



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—XXXX

水试验设备校准规范

Calibration Specification of Water Testing Equipments

(报批稿)

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

水试验设备校准规范

Calibration Specification of Water Testing
Equipments

JJF(电子) XXXX—XXXX

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司
工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：中国电信股份有限公司广东分公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

谢凯锋（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
赖文光（工业和信息化部电子第五研究所）
詹惠贞（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
邱 栩（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

参加起草人：

蔡锦文（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
陈再举（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
黄 峰（中国电信股份有限公司广东分公司）
邹永毅（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
伍盛达（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
宋绪文（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
苏陈奇（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）
廖鹏彬（工业和信息化部电子第五研究所）

目 录

引 言	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
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.....	3
8 校准结果表达.....	14
9 复校时间间隔.....	15
附录 A 色斑滤纸法测雨滴直径.....	16
附录 B 原始记录格式.....	17
附录 C 校准证书内页格式.....	24
附录 D 主要项目校准结果不确定度评定.....	32

引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参考 GB/T 2423.38—2021《环境试验 第2部分：试验方法 试验 R：水试验方法和导则》、GB/T 4208—2017《外壳防护等级（IP 代码）》、GB/T 30038—2013《道路车辆 电气电子设备防护等级（IP 代码）》、GJB 150.8《军用装备实验室环境试验方法 第8部分：淋雨试验》及 JJF(军工) 17-2012《淋雨试验设备校准规范》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。

水试验设备校准规范

1 范围

本规范适用于滴水、冲水、浸水或高压水试验设备的校准。其它类型的水试验设备也可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 2423.38 环境试验 第2部分：试验方法 试验 R：水试验方法和导则

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 30038 道路车辆 电气电子设备防护等级（IP 代码）

GJB 150.8 军用装备实验室环境试验方法 第8部分：淋雨试验

JJF(军工) 17-2012 淋雨试验设备校准规范

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 术语

3.1.1 降雨 rainfall

以水滴形式的降水，水滴的降落量和实际的降落运动两者统称为降雨。

[GB/T 2423.38-2021, 3.1, 有修改]

3.1.2 滴水 falling drops

用人工降雨和模拟由冷凝或泄露形成降水的方法进行。

[GB/T 2423.38-2021, 4.2]

3.1.3 冲水 impacting water

以一定的压力将水流冲击试样，并可以假定从任何角度冲向试件。

[GB/T 2423.38-2021, 4.2]

3.1.4 浸水 immersion

将试样浸入规定深度或相应压力的水中。

[GB/T 2423.38-2021, 4.2]

3.1.5 降雨强度 rainfall or drizzle intensity

单位时间内的降雨量。它可以用单位时间内承水口内径 200mm 承水器收集到的降雨，以雨量筒测定毫米为单位的降水量，以 (mm/h) 或 (mm/min) 表示；也可以用单位时间内单位面积上的降雨体积 ($L/(m^2 \cdot h)$) 表示。

[GB/T 2423.38-2021, 3.1, 有修改]

3.1.6 雨滴直径 raindrop diameter

雨滴体积按球体体积计算得到的直径。

[JJF (军工) 17-2012, 3.1]

3.2 计量单位

降雨强度单位为毫米每分钟 (mm/min)、毫米每小时 (mm/h) 或升每平方米小时 ($L/(m^2 \cdot h)$)，雨滴直径单位为毫米 (mm)，水流量单位为升每分钟 (L/min)。

4 概述

水试验设备是一种模拟滴水、冲水和浸水环境的试验设备，主要类型有：人造雨法、吹雨滴水和滴水箱法滴水试验设备，摆动管法、喷雾法、喷水（雨）法和扇形喷水法冲水试验设备，水箱法和加压水箱法浸水试验设备。水试验设备广泛应用于各类产品外壳、遮盖物和密封件遭受滴水、冲水、浸水环境适应性的试验。

5 计量特性

水试验设备的计量特性见表 1。

表1

序号	名称	项目	技术要求
1	人造雨法滴水试验设备	降雨强度	$(10 \pm 5) \text{ mm/h}$ 、 $(100 \pm 20) \text{ mm/h}$ 、 $(400 \pm 50) \text{ mm/h}$
		倾斜角	0° 、 15° 、 30° 、 60° 、 90° ，最大允许偏差 $\pm 1^\circ$
		持续时间	10min、30min、60min、120min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$
2	滴水箱法滴水试验设备 (IPX1、IPX2)	降雨强度	60_0^{+30} mm/h 、 180_0^{+30} mm/h
		倾斜角	0° 、 15° 、 30° 、 45° ，最大允许偏差 $\pm 1^\circ$
		持续时间	2.5min、3min、10min、30min、60min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$
3	摆动管法冲水试验设备 (IPX3、IPX4)	单孔水流量	$0.07(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$ (类型1、类型2)、 $(0.6 \pm 0.03) \text{ L/min}$ (类型3)
		总水流量	$(0.56 \sim 7.0)(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$
		摆动角	$\pm 60^\circ$ (类型1)、 $\pm 180^\circ$ (类型2、类型3)，最大允许偏差 $\pm 1^\circ$
		摆动管摆动时间	4s ($+60^\circ \sim -60^\circ \sim +60^\circ$ 类型1)、12s ($+180^\circ \sim -180^\circ \sim +180^\circ$ 类型2)，最大允许偏差 $\pm 1\text{s}$
		持续时间	5min、10min、30min、60min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$
4	喷雾法冲水试验设备(溅水、IPX3、IPX4)	水流量	$10(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$
		持续时间	1min、3min、5min、6min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$
5	喷水法冲水试验设备(IPX5、IPX6)	水流量	$12.5(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$ 、 $75(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$ (6.3mm 喷嘴)， $100(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$ (12.5mm 喷嘴)
		持续时间	0.3min、1min、3min、10min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$
6	扇形喷水法冲水试验设备 (IPX9)	水流量	$(15 \pm 1) \text{ L/min}$
		水温	$20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ， $80^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
		转速	$(5 \pm 1) \text{ r/min}$
		喷洒角	0° 、 30° 、 60° 、 90° ，最大允许偏差 $\pm 1^\circ$
		持续时间	30s、3min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$
7	水箱法浸水试验设备 (IPX7、IPX8)	冲击力	0.9N~1.2N
		浸水深度	0.15m、0.4m、1m、2m、5m，最大允许误差 $\pm 5\text{mm}$
		水温	$25^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$
8	加压水箱法浸水试验设备	持续时间	0.5h、2h、24h，最大允许误差 $\pm 10\text{s}$
		水压	$(20 \sim 10000) \text{ kPa}$ ： $\pm 10\%$
		水温	$25^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$
9	淋雨试验设备	持续时间	2h、24h、168h，最大允许误差 $\pm 10\text{s}$
		降雨强度	$1.7(1 \pm 10\%) \text{ mm/min}$ 、 $280_0^{+30} \text{ L/(m}^2 \cdot \text{h)}$
		雨滴直径	0.5mm~4.5mm
		风速	18m/s，最大允许偏差 $\pm 1.8\text{m/s}$

表 1 (续)

		水压	$(200 \pm 20) \text{ kPa}$ 、 $276_{0}^{+27.6} \text{ kPa}$
		水流量	$20.8(1 \pm 5\%) \text{ L/min}$
		持续时间	5min、10min、15min、30min、40min，最大允许误差 $\pm 5\text{s}$

注 1：以上指标不作为合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ；

6.1.2 电源要求：电压 $(220 \pm 22) \text{ V}$ 、频率 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ ；

6.1.3 周围无影响仪器设备正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其它设备

校准过程中所需计量标准及配套设备的技术指标见表 2。

表2

序号	名称	技术要求	用途
1	卡尺	覆盖 $(0 \sim 100) \text{ mm}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 0.03 \text{ mm}$	滴嘴间距测量
2	针规	覆盖 $(0.4 \sim 0.8) \text{ mm}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 0.02 \text{ mm}$	内径测量
3	秒表	日差最大允许误差： $\pm 0.5 \text{ s}$	时间测量
4	卷尺	覆盖 $(0 \sim 5) \text{ m}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 1.5 \text{ mm}$	长度测量
5	压力表	覆盖 $(20 \sim 10000) \text{ kPa}$ 测量范围，准确度等级满足 0.1 级	水压力测量
6	雨量器	雨量量筒最大允许误差： $\pm 0.05 \text{ mm}$	降雨强度测量
7	角度仪	测量范围 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，最大允许误差： $\pm 0.2^{\circ}$	角度测量
8	雨滴直径测量系统	色斑滤纸法： 最大允许误差： $\pm (10\% \text{ 读数} + 0.1) \text{ mm}$ ； 雨滴谱仪法： 最大允许误差： $\pm (10\% \text{ 读数} + 0.1 \text{ mm})$	雨滴直径测量
9	风速计	覆盖 18 m/s 测量范围， 18 m/s 的允许误差： $\pm 3\%$	风速测量
10	量筒	单孔水流量 $\leq 0.1 \text{ L/min}$ ：覆盖 $(0 \sim 200) \text{ mL}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 1 \text{ mL}$ ； $0.1 \text{ L/min} < \text{单孔水流量} \leq 1 \text{ L/min}$ ：覆盖 $(200 \sim 1000) \text{ mL}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 5 \text{ mL}$	单孔水流量测量
11	电子秤	$1 \text{ L/min} < \text{水流量} \leq 30 \text{ L/min}$ ：覆盖 $(0 \sim 30) \text{ kg}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 20 \text{ g}$ ； $30 \text{ L/min} < \text{水流量} \leq 100 \text{ L/min}$ ：覆盖 $(30 \sim 60) \text{ kg}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 30 \text{ g}$	水流量测量
12	测温仪	覆盖 $(20 \sim 80) ^{\circ}\text{C}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	水温测量
13	冲击力测量仪	覆盖 $(0.9 \sim 1.2) \text{ N}$ 测量范围，最大允许误差： $\pm 0.03 \text{ N}$	冲击力测量

7 校准项目及校准方法

7.1 校准项目

水试验设备的校准项目见表3。

表3

序号	校准项目	
1	外观及工作正常性检查	
2	人造雨法滴水试验设备	降雨强度
		倾斜角
		持续时间
3	滴水箱法滴水试验设备（IPX1、IPX2）	降雨强度
		倾斜角
		持续时间
4	摆动管法冲水试验设备（IPX3、IPX4）	单孔水流量
		摆动角
		摆管摆动时间
		持续时间
5	喷雾法冲水试验设备（IPX3、IPX4）	水流量
		持续时间
6	喷水法冲水试验设备（IPX5、IPX6）	水流量
		持续时间
7	扇形喷水法冲水试验设备（IPX9）	水流量
		水温
		转速
		喷洒角
		持续时间
		冲击力
8	水箱法浸水试验设备（IPX7、IPX8）	浸水深度
		水温
		持续时间
9	加压水箱法浸水试验设备	水压
		水温
		持续时间
10	淋雨试验设备	降雨强度
		雨滴直径
		风速
		水压
		水流量
		持续时间

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

- 7.2.1.1 试验设备的名称、型号、出厂序列号、制造年月均应有明确标记；
- 7.2.1.2 试验设备的控制仪表、设定仪表和指示仪表等均无明显影响性能的缺陷；
- 7.2.1.3 试验设备的各项功能及安全报警保护装置应工作正常；
- 7.2.1.4 检查滴水箱法滴水（IPX1、IPX2）、淋雨试验设备的滴嘴间距、滴嘴内径和转盘转速；以卡尺测量滴嘴间距，以针规测量滴嘴内径，以秒表测量转盘转 3 圈的时间计算转盘转速；
- 7.2.1.5 检查摆动管法冲水（IPX3、IPX4）试验设备的喷嘴内径、摆管半径；以针规测量喷嘴内径，以卷尺测量摆管半径。

7.2.2 人造雨法试验设备校准

7.2.2.1 校准点

- 降雨强度：10 mm/h、100 mm/h、400 mm/h；
- 倾斜角：0°、15°、30°、60°、90°；
- 持续时间：10 min、30 min、60 min、120 min；
- 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.2.2 测量点数量及位置

降雨强度测量点数量及位置：将雨量器置于喷水嘴下方，以 300 mm～500 mm 的间距均匀布放，测量点数量不少于 3 个。

7.2.2.3 校准步骤及计算校准结果

- 降雨强度校准
 - 在滴雨前按规定位置放置盖板盖好的雨量器，收集面与雨滴方向垂直；
 - 调节好设备的水位，待滴雨稳定后，将各盖板依次打开收集雨滴，标称值为 10 mm/h 收集 60 min，标称值为 100 mm/h 收集 6 min，标称值为 400 mm/h 收集 3 min，到收集时间后立即将各盖板依次盖好，顺序与打开顺序相同；
 - 取出储水瓶，将收集到的雨水倒入雨量量筒即得到降雨量，再除以收集时间即为该测量点的降雨强度，依次测得各测量点的降雨强度，每个测量点共测量 2 次；
 - 按公式（1）、（2）计算降雨强度上偏差和下偏差：

$$\Delta R_{\max} = \bar{R}_{\max} - R_N \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta R_{\min} = \bar{R}_{\min} - R_N \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔR_{\max} ——降雨强度上偏差，mm/h 或 L/(m²·h)；

\bar{R}_{\max} ——各测量点降雨强度实测平均值的最大值，mm/h 或 L/(m²·h)；

R_N ——降雨强度标称值，mm/h 或 L/(m²·h)；

ΔR_{\min} ——降雨强度下偏差，mm/h 或 L/(m²·h)；

\bar{R}_{\min} ——各测量点降雨强度实测平均值的最小值，mm/h或L/(m²•h)。

b) 倾斜角校准

调好支撑台的倾斜角，用角度仪测其实测值，共测量2次，按公式(3)计算倾斜角度偏差：

$$\Delta\alpha = \bar{\alpha} - \alpha_N \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\Delta\alpha$ ——倾斜角偏差，°；

$\bar{\alpha}$ ——倾斜角实测平均值，°；

α_N ——倾斜角标称值，°。

c) 持续时间校准

校准计时器时其它设备可不启动。调好设备计时器计时时间，计时开始的同时手动按秒表计时，到计时器停止计时同时按下秒表停止计时，记录秒表实测时间，按公式(4)计算持续时间误差：

$$\Delta t = t_{\text{示}} - t_{\text{实}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

Δt ——持续时间误差，min；

$t_{\text{示}}$ ——持续时间示值，min；

$t_{\text{实}}$ ——持续时间实测值，min。

7.2.3 滴水箱法滴水（IPX1、IPX2）试验设备校准

7.2.3.1 校准点

- 降雨强度：60 mm/h、180 mm/h；
- 倾斜角：0°、15°、30°、45°；
- 持续时间：3 min、10 min、30 min、60 min；
- 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.3.2 测量点数量及位置

- 降雨强度测量点位置如图1所示；
- 降雨强度测量点用A、B、C、D、E、F、G、H、O表示；
- 测量点O位于滴水箱底部的几何中心，测量点A、C、F、H与滴水箱滴水面积外延的距离为各自边长的1/10，测量点B、D、E、G与滴水箱滴水面积外延的距离分别为各自边长的1/10和1/2，但最大距离不大于500 mm，最小距离不小于150 mm（滴水箱滴水面积大于2 m²时最小距离不小于170mm）；
- 滴水箱滴水面积小于或等于2 m²时，降雨强度测量点为A、C、F、H、O共5个；
- 滴水箱滴水面积大于2 m²时，降雨强度测量点为A、B、C、D、E、F、G、H、O共9个；

- f) 可根据滴水箱滴水面积大小,适当增加或减少测量点,并在原始记录和校准证书中注明;
- g) 根据试验和校准的需要,可在滴水箱增加对疑点的测量,并在原始记录和校准证书中注明。

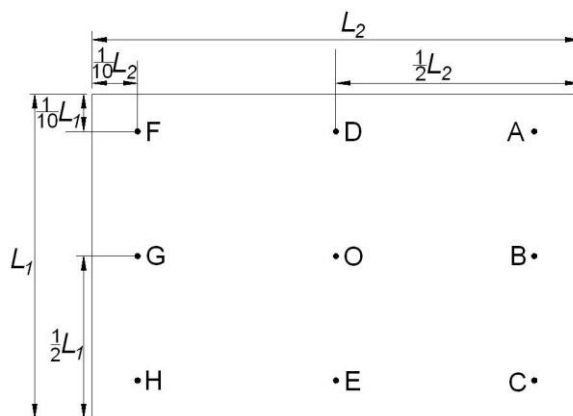


图1 降雨强度测量点布放位置示意图

7.2.3.3 校准步骤及计算校准结果

- a) 降雨强度校准
按 7.2.2.3 a) 方法进行,标称值为 60 mm/h 收集 10 min,标称值为 180 mm/h 收集 5 min,雨量量筒测量值再除以收集时间即为该测量点的降雨强度,以公式 (1)、(2) 计算降雨强度偏差;
- b) 倾斜角校准
按 7.2.2.3 b) 方法进行,以公式 (3) 计算倾斜角偏差;
- c) 持续时间校准
按 7.2.2.3 c) 方法进行,以公式 (4) 计算持续时间误差。

7.2.4 摆动管法冲水 (IPX3、IPX4) 试验设备校准

7.2.4.1 校准点

- a) 单孔水流量: 0.07 L/min (类型 1、类型 2)、0.6 L/min (类型 3);
- b) 总水流量: 0.56 L/min~7.0 L/min;
- c) 摆动角: $\pm 60^\circ$ (类型 1、类型 2)、 $\pm 180^\circ$ (类型 3);
- d) 摆管摆动时间: $+60^\circ \sim -60^\circ \sim +60^\circ$ (类型 1)、 $+180^\circ \sim -180^\circ \sim +180^\circ$ (类型 2)
- e) 持续时间: 5 min、10 min、30 min、60 min;
- f) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.4.2 校准步骤及计算校准结果

- a) 单孔水流量校准
- 1) 如图 2,在摆管滴嘴位置上均匀选取 5 个滴嘴,使用引导管将被测滴嘴的喷水引入量筒内;

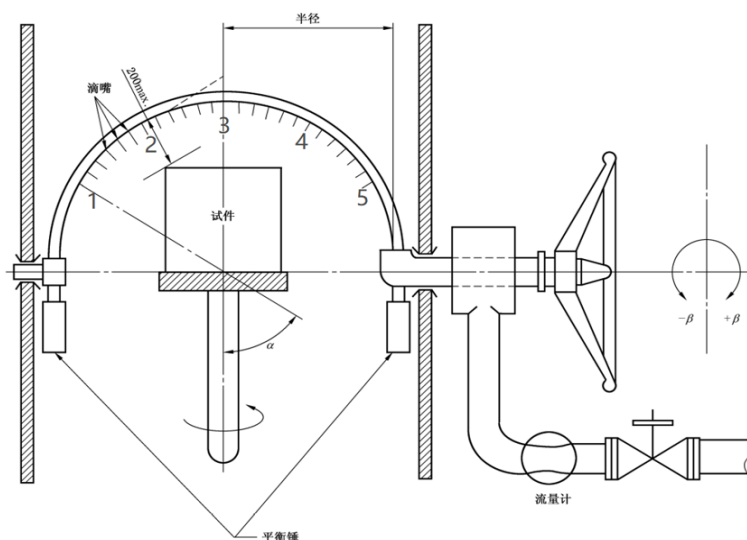


图2 摆管滴嘴单孔水流量测量点位置示意图

- 2) 调节好设备的水流量，收集 1 min 摆管喷水量，共测量 2 次，依次测量 5 个滴嘴的喷水量平均值；
- 3) 按公式 (5) 计算各个单孔水流量：

$$q = \bar{v}/t \dots\dots\dots (5)$$

式中：

q ——单孔水流量实测值，L/min；

\bar{v} ——规定时间内单孔滴嘴流入量筒的喷水量平均值，L；

t ——水流记录时间，min。

按公式 (6)、(7) 计算水流量偏差：

$$\Delta q_{\max} = q_{\max} - q_N \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta q_{\min} = q_{\min} - q_N \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Δq_{\max} ——单孔水流量上偏差，L/min；

q_{\max} ——单孔水流量实测最大值，L/min；

q_N ——单孔水流量标称值，L/min；

Δq_{\min} ——单孔水流量下偏差，L/min；

q_{\min} ——单孔水流量实测最小值，L/min。

b) 总水流量校准

按公式 (8) 计算总水流量偏差：

$$q_{\text{总}} = n \times \frac{\sum_{i=1}^5 q_i}{5} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$q_{\text{总}}$ ——总水流量, L/min;

n ——滴嘴数;

q_i ——各单孔水流量实测值, L/min。

c) 摆动角校准

按照图 2 所示 β 角度方向选定摆动角, 按 7.2.2.3 b) 方法进行, 以公式 (3) 计算摆动角偏差;

d) 摆管摆动时间校准

调节好设备规定的摆动角度, 启动摆管摆动的同时手动按秒表开始计时, 到摆管完成一次完整摆动时按下秒表停止计时, 记录秒表实测时间, 以公式 (9) 计算一次完整摆动的时间偏差:

$$\Delta t = t_{\text{实}} - t_{\text{N}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Δt ——摆管摆动时间偏差, s;

$t_{\text{实}}$ ——摆管摆动时间实测值, s;

t_{N} ——摆管摆动时间标称值, s。

e) 持续时间校准

按 7.2.2.3 c) 方法进行, 以公式 (4) 计算持续时间误差。

7.2.5 喷雾法冲水 (溅水、IPX3、IPX4) 试验设备校准

7.2.5.1 校准点

- a) 水流量: 10 L/min;
- b) 持续时间: 1 min、3 min、6 min;
- c) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.5.2 校准步骤及计算校准结果

a) 水流量校准

调整好设备的水流量, 收集 1 min 的水量到足够大的容器中, 用电子秤称出水的质量, 同时测出水温, 查出对应温度下的水密度, 水流量共测量 2 次, 按公式 (10) 计算水流量:

$$q_v = \overline{m} / (\rho \cdot t) \dots\dots\dots (10)$$

式中:

q_v ——水流量实测值, L/min;

\bar{m} ——规定时间内收集水量的质量平均值, kg;

ρ ——相应温度的水密度, kg/dm³;

t ——冲水的收集时间, min。

按公式 (11) 计算水流量偏差:

$$\Delta q_v = q_v - q_N \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Δq_v ——水流量偏差, L/min;

q_N ——水流量标称值, L/min。

b) 持续时间校准

按 7.2.2.3 c) 方法进行, 以公式 (4) 计算持续时间误差。

7.2.6 喷水法冲水 (IPX5、IPX6) 试验设备校准

7.2.6.1 校准点

- a) 水流量: 12.5 L/min (6.3mm 喷嘴)、75 L/min (6.3mm 喷嘴)、100 L/min (12.5mm 喷嘴);
- b) 持续时间: 0.3 min、1 min、3 min、10min;
- c) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.6.2 校准步骤及计算校准结果

- a) 水流量校准
按 7.2.5.2 a) 方法进行, 其中水流量为 75 L/min、100 L/min 时, 收集 0.5 min 的冲水量。以公式 (10) 计算水流量, 以公式 (11) 计算水流量偏差;
- b) 持续时间校准
按 7.2.2.3 c) 方法进行, 以公式 (4) 计算持续时间误差。

7.2.7 扇形喷水法冲水 (IPX9) 试验设备校准

7.2.7.1 校准点

- a) 水流量: 15 L/min;
- b) 水温: 20℃, 80℃;
- c) 转速: 5 r/min;
- d) 喷洒角: 0°, 30°, 60°, 90°;
- e) 持续时间: 30s、3 min;
- f) 冲击力: 0.9N~1.2N;
- g) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.7.2 校准步骤及计算校准结果

- a) 水流量校准

按 7.2.5.2 a) 方法进行, 以公式 (10) 计算水流量, 以公式 (11) 计算水流量偏差;

b) 水温校准

调好水箱水温到相应温度, 水温稳定后在试样处以合适的容器收集试验用水, 测温仪立即测量容器内的水温, 共测量 2 次, 按公式 (12) 计算水温偏差:

$$\Delta T = \bar{T} - T_N \dots\dots\dots (12)$$

式中:

ΔT ——水温偏差, °C;

\bar{T} ——水温实测平均值, °C;

T_N ——水温标称值, °C。

c) 转速校准

用秒表测量。先在转盘上一处做标记, 调好转速开启转盘, 当标记经过秒表时开始计时, 标记经过秒表第 10 次时停止计时, 记录所用时间, 按公式 (13) 计算转速偏差:

$$\Delta n_0 = i/t - n_0 \dots\dots\dots (13)$$

式中:

Δn_0 ——转速偏差, r/min;

i ——转动次数, r;

t ——转动 i 次所用时间, min;

n_0 ——转速标称值, r/min。

d) 喷洒角校准

调好扇形喷嘴的喷洒角度, 按 7.2.2.3 b) 方法进行, 以公式 (3) 计算喷洒角偏差;

e) 持续时间校准

按 7.2.2.3 c) 方法进行, 以公式 (4) 计算持续时间误差;

f) 冲击力校准

用冲击力测量仪测量。先将力传感器放在喷嘴正下方, 力传感器测量面距离喷嘴 150mm。水温保持在 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, 喷嘴流量调整在 $(15 \pm 1) \text{ L/min}$, 开启喷嘴喷水, 记录冲击力测量仪最大读数值, 共测量 2 次, 取其平均值为冲击力实测值。

7.2.8 水箱法浸水 (IPX7、IPX8) 试验设备校准

7.2.8.1 校准点

- a) 浸水深度: 0.15m、0.4m、1m、2m、5m;
- b) 水温: 25°C ;
- c) 持续时间: 0.5 h、2 h、24h;
- d) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.8.2 校准步骤及计算校准结果

a) 浸水深度校准

用卷尺对齐浸水深度标尺测量其实测值，共测量 2 次，按公式 (14) 计算标尺偏差：

$$\Delta L = \bar{L} - L_N \dots\dots\dots (14)$$

式中：

ΔL ——标尺偏差，mm；

\bar{L} ——标尺实测平均值，mm；

L_N ——标尺标称值，mm。

b) 水温校准

调好水箱水温到规定温度，水温稳定后以测温仪测量水箱工作空间中心点水温，共测量 2 次，按公式 (12) 计算水温偏差；

c) 持续时间校准

按 7.2.2.3 c) 方法进行，按公式 (4) 计算持续时间误差。

注：可商定校准持续时间的长短。

7.2.9 加压水箱法浸水试验设备校准

7.2.9.1 校准点的选择

- a) 水压：20 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、500 kPa、1000 kPa、2000 kPa、5000 kPa、10000 kPa；
- b) 水温：25℃；
- c) 持续时间：2h、24h、168h；
- d) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.9.2 校准步骤及计算校准结果

a) 水压校准

用三通接头把标准压力表和设备上的水压表一起联接到设备水压接口上。从低压到高压调节设备水压到规定值，稳定后同时记录标准压力表实测值和水压表示值，每测量点共测量 2 次，按公式 (15) 计算水压误差：

$$\Delta P = \overline{P_{\text{示}}} - \overline{P_{\text{标}}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

ΔP ——水压误差，kPa；

$\overline{P_{\text{示}}}$ ——水压表示值平均值，kPa；

$\overline{P_{\text{标}}}$ ——标准压力表实测平均值，kPa。

b) 水温校准

测量水温时水箱不加压，按 7.2.8.2 b) 方法进行，按公式 (12) 计算水温偏差；

c) 持续时间校准

按 7.2.2.3 c) 方法进行, 以公式 (4) 计算持续时间误差。

注: 可商定校准持续时间的长短。

7.2.10 淋雨试验设备校准

7.2.10.1 校准点

- a) 降雨强度: 1.7 mm/min、280 L/(m²·h);
- b) 雨滴直径范围: 0.5mm~4.5mm;
- c) 风速: 18m/s;
- d) 水压: 200kPa、276kPa;
- e) 水流量: 20.8L/min;
- f) 持续时间: 5min、10min、15min、30min、40min;
- g) 可按用户要求选择其它校准点。

7.2.10.2 测量点数量及位置

降雨强度测量点及位置按 7.2.3.2 进行, 雨滴直径、风速测量点数量及水平位置与降雨强度的相同。

7.2.10.3 校准步骤及计算校准结果

- a) 降雨强度校准
测量降雨强度时不吹风, 按 7.2.2.3 a) 方法进行, 标称值为 1.7 mm/min 收集 6 min, 标称值为 280 L/(m²·h) 收集 3 min, 雨量量筒测量值再除以收集时间即为该测量点的降雨强度, 以公式 (1)、(2) 计算降雨强度上偏差和下偏差;
- b) 雨滴直径校准
在喷水嘴下测量雨滴直径。测量雨滴直径时不吹风, 用雨滴直径测量系统测量雨滴直径, 常用色斑滤纸法和雨滴谱仪法。
 - 1) 色斑滤纸法
色斑滤纸测雨滴直径法见附录 A。把淋雨试验设备的水位调节到代表额定降雨强度位置, 待滴雨稳定后开始测量。用遮挡板遮挡除待测滴嘴外周围其它滴嘴, 滴落高度以不产生飞溅为宜, 让被测滴嘴的单个雨滴垂直滴落在色斑滤纸上, 每个测量点共测量 2 次, 取雨滴直径所有测量点中的最小值和最大值为实测雨滴直径范围;
 - 2) 雨滴谱仪法
雨滴谱仪是根据雨滴穿过其水平激光束时遮挡部分光束, 因而接收器的输出电压变小, 通过电压的大小来确定雨滴直径的大小。把淋雨试验设备的水位调节到代表额定降雨强度位置, 将雨滴谱仪的测试体部分分别置于各测量点处, 用遮挡板遮挡除待测滴嘴外周围其它滴嘴, 开启淋雨试验设备, 待滴雨稳定后, 每隔 30s 记录一次雨滴谱仪显示的雨滴直径, 共记录 2 组数据, 测量数据按雨滴谱仪的修正值进行修正, 取所有测量点中雨滴直径的最小值和最大值为实测雨滴直径范围;
- c) 风速校准
测量风速时不滴雨。将风速计的探头分别置于各测量点处, 关闭设备的门并开启设备的风机, 待风机稳定后, 记录测量点主导风向上的最大风速为该点实测风速。按公式 (16) 计算设备的平均风速并作为设备风速的校准结果:

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^m v_i / m \dots\dots\dots (16)$$

式中:

\bar{v} ——设备的平均风速, m/s;

v_i ——第*i*个测量点的风速, m/s;

m ——测量点数。

d) 水压校准

按 7.2.9.2 a) 方法进行, 按公式 (15) 计算水压误差;

e) 水流量校准

1) 如图 3, 在设备前、后、左、右、上喷雨面共选取 14 个被校喷嘴, 使用引导管将被测喷嘴的喷水分别引入足够大的容器内;

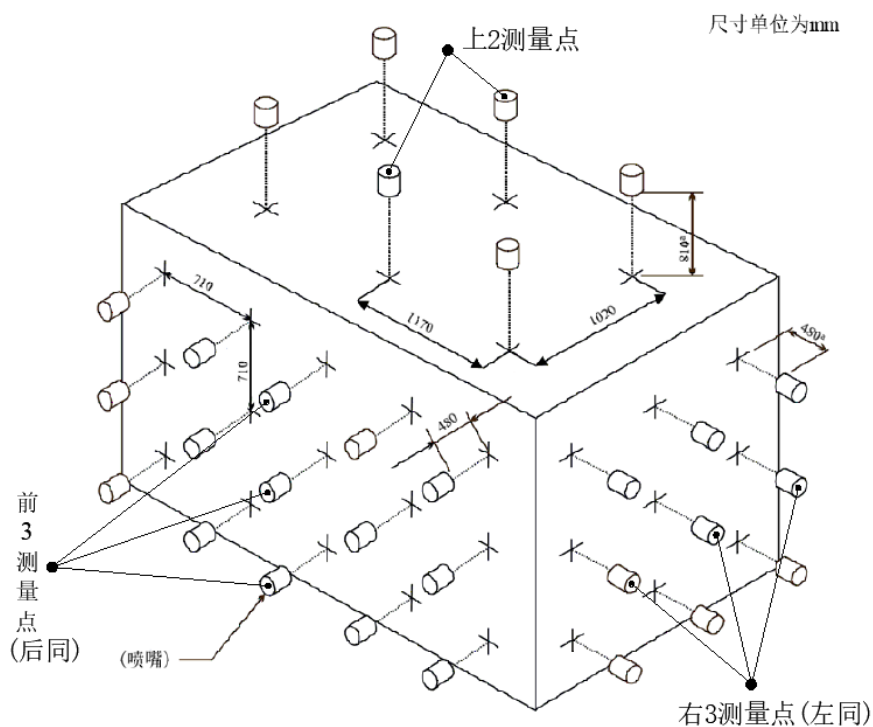


图 3 喷雨试验典型喷嘴装置测量点位置示意图

- 2) 调整好设备的水流量, 收集 1 min 喷嘴喷雨量, 用电子秤依次测量 14 个喷嘴的喷雨量, 共测量 2 次, 查出对应温度下的水密度, 按公式 (10) 计算各水流量, 按公式 (11) 计算水流量偏差, 取最大值为上偏差、最小值为下偏差;

f) 持续时间校准

按 7.2.2.3 c) 方法进行, 以公式 (4) 计算持续时间误差。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

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), 每页及总页数的标识;
- 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和应用有关时, 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) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- 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说明;
- 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

建议复校时间间隔不超过 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器设备的使用情况、使用者、仪器设备本身质量等诸因素所决定的, 送校单位可根据实际使用情况决定复校时间间隔。

附录 A

色斑滤纸法测雨滴直径

A.1 色斑滤纸制作

使用 $\phi 15\text{cm}$ 定性中速滤纸, 曙红水溶性染料和滑石粉按质量比 1: 10 混合并研磨。一般情况下, 使用机械搅拌器进行充分的搅拌混合即可。用毛刷把混合粉末均匀地涂在滤纸上 (雨滴滴在制作好的滤纸上, 形成色斑的边界应清晰和连续)。

A.2 色斑直径的测量方法

色斑直径是指色斑面积等效为圆形面积时的直径。测量色斑直径, 是通过测量色斑面积的测量, 然后换算成等效的色斑直径。雨滴在滤纸上产生的色斑, 是一个近似圆形或椭圆形的图形, 用高分辨率扫描仪按 1: 1 的比例把色斑扫描成图片, 同时设置像素分辨率的 dpi 值为 1200dpi (表示每 25.4mm 有 1200 个像素), 然后用图片处理软件(如 photoshop) 统计色斑图片的总像素, 则可依据公式(A.1)求出色斑图片面积。

$$S = \frac{P_{\text{总}} \times 25.4^2}{1200^2} \dots\dots\dots (\text{A. 1})$$

式中:

S ——色斑面积, mm^2 ;

$P_{\text{总}}$ ——色斑总像素。

由公式(A.2)换算成等效的色斑直径。

$$D = 2 \times (S / \pi)^{1/2} \dots\dots\dots (\text{A. 2})$$

式中:

D ——色斑直径, mm。

A.3 雨滴直径的计算

雨滴直径 d 与色斑直径 S 关系式为公式(A.3), 由此得到雨滴直径。

$$d = 0.32 \times D^{0.7722} \dots\dots\dots (\text{A. 3})$$

附录 B

原始记录格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	
滴嘴间距 (mm)	
滴嘴内径 (mm)	
转台转速 (r/min)	
喷嘴内径 (mm)	
摆管半径 (mm)	

B.2 人造雨法滴水试验设备测量

B.2.1 降雨强度

表 B.2.1 降雨强度

标称值 (mm/h)	收集时间 (min)	降雨量实测值 (mm)						$U(k=2)$ (mm/h)
		1		2		3	
10								
.....								

B.2.2 倾斜角

表 B.2.2 倾斜角

标称值(°)	实测值(°)		平均值(°)	$U(k=2)$
	1	2		(°)
0				
.....				

B.2.3 持续时间

表 B.2.3 持续时间

设定值(min)	示值(s)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
----------	-------	--------	--------------

表 B.2.3 (续)

10			
.....			

B.3 滴水箱法滴水试验设备测量 (IPX1、IPX2)

B.3.1 降雨强度

表 B.3.1 降雨强度

标称值	收集时间	降雨量实测值 (mm)							$U(k=2)$
(mm/h)	(min)	1	2	3				(mm/h)
60									
180									

B.3.2 倾斜角

表 B.3.2 倾斜角

标称值(°)	实测值(°)		平均值(°)	$U(k=2)$
	1	2		(°)
0				
.....				

B.3.3 持续时间

表 B.3.3 持续时间

设定值(min)	示值(min)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
2.5			
.....			

B.4 摆动管法冲水试验设备测量 (IPX3、IPX4)

B.4.1 单孔水流量

表 B.4.1 单孔水流量

标称值	摆管半径	喷嘴数	1min 水流量实测值 (L)					$U(k=2)$
(L/min)	(mm)	(个)	1	5			(L/min)
0.07	200							
							

表 B.4.1 （续）

.....								
-------	--	--	--	--	--	--	--	--

B.4.3 摆动角

表 B.4.3 摆动角

标称值	实测值(°)		平均值	$U(k=2)$
(°)	1	2	(°)	(°)
-180				
.....				

B.4.4 摆管摆动时间

表 B.4.4 摆管摆动时间

摆动角度	摆动时间实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
+60° ~-60° ~+60°		
+180° ~-180° ~+180°		

B.4.5 持续时间

表 B.4.5 持续时间

设定值(min)	示值(min)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
5			
.....			

B.5 喷雾法冲水试验设备测量（溅水、IPX3、IPX4）

B.5.1 水流量

表 B.5.1 水流量

标称值	水质量		水温		水密度	收集时间		$U(k=2)$
(L/min)	(kg)		(°C)		(kg/dm³)	(s)		(L/min)
10								

B.5.2 持续时间

表 B.5.2 持续时间

设定值(min)	示值(min)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
1			
.....			

B.6 喷水法冲水试验设备测量 (IPX5、IPX6)

B.6.1 水流量

表 B.6.1 水流量

标称值	水质量		水温		水密度	收集时间		$U(k=2)$
(L/min)	(kg)		(°C)		(kg/dm ³)	(s)		(L/min)
12.5								

B.6.2 持续时间

表 B.6.2 持续时间

设定值(min)	示值(min)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
0.3			
.....			

B.7 扇形法冲水试验设备测量 (IPX9)

B.7.1 水流量

表 B.7.1 水流量

标称值	水质量		水温		水密度	收集时间		$U(k=2)$
(L/min)	(kg)		(°C)		(kg/dm ³)	(s)		(L/min)
15								

B.7.2 水温

表 B.7.2 水温

标称值	实测值(°C)		平均值	$U(k=2)$
(°C)	1	2	(°C)	(°C)
20				
80				

B.7.3 转速

表 B.7.3 转速

标称值	实测值			$U(k=2)$
(r/min)	(r)	(s)	(r/min)	(r/min)
5				

B.7.4 喷洒角

表 B.7.4 喷洒角

标称值	实测值(°)		平均值	$U(k=2)$
(°)	1	2	(°)	(°)
0				
.....				

B.7.5 持续时间

表 B.7.5 持续时间

设定值(min)	示值(min)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
0.5			
3			

B.7.6 冲击力

表 B.7.6 冲击力

标称值	实测值(N)		$U(k=2)$
(N)	1	2	(N)

B.8 水箱法浸水试验设备测量 (IPX7、IPX8)

B.8.1 浸入深度

表 B.8.1 浸入深度

标称值	实测值(mm)		平均值	$U(k=2)$
(m)	1	2	(mm)	(mm)
0.15				
.....				

B.8.2 水温

表 B.8.2 水温

标称值	实测值(°C)		平均值	$U(k=2)$
(°C)	1	2	(°C)	(°C)
25				

B.8.3 持续时间

表 B.8.3 持续时间

设定值(h)	示值(h)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
0.5			
.....			

B.9 加压水箱法浸水试验设备测量

B.9.1 水压

表 B.9.1 水压

标称值(kPa)	示值 (kPa)		标准值 (kPa)		$U(k=2)$ (kPa)
20					
.....					

B.9.2 水温

表 B.9.2 水温

标称值	实测值(°C)		平均值	$U(k=2)$
(°C)	1	2	(°C)	(°C)
25				

B.9.3 持续时间

表 B.9.3 持续时间

设定值(h)	示值(h)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
2			
.....			

B.10 淋雨试验设备测量

B.10.1 降雨强度

表 B.10.1 降雨强度

标称值	收集时间	降雨量实测值(mm)					$U(k=2)$
(mm/min)	(min)	1	2	3		(mm/min)
1.7							
L/(m ² •h)	(min)	1	2	3		L/(m ² •h)

表 B.10.1 (续)

280									
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

B.10.2 雨滴直径

表 B.10.2 雨滴直径

雨滴色斑面积实测值(mm ²) / 雨滴谱仪法雨滴直径 (mm)							$U(k=2)$
A	B	O				(mm ²)

B.10.3 风速

表 B.10.3 风速

标称值	实测值(m/s)			$U(k=2)$
(m/s)	A	O	(m/s)
18				

B.10.4 水压

表 B.10.4 水压

标称值(kPa)	示值(kPa)		标准值(kPa)		$U(k=2)$ (kPa)
200					
276					

B.10.5 水流量

表 B.10.5 水流量

标称值	水质量		水温		水密度	收集时间		$U(k=2)$
(L/min)	(kg)		(°C)		(kg/dm ³)	(s)		(L/min)
20.8								

B.10.6 持续时间

表 B.10.6 持续时间

设定值(min)	示值(min)	实测值(s)	$U(k=2)$ (s)
5			
.....			

附录 C

校准证书内页格式

C.1 外观及工作正常性检查

表 C.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	
滴嘴间距 (mm)	
滴嘴内径 (mm)	
转台转速 (r/min)	
喷嘴内径 (mm)	
摆管半径 (mm)	

C.2 人造雨法滴水试验设备测量

C.2.1 降雨强度

表 C.2.1 降雨强度

标称值	上偏差	下偏差	$U(k=2)$
(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
10			
.....			

C.2.2 倾斜角

表 C.2.2 倾斜角

标称值	偏差	$U(k=2)$
(°)	(°)	(°)
0		
.....		

C.2.3 持续时间

表 C.2.3 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
-----	----	-----	----	----------

(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
10				
.....				

C.3 滴水箱法滴水试验设备测量 (IPX1、IPX2)

C.3.1 降雨强度

表 C.3.1 降雨强度

标称值	上偏差	下偏差	$U(k=2)$
(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
60			
180			

C.3.2 倾斜角

表 C.3.2 倾斜角

标称值	偏差	$U(k=2)$
(°)	(°)	(°)
0		
.....		

C.3.3 持续时间

表 C.3.3 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
2.5				
.....				

C.4 摆动管法冲水试验设备测量 (IPX3、IPX4)

C.4.1 单孔水流量

表 C.4.1 单孔水流量

标称值	喷嘴数	偏差	$U(k=2)$
(L/min)		(L/min)	(L/min)

表 C.4.1 (续)

0.07	8		
.....			

C.4.2 总水流量

表 C.4.2 总水流量

标称值	偏差	$U(k=2)$
(L/min)	(L/min)	(L/min)
0.56		
.....		

C.4.3 摆动角

表 C.4.3 摆动角

标称值	偏差	$U(k=2)$
(°)	(°)	(°)
-180		
.....		

C.4.4 摆管摆动时间

表 C.4.4 摆管摆动时间

摆动角度	摆动时间偏差(s)	$U(k=2)$ (s)
+60° ~-60° ~+60°		
+180° ~-180° ~+180°		

C.4.5 持续时间

表 C.4.5 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
5				
...				

C.5 喷雾法冲水试验设备测量(溅水、IPX3、IPX4)

C.5.1 水流量

表 C.5.1 水流量

标称值	偏差	$U(k=2)$
(L/min)	(L/min)	(L/min)
10		

C.5.2 持续时间

表 C.5.2 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
1				
.....				

C.6 喷水法冲水试验设备测量 (IPX5、IPX6)

C.6.1 水流量

表 C.6.1 水流量

标称值	偏差	$U(k=2)$
(L/min)	(L/min)	(L/min)
12.5		
.....		

C.6.2 持续时间

表 C.6.2 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
0.3				
.....				

C.7 扇形法冲水试验设备测量 (IPX9)

C.7.1 水流量

表 C.7.1 水流量

标称值	偏差	$U(k=2)$
(L/min)	(L/min)	(L/min)
15		

C.7.2 水温

表 C.7.2 水温

标称值	偏差	$U(k=2)$
(°C)	(°C)	(°C)
20		
80		

C.7.3 转速

表 C.7.3 转速

标称值	偏差	$U(k=2)$
(r/min)	(r/min)	(r/min)
5		

C.7.4 喷洒角

表 C.7.4 喷洒角

标称值	偏差	$U(k=2)$
(°)	(°)	(°)
0		
.....		

C.7.5 持续时间

表 C.7.5 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
0.5				
3				

C.7.6 冲击力

表 C.7.6 冲击力

标称值	实测值	$U(k=2)$
(N)	(N)	(N)

C.8 水箱法浸水试验设备测量 (IPX7、IPX8)

C.8.1 浸入深度

表 C.8.1 浸入深度

标称值	偏差	$U(k=2)$
(m)	(mm)	(mm)
0.15		
.....		

C.8.2 水温

表 C.8.2 水温

标称值	偏差	$U(k=2)$
(°C)	(°C)	(°C)
25		

C.8.3 持续时间

表 C.8.3 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(h)	(h)	(s)	(s)	(s)
0.5				
.....				

C.9 加压水箱法浸水试验设备测量

C.9.1 水压

表 C.9.1 水压

标称值	误差	$U(k=2)$
(kPa)	(kPa)	(kPa)
20		
.....		

C.9.2 水温

表 C.9.2 水温

标称值	偏差	$U(k=2)$
-----	----	----------

表 C.9.2 (续)

(°C)	(°C)	(°C)
25		

C.9.3 持续时间

表 C.9.3 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(h)	(h)	(s)	(s)	(s)
2				
.....				

C.10 淋雨试验设备测量

C.10.1 降雨强度

表 C.10.1 降雨强度

标称值	上偏差	下偏差	$U(k=2)$
(mm/min)	(mm/min)	(mm/min)	(mm/min)
1.7			
(L/(m ² •h))	(L/(m ² •h))	(L/(m ² •h))	(L/(m ² •h))
280			

C.10.2 雨滴直径

表 C.10.2 雨滴直径

最大值	最小值	$U(k=2)$
(mm)	(mm)	(mm)

C.10.3 风速

表 C.10.3 风速

标称值	实测值	$U(k=2)$
(m/s)	(m/s)	(m/s)
18		

C.10.4 水压

表 C.10.4 水压

标称值	示值	误差	$U(k=2)$
(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
200			
276			

C.10.5 水流量

表 C.10.5 水流量

标称值	上偏差	下偏差	$U(k=2)$
(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)
20.8			

C.10.6 持续时间

表 C.10.6 持续时间

设定值	示值	实测值	误差	$U(k=2)$
(min)	(min)	(s)	(s)	(s)
5				
.....				

附录 D

测量不确定度评定示例

D.1 降雨强度测量结果不确定度的评定

D.1.1 测量模型

$$\Delta R_{\max} = R_{\max} - R_N \quad \dots\dots\dots (D.1.1)$$

$$\Delta R_{\min} = R_{\min} - R_N \quad \dots\dots\dots (D.1.2)$$

式中:

ΔR_{\max} ——降雨强度上偏差, mm/h;

R_{\max} ——各测量点在 2 次测量中实测降雨强度最大值, mm/h;

R_N ——降雨强度标称值, mm/h;

ΔR_{\min} ——降雨强度下偏差, mm/h;

R_{\min} ——各测量点在 2 次测量中实测降雨强度最小值, mm/h;

因 ΔR_{\max} 、 ΔR_{\min} 的不确定度评定方法一致, 以下选 ΔR_{\max} 的评定。

方差:

$$u_c^2(y) = \sum (\partial f / \partial x_i)^2 u^2(x_i)$$

$$u_c^2 = c^2(R_{\max}) u^2(R_{\max}) + c^2(R_N) u^2(R_N) \quad \dots\dots\dots (D.1.3)$$

灵敏系数:

$$c(R_{\max}) = \partial \Delta R_{\max} / \partial R_{\max} = 1 \quad \dots\dots\dots (D.1.4)$$

$$c(R_N) = \partial \Delta R / \partial R_N = 0 \quad (R_N \text{ 为非变量})$$

D.1.2 不确定度来源

D.1.2.1 雨量器雨量筒不准确引入的标准不确定度 u_1 ;

D.1.2.2 雨量器雨量筒示值估读引入的标准不确定度 u_2 ;

D.1.2.3 收集器残留雨量引入的标准不确定度 u_3 。

雨量收集时间不准确带来的不确定度较小, 可忽略; 量筒在短期内不可能发生较大的变化, 其重复性引入的标准不确定度相比估读引入的标准不确定度小, 故忽略不计。

D.1.3 标准不确定度评定

D.1.3.1 雨量器雨量量筒不准确引入的标准不确定度 u_1

雨量器雨量量筒的最大允许误差 ± 0.05 mm/h，均匀分布。

$$u_1 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ mm/h}$$

D.1.3.2 雨量器雨量量筒示值估读引入的标准不确定度 u_2

雨量器雨量量筒分度值为 0.1 mm/h，至少可以估读到 1/5 分度值，故估读误差为 0.02 mm/h，均匀分布。

$$u_2 = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.016 \text{ mm/h}$$

D.1.3.3 收集器残留雨量引入的标准不确定度 u_3

收集器残留雨量，根据实验结果最大不超过 0.05 mm/h，均匀分布。

$$u_3 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ mm/h}$$

D.1.4 合成不确定度计算

D.1.4.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度 (mm/h)	分布
雨量器雨量量筒不准确	0.029	B
雨量器雨量量筒示值估读误差	0.016	B
收集器残留雨量	0.029	B

D.1.4.2 合成标准不确定度

各不确定度分量不相关，故：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.044 \text{ mm/h}。$$

D.1.5 扩展不确定度

扩展不确定度： $U = k \times u_c$ ，计算得：

$$U \approx 0.09 \text{ mm/h}, k=2$$

D.2 色斑法雨滴直径测量结果不确定度的评定

D.2.1 测量模型

$$d = kD^n \cdots \cdots \cdots (D.2.1)$$

式中:

d ——雨滴直径, mm;

D ——色斑直径, mm;

k ——雨滴直径与色斑直径幂函数关系的系数, 0.320;

n ——雨滴直径与色斑直径幂函数关系的指数, 0.7722。

方差:

$$u_c^2 = c^2(k)u^2(k) + c^2(D)u^2(D) + c^2(n)u^2(n) \cdots \cdots \cdots (D.2.2)$$

$$\text{灵敏系数: } c(D) = \partial d / \partial D = nkD^{n-1} \cdots \cdots \cdots (D.2.3)$$

$$c(k) = \partial d / \partial k = D^n \cdots \cdots \cdots (D.2.4)$$

$$c(n) = \partial d / \partial n = kD^n \ln D \cdots \cdots \cdots (D.2.5)$$

D.2.2 不确定度来源

D.2.2.1 色斑直径 D 引入的标准不确定度 u_D :

- 1) 色斑滤纸的重复性引入的标准不确定度 u_1 ;
- 2) 色斑直径测量不准确引入的标准不确定度 u_2 ;
- 3) 涂料和滤纸的变化引入的标准不确定度 u_3 ;
- 4) 环境温湿度变化引入的标准不确定度 u_4 ;

D.2.2.2 系数 k 不准确引入的标准不确定度 u_k ;

D.2.2.3 指数 n 不准确引入的标准不确定度 u_n 。

D.2.3 标准不确定度评定

D.2.3.1 色斑直径 D 引入的标准不确定度 u_D

D.2.3.1.1 色斑滤纸的重复性引入的标准不确定度 u_1

在相同条件下进行 10 次测量, 计算得: 直径 0.51mm 雨滴时: $u_1 = s = 0.006\text{mm}$

直径 2.9mm 雨滴时: $u_1 = s = 0.012\text{mm}$

直径 4.8mm 雨滴时: $u_1 = s = 0.020\text{mm}$

D.2.3.1.2 色斑直径测量不准确引入的标准不确定度 u_2

由扫描仪和计算机组成的色斑直径测量系统，色斑直径测量最大误差由实验得：直径 0.51mm 雨滴时，色斑直径测量的相对误差不超过 1%，对应的色斑直径为 1.81mm，则色斑直径测量的最大误差为 0.018mm；

直径 2.9mm 雨滴时，色斑直径测量的相对误差不超过 0.5%，对应的色斑直径为 17.36mm，则色斑直径测量的最大误差为 0.087mm；

4.8mm 雨滴时，色斑直径测量的相对误差不超过 0.5%，对应的色斑直径为 33.35mm，则色斑直径测量的最大误差为 0.167mm。

按均匀分布考虑，计算得：

$$\text{直径 0.51mm 雨滴时： } u_2 = 0.018 / \sqrt{3} = 0.010\text{mm}$$

$$\text{直径 2.9mm 雨滴时： } u_2 = 0.087 / \sqrt{3} = 0.050\text{mm}$$

$$\text{直径 4.8mm 雨滴时： } u_2 = 0.167 / \sqrt{3} = 0.096\text{mm}$$

D.2.3.1.3 涂料和滤纸的变化引入的标准不确定度 u_3

涂料数量的变化和不同批次的滤纸导致色斑直径的变化，根据实验的结果，0.51mm、2.9mm、4.8mm 雨滴对应的色斑面积最大变化分别不超过 10%、1.5%、1%，按均匀分布考虑，计算得：

$$\text{0.51mm 雨滴时： } u_3 = 1.81 \times 10\% / \sqrt{3} = 0.105\text{mm}$$

$$\text{2.9mm 雨滴时： } u_3 = 17.36 \times 1.5\% / \sqrt{3} = 0.150\text{mm}$$

$$\text{4.8mm 雨滴时： } u_3 = 33.35 \times 1\% / \sqrt{3} = 0.193\text{mm}$$

D.2.3.1.4 环境温湿度变化引入的标准不确定度 u_4

环境温湿度变化会引起色斑滤纸变化，从而引起色斑直径变化，根据实验结果，在温度变化不超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度变化不超过 $\pm 30\%\text{RH}$ 的情况下，0.51mm、2.9mm、4.8mm 雨滴对应的色斑面积最大变化分别不超过 10%、1.5%、1%，按均匀分布考虑，计算得：

$$\text{0.51mm 雨滴时： } u_4 = 1.81 \times 10\% / \sqrt{3} = 0.105\text{mm}$$

$$\text{2.9mm 雨滴时： } u_4 = 17.36 \times 1.5\% / \sqrt{3} = 0.150\text{mm}$$

$$\text{3.8mm 雨滴时： } u_4 = 33.35 \times 1\% / \sqrt{3} = 0.193\text{mm}$$

D.2.3.2 系数 k 不准确引入的标准不确定度 u_k

系数 k 不准确, 主要是在确定雨滴直径与色斑直径幂函数关系时, 由雨滴的实际直径不准确引起, 而雨滴的实际直径通过电子天平测量雨滴的实际质量获得, 电子天平测量雨滴的实际质量不准确引起系数 k 变化, 根据实验结果, 系数 k 的变化在 0.32 ± 0.05 之间, 按均匀分布考虑, 计算得:

$$u_k = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029$$

D.2.3.3 指数 n 不准确引入的标准不确定度 u_n

指数 n 不准确, 主要是在确定雨滴直径与色斑直径幂函数关系时, 由雨滴的实际直径不准确引起, 而雨滴的实际直径通过电子天平测量雨滴的实际质量获得, 电子天平测量雨滴的实际质量不准确引起指数 n 变化, 根据实验结果, 指数 n 的变化在 0.7722 ± 0.05 之间, 按均匀分布考虑, 计算得:

$$u_n = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029$$

D.2.4 合成标准不确定度

D.2.4.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表

不确定度来源		标准不确定度 (mm)	分布
u_D	色斑滤纸的重复性 u_1	0.51mm 雨滴时: 0.006 2.9mm 雨滴时: 0.012 4.8mm 雨滴时: 0.020	正态
	色斑直径测量不准确 u_2	0.51mm 雨滴时: 0.010 2.9mm 雨滴时: 0.050 4.8mm 雨滴时: 0.096	均匀
	涂料和滤纸变化 u_3	0.51mm 雨滴时: 0.105 2.9mm 雨滴时: 0.150 4.8mm 雨滴时: 0.193	均匀
	环境温湿度变化 u_4	0.51mm 雨滴时: 0.105 2.9mm 雨滴时: 0.150 4.8mm 雨滴时: 0.193	均匀
u_k	系数 k 不准确 u_k	0.029	均匀
u_n	指数 n 不准确 u_n	0.029	均匀

D.2.4.2 合成标准不确定度

u_D 引入的各不确定度分量不相关, 故:

$$u_c = \sqrt{(nkD^{n-1})^2 (u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2) + (D^n)^2 u_k^2 + (kD^n \ln D)^2 u_n^2}$$

合成标准不确定度计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $u_c \approx 0.046\text{mm}$

直径 2.9mm 雨滴时: $u_c \approx 0.082\text{mm}$

直径 4.8mm 雨滴时: $u_c \approx 0.120\text{mm}$

D.2.5 扩展不确定度

扩展不确定度: $U = k \times u_c$, 分别计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $U \approx 0.09\text{mm}$, $k=2$

直径 2.9mm 雨滴时: $U \approx 0.16\text{mm}$, $k=2$

直径 4.8mm 雨滴时: $U = 0.24\text{mm}$, $k=2$

D.3 持续时间测量结果不确定度评定

D.3.1 测量模型

$$\Delta t = t_{\text{示}} - t_{\text{标}} \dots\dots\dots (D.3.1)$$

式中:

Δt ——持续时间误差, s;

$t_{\text{示}}$ ——持续时间示值, s;

$t_{\text{标}}$ ——持续时间实测值, s。

D.3.2 方差和灵敏系数

方差为:

$$u_c^2 = c^2(t_{\text{示}})u^2(t_{\text{示}}) + c^2(t_{\text{标}})u^2(t_{\text{标}}) \dots\dots\dots (D.3.2)$$

灵敏系数为:

$$c(t_{\text{示}}) = \partial \Delta t / \partial t_{\text{示}} = 1 \dots\dots\dots (D.3.3)$$

$$c(t_{\text{标}}) = \partial \Delta t / \partial t_{\text{标}} = -1 \cdots \cdots \cdots (D.3.4)$$

D.3.3 不确定度来源

D.3.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ，A 类；

D.3.3.2 计时器的分辨力引入的不确定度 u_2 较小，忽略；

D.3.3.3 计时操作引入的标准不确定度 u_3 ，B 类；

D.3.3.4 秒表不准引入的标准不确定度 u_4 ，B 类。

D.3.4 标准不确定度评定

D.3.4.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在 10min 测量点重复测量十次，通过计算其实验标准偏差得到标准不确定度，有：

次数	1	2	3	4	5
测量值 (s)	10min0.03s	10min 0.08s	10min 0.05s	10min 0.11s	10min 0.04s
次数	6	7	8	9	10
测量值 (s)	10min0.13s	10min 0.07s	10min 0.05s	10min 0.03s	10min 0.06s

由贝塞尔公式计算，有 $s \approx 0.04$ s；

类似的，在 1h 内校准点重复测量 10 次，都有 $s \approx 0.04$ s，故 $u_1 = s \approx 0.04$ s；

1h、2h、24h、168h 校准点重复测量 10 次，都有 $s \approx 0.4$ s，故 $u_1 = s \approx 0.4$ s。

D.3.4.2 计时操作引入的标准不确定度分量 u_3 ；

人员的反应速度是计时操作主要的不确定度来源，人员操作反应时间带来的误差根据经验 1h 内约为 0.2s、1h 及以上约为 0.6s，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，

$$1\text{h 内: } u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.2}{2\sqrt{3}} \approx 0.06\text{s}$$

$$1\text{h 及以上: } u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.6}{2\sqrt{3}} \approx 0.2\text{s}$$

D.3.4.3 秒表不准引入的标准不确定度分量 u_4 ；

1h 内秒表的最大误差为 ± 0.1 s、1h 及以上秒表的最大误差为 ± 0.5 s，则不确定度半

宽 1h 内为 0.1s、1h 及以上为 0.5s，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，

$$1\text{h 内: } u_4 = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \approx 0.06 \text{ s}$$

$$1\text{h 及以上: } u_4 = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \approx 0.3 \text{ s}$$

D.3.5 合成标准不确定度

D.3.5.1 标准不确定度一览表，见表 1：

表 1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 (s)		分布
		1h 内	1h 及以上	
u_1	测量重复性	0.04	0.4	正态
u_3	计时操作	0.06	0.2	均匀
u_4	秒表不准	0.06	0.3	均匀

D.3.5.2 合成标准不确定度计算

以上各项标准不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度

$$1\text{h 内: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{0.04^2 + 0.06^2 + 0.06^2} \approx 0.09 \text{ s}$$

$$1\text{h 及以上: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{0.4^2 + 0.2^2 + 0.3^2} \approx 0.5 \text{ s}$$

D.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，有

$$1\text{h 内: } U = k \times u_c = 2 \times 0.1 = 0.2 \text{ s}$$

$$1\text{h 及以上: } U = k \times u_c = 2 \times 0.5 = 1 \text{ s}$$

D.4 风速测量结果不确定度评定

D.4.1 测量模型

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^m v_i / m + \delta v_{\text{稳}} \cdots \cdots \cdots \text{(D.4.1)}$$

式中:

\bar{v} ——设备的平均风速, m/s;

v_i ——第*i*个测量点测得的风速最大值, m/s;

m ——测量点数;

$\delta v_{\text{稳}}$ ——设备风速不稳定带来的影响, m/s。

灵敏系数:

$$c(v_i) = \partial \bar{v} / \partial v_i = 1/m \cdots \cdots \cdots \text{(D.4.2)}$$

$$c(\delta v_{\text{稳}}) = \partial \bar{v} / \partial \delta v_{\text{稳}} = 1 \cdots \cdots \cdots \text{(D.4.3)}$$

因各测量点 v_i 的不确定度相等, 相关系数为 1, 故:

$$u_c = \sum_{i=1}^m c(v_i)u(v_i) + c(\delta v_{\text{稳}})u(\delta v_{\text{稳}}) = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} u(v_i) + u(\delta v_{\text{稳}}) = u(v_i) + u(\delta v_{\text{稳}}) \cdots \cdots \text{(D.4.4)}$$

D.4.2 不确定度来源:

D.4.2.1 数字风速计测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(v_i)$;

D.4.2.2 数字风速计测量不准确引入的标准不确定度 $u_2(v_i)$;

D.4.2.3 试验设备风速的不稳定引入的标准不确定度 $u(\delta v_{\text{稳}})$

D.4.3 标准不确定度评定

D.4.3.1 数字风速计测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(v_i)$

用 A 类标准不确定度评定。依据校准规范, 对环境试验设备同一个测量点作 10 次独立重复测量, 计算其标准差为 0.05 m/s, 故 $u_1(v_i) = 0.05 \text{ m/s}$

风速计分辨力为 0.01 m/s, 其不确定度为 0.003 m/s, 小于重复性带来的不确定度, 故舍去。

D.4.3.2 数字风速计测量不准确引入的标准不确定度 $u_2(v_i)$

数字风速计经计量校准, 在周期内, 其修正值扩展不确定度为 $U = 2.6\%$, $k=2$, 则不确定度换算成风速值为:

$$u_2(v_i) = 2.6\% / 2 \times 18 \text{ m/s} = 0.23 \text{ m/s}, \text{ 测量点为 } 18 \text{ m/s}$$

D.4.3.3 环境试验设备风速的稳定性引入的标准不确定度 $u(\delta v_{\text{稳}})$

设备在短时间内, 其风速的波动不超过 0.2 m/s, 其区间半宽度为 0.1 m/s, 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 其标准不确定度 $u(\delta v_{\text{稳}})=0.1/\sqrt{3}=0.058 \text{ m/s}$

D.4.4 合成标准不确定度

D.4.4.1 主要标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	类型	分布	标准不确定度值	$u(X_i)$
$u(v_i)$	数字风速计重复性	A	正态	0.05m/s	0.24 m/s
	数字风速计测量不准确	B	均匀	0.23m/s	
$u(\delta v_{\text{稳}})$	试验设备风速的稳定性	B	均匀	0.06 m/s	0.06 m/s

D.4.4.2 合成标准不确定度计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c(y) = 0.3 \text{ m/s}$$

$$u_{\text{crel}}(y) = 1.7\%$$

D.4.5 扩展不确定度

取 $k=2$, 扩展不确定度:

$$U = k \times u_c(y) = 0.6 \text{ m/s}, k=2$$

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}}(y) = 3\%, k=2$$

D.5 水流量测量结果不确定度评定

D.5.1 测量模型

D.5.1.1 单孔水流量偏差测量模型

$$\Delta q = q - q_N = \bar{v}/t - q_N \dots\dots\dots (D.5.1)$$

式中:

Δq ——单孔水流量偏差, L/min;

q ——单孔水流量实测值, L/min;

q_N ——标称流量值, L/min;

\bar{v} ——单孔滴嘴规定时间内流入量筒喷水量的平均值, L;

t ——水流记录时间, min。

方差为:

$$u_c^2 = c^2(\bar{v})u^2(\bar{v}) + c^2(t)u^2(t) + c^2(q_N)u^2(q_N) \cdots \cdots (D.5.2)$$

灵敏系数为:

$$c(\bar{v}) = \partial \Delta q / \partial \bar{v} = 1/t \cdots \cdots (D.5.3)$$

$$c(t) = \partial \Delta q / \partial t = -\bar{v}/t^2 \cdots \cdots (D.5.4)$$

$$c(q_N) = \partial \Delta q / \partial q_N = 0 \quad (q_N \text{ 非变量})$$

D.5.1.2 喷雾、喷水水流量偏差测量模型

$$\Delta q_v = q_v - q_N = \bar{m}/(\rho \square t) - q_N \cdots \cdots (D.5.5)$$

Δq_v ——水流量偏差, L/min;

q_v ——水流量实测值, L/min;

q_N ——水流量标称值, L/min。

\bar{m} ——规定时间收集水流量的质量平均值, kg;

ρ ——相应温度的水密度, kg/dm³;

t ——冲水的收集时间, min;

方差为:

$$u_c^2 = c^2(\bar{m})u^2(\bar{m}) + c^2(\rho)u^2(\rho) + c^2(t)u^2(t) + c^2(q_N)u^2(q_N) \cdots \cdots (D.5.6)$$

灵敏系数为:

$$c(\bar{m}) = \partial \Delta q_v / \partial \bar{m} = 1/(\rho \square t) \cdots \cdots (D.5.7)$$

$$c(\rho) = \partial \Delta q_v / \partial \rho = -\bar{m}/(\rho^2 \square t) \cdots \cdots (D.5.8)$$

$$c(t) = \partial \Delta q_v / \partial t = -\bar{m}/(\rho \square t^2) \cdots \cdots (D.5.9)$$

$$c(q_N) = \partial \Delta q_v / \partial q_N = 0 \quad (q_N \text{ 非变量})$$

ρ 引入的标准不确定较小, 可忽略。

D.5.2 不确定度来源

D.5.2.1 \bar{v} 的不确定度

D.5.2.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{v1} ，A 类；

D.5.2.1.2 测量标准不准引入的标准不确定度分量 u_{v2} ，B 类。

D.5.2.2 t 的不确定度

D.5.2.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{t1} ，A 类；

D.5.2.2.2 测量标准不准引入的标准不确定度分量 u_{t2} ，B 类。

D.5.2.3 \bar{m} 的不确定度

D.5.2.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{m1} ，A 类；

D.5.2.3.2 测量标准不准引入的标准不确定度分量 u_{m2} ，B 类。

测单孔流量与测喷雾、喷水水流量时 t 的不确定度评定是一样的；读数分辨力的不确定度小于测量重复性引入的标准不确定度，故舍去。

D.5.3 标准不确定度评定

D.5.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{v1} 、 u_{t1} 、 u_{m1}

在标称值为 0.07L/min 测量点，用量筒对单孔流量重复测量十次有：

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果 (mL)	70.6	68.9	73.1	71.5	67.9	72.1	68.1	74.3	71.7	69.6

$$u_{v1} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{m \times (n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{2 \times 9}} \approx 0.00011 \text{ L}$$

在标称值为 0.6L/min 测量点，用量筒对单孔流量重复测量 10 次，有：

$$u_{v1} = s \approx 0.002 \text{ L}$$

计时重复测量 10 次，有：

$$u_{t1} = s \approx 0.002 \text{ min}$$

在以下各测量点重复测量 10 次，有：

标称值 10 L/min, : $u_{m1} = s \approx 0.022 \text{ kg}$;

标称值 12.5 L/min : $u_{m1} = s \approx 0.031\text{kg}$;

标称值 15 L/min : $u_{m1} = s \approx 0.043\text{kg}$;

标称值 75 L/min : $u_{m1} = s \approx 0.078\text{kg}$;

标称值 100 L/min : $u_{m1} = s \approx 0.121\text{kg}$ 。

D.5.3.2 测量标准不准确引入的标准不确定度 u_{v2} 、 u_{t2} 、 u_{m2} ;

用量筒测量容量时, 测标称流量为 0.07L/min 的量筒允许误差为 $\pm 1\text{mL}$, 测标称流量为 0.6L/min 的量筒允许误差为 $\pm 5\text{mL}$, 其不确定度半宽分别为 0.001L、0.005L, 按均匀分布处理, 则标称流量 0.07L/min :

$$u_{v2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.001}{\sqrt{3}} \approx 0.00058\text{L}$$

标称流量 0.6L/min :

$$u_{v2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \approx 0.003\text{L}$$

秒表计时, 其最大允许误差为 $\pm 0.2\text{s}$, 即其不确定度半宽为 0.2s, 按均匀分布处理取 $k=\sqrt{3}$, 有:

$$u_{t2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} \approx 0.12\text{s} = 0.002\text{min}$$

用电子秤测量水流量质量时, 电子秤 30kg 以下的最大允许误差为 $\pm 20\text{g}$, 即 $\pm 0.02\text{kg}$, 30kg~100kg 的最大允许误差为 $\pm 30\text{g}$, 即 $\pm 0.03\text{kg}$, 则不确定度半宽分别为 0.005kg、0.03kg, 按均匀分布处理, 有:

$$30\text{kg 以下} : u_{m2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \approx 0.0029\text{kg}$$

$$30\text{kg} \sim 100\text{kg} : u_{m2} = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \approx 0.017\text{kg}$$

D.5.4 合成标准不确定度

D.5.4.1 单孔水流量合成标准不确定度

\bar{v} 的不确定度分量互不相关, 故:

$$0.07\text{L/min: } u_v = \sqrt{u_{v1}^2 + u_{v2}^2} \approx 0.00059\text{ L}$$

$$0.6\text{L/min: } u_v = \sqrt{u_{v1}^2 + u_{v2}^2} \approx 0.004\text{ L}$$

t 的不确定度分量互不相关, 故:

$$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2} \approx 0.003\text{ min}$$

单孔水流量不确定度分量一览表, 见表 1

表 1 单孔水流量标准不确定度分量一览表

标称值	标准不确定度分量 u_i	标准不确定度
0.07L/min	u_v	0.00059
	u_t	0.003
0.6L/min	u_v	0.004
	u_t	0.003

以上两项标准不确定度互不相关, 标称流量 0.07L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\bar{v})u_v^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.00063\text{ L/min}$$

标称流量 0.6L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\bar{v})u_v^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.0044\text{ L/min}$$

D.5.4.2 喷雾、喷水水流量合成标准不确定度

\bar{m} 的不确定度分量互不相关, 故:

$$10\text{L/min: } u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2} \approx 0.025\text{ L}$$

$$12.5\text{L/min: } u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2} \approx 0.033\text{ L}$$

$$15\text{L/min: } u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2} \approx 0.045\text{ L}$$

$$75\text{L/min: } u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2} \approx 0.122\text{ L}$$

$$100\text{L/min: } u_m = \sqrt{u_{m1}^2 + u_{m2}^2} \approx 0.223\text{ L}$$

喷雾、喷水水流量标准不确定度分量一览表, 见表 2

表 2 标准不确定度分量一览表

标称值	标准不确定度分量 u_i	标准不确定度
-----	----------------	--------

10L/min	u_m	0.025
	u_t	0.003
12.5L/min	u_v	0.033
	u_t	0.003
15 L/min	u_m	0.045
	u_t	0.003
75 L/min	u_m	0.122
	u_t	0.003
100 L/min	u_m	0.223
	u_t	0.003

以上两项标准不确定度互不相关， 标称流量 10L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\overline{m})u_m^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.039 \text{ L/min}$$

标称流量 12.5L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\overline{m})u_m^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.050 \text{ L/min}$$

标称流量 15L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\overline{m})u_m^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.064 \text{ L/min}$$

标称流量 75L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\overline{m})u_m^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.48 \text{ L/min}$$

标称流量 100L/min:

$$u_c = \sqrt{c^2(\overline{m})u_m^2 + c^2(t)u_t^2} \approx 0.65 \text{ L/min}$$

D.5.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,

标称流量 0.07 L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.00063 \approx 0.001 \text{ L/min}$

标称流量 0.6L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.0044 \approx 0.01 \text{ L/min}$

标称流量 10 L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.039 \approx 0.08 \text{ L/min}$

标称流量 12.5L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.050 = 0.10 \text{ L/min}$

标称流量 15 L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.064 \approx 0.13 \text{ L/min}$

标称流量 75L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.48 \approx 1.0 \text{ L/min}$

标称流量 100 L/min: $U = k \times u_c = 2 \times 0.65 = 1.3 \text{ L/min}$
