



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

颗粒物光量子雷达技术规范

Technical specifications for particle quantum lidar

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2026.5.29)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原理	3
5 技术要求	3
5.1 主要技术指标	3
5.2 功能要求	4
5.3 安全要求	5
5.4 环境适应性	6
5.5 电磁兼容性	6
6 测试方法	6
6.1 测试条件	6
6.2 性能指标测试	7
6.3 功能检测	10
6.4 安全检测	10
6.5 环境适应性试验	11
6.6 电磁兼容性试验	11
7 检验规则	12
7.1 一般规则	12
7.2 检验分类	12
7.3 型式检验判定原则	12
8 标志、包装、运输、贮存	13
8.1 标志	13
8.2 包装	13
8.3 运输	13
8.4 贮存	13
附 录 A（规范性）典型颗粒物光量子雷达组成结构	14
附 录 B（规范性）单光子探测器检验方法	15
参 考 文 献	16

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。

本文件由全国量子标准化技术委员会（SAC/TC 578）提出并归口。

本文件起草单位：山东国耀量子雷达科技有限公司、济南量子技术研究院、中国科学技术大学、济南市生态环境局、浙江省环境科技股份有限公司、中国信息通信研究院、中国标准化研究院、山东新一代标准化研究院有限公司、中国计量科学研究院、山东省生态环境监测中心、北京理工大学、中国计量大学、科大国盾量子技术股份有限公司、河南省科学院、中电信量子信息科技集团有限公司、深圳长朗智能科技有限公司。

本文件主要起草人：申屠国樑、温丹亭、张强、薛向辉、王顺民、徐红星、尚祥、曲冻源、贾铭蛟、周咪咪、郑明睿、王超凡、王冲、张皓清、任翔宇、吴凯露、赖俊森、张萌、龙雨然、华冠、梁君生、甘海勇、黄昂、魏征、张安宁、谭爱红、安斯光、李东东、孙超伟、刘勇、劳长石

颗粒物光量子雷达技术规范

1 范围

本文件规定了颗粒物光量子雷达（以下简称雷达）的基本原理、技术要求、测试方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存要求。

本文件适用于采用单光子探测器进行信号采集的颗粒物光量子雷达的验证、生产和检测。

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 2894-2008 安全标志及其使用导则

GB/T 2423.1-2008 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 2423.2-2008 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 2423.3-2016 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.21-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验M：低气压

GB/T 3784-2009 电工术语 雷达

GB/T 4857.23-2021 包装 运输包装件基本试验 第23部分：垂直随机振动试验方法

GB/T 7247.1-2024 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求

GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件

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 17626.3-2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.6-2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

量子雷达 quantum radar

以量子测量原理和技术为基础，利用量子系统的相干叠加、光量子纠缠等特性实现的雷达。

[来源:GB/T 43737-2024,5.32]

3.2

单光子探测器 single-photon detector

能够以一定概率将单光子级别的光脉冲信号转化为宏观可探测信号的仪器、器件或设备。

[来源:GB/T 43692-2024,3.44]

3.3

颗粒物光量子雷达 particulate quantum lidar

利用单光子探测器技术实现大气颗粒物分布探测的量子雷达（3.1）系统。

3.4

消光系数 extinction coefficient

表征光信号在介质中传播时强度衰减的物理量。

3.5

示踪系数 particulate tracing index

对光信号处理后，得到的可以显示颗粒物传输扩散踪迹的参数。

3.6

时间分辨率 temporal resolution

雷达上一次数据采集开始（或结束）到下一次数据采集开始（或结束）的最小时间间隔。

3.7

距离分辨率 range resolution

雷达能够区分两个相邻目标的最小距离间隔。

3.8

角分辨率 angular resolution

雷达上一次数据采集开始与下一次数据采集开始之间的最小角度间隔。

3.9

信噪比 signal to noise ratio;SNR

对原始信号进行去噪声处理后获得有效信号，有效信号与噪声信号标准差的比值。

3.10

有效探测距离 effective detection range

雷达信噪比稳定连续大于等于3的最大距离。

3.11

最大探测距离 maximum detection range

雷达能够有效探测目标的最远距离。

注：该术语与距离分辨率、采集距离门数量以及激光脉冲重复频率相关。其中，距离门即为雷达采用脉冲法测距时，在距离维度上采用时间分割法规定的距离尺度[来源：GB/T 3784-2009，2.3.5.2]；激光脉冲重复频率定义为激光器每秒发射的脉冲次数。

3.12

单光子探测效率 detection efficiency

一个特定波长或频率的光子入射到单光子探测器，被探测到并输出响应信号的概率。

[来源:GB/T 43692-2024,3.55]

3.13

暗计数概率 dark count probability

在完全没有光输入时，单光子探测器在单位时间内记录到探测事件并输出响应信号的概率。

[来源：GB/T 43692-2024,3.56]

3.14

扫描周期 scanning period

颗粒物光量子雷达在扫描模式下，从上一次扫描模式开始到下一次扫描模式开始的最小时间间隔。

3.15

走停模式 step-stop scan mode

雷达运行过程中被拆解为两个交替执行的阶段，即雷达保持静止进行数据采集（“停”阶段）和雷达运行至下一关键角度或位置，运动过程中暂停采集（“走”阶段）。

3.16

匀速模式 uniform velocity scan mode

雷达运行过程中以恒定角速度完成扫描的工作模式，即舍弃了雷达走停模式中的“停”阶段，在执行“走”阶段过程中，同时完成数据采集和扫描位置的转换。

3.17

平面位置显示扫描 plan position indicator;PPI

雷达在固定俯仰角下进行360°方位旋转扫描的一种扫描方式。

3.18

距离-高度显示扫描 range-height indicator;RHI

雷达固定方位角，在俯仰角方向上进行连续或步进扫描的一种扫描方式。

3.19

时间高度显示 time height indicator;THI

雷达固定在指定的方位角或俯仰方向，在垂直高度方向上进行长时间连续探测的一种扫描方式。

3.20

能见度 visibility

视力正常的观测者能够将目标从背景中识别出来的最大距离。

3.21

颗粒物 particulate

悬浮在气体介质中的固态或液态颗粒物质的总称。

4 基本原理

颗粒物光量子雷达利用不小于200nm的激光光源作为设备的信号光源，将该信号光通过望远镜发射进入大气，通过望远镜收集大气中颗粒物对信号光产生的后向散射光子，利用高灵敏度的单光子探测器对收集的后向散射光子进行光子计数探测，得到不同区域的后向散射光强度信息，进而反演出大气中的消光系数、示踪系数或污染源点位分布等信息。

典型光量子雷达组成结构应符合附录A的规定。

5 性能要求

5.1 性能指标要求

5.1.1 单光子探测器

采用光子计数模式或光子计时模式等，典型值探测效率>10%，噪声<3000Hz；

5.1.2 工作波长

可选用≥200nm的紫外光、可见光以及红外光线；

注：典型值为355nm、532nm、1064nm、1550nm等；

5.1.3 5.1.3 有效探测距离

在能见度≥10km的晴朗天气条件下，有效探测距离最小边界值不低于1km。

注：典型值包括500m、1000m、2000m、4000m、6000m、10000m及以上；

5.1.4 最大探测距离

典型值7.5km、15km、30km。

5.1.5 角分辨率

对于匀速转动的雷达，典型角分辨率 2° ；对于走停模式的雷达，典型角分辨率 2° 。

5.1.6 时间分辨率

典型值2s。

5.1.7 扫描周期

典型值20min。

5.1.8 距离分辨率

典型范围3.75m ~ 120m。

5.1.9 扫描模式

具备PPI, RHI, THI或者用户自定义多种扫描模式；

5.1.10 连续工作时间

≥ 24 小时。

5.2 功能要求

5.2.1 核心功能要求

雷达的核心功能要求如下：

- a) 光学参数测量：具备反演气溶胶相关光学参数的功能，包括但不限于：示踪系数、消光系数、后向散射系数等；
- b) 空间覆盖与扫描：应具备水平全方位扫描和垂直分层探测能力，获取颗粒物的水平分布与垂直结构信息；应支持多种扫描模式，适配不同监测场景的需求，如污染源定位、区域全面监测等；
- c) 快速数据刷新：应支持快速数据刷新能力，可实现单径向数据快速采集和全景扫描成像，支持连续不间断监测并捕获突发污染事件的相关数据；
- d) 污染源自动识别与定位功能：应支持实时识别污染源，精准锁定污染源所在位置；
- e) 扩散轨迹追踪：应支持反演颗粒物的扩散方向及影响范围；应支持动态呈现颗粒物扩散过程。

5.2.2 软件控制系统功能要求

5.2.2.1 远程控制

雷达的远程控制系统应具备以下功能：

- a) 实现光学发射系统的远程启停控制；
- b) 实时监测光量子探测和数据采集系统的运行状态；
- c) 支持雷达工作模式（包括PPI/RHI/THI）的远程配置与切换。

5.2.2.2 数据处理

雷达的数据处理系统应具备以下功能：

- a) 实时接收并解析以下数据，包括：
 - 原始回波信号数据；
 - 设备运行状态参数；
 - 系统告警及诊断信息。
- b) 生成标准化数据产品，包括：
 - 原始数据产品，即雷达信号通过大气中颗粒物后向散射获取的最原始的光子计数信号而获得的数据产品。
 - 消光系数数据产品，原始信号经雷达处理后，获得的用于表征雷达信号在大气中传播单位距离时的相对衰减率的数据产品，是大气中颗粒物对发射光信号的散射与吸收的贡献之和。
 - 示踪系数数据产品，原始信号经雷达处理后，获得的用于突出表征大气中颗粒物扩散轨迹参数的数据产品。
 - 污染源点位分布数据产品，雷达进行大气颗粒物探测后，获得的污染源点位分布信息。
- c) 实现数据归档，存储格式兼容但不限于 TXT、CSV、BIN 等格式。

5.2.2.3 可视化显示

雷达的可视化显示系统应具备以下功能：

- a) 实时显示界面应包含：
 - 光量子雷达原始信号波形图，展示雷达信号被大气颗粒物后向散射的实时信号数据；
 - 消光系数时空分布图，在空间维度上，展示雷达信号因大气颗粒物的散射与吸收后的情况；
 - 实时污染源扫描图，展示雷达扫描范围内的颗粒物实时分布以及扩散趋势；
 - 运行状态参数可视化显示；
 - 系统告警及诊断信息可视化显示。
- b) 历史数据回放功能，支持时间序列数据动态可视化。
- c) 污染事件实时定位显示，具备地理信息叠加功能。

5.2.2.4 在线监控

雷达的在线监控系统应具备以下功能：

- a) 建立多参数阈值预警机制，包括：
 - 激光器温度/电流异常预警；
 - 望远镜温度异常预警；
 - 数据采集异常告警；
 - 通讯链路中断告警。
- b) 配备自检、故障诊断功能，可实现：
 - 伺服系统自检报警；
 - 探测器自诊断报警。

5.3 安全要求

5.3.1 一般要求

雷达应具备安全性设计，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。

5.3.2 激光安全

雷达应按GB/T 7247.1-2024中1类或1M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，具体参考GB 2894-2008中第4章规定。

5.3.3 抗电强度

雷达处于非工作状态，开关置于接通状态，电源端子对地或对机壳间应能承受50Hz，AC1500V电压，历时1min，无击穿或闪络现象。

5.3.4 绝缘性能

雷达处于非工作状态，开关置于接通状态，电源端子对地或对机壳间用500VDC测试，绝缘电阻不小于20M Ω 。

5.3.5 保护接地电阻

雷达的接地端子与需要接地的部件之间的连接电阻应不大于4 Ω 。

5.4 环境适应性

雷达的环境适应性应满足以下要求：

- a) 工作温度： $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 存储温度： $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 最大湿度：在 $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 温度下，湿度最大值 $(93\pm 3)\% \text{RH}$ ；
- d) 海拔高度：海拔3000m以下低气压环境；
- e) 振动要求：应承受GB/T4857.23-2021中表D.1公路运输的振动试验。

5.5 电磁兼容性

5.5.1 静电放电抗扰度

应符合GB/T 17626.2-2018中等级4的要求，加干扰期间，设备性能或功能可暂时丧失或者降低，但在扰动停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

5.5.2 浪涌（冲击）抗扰度

应符合GB/T 17626.5-2019中等级4的要求，加干扰期间，设备性能或功能可暂时丧失或者降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

5.5.3 射频电磁场辐射抗扰度

应符合GB/T 17626.3-2023中等级3的要求，加干扰期间，设备不能出现性能明显降低或者工作状态改变或者存储数据丢失等情况。

5.5.4 射频电磁场传导抗扰度

应符合GB/T 17626.6-2017中等级3的要求，加干扰期间，设备不能出现性能明显降低或者工作状态改变或者存储数据丢失等情况。

6 测试方法

6.1 测试条件

除特殊要求外，在下列条件下进行测试：

- 电源：电压 AC 220V，频率 50Hz；
- 工作环境温度：25°C±5°C；
- 相对湿度要求：45%RH~75%RH；
- 大气压力：86kPa~106kPa；
- 天气要求：晴朗天气，且能见度≥10km。
- 测试场地：应具备平整、稳固的安装基础，视野开阔，无遮挡物及非目标强反射体。

6.2 性能指标测试

6.2.1 单光子探测器测试

对单光子探测器的输入光信号进行标定，确保输入单光子探测器的光子数大约为100万个量级，通过示波器读取单光子探测器接收的光子数，即可获取单光子探测器的探测效率；关闭输入信号光，通过示波器读取单光子探测器的计数，即可获取单光子探测器的噪声值。单光子探测器指标应符合5.1.1要求。百万光子标定应符合附录B内容。

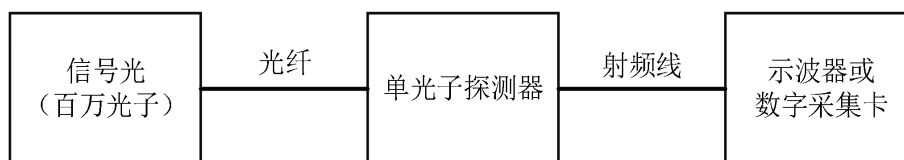


图1 单光子探测器指标测试框图

按以下步骤进行测试：

- 按图1所示连接测试设备；
- 测试示波器或数字采集卡的本底噪声；
- 将百万光子输入单光子探测器；
- 将单光子探测器的TTL信号连接至示波器或数字采集卡，通过示波器或数字采集卡读取单光子探测器接收的光子数，通过光子数减去本底噪声，即可获取单光子探测器的探测效率；
- 将输入光信号断开，查看示波器或数字采集卡的读数，将该读数减去本底噪声，即可获取单光子探测器的噪声值。

6.2.2 工作波长测试

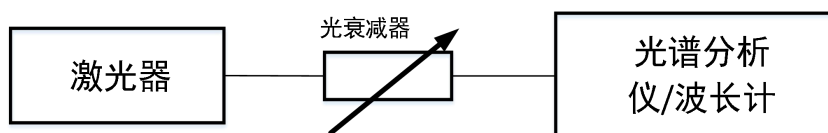


图2 工作波长测试框图

- 按图2连接测试设备，启动雷达激光器，将激光器能量衰减到满足光谱分析仪阈值要求；
- 将激光器衰减后的信号光输入光谱分析仪或波长计；
- 读取激光器波长值，激光器工作波长应符合5.1.2中要求。

6.2.3 有效探测距离测试

按照以下步骤进行测试：

- a) 在能见度大于 10km 的晴朗天气下，雷达安装至空旷区域，设置雷达水平扫描且运行在 THI 模式；
- b) 启动雷达并运行至稳定工作状态；
- c) 设置雷达单方向单组采集时间小于等于时间分辨率；
- d) 设置雷达距离分辨率；
- e) 雷达连续运行，采集 N 组廓线数据（典型 N=10）；
- f) 根据公式(1)计算雷达 SNR，记录 N 组 $SNR \geq 3$ 时的雷达探测距离，根据公式(4)对 N 组雷达探测距离取均值，得到雷达的有效探测距离，雷达有效探测距离应符合 5.1.3 中要求。

$$SNR_i = \frac{T_i - N_1}{N_2} \dots\dots\dots (1)$$

$$N_1 = \frac{\sum_{i=m}^{m+n} x_i}{n+1} \dots\dots\dots (2)$$

$$N_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{m+n} (x_i - N_1)^2}{n}} \dots\dots\dots (3)$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{N} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

SNR_i ——第i个距离点处的雷达信噪比；

T_i ——第i个距离点处的总的单光子计数，包括有效信号和噪声；

N_1 ——背景噪声的平均值；

N_2 ——背景噪声的标准差；

x_i ——数据值（定义同T）；

m ——计算噪声基线的起始点；

$m + n$ ——计算噪声基线的结束点；

L ——雷达有效探测距离；

L_i ——第i组 $SNR \geq 3$ 时对应的雷达探测距离；

N ——廓线数据的数量。

6.2.4 最大探测距离测试

根据测量数据的距离分辨率 Δd 和保存数据的距离门数 n ，按公式（5）计算最大探测距离 $Range$ 。

$$Range = \Delta d \times n \dots\dots\dots (5)$$

6.2.5 角分辨率测试

按照以下步骤进行测试：

- a) 在能见度大于 10km 的晴朗天气下，雷达安装至空旷区域，雷达水平匀速扫描；
- b) 启动雷达并运行至稳定工作状态；
- c) 设置雷达单方向采集时间小于等于时间分辨率，设置雷达水平转速，设置雷达距离分辨率；
- d) 雷达开始数据采集，执行完整扫描周期操作，记录扫描起始角度 θ_1 ，终止角度 θ_2 ，起始时间 t_1 和终止时间 t_2 ；
- e) 根据公式（6）计算雷达角分辨率 $\Delta\theta_{\text{匀速}}$ ，角分辨率 $\Delta\theta_{\text{匀速}}$ 应符合 5.1.5 中要求：

$$\Delta\theta_{\text{匀速}} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\Delta\theta_{\text{匀速}}$ ——雷达匀速转动的角分辨率，单位为度(°)；

- θ_1 ——雷达稳定扫描一周期起始角度，单位为度(°)；
 θ_2 ——雷达稳定扫描一周期起始时间，单位为度(°)；
 t_1 ——雷达稳定扫描一周期起始时间，单位为秒(s)；
 t_2 ——雷达稳定扫描一周期终止时间，单位为秒(s)。
- a) 若雷达为走停模式，雷达走停间隔即为雷达角分辨率，角分辨率应符合 5.1.5 中要求；

6.2.6 时间分辨率测试

按照以下步骤进行测试：

- a) 在能见度大于 10km 的晴朗天气下，雷达安装至空旷区域，设置水平 THI 扫描；
b) 启动雷达并运行至稳定工作状态；
c) 设置雷达的时间分辨率，设置雷达距离分辨率；
d) 雷达正常运行，得到 m 组雷达廓线数据，记录每组数据的开始时间或结束时间。
e) 根据公式 (7) 计算雷达时间分辨率 Δt ，时间分辨率 Δt 应符合 5.1.6 中要求：

$$\Delta t = \frac{t_m - t_1}{m - 1} \quad (7)$$

式中：

Δt ——时间分辨率，单位为秒(s)；

t_1 ——雷达第1组廓线数据的开始时间或结束时间，单位为秒(s)；

t_m ——雷达第 m 组廓线数据的开始时间或结束时间，单位为秒(s)；

m ——雷达获取的廓线数据数目。

6.2.7 扫描周期测试

按照以下步骤进行测试：

- a) 在能见度 ≥ 10 km 的晴朗天气下，雷达安装至空旷区域，设置某种扫描模式（典型模式为水平 PPI 扫描）；
b) 启动雷达并运行至稳定工作状态；
c) 设置雷达的时间分辨率，设置雷达水平转速或角分辨率，设置雷达距离分辨率；
d) 雷达正常运行，执行完成 N ($N \geq 2$) 个扫描周期，记录每个周期的开始时间或结束时间；
e) 根据公式 (8) 计算雷达扫描周期 T ，扫描周期 T 应符合 5.1.7 要求：

$$T = \frac{t_N - t_1}{N - 1} \quad (8)$$

式中：

T ——扫描周期，单位为秒(s)；

t_1 ——雷达第1个周期的开始时间（或结束时间），单位为秒(s)；

t_N ——雷达第 N 个周期的开始时间（或结束时间），单位为秒(s)。

6.2.8 距离分辨率测试

检查雷达的距离分辨率是否按照技术要求进行设置，然后检查雷达的数据文件中存储的距离分辨率是否与设置值保持一致。

按照以下步骤进行测试：

- a) 选取两个无耗散、定标后的点目标模拟器，目标散射截面需大于雷达最小可探测散射截面；
b) 将两个目标放置在雷达同一方位角上，两目标初始距离大于雷达标称的距离分辨率；

- c) 逐步减小两目标的距离差，同时雷达以固定光功率和固定扫描模式对目标进行探测；
- d) 当雷达原始信号波形图中两个目标的回波峰值恰好能被区分时，此时的实际距离差即为雷达实测距离分辨率。实测距离分辨率应符合 5.1.8 中的要求。

6.2.9 扫描模式测试

打开雷达控制软件，分别设置雷达的扫描模式为PPI, RHI, THI或其他组合扫描模式，观察雷达的运行情况。

6.2.10 连续工作时间测试

雷达开机运行24小时，检查工作过程中雷达是否正常工作，数据保存是否完整，数据显示是否准确，确保其能够连续24小时正常工作。

6.3 功能检测

6.3.1 远程控制检测

通过雷达控制软件控制激光器的开启和停止，观察光电转换系统的工作状态，设置雷达的工作模式，观察远程控制各项功能是否正常。

6.3.2 图像显示检测

通过雷达控制软件，查看对应数据产品是否有图像展示，查看各图片显示是否正常。

6.3.3 在线监控检测

通过雷达控制软件，查看是否有参数超限告警提示或故障诊断信息等。

6.3.4 数据处理检测

检查雷达是否可正常生产原始回波数据、状态参数、告警信息等数据产品，检查各类数据文件是否正常存储。

6.4 安全检测

6.4.1 一般要求检测

检查雷达是否具备安全性设计，可保证雷达在制造、安装、运输、贮存、使用和维护过程中的人身安全和设备安全，其结果应符合5.3.1的规定。

6.4.2 激光安全检测

通过目测，检查设备是否在出光口贴有激光危险警告图标及描述说明，应符合5.3.2的规定。

6.4.3 抗电强度检测

使用耐压测试仪，在雷达设备电源端子对地或对机壳间施加50Hz, AC1500V电压，历时1min，检测结果应符合5.3.3的规定。

6.4.4 绝缘性能检测

使用绝缘测试仪测量雷达设备电源端子对地或对机壳间的绝缘电阻，检验结果应符合5.3.4的规定。

6.4.5 保护接地电阻检测

使用耐压测试仪测试雷达设备的保护接地电阻，检测结果应符合5.3.5的规定。

6.5 环境适应性试验

6.5.1 低温运行试验

低温运行试验应按照GB/T 2423.1-2008中的试验要求进行试验。低温工作试验：雷达正常启动，打开雷达激光器，设置1000mA，且在雷达正前方增加吸光装置，在低温环境下连续运行2h，测试过程中，雷达应能正常运行。从试验箱内取出，启动激光器，雷达应能正常工作。

6.5.2 高温运行试验

高温运行试验应按照GB/T 2423.2-2008中的试验要求进行试验。高温工作试验：雷达正常启动，打开雷达激光器，设置1000mA，且在雷达正前方增加吸光装置，在高温环境下连续运行2h，测试过程中，雷达应能正常运行。从试验箱内取出，启动激光器，雷达应能正常工作。

6.5.3 低温贮存试验

低温贮存试验应按照GB/T 2423.1-2008中的试验要求进行试验。低温贮存试验：关闭雷达，低温环境下保存16h后，从试验箱内取出，打开雷达，启动激光器出光，雷达应能正常工作。

6.5.4 高温贮存试验

高温贮存试验应按照GB/T 2423.2-2008中的试验要求进行试验。高温贮存试验：关闭雷达，高温环境下保存16h后，从试验箱内取出，打开雷达，启动激光器出光，雷达应能正常工作。

6.5.5 恒定湿热试验

恒定湿热试验应按照GB/T 2423.3-2016中的试验要求进行，试验条件设置为： $(93 \pm 3)\%RH @ (40 \pm 2)^\circ C$ 。恒定湿热试验：打开雷达，停止激光器出光，在低温环境下连续运行16h，测试过程中，雷达应能正常运行。从试验箱内取出，启动激光器出光，雷达应能正常工作。

6.5.6 低气压试验

低气压试验应按照GB/T 2423.21-2008中的试验要求进行试验。低气压试验：打开雷达，停止激光器出光，在低温环境下连续运行2h，测试过程中，雷达应能正常运行。从试验箱内取出，启动激光器出光，雷达应能正常工作。

6.5.7 包装运输振动试验

应按GB/T 4857.23-2021中的试验要求进行试验，振动强度按照GB/T 4857.23-2021中表D.1公路运输的数据，振动持续1h。试验后雷达部件不应有松动，打开雷达应能正常工作。

6.6 电磁兼容性试验

6.6.1 静电放电抗扰度试验

按照GB/T 17626.2-2018规定的试验方法进行，判断结果是否符合5.5.1的要求。

6.6.2 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照GB/T 17626.5-2019规定的试验方法进行，判断结果是否符合5.5.2的要求。

6.6.3 射频场电磁场辐射抗扰度试验

按照GB/T 17626.3-2016规定的试验方法进行，判断结果是否符合5.5.3的要求。

6.6.4 射频场电磁场传导抗扰度试验

按照GB/T 17626.6-2017规定的试验方法进行，判断结果是否符合5.5.4的要求。

7 检验规则

7.1 一般规则

产品出厂前应按本规定进行检验。

7.2 检验分类

- a) 出厂检验；
- b) 型式检验。

7.2.1 出厂检验

产品出厂前所进行的检验项目见表1，检验中发现有一项不合格时，应返工后重新检验，合格后并附有合格证方可出厂。

7.2.2 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品研制或老产品改进生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，定期或积累一定产量后，应周期(不超过两年)进行一次检验；
- d) 产品长期停产，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

7.2.3 检验项目

各类检验项目见表1。

表1 检验项目表

检验项目	要求	试验方法	出厂检验	型式检验
主要技术指标	5.1	6.2.1~6.2.9	●	●
软件功能	5.2.1~5.2.4	6.3.1~6.3.4	●	●
安全	5.3.1~5.3.5	6.4.1~6.4.5	●	●
环境适应性	5.4.1~5.4.5	6.5.1~6.5.7	—	●
电磁兼容性	5.5.1~5.5.4	6.6.1~6.6.4	—	●
注：其中“●”为进行检验项目，“—”为不进行检验项目。				

7.3 型式检验判定原则

7.3.1 型式检验的样品应在出厂检验合格产品中随机抽样，每次抽样数应不少于3套。

7.3.2 型式检验中出现系统故障或一项关键指标不符合时，应查明故障原因，提出故障分析报告。经修复后重新做该项检验之后，再顺序做以下各项检验，如再次出现故障或某项不符合，查明故障原因，提出故障分析报告，再经修复后，则应重新进行各项型式检验。在重新进行检验中又出现某一项不符合的情况时，则判本批次型式检验不合格。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

雷达标志和运输标志应符合下列要求：

- a) 标志应包含出厂日期、产品编号、产品型号、制造厂名、商标、重量以及执行标准编号和计量器具制造许可证标志及编号；
- b) 外观应有激光警告标志和安全等级说明标记，标记样式应符合 GB 7247.1-2024 的规定；
- c) 包装应有“小心轻放”、“怕湿”字样以及放置方向等标记，并应符合 GB/T 13384-2008 的规定。

8.2 包装

雷达包装使包装箱应符合 GB/T 13384-2008 的要求。且包装箱内应有下列随行文件：

- a) 产品装箱单；
- b) 产品合格证；
- c) 产品使用说明书。

8.3 运输

雷达在运输过程中应符合下列要求：

- a) 搬运、堆放应按运输箱运输标志进行，避免碰撞与敲击，堆放平稳整齐；
- b) 汽车运输时，包装箱应在车内均布，避免偏置一侧；
- c) 不应与易爆、易燃、易腐蚀物同车、同机或同舱混装运输；
- d) 运输应充分保证，防雨、防晒、防撞击的保护措施。
- e) 应承受 GB/T4857.23-2021 中表 D.1 公路运输的振动试验。

8.4 贮存

雷达贮存时应以原包装存放在常温下、相对湿度(30~75)%RH的仓库内，库房不得有腐蚀性气体，包装箱必须距离地面不少于20cm，离墙及热源、冷源不少于500cm，贮存期一般为六个月，超过六个月应重新进行检验。产品应贮存于通风、干燥、防尘、无酸碱及无腐蚀性气体的仓库中，周围应无剧烈的机械振动、冲击及强磁场作用。

附录 A (规范性)

典型颗粒物光量子雷达组成结构

颗粒物光量子雷达典型系统一般包括：光学发射系统、光学接收系统、雷达主控系统、光量子探测和数据采集系统、信号处理系统、伺服系统、软件控制系统、供电系统以及附属设备等，其中附属设备包括：通信设施、防雷模块等，结构组成见图A.1。

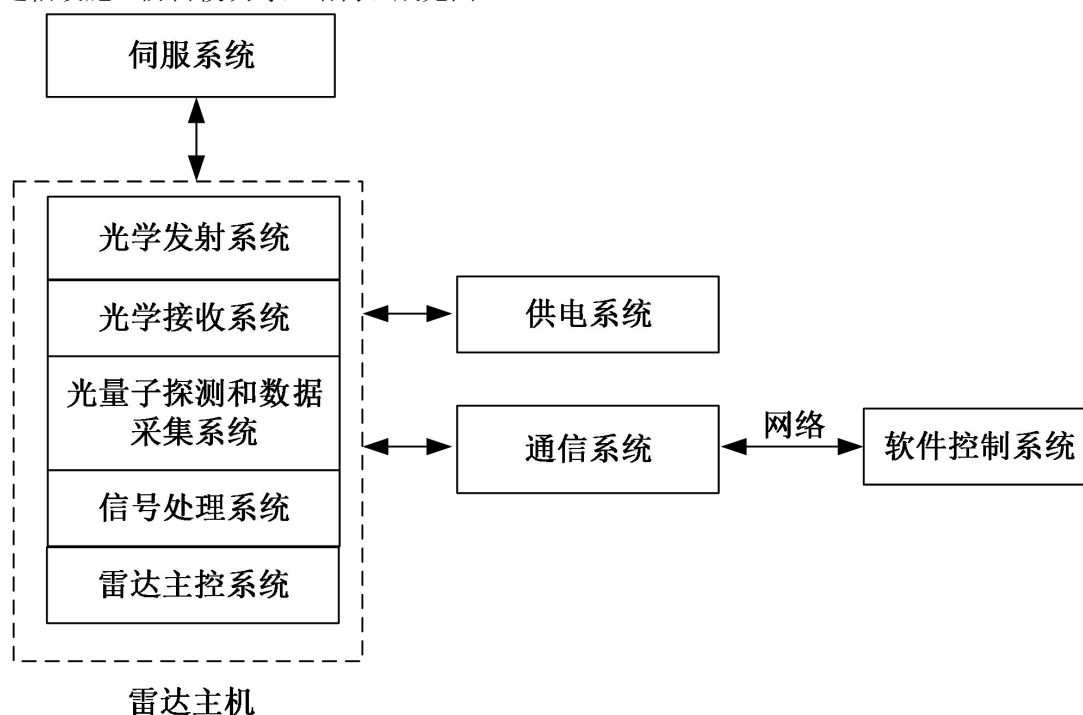


图 A.1 典型颗粒物光量子雷达组成结构图

其中，雷达各系统模块详细介绍如下：

- 光学发射系统：包括激光器、发射望远镜等模块，主要用于雷达信号发射；
- 光学接收系统：包括接收望远镜模块，主要用于雷达回波信号接收；
- 雷达主控系统：雷达核心控制系统，主要用于控制雷达的上下电逻辑、指令控制执行、状态监控以及故障处理等功能；
- 伺服系统：主要用于控制雷达光束的指向方向；
- 光量子探测和数据采集系统：主要用于将回波信号进行数字转换，将光信号转换为数字电信号，对雷达原始数据进行采集；
- 信号处理系统：用于处理雷达原始数据信号，进行数据展示等；
- 通信系统：雷达网络通讯设备，可通过局域网或互联网将雷达设备与控制软件进行通信；
- 供电系统：用于将雷达的输入电压转换为内部各模块的输入电压；
- 软件控制系统：主要用于雷达基本操作控制、参数配置、数据展示、状态监控以及数据存储等功能。

附 录 B
(规范性)
单光子探测器检验方法

B.1 百万光子标定

单光子探测器的探测效率测试之前，需进行光子数标定，保证输入单光子探测器的光子数为100万量级，根据普朗克公式，单个光子能量见公式（B.1）：

$$e = h * \nu \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

e——单个光子能量，单位为J；

h——普朗克常数，约为 $6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ；

ν ——光子频率， $\nu = c/\lambda$ ，其中c表示光速， $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$ ， λ 表示信号光波长，单位为m；

根据单个光子能量计算百万光子的能量，即可获取输入单光子探测器的信号光能量值。

参 考 文 献

- GB/T 43737-2024 量子测量术语
GB/T 43692-2024 量子通信术语和定义
-