



中华人民共和国工业和信息化部 有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）XXX—XXXX

电子式温湿度计校准规范

Calibration Specification for
Electronic Temperature-hygrometers

（报批稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

电子式温湿度计校准规范

Calibration Specification for
Electronic Temperature-hygrometers

JJF（有色金属）XXX-XXXX

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西南铝业（集团）有限责任公司

参加起草单位：广东省科学院工业分析检测中心

国标（北京）检验认证有限公司

中铝材料应用研究院有限公司

山东南山铝业股份有限公司

西安汉唐分析检测有限公司

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

谭本清（西南铝业(集团)有限责任公司）
张国栋（西南铝业(集团)有限责任公司）
王瑞雪（西南铝业(集团)有限责任公司）
路 通（中铝材料应用研究院有限公司）
刘巨强（广东省科学院工业分析检测中心）
樊志罡（国标（北京）检验认证有限公司）
杨 嵩（山东南山铝业股份有限公司）
张曙香（西安汉唐分析检测有限公司）
包超强（西南铝业(集团)有限责任公司）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 温度修正值	(1)
4.2 湿度修正值	(1)
5 校准条件	(1)
5.1 校准环境条件	(1)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
5.3 其他条件	(2)
6 校准项目和校准方法	(2)
6.1 校准项目	(2)
6.2 校准方法	(2)
7 校准结果表达	(5)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 电子式温湿度计校准记录参考格式	(7)
附录 B 电子式温湿度计校准证书内页参考格式	(9)
附录 C 数字量型温湿度计温湿度修正值校准结果的不确定度评定示例	(10)
附录 D 模拟量型温湿度计温湿度修正值校准结果的不确定度评定示例	(18)

引言

本规范是以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》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范主要参考了JJF 1076-2020《数字式温湿度计校准规范》。

本规范为首次发布。

电子式温湿度计校准规范

1 范围

本规范适用于包含数字量型温湿度计和模拟量型温湿度计在内的电子式温湿度计的校准，其他原理的温湿度计也可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范没有引用文件。

3 概述

电子式温湿度计（以下简称温湿度计）主要由感温元件、感湿元件、测量电路等部分组成。常见的电子式温湿度计有数字量型温湿度计和模拟量型温湿度计。数字量型温湿度计具备显示功能，以数字形式直接显示温度值和湿度值，常见的数字量型温湿度计有电参数型数字式温湿度计、温湿度记录仪等。模拟量型温湿度计是将采集的温度、湿度转换为模拟信号输出，该模拟信号与温度、湿度变量之间有一定的连续函数关系（通常为线性函数），常见的模拟量型温湿度计有温湿度传感器、温湿度变送器、温湿度巡检仪等。

4 计量特性

4.1 温度修正值

温度修正值应不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 湿度修正值

湿度修正值应不超过：

- a) $\pm 5\% \text{RH}$ （ $40\% \text{RH} \sim 70\% \text{RH}$ ， 20°C ）；
- b) $\pm 7\% \text{RH}$ （ $40\% \text{RH}$ 以下或 $70\% \text{RH}$ 以上， 20°C ）。

注：以上指标不作为合格性判据，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度：（ $20 \sim 30$ ） $^{\circ}\text{C}$ ；

环境湿度：不超过85%RH。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备的技术要求见表1。

表 1 测量标准及其他设备技术要求

序号	测量标准及其他设备	技术要求
1	湿度测量标准（精密露点仪）	露点温度测量范围为（-30~+50）℃，最大允许误差为±0.2℃；温度测量范围为（0~100）℃，最大允许误差为±0.1℃
2	温度测量标准（数字式温度计）	温度测量范围为（0~100）℃，最大允许误差为±0.05℃
3	湿度发生器或温湿度标准箱	湿度范围为（10~95）%RH，波动度不超过±0.8%RH（20℃），均匀度不大于1.0%RH（20℃）
		温度范围为（5~50）℃，波动度不超过±0.2℃，均匀度不大于0.3℃
4	变送器输出信号测量标准（数字多用表）	准确度等级为0.05级；直流电流测量范围为（0~20）mA；直流电压测量范围为（0~10）V
注：测量标准和配套设备温度、湿度测量范围为一般要求，使用中以能覆盖被校设备实际校准范围为准。		

5.3 其他条件

a) 仪表外露部件（按钮、面板等）不应松动、破损；数字指示面板不应有影响读数的缺陷。

b) 外接传感器引线须接触良好。

c) 仪表显示值应清晰、无叠字、亮度均匀，不应有不亮、缺笔划等现象。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

温度修正值、湿度修正值。

6.2 校准方法

6.2.1 准备工作

将数字式温度计与精密露点仪的露点传感器、温度传感器置于湿度发生器或温湿度标准箱（以下称为测试室）的中心位置，被校仪器置于测试室的有效空间内，放置方式与数量应不影响测试室有效空间内空气循环。

当精密露点仪的露点传感器置于测试室外时，需采用引气法将测试室内的湿气通过壁厚不小于1mm的聚四氟乙烯管或不锈钢管引至测试室外的露点传感器，引气管口应置于测试室有效空间的中心位置，与精密露点仪的测温传感器位置相近。

6.2.2 数字量型温湿度计校准

6.2.2.1 温度修正值

温度校准点通常为15℃、20℃和30℃。当测试室的温度达到设定值并稳定10min后，开始读数，每2min读一次，记录标准温度计与被校温湿度的温度示值，每个校准点记录3组数据。按公式（1）计算温度修正值。

$$\Delta T = T_B - T \quad (1)$$

式中：

ΔT ——温湿度计温度修正值，℃；

T_B ——温度标准值，℃；

T ——被校温湿度计温度示值的平均值，℃。

6.2.2.2 湿度修正值

测试室温度设定在20℃或25℃，当温度平衡后，一般按从低湿到高湿的顺序进行校准，校准点间隔通常为20%RH。待湿度达到设定值并稳定10min后开始读数，每2min读一次，记录精密露点仪与被校温湿度的湿度示值，每个校准点记录3组数据。按公式（2）计算湿度修正值。

$$\Delta H = H_B - H \quad (2)$$

式中：

ΔH ——温湿度计湿度修正值，%RH；

H_B ——湿度标准值，%RH；

H ——被校温湿度计湿度示值的平均值，%RH。

注：其他温度条件下温湿度计的校准，可参照上述步骤进行。

6.2.3 模拟量型温湿度计校准

6.2.3.1 温度修正值

按图1连接数字式温度计、数字式温度计传感器、数字式温度计显示仪。模拟量型温湿度计温度校准点通常为15℃、20℃和30℃。当测试室的温度达到设定值并稳定10min后开始读数，每2min读一次，记录数字式温度计的温度示值与数字多用表的示值，每个校准点记录3组数据。按公式（3）计算温度修正值。

$$\Delta T = T_B - \left[\frac{T_m}{A_m} (A_d - A_0) + T_0 \right] \quad (3)$$

式中：

ΔT ——模拟量型温湿度计温度修正值，℃；

T_B ——数字式温度计温度示值平均值，℃；

T_m ——模拟量型温湿度计温度输入量程，℃；

A_m ——模拟量型温湿度计输出量程，mA或V；

A_d ——数字多用表示值平均值，mA或V；

A_0 ——模拟量型温湿度计输出的理论下限值，mA或V；

T_0 ——模拟量型温湿度计温度输入范围的下限值，℃。

注：模拟量型温湿度计输出量程、数字多用表示值、模拟量型温湿度计输出的理论下限值的单位应同时是mA或同时是V。

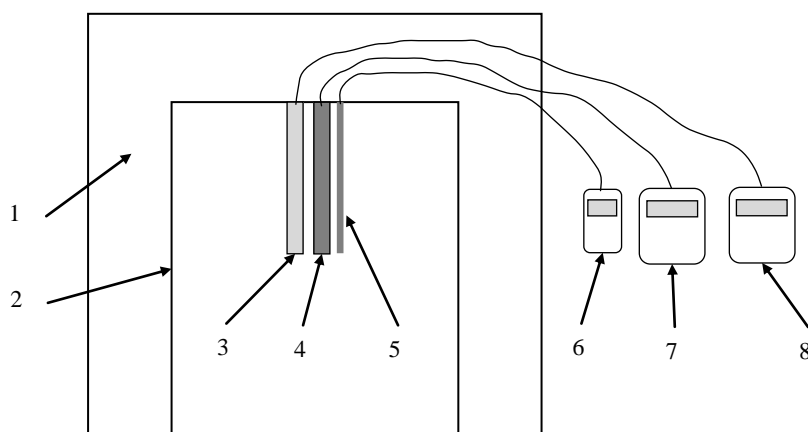


图1 模拟量温湿度计温湿度校准图

1——测试室； 2——支架； 3——模拟量型温湿度计； 4——精密露点仪传感器；
5——数字式温度计传感器； 6——数字式温度计显示仪； 7——精密露点仪； 8——数字多用表。

6.2.3.2 湿度修正值

按图1连接模拟量型温湿度计、数字多用表、精密露点仪及其传感器。测试室温度设定在20℃或25℃，当温度平衡后，一般按从低湿到高湿的顺序进行校准，校准点间隔通常为20%RH。待湿度达到设定值并稳定10min后开始读数，每2min读一次，每个校准点记录3组数据。按公式（4）计算湿度修正值。

$$\Delta H = H_B - \left[\frac{H_m}{A_m} (A_d - A_0) + H_0 \right] \quad (4)$$

式中：

ΔH ——模拟量型温湿度计湿度修正值，%RH；

H_B ——精密露点仪示值平均值，%RH；

H_m ——模拟量型温湿度计湿度输入量程，%RH；

A_m ——模拟量型温湿度计输出量程，mA或V；

A_d ——数字多用表示值的平均值，mA或V；

A_0 ——模拟量型温湿度计输出的理论下限值，mA或V；

H_0 ——模拟量型温湿度计湿度输入范围的下限值，%RH。

注：模拟量型温湿度计输出量程、数字多用表示值的平均值、模拟量型温湿度计输出的理论下限值的单位应同时是mA或同时是V。

7 校准结果表达

经校准的温湿度计出具校准证书，校准原始记录参考格式见附录A，校准证书（报告）参考格式见附录B。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) 进行校准的地点（如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) 客户的名称和地址；
- 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) 校准证书签发人的签名或等效标识;
- 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。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔, 在使用过程中温湿度计经过修理、更换重要部件的需要重新校准。

附录 A

电子式温湿度计校准记录参考格式

数字量型温湿度计校准记录

记录编号		证书编号	
送校单位		仪器制造厂	
仪器名称		仪器编号	
型号/规格		校准地点	
环境条件	℃ %RH	校准依据	

校准用测量标准

名称	规格型号	设备编号	技术指标	校准机构/证书编号	有效期至

1 温度修正值

校准点 (℃)	标准值 (℃)				被校仪器示值 (℃)				修正值 (℃)	扩展不确定度 U (℃), $k=2$
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值		

2 湿度修正值

校准点 (%RH)	标准值 (%RH)				被校仪器示值 (%RH)				修正值 (%RH)	扩展不确定度 U (%RH) $k=2$
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值		

模拟量型温湿度计校准记录

记录编号		证书编号	
送校单位		仪器制造厂	
仪器名称		仪器编号	
型号/规格		校准地点	
环境条件	℃ %RH	校准依据	

校准用测量标准

名称	规格型号	设备编号	技术指标	校准机构/证书编号	有效期至

1 温度修正值

校准点 (℃)	标准值 (℃)				被校仪器					修正值 (℃)	扩展不确定 度 U (℃) $k = 2$
	1	2	3	平均值	示值 (mA 或 V)				温度值 (℃)		
					1	2	3	平均值			

2 湿度修正值

校准点 (%RH)	标准值 (%RH)				被校仪器					修正值 (%RH)	扩展不确定 度 U (%RH) $k = 2$
	1	2	3	平均值	示值 (mA 或 V)				湿度值 (%RH)		
					1	2	3	平均值			

附录 B

电子式温湿度计校准证书内页参考格式

校准结果

1. 温度修正值

标准值 (°C)	被校仪器示值 (°C)	修正值 (°C)	校准结果的扩展不确定度 U (°C), $k=2$

2. 湿度修正值

标准值(%RH)	被校仪器示值 (%RH)	修正值 (%RH)	校准结果的扩展不确定度 U (%RH), $k=2$

附录 C

数字量型温湿度计温湿度修正值校准结果的不确定度评定示例

C.1 概述

本次评定是对数字量型温湿度计温湿度修正值校准结果的不确定度评定，本评定方法遵循JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。

C.1.1 环境条件

温度为（15~25）℃，湿度不超过85%RH。

C.1.2 测量标准

测量标准技术指标如表C.1所示。

表 C.1 测量标准技术指标

序号	测量标准	主要技术指标
1	精密露点仪	露点温度测量范围为（-30~+50）℃，露点温度最大允许误差为±0.2℃； 温度测量范围为（0~100）℃，最大允许误差为±0.1℃
2	数字式温度计	温度测量范围为（0~100）℃，最大允许误差为±0.05℃
3	温湿度标准箱	湿度范围为（10~95）%RH，波动度为±0.8%RH（20℃），均匀度为 1.0%RH（20℃）
		温度范围为（5~50）℃，波动度为±0.2℃，均匀度为 0.3℃

C.1.3 被校对象

数字量型温湿度计，其测量范围为（0~100）%RH；温度分辨力为0.1℃，湿度分辨力为0.1%RH。

C.1.4 校准方法

按本规范的方法进行，将被校准的温湿度计放入温湿度标准箱的中心位置，同时放入数字式温度计和精密露点仪的露点传感器、温度传感器。待温湿度标准箱内的温湿度达到设定值并稳定后，读取精密露点仪的相对湿度值、数字式温度计的温度值与被校温湿度计的湿度和温度值。

C.2 测量模型

温度修正值的计算见公式（C.1）。

$$\Delta T = T_B - T \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔT ——温湿度计温度修正值，℃；

T_B ——数字式温度计温度示值的平均值，℃；

T ——被校温湿度计温度示值的平均值，℃。

湿度修正值的计算见公式（C.2）。

$$\Delta H = H_B - H \quad (\text{C.2})$$

式中：

ΔH ——温湿度计湿度修正值，%RH；

H_B ——精密露点仪湿度示值的平均值，%RH；

H ——被校温湿度计湿度示值的平均值，%RH。

C.3 测量不确定度的来源分析

C.3.1 温度修正值测量不确定度来源

温度修正值测量不确定度来源有：

- （1）被校温湿度计温度示值引入的标准不确定度 $u_1(T)$ ；
- （2）数字式温度计引入的标准不确定度 $u_2(T)$ ；
- （3）温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_3(T)$ 。

C.3.2 湿度修正值测量不确定度来源

湿度修正值测量不确定度来源有：

- （1）测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(H)$ ；
- （2）被校温湿度计与精密露点仪分辨力引入的标准不确定度 $u_2(H)$ ；
- （3）精密露点仪引入的标准不确定度 $u_3(H)$ ；
- （4）温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(H)$ 。

C.4 测量不确定度评定

C.4.1 温度修正值的不确定度评定

C.4.1.1 被校温湿度计温度示值引入的标准不确定度 $u_1(T)$

被校温湿度的温度示值重复性引入的不确定度可忽略不计，因此用分辨力引入的不确定度分量作为仪器温度示值引入的不确定度。被校温湿度的温度分辨率为 0.1°C ，不确定度取其区间半宽为 0.05°C ，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度 $u_1(T)$ 为：

$$u_1(T) = \frac{0.05^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

C.4.1.2 数字式温度计引入的标准不确定度 $u_2(T)$

数字式温度计的最大允许误差为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ，不确定度取其区间半宽为 0.05°C ，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度 $u_2(T)$ 为：

$$u_2(T) = \frac{0.05^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

C.4.1.3 温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_3(T)$

需考虑温湿度标准箱温度均匀度与温度波动度引入的不确定度，由于温湿度标准箱温度均匀度为 0.3°C ，温度波动度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。不确定度取其区间半宽，其服从均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此可知：

温度均匀度引入的不确定度分量 $u_3(T_1)$ 为：

$$u_3(T_1) = \frac{0.3^{\circ}\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0.087^{\circ}\text{C}；$$

温度波动度引入的不确定度分量 $u_3(T_2)$ 为：

$$u_3(T_2) = \frac{0.2^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.115^{\circ}\text{C}；$$

因此温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_3(T)$ 为：

$$u_3(T) = \sqrt{u_3^2(T_1) + u_3^2(T_2)} = 0.144^{\circ}\text{C}。$$

C.4.1.4 温度标准不确定度汇总

温度标准不确定度汇总见表C.2。

表 C.2 温度标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度 $u_i(H)$	各校准点标准不确定度
被校温湿度计示值	$u_1(T)$	0.029℃
数字式温度计	$u_2(T)$	0.029℃
温湿度标准箱	$u_3(T)$	0.144℃

C.4.1.5 合成标准不确定度 $u_c(T)$

由于各分量相互独立，互不相关，各分量灵敏系数的绝对值等于1，故合成标准不确定度 $u_c(T)$ 为：

$$u_c(T) = \sqrt{0.029^2 + 0.029^2 + 0.144^2} \text{℃} = 0.15 \text{℃}$$

C.4.1.6 扩展不确定度 $U(T)$

取 $k=2$ ，得到扩展不确定度为：

$$U(T) = ku_c(T) = 2 \times 0.15 \text{℃} = 0.3 \text{℃}$$

C.4.2 湿度修正值的不确定度评定

C.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(H)$

测量重复性引入的标准不确定度采用A类方法进行评定。将温湿度计放入温湿度标准箱内，标准箱的温度稳定在20℃，按本规范6.2.3.2要求，在10%RH~90%RH测量范围内，每隔20%RH读取精密露点仪和被校温湿度计湿度的显示值。在相同条件下重复测量10次，并按公式（C.3）计算标准偏差 s_H ，测量结果见表C.3。

$$s_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.3})$$

表C.3各校准点湿度修正值测量结果

%RH

校准点	修正值测量结果										标准偏差
10	0.8	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	0.8	0.9	1.0	0.170
30	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.2	0.116
50	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	0.9	0.143
70	0.8	0.8	0.9	1.0	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9	1.0	0.117
90	0.4	0.6	0.8	0.7	0.6	0.7	1.0	0.8	0.9	1.1	0.207

在重复性条件下连续测量3次，以3次测量结果的算术平均值为最终测量结果，按公式(C.4)计算其引入的标准不确定度 $u_1(H)$ ，计算结果见表C.4。

$$u_1(H) = \frac{s_H}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.4})$$

表C.4各校准点测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(H)\%$ RH

校准点	10	30	50	70	90
$u_1(H)$	0.099	0.067	0.083	0.068	0.119

C.4.2.2 被校温湿度计与精密露点仪分辨力引入的标准不确定度 $u_2(H)$

因为被校温湿度计与精密露点仪的显示分辨力均为0.1%RH，不确定度取其区间半宽，可视为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此由分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_2(H_1) = \frac{0.1\% \text{RH}}{2\sqrt{3}} = 0.029\% \text{RH}$$

$$u_2(H_2) = \frac{0.1\% \text{RH}}{2\sqrt{3}} = 0.029\% \text{RH}$$

则：

$$u_2(H) = \sqrt{u_2^2(H_1) + u_2^2(H_2)} = 0.041\% \text{RH}$$

C.4.2.3 精密露点仪引入的标准不确定度 $u_3(H)$

由于精密露点仪露点温度的最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，不确定度取其区间半宽为 0.2°C ，可视其为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，在 20°C 下，各校准点露点温度变化 0.2°C 对应的相对湿度 H_{DP} 可通过露点温度与相对湿度换算公式计算，按公式(C.5)计算其引入的标准不确定度分量 $u_3(H_{\text{DP}})$ ，计算结果见表C.5。

$$u_3(H_{\text{DP}}) = \frac{H_{\text{DP}}}{k} \quad (\text{C.5})$$

表 C.5 20°C 时露点温度误差引入的标准不确定度

%RH

校准点	10	30	50	70	90
露点温度变化 0.2°C 在各校准点对应的相对湿度 H_{DP}	0.18	0.42	0.68	0.92	1.13
$u_3(H_{\text{DP}})$	0.104	0.242	0.393	0.531	0.652

由于精密露点仪温度测量的最大允许误差为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，不确定度取其区间半宽为 0.1°C ，可视其为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，在 20°C 下，各校准点温度变化 0.1°C 对应的相对湿度 H_t 可通过露点温度与相对湿度换算公式计算得到，按公式（C.6）计算其引入的标准不确定度分量 $u_3(H_t)$ ，计算结果见表C.6。

$$u_3(H_t) = \frac{H_t}{k} \quad (\text{C.6})$$

表 C.6 20°C 时温度误差引入的标准不确定度

%RH

校准点	10	30	50	70	90
温度变化 0.1°C 在各校准点对应的相对湿度 H_t	0.09	0.19	0.31	0.43	0.55
$u_3(H_t)$	0.052	0.110	0.179	0.248	0.318

则精密露点仪引入的湿度标准不确定度 $u_3(H_t)$ 为：

$$u_3(H) = \sqrt{u_3^2(H_{DP}) + u_3^2(H_t)}$$

计算结果见表C.7。

表C.7精密露点仪引入的标准不确定度

%RH

校准点	10	30	50	70	90
$u_3(H)$	0.117	0.266	0.432	0.586	0.725

C.4.2.4 温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(H)$

需考虑温湿度标准箱湿度均匀度与湿度波动度引入的不确定度，在 20°C 时，由于温湿度标准箱湿度均匀度优于 $1.0\%\text{RH}$ ，湿度波动度优于 $\pm 0.8\%\text{RH}$ ，不确定度取其区间半宽，服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由此可知：

湿度均匀度引入的标准不确定度分量 $u_4(H_1)$ 为：

$$u_4(H_1) = \frac{1\%\text{RH}}{2\sqrt{3}} = 0.29\%\text{RH}$$

湿度波动度引入的标准不确定度分量 $u_4(H_2)$ 为：

$$u_4(H_2) = \frac{0.8\%\text{RH}}{\sqrt{3}} = 0.462\%\text{RH}$$

因此温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(H)$ 为：

$$u_4(H) = \sqrt{u_4^2(H_1) + u_4^2(H_2)} = 0.545\% \text{RH}$$

C.4.2.5 灵敏系数

各分量都相互独立，互不相关，各分量灵敏系数的绝对值等于1。

C.4.2.6 湿度标准不确定度汇总

湿度标准不确定度汇总见表C.8。

表 C.8 湿度标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度 $u_i(H)$	各校准点标准不确定度 %RH					$ c_i $
		10	30	50	70	90	
测量重复性	$u_1(H)$	0.099	0.067	0.083	0.068	0.119	1
分辨力	$u_2(H)$	0.041					1
精密露点仪	$u_3(H)$	0.117	0.266	0.432	0.586	0.725	1
温湿度标准箱	$u_4(H)$	0.545					1

C.4.2.7 合成标准不确定度 $u_c(H)$

由于各不确定度相互独立，且测量重复性与分辨力引入的分量取大者计入合成不确定度，则合成标准不确定度 $u_c(H)$ 可按下式计算：

$$u_c(H) = \sqrt{[|c_1| u_1(H)]^2 + [c_3 | u_3(H)]^2 + [c_4 | u_4(H)]^2}$$

各湿度校准点的合成标准不确定度见下。

$$u_c(10\% \text{RH}) = \sqrt{0.099^2 + 0.117^2 + 0.545^2} \% \text{RH} = 0.57\% \text{RH}$$

$$u_c(30\% \text{RH}) = \sqrt{0.067^2 + 0.266^2 + 0.545^2} \% \text{RH} = 0.61\% \text{RH}$$

$$u_c(50\% \text{RH}) = \sqrt{0.083^2 + 0.432^2 + 0.545^2} \% \text{RH} = 0.70\% \text{RH}$$

$$u_c(70\% \text{RH}) = \sqrt{0.068^2 + 0.586^2 + 0.545^2} \% \text{RH} = 0.81\% \text{RH}$$

$$u_c(90\% \text{RH}) = \sqrt{0.119^2 + 0.725^2 + 0.545^2} \% \text{RH} = 0.92\% \text{RH}$$

C.4.2.8 扩展不确定度 $U(H)$

取 $k=2$ ，则各湿度校准点的扩展不确定度为：

$$U(10\%RH) = ku_c(10\%RH) = 2 \times 0.57\%RH = 1.2\%RH$$

$$U(30\%RH) = ku_c(30\%RH) = 2 \times 0.61\%RH = 1.3\%RH$$

$$U(50\%RH) = ku_c(50\%RH) = 2 \times 0.70\%RH = 1.4\%RH$$

$$U(70\%RH) = ku_c(70\%RH) = 2 \times 0.81\%RH = 1.7\%RH$$

$$U(90\%RH) = ku_c(90\%RH) = 2 \times 0.92\%RH = 1.9\%RH$$

附录 D

模拟量型温湿度计温湿度修正值校准结果的不确定度评定示例

D.1 概述

本次评定是对模拟量型温湿度计温湿度修正值校准结果的不确定度评定，本评定方法遵循JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。

D.1.1 环境条件

温度（15~25）℃，湿度不超过85%RH。

D.1.2 测量标准

测量标准技术指标见表D.1。

表 D.1 测量标准技术指标

序号	测量标准或设备	主要技术指标
1	精密露点仪	露点温度测量范围为（-30~+50）℃，露点温度最大允许误差为±0.2℃； 温度测量范围为（0~100）℃，最大允许误差为±0.1℃
2	数字式温度计	温度测量范围为（0~100）℃，最大允许误差为±0.05℃
3	温湿度标准箱	湿度范围为（10~95）%RH，波动度为±0.8%RH（20℃），均匀度为1.0%RH（20℃）； 温度范围为（5~50）℃，波动度为±0.2℃，均匀度为0.3℃
4	特稳携式校验仪	最大允许误差为±（0.015% <i>Rd</i> +0.0005V， <i>Rd</i> 为读数）

D.1.3 被测对象

模拟量型温湿度变送器，温度输入（0~50）℃，对应模拟量输出为（0~10）V；湿度输入（0~100）%RH，对应模拟量输出为（0~10）V。

D.1.4 测量方法

按本规范的方法进行，将被校准的温湿度变送器的传感器放入温湿度标准箱的中心位置，同时放入数字式温度计和精密露点仪的露点传感器、温度传感器。温湿度变送器的输出端与特稳携式校验仪的测量接口相连接，待温湿度标准箱内的温湿度达到设定值并稳定后，读取精密露点仪的相对湿度值、数字式温度计的温度值与特稳携式校验仪的直流电压示值。

D.2 测量模型

温度修正值的计算见公式（D.1）。

$$\Delta T = T_B - \left[\frac{T_m}{A_m} (A_d - A_0) + T_0 \right] \quad (\text{D.1})$$

式中:

ΔT ——模拟量型温湿度计温度修正值, °C;

T_B ——数字式温度计温度示值平均值, °C;

T_m ——模拟量型温湿度计温度输入量程, °C;

A_m ——模拟量型温湿度计输出量程, mA或V;

A_d ——数字多用表示值的平均值, mA或V;

A_0 ——模拟量型温湿度计输出的理论下限值, mA或V;

T_0 ——模拟量型温湿度计温度输入范围的下限值, °C。

湿度修正值的计算见公式 (D.2)。

$$\Delta H = H_B - \left[\frac{H_m}{A_m} (A_d - A_0) + H_0 \right] \quad (\text{D.2})$$

式中:

ΔH ——模拟量型温湿度计湿度修正值, %RH;

H_B ——精密露点仪示值平均值, %RH;

H_m ——模拟量型温湿度计湿度输入量程, %RH;

A_m ——模拟量型温湿度计输出量程, mA或V;

A_d ——数字多用表示值的平均值, mA或V;

A_0 ——模拟量型温湿度计输出的理论下限值, mA或V;

H_0 ——模拟量型温湿度计湿度输入范围的下限值, %RH。

实际测量中, 以三次测量的算术平均值作为测量结果。

D.3 测量不确定度的来源分析

D.3.1 温度修正值测量不确定度来源

温度修正值测量不确定度来源有:

(1) 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(V_T)$;

(2) 特稳携式校验仪示值引入的标准不确定度 $u_2(V_T)$;

(3) 数字式温度计引入的标准不确定度 $u_3(T)$;

(4) 温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(T)$ 。

D.3.2 湿度修正值测量不确定度来源

湿度修正值测量不确定度来源有:

(1) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(V_H)$;

(2) 特稳携式校验仪示值引入的标准不确定度 $u_2(V_H)$;

(3) 精密露点仪引入的标准不确定度 $u_3(H)$;

(4) 温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(H)$ 。

D.4 测量不确定度的评定

D.4.1 温度修正值校准结果的不确定度评定

D.4.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(V_T)$

测量重复性引入的不确定度采用A类方法进行评定。将温湿度变送器放入温湿度标准箱内,待标准箱的温度稳定在20℃后,读取特稳携式校验仪示值,在相同条件下重复测量10次,并按公式(D.3)计算标准偏差 s ,测量结果见表D.2。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{D.3})$$

表D.2 温湿度变送器温度重复性测量结果

校准点 ℃	测量结果 V										平均值 V	标准偏差 V
20	4.0423	4.0488	4.0455	4.0478	4.0462	4.0439	4.0478	4.0487	4.0459	4.0486	4.04655	0.0022

取3次测量结果的平均值,则:

$$u_1(V) = \frac{0.0022\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.00127\text{V}$$

其灵敏系数为:

$$c_1(T) = \frac{\partial \Delta T}{\partial A_d} = -\frac{T_m}{A_m} = -\frac{50^\circ\text{C}}{10\text{V}} = -5^\circ\text{C/V}$$

D.4.1.2 特稳携式校验仪示值引入的标准不确定度 $u_2(V_T)$

特稳携式校验仪的最大允许误差为 $\pm(0.015\%Rd+0.0005V)$ ，不确定度取其区间半宽，其服从均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(V_T) = \frac{(0.015\% \times 4.04655 + 0.0005)V}{\sqrt{3}} = 0.00064V$$

其灵敏系数为：

$$c_2(T) = -5^\circ\text{C}/V$$

D.4.1.3 数字式温度计引入的标准不确定度 $u_3(T)$

由于数字式温度计的最大允许误差为 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ，不确定度取其区间半宽为 0.05°C ，服从均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度为：

$$u_3(T) = \frac{0.05^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$$

其灵敏系数为：

$$c_3(T) = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_B} = 1$$

D.4.1.4 温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(T)$

需考虑温湿度标准箱温度均匀度与温度波动度引入的不确定度，由于温湿度标准箱温度均匀度为 0.3°C ，温度波动度为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，不确定度取其区间半宽，其服从均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此：

温度均匀度引入的标准不确定度为：

$$u_4(T_1) = \frac{0.3^\circ\text{C}}{2\sqrt{3}} = 0.087^\circ\text{C}$$

温度波动度引入的标准不确定度为：

$$u_4(T_2) = \frac{0.2^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.115^\circ\text{C}$$

所以温湿度标准箱引入的标准不确定度为：

$$u_4(T) = \sqrt{u_4^2(T_1) + u_4^2(T_2)} = 0.144^\circ\text{C}$$

其灵敏系数为:

$$c_4(T) = 1$$

D.4.1.5 温度修正值校准结果标准不确定度汇总

温度修正值校准结果标准不确定度分量汇总见表D.3。

表D.3 温度修正值校准结果标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度 $u_i(x)$	标准不确定度值	灵敏系数 $c_i(T)$
测量重复性	$u_1(V_T)$	0.00127V	-5℃/V
特稳携式校验仪	$u_2(V_T)$	0.00064V	-5℃/V
精密露点仪	$u_3(T)$	0.029℃	1
温湿度标准箱	$u_4(T)$	0.144℃	1

D.4.1.6 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 $u_c(T)$ 按下式计算:

$$u_c(T) = \sqrt{[c_1(T) \times u_1(V_T)]^2 + [c_2(T) \times u_2(V_T)]^2 + [c_3(T) \times u_3(T)]^2 + [c_4(T) \times u_4(T)]^2} = 0.15^\circ\text{C}$$

D.4.1.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则在校准点 20℃ 校准结果扩展不确定度为:

$$U(T) = k u_c(T) = (2 \times 0.15)^\circ\text{C} = 0.3^\circ\text{C}$$

D.4.2 湿度修正值校准结果的不确定度评定

D.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(V_H)$

测量重复性引入的标准不确定度采用A类方法进行评定。将温湿度变送器放入温湿度标准箱内, 标准箱的温度稳定在 20℃, 待湿度稳定后, 读取特稳携式校验仪示值, 在相同条件下重复测量 10 次, 并按公式 (D.3) 计算标准偏差 s , 测量结果见表 D.4。

表D.4 温湿度变送器湿度重复性测量结果

校准点 %RH	测量结果										平均值	标准偏差
	V										V	V
10	1.2345	1.2412	1.2489	1.2524	1.2589	1.2533	1.2493	1.2421	1.2387	1.2312	1.2451	0.0089
30	3.0363	3.0389	3.0392	3.0378	3.0398	3.0365	3.0370	3.0394	3.0387	3.0385	3.0382	0.0012
50	5.1172	5.1243	5.1298	5.1356	5.1412	5.1389	5.1356	5.1391	5.1345	5.1388	5.1335	0.0076
70	7.1534	7.1381	7.1433	7.1534	7.1521	7.1332	7.1467	7.1543	7.1412	7.1614	7.1477	0.0087
90	9.2841	9.2723	9.2622	9.2745	9.2878	9.2912	9.2822	9.2704	9.2672	9.2755	9.2767	0.0093

取3次测量结果的平均值，按公式 (D.5) 计算测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(V_H)$ ，各校准点测量重复性引入的标准不确定度见表D.5。

$$u_1(V_H) = \frac{s(V)}{\sqrt{3}} \quad (\text{D.5})$$

表D.5 湿度各校准点测量重复性引入的标准不确定度

校准点(%RH)	10	30	50	70	90
$u_1(V_H)$ (V)	0.0052	0.0007	0.0044	0.0051	0.0054

其灵敏系数为：

$$c_1(H) = \frac{\partial \Delta H}{\partial A_d} = -\frac{H_m}{A_m} = -\frac{100\%RH}{10V} = -10\%RH/V$$

D.4.2.2 特稳携式校验仪示值引入的标准不确定度 $u_2(V_H)$

特稳携式校验仪的最大允许误差为 $\pm(0.015\%Rd+0.0005V)$ ，不确定度取其区间半宽，其服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(V_{H10\%RH}) = \frac{(0.015\% \times 1.2421 + 0.0005)V}{\sqrt{3}} = 0.0004V$$

$$u_2(V_{H30\%RH}) = \frac{(0.015\% \times 3.0382 + 0.0005)V}{\sqrt{3}} = 0.00055V$$

$$u_2(V_{H50\%RH}) = \frac{(0.015\% \times 5.1335 + 0.0005)V}{\sqrt{3}} = 0.00073V$$

$$u_2(V_{H70\%RH}) = \frac{(0.015\% \times 7.1477 + 0.0005)V}{\sqrt{3}} = 0.00091V$$

$$u_2(V_{H90\%RH}) = \frac{(0.015\% \times 9.2767 + 0.0005)V}{\sqrt{3}} = 0.00109V$$

其灵敏系数为：

$$c_2(H) = -10\%RH/V$$

D.4.2.3 精密露点仪引入的标准不确定度 $u_3(H)$

由于精密露点仪的露点温度的最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，不确定度取其区间半宽 0.2°C ，可视其为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，在 20°C 下各校准点露点温度变化 0.2°C 对应的相对湿

度 H_{DP} 可根据露点温度与相对湿度换算公式计算, 按公式 (D.6) 计算其引入的标准不确定度 $u_3(H_{DP})$, 计算结果见表D.6。

$$u_3(H_{DP}) = \frac{H_{DP}}{k} \quad (D.6)$$

表 D.6 20℃时露点温度误差引入的标准不确定度 %RH

校准点	10	30	50	70	90
露点温度变化 0.2℃在各校准点对应的相对湿度 H_{DP}	0.18	0.42	0.68	0.92	1.13
$u_3(H_{DP})$	0.104	0.242	0.393	0.531	0.652

由于精密露点仪温度测量的最大允许误差为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 不确定度取其区间半宽 0.1°C , 可视其为均匀分布, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 在 20°C 下各校准点温度变化 0.1°C 对应的相对湿度 H_t 可通过露点温度与相对湿度换算公式计算得到, 按公式 (D.7) 计算其引入的标准不确定度 $u_3(H_t)$, 计算结果见表D.7。

$$u_3(H_t) = \frac{H_t}{k} \quad (D.7)$$

表 D.7 20℃时温度误差引入的标准不确定度 %RH

校准点	10	30	50	70	90
温度变化 0.1°C 在各校准点对应的相对湿度 H_t	0.09	0.19	0.31	0.43	0.55
$u_3(H_t)$	0.052	0.110	0.179	0.248	0.318

则精密露点仪引入的标准不确定度 $u_3(H)$ 为:

$$u_3(H) = \sqrt{u_3^2(H_{DP}) + u_3^2(H_t)}$$

计算结果见表D.8。

表D.8 精密露点仪引入的湿度标准不确定度 %RH

校准点	10	30	50	70	90
$u_3(H)$	0.117	0.266	0.432	0.586	0.725

其灵敏系数为:

$$c_3(H) = \frac{\partial \Delta H}{\partial H_B} = 1$$

D.4.2.4 温湿度标准箱引入的标准不确定度 $u_4(H)$

需考虑温湿度标准箱湿度均匀度与湿度波动度引入的不确定度,在20℃时,由于温湿度标准箱湿度均匀度优于1.0%RH,湿度波动度优于±0.8%RH,不确定度取其区间半宽,其服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,由此可知:

湿度均匀度引入的不确定度分量 $u_4(H_1)$ 为:

$$u_4(H_1) = \frac{1\%RH}{2\sqrt{3}} = 0.29\%RH$$

湿度波动度引入的不确定度分量 $u_4(H_2)$ 为:

$$u_4(H_2) = \frac{0.8\%RH}{\sqrt{3}} = 0.462\%RH$$

因此温湿度标准箱引入的湿度标准不确定度 $u_4(H)$ 为:

$$u_4(H) = \sqrt{u_4^2(H_1) + u_4^2(H_2)} = 0.545\%RH$$

其灵敏系数为:

$$c_4(H) = 1$$

D.4.2.5 湿度修正值标准不确定度汇总

湿度修正值标准不确定度汇总见表D.9。

表D.9 湿度修正值校准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度 分量 u_i	各校准点标准不确定度					$c_i(H)$
		10%RH	30%RH	50%RH	70%RH	90%RH	
测量重复性	$u_1(V_H)$	0.0052V	0.0007V	0.0044V	0.0051V	0.0054V	-10%RH/V
特稳携式校验仪	$u_2(V_H)$	0.0004V	0.00055V	0.00073V	0.00091V	0.00109V	-10%RH/V
精密露点仪	$u_3(H)$	0.117%RH	0.266%RH	0.432%RH	0.586%RH	0.725%RH	1
温湿度标准箱	$u_4(H)$	0.545%RH					1

D.4.2.6 合成标准不确定度

由于各不确定度分量相互独立,合成标准不确定度可按下式计算。

$$u_c(H) = \sqrt{[c_1(H) \times u_1(V_H)]^2 + [c_2(H) \times u_2(V_H)]^2 + [c_3(H) \times u_3(H)]^2 + [c_4(H) \times u_4(H)]^2}$$

经计算,各校准点的合成标准不确定度见下。

$$u_c(10\%RH) = 0.56\%RH$$

$$u_c(30\%RH) = 0.61\%RH$$

$$u_c(50\%RH) = 0.70\%RH$$

$$u_c(70\%RH) = 0.80\%RH$$

$$u_c(90\%RH) = 0.91\%RH$$

D.4.2.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，各校准点扩展不确定度为：

$$U(10\%RH) = ku_c(10\%RH) = 2 \times 0.56\%RH = 1.2\%RH$$

$$U(30\%RH) = ku_c(30\%RH) = 2 \times 0.61\%RH = 1.3\%RH$$

$$U(50\%RH) = ku_c(50\%RH) = 2 \times 0.70\%RH = 1.4\%RH$$

$$U(70\%RH) = ku_c(70\%RH) = 2 \times 0.80\%RH = 1.6\%RH$$

$$U(90\%RH) = ku_c(90\%RH) = 2 \times 0.91\%RH = 1.9\%RH$$
