

中国气象局

中气函〔2012〕185号

关于印发风廓线雷达功能设计规范（L波段）的通知

各省、自治区、直辖市气象局，中国气象局气象探测中心：

现将《风廓线雷达功能设计规范（L波段）》印发给你们，从印发之日起施行。2008年11月印发的《边界层风廓线雷达设计规范》（中气函〔2008〕245号）同时废止。

二〇一二年五月三日

风廓线雷达功能设计规范

(L 波段)

中国气象局

二〇一二年四月

目 次

目 次	错误! 未定义书签。
前 言	III
1 范围	1
1.1 主题内容	1
1.2 适用范围	1
1.3 分类	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 FFT	1
3.2 MTBF	1
3.3 MTTR	1
3.4 RASS	2
3.5 RF	2
3.6 λ	2
3.7 C_n^2	2
4 总体	2
4.1 基本要求	2
4.2 系统组成	2
4.3 工作原理	3
4.4 技术指标	4
5 分系统	7
5.1 天线分系统	7
5.2 发射分系统	9
5.3 接收分系统	11
5.4 信号处理分系统	12
5.5 监控分系统	13
5.6 标定分系统	14
5.7 通讯分系统	15
5.8 数据处理及应用终端	16
5.9 RASS 分系统	18
6 质量保证	19
6.1 检验责任	19
6.2 合格责任	19
6.3 检验条件	19
6.4 检验中断处理	19
6.5 检验分类	20
6.6 问题处理	20
7 产品交付	20
7.1 成套性	20
7.2 包装	20

7.3 运输与贮存..... 21

附录 A 信号功率的谱矩及信噪比计算方法..... 22

附录 B 风速、风向及 C_n^2 计算方法..... 24

前 言

本规范规定了L波段风廓线雷达的基本功能和性能指标，为其研制、生产、验收和交付提供依据。

本规范由中国气象局气象探测中心负责起草。主要起草人：吴蕾、李喆、蔡作金等。

风廓线雷达功能设计规范（L波段）

1 范围

1.1 主题内容

本规范规定了L波段风廓线雷达的基本功能和技术指标。

1.2 适用范围

本规范为L波段风廓线雷达的研制、生产、验收和交付提供依据。

1.3 分类

L波段风廓线雷达按照安装方式不同分为固定式和可移式两种。其中，固定式主要有最大探测高度不低于3km和最大探测高度不低于6km两类，可移式主要有车载可移式和方舱可移式两种。

2 引用文件

本规范引用了以下文件和标准的有关条款：

GB/T 3784-1983	《雷达名词术语》
GB/T 12649-1990	《气象雷达参数测试方法》
GJB 150.1-86	《军用设备环境试验方法 总则》
GJB 570	《气象仪器定型试验方法》
气测发〔2000〕65号	《风廓线仪功能规格需求书（试行）》
气测函〔2007〕188号	《风廓线雷达通用数据格式（V1.2）》

3 术语和定义

3.1 FFT

快速傅立叶变换。

3.2 MTBF

平均无故障时间。

3.3 MTTR

平均修复时间。

3.4 RASS

无线电-声探测系统。

3.5 RF

射频。

3.6 λ

波长。

3.7 C_n^2

大气折射率结构常数。

4 总体

4.1 基本要求

4.1.1 风廓线雷达体制

全相参脉冲多普勒体制。

4.1.2 采用技术

采用相控阵技术、全固态发射技术、数字接收机技术、脉冲压缩技术等。

4.1.3 功能选项

大气虚温探测（选配RASS时，具备此功能）。

4.2 系统组成

L波段风廓线雷达系统分为室内和室外设备两部分，其系统组成见表1。

表1 风廓线雷达系统组成

分系统	组成	安放位置
天线分系统	相控阵天线	室外
	天线罩	室外
	功分移相网络	室外，天线阵下
	波束控制器	室内机柜
	屏蔽网（可移式可选）	室外
	支撑阵	室外

分系统	组成	安放位置
发射分系统	发射机功放组合	室内机柜
	监测与控制电路	
	发射机电源	
接收分系统	模拟前端接收机	室内机柜
	数字中频接收机	
	频率综合器	
信号处理分系统	数字信号处理器及信号处理软件	室内机柜
监控分系统	时序控制器	室内机柜
	状态监视器	
	主控计算机	
标定分系统	RF 衰减器、延迟线、开关等	室内机柜
通讯分系统	网络通信设备	室内
数据处理及应用终端	终端处理软件及计算机	室内终端台或用户指定地点
配电分系统	UPS 电源组及电池组	室内
	交流稳压源	
RASS 分系统（选件）	4 个电声转换器、声抛物面反射体、声屏蔽筒	室外
	音频功率放大器	室内机柜

4.3 工作原理

监控分系统控制频率综合器产生射频探测脉冲，该脉冲信号在发射分系统中被放大后，再经过相控阵天线辐射出去。电磁波信号遇到大气湍流后散射返回，相控阵天线接收到回波信号在接收机中放大后传输到数字中频，再由数字中频进行采样、滤波、放大、正交相位检测、数据抽取，最后由信号处理器进行谱分析计算，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,反演出大气三维风的垂直分布、 C_n^2 等。

风廓线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, 射频脉冲信号同时通过相控阵天线垂直发射。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。

工作原理框图见图1。

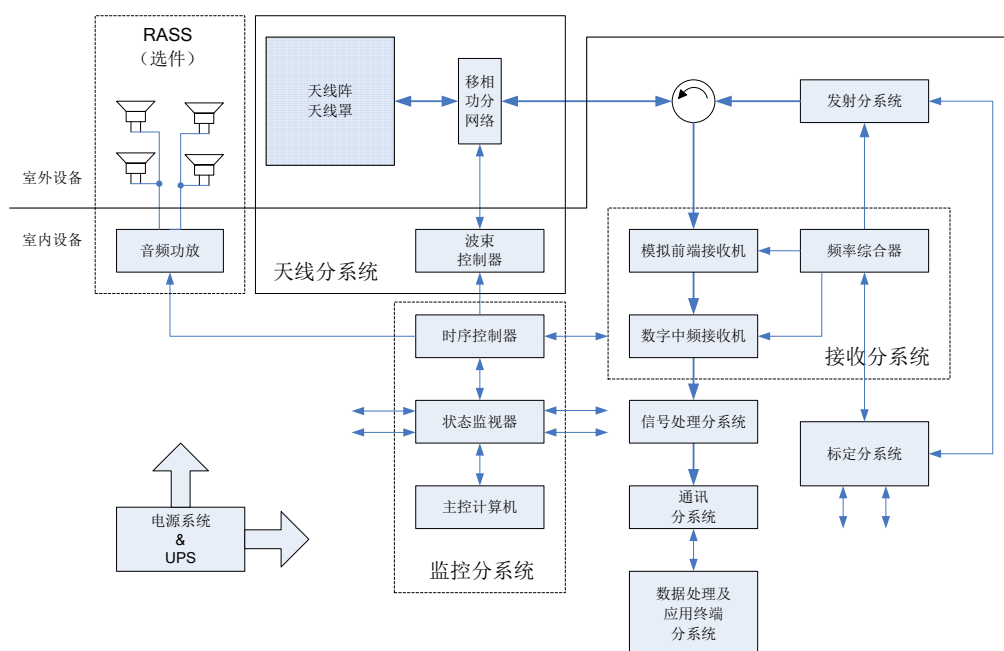


图 1 风廓线雷达工作原理框图

4.4 技术指标

4.4.1 工作频率

在1270MHz~1295MHz和1300MHz~1375MHz范围内选择工作频点。

4.4.2 探测范围

4.4.2.1 最大探测高度

固定式风廓线雷达最大探测高度分别为不低于3km或不低于6km,可移式风廓线雷达最大探测高度不低于2km。

4.4.2.2 起始探测高度

最大探测高度不低于6km的风廓线雷达起始探测高度为150m。

最大探测高度不低于3km的风廓线雷达和可移式风廓线雷达起始探测高度为100m。

4.4.3 测量性能

4.4.3.1 测量范围

风速测量范围为0~60m/s。

风向测量范围为0~360°。

大气虚温测量范围为223~323K。

4.4.3.2 测量误差（均方根偏差）

风速测量误差 $\leq 1.5\text{m/s}$ 。

风向测量误差 $\leq 10^\circ$ 。

大气虚温测量误差 $\leq 1\text{K}$ 。

4.4.4 分辨率

风速分辨率为0.2m/s。

风向分辨率为0.5°。

时间分辨率在三波束工作时为3分钟，在五波束工作时为6分钟。

最大探测高度不低于6km的风廓线雷达高度分辨率在低模式为120m，高模式为240m（须采用与距离分辨率匹配的子脉冲宽度的脉冲压缩技术）。

最大探测高度不低于3km的风廓线雷达和可移式风廓线雷达高度分辨率在低模式为60m，高模式为120m（须采用与距离分辨率匹配的子脉冲宽度的脉冲压缩技术）。

4.4.5 最小探测能力

速度谱宽为1m/s时，最大探测高度不低于6km的风廓线雷达在6km处可探测的 C_n^2 最小值小于 $2.0 \times 10^{-16} \text{m}^{-2/3}$ ，最大探测高度不低于3km的风廓线雷达在3km处可探测的 C_n^2 最小值小于 $9.0 \times 10^{-16} \text{m}^{-2/3}$ ，可移式风廓线雷达在2km处可探测的 C_n^2 最小值小于 $1.5 \times 10^{-15} \text{m}^{-2/3}$ 。

4.4.6 相干性

系统相位噪声 $\leq 0.1^\circ$ 。

4.4.7 输出产品

4.4.7.1 功率谱和谱的零、一、二阶矩。

4.4.7.2 回波信噪比。

4.4.7.3 水平风速、风向。

4.4.7.4 垂直气流速度和方向。

4.4.7.5 大气折射率结构常数 C_n^2 。

4.4.7.6 大气虚温（选配 RASS 时）。

4.4.8 可靠性/可维修性/易升级性

MTBF $\geq$ 2500小时，MTTR $\leq$ 30分钟。

为保证系统的易维修性，降低维修成本和缩短维修周期，不同时期同型号产品的所有部件均可互换（相同工作频点条件下）。

为了减小维修备品备件种类，降低维修费用，提高系统的适用性和便于系统技术升级，L波段风廓线雷达须采用模块化设计。各种L波段风廓线雷达的天线均由多个相同的单元组成且一致，具备单元可互换；发射机前级和末级须使用同样的功率放大模块，使用的模块数量根据实际情况可有所不同；须使用相同的接收分系统和相同的信号处理硬件。软件系统要求可兼容各种L波段风廓线雷达，数据格式保持严格一致，以利于业务应用。

4.4.9 电源

采用交流电源380/220V $\pm$ 10%、50Hz $\pm$ 5%。最大探测高度不低于6km的风廓线雷达功耗 $\leq$ 8kW，最大探测高度不低于3km的风廓线雷达功耗 $\leq$ 5kW，可移式风廓线雷达功耗 $\leq$ 3kW。

4.4.10 校时

应具备基于全球定位系统的校时功能。

4.4.11 环境适应性

4.4.11.1 温度

室外部分工作环境温度为-40 $\sim$ 50 $^{\circ}$ C，室内部分为0 $\sim$ 30 $^{\circ}$ C。

4.4.11.2 湿度

室外部分适应湿度为 $\leq 100\%$ ，室内部分为 $\leq 95\%$ 。

4.4.11.3 抗风

能经受的最大阵风风速为 50m/s ，能经受的最大平稳风速为 30m/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。

4.4.11.4 其它环境适应性

绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，固定式风廓线雷达接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，可移式风廓线雷达接地电阻 $\leq 10\Omega$ 。此外，还应具备防盐雾、防霉、防沙尘和防雷击能力。

4.4.12 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。

5 分系统

5.1 天线分系统

5.1.1 功能

采用模块化微带相控阵天线，天线由相同的多个单元组成。天线阵面法向指向天顶（见图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）。在L波段风廓线雷达系统中，天线分系统向天空发射三或五波束RF功率并接收三或五波束RF回波。

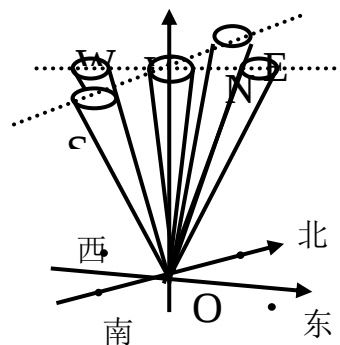


图 2 天线波束指向示意图

5.1.2 技术指标

L波段微带相控阵天线的技术指标见表2。

表 2 相控阵天线技术指标

指标类别	技术指标	备注
天线类型	模块化微带相控阵天线	可通过增加天线单元扩充升级
工作频率	见4.4.1	
波束指向	五波束，一个铅垂方向波束和四个方位相互正交、具有相同仰角的倾斜波束	
倾斜波束倾角	$15\pm5^\circ$	
波束宽度	$\leq 4.5^\circ$ （固定式） $\leq 9^\circ$ （可移式）	
天线增益	$\geq 30\text{dB}$ （固定式） $\geq 24\text{dB}$ （可移式）	
最大副瓣电平	$\leq -20\text{dB}$	扫描面和非扫描面
远区副瓣	$\leq -30\text{dB}$ （固定式） $\leq -25\text{dB}$ （可移式）	
驻波系数	≤ 1.3	
发射馈线损耗	$\leq 3\text{dB}$	
接收馈线损耗	$\leq 4\text{dB}$	
极化方式	线极化	
波瓣形式	笔形波束	
波束转换方式	电控	
双程屏蔽网隔离度	$>40\text{dB}$	

5.1.3 组成和结构

L波段风廓线雷达天线分系统由微带相控阵天线、天线罩、功分移相网络、电磁屏蔽网、支撑阵和波束控制器组成。除波束控制器安装在设备机房内，其余部分均安装在室外。

相控阵天线组成见表3。

表 3 相控阵天线设备组成表

设备名称	组成	备注
天线分系统	微带相控阵天线	微带辐射单元
	天线罩	玻璃钢
	功分移相网络	幅度加权
	电磁屏蔽网	可移式可选
	波束控制器	电控
	支撑阵	

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 $\lambda/20$ 。电磁屏蔽网外形见图3，其底部高度H与天线阵面高度相等，高度L一般满足 $L>5\lambda$ ，离天线阵面的间距应大于 λ 。可移式风廓线雷达的电磁屏蔽网可根据实际情况调整。

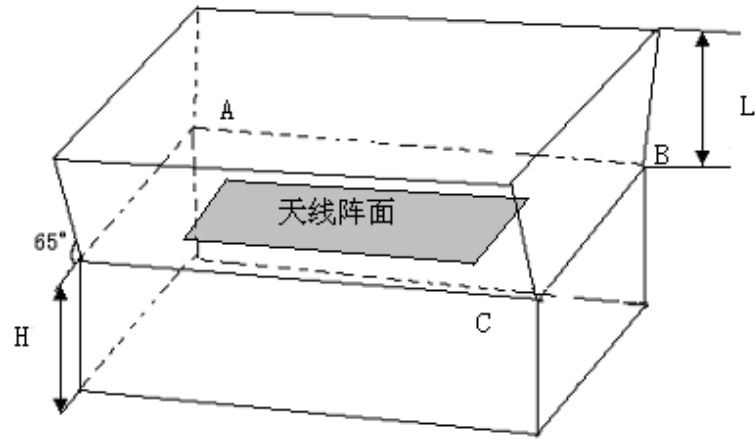


图 3 电磁屏蔽网外形

5.1.4 电气接口

相控阵天线对外接口主要包括：发射功率输入、回波输出、天线控制/回馈。

5.1.4.1 发射功率输入

发射分系统输出射频功率到相控阵天线功分器输入端，采用 50Ω 阻抗匹配。

5.1.4.2 回波输出

相控阵天线输出回波信号至接收分系统，采用 50Ω 阻抗匹配。

5.1.4.3 天线控制/回馈

详见5.5.4天线分系统监控信号。

5.2 发射分系统

5.2.1 组成和功能

发射分系统主要由发射机功放组合、监测与控制电路和发射机电源组成。发射分系统将频率综合器产生的射频脉冲激励信号放大，作为天线分系统的输入信号。监测与控制电路用于对发射分系统的监视、控制和保护，并将状态信息上传至主控计算机。

5.2.2 技术指标

发射分系统的技术指标见表4。

表 4 发射分系统技术指标

指标类别	技术指标要求	备注
设备类型	全固态模块化脉冲发射机	
工作频率	见4.5.1	
输入峰值功率	$\geq 8\text{dBm}$ 且 $\leq 12\text{dBm}$	
输出峰值功率	$\geq 6\text{kW}$ （最大探测高度不低于6km） $\geq 2\text{kW}$ （最大探测高度不低于3km） $\geq 2\text{kW}$ （可移式）	
脉冲宽度	0.8 μs 和1.6 μs ×子脉冲数（最大探测高度不低于6km） 0.4 μs 和0.8 μs ×子脉冲数（最大探测高度不低于3km和可移式）	
脉冲上升时间、下降时间	上升沿 $\geq 100\text{ns}$ 且 $\leq 200\text{ns}$ 下降沿 $\geq 10\text{ns}$ 且 $\leq 50\text{ns}$	
脉冲重复周期	20~100 μs	
最大占空比	$\geq 8\%$	
输入/输出阻抗	50 Ω	
发射频谱宽度	$\leq 35\text{MHz}$	-35dBc

5.2.3 结构

为提高发射机的稳定性和可靠性，发射分系统应安装在室内雷达机柜中。

5.2.4 电气接口

发射分系统对外接口包括射频激励输入、发射输出、发射信号样本输出、发射控制/回馈，交流电源输入。

5.2.4.1 射频激励输入

采用50 Ω 阻抗匹配。

5.2.4.2 发射输出

采用50 Ω 阻抗匹配。

5.2.4.3 发射信号样本输出

采用耦合输出，送给标定分系统，采用50 Ω 阻抗匹配。

5.2.4.4 发射控制/回馈

详见5.5.4发射分系统监控信号。

5.2.4.5 电源接口

采用交流供电，220V输入。

5.3 接收分系统

5.3.1 组成和功能

接收分系统由接收机和频率综合器组成。

接收机由模拟前端接收机和数字中频接收机组成。接收机接收并放大大气回波信号，输出数字信号。

频率综合器生成发射分系统激励信号、接收机本振信号、信号处理器定时信号、系统时钟和标定信号，分别输出给发射分系统、接收分系统、信号处理分系统和标定分系统使用。

5.3.2 技术指标

接收分系统的技术指标见表5。

表 5 接收分系统技术指标

指标类别	技术指标要求	备注
工作频率	见4.5.1	
噪声系数	$\leq 1.5\text{dB}$	低噪声放大器输入口
动态范围	$\geq 90\text{dB}$	高于灵敏度电平50dB以上
接收机灵敏度	$\leq -108\text{dBm}$	脉冲宽度为0.4 μs
	$\leq -111\text{dBm}$	脉冲宽度为0.8 μs
中频采样位数	$\geq 16\text{bit}$	
中频采样频率	$\geq 40\text{MHz}$	
中频匹配滤波器带宽	与脉冲宽度匹配	
输入/输出阻抗	50 Ω	
I、Q输出	$\geq 24\text{bit}$	
镜频抑制比	$\geq 70\text{dB}$	
频综短稳	优于 $10^{-11}/\text{ms}$	
相位噪声	$\leq -120\text{dBc}/\text{Hz}@1\text{kHz}$ 杂散 $< -60\text{dBc}$	

5.3.3 结构

安装在室内雷达机柜中。

5.3.4 电气接口

接收分系统对外接口包括回波输入、时钟信号输出、数字信号输出、接收机控制/回馈、发射分系统激励信号输出、信号处理器定时信号输出、标定信号输出、标定控制/回馈、交流电源输入等。

5.3.4.1 连接器

回波输入采用50Ω阻抗匹配。

时钟信号、发射分系统激励信号、标定信号，均采用50Ω阻抗匹配。

5.3.4.2 接收控制/回馈

详见5.5.4接收分系统监控信号。

5.3.4.3 电源接口

采用交流供电，220V输入。

5.4 信号处理分系统

5.4.1 组成和功能

信号处理分系统由数字信号处理器和信号处理软件组成。

信号处理分系统主要完成脉冲压缩、时域积累、FFT变换等处理。

5.4.2 技术指标

数字信号处理器的技术指标见表6。

表 6 数字信号处理器技术指标

指标类别	技术要求
处理模式	常规模式，脉冲压缩模式
时域相干积累数	1~1024
FFT点数	128，256，512，1024，2048
库长	120m/240m（最大探测高度不低于6km） 60m/120m（最大探测高度不低于3km和可移式）
最大处理库数	≥100
输出	功率谱密度分布或IQ数据
RASS参数	正弦波信号，幅度根据所选用的音频功放确定 RASS音频范围：2500~3200Hz

5.4.3 结构

安装在室内雷达机柜中。

5.4.4 电气接口

信号处理分系统对外接口包括中频回波信号输入、信号处理器定时信号输入、信号处理器信号输出、信号处理器状态信号、系统时序控制信号输出和RASS音频信号输出。其中RASS音频输出信号为FM-CW或伪随机频率CW信号。输出RASS信号幅度根据声功放确定，一般不大于2V_{pp}。

5.4.5 信号处理流程

信号处理流程见5.8.2。

5.4.6 信号处理数据文件

信号处理数据文件经主控计算机采集打包后通过网络送给数据处理终端，数据格式应符合《风廓线雷达通用数据格式（V1.2）》。

5.5 监控分系统

5.5.1 组成和功能

监控分系统由时序控制器、状态监视器和主控计算机组成。

时序控制器产生系统时序/控制信号和RASS音频信号。

状态监视器采集各分系统状态信号。

主控计算机主要完成：全机系统控制，为用户提供友好的使用界面及安全可靠的控制；系统工作参数的预置及观测方式的选择；系统工作状态检测。

5.5.2 技术指标

5.5.2.1 状态监视器

状态监视器提供足够的模拟和数字输入口。对模拟输入进行模数变换。将各状态数据格式化后上报给主控计算机。

5.5.2.2 主控计算机

主控计算机的技术指标见表7。

表 7 主控计算机技术指标

指标类别	技术要求
CPU	不低于 Pentium IV/2.4GHz
内存	≥2.0GB
硬盘	≥500GB
操作系统	Windows 2000, Windows XP中文版及以上版本或Linux 5及以上版本

5.5.3 结构

主控计算机须为工控机，安装在室内雷达机柜中。

5.5.4 电气接口

状态监视器对外接口包括与各分系统的状态数据采集接口（见表8）。

主控计算机对外接口包括与数据处理及应用终端接口和与信号处理分系统接口。

表8 监控信号

分系统	监控信号
天线分系统	T/R开关状态监测信号
	波束指向状态信息
发射分系统	发射分系统过热故障
	发射分系统RF输入故障
	发射分系统RF无输出故障
	发射分系统电源故障
	发射分系统输出驻波故障
	发射分系统工作温度数值
	发射分系统输出前向功率数值
	天线反射功率数值
	室内温度数值
接收分系统	接收本振采样信号
	激励采样信号
	中频调制触发信号
	数字中频内部直流电源故障信号
	数字中频内部A/D采样时钟故障信号

5.6 标定分系统

5.6.1 组成和功能

标定分系统由RF衰减器和RF延迟线组成。

对于强度和速度的标定，接收分系统和信号处理分系统按正常流程处理信号，由于注入信号的功率或速度已知，最终信号处理分系统输出也可知，输出的任何偏离可通过修改系统常数使其一致，并保证测量精度。

注入接收前端的测试信号为频率综合器输出的射频信号。

RF衰减器控制注入接收前端的测试信号的功率电平。

对于系统相干性测试，提取发射分系统输出的RF信号，经延迟后，注入接收分系统，计算I/Q信号相角，得到系统相位噪声。

5.6.2 标定项目

L波段风廓线雷达系统标定项目有：

a) 线性通道强度标定

输入信号：频综CW信号，注入接收机信号功率等级：-60~-160dBm

功能：检查强度数据正确性

b) 速度检查

输入信号：频综调相CW信号

功能：检查速度数据正确性

c) 系统相干性检查

输入信号：延迟5~20 μ s的发射分系统输出RF信号

功能：检查系统相干性

d) 系统灵敏度和动态范围检查

输入信号：频综CW信号及脉压信号，注入接收机信号功率等级：-60~-160dBm

功能：检查系统灵敏度和接收机动态范围电气接口

标定分系统有五个接口：频率综合器输入，测试信号输出，发射分系统输入，控制信号输入和电源。

5.7 通讯分系统

5.7.1 功能

系统内部通讯功能完成雷达主控计算机和数据处理及应用终端间的数据通讯。系统外部通讯功能完成系统与外部用户间的通讯。

5.7.2 方式和配置

通讯标准：不低于100BASE-T

硬件接口：RJ-45 LAN接口

通讯协议：TCP/IP协议

5.7.3 性能要求

为了实现组网功能，系统内部和外部通讯应统一建立在网络平台上。具备用户远程访问功能，并根据权限对雷达进行远程控制、检测和监测。

5.7.4 传输数据内容

表 9 传输数据内容

序号		雷达主控计算机	传送方向	数据处理及应用终端	传送方向	外部用户
1	基数据	雷达主控计算机	->	数据处理及应用终端		
2	当前运行模式	雷达主控计算机	->	数据处理及应用终端		
3	状态数据	雷达主控计算机	->	数据处理及应用终端		
4	报警	雷达主控计算机	->	数据处理及应用终端		
5	远程控制状态	雷达主控计算机	->	数据处理及应用终端		
6	雷达系统参数	雷达主控计算机	->	数据处理及应用终端		
7	通信链路测试数据包	雷达主控计算机	<->	数据处理及应用终端		
8	远端控制请求	雷达主控计算机	<-	数据处理及应用终端		
9	远程控制命令	雷达主控计算机	<-	数据处理及应用终端		
10	产品			数据处理及应用终端	->	外部用户

5.8 数据处理及应用终端

5.8.1 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信号，生成各种产品。

5.8.2 信号处理流程

信号处理流程主要包括脉冲压缩处理、时域相干积累、FFT变换、非相干积累（谱平均）、谱参数估计。见图4。

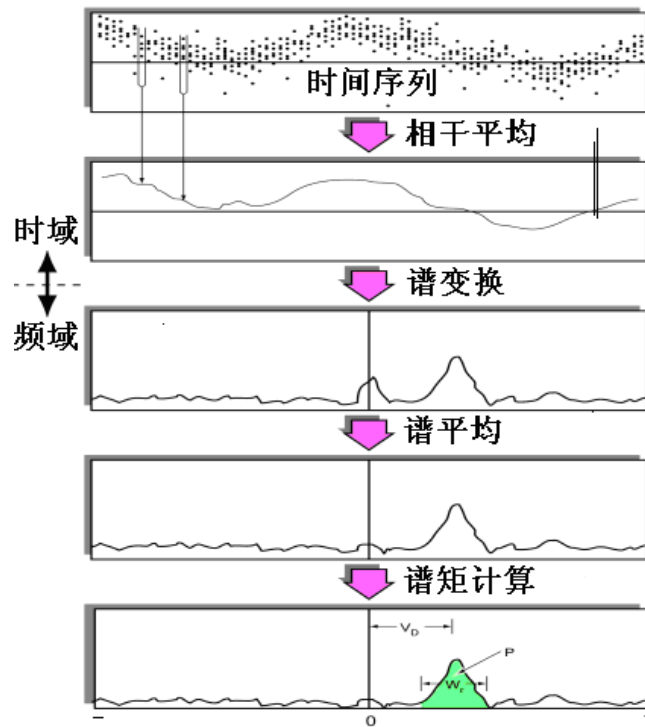


图 4 信号处理流程

5.8.2.1 脉冲压缩处理

为了扩展在弱信号条件下L波段风廓线雷达的探测距离，可采用4位、8位或16位二相补码方式进行脉冲压缩。

5.8.2.2 时域相干积累

为提高L波段风廓线雷达检测大气中微弱信号的能力，数字信号处理器应采用时域信号的相干积累处理技术。相干积累提高信噪比的限度主要取决于风廓线雷达本身的相位稳定性和大气中返回信号的自相关时间，风廓线雷达可选用合适的相干积累时间。相干积累处理包括时域平均和FFT变换。设计中相干积累时间应有一定的可选择范围，供实际探测时优选。

5.8.2.3 FFT、加窗及滤波处理

为减小信号的频谱污染和泄漏，需加窗处理。对于L波段风廓线雷达来讲，加窗后的旁瓣电平小于-35dB。

5.8.2.4 非相干积累

完成FFT等处理后，一般还需要对功率谱密度分布进行非相干积累，进一步提高信噪比。

5.8.2.5 谱数据质量控制

数字信号处理器对信号的谱分析中应对谱分析结果进行质量控制，提供较真实的大气返回信号功率谱分布作进一步的数据处理。

5.8.2.6 信号功率谱

从功率谱的全部谱中减去噪声功率 P_N 得到信号功率谱 P_i 。

5.8.2.7 信号功率的谱矩计算方法（见附录 A）

5.8.2.8 信噪比计算方法（见附录 A）

5.8.3 数据处理

5.8.3.1 风速、风向计算方法（见附录 B）

5.8.3.2 C_n^2 计算方法（见附录 B）

5.8.3.3 数据文件

应符合《风廓线雷达通用数据格式(V1.2)》要求。

5.9 RASS 分系统

5.9.1 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。在风廓线雷达测温模式下工作时，RASS系统向天顶法线方向发送声波。相控阵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。

5.9.2 技术指标

表 10 RASS 系统技术指标

指标类别	技术指标要求	说明
工作频率	2500Hz~3200Hz	
3dB声波束宽度	$10 \pm 2^\circ$	
声天线增益	$\geq 10\text{dB}$	
声压级	$\geq 130\text{dB}$	声天线口面上方1米处
声源喇叭承受功率	$\geq 100\text{W}/8\Omega$	
声功放输出功率	0~1500W/ 4Ω （可调）	
音频输入幅度	VPP $\leq 2\text{V}$	
隔音	筒内衬吸音材料	

5.9.3 结构

声功率放大器安装在室外机柜内。声屏蔽筒分别安装在4个金属支架上，筒壁有钢绳与地桩连接，加强抗风能力。

5.9.4 电气接口

RASS系统对外接口包括音频信号输入、控制信号和电源输入。采用交流供电，220V输入。

6 质量保证

6.1 检验责任

除合同或订单另有约定外，承制方应负责完成本规范规定的所有检验。订购方或上级鉴定机构有权对本规范所述的任一检验项目进行检查。

6.2 合格责任

合格的L波段风廓线雷达产品必须符合本规范的各项要求。本规范规定的检验应成为承制方整个检验体系和质量保证大纲的一个组成部分。若合同中包括本规范未规定的检验要求，承制方还应保证所提交的L波段风廓线雷达产品符合合同要求。不允许提交明知有缺陷的产品，也不能要求订购方接收有缺陷的产品。

6.3 检验条件

6.3.1 检验应在符合 GJB 150.1-86 《军用设备环境试验方法总则》中规定的标准大气条件下进行。

6.3.2 检验场地应尽量避免开大型建筑物、大功率电台、高压输电线等。

6.3.3 检验用的仪器、仪表应经计量检定合格并在检定有效期内，其精度应优于被测参数允许误差的 1/3。

6.3.4 受检的 L 波段风廓线雷达应是符合本规范和合同要求的合格产品。

6.3.5 受检的 L 波段风廓线雷达应为检验设备提供数据录取的接口。

6.4 检验中断处理

出现下列情况之一时，应中断检验：

a) 当检验现场出现不符合规定的检验条件时；

- b) 按检验计划规定的日期,受检风廓线雷达不符合规定的检验条件时;
- c) 检验过程中,受检风廓线雷达的任一主要性能指标不符合要求,且在规定的时间内不能恢复时;
- d) 发生意外情况而影响检验时。

在确定影响检验中断的原因已排除后,检验即可继续。

6.5 检验分类

6.5.1 出厂测试检验

承制方按照本规范和合同要求完成风廓线雷达软硬件设备生产,使其具备相应的各项功能指标,且经本单位质检部门检验合格后,向订购方提出出厂测试检验申请,由订购方组织实施出厂测试检验。主要环节包括:性能参数和功能测试检查,系统稳定性检查,外观检查,随机备件、仪表、文档资料检查,24小时连续运行考机检验等,形成出厂测试报告。具体检验项目、检验方法、检验标准按照中国气象局有关要求执行。

6.5.2 现场测试检验

风廓线雷达出厂测试检验合格、安装架设完毕且稳定运行至少1个月后,承制方向订购方提出现场测试检验申请,由订购方组织实施现场测试检验。主要环节包括:性能参数和功能测试检查,数据处理和产品生成情况检查,24小时连续运行考机检验等,形成现场测试报告。具体检验项目、检验方法、检验标准按照中国气象局有关要求执行。

6.6 问题处理

对发现有缺陷的产品,承制方应负责修复,经复检达到本规范的相关规定后,方可作为产品交付。

7 产品交付

7.1 成套性

按合同约定提交。

7.2 包装

7.2.1 L波段风廓线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。

7.2.2 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；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。

7.2.3 装箱检验后，必须封箱牢固，进行编号、标记，并由订购和承制双方代表打封印。配套设备的包装也应进行统一的编号和标记。

7.3 运输与贮存

7.3.1 运输

按要求包装后，可适宜空运、水运或公路、铁路运输。

7.3.2 贮存

L波段风廓线雷达长期贮存（贮存6个月以上）的库房环境应符合以下要求：温度：0~35℃；相对湿度：20%~80%；无强电磁干扰。

附录 A 信号功率的谱矩及信噪比计算方法

1. 信号功率的谱矩计算方法

m_0 : 信号功率谱的0阶矩

$$m_0 = \sum_{i=1}^h p_i$$

m_1 : 信号功率谱的一阶矩

$$m_1 = \sum_{i=1}^h v_i p_i$$

m_2 : 信号功率谱的二阶矩

$$m_2 = \sum_{i=1}^h v_i^2 p_i$$

式中: p_i 为第*i*点功率值, v_i 为第*i*点速度值。求和范围为信号谱带宽。

a) 信号功率

信号功率估值 $P_r = m_0$

b) 平均速度

平均速度估值 $\tilde{v} = \frac{m_1}{m_0}$

c) 速度谱宽

速度谱宽估值 $\tilde{w} = 2 * [\frac{m_2}{m_0} - (\frac{m_1}{m_0})^2]^{1/2}$

2. 信噪比计算方法

信号功率与噪声功率之比:

$$SNR = 10 \log(\frac{\sum_{i=1}^h p_i}{P_N})$$

式中：SNR为信噪比，单位：dB。 P_N 为噪声功率， p_i 为第i点信号功率值。求和范围为信号谱所占的频率范围。

附录 B 风速、风向及 C_n^2 计算方法

1. 风速、风向计算方法

(1) 三波束风廓线雷达三维风计算方法

$$U_E(h) = \frac{1}{\sin(\theta)} (V_{RE}(h) - V_{RZ}(h) \cos \theta)$$

$$U_N(h) = \frac{1}{\sin(\theta)} (V_{RN}(h) - V_{RZ}(h) \cos \theta)$$

$$U_Z(h) = V_{RZ}(h)$$

θ 为倾斜波束的天顶角

$V_{RZ}(h)$ 、 $V_{RE}(h)$ 、 $V_{RN}(h)$ 为风廓线雷达在天顶方向、偏东方向、偏北方向测得的径向速度， $U_E(h)$ 和 $U_N(h)$ 分别为水平风在东和北方向的分量， $U_Z(h)$ 为大气垂直运动速度。

风廓线雷达测得的径向速度均以朝向雷达方向为正速度。

(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。

2. C_n^2 计算方法

$$C_n^2 = \frac{KT_0BN_F}{5.4 \times 10^{-5} \lambda^{5/3} P_t(h/2)G_1G_2L_1L_2} R^2 \cdot SNR$$

其中， K 是波尔兹曼常数， T_0 是绝对温度， B 是噪声带宽， N_F 是噪声系数， λ 是波长， P_t 是发射功率， h 是脉冲照射深度， G_1 是相控阵天线发射增益， G_2 是相控阵天线接收增益， L_1 是发射损耗， L_2 是接收损耗， R 为距离， SNR 是信噪比。

主题词：规范 雷达 设计 通知

抄送：中国电子科技集团第十四研究所、中国航天科工集团第二研究院二十三所、安徽四创电子股份有限公司、北京敏视达雷达有限公司、北京爱尔达电子设备有限公司。

中国气象局办公室

2012 年 5 月 3 日印发

校对：程飞