

# 基于双信号源的双偏振雷达接收机故障诊断技巧

曾广宇<sup>1</sup> 郭泽勇<sup>1\*</sup> 杜云东<sup>2</sup> 罗业永<sup>1</sup> 邝家豪<sup>3</sup>

(1 广东省阳江市气象局, 阳江 529500; 2 北京敏视达雷达有限公司, 北京 100085; 3 广东省湛江市气象局, 湛江 524000)

**摘要** 与传统天气雷达相比,双偏振天气雷达在硬件组成上改动较大,尤其是在接收机及天线馈线方面。硬件上的改动使得双偏振雷达的诊断方法存在较大不同。本文通过与传统天气雷达在硬件结构和标定通道两方面的对比,分析了 S 波段双偏振天气雷达与单偏振雷达在故障诊断方面的区别,提出通过“双信号源+动态法”隔离主通道与测试通道和通过“双信号源+太阳法”分段隔离主通道的两种诊断技巧,并列举了双偏振雷达的典型故障个例进行分析,为后续雷达规划的双偏振雷达升级改造提供参考依据,同时也为台站对双偏振雷达的故障诊断提供思路借鉴。

**关键词** 大气探测;双偏振;双信号源;接收通道;故障诊断

**中图分类号:** P415.2 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200086 **文献标识码:** A

## 引言

多普勒天气雷达通过获得降水目标的反射率、速度、谱宽等基数据来观测天气<sup>[1]</sup>,但降雨类型的区分存在明显的不足<sup>[2]</sup>。双偏振天气雷达相比于单偏振天气雷达拥有的独特优势,不仅能测量反射率、速度、谱宽,还可以通过测量雷达的差分反射率、传播相移以及相关系数等数据,更好地描述粒子的尺寸、形状、降水类型及天气,区分气象与非气象回波,去除异常传播,地物及海杂波等非气象回波以及更准确地估计降水和降雪,探测和预警冰雹区域<sup>[3]</sup>。双偏振雷达是继多普勒雷达技术后在中国全面推广的天气雷达探测技术<sup>[4]</sup>。2015 年开始,国内首批由 CINRAD-SA 双偏振天气雷达升级改造为双偏振雷达的业务组网分别在广东清远、广州、韶关、阳江、梅州及福建厦门 6 个站点完成,并于 2016 年左右开始业务运行。CINRAD-SA 双偏振天气雷达进行双偏振技术升级改造后,大大提高了广东灾害性天气监测能力和预报水平。

国内对双偏振天气雷达的研究主要针对 X 波段和 C 波段,而 S 波段波长更长、衰减更小,在探测

强降水等强对流天气时具有明显的优势<sup>[5-6]</sup>。国内对于双偏振雷达的研究大都是针对双偏振雷达特征量产品的应用分析<sup>[7]</sup>,或者利用双偏振雷达做定量降水估测<sup>[8]</sup>,或者是关于双偏振差分反射率标定的测量分析<sup>[9-10]</sup>。从基层保障人员的角度而言,需要更加迫切的掌握双偏振天气雷达在硬件、标定及故障诊断方面与传统天气雷达的区别,从而更加有利于双偏振雷达的运行保障。

## 1 CINRAD-SAD 双偏振雷达工作模式及标定流程

CINRAD-SAD 双偏振天气雷达具有交替模式和双发双收 2 种双偏振工作体制,目前国内大都采用双发双收模式,工程上比较容易实现,其工作流程如图 1 所示。工作时能够同时发射水平极化波和垂直极化波,亦可同时接收水平极化波和垂直极化波。发射时,发射机输出的高频功率平均进入水平发射通道和垂直发射通道,接收时,回波信号经过水平接收通道和垂直接收通道,经双通道送入 WRSP(数字中频)和信号处理器。CINRAD-SAD 双偏振天气雷达采用接收机在室内的体制结构,优点在于使整个接收机位于恒温恒湿机房内,双通道一致性的

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

广东省气象科技重点项目(GRMC2018Z04)和海南省南海气象防灾减灾重点实验室开放基金(SCSF201904)共同资助

作者简介:曾广宇,男,1983 年生,工程师,从事天气雷达观测及应用,Email:81750235@qq.com

收稿日期:2020 年 3 月 22 日;定稿日期:2020 年 6 月 2 日

\* 通信作者, Email:guozeyong@126.com

外部环境得以保证,双通道接收系统处于同一电磁环境下,同时维护测试更加方便;缺点在于增加了馈源到接收机的波导长度,灵敏度稍有损失,但通过双通道信噪比实时估计算法保证了弱回波探测能力。

在标定方面,CINRAD-SAD 双偏振雷达与传统雷达存在较大不同。图 1 中,信号源 1 指的是 KD、RFD、CW、NOISE 信号,经测试通道和功分器后进入主通道,最终返回 WRSP 和信号处理器,其中以频率源为信号源做动态标定的结果存储于 calibration 文件中 CW\_ZDR、CW\_PDP 记录值。信号源 2 是指在天线罩内俯仰关节之上的新增标定信号源,雷达控制软件在体扫开始和 PPI 间隔发送标定信号开和标定信号关的指令,测试信号经功分器后

由定向耦合器注入,经过俯仰旋转关节、方位旋转关节、环形器后,经接收支路返回 WRSP 和信号处理器,其标定结果存储于 calibration 文件中 TS\_ZDR、TS\_PDP 的记录值。

本文基于 CINRAD-SAD 双偏振天气雷达结构总结的接收机故障诊断技巧,利用 2 个在线标校信号源的标定结果,结合太阳标定和动态范围测试,解决了接收机主通道与测试通道的故障隔离和主通道的分段隔离 2 类常见接收机问题。

### 2 CINRAD-SAD 相对于 CINRAD-SA 的硬件改动

整体而言,双偏振雷达的发射机改动甚少,主要硬件改动(图 2)体现在以下几个方面:①原来的单

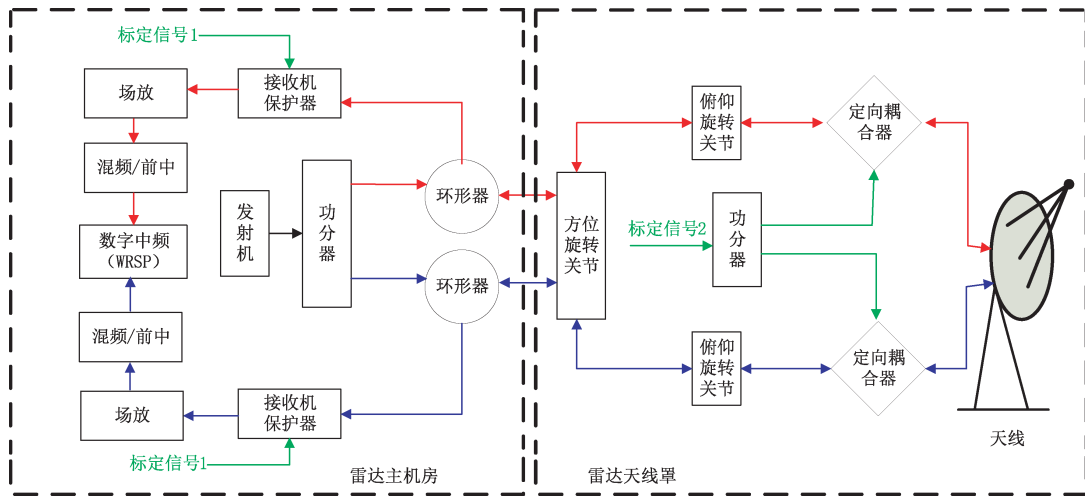


图 1 CINRAD-SAD 双偏振雷达工作模式及标定流程

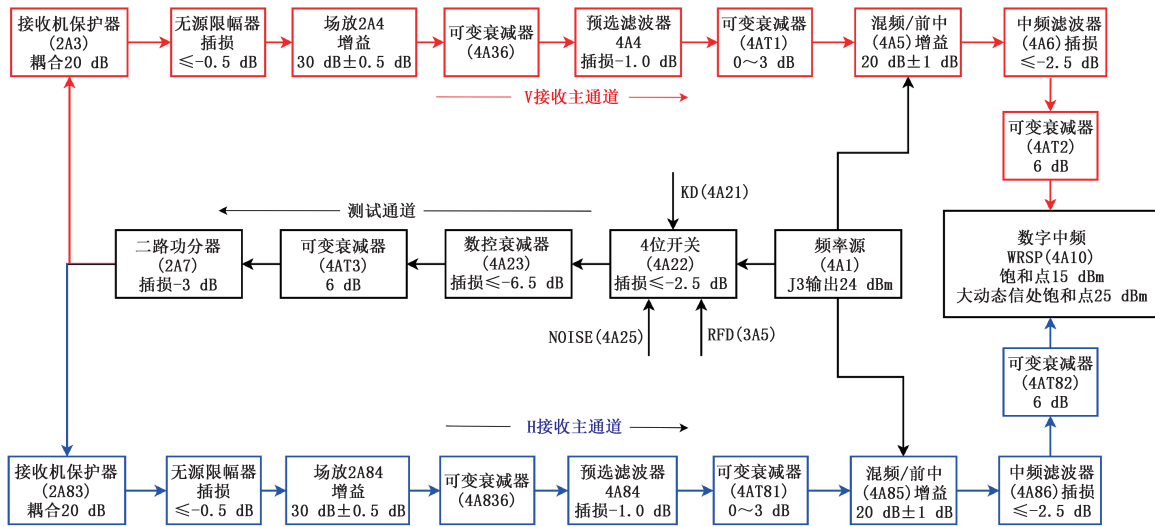


图 2 CINRAD-SAD 偏振雷达双接收通道

通道接收变为双通道接收,双通道拥有独立的接收机保护器、低噪声放大器、预选滤波器、混频器以及中频滤波器。②为综合考虑天线罩温度带来的噪声影响,CINRAD-SAD 双偏振雷达将原来的接收机前端器件放置于雷达机房内,相噪得以改善,同时也方便进行维护测试和故障诊断。③原接收机的 A/D 转换,数字变频组合,RDA 计算机的 HSPA、HSPB 以及转接板全部取消,统一采用 WRSP(数字中频)和信号处理器代替,最后在时钟盒 4A51 的控制下将数据送入数据处理终端。④在天线座俯仰关节上增加一个在线的信号源对双路接收机进行标定。受信号处理器控制,每个体扫的每个仰角都会标定,这个机外信号源与接收机内的频综信号源相比,可对整个接收机全链路进行标定(包含关节部分),对关节是否异常进行检查。

### 3 双偏振雷达故障诊断方法

CINRAD-SAD 双偏振雷达与原单偏振相比,发射机基本无变化,其诊断方法与原来基本一致,诊断方法的区别主要在于接收通道,接收通道包括主通道和测试通道。对于单偏振雷达,判断接收机通道组件的故障基本靠仪表监测,功率计是检修接收机时使用率最高的仪表,用功率计逐一排查接收通道各组件直至找出原因,但效率极低,并且对于双偏振雷达,双通道接收机极容易因为反复的拆卸使双通道增益发生变化进而产生附加故障,如双通道幅度不一致。因此双偏振雷达接收通道的诊断应更加注重技巧。本文采用的方法是在利用双信号源判断故障的基础上,结合双通道动态法和太阳法进行综合研判:①动态法,一般由频综 J3 输出 CW 连续波信号,通过测试通道在接收机保护器输入端注入接收机主通道。动态法是定位接收机故障简单而又非常有用的方法,一般采用分步隔离测试以逐步缩小故障范围。②太阳法,用太阳做辐射源,产生的回波信号经过全部接收通道,可判断全接收链路的工作情况。本文采用的双信号源诊断方法,分别指的是信号源 1 发出的 CW-ZDR 和信号源 2 发出的 TS-ZDR 信号(图 1)。其中,信号源 1 发出的 CW-ZDR 信号,主要用于标校接收通道(主通道和测试通道)的稳定性;信号源 2 发出的 TS-ZDR 信号则可以标校俯仰、方位 2 个关节的稳定性和双接收主通道的稳定性。

#### 3.1 “双信号源+动态法”隔离主通道与测试通道

CINRAD-SAD 型双偏振天气雷达新增标校信号源 2,可监测旋转关节对偏振参数的影响,并有利于对接收主通道和测试通道故障的隔离判断(图 3)。对于双偏振雷达,判别接收机故障仍然首先做动态标定,若动态异常,可分为 2 种情况:①通过分析 TS-ZDR 日志判断标校信号源 2 是否正常,正常则故障锁定在测试通道;确定故障通道后,采用从后向前的逐级测试方法。先测量后级输出,若正常,则前级器件不用测量。但当查出组件输出异常时并不一定是该器件本身问题,还有可能是该器件的电源、控制信号、射频线缆及接触问题,这一步在排查故障中容易被疏忽。②TS-ZDR 值异常,则标校信号 2 异常,此时先检查主通道,主通道正常再检查测试通道。

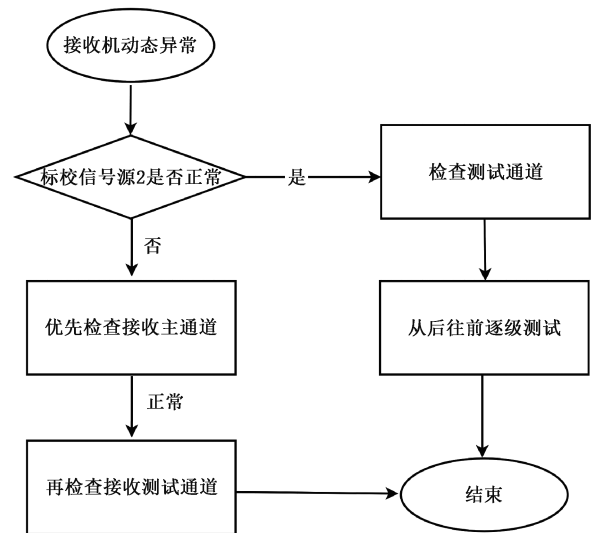


图 3 “双信号源+动态法”隔离主通道与测试通道

#### 3.2 “双信号源+太阳法”分段隔离主通道

信号源 1 标定数据 CW-ZDR、CW-PDP 正常,信号源 2 标定数据 TS-ZDR、TS-PDP 异常,说明问题出现在信号源 2 到环形器这一段。再结合太阳法就可进一步分段定位故障(图 4):①太阳法正常,则信号源 2、功分器、线缆出现问题。②太阳法不正常,应先检查从定向耦合器到环形器,无问题再检查信号源 2 到定向耦合器。

综上,对 CINRAD-SAD 双偏振雷达接收机故障,其分析流程应该是:TS-ZDR 正常,CW-ZDR 异常,故障在测试通道;TS-ZDR 异常,CW-ZDR 正

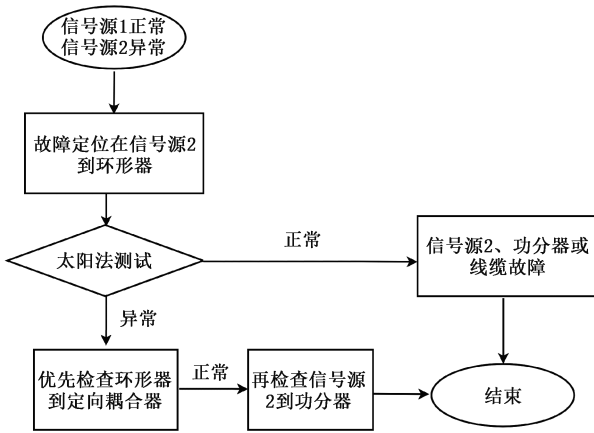


图 4 “双信号源+太阳法”分段隔离主通道

常, TS-ZDR 信号源问题或信号源 2 到环形器问题; CW-ZDR 和 TS-ZDR 都不正常, 接收机主通道问题; CW-ZDR 和 TS-ZDR 都正常, 太阳法输出异常信号, 则故障在定向耦合器到天线段。测试通道和主通道故障各自的诊断方法可依据图 2 接收通道的关键测试点, 用功率计进行逐级排查。

### 3.3 实例分析

故障现象: 2017 年 7 月 4 日 00:24 强雷暴过境广东阳江雷达站, 1.5° 低仰角反射率强度达到 57 dBz。随后雷达出现接收机通道噪声报警, 雷达并未因此停机, 仍旧可以运转, 但雷达回波受到干扰, 反射率回波异常, 动态测试显示异常(图 5)。

本次故障所涉及相关报警信息如表 1 所示。

故障分析与处理: 接收机故障首先做动态范围标定(图 5b), 测试显示接收机底噪过高, H、V 双通道底噪由正常时的 -81 dB 突增到 -66 dB 和 -72 dB 左右。由于在雷达体扫过程中出现噪声报警, 考虑到体扫过程中测试通道并未打开, 因此该噪声报警与测试通道无关, 应由主通道故障导致。采用“双信号源+太阳法”分段隔离主通道的方法, 通过分析 calibration 日志文件中的 CW-ZDR、CW-PDP、TS-ZDR 和 TS-PDP, 信号源 1 标定正常, 信号源 2 标定异常, 说明问题出现在信号源 2 到环形器这一段, 结合太阳法测试正常, 因此可判定为信号源 2 到定向耦合器这一段出现问题。经检查发现标校信号源 2 故障, 更换后开机重新进行标定, 雷达恢复正常。

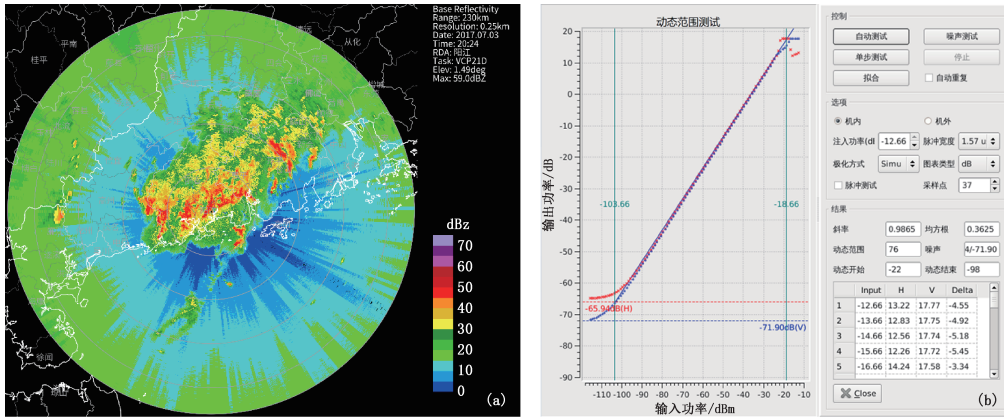


图 5 2017 年 7 月 4 日 00:24 强雷暴过境广东阳江雷达站故障: (a) 反射率因子异常, (b) 动态测试异常

表 1 2017 年 7 月 4 日 00:24 强雷暴过境广东阳江雷达站 CINRAD-SAD 双偏振雷达信号源故障报警信息

报警代码	报警内容	释义
ALARM 470	HORI CHANNEL NOISE LEVEL DEGRADED	垂直通道噪声水平变差
ALARM 471	VERT CHANNEL NOISE LEVEL DEGRADED	水平通道噪声水平变差
ALARM 469	SYSTEM NOISE TEMP DEGRADED	系统噪声温度变差

信号源 2 为雷达大修升级双偏振时的新增器件, 保护措施不够完善, 当晚雷达站上空强雷暴过境, 机外信号源受雷击导致信号源里的开关损坏, 无法完全

关断, 因此造成在体扫过程中有信号泄漏进入接收机主通道, 进而产生干扰, 造成底噪抬高, 回波异常。厂家重新设计信号源并完善保护设施, 问题得以解决。

## 4 结论与讨论

由于接收机系统故障的排查涉及到小信号,如果射频线缆稍有接触不良便会产生噪声电平和通道增益的较大波动,因此接收机系统的故障排查是比较复杂的。基于偏振雷达同时存在 2 个在线标校信号源的原因,合理加强对这两个信号源与动态标定、太阳法标定的结合使用,对于诊断偏振雷达的故障点非常有帮助。

CINRAD-SAD 型双偏振天气雷达新增标校信号源 2,多了 1 个故障点,但解决了该型号雷达体制本身的缺陷问题,即旋转关节对偏振参数的影响,并能够提供快捷诊断接收机故障的手段。2 个标定信号源形成互补,可以避免因标定信号本身的问题带来的误差修订。

广东省双偏振雷达为国内首批现场升级改造项目,项目改造初期,在安装流程、施工工艺、线路设计等方面存在些许不足,这在后续的双偏振改造升级中逐步得到解决。同时双偏振雷达接收机的故障形式和处理过程与单偏振雷达有明显不同,作为基层雷达保障人员,更需要注重积累和总结双偏振天气雷达的故障案例。

## 参考文献

- [1] Seliga T A, Bring V N. Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarizations for measuring precipitation [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2010, 15(15):69-76.
- [2] Ryzhkov A V, Zrnic D S. Assessment of rainfall measurement that use specific differential phase [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1996, 35(11): 2080-2090.
- [3] 张越,李忱. 双线偏振天气雷达测量精度分析[J]. *现代雷达*, 2006, 28(4):8-10.
- [4] 李喆,李柏,赵坤,等. 国产双偏振天气雷达差分反射率测量性能分析[J]. *气象科技*, 2016, 44(6):855-859.
- [5] 张羽,田聪聪,罗聪. 广州双偏振天气雷达在定量降水估测中的初步分析[J]. *广东气象*, 2017, 39(3):73-76.
- [6] 杨立洪,刘小燕,陈玉华. 双偏振雷达相关系数的产品分析[J]. *广东气象*, 2017, 39(3):69-72.
- [7] 郑佳锋,张杰,朱克云,等. 双偏振天气雷达测雨误差及水凝物识别分析[J]. *气象科技*, 2014, 42(3):364-372.
- [8] 汪舵,刘黎平,吴翀. 基于相态识别的 S 波段双线偏振雷达最优化定量降水估测方法研究[J]. *气象*, 2017, 43(9):1041-1051.
- [9] 赵世颖,李柏,陈晓辉,等. 基于交叉一平行法的双偏振雷达差分反射率硬件定标[J]. *气象科技*, 2015, 43(5):775-782.
- [10] 李喆,王崇文,李春化,等. 双发双收双偏振天气雷达差分反射率工程标定方法[J]. *气象科技*, 2014, 42(6):951-956.

# A Troubleshooting Technique of Dual Polarization Radar Receiver Based on Dual-Signal Source

ZENG Guangyu<sup>1</sup> GUO Zeyong<sup>1</sup> DU Yundong<sup>2</sup> LUO Yeyong<sup>1</sup> KUANG Jiahao<sup>3</sup>

(1 Yangjiang Meteorological Service, Guangdong, Yangjiang 529500; 2 Beijing Metstar Radar Co., Ltd., Beijing 100085; 3 Zhanjiang Meteorological Service, Guangdong, Zhanjiang 524000)

**Abstract:** Compared with the traditional weather radar, the hardware of the dual polarization weather radar has changed greatly, especially in the receiver and antenna feeder. The change of hardware makes the diagnosis method of dual polarization radar different. This paper analyzes the difference between S-band dual polarization weather radar and single polarization radar in fault diagnosis by comparing with traditional weather radar in hardware structure and calibration channel. This article proposes two diagnostic techniques: isolating the main channel and test channel by the dual signal source and dynamic method; segmenting the main channel by the dual signal source and sun calibration. The article gives the fault cases of dual polarization radar, which can provide a reference for the planned upgrading of the dual polarization radar, and also provide a reference for the troubleshooting of the dual polarization radar at the radar stations.

**Keywords:** atmospheric sounding; dual polarization; dual-signal source; receiving channel; troubleshooting