



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××-××××

## 林格曼烟气黑度图板校准规范

Calibration Specification for Ringerman Smoke Blackness Chart

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 林格曼烟气黑度图板 校准规范

Calibration Specification for

Ringelmann Smoke Blackness Chart

JJF ××××-××××

归口单位：全国生态环境监管专用计量测试技术委员会

主要起草单位：湖南省计量检测研究院

中国计量科学研究院

河北省计量监督检测研究院

参加起草单位：湖南大学

佛山市南华仪器股份有限公司

本规范委托全国生态环境监管专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：任 昀（湖南省计量检测研究院）

张文阁（中国计量科学研究院）

陈燕平（湖南省计量检测研究院）

方 静（河北省计量监督检测研究院）

参加起草人：

王 龙（河北省计量监督检测研究院）

朱日龙（湖南大学）

洪 波（佛山市南华仪器股份有限公司）

JJF XXXX-XXXX

---

# 目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 林格曼黑度级数.....	1
3.2 林格曼烟气黑度图.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 黑色条格占总面积百分比示值误差.....	2
5.2 网格面积均匀性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 校准用标准器及其他设备.....	2
7 校准项目及校准方法.....	3
7.1 外观检查.....	3
7.2 校准方法.....	3
8 校准结果表达.....	4
8.1 校准证书.....	4
8.2 校准结果的不确定度评定.....	4
9 复校时间间隔.....	5
附录 A 林格曼烟气黑度图板校准记录.....	6
附录 B 校准证书内页（推荐）格式样式.....	8
附录 C 林格曼烟气黑度图板示值误差测量不确定度评定示例.....	9

# 引 言

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 1059.1《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。

本规范为首次发布。

# 林格曼烟气黑度图板校准规范

## 1 范围

本规范适用于林格曼烟气黑度图、目视式测烟望远镜光学分划板以及校准光电式林格曼黑度检测设备用的标准林格曼黑度板等林格曼烟气黑度图板（简称林格曼黑度板）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

HJ/T 398 固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法

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 术语和计量单位

### 3.1 林格曼黑度级数 ringelmann number

评价烟羽黑度的一种数值，通过烟羽黑度与林格曼烟气黑度图对比得到，分为 0 级、1 级、2 级、3 级、4 级、5 级等。

### 3.2 林格曼烟气黑度图 ringelmann smoke chart 【HJ/T 398】

除全白与全黑分别代表林格曼黑度 0 级和 5 级外，其余 4 个级别是根据黑色条格占整块面积的百分数来确定，黑色条格的面积占 20%为 1 级，占 40%为 2 级，占 60%为 3 级，占 80%为 4 级。

## 4 概述

林格曼烟气黑度图板是参照标准林格曼烟气黑度图的原理，将林格曼黑度图刻印于一定材质上，用于模拟污染源烟羽，通过将测得的烟气黑度与林格曼烟气黑度图板对比得到林格曼黑度级数。如图 1 所示。根据林格曼黑度板的用途，可分为工作板和标准板。

工作板是指采用直接对比法测量林格曼黑度级数的林格曼黑度板，包括林格曼烟气黑度图、目视式测烟望远镜分划板。常见林格曼黑度板分为 0 级、1 级、2 级、3 级、4 级、

5 级。

标准板是指用于校准林格曼黑度检测设备的图板，包括校准固定式黑烟车电子抓拍系统、移动式黑烟车电子抓拍系统（包括手持式黑烟车抓拍仪、手持式黑烟识别仪、手持式林格曼黑度仪）或光电式林格曼黑度望远镜等设备的林格曼黑度板。常见林格曼黑度板分为 0 级、0.75 级、1 级、1.25 级、1.5 级、1.75 级、2 级、3 级、4 级、5 级等。

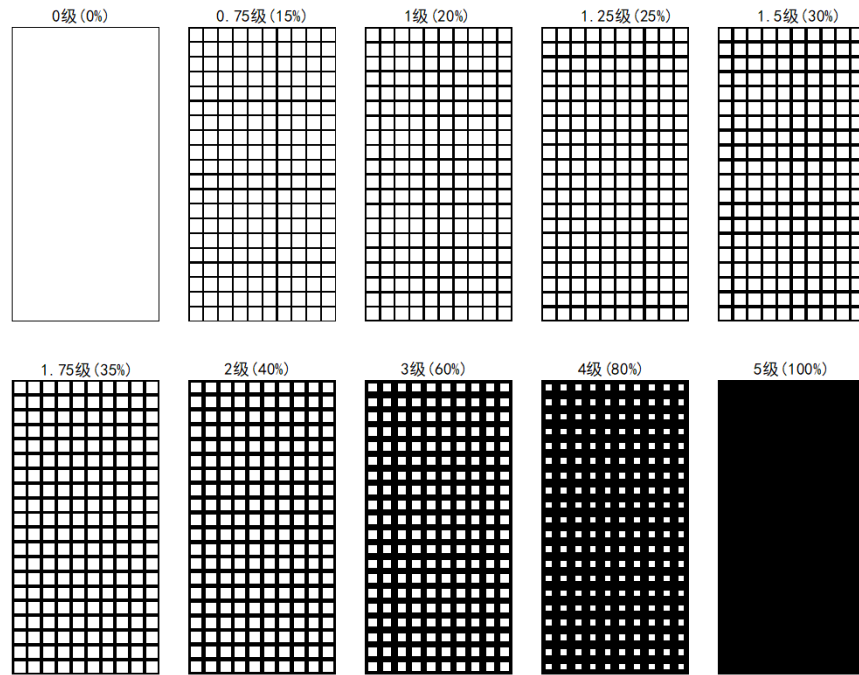


图 1 林格曼黑度示意图

## 5 计量特性

### 5.1 黑色条格占总面积百分比示值误差

标准林格曼黑度板：不超过±1.6%。

工作林格曼黑度板：不超过±4%。

### 5.2 网格面积均匀性

单个空白格边长 $\geq 0.1$  mm：不大于 3%。

单个空白格边长 $< 0.1$  mm：不大于  $0.001$  mm<sup>2</sup>。

注：本规范中的计量特性不包含 0 级和 5 级，不作合格判定，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件



温度：（20±2）℃；温度变化小于1℃/h；

湿度：≤80%RH；

实验室应洁净，无挥发性有机溶剂及腐蚀性气体，无强磁场，无静电，光学系统需防机械震动。

## 6.2 校准用标准器及其他设备

林格曼烟气黑度图板规格	标准器	技术指标
$l > 300 \text{ mm}$	钢直尺	MPE: ±0.20 mm
$0.020 \text{ mm} < l \leq 300 \text{ mm}$	光学影像测量仪	MPE: ±(3+L/200) μm

注：L的计量单位是mm。

## 7 校准项目及校准方法

### 7.1 外观检查

林格曼烟气黑度图板应结构完整，黑色条格边缘清晰、平整，图板表面不应有影响测量结果的色差、损伤和污渍，图板编号、制造厂名称及林格曼黑度级数标称值应齐全、清晰；对于类似望远镜等林格曼黑度测量设备，其内嵌的林格曼黑度图板应可拆装。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 黑色条格占总面积百分比示值误差

采用 6.2 长度测量设备测量林格曼烟气黑度图板，最外层黑色线框的总长与总宽记为： $L$ 、 $H$ ，总面积  $S_T=L \times H$ 。

在图板上随机选取 1 个空白格作为抽样部位，分别在该部位横向和纵向上选取 10 个连续空白格（少于 10 个时应全选），然后沿着横向和纵向方向测量，每个空白格测量其长  $L_i$  和宽  $H_i$ ，计算其面积  $S_{w_i} = L_i \times H_i$ ，选取的空白格面积分别为  $S_{w1}$ 、 $S_{w2}$ 、 $S_{w3}$ ... $S_{wi}$ ，空白格平均面积  $\overline{S_w} = \sum_{i=1}^n S_{w_i} / n$ ， $n$  代表抽样数量，则空白格总面积  $S_w = N \times \overline{S_w}$ ， $N$  代表空白格数量。

按公式（1）计算黑色条格占总面积百分比：

$$Y_i = \frac{S_T - S_w}{S_T} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $S_T$ ——总面积， $\text{mm}^2$ ；

$S_w$ ——空白格总面积， $\text{mm}^2$ ；

$Y_i$ ——黑色条格占总面积百分比，%。

对每级林格曼黑度板都按以上方法进行测量，得到测量值  $Y_i$ ，按公式（2）分别计算黑色条格占总面积百分比示值误差  $\Delta Y_i$ ，取绝对值最大的  $\Delta Y_i$  作为图板的示值误差。

$$\Delta Y_i = K \times 20\% - Y_i \quad (2)$$

式中： $K$ ——林格曼黑度级数标称值，级；

$Y_i$ ——黑色条格占总面积百分比，%；

$\Delta Y_i$ ——林格曼黑度板黑色条格面积占比示值误差，%。

### 7.2.2 网格面积均匀性

读取7.2.1测得的 $n$ 个空白格的面积最大值 $S_{w \max}$ 和最小值 $S_{w \min}$ ，若空白格边长 $\geq 0.1 \text{ mm}$ ，用公式（3）表示每级林格曼黑度板的均匀性。若空白格边长 $< 0.1 \text{ mm}$ ，用公式（4）表示林格曼黑度板的均匀性。

$$\sigma = \frac{S_{w \max} - S_{w \min}}{\bar{S}_w} \times 100\% \quad (3)$$

$$\sigma = S_{w \max} - S_{w \min} \quad (4)$$

式中： $S_{w \max}$ ——空白格面积最大值， $\text{mm}^2$ ；

$S_{w \min}$ ——空白格面积最小值， $\text{mm}^2$ ；

$\bar{S}_w$ ——空白格面积平均值， $\text{mm}^2$ ；

$\sigma$ ——网格面积均匀性， $\text{mm}^2$  or %；

## 8 校准结果表达

### 8.1 校准证书

林格曼烟气黑度图板校准后出具校准证书，校准证书至少包括以下信息：

- 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) 证书编号、页码及总页数；
- e) 送校单位名称和地址；

- 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) 校准所依据的本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说明;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- o) 未经校准实验室书面批准, 不得部分复制校准证书的声明。

## 8.2 校准结果的不确定度评定

林格曼烟气黑度图板黑色条格占总面积百分比示值误差的不确定度评定依据 JJF1059.1, 其不确定度评定示例见附录 C。

## 9 复校时间间隔

林格曼烟气黑度图板复校时间间隔建议为 1 年。

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

## 附录 A

## 林格曼烟气黑度图板校准记录

委托单位：\_\_\_\_\_ 仪器名称：\_\_\_\_\_

制造厂：\_\_\_\_\_ 仪器型号：\_\_\_\_\_

出厂编号：\_\_\_\_\_ 环境温度：\_\_\_\_\_ °C 相对湿度：\_\_\_\_\_ %

检测地点：\_\_\_\_\_ 检测依据：\_\_\_\_\_

所使用的标准器的名称	型号规格	编号	技术特征

## 一、外观

林格曼烟气黑度图板应结构完整，黑色条格边缘清晰、平整，图板表面不应有影响测量结果的色差、损伤和污渍，图板编号、制造厂名称及林格曼黑度级数标称值应齐全、清晰；

符合            不符合

如为望远镜等林格曼黑度测量设备，其内嵌的林格曼黑度图板应可拆装

符合            不符合

## 二、计量特性

编号	图板标称值/%:			图板标称值/%:		
	L <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>
S <sub>T</sub>						
S <sub>w1</sub>						
S <sub>w2</sub>						
S <sub>w3</sub>						
S <sub>w4</sub>						
S <sub>w5</sub>						
S <sub>w6</sub>						
S <sub>w7</sub>						
S <sub>w8</sub>						
S <sub>w9</sub>						
S <sub>w10</sub>						
S <sub>w11</sub>						
S <sub>w12</sub>						
S <sub>w13</sub>						
S <sub>w14</sub>						
S <sub>w15</sub>						
S <sub>w16</sub>						
S <sub>w17</sub>						
S <sub>w18</sub>						
S <sub>w19</sub>						
S <sub>w</sub> 平均值						
空白格总数						
S <sub>T</sub> 总面积						
黑色条格占总面积 百分比						
示值误差						
均匀性						
黑色条格占总面积百分比示值误差校准结果的扩展不确定度: $U =$ , $k = 2$						

## 附录 B

## 校准证书内页（推荐）格式样式

校准证书第 3 页

标称值（级）	外观检查	黑色条格占总面积 百分比示值误差（%）	均匀性（%）
黑色条格占总面积百分比示值误差示值误差测量结果的扩展不确定度 $U=$ , $k=2$			

（以下空白）

## 附录 C

## 林格曼烟气黑度图板示值误差测量不确定度评定示例

## C.1 测量方法

采用光学影像测量仪测量标称值为 1.0 的林格曼黑度板，评定其示值误差测量不确定度。

## C.2 测量模型

## C.2.1 林格曼烟气黑度图板黑色条格占总面积百分比示值误差计算公式：

$$\Delta Y_i = Y - Y_i \quad (\text{C.1})$$

式中：  $Y$ ——黑色条格占总面积百分比标称值，%；  
 $Y_i$ ——黑色条格占总面积百分比，%；  
 $\Delta Y_i$ ——林格曼黑度板黑色条格面积占比示值误差，%。

## C.2.2 示值误差的方差公式

$$u_c^2(\Delta Y_i) = c_1^2(Y_i)u^2(Y_i) + c_2^2(Y) \cdot u^2(Y) \quad (\text{C.2})$$

式 (C.2) 中灵敏系数为：

$$c_1^2 = \frac{\partial \Delta Y_i}{\partial Y_i} = 1 \quad (\text{C.3})$$

$$c_2^2 = \frac{\partial \Delta Y_i}{\partial Y} = 1 \quad (\text{C.4})$$

根据公式 (C.3)、公式 (C.4) 得到合成标准不确定度：

$$u_c^2(\Delta Y_i) = u^2(Y_i) + u^2(Y) \quad (\text{C.5})$$

## C.3 标准不确定度的评定

C.3.1 黑色条格占总面积百分比计算值不确定度分量  $u_1(Y_i)$ 

$$\text{数学模型： } Y_i = \frac{S_T - S_W}{S_T} \times 100\% \quad (\text{C.6})$$

$$u_c^2(Y_i) = c_3^2 u^2(S_T) + c_4^2 \cdot u^2(S_W) \quad (\text{C.7})$$

式 (C.7) 中灵敏系数为：

$$c_3 = \frac{\partial Y_i}{\partial S_T} = -\frac{S_W}{S_T^2} \quad (\text{C.8})$$

$$c_4 = \frac{\partial Y_i}{\partial S_W} = -\frac{1}{S_T} \quad (\text{C.9})$$

C.3.2 总面积计算值不确定度分量  $u(S_T)$

$$\text{数学模型: } S_T = a \cdot b \quad (\text{C.10})$$

$$u_c^2(S) = c_5^2 u^2(a) + c_6^2 u^2(b) + 2c_5 c_6 u(a, b) \quad (\text{C.11})$$

式 (C.11) 中灵敏系数为:

$$c_5 = \frac{\partial S}{\partial a} = b \quad c_6 = \frac{\partial S}{\partial b} = a$$

因为仪器设备本身存在不确定度  $u(\Delta)$ , 采用同一仪器设备同时测量边长  $a$ 、 $b$  产生的相关性, 设  $a = F(\Delta) = A + \Delta$ ,  $A$  是测量  $a$  的示值, 视为常数,  $b = G(\Delta) = B + \Delta$ ,  $B$  是测量  $b$  的示值, 视为常数, 则测量矩形边长  $a$ 、 $b$  的协方差估计值为:

$$u(a, b) = \frac{\partial F \partial G}{\partial \Delta \partial \Delta} u^2(\Delta) = 1 \times 1 \times u^2(\Delta) = u^2(\Delta) \quad (\text{C.12})$$

将式 (C.12) 与灵敏系数  $c_5$ 、 $c_6$  代入式 (C.11) 整理得到:

$$u_c^2(S) = b^2 u^2(a) + a^2 u^2(b) + 2bau^2(\Delta)$$

### C.3.2.1 边长测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(a)$ 、 $u_1(b)$

边长  $a$  进行 10 次测量, 数据为 (mm): 80.309、80.322、80.306、80.310、80.301、80.295、80.290、80.293、80.295、80.291mm 平均值: 80.301

边长  $b$  进行 10 次测量, 数据为 (mm): 80.273、80.266、80.271、80.276、80.266、80.268、80.267、80.263、80.265、80.287 平均值: 80.270

可采用 A 类方法进行评定。按贝塞尔公式计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.13})$$

$$u_1(a) = s(a) = 0.010 \text{ mm}$$

$$u_1(b) = s(b) = 0.007 \text{ mm}$$

### C.3.2.2 光学影像测量仪引入的不确定度分量为 $u(\Delta)$

光学影像测量仪 MPE:  $\pm (3+L/200) \mu\text{m}$ , 以 C.3.2.1 测得的边长值代入  $L$  值,  $k=2$ , 则

$$u(\Delta) = \frac{0.0034}{2} = 0.0017 \text{ mm} \quad (\text{C.14})$$

### C.3.2.3 边长测量的合成标准不确定度

$$u(a) = \sqrt{u_1^2(a) + u^2(\Delta)} = 0.010 \quad (\text{C.15})$$



$$u(b) = \sqrt{u_1^2(b) + u^2(\Delta)} = 0.007 \quad (\text{C.16})$$

### C.3.2.4 总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_{\text{总}})$

$$u_c(S) = \sqrt{b^2 u^2(a) + a^2 u^2(b) + 2bau^2(\Delta)} = 1.017 \text{mm}^2 \quad (\text{C.17})$$

### C.3.3 空白格面积计算值不确定度分量 $u(S_{\text{W}})$

$$\text{数学模型为: } S_{\text{W}} = N \cdot \overline{S_{\text{W}}} \quad (N \text{ 为空白格总数, 此处 } N = 64) \quad (\text{C.18})$$

$$\text{其中: } \overline{S_{\text{W}}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{Wi}} / n \quad (n \text{ 为抽样数量, 此处 } n = 15)$$

$$S_{\text{Wi}} = L_i \times H_i \quad (\text{C.19})$$

式 (C.19) 中:  $L_i$ ——第  $i$  次边长测量值, mm;

$H_i$ ——第  $i$  次宽度测量值, mm;

$$u(S_{\text{Wi}}) = \sqrt{H_i^2 u^2(L_i) + L_i^2 u^2(H_i) + 2H_i L_i u^2(\Delta)} \quad (\text{C.20})$$

由 C.18 可知,  $u(\overline{S_{\text{W}}})$  既包含单个空白格面积计算值引入的标准不确定度  $u(S_{\text{Wi}})$ , 也包含抽样引入的标准不确定度  $u_{\text{samp}}$ 。

$$u(\overline{S_{\text{W}}}) = \sqrt{u^2(S_{\text{Wi}}) + u_{\text{samp}}^2} \quad (\text{C.21})$$

式 (C.21) 中:  $u(S_{\text{Wi}})$ ——单个空白格面积计算值引入的标准不确定度

$u_{\text{samp}}$ ——空白格抽样引入的标准不确定度

$u(\overline{S_{\text{W}}})$ ——空白格面积平均值计算引入的标准不确定度

$$u(S_{\text{W}}) = N \cdot u(\overline{S_{\text{W}}}) \quad (\text{C.22})$$

#### C.3.3.1 单个空白格面积计算值引入的标准不确定度 $u(S_{\text{Wi}})$

##### C.3.3.1.1 单个空白格边长、宽度测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(L_i)$ 、 $u_1(H_i)$

边长  $L_i$  进行 10 次测量, 数据为 (mm): 8.942、8.945、8.942、8.947、8.944、8.946、8.944、

8.946、8.944、8.945 平均值: 8.945

宽度  $H_i$  进行 10 次测量, 数据为 (mm): 8.957、8.954、8.957、8.958、8.958、8.960、8.958、

8.955、8.950、8.954 平均值: 8.956

可采用 A 类方法进行评定。按贝塞尔公式计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.23})$$

$$u_1(L_i) = s(L_i) = 0.0016 \text{ mm}$$

$$u_1(H_i) = s(H_i) = 0.0029 \text{ mm}$$

### C.3.3.1.2 光学影像测量仪引入的不确定度分量为 $u(\Delta)$

光学影像测量仪MPE:  $\pm (3+L/200) \mu\text{m}$ , 以C.3.3.1.1测得的边长值代入L值,  $k=2$ , 则

$$u(\Delta) = \frac{0.0030}{2} = 0.0015 \text{ mm} \quad (\text{C.24})$$

### C.3.3.1.3 单个空白格白色格子边长、宽度测量的合成标准不确定度

$$u(L_i) = \sqrt{u_1^2(L_i) + u^2(\Delta)} = 0.0022 \text{ mm} \quad (\text{C.25})$$

$$u(H_i) = \sqrt{u_1^2(H_i) + u^2(\Delta)} = 0.0033 \text{ mm} \quad (\text{C.26})$$

### C.3.3.1.4 单个空白格面积计算值合成标准不确定度 $u(S_{wi})$

$$u(S_{wi}) = \sqrt{H_i^2 u^2(L_i) + L_i^2 u^2(H_i) + 2H_i L_i u^2(\Delta)} = 0.040 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.27})$$

### C.3.3.2 空白格抽样引入的标准不确定度 $u_{\text{samp}}$

本抽样方案为随机选取1个空白格作为抽样部位, 分别在该部位横向和纵向上选取10个连续空白格(少于10个时应全选), 然后沿着横向和纵向方向测量, 计算每个空白格面积, 得到样本库SP1。然后使用相同的抽样方案再抽取1次, 得到样本库SP2。本示例中被测样横向、纵向空白格数量均为8, 因此每个样本库获取的空白格数量为15个, 随机抽取的样本库如图C.1所示, 测量结果见表C.1。按照从小到大排列后的测量数据见表C.2。

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40
S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48
S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56
S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	S64

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40
S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48
S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56
S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	S64

图C.1 样本库SP1和样本库SP2示意图

表 C.1 空白格抽样后的测量数据

序列号	SP1 中测量值 $x_{1i} / \text{mm}^2$	SP2 中测量值 $x_{2i} / \text{mm}^2$
1	79.544	79.960
2	79.393	79.604
3	79.559	79.675
4	79.589	79.859
5	79.563	79.673
6	79.367	79.682
7	78.865	79.418
8	79.274	79.288
9	79.960	79.393
10	80.205	79.969
11	80.066	80.035
12	80.377	80.084
13	80.399	80.236
14	80.304	79.853
15	80.345	80.025

表 C.2 按照从小到大排列后的测量数据

序列号	SP1 中测量值 $x_{1i} / \text{mm}^2$	SP2 中测量值 $x_{2i} / \text{mm}^2$	测量值 $\bar{x}_i / \text{mm}^2$
1	78.865	79.288	79.076
2	79.274	79.393	79.333
3	79.367	79.418	79.393
4	79.393	79.604	79.498
5	79.544	79.673	79.609
6	79.559	79.675	79.617
7	79.563	79.682	79.622
8	79.589	79.853	79.721
9	79.960	79.859	79.909
10	80.066	79.960	80.013
11	80.205	79.969	80.087
12	80.304	80.025	80.164
13	80.345	80.035	80.190
14	80.377	80.084	80.230
15	80.399	80.236	80.317

$$\bar{x} = 79.785$$

表C.2中

$$\bar{x}_i = \frac{x_{1i} + x_{2i}}{2} \quad (\text{C.28})$$

式中： $\bar{x}_i$ ——第*i*个序号测量值的平均值；

$x_{1i}$ ——样本库SP1中第*i*个序号的测量值；

$x_{2i}$ ——样本库SP2中第*i*个序号的测量值；

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i}{n} \quad (\text{C.29})$$

式中： $\bar{x}$ ——全部样品测量值的总平均值；

$n$ ——单次抽取的样品量；

样本间平方和见式 (C.30)

$$SS_{out} = \sum [2(\bar{x}_i - \bar{x})^2] \quad (\text{C.30})$$

结合表C.2和式 (C.30) 可得  $SS_{out} = 3.961 \text{ mm}^2$ 。

样本内平方和见式 (C.31)

$$SS_{in} = \sum [(x_{1i} - \bar{x}_i)^2 + (x_{2i} - \bar{x}_i)^2] \quad (\text{C.31})$$

结合表C.2和式 (C.31) 可得  $SS_{in} = 0.36 \text{ mm}^2$ 。

样本间方差见式 (C.32)：

$$MS_{out} = \frac{SS_{out}}{f_{out}} \quad (\text{C.32})$$

样本间自由度  $f_{out} = n - 1 = 14$ ，根据式 (C.32) 可得  $MS_{out} = 0.28 \text{ mm}^2$ 。

样本内方差见式 (C.33)：

$$MS_{in} = \frac{SS_{in}}{f_{in}} \quad (\text{C.33})$$

样本内自由度  $f_{in} = n = 15$ ，根据式 (C.33) 可得  $MS_{in} = 0.02 \text{ mm}^2$ 。

样本目标的差异性标准偏差  $S_s$  见式 (C.34)：

$$S_s = \sqrt{\frac{MS_{out} - MS_{in}}{2}} \quad (\text{C.34})$$

而样本目标的差异性标准偏差既包含抽样目标范围内样品的不均匀性，又包含了抽样系统引起的不均匀性。因此，样本目标的差异性标准偏差可以看作是抽样引入的不确定度分量。即

$$u_{\text{samp}} = S_s \quad (\text{C.35})$$

根据式 (C.34) 和 (C.35) 可得：

$$u_{\text{samp}} = S_s = \sqrt{\frac{MS_{\text{out}} - MS_{\text{in}}}{2}} = \sqrt{\frac{0.28 - 0.02}{2}} = 0.360 \text{mm}^2$$

### C.3.3.3 空白格面积平均值计算引入的标准不确定度 $u(\overline{S_w})$

根据式 (C.21) 可得：

$$u(\overline{S_w}) = \sqrt{u^2(S_{wi}) + u_{\text{samp}}^2} = \sqrt{0.031^2 + 0.360^2} = 0.362 \text{mm}^2$$

### C.3.3.4 空白格面积计算值不确定度分量 $u(S_w)$

根据式 (C.22) 可得：

$$u(S_w) = N \cdot u(\overline{S_w}) = 64 \times 0.362 = 23.17 \text{mm}^2$$

### C.3.4 黑色条格占总面积百分比计算值合成标准不确定度

$$u_c(Y_i) = \sqrt{c_3^2 u^2(S_T) + c_4^2 u^2(S_w)} = 0.36\% \quad (\text{C.36})$$

### C.3.5 黑色条格占总面积百分比标称值不确定度分量 $u(Y)$ 。

黑色条格占总面积百分比标称值为林格曼黑度级数换算为面积的常数，故  $u(Y)=0$

## C.4 合成标准不确定度及扩展不确定度

各标准不确定度分量见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度分量一览表

输入量的标准不确定度来源		测得值
黑色条格占总面积百分比计算值 $u_c(Y_i)$	总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_T)$	0.36%
	空白格总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_w)$	
黑色条格占总面积百分比标称值 $u(Y)$		0.00%

### C.5 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta Y_i) = \sqrt{u^2(Y_i) + u^2(Y)} = 0.36\% \quad (\text{C.37})$$

### C.6 扩展不确定度评定

取扩展因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c(\Delta Y_i) = 0.36 \times 2 = 0.72\% \quad (\text{C.38})$$

### C.7 测量不确定度报告

林格曼烟气黑度图板示值误差的扩展不确定度

$$U=0.72\%, \quad k=2$$