JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1171—2024

温湿度巡回检测仪校准规范

Calibration Specification for Temperature and Humidity Itinerant Detecting Instruments

2024-06-14 发布　　2024-12-14 实施

国家市场监督管理总局 发布

温湿度巡回检测仪校准规范

Calibration Specification for

Temperature and Humidity

Itinerant Detecting Instruments

JJF 1171—2024
代替 **JJF 1171—2007**

归 口 单 位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：山东省计量科学研究院

中国测试技术研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：泰安磐然测控科技有限公司

北京康斯特仪表科技股份有限公司

本规范委托全国温度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

梁兴忠（山东省计量科学研究院）

付志勇（中国测试技术研究院）

李占元（中国计量科学研究院）

参加起草人：

尹　跃（山东省计量科学研究院）

胡　靖（中国计量科学研究院）

张　军（泰安磐然测控科技有限公司）

高洪军（北京康斯特仪表科技股份有限公司）

目　　录

引言 ……（Ⅱ）
1　范围……（1）
2　引用文件……（1）
3　术语……（1）
4　概述……（1）
5　计量特性……（2）
5.1　温度示值误差……（2）
5.2　相对湿度示值误差……（2）
5.3　温度示值一致性……（2）
5.4　湿度示值一致性……（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……（2）
7　校准项目和校准方法……（4）
7.1　校准项目……（4）
7.2　温度校准……（4）
7.3　湿度校准……（6）
8　校准结果的表达……（7）
9　复校时间间隔……（7）
附录 A　温湿度巡回检测仪校准记录参考格式 ……（8）
附录 B　温湿度巡回检测仪校准证书内页参考格式 ……（11）
附录 C　温湿度巡回检测仪温度示值误差测量不确定度评定示例一（标准器为标准铂电阻温度计） ……（12）
附录 D　温湿度巡回检测仪温度示值误差测量不确定度评定示例二（标准器为标准铂铑 10-铂热电偶）……（16）
附录 E　温湿度巡回检测仪湿度示值误差测量不确定度评定示例三（标准器为精密露点仪） ……（21）

引　　言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、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》以及 JJF 1007—2007《温度计量名词术语及定义》共同构成本规范修订工作的基础性系列规范。

本规范是对 JJF 1171—2007《温度巡回检测仪校准规范》的修订，与 JJF 1171—2007 相比，除编辑性修改外，主要变化如下：

——增加了引言部分；

——适用范围发生了变化，扩展了温度范围，增加了湿度参数；

——删除了功能性检查项目；

——增加了温度标准器；

——修改了恒温设备的技术要求；

——增加了湿度标准器及配套设备；

——增加了湿度参数校准方法；

——附录中增加了原始记录格式；

——附录中增加了温度示值误差、湿度示值误差校准的不确定度评定示例。

本规范历次版本发布情况为：

——JJF 1171—2007；

——JJG 718—1991。

温湿度巡回检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于温度测量范围（－80～＋1 200)℃、(5～40)℃时相对湿度测量范围5%～95%配置电参数型传感器的温度巡回检测仪、湿度巡回检测仪和温湿度巡回检测仪（以下简称巡检仪）的校准。

其他类型的温湿度巡回检测仪也可参照本规范。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1007—2007 温度计量名词术语及定义

JJF 1076—2020 数字式温湿度计校准规范

JJF 1262—2010 铠装热电偶校准规范

JJF 1366—2012 温度数据采集仪校准规范

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

JJF 1007—2007界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 温湿度巡回检测仪 temperature and humidity itinerant detecting instrument

配置多路温度、湿度传感器，并能够周期性地巡回测量温度、湿度参数的仪器。

3.2 温度示值一致性 temperature indication consistency

相同温度下，巡检仪各通道的温度示值最大值与最小值的差值。

3.3 湿度示值一致性 humidity indication consistency

相同湿度下，巡检仪各通道的湿度示值最大值与最小值的差值。

3.4 巡检周期 itinerant detecting cycle

在规定工作状态下，巡检仪完成单次工作循环所需要的时间。

4 概述

巡检仪由温度/湿度传感器、控制及数据处理单元、人机交互系统、存储单元构成，典型结构如图1所示。温度/湿度传感器的输出电信号（电压、电阻、电流等）随温度/湿度的变化而变化，电信号由多路自动开关逐路选通，经采样、量化、编码和必要的辅助运算方法将模拟量转换成数字量，再经相应电路处理后，输出至显示和记录机构，周期性地测量多点温度、湿度。根据所配置传感器的不同，可分为温度巡回检测仪、湿度巡回检测仪和温湿度巡回检测仪，可用于测量环境试验设备、房间等内部空间的温度/湿度参数。

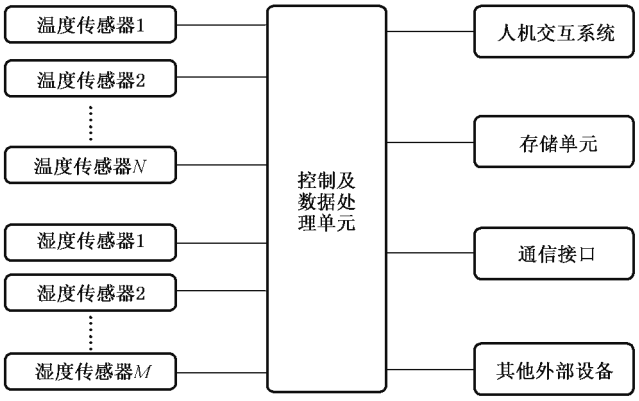


图 1　巡检仪典型结构图

5　计量特性

5.1　温度示值误差

温度示值最大允许误差见表 1。

表 1　温度示值最大允许误差

温度范围	传感器类型	最大允许误差
(－80～300)℃	铂电阻	±（0.15 ℃＋0.002｜t｜）
(300～1 200)℃	热电偶	±0.004｜t｜
注：t 为温度值，单位为℃。		

5.2　相对湿度示值误差

相对湿度示值最大允许误差为±2.0％。

5.3　温度示值一致性

温度示值一致性应不超过温度示值最大允许误差的绝对值。

5.4　湿度示值一致性

湿度示值一致性应不超过湿度示值最大允许误差的绝对值。

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

温度：(15～35)℃，相对湿度：≤85％；

若电测仪器及测量标准对环境条件另有要求，应满足其规定的要求。

6.2　测量标准及其他设备

校准所需的测量标准及其他设备可以从表 2 中参考选择，也可使用满足要求的其他设备。

表 2　测量标准及其他设备

<table>
<tr><th>序号</th><th>设备名称</th><th colspan="5">技术要求</th><th>用途</th></tr>
<tr><td>1</td><td>标准铂电阻温度计</td><td colspan="5">二等；测量范围：(－189.344 2～660.323)℃</td><td rowspan="4">测量标准器</td></tr>
<tr><td>2</td><td>标准水银温度计</td><td colspan="5">测量范围：(－30～300)℃</td></tr>
<tr><td>3</td><td>标准铂铑10-铂热电偶</td><td colspan="5">一等；测量范围：(300～1 300)℃</td></tr>
<tr><td>4</td><td>精密露点仪</td><td colspan="5">露点或霜点温度：(－20～40)℃，最大允许误差：±0.2 ℃
温度：最大允许误差：±0.10 ℃
相对湿度测量不确定度：U＝1.0%，k＝2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">电测设备</td><td colspan="5">电阻相对最大允许误差：±5×10^{-5}，分辨力不低于0.1 mΩ</td><td>与标准铂电阻温度计配套使用</td></tr>
<tr><td colspan="5">电压准确度等级0.01级，分辨力不低于0.1 μV</td><td>与标准铂铑10-铂热电偶配套使用</td></tr>
<tr><td rowspan="7">6</td><td rowspan="7">恒温设备</td><td rowspan="5">恒温槽</td><td rowspan="2">温度范围/℃</td><td colspan="2">温度均匀度/℃</td><td rowspan="2">温度波动度℃/10 min</td><td rowspan="7">温度源。恒温槽工作区域应具有足够深度，能够满足测量标准的正常使用要求</td></tr>
<tr><td>工作区域水平温差</td><td>工作区域最大温差</td></tr>
<tr><td>－80～0</td><td>0.01</td><td>0.02</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>0～95</td><td>0.01</td><td>0.01</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>95～300</td><td>0.01</td><td>0.02</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>300～600</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.05</td></tr>
<tr><td>检定炉</td><td colspan="4">(300～1 200)℃；热电偶插入均温块的深度与孔径之比＞10∶1；从孔底算起轴向30 mm内温差≤0.5 ℃；孔底部同一截面任意孔间的温差绝对值≤0.25 ℃</td></tr>
<tr><td>恒温箱</td><td colspan="4">(－40～80)℃；有效工作区域内，温度均匀度不超过0.05 ℃，温度波动度不超过±0.02 ℃/10 min</td></tr>
<tr><td>7</td><td>湿度发生器</td><td colspan="5">(5～50)℃，有效工作区域内，温度均匀度≤0.1 ℃，温度波动度不超过±0.1 ℃；
相对湿度(5～95)%，有效工作区域内，温度为20 ℃时，相对湿度均匀度≤0.5%，相对湿度波动度不超过±0.5%</td><td>湿度源</td></tr>
</table>

表 2（续）

序号	设备名称	技术要求	用途
8	冰点恒温器	最大允许偏差：±0.1 ℃	为标准铂铑 10-铂热电偶参考端提供 0 ℃恒温场
9	水三相点瓶	扩展不确定度优于 0.001 ℃，$k=2$	测量标准铂电阻温度计 R_{tp} 值
10	读数装置	放大倍数 5 倍以上，水平可调	读标准水银温度计示值

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

巡检仪的校准项目为温度示值误差、湿度示值误差、温度示值一致性、湿度示值一致性，根据巡检仪所配置传感器确定校准项目。

7.2 温度校准

7.2.1 温度校准点选择

校准点一般根据巡检仪所配置的温度传感器，在其常规测量范围内均匀选择不少于 5 个校准点。涵盖负温区的巡检仪，校准点应包括 0 ℃。

也可以根据用户需要选择校准点。

7.2.2 温度校准准备工作

根据巡检仪温度传感器的测温范围，选择相应的测量标准和配套设备。配置 AA 级或 A 级铂电阻传感器的巡检仪，校准时应使用标准铂电阻温度计作测量标准。校准前将标准铂电阻温度计放入冻制好的水三相点瓶中测量其 R_{tp} 值，以此计算标准温度值。

接通巡检仪电源，设置（或使用默认设定）并记录巡检周期，使其处于正常工作状态预热 30 min。

a）在恒温槽中校准时，封装良好的温度传感器可直接插入恒温槽中。若温度传感器不能直接接触槽内介质，可将其放置在内径与传感器直径相适应的玻璃试管中，并在管内放入适当导热介质（可与恒温槽介质相同），介质高度约为温度传感器探头长度的 2/3。为消除玻璃试管内的空气对流，管口应用脱脂棉塞紧。传感器插入深度应不小于 200 mm，测量标准与巡检仪温度传感器的测温端尽可能处于恒温槽工作区域内的同一水平面上。

b）在检定炉中校准时，应将标准铂铑 10-铂热电偶套上高铝保护管，与巡检仪温度传感器一并插至均温块底部，炉口处用绝缘耐火材料封堵。标准铂铑 10-铂热电偶的参考端连接参照 JJF 1262—2010 中 6.2.2.2 的规定。

c）在恒温箱中校准时，参照 JJF 1366—2012 中 7.3.7 的规定，同时为降低或消除恒温箱插入孔与外界的热交换，应采用棉花或其他保温材料塞紧插入孔处的空隙。

7.2.3 温度校准方法

在恒温槽或恒温箱中校准时，室温以上校准点按照从低温到高温、室温以下校准点

按照从高温到低温的顺序，逐点进行校准。将恒温设备的温度恒定在各校准温度点上，温度偏离校准点在±0.2 ℃以内（以测量标准示值为准），恒温槽温度波动不超过0.02 ℃/10 min或恒温箱温度恒定40 min以上时开始读数。

在检定炉中校准时，应按照从低温到高温的顺序逐点进行校准。当测量标准示值偏离校准点±5 ℃以内，温度变化每分钟不超过0.2 ℃时，开始读数，在每一校准点的完整读数过程中，温度变化不得超过0.25 ℃。读数时，测量标准读取电势值，巡检仪各通道读取巡检仪显示值。

读数顺序如下：

标准⟶通道1⟶通道2⟶…⟶通道N

每个校准点测量4次。

7.2.4 温度数据处理

7.2.4.1 温度示值误差

取各通道读数的平均值与实际温度的差值计算该校准点的温度示值误差。

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \tag{1}$$

式中：

Δt_i ——在某温度校准点上，巡检仪第i通道的温度示值误差，℃；

$\bar{t}_i$ ——在某温度校准点上，巡检仪第i通道4次读数的平均值，℃；

t_0 ——在某温度校准点上，标准实际值，℃。

a）若以标准水银温度计为标准器，则

$$t_0 = \overline{T} + A \tag{2}$$

式中：

$\overline{T}$ ——在某温度校准点上，标准器4次读数的平均值，℃；

A ——在某温度校准点上，标准水银温度计的修正值，℃。

b）若以标准铂电阻温度计为标准器，则

$$t_0 = t + \frac{W(t_0) - W(t)}{\mathrm{d}W(t)/\mathrm{d}t} \tag{3}$$

式中：

t ——名义校准温度，℃；

$W(t_0)$ ——标准铂电阻温度计的电阻比$\overline{R}(t_0)/R_{tp}$；

$\overline{R}(t_0)$ ——在某温度校准点上，标准铂电阻温度计4次读数平均值，Ω；

R_{tp} ——标准铂电阻温度计水三相点的电阻值，Ω；如巡检仪传感器为A级以上铂电阻温度计，该值应为新测得值；

$W(t)$ ——温度t时标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比；

$\mathrm{d}W(t)/\mathrm{d}t$ ——温度t时标准铂电阻温度计分度表给出的在温度t时对应的电阻比的变化率，$℃^{-1}$。

c）若以标准铂铑10-铂热电偶为标准器，则

$$t_0 = t + \frac{\bar{e}_{标}(t_0) - e_{标证}(t)}{S_{标}(t)} \tag{4}$$

式中：

t ——名义校准温度，℃；

$e_{标证}(t)$ ——标准热电偶证书上温度 t 时的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{标}(t_0)$ ——标准热电偶测得的热电动势 4 次读数平均值，mV；

$S_{标}(t)$ ——标准热电偶在 t 校准点的微分热电动势，mV/℃。

7.2.4.2 温度示值一致性

$$\delta t = \Delta t_{max} - \Delta t_{min} \tag{5}$$

式中：

δt ——在某温度校准点上，巡检仪的温度示值一致性，℃；

Δt_{max} ——在某温度校准点上，所有温度通道中示值误差最大值，℃；

Δt_{min} ——在某温度校准点上，所有温度通道中示值误差最小值，℃。

7.3 湿度校准

7.3.1 湿度校准点选择

将湿度发生器的温度值设为 20 ℃，在相对湿度 5%～95%范围内均匀选取不少于 3 个校准点。也可根据用户需要选择校准点，包括在 20℃条件下增加湿度校准点或者在其他的温度条件下进行湿度校准。

7.3.2 湿度校准准备工作

将巡检仪的湿度传感器放入湿度发生器的有效工作区间内，同时放入精密露点仪的温度传感器和露点传感器（或将测试室内的气体通过壁厚不小于 1 mm 的聚四氟乙烯管引入到测试室外的露点传感器），应将精密露点仪的露点传感器放在湿度发生器测试室循环风道的下风口处，温度传感器放在露点传感器上风口（5～10）cm 处。

7.3.3 湿度校准方法

按照由低湿到高湿的顺序，逐点进行校准。在温湿度达到设定值后稳定 30 min，每隔 2 min 记录一组测量标准和被校准巡检仪的湿度示值，共记录 4 组数据。然后校准下一个湿度点，至所有的湿度点校准结束。

读数顺序如下：

标准⟶通道 1 ⟶通道 2 ⟶…⟶通道 M

7.3.4 湿度数据处理

7.3.4.1 相对湿度示值误差

取各通道 4 次读数的平均值与实际湿度的差值来确定该校准点的示值误差。

$$\Delta H_i = \overline{H}_i - \overline{H}_0 - H_A \tag{6}$$

式中：

ΔH_i ——在某相对湿度校准点上，巡检仪第 i 通道的相对湿度示值误差，%；

$\overline{H}_i$ ——在某相对湿度校准点上，巡检仪第 i 通道 4 次读数平均值，%；

$\overline{H}_0$ ——在某相对湿度校准点上，精密露点仪 4 次读数平均值，%；

H_A ——在某相对湿度校准点上，精密露点仪的修正值，%。

7.3.4.2　相对湿度示值一致性

$$\delta H = \Delta H_{max} - \Delta H_{min} \tag{7}$$

式中：

δH　——在湿度校准点上，巡检仪相对湿度示值一致性，%；

ΔH_{max}　——在某湿度校准点上，所有相对湿度通道中示值误差最大值，%；

ΔH_{min}　——在某湿度校准点上，所有相对湿度通道中示值误差最小值，%。

8　校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

a）标题“校准证书”；

b）实验室名称和地址；

c）校准地点（如果与实验室的地址不同）；

d）证书的惟一性标识（如编号），页码及总页数的标识；

e）客户的名称和地址；

f）被校对象的描述和明确标识，如型号、生产厂家和序列号等信息；

g）校准日期，如果与校准结果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，应包括环境温度、相对湿度等；

l）校准结果及其测量不确定度的说明；

m）对校准规范的偏离的说明；

n）校准证书签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对被校对象有效的声明；

p）未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9　复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短由仪器的使用情况、使用者和仪器本身质量等诸多因素决定，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

为了确保巡检仪在其规定的技术性能下使用，建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A

温湿度巡回检测仪校准记录参考格式

温湿度巡回检测仪校准记录参考格式(热电阻)

委托单位：　　单位地址：　　校准日期：　　记录编号：

仪器名称：　　制造厂：　　型号规格：　　出厂编号：

校准地点：　　环境温度：　　环境湿度：

标准器名称：　　型号/规格：　　标准器证书编号：　　有效期至：

测量范围：　　准确度等级/最大允许误差/不确定度：

单位：℃

校准点		标准测值 Ω	CH1 传感器编号	CH2 传感器编号	CH3 传感器编号	CH4 传感器编号	…… ……	CH*N* 传感器编号	示值误差测量不确定度 U，$k=2$
测量次数	1								
	2								
	3								
	4								
平均值									
R_{tp}									
$W(t)$									
标准实际值/℃									
示值误差									
温度示值一致性									
备注									
校准员						核验员			

温湿度巡回检测仪校准记录参考格式(热电偶)

委托单位：　　单位地址：　　校准日期：　　记录编号：
仪器名称：　　制造厂：　　型号规格：　　出厂编号：
校准地点：　　环境温度：　　环境湿度：
标准器名称：　　型号/规格：　　标准器证书编号：　　有效期至：
测量范围：　　准确度等级/最大允许误差/不确定度：

单位：℃

校准点			标准测值 mV	CH1 传感器编号	CH2 传感器编号	CH3 传感器编号	CH4 传感器编号	…… ……	CH*N* 传感器编号	示值误差测量不确定度 U，$k=2$
$e_{标证}$/mV	测量次数	1								
		2								
		3								
		4								
平均值										
$S_{标}(t)$/(mV/℃)										
标准实际值/℃										
示值误差										
温度示值一致性										
备注										
校准员						核验员				

温湿度巡回检测仪校准记录参考格式(湿度)

委托单位：　　单位地址：　　校准日期：　　记录编号：

仪器名称：　　制造厂：　　型号规格：　　出厂编号：

校准地点：　　环境温度：　　环境相对湿度：

标准器名称：　　型号/规格：　　标准器证书编号：　　有效期至：

测量范围：　　准确度等级/最大允许误差/不确定度：

单位：%

校准点		标准器示值	CH1	CH2	CH3	CH4	……	CH*N*	示值误差测量不确定度 U，$k=2$
			传感器编号	传感器编号	传感器编号	传感器编号	……	传感器编号	
测量次数	1								
	2								
	3								
	4								
平均值									
标准器修正值									
标准器实际值									
示值误差									
相对温度示值一致性									
备注									
设定温度值：　　℃			校准员				核验员		

附录 B

温湿度巡回检测仪校准证书内页参考格式

校准结果

1. 温度：

单位：℃

校准温度	示值误差						温度示值一致性	示值误差测量不确定度 U，$k=2$
	CH1	CH2	CH3	CH4	……	CHN		
	传感器编号	传感器编号	传感器编号	传感器编号	……	传感器编号		

2. 相对湿度：

单位：%

校准相对湿度	示值误差						湿度示值一致性	示值误差测量不确定度 U，$k=2$
	CH1	CH2	CH3	CH4	……	CHM		
	传感器编号	传感器编号	传感器编号	传感器编号	……	传感器编号		
注：上述数据为_____℃下校准数据。								

以下空白

附录 C

温湿度巡回检测仪温度示值误差测量不确定度评定示例一
（标准器为标准铂电阻温度计）

C.1　测量概述

C.1.1　被校对象

巡检仪（温度传感器为铂电阻温度计），显示分辨力为 0.01 ℃。

C.1.2　测量标准及其他设备

见表 C.1。

表 C.1　测量标准及其他设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	标准铂电阻温度计及配套电测设备	1. 标准铂电阻温度计：二等；测量范围（−189.344 2～419.527)℃； 2. 纳伏/微欧表 344 20 a，量程（0～100）Ω，最大允许误差：±（0.006 0%×读数+0.000 2%×量程）	标准器
2	水三相点瓶	扩展不确定度优于 0.001 ℃，(k=2)	测量标准铂电阻 R_{tp} 值
3	恒温槽	1. 温度范围：(95～300)℃； 2. 工作区域水平温差≤0.01 ℃，最大温差≤0.02 ℃，温度波动度不超过 0.02 ℃/10 min	温度源

C.1.3　校准方法

按照本规范规定方法进行操作，当测量标准示值偏离校准点±0.2 ℃以内，恒温槽温度波动不超过 0.02 ℃/10 min 开始读数。测量标准铂电阻温度计的电阻值并记录巡检仪各通道显示值。如巡检仪传感器为 A 级铂电阻温度计，应先测量标准铂电阻温度计水三相点值，并使用新测得的水三相点值来计算恒温槽实际温度。

C.2　测量模型

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \tag{C.1}$$

式中：

Δt_i　——在某温度校准点上，巡检仪第 i 通道的温度示值误差,℃；

$\bar{t}_i$　——在某温度校准点上，巡检仪第 i 通道 4 次读数的平均值,℃；

t_0　——在某温度校准点上，标准实际值,℃。

$$t_0 = t + \frac{W(t_0) - W(t)}{\mathrm{d}W(t)/\mathrm{d}t} \tag{C.2}$$

式中：

t　——名义校准温度,℃；

$W(t_0)$ ——标准铂电阻温度计的电阻比 $\overline{R}(t_0)/R_{tp}$；

$\overline{R}(t_0)$ ——在某温度校准点上，标准铂电阻温度计 4 次读数平均值，Ω；

R_{tp} ——标准铂电阻温度计水三相点的电阻值，Ω；如巡检仪传感器为 A 级以上铂电阻温度计，该值应为新测得值；

$W(t)$ ——温度 t 时标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比；

$\mathrm{d}W(t)/\mathrm{d}t$ ——温度 t 时标准铂电阻温度计分度表给出的在温度 t 时对应的电阻比的变化率，$℃^{-1}$。

C.3 输入量标准不确定度评定

输入量 $\bar{t}_i$ 标准不确定度来自巡检仪。

巡检仪引入的标准不确定度包括巡检仪测量重复性引入的不确定度 u_1 和巡检仪分辨力引入的不确定度 u_2。

输入量 t_0 的标准不确定度来自标准铂电阻温度计、电测设备和恒温槽。

标准铂电阻温度计引入的标准不确定度包括其量值溯源引入的不确定度 u_3、标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 u_4 和水三相点电阻值变化引入的不确定度 u_5。电测设备引入的标准不确定度为其测量误差引入的不确定度 u_6。恒温槽引入的标准不确定度包括恒温槽均匀度引入的不确定度 u_7 和恒温槽波动度引入的不确定度 u_8。

不确定度分量及来源见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度分量及来源

输入量	标准不确定度分量	不确定度来源
$\bar{t}_i$	巡检仪引入不确定度分量	巡检仪测量重复性引入的不确定度 u_1
		巡检仪分辨力引入的不确定度 u_2
t_0	标准器引入不确定度分量	标准铂电阻温度计量值溯源引入的不确定度 u_3
		标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 u_4
		水三相点电阻值变化引入的不确定度 u_5
		电测设备测量误差引入的不确定度 u_6
	恒温槽引入的不确定度分量	恒温槽均匀度引入的不确定度 u_7
		恒温槽波动度引入的不确定度 u_8

C.3.1 巡检仪测量重复性引入的不确定度 u_1

在同一实验条件下，连续 10 次测量巡检仪，第 1 通道读数见表 C.3（单位：℃）。

表 C.3 重复测量得到被校数据

第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次
100.01	100.04	100.05	100.06	100.05	100.06	100.05	100.04	100.03	100.02

用贝塞尔公式计算出标准偏差：

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(\Delta t_i-\Delta\bar{t})^2}{10-1}}=0.016\ 6\ ℃$$

测量结果为 4 次读数的平均值，所以

$$u_1 = s/\sqrt{4} = 0.016\ 6\ ℃/2 = 0.008\ 3\ ℃$$

C.3.2　巡检仪分辨力引入的不确定度 u_2

巡检仪的分辨力为 0.01 ℃，则半区间宽度为 0.005 ℃，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，可得：

$$u_2 = 0.005\ ℃/\sqrt{3} \approx 0.002\ 9℃$$

C.3.3　标准铂电阻温度计量值溯源引入的不确定度 u_3

由证书知，上级单位给出的测量不确定度 $U=0.006$ ℃，$k=2$，则：

$$u_3 = 0.006\ ℃/2 = 0.003\ ℃$$

C.3.4　标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 u_4

根据标准铂电阻温度计检定规程的要求，在检定周期内变化不应超过±10 mK，按照均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，则：

$$u_4 = 0.01\ ℃/\sqrt{3} \approx 0.005\ 8\ ℃$$

C.3.5　水三相点电阻值变化引入的不确定度 u_5

由水三相点瓶中微量残余气体，水中杂质、水分子中氢和氧同位素成分的影响，静压修正不准等原因，都会引起实际的温度和理想的水三相点温度的偏离。水三相点的扩展不确定度为 1 mK（$k=2$），水三相点的不确定度对 100 ℃测量值的影响可计算如下：$\mathrm{d}t_{100} = k \cdot \mathrm{d}t_0 = k \cdot \left(W_{100} \times \dfrac{\mathrm{d}W_{0.01}/\mathrm{d}t \times 1\ 000}{\mathrm{d}W_{100}/\mathrm{d}t \times 1\ 000}\right) = 1 \times (3.928 \times 3.989/3.868) = 0.001\ 44$ ℃。按照均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，则：

$$u_5 = 0.001\ 44℃/\sqrt{3} \approx 0.000\ 8\ ℃$$

C.3.6　电测设备测量误差引入的不确定度 u_6

使用纳伏/微欧表 344 20 a 进行测量，量程（0～100）Ω，最大允许误差为±（0.006 0%×读数+0.000 2%×量程），采用 B 类评定方法，标准铂电阻温度计在 100 ℃时电测仪表平均读数为 35.301 19 Ω，按均匀分布考虑，$k=\sqrt{3}$，则：

$$u_6 = \left(\frac{0.006\ 0\% \times 35.301\ 19\ \Omega + 0.000\ 2\% \times 100\ \Omega}{0.1\ \Omega/℃}\right)/\sqrt{3} \approx 0.001\ 3\ ℃$$

C.3.7　恒温槽均匀度引入的不确定度 u_7

恒温槽的工作区域最大温差为 0.01 ℃，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，可得：

$$u_7 = \frac{0.01\ ℃}{\sqrt{3}} \approx 0.005\ 8\ ℃$$

C.3.8　恒温槽波动度引入的不确定度 u_8

实际读取数据时间远小于 10 min，恒温槽波动度按 0.01 ℃来考虑，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，可得：

$$u_8 = \frac{0.01\ ℃}{\sqrt{3}} \approx 0.005\ 8\ ℃$$

C.4　合成标准不确定度

各输入量的标准不确定度汇总表见表C.4。

表C.4　各输入量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i/℃
u_1	巡检仪测量重复性引入的不确定度	0.008 3
u_2	巡检仪分辨力引入的不确定度	0.002 9
u_3	标准铂电阻温度计量值溯源引入的不确定度	0.003
u_4	标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度	0.005 8
u_5	水三相点电阻值变化引入的标准不确定度	0.000 8
u_6	电测设备测量误差引入的不确定度	0.001 3
u_7	恒温槽均匀度引入的不确定度	0.005 8
u_8	恒温槽波动度引入的不确定度	0.005 8

合成标准不确定度为

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2+u_5^2+u_6^2+u_7^2+u_8^2}\approx 0.014\ ℃$$

C.5　扩展不确定度

取 $k=2$，则扩展不确定度为：$U=k\cdot u_c\approx 0.03$ ℃

附录 D

温湿度巡回检测仪温度示值误差测量不确定度评定示例二
（标准器为标准铂铑 10-铂热电偶）

D.1　测量概述

D.1.1　被校对象

巡检仪（温度传感器为 K 型铠装热电偶），显示分辨力 0.01 ℃。

D.1.2　测量主要标准器和配套设备

见表 D.1。

表 D.1　实验室的标准器和配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	标准铂铑 10-铂热电偶及配套电测设备	标准铂铑 10-铂热电偶：一等，测量范围：(300～1 300)℃； 吉时利 2010，量程（0～100）mV，最大允许误差：±（37×10^{-6}×读数＋9×10^{-6}×量程）	标准器
2	冰点恒温器	最大允许误差：±0.1 ℃	为标准热电偶参考端提供 0 ℃恒温场
3	热电偶检定炉	配置均温块的恒温设备，温度范围满足校准的要求；热电偶插入均温块的深度与孔径之比大于 10∶1；从孔底算起轴向 30 mm 内温差不大于 0.5 ℃；孔底部同一截面任意孔间的温差绝对值不大于 0.25 ℃	温度源

D.1.3　校准方法

按照本规范规定方法进行操作，当测量标准示值偏离校准点±5 ℃以内，温度变化每分钟不超过 0.2 ℃时，开始读数，在每一校准点的完整读数过程中，温度变化不得超过 0.5 ℃。测量标准铂铑 10-铂热电偶的热电动势值并记录巡检仪通道显示值。

D.2　测量模型

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t - \frac{\bar{e}_{标}(t_0) - e_{标证}(t)}{S_{标}(t)} \tag{D.1}$$

式中：

Δt_i　——在某温度校准点上，巡检仪第 i 通道的温度示值误差，℃；

$\bar{t}_i$　——在某温度校准点上，巡检仪第 i 通道 4 次读数的平均值，℃；

t_0　——在某温度校准点上，标准实际值，℃。

t　——名义校准温度，℃；

$e_{标证}(t)$ ——标准热电偶证书上温度 t 时的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{标}(t_0)$ ——标准热电偶测得的热电动势 4 次读数平均值，mV；

$S_{标}(t)$ ——标准热电偶在 t 校准点的微分热电动势，μV/℃。

合成标准不确定度 u_c：

$$u_c^2=[c_1u(\bar{t}_i)]^2+\{c_2u[\bar{e}_{标}(t)]\}^2+\{c_3u[e_{标证}(t)]\}^2 \tag{D.2}$$

其中灵敏系数：

$$c_1=\partial\Delta t_i/\partial\bar{t}_i=1$$

$$c_2=\partial\Delta t_i/\partial\bar{e}_{标}(t)=-1/S_{标}(t)$$

$$c_3=\partial\Delta t_i/\partial e_{标证}(t)=1/S_{标}(t)$$

D.3 输入量标准不确定度评定

输入量 $\bar{t}_i$ 标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$ 包括巡检仪测量重复性引入的不确定度 u_1，被校准巡检仪分辨力引入的不确定度 u_2，炉内金属均温块径向温场不均匀性引入的不确定度 u_3 和炉温波动引入的不确定度 u_4。

输入量 $e_{标证}(t)$ 标准不确定度 $u[e_{标证}(t)]$ 包括标准铂铑 10-铂热电偶检定结果引入的不确定度 u_5 和标准铂铑 10-铂热电偶的年稳定性 u_6。

输入量 $\bar{e}_{标}(t)$ 引入的标准不确定度 $u[\bar{e}_{标}(t)]$ 包括标准铂铑 10-铂热电偶重复测量引入的不确定度 u_7、电测仪表测量误差引入的不确定度 u_8、转换开关读数寄生热电势引入的不确定度 u_9 和热电偶参考端温度不均匀引入的不确定度 u_{10}。

标准不确定度分量及来源见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度分量及来源

输入量	符号	不确定度来源
$\bar{t}_i$	$u(\bar{t}_i)$	巡检仪测量重复性引入的不确定度 u_1
		被校准巡检仪分辨力引入的不确定度 u_2
		炉内金属均温块径向温场不均匀性引入的不确定度 u_3
		炉温波动引入的不确定度 u_4
$e_{标证}(t)$	$u[e_{标证}(t)]$	标准铂铑 10-铂热电偶检定结果引入的不确定度 u_5
		标准铂铑 10-铂热电偶的年稳定性 u_6
$\bar{e}_{标}(t)$	$u[\bar{e}_{标}(t)]$	标准铂铑 10-铂热电偶重复测量引入的不确定度 u_7
		电测仪表测量误差引入的不确定度 u_8
		转换开关读数寄生热电势引入的不确定度 u_9
		热电偶参考端温度不均匀引入的不确定度 u_{10}

D.3.1 输入量 $\bar{t}_i$ 的标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$

D.3.1.1 巡检仪测量重复性引入的不确定度 u_1

在 1 000 ℃点上重复 10 次测量，测得数据为 999.88 ℃、999.91 ℃、999.95 ℃、999.97 ℃、1 000.02 ℃、1 000.06 ℃、1 000.11 ℃、1 000.08 ℃、1 000.05 ℃、

1 000.07 ℃。则根据贝塞尔公式得到实验标准差：$s=0.078$ ℃。

实际测量时，测量次数为 4 次，以测得值的平均值为测量结果。该结果的标准不确定度为：$u_1=s/2=0.039$ ℃。

D.3.1.2　被校准巡检仪分辨力引入的不确定度 u_2

巡检仪的分辨力为 0.01 ℃，则区间半宽度为 0.005 ℃，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，可得：$u_2=0.005\ ℃/\sqrt{3}\approx0.003$ ℃。

D.3.1.3　炉内金属均温块径向温场不均匀性引入的不确定度 u_3

校准时，由于炉内放置的均温块径向温场不均匀，经测试约为 0.21 ℃，取区间半宽为 0.105 ℃，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，则：

$$u_3=0.105\ ℃/\sqrt{3}\approx0.061\ ℃$$

D.3.1.4　炉温波动引入的不确定度 u_4

每一组独立测量时，由于标准热电偶测得温场实际变化不超过 2.0 μV，以微分热电势 11.54 μV/℃计算，相当于 0.173 ℃，取区间半宽为 0.087 ℃，按照均匀分布考虑，$k=\sqrt{3}$，则：

$$u_4=0.087\ ℃/\sqrt{3}\approx0.050\ ℃$$

因此，输入量 $\bar{t}_i$ 引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$ 的合成为

$$u(\bar{t}_i)=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2}\approx0.088\ ℃$$

D.3.2　输入量 $e_{标证}(t)$ 引入的标准不确定度 $u\left[e_{标证}(t)\right]$

D.3.2.1　标准铂铑 10-铂热电偶检定结果引入的不确定度 u_5

根据量传系统，标准铂铑 10-铂热电偶扩展不确定度为 0.5 ℃，约 5.77 μV，$k=2$，则：

$$u_5=5.77\ \mu V/2=2.885\ \mu V$$

D.3.2.2　标准铂铑 10-铂热电偶的年稳定性 u_6

标准铂铑 10-铂热电偶在检定周期或校准间隔内热电动势变化一般不超过±5 μV，服从正态分布，则：

$$u_6=5\ \mu V/3\approx1.667\ \mu V$$

因此，输入量 $e_{标证}(t)$ 引入的标准不确定度 $u\left[e_{标证}(t)\right]$ 为

$$u\left[e_{标证}(t)\right]=\sqrt{u_5^2+u_6^2}\approx3.332\ \mu V$$

D.3.3　输入量 $\bar{e}_{标}(t)$ 引入的标准不确定度 $u[\bar{e}_{标}(t)]$

D.3.3.1　标准铂铑 10-铂热电偶重复测量引入的不确定度 u_7

重复 10 次测量，测得标准热电偶数据为 9.474 4 mV、9.474 9 mV、9.474 7 mV、9.475 0 mV、9.474 9 mV、9.475 2 mV、9.475 2 mV、9.475 0 mV、9.474 8 mV、9.474 6 mV。则根据贝塞尔公式得到实验标准差：$s=0.25$ μV。

实际测量时，测量次数为 4 次，以测得值的平均值为测量结果。该结果的标准不确定度为

$$u_7=s/2=0.125\ \mu V$$

D.3.3.2　电测仪表测量误差引入的不确定度 u_8

使用数字多用表吉时利 2010 进行测量，量程（0～100）mV，最大允许误差为±（37×10^{-6}×读数＋9×10^{-6}×量程），按均匀分布考虑，$k=\sqrt{3}$。则：$u_8=0.722\ \mu V$。

D.3.3.3　转换开关读数寄生热电势引入的不确定度 u_9

转换开关接触电势应小于 0.5 μV。按均匀分布考虑，$k=\sqrt{3}$，则：

$$u_9=0.5\ \mu V/\sqrt{3}=0.289\ \mu V$$

D.3.3.4　热电偶参考端温度不均匀引入的不确定度 u_{10}

由经验和试验可得热电偶参考端即冰点恒温器带来的误差为±0.05 ℃，标准铂铑10-铂热电偶在冰点的微分热电势为 5.403 μV/℃，换算成电势值为±（5.403×0.05 ℃）＝±0.27 μV，按均匀分布考虑，$k=\sqrt{3}$，则：

$$u_{10}=0.27\ \mu V/\sqrt{3}\approx 0.156\ \mu V$$

因此，输入量 $\bar{e}_{标}(t)$ 引入的标准不确定度为 $u[\bar{e}_{标}(t)]$：

$$u[\bar{e}_{标}(t)]=\sqrt{u_7^2+u_8^2+u_9^2+u_{10}^2}\approx 0.803\ \mu V$$

D.4　合成标准不确定度

各输入量的标准不确定度汇总见表 D.3。

表 D.3　各输入量的标准不确定度汇总表

符号	标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i	$\lvert c_i\rvert u_i$
$u(\bar{t}_i)$	u_1	巡检仪测量重复性引入的不确定度	0.039 ℃	0.088 ℃
	u_2	被校准巡检仪分辨力引入的不确定度	0.003 ℃	
	u_3	炉内金属均温块径向温场不均匀性引入的不确定度	0.061 ℃	
	u_4	炉温波动引入的不确定度	0.050 ℃	
$u[e_{标证}(t)]$	u_5	标准铂铑 10-铂热电偶检定结果引入的不确定度	2.885 μV	0.289 ℃
	u_6	标准铂铑 10-铂热电偶的年稳定性	1.667 μV	
$u[\bar{e}_{标}(t)]$	u_7	标准铂铑 10-铂热电偶重复测量引入的不确定度	0.125 μV	0.070 ℃
	u_8	电测仪表测量误差引入的不确定度	0.722 μV	
	u_9	转换开关读数寄生热电势引入的不确定度	0.289 μV	
	u_{10}	热电偶参考端温度不均匀引入的不确定度	0.156 μV	

则：

$$u_c=\sqrt{[c_1u(\bar{t}_i)]^2+\{c_2u[\bar{e}_{标}(t)]\}^2+\{c_3u[e_{标证}(t)]\}^2}\approx 0.31\ ℃$$

D.5　扩展不确定度

取包含因子 $k=2$，则扩展不确定度为

$$U=k\cdot u_c\approx 0.7\ ℃$$

附录 E

温湿度巡回检测仪湿度示值误差测量不确定度评定示例三
（标准器为精密露点仪）

E.1　测量概述

E.1.1　被校对象配有相对湿度传感器的巡检仪，显示分辨力 0.1%。

E.1.2　测量标准及其他设备

见表 E.1。

表 E.1　实验室的标准器和配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	精密露点仪	露点或霜点温度： 测量范围为（－20～＋40)℃，最大允许误差为±0.2 ℃； 温度： 测量范围为（－20～＋100)℃，最大允许误差为±0.1 ℃	标准器
2	温湿度标准箱	1. 工作范围： 温度：(0～50)℃；相对湿度：(5～95)% 2. 有效工作区间均匀度： 温度：≤0.1℃；相对湿度：≤0.5% 3. 有效工作区间波动度： 温度：不超过±0.1 ℃；相对湿度：不超过±0.5%	温湿度源

E.1.3　校准方法

按照本规范规定方法进行操作，按照由低湿到高湿的顺序，逐点进行校准。在温湿度达到设定值后稳定 30 min，每隔 2 min 记录测量标准和被校准巡检仪的湿度示值，共记录 4 组数据。然后校准下一个湿度点，至所有的湿度点校准结束。

E.2　测量模型

$$\Delta H_i = \overline{H}_i - \overline{H}_0 - H_A \tag{E.1}$$

式中：

ΔH_i ——在校准点上，巡检仪第 i 通道的相对湿度示值误差，%；

$\overline{H}_i$ ——在校准点上，巡检仪第 i 通道 4 次读数平均值，%；

$\overline{H}_0$ ——在校准点上，精密露点仪 4 次读数平均值，%；

H_A ——在校准点上，精密露点仪的修正值，%。

E.3　输入量标准不确定度评定

标准器引入的标准不确定度包括标准器重复性引入的不确定度分量 u_{11}、标准器溯

源引入的不确定度分量 u_{12}。

被校准巡检仪引入的标准不确定度包括巡检仪重复性引入的不确定度分量 u_{21} 和巡检仪分辨力引入的不确定度分量 u_{22}。

湿度源引入的标准不确定度为温湿度标准箱均匀度引入的不确定度分量 u_3。

标准不确定度分量及来源见表 E.2。

表 E.2　标准不确定度分量及来源

标准不确定度分量	不确定度来源
标准器引入的不确定度分量	标准器重复性引入的不确定度分量 u_{11}
	标准器溯源引入的不确定度分量 u_{12}
被校准巡检仪引入的不确定度分量	巡检仪重复性引入的不确定度分量 u_{21}
	巡检仪分辨力引入的不确定度分量 u_{22}
湿度源引入的不确定度分量	温湿度标准箱均匀度引入的不确定度分量 u_3

E.3.1　标准器引入的不确定度分量

E.3.1.1　标准器重复性引入的不确定度分量 u_{11}

对相对湿度分辨力为 0.1%的巡检仪某通道在相对湿度 90%点上进行分析。对标准器做 10 次测量，用贝塞尔公式计算出标准偏差（该不确定度分量包含了温湿度标准箱波动度的影响）。数据见表 E.3。

表 E.3　重复测量得到被校数据

次数	相对湿度 90%	
	标准器	被检仪器
1	90.37	90.8
2	90.41	91.0
3	90.44	91.1
4	90.50	91.3
5	90.49	91.4
6	90.38	91.4
7	90.29	91.4
8	90.27	91.4
9	90.34	91.3
10	90.42	91.4

用贝塞尔公式计算出标准偏差：

$$s_{11}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(H_0-\overline{H}_0)^2}{10-1}}\approx 0.077\%$$

实际测量取 4 次测量平均值作为测量结果，所以：

$$u_{11}=s_{11}/\sqrt{4}\approx 0.04\%$$

E.3.1.2　标准器溯源引入的不确定度分量 u_{12}

湿度的标准器为精密露点仪，将空气视为理想气体，增强因子的不确定度忽略不计。精密露点仪湿度值按下式计算：

$$H=\frac{e(T_d)}{e(T_s)}\times 100\% \tag{E.2}$$

式中：

$e(T_d)$ ——露点温度下的饱和水蒸气压力，Pa；

$e(T_s)$ ——环境温度下的饱和水蒸气压力，Pa。

可以求出：$\frac{\partial H}{\partial e(T_d)}=\frac{1}{e(T_s)}$，$\frac{\partial H}{\partial e(T_s)}=-\frac{e(T_d)}{e^2(T_s)}$。

所以精密露点仪湿度值的标准不确定度 $u(U_{标})$ 为

$$\begin{aligned}u(H)&=\sqrt{\left\{\frac{1}{e(T_s)}\cdot u[e(T_d)]\right\}^2+\left\{(-\frac{e(T_d)}{e^2(T_s)})\cdot u[e(T_s)]\right\}^2}\\&=\frac{e(T_d)}{e(T_s)}\sqrt{\left\{\frac{u[e(T_d)]}{e(T_d)}\right\}^2+\left\{\frac{u[e(T_s)]}{e(T_s)}\right\}^2}\\&=H\sqrt{u_r{}^2[e(T_d)]+u_r{}^2[e(T_s)]}\end{aligned} \tag{E.3}$$

式中：

$u_r[e(T_d)]$ ——露点温度下的饱和水蒸气压力的相对标准不确定度；

$u_r[e(T_s)]$ ——环境温度下的饱和水蒸气压力的相对标准不确定度。

a）露点测量引入的标准不确定度

规范中要求露点仪露点测量的最大允许误差为±0.2 ℃，为均匀分布，应加修正值使用，经修正后精密露点仪的露点测量误差一般不超过±0.1 ℃，$k=\sqrt{3}$，其引入的标准不确定度分量为：$\frac{0.1\ ℃}{\sqrt{3}}\approx 0.06\ ℃$。

精密露点仪露点测量的分辨力为 0.1 ℃，则由分辨力引入的不确定度为$\frac{0.05\ ℃}{\sqrt{3}}\approx 0.029\ ℃$。

所以，露点测量引入的不确定度$\sqrt{(0.06\ ℃)^2+(0.029\ ℃)^2}\approx 0.067\ ℃$。

b）温度测量引入的标准不确定度

露点仪的环境温度测量的最大允许误差为±0.1 ℃，为均匀分布，其引入的标准不确定度分量为：$\frac{0.1\ ℃}{\sqrt{3}}\approx 0.06\ ℃$。

若露点仪的环境温度测量的分辨力为 0.1 ℃，则由分辨力引入的不确定度为：$\frac{0.05\ ℃}{\sqrt{3}}\approx 0.029\ ℃$。

所以，温度测量引入的不确定度$\sqrt{(0.06\ ℃)^2+(0.029\ ℃)^2}\approx0.067\ ℃$。

已知露点和环境温度的测量标准不确定度，即可知水蒸气分压与饱和水蒸气压的标准不确定度。以环境温度 20 ℃为例，从相对湿度 10%到 90%，选取多点做相对湿度的不确定度评定。为了保证湿度量值传递的准确度，在评定相对湿度标准值的不确定度分量时，针对露点仪所直接测量得到的温度值和露点值，均考虑加修正值后再计算相对湿度，以便尽量减少由露点仪引入的标准不确定度分量。查表计算可以求得精密露点仪相对湿度值的不确定度，列于表 E.4。

表 E.4　精密露点仪相对湿度值的标准不确定度

序号	环境温度 ℃	露点温度 ℃	相对湿度 %	精密露点仪相对湿度值的标准不确定度 %
1	20.0	−10.0	11.1	0.20
2	20.0	−5.0	17.2	0.21
3	20.0	0.0	26.1	0.22
4	20.0	5.0	37.3	0.23
5	20.0	10.0	52.5	0.25
6	20.0	15.0	72.9	0.28
7	20.0	18.5	91.1	0.36

故标准器溯源引入的不确定度分量 u_{12}取相对湿度最大值 0.36%。

E.3.2　巡检仪引入的不确定度分量

E.3.2.1　巡检仪重复性引入的不确定度分量 u_{21}

对显示相对湿度分辨力为 0.1%的巡检仪的相对湿度参数在 90%点上进行分析。对巡检仪作 10 次测量，用贝塞尔公式计算出标准偏差。实际测量取 4 次测量平均值作为测量结果，数据见表 E.3，则：

$$s_{21}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(H_i-\overline{H}_i)^2}{10-1}}\approx0.22\%$$

实际测量取 4 次测量平均值作为测量结果，故该项引入的相对湿度不确定度为

$$u_{21}=s_{21}/\sqrt{4}=0.11\ \%$$

E.3.2.2　巡检仪分辨力引入的不确定度分量 u_{22}

巡检仪相对湿度分辨力为 0.1%，按均匀分布，$k=\sqrt{3}$，相对湿度区间半宽为 0.05%，则：

$$u_{22}=0.05\%/\sqrt{3}\approx0.03\ \%$$

E.3.3　温湿度标准箱均匀度引入的不确定度分量 u_3

温湿度标准箱引入的不确定度主要来源于其均匀度和波动度，由于在分析重复性引入的误差时已经将波动度考虑在内，所以该分量主要是其均匀度引入。经校准，在有效

工作区间内，温湿度标准箱的相对湿度均匀度不超过 0.4%，其分布为均匀分布，$k=\sqrt{3}$，则：$u_3=0.4\%/\sqrt{3}\approx0.23\%$。

E.4　合成标准不确定度

各输入量的标准不确定度汇总表见表 E.5。

表 E.5　各输入量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i/%
u_{11}	标准器重复性引入的不确定度分量	0.04
u_{12}	标准器溯源引入的不确定度分量	0.36
u_{21}	巡检仪重复性引入的不确定度分量	0.11
u_{22}	巡检仪分辨力引入的不确定度分量	0.03
u_3	温湿度标准箱均匀度引入的不确定度分量	0.23

则：

$$u_c=\sqrt{u_{11}^2+u_{12}^2+u_3^2+u_{21}^2+u_{22}^2}\approx0.45\%$$

E.5　扩展不确定度

取包含因子 $k=2$，则扩展不确定度为

$$U=k\cdot u_c=0.45\%\times2=0.9\%$$