

团体标准

T/GAIA XXX—202X

大气臭氧激光雷达监测系统运行和质量控制技术规范

Technical Specifications for the Operation Maintenance and Quality
Control of the Atmospheric Ozone Differential Absorption Lidar
(O₃-DIAL) Monitoring System

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

广东省分析测试协会 发布

目 次

前 言 II

1 适用范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统构成 2

5 检查维护要求 3

 5.1 基本要求 3

 5.2 运行环境条件巡检 3

 5.3 激光雷达系统运行状况日常巡检 4

6 质量保证和质量控制 5

 6.1 一般要求 5

 6.2 性能检测参数 5

7 运行维护措施 8

 7.1 调整光路 8

 7.2 检查、调整采集系统 8

 7.3 更换倍增管 8

 7.4 检查激光发射功率 8

 7.5 更换激光器或维修激光器 8

 7.6 维修采集系统 9

附 录 A（规范性）性能检测参数计算方法 10

附 录 B（资料性）运行维护方法 14

附 录 C（资料性）大气臭氧激光雷达监测系统巡检内容表 17

附 录 D（资料性）大气臭氧激光雷达连续自动监测系统质量控制工作记录表 23

参考文献 25

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省分析测试协会提出并归口。

本文件起草单位：广东省广州生态环境监测中心站、广东省生态环境监测中心、中国科学院合肥物质科学研究院、安徽大学、暨南大学、合肥中科环光技术有限公司。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

大气臭氧激光雷达监测系统运行和质量控制技术规范

1 适用范围

本标准规定了大气臭氧激光雷达监测系统的术语和定义、系统构成，检查维护、质量保证与质量控制、运行维护措施的要求。

本标准适用于地基大气臭氧差分吸收激光雷达监测系统的运行维护和质量控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而成为本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

HJ 193 环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统安装和验收技术规范

HJ 590 环境空气 臭氧的测定标准 紫外光度法

HJ 818 环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统运行和质控技术规范

HJ 1099 环境空气臭氧监测一级校准技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

臭氧激光雷达 Ozone Differential Absorption Lidar (O₃-DIAL)

本文件所述臭氧激光雷达是指基于弹性散射原理（包括米散射和瑞利散射）和差分吸收原理，以高重复频率向大气中发射两束波长非常接近的激光，其中一束激光的波长位于臭氧光谱吸收较强，另一束激光波长位于臭氧光谱吸收较弱的位置，利用臭氧对这两束激光在不同距离上的散射回波信号差异，确定两束激光共同路径上臭氧的浓度，从而实现对臭氧时空分布进行探测的主动遥感设备。

3.2

λ_{on} 波长 λ_{on} wavelength

激光雷达发射的位于臭氧光谱吸收较强位置的工作波长，该波长通道信号包含了臭氧吸收信息。

3.3

λ_{off} 波长 λ_{off} wavelength

激光雷达发射的位于臭氧光谱吸收较弱位置的工作波长，该波长通道信号包含了大气背景信息。

3.4

盲区 Blind Region

在离激光雷达较近的一段距离范围内，激光器发射的激光光束不在接收视场内，接收望远镜接收不到大气颗粒物及分子的后向散射光，激光雷达无法准确获取臭氧浓度信息，这一区域称为激光雷达的盲区。

3.5

过渡区 Transition Region

盲区以外，发射的激光光束逐步地进入接收望远镜的接收视场内，大气后向散射光只是部分地被接收，这一区域称为激光雷达的过渡区。

3.6

大气气溶胶后向散射系数 Backscattering Coefficient of Atmosphere Aerosol

指发射光在大气中传播单位距离时，大气分子和颗粒物对发射光在 90° 至 180° 方向的散射而产生的相对衰减率。

3.7

大气气溶胶消光系数 Extinction Coefficient of Atmosphere Aerosol

指发射光在大气中传播单位距离时的相对衰减率，是大气中的颗粒物对发射光的散射与吸收贡献之和。

3.8

数据采集时间间隔 Data Acquisition Interval

指上次数据采集完成到下次数据采集开始的时间差。

3.9

空间分辨率 Space Resolution

激光雷达采集到的原始回波信号是离散数据，相邻两个数据点之间对应的空间距离为空间分辨率，它表征了采集数据的间隔程度。

3.10

信噪比 Signal-to-noise Ratio

信噪比 (SNR) 是探测器接收到的信号与产生的总的噪声之比，是衡量信号与噪声强弱关系的度量。

3.11

有效探测距离 Effective Detection Range

激光雷达在晴朗天气下进行原始信号采集，工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道信号信噪比 $SNR \geq 20$ 时对应的距离。

4 系统构成

4.1 激光雷达系统包括光源发射系统，光学接收系统，数据采集与分析系统。

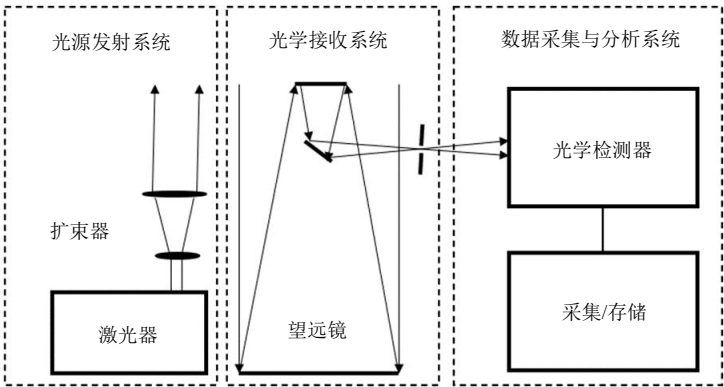


图1 大气臭氧激光雷达监测系统结构示意图

- 4.1.1 光源发射系统：光源发射系统由激光器、扩束镜、反射镜等光学器件组成。激光器发出脉冲光束经过准直扩束、反射之后，按照一定的发散角发射至大气中。
- 4.1.2 光学接收系统：光学接收系统由接收望远镜、光阑、准直透镜、分光器件等组成。激光与大气相互作用产生的部分后向散射光被望远镜接收后经过光阑、准直透镜，再由分光器件去除大气背景光干扰并分离多个波长信号后传输到数据采集与分析系统。
- 4.1.3 数据采集与分析系统：数据采集与分析系统包括光学检测器、信号采集单元、数据分析和存储单元。光学接收系统接收的光信号由光学检测器分别进行光电转换，光信号转换为电学信号后，经信号放大器调制、放大，被信号采集单元采集，由数据存储单元进行存储，并通过数据分析单元进行反演计算和展示。

5 检查维护要求

5.1 基本要求

- 5.1.1 臭氧激光雷达自动监测系统应可全年连续运行，停运超过 3 天以上，应及时记录和备案，并采取有效措施及时恢复运行。需要主动停运的，运维人员应提前报备。
- 5.1.2 站房应保证正常的供电状态，如果发生停电导致数据缺失应及时记录和备案，并采取有效措施及时恢复运行。
- 5.1.3 在日常运行中因设备故障需要临时使用备用监测设备开展监测，或因设备报废需要更新监测设备的，应于设备更换后 1 周内备案。设备更新应执行 HJ 193 的相关要求。
- 5.1.4 监测设备主要技术参数应与设备说明书要求和系统安装验收时的设置值保持一致。如需对主要技术参数进行调整，应开展参数调整试验和设备性能测试，记录测试结果并编制参数调整测试报告。主要技术参数调整应及时记录和备案。
- 5.1.5 设备的日常维护主要分为设备每日、每周、每季度、每半年和每年巡检、维护和校正及站房和辅助设备的日常巡检维护，日常维护应记录存档。进行设备维护时，应规范操作，注意安全，防止发生意外。系统日常运行维护应按 HJ 818 的相关要求执行。

5.2 运行环境条件巡检

臭氧激光雷达系统每周应至少开展一次运行环境条件巡检，并填写巡检记录表(参见表 C.1)。运行环境条件巡检内容主要包括：

- a) 检查雷达系统的供电环境是否正常，电压是否稳定，是否存在供电隐患；
- b) 检查激光器电源应急停机装置是否正常，并处于明显位置；
- c) 检查雷达系统的固定是否稳定牢靠，是否存在倾倒等风险隐患；

- d) 检查各仪器设备是否整洁，设备标识是否清晰；臭氧雷达激光警告标志、说明标志是否清晰，激光窗口围栏警告标志是否清晰；
- e) 检查雷达防护外壳是否正常；
- f) 检查网络通讯系统及数据传输功能是否正常；
- g) 检查外部环境是否正常，有无对测定结果或运行环境存在明显影响的污染源；
- h) 对仪器周边及站房内外环境卫生进行检查，及时保洁；
- i) 定期检查雷达及站房周边环境安全，检查消防、避雷和报警等安全设施是否正常；
- j) 及时清除站房或设备周围的杂草和积水，剪除对采样或监测光束有影响的树枝；
- k) 及时检查雷达周边环境，检查电源、主机是否有被水浸没等风险隐患，及时消除风险隐患。

对于部署在固定站房的雷达，应对站房及辅助设备巡检，主要包括：

- a) 保证空调正常工作，站房温度保持在 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度保持在80%以下，每年对站房空调至少进行一次维护保养，空调应具有来电自启动功能，并设置成来电自启动；
- b) 在冬、夏季节应注意站房内外温差，应及时调整站房温度，防止光学镜片表面出现冷凝水情况；
- c) 站房门窗关闭良好，人走关门；
- d) 检查站房是否有漏雨现象，站房外围的其它设施是否有损坏或被水淹，如遇到以上问题应及时处理，保证系统能安全运行。

5.3 激光雷达系统运行状况日常巡检

5.3.1 每日远程巡检

- a) 检查设备是否正常运行；
- b) 检查雷达采集软件是否正常工作；
- c) 检查雷达分析软件是否正常工作；
- d) 检查雷达是否有异常或者报警问题；
- e) 检查雷达数据存储和传输是否正常；
- f) 填写每日运维记录表（参见表C.2）。

5.3.2 每周巡检维护内容

- a) 检查雷达激光器是否有异常或者报警；
- b) 检查雷达软件是否工作正常，参数设置是否正常；
- c) 检测并记录背景噪声基线斜率绝对值；
- d) 检测信噪比和有效探测距离是否满足要求；
- e) 检查、计算并记录本周的有效数据率；
- f) 检查网络和数据传输/上传是否正常；
- g) 检查激光安全标识是否齐全；
- h) 检查雷达望远镜镜片表面是否清洁；
- i) 检查天窗镜片是否清洁；
- j) 检查天窗加热装置功能是否正常（如配备）；
- k) 检查激光光斑是否位于天窗出光中心，有偏差进行调整；
- l) 检查激光器冷却水水位是否过低，如过低应加水（仅限水冷激光器）；
- m) 设备说明书规定的其他维护内容；
- n) 填写每周运维记录表（参见表C.3）。

5.3.3 每季度巡检维护内容

- a) 完成每周工作事项中全部内容；
- b) 对激光光斑形状和激光能量进行测试、标定和校准（方法由各自设备厂商确定）；

- c) 检查、计算并记录本季度的有效数据率；
- d) 对系统线性度进行检测和校准；
- e) 对工作波长通道灵敏度一致性进行检验；
- f) 更换一次冷却水（仅限水冷激光器）；
- g) 设备说明书规定的其他维护内容；
- h) 填写每季度运维记录表（参见 C.4）。

5.3.4 每半年巡检维护内容

- a) 完成每季度工作事项中全部内容；
- b) 更换一次冷却水滤芯（仅限水冷激光器）；
- c) 对激光发射波长偏差进行检验；
- d) 采用臭氧分析仪对臭氧浓度测量准确性进行检验（选测项）；
- e) 对有效数据区最低高度进行检验（选测项）；
- f) 对磁盘进行数据整理和备份；
- g) 设备说明书规定的其他维护内容；
- h) 填写半年运维记录表（参见表 C.5）。

5.3.5 每年巡检维护内容

- a) 完成每半年工作事项中全部内容；
- b) 对臭氧浓度廓线一致性进行检验（选测项）；
- c) 设备说明书规定的其他维护内容；
- d) 填写年运维记录表（参见表 C.6）。

6 质量保证和质量控制

6.1 一般要求

- 6.1.1 激光雷达测试过程中，单次数据采集积分时间应 $\leq 10\text{ min}$ 。
- 6.1.2 按巡检要求及表 1 中检查频次，开展性能检测参数检查工作，并记录检查结果，记录表格样式可参考附录 D。
- 6.1.3 每次激光雷达系统故障检修完成后，应对设备进行性能测试，并对检修和测试情况进行记录并存档。

6.2 性能检测参数

- 6.2.1 激光雷达系统性能检测参数及偏离后的控制措施见表 1。

表 1 激光雷达性能检测参数及控制措施

检查项目	指标	检查频次	建议的控制措施
激光发射 λ_{on} 波长	$253\text{ nm} \leq \lambda_{on} \leq 320\text{ nm}$	系统完成安装调试后的 48 h 内以及更换激光器模块后	更换激光器或维修激光器
激光发射 λ_{off} 波长	$ \lambda_{on} - \lambda_{off} \leq 30\text{ nm}$	系统完成安装调试后的 48 h 内以及更换激光器模块后	更换激光器或维修激光器
激光发射波长偏差	$\leq 0.5\text{ nm}$	系统完成安装调试后的 48 h 内、更换激光器模块后、每半年应进行一次	更换激光器或维修激光器

表 1 激光雷达性能检测参数及控制措施（续）

检查项目	指标	检查频次	建议的控制措施
探测距离偏差（选测项）	$\leq$ 空间分辨率	系统完成安装调试后的 48 h 内、更换激光器模块后	检查维修采集系统
系统线性度	线性度 $\geq 95\%$ 拟合斜率 $\leq 10^{-5}$	每季度	调整光路
背景噪声基线斜率绝对值	$\leq 10^{-5}$	每周	调整采集系统
工作波长通道灵敏度一致性	$\leq 20\%$	每季度	更换倍增管
信噪比	$\geq 1000@0.5 \text{ km}$ $\geq 100@2 \text{ km}$	每周	检查激光发射功率并调整光路
有效探测距离	$\geq 3 \text{ km}$	每周	检查激光发射功率并调整收发光路
臭氧浓度测量准确性（选测项）	相对偏差 $\leq 20\%$ 相关系数 $R \geq 0.8$	每半年	调整光路
有效数据区最低高度（选测项）	$\leq 300 \text{ m}$	每半年	调整光路
有效数据率	$\geq 85\%$	每周、每季度	排查原因并解决
臭氧浓度廓线一致性（选测项）	$\leq 20\%$	每年	调整光路

6.2.2 激光发射波长

6.2.2.1 激光雷达系统完成安装调试后的 48 h 内以及更换激光器模块后应进行一次激光发射波长检查。

6.2.2.2 使用分辨率优于 0.25 nm 的光谱仪分别测量激光雷达的工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} ， λ_{on} 对应的光谱仪读数应在 253~320 nm 范围内， λ_{on} 和 λ_{off} 的差值应在 $\pm 30 \text{ nm}$ 范围内。详细方法见附录 A.1。

6.2.2.3 当激光发射波长不满足要求时，需要根据实际情况更换激光器或维修激光器，操作方法见 7.5。

6.2.3 激光发射波长偏差

6.2.3.1 激光雷达系统完成安装调试后的 48 h 内、更换激光器模块后以及每半年应进行一次激光发射波长偏差检查。

6.2.3.2 激光雷达工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 与光谱仪实测结果绝对偏差平均值分别应满足 $\leq 0.5 \text{ nm}$ 的要求，详细方法见附录 A.2。

6.2.3.3 当激光发射波长偏差不满足要求时，需要根据实际情况更换激光器或维修激光器，操作方法见 7.5。

6.2.4 探测距离偏差（选测项）

6.2.4.1 激光雷达系统完成安装调试后的 48 h 内、更换激光器模块后应进行一次探测距离偏差检查。

6.2.4.2 激光雷达工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 分别对三个不同目标物的探测距离与测距仪测量结果的绝对偏差平均值分别应满足 $\leq$ 空间分辨率的要求，详细方法见附录 A.3。

6.2.4.3 当探测距离偏差不满足要求时，需要根据实际情况检查维修采集系统，操作方法见 7.2。

6.2.5 系统线性度

- 6.2.5.1 每季度应对设备的系统线性度进行检测和校准，直到满足要求。
- 6.2.5.2 在激光雷达探测器前依次加装五档衰减片，工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道有效信号过渡区峰值变化的线性度应满足 $\geq 95\%$ ，比值廓线的拟合斜率绝对值应满足 $\leq 10^{-5}$ 的要求，详细方法见附录 A.4。
- 6.2.5.3 当系统线性度不满足要求时，需要根据实际情况调整光路，操作方法见 7.1。

6.2.6 背景噪声基线斜率绝对值

- 6.2.6.1 每周应对设备进行一次背景噪声基线斜率绝对值检查。
- 6.2.6.2 激光雷达在晴朗天气下将望远镜接收面遮挡后进行原始信号采集，工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道背景基线噪声信号线性拟合斜率的绝对值应分别满足 $\leq 10^{-5}$ 的要求，详细方法见附录 A.5。
- 6.2.6.3 当背景噪声基线斜率绝对值不满足要求时，需要根据实际情况调整采集系统，操作方法见 7.2。

6.2.7 工作波长通道灵敏度一致性

- 6.2.7.1 每季度应对设备的工作波长通道灵敏度一致性进行检查。
- 6.2.7.2 在激光雷达探测器前依次加装五档衰减片，工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道有效信号过渡区峰值变化的线性拟合斜率（灵敏度）相对偏差应满足 $\leq 20\%$ 的要求，详细方法见附录 A.6。
- 6.2.7.3 当工作波长通道灵敏度一致性不满足要求时，需要根据实际情况更换倍增管，操作方法见 7.3。

6.2.8 信噪比

- 6.2.8.1 每周应对设备的信噪比进行一次检查。
- 6.2.8.2 激光雷达在晴朗天气下进行原始信号采集，工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道有效信号幅值与噪声比值分别应满足 $\geq 1000@0.5\text{ km}$ 和 $\geq 100@2\text{ km}$ 的要求，详细方法见附录 A.7。
- 6.2.8.3 当信噪比不满足要求时，需要根据实际情况检查激光发射功率并调整光路，操作方法见 7.1、7.4。

6.2.9 有效探测距离

- 6.2.9.1 每周应对设备的有效探测距离进行一次检查。
- 6.2.9.2 激光雷达在晴朗天气下进行原始信号采集，工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道信号信噪比 $SNR \geq 20$ 时对应的距离分别应满足 $\geq 3\text{ km}$ 的要求，详细方法见附录 A.8。
- 6.2.9.3 当有效探测距离不满足要求时，需要根据实际情况检查激光发射功率并调整光路，操作方法见 7.1、7.4。

6.2.10 臭氧浓度测量准确性（选测项）

- 6.2.10.1 每半年采用臭氧分析仪对臭氧浓度测量准确性进行检查。
- 6.2.10.2 激光雷达在 3 种不同污染天气下，探测到的臭氧浓度与符合 HJ 590 和 HJ 1099 的臭氧分析仪获得的臭氧浓度在指定范围内的相对偏差应满足 $\leq 20\%$ ，相关系数均应满足 ≥ 0.8 的要求，详细方法见附录 A.9。
- 6.2.10.3 当臭氧浓度测量准确性不满足要求时，需要根据实际情况调整光路，操作方法见 7.1。

6.2.11 有效数据区最低高度（选测项）

- 6.2.11.1 每半年应对设备的有效数据区最低高度进行检查。
- 6.2.11.2 基于臭氧浓度测量准确性的测试数据，满足要求的第一台臭氧分析仪与激光雷达之间的距离应满足 $\leq 300\text{ m}$ 的要求，详细方法见附录 A.10。

6.2.11.3 当有效数据区最低高度不满足要求时，需要根据实际情况调整光路，操作方法见 7.1。

6.2.12 有效数据率

6.2.12.1 每周、每季度分别进行一次有效数据率计算，统计周期内的有效数据率应大于等于 85%，详细方法见附录 A.11。当有效数据率不满足要求时，需要根据实际情况排查原因并解决。

6.2.12.2 监测系统正常运行时的所有监测数据均为有效数据，应全部参与统计。

6.2.12.3 对设备进行检查、校准、维护保养或设备出现故障等非正常监测期间的数据为无效数据，两次校准、维护保养间隔不得小于 7 天；设备启动至设备预热完成时段内的数据为无效数据。

6.2.12.4 在设备故障、运行不稳定或其他监测质量不受控情况下出现的零值或负值为无效数据，不参加统计。

6.2.12.5 对于缺失和判断为无效的数据均应注明原因，并保留原始记录。

6.2.13 臭氧浓度廓线一致性（选测项）

6.2.13.1 每年对臭氧浓度廓线一致性进行检查。激光雷达在 3 种不同污染天气下，三台样机获得的臭氧浓度廓线之间在指定范围内的相对标准偏差均应满足 $\leq 20\%$ 的要求，详细方法见附录 A.12。

6.2.13.2 当臭氧浓度廓线一致性不满足要求时，需要根据实际情况调整光路，操作方法见 7.1。

7 运行维护措施

7.1 调整光路

7.1.1 当激光雷达的系统线性度不满足表 1 中要求时，需要运维人员现场调节光路，通过调整发射光路组件，使激光束的传播路径与系统光学轴重合，确保激光从发射光学系统的光轴几何中心均匀发射。详细方法见附录 B.1。

7.1.2 按照 5.3 的要求，每季度或者设备移动位置后均需要对激光雷达的光路进行检查和调整。

7.2 检查、调整采集系统

7.2.1 当激光雷达的探测距离偏差、背景噪声基线斜率绝对值不满足表 1 中要求时，需要运维人员现场检查、调整或维修采集系统。详细方法见附录 B.2。

7.3 更换倍增管

7.3.1 当激光雷达的工作波长通道灵敏度一致性不满足表 1 中要求时，需要运维人员现场更换倍增管。详细方法见附录 B.3。

7.4 检查激光发射功率

7.4.1 当激光雷达的信噪比、有效探测距离不满足表 1 中要求时，需要运维人员现场检查激光发射功率。详细方法见附录 B.4。

7.4.2 若发射功率低于规定范围，应适当提高激光器功率，确保其恢复至额定水平。

7.4.3 若发射功率已符合要求，则需对光路进行调整（见 7.1）。

7.5 更换激光器或维修激光器

7.5.1 当激光雷达的激光发射波长、激光发射波长偏差满足表 1 中要求时，需要返厂更换激光器或维修激光器。

7.5.2 更换或维修激光器后的激光雷达需要按照 6.2 的方法重新进行性能检测，直至满足表 1 中各性

能检测参数的要求。

7.6 维修采集系统

7.6.1 当激光雷达的探测距离偏差、背景噪声基线斜率绝对值不满足表 1 中要求时，需要返厂检查维修采集系统。

7.6.2 维修采集系统后的激光雷达需要按照 6.2 的方法重新进行性能检测，直至满足表 1 中各性能检测参数的要求。

附录 A (规范性) 性能检测参数计算方法

A.1 激光发射波长

A.1.1 激光雷达激光器开机运行后,使用分辨率优于 0.25 nm 的光谱仪分别测量工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} , $253\text{ nm} \leq \lambda_{on} \leq 320\text{ nm}$,并且差分波长对 $|\lambda_{on} - \lambda_{off}| \leq 30\text{ nm}$ 。

A.2 激光发射波长偏差

A.2.1 激光雷达激光器开机运行后,使用分辨率优于 0.25 nm 的光谱仪分别测量工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} ,每个波长各测量 3 次,分别获得 3 个波长测量值。

A.2.2 根据公式(1)计算出的每个波长绝对偏差平均值 $\Delta\lambda$ 应分别满足表 1 中激光发射波长偏差的要求。

$$\Delta\lambda = \frac{(\lambda_1 - \lambda_0) + (\lambda_2 - \lambda_0) + (\lambda_3 - \lambda_0)}{3} \dots\dots\dots (1)$$

式中: λ_1 、 λ_2 、 λ_3 —每次测量的波长值,单位 nm;

λ_0 ——标称波长值,单位 nm;

$\Delta\lambda$ ——各波长的绝对偏差平均值,单位 nm。

A.3 探测距离偏差

A.3.1 在近地面气溶胶质量浓度 $\text{PM}_{10} \leq 150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\text{PM}_{2.5} \leq 75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,湿度 $\leq 70\%$ 的晴朗天气下,激光雷达保持水平放置或者通过反射镜使发射光束水平发射,在水平距离大于盲区以上的激光发射路径上选取 3 个目标物,微调激光雷达出射光的方向,在保证安全的情况下,使少量光入射到目标物上,同时保证目标物的反射峰信号不饱和。连续采集后获得工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道的原始数据,以距离为横坐标,信号幅值为纵坐标,用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。从 λ_{on} 和 λ_{off} 的有效信号廓线分别获得三个目标物的信号峰值所对应的距离 L_1 、 L_2 、 L_3 。

然后用测距误差优于 $\pm 1\text{ m}$ 的激光测距仪对三个目标物进行距离测量,分别为 L'_1 、 L'_2 、 L'_3 。

A.3.2 根据公式(2)计算出的各波长的探测距离绝对偏差平均值 ΔL 应分别满足表 1 探测距离偏差的要求。

$$\Delta L = \frac{(L_1 - L'_1) + (L_2 - L'_2) + (L_3 - L'_3)}{3} \dots\dots\dots (2)$$

式中: L_1 、 L_2 、 L_3 ——各波长通道测得的三个目标物的距离,单位 m;

L'_1 、 L'_2 、 L'_3 ——激光测距仪测得的三个目标物的距离,单位 m;

ΔL ——各波长通道,单位 m。

A.4 系统线性度

A.4.1 在近地面气溶胶质量浓度 $150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{PM}_{10} \leq 300\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{PM}_{2.5} \leq 150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,湿度 $\leq 70\%$ 的晴朗天气下,激光雷达垂直探测,避开 3 公里以下的云,开机运行。依次在工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道探测器前分别加透过率为 100%、80%、50%、20%、10%的衰减片,连续采集后获得 λ_{on} 和 λ_{off} 通道的原始采集数据。为了尽量降低大气变化的影响,每条数据的积分时间不超过 2min,整个测试在 20min 内完成。

A.4.2 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，分别获得 λ_{on} 和 λ_{off} 波长通道的有效信号廓线，每个波长各可获得 5 条有效信号廓线。每个波长通道分别以这 5 条有效信号廓线的过渡区峰值为纵坐标、以衰减片的透过率为横坐标画图，并进行线性拟合。根据公式（3）分别计算出每个波长通道的相关系数 R^2 ，数值应分别满足表 1 中系统线性度的要求。

$$R^2 = \frac{(n \sum_i (\tau_i * P_i) - \sum_i \tau_i * \sum_i P_i)^2}{(n \sum_i \tau_i^2 - (\sum_i \tau_i)^2) * (n \sum_i P_i^2 - (\sum_i P_i)^2)} \dots\dots\dots (3)$$

式中： R^2 ——各波长通道的相关系数；

τ ——衰减片透过率；

P ——有效信号廓线过渡区峰值；

n ——纳入计算的数据个数，此处为 5。

A.5 背景噪声基线斜率绝对值

A.5.1 激光雷达垂直探测开机运行，在晴朗天气下用遮挡盖工装挡住望远镜接收区域。连续采集后获得工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道的背景噪声原始采集数据（积分时间不超过 10 min），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，根据公式（4）计算每个波长通道背景噪声信号廓线的线性拟合斜率的绝对值 k ，分别应满足表 1 中背景噪声基线斜率绝对值的要求。

$$k = \left| \frac{\sum_1^n (d_i * P_i) - n * \bar{d} * \bar{P}}{\sum_1^n d_i^2 - n * \bar{d}^2} \right| \dots\dots\dots (4)$$

式中： d_i ——原始信号的第 i 个数据对应的距离，单位 m；

P_i ——原始信号的第 i 个数据的信号幅值；

$\bar{d}$ ——为 d_i 的平均值；

$\bar{P}$ ——为 P_i 的平均值；

n ——纳入计算的数据个数。

A.6 工作波长通道灵敏度一致性

A.6.1 基于 A.4 的测量数据，每个波长分别以这 5 条有效信号过渡区峰值为纵坐标、以衰减片的透过率为横坐标画图，并进行线性拟合，根据公式（5）、（6）分别计算出的 λ_{on} 和 λ_{off} 波长通道线性拟合斜率（灵敏度）的相对偏差 k_{rel} 均应满足表 1 中工作波长通道灵敏度一致性的要求

$$k = \frac{\sum_1^n (\tau_i * P_i) - n * \bar{\tau} * \bar{P}}{\sum_1^n \tau_i^2 - n * \bar{\tau}^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$k_{rel} = \frac{|k_{on} - k_{off}|}{k_{on}} \dots\dots\dots (6)$$

式中： k ——各波长通道的拟合斜率（灵敏度）；

τ_i ——第 i 片衰减片透过率；

P_i ——第 i 片衰减片时，有效信号过渡区峰值；

$\bar{\tau}$ ——为 τ_i 的平均值；

$\bar{P}$ ——为 P_i 的平均值；

n ——计算的数据个数，这里为 5；

k_{on} —— λ_{on} 通道的拟合斜率；

k_{off} —— λ_{off} 通道的拟合斜率；

k_{rel} —— λ_{on} 和 λ_{off} 通道拟合斜率的相对偏差。

A.7 信噪比

A.7.1 在能见度 ≥ 10 km, 湿度 $\leq 70\%$ 的晴朗天气下, 激光雷达垂直探测, 避开云, 开机运行。连续采集后获得工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道原始采集数据(积分时间不超过 10 min), 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, 根据公式(7)、(8)分别计算 λ_{on} 和 λ_{off} 通道信号廓线在 500 m、2000 m 处的信噪比均应满足表 1 中信噪比的要求。

$$Noise = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{m+n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (7)$$

$$SNR = \frac{Signal}{Noise} \dots\dots\dots (8)$$

式中: SNR ——信噪比;

$Signal$ ——扣除背景基线后的有效信号;

m ——计算背景基线的起始点;

$m+n$ ——计算背景基线结束点;

x_i ——原始信号幅值;

$\bar{x}$ ——该段信号幅值的平均值, 即背景基线值。

A.8 有效探测距离

A.8.1 在能见度 ≥ 10 km, 湿度 $\leq 70\%$ 的晴朗天气下, 激光雷达垂直探测, 避开云, 开机运行。连续采集后获得各工作波长 λ_{on} 和 λ_{off} 通道原始采集数据(积分时间不超过 10 min), 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, 根据公式(7)、(8)计算出的每个波长信号廓线信噪比 $SNR \geq 20$ 的部分为有效信号, 从过渡区往上最后一个有效信号位置为有效探测距离, λ_{on} 和 λ_{off} 通道的有效信号探测距离均应满足表 1 中有效探测距离的要求。

A.8.2 λ_{off} 波长有效探测距离大于 λ_{on} 波长有效探测距离时, 臭氧浓度有效探测距离以 λ_{on} 波长的有效探测距离为准。

A.9 臭氧浓度测量准确性(选测项)

A.9.1 激光雷达保持水平探测或者通过反射镜使发射光束水平发射, 在距离 ≤ 300 m(具体位置由激光雷达“有效数据区最低高度”指标确定)、600 m 处, 发射接收光路旁分别放置一台符合 HJ 590 和 HJ 1099 要求的臭氧分析仪(臭氧分析仪进气口在不影响信号情况下尽量靠近光路), 连续运行比对(如果有条件也可以将臭氧分析仪放置在铁塔上, 通过综合调整激光雷达发射光路角度和臭氧分析仪在铁塔上的高度满足上述距离要求)。运行时间要求尽量选在每年臭氧浓度日变化较大的 5~9 月, 应包含至少 3 种不同污染天气(臭氧 8 小时平均浓度分别为 100~160、161~215、216~265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 湿度 $\leq 70\%$)。运行比对结束后, 臭氧分析仪测得臭氧浓度时间序列的小时均值 O_{st} , 激光雷达测得臭氧分析仪位置处(距离误差 $<$ 空间分辨率)臭氧浓度时间序列的小时均值 O_{Lidar} , 剔除降水等不利天气和不满足信噪比指标要求的数据, 根据公式(9)、(10)计算出时间序列的臭氧浓度相对偏差 ΔO_{rel} 均应满足表 1 的要求。以臭氧分析仪测量值 O_{st} 为横坐标, 激光雷达臭氧测量值 O_{Lidar} 为纵坐标画图, 并进行线性拟合, 根据公式(11)计算出的相关系数 R 均应分别满足表 1 臭氧浓度测量准确性的要求。

$$\Delta O = |O_{Lidar} - O_{st}| \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta O_{rel} = 100 \times \frac{\Delta O}{O_{st}} \dots\dots\dots (10)$$

$$R = \sqrt{\frac{(n \sum_i (O_{st-i} * O_{Lidar-i}) - \sum_i O_{st-i} * \sum_i O_{Lidar-i})^2}{(n \sum_i O_{st-i}^2 - (\sum_i O_{st-i})^2) * (n \sum_i O_{Lidar-i}^2 - (\sum_i O_{Lidar-i})^2)}} \dots\dots\dots (11)$$

式中: O_{Lidar} ——激光雷达在臭氧分析仪处测得的臭氧浓度, 单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

O_{st} ——臭氧分析仪测得的臭氧浓度，单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

ΔO —— O_{Lidar} 和 O_{st} 的臭氧浓度绝对偏差；

ΔO_{rel} ——相对偏差，百分比。

R ——相关系数；

O_{Lidar_i} ——某一小时激光雷达在标准仪器处测得的臭氧浓度（小时均值），单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

O_{st_i} ——某一小时标准臭氧分析仪测得的臭氧浓度（小时均值），单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

n ——纳入计算的数据个数。

A.10 有效数据区最低高度（选测项）

A.10.1 基于 A.9 项测试数据，若测试结果满足表 1 的要求，则记录与激光雷达距离最近的第一台臭氧分析仪的实际放置位置，即大气臭氧激光雷达有效数据区的最低高度，应满足表 1 的要求。

A.11 有效数据率

A.11.1 监测系统正常运行时的所有监测数据均为有效数据，应全部参与统计。

A.11.2 对设备进行检查、校准、维护保养或设备出现故障等非正常监测期间的数据为无效数据，两次校准、维护保养间隔不得小于 7 天；设备启动至设备预热完成时段内的数据为无效数据。

A.11.3 在设备故障、运行不稳定或其他监测质量不受控情况下出现的零值或负值不参加统计。

A.11.4 对于缺失和判断为无效的数据均应注明原因，并保留原始记录。

A.11.5 按公式（12）计算有效数据率 D ，结果应符合满足表 1 有效数据率的要求。

$$D = \left(\frac{T_1 - T_2 - T_3}{T_1 - T_3} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (12)$$

式中： D ——有效数据率，%；

T_1 ——雷达统计周期的总时间，单位 h；

T_2 ——统计周期内激光雷达维护和故障的时间，单位 h。

T_3 ——统计周期内激光雷达受外部因素干扰不纳入统计周期时间，单位 h。

A.12 臭氧浓度廓线一致性（选测项）

A.12.1 至少 3 台大气臭氧激光雷达系统尽量靠近一起安置，水平距离小于 50 m，比对至少覆盖 3 种不同污染天气下（臭氧 8 小时平均浓度分别为 100~160、161~215、216~265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；湿度 $\leq 70\%$ ）的连续监测，选取 300~2000 m 之间的臭氧浓度廓线数据进行比对，剔除降水等不利天气下和满足信噪比指标要求的数据。

A.12.2 根据公式（13）（14）（15）计算出的不同污染天气下 3 台激光雷达臭氧浓度廓线不同高度数据的相对标准偏差均 δO_{rel} 都应分别满足表 1 臭氧浓度廓线一致性的要求。

$$\overline{O_i} = \frac{\sum_1^3 O_i}{3} \dots \dots \dots (13)$$

$$\delta O_i = \sqrt{\frac{\sum_1^3 (O_i - \overline{O_i})^2}{2}} \dots \dots \dots (14)$$

$$\delta O_{rel} = 100 \times \frac{\delta O_i}{\overline{O_i}} \dots \dots \dots (15)$$

式中： O_i ——臭氧浓度廓线在某一距离上的浓度值，单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

$\overline{O_i}$ ——臭氧浓度廓线在某一距离上 3 个臭氧浓度值的平均值，单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

δO_i ——代表某一个距离上 3 个臭氧廓线浓度值的标准偏差；

δO_{rel} ——代表某一个距离上 3 个臭氧廓线浓度值的相对标准偏差。

附 录 B
(资料性)
运行维护方法

B.1 调整光路

B.1.1 准备工作

B.1.1.1 确认激光雷达处于稳定状态，环境条件（温度、湿度等）符合设备操作要求。

B.1.1.2 使用厂家推荐的专业工具（如调节螺丝刀、角反镜等）。

B.1.1.3 戴上适当的激光防护眼镜，确保安全。

B.1.2 光束对准

B.1.2.1 检查发射光束：利用角反镜或光学测量设备，确认激光束是否准确进入系统的主光路。

B.1.2.2 调整发射镜：如果光束偏移，逐步调节发射端的反射镜或耦合装置，将激光光束调整到理想的入射角。

B.1.3 接收系统调整

B.1.3.1 使用标定目标物（如高反射率的均匀散射体），检测回波信号的强度分布，并根据偏差调整接收光路。

B.1.4 线性度调整

B.1.4.1 使用标准光源或参考目标，校准激光雷达的接收系统。

B.1.4.2 调整增益或电压信号的放大器参数，确保信号输出符合线性响应。

B.1.5 确认与复检

B.1.5.1 使用标准测试目标或校准板，确认调整后系统的性能是否满足要求。

B.1.5.2 记录调整参数，并按要求进行多次重复测试。

B.1.6 参考说明书

B.1.6.1 按照设备的使用说明书，定位具体调整部件，并执行推荐的调整步骤。

B.2 检查、调整或维修采集系统

B.2.1 现场检查

B.2.1.1 环境检查：确认激光雷达的供电电压、温度、湿度是否正常，避免外部环境因素影响信号质量。检查周围是否有强光源（如太阳直射、其他激光设备），避免外界干扰影响探测距离和背景噪声。

B.2.1.2 设备状态检查：检查光路系统是否存在污染（如透镜、窗口有灰尘、雾气等），必要时清洁光学窗口。查看光纤连接状态，确认无松动或损坏。进入数据采集系统，检查原始信号波形是否异常，如有突变、漂移等情况，需进一步分析原因。

B.2.2 调整采集系统

B.2.2.1 背景噪声检测与滤波：在无探测目标的情况下，记录背景噪声基线，分析其是否呈现异常漂移趋势。采用滑动平均或滤波算法降低背景噪声波动，确保噪声基线稳定。

B.2.2.2 探测器（PMT/APD）增益调整：若背景噪声偏高，可适当降低探测器增益，减少电子噪声对数据的影响。若信号过低，可逐步增加增益，并观察背景噪声变化情况，避免增益过高导致噪声放大。

B.2.2.3 屏蔽环境电磁干扰：确保数据采集设备和探测器远离高频电磁干扰源（如变压器、电动机）。

B.2.2.4 检查屏蔽线缆接地是否良好，避免因接地问题引入额外噪声。

B.2.2.5 数据采集系统故障排查：使用示波器或数据分析软件查看采集信号的波形，确认是否有异常跳变或偏移。若发现数据采集卡存在异常（如数据跳变、基线漂移等），可尝试重启采集系统或更换采集模块。

B.2.3 维修与返厂处理

若以上调整仍无法解决问题，则可能涉及硬件损坏，需进一步维修或返厂处理：

- B.2.3.1 当探测器（PMT/APD）老化或损坏，需要更换新探测器或调整其工作电压。
- B.2.3.2 当激光器衰减或不稳定，若无法现场恢复，需要返厂更换激光器模块。
- B.2.3.3 当数据采集卡故障，若数据跳变或基线漂移严重，可能需要更换数据采集卡或相关电路板。
- B.2.3.4 当光学系统严重污染或镜片损坏，若清洁无法恢复光学透过率，需更换损坏的光学元件。

B.2.4 调整后验证与记录

所有调整完成后，运维人员须：

- B.2.4.1 记录调整的参数修改情况，包括调整前后数据对比。
- B.2.4.2 进行标准气体比对或实测验证，确保调整后的数据符合表 1 要求。
- B.2.4.3 提交运维报告，确保调整过程可追溯，并制定后续维护计划。

B.3 更换倍增管

B.3.1 准备工作

- B.3.1.1 设备断电：确保激光雷达及相关电路完全断电，避免高电压风险。
- B.3.1.2 静电防护：佩戴防静电手环或使用防静电垫，防止静电损伤倍增管及相关电子元件。
- B.3.1.3 环境要求：选择干燥、无尘的环境进行操作，避免灰尘或湿气进入光路系统。
- B.3.1.4 工具准备：准备好厂家推荐的拆装工具，如螺丝刀、镊子等。

B.3.2 拆卸旧倍增管

- B.3.2.1 打开光电探测器的保护外壳或安装腔，避免触碰其他敏感部件。
- B.3.2.2 根据设备说明书，找到倍增管的安装位置，松开固定倍增管的紧固装置（如卡扣或螺栓）。
- B.3.2.3 轻轻取下倍增管，并用防静电包装存放已拆卸的旧件。

B.3.3 安装新倍增管

- B.3.3.1 检查新倍增管的型号、规格是否与设备匹配。
- B.3.3.2 小心地将倍增管对准插槽或安装位置，避免触碰玻璃窗口和敏感部件。
- B.3.3.3 按照设备说明书的步骤，将倍增管固定在适当位置，确保连接稳固且无松动。

B.3.4 电路连接与测试

- B.3.4.1 将倍增管的高压电源线和信号输出线正确连接至设备。
- B.3.4.2 检查连接线是否牢固，避免接触不良或短路。

B.3.5 调整与标定

- B.3.5.1 通电后，调整倍增管的高压工作参数，使其输出信号处于正常范围。
- B.3.5.2 使用标准光源或测试目标，验证倍增管的增益、信噪比和响应时间等性能是否满足要求。

B.3.6 确认与记录

- B.3.6.1 运行激光雷达，检查回波信号的质量和系统整体性能。
- B.3.6.2 完成后，将操作过程、参数调整及更换记录存档。

B.3.7 安全处理

- B.3.7.1 对废旧倍增管进行妥善处理，避免环境污染。
- B.3.7.2 确保所有拆装工具和设备恢复到原位，清洁工作台。

B.4 检查激光发射功率

B.4.1 准备工作

- B.4.1.1 设备断电：确保激光雷达在检查前关闭主电源，避免安全风险。
- B.4.1.2 防护措施：佩戴适当的激光防护眼镜，确保操作人员安全。
- B.4.1.3 环境条件：确保操作环境清洁、无灰尘干扰，避免对光路系统造成影响。

B. 4. 2 使用功率计测量

B. 4. 2. 1 选择合适的功率计：根据激光雷达的工作波长和功率范围，选择匹配的激光功率计。

B. 4. 2. 2 测量发射端功率：将功率计对准激光发射端，测量实际发射的激光功率值。确保功率计与激光束光轴准确对齐。

B. 4. 2. 3 记录数据：记录不同发射功率下的测量值，并与设备说明书中的标称功率范围进行对比。

B. 4. 3 检查光路传输损耗

B. 4. 3. 1 检测光路部件：检查发射光路中的光学元件（如透镜、反射镜、窗口片）是否有污染、划痕或老化现象。

B. 4. 3. 2 清洁或更换元件：必要时清洁或更换光学元件，确保光路传输效率。

B. 4. 4 检查激光器工作状态

B. 4. 4. 1 查看电源模块：检查激光器电源模块的工作参数是否正常（如电流、电压）。

B. 4. 4. 2 检查冷却系统：确认激光器的冷却系统（风冷或水冷）运行正常，避免过热导致功率下降。

B. 4. 4. 3 运行时间检查：核对激光器的累计运行时间，若已接近使用寿命，需考虑更换激光器。

B. 4. 5 确认激光功率调节

B. 4. 5. 1 根据设备说明书的指导，逐步调高激光器的工作电流或电压，以提高发射功率。

B. 4. 5. 2 注意调节范围：确保调整值不超过激光器的安全工作范围，以免损坏设备。

B. 4. 6 复检与记录

B. 4. 6. 1 再次使用功率计测量调整后的发射功率，确认功率是否已恢复到要求范围。

B. 4. 6. 2 将检查和调整的过程及结果记录在案，供后续参考。

附 录 C

(资料性)

大气臭氧激光雷达监测系统巡检内容表

表 C.1 监测站房及辅助设备日常巡检记录表

城市：		站点名称：		时间： 年 月 日	
序号	巡查内容	正常	异常		
站房外部及周边					
1	点位周围环境变化情况				
2	站房外围的防护栏、隔离带有无损坏情况				
3	视频监控系统是否正常				
4	站房防雷接地是否完好				
5	站房屋顶是否完好，有无漏雨				
6	检查外部环境是否正常，有没有对测定结果或运行环境存在明显影响的污染源				
7	检查站房是否有漏雨现象，站房外围的其它设施是否有损坏或被水淹，如遇到以上问题应及时处理，保证系统能安全运行				
8	检查站房的安全设施，做好防火防盗工作				
9	检查雷达周边环境，检查电源、主机是否有被水浸没等风险隐患，及时消除隐患				
站房内部					
1	雷达系统的供电环境是否正常，电压是否稳定，是否存在供电隐患				
2	激光器电源应急停机装置是否正常，并处于明显位置				
3	雷达系统的固定是否稳定牢靠，是否存在倾倒等风险隐患				
4	仪器设备是否整洁，标识是否清晰；臭氧雷达激光警告标志、说明标志是否清晰，激光窗口围栏警告标志是否清晰				
5	雷达防护外壳是否正常				
6	网络通讯系统及数据传输功能是否正常				
7	保持站房内部环境清洁，布置整齐，各仪器设备整洁，标识清楚				
8	保证空调正常工作，站房温度保持在 $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度保持在 80%RH 以下，每年对站房空调至少进行一次维护保养				
9	在冬、夏季节应注意站房内外温差，应及时调整站房温度，防止光学镜片表面出现冷凝水情况				
10	定期检查消防、避雷和报警安全设施				
11	检查电路系统和通讯系统，保证系统供电正常，电压稳定；保证断电情况短时间内供电和网络通讯正常，出现问题及时解决				
12	门窗关闭良好，人走关门				
13	每周对站房内外环境卫生进行检查，及时保洁				
异常情况处理说明：					
巡检人：		复核人：			

表 C.2 每日远程巡检记录表

城市：		站点名称：		时间： 年 月 日	
天气 环境	天气情况（ ）【晴、雨、阴、多云、雪、雾】				
	室外温度（ ）℃ 湿度（ ）%RH				
	空气质量等级（ ）【优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染】				
序号	巡查内容			正常	异常
1	检查仪器是否正常运行				
2	检查雷达采集软件是否正常工作				
3	检查雷达分析软件是否正常工作				
4	检查雷达是否有异常或者报警问题				
5	检查雷达数据存储和传输是否正常				
异常情况处理说明：					
巡检人： 复核人：					

注：每日远程巡检记录表填写完成后，需及时存档。

表 C.3 每周巡检维护记录表

城市：		站点名称：		时间： 年 月 日	
天气 环境	天气情况（ ）【晴、雨、阴、多云、雪、雾】				
	室外温度（ ）℃ 湿度（ ）%RH				
	空气质量等级（ ）【优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染】				
序号	巡查内容			正常	异常
1	检查雷达激光器是否有异常或者报警				
2	检查雷达软件是否工作正常，参数设置是否正常				
3	检测并记录背景噪声基线斜率绝对值				
4	检测信噪比和有效探测距离是否满足要求				
5	检查、计算并记录本周的有效数据率				
6	检查网络和数据传输/上传是否正常				
7	检查激光安全标识是否齐全				
8	检查雷达望远镜镜片表面是否清洁，如果不干净需要清理干净				
9	检查天窗镜片是否清洁，如果不干净需要清理干净				
10	检查天窗加热装置功能是否正常（如配备）				
11	检查激光光斑是否位于天窗出光中心，有偏差进行调整				
12	检查激光器冷却水水位是否过低，如果过低需要加水（仅限水冷激光器）				
13	仪器说明书规定的其他维护内容				
异常情况处理说明：					
巡检人：		复核人：			

注：每周巡检维护记录表填写完成后，需及时存档。

表 C.4 每季度巡检维护记录表

城市：		站点名称：		时间： 年 月 日	
天气 环境	天气情况（ ）【晴、雨、阴、多云、雪、雾】				
	室外温度（ ）℃ 湿度（ ）%RH				
	空气质量等级（ ）【优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染】				
序号	巡查内容			正常	异常
1	完成每周工作事项中全部内容				
2	对激光光斑形状和激光能量进行测试、标定和校准（方法由各自仪器厂商确定）				
3	检查、计算并记录本季度的有效数据率				
4	对系统线性度进行检测和校准				
5	对工作波长通道灵敏度一致性进行检验				
6	更换一次冷却水（仅限水冷激光器）				
7	仪器说明书规定的其他维护内容				
异常情况处理说明：					
巡检人：		复核人：			

注：每季度巡检维护记录表填写完成后，需及时存档。

表 C.5 每半年巡检维护记录表

城市：		站点名称：		时间： 年 月 日	
天气 环境	天气情况（ ）【晴、雨、阴、多云、雪、雾】				
	室外温度（ ）℃ 湿度（ ）%RH				
	空气质量等级（ ）【优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染】				
序号	巡查内容			正常	异常
1	完成每季度工作事项中全部内容				
2	更换一次冷却水滤芯（仅限水冷激光器）				
3	对激光发射波长偏差进行检验				
4	采用臭氧分析仪对臭氧浓度测量准确性进行检验（选测项）				
5	对有效数据区最低高度进行检验（选测项）				
6	对磁盘进行数据整理和备份				
7	仪器说明书规定的其他维护内容				
异常情况处理说明：					
巡检人： 复核人：					

注：每半年巡检维护记录表填写完成后，需及时存档。

表 C.6 每年巡检维护内容

城市：		站点名称：		时间： 年 月 日	
序号	巡查内容			正常	异常
1	完成每半年工作事项中全部内容				
2	对臭氧浓度廓线一致性进行检验（选测项）				
3	仪器说明书规定的其他维护内容				
异常情况处理说明：					
巡检人：			复核人：		

注：每年巡检维护记录表填写完成后，需及时存档。

附 录 D

(资料性)

大气臭氧激光雷达连续自动监测系统质量控制工作记录表

表 D.1 大气臭氧激光雷达连续自动监测系统质量控制工作记录表

站点名称			资产编号		
仪器型号			出厂编号		
环境条件	温度 (°C) :		相对湿度 (%) :		其他:
质量控制 设备信息	工具名称	型号		编号	检定日期
	中性密度滤光片				
	望远镜遮挡盖				
	散射板				
激光发射波长偏差					
	理论波长	实测波长		是否合格	
	λ_{on}				
	λ_{off}				
探测距离偏差					
	雷达实测距离	测距仪测距		是否合格	
	λ_{on}				
	λ_{off}				
系统线性度					
	线性度和拟合斜率			是否合格	
	λ_{on}				
	λ_{off}				
背景噪声基线斜率绝对值					
	拟合斜率绝对值			是否合格	
	λ_{on}				
	λ_{off}				
工作波长通道灵敏度一致性					
λ_{on} 斜率	λ_{off} 斜率	拟合斜率的相对偏差		是否合格	
信噪比					
0.5 km 处信噪比	2 km 处信噪比			是否合格	
有效探测距离					
	有效探测距离			是否合格	
	λ_{on}				
	λ_{off}				
臭氧浓度测量准确性 (选测项)					
相对偏差	相关系数 R			是否合格	

表 D.1 大气臭氧激光雷达连续自动监测系统质量控制工作记录表（续）

有效数据区最低高度（选测项）	
有效数据区最低高度	是否合格
有效数据率	
有效数据率	是否合格
臭氧浓度廓线一致性（选测项）	
相对标准偏差	是否合格

操作人：_____ 复核人：_____ 日期： 年 月 日

参 考 文 献

- [1] GB 7247.1-2012 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求和用户指南
 - [2] GB 2894-2008 安全标志及其使用导则
 - [3] GB/T 10320-2011 激光设备和设施的电器安全
 - [4] GB 3095 环境空气质量标准
 - [5] HJ 633-2026 环境空气质量指数（AQI）技术规定
 - [6] 关于印发《国家环境空气质量监测网城市站运行管理实施细则（试行）》的函（环办监测函（2017）290号）
 - [7] Collis R T H , Russell P B .Lidar measurement of particles and gases by elastic backscattering and differential absorption[J].Springer Berlin Heidelberg, 1976.
 - [8] Kovalev V A , Eichinger W E .Elastic Lidar: Theory, Practice, and Analysis Methods[J].John Wiley, 2004:i-xvi.
-