

《大气环境激光雷达走航监测技术规范》

（征求意见稿）

《大气环境激光雷达走航监测技术规范》起草组

2025 年 9 月

目 录

1. 编制背景	3
1.1 相关政策	3
1.2 国内外该产品市场情况	4
1.3 国内外该技术的研究现状	5
1.4 国内外该行业管理现状	7
2. 编制的必要性	7
2.1 行业存在问题	7
2.2 预期达到的效果	10
2.3 拟产生的社会、经济及生态环境效益等	11
3. 国内外标准化情况	11
4. 工作简况	12
4.1 任务来源	12
4.2 起草单位及分工	12
4.3 主要起草人情况简介	12
4.4 主要工作过程	13
5. 标准主要技术内容及编制依据	15
5.1 方法概述	15
5.2 技术要求	15
5.3 检测方法	23
5.4 结果分析与应用	31
5.5 质量保证与质量控制	35
5.6 安全防护要求	40
6. 与现行相关标准的协调关系	49
7. 重大分歧意见的处理经过和依据	49
8. 标准实施建议	49

8.1 组织措施49

8.2 技术措施49

8.3 过渡办法50

参 考 文 献51

1. 编制背景

1.1 相关政策

1.1.1 国家政策

生态环境监测是生态环境保护的基础，是生态文明建设的重要支撑。2021 年 12 月 28 日，生态环境部印发《“十四五”生态环境监测规划》（以下简称《规划》），绘制出了“十四五”时期全国生态环境监测发展的宏伟蓝图。

规划提出，“十四五”时期，生态环境监测将以习近平生态文明思想为指导，立足新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，面向美丽中国建设目标，落实深入打好污染防治攻坚战和减污降碳协同增效的要求，坚持精准、科学、依法治污工作方针，以监测先行、监测灵敏、监测准确为导向，以更高标准保证监测数据“真、准、全、快、新”为根基，全面推进生态环境监测从数量规模型向质量效能型跨越，提高生态环境监测现代化水平，为生态环境持续改善和生态文明建设实现新进步奠定坚实基础。在保证监测数据“真、准、全”基础上，增加了“快”与“新”，既是强调在深化推进监测数据真实、准确、全面的同时，还要加强监测的时效性、便捷性，以及对新技术的应用。“快”即强化监测数据快速响应，在应急执法、追因溯源、应急预案等领域，加强监测应用的便携性、时效性，突出手段多、响应快，也就是“监测灵敏”；“新”即加强监测新技术应用。

《规划》中“十、坚持测管联动，强化污染源和应急监测”部分指出，要加强污染源执法监测。坚持国家指导、省级统筹、市县承担，深入推进执法监测机制优化增效。完善监测与执法相互持证制度，按照“双随机”模式联合开展执法监测。加强排污许可单位自行监测专项检查，对涉 VOCs 排放企业和生活垃圾焚烧发电企业持续加大执法监测力度。创新监测技术，推动卫星遥感、热点网格、无人机/无人船、走航巡测等非现场手段应用，加强对工业园区、散乱污企业、固体废物、尾矿库、历史遗留矿渣的遥感排查监测，开展地下水污染和生态破坏执法监测。完善排污单位自动监控系统，扩展视频和用电用能联网，强化生产状况、污染治理设施运行情况和污染排放联合监控，利用大数据精准高效发现问题。

1.1.2 江苏省政策

2018 年 9 月 30 日江苏省人民政府办公厅印发的《省政府关于印发江苏省打赢蓝天保卫

战三年行动计划实施方案的通知》中，提出“以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大精神和省委、省政府决策部署，坚持新发展理念，坚持全民共治、源头防治、标本兼治，持续开展大气污染防治行动，综合运用经济、法律、技术和必要的行政手段，大力调整优化产业结构、能源结构、运输结构和用地结构，强化区域联防联控，狠抓秋冬季污染治理，统筹兼顾、系统谋划、精准施策，坚决打赢蓝天保卫战，实现环境效益、经济效益和社会效益多赢”。其中在“加强扬尘综合治理”中提出“有条件的地区，推进运用车载光散射、走航监测车等技术，检测评定道路扬尘污染状况”。

2021年9月28日，江苏省人民政府办公厅印发《江苏省“十四五”生态环境保护规划》，该规划是对“十四五”乃至更长时期江苏生态环境保护工作的系统谋划。《江苏省“十四五”生态环境保护规划》指出，作为全国唯一一部省共建生态环境治理体系和治理能力现代化试点省，生态文明制度改革红利逐步释放，为生态环境系统保护和治理提供重要保障。其中在“第一节 强化生态环境监管能力建设”内容中提出充分利用5G、大数据、“互联网+”等信息化手段，完善移动执法系统，建设完善全省统一的行政处罚系统，实现生态环境行政执法全过程信息化管理。大力推进非现场执法，创新执法方式方法和手段，配齐配全无人机、无人船、走航车以及卫星遥感等“非现场”执法装备设备，建立“非现场”监管执法程序规范。

1.2 国内外该产品市场情况

1.2.1 国内大气激光雷达走航监测系统市场情况

国内大气激光雷达走航监测车主要应用于大气污染防治、环境监测、应急监测等领域。目前，我国大气激光雷达走航监测车市场处于快速发展阶段。随着国家对环境保护的重视和投入不断增加，以及大气污染防治、环境监测等领域的需求持续增长，预计未来几年我国大气激光雷达走航监测系统市场规模将不断扩大。

1.2.2 国外大气激光雷达走航监测系统市场情况

国外大气激光雷达走航监测车主要应用于大气科学研究、环境监测、气象预报等领域。国外大气激光雷达走航监测系统目前主要应用于科研应用实验，尚未形成稳定市场。随着全球对环境问题的关注度不断提高，以及新兴市场的崛起，预计未来国外大气激光雷达走航监测也将逐步形成一定市场。

1.3 国内外该技术的研究现状

1.3.1 国内大气激光雷达走航监测系统技术研究现状

我国激光雷达领域发展起步于 20 世纪 60 年代了,中科院研制出中国第一台红宝石激光器的激光雷达,该雷达基于 Mie 散射原理完成了对大气气溶胶参数的探测。20 世纪 80 年代,我国科研单位开始了机载激光雷达海洋探测系统的研制,而随后至 20 世纪 90 年代开始多个波长激光雷达探测技术研究。当前,我国激光雷达研究主要以中科院大气所、中科院上海光机所、中科院安徽光机所、西安理工大学、大连理工大学等科研单位为主,其中大气激光雷达相关产品的精度具备国际先进水平。

近些年来随着激光技术、光学机械加工技术、信号探测与采集技术的不断提高和新的探测原理与方法的不断涌现,激光雷达探测技术取得了长足的技术进步,并在大气、海洋及空间等领域得到了愈来愈广泛的应用将激光雷达搭载于可移动平台,可实现对大气污染物的走航观测、追踪污染气体来源及演变,从而加深对区域大气污染分布特征和输送规律的认识。樊文智等^[1]用微脉冲激光雷达与 GPS 等仪器组成灵活机动的车载观测平台,有效探测了徐州市 2015 年不同污染过程的气溶胶时空分布。杨丹丹等^[2]基于 2016~2018 年长三角地区的走航观测资料,分析了该地区多种污染物的时间变化和空间分布特征。何秦等^[3]基于车载激光雷达走航观测,对石家庄及周边地区中-大空间尺度气溶胶空间分布特征。近年来,我国在大气激光雷达技术方面取得了长足进步,各厂家自主研发的大气激光雷达走航监测车逐渐投入使用。国内的激光雷达走航监测车在技术性能上不断提升,能够实现对多种大气参数的走航监测,如气溶胶光学厚度、颗粒物浓度、臭氧浓度等。然而,目前市场上各厂家在技术实施过程中存在诸多不规范、不一致的情况,严重影响了监测数据的质量与可比性,亟待进行梳理与规范。

激光雷达设备技术选型多样。目前市场上存在多种类型的大气激光雷达,其中气溶胶激光雷达类型包括如微脉冲气溶胶激光雷达、高能量气溶胶激光雷达、多波长气溶胶激光雷达、米散射和拉曼激光雷达等;臭氧激光雷达包括固态拉曼紫外差分吸收臭氧激光雷达、气态拉曼差分吸收臭氧激光雷达、紫外与可见光差分吸收臭氧雷达等。不同厂家基于自身技术优势和成本考虑,倾向于选择不同类型的激光雷达用于走航监测。例如,一些厂家选择微脉冲激

光雷达，因其结构相对简单、成本较低，可满足对大气气溶胶的基本监测需求；而部分厂家则采用高能量气溶胶激光雷达，以获取更远的探测距离等。这种多样化的选择导致不同走航监测系统在监测原理和数据特性上存在差异，使得数据整合与对比分析变得困难。另外，即使是同一类型的激光雷达，各厂家的产品和技术参数上也存在较大差异。如激光波长、脉冲能量、脉冲重复频率、盲区、探测距离、空间分辨率、时间分辨率等参数，不同厂家的设定各不相同。一些气溶胶激光雷达厂家为追求更远的探测距离，可能会使用更高激光脉冲能量的激光光源，但高能量激光光源同时又存在高脉冲重复频率与低脉冲重复频率的区别，其中低脉冲重复频率（ $<100\text{Hz}$ ）会牺牲时间分辨率，导致走航监测结果时效性降低，结果不精准；再如一些臭氧激光雷达厂家选择上车的设备会侧重于设备成本，相应地在探测技术上选择更为简单的技术，比如选用紫外与可见光差分吸收的臭氧雷达监测设备，此类非紫外波长对的差分吸收反演结果会与环境空气实际情况有较大差异。以上种种激光雷达探测技术参数的不一致性，使得用户在选择设备时难以评估其性能优劣，也无法保证不同走航系统在相同监测任务中的数据一致性。

激光雷达车辆改装技术的多样。在将激光雷达设备安装于车辆上时，各厂家的改装方案差异显著。有的厂家将激光雷达安装在车的顶部，以获得更开阔的探测视野，但可能会受到车辆行驶过程中气流和扬尘的影响；而有的则安装在车内部，虽然在一定程度上避免了前部的气流干扰，但若配套的光学天窗选型不合格，也可能造成数据偏差。此外，对于配套的气象传感器、数据采集设备以及供电系统等的安装位置，也没有统一的规范，导致车辆内部布线混乱，设备维护不便，同时还可能影响车辆的重心分布和行驶稳定性。车辆在行驶过程中会产生振动，这对激光雷达的精度和稳定性会产生不利影响，各厂家在车辆减震与设备防护方面采取的措施各不相同。一些厂家采用简单的弹簧减震器，虽能在一定程度上减轻振动，但对于高频振动的过滤效果不佳；而其他厂家则使用复杂的空气弹簧减震系统或多层减震垫，成本较高且安装调试难度大。

1.3.2 国外大气激光雷达走航监测系统技术研究现状

欧美等发达国家在大气激光雷达技术方面起步较早，已经研发出多种类型的大气激光雷达，并用于移动式监测。这些监测系统通常配备高性能的激光雷达系统，能够实现对大气气

溶胶、云、污染物等的高精度监测。例如，美国国家航空航天局（NASA）利用星载激光雷达监测系统对大气中的气溶胶和云进行了长期观测，为研究气候变化提供了重要数据。欧洲一些国家也在大气污染监测、空气质量评估等方面广泛应用激光雷达走航监测，取得了显著成效。

主要应用单位应用情况

序号	应用单位名称	应用技术	应用起止时间	单位类型	效益
1	四川省生态环境 科学研究院	颗粒物激光雷达 走航监测技术	长期	事业单位	实现对区域行进路 线上大气颗粒物定 性定量分析
2	浙江省宁波生态 环境监测中心	臭氧激光雷达走 航监测技术	2023 年 9-10 月	事业单位	实现对区域行进路 线上大气臭氧进行 定性定量分析

1.4 国内外该行业管理现状

目前，国际上欧美国家均有相应的管理机构负责大气环境监测的管理工作，制定了相应的大气激光雷达技术标准，包括激光雷达的性能指标、数据处理方法、质量控制等方面内容。暂无针对大气激光雷达走航监测系统的技术标准。

我国目前暂无针对激光雷达走航监测系统的技术标准，但有制定了一些大气激光雷达走航监测车相关的技术标准，如《大气环境监测激光雷达技术要求及检测方法》等。这些标准对激光雷达的性能指标、技术要求、检测方法、数据处理方法、质量控制等方面进行了规定，为大气激光雷达走航监测车的应用提供了技术支持。

2. 编制的必要性

随着环境监测技术的不断发展，大气激光雷达走航监测系统作为一种先进的移动监测手段，在大气污染防治工作中发挥着日益重要的作用。它能够快速获取大面积区域内的大气污染物时空分布信息，为精准治污、科学决策提供有力支持。然而，当前该领域面临着诸多问题，严重影响了监测数据的准确性、可比性和有效性，因此编制大气激光雷达走航监测技术规范迫在眉睫。

2.1 行业存在问题

2.1.1 性能指标差异大

不同厂家生产的大气激光雷达在性能指标上存在显著差异。例如，在激光发射功率、激光波长、脉冲频率、盲区、接收望远镜口径与灵敏度等关键参数方面，各厂家产品参差不齐。例如，一些厂家的颗粒物激光雷达产品可能在近距离探测时有较高的精度，但在远距离探测时信号衰减严重，信噪比大幅下降；而另一些厂家的颗粒物激光雷达产品采用较大的波长激光进行探测，虽然激光的穿透性更强，但对微小颗粒物的探测能力较弱；再如，一些厂家的臭氧激光雷达产品的紫外波长差较高，脉冲频率较低，输出的臭氧廓线产品误差较大，时间分辨率高，产品本身就不适用于走航探测。这种性能指标的不一致性，使得不同设备获取的数据难以直接进行对比和整合分析，给区域大气污染联防联控工作带来了极大困难。

2.1.2 数据质量不稳定

数据质量不稳定是当前大气激光雷达走航监测车面临的又一突出问题。一方面，由于设备硬件差异以及缺乏统一的校准规范，导致测量数据存在系统误差。例如，部分激光雷达在长时间走航运行后，激光光路会发生漂移，却未及时进行校准，从而使测量的大气污染物数据产生偏差。另一方面，环境因素对数据质量的影响也未得到有效控制。如在高湿度环境下，激光与水汽相互作用可能产生干扰信号，影响对颗粒物的准确测量；而在强风或复杂地形条件下，气溶胶的分布不均匀，也会导致测量数据的波动较大，这些不稳定的数据无法为环境管理部门提供可靠的决策依据。还有，各个厂家的激光雷达原始信号反演的算法不一，得到的数据产品形式也不同，例如，部分激光雷达的反演数据产品为自定义产品，与常规厂家的数据产品没有可对比性，也会导致不同应用的地区对于走航结果的评价标准不一。

2.1.3 车辆改装形式不规范

大气颗粒物激光雷达走航监测车通常是在普通车辆基础上进行改装而成，但目前车辆改装过程缺乏统一标准。在改装布局方面，有的厂家将激光雷达设备安装在车顶，却未充分考虑车辆行驶过程中的风阻、振动对设备稳定性和测量精度的影响；而有的则安装在车内，又可能因天窗玻璃选择的不一而产生由于玻璃的光学特性对激光信号产生衰减或干扰。在电力供应与信号传输系统的改装上，也存在线路布局混乱、电磁屏蔽措施不到位等问题，容易引发设备故障和信号干扰，降低了监测车的可靠性和稳定性。

2.1.4 走航监测方法不一致

（1）车速控制方面

不同的监测任务和操作人员对车速控制标准不一致。有些在城市道路监测时车速较快，导致激光雷达对局部区域的监测时间过短，数据采集不充分，无法准确反映该区域的颗粒物污染状况；而在一些特殊路段或重点监测区域，车速过慢又会影响监测效率，同时可能因车辆停留时间过长，使测量数据受到周围局部污染源排放波动的影响，不能代表区域整体的污染水平。

（2）路线规划方面

走航监测路线规划缺乏统一规范，各地区或单位往往根据自身需求和经验进行规划。一些路线可能集中在城市主干道或重点污染源周边，而对一些人口密集但交通不便的小巷、社区以及城市边缘区域覆盖不足，导致监测数据存在空间代表性偏差，无法全面反映城市整体的大气颗粒物污染分布特征，不利于制定全面、均衡的污染治理策略。

（3）走航监测天气条件方面

对于在不同天气条件下开展走航监测的要求不明确。例如，在大雾、沙尘、强降雨等不利天气条件下，激光雷达的测量精度会受到严重影响，但部分监测车仍在这些不利天气条件下进行作业，获取的数据可靠性极低；而在降雨前后等湿度变化较大的时段，由于缺乏对湿度影响的修正剔除标准，测量数据也存在较大误差，这些因天气条件考虑不足而获取的不准确数据，会误导环境管理决策，浪费监测资源。

2.1.5 分析方法不相同

在对大气激光雷达走航监测数据的分析处理方面，各单位和研究机构采用的方法差异较大。在颗粒物激光雷达数据反演算法上，有的采用基于 Mie 散射理论的简单算法，对复杂混合气溶胶的反演精度有限；而有的采用更为复杂的多参数迭代算法，但计算资源消耗大且对输入参数要求苛刻。在臭氧激光雷达数据反演算法上，应用差分吸收算法所应用的波长对也不尽相同。在数据质量控制与筛选方面，缺乏统一的标准和流程，一些单位仅通过简单的数据阈值判断去除异常值，而未能充分考虑数据的连续性、相关性等因素，导致分析结果存在偏差。不同的分析方法使得相同监测数据可能得出截然不同的结论，严重影响了大气激光雷达走航监测数据在环境科研、管理决策等领域的应用价值。

2.2 预期达到的效果

2.2.1 保障监测数据的准确性与可比性

标准的编制能够统一大气激光雷达走航监测车的性能指标要求，如规定激光雷达设备的关键技术参数范围、检测方法及要求等，确保不同厂家生产的设备在相同条件下能够获取准确且可比的数据。通过制定数据质量控制规范，明确数据采集、传输、存储过程中的质量保证措施，减少因设备差异和环境干扰导致的数据误差，使各监测车获取的数据能够在区域范围内进行有效整合与对比分析，为大气污染的精准溯源、区域联防联控提供可靠的数据基础。

2.2.2 规范车辆改装与走航监测流程

标准的编制可对监测车的改装过程进行详细规范，包括车辆选型、设备安装位置与方式、电力与信号传输系统设计、车厢内部布局等方面，确保改装后的监测车既满足激光雷达设备的运行要求，又能保证车辆行驶安全与稳定性。同时，统一走航监测方法，如规定合理的车速范围、科学的路线规划原则以及不同天气条件下的监测作业规范等，能够提高走航监测的科学性和规范性，使监测数据更具代表性和可靠性，避免因监测流程不规范导致的数据偏差和资源浪费，提升大气激光雷达走航监测车在大气污染防治工作中的实际效能。

2.2.3 促进产业健康发展

当前大气激光雷达走航监测车行业由于缺乏统一标准，市场竞争较为混乱，产品质量良莠不齐。标准的编制有助于建立公平公正的市场竞争环境，引导企业规范生产经营行为，提高产品质量和技术水平。对于新进入的企业，团体标准能够提供明确的技术指导和准入门槛，促使其加大研发投入，提升产品竞争力；对于已有企业，标准的实施能够推动其进行技术升级和产品优化，淘汰落后产能，促进整个行业向标准化、规范化、高端化方向发展，增强大气激光雷达走航监测车产业在国内市场上的竞争力。

2.2.4 推动技术创新与进步

标准制定后并非一成不变，它会随着技术的发展和应用需求的变化而不断修订和完善。在标准编制过程中，汇聚了行业内众多专家、企业和科研机构的智慧与经验，能够对大气激光雷达走航监测领域的新技术、新方法进行梳理和总结，将先进的技术理念和实践经验纳入标准体系中。这不仅有利于推广应用成熟的新技术，如新型激光探测技术、更精准的数据反

演算法等，还能激发企业和科研人员开展进一步的技术创新研究，攻克行业关键技术难题，为大气激光雷达走航监测技术的持续发展提供强大动力。

2.2.5 加强行业自律与监管

标准的制定作为行业内部的自律性规范，能够加强企业之间的相互监督与协作。企业按照标准要求生产和运营，自觉遵守行业规范，有利于形成良好的行业秩序。同时，监管部门也可将本次制定的标准作为重要参考依据，对大气激光雷达走航监测车的生产、销售、使用等环节进行有效监管，确保市场上的产品和服务符合相关质量和技术要求，保障环境监测数据的真实性和可靠性，维护社会公共利益和环境安全。

2.3 拟产生的社会、经济及生态环境效益等

2.3.1 社会效益

为公众提供更加准确的大气环境质量信息，增强公众对大气污染的认识和关注，促进公众参与大气环境保护。同时为政府部门制定大气污染防治政策和措施提供科学依据，提高政策的针对性和有效性，保障公众健康和环境安全。

2.3.2 经济效益

促进大气激光雷达走航监测系统技术的推广和应用，带动相关产业的发展，如设备制造、软件开发、数据分析等，创造就业机会，促进经济增长。提高大气环境监测效率和精度，降低监测成本，为企业节约环保成本，提高经济效益。

2.3.3 生态环境效益

及时发现和预警大气污染事件，为采取有效的污染防治措施提供时间保障，减少大气污染物的排放，改善空气质量，保护生态环境。为大气污染成因分析和治理效果评估提供技术支持，促进大气污染治理工作的科学化和精准化，提高生态环境质量。

3. 国内外标准化情况

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
1	《大气气溶胶激光雷达技术要求及检测方法作业指导书》（HJC-ZY82-2018）	范围： 主要适用于 355nm、532nm、1064nm 波长大气气溶胶激光雷达的设计、生产和基本性能指标检测； 核心技术要素： 规定了大气气溶胶	本文件主要规范了大气气溶胶激光雷达技术要求、性能指标及检测方法，未提及其他类型激光雷达及用于走航监测系统的规范要求。

		激光雷达的术语和定义、系统组成和原理、技术要求、性能指标和检测方法。	
2	《大气超级站质控质保体系技术规范》（DB31/T 310006—2021 、 DB32/T 310006—2021 、 DB33/T 310006—2021 、 DB34/T 310006—2021）	范围： 规定了长三角区域大气超级站仪器配置和质控质保体系的技术要求； 核心技术要素： 适用于长三角区域生态环境监测部门及其他社会环境监测机构采用连续自动监测系统开展大气颗粒物组分、挥发性有机物组分和颗粒物垂直分布监测时的质量控制与质量保证。	本规范中关于激光雷达的部分内容适用于采用米散射原理的颗粒物激光雷达的日常运行维护以及质量控制。对于激光雷达走航监测系统、设备检测方法、结果分析应用方面内容未提及。
3	《大气环境走航监测车改装技术要求及运行作业指导书》（T/JSSSES 8-2020）	范围： 适用于安装用于大气环境监测的设备及不同组合的走航监测车； 核心技术要素： 规定了大气环境走航监测车的术语和定义、系统组成、技术要求、试验方法和运行作业指导书	本标准对大气环境走航监测车辆的功能要求、性能要求、外观内饰设计等做了规定，未针对走航监测车上的监测设备做技术规范要求。

4. 工作简况

4.1 任务来源

江苏省环境科学学会于 2024 年 12 月批准立项。

4.2 起草单位及分工

序号	起草单位	任务分工
1	无锡中科光电技术有限公司	负责本标准起草过程中整体规划、激光雷达走航监测试验、案例整理及标准文本初稿编制
2	江苏省环境监测中心	负责本标准起草过程中的组织协调、标准编制合规性审查、技术指导
3	江苏省苏州环境监测中心	负责本标准起草过程中的技术指导
4	浙江大学	负责本标准起草过程中的理论研究和技术监督
5	中国科学院安徽光学精密机械研究所	负责本标准起草过程中的理论研究和技术监督

4.3 主要起草人情况简介

序号	姓名	职称/职务	工作单位	研究方向
1	陈文泰	无锡中科光电技术有	副总裁兼总工/高工	环境科学

		限公司		
2	郑隆武	无锡中科光电技术有限公司	大客户经理/工程师	物理电子学
3	高宗江	无锡中科光电技术有限公司	业务发展总经理/工程师	环境科学
4	章统	无锡中科光电技术有限公司	业务规划工程师	激光探测技术、气象预报
5	周剑锋	无锡中科光电技术有限公司	政府事务经理/工程师	科技项目过程管理
6	钟声	江苏省环境监测中心	大气部部长/正高	大气环境监测
7	郁建桥	江苏省环境监测中心	中心副主任/研究员	环境监测与管理
8	曹军	江苏省环境监测中心	高工	环境监测管理
9	徐政	江苏省环境监测中心	高工	大气化学
10	顾均	江苏省苏州环境监测中心	高工	环境数据分析与管理
11	吴祺	江苏省环境监测中心	工程师	环境空气监测、大气污染特征综合分析
12	刘东	浙江大学	博士生导师	光学检测、激光雷达、机器视觉、深度学习
13	吴兰	浙江大学	博士生导师	光学工程、光电精密监测
14	刘崇	浙江大学	博士生导师	固体激光技术、激光雷达技术、光学检测技术
15	董云升	中国科学院安徽光学精密机械研究所	副研究员	大气探测与光学遥感

4.4 主要工作过程

4.4.1 标准预研

2024 年 9 月-2024 年 12 月，编制组调研并系统分析了欧美等发达国家以及我国已发布的相关技术指南，主要包括以下结果：

（1）调研了国际标准 ISO 28902-3:2018《空气质量-环境气象学-第 3 部分:用连续波多普勒激光雷达对风的地面遥感》，该标准专门针对单基地异差连续波多普勒激光雷达系统，详细规定了性能要求、测试程序以及优缺点评估。该标准适用于多种场景，包括气象观测（航空、海洋应用）、风力发电站的评估、污染扩散监测以及温室气体排放研究等。

(2) 调研了国内标准 HY/T 0445-2024《船载气溶胶激光雷达技术要求》，这项标准针对的是移动平台（船舶）上的激光雷达监测。其载体为船舶，其中关于设备在移动、振动环境下的稳定性、定位精度、数据同步等关键技术要求，对制定车载激光雷达的标准有较好的借鉴意义。

(3) 调研了国内标准 T/AHEMA 22-2022《光散射法环境空气颗粒物走航监测技术规范》，这项标准详细规定了走航监测的系统构成、车辆要求、监测频率、定位精度、数据通信与存储等条款。

4.4.2 立项申请

2024 年 12 月，向江苏省环境科学学会正式提交立项申请。

4.4.3 标准立项审查会

2024 年 12 月 24 日，江苏省环境科学学会在南京组织召开了标准立项审查会，经专家质询和讨论，同意立项。

4.4.4 标准起草

2025 年 1 月标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准初稿。

4.4.5 标准初审会

2025 年 4 月 1 日，江苏省环境科学学会组织组织召开团体标准初审。标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准征求意见稿。

4.4.6 征求意见

2025 年 10 月 11 日—2025 年 11 月 11 日，江苏省环境科学学会公开征求意见。

4.4.7 标准修改和送审稿形成

××年××月，标准编制组根据征集的意见，对标准进行了认真修改，形成送审稿。

4.4.8 标准送审稿审查

××年××月××日，江苏省环境科学学会组织召开了标准送审稿审查会，经专家质询和讨论，专家组一致同意通过审查，建议起草组根据专家意见修改后提交报批稿，进入发布程序。

4.4.9 标准报批

××年××月，起草组根据专家意见修改后向江苏省环境科学学会提交报批稿。

4.4.10 标准发布

××年××月××日，江苏省环境科学学会于批准发布。

5. 标准主要技术内容及编制依据

5.1 方法概述

利用车载大气环境激光雷达及其他辅助设备，基于地理位置信息在行进中连续自动监测，对大气气溶胶、大气臭氧进行定性定量分析，得出沿行进路线的气溶胶、臭氧空间连续分布，必要时辅以定点监测，完成定性、定量分析。

【注释：此方法重点在于借助车载的大气环境监测激光雷达以及其他辅助设备来开展重点针对大气气溶胶、大气臭氧的监测工作。车载大气环境监测激光雷达作为核心设备，包括大气气溶胶激光雷达及大气臭氧雷达，设备发射激光光束，通过接收激光与大气中的污染物相互作用后返回的信号，基于地理位置信息，在车辆行进过程中实现连续自动监测。在监测时，针对大气气溶胶和大气臭氧，运用特定算法反演获得污染物的时空间分布信息，同时进行定量分析，反演其浓度数值等。通过这样的方式，最终能够获取沿车辆行进路线的气溶胶、臭氧在空间上的连续分布情况。同时可以辅以定点监测，即选择特定地点，在一段时间内保持车辆驻车定点监测，从而更全面、准确地完成对大气气溶胶和臭氧的定性、定量分析。】

5.2 技术要求

5.2.1 激光雷达技术要求

5.2.1.1 大气气溶胶激光雷达

- a) 依照激光器能量的不同，应采用高能量脉冲激光雷达、微脉冲激光雷达两种类型之一；
- b) 依照光电转换和数据采集方式的不同，应采用模拟采集激光雷达、光子计数激光雷达两种类型之一；
- c) 依照波长不同，应采用355nm、532nm、1064nm三种波长类型的激光雷达之一。

【注释：大气气溶胶激光雷达是一种大气探测激光雷达设备，工作原理是向大气中发射激光，然后接收大气分子或者气溶胶产生的后向散射回波信号，从而实现对大气气溶胶在空间中分布情况的探测。从激光器能量角度分类，大气气溶胶激光雷达可分成两类，包括高能量脉冲激光雷达（简称为高能激光雷达），低能量的脉冲激光雷达（简称为微脉冲激光雷达）；

依据光电转换以及数据采集方式的差异，它又能分为模拟采集激光雷达和光子计数激光雷达；按照激光器发射激光的波长，还可分为波长为 355nm、532nm、1064nm 的激光雷达。】

5.2.1.2 大气臭氧激光雷达

大气臭氧激光雷达应采用根据两个及以上紫外波长的回波信号进行差分计算臭氧浓度的设备，且为保证臭氧浓度计算的准确性，两个紫外波长对的波长差应在20nm范围以内。

【注释：大气臭氧雷达是一种用于测量大气中臭氧浓度的专业设备，其工作原理是以激光作为光源，能够有效地穿透大气并与其中的臭氧分子发生相互作用。利用待测气体光谱吸收特性来测量臭氧浓度，通过被吸收检测光与未被吸收检测光的差异就能反推出臭氧的浓度。在实际测量过程中，臭氧雷达会向大气中发射两个紫外波长的激光束。通过发射多个波长的激光束，并根据两个及紫外波长的回波信号进行差分计算，能更精准地得到激光共同路径上的臭氧浓度。】

为了保证臭氧浓度计算的准确性，两个紫外波长对的波长差应在20nm范围以内。这是经过大量实验和研究得出的科学结论，如果波长差过大，不同波长激光在大气中的传播特性、与臭氧的相互作用差异等会变得复杂，难以有效利用差分计算消除干扰，导致计算出的臭氧浓度误差增大；而合适的20nm以内波长差，能使不同波长激光既具有一定吸收差异以用于差分计算，又能保证在相同大气环境下传播特性相近，从而确保臭氧浓度计算的准确性。】

5.2.1.3 激光雷达安装

激光雷达应按GB 7247.1-2001中4类产品规定，贴有激光警告标记、说明标记、激光窗口标志以及有关文字说明，相关标志应符合GB 2894-2008中的第4章的规定。

【注释：激光雷达由多个重要单元及其他辅助设备构成。其中，激光发射单元负责发射激光，这是整个雷达进行探测的基础信号源；光信号接收和分光单元能够接收大气中反射回来的光信号，并将不同特性的光进行分离；光电转换和信号处理单元会把接收到的光信号转化为电信号，并对这些电信号进行处理；数据采集、处理、分析和控制单元则用于收集处理后的数据，对其进行分析，并控制雷达的整体运行，同时还包括对数据的存储等操作，而其他辅助设备是为了保障这些核心单元正常运行的补充设施。此外，激光雷达有着严格的安全规范要求，必须按照 GB 7247.1-2001 《激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求和用户

指南》标准中对 4 类产品的相关规定来执行，要贴上激光警告标记，用以提醒人们该设备存在激光辐射，注意安全；说明标记则是对激光雷达的一些基本信息、使用注意事项等进行说明；激光窗口标志用于标识激光发射和接收的窗口位置；有关文字说明则是对上述标志等的进一步解释。并且，这些相关标志都应符合 GB 2894-2008 《安全标志及其使用导则》标准中第 4 章的具体规定，以确保标志的规范性、准确性和安全性，保障使用者和周围人员的安全。】

5.2.2 走航监测车要求

5.2.2.1 基础承载载体

走航监测车应配置成品商用车作为基础承载载体，需满足设备集成承载能力、国家道路通行标准及监测作业场景（如复杂路况、室外环境）的适应性要求。

【注释：走航监测车需以成品商用车为基础载体，核心原因在于其需同时满足“移动作业”与“设备承载”双重需求。成品商用车已通过国家道路通行认证，可规避改装车辆的合规性风险；且其车身结构、载重能力经过出厂验证，能稳定承载后续集成的仪器、供电等系统，避免因承载不足导致的车身变形或行驶安全隐患，同时适配户外复杂路况，保障监测作业的机动性】

5.2.2.2 供电系统

应集成稳定的供电系统，需保障核心仪器设备、环境控制系统、网络传输系统等全链路用电需求，具备电压稳定调节、断电应急供电（如备用电源）及过载保护功能。

【注释：供电系统需保障全链路用电与应急保护，源于走航监测的“不间断性”需求。核心仪器、环境控制等系统需持续供电，若电压不稳会导致仪器读数漂移，断电则会造成数据断档；配置备用电源与过载保护，可应对户外突发断电（如偏远区域供电不便）或设备瞬时功率峰值，避免因供电异常中断监测，同时防止过载损坏精密仪器。】

5.2.2.3 环境控制系统

需配置环境控制系统，可对车内监测设备安装区域的温度、湿度进行调控，维持设备运行所需的适宜环境条件。

【注释：环境控制系统的设置，是为解决“仪器运行环境敏感”问题。多数大气监测仪器（如光学传感器）对温湿度要求严苛：高温可能导致传感器元件老化，低温会影响电子元件响应速度，高湿度易造成设备内部短路或结露，这些都会引发数据偏差或设备故障。通过调控车内环境，可维持仪器在最佳工况下运行，保障数据质量与设备寿命。】

5.2.2.4 防雷接地系统

应设置符合防雷规范的防雷接地系统，需有效规避雷击对车内电子设备、供电系统的损害，接地电阻值需满足相关安全标准。

【注释：防雷接地系统的规范要求，基于走航监测的“户外作业场景风险”。走航车常在露天环境（如空旷场地、高地）作业，易遭遇雷击；车内电子设备（如网络模块、仪器主板）抗雷击能力弱，若未有效防雷，雷击电流会通过车身传导至设备，导致硬件烧毁；而明确接地电阻标准，是为确保雷击电流能快速导入大地，避免残留电流伤害人员或设备，保障作业安全。】

5.2.2.5 减震安装结构

需采用专用减震安装结构固定核心仪器设备，减少车辆行驶过程中振动对设备精度、运行稳定性及数据采集质量的影响，减震性能应适配设备安装精度要求。

【注释：减震安装结构的核心作用是“消除振动对仪器精度的影响”。走航车行驶中会产生颠簸振动（如砂石路、减速带），而气溶胶消光系数仪、臭氧监测仪等精密设备，其内部光学部件（如透镜、光源）对位移极敏感，振动会导致光路偏移，进而使监测数据出现随机误差；专用减震结构可缓冲振动冲击，固定设备位置，确保仪器在移动中仍能保持稳定的测量精度。】

5.2.2.6 网络传输系统

应集成网络传输系统，需实现监测数据的实时传输（如无线通信、卫星传输等）与本地存储备份功能，保障数据传输的时效性与安全性，满足远程监控与数据汇总需求。

【注释：网络传输系统需兼顾“实时性”与“安全性”，因走航监测需“动态监控+数据留存”。实时传输（如无线、卫星传输）可让后台即时获取监测数据，便于发现污染

异常后快速调度（如追踪污染羽流）；本地存储备份则是为应对网络信号中断（如山区、隧道），避免数据丢失；二者结合可保障数据不遗漏、不丢失，满足后续数据汇总与追溯需求。】

5.2.2.7 辅助设备

需配置必要的辅助设备，包括但不限于设备维护工具、数据存储备份设备、安全警示装置等，辅助设备功能需适配监测作业全流程需求，确保监测工作连续开展。

【注释：辅助设备的配置是为保障监测作业“全流程顺畅”。设备维护工具可及时处理仪器小故障（如传感器清洁、线路松动），避免因小问题暂停作业；数据存储备份设备可冗余保存监测数据，防止主存储设备损坏导致数据丢失；安全警示装置（如警示灯、反光条）可在路边作业时提醒过往车辆，保障人员与设备安全，这些辅助功能共同支撑监测工作的连续性与安全性。】

5.2.4 系统集成要求

激光雷达需集成在车的内部，不能直接安装在车顶或者通过升降台的方式集成，以保障激光雷达的稳定性和安全性。

【注释：激光雷达若直接安装在车顶，易受外界环境因素影响，如强风、暴雨、异物撞击等，会使设备产生晃动、位移，导致监测数据不准确，并且可能因恶劣天气和外物破坏而损坏，影响其稳定性和安全性。通过升降台的方式集成同样存在类似风险，比如升降台可能在车辆行驶过程中因震动等原因出现松动，影响激光雷达工作。将激光雷达集成在车的内部，能有效避免这些外界因素干扰，车辆内部相对封闭稳定的环境可确保激光雷达在运行时保持稳定，降低损坏风险，进而保障其稳定且安全地运行，持续提供可靠监测数据。】

激光雷达需要配备定制的光学天窗，以实现在雨天情况下走航车的使用，实现走航车的全天候工作和无人值守。

【注释：在雨天时，普通车窗会因雨水附着、雾气凝结等影响光线穿透和激光雷达的扫描效果，导致监测数据出现偏差甚至无法正常监测。定制的光学天窗经过特殊设计，具有良好的防水、防雾性能，能保证雨水不会积聚在玻璃表面干扰激光雷达的光线传输，同时其光学性能稳定，可让激光雷达的光束准确发射和接收，从而实现雨天作业。光学扫描头同样具备防水、防尘等特性，能在恶劣天气下正常工作，并且在无人值守的情况下，无需人工干预

就能自动持续扫描监测，使得走航车摆脱天气限制，可在全天任何时段包括雨天都能稳定运行，不间断地收集大气数据，为大气环境监测提供更全面、连续的数据支持。】

大气气溶胶激光雷达走航车需要配备光学扫描头，以实现移动走航和定点扫描监测功能。

【注释：大气气溶胶激光雷达走航车在执行任务时，一方面需要在移动走航过程中对沿途大气气溶胶进行监测，获取沿行进路线上气溶胶的空间分布信息。光学扫描头可在车辆移动时，不断调整扫描角度和范围，对周边大气环境进行动态监测，保证数据的连续性和完整性。另一方面，当需要对特定区域进行详细分析时，走航车需定点停留进行扫描监测。光学扫描头能够在定点状态下，通过调整俯仰角和工作方式对局部区域的大气气溶胶进行扫描，获取更精准的气溶胶浓度、分布层次等信息。】

5.2.5 工控机

工控机应满足 HJ 212 要求，还应符合以下要求：

5.2.5.1 通信接口：具备一路 RS-485 或 RS-232 或 USB 接口或以太网通信接口，用于与上位机通信；

【注释：工控机需具备一路特定通信接口，这其中包括 RS-485 接口，它具有传输距离长、抗干扰能力强的特点，适合在一些复杂环境下进行数据传输；或者 RS-232 接口，其应用广泛，在短距离通信场景中表现出色；又或者 USB 接口，它具有高速传输、即插即用的优势；又或者以太网通信接口，可实现高速稳定的网络数据传输。通过这些接口，工控机能够与上位机建立有效的通信连接，完成数据的上传下达。】

5.2.5.2 存储要求：根据使用需求，能完整存储不少于 12 个月的所有参数监测数据和报警等信息；

【注释：鉴于不同的实际使用场景存在不同需求，工控机必须能够完整存储不少于 12 个月的所有参数监测数据，包括各类关键监测参数，以及系统产生的报警等重要信息。长时间的数据存储能够为后续的数据分析、趋势研究以及问题追溯提供丰富的数据支撑，确保在需要时能够获取到足够时长的数据进行全面分析。】

5.2.5.3 抗干扰能力：具有防雷击、防电磁干扰、抗震动等能力；

【注释：工控机干扰能力至关重要。在实际运行过程中，它可能会遭遇雷击风险，雷电产生的瞬间高压可能会损坏设备，因此具备防雷击能力能够有效保护工控机；同时，周围环境中存在的各种电磁干扰，如附近的高压线、通信基站等产生的电磁信号，可能会干扰数据传输与处理，防电磁干扰能力可保障数据的准确性与系统运行的稳定性；此外，监测车在行进过程中难免会产生震动，抗震动能力能够确保工控机内部硬件稳固，避免因震动造成部件松动影响设备正常工作。】

5.2.5.4 电压稳定性：允许外部供电电压波动 $\pm 10\%$ 。

【注释：考虑到监测车所处环境的供电情况可能存在波动，这要求工控机具备良好的电源管理和稳压能力，即便在电压不稳定的情况下，也能够持续正常运行，保证监测工作的不间断进行，避免因电压波动导致数据采集中断或设备损坏，允许外部供电电压在 $\pm 10\%$ 的范围内波动。】

5.2.5.5 保障系统运行并将数据传输至上位平台。

【注释：工控机作为整个监测系统的重要组成部分，其性能需严格满足 HJ 212 《污染物在线监控（监测）系统数据传输标准》的要求，确保工控机稳定地保障整个监测系统的运行，并且顺利地将所获取的数据传输至上位平台，便于后续对数据进行进一步处理与分析。】

5.2.6 供电设备

电量应至少满足在满负荷运行状态下走航监测的激光雷达设备连续运行6h以上。

【注释：激光雷达走航监测通常需要在不同区域开展长时间的监测工作，期间走航监测设备必须保持稳定运行。设备所配备的电源系统，无论是车载电池还是其他供电装置，其电量储备在满负荷的情况下必须充足到能够维持激光雷达及相关辅助设备持续运转 6 个小时及以上。这样的电量保障，可确保监测车在外出作业时，无需频繁因电量不足而中断监测，进而实现较为完整且连贯的走航监测任务。】

5.2.7 工作温湿度

走航监测车在环境温度范围是 $-20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、湿度范围为 $0\%\sim 90\%$ 的外部环境条件下应能正常工作。

【注释：走航监测车是用于大气环境激光雷达走航监测的重要载体，其工作环境复杂多变。在环境温度方面，要求走航监测车能够在低至零下 20 摄氏度（-20℃）到高至 40 摄氏度（40℃）这样一个温度区间内正常运行，无论是在寒冷的冬季还是炎热的夏季，只要温度处于这个范围内，监测车都应具备稳定的工作性能，确保搭载的激光雷达等设备能正常运转。在湿度方面，走航监测车需在空气湿度从 0%（即完全干燥的环境）到 90%（相对高湿度环境）的条件下都能正常工作，监测车不仅要适应干燥的气候，也要能在潮湿的环境中正常开展监测任务，避免因环境湿度的变化而影响监测车及车上设备的性能，进而保证大气环境监测数据的准确性和可靠性。】

5.2.8 走航软件

走航软件包括但不限于设备状态参数实时监控、状态异常情况报警、设备性能指标测试、监测数据实时展示、走航结果地图叠加及历史数据回看等功能。

【注释：走航软件包括设备状态参数实时监控功能，能够让操作人员随时了解激光雷达设备的各项运行参数，如激光发射频率、激光能量等关键参数，时刻掌握设备是否处于正常工作状态。状态异常情况报警功能是当设备的运行参数超出正常范围，或者出现硬件故障等异常状况，软件会立即发出警报，提醒相关人员及时处理，避免因设备异常而影响监测数据的准确性和完整性。设备性能指标测试功能，可定期或不定期对激光雷达设备的性能指标，像有效探测距离、探测盲区等进行测试，确保设备性能始终符合技术规范要求。监测数据实时展示功能，能够将激光雷达在走航过程中实时采集到的大气气溶胶、臭氧等监测数据，以直观的形式，如伪彩图、时序图等实时呈现，方便随时了解当前监测情况。走航结果地图叠加功能，会把走航监测所获取的气溶胶、臭氧空间分布等结果，与地理信息地图相结合，清晰展示出不同区域的大气污染状况，便于更直观地分析污染物的空间分布规律。历史数据回看功能，使得操作人员能够查询过往走航监测所记录的数据，用于对比分析不同时间段内大气环境的变化情况。】

5.2.9 车载卫星定位系统及电子地图

应配备车载卫星定位系统，在走航监测时记录经纬度坐标，并在地图上实时显示行进路径。车载定位系统定位精度在3.5 m以内。

【注释：配备车载卫星定位系统，目的在走航监测过程中，需要精准记录监测位置信息。经纬度坐标能够明确监测点所在的具体位置，通过持续记录这些坐标，就可以在走航监测的全程中，将监测数据与对应的地理位置紧密关联起来。而在地图上实时显示行进路径，则能让操作人员直观地看到监测车的移动轨迹，方便其对监测过程进行把控和调整。此外，对车载定位系统的定位精度作出在 3.5 m 以内的严格要求，为了保证所记录的经纬度坐标足够精确。】

5.3 检测方法

5.3.1仪器准备

5.3.1.1整体要求

大气气溶胶激光雷达和大气臭氧激光雷达检测性能指标分别见表1和表2。

表 1 大气气溶胶激光雷达检测性能指标

探测波长	355nm/532nm/1064nm 波长
盲区	≤75 m
信噪比	500m≥60dB 1000m≥30dB 2000m≥5dB
有效探测距离	≥4 km
接收横截面四象限均匀性	≤20%
大气瑞利散射信号拟合偏差	≤20%
时间分辨率	≤1min

表 2 大气臭氧激光雷达检测性能指标

探测波长	至少包含 2 个紫外波长，且波长差小于 20nm
盲区	≤75 m
信噪比	500m≥60dB 1000m≥30dB 2000m≥5dB
有效探测距离	≥3 km
接收横截面四象限均匀性	≤20%
时间分辨率	≤1min

【注释：对于大气气溶胶激光雷达，其检测性能指标集中在表 1。在检测项目中，涉及 355nm/532nm/1064nm 这三个不同波长的相关参数。盲区要求需小于等于 75 米，75 米以上的区域，能够有效避免因近距离干扰而产生不准确的数据。信噪比方面，在距离 500 米

处要大于等于 60dB，这保证了在该距离下获取的数据信号清晰，受噪声干扰小；1000 米处需大于等于 30dB，2000 米处大于等于 5dB，体现了随着距离增加，对信噪比要求虽逐渐降低，但依然要保证一定的信号质量。有效探测距离规定大于等于 4千米，以满足对于中低空区域的大气气溶胶进行有效检测。接收横截面四象限均匀性小于等于 20%，确保了激光雷达在不同方向接收信号的均匀程度，避免因接收不均导致数据偏差。大气瑞利散射信号拟合偏差小于等于 20%，有助于保障通过瑞利散射原理获取的数据与实际情况的拟合度，提高数据准确性。时间分辨率小于等于 1 分钟，要求激光雷达每分钟就能输出一组有效数据，能及时反映大气气溶胶在时间维度上的变化情况。

大气臭氧激光雷达的检测性能指标在表 2 展示。其探测波长要求至少包含 2 个紫外波长，且波长差小于 20nm，这是基于臭氧对特定紫外波长光的吸收特性设定的，能更精准地检测臭氧浓度。盲区同样要求小于等于 75 米，原理同大气气溶胶激光雷达。信噪比在 500 米、1000 米、2000 米处的要求与大气气溶胶激光雷达一致，保证不同距离下信号质量。有效探测距离要求大于等于 3 千米，以满足对于中低空重点区域的臭氧进行有效检测。接收横截面四象限均匀性和时间分辨率的要求也与大气气溶胶激光雷达相同，分别为小于等于 20% 和小于等于 1 分钟，作用也是确保信号接收均匀和及时获取数据，从而为大气臭氧的监测提供可靠数据。

5.3.1.2 盲区

按照附录A中A.1、附录B中B.1的方法进行盲区检查，近地面探测最低高度应满足表1和表2要求。

【注释：本项目规定的是盲区该项指标内容的检测方法，具体方法参照附录要求，同时规定该项指标监测结果的要求】

5.3.1.3 信噪比

按照附录A中A.2、附录B中B.2的方法进行原始信号采集，信号峰值与噪声比值应满足表1和表2要求。

【注释：本项目规定的是信噪比该项指标内容的检测方法，具体方法参照附录要求，同时规定该项指标监测结果的要求】

5.3.1.4 有效探测距离

按照附录A中A.3、附录B中B.3的方法进行原始信号采集，信噪比 $SNR \geq 3$ 时，对应高度应满足表1和表2要求。

【注释：本项目规定的是有效探测距离该项指标内容的检测方法，具体方法参照附录要求，同时规定该项指标监测结果的要求】

5.3.1.5 接受横截面四象限均匀性

按照附录A中A.4、附录B中B.4的方法进行接收横截面四象限均匀性检查，结果应满足表1和表2要求。

【注释：本项目规定的是横截面四象限均匀性该项指标内容的检测方法，具体方法参照附录要求，同时规定该项指标监测结果的要求】

5.3.1.6 大气瑞利散射信号拟合偏差

按照附录A中A.5的方法进行大气瑞利散射信号拟合偏差检查，激光雷达原始信号和标准大气模型的距离平方校正信号进行线性拟合，斜率的相对偏差应满足表1要求。

【注释：本项目规定的是大气瑞利散射信号该项指标内容的检测方法，具体方法参照附录要求，同时规定该项指标监测结果的要求】

5.3.1.7 走航监测车准备

对大气环境激光雷达走航监测车的测试应在规定的标准监测条件下进行。参考的标准监测条件见表3。

表 3 大气环境激光雷达走航监测车准备

影响对象	大气臭氧激光雷达
车内环境温度	25℃~30℃
车内环境湿度	≤85%RH
电源电压	220V±22V
电源频率	50Hz±1Hz

【注释：对大气环境激光雷达走航监测车开展测试时，必须要在预先明确规定的标准监测条件之下实施。这些标准监测条件是保障监测车测试数据准确性与可靠性的关键前提，详细情况列于表 3 之中。表 3 展示的是大气环境激光雷达走航监测车准备阶段的相关标准。

其中臭氧激光雷达对于运行环境的要求更高，影响量包含多个关键因素，本标准主要规定以搭载臭氧激光雷达的走航车运行环境要求：

车内环境温度：需将温度严格控制在 25℃到 30℃之间。这是因为臭氧激光雷达的内部精密光学元件以及电子器件的性能，会随着温度的变化而产生显著波动，影响光路的精准度，进而干扰对臭氧的监测精度。所以规定这一温度区间，能确保臭氧激光雷达在最佳的热环境下工作。

车内环境湿度：要求湿度必须小于等于 85% RH。湿度若超出这个范围，过高的湿度可能会在激光雷达的光学镜片上形成水汽凝结，导致光线折射和散射情况异常，极大地影响对大气中臭氧的探测信号强度与准确性；严重时甚至可能造成电子元件短路，损坏设备。所以控制湿度在这个标准内，能有效避免因湿度问题而产生的各种不良影响。

电源电压：电源电压需维持在 220V 上下浮动 22V 的范围。电源电压的稳定直接关系到臭氧激光雷达的供电稳定性，电压过高，可能烧毁设备内部的电路和元件；电压过低，设备可能无法正常启动，或者即便启动也无法达到额定工作状态，致使监测数据出现偏差。因此，保证电源电压在此标准范围，是设备稳定运行和获取准确数据的必要条件。

电源频率：电源频率要保持在 50Hz 且允许有 $\pm 1\text{Hz}$ 的波动。臭氧激光雷达内部的许多电机等设备，其工作性能与电源频率密切相关。如果电源频率偏离标准值过多，会导致这些设备运转异常，影响激光发射、信号接收等环节，最终影响对大气臭氧的监测结果。所以规定这个电源频率范围，能保证设备内部电气系统的稳定运行，从而确保监测数据的可靠性。】

5.3.1.8 试运行

启动监测设备和车辆，在周边开展小范围走航试验，确认车辆、监测设备等运行正常，工控机可正常上传监测数据，电子地图显示定位准确、无明显延迟。

【注释：当准备开展正式的大气环境激光雷达走航监测前，首先要做的便是启动监测设备以及搭载设备的车辆。监测设备涵盖了大气环境激光雷达本身，还有其他各类辅助设备等。随后，在监测车所处位置的周边区域，开展小范围的走航试验。在走航试验过程中，需要全面确认多方面情况。一方面，要确认车辆运行正常，包括车辆的行驶稳定性、动力系统正常运作等，因为车辆的平稳行驶是确保监测数据准确性的基础条件之一。另一方面，要着重确

认监测设备运行正常，比如激光雷达的各项关键技术参数是否在规定范围内，其发射和接收激光信号的功能是否完好等。同时，还要保证工控机能够正常上传监测数据。此外，电子地图的显示状况也同样重要，要确保其显示的车辆定位准确无误，并且不存在明显延迟。】

5.3.2 监测方案制定

5.3.2.1 走航天气条件的确定

走航监测工作宜在风速8m/s以下，无降水的天气开展。

【注释：走航监测工作对于天气状况有着特定要求，若风速过高，一方面会对大气中气溶胶、臭氧等物质的空间分布产生较大扰动，使原本相对稳定的分布状态被打乱，导致激光雷达监测到的数据无法准确反映正常的大气状况。另一方面，过大的风速可能会对车载设备产生物理影响，例如造成监测车晃动，进而影响激光雷达设备的稳定运行，降低数据采集的准确性。降水天气条件下，由于降水过程中雨滴会对激光雷达发射的激光束产生散射和吸收作用，严重干扰激光雷达对大气气溶胶和臭氧的监测信号，导致监测数据出现偏差甚至失真，极大地影响数据的可靠性与准确性，所以综合考量，走航监测工作适宜在风速 8m/s 以下且无降水的天气开展 。】

5.3.2.2 走航监测区域的确定

根据环境管理要求和解决实际环境问题需求，规划走航监测区域。掌握监测区域的企业分布及所属行业、道路分布状况、周边敏感区分布状况、盛行风向等。

【注释：走航监测区域的确定至关重要，其需紧密依据环境管理的具体要求，这些要求涵盖诸如对特定区域空气质量达标的管控指标，以及解决实际环境问题的切实需求，比如针对频发雾霾地区探寻污染源等。在此基础上，对走航监测区域展开合理规划。

规划过程中，深入掌握监测区域的企业分布及所属行业情况极为关键。了解企业分布能知晓哪些区域工业活动密集，而明确所属行业，可判断不同区域潜在的大气污染物类型，像化工行业可能排放多种挥发性有机化合物，钢铁行业则易产生粉尘等污染物。

道路分布状况也不容忽视，因为走航监测车需沿道路行驶，熟悉道路分布能规划出高效且全面覆盖监测区域的路线，确保不会遗漏关键地带，且能保障监测过程的连贯性与稳定性。

周边敏感区分布状况同样是重点考量因素。敏感区如居民区、学校、医院等，对空气质量变化极为敏感，需特别关注这些区域周边的大气状况，以便及时发现潜在污染对敏感人群的威胁。

盛行风向的掌握能帮助分析污染物的扩散方向与趋势。例如，若某区域盛行南风，那么位于上风方向的污染源可能对下风方向的大片区域造成污染影响，这有助于在规划监测区域时，更有针对性地布置监测路线与重点监测点位，从而更精准地获取数据。】

5.3.2.3 前期资料的收集和调查

在对目标区域开展大气激光雷达走航监测前应先确认气象条件，并对目标区域内的污染源信息、区域环境空气污染分布和时间变化特征等信息进行资料收集和调查，包括但不限于工业源、无组织排放源、交通源、高架源等信息。

【注释：在对目标区域开展大气激光雷达走航监测前，确认气象条件是重要步骤。风速的大小决定了污染物扩散的速度，风速越快，污染物被稀释和扩散的范围就越大；风向则指示着污染物传输的方向，明确风向有助于判断污染物的来源路径。温度影响着大气的垂直结构，例如逆温现象会抑制污染物的垂直扩散，导致污染物在近地面积聚。湿度与污染物的吸湿增长、化学反应等密切相关，高湿度环境可能促进某些污染物的转化和二次气溶胶的生成。所以，提前掌握这些气象因素，能为后续监测数据的分析提供重要参考。

同时，对目标区域内的污染源信息进行全面的资料收集和调查也是不可或缺的。目标区域内存在多种类型的污染源，工业源是较为集中且量大的一类，工厂企业在生产工艺过程中，会通过特定的排放口向大气排放各类废气，其中可能包含二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等多种污染物，详细了解工业源的位置、生产规模、排放污染物种类和排放量等信息，对于分析区域污染贡献有着重要意义。无组织排放源的特点是排放形式不固定，建筑工地物料堆放时，风吹会导致扬尘扬起，露天矿山开采过程中矿石的破碎、装卸等环节也会产生大量无组织排放的扬尘，这类污染源虽难以精确量化，但对区域空气质量有着不可忽视的影响，收集相关信息有助于全面评估区域污染状况。交通源与人们的日常出行紧密相关，道路上行驶的汽车、卡车等交通工具，在运行过程中持续排放尾气，尾气中含有一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物以及颗粒物等污染物，交通流量的大小、不同车型的比例等信息，对于分析交通源对区域

空气污染的贡献至关重要。高架源通常指那些通过高架烟囱等高空设施排放废气的源头，由于排放高度较高，其排放的污染物扩散范围更广，对区域乃至更大范围的空气质量都可能产生影响，掌握高架源的高度、排放速率等信息，能更好地理解污染物在大气中的扩散模式。

此外，收集区域环境空气污染分布情况，就是要弄清楚不同区域污染物浓度的高低差异，通过分析这些分布特征，可以发现污染严重的区域和相对清洁的区域，为后续走航监测路线的规划提供依据。而区域环境空气污染的时间变化特征也十分关键，污染物浓度在一天内不同时段，比如早晚高峰时段交通源排放量大，污染物浓度可能升高；一年内不同季节，受气象条件、工业生产季节性变化等因素影响，污染物浓度同样会呈现出明显的变化规律。掌握这些时间变化特征，有助于在走航监测时选择合适的监测时间，更准确地捕捉到污染物的变化情况。】

5.3.2.4 走航路线规划

结合目标区域污染源分布、主导风向和区域管理需求，规划走航监测路线。走航监测在满足区域管理要求和保证安全的前提下，走航监测区域应适当空旷，不应有明显遮挡，且尽可能靠近排放源头进行监测。监测过程可以参考HJ/T 55的要求在目标排放源周围及下风向进行监测。

【注释：在进行走航路线规划时，需充分考量多方面因素。目标区域污染源分布情况是关键要素之一，不同类型的污染源，如工业源、交通源等分布位置各异，掌握这些分布信息，能够让我们在规划路线时，更有针对性地覆盖到各类污染源集中区域，确保监测数据能有效反映不同污染源对大气环境的影响。主导风向对污染物的扩散方向起着决定性作用，依据主导风向规划路线，可使监测过程中能更好地捕捉到污染物在大气中的传输轨迹，例如在污染源的下风向设置监测路线，能更清晰地监测到污染物扩散后的浓度变化等情况。区域管理需求也不容忽视，不同区域可能因功能定位不同，如居民区、工业区等，对空气质量监测重点和频次要求不同，根据这些需求规划路线，可使监测结果更贴合区域管理实际需要。

在满足区域管理要求以及保障监测人员和设备安全的大前提下，走航监测区域的选择也应该选择适当空旷的区域有利于激光雷达设备更好地发射和接收激光信号，减少信号因周边

障碍物反射、散射等造成的干扰，若区域有明显遮挡，比如高楼、树木茂密等，会阻碍激光雷达对大气的探测，影响监测数据的准确性。

在监测过程中，可参考 HJ/T 55《大气污染物无组织排放监测技术导则》的要求。该标准针对无组织排放监测制定了一系列规范，在目标排放源周围进行监测，能全方位了解排放源不同方位的污染物排放情况，而在其下风向监测，则能清晰掌握污染物在大气中扩散后的浓度变化、空间分布等信息。】

5.3.3 监测实施

5.3.3.1 按照规划路线开展走航监测，必要时可对路线进行适当调整。走航监测速度宜控制在30km/h-40 km/h。

【注释：在实际开展大气环境激光雷达走航监测工作时，要严格依照事先规划好的路线来执行。这是因为规划路线是综合考量了目标区域污染源分布、主导风向以及区域管理需求等多方面因素而确定的，按照既定路线监测能保证获取的数据具有全面性和针对性，可有效反映该区域大气环境状况。然而，在一些特殊情况下，例如监测过程中遇到突发的道路施工、交通管制，又或者发现原定路线无法很好地覆盖关键污染源区域等状况时，就有必要对路线进行适当调整，以保障监测工作能够顺利、有效地推进。

对于走航监测的速度，因适宜地控制在 30km/h - 40km/h 范围。若监测速度过慢，不仅会导致监测效率低下，耗费大量时间和人力成本，而且在一定程度上可能影响数据的连续性和代表性，因为长时间在同一区域低速行驶，可能会使监测数据过度反映局部小区域特征，无法很好地体现整体沿路线的大气环境变化情况。反之，如果监测速度过快，激光雷达设备可能无法及时、准确地采集到足够的大气环境信息，致使获取的数据出现偏差或遗漏，影响对大气气溶胶、臭氧等成分的定性定量分析精度。所以，把走航监测速度控制在这个区间内，既能保证监测工作高效开展，又能确保激光雷达设备稳定、可靠地收集大气环境数据，为后续的数据分析和大气污染研究提供高质量的数据支持。】

5.3.3.2 在污染天气、污染突发性事件、监测站点数据突高等特殊情况下，可增加走航监测频次，为管理部门提供精准打击对象与污染源归档。

【注释：在遭遇污染天气时，像雾霾天、沙尘天气等，大气中的污染物浓度会显著升高，其成分和分布也变得更为复杂。而污染突发性事件，例如工厂突发的废气泄漏事故，可能在短时间内释放大量污染物，对周边空气质量造成严重影响。还有监测站点数据突高的情况，这可能意味着该区域附近出现了异常的污染源，导致污染物浓度瞬间上升。】

在这些特殊情形下，增加走航监测频次十分必要。通过提高监测频率，能够更及时、更密集地收集大气中的气溶胶、臭氧等污染物数据，详细掌握污染物在空间上的分布变化情况。这些精准的数据能为管理部门明确精准打击对象，比如精准定位突发污染事件的源头工厂位置，或者确定污染天气下主要污染物的排放企业。同时，将每次走航监测获取的关于污染源的详细信息进行归档，包括污染源类型、排放强度、地理位置等，为后续的环境管理、污染治理以及类似事件的应对提供详实的参考资料，从而助力区域大气污染的有效管控。】

5.4 结果分析与应用

5.4.1 数据产品

5.4.1.1 大气气溶胶激光雷达监测的数据产品包括气溶胶消光系数、退偏振比、大气边界层高度、PM_{2.5}和PM₁₀浓度。

【注释：大气气溶胶激光雷达监测能够产出多种数据产品。消光系数是一个重要参数，它反映了气溶胶对光的衰减能力，通过测量激光在大气中传输时因气溶胶散射和吸收导致的光强减弱程度，可计算得出大气消光系数，以此判断大气的浑浊程度。】

退偏振比则用于表征气溶胶粒子的形状特性。当激光照射到气溶胶粒子上时，一部分光会改变偏振方向，退偏振比就是这部分改变偏振方向的光强与原偏振方向光强的比值。不同形状的气溶胶粒子，如球形的海盐粒子和非球形的沙尘粒子，其退偏振比不同，所以该数据有助于区分气溶胶的类型。

大气边界层高度指的是从地面向上至大气边界层顶的垂直距离。大气边界层是受地面影响最直接的大气层区域，其高度变化对污染物的扩散和稀释有着重要作用。通过气溶胶激光雷达监测获取大气边界层高度数据，能够用来分析污染物在垂直方向上的扩散范围，当边界层高度较低时，污染物更易积聚在近地面，加重污染程度。

PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度由气溶胶激光雷达利用特定算法推算出 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的浓度。这些浓度数据直观地反映了空气中细颗粒物和可吸入颗粒物的含量水平，是评估空气质量的重要指标。】

5.4.1.2 大气臭氧激光雷达监测的数据产品包括大气臭氧浓度、气溶胶消光系数、大气边界层高度。

【注释：大气臭氧激光雷达监测所产出的数据产品最主要的就是大气臭氧浓度，它反映了在监测区域内臭氧在大气中的含量水平。臭氧作为大气中重要的组成部分，其浓度的高低对空气质量有着显著影响。准确获取大气臭氧浓度数据，能为评估空气质量状况、制定相关政策提供关键依据。】

臭氧雷达当中的可见光波长探测结果可以获得气溶胶消光系数，通过监测气溶胶消光系数，能够了解大气中气溶胶的分布和变化情况，助力分析大气污染的程度及传输规律。

通过臭氧雷达测得的消光系数可以判别大气边界层高度，它是指从地面到大气边界层顶的垂直距离。大气边界层高度对于污染物的扩散和传输起着关键作用，在边界层内，污染物容易混合和扩散。监测大气边界层高度，有助于理解污染物在垂直方向上的扩散范围和能力。】

5.4.1.3 以上数据产品均需剔除云的影响。

【注释：在大气环境激光雷达走航监测中，所获取的各类数据产品，包括大气臭氧浓度、气溶胶消光系数以及大气边界层高度等，都需要将云所造成的影响予以剔除。云是由大量的水汽凝结物聚集而成，其内部结构复杂且存在大量的水滴或冰晶。当激光雷达发射的激光束遇到云时，会发生强烈的散射和吸收现象。这就导致激光信号在经过云时发生严重衰减，进而干扰对真实大气环境中臭氧、气溶胶以及边界层等相关信息的准确探测。所以，为保证数据产品的准确性和可靠性，须将云对以上数据产品的影响剔除。】

5.4.2 结果表示

5.4.2.1 本文件大气臭氧浓度、PM_{2.5}和PM₁₀浓度所使用的浓度单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，保留至个位数。气溶胶消光系数使用的单位为 km^{-1} ，保留小数点后两位。退偏振比为无量纲，保留小数点后两位。大气边界层高度使用的单位为m，保留至个位数。

【注释：在本技术规范文件里，对于大气臭氧浓度、PM_{2.5} 以及 PM₁₀ 浓度，统一采用 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 作为浓度单位。代表这些污染物在单位体积空气中的质量。气溶胶消光系数反映的是气溶胶对光的衰减能力，单位采用 km^{-1} 。这一单位设置与激光雷达测量气溶胶在大气中传输时光信号衰减的原理相关，能直观体现单位距离内光被气溶胶削弱的程度。退偏振比用于描述激光雷达接收到的后向散射光偏振特性的变化，它是一个无量纲的参数，用于分析关于气溶胶粒子的形状信息。大气边界层高度指的是从地面到大气边界层顶的垂直距离，使用 m 作为单位。】

5.4.2.2 走航监测完成后绘制走航路径上的所监测气溶胶消光系数、退偏振比、PM_{2.5}和PM₁₀浓度、大气臭氧浓度的以位置（时间）—高度—色度三个维度的伪彩图，同时具备查看伪彩图不同区域特定时间点和特定高度的消光、退偏振比、PM_{2.5}和PM₁₀浓度、大气臭氧浓度。伪彩图需标注图例等信息。

【注释：走航监测工作全部结束后，需要绘制走航路径上的一系列关键大气指标的伪彩图。绘制的伪彩图采用位置（时间）—高度—色度三个维度的呈现方式。其中，位置（时间）维度，通过走航监测车的行进轨迹和对应时间，能直观展示不同地点和时刻的监测数据；高度维度，展现了大气垂直方向上各指标的变化情况，有助于分析不同高度大气层的污染特征；色度维度，则利用不同颜色来表示各指标数值的大小范围，通过颜色的渐变，让数据的变化一目了然，方便使用者快速识别高值区和低值区。】

同时，为了便于深入分析数据，绘制的伪彩图还应具备一项实用功能，即能够查看伪彩图不同区域在特定时间点以及特定高度下的消光系数、退偏振比、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度、大气臭氧浓度。另外，为了使伪彩图易于理解和解读，标注图例等信息必不可少。图例能够清晰说明不同颜色所对应的具体数据范围，让观看者无需额外解释就能明白伪彩图所表达的含义。】

5.4.2.3 走航监测完成后绘制走航路径上的所监测大气边界层高度的平面折线图，图谱应提供图例等信息。

【注释：在走航监测任务全部完成之后，需要绘制走航路径上所监测大气边界层高度的平面折线图。绘制的这一平面折线图中，横坐标通常代表走航监测车所行驶的时间及地理位

置信息，纵坐标则对应大气边界层高度的数值，其单位一般为米等长度单位。通过将各个监测点的大气边界层高度数值连接成折线，就能够清晰地看到大气边界层高度在走航路径上的起伏变化趋势。】

5.4.3 走航报告

5.4.3.1 报告应包含走航路线规划、天气条件、走航时段、走航目标及预期效果等。

【注释：在编制大气环境激光雷达走航监测报告时，走航路线规划是关键部分。要求详细阐述结合目标区域污染源分布、主导风向和区域管理需求所设计的具体监测路线，合理的路线能确保全面且精准地获取不同区域的大气污染信息。天气条件同样不可忽视，需记录走航监测当天的风速、风向、气温、湿度、降水等气象状况，这些因素会极大影响大气中污染物的扩散与传输，进而左右监测数据的准确性。走航时段需明确具体的起止时间，不同时段大气污染物浓度及排放源活动情况。走航目标应清晰表述，比如是为了排查特定区域的工业污染源，还是监测城市交通主干道周边的空气质量等，清晰的目标为监测工作提供明确方向。预期效果则要说明期望通过此次走航监测达成的成果。】

5.4.3.2 报告应包含走航期间的整体情况，包括区域伪彩图，以表格形式呈现的高值点位台账，高值点位的空间分布。

【注释：走航报告需要全面涵盖走航期间的整体状况。区域伪彩图利用不同颜色来直观展示监测区域内大气污染物浓度的分布差异。通过色彩的鲜明对比，工作人员能够快速识别出污染物浓度较高和较低的区域，清晰把握整个区域的污染态势。】

以表格形式呈现的高值点位台账详细记录了各个高值点位的相关信息，如具体地理位置坐标，精确到经纬度，方便后续精准定位；污染物的种类，明确是哪种或哪几种污染物浓度偏高；对应的浓度数值，这是衡量污染程度的关键数据；以及发现该高值点位的具体时间。

高值点位的空间分布有助于从空间维度上理解污染物高浓度区域的分布特征，例如是否集中在某个工业区、交通枢纽周边，还是呈分散状分布，还能结合区域的地理环境、人口分布、产业布局等因素，进一步分析高值点位出现的原因。】

5.4.3.3 报告应包含结合区域周边污染源，风速、风向、温度、湿度等气象要素数据，分析污染来源及传输等。

【注释：区域周边污染源情况包括了工业生产企业、交通运输枢纽、建筑工地等各类污染源，其排放的污染物种类、强度以及排放方式都有所不同，详细梳理这些信息，是剖析大气污染成因的基础。】

风速、风向、温度、湿度等气象要素数据同样不可或缺。风速决定了污染物扩散的速度，风速越快，污染物在大气中扩散得越迅速，影响范围也就越广；风向则明确了污染物的传输方向，顺着风向能追踪到污染物可能影响的区域。温度会影响大气的稳定性，进而影响污染物的垂直分布；湿度与某些污染物之间存在相互作用，例如高湿度环境可能促进气溶胶的吸湿增长，改变其物理化学性质。

在整合这些信息后，要深入分析污染来源及传输情况。通过对比污染源分布与风向信息，可以判断哪些污染源排放的污染物可能在当前气象条件下对监测区域产生影响，追踪污染物从源头到监测点的传输路径。结合风速、温度、湿度等因素，进一步分析污染物在传输过程中的扩散、稀释、转化等过程，从而为大气污染的精准溯源提供有力支撑。】

5.5 质量保证与质量控制

5.5.1 性能指标检查

应按照附录A、附录B的要求定期对仪器性能进行检查，检查结果应符合相应要求，确认雷达状态。若走航监测前任一性能指标检查不合格，则应及时查找原因，直至合格后可进行走航监测。

【注释：在每次开展走航监测工作之前，应定期依据既定的标准和要求，对激光雷达仪器的各项性能展开全面检查，只有仪器性能达标，才能保证在走航过程中获取的数据真实可靠。检查结果必须契合相应的标准要求，以此来确认雷达处于良好的工作状态。倘若在走航监测前，发现任何一项性能指标的检查未达到合格标准，就必须立即启动原因查找流程。这可能涉及到仪器设备自身的故障，如零部件老化、电路连接松动等；也可能是外部环境因素干扰，像温度、湿度超出仪器适宜工作范围等。只有通过细致排查，解决了所有导致性能不达标的问题，使仪器性能恢复到合格状态之后，才可以开展走航监测工作。】

5.5.2 走航前设备状况检查

5.5.2.1 检查激光光斑形状、是否出现位移，有偏差应及时调整。

【注释：激光光斑形状直接关系到激光雷达发射的激光束在大气中的传播特性和探测效果。理想状态下，激光光斑应呈现规则、均匀的形状，这有助于保证激光能量的均匀分布，使得对大气中气溶胶、臭氧等物质的探测更为精准。一旦激光光斑形状发生畸变，例如出现不规则的拉伸、变形等情况，可能意味着激光发射系统存在问题，如光学元件损坏、激光发射角度偏差等。这将导致激光束在传播过程中能量分布不均匀，进而影响对大气物质的探测精度，使得获取的数据出现偏差。】

5.5.2.2 检查输出能量大小及稳定性，如出现能量波动异常需及时检查维修激光器。

【注释：激光雷达设备通过发射激光束来探测大气中的各类物质，其输出能量的大小直接决定了探测的有效距离和精度。在理想状态下，设备应能输出稳定且符合标准要求的能量值。若输出能量过小，激光束在传播过程中可能无法有效穿透远距离的大气，难以准确探测到远距离处大气中的物质，导致监测范围受限，遗漏部分区域的污染信息。而当输出能量过大时，一方面可能会对设备自身的光学元件等造成损害，缩短设备使用寿命；另一方面，过高的能量可能引发不必要的散射和干扰，影响对目标物质探测的准确性。稳定的能量输出是保证监测数据一致性和可靠性的关键。如果出现能量波动异常，即在短时间内能量值频繁地上下起伏，那么在不同时刻对同一区域进行探测时，获取的数据就会产生较大差异。

激光器作为激光雷达设备输出能量的核心部件，能量波动异常往往意味着激光器内部存在故障。可能是激光器的泵浦源出现问题，无法稳定地为激光介质提供激发能量；也可能是激光介质本身受到污染或老化，导致其产生激光的效率不稳定；还可能是激光器的谐振腔出现失调等情况。专业维修人员需要借助专业的检测仪器，如能量计等，对激光器的各个关键部位进行细致检测，准确找出故障原因，然后依据设备的技术手册和维修规范，对激光器进行针对性的维修或更换受损部件，确保激光器能够稳定地输出符合要求的能量，从而保障激光雷达设备在走航监测过程中能够正常工作。】

5.5.2.3 采用水冷激光器的仪器，检查激光器冷却液液位。

【注释：在开展大气环境激光雷达走航监测前，针对采用水冷激光器的仪器，必须着重检查激光器冷却液液位。水冷激光器在工作过程中会产生大量热量，冷却液发挥着至关重要的散热作用。若冷却液液位过低，将无法及时有效地带走激光器产生的热量，这极有可能致

使激光器温度过高。一旦激光器温度超出正常工作范围，其发射激光的性能就会受到严重影响，比如激光的强度、频率稳定性等关键参数会出现波动，进而导致激光雷达设备的监测数据出现偏差。所以，仔细检查激光器冷却液液位，确保液位处于正常标准范围，是保障水冷激光器正常运行，进而保证激光雷达走航监测数据准确性的重要前提。】

5.5.2.4 如有天窗加热装置，检查是否正常工作。

【注释：在实际的走航监测场景中，外界环境复杂多变，尤其是在低温、高湿度或者雨雪天气条件下，车辆的天窗极易因温差等因素出现结露、结冰现象。而一旦天窗出现这类情况，就会严重干扰激光雷达设备的正常运行。因为激光雷达通过发射和接收激光束来探测大气中的气溶胶、臭氧等物质，天窗上的结露或结冰会对激光束的传输造成阻碍，使得激光在穿透天窗时发生散射、折射等现象，进而导致激光雷达接收到的回波信号失真，最终严重影响监测数据的准确性。】

天窗加热装置能够在低温等恶劣环境下，通过加热使天窗保持干燥、清晰的状态，避免结露、结冰情况的出现，为激光雷达的激光束传输提供一个稳定、无干扰的通道。所以，认真检查天窗加热装置是否正常工作，是走航前设备状况检查的关键一环。只有确保天窗加热装置能够正常运行，在面对各种复杂天气状况时，才能保障激光雷达走航监测设备不受天窗异常状况的影响，稳定、精准地获取大气环境监测数据。】

5.5.2.5 在季节交换期应注意室内外温差，及时调整走航车内空调温度，防止天窗出现冷凝水现象。

【注释：季节交换期时，室外温度变化较为剧烈，与室内温度存在明显差异。而走航车作为监测设备的载体，内部设备对环境条件较为敏感。走航车内安装有激光雷达等精密监测设备，天窗位置如果出现冷凝水现象，将会对监测工作产生诸多不利影响。冷凝水可能会附着在天窗玻璃表面，干扰激光雷达发射和接收激光信号，导致信号的衰减、散射或反射异常，进而严重影响监测数据的准确性和可靠性。因此，为有效避免这种情况发生，需要及时对走航车内的空调温度进行合理调整。通过调控空调温度，使车内温度与外界环境温度的差异保持在合适范围，降低因温差过大而在天窗处产生冷凝水的可能性，从而保障走航车内设备，尤其是激光雷达等关键监测设备在稳定、适宜的环境下运行。】

5.5.2.6 清洁光学天窗玻璃表面，检查天窗是否破裂、天窗支架及玻璃密封是否完好、有无漏水渗水等现象。

【注释：在走航监测启动之前，对光学天窗的检查是关键环节。光学天窗玻璃表面必须保持清洁，任何灰尘、污渍或杂质附着在玻璃表面，都可能对激光雷达发射和接收的激光信号产生干扰。激光雷达依靠激光束与大气中的反射信号来进行监测分析，若光学天窗玻璃表面不洁，激光信号在穿透玻璃时会发生散射、吸收等现象，导致信号强度减弱或失真，进而影响监测数据的准确性。接着要检查天窗是否存在破裂情况。哪怕只是细微的裂缝，在车辆行驶过程中，尤其是遇到颠簸路况时，裂缝都可能进一步扩大，不仅会影响光学天窗的正常功能，还可能导致外部杂物进入设备内部，损坏敏感的光学元件或其他关键部件，严重时甚至使整个激光雷达设备无法正常工作。】

同时，天窗支架及玻璃密封状况也不容忽视。支架若出现松动、变形等问题，会使天窗的稳固性受到影响，在车辆行驶时产生晃动，同样干扰激光雷达的信号监测。而玻璃密封如果不完好，存在缝隙或密封胶老化等情况，就极有可能出现漏水渗水现象。一旦有水进入设备内部，会造成电子元件短路、腐蚀，对设备造成不可修复的损害，导致监测数据丢失或出现严重偏差。所以，对光学天窗从玻璃表面清洁到整体结构及密封状况的检查，是保障走航监测设备能够正常、稳定运行，获取准确监测数据的基础步骤。】

5.5.2.7 检查光学镜片表面是否有积尘、污渍或被打损现象，扩束镜片是否有被激光灼损现象。

【注释：走航前对光学镜片的检查十分必要。首先，要着重检查光学镜片表面是否存在积尘、污渍的情况。积尘和污渍的存在会严重干扰激光的传播路径。激光在经过这些有杂质附着的镜片表面时，部分光线会发生散射或被吸收，导致最终接收到的信号强度变弱，监测数据的准确性大打折扣。同时，还要留意光学镜片是否有被打损现象。哪怕是极其细微的划痕或破损，都可能改变激光的传播方向，造成信号畸变。在复杂的走航监测环境中，车辆行驶时可能会有小颗粒异物飞溅到镜片上，日积月累就可能对镜片表面造成损伤，进而影响激光雷达的性能。】

另外，扩束镜片是否有被激光灼损现象也不容忽视。扩束镜片的作用是将激光束进行扩散，以满足特定的监测需求。在长时间高强度的激光发射过程中，如果扩束镜片的质量不过关或散热等系统存在问题，就有可能被激光灼损。一旦扩束镜片被灼损，其对激光束的扩散效果会发生改变，导致激光束的能量分布不均匀，这不仅会影响激光雷达对大气污染物的探测范围，还可能使获取的数据出现偏差，无法准确反映大气中污染物的真实分布情况。所以，对光学镜片及扩束镜片的全面检查，是保障走航监测数据准确性、确保激光雷达设备稳定运行的重要环节。】

5.5.3 建立质量控制文件

质量控制文件是为保障质量控制工作的流程化、标准化与可追溯而制定的文件，包括每台仪器的标准操作规范（SOP）、日常运行维护与质量控制规范、巡检表格、维修表格与校准表格等。

【注释：质量控制文件的设立，旨在确保整个质量控制工作能够有序、规范地开展，实现流程的标准化运作，同时保证在质量控制过程中所产生的各项数据和操作都具备可追溯性。其中，每台仪器的标准操作规范（SOP）至关重要，它详细规定了仪器从开机准备、参数设置、工作监测到关机整理等一系列操作的标准流程，操作人员只要严格按照 SOP 执行，就能保证仪器操作的一致性，进而保证测量数据的准确性和可比性。日常运行维护与质量控制规范，则涵盖了仪器日常运行过程中的维护要点以及为保证数据质量所采取的控制措施，像是每隔一定时间进行一次仪器性能的校验等，通过这些规范确保仪器始终处于良好的运行状态，减少因仪器故障或性能漂移导致的数据误差。巡检表格用于记录工作人员对仪器及监测系统定期巡查的情况，详细记录每次巡检的时间、巡检人员、仪器外观是否正常、运行参数是否在合理范围等信息，以便及时发现潜在问题。维修表格在仪器出现故障需要维修时发挥作用，记录故障发生的时间、现象描述、维修人员采取的维修措施以及维修后的效果评估等，为后续分析仪器故障原因和改进维护工作提供依据。校准表格则专门用于记录仪器校准的相关信息，包括校准时间、校准所使用的标准物质、校准前后仪器的各项参数变化等，通过校准表格能清晰掌握仪器的校准状态，确保仪器测量数据的准确性。这些文件共同构成了一个完整的质量控制体系，为大气环境激光雷达走航监测的质量提供坚实保障】

5.5.4 走航监测雷达设备防震措施

应对走航车中的激光雷达设备采取必要的防震措施，包括雷达设备整机减震及关键器部件减震，主要的减震手段可采用钢丝绳减震或橡胶减震。

【注释：走航车在行驶过程中会不可避免地产生震动，这对于车上搭载的激光雷达设备而言，可能会严重影响其性能和监测数据的准确性。因此，必须对走航车中的激光雷达设备采取必要的防震措施。这里所提及的防震措施涵盖两个关键层面，一是针对雷达设备整机进行减震处理，目的在于减弱车辆行驶震动对整个激光雷达系统的影响，维持设备整体运行的稳定性；二是对激光雷达的关键器部件实施减震，因为这些关键部件的稳定运行直接关乎激光雷达能否精准地发射和接收激光信号，进而影响对大气的监测精度。】

在众多减振手段中，钢丝绳减震和橡胶减震是较为常用且有效的方式。钢丝绳减震利用钢丝绳的柔韧性和弹性，通过特殊的结构设计，将震动能量转化为钢丝绳的形变能量，从而吸收和分散震动，减轻其对设备的冲击。而橡胶减震则是借助橡胶材料良好的阻尼特性，当设备受到震动时，橡胶能够有效地消耗震动能量，起到缓冲和减震的作用。这两种减震方式在保障激光雷达设备在走航车行驶过程中，尽可能减少震动干扰，确保设备稳定运行。】

5.6 安全防护要求

5.6.1 优先保障行车安全

沿城市主要交通干道或重点工业园区开展走航监测，以较低车速行驶或临时停车时，应通过开启危险报警闪光灯或鸣笛等方式对周边车辆进行警示；沿高速公路进行走航监测的，确保行车安全前提下参考5.3.3中的要求。

【注释：在进行大气环境激光雷达走航监测时，监测地点主要选取城市主要交通干道或者重点工业园区等大气污染监测的重点区域。当监测车以较低车速行驶或者临时停车开展监测作业时，由于这种异常的行车状态可能会对周边正常行驶的车辆造成影响，所以需要通过开启危险报警闪光灯的方式，利用闪烁的灯光直观地向周边车辆警示监测车的特殊状态，提醒其他车辆注意避让；或者采用鸣笛的方式，以声音信号引起周边车辆驾驶员的注意，避免发生碰撞等交通事故，保障监测工作与道路交通安全。】

若走航监测是沿着高速公路进行，高速公路上车速普遍较快，车流量大，因此确保行车安全是首要前提。在这个基础上，要按照事先规划好的路线有条不紊地开展走航监测工作。规划路线是依据高速公路周边的地理环境、可能存在的污染源分布等因素综合确定的，以保证监测数据的全面性和有效性。但在实际监测过程中，可能会遇到诸如道路施工、突发交通事故等特殊情况，此时就需要对路线进行适当调整，灵活应对各种突发状况，使监测工作能够顺利推进，不因为意外因素而中断。】

5.6.2应注意监测车内人员的安全健康防护

根据工作实际需要配备口罩、防护服、防毒面具等装备。

【注释：在开展大气环境激光雷达走航监测工作时，工作环境可能存在诸多潜在风险，所以依据工作的实际状况与需求，必须配备相应的防护装备。口罩是基础防护装备，可选择具备过滤有害颗粒物功能的口罩。必要情况下可选用专业的防化服，其材质能抵御化学物质的侵蚀，若监测区域存在化工污染等情况，可防止有毒有害化学物质接触皮肤，避免皮肤吸收有害物质而对身体造成损害。某些工业区域排放的含有毒气体的废气，防毒面具配备合适的滤毒罐，能够过滤掉特定的有毒气体，为监测人员在高风险环境下提供安全的呼吸保障。这些装备对于保障监测人员在不同工作场景下的人身安全与健康至关重要，能确保监测工作安全、顺利地开展。】

附录 A

【附录为具体检测方法的描述，不做注释】

(规范性)

气溶胶激光雷达性能指标检测方法

A.1 盲区

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度 $\leq 60\%$ 的晴朗天气下，将激光雷达处于垂直探测状态，避开低空云，开机运行。连续采集后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线，统计有效信号廓线第 1 个波峰（为杂散光信号）和第 2 个波峰之间最低点在数据点中的序号。根据式（1）计算出的每个通道的盲区均应分别满足 5.6.1.2 中的要求。

$$B = D \times n \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：B-----盲区，m；

D -----空间分辨率，m；

n -----第 1 个波峰（为杂散光信号）和第 2 个波峰之间最低点在数据点中的序号。

A.2 信噪比

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度 $\leq 60\%$ 的晴朗天气下，激光雷达垂直探测，避开云，开机运行。连续采集后获得 1 组（含 500m、1000m、2000m 三个点）原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线，根据式（2）、（3）、（4）计算出的对应波长有效信号廓线信噪比的最大值均应分别满足附录 A 表 1 中的要求。

（4）计算出的对应波长有效信号廓线信噪比的最大值均应分别满足 5.6.1.3 中的要求。

$$SNR = \frac{Signal}{Noise} \dots\dots\dots (2)$$

$$Noise = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{m+n} (x_i - \bar{x})^2}{n+1}} \dots\dots\dots (3)$$

$$SNR(dB) = 20 * \text{Log}(SNR) \dots\dots\dots (4)$$

式中：SNR-----信噪比；

Signal-----扣除背景基线后的峰值信号；

m-----计算背景基线的起始点；

m + n-----计算背景基线结束点；

x_i-----数据值；

$\bar{x}$ -----该段数据平均值，即背景基线值；

SNR(dB) -----信噪比（dB）。

A.3有效探测距离

在能见度≥10km 的晴朗天气下，激光雷达垂直探测，避开云，开机运行。连续采集后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线，根据式（2）、（3）、（4）计算出的有效信号廓线信噪比 $SNR \geq 3$ 的部分为有效信号，相应的最大高度为有效探测距离，对应波长有效信号探测距离均应分别满足 5.6.1.4 中的要求。

A.4接收横截面四象限均匀性

A.4.1 同轴激光雷达

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度≤60%的晴朗天气下，激光雷达垂直探测，避开低空云，开机运行。用工装遮挡住望远镜其它三个接收面，只留一个接收面接收信号，连续采集后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出 1 条原始信号廓线。对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，

获得有效信号廓线"S1"，以同样的方法获得其它三个象限的有效信号廓线 S2、S3、S4，将 4 个有效信号廓线置于同一坐标系下绘图（纵坐标取对数），然后选取高度范围在 50~300m（避开云），例如 1050m~1300m 之间的有效信号廓线进行比对。根据式（5）、（6）、（7）计算出的对应波长四个象限有效信号相对平均偏差均应分别满足 5.6.1.5 中的要求。

$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m}{n} \dots\dots\dots (5)$$

$$\overline{\Delta m} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta m}{n} \dots\dots\dots (6)$$

$$\overline{\Delta m_{rel}} = 100 \times \frac{\overline{\Delta m}}{\overline{m}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：m-----有效信号廓线某一个高度的幅值；

$\overline{m}$ -----有效信号廓线在一个确定的高度范围幅值的平均值；

n-----代表在一个确定的高度范围获得的测量值个数；

Δm -----代表某一个高度上 4 条有效信号廓线的最大偏差；

$\overline{\Delta m}$ -----4 条有效信号廓线的平均偏差；

$\overline{\Delta m_{rel}}$ -----相对平均偏差，百分比。

A.4.2 离轴激光雷达

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度 $\leq 60\%$ 的晴朗天气下，激光雷达垂直探测，避开低空云，开机运行。用工装遮挡住望远镜其它三个接收面，只留一个接收面接收信号，连续采集后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出 1 条原始信号廓线。对原始信号廓线进行扣除背景处理，获得有效信号廓线"S1"。以同样的方法获得其它三个象限的有效信号廓线 S2、S3、S4，将 4 个有效信号廓线置于同一坐标系下绘图（纵坐标取对数），且 $S1(S4) \geq S2(S3)$ ，然后选取空间范围在 50~300m（避开云），例如 1050m~1300m 之间的有效信号廓线进行比对。根据式（8）、（9）、（10）计算出的对应波长两两象限有效信号相对平均偏差均应分别满足 5.6.1.5 中的要求。

$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m}{n} \dots\dots\dots (8)$$

$$\overline{\Delta m} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta m}{n} \dots\dots\dots (9)$$

$$\overline{\Delta m_{rel}} = 100 \times \frac{\overline{\Delta m}}{\overline{m}} \dots\dots\dots (10)$$

式中： m -----有效信号廓线某一个高度的幅值；

$\overline{m}$ -----有效信号廓线在一个确定的高度范围幅值的平均值；

n -----代表在一个确定的高度范围获得的测量值个数；

Δm -----代表某一个高度上两条有效信号廓线的偏差；

$\overline{\Delta m}$ -----两条有效信号廓线的平均偏差；

$\overline{\Delta m_{rel}}$ -----相对平均偏差，百分比。

A.5大气瑞利散射信号拟合偏差

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度 $\leq 60\%$ 的晴朗天气下，大气中的气溶胶含量处于无污染或者轻度污染的水平，激光雷达垂直探测，避开云，开机运行。连续采集后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景、距离平方校正处理，获得距离平方校正信号" S "。利用标准大气模型（参考国际标准大气模型 ISA 或者美国 1976 年标准大气模型 Standard atmosphere model of the United States of 1976），得到大气分子的瑞利散射距离平方校正信号" S' "。将" S "和" S' "置于同一坐标系下绘图（纵坐标取对数），并以" S' " + 常数的方式调整" S' "的大小，使得" S "和" S' "的高空部分重合，计算两者重合部分的各自线性拟合直线的斜率" k "和" k' "，对应波长的" k "和" k' "的相对偏差应满足 5.6.1.6 中的要求。

附录 B

【附录为具体检测方法的描述，不做注释】

(规范性)

臭氧激光雷达性能指标检测方法

B.1 盲区

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度 $\leq 60\%$ 的晴朗天气下，将激光雷达处于垂直探测状态，避开低空云，开机运行。连续采集 1min 后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线，统计有效信号廓线第 1 个波峰（为杂散光信号）和第 2 个波峰之间最低点在数据点中的序号；如果没有杂散峰，统计数据点信噪比连续 4 个或以上大于 1 的最低的序号。

根据式（1）计算出的每个通道的盲区均应分别满足质控的要求。

$$B = D \times n \dots\dots\dots (1)$$

式中：

B——盲区，m；

D——根据 5.1 计算出的空间分辨率，m；

n——第 1 个波峰（为杂散光信号）和第 2 个波峰之间最低点在数据点中的序号；或者连续 4 个或以上大于 1 的最低的序号

B.2 信噪比

在近地面气溶胶质量浓度 $PM_{10} \leq 150 \mu g/m^3$ 、 $PM_{2.5} \leq 75 \mu g/m^3$ ，湿度 $\leq 60\%$ ，能见度 $\geq 10km$ ，的晴朗天气下，连续采集 1min 后获得 1 组（含 500m、1000m、2000m 三个点）原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线，根据式（2）、（3）、（4）计算出

的对应波长有效信号廓线信噪比的最大值均应分别满足 500m 低于 60db、1000m 低于 30db；2000m 低于 5db。

$$SNR = \frac{Signal}{Noise} \dots\dots\dots (2)$$

$$Noise = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{m+n} (x_i - \bar{x})^2}{n+1}} \dots\dots\dots (3)$$

$$SNR(dB) = 20 * \text{Log}_{10}(SNR) \dots\dots\dots (4)$$

SNR——信噪比；

Signal——扣除背景基线后的峰值信号；

m ——为计算背景基线的起始点；

m + n——为计算背景基线结束点；

x_i——为数据值；

$\bar{x}$ ——为该段数据平均值，即背景基线值

SNR(dB) ——信噪比（dB）

B.3有效探测距离

在能见度≥10km 的晴朗天气下，臭氧探测激光雷达设备垂直探测，避开云，开机运行。连续采集 10min 后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值为纵坐标，用该组原始采集数据画出原始信号廓线，对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线，根据式（2）、（3）、（4）计算出的有效信号廓线信噪比 SNR≥3 的部分为有效信号，相应的最大高度为有效探测距离，对应波长有效信号探测距离均应分别满足 5.6.1.5 的要求。

B.4接收界面四象限均匀性

在近地面气溶胶质量浓度 PM₁₀≤150μg/m³、PM_{2.5}≤75μg/m³，湿度≤60%的晴朗天气下，激光雷达垂直探测，避开低空云，开机运行。用工装遮挡住望远镜其它三个接收面，只留一个接收面接收信号，连续采集 1min 后获得 1 组原始采集数据，以距离为横坐标，信号幅值

为纵坐标，用该组原始采集数据画出 1 条原始信号廓线。对原始信号廓线进行扣除背景信号处理，获得有效信号廓线 S1，以同样的方法获得其它三个象限的有效信号廓线 S2、S3、S4，将 4 个有效信号廓线置于同一坐标系下绘图(纵坐标取对数)，至少三个象限在高空(>1km)的有效信号廓线要重合，然后选取高度范围在 50~300m（避开云），例如 1050m~1300m 之间的有效信号廓线进行比对。根据式（5）、（6）、（7）计算出的对应波长四个象限有效信号相对平均偏差均应分别满足质控的要求

$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m}{n} \dots\dots\dots (5)$$

$$\overline{\Delta m} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta m}{n} \dots\dots\dots (6)$$

$$\overline{\Delta m_{rel}} = 100 \times \frac{\overline{\Delta m}}{\overline{m}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

m ——有效信号廓线某一个高度的幅值；

$\overline{m}$ ——有效信号廓线在一个确定的高度范围幅值的平均值；

n ——代表在一个确定的高度范围获得的测量值个数；

Δm ——代表某一个高度上 4 条有效信号廓线的最大偏差；

$\overline{\Delta m}$ ——4 条有效信号廓线的平均偏差；

$\overline{\Delta m_{rel}}$ ——相对平均偏差，百分比。

6. 与现行相关标准的协调关系

本标准前期通过对国内外有关大气气溶胶、臭氧激光雷达走航监测系统技术的改进和发展情况调研，总结近年来大气气溶胶、臭氧激光雷达走航监测的实际经验，参考和借鉴国内外有关的标准和规范，编制适合我省的大气气溶胶、臭氧激光雷达走航监测系统技术规范。

本技术规范在现有相关技术规范的基础上，规定了大气激光雷达走航监测准备的具体要求和内容，包括仪器、检测方法、监测方案制定、结果分析及应用、质量保证与质量控制等。

7. 重大分歧意见的处理经过和依据

无

8. 标准实施建议

8.1 组织措施

8.1.1 成立专项领导小组

组建由江苏省环境科学学会、环保部门、科研机构、企业代表等组成的激光雷达走航监测标准实施领导小组。负责统筹协调、指导和监督技术规范的实施工作，确保各项任务有序推进。明确各成员单位的职责分工，环保部门负责制定政策和监督执行，科研机构提供技术支持和培训，企业负责设备的运行维护和数据提供。

8.1.2 建立沟通协调机制

定期召开工作会议，汇报技术规范实施进展情况，交流经验和问题，共同研究解决方案。建立信息共享机制，及时发布技术规范的最新要求、实施案例和问题解答，促进各方面的沟通与合作。

8.1.3 加强人员培训

组织针对环境监测人员、企业技术人员和相关管理人员的培训，使其熟悉大气激光雷达走航监测系统的原理、操作方法和技术规范要求。培训内容包括理论知识、实际操作、数据分析和质量控制等方面，可通过集中授课、现场演示和案例分析等多种形式进行。

8.2 技术措施

8.2.1 设备选型与安装

根据监测需求和技术规范要求，选择满足本规范中检测方法的大气激光雷达走航监测设备。严格参照技术规范进行车辆改造及设备安装。

8.2.2 质量控制与校准

建立质量控制制度，根据本标准规范要求对大气激光雷达走航监测系统进行定期校准和维护。运行期间对发现的数据质量问题及时进行处理和纠正。

8.2.3 数据分析与应用

根据本规范标准中对于结果分析与应用的要求对于数据产品进行解析应用并形成相应报告材料。

8.3 过渡办法

8.3.1 逐步推进实施

在技术规范实施初期，可选择部分地区和重点单位进行试点，总结经验教训后逐步推广。对于现有不符合技术规范要求的设备和监测系统，可给予一定的过渡期进行升级改造。在过渡期内，加强对这些设备的监督管理，确保其能够正常运行并提供基本的监测数据。

8.3.2 加强技术支持

在过渡期间，组织技术专家对相关单位和企业进行技术指导和咨询服务。帮助他们解决在技术规范实施过程中遇到的问题和困难。鼓励企业和科研机构开展技术创新和研发，提高大气激光雷达走航监测系统的性能和适用性。

8.3.3 做好宣传引导

加强对激光雷达走航监测规范的宣传和解读，提高社会各界对技术规范的认识和理解。引导企业和公众积极参与环境监测和治理工作，营造良好的社会氛围。通过宣传典型案例和成功经验，增强各方对技术规范实施的信心和动力。

参 考 文 献

- [1] 樊文智, 秦凯、杨旭等。《基于移动激光雷达观测的徐州市区气溶胶分布特征》, 中国环境科学, 2018,38(08).
- [2] 杨丹丹, 王体健, 李树等。《基于走航观测的长江三角洲地区大气污染特征及来源追踪》, 中国环境科学, 2019,39(09).
- [3] 何秦, 郑硕, 秦凯等。《基于车载激光雷达走航观测的石家庄及周边地区气溶胶空间分布特征》, 红外与激光工程, 2020, 49 (S2) .
- [4] DB31/T 310002-2021 长三角生态绿色一体化发展示范区挥发性有机物走航监测技术规范
- [5] T/JSSSES 8-2020 大气环境走航监测车改装技术要求及运行作业指导书
- [6] T/JSSSES XX-2019 大气臭氧监测激光雷达技术要求及检测方法作业指导书
- [7] HJC-ZY82 大气气溶胶激光雷达技术要求及检测方法作业指导书
- [8] HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则
- [9] HJ168 环境监测分析方法标准制订技术导则
- [10] DB31/T 310006 大气超级站质控质保体系技术规范