

附件5

《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法  
(征求意见稿)》

编制说明

《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》

标准编制组

二〇二一年十二月

项目名称：固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法

项目统一编号：2019-3

项目承担单位：天津市生态环境监测中心、江苏省南京环境监测中心

编制组主要成员：田秀华、王效国、谢馨、于川、左明、张海波、邓  
猛、俞黎明、崔明、王欣

标准所技术管理负责人：李旭华

生态环境监测司项目负责人：楚宝临

# 目 录

1	项目背景.....	1
1.1	任务来源.....	1
1.2	工作过程.....	1
2	标准制订必要性分析.....	2
2.1	观测烟气黑度的意义.....	2
2.2	相关生态环境标准和环境管理工作的需要.....	4
2.3	现行烟气黑度监测方法的实施情况和存在问题.....	5
3	国内外相关方法研究.....	5
3.1	国内外及国际组织相关方法研究.....	5
3.2	文献资料研究.....	7
4	标准制订的基本原则和技术路线.....	9
4.1	标准制订的基本原则.....	9
4.2	标准制订的技术路线.....	10
5	方法研究报告.....	11
5.1	方法研究的目标.....	11
5.2	方法原理.....	11
5.3	仪器和设备.....	11
5.4	观测方法.....	15
5.5	现场观测记录.....	20
5.6	结果计算与表示.....	22
5.7	质量保证和质量控制.....	22
6	方法比对.....	23
6.1	方法比对方案.....	23
6.2	方法比对过程及结论.....	28
7	方法验证.....	32
7.1	方法验证方案.....	32
7.2	方法验证过程及结论.....	33
8	与开题报告的差异说明.....	34
9	标准实施建议.....	34
10	参考文献.....	35
	附件一：方法验证报告.....	37

# 《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》

## 编制说明

### 1 项目背景

#### 1.1 任务来源

根据《关于征集 2019 年度国家环境保护标准计划项目承担单位的通知》（环办科技函〔2018〕427 号），下达了编制《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》的项目计划书，项目统一编号为：2019-03。

本标准的承担单位为天津市生态环境监测中心，协作单位为江苏省南京环境监测中心。

#### 1.2 工作过程

##### 1.2.1 成立标准编制组

2019 年任务下达后，天津市生态环境监测中心会同江苏省南京环境监测中心成立标准编制组，专门承担此项标准的研究制订工作，并完成了任务书和合同书的填报。标准编制组成员中包括有多年固定污染源废气烟气黑度测定工作经验的同志，多名具有丰富的固定污染源废气现场监测经验的监测人员。

##### 1.2.2 国内外相关标准和资料调研

2019 年 1~6 月，根据《国家环保标准制修订工作管理办法》的相关规定，检索、查询和收集国内外相关标准和文献资料，并根据国内相关方法和标准，对目前固定污染源废气烟气黑度的测定林格曼望远镜方法研究进展以及存在问题进行归纳和总结。在整理借鉴的基础上，对林格曼望远镜观测烟气黑度方法中涉及的适用范围、观测条件、观测方法和质量保证等主要内容进行了初步的研究和探讨，拟定了标准方法制订的基本原则和技术路线。

##### 1.2.3 编制开题论证报告和标准草案

2019 年 6~11 月，标准编制组根据拟定的技术路线，进行了林格曼望远镜应用、观测条件、现场方法比对、测定结果统计等实验研究，并在此基础上编写了开题论证报告及标准草案。

##### 1.2.4 召开标准开题论证会

2019 年 12 月 26 日，由生态环境部生态环境监测司组织专家在北京召开了本标准的开题论证会。专家委员会听取了标准编制组的汇报，经过质询、讨论，专家委员会通过了本标准的开题论证。提出以下修改意见：

- （1）补充“模拟标准烟羽图板”与标准林格曼黑度图之间关系的研究；
- （2）完善林格曼望远镜的关键性技术指标；
- （3）在验证方案中增加与 HJ/T 398 方法比对实验，挑选不少于 20 人，进行方法精密

度实验，用中位值代替平均值，用相对标准偏差评价精密度；

(4) 按照《环境监测 分析方法标准制修订技术导则》(HJ 168-2010)，《环境保护标准出版技术指南》(HJ 565-2010)的相关要求进行标准文本和编制说明的编写。

### 1.2.5 组织方法验证

2020年1~5月，标准编制组按照计划任务书的要求，根据开题论证专家组的意见，进行了“模拟标准烟羽图板”与标准林格曼黑度图之间关系的研究，完善了林格曼望远镜关键性技术指标，并制定了方法验证方案。

2020年5~7月，通过大量观测实验，完成筛选及制作“模拟标准烟羽图板”。

2020年7~10月，按照方法验证方案，结合开题论证意见，组织观测人员进行方法验证。

2020年11月，汇总验证结果，并形成方法验证报告。

### 1.2.6 形成征求意见稿标准文本和编制说明

2020年12月~2021年7月，根据实验研究结果及方法验证结果，在总结分析国内外相关标准的基础上，完成《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》(征求意见稿)标准文本及编制说明。

### 1.2.7 召开征求意见稿技术审查会

2021年9月18日，以线上形式召开《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》征求意见稿技术审查会。专家委员会听取了标准编制组的汇报，经过质询、讨论，提出以下修改意见和建议：

- (1) 删除标准文本中3.4林格曼烟气黑度图和3.6林格曼黑度望远镜的术语和定义；
- (2) 进一步确认标准文本中风向风速仪的技术要求；
- (3) 将标准文本中附录A改为规范性附录，同时删除A.1.2章节；
- (4) 按照HJ 168-2020和HJ 565-2010要求，对标准文本和编制说明进行编辑性修改。

标准编制组按以上要求对标准征求意见稿和编制说明进行补充和修改，提交标准征求意见稿和编制说明。

## 2 标准制订必要性分析

### 2.1 观测烟气黑度的意义

#### 2.1.1 林格曼烟气黑度图

林格曼烟气黑度图是十九世纪末法国巴黎的林格曼(Ringelmann)教授研究发明的，林格曼认为燃煤锅炉排放黑烟是由于不良的燃烧效率造成的，烟气颜色越深意味着燃烧效率越差。为了测量烟气的黑度，他制作了一组卡片，在面积相同的四张白色背景的卡片上面，划上不同粗细的黑色网格，当他把这组卡片放在一定距离以外远处观看时，这些网格看上去显示出深浅不同的灰色影调。林格曼将烟气的黑度与一组卡片中的某一网格表现的影调进行比

较，利用获得的信息来调整炉子的空燃比，这样当调整到烟气黑度最小的时候，就表明燃烧效率最高。因此得到了通过烟气黑度目测来近似地估算烟气中烟尘含量的一种办法，这种方法在国外曾有一个时期得到广泛的应用。林格曼烟气黑度图一套共有六张，其中1级至4级是由一些粗细不等的横竖黑线条组成的网格构成，它是按黑色条格的面积占比规定黑度等级，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，全黑占100%为5级，全白占0%为0级。林格曼黑度图的设计避免了灰板涂色难以控制标准的缺点，林格曼烟气黑度图属于视觉感官指标，与污染物烟尘浓度之间有很强的正相关关系，林格曼烟气黑度图作为测量烟气颜色深浅的方法，将视觉感官定量化。烟气黑度是人的感官对烟羽的黑色程度反应的指标，用林格曼黑度级表示。至今仍有一些国家和地区将烟气黑度作为污染控制指标<sup>[1-3]</sup>。

## 2.1.2 林格曼烟气黑度图的应用

控制烟气中污染物排放的标准可分为两大类，一类是以烟气中有害物质的排放浓度和排放量作为控制指标的，其监测方法是客观的实际测定。另一类是以人的感官对烟气的反应（如气味、颜色等）强弱作为控制指标的，其监测方法是凭人的感官主观反应。烟气黑度标准就是属于后者，在污染源废气监测中，烟气黑度是燃料燃烧污染排放的一项重要控制指标。排放黑烟一般是由于不良的燃烧效率及劣质燃料造成的，烟气颜色越深意味着燃烧效率越差，意味烟尘排放浓度越大。研究发现，烟气常见成分中 $N_2$ 、 $CO_2$ 、 $CO$ 、 $O_2$ 、 $SO_3$ 、 $NO$ 、 $N_2O$ 等物质一般是无色的，硫酸气溶胶颗粒一般呈蓝色， $NO_2$ 一般呈棕红色或黄色，水蒸汽呈白色，而颗粒物一般呈灰色或黑色。可见，烟气黑度在一定程度上反映烟尘的含量，有资料介绍烟气黑度与烟尘的大概关系见表1<sup>[4]</sup>。

表1 林格曼烟气浓度图与烟气中含尘量的关系<sup>[4]</sup>

林格曼烟气浓度	1度	2度	3度	4度	5度
相当烟气含尘量/( $g/m^3$ )	0.25	0.70	1.8	10	40

由于很难确定烟气的视觉黑度与其中有害物质含量之间的精确对应关系，因此烟气黑度观测方法不能取代前述排放浓度和排放量的实际监测。但烟气黑度的监测具有简便易行、成本低廉、快捷省时的优点，故在国内外得到广泛的应用，在许多国家被列为常用的烟气排放监测方法之一，在我国上个世纪八九十年代“控烟排放”管理中发挥重要作用。

近年来，随着我国环境空气质量改善需求，污染源烟尘排放标准日趋严格，“煤改燃”工作的开展，监管力度的加大，冒黑烟现象很少出现，我国火电厂控烟标准的演变见表2。但我国大部分现行燃烧废气排放标准中对烟气黑度排放规定了标准限值，烟气黑度仍是衡量废气排放中烟尘含量最直观、最经济、最便捷的指标，也是对废气污染防治监管最直接、简单、有效的监测手段之一。

表 2 我国火电厂控烟标准的演变

阶段	标准名称（编号）	燃煤机组烟尘浓度限值要求/ (mg/m <sup>3</sup> )
第一阶段	无标准阶段	—
第二阶段	《工业“三废”排放试行标准》（GB J4-1973）	无要求
第三阶段	《燃煤电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-1991）	600
第四阶段	《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-1996）	200
第五阶段	《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2003）	50
第六阶段	《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）	30（20 特别排放限值）
第七阶段	超低排放	10（5 特别排放限值）

## 2.2 相关生态环境标准和环境管理工作的需要

### 2.2.1 烟气黑度相关排放标准

目前，烟气黑度指标在大部分燃烧废气类国家或地方排放标准中都有排放限值规定，各类排放标准中烟气黑度排放限值均为 1 级（林格曼黑度级），测定方法规定为林格曼烟气黑度图法。国家烟气黑度排放相关标准汇总见表 3。

表 3 烟气黑度排放相关标准汇总表 单位：林格曼黑度，级

序号	标准名称	标准号	标准值			测定方法
1	锅炉大气污染物排放标准	GB 13271-2014	在用锅炉	新建锅炉	重点地区锅炉	《固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》（HJ/T 398-2007）
			≤1			
2	火电厂污染物排放标准	GB 13223-2011	火力发电锅炉及燃气轮机组以及重点地区的火力发电锅炉及燃气轮机组			《固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》（HJ/T 398-2007）
			1			
3	工业炉窑大气污染物排放标准	GB 9078-1996	一级标准	二级标准		—
				熔炼炉、铁矿烧结炉	其他炉窑	
			禁排	禁排	1	
4	陶瓷工业污染物排放标准	GB 25464-2010	1			《固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》（HJ/T 398-2007）
5	平板玻璃工业大气污染物排放标准	GB 26453-2011	1			
6	火葬场大气污染物排放标准	GB 13801-2015	1			
7	电子玻璃工业大气污染物排放标准	GB 29495-2013	1			

### 2.2.2 环境管理工作的需要

固定污染源排放的烟气黑度是开展较早的燃烧废气排放污染物的例行监测项目,是反映燃烧废气污染排放的主要污染指标之一。用目视法直接观测污染源排放烟气黑度,对污染源废气排放评价、污染源周边民众对废气排放的关注以及实施城市大气环境质量目标管理具有重要意义。

## 2.3 现行烟气黑度监测方法的实施情况和存在问题

### 2.3.1 现行烟气黑度监测方法

在原国家环保局组织编写的《空气与废气监测分析方法》(第四版)中,推荐了三个B类方法(B类方法是尚未形成国家或行业标准,国内有较深研究,有实验证明,是较为成熟的方法),分别为林格曼黑度图法、测烟望远镜法和光电测烟仪法。前两个方法属于目视法,通过与林格曼黑度图相比较,凭视觉感官对烟气的黑度进行评价。光电测烟仪法是利用光学系统收集、处理烟的图像,把烟的透光率与仪器内部的标准黑度图透光率比较,由仪器自动测定烟气黑度的等级<sup>[5]</sup>。三个方法中林格曼黑度图法2007年发布了行标《固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》(HJ/T 398-2007),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、观测的基本要求、观测的方法和步骤、观测过程的记录、监测结果的计算和表示等制定了相对严谨的规定<sup>[6]</sup>。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。

### 2.3.2 存在问题

《固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》(HJ/T 398-2007)方法标准实施中存在以下问题:①观测者观测视距较远,观测时间较长,在实际工作中易造成观察者视觉疲劳,影响观测结果;②由于观测现场建筑位置布局复杂,视线遮挡严重,在实际工作中往往难以找到合适的观测和摆放林格曼烟气黑度图的地点;③林格曼烟气黑度图易损及褪色,影响观测结果。

《空气与废气监测分析方法》(第四版)中的测烟望远镜法很多实验室也在应用,在一定程度上能够让观察者更加容易的克服现场的复杂情况,更好的解决林格曼黑度图板法携带和摆放问题,避免了林格曼黑度图损坏和褪色问题。但《空气与废气监测分析方法》(第四版)中测烟望远镜法描述过于简单,方法有待标准化,部分实验室存在申请“林格曼黑度图法”资质,却使用林格曼望远镜观测的错误做法。目前市场上烟气林格曼黑度望远镜产品质量,良莠不齐,缺少统一的性能指标要求。因此,有必要制定烟气黑度林格曼望远镜方法标准,规范林格曼望远镜烟气黑度观测方法,确保烟气黑度观测结果的准确性、可靠性和可比性。

## 3 国内外相关方法研究

### 3.1 国内外及国际组织相关方法研究

标准编制组对国内外相关标准及文献进行了调研。英国《Use of the Ringelmann and miniature smoke charts》(BS 2742:2009)标准规定观测烟气黑度采用标准形式林格曼图法

和小型林格曼图法。美国 EPA 方法 9 (U.S.EPA 340/1-92-004) 观测烟气引入“等效不透明度”，将林格曼黑度方法扩展为白色和其他颜色的烟雾观测，使用经过训练的观测人员，在现场观测烟气给予烟气透明度的百分比评级，代替林格曼黑度级。美国材料与实验协会 ASTM 标准 D7520-16 在美国 EPA 方法 9 的基础上，利用相机拍照来代替肉眼识别烟气的透明度，进一步把烟气观测智能化、自动化，但只是对烟气透明度的观测。我国烟气黑度监测标准《固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》(HJ/T 398-2007)，采用标准形式林格曼黑度图板目视比对观测。《空气和废气监测分析方法》(第四版)中介绍了“测烟望远镜法”和“光电测烟仪法”，其中“测烟望远镜法”与本标准方法近似，利用望远镜观察烟气与内置望远镜林格曼黑度图比较，得到烟气黑度判定结果。国内外及国际组织相关标准方法描述及特点详见表 4。

表 4 国内外及国际组织相关标准分析方法<sup>[5-9]</sup>

国家/组织	标准号	标准名称	方法原理描述	读数精度	特点
中国	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》	把林格曼烟气黑度图放在适当的位置上，将烟气的黑度与图上的黑度相比较，由具有资质的观察者用目视观察来测定固定污染源排放烟气的黑度。	可估计 0.5 或 0.25 个林格曼级数	图板价格低廉，选用标准林格曼图板，观测精度较高，但图板易损坏，携带不方便，选择观测点时易受周围建筑物影响。
中国	空气和废气监测分析方法(第四版)	测烟望远镜法(B)	测烟望远镜法是利用在望远镜筒内安装一个一半是透明玻璃，另一半是 0-5 级林格曼黑度标准图的圆形光屏板，观察时，透过光屏的透明玻璃部分，观看烟囱出口的烟色，在同一天空背景下，与光屏另一半的黑度比较对烟气的黑度进行评价。	可估计 0.5 或 0.25 个林格曼级数	望远镜价格适中，观测清晰，携带方便，对观测空间要求不高。方法缺少对测烟望远镜性能指标的要求。
中国	空气和废气监测分析方法(第四版)	光电测烟仪法(B)	利用光学系统搜集烟的图像，把烟的透光率与仪器内部的标准黑度板透光率比较，通过光学系统处理，把光信号变成电信号输出，由显示系统显示出烟气的黑度。	—	设备价格较高，由仪器自动测定，避免人为因素，但要以晴朗的天空为背景，在多云或云层薄厚不均的天气条件下，干扰较大。与传统林格曼黑度的可比性有待考证。
英国	BS 2742:2009	Use of the Ringelmann and miniature smoke charts	规定了标准形式林格曼图法和小型林格曼图法。小型林格曼图是标准形式林格曼图的按比例缩小。观察时，小型林格曼图至观察者眼睛的距离不大于 2 m，一般在 1.5 m 左右，也可以短到握在手中伸直手臂进行观察。	可估计 0.5 或 0.25 个林格曼级数	使用小型林格曼图与使用标准林格曼图可得出相一致的读数，它的观测和携带要比标准林格曼图更方便一些。两种图板均容易变“脏”，使读取的林格曼黑度受影响。
美国	U.S.EPA 340/1-92-004	Visible Emissions Field Manual EPA Method 9 and 22	通过引入“等效不透明度”，将林格曼黑度方法扩展为白色和其他颜色的烟雾。该方法通过使用烟气发生器对观测人员进行训练，观测人员在现场观测烟气时给予烟气透明度的百分比评级，来取代林格曼黑度。	5%不透明度	不仅观测烟气的黑度，还可以用于不同颜色的烟气观测，观测的是烟气不透明度。现场观测人员只需通过训练即可，无需携带仪器设备，较远距离可用普通望远镜观测。

国家/组织	标准号	标准名称	方法原理描述	读数精度	特点
美国	ASTM D7520-16	Standard Test Method for Determining the Opacity of a Plume in the Outdoor Ambient Atmosphere	ASTM 美国材料实验协会 (American Society of Testing Materials) 在 2009 年发布了 ASTM D7520-09 标准, 其内容为 EPA Method 9 的相机拍照法, 利用相机拍照来代替肉眼识别烟气的透明度, 2012 年 EPA 认可了这种方法, ASTM 在 2016 年对该方法进行了更新。	5%不透明度	在 EPA Method 9 的基础上, 利用拍照手段进一步把烟气观测智能化、自动化, 但只针对透明度的观测, 与林格曼望远镜法观测烟气黑度有较大区别。

### 3.2 文献资料研究

标准编制组收集查阅了相关的文献资料, 林格曼望远镜观测烟气黑度的原理, 是根据通用标准大小的林格曼烟气浓度图 (210 mm×140 mm), 缩制在望远镜目镜焦面近处的分划板上, 也是按黑色条格面积占比形成标准林格曼黑度级, 有文献阐述望远镜林格曼黑度图缩制大小为 3.75 mm×2.5 mm 的五个黑度矩形网格小块, 每个小块中的网格密度相近, 线条的宽度不一, 其黑色条格在整个小块中所占面积的百分数为 1 级 (20%)、2 级 (40%)、3 级 (60%)、4 级 (80%)、5 级 (100%)、0 级由分划板的透明部分代替。观测者通过目镜将烟气目标与这五级网格黑度图块目测对比, 从而确定烟气黑度的标准等级<sup>[10,11]</sup>。

林格曼烟气黑度观测的天气条件、观测位置对观测结果影响很大。很多研究者认为应在白天进行观察, 并力求在比较均匀的天空照明下进行, 观测方向与风向尽量成直角, 在太阳光照射下观察, 避免正面光及背光, 尽量使照射光线与视线成直角<sup>[10-14]</sup>。也有研究阐述“林格曼望远镜观测烟气黑度, 最好阳光从背面来, 烟气流向与观测方向成直角, 背景值要求稳定”<sup>[15]</sup>。有研究指出“当天空光照良好时, 存在视线延长上正好有乌云的现象, 也不利于烟气黑度的测量。当太阳光线 (不是竖直向下) 与烟羽飘动方向成直角时, 很难保证视线与太阳光线和烟羽飘动方向成直角”<sup>[16]</sup>。

有研究阐述林格曼望远镜观测烟气, “目视检测精度 (包括视觉误差) 为误差小于 0.5 级”<sup>[11]</sup>。“如烟尘黑度处于 1 至 2 级之间时, 可估计到 1.25 级、1.5 级或 1.75 级黑度值后取平均值”, “在距离烟囱 50 m~300 m 远处观察, 通过光屏的透明部分看烟囱出口的烟, 并与标准林格曼浓度图相比较, 结果可接受”<sup>[12]</sup>。

有研究指出, 烟气黑度观测是以天空为背景, 林格曼图板以白色为背景 (HJ/T 398-2007 图板法), 造成视觉误差, 建议林格曼图板换成透明色, 或用底图透明的林格曼望远镜法<sup>[16]</sup>。

对于林格曼黑度级数计算取值, 有研究认为, 考虑到生火、吹灰、清炉等操作情况, 提出林格曼黑度级数计算取值按“时间加权平均”<sup>[14,16,17]</sup>。还有研究认为, “以瞬时最高值和一定时间内平均值加和平均”作为烟气黑度计算取值更合理<sup>[18]</sup>。

很多研究表明, 烟气黑度级别与“灰度”有显著的关系。在使用标准林格曼黑度图板时, 要求将图板放置在距离观察者足够远的地方, 直至观察者感觉黑白线条融合在一起, 图板呈现出均一灰色为止, 最终确定烟羽黑度级别的标准, 是图板呈现出的均一灰色, 而不是线条宽度和面积占比。姚文辉<sup>[10]</sup>等人研究发现, 不同的林格曼图板, 其表面光洁度及黑线条格

的色泽存在着一定的差异。测烟望远镜是以林格曼图原理为依据设计的，网格分划板采用照相镀铬复制工艺，在工艺要求上只要做到使林格曼图的黑线条达到纯黑就行。望远镜在使用时，应将镜头对准目标（烟囱口），调节目镜使分划板上的林格曼图刚好模糊呈现一片灰色，调好工作距离使烟气图像清晰地落在分划视场内，通过目视比色确定烟气的黑度等级，测试结果的一致性很好。姚文辉等人还认为，烟气黑度的来源是大量烟尘微粒的各种密度分布造成烟气对天空背景的不同情况挡光。测烟望远镜内的透光黑度图板是以天空作为背景，烟气的黑度由无数的烟尘微粒密布造成，而网格黑度是靠纵横交叉的黑线条格弥散来实现，两者在本质上是一致的。所以测烟望远镜在应用方面比纸质的林格曼黑度图板符合烟气的实际情况。

鄢圣藜<sup>[19]</sup>等人发明了一种环保烟尘无组织排放视频监控黑度分析系统，将灰度值转化为林格曼黑度值，见表 5。

烟气黑度的读数，由于观察者在经验和主观判断上存在着一定的差异，这种个体之间的差异必然对观测精度有一定的影响。有研究表明，未经训练的观察人员之间有 0.5~0.6 林格曼级数的差别，经过训练的观察人员之间有 0.28~0.32 林格曼级数的差别<sup>[13]</sup>。国外现场观察的统计资料也表明，熟练的观察人员读数之间一般不超过 0.5 林格曼级数，较好的情况下，不超过 0.25 林格曼级数<sup>[20]</sup>。因此，对观测人员进行系统的培训是十分必要的。

表 5 林格曼黑度级数与计算机图像灰度值对照关系<sup>[19]</sup>

林格曼级数	烟气外观特点	计算机图像灰度
0	全白	229~255
1	微灰	179~229
2	灰	108~178
3	深灰	77~107
4	灰黑	26~76
5	全黑	0~25

有学者对光电法定测定烟气黑度进行研究。孙鹏等人认为用目视法定测定烟气的黑度取决于观察者的判断力，而光电测烟仪是一种能够在仪器的内部定标，自动测定烟气黑度等级的仪器，该仪器可直接显示数据，可以排除人的主观判断和外界因素的影响。缺点是该仪器要以晴朗的天空为背景，在阴霾和多云或云层薄厚不匀的天气条件下，干扰较大，测量效果较差<sup>[14]</sup>。有些研究利用计算机智能化和图像识别技术，综合运用图像采集、数字图像处理及模式识别等手段，实现烟气黑度自动监测<sup>[21-24]</sup>，但限于特定天气条件的烟气黑度监测，具有很大的局限性。孔繁国等人的研究表明，利用光电测烟望远镜可以为黑烟车电子抓拍系统搭建量值溯源链<sup>[24-28]</sup>。

由于烟气黑度自动监测涉及计算机智能图像信息处理技术和图像信息识别技术、林格曼黑度图的等效量化算法、软件系统的选择等多学科内容，技术可行性有待考证，本标准仅限于林格曼望远镜法目视观测烟气黑度的研究。如今后工作需要，可进一步研究自动测定烟气黑度技术可行性、与传统林格曼黑度的可比性，为今后自动化监测提供更加科学智能的方法。

## 4 标准制订的基本原则和技术路线

### 4.1 标准制订的基本原则

按《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）要求制定本标准，本着重点突出，内容准确，数据真实，言简意赅，方法可操作性强的原则制定本标准。

（1）本方法的测定和适用范围满足相关环保标准和环保工作的要求。

按照《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）要求进行方法测定范围和适用范围的研究，以满足相关环境保护排放标准的要求。

（2）本方法力求准确可靠，满足方法特性指标的要求。

通过组织多人现场观测，利用“模拟标准烟羽图板”开展方法比对实验，确保方法精密度和正确度能够满足方法特性指标的要求。

（3）本方法制定的原则力求制定规范，简便易懂，切实可行。

在对相关方法标准和技术资料调查研究的基础上，既考虑方法的科学性，又考虑现实的实用有效性和可操作性；既考虑遵循统一的国家标准，又考虑方法本身的特点。力求制定规范，简便易懂，切实可行。

（4）本方法具有普遍适用性，易于推广使用。

本标准结合了现有烟气黑度观测方法和国内林格曼黑度望远镜产品生产现状及国内监测机构能力现状，制订的林格曼黑度望远镜的观测方法，能适应我国环境监测及相关实验室的仪器设备、技术能力，易于推广使用。

## 4.2 标准制订的技术路线

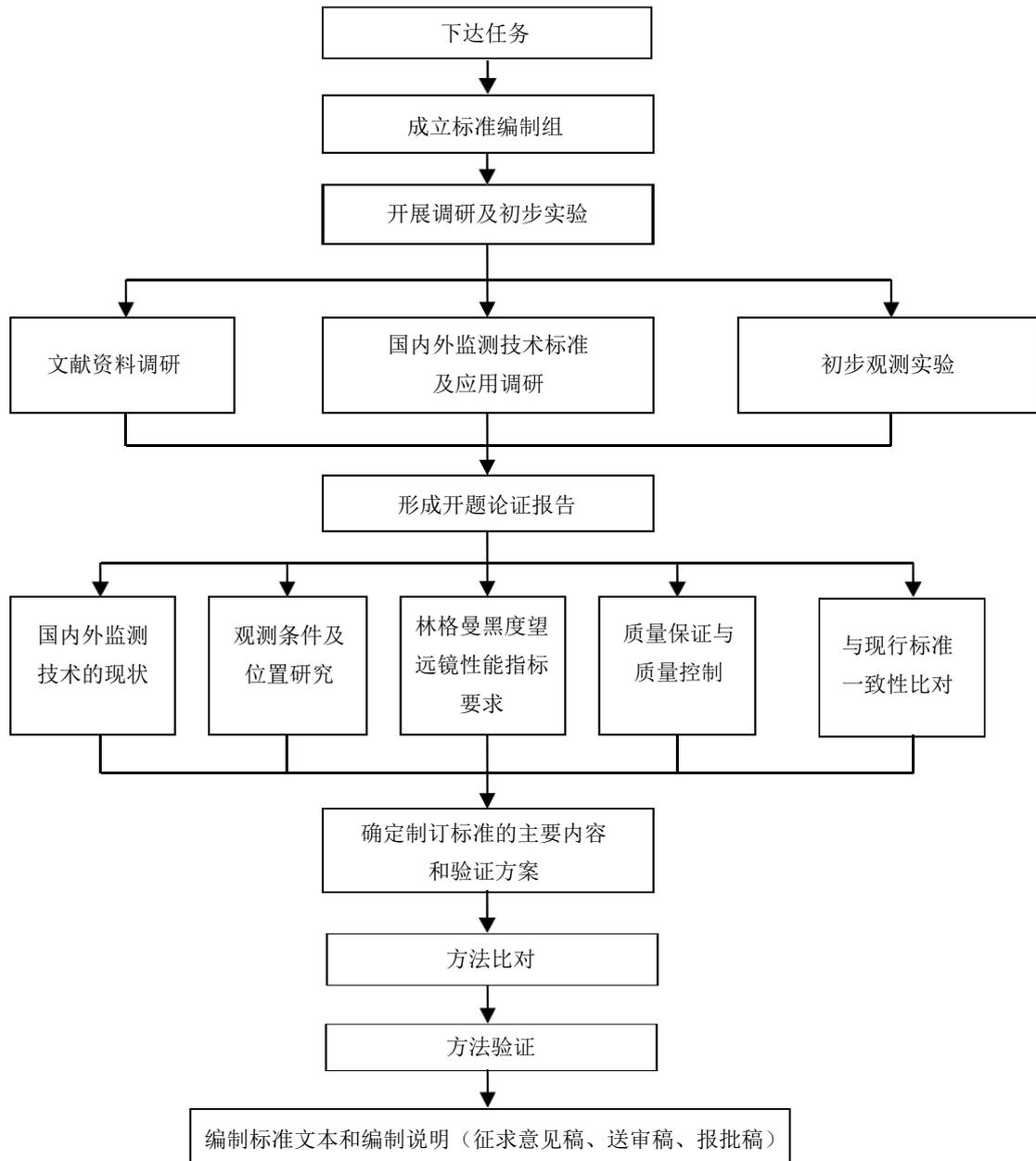


图1 技术路线图

## 5 方法研究报告

### 5.1 方法研究的目标

- (1) 研究建立适用于污染源废气排放烟气黑度林格曼望远镜观测方法；
- (2) 标准内容包含适用范围、观测位置、观测条件及观测步骤、结果统计与表示、林格曼望远镜关键技术性能指标、质量保证和质量控制、注意事项等；
- (3) 利用“模拟标准烟羽图板”观测实验，通过类似原理方法观测比对实验，确保方法精密度和正确度能够满足相关标准的要求。

### 5.2 术语和定义

本标准规定了四个术语定义，为烟羽、烟气黑度、林格曼黑度级数、望远镜林格曼烟气黑度图。其中“烟羽”、“林格曼黑度级数”引用 HJ/T 398-2007 标准的相关术语定义，“烟气黑度”引自 HJ/T 398-2007 标准编制说明。

关于术语“望远镜林格曼烟气黑度图”定义说明：镶嵌在望远镜内的林格曼烟气黑度图是本方法确定烟气黑度的判断标准，林格曼黑度图缩制在望远镜分划面（林格曼黑度图玻璃板）上，为区别于标准形式的林格曼烟气黑度图，将望远镜内置的林格曼黑度图定义为“望远镜林格曼烟气黑度图”，并在“注”中对内置的林格曼黑度图缩制效果提出要求，观测时，目视内置林格曼黑度网格图应呈均匀灰度，而不是清晰网格。林格曼黑度望远镜是本方法中重要的观测仪器设备，是采用内置望远镜林格曼黑度图技术，具有能够使观察到的烟羽与内置的望远镜林格曼烟气黑度图在同一视场的望远镜。

### 5.3 方法原理

利用林格曼黑度望远镜在适当的位置观测烟羽，将通过望远镜目视观察到的烟羽黑度与内置望远镜林格曼黑度图上的黑度相比较，确定烟气林格曼黑度等级。

林格曼黑度望远镜光学原理见图 2。

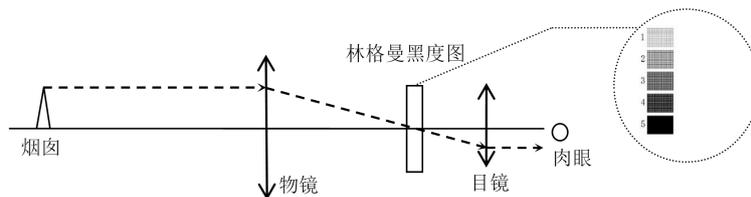


图 2 林格曼黑度望远镜光学原理图

### 5.4 仪器和设备

#### 5.4.1 林格曼黑度望远镜调研情况

为确定林格曼黑度望远镜的技术指标要求，对目前市场上的林格曼黑度望远镜进行了调研。通过市场调研和检测机构使用情况调查，林格曼黑度望远镜属于“小众”产品，生产销售公司大约十几家，主要集中在苏州、青岛、北京、温州等地，大多数属于销售公司，实际

生产厂家不多，各公司的产品原理基本相同，技术参数略有不同，林格曼黑度望远镜调研情况汇总见表 6。

表 6 林格曼黑度望远镜调研情况汇总表

序号	名称及型号	特点	技术参数(说明书)	样例
1	手持式林格曼测烟望远镜 (QT201 等)	最基础款，简单手持式，便于携带，分为单筒和双筒。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 望远镜视角放大率 10 倍</li> <li>2. 望远镜观测距离 10 m~500 m</li> <li>3. 物镜通光孔径 45 mm、50 mm</li> <li>4. 林格曼黑度等级 0~5 级</li> <li>5. 分划面摄像倍率 2 倍</li> <li>6. 规格尺寸：约 240 mm×Φ65 mm</li> </ol>	
2	通用数码测烟望远镜 (QT203A 等)	基础增强款，可连接数码相机或手机，直接拍照或录制视频。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 望远镜视角放大率 10、15 倍</li> <li>2. 望远镜观测距离 10 m~1000 m</li> <li>3. 物镜通光孔径 50 mm、70 mm</li> <li>4. 林格曼黑度等级 0~5 级</li> <li>5. 分划面摄像倍率 2 倍</li> <li>6. 规格尺寸：约 450 mm×Φ85 mm</li> </ol>	
3	大孔径数码测烟望远镜 (JCP-LGM 等)	通光孔径较大，观测距离较远，清晰度高，须搭配三脚架使用。可连接数码相机或手机。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 望远镜视角放大率 15 倍</li> <li>2. 望远镜观测距离 10 m~2000 m</li> <li>3. 物镜通光孔径 80 mm</li> <li>4. 林格曼黑度等级 0~5 级</li> <li>5. 分划面摄像倍率 2 倍</li> <li>6. 规格尺寸：约 600 mm×Φ105 mm</li> </ol>	
4	超大孔径林格曼测烟望远镜	放大率更大，通光孔径更大，观测距离更远，体积大，不便携带，造价高、像质低。必须搭配三脚架使用。可连接数码相机或手机。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 视角放大率 20~25 倍</li> <li>2. 可观测距离 10 m~3000 m</li> <li>3. 物镜通光孔径 90 mm</li> <li>4. 林格曼黑度等级 0~5 级</li> <li>5. 分划面摄像倍率 2 倍</li> <li>6. 误差不大于 0.5 级</li> <li>7. 规格尺寸：≥700 mm×Φ105 mm</li> </ol>	

经市场调研，林格曼黑度望远镜按结构分为双目镜和单目镜（就是我们常说的双筒望远镜和单筒望远镜），按大小分为手持式测烟望远镜、通用数码测烟望远镜、大孔径林格曼望远镜。不同林格曼黑度望远镜，主要在视角放大率和物镜通光孔径技术指标及规格尺寸上有所不同，视角放大率（放大倍数）有 10 倍、15 倍及 20~25 倍等，物镜通光孔径在 45 mm~90 mm 之间。手持式测烟望远镜，小巧便携，物镜通光孔径较小。通用数码测烟望远镜，放大倍数在 10 倍、15 倍，物镜通光孔径有 50 mm、70 mm，可手持也可配三脚架使用，市场常见。大孔径和超大孔径测烟望远镜，放大率大，观测距离远，需搭配三脚架使用，造价较高，不便携带，放大倍数多在 15 倍以上，物镜通光孔径有 80 mm、90 mm。一般情况通光孔径大，光通量大，放大倍数可以做得大，成像明亮清晰，观看时眼睛舒适，但超大的倍数容易影响成像质量。所谓“数码”测烟望远镜，就是可在望远镜目镜前连接数码相机或手机，配有数码相机或手机转接支架，可拍摄烟羽黑度对比图片，但实际工作中多种因素影响，

拍照的照片效果较差。

上个世纪末，早期生产的林格曼望远镜做工粗糙，内部缩制的林格曼黑度图，黑色线条不实，网格稀疏，观测效果不能满足观测林格曼黑度图技术要求。近年，随着蚀刻（刻蚀）及光刻技术的发展，望远镜林格曼黑度图刻制水平得到提升，目前，市场常见的林格曼望远镜内置的林格曼黑度图能够满足林格曼黑度图原理黑色条格占比要求，观测时目视效果基本能达到均匀灰度效果的要求，不同望远镜林格曼黑度图目视效果见图 3。

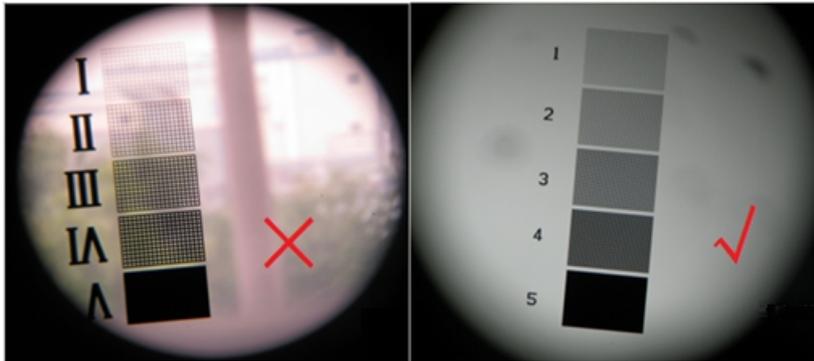


图 3 林格曼望远镜黑度图目视效果

通光孔径 45 mm 的测烟望远镜观测视场小，观看时易造成视觉疲劳，目前市场上很少见。物镜通光孔径在 90 mm 以上测烟望远镜，由于体积大、造价高，实际观测中很少使用。本标准观测实验主要选用了三种不同规格型号的林格曼黑度望远镜，分别为放大倍数为 10 倍、通光孔径 50 mm 单筒测烟望远镜；放大倍数为 15 倍、通光孔径为 70 mm 或 80 mm 单筒测烟望远镜；放大倍数为 10 倍、通光孔径 60 mm 双筒测烟望远镜。

#### 5.4.2 林格曼黑度望远镜的性能指标要求

通过对林格曼黑度望远镜的市场调查，及对望远镜技术性能指标的分析，结合观测实验研究，对林格曼黑度望远镜三个关键性技术指标进行了规定，一是望远镜视角放大率 7~15 倍，二是望远镜物镜通光孔径 $\geq 50$  mm，三是内置的望远镜林格曼黑度图制作误差 $\leq 0.2$  级（林格曼黑度级）。

望远镜视角放大率（放大倍数）是望远镜非常重要的技术参数，是指被观察物体经望远镜光学系统所成像对眼睛的张角与眼睛直接观察物体时对眼睛张角的放大比例，简单说望远镜的放大率是将远方的物体“拉近”的倍率。望远镜放大倍数与物镜通光孔径相关，放大倍数高有利于观察远处物体的细节，放大倍数低不利于远距离观测，放大倍数也不宜太高，孔径相同，倍数越高，观测视场就越小，可以观察到的物体范围变小，观测效果反而下降。放大倍数太大，不宜稳定，手持式望远镜倍数超过 10 倍易产生晃动，不利于观察，眼睛容易疲劳，固定式望远镜倍数太大也会因为“风吹草动”引起震动。通过实际观测及对实验室黑度望远镜使用情况调查，目前使用的林格曼黑度望远镜放大倍数多在 10 倍左右，观测使用效果适宜。经资料调研，放大倍数 7 倍的常规望远镜也很常见，观察 1000 m 距离的物体清晰度是不存在问题的，只是目前市场上放大倍数 7 倍的林格曼黑度望远镜很少。兼顾不同高度烟囱的观测，考虑观测设备性价比，通过实际观测效果及分析，放大倍数 7 倍至 15 倍的

林格曼望远镜完全可以满足烟气黑度的观测距离需求。

物镜通光孔径代表望远镜收集光线的能力，物镜通光孔径小时，限制望远镜光学系统的光通量，影响望远镜的观察性能，物镜通光孔径大时，能够提供更好的观察能力，被观察物体的明暗对比更加突出，适应更加复杂的观察条件，但是往往会提高望远镜光学系统的复杂度，增加光学系统的体积、重量、制造成本等。望远镜放大倍数与物镜通光孔径有很大的关系，物镜通光孔径与望远镜放大倍数相匹配即可，通过资料调研和观测实验，规定了望远镜物镜通光孔径 $\geq 50$  mm。

内置的望远镜林格曼黑度图是林格曼黑度望远镜最为关键部件，缩制在望远镜目镜近处的分划面上，是观测结果的判断依据，望远镜林格曼黑度图是基于标准林格曼黑度图原理，按照林格曼图的网格黑色线条面积占比要求制作的。目前，无论是“标准林格曼黑度图板”还是“望远镜林格曼黑度图”，相关标准中均未对其制作误差提出要求，实际工作中存在校准了林格曼黑度图（黑色线条面积占比），也无法判断是否合格的问题。为解决此问题，根据林格曼黑度望远镜观测要求、校准方法及制作工艺水平，本标准规定望远镜林格曼黑度图制作误差 $\leq 0.2$ 级（林格曼黑度级），满足观测的方法估读0.5级的要求，通过调研，现有的制作工艺技术水平完全可以达到要求。

同时，根据资料调研及实际观测情况，规定林格曼黑度图应缩制在望远镜分划面上一侧，林格曼黑度网格图像面积占分划面视场面积约1/3。分划面摄像倍率是为了便于拍照分划面上呈现的成像设置的指标，指相对成像的大小，与物镜的大小相关，一般为2倍，考虑到制作过程可能出现偏离，规定分划面摄像倍率为1.5~2.5倍。

对望远镜林格曼黑度图误差计算方法在附录A“望远镜林格曼黑度图误差计算方法”中进行了叙述，误差计算参考了河北省质量技术监督局发布的《林格曼烟气黑度望远镜校准规范》（JJF（冀）144-2018）<sup>[29]</sup>。

除此以外，对于望远镜光学性能指标和结构性能指标（如允差等），“《双目望远镜》（GB/T 17117-2008）<sup>[30]</sup>、《双筒望远镜检验规则》（GB/T 18312-2015）（也适用单筒望远镜）<sup>[31]</sup>”均有要求，此类性能指标非本方法研究内容，保证符合望远镜产品相关质量要求即可。



图4 使用不同类型的林格曼望远镜观测烟气黑度

### 5.4.3 不同型号林格曼黑度望远镜比对观测实验

为研究不同类型林格曼黑度望远镜之间的差异，选用了 QT201、QT201A、QT203A 等五种不同型号的林格曼黑度望远镜，对“模拟 3 级标准烟羽图板”进行了观测实验（“模拟标准烟羽图板”的制作见 6.1.2）。观测结果表明，这五种型号的林格曼黑度望远镜的观测结果无明显区别。

表 7 不同林格曼黑度望远镜比对观测实验 单位：林格曼黑度，级

仪器名称及型号	QT201 型林格曼测烟望远镜	QT201A 型照相计时测烟望远镜	QT203A 型数码测烟望远镜	JCP-LGM 豪华型测烟望远镜	LB-803 型手持式双筒测烟望远镜
观测员 1	3	3	3	3	3
观测员 2	3	3	3	3	3
观测员 3	3	3	3	3	3.5
观测员 4	3	3	3	3.5	3
观测员 5	3	3	3	3	3

## 5.5 观测方法

### 5.5.1 天气条件研究

为了获得准确、可靠的观测结果，观测的天气条件及观测位置极为重要，通过资料研究和现场观测实验，确定本方法观测天气条件为“观测应在光照充足的白天进行，雨雪天、雾天、严重阴霾天及风速大于 4.5 m/s 时不应进行观测”。

天空光线的均匀性和亮度（照度）对观测烟羽颜色有较大影响，自然光源的代表太阳光在一天中各时段的光谱不尽相同，在天气晴至少云时，上午 10 点至下午 2 点之间的太阳光，光谱最均匀，照度值最大，最有利于观测烟羽颜色。一般情况晴天室外照度值随时间变化呈抛物线状，中午时间段最大，日出日落最小，8 点~16 点之间照度在最大值 45% 以上，这个时间段的亮度（照度）也适合观测，由于不同地理位置、不同季节照度值及地方时间均存在差异性，不适宜采用时间段确定观测光线条件，宏观规定了“观测应在光照充足的白天进行”。

雨雪天、雾天、严重阴霾天等能见度较低的情况，天空光线变得很弱，不适合进行观测。阴天的情况比较复杂一些，气象学一般以天空云量来描述天空状况，分晴天、少云、多云、阴天四种情况。晴天：天空无云，或有中、低云量不到 1 成，高云量在 4 成以下。少云：天空中有 1 成~3 成的中、低云层，或有 4 成~5 成的高云。多云：天空中有 4 成~7 成的中、低云层，或有 6 成~10 成的高云。阴天：天空阴暗，密布云层，或稍有云隙，而仍感到阴暗<sup>[32]</sup>。气象学指的阴天和我们生活中说的阴天略有差异，一般生活中不论云层高低、薄厚，看不到太阳常常也被称为阴天，如若云层高且薄，即便 10 成的云，遮住太阳，阳光照射云层形成太阳散色光，太阳散色光不像直射光那样使物体形成阴影，太阳散色光没有方向，具

有一定的照度能力，从光线均匀度角度，更适于进行烟羽观测<sup>[33]</sup>。如像上述气象学描述的阴天，密布云层、天空阴暗，尤其是出现积雨云，云底阴暗（如图 5），这种严重阴天不应进行观测。

风速大于 4.5 m/s 时，污染物扩散较快，受风力影响易形成不规则不稳定烟羽，不易选择观测位置，且影响观测人员正常观测。



图 5 晴天和阴天下某电厂烟气黑度的观测

### 5.5.2 观测距离和观测位置研究

观测距离研究，利用林格曼望远镜观测烟羽，观测距离选择较之 HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法有很大的优势，林格曼黑度图板法只提到“满足观测清晰”，没有给出适宜距离，本标准通过资料调研和现场观测实验，给出“观测距离一般在 30 m~1000 m 为宜，应确保清晰观察到烟气的排放情况”，同时要求“观测烟羽视野范围内无障碍物阻挡，观测仰视角一般不大于 45°”。给出的观测距离是指一般情况下适宜的观测距离，林格曼望远镜由于内置林格曼黑度图，免去林格曼图板放置问题，理论上讲，只要是视野范围内无障碍物阻挡视线，望远镜视角放大率足够大，观测距离远近对观测结果影响不大。但实际上望远镜视角放大率不宜太大，本标准提到的观测距离是观测者距烟囱距离，不是望远镜能够观看的极限距离，它与排气烟囱高度有关，例如一般规模火电厂排气烟囱高达 200 m，为保证观测仰视角不大于 45°，其观测距离不能小于 200 m。标准编制组用林格曼望远镜，在距某火电厂烟囱 300 m、500 m、1000 m 位置进行观测实验，现场观测实验表明，在保证观测仰视角不大于 45°，不同观测距离对观测结果影响不大。实际观测中，对于高度较低的烟囱，观测距离超过 1000 m 存在易受到障碍物阻挡视线问题。

为研究观测距离对观测烟气黑度的影响，标准编制组用林格曼望远镜在不同观测距离观测“模拟 3 级标准烟羽图板”（“模拟标准烟羽图板”的制作见 6.1.2），结果表明，不同观测距离对观测结果影响不大。

表 8 不同观测距离对黑度观测结果的影响研究

单位：林格曼黑度，级

距离	50 m	100 m	200 m	300 m
观测员 1	3	3	3	3
观测员 2	3	3	3	3
观测员 3	3	3	3	3
观测员 4	3	3	3.5	3
观测员 5	3	3	3	3
观测员 6	3	3	3	3.5
观测员 7	3	3	3	3
观测员 8	3	3.5	3	3
观测员 9	3	3	3	3
观测员 10	3	3	3	3

很多研究资料 and 实际观测工作经验均表明，观测者视线与阳光照射、烟羽飘动方向的角度，对观测结果有明显影响，HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法中对观测角度的要求是尽量与烟羽飘动的方向垂直，并尽量使照射光线与视角成直角，光线不应来自观察者的前方或后方。美国 EPA 方法 9 中对烟气不透光度观测角度的要求是“太阳应在观测者背后的 140° 角范围内”。标准编制组对某电厂烟囱不同时段不同太阳光线角度进行了观测实验，通过林格曼望远镜实际观测实验，光线来自观察者的前方，观察到烟羽背光部位，会形成较深阴影，对观测有较大影响。一般情况，观测者视线与烟羽飘动方向垂直，太阳照射光线与视角成直角，则太阳照射光线与烟羽飘动方向平行，此时太阳照射光线也会对烟羽产生忽明忽暗的影响。实际观测也表明，太阳在观测者背后的 140° 角范围内，能够消除太阳照射光线产生的背光阴影影响。由于林格曼望远镜内置林格曼黑度图，避免了光线来自观察者后方对“林格曼黑度图板”的观察影响。因此，本标准规定观测时太阳位置宜在观测者背后的 140° 角范围内（见图 6）。

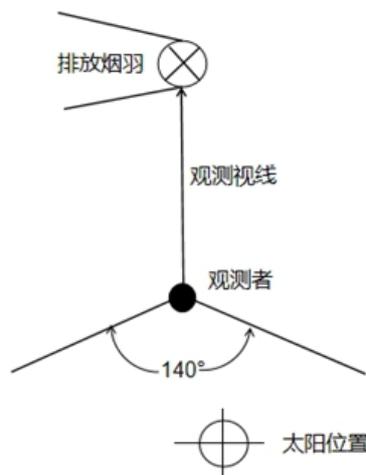


图 6 观测视线与太阳位置



图7 不同观测角度对烟气黑度观测的影响

除此之外,在本标准注意事项中阐述了观测时还应注意避免望远镜林格曼黑度图和烟羽重叠。由于望远镜中内置林格曼的图是透光的,所以在观测过程中,林格曼黑度图和烟羽不得重叠,应位于烟羽侧方,应使林格曼黑度图和烟气的背景保持一致。

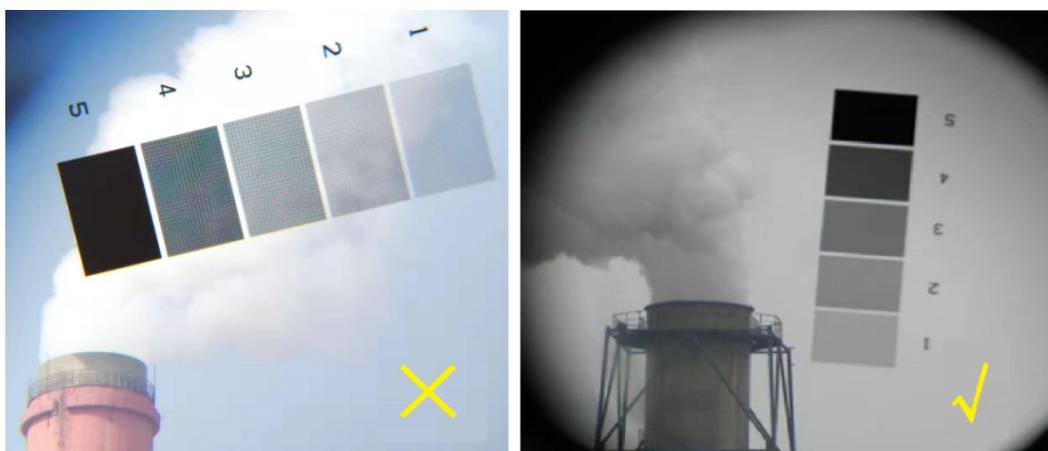


图8 观测过程中林格曼黑度图的位置

关于混有冷凝水蒸气的烟气黑度观测的问题,“HJ398 图板法”给出明确的说法与上个世纪八十年代相关文献中描述一致,即“当烟囱出口处的烟气中有可见的冷凝水汽存在时,可选择在离开烟囱口一段距离,看不到水汽的部位观测;当烟气在离开烟囱出口的一段距离后产生冷凝水汽,此时选择在烟囱口附近尚未形成冷凝水汽的部位观测”。

实际观测中“离开烟囱口一段距离,看不到水汽的部位观测”操作性很差,只适用早期小型燃煤锅炉,烟羽中凝结水滴含量较少的情况。目前国内绝大多数燃煤电厂的烟气在排放前都进行了湿法脱硫,烟气通常是饱和湿烟气,如果直接排放,通常会在传输过程中发生水

汽凝结形成湿烟羽现象。其产生的原理是烟囱排出的饱和湿烟气与温度较低的环境空气接触时，在烟气降温过程中，烟气中所含水蒸汽过饱和凝结，凝结水滴对光线产生折射、散射，从而使烟羽呈现出白色，称其为白色烟羽，俗称“大白烟”。湿烟羽中水滴消失或者含量降低到不可见的距离为湿烟羽飘散的最大长度，湿烟羽的长度一般在几十米至数百米之间。烟羽的严重程度与环境温度、环境相对湿度、排烟温度和烟气流速关系明显，与湿烟羽中凝结水滴的含量密切相关，湿烟羽中的凝结水滴含量大，水滴再次蒸发消失的时间延长，湿烟羽的飘散距离增大。综上所述，类似电厂湿烟气排放，很难界定烟气黑度的具体观测位置，一般情况，只要按标准规定的观测条件及观测位置，观测到湿烟气呈现出“大白烟”通常其烟气黑度小于1级。因为冷凝水汽对烟气黑度观测具有负干扰，如果观测到的湿烟气任何部位呈现黑色或深灰色（排除光线影响），可以通过黑度观测方法判断其烟气黑度。

因此，标准中规定“观测混有冷凝水汽的烟气，当烟囱出口处的烟气中有可见的冷凝水汽存在时，可选择在离开烟囱口一段距离看不到水汽的部位或烟羽颜色最深的部位观测；当烟气在离开烟囱出口的一段距离后产生冷凝水汽，此时选择在烟囱口附近尚未形成冷凝水汽的部位观测。”



图9 有水汽的烟气观测位置的选取

### 5.5.3 观测步骤

根据观测的烟囱高度、烟羽飘动方向及阳光照射方向选择合适的观测位置，满足观测位置和观测条件要求。将林格曼黑度望远镜的镜头，对准烟囱出口被测烟羽，调节目镜焦距，使分划面上的林格曼黑度图每个方块呈现均匀的灰度，观察到的烟羽在林格曼黑度图侧方清晰成像。将通过林格曼黑度望远镜观察到的烟气与望远镜林格曼黑度图进行比较，记下烟气的林格曼黑度级数。

关于观测时间和频次的内容，相关排放标准均未规定，本方法与 HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法原理类似，观测对象相同，考虑到标准衔接及结果可比性，经过标准编制组的多次研讨，确定为与 HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法保持一致。连续观测 30 min，一般情况每分钟观测 4 次，每 15 s 观测一次。对于烟气排放稳定的污染源，可减少观测频次，每分钟观测 2 次，每 30 s 观测一次。关于排放稳定的污染源可以理解为观测时段烟气黑度基本无变化，如实际工作中，多数满足烟尘超低排放标准的排放源，其烟气黑度观测结果均 $\leq 1$ 级。

烟气黑度处于两个林格曼黑度级数之间，估读值与 HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法规定有所不同，本标准规定估读到 0.5 林格曼黑度级数，而没有采用估读到 0.25 林格曼黑度级数，根据对观测实验人员调查，大多数观测人员很难准确判断 0.25 林格曼黑度级数，0.5 林格曼黑度级数已经是估读的数值，因为烟气黑度观测结果用“出现某一级及以上林格曼黑度的累积时间”统计表示，估读到 0.5 或 0.25 林格曼黑度级数对观测结果无影响。

标准编制组对用数码相机拍照作为原始观测记录的必要性及可行性进行了研究。目前，市场上林格曼望远镜大多配有数码相机或手机及专用接口，可以拍照观测结果，保留结果。实际使用过程中发现，配备专用接口的数码相机或手机连接林格曼黑度望远镜，通过数码相机或手机的显示屏观测烟羽，很难保证烟羽像面的清晰观测，与直接用林格曼望远镜观测烟羽存在明显差异。一些配有万能接口适于手机拍照的林格曼黑度望远镜，存在漏光、反光、焦距难调等拍照问题，不同品牌、不同型号的拍照设备及不同的天空光线，拍照效果存在很大的色差，不同打印机显示出的照片效果也存在不同程度的色差，拍照的林格曼黑度与烟羽黑度照片不能作为烟气黑度的判断依据，且 <1 级林格曼黑度的情况下拍照意义不大。但现场观测时，保留现场观测的照片或视频，在一定程度上能客观反映烟气黑度观测的现场情况，作为现场观测的佐证材料，具有一定意义。因此，经过多次讨论研究，本标准中保留了拍照记录的要求，规定“观测结果  $\geq 1$  级林格曼黑度时，需用拍照或录视频等手段记录观测过程，至少留取一张观测过程照片作为佐证材料保存”。

## 5.6 现场观测记录

本标准方法属于感官法，现场目视观测，观测记录内容完整、信息充分尤显重要。标准中规定了观测记录内容和观测结果记录要求。标准编制组结合多年的实际观测工作，在 HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法观测记录的基础上，增加排放源名称、烟囱编号、林格曼黑度望远镜观测设备信息，确保观测记录信息充分。

观测结果记录要求，每次观测记录一个读数，连续观测 30 min，一般情况每 15 s 记录一个读数，进行 120 次观测，记录 120 个读数。对于烟气排放稳定的污染源，每 30 s 记录一个读数，进行 60 次观测，记录 60 个读数。每个读数都应反映观测时段内烟气黑度的平均值，观测结束记录观测值的累计次数及累计时间。

表 9 林格曼望远镜烟气黑度观测记录

被测单位					观测日期	
排放源名称					净化设施	
仪器名称型号及编号	_____型林格曼黑度望远镜				烟囱编号	
分 \ 秒	0	15	30	45	<p style="text-align: center;"><b>观测点位置与观测条件</b></p> 烟囱距离：___ m； 烟囱高度：___ m；风 向：_____； 风 速：_____m/s； 观测位置经纬度：_____。 天气状况： <input type="checkbox"/> 晴朗 <input type="checkbox"/> 少云 <input type="checkbox"/> 多云 <input type="checkbox"/> 阴天 烟羽背景： <input type="checkbox"/> 无云 <input type="checkbox"/> 薄云 <input type="checkbox"/> 白云 <input type="checkbox"/> 灰云 烟囱、太阳和观测人员相对位置示意图  备注：	
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14					<p style="text-align: center;"><b>观测值累计次数及时间</b></p> 观测开始时间：___时___分； 观测结束时间：___时___分。  5 级：___次 累计时间___分钟； ≥4 级：___次 累计时间___分钟； ≥3 级：___次 累计时间___分钟； ≥2 级：___次 累计时间___分钟； ≥1 级：___次 累计时间___分钟； <1 级：___次 累计时间___分钟。  <p style="text-align: center;"><b>观测结果</b></p> 烟气黑度（林格曼黑度级）：_____	
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
观测方法依据：						
观测人：			复核人：			

## 5.7 结果计算与表示

本标准方法与现行的 HJ/T 398-2007 林格曼黑度图板法同属于感官目视法，只是用于观测比对的林格曼黑度图装置不同，观测对象是同样的烟羽，为保证观测结果的可比性，本标准方法观测结果统计与结果表示规定基本与“图板法”保持一致，结果表示与观测描述采用了表格形式（见表 10），更加清晰、简明，便于使用。

在结果表示中，以“注”形式增加了特殊情况下的结果表示要求，“如遇特殊情况”可理解为用于判断超标与否为目的执法监测或监督监测，或由于排放源工况等原因无法观测 30 min 时长的情况。为便于特殊情况下观测，体现本方法的快捷、简便易行的优势，规定了如遇特殊情况，观测时长不足 30 min，且出现 N 级及以上林格曼黑度的累积时间 $\geq 2$  min 时，观测结果可表示为“ $\geq$ 林格曼黑度 N 级”。例如，监测某烟囱烟气黑度是否超标，观测 5 min，出现 2 级林格曼黑度级累计时间超过 2 min，其观测结果可表示为 $\geq$ 林格曼黑度 2 级，可判断烟气黑度超过标准限值 1 级（林格曼黑度级）。若要得到确切的林格曼黑度级观测结果，还需连续观测 30 min。

表 10 烟气黑度结果表示与观测描述

序号	结果表示	烟气黑度观测描述
1	林格曼黑度 5 级	30 min 内出现 5 级林格曼黑度时
2	林格曼黑度 4 级	30 min 内出现 4 级及以上林格曼黑度的累积时间 $\geq 2$ min 时
3	林格曼黑度 3 级	30 min 内出现 3 级及以上林格曼黑度的累积时间 $\geq 2$ min 时
4	林格曼黑度 2 级	30 min 内出现 2 级及以上林格曼黑度的累积时间 $\geq 2$ min 时
5	林格曼黑度 1 级	30 min 内出现 1 级及以上林格曼黑度的累积时间 $\geq 2$ min 时
6	林格曼黑度 $<1$ 级	30 min 内出现小于 1 级林格曼黑度的累积时间 $\geq 28$ min 时

**注：**如遇特殊情况，观测时长不足 30min，且出现 N 级及以上林格曼黑度的累积时间 $\geq 2$  min 时，按表 10 顺序及观测描述，观测结果可表示为“ $\geq$ 林格曼黑度 N 级”。

## 5.8 质量保证和质量控制

### 5.8.1 观测人员

林格曼望远镜法观测烟气黑度，属于目视观测方法，观测人员的视力（含矫正视力）应在正常范围内。正常范围视力是指视力（含矫正视力）在标准化视力表 1.0 以上，对数视力表 5.0 以上。

观测人员须经过培训，掌握林格曼望远镜观测烟气黑度的基本知识，具有一定的观察力和判断能力。根据资料研究及观测实验表明未经训练的观测人员，辨别林格曼黑度级别的能力较差，其观测结果会存在 0.5~1 林格曼黑度级的差别。因此，对观测人员进行林格曼烟气黑度观测的培训是十分必要的。

### 5.8.2 观测仪器

林格曼黑度望远镜技术性能指标应达到本标准技术要求，望远镜林格曼烟气黑度图应定期溯源，其误差（ $\Delta_i$ ）应 $\leq 0.2$  林格曼黑度级。

望远镜林格曼黑度图的误差计算方法参照《林格曼烟气黑度望远镜校准规范》(JJF(冀)144-2018)示值误差的计算方法<sup>[29]</sup>,表示上略有调整。

示值误差的计算方法:

按公式(1)计算林格曼黑度等级  $K_i$ :

$$K_i = S_{i\text{黑}} \times 5 \quad (1)$$

式中:  $K_i$ —— $i$ 级林格曼黑度测量计算值,级;

$i$ ——1, 2, 3, 4, 5;

$S_{i\text{黑}}$ —— $i$ 级林格曼图黑格面积占比, %;

5——林格曼黑度等级转换系数。

对每个林格曼黑度级都按公式(1)计算,得到值  $K_i$ ,按公式(2)分别计算示值误差  $\Delta_i$ ,取其中最大的  $\Delta_i$ 作为示值误差。

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

式中:  $\Delta_i$ ——示值误差,级;

$i$ ——1, 2, 3, 4, 5;

$K_i$ —— $i$ 级林格曼黑度测量计算值,级;

$K_s$ ——林格曼黑度标准值,1~5级。

如:1级(林格曼黑度级)  $K_s$ 取值为1;2级(林格曼黑度级)  $K_s$ 取值为2,以此类推。

林格曼黑度望远镜光学性能指标和结构性能指标,应符合望远镜产品相关标准要求。对于望远镜本身产品的质量要求,《双目望远镜》(GB/T 17117-2008)标准规定了望远镜“光学性能”、“结构性能”、“环境适应性”、“清洁度和光学零件表面质量”及“外观”等要求<sup>[30]</sup>。林格曼黑度望远镜作为特殊专业的望远镜,满足专业的特殊要求同时,应符合望远镜产品相关标准要求。

### 5.8.3 注意事项

利用林格曼黑度望远镜观测烟气黑度时,避免望远镜林格曼黑度图和烟羽重叠。

观测混有冷凝水气的烟气,当烟囱出口处的烟气中有可见的冷凝水汽存在时,可选择在离开烟囱口一段距离看不到水汽的部位或烟羽颜色最深的部位观测;当烟气在离开烟囱出口的一段距离后产生冷凝水汽,此时选择在烟囱口附近尚未形成冷凝水汽的部位观测。

观测烟气黑度时,为避免视觉疲劳,观测人员每记录一个数据,需要将视线移出观测区,休息几秒后观测并记录下一个数据。

林格曼黑度望远镜属精密光学仪器,注意保护镜片表面不被沾污、擦伤,应定期维护保养妥善保管。

## 6 方法比对

### 6.1 方法比对方案

#### 6.1.1 方法比对方案

烟气黑度属于视觉感官指标,是通过对比的方式描述固定污染源烟气黑度排放情况。现行的《固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法》(HJ/T 398-2007),使

用的是标准形式的林格曼烟气黑度图板，是目前公认的经典方法标准。本标准方法原理也是基于林格曼烟气黑度图观测，其望远镜内置的林格曼烟气黑度图与标准形式的林格曼烟气黑度图板一致性程度验证，以及“望远镜法”和“图板法”的比对，是本标准研究的重点。

按照《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）的规定及开题论证会专家意见，标准编制组首先通过研究林格曼黑度图与灰度值的关系，制作出四个“模拟标准烟羽图板”，利用“模拟标准烟羽图板”开展方法比对实验，同时，选取了钢铁厂、火电厂的烟气和人为制造的黑烟，完善方法比对。具体方法比对方案流程见下图。

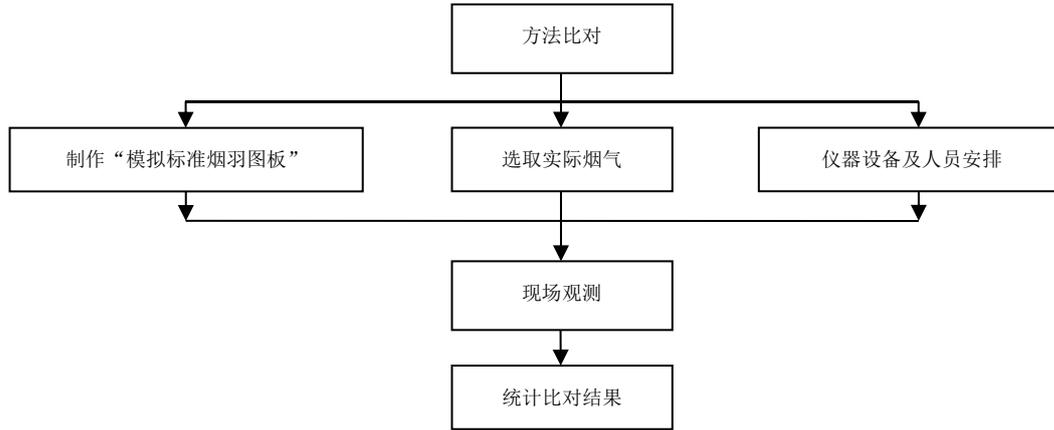


图 10 方法比对方案流程

### 6.1.2 “模拟标准烟羽图板”的制作

由于污染源烟尘排放的特性及现阶段较低的排放标准，目前，很难找到有明显黑烟且稳定排放的污染源，无法对观测者的精密度进行评判。直接通过望远镜观看标准林格曼黑度图，与望远镜内置林格曼图比较，判断二者的一致性，操作难度极大，因为要使望远镜观看视野内标准林格曼黑度图呈现出均一的灰度颜色，而不是黑色网格，几乎是做不到的。两种直接验证方法均存在不可操作性。

为解决上述问题，本标准开题报告中提出用“模拟标准烟羽图板”进行方法比对验证。按照 2019 年 12 月 26 日开题论证会专家意见，参照《感官分析 方法学 总论》（GB/T 10220-2012）<sup>[34]</sup>，进行了林格曼黑度与灰度值之间的关系研究，并制作了与标准林格曼黑度级相对应的“模拟标准烟羽图板”。

在使用标准林格曼黑度图板观测时，要求将图板放置在距离观察者足够远的地方（一般约为 15 m~20 m），直至观察者感觉黑白线条融合在一起，图板呈现出均一灰色为止。最终确定烟羽黑度级别的标准，是图板呈现出的那种均一灰色，而不是线条宽度和面积占比，每一级林格曼黑度，理论上必然存在一个单一颜色的灰度图形，与之对应。因此，可以利用对应每级标准林格曼图的灰色度，制成“模拟标准烟羽图板”，以此为基准进行方法比对及验证工作。

制作“模拟标准烟羽图板”时，由于没有资料确切表明每一级标准林格曼黑度图对应哪一个灰色，因此标准编制组研发了“观测筛选法”用于制作烟羽图板。其基本思路是：首先选取一个国际通用的色彩模式，然后在纯白至纯黑之间，以灰度值为依据，等间隔制作若干不同灰度图块，相邻图块之间的色彩差异要足够小（接近肉眼识别色差的视觉阈值），再将

上述灰度图块制成灰度图板与标准林格曼黑度图放在同一位置,按照标准林格曼黑度图的观测方法,同时观测标准林格曼黑度图和制作的灰度图板,记录下每一级标准林格曼黑度图呈现的颜色与灰度图板上哪一块灰度图相同。最终依据不同观测人员的观测结果,统计分析出最能代表大多数人感官的烟羽图板,作为与该林格曼黑度级对应的标准烟羽图板。

选取国际通用的色彩模式时,标准编制组首先选取了 Lab 模式。因为 Lab 色彩模式既不依赖光线,也不依赖于颜料,只是 CIE 组织确定的一个理论上包括了肉眼可以看见的所有色彩的色彩模式。该模式由国际照明委员会(CIE)在 1931 年制定,于 1976 年被改进并且命名,是一种用数字化的方法来描述人的视觉感应,既基于生理特征又与设备无关的颜色模式。Lab 色彩模式由三个要素组成,一个要素是亮度(L),另外两个是颜色通道(a 和 b)。L 用于表示像素的亮度,取值范围是[0, 100],表示从纯黑到纯白;a 表示从红色到绿色的范围,取值范围是[127, -128];b 表示从黄色到蓝色的范围,取值范围是[127, -128]。

按 Lab 色彩模式的定义可知,灰度是其 a、b 分量值均为 0 的情况下,用于表示亮度的 L 分量在 0(纯黑)~100(纯白)之间取值时显示的颜色。由于标准林格曼黑度图可以理解为将灰度(从全白至全黑)分为 6 个级别(0%、20%、40%、60%、80%、100%的黑格面积占比分别对应 0 级、1 级、2 级、3 级、4 级、5 级),因此按照 Lab 色彩模式的 L 分量取值规则,将(0~100 之间)每一个 L 值的灰度都再现出来,制成模拟灰度烟羽图,将其与标准林格曼图放在相同观测条件下进行观测,理论上必然能够找出一张在观测者看来,灰度颜色与标准林格曼图级别相同的模拟灰度烟羽图。

实际工作中,由于 Lab 色彩模式的信号值不能直接被工业设施识别(如显示器、照相机等都是基于 RGB 或 CMYK 模式的),所以必须经过专业软件转化后才能使用,其使用代价是必须要做至少两次非常复杂的非线性转换,会产生额外的计算误差。标准编制组为了避免上述不确定性,进一步选择了 L 分量定义一致,精密度更高,且能够被设施更好识别的 HSL 模式。该模式是一种将 RGB 色彩模式中的点在圆柱坐标系中表示的方法,同样将亮度定义为 L 分量,其取值范围是 0~255(即将纯黑至纯白之间的过度色划分为 255 个分量值),精密度高于 Lab 的 100 个分量值。

在综合考虑实验成本和精密度要求等因素的基础上,本次工作制作图板时,从 0 值开始,在 HSL 模式中每间隔 10 个 L 分量值制作一块图板(大约对应 Lab 中的 4 个 L 分量值),将纯白至纯黑之间划分为 24 个过度色图板(除去 0、255 纯黑和纯白)。通过实验人员观测确认,该图板精密度已经接近视觉极限,能够满足工作要求,并最大程度减少了研究成本。

为了便于观看识别,标准编制组按照上述原理制作了两种筛选图板,一种是每隔 10 个灰度值制作一个灰度图块,并进行编号,共 24 个灰度图块制作的图板。另一种是在 24 个灰度图块基础上取单数编号的 12 个灰度图块制作的图板。2020 年 5 月至 6 月,标准编制组分别在天津市和南京市利用标准林格曼黑度图板与制作好的灰度图板进行了观测比对、筛选研究。将制作好的灰度图板与标准林格曼黑度图板并排放置,观测人员站在满足标准林格曼黑度图板使用要求的条件下进行观测,比较判断与 1、2、3、4 级标准林格曼黑度图对应相似的灰度图块,每名观测人员每次读取 6 次,并记录图块编号,然后将图块编号转换为灰度值,将 6 次读数取平均,得出观测结果。



图 11 林格曼黑度与灰度值关系研究现场观测情况

通过对 149 人次的观测结果进行汇总统计，得出标准林格曼烟气黑度对应的灰度值见表 11。由表 11 可知，1 级、2 级、3 级、4 级标准林格曼黑度图对应的灰度平均值分别为 201、154、113、72。按照实验结果制作“模拟标准烟羽图板”（见图 12），进行方法精密度和方法比对实验。

表 11 烟气黑度与灰度值对应关系

观测人次	1 级标准林格曼黑度图	2 级标准林格曼黑度图	3 级标准林格曼黑度图	4 级标准林格曼黑度图	观测人次	1 级标准林格曼黑度图	2 级标准林格曼黑度图	3 级标准林格曼黑度图	4 级标准林格曼黑度图
1	212	168	114	64	76	196	124	96	64
2	192	152	116	84	77	212	164	102	62
3	212	176	127	83	78	202	144	106	60
4	206	160	122	84	79	204	162	114	70
5	212	168	124	88	80	210	176	140	98
6	216	172	120	76	81	194	134	106	66
7	198	166	106	76	82	192	142	106	68
8	204	164	124	86	83	194	150	104	66
9	210	163	118	80	84	184	144	100	64
10	214	162	110	72	85	196	144	106	66
11	208	178	114	80	86	194	144	102	60
12	208	156	120	88	87	194	144	104	60
13	206	152	112	82	88	198	144	106	66
14	216	172	122	82	89	196	134	104	66
15	198	158	126	72	90	196	134	102	66
16	198	158	124	30	91	184	150	108	74
17	227	158	116	88	92	186	150	114	82
18	214	166	116	82	93	174	136	106	68
19	198	160	120	84	94	170	134	102	64
20	212	172	126	68	95	184	128	102	66
21	204	162	112	62	96	186	132	90	64
22	190	152	114	72	97	196	136	92	58
23	214	170	114	82	98	176	132	98	60

观测 人次	1级标准 林格曼 黑度图	2级标准 林格曼 黑度图	3级标准 林格曼 黑度图	4级标准 林格曼 黑度图	观测 人次	1级标准 林格曼 黑度图	2级标准 林格曼 黑度图	3级标准 林格曼 黑度图	4级标准 林格曼 黑度图
24	202	158	114	74	99	206	154	110	68
25	200	162	118	80	100	202	150	112	70
26	214	160	114	72	101	194	170	122	46
27	200	160	106	70	102	202	158	120	76
28	198	158	122	76	103	160	130	100	40
29	201	162	117	74	104	180	150	130	90
30	190	140	102	70	105	178	118	98	56
31	206	170	108	76	106	196	146	126	82
32	202	160	120	74	107	210	160	100	60
33	182	142	104	66	108	200	170	120	70
34	214	170	120	82	109	214	178	134	88
35	200	154	118	74	110	206	146	108	66
36	192	154	114	24	111	210	140	120	80
37	212	144	110	82	112	186	144	110	60
38	204	146	112	74	113	206	146	106	86
39	188	144	120	76	114	210	170	130	70
40	206	162	108	60	115	190	142	104	66
41	214	162	114	76	116	204	146	114	74
42	196	146	112	74	117	200	140	110	80
43	200	164	114	70	118	206	146	106	60
44	200	152	112	70	119	198	146	106	60
45	212	168	110	62	120	206	144	104	64
46	206	168	112	62	121	200	140	92	54
47	210	160	114	80	122	202	170	114	82
48	202	160	116	80	123	216	182	122	86
49	204	166	120	80	124	202	170	130	80
50	202	150	114	82	125	206	142	82	40
51	198	156	132	86	126	216	166	136	94
52	214	160	120	88	127	226	230	162	102
53	202	164	132	84	128	206	144	116	96
54	186	142	106	84	129	206	146	104	64
55	214	138	108	62	130	206	146	108	66
56	208	140	112	62	131	214	170	120	84
57	208	166	116	68	132	200	170	120	40
58	210	164	114	68	133	204	156	106	74
59	210	164	120	72	134	210	150	110	40
60	220	176	132	102	135	190	142	104	62
61	188	134	108	68	136	210	148	130	52
62	186	138	108	66	137	202	140	120	80
63	196	152	106	70	138	196	146	112	64

观测人次	1级标准 林格曼 黑度图	2级标准 林格曼 黑度图	3级标准 林格曼 黑度图	4级标准 林格曼 黑度图	观测人次	1级标准 林格曼 黑度图	2级标准 林格曼 黑度图	3级标准 林格曼 黑度图	4级标准 林格曼 黑度图
64	192	150	110	70	139	206	146	116	46
65	204	162	112	86	140	184	146	116	66
66	208	166	124	74	141	210	138	96	54
67	198	154	106	70	142	210	170	138	94
68	198	154	110	78	143	184	144	96	54
69	184	124	96	66	144	202	170	130	80
70	186	120	90	64	145	210	138	82	40
71	208	152	116	80	146	216	166	136	94
72	200	156	114	86	147	234	230	158	98
73	186	152	104	64	148	210	166	124	84
74	184	142	104	76	149	206	168	112	92
75	192	130	98	62	<b>平均值</b>	<b>201</b>	<b>154</b>	<b>113</b>	<b>72</b>



图 12 模拟标准烟羽图板

## 6.2 方法比对过程及结论

### 6.2.1 方法比对实验（实际烟气）

为比对林格曼望远镜法与图板法的差异，标准编制组利用三款林格曼望远镜和标准林格曼图板，分别选取了天津某火电厂和南京某钢铁厂进行了方法比对实验，并利用制作好的“模拟标准烟羽图板”进一步完善了方法比对实验。

2019年9月，标准编制组对天津某火电厂进行了观测实验。该火电厂排气筒高度240 m，监测期间烟尘排放浓度小于 $5 \text{ mg/m}^3$ 。当天现场气象情况：天气晴，东南风，风速 $1.7 \text{ m/s}$ 。观测人员同时用林格曼望远镜和图板法对烟气黑度进行了观测，结果如下：该电厂烟气黑度观测结果小于1级，两种观测方法的观测结果一致。

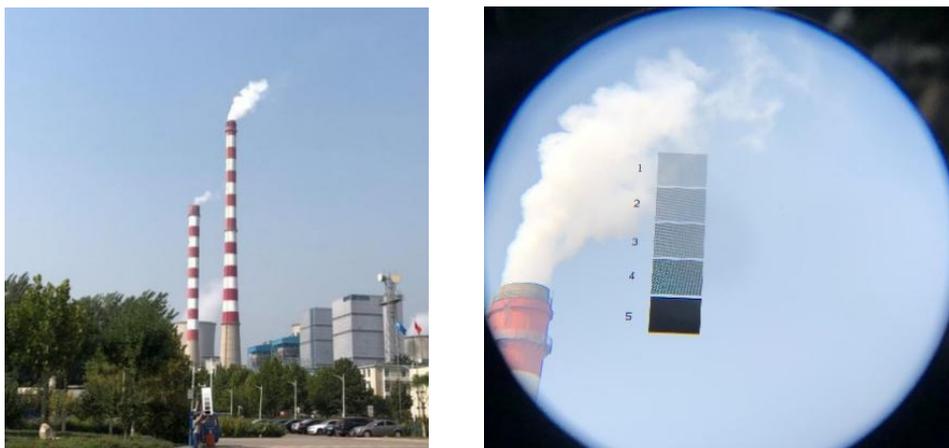


图 13 火电厂烟气黑度测定方法比对（左图为图板法，右图为望远镜法）

表 12 火电厂烟气黑度测定方法比对实验结果 单位：林格曼黑度，级

观测员	图板法	林格曼黑度望远镜法
1	<1	<1
2	<1	<1
3	<1	<1
4	<1	<1
5	<1	<1
6	<1	<1
7	<1	<1

2019 年 10 月，标准编制组对南京某钢铁厂进行了观测实验。该钢铁厂排气筒高度为 110 米。当天现场气象情况：天气阴，东北风，风速 2.8 m/s。观测人员同时用林格曼望远镜法和图板法对烟气黑度进行了测试，结果如下：该烟囱排放的烟气黑度等级为 1 级，两种观测方法的观测结果一致。

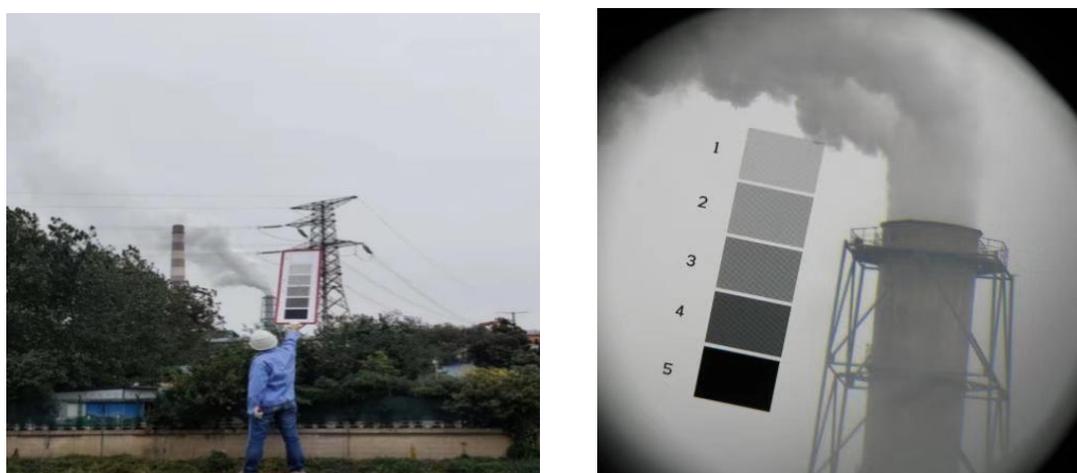


图 14 某钢铁厂烟气黑度测定方法比对（左图为图板法，右图为望远镜法）

表 13 某钢铁厂烟气黑度测定方法比对实验结果

单位：林格曼黑度，级

观测员	图板法	林格曼黑度望远镜法
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	1

随着固定污染源烟尘排放标准日趋严格，监管力度的不断加大，冒黑烟现象已很少出现。为保证方法的严谨性，标准编制组于 2020 年 11 月在天津某工厂通过烧废弃轮胎和废机油，人为制造出黑度大于 2 级的黑烟，分别用林格曼望远镜法和图板法观测烟气黑度，完善方法比对试验。结果如下：该人为制造黑烟的黑度等级为 3~3.5 级，两种观测方法的观测结果一致，详见表 14。

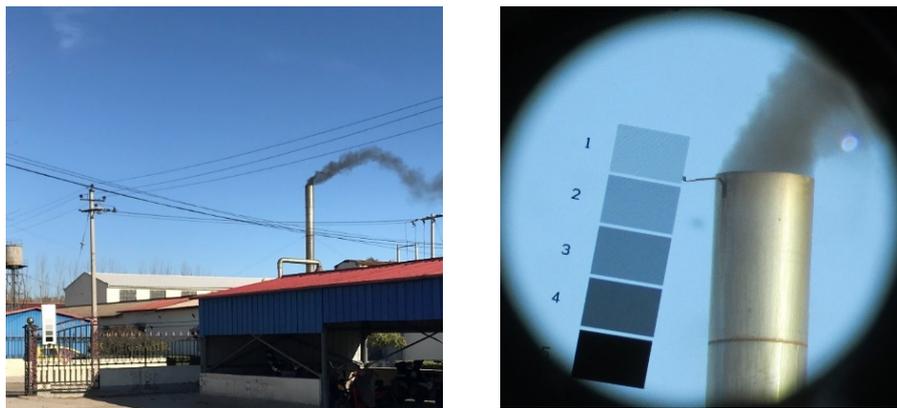


图 15 “人为制造黑烟”测定方法比对（左图为图板法，右图为望远镜法）

表 14 “人为制造黑烟”方法比对实验结果

单位：林格曼黑度，级

观测员	图板法	望远镜法
1	3	3
2	3.5	3
3	3	3
4	3	3
5	3.5	3.5
6	3	3
7	3	3
8	3	3
9	3.5	3.5
10	3	3

## 6.2.2 方法比对实验（“模拟标准烟羽图板”）

为进一步完善方法比对实验，2020年8月，标准编制组筛选了不同年龄段、视力正常的25名观测员，首先对所有人员进行技术培训，培训结束后，分别按照HJ/T 398和本标准的方法要求观测四个“模拟标准烟羽图板”，记录结果。方法比对结果表明，25名观测员“望远镜法”观测结果的相对标准偏差分别为21%、6.6%、6.0%和3.8%，精密度良好，两种方法的观测结果偏差均 $\leq 0.5$ 级，两种观测方法的观测结果基本一致，详见表15。

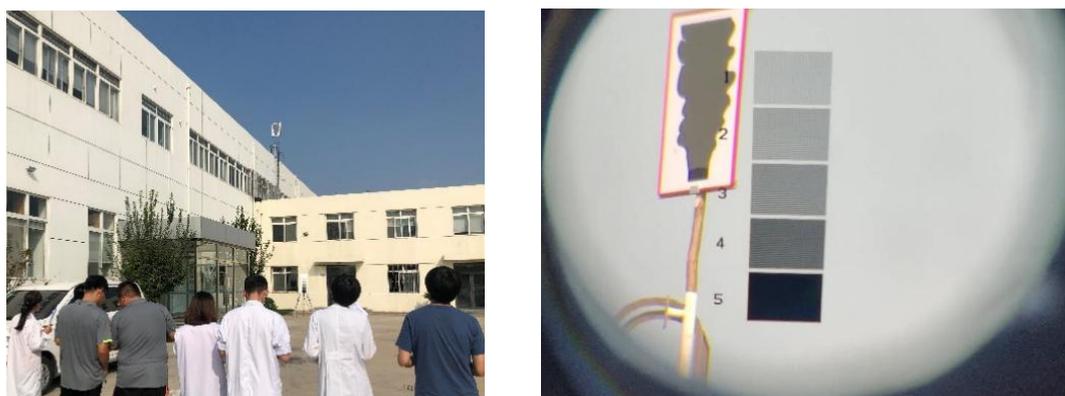


图16 “模拟标准烟羽图板”测定方法比对（左图为图板法，右图为望远镜法）

表15 “模拟标准烟羽图板”方法比对结果 单位：林格曼黑度，级

人员	“模拟1级标准烟羽图板”			“模拟2级标准烟羽图板”			“模拟3级标准烟羽图板”			“模拟4级标准烟羽图板”		
	图板法	望远镜法	偏差									
1	1	1	0	2	2.25	0.25	2.75	3	0.25	4	4	0
2	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4.25	0.25
3	1	0.75	0.25	2	2	0	3	3	0	4	4	0
4	0.5	0.5	0	2	2	0	2.75	2.75	0.25	4	3.5	0.5
5	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
6	1	0.5	0.5	2	2	0	3	2.5	0.5	4	4	0
7	1	0.5	0.5	2	2	0	3	2.75	0.25	4	3.75	0.25
8	1	0.5	0.5	1.75	2	0.25	2.5	3	0.5	4	4	0
9	0.5	0.5	0	1.75	1.5	0.25	3	3	0	3.75	4	0.25
10	1	0.5	0.5	2	1.75	0.25	2.5	2.25	0.25	4	3.5	0.5
11	1	1	0	1.75	2	0.25	3	3	0	3.75	4	0.25
12	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
13	0.75	1	0.25	1.75	2	0.25	3	3	0	4	4	0
14	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
15	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
16	0.75	1	0.25	1.5	2	0.5	3	3	0	4	4	0
17	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
18	1	1	0	2	2	0	3	3	0	3.75	4	0.25

人员	“模拟 1 级标准烟羽图板”			“模拟 2 级标准烟羽图板”			“模拟 3 级标准烟羽图板”			“模拟 4 级标准烟羽图板”		
	图板法	望远镜法	偏差	图板法	望远镜法	偏差	图板法	望远镜法	偏差	图板法	望远镜法	偏差
19	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
20	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
21	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
22	1	1	0	2	2.25	0.25	3	3	0	4	4	0
23	0.75	1	0.25	2	2	0	3	3	0	4	4	0
24	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
25	1	1	0	2	2	0	3	3	0	4	4	0
中位值	1	1	—	2	2	—	3	3	—	4	4	—
RSD	15%	21%	—	6.4%	6.6%	—	4.9%	6.0%	—	2.0%	3.8%	—

## 7 方法验证

### 7.1 方法验证方案

#### 7.1.1 验证人员情况

按照《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）的规定及开题论证会专家意见，筛选了 30 人进行方法验证，验证人员来自天津蓝宇环境检测有限公司、天津市宁河区生态环境监测中心和南京市江宁区环境监测站。

表 16 方法验证人员情况

序号	观测员	性别	年龄	视力（含矫正视力）	单位
1	崔雪	女	30	1.2	天津蓝宇环境检测有限公司
2	陈金慧	男	24	1.0	
3	孙亚斌	女	49	1.0	
4	马野	男	22	1.0	
5	张瑞芳	女	54	1.5	
6	汤宁	男	25	1.5	
7	杨福来	男	33	1.2	
8	曹星刚	男	29	1.2	
9	李志伟	男	26	1.2	
10	闫宇鹏	男	28	1.2	
11	付安琪	女	30	1.2	
12	赵小朋	男	34	1.0	
13	田澍	男	29	1.0	
14	韩成成	女	29	1.5	
15	汪慧娟	女	27	1.2	
16	刘文娇	女	27	1.0	

序号	观测员	性别	年龄	视力（含矫正视力）	单位
17	王春来	男	42	1.2	天津市宁河区生态环境监测中心
18	杨明涛	男	42	1.0	
19	满瑞新	男	33	1.5	
20	张凤满	男	43	1.5	
21	刘任龙	男	30	1.0	南京市江宁区环境监测站
22	李 佳	女	39	1.2	
23	孙懋昊	男	26	1.0	
24	李 成	男	29	1.0	
25	周小虎	男	34	1.2	
26	苏 静	女	27	1.0	
27	徐婷婷	女	36	1.0	
28	谈 涛	男	26	1.0	
29	刘 瑀	男	25	1.0	
30	王 雯	女	31	1.0	

### 7.1.2 方法验证方案

按照《环境监测分析方法标准制订技术导则》（HJ 168-2020）的规定及开题论证会专家意见，利用制作的四个“模拟标准烟羽图板”，按照以下验证方案流程，开展验证工作。

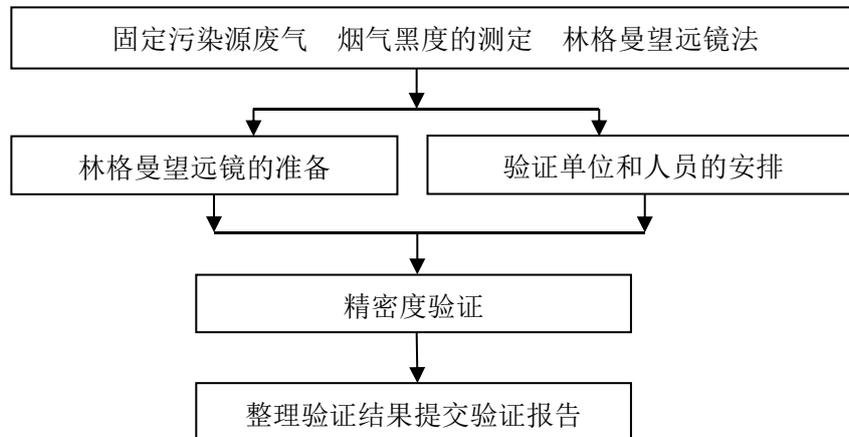


图 17 验证方案流程

### 7.2 方法验证过程及结论

2020年10月，筛选了不同年龄段、视力正常的30人进行方法验证。首先对所有人员进行技术培训，培训结束后，按照本标准的要求观测四个“模拟标准烟羽图板”，记录观测结果，统计精密度。

30名人员分别对标准编制单位自制的“模拟1级标准烟羽图板”、“模拟2级标准烟羽图板”、“模拟3级标准烟羽图板”和“模拟4级标准烟羽图板”进行观测，人员间的相对标准偏差分别为24%、12%、8.5%和6.7%。

## 8 与开题报告的差异说明

无。

## 9 标准实施建议

无。

## 10 参考文献

- [1]于正然,刘光铨,单嫣娜,常德华.烟尘烟气测试实用技术[M].中国环境科学出版社,1990.12,118-126.
- [2]W·莱特,程俊人译.大气污染物分析[M].科学出版社,1973.
- [3]中国医学科学院卫生研究所卫生防护研究室.烟气测试技术[M].人民卫生出版社,1982.
- [4]程胜高,田一平,李虹杰.固定污染源排气实用监测方法与技术[M].中国环境科学出版社,1997.
- [5]国家环境保护总局.空气和废气监测分析方法[M].第四版.北京:中国环境科学出版社,2007:367-370
- [6]国家环境保护总局.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[S].北京:2007
- [7]Randolph, K., Foster, K..Visible Emissions Field Manual EPA Methods 9 and 22.[R].
- [8]Institution B S . BS 2742. Use of the Ringelmann and miniature smoke charts[J].
- [9]Standard Test Method for Determining the Opacity of a Plume in the Outdoor Ambient Atmosphere[J]. Astm.
- [10]姚文辉.林格曼烟气浓度图和 DW10 型测烟望远镜[J].光学仪器,1985(1):60-62.
- [11]王恒尧,李英秦,吕丁丽,等.“DW10 型测烟望远镜”监测条件及使用方法的探讨[J].中国环境监测,1991(05):42-44.
- [12]杨春伟.林格曼烟气浓度的监测方法探讨[J].云南环境科学,1998(04):63-64.
- [13]宋克国,周青梅.影响烟气林格曼黑度观测的相关因素探讨[J].山东环境,2001(5):49.
- [14]孙鹏.固定污染源排放烟气黑度的测定-林格曼烟气黑度图法(HJ/T398-2007)有效性复审意见[J].环境与可持续发展,2017,42(2):123-124.
- [15]何兆德,张长春.锅(窑)炉运行管理及测试技术实用手册[M].中国环境科学出版社,1993.9,112
- [16]倪广乐,郑强强.烟气林格曼黑度监测问题探讨 河南科技 2019,9(第 25 期):151-152.
- [17]贾生元,王堤.林格曼数监测存在的问题及时间—林格曼数计算方法的探讨[J].干旱环境监测,1997,11(4):200-202.
- [18]禹希文.关于林格曼黑度监测方法的探讨 中国环境监测,1992,8(5):50.
- [19]鄢圣藜,苏联华,顾丽娟.一种环保烟尘无组织排放视频监控黑度分析系统.
- [20]Andrew H. Rose,John S. Nader,Philip A. Drinker.Development of an Improved Smoke Inspection Guide[J].Journal of the Air Pollution Control Association,1958,8(2):112-116.
- [21]包信宗.烟气林格曼黑度远程视频监控系统的研究[D].聊城大学,2009.
- [22]孟令坤.烟气黑度多媒体监控系统[D].南京大学,2012.
- [23]桂柏林.基于林格曼黑度的烟囱排放自动监测分析系统的研究与实现[D].湘潭大学,2009.
- [24]郑炯,郎文鹏.工业烟尘黑度自动监测系统的研制[J].上海大学学报(自然科学版),1995,1(3).

- [25] 孔繁国, 徐德伟, 邓杰成. 黑烟车电子抓拍林格曼黑度对比验证研究[J]. 环境监控与预警, 2019, 11(01):40-43.
- [26] 徐德伟. 实施黑烟车智能监控的必要性及方法的探讨[J]. 化工管理, 2016(18):167.
- [27] 江绮鸿, 李文松. 黑烟车智能监控系统的应用[J]. 化工管理, 2018,493(22):97-98.
- [28] 中华人民共和国环境保护部.在用柴油车排气污染物测量方法及技术要求(遥感检测法):HJ 845-2017[S].北京:中国环境科学出版社, 2017.
- [29] 河北省质量技术监督局. JJF(冀)144-2018, 林格曼烟气黑度望远镜校准规范.
- [30] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 17117-2008, 双目望远镜.
- [31] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 18312-2015,双筒望远镜检验规则.
- [32] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 35222-2017, 地面气象观测规范 云.
- [33] 杨公侠. 各国天空模型研究综述[J]. 照明工程学报, 1994(Z1):1-26.
- [34] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10220-2012, 感官分析方法学总论.

附件一：

# 方法验证报告

方法名称：固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法

项目主编单位：天津市生态环境监测中心、江苏省南京环境监测中心

验证单位：天津蓝宇环境检测有限公司、天津市宁河区生态环境监测中心和南京市江宁区环境监测站

项目负责人及职称：田秀华 高级工程师

通讯地址：天津市南开区复康路19号 电话：022-87671688

报告编写人及职称：王效国 工程师

报告日期：2020 年 12 月 26 日

## 1 原始测试数据

### 1.1 实验室基本情况

表 1-1 参加验证的人员情况登记表

序号	观测员	性别	年龄	视力（含矫正视力）	单位
1	崔雪	女	30	1.2	天津蓝宇环境检测 有限公司
2	陈金慧	男	24	1.0	
3	孙亚斌	女	49	1.0	
4	马野	男	22	1.0	
5	张瑞芳	女	54	1.5	
6	汤宁	男	25	1.5	
7	杨福来	男	33	1.2	
8	曹星刚	男	29	1.2	
9	李志伟	男	26	1.2	
10	闫宇鹏	男	28	1.2	
11	付安琪	女	30	1.2	
12	赵小朋	男	34	1.0	
13	田澍	男	29	1.0	
14	韩成成	女	29	1.5	
15	汪慧娟	女	27	1.2	
16	刘文娇	女	27	1.0	
17	王春来	男	42	1.2	天津市宁河区生态 环境监测中心
18	杨明涛	男	42	1.0	
19	满瑞新	男	33	1.5	
20	张凤满	男	43	1.5	
21	刘任龙	男	30	1.0	南京市江宁区环境 监测站
22	李佳	女	39	1.2	
23	孙懋昊	男	26	1.0	
24	李成	男	29	1.0	
25	周小虎	男	34	1.2	
26	苏静	女	27	1.0	
27	徐婷婷	女	36	1.0	
28	谈涛	男	26	1.0	
29	刘瑀	男	25	1.0	
30	王雯	女	31	1.0	

表 1-2 使用仪器情况登记表

仪器名称	规格型号	仪器出厂编号	性能状况
数码测烟望远镜	QT203A	17	良好
数码测烟望远镜	QT203A	157	良好
豪华型测烟望远镜	JCP-LGM	JC2016052412	良好
手持式双筒测烟望远镜	LB-803	LB2019021401	良好
林格曼测烟望远镜	QT201	93#	良好
照相计时测烟望远镜	QT201A	24#	良好
数码测烟望远镜	QT203A	31#	良好

1.2 方法精密度测试数据

表 1-3 “模拟标准烟羽图板”精密度实验结果 单位：林格曼黑度，级

观测员	“模拟 1 级标准 烟羽图板”	“模拟 2 级标准 烟羽图板”	“模拟 3 级标准 烟羽图板”	“模拟 4 级标准 烟羽图板”
1	0.5	2	3	4
2	1	2	3	4.5
3	1	2	3.5	4
4	1	2	3	4
5	1	1.5	3	4.5
6	1	2	3	4
7	1	2	3	4.5
8	0.5	2	3	4
9	0.5	2	3	4
10	1	2	3	4
11	1	1.5	2.5	4
12	0.5	2	2.5	4
13	1	1.5	3	3.5
14	0.5	1.5	2.5	3.5
15	1	2	3	3.5
16	1	2	3	3.5
17	0.5	1.5	3	4
18	0.5	2	3	4
19	0.5	2	2.5	4
20	0.5	2	2.5	4
21	1	1.5	3	4
22	1	2	3	3.5
23	1	1.5	3	4

24	1	2	3.5	4
25	1	2	3	4
26	1	2	3	4
27	0.5	1.5	3	4
28	1	1.5	3.5	4
29	1	2	3	3.5
30	1	2	3	4
中位值	1	2	3	4
相对标准偏差	24%	12%	8.5%	6.7%

## 2 方法验证结论

30 名观测员分别对标准编制单位自制的“模拟 1 级标准烟羽图板”、“模拟 2 级标准烟羽图板”、“模拟 3 级标准烟羽图板”和“模拟 4 级标准烟羽图板”进行观测，人员间相对标准偏差分别为 24%、12%、8.5%和 6.7%，精密度良好。