

一次 CINRAD/SA 雷达发射机功率 偏低故障的分析及处理

吴少峰¹ 胡东明¹ 胡 胜^{1,3} 黎德波¹ 程元慧²

(1. 广州中心气象台, 广州 510080; 2. 广东省气象局业务处; 3. 国家气象中心)

提 要: 发射机是 CINRAD/SA 雷达的重要组成部分, 由于结构复杂, 长期处于连续高压强电的工作状态, 其故障率往往是几个分机系统中最高的, 而且发射机系统的故障基本都是强迫整机瘫痪的“不可工作”级别的恶性故障, 严重影响日常的观测业务。基于 CINRAD/SA 雷达发射功率一次异常的陡降现象, 深入分析其原因, 发现高频脉冲形成器的损坏导致脉冲宽度变小, 脉冲信号的占空比也随之减小, 从而引起发射功率的下降。同时, 对故障源的查找、定位方法也做了详细的阐述。

关键词: 发射机功率 故障分析 高频脉冲形成器 上升沿

Analysis and Processing of the Transmitter Power Failure in CINRAD/SA

Wu Shaofeng¹ Hu Dongming¹ Hu Sheng^{1,3} Li Debo¹ Cheng Yuanhui²

(1. Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080;

2. Guangdong Meteorological Bureau; 3. National Meteorological Center)

Abstract: The transmitter is an important part in CINRAD/SA radar. Because of its complex structure and running in the state of uninterrupted high voltage, a highest failure-rate occurs among several extensions of radar system. Generally, the radar system will be forced to halt once this fatal failure occurred. Based on an abnormal CINRAD/SA radar transmitter power decline, we find out that the failure lies in the high-frequency pulse generator, which makes the pulse width depressed. And also, some maintenance methods are summed up here, from which the radar maintenance professional could take as reference.

Key Words: transmitter power failure analysis high-frequency pulse generator rising edge

资助项目: 中国气象局新技术推广项目(CMATG2009YB09); 广东省气象局科技项目(2007E08)共同资助

收稿日期: 2008年4月13日; 修定稿日期: 2009年8月7日

引 言

广州 CINRAD/SA 雷达 2001 年 4 月通过现场验收后投入业务运行,7 年来累计运行时间达 58000 多小时,其中发射机速调管累计加高压时间超过 50000 小时,运行时间已经远远超过标称寿命,通过性能检测发现系统开始出现老化现象。尤其是发射机系统,因长期处于高压强电的工作环境,故障率偏高。王志武等^[1]就 CINRAD/SB 发射机拒打火而引起调制器烧毁的故障现象进行了详细分析,并对如何防止发射机高压频繁打火提出了建议;杨传凤等^[2]通过对发射机高压故障的诊断分析,总结出开关组件的抗干扰能力弱会导致无人工线电压、发射机功率自检无法通过等现象;马建华等^[3]从原理入手,分析了多种发射机故障,并提出了合理的解决方法和注意事项;黄秀韶等^[4]对 CINRAD/SA 发射机功率不稳定的原因和故障检测方法做了分析总结,提供了现场维修方面的经验。本文主要通过发射功率偏低的现象,从发射机的组成框图着手,深入分析,逐渐缩小故障范围,实现故障源的精确定位,最后对故障原因进行了详细分析,发现高频脉冲形成器的损坏导致脉冲宽度变小,脉冲信号的占空比也随之减小,从而引起发射功率的下降。

1 故障现象

在 2008 年 3 月之前一段较长的时间里,广州雷达发射机系统处于一个相对稳定的状态,发射机峰值功率保持在 700kW 左右,符合国家气象局大气探测中心不低于 650kW 的要求。3 月 15 日,发射机峰值功率突然从原来的 700kW 掉到 600kW 左右,通过调整可变衰减器勉强达到 630kW 后再也调不上

去,并且功率的波动幅度也明显大于前期,除此以外,雷达系统没有其他故障报警指示,脉冲重复频率等一系列指标也无异常。

2 发射机原理简介

新一代多普勒天气雷达采用的是主振放大式速调管发射机,除高功率速调管外,其余的组成部分为全固态电路。高频激励器、高频脉冲形成器、可变衰减器、速调管放大器、电弧/反射保护组件,构成了发射机的核心部分——高频放大链^[5]。发射机结构的简要框图如图 1 所示。

3 故障分析

根据雷达工作原理,结合发射机框图,高频放大链和全固态调制器是整个发射机系统中最主要,也是最重要的两大部分,一般出现发射功率不稳定甚至没有功率输出的情况,这两个部分的元器件发生故障的可能性比较大^[2,6]。

3.1 高频放大链的故障分析

高频放大链是发射机的核心部分^[7,9],主要的信号流程是:高频输入信号的峰值功率约 10mW,脉冲宽度约 10 μ s,经高频激励器放大,输出峰值功率大于 48W,用于驱动高频脉冲形成器 3A5。3A5 对来自 3A4 的高频输入信号进行调制整形,输出功率、波形和频谱宽度均符合要求的高频脉冲,经可变衰减器 3AT1 调节,使高频脉冲峰值功率达到最佳值(约 7.5W),馈给速调管放大器。经速调管 50dB 增益后,输出峰值功率不低于 650kW 的高频脉冲。电弧/反射保护器,监测速调管输出窗的高频电弧,并接收来自馈线系统的高频反射检波包络,若发现高频电弧或高频反射检波包络幅度超过 95mV,立

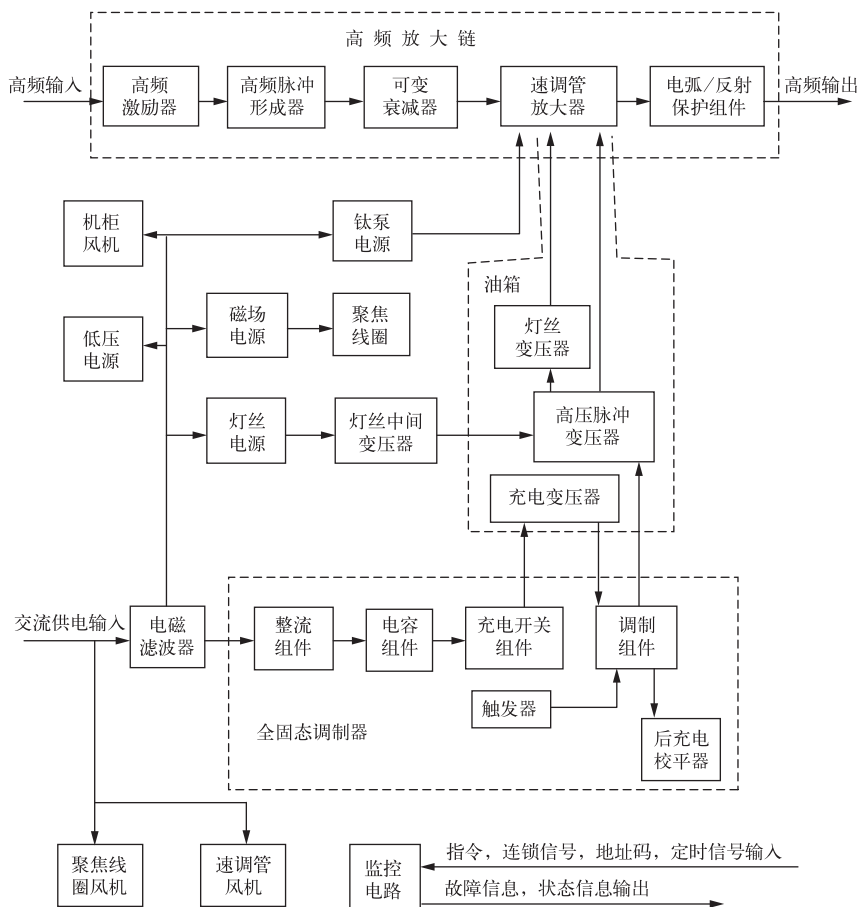


图 1 发射机结构的简要框图

即向监控电路报警,切断高压。

高频放大链是初始小信号到大功率发射信号形成的唯一通路,如果链路中某一部件出现故障,必将影响速调管放大器的正常工作,从而影响发射功率的最终输出^[8]。

3.2 全固态调制器的故障分析

全固态调制器是发射机的重要组成部分^[9],主要信号流程是:整流组件 3A2、电容组件 3A9 对三相 380V 交流电进行整流、滤波,将其转化为 510V 的直流电输出给充电开关组件 3A10。3A10 接收到充电信号后,通过充电变压器 3A7T2 为调制组件 3A12 的人工线充电。充电结束后,人工线电压达到某一精确的设定值(42~48kV)。当人工

线收到触发器 3A11 的放电触发信号立刻放电,经高压脉冲变压器 3A7T1 升压,在它的次级输出 60~65kV 的束电压脉冲,加在速调管收集极与阴极之间,为速调管工作提供电压和能量。

从作用方面来说,全固态调制器主要负责产生符合要求的负极性调制脉冲,对速调管进行脉冲调节。如果调制器中某一环节出现问题,人工线将无法完成正常充放电,速调管无法获取正常工作所需的电压和能量,就会造成发射机无功率输出。

3.3 综合分析

结合实际故障现象分析,可以初步判断:故障出在全固态调制器的几率不大。因为故

障一旦发生在全固态调制器,加在速调管阴极的脉冲调制将出现紊乱或无法提供脉冲变压器初级所需的 $2400 \sim 2750\text{V}$ 的脉冲高压,从而导致脉冲重复频率等指标出现异常,或者使速调管的输出功率降得很低甚至没有输出,而不会像此次现象,功率依然能稳定在 630kW 这样一个“相对较高”的水平上。

4 故障隔离和定位

由上述分析可知,故障发生在高频放大链的几率较高,所以故障检测的重点应放在高频放大链上,根据高频放大链的信号流程,进行跟踪检测、故障隔离。

4.1 高频输入信号的检测

高频输入信号来自频率源 J1 口的 RF DRIVE(射频激励信号),该信号频率为 $2.7 \sim 3.0\text{GHz}$ (广州雷达站的发射频率为 2.885GHz),通过电缆直接馈入高频激励器,作为射频载波。拧开电缆与 J1 的接口,对射频激励信号进行测量,测得峰值功率为 10mW ,脉冲宽度约为 $10\mu\text{s}$,说明高频输入信号正常。

4.2 高频激励器的检测

高频输入信号经激励器内部的 MMIC 放大器以及 PH2731-20M、PH2731-75L 功放管进行放大,用于驱动高频脉冲形成器。用功率计测得激励器实际输出信号为 48W ,示波器测得输出波形如图 2,输出的驱动脉冲波形几乎完美,再结合输出功率可以判定,高频激励器性能良好。

4.3 高频脉冲形成器的检测

高频脉冲形成器主要是输出功率、波形、频谱符合要求的高频脉冲,要求输出高频峰值功率大于 15W ,输出窄脉冲 $1.57 \pm 0.1\mu\text{s}$,

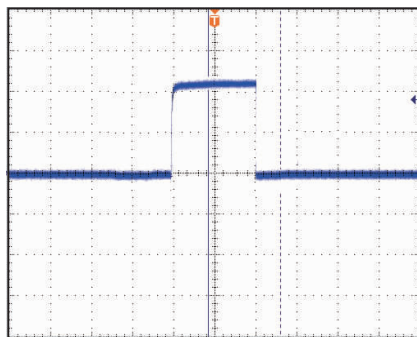


图 2 高频激励器输出波形

宽脉冲 $4.5 \sim 5.0\mu\text{s}$,输出脉冲前后沿 $\geq 0.12\mu\text{s}$ 。用示波器测量低仰角时形成的窄脉冲信号,如图 3。由实际波形可以看出,输出窄脉冲的上升沿中部出现了一个“拐点”,脉冲宽度为 $1.4\mu\text{s}$,明显小于标准输出脉宽的 $1.57\mu\text{s}$ 。由此,我们基本可以判定,故障出在高频脉冲形成器 3A5 上。

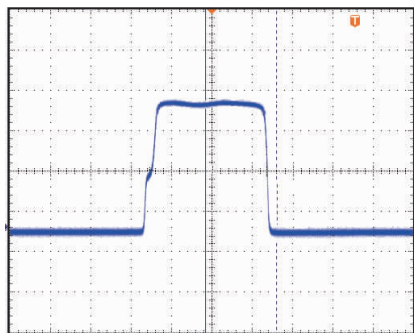


图 3 高频脉冲形成器输出波形

高频脉冲形成级的原理框图如图 4 所示,功率分配器将高频输入信号一分为二,两只调制器分别对两路信号进行脉冲调制。其中,下面一路高频脉冲较上面一路在时间上略有延迟,相位经过移相器后也略有滞后,时间延迟和相位滞后的目的是为了补偿速调管放大器在脉冲前后沿的相位失真,而脉冲形成驱动器负责对脉冲形成级的两个调制器进行控制。根据以往的维修经验可知,驱动器电路中 JLQ-7 9504 和 JLQ-7 9507 两块芯片

的老化、损坏以及电路中没有添加滤波电容都会容易造成上升沿的“拐点”现象。

从功率计算方面分析,因为上升沿出现了“拐点”,其占有的时间相对较多,导致脉宽 τ 减小,脉冲信号的占空比 D 也随之减小。

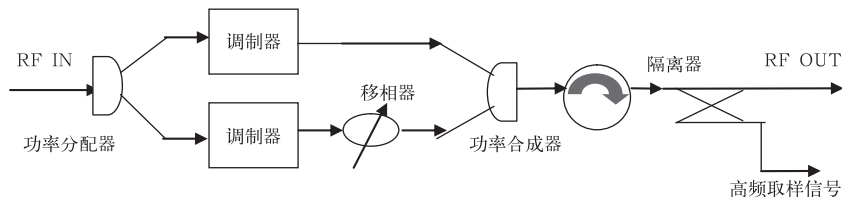


图4 高频脉冲形成级原理框图

4.4 其他部件的故障检测及排除

可变衰减器,由功率计、示波器检测可知,调节可变衰减器,峰值功率以及发射脉冲包络的波形都跟随着改变,说明可变衰减器性能完好;速调管放大器,一旦损坏,发射功率就会降得非常低甚至没有输出,所以此次出现的情况,肯定不是由速调管引起的;电弧/反射保护组件,起监测高频电弧及高频反射检波包络幅度的作用,如果超限,将立刻切断高压,而不会出现发射功率陡降但仍有部分输出的情况。

5 故障排除

更换高频脉冲形成器 3A5,重新测量输出波形,上升沿“拐点”消失,脉冲宽度为 $1.57\mu\text{s}$,用功率计测得发射峰值功率为 710kW ,高于要求的 650kW ,拷机 48 小时,输出功率稳定,故障排除。

6 结语

现在新一代多普勒雷达的保障工作中,维修工作大多数都定在“模块”一级上面,利用 CINRAD 雷达完善的自我标定和故障诊断系统,故障的排除一般都不会很复杂,关键

$$D = (\tau/T) \times 100\% = (\tau \times f) \times 100\%$$

式中 T 为脉冲周期, f 为脉冲重复频率。无论是功率计还是雷达系统机内的功率参数显示,都与占空比成正比例关系,占空比的减小必然会导致发射功率的下降。

是在于故障原因的分析。熟悉各分机系统的信号流程及各模块所起的作用,对快速、准确的故障定位十分重要。同时,机务员也要留意雷达性能各方面的细微变化,尽量对故障现象能做到防微杜渐,防范于未然。

参考文献

- [1] 王志武,韩博,林忠南. CINRAD_SB型发射机一例复杂故障排除[J]. 气象,2006,32(9):117-120.
- [2] 杨传凤,黄秀韶,刁秀广. 济南 CINRAD/SA 雷达发射高压故障诊断[J]. 气象,2005,31(1):88-89.
- [3] 黄秀韶,杨传凤,刁秀广. 济南 CINRAD_SA 雷达发射机功率不稳定故障诊断[J]. 山东气象,2004,24(2):10-11.
- [4] 马建华,单久涛,巴特尔,等. X波段数字化雷达发射机的基本原理及常见故障的检修[J]. 内蒙古气象,2003,1(2):41-45.
- [5] 杨传凤,袁希强,黄秀韶,等. CINRAD/SA 雷达发射机故障诊断技术与方法[J]. 气象,2008,34(2):115-118.
- [6] 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.
- [7] 吴少峰,胡东明,黎德波,等. CINRAD/SA 雷达开关组件故障分析处理[J]. 气象科技,2009,37(3):353-355.
- [8] 胡东明,胡胜,刘强. CINRAD/SA 雷达调制器真空开关漏气故障的分析处理[J]. 气象,2006,32(8):118-120.
- [9] 北京敏视达雷达有限公司. 中国新一代多普勒天气雷达 CINRAD WSR-98D 技术手册[M]. 北京:北京敏视达雷达有限公司,2000.