

《CINRAD/SA雷达实用维修手册》编写组 编

CINRAD/SA

雷达实用维修手册



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

CINRAD/SA 雷达 实用维修手册

《CINRAD/SA 雷达实用维修手册》编写组 编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

CINRAD/SA 雷达实用维修手册/《CINRAD/SA 雷达实用维修手册》编写组编.
—北京:中国计量出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-5026-2890-1

I. C… II. C… III. 雷达—维修—技术手册 IV. TN95-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 137235 号

内 容 提 要

本书是关于 CINRAD/SA 新一代天气雷达日常维护和故障抢修的实用性手册。本手册以信号流程为主线,以原理框图为顺序,详细描述了雷达接收机系统、发射机系统、天线/伺服系统和配电系统四个分系统的工作原理及关键测试点等电气特征,同时介绍了相应雷达软件的安装、操作注意事项及其各自配置文件的作用,并汇集了广东省各雷达站和宜昌、济南、连云港、石家庄等雷达站的典型故障个例,为维修提供指引。

本书可供天气雷达技术保障人员及高校相关专业师生参考使用。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 16 开本 印张 29.5 字数 667 千字

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

*

印数 1—1 500

定价: 74.00 元

编 委 会

顾 问： 余 勇 许永铎 张建云

主 编： 敖振浪

副主编： 胡东明 谭鉴荣 吴艳峰

委 员：	李源鸿	李建勇	吴少峰	刘亚全
	罗业永	贺汉清	黎德波	程元慧
	杨朝辉	朱深俊	张阳生	吴荣深
	李源锋	刘 强	汪章维	姚喜乔
	卜增明	黄 骏	张 羽	黄飞龙
	张 凯			

前 言

CINRAD/SA 新一代天气雷达是目前国内气象部门最先进的雷达探测设备之一,其技术处于 20 世纪 90 年代国际先进水平。它采用先进的雷达技术,融合了大规模集成电路、数字电子技术、光通信、计算机通信、电子计算机以及软件技术。主要性能特点是系统结构复杂,检测和控制功能完善,软件功能强大,生成的气象产品丰富,具有较高的自动化程度。基于雷达的复杂性和运行特点,对雷达技术保障工作提出了很高要求,特别是技术保障人员,应全面掌握电子技术、通信技术、软件技术、雷达气象知识以及丰富实践经验,才能较好地适应新一代天气雷达的技术维修保障工作。

广东省 1999 年开始新一代天气雷达建设工程,目前已经建成广州、阳江、梅州、韶关、汕头、深圳 6 部 CINRAD/SA 雷达,并投入业务使用。还有在建设中的湛江、河源、汕尾、肇庆 4 部。经过近 8 年的维修保障工作实践,雷达站技术人员在维修方面积累了大量实践经验。在总结经验的基础上,全面整理了相关的技术资料,详细分析典型故障个例,以及日常维护和故障检修过程中的关键细节,编写出这本维修手册,共分 6 章,内容包括:

第 1 章,接收机系统。详细介绍了接收机系统的基本原理和信号流程,配插图说明接收机系统的结构布局和各模块组件,增加了数字中频改造内容。

第 2 章,发射机系统。根据原理框图和信号流程描述了各模块组件的工作原理和调试步骤,提供了实测中得出的关键测试点的波形等电气参数特征。

第 3 章,天线/伺服系统。详细介绍了天线和伺服系统的结构和工作原理,配备了完整的电原理图、接线图和装配图等,配插图描述维护维修的具体操作步骤。

第 4 章,配电系统。分别介绍了柴油发电机、电源稳压器、UPS 电源,以及各分系统的电源模块的工作原理和电气参数。

第 5 章,软件系统。分别描述了 RDASC、UCP、PUP 三套雷达软件的安装、操作注意事项及其各自配置文件的作用,同时提供了 PUPC、RSCTS、

RPGCD 等业务传输软件的安装和操作说明。

第6章,维护与维修。结合实践工作经验介绍了日常维护方法,配插图说明系统定标测试方法。收集和整理了我省以及国内其他雷达站有关 CINRAD/SA 雷达故障个例,并对典型个案的处理步骤和理论依据作了详细分析。

本手册以信号流程为主线,以原理框图为顺序,不仅描述了每个模块组件的工作原理,还包括关键测试点等电气特征,为维护维修提供指引,同时提供了各业务软件的安装和配置文件的说明。本手册是实用维修技术资料的汇编,也是点滴经验的总结,是雷达日常维护和故障抢修的实用性手册,希望对天气雷达技术保障人员能有所帮助。

本手册是集体智慧的结晶,编写组集中了广东省大气探测技术中心,广东省广州、阳江、梅州、韶关、汕头、深圳雷达站,北京敏视达雷达有限公司等单位工作一线的技术骨干。在编写过程中,还收集和整理了一部分由北京敏视达雷达有限公司提供的资料和原理图,并汇集了来自广东省各雷达站和宜昌、济南、连云港、石家庄等雷达站的典型故障个例。

本手册撰写过程中,参考了他人的一些研究成果,除了参考文献中所列正式刊登的论文、论著外,还有许多资料摘自讲座、会议材料等,对未正式发表的内容,不一一列出作者和出处,恳请有关作者谅解,在此也深表谢意。

本手册得到了广东省气象局科研课题(课题编号 0416)资助,广东省气象局余勇局长、许永鏖副局长,中国气象局气象探测中心有关领导和专家对本手册的编写给予了大力支持和指导,在此谨表示衷心感谢!

限于作者水平和编写时间仓促,书中的不足和差错在所难免,希望广大同行在使用中多多提出宝贵意见,也恳请读者批评指正。

《CINRAD/SA 雷达实用维修手册》编写组

2008年7月 广州

目 录

第 1 章 接收机系统	(1)
1. 1 性能与结构布局	(1)
1. 1. 1 接收机的功能	(1)
1. 1. 2 接收机的主要技术性能指标	(1)
1. 1. 3 接收机的结构布局	(2)
1. 2 基本原理	(4)
1. 2. 1 频率源(4A1)	(4)
1. 2. 2 接收机前端通道	(5)
1. 2. 3 接收通道	(6)
1. 2. 4 干扰检测	(13)
1. 2. 5 测试通道	(18)
1. 2. 6 故障检测	(21)
1. 2. 7 接收机接口(4A32)	(27)
1. 3 标定与测试	(28)
1. 3. 1 线性通道反射率	(28)
1. 3. 2 反射率标定检查	(29)
1. 3. 3 速度和谱宽	(30)
1. 3. 4 杂波抑制检查	(30)
1. 3. 5 DC 偏移和噪声电平	(30)
1. 3. 6 IF 衰减器标定和 I&Q 幅度及相位平衡	(31)
1. 3. 7 RF 功率计调零	(32)
1. 3. 8 系统噪声温度检查	(32)
1. 4 接收机的数字中频化改造	(32)
1. 4. 1 基本原理	(32)
1. 4. 2 安装与调试	(33)
第 2 章 发射机系统	(37)
2. 1 基本原理	(37)
2. 1. 1 概 述	(37)
2. 1. 2 各模块工作原理及实物图	(41)
2. 2 发射机各部件的调试及更换处理	(66)

2.2.1	发射机各部件的调试	(66)
2.2.2	发射机可更换单元及部分器件说明	(75)
2.3	维护及维修	(78)
2.3.1	发射机的定期维护	(78)
2.3.2	发射机的维修	(81)
第3章	天线/伺服系统	(89)
3.1	系统综合描述	(89)
3.1.1	系统介绍	(90)
3.1.2	系统功率要求	(92)
3.1.3	技术特性	(93)
3.1.4	系统内部连接电缆	(93)
3.1.5	特殊工具和试验设备	(93)
3.1.6	单元识别	(98)
3.2	天线座安装、操作和维修	(99)
3.2.1	安 装	(99)
3.2.2	工作原理	(103)
3.2.3	天线座的预防性维护和清洁维护	(111)
3.2.4	天线座部件的更换	(117)
3.2.5	维修部件表	(154)
3.3	数字控制单元(5A6)	(168)
3.3.1	简 介	(168)
3.3.2	安 装	(170)
3.3.3	操 作	(170)
3.3.4	工作原理	(170)
3.3.5	数字控制单元维护	(178)
3.3.6	维修部件列表	(181)
3.4	功率放大单元(5A7)	(193)
3.4.1	简 介	(194)
3.4.2	技术特性	(194)
3.4.3	连接设备	(194)
3.4.4	安 装	(196)
3.4.5	工作原理	(196)
3.4.6	功率放大单元维修	(202)
3.4.7	伺服放大器维修部件	(204)
3.5	天线座系统故障检修和隔离	(210)
3.6	三相电源变压器单元	(225)

第 4 章 配电系统	(250)
4.1 系统配电	(250)
4.1.1 概 述	(250)
4.1.2 雷达系统的供电要求	(250)
4.1.3 雷达附属配电设备及其注意事项	(251)
4.2 雷达各分机电源详解	(255)
4.2.1 配电机柜	(255)
4.2.2 发射机柜	(258)
4.2.3 接收机柜	(263)
4.2.4 天 线	(271)
第 5 章 软件系统	(273)
5.1 RDA 系统	(273)
5.1.1 RDASC 软件的主要作用	(273)
5.1.2 RDASC 软件的使用介绍	(273)
5.1.3 适配数据的设置	(279)
5.2 PRG 系统	(310)
5.2.1 UCP 软件的主要作用	(310)
5.2.2 UCP 的安装	(310)
5.2.3 UCP 主要配置文件的说明	(314)
5.2.4 UCP 的使用操作说明	(316)
5.3 PUP 系统	(331)
5.3.1 PUP 软件的主要作用	(331)
5.3.2 PUP 软件的安装方法	(331)
5.3.3 PUP 主要配置文件的说明	(334)
5.3.4 PUP 操作说明	(335)
5.4 10 版本软件系统新增功能	(351)
5.4.1 RDASC	(351)
5.4.2 RPG	(351)
5.4.3 PUP	(351)
5.4.4 特别说明	(352)
5.5 业务传输软件	(352)
5.5.1 RPG 架子上的传输软件	(352)
5.5.2 PUP 架子上的传输软件	(360)
第 6 章 维护与维修	(366)
6.1 雷达维护技术	(366)
6.1.1 定期维护	(366)

6.1.2	日常天线部分的维护方法	(369)
6.1.3	供电系统/UPS 的维护	(384)
6.1.4	接收机通道各模块衰减值以及测量方法	(385)
6.1.5	关键波形的测量方法	(389)
6.1.6	主要测试仪器的使用	(420)
6.2	系统定标与测试	(424)
6.2.1	利用 RDASOT 软件对雷达进行测试的方法介绍	(424)
6.2.2	定标测试方法	(427)
6.3	维护维修实例	(440)
6.3.1	目前缺仪表备件情况下的故障维修方法	(440)
6.3.2	CINRAD/SA 雷达调制器真空开关“漏气”故障的分析	(442)
6.3.3	广州 CINRAD/SA 雷达天线伺服系统轴角箱多次故障的分析	(446)
6.3.4	连云港 CINRAD/SA 天气雷达伺服系统特殊故障分析	(450)
6.3.5	济南 CINRAD/SA 雷达发射机功率不稳故障诊断	(453)
6.3.6	宜昌 CINRAD/SA 天气雷达接收机频综故障诊断分析	(455)
6.3.7	各地雷达站故障维修实例	(456)
参考文献		(462)

第1章 接收机系统

1.1 性能与结构布局

1.1.1 接收机的功能

CINRAD 接收机是专门为中国新一代脉冲多普勒天气雷达而研制的,与此前的常规雷达相比,最大的区别在于,它不仅为全机系统提供定时信号,而且还为发射机系统提供调制信号源,2008 年开始,部分模拟接收机系统进行了数字中频改造。

CINRAD 接收机主要具备以下几个方面的功能:

- (1) 向发射机提供高稳定的发射信号。
- (2) 相参接收雷达的回波信号,经放大处理后送至信号处理器。
- (3) 能自动进行故障检测和故障定位。
- (4) 能进行系统的定标校准。
- (5) 能进行干扰检测。

1.1.2 接收机的主要技术指标

CINRAD 接收机的主要技术指标如下:

- (1) 接收频率为 2.7~3.0 GHz 之间已预选的射频信号。本接收机的接收频率为 2885MHz。
- (2) 接收机有瞬时 AGC,控制范围为 0~58.5dB。
- (3) 接收系统的噪声系数 $N_F \leq 4.0$ dB。
- (4) 接收机中频频率为 57.55MHz,6dB 带宽为 0.79MHz。
- (5) 接收机通道有:线性 I、Q 输出,对数 LOG 输出。
- (6) 接收机线性通道的动态范围 ≥ 93 dB,瞬时动态范围 ≥ 50 dB。
- (7) 接收机对数通道的动态范围 ≥ 94 dB。
- (8) 接收机镜像抑制度 ≥ 50 dB,寄生响应 ≥ 60 dB。
- (9) 接收机杂波抑制极限 ≥ 51.5 dB。
- (10) 接收机系统 DC 偏置校准 $\leq \pm 0.25$ LSB。
- (11) 接收机冷启动响应时间 ≤ 10 min,热启动响应时间 ≤ 10 s。
- (12) 接收机具有自动故障检测、故障定位、干扰检测和系统定标校准的功能。
- (13) 接收机能在海拔 3300m 范围内工作。
- (14) 接收机柜工作温度为 $+10 \sim +35$ ℃,湿度为 20%~80%。接收机前端工作温度为 $-40 \sim +49$ ℃,湿度为 15%~100%。
- (15) 接收机平均故障间隔时间 MTBF 为 3018h。平均故障修复时间 MTTR 为 0.624h。

1.1.3 接收机的结构布局

接收机的前端(2A3, 2A4)放在馈线系统里, 位于天线座内; 接收机的其余部分全部放在一个接收机柜中, 接收机柜的尺寸(长×宽×高)为 820mm×587mm×2000mm。

在接收机柜里, 有活动门、RF 板、正板、顶板、检测板等部分。

图 1.1.1 和图 1.1.2 分别为接收机柜的立体前视和后视图。

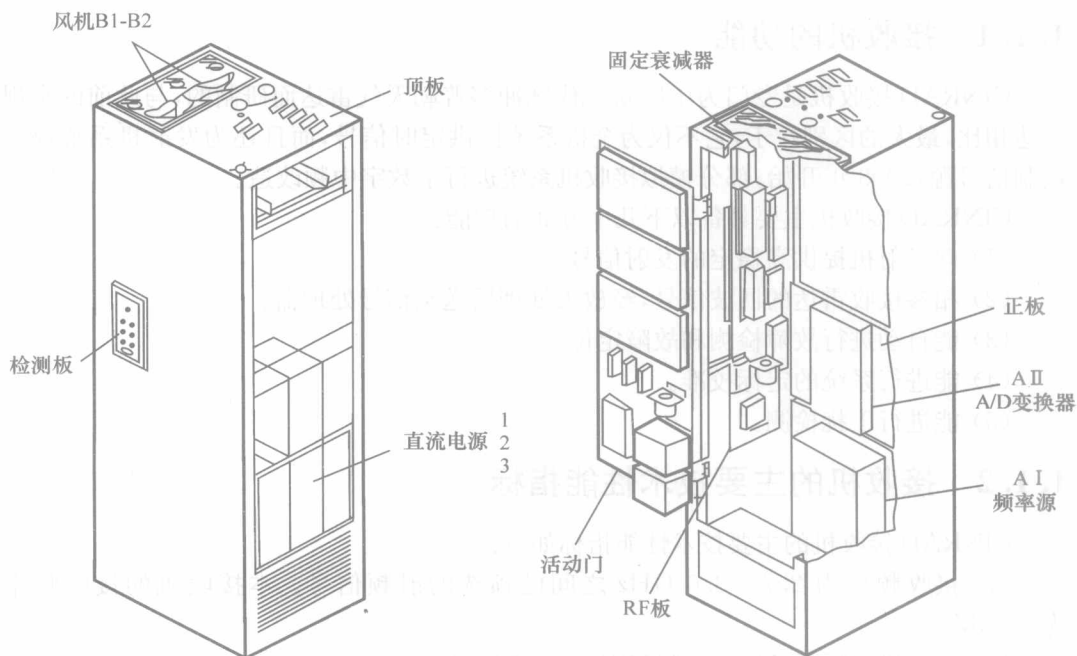


图 1.1.1 接收机柜的前视图

图 1.1.2 接收机柜的后视图(活动门打开)

(1) 活动门正面

图 1.1.3 所示为活动门前视图, 表示了活动门正面安装的 6 个部件及电源板 TB2 的结构布局。

(2) 活动门背面

图 1.1.4 所示为活动门的后视图, 表示了活动门背面安装的 10 个部件的结构布局。

(3) RF 板

图 1.1.5 所示为 RF 板的正视图, 表示了 RF 板上安装的 17 个部件及电源板 TB3 的结构布局。

由于接收机系统组件多, 布局密, 图 1.1.6 给出了活动门实物布局图。

(4) 顶板

顶板是接收机柜所有输入输出接口的安装板, 上面装有 13 个接头。其中:

J26——交流电源接头;

J15, J16, J17, J18, J19——RF 接头;



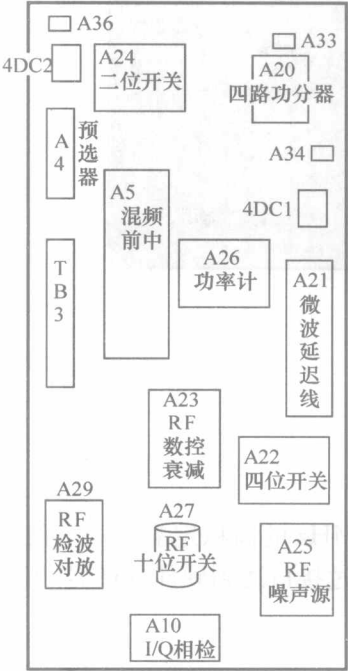
模块：
4A6
4A7
4A8
4A9
4A12
4A13
TB2

图 1.1.3 活动门前视图



模块：
4A14
4A15
4A16
4A17
4A18
4A19
4A28
4A30
4A31
4A32

图 1.1.4 活动门后视图



模块：
4A4
4A5
4A10
4A20
4A21
4A22
4A23
4A24
4A25
4A26
4A27
4A29
4A33
4A34
4A36
4DC1
4DC2
TB3

图 1.1.5 RF 板的正视图

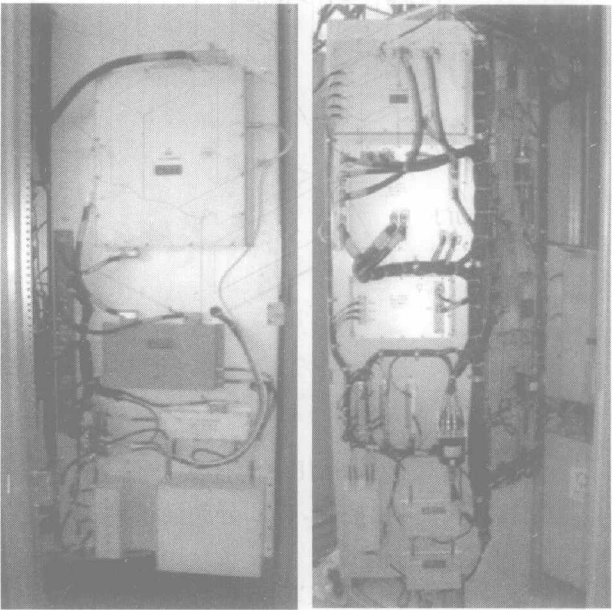


图 1.1.6 活动门实物局部图

J2, J7, J20, J21, J22, J23, J24——视频、数据接头。

(5) 检测板

检测板提供了接收机柜外部检测的接头,一共 8 个接头。其中:

J25——RF 信号接头;

J9, J10, J11, J12, J13, J14——模拟视频信号接头;

J8——数据信号接头。

1.2 基本原理

1.2.1 频率源(4A1)

频率源实物和布局如图 1.2.1 所示,它产生 5 种输出信号,分别叙述如下。

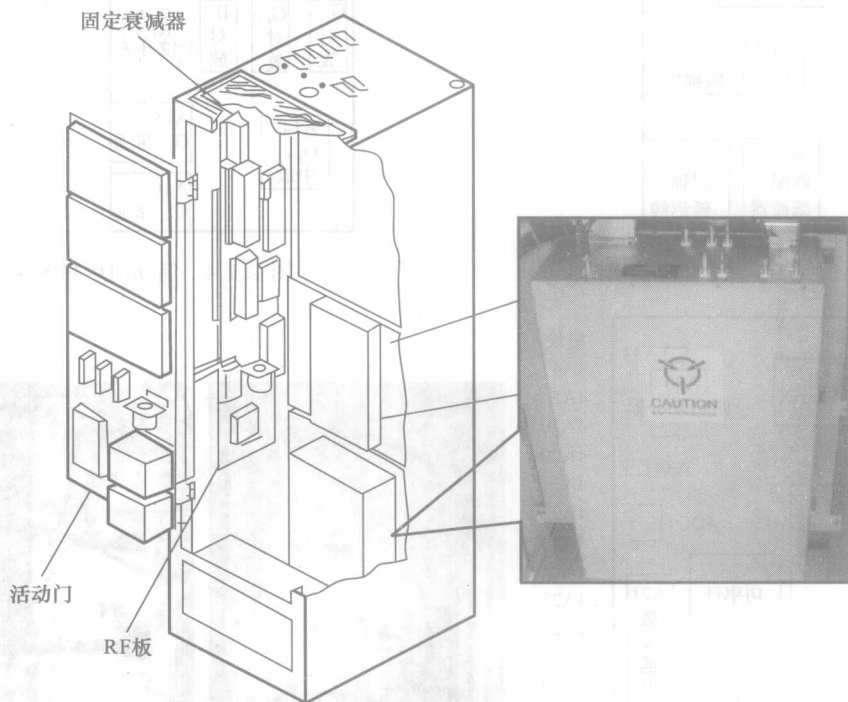


图 1.2.1 频率源

(1) 主时钟信号

主时钟信号是 9.6MHz 的连续波信号,它是由 57.55MHz 的高稳定晶振产生的信号,不加波门和移相控制,经 6 分频而得到。主时钟信号通过接口送到硬件处理器,用作整个 RDA 的定时信号。

(2) 中频相干信号(COHO)

COHO 用作 I/Q 相位检波器的基准信号,解调出回波信号中的多普勒信号 I、Q。COHO 由 J4 送到 I/Q 相位检波器的 J2。COHO 的频率为 57.55MHz,功率为 +26~

+28dBm。在测试模式中,COHO没有相移,这样对射频有相移时,所模拟的多普勒频移将表现为它们之间的相位差值。

(3) 射频激励信号(RF DRIVE)

射频激励信号频率为2.7~3.0GHz,脉宽为 $10\mu\text{s}$,峰值功率为10dBm,该信号经J1送到发射机,脉冲宽度被减窄到 $1.5\sim 5\mu\text{s}$,经放大变成发射的射频载波。发射机的具体工作频率可以预先选定,由插入式晶体振荡器提供。对于相应的稳定本振信号(STALO)射频激励载波被移相,通过给每一个发射脉冲一个伪随机相位,就有可能识别多次环绕回波。在这一应用中,COHO必须具有一个相移,以匹配给定的射频激励信号的相位。

(4) 稳定本振信号(STALO)

稳定本振信号与射频激励信号是相干信号,它比射频激励信号的频率低57.55MHz,输出功率为+14.85~+17dBm,由J2送到混频/前中,在那里与雷达回波信号进行混频,把射频回波信号转换成中频回波信号。

(5) 射频测试信号(RF TRST SIGNAL)

射频测试信号与射频激励信号的载频频率相同,输出功率为+21.75~+24.25dBm。它经J3被送到测试源选择功能组,如果被选择,它将变成一个检查接收机的信号。射频测试信号可以是一个脉冲,也可以是连续波,这取决于硬件信号处理器中产生的射频门(RF GATE)。在测试模式,用移相器把模拟多普勒相移加到射频测试信号上。在此应用中,所选择的相干信号将没有相移。这样,对射频有相移,对相干信号(COHO)无相移,模拟的多普勒频移表现为它们之间的相位差值。

频率源中还有故障监测电路,该电路对主时钟信号、中频相干信号、射频激励信号、稳定本振信号及射频测试信号进行采样、监控。这些信号中任何一个超出允许的限制范围,都将产生一个相应的故障码,该故障码经J5被送到监控功能组,产生RDA告警信号。

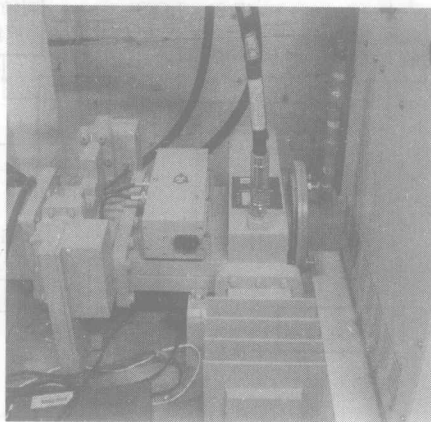


图 1.2.2 接收机前端通道

1.2.2 接收机前端通道

接收机前端通道安放在天线座内,包括接收机保护器和低噪声放大器。其实物如图1.2.2所示。

1.2.2.1 接收机保护器(2A3)

当大功率射频脉冲从发射机进入天线馈线时,其中一部分射频能量将会通过天线馈线通路漏进接收机,为了防止烧坏敏感的接收机部件,在低噪声放大器(2A4)和天线馈线之间,装有一个射频高功率接收机保护器(2A3)。接收机保护器由射频高功率二极管开关和无源二极管限幅器组成。在发射基准时间之前大约 $6.5\mu\text{s}$ 时,接收机保护器接收来自硬件信号处理器的接收机保护命令(驱动信号)。接收机保护器中的高功率二极管开关响应驱动信号,使二极管开关处于高隔离状态,防止射频能量进入低噪声放大器。同时,

二极管开关还要将其高隔离状态通知给二极管状态监视器。二极管状态监视器把接收机的保护响应返送给信号处理器,该响应告知接收机已经被保护,允许发射机向天线馈线发送高功率射频脉冲,硬件信号处理器在其监控电路指明发射机的阴极、射线电流脉冲结束后,撤消接收机的保护命令。在二极管开关处于低损耗状态,接收机接收雷达回波或测试信号时,无源二极管限幅器限制进入到低噪声放大器中的最大射频能量。接收机保护器内的 20dB 定向耦合器,可用于射频测试信号加入接收机。

1.2.2.2 低噪声放大器(2A4)

从接收机保护器出来的信号(雷达回波或测试信号)经低噪声放大器(LNA)(2A4)放大,然后经一段长电缆送到接收机柜的输入端。低噪声放大器的增益为 (30 ± 0.5) dB,噪声系数小于 1.3dB,1dB 压缩时输出功率为+15dBm。

1.2.3 接收通道

接收通道是指接收机系统的主通道,其原理框图和信号流程如图 1.2.3 所示。

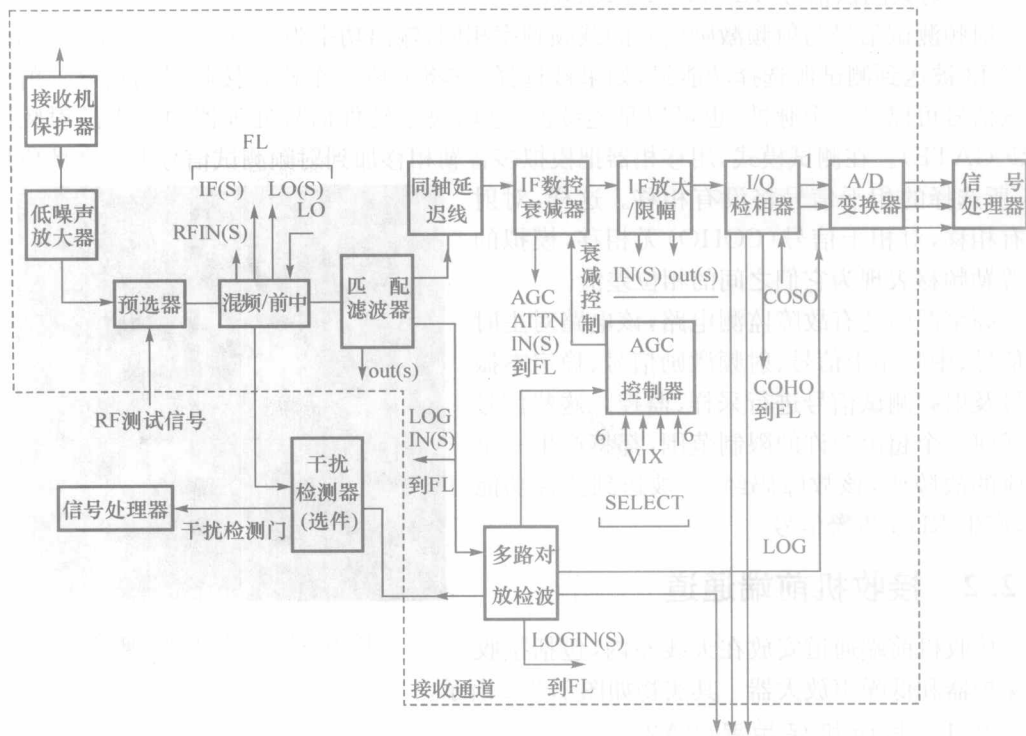


图 1.2.3 接收机通道框图

(1) 预选滤波器(4A4)

在接收机柜里,低噪声放大器输出,通过固定衰减器(图 1.2.4)和 20dB 定向耦合器 DC2,送到射频预选滤波器(图 1.2.5),然后再送到混频/前中,来自测试信号选择器的测试信号,可以通过 20dB 定向耦合器的耦合端,送到接收通道里。预选滤波器的中心频率

等于发射频率(2.7~3.0GHz之间的已预定的频率),其中心频率精度为 $\pm 2\text{MHz}$ 。其带通特性如下:

衰减	带宽(无干扰检测)	带宽(有干扰检测)
0.2dB	5MHz	8MHz
3.0dB	12~17MHz	18.5~24MHz
40dB	52MHz	70MHz
60dB	90MHz	120MHz

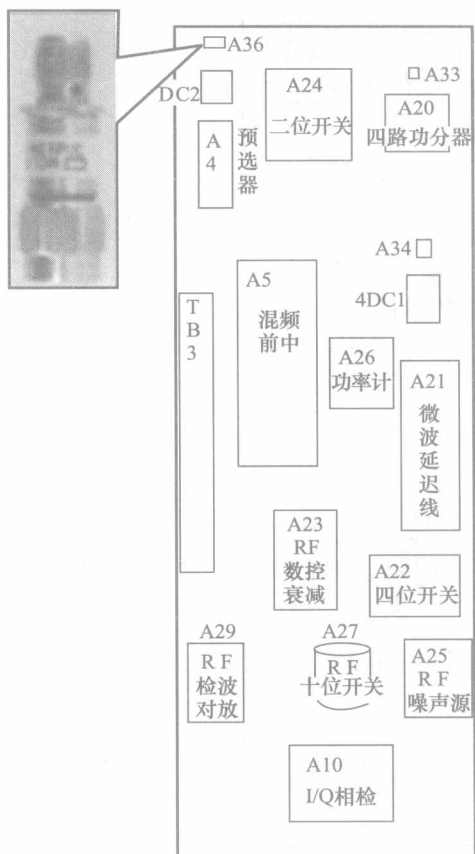


图 1.2.4 固定衰减器

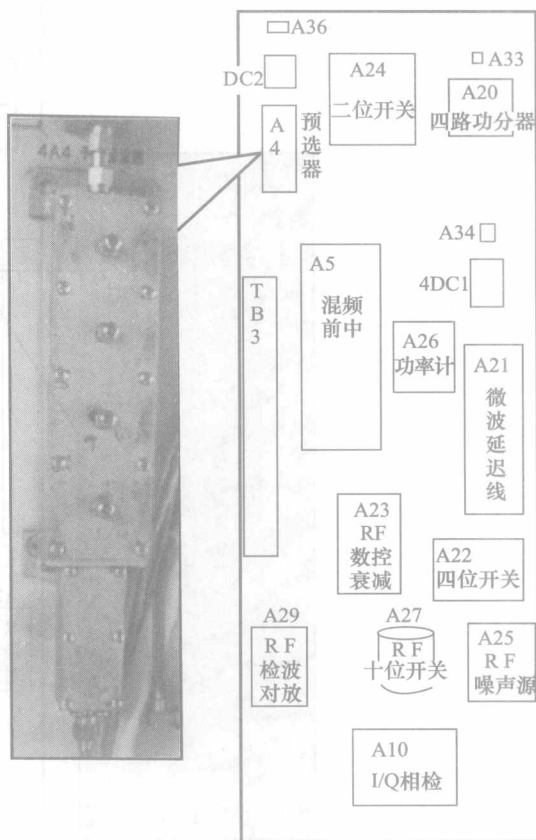


图 1.2.5 预选滤波器

(2) 混频/前中(4A5)

预选滤波器输出信号(雷达回波或两个测试信号之一)从 J1 注入到混频/前中组件(图 1.2.6)。从 J1 输入的信号,经过 20dB 定向耦合器、隔离器,加到混频器的信号端。20dB 定向耦合器的耦合端从 J5 输出,作为测试采样被送到故障定位功能组件。

稳定本振(STALO)信号从 J2 输入,经过 30dB 定向耦合器、隔离器,加到混频器的本振端。30dB 定向耦合器的耦合端从 J6 输出,作为稳定本振的测试采样被送到故障定位功能组件。稳定本振信号由频率源产生,其频率比发射频率低 57.55MHz,