

天津市地方计量技术规范

JJF(津)115-2024

混凝土快速冻融试验机校准规范

Calibration Specification for Rapid Freezing
and Thawing Test Machine for Concrete

2024-03-30发布

2024-06-30实施

天津市市场监督管理委员会 发布

混凝土快速冻融试验机校准规范

Calibration Specification for Rapid
Freezing and Thawing Test Machine
for Concrete

JJF(津) 115-2024

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市交通科学研究院

天津市公路事业发展服务中心

参加起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市交通科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

薛 文（天津市交通科学研究院）

冯 伟（天津市交通科学研究院）

范文皓（天津市交通科学研究院）

焦晓磊（天津市公路事业发展服务中心）

高雅娟（天津市公路事业发展服务中心）

参加起草人：

李玉波（天津市交通科学研究院）

黄会明（天津市交通科学研究院）

曹峰源（天津市交通科学研究院）

赵 楠（天津市计量监督检测科学研究院）

李 鑫（天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

目录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 温度控制偏差	(1)
3.2 温度均匀度	(1)
3.3 冻-融转换过程	(1)
3.4 融-冻转换过程	(1)
3.5 融解过程	(2)
3.6 冷冻过程	(2)
3.7 冻融循环	(2)
3.8 第一次循环	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其技术要求	(3)
7 校准项目及校准方法	(4)
7.1 测量点位置与温度设定范围	(4)
7.2 试验机温度传感器示值误差	(4)
7.3 温度控制偏差	(5)
7.4 温度均匀度	(5)
7.5 试件内外温差	(6)
7.6 冻融试验各过程时间	(6)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 混凝土快速冻融试验机冻融时间计算方法	(8)
附录 B 混凝土快速冻融试验机校准记录参考格式	(11)
附录 C 校准证书内页格式	(14)
附录 D 试验机温度传感器示值误差测量不确定度评定示例	(15)

引言

本规范依据 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》、JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》规定的规则进行编写。

本规范为首次发布。

混凝土快速冻融试验机校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为 $(-18—5)$ ℃混凝土快速冻融试验机的校准。

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 50082-2009 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法

JG/T 243-2009 混凝土抗冻试验设备

JTG 3420-2020 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 术语和计量单位

3.1 温度控制偏差 temperature control deviation

中心试件内部实际达到的最低温度、最高温度与混凝土快速冻融试验机冻、融温度设定值之差。

3.2 温度均匀度 temperature uniformity

混凝土快速冻融试验机达到的最低温度或最高温度时，工作空间在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

3.3 冻-融转换过程 freezing-thawing conversion process

在正常冻融循环过程中，中心位置试件内部温度由下降转为上升时，从达到最低温度开始，温度变化速率小于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的阶段。

3.4 融-冻转换过程 thawing-freezing conversion process

在正常冻融循环过程中，中心位置试件内部温度由上升转为下降时，从达到最高温度开始，温度变化速率小于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的阶段。

3.5 融解过程 thawing process

试件中心温度从冻-融转换过程结束上升至最高温度的过程。

3.6 冷冻过程 freezing process

试件中心温度从融-冻转换过程结束下降到最低温度的过程。

3.7 冻融循环 cycle of freezing and thawing

试件中心温度从最高温度下降到最低温度，再上升至最高温度的完整过程。

3.8 第一次循环 first cycle

从室温开始下降，到第一次冻-融转换过程结束的不完整循环。

4 概述

混凝土快速冻融试验机（以下简称试验机）主要用于测试混凝土的抗冻性能。

试验机通过模拟混凝土试件在水中反复冷冻和融解的过程，并以经受的冻融循环次数表示混凝土抗冻性能。

试验机主要由冻融箱、加热制冷系统、温度自动控制及数据存储系统等组成。

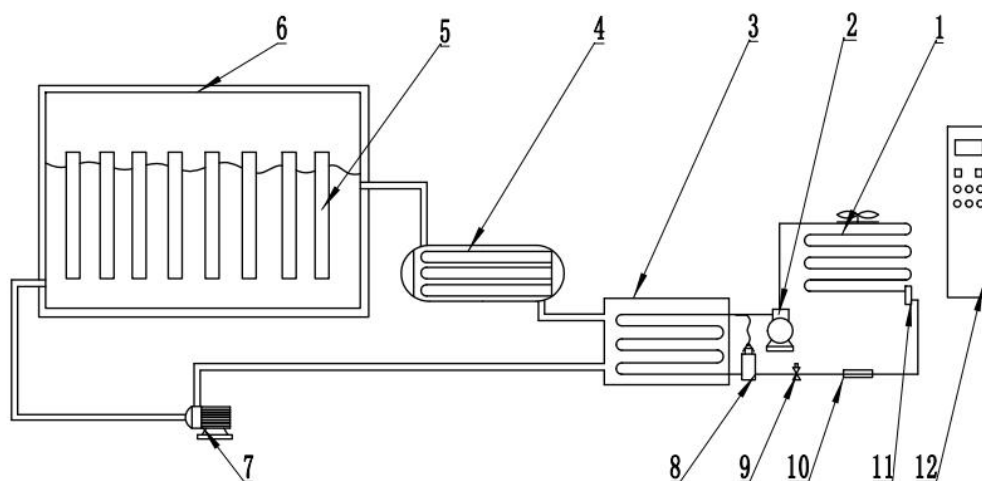


图1 混凝土快速冻融试验机示意图

1—冷凝器；2—压缩机；3—蒸发制冷器；4—加热器；5—橡胶试件盒；6—冻融箱；7—循环泵；8—膨胀阀；9—电磁
阀；10—过滤器；11—贮液罐；12—自控系统

5 计量特性

混凝土快速冻融试验机的计量特性见表1。

表 1 混凝土快速冻融试验机计量特性

计量特性	参考指标
试验机温度传感器示值误差	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
温度控制偏差	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
温度均匀度	$\leq 2^{\circ}\text{C}$
试件内外温差	$\leq 28^{\circ}\text{C}$
冻-融/融-冻转换过程时间	$\leq 10\text{min}$
单次冻融循环时间	(2~4)h
融解/冷冻过程时间	$\geq 1/4$ 当次冻融循环时间
(-16~3) $^{\circ}\text{C}$ 过程时间	$\geq 1/2$ 当次融解过程时间
(3~-16) $^{\circ}\text{C}$ 过程时间	$\geq 1/2$ 当次冷冻过程时间

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度：(10~25) $^{\circ}\text{C}$ ；湿度： $\leq 85\%RH$ 。

6.2 测量标准及其技术要求

测量标准及其技术要求见表 2

表 2 测量标准及其技术要求

序号	设备名称	技术要求	
1	温度时间测量标准	温度	测量范围：(-30~20) $^{\circ}\text{C}$ 分辨力：不低于 0.01 $^{\circ}\text{C}$ 最大允许误差： $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
		时间	分辨力：0.01s 最大允许误差： $\pm 0.05\text{s}$
2	校准试件	抗冻等级大于 F400	

注 1：温度测量标准具备自动记录、储存温度数据、数据采集时间间隔可调等功能；

注 2：温度时间测量标准一般应选用多通道温度显示仪表或多路温度测量装置，通道传感器不少于 4 个，并能满足校准工作需求；

注 3：试验机和温度测量标准传感器的响应时间均不大于 30s；

注 4：温度测量标准需要引用温度修正值；

注 5：校准试件中心预留测温孔，孔径不小于试验机温度传感器和标准器温度传感器直径之和；

注 6：校准试件在承受 200 次冻融循环后，应更换新的试件。

7 校准项目及校准方法

7.1 测量点位置与温度设定范围

将温度传感器与试验机的温度传感器分别固定在一起。在冻融箱中心位置（O 点）放置校准试件并将中心位置传感器密封后，向中心试件桶内注入至少高出试件 5mm 的防冻液，冻融箱内其他位置也应放置混凝土试件。在冻融箱内接近中心的位置（2 点）与任一对角线两端处（1、3 点）分别放置与防冻液接触的温度传感器，其中上部传感器（1 点）放置于距离液面 50mm 处，下部传感器（3 点）放置于距离箱底 50mm 处，且距离箱壁不少于 50mm。具体位置如图 2 所示。

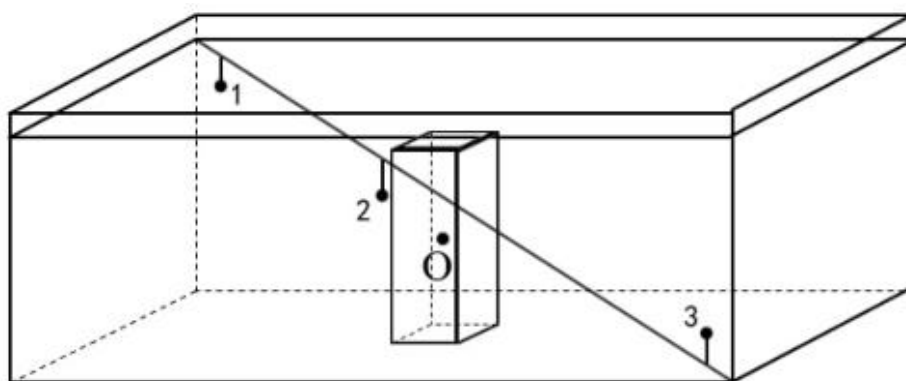


图 2 温度传感器布点示意图

将试验机冻、融温度分别设定为 -18°C 、 5°C ，启动设备进行 2 次以上循环(第一次循环为从室温开始下降，到第一次冻-融转换过程结束的不完整循环)，并以 1min 的时间间隔记录温度数据。

7.2 试验机温度传感器示值误差

当试验机中心试件温度到达 -18°C 和 5°C 时，同时读取各测温点与试验机对应温度传感器示值，每点共读取 4 次，分别取其平均值，通过公式（1）计算得到试验机温度传感器示值误差。

$$\overline{\Delta T_j} = \overline{T_{j\text{试}}} - \overline{T_{j\text{标}}} \quad (1)$$

式中:

$\overline{T_{j\text{标}}}$ ——第 1、2、3、0 号位置温度时间测量标准温度传感器示值, °C;

$\overline{T_{j\text{试}}}$ ——第 1、2、3、0 号位置试验机温度传感器示值, °C;

$\overline{\Delta T_j}$ ——试验机第 1、2、3、0 号位置温度传感器示值误差, °C。

7.3 温度控制偏差

在一个完整冻融过程中, 取温度时间测量标准在中心试件中测得的最低温度值与 -18°C 之差和测得的最高温度值与 5°C 之差, 即为试件冷冻温度控制偏差和融解温度控制偏差。

$$T_f = T_{\text{omin}} - (-18) \text{ °C} \quad (2)$$

$$T_t = T_{\text{omax}} - 5 \text{ °C} \quad (3)$$

式中:

T_{omin} ——完整冻-融循环校准试件内达到的最低温度, °C;

T_{omax} ——完整冻-融循环校准试件内达到的最高温度, °C;

T_f ——冷冻温度控制偏差, °C;

T_t ——融解温度控制偏差, °C。

7.4 温度均匀度

在一个完整的冻融循环过程中, 记录防冻液中各测量点标准温度传感器示值, 分别计算试验机达到最低温度时各传感器的最大差值以及达到最高温度时的最大差值分别作为试验机温度均匀度。

$$\Delta t = T_{j\text{max}} - T_{j\text{min}} \quad (4)$$

式中:

$T_{j\text{max}}$ ——温度时间测量标准各传感器在 j 时刻测得最大值, °C;

$T_{j\text{min}}$ ——温度时间测量标准各传感器在 j 时刻测得最小值, °C;

Δt ——试验机温度均匀度, °C。

7.5 试件内外温差

在一个完整的冻融循环过程中，记录中心试件内标准温度传感器与外部防冻液中心位置标准温度传感器最大差值作为试件内外温差。

$$\Delta T = \max[| (T_{j\text{件}}) - (T_{j\text{液}}) |] \quad (5)$$

式中：

$T_{j\text{件}}$ ——校准试件内 j 时刻温度时间测量标准显示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{j\text{液}}$ ——防冻液内 j 时刻温度时间测量标准显示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

ΔT ——试件内外温差， $^{\circ}\text{C}$ 。

7.6 冻融试验各过程时间

以校准试件内标准温度传感器的测量数据为依据，计算得到完整冻融循环内各阶段的时间。具体的计算方法参照附录 A。

8 校准结果表达

经校准后，出具校准证书，校准证书内容应至少包含：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 进行校准的地点；
- c) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- d) 委托方名称和地址；
- e) 被校对象的描述和明确标识；
- f) 收样、校准及证书签发日期；
- g) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- h) 校准环境的描述；
- i) 本次校准用设备的溯源性及有效性说明；
- j) 校准项目、校准结果以及测量不确定度的说明；
- k) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- l) 校准人员及核验人员的签名或其他有效标识。

9 复校时间间隔

建议校准时间间隔不超过 1 年。

由于复校时间的长短是由试验机的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素决定，因此，用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

混凝土快速冻融试验机冻融时间计算方法

A.1 冻-融转换过程时间

导出温度数据后，首先找到达到温度最低点的时间点 T_1 ，按以下公式 (A-1) 计算出校准试件内的温度变化率 ΔT ，找到温度变化率等于 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的时间点 T_2 ，再按以下公式 (A-2) 计算出冻-融转换过程时间 T ：

$$\Delta T = (T_t - T_{t-1}) / 1 \quad (\text{A-1})$$

其中：

ΔT — t 时刻内校准试件内的温度变化率， $^\circ\text{C}/\text{min}$ ；

T_t — t 时刻校准试件内的温度， $^\circ\text{C}$ ；

T_{t-1} — $t-1$ 时刻校准试件内的温度， $^\circ\text{C}$ 。

$$T = T_1 - T_2 \quad (\text{A-2})$$

其中：

T —冻-融转换过程时间， min ；

T_1 —达到温度最低点的时间点， min ；

T_2 —温度变化率等于 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的时间点， min 。

示例数据见表 A.1：

表 A.1 校准试件内温度及其变化率(截选)

时间/min	校准试件内温度($^\circ\text{C}$)	温度变化率 ($^\circ\text{C}/\text{min}$)
.....
377	-17.06
378	-17.35	-0.29
379	-17.70	-0.35
380	-17.98	-0.28
381	-17.90	0.08
382	-17.78	0.12
.....

数据中达到最低温度 -17.98°C 的时间为 380min ，通过附表 1 得出在 381.5min 时，温

度变化率为 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 则本次冻-融转换过程开始于 380min, 结束于 381.5min, 冻-融转换过程时间为 1.5min。

A.2 融-冻转换过程时间

同冻-融转换过程时间计算方法。

A.3 融解过程时间

融解过程时间为温度变化率大于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的时间点到最高温度的时间点的时间差。

A.4 冷冻过程时间

冷冻过程时间为温度变化率大于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的时间点到最低温度的时间点的时间差。

A.5 单次冻融循环时间

单次冻融循环时间为冷冻时间、冻-融转换过程时间、融解过程时间和融-冻转换过程时间之和。

A.6 $(-16\sim 3)^{\circ}\text{C}$ 过程时间

$(-16\sim 3)^{\circ}\text{C}$ 过程时间为一次冻融循环内, 校准试件内温度从 -16°C 升至 3°C 所用的时间, 由于采集的温度数据一般不会恰好等于 -16°C 或 3°C , 所以达到 -16°C 和 3°C 的时间由最接近该温度的两个点通过线性插值计算获得。

示例数据见表 A.2:

表 A.2 校准试件内温度

时间 (min)	校准试件内温度 ($^{\circ}\text{C}$)
.....
250	-16.22
251	-16.05
252	-15.88
253	-15.69
.....
288	2.86
289	2.97
290	3.02
291	3.08
.....

可知在第 251min 和 252min 之间, 校准试件内温度达到 -16°C , 则在此范围内建立试

件内温度 t 与时间 T 的关系: $t=-16.05+(-15.88+16.05)\times(T-251)$, $t=-16^{\circ}\text{C}$ 时, 计算可得在 $t=-16^{\circ}\text{C}$ 时, $T_{-16}\approx 251.3\text{min}$ 。

可知在第 289min 和 290min 之间, 校准试件内温度达到 3°C , 则在此范围内建立试件内温度 t 与时间 T 的关系: $t=2.97+(3.02-2.97)\times(T-289)$, $t=3^{\circ}\text{C}$ 时, 计算可得在 $t=3^{\circ}\text{C}$ 时, $T_3\approx 289.6\text{min}$ 。 $T_3-T_{-16}=38.3\text{min}$ 即为 $(-16\sim 3)^{\circ}\text{C}$ 过程时间。

A.7 $(3\sim -16)^{\circ}\text{C}$ 过程时间

同 $(-16\sim 3)^{\circ}\text{C}$ 过程时间计算方法。

附录 B

混凝土快速冻融试验机校准记录参考格式

证书编号: _____

控制编号: _____

样品 信息	委托单位							
	样品名称		出厂编号					
	准确度等级		型号/规格					
	样品来源	<input type="checkbox"/> 送样 <input type="checkbox"/> 现场 <input type="checkbox"/> 其他		测量范围				
	样品接收时间	年 月 日		生产厂家				
校准依据								
校准用标准器信息								
名称	型号规格	出厂编号	测量范围	生产厂家	不确定度/准 确度等级/最 大允许误差	计量器具 证书编号	有效期至	溯源机构
环境 条件	测量地点							
	测量时间	年 月 日		温度(°C)				
	其 他			湿度(%RH)				
校准项目		技术要求	校准结果					$U, k=2$
试验机温度传感器示值误差/°C		±0.5	位置	-18°C 试验机				平均
			1					
			2					
			3					
			0					
			位置	标准器				平均
			1					
			2					
			3					
			0					
			位置	示值误差				
			1					
			2					
			3					
0								

第 页 共 页

证书编号: _____

控制编号: _____

校准项目		技术要求	校准结果						$U, k=2$	
试验机温度传感器示值 误差/°C		± 0.5	位置	5°C				平均		
				试验机						
			1							
			2							
			3							
			0							
			位置	标准器				平均		
				1						
			2							
			3							
			0							
			位置	示值误差						
				1						
				2						
3										
0										
温度控制偏 差/°C	冷冻温度 控制偏差	± 2	T_{omin}	设 定 值	-18	T_f				
	融解温度 控制偏差		T_{omax}		5	T_t				
温度均匀度/°C		≤ 2	最低 温度	最 大 值	最 小 值	Δt				
			最高 温度							
试件内外温差/°C		≤ 28	试件内		防冻液		ΔT			

第 页 共 页

证书编号: _____

控制编号: _____

校准项目		技术要求	校准结果					
冻融试验各过程时间	冻-融转换过程时间/min	≤ 10	T_1		T_2		T	
	融-冻转换过程时间/min	≤ 10	T_1		T_2		T	
	融解过程时间/min	$\geq 1/4$ 当次冻融循环时间						
	冷冻过程时间/min							
	单次冻融循环时间/h	(2~4)						
	(-16~3) °C 过程时间/min	$\geq 1/2$ 当次融解过程时间	T_{-16}		T_3		T	
	(3~-16) °C 过程时间/min	$\geq 1/2$ 当次冷冻过程时间	T_3		T_{-16}		T	
结 论								
备 注								
校准人员				核验人员				

第 页 共 页

附录 C

校准证书内页格式

校准项目		技术要求	校准结果		$U, k=2$
试验机温度传感器示值误差/℃		± 0.5	位置 1		
			位置 2		
			位置 3		
			位置 O		
温度控制偏差	冷冻温度控制偏差/℃	± 2			
	融解温度控制偏差/℃				
温度均匀度/℃		≤ 2			
试件内外温差/℃		≤ 28			
校准项目		技术要求	校准结果		
冻融试验各过程时间	冻-融转换过程时间/min	≤ 10			
	融-冻转换过程时间/min	≤ 10			
	融解过程时间/min	$\geq 1/4$ 当次冻融循环时间			
	冷冻过程时间/min	$\geq 1/4$ 当次冻融循环时间			
	单次冻融循环时间/h	(2~4)			
	(-16~3)℃过程时间/min	$\geq 1/2$ 当次融解过程时间			
	(3~-16)℃过程时间/min	$\geq 1/2$ 当次冷冻过程时间			

附录 D

试验机温度传感器示值误差测量不确定度评定示例

D.1 被校对象

混凝土快速冻融试验机，分辨力：0.1℃，校准点：5℃。

D.2 测量标准

温度时间测量标准，分辨力：0.01℃，测量时带修正值使用，温度不确定度 $U=0.022^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

D.3 校准方法

按照校准规范要求，用温度时间测量标准测量 O 点温度传感器示值误差（5℃温度点）校准结果的不确定度。

D.4 测量模型

$$\Delta T_d = T - T_{\text{标}} \quad (\text{D-1})$$

式中：

ΔT_d —试验机中心位置温度传感器示值误差，℃；

T —冻融试验机显示温度，℃；

$T_{\text{标}}$ —温度时间测量标准显示值，℃。

D.5 不确定度分量

D.5.1 被测试验机引入的不确定度分量

D.5.1.1 被测试验机测量重复性引入的不确定度分量

重复测量条件下对 5℃ 进行 3 次重复测量，测量数据见表 D.1。

表 D.1 测量数据

℃

次数	1	2	3
T	5.1	5.1	5.0
$T_{\text{标}}$	5.31	5.25	5.07
ΔT_d	-0.21	-0.15	0.07

由测量数据采用极差法计算标准差为：

$$\sigma = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{C} \quad (\text{D-2})$$

式中：

σ —重复性标准差， $^{\circ}\text{C}$ ；

ΔT_{\max} — 5°C 时试件中心点示值误差最大值， $^{\circ}\text{C}$ ；

ΔT_{\min} — 5°C 时试件中心点示值误差最小值， $^{\circ}\text{C}$ ；

C —极差系数，查表得 C 为 1.64。

实际测量以三次平均值测量值作为结果，则由测量重复性引起的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} = 0.10^{\circ}\text{C}$$

D.5.1.2 被测试验机分辨力引入的标准不确定度

此例中，试验机的温度示值分辨力为 0.1°C ，服从均匀分布，则 $k = \sqrt{3}$ ，按公式计算：

$$u_2 = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

D.5.2 标准器引入的标准不确定度

D.5.2.1 温度时间测量标准修正值引入的不确定度分量

根据上级证书，温度时间测量标准修正值引入的不确定度： $U=0.022^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ 则：

$$u_3 = \frac{U}{k} = 0.011^{\circ}\text{C}$$

D.5.2.2 温度时间测量标准分辨力引入的不确定度分量

温度时间测量标准分辨力为 0.01°C ，引入的不确定度服从均匀分布，则 $k = \sqrt{3}$ ，按公式计算：

$$u_4 = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.0029^{\circ}\text{C}$$

D.6 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表 D.2

表 D.2 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号	不确定的来源	标准不确定度
u_1	被测试验机测量重复性	0.10℃
u_2	被测试验机分辨力	0.029℃
u_3	温度时间测量标准引入	0.011℃
u_4	温度时间测量标准分辨力	0.0029℃

D.7 合成标准不确定度

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.10^\circ\text{C}$$

D.8 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 0.20^\circ\text{C}$$

