

JJF(闽)1145—2024

JJF

# 福建省地方计量技术规范

JJF(闽)1145—2024

## 恒温振荡器校准规范

Calibration Specification for Constant Temperature Shaking Incubator

2024 - 05 - 30 发布

2024 - 08 - 30 实施

福建省市场监督管理局 发布

# 恒温振荡器校准规范

Calibration Specification for  
Constant Temperature Shaking Incubator

JJF (闽) 1145—2024

归口单位：福建省市场监督管理局  
主要起草单位：龙岩市计量所

本规范委托福建省计量规范技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

陈健果（龙岩市计量所）

郑振强（龙岩市计量所）

郭 龙（龙岩市计量所）

福建省计量规范技术委员会

## 目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 负载条件	(2)
6.3 测量标准	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 温度校准	(3)
7.3 振幅校准	(5)
7.4 转速校准	(5)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 恒温振荡器校准记录参考格式	(7)
附录 B 恒温振荡器校准证书内页参考格式	(9)
附录 C 恒温振荡器测量结果不确定度评定示例	(10)



## 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。

本规范参考 JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、GB/T 5170.1—2016《电工电子产品环境试验设备检验方法 总则》和 JB/T 12922—2016《恒温培养振荡器》编制而成。

本规范为首次制订。

福建省计量规范技术委员会



## 恒温振荡器校准规范

### 1 范围

本规范适用于以空气或水为导热介质，具有温度控制功能并以回旋式或往复式振荡的恒温振荡器的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1101—2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

GB/T 5170.1—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 总则

JB/T 12922—2016 恒温培养振荡器

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

JJF 1101—2019、GB/T 5170.1—2016、JB/T 12922—2016 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

#### 3.1 振荡平台 shaking platform

恒温振荡器中能进行机械运动且将温度性能保持在规定偏差范围内的那部分空间。

#### 3.2 稳定状态 steady state

恒温振荡器振荡平台内任意点的温度变化量达到设备性能指标要求时的状态。

#### 3.3 温度偏差 temperature deviation

恒温振荡器稳定状态下，振荡平台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。

[GB/T 5170.1—2016，定义 3.2.4]

#### 3.4 温度波动度 temperature fluctuation

恒温振荡器稳定状态下，在规定的时间内，振荡平台任意一点温度随时间的变化量。

#### 3.5 温度均匀度 temperature uniformity

恒温振荡器稳定状态下，振荡平台在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

[GB/T 5170.1—2016，定义 3.2.9]



## 4 概述

恒温振荡器是一种温度可控的试验设备和振荡器组合在一起具有恒温与振荡功能的装置。其工作原理是在恒温环境下利用机械运动的能量保持或增进流体与流体、固体、气体或周围空气之间的反应、混合或溶解。恒温振荡器主要是由控制装置、机械运动装置、驱动马达、固定振荡器的底座及固定样品的摇板或夹具组成，广泛运用于食品、生物、医药、环保和纺织等行业。

## 5 计量特性

恒温振荡器的温度偏差、温度波动度、温度均匀度、振幅误差和转速误差技术要求见表 1。

表 1 恒温振荡器温度、振幅和转速技术要求

参数名称	技术要求
温度偏差	$\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
温度波动度	$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
温度均匀度	$2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
振幅误差	$\pm 2\text{ mm}$
转速误差	$\pm 5\text{ r/min}$

注 1：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

6.1.1 温度： $(15 \sim 35)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；湿度：不大于 80%RH。

6.1.2 周围环境应无影响校准的冷热源、振动、电磁干扰、污染和腐蚀性气体等存在。

### 6.2 负载条件

一般在空载条件下校准，根据用户需要也可以在负载条件下进行，但应说明负载的情况。

### 6.3 测量标准

温度测量标准一般选用多通道温度显示仪表或多路温度测量装置，各通道应采用同种型号规格的传感器。传感器宜选用四线制铂电阻温度计，数量应满足校准布点要求。各测量标准的技术要求见表 2。校准时也可选用不确定度符合要求的其他测量标准。

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)°C	分辨力：不低于 0.01 °C 最大允许误差：± (0.15 °C + 0.002 t )
2	钢直尺	(0 ~ 150)mm	最大允许误差：± 0.10 mm
3	转速表	(30 ~ 300)r/min	准确度等级：不低于 0.5 级

注 1：标准器测量范围为一般要求，使用中以能覆盖被校环境试验设备实际校准范围为准。  
注 2：温度测量标准技术指标为包含传感器和采集设备的整体指标。  
注 3：各通道的测量结果应含修正值。  
注 4：|t| 为温度的绝对值，单位为 °C。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

温度偏差、温度波动度、温度均匀度、振幅误差和转速误差。

### 7.2 温度校准

#### 7.2.1 校准点的选择

温度校准点一般根据用户需要选择常用的温度点进行，或选择恒温振荡器使用范围的下限、上限和中间点。

#### 7.2.2 测量点位置和数量

传感器测量点用 1、2、3……数字表示。

当恒温振荡器振荡平台容积小于 0.05 m<sup>3</sup> 或恒温振荡器仅有单层培养器皿架时，温度测量点为 5 个，各布点位置与振荡平台内壁的距离为各边长的 1/10，最小距离不小于 50 mm。如图 1 所示。

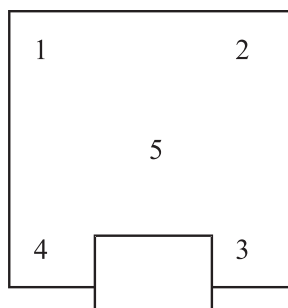


图 1 恒温振荡器振荡平台容积小于 0.05 m<sup>3</sup> 或仅有单层培养器皿架时温度测量点摆放位置

当恒温振荡器振荡平台容积大于 0.05 m<sup>3</sup> 时，将振荡平台分为三个不同层面，称为上、中、下三层，中层为通过振荡平台几何中心的平行于底面的校准工作面，各布点位置与振荡平台内壁的距离为各边长的 1/10，最小距离不小于 50 mm。如果振荡器带

有培养器皿架或培养器皿车时，下层测量点可布放在培养器皿架或培养器皿车上方 10 mm 处。温度测量点为 9 个，如图 2 所示。

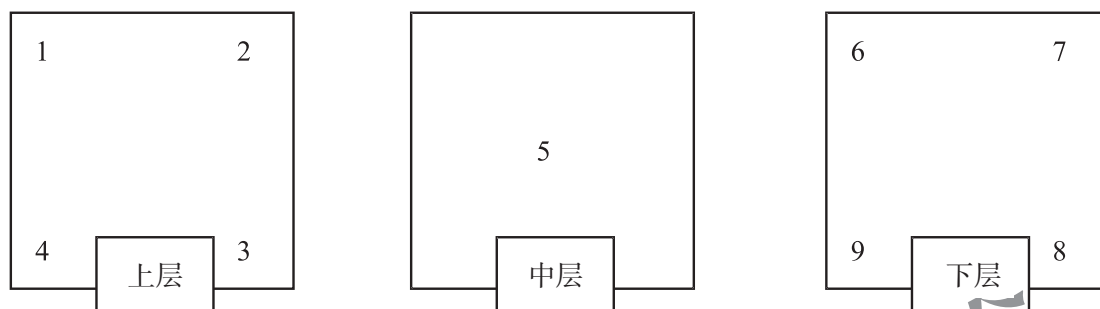


图 2 恒温振荡器振荡平台容积大于 0.05 m<sup>3</sup> 温度测量点布放位置

传感器测量点布放位置也可根据用户实际工作要求进行布置。测量点数量也可根据实际需要或用户需求减少或增加并图示说明。

### 7.2.3 温度的校准

按照 7.2.2 规定布放温度传感器，将恒温振荡器设定到校准温度，开启运行。振荡器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 min，30 min 内共记录 16 组数据，或根据振荡器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。

温度稳定时间以说明书为依据，说明书没有给出的，一般按以下原则执行：温度达到设定值，30 min 后可以开始记录数据，如振荡平台内温度仍未稳定，可按实际情况延长稳定时间，但温度达到设定值后的稳定时间不超过 60 min。

### 7.2.4 温度数据处理

#### 7.2.4.1 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，℃；

$t_s$  —— 恒温振荡器设定温度，℃。

#### 7.2.4.2 温度波动度

恒温振荡器在稳定状态下，振荡平台各测量点 30 min 内（每 2 min 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。

$$\Delta t_f = \pm \max \left[ (t_{j\max} - t_{j\min}) / 2 \right] \quad (3)$$

式中:

$\Delta t_f$  ——温度波动度, °C;

$t_{j\max}$  ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度, °C;

$t_{j\min}$  ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度, °C;

n ——测量次数。

#### 7.2.4.3 温度均匀度

恒温振荡器在稳定状态下, 振荡平台各测量点 30 min 内 (每 2 min 测试一次) 每次测量中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值。

$$\Delta t_u = \sum_{i=1}^n (t_{i\max} - t_{i\min}) / n \quad (4)$$

式中:

$\Delta t_u$  ——温度均匀度, °C;

$t_{i\max}$  ——各测量点在第 i 次测得的最高温度, °C;

$t_{i\min}$  ——各测量点在第 i 次测得的最低温度, °C。

#### 7.3 振幅校准

振荡幅度, 即振荡过程中培养器皿的最大位移量。对于回旋振荡, 振荡幅度为相对于回旋中心偏心距的两倍, 往复振荡振荡幅度为两个极点的直线距离。

以恒温振荡器内胆工作空间内侧面任一点为测量基准点, 在以此点为垂足的工作空间侧面与振荡平台边上的任一交点为测量点。将振荡平台移至远极点, 用钢直尺测量该两点距离  $L_1$ , 再将振荡平台移至近极点, 测量该两点距离  $L_2$ , 两者之差即为恒温振荡器的振幅  $A$ 。连续测量三次, 记录数据, 计算其平均值。若没有标称值, 则振幅测量平均值直接作为测量结果。

$$A = L_1 - L_2 \quad (5)$$

$$\Delta A = \bar{A} - A_0 \quad (6)$$

式中:

$\Delta A$  ——振幅误差, mm;

$\bar{A}$  ——振幅测量平均值, mm;

$A_0$  ——振幅标称值, mm。

#### 7.4 转速校准

振幅可调的振荡器, 应调至制造商规定的振幅范围内的最大振幅值。选择制造商提供的转速范围内的最低转速值、最高转速值和中间转速值或附近, 形成低、中、高三个转速点分别启动运行, 达到设定转速, 稳定运行 10 min 后开始进行测试。各转速

点应运转 1 min, 每隔 2 min~5 min 后再测量一次, 连续测量三次, 记录数据。按公式 (7) 计算各转速点各次校准的转速误差, 取平均值作为该转速点的转速误差, 在各点的转速误差中取绝对值最大者作为恒温振荡器的转速误差。若没有设定值, 则转速测量平均值直接作为测量结果。

$$\Delta n = \bar{n} - n_0 \quad (7)$$

式中:

$\Delta n$  ——转速误差, r/min;

$\bar{n}$  ——转速测量平均值, r/min;

$n_0$  ——转速设定值, r/min。

## 8 校准结果表达

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相关时, 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或等效标识;
- o) 校准人和核验人签名;
- p) 校准结果仅对校准对象有效的声明;
- q) 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

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定, 因此使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔一般不超过一年。

## 附录 A

## 恒温振荡器校准记录参考格式

委托单位									
样 品	名 称		型号规格		出厂厂家		出厂编号		
测 量 标 准	名 称	型号规格	出厂厂家	出厂编号	技术指标	溯源机构	溯源证书号	有效期	
环境温度 (°C)		湿度 (%RH)		校准地点					
校准技术依据									
温度设定值 (°C)				标称振幅 (mm)					
测量 次数	实测温度值 (°C)								
	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			波动度		均匀度	
扩展不确定度 $U(k=2)$									
测量次数		1		2		3			
振幅实测值 (mm)	$L_1$								
	$L_2$								
	$A$								
振幅实测平均值 (mm)				振幅误差 (mm)					
扩展不确定度 $U(k=2)$									
转速实测值 (r/min)	低转速点								
	中转速点								
	高转速点								
转速实测平均值 (r/min)									
转速设定值 (r/min)		低转速点		中转速点		高转速点			
转速误差 (r/min)									
恒温振荡器转速误差 (r/min)									
扩展不确定度 $U(k=2)$									
温度传感器布点示意图									
原始记录编号				证书编号					
测量标准使用前情况				测量标准使用后情况					
校准人员				校准日期					
核验人员				核验日期					

## 附录 B

## 恒温振荡器校准证书内页参考格式

一、温度校准布点示意图如图 B.1 所示。

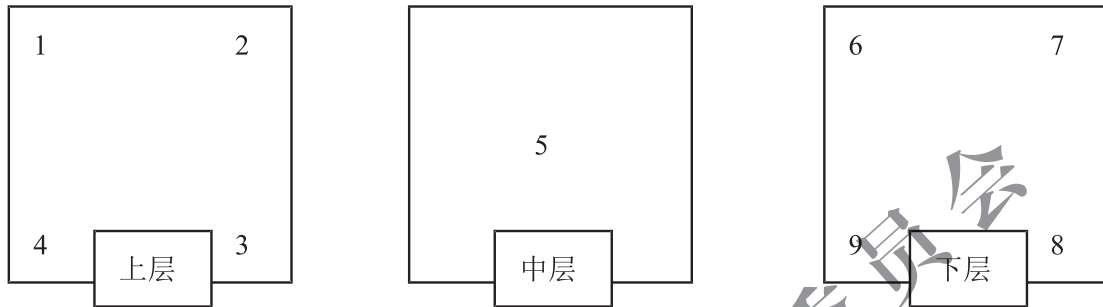


图 B.1 恒温振荡器振荡平台容积大于  $0.05 \text{ m}^3$  温度测量点布放位置

二、校准结果

校准参数	设定值 / 标称值	校准项目	校准数据	扩展不确定度 $U(k=2)$
温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		温度上偏差		
		温度下偏差		
		温度波动度		
		温度均匀度		
振幅 (mm)		振幅误差		
转速 (r/min)		转速误差		



## 附录 C

## 恒温振荡器测量结果不确定度评定示例

## C.1 概述

温度测量标准：温湿度试验设备自动检定系统，测量范围（0 ~ 100）℃，最大允许误差  $\pm (0.15 \text{ } ^\circ\text{C} + 0.002|t|)$ ，分辨力 0.01 ℃，测量时带修正值使用；

振幅测量标准：钢直尺，测量范围（0 ~ 150）mm，最大允许误差  $\pm 0.10 \text{ mm}$ ，分度值 0.5 mm；

转速测量标准：数字式转速表，测量范围（0 ~ 1000）r/min，准确度等级 0.1 级，分辨力 0.1 r/min；

测量对象：恒温振荡器，分辨力 0.1 ℃，校准点 60 ℃；标称振幅 30 mm；标称转速（启动 ~ 280）r/min。

## C.2 温度偏差测量不确定度评定示例

## C.2.1 测量过程

按照本规范的校准要求，在恒温振荡器内布放温度测量标准的传感器，恒温振荡器设定校准温度并开启运行。待恒温振荡器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 min，30 min 内共记录 16 组数据。温度上偏差为各测试点 30 min 内测量的最高温度与设定温度的差值。由于上偏差与下偏差不确定度来源和分量相同，因此仅以温度上偏差为例进行不确定度评定。

## C.2.2 测量模型

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

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，℃；

$t_s$  ——恒温振荡器设定温度，℃。

## C.2.3 标准不确定度分量评定

C.2.3.1 温度测量标准测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$ 

在校准点 60 ℃对恒温振荡器进行 16 次独立测量，测量结果如下：59.68 ℃、59.64 ℃、59.64 ℃、59.71 ℃、59.65 ℃、59.68 ℃、59.66 ℃、59.69 ℃、59.67 ℃、59.64 ℃、59.67 ℃、59.64 ℃、59.55 ℃、59.57 ℃、59.60 ℃、59.62 ℃。

单次实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.043 \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

则,

$$u_1 = s = 0.043 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.2.3.2 温度测量标准修正值引入的标准不确定度分量  $u_2$

温度测量标准修正值的不确定度  $U=0.15 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $k=2$ , 则

$$u_2 = \frac{0.15}{2} = 0.075 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.2.3.3 温度测量标准稳定性引入的标准不确定度分量  $u_3$

此次测量用的温度测量标准相邻两次校准温度修正值最大变化  $0.10 \text{ }^\circ\text{C}$ , 按均匀分布考虑, 取  $k = \sqrt{3}$ , 则

$$u_3 = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.2.3.4 温度测量标准分辨力引入的标准不确定度分量  $u_4$

由于温度测量标准分辨力  $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ , 按均匀分布考虑,  $k = \sqrt{3}$  得:

$$u_4 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.003 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

温度测量标准分辨力引入的标准不确定度小于其测量重复性引入的标准不确定度, 故取测量重复性引入的标准不确定度。

C.2.4 合成标准不确定度的计算

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:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.10 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

C.2.5 扩展不确定度的确定

取包含因子  $k=2$ , 温度上偏差的扩展不确定度为:  $U = k \times u_c = 0.20 \text{ (}^\circ\text{C)}$ 。

### C.3 振幅误差测量不确定度评定示例

C.3.1 测量过程

按照本规范的校准要求, 以恒温振荡器内胆工作空间内侧面任一点为测量基准点, 在以此点为垂足的工作空间侧面与振荡平台边上的任一交点为测量点。将振荡平台移至远极点, 用钢直尺测量该两点距离  $L_1$ , 再将振荡平台移至近极点, 测量该两点距离  $L_2$ , 两者之差即为恒温振荡器的振幅  $A$ 。连续测量三次, 记录数据, 计算其平均值。

C.3.2 测量模型

$$\Delta A = \bar{A} - A_0$$

式中:

$\Delta A$  ——振幅误差, mm;

$\bar{A}$  ——振幅测量平均值, mm;

——振幅标称值, mm。

说明, 在测量模型中把振幅  $A$  作为独立的附加输入量, 即  $A = L_1 - L_2$ , 该附加输入量具有与  $L_1$ 、 $L_2$  不相关的标准不确定度。则在计算合成标准不确定度时不需再引入  $L_1$  与  $L_2$  的协方差或相关系数。

### C.3.3 标准不确定度分量评定

#### C.3.3.1 振幅测量标准测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

钢直尺连续测量三次被校恒温振荡器的振幅, 测量结果如下: 30.4 mm、30.6mm、30.2 mm。采用极差法评定, 得

$$s = \frac{R}{C} = \frac{0.4}{1.69} = 0.236 \text{ (mm)}$$

$$u_1 = \frac{0.24}{\sqrt{3}} = 0.136 \text{ (mm)}$$

式中:

$R$  ——测量结果中的最大值与最小值之差, mm;

$C$  ——极差系数。

#### C.3.3.2 振幅测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_2$

钢直尺最大允许误差  $\pm 0.10$  mm, 区间半宽度  $a=0.10$  mm, 按均匀分布考虑,  $k = \sqrt{3}$  得:

$$u_2 = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ (mm)}$$

#### C.3.3.3 振幅测量标准分度值引入的标准不确定度分量 $u_3$

钢直尺分度值是 0.5 mm, 按均匀分布考虑,  $k = \sqrt{3}$  得:

$$u_3 = \frac{0.5}{2\sqrt{3}} = 0.144 \text{ (mm)}$$

振幅测量标准分度值引入的标准不确定度大于其测量重复性引入的标准不确定度, 故取分度值引入的标准不确定度。

### C.3.4 合成标准不确定度的计算

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

$$u_c = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} = 0.155 \text{ (mm)}$$

### C.3.5 扩展不确定度的确定

取包含因子  $k = 2$ , 振幅误差的扩展不确定度为:  $U = k \times u_c = 0.4$  (mm)。

## C.4 转速误差测量不确定度评定示例

### C.4.1 测量过程

按照本规范的校准要求，先将振幅可调的振荡器调至制造商规定的振幅范围内的最大振幅值。选择制造商提供的转速范围内的最低转速值、最高转速值和中间转速值或附近，形成低、中、高三个转速点分别启动运行，达到设定转速，稳定运行 10 min 后开始进行测试。各转速点应运转 1 min，每隔 2 min~5 min 后再测量一次，连续测量三次，记录数据。按公式计算各转速点各次校准的转速误差，取平均值作为该转速点的转速误差，在各点的转速误差中取绝对值最大者作为恒温振荡器的转速误差。由于各转速点不确定度来源相同，因此仅以中转速点为例进行不确定度评定。

### C.4.2 测量模型

$$\Delta n = \bar{n} - n_0$$

式中：

$\Delta n$  ——转速误差，r/min；

$\bar{n}$  ——转速测量平均值，r/min；

$n_0$  ——转速设定值，r/min。

### C.4.3 标准不确定度分量评定

#### C.4.3.1 转速测量标准测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

恒温振荡器设置中转速点转速 160 r/min，启动运行。数字式转速表对其连续测量三次，测量结果如下：158.9 r/min、157.3 r/min、159.2 r/min。采用极差法评定，得

$$s = \frac{R}{C} = \frac{1.9}{1.69} = 1.124 \text{ (r/min)}$$

$$u_1 = \frac{1.124}{\sqrt{3}} = 0.649 \text{ (r/min)}$$

式中：

$R$  ——测量结果中的最大值与最小值之差，r/min；

$C$  ——极差系数。

#### C.4.3.2 转速测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_2$

数字式转速表准确度等级是 0.1 级，最大允许误差  $\pm 0.1\%$ 。当中转速点测得值为 156.4 r/min 时，区间半宽度  $a=0.156$  r/min，按均匀分布考虑， $k = \sqrt{3}$  得：

$$u_2 = \frac{0.156}{\sqrt{3}} = 0.090 \text{ (r/min)}$$

#### C.4.3.3 转速测量标准分辨力引入的标准不确定度分量 $u_3$

数字式转速表分辨力是 0.1 r/min，按均匀分布考虑， $k = \sqrt{3}$  得：

$$u_3 = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029 \text{ (r/min)}$$

转速测量标准分辨力引入的标准不确定度小于其测量重复性引入的标准不确定度，故取测量重复性引入的标准不确定度。

#### C.4.4 合成标准不确定度的计算

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

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.655 \text{ (r/min)}$$

#### C.4.5 扩展不确定度的确定

取包含因子  $k = 2$ ，转速误差的扩展不确定度为： $U = k \times u_c = 1.4 \text{ (r/min)}$ 。

### C.5 结果及其不确定度报告

温度分辨力 0.1℃、校准点 60℃ 的恒温振荡器的温度上偏差  $\Delta t_{\max} = -0.29℃$ ，其扩展不确定度  $U = 0.20℃$ ， $k = 2$ 。

标称振幅 30 mm 的恒温振荡器振幅误差  $\Delta A = 0.4\text{mm}$ ，其扩展不确定度  $U = 0.4\text{mm}$ ， $k = 2$ 。

标称转速 (起动 ~ 280)r/min 的恒温振荡器中转速点的转速误差  $\Delta n = -1.5 \text{ r/min}$ ，其扩展不确定度  $U = 1.4\text{r/min}$ ， $k = 2$ 。