

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):379-384.

# 新一代天气雷达回波强度异常分析与处理方法<sup>\*1</sup>

柴秀梅<sup>1</sup> 潘新民<sup>2</sup> 汤志亚<sup>3</sup> 崔炳俭<sup>4</sup> 多福学<sup>5</sup>

1 中国气象局气象探测中心,北京 100081

2 河南省大气探测技术保障中心,郑州 450003

3 成都信息工程学院,成都 610225

4 郑州市气象局,郑州 450003

5 内蒙古阿拉善盟气象局,阿拉善盟 750306

**提 要:** 根据新一代天气雷达回波强度在线定标修正原理,结合新一代天气雷达(CINRAD/SA 和 SB)回波强度接收和定标及发射功率在线测量信号流程,对雷达回波强度出现的异常现象进行了详细分类和分析,总结提出了新一代天气雷达回波强度偏强、偏弱、回波面积减少等异常问题的分析思路和处理方法,列举了有效解决雷达回波强度异常故障的案例。结果表明:采用这种方法能提高处理新一代天气雷达回波强度异常故障的时效性和可靠性。

**关键词:** 新一代天气雷达,回波强度异常,分类及处理方法

## Analysis and Handling Methods for Return Intensity Anomaly of CINRAD

CHAI Xiumei<sup>1</sup> PAN Xinmin<sup>2</sup> TANG Zhiya<sup>3</sup> CUI Bingjian<sup>4</sup> DUO Fuxue<sup>5</sup>

1 Meteorological Observation Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Atmospheric Observation Technical Support Center of Henan Province, Zhengzhou 450003

3 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

4 Zhengzhou Meteorological Bureau, Zhengzhou 450003

5 Alxa League Meteorological Bureau of Inner Mongolia, Alxa League 750306

**Abstract:** Based on the online calibration correction principle of CINRAD return intensity and combined with the return intensity reception, calibration and transmitting power online measurement signal process of CINRAD/SA&SB, this paper analyzes and classifies anomalous phenomena of CINRAD return intensity in detail. In addition, it summarizes and puts forward analysis and handling methods for anomalous problems such as stronger or weaker returns, and the decreased return area of CINRAD. Moreover, it enumerates examples to solve CINRAD return intensity anomalies effectively. The result shows that using this method can improve timeliness and reliability of handling CINRAD return intensity anomalies.

**Key words:** CINRAD, return intensity anomaly, classifying and handling methods

\* 国家自然科学基金(40975018)资助

2010年9月17日收稿; 2010年12月3日收修定稿

第一作者:柴秀梅,主要从事天气雷达技术保障和应用工作. Email:13693697182@139.com

## 引言

新一代天气雷达作为降水测量系统的重要组成部分,必须具备较高的测量精度,提高新一代天气雷达回波强度测量精度,是雷达气象预警预报产品可靠性的保障。新一代天气雷达系统在业务运行中会出现回波强度突然变强、变弱,变弱的同时有时还伴随有回波面积变小等现象,若此故障不能得到有效处理则会直接影响新一代天气雷达观测基数据的可靠性,影响灾害性天气监测和预警预报服务效益。许多研究人员对天气雷达定标原理和方法从不同方面进行了论述。其中潘新民等<sup>[1]</sup>对天气雷达接收功率标定的检验方法的探讨和对新一代天气雷达(CINRAD/SB)技术特点和维护、维修方法进行了研究,张沛源等<sup>[2]</sup>介绍了数字化雷达定标方法,柴秀梅等<sup>[3]</sup>对 CINRAD/CC 雷达回波强度自动标校技术进行了分析,提出了雷达定标技术的必要性。王致君等<sup>[4]</sup>对偏振天气雷达资料处理进行论述。本文依据新一代天气雷达定标在线修正原理,从 CINRAD/SB 定标信号流程出发,从定标信号、测试通道、接收信号通道、发射功率、系统损耗几方面,分析了新一代天气雷达回波强度异常原因,并通过新一代天气雷达保障中发现和解决雷达回波强度异常个例,为提高新一代天气雷达观测资料的可靠性提供借鉴。

## 1 CINRAD 雷达回波强度定标在线修正方法

雷达定量估测降水的基础是雷达气象方程,CINRAD 雷达回波强度测量关键在于确定回波接收功率和发射功率在线测量校正,一般雷达回波接收功率  $P_r$  无法直接测量,可以利用高精度测试信号源模拟回波信号,从接收机前端注入,从而完成对雷达回波强度定标,达到确定回波接收功率的目的。CINRAD 雷达一般通过三种方法完成雷达回波强度测量值的实时在线修正,以确保雷达强度观测资料的可靠性。

方法 1:在线实时从接收机前端注入功率(间隔为 2 dB)连续变化的连续波(CW)定标信号,建立信号处理器 A/D 值和  $P_r$  的对应关系,然后根据雷达气象方程得到回波强度测量值(CINRAD/CC),这种方法主要靠接收机动态范围和定标信号精度保证

回波强度测量值的可靠性,没有进行在线实时回波强度测量误差修正。

方法 2:在线实时从接收机前端注入三个固定功率(30,40 和 50 dB 衰减量)的连续波(CW)定标信号(CINRAD/SC、CD),根据实测发射功率、固定距离库计算出回波强度测量值和目标值差值的平均值,进行实时在线回波强度测量值修正。

方法 3:用 44 km 处的小、中、大三种固定功率的射频激励定标信号(脉冲)和从 5~139 km 范围内随距离循环步进(步进量 1 km)的固定功率的 CW 测试信号(CINRAD/SA、SB、CB),从接收机前端注入,用这 4 种定标信号的测量值和目标值差值的平均值进行实时修正回波强度测量值,以保证雷达定量观测范围内高、中、低回波强度测量精度。并同时每 8 小时一次用速调管输出脉冲信号(3 种功率信号)经延时模拟回波信号从接收机前端注入,计算出其测量值和目标值差值的平均值进行回波强度定标检查,超限时自动报警,提醒技术保障人员对问题检查处理,以确保回波强度测量值的精度。

## 2 雷达发射功率在线测量和回波强度定标信号流程

### 2.1 雷达发射功率在线测量流程

用于发射功率检测点有两个,即发射机输出功率测量和天线发射功率测量。雷达发射功率在线测量流程如图 1 所示。

### 2.2 雷达接收回波信号和定标信号流程

CINRAD 雷达定标信号流程包括 4 个部分:定标测试信号源;测试信号通道(信号源到接收机前端注入入口通道);接收机主通道(接收机保护器到信号处理之间通道);射频天馈系统(天线馈源到接收机保护器间射频通道)。信号流程如图 2 所示。

## 3 CINRAD 雷达回波强度异常分类和处理方法

在 CINRAD 雷达探测中会突然出现回波强度异常(偏强、偏弱,或回波强度正常,但显示的回波面积缩小),回波强度异常往往会直接影响预报预警服务产品的精确性和可靠性。根据对回波强度在线标定、雷达气象方程、发射功率在线测量流程、雷达接

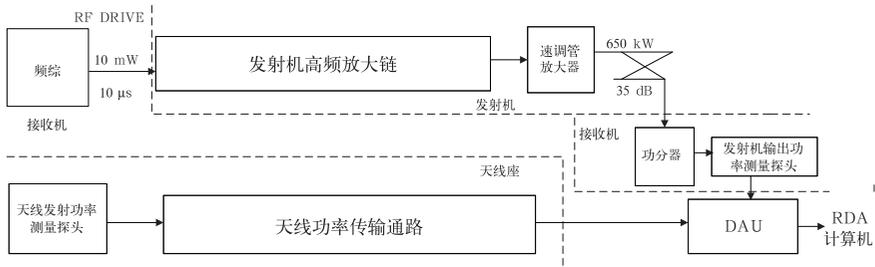


图 1 发射功率在线测量流程图(CINRAD/SB)

Fig. 1 Flow graph of transmitting power online measurement (CINRAD/SB)

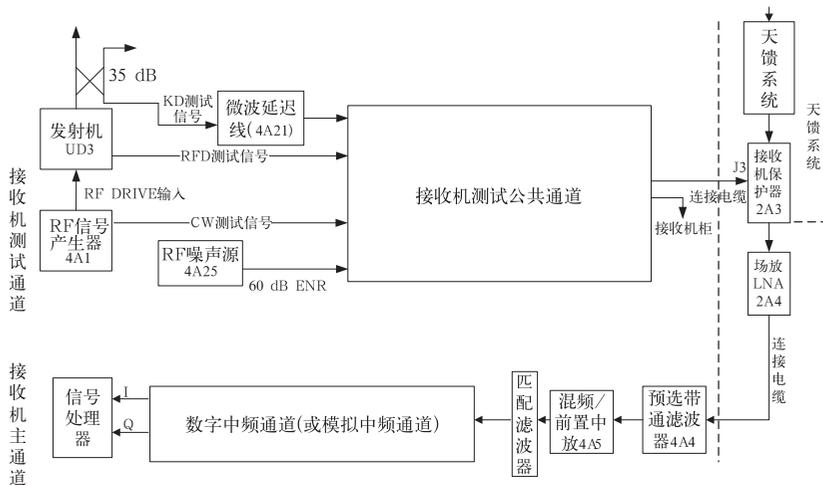


图 2 定标信号流程图(CINRAD/SA/SB)

Fig. 2 Flow graph of calibration signal (CINRAD/SA/SB)

收回波信号和定标信号流程等方面进行理论分析,总结出 CINRAD 雷达回波强度异常的原因和处理方法,并将回波异常进行了分类。

### 3.1 回波强度偏强型

雷达正常工作时突然出现回波强度偏强。分析其原因主要有以下三个方面:

(1) 定标测试信号功率变小,导致接收机前端注入的定标测试信号功率变小,由于在线修正作用导致回波强度突变偏强。

(2) 定标信号源到接收机前端(测试通道)参数损耗增大导致接收机前端注入定标信号功率和定标时测量的功率相比明显减小,由于在线修正作用导致回波强度突变偏强。

(3) 发射功率测量误差增大(在线测量值与机外仪表测量相比偏小),由于在线修正作用导致回波强度异常(回波强度变强)。

从图 1 可知,由于无法监测接收机前端定标信号功率,当测试通道损耗增加使得其功率变小时,会

出现定标信号的测量值变小(目标值不变),错误在线定标修正会导致回波强度偏强。由雷达气象方程同样可以看出,机内发射功率测量误差,将直接导致回波强度目标值误差(测量值不变),错误在线定标修正也会导致回波强度异常。

处理方法:回波强度偏强现象一般回波显示面积正常,也就是说接收机灵敏度正常,结合报警信息和 Calibration. log 文件信息,通过检测接收机前端测试信号是否正常来确定故障点是否在测试通道。

如果测试信号不正常,可在测试软件下用功率计或频谱仪,按照测试通道的信号流程,分级检查测试通道各功能模块和连接电缆损耗、射频衰减器衰减量以及控制是否正常、定标信号输出功率是否正常,定位故障。

如果测试信号正常,应检查 Pathloss. log 文件信息,检查回波强度目标值计算采用的雷达发射功率值是否正常,并和机外仪表测量值比较,如果确定雷达回波强度异常是发射功率测量误差增大所致,表现为机内功率测量值偏小则回波强度偏强,测量

值偏大则回波强度偏弱。通常采用机外仪表标校机内功率测试值,以保证机内外发射功率测量值的一致性,可解决问题。如果器件损坏导致机内功率测量值误差大,需要按照发射功率在线测量流程,逐级检查功率测量探头以及测量信号传输通道、DAU 的 A/D 变换等器件,查出故障点予以排除。

### 3.2 回波强度偏弱型

回波强度出现偏弱现象时一般伴随回波显示面积也会缩小,也就是说接收机灵敏度不正常,如果雷达定标显示正常,无任何报警信息,这种故障现象主要原因是天馈系统损耗(馈源到保护器之间接收支路)误差增大(和出厂时测量值相比损耗增大),由于无法进行在线修正,将导致雷达回波强度偏弱。天馈系统损耗增大导致回波强度减弱现象,有时会伴随天线和发射机发射功率比变坏报警,严重时还伴有天线功率超限(下限)报警。

从图 1 可以分析出,由于定标测试信号没有经过天馈系统(馈源到保护器入口之间通道),天馈系统的损耗增加必然得不到在线定标修正,从而导致回波强度变弱和回波面积减少。

处理方法:天馈系统故障主要检查旋转关节、连接波导损耗,波导是否有机械损坏、变形和打火现象,查出故障点予以处理。

另外还可能出现回波显示面积正常,但回波强度偏弱现象,这主要是测试通道射频衰减器衰减量与标称值相比偏小(相当于测试通道损耗减少)所致,应重点检查衰减器和相关衰减量控制信号传输通道,查出原因加以解决。

### 3.3 回波强度面积缩小型

引起雷达回波强度面积缩小主要是接收机主通道存在问题,这时一般会同时出现接收机噪声温度、线性通道增益定标常数、地杂波抑制或者噪声电平超限报警,这种情况下由于回波强度在线定标修正作用,回波强度一般正常。

从图 1 可以分析出,当接收机主通道存在问题时,由于回波强度在线定标修正作用,会保证回波强度正常,但灵敏度降低会导致回波接收面积减少,接收后级噪声电平变化会导致回波显示异常(杂波点增加、画饼图等)。

处理方法:首先检查接收机前端注入测试信号,如果正常,说明接收机主通道故障,结合报警信息和

Calibration. log 文件信息综合分析,一般如果出现噪声温度偏高,说明接收机主通道前端有问题;如果噪声电平偏高,一般接收机主通道后端有问题。按照接收机主通道信号流程分级用仪表测量主通道相关放大器器件增益及连接电缆、限幅器、延迟线、衰减器等器件的损耗,然后检测中频信号关键点波形参数,最终确定故障器件予以排除。

## 4 回波强度异常典型个例分析

(1) 故障个例 1: 测试公共通道 4A23(两位射频开关)故障引起雷达回波强度异常

故障现象:雷达能正常工作,但雷达回波忽强忽弱,前后相差 10~20 dB 以上,雷达不断报线性通道测试信号变坏,速度/谱宽变坏,相位/幅度平衡变坏。

故障分析:由于雷达可以收到回波,回波面积正常,主通道应该工作正常,一般都是测试通道不稳定,导致回波强度异常。通过检查测试通道相关器件,都可以找到故障原因。

故障处理:首先测试频综各路输出信号,正常;用机内信号源做接收机动态,数据不能连续。运行测试平台,检查测试通道 4A22,4A23 和 4A24,将频综输出的 CW 信号作为信号源,输入到 4 位开关 4A22 的输入端,用小功率测试 4 位开关的输出信号,经检查,确认 4 位开关工作正常。将 CW 信号注入到 4A23 输入端,在无任何衰减下,测试输出信号功率,发现插入损耗超过 20 dB,而 4A23 插入损耗一般 3 dB 左右,打开测试平台,控制衰减器衰减倍数,发现 4A23 已经失去了控制能力,更换新的 4A23 后,检查控制衰减和插入损耗都在规定范围内,雷达恢复正常。

(2) 故障个例 2: 定标信号功率变化导致回波强度突变

故障现象:回波强度不稳定,时而变强,时而变弱,回波显示面积正常,回波异常时伴随 CW 定标信号变坏和线性通道增益定标常数变坏报警。

故障分析:由于回波显示面积正常,说明接收机主通道和天馈系统正常,从回波强度异常和报警信息分析,应属于测试信号功率不稳定或测试通道参数不稳定原因导致的回波强度不稳定。

故障处理:使用测试软件用 CW 定标信号(衰减器衰减量置 0 dB)检查接收机保护器输入口 CW

定标信号功率,发现 CW 定标信号功率不稳定,按照测试通道信号流程依次分级测量各级输出 CW 信号功率,都存在 CW 定标信号功率不稳定现象,进一步检测到接收机频综 J2(CW 测试信号),发现输出功率也不稳定,从而确定为频综故障导致回波强度异常。检测频综发现频综组件 A9 功放输出 CW 测试信号不稳定,更换功率放大器器件,回波强度恢复正常。

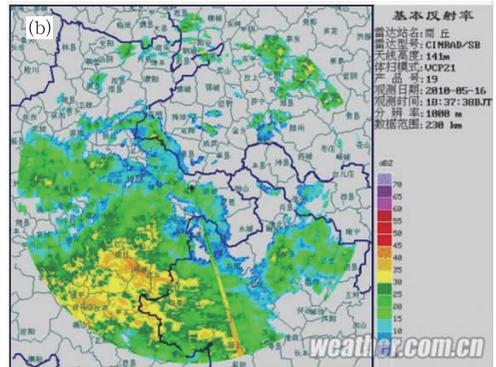
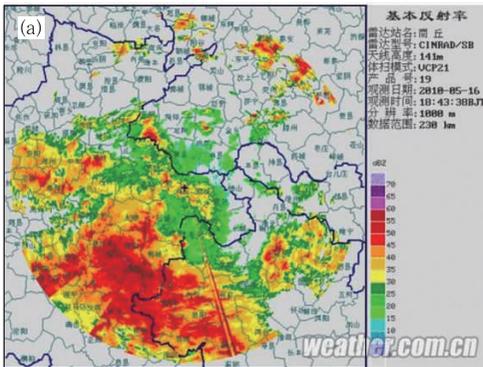


图3 2010年5月16日回波强度图

(a) 异常回波图; (b) 正常回波图

Fig. 3 Pictures of anomalous return intensity (a) and normal return intensity (b)

故障分析:由于回波强度突然变强,且同时报警线性通道增益定标常数超限、发射机功率和天线功率比超限。由于回波显示面积正常,说明接收机主通道和天馈系统正常,伴随发射机功率和天线功率比超限报警,确定故障发生在天线功率检测电路。

进一步检查对应时段的 Calibration. log 文件,内容如下:

18:43:32 CW and RFD REFLECTIVITY:

CW MEASURED = 38.00

CW EXPECTED = 55.64

RFD1 MEASURED = 19.50

RFD1 EXPECTED = 37.34

RFD2 MEASURED = 31.50

RFD2 EXPECTED = 49.34

RFD3 MEASURED = 60.00

RFD3 EXPECTED = 77.34

18:43:32 SHORT PULSE SYSCAL=39.13

正常时 18:37:32 SHORT PULSE SYSCAL=21.46。说明回波强度测量值补偿达 17.67 dB,由于没有相关 CW 和 RF 定标测试信号超限报警,说明是由于回波强度错误修正导致回波强度偏强 17.67 dB,这种原因一般和发射功率测量值偏小有

(3) 故障个例3:发射功率测量误差大导致回波强度变强

故障现象:2010年5月16日18:43,在河南商丘回波强度突然变强 20 dB 左右,回波面积正常,同时相继报警:481 LIN CHAN GAIN CAL CONSTANT DEGRADED; 208 XMTR/ANT PWR RATIO DEGRADED。显示回波强度如图 3a 所示。

关,检查 Pathloss. log 文件,对应时段的回波强度目标值计算发射功率内容为: USING ANT SHORT PULSE PEAK POWER PT=5652.662,天线峰值功率只有 5 kW 左右,与正常值偏差太大,检查发射机输出功率正常(700 kW 左右),进一步确定为机内天线功率测量通道问题。

故障处理:根据上述分析确定天线发射功率测量通道故障,按照发射功率在线测量流程,通过逐级检查发现是天线功率探头故障,更换天线功率探头后,回波强度异常消失,雷达恢复正常运行。显示回波强度如图 3b 所示。

(4) 故障个例4:接收机主通道参数变化引起回波显示异常

故障现象:回波显示噪声异常,回波图上出现圈状噪声回波,随距离增大而增强,仰角越低越明显,回波强度和面积正常。报警显示 Q 通道偏差和噪声电平超限。

故障分析:根据故障现象和报警信息,说明接收机主通道噪声电平增大,由于噪声温度正常且回波强度和面积正常说明接收机前级正常,故障应在接收机后级。

故障处理:首先调整 I/Q 相检通道直流偏置到

零点附近(给 4A13 的 XS12 带上负载帽,调整 Q 通道 DC OFFSET 电位器),Q 通道偏差超限报警消失,开机后发现噪声环依然存在。做动态测试,动态范围只有 35 dB,调整 I/Q 相检和限幅/中放增益,故障仍依旧。进一步检查 RDASC 文件夹中 NOISE.TXT,发现每一次定标系统的噪声电平不稳定,波动范围比较大,如果 I/Q 相检正常,则是 A/D 变换器故障,更换 A/D 变换器后,再次调整 I/Q 相检的相位和幅度平衡,雷达恢复正常。

延伸分析:如果接收机前级出现故障必然导致回波面积缩小,并伴随噪声温度、线性通道增益定标常数超限等报警,但回波强度正常;当接收机后级(视频)出现故障,一般回波强度和面积正常,会伴随噪声电平、通道偏差等报警。

(5) 故障个例 5:系统损耗增大导致回波强度变弱

故障现象:回波强度变弱,回波面积减少,同时报天线功率和发射机功率比超限,天线功率低报警。

故障分析和处理:检查性能参数,发射机输出功率正常,但天线功率太低,根据故障现象,问题应在天馈系统的环流器到天线功率测量点之间,逐级检查,发现方位旋转关节已变形导致损耗太大,更换方位旋转关节后雷达恢复正常。

## 5 小 结

(1) 雷达接收机故障维修人员应熟悉接收机测试通道、信号主通道的信号流程,熟练掌握相关信号

流程的关键点的参数特征和测试方法,能够利用回波强度异常现象,结合相关定标信息及报警信息,就能达到对雷达故障准确定位,快速修复的应急要求。

(2) 当雷达出现线性通道增益定标常数超限报警时,雷达技术保障人员可根据报警信息确定是回波强度异常,还是灵敏度降低导致的接收回波面积减少,就可快速定位是测试通道还是主通道出现故障,用以上方法能很快查明故障点予以排除,从而避免测试信号、测试通道、发射功率测量问题导致的回波强度错误修正现象发生,确保雷达探测资料的可靠性。

(3) 雷达技术保障人员对定标文件记录信息进行定期检查,并定期对雷达回波强度定标进行检验,以确保回波强度资料的可靠性。

## 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] 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.
- [3] 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]. 气象科技,2007,35(3):420-421.
- [4] 王致君,楚荣忠. X 波段双通道同时收发式多普勒偏振天气雷达[J]. 高原气象,2007,26(1):135-136.
- [5] 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.
- [6] 赵瑞金,郝雪明,杨向东,等. 2009 年 7 月 20 日承德龙卷多普勒天气雷达特征[J]. 气象,2010,36(11):68-76.