

《颗粒物光量子雷达技术规范》

国家标准编制说明

(征求意见稿)

2026年5月29日

目 录

一、工作简况	1
(一) 任务来源及协作单位	1
(二) 制定背景	1
(三) 主要工作过程	3
(四) 国家标准主要起草人及其所做的工作	6
二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据	9
(一) 标准编制原则和依据	9
(二) 标准主要技术内容说明	10
(三) 标准中主要技术内容确定的依据和过程	10
三、试验验证情况的说明	13
(一) 主要试验的分析	13
(二) 主要试验验证的分析、综述报告	13
(三) 试验方案设计	15
(四) 试验结果	15
四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况	15
五、标准采用国际文件的情况说明	15
六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系	15
七、制定过程中重大分歧意见的处理过程	15
八、标准中涉及专利的情况	15
九、国家标准性质的建议及贯彻国家标准的要求和措施建议	16
十、其他应予说明的事项	16
附件：《颗粒物光量子雷达技术规范》实验测试报告	18

《颗粒物光量子雷达技术规范》 国家标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源及协作单位

2025年10月5日，国家标准化管理委员会发布《关于下达2025年第九批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕52号），下达了《颗粒物光量子雷达技术规范》推荐性国家标准的制定任务，计划号为20255415-T-469，外文版计划号为W20256239，任务周期18个月。本标准由全国量子技术标准化技术委员会（SAC/TC 578）提出并归口管理，起草单位包括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。其中，山东国耀量子雷达科技有限公司为该标准起草工作的牵头单位。

（二）制定背景

量子信息作为未来新质生产力的典型代表，是国家布局未来产业发展的重要战略领域。2024年中国政府工作报告700字简

报提出未来产业：开辟量子技术、生命科学等新赛道。在量子信息领域，量子通信、量子计算和量子精密测量均已走上了逐步产业化的道路，其中光量子雷达作为量子精密测量中最接近产业化的分支，是目前未来产业的主要布局方向之一。

随着环境污染问题日益严重，颗粒物（PM_{2.5}、PM₁₀等）监测成为大气污染防治的关键。光量子雷达作为一种新兴的高精度监测技术，能够实时、远距离、高分辨率地监测颗粒物分布，满足精准治污的需求。

颗粒物光量子雷达产品是量子信息未来产业走向落地应用的重要支撑，可为多种光量子雷达技术设备从科研达到销售级的工业品标准和示范应用提供保障，符合国家对量子科技战略发展的规划及未来产业的布局。制定相关标准有助于推动光量子雷达技术的产业化，促进环保装备制造业升级，助力绿色经济发展。

我国在雷达（传统激光雷达）、大气环境监测领域现行的国家标准、行业标准中，并没有针对“颗粒物光量子雷达”的相关标准化要求，研制《颗粒物光量子雷达技术规范》国家标准，与现行国家标准、行业标准所界定的标准化对象、适用范围、技术指标项、标准文件使用者均不同，不存在交叉、重复、矛盾的问题，且现有的量子测量、大气监测相关标准为颗粒物光量子雷达标准的制定提供了参考框架（《量子测量术语》（GB/T 43737-2024）

对“量子雷达”进行了定义：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）。

（三）主要工作过程

2025年3月9日，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、中国计量科学研究院，山东省生态环境监测中心成立前期工作组，启动《颗粒物光量子雷达技术规范》标准的起草准备工作；2025年4月9日，前期工作组向全国量子技术标准化技术委员会（SAC/TC578）提交了标准的立项申报资料；2025年5月22日，完成新版标准草案和推荐性国家标准建议书的编制工作；2025年6月20日，全国量子技术标准化技术委员会（SAC/TC578）全体委员投票表决通过立项申请（投票详情：参与51人，赞成48人，弃权3人，委员总数58人）；2025年7月8日，完成立项答辩；2025年7月28日，完成项目审核并进行网上公示；2025年8月27日，完成立项公示。

2025年10月5日，国家标准化管理委员会批准立项申请，正式下达《颗粒物光量子雷达技术规范》推荐性国家标准的制定任务，计划号：20255415-T-469，任务周期18个月。任务下达后，技术归口单位全国量子技术标准化技术委员会，会同项目牵头单位山东国耀量子雷达科技有限公司，面向领域内相关科研院

所、企事业单位、社会团体等，广泛开展了标准编写工作组成员单位/起草专家的征集工作。

2025年12月17日，《颗粒物光量子雷达技术规范》国家标准编写工作组正式成立。起草工作组由来自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等共16个单位的31名专家构成。申屠国樑正高级工程师任组长，组员有温丹亭、张强、薛向辉、王顺民、徐红星、尚祥、曲砾源、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、李冬冬、孙超伟、刘勇、劳长石。国家标准启动会暨第一次工作组会议在济南量子技术研究院召开，为“线上线下结合”的会议方式。会议由标准牵头人申屠国樑正高级工程师主持，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、中国计量科学研究院、山东省生态环境监测中心、河南省科学院、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、山东新一代标准化研究院有限公司、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等16家单位的27位专家出席。会议进行了编写工作任务分工，制定了编写工作计划，并要求各单位

对标准草案进行意见反馈。本次会议共收到中国信息通信研究院、北京理工大学、济南量子技术研究院、中国计量科学研究院、科大国盾量子技术股份有限公司、山东新一代标准化研究院有限公司、中国计量大学、中国计量科学研究院、中电信量子信息科技集团有限公司等单位提出的修改意见 105 条。

2025 年 12 月 18 日至 2026 年 3 月 23 日，工作组认真研究并完成了对 105 条意见的修改，形成讨论稿（第二稿），并将讨论稿（第二稿）发送给工作组全体成员单位。

2026 年 3 月 24 日，工作组召开第二次工作会议，会议在山东国耀量子雷达科技有限公司召开，为“线上线下结合”的会议方式，由标准工作组组长申屠国樑正高级工程师主持，山东国耀量子雷达科技有限公司、中国信息通信研究院、北京理工大学、济南量子技术研究院、中国计量科学研究院、科大国盾量子技术股份有限公司、山东新一代标准化研究院有限公司、中国计量大学、中国计量科学研究院、中电信量子信息科技集团有限公司等 10 家单位的 18 位专家出席。会议首先回应了第一次工作组会征求的主要意见，并汇报了针对该轮意见的最终修改结果。针对修改后的标准草案讨论稿（第二稿）的内容再次逐条讨论，征询意见。会议共收到修改意见 44 条。

2026年3月25日至2026年5月21日，工作组完成对第二次会议收集的修改意见处理，形成讨论稿（第三稿），并将讨论稿（第三稿）发送给工作组全体成员单位。

2026年5月26日，工作组召开第三次工作会议，本次为线上会议。会议由第一起草人申屠国樑正高级工程师主持，山东国耀量子雷达科技有限公司、济南量子技术研究院、山东省生态环境监测中心、中国信息通信研究院、中国标准化研究院、科大国盾量子技术股份有限公司、中国计量大学等7家单位的14位专家出席。会议介绍了起草工作组针对征求意见的逐条回应和相应的修改结果，随后针对讨论稿（第三稿）的内容再次逐条讨论，征询意见。会议共收到修改意见8条。

2026年5月27日，工作组完成对第三次会议收集的修改意见处理，形成讨论稿（第四稿），并将讨论稿（第四稿）发送给工作组全体成员单位。

2026年5月29日，工作组16家单位全体成员代表所属单位投票表决，投票结果同意对工作组讨论稿（第四稿）修改完善后，形成征求意见稿和征求意见稿编制说明，向TC578标委会秘书处提交。投票情况：应参加投票单位16家，实际参加投票单位16家，同意16家，反对0家，弃权0家。

（四）国家标准主要起草人及其所做的工作

本标准由山东国耀量子雷达科技有限公司作为牵头单位，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等单位共同负责标准起草。主要起草人员及其工作如下表 1:

表 1 标准起草人员及主要工作

序号	姓名	单位	联系方式	主要工作
1	申屠国樑	山东国耀量子雷达科技有限公司	stgl413@ustc.edu.cn	牵头标准预研，负责标准制定全面工作，包括制定和推进工作计划、文件收集、提出标准整体框架和主要技术内容，参与讨论、提供意见建议
2	温丹亭	山东国耀量子雷达科技有限公司	wendt@lidarq.com	参与标准预研，起草标准与编制说明，组织标准关键技术验证，参与讨论、提供意见和建议
3	张强	济南量子技术研究院	zhangqiang@jiqt.org	参与标准预研，起草标准与编制说明，组织标准关键技术验证，参与讨论、提供意见和建议
4	薛向辉	中国科学技术大学	xuexh@ustc.edu.cn	参与标准预研，起草标准与编制说明，组织标准关键技术验证，参与讨论、提供意见和建议
5	王顺民	山东国耀量子雷达科技有限公司	wangsm@lidarq.com	参与标准预研，起草标准与编制说明，组织标准关键技术验证，参与讨论、提供意见和建议
6	徐红星	河南省科学	hxxu@hnas.ac.cn	参与标准预研，起草标准

		院		与编制说明, 组织标准关键技术验证, 参与讨论、提供意见和建议
7	尚祥	山东国耀量子雷达科技有限公司	xshang@lidarq.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 组织标准关键技术验证, 参与讨论、提供意见和建议
8	曲砾源	山东国耀量子雷达科技有限公司	quly@lidarq.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 组织标准关键技术验证, 参与讨论、提供意见和建议
9	贾铭蛟	山东国耀量子雷达科技有限公司	mjjia@lidarq.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 组织标准关键技术验证, 参与讨论、提供意见和建议
10	周咪咪	山东国耀量子雷达科技有限公司	zhoumm@lidarq.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
11	郑明睿	济南量子技术研究院	zhengmingrui@jiqt.org	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
12	王超凡	济南量子技术研究院	wangchaofan@jiqt.org	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
13	王冲	中国科学技术大学	wclhy50@ustc.edu.cn	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
14	张皓清	济南生市生态环境局	17860723989@163.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
15	任翔宇	浙江省环境科技股份有限公司	xylon_ren@qq.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
16	吴凯露	浙江省环境科技股份有限公司	wukailu@zjshjkj.com	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
17	赖俊森	中国信息通信研究院	lajunse@caict.ac.cn	参与标准预研, 起草标准与编制说明, 参与讨论、提供意见和建议
18	张萌	中国标准化	zhangmeng@caict.ac.cn	参与标准预研, 起草标准

		研究院		与编制说明, 参与讨论、 提供意见和建议
19	龙雨然	山东新一代 标准化研究 院有限公司	longyr@sieti.cn	参与标准预研, 起草标准 与编制说明, 参与讨论、 提供意见和建议
20	华冠	山东国耀量 子雷达科技 有限公司	ghua@lidarq.com	参与讨论、提供意见和建 议
21	梁君生	山东国耀量 子雷达科技 有限公司	364771125@qq.com	参与讨论、提供意见和建 议
22	甘海勇	中国计量科 学研究院	ganhaiyong@nim.ac.cn	参与讨论、提供意见和建 议
23	黄昂	中国计量科 学研究院	huangang@nim.ac.cn	参与讨论、提供意见和建 议
24	魏征	山东省生态 环境监测中 心	wzheng6666@163.com	参与讨论、提供意见和建 议
25	张安宁	北京理工大 学	anningzhang@bit.edu.cn	参与讨论、提供意见和建 议
26	谭爱红	中国计量大 学	Tanah@cjlu.edu.cn	参与讨论、提供意见和建 议
27	安斯光	中国计量大 学	annsg@cjlu.edu.cn	参与讨论、提供意见和建 议
28	李东东	科大国盾量 子技术股份 有限公司	dongdli@ustc.edu.cn	参与讨论、提供意见和建 议
29	孙超伟	河南省科学 院	cwsun@hnas.ac.cn	参与讨论、提供意见和建 议
30	刘勇	中电信量子 信息科技集 团有限公司	liuyong11@chinatelecom .cn	参与讨论、提供意见和建 议
31	劳长石	深圳长朗智 能科技有限 公司	laochangshi@longer3d.c om	参与讨论、提供意见和建 议

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

(一) 标准编制原则和依据

本标准文件按照 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。

(1) 在国内当前的技术条件下实现标准化目标具有完全可能性。

(2) 本项目的技术与主流技术发展方向相符合。

(3) 当前技术条件下标准可实现。

(二) 标准主要技术内容说明

本文件描述了颗粒物光量子雷达的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存。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设计、生产和检验。

本标准的主要技术内容如下：1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 颗粒物光量子雷达概述、5 技术要求、6 试验方法、7 检验规则、8 标志、包装、运输、贮存。

(三) 标准中主要技术内容确定的依据和过程

本标准在确定颗粒物光量子雷达技术规范内容时，首先立足国内外颗粒物光量子雷达标准体系现状与产业发展现实需求。当前我国在雷达（传统激光雷达）、大气环境监测领域已建立多项国家标准、行业标准，而针对颗粒物光量子雷达尚无国际、国家及行业层面统一标准，致使行业性能测试方法混乱、结果缺乏可比性，严重制约产业规范化发展。为规避无序竞争、保障行业健康有序推进，标准研制以填补颗粒物光量子雷达标准空白、统一

量子精密测量领域通用技术要求为核心依据，结合产业发展需求提前规划布局，确立了标准的整体技术框架与定位。

产业发展现实需求方面，我国在雷达（传统激光雷达）、大气环境监测领域已建立多项国家标准、行业标准，然而，颗粒物光量子雷达作为量子精密测量技术与环境监测交叉融合的新兴领域，其核心功能（如单光子级探测）与现有标准存在显著技术代差：现有标准针对经典电磁波雷达设计，覆盖对象为宏观气象参数（风速、降水）或传统激光雷达测距/成像场景，既未涉及量子光源特性验证、量子噪声抑制阈值等关键技术指标，也未规范纳米级颗粒物多物理场耦合监测方法。且光量子雷达与传统激光雷达在探测机制、分辨率、应用场景等方面均有显著差异。基于此，标准核心技术内容围绕“规范技术方法、统一性能指标、保障公平竞争”展开，明确技术指标与生产检验要求，对于我国光量子雷达产品进行快速的技术迭代、抢占海内外市场以及争夺国际标准话语权有着重大意义。

在技术内容选取上，对于颗粒物光量子雷达应满足的技术指标要求做了详细介绍。结合现有的量子测量、大气监测相关标准，对单光子探测器、工作波长、有效探测距离、最大探测距离、角分辨率、时间分辨率、扫描周期、距离分辨率、扫描模式及连续工作时间等技术指标做出了明确要求。

在颗粒物光量子雷达的功能要求上，本标准方法建立过程中，

综合考虑了颗粒物光量子雷达的技术特性及应用需求，确定了远程控制、数据处理、可视化显示、在线监控四项功能要求。颗粒物光量子雷达需具备远程控制功能，包括：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) 支持颗粒物光量子雷达工作模式（包括PPI/RHI/THI）的远程配置与切换。对于颗粒物光量子雷达的数据处理系统需具备实时接收并解析相关数据、生成标准化数据产品、实现数据归档等功能。对于处理后的数据完成可视化显示，雷达需具备实时显示界面；历史数据回放功能，支持时间序列数据动态可视化；污染事件实时定位显示，具备地理信息叠加功能。此外，颗粒物光量子雷达需具备在线监控，出现设备故障等问题时及时响应。为确保颗粒物光量子雷达的稳定正常运行，对安全要求、环境适应性、电磁兼容性等条件做出了规定。

在测试方法的步骤上，综合考虑了颗粒物光量子雷达的技术指标与应用特性，在规定的测试条件下，颗粒物光量子需满足10项性能指标测试（单光子探测器、工作波长、有效探测距离、最大探测距离、角分辨率、时间分辨率、扫描周期、距离分辨率、扫描模式、连续工作时间）、4项功能监测（远程控制、图像显示、在线监控、数据处理）、5项安全检测（一般要求、激光安全、抗电强度、绝缘性能、保护接地电阻）、7项环境适应性试验（低温运行、高温运行、低温贮存、高温贮存、恒定湿热、低

气压、包装运输振动)及4项电磁兼容性试验(静电放电抗扰度、浪涌/冲击抗扰度、射频场电磁场辐射抗扰度、射频场电磁场传导抗扰度)。

本标准规定了颗粒物光量子雷达产品出厂前需满足的检验规则,检验分为出厂检验与型式检验。同时对颗粒物光量子雷达的标志、包装、运输、贮存做了相关规定。

三、试验验证情况的说明

本标准中涉及的验证实验数据见标准文档的附件及测试报告所示。

(一) 主要试验的分析

本标准对颗粒物光量子雷达性能提供测试评估方法,本文件所提到的颗粒物光量子雷达主要是针对接收端使用单光子探测器进行探测的光量子雷达。试验针对雷达的核心模块单光子探测器和雷达系统性能指标进行相关验证工作,其中单光子探测器性能表征参数包括探测效率和暗计数;雷达系统性能表征参数包括有效探测距离、最大探测距离、时间分辨率、距离分辨率、信号光波长、单个脉冲能量、连续工作时间、扫描模式等。

(二) 主要试验验证的分析、综述报告

本标准所采用的测试与评估方法,是严格参照目前通用的激光雷达性能评估框架,结合国内外激光雷达产品的研发、生产以及计量实践,经长期验证和优化后确定的。其中,颗粒物光量子

雷达的核心模块单光子探测器的相关指标充分借鉴了全国量子标准化技术委员会的评定建议。而颗粒物光量子雷达通过公开发表论文调研、企业实地对接等方式，整合了山东计量科学研究院、各院所科研课题组的大量试验数据，全面保障了方法的科学性、通用性与实用性。

为充分验证本标准所用方法的有效性与可靠性，开展了系列试验验证工作。针对颗粒物光量子雷达的核心模块，采用本标准方法对单光子探测器的探测效率和暗计数指标进行反复测试与评估，测试结果与传统的探测器数据对比，数据的偏差控制在自评的不确定度范围内，一致性良好，证明了方法在单光子探测器指标评估中的有效性。在雷达的系统性能指标方面，针对雷达的有效探测距离，时间分辨率，距离分辨率等指标测试，能够有效解决此前行业内测试方法混乱、结果无法相互印证、产品质量判定无统一依据的突出痛点。

综合试验验证结果来看，本标准所用测试与评估方法完全适配颗粒物光量子雷达的技术特性与应用场景，能够客观、准确地表征颗粒物光量子雷达的核心性能指标，测试流程规范、可操作、可追溯，与国际先进评估方法接轨，同时贴合我国产业发展实际，兼顾先进性与工程可行性。本标准方法的确定，不仅为颗粒物光量子雷达的性能优化、产品迭代提供了科学的测试支撑，推动产业技术水平的整体提升，还为我国参与颗粒物光量子雷达领域国

际标准制定、提升国际话语权提供了坚实的试验数据支撑与技术储备，助力我国在量子精密测量领域实现标准化、规范化发展，进一步巩固我国在颗粒物光量子雷达商品化、产业化领域的优势地位，为行业高质量发展提供有力保障。

（三）试验方案设计

- 试验对象准备：单光子探测器、颗粒物光量子雷达。
- 实验结果见试验验证报告。

（四）试验结果

基于上述验证试验数据的结果，可以得出结论：依据国内现有硬件条件，本标准在国内可以有效实施。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

国际、国外暂未发布同类标准。

五、标准采用国际文件的情况说明

无。

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

经查，本标准与现有标准及制定中的标准无交叉重复，不涉及国内外专利，与有关的现行法律、法规和强制性国家标准无冲突。

七、制定过程中重大分歧意见的处理过程

本标准制定过程中无重大分歧意见。

八、标准中涉及专利的情况

未发现涉及相关专利。

九、国家标准性质的建议及贯彻国家标准的要求和措施建议

鉴于本标准规定内容不涉及人身健康和生命财产安全、国家安全、生态环境安全等内容，属于基础性标准。根据标准化法及有关规定，建议本标准作为推荐性国家标准。

本标准的建议实施日期为：自发布之日起6个月。

本标准的实施，为我国颗粒物光量子雷达技术方法提供了规范，通过建立起科学合理的评估指标和测试方法，减少相关研究和应用中的标准不统一或缺失现象，避免颗粒物光量子雷达性能定义混乱、测量标准不统一的问题，推动该领域研发、交流与技术进步，为颗粒物光量子雷达及量子精密测量相关领域标准化工作奠定基础。

建议保证标准文本的充足供应，使各相关方能够及时获取标准文本。对于标准使用过程中容易出现的疑问，工作组做好必要、及时的解释工作。针对不同的使用对象，有侧重点地进行标准培训和宣贯，以保证标准的贯彻实施。

十、其他应予说明的事项

编写工作组承诺，本标准文件无版权风险。

本标准立足量子精密测量—颗粒物光量子雷达产业发展的共性技术需求，以统一性能测试方法、规范市场评价体系为目标。在起草过程中，严格遵循“开放、公平、公正”原则，充分吸纳

了产学研用各类市场主体的意见，未设置任何排除、限制竞争的条款，未偏袒特定主体或技术路线。标准内容符合国家公平竞争相关法律法规及政策要求，能够为各类市场主体提供平等的技术依据和竞争环境。

编写工作组承诺，本标准编写过程中未参考或引用任何受版权保护的文本、图表、数据或其他专有内容，本标准无版权风险，在标准后续征求意见、审定及实施过程中，将持续保障公平竞争原则的落实，确保标准的中立性和公正性。

《颗粒物光量子雷达技术规范》国家标准编写工作组

2026年5月29日

附件 1

《颗粒物光量子雷达技术规范》

实验测试报告 1

1.概述

1.1 测试背景

山东国耀量子雷达科技有限公司研发的颗粒物光量子雷达广泛应用于气象环保、工地扬尘、污染物溯源和高速公路团雾探测等领域。本测试系统性的测试颗粒物光量子雷达产品主要功能和性能。

1.2 产品信息

产品名称	产品型号
颗粒物光量子雷达	GYLZ-P02

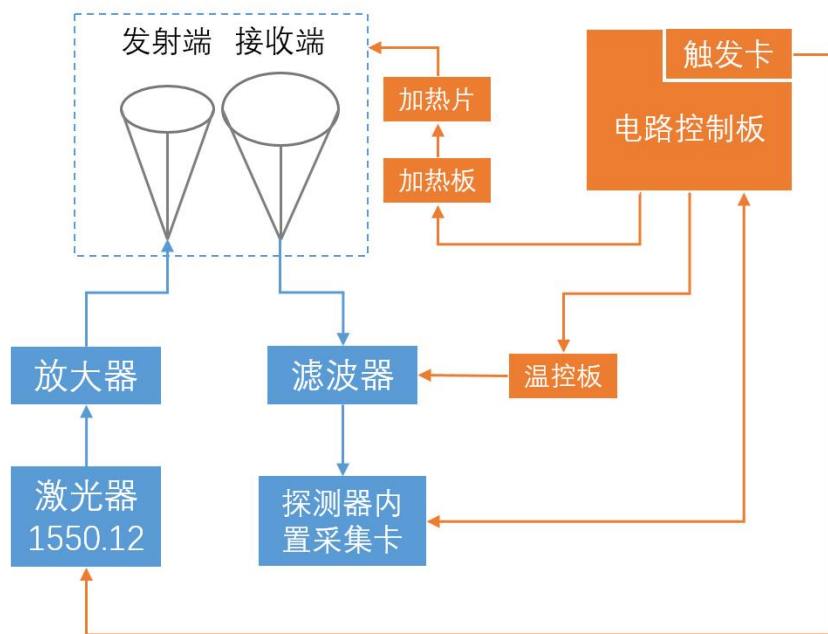


图 1.2 系统架构

1.3 主要测试仪器

序号	名称	厂商	型号	备注
1	光谱分析仪	YOKOGAWA	AQ6375B	
2	光功率计	THORLABS	PM400+S425C-L	
3	光能量计	VEGA	PE9-C	
4	示波器	Tektronix	MSO54	

2. 测试结果

2.1 主要性能指标

2.1.1 有效探测距离

性能指标要求：有效探测半径 $\geq 6\text{KM}$ 。

测试实施方式：雷达部署完成后，进行 360° PPI 模式扫描，扫描周期结束之后查看相关数据是否满足要求。

实测性能情况：扫描周期结束后查看相关图谱，结合雷达实时扫描成像画面可清晰观测半径 6KM 内的污染物分布情况，设备远距离探测效果良好，可精准捕捉远距离目标区域的大气污染数据，有效探测半径满足 6KM 要求见图 2.1-1。

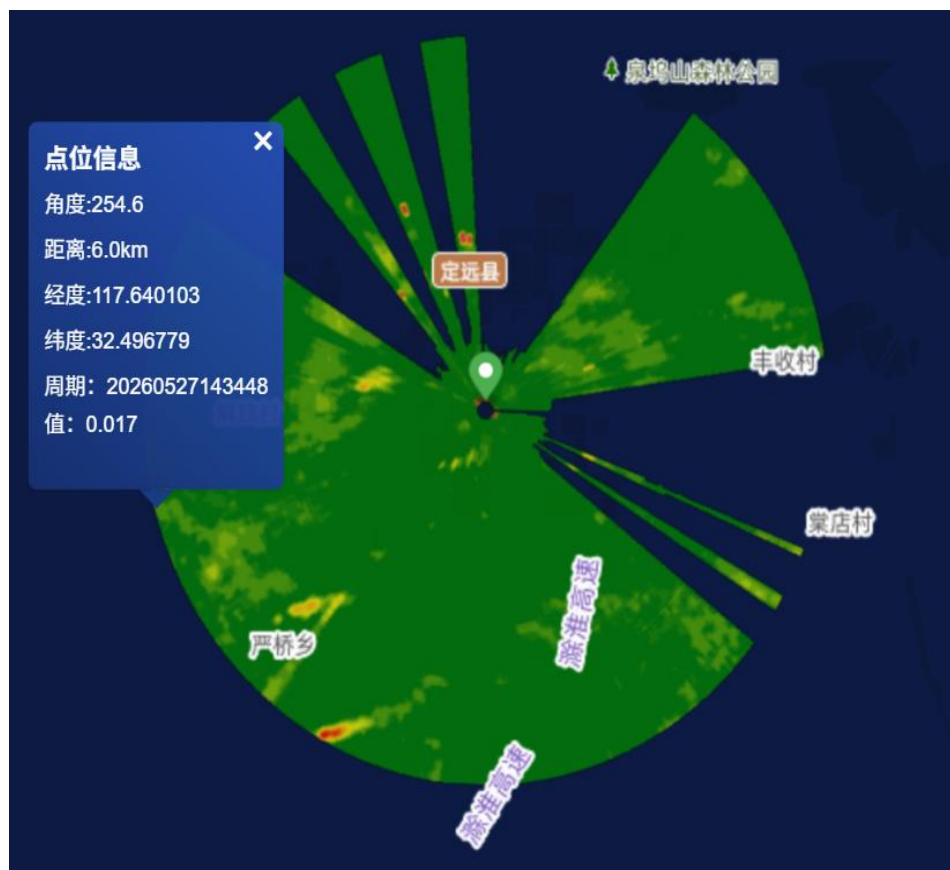


图 2.1-1

2.1.2 最大探测距离

性能指标要求：满足 7.5km 或 15km 或 30km 要求。

测试实施方式：雷达部署完成后，进行任意一种模式扫描，扫描周期结束之后获取测试数据。

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

$$Range = \Delta d \times n$$

实测性能情况：设置距离分辨率为 30m，采集卡采集数据的距离门数为 500 个，雷达最大探测距离为 15000m（15km）。

2.1.3 距离分辨率

性能指标要求：设备距离分辨率需支持 30 米 / 15 米两档可调，数据采集需保证实时性与精准性。

测试实施方式：在设备参数配置界面分别设置 15 米、30 米两档距离分辨率，在测试环境中搭建多组已知距离的参考目标，通过雷达发射激光脉冲并接收回波信号，读取系统记录的目标距离数据，对比实测值与真实值的偏差；同时记录系统数据更新响应时长，验证不同分辨率档位下的数据采集实时性。

实测性能情况：经多次切换档位测试，设备可稳定实现 30 米 / 15 米距离分辨率的设置与切换，响应过程无卡顿、延迟现象；在 15 米与 30 米分辨率下，数据分层清晰、定位边界准确，

数据更新无滞后，距离分辨率可调性、数据采集的实时性与精准性均满足指标要求。

2.1.4 时间分辨率

性能指标要求：当雷达探测距离超过 5km 时，单线监测数据的时间分辨率不得超过 2s。

测试实施方式：首先依托地图工具精准标定雷达安装点位与监测目标点的实际距离，确认有效探测半径，如图 2.4-1；再调取雷达后台存储的原始监测数据，统计单线数据的上传间隔，以此核算设备时间分辨率性能。



图 2.4-1

实测性能情况：本次测试有效探测距离为 5.4km，满足超 5km 的测试工况条件。调取后台原始数据记录可知，设备单线数据实际上传间隔稳定在 1s 左右，远优于 2s 的限定标准，数据更新响应速度快，可实时反馈监测区域内污染物的动态变化情况。



图 2.4-2

2.2 扫描模式

2.2.1 扫描方式

性能指标要求：雷达支持 PPI/FIX/RHI 扫描模式运行

测试实施方式：在雷达客户端界面分别设置以上三种扫描模式运行，持续观测雷达相关功能和性能指标。

电机							
电机模式	单一	扫描方式	PPI	水平巡航速度(°/s)	0.500	水平起点(°)	0
水平终点(°)	186.000	俯仰巡航速度(°/s)	2.000	俯仰起点	90	俯仰终点(°)	90
电机							
电机模式	单一	扫描方式	FDX	水平巡航速度(°/s)	0.500	水平起点(°)	0
水平终点(°)	186.000	俯仰巡航速度(°/s)	2.000	俯仰起点	90	俯仰终点(°)	90
电机							
电机模式	单一	扫描方式	RHI	水平巡航速度(°/s)	0.500	水平起点(°)	0
水平终点(°)	186.000	俯仰巡航速度(°/s)	2.000	俯仰起点	90	俯仰终点(°)	90

实测性能情况：设备支持标准 360° 水平 PPI 扫描模式、FIX 定点扫描模式、RHI (0° -90°) 垂直扫描模式可实现无死角大范围空域监测，扫描过程匀速平稳，角度切换精准。同时可适配固定点位监测、垂直扫描等多种工作模式，能够根据不同监测场

景灵活切换，满足污染源排查、全域环境监测、突发气象灾害预警等多样化使用需求。

2.2.2360 度水平全周期扫描时间

性能指标要求：探测距离超 5km 工况下，设备完成一次 360 度水平全域扫描的时长需控制在 60 分钟以内，且扫描角分辨率不大于 1.5 度。

测试实施方式：基于前文标定的 5.4km 远距离探测工况，提取雷达后台扫描日志中的周期起始、终止时间及对应扫描角度，核算完整扫描周期时长；结合 360 度全域扫描范围与实际扫描时长，计算设备实际角分辨率参数，核验是否符合标准。

实测性能情况：本次测试扫描周期起始时间为 2021 年 10 月 28 日 08:59:27，起始扫描角度 -88.83°；周期终止时间为当日 09:07:58，终止扫描角度 268.17°。经核算，设备完成全域 360 度扫描仅耗时 8 分 25 秒，远低于 60 分钟的上限要求；实际角分辨率可达 0.713 度，优于 1.5 度的指标限值，扫描精度与扫描效率表现优异，原始数据详见以下文件。

□
20211028085927.
json

2.3 光学性能

2.3.1 光源波长

性能指标要求：设备激光光源额定波长为 1550nm。

测试实施方式：按照标准测试链路搭建设备如图 2.3.1-1，将激光器输出光源通过光纤接入光谱分析仪，启动激光器稳定工作后，通过光谱分析仪精准读取光源实际波长参数，完成测试后关闭设备。

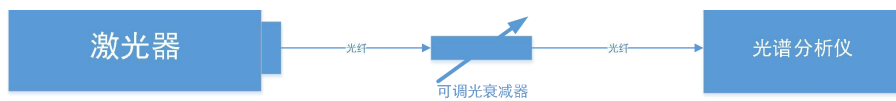


图 2.3.1-1

实测性能情况：经光谱分析仪精准检测，设备激光光源实际波长匹配 1550nm 设计标准，光源波长参数精准、稳定，符合产品设计及工况使用要求。



图 2.3.1-2

2.3.2 光源重复频率

性能指标要求：激光器光源重复频率需低于 20kHz。

测试实施方式：搭建专用测试链路如图 2.3.2-1，将激光器输出激光通过光纤连接光电转换探头，依托示波器采集激光脉冲信号，读取并记录光源重复频率数值，测试完成后关闭设备电源。



图 2.3.2-1

实测性能情况：经多次采样测试，设备激光光源稳定重复频率为 10kHz，明显低于 20kHz 的指标上限，光源脉冲输出规律稳定，无频率漂移、波动异常等问题。

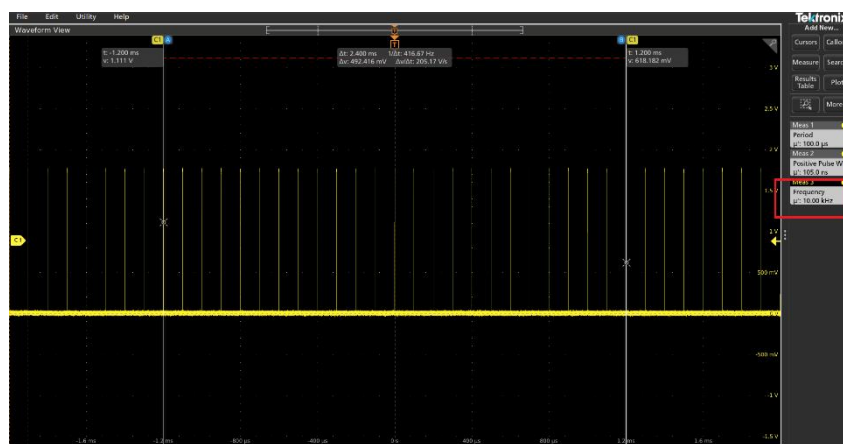


图 2.3.2-2

2.3.3 输出功率不稳定性

性能指标要求：激光器输出功率不稳定性 $\leq 4\%$ 。

测试实施方式：连接激光器与光功率计如图 2.3.3-1，设备开机稳定运行后，持续采集不少于 1 小时的功率数据，生成功率波

动曲线；记录测试时段内功率最大值与最小值，通过公式「功率输出不稳定性= $(p_{max}-p_{min})/((p_{max}+p_{min})/2)$ 」核算功率不稳定性。



图 2.3.3-1

实测性能情况：长时间连续监测数据显示，激光器工作功率波动区间为 274mW~282mW，经计算其功率输出不稳定性为 2.88%，小于 4%的限定标准，设备光源功率输出稳定性良好，可保障长期监测数据的准确性。

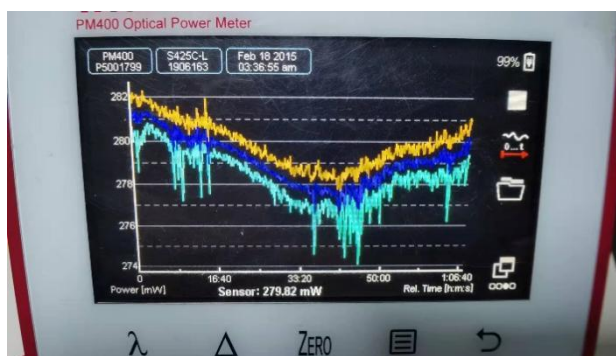


图 2.3.3-3

2.3.4 输出平均功率

性能指标要求：探测距离 $\geq 5\text{km}$ 的工作工况下，1550nm 波长光源输出平均功率 $\leq 800\text{mW}$ 。

测试实施方式：通过光功率计长时间采集激光器连续工作功率数据，确保测试时长不低于 1 小时，记录功率波动极值，按照「输出平均功率= (Pmax-Pmin) /2」计算设备平均输出功率。



图 2.3.4-1

实测性能情况：结合远距离探测工况实测数据核算，设备激光输出平均功率为 278mW，远低于 800mW 的指标上限，功率输出合理，既能满足远距离探测需求，又可有效降低设备能耗与光学损耗。

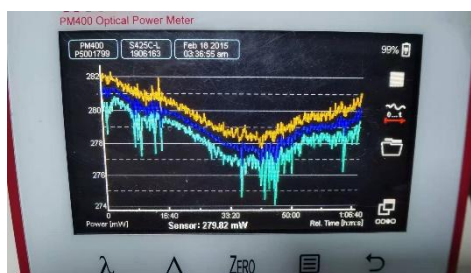


图 2.3.4-2

输出平均功率为：278mW

2.3.5 单个脉冲能量

性能指标要求：探测距离 $\geq 6\text{km}$ 工况下，激光器单个脉冲能量 $\leq 70\text{uJ}$ 。

测试实施方式：搭建标准化测试链路，激光器输出激光经光纤传输至光能量计，设备稳定工作后读取单脉冲能量实测数值，完成数据采集后关闭设备。



图 2.3.5-1

实测性能情况：经专业设备检测，设备单脉冲能量实测值为 31.8uJ，符合 $\leq 70\text{uJ}$ 的性能要求，脉冲能量参数合规，兼顾探测性能与使用安全性。



图 2.3.5-2

2.3.6 光束发散角

性能指标要求：光束发散角 $\leq 60\text{urad}$ 。

测试实施方式：将激光器与望远镜配套连接，在光束传播路径上选取间距 20m 的两个测试点位，利用游标卡尺分别测量两处光斑直径 D1、D2，通过光束发散角计算公式完成参数核算。

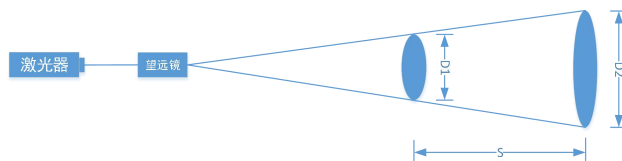


图 2.3.6-1

实测性能情况：实测两处光斑直径分别为 $D1=8.23\text{mm}$ 、 $D2=9.23\text{mm}$ ，代入公式 $(D2-D1)/s=(1\times 10^{-3})/20$ 计算可得设备光束发散角为 50urad ，小于 60urad 的指标限值。设备光束聚焦性良好，发散程度低，有效保障了远距离探测的精准度。

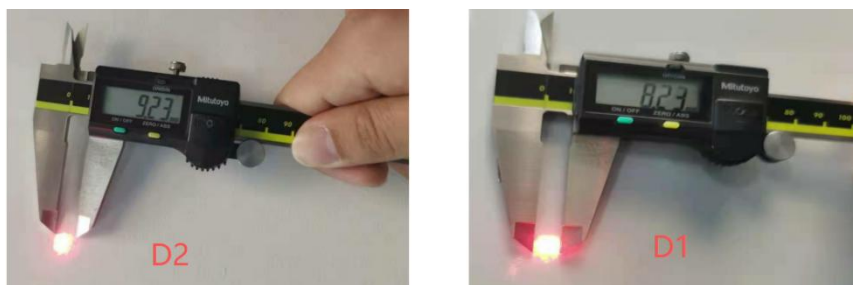


图 2.3.6-1

2.4 望远镜

性能指标要求：望远镜直径 $\leq 60\text{mm}$ 。

测试实施方式：采用游标卡尺对设备发射望远镜、接收望远镜的直径进行直接精准测量，核对尺寸参数是否符合设计标准。

实测性能情况：经实测，设备发射望远镜与接收望远镜的直径均小于 60mm ，完全满足指标要求，设备光学组件尺寸合规，结构紧凑，便于设备安装部署与户外适配使用。

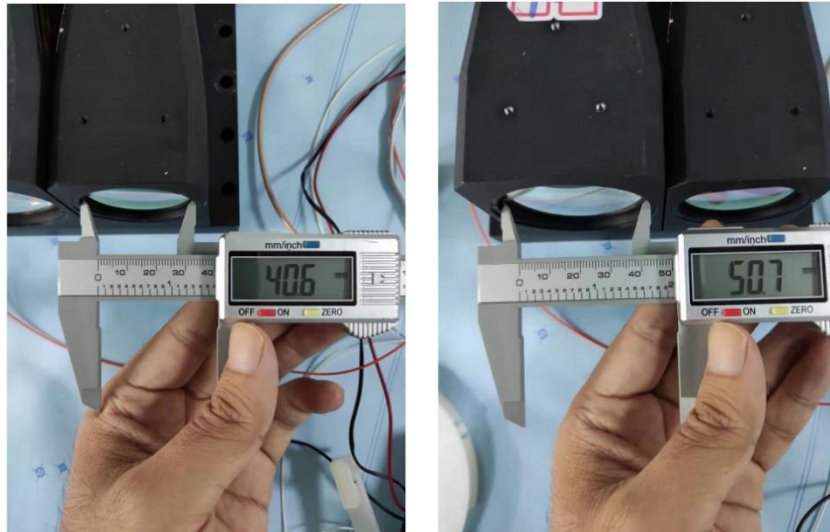


图 2.4-1

2.5 探测器

性能指标要求：搭载红外自由运行单光子探测器，1550nm 波长下探测效率 > 10%，设备噪声 < 3000Hz。

测试实施方式：基于光子能量公式 $\varepsilon = h\nu$ 计算 1550nm 激光单光子能量，搭建对应测试链路；分别采集激光器开启、关闭状态下的探测器计数率，开启状态计数率对应探测效率，关闭状态计数率对应设备噪声数值，以此核验探测器核心性能。



实测性能情况：激光器正常工作时，探测器实测计数率为 143354，对应探测效率达 14.34%，超出 10% 的最低效率要求；

激光器关闭待机状态下，探测器背景噪声计数率为 2519Hz，低于 3000Hz 的噪声限值。

探测器探测灵敏度高、背景噪声低，核心性能优异，可精准捕捉微弱光子信号，保障设备高精度探测能力。



2.6 通信稳定性

性能指标要求：设备需支持 4G / 有线双路通信方式，数据上传需稳定可靠，无延迟、无丢包；服务端数据存储需完整无缺失，且支持便捷调取与回溯。

测试实施方式：分别在 4G 无线与有线网络环境下，让设备连续运行不少于 24 小时，后台记录数据上传日志，统计数据上传成功率与延迟情况；同时在测试结束后，登录服务端调取全时段存储数据，核对数据完整性，并验证数据查询、导出操作的便捷性。

实测性能情况：在 4G 与有线两种通信模式下，设备连续运行期间数据上传成功率均为 100%，无数据丢失、传输中断或明显延迟现象；服务端全时段数据存储完整，无缺失、乱码或损坏情况，支持按时间、区域等条件快速检索与导出，调取操作便捷高效，完全满足通信稳定性与存储完整性的指标要求。

2.7 激光安全等级

性能指标要求：设备激光发射性能需符合国标 GB7247.1-2024 中 4 类产品规范，满足 1M 类或 1 类激光产品安全标准。

测试实施方式：通过专业光能量计测试设备激光器单个脉冲能量，结合国标规范的波长范围、发射极限值两大核心参数，综合判定设备激光安全等级。

实测性能情况：依据 GB7247.1-2024 中相关规范核验，该雷达激光波长处于 302.5nm~4000nm 的 1M 类产品标准波长区间内。设备单脉冲实测能量为 31.8uJ，远低于 1M 类激光产品 $8 \times 10^{-3} \text{J}$

的可达发射极限值。综合两项核心参数，设备完全满足国标规定的 1M 类激光产品安全要求，使用过程中对人眼无安全隐患。



图 2.7-1

2.8 连续工作时间

性能指标要求：7*24 小时连续无人值守运行。

测试实施方式：雷达部署完成后，连续通电正常工作模式运行，持续观测雷达相关功能和性能指标。

实测性能情况：本次性能测试全程持续长时间通电运行，设备全程运行状态稳定，无死机、卡顿、数据中断、故障报警等异常情况，硬件运行、数据采集及传输功能均正常，可满足户外长时间不间断监测的工作需求，适配常态化环境监测作业场景。

附件 2

《颗粒物光量子雷达技术规范》

实验测试报告 2



山东省计量科学研究院
Shandong Institute of Metrology



第 1 页 共 3 页

校准证书

Calibration Certificate

证书编号:

Certificate No.

委托单位名称: 山东国耀量子雷达科技有限公司
Name of Customer

地址: 山东省济南市高新区舜华路 747 号 5 号楼
Address

计量器具名称: 颗粒物光量子雷达
Name of Instrument

制造者: 山东国耀量子雷达科技有限公司
Manufacturer

型号/规格: GYLZ-P02
Type/Specification

编号: GYLZ-P02-152506001
No.

校准依据: 《颗粒物光量子雷达技术规范》(征求意见稿)
Reference Documents for the Calibration

发证单位(专用章):
Issued by (stamp)

校准:
Calibrated by

核 验:
Checked by

批 准:
Approved by

职 务: 副所长
Functions

校准日期:
Date of Calibration

2026 年 5 月 25 日
Year Month Day

地址 (Address): 济南市千佛山东路 28 号 邮编 (Post Code): 250014 传真 (Fax): (0531) 82660117
28th Qianfoshan East Road, Jinan, China 查询电话 (Inquiry Tel.): (0531) 81695741
网址 (Web): www.sdim.cn 电子邮件 (Email): jcywb@sdim.cn

SDIM/MB04B



山东省计量科学研究所校准证书

Calibration Certificate of SDIM

第 2 页 共 3 页

证书编号:

Certificate No.

校准所使用的主要标准器 (或标准装置) Main standards (standard device) of measurement used in the calibration				
名称 Name	测量范围 Measuring range	不确定度/准确度 Uncertainty / Accuracy	证书号 Certificate No.	证书有效期至 Valid until
光谱分析仪	600~1700nm	$U=0.03\text{nm}, k=2$	GXgf2020-03447 中国计量院	2026.11.17
光校准系统	光功率: -90dBm~+10dBm; 光源: 1310nm, 1550nm; 光衰减: 0dB~80dB	光功率修正值: $U_{\text{rel}}=1.5\%, k=2$ 中心波长: $U=0.2\text{nm}, k=2$ 光衰减: $U=0.1\text{dB}, k=2$	GXgf2020-03446 中国计量院	2026.11.17
数字示波器	2mV/div~10V/div	$U=0.02\text{mV}~4\text{mV}, k=2$	R05-20210028 山东省计量院	2027.3.11
激光能量计	(0.01~200) mJ	$U_{\text{rel}}=4\%, k=2$		
游标卡尺	(0~125) mm	MPE: $< \pm 0.02\text{mm}$		
本次校准所使用的主要标准器 (或标准装置) 均溯源至国家计量基准 Main standards (standard device) of measurement used in the calibration are traced to National Measurement Standard.				
校准的环境条件及地点: Environmental conditions and location for the calibration				
温度: 23 °C Temperature		湿度: 40 %RH Humidity		
其它: / Others		地点: 委托方现场 Location		
敬告: 1、被校准仪器修理后, 应立即进行校准。 2、在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。 3、根据校准文件或顾客要求, 通常情况下复校时间间隔为 <u>1</u> 年。				

* 未经本院书面批准, 不得部分复印此证书。

* 本证书的校准结果仅对所校准的计量器具有效。

SDIM/MB04B



山东省计量科学研究所校准证书

Calibration Certificate of SDIM

第 3 页 共 3 页

证书编号:

Certificate No.

校准结果

Calibration Results

测试指标	测试结果
雷达探测距离	有效探测距离 8.3km
最大探测距离	15km
时间分辨率	当探测距离 $\geq 6\text{km}$ 时, $< 1.5\text{s}$
360° 全周期扫描时间	当探测距离 $\geq 6\text{km}$, 角分辨率 $\leq 1.5^\circ$ 时, 360度全周期扫描时间小于 9min。
扫描角度误差	最大误差为 0.03°
信号光波长	1550nm
距离分辨率	15m, 30m 可设置
人眼安全性	满足 GB/T7247.1-2024 中 4 类产品中 1M 类标准要求。
光源重复频率	10kHz
探测器指标	探测效率: 16%, 噪声: 2078Hz
单个脉冲能量	53 μJ
输出功率	平均功率: 306mW; 功率输出不稳定度: 2.36%
光束发散角	$\leq 60\mu\text{rad}$
望远镜直径	最大直径 50.7mm
连续工作时间	≥ 24 小时
扫描模式	支持 PPI、RHI、THI 以及自定义扫描模式

以下空白

- * 未经本院书面批准, 不得部分复印此证书。
- * 本证书的校准结果仅对所校准的计量器具有效。

SDIM/MB04B

《颗粒物光量子雷达技术规范》

实验测试报告 3

1.1 项目应用场景简介

本项目主要研发一款颗粒物光量子雷达产品，该产品使用 1550nm 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微弱光信号进行高效率检测，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。

本产品主要应用与环保、气象、交通运输等领域，进行大气气溶胶或颗粒物的探测。

2.1 项目验证的必要性

2.1.1 传统的环境污染监测系统多采用单点系统进行采集，比如在市重点区域部署多个污染源监测站，然后将数据传回环保系统，通过离散式的监测站数据监控城市的整体污染水平。该传统式的监测手段在目前的大气颗粒物排放环境污染情况下尚有部分不足，主要体现在：1) 数据采集样本少，表征范围受限；2) 受外界环境干扰大，存在数据偏离实际测量的隐患；3) 污染

源精准溯源难度大，无法区分多个同时存在的污染源；4) 无法进行高空测量及大尺度污染情况分析。

2.1.2 本项目落地实施后，有利于促进光纤激光器及量子探测器等激光雷达上下游产业链的发展，设计光学零部件、数控系统、电气控制系统、精密机械加工、精密仪器仪表、电子元器件以及计算机软件等各个领域的发展和科技进步，对国内同行起到很好的指导和示范作用。

3.1 验证总体目标及具体指标

本次验证依据《颗粒物光量子雷达技术规范》（征求意见稿）开展验证，主要验证颗粒物光量子雷达整机性能指标以及关键模块性能指标是否满足设计要求。

详细指标如下表所示：

序号	项目	预期结果
1	中心波长	$1550 \pm 1\text{nm}$
2	脉冲能量	$\leq 70\mu\text{J}$
3	脉冲频率	$\leq 20\text{kHz}$
4	探测器效率	$> 10\%$
5	探测器噪声	$< 3000\text{Hz}$

6	探测距离	$\geq 6\text{km}$
7	最大探测距离	7.5km 或 15km 或 30km
8	时间分辨率	$\leq 2\text{s}$
9	距离分辨率	15m/30m 可调
10	输出功率	探测距离 $\geq 6\text{km}$ 时, 输出平均功率 $\leq 800\text{mW}@1550\text{nm}$
11	光束发散角	$\leq 0.5\text{mrad}$
12	望远镜直径	$\leq 60\text{mm}$
13	连续工作时间	≥ 24 小时
14	扫描模式	支持 PPI、RHI、THI 以及自定义扫描模式

4.1 验证用主要设备及耗材

a. 光校准系统：测量范围-90dBm~10dBm；光源 1550nm；光衰减：0~80dB.

b. 光谱分析仪：600~1700nm；

c. 数字示波器：2mV/div~10V/div

d. 激光能量计：0.01~200mJ

5.1 验证方案、过程数据及验证结论

5.1.1 验证方案

5.1.1.1 验证指标：中心波长

验证方法：

1.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；

2.将激光器衰减后的信号光输入光谱分析仪或波长计；

3.读取激光器波长值。

所需设备：光谱分析仪或波长计

5.1.1.2 验证指标：脉冲能量

验证方法：

1.启动雷达激光器；

2.将激光器输出的信号光输入激光能量计；

3.读取单个脉冲能量值。

所需设备：激光能量计

5.1.1.3 验证指标：脉冲频率

验证方法：

1.启动雷达激光器；

- 2.将激光器输出的信号光输入数字示波器；
- 3.读取激光器重复频率。

所需设备：数字示波器

5.1.1.4 验证指标：探测器效率及噪声

验证方法：

- 1.测试示波器或数字采集卡的本底噪声；
- 2.将百万光子输入单光子探测器；
- 3.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；
- 4.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。

所需设备：数字示波器，光校准系统。

5.1.1.5 验证指标：探测距离

验证方法：

- 1.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；
- 2.启动雷达并运行至稳定工作状态；

- 3.设置雷达单方向单组采集时间小于等于时间分辨率；
- 4.设置雷达距离分辨率；
- 5.雷达连续运行，采集 N 组廓线数据（典型 N=10）；
- 6.计算雷达 SNR，记录 N 组 $SNR \geq 3$ 时的雷达探测距离。

所需设备：颗粒物光量子雷达整机及控制软件

5.1.1.6 验证指标：时间分辨率

验证方法：

1.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；

2.启动雷达并运行至稳定工作状态；

3.设置雷达的时间分辨率，设置雷达距离分辨率；

4.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。

5.计算雷达时间分辨率。

所需设备：颗粒物光量子雷达整机及控制软件

5.1.1.7 验证指标：距离分辨率

验证方法：

检查颗粒物光量子雷达的距离分辨率是否按照技术要求进行设置,然后检查颗粒物光量子雷达存储的数据文件中距离分辨率是否与设置一致。

所需设备: 颗粒物光量子雷达整机及控制软件

5.1.1.8 验证指标: 输出功率

验证方法:

1.连接测试设备;

2.打开激光器;

3.激光器输出激光通过光纤输入光功率计,通过光功率计读取激光器功率曲线图,测试时间大于1小时;

4.关闭激光器;

5.计算输出平均功率。输出平均功率= $(P_{max}-P_{min}) / 2$

所需设备: 光功率计

5.1.1.9 验证指标: 光束发散角

验证方法:

1.连接测试设备;

2.打开激光器;

3.使用游标卡尺分别测试望远镜光束路径上的两处光斑直径 D_1 和 D_2 ，两处光斑距离为 20m；

4.计算光束发散角，光束发散角 $=\frac{D_2-D_1}{s}$ （ $s=20m$ ）。

所需设备：红外光源，游标卡尺

5.1.1.10 验证指标：望远镜直径

验证方法：

使用游标卡尺直接测量发射望远镜和接收望远镜直径；

所需设备：游标卡尺

5.1.1.11 验证指标：连续工作时间

验证方法：

雷达开机工作 24 小时，检查工作过程中激光雷达运行是否正常，数据保存是否全面，数据显示是否正常。以确保其能够 24 小时连续正常工作。

所需设备：颗粒物光量子雷达整机及控制软件

5.1.1.12 验证指标：扫描模式

验证方法：

分别设置雷达的扫描方式为 PPI，RHI，THI 以及自定义扫描方式，检查雷达是否按照设定的扫描模式进行工作。

所需设备：颗粒物光量子雷达整机及控制软件

5.2 验证结果

序号	项目	验证条件	验证结果
1	中心波长	使用光谱分析仪扫描输出光谱, 读取中心波长。	1550.02nm
2	脉冲能量	使用激光能量计读取激光器单个脉冲能量。	56uJ
3	脉冲频率	使用数字示波器读取脉冲频率。	10kHz
4	探测器效率	对信号光进行百万光子标定, 输入探测器后, 使用示波器或数字采集卡读取光子计数。	15%
5	探测器噪声	关闭输入激光器的信号光, 使用示波器或数字采集卡读取光子计数。	2347Hz
6	有效探测距离	对雷达原始数据进行分析, 信噪比大于 3 时, 即为雷达的探测距离。	7.5km
7	最大探测距离	距离分辨率与距离门数的乘机	15km
8	时间分辨率	分析雷达原始数据, 计算雷达时间分辨率;	约 1.8s
9	距离分辨率	分析雷达原始数据, 查看雷达距离分辨率。	15m/30m 可调节
10	输出功率	使用光功率计读取激光器光信号功率值。	323mW
11	光束发散角	使用游标卡尺测量激光器光斑大小;	50.2urad
12	望远镜直径	使用游标卡尺测量发射望远镜和接收望远镜的口径;	发射端 40.6mm 接收端 50.7mm

13	连续工作时间	雷达不间断运行,检查雷达运行状态以及数据展示、存储情况。	连续 24 小时不间断工作
14	扫描模式	检查雷达扫描模式。	支持 PPI、RHI、THI 以及自定义扫描模式

5.3 验证结论

经验证,颗粒物光量子雷达产品满足量子信息产品概念验证要求。

6.项目产业前景分析

近年来,针对激光精密检测、遥感、雷达等领域专用的单频窄线宽激光器市场也迅速增长,以激光雷达为例,随着技术的进步和激光雷达制造成本的降低,激光雷达的应用从政府和军事应用,开始广泛地渗透到工业和商业领域,随着其在应用领域的技术优势显现,自动化激光雷达市场正在迅速增长。

未来颗粒物光量子雷达的市场将面向生态环境、应急防火、气象、交通运输等各个领域,不断开发新的应用场景,不断提供设备技术水平,完善雷达功能,进一步开拓颗粒物光量子雷达市场,提高市场占有率。

7.概念验证科技成果

本项目主要科技成果为颗粒物光量子雷达,该雷达可通过收集大气中颗粒物反射的后向散射光子,实现大气中颗粒物信息的

反演，进一步实现大气污染源定位功能。该科技成果完成概念验证后，后续将在全国范围内进行雷达点位部署，进行不同区域、不同地形以及不同气候条件下的应用示范工作，以此来完成该科技成果的成果转化工作。基于雷达应用示范的部署规模和外场试验时间，预计成果转化时间为 2 年。