确定度 u_2

固定标准温度计在短时间内稳定性变化不超过 $\pm 0.5\text{mK}$ ，按均匀分布，短期漂移引入的标准不确定度:

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ (mK)}$$

C.3.4 移动标准温度计引入的标准不确定度 u_3

移动标准温度计在短时间内稳定性变化不超过 $\pm 0.5\text{mK}$ ，按均匀分布，短期漂移引入的标准不确定度:

$$u_3 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ (mK)}$$

C.3.5 不同位置温度变化不一致性引入的标准不确定度 u_4

测量过程中，温度波动会导致两个温度测量位置点的温度变化不一致，两只标准铂电阻温度计因感温端结构影响，测量时会存在迟滞现象，综合考虑两者影响量，估计不超过 $\pm 0.5\text{mK}$ ，区间半宽为 0.5mK ，按均匀分布，则引入的标准不确定分量为:

$$u_4 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ (mK)}$$

C.3.6 多通道测温仪短期稳定性引入的标准不确定度 u_5

测量过程中, 由于两只标准铂电阻温度计共用一只电测仪表进行读数, 电测仪表的短期稳定性和不准确性对两只标准铂电阻温度计的影响相互抵消。所以, 测温仪短期稳定性和不准确性引入的标准不确定度可以忽略不计。

C.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 C.2。

表 C.2 不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	标准不确定度 u /mK
u_1	测量重复性	A	正态	0.37
u_2	固定温度计短期稳定性	B	均匀	0.29
u_3	移动温度计短期稳定性	B	均匀	0.29
u_4	不同位置温度变化的不一致性	B	均匀	0.29

C.5 合成标准不确定度

各标准不确定度分量相互独立, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.62 \text{ (mK)}$$

C.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$, 取包含因子 $k=2$ (置信水平 95%), 测量结果的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.62 \approx 1.3 \text{ (mK)}$$

附录 D

液氮比较器波动性测量结果不确定度评定示例

D.1 校准方法

校准方法如本规范 7.2.3。

D.2 测量模型

液氮比较器温度波动性的数学模型见式（D.1）：

$$\Delta w = t_{\max} - t_{\min} \quad (\text{D.1})$$

式中：

Δw — 温度波动性，mK；

$t_{\max}$ — 10min 内标准铂电阻温度计读数的最大温度值，℃；

$t_{\min}$ — 10min 内标准铂电阻温度计读数的最小温度值，℃。

D.3 不确定度来源和标准不确定度分量评定

D.3.1 不确定度的来源

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 ，标准铂电阻温度计短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_2 ，测温电桥短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_3 。

D.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在液氮环境中，对液氮比较器波动性进行 10 次重复测量，得到测量结果见表 D.1。

表 D.1 温度波动性测量结果（mK）

第i次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
波动性	1.4	1.3	1.5	1.7	1.3	1.5	1.8	1.6	1.5	1.5

测量的实验标准差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{f=1}^n (\Delta t_f - \Delta \bar{t}_f)^2}{n-1}} = 0.16 \text{ (mK)} \quad (\text{D.2})$$

则：

$$u_1 = 0.16 \text{ (mK)}$$

D.3.3 标准铂电阻温度计短期稳定性引入的标准不确定度 u_2

标准铂电阻温度计的短期稳定性(如 10min)估计不超过 $\pm 0.2\text{mK}$ ，区间半宽为 0.2mK ，按均匀分布，则

$$u_2 = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ (mK)}$$

D.3.4 测温仪表短期稳定性引入的标准不确定度 u_3

多通道测温仪短期稳定性变化不超过 $\pm 0.1\text{mK}$ ，区间半宽为 0.1mK ，按均匀分布，则

$$u_3 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ (mK)}$$

D.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 D.2。

表 D.2 不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	标准不确定度 u/mK
u_1	测量重复性	A	正态	0.16
u_2	标准温度计短期稳定性	B	均匀	0.12
u_3	电测仪表的短期不稳定性	B	均匀	0.06

D.5 合成标准不确定度

各标准不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 0.21 \text{ (mK)}$$

D.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k=2$ (置信水平 95%)，测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.21 \approx 0.5 \text{ (mK)}$$

附录 E

液氮比较器示值误差测量结果不确定度评定示例

E.1 校准方法

校准方法如本规范的 7.2.4。

E.2 测量模型

温度示值误差的测量模型见式（E.1）：

$$\Delta t_2 = \bar{t}_{ce} - \bar{t}_s \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt_2 —温度示值误差，mK；

$\bar{t}_{ce}$ —标准温度计实测平均值，℃；

$\bar{t}_s$ —液氮比较器显示值的平均值，℃。

E.3 不确定度来源和标准不确定度分量评定

E.3.1 不确定度来源

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 ，标准铂电阻温度计短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_2 ，测温电桥短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_3 ，标准器的分辨力 u_4 。

E.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在液氮环境中，对液氮比较器的温度示值误差进行校准，进行 10 次重复测量，测量结果见表 E.1。

表 E.1 示值误差测量结果(mK)

第i次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值误差	16	18	12	15	18	11	12	15	16	14

测量的实验标准差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{f=1}^n (\Delta t_f - \Delta \bar{t}_f)^2}{n-1}} = 2.5 \text{ (mK)}$$

则：

$$u_1 = 2.5 \text{ (mK)}$$

E.3.3 标准铂电阻温度计短期稳定性引入的标准不确定度 u_2

标准铂电阻温度计的短期稳定性(如 10min)估计不超过 $\pm 0.2\text{mK}$,区间半宽为 0.2mK ,按均匀分布, 则

$$u_2 = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ (mK)}$$

E.3.4 多通道测温仪短期稳定性引入的标准不确定度 u_3

多通道测温仪短期稳定性变化不超过 $\pm 0.1\text{mK}$, 区间半宽为 0.1 mK , 按均匀分布, 则

$$u_3 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ (mK)}$$

E.3.5 标准器分辨力引入的标准不确定度 u_4

标准温度计及其电测设备的分辨力为 0.1mK , 取其半宽为 0.05 mK , 按均匀分布, 则:

$$u_4 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ (mK)}$$

标准器分辨力引入标准不确定度分量远小于重复性引入的标准不确定度分量, 故舍去。

E.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 E.2.

表 E.2 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	标准不确定度 u/mK
u_1	测量重复性	A	正态	2.5
u_2	标准温度计短期稳定性	B	均匀	0.12
u_3	电测仪表的短期不稳定性	B	均匀	0.06

E.5 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 2.51 \text{ (mK)}$$

E.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k=2$ ，测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 2.51 \approx 5.1 \text{ (mK)}$$
