中国航海学会团体标准

《船舶尾气烟羽黑度的测定 照相法》

（征求意见稿）

编制说明

标准编写组

2025 年 10 月

目 录

一、工作简况 1

二、标准编制原则和确定主要内容说明的依据 4

三、已开展的试验验证情况 8

四、与国内现行法律法规和标准的关系 8

五、与国际标准和国外先进标准比较 9

六、重大意见分歧的处理结果和依据 9

七、废止现行有关标准的建议 9

八、标准性质的建议说明 9

九、涉及专利的有关说明 9

十、其他应予说明的事项 9

一、 工作简况

（一）任务来源

根据中国航海学会于2025年2月19日发布的《关于征集2025年第一批中国航海学会团体标准的通知》，交通运输部天津水运工程科学研究所于2025年4月30日提交了编制《船舶尾气烟羽黑度的测定 照相法》团体标准的申请，并于2025年10月10日正式立项，由中国航海学会标准化委员会组织开展本标准的起草和技术审查等工作。

（二）起草单位

本标准的研究单位包括交通运输部天津水运工程科学研究所、上海海事局、交通运输部水运科学研究所、东莞海事局。

表 1-1 标准研究单位及人员组成情况

姓 名	工作单位	承担任务
胡健波	交通运输部天津水运工程科学研究所	标准框架和总体编制工作
彭士涛	交通运输部天津水运工程科学研究所	术语和定义
杨伟华	上海海事局	术语和定义
王仲儒	上海海事局	现场试验验证
王 征	交通运输部水运科学研究所	质量控制要求
杨光辉	东莞海事局	结果记录要求
邓孟涛	交通运输部天津水运工程科学研究所	黑度测定方法
肖 令	交通运输部天津水运工程科学研究所	照相条件要求
林祥彬	上海海事局	现场试验验证
谢 昕	上海海事局	现场试验验证
王 蕾	上海海事局	现场试验验证
张亚朋	上海海事局	现场试验验证
戴天骄	交通运输部水运科学研究所	质量控制要求
崔继宪	交通运输部天津水运工程科学研究所	照相条件要求
杜洪光	东莞海事局	结果记录要求

（三）编制背景

1. 需求

船舶黑烟管控是我国加强船舶大气污染防治的必要举措。船舶大气污染防治是绿色航运发展的重要组成部分，是航运业贯彻落实党中央、国务院深入打好污染治理攻坚战和交通运输部交通强国之绿色交通的重要举措。老旧船舶冒黑烟是一种肉眼可见的船舶大气污染物排放现象，英美等发达国家已将船舶冒黑烟控制纳入当地执法体系。地方层面，我国香港特别行政区、台湾地区、上海市、江苏省、湖北省、海南省、厦门经济特区等地方船舶污染防治相关政策将船舶黑烟列为违规行为；全国层面，国务院于 2023 年印发的《空气质量持续改善行动计划》明确提出基本消除非道路移动机械、船舶及重点区域铁路机车“冒黑烟”现象的目标。2025 年，生态环境部发布 GB 8840《船舶排气烟度限值及测量方法》的征求意见稿，并在 12 月 5 日的部常务会议上审议通过。

陆上黑烟管控的技术手段无法用于船舶黑烟管控。一方面，由于船舶往往距离岸边较远，烟羽黑度的视觉感官受观测距离和天气雾霾影响较大，陆上固定源和移动源黑烟管控采用的传统林格曼黑度法用于船舶误差较大；另一方面，在航船舶是移动目标，船舶黑烟监管工作中使用林格曼黑度图或林格曼望远镜等工具不够便携且操作繁琐。

基于照相法的船舶尾气黑度测定技术成熟。一方面，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，其规定的方法是相机拍照代替肉眼识别烟气的不透明度，2012 年 EPA 认可了这种方法，ASTM 在 2016 年对该方法进行了更新，证明照相法测定烟气黑度是可行的。另一方面，自 2020 年以来，交通运输部天津水运工程科学研究所联合上海海事局在长江口水域探索基于照相法的船舶尾气黑度测定方法，目标是将执法人员随身携带的手机、或者监控摄像头用作船舶尾气黑度的检测工具，方便船舶黑烟监管；技术在图像中选择林格曼黑度 5 级参照和林格曼黑度 0 级参照，通过将船舶尾气像素的黑度与参照对比，量化测定船舶尾气黑度，可解决天气能见度、距离对测定结果的影响；技术具有客观准确、适应船舶移动目标和适应环境光变化的优点，具有推广价值且技术应用条件已经成熟，在试点应用中助力查获多起船舶冒黑烟的案件。

综上，船舶黑烟管控十分必要，但船舶尾气黑度测定技术无法照搬陆上经验，而基于照相法的船舶尾气黑度测定技术已经成熟，有必要编制标准规范，

在技术推广应用中规定技术要求，保障技术应用效果。

2. 目的与效益

编制标准可以解决以下问题：

（1）确保照相获得的图片可用于船舶尾气黑度测定。对船舶尾气拍照获得的照片并不一定可用于船舶尾气黑度测定，标准规定了避免遮挡、背景、天气、光线等负面影响的要求。

（2）保障船舶尾气黑度测定的精度和客观性。在图像中测定船舶尾气黑度存在影响精度和客观性的人工干预过程，标准规定了图像中用于测定黑度的像素选取、计算公式、结果记录等要求。

编制标准可以取得以下效益：

（1）社会效益

传统的船舶黑烟管控方式是肉眼对照林格曼黑度图估测黑度，即人为主观判断是否为“明显可见黑烟”。本标准基于图像量化测定船舶尾气黑度，精度高、客观性强，有利于减少执法纠纷，维护公平航运市场环境。

（2）环境效益

传统的船舶黑烟管控方式比较主观，为避免执法纠纷，处罚对象往往是冒黑烟较严重的船舶。本标准基于图像量化测定船舶尾气黑度，精度高、客观性强，有利于拓展船舶黑烟管控覆盖面，间接减少船舶大气污染。

（四）编制过程

1. 启动阶段

2025 年 4 月，成立标准编制组并形成了标准草案。2025 年 6 月，委托国家一级科技查新咨询单位进行了标准国内外查新，确认了国内外并无相关标准。

2. 征求意见前标准预审查会

2025 年 11 月 13 日，邀请了来自中国船级社、长江海事局、上海市减污降碳管理运行技术中心、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司等多名船舶防污染和机动车防污染领域的专家，召开了标准预审会。

3. 征求意见阶段

Xxx。

二、 标准编制原则和确定主要内容说明的依据

（一）编制原则

1. 必要性原则

标准提出的各项技术要求是必须满足的要求或是有利于提升效果的推荐要求，严格遵循底线思维，不做个性化或者市场导向明显的规定。

2. 先进性原则

标准编制应当吸纳国内外最新研究进展，确保标准研究成果具有先进水平，可有效指导未来的技术服务和产品研发。

3. 成熟性原则

标准提出的各项技术要求不仅见于国内外学术文献，更要经过实际试点应用的检验，每一项均经过充分的论证。

（二）确定主要内容说明的依据

1. 适用范围的说明

本标准规定了照相测定船舶尾气烟羽黑度的照相条件、黑度测定、质量控制和结果记录等要求，目的是确保黑烟船照片可用于船舶尾气黑度测定、测定过程能够得到高精度的结果、结果记录能够有效留痕留证。

本文件适用于船舶黑烟监管工作。鉴于林格曼黑度图法已普遍用于固定源和非道路移动源黑烟管控，本标准并不禁止该方法用于船舶黑烟管控，而是另提出了方便快捷、准确客观的照相法。鉴于 GB 15097《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》规定的测量方法适用于船舶发动机，本标准规定的测量方法仅适用于船舶。

2. 规范性引用文件的说明

本标准引用了 HJ 1287《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》和 GB 36886《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》。本标准与引用标准的区别在于图像测定黑度和比照林格曼黑度图测定黑度，在术语和定义、观测/照相条件、结果记录等方面具有共通之处，故引用以上两项标准。

3. 术语和定义的说明

（1）烟羽。指的是船舶烟囱排出的气流，离开烟囱后烟团不断扩大、浓度不断稀释，不包括挥发气体。

（2）烟羽黑度。一种反映船舶烟羽污染程度的视觉指标，是烟羽中的气态污染物和颗粒物对太阳光的吸收和散射现象。

（3）林格曼黑度级数。量化评价烟羽黑度的一种数值，一通过肉眼观测的烟气黑度与林格曼烟气黑度图对比得到，范围是 0～5 级。0 级黑度代表烟羽肉眼不可见，5 级黑度代表太阳光被烟羽完全吸收和散射。

（4）像素亮度。像素是构成图像的最小单元，像素亮度代表像素的明暗程度，可用图像红色、绿色、蓝色三通道像素亮度的平均值。

4. 照相条件的说明

（1）基于图像的黑度测定不受天气能见度较低或光照条件不足的影响，但天气能见度过低或光照条件过于不足导致船舶尾气烟羽难以肉眼观察时，强行开展黑度测定的结果信噪比较差，结果可信度较低。因此，应避免在船舶尾气烟羽难以肉眼观察的能见度过低的天气和光照条件过于不足的时段照相。

（2）应在适当位置照相，确保天空作为船舶尾气烟羽的背景；不应在船舶尾气烟羽背后存在朵状积云、高大建筑或出现更高大的船舶时照相。

（3）观察烟羽的仰视角不应太大，一般情况下不宜大于 45 度角，尽量避免在过于陡峭的角度下观察。该项要求是延用固定源和陆上移动源的黑度测定要求。

（4）逆光时照相时，天空亮度明显呈现以太阳为中心渐变分布。因此，不应逆光照相。

（5）当曝光过度时，0 级黑度参照物像素亮度值最高也只能达到 255，会导致黑度测定结果失准。因此，曝光应适中。

（6）图像中船舶尾气烟羽大小适中且清晰可见。固定源和移动源的烟羽黑度测定部位都是烟羽中最黑的部分，若画面中烟羽所占比例小、像素分辨率低，则图像中最黑的像素代表不仅是最黑部分烟羽，还混入了周边部分烟羽甚至天空，容易导致黑度测定结果偏低；另外，除了像素分辨率，对焦不精准导致图像模糊也会产生相同的影响，因此要求照相时焦距长短适中以确保图像中船舶尾气烟羽大小适中，要求照相时对焦于船体以确保图像中船舶尾气烟羽清晰可见。

（7）照相时抖动容易导致图像模糊，导致如上一条相同的影响，即黑度测

定结果偏低。因此，宜采用固定摄像头，可手持相机拍照，应避免抖动。

（8）若采用固定摄像头照相，摄像头应选择在前方没有遮挡物或船舶停靠的位置安装，提高获得有效照片的概率。摄像头应采取防雨措施或配备雨刮器，避免镜头表面挂水珠影响照相效果。固定摄像头宜选用球状外形，不宜选用枪状外形，后者在大风天气易晃动导致照相模糊。摄像头俯仰角度宜略微上扬，保证画面下部存在水面，确保不同大小、远近的船舶均能入画。

（9）船舶黑烟成因和管控要求有两类，一是因发动机劣化而导致稳定工况情况下冒黑烟，二是变工况情况下（发动机空燃比瞬间改变）发动机燃烧不充分而导致冒黑烟。因此，若测定的情形为船舶稳定工况冒黑烟现象，宜在航道顺直处照相；若测定的情形为船舶变工况冒黑烟现象，可在码头或航道曲折处照相。

5. 黑度测定的说明

（1）数字林格曼黑度图制作。本标准在测定船舶尾气烟羽黑度之前，需要基于图像本身的信息制作数字林格曼黑度图，为解决能见度和光照条件的影响，应在图像中选取烟羽附近的天空作为 0 级黑度参照物像素；应在图像中选取烟羽源头船上的黑色烟囱、黑色船漆、阴影等作为 5 级黑度参照物像素。计算 0 级黑度参照物像素的亮度平均值 I_0 和 5 级黑度参照物像素的亮度平均值 I_5，继而插值推算 1、2、3、4 级黑度的亮度 I_1、I_2、I_3、I_4，在图像中不遮挡烟羽的位置生成数字林格曼黑度图，便于肉眼观测估算烟羽黑度。

（2）按照以下公式自动测定烟羽黑度。

$$RN = (I_p - I_5) / (I_0 - I_5) \times 5$$

式中：

RN——船舶尾气烟羽黑度；

I_p——船舶尾气烟羽中最黑部分像素的亮度平均值；

I_0——0 级黑度参照物像素的亮度平均值；

I_5——5 级黑度参照物像素的亮度平均值。

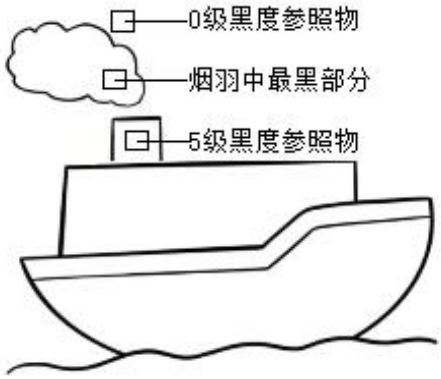

图 1 船舶尾气烟羽中最黑部分、0 级黑度参照物和 5 级黑度参照物选取示意图

6. 质量控制的说明

（1）现实情况下，天空不可能完全均质。因此，0 级黑度参照物应选择船舶尾气烟羽附近的天空，不得任意选取天空，避免天空不均质对参照物代表性的影响。

（2）由于航道上的船舶距离岸边往往较远，船舶与岸边之间空气中颗粒物对光线的散射不可忽略。因此，5 级黑度参照物应选择尾气源头船舶上的黑漆、窗户等，不得在其它船舶或背景物体中选择。

（3）为确保选取像素的亮度平均值具有代表性，应避免选择一个或者几个像素代表一类物体。因此，船舶尾气烟羽中最黑部分、0 级黑度参照物和 5 级黑度参照物的像素数量均不宜小于 10 个。

（4）为确保黑度测定结果在时间上具有代表性，测定时长不宜过短和次数不宜过少。GB 8840《船舶排气烟度限值及测量方法》规定黑度测定应持续 30 秒以上；因此，本标准规定黑度测定频率为 1 秒 1 次，测定次数不少于 30 次，可在连续录制的视频中抽帧获得图像集并逐帧测定黑度。为确保黑度测定结果的准确性，若某一次或几次的数字林格曼黑度图之间差异较大，应检查 0 级黑度参照物和 5 级黑度参照物选取是否具有代表性并重新选取。

（5）一般情况下，船舶黑烟管控要求是烟羽黑度不得超过 1 级或 2 级。因此，船舶尾气烟羽黑度测定结果应保留小数点后一位。

7. 结果记录的说明

（1）记录船舶基本信息、烟羽黑度测定结果、测定单位等信息，支撑后续的执法以及产生纠纷的溯源。保留一张以上覆盖尾气和船名的黑烟船舶现场照

片，用于证明船舶尾气烟羽黑度测定结果与船舶之间的关联性。

（2）鉴于船舶尾气烟羽黑度测定过程中依然存在人工干预，产生纠纷的可能性虽小但仍然存在。因此，船舶尾气烟羽黑度测定的原始图像集或视频应至少留存 2 年。

三、已开展的试验验证情况

2020 年，交通运输部天津水运工程科学研究所联合上海海事局提出了基于图像的改良型林格曼黑度法（技术原理详见 2022 年发表于《中国海事》期刊的论文《适用于船舶黑烟检测的改良型林格曼黑度法》），并开发成船舶黑烟检测软件，用于长江口船舶黑烟管控，至今已查获黑烟船百余艘次，应用效果被中国交通报、各大互联网媒体多次报道。经长江口应用统计，技术的检出限为 0.2 级林格曼黑度，长江口船舶尾气黑度大于 1 级和 2 级的船舶比例约为 0.45%和 0.15%，支撑了生态环境部出台 GB 8840《船舶排气烟度限值及测量方法》。

四、与国内现行法律法规和标准的关系

（一）与国内现行法律法规的关系

本标准可直接服务于香港特别行政区的《船舶及港口管制條例》、台湾地区的《交通工具空气污染物排放标准》、上海市的《上海市大气污染防治条例》、江苏省的《江苏省长江船舶污染防治条例》、湖北省的《湖北省长江船舶污染防治条例》、海南省的《海南省船舶污染防治条例》、厦门市的《厦门经济特区船舶污染防治条例》等已经发布的地方船舶污染防治条例，以及未来其它省市发布的地方船舶污染防治条例。

（二）与国内现行标准的关系

本标准与陆上固定源、移动源烟气黑度测定标准的共通之处均是以林格曼黑度级数作为黑度量化数值，包括《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）、《固定污染源废气 烟气黑度的测定 林格曼望远镜法》（HJ 1287）、《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》（GB 36886）。区别之处在于，本标准采用照相法替代林格曼黑度图法、林格曼望远镜法，更加便捷，更适用于船舶水上航行的特点。

本标准直接作为一种林格曼黑度图法、林格曼望远镜法的等效替代措施，直接于 GB 8840《船舶排气烟度限值及测量方法》。

五、与国际标准和国外先进标准比较

目前，国际上尚基于照相法的船舶尾气烟羽黑度测定标准，本标准与国外相关现行的法律、法规和标准没有冲突。

六、重大意见分歧的处理结果和依据

目前本标准无重大意见分歧。

七、废止现行有关标准的建议

无。

八、标准性质的建议说明

建议标准性质为推荐性团体标准。

九、涉及专利的有关说明

本文件不涉及专利。

十、其他应予说明的事项

无。