

ICS

备案号:

QX

中华人民共和国气象行业标准

QX/T ××××—××××

对流层风廓线雷达设计规范

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国气象局 发布

目次

目次..... I

引言..... III

前言..... IV

对流层风廓线雷达设计规范..... 1

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 RASS..... 1

3.2 MTBF..... 1

3.3 MTTR..... 1

3.4 λ 1

3.5 RF..... 1

3.6 FFT..... 1

3.7 FM-CW..... 1

3.8 C_n^2 1

4 总体..... 2

4.1 基本要求..... 2

4.2 系统组成..... 2

4.3 工作原理..... 2

4.4 设备安装..... 3

4.5 技术指标..... 4

5 分系统..... 5

5.1 天线..... 5

5.2 发射推动..... 7

5.3 接收..... 7

5.4 信号处理..... 8

5.5 雷达监控..... 9

5.6 自检..... 11

5.7 通讯..... 12

5.8 数据处理及应用终端..... 13

5.9 RASS..... 15

6 质量保证..... 16

6.1 检验责任..... 16

6.2 合格责任..... 16

6.3 检验条件..... 16

6.4 检验中断处理.....	16
6.5 检验分类.....	17
6.6 检验项目.....	17
6.7 检验方法.....	17
6.8 检验规则.....	17
7 产品交付.....	17
7.1 成套性.....	17
7.2 包装.....	17
7.3 运输与贮存.....	18

引 言

本规范的目的是为对流层风廓线雷达的设计提供必要的依据。
随着风廓线雷达技术的发展，本规范尚需不定时进行修订。

前 言

本规范由中国气象局气象探测中心提出。

本规范由中国气象局气象探测中心负责起草。

本规范主要起草人：马舒庆、高玉春、吴蕾、蔡作金、何平、李忱、吴俊、马大安、贾晓星、王坪。

对流层风廓线雷达设计规范

1 范围

1.1 主题内容

本规范规定了对流层风廓线雷达的技术指标和设计规定等。

1.2 适用范围

本规范适用于对流层风廓线雷达的研制、生产、验收和交付。

1.3 分类

对流层I型风廓线雷达；
对流层II型风廓线雷达。

2 引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，但鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB3784—1983	雷达名词术语	
GB/T12649—1990	气象雷达参数测试方法	
GJB 150.1—1986	军用设备环境试验方法	总则
GJB 570	气象仪器定型试验方法	
《风廓线仪功能规格需求书（试行）》中国气象局监测网络司2003年		
《风廓线雷达通用数据格式（V1.2）》中国气象局2007年		

3 术语和定义

3.1 RASS

无线电-声探测系统。

3.2 MTBF

平均无故障时间。

3.3 MTTR

平均修复时间。

3.4 λ

雷达波长。

3.5 RF

射频。

3.6 FFT

快速傅立叶变换。

3.7 FM-CW

调频连续波。

3.8 C_n^2

大气折射指数结构参数

4 总体

4.1 基本要求

4.1.1 雷达体制

全相参脉冲多普勒体制。

4.1.2 采用技术

采用相控阵天线技术、全固态发射技术、数字接收机技术。

4.1.3 功能选择

大气虚温探测（RASS）。

4.2 系统组成

对流层风廓线雷达主要由天线分系统、发射推动分系统、数字接收分系统、信号处理分系统、雷达监控分系统、自检分系统、通讯分系统和数据处理及应用终端等构成。

选配RASS由4个电-声转换器、声抛物面反射体、声屏蔽桶以及声功率放大器组成。

室外设备见表1，室内设备见表2。

表1 室外设备

设备名称	组成
相控阵天线	参见5.1.3相控阵天线组成
RASS（选配）	电-声转换器
	声抛物面反射体
	声屏蔽桶

表2 室内设备

设备名称	组成
雷达机柜	发射推动分系统
	接收分系统
	信号处理分系统
	雷达监控分系统
	自检分系统
	通讯分系统
	RASS的声功率放大器
机房	数据处理及应用终端
	交流稳压电源
	UPS

4.3 工作原理

由雷达监控分系统的主控计算机控制产生高频探测脉冲，该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，反演出大气风场、 C_n^2 等参量。

对流层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。

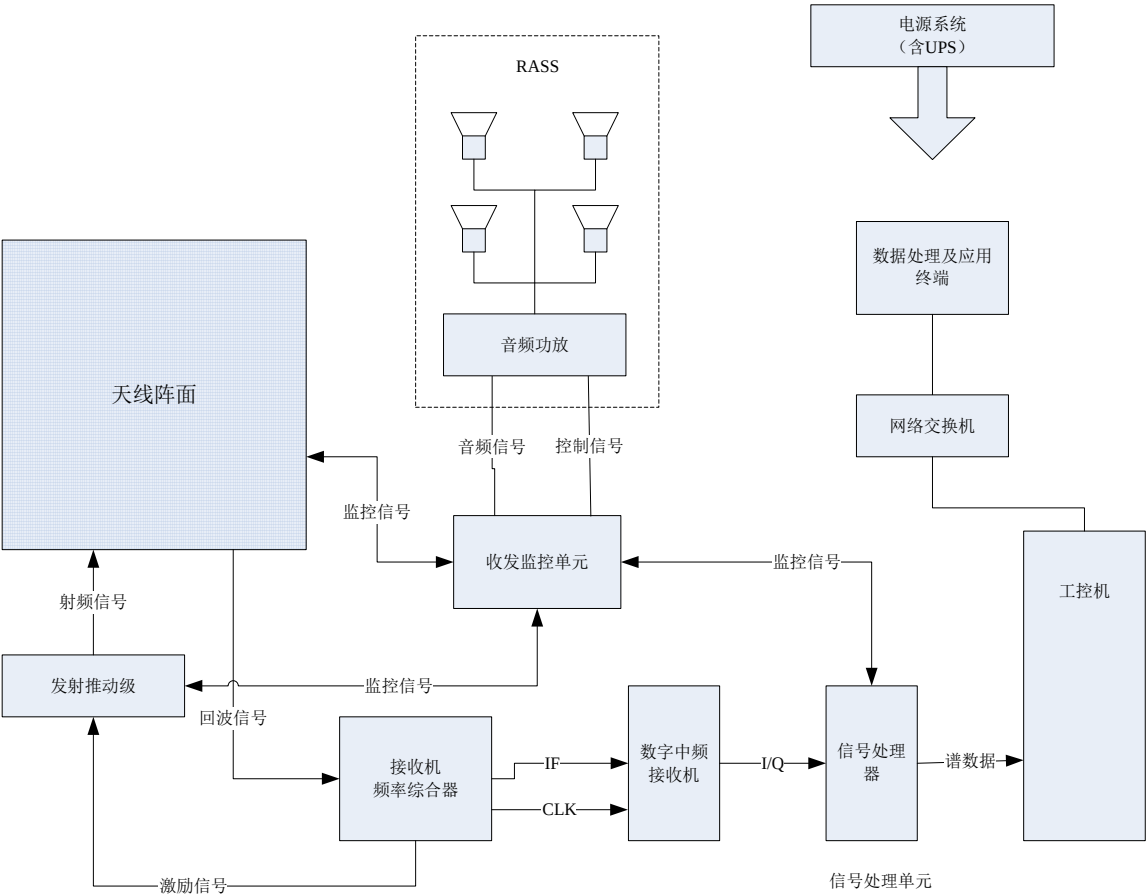


图1 对流层风廓线雷达方框图

4.4 设备安装

4.4.1 总体布局

天线阵面布局见图2。

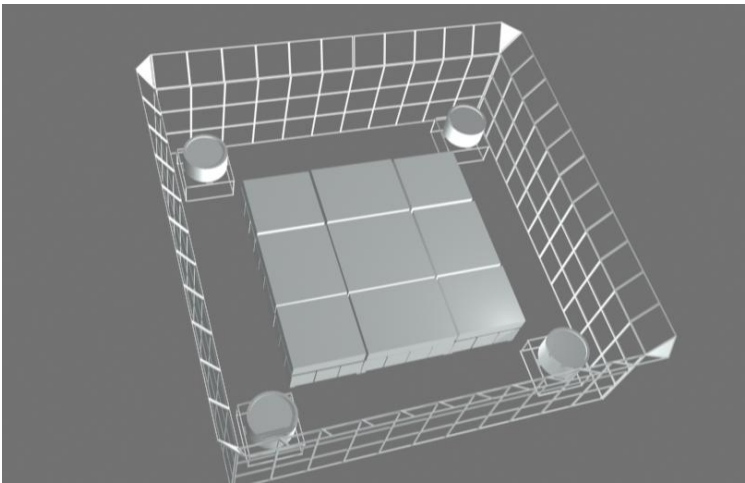


图2 设备总体布局

4.4.2 安装场地

对流层风廓线雷达设备机房占地面积大于 20m^2 ，对流层I型的天线包括电磁屏蔽网占地面积大于 256m^2 （ $16\text{m}\times 16\text{m}$ ）；对流层II型的天线包括电磁屏蔽网占地面积大于 100m^2 （ $10\text{m}\times 10\text{m}$ ）。安装RASS时，占地面积适当增大。设备机房一般置于电磁屏蔽网外，不能遮挡天线辐射路径，距电磁屏蔽网小于 10m 。选配RASS时，4个声屏蔽桶于相控阵天线四边或四角对称放置。场地铺设高于地面 $10\sim 20\text{cm}$ 的混凝土地基。地基周围设置排水系统。

设备安装地点应远离电磁干扰源：输电线、无线通讯电台和天线，还应避开高大建筑物、树林、烟囱等有可能阻挡天线辐射路径的物体。在雷电高危地区还应设置专用的避雷系统。

4.4.3 设备机房配置

设备机房内安装雷达机柜、UPS和交流稳压电源。数据处理及应用终端可安装在设备机房内。

对流层风廓线雷达设备机房朝向天线阵面的一侧预留防水出线口作为铺设电缆之用。设备机房设有电源进户入口、电源开关柜、照明、通风、空调等设备。

4.4.4 电磁屏蔽网

电磁屏蔽网的结构和安装事项参见5.1.3。

4.4.5 RASS电-声转换器

4个电-声转换器和声反射抛物面天线安装在玻璃钢声屏蔽桶内，桶内壁附有吸音材料。4个声屏蔽桶分别由抗风钢绳与地面固定。

4.5 技术指标

4.5.1 工作频率

在 $440\text{MHz}\sim 450\text{MHz}$ 范围内选择点频工作。

4.5.2 探测范围

4.5.2.1 最大探测高度

对流层I型风廓线雷达最大探测高度为 $12\text{km}\sim 16\text{km}$ ，对流层II型风廓线雷达最大探测高度为 $6\text{km}\sim 8\text{km}$ 。

4.5.2.2 最小探测高度

最小探测高度小于等于 150m 。

4.5.3 测量性能

4.5.3.1 测量范围

风速测量范围为 $0\sim 80\text{m/s}$ 。

风向测量范围为 $0\sim 360^\circ$ 。

C_n^2 测量范围为： $10^{-12}\sim 10^{-18}$ （对流层I型）；
 $10^{-12}\sim 10^{-18}$ （对流层II型）。

虚温测量范围为 $223\sim 323\text{K}$ 。

4.5.3.2 测量误差（均方根偏差）

- a) 风速测量误差小于等于 1.5m/s 。
- b) 风向测量误差小于等于 10° 。
- c) 虚温测量误差小于等于 1K 。

4.5.4 分辨率

风速分辨率为 0.2m/s 。

风向分辨率为 0.5° 。

高度分辨率在低模式为 120m ，高模式为 $120\text{m}/240\text{m}/480\text{m}$ （采用脉冲压缩技术）。

时间分辨率在3波束工作时为小于等于 6min ，在5波束工作时为 10min 。

4.5.5 输出产品

4.5.5.1 功率谱和谱的零、一、二阶矩。

- 4.5.5.2 回波信噪比。
- 4.5.5.3 水平风速、风向。
- 4.5.5.4 垂直气流速度和方向。
- 4.5.5.5 大气折射指数结构参数 C_n^2 。
- 4.5.5.6 大气虚温（选配 RASS 时）。
- 4.5.6 可靠性/可维性

MTBF $\geq$ 2500h, MTTR $\leq$ 30min（有备件情况下）。

4.5.7 电源

采用三相交流电源380V $\pm$ 10% 50 $\pm$ 2.5Hz，对流层I型功耗小于15kW，对流层II型功耗小于8kW。

4.5.8 环境适应性

4.5.8.1 温度

适应温度在室外为-40 $\sim$ 50 $^{\circ}$ C，在室内为0 $\sim$ 30 $^{\circ}$ C。

4.5.8.2 湿度

适应湿度在室外为小于等于98%，在室内为小于等于95%。

4.5.8.3 抗风

能经受不大于50m/s的阵风风速或不大于30m/s的平均风速。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。

4.5.8.4 其它环境适应性

防盐雾、防霉、防沙尘和防雷击能力。

4.5.9 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

5.1.1 功能

采用相控阵天线。天线阵面法向指向天顶（图3）。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）。如果因场地限制，天线波束不能指向正东、正南、正西、正北，应在处理软件进行修正。

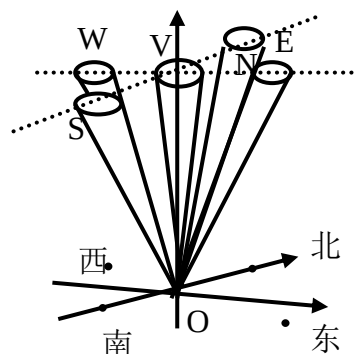


图3 天线波束指向示意图

5.1.2 技术指标

相控阵天线的技术指标见表3。

表3 相控阵天线技术指标

指标类别	技术指标	备注
工作频率	见4.5.1	
波束指向	五波束	一个铅垂方向波束和四个方位相互正交、具有一致仰角的倾斜波束
倾斜波束倾角	15± 5°；四个倾斜波束的仰角之间的差值控制在0.2°~0.5°	
波束宽度	≤ 4.5°（对流层I型） ≤ 7°（对流层II型）	
天线增益	≥ 30dB（对流层I型） ≥ 26dB（对流层II型）	
最大副瓣电平	≤ -20dB	
远区副瓣	≤ -30dB	
驻波系数	≤ 1.3	
发射输出峰值功率	≥20kW（对流层I型） ≥6kW（对流层II型）	
发射馈线损耗	≤ 3dB	
接收馈线损耗	≤ 4dB	
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	>40dB	
杂散发射带宽	≤24MHz	-50dBC

5.1.3 组成和结构

对流层风廓线雷达天线由相控天线阵面，天线波束扫描控制、功率放大、回波预放大、电磁屏蔽网等组成。除天线阵面及电磁屏蔽网必须安装在室外，其它设备可选择安装在室内或室外。

相控阵天线组成见表4。

表4 相控阵天线设备组成表

设备名称	组成	备注
相控阵天线	相控天线阵面	可增加天线罩
	天线波束扫描控制	电控
	功率放大	
	回波预放大	
	电磁屏蔽网	

对流层风廓线雷达天线阵由按行列排列的两维扫描的辐射单元组成。为了运输和架设方便，天线阵面可分为若干个子阵面。

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2，高度大于3m，离天线阵面的间距应大于2m。

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、波束监控、直流电源输入。

5.1.4.1 发射功率输入

发射输出射频功率到相控阵天线功分器输入端，采用N型连接器，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，采用N型连接器，50Ω阻抗匹配。

5.1.4.3 直流电源

相控阵天线电源为直流电源，由电源引出。

5.1.4.4 波束监控

详见5.5.4扫描监控信号。

5.2 发射推动

5.2.1 组成和功能

发射推动分系统主要由功放、监测与控制模块和直流电源组成。发射推动将频率综合器产生的脉冲射频激励信号放大，作为天馈线的输入信号。监测与控制模块用于对发射的监视，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

发射推动的技术指标见表5。

表5 发射推动技术指标

指标类别	技术指标要求	备注
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	$\geq 500\text{W}$ (I型) $\geq 200\text{W}$ (II型)	
脉冲宽度	0.8μs和0.8μs倍数	大于0.8μs 时具有脉冲压缩功能
脉冲重复周期	40~200μs	
最大占空比	$\geq 8\%$	
输入/输出阻抗	50Ω	

5.2.3 结构

安装在雷达机柜内。

5.2.4 电气接口

发射推动对外接口包括射频激励输入、功率输出、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SMA型连接器，50Ω阻抗匹配。

5.2.4.2 发射输出

采用N型连接器，50Ω阻抗匹配。

5.2.4.3 发射信号样本输出

采用耦合输出，峰值功率约10dBm，送给自检分系统，采用SMA型连接器，50Ω阻抗匹配。

5.2.4.4 发射控制回馈

详见5.5.4 发射监控信号。

5.2.4.5 电源接口

采用交流供电输入。

5.3 接收

5.3.1 组成和功能

接收分系统由数字接收机和频率综合器组成。

数字接收机由模拟前端接收机，数字中频组成。接收并放大大气回波信号，输出视频信号。

频率综合器生成发射激励信号，接收机本振信号，信号处理器定时信号，系统时钟和自检信号，分别输入发射，接收前端、信号处理和自检使用。

5.3.2 技术指标

接收的技术指标见表6。

表6 接收技术指标

指标类别	技术指标要求	备注
工作频率	见4.5.1	
噪声系数	≤1.5 dB	低噪声放大器输入口
动态范围	≥90dB	不含AGC
模拟前端接收机饱和输出	10dBm ±2dB	
中频采样位数	≥16bit	
中频采样频率	≥40MHz	
中频匹配滤波器带宽	与脉冲宽度匹配	
输入/输出阻抗	50Ω	
I、Q输出	≥24bit	
镜频抑制比	≥70dB	
频综短稳（1ms）	优于10 ⁻¹¹	
相位噪声	≤-120dBc/Hz@1kHz 杂散 < -60dBc	

5.3.3 结构

安装在雷达机柜中。

5.3.4 电气接口

接收对外接口包括回波输入、输入时钟信号、输出视频信号、接收机控制/回馈，输出发射激励信号、输出信号处理器定时信号、输出自检信号、自检控制/回馈、交流电源输入。

5.3.4.1 连接器

回波输入采用N型接头，50Ω阻抗匹配。

时钟信号、发射激励信号、自检信号，均采用SMA型连接器，50Ω阻抗匹配。

接收机控制/回馈、信号处理器定时信号和自检控制/回馈均采用D型连接器。

5.3.4.2 接收控制/回馈

详见5.5.4频综监控信号。

5.3.4.3 电源接口

采用交流供电输入。

5.4 信号处理

5.4.1 组成和功能

信号处理分系统由数字信号处理器和时序控制器组成。

数字信号处理器完成脉冲压缩、时域积累、FFT变换等处理；时序控制器产生系统时序/控制信号和RASS音频信号。

5.4.2 技术指标

数字信号处理器的技术指标见表7。

表7 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

指标类别	技术要求
时域相干积累数	1~1024
FFT点数	128, 256, 512, 1024
库长	120m/240m/480m
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：700~1300Hz

5.4.3 结构

安装在雷达机柜中。

5.4.4 电气接口

信号处理对外接口包括视频回波输入、信号处理器定时信号输入、信号处理器输出信号、信号处理器状态信号、系统时序控制输出信号和RASS音频信号输出。

5.4.4.1 信号处理器输入/输出

信号处理器输入/输出采用D型连接器。

5.4.4.2 时钟和状态信号

信号处理时钟和状态信号采用D型连接器。

5.4.4.3 RASS 音频信号输出

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2Vpp。

5.4.4.4 状态回馈和时序控制输出

状态回馈信号送到状态监视器。时序控制输出送到各分系统。

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，数据格式采用《风廓线雷达通用数据格式（V1.2）》。

5.5 雷达监控

5.5.1 组成和功能

雷达监控分系统由状态监视器和主控计算机组成。

状态监视器采集各分系统状态信号。

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

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上报主控计算机。

5.5.2.2 主控计算机

主控计算机的技术指标见表8。

表8 主控计算机技术指标

指标类别	技术要求
CPU	不低于奔腾IV/2.4GHz
内存	不小于1.0GB

指标类别	技术要求
硬盘	不小于120GB
操作系统	Windows2000, WindowsXP中文版及以上版本

5.5.3 结构

计算机为工控机，安装在雷达机柜内。

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9～表12）。

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接口。

表9 扫描监控信号

控制和监视信号名称	信号定义
电路特性	天线扫描监控信号除特别说明外均采用差分信号和直连电线方式。
波控码低位b0+	三位差分控制码：高电平为1 000：中波束 001：偏东波束 010：偏南波束 011：偏西波束 100：偏北波束
波控码低位b0—	
波控码中位b1+	
波控码中位b1—	
波控码高位b2+	
波控码高位b2—	
监控发命令+	RS422串行回送，含波束指向、组件状态等。低电平为故障。
监控发命令—	
监控收命令+	
监控收命令—	

表10 发射监控信号

发射控制和监视信号名称	信号定义
电路特性	发射控制信号采用差分信号和直连电线方式。 发射状态信号采用RS422串口方式。
发射工作控制信号+	控制发射开/关机信号，高电平为开。
发射工作控制信号—	
发射过热故障	发射过温故障：出现该故障时，发射分系统将上报故障和自动停机。高电平为故障。采用RS422串口上报
发射RF输入故障	发射输入故障：包括工作比超限和输入激励信号过低，出现该故障时，发射分系统将上报故障和停止工作。高电平为故障。采用RS422串口上报
发射RF无输出故障	发射无输出故障报警信号，高电平为故障。采用RS422串口上报
发射电源故障	发射电源故障报警信号，高电平为故障。采用RS422串口上报

发射控制和监视信号名称	信号定义
发射输出驻波故障	发射输出端驻波超限故障报警信号，高电平为故障。采用RS422串口上报
发射工作温度数值	采用RS422串口上报
发射输出前向功率数值	采用RS422串口上报
天线反射功率数值	采用RS422串口上报
室内温度数值	采用RS422串口上报

表11 数字接收机监控信号

控制和监视信号名称	信号定义
数字中频内部直流电源故障	差分信号，高电平故障
数字中频内部A/D采样时钟故障	差分信号，高电平故障
工作/自检选择信号	选择开关加电时，选择自检信号源。

表12 频综监控信号

控制和监视信号名称	信号定义
激励控制	差分信号和电线直连。高电平开。
脉压/常载频选择	差分信号和电线直连。1：脉压，0：常载频
子脉冲宽度控制	差分信号和电线直连。1：宽脉冲，0：窄脉冲
中频调制触发	差分信号和电线直连。高电平通。
本振采样信号	频综输出本振信号采样送系统状态监视器，监测本振信号是否正常。
激励采样信号	频综输出激励信号采样送系统状态监视器，监测本振信号是否正常。

自检信号选择控制信号：输入自检分系统，选择开关加电时，选择发射分系统输出信号源。

5.6 自检

5.6.1 组成和功能

自检分系统由RF衰减器、选择开关和RF 延时线组成。

对于强度和速度的自检，接收和信号处理按正常流程处理信号，由于注入信号的功率或速度已知，最终信号处理输出也可知，输出的任何偏离可通过修改雷达常数使其一致，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，提取发射输出的RF信号，经延时后，注入接收，计算I/Q信号相角，得到系统相干性。

5.6.2 自检项目

对流层风廓线雷达自检项目有：

a) 线性通道强度自检、噪声系数测试

输入信号：频综CW信号

注入接收机信号功率等级：-80~-120dBm

功能：更新系统自检常数

自检周期：完成一组风羽探测后标校一次

用途：自检线性通道强度和噪声系数。脱机还可测试接收机灵敏度和动态范围。

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

自检周期：完成一组风羽探测后标校一次

c) 系统相干性检查

输入信号：延时10~25μs的发射输出RF信号

功能：检查系统相干性

检查周期：八小时

5.6.3 结构

选择开关、RF衰减器和RF延时线构成一个组件，安装在雷达机柜内。

5.6.4 电气接口

自检分系统有五个接口：频率综合器输入，输出测试信号，发射输入，输入控制信号和电源。

5.7 通讯

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

本通讯功能采用以太网通讯方式。

通讯标准：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。实现远程访问多部雷达，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13 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		

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
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PC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

信号处理流程主要进行脉冲压缩处理、时域相干积累、FFT变换、非相干积累（谱平均）、谱参数估计，如图4所示。

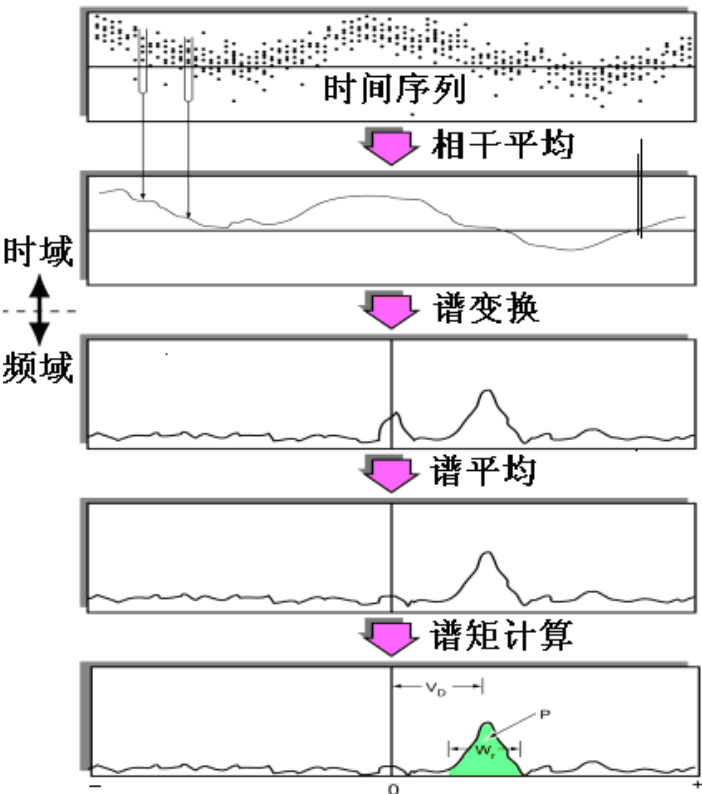


图4 信号处理流程

5.8.2.1 脉压处理

为了扩展在弱信号条件下对流层风廓线雷达的探测距离，可采用8位二相补码或16位二相补码方式进行脉冲压缩。

5.8.2.2 时域平均

为提高风廓线雷达检测大气中微弱信号的能力，数字信号处理器中应采用时域信号的相干积累处理技术。相干积累提高信号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，对流层风廓线雷达可选用0.05~0.15 秒的相干积累时间。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，供实际探测中进行优选。

5.8.2.3 FFT 变换、加窗及滤波处理

为减小信号的频谱泄漏作用，一般需加窗处理。对于对流层风廓线雷达，应具有海宁窗、海明窗、矩形窗的加窗函数供用户选择。

5.8.2.4 非相干积累

完成FFT变换等处理后，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

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

$$\text{信号功率估值} \quad P_r = m_0$$

b) 平均速度

$$\text{平均速度估值} \quad \tilde{v} = \frac{m_1}{m_0}$$

c) 速度谱宽

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

5.8.2.8 信噪比

信号功率与噪声功率之比：

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

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

单位：dB。

5.8.3 数据处理

5.8.3.1 风速、风向计算

a) 三波束对流层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。

b) 五波束对流层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，再按三波束对流层风廓线雷达水平风合成方法的计算方法计算。

5.8.3.2 折射率结构指数计算

$$C_n^2 = \frac{KT_0 B N_F}{5.4 \times 10^{-5} \lambda^{5/3} P_t(h/2) G_1 G_2 L_1 L_2} R^2 \cdot SNR$$

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。

5.8.3.3 数据文件

参见《风廓线雷达通用数据格式(V1.2)》。

5.9 RASS

5.9.1 组成和功能

RASS由电-声转换器、声抛物面反射体、声屏蔽桶和声功率放大器构成。在对流层风廓线雷达测温模式下工作时RASS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将是大气运动和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14 RASS 技术指标

指标类别	技术指标要求	说明
工作频率	700 Hz~1300Hz	
3dB声波束宽度	$10 \pm 2^\circ$	
声天线增益	≥ 10 dB	
声压级	≥ 130 dB	声天线口面上方1米处
声源喇叭承受功率	≥ 100 W/ 8Ω	
声功放输出功率	0~1500W/ 4Ω （可调）	
音频输入幅度	VPP ≤ 2 V	
隔音	筒内衬吸音材料	

5.9.3 结构

声功率放大器安装在机柜内。声屏蔽桶分别安装在4个金属支架上，桶壁有钢绳和地桩连接，加强抗风能力。

5.9.4 电气接口

RASS对外接口包括声频信号输入，控制信号和电源输入。

5.9.4.1 声频信号输入

采用带屏蔽的立体声插件。

5.9.4.2 控制信号输入

采用D型连接器。

5.9.4.3 电源输入

采用交流供电输入。

6 质量保证

6.1 检验责任

除合同或订单另有规定外，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

合格的对流层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对流层风廓线雷达符合合同要求。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 GJB150.1 中 3.1 条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 受检的对流层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 受检的对流层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：

- 当检验现场出现不符合规定的检验条件时；
- 按检验计划规定的日期，受检对流层风廓线雷达不符合规定的检验条件时；

c) 检验过程中, 受检对流层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 鉴定检验

鉴定检验一般在产品设计定型时进行, 但在产品的主要设计、工艺、元器件及材料有重大改变而影响产品的重要性能, 使原来的鉴定结论不再有效时, 也应进行鉴定检验。

6.5.2 质量检验

6.5.2.1 产品提交

a) 必须提交经承制方检验部门检验合格的产品, 其分系统、分机和关键部件应有在生产过程中承制方和订货方的检验合格印记。

b) 必须成套提交。

c) 必须具有承制方检验部门签字和产品交验通知书, 并附有检验测试记录和主要配套设备检验数据。

d) 承制方应为订货方提供检验必需的设备、仪表、工具及检验场。

e) 订货方接到交验通知书后, 经过必要的准备, 尽快组织实施。

6.5.2.2 检验方式

a) 由订货方对产品逐台逐项进行检验。

b) 凡出现致命缺陷、严重缺陷的情况, 判定产品不合格。

6.5.2.3 问题处理

对发现有缺陷的产品, 承制方应负责修复并达到产品技术规格书规定后, 可作为产品交付。

6.6 检验项目

参见《对流层风廓线雷达检验方法》(待编制)。

6.7 检验方法

参见《对流层风廓线雷达检验方法》(待编制)。

6.8 检验规则

6.8.1 外观、电气性能、成套性为全检, 在出厂检验中进行。测量性能、可靠性、维修性、环境适应性为抽检, 在鉴定检验中进行。

6.8.2 出厂检验若有一项被拒收, 则该产品即被拒收, 只有当全部检验项目合格, 该产品才予接收。

6.8.3 承制方对拒收的产品应查明原因, 采取措施并予以修复, 确实证明问题已解决时, 可重新提交。

6.8.4 鉴定检验应在出厂检验合格的基础上进行。

6.8.5 探测精度和范围的检验, 应按照 GJB570.4 的要求进行统计和判定。

7 产品交付

7.1 成套性

按合同规定提交。

7.2 包装

7.2.1 对流层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、标志，并由订购和承制双方代表打封印。配套设备的包装也应采用统一的编号和标志。

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

对流层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。