



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 524—2019

X 波段多普勒天气雷达

X-band Doppler weather radar

2019-12-26 发布

2020-04-01 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	2
5 通用要求	2
5.1 组成	2
5.2 功能要求	2
5.3 性能要求	6
5.4 方舱与载车	9
5.5 环境适应性	10
5.6 电磁兼容性	10
5.7 电源适应性	10
5.8 互换性	11
5.9 安全性	11
5.10 噪声	11
6 试验方法	11
6.1 试验环境条件	11
6.2 试验仪表和设备	11
6.3 组成	13
6.4 功能	13
6.5 性能	17
6.6 方舱与载车	33
6.7 环境适应性	33
6.8 电磁兼容性	34
6.9 电源适应性	34
6.10 互换性	34
6.11 安全性	34
6.12 电气安全	34
6.13 机械安全	34
6.14 噪声	34
7 检验规则	34
7.1 检验分类	34
7.2 检验设备	34
7.3 检验项目	34
7.4 定型检验	34
7.5 出厂检验	35
7.6 现场检验	35

8	标志、标签和随行文件	35
8.1	产品标识	35
8.2	包装标识	35
8.3	随行文件	35
9	包装、运输和贮存	36
9.1	包装	36
9.2	运输	36
9.3	贮存	36
附录 A(资料性附录)	雷达自动上传基础参数	37
附录 B(规范性附录)	检验项目、技术要求和试验方法	39
参考文献	43

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准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。

本标准起草单位:中船重工鹏力(南京)大气海洋信息系统有限公司、中国船舶重工集团公司第七二四研究所、南京大学、南京信息工程大学、江苏省气象局、南京恩瑞特实业有限公司、海南省气象探测中心。

本标准主要起草人:范汉强、施春荣、侯小宇、姚玲霞、邵世卿、徐坤、周涛、赵坤、杨正玮、黄兴友、杨军、周红根、朱毅、李忱、李昭春。

X 波段多普勒天气雷达

1 范围

本标准规定了 X 波段多普勒天气雷达的通用要求,试验方法,检验规则,标志、标签和随行文件,包装、运输和贮存等要求。

本标准适用于 X 波段磁控管、速调管和全固态三种发射体制的脉冲多普勒天气雷达系统的设计、研制、生产和产品验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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—2008 包装储运图示标志(ISO 780:1997,MOD)

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 2423.4 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Db:交变湿热

GB/T 3784—2009 电工术语 雷达

GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件

QX/T 2—2016 新一代天气雷达站防雷技术规范

3 术语和定义

GB/T 3784—2009 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

X 波段多普勒天气雷达 X-band Doppler weather radar

工作在 X 波段内,基于大气中水成物粒子(云雨滴、冰晶、冰雹、雪花等)的后向散射原理来测量回波强度,基于多普勒效应来测量径向速度和速度谱宽等信息的天气雷达。

3.2

同相正交数据 in-phase quadrature data

雷达接收机输出的模拟中频信号经过数字中频采样和正交解调后得到的时间序列数据。

[QX/T 461—2018,定义 3.2]

3.3

基数据 base data

以同相正交数据作为输入,结合目标物位置信息、雷达参数和信号处理算法得到的数据。

[QX/T 461—2018,定义 3.3]

3.4

最小可测回波强度 minimum detectable signal

雷达在一定距离上能够探测到的最小反射率因子。

注 1:用来衡量雷达探测弱回波的能力,ISO/DIS 19926-1 中以 60 km 处能探测到的最小回波强度值(单位为 dBz)作

为参考值。

注 2:改写 QX/T 461—2018,定义 3.5。

3.5

消隐 spot blanking

在天线运行的特定方位角/俯仰角区间关闭电磁发射的功能。

[QX/T 461—2018,定义 3.6]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CSR:信杂比(Clutter Signal Ratio)

I/Q:同相正交(In-phase and Quadrature)

LNA:低噪声放大器(Low Noise Amplifier)

MTBF:平均故障间隔(Mean Time Before Failure)

MTTR:平均修复时间(Mean Time To Repair)

PPI:平面位置显示(Plan Position Indicator)

PRF:脉冲重复频率(Pulse Repetition Frequency)

RHI:距离高度显示(Range Height Indicator)

SQI:信号质量指数(Signal Quality Index)

5 通用要求

5.1 组成

雷达包括:天线和馈线、转台和伺服、发射机、接收机、信号处理器、显控终端(气象产品生成软件、控制与监测)等分系统,见图 1。

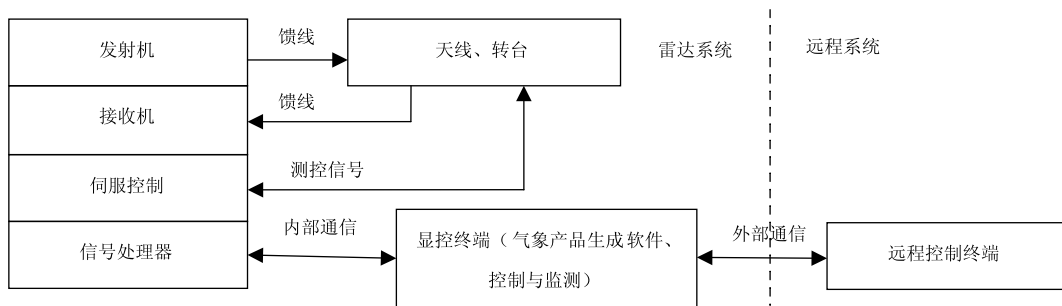


图 1 雷达组成框图

5.2 功能要求

5.2.1 一般要求

应具有下列功能:

- a) 自动、连续运行和在线标校;
- b) 本地、远程状态监视和控制;
- c) 根据天气实况自动跟踪目标自适应观测;

- d) 输出 I/Q 数据、基数据、气象产品三级数据和雷达状态信息。

5.2.2 控制与监控

5.2.2.1 扫描方式

应满足如下要求：

- a) 支持平面位置显示、距离高度显示、体积扫描(以下简称“体扫”)、扇扫和任意指向扫描方式；
- b) 扫描方位角、扫描俯仰角、扫描速度、脉冲重复频率和脉冲采样数等可通过软件设置；
- c) 支持扫描任务调度功能,能按预设时间段和扫描方式进行程控运行。

5.2.2.2 观测模式

应满足如下要求：

- a) 具有晴空、弱降水、强对流等观测模式,并能够根据天气实况自动转换观测模式；
- b) 能够根据用户指令,对指定区域的风暴采用适当的观测模式进行跟踪观测；
- c) 能够对灾害性天气进行自动识别和改变观测模式,包括对冰雹区域进行 RHI 扫描,对龙卷和气旋区域进行自动改变 PRF 以避免二次回波的影响,对台风等启动强对流观测模式等。

5.2.2.3 机内自检设备和监控

应满足下列要求：

- a) 机内自检设备和监控的参数包括系统标定状态、天线伺服状态、接收机状态、发射机工作状态、电源状态、馈线电压驻波比等；
- b) 机内自检设备具有系统报警功能,严重故障时自动停机,同时自动存储和上传基础参数(参见附录 A 中表 A.1)、工作状态和系统报警。

5.2.2.4 雷达及附属设备控制和维护

雷达应具有性能与状态监控单元,且满足下列要求：

- a) 具有本地、远程监控能力,远程控制项目与本地相同,包括雷达开关机、观测模式切换、查看标定结果、修改适配参数等；
- b) 自动上传基础参数(参见附录 A 中表 A.1)、附属设备状态参数,并能在本地和远程显示；
- c) 完整记录雷达维护维修信息、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、在线标定过程等；
- d) 具有雷达运行与维护的远程支持能力,包括对雷达系统参数进行远程监控和修改,对系统相位噪声、接收机灵敏度、动态范围和噪声系数等进行测试,控制天线进行运行测试、太阳法检查、指向空间目标协助雷达绝对标定等；
- e) 具有远程软件升级功能。

5.2.2.5 关键参数在线分析

应满足下列要求：

- a) 支持对线性通道定标常数、连续波测试信号、射频驱动测试信号、射频输出测试信号等关键参数的稳定性和最大偏离度进行记录和分析等功能；
- b) 具有对监测的所有实时参数超限报警提示功能；
- c) 支持对监测参数和分析结果存储、回放、统计分析等功能。

5.2.2.6 实时显示

应具有如下功能：

- a) 以数据、表、图的形式多画面准实时显示设备工作状态及参数；
- b) 多画面准实时显示各级气象产品。

5.2.2.7 消隐功能

具有消隐区配置功能。

5.2.2.8 授时功能

能通过卫星授时或网络授时校准雷达数据采集计算机的时间，授时精度优于 0.1 s。

5.2.3 标定和检查

5.2.3.1 自动

应具有自动在线标定和检查功能，并生成完整的文件记录，在结果超过预设门限时发出报警。自动在线标定和检查功能包括：

- a) 强度标定；
- b) 距离定位；
- c) 发射机功率；
- d) 速度；
- e) 相位噪声；
- f) 噪声电平；
- g) 噪声系数。

5.2.3.2 人工

应为人工进行下列检查提供测试接口和支持功能：

- a) 发射机功率、输出脉冲宽度、输出频谱；
- b) 发射和接收支路损耗；
- c) 接收机最小可测功率、动态范围；
- d) 天线座水平度；
- e) 天线伺服扫描速度误差、加速度、运动响应；
- f) 天线指向和接收链路增益；
- g) 基数据方位角、俯仰角角码；
- h) 地物杂波抑制能力；
- i) 最小可测回波强度。

5.2.4 气象产品生成及显示

5.2.4.1 运行平台

软件运行在工作站上，采用主流操作系统。

5.2.4.2 气象产品格式

满足气象产品格式文档和产品样例文件的规定。

5.2.4.3 产品交互方式

支持全自动和人机交互生成产品和显示。

5.2.4.4 算法配置参数

主要气象产品算法有可配置参数。

5.2.4.5 资料处理能力

能够实时处理和回放雷达基数据。

5.2.4.6 气象产品

生成的气象产品应包括：

- a) 基本气象产品：强度 PPI、速度 PPI、谱宽 PPI、距离高度显示、等高平面位置显示、垂直剖面、组合反射率等；
- b) 物理量产品：回波顶高、垂直积分液态水含量、风切变、累积降水量等；
- c) 风暴识别产品：风暴单体识别和追踪、冰雹识别、中尺度气旋识别、龙卷特征识别、风暴结构分析等；
- d) 风场反演产品：速度方位显示、垂直风廓线、风切变。

5.2.4.7 产品显示

应具备以下功能：

- a) 多窗口显示产品，支持鼠标联动；
- b) 产品窗口同时显示主要的观测参数信息；
- c) 产品图像能够叠加和编辑地理信息；
- d) 数据色标等级不少于 16 级；
- e) 产品图像支持缩放、移动、动画等功能；
- f) 支持鼠标获取地理位置、高度和数据值等信息的功能；
- g) 能够有与数据匹配一致的地理信息系统。

5.2.5 数据存储和传输

应满足以下要求：

- a) 支持产品多路存储和检索等功能；
- b) 传输采用传输控制协议/因特网互联协议(TCP/IP 协议)；
- c) 支持数据压缩传输和存储；
- d) 支持基数据径向流传输，带宽不小于 10 Mbps；
- e) 气象产品输出支持二进制和图像两种方式；
- f) 本地数据存储时间不少于 6 个月。

5.2.6 雷达组网

应具备以下功能：

- a) 雷达具有时统接口；
- b) 利用网络保证中心站控制命令能同时下达给各部雷达，并且各部雷达观测数据能实时上传中心站；

- c) 基数据径向流传输的功能；
- d) 各部雷达在规定时间内能做出规定动作。

5.3 性能要求

5.3.1 总体技术要求

5.3.1.1 雷达工作频率

在 9.3 GHz~9.5 GHz 内选取。

5.3.1.2 距离范围

应满足如下要求：

- a) 强度距离：
 - 1) 磁控管体制：不小于 150 km；
 - 2) 速调管体制：不小于 150 km；
 - 3) 全固态体制：不小于 120 km。
- b) 速度距离：
 - 1) 磁控管体制：不小于 75 km；
 - 2) 速调管体制：不小于 75 km；
 - 3) 全固态体制：不小于 60 km。
- c) 谱宽距离：
 - 1) 磁控管体制：不小于 75 km；
 - 2) 速调管体制：不小于 75 km；
 - 3) 全固态体制：不小于 60 km。
- d) 高度：不小于 20 km。
- e) 盲区距离：不大于 150 m。

5.3.1.3 角度范围

应满足如下要求：

- a) 方位角范围： $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ；
- b) 俯仰角范围： $-2^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。

5.3.1.4 强度值范围

$-35\text{ dBz}\sim 75\text{ dBz}$ 。

5.3.1.5 速度值范围

$-48\text{ m/s}\sim 48\text{ m/s}$ (采用速度退模糊技术)。

5.3.1.6 谱宽值范围

$0\text{ m/s}\sim 16\text{ m/s}$ 。

5.3.1.7 探测允许误差

应满足如下要求：

- a) 距离：

- 1) 磁控管体制:不大于 75 m;
- 2) 速调管体制:不大于 50 m;
- 3) 全固态体制:不大于 50 m。
- b) 方位角:不大于 0.15° 。
- c) 俯仰角:不大于 0.15° 。
- d) 强度:不大于 1 dBz。
- e) 速度:不大于 1 m/s。
- f) 谱宽:不大于 1 m/s。

5.3.1.8 分辨力

应满足如下要求:

- a) 距离:
 - 1) 磁控管体制:75 m/150 m 可选;
 - 2) 速调管体制:50 m/75 m/150 m 可选;
 - 3) 全固态体制:50 m/75 m/150 m 可选。
- b) 方位角:不大于 1.5° 。
- c) 俯仰角:不大于 1.5° 。
- d) 强度:不大于 0.5 dBz。
- e) 速度:不大于 0.5 m/s。
- f) 谱宽:不大于 0.5 m/s。

5.3.1.9 最小可测回波强度

综合雷达的各项参数,应满足如下要求:

- a) 天线波束宽度 0.5° :不大于 0 dBz@60 km;
- b) 天线波束宽度 1° :不大于 5.0 dBz@60 km;
- c) 天线波束宽度 1.5° :不大于 10.0 dBz@60 km。

5.3.1.10 相位稳定度

应满足如下要求:

- a) 磁控管体制系统相位校准误差:不大于 2° ;
- b) 速调管和全固态体制系统相位稳定度:不大于 0.2° 。

5.3.1.11 杂波抑制

应满足如下要求:

- a) 磁控管体制:不小于 35 dB;
- b) 速调管体制和全固态体制:不小于 45 dB。

5.3.1.12 可靠性及维护性

应满足如下要求:

- a) MTBF:
 - 1) 磁控管体制:不小于 1500 h;
 - 2) 速调管体制:不小于 1500 h;
 - 3) 全固态体制:不小于 3000 h。

- b) MTTR 不大于 0.5 h。
- c) 连续工作时间:24 h。

5.3.1.13 整机寿命

不小于 15 年。

5.3.2 天线和馈线分系统

应满足如下要求:

- a) 天线型式:旋转抛物面;
- b) 极化方式:水平线极化;
- c) 波束宽度: $0.5^{\circ}\sim 1.5^{\circ}$;
- d) 第一旁瓣:不大于 -27 dB;
- e) 天线增益:不小于 40 dB;
- f) 天线口径: 1.5 m \sim 4.8 m。

5.3.3 转台与伺服分系统

应满足如下要求:

- a) 扫描方式:PPI、RHI、体扫、扇扫、定点;
- b) 控制方式:全自动或手动控制;
- c) 控制字长:不小于 14 位;
- d) 角码数据字长:不小于 14 位;
- e) 最大扫描速度:不小于 6 r/min;
- f) 方位角和俯仰角扫描加速度:不小于 $20(^{\circ})/s^2$;
- g) 方位角和俯仰角控制误差:不大于 0.1° 。

5.3.4 发射分系统

应满足如下要求:

- a) 发射峰值功率:
 - 1) 磁控管体制:不小于 50 kW;
 - 2) 速调管体制:不小于 50 kW;
 - 3) 全固态体制:不小于 200 W。
- b) 发射脉冲宽度:
 - 1) 磁控管体制: $0.5\ \mu s/1\ \mu s$ 可选;
 - 2) 速调管体制: $0.33\ \mu s/0.5\ \mu s/1\ \mu s$ 可选;
 - 3) 全固态体制: $0.5\ \mu s\sim 400\ \mu s$ 可选。
- c) 脉冲重复频率:有单重频和双重频两种,采用双重频时,其比值从 2/3、3/4、4/5 中选择,具体要求由产品规范决定,重频范围为 300 Hz \sim 2000 Hz。
- d) 频谱特性:工作频率 ± 10 MHz 处不大于 -60 dB。
- e) 输出极限改善因子:不小于 55 dB。
- f) 占空比:
 - 1) 磁控管不大于 0.1%;
 - 2) 速调管不大于 0.3%;
 - 3) 全固态不大于 15%。

- g) 发射管寿命：
 - 1) 磁控管体制：不小于 1000 h；
 - 2) 速调管体制：不小于 5000 h。

5.3.5 接收分系统

5.3.5.1 接收机部分

应满足如下要求：

- a) 接收机噪声系数：不大于 3 dB；
- b) 接收系统线性动态范围：不小于 110 dB@1 MHz；
- c) 中频输出杂散：不大于 -60 dBc。

5.3.5.2 频综指标

本振相位噪声：不大于 -110 dBc/Hz@1 kHz。

5.3.6 信号处理分系统

应满足如下要求：

- a) 最大脉冲压缩比：不小于 250(仅脉压体制有)。
- b) 脉冲压缩后脉冲宽度：0.33 μ s/0.5 μ s/1 μ s 可选(仅脉压体制有)。
- c) 最大脉冲压缩主副比：不小于 50 dB(仅脉压体制有)。
- d) 距离库长度：50 m/75 m/150 m 可选。
- e) 距离库数：由选定的距离范围和距离库长度自适应设定距离库数。
- f) 数据率：不低于脉冲宽度和接收机带宽匹配值。
- g) 处理模式：
 - 1) 信号处理基于通用服务器，采用软件化、模块化设计；
 - 2) 在时域或频域对数据进行信号处理。
- h) 基数据格式：符合行业主管单位的相关标准和规定的要求，数据中包括元数据信息、在线标定记录、观测数据等，输出数据格式兼容新一代天气雷达业务软件系统。
- i) 数据处理和质量控制：
 - 1) 采用相位编码或其他方法距离退模糊；
 - 2) 采用脉冲分组双重复频率方法或参差方法速度退模糊方法；
 - 3) 采用时域滤波算法和自适应频域滤波算法进行杂波过滤；
 - 4) 采用逐库订正法进行衰减订正；
 - 5) 采用信噪比门限、SQI、CSR 等质量控制门限。

5.4 方舱与载车

应满足如下要求：

- a) 载车具有调平装置和定位经纬度、海拔高度的功能；
- b) 在 2 h 内由运输状态转入工作状态；
- c) 适应野外全天候工作；
- d) 运输车辆可维修；
- e) 配备发电机组；
- f) 方舱具有防雨、防尘、防腐措施；

- g) 方舱具有屏蔽、隔热性能;
- h) 方舱配备空调;
- i) 方舱具有逃生出口,并配备消防器材;
- j) 方舱与载车能够满足公路运输的标准;
- k) 方舱与载车能够整体运输,在运输状态下,其外形尺寸及重量符合 GB/T 13384—2008 第 3 章的要求;
- l) 防雷满足 QX/T 2—2016 第 7 章至第 13 章的要求。

5.5 环境适应性

5.5.1 一般要求

应满足下列要求:

- a) 具有防尘、防潮、防霉、防盐雾、防虫措施;
- b) 适应海拔 3000 m 及以上高度的低气压环境。

5.5.2 温度

应满足下列要求:

- a) 室内:0 °C~30 °C;
- b) 室外:—40 °C~55 °C。

5.5.3 空气相对湿度

应满足下列要求:

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

5.5.4 抗风和冰雪载荷

应满足下列要求:

- a) 抗持续风能力:工作时风速不小于 25 m/s;不工作时风速不小于 35 m/s;
- b) 抗阵风能力:不低于持续风速的 1.5 倍;
- c) 抗冰雪载荷能力不小于 220 kg/m²。

5.6 电磁兼容性

应满足如下要求:

- a) 雷达具有足够的抗干扰能力,不受其他设备的电磁干扰而影响工作;
- b) 屏蔽体将被干扰物或干扰物包围封闭,屏蔽体与接地端子间电阻小于 0.1 Ω;
- c) 雷达与大地的连接,安全可靠,有设备地线、动力电网地线和避雷地线,避雷针与雷达公共接地线不得共用同一接地网。

5.7 电源适应性

应满足如下要求:

- a) 供电电压:220 V×(1±10%);
- b) 供电频率:50 Hz×(1±5%);
- c) 功耗:不大于 8 kW。

5.8 互换性

同型号雷达的部件、组件和分系统应保证电气功能、性能和接口的一致性,均能在现场替换,除特殊说明外,互换时应不经选配和调整,互换后雷达即能正常工作。

5.9 安全性

5.9.1 一般要求

通过安全设计保证人员及雷达的安全,不得使用污染环境、损害人体健康和设备性能的材料,宜选用绿色环保并可重复使用的材料。

5.9.2 电气安全

应满足如下要求:

- a) 电源线之间及与大地之间的绝缘电阻大于 $1\text{ M}\Omega$;
- b) 电压超过 36 V 及存在微波泄漏处,有警示标识和防护装置;
- c) 高压储能电路有泄放装置;
- d) 危及人身安全的高压及存在微波泄漏处,在防护装置被去除或打开后自动切断;
- e) 配备快速切断供电的保护性电源开关。

5.9.3 机械安全

应满足如下要求:

- a) 抽屉或机架式组件配备锁紧装置;
- b) 机械转动部位及危险的可拆卸装置处有警示标识和防护装置;
- c) 在架设、拆收、运输、维护、维修时,活动装置能锁定;
- d) 天线俯仰角超过规定范围,有切断电源和防碰撞的安全保护装置;
- e) 天线伺服配备手动安全开关。

5.10 噪声

发射、接收分系统的噪声应低于 85 dB(A) 。

6 试验方法

6.1 试验环境条件

6.1.1 室内测试环境条件

室温在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度不大于 70% 。

6.1.2 室外测试环境条件

空气温度在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度不大于 80% ,风速不大于 5 m/s 。

6.2 试验仪表和设备

试验仪表和设备见表 1。

表 1 试验仪表和设备

序号	设备名称	主要性能要求
1	信号源	频率:10 MHz~20 GHz 输出功率: -135 dBm~21 dBm
2	频谱仪	频率:10 MHz~40 GHz 最大分析带宽:不低于 25 MHz 精度:不低于 0.19 dB
3	功率计(含探头)	功率: -35 dBm~20 dBm 精度:不大于 0.1 dB
4	衰减器	频率:0 GHz~18 GHz 精度:不大于 0.8 dB 功率:不小于 2 W
5	检波器	频率:8 GHz~12 GHz 灵敏度:1 mV/10 μ W 最大输入功率:10 mW
6	示波器	带宽:不小于 200 MHz
7	矢量网络分析仪	频率:3 kHz~20 GHz 动态范围:不小于 135 dB 输出功率:不小于 15 dBm
8	噪声系数分析仪(含噪声源)	频率:10 MHz~20 GHz 测量范围:0 dB ~20 dB 精度:不大于 0.15 dB
9	信号分析仪	频率:10 MHz~20 GHz 功率: -15 dBm~20 dBm 分析偏置频率:1 Hz~100 MHz 精度:不大于 3 dB
10	合像水平仪	刻度盘分划值:0.01 mm/m 测量范围: -10 mm/m~10 mm/m 示值误差: ± 0.01 mm/m(± 1 mm/m 范围内) ± 0.02 mm/m(± 1 mm/m 范围外)
11	标准喇叭天线	频率:8 GHz~12 GHz 增益:不低于 18 dB 精度:不大于 0.2 dB
12	转台伺服控制器	转动范围:方位角 0° ~ 360° ,俯仰角 -2° ~ 90° 转动速度: $0(^{\circ})/s\sim 0.5(^{\circ})/s$, 定位精度: 0.03°

6.3 组成

目测检查雷达的系统组成。

6.4 功能

6.4.1 一般要求

操作演示检查。

6.4.2 扫描方式

配置并运行扫描方式和任务调度,并检查结果。

6.4.3 观测模式

操作演示检查。

6.4.4 机内自检设备和监控

操作检查参数的显示,演示报警功能。

6.4.5 雷达及附属设备控制和维护

实际操作检查。

6.4.6 关键参数在线分析

实际操作检查。

6.4.7 实时显示

实际操作检查。

6.4.8 消隐功能

配置消隐区,测试当天线到达消隐区间内时发射机是否停止发射脉冲。

6.4.9 授时功能

实际操作检查授时功能和授时精度。

6.4.10 强度标定

演示雷达使用机内信号进行自动强度标定的功能,并在软件界面上查看标定结果。通过查看基数数据中记录的强度标定值,检查标定结果是否应用到下一个体扫。

6.4.11 距离定位

实际操作检查雷达使用机内脉冲信号自动进行距离定位检查的功能。

6.4.12 发射机功率

实际操作检查雷达基于内置功率计的发射机功率自动检查功能。

6.4.13 速度

演示雷达使用机内信号进行速度自动检查的功能,检查软件界面显示的结果。

6.4.14 相位噪声

演示雷达的机内相位噪声自动检查的功能,检查软件界面显示的结果。

6.4.15 噪声电平

演示雷达噪声电平自动测量的功能,检查软件界面显示的结果。

6.4.16 噪声系数

演示噪声系数自动检查的功能,检查软件界面显示的结果。

6.4.17 发射机功率、输出脉冲宽度、输出频谱

检查雷达是否能使用机外仪表测量发射机功率、输出脉冲宽度和输出频谱。

6.4.18 发射和接收支路损耗

应采取下列两种方式之一进行:

a) 使用信号源、频谱仪/功率计按下列步骤进行:

- 1) 按照发射支路损耗测试示意图(见图 2a) 顺序连接测试设备。
- 2) 测量测试电缆 1 和 2 的损耗,分别记为 L_1 和 L_2 。
- 3) 发射机功率采样定向耦合器输入端口注入 0 dBm 功率的信号,记为 A 。
- 4) 功率计测量天线输入端口功率,记为 P_0 。
- 5) 计算并记录发射支路损耗 L_t (分贝,dB),计算方法见式(1):

$$L_t = A - P_0 - (L_1 + L_2) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- A ——定向耦合器输入端口注入 0 dBm 功率信号,单位为分贝毫瓦(dBm);
- P_0 ——天线输入端口功率,单位为分贝毫瓦(dBm);
- $L_1、L_2$ ——测试电缆 1 和 2 的损耗,单位为分贝(dB)。



a)



b)

图 2 发射支路损耗测试示意图

- 6) 按照接收支路损耗测试示意图(见图 3a) 顺序连接测试设备。
- 7) 天线端口注入 0 dBm 功率信号,记为 B 。

- 8) 功率计测量 LNA 输入端口功率, 记为 P_1 。
- 9) 计算并记录接收支路损耗 L_r (分贝, dB), 计算方法见式(2):

$$L_r = B - P_1 - (L_1 + L_2) \dots\dots\dots(2)$$

式中:

B ——天线端口注入 0 dBm 功率信号, 单位为分贝毫瓦 (dBm);

P_1 ——LNA 输入端口功率, 单位为分贝毫瓦 (dBm)。

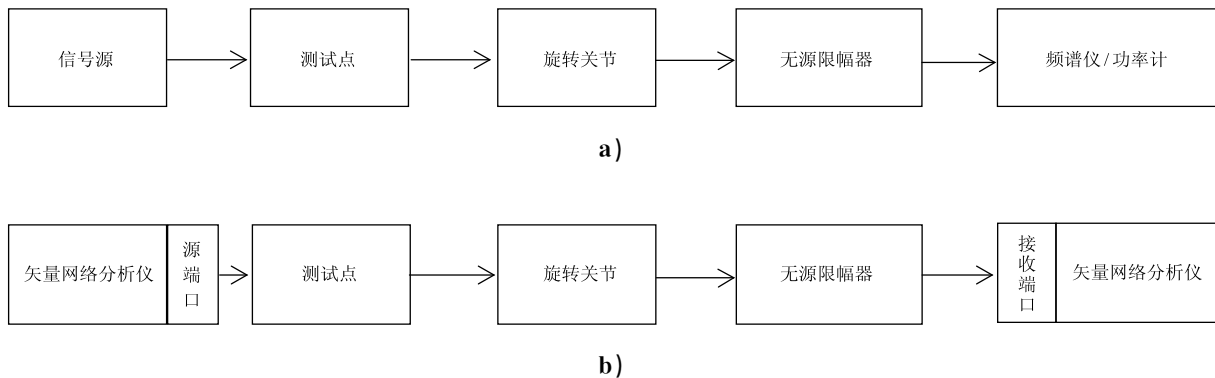


图 3 接收支路损耗测试示意图

- b) 使用矢量网络分析仪按下列步骤进行:
 - 1) 校准矢量网络分析仪(含测试电缆及转接器);
 - 2) 按照发射支路损耗测试示意图(见图 2b) 顺序连接测试设备;
 - 3) 读取并记录发射支路损耗值 L_1 ;
 - 4) 重新校准矢量网络分析仪(含测试电缆及转接器);
 - 5) 按照接收支路损耗测试示意图(见图 3b) 顺序连接测试设备;
 - 6) 读取并记录接收支路损耗值 L_r 。

6.4.19 接收机最小可测功率、动态范围

检查雷达是否能使用机外仪表测量接收机最小可测功率和动态范围。

6.4.20 天线座水平度

按下列步骤进行测试:

- a) 将天线停在方位角 0° 位置;
- b) 将合像水平仪按图 4 所示放置在天线转台上;
- c) 调整合像水平仪达到水平状态, 并记录合像水平仪的读数值, 记为 M_0 ;
- d) 控制天线停在方位角 45° 位置;
- e) 调整合像水平仪达到水平状态, 并记录合像水平仪的读数值, 记为 M_{45} ;
- f) 重复步骤 d)~e), 分别测得天线方位角在 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° 位置合像水平仪的读数值, 依次记为 M_{90} 、 M_{135} 、 M_{180} 、 M_{225} 、 M_{270} 、 M_{315} ;
- g) 分别计算四组天线座水平度差值的绝对值 $|M_0 - M_{180}|$ 、 $|M_{45} - M_{225}|$ 、 $|M_{90} - M_{270}|$ 和 $|M_{135} - M_{315}|$, 其中最大值即为该天线座水平度。

6.4.21 天线伺服扫描速度误差、加速度、运动响应

检查雷达是否具有软件工具, 进行天线伺服速度误差、加速度和运动响应的检查。

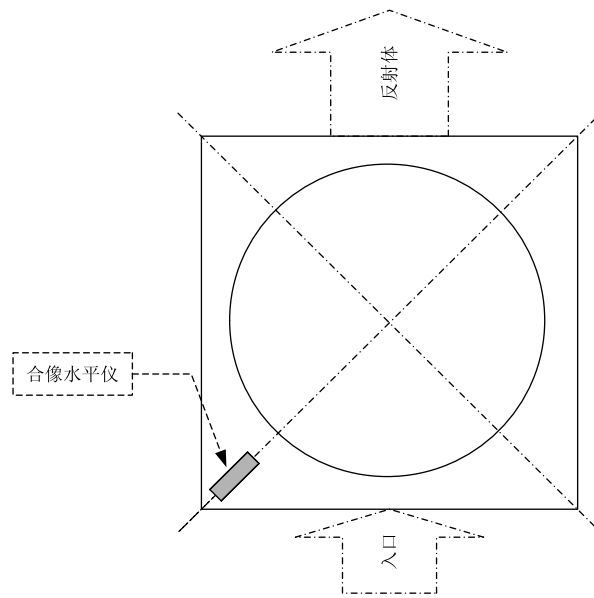


图 4 天线座水平度检查示意图

6.4.22 天线指向和接收链路增益

检查雷达是否具有太阳法工具,用于检查和标定天线指向和接收链路增益。

6.4.23 基数据方位角、俯仰角角码

随机抽样基数据并提取方位角和俯仰角角码,检查方位角相邻角码间隔是否不超过分辨力的 2 倍。检查同一仰角的俯仰角角码是否稳定在期望值 $\pm 0.2^\circ$ 的范围之内。

6.4.24 地物杂波抑制能力

基于雷达输出的地物杂波过滤前和过滤后的回波强度数据,统计和检查低俯仰角(如 0.5°)的地物杂波滤波能力。

6.4.25 最小可测回波强度

检查基数据在 60 km 处探测的最小回波强度,统计不少于 10 个体扫低俯仰角的回波强度以获得最小可测回波强度。统计方法为检查所有径向距离为 60 km 的回波强度值,或使用其他距离上的最小强度值换算成 60 km 的值。

6.4.26 终端软件运行平台

检查气象产品生成和显示软件运行的环境,是否满足以下要求:

- a) 软件基于工作站运行;
- b) 操作系统采用主流操作系统。

6.4.27 气象产品格式

检查气象产品格式文档或产品样例文件,格式是否满足文档要求。

6.4.28 产品交互方式

检查雷达终端软件是否能够以全自动和人机交互两种方式生成气象产品。

6.4.29 算法配置参数

检查主要的气象产品算法是否有可配置的参数。

6.4.30 资料处理能力

检查终端软件的资料处理能力,是否能够以实时在线和回放历史基数据两种方式处理资料,生成气象产品。

6.4.31 气象产品

操作演示检查。

6.4.32 产品显示

操作演示检查。

6.4.33 数据存储和传输

操作演示检查。

6.4.34 雷达组网

操作演示检查。

6.5 性能

6.5.1 雷达工作频率

按下列步骤进行测试:

- a) 按照雷达工作频率测试示意图(见图5)顺序连接测试设备;
- b) 开启发射机工作;
- c) 使用频谱仪测量雷达工作频率;
- d) 关闭发射机。

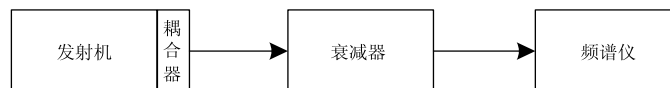


图5 雷达工作频率测试示意图

6.5.2 距离范围

使用雷达专用配套测试软件或工具检查雷达的输出数据文件。

6.5.3 角度范围

雷达采用PPI扫描的方式,检查雷达是否能在 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的范围内连续扫描;其次,控制天线俯仰角,检查雷达能够分别定位到 $-2^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 任意一个中间角度。

6.5.4 强度值范围

通过强度数据所采用的编码公式进行理论计算,或检查强度数据的输出范围是否满足区间 $-35\text{ dBz}\sim 75\text{ dBz}$ 的要求。

6.5.5 速度值范围

通过速度数据所采用的编码公式进行理论计算,或检查速度数据的输出范围是否满足区间 $-48\text{ m/s}\sim 48\text{ m/s}$ 的要求。

6.5.6 谱宽值范围

通过谱宽数据所采用的编码公式进行理论计算,或检查谱宽数据的输出范围是否满足区间 $0\text{ m/s}\sim 16\text{ m/s}$ 的要求。

6.5.7 距离定位误差

对于磁控管体制,应使用信号源将时间延迟的 $0.5\ \mu\text{s}$ 脉冲信号注入雷达接收机并按 75 m 距离分辨力进行处理,检查雷达输出的反射率数据中的测试信号是否位于与延迟时间相匹配的距离库上。

对于速调管体制和全固态体制,应使用信号源将时间延迟的 $0.33\ \mu\text{s}$ 脉冲信号注入雷达接收机并按 50 m 距离分辨力进行处理,检查雷达输出的反射率数据中的测试信号是否位于与延迟时间相匹配的距离库上。

6.5.8 方位角和俯仰角误差

6.5.8.1 测试方法

按下列步骤进行:

- a) 用合像水平仪检查并调整天线座水平;
- b) 设置正确的经纬度和时间;
- c) 开启太阳法测试;
- d) 记录测试结果。

6.5.8.2 数据处理

按下列步骤进行:

- a) 比较理论计算的太阳中心位置和天线实际检测到的太阳中心位置,计算和记录雷达方位角和俯仰角误差;
- b) 测试时要求太阳高度角在 $8^\circ\sim 50^\circ$ 之间,系统时间误差不大于 1 s ,天线座水平误差不大于 $60''$,雷达站经纬度误差不大于 $1''$;
- c) 连续进行 10 次太阳法测试,并计算标准差作为方位角和俯仰角的误差。

6.5.9 强度误差

6.5.9.1 测试方法

按下列步骤进行:

- a) 按照强度误差测试示意图(见图6)顺序连接测试设备;
- b) 设置信号源使接收机注入功率为 -40 dBm ;
- c) 根据雷达参数分别计算距离 10 km 、 30 km 和 60 km 的强度期望值,并记录;

- d) 读取强度测量值,并记录;
- e) 重复步骤 b)~d),分别注入-90 dBm~-50 dBm(步进 10 dBm)测试信号,记录对应的期望值与测量值。

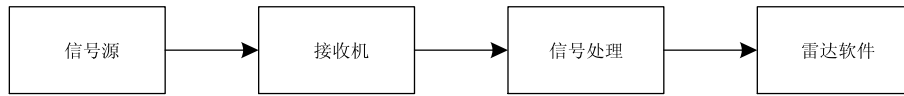


图 6 强度误差测试示意图

6.5.9.2 数据处理

按下列步骤进行:

- a) 计算反射率的期望值 Z_{exp} (分贝, dB),计算方法见式(3):

$$Z_{exp} = 10\lg[(2.69 \times 10^{16} \lambda^2) / (P_t \tau G^2 \theta \varphi)] + P_r + 20\lg R + L_{\Sigma} + RL_{at} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- λ —— 波长,单位为厘米(cm);
 - P_t —— 发射脉冲功率,单位为千瓦(kW),对于脉压体制雷达来说, P_t 为雷达峰值功率与脉压增益的乘积;
 - τ —— 脉宽,单位为微秒(μ s),对于脉压体制雷达来说, τ 为脉压后的脉宽;
 - G —— 天线增益,单位为分贝(dB);
 - θ —— 水平波束宽度,单位为度($^{\circ}$);
 - φ —— 垂直波束宽度,单位为度($^{\circ}$);
 - P_r —— 输入信号功率,单位为分贝毫瓦(dBm);
 - R —— 距离,单位为千米(km);
 - L_{Σ} —— 系统除大气损耗 L_{at} 外的总损耗(包括匹配滤波器损耗、收发支路总损耗和天线罩双程损耗),单位为分贝(dB);
 - L_{at} —— 大气损耗,单位为分贝每千米(dB/km)。
- b) 分别计算注入功率-90 dBm ~ -40 dBm(步进 10 dBm)对应的实测值和期望值之间的差值。
 - c) 选取所有差值中最大的值作为强度误差。

6.5.10 速度误差

6.5.10.1 测试方法

按下列步骤进行:

- a) 按照速度误差测试示意图(见图 7)顺序连接测试设备;

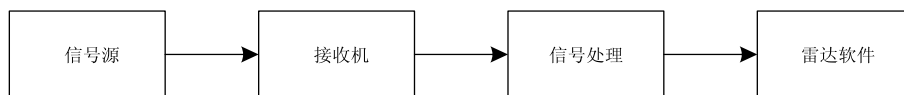


图 7 速度误差测试示意图

- b) 设置信号源输出功率-40 dBm,频率为雷达工作频率;
- c) 微调信号源输出频率,使读到的速度为 0 m/s,此频率记为 f_c ;
- d) 改变信号源输出频率为 $f_c - 1000$ Hz;
- e) 按 50 Hz 间隔,信号源输出频率从 $f_c - 1000$ Hz 到 $f_c + 1000$ Hz 步进,依次计算理论值 V_1 ,并

读取对应的显示值 V_2 ；

f) 关闭信号源。

6.5.10.2 数据处理

按下列步骤进行：

a) 计算径向速度理论值 V_1 (米每秒, m/s), 计算方法见式(4)：

$$V_1 = -(\lambda \times f_d) / 2 \dots\dots\dots(4)$$

式中：

λ —— 雷达波长, 单位为米(m)；

f_d —— 注入信号的频率与雷达工作频率 f_c 的差值, 单位为赫兹(Hz)。

b) 分别计算出 f_d 从 -1000 Hz 到 +1000 Hz (步进 50 Hz) 对应的 V_2 和 V_1 之间的差值。

c) 选取所有差值中绝对值最大的值作为速度误差。

6.5.11 谱宽误差

通过控制衰减器改变脉冲信号的幅度或其他方法生成期望谱宽的信号, 将该信号注入接收机并记录实测的谱宽值, 计算期望值和实测值之间的误差。

6.5.12 分辨力

方位角和俯仰角的分辨力通过角码记录文件检查, 其他通过基数据文件检查。

6.5.13 最小可测回波强度

检查基数据(1 μ s 脉冲(对于脉压体制来说, 指的是脉压后的脉宽), 脉冲采样个数为 32, 无地物滤波)在 60 km 处探测的最小回波强度, 统计不少于 10 个体扫低仰角的回波强度以获得最小可测回波强度。统计方法为检查所有径向距离为 60 km 的回波强度值(或者使用其他距离上的最小强度值换算成 60 km 的值), 获得 60 km 处最小的回波强度值即为雷达的最小可测回波强度。

6.5.14 相位稳定度

6.5.14.1 测试方法

按下列步骤进行：

a) 将发射机输出作为测试信号, 经过微波延迟线注入接收机；

b) 开启发射机工作；

c) 采集并记录连续 64 个脉冲的 I/Q 数据；

d) 关闭发射机。

6.5.14.2 数据处理

计算 I/Q 复信号的相位标准差, 作为相位噪声 φ_{PN} (度, $^\circ$), 计算方法见式(5)：

$$\varphi_{PN} = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

φ_i —— 第 i 个 I/Q 复信号的相位, 单位为弧度(rad)；

$\bar{\varphi}$ —— 相位 φ_i 的平均值, 单位为弧度(rad)。

6.5.15 地物杂波抑制能力

通过统计分析晴空的基础数据获得系统的地物抑制能力,基础数据中应该包含滤波前和滤波后的回波强度数据。统计基础数据低仰角(如 0.5°)回波的滤波能力,对于磁控管体制,超过 35 dB 的距离库数应不少于 50 个,对于速调管体制和全固态体制,超过 45 dB 的距离库数应不少于 50 个。

6.5.16 可靠性

使用一个或一个以上雷达不少于半年的运行数据,统计系统的可靠性,结果用平均故障间隔(MTBF)表示。

6.5.17 可维护性

使用一个或一个以上雷达不少于半年的运行数据,统计系统的可维护性,结果用平均修复时间(MTTR)表示。

6.5.18 天线型式

目测检查天线结构是否为中心馈电的旋转抛物面天线。

6.5.19 极化方式

目测检查天线馈源结构是否为水平极化方式。

6.5.20 天线波束宽度

6.5.20.1 测试方法

按下列步骤进行:

- 按照天线波束宽度测试示意图(见图8)顺序连接测试设备;
- 分别选择 0° 和 90° 切面(对水平极化天线等同于E和H面),频率分别设置为 9.3 GHz 、 9.4 GHz 、 9.5 GHz ;
- 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- 向右转动接收天线,每隔 0.01° 使用频谱仪测量并记录信号强度,直至 4.5° ;
- 从极化匹配点向左转动接收天线,每隔 0.01° 使用频谱仪测量并记录信号强度,直至 4.5° 。

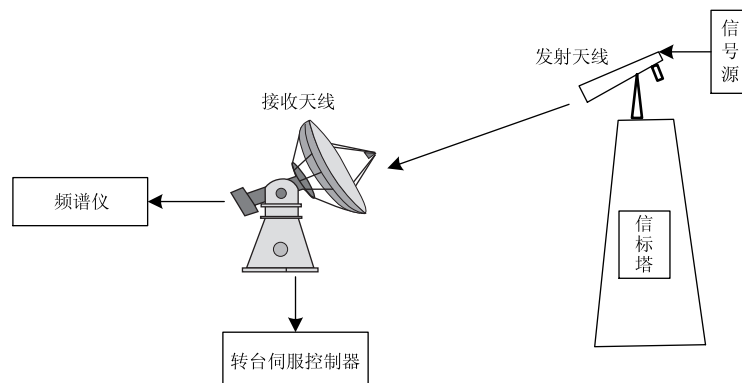


图8 天线波束宽度测试示意图

6.5.20.2 数据处理

将测量结果绘制成天线辐射方向图(见图 9),在最强信号(标注为 0 dB)两侧分别读取功率下降 3 dB 点所对应的角度值(θ_1 和 θ_2),两者之和作为天线波束宽度。

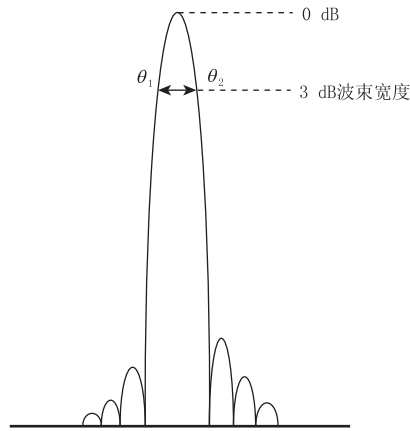


图 9 天线波束宽度测试结果示意图

6.5.21 天线旁瓣电平

6.5.21.1 测试方法

按下列步骤进行:

- 按照天线旁瓣电平测试示意图(见图 10)顺序连接测试设备;
- 分别选择 0° 和 90° 切面(对水平极化天线等同于 E 和 H 面),频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz、9.5 GHz;
- 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- 转动接收天线,用频谱仪记录天线功率频谱分布图。

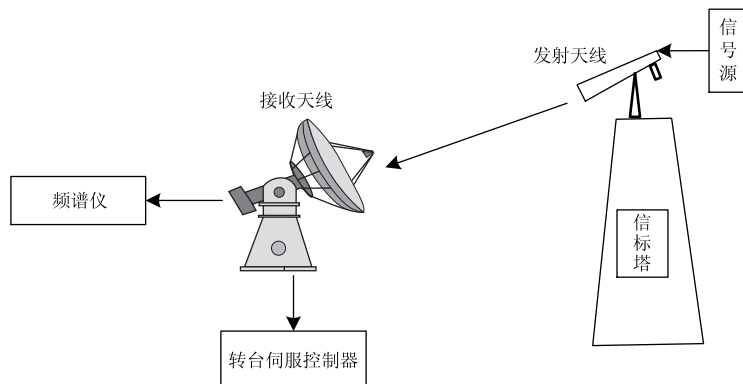


图 10 天线旁瓣电平测试示意图

6.5.21.2 数据处理

由天线功率频谱分布图测量主波束与第一旁瓣、远端旁瓣的功率差值即为天线旁瓣电平 S (分贝),

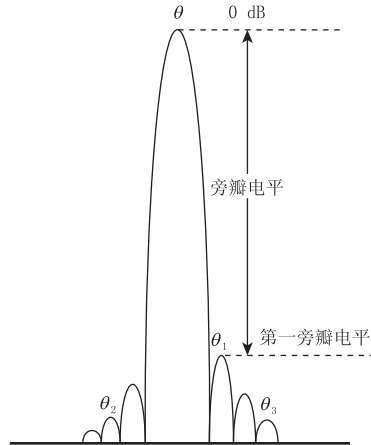
dB),测试结果示意图见图 11,计算方法见式(6):

$$S = L_{\theta} - L_{\theta_1} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

L_{θ} —— θ 处的电平值,单位为分贝毫瓦(dBm);

L_{θ_1} —— θ_1 处的电平值,单位为分贝毫瓦(dBm)。



说明:

θ ——对应于主瓣功率峰值处的角度,单位为度($^{\circ}$);

θ_1 ——对应于第一旁瓣功率峰值处的角度,单位为度($^{\circ}$);

θ_2 ——对应于第二旁瓣功率峰值处的角度,单位为度($^{\circ}$);

θ_3 ——对应于第三旁瓣功率峰值处的角度,单位为度($^{\circ}$)。

图 11 天线旁瓣电平测试结果示意图

6.5.22 天线功率增益

6.5.22.1 测试方法

按下列步骤进行:

a) 按照天线功率增益测试示意图(见图 12)顺序连接测试设备;

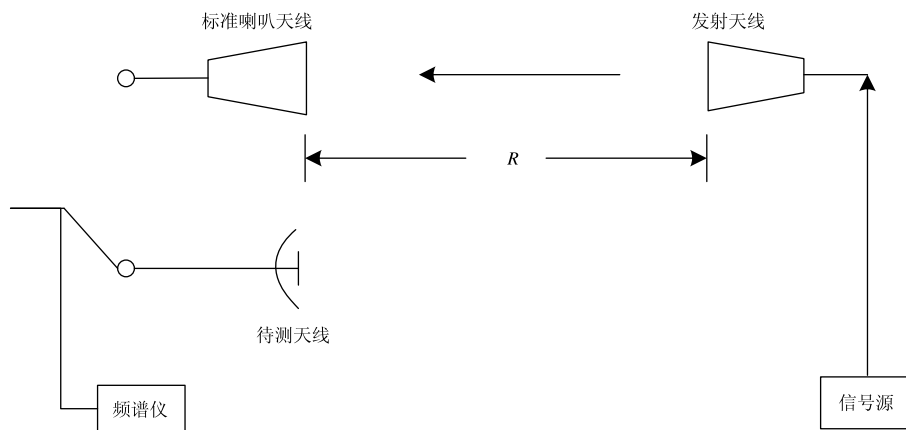


图 12 天线功率增益测试示意图

- b) 分别选择 0° 和 90° 切面(对水平极化天线等同于 E 和 H 面),频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz、9.5 GHz;
- c) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- d) 用频谱仪测量接收功率,并记为 P_1 ;
- e) 用标准喇叭天线(增益为 G_0)替换待测天线;
- f) 重复步骤 c)、d),读取频谱仪显示功率,并记为 P_2 。

6.5.22.2 数据处理

计算天线增益 G (分贝, dB),计算方法见式(7):

$$G = G_0 + P_1 - P_2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

G_0 ——标准喇叭天线增益,单位为分贝(dB);

P_1 、 P_2 ——含义见 6.5.22.1d)、f),单位为分贝毫瓦(dBm)。

6.5.23 天线口径

实际测量检查。

6.5.24 扫描方式

实际操作检查。

6.5.25 控制方式

实际操作检查。

6.5.26 控制字长

使用工具软件,检查天线位置指令的控制分辨率是否不大于 0.022° ,以证明控制字长不小于 14 位。

6.5.27 角码数据字长

检查天线返回角码的数据分辨率是否不大于 0.022° ,以证明角码字长不小于 14 位。

6.5.28 扫描速度及误差

按下列步骤进行测试:

- a) 运行雷达天线控制程序;
- b) 设置方位角转速为 $60(^\circ)/s$;
- c) 读取并记录天线伺服扫描方位角速度,计算误差;
- d) 设置俯仰角转速为 $36(^\circ)/s$ (或测试条件允许的最大转速);
- e) 读取并记录天线伺服扫描俯仰角速度,计算误差;
- f) 退出雷达天线控制程序。

6.5.29 扫描加速度

按下列步骤进行测试:

- a) 运行雷达天线控制程序;
- b) 控制天线方位角运动 180° ;
- c) 读取并计算天线伺服扫描方位角加速度;

- d) 控制天线俯仰角运动 90° ;
- e) 读取并计算天线伺服扫描俯仰角加速度;
- f) 退出雷达天线控制程序。

6.5.30 方位角和俯仰角控制误差

按下列步骤进行测试:

- a) 安装一个定向激光器在天线上,定向激光器的质量小到不能影响天线;
- b) 固定天线俯仰角为 0° ,然后设置方位角为 0° ;
- c) 记录激光光束打到墙上的标记点,记为 p_{orig} ,见图 13;
- d) 围绕这个圈画出平行线并找到圆心,测量激光器与 p_{orig} 之间的距离为 h (米,m);
- e) 天线方位角旋转 360° ;
- f) 记录激光光束打到墙上的标记点,记为 p_{rot_a} ;
- g) 将 p_{orig} 与 p_{rot_a} 之间的差定义为 d (米,m),计算角度误差 $\theta_{AZ}:\theta_{AZ} = \tan^{-1}(\frac{d}{h})$;
- h) 上述方式测量 10 次,将这 10 次数据的标准差定义为方位角控制误差;

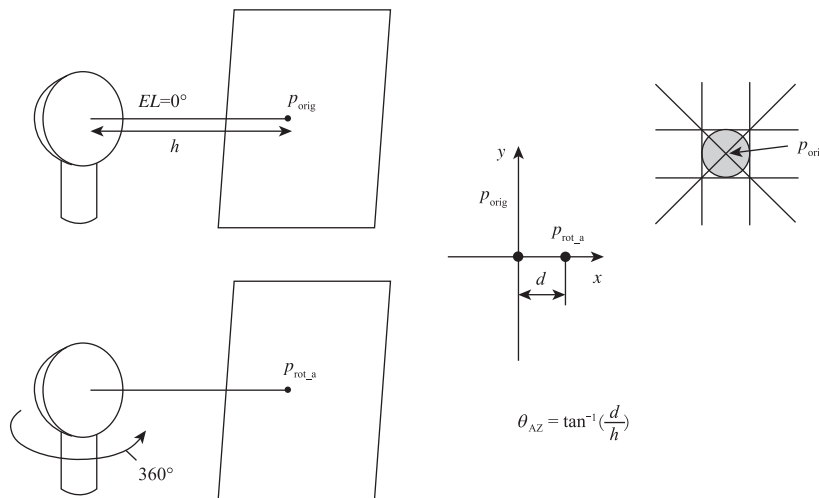


图 13 方位角控制误差测试示意图

- i) 固定天线方位角为 0° ,然后设置仰角为 0° ;
- j) 记录激光光束打到墙上的标记点,记为 p_{orig} ,见图 14;
- k) 围绕这个圈画出平行线并找到圆心,测量激光器与 p_{orig} 之间的距离为 h (米,m);
- l) 天线俯仰角转 90° ,再转 -90° ;
- m) 记录激光光束打到墙上的标记点,记为 p_{rot_e} ;
- n) 将 p_{orig} 与 p_{rot_e} 之间的差定义为 d' (米,m),计算角度误差 $\theta_{EZ}:\theta_{EZ} = \tan^{-1}(\frac{d'}{h})$;
- o) 上述方式测量 10 次,将这 10 次数据的标准差定义为俯仰角控制误差。

6.5.31 发射机脉冲功率

按下列步骤进行:

- a) 按照发射机脉冲功率测试框图(见图 15)顺序连接测试设备;
- b) 设置发射机的工作频率,给发射机加电;

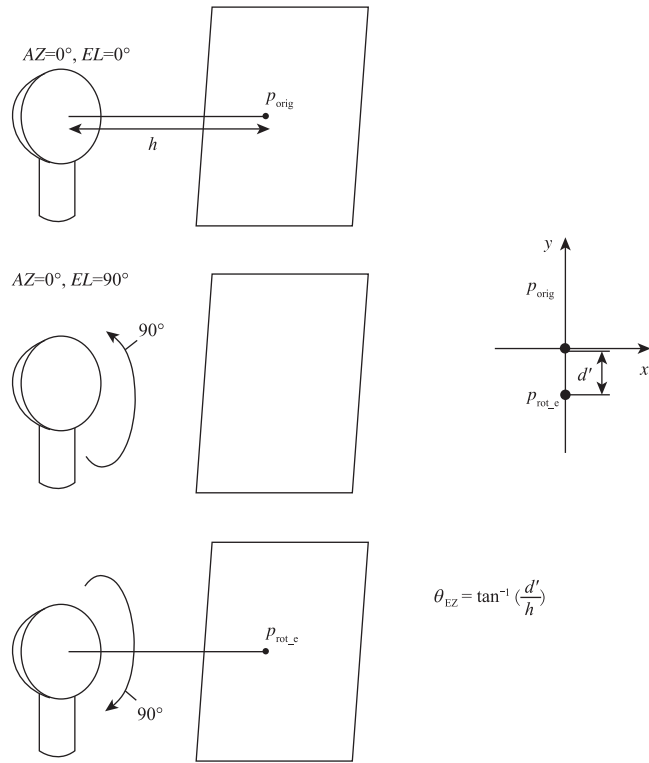


图 14 俯仰角控制误差测试示意图

- c) 开启发射机工作；
- d) 使用功率计测量并记录发射机脉冲峰值功率；
- e) 关闭发射机；
- f) 设置重复频率，读取功率值并记录。

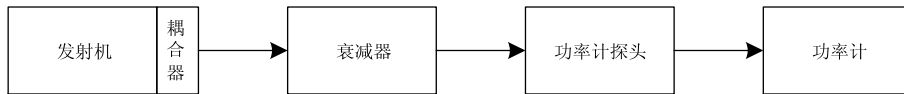


图 15 发射机脉冲功率测试框图

6.5.32 发射机脉冲宽度

按下列步骤进行：

- a) 按照发射机脉冲宽度测试框图(见图 16)顺序连接测试设备；

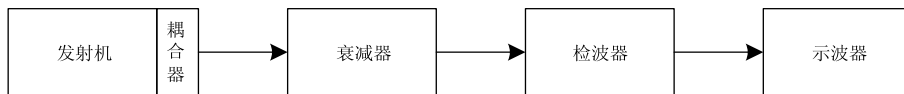


图 16 发射机脉冲宽度测试框图

- b) 设置发射机的工作频率，给发射机加电；
- c) 开启发射机工作；
- d) 使用示波器测量并记录发射机脉冲包络幅度 70%处宽度和脉冲周期；

- e) 关闭发射机；
- f) 设置重复频率,读取脉宽值并记录。

6.5.33 发射机频谱特性

按下列步骤进行：

- a) 按照发射机频谱特性测试示意图(见图 17)顺序连接测试设备；
- b) 设置发射机的工作频率,给发射机加电；
- c) 设置重复频率,读取频谱值并记录。

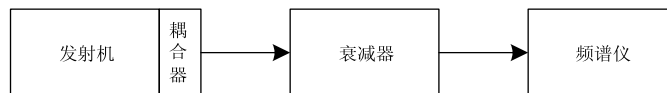


图 17 发射机频谱特性测试示意图

6.5.34 输出极限改善因子

6.5.34.1 测试方法

按下列步骤进行：

- a) 按照发射机输出极限改善因子测试示意图(见图 18)顺序连接测试设备；
- b) 运行测试软件,设置重复频率；
- c) 开启发射机工作；
- d) 读取发射机窄脉冲信号和噪声功率谱密度比值 R ；
- e) 根据公式计算极限改善因子 I 并记录；
- f) 关闭发射机；
- g) 退出测试软件。

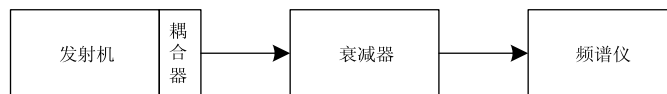


图 18 发射机输出极限改善因子测试示意图

6.5.34.2 数据处理

计算发射机输出极限改善因子 I (分贝, dB),计算方法见式(8)：

$$I = R + 10\lg B - 10\lg F \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- R ——发射机输出信号与噪声功率谱密度比值；
- B ——频谱仪设置的分析带宽,单位为赫兹(Hz)；
- F ——发射信号的脉冲重复频率,单位为赫兹(Hz)。

用频谱仪检测信号功率谱密度分布,读取信号和噪声的功率比值 R ,根据发射机信号的重复频率 F 、频谱仪设置的分析带宽 B ,计算出极限改善因子 I 。

6.5.35 占空比

按下列步骤进行：

- a) 按照占空比测试框图(见图 19)顺序连接测试设备；
- b) 设置发射机的工作频率,给上行发射机加电；
- c) 开启发射机工作；
- d) 使用示波器测量并记录发射机脉冲包络幅度 70%处宽度和脉冲周期；
- e) 关闭发射机；
- f) 设置重复频率,读取脉宽值并记录；
- g) 脉宽值与对应的重复频率相乘得到占空比。

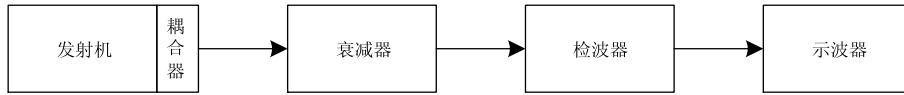


图 19 占空比测试框图

6.5.36 接收机噪声系数

6.5.36.1 测试方法

按下列步骤进行：

- a) 按照接收机噪声系数测试示意图(见图 20)顺序连接测试设备；
- b) 设置噪声系数分析仪,关闭噪声源输出；
- c) 运行雷达控制软件,记录冷态噪声功率 A_1 ；
- d) 设置噪声系数分析仪,打开噪声源输出；
- e) 记录热态噪声功率 A_2 ；
- f) 关闭噪声源输出,退出雷达控制软件。

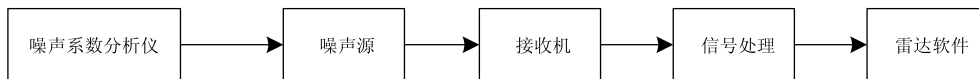


图 20 接收机噪声系数测试示意图

6.5.36.2 数据处理

计算接收机噪声系数 η_{NF} (分贝, dB),计算方法见式(9)：

$$\eta_{NF} = R_{ENR} - 10\lg\left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right) \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- R_{ENR} ——噪声源的超噪比,单位为分贝(dB)；
- A_1 ——冷态噪声功率,单位为毫瓦(mW)；
- A_2 ——热态噪声功率,单位为毫瓦(mW)。

6.5.37 接收机线性动态范围

6.5.37.1 测试方法

按下列步骤进行：

- a) 按照接收机线性动态范围测试示意图(见图 21)顺序连接测试设备；
- b) 运行雷达控制软件,设置为宽脉冲模式；

- c) 设置信号源输出功率-120 dBm,记录接收机输出功率值;
- d) 以 1 dBm 步进增加到 10 dBm,重复记录接收机输出功率值;
- e) 关闭信号源,退出雷达控制软件。

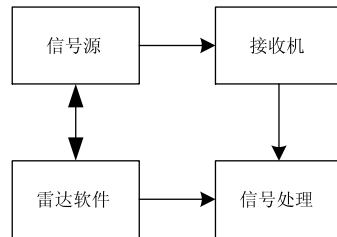


图 21 接收机线性动态范围测试示意图

6.5.37.2 数据处理

根据输入信号和接收机输出功率数据,采用最小二乘法进行拟合。由实测曲线与拟合直线对应点的输出数据差值不大于 1.0 dB 来确定接收机低端下拐点 and 高端上拐点,下拐点和上拐点所对应的输入信号功率值差值的绝对值为接收机线性动态范围。

6.5.38 接收机频率源本振相位噪声

按下列步骤进行测试:

- a) 按照频率源射频输出相位噪声测试示意图(见图 22)顺序连接测试设备;
- b) 打开频率源射频输出;
- c) 使用信号分析仪测量并记录射频输出信号 1 kHz 处的相位噪声值;
- d) 关闭频率源射频输出。

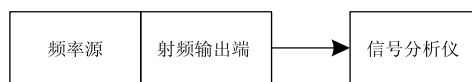


图 22 频率源射频输出相位噪声测试示意图

6.5.39 脉冲压缩比

6.5.39.1 测试方法

脉冲压缩比是脉冲压缩开启或关闭时信噪比 G (分贝, dB)之差。当脉冲压缩关闭时,测量的信号和噪声为 S_{off}, N_{off} ,其比值为 $R_{SN,off}$,测量信号和噪声水平。同样,当脉冲压缩开启时,测量的信号和噪声为 S_{on}, N_{on} ,其比值为 $R_{SN,on}$ 。这样,脉冲压缩比表示如下:

$$G = 10\lg(R_{SN,on}/R_{SN,off}) \dots\dots\dots(10)$$

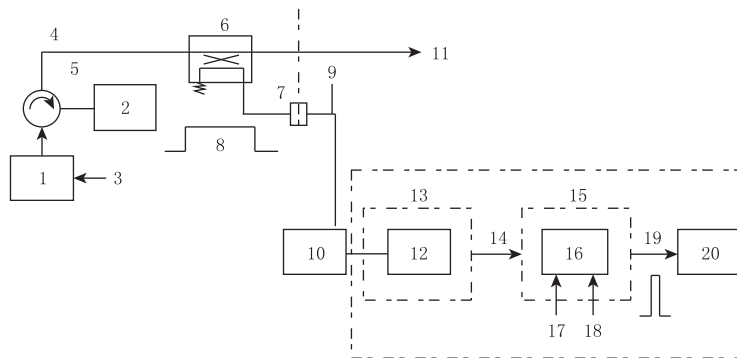
如表 2 所示,当脉冲压缩关闭时,信号处理器不使用基准信号和窗函数,脉冲压缩开启时才使用。在这个测量中包含了窗函数损耗,噪声要使用非输入状态的测量值。

表 2 脉冲压缩比测量设置

测量项	设置				备注
	脉冲压缩	发射功率	基准信号	窗函数	
S_{off}	OFF	ON	OFF	OFF	
N_{off}	OFF	OFF	OFF	OFF	
S_{on}	ON	ON	ON	ON	
N_{on}	ON	OFF	ON	ON	

6.5.39.2 测试框图

见图 23。



说明：

- | | |
|--------------|-------------|
| 1——发射机； | 11——到天线基座； |
| 2——等效负载； | 12——LNA； |
| 3——脉冲调制开关； | 13——接收机； |
| 4——波导； | 14——中频输出； |
| 5——波导切换开关； | 15——信号处理器； |
| 6——定向耦合器； | 16——脉冲压缩； |
| 7——发射机输出监测点； | 17——基准信号； |
| 8——发射脉冲； | 18——窗函数； |
| 9——测量电缆； | 19——接收到的信号； |
| 10——大功率衰减器； | 20——A 显。 |

图 23 脉冲压缩比测量框图

6.5.39.3 测试步骤

按下列步骤进行：

- 将发射机输出监测点的功率降至接收机动态范围内，通过大功率衰减器，连接到接收机的 LNA 上。整个过程输入信号的脉冲宽度、脉冲重复频率和调制方法相同。
- 关闭脉冲压缩，测量的信号和噪声为 S_{off} , N_{off} ，如图 24 所示，其比值为 $R_{SN,off}$ 。
- 开启脉冲压缩，测量的信号和噪声为 S_{on} , N_{on} ，如图 24 所示，其比值为 $R_{SN,on}$ 。
- 计算脉冲压缩比。

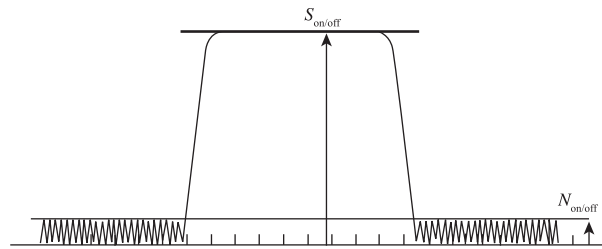
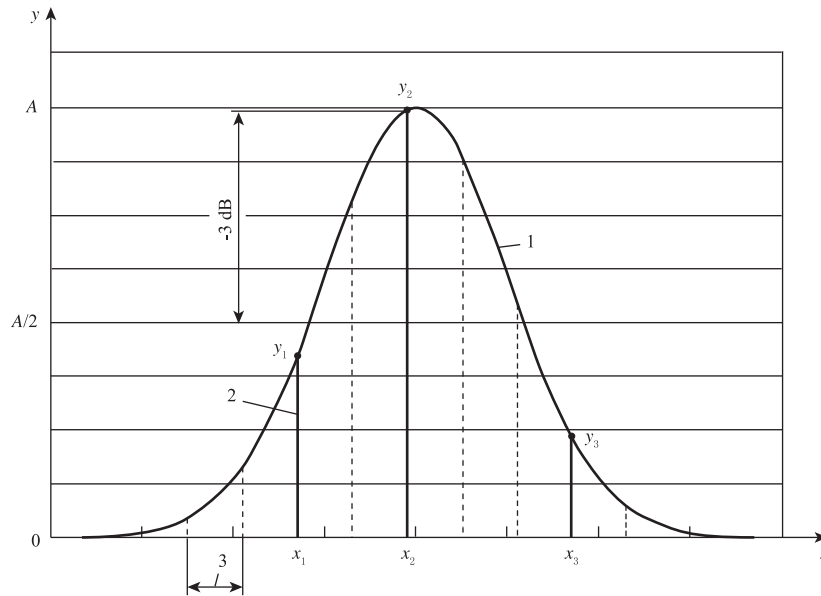


图 24 脉冲压缩比测量图

6.5.40 脉冲压缩后脉冲宽度

6.5.40.1 测试方法

对于脉冲压缩体制雷达,发射波形会通过升余弦进行波形修正以减少频谱扩散,接收波形也会通过窗函数来压缩距离副瓣,此时高斯函数可以很好地描述脉压后的波形,图 25 为接收信号采样示例。



说明:

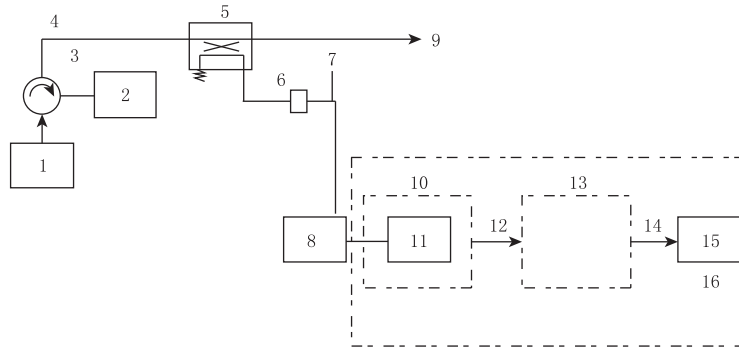
- 1——脉冲压缩后脉冲波形;
- 2——采样脉冲;
- 3——采样间隔。

图 25 接收信号采样波形

采样间隔小于脉冲宽度,此时将三个采样电平 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 带入高斯函数中可计算得到脉冲压缩后脉冲宽度。

6.5.40.2 测试框图

见图 26。



说明：

- | | |
|--------------|-------------|
| 1——发射机； | 9——天线基座； |
| 2——等效负载； | 10——接收机； |
| 3——波导切换开关； | 11——LNA； |
| 4——波导； | 12——中频输出； |
| 5——定向耦合器； | 13——信号处理器； |
| 6——发射机输出监测点； | 14——接收信号； |
| 7——测量电缆； | 15——A 显； |
| 8——大功率衰减器； | 16——测量脉冲宽度。 |

图 26 脉冲压缩后脉冲宽度测量框图

6.5.40.3 测试步骤

如图 26 所示，将大功率衰减器通过测量电缆连接至发射机输出监测点，并将其输出连接至接收机的 LNA 上，大功率衰减器的选择要保证将发射功率衰减至接收机动态范围内，发射机设置为长脉冲连续发射模式，计算公式如下：

接收信号波形可用高斯谱来描述，接收到的脉冲信号见式(11)：

$$y(x) = A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(11)$$

式中：

- x ——时间轴；
- A ——最大振幅；
- μ ——平均值；
- σ^2 ——为方差。

为了提高脉冲宽度估计精度， y_2 应接近峰值， y_1 、 y_3 应低于且逼近 y_2 下降 3 dB 后的值。

取自然对数：

$$\ln[y(x)] = \ln(A) - \frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \dots\dots\dots(12)$$

A, μ, σ^2 可由公式(13)、公式(14)、公式(15)计算得出：

$$\mu = \frac{\ln(\frac{y_3}{y_2})(x_1^2 - x_2^2) - \ln(\frac{y_2}{y_1})(x_2^2 - x_3^2)}{2[\ln(\frac{y_3}{y_2})(x_1 - x_2) - \ln(\frac{y_2}{y_1})(x_2 - x_3)]} \dots\dots\dots(13)$$

$$\sigma^2 = \frac{(x_1^2 - x_2^2) - 2\mu(x_1 - x_2)}{2\ln(\frac{y_2}{y_1})} \dots\dots\dots(14)$$

$$A = y_1 e^{\frac{(x_1 - \mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (15)$$

则脉冲压缩后脉冲宽度 τ_{pc} 为：

$$\tau_{pc} = 2(x_3 - \mu) \sqrt{\frac{3}{10\lg(A) - 10\lg(y_3)}} \dots\dots\dots (16)$$

6.5.41 距离库长度

查看雷达基数据文件。

6.5.42 距离库数

查看雷达基数据文件。

6.5.43 数据输出率

查看雷达 I/Q 数据文件，检查数据的距离分辨力。

6.5.44 处理模式

实际操作检查软件配置。

6.5.45 基数据格式

审阅基数据格式文档和基数据文件。

6.5.46 数据处理和质量控制

演示信号处理功能，并检查算法文档。

6.6 方舱与载车

方舱与载车的试验由厂家根据相关规定和标准进行试验，并提供报告。

6.7 环境适应性

6.7.1 一般要求

目视检查防护措施。

6.7.2 温度试验

室内、室外主要部件的温度环境适应能力试验方法按 GB/T 2423.1 第 5 章至第 6 章和 GB/T 2423.2 第 5 章至第 6 章的规定进行。

6.7.3 交变湿热试验

室内、室外主要部件以及室内部件的湿度环境适应能力试验方法按 GB/T 2423.4 第 6 章至第 10 章的规定进行。

6.7.4 抗风和冰雪载荷

使用专业仿真软件计算雷达的冰雪和风环境适应能力，并提供同样设计方案的雷达实际抗风能力的案例。

6.8 电磁兼容性

测量屏蔽体接地电阻并目视检查。

6.9 电源适应性

通过调整供电电压和频率检查。

6.10 互换性

在现场检验时,抽取不少于3个的组件或部件,进行互换测试。

6.11 安全性

现场演示检查和测量。

6.12 电气安全

现场演示检查和测量。

6.13 机械安全

现场演示检查。

6.14 噪声

距设备1 m处使用声压计测量。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为:

- a) 定型检验;
- b) 出厂检验;
- c) 现场检验。

7.2 检验设备

所使用的试验与检验设备应在检定有效期内。

7.3 检验项目

见附录B中表B.1。

7.4 定型检验

7.4.1 检验条件

定型检验在下列情况下进行:

- a) 新产品定型;
- b) 主要设计、工艺、组件和部件有重大变更。

7.4.2 判定规则

所有定型检验项目全部符合表 B.1 要求时,判定定型检验合格。

在检验过程中发现不符合要求时,应暂停检验。被检方应迅速查明原因,采取有效可靠措施纠正后,可继续进行检验,并应对相关检验合格项再次检验。同一项目若经二次检验仍不合格,则本次检验不合格。

7.5 出厂检验

所有出厂检验项目全部符合表 B.1 要求时,判定出厂检验合格。

在检验过程中发现不符合要求时,应暂停检验。被检方应迅速查明原因,采取有效可靠措施纠正后,可继续进行检验,并应对相关检验合格项再次检验。同一项目若经二次检验仍不合格,则本次检验不合格。

7.6 现场检验

所有现场检验项目全部符合表 B.1 要求时,判定现场检验合格。

在检验过程中发现不符合要求时,应暂停检验。被检方应迅速查明原因,采取有效可靠措施纠正后,可继续进行检验,并应对相关检验合格项再次检验。同一项目若经二次检验仍不合格,则本次检验不合格。

8 标志、标签和随行文件

8.1 产品标识

产品应包含下列标识:

- a) 生产厂商;
- b) 设备名称和型号;
- c) 出厂序列号;
- d) 出厂日期。

8.2 包装标识

产品包装应包含下列标识:

- a) 包装箱编号;
- b) 设备名称;
- c) 生产厂商;
- d) 外形尺寸;
- e) 毛重;
- f) “小心轻放”“向上”“怕湿”“堆码”等符合 GB/T 191—2008 第 2 章规定的标识。

8.3 随行文件

应包括但不限于以下内容:

- a) 产品合格证;
- b) 产品说明书;
- c) 产品电原理图;

- d) 装箱单；
- e) 随机备附件清单。

9 包装、运输和贮存

9.1 包装

应符合以下要求：

- a) 应符合陆地、空中或海上运输要求；
- b) 能满足一般震动、冲击和气压变化而无损坏的要求；
- c) 尺寸、重量和材料应符合 GB/T 13384—2008 第 3 章的要求；
- d) 每个包装箱内都有装箱单；
- e) 符合 GB/T 191—2008 第 2 章至第 4 章规定的标识。

9.2 运输

应符合以下要求：

- a) 运输过程中应做好剧烈震动、挤压、雨淋及化学物品侵蚀等防护措施；
- b) 搬运应轻拿轻放，码放整齐，严禁滚动和抛掷。

9.3 贮存

包装好的产品应贮存在环境温度 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度小于90%的室内，且周围无腐蚀性挥发物。

附 录 A
(资料性附录)
雷达自动上传基础参数

表 A.1 雷达自动上传基础参数表

序号	类别	上传参数	单位	备注
1	雷达静态参数	雷达站号		
2		站点名称		
3		站点纬度		
4		站点经度		
5		天线高度	m	馈源高度
6		地面高度	m	
7		雷达类型		
8		软件版本号		雷达数据采集和监控软件
9		雷达工作频率	MHz	
10		天线增益	dB	
11		波束宽度	°	
12		发射馈线损耗	dB	
13		接收馈线损耗	dB	
14		其他损耗	dB	
15	雷达运行模式参数	日期		
16		时间		
17		体扫模式		
18		控制权标识		本控、遥控
19		系统状态		正常、可用、需维护、故障、关机
20		上传状态数据格式版本号		
21	雷达运行环境参数	机房内温度	°C	
22		发射机温度	°C	
23		天线罩内温度	°C	
24		机房内湿度	%RH	
25		发射机湿度	%RH	
26		天线罩内湿度	%RH	
27	雷达在线定时标定参数	发射机输出信号标定期望值	dBz	
28		发射机输出信号标定测量值	dBz	
29		相位噪声	°	
30		滤波前功率	dBz	
31		滤波后功率	dBz	

表 A.1 雷达自动上传基础参数表(续)

序号	类别	上传参数	单位	备注
32	雷达在线实时标定参数	发射机峰值功率	kW	
33		发射机平均功率	W	
34		天线峰值功率	kW	
35		天线平均功率	W	
36		发射机功率调零值		
37		天线功率调零值		
38		发射机和天线功率差	dB	
39		窄脉冲噪声电平	dB	0.5 μ s
40		宽脉冲噪声电平	dB	1 μ s
41		水平通道噪声温度/系数	K/dB	
42		窄系统标定常数		0.5 μ s
43		宽系统标定常数		1 μ s
44		反射率期望值	dBz	
45		反射率测量值	dBz	
46		速度期望值	m/s	
47		速度测量值	m/s	
48		谱宽期望值	m/s	
49		谱宽测量值	m/s	
50		脉冲宽度	μ s	

附 录 B
(规范性附录)

检验项目、技术要求和试验方法

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法

序号	检验项目名称	技术要求 条文号	试验方法 条文号	鉴定检验	出厂检验	现场检验
5.1 组成部分						
1	组成	5.1	6.3	●	—	●
5.2 功能要求						
2	一般要求	5.2.1	6.4.1	●	●	●
3	扫描方式	5.2.2.1	6.4.2	●	●	●
4	观测模式	5.2.2.2	6.4.3	●	●	●
5	机内自检设备和监控	5.2.2.3	6.4.4	●	●	●
6	雷达及附属设备控制和维护	5.2.2.4	6.4.5	●	●	●
7	关键参数在线分析	5.2.2.5	6.4.6	●	●	●
8	实时显示	5.2.2.6	6.4.7	●	●	●
9	消隐功能	5.2.2.7	6.4.8	●	●	●
10	授时功能	5.2.2.8	6.4.9	●	●	●
11	强度标定	5.2.3.1a)	6.4.10	●	●	●
12	距离定位	5.2.3.1b)	6.4.11	●	●	●
13	发射机功率	5.2.3.1c)	6.4.12	●	●	●
14	速度	5.2.3.1d)	6.4.13	●	●	●
15	相位噪声	5.2.3.1e)	6.4.14	●	●	●
16	噪声电平	5.2.3.1f)	6.4.15	●	●	●
17	噪声系数	5.2.3.1g)	6.4.16	●	●	●
18	发射机功率、输出脉冲宽度、输出频谱	5.2.3.2a)	6.4.17	●	●	●
19	发射和接收支路损耗	5.2.3.2b)	6.4.18	●	—	●
20	接收机最小可测功率、动态范围	5.2.3.2c)	6.4.19	●	●	●
21	天线座水平度	5.2.3.2d)	6.4.20	●	—	●
22	天线伺服扫描速度误差、加速度、运动响应	5.2.3.2e)	6.4.21	●	—	●
23	天线指向和接收链路增益	5.2.3.2f)	6.4.22	●	—	●
24	基数据方位角、俯仰角角码	5.2.3.2g)	6.4.23	●	—	●
25	地物杂波抑制能力	5.2.3.2h)	6.4.24	●	—	●
26	最小可测回波强度	5.2.3.2i)	6.4.25	●	—	●
27	运行平台	5.2.4.1	6.4.26	●	●	●

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	鉴定检验	出厂检验	现场检验
28	气象产品格式	5.2.4.2	6.4.27	●	●	●
29	产品交互方式	5.2.4.3	6.4.28	●	●	●
30	算法配置参数	5.2.4.4	6.4.29	●	●	●
31	资料处理能力	5.2.4.5	6.4.30	●	●	●
32	气象产品	5.2.4.6	6.4.31	●	●	●
33	产品显示	5.2.4.7	6.4.32	●	●	●
34	数据存储和传输	5.2.5	6.4.33	●	●	●
35	雷达组网	5.2.6	6.4.34	●	●	●
5.3.1 总体技术指标						
36	雷达工作频率	5.3.1.1	6.5.1	●	—	—
37	距离范围	5.3.1.2	6.5.2	●	—	—
38	角度范围	5.3.1.3	6.5.3	●	—	—
39	强度值范围	5.3.1.4	6.5.4	●	—	—
40	速度值范围	5.3.1.5	6.5.5	●	—	—
41	谱宽值范围	5.3.1.6	6.5.6	●	—	—
42	距离定位误差	5.3.1.7a)	6.5.7	●	—	●
43	方位角和俯仰角误差	5.3.1.7b)、c)	6.5.8	●	—	●
44	强度误差	5.3.1.7d)	6.5.9	●	●	●
45	速度误差	5.3.1.7e)	6.5.10	●	●	●
46	谱宽误差	5.3.1.7f)	6.5.11	●	●	●
47	分辨力	5.3.1.8	6.5.12	●	—	—
48	灵敏度	5.3.1.9	6.5.13	●	—	●
49	相位稳定度	5.3.1.10	6.5.14	●	●	●
50	地物杂波抑制	5.3.1.11	6.5.15	●	—	●
51	可靠性	5.3.1.12a)	6.5.16	●	—	—
52	可维护性	5.3.1.12b)	6.5.17	●	—	—
5.3.2 天线和馈线分系统						
53	天线型式	5.3.2a)	6.5.18	●	—	—
54	极化方式	5.3.2b)	6.5.19	●	—	—
55	半功率波束宽度	5.3.2c)	6.5.20	●	●	—
56	旁瓣电平	5.3.2d)	6.5.21	●	●	—
57	功率增益	5.3.2e)	6.5.22	●	●	—
58	天线口径	5.3.2f)	6.5.23	●	—	—

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	鉴定检验	出厂检验	现场检验
5.3.3 转台和伺服分系统						
59	扫描方式	5.3.3a)	6.5.24	●	●	●
60	控制方式	5.3.3b)	6.5.25	●	●	●
61	控制字长	5.3.3c)	6.5.26	●	—	—
62	角码数据字长	5.3.3d)	6.5.27	●	—	—
63	扫描速度及误差	5.3.3e)	6.5.28	●	●	●
64	方位角和俯仰角加速度	5.3.3f)	6.5.29	●	●	●
65	伺服控制精度	5.3.3g)	6.5.30	●	●	●
5.3.4 发射分系统						
66	脉冲功率	5.3.4a)	6.5.31	●	●	●
67	脉冲宽度	5.3.4b)	6.5.32	●	●	●
68	发射频谱特性	5.3.4d)	6.5.33	●	●	●
69	输出极限改善因子	5.3.4e)	6.5.34	●	●	●
70	占空比	5.3.4f)	6.5.35	●	●	●
5.3.5 接收分系统						
71	噪声系数	5.3.5.1a)	6.5.36	●	●	●
72	线性动态范围	5.3.5.1b)	6.5.37	●	●	●
73	本振相位噪声	5.3.5.2	6.5.38	●	●	—
5.3.6 信号处理						
74	脉冲压缩比	5.3.6a)	6.5.39	●	—	—
75	脉冲宽度(脉压后)	5.3.6b)	6.5.40	●	—	—
76	距离库长度	5.3.6d)	6.5.41	●	—	—
77	距离库数	5.3.6e)	6.5.42	●	—	—
78	数据率	5.3.6f)	6.5.43	●	—	—
79	处理模式	5.3.6g)	6.5.44	●	—	—
80	基数据格式	5.3.6h)	6.5.45	●	—	—
81	数据质量控制	5.3.6i)	6.5.46	●	—	●
5.4 方舱与载车						
82	方舱与载车	5.4	6.6	●	—	—
5.5 环境适应性						
83	一般要求	5.5.1	6.7.1	●	—	●
84	温度试验	5.5.2	6.7.2	●	—	—
85	交变湿热试验	5.5.3	6.7.3	●	—	—

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	鉴定检验	出厂检验	现场检验
86	抗风和冰雪载荷	5.5.4	6.7.4	●	—	—
5.6 电磁兼容性						
87	电磁兼容性	5.6	6.8	●	—	—
5.7 电源适应性						
88	电源适应性	5.7	6.9	●	—	—
5.8 互换性						
89	互换性	5.8	6.10	●	—	—
5.9 安全性						
90	一般要求	5.9.1	6.11	●	—	●
91	电气安全	5.9.2	6.12	●	—	—
92	机械安全	5.9.3	6.13	●	—	—
5.10 噪声						
93	噪声	5.10	6.14	●	—	—
注:●为必检项目;—为不检查项目。						

参 考 文 献

- [1] GB/T 12648—1990 天气雷达通用技术条件
- [2] QX/T 461—2018 C波段多普勒天气雷达
- [3] 中国气象局. 中国气象局关于印发常规天气雷达功能规格需求书(X波段)的通知:气办发〔2011〕44号[Z],2011年10月24日发布
- [4] 中国气象局观测司. 观测司关于印发全固态X波段多普勒天气雷达功能规格需求书(试行)的通知:气测函〔2013〕330号[Z],2013年12月12日发布
- [5] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于气象雷达发展专项规划(2017—2020年)的批复:发改农经〔2017〕832号[Z],2017年5月2日发布
- [6] 中国气象局综合观测司. 观测司关于印发X波段双线偏振多普勒天气雷达系统功能规格需求书(第一版)的通知:气测函〔2019〕36号[Z],2019年3月25日发布
- [7] ISO/DIS 19926-1:2017 Meteorology—Weather radar
-

中华人民共和国
气象行业标准
X波段多普勒天气雷达
QX/T 524—2019

*

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
北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:880×1230 1/16 印张:3.25 字数:97.5千字
2020年1月第一版 2020年1月第一次印刷

*

书号:135029-6094 定价:48.00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