

《砂浆及混凝土凝结时间测定仪 校准规范》

试验验证报告

《砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范》起草小组

《砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范》试验验证报告

一、试验背景

砂浆及混凝土凝结时间测定仪是用于砂浆及混凝土拌合物凝结时间测定的专用仪器。其中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，混凝土凝结时间测定仪也称为混凝土贯入阻力测定仪，是用于混凝土拌合物凝结时间测定试验的专用仪器。其工作原理都是：根据试件的贯入阻力选择适当的贯入试针，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，从而确定砂浆及混凝土凝结时间。以评价其在工程建设领域中适用性，在工程质量试验环节有着广泛的应用。

2021年12月31日发布的《国务院关于印发计量发展规划（2021-2035）的通知》中第十六条提升交通运输计量保障能力中提到，面向国家铁路、公路和水路领域重大工程、重大装备、重要运营线路计量需求，开展交通一体化综合检测、检测设备量值溯源和保证技术研究，开展智慧计量技术攻关与先进测量装备研发，持续提升计量对交通运输的技术保障能力，服务智慧交通建设。加强铁路、公路、水运、民航领域相关计量测试技术、测试方法研究，研制相关测试设备等。

交通运输部也在交通运输标准化“十四五”发展规划中提到，加快公路水路计量基础设施和数据服务平台建设，推进国家水运检测装备产业计量测试中心建设，提升专业计量机构能力水平，完善量传溯源体系。

在此大背景下，路面材料强度试验仪作为公路计量器具显得尤为重要。

砂浆及混凝土凝结时间测定仪目前还没有相对应的国家、行业计量检定规程/校准规范作为技术指导，砂浆及混凝土凝结时间测定仪生产厂家没有严格统一的标准作为参考，不同生产厂家生产的仪器规格尺寸不一，不仅给我国试验检测机构仪器配置造成极大不便，还不利于我国工程建设试验仪器的质量管控，亟待进行规范管理。

二、编制依据

砂浆及混凝土凝结时间测定仪作为工程建设领域的计量设备。目前我国涉及砂浆及混凝土凝结时间测定仪的标准有：

JGJ/T 70 建筑砂浆基本性能试验方法标准

JTG 3420-2020 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程

砂浆及混凝土凝结时间测定仪使用时，主要以力值为主要参数，所以在编制是同时参考了：

JJG455-2000 《工作测力仪》、JJG(交通) 095-2009 《混凝土贯入阻力测定仪》。

三、主要技术内容

3.1 概述

砂浆及混凝土凝结时间测定仪是工程建设行业（交通、建筑、水利等）以及高校试验设备。从调研数据来看，生产厂家有无锡建仪仪器机械有限公司、上海魅宇仪器设备有限公司，上海路达试验仪器有限公司、沧州路仪公路仪器有限公司及其他一些公司。

砂浆及混凝土凝结时间测定仪是用于砂浆及混凝土拌合物凝结时间测定的专用仪器。其中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，混凝土凝结时间测定仪也称为混凝土贯入阻力测定仪，是用于混凝土拌合物凝结时间测定试验的专用仪器。其工作原理都是：根据试件的贯入阻力选择适当的贯入试针，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，从而确定砂浆及混凝土凝结时间。

3.2 计量性能要求

试验力：

砂浆凝结时间测定仪：试验力示值误差： $\pm 0.5\%FS$ ，试验力重复性： $\leq 0.5\%FS$ 。

混凝土凝结时间测定仪：试验力示值误差： $\pm 1\%FS$ ，试验力重复性： $\leq 1\%FS$ 。

贯入试针直径应符合表 1 要求。

表 1 贯入试针直径

名称	工作截面 (mm ²)	测头直径 (mm)	最大允许误差 (mm)
砂浆凝结时间测定仪	30	6.18	± 0.01
混凝土凝结时间测定仪	20	5.05	± 0.01
	50	7.98	± 0.02
	100	11.28	± 0.02

试料筒尺寸应符合表 2 要求。

表 2 试料筒尺寸

名称	内径（mm）		深度（mm）
砂浆凝结时间测定仪	140±0.3		75±0.1
混凝土凝结时间测定仪	上口	160 ₀ ^{+0.6}	150±0.3
	下口	150 ₀ ^{+0.6}	

加载装置：

电动式混凝土凝结时间测定仪需测量加载时间：（10±2）s。

3.3 计量校准方法

试验力示值误差：

a) 试验力应均匀选取 5 个校准点，一般按最大量程的 20%、40%、60%、80%、100%均匀分布，试验以递进力进行三组测量，每组测量前应调整零点，用专用砝码（或标准测力仪）对其进行校准，计算每个校准点三次测量的算数平均值，按式（1）计算：

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

式中：

\bar{F} —试验力平均值，N；

$F_1 F_2 F_3$ —试验力三次校准值，N。

b) 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：

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

式中：

ΔF —试验力示值相对误差，%；

F_0 —递增力时，专用砝码（或标准测力仪）的真实力，N；

\bar{F} —对同一力值点，试验力 3 次测量的算术平均值，N；

F_N —仪器测量上限值，N。

试验力示值重复性：

在校准试验力示值误差的同时进行，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，试验力示值重复性按公式（3）计算。

$$R = \frac{F_{imax} - F_{imin}}{F_N} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

R—示值重复性，%；

F_{imax} —同一校准点被测仪器 3 次读数的最大值，N；

F_{imin} —同一校准点被测仪器 3 次读数的最小值，N；

F_N —仪器测量上限值，N。

贯入试针直径：

用外径千分尺测量贯入试针直径，每转动 120° 测量一次，共测量三次，计算三次测量的算术平均值作为测量结果。

试料筒尺寸：

用游标卡尺分别测量试料筒的内径和深度，每转动 120° 测量一次，共测量三次，计算三次测量值的算术平均值作为测量结果。

加载时间：

在启动自动式混凝土凝结时间测定仪的同时按下秒表计时，在自动式混凝土凝结时间测定仪达到最大贯入深度停止计时，重复测量 3 次，计算三次测量的算术平均值作为测量结果。

四、试验验证报告

4.1 目的

通过对几款有代表性的砂浆及混凝土凝结时间测定仪进行试验，验证所制订的《砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范》的科学性、合理性和可行性。

4.2 验证方法

在规程修订过程中，修订小组做了大量的试验，为规程的修订积累了充足的试验数据和经验，使规程得以顺利修订完成。现在，规程已基本修订完毕，为验证其科学性、合理性和可行性，选取一市场使用率最大，且最具代表性的砂浆及混凝土凝结时间测定仪，依据修订后的校准规范逐条进行试验，并依据规范附录所提供的校准记录格式记录实验数据。

4.3 实验数据

校准用仪器如下：

a) 外径千分尺：测量范围：(0~25) mm，MPE: $\pm 4 \mu m$ 。

b) 游标卡尺：测量范围：(0~200) mm，MPE: $\pm 0.03 mm$ 。

- c) 电子秒表：测量范围：(0~9) h, MPE: $\pm 0.1\text{s/h}$ 。
- d) 标准测力仪：测量范围：(100~1000) N, 0.3 级。
- e) 标准测力仪：测量范围：(10~100) N, 0.1 级。

砂浆凝结时间测定仪校准记录

记录编号：01

第 1 页 共 1 页

客户名称		/			校准地点		委托方混凝土室			
器具名称		砂浆凝结时间测定仪			型号规格		SN-100			
出厂编号		19151			制造厂		无锡建仪仪器机械有限公司			
校准依据		此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范								
校准温度		21.8℃			校准湿度		42.8%RH			
所用的计量标准 装置器具/主要 仪器设备		名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	证书编号	证书有 效期至	使用前 情况	使用后 情况		
		力值砝 码	(10～ 100)N	M ₁ 等级	XXX	XXX	良好	良好		
		外径千 分尺	(0～25) mm	MPE: ±4 μ m	XXX	XXX	良好	良好		
		数显卡 尺	(0～ 200) mm	MPE: ±0.03mm	XXX	XXX	良好	良好		
		电子秒 表	(0～9) h	MPE: ±0.1s/h	XXX	XXX	良好	良好		
校准项目										
序号	校准项目	技术要求		校准结果						
1	试验力误差及重复性(N)	误差 MPE: ± 0.5%FS 重复性≤ 0.5%FS		校准值	测量结果			平均值	示值 误差	重复性
				20N	19.9	19.8	19.8	19.8	-0.2%	0.1%
				40N	39.8	39.7	39.7	39.7	-0.3%	0.1%
				60N	60.0	59.8	59.9	59.9	-0.1%	0.2%
				80N	79.8	79.7	79.8	79.8	-0.2%	0.1%
				100N	99.8	99.7	99.7	99.7	-0.3%	0.1%
序号	校准项目	技术要求		测量结果				平均值		
2	贯入试针直径(mm)	6.18±0.01		6.185	6.180		6.183	6.183		
3	试料筒尺寸 (mm)	内径	140±0.3	140.22	140.26		140.25	140.24		
		深度	75±0.1	75.08	75.06		75.07	75.07		

校准员：王磊 核验员：朱军 校准日期：2022.8.10

砂浆凝结时间测定仪校准记录

记录编号：02

第 1 页 共 1 页

客户名称		/			校准地点	委托方混凝土室				
器具名称		砂浆凝结时间测定仪			型号规格	SN-100				
出厂编号		202452			制造厂	河北路科建试验仪器有限公司				
校准依据		此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范								
校准温度		21.8℃			校准湿度	42.8%RH				
所用的计量标准 装置器具/主要 仪器设备		名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	证书编号	证书有效 期至	使用前 情况	使用后 情况		
		力值砝 码	(10~ 100)N	M ₁ 等级	XXX	XXX	良好	良好		
		外径千 分尺	(0~25) mm	MPE: ±4 μm	XXX	XXX	良好	良好		
		数显卡 尺	(0~ 200) mm	MPE: ±0.03mm	XXX	XXX	良好	良好		
		电子秒 表	(0~9) h	MPE: ±0.1s/h	XXX	XXX	良好	良好		
校准项目										
序号	校准项目	技术要求		校准结果						
1	试验力误差及重复性(N)	误差 MPE: ± 0.5%FS 重复性≤ 0.5%FS		校准值	测量结果			平均值	示值 误差	重复性
				20N	19.9	19.9	19.9	19.9	-0.1%	0.0%
				40N	39.6	39.7	39.7	39.7	-0.3%	0.1%
				60N	59.8	59.8	59.8	59.8	-0.2%	0.0%
				80N	79.6	79.7	79.8	79.7	-0.3%	0.2%
				100N	99.5	99.6	99.6	99.6	-0.4%	0.1%
序号	校准项目	技术要求		测量结果				平均值		
2	贯入试针直径(mm)	6.18±0.01		6.176		6.178		6.175		6.176
3	试料筒尺寸 (mm)	内径	140±0.3	140.20		140.23		140.22		140.22
		深度	75±0.1	75.03		75.02		75.00		75.02

校准员：王磊 核验员：朱军 校准日期：2022.8.10

砂浆凝结时间测定仪校准记录

记录编号：03

第 1 页 共 1 页

客户名称		/			校准地点	委托方混凝土室				
器具名称		砂浆凝结时间测定仪			型号规格	ZKS-100				
出厂编号		125623			制造厂	河北大宏实验仪器有限公司				
校准依据		此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范								
校准温度		22.0℃			校准湿度	42.5%RH				
所用的计量标准 装置器具/主要 仪器设备		名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	证书编号	证书有 效期至	使用前 情况	使用后 情况		
		力值砝 码	(10~ 100)N	M ₁ 等级	XXX	XXX	良好	良好		
		外径千 分尺	(0~25) mm	MPE: ±4 μ m	XXX	XXX	良好	良好		
		数显卡 尺	(0~ 200) mm	MPE: ±0.03mm	XXX	XXX	良好	良好		
		电子秒 表	(0~9) h	MPE: ±0.1s/h	XXX	XXX	良好	良好		
校准项目										
序号	校准项目	技术要求		校准结果						
1	试验力误差及重复性(N)	误差 MPE: ± 0.5%FS 重复性≤ 0.5%FS		校准值	测量结果			平均值	示值 误差	重复性
				20N	19.6	19.6	19.7	19.6	-0.4%	0.1%
				40N	39.7	39.7	39.7	39.7	-0.3%	0.0%
				60N	60.0	59.9	59.9	59.9	-0.1%	0.1%
				80N	79.9	79.8	79.8	79.8	-0.2%	0.1%
				100N	99.8	99.8	99.9	99.8	-0.2%	0.1%
序号	校准项目	技术要求		测量结果				平均值		
2	贯入试针直径(mm)	6.18±0.01		6.185		6.185		6.183	6.184	
3	试料筒尺寸 (mm)	内径	140±0.3	140.15		140.11		140.09	140.12	
		深度	75±0.1	74.96		74.92		74.95	74.94	

校准员：王磊 核验员：朱军 校准日期：2022.8.10

砂浆凝结时间测定仪校准记录

记录编号：04

第 1 页 共 1 页

客户名称		/			校准地点	委托方混凝土室				
器具名称		砂浆凝结时间测定仪			型号规格	ZKS-100				
出厂编号		215			制造厂	沧州鑫睿试验仪器有限公司				
校准依据		此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范								
校准温度		22.2℃			校准湿度	42.4%RH				
所用的计量标准 装置器具/主要 仪器设备		名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	证书编号	证书有 效期至	使用前 情况	使用后 情况		
		力值砝 码	(10~ 100)N	M ₁ 等级	XXX	XXX	良好	良好		
		外径千 分尺	(0~25) mm	MPE: ±4 μm	XXX	XXX	良好	良好		
		数显卡 尺	(0~ 200) mm	MPE: ±0.03mm	XXX	XXX	良好	良好		
		电子秒 表	(0~9) h	MPE: ±0.1s/h	XXX	XXX	良好	良好		
校准项目										
序号	校准项目	技术要求		校准结果						
1	试验力误差及重复性(N)	误差 MPE: ±0.5%FS 重复性≤0.5%FS		校准值	测量结果			平均值	示值 误差	重复性
				20N	20.01	20.03	20.02	20.02	0.1%	0.1%
				40N	40.04	40.05	40.06	40.05	0.1%	0.0%
				60N	59.95	59.94	59.94	59.94	-0.1%	0.0%
				80N	80.07	80.08	80.11	80.09	0.1%	0.0%
				100N	100.11	100.14	100.18	100.14	0.1%	0.1%
序号	校准项目	技术要求		测量结果				平均值		
2	贯入试针直径(mm)	6.18±0.01		6.182	6.185	6.183	6.183			
3	试料筒尺寸 (mm)	内径	140±0.3	140.24	140.26	140.28	140.26			
		深度	75±0.1	75.04	75.03	75.06	75.04			

校准员：王磊 核验员：朱军 校准日期：2022.8.10

混凝土凝结时间测定仪校准记录

记录编号：05

第 1 页 共 1 页

客户名称		/			校准地点	委托方混凝土室			
器具名称		混凝土凝结时间测定仪			型号规格	HG-1000E			
出厂编号		19			制造厂	无锡建仪仪器机械有限公司			
校准依据		此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范							
校准温度		22.4℃			校准湿度	43.6%RH			
所用的计量标准 装置器具/主要 仪器设备		名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	证书编号	证书有效 期至	使用前 情况	使用后 情况	
		标准测 力仪	(100~ 1000)N	0.3 级	XXX	XXX	良好	良好	
		外径千 分尺	(0~25) mm	MPE: ±4 μm	XXX	XXX	良好	良好	
		数显卡 尺	(0~200) mm	MPE: ±0.03mm	XXX	XXX	良好	良好	
		电子秒 表	(0~9) h	MPE: ±0.1s/h	XXX	XXX	良好	良好	
校准项目									
序号	校准项目	技术要求	校准结果						
1	试验力误差及重复性(N)	误差 MPE: ±1%FS 重复性≤ 1%FS	校准值	测量结果			平均值	示值 误差	重复性
			200N	200.17	200.10	200.08	200.12	0.0%	0.0%
			400N	400.25	400.09	400.13	400.16	0.0%	0.0%
			600N	600.33	600.03	600.21	600.19	0.0%	0.0%
			800N	801.22	800.56	800.26	800.68	0.1%	0.1%
			1000N	1001.56	1000.37	1000.91	1000.95	0.1%	0.1%
序号	校准项目	技术要求			测量结果			平均值	
2	贯入试针 直径(mm)	5.05±0.01			5.055	5.057	5.057	5.056	
		7.98±0.02			7.975	7.980	7.980	7.978	
		11.28±0.02			11.295	11.290	11.290	11.292	
3	试料筒尺寸（mm）	内径	上口	160 ^{+0.6} ₀	160.15	160.14	160.12	160.14	
			下口	150 ^{+0.6} ₀	150.20	150.19	150.19	150.19	
		深度	150±0.3		150.17	150.16	150.16	150.16	
4	加载时间 (s)	(10±2) s			10.08	10.05	10.06	10.06	
5	绝缘电阻 (MΩ)	不小于 2MΩ			20.568MΩ				

校准员： 刘裕 核验员： 朱军 校准日期： 2022.8.10

混凝土凝结时间测定仪校准记录

记录编号：06

第 1 页 共 1 页

客户名称		/			校准地点		委托方混凝土室		
器具名称		混凝土凝结时间测定仪			型号规格		HG-1000E		
出厂编号		19			制造厂		无锡建仪仪器机械有限公司		
校准依据		此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范							
校准温度		22.4℃			校准湿度		43.6%RH		
所用的计量标准 装置器具/主要 仪器设备	名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	证书编号	证书有效 期至	使用前 情况	使用后 情况		
	标准测 力仪	(100~ 1000)N	0.3 级	XXX	XXX	良好	良好		
	外径千 分尺	(0~25) mm	MPE: ±4 μm	XXX	XXX	良好	良好		
	数显卡 尺	(0~200) mm	MPE: ±0.03mm	XXX	XXX	良好	良好		
	电子秒 表	(0~9) h	MPE: ±0.1s/h	XXX	XXX	良好	良好		
校准项目									
序号	校准项目	技术要求	校准结果						
1	试验力误差及重复性(N)	误差 MPE: ±1%FS 重复性≤ 1%FS	校准值	测量结果			平均值	示值 误差	重复性
			200N	200.19	200.05	200.08	200.11	0.0%	0.0%
			400N	400.06	400.26	400.20	400.17	0.0%	0.0%
			600N	600.36	600.03	600.27	600.22	0.0%	0.0%
			800N	801.22	801.64	800.37	801.08	0.1%	0.1%
			1000N	1001.56	1000.37	1001.32	1001.08	0.1%	0.1%
序号	校准项目	技术要求		测量结果			平均值		
2	贯入试针 直径(mm)	5.05±0.01		5.050	5.055	5.057	5.054		
		7.98±0.02		7.975	7.980	7.985	7.980		
		11.28±0.02		11.285	11.290	11.280	11.285		
3	试料筒尺寸 (mm)	内径	上口	160 ^{+0.6} ₀	160.13	160.13	160.14	160.13	
			下口	150 ^{+0.6} ₀	150.20	150.19	150.20	150.20	
		深度	150±0.3		150.16	150.16	150.16	150.16	
4	加载时间(s)	(10±2) s		10.07	10.05	10.07	10.06		
5	绝缘电阻(MΩ)	不小于 2MΩ		20.550MΩ					

校准员：刘裕 核验员：朱军 校准日期：2022.8.10

4.4 试验数据分析

通过计量性能校准认为，规范所规定的计量性能要求完整、充分，能够保证对砂浆及混凝土凝结时间测定仪的等各项计量性能的考核，通过校准后，能够保证砂浆及混凝土凝结时间测定仪的计量性能的准确可靠。规范中规定的校准方法严谨可靠，且充分考虑了被检设备的特性，具有较强的可操作性。

4.5 试验验证结论

经验证，本规程所规定的计量性能要求及校准方法能够满足砂浆及混凝土凝结时间测定仪的校准需求，技术指标的要求充分、合理，校准方法可操作性强。依据本规范对砂浆及混凝土凝结时间测定仪进行校准，能够保证砂浆及混凝土凝结时间测定仪计量性能的准确可靠。

测量不确定度报告

混凝土凝结时间测定仪力值示值误差测量结果不确定度评定

一、概述

1. 测量方法：

此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范。

2. 环境条件：

环境温度（20±5）℃，相对湿度≤80%。

3. 测量标准：

标准测力仪：测量范围（100～1000）N，MPE：±0.3%。

4. 被测对象：

砂浆及混凝土凝结时间测定仪力值误差。

5. 测量过程：

试验力应均匀选取 5 个校准点，一般按最大量程的 20%、40%、60%、80%、100%均匀分布，试验以递进力进行三组测量，每组测量前应调整零点，用标准测力仪对其进行校准，计算每个校准点三次测量的算数平均值。

二、测量模型

$$\Delta F = \frac{\bar{F} - F_0}{F_N} \times 100\%(\text{FS})$$

式中：ΔF—试验力示值相对误差，%；

F₀—递增力时，专用砝码（或标准测力仪）的真实力，N；

\bar{F} —对同一力值点，试验力 3 次测量的算术平均值，N；

F_N —被检仪器测量上限值，N。

当被检设备与环境条件已确定后，上式中的校准点处输出量的 F_N 可以当做常量处理，该式中只有校准点实测的输出量 \bar{F} 和 F_0 两个变量，且该两个变量不相关，因此只考虑这两个变量引入的不确定度。

影响混凝土凝结时间测定仪力值示值误差测量结果的主要因素有标准测力仪的本身精度误差、测量过程的测量重复性、被测仪器的读数误差等，在评定不确定度时考虑这些因素。

三、不确定度评定

1. 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1r} ：

用标准测力仪对混凝土凝结时间测定仪全量程力值点各进行 10 次重复测量，测量结果如下表：

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	标准差 s
实测值 (N)	200.2	200.6	201.2	199.7	201.3	200.5	200.6	201.3	200.7	198.9	0.754
	400.6	399.6	398.7	401.2	401.6	401.1	400.8	400.2	401.8	401.2	0.952
	599.8	600.5	601.3	600.7	601.4	602.3	600.4	599.8	600.2	600.3	0.786
	800.1	801.4	802.2	801.7	800.2	799.3	799.4	802.2	801.4	800.6	1.08
	999.2	1000.2	1001.3	1000.5	1002.4	999.2	1001.7	1002.5	1001.8	1000.8	1.19

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按照下式计算，计算得出各测量点测量重复性引入的不确定度分量如下表：

$$u_1 = s/\sqrt{3}$$

$$u_{1r} = \frac{u_1}{F_N}$$

测量点	200N	400N	600N	800N	1000N
u_{1r}	0.044%	0.055%	0.045%	0.06%	0.07%

2. 标准器引入的标准不确定度分量 u_{2r} ：

该标准器为标准测力仪，其最大允许误差 MPE: $\pm 0.3\%$ ，区间半宽为 0.3%，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_{2r} = 0.3\%/\sqrt{3} = 0.173\%$$

3. 被测仪器的示值分辨力引入的标准不确定度分量 u_{3r} :

混凝土凝结时间测定仪的示值分辨力 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:

$$u_{3r} = \frac{d/2\sqrt{3}}{1000 N} = \frac{0.05/\sqrt{3}}{1000 N} = 0.0029\%$$

由于 $u_{1r} > u_{3r}$, 为避免重复计算, 取最大影响量 u_{1r} , 舍弃 u_{3r} 。

4. 合成标准不确定度

由于各输入量彼此独立不相关, 因此合成标准不确定度按下式计算, 得到各测量点合成标准不确定度如下表:

$$u_c = \sqrt{u_{1r}^2 + u_{2r}^2}$$

测量点	200N	400N	600N	800N	1000N
u_c	0.18%	0.18%	0.18%	0.19%	0.19%

5. 相对扩展不确定度

取 $k=2$, 通过下式计算, 则得到各测量点的相对扩展不确定度如下表:

$$U_{rel} = k \times u_c$$

测量点	200N	400N	600N	800N	1000N
U_{rel}	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%

砂浆凝结时间测定仪力值示值误差测量结果不确定度评定示例

一、概述

1. 测量方法:

此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范。

2. 环境条件:

环境温度 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\leq 80\%$ 。

3. 测量标准:

标准测力仪: 测量范围 $(10 \sim 100) \text{ N}$, MPE: $\pm 0.1\%$ 。

4. 被测对象:

砂浆及混凝土凝结时间测定仪力值误差。

5. 测量过程:

试验力应均匀选取 5 个校准点，一般按最大量程的 20%、40%、60%、80%、100%均匀分布，试验以递进力进行三组测量，每组测量前应调整零点，用标准测力仪对其进行校准，计算每个校准点三次测量的算数平均值。

二、不确定度分析与讨论

$$\Delta F = \frac{\bar{F} - F_0}{F_N} \times 100\%(\text{FS})$$

式中：ΔF—试验力示值相对误差，%；

F₀—递增力时，专用砝码（或标准测力仪）的真实力，N；

\bar{F} —对同一力值点，试验力 3 次测量的算术平均值，N；

F_N—被检仪器测量上限值，N。

当被检设备与环境条件已确定后，上式中的校准点处输出量的F_N可以当做常量处理，该式中只有校准点实测的输出量 \bar{F} 和F₀两个变量，且该两个变量不相关，因此只考虑这两个变量引入的不确定度。

影响砂浆凝结时间测定仪力值示值误差测量结果的主要因素有标准测力仪的本身精度误差、测量过程的测量重复性、被测仪器的读数误差等，在评定不确定度时考虑这些因素。

三、不确定度评定

1. 测量重复性引入的不确定度分量u_{1r}：

用标准测力仪对砂浆凝结时间测定仪全量程力值点各进行 10 次重复测量，测量结果如下表。

测量 次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	标准差 s
实测值 (N)	20.1	20.2	19.9	20.1	20.1	20.0	20.0	19.9	20.0	20.1	0.097
	40.1	40.0	40.2	40.0	40.1	40.0	39.9	39.9	40.1	40.0	0.095
	59.9	60.1	59.9	60.1	60.0	60.2	60.1	60.1	60.0	60.1	0.097
	80.1	80.1	80.0	80.2	80.1	80.1	80.0	80.2	80.1	80.0	0.074
	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8	99.7	99.9	99.9	99.7	99.9	0.084

在实际测量时，取三次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量按照下式计算，计算得出各测量点测量重复性引入的不确定度

分量如下表：

$$u_1 = s/\sqrt{3}$$

$$u_{1r} = \frac{u_1}{F_N}$$

测量点	20N	40N	60N	80N	100N
u_{1r}	0.056%	0.055%	0.056%	0.043%	0.049%

2. 标准器引入的不确定度分量 u_{2r} ：

该项目校准标准器为标准测力仪，其最大允许误差 MPE: $\pm 0.1\%$ ，区间半宽为 0.1% ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_{2r} = 0.1\%/\sqrt{3} = 0.058\%$$

3. 被测仪器的示值分辨力引入的不确定度分量 u_{3r} ：

砂浆凝结时间测定仪的示值分辨力 d 为 0.1N ，其半宽度为 0.05N ，作均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的不确定度分量为：

$$u_{3r} = \frac{d/2\sqrt{3}}{100\text{N}} = \frac{0.05/\sqrt{3}}{100\text{N}} = 0.03\%$$

由于 $u_{1r} > u_{3r}$ ，为避免重复计算，取最大影响量 u_{1r} ，舍弃 u_{3r} 。

4. 合成标准不确定度

由于各输入量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度按下式计算，得到各测量点合成标准不确定度如下表：

$$u_c = \sqrt{u_{1r}^2 + u_{2r}^2}$$

测量点	20N	40N	60N	80N	100N
u_c	0.08%	0.08%	0.08%	0.07%	0.08%

5. 相对扩展不确定度

取 $k=2$ ，通过下式计算，则得到各测量点的相对扩展不确定度如下表：

$$U_{rel} = k \times u_c$$

测量点	20N	40N	60N	80N	100N
U_{rel}	0.16%	0.16%	0.16%	0.14%	0.16%

砂浆及混凝土凝结时间测定仪贯入试针直径测量结果的不确定度评定

一、概述

1. 测量方法：

此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范。

2. 环境条件：

环境温度（20±5）℃，相对湿度≤80%。

3. 测量标准：

外径千分尺：测量范围（0～25）mm，MPE：±4 μm。

4. 被测对象：

砂浆及混凝土凝结时间测定仪贯入试针直径。

5. 测量过程：

用外径千分尺测量贯入试针直径，每转动 120° 测量一次，共测量三次，计算三次测量的算术平均值作为测量结果。

6. 在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

二、测量模型

$$l = l_t$$

式中：l——贯入试针直径值；

l_t ——外径千分尺测量值；

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： $u(l) = u(l_t)$

式中： $u(l)$ ——被测贯入试针直径值的标准不确定度；

$u(l_t)$ ——外径千分尺引入的标准不确定度。

三、不确定度评定

1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 ：

用外径千分尺对砂浆凝结时间测定仪的贯入试针直径进行 10 次重复测量，测量结果如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	s
测量值 (mm)	6.185	6.180	6.187	6.182	6.180	6.182	6.180	6.187	6.180	6.187	0.0032

在实际测量时，取三次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0018\text{mm}$$

2. 标准器引入的标准不确定度分量 u_2 ：

该标准器为外径千分尺，最大允许误差 MPE: $\pm 4 \mu\text{m}$ ，区间半宽为 $4 \mu\text{m}$ ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_2 = \frac{e}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023\text{mm}$$

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 ：

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：

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

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

4. 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.0018^2 + 0.0023^2} = 0.003\text{mm}$$

5. 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则：

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

砂浆及混凝土凝结时间测定仪试料筒内径测量结果 的不确定度评定

一、概述

1. 测量方法：

此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范。

2. 环境条件：

环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。

3. 测量标准：

数显卡尺：测量范围（0~200）mm，MPE:±0.03mm。

4. 被测对象：

砂浆凝结时间测定仪试料筒内径。

5. 测量过程：

用数显卡尺测量试料筒的内径，每转动 120° 测量一次，共测量三次，计算三次测量值的算术平均值作为测量结果。

6. 在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

二、测量模型

$$l = l_t$$

式中： l ——试料筒内径值；

l_t ——数显卡尺测量值；

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： $u(l) = u(l_t)$

式中： $u(l)$ ——被测试料筒内径值的标准不确定度；

$u(l_t)$ ——数显卡尺引入的标准不确定度。

三、不确定度评定

1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 ：

用数显卡尺对砂浆凝结时间测定仪的试料筒内径进行 10 次重复测量，测量结果如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	s
测量值 (mm)	140.09	140.06	140.07	140.05	140.06	140.04	140.06	140.06	140.04	140.05	0.015

在实际测量时，取三次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.009\text{mm}$$

2. 标准器引入的标准不确定度分量 u_2 ：

该标准器为数显卡尺，最大允许误差 MPE:±0.03mm，区间半宽为 0.03mm，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_2 = \frac{e}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017mm$$

3. 数显卡尺的示值分辨力引入的标准不确定度分量 u_3 :

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:

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

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

4. 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.009^2 + 0.017^2} = 0.02mm$$

5. 扩展不确定度

取 $k=2$, 则:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.02 = 0.04mm \quad (k = 2)$$

电动式混凝土凝结时间测定仪贯入过程加载时间测量结果 的不确定度评定

一、概述

1. 测量方法:

此次编写的砂浆及混凝土凝结时间测定仪校准规范。

2. 环境条件:

环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\leq 80\%$ 。

3. 测量标准:

电子秒表: 测量范围 $(0 \sim 9) \text{ h}$, MPE: $\pm 0.1 \text{ s/h}$ 。

4. 被测对象:

电动式混凝土凝结时间测定仪贯入过程加载时间。

5. 测量过程:

在启动自动式混凝土凝结时间测定仪的同时按下秒表计时, 在自动式混凝土凝结时间测定仪达到最大贯入深度停止计时, 重复测量 3 次, 计算三次测量的算术平均值作为测量结果。

6. 在符合上述条件下的测量结果, 一般可直接使用本不确定度的评定结果。

二、测量模型

$$t = t_0$$

式中： t ——贯入时间实际值；

t_0 ——电子秒表测量值；

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： $u(t) = u(t_0)$

式中： $u(t)$ ——被测试料筒内径值的标准不确定度；

$u(t_0)$ ——数显卡尺引入的标准不确定度。

三、不确定度评定

1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 ：

用数显卡尺对砂浆凝结时间测定仪的试料筒内径进行 10 次重复测量，测量结果如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	s
测量值(s)	10.56	10.43	10.37	10.42	10.47	10.45	10.58	10.52	10.55	10.64	0.084

在实际测量时，取三次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.05s$$

2. 标准器引入的标准不确定度分量 u_2 ：

该标准器为电子秒表，此项校准参数测量点为 10s，因此最大允许误差 MPE： $\pm 0.1s$ ，区间半宽为 0.1s，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

$$u_2 = \frac{e}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06s$$

3. 电子秒表的示值分辨力引入的标准不确定度分量 u_3 ：

电子秒表的示值分辨力 d 为 0.01s，其半宽度为 0.005s，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：

$$u_3 = d/2\sqrt{3} = 0.005/\sqrt{3} = 0.003\text{s}$$

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

4. 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.05^2 + 0.06^2} = 0.08\text{s}$$

5. 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.08 = 0.16\text{s} \quad (k = 2)$$
