



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 525—2019

有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)

Active phased array L-band wind profiler radar(fixed and mobile)

2019-12-26 发布

2020-04-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 分类与组成	2
4.1 分类	2
4.2 组成	2
5 技术要求	2
5.1 一般要求	2
5.2 安全要求	2
5.3 性能指标要求	2
6 试验方法	8
7 检验规则	8
8 标志和随行文件	9
8.1 标志	9
8.2 随行文件	9
9 包装、运输与贮存	9
9.1 包装	9
9.2 运输	9
9.3 贮存	9
附录 A(资料性附录) 有源 L 波段风廓线雷达工作原理与组成	10
附录 B(资料性附录) 风速、风向及 C_n^2 计算方法	13
附录 C(规范性附录) 试验方法	15
参考文献	30

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:南京恩瑞特实业有限公司、北京敏视达雷达有限公司、中国气象局气象探测中心、江苏省气象探测中心、中国航天科工集团第二研究院二十三所。

本标准主要起草人:李忱、段士军、吴蕾、刘一峰、周红根、陆雅萍、贾晓星。

有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)

1 范围

本标准规定了采用有源相控阵体制的有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)的设计、生产、产品检验、试验测试和包装运输等基本要求。

本标准适用于采用有源相控阵体制的有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)的设计和检验。

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

GB 4793.1—2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分:通用要求

GB/T 19520.12—2009 电子设备机械结构 482.6 mm(19 in)系列机械结构尺寸 第 3-101 部分:插箱及其插件(IEC 60297-3-101:2004, IDT)

GJB 74A—1998 军用地面雷达通用规范

GJB 151B—2013 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量

QX/T 78—2007 风廓线雷达信号处理规范

QX/T 162—2012 风廓线雷达站防雷技术规范

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

风廓线雷达 **wind profiler radar**

用来探测大气风场的雷达,包括边界层风廓线雷达、对流层风廓线雷达、平流层风廓线雷达和中层风廓线雷达。

[GB/T 3784—2009, 定义 2.1.1.29]

3.1.2

有源相控阵天线 **active phased array antenna**

每个辐射单元或每个子阵辐射单元配装有单独的发射/接收组件的相控阵天线。

3.1.3

无线电声波探测系统 **radio-acoustic sounding system; RASS**

利用声波引起大气折射指数起伏对电磁波的散射作用,进行大气温度垂直梯度探测的系统。

3.1.4

TR 组件 **T/R Module**

完成发射功率放大及回波接收的组件。

注:T 表示发射,R 表示接收。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DBS:多普勒波束扫描

FFT:快速傅里叶变换

MTBF:平均故障间隔时间

MTTR:平均维护时间

RASS:无线电声波探测系统

SNR:信噪比

4 分类与组成

4.1 分类

根据探测高度及安装平台,可分为低对流层风廓线雷达、边界层风廓线雷达(固定式)和边界层风廓线雷达(可移动式)三种。固定式雷达的天线安装在机房旁边或者机房房顶。可移动式雷达的天线一般安装在载车或方舱顶部。

4.2 组成

雷达由有源相控阵天线(含天线阵面和 TR 组件两部分)、波束控制器、发射前级、接收机、信号处理器、数据处理及应用终端、无线电声波探测系统(选配)等组成,参见附录 A。其中:

- a) 固定式风廓线雷达还应包括电磁屏蔽网;
- b) 可移动式风廓线雷达还应包括载车或可移动方舱。

5 技术要求

5.1 一般要求

包括:

- a) 雷达的产品外观质量应符合 GJB 74A—1998 中 3.3 的要求;
- b) 雷达的人-机-环境设计应符合 GJB 74A—1998 中 3.9 的要求;
- c) 插箱、插件结构尺寸应符合 GB/T 19520.12—2009 中第 5—10 章的规定。

5.2 安全要求

包括:

- a) 雷达的安全性应符合 GB 4793.1—2007 中第 5—7 章及第 9 章的要求;
- b) 雷达站的防雷应符合 QX/T 162—2012 中第 7—12 章的要求。

5.3 性能指标要求

5.3.1 一般要求

包括:

- a) 雷达应具有自动、连续、无人值守,自动在线标定校准,远程监控和遥控的能力;
- b) 雷达应具备自动校时功能;

c) 雷达采用 DBS 工作方式,获取一次风场数据的时间一般为 6 min,在获取风场之外的时间内可完成在线标定校准等功能。

5.3.2 总体技术要求

5.3.2.1 工作频率

在 1270 MHz~1375 MHz 范围内选择工作频点。

5.3.2.2 测量范围

指标要求见表 1。

表 1 测量范围指标

序号	项目	低对流层风廓线雷达	边界层风廓线雷达 (固定式)	边界层风廓线雷达 (可移动式)
1	最高探测高度	≥ 6 km	≥ 3 km	≥ 2 km
2	最低探测高度	≤ 150 m	≤ 100 m	≤ 100 m
3	水平风速测量范围	0 m/s~60 m/s		
4	垂直风速测量范围	0 m/s~20 m/s		
5	风向测量范围	0°~360°		
6	大气虚温测量范围 (选配 RASS 时)	223 K~323 K		

5.3.2.3 测量性能

指标要求见表 2。

表 2 测量性能指标

序号	项目	低对流层风廓线雷达	边界层风廓线雷达 (固定式)	边界层风廓线雷达 (可移动式)
1	风速测量误差(均方根偏差)	≤ 1.5 m/s		
2	风向测量误差(均方根偏差)	$\leq 10^\circ$		
3	大气虚温测量误差 (选配 RASS 时)	≤ 1 K		
4	风速分辨力	≤ 0.2 m/s		
5	风向分辨力	$\leq 0.5^\circ$		
6	时间分辨力	三波束工作时: ≤ 3 min,在五波束工作时: ≤ 6 min		
7	高度分辨力	低模式为 120 m,高模式为 240 m(须采用与距离分辨力匹配的子脉冲宽度的脉冲压缩技术)	低模式为 60 m,高模式为 120 m(须采用与距离分辨力匹配的子脉冲宽度的脉冲压缩技术)	

5.3.2.4 最小可检测信号

不大于-145 dBm。

5.3.2.5 动态范围

不小于 90 dB(高于灵敏度电平 50 dB 以上)。

5.3.2.6 相干性

系统相位噪声:不大于 0.1°。

5.3.2.7 输出基础数据

以图像、表格、文字等形式输出不少于以下基础数据:

- a) 功率谱和谱的零、一、二阶矩;
- b) 回波信噪比;
- c) 水平风速、风向;
- d) 垂直气流速度和方向;
- e) 大气折射率结构常数 C_n^2 ;
- f) 大气虚温(选配 RASS 时)。

5.3.2.8 可靠性/可维修性

包括:

- a) MTBF:不小于 2500 h。
- b) MTTR:不大于 30 min。

5.3.2.9 设备使用年限

15 a。

5.3.2.10 监控

监控项目见表 3,监控项目需在终端软件中显示数值或状态参数。

表 3 监控项目

设备	监控项目
TR 组件	TR 组件状态
	输出前向功率数值
	天线反射功率数值
	输出驻波故障
发射前级	发射前级过热故障
	发射前级输入故障
	发射前级无输出故障
	发射前级电源故障

表 3 监控项目(续)

设备	监控项目
接收机	接收本振状态
	激励信号状态
	直流电源状态
	A/D 采样时钟状态

5.3.2.11 标定

标定项目及指标要求如下:

- a) 接收通道强度线性度标定,误差:不大于 1 dB;
- b) 速度标定,误差:不大于 0.2 m/s;
- c) 最小可检测信号标定,指标要求见 5.3.2.4;
- d) 动态范围标定,指标要求见 5.3.2.5;
- e) 系统相干性标定,指标要求见 5.3.2.6。

5.3.2.12 通信

对外通信接口:

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

5.3.2.13 功耗与电源

功耗见表 4。

表 4 功耗与电源

序号	项目	低对流层风廓线雷达	边界层风廓线雷达 (固定式)	边界层风廓线雷达 (可移动式)
1	功耗	≤8 kW	≤5 kW	≤3 kW
2	采用交流电源	380 V/220 V×(1±10%)、50 Hz×(1±5%)		

5.3.2.14 环境适应性

环境适应性要求如下:

- a) 温度:
 - 1) 室外部分:−40 ℃~50 ℃;
 - 2) 室内部分:0 ℃~30 ℃。
- b) 湿度:室外部分不大于 100%RH,室内部分不大于 95%RH。
- c) 抗风:能经受的最大阵风风速为 50 m/s,能经受的最大平均风速为 30 m/s。在上述情况下,天线和电磁屏蔽网不产生永久性变形或破坏。

- d) 其他环境适应性:应具备防盐雾、防霉、防沙尘和防雷击能力。
- e) 电磁兼容性:应具有静电屏蔽、电磁屏蔽设计,设备地线中模拟地线(Ga)与数字地线(Gd)和安全地线(Gp)要严格分开,以增强设备的抗干扰能力。电磁兼容性应符合 GJB 151B—2013 中 5.23 的规定。

5.3.2.15 系统智能化要求

要求系统应具备:远程控制雷达系统开关机能力,远程系统运行参数监测和控制能力,软件远程升级能力。

5.3.3 分系统技术要求

5.3.3.1 天线阵面

天线阵面安装在天线罩内。天线罩应具有光滑平整的低风阻外形、架设和维修方便、保证安全可靠、具有防锈措施和能全天候工作。移动式天线整罩尺寸应不大于载车尺寸。

天线阵面技术指标见表 5。

表 5 天线阵面技术指标

序号	名称	技术指标		
		低对流层风廓线雷达	边界层风廓线雷达 (固定式)	边界层风廓线雷达 (可移动式)
1	天线类型	模块化微带有源相控阵天线		
2	工作频率	见 5.3.1		
3	波束指向	五波束,一个铅垂方向和四个方位相互正交、具有相同仰角的倾斜波束		
4	倾斜波束倾角	$15^{\circ} \pm 5^{\circ}$		
5	波束宽度	$\leq 3^{\circ}$	$\leq 4.5^{\circ}$	$\leq 9^{\circ}$
6	天线增益	≥ 35 dB	≥ 30 dB	≥ 24 dB
7	最大副瓣(收发之和)	≤ -40 dBc(扫描面和非扫描面)		
8	远区副瓣(收发之和)	≤ -60 dBc	≤ -60 dBc	≤ -50 dBc
9	驻波系数	≤ 1.3		
10	发射馈线损耗	≤ 3 dB		
11	接收馈线损耗	≤ 4 dB		
12	极化方式	线极化		
13	波瓣形式	笔形波束		
14	波束转换方式	电控		
15	天线罩传输损耗(双程)	≤ 0.2 dB		
16	双程屏蔽网隔离度	> 40 dB		

5.3.3.2 TR 组件

TR 组件技术指标见表 6。

表 6 TR 组件技术指标

序号	项目	低对流层风廓线雷达	边界层风廓线雷达 (固定式)	边界层风廓线雷达 (可移动式)
1	工作频率	见 5.3.1		
2	噪声系数	≤ 1.5 dB(低噪放入口处测试)		
3	接收灵敏度	≤ -111 dBm (脉冲宽度为 $0.8 \mu\text{s}$)	-108 dBm(脉冲宽度为 $0.4 \mu\text{s}$)	
4	输出峰值功率 (总功率)	≥ 6 kW	≥ 2 kW	≥ 2 kW
5	脉冲宽度	窄脉冲: $0.8 \mu\text{s}$ 宽脉冲: $1.6 \mu\text{s} \times$ 子脉冲数	窄脉冲: $0.4 \mu\text{s}$ 宽脉冲: $0.8 \mu\text{s} \times$ 子脉冲数	
6	脉冲重复周期	$20 \mu\text{s} \sim 100 \mu\text{s}$		
7	最大占空比	$\geq 10\%$		
8	发射频谱宽度	≤ 35 MHz(在 -35 dBc 处)		

5.3.3.3 波束控制器

波束控制器采用数字移相器,位数:不少于 6 bit。

5.3.3.4 发射前级

输出峰值功率:不小于 100 W。

5.3.3.5 接收机

接收机技术指标如下:

- 中频采样位数:不少于 16 bit;
- 中频采样频率:不小于 40 MHz;
- 中频匹配滤波器带宽:与脉冲宽度匹配;
- I、Q 输出位数:不少于 24 bit;
- 镜频抑制比:不小于 70 dB;
- 频综短时稳定度:优于 10^{-11} /ms;
- 相位噪声:不大于 -120 dBc/Hz(@1 kHz);
- 杂散:不大于 -60 dBc;
- 输出 RASS 信号(选配 RASS 时):正弦波信号,音频范围为 2500 Hz~3200 Hz。

5.3.3.6 信号处理器

风廓线雷达信号处理方法按照 QX/T 78—2007 中第 4 章的要求执行。

信号处理器技术指标见表 7。

表 7 信号处理器技术指标

序号	项目	低对流层风廓线雷达	边界层风廓线雷达 (固定式)	边界层风廓线雷达 (可移动式)
1	处理模式	常规模式,脉冲压缩模式		
2	时域相干积累数	1~1024		
3	FFT 点数	128,256,512,1024,2048 或更多		
4	最大处理库数	≥100		
5	库长	120 m/240 m	60 m/120 m	
6	输出	功率谱密度分布或 IQ 数据		

5.3.3.7 数据处理及应用终端

数据处理及应用终端由终端处理软件及计算机组成。它接收信号处理器输出信号,生成各种产品。要求包括:

- 数据格式按照中国气象局制定的风廓线雷达数据格式;
- 数据处理及应用终端应具有设置台站参数功能,包括站号、站址、经度、纬度、海拔高度等系统参数的设置;
- 数据处理及应用终端应具有数据文件存储功能,存储内容包括:功率谱数据文件、径向数据文件、实时采样高度上产品数据文件、半小时平均采样高度上产品数据文件、一小时平均采样高度上产品数据文件等;
- 风速、风向及 C_n^2 计算方法参见附录 B。

5.3.3.8 无线电声波探测系统

无线电声波探测系统的技术指标要求如下:

- 工作频率:2500 Hz~3200 Hz;
- 3 dB 声波束宽度: $10^\circ \pm 2^\circ$;
- 声天线增益:不小于 10 dB;
- 声压级:不小于 130 dB(声天线口面上方 1 m 处);
- 声源喇叭承受功率:不小于 100 W/8 Ω ;
- 声功放输出功率:0 W~1500 W/4 Ω (可调);
- 音频输入幅度:峰峰值电压(V_{PP})不大于 2 V;
- 隔音:筒内衬吸音材料。

6 试验方法

试验方法及合格判据见附录 C。

7 检验规则

按照 GJB 74A—1998 中第 4 章的规定。

8 标志和随行文件

8.1 标志

包括：

- a) 标志耐久性应符合 GB 4793.1—2007 中 5.3 的规定；
- b) 产品标牌应有产品型号、设备名称、公司名称、产品序号、生产日期；
- c) 每个包装箱外应标记不褪色的装箱号、毛重，并标记“怕雨”“向上”等符合 GB/T 191—2008 中第 2—3 章规定的运输标志。

8.2 随行文件

随行文件应包含：产品合格证、装箱单、保修卡、技术手册、维护手册、用户手册、备(附)件清单等。

9 包装、运输与贮存

9.1 包装

包括：

- a) 雷达应在经检验合格、随机文件齐套并对设备做好防护及内包装后，方可进行装箱；
- b) 装箱时，应按照装箱明细表和装箱图进行，做到文、图与实物相符；
- c) 按照产品包装设计文件和工艺文件的要求，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、安全可靠；
- d) 装箱检验后，必须封箱牢固，进行编号、标志，并由订购和承制双方代表打封印；
- e) 配套设备的包装应进行统一的编号和标志。

9.2 运输

雷达产品运输条件：

- a) 可适宜三级以上公路运输、空运、水运或铁路运输；
- b) 运输过程中应防止剧烈振动、挤压、雨淋及化学物品侵蚀。

9.3 贮存

雷达长期贮存(贮存 6 个月以上)的库房环境应符合以下要求：

- a) 温度： $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 湿度： $20\%\text{RH}\sim 80\%\text{RH}$ ；
- c) 无强电磁干扰。

附录 A
(资料性附录)

有源 L 波段风廓线雷达工作原理与组成

A.1 工作原理

雷达由有源相控阵天线(含天线阵面和 TR 组件两部分)、波束控制器、发射前级、接收机、信号处理器、数据处理及应用终端、RASS(选件)等组成。其中不同类型雷达的天线尺寸不同,TR 组件的数量不同。有源 L 波段风廓线雷达的监控和标定功能分散融合设计在各分系统中,不再有一个单独的物理单元。

数据处理及应用终端控制接收机产生射频探测脉冲,该脉冲信号经过发射前级、TR 组件放大后,再经过天线辐射出去。电磁波信号遇到大气湍流后散射返回,天线接收到回波信号,经 TR 组件放大后合成并传输到接收机进行中频采样和数字下变频处理,然后经过信号处理的相参处理和 FFT 计算,获取湍流回波信号功率谱。此功率谱由数据处理终端进行处理,反演出大气三维风场、 C_n^2 等气象产品。

工作原理框图见图 A.1。

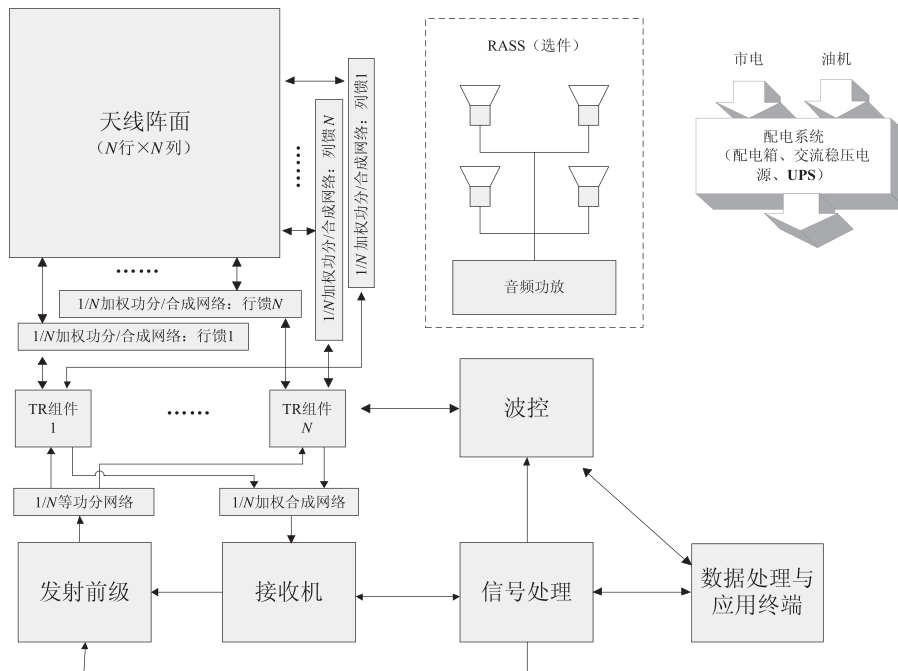


图 A.1 雷达原理框图(图中 N 由天线阵面大小确定)

雷达在测温模式下工作时,主控计算机控制时序控制器产生 RASS 声波,经放大后由声抛物面反射体向天顶法线方向发送,同时通过相控阵天线垂直发射射频脉冲信号。相控阵天线沿垂直方向接收到的射频回波信号包含大气运动和声波扰动的多普勒信号。通过声传播速度和大气虚温的关系式导出各个高度上的大气虚温。

A.2 天线阵面组成和功能

天线阵面由微带相控阵天线、天线罩、功分网络、电磁屏蔽网等组成。微带相控阵天线由按行列排列的两维扫描的辐射单元组成。电磁屏蔽网选用拼块金属网结构形式,网孔几何尺寸小于 $\lambda/20$ (λ 为雷达波长),其底部高度与天线阵面高度相等,高度一般应大于 5λ ,离天线阵面的间距应大于 λ 。可移动式雷达的电磁屏蔽网的尺寸可根据实际情况调整。

天线阵面法向指向天顶(见图 A.2)。通过相位控制,天线可在天顶方向形成垂直波束(V波束);在偏离天顶的东、西方向形成东波束(E波束)和西波束(W波束);在偏离天顶南、北方向形成南波束(S波束)和北波束(N波束)。

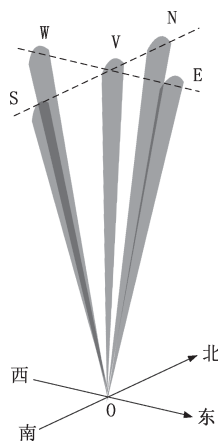


图 A.2 天线波束指向示意图

A.3 TR 组件组成和功能

TR 组件主要由环行器、移相器、功率放大、低噪声放大器、电子开关、波束控制器激励板等组成。TR 组件是完成功率放大和回波信号放大的模块,是有源相控阵的核心部件,主要完成收发微波信号的放大与传输、收发转换、波束控制等功能。

A.4 波束控制器组成和功能

波束控制器由波束控制器主机和若干波束控制器激励板组成,波束控制器激励板安装在 TR 组件内部。波束控制器通过对 TR 组件内部移相器的控制,从而实现雷达波束的切换。

A.5 发射前级组成和功能

发射前级主要由前级功放和监测与控制电路组成。发射前级将接收机送来的激励信号放大后作为 TR 组件的输入信号。监测与控制电路用于对发射前级的监视、控制和保护,并将状态信息上传至主控计算机。

A.6 接收机组成和功能

接收机主要由模拟前端模块和数字中频模块组成。

接收机的主要用途是接收并放大大气回波信号,并给系统提供全机时钟,同时给发射前级提供激励信号。

A.7 信号处理器组成和功能

信号处理器由硬件和软件组成。信号处理器主要完成脉冲压缩、时域积累、FFT 等处理。

A.8 数据处理及应用终端组成和功能

数据处理及应用终端由终端处理软件及计算机组成。它接收信号处理器输出的信号,进行质量控制、谱估计后,生成各种气象产品。

A.9 无线电声波探测系统组成和功能

RASS 系统由电声转换器、声抛物面反射体、声屏蔽筒和声功率放大器构成。在雷达测温模式下工作时,RASS 系统向天顶法线方向发送声波。天线沿垂直方向接收到的回波信号是大气运动和 RASS 声波的多普勒信号。通过声传播速度和大气虚温的关系式导出各个高度上的大气虚温。

附 录 B
(资料性附录)
风速、风向及 C_n^2 计算方法

B.1 风速、风向计算

B.1.1 三波束风廓线雷达三维风计算

计算公式见式(B.1)、式(B.2)、式(B.3)：

$$U_E = \frac{1}{\sin(\theta)}(V_{R,E} - V_{R,Z}\cos\theta) \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

$$U_N = \frac{1}{\sin(\theta)}(V_{R,N} - V_{R,Z}\cos\theta) \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

$$U_Z = V_{R,Z} \quad \dots\dots\dots(B.3)$$

式中：

- U_E ——水平风在东方向的分量,单位为米每秒(m/s)；
 - θ ——倾斜波束的天顶角,单位为度($^\circ$)；
 - $V_{R,E}$ ——风廓线雷达偏东方向测得的径向速度,单位为米每秒(m/s)；
 - $V_{R,Z}$ ——风廓线雷达在天顶方向测得的径向速度,单位为米每秒(m/s)；
 - U_N ——水平风北方向的分量,单位为米每秒(m/s)；
 - $V_{R,N}$ ——风廓线雷达偏北方向测得的径向速度,单位为米每秒(m/s)；
 - U_Z ——大气垂直运动速度,单位为米每秒(m/s)。
- 风廓线雷达测得的径向速度均以朝向雷达方向为正速度。

B.1.2 五波束风廓线雷达水平风合成方法

先将两个对称方向的倾斜波束的径向速度进行平均,再按三波束风廓线雷达水平风合成的方法计算。

B.2 大气折射率结构常数 C_n^2 计算方法

$$C_n^2 = \frac{KT_0BN_F}{5.4 \times 10^{-5}\lambda^{5/3}P_t(H/2)G_1G_2L_1L_2}R^2 \cdot SNR \quad \dots\dots\dots(B.4)$$

式中：

- K ——波尔兹曼常数；
- T_0 ——绝对温度,单位为开(K)；
- B ——噪声带宽,单位为赫兹(Hz)；
- N_F ——噪声系数；
- λ ——波长,单位为米(m)；
- P_t ——发射功率,单位为瓦(W)；
- H ——脉冲照射深度,单位为米(m)；
- G_1 ——相控阵天线发射增益；
- G_2 ——相控阵天线接收增益；

- L_1 ——发射损耗；
 L_2 ——接收损耗；
 R ——天线中心到大气目标的距离，单位为米(m)；
 SNR ——信噪比。

附 录 C
(规范性附录)
试验方法

C.1 设备组成

符合 4.2 的要求。

C.2 外观、结构和工艺

用目视法对雷达的外观、结构、工艺等进行检查,符合 5.1 的要求。

C.3 系统参数

C.3.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3。

C.3.2 测试仪器

包括信号源、频谱分析仪、钳表。

C.3.3 测试方法

C.3.3.1 工作频率

见 C.5.3.1。

C.3.3.2 测量范围

根据数据处理及应用终端获得的实际观测数据和历史记录对测量范围进行评估,符合 5.3.2.2 的要求。

C.3.3.3 测量性能

根据数据处理及应用终端获得的实际观测数据和历史记录对测量性能进行评估,符合 5.3.2.3 的要求。

C.3.3.4 最小可检测信号

最小可检测信号测试示意图见图 C.1。用系统正常运转程序,设置 FFT 点数和脉冲累积数,改变信号源输出功率,增加可变衰减器的衰减值,直到数据处理终端上不能分辨,此时信号源输出功率值就是系统最小可检测信号($P_{r,\min}$)。

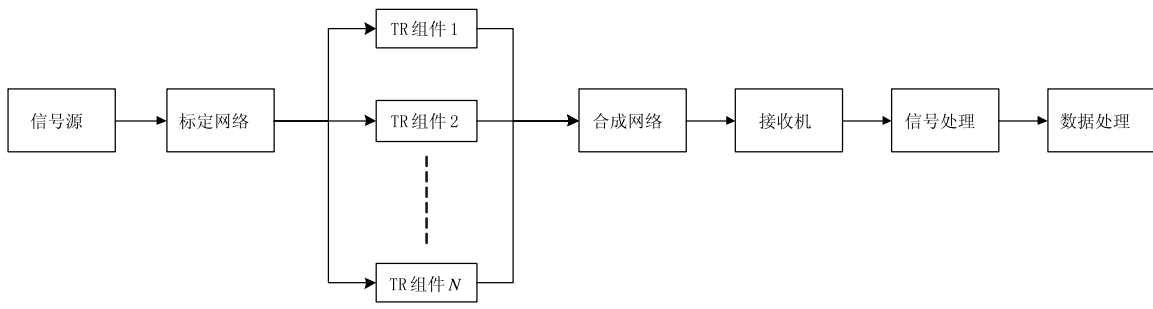


图 C.1 最小可检测信号测试示意图

C.3.3.5 动态范围

采用信号源经标定网络输入到 TR 组件接收通道入口,在测得系统最小可测功率 $P_{r,\min}$ (dBm)的基础上,逐渐加大接收系统的输入功率,在数据终端读取输出功率,并依次记录数值,直到终端输出功率出现 1 dB 压缩点,此时接收系统的输入功率记为 $P_{r,\max}$ (dBm);则接收系统的动态范围为: $P_{r,\max} - P_{r,\min}$,如图 C.2 所示,根据测试结果,绘制动态范围曲线(见图 C.3)。

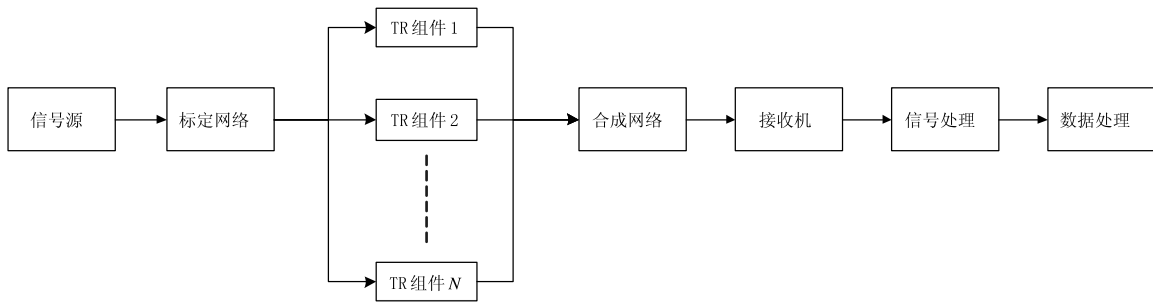


图 C.2 动态范围测试示意图

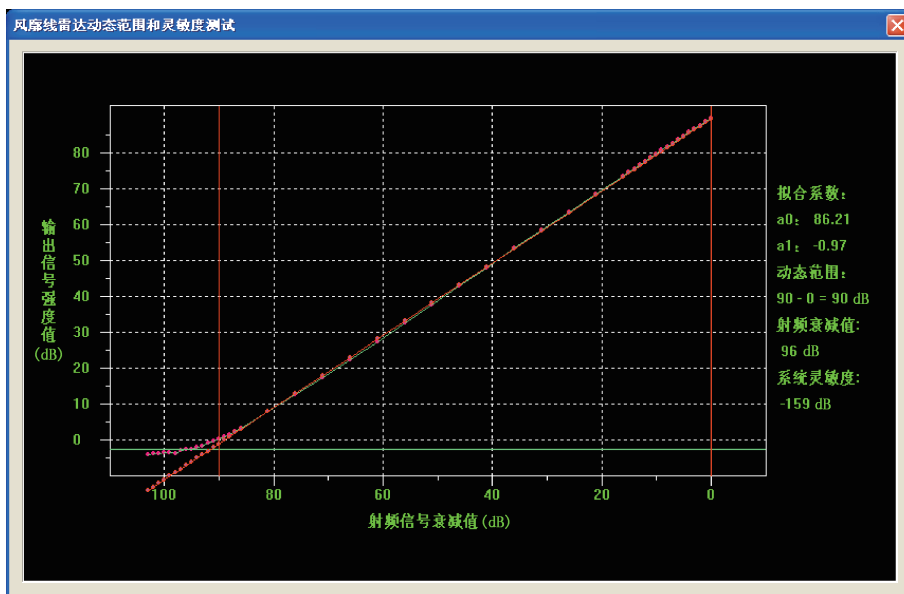


图 C.3 动态范围曲线

C.3.3.6 系统相干性

系统相干性测试示意图见图 C.4。发射前级经功分网络推动 N 个 TR 组件,发射信号经耦合网络和衰减器后送回至接收机,接收机获得的 I、Q 两路信号经信号处理送至数据处理软件。数据处理软件计算出 I、Q 两路信号的相角的标准差就是所求相位噪声。

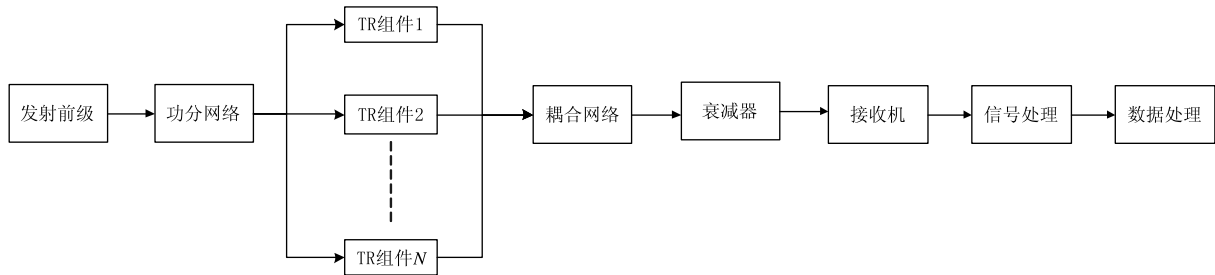


图 C.4 系统相干性测试示意图

C.3.3.7 输出产品

根据数据处理及应用终端获得的实际观测数据和历史记录对输出产品进行评估,应符合 5.3.2.7 的要求。

C.3.3.8 可靠性/可维修性

根据理论分析对可靠性/可维修性进行评估,应符合 5.3.2.8 的要求。

C.3.3.9 监控

通过数据处理及应用终端对监控项目进行评估,应符合 5.3.2.10 的要求。

C.3.3.10 自动标定

系统应具备机内自动标定功能。

通过数据处理及应用终端对自动标定功能进行评估,应符合 5.3.2.11 的要求。

C.3.3.11 通信

检查风廓线雷达的通信端口,应符合 5.3.2.12 的要求。

C.3.3.12 电源

用钳表测量雷达的功耗,应符合 5.3.2.13 的要求。

C.3.3.13 环境适应性

应符合 GJB 151B—2013 的规定。

C.4 天线

C.4.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.1。

C.4.2 测试仪器

包括矢量网络分析仪、微波暗室天线测试台。

C.4.3 测试方法

C.4.3.1 天线方向图的测试

C.4.3.1.1 测试内容

包括接收方向图的测试和发射方向图的测试。整机测试时,天线方向图的测试一般只查验承制方的自测数据。

C.4.3.1.2 接收方向图的测试

接收天线方向图测试示意图见图 C.5。雷达工作在只接收状态。波束控制器控制 TR 组件中移相器的状态,使天线波束分别指向“垂直、东、南、西、北”5 个波束位置。

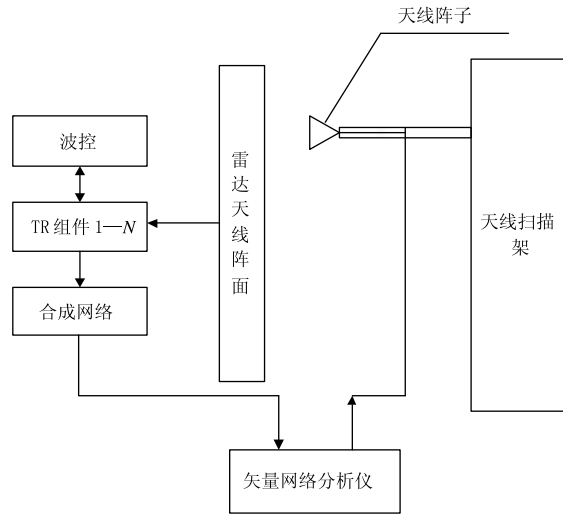


图 C.5 接收天线方向图测试示意图

矢量网络分析仪经过扫描架上的天线阵子发出信号,天线阵面将接收到的信号由 N 个行(或列)馈网络合成后送到 N 个 TR 组件的接收通道, N 个 TR 组件接收到的信号在合成网络中合成后再送给矢量网络分析仪。

天线扫描架根据预设的模式对整个雷达天线阵面进行扫描,矢量网络分析仪记录每个扫描位置获得的幅度和相位数据。最后将 5 个波束位置的数据进行计算,得到 5 组接收天线方向图数据。

测试结果填入表 C.1 中。

表 C.1 接收天线方向图测试结果

项目	单位	要求	接收天线方向图测试结果				
			垂直	东	西	南	北
波束指向	°						
波束宽度	°						

表 C.1 接收天线方向图测试结果(续)

项目	单位	要求	接收天线方向图测试结果				
			垂直	东	西	南	北
天线增益	dB						
最大副瓣	dBc						
远区副瓣	dBc						

C.4.3.1.3 发射方向图的测试

发射天线方向图测试示意图见图 C.6。雷达工作在只发射状态。波控控制器控制 TR 组件中移相器的状态,使天线波束分别指向“垂直、东、南、西、北”5 个波束位置。

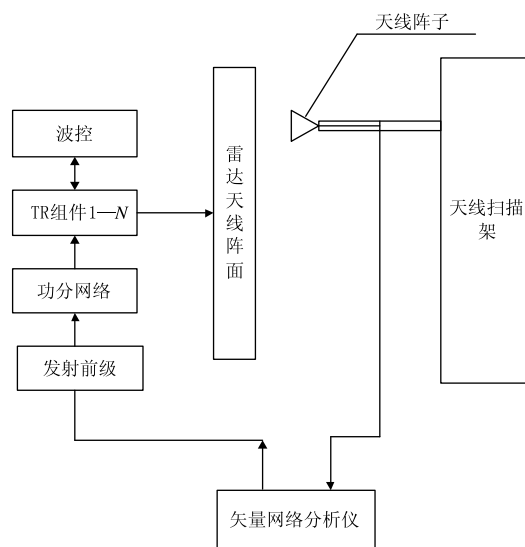


图 C.6 发射天线方向图测试示意图

矢量网络分析仪发出信号送给发射前级,功分网络将发射前级放大后的信号分配给 N 个 TR 组件的发射通道,TR 组件的发射通道将信号再放大后经 N 个行(或列)馈网络送到天线阵面上辐射出去。扫描架上的天线阵子将接收到信号送给矢量网络分析仪。

天线扫描架根据预设的模式对整个雷达天线阵面进行扫描,矢量网络分析仪记录每个扫描位置获得的幅度和相位数据。最后将 5 个波束位置的数据进行计算,得到 5 组发射天线方向图数据。

测试结果填入表 C.2 中。

表 C.2 发射天线方向图测试结果

项目	单位	要求	发射天线方向图测试结果				
			垂直	东	西	南	北
波束指向	°						
波束宽度	°						
天线增益	dB						

表 C.2 发射天线方向图测试结果(续)

项目	单位	要求	发射天线方向图测试结果				
			垂直	东	西	南	北
最大副瓣	dBc						
远区副瓣	dBc						

C.4.3.1.4 测试结果处理

综合表 C.1 和表 C.2 的结果,将天线方向图测试结果填入表 C.3,其中波束指向、波束宽度、天线增益取平均值,最大副瓣和远区副瓣取收发之和。

表 C.3 天线方向图测试结果

项目	单位	要求	天线方向图测试结果				
			垂直	东	西	南	北
波束指向	°						
波束宽度	°						
天线增益	dB						
最大副瓣(收发之和)	dBc						
远区副瓣(收发之和)	dBc						

C.4.3.2 驻波系数测试

驻波测试示意图见图 C.7。矢量网络分析仪进行开路、短路、负载等标校后在天线端口(即 TR 组件行列端口)进行天线驻波测试。雷达有 N 个行馈和 N 个列馈网络,因此该值有 $2N$ 个。由于这 $2N$ 个网络的设计完全相同,故测试时可以查验承制方的自测数据并进行抽测。

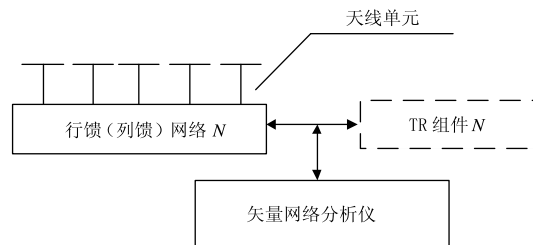


图 C.7 驻波测试示意图

测试结果填入表 C.4 中。

表 C.4 驻波系数测试结果

技术指标	测试值
≤ 1.3	

C.4.3.3 馈线损耗的测试

馈线损耗测试示意图见图 C.8。发射支路馈线损耗,即为 TR 组件行列端口至天线单元入口处这一段馈线网络的损耗。

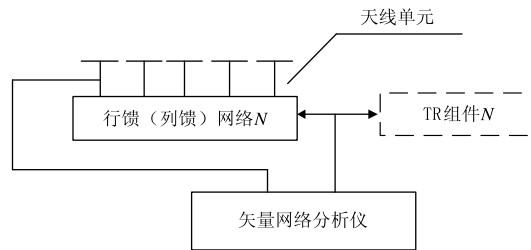


图 C.8 馈线损耗测试示意图

接收支路的馈线损耗由两部分组成,第一部分与发射支路馈线损耗相同;第二部分由 TR 组件内部的行列开关、环形器、限幅器和若干电缆的损耗组成,第二部分一般不超过 1 dB。

雷达有 N 个行馈和 N 个列馈网络,因此该值有 $2N$ 个。由于这 $2N$ 个网络的设计完全相同,故测试时可以查验承制方的自测数据并进行抽测。

测试结果填入表 C.5 中。

表 C.5 馈线损耗测试结果

项目	技术指标 dB	测试值 dB
发射支路馈线损耗	≤ 3	
接收支路馈线损耗	≤ 4	

C.4.3.4 屏蔽网隔离度测试

天线屏蔽网隔离度测试示意图见图 C.9。首先将信号源的输出幅度设为 0 dBm,在无屏蔽网的情况下记录频谱分析仪的读数(P_1);然后关闭屏蔽网,记录频谱分析仪的读数(P_2),则屏蔽网的单向隔离度(I)为 P_1 与 P_2 的差,双向隔离度为单向隔离度的 2 倍。

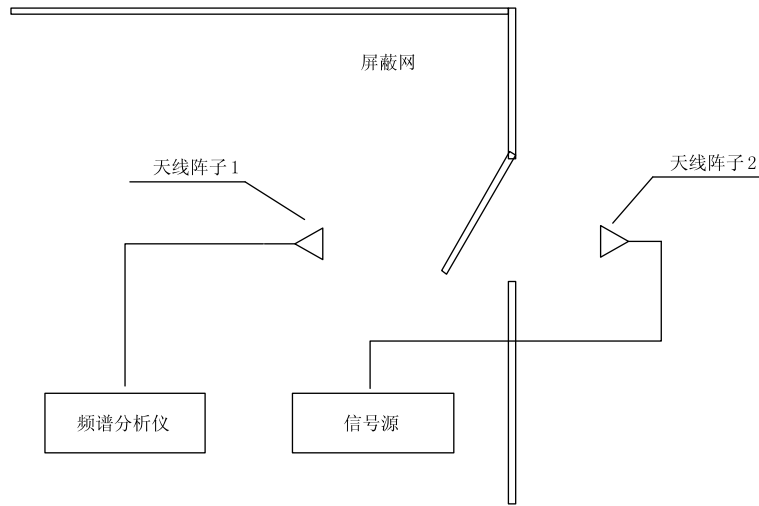


图 C.9 天线屏蔽网隔离度测试示意图

测试结果填入表 C.6 中。

表 C.6 屏蔽网隔离度测试结果

频谱分析仪的读数(P_1) dBm	频谱分析仪的读数(P_2) dBm	双向隔离度($2I$) dB

C.5 TR 组件

C.5.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.2。

C.5.2 测试仪器

大功率衰减器、频谱分析仪、功率计、示波器、检波器、噪声源、噪声系数分析仪。

C.5.3 测试方法

C.5.3.1 工作频率、发射频谱宽度

工作频率、发射频谱宽度测试示意图见图 C.10。将大功率衰减器连接 TR 组件输出端,用频谱分析仪测试工作频率。频谱分析仪选择适当分辨带宽和量程,分别测量高模式(宽脉冲)、低模式(窄脉冲)下的发射脉冲频谱,找出中心频率 f_0 ,在低于峰值 -10 dBc、 -20 dBc、 -30 dBc、 -35 dBc、 -40 dBc、 -50 dBc处记录频率值,计算出发射信号的频谱宽度。该指标可以抽测。

工作频率、发射频谱宽度(分窄、宽脉冲)测试结果分别填入表 C.7—表 C.9 中。

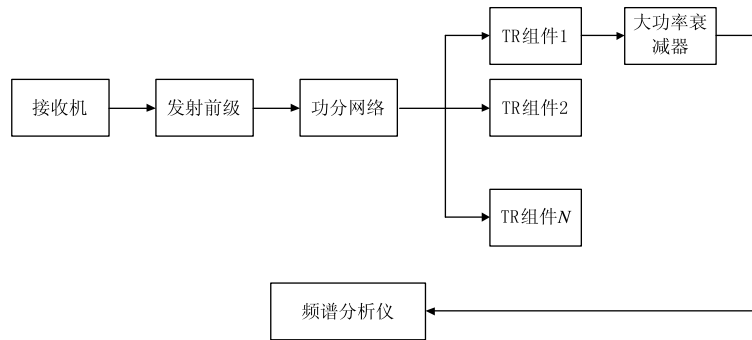


图 C.10 工作频率、发射频谱宽度测试示意图

表 C.7 工作频率测试结果

项目	技术指标 MHz	测试值 MHz
工作频率		

表 C.8 低模式(窄脉冲)测试结果

距离中心频率频谱线衰减量 dBc	频谱宽度 MHz		
	左频偏	右频偏	谱宽
-10			
-20			
-30			
-35			
-40			
-50			

表 C.9 高模式(宽脉冲)测试结果

距离中心频率频谱线衰减量 dBc	频谱宽度 MHz		
	左频偏	右频偏	谱宽
-10			
-20			
-30			
-35			
-40			
-50			

C.5.3.2 噪声系数

噪声系数测试示意图见图 C.11。首先将噪声源与噪声系数分析仪连接,测试噪声源的噪声作为基准,然后将噪声源连接 TR 组件(接收通道)的输入端,输出端接噪声系数分析仪。此时噪声系数分析仪的读数为噪声系数 F_1 。

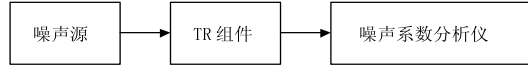


图 C.11 噪声系数测试示意图

噪声系数测试结果填入表 C.10 中。

表 C.10 噪声系数测试结果

序号	噪声系数 dB	备注
TR 组件 1		扣除 TR 组件内部的行列开关、环形器、限幅器和电缆的损耗
TR 组件 2		
.....		
TR 组件 N		

C.5.3.3 接收灵敏度

接收机灵敏度测试示意图见图 C.12。首先将信号源连接 TR 组件(接收通道)的输入端,输出端接频谱分析仪。频谱分析仪设置合适的中心频率,设置适当的扫频范围、分辨带宽和视频带宽。测试时,首先关闭信号源,测得噪声电平 P_N (dBm),再打开信号源,调整信号源的输出功率,使频谱分析仪的读数为 $P_N + 3$ dB,此时信号源的输出功率值即为接收灵敏度。该指标可以抽测。

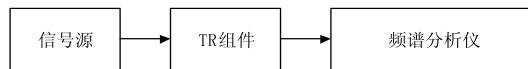


图 C.12 接收机灵敏度测试示意图

接收机灵敏度测试结果填入表 C.11 中。

表 C.11 接收灵敏度测试结果

项目	技术指标	测试值	备注
接收灵敏度			频谱分析仪设置:连续波、分析带宽=1 MHz、显示带宽=30 Hz

C.5.3.4 发射功率

发射功率测试示意图见图 C.13。将大功率衰减器连接 TR 组件输出端口,用功率计分别测量高模式、低模式下发射功率。

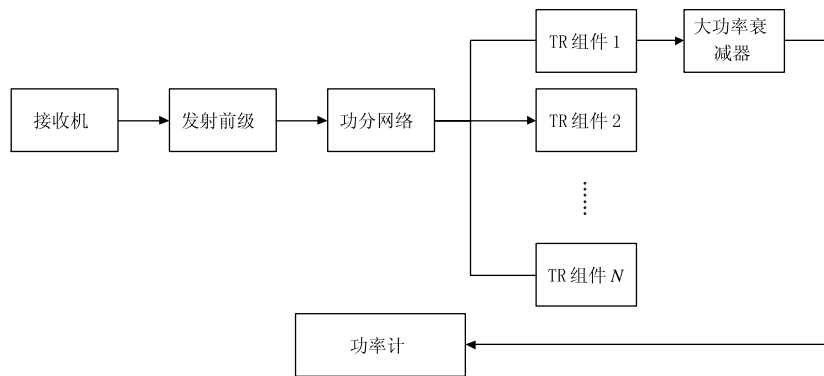


图 C.13 发射功率测试示意图

TR 组件功率测试结果填入表 C.12 中。

表 C.12 TR 组件功率测试结果

序号	脉冲类型	测试值 W	备注
TR 组件 1	窄脉冲		
	宽脉冲		
TR 组件 2	窄脉冲		
	宽脉冲		
.....	窄脉冲		
	宽脉冲		
TR 组件 N	窄脉冲		
	宽脉冲		

C.5.3.5 发射脉冲参数

发射脉冲测试示意图见图 C.14。将大功率衰减器连接 TR 组件输出端口,用示波器分别测量高模式、低模式下的发射脉冲参数。

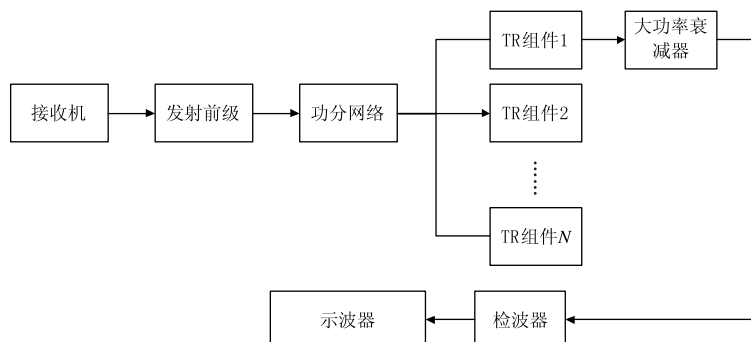


图 C.14 发射脉冲测试示意图

发射脉冲参数测试结果填入表 C.13 中。

表 C.13 发射脉冲参数测试结果

序号	工作模式	脉宽 μs	重复周期 μs	占空比 %
TR 组件 1	低模式			
	高模式			
TR 组件 2	低模式			
	高模式			
.....	低模式			
	高模式			
TR 组件 N	低模式			
	高模式			

C.6 波束控制器

由承制方提供书面证明材料,符合 5.3.3.3 的要求。

C.7 发射前级

C.7.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.4。

C.7.2 测试方法

输出功率测试示意图见图 C.15。将大功率衰减器连接发射前级输出端口,用功率计分别测量高模式、低模式下发射功率。

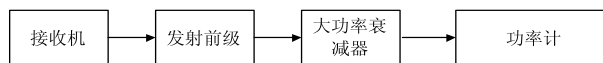


图 C.15 输出功率测试示意图

C.8 接收机

C.8.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.5。

C.8.2 测试仪器

包括信号源、频谱分析仪、示波器、相位噪声分析仪。

C.8.3 测试方法

C.8.3.1 中频采样位数

由承制方提供书面证明材料,应符合 5.3.3.5 的要求。

C.8.3.2 中频采样频率

中频采样频率测试示意图见图 C.16。将接收机的中频采样时钟与频谱分析仪连接并读出结果,应符合 5.3.3.5 的要求。

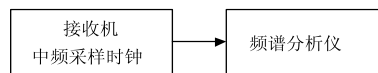


图 C.16 中频采样频率测试示意图

C.8.3.3 数字中频带宽

数字中频带宽测试示意图见图 C.17。将信号源连接到接收机射频(或数字中频)输入端,设置合适的中频频率;改变信号源频率,记录数据处理终端输出信号下降 3 dB 时的两边频率 f_1 和 f_2 ,则接收机的中频带宽为 $f_2 - f_1$ 。

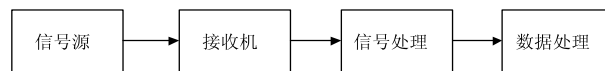


图 C.17 数字中频带宽测试示意图

C.8.3.4 I、Q 输出位数

由承制方提供书面证明材料,应符合 5.3.3.5 的要求。

C.8.3.5 频综短稳

由承制方提供书面证明材料,应符合 5.3.3.5 的要求。

C.8.3.6 相位噪声

相位噪声测试示意图见图 C.18。将接收机的本振源直接连接相位噪声分析仪并读出结果,应符合 5.3.3.5 的要求。

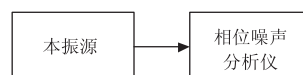


图 C.18 相位噪声测试示意图

C.8.3.7 输出 RASS 信号

相位噪声测试示意图见图 C.19。将接收机的 RASS 输出端口直接连接示波器并读出结果,应符合 5.3.3.5 的要求。

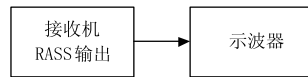


图 C.19 相位噪声测试示意图

C.9 信号处理器

C.9.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.6。

C.9.2 测试方法

C.9.2.1 处理模式、时域相干积累数、傅里叶变换点数

通过数据处理及应用终端软件检查,应符合 5.3.3.6 的要求。

C.9.2.2 最大处理库数、库长

通过数据处理及应用终端软件检查,分别查验低、高两种模式下的库长;将低、高两种模式下的库数加起来减去交叠部分库数就得到总库数。

库长库数检验测试结果填入表 C.14 中。

表 C.14 库长库数检验测试结果

项目	低模式		高模式		总库数
	库长	库数	库长	库数	
设计值					
测试值					

C.9.2.3 输出

通过数据处理及应用终端软件检查,应符合 5.3.3.6 的要求。

C.9.2.4 距离标校

距离标校测试示意图见图 C.20。第一步,将接收机激励信号经衰减器直接送入接收机,在数据处理软件中显示该信号的位置即为零距离;第二步,将接收机激励信号经衰减器、15 μ s 延迟线后送入接收机,在数据处理软件中显示该信号的位置即为 2250 m。

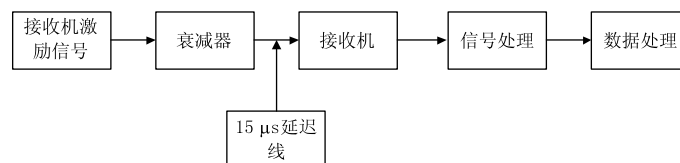


图 C.20 距离标校测试示意图

距离标校测试结果填入表 C.15 中。

表 C.15 距离标校测试结果

项目	设计值	测试值
探测距离标校		

C.10 数据处理及应用终端

C.10.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.7。

C.10.2 测试方法

C.10.2.1 台站参数设置

检查是否提供站号、站址、经度、纬度、海拔高度等系统参数的设置功能。

C.10.2.2 数据文件存储、数据文件格式

检查生成数据文件是否符合风廓线雷达数据格式要求。

数据存储与管理检查结果填入表 C.16 中。

表 C.16 数据存储与管理检查结果

序号	数据存储与管理	是否具备	数据格式是否正确
1	功率谱数据文件		
2	径向数据文件		
3	实时采样高度上产品数据文件		
4	半小时平均采样高度上产品数据文件		
5	一小时平均采样高度上产品数据文件		

C.11 无线电声波探测系统

C.11.1 技术指标要求

技术指标要求见 5.3.3.8。

C.11.2 测试方法

由 RASS 承制方提供测试方法和测试报告,应符合 5.3.3.8 的要求。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3784—2009 电工术语 雷达
 - [2] 中国气象局. 风廓线雷达功能设计规范(L 波段)[Z],2012
 - [3] 中国气象局. 风廓线雷达建设指南[Z],2012
 - [4] 中国气象局监测网络司. 风廓线雷达通用数据格式(V1.2)[Z],2007
 - [5] ISO/TC 146/SC 5 N. Meteorology—Ground-based remote sensing of wind-Radar wind profiler[Z],2014
-

中华人民共和国
气象行业标准
有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)

QX/T 525—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 mm×1230 mm 1/16 印张:2.25 字数:67.5 千字
2020 年 1 月第 1 版 2020 年 1 月第 1 次印刷

*

书号:135029-6118 定价:34.00 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