

国防军工计量技术规范

JJF (军工) 17—2012

淋雨试验设备校准规范

Calibration Specification for Rain Testing Equipments

2012-12-27 发布

2013-04-01 实施

国家国防科技工业局 发布

淋雨试验设备校准规范

Calibration Specification for
Rain Testing Equipments

JJF (军工) 17—2012

起草单位：国防科技工业 4412 二级计量站

本规范起草人：

伍伟雄（国防科技工业 4412 二级计量站）

韦 柘（国防科技工业 4412 二级计量站）

常 青（国防科技工业 4412 二级计量站）

谢凯锋（国防科技工业 4412 二级计量站）

蔡锦文（国防科技工业 4412 二级计量站）

张跃平（广州赛宝仪器设备有限公司）

罗 军（广州赛宝仪器设备有限公司）

目 录

1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	1
5 计量特性	1
5.1 降雨强度	1
5.2 风速	2
5.3 雨滴直径	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其它设备	2
7 校准项目和校准方法	2
7.1 校准项目	2
7.2 校准点的选择	2
7.3 校准方法	3
8 校准结果	6
9 复校时间间隔	6
附录 A 校准记录参考格式	7
附录 B 校准证书内页参考格式	8
附录 C 雨滴直径测量结果不确定度评定示例	9
附录 D 色斑滤纸制作和确定系数 k 指数 n 的方法	13

淋雨试验设备校准规范

1 范围

本规范适用于《GJB 150.8A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第8部分：淋雨试验》试验所用淋雨试验设备的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1059 测量不确定度评定与表示

JJG 56—2000 工具显微镜检定规程

JJG 524—1988 雨量器和雨量筒检定规程

JJG 646—2006 移液器检定规程

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 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 雨滴直径 raindrop diameter

雨滴体积按球体体积计算得到的直径。

3.2 色斑 stain

在滤纸上涂上着色涂料，当雨滴落在滤纸上时，即留下永久性的近似圆形或椭圆形的斑点。

3.3 色斑直径 stain diameter

色斑面积按圆形面积计算得到的直径。

4 概述

淋雨试验设备是一种模拟自然环境中降雨的环境条件，供样品进行淋雨试验的综合试验设备。

淋雨试验设备通常设计成降雨强度、风速连续可调，充当滴雨孔的滴嘴可更换的形式。设备通过调整储水箱的不同水位高度获得不同的降雨强度，以水位的额定高度代表额定的降雨强度；设备通过调整风机的频率来获得不同的风速，以额定的风机频率代表风速；设备充当滴雨孔的滴嘴的孔径一般在 $(0.4 \sim 0.6)$ mm 之间，无雨滴直径指示仪表或装置。

5 计量特性

5.1 降雨强度

(102 ± 10.2) mm/h。

5.2 风速

(18 ± 1.8)m/s。

5.3 雨滴直径

(0.5 ~ 4.5)mm。

6 校准条件

6.1 环境条件

- a) 温度 15℃ ~ 35℃；
- b) 周围环境的风速不致于引起雨滴的变化；
- c) 电测仪器设备的环境条件应满足其相应要求。

6.2 测量标准及其它设备

校准用仪器设备应经过计量技术机构检定（或校准），满足校准使用要求，并在有效期内。校准用仪器设备及其它设备见表 1。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 降雨强度；
- b) 风速；
- c) 雨滴直径。

7.2 校准点的选择

- a) 降雨强度校准点：102mm/h；
- b) 风速校准点：18m/s；
- c) 雨滴直径校准点：滴嘴所产生的雨滴。

表 1 校准用仪器设备及其它设备

	名 称	技术要求	用 途	备 注
校准用仪器设备	移液器	标称容量分别为（1，2，5，10，20，25，40，50，100）μL，符合 JJG 646—2006 移液器检定规程规定的技术要求	产生雨滴，确定色斑滤纸雨滴直径与色斑直径幂函数关系的系数 <i>k</i> 和指数 <i>n</i> ，参见附录 D	
	电子天平	测量范围：（0 ~ 20）g 准确度等级：Ⅰ级	测量移液器所产生的雨滴的质量，确定色斑滤纸雨滴直径与色斑直径幂函数关系的系数 <i>k</i> 和指数 <i>n</i> ，参见附录 D	

表 1 (续)

	名 称	技术要求	用 途	备 注
校 准 用 仪 器 设 备	工具显微镜	在 (1 ~ 50) mm 的测量范围内, 符合 JJG 56—2000 工具显微镜 检定规程规定的技术要求	确认扫描仪、计算机及面积 测量软件的面积测量误差	
	雨量器和雨 量量筒	符合 JJG 524—1988 雨量器和雨 量量筒检定规程规定的技术要求	测量降雨强度	
	风速计	满足使用的测量范围, 18m/s 的 允差: $\pm 3\%$	测量风速	风向为全向型
	色斑滤纸	使用 $\Phi 15\text{cm}$ 定性中速滤纸, 质 量比按 1:10 的曙红水溶性染料 和滑石粉混合粉末制作的色斑滤 纸 (详见附录 D), 雨滴直径测 量的允差: $\pm (10\% \times \text{读数} +$ $0.1\text{mm})$	测量雨滴直径	
	秒表	允差: $\pm 0.5\text{s}(1\text{d})$	计时	
其 它 设 备	扫描仪、计 算机及面积 测量软件	扫描仪的扫描像素不低于 1200dpi, 测量面积小于 5mm^2 时, 允差: $\pm 1.5\%$; 测量面积 不小于 5mm^2 时, 允差: $\pm 1\%$	测量色斑面积	
	温度计	在 $0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 的测量范围内, 分 辨力 0.1°C , 允差: $\pm 1.0^\circ\text{C}$	测量水温, 查水密度 ρ 值	
	收集器	质量不大于 4g	收集移液器产生的雨滴	

7.3 校准方法

7.3.1 降雨强度

淋雨试验设备滴水底部面积小于或等于 2m^2 时, 降雨强度测量点为 5 个, 除中心测量点 3 外, 其他测量点的位置与滴水底部外延的距离为各自边长的 1/10, 最小距离不能小于 150mm。布放位置如图 1 淋雨试验设备滴水底部面积小于或等于 2m^2 时降雨强度测量点所示。

淋雨试验设备滴水底部面积大于 2m^2 时, 降雨强度测量点为 9 个, 除中心测量点 5

外，其他测量点的位置与滴水底部外延的距离为各自边长的 1/10，但最大距离不能大于 500mm，最小距离不能小于 170mm。淋雨试验设备滴水底部面积大于 2m²时降雨强度测量点摆放位置如图 2 所示。

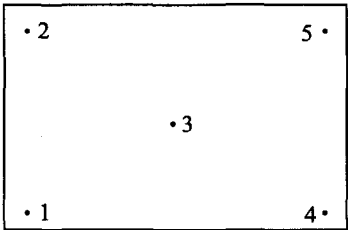


图 1 淋雨试验设备滴水底部面积小于或等于 2m²时降雨强度测量点示意图

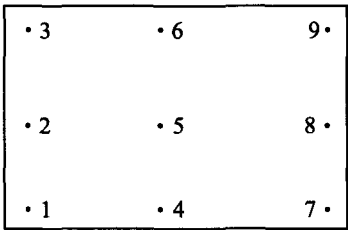


图 2 淋雨试验设备滴水底部面积大于 2m²时降雨强度测量点示意图

当滴水底部面积大于 10m²时，可适当增加测量点。

雨量器布置于测量点上，收集面离滴嘴 (0.2 ~ 2)m。

降雨强度测量在风机未开启状态下进行。

在滴水嘴开始滴雨前，将雨量器收集面的盖板盖好。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，立即将各个雨量器的盖板依次打开收集雨滴，收集 1h 后，立即将各个雨量器的盖板依次盖好，顺序与打开顺序相同。用雨量筒分别测量各个雨量器收集到的雨滴量。

各个测量点的雨量筒测量值，即为该测量点的降雨强度。

取降雨强度全部测量点中的最小值与最大值的范围为淋雨试验设备降雨强度的校准结果。

7.3.2 风速

风速测量点的数量和位置与降雨强度测量点的数量和位置相同。

风速测量在不滴雨的状态下进行。

将风速计的探头分别置于各测量点处，开启淋雨试验设备的风机，待风机稳定后，读取风速计各测量点示值的最大值。

按公式 (1) 计算淋雨试验设备的平均风速并作为设备风速的校准结果。

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

式中:

$\bar{v}$ ——淋雨试验设备的平均风速, m/s;

v_i ——第 i 个测量点风速计测得的风速最大值, m/s;

m ——测量点数。

7.3.3 雨滴直径

按附录 D 的方法制作色斑滤纸, 并确定雨滴直径和色斑直径幂函数关系的系数 k 和指数 n 。在使用色斑滤纸测量雨滴直径前, 按附录 D 的方法, 用移液器分别产生约 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mm 直径的雨滴, 用色斑滤纸测量得到的雨滴直径, 与用电子天平采用称量法测量得到的雨滴直径进行比较, 色斑滤纸测量雨滴直径的误差, 不超过表 1 中对色斑滤纸雨滴直径测量误差的规定。

在使用扫描仪、计算机及面积测量软件测量色斑图片的色斑面积前, 需使用两张规则的图片 (如正方形、长方形、圆形等) 确认扫描仪、计算机及面积测量软件的面积测量误差。两张规则图片的大小, 一张比待测的色斑图片面积稍大, 另一张比待测的色斑图片面积稍小。用扫描仪、计算机及面积测量软件测量规则图片得到的面积, 与工具显微镜测量规则图片得到的面积进行比较, 扫描仪、计算机及面积测量软件的面积测量误差, 不超过表 1 中对扫描仪、计算机及面积测量软件面积测量误差的规定。

雨滴直径测量点的数量和位置与降雨强度测量点的数量和位置相同。

降雨强度测量时, 在各个雨量器收集面所覆盖的范围内, 任意测量各个雨量器收集面所覆盖的其中一个滴嘴所产生的雨滴的直径。

雨滴直径测量在风机未开启状态下进行。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。为便于操作, 用遮挡板等方法遮挡除待测滴嘴外周围其它滴嘴。让被测滴嘴的单个雨滴垂直滴落在色斑滤纸上, 滴落高度以不产生飞溅为宜。

雨滴在色斑滤纸上产生的色斑自然晾干后, 用扫描仪以 1:1 的比例扫描成色斑图片, 扫描过程中注意色斑滤纸要压紧展平。

用计算机及面积测量软件测量各个色斑图片的色斑面积, 按公式 (2) 计算各个测量点的色斑直径, 按公式 (3) 计算各个测量点的雨滴直径。

$$D_i = 2 \times \sqrt{(S_i / \pi)} \quad (2)$$

$$d_i = k D_i^n \quad (3)$$

式中:

D_i ——第 i 个测量点滴嘴产生的雨滴在色斑滤纸上产生的色斑直径, mm;

S_i ——第 i 个测量点滴嘴产生的雨滴在色斑滤纸上产生的色斑面积, mm²;

d_i ——第 i 个测量点滴嘴产生的雨滴直径, mm;

k ——雨滴直径与色斑直径幂函数关系的系数;

n ——雨滴直径与色斑直径幂函数关系的指数。

取雨滴直径全部测量点中的最小值与最大值的范围为淋雨试验设备雨滴直径的校准结果。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映, 校准证书应至少包括以下信息:

- 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) 校准证书审核人及批准人的签名、职务;
- 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

淋雨试验设备的复校时间间隔一般不超过 24 个月。由于复校时间间隔的长短是由设备的使用情况、使用者、设备本身质量等诸因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准记录参考格式

委托单位		设备编号							
设备名称		环境温度							
设备型号		环境湿度							
出厂编号		校准依据的规范							
主要测量仪器设备									
1. 降雨强度测量									
设备设定值（mm/h）：									
测量点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测量值（mm/h）									
2. 风速测量									
设备风机调节值（Hz）：									
测量点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测量值（m/s）									
3. 雨滴直径测量									
测量点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
雨滴色斑面积（mm ² ）									

附录 B

校准证书内页参考格式

校准结果

校准项目	校准点	校准结果	扩展不确定度（ $k=2$ ）
降雨强度（mm/h）			
风速（m/s）			
雨滴直径（mm）			

附录 C

雨滴直径测量结果不确定度评定示例

C.1 测量方法

用色斑滤纸测量雨滴的色斑直径，由雨滴直径与色斑直径的关系式计算出雨滴直径。

C.2 数学模型

数学模型：

$$d = kD^n \quad (\text{C.1})$$

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，0.32；

n ——雨滴直径与色斑直径幂函数关系的指数，0.7722。

C.3 方差和传播系数

根据公式：

$$u_c^2(y) = \sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (\text{C.2})$$

则方差为：

$$u_c^2 = c^2(k)u^2(k) + c^2(D)u^2(D) + c^2(n)u^2(n) \quad (\text{C.3})$$

传播系数为：

$$c(k) = \frac{\partial d}{\partial k} = D^n$$

$$c(D) = \frac{\partial d}{\partial D} = nkD^{n-1} \quad (\text{C.4})$$

$$c(n) = \frac{\partial d}{\partial n} = kD^n \ln D$$

C.4 不确定度来源

- 色斑滤纸的短期重复性引入的标准不确定度，A类；
- 色斑直径测量不准确引入的标准不确定度，B类；
- 涂料和滤纸的变化引入的标准不确定度，B类；
- 环境温湿度变化引入的标准不确定度，B类；
- 系数 k 不准确引入的标准不确定度，B类；
- 指数 n 不准确引入的标准不确定度，B类。

C.5 标准不确定度评定

C.5.1 色斑滤纸的短期重复性引入的标准不确定度

用 A 类标准不确定度评定。在相同条件下进行 10 次测量, 计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $u_{D1} = S = 0.012\text{mm}$;

直径 2.09mm 雨滴时: $u_{D1} = S = 0.025\text{mm}$;

直径 5.58mm 雨滴时: $u_{D1} = S = 0.040\text{mm}$ 。

C.5.2 色斑直径测量不准确引入的标准不确定度

用 B 类标准不确定度评定。由扫描仪、计算机及面积测量软件测量色斑面积, 由色斑面积计算出色斑直径, 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 $\pm 1\%$, 0.51mm 雨滴对应的色斑直径为 1.81mm, 则色斑直径测量的最大误差为 0.0181mm;

直径 2.09mm 雨滴时: 色斑直径测量的相对误差不超过 $\pm 0.5\%$, 2.09mm 雨滴对应的色斑直径为 11.38mm, 则色斑直径测量的最大误差为 0.0569mm;

直径 5.58mm 雨滴时: 色斑直径测量的相对误差不超过 $\pm 0.5\%$, 5.58mm 雨滴对应的色斑直径为 40.57mm, 则色斑直径测量的最大误差为 0.203mm。

按均匀分布考虑, 计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $u_{D2} = 0.0181/\sqrt{3} = 0.0105\text{mm}$;

直径 2.09mm 雨滴时: $u_{D2} = 0.0569/\sqrt{3} = 0.0329\text{mm}$;

直径 5.58mm 雨滴时: $u_{D2} = 0.203/\sqrt{3} = 0.117\text{mm}$ 。

C.5.3 涂料和滤纸的变化引入的标准不确定度

用 B 类标准不确定度评定。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, 2.09mm, 5.58mm 雨滴对应的色斑直径最大变化不超过 $\pm 10\%$, $\pm 3\%$, $\pm 1\%$, 按均匀分布考虑, 计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $u_{D3} = 1.81 \times 10\%/\sqrt{3} = 0.105\text{mm}$;

直径 2.09mm 雨滴时: $u_{D3} = 11.38 \times 3\%/\sqrt{3} = 0.197\text{mm}$;

直径 5.58mm 雨滴时: $u_{D3} = 40.57 \times 1\%/\sqrt{3} = 0.234\text{mm}$ 。

C.5.4 环境温湿度变化引入的标准不确定度

用 B 类标准不确定度评定。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 $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$, 湿度变化不超过 $(50 \pm 30)\% \text{RH}$ 的情况下, 直径 (0.51mm, 2.09mm, 5.58mm) 雨滴对应的色斑直径最大变化不超过 $\pm 10\%$, $\pm 3\%$, $\pm 1\%$, 按均匀分布考虑, 计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $u_{D4} = 1.81 \times 10\%/\sqrt{3} = 0.105\text{mm}$;

直径 2.09mm 雨滴时: $u_{D4} = 11.38 \times 3\%/\sqrt{3} = 0.197\text{mm}$;

直径 5.58mm 雨滴时: $u_{D4} = 40.57 \times 1\% / \sqrt{3} = 0.234\text{mm}$ 。

C.5.5 系数 k 不准确引入的标准不确定度

用 B 类标准不确定度评定。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、滤纸变化和涂料变化引起。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、滤纸变化和涂料变化引起系数 k 变化, 根据实验结果, 系数 k 在 0.35 ± 0.05 之间变化, 按均匀分布考虑, 计算得:

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

C.5.6 指数 n 不准确引入的标准不确定度

用 B 类标准不确定度评定。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、滤纸变化和涂料变化引起。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、滤纸变化和涂料变化引起指数 n 变化, 根据实验结果, 指数 n 在 0.73 ± 0.05 之间变化, 按均匀分布考虑, 计算得:

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

C.6 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	类型	分布
色斑滤纸的短期重复性	0.51mm 雨滴时: 0.012mm 2.09mm 雨滴时: 0.025mm 5.58mm 雨滴时: 0.040mm	A	正态
色斑直径测量不准确	0.51mm 雨滴时: 0.0105mm 2.09mm 雨滴时: 0.0329mm 5.58mm 雨滴时: 0.117mm	B	均匀
涂料和滤纸变化	0.51mm 雨滴时: 0.105mm 2.09mm 雨滴时: 0.197mm 5.58mm 雨滴时: 0.234mm	B	均匀

续表

不确定度来源	标准不确定度	类型	分布
环境温湿度变化	0.51mm 雨滴时: 0.105mm 2.09mm 雨滴时: 0.197mm 5.58mm 雨滴时: 0.234mm	B	均匀
系数 k 不准确	0.029	B	均匀
指数 n 不准确	0.029	B	均匀

C.7 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{(nkD^{n-1})^2(u_{D1}^2 + u_{D2}^2 + u_{D3}^2 + u_{D4}^2) + (D^n)^2u_k^2 + (kD^n\ln D)^2u_n^2}$$

合成标准不确定度计算得:

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

直径 2.09mm 雨滴时: $u_c = 0.079\text{mm}$;

直径 5.58mm 雨滴时: $u_c = 0.14\text{mm}$ 。

C.8 扩展不确定度

扩展不确定度: $U = k \times u_c$, 取 $k = 2$, 分别计算得:

直径 0.51mm 雨滴时: $U = 0.1\text{mm}$;

直径 2.09mm 雨滴时: $U = 0.2\text{mm}$;

直径 5.58mm 雨滴时: $U = 0.3\text{mm}$ 。

C.9 测量结果不确定度报告

雨滴直径的测量结果不确定度为:

直径 0.51mm 雨滴测量时: $U = 0.1\text{mm}$ ($k = 2$);

直径 2.09mm 雨滴测量时: $U = 0.2\text{mm}$ ($k = 2$);

直径 5.58mm 雨滴测量时: $U = 0.3\text{mm}$ ($k = 2$)。

附录 D

色斑滤纸制作和确定系数 k 指数 n 的方法

D.1 色斑法测量雨滴直径的原理

雨滴直径是建立在雨滴为球体状的基础上进行其直径测量的，科学研究表明，当雨滴直径不大于 5mm 时，其形状为球体状。色斑法测量雨滴直径是基于“雨滴在同一材料上形成的色斑大小与雨滴的直径大小有关”的原理，预先确定好雨滴直径与色斑直径之间的关系，然后通过测量雨滴在相同材料上形成的色斑大小推算出相应的雨滴直径。科学研究表明，雨滴直径与色斑直径之间存在幂函数关系，如公式 (D.1)。

$$d = kD^n \tag{D.1}$$

式中：

- d ——雨滴直径，mm；
- k ——系数；
- D ——色斑直径，mm；
- n ——指数。

系数 k 和指数 n 的大小与滤纸、染料种类及所涂的染料粉末的多少有关。

D.2 色斑滤纸制作方法

色斑是指在滤纸上涂上着色涂料，当雨滴落在滤纸上时，即留下永久性的近似圆形或椭圆形色斑。色斑滤纸一般选用定性中速滤纸，涂料采用曙红水溶性染料和滑石粉的混合粉末。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，如购买的曙红水溶性染料和滑石粉的粒径已足够小，使用一般的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，轻弹滤纸弹去多余的粉末。

把雨滴滴在制作好的滤纸上，观察形成的色斑的边界是否清晰和连续。如果色斑边界不够清晰和连续，说明所涂的粉末不足，通过反复试验，即可掌握涂出清晰和连续的色斑边界的滤纸。下图 D.1 是涂料不足导致色斑不清晰和边界不连续的情况，图 D.2 则是具有清晰和连续边界的色斑情况。

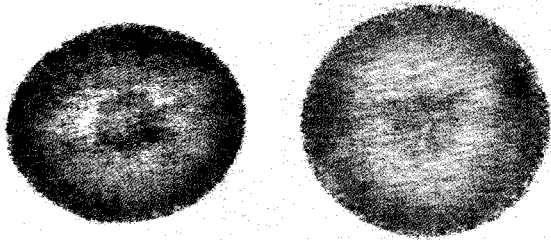


图 D.1 涂料不足的色斑图

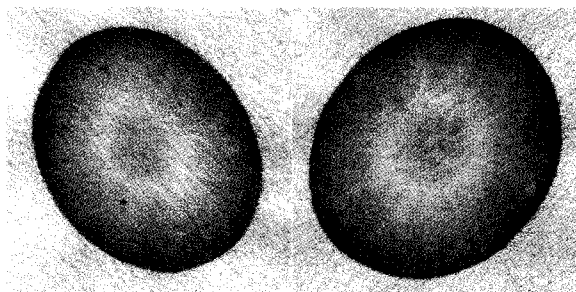


图 D.2 合适涂料的色斑图

D.3 产生已知直径雨滴的方法

要确定雨滴直径与色斑直径之间的关系，首先要有已知直径的雨滴。采用普通医用注射器和不同型号的针头充当雨滴发生器，通过测量注射器、针头、水在滴水前后的质量，求得雨滴的质量，然后用雨滴质量与雨滴体积的关系式求得雨滴直径，如公式 (D.2)。

$$d = \left(\frac{6m}{\pi\rho} \right)^{1/3} \quad (\text{D.2})$$

式中：

d ——雨滴直径，cm；

m ——雨滴质量，g；

ρ ——水密度，g/cm³。

这种方法产生的雨滴的大小，会受到压力、滴落快慢的影响。由于需要靠手动控制，产生雨滴的大小的重复性不佳，要产生直径 2mm 以下和直径 5mm 以上的雨滴，更是十分困难。一种更为简便的方法是使用微量移液器，利用微量移液器固定的容积产生各种大小的雨滴，即用微量移液器抽取一定容积的水，全部压出作为一个雨滴，用收集器收集并用电子天平测量该雨滴的质量，按公式 (D.2) 计算得到雨滴直径。

D.4 色斑直径的测量方法

色斑的图形不是理想的规则图形，所谓色斑直径，其实是指色斑面积等效为圆形面积时的直径。所以，测量色斑直径，是通过对色斑面积的测量，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，这使面积的测量带来了一定的难度。采用手工描绘的传统测量方法，不仅测量准确度低，而且繁琐复杂。而采用计算机测量色斑面积，既提高了测量准确度，又解决了繁琐复杂问题。用高分辨率扫描仪按 1:1 的比例把色斑扫描成图片，然后用图片处理软件（例如 photoshop）对色斑的面积进行测量。具体方法是：在扫描仪中设置 1:1 的扫描比例，同时设置像素分

分辨率的 dpi 值，例如设置 1200dpi，则表示每 25.4mm(1 英寸) 有 1200 个像素；利用 photoshop 软件统计色斑图片的总像素，则可依据每 25.4mm1200 个像素的关系求出色斑图片面积，再由色斑面积换算成等效的色斑直径，如公式 (D.3)。

$$D=2\times (S/\pi)^{1/2}$$

(D.3)

式中：

D ——色斑直径，mm；

S ——色斑面积，mm²。

D.4 色斑滤纸系数 *k* 和指数 *n* 的确定

通过使用电子天平测量雨滴质量的方法得到大小不同的已知直径的雨滴，分别滴在色斑滤纸上形成不同大小的色斑，得到的雨滴直径和对应的色斑直径如下表 D.1。

将表 D.1 中雨滴直径与相应的色斑直径用 EXCEL 进行回归分析，绘出雨滴直径与色斑直径关系图（见图 D.3），得到雨滴直径 *d* 与色斑直径 *D* 关系式，如公式 (D.4)。

表 D.1 雨滴直径与色斑直径对应表

编号 (No)	雨滴直径 <i>d</i> mm	色斑直径 <i>D</i> mm
1	0.5140	1.8069
2	0.7244	2.8620
3	1.0016	4.3535
4	1.4094	6.8703
5	1.8867	9.7921
6	2.0900	11.3780
7	2.5395	14.2415
8	2.8865	17.0678
9	3.2721	20.0156
10	3.7003	24.4285
11	4.7808	33.6963
12	5.5835	40.5681

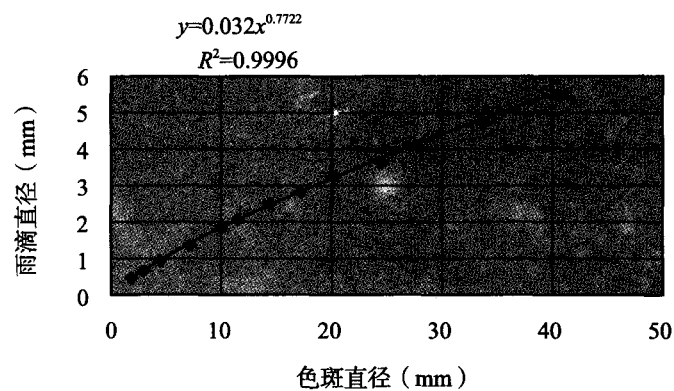


图 D.3 雨滴直径与色斑直径关系图

$$d = 0.32D^{0.7722} \tag{D.4}$$

雨滴直径与色斑直径幂函数关系中，系数 $k=0.32$ ，指数 $n=0.7722$ 。

把色斑直径幂函数关系式化为线性回归进行相关系数检验。给定显著水平 $\alpha = 0.01$ ，样本容量 $n = 12$ ，相关系数 $\rho = 0.999$ 远大于 $\rho(0.01, 12) = 0.708$ ，说明雨滴直径与色斑直径幂函数关系式可靠。

国防军工计量技术规范
淋雨试验设备校准规范
JJF (军工) 17—2012
国家国防科技工业局发布