



中华人民共和国工业和信息化部
建材计量技术规范

JJF（建材）XXX—XXXX

光热、光电器件冰雹冲击试验机
校准规范

Calibration Specification for Photothermal and Optoelectronic

Device Hail Impact Test Machine

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

光热、光电器件冰雹冲击 试验机校准规范

Calibration Specification for
Photothermal and Optoelectronic
Device Hail Impact Test Machine

JJF（建材）XXX—XXXX

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

参加起草单位：XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

参加起草人：

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

XXX（XXXXXXXXXXXXXX）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
4 概述	1
5 计量特性	3
5.1 冰球直径误差	3
5.2 冰球质量误差	3
5.3 冰球存储容器温度偏差	3
5.4 冰球冲击速度误差	3
5 校准条件	3
5.1 环境条件	3
5.2 测量标准及其他设备	3
6 校准项目和校准方法	4
6.1 校准前的检查	4
7 校准结果表达	7
7.1 校准记录	7
7.2 校准证书	7
7.3 校准结果的不确定度评定	8
8 复校时间间隔	8
附录 A 冰球规格与冰雹冲击试验机试验速度	9
附录 B 光热、光电器件冰雹冲击试验机校准记录参考格式	10
附录 C 光热、光电器件冰雹冲击试验机校准证书内页参考格式	12
附录 D 光热、光电器件冰雹冲击试验机校准结果测量不确定度评定示例	13

引 言

JJF 1071—2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1094—2002 《测量仪器特性评定》、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》 共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考ISO 9806:2017 《太阳能 太阳能集热器 测试方法》、IEC 61215-2:2021 《地面用光伏组件 设计鉴定和定型-第2 部分:测试程序》、IEC TS 62862-3-3:2020 《太阳能光热发电站集热管通用要求与测试方法》编制而成。

本规范为首次发布。

光热、光电器件冰雹冲击试验机校准规范

1 范围

本规范适用于光热、光电器件冰雹冲击试验机（以下简称冰雹冲击试验机）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

ISO 9806:2017 太阳能 太阳能集热器 测试方法

IEC 61215-2: 2021 地面用光伏组件 设计鉴定和定型-第 2 部分：测试程序

IEC TS 62862-3-3:2020 太阳能光热发电站集热管通用要求与测试方法

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

3.1 光电测速系统

通常由两个位置传感器组成。通过测量冰球经过两位置传感器的时间及两位置传感器距离，计算出冰球在该位置的平均速度。

3.2 冰球冲击速度

冰球经过冰雹冲击试验机光电测速系统的平均速度，单位为米每秒（m/s）。

4 概述

冰雹冲击试验机是用于检测光热发电玻璃反射镜、光伏组件、太阳能集热器等光热、光电器件（组件）经受冰雹冲击能力的仪器。其主要由发射系统、光电测速系统、冰发射管、试样固定支架等组成。按发射角度可分为垂直发射、水平发射和多角度发射等不同型式，垂直发射式冰雹冲击试验机结构如图 1 所示，水平发射式冰雹冲击试验机结构如图 2 所示。通过模拟自然环境中的冰雹气候，以评估光热、光电器件的抗冰雹撞击能力。

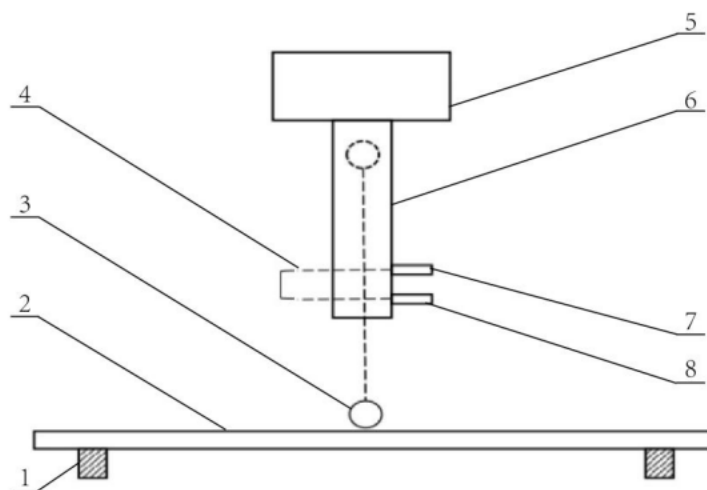


图 1 垂直发射式冰雹冲击试验机结构示意图

1—试样固定支架；2—组件；3—冰球；4—光电测速系统；5—发射系统；6—发射管；7、8—位置传感器

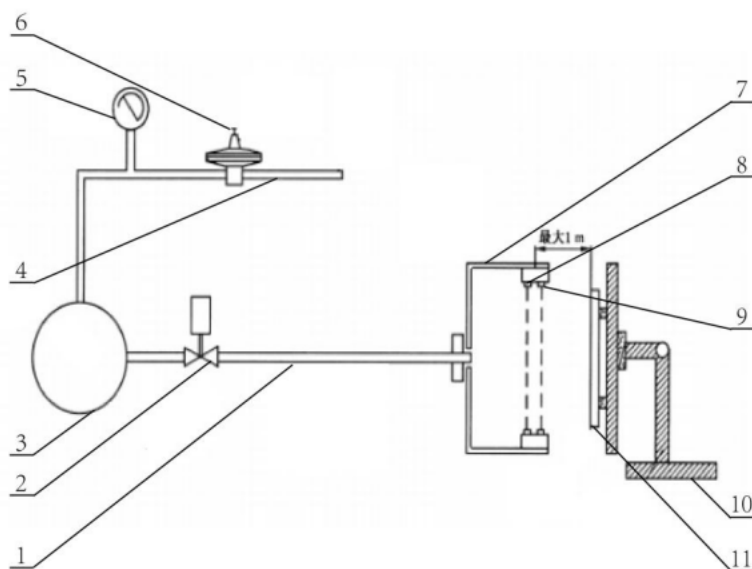


图 2 水平发射式冰雹冲击试验机结构示意图

1—发射管；2—电磁阀；3—储气室；4—进气管；5—气压表；

6—调节器；7—光电测试系统；8、9—位置传感器；10—组件；11—试样固定支架

5 计量特性

5.1 冰球直径误差：±5%。

5.2 冰球质量误差：±5%。

5.3 冰球存储容器温度偏差：(−4±2)℃。

5.4 冰球冲击速度误差：±5%。

注：以上所有指标不适用于合格性判别，仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(20±5)℃。

5.1.2 相对湿度：(40%~80%)。

5.1.3 大气压：8.60×10⁴ Pa~1.06×10⁵ Pa。

5.1.4 其他条件：周围无腐蚀性气体，无影响测量的振动。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表1。

表1 测量标准及其他设备

序号	校准项目	测量标准及其他设备	技术指标
1	冰球直径误差	游标卡尺	测量范围：(0~150) mm 最大允许误差：±0.03mm
2	冰球质量误差	电子天平	标准器引入的不确定度不大于被校冰球质量最大允许误差的1/3
3	冰球存储容器温度偏差	温度测量标准	温度测量标准由铂电阻、热电偶等温度传感器与数据采集器组成，通道传感器数量不少于3个，并能满足校准工作需求。 测量范围：(−10~20)℃ 最大允许误差：±0.5℃

表 1 测量标准及其他设备 (续)

序号	校准项目	测量标准及其他设备	技术指标
4	冰球冲击速度误差	示波器	测量范围：（1～10）ms 最大允许误差：±0.2%
		游标卡尺	测量范围：（0～150）mm 最大允许误差：±0.03 mm
		速度检定仪	测量范围：（10～45）m/s 最大允许误差：±1.0%
注：允许使用其他满足测量不确定度要求的标准器进行校准。			

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前的检查

冰雹冲击试验机应有铭牌, 标明产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂、出厂日期等; 仪器应用保护装置, 防止冰球冲击过程溅射; 仪器外观加工平整, 各部件齐全完好, 运动部件机构合理, 仪器各开关、按键功能正常, 操作灵活可靠, 电气安全性能安全可靠。

6.2 校准前工作准备

根据用户使用需求, 选择不同规格模具 (冰球规格与试验速度见附录 A), 使用冷冻箱制备试验所需足够数量的冰球, 制备出的冰球应无气泡、无肉眼可见裂纹, 测量前, 冰球应在存储容器中恒温至少 1 小时。

6.3 冰球直径误差

分别选取不同标称直径的冰球进行测量, 带隔热手套取出冰球, 用游标卡尺在冰球相互垂直的三个位置直接测量, 测量位置如图 3 所示。取三次测量值的平均值作为冰球直径, 根据公式 (1) 计算冰球直径误差。测量需在 60s 内完成。

$$\delta_d = d - \bar{d} \quad (1)$$

式中:

δ_d ——冰球直径误差, mm;

d ——冰球直径标称值, mm;

$\bar{d}$ ——游标卡尺三次测量冰球直径平均值, mm。

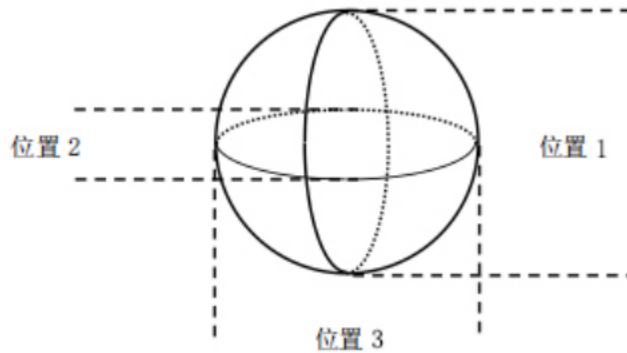


图 3 冰球测量位置示意图

6.4 冰球质量误差

重新选取不同标称质量的冰球, 带隔热手套取出冰球, 用天平直接测量冰球质量, 每个冰球测量三次, 取三次测量值的平均值作为冰球质量, 根据公式 (2) 计算冰球质量误差。每次测量时将一干净托盘置于电子天平上, 并清零, 测量需在 60s 内完成。

$$\delta_m = m - \bar{m} \quad (2)$$

式中:

δ_m ——冰球质量误差, g;

m ——冰球质量标称值, g;

$\bar{m}$ ——电子天平三次测量冰球质量平均值, g。

6.5 冰球存储容器温度偏差

当冰球存储容器容积小于或等于 0.05 m^3 时, 温度测量点为 3 个, 沿冰球储存容器工作空间中轴线布放, 如图 4 所示。温度点 B 位于储存容器工作空间几何中心处, 温度点 A、C 与存储容器顶面、底面的距离为冰球存储容器高度的 $1/10$ 。

当冰球存储容器容积大于 0.05 m^3 时, 可根据实际需要或用户需求增加测量点数量并图示说明。

设定冰球存储容器温度为 $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 开启运行, 冰球存储容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 内共计记录 16 组数据。根据公式 (3)、(4) 计算冰球存储容器温度偏差。

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (3)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (4)$$

式中:

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差, °C;

$\Delta t_{\min}$ ——温度下偏差, °C;

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度, °C;

$t_{\min}$ ——各测量点规定时间内测量的最低温度, °C;

t_s ——冰球存储容器设定温度, °C。

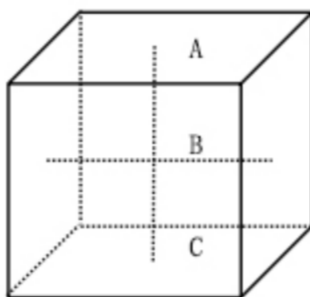


图 4 冰球存储容器容积不大于 0.05 m³ 布点示意图

6.6 冰球冲击速度误差

6.6.1 示波器法

用游标卡尺测量冰雹冲击试验机两位置传感器中心距离, 重复测量三次, 取平均值 $\bar{L}$ 。

将示波器两个通道的电笔连接到两位置传感器的信号输出端, 设定好自动触发模式。选择相应规格冰球, 设定冰雹冲击试验机冲击速度, 发射冰球, 分别记录示波器测得冰球通过两位置传感器后传感器产生的信号时间差和冰雹冲击试验机光电测速系统速度测量值, 重复测量三次, 按公式 (5) 计算冰球冲击速度误差。

$$\Delta v = \bar{v} - \frac{\bar{L}}{\Delta t} \quad (5)$$

式中:

Δv ——冰球冲击速度误差, m/s;

$\bar{v}$ ——冰雹冲击试验机光电测速系统三次测量冰球冲击速度平均值, m/s;

$\bar{L}$ ——游标卡尺三次测量两位置传感器中心距离平均值, mm ;

$\overline{\Delta t}$ ——示波器三次测量冰球通过两位置传感器时间差平均值, ms。

根据用户使用需求, 依次测量不同设定值时冰球冲击速度误差。

6.6.2 速度检定仪法

将速度检定仪的激光发射器及反射器固定在被测冰雹冲击试验机发射口两端, 调整激光发射器及反射器高度, 使其上端面距离冰球冲击试验机发射口不超过 5mm, , 保证激光发射器和反射器之间无遮挡物, 发射光束与冰雹冲击轨迹垂直相交。

选择相应规格冰球, 设定冰雹冲击试验机冲击速度, 发射冰球, 重复测量三次, 分别记录速度检定仪和冰雹冲击试验机光电测速系统速度测量值, 按公式 (6) 计算冰球冲击速度误差。

$$\Delta v = \bar{v} - \bar{V} \quad (6)$$

式中:

Δv ——冰球冲击速度误差, m/s;

$\bar{v}$ ——冰雹冲击试验机光电测速系统三次测量冰球冲击速度平均值, m/s;

$\bar{V}$ ——速度检定仪三次示值平均值, m/s。

根据用户使用需求, 依次测量不同设定值时冰球冲击速度误差。

注: 校准时可选择 6.6.1 或 6.6.2 中的任意一种方法进行。

7 校准结果表达

7.1 校准记录

推荐的校准原始记录格式见附录 B

7.2 校准证书

校准证书应包括以下信息:

- (1) 标题: “校准证书”;
- (2) 实验室名称和地址;
- (3) 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- (4) 证书的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;

- (5) 客户的名称和地址;
- (6) 被校对象的描述和明确标识;
- (7) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- (8) 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;
- (9) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- (10) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- (11) 校准环境的描述;
- (12) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- (13) 对校准规范的偏离的说明;
- (14) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- (15) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- (16) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

推荐的校准证书内页格式见附录 C。

7.3 校准结果的不确定度评定

测量不确定度评定按 JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》进行, 其不确定度评定示例见附录 D。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 建议复校时间间隔为 12 个月。

附录 A

冰球规格与冰雹冲击试验机试验速度

冰球直径/mm	冰球质量/g	试验速度/(m/s)	冰球直径/mm	冰球质量/g	试验速度/(m/s)
12.5	0.94	16.0	45	43.9	30.7
15	1.63	17.8	55	80.2	33.9
25	7.53	23.0	65	132.0	36.7
35	20.7	27.2	75	203.0	39.5

附录 B

光热、光电器件冰雹冲击试验机校准记录参考格式

记录编号: _____

共 2 页 第 1 页

委托单位: _____ 委托单位地址: _____ 仪器名称: _____

生产厂家: _____ 型号规格: _____ 出厂编号: _____

被校仪器状态(完好“√”): 校准前: _____ 校准后: _____

校准依据: _____ 外观检查: _____

校准条件: 温度: _____ °C 相对湿度: _____ % 校准地点: _____

标准器名称	型号规格	出厂编号	测量范围	准确度等级 或最大允许 误差	有效期至	证书编号

1. 校准项目

校准项目	标称值	校准结果				示值误差	测量不确定 度 ($k=2$)
		I	II	III	平均值		
冰球直径误差/mm							
冰球质量误差/mm							

2. 冰球存储容器温度偏差 温度设定值: -4 °C

位置	测量值/°C								温度上偏差/°C
A									
									温度上偏差/°C
B									
C									

(续)

共 2 页 第 2 页

3. 冰球冲击速度误差								
3.1 示波器法								
设定速度 /(m/s)	冰雹冲击试验机示值/(m/s)						示值误差 /(m/s)	测量不确定 度 ($k=2$)
	I		II		III			
	冰球通过两位置传感器信号时 间差/ms			两位置传感器中心距离/mm				
	I	II	III	I	II	III		
3.2 速度检测仪法								
设定速度 /(m/s)	冰雹冲击试验机示值/(m/s)			速度检测仪示值/(m/s)			示值误差 /(m/s)	测量不确定 度 ($k=2$)
	I	II	III	I	II	III		

校准员：_____ 核验员：_____ 校准日期：_____年_____月_____日

附录 C

光热、光电器件冰雹冲击试验机校准证书内页参考格式

序号	校准项目	标称值	校准结果	测量不确定度 ($k=2$)
1	冰球直径误差/mm			
2	冰球质量误差/g			
3	冰球存储容器温度上偏差/℃			
4	冰球存储容器温度上偏差/℃			
5	冰球冲击速度误差/(m/s)			

以下空白

附录 D

光热、光电器件冰雹冲击试验机校准结果测量不确定度评定示例

D.1 光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球直径误差测量不确定度评定

D.1.1 被校对象：标称直径为 25 mm 的冰球。

D.1.2 校准标准：游标卡尺，测量范围：（0～150）mm，最大允许误差：±0.03 mm。

D.1.3 测量方法：带隔热手套取出冰雹，用游标卡尺在冰球相互垂直的三个位置直接测量。取三次测量值的平均值作为冰球直径，三次测量平均值与冰球标称直径之差即为冰球直径误差。

D.1.4 测量模型

冰球直径误差的测量模型：

$$\delta_d = d - \bar{d} \quad (\text{D.1})$$

式中：

δ_d ——冰球直径误差，mm；

d ——冰球直径标称值，mm；

$\bar{d}$ ——游标卡尺三次测量冰球直径平均值，mm。

D.1.5 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2 = c(\bar{d})^2 u(\bar{d})^2 \quad (\text{D.2})$$

灵敏系数：

$$c(\bar{d}) = \frac{\partial \delta_d}{\partial \bar{d}} = -1$$

D.1.6 标准不确定度评定

D.1.6.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

测量重复性通过游标卡尺体现，使用 A 类评定方法，按本规范 6.3 的方法对标称直径为 25 mm 的冰球进行 10 次重复测量，重复性试验数据见表 D.1：

表 D.1 冰球直径重复性试验数据

单位: mm

测量次数	1	2	3	4	5	6
冰球直径	24.88	24.92	24.94	24.88	24.86	24.88
冰球直径误差	0.12	0.08	0.06	0.12	0.14	0.12
测量次数	7	8	9	10	平均值	标准偏差
冰球直径	24.86	24.86	24.88	24.84	24.88	0.03
冰球直径误差	0.14	0.14	0.12	0.14	0.12	

根据贝塞尔公式可得试验标准偏差 $s = 0.03$ mm, 校准时取三次测量平均值作为校准结果, 则重复性引入的不确定度分量 $u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0174$ mm。

D.1.6.2 游标卡尺读数的对线误差引入的不确定度分量 u_2

对于分度值为 0.02 mm 的游标卡尺, 对线误差分布区间为 0.01 mm。该对线误差为均匀分布, 则: $u_2 = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3}} = 0.003$ mm。

由于重复性带来的不确定度分量大于游标卡尺读数的对线误差带来的不确定度分量, 故只考虑重复性带来的影响。

D.1.6.3 游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量 u_3

游标卡尺最大允许误差为 ± 0.03 mm, 按均匀分布, 则 $u_3 = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.0173$ mm。

D.1.7 各项标准不确定度分量一览表

将上述标准不确定度分量及灵敏系数列入表 D.2。

表 D.2 各项标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入的不确定度分量	0.0174 mm	-1	-0.0174 mm
u_3	游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量	0.0173 mm	-1	-0.0173 mm

D.1.8 合成标准不确定度 u_c

合成标准不确定度为: $u_c = \sqrt{0.0174^2 + 0.0173^2} = 0.025 \text{ mm}$ 。

D.1.9 扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$, 则: $U = ku_c = 2 \times 0.025 = 0.05 \text{ mm}$ 。

D.2 光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球质量误差测量不确定度评定

D.2.1 被校对象: 标称质量为 7.53 g 的冰球。

D.2.2 校准标准: 电子天平, 测量范围: (0~1000) g, 分辨力: 0.01 g, 准确度等级: Ⅲ级。

D.2.3 测量方法: 带隔热手套取出冰球, 用天平直接测量冰球质量, 每个冰球测量三次, 取三次测量值的平均值作为冰球质量, 三次测量平均值与冰球标称质量之差即为冰球质量误差。

D.2.4 测量模型

冰球质量误差的测量模型:

$$\delta_m = m - \bar{m} \quad (\text{D.3})$$

式中:

δ_m ——冰球质量误差, g;

m ——冰球质量标称值, g;

$\bar{m}$ ——电子天平三次测量冰球质量平均值, g。

D.2.5 方差和灵敏系数

方差:

$$u_c^2 = c(\bar{m})^2 u(\bar{m})^2 \quad (\text{D.4})$$

灵敏系数:

$$c(\bar{m}) = \frac{\partial \delta_m}{\partial m} = -1$$

D.2.6 标准不确定度评定

D.2.6.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

测量重复性通过电子天平体现, 使用 A 类评定方法, 按本规范 6.4 的方法对标称质量为 7.53 g 的冰球进行 10 次重复测量, 重复性试验数据见表 D.3:

表 D.3 冰球质量重复性试验数据

单位: g

测量次数	1	2	3	4	5	6
冰球质量	7.44	7.44	7.43	7.44	7.44	7.44
冰球质量误差	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09
测量次数	7	8	9	10	平均值	标准偏差
冰球质量	7.43	7.44	7.43	7.42	7.435	0.007
冰球质量误差	0.10	0.09	0.10	0.11	0.095	

根据贝塞尔公式可得试验标准偏差 $s = 0.007$ g, 校准时取三次测量平均值作为校准结果, 则重复性引入的不确定度分量 $u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0041$ g。

D.2.6.2 电子天平最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

电子天平最大允许误差为 $\pm 0.05\text{ g}$ ，按均匀分布，则 $u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\text{ g}$ 。

注：电子天平分辨力为 0.01 g ，由电子天平分辨力所引入的不确定度与其他因素引入的不确定度相比贡献量小，故对其引入的不确定度分量忽略不计。

D.2.7 各项标准不确定度分量一览表

将上述标准不确定度分量及灵敏系数列入表 D.4。

表 D.4 各项标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入的不确定度分量	0.0041 g	-1	-0.0041 g
u_2	电子天平最大允许误差引入的不确定度分量	0.029 g	-1	-0.029 g

D.2.8 合成标准不确定度 u_c

合成标准不确定度为： $u_c = \sqrt{0.0041^2 + 0.029^2} = 0.03\text{ g}$ 。

D.2.9 扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$ ，则： $U = ku_c = 2 \times 0.03 = 0.06\text{ g}$ 。

D.3 光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球存储容器温度偏差测量不确定度评定

D.3.1 被校对象：冰球存储容器。

D.3.2 校准标准：温度测量标准，测量范围： $(-10 \sim 20)^\circ\text{C}$ ，最大允许误差： $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

D.3.3 测量方法：在冰球储存容器中布放三个温度测量点。设定冰球存储容器温度为 -4°C ，开启运行，冰球存储容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 内共计记录16组数据。

D.3.4 测量模型

冰球存储容器温度偏差测量模型：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (\text{D.5})$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (\text{D.6})$$

式中:

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差, °C;

$\Delta t_{\min}$ ——温度下偏差, °C;

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内温度巡检仪测量的最高温度, °C;

$t_{\min}$ ——各测量点规定时间内温度巡检仪测量的最低温度, °C;

t_s ——冰球存储容器设定温度, °C。

由于上偏差和下偏差不确定度来源和数值相同, 因此以温度上偏差为例进行不确定度评定。

D.3.5 方差和灵敏系数

方差:

$$u_c^2(\Delta t_{\max}) = c(t_{\max})^2 u(t_{\max})^2 + c(t_s)^2 u(t_s)^2 \quad (\text{D.7})$$

灵敏系数:

$$c(t_{\max}) = \frac{\partial \Delta t_{\max}}{\partial t_{\max}} = 1$$

D.3.6 标准不确定度评定

D.3.6.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

使用 A 类评定方法, 按本规范 6.5 的方法对冰球存储容器温度进行 10 次测量, 重复性试验数据见表 D.5:

表 D.5 冰球存储容器温度重复性试验数据

单位: °C

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	-3.48	-3.73	-3.69	-3.54	-3.65	-3.59	-3.44	-3.83	-3.58	-3.77

根据贝塞尔公式计算的试验标准偏差 $s = 0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则 $u_1 = s = 0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D.3.6.2 标准器引入不确定度分量 u_2

D.3.6.2.1 标准器分辨力引入的不确定度分量 u_{21}

标准器分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，其数显量化误差以等概率分布在半宽为 $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间内，则

$$u_{21} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{ }^{\circ}\text{C}。$$

D.3.6.2.2 标准器最大允许误差引入的标准不确定度 u_{22}

标准器最大允许误差为 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布，则 $u_{22} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

标准器分辨力引入的标准不确定度远小于标准器最大允许误差引入的标准不确定度，可以忽略不计，因此标准器引入的标准不确定度 $u_2 = 0.29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D.3.7 各项标准不确定度分量一览表

将上述标准不确定度分量及灵敏系数列入表 D.6。

表 D.6 各项标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入的不确定度分量	$0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$
u_2	标准器引入的不确定度分量	$0.29\text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$0.29\text{ }^{\circ}\text{C}$

D.3.8 合成标准不确定度 u_c

合成标准不确定度为： $u_c = \sqrt{0.13^2 + 0.29^2} = 0.32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D.3.9 扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$ ，则： $U = ku_c = 2 \times 0.32 = 0.64\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D.4 示波器法测量光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球冲击速度误差测量不确定度评定

D. 4. 1 被校对象：光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球冲击速度。

D. 4. 2 校准标准：示波器，测量范围：（1~10）ms，最大允许误差：±0. 2%；游标卡尺，测量范围：（0~150）mm，最大允许误差：±0. 03 mm。

D. 4. 3 测量方法：用游标卡尺测量冰雹冲击试验机两位置传感器中心的距离，重复测量三次。将示波器两个通道的电笔连接到两位置传感器的信号输出端，设定好自动触发模式。选择相应规格冰球，设定冰雹冲击试验机冲击速度，发射冰球，分别记录示波器测得冰球通过两位置传感器后传感器产生的信号时间差和冰雹冲击试验机光电测速系统速度测量值，根据公式（5）计算冰球冲击速度误差。

D. 4. 4 测量模型

冰球冲击速度误差的测量模型：

$$\Delta v = \bar{v} - \frac{\bar{L}}{\Delta t} \quad (D. 8)$$

式中：

Δv ——冰球冲击速度误差，m/s；

$\bar{v}$ ——冰雹冲击试验机光电测速系统三次测量冰球冲击速度平均值，m/s；

$\bar{L}$ ——游标卡尺三次测量两位置传感器中心距离平均值，mm；

Δt ——示波器三次测量冰球通过两位置传感器时间差平均值，ms。

D. 4. 5 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2 = c(\bar{v})^2 u(\bar{v})^2 + c(\bar{L})^2 u(\bar{L})^2 + c(\Delta t)^2 u(\Delta t)^2 \quad (D. 9)$$

灵敏系数：

$$c(\bar{v}) = \frac{\partial \Delta v}{\partial \bar{v}} = 1 \quad ; \quad c(\bar{L}) = \frac{\partial \Delta v}{\partial \bar{L}} = -\frac{1}{\Delta t} \quad ; \quad c(\Delta t) = \frac{\partial \Delta v}{\partial \Delta t} = \frac{\bar{L}}{\Delta t^2}$$

D. 4. 6 标准不确定度评定

D. 4. 6. 1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

使用 A 类评定方法，按本规范 6. 6. 1 的方法对设定速度为 23. 0 m/s 时的冰球冲击速度进行 10 次重复测量，重复性试验数据检表 D. 7：

表 D.7 冰球冲击速度重复性试验数据

测量次数	1	2	3	4	5	6
冰雹试验机示值/(m/s)	22.54	22.28	22.41	22.57	22.52	22.61
示波器示值/ms	4.65	4.63	4.72	4.69	4.58	4.63
游标卡尺示值/mm	99.88	99.84	99.88	99.86	99.88	99.82
速度误差/(m/s)	1.060	0.816	1.249	1.278	0.712	1.051
测量次数	7	8	9	10	平均值	标准偏差
冰雹试验机示值/(m/s)	22.69	22.48	22.53	22.55	22.528	
示波器示值/ms	4.55	4.71	4.66	4.61	4.643	
游标卡尺示值/mm	99.86	99.82	99.88	99.889	99.86	
速度误差/(m/s)	0.743	1.287	1.097	0.884	1.020	0.219

根据贝塞尔公式可得试验标准偏差 $s = 0.219$ m/s, 校准时取三次测量平均值作为校准

结果, 则重复性引入的不确定度分量 $u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.127$ m/s。

D.4.6.2 游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

游标卡尺最大允许误差为 ± 0.03 mm, 按均匀分布, 则 $u_2 = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.0174$ mm。

D.4.6.3 示波器最大允许误差引入的不确定度分量 u_3

示波器最大允许误差为 $\pm 0.2\%$, 在 4.699 ms 最大允许误差为 ± 0.0094 ms, 按均匀分

布, 则 $u_3 = \frac{0.0094}{\sqrt{3}} = 0.0055$ ms。

注: 由游标卡尺、示波器及冰雹冲击试验机分辨力所引入的不确定度与其他因素引入的不确定度相

比贡献量小, 故对其引入的不确定度分量忽略不计。

D. 4. 7 各项标准不确定度分量一览表

将上述标准不确定度分量及灵敏系数列入表 D. 8。

表 D. 8 各项标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入的不确定度分量	0.127 m/s	1	0.127 m/s
u_2	游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量	0.0174 mm	-0.215 ms^{-1}	-0.004 m/s
u_3	示波器最大允许误差引入的不确定度分量	0.0055 ms	4.581 mm/ms^2	0.026 m/s

D. 4. 8 合成标准不确定度 u_c

合成标准不确定度为: $u_c = \sqrt{0.127^2 + 0.004^2 + 0.026^2} = 0.13 \text{ m/s}$ 。

D. 4. 9 扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$, 则: $U = ku_c = 2 \times 0.13 = 0.26 \text{ m/s}$, 则 $U_{rel} = 1.2\%$ 。

D. 5 速度检定仪测量光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球冲击速度误差测量不确定度评定

D. 5. 1 被校对象: 光热、光电器件冰雹冲击试验机冰球冲击速度。

D. 5. 2 校准标准: 速度检定仪, 测量范围: (10~45) m/s, 最大允许误差: $\pm 1.0\%$ 。

D. 5. 3 测量方法: 将速度检定仪的激光发射器及反射器固定在被测冰雹冲击试验机发射口两端, 选择相应规格冰球, 设定冰雹冲击试验机冲击速度, 发射冰球, 重复测量三次, 分别记录速度检定仪和冰雹冲击试验机光电测速系统速度测量值, 按公式 (6) 计算冰球冲击速度误差。

D. 5. 4 测量模型

冰球冲击速度误差的测量模型:

$$\Delta v = \bar{v} - \bar{V} \quad (\text{D. 10})$$

式中:

Δv ——冰球冲击速度误差, m/s;

$\bar{v}$ ——冰雹冲击试验机光电测速系统三次测量冰球冲击速度平均值, m/s;

$\bar{V}$ ——速度检定仪三次示值平均值, m/s。

D.5.5 方差和灵敏系数

方差:

$$u_c^2 = c(\bar{v})^2 u(\bar{v})^2 + c(\bar{V})^2 u(\bar{V})^2 \quad (\text{D.11})$$

灵敏系数:

$$c(\bar{v}) = \frac{\partial \Delta v}{\partial v} = 1 \quad ; \quad c(\bar{L}) = \frac{\partial \Delta v}{\partial V} = -1$$

D.5.6 标准不确定度评定

D.5.6.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

使用 A 类评定方法, 按本规范 6.6.2 的方法对设定速度为 23.0 m/s 时的冰球冲击速度进行 10 次重复测量, 重复性试验数据见表 D.9:

表 D.9 冰球冲击速度重复性试验数据

测量次数	1	2	3	4	5	6
冰雹试验机示值/(m/s)	22.54	22.38	22.41	22.57	22.52	22.61
速度检定仪示值/(m/s)	21.613	21.632	21.558	21.659	21.734	21.597
速度误差/(m/s)	0.927	0.748	0.852	0.911	0.786	1.013
测量次数	7	8	9	10	平均值	标准偏差
冰雹试验机示值/(m/s)	22.69	22.48	22.53	22.55	22.528	
速度检定仪示值/(m/s)	21.641	21.783	21.855	21.595	21.6667	
速度误差/(m/s)	1.049	0.697	0.675	0.955	0.8613	0.131

根据贝塞尔公式可得试验标准偏差 $s = 0.131 \text{ m/s}$ ，校准时取三次测量平均值作为校准

结果，则重复性引入的不确定度分量 $u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.076 \text{ m/s}$ 。

D.5.6.2 速度检定仪最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

速度检定仪最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ ，在 21.6667 m/s 时最大允许误差为 $\pm 0.217 \text{ m/s}$ ，

按均匀分布，则 $u_2 = \frac{0.217}{\sqrt{3}} = 0.126 \text{ m/s}$ 。

D.5.6.3 重力加速度引入的不确定度分量 u_3

重力加速度引入的不确定分量主要通过速度检定仪激光发射器端面与冰雹冲击试验机位置传感器位移量体现。垂直向下发射时，重力加速度对冰球冲击速度影响最大，不超过

0.104 m/s ，按均匀分布，则 $u_3 = \frac{0.104}{\sqrt{3}} = 0.060 \text{ m/s}$ 。

注：由速度检定仪及冰雹冲击试验机分辨力所引入的不确定度与其他因素引入的不确定度相比贡献量小，故对其引入的不确定度分量忽略不计。

D.5.7 各项标准不确定度分量一览表

将上述标准不确定度分量及灵敏系数列入表 D.10。

表 D.10 各项标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入的不确定度分量	0.076 m/s	1	0.076 m/s
u_2	速度检定仪最大允许误差引入的不确定度分量	0.126 m/s	-1	-0.126 m/s
u_3	重力加速度引入的不确定度分量	0.060 m/s	1	0.060 m/s

D.5.8 合成标准不确定度 u_c

合成标准不确定度为: $u_c = \sqrt{0.076^2 + 0.126^2 + 0.060^2} = 0.159 \text{ m/s}$ 。

D.5.9 扩展不确定度 U

取包含因子 $k = 2$, 则: $U = ku_c = 2 \times 0.159 = 0.318 \text{ m/s}$, 则 $U_{rel} = 1.5\%$ 。
