



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1564—2016

温湿度标准箱校准规范

Calibration Specification

for Temperature and Humidity Standard Chambers

2016-06-27 发布

2016-09-27 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

温湿度标准箱校准规范

Calibration Specification for

Temperature and Humidity Standard Chambers

JJF 1564—2016

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：河北省计量科学研究院

青岛市计量技术研究院

湖州唯立仪表厂

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：

张文东 （上海市计量测试技术研究院）

吕国义 （中国航空工业集团公司
北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

沈淘淘 （上海市计量测试技术研究院）

崔体运 （上海市计量测试技术研究院）

耿荣勤 （河北省计量科学研究院）

郭沈辉 （青岛市计量技术研究院）

陈 坚 （湖州唯立仪表厂）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
3.1 温湿度标准箱	(1)
3.2 有效工作区	(1)
3.3 温度均匀度	(1)
3.4 湿度均匀度	(1)
3.5 温度波动度	(1)
3.6 湿度波动度	(1)
3.7 温度变化率	(1)
3.8 湿度变化率	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 温湿度均匀度	(2)
5.2 温湿度波动度	(2)
5.3 温湿度变化率	(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	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
7.3 校准结果表达	(8)
7.4 复校时间间隔	(8)
附录 A 校准证书内页参考格式	(9)
附录 B 温湿度标准箱温度均匀度测量结果的不确定度评定	(10)
附录 C 温湿度标准箱湿度均匀度测量结果的不确定度评定	(13)
附录 D 温湿度标准箱温度波动度和温度变化率测量结果的不确定度评定	(16)

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的。

本规范为首次发布。



温湿度标准箱校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围 5℃~50℃、湿度范围 10%RH~90%RH 的计量校准用温湿度标准箱的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 205—2005 机械式温湿度计

JJG 993—2004 电动通风干湿表

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

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 术语和定义

3.1 温湿度标准箱 temperature and humidity standard chamber

用于检定或校准温度和温湿度仪器的专用设备，它能根据温度、湿度等参数的设定值在其有效工作区内产生符合要求的温湿度环境。

3.2 有效工作区 valid working zone

温湿度箱内用于检定或校准温湿度仪表的区域。

3.3 温度均匀度 temperature uniformity

温湿度箱达到规定的稳定时间后 30 min 内，其有效工作区内周围各点与中心点之间在任一瞬间的温度差值绝对值的最大值。

3.4 湿度均匀度 humidity uniformity

温湿度箱达到规定的稳定时间后 30 min 内，其有效工作区内周围各点与中心点之间在任一瞬间的湿度差值绝对值的最大值。

3.5 温度波动度 temperature fluctuation

温湿度箱达到规定的稳定时间后，其有效工作区内中心点温度在 30 min 内的极差（采用“±”表示时，取极差的 1/2）。

3.6 湿度波动度 humidity fluctuation

温湿度箱达到规定的稳定时间后，其有效工作区内中心点湿度在 30 min 内的极差（采用“±”表示时，取极差的 1/2）。

3.7 温度变化率 temperature change rate

温湿度箱达到规定的稳定时间后，其有效工作区中心点温度在 30 min 之内每 1 min 内极差的 最大值，以℃/min 表示。

3.8 湿度变化率 humidity change rate

温湿度箱达到规定的稳定时间后，其有效工作区中心点湿度在 30 min 之内每 1 min 内极差的最大值，以 %RH/min 表示。

4 概述

温湿度标准箱的作用是根据温湿度设定值产生恒定且均匀的温湿度场，用于检定、校准机械指针式温湿度计、温湿度记录仪、电动通风干湿表、探头内置式温度和温湿度传感器、探头内置式温度和湿度数据采集仪、热指数仪等温度和湿度测量仪器。

温湿度箱可以采用不同的工作原理，目前主要为双温法、调温调湿法两种类型。

双温法的工作原理是通过采用较低温度的水对气流进行喷淋、鼓泡等方式产生该温度下的饱和湿空气（即饱和过程），然后将该湿气加热至预定温度（即加热过程），从而得到所需的温度和相对湿度的湿气。箱内空气一般是封闭循环的，其饱和过程和加热过程周而复始，交替进行。

调温调湿法的工作原理是通过箱内温湿度测量值进行反馈控制、采用蒸汽或喷雾加湿、制冷或干燥剂去湿等方式来实现箱内湿度的控制。其温湿度测量主要采用干湿球温湿度计、高分子电容湿度传感器或精密露点仪等来实现。

5 计量特性

5.1 温湿度均匀度

温湿度箱的温度均匀度一般不大于 0.3 °C，湿度均匀度一般不大于 1.0 %RH。

5.2 温湿度波动度

温湿度箱的温度波动度一般不超过 ±0.2 °C，湿度波动度一般不超过 ±0.8 %RH。

5.3 温湿度变化率

温湿度箱的温度变化率一般不大于 0.2 °C/min，湿度变化率一般不大于 0.8 %RH/min。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度：15 °C ~ 25 °C，湿度：≤ 75 %RH。

6.1.2 温度波动应不超过 ±3 °C。

6.1.3 环境条件还应满足所用标准器和其他配套设备正常使用的其他要求。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 多路温湿度测量装置

6.2.1.1 装置构成

装置中温湿度传感器的数量应满足布点要求，每路均应采用同种型号规格的温度传感器和湿度传感器，装置应带有自动记录功能，最小记录时间间隔应不大于 20 s。

6.2.1.2 技术指标

装置的各路湿度的技术指标见表 1。

表 1 多路温湿度测量装置

项目	测量范围	分辨力	最大允许误差	重复性	响应时间
温度	5℃ ~ 50℃	不低于 0.01℃	±0.20℃	≤ 0.01℃	≤15 s
湿度	10%RH~ 90%RH (20℃时)	不低于 0.1%RH	±2.0%RH	≤ 0.05% RH	≤15 s
注： 1. 温湿度测量范围为一般要求，使用中以能覆盖被校温湿度箱的实际校准范围为准。 2. 技术指标为包含传感器和采集设备的整体指标。 3. 重复性为重复测量 10 次得到的标准偏差。 4. 装置使用前，每路温度应同时在同一套温度标准装置上进行校准，每路湿度应同时在同一套湿度标准装置上进行校准。装置使用后，应对其稳定性进行复核，复核点为 20℃、60% RH，复核结果应满足：各通道间温度漂移的不一致性不大于 0.03℃、各通道间湿度漂移的不一致性不大于 0.4% RH。 5. 各通道的测量结果应含修正值。					

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 温度均匀度；
- b) 湿度均匀度；
- c) 温度波动度；
- d) 湿度波动度；
- e) 温度变化率；
- f) 湿度变化率。

7.2 校准方法

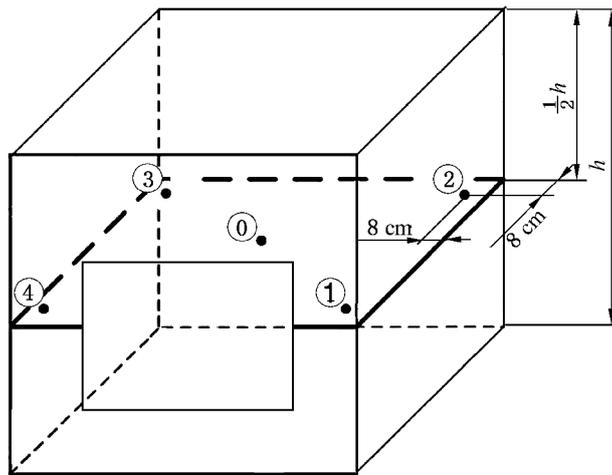
7.2.1 传感器布点

校准前，应按照温湿度箱的使用说明书或用户要求确定有效工作区。采用多路温湿度测量装置来校准箱内温湿度，装置中的温度传感器和湿度传感器采用水平分层布点方式，各布点位置距温湿度箱有效工作区侧面的距离为 8 cm，下层布点位置位于有效工作区底部水平面上方 5 cm 处，上层布点位置位于有效工作区顶部水平面下方 20 cm 处，见图 1。

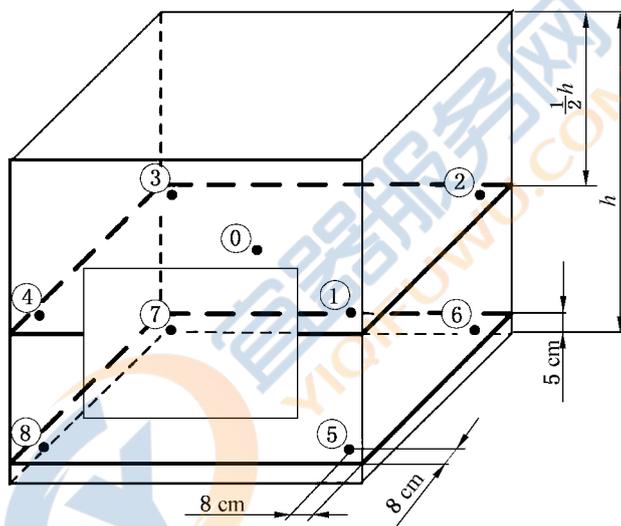
有效工作区高度 h 不足 50 cm 的温湿度箱，布 5 点 [见图 1a)]。

有效工作区高度 h 介于 50 cm~100 cm 之间的温湿度箱，布 9 点 [见图 1b)]。

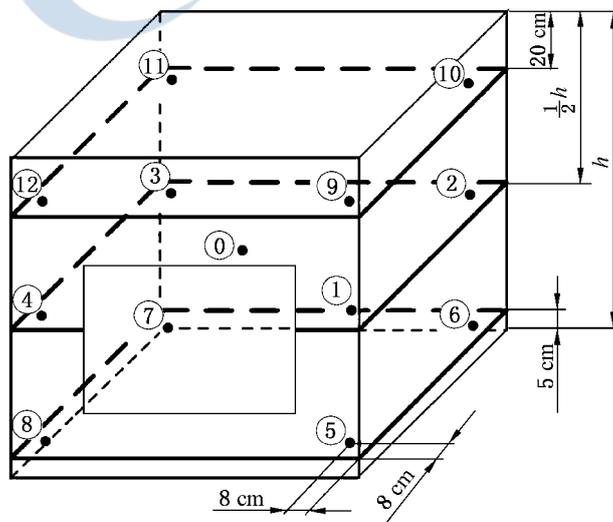
有效工作区高度 h 超过 100 cm 的温湿度箱，布 13 点 [见图 1c)]。



a) $h < 50$ cm 的布点图



b) $50 \text{ cm} \leq h \leq 100 \text{ cm}$ 的布点



c) $h > 100$ cm 的布点图

图 1 传感器布点示意图

对于工作室内有投入式冷镜露点探头的温湿度箱，应适当调整传感器的布点位置，使在箱内气流中处于露点探头上游的传感器与露点探头之间的距离不小于 5 cm，处于露点探头下游的传感器与露点探头之间的距离不小于 20 cm。

对于有效工作区内存在气流盲区的温湿度箱，可以在盲区区域增加一个布点。

7.2.2 温度校准

7.2.2.1 温度校准点

温度校准点一般为 15 °C、20 °C、30 °C，也可以根据用户要求选择其他校准点。校准时，温度按由低至高的顺序进行，各校准点上的温度偏离应在 ±0.5 °C 以内（以中心点温度为准）。如果开启湿度功能，湿度设定值一般为 60%RH 左右。各校准项目一般在空载条件下进行。

7.2.2.2 温度校准步骤

温湿度箱达到规定的稳定时间后，开始记录各布点温度，中心点记录时间间隔为 20 s，其他各布点记录时间间隔为 2 min。中心点记录 91 组数据，其他点记录 16 组数据。20 s 间隔数据用 T'_{i0} ($i=1, 2, \dots, 91$) 表示，2 min 间隔数据用 T_{nj} ($n=1, 2, \dots, 16; j=0, 1, \dots, m-1$) 表示，其中 m 为布点数量， i 和 n 代表时刻序号 (i 时间间隔为 20 s， n 时间间隔为 2 min)， j 代表布点位置序号。如果在规定的稳定时间之前能够确定箱内温湿度已经达到平衡，也可以提前记录。

温度稳定时间以说明书为准，说明书中没有给出的，则一般按以下原则执行：温度改变量不超过 10 °C 的，从温湿度设定至开始记录数据所等待的稳定时间为 90 min；温度改变量不超过 5 °C 的，稳定时间为 60 min。各校准点的稳定时间详见表 2。

表 2 稳定时间

校准点	15 °C	20 °C, 40%RH	20 °C, 60%RH	20 °C, 80%RH	30 °C
稳定时间	90 min	60 min	60 min	60 min	90 min

7.2.2.3 温度数据处理

a) 温度均匀度

第 n 时刻中心点位置与其他各布点位置的温度之差的绝对值最大值 ΔT_n 可用公式 (1) 计算：

$$\Delta T_n = \max(|T_{n0} - T_{nj}|) \quad (j = 1, 2, \dots, m - 1) \quad (1)$$

式中：

ΔT_n —— 第 n 时刻中心点位置与其他各布点位置的温度之差的绝对值最大值，°C；

T_{n0} —— 第 n 时刻中心点位置的温度值，°C；

T_{nj} —— 第 n 时刻、第 j 布点位置的温度值，°C；

m —— 布点数量。

该温度点上的温度均匀度 ΔT_u 可用公式 (2) 计算：

$$\Delta T_u = \max(\Delta T_n) \quad (n = 1, 2, \dots, 16) \quad (2)$$

式中： ΔT_u —— 该温度点上的温度均匀度，°C。

取各温度校准点的温度均匀度 ΔT_u 中的最大值为温湿度箱的温度均匀度。

b) 温度波动度

采用中心点温度测量结果计算温度波动度, 该温度校准点的温度波动度 ΔT_f 可用公式 (3) 计算:

$$\Delta T_f = \pm \frac{1}{2} [\max(T_{n0}) - \min(T_{n0})] \quad (n = 1, 2, \dots, 16) \quad (3)$$

式中:

ΔT_f ——该温度点上的温度波动度, °C;

T_{n0} ——第 n 时刻中心点位置的温度值, °C。

取各温度校准点的温度波动度 ΔT_f 中的最大值为温湿度箱的温度波动度。

c) 温度变化率

采用中心点温度测量结果 $T'_{i0} (i=1, 2, \dots, 91)$ 计算温度变化率, 先计算 30 min 之内每 1 min 内的温度极差, 再求其中的最大值。

第 k min 内的温度极差可用公式 (4) 计算, 即计算第 k min 内间隔 20 s 的 4 次测量结果的最大值与最小值之差。

$$\Delta T_{vk} = \max(T'_{i0}) - \min(T'_{i0}) \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1) \quad (4)$$

式中:

ΔT_{vk} ——第 k min 内的温度极差, °C;

T'_{i0} ——第 i 时刻中心点位置的温度值, °C。

该温度校准点的温度变化率 ΔT_v 可用公式 (5) 计算:

$$\Delta T_v = \max(\Delta T_{vk}) \quad (k = 1, 2, \dots, 30) \quad (5)$$

式中: ΔT_v ——该温度点上的温度变化率, °C。

取各温度校准点的温度变化率 ΔT_v 中的最大值为温湿度箱的温度变化率。

7.2.3 湿度校准

7.2.3.1 湿度校准点

湿度在 20 °C 时进行校准, 校准点为 40%RH、60%RH、80%RH, 也可根据用户要求选择其他校准点。校准时, 湿度由低湿至高湿进行, 各校准点上的湿度偏离不超过 $\pm 2.0\%$ RH (以中心点湿度为准), 湿度校准可以和温度校准同时进行。

7.2.3.2 湿度校准步骤

温湿度箱达到规定的稳定时间后, 开始记录各布点湿度, 中心点记录时间间隔为 20 s, 其他各布点记录时间间隔为 2 min。中心点记录 91 组数据, 其他点记录 16 组数据。20 s 间隔数据用 $H'_{i0} (i=1, 2, \dots, 91)$ 表示, 2 min 间隔数据用 $H_{nj} (n=1, 2, \dots, 16; j=0, 1, \dots, m-1)$ 表示, 其中 m 为布点数量, i 和 n 代表时刻序号 (i 的时间间隔为 20 s, n 的时间间隔为 2 min), j 代表布点位置序号。如果在规定的稳定时间之前能够确定箱内温湿度已经达到平衡, 也可以提前记录。

湿度稳定时间以说明书为准, 说明书中没有给出的, 则一般按以下原则执行: 在箱内温度恒定的情况下, 湿度改变量不超过 20%RH 的, 从设定至开始记录数据所等待的稳定时间为 60 min。各校准点的稳定时间详见表 2。

7.2.3.3 湿度数据处理

a) 湿度均匀度

第 n 时刻各布点位置的湿度与中心点位置的湿度之差的绝对值最大值 ΔH_n 可用公式 (6) 计算:

$$\Delta H_n = \max(|H_{n0} - H_{nj}|) \quad (j = 1, 2, \dots, m - 1) \quad (6)$$

式中:

ΔH_n ——第 n 时刻中心点位置与其他各布点位置的湿度之差的绝对值最大值, %RH;

H_{n0} ——第 n 时刻中心点位置的湿度值, %RH;

H_{nj} ——第 n 时刻、第 j 布点位置的湿度值, %RH;

m ——布点数量。

该湿度校准点上的湿度均匀度 ΔH_u 为可用公式 (7) 计算:

$$\Delta H_u = \max(\Delta H_n) \quad (n = 1, 2, \dots, 16) \quad (7)$$

式中: ΔH_u ——该湿度点上的湿度均匀度, %RH。

取各湿度校准点的湿度均匀度 ΔH_u 中的最大值为温湿度箱的湿度均匀度。

b) 湿度波动度

采用中心点湿度测量结果计算湿度波动度, 该湿度校准点的湿度波动度 ΔH_f 可用公式 (8) 计算:

$$\Delta H_f = \pm \frac{1}{2} [\max(H_{n0}) - \min(H_{n0})] \quad (n = 1, 2, \dots, 16) \quad (8)$$

式中:

ΔH_f ——该湿度点上的湿度波动度, %RH;

H_{n0} ——第 n 时刻中心点位置的湿度值, %RH。

取各湿度校准点的湿度波动度 ΔH_f 中的最大值为温湿度箱的湿度波动度。

c) 湿度变化率

采用中心点湿度测量结果 $H'_{i0} (i = 1, 2, \dots, 91)$ 计算湿度变化率, 先计算 30 min 之内每 1 min 内的湿度极差, 再求其中的最大值。

第 k min 内的湿度极差可用公式 (9) 计算, 即计算第 k min 内间隔 20 s 的 4 次测量结果的最大值与最小值之差。

$$\Delta H_{vk} = \max(H'_{i0}) - \min(H'_{i0}) \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1) \quad (9)$$

式中:

ΔH_{vk} ——第 k min 内的湿度极差, %RH;

H'_{i0} ——第 i 时刻中心点位置的湿度值, %RH。

该湿度校准点的湿度变化率 ΔH_v 可用公式 (10) 计算:

$$\Delta H_v = \max(\Delta H_{vk}) \quad (k = 1, 2, \dots, 30) \quad (10)$$

式中: ΔH_v ——该湿度点上的湿度变化率, %RH。

取各湿度校准点的湿度变化率 ΔH_v 中的最大值为温湿度箱的湿度变化率。

7.3 校准结果表达

经校准后的温湿度标准箱应出具校准证书，证书中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) 温湿度箱的名称、制造商、型号规格、编号；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效期说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范偏离的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准证书或校准报告签发日期；
- p) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- q) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准结果/校准数据中应包含以下内容：

- a) 温湿度传感器布点图；
- b) 温度均匀度；
- c) 湿度均匀度；
- d) 温度波动度和温度变化率；
- e) 湿度波动度和湿度变化率。

内页格式见附录 A。

7.4 复校时间间隔

a) 建议复校间隔时间为 1 年，凡在使用过程中经过修理的一般需重新校准。

b) 由于复校间隔时间的长短是由温湿度箱的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定，因此，送校单位可根据实际使用情况确定复校时间间隔。

附录 A

校准证书内页参考格式

A.1 温湿度布点图

温湿度布点图见图 1。

A.2 校准结果/数据（见表 A.1）

表 A.1 校准值

序号	校准项目	校准值												扩展不确定度 ($k=2$)	技术要求	结论		
1	温度波动度	℃																
2	温度变化率	℃/min																
3	湿度波动度	%RH																
4	湿度变化率	%RH/min																
5	温度均匀度	设定值 ℃	温度分布 ℃												均匀度 ℃			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				12
6	湿度均匀度	设定值 %RH	湿度分布 %RH												均匀度 %RH			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				12
注：																		
1. 第 5 项中温度分布是指公式 (2) 中 ΔT_u 取得最大值时刻的温度分布；第 6 项中湿度分布是指公式 (7) 中 ΔH_u 取得最大值时刻的湿度分布。																		
2. 技术要求、结论仅在需要时给出。																		

附录 B

温湿度标准箱温度均匀度测量结果的不确定度评定

B.1 测量方法

按照本规范中对温湿度箱温度均匀度的校准要求，将多路温湿度测量装置的温度传感器按图 1 要求布置。温湿度箱运行并达到规定的稳定时间后，开始记录各布点位置的温度。每隔 2 min 记录一组数据，共记录 16 组数据。然后计算出这 16 组数据中周围各布点与中心点之间温度差值的绝对值最大值，即为温湿度标准箱的温度均匀度。

B.2 测量模型

温度均匀度根据公式 (B.1) 计算：

$$\Delta T_n = \max(|T_{n0} - T_{nj}|) \quad (j = 1, 2, \dots, m - 1) \quad (\text{B.1})$$

式中：

ΔT_n ——第 n 时刻中心点位置与其他各布点位置的温度之差的绝对值最大值，℃；

T_{n0} ——第 n 时刻中心点位置的温度值，℃；

T_{nj} ——第 n 时刻、第 j 布点位置的温度值，℃；

m ——布点数量。

该温度点上的温度均匀度可用公式 (B.2) 计算：

$$\Delta T_u = \max(\Delta T_n) \quad (n = 1, 2, \dots, 16) \quad (\text{B.2})$$

式中：

ΔT_u ——该温度点上的温度均匀度，℃。

式中，假设该温度点上 ΔT_u 在第 n 时刻、第 j 布点位置上取得最大值，且 $T_{nj} \geq T_{n0}$ ，则公式 (B.2) 可化简为：

$$\Delta T_u = T_{nj} - T_{n0} = t_{nj} - t_{n0} + (\delta t_j - \delta t_0) + (\Delta t_j - \Delta t_0) \quad (\text{B.3})$$

式中：

t_{nj} ——第 n 时刻、第 j 个布点位置的未经修正的温度记录值，℃；

t_{n0} ——第 n 时刻中心点未经修正的温度记录值，℃；

δt_j 、 δt_0 ——周围各点与中心点标温度标准器的修正值，℃；

Δt_j 、 Δt_0 ——周围各点与中心点标温度标准器在校准周期内的漂移量，℃。

由于温度测量装置中采用同种型号规格的温度传感器，且各传感器需同时在同一套标准装置上校准，各通道的特性基本一致，因此采用公式 (B.3) 评定的结果也适用于 ΔT_u 最大值发生在上述假设条件以外时的情况。

B.3 不确定度评定

B.3.1 不确定度来源

$u(t_{n0})$ 、 $u(t_{nj})$ 分别为中心点标准器和周围各点标准器的重复性和分辨力引入的标准不确定度（取大者）。

$u(\delta t_j - \delta t_0)$ 为标准器修正值引入的标准不确定度。

$u(\Delta t_j - \Delta t_0)$ 为标准器的稳定性引入的标准不确定度。

B.3.2 不确定度传播公式

由公式 (B.3) 得到不确定度传播公式:

$$u(\Delta T_u) = \sqrt{[c_1 u(t_{nj})]^2 + [c_2 u(t_{n0})]^2 + [c_3 u(\delta t_j - \delta t_0)]^2 + [c_4 u(\Delta t_j - \Delta t_0)]^2}$$

令 $u_1 = u(t_{nj})$, $u_2 = u(t_{n0})$, $u_3 = u(\delta t_j - \delta t_0)$,
 $u_4 = u(\Delta t_j - \Delta t_0)$, $u_c = u(\Delta T_u)$, 得到:

$$u_c = \sqrt{[c_1 u_1]^2 + [c_2 u_2]^2 + [c_3 u_3]^2 + [c_4 u_4]^2} \quad (\text{B.4})$$

式中:

c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 为灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta T_u)}{\partial t_{nj}} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial(\Delta T_u)}{\partial t_{n0}} = 1$$

$$c_3 = \frac{\partial(\Delta T_u)}{\partial(\delta t_j - \delta t_0)} = 1$$

$$c_4 = \frac{\partial(\Delta T_u)}{\partial(\Delta t_j - \Delta t_0)} = 1$$

B.3.3 标准不确定度评定

B.3.3.1 标准器重复性引入的标准不确定度 u_1 和 u_2 的评定

仪器重复性由 10 次重复测量得到:

$$s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10-1}}$$

得到 $s_1 = 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。仪器分辨力为 $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$, 由此引入的标准不确定度为 $0.0029 \text{ } ^\circ\text{C}$, 小于重复性标准偏差 s_1 。

于是: $u_1 = u_2 = s_1 = 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

B.3.3.2 标准器修正值引入的不确定度 u_3 的评定

由于多路温湿度测量装置中各通道温度传感器同时同一套标准装置上校准, 如果不考虑恒温槽的温度均匀度, 各路温度传感器的修正值之间应存在强相关性, 即相关系数 $r = 1$ 。因此: $u(\delta t_j - \delta t_0) = u(\delta t_j) - u(\delta t_0)$ 。

另外, 在不考虑恒温槽温度均匀度时, 对于同种型号规格的温度传感器, 在同一温度点上, 修正值的不确定度大致相同, 即 $u(\delta t_j) = u(\delta t_0)$, 于是 $u(\delta t_j - \delta t_0) = 0$ 。

然而, 实际上恒温槽中放置温度传感器的区域存在温度均匀度 (取 $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$), 导致各路温度修正值之间的相关性下降, 由此带来的标准不确定度为:

$$u_3 = u(\delta t_j - \delta t_0) = 0.01/\sqrt{3} = 0.006 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B.3.3.3 标准器稳定性引入的标准不确定度 u_4 的评定

标准器存在漂移, 在校准周期内, 各通道的温度漂移量之间的最大不一致性取 $0.03 \text{ } ^\circ\text{C}$, 服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度为:

$$u_4 = u(\Delta t_j - \Delta t_0) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \approx 0.017 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B.3.4 合成标准不确定度计算

B.3.4.1 标准不确定度汇总表

温度均匀度的标准不确定度分量汇总见表 B.1。

表 B.1 温度均匀度的标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i 值	概率分布	c_i	$ c_i u_i$
u_1	中心点标准器重复性	0.01 °C	正态	1	0.01 °C
u_2	其他点标准器重复性	0.01 °C	正态	1	0.01 °C
u_3	标准器修正值	0.006 °C	均匀	1	0.006 °C
u_4	标准器稳定性	0.017 °C	均匀	1	0.017 °C

B.3.4.2 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{[c_1 u_1]^2 + [c_2 u_2]^2 + [c_3 u_3]^2 + [c_4 u_4]^2} = 0.023 \text{ °C}$$

B.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，温度均匀度扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 0.05 \text{ °C}, k=2$$

附录 C

温湿度标准箱湿度均匀度测量结果的不确定度评定

C.1 测量方法

按照本规范中对温湿度箱湿度均匀度的校准要求，将多路温湿度测量装置的湿度传感器放置在各布点位置，布点要求如图 1 所示。温湿度箱运行并达到规定的稳定时间后，开始记录各布点位置的湿度。每隔 2 min 记录一组数据，共记录 16 组数据。然后计算出这 16 组数据中周围各布点与中心点之间湿度差值的绝对值最大值，即为温湿度标准箱的湿度均匀度。

C.2 测量模型

湿度均匀度根据公式 (C.1) 计算：

$$\Delta H_n = \max(|H_{n0} - H_{nj}|) \quad (j=1, 2, \dots, m-1) \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔH_n ——第 n 时刻中心点位置与其他各布点位置的湿度之差的绝对值最大值，%RH；

H_{n0} ——第 n 时刻中心点位置的湿度值，%RH；

H_{nj} ——第 n 时刻、第 j 布点位置的湿度值，%RH；

m ——布点数量。

该湿度校准点上的湿度均匀度用公式 (C.2) 计算：

$$\Delta H_u = \max(\Delta H_n) \quad (n=1, 2, \dots, 16) \quad (\text{C.2})$$

式中： ΔH_u ——该湿度点上的湿度均匀度，%RH。

假设该湿度点上 ΔH_u 在第 n 时刻、第 j 布点位置上取得最大值，且 $H_{nj} \geq H_{n0}$ ，则公式 (C.2) 可简化为：

$$\Delta H_u = H_{nj} - H_{n0} = h_{nj} - h_{n0} + (\delta h_j - \delta h_0) + (\Delta h_j - \Delta h_0) \quad (\text{C.3})$$

式中：

h_{nj} ——第 n 时刻、第 j 个布点位置的未经修正的湿度记录值，%RH；

h_{n0} ——第 n 时刻、中心点未经修正的湿度记录值，%RH；

δh_j 、 δh_0 ——周围各点与中心点湿度标准器的修正值，%RH；

Δh_j 、 Δh_0 ——周围各点与中心点湿度标准器在校准周期内的漂移量，%RH。

由于湿度测量装置中采用同种型号规格的湿度传感器，且各传感器需同时在同一套标准装置上校准，各通道的特性基本一致，因此采用公式 (C.3) 评定的结果也适用于 ΔH_u 的最大值发生在上述假设条件以外时的情况。

C.3 不确定度评定

C.3.1 不确定度来源

$u(h_{n0})$ 、 $u(h_{nj})$ 分别为中心点标准器和周围各点标准器的重复性和分辨力引入的标准不确定度（取大者）。

$u(\delta h_j - \delta h_0)$ 为标准器修正值引入的标准不确定度。

$u(\Delta h_j - \Delta h_0)$ 为标准器的自热效应和稳定性等引入的标准不确定度。

C.3.2 不确定度传播公式

由公式 (C.3) 得到不确定度传播公式：

$$u(\Delta H_u) = \sqrt{[c_1 u(h_{nj})]^2 + [c_2 u(h_{n0})]^2 + [c_3 u(\delta h_j - \delta h_0)]^2 + [c_4 u(\Delta h_j - \Delta h_0)]^2}$$

令 $u_1 = u(h_{nj})$, $u_2 = u(h_{n0})$, $u_3 = u(\delta h_j - \delta h_0)$,
 $u_4 = u(\Delta h_j - \Delta h_0)$, $u_c = u(\Delta H_u)$, 得到：

$$u_c = \sqrt{[c_1 u_1]^2 + [c_2 u_2]^2 + [c_3 u_3]^2 + [c_4 u_4]^2} \quad (\text{C.4})$$

式中：

c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 为灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta H_u)}{\partial h_{nj}} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial(\Delta H_u)}{\partial h_{n0}} = 1$$

$$c_3 = \frac{\partial(\Delta H_u)}{\partial(\delta h_j - \delta h_0)} = 1$$

$$c_4 = \frac{\partial(\Delta H_u)}{\partial(\Delta h_j - \Delta h_0)} = 1$$

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 标准器的重复性引入的标准不确定度 u_1 和 u_2 的评定

仪器重复性由 10 次重复测量得到：

$$s_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{10-1}}$$

得到 $s_2 = 0.05\% \text{RH}$ 。仪器分辨力为 $0.1\% \text{RH}$ ，由此引入的标准不确定度为 $0.029\% \text{RH}$ ，小于重复性标准偏差 s_1 。于是：

$$u_1 = u_2 = s_2 = 0.05\% \text{RH}$$

C.3.3.2 标准器修正值引入的不确定度 u_3 的评定

由于多路温湿度测量装置各通道湿度传感器同时同一套标准装置上校准，如果不考虑校准装置测试室的湿度均匀度，各路湿度传感器的修正值之间应存在强相关性，即相关系数 $r=1$ 。因此：

$$u(\delta h_j - \delta h_0) = u(\delta h_j) - u(\delta h_0)$$

另外，在不考虑校准装置测试室的湿度均匀度时，对于同种型号规格的湿度传感器，在同一湿度点上，修正值的不确定度大致相同，即 $u(\delta h_j) = u(\delta h_0)$ ，于是 $u(\delta h_j - \delta h_0) = 0$ 。

但是，实际上校准装置工作室中放置湿度传感器的区域存在湿度均匀度（取 $0.1\% \text{RH}$ ），导致各路湿度修正值之间的相关性下降，由此，对标准器修正值带来的标准不确定度为：

$$u_3 = u(\delta h_j - \delta h_0) = 0.1/\sqrt{3} = 0.058\%RH$$

C.3.3.3 标准器稳定性引入的标准不确定度 u_4 的评定

在校准周期内，标准器各通道的湿度漂移量之间的最大不一致性取经验值 0.4%RH，采用 B 类不确定度评定方法，服从均匀分布，由此引入的标准不确定度为：

$$u_4 = u(\Delta h_j - \Delta h_0) = \frac{0.4}{\sqrt{3}} \approx 0.23\%RH$$

C.3.4 合成标准不确定度的计算

C.3.4.1 标准不确定度汇总表

湿度均匀度的标准不确定度分量汇总见表 C.1

表 C.1 湿度均匀度的标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i 值	概率分布	c_i	$ c_i u_i$
u_1	中心点标准器重复性	0.05%RH	正态	1	0.05%RH
u_2	其他点标准器重复性	0.05%RH	正态	1	0.05%RH
u_3	标准器修正值	0.058%RH	均匀	1	0.058%RH
u_4	标准器的稳定性和自热效应	0.23%RH	均匀	1	0.23%RH

C.3.4.2 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{[c_1 u_1]^2 + [c_2 u_2]^2 + [c_3 u_3]^2 + [c_4 u_4]^2} = 0.25\%RH$$

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，湿度均匀度的扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 0.5\%RH, k = 2$$

附录 D

温湿度标准箱温度波动度和温度变化率测量结果的不确定度评定

D.1 测量方法

按照本规范中对温湿度箱温度波动度和温度变化率的校准要求，将多路温湿度测量装置的温度传感器放置在各布点位置，布点要求如图 1 所示。温湿度箱运行并达到规定的稳定时间后，开始记录各布点位置的温度。每隔 2 min 记录一组数据，共记录 16 组数据。然后计算出这 16 组数据中中心点温度在 30 min 内的极差（采用“±”表示时，取极差的 1/2），即为温度波动度。此处对采用“±”表示的温度波动度的不确定度进行评定。

每隔 20 s 记录一组数据，共记录 91 组数据。中心点温度在 30 min 之内每 1 min 内极差的最大值为温度变化率（单位：℃/min）。

D.2 测量模型

D.2.1 温度波动度测量模型

温度波动度根据 7.2.2.3 中的公式计算，由于 $u(\Delta T_f) = u(-\Delta T_f)$ ，故公式中的 ± 号可省略，即：

$$\Delta T_f = \frac{1}{2} [\max(T_{n0}) - \min(T_{n0})] \quad (n=1, 2, \dots, 16) \quad (\text{D.1})$$

式中：

ΔT_f ——该温度点上的温度波动度，℃；

T_{n0} ——第 n 时刻中心点位置的温度值，℃。

$$T_{n0} = t_{n0} + \delta t_0 + \Delta t_0 \quad (n=1, 2, \dots, 16) \quad (\text{D.2})$$

式中：

t_{n0} ——第 n 时刻中心点位置未经修正的温度记录值，℃；

δt_0 ——中心点位置标准器的温度修正值，℃；

Δt_0 ——中心点位置标准器的温度漂移量，℃。

令 $t_{\max} = \max(t_{n0})$ ($n=1, 2, \dots, 16$)， $t_{\min} = \min(t_{n0})$ ($n=1, 2, \dots, 16$)，将公式 (D.2) 代入公式 (D.1)，简化得到：

$$\Delta T_f = \frac{1}{2} (t_{\max} - t_{\min}) \quad (\text{D.3})$$

式中：

t_{\max} ——中心点温度最大记录值，℃；

t_{\min} ——中心点温度最小记录值，℃。

D.2.2 温度变化率测量模型

温度变化率根据 7.2.2.3 中的公式计算：

$$\Delta T_{vk} = \max(T'_{i0}) - \min(T'_{i0}) \quad (i=3k-2, 3k-1, 3k, 3k+1) \quad (\text{D.4})$$

$$\Delta T_v = \max(\Delta T_{vk}) \quad (k=1, 2, \dots, 30) \quad (\text{D.5})$$

式中：

ΔT_{vk} ——第 k min 内的温度极差，℃；

T'_{i0} ——第 i 时刻中心点位置的温度值，℃；

ΔT_v ——该温度点上的温度变化率，℃。

假设 ΔT_v 在第 k min 时取得最大值，于是：

$$\Delta T_v = \Delta T_{vk} = \max(T'_{i0}) - \min(T'_{i0}) \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1) \quad (\text{D.6})$$

$$T'_{i0} = t'_{i0} + \delta t_0 + \Delta t_0 \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1) \quad (\text{D.7})$$

式中：

t'_{i0} ——第 i 时刻中心点位置未经修正的温度记录值，℃；

δt_0 ——中心点位置标准器的温度修正值，℃；

Δt_0 ——中心点位置标准器的温度漂移量，℃。

将公式 (D.7) 代入公式 (D.6)，简化得到：

$$\Delta T_v = \max(t'_{i0}) - \min(t'_{i0}) \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1) \quad (\text{D.8})$$

$$\text{令：} t'_{\max} = \max(t'_{i0}) \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1)；$$

$$t'_{\min} = \min(t'_{i0}) \quad (i = 3k - 2, 3k - 1, 3k, 3k + 1)$$

公式 (D.8) 简化为：

$$\Delta T_v = t'_{\max} - t'_{\min} \quad (\text{D.9})$$

D.3 不确定度评定

D.3.1 不确定度来源

$u(t_{\max})$ 、 $u(t_{\min})$ 、 $u(t'_{\max})$ 和 $u(t'_{\min})$ 均为标准器的重复性和分辨力引入的标准不确定度（两者取大者）。

D.3.2 不确定度传播公式

D.3.2.1 温度波动度的不确定度传播公式

由公式 (D.3) 得到温度波动度的不确定度传播公式：

$$u(\Delta T_f) = \frac{1}{2} \sqrt{[u(t_{\max})]^2 + [u(t_{\min})]^2}$$

因 $u(t_{\max})$ 和 $u(t_{\min})$ 为同一个量的同种不确定度，故 $u(t_{\max}) = u(t_{\min})$ 。令 $u_1 = u(t_{\max})$ ， $u_c = u(\Delta T_f)$ ，得到：

$$u_c = c_1 u_1 \quad (\text{D.10})$$

式中，灵敏系数： $c_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 。

D.3.2.2 温度变化率的不确定度传播公式

由公式 (D.9) 得到温度变化率的不确定度传播公式：

$$u(\Delta T_v) = \sqrt{[u(t'_{\max})]^2 + [u(t'_{\min})]^2}$$

因 $u(t'_{\max})$ 和 $u(t'_{\min})$ 为同一个量的同种不确定度，故 $u(t'_{\max}) = u(t'_{\min})$ 。令 $u'_1 = u(t'_{\max})$ ， $u'_c = u(\Delta T_v)$ 得到：

$$u'_c = c'_1 u'_1 \quad (\text{D.11})$$

式中，灵敏系数： $c'_1 = \sqrt{2}$ 。

D.3.3 标准不确定度评定

D.3.3.1 标准器的重复性引入的标准不确定度 u_1 和 u'_1 的评定

仪器重复性由 10 次重复测量得到：

$$s_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10-1}}$$

得到 $s_3 = 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。仪器分辨力为 $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，由此引入的标准不确定度为 $0.0029 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，小于重复性标准偏差 s_3 。于是 $u_1 = u'_1 = s_3 = 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

D.3.4 合成标准不确定度

D.3.4.1 标准不确定度汇总表

温度波动度和温度变化率的标准不确定度分量汇总表见表 D.1、表 D.2。

表 D.1 温度波动度的标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i 值	概率分布	c_i	$ c_i u_i$
u_1	标准器重复性	$0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$	正态	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$0.007 \text{ } ^\circ\text{C}$

表 D.2 温度变化率的标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 u'_i	不确定度来源	标准不确定度 u'_i 值	概率分布	c'_i	$ c'_i u'_i$
u'_1	标准器重复性	$0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$	正态	$\sqrt{2}$	$0.014 \text{ } ^\circ\text{C}$

D.3.4.2 合成标准不确定度的计算

$$u_c = c_1 u_1 = 0.007 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$u'_c = c'_1 u'_1 = 0.014 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，温度波动度的扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 0.02 \text{ } ^\circ\text{C}, k=2$$

取包含因子 $k'=2$ ，温度变化率的扩展不确定度：

$$U' = k' \times u'_c = 0.03 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}, k=2$$

采用同样的方法，可以得到：

湿度波动度的扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 0.1\% \text{RH}, k=2$$

湿度变化率的扩展不确定度：

$$U' = k' \times u'_c = 0.2\% \text{RH}/\text{min}, k=2$$