

ICS 33. 200
CCS M 53



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 605—2021

地基相干多普勒测风激光雷达

Ground-based coherent Doppler wind lidar

2021-05-10 发布

2021-09-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 要求	2
6 验证方法	7
7 检验规则	9
8 标志和随行文件	9
9 包装、运输与贮存	9
附录 A(规范性) 地基相干多普勒测风激光雷达性能验证方法	11
参考文献	17

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。

本文件由全国气象仪器与观测方法标准化技术委员会(SAC/TC 507)提出并归口。

本文件起草单位：北京敏视达雷达有限公司、中国气象局气象探测中心、成都信息工程大学、上海光学精密机械研究所。

本文件主要起草人：舒仕江、张国亮、刘晨、刘小冬、李佳、陈玉宝、何建新、姚振东、陈卫标、周军。

地基相干多普勒测风激光雷达

1 范围

本文件规定了采用相干探测体制的地基相干多普勒测风激光雷达的设计、生产、检验、试验测试和包装运输等基本要求。

本文件适用于采用相干探测体制的地基相干多普勒测风激光雷达的设计、生产和检验。

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/T 191 包装储运图示标志

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 2423.3 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 3784 电工术语 雷达

GB 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB 7247.1—2012 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求

GB/T 17626.1—2006 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论

GJB 74A—1998 军用地面雷达通用规范

3 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。

3.1

[相干多普勒测风]激光雷达 [coherent Doppler wind] lidar

采用相干探测体制，利用激光与大气气溶胶粒子产生的多普勒频移效应实现对大气风场遥测的一种激光雷达。

3.2

零差探测 homodyne detection

本振光与信号光差频为零的相干探测体制。

3.3

外差探测 heterodyne detection

本振光与信号光差频为某一非零固定值的相干探测体制。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- CNR:载噪比(Carrier to Noise Ratio)
DBS:多普勒波束摆动(Doppler Beam Swing)
FFT:快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform)
PPI:平面位置显示器(Plan Position Indicator)

5 要求

5.1 分类与组成

5.1.1 分类

根据激光雷达所用激光器类型和扫描能力的不同,激光雷达可分为连续波风廓线激光雷达和扫描式脉冲测风激光雷达。

5.1.2 组成

激光雷达由室外激光雷达主机和室内产品应用终端组成。室外激光雷达主机由光源及探测分系统、光学收发分系统、伺服扫描分系统、系统控制及信号处理分系统、辅助分系统等组成;室内产品应用终端为安装有应用软件的计算机。

5.2 外观、结构和工艺

应包括下列要求:

- a) 激光雷达的产品外观质量符合 GJB 74A—1998 中 3.3 的要求;
- b) 激光雷达的结构、工艺符合 GJB 74A—1998 中 3.2 的要求。

5.3 人-机-环境系统工程

激光雷达的人-机-环境设计应符合 GJB 74A—1998 中 3.9 的要求。

5.4 功能

5.4.1 工作模式

应包括下列功能:

- a) 连续波风廓线激光雷达支持速度方位显示(VAD)扫描方式;
- b) 扫描式脉冲测风激光雷达支持 PPI、距离高度显示(RHI)、DBS、固定视线模式、体积扫描、扇面扫描和任意指向扫描方式,具备扫描任务调度功能,能按预设时间段和扫描方式远程控制运行;
- c) 连续波风廓线激光雷达和扫描式脉冲测风激光雷达应具有无人值守的自动运行功能和 7 d×24 h 连续工作能力。

5.4.2 远程监控

激光雷达应具备下列远程监控功能:

- a) 远程控制系统开关机;
- b) 远程升级软件;
- c) 系统状态监控项目符合表 1 的要求。

表 1 远程监控系统状态监控项目表

设备	监控项目
光源及探测分系统	激光输出功率
	激光器温度
	激光器上电状态
	探测器上电状态
伺服扫描分系统	方位角
	俯仰角
	扫描组件温度
	扫描机构上电状态
系统控制及信号处理分系统	工控机上电状态
	采集板上电状态
	剩余存储空间
	通信连接状态
辅助分系统	设备姿态俯仰角与翻滚角
	指北方位角
	经度
	纬度
	海拔高度
	机柜空间温度
	机柜空间湿度
	系统上电状态
	空调启动状态
	温度探头故障
远程监控系统状态的监控项目应在终端软件中显示数值或状态。	

5.4.3 自动在线标校

激光雷达应具备自动在线标校功能。

5.4.4 气象数据产品生成

激光雷达生成的气象数据产品应以图像、表格或文字等形式输出,包括但不限于下列:

- a) 功率谱和谱的零阶矩、一阶矩和二阶矩;
- b) 回波 CNR;
- c) 水平风速和水平风向;
- d) 垂直气流速度和垂直气流方向;
- e) 风切变。

5.4.5 地理参数设置与数据存储

激光雷达应具备下列地理参数设置与数据存储的功能：

- a) 设置地理参数：站号、站址、经度、纬度和海拔高度等；
- b) 存储数据：功率谱数据、径向速度数据和风廓线产品数据等。

5.4.6 气象产品显示

激光雷达应具备下列气象产品显示功能：

- a) 多窗口显示产品图像，支持鼠标联动；
- b) 产品窗口显示主要观测参数信息；
- c) 产品图像叠加可编辑的地理信息及符号产品；
- d) 鼠标获取地理位置、高度和数据值等信息。

5.5 性能

5.5.1 系统性能

5.5.1.1 激光雷达工作波长宜在 1400 nm~2200 nm 范围内选择。

5.5.1.2 激光雷达应满足表 2 中规定的测量范围指标。

表 2 测量范围指标

序号	项目	连续波风廓线 激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达	
			DBS 模式	低仰角 PPI 扫描模式
1	最大探测距离	垂直高度大于或等于 200 m	垂直高度大于或等于 3 km	径向距离大于或等于 8 km
2	最小探测距离	垂直高度小于或等于 10 m	垂直高度小于或等于 100 m	径向距离小于或等于 100 m
3	径向风速测量范围	0 m/s~50 m/s	-50 m/s~50 m/s	
4	水平风速测量范围	0 m/s~60 m/s		—
5	垂直风速测量范围	0 m/s~20 m/s		—
6	风向测量范围	0°~360°		—

5.5.1.3 激光雷达应满足表 3 中规定的测量性能指标。

表 3 测量性能指标

序号	项目	连续波风廓线 激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达	
			DBS 模式	PPI 扫描模式
1	径向速度测量误差(均方根误差)	≤0.1 m/s	≤0.5 m/s	
2	风速测量误差(均方根误差)	≤0.3 m/s	≤1.5 m/s	—
3	风向测量误差(均方根误差)	≤5° ^a	≤10° ^a	—
4	径向风速分辨力	≤0.1 m/s		
5	风速分辨力	≤0.2 m/s		—
6	风向分辨力	≤0.5°		—

表 3 测量性能指标(续)

序号	项目	连续波风廓线 激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达	
			DBS 模式	PPI 扫描模式
7	时间分辨力	≤ 1 min		≤ 40 s
8	距离分辨力	≤ 20 m	窄脉冲模式 ^b 为 60 m	
			宽脉冲模式 ^b 为 120 m	
^a 水平风速应不小于 6 m/s。 ^b 应采用与距离分辨力匹配的激光脉冲宽度。				

5.5.1.4 激光雷达标定项目和指标应符合下列要求：

- 自动网络授时和卫星授时误差不大于 1 s；
- 连续波风廓线激光雷达距离定位标定 10 m 处误差不大于 5 cm；
- 脉冲测风激光雷达距离定位标定误差不大于 5 m；
- 速度标定误差不大于 0.1 m/s；
- 水平度标定误差不大于 1.5°；
- 指北标定误差不大于 1°。

5.5.1.5 激光雷达对外通信接口应满足下列要求：

- 通信标准：不低于 100 Base-T；
- 硬件接口：RJ-45 或光纤接口；
- 通信协议：TCP/IP 协议。

5.5.1.6 连续波风廓线激光雷达功耗应不大于 500 W，扫描式脉冲测风激光雷达功耗应不大于 3 kW。

5.5.2 分系统性能

5.5.2.1 激光雷达的光源及探测分系统应满足表 4 中规定的技术指标。

表 4 光源及探测分系统技术指标

序号	项目	连续波风廓线 激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达	
			窄脉冲模式	宽脉冲模式
1	激光波长	1400 nm~2200 nm(见 5.5.1.1)		
2	激光线宽	≤ 100 kHz		
3	脉冲波形	连续波	高斯型	
4	脉冲宽度	—	$400 \times (1 \pm 5) \%$ ns	$800 \times (1 \pm 5) \%$ ns
5	脉冲重复周期	—	80 μ s~2 ms	
6	平均功率	≥ 1 W		

5.5.2.2 激光雷达的光学收发分系统应满足表 5 中规定的技术指标。

表 5 光学收发分系统技术指标

序号	项目	连续波风廓线激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达
1	望远镜口径	≥ 50 mm	
2	镀膜要求	光学透射面镀对激光波长处的高透膜；光学反射面镀激光波长处的高反膜；膜层在激光雷达主机标称工作环境条件下不允许产生起皮、脱膜、裂纹、起泡等缺陷，光学性能无退化	

5.5.2.3 激光雷达的伺服扫描分系统应满足表 6 中规定的技术指标。

表 6 伺服扫描分系统技术指标

序号	项目	连续波风廓线激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达	
			方位	俯仰
1	风廓线波束仰角	$60^\circ \pm 5^\circ$		
2	扫描范围	$0^\circ \sim 360^\circ$		$-2^\circ \sim 90^\circ$
3	扫描速度	$\geq 360^\circ/\text{s}$	$0^\circ/\text{s} \sim 20^\circ/\text{s}$	
4	扫描加速度	—	$\geq 20^\circ/\text{s}^2$	
5	指向定位精度	$\leq 0.1^\circ$		
6	角度分辨力	$\leq 0.01^\circ$		

5.5.2.4 激光雷达的系统控制及信号处理分系统应满足表 7 中规定的技术指标。

表 7 系统控制及信号处理分系统技术指标

序号	项目	连续波风廓线激光雷达	扫描式脉冲测风激光雷达	
			窄脉冲模式	宽脉冲模式
1	采样频率	≥ 150 MHz	≥ 300 MHz	
2	FFT 点数	128/256/512/更多		
3	最大处理距离库数	—	≥ 80	
4	距离库长	—	60 m	120 m
激光雷达主机应能存储一周的原始数据。				

5.6 互换性

同型号激光雷达的组件和分系统应保证功能、性能和接口的一致性，最小可替换单元均能在现场替换。

5.7 安全性

激光雷达的安全性应符合下列要求：

- a) 机械安全性、电气安全性和雷电防护符合 GJB 74A—1998 中 3.10 的要求；
- b) 激光安全性类别为 1 类或 1M 类，且安全防护和安全标记符合 GB 7247.1—2012 第 4 章和第 5 章的要求。

5.8 环境适应性

5.8.1 气温

激光雷达的环境气温应满足下列条件：

- a) 室外： $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ （工作）， $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ （贮存）；
- b) 室内： $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ （工作）， $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ （贮存）。

5.8.2 相对湿度

激光雷达的环境相对湿度应满足下列条件：

- a) 室外： $15\%\sim 95\%$ ，无凝露；
- b) 室内： $15\%\sim 90\%$ ，无凝露。

5.8.3 防沙尘、防淋雨、抗风及其他防护

5.8.3.1 激光雷达主机（室外）的外壳防护等级应不低于 GB 4208 规定的 IP54。

5.8.3.2 激光雷达主机（室外）应能承受 50 m/s 的最大阵风风速、 30 m/s 的最大平稳风速，伺服扫描分系统应不产生永久性变形或破坏。

5.8.3.3 激光雷达主机（室外）应具有防霉、防盐雾等措施。

5.9 电磁兼容性

激光雷达的电磁兼容性应符合 GB/T 17626.1—2006 第 6 章的规定。

5.10 电源适应性

激光雷达的电源适应性应具备在下列供电条件下正常工作的能力：

- a) 单相交流电源稳态电压： $220\times(1\pm 10\%)\text{ V}$ ；
- b) 单相交流电源稳态频率： $50\times(1\pm 5\%)\text{ Hz}$ 。

5.11 维修性/可靠性

激光雷达的平均修复时间(MTTR)应不大于 30 min ，平均故障间隔时间(MTBF)应不小于 2500 h 。

5.12 设计寿命

激光雷达的设计寿命应不小于 8 a 。

6 验证方法

6.1 组成

应目测检查激光雷达系统组成的完备性。

6.2 外观、结构和工艺

应目测检查激光雷达的外观、结构和工艺的合规性。

6.3 人-机-环境系统工程

应目测检查激光雷达的人-机-环境设计的合规性。

6.4 功能

6.4.1 工作模式

应逐条设置激光雷达支持的各种扫描工作模式,检查设备的实际运行情况。

6.4.2 远程监控

应在产品应用终端上远程控制激光雷达主机开关机,检查状态参数监控功能。

6.4.3 自动在线标校

应检查标校功能。

6.4.4 气象数据产品生成

应逐条检查气象产品的生成情况。

6.4.5 地理参数设置与数据存储

应设置台站地理参数,逐条检查存储数据文件类型。

6.4.6 气象产品显示

应检查显示功能。

6.5 性能

激光雷达性能应按附录 A 规定的方法验证。

6.6 互换性

应抽取不少于 3 个组件并现场互换测试。

6.7 安全性

应审阅安全性设计资料并现场检查。

6.8 环境适应性

6.8.1 气温

应按 GB/T 2423.1 和 GB/T 2423.2 规定的方法试验。

6.8.2 相对湿度

应按 GB/T 2423.3 规定的方法试验。

6.8.3 防沙尘、防淋雨、抗风及其他防护

6.8.3.1 外壳防护等级应按 GB 4208 规定的方法测试。

6.8.3.2 应计算仿真激光雷达主机结构的抗风能力,或提供实际抗风能力案例。

6.8.3.3 应目测检查其他防护措施。

6.9 电磁兼容性

应按 GB/T 17626.1—2006 表 1 中的要求选取、试验测试项目。

6.10 电源适应性

应调整供电电压和频率,检查激光雷达运行状况。

6.11 维修性/可靠性

测试应按下列方法进行:

- a) 拆换激光雷达系统的所有最小可更换单元,统计单一单元更换的平均时间;
- b) 按 GJB 74A—1998 附录 B 规定的方法试验可靠性。

6.12 设计寿命

应检查激光雷达各子系统的设计寿命。

7 检验规则

应符合 GJB 74A—1998 第 4 章规定的规则。

8 标志和随行文件

8.1 标志

应包括下列内容:

- a) 产品铭牌:产品型号、产品名称、产品序列号、生厂日期和厂商名称等;
- b) 产品包装箱:产品代号、箱号、重量、外形尺寸、装箱日期等信息,并标记“易碎物品”“向上”“怕雨”等符合 GB/T 191 规定的运输标志。

8.2 随行文件

应包括:产品合格证、装箱单、用户手册和备件/附件清单等。

9 包装、运输与贮存

9.1 包装

应符合下列要求:

- a) 装箱前,保证激光雷达产品合格、随机文件齐套;
- b) 装箱时,按装箱明细表和装箱图装箱,文、图与实物相符;
- c) 按产品包装设计文件和工艺文件要求,对箱内设备采取分隔、缓冲、支撑、垫平、卡紧、固定和防水等措施,做到内外包装紧凑、防护周密和安全可靠;
- d) 装箱后,对包装箱编号、标志和封印。

9.2 运输

可选择公路运输(三级以上)、铁路运输或空运、水运,应注意下列情况:

- a) 运输中,防止剧烈振动、挤压、雨淋及化学物品侵蚀;
- b) 搬运时,轻拿轻放、避免滚动和抛掷。

9.3 贮存

贮存激光雷达大于 6 个月的库房环境应满足下列要求：

- a) 气温： $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $20\%\sim 80\%$ ；
- c) 无腐蚀性挥发物。

附录 A

(规范性)

地基相干多普勒测风激光雷达性能验证方法

A.1 系统性能

A.1.1 测试仪器

包括耦合器、光学衰减器、光谱仪、射频信号源、激光观察卡、尺子和光纤延迟线。

A.1.2 测试方法

A.1.2.1 工作波长

应按下列步骤测试：

- a) 按激光器、耦合器、光学衰减器和光谱仪的顺序连接测试设备；
- b) 开启激光器电源，增加泵浦电流到正常工作状态；
- c) 使用光谱仪测量激光雷达的工作波长；
- d) 降低泵浦电流，关闭激光器电源。

A.1.2.2 测量范围

应根据产品应用终端获得的实际观测数据、历史记录或产品显示范围来评估各项测量范围。

A.1.2.3 测量性能

A.1.2.3.1 连续波风廓线激光雷达径向速度测量误差测试与速度标定误差测试相同，测试方法及数据处理符合 A.1.2.4.4 的要求。

A.1.2.3.2 脉冲测风激光雷达径向速度测量误差应按下列步骤测试。

- a) 按信号源、激光雷达信号处理器和应用终端的顺序连接测试设备。
- b) 设置信号源初始输出功率为 -30 dBm，频率为激光雷达外差探测所用移频器的工作频率。
- c) 信号源输出功率从 -30 dBm 开始减少，直到应用终端上的激光雷达软件不能分辨。
- d) 以 0.5 dBm 步进增加信号源输出功率，直到激光雷达软件刚好能持续输出有效的速度读数。
- e) 记录激光雷达软件的一分钟速度显示值序列。
- f) 按公式(A.1)计算脉冲测风激光雷达的最大径向速度测量误差。

$$E_V = \sqrt{\sum_{i=1}^N V_i^2 / N} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

E_V ——脉冲测风激光雷达的径向速度测量误差；

N ——激光雷达一分钟输出的径向速度显示值数目；

V_i ——激光雷达一分钟速度显示值序列。

A.1.2.3.3 风速测量误差应由径向速度测量误差、设备的各种标定误差以及所采用的风廓线算法进行计算评估。

A.1.2.3.4 风向测量误差应由径向速度测量误差、设备的各种标定误差以及所采用的风廓线算法进行计算评估。

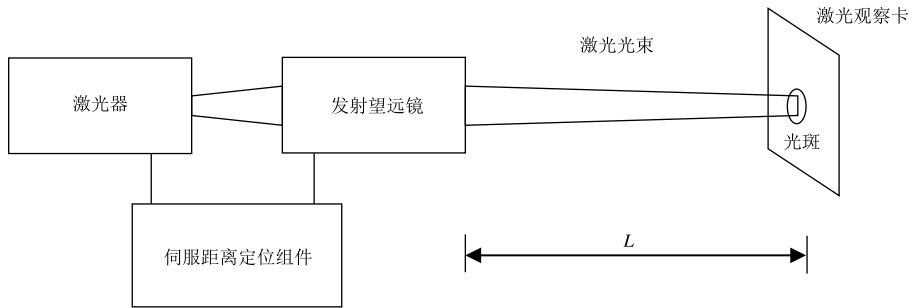
A.1.2.3.5 分辨力应通过原始数据文件检查。

A. 1. 2. 4 标定

A. 1. 2. 4. 1 应实际操作完成网络授时或卫星授时,同时读取校时后的激光雷达系统时间和授时标准参考时间,二者之差即为校时误差。

A. 1. 2. 4. 2 连续波风廓线激光雷达距离定位标定误差应按下列步骤测试。

a) 按图 A. 1 布置试验装置。



标引序号说明:

L——聚焦位置与发射望远镜输出镜面之间的实测距离。

图 A. 1 连续波风廓线激光雷达距离定位标定误差测试示意图

b) 设置激光雷达的伺服距离定位组件,使激光雷达输出光束的标称聚焦距离为 10 m。

c) 以激光观察卡在 10 m 距离附近搜索到激光光束的聚焦位置,然后测量聚焦位置与发射望远镜输出镜面之间的距离。

d) 聚焦位置与发射望远镜输出镜面之间的实测距离与 10 m 标称距离之差即为激光雷达在 10 m 距离处的距离定位标定误差。

A. 1. 2. 4. 3 脉冲测风激光雷达距离定位标定误差应按下列步骤测试:

a) 按图 A. 2 连接测试设备;

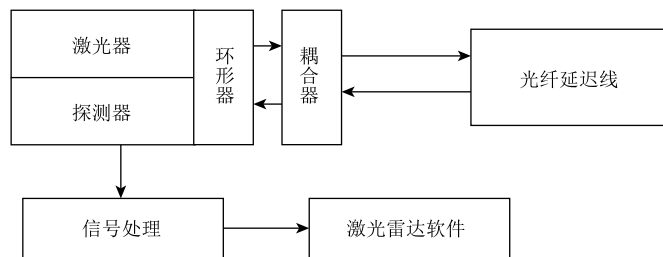


图 A. 2 脉冲测风激光雷达距离定位标定误差测试示意图

b) 将光源及探测器分系统的输出光束耦合进延迟量为 1 μs 的单端往返式单模光纤延迟线;

c) 调节输出激光强度,使从延迟线入射端反射回的信号和延迟传输反射回的信号不使探测器饱和;

d) 激光雷达软件中延迟线入射端反射信号的显示位置记为零距离,记录下延迟传输反射信号的显示位置;

e) 延迟传输反射信号的显示位置与 1 μs 时间延迟所对应的空间距离 150 m 之差即为激光雷达的距离定位标定误差。

A.1.2.4.4 连续波风廓线激光雷达速度标定误差应按下列步骤测试。

- a) 按信号源、激光雷达信号处理器和应用终端的顺序连接测试设备。
- b) 设置信号源输出功率为-30 dBm,初始输出频率为 0.1 MHz。
- c) 信号源输出频率从 0.1 MHz 到最大探测径向速度对应的多普勒频移量,步进 5 MHz,依次计算每个信号源输出频率对应的径向速度理论值,并记录相应一分钟激光雷达软件速度显示值序列。最大探测径向速度对应多普勒频移量的计算方法见公式(A.2),径向速度理论值的计算方法见公式(A.3)。

$$f_D = 50 \times \frac{2}{\lambda} \dots\dots\dots(A.2)$$

式中:

f_D ——最大探测径向速度对应的多普勒频移量,单位为兆赫兹(MHz);

λ ——激光工作波长值,单位为微米(μm)。

$$V_C = -\lambda \times \frac{f}{2} \dots\dots\dots(A.3)$$

式中:

V_C ——连续波风廓线激光雷达的径向速度理论值;

λ ——激光工作波长;

f ——信号源输出频率。

- d) 计算一分钟激光雷达软件速度显示值序列相对于 V_C 的均方根误差。
- e) 信号源输出频率从 0.1 MHz 到 5 MHz,步进 0.1 MHz,依次按公式(A.3)计算径向速度理论值,记录相应一分钟激光雷达软件速度显示值序列。
- f) 计算一分钟激光雷达软件速度显示值序列相对于 V_C 的均方根误差。
- g) 将激光光束指向激光雷达探测距离范围内的某一静止硬反射目标,比如建筑或山体。
- h) 调节激光雷达的空间聚焦距离,以获得合适的回波 CNR。
- i) 记录激光雷达软件一分钟速度显示值序列,计算该序列与标称零速的均方根误差。
- j) 选取步骤 d)、f)和 i)计算所得均方根误差的最大值作为激光雷达最终的速度标定误差。

A.1.2.4.5 脉冲测风激光雷达速度标定误差应按下列步骤测试。

- a) 按信号源、激光雷达信号处理器和应用终端的顺序连接测试设备。
- b) 设置信号源输出功率为-30 dBm,初始输出频率为激光雷达外差探测所用移频器工作频率减去最大探测径向速度对应的多普勒频移量,最大探测径向速度对应多普勒频移量按公式(A.2)计算。
- c) 信号源输出频率的测试范围以激光雷达外差探测所用移频器工作频率为中心,以 f_D 为半宽度,步进 5 MHz,依次计算径向速度理论值,记录相应一分钟激光雷达软件速度显示值序列,径向速度理论值按公式(A.4)计算。

$$V_P = -\lambda \times \frac{f - f_s}{2} \dots\dots\dots(A.4)$$

式中:

V_P ——脉冲测风激光雷达的径向速度理论值;

λ ——激光工作波长;

f ——信号源输出频率;

f_s ——移频器工作频率。

- d) 计算一分钟激光雷达软件速度显示值序列相对于 V_P 的均方根误差。
- e) 信号源输出频率的测试范围以 f_s 为初始值,向上 5 MHz 为终止值,步进 0.1 MHz,依次按公

式(A.4)计算径向速度理论值,记录相应一分钟激光雷达软件显示值序列。

- f) 计算一分钟激光雷达软件速度显示值序列相对于 V_p 的均方根误差。
- g) 将激光光束指向激光雷达探测距离范围内的某一静止硬反射目标,比如建筑或山体。
- h) 记录激光雷达软件在目标距离库所测一分钟速度显示值序列,计算该序列与标称零速的均方根误差。
- i) 选取 d)、f)和 h)计算所得均方根误差的最大值作为激光雷达最终的速度标定误差。

A.1.2.4.6 审阅设备所用电子罗盘的技术指标或校准报告,检查其水平度测量误差是否不大于 1° ,并实际调平激光雷达主机姿态,验证电子罗盘显示的设备姿态俯仰角和翻滚角能否调节到 $\pm 0.5^\circ$ 之内。

A.1.2.4.7 审阅设备所用电子罗盘的技术指标或校准报告,检查其指北方位角测量误差是否不大于 1° ,并实施指北方位角校正,观察校正前后伺服扫描分系统方位角读数的变化以验证校正的有效性。

A.1.2.5 通信

目视检查激光雷达的通信端口类型,操作检查其通信协议及数据传输速率。

A.1.2.6 功耗

激光雷达开机连续运行,统计 1 h 用电量。

A.2 分系统性能

A.2.1 测试仪器

包括耦合器、光纤延迟线、光学移频器、光电探测器、频谱仪、示波器、功率计/能量计、自准直测角仪和正十二面棱体(或大于十二面的棱体)等。

A.2.2 测试方法

A.2.2.1 光源及探测分系统

A.2.2.1.1 激光波长应按 A.1.2.1 规定的步骤测试。

A.2.2.1.2 激光线宽应按下列步骤测试:

- a) 按图 A.3 连接测试设备;

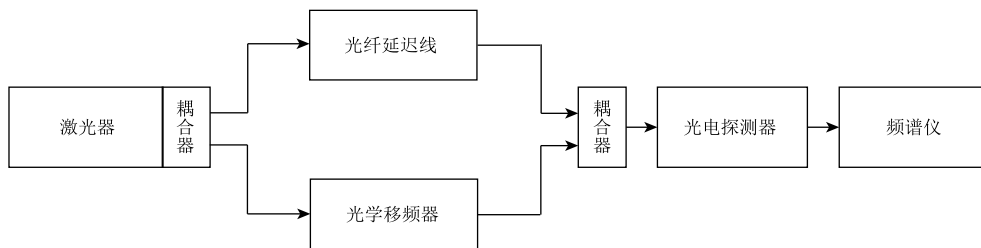


图 A.3 激光线宽测试示意图

- b) 开启激光器电源,增加泵浦电流到正常工作状态;
- c) 使用频谱仪测量激光延时自外差拍频信号峰的半最大值全宽度。

A.2.2.1.3 激光脉冲参数应按下列步骤测试:

- a) 按激光器、耦合器、光电探测器和示波器的顺序连接测试设备;
- b) 开启激光器电源,增加泵浦电流到正常工作状态;

- c) 使用示波器观测激光输出波形；
- d) 继续用示波器测量脉冲激光雷达脉冲信号的宽度与重复周期；
- e) 降低泵浦电流,关闭激光器电源。

A.2.2.1.4 平均功率应按下列步骤测试。

- a) 按激光器、耦合器、功率计(或能量计)的顺序连接测试设备。
- b) 开启激光器电源,增加泵浦电流到正常工作状态。
- c) 求得平均功率:
 - 1) 连续波激光器:使用功率计测量连续波激光器输出激光的一分钟平均功率;
 - 2) 脉冲激光器:使用能量计测量脉冲激光器的一分钟平均单脉冲能量,再乘以脉冲重复频率。

注:脉冲重复频率(Hz)=1/脉冲重复周期(s)。

A.2.2.2 光学收发分系统

A.2.2.2.1 望远镜口径用卡尺或直尺测量。

A.2.2.2.2 审阅光学收发分系统所用镜片的镀膜曲线测试报告,在激光雷达主机的环境适应性测试中对膜层外观目测检查。

A.2.2.3 伺服扫描分系统

A.2.2.3.1 风廓线波束仰角测试应按下列方法进行:

- a) 连续波风廓线激光雷达:检查光束偏转元件的设计文件或测试报告;
- b) 扫描式脉冲测风激光雷达:使其运行风廓线模式,检查伺服扫描组件返回的俯仰角角码数据。

A.2.2.3.2 扫描范围应通过读取伺服扫描组件返回的角码数据来查验。

A.2.2.3.3 扫描速度应按下列步骤测试:

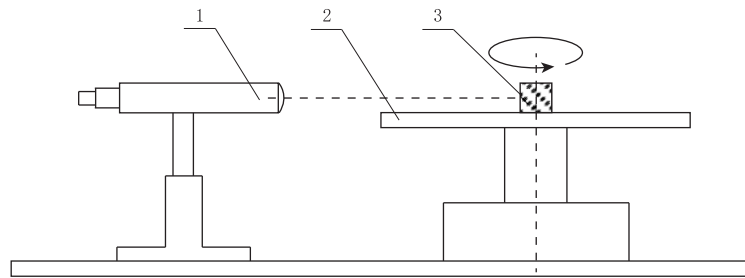
- a) 运行激光雷达伺服扫描组件控制程序;
- b) 连续波风廓线激光雷达设置方位角转速为 $360(^{\circ})/s$;
- c) 扫描式脉冲测风激光雷达设置方位角转速为 $20(^{\circ})/s$;
- d) 读取并记录伺服扫描方位角速度,计算误差;
- e) 扫描式脉冲测风激光雷达设置俯仰角转速为 $20(^{\circ})/s$;
- f) 读取并记录伺服扫描俯仰角速度,计算误差;
- g) 退出激光雷达伺服扫描组件控制程序。

A.2.2.3.4 扫描加速度应按下列步骤测试:

- a) 运行激光雷达伺服扫描组件控制程序;
- b) 设置方位角转速为 $20(^{\circ})/s$,控制方位角从 0° 运动 360° ;
- c) 读取并记录伺服扫描方位角速度序列,计算加速度;
- d) 设置俯仰角转速为 $20(^{\circ})/s$,控制俯仰角从 0° 运动 90° ;
- e) 读取并记录伺服扫描俯仰角速度序列,计算加速度;
- f) 退出激光雷达伺服扫描组件控制程序。

A.2.2.3.5 指向定位误差应按下列步骤测试。

- a) 按图 A.4 布置试验装置。
- b) 将正十二面棱体固定安装在伺服扫描组件方位角转轴中心处。
- c) 运行激光雷达伺服扫描组件控制程序。
- d) 伺服扫描组件通电后寻零。



标引序号说明：

- 1——自准直测角仪；
- 2——转台；
- 3——正十二面棱体。

图 A.4 指向定位误差测试示意图

- e) 调整自准直测角仪的瞄准角度,使测角仪的亮十字与目镜靶标中心重合,记当前第 1 面指向定位误差为 0° 。
- f) 控制方位角转台沿其正方向依次旋转 30° ,从测角仪读取并记录下每次旋转角度的指向定位误差。
- g) 旋转 360° 后,控制方位角转台沿其反方向依次旋转 30° ,共旋转 360° ,从测角仪读取并记录下每次旋转角度的指向定位误差。
- h) 选取步骤 f)和 g)所得正向误差和反向误差中绝对值最大者作为伺服扫描组件的方位角指向定位误差。
- i) 扫描式脉冲测风激光雷达参照步骤 a)—h)完成俯仰角指向定位误差测试,不同之处在于俯仰角指向定位误差测试要求的最大旋转角为 90° 。
- j) 退出激光雷达伺服扫描组件控制程序。

A.2.2.3.6 角度分辨力应通过伺服扫描组件返回角码的原始数据来查验。

A.2.2.4 系统控制及信号处理分系统

测试应按下列方法进行：

- a) 采样频率:检查数据采集卡的技术设计参数；
- b) FFT 点数:通过产品应用终端软件检查；
- c) 最大处理库数、库长:通过产品应用终端软件检查；
- d) 激光雷达主机存储空间:检查各工作模式的原始数据数据量和激光雷达主机总数据存储空间,估算激光雷达主机能存储基数据的天数。

参 考 文 献

- [1] QX/T 525—2019 有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)
- [2] ISO 28902-2:2017 Air quality-Environmental meteorology Part 2:Ground-based remote sensing of wind by heterodyne pulsed Doppler lidar
- [3] ISO 28902-3:2018 Air quality-Environmental meteorology Part 2:Ground-based remote sensing of wind by heterodyne pulsed Doppler lidar
-

中华人民共和国
气象行业标准
地基相干多普勒测风激光雷达
QX/T 605—2021

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街46号
邮政编码:100081
网址:<http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:1.5 字数:45千字
2021年6月第1版 2021年6月第1次印刷

*

书号:135029-6238 定价:32.00元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301