



中华人民共和国工业和信息化部 建材计量技术规范

JJF(建材) XXXX—2025

混凝土碳化试验箱校准规范

Calibration Specification for Concrete Carbonation
Test Chamber

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

混凝土碳化试验箱校准规范

Calibration Specification for Concrete Carbonation Test
Chamber

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：北京建筑材料检验研究院股份有限公司

北京市计量检测科学研究院

苏州市东华试验仪器有限公司

参加起草单位：北京金隅混凝土有限公司

四方光电股份有限公司

本标准委托全国建材计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：赵彦玲（北京建筑材料检验研究院股份有限公司）

赵晓宁（北京市计量检测科学研究院）

王毅成（苏州市东华试验仪器有限公司）

参加起草人：张全贵（北京金隅混凝土有限公司）

李俊亮（北京建筑材料检验研究院股份有限公司）

何 涛（四方光电股份有限公司）

薛 睿（北京建筑材料检验研究院股份有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
7 校准项目和方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
7.3 数据处理	(3)
8 校准结果的表达	(6)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录A 校准记录格式	(8)
附录 B 校准证书内页式	(10)
附录 C 温度偏差校准结果不确定度评定示例.....	(11)
附录 D 湿度偏差校准结果不确定度评定示例.....	(13)
附录 E 二氧化碳浓度示值误差校准结果不确定度评定示例.....	(16)

引 言

本规范依据 JJF 1001-2011《通用计量名词术语与定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范而制定。

本规范主要参考 JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、JG/T247-2009《混凝土碳化试验箱》、GB/T50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》、JJG 635-2011《一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器检定规程》等技术资料编制而成。

本规范所代替的历次版本发布情况为：

——JJF(建材) 217-2024。

混凝土碳化试验箱校准规范

1 范围

本规范适用于混凝土碳化试验箱的温度、湿度、二氧化碳浓度参数的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 635-2011 一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器检定规程

JJF 1101-2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

JG/T 247-2009 混凝土碳化试验箱

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

3.1 稳定状态 steady state

混凝土碳化试验箱工作空间内任意点的温度、相对湿度、二氧化碳浓度变化量达到设备本身性能指标要求时的状态。

[JJF 1101-2019, 术语 3.3, 有修改]

3.2 温度偏差 temperature deviation

混凝土碳化试验箱稳定状态下，工作空间各测量点在规定时间内实测最高温度和最低温度与设定温度的上下偏差，温度偏差包含温度上偏差和温度下偏差。

[JJF 1101-2019, 术语 3.4, 有修改]

3.3 温度波动度 temperature fluctuation

混凝土碳化试验箱稳定状态下，在规定的时间内，工作空间任意测量点温度随时间的变化量，取最大值作为该设备的波动度。

[JJF 1101-2019, 术语 3.6, 有修改]

3.4 温度均匀度 temperature uniformity

混凝土碳化试验箱稳定状态下, 工作空间在某一瞬时任意两测量点温度之间的最大差值。

[JJF 1101-2019, 术语 3.8, 有修改]

3.5 相对湿度偏差 relative humidity deviation

混凝土碳化试验箱稳定状态下, 工作空间各测量点在规定时间内实测最高相对湿度和最低相对湿度与设定相对湿度的上下偏差。相对湿度偏差包含相对湿度上偏差和相对湿度下偏差。

[JJF 1101-2019, 术语 3.5, 有修改]

3.6 相对湿度均匀度 relative humidity uniformity

混凝土碳化试验箱稳定状态下, 工作空间在某一瞬时任意两点相对湿度之间的最大差值。

[JJF 1101-2019, 术语 3.9, 有修改]

3.7 相对湿度波动度 relative humidity fluctuation

混凝土碳化试验箱稳定状态下, 在规定时间间隔内, 工作空间任意一点相对湿度随时间的变化量。

[JJF 1101-2019, 术语 3.7, 有修改]

3.8 二氧化碳浓度偏差 CO₂ concentration deviation

混凝土碳化试验箱稳定状态下, 二氧化碳浓度分析仪五个测量点测量值的平均值与混凝土碳化试验箱二氧化碳浓度的设定值的差值。

3.9 二氧化碳浓度均匀度 CO₂ concentration uniformity

混凝土碳化试验箱稳定状态下, 工作空间在某一瞬时任意两点二氧化碳浓度之间的最大差值。

3.10 二氧化碳浓度波动度 CO₂ concentration fluctuation

混凝土碳化试验箱稳定状态下，在规定时间内，工作空间任意一点二氧化碳随时间的变化量。

4 概述

混凝土碳化试验箱是进行混凝土碳化试验的专用设备，是一个密闭的箱体，试件放置在箱体内隔板上，然后通过控制系统按设定的温度、相对湿度、CO₂ 浓度进行自动控制，以保证箱内恒温、恒湿、CO₂ 浓度恒定。适用于测定在规定的温湿度条件下，处于一定浓度（20%以内）的二氧化碳气体介质中的混凝土试件的碳化深度。混凝土碳化试验箱通常由箱体、温度控制系统、湿度控制系统和二氧化碳浓度控制和测量系统等组成，混凝土碳化试验箱内应设有校准用的检测口。如图 1 所示。

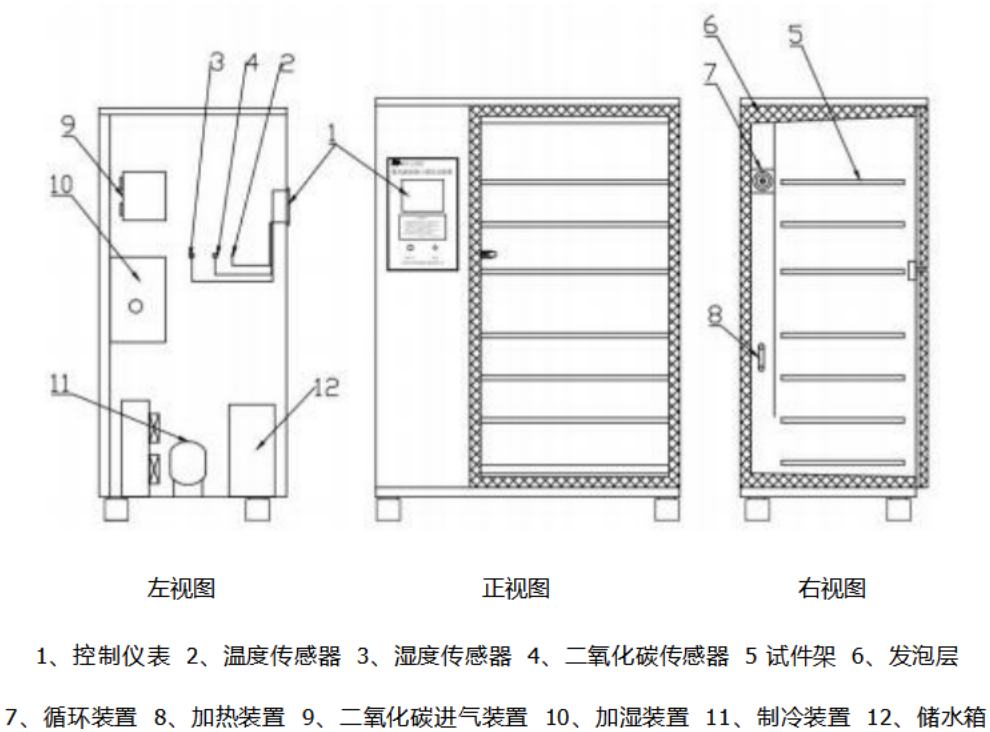


图1 混凝土碳化试验箱的结构原理示意图

5 计量特性

混凝土碳化试验箱的计量特性见表 1。

表 1 混凝土碳化试验箱设备计量特性技术要求

参数名称		温度 (20℃)	相对湿度 (70%RH)	二氧化碳浓度 (20%)
技术要求	偏差	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$	$\pm 5.0\%\text{RH}$	$\pm 0.5\text{mol/mol}$
	均匀度	1.0°C	$7.0\%\text{RH}$	1mol/mol
	波动度	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 3\%\text{RH}$	$\pm 1\text{mol/mol}$

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(15~35)℃，相对湿度：≤85%RH，大气压力：(80~106) kPa。

6.1.2 密闭性要求：初始二氧化碳浓度为20%mol/mol，混凝土碳化试验箱空载运转时，关闭二氧化碳供应阀门后继续运行2h，二氧化碳浓度不应低于15%mol/mol。

6.1.3 混凝土碳化试验箱及标准器应不被雨淋、水浸，周围无强烈振动及强电磁场影响。

6.2 校准用标准器

校准用标准器见表 2。

表 2 校准用标准器

设备名称	主要技术指标
温度测量标准器	温度测量范围 t ：(-50~50)℃，分辨力：不低于 0.01℃，最大允许误差： $\pm (0.15+0.002 t)^{\circ}\text{C}$
湿度测量标准器	湿度测量范围：(10~90) %RH，分辨力：不低于 0.1%RH，最大允许误差： $\pm 2.0\%\text{RH}$
二氧化碳气体分析仪	测量范围 (0~25) %mol/mol，分辨力：不低于 0.01%mol/mol 最大允许误差： $\pm 0.2\% \text{ mol/mol}$

注：

1. 测量标准器用传感器数量不少于 7.2 要求设置的数量,并能满足校准工作需求。
2. 测量标准器的测量结果包含修正值或经校准修正。
3. 测量标准技术指标为包含传感器和采集设备的整体指标

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准的温度、湿度点、二氧化碳浓度点分别选择 20℃ 、 70%RH、 20% mol/mol。

7.2 校准方法

7.2.1 测量点的位置

测量点的位置应布置在设备箱体的三个校准面上，简称上、中、下三层， 中层为通过箱体几何中心的平行于底面的校准工作面，测量点与箱体的内壁的距离不小于各个边长的1/10。如果设备带有样品架或样品车时，下层测量点可分布在样品架或样品车上方 10mm处。传感器测量点布放位置也可根据用户实际工作进行布置。

7.2.2 测量点的数量

温度传感器测量点为1、2、3、4、5、6、7、8、9，共9个位置,湿度传感器测量点为 A、B、O，共3个位置。二氧化碳传感器测量点为1，3，5，7，9，共5个位置，如图2所示。

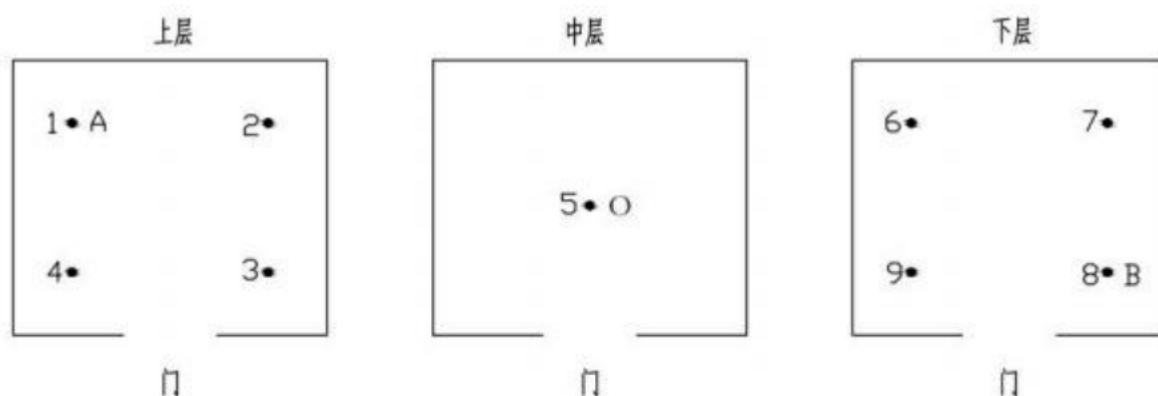


图2 测量点的布置

注： 当设备容积大于2m³ 时，测量点可适当增加并图示说明。

7.2.3 温度、湿度的校准

按7.2.1和7.2.2规定放置温湿度传感器，将设备的温度、湿度控制器设定到所要求的标称温度、湿度，启动运行设备，待设备内部温湿度稳定后，以2min为时间间隔记录所有测试点的温度、湿度一次，在30min内共测试16次并记录数据。也可以依据设备运行状况和用户校准需求确定时间间隔和数据记录次数,并在原始记录和校准证书中进行说明。

7.2.4 二氧化碳浓度校准

按7.2.1和7.2.2规定放置二氧化碳传感器，混凝土碳化试验箱在校准之前要对二

氧化碳浓度值的零位依据厂家说明书流程对进行二氧化碳浓度值的零点校正。

在依据7.1设定的工作条件下，将混凝土碳化试验箱的二氧化碳浓度设定到所选择的校准点上，待仪器的显示值达到稳定状态后开始进行测试。1、抽气式测量方法：将取样管放在7.2.2要求的箱体内五个位置，通过箱体的取样口，利用气泵将样气送至传感器的感应区，对箱内气体的二氧化碳浓度进行测量。2、传感器探头式测量方法：将二氧化碳探头感应部位置于7.2.2要求的箱体内五个位置，二氧化碳浓度分析仪显示部分置于箱体外侧，对箱内气体的二氧化碳浓度进行测量。每2min记录一次，共记录3次，取平均值做为该点测量结果。

7.3 数据处理

7.3.1 温度偏差

混凝土碳化试验箱稳定状态下，工作空间各测量点在规定时间内实测最高温度和最低温度与设定温度的偏差。温度偏差包含温度上偏差和温度下偏差，计算如下：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (1)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (2)$$

式中：

Δt_{\max} ——温度上偏差，℃；

Δt_{\min} ——温度下偏差，℃；

t_{\max} ——各测量点规定时间内测量的最高温度，℃；

t_{\min} ——各测量点规定时间内测量的最低温度，℃；

t_s ——混凝土碳化试验箱设定温度，

7.3.2 温度均匀度

混凝土碳化试验箱在稳定状态下，在30min内，每2min测试一次，每次测试中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值。

$$\Delta t_{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{\max} - t_{\min}) / n \quad (3)$$

式中：

Δt_{μ} ——温度均匀度，℃；

n ——测量次数；

t_{\max} ——各测量点在第*i*次测得的最高温度，℃；

t_{\min} ——各测量点在第*i*次测得的最低温度，℃。

7.3.3 温度波动度

混凝土碳化试验箱在稳定状态下,工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测试一次)实测最高温度与最低温度之差的一半,冠以 “ ± ” 号,取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果。

$$\Delta t_f = \pm \max [(t_{j\max} - t_{j\min}) / 2] \quad (4)$$

式中:

Δt_f ——温度波动度,℃;

$t_{j\max}$ ——测量点*j*在第*n*次测得的最高温度,℃;

$t_{j\min}$ ——测量点*j*在第*n*次测得的最低温度,℃。

7.3.4 相对湿度偏差

$$\Delta h_{\max} = h_{\max} - h_s \quad (5)$$

$$\Delta h_{\min} = h_{\min} - h_s \quad (6)$$

式中:

Δh_{\max} ——相对湿度上偏差,%RH;

Δh_{\min} ——相对湿度下偏差,%RH;

h_{\max} ——各测量点规定时间内测量的最高湿度,%RH;

h_{\min} ——各测量点规定时间内测量的最低湿度,%RH;

h_s ——设备设定湿度,%RH。

7.3.5 相对湿度均匀度

混凝土碳化试验箱在稳定状态下,在30min内(每2min测试一次)每次测试中实测最高相对湿度与最低相对湿度之差的算术平均值。

$$\Delta h_{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{i\max} - h_{i\min}) / n \quad (7)$$

式中:

Δh_{μ} ——相对湿度均匀度,%RH;

n ——测量次数;

h_{\max} ——各测量校准点在第*i*次测得的最高湿度，%RH；

h_{\min} ——各测量校准点在第*i*次测得的最低湿度，%RH。

7.3.6 相对湿度波动度

混凝土碳化试验箱在稳定状态下,工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测试一次)实测最高相对湿度与最低相对湿度之差的一半,冠以 “ ± ” 号,取全部测量点中变化量的最大值作为相对湿度波动度校准结果。

$$\Delta h_f = \pm \max [(h_{j\max} - h_{j\min}) / 2] \quad (8)$$

式中:

Δh_f ——相对湿度波动度，%RH；

$h_{j\max}$ ——测量点*j*在第*n*次测得的最高相对湿度，%RH；

$h_{j\min}$ ——测量点*j*在第*n*次测得的最低相对湿度，%RH。

7.3.7 二氧化碳浓度偏差

$$\delta = \overline{C_d} - \overline{C_o} \quad (9)$$

式中:

$\overline{C_d}$ ——二氧化碳气体分析仪测量的平均值，%mol/mol；

$\overline{C_o}$ ——混凝土碳化试验箱二氧化碳浓度的设定值，%mol/mol；

δ ——二氧化碳浓度偏差，%mol/mol。

7.3.8 二氧化碳浓度均匀度

$$\Delta C_\mu = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{i\max} - C_{i\min})^2} / n \quad (10)$$

式中:

ΔC_μ ——二氧化碳浓度均匀度，%mol/mol；

n ——测量次数；

$C_{i\max}$ ——各测量校准点在第*i*次测得的最高二氧化碳度，%mol/mol；

$C_{i\min}$ ——各测量校准点在第 *i* 次测得的最低二氧化碳度，%mol/mol。

7.3.9 二氧化碳浓度波动度

$$\Delta C_f = \pm \max [(C_{j\max} - C_{j\min}) / 2] \quad (11)$$

式中：

ΔC_f ——二氧化碳浓度波动度，%mol/mol；

$C_{j\max}$ ——测量点j在第n次测得的最高二氧化碳浓度，%mol/mol；

$C_{j\min}$ ——测量点j在第n次测得的最低二氧化碳浓度，%mol/mol。

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映，校准证书或报告至少包括以下信息（送校单位也可根据实际情况自主确定）：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书或报告唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，需要时应说明送校日期；
- 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性说明；
- j) 校准环境描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，一般不超过1年。在此期间，如果对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后应对仪器重新校准。

附录 A

混凝土碳化试验箱校准原始记录参考

被检单位				记录编号	
仪器名称				生产厂家	
型号规格				出厂编号	
主要 计量 标准 器具	名称	型号	编号	溯源机构/证书编号	
	测量范围		准确度等级或最大允差或不确定度		有效期至
校准环境条件	温度 (°C)		相对湿度 (%)		校准地点
标准设备	校准前: <input type="checkbox"/> 正常, <input type="checkbox"/> 不正常			校准后: <input type="checkbox"/> 正常, <input type="checkbox"/> 不正常	
校准依据:					

一、温度部分:

温度设定值: ____ °C

单位: °C

次数	温度点实测值								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
上偏差			均匀度				波动度		
下偏差									
校准结果的扩展测量不确定度， $k=2$ ：									

二、湿度部分：

湿度设定值：_____ %RH 大气压力：_____ kPa 单位： %RH

位置	湿度点实测值								
	0	A	B						
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									

14									
15									
16									
上偏差				波动度	均匀度				
下偏差									
校准结果的扩展测量不确定度, $k=2$:									

三、二氧化碳浓度部分：

二氧化碳浓度设定值：_____ %mol/mol

单位： %mol/mol

二氧化碳气体分析仪	1、	3、	5、	7、	9、
第一次测量值					
第二次测量值					
第三次测量值					
平均值					
二氧化碳浓度偏差					
二氧化碳浓度均匀度					
二氧化碳浓度波动度					
校准结果的扩展测量不确定度， $k=2$ ：					

附录 B

校准证书内页参考格式

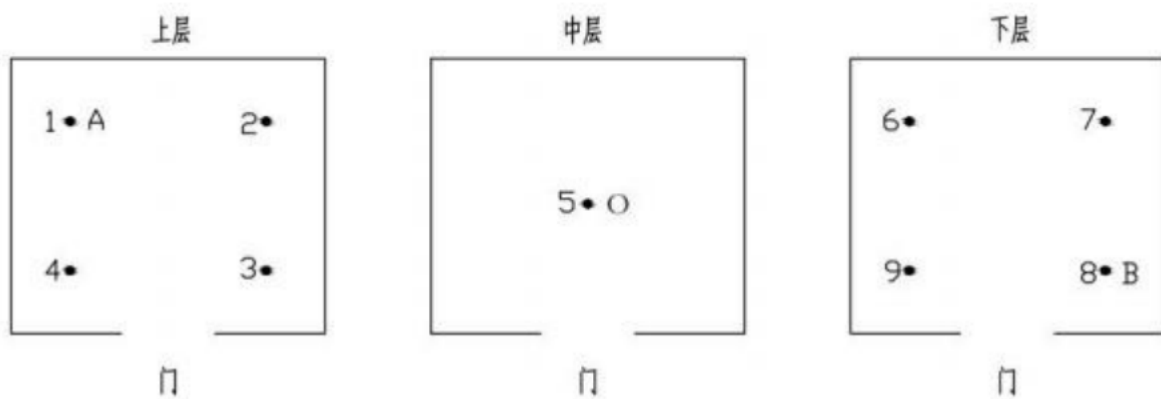
校准环境条件：温度_____℃ 相对湿度_____RH 大气压力_____kPa

校准技术依据：

校准结果

1. 温度偏差
2. 温度均匀度
3. 温度波动度
4. 相对湿度偏差
5. 相对湿度均匀度
6. 相对湿度波动度
7. 二氧化碳浓度偏差
8. 二氧化碳浓度均匀度
9. 二氧化碳浓度波动度

校准结果的扩展测量不确定度：



图B.1 测量点的布置示意图

附录 C

温度偏差校准结果测量不确定度评定示例

C.1 概述

混凝土碳化试验箱温度偏差的测量，先按照规范布点原则，布点后，设置校准温度。校准的温度一般应该选择用户实际需要的常用温度点，以温度 20℃为例。待被校设备达到设定值且稳定后开始记录混凝土碳化试验箱内各温度测量点的温度，记录时间间隔为2min，30min 内共记录16组数据。混凝土碳化试验箱稳定状态下，工作空间各测量点在规定时间内实测最高温度和最低温度与设备设定温度的偏差。温度偏差包含温度上偏差和温度下偏差。由于上偏差与下偏差不确定度来源和数值相同，因此仅以温度上偏差数据作为温度偏差不确定度评定。

C.2 测量模型

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (\text{C.1})$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (\text{C.2})$$

式中：

Δt_{\max} 温度上偏差，℃；

Δt_{\min} 温度下偏差，℃；

t_{\max} 各测量点规定时间内测量的最高温度，℃

t_{\min} 各测量点规定时间内测量的最低温度，℃

t_s —温湿度试验设备设定温度，℃；

C.3 标准不确定度分量

C.3.1 标准器测量重复性引入的标准不确定度分量

在校准点 20℃对被校设备进行 15 次独立测量, 从标准器上读数, 得: 19.95℃, 19.96℃, 19.96℃, 19.87℃, 19.91℃, 19.94℃, 19.86℃, 19.93℃, 19.98℃, 19.92℃, 19.88℃, 19.97℃, 19.91℃, 19.92℃, 19.98℃。

$$\text{单次实验标准偏差为: } u_1 = s_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (t_{oi} - \bar{t}_o)^2} = 0.039^\circ\text{C}$$

C.3.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量

由于标准器的分辨力引入的标准不确定度按均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$ 。

$$u_2 = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029^\circ\text{C}$$

由于标准器的分辨力所引入的不确定度分量远小于标准器重复性所引入的不确定度分量, 因此 u_2 可忽略不计。

C.3.3 标准器修正值引入的标准不确定度分量

标准器温度修正值最大不确定度估算为 $U=0.07^\circ\text{C}$, $k=2$, 则标准器温度修正值引入的标准不确定度分量:

$$u_3 = 0.07/2 = 0.035^\circ\text{C}$$

C.3.4 标准器稳定性引入的标准不确定度分量

(-50~50)℃时, 本标准器相邻两次校准温度修正值最大变化 0.10℃, 按均匀分布考虑, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u_4 = 0.10 / \sqrt{3} = 0.06^\circ\text{C}$$

C.4 合成标准不确定度的评定

C.4.1 不确定度来源汇总表

不确定度来源汇总表见表 C.1。

表 C.1 不确定度来源汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度数值(C)
u_1	标准器测量重复性	0.039
u_2	标准器分辨力	0.0029 (可忽略不计)
u_3	标准器修正值	0.035
u_4	标准器稳定性	(-50 ~ 50)C: 0.06

C.4.2 温度偏差合成标准不确定度

由于温度偏差(上偏差, 下偏差)的不确定度来源一致, 且 u_1 u_2 u_3 u_4 相互独立, 则根据公式 $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.080^\circ\text{C}$

C.5 计算扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 测量范围: (-50 ~ 50)C, 温度偏差的扩展测量不确定度

$U=0.16^\circ\text{C}$ 。

附录 D

相对湿度偏差校准结果的测量不确定度评定示例

D.1 概述

按照规范校准要求,将标准器湿度传感器在被校设备内布点,被校设备设定校准点 75%RH 并开启运行。待被校设备达到设定值且稳定后开始记录标准器显示的各测试点的相对湿度值,记录时间间隔为 2min,30min 内共记录 16 组数据。相对湿度上偏差为各测试点 30min 内测量的最高相对湿度与设定相对湿度的差值。由于上偏差与下偏差不确定度来源和数值相同,因此仅以相对湿度上偏差数据作为相对湿度偏差不确定度评定。

D.2 测量模型

$$\Delta h_{\max} = h_{\max} - h_s \quad (\text{D.1})$$

$$\Delta h_{\min} = h_{\min} - h_s \quad (\text{D.2})$$

式中:

Δh_{\max} ——相对湿度上偏差, %RH;

Δh_{\min} ——相对湿度下偏差, %RH;

h_{\max} ——各测量点规定时间内测量的最高相对湿度, %RH;

h_{\min} ——各测量点规定时间内测量的最低相对湿度, %RH;

h_s ——设备设定相对湿度，%RH。

D.3 标准不确定度分量

D.3.1 标准器测量重复性引入的标准不确定度分量

在校准点 75%RH 对被校设备进行 15 次独立测量，从标准器上读数，得：

74.85%RH、74.81%RH、74.92%RH、75.04%RH、75.12%RH、75.29%RH、75.48%RH、
75.19%RH、75.02%RH、75.14%RH、75.31%RH、75.19%RH、75.06%RH、75.21%RH、
75.30%RH。

$$\text{单次实验标准偏差为: } u_1 = s(h_o) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (h_{oi} - \bar{h}_o)^2} = 0.184\%RH$$

D.3.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量

标准器相对湿度分辨力为 0.1%，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_2 = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029\%RH$$

由于标准器的分辨力引入的不确定度分量远小于由标准器重复性引入的不确定度分量，因此 u_2 可忽略不计。

D.3.3 标准器修正值引入的标准不确定度分量

标准器相对湿度修正值最大不确定度估算为 $U=0.9\%RH$ ， $k=2$ ，则标准器相对湿度修正值引入的标准不确定度分量：

$$u_3 = 0.9/2 = 0.45\%RH$$

D.3.4 标准器稳定性引入的标准不确定度分量

本标准器 10% RH ~ 90% RH 内, 相邻两次校准相对湿度修正值最大变化 0.5%RH, 按均匀分布考虑, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u_4=0.5/\sqrt{3}=0.29\%RH$$

D.4 合成标准不确定度的评定

D.4.1 不确定度来源汇总表

不确定度来源汇总表见表 D. 1。

表 D.1 不确定度来源汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度数值(%RH)
u_1	标准器测量重复性	0.184
u_2	标准器分辨力	0.029 (可忽略不计)
u_3	标准器修正值	0.45
u_4	标准器稳定性	0.29

D.4.2 合成标准不确定度的计算

由于相对湿度偏差(上偏差, 下偏差)的不确定度来源一致, 且 u_1 u_2 u_3 u_4 相互独立, 各分量彼此独立, $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.57\%RH$

D.5 湿度偏差合成标准不确定度

湿度偏差合成标准不确定度见表 D.2。

表 D.2 相对湿度偏差合成标准不确定度

测量范围 (%RH)	相对湿度偏差合成标准不确定度分量 u_c (%RH)
10 ~ 90	0.57

D.6 计算扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则有测量范围：（ 10 ~ 90 ）%RH，相对湿度偏差测量结果扩展不确定度为： $U = 1.2\%RH$ 。

附录 E

二氧化碳浓度偏差校准结果不确定度评定示例

E.1 概述

二氧化碳气体传感器的位置一般放置在箱体内的五个点上（即1、3、5、7、9点），将混凝土碳化试验箱的二氧化碳浓度设定到所选择的校准点上，待仪器的显示值达到稳定状态后开始进行测试。1、抽气式测量方法：将取样管的五个点上，或者通过箱体的取样口，利用气泵将样气送至传感器的感应区，对箱内气体的二氧化碳浓度进行测量。2、传感器探头式测量方法：将二氧化碳探头感应部位置于箱体内五个位置（即1、3、5、7、9点），二氧化碳浓度分析仪显示部分置于箱体外侧。每2min记录一次，共记录3次，取所有测量点平均值做为测量结果。

E.2 测量模型

$$\delta = \overline{C_d} - \overline{C_0} \quad (\text{E. 1})$$

式中：

$\overline{C_d}$ ——二氧化碳气体分析仪测量的平均值，%mol/mol；

$\overline{C_0}$ ——混凝土碳化试验箱二氧化碳浓度的设定值，%mol/mol；

δ ——二氧化碳浓度偏差，%mol/mol。

E.3 标准不确定度分量

E.3.1 由气体流量波动引入的标准不确定度分量

以设定二氧化碳浓度为 20%mol/mol 为例，根据经验，由气体流量波动对分析仪示值引起的变化为 0.05%。

由气体流量波动引入的标准不确定度：

$$u_1 = s_1 / \sqrt{3} = 0.029\% \text{mol/mol}$$

E.3.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量

标准器分辨力为 0.01%mol/mol, 按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_2 = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029\% \text{mol/mol}$$

由于标准器的分辨力引入的不确定度分量远小于由标准器重复性引入的不确定度分量, 因此 u_2 可忽略不计。

E.3.3 标准器重复性引入的标准不确定度分量

以设定二氧化碳浓度 20%mol/mol 为例, 从标准器显示面板上读取 10 次显示值, 得 19.91, 19.90, 19.89, 19.89, 19.88, 19.89, 19.89, 19.88, 19.88, 19.90 (单位: %mol/mol)。

$$\text{单次实验标准偏差为: } u_2 = s_2 = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{i=1}^n [C_{oi} - \bar{C}_o]^2} = 0.01\% \text{mol/mol}$$

由 3 次重复测量所引入的标准不确定度:

$$u_2 = s_2 / \sqrt{3} = 0.0057\% \text{mol/mol}$$

由于标准器的重复性引入的标准不确定度分量远小于标准分辨力引入的不确定度分量, 故可以忽略不计。

E.3.4 标准器最大允许误差引入的标准不确定度分量

由标准器技术指标可知: 测量标准器二氧化碳气体分析仪的最大允许误差为 $\pm 0.2\% \text{mol/mol}$, 按照均匀分布, 则标准器二氧化碳浓度检测引入的标准不确定度分量为

$$u_3 = 0.2\% / \sqrt{3} = 0.115\% \text{mol/mol}$$

E.4 合成标准不确定度的评定

E.4.1 不确定度来源汇总表

不确定度来源汇总表见表 E. 1。

表 E. 1 不确定度来源汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度数值 (% mol/mol)
u_1	气体流量波动引入	0.029
u_2	标准器分辨力	0.0029
u_3	标准器重复性	0.0057 (可忽略不计)
u_4	标准器上级证书	二氧化碳浓度浓度 20%mol/mol 时, 0.115

E.4.2 合成标准不确定度

二氧化碳浓度 20%mol/mol 时, u_1 、 u_2 、 u_3 相互独立, 则根据公式

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_4^2} = 0.118\% \text{mol/mol}$$

E.5 计算扩展不确定度

二氧化碳浓度 20%mol/mol 时, 二氧化碳浓度示值误差不确定度为

$$U = k u_c = 0.24\% \text{mol/mol}, k=2$$