

# 安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 153—2023

## 混凝土碳化试验箱校准规范

Calibration Specification for  
Concrete carbonation test chamber

2023-01-09 发布

2023-03-01 实施

安徽省市场监督管理局 发布



# 混凝土碳化试验箱校准规范

Calibration Specification for

Concrete carbonation test chamber

JJF(皖)153-2023

归口单位：安徽省热工计量技术委员会

主要起草单位：阜阳市计量测试研究所

合肥工大共达工程检测试验有限公司

太和县市场监督检验所

参加起草单位：上海荣计达仪器科技有限公司

本规范委托安徽省热工计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

黄文虎（阜阳市计量测试研究所）

王子炯（阜阳市计量测试研究所）

朱 辉（阜阳市计量测试研究所）

张 颖（合肥工大共达工程检测试验有限公司）

孙 勇（太和县市场监督检验所）

**参加起草人：**

王秀峰（上海荣计达仪器科技有限公司）

张明森（阜阳市计量测试研究所）

任俊豪（阜阳市计量测试研究所）

# 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 )
6.1 校准环境条件	( 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 数据处理	( 5 )
8 校准结果的表达	( 7 )
9 复校时间间隔	( 7 )
附录 A 混凝土碳化试验箱校准原始记录参考格式	( 8 )
附录 B 混凝土碳化试验箱校准证书的内页参考格式	( 12 )
附录 C 混凝土碳化试验箱温度偏差测量不确定度评定示例	( 14 )
附录 D 混凝土碳化试验箱湿度偏差测量不确定度评定示例	( 16 )
附录 E 混凝土碳化试验箱二氧化碳浓度偏差测量不确定度评定示例	( 18 )

# 引 言

本规范依据 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、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》规定的规则编写。

本规范制定时主要参考 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》。

本规范为首次发布。

# 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（以下简称试验箱）的温度、湿度、二氧化碳浓度参数校准。

## 2 引用文件

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 工作空间 working space

试验箱中能将规定的温度、湿度、二氧化碳浓度保持在规定偏差范围内的那部分空间。

### 3.2 稳定状态 steady state

试验箱工作空间内任意点的温度、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。

### 3.3 温度偏差 temperature deviation

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。

### 3.4 温度均匀度 temperature uniformity

试验箱稳定状态下，工作空间在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

### 3.5 湿度偏差 relative humidity deviation

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湿度和最低湿度与设定湿度的上下偏差。湿度偏差包含湿度上偏差和湿度下偏差。

### 3.6 湿度均匀度 humidity uniformity

试验箱稳定状态下，工作空间在某一瞬时任意两点湿度之间的最大差值。

### 3.7 二氧化碳浓度偏差 CO<sub>2</sub> concentration deviation

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二氧化碳浓度和最低二氧化碳浓度与设定二氧化碳浓度的上下偏差。二氧化碳浓度偏差包含二氧化碳浓度上偏差和二氧化碳浓度下偏差。

### 3.8 二氧化碳浓度均匀度 uniformity of CO<sub>2</sub> concentration

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。

## 4 概述

试验箱为一个密闭的箱体,试件放置在箱体内隔板上,然后通过微电脑按设定的温度、湿度、二氧化碳浓度进行自动控制,以保证箱内温度、湿度、二氧化碳浓度处于稳定状态。试验箱主要由箱体、温度控制系统、湿度控制系统及二氧化碳浓度控制系统等组成。

## 5 计量特性

试验箱的温度偏差、温度均匀度、湿度偏差、湿度均匀度、二氧化碳浓度偏差、二氧化碳浓度均匀度技术要求见表 1。

表 1 试验箱温度、湿度、二氧化碳浓度技术要求

参数名称	技术要求
温度偏差	±1.0℃ (20℃)
温度均匀度	1.0℃ (20℃)
湿度偏差	±5.0%RH (20℃)
湿度均匀度	5.0%RH (20℃)
二氧化碳浓度偏差	±2.0% (20℃)
二氧化碳浓度均匀度	2.0% (20℃)

注:以上指标要求不用于合格性判断,仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

温度: (15~35)℃, 湿度: ≤85%RH, 大气压力: (80~106) kPa;

环境条件应同时满足标准设备使用的其他相关要求。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 温度测量标准

温度测量标准一般应选用多通道温度显示仪表或多路温度测量装置,传感器宜选用四线制铂电阻温度计,通道传感器数量 9 个,并能满足校准工作需求。

#### 6.2.2 湿度测量标准

湿度测量标准一般应选用多通道温湿度显示仪表或多路温湿度测量装置,通道传感



器数量 5 个，并能满足校准工作需求。

### 6.2.3 二氧化碳浓度测量标准

二氧化碳浓度测量标准一般应选用多通道二氧化碳浓度显示仪表或多路二氧化碳浓度测定仪，通道传感器数量 5 个，并能满足校准工作需求。

### 6.2.4 技术要求

测量标准温度、湿度、二氧化碳浓度的技术指标见表2。

表 2 测量标准技术要求

序号	名称	测量范围	技术要求
1	温度测量标准	0℃~100℃	分辨力：不低于0.01℃ 最大允许误差：±(0.15℃+0.002 t )
2	湿度测量标准	10%RH~80%RH	分辨力：0.1%RH 最大允许误差：±2.0%RH
3	二氧化碳浓度测量标准	0%~30%	分辨力：0.1% 最大允许误差：±0.5%

注：|t|为温度的绝对值，单位为℃。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 3。

表 3 试验箱温度、湿度、二氧化碳浓度参数校准项目

项目	温度参数	湿度参数	二氧化碳浓度参数
温度偏差	+	-	-
温度均匀度	+	-	-
湿度偏差	-	+	-
湿度均匀度	-	+	-
二氧化碳浓度偏差	-	-	+
二氧化碳浓度均匀度	-	-	+

注：“+”表示应校准，“-”表示不校准。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准点的选择

校准温度点为 20℃，校准湿度点为 70%RH，校准二氧化碳浓度点为 20%。

注：校准湿度和二氧化碳浓度参数时，应在 20℃条件下进行。

#### 7.2.2 测量点位置

标准器的传感器布放位置为试验箱校准时的测量点，应布置在试验箱工作空间的三个不同层面上，称为上、中、下三层，中层为通过工作空间几何中心的平行于底面的校准工作面，各布点位置与试验箱内壁的距离为各边长的 1/10，遇风道时，此距离可加大，但不应超过 500mm。如果试验箱带有样品架时，下层测量点可布放在样品架上方 10mm 处。

### 7.2.3 测量点数量

温度测量点为 9 个，温度点 5 位于试验箱工作空间中层几何中心处，如图 1 所示。

湿度测量点为 5 个，湿度点 E 位于试验箱工作空间中层几何中心处，如图 2 所示。

二氧化碳浓度测量点为 5 个，二氧化碳浓度点 e 位于试验箱工作空间中层几何中心处，如图 3 所示。

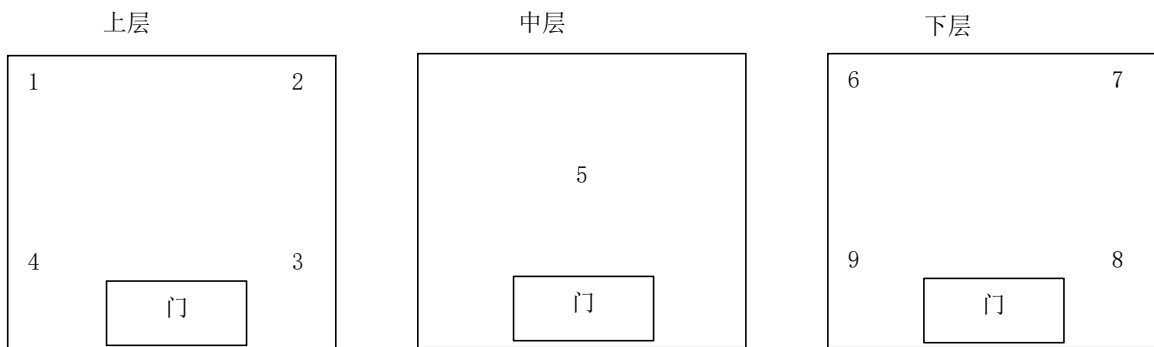


图 1 温度传感器数量及布放位置示意图



图 2 湿度传感器数量及布放位置示意图



图 3 二氧化碳浓度传感器数量及布放位置示意图

#### 7.2.4 温度的校准

按照 7.2.2、7.2.3 规定布置温度传感器，将试验箱设定到校准温度，开启运行。当试验箱达到稳定状态后，开始记录各测量点温度，记录时间间隔为 2min, 30min 内共记录 16 组数据。

#### 7.2.5 湿度的校准

按照 7.2.2、7.2.3 规定布置湿度传感器，将试验箱设定到校准温度、湿度，开启运行。当试验箱达到稳定状态后，开始记录各测量点温度、湿度，记录时间间隔为 2min, 30min 内共记录 16 组数据。

#### 7.2.6 二氧化碳浓度的校准

按 7.2.2、7.2.3 规定布置二氧化碳浓度传感器，将试验箱设定到校准温度、二氧化碳浓度，开启运行。当试验箱达到稳定状态后，开始记录各测量点温度、二氧化碳浓度，记录时间间隔为 2min, 30min 内共记录 16 组数据。

### 7.3 数据处理

#### 7.3.1 温度数据处理

##### 7.3.1.1 温度偏差

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

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

式中：

$\Delta t_{\max}$  —— 温度上偏差，℃；

$\Delta t_{\min}$  —— 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，℃；

$t_s$  —— 试验箱设定温度，℃。

##### 7.3.1.2 温度均匀度

试验箱在稳定状态下，工作空间各测量点 30min 内（每 2min 测量一次）每次测量中实测最高温度与最低温度之差的算数平均值。

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

式中：

$\Delta t_u$  —— 温度均匀度，℃；

$t_{i\max}$  —— 各测量点在第  $i$  次测得的最高温度，℃；

$t_{i\min}$  —— 各测量点在第  $i$  次测得的最低温度，℃；

$n$  —— 测量次数。

#### 7.3.2 湿度数据处理

##### 7.3.2.1 湿度偏差

$$\Delta h_{\max} = h_{\max} - h_s \quad (4)$$

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

式中：

$\Delta h_{\max}$  ——湿度上偏差, %RH;

$\Delta h_{\min}$  ——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;

$h_s$  ——试验箱设定湿度, %RH。

### 7.3.2.2 湿度均匀度

试验箱在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测量一次) 每次测量中实测最高湿度与最低湿度之差的算数平均值。

$$\Delta h_u = \sum_{i=1}^n (h_{i\max} - h_{i\min}) / n \quad (6)$$

式中:

$\Delta h_u$  ——湿度均匀度, %RH;

$h_{i\max}$  ——各测量点在第  $i$  次测得的最高湿度, %RH;

$h_{i\min}$  ——各测量点在第  $i$  次测得的最低湿度, %RH;

$n$  ——测量次数。

### 7.3.3 二氧化碳浓度数据处理

#### 7.3.3.1 二氧化碳浓度偏差

$$\Delta c_{\max} = c_{\max} - c_s \quad (7)$$

$$\Delta c_{\min} = c_{\min} - c_s \quad (8)$$

式中:

$\Delta c_{\max}$  ——二氧化碳浓度上偏差, %;

$\Delta c_{\min}$  ——二氧化碳浓度下偏差, %;

$c_{\max}$  ——各测量点规定时间内测量的最高二氧化碳浓度, %;

$c_{\min}$  ——各测量点规定时间内测量的最低二氧化碳浓度, %;

$c_s$  ——试验箱设定二氧化碳浓度, %。

#### 7.3.3.2 二氧化碳浓度均匀度

试验箱在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测量一次) 每次测量中实测最高二氧化碳浓度与最低二氧化碳浓度之差的算数平均值。

$$\Delta c_u = \sum_{i=1}^n (c_{i\max} - c_{i\min}) / n \quad (9)$$

式中:

$\Delta c_u$  ——二氧化碳浓度均匀度, %;

$c_{i\max}$  ——各测量点在第  $i$  次测得的最高二氧化碳浓度, %;

$c_{i\min}$  ——各测量点在第  $i$  次测得的最低二氧化碳浓度, %;

$n$  ——测量次数。

## 8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反应。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，不得部分复制校准证书的声明。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔由试验箱的使用情况、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。

建议试验箱的复校时间间隔为1年。

## 附录 A

## 混凝土碳化试验箱校准原始记录参考格式

仪器名称		记录编号	
规格型号		出厂编号	
生产厂家			
环境温度		环境湿度	
送校单位			
校准地点			

## 标准器信息

标准器名称			
规格型号			
出厂编号			
不确定度/准确度等级 /最大允许误差			
证书编号			
有效日期			

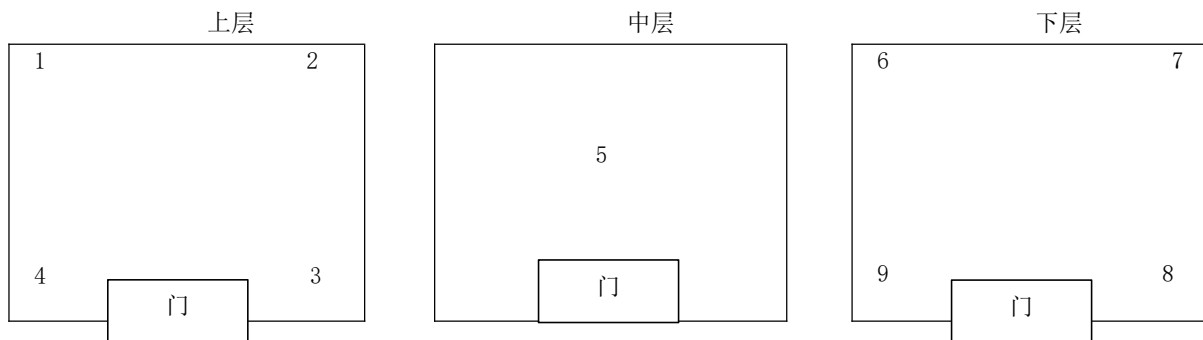
## A.1 温度参数校准记录

温度设定值：\_\_\_\_\_ °C

°C

次数	实测温度值								
	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									
最大值									
最小值									
上偏差			下偏差			均匀度			
温度偏差的扩展不确定度 $U(k=2)$									

温度传感器布点示意图



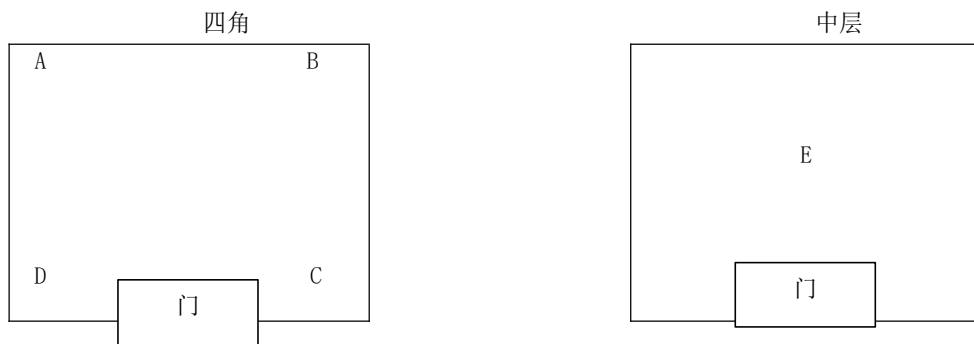
A.2 湿度参数校准记录

湿度设定值：\_\_\_\_\_ %RH

%RH

次数	实测湿度值								
	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									
最大值									
最小值									
上偏差			下偏差			均匀度			
湿度偏差的扩展不确定度 $U(k=2)$									

湿度传感器布点示意图





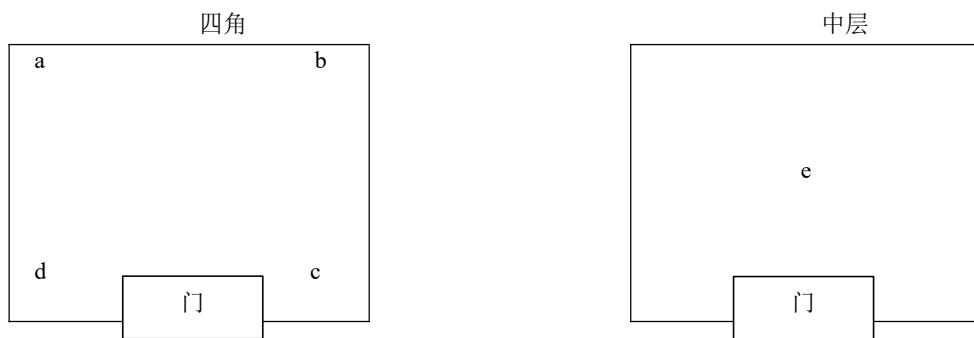
## A.3 二氧化碳浓度校准记录

二氧化碳浓度设定值：\_\_\_\_\_ %

%

次数	实测二氧化碳浓度值									
	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										
最大值										
最小值										
上偏差				下偏差				均匀度		
二氧化碳浓度偏差的扩展不确定度 $U(k=2)$										

二氧化碳浓度传感器布点示意图



校准员：\_\_\_\_\_ 核验员：\_\_\_\_\_ 校准日期：\_\_\_\_\_

第4页/共4页

## 附录 B

## 混凝土碳化试验箱校准证书的内页参考格式

## B.1 温度传感器布点示意图 B1

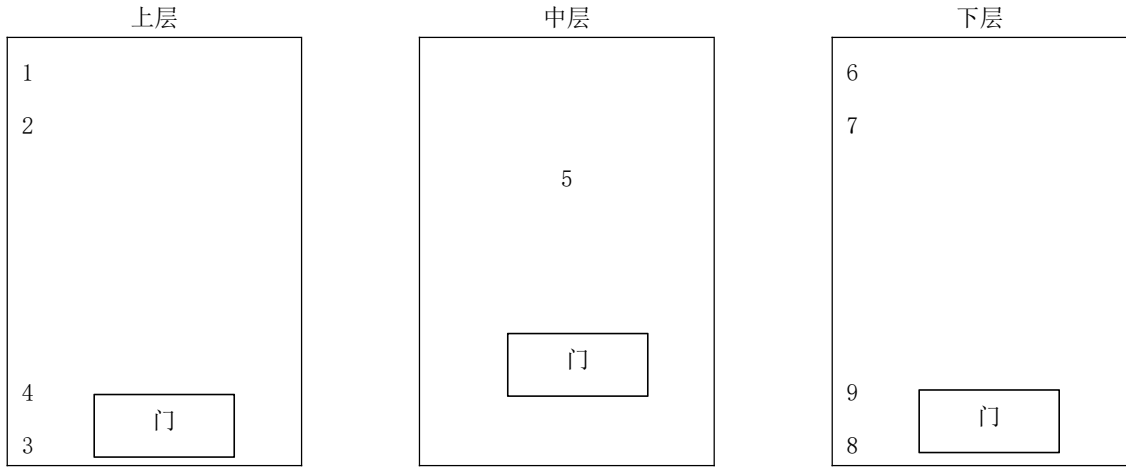


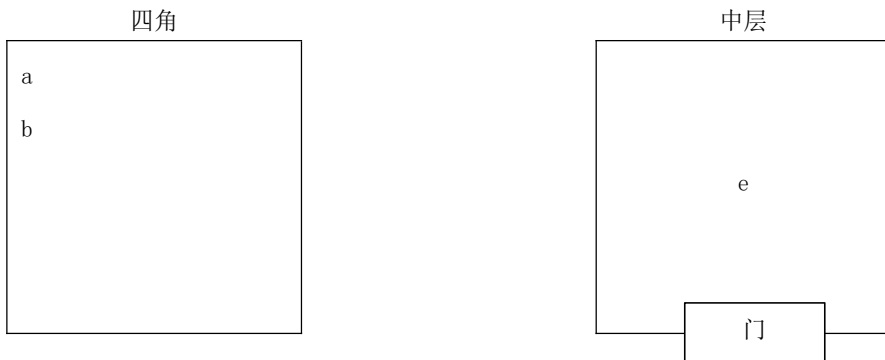
图 B1 温度传感器布点示意图

## B.2 湿度传感器布点示意图 B2



图 B2 湿度传感器布点示意图

## B.3 二氧化碳浓度传感器布点示意图 B3



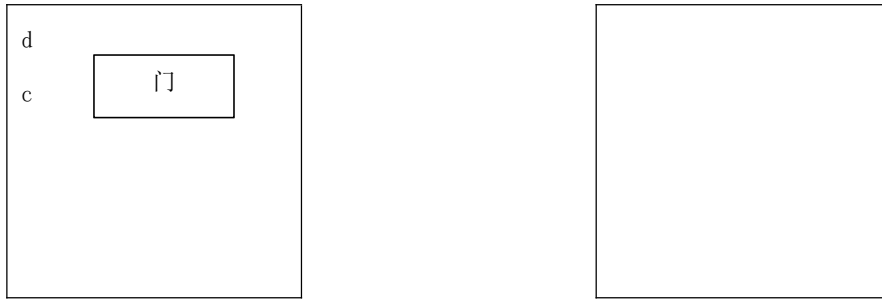


图 B3 二氧化碳浓度传感器布点示意图

## B.4 校准结果

校准参数	温度/°C	湿度/%RH	二氧化碳浓度/%
设定值			
上偏差			
下偏差			
均匀度			
温度偏差的扩展不确定度 $U(k=2)$		---	---
湿度偏差的扩展不确定度 $U(k=2)$	---		---
二氧化碳浓度偏差的 扩展不确定度 $U(k=2)$	---	---	

以下空白

## 附录 C

## 混凝土碳化试验箱温度偏差测量不确定度评定示例

## C.1 校准方法

按照本规范对温度偏差的校准要求，将温度测量标准的温度传感器按照规范图 1 测试点要求布置。试验箱温度设定值：20℃，开启运行。待试验箱温度达到设定值并稳定后，开始记录试验箱的温度示值及各布点温度，记录时间间隔为 2min, 30min 内共记录 16 组数据。

计算各温度测试点 30min 内测量的最高温度与设定温度的差值，即为温度上偏差；各测试点 30min 内测量的最低温度与设定温度的差值，即为温度下偏差。

## C.1.1 被校对象

混凝土碳化试验箱，温度指示分辨力：0.1℃，校准点：20℃。

## C.1.2 测量标准

温度场测量记录仪，温度指示分辨力：0.01℃，校准结果扩展不确定度  $U=0.08^{\circ}\text{C}$  ( $k=2$ )。

## C.2 测量模型

温度上偏差公式

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s$$

式中：

$\Delta t_{\max}$  ——温度上偏差，℃；

$t_{\max}$  ——各测量点规定时间内测量的最高温度，℃；

$t_s$  ——试验箱设定温度，℃。

## C.3 灵敏系数

$t_{\max}$  和  $t_s$  相互独立，因而得：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t_{\max}}{\partial t_{\max}} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta t_{\max}}{\partial t_s} = -1$$

## C.4 标准不确定度评定

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器分辨力引入的标准不确定度分量，标准器校准结果引入的标准不确定度分量，标准器的稳定性引入的标准不确定度分量。由于上偏差与下偏差不确定度来源和数值相同，因此本文仅以温度上偏差为例进行不确定度评定。

C.4.1 被校仪器测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

在 20℃ 校准点重复测量 10 次，测量结果见表 C.1，标准偏差  $s$  用下式计算：

表 C.1 温度测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度/℃	20.00	20.03	20.01	19.99	20.02	20.04	20.03	20.01	20.03	20.04

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.02^\circ\text{C}$$

则,  $u_1 = 0.02^\circ\text{C}$

#### C. 4.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

标准器温度分辨力  $0.01^\circ\text{C}$ , 不确定度区间半宽为  $0.005^\circ\text{C}$ , 服从均匀分布, 则分辨力引入的标准不确定度分量:

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003^\circ\text{C}$$

#### C. 4.3 标准器校准结果引入的不确定度分量 $u_3$

温度标准器校准结果的扩展不确定度为  $0.08^\circ\text{C}$ ,  $k=2$ , 则标准器校准结果引入的标准不确定度分量:

$$u_3 = U/k = 0.08/2 = 0.04^\circ\text{C}$$

#### C. 4.4 标准器稳定性引入的标准不确定度分量 $u_4$

本标准器相邻两次校准温度最大变化  $0.10^\circ\text{C}$ , 按均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

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

### C. 5 标准不确定度分量汇总表见表 C. 2

表 C. 2 温度上偏差标准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度/ $^\circ\text{C}$
$u_1$	温度测量重复性	0.02
$u_2$	标准器温度分辨力	0.003
$u_3$	标准器温度校准结果	0.04
$u_4$	标准器温度稳定性	0.06

### C. 6 合成标准不确定度

温度上偏差校准合成标准不确定度  $u_c$  计算

由于  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$  相互独立, 则合成标准不确定度  $u_c$  按下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.075^\circ\text{C}$$

### C. 7 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 温度上偏差扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.15^\circ\text{C}$$

## 附录 D

## 混凝土碳化试验箱湿度偏差测量不确定度评定示例

## D.1 校准方法

按照本规范对湿度偏差的校准要求，将湿度测量标准的湿度传感器按照规范图 2 测试点要求布置。试验箱湿度设定值：70%RH，开启运行。待试验箱达到湿度设定值并稳定后，开始记录试验箱的湿度示值及各布点湿度，记录时间间隔为 2min, 30min 内共记录 16 组数据。

计算各湿度测试点 30min 内测量的最高湿度与设定湿度的差值，即为湿度上偏差；各测试点 30min 内测量的最低湿度与设定湿度的差值，即为湿度下偏差。

## D.1.1 被校对象

混凝土碳化试验箱，湿度指示分辨力：1%RH，校准点：70%RH。

## D.1.2 测量标准

湿度标准器，湿度指示分辨力：0.1%RH，校准结果扩展不确定度  $U=1.6\%RH(k=2)$ 。

## D.2 测量模型

湿度上偏差公式

$$\Delta h_{\max} = h_{\max} - h_s$$

式中：

$\Delta h_{\max}$  ——湿度上偏差，%RH；

$h_{\max}$  ——各测量点规定时间内测量的最高湿度，%RH；

$h_s$  ——试验箱设定湿度，%RH。

## D.3 灵敏系数

$h_{\max}$  和  $h_s$  相互独立，因而得：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta h_{\max}}{\partial h_{\max}} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta h_{\max}}{\partial h_s} = -1$$

## D.4 标准不确定度评定

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器分辨力引入的标准不确定度分量，标准器校准结果引入的标准不确定度分量，标准器的稳定性引入的标准不确定度分量。由于上偏差与下偏差不确定度来源和数值相同，因此本文仅以湿度上偏差为例进行不确定度评定。

D.4.1 被校仪器测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

在 70%RH 校准点重复测量 10 次，测量结果见表 D.1，标准偏差  $s$  用下式计算：

表 D.1 湿度测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
湿度/%RH	70.2	70.4	70.1	70.0	70.1	70.3	70.2	70.4	70.5	70.3

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.20\% \text{RH}$$

则,  $u_1 = 0.20\% \text{RH}$

#### D. 4.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

标准器湿度分辨力 0.1%RH, 不确定度区间半宽为 0.05%RH, 服从均匀分布, 则分辨力引入的标准不确定度分量:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03\% \text{RH}$$

#### D. 4.3 标准器校准结果引入的不确定度分量 $u_3$

湿度标准器校准结果的扩展不确定度为 1.6%RH,  $k=2$ , 则标准器校准结果引入的标准不确定度分量:

$$u_3 = U/k = 1.6/2 = 0.8\% \text{RH}$$

#### D. 4.4 标准器稳定性引入的标准不确定度分量 $u_4$

本标准器相邻两次校准湿度最大变化 0.5%RH, 按均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

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

#### D. 5 标准不确定度分量汇总表见表 D. 2

表 D. 2 湿度上偏差标准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度/%RH
$u_1$	湿度测量重复性	0.20
$u_2$	标准器湿度分辨力	0.03
$u_3$	标准器湿度校准结果	0.8
$u_4$	标准器湿度稳定性	0.29

#### D. 6 合成标准不确定度

湿度上偏差校准合成标准不确定度  $u_c$  计算

由于  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$  相互独立, 则合成标准不确定度  $u_c$  按下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.9\% \text{RH}$$

#### D. 7 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 湿度上偏差扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 1.8\% \text{RH}$$

## 附录 E

## 混凝土碳化试验箱二氧化碳浓度偏差测量不确定度评定示例

## E.1 校准方法

按照本规范对二氧化碳浓度偏差的校准要求，将二氧化碳浓度测量标准的传感器按照规范图 3 测试点要求布置。试验箱二氧化碳浓度设定值：20%，开启运行。待试验箱二氧化碳浓度达到设定值并稳定后，开始记录试验箱的二氧化碳浓度值及各布点二氧化碳浓度值，记录时间间隔为 2min，30min 内共记录 16 组数据。

计算各二氧化碳浓度测试点 30min 内测量的最高浓度与设定浓度的差值，即为二氧化碳浓度上偏差；各测试点 30min 内测量的最低浓度与设定浓度的差值，即为二氧化碳浓度下偏差。

## E.1.1 被校对象

混凝土碳化试验箱，二氧化碳浓度指示分辨力：0.1%，校准点：20%。

## E.1.2 测量标准

二氧化碳气体浓度测定仪，二氧化碳浓度指示分辨力：0.1%，校准结果扩展不确定度  $U=0.4\%$  ( $k=2$ )。

## E.2 测量模型

二氧化碳浓度上偏差公式

$$\Delta c_{\max} = c_{\max} - c_s$$

式中：

$\Delta c_{\max}$  ——二氧化碳浓度上偏差，%；

$c_{\max}$  ——各测量点规定时间内测量的最高二氧化碳浓度，%；

$c_s$  ——试验箱设定二氧化碳浓度，%。

## E.3 灵敏系数

$c_{\max}$  和  $c_s$  相互独立，因而得：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta c_{\max}}{\partial c_{\max}} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta c_{\max}}{\partial c_s} = -1$$

## E.4 标准不确定度评定

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器分辨力引入的标准不确定度分量，标准器校准结果引入的标准不确定度分量，标准器的稳定性引入的标准不确定度分量。由于上偏差与下偏差不确定度来源和数值相同，因此本文仅以二氧化碳浓度上偏差为例进行不确定度评定。

E.4.1 被校仪器测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

在 20%校准点重复测量 10 次，测量结果见表 E.1，标准偏差  $s$  用下式计算：

表 E.1 二氧化碳浓度测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
二氧化碳浓度/%	20.2	20.1	20.2	20.2	20.1	20.0	20.1	20.2	20.2	20.1



$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.14\%$$

则,  $u_1 = 0.14\%$

#### E. 4.2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

标准器二氧化碳浓度分辨力 0.1%, 不确定度区间半宽为 0.05%, 服从均匀分布, 则分辨力引入的标准不确定度分量:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03\%$$

#### E. 4.3 标准器校准结果引入的不确定度分量 $u_3$

二氧化碳浓度标准器校准结果的扩展不确定度为 0.4%,  $k=2$ , 则标准器校准结果引入的标准不确定度分量:

$$u_3 = U / k = 0.4 / 2 = 0.2\%$$

#### E. 4.4 标准器稳定性引入的标准不确定度分量 $u_4$

本标准器相邻两次校准二氧化碳浓度最大变化 0.2%, 按均匀分布, 由此引入的标准不确定度分量:

$$u_4 = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$

### E. 5 标准不确定度分量汇总表见表 E. 2

表 E.2 二氧化碳浓度上偏差标准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度/%
$u_1$	二氧化碳浓度测量重复性	0.14
$u_2$	标准器二氧化碳浓度分辨力	0.03
$u_3$	标准器二氧化碳浓度修正值	0.2
$u_4$	标准器二氧化碳浓度稳定性	0.12

### E. 6 合成标准不确定度

二氧化碳浓度上偏差校准合成标准不确定度  $u_c$  计算

由于  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$  相互独立, 则合成标准不确定度  $u_c$  按下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.27\%$$

### E. 7 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 二氧化碳浓度上偏差扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.6\%$$





