

附件 3

《能见度光量子激光雷达（中距型）功能规格需求书》
征求意见和采纳情况

探测中心于 2025 年 8 月启动《能见度光量子激光雷达（中距型）功能规格需求书》的编制工作，编制时参考了《能见度激光雷达功能规格需求书》（气测函〔2023〕51 号）、“QX/T 503—2019 气象专用技术装备功能规格需求书编写规则”等相关材料。

2025 年 11 月形成需求书征求意见稿，面向设备相关生产企业的广泛征求意见，共征求了 13 个生产企业意见，其中 6 家企业反馈无意见，7 家企业反馈共 37 条建议，经过编制组讨论，其中 22 条采纳，15 条不采纳。具体意见采纳情况见下表。

《能见度光量子激光雷达（中距型）功能规格需求书》征求意见和采纳情况

序号	章节	原文内容	修改后内容	修改理由	提供者	是否采纳	原文修改
1	5.1	表格 2： 能见度测量范围： 50m~30km	能见度测量范围： 50m~20km	气象领域重点关注的是近距离的能见度，比较 20km 以上的能见度意义不大	国耀量子	采纳。	原文中已修改。
2	5.4	表格 5： 暗 计 数 < 1000c/s， 计数率≥50Mc/s	暗 计 数 < 5000c/s，计数率 ≥3Mc/s。	因为波长限制了 800-1600nm，可选的量子探测器只涵盖硅基（800nm~1100nm）和铟镓砷机制（1100nm~1600nm），硅基的最优计数率在 40Mc/s，暗计数几个到几千不等，铟镓砷探测器计数率为 3Mc/s，噪声约为 5000c/s。建议将计数率指标定为 3Mc/s，将暗计数指标修改为<5000c/s，同时匹配铟镓砷和硅基探测器两类探测器指标。	国耀量子	部分采纳，硅基世界上都做不到 50Mc/s，考虑是否要兼容两种方案 1550 和 1064。1550 绝对人眼安全。考虑架设高度？人眼安全是否刚需？铟镓砷探测器价格约 10 万。硅基可以改为 40Mc/s 和 1000C/s。	原文中已修改， 暗计数<1000c/s， 计数率≥40Mc/s

3	5.1	表 2: 盲区 $\leq 45\text{m}$	盲区 $\leq 90\text{m}$		国耀量子	不采纳, 涉及到望远镜大小, 小望远镜可以 45m。考虑低空经济应用, 盲区要小。	无修改
4	5.1	表 2: 尺寸 (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) : $< 400\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ (主机); 重量: $\leq 6\text{kg}$ (雷达主机), $\leq 12\text{kg}$ (包含云台)	尺寸 (长 $\times$ 宽 $\times$ 高) : $< 600\text{mm} \times 300\text{mm} \times 300\text{mm}$ (主机); 重量: $\leq 20\text{kg}$ (雷达主机); $\leq 40\text{kg}$ (包含云台)		国耀量子	不采纳, 为满足低空经济应用需求, 尺寸重量尽可能小。	无修改
5	5.1	表 2: 整机功耗 (峰值) $\leq 90\text{W}$ (含云台)	整机功耗 (峰值) $\leq 300\text{W}$ (含云台)		国耀量子	部分采纳, 原指标 90W 没有考虑温控, -40°C 的加热功率。功耗要考虑温度范围, 如极端情况和正常情况。统计下各家的, 取一半以上能达到的。但经统计各家, 含温控时采用 150W, 不含温控时 90W。	
6	4.1	第二段中“使用性能稳定的半导体激光器”,	将“半导体”去掉。	激光器不应该受限制技术方案, 况且红外波段半导体激光器只是一小部分, 还有如固态、光纤激光器等均可满足。	国耀量子	采纳。	原文中已修改
7	4.1	第二段中“光量子探测系统使用高灵敏度、低噪	修改为: 单光子探测器和单光子计数器	修改原因, 前面属于统一了单光子探测器和单光子计数器, 建议统一	国耀量子	采纳。	原文中已修改

		声、大动态范围的光量子探测器和光量子计数器”这句话中的“光量子探测器和光量子计数器”					
8	4.1	第三段最后一句话	删除“高性能光电探测”	整个本子已经确定了单光子探测，且本段前面已经提到，建议删除	国耀量子	采纳。	原文中已修改
9	4.3	“后继光路结构”	修改为“后光路结构”	修改原因：主流科学描述为后光路	国耀量子	不采纳，沿用微波雷达说法。	无修改
10	全文	能见度光量子激光雷达	能见度激光雷达（中距型）	跟以往能见度激光雷达常规的单光子探测体制一致，和“量子”特性并无关联，整个探测、反演与信号处理过程仍然是经典光学统计框架下进行的，并未利用或操控光的量子特性。且查阅现有“光量子激光雷达（Quantum Lidar）”相关权威文献中都是指利用光的量子纠缠、量子关联或压缩光场特性进行目标探测的系统。	新环光电	不采纳，本文中的“光量子”与“量子”并非同一概念。	无修改
11	全文	光量子探测系统	光电探测系统	同上	新环光电	不采纳，同上。	无修改
12	4.1	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	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	不对激光器种类进行限制，固体激光器、光纤激光器不一定无法实现。	新环光电	采纳。	原文已修改

		半导体激光器。	全固态激光器。				
13	全文	能见度光量子激光雷达（中距型）	能见度激光雷达（中距型）	指向性太强，目的是测水平能见度，能达到能见度测量要求的指标即可，不应限制技术体制	聚恒博联	不采纳。	无修改
14	5.1	尺寸（长×宽×高）：<400mm×200mm×200mm（主机） 重量：≤6kg（雷达主机） ≤12kg（包含云台）	尺寸（长×宽×高）：<650mm×380mm×260mm（主机） 重量：≤22kg（雷达主机） ≤50kg（包含云台）	修改后的尺寸、重量也满足小型化要求	聚恒博联	不采纳，为满足低空经济应用需求，尺寸重量尽可能小。	
15	5.1	整机功耗≤90W（含云台）	整机功耗≤90W（含云台）非加热状态 整机功耗≤150W（含云台）加热状态	满足极寒工况	聚恒博联	采纳。	原文已修改
16	5.3	望远镜有效口径≤60mm	望远镜有效口径≤160mm	修改后的尺寸也满足小型化要求	聚恒博联	不采纳，为满足低空经济应用需求，尺寸重量尽可能小。	
17	5.4	光电转换器类型：单光子探测器； 光电转换器暗计数：<1000C/s	光电转换器类型：APD/PMT 光电转换器模式：模拟或光子	能达到能见度测量要求的指标即可，不应限制技术体制	聚恒博联	不采纳，体积重量指标难控制	

		计数率： $\geq 50\text{Mc/s}$	计数 数据采集器采样 频率： $\geq 10\text{MHz}$ (模拟) 数据采集器采样 位数：模拟通道： $\geq 10\text{ bit}$ (有效 位) 光子计数率： $\geq 50\text{M c/s}$				
18	4.1	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半导体激光器。	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半导体激光器、光纤激光器或其他激光源。	可用于激光雷达探测的激光源有多种类型，只要能满足探测性能和稳定性即可，不应限制为半导体激光器	大舜激光	采纳。	原文已修改
19	5.1	尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)： $< 400\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ (主机) 重量： $\leq 6\text{kg}$ (雷达主机) $\leq 12\text{kg}$ (包含云台)	尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)： $< 450\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ (主机) 重量： $\leq 12\text{kg}$ (雷达主机) ； $\leq 22\text{kg}$ (包含云台)	主要便于提高雷达系统器件选择性与稳定性。	安徽蓝科	不采纳，为满足低空经济应用需求，尺寸重量尽可能小。	

20	2.2	气象光学视程的定义	请补充不同波长单色激光消光系数与气象光学视程的关系	MOR 原始定义是用白炽灯作为光源，它是复色光源，具有较宽的光谱。采用激光雷达测量的消光系数与 MOR 的关系需要明确指定。	敏视达	不采纳 ，该定义是在国际标准中的定义。	
21	4.1	“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半导体激光器。”	“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半导体激光器、固体激光器或光纤激光器。”	不应限制激光器的具体类型。固体激光器是现在能见度激光雷达所用激光器的主流。将来光纤激光器在降低成本、减小设备体积、重量方面也有潜力。	敏视达	采纳。	原文已修改
22	4.7 表 1	“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”	这里的 RS232/RS485/RJ45 是要求只要具备其中之一就行还是要三种接口都有？WIFI/4G/5G 同上问。		敏视达	采纳。 满足其中之一即可。	无需修改
23	5.1 表 2	水平扫描方位（具备扫描功能时） 角度（具备扫描功能时）	删除括号中的内容	在需求书正文定义系统组成时，没把扫描定位系统当作可选项	敏视达	采纳。	原文已修改

24	5.1 表 2	$<100\%$, $50\text{m} \leq V \leq 100\text{m}$ $<50\%$, $100\text{m} < V \leq 200\text{m}$ $<20\%$, $>200\text{m}$	$V=100\text{m}$ 时, 要求 相 对 误 差 小 于 100% , 即 小 于 100m ; 当 V 稍大 于 100m , 又要求 相 对 误 差 小 于 50% , 即 小 于 50m , 要求变严 了。处理这个问 题的一般做法是 引入一个过渡 区, 让相对误差 要求从 100% 线 性下降至 50% 。	指标要求通常希望是连续或平滑的, 以避免临 界点附近的不公平性或不可行性。如果 V 值在 100m 或 200m 附近变化, 这种不连续性会导致 测量精度要求突然变严, 影响测量系统的性能 评估。	敏视达	不采纳 , 引入过渡区太过复 杂, 且该指标也与国际标准 相同。	无需修改
25	5.1 表 2	“ V : 通过其他方 法测定的能见度 参考值。”	“ V : 通过标准设 备测定的能见度 参考值。”	评估能见度激光雷达测量误差的标准设备要 明确定义、严格要求。在计量性能上要高于激 光雷达, 这样才能作为评估标准。	敏视达	部分采纳 , 改为“通过参考 设备测定的能见度值”	原文已修改
26	5.4	“ $<1000\text{C/s}$ ”	$<1000\text{c/s}$	计速率单位写的是“ Mc/s ”, c 是小写, 前后 一致。	敏视达	采纳。	原文已修改
27	7.1	底座应预留与架 设平台或载车升 降平台的机械接 口。	车载		敏视达	采纳。	原文已修改
28	8.4	计算 $\Delta V/V$, 其中 $V_{\text{测量值}}$ 是能见度光	计算 $\Delta V/V$, 其中 $\Delta V = V_{\text{测量值}} - V $,		敏视达	采纳。	原文已修改

		量子激光雷达（中距型）的测量值；V 是通过其他方法测定的能见度值，如，使用大气透过率仪、前向散射仪、已定标的能见度仪。 $\Delta V = V_{\text{测量值}} - V $ 。	$V_{\text{测量值}}$ 是能见度量子激光雷达（中距型）的测量值；V 是通过标准设备测定的能见度值。				
29	A. 6 表 A-5 50	采集通道的采集方式，0：AD，1：PC，2：融合，3：高空，4：低空。	需求书明确采集方式为光子计数，排除了 AD 和融合 1 两种类型。能见度测量也没有低空和高空的凭借划分，文本需不需要改请斟酌。		敏视达	不采纳 ，格式保留该字段是为了与以前的常规能见度激光雷达数据兼容和统一。	
30	A. 6 表 A-5 52	APD 温度（存储方式：温度（xx.x℃）*10）（只在采集方式为 AD 的通道上，其他通道为空）	删掉	需求书正文没给量子激光雷达安排有 AD 通道	敏视达	不采纳 ，格式保留该字段是为了与以前的常规能见度激光雷达数据兼容和统一。	

31	A.6 表 A-5	第六部分雷达扫描配置信息（仅具有扫描功能的雷达）	括号内容删掉	扫描功能是必需项，不是可选项。	敏视达	采纳	原文已修改
32	2 术语 与定义	无对应原文	建议增加 2.5 光量子探测、2.6 单光子探测器”等核心术语定义	当前术语定义体系仍然沿用常规激光雷达的术语定义。为精准体现“光量子激光雷达”的技术内涵与先进性，避免将其沦为营销概念，亟需在标准中明确定义其核心技术特征。此举有助于与已发布的《能见度激光雷达功能规格需求书》形成清晰的技术代差区分，引导行业规范发展。	中科光电	采纳。	原文已修改
33	4.1 节	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半导体激光器。	能见度光量子激光雷达（中距型）的激光发射系统应使用性能稳定、可靠耐用的激光器，其类型包括但不限于半导体激光器或固态激光器。	1. 技术路径包容性：米散射雷达的探测性能（如探测距离、信噪比）与激光的波长、功率、光束质量（M ² 因子）和稳定性强相关。半导体激光器与固态激光器在这些关键参数上各有优势，且技术都在持续发展。半导体激光器优势在于体积小、成本低。但其原始光束质量通常较差，需要通过复杂的光学系统进行整形，才能满足激光雷达对远场光斑和探测信噪比的要求，这个整形过程会增加系统的复杂性、成本和潜在故障点。固态激光器核心优势是其本身具备极好的光束质量，对出射的光束整形要求低，可转化为更高的探测信噪比和更	中科光电	采纳。	原文已修改

				远的有效探测距离，系统可靠性高稳定性好。限定单一类型将扼杀技术多样性，不利于通过竞争实现系统性能优化。 2. 系统工程最优解：“性能稳定”是一个系统工程。固态激光器天然具备优异的光束质量，有助于提升探测信噪比，可靠性高；半导体激光器则在小型化与成本上有优势。在已对整机尺寸、重量、功耗进行约束的前提下，开发激光器的类型选择，更利于对产品的全局优化性研发，从而在整体框架指标下不断追求更高的可靠性和性价比。 3. 激励上游创新：当前小型化固态激光器技术发展快，已经开始出现了成熟的产品，不限定具体技术路线，能为上游激光器产业创造公平的竞争环境，激励其针对激光雷达应用场景进行技术创新与突破，最终促进整个产业链的健康发展。			
34	5.1 节 表 2	数据产品：能见度、消光、后向散射系数	数据产品：能见度、平均能见度、气溶胶消光系数、气溶胶后向	保持标准内部一致性：该部分内容应与 4.7 节“表 1 显示与控制终端软件功能要求”中的产品显示内容保持一致。表 1 中已明确列出“平均能见度”产品，表 2 作为总体性能指标，	中科光电	采纳。	原文已修改

			散射系数	其数据产品列表应予以同步增加，以确保标准全文术语统一、无歧义。			
35	5.1 节 表 2	整机功耗（峰值）： ≤90W（含云台）	整机功耗（峰值）： ≤150W（含云台）	1. 保障核心量子系统性能：光量子探测系统（如单光子探测器）及其配套的低噪声、温控系统对功耗敏感且要求极高稳定性。充足的功率预算，是确保其在极端环境温度下（如低温启动、高温运行）性能稳定、暗计数率可控的物理基础，直接关系到探测灵敏度与测量精度这一核心指标，也能为后续产品的性能持续迭代保留一定的功率冗余空间。 2. 满足系统功能冗余与扩展需求：为适配低空经济等复杂应用场景，雷达需集成更强大的实时信号处理、多模式通信（如 5G）、高精度温控及云台伺服系统。适度的功耗余量是进行可靠性设计、保障系统在峰值负载下稳定运行、并为未来功能扩展预留空间的必要考量。 3. 符合工程实践与发展趋势：综合考虑高性能半导体/固态激光器、光量子探测、高速数据处理及伺服驱动等模块的典型功耗，150W 是一个在“高性能、高可靠性”与“小型化”目标之间更为平衡且符合当前及近未来工程实践的值。	中科光电	采纳。经调研不含温控时 90W，含温控时 150W。	原文已修改

36	5.3 节 表 4	望远镜有效口径： ≤60mm	望 远 镜 有 效 口 径：≤100mm	1. 显著提升性能：望远镜有效口径直接决定光学接收面积。根据光学接收面积公式，口径从 60mm 提升至 100mm，根据光学接收面积公式 $S = \pi (D/2)^2$，接收面积将提升约 2.78 倍。这意味着在同等条件下，口径更大的系统可捕获更多的后向散射光子信号，直接转化为探测信噪比的提升，这对于扩展有效探测距离，增强在低能见度条件下的探测能力至关重要。 2. 契合产业成熟度与可靠性：75mm 至 100mm 是当前市场上成熟望远镜产品的标准口径范围，其设计、加工、装调工艺成熟，供应链稳定，可靠性高。60mm 口径较为特殊，常需定制，其成熟度与长期可靠性反而不如标准口径产品。 3. 鼓励持续技术创新：在已明确系统级探测距离等指标的前提下，放宽对望远镜口径的约束，可为技术迭代预留空间。允许采用更大口径的望远镜是未来进一步提升产品探测性能的关键技术路径之一，此举有利于激励厂商在满足系统指标的基础	中科光电	不采纳，为满足低空经济应用需求，尺寸重量尽可能小。	
----	--------------	-------------------	-------------------------	---	------	---------------------------	--

				上进行持续的性能优化与技术突破。			
37	5.1 节 表 1	环境要求指标：淋雨	环境要求指标：冲击、振动、淋雨	完善移动应用场景的适应性要求：标准中已明确设备可搭载于“载车、载船、载机”等移动平台。冲击与振动是移动运输及工作过程中的典型环境应力，增加这两项指标的要求，能确保设备在移动应用场景下的结构完整性与工作可靠性，使标准的环境适应性要求更为全面和严谨。	中科光电	采纳	原文已修改