



# 中华人民共和国气象行业标准

QX/T 610—2021

---

## X 波段双偏振多普勒天气雷达

X-band dual polarization Doppler weather radar

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 .....	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 .....	5
5.4 方舱与载车 .....	11
5.5 环境适应性 .....	12
5.6 电磁兼容性 .....	12
5.7 电源适应性 .....	12
5.8 互换性 .....	13
5.9 安全性 .....	13
5.10 噪音 .....	13
6 试验方法 .....	13
6.1 试验环境条件 .....	13
6.2 试验仪表和设备 .....	14
6.3 组成 .....	15
6.4 功能 .....	15
6.5 性能 .....	18
6.6 方舱与载车 .....	43
6.7 环境适应性 .....	43
6.8 电磁兼容性 .....	43
6.9 电源适应性 .....	43
6.10 互换性 .....	43
6.11 安全性一般要求 .....	43
6.12 电气安全 .....	43
6.13 机械安全 .....	43
6.14 噪音 .....	43
7 检验规则 .....	44
7.1 检验分类 .....	44
7.2 检验设备 .....	44
7.3 检验项目 .....	44
7.4 定型检验 .....	44
7.5 出厂检验 .....	44
7.6 现场检验 .....	45

8 标识、标签和随行文件 .....	45
8.1 产品标识 .....	45
8.2 包装标识 .....	45
8.3 随行文件 .....	45
9 包装、运输和贮存 .....	46
9.1 包装 .....	46
9.2 运输 .....	46
9.3 贮存 .....	46
附录 A(资料性) 雷达自动上传基础参数 .....	47
附录 B(规范性) 检验项目 .....	50
参考文献 .....	55

## 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：中国气象局气象探测中心、北京敏视达雷达有限公司、安徽四创电子股份有限公司、广东省阳江市气象局、内蒙古自治区大气探测技术保障中心、贵州省大气探测技术与保障中心。

本文件主要起草人：邵楠、步志超、李斐斐、郝立勇、王砚舟、郭泽勇、陈士英、胡学英、杨亭。



# X 波段双偏振多普勒天气雷达

## 1 范围

本文件规定了地基固定式和移动式 X 波段双偏振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、运输和储存等。

本文件适用于地基固定式、移动式 X 波段速调管和全固态两种体制双偏振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—2008 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 2423.4 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(12 h+12 h 循环)

GB/T 3784 电工术语 雷达

GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件

GB/T 21714 雷电保护

## 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

#### 双偏振 dual polarization

通过发射水平和垂直两种偏振方式的电磁波并接收经过大气中云滴、雨滴、冰晶、雪花等粒子后向散射的电磁波,反演大气中云滴、雨滴、冰晶、雪花等粒子的偏振物理属性的技术。

[来源:QX/T 462—2018,3.1,有修改]

### 3.2

#### 同相正交数据 in-phase and 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。

[来源:QX/T 462—2018,3.2]

### 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和雷达参数经信号处理算法得到的数据。

[来源:QX/T 462—2018,3.3]

### 3.4

#### 气象产品 meteorological product

对基数据进行算法处理获得的表示雷达气象特征的数据、图像、文字等信息。

[来源:QX/T 462—2018,3.4]

### 3.5

#### 最小可测回波强度 minimum detectable echo intensity

雷达在一定距离上能够探测到的最小反射率因子。

注:用来衡量雷达探测弱回波的能力,通常以 50 km 处能探测到的最小回波值(单位:dBZ)作为参考值。

[来源:QX/T 462—2018,3.5,有修改]

### 3.6

#### 脉冲压缩 pulse compression

在发射端发射已调制的宽脉冲,而在接收端用互相关解调的方式将宽脉冲信号压缩为窄脉冲,以提高雷达信噪比和距离分辨力的技术。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

A/D:模拟—数字(Analog to Digital)

I/Q:同相正交(In-phase and Quadrature)

MTBF:平均故障间隔(Mean Time Before Failure)

MTTR:平均修复时间(Mean Time To Repair)

PPI:平面位置显示器(Plane Position Indicator)

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

RHI:距离高度显示器(Range-Height Indicator)

SCR:信杂比(Signal to Clutter Ratio)

SQI:信号质量指数(Signal Quality Index)

WRA:天气雷达可用性(Weather Radar Availability)

## 5 通用要求

### 5.1 组成

X 波段双偏振多普勒天气雷达根据架设方式不同,分为固定式和移动式,主要由天线罩、天馈线系统、伺服系统、发射机、接收机、信号处理器、监控与显示终端、移动平台和附属设备等组成。

### 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、基数据和气象产品三级数据。



## 5.2.2 控制和监控

### 5.2.2.1 扫描方式

应具有下列功能：

- 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以及单偏振和双偏振模式等可通过软件设置；
- 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

应具有下列功能：

- a) 具有晴空、降水、强降水等预制观测模式,体扫周期不大于 6 min,并能根据天气实况自动转换观测模式；
- b) 能根据用户指令,对指定区域的风暴采用适当的观测模式进行跟踪观测；
- c) 能按照设定的阈值自动切换观测模式,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,对台风等强降水启动强降水观测模式等。

### 5.2.2.3 监测

应具有下列功能。

- a) 本地、远程在线监测显示雷达自动测试结果、上传基础参数,其中基础参数包括但不限于:雷达静态参数、雷达运行模式参数、雷达在线定时标定参数、雷达在线实时标定参数等(参见附录 A 中表 A.1)。
- b) 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。
- c) 雷达机内测试设备能实时监测对雷达工作有影响的因素,并根据影响情况分为有影响和严重影响两类,分别对应于系统报警和自动停机报警两种,同时自动存储和上传工作状态和系统报警。
- d) 对于固定式雷达,具有本地、远程视频监控雷达机房、天线罩内部、雷达站四周环境功能,并对雷达运行环境及附属设备状态参数进行在线采集、监测、显示并记录上传,上传参数包括但不限于机房温湿度、发射机温湿度、天线罩温湿度。对于移动式雷达,根据实际情况,进行监测。

### 5.2.2.4 控制

应具有下列功能。

- a) 具有本地、远程监视和遥控能力,并能远程开关机,远程控制项目与本地相同,远程控制雷达包括控制开关机、观测模式切换、查看标定结果、修改适配参数等。
- b) 雷达系统能进行本地和远程软件升级,并支持远程运行与维护,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、动态范围和噪声系数等进行测试,控制天线进行运行测试、天线指向精度检查等。
- c) 雷达具备组网协同控制功能(可扩展),预留接收协同控制的指令接口,能够通过网络控制雷达扫描策略。组网协同控制中心按照一定的协议规范获取各雷达的配置信息和状态信息,通过 TCP/IP 或 UDP 协议实现对组网中各部雷达的远程控制。

#### 5.2.2.5 关键参数在线分析

应具有下列功能：

- a) 支持对雷达关键运行参数在线分析能力,包括对线性通道增益定标目标常数、连续波测试信号、射频驱动测试信号、检查信号增益定标目标常数、发射机输出测试信号等关键参数稳定性和最大偏离度的分析;
- b) 对监测的所有实时参数超限告警提示;
- c) 支持监测参数和分析结果存储、回放、统计分析等。

#### 5.2.2.6 消隐

可应用不少于 8 个的消隐区。

#### 5.2.2.7 授时

能通过卫星授时或网络授时校准控制计算机时间,授时精度优于 0.1 s。

### 5.2.3 标定和检查

#### 5.2.3.1 自动

应具有下列功能：

- a) 具备专用参数测试平台,实现自动测试功能,通过软件控制外接仪表,根据预先设置的测试程序,自动完成雷达各项参数的测试和存储;
- b) 标定的结果能够自动修正因器件、电缆、环境温度等变化带来的系统偏差,提高双偏振量的探测精度,内容包括强度标定、距离定位、发射机功率、速度、相位噪声、噪声电平、噪声温度/系数、接收通道增益差和接收通道相位差。

#### 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,
- j) 差分反射率标定。

### 5.2.4 气象产品质控、生成和显示

#### 5.2.4.1 气象产品质控

应具有下列功能：

- a) 接收信号处理器输出的基数据并质控;
- b) 能进行滤波、杂波校正因子(CCOR)门限、电磁干扰抑制、速度退模糊、距离退模糊、异常回波

标记等。

#### 5.2.4.2 气象产品生成

生成的气象产品应包括但不限于以下所列。

- a) 基本气象产品:平面位置显示、距离高度显示、等高平面位置显示、垂直剖面、组合反射率因子,其中平面位置显示、距离高度显示和垂直剖面支持显示双偏振量。
- b) 物理量产品:回波顶高、垂直累积液态水含量、累积降水量。
- 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、龙卷涡旋特征识别、风暴结构分析。
- d) 风场反演产品:速度方位显示、垂直风廓线、风切变。
- e) 双偏振反演产品:粒子相态识别、融化层识别、双偏振定量降水估测和滴谱反演。

#### 5.2.4.3 气象产品格式

应满足相关气象产品格式标准和规范要求。

#### 5.2.4.4 气象产品显示

应具有下列功能:

- 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) 产品图像能叠加可编辑的地理信息及符号产品;
- d) 色标等级不少于 16 级;
- e) 产品图像能矢量缩放、移动、动画显示等;
- f) 鼠标获取地理位置、高度和数据值等信息。

#### 5.2.5 数据存储和传输

应具有下列功能:

- a) 支持多路存储和分类检索;
- b) 数据传输支持传输控制协议/因特网互联协议(TCP/IP 协议)或 UDP 网络协议;
- c) 支持压缩传输和存储;
- d) 支持基数据逐径向以数据流方式传输;
- e) 气象产品存储支持数据文件和图像两种输出方式。

### 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

按需要在 X 波段 9.3 GHz~9.5 GHz 内选取。

##### 5.3.1.2 雷达预热开机时间

应满足下列要求:

- a) 全固态体制:应不大于 5 min;
- b) 速调管体制:应不大于 13 min。

### 5.3.1.3 双偏振工作模式

雷达应选定下列工作模式之一：

- a) 水平、垂直偏振同时发射和接收,并可水平偏振发射、水平和垂直偏振同时接收；
- b) 水平偏振和垂直偏振交替发射和接收。

### 5.3.1.4 测量范围

#### 5.3.1.4.1 距离范围

应满足下列要求：

- a) 盲区距离:不大于 500 m；
- b) 强度距离:警戒不小于 150 km,定量不小于 75 km；
- c) 速度距离:不小于 75 km；
- d) 谱宽距离:不小于 75 km；
- e) 差分反射率因子距离:不小于 75 km；
- f) 相关系数距离:不小于 75 km；
- g) 差分传播相移距离:不小于 75 km；
- h) 差分传播相移率距离:不小于 75 km；
- i) 退偏振比距离:不小于 75 km；
- j) 高度距离:不小于 20 km。

#### 5.3.1.4.2 角度范围

应满足下列要求：

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

#### 5.3.1.4.3 强度值范围

$-15\text{ dBZ}\sim 80\text{ dBZ}$ 。

#### 5.3.1.4.4 速度值范围

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

#### 5.3.1.4.5 谱宽值范围

$0\text{ m/s}\sim 16\text{ m/s}$ 。

#### 5.3.1.4.6 差分反射率因子值范围

$-7.9\text{ dB}\sim 7.9\text{ dB}$ 。

#### 5.3.1.4.7 相关系数值范围

$0\sim 1.0$ 。

#### 5.3.1.4.8 差分传播相移值范围

$-180^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 。

## 5.3.1.4.9 差分传播相移率值范围

$-2(^{\circ})/\text{km}\sim 10(^{\circ})/\text{km}$ 。

## 5.3.1.4.10 退偏振比值范围

$-44\text{ dB}\sim 6\text{ dB}$ 。

## 5.3.1.5 测量误差

应满足下列要求：

- a) 距离定位:不大于 75 m;
- b) 方位角:不大于  $0.1^{\circ}$ ;
- c) 俯仰角:不大于  $0.1^{\circ}$ ;
- 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;
- g) 差分反射率因子:不大于 0.2 dB;
- h) 相关系数:不大于 0.01;
- i) 差分传播相移:不大于  $3^{\circ}$ ;
- j) 退偏振比:不大于 0.3 dB。

## 5.3.1.6 分辨力

应满足下列要求：

- a) 距离:不大于 75 m;
- b) 方位角:不大于  $0.03^{\circ}$ ;
- c) 俯仰角:不大于  $0.03^{\circ}$ ;
- 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;
- g) 差分反射率因子:不大于 0.1 dB;
- h) 相关系数:不大于 0.005;
- i) 差分传播相移:不大于  $0.1^{\circ}$ ;
- j) 差分传播相移率:不大于  $0.1(^{\circ})/\text{km}$ ;
- k) 退偏振比:不大于 0.1 dB。

## 5.3.1.7 最小可测回波强度

双偏振工作模式下,在 100 km 处可探测的最小回波强度不大于 8 dBZ。

## 5.3.1.8 相位噪声

不大于  $0.2^{\circ}$ 。

## 5.3.1.9 地物杂波抑制能力

不小于 50 dB。

#### 5.3.1.10 天馈系统电压驻波比

不大于 1.5。

#### 5.3.1.11 发射和接收支路损耗

应符合下列要求：

- a) 水平和垂直通道发射支路损耗差异不大于 0.2 dB；
- b) 水平和垂直通道接收支路损耗差异不大于 0.2 dB。

#### 5.3.1.12 相位编码

相位编码技术对二次回波的恢复比例不低于 60%。

#### 5.3.1.13 整机功耗

不大于 3 kW。

#### 5.3.1.14 可靠性

应满足下列要求：

- a) 全固态体制 MTBF:应不小于 2000 h；
- b) 速调管体制 MTBF:应不小于 1000 h。

#### 5.3.1.15 可维护性

MTTR 不大于 0.5 h。

#### 5.3.1.16 可用性

WRA 不小于 95%。

### 5.3.2 天线罩

应满足下列要求：

- a) 采用随机分块的刚性截球状型式；
- b) 具有良好的耐腐蚀性能和较高的机械强度,并进行疏水涂层处理；
- c) 直径不小于 4 m；
- d) 水平和垂直极化的双程射频损失均不大于 0.6 dB(功率)；
- e) 水平和垂直极化的引入波束偏差(指向偏移角)均不大于 0.05°；
- f) 水平和垂直极化的引入波束展宽均不大于 0.05°；
- g) 引入的交叉极化隔离度影响不大于 1 dB。

### 5.3.3 天线

应满足下列要求：

- a) 采用中心馈电旋转抛物面型式；
- b) 采用水平线极化和垂直线极化方式；
- c) 功率增益水平和垂直极化均不小于 44 dB,偏差 不大于 0.3 dB；
- d) 波束宽度水平和垂直极化均不大于 1°；
- e) 双极化波束宽度差异在 3 dB 处 不大于 0.05°；

- f) 双极化波束指向一致性优于  $0.05^\circ$ ;
- g) 旁瓣电平应满足第一旁瓣电平不大于  $-29$  dB,远端旁瓣电平( $\pm 10^\circ$ 以外)不大于  $-35$  dB;
- h) 交叉极化隔离度不小于  $35$  dB;
- i) 双极化正交度为  $90^\circ \pm 0.03^\circ$ 。

#### 5.3.4 伺服系统

##### 5.3.4.1 扫描方式

应支持平面位置显示、距离高度显示、体扫、扇扫和任意指向扫描方式。

##### 5.3.4.2 扫描速度及误差

应满足下列要求:

- a) 方位角最大扫描速度不小于  $36^\circ/\text{s}$ ,误差不大于  $5\%$ ;
- b) 俯仰角最大扫描速度不小于  $12^\circ/\text{s}$ ,误差不大于  $5\%$ 。

##### 5.3.4.3 扫描加速度

方位角和俯仰角扫描最大加速度均不小于  $15^\circ/\text{s}^2$ 。

##### 5.3.4.4 控制方式

支持下列三种控制方式:

- a) 全自动,
- b) 人工干预自动,
- c) 手动。

##### 5.3.4.5 角度控制误差

方位角和俯仰角度控制误差均优于  $0.1^\circ$ (最大差值)。

##### 5.3.4.6 天线空间指向误差

方位角和俯仰角度指向误差均优于  $0.1^\circ$ (最大差值)。

##### 5.3.4.7 控制字长

不小于  $14$  bit。

##### 5.3.4.8 角码数据字长

不小于  $14$  bit。

#### 5.3.5 发射机

##### 5.3.5.1 脉冲峰值功率

应满足下列要求:

- a) 全固态体制:不小于  $200$  W;
- b) 速调管体制:不小于  $75$  kW。

##### 5.3.5.2 脉冲宽度

应满足下列要求:

- a) 全固态体制:  $0.5 \mu\text{s} \sim 200 \mu\text{s}$ (可选);
- b) 速调管体制:  $0.5 \mu\text{s}, 1.0 \mu\text{s}$ 。

#### 5.3.5.3 脉冲重复频率

500 Hz~2000 Hz。

#### 5.3.5.4 发射机输出极限改善因子和频谱特性

应满足下列要求:

- a) 发射机输出极限改善因子: 不小于 50 dB;
- b) 频谱特性: 发射频谱 -40 dB 处谱宽不大于  $\pm 15$  MHz。

#### 5.3.5.5 功率波动

24 h 功率检测的波动范围应满足下列要求:

- a) 机内: 不大于 0.4 dB;
- b) 机外: 不大于 0.3 dB。

### 5.3.6 接收机

#### 5.3.6.1 最小可测功率

应满足下列要求:

- a) 水平和垂直接收通道脉宽  $1.0 \mu\text{s}$  时, 最小可测功率不大于 -110 dBm;
- b)  $0.5 \mu\text{s}$  时, 最小可测功率不大于 -107 dBm。

#### 5.3.6.2 噪声系数

水平和垂直接收通道均不大于 3 dB, 且差异不大于 0.3 dB。

#### 5.3.6.3 线性动态范围

水平和垂直接收通道均不小于 95 dB, 拟合直线斜率应在  $1.000 \pm 0.015$  范围内, 均方差不大于 0.5 dB。

#### 5.3.6.4 数字中频 A/D 位数

不小于 16 位。

#### 5.3.6.5 数字中频采样速率

大于 40 MHz 或根据系统要求确定。

#### 5.3.6.6 接收机带宽

接收机带宽应与脉宽相匹配(根据系统要求确定)。

#### 5.3.6.7 频率源射频输出相位噪声

应满足下列要求:

- a) 1 kHz 不大于 -110 dBc/Hz;
- b) 10 kHz 不大于 -115 dBc/Hz。



#### 5.3.6.8 频率源射频输出极限改善因子

不小于 52 dB。

#### 5.3.6.9 温度控制精度(采用恒温接收机)

±2 °C 范围内(工作温度点)。

### 5.3.7 信号处理

#### 5.3.7.1 一般要求

全固态体制,脉冲压缩主副瓣比应满足下列要求:

- a) 脉压比大于或等于 100 时,不小于 40 dB;
- b) 脉压比小于 100 时,不小于 35 dB。

#### 5.3.7.2 数据输出率

不低于脉冲宽度和接收机带宽匹配值。

#### 5.3.7.3 处理模式

信号处理宜采用通用服务器软件化设计。

#### 5.3.7.4 基数据格式

满足相关标准和规范要求,数据中包括元数据信息、双通道在线标定记录、观测数据、水平和垂直通道的信噪比和实时杂波识别信息等。

#### 5.3.7.5 数据处理和质量控制

应具有下列算法和功能:

- a) 采用相位编码或其他过滤和恢复能力相当的方法退距离模糊;
- b) 采用脉冲分组双 PRF 方法或其他相当方法退速度模糊,采用脉冲分组双 PRF 方式时,每个脉冲组的采样空间不大于天线波束宽度的 1/2;
- c) 采用先动态识别再进行自适应频域滤波的方法进行杂波过滤;
- d) 采用多阶相关算法计算相关系数;
- e) 风电杂波抑制和恢复;
- f) 电磁干扰过滤;
- g) 可配置信号强度、SQI、SCR 等质量控制门限。

### 5.4 方舱与载车

应满足下列要求:

- a) 载车具有调平装置和定位经纬度、海拔高度的功能;
- b) 适应野外全天候工作;
- c) 配备发电机组;
- d) 方舱具有防雨、防尘、防腐措施;
- e) 方舱采取屏蔽和隔热措施;
- f) 方舱配备空调;

- g) 方舱具有逃生出口,并配备消防器材;
- h) 方舱与载车能够满足公路运输的标准;
- i) 防雷满足 GB/T 21714 系列标准的要求。

## 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) 天线罩内:−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) 天线罩内:15%~95%,无凝露。

### 5.5.4 天线罩抗风和冰雪载荷

应满足下列要求:

- a) 抗持续风能力不低于 55 m/s;
- b) 抗阵风能力不低于 60 m/s;
- c) 抗冰雪载荷能力不小于 220 kg/m<sup>2</sup>。

### 5.5.5 移动式雷达抗风能力

应满足下列要求:

- a) 工作状态:不低于 20 m/s;
- b) 非工作状态:不低于 30 m/s。

## 5.6 电磁兼容性

应满足下列要求:

- a) 具有足够的抗干扰能力,不因其他设备的电磁干扰而影响工作;
- b) 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使用不同的接地网;
- c) 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。

## 5.7 电源适应性

应满足下列要求。

- a) 单相 AC 220 V±22 V 或者三相 AC 380 V±38 V,50 Hz±2.5 Hz。
- b) 配备 UPS 和发电设备,市电不适用时,可自动转换到发电设备供电。电压不稳的雷达站增加

配备稳压设备。

## 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,并保证雷达正常工作。

## 5.9 安全性

### 5.9.1 一般要求

应满足下列要求:

- a) 使用对环境无污染、不损害人体健康和设备性能的材料;
- b) 保证人员及雷达的安全。

### 5.9.2 电气安全

应满足下列要求:

- a) 电源线之间及与大地之间的绝缘电阻大于 1 M $\Omega$ ;
- b) 电压超过 36 V 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在防护装置被去除或打开后自动切断;
- e) 存在微波泄漏处有警示标识;
- f) 配备紧急断电保护开关;
- g) 天线罩门打开时,自动切断天线伺服供电。

### 5.9.3 机械安全

应满足下列要求:

- 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时,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;
- f) 室内与天线罩内之间有通信设备。

## 5.10 噪音

发射机和接收机所在设备房内的噪音应低于 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  $^{\circ}\text{C}$  ~ 25  $^{\circ}\text{C}$ ,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  $^{\circ}\text{C}$  ~ 35  $^{\circ}\text{C}$ ,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

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~13 GHz 输出功率: -135 dBm~21 dBm
2	频谱仪	频率:10 MHz~13 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: -35dBm~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:9 GHz~10 GHz 灵敏度:1 mV/10 $\mu$ W 最大输入功率:100 mW
6	示波器	带宽:不小于 200 MHz
7	矢量网络分析仪	频率:100 MHz~13 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~10 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~13 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: $\pm 0.01$ mm/m( $\pm 1$ mm/m 范围内) $\pm 0.02$ mm/m( $\pm 1$ mm/m 范围外) 工作面平面性偏差:0.003 mm
11	标准喇叭天线	频率:9.0 GHz~10.0 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 $0^{\circ}$ ~ $180^{\circ}$ ,俯仰角 $-1^{\circ}$ ~ $89^{\circ}$ 极化角 $0^{\circ}$ ~ $360^{\circ}$ 转动速度: $0(^{\circ})/s$ ~ $0.5(^{\circ})/s$ 定位精度: $0.03^{\circ}$

### 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 雷达及附属设备监测

操作检查参数的显示,演示报警功能。

#### 6.4.5 控制

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 消隐

配置消隐区,测试当天线到达消隐区间内发射机是否停止发射脉冲。

#### 6.4.8 授时

实际操作检查授时功能和授时精度。

#### 6.4.9 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。

#### 6.4.10 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。

#### 6.4.11 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。

#### 6.4.12 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。

#### 6.4.13 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。

#### 6.4.14 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。

#### 6.4.15 噪声温度/系数

演示噪声温度/系数自动检查的功能,检查软件界面显示的结果。

#### 6.4.16 接收通道增益差

演示检查雷达的自动在线双通道增益差检查功能,检查软件界面显示的结果。

#### 6.4.17 接收通道相位差

演示检查雷达的自动在线双通道相位差检查功能,检查软件界面显示的结果。

#### 6.4.18 发射机输出脉冲宽度和输出频谱

检查雷达是否能使用机外仪表测量发射机脉冲宽度和输出频谱。

#### 6.4.19 发射和接收支路损耗

检查雷达是否具有接口以使用机外仪表检查发射和接收支路损耗。

#### 6.4.20 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。

#### 6.4.21 天线座水平度

##### 6.4.21.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 将天线停在方位角  $0^\circ$  位置;
- b) 将合像水平仪按图 1 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  $45^\circ$  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  $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $225^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $315^\circ$  位置合像水平仪的读数值,依次记为  $M_{90}$ 、 $M_{135}$ 、 $M_{180}$ 、 $M_{225}$ 、 $M_{270}$ 、 $M_{315}$ 。

##### 6.4.21.2 数据处理

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。

#### 6.4.22 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。

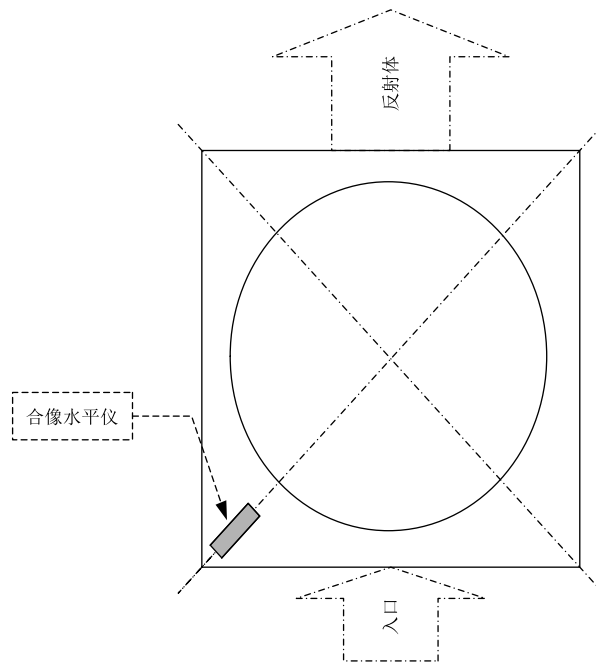


图 1 天线座水平度检查示意图

#### 6.4.23 天线指向和接收链路增益

检查雷达是否具有太阳法检测功能,用于检查和标定天线指向和接收链路增益。

#### 6.4.24 基数据角码

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。

#### 6.4.25 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 $0.5^\circ$ )的地物杂波抑制能力。

#### 6.4.26 最小可测回波强度

检查基数据在 20 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 20 km 的回波强度值,或使用其他距离上的最小强度值换算成 20 km 的值。

#### 6.4.27 差分反射率标定

演示利用下列方法标定和检查系统差分反射率的功能:

- 小雨法:选择小雨天气,将天线指向天顶(俯仰角为 $90^\circ$ )进行 PPI 扫描。统计融化层以下降水粒子差分反射率因子的中值,作为偏差来标定雷达系统双通道回波功率的系统偏差;
- 太阳功率法:将天线指向太阳,通过接收到的太阳功率来检查接收机双通道幅度差。

#### 6.4.28 气象产品质控、生成和显示

操作演示检查,逐条演示气象产品的生成。

#### 6.4.29 气象产品格式

审阅气象产品格式文档和产品样例文件。

#### 6.4.30 数据存储和传输

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) 按图 2 连接测试设备;
- b) 给发射组件加电;
- c) 使用频谱仪测量雷达工作频率。

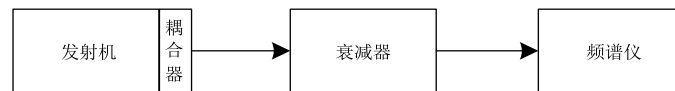


图 2 雷达工作频率测试示意图

#### 6.5.2 雷达预热开机时间

秒表计时检查雷达从冷态开机预热到正常工作的时间。

#### 6.5.3 双偏振工作模式

实际操作检查。

#### 6.5.4 距离范围

检查雷达的输出数据文件。

#### 6.5.5 角度范围

控制雷达天线运行,检查运行范围。

#### 6.5.6 强度值范围

检查雷达输出的数据文件。

#### 6.5.7 速度值范围

检查雷达输出的数据文件。

#### 6.5.8 谱宽值范围

检查雷达输出的数据文件或产品显示范围。



#### 6.5.9 差分反射率因子值范围

检查雷达输出的数据文件或产品显示范围。

#### 6.5.10 相关系数值范围

检查雷达输出的数据文件或产品显示范围。

#### 6.5.11 差分传播相移值范围

检查雷达输出的数据文件或产品显示范围。

#### 6.5.12 差分传播相移率值范围

检查雷达输出的数据文件或产品显示范围。

#### 6.5.13 退偏振比值范围

检查雷达输出的数据文件或产品显示范围。

#### 6.5.14 距离定位误差

使用信号源将时间延迟的脉冲信号注入雷达接收机,检查雷达输出的反射率中数据中测试信号是否位于与延迟时间相匹配的距离库上。

#### 6.5.15 方位角和俯仰角误差

##### 6.5.15.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- 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。

##### 6.5.15.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理:

- 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。

#### 6.5.16 强度误差

##### 6.5.16.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图3连接设备;
- 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、20 km、50 km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(10 dB 步进)的信号,记录对应的期望值与测量值。

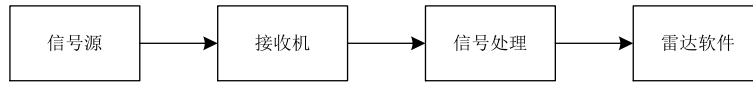


图 3 强度误差测试示意图

6.5.16.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 按照公式(1)计算反射率的期望值  $Z_{exp}$  (分贝, dB)。

$$Z_{exp} = 10\lg[(2.69 \times 10^{16} \lambda^2) / (P_t \tau G^2 \theta \phi)] + P_r + 20\lg R + L_{\Sigma} + RL_{at} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $\lambda$  —— 波长值,单位为厘米(cm);
- $P_t$  —— 发射脉冲功率值,单位为千瓦(kW);
- $T$  —— 脉宽值,单位为微秒( $\mu$ s);
- $G$  —— 天线增益值,单位为分贝(dB);
- $\theta$  —— 水平波束宽度值,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\phi$  —— 垂直波束宽度值,单位为度( $^{\circ}$ );
- $P_r$  —— 输入信号功率值,单位为分贝毫瓦(dBm);
- $R$  —— 距离值,单位为千米(km);
- $L_{\Sigma}$  —— 系统除大气损耗  $L_{at}$  外的总损耗值(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);
- $L_{at}$  —— 大气损耗值,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。

6.5.17 速度误差

6.5.17.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 4 连接测试设备;
- 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  $f_c - f_r$ , 其中  $f_r$  为脉冲重复频率;

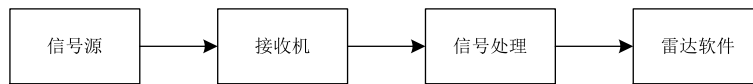


图 4 速度误差测试示意图

- e) 信号源输出频率从  $f_c - f_r$  到  $f_c + f_r$ , 步进 100 Hz, 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。

### 6.5.17.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 按照公式(2)计算径向速度理论值  $V_1$ (米每秒, m/s)。

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

式中:

- $\lambda$  —— 雷达波长值, 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  $f_c - f_r$  到  $f_c + f_r$ (步进 100 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。

### 6.5.18 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。

### 6.5.19 差分反射率因子误差

#### 6.5.19.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 5 连接设备;
- b) 打开信号源, 注入 -40 dBm 的连续波信号;
- c) 雷达运行双偏振模式并存储 1 个体扫基数据。

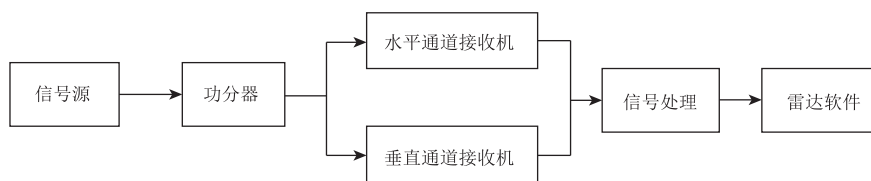


图 5 差分反射率因子误差测试示意图

#### 6.5.19.2 数据处理

读取体扫基数据中每个径向 20 km 处的差分反射率因子, 并计算标准差。

### 6.5.20 相关系数误差

分析小雨条件下雷达探测的基数据, 选择小雨区范围计算相关系数值的概率分布密度, 以概率分布密度最大的相关系数值作为误差。

### 6.5.21 差分传播相移误差

#### 6.5.21.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 6 连接设备；
- b) 打开信号源，注入  $-40$  dBm 的连续波信号；
- c) 雷达运行双偏振模式并存储 1 个体扫基数据。

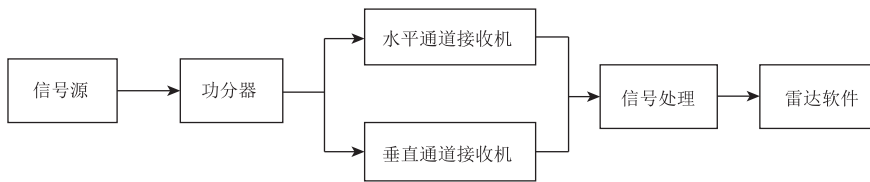


图 6 差分传播相移误差测试示意图

#### 6.5.21.2 数据处理

读取体扫基数据中每个径向 20 km 处的差分传播相移，并计算标准差。

### 6.5.22 退偏振比误差

#### 6.5.22.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 7 连接设备；
- b) 打开信号源，注入  $-40$  dBm 的连续波信号；
- c) 雷达运行水平偏振发射、水平和垂直偏振同时接收模式，并存储 1 个体扫基数据。

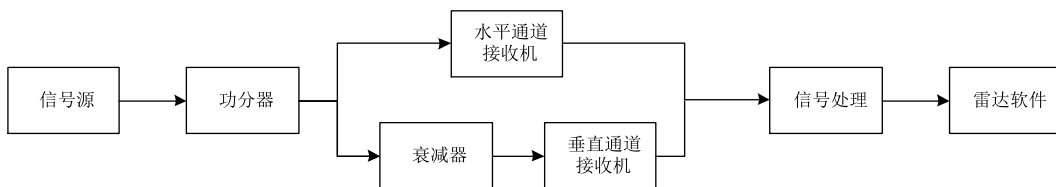


图 7 退偏振比测试示意图

#### 6.5.22.2 数据处理

读取体扫基数据中每个径向 20 km 处的退偏振比，并计算标准差。

### 6.5.23 分辨率

方位角和俯仰角的分辨率通过角码记录文件检查，其他通过基数据文件检查。

### 6.5.24 最小可测回波强度

#### 6.5.24.1 检查基数据(双偏振宽脉冲,脉冲采样个数为 32,无地物滤波)在 20 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。

6.5.24.2 统计方法为检查所有径向距离为 20 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 20 km 的值),获得 20 km 处最小的回波强度值即为雷达的最小可测回波强度。

6.5.25 相位噪声

6.5.25.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 将发射机输出作为测试信号,经过微波或光纤延迟线注入接收机;
- b) 给发射组件加电;
- c) 采集并记录连续 64 个脉冲的 I/Q 数据。

6.5.25.2 数据处理

按照公式(3)计算 I/Q 复信号的相位标准差(度,°),作为相位噪声  $\varphi_{PN}$ 。

$$\varphi_{PN} = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $\varphi_i$  —— I/Q 复信号的相位值,单位为弧度(rad);
- $\bar{\varphi}$  —— 相位  $\varphi_i$  的平均值,单位为弧度(rad)。

6.5.26 地物杂波抑制能力

统计基数据低俯仰角(如 0.5°)地物杂波过滤前后的回波强度差,超过 50 dB 的距离库数应不少于 50 个。

6.5.27 天馈系统电压驻波比

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 8 连接测试设备;
- b) 控制天线俯仰角指向 90°;
- c) 使用矢量网络分析仪测量天馈系统电压驻波比。

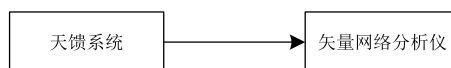


图 8 天馈系统电压驻波比测试示意图

6.5.28 发射和接收支路损耗

6.5.28.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 校准矢量网络分析仪(含测试电缆及转接器);
- b) 按图 9 连接测试设备到水平支路测量点;
- c) 读取水平发射支路损耗值,记为  $L_{th}$ ;
- d) 将矢量网络分析仪接收端口连接到垂直支路测量点;

- e) 读取垂直发射支路损耗值,记为  $L_{tv}$  ;
- f) 重新校准矢量网络分析仪(含测试电缆及转接器);
- g) 按图 10 连接测试设备到水平支路无源限幅器输出口;
- h) 读取水平接收支路损耗值,记为  $L_{rh}$  ;
- i) 将矢量网络分析仪接收端口连接到垂直支路无源限幅器输出口;
- j) 读取垂直接收支路损耗值,记为  $L_{rv}$  。

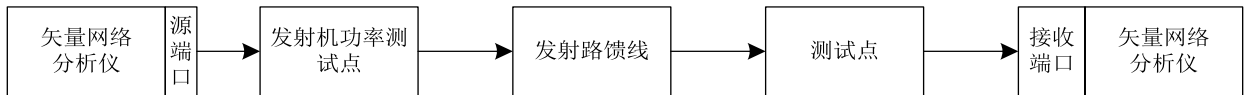


图 9 发射馈线损耗

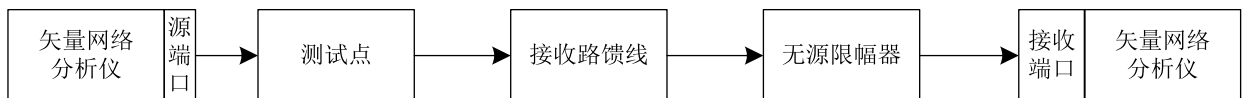


图 10 接收馈线损耗

### 6.5.28.2 数据处理

雷达工作于同发同收模式时,应不考虑功分器的 3 dB 损耗,在测得/计算出的发射路损耗值基础上减去 3 dB。

### 6.5.29 相位编码

6.5.29.1 通过统计分析有二次回波的降水基数据来验证系统相位编码退距离模糊的能力。

6.5.29.2 统计低仰角的速度数据(如  $0.5^\circ$ ),按公式(4)计算一次回波的最大探测距离  $R_{max}$  (千米, km)。

$$R_{max} = C / (2 \times f_{PRF}) \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$C$  ——光在真空中的传播速度值,取  $2.99735 \times 10^8$  (m/s);

$f_{PRF}$  ——当前俯仰角的脉冲重复频率值,单位为赫兹(Hz)。

6.5.29.3 遍历所有速度数据的距离库,统计所有存在距离模糊的距离库数记为  $B_a$ ,退模糊算法有效的距离库数记为  $B_v$ ,计算二次回波的恢复比例  $B_v/B_a$ 。

### 6.5.30 整机功耗

雷达开机连续运行,统计 1 h 用电量。

### 6.5.31 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,结果用平均无故障时间(MTBF)表示。

### 6.5.32 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。

### 6.5.33 可用性

使用一个或一个以上雷达不少于半年的运行数据,按照公式(5)计算系统的可用性  $\eta_{\text{WRA}}$  (小时,h)。

$$\eta_{\text{WRA}} = \frac{T_w}{T_w + T_m + T_f} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$T_w$  —— 累计工作时间值,单位为小时(h);

$T_m$  —— 累计故障维护时间值,单位为小时(h);

$T_f$  —— 累计排除故障时间值,单位为小时(h)。

### 6.5.34 天线罩型式、尺寸与材料

检视和测量天线罩结构与材料。

### 6.5.35 天线罩双程射频损失

#### 6.5.35.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 11 连接测试设备,不安装天线罩;
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- c) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- d) 使用频谱仪测量接收信号强度,并记为  $P_1$ ;
- e) 安装待测天线罩;
- f) 使用频谱仪测量接收信号强度,并记为  $P_2$ ;
- g) 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- h) 重复步骤 c)–f)。

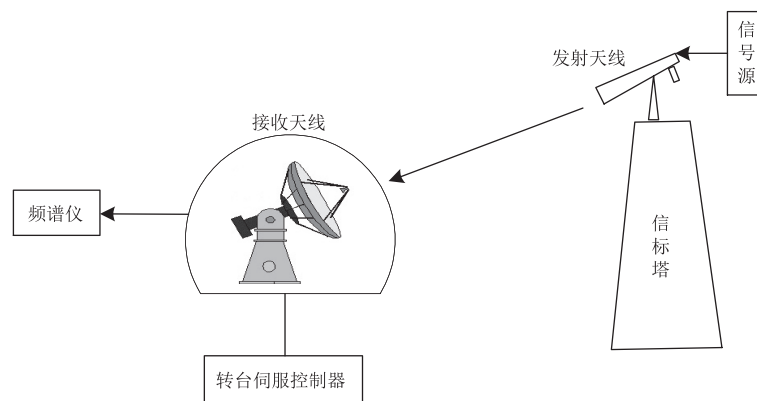


图 11 双程射频损失测试示意图

6.5.35.2 数据处理

按照公式(6)计算天线罩的双程射频损失  $L$ (分贝, dB)。

$$L = 2 \times (P_1 - P_2) \dots\dots\dots(6)$$

式中:

$L$  —— 双程射频损失值,单位为分贝(dB);

$P_1$ 、 $P_2$ ——含义见 6.5.35.1,单位为分贝(dB)。

6.5.36 天线罩引入波束偏差

6.5.36.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 12 连接测试设备,不安装天线罩;
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- c) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- d) 记录当前转台伺服控制器的方位角和俯仰角,分别为  $A_{Z0}$  和  $E_{L0}$  ;
- e) 安装待测天线罩;
- f) 重复步骤 c);
- g) 记录当前转台伺服控制器的方位角和俯仰角,分别为  $A_{Z1}$  和  $E_{L1}$  ;
- h) 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- i) 重复步骤 c)—g)。

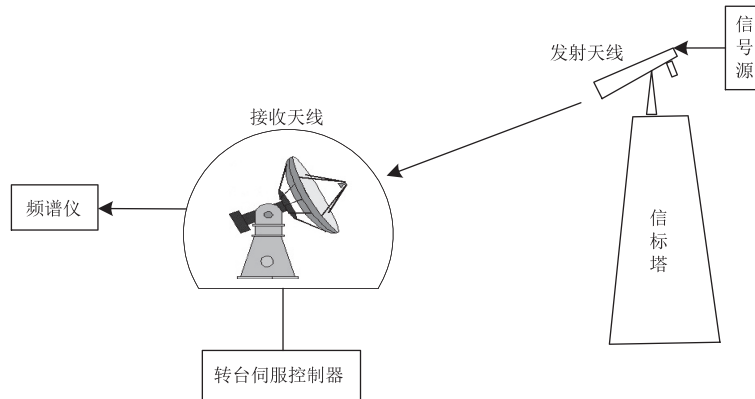


图 12 天线罩引入波束偏差测试示意图

6.5.36.2 数据处理

按照公式(7)计算天线罩引入波束偏差  $\theta$ 。

$$\theta = \frac{1}{2} \times \cos^{-1} \sqrt{\cos(A_{Z0} - A_{Z1}) \times \cos(E_{L0} - E_{L1})} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$A_{Z0}$ 、 $A_{Z1}$ 、 $E_{L0}$ 、 $E_{L1}$  ——含义见 6.5.36.1,单位为度(°)。



6.5.37 天线罩引入波束展宽

6.5.37.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 13 连接测试设备,不安装天线罩；
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- c) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配；
- d) 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°；
- e) 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°；
- f) 安装待测天线罩；
- g) 重复步骤 b)—e)；
- h) 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- i) 重复步骤 c)—g)。

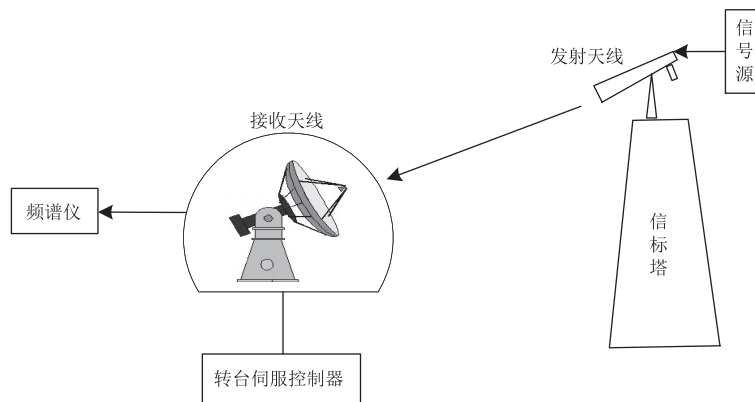


图 13 天线罩引入波束展宽测试示意图

6.5.37.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 绘制无天线罩测量的天线辐射方向图,在最强信号两侧分别读取功率下降 3 dB 点所对应的角度值,两者之和作为无天线罩时波束宽度,记为  $\theta_0$ 。
- b) 绘制有天线罩测量的天线辐射方向图,在最强信号两侧分别读取功率下降 3 dB 点所对应的角度值,两者之和作为有天线罩时波束宽度,记为  $\theta_1$ 。
- c) 按照公式(8)计算天线罩的引入波束展宽  $\theta_d$ (度,°)。

$$\theta_d = \frac{\theta_1 - \theta_0}{\theta_0} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

式中：

$\theta_0$ ——含义见 6.5.37.2 a),单位为度(°)；

$\theta_1$ ——含义见 6.5.37.2 b),单位为度(°)。

6.5.38 天线罩交叉极化隔离度

6.5.38.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 14 连接测试设备,不安装天线罩；
- b) 发射天线设置为水平极化模式,信号源设置为雷达工作频率；
- c) 转动接收天线与发射天线对准,水平极化匹配,使频谱仪接收的信号功率最大；
- d) 频谱仪分别测量水平和垂直通道接收信号功率,记为  $P_1$  和  $P_2$ ；
- e) 将发射天线设置为垂直极化模式；
- f) 转动接收天线与发射天线对准,垂直极化匹配,使频谱仪接收的信号功率最大；
- g) 频谱仪分别测量水平和垂直通道接收信号功率,记为  $P_3$  和  $P_4$ ；
- h) 安装天线罩后,重复步骤 b)—g),并记录相应功率值。

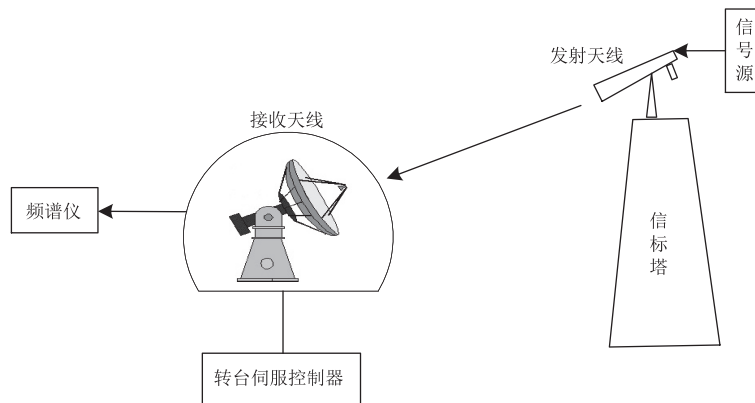


图 14 天线罩交叉极化隔离度测试示意图

6.5.38.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 按照公式(9)计算天线水平极化的交叉极化隔离度  $I_1$ (分贝, dB)。

$$I_1 = P_1 - P_2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中：

$P_1$ 、 $P_2$ ——含义见 6.5.38.1,单位为分贝毫瓦(dBm)。

- b) 同样计算有天线罩状态下天线水平极化隔离度  $I_3$ 。

- c) 按照公式(10)计算天线垂直极化的交叉极化隔离度  $I_2$ (分贝, dB)。

$$I_2 = P_4 - P_3 \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中：

$P_3$ 、 $P_4$  ——含义见 6.5.38.1,单位为分贝毫瓦(dBm)。

- d) 同样计算带天线罩状态下天线垂直极化隔离度  $I_4$ (分贝, dB)。

- e) 分别按照公式(11)和公式(12)计算有无天线罩情况下的交叉极化隔离度差值,水平极化差值  $\Delta I_h$ (分贝, dB),垂直极化差值  $\Delta I_v$ (分贝, dB)。

$$\Delta I_h = I_1 - I_3 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\Delta I_v = I_2 - I_4 \quad \dots\dots\dots(12)$$

6.5.39 天线型式

目测检查。

6.5.40 天线极化方式

目测检查。

6.5.41 天线功率增益

6.5.41.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 15 连接测试设备；
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- c) 转动待测天线与发射天线对准，极化匹配；
- d) 使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  $P_2$ ；
- g) 将发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- h) 转动待测天线与发射天线对准，极化匹配；
- i) 使用频谱仪测量接收功率，并记录为  $P_3$ ；
- j) 用标准喇叭天线(增益为  $G_0$ )替换待测天线；
- k) 重复步骤 h)—i)，读取频谱仪显示功率，并记录为  $P_4$ 。

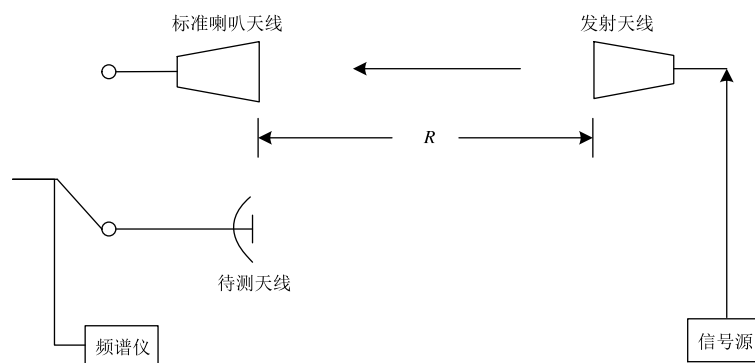


图 15 天线功率增益测试示意图

6.5.41.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 按照公式(13)计算天线水平极化增益  $G_1$  (分贝, dB)。

$$G_1 = G_0 + P_1 - P_2 \dots\dots\dots(13)$$

式中：

$G_0$  —— 标准喇叭天线增益值,单位为分贝(dB)；

$P_1$ 、 $P_2$  ——含义见 6.5.41.1,单位为分贝毫瓦(dBm)。

b) 按照计算公式(14)天线垂直极化增益  $G_2$ (分贝,dB)。

$$G_2 = G_0 + P_3 - P_4 \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

$P_3$ 、 $P_4$  ——含义见 6.5.41.1,单位为分贝毫瓦(dBm)。

c) 按照公式(15)计算天线水平、垂直极化增益差  $\Delta G$ (分贝,dB)。

$$\Delta G = |G_1 - G_2| \quad \dots\dots\dots(15)$$

### 6.5.42 天线波束宽度

#### 6.5.42.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 16 连接测试设备;
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- c) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- d) 向右转动接收天线,每隔 0.01°使用频谱仪测量信号强度,直至 4.5°,并记录;
- e) 从极化匹配点往左转动接收天线,每隔 0.01°使用频谱仪测量信号强度,直至 4.5°,并记录;
- f) 将发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- g) 重复步骤 c)–e)。

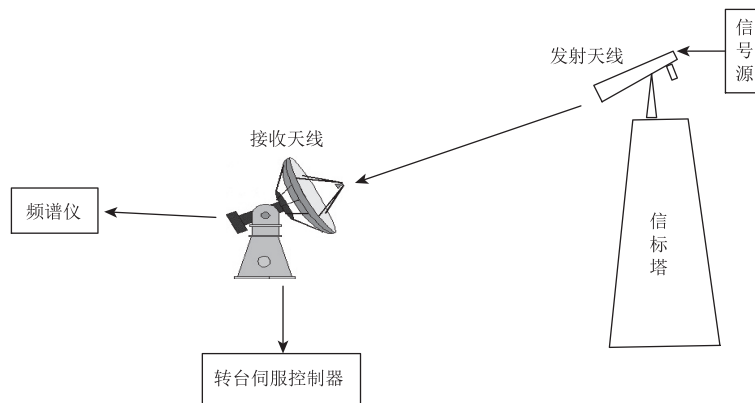


图 16 天线波束宽度测试示意图

#### 6.5.42.2 数据处理

将水平、垂直极化测量结果点分别绘出天线辐射方向图(见图 17),分别在最强信号(标注为 0 dB)两侧分别读取下降 3 dB 点所对应的角度值( $\theta_1$  和  $\theta_2$ ),分别计算两者之和作为天线水平和垂直极化波束宽度。

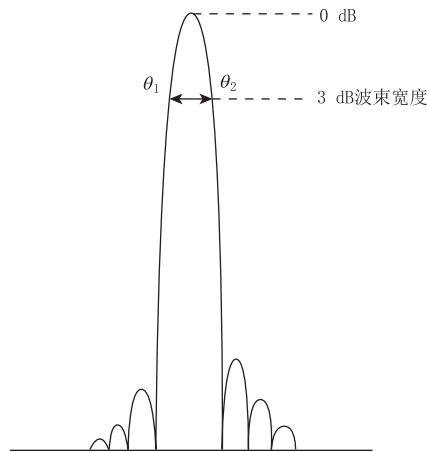


图 17 天线波束宽度测试结果示意图

### 6.5.43 天线双极化波束宽度差异

#### 6.5.43.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- 按图 18 连接测试设备；
- 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 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，频谱仪记录天线辐射方向图；
- 计算 3 dB 波束宽度，记为  $H_1$ ；
- 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- 重复步骤 c)—d)；
- 计算 3 dB 波束宽度，记为  $V_1$ 。

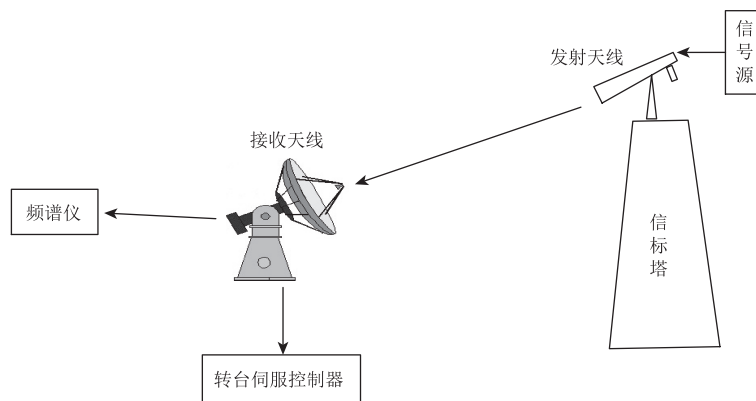


图 18 双极化波束宽度差异测试示意图

6.5.43.2 数据处理

按照公式(16)计算 3 dB 波束宽度差值  $W_1$ 。

$$W_1 = |H_1 - V_1| \dots\dots\dots(16)$$

式中：

$H_1$ 、 $V_1$ ——含义见 6.5.43.1,单位为度(°)。

6.5.44 天线双极化波束指向一致性

6.5.44.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 19 连接测试设备；
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- c) 转动接收天线与发射天线对准，极化匹配；
- d) 记录当前转台伺服控制器的方位角和俯仰角，分别为  $A_{z0}$  和  $E_{L0}$ ；
- e) 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- f) 转动接收天线与发射天线对准，极化匹配；
- g) 记录当前转台伺服控制器的方位角和俯仰角，分别为  $A_{z1}$  和  $E_{L1}$ 。

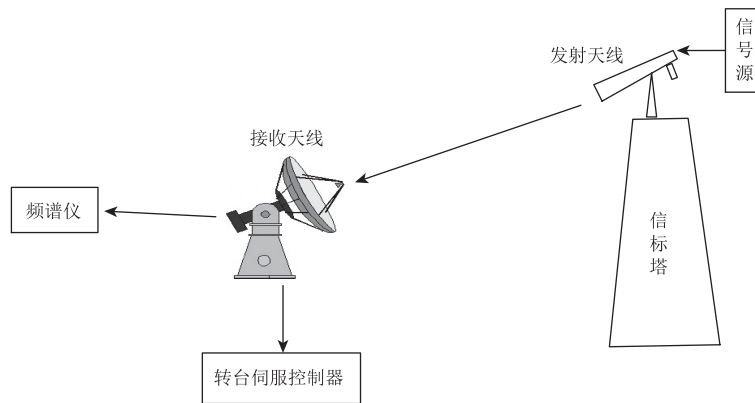


图 19 双极化波束指向一致性测试示意图

6.5.44.2 数据处理

按照公式(17)计算天线双极化波束指向偏差  $\theta$ (度,°)。

$$\theta = \frac{1}{2} \times \cos^{-1} \sqrt{\cos(A_{z0} - A_{z1}) \times \cos(E_{L0} - E_{L1})} \dots\dots\dots(17)$$

式中：

$A_{z0}$ 、 $A_{z1}$ 、 $E_{L0}$ 、 $E_{L1}$ ——含义见 6.5.44.1,单位为度(°)。

6.5.45 天线旁瓣电平

6.5.45.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 20 连接测试设备；
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- c) 转动接收天线与发射天线对准，极化匹配；
- d) 在±180°范围内转动接收天线，频谱仪记录天线功率频谱分布图；
- e) 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式，频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz；
- f) 重复步骤 c)—d)。

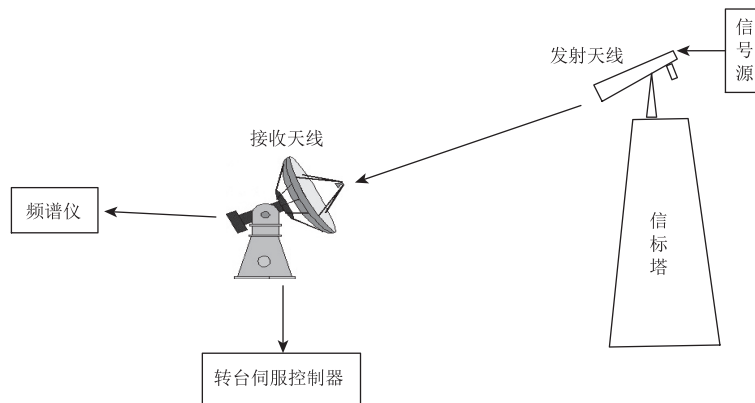


图 20 天线旁瓣电平测试示意图

6.5.45.2 数据处理

由天线水平、垂直极化功率频谱分布图，按照公式(18)分别计算天线水平、垂直极化旁瓣电平值  $S$  (分贝, dB), 测试结果示意图见图 21。

$$S = L_{\theta} - L_{\theta_1} \dots\dots\dots(18)$$

式中：

- $L_{\theta}$  ——  $\theta$  处的电平值, 单位为分贝毫瓦(dBm)；
- $L_{\theta_1}$  ——  $\theta_1$  处的电平值, 单位为分贝毫瓦(dBm)。

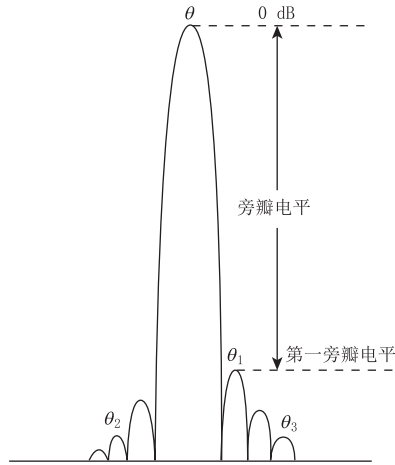


图 21 天线旁瓣电平测试结果示意图

标引序号说明：

- $\theta$  —— 对应于主瓣功率峰值处的角度值,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\theta_1$  —— 对应于第一旁瓣功率峰值处的角度值,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\theta_2$  —— 对应于第二旁瓣功率峰值处的角度值,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\theta_3$  —— 对应于第三旁瓣功率峰值处的角度值,单位为度( $^{\circ}$ )。

#### 6.5.46 天线交叉极化隔离度

##### 6.5.46.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 22 连接测试设备；
- b) 发射天线设置为水平极化模式,信号源设置为工作频率；
- c) 转动接收天线与发射天线对准,水平极化匹配；
- d) 使用频谱仪分别测量水平和垂直通道接收信号功率,并记录为  $P_1$  和  $P_2$ ；
- e) 将发射天线设置为垂直极化模式；
- f) 转动接收天线与发射天线对准,垂直极化匹配；
- g) 使用频谱仪分别测量水平和垂直通道接收信号功率,并记录为  $P_3$  和  $P_4$ 。

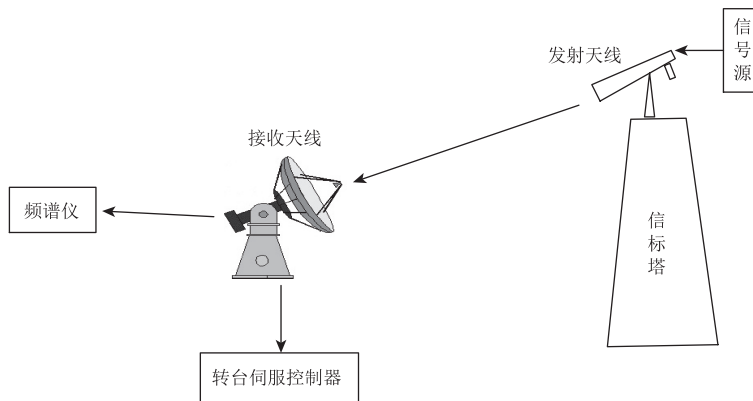


图 22 天线交叉极化隔离度测试示意图



6.5.46.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 按照公式(19)计算天线水平极化状态下的交叉极化隔离度  $I_1$  (分贝, dB)。

$$I_1 = P_1 - P_2 \dots\dots\dots(19)$$

式中:

$P_1$ 、 $P_2$ ——含义见 6.5.46.1,单位为分贝毫瓦(dBm)。

- b) 按照公式(20)计算天线垂直极化状态下的交叉极化隔离度  $I_2$  (分贝, dB)。

$$I_2 = P_4 - P_3 \dots\dots\dots(20)$$

式中:

$P_3$ 、 $P_4$ ——含义见 6.5.46.1,单位为分贝毫瓦(dBm)。

6.5.47 天线双极化正交度

6.5.47.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 23 连接测试设备;
- b) 发射天线和接收天线均设置为水平极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- c) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- d) 记录当前转台伺服控制器的极化角  $T_0$ ;
- e) 发射天线和接收天线均设置为垂直极化模式,频率分别设置为 9.3 GHz、9.4 GHz 和 9.5 GHz;
- f) 转动接收天线与发射天线对准,极化匹配;
- g) 记录当前转台伺服控制器的极化角  $T_1$ 。

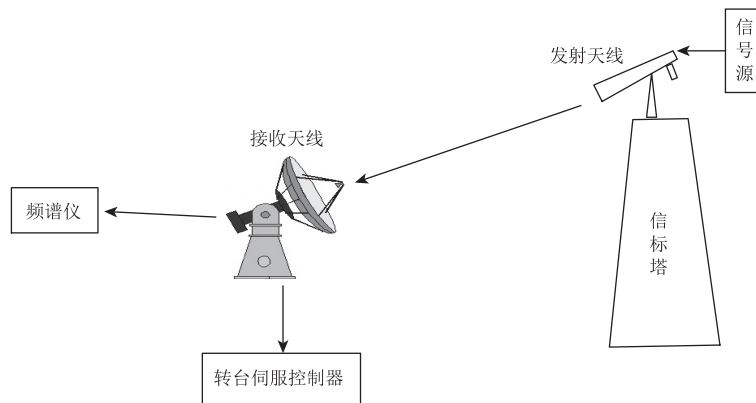


图 23 双极化正交性测试示意图

6.5.47.2 数据处理

按照公式(21)计算天线双极化正交性偏差  $\theta$ 。

$$\theta = T_1 - T_0 \dots\dots\dots(21)$$

式中:

$T_1$ 、 $T_0$ ——含义见 6.5.47.1,单位为度(°)。

6.5.48 伺服系统扫描方式

实际操作检查。

6.5.49 伺服系统扫描速度及误差

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。

6.5.50 伺服系统扫描加速度

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  $180^{\circ}$ ；
- 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  $90^{\circ}$ ；
- 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。

6.5.51 伺服系统控制方式

实际操作检查。

6.5.52 伺服系统角度控制误差

6.5.52.1 测试方法

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  $A_{z0}$  ( $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ,间隔  $30^{\circ}$ )；
- c) 记录天线实际方位角  $A_{z1}$ ；
- d) 设置俯仰角  $E_{l0}$  ( $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ,间隔  $10^{\circ}$ )；
- e) 记录天线实际俯仰角  $E_{l1}$ ；
- f) 退出雷达天线控制程序。

6.5.52.2 数据处理

按下列步骤进行数据处理。

- a) 按照公式(22)计算并记录各方位角控制误差  $\Delta A_z$  (度,°)。

$$\Delta A_z = A_{z1} - A_{z0} \dots\dots\dots(22)$$

式中：

$A_{z1}$ 、 $A_{z0}$  ——含义见 6.5.52.1,单位为度(°)。

- b) 取各方位角控制误差中最大值作为方位角控制误差。
- c) 按照公式(23)计算并记录各俯仰角控制误差  $\Delta E_L$  (度,°)。

$$\Delta E_L = E_{L1} - E_{L0} \dots\dots\dots(23)$$

式中:

$E_{L1}$ 、 $E_{L0}$  ——含义见 6.5.52.1,单位为度(°)。

- d) 取各俯仰角控制误差中最大值作为俯仰角控制误差。

**6.5.53 伺服系统天线空间指向误差**

天线空间指向误差测试与方位角和俯仰角误差测试相同,测试方法和数据处理应符合 6.5.15.1 和 6.5.15.2 的要求。

**6.5.54 伺服系统控制字长**

检查天线位置指令的控制分辨力,计算控制字长。

**6.5.55 伺服系统角码数据字长**

检查天线返回角码的数据分辨力,计算角码字长。

**6.5.56 发射机脉冲功率**

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 24 连接测试设备;
- b) 给发射组件加电;
- c) 设置窄脉冲 0.5  $\mu$ s,重复频率 500 Hz,读取功率值并记录;
- d) 设置 2000 Hz 重复频率,读取功率值并记录;
- e) 设置宽脉冲 1.0  $\mu$ s,重复频率 500 Hz,重复步骤 c)—d);
- f) 退出雷达控制软件。

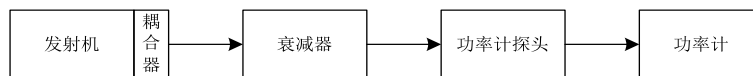


图 24 发射机脉冲功率测试示意图

**6.5.57 发射机脉冲宽度**

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 25 连接测试设备;
- b) 运行雷达控制软件,设置窄脉冲 500 Hz 重复频率;
- c) 给发射组件加电;
- d) 使用示波器测量并记录发射机脉冲包络幅度 70%处宽度;



图 25 发射机脉冲功率测试示意图

- e) 关闭发射机高压；
- f) 设置宽脉冲 500 Hz 重复频率；
- g) 重复步骤 c)—e)；
- h) 退出雷达控制软件。

6.5.58 发射机脉冲重复频率

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 26 连接测试设备；
- b) 运行雷达控制软件,设置 500 Hz 重复频率；
- c) 给发射组件加电；
- d) 使用示波器测量并记录脉冲重复频率；
- e) 设置窄脉冲 2000 Hz 重复频率；
- f) 重复步骤 c)—d)；
- g) 配置并记录 3 : 2,4 : 3 和 5 : 4 三种双脉冲重复频率；
- h) 退出雷达控制软件。

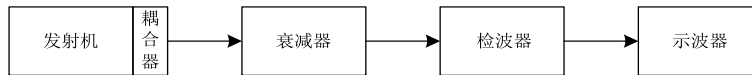


图 26 发射机脉冲重复频率测试示意图

6.5.59 发射机输出极限改善因子和频谱特性

6.5.59.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 27 连接测试设备；
- b) 运行雷达控制软件,设置 500 Hz 重复频率；
- c) 给发射组件加电；
- d) 使用频谱仪测量发射机输出信号与噪声功率谱密度比值,并记为  $R$ ；
- e) 记录发射机脉冲频谱 -40 dB 处的宽度；
- f) 设置 2000 Hz 重复频率；
- g) 重复步骤 c)—d)；
- h) 退出雷达控制软件。

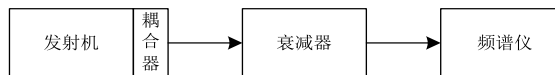


图 27 发射机输出极限改善因子和频谱特性测试示意图

6.5.59.2 数据处理

按照公式(24)计算发射机输出极限改善因子  $I$ 。

$$I = R + 10\lg B - 10\lg F \dots\dots\dots(24)$$

式中：

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

### 6.5.60 发射机功率波动

#### 6.5.60.1 测试方法

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 28 连接测试设备；
- b) 雷达设置为降水模式连续运行 24 h；
- c) 使用功率计每 2 h 测量并记录发射机输出功率  $P_{t1}$ ；
- d) 每 2 h 读取并记录机内测量的发射机输出功率  $P_{t2}$ ；
- e) 雷达设置为晴空模式连续运行 24 h；
- f) 重复步骤 c)—d)。

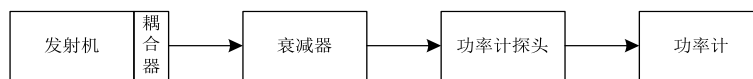


图 28 发射机功率波动测试示意图

#### 6.5.60.2 数据处理

按照公式(25)计算发射机机外和机内的功率波动  $\Delta P$  (分贝, dB)。

$$\Delta P = \left| 10 \lg \left( \frac{P_{tmax}}{P_{tmin}} \right) \right| \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- $P_{tmax}$  ——为  $P_{t1}$ 、 $P_{t2}$  中的最大值,单位为千瓦(kW)；
- $P_{tmin}$  ——为  $P_{t1}$ 、 $P_{t2}$  中的最小值,单位为千瓦(kW)。

#### 6.5.61 接收机最小可测功率

按下列步骤进行测试：

- a) 按图 29 连接测试设备；
- b) 关闭信号源输出；
- c) 运行雷达控制软件,脉冲信号带宽为 2 MHz,记录噪声电平  $P_{c1}$ ；
- d) 打开信号源输出,注入接收机功率-107 dBm 并以 0.2 dB 步进逐渐增加；
- e) 读取功率电平  $P_{H1}$ ,当  $P_{H1}$  大于或等于( $P_{c1} + 3$  dB)时,记录当前输入功率值作为最小可测功率；
- f) 关闭信号源输出；
- g) 记录信号带宽为 1 MHz 噪声电平  $P_{c2}$ ；

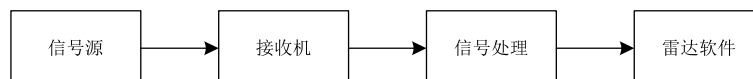


图 29 接收机最小可测功率测试示意图

- h) 打开信号源输出,注入接收机功率-110 dBm 并以 0.2 dB 步进逐渐增加;
- i) 读取功率电平  $P_{H2}$ ,当  $P_{H2}$  大于或等于  $(P_{C2} + 3 \text{ dB})$  时,记录当前输入功率值作为最小可测功率;
- j) 关闭信号源;
- k) 退出雷达控制软件。

### 6.5.62 接收机噪声系数

#### 6.5.62.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 30 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,记录水平和垂直通道的冷态噪声功率,分别记为  $A_{1H}$  和  $A_{1V}$ ;
- d) 设置噪声系数分析仪,打开噪声源输出;
- e) 记录水平和垂直通道的热态噪声功率,分别记为  $A_{2H}$  和  $A_{2V}$ ;
- f) 关闭噪声源输出,退出雷达控制软件。



图 30 接收机噪声系数测试示意图

#### 6.5.62.2 数据处理

按照公式(26)计算水平和垂直通道的接收机噪声系数  $\eta_{NF}$  (分贝, dB)。

$$\eta_{NF} = R_{ENR} - 10\lg\left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right) \dots\dots\dots(26)$$

式中:

- $R_{ENR}$  ——噪声源的超噪比值,单位为分贝(dB);
- $A_1$  ——冷态噪声功率值,单位为毫瓦(mW),计算水平通道的噪声系数时为  $A_{1H}$ ,计算垂直通道的噪声系数时为  $A_{1V}$ ;
- $A_2$  ——热态噪声功率值,单位为毫瓦(mW),计算水平通道的噪声系数时为  $A_{2H}$ ,计算垂直通道的噪声系数时为  $A_{2V}$ 。

### 6.5.63 接收机线性动态范围

#### 6.5.63.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 31 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,同时注入水平和垂直接收通道,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。

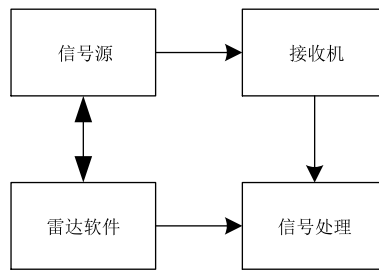


图 31 接收机线性动态范围测试示意图

### 6.5.63.2 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和高端上拐点,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。

### 6.5.64 接收机数字中频 A/D 位数

检查 A/D 芯片手册。

### 6.5.65 接收机数字中频采样速率

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 32 连接测试设备;
- b) 使用示波器或频谱仪测量 A/D 变换器采样时钟频率。

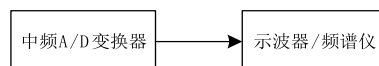


图 32 接收机数字中频采样速率测试示意图

### 6.5.66 接收机带宽

#### 6.5.66.1 测试方法

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 33 连接测试设备;
- b) 设置信号源工作频率为雷达工作中心频率,输出幅度为  $-50$  dBm;
- c) 雷达设置为窄脉冲模式;
- d) 读取输出功率值记为  $P_0$ ;
- e) 逐渐减小信号源输出频率(步进 10 kHz),直至读取功率值比  $P_0$  小 3 dB,此时的信号源输出频率记为  $F_1$ ;
- f) 逐渐增大信号源输出频率(步进 10 kHz),直至读取功率值再次比  $P_0$  小 3 dB,此时的信号源输出频率记为  $F_r$ ;
- g) 雷达设置为宽脉冲模式;
- h) 重复步骤 d)~f)。

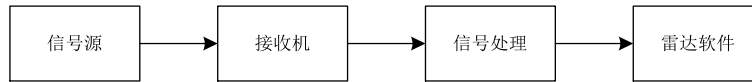


图 33 接收机带宽测试示意图

6.5.66.2 数据处理

按照公式(27)分别计算宽脉冲和窄脉冲的接收机带宽  $B$ (兆赫兹, MHz)。

$$B = F_r - F_l \dots\dots\dots(27)$$

式中:

$F_r, F_l$ ——含义见 6.5.66.1, 单位为兆赫兹(MHz)。

6.5.67 接收机频率源射频输出相位噪声

按下列步骤进行测试:

- a) 按图 34 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 和 10 kHz 处的相位噪声值;
- d) 关闭频率源射频输出。

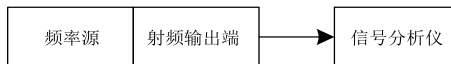


图 34 频率源射频输出相位噪声测试示意图

6.5.68 接收机温度控制精度

开机稳定后, 雷达连续运行 24 h, 期间定时记录接收机温度值, 温度起伏应满足指标要求。

6.5.69 信号处理一般要求

操作演示检查。

6.5.70 信号处理数据输出率

查看雷达 I/Q 数据文件, 检查数据的距离分辨力。

6.5.71 信号处理模式

实际操作检查软件配置。

6.5.72 信号处理基数据格式

审阅基数据格式文档和基数据文件。

6.5.73 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

演示检查方舱与载车的功能,并根据载车相关标准进行试验。

## 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

天线罩内的主要部件以及室内部件的温度环境适应能力试验方法应按 GB/T 2423.1 和 GB/T 2423.2 的有关规定进行。

### 6.7.3 空气相对湿度

天线罩内的主要部件以及室内部件的湿度环境适应能力试验方法应按 GB/T 2423.4 的有关规定进行。

### 6.7.4 天线罩抗风和冰雪载荷

使用专业仿真软件计算雷达天线罩的冰雪和风环境适应能力,并提供同型号天线罩实际抗风能力的案例。

### 6.7.5 移动式雷达抗风能力

使用专业仿真软件计算移动式雷达抗风力,并提供同型号天线罩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

在现场抽取不少于 3 个的组件或部件,进行互换测试。

## 6.11 安全性一般要求

现场演示检查。

## 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 噪音

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 的表 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 检验项目

应按照表 B.1 进行项目检验。

#### 7.4.3 判定规则

按下列步骤进行判定：

- a) 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；
- b) 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

#### 7.5.1 检验项目

见表 B.1。

#### 7.5.2 判定规则

按下列步骤进行判定：

- a) 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；
- b) 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

### 7.6.1 检验项目

见表 B.1。

### 7.6.2 判定规则

按下列步骤进行判定。

- a) 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。
- b) 在检验过程中发现不符合要求时,应暂停检验,并按下列要进行:
  - 1) 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;
  - 2) 同一项目若经二次检验仍不合格,则本次检验不合格。

## 8 标识、标签和随行文件

### 8.1 产品标识

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

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) “向上”“怕雨”“禁止堆码”等符合 GB/T 191—2008 规定的标识。

### 8.3 随行文件

应包括但不限于下列内容:

- 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

应满足下列要求：

- a) 符合陆地、空中或海上运输要求；
- b) 在一般震动、冲击和气压变化无损坏；
- c) 尺寸、重量和材料符合 GB/T 13384—2008 的规定；
- d) 每个包装箱内都有装箱单。

### 9.2 运输

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；搬运时应轻拿轻放，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 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、空气相对湿度小于90%的室内，且周围无腐蚀性挥发物。

附 录 A  
(资料性)  
雷达自动上传基础参数

雷达自动上传基础参数见表 A.1。

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		水平波束宽度	(°)	
12		垂直波束宽度	(°)	
13		发射馈线损耗	dB	
14		接收馈线损耗	dB	
15		其他损耗	dB	
16	雷达运行模式参数	日期		
17		时间		
18		体扫模式		
19		控制权标志		本控、遥控
20		系统状态		正常、可用、需维护、故障、关机
21		上传状态数据 格式版本号		
22		双偏振雷达标记		
23	雷达运行环境参数	机房内温度	℃	
24		发射机温度	℃	
25		天线罩内温度	℃	
26		机房内湿度	%RH	
27		发射机湿度	%RH	
28		天线罩内湿度	%RH	

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
29	雷达在线定时 标定参数	标定期望值	dBZ	
30		标定测量值	dBZ	
31		水平通道相位噪声	(°)	
32		垂直通道相位噪声	(°)	
33		水平通道滤波前功率	dBZ	
34		水平通道滤波后功率	dBZ	
35		垂直通道滤波前功率	dBZ	
36		垂直通道滤波后功率	dBZ	
37	雷达在线实时 标定参数	发射机峰值功率	kW	
38		发射机平均功率	W	
39		水平通道天线峰值功率	kW	
40		水平通道天线平均功率	W	
41		垂直通道天线峰值功率	kW	
42		垂直通道天线平均功率	W	
43		发射机功率调零		
44		水平通道天线功率调零		
45		垂直通道天线功率调零		
46		发射机和天线功率比	dB	
47		水平通道脉冲 2 噪声电平	dB	
48		水平通道脉冲 1 噪声电平	dB	
49		垂直通道脉冲 2 噪声电平	dB	
50		垂直通道脉冲 1 噪声电平	dB	
51		当前垂直通道噪声电平	dB	
52		当前水平通道噪声电平	dB	
53		水平通道噪声温度/系数	K/dB	
54		垂直通道噪声温度/系数	K/dB	
55		脉宽 1 系统标定常数		
56		脉宽 2 系统标定常数		
57	其他脉宽系统标定常数			
58		反射率期望值	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
59	雷达在线实时 标定参数	反射率测量值	dBZ	
60		速度期望值	m/s	
61		速度测量值	m/s	
62		谱宽期望值	m/s	
63		谱宽测量值	m/s	
64		水平/垂直通道幅度差标定值	dB	

**附 录 B**  
(规范性)  
检验项目

检验项目、技术要求和试验方法应符合表 B.1 的规定。

**表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法表**

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	定型检验	出厂检验	现场检验
5.1 组成						
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	雷达及附属设备监测	5.2.2.3	6.4.4	●	●	●
6	控制	5.2.2.4	6.4.5	●	●	●
7	关键参数在线分析	5.2.2.5	6.4.6	●	●	●
8	消隐	5.2.2.6	6.4.7	●	●	●
9	授时	5.2.2.7	6.4.8	●	●	●
10	强度标定检查	5.2.3.1 a)	6.4.9	●	●	●
11	距离定位检查	5.2.3.1 b)	6.4.10	●	●	●
12	发射机功率检查	5.2.3.1 b)	6.4.11	●	●	●
13	速度检查	5.2.3.1 b)	6.4.12	●	●	●
14	相位噪声检查	5.2.3.1 b)	6.4.13	●	●	●
15	噪声电平检查	5.2.3.1 b)	6.4.14	●	●	●
16	噪声温度/系数检查	5.2.3.1 b)	6.4.15	●	●	●
17	接收通道增益差检查	5.2.3.1 b)	6.4.16	●	●	●
18	接收通道相位差检查	5.2.3.1 b)	6.4.17	●	●	●
19	发射机脉冲宽度和输出频谱检查	5.2.3.2 a)	6.4.18	●	●	●
20	发射和接收支路损耗检查	5.2.3.2 b)	6.4.19	●	—	●
21	接收机检查	5.2.3.2 c)	6.4.20	●	●	●
22	天线座水平度检查	5.2.3.2 d)	6.4.21	●	—	●
23	天线伺服检查	5.2.3.2 e)	6.4.22	●	—	●
24	天线指向和接收链路增益检查	5.2.3.2 f)	6.4.23	●	—	●
25	基数据角码检查	5.2.3.2 g)	6.4.24	●	—	●
26	地物杂波抑制能力检查	5.2.3.2 h)	6.4.25	●	—	●



表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法表(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	定型检验	出厂检验	现场检验
27	最小可测回波强度检查	5.2.3.2 i)	6.4.26	●	—	●
28	差分反射率标定检查	5.2.3.2 j)	6.4.27	●	—	●
29	气象产品质控、生成和显示	5.2.4.1 5.2.4.2 5.2.4.4	6.4.28	●	●	●
30	气象产品格式	5.2.4.3	6.4.29	●	●	●
31	数据存储和传输	5.2.5	6.4.30	●	●	●
5.3.1 总体技术要求						
32	雷达工作频率	5.3.1.1	6.5.1	●	●	●
33	雷达预热开机时间	5.3.1.2	6.5.2	●	●	●
34	双偏振工作模式	5.3.1.3	6.5.3	●	●	●
35	距离范围	5.3.1.4.1	6.5.4	●	—	—
36	角度范围	5.3.1.4.2	6.5.5	●	—	—
37	强度值范围	5.3.1.4.3	6.5.6	●	—	—
38	速度值范围	5.3.1.4.4	6.5.7	●	—	—
39	谱宽值范围	5.3.1.4.5	6.5.8	●	—	—
40	差分反射率因子值范围	5.3.1.4.6	6.5.9	●	—	—
41	相关系数值范围	5.3.1.4.7	6.5.10	●	—	—
42	差分传播相移值范围	5.3.1.4.8	6.5.11	●	—	—
43	差分传播相移率值范围	5.3.1.4.9	6.5.12	●	—	—
44	退偏振比值范围	5.3.1.4.10	6.5.13	●	—	—
45	距离定位误差	5.3.1.5 a)	6.5.14	●	—	—
46	方位角和俯仰角误差	5.3.1.5 b) 5.3.1.5 c)	6.5.15	●	—	●
47	强度误差	5.3.1.5 d)	6.5.16	●	●	●
48	速度误差	5.3.1.5 e)	6.5.17	●	●	●
49	谱宽误差	5.3.1.5 f)	6.5.18	●	●	●
50	差分反射率因子误差	5.3.1.5 g)	6.5.19	●	●	●
51	相关系数误差	5.3.1.5 h)	6.5.20	●	—	●
52	差分传播相移误差	5.3.1.5 i)	6.5.21	●	●	●
53	退偏振比误差	5.3.1.5 j)	6.5.22	●	●	●
54	分辨力	5.3.1.6	6.5.23	●	—	—
55	最小可测回波强度	5.3.1.7	6.5.24	●	—	●

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法表(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	定型检验	出厂检验	现场检验
56	相位噪声	5.3.1.8	6.5.25	●	●	●
57	地物杂波抑制能力	5.3.1.9	6.5.26	●	—	●
58	天馈系统电压驻波比	5.3.1.10	6.5.27	●	●	—
59	发射和接收支路损耗检查	5.3.1.11	6.5.28	●	—	●
60	相位编码	5.3.1.12	6.5.29	●	—	●
61	整机功耗	5.3.1.13	6.5.30	●	—	—
62	可靠性	5.3.1.14	6.5.31	●	—	—
63	可维护性	5.3.1.15	6.5.32	●	—	—
64	可用性	5.3.1.16	6.5.33	●	—	—
5.3.2 天线罩						
65	型式、尺寸与材料要求	5.3.2 a) 5.3.2 b) 5.3.2 c)	6.5.34	●	—	—
66	双程射频损失	5.3.2 d)	6.5.35	●	—	—
67	引入波束偏差	5.3.2 e)	6.5.36	●	—	—
68	引入波束展宽	5.3.2 f)	6.5.37	●	—	—
69	交叉极化隔离度	5.3.2 g)	6.5.38	●	—	—
5.3.3 天线						
70	天线型式	5.3.3 a)	6.5.39	●	—	—
71	极化方式	5.3.3 b)	6.5.40	●	—	—
72	功率增益	5.3.3 c)	6.5.41	●	●	—
73	波束宽度	5.3.3 d)	6.5.42	●	●	—
74	双极化波束宽度差异	5.3.3 e)	6.5.43	●	●	—
75	双极化波束指向一致性	5.3.3 f)	6.5.44	●	●	—
76	旁瓣电平	5.3.3 g)	6.5.45	●	●	—
77	交叉极化隔离度	5.3.3 h)	6.5.46	●	●	—
78	双极化正交度	5.3.3 i)	6.5.47	●	●	—
5.3.4 伺服系统						
79	扫描方式	5.3.4.1	6.5.48	●	●	●
80	扫描速度及误差	5.3.4.2	6.5.49	●	●	●
81	扫描加速度	5.3.4.3	6.5.50	●	●	●
82	控制方式	5.3.4.4	6.5.51	●	●	●
83	角度控制误差	5.3.4.5	6.5.52	●	●	●

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法表(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	定型检验	出厂检验	现场检验
84	天线空间指向误差	5.3.4.6	6.5.53	●	●	●
85	控制字长	5.3.4.7	6.5.54	●	—	—
86	角码数据字长	5.3.4.8	6.5.55	●	—	—
5.3.5 发射机						
87	脉冲功率	5.3.5.1	6.5.56	●	●	●
88	脉冲宽度	5.3.5.2	6.5.57	●	●	●
89	脉冲重复频率	5.3.5.3	6.5.58	●	●	●
90	输出极限改善因子	5.3.5.4	6.5.59	●	●	●
91	功率波动	5.3.5.5	6.5.60	●	●	●
5.3.6 接收机						
92	最小可测功率	5.3.6.1	6.5.61	●	●	●
93	噪声系数	5.3.6.2	6.5.62	●	●	●
94	线性动态范围	5.3.6.3	6.5.63	●	●	●
95	数字中频 A/D 位数	5.3.6.4	6.5.64	●	—	—
96	数字中频采样速率	5.3.6.5	6.5.65	●	—	—
97	接收机带宽	5.3.6.6	6.5.66	●	—	—
98	频率源射频输出相位噪声	5.3.6.7	6.5.67	●	●	—
99	频率源射频输出极限改善因子	5.3.6.8		●	●	●
100	温度控制精度	5.3.6.9	6.5.69	●	●	●
5.3.7 信号处理						
101	信号处理一般要求	5.3.7.1	6.5.70	●	—	—
102	数据输出率	5.3.7.2	6.5.71	●	—	—
103	处理模式	5.3.7.3	6.5.72	●	—	—
104	基数据格式	5.3.7.4	6.5.73	●	—	—
105	数据处理和质量控制	5.3.7.5	6.5.74	●	—	●
5.4 方舱与载车						
106	方舱与载车	5.4	6.6	●	—	—
5.5 环境适应性						
107	一般要求	5.5.1	6.7.1	●	—	—
108	温度	5.5.2	6.7.2	●	—	—
109	空气相对湿度	5.5.3	6.7.3	●	—	—
110	天线罩抗风和冰雪载荷	5.5.4	6.7.4	●	—	—
111	移动式雷达抗风能力	5.5.5	6.7.5	●	—	—

表 B.1 检验项目、技术要求和试验方法表(续)

序号	检验项目名称	技术要求条文号	试验方法条文号	定型检验	出厂检验	现场检验
5.6 电磁兼容性						
112	电磁兼容性	5.6	6.8	●	—	—
5.7 电源适应性						
113	电源适应性	5.7	6.9	●	—	—
5.8 互换性						
114	互换性	5.8	6.10	●	—	—
5.9 安全性						
115	一般要求	5.9.1	6.11	●	—	●
116	电气安全	5.9.2	6.12	●	—	—
117	机械安全	5.9.3	6.13	●	—	—
5.10 噪音						
118	噪音	5.10	6.14	●	—	—
注:●为必检项目;—为不检项目。						

参 考 文 献

- [1] GB/T 12648—1990 天气雷达通用技术条件
- [2] QX/T 462—2018 C波段双线偏振多普勒天气雷达
- [3] 中国气象局. 全固态 X 波段多普勒天气雷达功能规格需求书[Z], 2013 年 12 月
- [4] 中国气象局. X 波段全相参/中频相参多普勒天气雷达功能规格需求书[Z], 2007 年 12 月  
1 日
- [5] 中国气象局. 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)[Z], 2019 年  
3 月
- [6] ISO 19926-1:2019 Meteorology—Weather radar—Part 1: System performance and operation
-





中华人民共和国  
气象行业标准  
X波段双偏振多普勒天气雷达  
QX/T 610—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:4 字数:120千字  
2021年6月第1版 2021年6月第1次印刷

\*

书号:135029-6243 定价:75.00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