

# 天津市地方计量技术规范

JJF(津)61—2021

---

## 林格曼烟气黑度望远镜校准规范

Calibration Specification for Ringelmann smoke Telescope

2021—08—12 发布

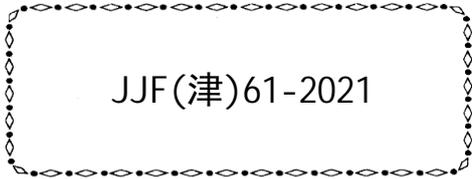
2021—09—12 实施

---

天津市市场监督管理委员会 发布

# 林格曼烟气黑度望远镜 校准规范

Calibration Specification for Ringelmann  
smoke Telescope



JJF(津)61-2021

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

**本规范主要起草人：**

申 海 (天津市计量监督检测科学研究院)

崔素梅 (天津市计量监督检测科学研究院)

谢 宁 (天津市计量监督检测科学研究院)

**参加起草人：**

高 顺 (天津市计量监督检测科学研究院)

王克喜 (天津市计量监督检测科学研究院)

王 伟 (天津市计量监督检测科学研究院)

# 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.....	( 2 )
6.1 环境条件.....	( 2 )
6.2 标准用标准器及其他设备.....	( 2 )
7 校准项目和校准方法.....	( 2 )
7.1 外观检查.....	( 2 )
7.2 校准方法.....	( 3 )
8 校准结果的表达.....	( 4 )
9 复校时间间隔.....	( 5 )
附录 A (林格曼烟气黑度图) .....	( 6 )
附录 B (校准记录格式) .....	( 11 )
附录 C (校准结果格式) .....	( 14 )
附录 D (不确定度评定) .....	( 15 )

## 引 言

本规范以 JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、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》为基础性规范进行制订。

本规范的制订，参考了 HJ/T398—2007《固定污染源排放烟气黑度的测定林格曼烟气黑度图法》。

本规范为首次发布。

## 林格曼烟气黑度望远镜校准规范

### 1 范围

本规范适用于测量范围在(0~5)级林格曼黑度的林格曼烟气黑度望远镜(以下简称烟尘望远镜)的校准。

### 2 引用文件

HJ/T398—2007 固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法

凡是注明引用日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范。

### 3 术语和计量单位

#### 3.1 林格曼烟气黑度图(Ringelmann smoke chart)

标准的林格曼烟气黑度图由14cm×21cm的不同黑度的图片组成,除全白与全黑分别代表林格曼黑度0级和5级外,其余4个级别分别是根据黑色条格占整块面积的百分数来确定的,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。

#### 3.2 林格曼黑度级数(Ringelmann number)

评价烟羽黑度的一种数值,用肉眼观测的烟羽黑度与林格曼烟气黑度图对比得到。

### 4 概述

烟尘望远镜按照原理可以分为目视烟尘望远镜(以下称为A类仪器)和光电式烟尘望远镜(以下称为B类仪器)。

A类仪器可分为双目望远系统和单目望远系统。原理(如图1)是:把通用的标准林格曼烟气浓度图缩制在一块玻璃上。将在望远镜目镜中看到烟羽黑度与林格曼烟气浓度图直接作对比,从而对烟气黑度进行监测,确定烟气的黑度等级。

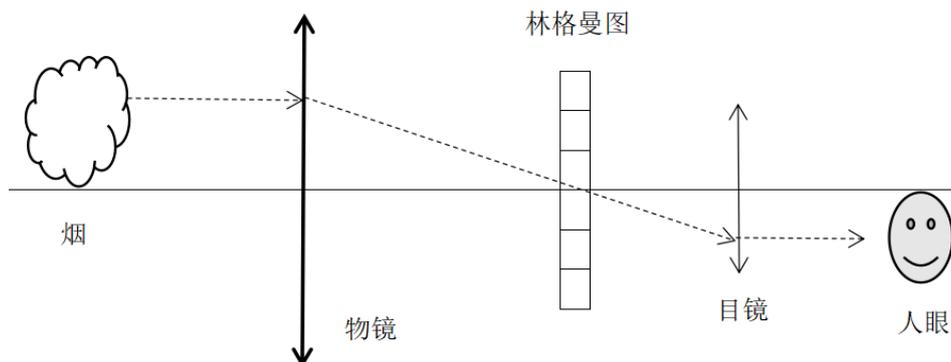


图1 A类仪器原理

B类仪器利用光学传感器来对目标测量,采用光电转换及微机新技术,用微电脑模拟林格曼图进行对比测量。对烟气黑度进行自动监测打印记录,所有数据通过微机快速处理,按显示结果或打印记录的数据即可确定被测烟气的林格曼黑度等级。

## 5 计量特性

仪器的计量特性见表 1。

表1 计量特性

校准项目	A类仪器	B类仪器
示值误差	$\pm 0.2$ 级*	$\pm 0.2$ 级
重复性	/	不大于2%
零点漂移	/	$\pm 0.2$ 级
量程漂移	/	$\pm 0.2$ 级
注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。 级*：指 3.1 条中的林格曼黑度。		

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：(5~35) °C

环境湿度： $\leq 85\%RH$

电源电压：AC (198~242) V、(49~51) Hz

无影响烟尘望远镜正常校准的外磁场、周围无强烈振动、无高浓度粉尘及腐蚀性物质，应避免其他冷、热源影响。

### 6.2 测量标准及其他设备

校准用标准器及其他设备见表 2。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 外观检查

烟尘望远镜应结构完整，不应有锈蚀及损伤，各部件齐全连接可靠，按键灵活、定位正确，无影响仪器正常工作的缺陷；显示部分显示清晰，无影响读数的缺陷；仪器名称、型号、制造年月、编号及制造厂名称应齐全、清晰；B类烟尘望远镜通电后能够正常工作。

表2 校准用标准器及其他设备

序号	名称	测量范围	技术要求	备注
1	测微显微镜	(0~10) mm	MPE: $\pm 4 \mu m$	也可使用准确度等级或者扩展不确定度不大于技术要求的其他测量系统
2	光电式烟尘望远镜校准装置	(0~5) 级	扩展不确定度应不大于 0.02 级 ( $k=2$ )	

## 7.2 校准方法

## 7.2.1 示值误差

## 7.2.1.1 A类仪器

用显微镜测量A类仪器的玻璃光学分划板，总长与总宽分别记为： $L$ 、 $H$ ，总面积 $S_{\text{总}}=L \times H$ 。

从分划板中心点位置取1个白色格子，中心点与左上角、右上角、左下角和右下角连线中心位置各取1个白色格子，共5个白色格子，每一个测量其长 $L_i$ 和宽 $H_i$ ，计算其面积 $S_i=L_i \times H_i$ ，5个白色面积分别为 $S_{\text{白}1}$ 、 $S_{\text{白}2}$ 、 $S_{\text{白}3}$ 、 $S_{\text{白}4}$ 和 $S_{\text{白}5}$ ，白色格子平均面积：

$\bar{S}_{\text{白}5} = (S_{\text{白}1} + S_{\text{白}2} + S_{\text{白}3} + S_{\text{白}4} + S_{\text{白}5}) / 5$ ，则白色格子总面积： $S_{\text{白}} = n \times \bar{S}_{\text{白}5}$ ， $n$ 代表空白格子数量。

按公式(1)计算林格曼黑度等级 $K_i$ ：

$$K_i = \frac{S_{\text{总}} - S_{\text{白}}}{S_{\text{总}}} \times 5 \quad (1)$$

式中： $S_{\text{总}}$ ——玻璃光学分划板总面积， $\text{mm}^2$ ；

$S_{\text{白}}$ ——白色格子总面积， $\text{mm}^2$ ；

$K_i$ ——林格曼黑度计算值，级。

5——转换系数

对每个级测定都按以上方法测试，得到测量值 $K_i$ ，按公式(2)分别计算仪器的示值误差 $\Delta_i$ ，取其中最大的 $\Delta_i$ 作为仪器的示值误差。

$$\Delta_i = K_i - K_s \quad (2)$$

式中： $K_s$ ——林格曼黑度标准值，级；

$K_i$ ——林格曼黑度计算值，级；

$\Delta_i$ ——示值误差，级。

## 7.2.1.2 B类仪器

将光电烟尘望远镜的测量光路对准校准装置的光学系统，调整标准装置的分划板，使林格曼黑度等级为 $K_s$ 级，使用烟尘望远镜进行连续3次测量，取平均值 $\bar{K}$ ，按公式(3)计算示值误差，取其中最大的 $\Delta_i$ 作为仪器的示值误差。

$$\Delta_i = \bar{K} - K_s \quad (3)$$

式中： $K_s$ ——林格曼黑度标准值，级；

$\bar{K}$ ——林格曼黑度测量值平均值，级；

$\Delta_i$ ——示值误差，级。

### 7.2.2 重复性（仅对B类仪器）

将光电烟尘望远镜的测量光路对准校准装置的光学系统，调整标准装置的分划板，使林格曼黑度等级为4级，使用烟尘望远镜进行连续6次测量，按公式（4）计算仪器的重复性。

$$s_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n-1}} \times \frac{1}{\bar{K}} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $s_A$ ——重复性，%；

$K_i$ ——第*i*次测量值，级；

$\bar{K}$ ——*n*次测量平均值，级；

*n*——测量次数，*n*=6。

### 7.2.3 零点漂移（仅对B类仪器）

将光电烟尘望远镜的测量光路对准校准装置的光学系统，调整标准装置的分划板，使林格曼黑度等级为0级，读取示值 $T_0$ 。使用烟尘望远镜进行1小时测量，每隔15分钟读取一个数值 $T_i$ ，按公式（5）进行计算，取绝对值最大的 $\Delta T$ 作为仪器的零点漂移。

$$\Delta T = T_i - T_0 \quad (5)$$

式中： $\Delta T$ ——零点漂移；

$T_i$ ——第*i*次测量值；

$T_0$ ——初始测量值。

### 7.2.4 量程漂移（仅对B类仪器）

将光电烟尘望远镜的测量光路对准校准装置的光学系统，调整标准装置的分划板，使林格曼黑度等级为4级，读取初始示值 $T_1$ 。使用烟尘望远镜连续进行1小时测量，每隔15分钟读取一个数值 $T_i$ ，按公式（6）进行计算，取绝对值最大的 $\delta_2$ 作为仪器的量程漂移。

$$\delta_i = T_i - T_1 \quad (6)$$

式中： $\delta_i$ ——量程漂移，级；

$T_i$ ——第*i*次测量值，级；

$T_1$ ——初始测量值，级。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告中反映，校准证书或报告至少包括以下信息：

A. 标题，如“校准证书”或“校准报告”；

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. 客户名称和地址;
- F. 被校对象的基本描述;
- G. 校准日期;
- H. 校准所依据的技术规范名称及代号;
- I. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- J. 校准环境的温度湿度描述;
- K. 校准结果及其测量不确定度的说明;
- L. 对偏离校准规范的说明;
- M. 校准证书三级签名;
- N. 校准结果仅对被校仪器本次测量有效的声明;
- O. 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

烟尘望远镜的建议校准间隔不超过1年, 当更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时, 应随时校准。复校时间间隔的长短受仪器本身质量、使用者水平、使用频度等诸多因素影响, 使用单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

## 附录A

## 林格曼烟气黑度图

标准的林格曼烟气黑度图由 6 张不同黑度的图片组成,可以通过在白色背景上确定宽度的黑色线条和间隔的矩形网格来准确印制。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的:每张图片中,网格所占的面积是  $14\text{cm} \times 21\text{cm}$ ,每个小格长  $10\text{mm}$ ,宽  $10\text{mm}$ 。每张图片上的网格由 294 个小格组成。图片 0 (林格曼黑度 0 级) 全白。

图片 1 (林格曼黑度 1 级)每个小格长、宽均为  $10\text{mm}$ ,黑色线条宽  $1\text{mm}$ ,余下  $9\text{mm} \times 9\text{mm}$  平方的空白 (黑色条格的面积占 20%)。

图片 2 (林格曼黑度 2 级)每个小格长、宽均为  $10\text{mm}$ ,黑色线条宽  $2.3\text{mm}$ ,余下  $7.7\text{mm} \times 7.7\text{mm}$  平方的空白 (黑色条格的面积占 40%)。

图片 3 (林格曼黑度 3 级)每个小格长、宽均为  $10\text{mm}$ ,黑色线条宽  $3.7\text{mm}$ ,余下  $6.3\text{mm} \times 6.3\text{mm}$  平方的空白 (黑色条格的面积占 60%)。

图片 4 (林格曼黑度 4 级)每个小格长、宽均为  $10\text{mm}$ ,黑色线条宽  $5.5\text{mm}$ ,余下  $4.5\text{mm} \times 4.5\text{mm}$  平方的空白 (黑色条格的面积占 80%)。图片 5 (林格曼黑度 5 级) 全黑。

备注: 由于图片 0 和图片 5 视觉明显,因此以下图片不作描述。



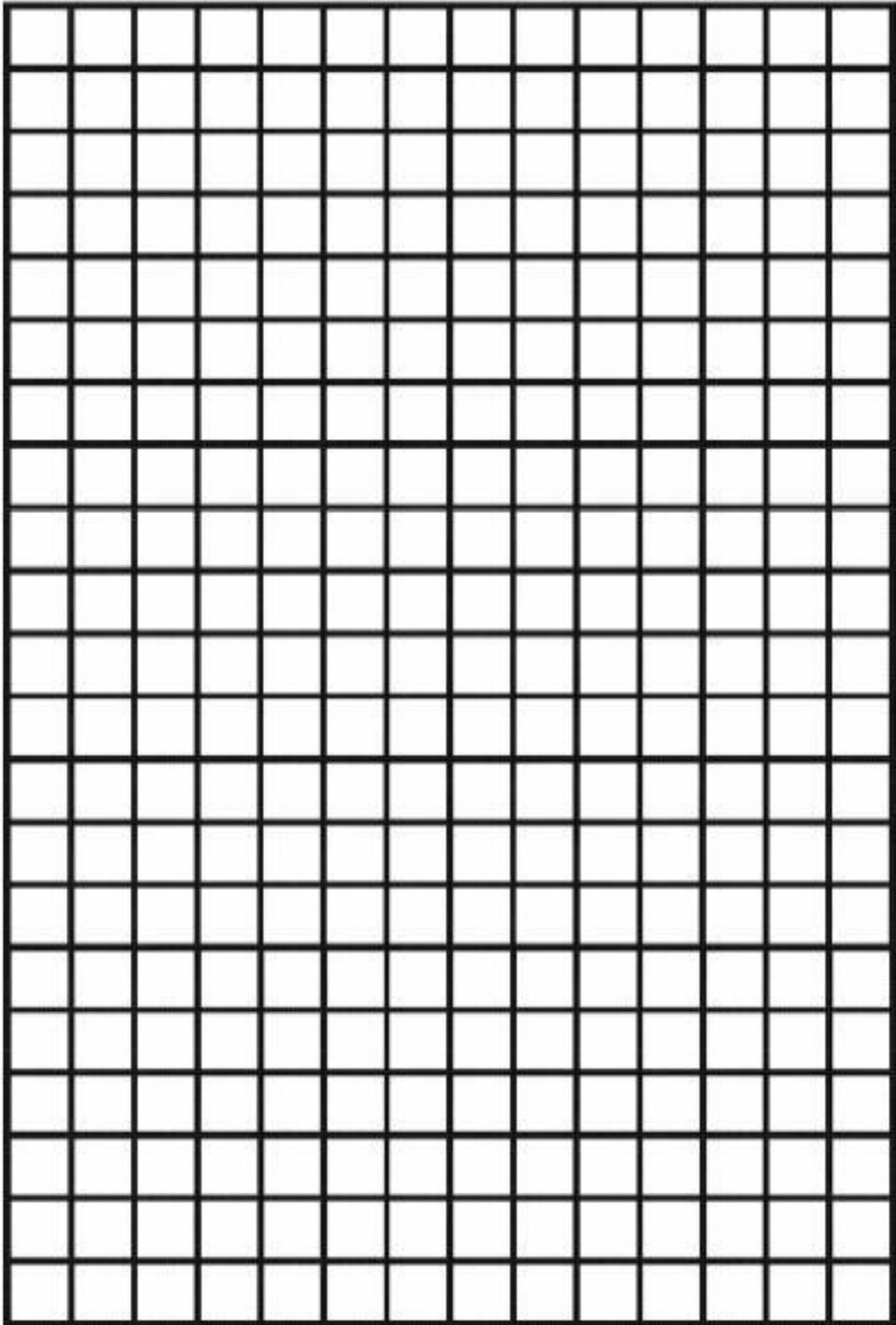


图 A.1 林格曼黑度 1 级 (黑色线条面积占总面积的 20%)

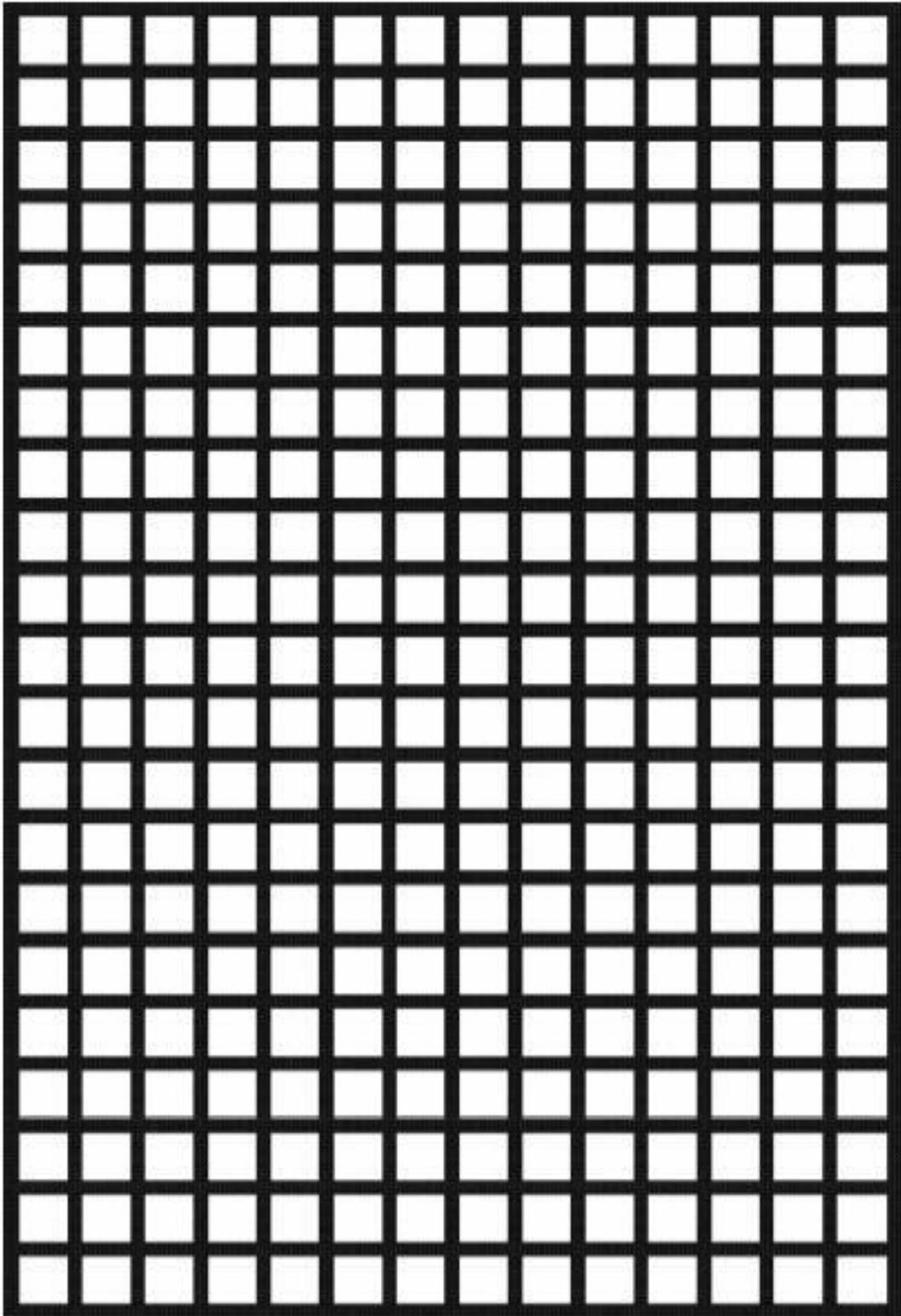


图 A.2 林格曼黑度 2 级 (黑色线条面积占总面积的 40%)

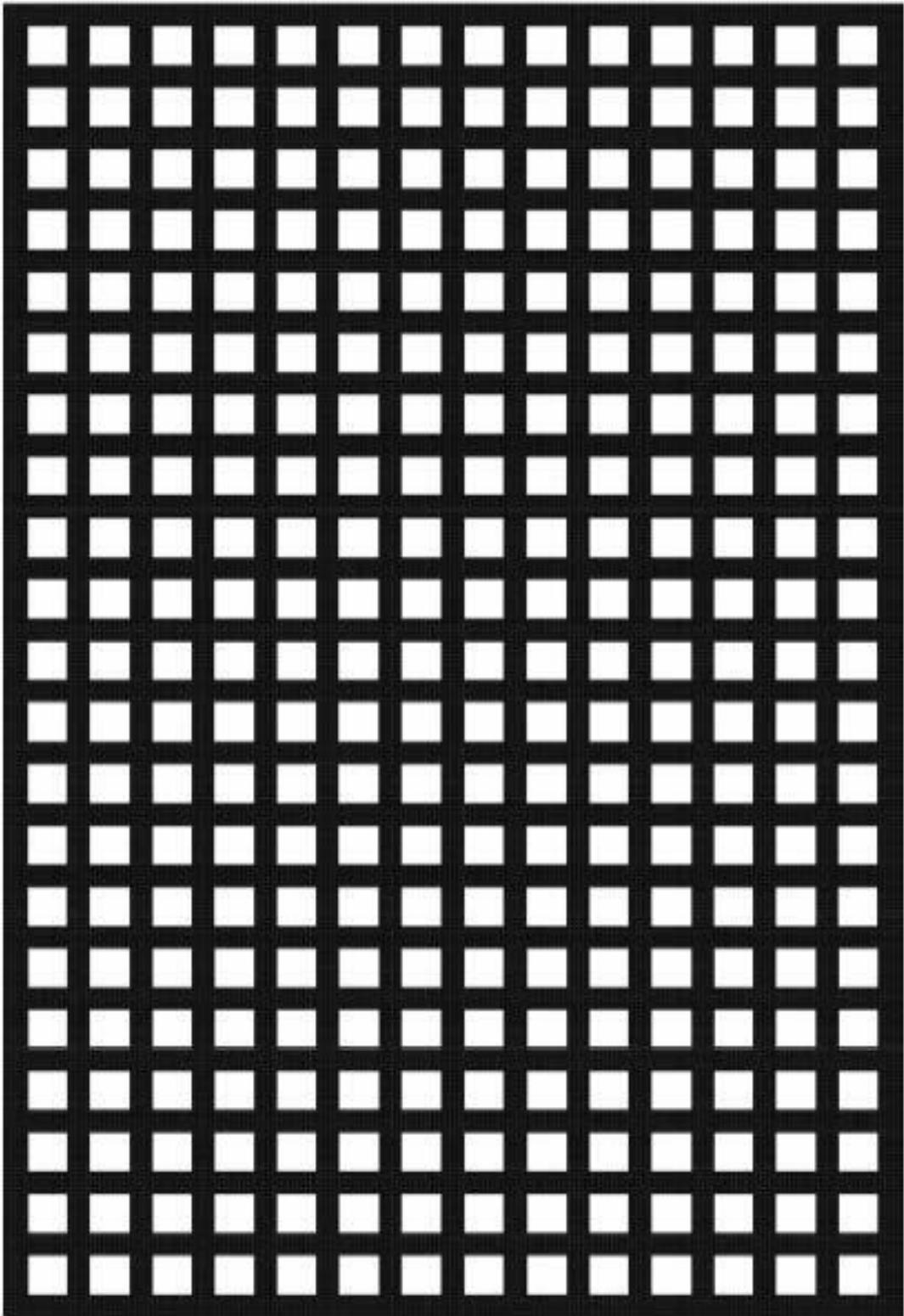


图 A.3 林格曼黑度 3 级 (黑色线条面积占总面积的 60%)

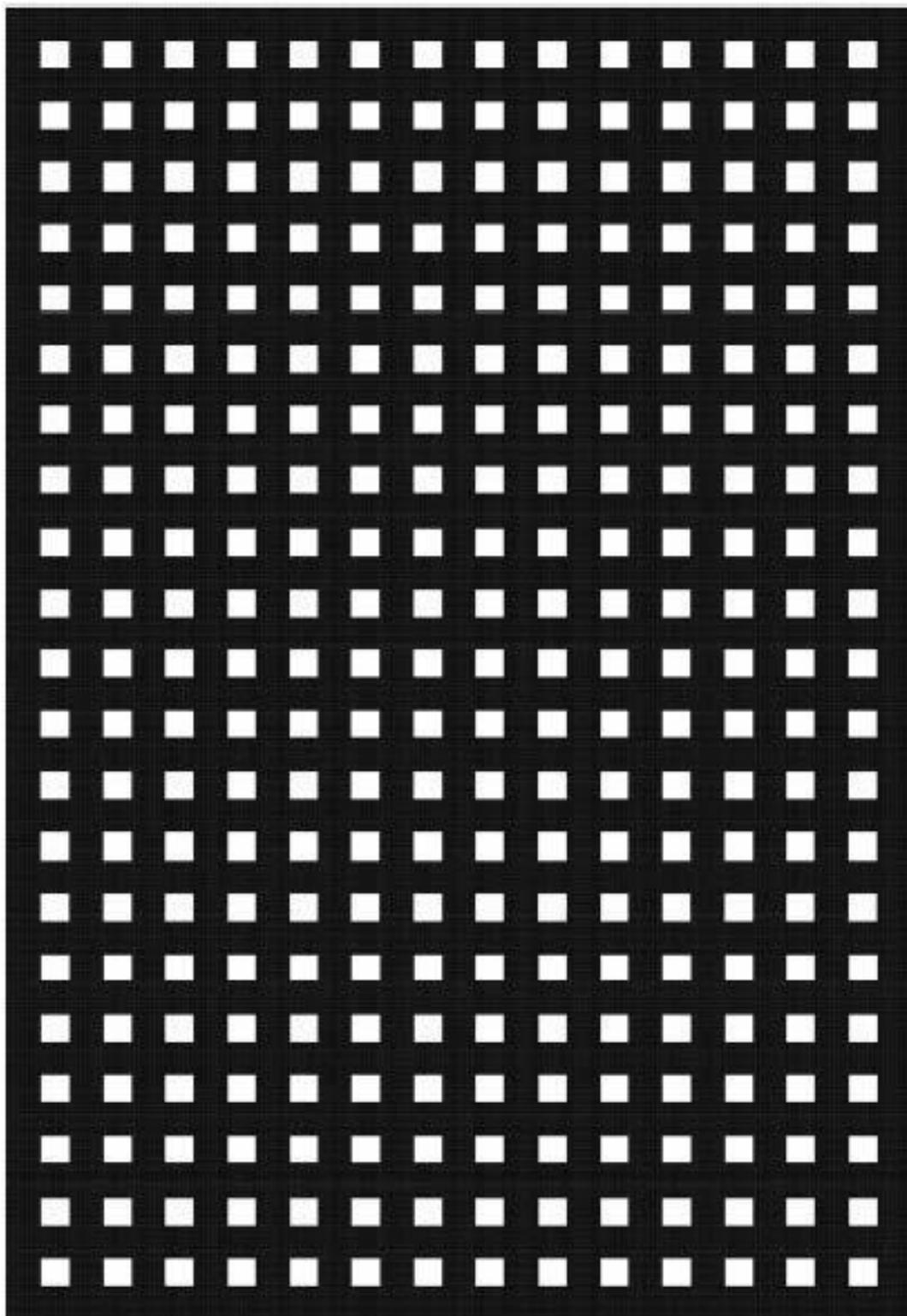


图 A.4 林格曼黑度 4 级 (黑色线条面积占总面积的 80%)

## 附录 B

## 校准记录格式

第 1 页 共 2 页

记录/证书报告编号:

报检协议书/委托书编号:

样品信息	委托单位		地址/联系电话			
	样品名称		测量范围			
	型号规格		准确度等级			
	出厂编号		生产厂/商			
	样品接收时间		样品来源	<input type="checkbox"/> 送样 <input type="checkbox"/> 现场 <input type="checkbox"/> 其他		
技术依据						
计量标准	名称					
	测量范围		不确定度/准确度等级/最大允许误差			
	证书编号		有效期至			
使用的标准器						
名称	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量器具证书编号	有效期至	溯源机构
标准器及配套设备使用前状态是否正常: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 情况说明:						
标准器及配套设备使用后状态是否正常: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 情况说明:						
环境条件	测量地点			测量时间		
	温度(°C)			湿度(%RH)		
	其他					
结论				测量结果扩展不确定度		
其他说明						
检定(校准)人员				核验人员		

第 2 页 共 2 页

## 1 外观检查

## 2 示值误差

一级黑度板				
$L_1/\mu\text{m}$	$L_2/\mu\text{m}$	$L_3/\mu\text{m}$	$L_4/\mu\text{m}$	$L_5/\mu\text{m}$
$H_1/\mu\text{m}$	$H_2/\mu\text{m}$	$H_3/\mu\text{m}$	$H_4/\mu\text{m}$	$H_5/\mu\text{m}$
$S_1/\mu\text{m}^2$	$S_2/\mu\text{m}^2$	$S_3/\mu\text{m}^2$	$S_4/\mu\text{m}^2$	$S_5/\mu\text{m}^2$
$S_{\text{白}5}/\mu\text{m}^2$		$S_{\text{白}}/\text{mm}^2$		
$K_1/\text{级}$				
二级黑度板				
$L_1/\mu\text{m}$	$L_2/\mu\text{m}$	$L_3/\mu\text{m}$	$L_4/\mu\text{m}$	$L_5/\mu\text{m}$
$H_1/\mu\text{m}$	$H_2/\mu\text{m}$	$H_3/\mu\text{m}$	$H_4/\mu\text{m}$	$H_5/\mu\text{m}$
$S_1/\mu\text{m}^2$	$S_2/\mu\text{m}^2$	$S_3/\mu\text{m}^2$	$S_4/\mu\text{m}^2$	$S_5/\mu\text{m}^2$
$S_{\text{白}5}/\mu\text{m}^2$		$S_{\text{白}}/\text{mm}^2$		
$K_2/\text{级}$				
三级黑度板				
$L_1/\mu\text{m}$	$L_2/\mu\text{m}$	$L_3/\mu\text{m}$	$L_4/\mu\text{m}$	$L_5/\mu\text{m}$
$H_1/\mu\text{m}$	$H_2/\mu\text{m}$	$H_3/\mu\text{m}$	$H_4/\mu\text{m}$	$H_5/\mu\text{m}$
$S_1/\mu\text{m}^2$	$S_2/\mu\text{m}^2$	$S_3/\mu\text{m}^2$	$S_4/\mu\text{m}^2$	$S_5/\mu\text{m}^2$
$S_{\text{白}5}/\mu\text{m}^2$		$S_{\text{白}}/\text{mm}^2$		
$K_3/\text{级}$	3			
四级黑度板				
$L_1/\mu\text{m}$	$L_2/\mu\text{m}$	$L_3/\mu\text{m}$	$L_4/\mu\text{m}$	$L_5/\mu\text{m}$
$H_1/\mu\text{m}$	$H_2/\mu\text{m}$	$H_3/\mu\text{m}$	$H_4/\mu\text{m}$	$H_5/\mu\text{m}$
$S_1/\mu\text{m}^2$	$S_2/\mu\text{m}^2$	$S_3/\mu\text{m}^2$	$S_4/\mu\text{m}^2$	$S_5/\mu\text{m}^2$
$S_{\text{白}5}/\mu\text{m}^2$		$S_{\text{白}}/\text{mm}^2$		
$K_5/\text{级}$				

## 2.1 B 类

黑度等级	$K_1$ /级	$K_2$ /级	$K_3$ /级	平均值/级	示值误差/级
0					
1					
2					
3					
4					
5					

## 3 重复性 (仅限 B 类)

测量次数	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	重复性
实测值							

## 4 零点漂移 (仅限 B 类)

测量次数	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	零点漂移
实测值						

## 5 稳定性 (仅限 B 类)

测量次数	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	稳定性
实测值								

## 附录 C

## 烟尘望远镜校准结果参考格式

## 校准结果

1	外观检查:		
2	示值误差	A类	级
		B类	级
3	重复性	A类	/
		B类	%
4	零点漂移	A类	/
		B类	级
5	稳定性	A类	/
		B类	级
6	示值误差测量结果的扩展不确定度 $U=$ , $k=2$		

(以下空白)

## 附录 D

## A类烟尘望远镜示值误差测量结果的不确定度评定实例

## D.1 概述

D.1.1 环境条件：温度：(5~35)℃；

相对湿度：不大于 85%RH；

D.1.2 测量标准：测微显微镜，测量范围 (0~10) mm，MPE:  $\pm 4\mu\text{m}$

D.1.3 被测对象：目视烟尘望远镜，测量范围 (0~5) 级。

D.1.4 测量过程：将目视烟尘望远镜的玻璃光学分划板放在测微显微镜物镜下观察，用测微显微镜测量黑色区域的长度和宽度，并且计算其面积，确定级别。

D.1.5 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## D.2 数学模型

$$\Delta_i = K_i - K_s \quad (1)$$

式中：  $K_s$  ——林格曼黑度标准值，1级~4级；

$K_i$  ——林格曼黑度计算值；

$\Delta_i$  ——示值误差。

## D.3 根据数学模型求方差和传播系数

$$u_c^2(\Delta_i) = c_1^2 u^2(K_i) + c_2^2 u^2(K_s)$$

$$c_1=1 \quad c_2=-1$$

## D.4 标准不确定度的评定

D.4.1 林格曼黑度计算值不确定度分量  $u(K_i)$

$$\text{数学模型: } K_i = \frac{S_{\text{总}} - S_{\text{白}}}{S_{\text{总}}} \times 5$$

$$u(K_i) = \sqrt{c_3^2 u(S_{\text{总}}) + c_4^2 u(S_{\text{白}})}$$

$$c_3 = -\frac{5S_{\text{白}}}{S_{\text{总}}^2} \quad c_4 = -\frac{5}{S_{\text{总}}^2}$$

D.4.1.1 总面积计算值不确定度分量  $u(S_{\text{总}})$

数学模型为：  $S_{\text{总}} = a \cdot b$

$$u(S_{\text{总}}) = \sqrt{b^2 u(a) + a^2 u(b)}$$

D.4.1.1.1 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)：0.800、0.802、0.801、0.803、0.802、0.801、

0.801、0.802、0.801、0.803 平均值：0.8016

边长**b**进行 10 次测量，数据为 (mm)：0.535、0.535、0.534、0.534、0.533、0.534、0.535、0.535、0.534、0.534 平均值：0.5343

可采用A类方法进行评定。按贝塞尔公式计算：

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

$$u_1(a) = s(a) = 0.0010\text{mm}$$

$$u_1(b) = s(b) = 0.0007\text{mm}$$

D.4.1.1.2 测微显微镜引入的不确定度分量为 $u(x)$

由检定证书可以得到，测微显微镜MPE:  $\pm 4\mu\text{m}$ ，取均匀分布，则有

$$u(x) = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023\text{mm}$$

D.4.1.1.3 边长测量的合成标准不确定度

$$u(a) = \sqrt{u_1^2(a) + u^2(x)} = 0.0025\text{mm}$$

$$u(b) = \sqrt{u_1^2(b) + u^2(x)} = 0.0024\text{mm}$$

D.4.1.1.4 总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_{\text{总}})$

$$u(S_{\text{总}}) = \sqrt{b^2 u(a)^2 + a^2 u(b)^2} = 0.0016\text{mm}^2$$

D.4.1.2 空白格面积计算值不确定度分量 $u(S_{\text{白}})$

数学模型为： $S_{\text{白}} = n \cdot \bar{S}_{\text{白}}$

其中： $\bar{S}_{\text{白}} = \frac{(S_{\text{白}1} + S_{\text{白}2} + S_{\text{白}3} + S_{\text{白}4} + S_{\text{白}5})}{5}$

$$S_{\text{白}} = L_i \cdot H_i$$

式中： $L_i$ ——第*i*次边长测量值，mm；

$H_i$ ——第*i*次宽度测量值，mm；

$$u(S_{\text{白}}) = n \sqrt{H_i^2 u(L_i)^2 + L_i^2 u(H_i)^2}$$

D.4.1.2.1 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)：0.03425、0.03425、0.03400、0.03400、0.03425、0.03400、0.03425、0.03400、0.03425、0.03400 平均值：0.0342

宽度 $H_i$ 进行 10 次测量，数据为 (mm)：0.03450、0.03425、0.03400、0.03450、0.03425、0.03425、0.03425、0.03400、0.03400、0.03400 平均值：0.0342

可采用 A 类方法进行评定。按贝塞尔公式计算：

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

$$u_1(L_1) = s(L_1) = 0.0010\text{mm}$$

$$u_1(H_1) = s(H_1) = 0.0007\text{mm}$$

#### D. 4. 1. 2. 2 测微显微镜引入的不确定度分量为 $u(x)$

由检定证书可以得到，测微显微镜MPE:  $\pm 4\mu\text{m}$ ，取均匀分布，则有

$$u(x) = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023\text{mm}$$

#### D. 4. 1. 2. 3 边长、宽度测量的合成标准不确定度

$$u(L_i) = \sqrt{u_i^2(L_i) + u^2(x)} = 0.0025\text{mm}$$

$$u(H_i) = \sqrt{u_i^2(H_i) + u^2(x)} = 0.0024\text{mm}$$

#### D. 4. 1. 2. 4 空白格总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_{\text{白}})$

$$u(S_{\text{白}}) = \sqrt{n(H_i^2 u(L_i) + L_i^2 u(H_i))} = 0.0019\text{mm}^2$$

#### D. 4. 1. 3 林格曼黑度计算值合成标准不确定度

$$u(K_i) = \sqrt{c_3^2 u^2(S_{\text{总}}) + c_4^2 u^2(S_{\text{白}})} = 0.025$$

#### D. 4. 2 林格曼黑度标准值不确定度分量 $u(K_s)$

林格曼黑度标准值 $k$ 为1级~4级的常数，故 $u(K_s) = 0$

### D. 5 合成标准不确定度及扩展不确定度

#### D. 5. 1 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源 ( $x_i$ )	$u(x_i)$
总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_{\text{总}})$	0.016
空白格总面积计算值合成标准不确定度 $u(S_{\text{白}})$	0.019
林格曼黑度标准值不确定度分量 $u(K_s)$	0.025

#### D. 5. 2 合成标准不确定度:

$$u_c(\Delta_i) = \sqrt{c_1^2 u^2(K_i) + c_2^2 u^2(K_s)}$$

#### D. 5. 3 扩展标准不确定度计算:

取扩展因子 $k=2$ ，扩展不确定度为： $U = k \times u_c(\Delta_i) = 2 \times 0.025 = 0.05$ 级

结论：计算得到的扩展标准不确定度小于计量性能中示值误差的1/3，因此满足要求。

## B 类烟尘望远镜示值误差测量结果的不确定度评定实例

## 一、概述

1. 环境条件： 温度：(5~35)℃；  
相对湿度：不大于 85%RH；  
无影响仪器正常工作的电磁场干扰和震动。
2. 测量标准：烟尘望远镜检定装置， $U=0.02$ ， $k=2$ 。
3. 被测对象：光电式烟尘望远镜，测量范围(0~5)级。
4. 测量过程：将光电烟尘望远镜的测量光路对准检定装置的光学系统，光电烟尘望远镜的显示值(3次的平均值)与检定装置给出的标准值对比，计算示值误差。
5. 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 二、数学模型

$$\Delta = \bar{x} - x_s$$

式中： $\Delta$ —示值误差  
 $\bar{x}$ —3次测量结果的平均值  
 $x_s$ —标准值

## 三、根据数学模型求方差和传播系数

$$u_c^2(\Delta) = c_1^2 u^2(\bar{x}) + c_2^2 u^2(x_s)$$

$c_1=1$        $c_2=-1$

## 四、标准不确定度的评定

1. 仪器重复性引入的不确定度  $u_1(\bar{x})$ 

输入量  $\bar{x}$  的不确定度来源，主要是烟尘望远镜的测量重复性，可采用A类方法进行评定。按贝塞尔公式计算：

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

用一台烟尘望远镜对同一标准黑度值重复测量 10 次，得到一组数据，如下：

2.2, 2.2, 2.3, 2.2, 2.2, 2.2, 2.2, 2.2, 2.2, 2.2, 平均值为 2.2，标准偏差  $s(x) = 0.032$

实际检定时重复测量 3 次，取平均值作为测量值，则有：

$$u_1(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{3}} = \frac{0.032}{\sqrt{3}} = 0.019$$

2. 仪器分辨率引入的不确定度  $u_2(\bar{x})$ 

烟尘望远镜的分辨率为 0.1，引入的不确定度为：

$$u_2(\bar{x}) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029$$

仪器重复性和分辨力引入的不确定度取大值，较小值舍去。则有：

$$u(\bar{x}) = u_2(\bar{x}) = 0.029$$

### 3. 标准装置引入的不确定度 $U(x_s)$

#### 3.1 分划板刻划引入的不确定度 $u_1(x_s)$

由校准证书可以得到，标准装置MPE：±0.02，按均匀分布，取  $k = \sqrt{3}$

$$u_1(x_s) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012$$

#### 3.2 光学系统不稳定引入的不确定度 $u_2(x_s)$

光学系统引入的误差估计最大为±0.02，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$

$$u_2(x_s) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012$$

$$u(x_s) = \sqrt{u_1^2(x_s) + u_2^2(x_s)} = 0.017$$

## 五、合成标准不确定度及扩展不不确定度

### 1. 主要标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总表

不确定度来源	$u(x_j)$
仪器分辨力引入的不确定度 $u_2(\bar{x})$	0.029
分划板刻划引入的不确定度 $u_1(x_s)$	0.012
光学系统不稳定引入的不确定度 $u_2(x_s)$	0.012

### 2. 合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta_i) = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{x}) + c_2^2 u^2(x_s)} = \sqrt{u^2(\bar{x}) + u^2(x_s)} = \sqrt{0.029^2 + 0.017^2} = 0.032$$

### 3. 扩展标准不确定度计算：

取扩展因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u(\Delta) = 2 \times 0.032 = 0.07$$

结论：计算得到的扩展标准不确定度小于计量性能中示值误差的 1/3，因此满足要求。

