

附件 1

能见度光量子激光雷达（中距型） 功能规格需求书

中国气象局综合观测司

2026 年 03 月

编写说明

为指导和规范能见度光量子激光雷达（中距型）的研制与生产，更好契合气象观测业务向精细化、智能化发展的需求，中国气象局组织编制了《能见度光量子激光雷达（中距型）功能规格需求书》（以下简称《需求书》）。本《需求书》适用于气象领域中以提升能见度监测精度与效率为核心目标的光量子激光雷达设备。

相较于传统激光雷达在复杂气象条件下易受干扰、探测精度较低、设备体积庞大且难以部署等局限，能见度光量子激光雷达（中距型）通过单光子探测等技术创新，能够显著增强微弱光信号的探测能力，进一步促进设备小型化与低功耗设计，实现低空经济、交通、航空、环保等场景中的应用，为气象预报和服务提供更全面的数据支撑。

中国气象局综合观测司统筹《需求书》编制工作，中国气象局气象探测中心牵头具体编写任务。编制过程中，广泛吸纳气象专家、激光雷达研发企业及业务应用部门的意见，重点围绕小型化能见度光量子激光雷达的抗环境干扰能力、探测精度、设备集成度等核心功能提出技术规范，为规范气象行业中小型化能见度光量子激光雷达的研发、生产及使用提供标准化依据。

随着量子技术、光电探测等领域的持续突破以及不断新增气象业务需求，本《需求书》将根据技术发展与应用反馈，适时进行修订、补充或迭代更新，以确保其始终引领气象监测装备向高精度、智能化、便携化方向演进。

目 录

1	前言	1
1.1	目的	1
1.2	适用范围	1
1.3	制定依据	1
2	术语和定义	1
2.1	气象能见度 METEOROLOGICAL VISIBILITY	1
2.2	气象光学视程 METEOROLOGICAL OPTICAL RANGE	1
2.3	距离分辨率 RANGE RESOLUTION	2
2.4	时间分辨率 TEMPORAL RESOLUTION	2
2.5	单光子探测器 SINGLE PHOTON DETECTOR	2
2.6	光子量子激光雷达 PHOTONIC QUANTUM LIDAR	2
3	组成结构要求	2
3.1	系统组成	2
3.2	总体结构	2
4	功能要求	3
4.1	总体要求	3
4.2	激光发射系统功能	4
4.3	光学接收系统功能	4
4.4	光子量子探测系统功能	4
4.5	信号处理系统功能	4
4.6	扫描定位系统功能	4
4.7	显示与控制终端软件功能	4
4.8	附属设备功能	5
5	技术指标	5
5.1	总体性能指标	5
5.2	激光发射系统技术指标	7
5.3	光学接收系统技术指标	7
5.4	光子量子探测系统技术指标	7

5.5 扫描定位系统技术指标	7
5.6 显示与控制终端软件技术指标	8
5.7 供电要求	8
5.7.1 供电设施	8
5.7.2 电源要求	8
5.8 防雷要求	8
6 环境适应性要求	8
6.1 高温	8
6.2 低温	8
6.3 恒定湿热	8
7 结构及贮存要求	8
7.1 结构要求	8
7.2 贮存要求	8
8 业务运行要求	9
8.1 运行监控要求	9
8.2 可靠性、可维护性要求	9
8.2.1 可靠性设计	9
8.2.2 可维护性设计	9
8.3 标定功能要求	9
8.4 测量精度测试验证	9
9 标志、包装和运输要求	9
9.1 标志	9
9.2 包装	10
9.3 运输	10
10 其它要求	10
10.1 操作人员培训	10
10.2 配套设备	10
附录 A	11
A.1 数据概述	11
A.2 文件名编码规则	11

A.3 原始数据记录文本规则	12
A.4 1 级产品记录文本规则	13
A.5 2 级产品记录文本规则	14
A.6 状态文件记录文本规则	14

1 前言

1.1 目的

能见度是衡量大气透明程度的重要指标，它直接影响着道路交通、低空飞行、航海等众多领域的安全与效率。准确获取能见度信息，对于天气预报、气象预警、灾害防御以及保障人们出行安全具有重要的意义。

本需求书对能见度光量子激光雷达（中距型）的基本功能、性能和技术参数等提出需求，为气象行业中应用的能见度光量子激光雷达（中距型）的研制、生产和使用提供参照依据。随着气象观测设备发展和观测需求的变化，该功能需求书还将进一步完善。

1.2 适用范围

本需求书适用于气象行业中使用的以能见度观测为目的的光量子激光雷达的研发、考核、定型和使用。

1.3 制定依据

本功能规格需求书编写的主要依据有：

- (1) QX/T 503—2019 气象专用技术装备功能规格需求书编写规则
- (2) 《拉曼和米散射气溶胶激光雷达功能需求书（第一版）》（气测函〔2019〕119号）
- (3) QX/T 129—2011 气象数据传输文件命名
- (4) GB/T 7247.1—2024 激光产品的安全第 1 部分：设备分类、要求和用户指南
- (5) IEC 60825-1: 2014 Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements
- (6) ISO/FDIS 28902-1: 2011 Air quality – Environmental meteorology – Part 1: Ground-based remote sensing of visual range by lidar
- (7) 《能见度激光雷达功能规格需求书》（气测函〔2023〕51号）
- (8) GB/T 35223—2017 地面气象观测规范气象能见度

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1 气象能见度 Meteorological Visibility

视力正常（对比阈值 0.05）的人，在当时天气条件下，能够从天空背景中看到和辨认的目标物（黑色、大小适度）的最大水平距离。

注：对比阈值是指视力正常的人其眼睛能察觉的最小亮度对比。

2.2 气象光学视程 Meteorological Optical Range

白炽灯发出色温为 2700K 平行光束的光通量在大气传输中被吸收和散射，衰减至初值的 5% 所需要的距离。使用 Koschmieder 定律（在人眼亮度对比度阈值为 0.05 下）计算得出 MOR 和大气消光系数 α 的关系为： $V_{MOR} = -\ln(0.05)/\alpha$ 。

注 1：后文将“气象光学视程”简称为“能见度”，符号 V_{MOR} 简写为 V 。

注 2：实际应用中需考虑波长修正，即以人眼敏感的绿光（550 nm）为基准，其他波长的消光系数需乘以修正因子。

2.3 距离分辨率 Range Resolution

在规定的环境和条件下，激光雷达在光束传播方向上能够区分的最小空间距离。

2.4 时间分辨率 Temporal Resolution

激光雷达能够获得独立信号数据的最小时间间隔。

2.5 单光子探测器 Single Photon Detector

一种具有超灵敏度的光电探测器件，能够检测单光子量级并将其转换为可测量电信号，实现对极微弱光信号的探测与计数。

2.6 光子量子激光雷达 Photonic Quantum Lidar

一种利用量子技术增强传统激光雷达性能的探测系统，能够实现对目标的高精度、高灵敏度测量，适用于微弱信号和远距离探测场景。

3 组成结构要求

3.1 系统组成

一套完整的能见度光子量子激光雷达（中距型）系统由本地系统和远程系统两大部分组成。本地系统包括：

- （1）激光发射系统；
- （2）光学接收系统；
- （3）光子量子探测系统（单光子探测器、单光子计数模块）；
- （4）信号处理系统（采集主控、数据处理和通信传输模块）；
- （5）扫描定位系统；
- （6）显示与控制终端软件；
- （7）附属设备（供电、防雷、通信、安装支架、摄像机等设施）。

本地系统可以在确保相关硬件无删减的情况下，根据实际应用重新进行拆分、组合。

远程系统包括远程控制终端及其显示与控制终端软件，与本地系统通过网络通信进行数据传输和控制，可安装在用户指定的任意场所。

3.2 总体结构

总体结构示意图如图1所示，具体的结构可根据实际情况予以调整。

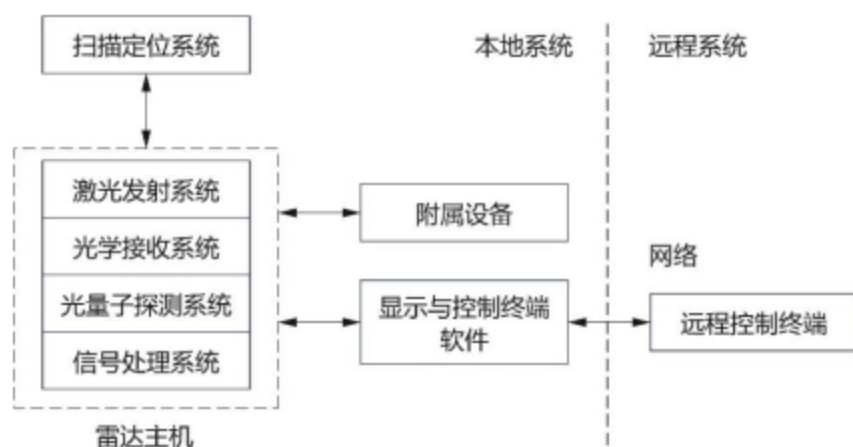


图1 能见度光量子激光雷达（中距型）系统示意图

基本要求如下：

- （1）具有防雨、防尘、防盐雾、温度控制等功能，其刚度和强度要求能承受强风的袭击，并根据情况配置防雷装置，以保证能见度光量子激光雷达（中距型）可以全天候工作；
- （2）具有高可靠性，故障率低，维修方便的特性；
- （3）具备模块化、标准化、统一化的设计原则，具备完善的在线监测、性能分析等功能；
- （4）主机结构应采用一体化设计，架设时可安装在地基观测平台或移动装载平台上；
- （5）移动装载平台包括但不限于：载车、载船、载机等架设平台，以及可移动箱体。移动装载平台要求配置定位、测速、测姿系统，可以自动修正移动装载平台自身的速度和姿态信息；
- （6）标准配置下只含本地系统，远程系统根据用户需要选配；
- （7）应包括数据存储系统。

4 功能要求

4.1 总体要求

能见度光量子激光雷达（中距型）是建立在激光光束与大气粒子的散射、吸收等物理过程基础上，激光脉冲射入大气，与气溶胶粒子、云雾滴等发生相互作用后，通过探测后向散射的单光子信号，来反演大气消光系数，并最终解算出能见度值。能见度光量子激光雷达（中距型）应具备较长的使用寿命、小型便携、可靠性高、连续工作能力强、环境适应性强，并且操作、维护简单方便，使用、运行成本低，具有较高的性价比。

能见度光量子激光雷达（中距型）的激光发射系统使用性能稳定的激光器。光学接收系统使用高光学接收效率的望远镜。光量子探测系统使用高灵敏度、低噪声、大动态范围的单光子探测器和单光子计数器。信号处理系统能够实时处理探测数据。显示与控制终端软件界面布局清晰、交互逻辑顺畅。

能见度光量子激光雷达（中距型）应具有自动或人工干预检测功能。其检测内容应包括激光发射功率、脉冲重复频率、激光器温度、探测器温度、光学收发光轴匹配检测（定期检测和标

定)、主机内外温湿度、各模块通讯状态、各模块工作状态等。其中,在自动模式下应具有在线、实时的自检特性,并实时记录监测结果,并以 log 文件保存。如出现参数异常,能自动报警。还应具有高性能信号处理、图像显示及传输能力。

能见度光量子激光雷达(中距型)配备扩展通信模块,支持互联网和北斗通信功能,实现设备状态信息的收集处理功能,满足状态信息的高速和低时延传输,并且可以进行双向通信和远程控制。具备加密处理能力,支持对状态信息传输过程加密,支持断点续传,能按照用户要求的格式协议转换和传输。扩展通信模块符合气象物联网系统相关安全标准,具有完善的身份认证机制及安全措施。

4.2 激光发射系统功能

激光发射系统用于产生雷达工作时所需要的发射光源,以激光器为核心,激光通过扩束镜和光学镜组发射到大气中。激光发射系统能接收激光雷达监控单元的控制指令,并向监控单元反馈其工作状态和故障报警信息。

4.3 光学接收系统功能

光学接收系统通过高光学效率的望远镜和具备高杂散光抑制的后继光路结构,实现对后向散射信号的高效接收。

4.4 光子探测系统功能

光子探测系统通过单光子探测器捕获微弱的后向散射信号,将其转换为电脉冲;数据采集模块采用单光子计数采样方式,将时序的电脉冲信号转换成数字信号。

4.5 信号处理系统功能

信号处理系统可采用高性能数字信号处理器或嵌入式工控机进行信号处理,用于探测数据的处理和反演。

4.6 扫描定位系统功能

扫描定位系统采用高精度、小型化、轻量化且具备高环境适应性的云台,实现能见度光量子激光雷达(中距型)在不同俯仰和不同方位扫描,具有相应的电气和机械限位功能,扫描方式可由本地系统或远程系统终端软件控制实现。

4.7 显示与控制终端软件功能

显示与控制终端软件包括实时远程控制、参数管理(主机及附属设备监测)、数据接收与处理、产品显示、在线监控、维护维修信息管理等功能。能够实时显示能见度光量子激光雷达(中距型)回波和数据产品,实时显示能见度光量子激光雷达(中距型)状态参数和告警信息,在线分析能见度光量子激光雷达(中距型)性能以及查看历史数据,设置能见度光量子激光雷达(中距型)工作模式,并具备本地和远程控制等功能。软件设计应符合国家标准,软件结构应便于修改升级与维护,各子程序之间、模块之间和程序单元之间的依赖关系应减少到最低限度,具体要求见表 1。

表 1 显示与控制终端软件功能要求

分类	功能要求
远程控制	能通过有线（RS232/RS485/RJ45）和无线（WIFI/4G/5G）通信方式与雷达系统实现终端控制，具有控制激光发射系统开/关、监控光量子探测系统工作状态、设置工作模式等功能。
参数管理 (主机及附属设备监测)	a) 站点位置信息，包括名称、经纬度、海拔高度等； b) 部件温度、激光脉冲能量、脉冲重复频率等； c) 雷达几何重叠因子等校正过程数据； d) 运行环境及附属设备状态参数。
数据接收与处理	接收原始回波数据、状态参数、告警信息等，生成产品，并以数据文件的形式存档和上传。
产品显示	a) 原始数据：原始回波、距离校正信号； b) 一级产品：气溶胶后向散射系数、气溶胶消光系数； c) 二级产品：能见度、平均能见度。
在线监控	参数超限告警提示、故障诊断等；信息输出频次为每分钟一次。
维护维修信息管理	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。

4.8 附属设备功能

(1) 供电设施

配市电、发电机（选配）和蓄电池（选配）。

(2) 防雷设施

为能见度光量子激光雷达（中距型）和供电设施防雷。

(3) 通信设施

能够通过有线或无线通信方式，满足能见度光量子激光雷达（中距型）数据传输与远程控制的要求。

(4) 摄像机（选配）

配备分辨率至少为 1920×1080 的摄像机。

5 技术指标

5.1 总体性能指标

能见度光量子激光雷达（中距型）总体性能要求包括：工作波长、有效探测范围、测量准确度、结构要求、供电要求、环境要求等，具体指标见表 2。

表 2 总体性能指标

项目	性能指标
工作波长	800nm~1600nm（避开 CO ₂ 、水汽、甲烷等气体吸收线）
最大有效探测范围（90%及以上样本）	≥3000m（@能见度>5km）
盲区	≤45m
水平扫描方位	0~360°
俯仰	0~90°（可根据需要固定某一仰角）
能见度测量范围	50m~20000m
空间分辨率	距离 15m 或其倍数

	角度	$\leq 0.5^\circ$ (雷达的指向)	
时间分辨率	廓线探测	1s~10min 可调	
距离测距精度 (均方误差)		不大于其空间分辨率	
能见度测距相对误差要求 $\Delta V/V$		$<100\%$, $50m \leq V \leq 100m$ $<50\%$, $100m < V \leq 200m$ $<20\%$, $>200m$	$V_{\text{测}}$: 是能见度光量子雷达 (中距型) 的测量值; V : 通过参考设备测定的能见度值。 $\Delta V = V_{\text{测}} - V $
数据产品		能见度、平均能见度、气溶胶消光系数、气溶胶后向散射系数	
电源要求		单相交流, $AC220V \pm 15\%$, $50Hz \pm 5\%$; 直流, $DC24V \pm 5\%$	
规格要求		尺寸 (长×宽×高): $<400mm \times 200mm \times 200mm$ (主机) 重量: $\leq 9kg$ (雷达主机), $\leq 15kg$ (含云台)	
环境要求	工作温度	$-40^\circ C \sim +50^\circ C$	
	贮存温度	$-40^\circ C \sim +60^\circ C$	
	最大湿度	$\geq 95\%$ ($+35^\circ C$)	
	工作高度	海拔高度: $\leq 3000m$	
	淋雨、冲击、振动	符合国家有关技术规定, 且满足野外运输要求	
	抗干扰	静电放电抗扰度应满足 GB/T 17626.2 中规定的等级 4 要求; 射频电磁场抗扰度应满足 GB/T 17626.3 中规定的等级 3 要求; 浪涌 (冲击) 抗扰度应满足 GB/T 17626.5 中规定的等级 4 要求	
	其它	防水、防风沙、防盐雾	
	防风	八级风条件下能正常工作, 十级风条件下不被破坏	
整机峰值功耗 (含云台、温控等)		常温工作下: $\leq 150W$ 极端工作温度下: $\leq 250W$	
平均无故障时间 (MTBF)		$\geq 3000h$	
平均故障修复时间 (MTTR)		$\leq 0.5h$	
激光器寿命		$\geq 10000h$	
连续工作时间		可 24h 连续工作	
架设方式		固定架设/移动式	
架设和拆收 (移动式雷达)	架设时间	$\leq 2h$	
	拆收时间	$\leq 1h$	
	所需人数	1 人	
开机时间		正常开机 $\leq 10min$; 紧急开机 $\leq 5min$ 。	
激光安全		设备应符合 GB 7247.1—2024 激光产品的安全或 IEC 60825-1:2014 中关于激光安全等级的要求, 并有激光警告标记、说明标记、激光窗口标志以及有关文字说明。设备铭牌至少应包括激光等级、波长、单脉冲能量、重复频率、安全距离等关键参数。	
互换性		备份零件、部件、组件和功能单元均能在现场更换, 调整后可正常工作。	
电磁兼容性		具有市电滤波和防电磁干扰的能力, 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。	
安全性		应有安全性设计, 确保其按规定条件进行制造、安装、运输、贮存、使用和维护时的人身安全和设备安全。	
绝缘性		电源接口与大地间绝缘电阻应大于 $20M\Omega$ 。	
外观质量		整体形象应协调一致。外表面应无凹痕、碰伤、裂痕和变形等缺陷; 镀涂层不起泡、龟裂和脱落; 金属零件无锈蚀、毛刺及其它机械损伤。	
标记与代号		机柜机箱 (若有)、插件和线缆等应有统一的编号和标记, 符合国家标准。 印制板、主要元器件等应在相应位置印有与电路图中项目代号相符的标记。 标记的文字、字母和符号应完整、规范、清晰和牢固, 且便于识读。	

环境噪声要求	架设现场和终端操作室均不大于 65dB。
铭牌内容	名称、型号（代号）；出厂编号；尺寸；重量；出厂年月；制造厂商标。

5.2 激光发射系统技术指标

主要包括：工作波长、重复频率、平均功率等，具体见表 3。

表 3 激光发射系统技术性能指标表

项目	性能指标
工作波长	800nm~1600nm
重复频率	≥1kHz
单脉冲能量	≤150uJ
故障检测和保护	过流保护、过温保护，功率低时输出报警信号。
通风散热	有可靠的通风散热设计，保证激光发射系统正常工作。

5.3 光学接收系统技术指标

主要包括望远镜类型、工作波长等，具体见表 4。

表 4 光学接收系统技术性能指标表

项目	性能指标
工作波长	800nm~1600nm
望远镜类型	透射式/反射式
望远镜有效口径	≤60mm

5.4 光子探测系统技术指标

主要包括光电转换器类型、光电转换器暗计数、计数率等，具体指标见表 5。

表 5 光子探测系统技术性能指标表

项目	性能指标
光电转换器类型	单光子探测器
光电转换器暗计数	<1000 c/s
光电转换器计数率	≥25 Mc/s
数据采集器计数率	≥40 Mc/s

5.5 扫描定位系统技术指标

主要包括：扫描方式、扫描范围、扫描速度、控制方式等，具体见表 6。

表 6 扫描定位系统技术性能指标表

项目	性能指标
扫描方式	平面位置显示（Plan Position Indicator, PPI），距离高度显示（Range Height Indicator, RHI），或用户自定义扫描方式
扫描范围	方位 0~360°
	俯仰 0~90°
扫描速度	方位 ≥5°/s
	俯仰 ≥5°/s
控制方式	预置全自动、人工干预，自动/手动控制
安全与保护	方位、俯仰机构上应有电气、机械安全设施，保护

	设备在工作与运输过程中的安全。方位、俯仰控制应有保护电路。
--	-------------------------------

5.6 显示与控制终端软件技术指标

显示与控制终端软件应界面友好，操作方便，运行安全稳定。

5.7 供电要求

5.7.1 供电设施

配市电、发电机（选配）和蓄电池（选配）。

5.7.2 电源要求

单相交流，AC220V $\pm$ 15%，50Hz $\pm$ 5%；直流，DC24V $\pm$ 5%。

5.8 防雷要求

应采用共用接地系统（地网），将所有金属部件就近连接到该接地系统上。共用接地系统（地网）的接地电阻应不大于 4 Ω 。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或光缆。

6 环境适应性要求

6.1 高温

工作温度：+50℃；贮存温度：+60℃。

6.2 低温

工作温度：-40℃；贮存温度：-40℃。

6.3 恒定湿热

表 7 工作和贮存湿热要求

相对湿度 (%)	环境温度 (℃)	试验时间 (h)
≥ 95	+35	48

7 结构及贮存要求

7.1 结构要求

应可拆卸分解，拆卸后的各部分要保证能够人力搬运。

为方便维修，应能够实现最小可更换单元（LRU）的快速拆装。

应综合考虑室外工作环境、电磁兼容性、可维修性和通风散热等要求，并在机壳预留接地端子。

7.2 贮存要求

(1) 贮存时间超过六个月时，应按照维护使用说明书的要求进行贮存保管，并进行通电、通气。

(2) 包装完整的设备应远离有热辐射源和直接照射的地方。

8 业务运行要求

8.1 运行监控要求

为了对能见度光量子激光雷达（中距型）运行情况进行监控，系统应具备发送工作状态和参数功能，信息输出频次为每分钟一次。若设备出现异常应显示故障报警信息。

8.2 可靠性、可维护性要求

8.2.1 可靠性设计

能见度光量子激光雷达（中距型）各分系统和组件应充分贯彻标准化、通用化、模块化设计原则，结合机内测试装置，保证系统的高可靠性工作。

使用的元器件，优先选用集成电路进行设计；特别是数字电路，尽量采用大规模和超大规模集成电路。在通用元器件选用上，应按照标准化规定的优选厂家选用高可靠性产品。

各分系统尽量采用低压直流供电，二次电源应采用开关式 DC/DC 变换的供电体制，具有体积小、重量轻、工作安全以及效率高等优点。按照电磁兼容性设计标准要求进行，严格区分模拟地、数字地以及安全地的接线关系，对发射机和大功率开关电源等应采取有效的电磁屏蔽措施。

8.2.2 可维护性设计

能见度光量子激光雷达（中距型）结构布局的设计在保证可达性的条件下，能够确定最小可更换单元，采用更换最小可更换单元的方法进行维修。

能见度光量子激光雷达（中距型）的各分系统的模块与组件应设置必要的工作状态指示，便于维修时检测。各模块、组件的装配尽量采用插拔式结构，应具有良好的可靠性，采用简单的通用工具即可进行维修操作。

8.3 标定功能要求

通过机内或外接专用测试平台、仪表等实现主要指标的标定。应包括但不限于几何重叠因子校正、暗噪声检测、接收横截面四象限均匀性标定、系统线性度标定等标定功能。

8.4 测量精度测试验证

能见度光量子激光雷达（中距型）测量相对误差方面的比对测试验证方法为：

计算 $\Delta V/V$ ，其中 $V_{\text{测量值}}$ 是能见度光量子激光雷达（中距型）的测量值； V 是通过参考设备测定的能见度值，如，使用经校准的大气透过率仪、前向散射仪等。 $\Delta V = |V_{\text{测量值}} - V|$ 。具体方法参考《能见度光量子激光雷达（中距型）测试大纲》。

9 标志、包装和运输要求

9.1 标志

设备明显处应有以下标志：

- a) 商标；
- b) 产品型号和名称；
- c) 制造厂名；

- d) 制造日期或生产批号；
- e) 激光等级、波长、单脉冲能量、重复频率、安全距离等关键参数。

包装箱应有以下标志：

- a) 产品名称（包装物名称）；
- b) 包装箱编号（No.）；
- c) 包装储运图示标志；
- d) 外形尺寸(长×宽×高)；
- e) 毛重（kg）；
- f) 制造厂名；
- g) 制造日期或生产批号；
- h) 到站名称。

9.2 包装

根据各包装箱的具体情况，其外表明显处，应注明防雨、防晒、防潮、防磁、防辐射等要求。
能见度光量子激光雷达（中距型）包装箱内应有完整的随机文件，包括：

- a) 装箱或部件清单；
- b) 产品合格证书；
- c) 技术说明书；
- d) 使用维护说明书；
- e) 其它随机文件。

9.3 运输

能见度光量子激光雷达（中距型）装箱后可以通过航空、公路、铁路和水运运输；或直接整体运输至用户；运输装卸过程中应避免高温日晒、雨雪淋湿和强烈撞击。

10 其它要求

10.1 操作人员培训

厂家应提供随机配套的教学录像以及现场机务培训。

10.2 配套设备

配备必要的随机备件、随机仪器和随机工具，以及技术说明书、使用说明书、技术图册、出厂测试报告等随机文件，以满足雷达正常运行和维护保障需要。

随机备件应按最小可更换单元配置，并可根据用户要求选配。

附录 A

(规范性)

能见度光量子激光雷达（中距型）数据记录格式

A.1 数据概述

能见度光量子激光雷达（中距型）的数据文件包括：原始数据（0级数据）文件、产品数据（1级、2级数据）文件、状态参数文件等文件，其中数据产品按照不同数据格式分别给出结构类型定义。

A.2 文件名编码规则

根据实际需要，建议使用长文件名命名方法，对各类文件名进行约定。文件名中的时间均为观测结束时间，统一采用世界时（UTC）。文件名编码规则参考气象行标《QXT 129—2011 气象数据传输文件命名》。具体文件名编码如表 A-1 所示。

文件名通用格式：

Z_RADA_I_IIiii_yyyyMMddhhmmss_ftype_MVISLIDAR_equipmenttype_datatype.type

表 A-1 文件名编码表

字段	标识
Z	表示国内交换文件
RADA	表示雷达资料
I	表示后面的 IIiii 为台站区站号
IIiii	气象台站区站号，5 位字符
yyyy	观测时间世界时（UTC）（年）（20*—）；
MM	观测时间世界时（UTC）（月）（01—12）；
dd	观测时间世界时（UTC）（日）（01—31）；
hh	观测时间世界时（UTC）（时）（00—23）；
mm	观测时间世界时（UTC）（分）（00—59）；
ss	观测时间世界时（UTC）（秒）（00—59）；
ftype	O: 观测数据 P: 产品数据 R: 状态文件
MVISLIDAR	设备标识，大写字母，能见度光量子雷达（中距型）的缩写，其中“M”表示中距型。
equipmenttype	设备型号，生产厂家自定义，大写字母。
datatype	数据类型，用 L0、L1、L2 等表示。 L0: 表示原始数据文件； L1: 表示 1 级产品文件； L2: 表示 2 级产品文件； 当 ftype 为 R 时，该字段可缺省。
type	TXT: 文本格式 BIN: 二进制编码格式 XML: XML 格式文档

根据表中命名规则，能见度光量子激光雷达（中距型）的数据文件名如下所示：

1) 原始数据文件名

Z_RADA_I_IIiii_yyyyMMddhhmmss_O_MVISLIDAR_设备型号_L0.BIN

2) 1级产品数据文件名

Z_RADA_I_IIiii_yyyyMMddhhmmss_P_MVISLIDAR_设备型号_L1.BIN

3) 2级产品数据文件名

Z_RADA_I_IIiii_yyyyMMddhhmmss_P_MVISLIDAR_设备型号_L2.TXT

4) 状态参数文件命名

Z_RADA_I_IIiii_yyyyMMddhhmmss_R_MVISLIDAR_设备型号.XML

A.3 原始数据记录文本规则

原始数据记录主要保存能见度光量子激光雷达（中距型）各个通道的观测结果和设备运行状态参数。文件是二进制编码格式（BIN）。格式具有扩展性，可根据需要增加新的通道数据。

记录文本规则详见表 A-2。

表 A-2 能见度光量子激光雷达（中距型）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 unsigned [int]	设备编号	
23-26	12-13	4 字节 unsigned [int]	经度 (存储数据=经度 (xxx.xxxx 度) *10000), 如经度为 120.2356 度, 存储值为 1202356)	
27-30	14-15	4 字节 unsigned [int]	纬度 (存储数据=纬度 (xx.xxxx 度) *10000), 如纬度为 36.4518 度, 存储值为 364518	
31-34	17	4 字节 unsigned [int]	海拔高度 (存储数据=海拔高度 (xx.xx m) *100)	
35-36	18	2 字节	保留	
37-38	19	2 字节 同上	探测模式, 01: 廓线探测, 02: 水平探测	
39-42	20-21	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	
43-46	22-23	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	
47-48	24	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	
49-50	25	2 字节 同上	仰角 (编码方式: [数值/8.]*[180./4096.]度)	
51-52	26	2 字节 同上	方位角 (编码方式: [数值/8.]*[180./4096.]度)	
53-54	27	2 字节 同上	发射波长. (整数形式, 单位 nm)	
55-56	28	2 字节 同上	接收通道数	
57-58	29	2 字节 同上	通道号标识 (1: 通道 1; 2: 通道 2;)	
59-60	30	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)
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	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	通道距离库数
71-32070	36-16035	32000 字节 Float	通道数据, 根据通道距离库数填写数据
备注: 1、32000 字节是以 8000 个距离库为例, 实际字节数=距离库数*4 字节。			

A.4.1 级产品记录文本规则

能见度光量子激光雷达 (中距型) 1 级数据产品包括气溶胶消光系数、气溶胶后向散射系数等产品。所有 1 级数据产品保存为一个文件, 文件为二进制编码文件 (.BIN)。记录文本规则详见表 A-3。

表 A-3 能见度光量子激光雷达 (中距型) 1 级产品数据记录文本规则

字节顺序	双字节顺序	数据类型	说明	
1-14	1-7	14字节	保留	VISLidar信息头 (共 16 字节)
15-16	8	2字节 unsigned short [int]	1-表示 lidar 产品数据	
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 unsigned [int]	设备编号	
23-26	12-13	4字节 unsigned [int]	经度 (存储数据=经度 (xxx.xxxx 度)*10000), 如经度为 120.2356 度, 存储值为 1202356	
27-30	14-15	4字节 unsigned [int]	纬度 (存储数据=纬度 (xx.xxxx 度)*10000), 如纬度为 36.4518 度, 存储值为 364518	
31-34	17	4字节 unsigned [int]	海拔高度 (存储数据=海拔高度 (xx.xx m) *100)	
35-36	18	2字节 同上	距离分辨率 (存储数据=距离分辨率 (xx.xx m) *100)	
37-38	19	2字节 同上	探测模式, 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, 导致数据精度下降)	
39-42	20-21	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	
43-46	22-23	4字节 同上	径向数据收集结束时间(秒,自 00:00 开始)	
47-48	24	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	
49-50	25	2字节 同上	仰角 (编码方式: [数值/8.]*[180./4096.]=度)	
51-52	26	2字节 同上	方位角 (编码方式: [数值/8.]*[180./4096.]=度)	
53-54	27	2字节 同上	数据产品标识。 1: 气溶胶消光系数; 2: 气溶胶后向散射系数;	
55-56	28	2字节	数据产品对应波长 (整数形式, 单位 nm)	

		同上	
57-58	29	2字节 同上	距离库数
59-16058	30-8029	16000字节 Float型	产品数据，根据距离库数填写数据； 按照 37-38 字节中的存储数据的放大倍数，来对采集数据 进一步处理；数据单位见备注；
/	/	/	当有多种产品时，按 53-16058 字节格式依次存储各产品；
备注： 1、16000 字节是以 4000 个距离库为例，实际字节数=距离库数*4 字节。 2、产品数据的单位：消光系数为 km^{-1} ，后向散射系数为 $\text{km}^{-1}\text{sr}^{-1}$ 。			

A.5.2 级产品记录文本规则

能见度光量子激光雷达（中距型）2 级数据产品包括平均能见度、能见度廓线，保存为一个文本文件（.TXT）。

能见度光量子雷达（中距型）的 2 级产品文件内容及格式应符合以下要求：

- 1、为直接可读的 ASCII 文本文件，且仅包含英文半角符号；
- 2、文件包含多个数据行，每行结尾直接用回车换行“<CR><LF>”结束；
- 3、每个数据行由多个数据段组成，采用半角逗号“,”作为数据段之间的分割符号；

记录文本规则详见表 A-4。

表 A-4 能见度光量子激光雷达（中距型）2 级产品数据记录文本规则

位置	各数据段记录内容	格式说明
第一部分数据		
第一行	DateTime	该行记录数据为日期时间
	DateTime 的值	日期及时间值（世界时（UTC））， 记录格式为 yyyy-mm-dd hh:mm:ss
第二行	Elevation	该行记录数据为仰角
	Elevation 的值	仰角值，保留 2 位小数，单位度
第三行	Azimuth	该行记录数据为方位角
	Azimuth 的值	方位角值，保留 2 位小数，单位度
第四行	RVIS	该行记录数据为该径向的平均能见度
	RVIS 的值	具体值，整数，单位 m
第五行	N/A	保留字段
第二部分数据（垂直斜程/水平径向数据）		
第六行	Range VIS	表行头，第 1 列为径向距离，第 2 列为能见度
.....	具体值	按照距离依次排列，每行包括距离值（保留 1 位小数，单位 m）、 能见度值（整数，单位 m），行结束时用回车换行“<CR><LF>”

A.6 状态文件记录文本规则

能见度光量子激光雷达（中距型）状态文件内容主要包括：通用头信息、静态参数、运行模式、运行环境、运行状态、扫描配置等信息，文件格式为 xml。

状态参数文件内容格式定义如表 A-5。

表 A-5 能见度光量子激光雷达（中距型）状态文件记录文本规则

序号	元素	节点层次	说明
1	<LidarStatus>	根节点	表示该文件为雷达状态信息

第一部分通用头数据			
2	<GeneHeader>	一层子节点	通用头块开始
3	<dataType>	二层子节点	1表示 Lidar状态数据
4	<version>	二层子节点	记录格式版本号（本文定义的格式版本号为1）
5	</GeneHeader>	一层子节点	通用头块结束
第二部分激光雷达静态参数数据			
6	<LidarStaticPams>	一层子节点	激光雷达静态参数块开始
7	<areaStation>	二层子节点	区站号
8	<type>	二层子节点	产品型号
9	<lon>	二层子节点	经度（存储数据=经度（xxx.xxx度）*10000），如经度为120.2356度，存储值为1202356
10	<lat>	二层子节点	纬度（存储数据=纬度（xx.xxx度）*10000），如纬度为36.4518度，存储值为364518
11	<altitude>	二层子节点	海拔高度（存储数据=海拔高度（xx.xx m）*100）
12	<workSystem>	二层子节点	工作体制 0：米散射
13	<wavelengthNum>	二层子节点	发射波长个数
14	<transpireAngle>	二层子节点	发散角（整数形式，单位μrad）
15	<telescopeCaliber>	二层子节点	望远镜口径（整数形式，单位mm）
16	<receivingFieldOfView>	二层子节点	接收视场角（整数形式，单位μrad）
17	<receivingNum>	二层子节点	接收通道数
18	<softwareVersion>	二层子节点	软件版本号
19	</LidarStaticPams>	一层子节点	激光雷达静态参数块结束
第三部分激光雷达运行模式参数数据			
20	<LidarWorkingModes>	一层子节点	激光雷达运行模式块开始
21	<julian>	二层子节点	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。
22	<radialEndTime>	二层子节点	状态数据收集结束时间(秒,自00:00开始)每增加1秒钟，计数增加1。
23	<systemStatus>	二层子节点	系统状态（0：维护，1：标定，2：运行，3：待机，4：故障）
24	<controlSign>	二层子节点	控制权标志（0：本控，1：遥控）
25	<workMode>	二层子节点	扫描模式标志（0：定点，1：扫描）
26	<elevation>	二层子节点	仰角（编码方式：[数值/8]*[180./4096.]度）
27	<azimuth>	二层子节点	方位角（编码方式：[数值/8]*[180./4096.]度），如果定点测量，无方位角信息，则显示“0”
28	</LidarWorkingModes>	一层子节点	激光雷达运行模式块结束
第四部分激光雷达运行环境参数数据			
29	<LidarWorkingEnvironment>	一层子节点	激光雷达运行环境块开始
30	<laserTemp>	二层子节点	激光器温度（存储方式：温度（xx.x℃）*10）
31	<lidarInT>	二层子节点	激光雷达内部环境温度（存储方式：温度（xx.x℃）*10）
32	<lidarInRh>	二层子节点	激光雷达内部环境工作湿度（存储方式：整数保存，单位%）
33	<lidarOutT>	二层子节点	激光雷达外部环境工作温度（存储方式：温度（xx.x℃）*10）
34	<lidarOutRh>	二层子节点	激光雷达外部环境工作湿度（存储方式：整数保存，单位%）
35	<lidarOutPa>	二层子节点	激光雷达外部气压值（整数形式，单位：Pa）

36	</LidarWorkingEnvironment>	一层子节点	激光雷达运行环境块结束
第五部分激光雷达运行状态参数数据			
37	<LidarWorkingStatus>	一层子节点	激光雷达运行状态块开始
38	<collectMethod>	二层子节点	采集方式：（0：连续，1：间隔）
39	<collectInterval>	二层子节点	间隔采集时间：整数表示，单位 s
40	<storage>	二层子节点	数据存储剩余空间：单位 G
41	<rangeResolution>	二层子节点	距离分辨率（存储数据=距离分辨率（xx.xx m）*100）
42	<laserWorkTime>	二层子节点	激光器总工作时间（单位：h）
43	<wavelength1>	二层子节点	发射波长（整数形式，单位 nm）
44	<wavelength1Power>	二层子节点	发射波长的功率（单位：mW）
45	<repeatFrequency>	二层子节点	重复频率（整数形式，单位：Hz，如果是连续光，数值是“0”）
46	<channels>	二层子节点	该子节点开始，通道信息，包含一个或多个<StatusChannels>，有几个通道就有几个<StatusChannels>
47	<StatusChannels>	三层子节点	表示该通道开始
48	<mark>	四层子节点	通道号标识（1：通道 1；2：通道 2；3：通道 3；4：通道 4；5：通道 5；.....）
49	<wavelength>	四层子节点	对应通道波长（整数形式，单位 nm）
50	<chanCollectMethod>	四层子节点	采集通道的采集方式，0：AD，1：PC，2：融合，3：高空，4：低空。
51	<prfType>	四层子节点	回波信号类型，0：米散射
52	<apdTemp>	四层子节点	APD 温度（存储方式：温度（xx.x°C）*10）（只在采集方式为 AD 的通道上，其他通道为空）
53	<photodetectorTime>	四层子节点	此通道光电探测器工作时间（单位：h）
54	<photodetectorVoltage>	四层子节点	此通道光电探测器工作电压（单位：V）
55	</StatusChannels>	三层子节点	表示该通道结束
			若有多个通道，重复序号 52-62 的内容
56	</channels>	二层子节点	该子节点结束
57	</LidarWorkingStatus>	一层子节点	激光雷达运行状态块结束
第六部分雷达扫描配置信息			
58	<LidarScanConfiguration>	一层子节点	激光雷达扫描配置块开始
59	<ScanType>	二层子节点	扫描任务类型。0：PPI，1：RHI，2：自定义
60	<StartAzimuth>	二层子节点	起始方位角，度
61	<StartElevation>	二层子节点	起始俯仰角，度
62	<EndAzimuth>	二层子节点	结束方位角，度
63	<EndElevation>	二层子节点	结束俯仰角，度
64	<AngularResolution>	二层子节点	角度分辨率，度，当前径向与下一组径向之间的角度间隔
65	<AzimuthSpeed>	二层子节点	方位扫描速度，度/秒
66	<ElevationSpeed>	二层子节点	俯仰扫描速度，度/秒
67	</LidarScanConfiguration>	一层子节点	激光雷达扫描配置块结束
68	</LidarStatus>	根节点	表示该文件激光雷达状态信息结束