

CINRAD/SA 雷达频综故障检修方法

周红根¹ 高玉春² 胡帆¹ 周良³
蔡勤⁴ 吴田¹ 兰杰¹

(1. 江苏省气象技术装备中心,南京 210008; 2. 中国气象局气象探测中心;
3. 江苏省南通市气象局; 4. 江苏省徐州市气象局)

提 要: 频综是多普勒全相参天气雷达的核心部件,其组件工艺水平高且价格昂贵,它提供了整个雷达工作所需的基准信号,共有5路输出,它们分别是9.6MHz主时钟信号、COHO信号、RF DRIVE信号、STALO信号、RF TEST SIGNAL信号。由于不同地区雷达发射机工作频率不同,因此频综不能通用,在台站,备份频综组件不太现实。由于厂家没有提供频综图纸,使得故障判别难度加大。因此通过剖析频综内部结构,给出频综的内部原理简图。针对十多个CINRAD/SA雷达频综出现的故障,划分出三种故障类型,并提出具体维修方法,在此基础上,归纳出该型号雷达在使用过程中频综出现故障时,雷达操作、维护人员应掌握的故障排查方法及技巧,以提高台站的保障能力。

关键词: CINRAD/SA 雷达 频综 故障 检修

Overhaul Methods of CINRAD/SA Radar RF Generator Faults

Zhou Honggen¹ Gao Yuchun² Hu Fan¹ Zhou Liang³ Cai Qin⁴ Wu Tian¹ Lan Jie¹

(1. Jiangsu Meteorological and Technical Equipment Centre, Nanjing 210008; 2. CMA Meteorological Observation Center;
3. Nantong Meteorological Office of Jiangsu Province; 4. Xuzhou Meteorological Office of Jiangsu Province)

Abstract: The RF Generator is the core component of Coherent Doppler weather radar, and the components are the high-priced due to high level technics. It provides all necessary radar working signals of benchmark, and has altogether 5-output signals, namely the 9.6 MHz master clock signals, COHO signal, RF DRIVE signal, STALO signal, and RF TEST SIGNAL. Because different regions use different working frequency of radar's transmitters, then the RF Generator can not be universal, and a component backup is unrealistic in stations. On the other hand, radar manufacturers did not provide the RF Generator drawings, and it brought difficulties to determine fault reasons. For the more than 10 CINRAD/SA radar RF Generator failures, the paper divides

three types of failures and analyzes the specific repairing methods. Finally, by analyzing the frequency internal structure, we put forward the method or technique of resolving failures which the radar operator and maintenance professional should master so as to enhance the station's security capacity.

Key Words: CINRAD/SA radar frequency fault overhaul

引 言

我国新一代天气雷达投入业务运行以来,在雷达的故障分析及维护保障方面,已积累了一些实践经验^[1-4]。胡东明等^[1]依据 CINRAD/SA 雷达系统完善的自动定标系统和可靠的故障诊断系统,利用其“故障报警信息”和“雷达性能参数”,完成对雷达系统的日常维护及故障诊断。王志武、周红根等^[2]搜集和整理了十几个 CINRAD/SA/B 雷达出现的相似故障,由此,针对性地提出了一些加强新一代天气雷达可靠性的措施和改进雷达性能的意见。覃德庆等^[3]从由于频综内部移相器输出反相的故障,来分析新一代天气雷达的运行维护。

频综(频率综合器)是多普勒全相参天气雷达的核心部件,其组件工艺水平高且价格昂贵,它提供了整个雷达工作所需高稳的基准信号,CINRAD/SA 频综(4A1)组件,共有 5 路输出,它们分别是 9.6MHz 主时钟信号、COHO 信号、RF DRIVE 信号、STALO 信号、RF TEST SIGNAL 信号。由于不同地区雷达发射机工作频率不同,因此频综也不能通用,在站点,备份频综组件不太现实,由于厂家没有提供频综图纸,使得故障判别难度加大。本文首先剖析频综内部结构,给出频综的内部原理简图。然后针对全国十多个 CINRAD/SA 雷达频综出现的故障,划分出三种故障类型,并提出具体维修方法,在此基础上,归纳出该型号雷达在使用过程中频综出现故障时,雷达操作、维护人员应掌握的故障

排查方法及技巧,以提高台站的保障能力。

1 频综 4A1 的基本工作原理

频综 4A1 提供了整个雷达工作所需的基准信号,它为发射机提供高稳定度的射频信号(RF),为接收机提供本振信号(STALO)和相参信号(COHO),为信号处理器提供基准时钟(9.6MHz),同时它还提供一路测试信号(CW)。其内部有两个晶振,分别为:114.8~133.55MHz(由发射机工作频率来确定)和 57.55MHz。

1.1 频综输出信号

1.1.1 J_1 : 射频激励信号(RF DRIVE)

射频激励信号频率 f_R 为 2700~3000MHz,脉宽为 $10\mu\text{s}$,峰值功率为 10dBm 左右,该信号经 J_1 送到发射机,脉冲宽度被减窄到 1.5~5 μs ,经放大变成发射的射频载波。发射机的具体工作频率 f_R 可以预先选定,由插入式晶体振荡器 f 提供, $f_R = 57.55 \times 14 + 57.55 + f \times 16$,由这三个频率合成。

1.1.2 J_2 : 稳定本振信号(STALO)

高稳定度的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, $f_L = f \times 16 + 57.55 \times 14$,由这二个频率合成。由 J_2 送到接收机混频/前中(4A5),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。

1.1.3 J_3 : 射频测试信号(RF TEST SIGNAL)

射频测试信号 f_R 与射频激励信号 f_R 的载频频率相同, 仅通过不同的衰减器输出, 其功率为 21.75~24.25dBm。

1.1.4 J_4 : 中频相干信号(COHO)

COHO 由晶振 57.55MHz 形成, 用作 I/Q 相位检波器的基准信号, 解调出回波信号中的正交信号 I、Q。COHO 由 J_4 送到 I/Q 相位检波器的 J_2 。COHO 的频率为 57.55MHz, 功率为 26~28dBm。

1.1.5 主时钟信号

主时钟信号是 9.6MHz 的连续波信号。它由 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。用作整个 RDA 的定时信号。主时钟信号由 J_5 的 37 脚送到接收机接口板(4A32) J_7 的 20 脚。 J_5 还是各类监测和控制信号输出端口。

1.1.6 其他

J_6 为频综的电源输入端, 提供的直流电压有 +18V、+15V、±5V。

1.2 结构简图

从结构简图可知, 对于已知的频点, 晶振 1 是在 114.8~133.55MHz 上选定一个频率, 晶振 2 是 57.55MHz, 它经过多路功分器输出 3 路信号。晶振 1 输出信号经过 16 倍频后, 与晶振 2 输出信号经过 14 倍频后相加得到稳定本振(STALO)信号, 通过 J_2 端输出。晶振 2 输出的 1 路信号先与晶振 2 信号经过 14 倍频后相加, 再与晶振 1 经过 16 倍频后的信号相加, 经过滤波、放大后, 再由两个不同的隔离器分别通过 J_1 和 J_3 端输出射频激励信号与射频测试信号。晶振 2 输出的 1 路信号经过放大、相位选择控制、滤波、放

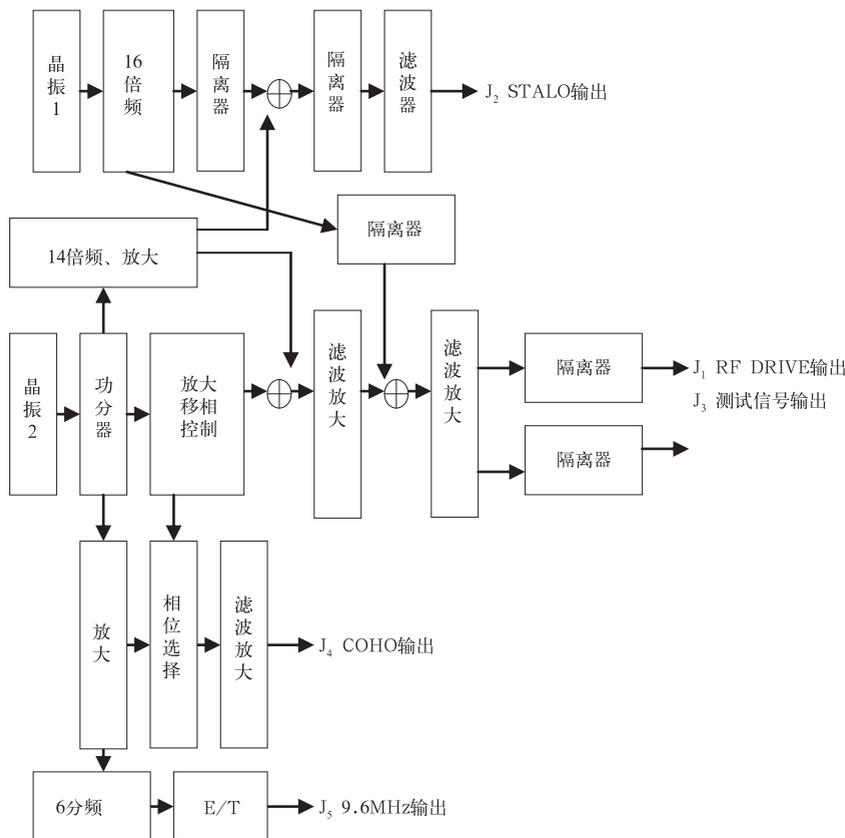


图 1 频综 4A1 结构简图

大后,由 J_4 端输出成为中频相干(COHO)信号。晶振 2 输出的另 1 路信号经过放大、6 分频、E/T 电平转换后,由 J_5 端输出成为 9.6 MHz 主时钟信号。

2 故障分类

结合频综 4A1 的基本原理分析和结构简图,统计近 10 个 CINRAD/SA 雷达频综出现 9 次故障情况,把 CINRAD/SA 雷达频综故障划分成 3 类。第 1 类射频测试信号及射频激励信号同时变小或其中一个信号变小,3 个站出现 5 次,占 56%;第 2 类本振信号变小或没有信号,2 个站出现 2 次,占 22%;第 3 类无主时钟脉冲信号,2 个站出现 2 次,占 22%。

3 频综故障维修实例

3.1 无本振信号(STALO)

3.1.1 故障现象

雷达待机中不断报线性通道增益常数变坏,线性通道噪声电平变坏,线性通道射频激励测试信号变坏,I/Q 幅度平衡变坏,I/Q 幅度平衡需要维护,速度谱宽检查变坏,噪声温度变坏,噪声温度需要维护等报警。开机后产品无杂波点。

3.1.2 故障分析

由于雷达开机后产品无任何回波,故首先检测发射机,用雷达测试平台测试窄脉冲发射机峰值功率为 657kW,符号技术指标要求,检查包络正常。说明发射机正常,重点检查接收机。

由于发射机工作正常,所以接收机保护器命令和响应信号正常,接收机 9.6MHz 主时钟也正常。检查接收机性能参数,CW/KD/RFD 及系统噪声温度均不正常,结合雷达无回波,分析判断故障主要产生在接收机

主通道上,重点检测接收机主通道上的关键器件,如场放、频综、混频、IF 数控衰减器等。一般首先测试频综的各路输出信号,如果频综正常,再用频综信号来测试主通道上其他器件。用小功率计(加 10dB 衰减)测频综 J_1 : 12.4dBm、 J_2 : 0dBm; J_3 : 24.14dBm; J_4 : 27.71dBm,除 J_2 以外均符合技术指标。由于 J_2 没有本振信号输出至 4A5,造成接收机不能混频输出中频信号,雷达也就无回波信号,造成接收机主通道出现问题,雷达接收机标定参数就不会正常,确定频综故障。

3.1.3 故障检修

打开频综,用小功率计不断测试本振频率形成通道上的信号功率,当检查发现 4A1A12 滤波腔体输出功率偏小,调节腔体上的调节螺钉使 J_2 稳定输出信号达到 16.5dBm。

3.1.4 故障小结

频综中存在多个滤波腔体,每个滤波腔体上有多个调节螺丝,一旦某个调节螺丝松动,就有可能影响信号输出功率。本故障是由于 4A1A12 滤波腔体调节螺丝接触不良,造成 J_2 没有功率输出。当没有 STALO 信号,雷达就没有任何回波信号,而且影响雷达接收机主通道和测试通道,雷达会出现接收机 CW/KD/RFD 等参数不正常,接收机报警特别多。因此,当雷达出现无回波,雷达接收机性能参数大部分不正常,接收机报警很多时,必须优先检测频综是否工作正常,然后再分析其它原因,这样就能加快故障分析和排除的进度。

3.2 无 9.6MHz 的主时钟信号

3.2.1 故障现象

雷达在运行过程中,不断出现 Control SEQ timeout-restart initiated(控制序列超时)报警,RDA 不断重启,雷达无法正常开机。

3.2.2 故障分析

引起雷达控制序列超时的原因很多,有

可能是 RDA 计算机通信出现问题; 标定时无保护响应或无保护命令发出; 或者无 9.6 MHz 主时钟信号等, 在很多情况下, 一般重启 RDA 可以得到恢复, 但本故障 RDA 不断重启, 雷达无法开机, 应该重点测试 9.6 MHz 主时钟信号、保护器命令和响应信号等。

3.2.3 故障诊断

(1) 测试 5A16

首先用示波器对 5A16 信号转接板上的有关测试点进行测试, 测试结果发现: 测 +5V 电压正常; 测 RC PT RSPS(保护器响应)端, 无保护器响应信号, 测保护器命令信号也没有; 测 9.6 MHz COLOK, 无主时钟信号。故重点查主时钟信号通道, 它由频综 J₅ 输出。

(2) 测频综

测试频综 J₅ 的 37 脚, 结果为无 9.6 MHz 的主时钟信号, 进一步测试用小功率计(加 10 dB 衰减)测频综其他输出端 J₁ 至 J₄ 端, 测试数据为: J₁: 14.6 dBm、J₂: 17.3 dBm; J₃: 24.9 dBm; J₄: 26.9 dBm, 符合技术指标要求。由于 J₄ 信号正常, 根据结构框图可知, 故障出在频综内由 57.55 MHz 进行 6 分频得到 9.6 MHz 的电路, 重点测试检查频综 6 分频器。

3.2.4 故障检修

打开频综, 测试 6 分频器模块 4A1A11 的 J₁ 端, 57.55 MHz 信号输入正常, J₂ 端为

9.6 MHz 信号输出, 无信号, FL1 端为电源 +18V, 正常, 判定 6 分频器模块 4A1A11 损坏, 更换新集成块, 测试 J₂ 端, 9.6 MHz 信号输出正常。测试 5A16 上 9.6 MHz 主时钟信号、保护器命令和响应信号正常, 雷达正常工作, 无报警。

3.2.5 小结

分析故障, 究其原因, 在于元器件本身老化所致。目前新雷达所采用的六分频器芯片为国外进口, 较前期雷达采用的国产芯片 EH1202 更加稳定, 技术更加成熟。当雷达在运行中, 出现 Control SEQ timeout-restart initiated 报警, RDA 不断重启, 雷达无法正常开机时, 重点检测频综和 5A16 上 9.6 MHz 主时钟信号是否正常。

3.3 射频测试信号及射频激励信号同时变小

3.3.1 故障现象

线性通道增益标定变坏、中频步进衰减变坏、发射机功率偏低。

3.3.2 故障分析

从表 1 雷达发射机峰值功率和接收机性能参数 CW、RFD 等对比发现, 雷达常数偏大 4~5 dB, CW 测量值比期望偏小 8 dB, RFD1-3 测量值比期望偏小 5 dB, 雷达发射机功率达不到技术指标要求。

表 1 接收机和发射机部分雷达性能参数

日期	CW/dB		RFD1/dB		RFD2/dB		RFD3/dB		发射机峰值功率 /kW	雷达常数 /dB
	期望值	测量值	期望值	测量值	期望值	测量值	期望值	测量值		
11:56:50	20.71	12.5	25.21	20	37.21	32	65.21	60	381.2	20.96
11:57:47	22.30	20	25.21	26	37.21	37.5	65.21	65.5	380.2	23.76

发射机功率偏低, 首先检查发射机, 用小功率计测量发射机峰值功率仅为 380 kW, 示波器测试输出包络也不好。调整速调管腔体, 更换 3A5 等, 不能解决发射机功率偏低问题。进一步检查频综输出的射频激励信号。

检查频综时发现, J₃ CW 输出功率为

12.2 dBm, 比正常值小约 10 dBm 左右, J₁ 比正常值小约 7 dBm 左右, 频综其他输出信号正常。确定频综有故障。

3.3.3 故障检修

根据频综的结构简图 1, 基本确定故障在 16 倍频输出以后电路、晶振 2 输出的相位

选择控制以后电路,或晶振 2 经过 14 倍频以后电路。检查 A1A17、A1A6、A1A7 等电路,最后确定 A1A6 滤波放大电路上一个电容击穿。

3.3.4 故障小结

如果仅其中一路信号输出功率变小或没有,那就表示该路信号输出隔离器损坏。射频测试信号及射频激励信号输出功率同时变小时,雷达接收机报警较多,当射频激励信号太小,会出现雷达回波强度明显偏小 30dB 以上,发射机功率偏低,输出包络也不好。此时应考虑测试接收机频综输出信号功率。

4 小结

频综是多普勒全相参天气雷达的核心部件,它提供了整个雷达工作所需的基准信号。针对十多个 CINRAD/SA 雷达频综出现的故障现象,画出频综 4A1 的结构简图,并结合频综的基本工作原理,归纳出三种故障类型,并提出具体维修方法,由于台站仪表匮乏,建议频综最好返厂维修。虽然雷达是一个大型复杂的综合系统,发生故障的原因是多方面的,对新一代天气雷达出现的各种故

障,雷达技术人员应当在最短的时间内探明原因并排除之。为了做到这一点,除了应熟悉整个雷达系统的工作流程之外,还要重视对系统的维护与保养,定期检查有关性能参数数据,随时掌握系统运行状况,一旦发现故障,不能局限于对其表面现象的分析,要思路开阔,从雷达的工作流程、信号流程、各种自动检测参数以及对系统的日常巡查记录出发进行综合考虑。只有如此,在新一代多普勒天气雷达的使用过程中,即使遇到了更复杂的故障,也能迅速将其排除。通过精心、细致、周到的日常维护,则能减少故障的发生,使雷达以最佳的工作状态为气象预报和防灾减灾服务。

参考文献

- [1] 胡东明,伍志方. CINRAD/SA 雷达日常维护及故障诊断方法[J]. 气象,2003,29(10):26-28.
- [2] 王志武,周红根,林忠南,等. 新一代天气雷达 SA&B 的故障分析[J]. 现代雷达,2005,27(1):16-18.
- [3] 覃德庆,向阿勇. 从接收机频综故障看新一代天气雷达的运行维护[J]. 湖北气象,2005,(03):41-42.
- [4] 周红根,朱敏华,段素莲,等. CINRAD/SA 雷达故障分析[J]. 气象,2005,31(10):39-42.