

中华人民共和国国家计量技术规范

《林格曼烟气黑度图板校准规范》

编制说明

林格曼烟气黑度图板校准规范编制组

2023 年 04 月 21 日

《林格曼烟气黑度图板校准规范》编制说明

1 任务来源

根据国家市场监督管理总局《2022 年国家计量技术规范项目制定、修订计划》以及“全国生态环境监管专用计量测试技术委员会（MTC41）”通知，《林格曼烟气黑度图板校准规范》制定的项目被列入 2022 年国家计量技术规范制定计划，归口单位为全国生态环境监管专用计量测试技术委员会。起草单位为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，参与起草单位为湖南大学和佛山市南华仪器股份有限公司。

2 编制规范的目的和意义

林格曼黑度图板是参照林格曼烟气黑度图的原理，将林格曼烟气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，提供林格曼黑度检测设备最终输出结果。其尺寸规格适用于林格曼黑度测量设备的工作距离及拍摄画面，并根据黑色条格占比面积换算，林格曼黑度 0.25 级换算面积比值为 5%。常见林格曼烟气黑度图板分为 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。包括林格曼烟气黑度图、目视式林格曼烟气望远镜光学分划板以及光电式林格曼黑度检测设备校准用标准林格曼黑度板等。

随着国家对大气污染防治的监控力度不断增大，烟气林格曼黑度作为评价环境质量的指标之一，是环境监测部门现场执法实施污染治理重要的参考依据。国家标准 GB 13271-2014《锅炉大气污染物排放标准》规定了在大气污染物排放浓度限制中烟气黑度（林格曼黑度等级） ≤ 1 ，同时 GB 9078-1996《工业炉窑大气污染物排放标准》、GB 13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》、GB 18484-2020《危险废物焚烧污染控制标准》和 GB 18485-2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》都对烟气黑度排放规定了标准限值。此外，根据 GB 36886-2018《非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法》和 GB 3847-2018《柴油车污染物排放限值及测量方法》规定，林格曼黑度等级超过 1 级即为超标排放。由此，林格曼黑度检测设备成为了重要的执法装备之一。

林格曼黑度检测设备包括林格曼烟气黑度图、林格曼黑度望远镜、光电测烟望远镜、黑烟车电子抓拍系统、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等，通过对林格曼烟气黑度的测定，可以分析烟气排放对空气的污染程度及燃料的燃烧利用率情况，从而为环境治理和节约能源提供有效的监测手段。作为环境监测部门、第三方环境检测公司以及企业环保部门常备仪器，林格曼黑度检测设备应用范围极其广泛，在环境监测及环境治理方面作用明显，其计量特性的准确性是仪器数据可靠的重要保障，对污染源废气排放评价、实施现场执法以及实现大气环境质量目标管理具有重大意义。

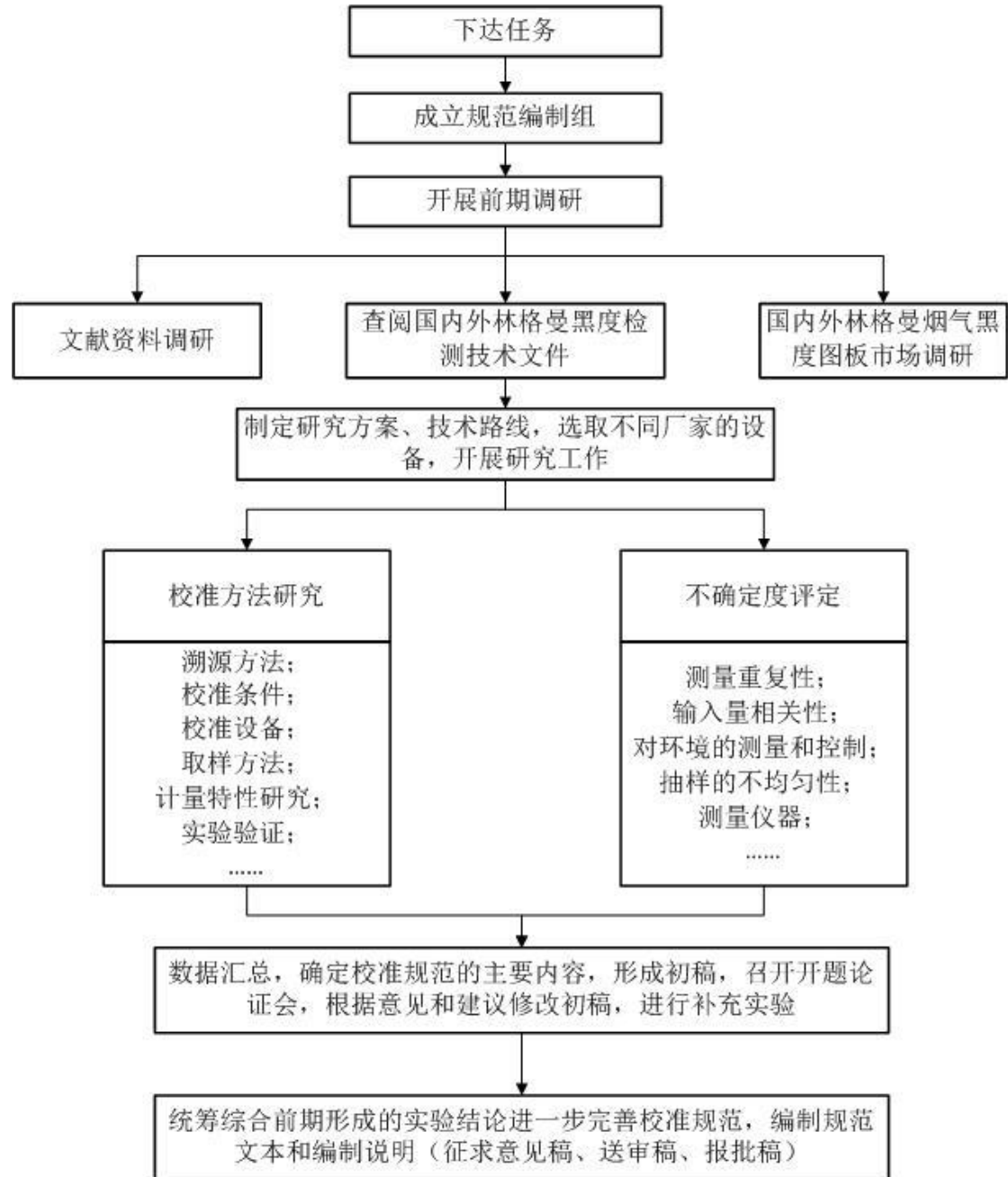
目前，市面上林格曼黑度检测设备品类繁多，虽生产工艺和形态千差万别，但都基于林格曼黑度图原理，按照仪器的原理不同，可将林格曼黑度检测设备分为两类：目视式和光电式。①目视式林格黑度检测设备是通过与林格曼烟气黑度图相比较，凭视觉感官对烟气的黑度进行评价。此类设备包括林格曼烟气黑度图、目视式测烟望远镜。其中林格曼黑度图法 2007 年发布了 HJ/T 398-2007《固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》，该标准对烟气黑度的定义、林格曼烟气黑度的分级、林格曼烟气黑度图的绘制等进行了规定，一直被广泛应用，也是目前烟气黑度唯一的国家行业标准方法。该标准虽未提及林格曼烟气黑度图板计量特性要求，但提供了林格曼烟气黑度图板的溯源思路，即可依据黑色条格面积占比换算林格曼黑度级数进行溯源。2018 年，原河北省质量技术监督局发布并实施了 JJF（冀）144-2018《林格曼烟气黑度望远镜校准规范》，主要对林格曼烟气黑度望远镜目镜上镶嵌的具有不同等级林格曼黑度的光学分划板组成的缩制烟气浓度图进行测量，是目前国内唯一在用的校准目视式林格曼烟气黑度望远镜的技术规范。但是，该规范适用范围非常受限，难覆盖各类型的林格曼黑度图板，且该校准规范提出的取样方法取样的代表性不够，示值误差要求（ ± 0.2 级，即黑色条格占总面积百分比 $\pm 4.0\%$ ），对于光电式林格曼黑度检测设备校准用标准林格曼黑度板并不适用，应根据用途对林格曼烟气黑度图板的计量特性进行区分，故该规范的取样方法和计量特性要求还需进一步完善和探讨。

②光电式林格曼黑度检测设备是利用采用光电二极管接收烟尘信号，经软件转换后自动测定烟气黑度的等级。此类设备包括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）、光电式林格曼黑度望远镜等。即将实施的《黑烟车电子抓拍系统校准规范》，该规范对自动识别烟气黑度的固定式和移动式黑烟车电子抓拍系统的校准方法，校准项目和计量特性进行了相对严谨的描述。规范主要采用不同规格的标准林格曼黑度板作为标准器对黑烟车电子抓拍系统进行校准，并对标准黑度板的主要性能指标进行了规定。依据仪器原理相似，其余光电式林格曼黑度检测设备（如光电式林格曼黑度望远镜）亦可参考此规范用标准林格曼黑度板进行校准。

综上所述，对于目视式林格曼黑度检测设备，林格曼烟气黑度图板作为最重要的部件，对于光电式林格曼黑度检测设备，林格曼烟气黑度图板为主要校准器具。其必须经过计量溯源方可确定标准的林格曼黑度级数，从而实现对林格曼黑度检测设备的溯源。然而，国家尚未颁布林格曼烟气黑度图板的相关计量校准规范，导致林格曼黑度检测设备溯源存在极大风险，给林格曼黑度检测设备量值统一和计量性能评价带来了困扰，检测数据可比性差，亟待建立统一的校准溯源方法，以从量值源头保障林格曼黑度检测数据的准确，服务于环境执法监管与检测，既具有经济效益，同时更具有重要的社会效益。

3 项目的技术路线



4 规范制定的主要工作过程

2022 年 5 月,《林格曼烟气黑度图板校准规范》列入 2022 年国家计量技术规范制修订计划。接到任务后,立即成立规范编制组,编制组成员由多年从事计量、环境监测、仪器研发生产等相关人员组成,专门承担此项规范的研究制订工作,并完成了任务书的填报,制定了规范编写实施计划。

2022 年 7 月-8 月,查阅资料及调研,在对国内外生产厂家、技术指标等进行充分调研,对林格曼烟气黑度图板相关标准、规范充分研究的基础上,编制组召开内部线上沟通会议,初步制定了林格曼烟气黑度图板的计量特性及校准方法,在相关实验的基础上,形成校准规范的草稿。

2022 年 9 月 16 日,采用远程腾讯会议的方式召开了开题论证会。会议邀请项目主审专家、环保跟踪专家和环境、计量等领域专家对项目开题报告以及编写的《林格曼烟气黑度图板校准规范》草案进行论证。专家对技术规范的提出具有较强的针对性和实用价值给与肯定,针对规范的相关技术问题进行了讨论,并提出了相应的意见和建议。

2022 年 10 月至 2023 年 3 月,根据开题论证会各位专家提出的意见和建议,在大量调研和征求意见的基础上,在生产企业的大力支持下,起草成员对市场上主流品牌的林格曼烟气黑度图板进行了大量的试验工作,对规范中涉及校准环境条件,校准时取样方法,计量特性的确定,抽样引入的不确定度分析等关键技术问题进行了系统的试验研究,处理了大量实验数据,并联合有关生产厂家,考量了校准方法的适用性,统筹综合前期形成的研究结论,对校准规范进行了修改和完善,形成规范征求意见稿(讨论稿)。

2023 年 5 月 6 日,按照《全国生态环境监管专用计量测试技术委员会关于召开 2022 年国家计量技术规范修订项目调度会的通知》的要求,编制组组织召开了规范调度会,会上编制组对规范的编制情况进行了汇报,与会专家提出部分意见和建议。根据计划,编制组将结合调度会专家意见对讨论稿进行修改完善,形成了规范征求意见稿、编制说明、实验报告、不确定度评定等技术文件,向委员会提交征求意见稿及相关技术资料,向全国进行意见征集。

5 规范编写的原则与依据

本规范制定以国内和国际实际情况为出发点，体现科学性、合理性、先进性、实用性，使规范校准项目、技术要求及校准方法与国家、行业标准、技术规范相符合。

本规范制定主要依据及参考了以下文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

JJF 1175-2007 试验筛校准规范

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

HJ 1287-2023 固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法

6 规范的主要内容及技术关键

规范起草小组充分考虑林格曼烟气黑度图板自身的产品特点及工艺水平，确定了科学合理的技术指标和校准方法。同时考虑了在计量特性和校准方法上与现行有效的行业标准和国家标准的协调性与一致性。

为确定林格曼烟气黑度图板的技术指标要求，编制组对目前市场上的林格曼黑度板相关产品进行了调研。通过市场调研和检测机构使用情况调查，林格曼黑度检测设备及其对应林格曼黑度板的生产销售公司主要集中在苏州、青岛、北京、广州等地，大多数属于销售公司，实际生产厂家不多。因此编制组通过对以佛山市南华仪器有限公司、广州瑞彬科技有限公司、深圳火眼智能有限公司、青岛路博建业环保科技有限公司、北京市计量检测科学研究院、苏州市青安仪器有限公司及浙江浙大鸣泉科技有限公司为代表的生产企业生产的林格曼烟气黑度图板进行试验和论证，确定该规范计量特性。

6.1 适用范围

本规范适用于林格曼烟气黑度图、目视式测烟望远镜分划板以及校准光电式林格曼黑度检测设备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。

目前，我国主流生产厂家生产的典型林格曼烟气黑度图板的参数及应用如图1所示。

图 1 林格曼烟气黑度图板的参数及应用



6.2 计量特性的确定

林格曼烟气黑度图板（以下简称林格曼黑度板）是基于林格曼黑度图原理，主要围绕黑色条格面积占总面积百分比的准确性，因此主要计量特性是对面积占比的校准，包括黑色条格占总面积百分比示值误差和网格面积均匀性。

本校准方法的计量特性参考了即将颁布实施的《黑烟车电子抓拍系统校准规范》规定了黑烟车电子抓拍系统最大允许误差： ± 0.25 级，校准此设备用的标准黑度板要求扩展不确定度： $U=1.6\%$ （面积占比相对值）， $k=2$ ，规范附录 A 中，标准黑度板样式中提出白色背景板色度 L 值 ≥ 80 ，黑色条格色度 L 值 ≤ 30 。0.25 级换算为黑色条格占总面积的百分比为 5%，校准用的标准林格曼黑度板的计量特性指标取 1/3 左右，即为 1.6%。而对于工作林格曼黑度板，即目视式林格曼黑度检测设备（包括林格曼烟气黑度图、目视式测烟望远镜），其计量特性可参考 HJ 1287-2023 标准“规定望远镜林格曼黑度图制作误差 ≤ 0.2 级（林格曼黑度级数）”，换算为黑色条格占总面积的百分比为 4%。同时，考虑市场上林格曼烟气黑度图板规格尺寸及材质的多样性，为使规范适用范围更广，更具科学性和可操作性，选取黑色条格占总面积百分比示值误差和网格面积均匀性这两个计量特性，故而未对图板色度值进行要求。在进行广泛实验验证的基础上，确定以下计量性能：

（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 $\pm 1.6\%$ 。

工作林格曼黑度板：不超过 $\pm 4\%$ 。

（2）网格面积均匀性

单个空白格边长 $\geq 0.1\text{ mm}$ ：不大于 3%。

单个空白格边长 $< 0.1\text{ mm}$ ：不大于 0.001 mm^2 。

6.3 校准条件

6.3.1 环境条件

由于林格曼烟气黑度图板的校准方法主要是测量长度并计算面积大小，因此校准环境条件参照长度测量设备对实验室常规要求，确定温度： $(20\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；温度变化小于 $1\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 。

湿度： $\leq 80\%\text{RH}$ ；

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。

6.3.2 测量标准及其它设备

表 1 测量标准及其他设备

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

注：L的计量单位是mm。

在实际应用中，可根据林格曼黑度板尺寸选择6.3.2标准器，也可使用准确度等级或者测量不确定度优于或等于技术要求的其他测量系统。

6.4 校准项目和校准方法

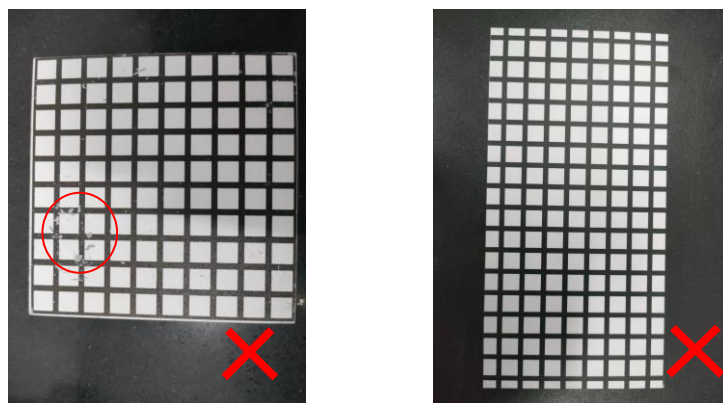
6.4.2.1 外观检查

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。

目前市面上林格曼黑度板的制作工艺参差不齐，图板的刻线工艺对测量结果有影响，若黑色条格刻线有肉眼可见的缺陷，如边缘不齐，断线等，对长度的测量均有影响。某些做工粗糙、自行缩印的林格曼黑度图并不能满足检测林格曼黑度的技术要求。因此有必要对其外观进行初步判断，此处外观检查中所述图板结构完整是指图板上的林格曼黑度图应以黑色线条为外框边界，内部的空白格均一、完整，不得出现部分残缺空白格的情况。

如下图 2 所示，图例（a）中黑色条格刻线有肉眼可见的缺陷，边缘不齐且断线，故外观检查不符。图例（b）中图板结构不完整，图板上的林格曼黑度图未以黑色线条为外框边界，最外层空白格不完整，出现残缺，故外观检查不符。

图 2 林格曼烟气黑度图板的外观检查



图例 (a)

图例 (b)

6.4.2.2 黑色条格占总面积百分比示值误差

根据林格曼烟气黑度图板的定义，除全白与全黑分别代表林格曼黑度 0 级和 5 级外，其余林格曼黑度级数标称值 (K) 是根据黑色条格占整块面积的百分比来确定的，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。即每级林格曼黑度板的黑色条格占总面积百分比的标称值 (Y) 可用林格曼黑度级数标称值 $\times 20\%$ 得到。例如 0.75 级林格曼黑度板的 Y 值为 $0.75 \times 20\% = 15\%$ 。

林格曼烟气黑度图网格数量繁多，通常从几十至上千个，编制组实验样品的网格数量范围为 (64~4704) 个，为提高校准方法的可操作性，对林格曼黑度板选取抽样方式进行黑色条格面积占比实际值的测量计算。抽样的目的是为了使被抽取的样品更能代表被抽样本总体的特性，因此，无论进行多少次重复抽样所抽取的样品，理论上认为抽样的结果都在统计学上有相同或者类似的代表性。故编制组参考 JJF 1175-2007 《试验筛校准规范》，确定以下抽样方案。

空白格抽样方案：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。抽样模型如图 3 所示。

图 3 随机选取 S10 为抽样部位所选取的空白格

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 ⁺

按照规范的抽样方法在图板上随机抽样的每个空白格测量其长 L_i 和宽 H_i , 计算其面积 $S_{Wi} = L_i \times H_i$, 选取的空白格面积分别为 S_{W1} 、 S_{W2} 、 $S_{W3} \dots S_{Wi}$, 空白格平均面积 $\overline{S_w} = (S_{W1} + S_{W2} + S_{W3} + \dots + S_{Wi}) / n$, n 代表抽样数量, 则白色格子总面积 $S_w = N \times \overline{S_w}$, 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, mm^2 ;

S_w ——白色格子总面积, 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测试, 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 ΔY_i , 取绝对值最大的 ΔY_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, %;

ΔY_i ——林格曼黑度板黑色条格面积占比示值误差, %。

实验结果:

图 4 使用光学影像测量仪测量林格曼黑度图板



采用光学影像测量仪（如图 4 所示）测量 6 个厂家生产的林格曼黑度图板，除全白与全黑分别代表林格曼黑度 0 级和 5 级外，其余林格曼黑度级数测量结果如下表 2 所示：

表 2 林格曼黑度图板示值误差校准结果

序号	厂家	产品型号	图板用途	外观检查	校准规范要求	示值误差			
						1#	2#	3#	4#
1	佛山南华	NHLGM-1	校准器具	符合	$\pm 1.6\%$	-0.5%	-1.5%	-0.9%	-0.5%
2	火眼智能	HY-A101		符合		-1.5%	-4.4%	-3.4%	-2.1%
3	浙大鸣泉	MQY-300L		黑色条格边缘不平整		—	—	—	—
4	青岛路博	LB-HY-LGM01		外框黑色条格不完整		—	—	—	—
5	北京市计量院	JLFR(TG)-2		符合		-0.2%	-1.1%	0.2%	0.6%
6	苏州青安	QT203A	工作器具（望远镜）	符合	$\pm 4\%$	-3.4%	1.6%	1.7%	1.9%
7		QT201		符合		-7.4%	-3.2%	0.9%	0.5%
8	广东瑞斌	RB-LGM		符合		-10.5%	-10.8%	-4.5%	-5.0%

9	广东瑞斌	/	工作器具(林格曼黑度图)	符合		-4.8%	-4.2%	-5.6%	-1.2%
---	------	---	--------------	----	--	-------	-------	-------	-------

目前我国已经有数十家企业自主开发、生产了大量不同型号的林格曼黑度检测设备或林格曼烟气黑度图板,但由于缺少统一的林格曼烟气黑度图板的计量校准方法和判定指标,使得林格曼黑度检测设备或林格曼烟气黑度图板的性能参差不齐。由表 2 可知,仅少量林格曼烟气黑度图板产品可达到检测林格曼黑度值的要求,严重影响了烟气林格曼黑度值测量结果的准确性和代表性。

林格曼烟气黑度图板校准规范制定完成后,可实现林格曼黑度值监测数据的量值溯源性,从量值源头保障监测数据的准确。以期正确引导企业研发生产符合要求的林格曼黑度检测设备和林格曼黑度板,提高大气污染物的监测结果的质量,为环境管理和环境监测服务。

6.4.2.3 网格面积均匀性

由于抽样是基于统计特性而考虑的,任何一组抽取的样品都具有其组内特殊性,因此,采用对抽样组内样品的均匀性分析,来量化由于样本均匀性或抽样实施变动对被抽样本总体分析带来的影响,因此确定了以抽取的空白格样品的网格面积均匀性为计量特性。由于林格曼黑度板尺寸不一,其均匀性需根据不同尺寸进行分别计算,若单个空白格边长 ≥ 0.1 mm,则通过计算空白格面积的最大值 $S_{w\max}$ 和最小值 $S_{w\min}$ 之差与空白格面积平均值的比值表示为每级林格曼黑度板的均匀性。若单个空白格边长小于 0.1 mm,则采用空白格面积的最大值 $S_{w\max}$ 和最小值 $S_{w\min}$ 之差表示为每级林格曼黑度板的均匀性。

筛选外观检查合格的林格曼烟气黑度图板产品进行均匀性测量分析,测量结果如表 3 所示,可知外观检测合格,制作工艺良好的林格曼烟气黑度图板的网格均匀性符合计量特性要求。

表 3 林格曼黑度图板网格均匀性校准结果

序号	厂家	产品型号	网格面积均匀性				校准规范要求	合格率
			1#	2#	3#	4#		
1	佛山南华	NHLGM-1	1.6%	1.5%	1.4%	1.5%	3%	100%
2	火眼智能	HY-A101	2.3%	1.4%	2.5%	3.8%	3%	75%

3	北京市计量院	JLFR(TG)-2	0.5%	2.9%	1.3%	1.1%	3%	100%
4	苏州青安	QT203A	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.001	100%
5		QT201	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.001	100%
6	广东瑞斌	RB-LGM	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.001	100%
7	广东瑞斌	/	2.4%	1.6%	2.7%	2.2%	3%	100%

8 总结

在本规范的制定过程中，编制小组以技术资料及相关标准、试验数据为技术依据，本着科学合理、易于操作和普遍适用的原则，并结合不同行业领域专家的意见和建议，严格依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写，制定了林格曼烟气黑度图板校准规范。经过大量试验证明，本规范校准项目和校准方法适用于林格曼烟气黑度图板的校准，操作性强，建议的技术指标符合仪器技术要求以及用户需求。