

潘新民, 柴秀梅, 黄跃青, 等. CINRAD/SA&SB 回波强度定标故障的诊断分析和解决方法[J]. 气象, 2010, 36(12):122-127.

# CINRAD/SA&SB 回波强度定标故障 的诊断分析和解决方法

潘新民<sup>1</sup> 柴秀梅<sup>2</sup> 黄跃青<sup>3</sup> 崔炳俭<sup>3</sup> 王全周<sup>4</sup>

1 河南省大气探测技术保障中心, 郑州 450003  
2 中国气象局气象探测中心, 北京 100081  
3 郑州市气象局, 郑州 450005  
4 河南省气象局, 郑州 450003

**提 要:** 根据 CIRAD/SA,SB 雷达接收机特点,论述了回波强度定标相关的接收机测试通道、信号主通道以及发射机测试信号流程。根据多年天气雷达技术保障经验,详细论述了回波强度定标故障的诊断分析方法,总结出回波强度定标故障诊断流程,并列举了根据诊断分析方法和诊断流程,排除了由接收机测试通道、信号主通道、发射机射频泄露信号引起的回波强度定标故障的三个典型个例。体现了故障诊断流程在新一代天气雷达技术保障的重要作用,为新一代天气雷达技术保障提供借鉴。

**关键词:** 回波强度定标, 信号流程, 诊断分析方法, 故障诊断流程

## The Fault Diagnosis and Solution of CINRAD/SA & SB Echo Intensity Calibration

PAN Xinmin<sup>1</sup> CHAI Xiumei<sup>2</sup> HUANG Yueqing<sup>3</sup> CUI Bingjian<sup>3</sup> WANG Quanzhou<sup>4</sup>

1 Henan Provincial Atmospheric Observation Technical Support Center, Zhengzhou 450003  
2 Meteorological Observation Center of CMA, Beijing 100081  
3 Zhengzhou Meteorological Bureau, Zhengzhou 450005  
4 Henan Provincial Meteorological Bureau, Zhengzhou 450003

**Abstract:** According to the characteristics of CINRAD / SA, SB radar receiver, this article discusses the process of the receiver test channel, the signal main channel and transmitter test signal, which is related to the echo intensity calibration. Based on years of experience in weather radar technology security, this article discusses in detail the fault diagnosis method of echo intensity calibration, summarizes the fault diagnosis process of echo intensity calibration, and lists three examples in which the above fault diagnosis and solution are used to exclude the fault resulting from the receiver test channel, the signal main channel and the RF leakage signal of transmitter. This article explains the importance of the fault diagnosis in CINRAD technology support and guarantee and makes some advice about it.

**Key words:** echo intensity calibration, signal flow, fault diagnostic analysis, fault diagnosis process

### 引 言

CINRAD/SA&SB 雷达具有回波强度在线定

标校正和检查功能,能在线实时监测标校信号的测量误差,并根据测量误差校正回波强度的测量值,以确保回波强度资料的可靠性。但是如果测试通道或标校信号参数变化等产生的测量误差,会由于错误

的校正导致回波强度的测量值出现误差,为了避免这一错误现象出现,就必须要求雷达技术保障人员随时根据雷达回波强度定标报警内容和故障现象找到故障点排除故障,以确保回波强度的测量精度。潘新民等<sup>[1]</sup>对天气雷达接收功率标定和检验方法进行了探讨,王立轩等<sup>[2]</sup>研究了新一代天气雷达的自动标定技术,王志武等<sup>[3]</sup>对 CINRAD/S-RDA 定标常见问题分析,还有一些其他关于天气雷达定标、观测资料处理和故障处理内容等的文章<sup>[4-12]</sup>。本文分别从回波强度定标和定标检查的接收机测试通道、主通道及发射机标校、定标检查和功率监测信号通道三个方面介绍了回波强度定标和定标检查以及发射功率监测的信号流程,从接收机测试通道、主通道、天馈系统以及雷达参数这几方面介绍了故障诊断分析方法,并总结出了此类故障诊断流程和问题解决方法。最后从接收机测试通道、主通道、测试信号异常方面分别列举了典型故障的分析和排除过

程,为新一代天气雷达解决回波强度定标出现的问题和保障观测资料可靠性提供借鉴。

1 接收机测试通道流程

接收机测试通道的控制部分主要起测试信号源选择和测试信号功率大小控制作用,并按照 RDASC 程序要求将选择的测试信号输入到接收机主通道(保护器前端)。测试公共通道包括射频四位开关、七位射频衰减器、两位射频开关、保护器耦合器。频综(4A1)RF 信号产生器产生的 RF 连续波(CW)测试信号,主要用于定标校正 5~139 km 距离范围回波强度测量误差;发射机输出的射频脉冲(RFD)测试信号用于定标校正雷达定量观测范围内高、中、低回波强度天气测量误差;发射机速调管输出(KD)脉冲信号用于回波强度定标检查;发射机噪声源用于接收机噪声温度测试。信号流程见图 1。

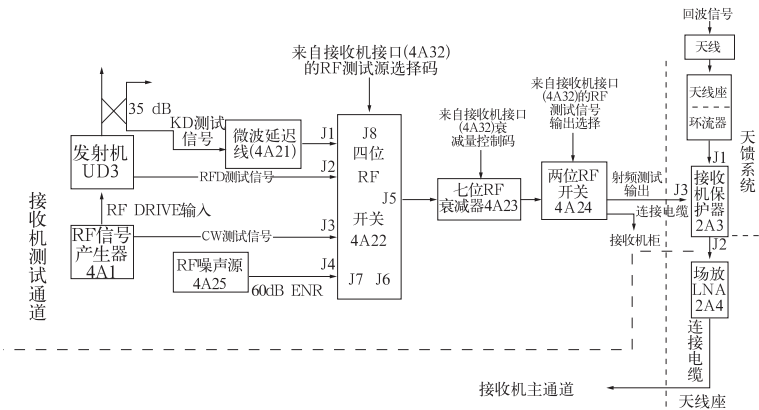


图 1 接收机测试通道信号流程图

Fig. 1 Flow diagram of receiver test channel signal

2 接收机信号主通道流程

接收机信号主通道主要起将天线接收的回波信号进行混频、放大、检波、A/D 变换后送到信号处理

器处理后生成回波资料数据。测试信号按照 RDASC 程序要求模拟标准回波接收功率信号对回波强度测量误差进行校正。包括场放、混频/前置中放、IF 放大/限幅器、相位检波、A/D 变换等。信号流程见图 2。

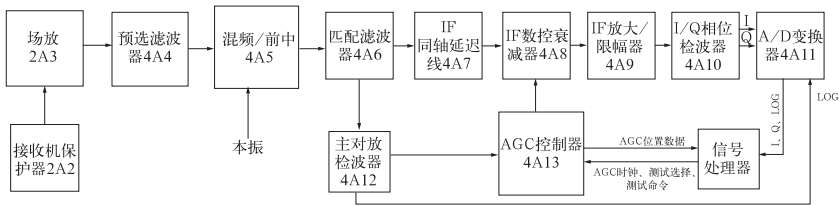


图 2 接收机主通道信号流程图

Fig. 2 Flow diagram of receiver main channel signal

### 3 发射机定标、定标检查和功率监测信号流程

从接收机测试通道流程可知,发射机提供两种测试信号为:一种从高频脉冲形成器(3A5)输出的射频脉冲标定信号,主要用于模拟高、中、低回波信号用于回波强度定标和回波强度测量值的误差校

正;另一种将发射机输出的射频信号通过定向耦合器耦合出射频脉冲信号,并通过微波延迟线延时,模拟远距离的固定回波信号,进行间隔 8 小时的回波强度定标检查,并不进行回波强度测量值的误差校正,一旦出现回波强度定标检查超限就自动报警。另外发射机还具有发射机输出和天线功率实时监测功能,实时校正由于发射功率变化导致的回波强度测量误差。信号流程见图 3。

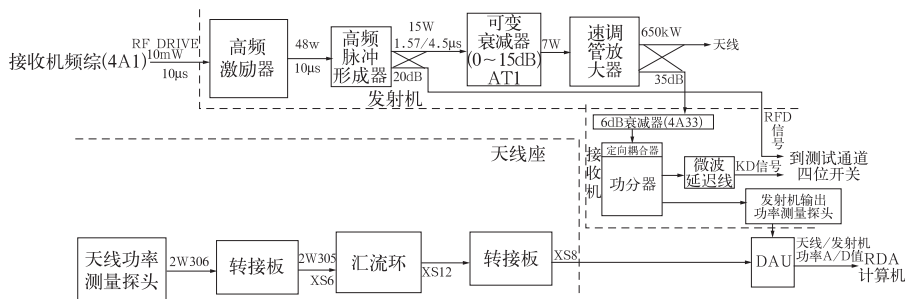


图 3 发射机定标、定标检查和功率监测信号流程图

Fig. 3 Flow diagram of transmitter calibration, calibration checks, and power monitoring signal

### 4 回波强度定标故障诊断分析方法

回波强度定标故障一般都会伴随线性通道增益定标目标常数报警,通常由四个方面引起:1)接收机主通道;2)接收机测试通道;3)天馈系统;4)雷达参数(发射功率)。对出现的故障,应从报警信息、回波强度定标和标校检查(RDA 性能参数、Pathloss. log 和 Calibration. log 文件检查等情况,结合终端回波(面积、强度)显示综合分析,通过关键点参数检测找出故障点。对于几方面都有问题的综合故障,一般先解决测试通道和发射功率问题,然后主通道,最后天馈系统。

#### 4.1 主通道回波强度定标故障诊断分析方法

一般通过三种分析诊断方法定位故障:关键点参数测量法、回波面积判断法和外接信号法。测量接收机前端注入测试信号功率,如果在正常范围;或者回波显示面积缩小,但回波强度正常;或者外接信号源进行回波强度标校检查,测量误差偏大。都可说明故障在主通道。接收机主通道故障一般还会伴随杂波抑制、IF 衰减器步进量超限报警,甚至出现接收机噪声温度和速度、谱宽超限等相关报警,离线 CW、RFD

定标和 KD 定标检查,各测试信号测量误差基本上都偏大。故障定位应首先检查与主通道有关的本振、相参等输入信号是否正常(如:频综输出中频相参、本振信号信号弱或定相差将导致速度、速度谱宽显示不正常),在此基础上通过仪表测量计算出场放、混频/前中、IF 限幅/放大增益及其他器件、连接电缆损耗,并和正常参数值比较找出问题器件,或者通过调整相关主通道参数(如:低端或高端 1 dB 压缩点等)使动态范围符合技术要求解决问题。一般接收机前端有问题会导致噪声温度高,回波显示面积缩小现象;接收机后端有问题会导致噪声电平高,回波显示出现杂波增多,严重时出现同心圆现象;对于出现无回波现象,接收机前端(射频部分)可通过功率计或频谱仪测量各级增益、损耗找出故障器件,后端可用示波器检查回波或信号波形找出故障器件。

#### 4.2 测试通道回波强度定标故障诊断分析方法

测试通道回波强度定标故障一般通过关键点参数测量和回波面积、强度是否正常来判断。如果回波显示面积正常,但回波强度异常(一般偏强和不稳定),测量接收机保护器注入测试信号功率正常,但测量场放输入端信号不正常,一般是接收机保护器的 20 dB 定向耦合器问题;如果接收机保护器注入

测试信号功率和正常值相差较大,则说明故障在测试通道。测试通道报警信息中除线性通道增益定标目标常数超限报警外无测试信号超限的相关报警,但回波强度正常一般是公共测试通道问题;如果还报线性通道测试信号变坏,离线 CW、RFD 定标检查,如果 CW 信号测量误差大,一般是 CW 信号源(频综)到四位开关之间通道问题,否则,如果 RFD 信号测量误差大,则是发射机 3A5 到四位开关之间通道问题。在此基础上通过仪表测量通道相关路径损耗找出故障器件。如果故障定位到射频衰减器或四位、两位开关,还应通过测试平台判断出是控制电路问题还是器件本身问题,具体方法为检查每位控制信号(差分信号)是否正常,如果控制信号正常,则是器件本身问题,否则就需检查接收机接口板甚至到信号处理器之间控制信号传输线路,找出故障器件。如果报线性通道射频驱动测试信号或线性通道速调管输出测试信号超限警报,一般是对应的测试信号功率误差太大导致,CW 信号可以通过测量频综的 CW 信号输出功率及连接到四位开关电缆和四位开关 J3 到 J5 间路径损耗,并调整对应适配参数解决问题;对于 RFD、KD 信号,一般是信号的功率和衰减量特征曲线非线性所致,可以通过在对应信号输出端增加衰减方法,并调整相关适配参数值解决问题。

### 4.3 天馈系统故障诊断分析方法

天馈系统故障特点为回波面积减少且回波强度偏弱。如果无报警信息,一般是天线喇叭口损耗太大或从天线功率测量耦合器到喇叭口之间路径损耗增大所致;如果同时伴随天线/发射机功率比率报警,一般是天线座内环流器到天线功率测量耦合器

之间波导损耗太大导致。通过观测旋转关节和波导等微波器件,看有无机械变形地方,如需要可进一步用仪表分段检测损耗,一般都可找出故障器件。如果还同时伴随接收机主通道、测试通道相关报警,但回波强度正常,一般是保护器中限幅、放电保护电路有问题,更换保护器即可解决问题。

#### 4.4 雷达参数不当诊断分析方法

如果回波面积正常,但回波强度偏强或偏弱,除线性通道增益定标目标常数报警外无其他报警,首先检查 Calibration. log 文件,如果是测试信号目标值不正确引起,应再查 Pathloss. log 文件,看是否用于目标值计算的发射功率误差太大,如果发射功率正常,一般是雷达参数中除发射功率外的参数设置不正确导致,检查适配参数值是否和测试的对应值一致,必要时测量和调整脉宽,使之符合要求,一般都可找出原因;如果是发射功率误差太大,有时会伴随发射功率报警,通过机外仪表校正机内发射功率测量值,一般会解决问题。

如果线性通道增益定标常数和发射功率小于门限同时报警,近距离回波面积基本正常,但远处太弱回波观测不到,但回波强度正常,一般是发射功率降低了太多,检查 Calibration. log 文件,可以发现回波强度测量误差大主要是目标值变化太大引起,同时检查 Pathloss. log 文件,可以证实发射功率太小,这时只要调整发射机与速调管有关的参数,必要时检查频综到 3A5 之间放大链路,甚至更换速调管,使发射功率符合技术要求即可解决问题。

#### 4.5 回波强度定标故障分析诊断流程

回波强度定标故障分析诊断流程如图 4。

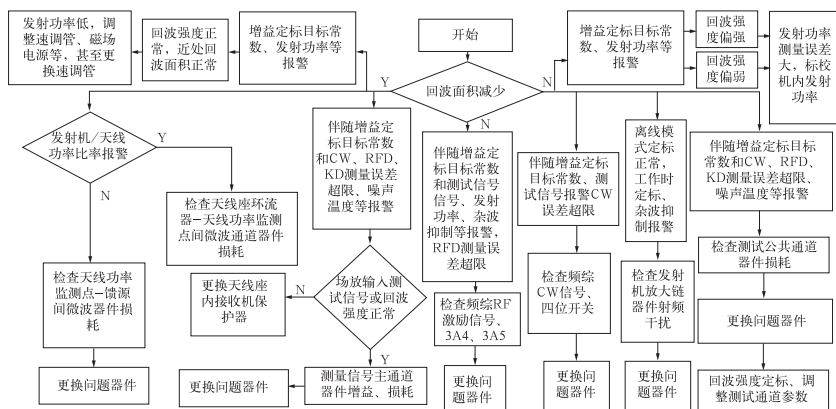


图 4 回波强度定标故障诊断流程图

Fig. 4 Flow diagram of fault diagnosis of echo intensity calibration

## 5 典型故障举例

### 5.1 驻马店雷达测试通道问题导致回波强度定标故障

故障现象:同时报警 470 (LIN CHANNEL NOISE LEVEL DEGRADED); 472 (I/Q AMP BALANCE DEGRADED); 473 (I/Q PHASE BALANCE DEGRADED); 481 (LIN CHAN GAIN CAL CONSTANT DEGRADED); 523 (LIN CHAN RF DRIVE TST SIGNAL DEGRADED); 490 (I CHANNEL BIAS OUT OF LIMIT); 483 (VELOCITY/WIDTH CHECK DEGRADED); 471 (SYSTEM NOISE TEMP DEGRADED)。回波面积正常。

故障诊断与排除:检查性能参数定标数据,发现噪声电平明显增大一个量级,且相检的相位平衡检查达  $100^\circ$ ,相检的幅度平衡检查达 0.25,按常规分析说明接收机后端有关参数发生变化导致上述一系列报警。调整相检的相位平衡和幅度平衡不起作用,初步认为相位检波器问题,但更换相检模块后,故障依旧。再仔细分析报警信息,除相检的相关参数报警外,还有射频激励测试信号、噪声温度及线性通道定标常数变坏等报警,由于回波面积正常,说明噪声温度报警为虚警,而且 RDASC 运行界面中  $CAL^\#$  值为 14,表明线性通道定标常数变化量达到 14 dB,如果在信号主通道正常情况下,测试信号有问题也可能引起相检的相关参数不正常和噪声温度报警。运行测试平台(CW 信号,射频衰减器衰减量为 0 dB),测量接收机保护器输入的测试信号功率为  $-26$  dBm(正常为 6 dBm 左右),和正常功率值相差 32 dB 左右,说明测试通道有问题。为缩小测试通道故障范围,测试频综 CW 测试信号输出及四位射频开关 CW 信号输入、输出端,测试信号功率都正常,但测量射频衰减器的输出信号比正常要小 32 dBm 左右,测试结果表明射频衰减器或衰减量控制电路有问题。用测试平台控制衰减量,发现控制衰减器在任何衰减量,射频衰减器的衰减量控制端口第 11 脚(32 dB 驱动控制信号)差分驱动控制信号始终受控,检查接收机接口电路板 32 dB 驱动控制信号输出不正常,更换接口电路板的 32 dB 驱动信号光耦块后雷达恢复正常。

故障原因分析:由于接收机接口电路中射频衰减器的 32 dB 控制信号通道中的光耦块损坏,使得测试信号在相关参数定标时,一直有 32 dB 额外衰减,导致信号比正常值小 32 dB(32 dB 除外),导致了一系列报警。

### 5.2 深圳雷达测试信号问题导致回波强度定标故障

故障现象:离线定标,雷达回波强度定标正常,  $CAL^\#$  小于 1 dB。但雷达正常工作后在两个体扫间从高仰角到低仰角转换期间的回波强度定标时,报警:527 线性通道测试信号变坏;481 线性通道增益标定常数变坏;523 线性通道射频驱动测试信号变坏。  $CAL^\#$  已为  $-11.6$  dB,而且地杂波抑制达不到 40 dB。回波面积正常,回波强度偏弱。

故障诊断与排除:由于离线定标时,波导开关位于负载位置,雷达正常工作体扫间定标时,波导开关位于天线位置。说明雷达正常工作时,在回波强度定标过程有泄露的射频信号通过保护器进入接收机主通道,导致回波强度定标时测量误差增大。由于回波面积正常,进一步说明接收机主通道正常。故障时回波强度定标数据如下:

CW and RFD REFLECTIVITY:

CW MEASURED = 37.50 CW EXPECTED = 32.77

RFD1 MEASURED = 50.00 RFD1 EXPECTED = 21.44

RFD2 MEASURED = 50.00 RFD2 EXPECTED = 33.44

RFD3 MEASURED = 58.00 RFD3 EXPECTED = 61.44

从回波强度定标数据可以看出,正是由于有射频泄露信号进入接收机主通道,导致 CW 和 RFD 测试信号的测量值明显偏大,引起了一系列报警。为了确定射频泄露信号位置,用频谱仪检查频综 RF 激励输出信号正常,进一步检查到 3A5 时,发现 3A4 到 3A5 连接电缆接头的屏蔽层已脱焊,重新焊接处理后,开机检查回波强度在体扫间的定标恢复正常,地杂波抑制已提高到接近 50 dB,但仍达不到正常值 54 dB,相噪明显降低但仍不合格。频谱仪检查频综 3A5 输出信号,在 20 Hz 附近有干扰信号,更换 3A5 后,开机检查干扰信号已消除,检查地杂波抑制已到 54.6 dB(滤波前为:23.0 dB;滤波后



为:  $-31.6\text{ dB}$ , 相噪为  $0.113^\circ$ , 雷达恢复正常。

故障原因分析: 由于发射机高频放大链路存在射频泄露干扰信号, 导致雷达工作时, 在回波强度定标过程中, 测试信号功率发生变化, 使 CW、RF 信号测量值偏大和相噪、地杂波抑制变差, 从而出现一系列报警。后经回波强度测量误差在线实时校正, 反而增大了回波强度测量误差, 使回波强度偏弱。

### 5.3 三门峡雷达主通道问题导致回波强度定标故障

故障现象: 回波面积减小; RDA 计算机报警: 噪声温度超限; 线性通道定标常数变坏; 地杂波抑制变坏等。

故障诊断与排除: 由于回波面积明显减小, 检查性能参数, 噪声温度已大到超出显示范围, RDASC 画面显示 CAL# 已达 20 左右, 根据报警信息和诊断流程基本断定是接收机信号主通道有问题。通过测试平台用 CW 测试信号测量接收机场放增益, 增益减少  $20\text{ dB}$  左右, 正常是应为  $28\text{ dB}$  左右。更换场放, 雷达运行 5 小时后, 又出现同样故障现象, 说明由于接收机保护器性能变差导致发射机发射期间漏功率过大烧毁场放, 为了根除故障隐患, 在更新接收机保护器基础上, 在场放前增加一级限幅器, 经两年运行, 雷达运转正常。

故障原因分析: 由于接收机主通道场放增益太低, 导致灵敏度下降比较大, 使得观测的回波面积明显减少, 出现回波强度定标和噪声温度一系列报警, 具有主通道前端故障显著特点, 由于保护器保护冗余量太小, 导致故障反复, 通过在场放前增加一级限幅器措施(对灵敏度基本无影响), 彻底解决问题, 对同型号雷达解决此类问题具有借鉴意义。

## 6 小 结

接收机回波强度定标故障在雷达系统故障中占

有相当高的比例, 而回波强度定标正确与否直接影响雷达观测资料的可靠性, 因此保证雷达回波强度在线实时正确定标校正, 在所有雷达参数测量、标校中占有非常重要地位, 这就要求雷达技术保障人员对出现的有关回波强度定标故障要及时解决。回波强度定标故障诊断分析要根据显示的回波面积和强度是否正确及监控信息(包括: 报警信息、标校文件、性能参数监测等)综合分析, 判断出故障是由接收测试通道、主通道和发射功率其中的哪一方面引起, 并依据回波强度定标问题诊断流程定位到可更换故障单元, 尽可能缩短维修时间, 以保证新一代天气雷达运行的可靠性。

## 参考文献

- [1] 潘新民, 汤志亚. 天气雷达接收功率标定的检验方法探讨[J]. 气象, 2002, 28(4): 34-37.
- [2] 王立轩, 葛润生, 秦勇, 等. 新一代天气雷达的自动标校技术[J]. 气象科技, 2001, 29(3): 26-29.
- [3] 王志武, 蔡作金, 周宽宏, 等. CINRAD/S-RDA 定标常见问题分析[J]. 气象科技, 2008, 36(3): 350-354.
- [4] 刘小东, 柴秀梅, 张维全, 等. 新一代天气雷达检修的技术与方法[J]. 气象科技, 2006, 34(增刊): 113-114.
- [5] 张沛源, 周海光, 梁海河, 等. 数字化天气雷达定标中应注意的一些问题[J]. 气象, 2001, 27(6): 27-32.
- [6] 柴秀梅, 黄晓, 黄兴玉. 新一代天气雷达回波强度自动标校技术[J]. 气象, 2007, 35(3): 420-421.
- [7] 张沛源, 周海光, 梁海河, 等. 数字化雷达定标中应注意的一些问题[J]. 气象, 2001, 27(6): 27-32.
- [8] 张文建. 世界气象组织综合观测系统(WIGOS)[J]. 气象, 2010, 36(3): 3-7.
- [9] 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.
- [10] 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): 108-112.
- [11] 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.