

赵瑞金,董保华,聂恩旺,等. 2013. 根据异常回波特征和报警信息判断雷达故障部位. 气象, 39(5):645-652.

# 根据异常回波特征和报警信息判断雷达故障部位<sup>\*1</sup>

赵瑞金<sup>1,2</sup> 董保华<sup>2</sup> 聂恩旺<sup>2</sup> 赵博<sup>2</sup>

1 中国气象局大气探测重点开放实验室, 成都 610225

2 河北省气象信息中心, 石家庄 050021

**提 要:** 对 CINRAD/SA 雷达发射机、接收机、伺服系统等不同部位硬件故障产生的异常回波、雷达数据和报警信息进行了分析。指出通过建立实时雷达状态信息库,对基数据进行雷达状态参数检查,形成包含基数据、状态参数、和报警信息在内的异常回波数据块,可实现实时雷达数据质量控制,提高新一代天气雷达数据质量。实际工作中业务人员可通过调用实时数据库获取数据质量信息,对雷达数据是否准确和可用进行判断。根据石家庄雷达站应用统计,可以对 90% 以上的异常回波数据进行剔除,为故障自动识别和探测技术方法的改善提供参考。

**关键词:** 异常回波, 新一代天气雷达, 报警信息, 故障

**中图分类号:** P415

**文献标识码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.05.013

## Diagnosing Fault Position of Radar Based on Abnormal Echo Features and Alarm Information

ZHAO Ruijin<sup>1,2</sup> DONG Baohua<sup>2</sup> NIE Enwang<sup>2</sup> ZHAO Bo<sup>2</sup>

1 Key Laboratory of Atmospheric Sounding, CMA, Chengdu 610225

2 Hebei Meteorological Information Centre, Shijiazhuang 050021

**Abstract:** Abnormal echoes because of transmitter, receiver, and servo fault were analyzed in this article. Affection to archive data and the alarm of different fault were analyzed also. The result shows that constructing radar status information database, inspecting radar status information of archive, and forming abnormal data block including archive, status, and alarm can improve data quality, supply credibility information for users. According to statistics of Shijiazhuang radar site, 90% abnormal radar data can be eliminated. These supply reference for radar data quality control, fault diagnosing, and sounding technology improvement.

**Key words:** abnormal echoes, CINRAD, alarm information, fault

## 引 言

多普勒天气雷达是中小尺度灾害性天气的监测工具。然而,当雷达发射机、接收机后、伺服系统出现故障时,常常导致雷达探测数据错误(周红根等, 2008;李明元等,2012;胡帆等,2011)。并且具有突发性,预报和业务应用人员难以识别和无法控制等

特点。这些异常雷达探测数据一旦进入业务系统,就会降低短时临近预报系统及数值预报模式的准确率,不仅影响本地预报员对回波的识别、判断,而且进入数据共享系统后,对中国新一代多普勒天气雷达网有着重要影响,直接影响周边地区及国家级精细化预报及其他定量气象业务应用的精度(邹强, 2009;刘黎平等,2003),只有进行雷达数据质量控制,才能够过滤错误数据,保障雷达探测数据的可靠

\* 中国气象局大气探测重点开放实验室开放课题(KLAS201109)和河北省气象局科研项目(11ky11)共同资助

2012 年 5 月 1 日收稿; 2012 年 12 月 28 日收修定稿

第一作者:赵瑞金,主要从事多普勒天气雷达应用研究. Email: zhaoruijin@sina.com

性,满足各种业务应用要求,为预报方法的改进提供科学依据。目前,中国新一代多普勒天气雷达网建设已经初具规模,VIPS 等短时临近预报系统已开始业务运行,并且多普勒雷达资料在数值预报模式中开始应用,中国气象局开展了雷达数据共享、组网拼图、资料同化等业务应用和研究(肖艳皎等,2007;2008;张志强等,2008)。在新一代天气雷达数据质量控制方面,对影响雷达探测数据质量的因素如地物污染(刘黎平等,2007;江源等,2009)、雷达系统设置(孟昭林等,2006;周红根等,2012;王志武等,2008)等进行了研究。

本文在对异常回波搜集整理的基础上,分析了雷达系统故障时状态、标定和报警信息参数的变化特征。提出建立包括报警信息和状态参数的省级及单站新一代天气雷达性能参数实时及历史数据库,并组成包括雷达产品、基数据和报警信息等数据的异常回波数据块的数据质量控制思路,供雷达故障的自动识别和数据分析使用。能够提高新一代天气雷达产品数据质量,对于提高预报准确率,定量估测降水,发挥新一代天气雷达效益都具有重要意义。

## 1 从雷达标定、状态和报警文件提取故障信息方法研究

### 1.1 雷达标定和状态文件

在雷达正常工作时,每个体扫进行 VCP 定标,每 8 h 进行运行状态检查。发射机和天线的平均功率在每个仰角切面结束时更新,每次定标检测结束,自动生成最新的 Calibration. log 和 Status. log 文件,利用该文件可以实时了解雷达的设备状态。

### 1.2 雷达报警文件

新一代天气雷达系统报警信息是依赖于各种传感器、电器参数获取装置及有关软件等机内检测设备获取的,各种信号处理后通过 RDASC 产生、接收报警,然后向 RPG 传送。在雷达标定过程中,如果检测到系统故障或者系统参数偏离设定的阈值时,产生报警。在 RDASC 显示的各类报警有 275 个,根据报警对系统的影响,可将报警分为:不可工作(IN)、必须维护(MM)、需要维护(MR)、不适用(N/A)。根据报警出现的部位,可分为发射机(XMT)、接收机/信号处理器(RSP)、天线座(PED)、控制

(CTR)、雷达系统控制台(UCP)、用户(USR)、塔/市电(UTL)、存档 A(ARCH)。根据检测条件,可以将报警分为:边沿检测报警(ED)、故障报警(OC)、过滤后的故障报警(FO)。当雷达设备出现故障时,系统进行实时报警。

从异常雷达数据的报警信息来看,不可工作报警主要分布在发射机和天线座两大部分,从报警对系统的影响上看,此类报警级别最高。当系统处于操作状态时,报告“不可操作”的报警后,发射机自动切断高压,RDASC 自动将系统状态改为待机,重新初始化状态序列控制器,并报告指示状态改变原因的报警。

必须维护报警在对系统的影响上,仅次于不可工作报警,也是数量最多的一类报警,当出现必须维护故障时,表明系统要在适当的时候采取维护措施,否则可能使系统进入不能工作状态。

需要维护报警是系统参数偏离正常值,达到系统设定的维护阈值时报告的一种报警,当出现需要维护报警时,表明系统要尽快采取维护措施,否则可能使系统进入必须维护状态。

对系统无影响报警,当此种故障发生时,对系统无影响,大多数是为操作者提供某方面的信息。

### 1.3 雷达状态信息库及异常数据块的建立

在日常雷达资料使用过程中,使用者一般仅能够获得雷达基数据和产品资料,缺少雷达状态和参数信息,这些信息以文件形式存放在 RDASC 计算机,雷达站进行维护和更换计算机时很可能造成数据丢失。此外,中国气象局目前要求上传的状态信息,没有建立可供预报人员和雷达用户使用的状态数据库。因此,需要建立省级和单站的新一代天气雷达性能参数实时及历史数据库,对雷达基数据进行可疑、可用和不可用分类,并实现数据共享。业务人员可实时或事后通过检索数据库相关信息,了解该数据的可靠性,作出数据能否使用的判断。特别是形成包含基数据、状态参数、报警信息等在内的数据块,供用户检索并给出有关数据质量方面的必要提示,为预报和探测方法的改善提供科学依据。

## 2 异常雷达回波分析

通过对石家庄和沧州雷达站异常回波搜集整理,找出异常回波对应的雷达产品、基数据、状态参

数、报警信息等数据。下面按照不同故障部位,对产生的异常回波和报警信息进行分析。

### 2.1 接收机和信号处理器

接收机和信号处理器的异常回波主要是出现饼状、环状、扇状回波和强度或范围异常等。

#### (1) 饼状、扇状、环状回波

饼状回波特点是屏幕出现大量密集噪点,将正常回波淹没。饼状回波主要是由于接收机主通道和信号处理器故障引起,当接收机主通道部件损坏引起噪声电平上升,或当信号处理器的同步控制、时钟电路等出现故障,都可能会造成信号处理异常,出现饼状回波。例如图 1a 是 2006 年 4 月 23 日石家庄雷达的饼状回波,故障出现时噪声温度达到 7000 K 以上,出现线性通道噪声电平降级、系统噪声温度降级、系统噪声温度需要维护报警。经检查发现是数控衰减器故障导致噪声温度过高。从图 1a 可见,由于距离订正缘故,噪声回波从雷达站向外出现环状,但如果背景噪声信号过强,超过雷达色标范围,则不会出现环状,为紫色圆饼,如图 1b。

扇状和环状回波也往往是接收机或信号处理器故障引起,图 2a 是沧州雷达 2010 年 12 月 29 日调试期间出现的扇状回波,系统出现线性通道增益标定检查变差报警,更换信号处理器后正常。

图 2b 是 2004 年 7 月 2 日石家庄雷达出现的扇状回波,故障出现时系统报接收机 +5 V、±18 V、-9 V, A/D+5 V 电源错误,出现中频衰减器步进量降级和 I/Q 幅度平衡变差报警。将接收机电源的接地端接至外壳后正常。

图 3 是 2007 年 8 月 2 日出现的 1 次环状回波,出现线性通道增益标定检查变差报警。重新调整接收机和信号处理器相关电缆后恢复正常。

#### (2) 回波强度或范围变化

接收机系统的异常回波一般表现为强度或范围的变化,如果是接收机主通道有问题,会导致回波面积明显减少,同时伴随接收机噪声温度、线性通道增益定标常数等系列报警。图 4 是由于主通道射频衰减器故障导致回波信号明显减弱。如果测试通道有问题,一般回波面积正常,回波强度异常。图 5 是由于前后两个体扫采用不同的地物抑制参数,回波强

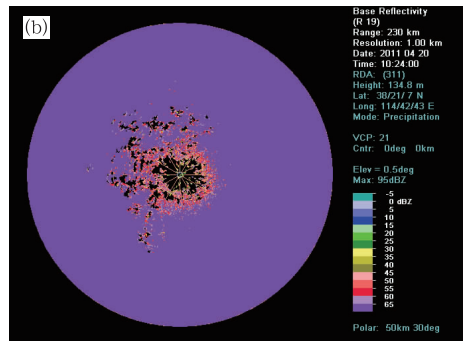
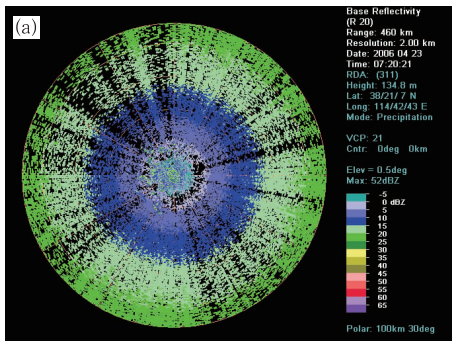


图 1 饼状回波

Fig.1 Cake shape echo

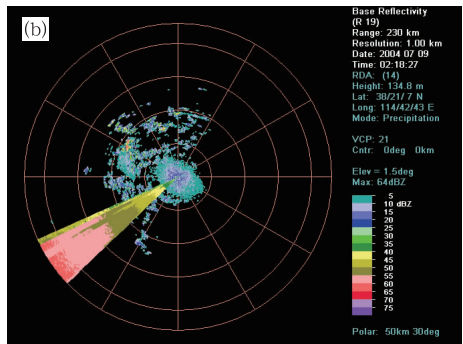
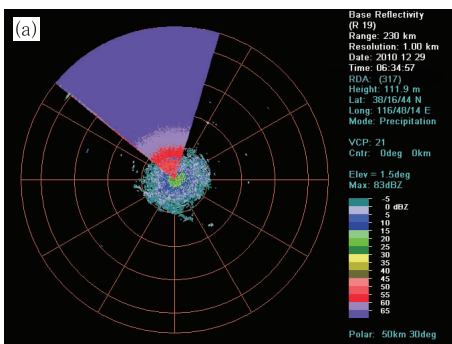


图 2 扇状回波

Fig.2 Fan shape echo

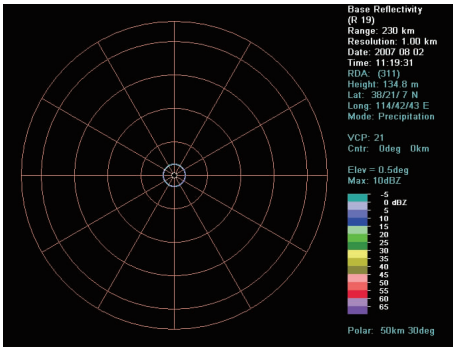


图 3 环状回波  
Fig. 3 Ring shape echo

度存在明显差异(潘新民等,2010)。

当信号处理器无 9.6 MHz 主时钟信号故障,将导致发射机放大链电路和接收机主通道参数一系列报警,造成无回波。

### 2.2 伺服系统

新一代天气伺服系统在电路上采用了三个环路的结构形式:位置环、速度环和加速度环。将数字控制电路与机械电机联系起来的是数模转换器和轴角编码器。信号链路上任何环节出现问题都可能造成天线停转、失控、转速不均匀或闪码等现象。从而出

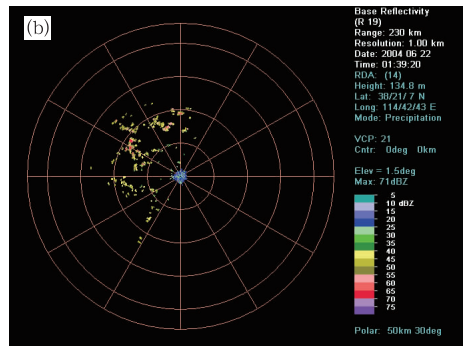
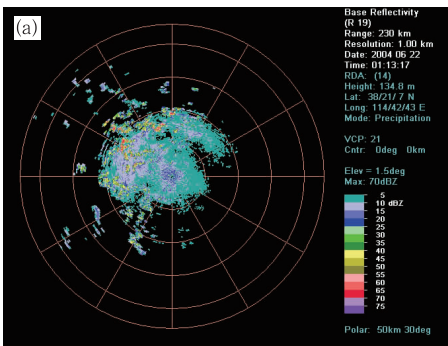


图 4 回波范围突然变小  
Fig. 4 Echo range decrease

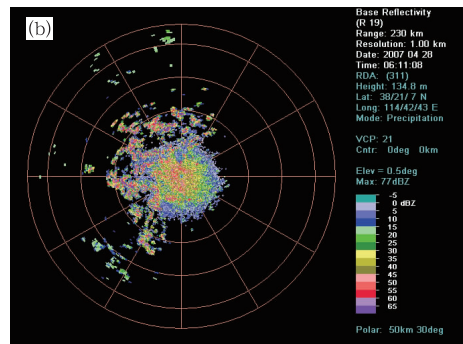
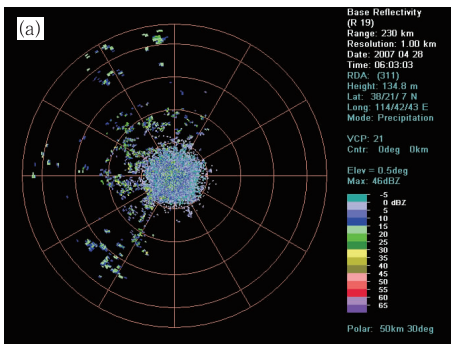


图 5 回波突然变强  
Fig. 5 Echo intensity increase

现丝状、V 型缺口回波或探测范围异常(蔡勤等,2011)。

#### 2.2.1 丝状回波

丝状回波主要是由于雷达伺服系统方位上运行不稳定,角码转换跳跃,出现闪码,造成在某些径向上采样数据缺失,雷达生成基数据时利用已有相邻径向数据进行平滑所致。在雷达产品上表现为在某些方位上相邻径向,相同距离上回波强度相同,出现

了像蜘蛛网一样的回波,如图 6 所示。

#### 2.2.2 V 形缺口

当伺服系统俯仰运行不稳定,造成天线运转时上下摆动,出现闪码,或方位控制电路异常时都可能形成“V”形缺口回波,俯仰闪码造成的“V”型缺口一般是雷达站附近回波正常,远距离回波突然消失。而方位控制系统故障形成的“V”型缺口,会出现扫描线和回波重叠现象。

表 1 接收机或信号处理器故障出现异常回波的主要报警信息

Table 1 Abnormal echo alarm because of receiver or signal processor fault

| 代码  | 状态 | 类型 | 设备  | 英文报警信息                                | 中文报警信息         |
|-----|----|----|-----|---------------------------------------|----------------|
| 527 | MM | ED | RSP | LIN CHAN TEST SIGNALS DEGRADED        | 线性通道测试信号变坏     |
| 480 | MM | ED | RSP | LIN CHAN GAIN CAL CHECK DEGRADED      | 线性通道增益标定检查变差   |
| 470 | MM | ED | RSP | LIN CHAN NOISE LEVEL DEGRADED         | 线性通道噪声电平降级     |
| 471 | MM | ED | RSP | SYSTEM NOISETEMP DEGRADED             | 系统噪声温度降级       |
| 481 | MM | ED | RSP | LIN CHAN GAIN CAL CONSTANT DEGRADED   | 线性通道增益标定常数降级   |
| 474 | MM | ED | RSP | IF ATTEN STEP SIZE DEGRADED           | 中频衰减器步进量降级     |
| 472 | MM | ED | RSP | I/Q AMPBALANCE DEGRADED               | I/Q 幅度平衡变差     |
| 505 | MM | ED | RSP | I/Q AMPBALANCE-MAINT REQUIRED         | I/Q 幅度平衡需要维护   |
| 503 | MM | ED | RSP | IF ATTEN STEP SIZE-MAINT REQUIRED     | 中频衰减器步进量需要维护   |
| 521 | MR | ED | RSP | SYSTEM NOISE TEMP DEGRADED            | 系统噪声温度需要维护     |
| 523 | MM | ED | RSP | LIN CHAN RF DRIVE TST SIGNAL DEGRADED | 线性通道射频激励测试信号变坏 |

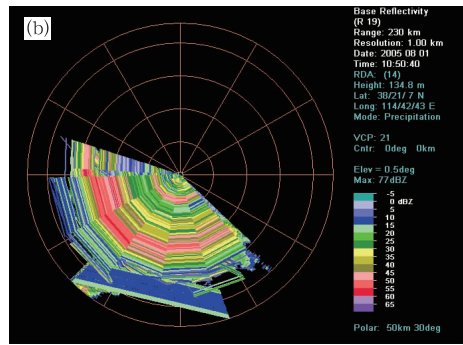
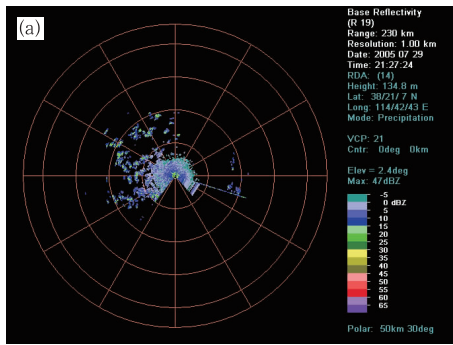


图 6 丝状回波

Fig. 6 Silk shape echo

图 7 是石家庄雷达站 2007 年 8 月 2 日 03:54 的 0.5°反射率因子产品,可以看出,在图 7 上有很多“V”缺口。检查发现 RDASC 程序运行时,天线俯仰不能保持稳定,出现闪码现象。并有仰角正常限位、仰角放大器禁用及仰角死区限位等报警,最后确定为数字控制单元元件虚焊造成。

图 8 为 2004 年 7 月 19 日出现的“V”型缺口,出现天线座停止,天线座无法停在停放位置报警,用 RDASOT 控制天线,发现天线运转时方位角

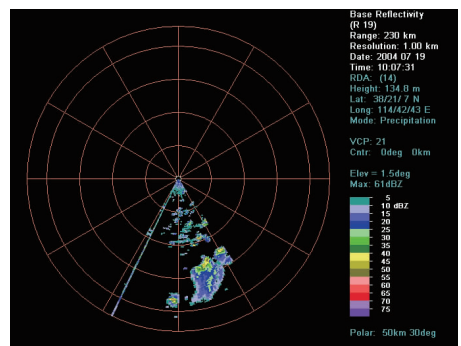


图 8 方位旋转变压器故障产生

Fig. 8 Formed by azimuth rotating transformer fault

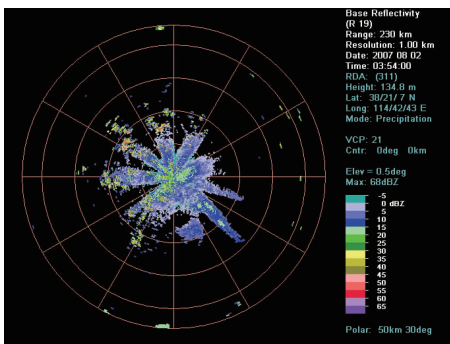


图 7 俯仰闪码产生

Fig. 7 Formed by elevation flash code

码不变,更换数字控制单元两块电路板,故障不变,拿下轴角盒,用自带的旋转变压器实验正常,排除数字控制单元和轴角盒问题,推动天线发现同步电机未随天线转动,判断为同步电机问题,更换后正常。

### 2.2.3 回波位置改变

图 9a 是 2005 年 7 月 22 日 00:29:33 雷达回波,雷达突然停机,00:49:22 重新开机后的回波如图 9b 所示,两个体扫回波位置相差 90°,检查雷达

发现 PARK 位异常,数字单元上方位角码为 PARK 位,但是天线实际方位不是在 PARK 位置,检查天线发现方位旋转变压器联轴节顶丝滑扣,方位旋转变压器旋转不灵活。

### 2.2.4 回波范围突然增大或减少

当俯仰出现闪码,或出现天线过冲等现象时,由于扫描仰角异常增高或降低,会出现相邻的 2 个体扫回波范围相差很大(图 10 和图 11)。

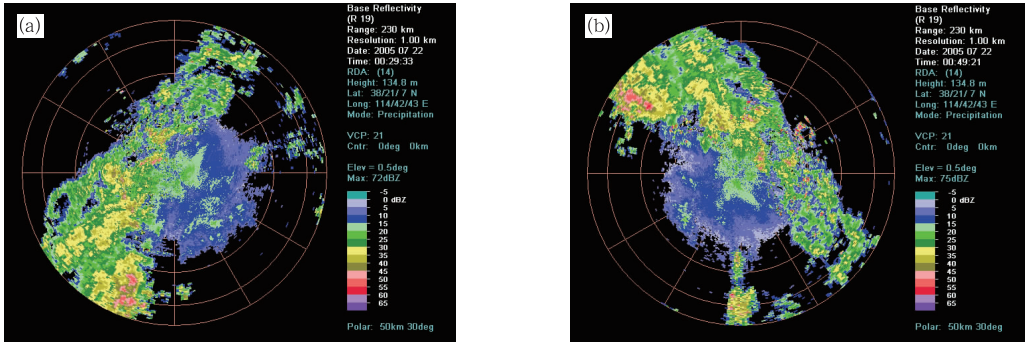


图 9 回波位置突变

Fig. 9 Echo position change

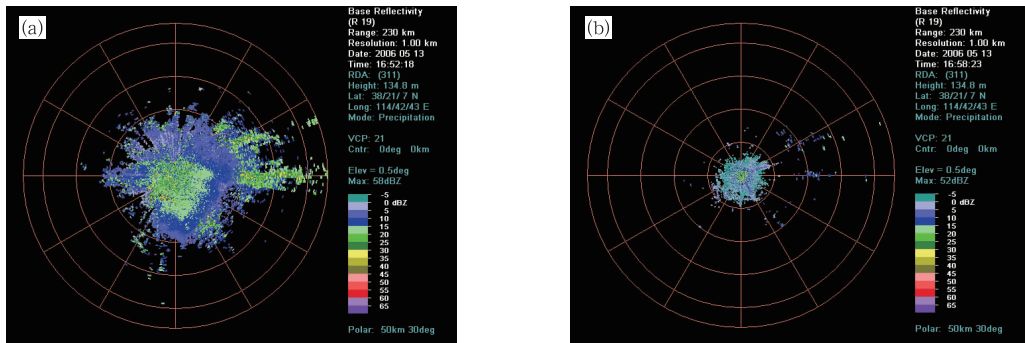


图 10 回波范围减少

Fig. 10 Echo range decrease

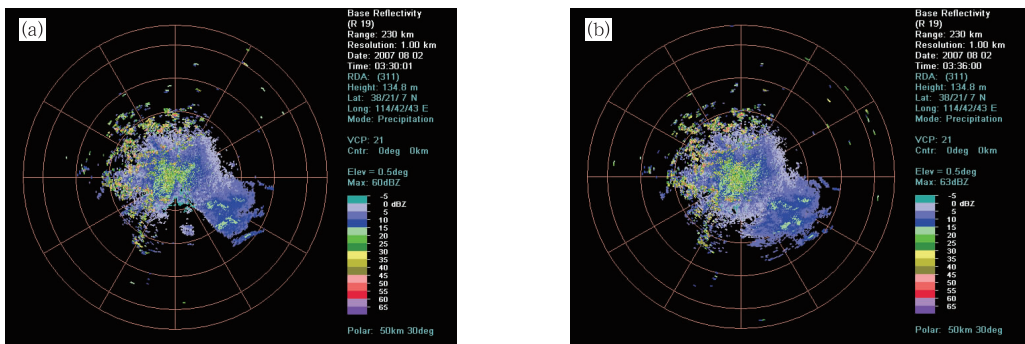


图 11 回波范围突然增大

Fig. 11 Echo range increase

从图 10 可以看出,2006 年 5 月 13 日雷达工作时,前后两个体扫回波面积变化很大,后一体扫回波面积明显减小。检查发现天线俯仰轴在定位位置附近摆动,位置误差±0.5°,清洗俯仰测速机碳刷后正常。图 11 是 2007 年 8 月 2 日俯仰出现闪码故障的

回波图,可见相邻体扫回波面积明显不同。

### 2.3 发射机

发射机主要由高频放大链、高压调制器、高低压电源和控制保护电路组成。发射机故障主要是出

表 2 伺服系统出现故障出现异常回波的主要报警信息

Table 2 Abnormal echo alarm because of servo fault

| 代码  | 状态 | 类型 | 设备  | 英文报警信息                      | 中文报警信息      |
|-----|----|----|-----|-----------------------------|-------------|
| 300 | IN | ED | PED | ELEVATION AMPLIFIER INHIBIT | 仰角放大器禁用     |
| 306 | IN | ED | PED | ELEVATION STOW PIN ENGAGED  | 仰角收藏销啮合     |
| 308 | MM | ED | PED | ELEVATION-DEAD LIMIT        | 仰角死区限位      |
| 311 | MM | ED | PED | ELEVATION-NORMA LLIMIT      | 仰角正常限位      |
| 336 | IN | ED | PED | PEDESTAL DYNAMIC FAULT      | 天线动态故障      |
| 338 | IN | ED | PED | PEDESTAL STOPPED            | 天线座停止       |
| 339 | IN | ED | PED | PEDESTAL UNABLE TO PARK     | 天线座无法停在停放位置 |

现无回波、“V”型缺口、回波强度或范围异常等现象,发射机故障形成的“V”形缺口与伺服系统不同,缺口从测站中心开始,边界清晰。

发射机放大链电路造成的无回波常伴随发射机功率低、射频激励以及 KD 测试信号异常和标定超限、地物杂波异常等报警。

图 12a 是 2004 年 7 月 5 日出现的一次“V”型缺口回波,当故障现象出现时,雷达给出发射机 +40 V 电源故障和发射机高压开关错误报警。更换 +40 V 电源和开关组件的几个芯片后正常。

在发射脉冲期间,为保护低噪声放大器在发射脉冲期间不致损坏,在它的前面设置接收机保护器,在发射脉冲之前,时序控制电路将下光端机电路的接收机保护命令信号发送给接收机保护器,置二极

管开关于高隔离状态。在发射脉冲结束后,保护器的二极管开关处于低损耗状态,雷达回波或测试信号以安全阈值以下的电平进入低噪声放大器,从而保证了接收机前级放大器的安全。下光端机接收上光端机的所有信号,同时将接收机保护器的输出信号传送给 RDA 计算机。当上下光端机通信出现异常时,将导致发射机不能正常工作。

图 12b 是由于控制信号异常形成的“V”型缺口,雷达给出发射机功率机内测试设备故障和天线功率机内测试设备故障报警。检查发现上光端机的上光纤板外露,有一螺丝垫片掉到上光纤板上,导致雷达无保护器响应信号,出现上述故障。由于发射机故障出现异常回波的主要报警信息见表 3。

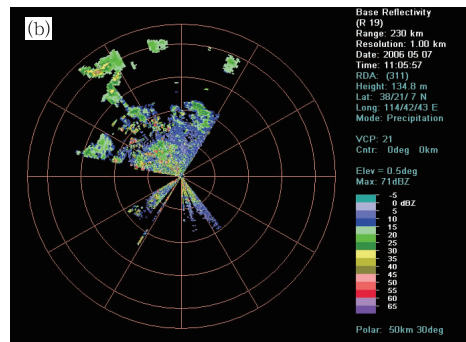
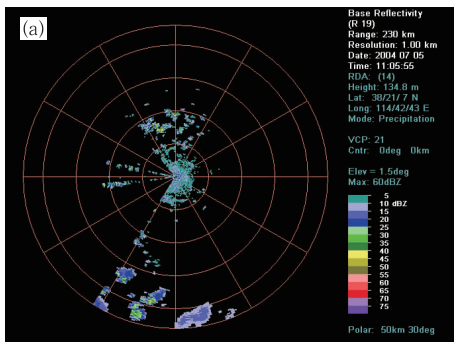


图 12 V 型缺口

Fig. 12 V shape echo

表 3 发射机故障出现异常回波的主要报警信息

Table 3 Abnormal echo alarm because of transmitter fault

| 代码  | 状态 | 类型 | 设备  | 英文报警信息                        | 中文报警信息        |
|-----|----|----|-----|-------------------------------|---------------|
| 208 | MM | ED | XMT | XMTR/ANT PWR RATIO DEGRADED   | 发射机/天线功率比率降级  |
| 200 | MM | ED | XMT | TRANSMITTER PEAK POWER LOW    | 发射机峰值功率低      |
| 204 | MM | ED | XMT | ANTENNA PEAK POWER LOW        | 天线峰值功率低       |
| 96  | IN | ED | XMT | TRANSMITTER HV SWITCH FAILURE | 发射机高压开关故障     |
| 110 | MM | ED | XMT | XMTR/DAU INTERFACE FAILURE    | 发射机机/DAU 接口故障 |
| 98  | MM | ED | XMT | TRANSMITTER IN OPERATIVE      | 发射机不可操作       |
| 209 | MM | ED | CTR | TRANSMITTER POWER BITE FAIL   | 发射机功率机内测试设备故障 |
| 210 | MM | ED | CTR | ANTENNA POWER BITE FAIL       | 天线功率机内测试设备故障  |

### 3 异常雷达回波数据特征与质量控制

按照对回波的影响,可以将异常雷达数据分为回波形态改变、回波位置改变、回波强度和范围改变等四类。伺服系统的故障主要对回波位置、形态产生影响。接收机、发射机和控制系统往往造成回波的强度、范围和形态的改变。

通过对石家庄雷达站 40 次异常回波报警信息分析,共有 38 次出现报警,占异常回波总数的 95%,异常雷达回波数据所对应的报警信息主要为不可用(IN)、必须维护(MM)、需要维护(MR)报警,但也有部分异常回波无报警信息。例如当石家庄雷达出现闪码和信号处理器故障时均出现过没有任何报警信息的情况。因此,利用报警信息可以剔除大部分雷达异常数据。雷达发射机、伺服系统发生的故障大部分都是“IN”类型的报警,接收机发生的故障以“MR”和“MM”报警为主。

按照数据完整性可将基数据分为完整和不完整两类。根据对 40 次异常回波出现部位的统计,伺服系统共出现 13 次异常回波,其中 10 次基数据不完整。当接收机保护器控制电路引起发射机不能正常发射导致出现“V”形缺口或无回波共 11 次,基数据均完整。接收机和信号处理器故障出现饼状、扇状和环状回波共 11 次,8 次基数据完整。当出现设备不可用(IN)的报警信息时对应的体扫数据大部分为不完整。

从前面的分析可以看出,出现异常雷达回波时往往伴随报警信息、数据不完整等现象。因此,可建立雷达状态实时信息库,记录每个体扫数据的雷达状态参数、标定和报警信息,业务人员可通过调取数据库信息了解每个体扫数据的质量情况。在此基础上,对异常雷达回波进行字节数检查,设置阈值,剔除字节数存在明显错误的的数据,结合人工识别和分析,可实现雷达数据质量控制,有效提高雷达数据质量,根据对石家庄雷达站资料统计,利用上述方法可以剔除 90% 以上的异常回波数据。同时,形成包括基数据、状态信息和报警信息在内的雷达异常回波数据块,供业务人员对资料进行研究和分析,为故障的自动识别和探测技术方法的改善提供参考。

### 4 小 结

通过建立雷达状态信息数据库,为每个雷达基数据提供了相应的档案信息,大大方便了使用者对资料可靠性的检查。同时,通过对数据进行完整性、报警信息检查并分类后数据质量得到明显提高,可为雷达资料同化和短时临近预报系统提供更加准确、可靠的雷达资料,也便于雷达资料的管理。在实际业务中,业务人员可通过实时了解雷达基数据对应的雷达状态参数信息,对数据做出可用与否的判断,实现对雷达数据质量的实时控制。

#### 参考文献

- 蔡勤,柴秀梅,周红根,等. 2011. CINRAD/SA 雷达闪码故障的诊断分析. 气象, 37(8):1045-1048.
- 胡帆,柴秀梅,王凌震,等. 2011. 利用微波功率传感器判断新一代天气雷达故障. 气象, 37(8):1042-1044.
- 江源,刘黎平,庄薇. 2009. 多普勒天气雷达地物回波特征及其识别方法改进. 应用气象学报, 20(2):203-213.
- 李明元,陈明林,左经纯,等. 2012. 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. 气象, 38(1):123-128.
- 刘黎平,吴林林,杨引明. 2007. 基于模糊逻辑的分步式超折射地物回波识别方法的建立和效果分析. 气象学报, 65(2):252-260.
- 刘黎平,张沛源,梁海河,等. 2003. 双多普勒雷达风场反演误差和资料的质量控制. 应用气象学报, 14(1):17-29.
- 孟昭林,王红艳. 2006. 提高新一代多普勒天气雷达产品数据质量的途径与方法. 气象科技, 34(Z1):85-89.
- 潘新民,柴秀梅,黄跃青,等. 2010. CINRAD/SA&SB 回波强度定标故障的诊断分析和解决方法. 气象, 36(12):122-127.
- 王志武,蔡作金,周宽宏,等. 2008. CINRAD/S-RDA 定标常见问题分析. 气象科技, 36(3):349-354.
- 肖艳姣,刘黎平,杨洪平. 2007. 区域雷达网同步观测对比分析. 气象学报, 65(6):919-927.
- 肖艳姣,刘黎平,杨洪平. 2008. 基于天气雷达网三维拼图的混合反射率因子生成技术. 气象学报, 66(3):470-473.
- 张志强,刘黎平,王红艳,等. 2008. 华北区域四部雷达探测强度与定位一致性分析. 气象, 34(9):22-27.
- 周红根,柴秀梅,胡帆,等. 2008. 新一代天气雷达回波异常情况分析. 气象, 34(6):112-115.
- 周红根,柴秀梅,胡帆,等. 2012. CINRAD/SA 发射机极限改善银子受干扰的成因分析. 气象, 38(8):1029-1032.
- 邹强. 2009. 多普勒天气雷达数据质量控制方法探讨. 西南科技大学学报, 24(1):56-61.