|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 07.060 |
| CCS | A 47 |

|  |
| --- |
|  |

中华人民共和国气象行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

代替 XX/T

拉曼-米散射气溶胶激光雷达技术规范

Technical Specifications for Raman-Mie scattering aerosol Lidar

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国气象局       发布

目次

[前言 III](#_Toc77318314)

[1 范围 1](#_Toc77318315)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc77318316)

[3 术语和定义 1](#_Toc77318317)

[4 缩略语 2](#_Toc77318318)

[5 通用要求 2](#_Toc77318319)

[5.1 组成 2](#_Toc77318320)

[5.2 功能要求 2](#_Toc77318321)

[6 性能要求 3](#_Toc77318322)

[6.1 总体技术要求 3](#_Toc77318323)

[6.2 激光发射系统 4](#_Toc77318324)

[6.3 光学接收系统 4](#_Toc77318325)

[6.4 光电转换及数据采集系统 5](#_Toc77318326)

[7 环境适应性及其他 5](#_Toc77318327)

[7.1 环境适应性 5](#_Toc77318328)

[7.2 电磁兼容性 6](#_Toc77318329)

[7.3 电源适应性 6](#_Toc77318330)

[7.4 安全性 6](#_Toc77318331)

[8 试验方法 7](#_Toc77318332)

[8.1 试验环境条件 7](#_Toc77318333)

[8.2 试验仪表和设备 7](#_Toc77318334)

[8.3 组成检查 8](#_Toc77318335)

[8.4 功能测试 8](#_Toc77318336)

[8.5 性能测试 8](#_Toc77318337)

[8.6 环境适应性及其他测试 11](#_Toc77318338)

[附录A（资料性） 拉曼-米散射气溶胶激光雷达数据记录格式 13](#_Toc77318339)

[A.1 数据记录概述 13](#_Toc77318340)

[A.2 原始数据记录 13](#_Toc77318341)

[A.3 数据产品记录 15](#_Toc77318342)

[附录B（资料性） 试验数据处理公式 18](#_Toc77318343)

[B.1 探测盲区计算公式 18](#_Toc77318344)

[B.2 噪声计算公式 18](#_Toc77318345)

[B.3 信噪比计算公式 18](#_Toc77318346)

[B.4 距离定位精度计算公式 18](#_Toc77318347)

[B.5 相对偏差计算公式 18](#_Toc77318348)

[B.6 平均相对偏差计算公式 18](#_Toc77318349)

[B.7 平均标准偏差计算公式 19](#_Toc77318350)

[B.8 不同通道间信号串扰参数计算公式 19](#_Toc77318351)

[参考文献 20](#_Toc77318352)

1. 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。

本文件由全国气候与气候变化标准化技术委员会大气成分观测预报预警服务分技术委员会（SAC/TC 540/SC1）[提出并归口。](file:///C:\Users\lenovo\Documents\WeChat%20Files\daodan078679\FileStorage\File\Documents\WeChat%20Files\chenhe11\FileStorage\AppData\Roaming\Zhao%20Nan\AppData\Roaming\Microsoft\Word\示例2.6-20140303《气象数据归档格式%20%20探空》报批稿.doc)

拉曼-米散射气溶胶激光雷达技术规范

* 1. 范围

本文件规定了拉曼-米散射气溶胶激光雷达的通用要求、性能要求、环境适应性及其他和试验方法。

本文件适用于米散射和拉曼散射气溶胶激光雷达的设计、生产和验收。

* 1. 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构成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；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。

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Db：交变湿热

GB/T 3784 电工术语 雷达

GB/T 4208-2017 外壳防护等级(P代码)

GB/T 10987-2009 光学系统 参数的测定

GB/T 15175-2012 固体激光器主要参数测量方法

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.11-2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

GB/T 26328-2010 生物化学分析仪器用干涉滤光片

GB/T 31359-2015 半导体激光器测试方法

GB 7247.1-2012 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求

GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范

* 1. 术语和定义

GB/T 3784界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

　　气溶胶激光雷达 aerosol lidar

利用大气气溶胶对激光的吸收和散射特性进行探测的遥感系统。

　　退偏振比 depolarization ratio

是大气分子和气溶胶在平行偏振光的散射作用中，后向散射光中垂直偏振部分的强度和水平偏振部分的强度的比值。

　　气溶胶后向散射系数 aerosol backscattering coefficient

表征大气气溶胶在入射光相反方向（后向，180°），由散射造成辐射能量衰减程度的物理量。

1. 数值上等于单位体积中所有气溶胶粒子散射截面之和。单位为sr-1m-1。

　　气溶胶消光系数 aerosol extinction coefficient

表征大气气溶胶造成辐射能量衰减程度的物理量。

1. 电磁波在介质中传播单位距离时，其强度由于吸收和散射作用而衰减的相对值。单位为m-1。

　　串扰 cross talk

一个回波通道上的信号对其他回波通道产生的干扰。

* 1. 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

A/D：模数转换(Analogue To Digital)

APD：雪崩光电二极管(Avalanche PhotoDiode)

MTBF：平均无故障时间(Mean Time Before Failure)

MTTR：平均修复时间(Mean Time To Repair)

OD：光密度(Optical Density)

PMT：光电倍增管(Photo Multiplier Tube)

PRF：脉冲重复频率(Pulse Repetition Frequency)

UPS：不间断电源（Uninterruptible Power Supply）

* 1. 通用要求
     1. 组成

拉曼-米散射气溶胶激光雷达主要包括：激光发射系统、光学接收系统、光电转换及数据采集系统、信号处理系统、控制与监控系统、供电模块及附属设备等。

厂商配置附属设备宜配置通信设施及UPS等。台站配置附属设备宜配置防雷设施和环境控制设备等。

* + 1. 功能要求
       1. 一般要求

应具有下列功能：

——本地、远程监视和控制；

——自动、连续运行和自动、人工标定检测；

——实时数据质控和数据生成；

——产品显示、存储和传输。

* + - 1. 控制与监控功能
         1. 监视功能

应具有以下功能：

1. 获取激光雷达设备、运行环境及附属设备状态参数，并记录和上传；
2. 实时监测、自动存储和上传系统报警信息，并根据影响情况分为有影响和严重影响两类，分别对应于系统报警和自动停机报警两种；
3. 记录和上传雷达维护维修信息、关键器件出厂测试重要参数及更换信息，其中维护维修信息包括适配参数变更、软件更迭、标定过程等。
   * + - 1. 控制功能

应具有以下功能：

1. 具有本地、远程监视和遥控能力，并能控制激光发射系统开/关、设置激光雷达工作模式，本地监控终端的控制具有最高优先权；
2. 具有远程软件升级功能，并支持远程运行与维护，包括对激光雷达系统参数进行远程修改等。
   * + - 1. 检测功能

具有自动和人工检测功能，能对系统线性度、接收横截面四象限均匀性、偏振通道增益比一致性等标定和检查，检测结果实时记录并通过日志文件上传。自动检测具有在线、实时的特性，如参数出现异常，能够自动报警；人工检测能够提供测试接口和功能支持。

* + - 1. 数据产品
         1. 数据质控

具有对原始数据进行分子信号检验、噪声滤除、数据质量标识等的数据质量控制功能。

* + - * 1. 数据生成

生成的产品应包括但不限于下列：

1. 原始数据：原始数据主要记录激光雷达各个通道的采集数据和设备运行状态参数；
2. 1级数据产品：通过激光雷达方程反演得到，包括气溶胶后向散射系数、气溶胶消光系数和退偏振比（仅对具有退偏振功能的激光雷达要求）、激光雷达比（仅对具有拉曼功能的激光雷达要求）、色比（仅对具有多波长的激光雷达要求）等产品；
3. 2级数据产品：在1级产品的基础上反演得到，包括光学厚度、垂直能见度、污染物混合层高度、颗粒物质量浓度、云信息（云层数、云底高度）等。
   * + - 1. 数据格式

应满足拉曼-米散射气溶胶激光雷达数据记录格式（参见附录A）。

* + - * 1. 数据产品显示

应具有下列功能：

1. 产品窗口显示主要数据产品；
2. 多窗口显示产品图像，支持鼠标联动；
3. 产品图像能矢量缩放、移动、动画显示等；
4. 具备时间序列、廓线、统计表格等多种显示方式。
   * + 1. 数据存储和传输

应满足下列要求：

1. 按照文件名分类存储；
2. 数据传输采用传输控制协议/因特网互联协议（TCP/IP协议）；
3. 支持压缩传输和存储；
4. 支持数据文件和图像两种输出方式。
   * + 1. 互换性

同型号激光雷达备份零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换，调试后可正常工作。

* 1. 性能要求
     1. 总体技术要求
        1. 工作波长

按需要在300nm～2000nm内选取，中心波长宜采用532nm±0.2nm、355nm±0.2nm和1064nm±0.2nm。

* + - 1. 预热开机时间

正常开机应≤30min。

* + - 1. 距离范围

应满足下列要求：

1. 盲区距离：≤0.5km；
2. 水平能见度不小于10 km条件下，垂直方向最大有效探测范围：≥10 km；
3. 水平能见度不小于10 km条件下，距离半径（仪表量程）：≥20 km。
   * + 1. 测量误差

应满足下列要求：

1. 距离定位误差不大于30m；
2. 米散射气溶胶后向散射系数和消光系数测量精度：不计入激光雷达比误差情况下，0.5-2km平均相对偏差≤20%，0.5-2km平均标准偏差≤20%；满足后向散射系数>1\*10-7m-1时，2-5km平均相对偏差≤40%，2-5km平均标准偏差≤40%；
3. 拉曼散射气溶胶后向散射系数测量精度：0.5-2km平均相对偏差≤25%，0.5-2km平均标准偏差≤25%；满足后向散射系数>1\*10-7 sr-1m-1，2-5km平均相对偏差≤30%，2-5km平均标准偏差≤40%；
4. 拉曼散射气溶胶消光系数测量精度：0.5-2km平均相对偏差≤30%，0.5-2km平均标准偏差≤30%；满足后向散射系数>1\*10-7 sr-1m-1时，2-5km平均相对偏差≤40%，2-5km平均标准偏差≤40%。
   * + 1. 分辨力

应满足下列要求：

1. 空间分辨力：7.5 m或其倍数；
2. 时间分辨力：1min～30min可调。
   * + 1. 可靠性

整机：MTBF≥1000h；

激光器：MTBF≥3000h（不包括灯泵激光器的闪光灯寿命）。

* + - 1. 可维护性

MTTR≤0.5h。

* + - 1. 授时精度

能通过卫星授时或网络授时校准控制计算机时间，授时精度优于0.1s。

* + - 1. 功耗

≤6kW。

* + 1. 激光发射系统
       1. 脉冲宽度

≤50ns。

* + - 1. 激光发射系统发散角

≤1mrad。

* + - 1. 线宽

≤0.2nm。

* + - 1. 偏振度

≥100：1（仅对具有退偏振功能的激光雷达要求）。

* + 1. 光学接收系统
       1. 主望远镜口径

≥75mm。

* + - 1. 视场角

≤2mrad。

* + 1. 光电转换及数据采集系统
       1. 光电转换器类型及工作模式

应满足下列要求：

类型：APD/PMT等；

工作模式：模拟采集/光子计数。

* + - 1. 滤光片参数

应满足下列要求：

带宽：≤2nm（激光工作波长在紫外和可见波段），≤5nm（激光工作波长在红外波段）；

带外抑制：OD（光密度）≥4。

* + - 1. 通道间串扰

应满足下列要求：

1. 不同波长米通道的串扰：≤1%（仅对具有多波长激光雷达要求）；
2. 偏振平行到偏振垂直通道串扰：≤1%（仅对具有偏振功能的激光雷达要求）；
3. 米通道到拉曼通道的串扰：≤0.01%（仅对具有拉曼功能的激光雷达要求）。
   * + 1. 数据采集

应满足下列要求：

1. 采样频率：≥ 10 MHz；
2. 有效采样位数：模拟通道≥ 12 bit；
3. 光子计数率：光子计数通道 ≥200 Mc/s。
   1. 环境适应性及其他
      1. 环境适应性
         1. 一般要求

应满足下列要求：

1. 户外型激光雷达具有防尘、防潮、防霉措施；
2. 适应海拔3000m及以下高度的气压环境。
   * + 1. 温度

应满足下列要求：

1. 室内型激光雷达：工作温度：+10℃～+30℃，储存温度：+5℃～+60℃；
2. 户外型激光雷达：工作温度：-40℃～+50℃，储存温度：-40℃～+60℃。
   * + 1. 空气相对湿度

应满足下列要求：

1. 室内型激光雷达：≤90%（+30℃），无凝露；
2. 户外型激光雷达：≤95%（+35℃），无凝露。
   * + 1. 抗风防降水

应满足下列要求：

1. 户外型激光雷达防风：八级风条件下能正常工作，十级风条件下不被破坏；
2. 户外型激光雷达防降水等级：外壳防护等级IPX5。
   * 1. 电磁兼容性

应满足下列要求：

1. 具有市电滤波和防电磁干扰的能力，具有足够的抗干扰能力，不因其他设备的电磁干扰而影响工作；
2. 设置静电屏蔽、磁屏蔽、电磁屏蔽，模拟地线、数字地线和安全地线严格分开；
3. 发电机地线和避雷地线要单独接地。
   * 1. 电源适应性

应满足下列要求：

1. 供电电压：交流单相220×（1±10%）V或者交流三相380×（1±10%）V等；
2. 供电频率：50×（1±5%）Hz。
   * 1. 安全性
        1. 一般要求

应满足下列要求：

1. 使用对环境无污染、不损害人体健康和设备性能的材料；
2. 应有安全性设计，确保激光雷达进行制造、安装、运输、贮存、使用和维护时的人身安全和设备安全。
   * + 1. 电气安全

应满足下列要求：

1. 各初级电源之间绝缘电阻大于1MΩ，各初级电源与大地之间的绝缘电阻大于20MΩ；
2. 电压超过36V处有警示标识和防护装置；
3. 高压储能电路有泄放装置；
4. 危及人身安全的高压在防护装置被去除或打开后自动切断；
5. 配备紧急断电保护开关。
   * + 1. 激光辐射安全

应符合GB 7247.1-2012 中的激光辐射安全规定，配备安全控制开关，具有安全联锁装置，并贴有激光警告标记、说明标记、激光窗口标志以及有关文字说明。

* + - 1. 防雷安全

户外型激光雷达应满足下列要求：

1. 避雷针接地系统应与建筑物接地系统分开；
2. 避雷针应避开激光雷达的主要探测方向，其高度应使光学接收系统处于45°保护角内；
3. 避雷针接地电阻应≤4Ω；
4. 激光雷达电源线输入端应加装防雷滤波器，室外电缆一律采用屏蔽电缆。
   * + 1. 机械安全

应满足下列要求：

1. 抽屉或机架式组件配备锁紧装置；
2. 机械转动部位及危险的可拆卸装置处有警示标识和防护装置；
3. 在架设、拆收、运输、维护、维修时，活动装置能锁定。
   1. 试验方法
      1. 试验环境条件
         1. 室内测试环境条件

室温应满足20 ℃～30 ℃，空气相对湿度≤70%。

* + - 1. 室外测试环境条件

空气温度在5 ℃～35 ℃，空气相对湿度≤80%，风速≤5m/s。

* + 1. 试验仪表和设备

见表1。

1. 试验仪表和设备

| 序号 | 设备名称 | 主要性能要求 |
| --- | --- | --- |
| １ | 波长计 | 工作波长范围：（330～1180） nm （包含待测激光雷达的发射波长即可） |
| ２ | 光谱仪 | 工作波长范围：（300～2000） nm （包含待测激光雷达的发射波长即可）  绝对误差：≤±0.05 nm  分辨率：≤ 0.1 nm |
| ３ | 分光镜 | 分光比：＞90:10 (T:R) |
| ４ | 示波器 | 带宽：≥500 MHz  最大采样率：≥1 GSa/s |
| ５ | 激光功率计和能量计 | 工作波长范围：250nm～2.1um （包含待测激光雷达的发射波长即可）  功率范围：10mW～15W  接收孔径：≥ 10.00mm  功率计探测分辨率≤200 μW  能量计探测分辨率200 pJ～30 μJ（根据探测激光能量确定）  最大允许误差≤5% |
| ６ | 光束质量分析仪&M2测量系统 | 波长范围：350nm～1100nm（包含待测激光雷达的发射波长即可） |
| ７ | 偏振测量仪 | 动态范围：≥70dB  方位角和椭偏度测量准确度：≥±0.25̊  采样率：≥400 Samples/s  偏振测量精度：＞1% |
| ８ | 高性能干涉滤光片 | 中心波长：与拉曼通道工作波长相同  带宽：≤0.5nm  OD（光密度）：≥8 |
| ９ | 衰减片 | 波段长范围：400nm～1000nm（包含待测激光雷达的发射波长即可）  衰减率：0～100%,至少4种  透过率精度：≤5% |
| 10 | 遮光板 | 黑色，＜20cm×20cm |
| 11 | 高性能偏振片 | 消光比：≥1000：1  工作波长范围波长：（300～2000） nm（包含待测激光雷达的发射波长即可） |
| 12 | 标准气溶胶激光雷达 | 经过国家有关部门认可，主要指标重叠因子≤200m，气溶胶后向散射系数和消光系数测量精度：米散射平均相对偏差和平均标准偏差≤15%（0.5km～5km：不计入激光雷达比误差）；拉曼散射气溶胶后向散射系数和消光系数≤15%（0.5km～5km：不计入激光雷达比误差）。  稳定性：激光平均功率：衰减≤1％/月；  激光器-望远镜指向角：漂移≤0.5mrad/月；  探测器增益：衰减≤1％/月；暗电流：衰减≤1％/月。 |
| 12 | 标准直尺 | 最小刻度：≤1mm；最大测量值：大于望远镜口径 |
| 14 | 激光测距仪 | 测量误差：≤1m；测量最大距离：≥1km |

* + 1. 组成检查

目测检查激光雷达的组成是否完整。

* + 1. 功能测试
       1. 一般要求

操作演示检查。

* + - 1. 控制与监控功能
         1. 监测功能

操作检查参数的显示，演示报警功能。

* + - * 1. 控制功能

操作演示检查。

* + - * 1. 检测功能

操作演示检查。

* + - 1. 数据产品
         1. 数据质控

操作演示检查。

* + - * 1. 数据生成

操作检查是否按照附录A中的规定生成数据产品。

* + - * 1. 数据格式

操作检查是否按照附录A中的格式要求进行了存储。

* + - * 1. 数据产品显示

操作演示检查。

* + - 1. 数据存储和传输

操作演示检查。

* + - 1. 互换性

在现场抽取不少于3个的组件或部件，进行互换测试。

* + 1. 性能测试
       1. 激光雷达工作波长

按照GB/T 15175-2012 中5.1描述的方法测试。

* + - 1. 预热开机时间

接通电源同时开始计时，测量从打开电源到系统正常工作的时间。

* + - 1. 距离范围
         1. 探测盲区

按下列步骤进行测试：

1. 连续采集一组原始数据（3次取平均值）；
2. 以距离为横坐标，原始数据为纵坐标画廓线图；
3. 统计廓线第1个波峰（为杂散光信号）和第2个波峰之间最低点对应的采样点数K，根据公式（B.1）计算出的每个通道的探测盲区。
   * + - 1. 有效探测范围

按下列步骤进行测试：

1. 连续采集一组原始数据（3次取平均值）；
2. 原始数据减背景处理后获得有效信号，根据公式（B.2）和公式（B.3）计算信噪比SNR；
3. SNR≥3时对应的最大高度为有效探测距离。
   * + - 1. 探测距离（量程）

检查激光雷达的输出数据文件。

* + - 1. 测量误差
         1. 距离定位精度

根据实际情况，在下面2个方法中选择1种：

①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，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。连续采集后获得原始数据，以距离为横坐标，用原始数据减背景后画出有效信号廓线图。从有效信号廓线获得三个目标物的反射信号峰值所对应的距离𝐿1、𝐿2、𝐿3。用激光测距仪对三个目标物进行距离测量，分别为𝐿1′、𝐿2′、𝐿3′，根据公式（B.4）计算距离定位精度。

②以标准气溶胶激光雷达的原始数据为参考，选择有低云（云底高度小于3 km）或有高云（云底高度大于6 km）天气条件下，进行被测激光雷达与标准气溶胶激光雷达数据的比对，比较信号的云底、云峰位置，3次测量的差值进行算术平均，其平均值为距离定位误差。

* + - * 1. 气溶胶后向散射系数和消光系数测量精度

待测激光雷达和标准气溶胶激光雷达垂直探测，避开云，开机运行。连续采集后获得至少30min米散射通道和拉曼通道（仅对具有拉曼功能的激光雷达要求）的原始采集数据。以标准气溶胶激光雷达的后向散射系数和消光系数为基准，将待测激光雷达反演结果和标准气溶胶激光雷达的反演结果进行比对，分别按照公式（B.5～B.7）计算平均相对偏差和平均相对标准偏差。

* + - 1. 分辨力

按下列步骤进行测试：

1. 检查激光雷达空间分辨力和时间分辨力是否按照技术要求设置；
2. 检查数据是否按照设置的符合技术要求的时间和空间分辨力进行了存储；
3. 检查获取的数据能否按照设置的符合技术要求的时间和空间分辨力正确显示。
   * + 1. 可靠性/可维护性

按下列使用一个或一个以上激光雷达不少于3个月的运行数据，按照QX/T 526-2019标准表A.1标准型定时截尾试验方案，统计系统的可靠性和可维护性。

* + - 1. 授时精度

实际操作检查授时功能和授时精度。

* + - 1. 功耗

雷达开机连续运行5h以上，测量并求均值得到1h用电量。

* + - 1. 激光脉冲宽度

按照GB/T 15175-2012 中5.5节描述的方法测试。

* + - 1. 激光发射系统光束发散角

按照GB/T 15175-2012 中5.8节描述的方法测试。

* + - 1. 线宽

按照GB/T 31359-2015 中5.14节描述的方法测试。

* + - 1. 发射激光的偏振度

按照GB/T 15175-2012 中5.11节描述的方法测试。

* + - 1. 望远镜口径

使用标准直尺测量望远镜两个垂直方向上的直径并求均值。

* + - 1. 视场角

按照GB/T 10987-2009 中3.2节描述的方法测试。

* + - 1. 光电探测器类型及工作模式检查

通过激光雷达的原始信号确定光电探测器类型及工作模式。

* + - 1. 滤光片测试

按照GB/T 26328-2010中5.1节描述的方法测试。

* + - 1. 通道间串扰
         1. 不同波长米散射通道间信号串扰

按下列步骤进行测试：

1. 利用遮光板遮挡激光器的所有波长激光输出，对串扰源通道分别采集一组背景信号（3次取平均值）,同时对待测试通道采集一组参考信号（3次取平均值）；
2. 只让串扰源一个波长的激光输出，再次采集一组待测试和串扰源两个通道原始数据（3次取平均值）；
3. 利用公式（B.8）计算0～3km范围内的串扰源通道对待测试通道光信号的串扰；
4. 对其他发射波长对应的米散射通道进行测试。
   * + - 1. 偏振平行到偏振垂直的串扰

按下列步骤进行测试：

1. 利用遮光板遮挡激光器的所有波长激光输出，采集偏振平行通道的一组数据（3次取平均值），记录为串扰源通道的背景信号；
2. 移除遮光板，在偏振垂直通道中加入高性能偏振片（消光比大于1000:1），调整偏振片光轴的方向，使其与偏振垂直光的偏振方向平行（与激光偏振方向垂直，信号最小），记录一组垂直偏振通道数据（3次取平均值），记录为待测试通道参考信号；
3. 去除在偏振垂直通道中加入的高性能偏振片，各采集一组偏振垂直和偏振平行两个通道的数据（3次取平均值），数据记录为待测试通道信号和串扰源通道信号；
4. 利用公式（B.8）计算0～3km范围内光学接收系统的偏振平行到偏振垂直的串扰。
   * + - 1. 米通道对拉曼通道的串扰

选择在夜晚大气状态稳定,且有云的条件下做垂直探测，每组数据至少采集10分钟,按下列步骤进行测试：

1. 利用遮光板遮挡激光器的所有波长激光输出，采集一组米散射通道的背景信号（3次取平均值），记录串扰源通道的背景信号；
2. 在拉曼散射通道中加入高性能干涉滤光片，采集一组拉曼散射通道数据（3次取平均值），记录为待测试通道参考信号；
3. 去除在拉曼散射通道中加入的高性能干涉滤光片，分别采集一组米散射与拉曼散射两个通道的数据（3次取平均值），数据记录为串扰源通道信号和待测试通道信号；
4. 利用公式（B.8）计算包含云数据条件下0～5km范围通道对拉曼通道的光信号的串扰。
   * + 1. 信号采集

采集1 min的信号发生器产生的脉冲信号，取数据最大值计算每秒钟的计数率，采集5组求平均值，以测试光子计数卡的每秒计数率。

* + 1. 环境适应性及其他测试
       1. 环境适应性
          1. 一般要求

目视检查防护措施。

* + - * 1. 温度

按照GB/T 2423.1和GB/T 2423.2的有关规定进行。

* + - * 1. 空气相对湿度

按照GB/T 2423.4的有关规定进行。

* + - * 1. 抗风防降水

防风提供同型号雷达实际抗风案例，防降水依据GB/T 4208-2017外壳防护等级（P代码）或GB/T 2423.38进行试验、检测和评定。

* + - 1. 电磁兼容性

按照GB/T 17626.2-2018 进行静电放电抗扰度试验。依据GB/T 17626.4-2018进行电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。依据GB/T 17626.11-2018进行电压暂降和短时中断抗扰度试验。

* + - 1. 电源适应性

通过调整供电电压和频率检查。

* + - 1. 安全性
         1. 一般要求

现场演示检查。

* + - * 1. 电气安全

现场演示检查和测量。

* + - * 1. 激光辐射安全

按照GB 7247.1-2012的有关规定进行。

* + - * 1. 防雷安全

户外型激光雷达按照GB 50057-2010建筑物防雷设计规范进行。

* + - * 1. 机械安全

现场演示检查。

2. （资料性）  
   拉曼-米散射气溶胶激光雷达数据记录格式
   1. 数据记录概述

数据记录文件按照原始数据（0级数据）和数据产品（1级、2级数据）分别给出，其中数据产品按照不同数据格式分别给出结构类型定义。

* 1. 原始数据记录

原始数据记录主要保存激光雷达各个通道的观测结果和设备运行状态参数。格式具有扩展性，可根据需要增加新的通道数据。

* + 1. 文件名规则

原始数据文件名规则如下：

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_Lidar\_yyyymmddhhmmss.bin；

其中：

xxxx：每个厂家的产品具体型号；

xxxxx：设备编号，各设备对应的编号；

xxxxx: 台站编号，即设备安装台站所对应的编号；

Lidar：表示为激光雷达原始数据；

yyyymmddhhmmss: 表明是年月日时分秒，记录数据采集时间，其中小时记录为24小时制。如20140924091027表示2014年9月24日9时10分27秒。

* + 1. 原始数据记录文本规则

记录文本规则详见表A.1。

* 1. 原始数据记录文本规则

| 字节顺序 | 双字节顺序 | 数据类型 | 说明 | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1-14 | 1-7 | 14字节 | 保留 | Lidar信息头  （共16字节） |
| 15-16 | 8 | 2字节  unsigned short [int] | 0-表示Lidar原始强度回波数据 |
| 17-18 | 9 | 2字节  同上 | 记录格式版本号（本文定义的格式版本号为1） | |
| 19-22 | 10-11 | 4字节  同上 | 设备编号 | |
| 23-24 | 12 | 2字节  同上 | 经度（编码方式：[数值/8.]\*[180./4096.]=度） | |
| 25-26 | 13 | 2字节  同上 | 纬度（编码方式：[数值/8.]\*[180./4096.]=度） | |
| 27-28 | 14 | 2字节  同上 | 海拔高度 | |
| 29-30 | 15 | 2字节 | 保留 | |
| 31-32 | 16 | 2字节  同上 | 探测模式 01：廓线探测 | |
| 33-36 | 17-18 | 4字节  unsigned [int] | 径向数据收集开始时间(秒,自00:00开始),每增加1秒钟，计数增加1 | |
| 37-40 | 19-20 | 4字节  unsigned [int] | 径向数据收集结束时间(秒,自00:00开始) ,每增加1秒钟，计数增加1 | |
| 40-42 | 21 | 2字节  unsigned short [int] | 儒略日（Julian）表示，自1970年1月1日开始，每增加1天，计数增加1 | |
| 43-44 | 22 | 2字节  同上 | 仰角 （编码方式：[数值/8.]\*[180./4096.]=度） | |
| 45-46 | 23 | 2字节  同上 | 保留（后期增加方位角） | |
| 47-48 | 24 | 2字节  同上 | 发射波长1,（整数形式，单位nm） | |
| 49-50 | 25 | 2字节  同上 | 发射波长2,（整数形式，单位nm）,如果无第二波长，则保留 | |
| 51-52 | 26 | 2字节  同上 | 发射波长3,（整数形式，单位nm），如果无第三波长，则保留 | |
| 53-54 | 27 | 2字节  同上 | 接收通道数（使用licel采集卡，最大可以达到16通道） | |
| 55-56 | 28 | 2字节  同上 | 通道号标示（1：通道1；2：通道2；3：通道3；4：通道4；5：通道5；……） | |
| 57-58 | 29 | 2字节  同上 | 最高2位表示采集通道的采集方式，AD:0，PC:1，融合：2。其余十四位表示接收回波信号波长（整数形式，单位nm） | |
| 59-60 | 30 | 2字节  同上 | 回波信号类型，0：非偏振；1：偏振P；2：偏振S； 3：拉曼 | |
| 61-62 | 31 | 2字节  同上 | 距离分辨率  （存储数据=距离分辨率（xx.xx m）\*100） | |
| 63-64 | 32 | 2字节  同上 | 盲区高度（单位m）  （存储数据=盲区高度\*10） | |
| 65-68 | 33-34 | 4字节  同上 | 1通道数据指针（偏离Lidar数据信息头的字节数）表示第一个回波强度通道数据的位置 | |
| 69-70 | 35 | 2字节  同上 | 1通道距离库数 | |
| 71-86 | 36-43 | 16字节 | 重复55-70的内容（通道2） | |
| 87-102 | 44-51 | 16字节 | 重复55-70的内容（通道3） | |
| 103-118 | 52-59 | 16字节 | 如果有通道4，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 119-134 | 60-67 | 16字节 | 如果有通道5，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 135-150 | 68-75 | 16字节 | 如果有通道6，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 151-166 | 76-83 | 16字节 | 如果有通道7，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 167-182 | 84-91 | 16字节 | 如果有通道8，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 183-198 | 92-99 | 16字节 | 如果有通道9，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 199-214 | 100-107 | 16字节 | 如果有通道10，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 215-230 | 108-115 | 16字节 | 如果有通道11，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 231-246 | 116-123 | 16字节 | 如果有通道12，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 247-262 | 124-131 | 16字节 | 如果有通道13，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 263-278 | 132-139 | 16字节 | 如果有通道14，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 279-294 | 140-147 | 16字节 | 如果有通道15，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 295-310 | 148-155 | 16字节 | 如果有通道16，重复55-70的内容，否则保留 | |
| 311-32310 | 156-16155 | 32000字节  Float型 | 1通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 32311-64310 | 16156-32155 | 32000字节  Float型 | 2通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 64311-96310 | 32156-48155 | 32000字节  Float型 | 3通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 96311-128310 | 48156-64155 | 32000字节  Float型 | 4通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 128311-160310 | 64156-80155 | 32000字节  Float型 | 5通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 160311-192310 | 80156-96155 | 32000字节  Float型 | 6通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 192311-224310 | 96156-112155 | 32000字节  Float型 | 7通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 224311-256310 | 112156-128155 | 32000字节  Float型 | 8通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 256311-288310 | 128156-144155 | 32000字节  Float型 | 9通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 288311-320310 | 144156-160155 | 32000字节  Float型 | 10通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 320311-352310 | 160156-176155 | 32000字节  Float型 | 11通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 352311-384310 | 176156-192155 | 32000字节  Float型 | 12通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 384311-416310 | 192156-208155 | 32000字节  Float型 | 13通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 416311-448310 | 208156-224155 | 32000字节  Float型 | 14通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 448311-480310 | 224156-240155 | 32000字节  Float型 | 15通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |
| 480311-512310 | 240156-256155 | 32000字节  Float型 | 16通道数据(按照3.75m,30km来计算)  距离库数：0-7999 | |

* 1. 数据产品记录
     1. １级数据产品
        1. 文件名规则

1级数据产品包括气溶胶消光系数、气溶胶后向散射系数和退偏振比等产品。主要规则如下：

（1）米通道消光系数：

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_MEXT\_yyyymmddhhmmss\_w. bin

（2）米通道后向散射系数

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_MBAKSCAT\_yyyymmddhhmmss\_w. bin

（3）拉曼通道消光系数

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_REXT\_yyyymmddhhmmss\_w. bin

（4）拉曼通道后向散射系数

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_RBAKSCAT\_yyyymmddhhmmss\_w. bin

（5）退偏振比

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_DEP\_yyyymmddhhmmss\_w. bin

其中：

xxxx：每个厂家的产品具体型号；

xxxxx：设备编号，各设备对应的编号；

xxxxx: 台站编号，即设备安装台站所对应的编号；

MEXT表示米通道消光系数数据、MBAKSACT表示米通道后向散射系数数据、REXT表示拉曼通道消光系数数据、RBAKSACT表示拉曼通道后向散射系数数据、DEP表示退偏振比数据；

yyyymmddhhmmss分别表示采集结束的年月日时分秒；

w表示波长，采用纳米为单位，整数型，如1064.2纳米，记为1064。

* + - 1. １级数据产品记录文本规则

记录文本规则详见表A.2。

* 1. 激光雷达１级数据产品记录文本规则

| 字节顺序 | 双字节顺序 | 数据类型 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1-14 | 1-7 | 保留 | Lidar信息头  （共16字节） |
| 15-16 | 8 | 2字节  unsigned short [int] |
| 17-18 | 9 | 2字节  同上 | 记录格式版本号（本文定义的格式版本号为1） |
| 19-22 | 10-11 | 4字节  unsigned [int] | 设备编号 |
| 23-24 | 12 | 2字节  unsigned short [int] | 经度（编码方式：[数值/8.]\*[180./4096.]=度） |
| 25-26 | 13 | 2字节  同上 | 纬度（编码方式：[数值/8.]\*[180./4096.]=度） |
| 27-28 | 14 | 2字节  同上 | 海拔高度 |
| 29-30 | 15 | 2字节  同上 | 距离分辨率  （存储数据=距离分辨率（xx.xx m）\*100） |
| 31-32 | 16 | 2字节  同上 | 探测模式 01：廓线探测  最高两位表示探测模式 01：廓线探测；  后14位表示通道存储数据的放大倍数（为防止存储数据过小，导致了数据精度下降） |
| 33-36 | 17-18 | 4字节  unsigned [int] | 径向数据收集开始时间(秒,自00:00开始) ,每增加1分钟，计数增加1 |
| 37-40 | 19-20 | 4字节  同上 | 径向数据收集结束时间(秒,自00:00开始) |
| 40-42 | 21 | 2字节  unsigned short [int] | 儒略日（Julian）表示，自1970年1月1日开始,每增加1天，计数增加1 |
| 43-44 | 22 | 2字节  同上 | 仰角 （编码方式：[数值/8.]\*[180./4096.]=度） |
| 45-46 | 23 | 2字节  同上 | 接收波长（整数形式，单位nm，一级数据在使用时，该项需要和数据值一一对应，参见有效数据详细数据字典格式）。不同波长存储不同文件，与文件名对应 |
| 47-48 | 24 | 2字节  同上 | 数据产品标示，代表该文件保存的是何种数据。1：米通道消光系数：2：米通道后向散射系数；3：退偏振比；4：拉曼通道消光系数：5：拉曼通道后向散射系数 |
| 49-50 | 25 | 2字节  同上 | 距离库数 |
| 51-16050 | 26-8026 | 16000字节  Floot型 | 产品数据  距离库数：0-3999  按照31-32字节中的存储数据的放大倍数，来对采集数据进一步处理 |

* + 1. 2级数据产品
       1. 文件名规则

2级数据产品包括光学厚度、垂直能见度、污染物混合层高度、颗粒物质量浓度、云信息（云层数、云底高度）。主要规则如下：

（1）光学厚度

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_AOD\_yyyymmddhhmmss\_w. doc

（2）垂直能见度

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_VIS\_yyyymmddhhmmss\_w. doc

（3）污染物混合层高度

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_MPBL\_yyyymmddhhmmss. doc

（4）PM10颗粒物浓度

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_PM10\_yyyymmddhhmmss. doc

（5）PM2.5颗粒物浓度

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_PM2\_yyyymmddhhmmss. doc

（6）云信息

xxxx\_xxxxx\_xxxxx\_CLOUD\_yyyymmddhhmmss. doc

其中：

xxxx：每个厂家的产品具体型号；

xxxxx：设备编号，各设备对应的编号；

xxxxx: 台站编号，即设备安装台站所对应的编号；

AOD表示气溶胶光学厚度数据、VIS表示垂直能见度数据、MPBL表示污染物混合层高度数据、PM10表示PM10颗粒物浓度数据、PM2表示PM2.5颗粒物浓度数据、CLOUD表示云信息数据；

yyyymmddhhmmss分别表示采集结束的年月日时分秒；

w表示波长，采用纳米为单位，整数型，如1064.2纳米，记为1064。

* + - 1. ２级数据产品记录文本规则

记录文本规则详见表A.3。

* 1. 激光雷达2级数据产品记录文本规则

| 名称 | 说明 |
| --- | --- |
| 垂直能见度 | 每五分钟记录一个文件（典型时间），数据内容按行存储，对应如下：（保留2位小数，单位km）  时间，能见度 |
| 光学厚度 | 每五分钟记录一个文件(典型时间),数据内容按行存储。（保留2位小数）  波长1，光学厚度1；波长2，光学厚度1；……  波长1，光学厚度1；波长2，光学厚度2；……  …… |
| 污染物混合层高度 | 每五分钟记录一个文件(典型时间),数据内容按行存储。（保留2位小数，单位km）  时间，层高度 |
| 颗粒物质量浓度 | 每五分钟记录一个文件（典型时间），数据内容按行存储，（保留2位小数）  高度1，颗粒物浓度1；  高度2，颗粒物浓度2；  …… |
| 云信息 | 云信息每5分钟记录一个文件(典型时间)。每行记录的信息如下：（保留2位小数，单位km）  时间（北京时），第一层云高，第二层云高，第三层云高，第四层云高，第五层云高 |

1. （资料性）  
   试验数据处理公式
   1. 探测盲区计算公式

(B.1)

式中：

*——*探测盲区，单位为米(m)；

*——*空间分辨力，单位为米(m)；

*——*第1个波峰（为杂散光信号）和第2个波峰之间最低点对应的采样点数。

* 1. 噪声计算公式

(B.2)

式中：

——信号噪声幅值或光子个数，单位为伏或个；

——计算背景基线的起始点序号；

——计算背景基线的结束点序号；

——测试数据序号（ =1,2,…,end），end对应最远探测距离序号；

——序号对应的原始数据，单位为伏或个；

——至序号对应的探测原始数据平均值，即背景基线值，单位为伏或个。

* 1. 信噪比计算公式

(B.3)

式中：

——信噪比；

——扣除背景基线后的原始信号，单位为电压或光子个数。

* 1. 距离定位精度计算公式

(B.4)

式中：

——距离定位精度；

、、——有效信号廓线获得的三个目标物反射信号峰值所对应的距离；

、、——激光测距仪对三个目标物进行测量的距离值。

* 1. 相对偏差计算公式

(B.5)

式中：

——相对偏差%；

——参考信号；

——待测试信号。

* 1. 平均相对偏差计算公式

(B.6)

式中：

——一段距离区间内的平均相对偏差，%；

——选定的一个确定的高度范围内的测试数据个数。

* 1. 平均标准偏差计算公式

(B.7)

式中：

——指定距离区间的平均标准偏差。

* 1. 不同通道间信号串扰参数计算公式

(B.8)

式中：

——待测试通道的参考信号；

——串扰源通道的背景信号；

——待测试通道的原始信号；

——串扰源通道的原始信号；

——串扰源通道相对待测试通道的增益比；

——在指定探测范围内的测试数据序号。

参考文献

[1] QX/T 526-2019气象观测专用技术装备测试规范 通用要求