

砂浆凝结时间测定仪校准方法探讨及不确定度的评定

□朱军¹ 王磊²

(1. 江西省交通工程质量监督站试验检测中心 2. 江西省交通建设工程检测设备计量中心)

【摘要】目前在JGJ/T70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》中详细规定了砂浆凝结时间试验及砂浆凝结时间测定仪仪器的技术要求。该设备由试针、盛浆容器、测力仪表、支座等组成，砂浆凝结时间测定仪的试针几何尺寸、盛浆容器几何尺寸、测力仪表示值误差及示值重复性是砂浆凝结时间试验结果的重要影响因素。

【关键词】凝结时间测定仪；方法；不确定度

文献标识码：B

文章编号：1003-1870 (2023) 01-0031-05

概述

砂浆凝结时间测定仪是用于，测定墙面砂浆和砌墙砂浆以贯入阻力表示的凝结速度和凝结时间的仪器，其工作原理是：用截面积为 30mm^2 的试针，通过在一定时间间隔内不断的贯入，分别记录时间和相应的贯入阻力值，并绘制相应曲线图，从而确定砂浆凝结时间。

目前，暂时还未有公开发布的砂浆凝结时间测定仪的国家计量检定规程及校准规范，同时，也没有部门或者行业的计量检定规程及校准规范，只有河北省发布的地方校准规范JJF(冀)197-2021 砂浆凝结时间测定仪校准规范。在实际开展的校准工作中，大多数机构还只是参考相关的JGJ/T70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》及GB/T 25181-2019《预拌砂浆》。

国际上也只存在一些试验相关的标准规范例如：

ASTM C144-2018《砌筑砂浆集料的标准规范》、ASTM C1329/C1329M-2016a《砂浆水泥标准规范》、DIN EN 480-2-2006《混凝土、砂浆和泥浆混合物的试验方法 第2部分：凝结时间的测定》。

1 校准试验

1.1 计量特性要求

(1) 试验力：示值误差 $\pm 1\%FS$ 。

(2) 贯入试针直径： (6.2 ± 0.05) mm。

(3) 砂浆容器尺寸：内径 (140 ± 0.1) mm；深度 (75 ± 0.1) mm。

1.2 校准环境

(1) 校准环境温度 (20 ± 5) °C，相对湿度 $\leq 85\%$ 。

(2) 周围环境无震动和腐蚀性介质。

1.3 校准项目及测量设备

1.4 校准方法（见表1）

表1 校准方法

序号	校准项目	使用仪器名称	技术要求
1	试验力示值误差	专用砝码/标准测力仪	测量范围: (1 ~ 100)N MPE: ± 0.1%
2	贯入试针直径	外径千分尺	测量范围: (0 ~ 25)mm MPE: ± 0.004mm
3	砂浆容器尺寸	游标卡尺	测量范围: (0 ~ 150)mm MPE: ± 0.03mm

(1) 试验力示值误差校准

将设备调零, 在被校准设备的量程内, 按照应均匀选取不少于5个校准点, 分别用专用砝码(或标准测力仪)对其进行校准, 待数据稳定后读取, 每点校准三次取平均值, 并按下式计算:

$$\bar{F} = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3} \quad (1)$$

式中 \bar{F} 试验力平均值;
 F_1, F_2, F_3 ——试验力三次校准值。

以专用砝码(或标准测力仪)为准在测定仪的指示装置上读数时, 试验力示值误差按式(2)计算:

$$\Delta F = \frac{\bar{F} - F_0}{F_n} \times 100\% (FS) \quad (2)$$

式中:
 ΔF ——试验力示值误差;
 F_0 ——试验力标准值;
 F_n ——试验力上限值。

(2) 贯入试针直径校准

使用外径千分尺测量试针直径D, 每旋转120°测量一次, 按照公式(3)计算算数平均值作为试针直径的校准结果。

$$\bar{D} = \frac{\sum_{x=1}^3 D_x}{3} \quad (3)$$

式中:
 \bar{D} 试针直径三次测量的算术平均值;
 D_x ——试针直径第x次测量的值。

(3) 砂浆容器尺寸校准

砂浆容器尺寸的校准包括容器内径和深度的校

准。使用游标卡尺以此测量容器内径和深度, 每转动120°测量一次, 按照公式(4)、公式(5)计算三次测量的算术平均值作为容器内径和深度的校准结果。

$$\bar{R} = \frac{\sum_{x=1}^3 R_x}{3} \quad (4)$$

式中:
 \bar{R} ——盛砂浆容器内径三次测量的算术平均值;
 R_x ——盛砂浆容器内径第x次测量的值。

$$\bar{H} = \frac{\sum_{x=1}^3 H_x}{3} \quad (5)$$

式中:
 \bar{H} 盛砂浆容器深度三次测量的算术平均值;
 H_x ——盛砂浆容器深度第x次测量的值。

2 试验力示值误差的不确定度评定

2.1 数学模型

$$\Delta = F_i - F_0$$

式中: Δ ——示值误差(N);
 F_i ——被测测力系统的值(N);
 F_0 ——标准测力仪的测量值(N)。

2.2 方差与灵敏系数

根据不确定度传播定律 $u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$, 可得:

$$u_c^2(\Delta) = c_1^2 \cdot u^2(F_i) + c_2^2 \cdot u^2(F_0)$$

式中: $u(F_i)$ ——被测测力系统的标准不确定度;
 $u(F_0)$ ——标准测力仪引入的标准不确定度
 c_1, c_2 ——灵敏系数

(其中: $c_1 = \partial \Delta / \partial F_0 = 1, c_2 = \partial \Delta / \partial F_i = -1$)

2.3 标准不确定度分量的分析与计算

用标准测力仪对测力系统100N 的量程进行10次

(1) 标准测力仪的测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(F_0)$

重复测量，测量结果（见表2）。

表2 测量结果数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	标准差s
测量值 (N)	99.8	99.9	99.6	99.9	99.5	99.7	99.6	99.6	99.8	99.9	99.73	0.15

在实际测量时，重复测量3次，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1(F_0) = s/\sqrt{3} = 0.15/\sqrt{3} = 0.09\text{N}$$

(2) 标准测力仪本身误差引入的标准不确定度分量 $u_2(F_0)$

标准测力仪由上一级标准检定，根据检定规程，在测量范围内时，其最大允许误差MPE：

$\pm 0.1\%$ ，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(F_0) = \bar{n} \times \text{MPE} / k = 0.1/\sqrt{3} = 0.06\text{N}$$

(3) 测力系统的示值分辨力引入的标准不确定

度分量 $u_3(F_0)$

测力系统的示值分辨力 d 为0.1N，其半宽度为0.05N，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为： $u_3(F_0) = d/2\sqrt{3} = 0.05/\sqrt{3} = 0.03\text{N}$ 。

由于 $u_1(F_0) > u_3(F_0)$ ，为避免重复计算，取最大影响量 $u_1(F_0)$ ，舍弃 $u_3(F_0)$ 。

2.4 标准不确定度分量一览表（见表3）

表3 标准不确定度分量

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值
$u_1(F_0)$	测量重复性	0.09N
$u_2(F_0)$	本身误差	0.06N

2.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2(F_0) + u_2^2(F_0)} = \sqrt{0.09^2 + 0.06^2} \approx 0.11\text{N}$$

2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.11 = 0.22\text{N}$$

2.7 相对扩展不确定度

$$U_{rel} = \frac{u_c}{\bar{x}} = \frac{0.22\text{N}}{99.73\text{N}} = 0.22\%$$

3 直径示值测量结果的不确定度评定

3.1 数学模型

$$L_i = L_0$$

式中： L_i ——被测测针的直径值(mm)；

L_0 ——外径千分尺的测量值(mm)。

3.2 方差与灵敏系数

根据不确定度传播定律 $u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$ ，可得：

$$u(L_i) = u(L_0)$$

式中： $u(L_i)$ ——被测试测针直径的标准不确定度；

$u(L_0)$ ——外径千分尺引入的标准不确定度。

3.3 标准不确定度分量的分析与计算

(1) 外径千分尺的测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(L_0)$

用外径千分尺对测针的直径进行10次重复测量，测量结果（见表4）

表4 测量结果数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	标准差s
测量值	6.215	6.215	6.214	6.218	6.212	6.218	6.216	6.219	6.208	6.212	6.212	0.003

在实际测量时，重复测量3次，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1(L_0) = s/\sqrt{3} = 0.003/\sqrt{3} = 0.0017\text{mm}$$

(2) 外径千分尺本身误差引入的标准不确定度分量 $u_2(L_0)$

外径千分尺由上一级标准检定，根据检定规程，在测量范围为(0~25)mm时，其最大允许误差MPE： $\pm 0.004\text{mm}$ ，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(L_0) = \text{MPE}/k = 0.004/\sqrt{3} = 0.0023\text{mm}$$

(3) 外径千分尺的示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_3(L_0)$

外径千分尺的示值分辨力d为0.001mm，其半宽度为0.0005mm，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_3(L_0) = d/2\sqrt{3} = 0.0005/\sqrt{3} = 0.0003\text{mm}$$

由于 $u_1(L_0) > u_3(L_0)$ ，为避免重复计算，取最大影响量 $u_1(L_0)$ ，舍弃 $u_3(L_0)$ 。

3.4 标准不确定度分量一览表（见表5）

表5 标准不确定度分量

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值
$u_1(L_0)$	测量重复性	0.0017mm
$u_2(L_0)$	本身误差	0.0023mm

3.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2(L_0) + u_2^2(L_0)} = \sqrt{0.0017^2 + 0.0023^2} = 0.003\text{mm}$$

3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.003 = 0.006\text{mm}$$

4 砂浆容器尺寸测量结果的不确定度评

4.1 数学模型

$$L_i = L_0$$

式中： L_i ——被测试样筒深度值(mm)；

L_0 ——数显卡尺的测量值(mm)。

4.2 方差与灵敏系数

根据不确定度传播定律 $u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot u^2(x_i)$ ，可得：

$$u(L_i) = u(L_0)$$

式中： $u(L_i)$ ——被测试样筒深度的标准不确定度；

$u(L_0)$ ——数显卡尺引入的标准不确定度。

4.3 标准不确定度分量的分析与计算

(1) 数显卡尺的测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(L_0)$ ：

用数显卡尺对试样筒高度进行10次重复测量，测量结果（见表6）

表6 测量结果数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	标准差s
测量值 (mm)	75.02	75.03	75.01	75.04	75.02	75.03	75.03	75.02	75.03	75.04	75.027	0.0095

在实际测量时，重复测量三次，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1(L_0) = s/\sqrt{3} = 0.0095/\sqrt{3} = 0.006\text{mm}$$

(2) 数显卡尺本身误差引入的标准不确定度分量 $u_2(L_0)$ ：

数显卡尺由上一级标准检定，根据检定规程，在测量范围为(0 ~ 200)mm 时，其最大允许误差 MPE: $\pm 0.03\text{mm}$ ，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(L_0) = \text{MPE}/k = 0.03/\sqrt{3} = 0.017\text{mm}$$

(3) 数显卡尺的示值分辨力引入的标准不确定度分量 $u_3(L_0)$ ：

数显卡尺的示值分辨力 d 为 0.01mm ，其半宽度为 0.005mm ，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量为：

$$u_3(L_0) = d/2\sqrt{3} = 0.005/\sqrt{3} = 0.003\text{mm}$$

由于 $u_1(L_0) > u_3(L_0)$ ，为避免重复计算，取最大影响量 $u_1(L_0)$ ，舍弃 $u_3(L_0)$ 。

4.4 标准不确定度分量（见表7）

表7 标准不确定度分量

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值
$u_1(L_0)$	测量重复性	0.006mm
$u_2(L_0)$	本身误差	0.017mm

4.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2(L_0) + u_2^2(L_0)} = \sqrt{0.006^2 + 0.017^2} = 0.02\text{mm}$$

4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.02 = 0.04\text{mm}$$

5 结束语

通过对砂浆凝结时间测定仪主要参数力值、试针直径、砂浆容器尺寸校准方法研究及其测量结果不确定度评定，其中力值示值误差测量结果扩展不确定度为 $U_{rel} = 0.2\%$ ($k=2$)；直径示值测量结果的扩展不确定度为 $U=0.006\text{mm}$ ($k=2$)；砂浆容器尺寸测量结果扩展不确定度评为 $U=0.04\text{mm}$ ($k=2$) 本文提出了砂浆凝结时间测定仪力值、试针直径、砂浆容器尺寸校准方法及不确定度评定，为制定砂浆凝结时间测定仪检定规程或校准规范提供了一定参考。

参考文献

- [1] JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》[S].
- [2] JGJ/T70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》[S].
- [3] JJF1134-2005《专用工作测力机校准规范》[S].
- [4] JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》[S].

基金：国家市场监督管理总局《2022年国家计量技术规范项目制定、修订计划》（项目编号：市监计量发[2022]70号）

作者简介：朱军，男，1987年5月，本科学历，高级工程师，国家一级注册计量师，从事力学及交通专用设备计量工作。