

# 《混凝土试验用搅拌机校准规范》试验报告

《混凝土试验用搅拌机校准规范》编写组  
2023 年 12 月

## 目录

1.概述（试验目的） .....	1
2. 样品选型 .....	1
3. 试验条件 .....	1
3.1 环境条件 .....	1
3.2 测量标准 .....	1
4. 试验项目和方法 .....	1
4.1 搅拌叶端与筒壁间隙 .....	1
4.2 转动速度误差 .....	2
4.3 搅拌时间示值误差 .....	2
5. 试验结果的不确定度 .....	2
5.1 搅拌叶端与筒壁间隙的不确定度分析 .....	2
5.2 转动速度误差不确定度分析 .....	3
5.3 搅拌时间示值误差不确定度分析 .....	5

## 1. 概述（试验目的）

本实验报告选取典型的混凝土试验用搅拌机作为样品，按照《混凝土试验用搅拌机校准规范》（征求意见稿，以下简称《规范》）中“6 校准项目和校准方法”进行校准，通过实验结果的数据分析，验证校准项目和校准方法的可行性，证明《规范》中“4 计量特性”设置的合理性，说明每个计量特性的不确定度评定过程并给出参考值。

## 2. 样品选型

混凝土试验用搅拌机的主要生产厂家是国外听力计厂商麦德瑞、奥迪康、奥迪特等，其中市场

占有率最高的是美国麦德瑞，因此选取以下样机：

1 号设备，HJW-60 SN: 220059

2 号设备，HJW-60 SN: 25000339

## 3. 试验条件

### 3.1 环境条件

试验地点：企业试验室

实验室条件：

温度：(23±5)℃；

相对湿度：≤85%；

试验日期：2023.2.22~2023.5.25

### 3.2 测量标准

水泥软练设备测量仪：318A03353

电子秒表：Q2-81

塞尺：10193

## 4. 试验项目和方法

按照《规范》中“6.2 校准前的准备”中描述的方法，通过目测和手感检查搅拌机设备外观，无异响即可。对 1 号设备和 2 号设备的以下 3 个项目进行校准：搅拌叶端与筒壁间隙，转动速度误差，搅拌时间示值误差。

### 4.1 搅拌叶端与筒壁间隙

根据 6.3.1 所描述，切断搅拌机电源，将被测搅拌叶旋转至搅拌筒轴线正下方位置，被测搅拌叶选取 4 个测点（如图 1），叶片正面选取 3 个测量点，测点间距不小于搅拌叶弧长的 1/4，侧端选取一个测量点，用塞尺沿搅拌筒轴线方向测量：

设备 \ 测量位置	上	中	下	测
1 号设备 (mm)	2.2	2.7	2.6	2.4
2 号设备 (mm)	2.5	2.9	2.5	2.8

#### 4.2 转动速度误差

根据 6.3.2 所描述的测量方法，在传动轴法兰盘位置固定转速计感应贴，启动搅拌机。转速稳定后，启动转速表，待示值稳定后读取转速表转速，关闭搅拌机。重新启动搅拌机，分别对 1 号设备和 2 号设备重复测量 3 次转速：

设置值 (r/min)	45	45	45
样机			
1 号设备	43.2	43.2	43.3
2 号设备	43.3	43.4	43.3

#### 4.3 搅拌时间示值误差

根据 6.3.3 所描述的测量方法，将搅拌机时间控制器设置为 120s 启动搅拌机，同时按下秒表启动搅拌机，时间控制器停止时，按下秒表暂停键并记录秒表显示时间，重复测量 3 次：

设置值 (s)	120	120	120
样机			
1 号设备	121.0	120.9	121.1
2 号设备	121.1	120.9	121.1

### 5. 试验结果的不确定度

本章以搅拌叶端与筒壁间隙、转动速度误差、搅拌时间示值误差测量结果的不确定度评定为例，说明混凝土搅拌机校准项目的不确定度评定过程。不确定度评定使用 1 号样机的实验数据。

#### 5.1 搅拌叶端与筒壁间隙的不确定度分析

5.1.1 测量过程：将被测搅拌叶旋转至搅拌筒轴线正下方位置，使该测量点位于最底端。用塞尺沿搅拌筒轴线方向测量搅拌叶端与搅拌筒壁间隙，用塞尺沿垂直于搅拌筒轴线方向测量侧刮板与搅拌筒壁间隙。

5.1.2 影响量（输入量）的标准不确定度评定

##### 5.1.2.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u(n_1)$

通过用塞尺对混凝土试验用搅拌机叶片与筒壁间隙测量 10 次，得到下面测量结果：

单位：mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	重复性
1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4	1.3	1.36	0.05

实际测量以单次测量值为测量结果，则可得到由测量重复性引起的标准不确定度为：

$$u(n_1) = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.07\text{mm}$$

### 5.1.2.2 塞尺厚度示值误差引起的不确定度 $u(n_2)$

塞尺的最大允许误差 MPE:  $\pm 0.048\text{mm}$ ，服从均匀分布，则其示值误差引起的不确定度  $u(n_2) = 0.048 \div \sqrt{3} = 0.028\text{mm}$

### 5.1.2.3 塞尺弯曲度引起的不确定度 $u(n_3)$

塞尺弯曲度  $\leq 0.036\text{mm}$ ，服从均匀分布，则其引起的不确定度  $u(n_3) = 0.036 \div \sqrt{3} = 0.021\text{mm}$

### 5.1.3 标准不确定度评定一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(n_i)\text{mm}$
$u(n_1)$	测量重复性	0.07
$u(n_2)$	塞尺厚度示值误差	0.028
$u(n_3)$	塞尺弯曲度	0.021

### 5.1.4 合成标准不确定度的评定

灵敏系数  $c_i=1$ ，各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c(L) = \sqrt{u_1(L)^2 + u_2(L)^2 + u_3(L)^2} = \sqrt{0.07^2 + 0.028^2 + 0.021^2} = 0.08\text{mm}$$

### 5.1.5 扩展不确定度的评定

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U(L) = u_c(L) \cdot k = 0.08 \times 2 = 0.16\text{mm}$

## 5.2 转动速度误差不确定度分析

### 5.2.1 数学模型

$$\Delta_n = n_0 - n$$

式中：

$\Delta_n$ —混凝土试验用搅拌机转速示值误差，r/min；

$n_0$ —被测混凝土试验用搅拌机转速额定值，r/min；

$n$ —非接触转速表转速示值，r/min。

### 5.2.2 影响量（输入量）的标准不确定度评定

#### 5.2.2.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u(n_1)$

通过用非接触转速表对混凝土试验用搅拌机转速  $(47 \pm 3) \text{ r/min}$  的测量 10 次，得到下面测量结果：

单位：r/min

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	重复性
48.8	48.2	48.3	48.0	48.4	48.4	48.6	48.5	49.1	48.3	48.6	0.31

实际测量以三次测量值为测量结果，则可得到由测量重复性引起的标准不确定度为：

$$u(n_1) = \frac{S}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \div \sqrt{3} = 0.18 \text{ r/min}$$

### 5.2.2.2 非接触转速表转速示值误差引起的不确定度 $u(n_2)$

非接触转速表经上级计量部门校准后，非接触转速表转速测量相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}} = 0.1\% (k=2)$ 。则在转速为  $47 \text{ r/min}$  时，其转速示值误差引起的不确定度

$$u(n_2) = n_2 \times U_{\text{rel}} \div k = 0.03 \text{ r/min}$$

### 5.2.2.3 非接触转速表分辨力引起的不确定度 $u(n_3)$

非接触转速表分辨力为  $0.1 \text{ r/min}$ ，则区间半宽度为  $a = 0.1 \div 2 = 0.05 \text{ (r/min)}$

可认为其服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u(n_3) = a / \sqrt{3} = 0.03 \text{ r/min}$ ，因

其小于测量重复性引起的标准不确定度  $u(n_1)$ ，故不引入合成标准不确定度计算。

### 5.2.3 标准不确定度评定一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(n_i) \text{ r/min}$
$u(n_1)$	测量重复性	0.18
$u(n_2)$	非接触转速表转速示值误差	0.03
$u(n_3)$	非接触转速表分辨力	0.03

### 5.2.4 合成标准不确定度的评定

灵敏系数  $c_i=1$ ，各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c(n) = \sqrt{u(n_1)^2 + u(n_2)^2} = \sqrt{0.18^2 + 0.03^2} = 0.18 \text{ r/min}$$

### 5.2.5 扩展不确定度的评定

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U(n) = u_c(n) \cdot k = 0.18 \times 2 = 0.36 \text{r/min}$

### 5.3 搅拌时间示值误差不确定度分析

#### 5.3.1 数学模型

$$\delta_t = t_1 - \bar{t}$$

式中：

$\delta_t$ —时间控制示值误差，s；

$t_1$ —被测混凝土搅拌机控制器测量值，s；

$\bar{t}$ —电子秒表 3 次测量平均值，s；

#### 5.3.2 影响量（输入量）的标准不确定度评定

##### 5.3.2.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u(t_1)$

通过用电子秒表对混凝土搅拌机控制器控制时间（120s）测量 10 次，得到测量列：

单位：s

1	2	3	4	5	平均值	重复性
120.46	120.85	120.64	120.12	120.78	120.56	0.43
6	7	8	9	10		
120.03	121.11	120.21	121.22	120.18		

实际测量以三次测量值为测量结果，则可得到由测量重复性引起的标准不确定度为：

$$u(t_1) = \frac{S}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \div \sqrt{3} = 0.25 \text{s}$$

##### 5.3.2.2 电子秒表最大允许误差引起的标准不确定度 $u(t_2)$

现场实际测量测量 120s 时间点，电子秒表在 10min 内， $MPE = \pm 0.07 \text{s}$ ，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$u(t_2) = 0.07 / \sqrt{3} = 0.04 \text{s}$$

##### 5.3.2.3 电子秒表分辨力引起的不确定度 $u(t_3)$

秒表的分辨力为 0.01s，则区间半宽度为  $\alpha = 0.01 \text{s} \div 2 = 0.005 \text{s}$ 。服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为： $u(t_3) = 0.005 \div \sqrt{3} \approx 0.003 \text{(s)}$ ，因其小于测量重复性引起的标准不确定度  $u(t_1)$ ，故不引入合成标准不确定度计算。

#### 5.3.2.4 读数引起的不确定度 $u(t_4)$

在同时启动被测仪器和电子秒表时，人员反应速度一般为 0.2s，为均匀分布，查表得  $k=\sqrt{3}$ ，则标准不确定度为： $u(t_4)=0.2 \div \sqrt{3} \approx 0.12(s)$

#### 5.3.3 标准不确定度评定一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(t_i)/s$
$u(t_1)$	测量重复性	0.25
$u(t_2)$	电子秒表最大允许误差	0.04
$u(t_3)$	电子秒表分辨力	0.003
$u(t_4)$	人员反应速度	0.12

#### 5.3.4 合成标准不确定度的评定

灵敏系数  $c_i=1$ ，各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c(t) = \sqrt{u(t_1)^2 + u(t_2)^2 + u(t_4)^2} = \sqrt{0.25^2 + 0.04^2 + 0.12^2} = 0.28s$$

#### 5.3.5 扩展不确定度的评定

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U(t) = u_c(t) \cdot k = 0.28 \times 2 = 0.56s$