



福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1104—2020

冰雹试验机校准规范

Calibration Specification for Hail Tester

2020-05-19 发布

2020-05-19 实施

福建省市场监督管理局 发布

冰雹试验机校准规范

Calibration Specification for Hail Tester

JJF (闽) 1104—2020

本规范经福建省市场监督管理局于 2020 年 05 月 19 日批准，并自 2020 年 05 月 19 日起施行。

归口单位：福建省市场监督管理局

起草单位：福建省计量科学研究院

本规范委托福建省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

何 翔（福建省计量科学研究院）

刘旗峰（福建省计量科学研究院）

黎健生（福建省计量科学研究院）

参加起草人：

罗海燕（福建省计量科学研究院）

陈彩云（福建省计量科学研究院）

刘燕红（福建省计量科学研究院）

游宏亮（福建省计量科学研究院）

目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	3
7 校准项目和校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	5
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 冰球试验机冰球直径偏差测量结果不确定度评定示例.....	7
附录 B 冰球试验机冰球质量偏差测量结果不确定度评定示例.....	12
附录 C 冰球试验机冰球存储容器温度的示值误差测量结果不确定度评定示例.....	17
附录 D 冰球试验机冰球初速度的示值误差测量结果不确定度评定示例.....	19
附录 E 冰雹试验机校准原始记录格式.....	28

引 言

本规范依据 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059《测量不确定度评定与表示》进行编写。在编制过程中参考了 JJF 1101-2003《环境试验设备温度、湿度校准规范》、GB/T 9535-1998《地面用晶体硅光伏组件-设计鉴定和定型》、IEC 61215-2: 2016《地面用晶体硅光伏组件(PV)-设计鉴定和定型-第 2 部分：试验程序》(Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures)。

冰雹试验机校准规范

1 范围

本规范适用于光伏用光电测速型冰雹试验机的校准。

2 引用文件

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059 测量不确定度评定与表示

JJF 1071 国家计量校准规范编写规则

JJF 1101-2003 环境试验设备温度、湿度校准规范

GB/T 9535-1998 地面用晶体硅光伏组件-设计鉴定和定型

IEC 61215-2: 2016 地面用晶体硅光伏组件(PV)-设计鉴定和定型-第2部分：试验程序 (Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures)

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 术语和计量单位

3.1 光电测速系统

用于对冰球进行速度测量，通常为2个测速传感器组成。通过测量冰球通过两个测速传感器的时间与距离，计算出冰球在该位置的速度。

3.2 冰球初速度

冰球离开冰雹试验机光电测速系统瞬间的速度，单位为米每秒（m/s）。

4 概述

冰雹试验机是用于对光伏组件进行抗冰雹撞击能力测试、模拟冰雹气候对组件性能的影响的设备。冰雹试验机主要由发射系统、光电测速系统、冰球导轨、光伏组件安装支架等构成，图1为冰雹试验机结构示意图。

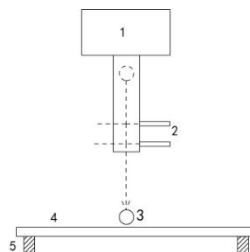


图1 冰雹试验机结构示意图

1-发射系统；2-光电测速系统；3-冰球；4-光伏组件；5-光伏组件安装支架

冰雹试验机整体测量系统的计量特性主要有冰球直径、冰球质量、冰球存储容器温度和冰球初速度。

5 计量特性

5.1 外观及功能要求

5.1.1 冰雹试验机应具有设备名称、型号、仪器编号、生产厂家等信息。

5.1.2 冰雹试验机设备仪表按键和基本功能应正常并能够稳定工作。

5.2 冰球直径偏差

即：
$$\Delta D = D_n - D_m \quad (1)$$

式中： D_n ——GB/T 9535 地面用晶体硅光伏组件 设计鉴定和定型中规定的冰球直径的标准值，mm；

D_m ——冰球直径的测量值，mm。

冰球直径偏差的最大允许值一般为 $\pm 5\%$ 。

5.3 冰球质量偏差

即：
$$\Delta M = M_n - M_m \quad (2)$$

式中： M_n ——GB/T 9535 地面用晶体硅光伏组件 设计鉴定和定型中规定的对应直径的冰球质量的标准值，g；

M_m ——冰球质量的测量值，g。

冰球质量偏差的最大允许值一般为 $\pm 5\%$ 。

5.4 冰球存储容器的温度示值误差

即：
$$\Delta T = T_n - T_m \quad (3)$$

式中： T_n ——冰球存储容器的温度设定值， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_m ——冰球存储容器内中心点温度测量值， $^{\circ}\text{C}$ 。

冰球存储容器的温度示值误差的最大允许值一般为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

5.5 冰球初速度的示值误差

即：
$$\Delta v = v_n - v_m \quad (4)$$

式中： v_n ——冰球初速度的设定值，m/s；

v_m ——初速度的测量值，m/s。

冰球初速度的示值误差的最大允许值一般为 $\pm 5\%$ 。

冰雹试验机主要技术指标见表1。

表1 冰雹试验机主要技术指标

序号	校准项目	最大允许值
1	冰球直径偏差	不超过 $\pm 5\%$ (冰球直径: 25mm、35 mm、45 mm、55 mm、65 mm、75mm)。
2	冰球质量偏差	不超过 $\pm 5\%$ (冰球质量: 7.53g、20.7g、43.9g、80.2g、132.0g、203.0g)。
3	冰球存储容器的温度示值误差	不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (冰球存储容器的温度: -4°C)。
4	冰球初速度的示值误差	不超过 $\pm 5\%$ (冰球初速度: 23m/s、27.2 m/s、30.7 m/s、33.9 m/s、16.7m/s、39.5 m/s)。

注: 以上指标不适用于合格性判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 校准环境条件6.1.1温度: $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 湿度: 不大于85%RH。

6.1.3 其他条件: 电网电压波动符合冰雹试验机和检测设备的使用要求, 无影响其正常工作的电磁场、机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 卡尺

用于测量冰球的直径和冰雹试验机冰雹出口处两个位置传感器之间距离。分辨力小于等于0.01mm, 测量范围不小于(0~200) mm, 最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$ 。

6.2.2 电子秤

用于测量冰球的质量。分辨力小于等于0.01g, 测量范围为(0~50) g时, 最大允许为 $\pm 0.005\text{g}$; 测量范围为(50~200) g时, 最大允许为 $\pm 0.01\text{g}$; 测量范围大于200g时, 最大允许误差为 $\pm 0.015\text{g}$ 。

6.2.3 温度巡检仪

用于测量储存冰球用容器的温度。分辨力小于等于 0.01°C , 测量范围不小于 $(-10\sim 10)^{\circ}\text{C}$, 最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ 。

6.2.4 示波器

用于测量冰雹试验机冰雹出口处两个位置传感器触发信号产生的时间间隔。时间测量分辨力小于等于0.01ms, 测量范围不小于(0~1) s, 最大允许误差为 $\pm 0.2\%$ 。

测量标准主要技术指标如表2。

表 2 测量标准主要技术指标

序号	标准器	分辨力	测量范围	最大允许误差
1	卡尺	≤0.01mm	不小于 (0~200) mm	±0.03mm
2	电子秤	≤0.01g	(0~50) g	±0.005 g
			(50~200) g	±0.01g
			大于 200g	±0.015g
3	温湿度巡检仪	≤0.01℃	不小于 (-10~10) ℃	±0.5%
4	示波器	时间测量: ≤0.01ms	不小于 (0~1) s	±0.2%

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

主要为目视和手动检查。内容包括：制造厂名或商标、出厂编号、仪器名称、型号应清晰明了，设备能正常工作。确保操作人员能得到有效保护。

7.2 冰球直径偏差

利用模具和冷冻箱制备足够的试验所需直径的冰球，包括初调发射器所需数量，制备出的冰球应无肉眼可见裂纹。测量前，置冰球于存储容器中至少 1 小时。

用手套将冰球取出，采用卡尺测量制备冰球的直径。每个冰球测量不同位置三次，大致测量位置如图 2 所示，记录卡尺的读数 (D_1 , D_2 , D_3)，采用式 (5) 计算均值 D_m 作为测量值，测量需在 60 秒内完成。

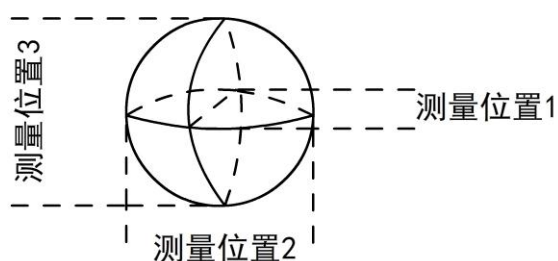


图 2 冰球直径测量位置示意图

$$D_m = \frac{(D_1 + D_2 + D_3)}{3} \quad (5)$$

采用式 (1) 计算冰球直径的偏差 ΔD 。

7.3 冰球质量偏差

用手套将冰球取出，采用电子秤测量冰球的质量。每个冰球测量三次，每次测量时将一干净托盘置于电子秤上，并将电子秤清零后测量冰球质量。记录电子秤的读数

(M_1, M_2, M_3) ，采用式(6)计算均值 M_m 作为冰球质量测量值，测量需在60秒内完成。

$$M_m = \frac{(M_1 + M_2 + M_3)}{3} \quad (6)$$

采用式(2)计算冰球质量的偏差 ΔM 。

7.4 冰球存储容器温度

用温度巡检仪测量冰球存储容器的温度，温度传感器放置点位于容器的几何中心点。温度稳定(10分钟内温度相对变化率小于5%且无明显上升或下降趋势)后每隔2分钟读取温度数据，共读取15次，采用式(7)计算15次数据的平均值 T_m 作为冰球存储容器内中心点温度测量值。

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^{15} T_i}{15} \quad (7)$$

采用式(3)计算冰球存储容器的温度偏差 ΔT 。

7.5 冰球初速度

用卡尺测量冰雹试验机冰雹出口处两个位置传感器的距离，测量三次，记录卡尺的读数 (L_1, L_2, L_3) ，采用式(8)计算均值 L_m 作为位置传感器的距离测量值。

$$L_m = \frac{(L_1 + L_2 + L_3)}{3} \quad (8)$$

将示波器的两个通道的表笔连接到两个位置传感器的信号输出端，设定好自动触发模式。让冰雹试验机正常发射冰球，记录示波器测得冰球通过两个位置传感器后传感器产生的信号时间差。重复此过程三次，以三次时间差 $(\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3)$ 根据式(9)计算均值 Δt 作为冰球经过两个位置传感器时间差测量值。

$$\Delta t = \frac{(\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3)}{3} \quad (9)$$

用距离测量值 L 与冰球经过两个位置传感器时间差测量值 t ，根据式(10)计算冰球初速度 v 。

$$v = \frac{L + 0.5 \times g \times \Delta t^2}{\Delta t} \quad (10)$$

式中， g 为重力加速度，福建地区一般取 9.79m/s^2 。

8 校准结果表达

根据校准结果，出具校准证书，所有校准项目及其结果均应在证书中反映。校准结果

的表达按照 JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》的要求。校准证书应包含以下信息内容：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 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；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用的测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准的环境描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由一起的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔。更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时，应随时校准。

附录 A

冰雹试验机冰球直径偏差测量结果不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 测量依据:JJG(闽) ××××—××××《冰雹试验机校准规范》

A.1.2 测量环境条件:环境温度(25±5)℃, 环境湿度≤85%RH

A.1.3 测量用标准器:卡尺, 最小分辨力0.01mm, 测量范围不小于(0~200)mm, 最大允许误差±0.03mm。

A.1.4 测量对象:冰球

A.2 标称直径 25mm 冰球的冰球直径偏差不确定度评定

A.2.1 测量模型

A.2.1.1 公式

$$\Delta D = D_n - D_m$$

式中: D_n ——冰球直径的标称值, mm;

D_m ——冰球直径的测量值, mm。

A.2.1.2 不确定度来源包括:标准器读数重复性引起的不确定度, 标准器卡尺校准溯源引起的不确定度

A.2.2 标准不确定度分量的评定

A.2.2.1 输入量D读数重复性的标准不确定度 $u_1(D)$ 评定

通过用卡尺对同一个冰球的同一位置的直径进行连续测量得到测量数据如下:

表 A.1 冰球直径测量重复性数据

序号(i)	1	2	3	4	5	6
示值 D_i (mm)	24.93	25.16	25.06	25.01	25.01	25.02

计算极差 $R=25.16-24.93=0.23\text{mm}$;

查表得极差系数 $C=2.53$;

单个测得值的实验标准差: $s=\frac{R}{C}=0.091\text{mm}$;

在实际测量中, 在重复性条件下, 测量 3 次, 以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果, 可得到:

$$u(D)_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.053\text{mm}$$

A.2.2.2 卡尺校准溯源的不确定度 $u_2(D)$ 的评定

根据校准证书，校准结果的扩展不确定度 $U=0.01\text{mm}$ ($k=2$)，则 $u_2(D)=0.005\text{mm}$ 。

A.2.3 标准不确定度的评定

A.2.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球直径偏差测量模型是： $\Delta D=D_n-D_m$

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(D)=\frac{\partial \Delta D}{\partial D_n}=1$ ， $c_{u2}(D)=\frac{\partial \Delta D}{\partial D_m}=-1$ 。

A.2.3.2 标准不确定度分量一览表

表 A.2 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(D)$	输入量 D 读数重复性的标准不确定度	0.053mm	1
$u_2(D)$	卡尺校准溯源的不确定度	0.005mm	-1

故因此合成标准不确定度为

$$u_c(D)=\sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(D) \cdot u_i(D))^2}=0.053\text{mm}$$

A.2.4 扩展不确定度的确定

$$U=k \times u_c(D)$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=0.11\text{mm}$

A.3 标称直径 55mm 冰球的冰球直径偏差不确定度评定

A.3.1 测量模型

A.3.1.1 公式

$$\Delta D=D_n-D_m$$

式中： D_n ——冰球直径的标称值，mm；

D_m ——冰球直径的测量值，mm。

A.3.1.2 不确定度来源包括：标准器读数重复性引起的不确定度，标准器卡尺校准溯源引起的不确定度

A.3.2 标准不确定度分量的评定

A.3.2.1 输入量 D 读数重复性的标准不确定度 $u_1(D)$ 评定

通过用卡尺对同一个冰球的同一位置的直径进行连续测量得到测量数据如下：

表 A.3 冰球直径测量重复性数据

序号(i)	1	2	3	4	5	6
示值 D_i (mm)	55.68	55.62	55.64	55.57	55.61	55.48

计算极差 $R=55.68-55.48=0.20\text{mm}$;

查表得极差系数 $C=2.53$;

单个测得值的实验标准差： $s=\frac{R}{C}=0.079\text{mm}$;

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u(D)_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.046\text{mm}$$

A.3.2.2 卡尺校准溯源的不确定度 $u_2(D)$ 的评定

根据校准证书校准结果的扩展不确定度 $U=0.01\text{mm}$ ($k=2$)，则 $u_2(D)=0.005\text{mm}$ 。

A.3.3 标准不确定度的评定

A.3.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球直径偏差测量模型是： $\Delta D=D_n-D_m$

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(D)=\frac{\partial \Delta D}{\partial D_n}=1$ ， $c_{u2}(D)=\frac{\partial \Delta D}{\partial D_m}=-1$ 。

A.3.3.2 标准不确定度分量一览表

表 A.4 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(D)$	输入量 D 读数重复性的标准不确定度	0.046mm	1
$u_2(D)$	卡尺校准溯源的不确定度	0.005mm	-1

故因此合成标准不确定度为

$$u_c(D) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(D) \cdot u_i(D))^2} = 0.046\text{mm}$$

A.3.4 扩展不确定度的确定

$$U = k \times u_c(D)$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=0.10\text{mm}$

A.4 标称直径 75mm 冰球的冰球直径偏差不确定度评定

A.4.1 测量模型

A.4.1.1 公式

$$\Delta D = D_n - D_m$$

式中： D_n ——冰球直径的标称值，mm；

D_m ——冰球直径的测量值，mm。

A.4.1.2 不确定度来源包括：标准器读数重复性引起的不确定度，标准器卡尺校准溯源引起的不确定度。

A.4.2 标准不确定度分量的评定

A.4.2.1 输入量 D 读数重复性的标准不确定度 $u_1(D)$ 评定

通过用卡尺对同一个冰球的同一位置的直径进行连续测量得到测量数据如下：

表 A.5 冰球直径测量重复性数据

序号(i)	1	2	3	4	5	6
示值 D_i (mm)	75.5	75.63	75.59	75.68	75.51	75.41

计算极差 $R=75.68-75.41=0.27\text{mm}$ ；

查表得极差系数 $C=2.53$ ；

单个测得值的实验标准差： $s = \frac{R}{C} = 0.107\text{mm}$ ；

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u(D)_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.062\text{mm}$$

A.4.2.2 卡尺校准溯源的不确定度 $u_2(D)$ 的评定

根据校准证书校准结果的扩展不确定度 $U=0.01\text{mm}$ ($k=2$)，则 $u_2(D)=0.005\text{mm}$ 。

A.4.3 标准不确定度的评定

A.4.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球直径偏差测量模型是： $\Delta D = D_n - D_m$

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(D) = \frac{\partial \Delta D}{\partial D_n} = 1$ ， $c_{u2}(D) = \frac{\partial \Delta D}{\partial D_m} = -1$ 。

A.4.3.2 标准不确定度分量一览表

表 A.6 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(D)$	输入量 D 读数重复性的标准不确定度	0.062mm	1
$u_2(D)$	卡尺校准溯源的不确定度	0.005mm	-1

故因此合成标准不确定度为

$$u_c(D) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(D) \cdot u_i(D))^2} = 0.062\text{mm}$$

A.4.4 扩展不确定度的确定

$$U = k \times u_c(D)$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=0.13\text{mm}$

附录 B

冰雹试验机冰球质量偏差测量结果不确定度评定示例

B.1 概述

B.1.1 测量依据:JJG(闽)××××—××××《冰雹试验机校准规范》

B.1.2 测量环境条件:环境温度(25±5)℃, 环境湿度≤85%RH

B.1.3 测量用标准器: 电子秤, 最小分辨力 0.01g, 测量范围为(0~50)g 时, 最大允许误差为±0.005g, 测量范围为(50~200)g 时, 最大允许误差为±0.01g, 测量范围大于 200g, 最大允许误差为±0.015g。

B.1.4 测量对象: 冰雹试验机

B.2 标称质量 7.53g冰球的冰球质量偏差不确定度评定

B.2.1 数学模型

B.2.1.1 公式

$$\Delta M = M - M_0$$

式中: M ——冰球质量的指示值;

M_0 ——被测量的实际值。

B.2.1.2 不确定度来源包括: 测量重复性引起的不确定度, 电子秤校准结果引起的不确定度等。

B.2.2 标准不确定度分量的评定

B.2.2.1 冰球质量测量重复性引入的不确定度 $u_1(M)$ 评定

重复测量同一个冰球的重量 6 次, 测量结果如下:

表 B.1 冰球重量测量重复性数据

序号(i)	1	2	3	4	5	6
示值(g)	7.55	7.48	7.50	7.47	7.48	7.46

计算极差 $R=7.55-7.46=0.09g$;

查表得极差系数 $C=2.53$;

单个测得值的实验标准差: $s=\frac{R}{C}=0.036g$;

在实际测量中, 在重复性条件下, 测量 3 次, 以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果, 可得到:

$$u_1(M) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.021\text{g}$$

B.2.2.2 电子天平校准结果引入的标准不确定度 $u_2(M)$ 评定

电子天平经福建省计量科学研究所校准，校准结果不确定度： $U=2.4\text{mg}$ ， $k=2$ 。则 $u_2(M)=0.0012\text{g}$ 。

B.2.3 标准不确定度的评定

B.2.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球直径偏差测量模型是： $\Delta M = M_n - M_m$

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(M) = \frac{\partial \Delta M}{\partial M_n} = 1$ ， $c_{u2}(M) = \frac{\partial \Delta M}{\partial M_m} = -1$ 。

B.2.3.2 标准不确定度分量一览表

表 B.2 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(M)$	冰球重量测量重复性	0.021g	1
$u_2(M)$	电子秤校准结果不确定度	0.0012g	-1

B.2.3.3 合成标准不确定度计算

由于各影响量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c(M) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(M) \cdot u_i(M))^2} = 0.021\text{g}$$

B.2.4 扩展不确定度的确定

$$U_M = k \times u_c(M)$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_M=0.05\text{g}$

B.3 标称质量 80.2g冰球的冰球质量偏差标准不确定度评定

B.3.1 数学模型

B.3.1.1 公式

$$\Delta M = M - M_0$$

式中： M ——冰球质量的指示值；

M_0 ——被测量的实际值。

B.3.1.2 不确定度来源包括：测量重复性引起的不确定度，电子秤校准结果引起的不确定

度等。

B.3.2 标准不确定度分量的评定

B.3.2.1 冰球质量测量重复性引入的不确定度 $u_1(M)$ 评定

重复测量同一个冰球的重量 6 次，测量结果如下：

表 B.3 冰球重量测量重复性数据

序号(i)	1	2	3	4	5	6
示值(g)	80.30	80.25	80.24	80.24	80.20	80.18

计算极差 $R=80.30-80.18=0.12\text{g}$;

查表得极差系数 $C=2.53$;

单个测得值的实验标准差： $s=\frac{R}{C}=0.047\text{g}$;

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u_1(M)=\frac{s}{\sqrt{3}}=0.027\text{g}$$

B.3.2.2 电子天平校准结果引入的标准不确定度 $u_2(M)$ 评定

电子天平经福建省计量科学研究所校准，校准结果不确定度： $U=2.4\text{mg}$ ， $k=2$ 。则 $u_2(M)=0.0012\text{g}$ 。

B.3.3 标准不确定度的评定

B.3.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球直径偏差测量模型是： $\Delta M=M_n-M_m$

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(M)=\frac{\partial \Delta M}{\partial M_n}=1$ ， $c_{u2}(M)=\frac{\partial \Delta M}{\partial M_m}=-1$ 。

B.3.3.2 标准不确定度分量一览表

表 B.4 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(M)$	冰球重量测量重复性	0.027g	1
$u_2(M)$	电子秤校准结果不确定度	0.0012g	-1

B.3.3.3 合成标准不确定度计算

由于各影响量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c(M) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(M) \cdot u_i(M))^2} = 0.027\text{g}$$

B.3.4 扩展不确定度的确定

$$U_M = k \times u_c(M)$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_M=0.06\text{g}$

B.4 标称质量 203.0g冰球的冰球质量偏差不确定度评定

B.4.1 数学模型

B.4.1.1 公式

$$\Delta M = M - M_0$$

式中： M ——冰球质量的指示值；

M_0 ——被测量的实际值。

B.4.1.2 不确定度来源包括：测量重复性引起的不确定度，电子秤校准结果引起的不确定度等。

B.4.2 标准不确定度分量的评定

B.4.2.1 冰球质量测量重复性引入的不确定度 $u_1(M)$ 评定

重复测量同一个冰球的重量 6 次，测量结果如下：

表 B.5 冰球重量测量重复性数据

序号(i)	1	2	3	4	5	6
示值(g)	203.21	203.12	203.08	203.1	203.08	203.09

计算极差 $R=203.21-203.08=0.13\text{g}$ ；

查表得极差系数 $C=2.53$ ；

单个测得值的实验标准差： $s = \frac{R}{C} = 0.051\text{g}$ ；

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u_1(M) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.029\text{g}$$

B.4.2.2 电子天平校准结果引入的标准不确定度 $u_2(M)$ 评定

电子天平经福建省计量科学研究所校准，校准结果不确定度： $U=2.4\text{mg}$ ， $k=2$ 。则

$u_2(M)=0.0012g$ 。

B.4.3 标准不确定度的评定

A.4.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球直径偏差测量模型是： $\Delta M=M_n-M_m$

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(M)=\frac{\partial \Delta M}{\partial M_n}=1$ ， $c_{u2}(M)=\frac{\partial \Delta M}{\partial M_m}=-1$ 。

B.4.3.2 标准不确定度分量一览表

表 B.6 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(M)$	冰球重量测量重复性	0.029g	1
$u_2(M)$	电子秤校准结果不确定度	0.0012g	-1

B.4.3.3 合成标准不确定度计算

由于各影响量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c(M)=\sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(M) \cdot u_i(M))^2}=0.029g$$

B.4.4 扩展不确定度的确定

$$U_M=k \times u_c(M)$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_M=0.06g$

附录 C

冰雹试验机冰球存储容器温度的示值误差测量结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 测量依据:JJG(闽)××××—××××《冰雹试验机校准规范》

C.1.2 测量环境条件:环境温度(25±5)℃, 环境湿度≤85%RH。

C.1.3 测量用标准器: 温湿度巡检仪, 最小分辨力 0.01℃, 测量范围不小于不小于 (-10~10)℃, 最大允许误差±0.5%。

C.1.4 测量对象: 冰雹试验机

C.2 数学模型

C.2.1 公式

$$\Delta T = T - T_0$$

式中: T ——冰球存储容器的温度指示值, 温度设定值应为-4℃±2℃;

T_0 ——冰球存储容器内中心点测量的温度实际值。

C.2.2 不确定度来源包括: 标准器测量重复性的不确定度, 标准器校准结果引起的不确定度等。

C.3 标准不确定度分量的评定

C.3.1 测量重复性引起的不确定度 $u_1(T)$ 评定

通过温湿度巡检仪对容器内温度进行 15 次独立的重复测量, 得到测量数据如下:

表 C.1 温湿度巡检仪测量重复性数据

序号(i)	温度(℃)	序号(i)	温度(℃)	序号(i)	温度(℃)
1	-3.25	6	-3.25	11	-3.26
2	-3.26	7	-3.26	12	-3.26
3	-3.26	8	-3.26	13	-3.25
4	-3.25	9	-3.25	14	-3.24
5	-3.24	10	-3.24	15	-3.23

其算术平均值 $\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{15} T_i}{15} = -3.25^\circ\text{C}$

单次试验标准差: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (T_i - \bar{T})^2}{15-1}} = 0.010^\circ\text{C}$

可得到:

$$u_1(T) = 0.010^\circ\text{C}$$

C.3.2 标准器校准溯源引起的标准不确定度 $u_2(T)$

温湿度巡检仪的温度部分校准不确定度为 $U=0.06^\circ\text{C}$ ($k=2$), 则 $u_2(T)=0.03^\circ\text{C}$ 。

C.3.3 分辨力引起的不确定度 $u_3(T)$ 评定

由于温湿度巡检分辨力 $\delta=0.01^\circ\text{C}$, 则分辨力引入的不确定度分量为:

$$u_3(T)=0.289\delta=0.003^\circ\text{C}$$

由于重复性引起的不确定度 $u_1(T)$ 大于分辨力以前你的不确定度 $u_3(T)$, 此时重复性中已包含分辨力对校准结果的影响, 故不再考虑分辨力引起的不确定度。

C.4 标准不确定度的评定

C.4.1 合成标准不确定度计算

由于存储容器温度的示值误差测量模型是: $\Delta T=T-T_0$

由于各影响量彼此独立不相关, $c_{u1}(T)=\frac{\partial\Delta T}{\partial T_n}=1$, $c_{u2}(T)=\frac{\partial\Delta T}{\partial T_m}=-1$ 。

C.4.2 标准不确定度分量一览表

表 C.2 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(T)$	容器温度测量重复性	0.010°C	1
$u_2(T)$	标准器校准结果不确定度	0.03°C	-1

由于各影响量彼此独立不相关, 因此合成标准不确定度为

$$u_c(T)=\sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(T) \cdot u_i(T))^2}=0.032^\circ\text{C}$$

C.4.3 扩展不确定度的确定

$$U_T=k \times u_c(T)$$

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U_T=0.07^\circ\text{C}$

附录 D

冰雹试验机冰球初速度的示值误差测量结果不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 测量依据:JJG(闽) ××××—××××《冰雹试验机校准规范》

D.1.2 测量环境条件:环境温度(25±5)℃, 环境

湿度≤85%RH

D.1.3 测量用标准器: 卡尺, 最小分辨力 0.01mm, 测量范围不小于 (0~200) mm, 最大允许误差 ±0.03mm。示波器, 时间测量最小分辨力 0.01ms, 测量范围不小于 (0~1) s, 最大允许误差 ±0.2%。

D.1.4 测量对象: 冰雹试验机。

D.2 标称速度 23.0m/s 冰球的冰球初速度示值误差不确定度评定

D.2.1 数学模型

D.2.1.1 公式

$$\Delta S = S - S_0$$

式中: S ——冰球初速度的指示值;

S_0 ——被测量的实际值。

D.2.1.2 不确定度来源包括: 标准器测量重复性的不确定度, 标准器卡尺校准结果引起的不确定度, 标准器数字示波器校准结果引起的不确定度等。

D.2.2 标准不确定度分量的评定

D.2.2.1 位置传感器距离测量引起的不确定度评定

D.2.2.1.1 测量重复性引起的不确定度 $u_1(L)$ 评定

通过位置传感器距离进行 10 次独立的重复测量, 得到测量数据如下:

表 D.1 位置传感器距离测量重复性数据

序号(i)	距离 L_i (cm)	序号(i)	距离 L_i (cm)
1	5.00	6	5.01
2	4.99	7	4.99
3	4.99	8	4.99
4	4.99	9	5.00
5	5.00	10	5.00

其算术平均值 $\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^{10} L_i}{10} = 5.00\text{cm}$

单次试验标准差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_i - \bar{L})^2}{10-1}} = 0.007\text{cm}$

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u_1(L) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.004\text{cm}$$

D.2.2.1.2 卡尺校准结果引起的标准不确定度 $u_2(L)$

卡尺校准不确定度为 $U=0.01\text{mm}$ ($k=2$)，则 $u_2(L)=0.0005\text{cm}$

D.2.2.1.3 位置传感器距离测量合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(L)=1$ ， $c_{u2}(L)=-1$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.2 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(L)$	距离测量重复性	0.004cm	1
$u_2(L)$	卡尺校准结果不确定度	0.0005cm	-1

合成标准不确定度计算

$$u_c(L) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(L) \cdot u_i(L))^2} = 0.004\text{cm}$$

D.2.2.2 位置传感器触发时间差测量不确定度

D.2.2.2.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(t)$

表 D.3 位置传感器触发时间差测量重复性数据

序号(i)	时间 t_i (ms)	序号(i)	时间 t_i (ms)
1	2.24	6	2.24
2	2.23	7	2.26
3	2.23	8	2.23
4	2.26	9	2.23
5	2.28	10	2.28

其算术平均值： $\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i}{10} = 2.25\text{ms}$

单次试验标准差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10-1}} = 0.020\text{ms}$

在实际测量中,在重复性条件下,测量3次,以该3次测量值的算术平均值作为测量结果,可得到:

$$u_1(t) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.012\text{ms}$$

D.2.2.2.2 数字示波器时基校准结果引起的不确定度 $u_2(t)$

数字示波器时基信号校准不确定度在毫秒级为 $U=0.1\%$ ($k=2$), 则 $u_2(t)=0.001\text{ms}$ 。

D.2.2.2.3 位置传感器触发时间差测量合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关, $c_{u1}(t)=1$, $c_{u2}(t)=-1$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.4 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(t)$	触发时间差测量重复性	0.012ms	1
$u_2(t)$	数字示波器时基校准结果引起的不确定度	0.001ms	-1

合成标准不确定度计算

$$u_c(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(t) \cdot u_i(t))^2} = 0.012\text{ms}$$

D.2.2.3 标准不确定度的评定

D.2.2.3.1 合成标准不确定度计算

由于冰球初速度测量模型是: $v = \frac{L+0.5 \times g \times \Delta t^2}{\Delta t}$

则对长度测量不确定度分量的灵敏度系数是 $c_L = \frac{1}{t} = 0.444\text{ms}^{-1}$, 对时间测量不确定度分

量的灵敏度系数是 $c_v = -\frac{L}{2} + 0.5 \times g = -0.987\text{cm/ms}^2$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.5 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
---------	----------	----------	-------

$u_c(L)$	长度测量不确定度分量	0.004cm	0.444ms^{-1}
$u_c(t)$	对时间测量不确定度分量	0.012ms	-0.987 cm/ms^2

则合成标准不确定度为：

$$u_V = \sqrt{(c_L \times u_c(L))^2 + (c_v \times u_c(t))^2} = 0.012\text{m/s}$$

D.2.2.3.2 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_V=0.03\text{m/s}$

D.3 标称速度 33.9m/s 冰球的冰球初速度示值误差 不确定度评定

D.3.1 数学模型

D.3.1.1 公式

$$\Delta S = S - S_0$$

式中： S ——冰球初速度的指示值；

S_0 ——被测量的实际值。

D.3.1.2 不确定度来源包括：标准器测量重复性的不确定度，标准器卡尺校准结果引起的不确定度，标准器数字示波器校准结果引起的不确定度等。

D.3.2 标准不确定度分量的评定

D.3.2.1 位置传感器距离测量引起的不确定度评定

D.3.2.1.1 测量重复性引起的不确定度 $u_1(L)$ 评定

通过位置传感器距离进行 10 次独立的重复测量，得到测量数据如下：

表 D.6 位置传感器距离测量重复性数据

序号(i)	距离 L_i (cm)	序号(i)	距离 L_i (cm)
1	5.00	6	5.01
2	4.99	7	4.99
3	5.00	8	4.99
4	4.99	9	4.99
5	5.00	10	5.00

其算术平均值 $\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^{10} L_i}{10} = 5.00\text{cm}$

单次试验标准差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_i - \bar{L})^2}{10-1}} = 0.007\text{cm}$

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，

可得到:

$$u_1(L) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.004\text{cm}$$

D.3.2.1.2 卡尺校准结果引起的标准不确定度 $u_2(L)$

卡尺校准不确定度为 $U=0.01\text{mm}$ ($k=2$), 则 $u_2(L)=0.0005\text{cm}$

D.3.2.1.3 位置传感器距离测量合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关, $c_{u1}(L)=1$, $c_{u2}(L)=-1$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.7 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(L)$	距离测量重复性	0.004cm	1
$u_2(L)$	卡尺校准结果不确定度	0.0005cm	-1

合成标准不确定度计算

$$u_c(L) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(L) \cdot u_i(L))^2} = 0.004\text{cm}$$

D.3.2.2 位置传感器触发时间差测量不确定度

D.3.2.2.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(t)$

表 D.8 位置传感器触发时间差测量重复性数据

序号(i)	时间 t_i (ms)	序号(i)	时间 t_i (ms)
1	1.48	6	1.46
2	1.47	7	1.47
3	1.49	8	1.48
4	1.46	9	1.49
5	1.49	10	1.46

其算术平均值: $\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i}{10} = 1.48\text{ms}$

单次试验标准差: $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} \frac{(t_i - \bar{t})^2}{10-1}} = 0.013\text{ms}$

在实际测量中, 在重复性条件下, 测量 3 次, 以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果, 可得到:

$$u_1(t) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.008\text{ms}$$

D.3.2.2.2 数字示波器时基校准结果引起的不确定度 $u_2(t)$

数字示波器时基信号校准不确定度在毫秒级为 $U=0.1\%$ ($k=2$)，则 $u_2(t)=0.001\text{ms}$ 。

D.3.2.2.3 位置传感器触发时间差测量合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(t)=1$ ， $c_{u2}(t)=-1$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.9 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(t)$	触发时间差测量重复性	0.008ms	1
$u_2(t)$	数字示波器时基校准结果引起的不确定度	0.001ms	-1

合成标准不确定度计算

$$u_c(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(t) \cdot u_i(t))^2} = 0.008\text{ms}$$

D.3.4 标准不确定度的评定

D.3.4.1 合成标准不确定度计算

由于冰球初速度测量模型是： $v = \frac{L+0.5 \times g \times \Delta t^2}{\Delta t}$

则对长度测量不确定度分量的灵敏度系数是 $c_L = \frac{1}{t} = 0.676\text{ms}^{-1}$ ，对时间测量不确定度分量的

灵敏度系数是 $c_v = -\frac{L}{t^2} + 0.5 \times g = -2.282\text{cm/ms}^2$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.10 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_c(L)$	长度测量不确定度分量	0.004cm	0.676ms^{-1}
$u_c(t)$	对时间测量不确定度分量	0.008ms	-2.282cm/ms^2

则合成标准不确定度为：

$$u_v = \sqrt{(c_L \times u_c(L))^2 + (c_v \times u_c(t))^2} = 0.018\text{m/s}$$

D.3.4.2 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_v=0.04\text{m/s}$

D.4 标称速度 39.5m/s 冰球的冰球初速度示值误差不确定度评定

D.4.1 数学模型

D.4.1.1 公式

$$\Delta S = S - S_0$$

式中： S ——冰球初速度的指示值；

S_0 ——被测量的实际值。

D.4.1.2 不确定度来源包括：标准器测量重复性的不确定度，标准器卡尺校准结果引起的不确定度，标准器数字示波器校准结果引起的不确定度等。

D.4.2 标准不确定度分量的评定

D.4.2.1 位置传感器距离测量引起的不确定度评定

D.4.2.1 测量重复性引起的不确定度 $u_1(L)$ 评定

通过位置传感器距离进行 10 次独立的重复测量，得到测量数据如下：

表 D.11 位置传感器距离测量重复性数据

序号(i)	距离 L_i (cm)	序号(i)	距离 L_i (cm)
1	5.01	6	5.01
2	4.99	7	4.99
3	5.00	8	4.99
4	4.99	9	4.99
5	5.00	10	5.01

其算术平均值 $\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^{10} L_i}{10} = 5.00\text{cm}$

单次试验标准差： $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} \frac{(L_i - \bar{L})^2}{10-1}} = 0.009\text{cm}$

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u_1(L) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.005\text{cm}$$

D.4.2.3 卡尺校准结果引起的标准不确定度 $u_2(L)$ ，

卡尺校准不确定度为 $U=0.01\text{mm}$ ($k=2$)，则 $u_2(L)=0.0005\text{cm}$

D.4.2.4 位置传感器距离测量合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关， $c_{u1}(L)=1$ ， $c_{u2}(L)=-1$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.12 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_1(L)$	距离测量重复性	0.005cm	1
$u_2(L)$	卡尺校准结果不确定度	0.0005cm	-1

合成标准不确定度计算

$$u_c(L) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(L) \cdot u_i(L))^2} = 0.005\text{cm}$$

D.4.3 位置传感器触发时间差测量不确定度

D.4.3.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(t)$

表 D.13 位置传感器触发时间差测量重复性数据

序号(i)	时间 t_i (ms)	序号(i)	时间 t_i (ms)
1	1.27	6	1.28
2	1.25	7	1.28
3	1.28	8	1.29
4	1.26	9	1.27
5	1.27	10	1.26

其算术平均值: $\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i}{10} = 1.27\text{ms}$

单次试验标准差: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10-1}} = 0.012\text{ms}$

在实际测量中,在重复性条件下,测量3次,以该3次测量值的算术平均值作为测量结果,可得到:

$$u_1(t) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.007\text{ms}$$

D.4.3.2 数字示波器时基校准结果引起的不确定度 $u_2(t)$

数字示波器时基信号校准不确定度在毫秒级为 $U=0.1\%$ ($k=2$), 则 $u_2(t)=0.001\text{ms}$ 。

D.4.3.3 位置传感器触发时间差测量合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关, $c_{u1}(t)=1$, $c_{u2}(t)=-1$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.14 标准不确定度分量计算列表

标准不确定	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
-------	----------	----------	-------

定符号			
$u_1(t)$	触发时间差测量重复性	0.007ms	1
$u_2(t)$	数字示波器时基校准结果引起的不确定度	0.001ms	-1

合成标准不确定度计算

$$u_c(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^2 (c_{ui}(t) \cdot u_i(t))^2} = 0.007\text{ms}$$

D.4.4 标准不确定度的评定

D.4.4.1 合成标准不确定度计算

由于冰球初速度测量模型是： $v = \frac{L + 0.5 \times g \times \Delta t^2}{\Delta t}$

则对长度测量不确定度分量的灵敏度系数是 $c_L = \frac{1}{t} = 0.787\text{ms}^{-1}$ ，对时间测量不确定度

分量的灵敏度系数是 $c_v = -\frac{L}{t^2} + 0.5 \times g = -3.100\text{cm/ms}^2$ 。

合成标准不确定度汇总表

表 D.15 标准不确定度分量计算列表

标准不确定符号	标准不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏度系数
$u_c(L)$	长度测量不确定度分量	0.005cm	0.787ms^{-1}
$u_c(t)$	对时间测量不确定度分量	0.007ms	-3.100m/ms^2

则合成标准不确定度为：

$$u_v = \sqrt{(c_L \times u_c(L))^2 + (c_v \times u_c(t))^2} = 0.022\text{m/s}$$

D.4.4.2 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_v=0.05\text{m/s}$

附录 E

冰雹试验机校准原始记录格式

委托单位				流转号		记录编号																					
样品	名称	冰雹试验机				型号规格																					
	生产厂					出厂编号																					
主要校准设备	名称	型号规格	仪器编号	证书编号	技术特征		证书有效期至																				
校准设备/样品检查	校准前： <input type="checkbox"/> 正常， <input type="checkbox"/> 不正常			校准后： <input type="checkbox"/> 正常， <input type="checkbox"/> 不正常																							
技术依据						温度	℃																				
校准地点						湿度	%																				
<p>校准数据/结果：</p> <p>1. 冰球直径</p> <p>校准设备：卡尺</p> <p>校准方法：用手套将冰球取出，采用卡尺测量每个冰球的直径。</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>测量次数</th> <th>冰球直径(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>平均值</td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>2. 冰球质量</p> <p>校准设备：电子秤</p> <p>校准方法：用手套将冰球取出，采用天平测量每个冰球的质量。</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>测量次数</th> <th>冰球质量(g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>平均值</td><td></td></tr> </tbody> </table>								测量次数	冰球直径(mm)	1		2		3		平均值		测量次数	冰球质量(g)	1		2		3		平均值	
测量次数	冰球直径(mm)																										
1																											
2																											
3																											
平均值																											
测量次数	冰球质量(g)																										
1																											
2																											
3																											
平均值																											
说明					证书编号																						
校准		校准日期		核验		核验时间																					

被检单位		报告编号																																																									
<p>3. 冰球存储容器温度</p> <p>校准设备：温湿度试验设备自动校准系统。</p> <p>校准方法：用温湿度试验设备自动校准系统测量冰球存储容器的温度。温度稳定后每隔 2min 采取一组温度数据，共采取 15 组，取其平均值作为最终报告值。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">设定温度值 (°C)</th> <th style="width: 25%;"></th> <th style="width: 25%;">温度显示值 (°C)</th> <th style="width: 25%;"></th> </tr> <tr> <th>测试次数</th> <th>测量值 (°C)</th> <th>测试次数</th> <th>测量值 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td>9</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td>10</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>平均值</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>温度偏差(°C)</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				设定温度值 (°C)		温度显示值 (°C)		测试次数	测量值 (°C)	测试次数	测量值 (°C)	1		6		2		7		3		8		4		9		5		10		11				12				13				14				15				平均值				温度偏差(°C)			
设定温度值 (°C)		温度显示值 (°C)																																																									
测试次数	测量值 (°C)	测试次数	测量值 (°C)																																																								
1		6																																																									
2		7																																																									
3		8																																																									
4		9																																																									
5		10																																																									
11																																																											
12																																																											
13																																																											
14																																																											
15																																																											
平均值																																																											
温度偏差(°C)																																																											
<p>4. 冰球初速度</p> <p>校准设备：数字示波器、卡尺</p> <p>校准方法：用卡尺测量冰雹试验机出射口两个位置传感器的距离，记录三次测量值的平均值。将数字示波器两个通道表针的正负极分别连接到两个传感器的输出端，让冰雹试验机正常发射冰球，采集两个传感器的触发时间差，记录三次测量值的平均值。使用公式计算得到冰球初速度测量值。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">测量次数</th> <th style="width: 33%;">传感器距离 (cm)</th> <th style="width: 33%;">触发时间差 (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>平均值</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>冰球初速度 (m/s)</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				测量次数	传感器距离 (cm)	触发时间差 (s)	1			2			3			平均值			冰球初速度 (m/s)																																								
测量次数	传感器距离 (cm)	触发时间差 (s)																																																									
1																																																											
2																																																											
3																																																											
平均值																																																											
冰球初速度 (m/s)																																																											
<p>校准结果不确定度计算依据：</p> <p>本次校准结果的不确定度为：冰球直径：$U_D =$ (k=2)；</p> <p style="padding-left: 100px;">冰球质量：$U_M =$ (k=2)；</p> <p style="padding-left: 100px;">冰球存储容器温度：$U_T =$ (k=2)；</p> <p style="padding-left: 100px;">冰球初速度：$U_v =$ (k=2)。</p>																																																											