

中华人民共和国工业和信息化部

石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXXX—2XXX

## 恒温振荡培养箱校准规范

Calibration Specification for Constant temperature shaking incubator

（报批稿）

202×—××—××发布 202×—××—××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

# 恒温振荡培养箱校准规范

Calibration Specification for  
Constant temperature shaking incubator

JJF(石化) XXXX—2XXX

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：上海市质量监督检验技术研究院

参加起草单位：上海润度生物科技有限公司

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

张佳仁（上海市质量监督检验技术研究院）

梁荣驹（上海市质量监督检验技术研究院）

王 鹏（上海市质量监督检验技术研究院）

李耀悦（上海市质量监督检验技术研究院）

朱佳奇（上海市质量监督检验技术研究院）

金 路（上海市质量监督检验技术研究院）

**参加起草人：**

王 奎（上海润度生物科技有限公司）

# 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)
5 校准条件.....	(1)
5.1 环境条件.....	(1)
5.2 测量标准及其他设备.....	(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.....	(6)
7.1 校准记录.....	(6)
7.2 校准证书.....	(6)
7.3 不确定度.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 恒温振荡培养箱校准原始记录的格式.....	(7)
附录 B 恒温振荡培养箱校准证书的内页格式.....	(9)
附录 C 温度参数校准结果不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 振荡频率误差校准结果不确定度评定示例.....	(15)
附录 E CO <sub>2</sub> 浓度参数校准结果不确定度评定示例 .....	(17)

# 引言

本校准规范依据 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》等基础性系列规范进行编制。

本规范为首次发布。

## 恒温振荡培养箱校准规范

### 1 范围

本规范适用于具有温度控制、托盘转速控制及二氧化碳浓度控制（如有此功能）的培养箱的校准，其它功能相似的试验箱设备可参考本规范进行校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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 概述

恒温振荡培养箱（以下简称培养箱）由恒温控制系统、托盘旋转装置、CO<sub>2</sub> 浓度控制系统及密闭箱体组成，模拟适宜的环境温度，液体振荡条件，气候条件。广泛应用于石油化工、生物培养、化学检测等领域。

### 4 计量特性

恒温振荡培养箱的计量性能指标见表1。

表1恒温振荡培养箱计量特性一览表

序号	项目	技术要求
1	温度示值误差	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
2	温度波动度	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
3	温度均匀度	$\leq 2.0^{\circ}\text{C}$
4	振荡频率示值误差	$\pm 5$ 次/min
5	*CO <sub>2</sub> 浓度示值误差	$\pm 1.0\%$
6	*CO <sub>2</sub> 浓度波动度	$\pm 0.5\%$
注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。 带*的项目为可选项目，若培养箱有此功能，建议校准。		

### 5 校准条件

#### 5.1 环境条件

##### 5.1.1 温度条件

环境温度：(5~35)℃。

### 5.1.2 湿度条件

相对湿度：≤80%。

5.1.3 其它条件：振荡器周围无强烈震动及腐蚀性气体、液体存在；应避免阳光直接照射或其他冷热源的影响；应避免周边电磁干扰源的影响。

## 5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1~3	温度示值误差、温度均匀度、温度波动度	多通道温度计：测量范围(0~80)℃， 最大允许误差：±0.3℃
4	振荡频率误差	转速表：测量范围：≥500r/min， 最大允许误差：±0.4%
5~6	CO <sub>2</sub> 浓度示值误差、CO <sub>2</sub> 浓度波动度	CO <sub>2</sub> 浓度测定仪：测量范围(0~20)%， 最大允许误差：±0.4%

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

恒温振荡培养箱的校准项目见表 1。

### 6.2 校准方法

#### 6.2.1 校准前检查

##### 6.2.1.1 配套设备

位移传感器，测量范围 (20~50)mm，最大允许误差：±1.0mm

##### 6.2.1.1 检查项目及方法

###### 1) 外观检查：

箱体与箱门应能良好闭合。铭牌信息应完整，应标有型号、出厂编号、生产厂家、生产日期等信息。仪表显示应字迹清晰，不应有影响读数的缺陷。

###### 2) 振荡幅度的检查：

位移传感器固定于托盘上，激光面垂直对准于培养箱侧壁。开启设备振荡功能，振荡频率调节至最慢。待托盘旋转稳定，记录位移传感器行程中最大值与最小值，取极差值作为振荡幅度值。

## 6.2.2 温度示值误差、均匀度和波动度

### 6.2.2.1 温度示值误差校准

#### 1) 温度测量点位置和数量

试样夹板布置 5 个测量点（见图 1），分别位于四个边角和一个中心点。若有多层夹板，每层夹板也按此布置。1、2、3、4 点离边缘距离不小于 10mm，5 点位于中心位置

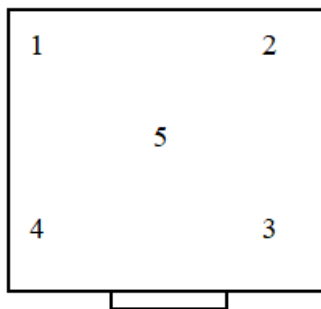


图 1 恒温振荡培养箱的温度测量点位置

#### 2) 数据记录

恒温振荡培养箱设定到校准温度，开启运行。试验设备达到稳定状态后开始记录各测量点温度，记录时间间隔为 2 分钟，30 分钟内共记录 16 组。亦可根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 and 校准证书中进行说明。温度稳定时间以说明书为依据，说明书未给出的，稳定时间不超过 120 分钟（以设备显示值首次到达设定值开始计时）。

#### 3) 数据处理

取箱体各测量点在规定时间内的温度设定值与实测值的最差值作为温度示值误差。

按公式(1)计算示值误差：

$$\Delta T = \max |T_s - T_{ij}| \quad (1)$$

式中：

$\Delta T$ ——温度示值误差，应带+、-号℃；

$T_{ij}$ ——各测量点规定时间内测量的实测值，℃；

$T_s$ ——培养箱温度设定值，℃；

$i$ ——第  $i$  分钟， $i = (0, 2, 4, \dots)$ ；

$j$ ——第  $j$  个测量点， $j = (1 \sim 5)$ 。

### 6.2.2.2 温度均匀度校准



稳定状态下，各测量点在 30 分钟内（记录间隔 2 分钟）每次测量中最高值与最低值之差的平均值。

按公式(2)计算均匀度：

$$\Delta T_u = \max(T_{i\max} - T_{i\min}) \quad (2)$$

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，℃；

### 6.2.2.3 温度波动度校准

稳定状态下，各测量点在 30 分钟内（记录间隔 2 分钟）每次测量中最高值与最低值之差的一半，冠以“±”号，取其中变化量的最大值。

按公式(3)计算波动度：

$$\Delta T_f = \pm \max\left(\frac{T_{j\max} - T_{j\min}}{2}\right) \quad (3)$$

式中：

$\Delta T_f$ ——温度波动度，℃；

$T_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度，℃；

$T_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度，℃。

\*温度的波动度、均匀度的校准可与温度偏差同时进行。

### 6.2.3 振荡频率误差

在转动面的法向位置贴反光片，将复杂的振荡形式（回旋式、偏心式、往复式等）转换为简单的一维运动形式。用支架固定转速表，转速表的激光镜头水平对准反光片。开启设备的振荡功能，设定振荡频率，待设备振荡频率稳定，记录转速表的读数，关闭振荡功能。以此进行 3 个循环的测量，取 3 次读数的平均值作为测量结果。如若振荡频率较慢，亦可用电子秒表（分度值优于 0.1s）计时 1 分钟，肉眼观测并记录托盘在一定时间内的振荡次数，进行 3 个循环的测量，取 3 次读数的算术平均值作为测量结果，结果保留 1 次/min。

按公式(4)计算振荡频率误差：

$$\Delta D = D_s - D_0 \quad (4)$$

式中：

$\Delta D$ ——振荡频率误差，次/min；

$D_0$ ——振荡频率实测平均值，次/min；

$D_s$ ——培养箱振荡频率设定值，次/min。

#### 6.2.4 CO<sub>2</sub>浓度参数校准

##### 6.2.4.1 示值误差

###### 1) CO<sub>2</sub>测定仪的接入方式

如选择扩散式的传感器，将传感器放置于恒温振荡培养箱箱体内部，位置尽量靠近被检浓度检测器附近，柜门与传感器引线的夹缝处用胶泥填满。如选择抽吸式传感器，用专用软管连接恒温振荡培养箱气体校准吸气口与传感器的进气口。

###### 2) 数据记录

将培养箱设定到校准浓度，开启运行。试验设备达到稳定状态后开始记录二氧化碳浓度值，记录时间间隔为 2min，30min 内共记录 16 组。稳定时间以说明书为依据，说明书未给出的，稳定时间不超过 120 分钟（以设备显示值首次到达设定值开始计时）。

###### 3) 数据记录

箱体内 CO<sub>2</sub> 浓度值在规定时间内的显示值与实测平均值之差

按公式 (5) 计算示值误差：

$$\Delta C = C_s - C_0 \quad (5)$$

式中：

$\Delta C$ ——浓度示值误差，%；

$C_s$ ——培养箱浓度设定值，%；

$C_0$ ——浓度的实测平均值，%。

##### 6.2.4.2 波动度

稳定状态下，各测量点在 30 分钟内（记录间隔 2 分钟）每次测量中最高值与最低值之差的一半，冠以“±”号。

按公式 (6) 计算波动度：

$$\Delta C_f = \pm \frac{C_{i\max} - C_{i\min}}{2} \quad (6)$$

式中:

$\Delta C_f$  ——浓度波动度,%;

$C_{i\max}$  ——实测浓度中的最高值,%;

$C_{i\min}$  ——实测浓度中的最低值,%。

\*CO<sub>2</sub> 浓度波动度的校准可与 CO<sub>2</sub> 浓度偏差同时进行。

## 7 校准结果

### 7.1 校准记录

校准记录应详尽记录校准数据和计算结果。推荐的仪器校准记录格式见附录A。

### 7.2 校准证书

经校准的培养箱应出具校准证书。校准证书内容应符合JJF 1071-2010中的5.12要求。  
推荐的仪器校准证书（内页）格式参见附录B。

### 7.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录C～附录E。

## 8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定，送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔，建议不超过 12 个月。如果对仪器的测量数据有怀疑，或仪器更换主要部件及维修后，应对仪器重新校准。

附录 A

恒温振荡培养箱校准原始记录的格式

共 页 第 页

基本信息					
委托单位		原始记录号		校准证书号	
仪器名称		规格型号		设备编号	
制造厂商		环境温度	℃	相对湿度	%RH
标准器					
名称	编号	证书号	测量范围	有效期	不确定度或准确度等级或最大允许误差
校准依据	JJF（石化）xxx-202x 恒温振荡培养箱校准规范				
校准地点			校准日期年月日		
校准结果：					
校准前检查		外观：                      振荡幅度：			
温度参数校准结果：					
时间	各温度（℃）/浓度（%）实测值				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

11										
12										
13										
14										
15										
16										
设定值		示值误差		均匀度	波动度					
扩展不确定度 $U(k=2)$										
振荡频率校准结果										
设定值	测量 1	测量 2	测量 3	振荡频率误差	扩展不确定度 $U(k=2)$					
CO <sub>2</sub> 浓度校准结果										
设定值	示值误差		波动度							
扩展不确定度 $U(k=2)$										
备注:										
校准员:		核验员:								

附录 B

恒温振荡培养箱校准证书的内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF（石化）xxx-202x 恒温振荡培养箱校准规范					
校准环境条件及地点					
地点					
环境温度	℃	相对湿度	%	其他	
校准使用的计量（基）标准装置					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至	溯源机构名称
校准结果					
序号	校准项目	校准结果	扩展不确定度 $U(k=2)$		
1	校准前检查	外观：	振荡幅度：		
2	温度示值误差				
3	温度均匀度				
4	温度波动度				
5	振动频率误差				
6	CO <sub>2</sub> 浓度示值误差				
7	CO <sub>2</sub> 浓度波动度				
备注：					

（以下空白）

## 附录 C

## 温度参数校准结果不确定度评定示例

## C.1 温度示值误差不确定度

## C.1.1 校准方法

培养箱温度设定至 20.0℃，按照 6.2.2.1 进行校准。

## C.1.2 测量模型

$$\Delta T = \max |T_s - T_{ij}| \quad (C.1)$$

式中：

$\Delta T$ ——温度示值误差，应带+、-号℃；

$T_{ij}$ ——各测量点规定时间内测量的实测值，℃；

$T_s$ ——培养箱温度显示值，℃；

$i$ ——第  $i$  分钟， $i = (0, 2, 4, \dots)$ ；

$j$ ——第  $j$  个测量点， $j = (1 \sim 5)$ 。

## C.1.3 标准不确定度来源

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，标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量，标准器修正值引入的标准不确定度分量，标准器温度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和相对湿度上偏差为例进行不确定度评定。

## C.1.4 标准不确定度分量

1) 温度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 16 次，从标准器上读取温度 16 次测量数据见表 (C.1)，记为  $T_{d1}$ ,  $T_{d2}, \dots, T_{d16}$ ，平均值记为  $T_d$ 。

根据贝塞尔公式：计算得标准偏差  $s=0.06^\circ\text{C}$ ， $u_1=s=0.06^\circ\text{C}$

表 (C.1) 温度 16 次测量数据

$i$ (次数)	$t_{di}$ (°C)	$i$ (次数)	$t_{di}$ (°C)	$i$ (次数)	$t_{di}$ (°C)
1	20.1	7	20.1	13	20.1
2	20.1	8	20.0	14	20.0
3	20.1	9	20.2	15	20.1

4	20.2	10	20.1	16	20.1
5	20.2	11	20.1		
6	20.1	12	20.0		

2) 标准器分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2$

标准器温度分辨力为  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，不确定度区间半宽为  $0.05^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布：

$$\text{则 } u_2 = 0.05 / \sqrt{3} = 0.03^{\circ}\text{C}$$

3) 标准器修正值引入的标准不确定度分量  $u_3$

标准器校准证书给出修正值的扩展不确定度  $U = 0.2^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，

$$\text{则 } u_3 = 0.2 / 2 = 0.1^{\circ}\text{C}。$$

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修正值最大变化为  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布：

$$\text{则 } u_4 = 0.1 / \sqrt{3} = 0.06^{\circ}\text{C}$$

### C.1.5 合成标准不确定度

表 (C.2) 温度标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量符号	不确定度来源	标准不确定度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$u_1$	测量重复性	0.06
$u_2$	标准器分辨力	0.03
$u_3$	标准器修正值	0.1
$u_4$	标准器稳定性	0.06

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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.13^{\circ}\text{C}$$

### C.1.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则  $U = k u_c = 2 u_c = 0.26 = 0.3^{\circ}\text{C}$ 。

## C.2 温度均匀度不确定度

### C.2.1 校准方法

培养箱温度设定至  $20.0^{\circ}\text{C}$ ，按照 6.2.2.2 进行校准。

### C.2.2 测量模型

$$\Delta T_u = \max(T_{i\max} - T_{i\min}) \quad (\text{C.2})$$



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，℃

### C.2.3 标准不确定度来源

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，标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量。

由于温度均匀度同一时刻，标准器读数的极差值，故标准器的短期稳定性和示值误差可以忽略。

### C.2.4 标准不确定度分量

#### 1) 温度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 16 次，从标准器上读取温度 16 次均匀度测量数据见表 (C.3)，记为  $T_{u1}, T_{u2}, \dots, T_{u16}$ ，平均值记为  $T_d$ 。

根据贝塞尔公式：计算得标准偏差  $s=0.07^\circ\text{C}$ ， $u_1=s=0.07^\circ\text{C}$

表 (C.3) 温度均匀度 16 次测量数据

$i$ (次数)	$T_{ui} (^\circ\text{C})$	$i$ (次数)	$T_{ui} (^\circ\text{C})$	$i$ (次数)	$T_{ui} (^\circ\text{C})$
1	0.6	7	0.5	13	0.6
2	0.7	8	0.7	14	0.7
3	0.7	9	0.7	15	0.6
4	0.7	10	0.6	16	0.6
5	0.6	11	0.6		
6	0.5	12	0.6		

#### 2) 标准器分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

标准器温度分辨力为  $0.1^\circ\text{C}$ ，不确定度区间半宽为  $0.05^\circ\text{C}$ ，按均匀分布：

则  $u_2=0.05/\sqrt{3}=0.03^\circ\text{C}$

### C.2.5 合成标准不确定度

表 (C.4) 温度标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量符号	不确定度来源	标准不确定度 ( $^\circ\text{C}$ )
$u_1$	测量重复性	0.07
$u_2$	标准器分辨力	0.03

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

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.08^\circ\text{C}$$

### C.2.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=ku_c=2u_c=0.16=0.2^\circ\text{C}$ 。

## C.3 温度波动度不确定度

### C.3.1 校准方法

培养箱温度设定至  $20.0^\circ\text{C}$ ，按照 6.2.2.3 进行校准。

### C.3.2 测量模型

$$\Delta T_f = \pm \max\left(\frac{T_{j\max} - T_{j\min}}{2}\right) \quad (\text{C.3})$$

式中：

$\Delta T_f$ ——温度波动度， $^\circ\text{C}$ ；

$T_{j\max}$ ——测量点  $j$  在  $n$  次测量中的最高温度， $^\circ\text{C}$ ；

$T_{j\min}$ ——测量点  $j$  在  $n$  次测量中的最低温度， $^\circ\text{C}$

### C.3.3 标准不确定度来源

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，标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量，标准器温度稳定性引入的标准不确定度分量。

由于温度波动度一段时间内，标准器度数的极差值，故标准器的示值误差可以忽略。

### C.3.4 标准不确定度分量

#### 1) 温度测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

在  $20^\circ\text{C}$  校准点重复测量 16 次，从标准器上读取 16 次均匀度测量数据见表 (C.5)，记为  $T_1, T_2, \dots, T_{16}$ 。（忽略正负号）

根据贝塞尔公式：计算得标准偏差  $s=0.03^\circ\text{C}$ ， $u_1=s=0.03^\circ\text{C}$

表 (C.5) 温度波动度 16 次测量数据

i (次数)	$T_i (^\circ\text{C})$	i (次数)	$T_i (^\circ\text{C})$	i (次数)	$T_i (^\circ\text{C})$
1	0.1	7	0.1	13	0.1
2	0.1	8	0.1	14	0.1
3	0.1	9	0.2	15	0.1
4	0.2	10	0.1	16	0.1
5	0.1	11	0.1		

6	0.1	12	0.1		
---	-----	----	-----	--	--

2) 标准器分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2$

标准器温度分辨力为  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，不确定度区间半宽为  $0.05^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布：

$$\text{则 } u_2 = 0.05 / \sqrt{3} = 0.03^{\circ}\text{C}$$

3) 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修正值最大变化为  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布：

$$\text{则 } u_4 = 0.1 / \sqrt{3} = 0.06^{\circ}\text{C}$$

### C. 3. 5 合成标准不确定度

表 (C.6) 温度标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量符号	不确定度来源	标准不确定度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$u_1$	测量重复性	0.03
$u_2$	标准器分辨力	0.03
$u_4$	标准器稳定性	0.06

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

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.08^{\circ}\text{C}$$

### C. 3. 6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=ku_c=2u_c=0.16=0.2^{\circ}\text{C}$ 。

## 附录 D

## 振荡频率误差校准结果不确定度评定示例

## D.1 校准方法

培养箱振荡频率设定至 120 次/min，按照 6.2.3 进行校准。

## D.2 测量模型

$$\Delta D = D_s - D_0 \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\Delta D$ ——振荡频率误差，次/min；

$D_0$ ——振荡频率实测平均值，次/min；

$D_s$ ——培养箱振动频率设定值，次/min。

## D.3 振荡频率误差校准结果不确定度评定

## D.3.1 标准不确定度来源

被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量，被校对象分辨力引入的标准不确定度分量，标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量，标准器最大误差引入的标准不确定度分量。

## D.3.2 标准不确定度分量

振荡频率测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$

表 (D.1) 振荡频率 10 次测量数据

i (次数)	$D_{di}$ (次/min)	i (次数)	$D_{di}$ (次/min)
1	121	6	122
2	120	7	123
3	122	8	119
4	121	9	119
5	120	10	121

根据贝塞尔公式：计算得标准偏差  $s=1.3$ ， $u_1/\sqrt{3}=0.8$  次/min。

培养箱显示值分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2$

培养箱显示值分辨力为 1 次/min，则引入的误差区间的半宽为分辨力的 1/2，按均匀分布： $u_2=0.5/\sqrt{3}=0.28$  次/min

标准器分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3$

标准器显示值分辨力为 1 次/min，则引入的误差区间的半宽为分辨力的 1/2，按均匀分布：

$$u_3 = 0.5 / \sqrt{3} = 0.28 \text{ 次/min.}$$

标准器最大误差引入的标准不确定度分量  $u_4$

标准器的最大误差为 0.4%，在 120 次/min 上的最大误差为 0.48 次/min，则引入的误差区间的半宽为 0.48，按均匀分布： $u_4 = 0.48 / \sqrt{3} = 0.28 \text{ 次/min.}$ 。

### D.3.3 合成标准不确定度

表 (D.2) 振荡频率标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 符号	不确定度来源	标准不确定度 (次/min)
$u_1$	测量重复性	0.8
$u_2$	培养箱分辨力	0.28
$u_3$	标准器分辨力	0.28
$u_4$	标准器最大误差	0.28

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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.0 \text{ 次/min}$$

### D.3.4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则  $U = ku_c = 2u_c = 2 \text{ 次/min}$

## 附录 E

CO<sub>2</sub> 浓度参数校准结果不确定度评定示例

## E.1 浓度示值误差不确定度

## E.1.1 校准方法

培养箱浓度设定至 5.0%，按照 6.2.4 进行校准。

## E.1.2 测量模型

$$\Delta C = C_s - C_0 \quad (\text{E.1})$$

式中：

$\Delta C$ ——浓度示值误差，%；

$C_s$ ——培养箱浓度的显示值，%；

$C_0$ ——浓度的实测平均值，%。

## E.1.3 标准不确定度来源

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，标准器修正值引入的标准不确定度分量，标准器稳定性引入的标准不确定度分量。

## E.1.4 标准不确定度分量

1) 浓度测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

表 (E.1) 浓度 15 次测量数据

i(次数)	C <sub>di</sub> (%)	i(次数)	C <sub>di</sub> (%)	i(次数)	C <sub>di</sub> (%)
1	5.2	6	5.0	11	5.2
2	5.1	7	5.2	12	5.1
3	5.0	8	5.0	13	5.0
4	5.1	9	5.2	14	5.1
5	5.0	10	5.1	15	5.2

根据贝塞尔公式：计算得标准偏差  $s=0.083$ ， $u_1=s=0.083\%$

2) 标准器分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2$ 

标准器分辨力为 0.001%，不确定度区间半宽为 0.0005%，按均匀分布：

则  $u_2=0.0005/\sqrt{3}=0.00028\%$

此分量可忽略不计。

3) 标准器最大误差引入的标准不确定度分量  $u_3$

标准器的最大误差为 $\pm 0.4\%$ ，则引入的误差区间的半宽为 $0.4\%$ ，按均匀分布： $u_3=0.4/\sqrt{3}=0.231\%$

#### 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修正值最大变化为 $0.005\%^\circ\text{C}$ ，按均匀分布：  
则  $u_4=0.005/\sqrt{3}=0.003\%$

### E. 1.5 合成标准不确定度

表 (E.2) 浓度标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 符号	不确定度来源	标准不确定度 (%)
$u_1$	测量重复性	0.083
$u_2$	标准器分辨力	/
$u_3$	标准器最大误差	0.231
$u_4$	标准器稳定性	0.003

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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.246\%$$

### E. 1.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=ku_c=2u_c=0.491\%=0.5\%$

## E. 2 浓度波动度不确定度

### E. 2.1 校准方法

培养箱浓度设定至 $5.0\%$ ，按照 6.2.4 进行校准。

### E. 2.2 测量模型

$$\Delta C_f = \pm \frac{C_{i\max} - C_{i\min}}{2} \quad (\text{E. 2})$$

式中：

$\Delta C_f$  ——浓度波动度,%；

$C_{i\max}$  ——实测浓度中的最高值,%；

$C_{i\min}$  ——实测浓度中的最低值, %.

### E. 2.3 标准不确定度来源

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，标准器稳定性引入的标准不确定度分量。

由于浓度波动度一段时间内，标准器度数的极差值，故标准器的示值误差可以忽略。

#### E.2.4 标准不确定度分量

##### 1) 浓度测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

在 5.0% 校准点重复测量 16 次,从标准器上读取 16 次均匀度测量数据见表 (E.3),记为  $C_1, C_2, \dots, C_{16}$ 。(忽略正负号)

根据贝塞尔公式: 计算得标准偏差  $s=0.010\%$ ,  $u_1=s=0.010\%$

表 (E.3) 浓度波动度 16 次测量数据

i (次数)	$C_i$ (%)	i (次数)	$C_i$ (%)	i (次数)	$C_i$ (%)
1	0.05	7	0.08	13	0.05
2	0.08	8	0.05	14	0.07
3	0.06	9	0.06	15	0.06
4	0.05	10	0.06	16	0.06
5	0.05	11	0.06		
6	0.05	12	0.05		

##### 2) 标准器分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

标准器浓度分辨力为 0.001%, 不确定度区间半宽为 0.0005%, 按均匀分布:

$$\text{则 } u_2=0.0005/\sqrt{3}=0.00028\%$$

此分量可忽略不计。

##### 3) 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浓度修正值最大变化为 0.003%, 按均匀分布:

$$\text{则 } u_4=0.003/\sqrt{3}=0.0017\%$$

#### E.2.5 合成标准不确定度

表 (E.4) 浓度标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量符号	不确定度来源	标准不确定度 (%)
$u_1$	测量重复性	0.010
$u_2$	标准器分辨力	/
$u_4$	标准器稳定性	0.0017

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

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2}=0.011\%$$



#### E. 2. 6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 则  $U=ku_c=2u_c=0.022\%=0.03\%$