

# JJF

## 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF××××—××××

### 气象湿度传感器校准规范

Calibration Specification of Meteorology Humidity Sensors

(征求意见稿)

201×-××-××发布

201×-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 气象湿度传感器校准规范

Calibration Specification of  
Meteorology Humidity Sensors

JJF XXXX—XX  
XX

归口单位：全国气象专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：辽宁省气象装备保障中心

中国气象局气象探测中心

参加起草单位：北京理弘远见科贸有限责任公司

辽宁省计量科学研究院

本规范委托全国气象专用计量器具计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

沙 莉 （辽宁省气象装备保障中心）

赵 旭 （中国气象局气象探测中心）

张艺萌（辽宁省气象装备保障中心）

**参加起草人：**

贾志刚 （北京理弘远见科贸有限责任公司）

李 施 （辽宁省气象装备保障中心）

朱明宇 （辽宁省气象装备保障中心）

管 地 （辽宁省计量科学研究院）

# 目 录

1	范围.....	1
2	引用文件.....	1
3	术语和计量单位.....	1
4	概述.....	2
5	计量特性.....	2
6	校准条件.....	3
6.1	环境条件 .....	3
6.2	校准用设备 .....	3
7	校准项目和校准方法.....	<b>错误! 未定义书签。</b>
7.1	校准项目 .....	3
7.2	校准方法 .....	4
8	数据处理.....	5
8.1	标准相对湿度值 .....	5
8.2	被校仪器测量值 .....	5
8.3	示值误差 .....	5
8.4	湿滞 .....	6
9	记录和证书.....	6
10	校准结果.....	6
11	复校时间间隔.....	7
附录 A	标准相对湿度计算方法.....	8
附录 B	气象湿度传感器校准原始记录格式.....	9
附录 C	校准证书内页格式.....	10
附录 D	以湿度发生器为湿度源的不确定度评定示例.....	12
附录 E	以温湿度标准箱为湿度源的不确定度评定示例.....	16

# 引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# 气象湿度传感器校准规范

## 1 范围

本规范适用于气象观测用测量相对湿度传感器（以下简称湿度传感器）的校准。

## 2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF 1012-2007 湿度与水分计量名词术语及定义

GB/T 35226 地面气象观测规范 空气温度和湿度

凡是注日期的引用文件，仅所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 相对湿度 (Relative humidity)

湿气中水蒸气的摩尔分数与相同温度和压力调节下饱和水蒸气的摩尔分数之百分比或者湿气中水蒸气的分压值与相同温度下饱和水蒸气压的比值，用  $U$  表示。[JJF 1012-2007，湿度计量术语和定义 2.14 ]

$$U = \left( \frac{x_v}{x_{vw}} \right)_{p,T} \times 100(\%RH) \quad (1)$$

式中：

$x_v$ ----- 水蒸气的摩尔分数，mol/mol；

$x_{vw}$ -----饱和水蒸气的的摩尔分数，mol/mol。

### 3.2 露点温度 (Dew-point temperature)

在等压的条件下将气体冷却，当气体中的水蒸气冷凝成水并达到相平衡状态时的气体温度即为气体的露点温度。[JJF 1012-2007 ，湿度计量术语和定义 2.17]

### 3.3 饱和水汽压 (saturation vapour pressure)

一定的气温和气压下，湿空气达到饱和时的水汽压。[GB/T 35226-2017，术语和定义

3.4]

### 3.4 湿滞 (humidity hysteresis effect)

湿度传感器作升湿或降湿过程的响应曲线在同一湿度下的最大不重合程度。

### 3.5 时间常数

表示湿度电容在升湿/降湿过程中，电容的端电压达到最大值的  $1-1/e$  时即约 0.63 倍所需要的时间即为时间常数。

#### 4 概述

气象湿度传感器是由湿敏元件及其转换电路组成，当环境湿度发生改变时，湿度传感器的感应膜能对水汽分子进行吸附和释放，直到其含水量与环境湿度达到平衡。这种含水量的变化会引起介电常数发生变化，通过转换电路，输出模拟/数字信号作为被测环境的相对湿度、附温的单值函数。其结构如图 1 所示。

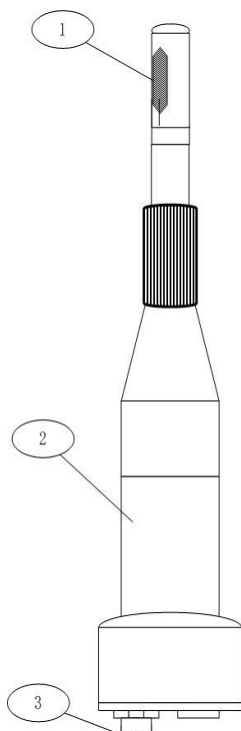


图 1 气象湿度传感器结构图

1. 传感元件 2. 转换电路 3. 信号输出口

#### 5 计量特性

5.1 示值误差：±（3%~5%）RH

5.2 时间常数：60s（相对于阶跃变化 63%）

5.3 迟滞：±（0.3~0.6）%RH

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

温度：(23±5)℃，

相对湿度：不大于85%。

当使用吸气式精密露点仪时，应保持实验室环境温度比测试室实际温度高3℃或以上，以防气样遇冷结露。若不能保证这一气温条件，或测试室设定温度高于环境温度，则应对气体采样管及露点仪镜面室采取加热措施，以避免结露。

### 6.2 校准用设备

校准时可参考表1所列设备。

表1 主要设备一览表

序号	仪器、设备名称	技术要求	用途	备注
1	精密露点仪	温度测量范围：(-20~+40)℃； 二级	测量湿度参考值	也可采用满足 技术要求的其 它设备
2	数字温度计	测量范围：(-20~+20)℃； 最大允许误差：±0.08℃	测量温度参考值	
3	湿度发生器	湿度发生范围：20%RH~95%RH； 工作温度范围：(-20~+40)℃； 温度波动度：≤±0.2℃； 湿度波动度：≤±0.8%RH； 湿度不确定度：≤±2%RH	湿度源	
4	数字多用表	满量程显示位数（分辨力）： 3-1/2； 1.0级及以上等级	电信号测量系统	
5	气压计	测量范围：(500~1050)hPa； 0.03级	气压参考值	

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表2。

表2 校准项目表



序号	校准项目名称	校准方法对应条款
1	示值误差	7.2.4
2	迟滞	7.2.4
3	时间常数	7.2.5

## 7.2 校准方法

### 7.2.1 校准前准备

#### a) 外观检查

目视检查，传感器的过滤器和敏感元件无污染物附着，孔隙通畅，无影响校准工作的外观缺陷。传感器接口部分传感器具备产品名称、型号、序列号、测量范围、制造商名称等信息内容。检查连接线接口是否牢固。

b) 检查湿度发生器/温湿度标准箱的水位，测试室壁要清洁、光滑，无水渍。

c) 用专用清洗液擦洗露点仪镜面，保持镜面清洁、透明，无污染物附着。

### 7.2.2 安装

7.2.2.1, 使用投入式精密露点仪作为校准标准器具时，在测试室的有效工作区内的垂直投入露点传感器、被校的湿度传感器和温度计，被校湿度传感器的头部间应保持一定距离，确保湿度探头间的温度读数不会相互干扰。

7.2.2.2 若使用非投入式精密露点仪作为校准标准器具时，则需将湿气从测试室有效工作区域引出，接到露点传感器中。引出湿气所用的气路管材、材料应为壁厚不小于1mm 的聚四氟乙烯制品。当环境温度不高于露点温度2℃时，还需增加保温或升温装置。传感器安装方法与7.2.2.1 条要求一致。

7.2.2.3 连接被校准湿度传感器的电源和二次仪表，通电检查电测仪表的数据传输，关闭湿度发生器的测试室的开口，确保测试室内与外部的大气压力互通，且保证温度的保持恒定状态，启动控湿设备。

### 7.2.3 校准点选择

选择温度控制点 5℃、20℃、40℃，也可依据测试用户要求增加或减少温度控制点。校准时，设定湿度发生器的温度值（如：20℃）。当温度平衡后，再设定湿度发生器的湿度值，一般由低湿（10%RH）到高湿（90%RH），在5%RH、15%RH、35%RH、55%RH、75%RH、95%RH至少选择三个做校准点。记录的格式见附录B。如果有特殊要求，可以根据湿度传感器的技术文件或用户的要求选做。

### 7.2.4 示值误差和迟滞

每个校准点在温湿度达到设定值稳定后，每隔 2min 左右记录测试室内的温度值、露点值及露点仪的相对湿度值和湿度传感器的输出值，共记录 3 组数据。然后做下一个校准点，相对湿度校准点按照从低至高，再从高至低的顺序至所有的校准点测试完毕。

### 7.2.5 响应时间

将标准湿度发生器的温度值设置为环境温度，给湿度传感器以阶跃的相对湿度变化  $\Delta U (\geq 40 \%RH)$ ，操作时可以将现场环境的相对湿度作为  $U_1$ ，湿度发生器相对湿度调至  $U_2$ ，然后将  $U_1$  (或  $U_2$ ) 中的湿度传感器迅速置于  $U_2$  (或  $U_1$ ) 中，并以秒表 (0.1 s) 记录传感器所需的时间。传感器上升/下降到达时间常数点时，分别记录传感器升湿响应时间  $T_s$  或降湿响应时间  $T_j$ 。重复过程三次。

## 8 数据处理

### 8.1 标准相对湿度值

按式 (1) 计算出标准相对湿度值 (%RH)。

$$U_{\text{标}} = \frac{e_w(T_d)}{e_w(T_s)} \times 100\%$$

或

(2)

$$U_{\text{标}} = \frac{e_i(T_d)}{e_w(T_s)} \times 100\%$$

式中：

$U_{\text{标}}$  —— 校准点标准湿度值，%RH；

$e_w(T_d)/e_i(T_d)$  —— 露点温度的饱和水汽压，Pa；

$e_w(T_s)$  —— 测试室内温度饱和水汽压，Pa。

如果精密露点仪镜面凝结物是冰，则  $e_i(T_d)$  使用冰面上的饱和水汽压公式计算，否则  $e_w(T_d)$  使用水面上的饱和水汽压公式进行计算。饱和水汽压的计算方法见附录 A。

如果直接使用标准器的相对湿度显示值，则该显示值与标准器的露点采集值与温度采集值按照附录中推荐的饱和水汽压计算公式与 (1) 公式的计算结果差值不超过  $\pm 0.2\%$ 。

### 8.2 被校仪器测量值

如果湿度传感器的输出值是电压、电流或频率值，要换算成相对湿度值 (%RH)。

### 8.3 示值误差

#### 8.3.1 计算方法

分别计算出每个校准点下湿度标准测量值和湿度传感器示值的平均值。按式 (3) 计算出湿度传感器在每个校准点的正反行程示值误差  $\Delta U$ ：

$$\Delta U = U_{\text{示}} - U_{\text{标}} \quad (3)$$

式中：

$\Delta U$  —— 被校准湿度传感器示值误差，%RH；

$U_{\text{示}}$  —— 湿度传感器示值平均值，%RH；

$U_{\text{标}}$  —— 湿度标准测量值平均值，%RH。

#### 8.3.2 校准点示值误差

取同一校准点的上升趋势与下降趋势行程的示值误差绝对值较大值作为该校准点的示值误差。

### 8.4 湿滞

#### 8.4.1 计算方法

按式 (4) 计算出每个校准点下的湿度传感器的湿滞  $\Delta U_1$ ：

$$\Delta U_1 = U_{\text{示降}} - U_{\text{示升}} \quad (4)$$

$\Delta U_1$  —— 被校准湿度传感器湿滞，%RH；

$U_{\text{示降}}$  —— 被校准湿度传感器下降趋势湿度示值，%RH；

$U_{\text{示升}}$  —— 被校准湿度传感器上升趋势湿度示值，%RH。

#### 8.4.2 传感器湿滞

取各校准点湿滞的绝对值最大值为湿度传感器的湿滞值。

#### 8.4.3 时间响应

取 3 次读数的平均值分别作为上升/下降趋势的响应时间。

## 9 记录和证书

9.1 记录格式见附录 B。

9.2 经校准的湿度传感器应出具校准证书，具体要求见附录 C。

## 10 校准结果

校准结果应在校准证书上反映（校准证书内页格式参考附录 C）。校准证书至少应包

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) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象外观和机械性能检查的结果；
- 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) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明；
- q) 被校对象的符合性判断（如果客户提出要求）。

## 11 复校时间间隔

建议自动气象站湿度传感器的复校时间间隔为 1 年。但当发现湿度测量值出现异常时建议提前送校。

## 附录 A

## 标准相对湿度计算方法

按公式(A.1)、(A.2)计算出饱和水汽压:

$$e_w(t) = 6.112 \exp[17.62t / (243.12 + t)] \quad (\text{A. 1})$$

和

$$e_i(t) = 6.112 \exp[22.46t / (272.62 + t)] \quad (\text{A. 2})$$

式中:

$e_w(t)$  ----- 水相 (-45~60℃) 温度下饱和水汽压, Pa;

$e_i(t)$  ----- 冰相 (-65~0℃) 温度下饱和水汽压, Pa;

$t$  ----- 温度值, ℃。



## 附录 C

## 校准证书内页格式

## C.1 校准证书第 2 页式样

证书编号：XXXX-XXXX				
校准机构授权说明				
校准所依据的技术文件（代号、名称）				
校准环境条件及地点：				
温度：		℃	大气压力：	
			hPa	
湿度：		%RH	地点：	
校准使用的主要标准器/主要仪器				
名称	测量范围	不确定度/准确 度等级/最 大允许误差	证书编号	有效期至
第 X 页 共 X 页				

## C.2 校准证书第 3 页式样

证书编号：XXXX-XXXX

## 校准结果

## 一. 外观检查结果

## 二. 校准结果

## 1. 湿度传感器示值误差

表 1 湿度传感器校准结果

序号	标准值		被校仪器示值 平均值		示值误差		测量结果不确 定度 ( $k=2$ )	
	温度 ℃	湿度 %RH	温度 ℃	湿度 %RH	温度 ℃	湿度 %RH	温度 ℃	湿度 %RH

## 2. 湿滞

## 三. 备注

本次校准结果仅对被校对象具有有效性。

未经实验室书面批准，不得部分复制此证书。

以下空白

第 X 页 共 X 页



## 附录 D

## 以湿度发生器为湿度源的不确定度评定示例

## D.1 概述

参照本规范对湿度传感器的计量特性要求和校准方法，以湿度发生器作为湿度源，用精密露点仪作湿度标准器；在恒温 20℃ 的环境中校准湿度传感器，相对湿度的校准遵循从低湿到高湿的顺序，从 10%RH 开始升湿到 90%RH，每隔 10%RH 做一个校准点。装置稳定后记录各点数据，依据规范中的有关公式计算被校准湿度传感器的湿度示值误差，并示值误差的不确定度。

## D.2 数学模型

被校准湿度传感器湿度示值误差  $\Delta U$  的计算公式为：

$$\Delta U = U_{\text{示}} - U_{\text{标}} = U_{\text{示}} - \left( \frac{e(T_d)}{e(T_s)} \times 100\% \right) \quad (\text{D.1})$$

式中： $\Delta U$  ----- 被校准湿度传感器示值误差，%RH；

$U_{\text{示}}$  ----- 被校准湿度传感器湿度示值，%RH；

$U_{\text{标}}$  ----- 标准器湿度示值，%RH。

$e(T_d)$  ----- 露点温度饱和水蒸汽压力，Pa。

$e(T_s)$  ----- 环境温度的饱和水蒸汽压力，Pa。

不确定度应考虑被校准仪器示值、湿度的标准值、湿度发生器的湿度均匀度及波动度对它的影响。

## D.3 湿度修正值的不确定度评定

## D.3.1 不确定度计算公式

对式 (C.1) 各分量求偏导，各分量灵敏系数如下：

$$c_1' = \frac{\partial \Delta U}{\partial U_{\text{示}}} = -1 ; \quad c_2' = \frac{\partial \Delta U}{\partial e(T_d)} = \frac{1}{e(T_s)} ; \quad c_3' = \frac{\partial \Delta U}{\partial e(T_s)} = -\frac{e(T_d)}{e^2(T_s)}$$

所以，湿度示值误差的不确定度可由式 (C.2) 计算得出：

$$u(\Delta U) = \sqrt{\left[ c_1' \cdot u(U_{\text{示}}) \right]^2 + \left[ c_2' \cdot u(e(T_d)) \right]^2 + \left[ c_3' \cdot u(e(T_s)) \right]^2} \quad (\text{D.2})$$

式中： $u(\Delta U)$ ：湿度示值误差的标准不确定度，%RH；

$u(U_{\text{示}})$ ：仪器湿度示值的不确定度，%RH。

$u(e(T_d))$ ：露点温度饱和水蒸汽压力的标准不确定度，Pa。

$u(e(T_s))$ ：环境温度饱和水蒸汽压力的标准不确定度，Pa。

### D.3.2 不确定度分量的评定

#### D.3.2.1 仪器湿度示值引入的标准不确定度分量 $u(U_{\text{示}})$

用 A 类评定方法计算  $u(U_{\text{示}})$ ，在相同条件下对被校准湿度传感器在 20℃ 时 10%RH、20%RH、30%RH、40%RH、50%RH、60%RH、70%RH、80%RH、90%RH 点进行多次重复测量，根据极差法计算单次测量的实验标准偏差，选取最大的测量值（在 70%RH 点）作为被校准湿度传感器的湿度重复性引入的不确定度分量为 0.12%RH。（试验报告）

校准点 (%RH)	读数次数	露点饱和水汽压 $e(t_1)$ (Pa)	干球饱和水汽压 $e(t)$ (Pa)	计算相对湿度标准值 (%RH)	被校值 (%RH)	差值 (%RH)
30	1	7.10	23.49	30.24	29.20	22.10
30	2	7.10	23.50	30.22	29.10	22.00
30	3	7.10	23.50	30.20	29.10	22.00
重复性						0.06
	1	9.45	23.46	40.27	38.60	29.15
40	2	9.45	23.46	40.27	38.50	29.05
40	3	9.45	23.46	40.27	38.60	29.15
重复性						0.06
50	1	11.80	23.44	50.34	48.30	36.50
50	2	11.80	23.44	50.34	48.30	36.50
50	3	11.81	23.43	50.41	48.40	36.59
重复性						0.05
60	1	14.16	23.38	60.54	58.40	44.24
60	2	14.16	23.38	60.54	58.30	44.14
60	3	14.16	23.40	60.51	58.30	44.14
重复性						0.06
70	1	16.59	23.38	70.97	67.90	51.31
70	2	16.58	23.40	70.88	68.10	51.52
70	3	16.57	23.40	70.83	68.00	51.43
重复性						0.12
80	1	18.90	23.37	80.86	78.00	59.10

80	2	18.90	23.37	80.86	78.00	59.10
80	3	18.90	23.37	80.86	78.00	59.10
重复性						0.00
90	1	21.19	23.37	90.69	88.90	67.71
90	2	21.19	23.35	90.75	88.90	67.71
90	3	21.19	23.37	90.69	89.00	67.81
重复性						0.06
95	1	22.33	23.34	95.69	94.70	72.37
95	2	22.33	23.34	95.69	94.60	72.27
95	3	22.32	23.34	95.63	94.60	72.28
重复性						0.06

### D.3.2.2 露点标准值 $e(T_d)$ 引入的标准不确定度分量 $u(e(T_d))$

规范中要求露点仪露点测量的最大允许误差为  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，为均匀分布，其引入的标准不确定度分量为： $\frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12^\circ\text{C}$ ；

若精密露点仪露点测量的分辨力为  $0.1^\circ\text{C}$ ，则由分辨力引入的不确定度为： $\frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$ 。

所以，露点温度测量引入的不确定度  $u_1 = \sqrt{0.12^2 + 0.029^2} = 0.123^\circ\text{C}$

依据饱和水汽压计算公式：

$$e(t) = 6.11 \times 10^{\frac{17.62t}{243.12+t}} \quad (\text{D.3})$$

则饱和水汽压引入的标准不确定度分量表示为：

$$u(e(t)) = \frac{\partial(e)}{\partial(t)} = 6.112 \cdot e^{\frac{17.62t}{243.12+t}} \cdot \frac{17.62 \times 243.12}{(243.12+t)^2} \quad (\text{D.4})$$

将  $u_1 = 0.123^\circ\text{C}$  代入式(C.4)可得，露点标准值引入的标准不确定度分量  $u(e(T_d)) = 0.446$

Pa

### D.3.2.3 环境温度测量引入的标准不确定度 $u(e(T_s))$

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

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

所以，环境温度测量引入的不确定度  $u_2 = \sqrt{0.06^2 + 0.029^2} = 0.07 \text{ } ^\circ\text{C}$

将  $u_2 = 0.07 \text{ } ^\circ\text{C}$  代入式 (C.4) 可得，环境温度测量引入的标准不确定度  $u(e(T_s)) = 0.445 \text{ Pa}$

### D.3.3 湿度示值误差的合成标准不确定度 $u(\Delta U)$

根据公式 (C.2)，计算得到：

$$u(\Delta U) = \sqrt{(-1 \times 0.12)^2 + \left(\frac{1}{6.143} \times 0.446\right)^2 + \left(-\frac{6.167}{6.143^2} \times 0.445\right)^2} = 0.16\% \text{ RH}$$

### D.3.4 湿度修正值的扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则湿度修正值的扩展不确定度由下式计算得出：

$$U(\Delta U) = k \cdot u(\Delta U) = 2 \times 0.16\% \text{ RH} = 0.32\% \text{ RH}$$

## D.4 结论

本例以湿度发生器为湿度源进行的不确定度评定， $20^\circ\text{C}$  时湿度修正值的扩展不确定度为  $0.32\% \text{ RH}$  ( $k=2$ )。

## 附录 E

## 以温湿度标准箱为湿度源的不确定度评定示例

## E.1 概述

参照本规范对湿度传感器的计量特性要求和校准方法，以温湿度标准箱作为湿度发生源，用精密露点仪作湿度标准器，在恒温 20℃ 的环境中校准数字式湿度传感器，相对湿度的校准遵循从低湿到高湿的顺序，从 10%RH 开始升湿到 90%RH，每隔 10%RH 做一个校准点。装置稳定后记录各点数据，依据规范中的有关公式计算被校准湿度传感器的湿度示值误差，并计算示值误差的不确定度。

## E.2 数学模型

被校准湿度传感器湿度示值误差  $\Delta U$  的计算公式为：

$$\Delta U = U_{\text{示}} - U_{\text{标}} = U_{\text{示}} - \left( \frac{e(T_d)}{e(T_s)} \times 100\% \right) + U_1 \quad (\text{E.1})$$

式中： $\Delta U$  ----- 被校准湿度传感器示值误差，%RH；

$U_{\text{示}}$  ----- 被校准湿度传感器湿度示值，%RH；

$U_{\text{标}}$  ----- 标准器湿度示值，%RH；

$e(T_d)$  ----- 露点温度饱和水蒸汽压力，Pa；

$e(T_s)$  ----- 环境温度的饱和水蒸汽压力，Pa；

$U_1$  ----- 湿度箱湿度波动度引起的测量误差，%RH。

## E.3 湿度修正值的不确定度评定

## E.3.1 不确定度计算公式

对式 (D.1) 各分量求偏导，各分量灵敏系数如下：

$$c_1' = \frac{\partial \Delta U}{\partial U_{\text{示}}} = -1 \quad ; \quad c_2' = \frac{\partial \Delta U}{\partial e(T_d)} = \frac{1}{e(T_s)} \quad ; \quad c_3' = \frac{\partial \Delta U}{\partial e(T_s)} = -\frac{e(T_d)}{e^2(T_s)} \quad ; \quad c_4' = \frac{\partial \Delta U}{\partial U_1} = 1。$$

所以，湿度示值误差的不确定度可由式 (C.2) 计算得出：

$$u(\Delta U) = \sqrt{\left[ c_1' \cdot u(U_{\text{示}}) \right]^2 + \left[ c_2' \cdot u(e(T_d)) \right]^2 + \left[ c_3' \cdot u(e(T_s)) \right]^2 + \left[ c_4' \cdot u(U_1) \right]^2} \quad (\text{E.2})$$

式中： $u(\Delta U)$ ：湿度示值误差的标准不确定度，%RH；

$u(U_{\text{示}})$ ：仪器湿度示值的不确定度，%RH。

$u(e(T_d))$ : 露点温度饱和水蒸汽压力的标准不确定度, Pa。

$u(e(T_s))$ : 环境温度饱和水蒸汽压力的标准不确定度, Pa。

$u(U_1)$ : 湿度箱湿度波动度引起的不确定度, %RH。

### E.3.2 不确定度分量的评定

#### E.3.2.1 仪器湿度示值引入的标准不确定度分量 $u(U_{\text{示}})$

用 A 类评定方法计算  $u(U_{\text{示}})$ , 在相同条件下对被校准湿度传感器在 20℃ 时 10%RH、20%RH、30%RH、40%RH、50%RH、60%RH、70%RH、80%RH、90%RH 点进行多次重复测量, 根据极差法计算单次测量的实验标准偏差, 选取最大的测量值 (在 70%RH 点) 作为被校准湿度传感器的湿度重复性引入的不确定度分量为 0.12%RH。(试验报告)

校准点 %RH	读数次数	露点饱和水汽压 $e(t_1)$ (Pa)	干球饱和水汽压 $e(t)$ (Pa)	计算相对湿度标准值 %RH	被校值 %RH	差值 %RH
30	1	7.10	23.49	30.24	29.20	22.10
30	2	7.10	23.50	30.22	29.10	22.00
30	3	7.10	23.50	30.20	29.10	22.00
重复性						0.06
	1	9.45	23.46	40.27	38.60	29.15
40	2	9.45	23.46	40.27	38.50	29.05
40	3	9.45	23.46	40.27	38.60	29.15
重复性						0.06
50	1	11.80	23.44	50.34	48.30	36.50
50	2	11.80	23.44	50.34	48.30	36.50
50	3	11.81	23.43	50.41	48.40	36.59
重复性						0.05
60	1	14.16	23.38	60.54	58.40	44.24
60	2	14.16	23.38	60.54	58.30	44.14
60	3	14.16	23.40	60.51	58.30	44.14
重复性						0.06
70	1	16.59	23.38	70.97	67.90	51.31
70	2	16.58	23.40	70.88	68.10	51.52
70	3	16.57	23.40	70.83	68.00	51.43
重复性						0.12
80	1	18.90	23.37	80.86	78.00	59.10
80	2	18.90	23.37	80.86	78.00	59.10
80	3	18.90	23.37	80.86	78.00	59.10
重复性						0.00

90	1	21.19	23.37	90.69	88.90	67.71
90	2	21.19	23.35	90.75	88.90	67.71
90	3	21.19	23.37	90.69	89.00	67.81
重复性						0.06
95	1	22.33	23.34	95.69	94.70	72.37
95	2	22.33	23.34	95.69	94.60	72.27
95	3	22.32	23.34	95.63	94.60	72.28
重复性						0.06

### E.3.2.2 湿度标准值 $U_{\text{标}}$ 引入的标准不确定度分量 $u(U_{\text{标}})$

规范中要求露点仪露点测量的最大允许误差为  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，为均匀分布，其引入的标准不确定度分量为： $\frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12^{\circ}\text{C}$ ；

若精密露点仪露点测量的分辨力为  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，则由分辨力引入的不确定度为： $\frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029^{\circ}\text{C}$ 。

所以，露点温度测量引入的不确定度  $u_1 = \sqrt{0.12^2 + 0.029^2} = 0.123^{\circ}\text{C}$

依据饱和水汽压计算公式：

$$e(t) = 6.112 \times e^{\frac{17.62t}{243.12+t}} \quad (\text{E.3})$$

则饱和水汽压引入的标准不确定度分量表示为：

$$u(e(t)) = \frac{\partial(e)}{\partial(t)} = 6.112 \cdot e^{\frac{17.62t}{243.12+t}} \cdot \frac{17.62 \times 243.12}{(243.12+t)^2} \quad (\text{E.4})$$

将  $u_1 = 0.123^{\circ}\text{C}$  代入式(D.4)可得，露点标准值引入的标准不确定度分量  $u(e(T_d)) = 0.446$

Pa

### E.3.2.3 环境温度测量引入的标准不确定度 $u(e(T_s))$

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

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

所以，环境温度测量引入的不确定度  $u_2 = \sqrt{0.06^2 + 0.029^2} = 0.07^{\circ}\text{C}$

将  $u_2 = 0.07 \text{ }^\circ\text{C}$  代入式 (D.4) 可得, 环境温度测量引入的标准不确定度  $u(e(T_s)) = 0.445 \text{ Pa}$

#### E.3.2.4 湿度箱湿度波动度引入的不确定度 $u(U_1)$

由于是用温湿度标准箱作为湿度源, 需要考虑湿度均匀性和波动性引入的不确定度。在用温湿度标准箱作为湿度源校准湿度传感器时, 应该把被校准的湿度传感器和精密露点仪的露点传感器集中摆放在标准箱的中心位置, 只考虑标准箱的波动度对校准结果的影响。

根据实验测量结果, 估计温湿度标准箱中心位置的湿度波动度要求为  $\pm 0.8\% \text{ RH}$ , 假设其为均匀分布, 则由湿度波动度引入的不确定度分量  $u(U_1)$  为  $0.8 / \sqrt{3} = 0.46\% \text{ RH}$ 。

#### E.3.3 湿度示值误差的合成标准不确定度 $u(\Delta U)$

根据公式 (D.2), 计算得到:

$$u(\Delta U) = \sqrt{(-1 \times 0.12)^2 + \left(\frac{1}{6.143} \times 0.446\right)^2 + \left(-\frac{6.167}{6.143^2} \times 0.445\right)^2 + (1 \times 0.46)^2} = 0.49\% \text{ RH}$$

#### E.3.4 湿度修正值的扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 则湿度修正值的扩展不确定度由下式计算得出:

$$U(\Delta U) = k \cdot u(\Delta U) = 2 \times 0.49\% \text{ RH} = 0.98\% \text{ RH}$$

### E.4 结论

本例以温湿度标准箱为湿度源进行的不确定度评定,  $20^\circ\text{C}$  时湿度修正值的扩展不确定度为  $0.98\% \text{ RH}$  ( $k=2$ )。