

李明元,陈明林,左经纯,等. 新一代多普勒天气雷达(CINRAD/CD)方位伺服系统典型故障分析及处理[J]. 气象,2012,38(1):123-128.

# 新一代多普勒天气雷达(CINRAD/CD) 方位伺服系统典型故障分析及处理<sup>\*1</sup>

李明元 陈明林 左经纯 王怀林 刘建国

贵州省遵义市气象局,遵义 563002

**提 要:** 根据方位伺服系统工作原理、故障现象和故障原因,对遵义新一代多普勒天气雷达运行 7 年多来 10 次发生的方位伺服系统故障维修工作进行归纳总结。认为:(1)遵义雷达出现的方位伺服系统故障可以归纳为 5 类典型故障,并对应找出具体维修措施;(2)方位伺服系统组成部件较多,而且分布在多个不同地方,检修工作难度大,维修人员需要掌握系统的组成和工作原理,然后进行分级判断和故障定位;(3)方位伺服系统维修常用检查仪器主要是示波器和三相万用表,因此要求技术保障人员熟练使用;(4)从发生故障部位来看,主要集中在方位驱动分机内,因此需要重点掌握方位驱动分机工作原理和分机内各部件工作原理,对应的检测参数和测量值,特别要记住一些检测波形。总之,随着雷达使用年限的增加,雷达设备故障率在增加,而故障维修工作纷繁复杂,如何保证较高的雷达可利用率,这就要求台站人员在了解技术说明书、原理图的基础上,在每次故障维修过程中及时总结各种故障维修措施,积累维修经验。

**关键词:** 新一代多普勒天气雷达(CINRAD/CD), 方位伺服系统, 故障分析, 维修措施

## A New Generation of Doppler Weather Radar Position Servo System Typical Fault Analysis and Treatment

LI Mingyuan CHEN Minglin ZUO Jingchun WANG Huailin LIU Jianguo

Zunyi Meteorological Office of Guizhou, Zunyi 563002

**Abstract:** According to the position servo system working principle, fault phenomena and fault causes, the servo system maintenance work for a new generation of Zunyi Doppler weather radar is summarized as follows: (1) The orientation of the servo system in fault can be classified to five kinds of typical faults, and specific measures corresponding to maintenance are found out; (2) Position servo system has many components, distributed in many different places, thus repair work is difficult, the maintenance personnel have to master system composition and working principle, and then through graded judgment found out the fault location; (3) Oscilloscope and three-phase multimeter are mainly used in position servo system maintenance and inspection, thus technical personnel must be skilful in using; (4) From the occurrence of failure positions to see, faults are mainly concentrated in the position driving system, thus technical personnel have to master the azimuth drive principle, the inspection parameters of corresponding parts and the measured values, especially to remember some test waveforms.

**Key words:** a new generation of Doppler weather radar, position servo system, fault analysis, treatment

\* 贵州省气象科技开放基金项目[KF(2009)10号]资助

2010年11月5日收稿; 2011年5月24日收修定稿

第一作者:李明元,从事雷达资料分析和雷达技术保障工作. Email: xiaolizi1234@sina.com

## 引言

新一代多普勒天气雷达系统是大型机电一体化重大装备,包含了弱电、高压、数模、机械自动化、通信等相关专业学科,维修工作复杂,要保证较高的雷达可利用率,就要求故障恢复特别快,而从分机发生故障的频率来看,发射机和伺服系统发生故障的次数较多,如何保证维修人员思路清晰、快速修复雷达故障显得尤为重要。较为可喜的是自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<sup>[1-15]</sup>。徐八林等<sup>[1,14]</sup>对云南 5 部 CINRAD/CC 雷达发射机磁场电源故障和速调管运行进行了诊断和分析。周红根等<sup>[2]</sup>寻找到了 CINRAD/SA 频综故障检修方法,吴少峰、杨传凤、李明元等<sup>[3,5,7-9]</sup>对 CINRAD/SA 发射机频率偏低、发射高压、CINRAD/CD 发射机调制脉冲等复杂故障进行了诊断分析处理。周红根等<sup>[4,6]</sup>从 CINRAD/SA 天气雷达受到外界电磁波的干扰、计算机系统、接收机系统、天伺系统等方面,来分析造成雷达回波 PUP 图像产品异常的故障成因,并找出排查方法和技巧。周红根等<sup>[10]</sup>通过对连云

港 CINRAD/SA 天气雷达安装调试以来所出现的故障,从雷达硬件和软件两方面来分析各类故障成因,由此提出相应的解决方法和措施。王志武等<sup>[11]</sup>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。胡东明等<sup>[12]</sup>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。李明元等<sup>[13]</sup>对 CINRAD/CD 伺服系统一次俯仰定位精度故障进行了分析,并对应找出了相应的解决办法。柴秀梅等<sup>[15]</sup>对雷达回波强度异常进行了分析并找出了处理办法。

根据方位伺服系统工作原理、故障现象和故障原因,对遵义新一代多普勒天气雷达运行 7 年多来 10 次发生的方位伺服系统故障(见故障统计表 1)维修工作进行归纳总结。以便本站维修经验的积累,也可作为新进工作人员快速上手的第一手资料,为全国 CINRAD/CD 型雷达维修提供参考。同时由于俯仰伺服系统工作原理、分机部件构成均与方位伺服系统相同,只是参数存在差别,因此掌握了方位伺服系统的维修,方法同样适合于俯仰伺服系统。

表 1 方位伺服系统典型故障一览表

Table 1 Typical faults of position servo system

方位伺服系统 典型故障类型	发生次数	故障原因
故障类型一	2	第一次是对伺服系统除尘维护,方位误差电压线没接好,导致接触不良;第二次是脉宽调制器上驱动模块损坏无输出
故障类型二	2	两次都是 IGBT 烧坏所致
故障类型三	2	第一次是脉宽调制器上 D4 可能设备在运输过程中由于振动导致其焊接脚松动,第二次是控制器上电位器发生飘移,导致触发脉冲和同步信号不吻合
故障类型四	3	原脉宽调制器损坏,新换脉宽调制器各级波形和控制器触发脉冲波形等各参数配合不太好所致,此类故障维修除厂家专业人员外,对台站维修人员经验要求特别高
故障类型五	1	脉宽调制器上产生三角波的运放 N1-8 损坏

## 1 方位伺服系统工作原理

伺服系统的工作原理是主控单元(监控计算机)给定天线的位置(控制终端输入角码),通过伺服系统来控制天线负载的位置,通过测量元件及角码变换器获得当前角码并与输入角码进行比较,相符合时系统处于静止状态,当不符合时即产生角码误差( $\pm\Delta\theta$ ),此误差经数模变换变成误差电压( $\pm\Delta U$ ),

由控制电路作电压放大、PID(P:比例,I:积分,D:微分)调节,再经功率放大后,作用在执行元件上,使其朝减小误差的方向运动。因此,负载就连续跟随着主控单元命令转动。伺服位置跟随系统组成框图如图 1。天线方位伺服系统组成由方位、俯仰共用的伺服分机、伺服电源分机、方位驱动分机、方位驱动永磁直流电动机组 130SCZK01、方位减速器、方位主发送器(监控分机内)等组成<sup>[14]</sup>。

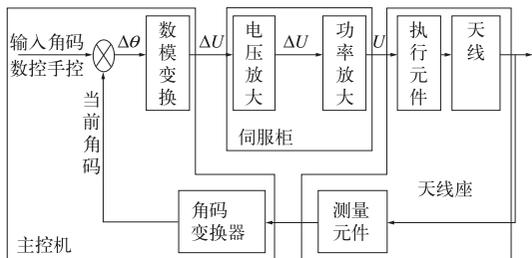


图 1 伺服位置跟随系统组成框图

Fig. 1 Block diagram of servo position followed system

## 2 伺服系统故障分析方法

由于伺服系统除伺服机柜外,还包括天线座,及信号处理柜中的主控分机,相距较远,连线较多,电缆较长,元件多,因此每一个导线、每一个焊点、每一个元件的损坏都可能造成系统故障。

伺服系统在维修排除故障时要根据技术说明书、原理图进行,必须理解各部分的原理后方可准确查出原因。

对伺服系统的故障定位分析时替代法有很重要的作用。伺服系统中包含方位驱动控制和俯仰驱动控制,两部分组成器件一模一样只是电调参数有一定区别。通过交换分机的方式能让我们快速判断故障部位。

在伺服系统中设置的可调电位器正常时已调好,在未准确判断之前不可随便调整,如果实在需要调整电位器,在调节前应记好位置如果不起作用应调整到原位置,再查找其他原因。

## 3 方位伺服系统故障的分析和处理

### 3.1 方位伺服系统典型故障类型一

#### 3.1.1 故障现象

工作模式时天线不响应,不转动,且监控不报警,应急状态下天线转动正常。

#### 3.1.2 故障分析

应急状态下,天线能够转动,说明电源分机提供的直流电压正常,方位电机也正常。那就要检查伺服分机有无误差电压显示,如果没有,有可能是监控机柜过来的误差电压线缆没接好或监控机柜内方位主发送器有故障;如果有误差电压,那就要进一步检查方位驱动分机,查看脉宽调制器是否损坏,如有损坏会导致该故障的发生。

#### 3.1.3 维修措施

先关闭系统驱动电压,其余分机均不断电,然后从终端送启动天线的命令,观察伺服分机上是否有误差电压显示,如果没有电压,则进一步测量机柜最低层的视频电缆 4XP107(方位)是否有电压输出,若无,则说明是信号处理机柜的误差信号没有送过来,检查监控机柜,重新拔插角码变换器集成板,故障依旧就更换板子。如果分机上显示有误差电压,那么检查脉宽调制器是否有损坏。关闭方位或俯仰

又由方位驱动分机工作原理框图(图 2)可以看出,控制器和脉宽调制器的电源由分机自身安装的变压器提供。控制器主要控制可控硅整流桥的导通,将伺服电源分机提供的交流 70 V 电压进行全桥整流后变成直流电压给 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极型晶体管)供电,而 IGBT 的触发由脉宽调制器的输出波形来控制,脉宽调制器的输出波形又由伺服分机中的方位伺服放大器的输出电压控制。IGBT 的输出直接作用于方位驱动电机,使得方位驱动电机转动,从而带动天线转动。在 IGBT 的输出端对电压及电流进行了采样,引入了电压反馈及电流反馈,与方位驱动电机同轴的测速发电机对电机转速进行采样,引入速度反馈,这三种反馈信号都反馈到方位伺服放大器中进行控制,这样就形成了电压闭环、电流闭环及速度闭环的三闭环方位伺服控制系统。

从方位伺服系统工作原理可以看出,伺服分机和方位驱动分机出现故障处理比较复杂,而其余部件出现故障都相对比较容易处理,下面就遵义多普勒天气雷达出现的典型方位伺服系统故障进行分析。

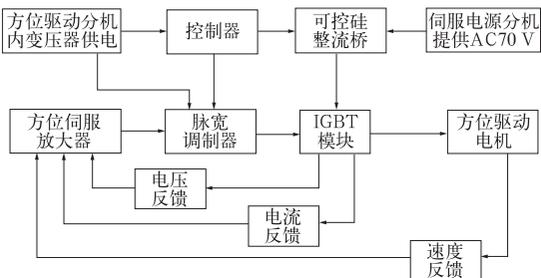


图 2 方位伺服驱动分机工作原理框图

Fig. 2 Block diagram for working principle of bearing servo drive system

驱动,且停止天线,用示波器检查脉宽调制器波形。

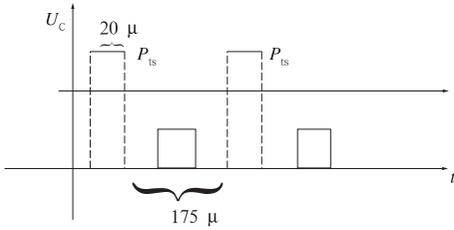


图 3 脉宽调制器输出正常工作波形

Fig. 3 Normal PWM

(pulse width modulator) waveform

打开示波器电源,将  $C_{H1}$ 、 $C_{H2}$  两路通道的 VO-LTS/DIV 调整到直流 5 V;再将示波器上的 TIME/DIV 调整到  $20 \mu s$ ;将示波器两路探头挂在脉宽调制器的 R44(脉宽 1)和 R42(脉宽 2)上,观察通过正负误差比较器后的输出波形(见图 3)及其频率,正常工作频率为 5 kHz,如果宽度不一致,则调整脉宽调制器上的 RP3、RP4,使得脉宽 1 和脉宽 2 宽度基本相同即可。正常后再将探头分别挂在 R19、R22 和 R21、R20 上观察输出波形,波形与图 3 相同,只是将两路脉冲信号变成了四路脉冲信号,然后进入 EXB841。若脉宽调制器正常,则显示其中 N1-G1E1 和 N2-G2E2 的脉冲相位相同,N1-G2E2 和 N2-G1E1 的脉冲相位相同,两组脉冲相互间的相位差为  $1/2$  个周期。

## 3.2 方位伺服系统典型故障类型二

### 3.2.1 故障现象

监控报伺服系统方位驱动电源故障,检查伺服系统方位驱动分机面板,无驱动电压,检查伺服电源分机,方位驱动电源的保险丝烧毁。

### 3.2.2 故障分析

引起该故障现象的原因有多种可能,首先,天线的机械转动是否流畅,如果不流畅,导致转动阻力太大,如果长时间工作在超负载情况下,会引起方位电机烧坏,导致 IGBT 输出端短路,产生大的电流烧毁驱动电源的保险丝;其次是方位电机本身没有问题,而是由于 IGBT 长时间输出较大的电流,过热引起 IGBT 烧坏,IGBT 被烧坏后,形成直通,使得电流急剧变大,烧毁驱动电源的保险丝。方位驱动电源的保险丝被烧毁后,伺服系统就会向监控上报一个方位驱动电源故障信号。

### 3.2.3 故障维修措施

(1)检查天线系统部分,转动天线,查看是否有

机械卡住现象,转动是否平稳,天线转动齿轮润滑脂是否缺少。如果有机械卡住现场,就需要通知厂家技术人员来进行彻底检查,如缺少润滑脂,加脂就可以减小转动阻力。

(2)在伺服电源分机面板上进行操作,将应急按钮按下,点按正转按钮,如果转动,再按左转也正常,说明方位驱动电机没有故障。

(3)更换伺服系统电源分机烧坏的保险丝,开驱动分机电源,如果保险丝立即烧坏,那判定 IGBT 肯定有损坏,然后检查 IGBT。将驱动分机电源关闭,用万用表测量模块 C1 对 E1 及 C2 对 E2 的直流电阻,用三用表对模块的三个点两两分别测电阻,如果任意两脚之间测量值正向为无穷大,反向有一定的电阻值存在,就说明 IGBT 没有烧坏,如果测量时发现有脚之间的电阻为零,就说明该块 IGBT 烧坏了需要更换。

(4)更换之后,需将脉宽调制器的输出波形进行检查调整,正常后再开驱动电源,转动天线。

## 3.3 方位伺服系统典型故障类型三

### 3.3.1 故障现象

监控报伺服系统驱动电源故障,检查伺服系统分机面板,无驱动电压;检查伺服电源分机,保险丝完好,重开驱动电源,驱动电压加上后不能维持,立刻就掉下来或根本就加不上去。

### 3.3.2 故障分析

出现此故障有两种可能,首先是脉宽调制器上的过流保护电路出现故障,伺服系统未出现过流,但过流保护电路输出一个虚假的过流信号,此过流信号一方面让脉宽调制器输出控制 IGBT 的四路脉冲屏蔽,使 IGBT 关断。正常的四路脉冲波形如图 3 所示,只是波形的幅值要大得多,原因是 EXB841 驱动模块需要 20 V 直流电压才能驱动。另一方面让控制器输出的可控硅触发脉冲屏蔽(正常的控制器触发脉冲波形如图 4 所示),使可控硅关断,无驱动电源输出。其次就是方位驱动分机控制器内的可控硅触发电路有所损坏或可调整电位器出现飘移。一般情况下可控硅触发电路不容易损坏,而是有可能在一些可调电位器上由于使用时间长而出现一些飘移,导致触发脉冲不能正常触发可控硅。

图 4 中,上面的波形是同步信号,下面的波形是可控硅触发脉冲,控制器有两路触发脉冲,在控制器上标识为信号 1 和信号 2,分别控制两个可控硅,可用示波器分别查看两路脉冲信号是否正常。

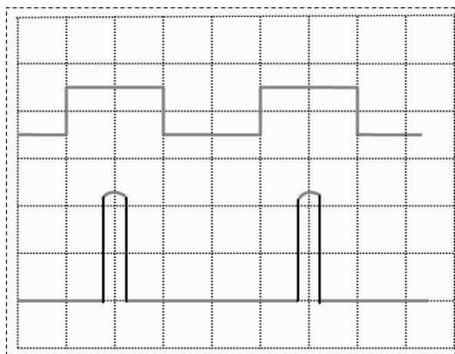


图 4 控制器可控硅触发电路正常输出波形

Fig. 4 Normal output waveform of controller SCR trigger circuit

### 3.3.3 故障维修措施

(1)如果有备件,可以先用备件更换后,检查故障现象是否有所改变,脉宽调制器和控制器一次换一块,如果换上去后故障现象有明显变化,那再从具体板子入手。

(2)如果没有备件,那就要使用示波器和万用表等工具进行检查测量。先用万用表的直流电压档测量脉宽调制器的 33 脚输出电压,正常是低电平。脉宽调制器的 33 脚电压为高电平时,控制器的可控硅触发信号 1 和信号 2 就没有。若出现高电平,说明过流保护电路有故障,按一下复位键,如果电压仍为高电平,需更换脉宽调制器上的 D4(4013)和 N7(LM311)两个集成电路。

(3)如果脉宽调制器没有问题,那就要检查控制器了。用双踪示波器的两路探头检查控制器上信号 1 和信号 2 有没有。如果没有,可调整电位器 RP7,调整电位器时,用示波器同时检查信号 1 和同步信号,查看信号 1 的波形是否靠近同步信号波形正振幅的中间区域,如果在其波形边缘,就需要调整 RP7 电位器,使波形尽量向中间靠,也可一边调整电位器 RP7,一边观察驱动电压是否升上去。若无论如何调整,信号 1 和信号 2 都没有出现,则需更换控制器上的集成电路 N2(KC04)。更换了 N2,可能还需调整 RP7,使信号 1 和信号 2 的波形处于同步信号的中部,可控硅才能导通,驱动电源才会正常。

## 3.4 方位伺服系统典型故障类型四

### 3.4.1 故障现象

监控报伺服系统驱动电源故障,关驱动后,重新开驱动故障恢复,可是该现象不定期又会重复出现,IGBT、脉宽调制器、控制器都无损坏,保险丝也没有

熔断。

### 3.4.2 故障分析

此类故障是典型的隐形故障,无任何器件损坏,故障的产生可能是因为各种器件协调参数搭配不是很好而造成,也可能是某些器件接触不良或有些焊点虚焊等。这类故障属软故障,不易排除,因此需要从方位伺服驱动系统工作原理和脉宽调制器、控制器工作原理上着手进行一些参数的细微调节,以期各器件工作配合达到最佳工作状态,或对分机内各器件进行一下清洁。

### 3.4.3 故障维修措施

(1)利用双踪示波器的两个探头检查控制器,一路检查“同步信号”,一路检查“信号 1”,调整示波器,观察波形变化,正常波形如图 4,如果波形不正常,需要调整,方法同典型故障类型三维修措施中对控制器触发波形的调节。电位器 RP5 可调整驱动电源启动的延迟时间,可使驱动电源缓缓地上升,这样可减小驱动电源启动时对 IGBT 的冲击。

(2)利用双踪示波器的两个探头测量脉宽调制器的脉宽 1 和脉宽 2 波形,在停天线的状态,正常波形如图 3,具体调整见故障类型一维修措施。

(3)用万用表测量脉宽调制器的电阻 R41 上的电压,这是过流保护的基准电压,若此电压调得比较临界,可导致过流保护电路工作,使得可控硅无驱动电源输出。过流保护电路工作时,将在脉宽调制器的 33 脚输出一个高电平,这个高电平将送到控制器中,使其保护电路工作,就无可控硅触发脉冲输出。可调整电位器 RP6 来调整 R41 上的过流基准电压,此基准电压一般调在 8 V 左右,低了容易虚报,高了会失去保护。

## 3.5 方位伺服系统典型故障类型五

### 3.5.1 故障现象

有方位误差电源输出,直流驱动电源正常,驱动器无电压输出,天线不转(出现此类故障时必须立即关掉驱动电源,放在手控下进行检查)。

### 3.5.2 故障分析

出现此类故障的原因可能有四,但都集中在方位伺服驱动分机内的脉宽调制器上。分别是:(1)脉宽调制器板上无三角波输出,(2)无四路控制脉冲或方波输出,(3)四个驱动模块 N4, N5, N6, N7 中直流 20 V 电源不正常(注意电源不接地),(4)驱动模

块无输出。

### 3.5.3 故障维修措施

检查运放 N1~N8 的三角波为对称三角波,频率 4~5 kHz,见图 5。若无输出,更换 N1LM324(LM224);然后检查其周围元器件电容、电阻有无损坏;如没有问题,检查 N2~N7 的 12 脚,看有无方角波输出,无方角波输出更换 N2~N7。

用示波器检查 D3-2,4,6,10 脚的脉冲或方波(可在 R18,R19R20,R21 脚量),且 2 脚和 4 脚同相位,6 脚和 10 脚同相位,无输出更换 D3HBF4050。

分别检查驱动模块 N4~N7 中每一个驱动模块 2 脚对 9 脚直流电压,正常时应为 +20 V。如不正常,调节三端可调稳压器的电位器,使其满足要求,还不正常应检查三端稳压器 RG1~4 或整流桥 U1~4,更换三端稳压器或整流桥及滤波电容,如是交流电压进入整流桥前就不正常,则应更换驱动分机中变压器 T1。

如前面检查都没有问题,那就该怀疑驱动模块是否本身就有损坏。用示波器(不接地)检查驱动模块 3 对 6 脚应有脉冲或方波输出,无输出驱动模块坏,则需更换驱动模块 EXB841。

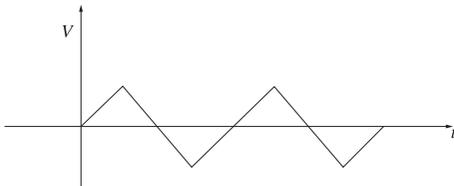


图 5 脉宽调制器输出的三角波

Fig. 5 Triangular waves output by PWM

## 4 结 语

(1)遵义雷达出现的方位伺服系统故障可以归纳为 5 类典型故障,并对应找出具体维修措施。

(2)方位伺服系统组成部件较多,而且分布在多个不同地方,检修工作难度大,维修人员需要掌握系统的组成和工作原理,然后分级判断、故障定位。

(3)方位伺服系统维修常用检查仪器主要是示波器和三相万用表,因此要求技术保障人员熟练使用。

(4)从发生故障部位来看,主要集中在方位驱动

分机内,因此需要重点掌握方位驱动分机工作原理和各部件工作原理,对应的检测参数和测量值,特别要记住一些检测波形。

总之,随着雷达使用年限的增加,雷达设备故障率在增加,而故障维修工作纷繁复杂,如何保证较高的雷达可利用率,这就要求台站人员在了解技术说明书、原理图的基础上,在每次故障维修过程中及时总结各种故障维修措施,以便本站维修经验的积累,也可作为新进工作人员快速上手的第一手资料,同时也能通过技术总结与其他台站技术人员进行交流和相互学习,为全国 CINRAD/CD 型雷达维修提供参考。

## 参考文献

- [1] 徐八林,杨松福,何跃,等. CINRAD/CC 雷达发射机磁场电源故障诊断与调试[J]. 气象,2010,36(2):126-129.
- [2] 周红根,高玉春,胡帆,等. CINRAD/SA 雷达频综故障检修方法[J]. 气象,2009,35(10):113-118.
- [3] 吴少峰,胡东明,胡胜,等. 一次 CINRAD/SA 雷达发射机功率偏低故障的分析及处理[J]. 气象,2009,35(10):109-112.
- [4] 周红根,柴秀梅,胡帆,等. 新一代天气雷达回波异常情况分析[J]. 气象,2008,34(6):112-115.
- [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] 周红根,周向军,祁欣,等. CINRAD/SA 天气雷达伺服系统特殊故障分析[J]. 气象,2007,33(2):98-101.
- [7] 王志武,韩博,林忠南,等. CINRAD/SB 型发射机一例复杂故障排除[J]. 气象,2006,32(9):116-120.
- [8] 李明元,左经纯. CINRAD/CD 调制分机“调制脉冲过流”故障的检查和排除[J]. 贵州气象,2006,(3):35.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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):26-29.
- [13] 李明元,罗晓松,戴伟明. CINRAD/CD 伺服系统一次俯仰定位精度故障的维修实例[J]. 2007,贵州气象,4:31-34.
- [14] 徐八林,刘黎平,张涛,等. CINRAD/CC 雷达速调管运行状态控制[J]. 气象,2011(3):73-78.
- [15] 柴秀梅,潘新民,汤志亚,等. 新一代天气雷达回波强度异常分析与处理方法[J]. 气象,2011,37(3):79-84.
- [16] 国营第 784 厂. T14CDN 型天气雷达技术说明书(下册)[P]. 2003,7.