

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

油水界面仪校准规范

Calibration Specification for Oil-water Interface Meters
(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

油水界面仪校准规范

Calibration Specification for
Oil-water Interface Meters

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：宁波市计量测试研究院（宁波新材料检验检测中心）

中国合格评定国家认可中心

江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）

参加起草单位：无锡市检验检测认证研究院

舟山市质量技术监督检测研究院

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：

纪洪芝[宁波市计量测试研究院(宁波新材料检验检测中心)]

王 宁（中国合格评定国家认可中心）

秦 洁[江苏省计量科学研究院(江苏省能源计量数据中心)]

秦树伟[宁波市计量测试研究院(宁波新材料检验检测中心)]

参加起草人：

许碧泽[宁波市计量测试研究院(宁波新材料检验检测中心)]

黄静妍（无锡市检验检测认证研究院）

吴泽南(舟山市质量技术监督检测研究院)

吴振宇[宁波市计量测试研究院(宁波新材料检验检测中心)]

目 录

引言..... (II)

1 范围..... (1)

2 引用文件..... (1)

3 概述..... (错误！未定义书签。)

4 计量特性..... (2)

5 校准条件..... (2)

5.1 环境条件..... (2)

5.2 测量标准及其他设备..... (2)

6 校准项目和校准方法..... (2)

6.1 校准项目..... (3)

6.2 校准方法..... (3)

7 校准结果..... (5)

7.1 校准记录..... (5)

7.2 校准证书..... (5)

7.3 不确定度..... (5)

8 复校时间间隔..... (6)

附录 A 油水介质配置方法..... (7)

附录 B 油水界面仪校准记录格式..... (8)

附录 C 油水界面仪校准证书的内页格式..... (10)

附录 D 油水界面测量示值误差测量结果不确定度评定示例..... (11)

附录 E 测量尺示值误差测量结果不确定度评定示例..... (15)

附录 F 温度示值误差测量结果不确定度评定示例..... (19)

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 JJG 4-2015《钢卷尺检定规程》、CB/T 4182-2011《船用油水界面探测器要求》制定。

本规范为首次发布。

油水界面仪校准规范

1 范围

本规范适用于温度测量范围为 $(-40\sim 100)^{\circ}\text{C}$ ，油水界面测量范围为 $(0\sim 30)\text{m}$ ，采用线纹测量原理的油水界面仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 4-2015《钢卷尺检定规程》

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 概述

油水界面仪是一种采用线纹测量原理对油水界面的深度进行测量的仪器，由传感器、测量尺、尺盒、显示器和卷尺清洁器等组成。利用油与水物理性质的差异，传感器在穿过不同液体介质时接收到的反馈信号发生明显改变，通过测量尺上的线纹刻度测量传感器下放深度，进而确定并显示油水界面分界处的位置深度。油水界面仪结构示意图见图1。

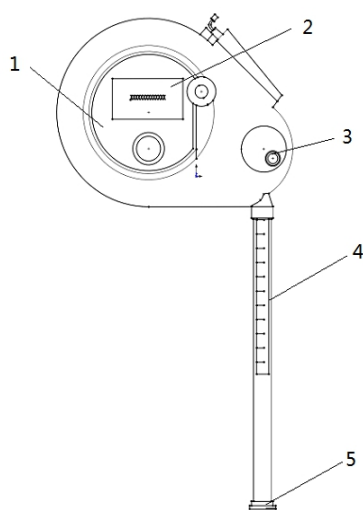


图1 油水界面仪结构示意图

1—尺盒；2—显示器；3—卷尺清洁器；4—测量尺；5—传感器

4 计量特性

具体计量特性见表 1。

表 1 测定仪计量特性一览表

序号	项目		技术要求
1	油水界面测量示值误差/mm	(0~1000)	MPE: ± 5.0
2	油水界面测量重复性/mm		≤ 2.0
3	界面响应时间/s		≤ 3.0
4	测量尺示值误差/mm	(0~30000)	MPE: $\pm (0.3 \text{ mm} + 2 \times 10^{-4} L)$
5	温度示值误差/℃	(-40~100)	MPE: ± 0.1
注： 1 MPE 为最大允许误差。 2 L 为测量尺的标称长度。 3 以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。			

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度条件

环境温度：(15~30)℃。

5.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85 %。

5.2 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	油水界面测量示值误差	三等标准金属线纹尺：测量范围不小于 (0~1000) mm, MPE: $\pm (0.03 + 0.02L)$ mm; 读数显微镜：分度值为 0.001 mm。
2	油水界面测量重复性	
3	界面响应时间	秒表：测量范围：(0~1800) s，分辨力不低于 0.01 s, MPE: ± 0.5 s/d。
4	测量尺示值误差	标准钢卷尺：测量范围：(0~5) m, MPE: $\pm (0.03 \text{ mm} + 3 \times 10^{-5} L)$;
5	温度示值误差	标准铂电阻温度计：测量范围为 (-189.3442~419.527)℃，准确度等级：二等；

		电测设备：测量范围为（0~400）Ω，相对误差不大于 5×10^{-5} ； 恒温槽：温度范围为（-40~100）℃，温度均匀度优于 0.02℃，温度波动度优于 0.02℃/10min。
--	--	---

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

油水界面仪的校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

6.2.1.1 仪器和设备

电动升降台：速度：1 mm/s；

卷尺检定台：摩擦力 ≤ 4 N。

油水介质配置方法见附录 A。

上述所有仪器和设备应通过检定或校准符合要求。

6.2.1.2 外观检查

检查油水界面仪的外壳表面，无锈蚀、变形、无脱落、划痕等缺陷，按键功能完好，指示屏显示正常，无叠字、乱码、缺笔画等可见缺损。

6.2.2 油水界面测量示值误差

将三等标准金属线纹尺通过专用支架垂直安置于测量基准面，用水平仪调整，确保尺身与基准面严格垂直，无倾斜、无扭转。采用读数显微镜对准读数，获取空气/油界面、油/水界面对应的线纹示值，得到油/水界面相对于空气/油界面的高度差，记录为 ΔH 。将油水界面仪的传感器固定在电动升降台上，在样液中以 1mm/s 的速度由上往下（空气-油-水）匀速垂直移动，测量到空气/油界面的高度读数，记录为 h_{iA} ；测量到油/水界面的高度读数，记录为 h_{iB} 。

各试验样液的测量高度差和标准高度差的差值为该试验样液的油水界面测量示值误差：

$$\Delta = (h_{Bn} - h_{An}) - \Delta H \quad (1)$$

式中：

Δ ——油水界面测量示值误差，mm；

h_{An} ——各试验样液中空气/油界面的高度读数，mm；

h_{Bn} ——各试验样液中油/水界面的高度读数, mm;

ΔH ——各试验样液的标准高度差, mm。

6.2.3 油水界面测量重复性

按 6.2.2 的条件及实验方法得到的数据 h_{An} 和 h_{Bn} , 计算其差值为 Δh_n , 重复测量 10 次, 计算这 10 个高度差值的实验标准差作为仪器的油水界面测量重复性。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta h_n - \overline{\Delta h_n})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中:

s ——油水界面测量重复性, mm;

Δh_n —— h_{An} 和 h_{Bn} 的差值, mm;

$\overline{\Delta h_n}$ —— Δh_n 重复测量 10 次的平均值, mm;

n ——测量次数, $n = 10$ 。

6.2.4 界面响应时间

按 6.2.2 的条件下, 将油水界面仪的传感器置于试验样液的油/水界面上方 50 mm 处, 以 1 mm/s 的速度由上往下匀速垂直移动, 目视探头触碰到油/水界面启动秒表, 油水界面仪发出信号时终止秒表, 秒表示值作为界面响应时间, 连续测量 5 次, 取最大值作为仪器的响应时间。

$$t = t_{max} \quad (3)$$

式中:

t ——界面响应时间, s;

t_{max} ——5 次测量中测得的界面响应时间的最大值, s。

6.2.5 测量尺示值误差

采用比较测量方法, 即将标准钢卷尺和油水界面仪的尺带平行地平铺在卷尺检定台上。通过检定台上的压紧装置将尺带紧固。在检定台的另一端对尺带分别施加相应的拉力。使用检定台的调零机构将被检尺的零值线纹中心与标准钢卷尺的零值线纹中心对齐, 在标准尺上读取各校准点的偏差值。各校准点的示值误差:

$$\Delta L = \Delta e \quad (4)$$

式中:

ΔL ——测量尺各校准点的示值误差, mm;

Δe ——标准尺上读得的测量尺校准点的偏差值, mm。

6.2.6 温度示值误差

在其常规测量范围内均匀选择不少于 5 个校准点。覆盖负温区的油水界面仪, 其校准点应包括 0℃。

选择与校准点温度相对应的恒温槽, 将油水界面仪温度传感器和标准铂电阻温度计插入恒温槽内进行比较。油水界面仪温度传感器插入深度应不小于 150 mm; 标准铂电阻温度计插入深度应不小于 250 mm。恒温槽温度偏离校准点不超过 ± 0.2 ℃。待示值稳定后, 读取并记录标准铂电阻温度计和被校油水界面仪的温度示值, 按“标准→被校→被校→标准”的顺序读数, 取 2 次读数平均值计算温度示值误差; 比较测量方法, 即将标准钢卷尺和油水界面仪的尺带平行地平铺在卷尺检定台上。通过检定台上的压紧装置将尺带紧固。在检定台的另一端对尺带分别施加相应的拉力。使用检定台的调零机构将被检尺的零值线纹中心与标准钢卷尺的零值线纹中心对齐, 在标准尺上读取各校准点的偏差值。各校准点的示值误差:

$$\Delta t = \bar{t}_i - \bar{t}_0 \quad (5)$$

式中:

Δt ——温度示值误差, ℃;

$\bar{t}_i$ ——油水界面仪温度读数平均值, ℃;

$\bar{t}_0$ ——恒温槽的实际温度值, 即标准铂电阻温度计测量值的平均值, ℃。

7 校准结果

7.1 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 B。

7.2 校准证书

经校准的油水界面仪应出具校准证书, 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 C。

7.3 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 D、附录 E、附录 F。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由油水界面仪的使用情况、使用者、油水界面仪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

油水介质配置方法

本附录规定，试验介质可采用 0 号轻柴油与蒸馏水混合配制。试验容器选用透光性良好、耐腐蚀、结构刚性满足要求的圆柱形玻璃或有机玻璃筒体，容器内径不应小于 80 mm，有效液柱深度不应小于 300 mm；容器内壁光洁平整，无明显划痕、杂质与污物，保障透光效果及油水界面观测清晰。

油水混合介质配制时，应将试验用油缓慢注入水溶液内，同步持续均匀搅拌。配制全过程介质温度不得高于 40 ℃，若超出限值需立即停止作业，待体系自然冷却至合规温度后方可继续配制。新配制完成的油水介质，需静置稳定不少于 12 h，方可投入试验使用。

因试验用油具备挥发性特性，介质配制与使用期间，需严格落实安全防护措施，防范人身伤害，同时做好废液管控，避免造成环境污染。

附录 B

油水界面仪校准记录格式

共 页第 页

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	%			
校准前检查											
外观	☐ 正常 ☐ 不正常										
校准项目		校准结果									
油水界面测量示值误差		空气/油界面的高度读数（mm）			油/水界面的高度读数（mm）			标准高度差（mm）		示值误差（mm）	
油水界面测量重复性		测量高度差（mm）									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		油水界面测量重复性（mm）									
界面响应时间		1		2		3		4		5	
		界面响应时间（s）									
测量尺示值误差		测量点（mm）		示值误差（mm）			测量点（mm）		示值误差（mm）		
		100					1000				
		200					1500				
		300					2000				
		400					2500				
		500					3000				
		600					3500				
		700					4000				
		800					4500				
		900					5000				

温度示值误差	校准点 (°C)		标准值 (°C)	被测温度示值 (°C)
	测量次数	1		
		2		
	读数平均值 (°C)			
	温度示值误差 (°C)			
	校准点 (°C)		标准值 (°C)	被测温度示值 (°C)
	测量次数	1		
		2		
	读数平均值 (°C)			
	温度示值误差 (°C)			
	校准点 (°C)		标准值 (°C)	被测温度示值 (°C)
	测量次数	1		
		2		
	读数平均值 (°C)			
	温度示值误差 (°C)			
	校准点 (°C)		标准值 (°C)	被测温度示值 (°C)
	测量次数	1		
		2		
	读数平均值 (°C)			
	温度示值误差 (°C)			

标准器						
名称	编号	测量范围	溯源单位	证书号	有效期	不确定度或准确度等级 或最大允许误差
技术依据						
校准地点				校准日期	年	月 日
备注						

校准员:

核验员:

附录 C

油水界面仪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 《油水界面仪校准规范》					
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	油水界面测量示值误差 /mm	MPE: ± 5.0			
2	油水界面测量重复性 /mm	≤ 2.0			
3	界面响应时间/s	≤ 3.0			
4	测量尺示值误差/mm	MPE: $\pm (0.3\text{mm} + 2 \times 10^{-4}L)$			
5	温度示值误差/℃	MPE: ± 0.1			
备注					

附录 D

油水界面测量示值误差测量结果的不确定度评定示例

D.1 校准方法

校准方法如本规范的 6.2.2。

D.2 测量模型

油水界面测量示值误差的测量模型见式 (D.1)：

$$\Delta = (h_{iB} - h_{iA}) - \Delta H \quad (\text{D.1})$$

式中：

Δ ——油水界面测量示值误差，mm；

h_{iA} ——各试验样液中空气/油界面的高度读数，mm；

h_{iB} ——各试验样液中油/水界面的高度读数，mm；

ΔH ——各试验样液的标准高度差，mm。

方差和灵敏系数：

由式 (D.1) 得方差传播公式：

$$u^2(\Delta) = c_1^2 u^2(h_i) + c_2^2 u^2(\Delta H) \quad (\text{D.2})$$

式中：

$u(\Delta)$ ——油水界面测量示值误差的测量不确定度；

$u(h_i)$ ——油水界面仪引入的不确定度；

$u(\Delta H)$ ——三等标准金属线纹尺示值误差引入的不确定度。

因为 $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial h_i} = 1$, $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial \Delta H} = -1$, 故

$$u_c = \sqrt{u(h_i)^2 + u(\Delta H)^2} \quad (\text{D.3})$$

D.3 油水界面测量示值误差测量结果不确定度的评定

D.3.1 不确定度的来源

油水界面仪油水界面示值误差的不确定度来源主要由油水界面仪引入的不确定度分量和三等标准金属线纹尺示值误差引入的不确定度分量组成。

D.3.2 油水界面仪引入的不确定度分量 u_1 D.3.2.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{11}

用被校油水界面仪测量的试验样液的高度差，重复 10 次测量结果见表 D.1。

表 D.1 油水界面测量结果

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果 /mm	100.1	100.2	100.2	100.2	100.1	100.3	100.2	100.1	100.2	100.2

根据 $s = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \bar{h})^2}{n-1}}$ 公式可得：

$$s = 0.06mm \quad (D.4)$$

故不确定度分量为：

$$u_{11} = s = 0.06mm \quad (D.5)$$

D.3.2.2 分辨力引入的不确定度分量 u_{12}

被校油水界面仪的分辨力为 0.1 mm，区间半宽度为 0.05 mm，，估计为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，故：

$$u_{12} = \frac{0.1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.03mm \quad (D.6)$$

分辨力引入的标准不确定度小于重复性引入的标准不确定度，舍去。

D.3.3 响应时间引入的不确定度 u_{13}

油水界面仪测量空气/油界面时，以 1 mm/s 的速度由上往下均匀垂直移动，按测量反应时间不超过 1 s，假设服从均匀分布，故：

$$u_{131} = \frac{1 \times 1}{\sqrt{3}} = 0.58mm \quad (D.7)$$

油水界面仪测量油/水界面时，以 1 mm/s 的速度由上往下均匀垂直移动，按测量反应时间不超过 1 s，并认为其服从均匀分布，故：

$$u_{132} = \frac{1 \times 1}{\sqrt{3}} = 0.58mm \quad (D.8)$$

$$u_{13} = \sqrt{u_{131}^2 + u_{132}^2} = 0.81mm \quad (D.9)$$

D.3.4 三等标准金属线纹尺示值误差引入的不确定度 u_2

校准用的三等标准金属线纹尺的最大允许误差不大于 ± 0.05 mm，服从均匀分布，故：

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03mm \quad (D.10)$$

D.3.5 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 D. 2。

表 D. 2 不确定度分量表

不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值/mm
u_{11}	测量重复性引入的不确定度	0.06
u_{13}	响应时间引入的不确定度	0.81
u_2	三等标准金属线纹尺示值误差引入的不确定度	0.03

D. 4 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：

$$u_c = \sqrt{u_{11}^2 + u_{13}^2 + u_2^2} = 0.82mm \quad (D. 11)$$

D. 5 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：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.81 = 1.7mm \quad (D. 12)$$

附录 E

测量尺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 6.2.5。

E.2 测量模型

测量尺示值误差的数学模型见式（E.1）：

$$\Delta L = \Delta e \quad (\text{E.1})$$

式中：

ΔL ——测量尺示值误差，mm；

Δe ——标准钢卷尺所对应的偏差读数值，mm；

方差和灵敏系数：

由式（E.1）得方差传播公式：

$$u^2(\Delta L) = c^2 u^2(\Delta e) \quad (\text{E.2})$$

式中：

$u(\Delta L)$ ——测量尺示值误差的测量不确定度；

$u(\Delta e)$ ——标准钢卷尺所对应的偏差引入的不确定度；

因为 $c = \frac{\partial \Delta L}{\partial \Delta e} = 1$ ，故

$$u_c = u(\Delta e) \quad (\text{E.3})$$

E.3 测量结果不确定度的评定

E.3.1 不确定度的来源

测量尺示值误差的不确定度来源主要由测量重复性引入的不确定度 u_1 、油水界面探测仪测量尺与标准尺的对零位压线引入的不确定度 u_2 、读数视力引入的不确定度 u_3 、拉力误差引入的不确定度 u_4 、标准钢卷尺的示值误差引入的不确定度 u_5 、标准钢卷尺与油水界面探测仪测量尺温差引入的不确定度 u_6 、标准钢卷尺与油水界面探测仪测量尺间线胀系数引入的不确定度 u_7 。

E.3.2 测量重复性引入的不确定度 u_1

将油水界面探测仪测量尺安放在检定台上，使其与标准钢卷尺平行，并使油水界面探测仪测量尺和标准钢卷尺零位对齐，然后将测量尺拉到 5 m 处与标准钢卷尺零位

对齐, 读出 5 m 处示值误差, 作为一次过程。在重复性条件下连续测量 10 次, 得到单次标准偏差 $s=0.015 \text{ mm}$, 得

$$u_1 = 0.015 \text{ mm} \quad (\text{E. 4})$$

E. 3.3 油水界面探测仪测量尺与标准尺的对零位压线的不确定度 u_2

油水界面探测仪测量尺与标准尺的对零位压线误差估计在 0.10 mm , 并服从三角形分布, 故:

$$u_2 = \frac{0.10}{\sqrt{6}} = 0.040 \text{ mm} \quad (\text{E. 5})$$

E. 3.4 读数引入的不确定度 u_3

读数引入的不确定度分项是由读数显微镜示值误差引入。读数显微镜 $\text{MPEV}=10 \text{ }\mu\text{m}$ 并服从均匀分布, 故:

$$u_3 = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.005 \text{ mm} \quad (\text{E. 6})$$

E. 3.5 拉力误差引入的不确定度 u_4

在 5m 处由拉力引入的误差给出的标准不确定度分项:

$$\delta = L \times 10^3 \times \frac{\Delta_p}{(9.8 \times E \times F) \text{ mm}} \quad (\text{E. 7})$$

式中:

L ——钢卷尺长度, 以 m 为单位取值;

Δ_p ——拉力偏差, 由标准钢卷尺检定规程得知 $\Delta_p \leq 0.5 \text{ N}$;

E ——弹性系数, $E=2000 \text{ kg/mm}^2$;

F ——钢卷尺的横截面积, 该尺横截面积宽度为 10 mm , 其厚度为 2.7 mm , $F=(10 \times 0.27) \text{ mm}^2$ 。

$$\delta = 5.1 \times 10^{-4} L \quad (\text{E. 8})$$

拉力误差 Δ_p 以相等的概率出现在半宽为 0.5 N 的区间, 认为其服从均匀分布, k 取 $\sqrt{3}$ 。由于试验中, 标准钢卷尺和油水界面探测仪测量尺都需要拉力, 故拉力误差在测量过程中影响 2 次, 得

$$u_4 = \frac{\sqrt{2} \times \delta}{\sqrt{3}} = 0.004 \text{ mm} \quad (\text{E. 9})$$

E. 3.6 标准钢卷尺的示值误差引入的不确定度 u_5

标准钢卷尺的示值误差引入的不确定 $u(c)$ 度分项评定: 校准用的标准钢卷尺的最

大允许误差不大于 $\pm(0.03\text{mm}+3\times 10^{-5}L)$ ，并认为其服从均匀分布，故包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ，当 $L=5\text{ m}$ 时

$$u_5 = \frac{0.03+3\times 5000\times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 0.104\text{mm} \quad (\text{E. 10})$$

E. 3. 7 标准钢卷尺与油水界面仪测量尺温差引入的不确定度 u_6

标准钢卷尺与被样品的温度差不超过 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，线膨胀系数为 $11.5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，当 $L=5\text{ m}$ 时，

$$u_6 = \frac{L\times\alpha\times\Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{5000\times 11.5\times 10^{-6}\times 0.3}{\sqrt{3}} = 0.010\text{mm} \quad (\text{E. 11})$$

E. 3. 8 标准钢卷尺与油水界面探测仪测量尺间线胀系数差引入的不确定度 u_7

由于两者线膨胀系数不同，线膨胀系数之差为 $\Delta\alpha = 3.2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，温度变化不超过 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，当 $L=5\text{ m}$ 时

$$u_7 = \frac{L\times 10^3\times\Delta\alpha\times\Delta t}{\sqrt{3}} = \frac{5000\times 10^3\times 3.2\times 10^{-6}\times 2}{\sqrt{3}} = 0.018\text{mm} \quad (\text{E. 12})$$

E. 4 合成标准不确定度的评定

E. 4. 1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值 /mm
u_1	测量重复性引入不确定度	0.015
u_2	油水界面仪测量尺与标准尺的对零位压线的不确定度	0.040
u_3	读数引入的不确定度	0.005
u_4	拉力误差引入的不确定度	0.004
u_5	标准钢卷尺的示值误差引入的不确定度	0.104
u_6	标准钢卷尺与油水界面仪测量尺温差引入的不确定度	0.010
u_7	标准钢卷尺与油水界面仪测量尺间线胀系数差引入的不确定度	0.018

E. 4. 2 合成标准不确定度 u_c

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式得：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 0.114\text{mm} \quad (\text{E. 13})$$

E. 5 扩展不确定度的评定

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:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.114 = 0.23mm$$

(E. 14)

附录 F

温度示值误差测量结果不确定度评定示例

F.1 校准方法

校准方法如本规范的 6.2.6。

F.2 测量模型

温度示值误差的测量模型见式（F.1）：

$$\Delta t = \bar{t}_i - \bar{t}_0 \quad (\text{F.1})$$

式中：

Δt —温度示值误差，℃；

$\bar{t}_i$ —油水界面仪温度传感器读数平均值，℃；

$\bar{t}_0$ —恒温槽的实际温度值，即以温度表示的标准铂电阻温度计测量值的平均值，℃。

方差和灵敏系数：

由式（F.1）得方差传播公式：

$$u^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(\bar{t}_i) + c_2^2 u^2(\bar{t}_0) \quad (\text{F.2})$$

因为 $c_1 = \frac{\partial(\Delta t)}{\partial \bar{t}_i} = 1$, $c_2 = \frac{\partial(\Delta t)}{\partial \bar{t}_0} = -1$, 故

$$u_c = \sqrt{u(\bar{t}_i)^2 + u(\bar{t}_0)^2} \quad (\text{F.3})$$

F.3 温度示值误差测量结果不确定度的评定

F.3.1 标准不确定度来源

温度示值误差标准不确定度的来源主要有输入量 $\bar{t}_i$ 引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$ 和输入量 $\bar{t}_0$ 引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_0)$ 。

F.3.2 输入量 $\bar{t}_i$ 引入的标准不确定度分量 $u(\bar{t}_i)$

输入量 $\bar{t}_i$ 引入标准不确定度的来源主要有分辨力引入的标准不确定 $u_1(\bar{t}_i)$ 、测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(\bar{t}_i)$ 。

F.3.2.1 分辨力引入的标准不确定度 $u_1(\bar{t}_i)$

油水界面仪的分辨力为 0.01 ℃，区间半宽度为 0.005 ℃，估计为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，

故:

$$u_1(\bar{t}_i) = \frac{0.005}{\sqrt{3}}\sqrt{3} = 0.0029^\circ\text{C} \quad (\text{F. 4})$$

F. 3. 2. 2 测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(t_i)$

以 50°C 为例, 将被测油水界面仪温度传感器放入恒温槽中, 待示值稳定后, 读取其示值。重复测量 10 次, 测量结果见表 F. 1。

表 F. 1 温度测量结果

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度示值/ $^\circ\text{C}$	50.01	50.02	50.03	50.05	50.03	50.04	50.04	50.05	50.04	50.05

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.0135^\circ\text{C} \quad (\text{F. 5})$$

式中:

Δt_i ——第 i 次测量结果, $^\circ\text{C}$;

$\bar{t}$ ——10 次测量结果的平均值, $^\circ\text{C}$;

n ——测量次数。

实际测量以 2 次测量值的平均值作为测量结果, 则:

$$u_2(t_i) = s/\sqrt{2} = 0.0095^\circ\text{C} \quad (\text{F. 6})$$

分辨力引入的标准不确定度 $u_1(t_i)$ 小于测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(t_i)$, 则取 $u_2(t_i)$ 的值作为输入量 $\bar{t}_i$ 引入的标准不确定度, 则:

$$u(t_i) = 0.0095^\circ\text{C} \quad (\text{F. 7})$$

F. 3. 3 由输入量 $\bar{t}_0$ 引入的标准不确定度分量 $u(t_0)$

F. 3. 3. 1 标准铂电阻温度计溯源引入的标准不确定度 $u_1(t_0)$

标准铂电阻温度计的不确定度为 $U=0.0038^\circ\text{C}$ ($k=2$), 则:

$$u_1(t_0) = 0.0019^\circ\text{C} \quad (\text{F. 8})$$

F. 3. 3. 2 电测设备测量误差引入的标准不确定度 $u_2(t_0)$

标准铂电阻温度计和测温电桥配套使用, 测温电桥最大相对误差 $\pm 1 \times 10^{-5}$, 测量结

果引入的标准不确定度 $u_2(t_0)$ 采用 B 类方法评定, 根据标准器在不同温度下的标称电阻值 R (50 °C 时约为 30 Ω), 可以计算出由此引入的不确定度, 按均匀分布处理, 则:

$$u_2(t_0) = (1 \times 10^{-5} \times R \times 10) / \sqrt{3} = 0.0017^\circ\text{C} \quad (\text{F. 9})$$

F. 3. 3. 3 标准铂电阻温度计水三相点电阻值变化引入的标准不确定度 $u_3(t_0)$

按标准铂电阻温度计检定规程要求, 需经常测定标准器的水三相点电阻值, 并使用新测得值计算, 水三相点测得值的不确定度为 $U=1.2 \text{ mK}$ ($k=2$) 则:

$$u_3(t_0) = 1.2/2 = 0.00066^\circ\text{C} \quad (\text{F. 10})$$

F. 3. 3. 4 标准铂电阻温度计自热效应引入的标准不确定度 $u_4(t_0)$

按标准铂电阻温度计检定规程要求, 温度计自热不得超过 4 mK, 该分量已包含在 u_1 中, 可忽略不计。

F. 3. 3. 5 恒温槽温度均匀度引入的标准不确定度 $u_5(t_0)$

根据恒温槽校准证书, 其温场最大温差为 0.01 °C, 采用 B 类方法评定。按均匀分布处理, 则:

$$u_5(t_0) = 0.01/\sqrt{3} = 0.0058^\circ\text{C} \quad (\text{F. 11})$$

F. 3. 3. 6 恒温槽温度波动度引入的标准不确定度 $u_6(t_0)$

根据恒温槽校准证书, 其温度波动度为 0.01 °C, 采用 B 类方法评定。按均匀分布处理, 则:

$$u_6(t_0) = 0.01/\sqrt{3} = 0.0058^\circ\text{C} \quad (\text{F. 12})$$

由于 $u(t_0)$ 的五个分量相互独立, 则:

$$u(t_0) = \sqrt{u_1^2(t_0) + u_2^2(t_0) + u_3^2(t_0) + u_4^2(t_0) + u_5^2(t_0) + u_6^2(t_0)} = 0.0086^\circ\text{C} \quad (\text{F. 13})$$

F. 3. 4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 F. 2.

表 F. 2 标准不确定度分量表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值/ $^\circ\text{C}$
$u(t_i)$	输入量 $\bar{t}_i$ 的不确定度	0.0095
$u(t_0)$	输入量 $\bar{t}_0$ 的不确定度	0.0086

F. 3. 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:

$$u_c = \sqrt{u(\bar{t}_i) + u(\bar{t}_0)} = \sqrt{0.0095^2 + 0.0086^2} = 0.013^\circ\text{C} \quad (\text{F. 14})$$

F.3.6 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：

$$U = ku_c = 2 \times 0.013 = 0.03^\circ\text{C} \quad (k=2) \quad (\text{F. 15})$$
