

郭泽勇, 梁国锋, 敖振浪. 2014. CINRAD/SA 雷达空间定位误差诊断方法与个例分析. 气象, 40(10): 1266-1270.

CINRAD/SA 雷达空间定位误差 诊断方法与个例分析^{*1}

郭泽勇¹ 梁国锋¹ 敖振浪²

1 广东省阳江市气象局, 阳江 529500

2 广东省大气探测技术中心, 广州 510080

提 要: 空间定位误差造成虚假回波, 直接影响雷达观测资料的可靠性, 对预报造成干扰。项目小组从全国各 CINRAD/SA 台站采集到 17 个空间定位故障案例, 结合 CINRAD/SA 雷达天伺系统电信号流程和关键点的参数特征, 对可能导致雷达空间定位误差的所有环节逐个进行分析, 归纳总结出 CINRAD/SA 雷达空间定位误差诊断方法。最后从案例库中选取 3 个典型个例展开分析, 对台站快速排除空间定位故障提供指导思路。

关键词: 大气探测, 定位误差, CINRAD/SA 雷达, 天线, 诊断方法

中图分类号: P412

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.10.011

Diagnosis Method of Spatial Positioning Error of CINRAD/SA Radar and Case Analysis

GUO Zeyong¹ LIANG Guofeng¹ AO Zhenlang²

1 Yangjiang Meteorological Office of Guangdong Province, Yangjiang 529500

2 Guangdong Atmospheric Observation Technology Centre, Guangzhou 510080

Abstract: Spatial positioning error causes false echoes and affects the reliability of radar observation data, resulting in interference on forecasts directly. Our project team acquired 17 cases from the nationwide CINRAD/SA radar stations. Combining with flow direction of antenna servo system signal and parameter characteristics of key components, this paper gradually analyzes the factors conducting spatial positioning error and summarizes the method of diagnosing such problems. Finally, three representative cases are analyzed, which provides guidance for removing such malfunction quickly.

Key words: atmospheric sounding, positioning error, CINRAD/SA radar, antenna, diagnosis method

引 言

随着全国新一代天气雷达布网完成并投入业务运行, 新一代天气雷达的技术保障愈发显得重要, 各台站也积累了丰富的维护保障经验。陈玉宝等(2013)将 GPS 精确定位技术与全站仪测量相对高度结合起来, 提出了一种测量天气雷达的馈源坐标

的方法, 可使天线馈源的海拔高度测量精度达到 10 m 以内。白峰(2003)分析了单脉冲雷达采用卡塞格伦天线时, 其天馈线所产生的误差, 该误差影响了雷达跟踪精度和稳定性, 针对此技术问题进行分析计算, 提出了相应的解决措施。蔡勤等(2011)通过对 CINRAD/SA 雷达伺服信号链路进行分析, 查找闪码故障的产生原因和检测检修方法, 为雷达技术保障人员提供现场维护、维修方面的经验。李明

* 广东省气象科技项目(2012B36)资助

2013 年 8 月 30 日收稿; 2014 年 6 月 29 日收修定稿

第一作者: 郭泽勇, 主要从事 CINRAD/SA 雷达技术保障和应用. Email: guozeyong@126.com

元等(2012)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 年多来发生的 10 次方位伺服系统故障维修工作进行归纳总结。柴秀梅等(2011)对雷达回波强度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。李柏等(2013)利用我国新一代天气雷达网获得的大量实例资料分析了新一代天气雷达在实际应用中对大尺度天气系统、中尺度天气系统以及对我国产生重要影响的梅雨锋暴雨的监测能力。赵瑞金等(2013)、周红根等(2007)、胡东明等(2006; 2007)、王志武等(2012)、潘新民等(2009)及敖振浪(2008)从不同方面介绍了新一代天气雷达发射机分系统、伺服分系统和天线分系统等故障处理方法。在雷达信号处理(Keeler et al, 1990)、地物抑制(Pratte et al, 1995)、降水估计(Smith, 1990)、数据质量(Kessinger et al, 2001)等方面,已有大量学者做了许多的研究工作。

据项目小组“基于 web 的雷达故障案例采集与处理平台”从全国新一代天气雷达站采集到的相关案例统计,自 2004—2013 年,全国各 CINRAD/SA 雷达台站共计发生空间定位故障 17 例。由于此类故障出现频率不高,目前业界对这类问题也尚未形成一个系统的排查方法。空间定位误差与雷达天伺系统电信号流程密切相关,其中很多环节都有可能造成定位误差,使得台站技术保障人员排查起来非常困难。考虑到空间定位问题带来的严重性,总结出一个快速解决定位故障的方法显得非常有必要。基于上述情况,本文从天伺系统电信号流程入手,结合几次典型案例,对定位误差源展开分析,总结出一套系统的空间定位误差诊断方法,对台站技术保障人员解决此类问题提供思路。

1 引起定位误差的原因

天伺系统的电信号流程如图 1 所示,来自天线座组合的方位、俯仰两路实时机械信号经过同步箱带动旋转变压器旋转后转变为轴角信息(转速信号和位置数字信号等角度量)。轴角信息经过轴角盒 R/D 板进行编码后转换为 RDA 计算机可直接读取的数字电压信号,再通过光纤链路传到 DCU,并通过 DAU 底板送入 RDA 计算机,RDA 计算机根据原本希望的角度与天线返回实际角度两者之间差值

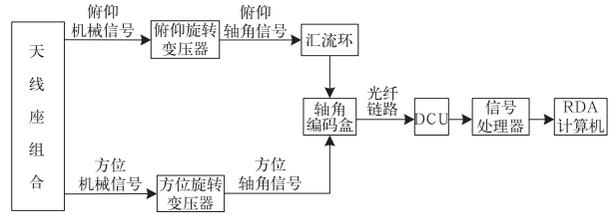


图 1 天伺系统电信号流程

Fig. 1 Flow direction of antenna servo system signal

来发布控制命令。

通常情况下,产生空间定位误差的因素有以下几种。

1.1 天馈系统某环节异常

1.1.1 天线水平度

天线座水平偏差较大时,直接影响雷达方位和俯仰精度,尤其对俯仰影响比较大。可通过合像水平仪检查天线水平度,如果超出指标,可通过以下方法调整天线座水平:松开天线座 12 个固定螺栓,根据水平仪测量得到的方位误差值适当地增加或减少垫片,依次完成各点调整,最后将天线座紧固,再进行测量。需要注意的是,由于读数的点与实际垫片的点不能完全重合,所以需要重复操作几次后方能达到要求。

1.1.2 旋转变压器

旋转变压器主要完成对天线轴角位移信息的检测。在 CINRAD/SA 直流伺服系统中,旋转变压器为中电集团 21 所生产的无接触双通道旋变发送机(图 2), $Z_1 Z_2$ 为激磁输入端, $D_1—D_8$ 脚为输出端。

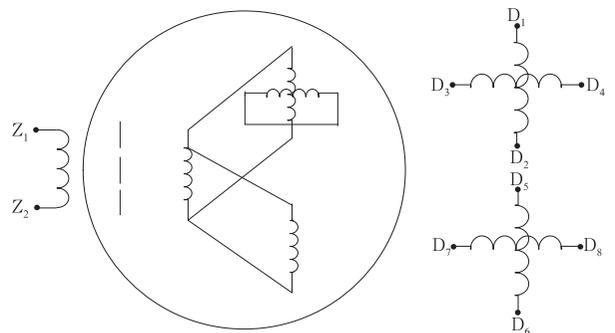


图 2 旋转变压器电气原理图

Fig. 2 Resolver electrical schematics

检测旋转变压器输出波形($D_1—D_8$)时,关伺服强电、开照明,天线固定在一个位置,无需人工推动天线,即可保证旋变有输出。这是因为旋变是通过

正余弦之间的相位差来测量的,所以天线只要固定在一个方位即可保证正余弦有一个固定的相位差,这样旋变就会输出静态的正余弦波形。若天线转动,则相位差变化大且不稳定,其输出波形也不稳定。旋转变压器异常有可能造成实际角度和显示角度不一致,可以通过旋转变压器各输出端电阻和输出波形来判别器件本身是否出现异常,如不正常则更换问题器件。

1.1.3 同步箱

同步箱是天线座中实现轴位检测功能的装置,一般由轴位传感器和传动元件组成,通过轴位传感器把天线转角转换成计算机或其他装置可以利用的电信号输出,用以反映天线的运动规律。同步传动机构中的齿隙,直接影响到传递数据的准确度,将使天线的实际转角与机构的输出转角之间产生误差,进而天线的实际方位角与输入信号所确定的方位角之间就出现了误差。在项目小组统计的空间定位误差案例中,出现 3 例因同步箱故障或同步箱联轴节松动导致的空间定位误差,分别是 2004 年 7 月 19 日河北石家庄雷达站、2012 年 9 月 6—9 日福建龙岩雷达站和 2011 年 5 月 17—22 日江苏盐城雷达站。

1.1.4 轴角盒

轴角盒内 R/D 板上 A/D 转换模块损坏导致串行数据输出异常,进而导致天线定位出现偏差。可通过用示波器测量 R/D 板上 A/D 转换模块对应输出口,若串行数据输出不稳定,导致在天线不转动的情况下也频繁跳动,则应更换 R/D 板备件或整个轴角编码盒。

1.1.5 齿轮间隙

在天线不转动的情况下,人工轻推天线,感觉天线在水平方向和垂直方向上有没有晃动。若在水平方向左右晃动较小,在垂直角度下晃动较大,则可能是由于俯仰减速机前面的小齿轮与扇形齿轮之间的间隙较大造成;反之,若在水平方向晃动较大,则可能是方位减速机前面的小齿轮与大齿轮之间的间隙较大造成,通过更换减速机小齿轮并调整间隙可排除。

1.2 伺服系统异常

伺服系统是雷达的重要组成部分,它对于搜索目标、跟踪目标以及精确测量目标的位置和其他参数起着重要作用。其中,数字控制单元(DCU)的电源板、模拟板以及电轴与机械轴一致性等环节出现

异常容易引起天线定位误差。

1.2.1 DCU 电源板、模拟板

DCU 电源板供电流程如图 3 所示。若 DCU 电源板或模拟板老化会造成地电位漂移明显,±15 V 正负电源的对称度偏差过大,模拟板上本已调好的速度环零点就会来回漂移进而导致定位偏差超界。检查时应首先对电源板进行检查,电压只要有一路不对,都要对电源板进行修理或更换。电压正常,再做模拟板的检查,如不正常则更换即可。在项目小组统计的案例中,总共出现 7 例因 DCU 电源板、模拟板故障引起的空间定位误差,所占比例最大,分别是 2009 年 9 月 23—29 日安徽蚌埠雷达站、2011 年 1 月 8—16 日湖北宜昌雷达站、2011 年 1 月 27 至 2 月 1 日山东济南雷达站、2011 年 4 月 26—28 日江西南昌雷达站、2011 年 8 月 11—23 日浙江杭州雷达站、2012 年 5 月 7—11 日河南洛阳雷达站以及 2012 年 10 月 13—16 日湖南邵阳雷达站。

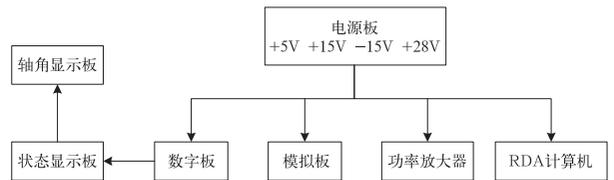


图 3 直流电源供电流程图

Fig. 3 DC power flowchart

1.2.2 电轴和机械轴不一致

机械轴指整个天线的对称轴线,既垂直于整个反射网平面,也垂直于天线俯仰轴。电轴指天线波瓣增益最大方向所对应的射线。天气雷达天线电轴的实际空间指向与机械轴指向严格保持一致,是确保天气雷达系统对气象目标精确定位的必要条件之一。但是,直接对电轴与机械轴进行匹配却非常复杂,而且不易实现。通过太阳法对电轴进行标定,测得电轴偏移量(波束指向误差)后,再通过拨码开关改变电轴方向来实现偏移量的调整,可以将电轴与机械轴的匹配问题简单化且易于操作,最终达到机械轴与电轴一致的目的。

伺服系统中 DCU 单元的拨码开关故障会造成固定方位角或俯仰角偏移一定角度,如果太阳法测得雷达波束指向误差超过上限阈值(0.3°),需要做太阳法标校,并根据太阳法所测偏移量调整拨码开关(方位角偏差调整 DCU 单元数字板方位拨码开关组 SA1、SA2;俯仰角偏差调整俯仰拨码开关组

SA3、SA4)直至误差指标控制在阈值以内。在项目组收集到的案例中,因电轴轴向问题引起的空间定位误差共计 4 例,分别是 2012 年 11 月 8—17 日湖北荆州雷达站、2011 年 7 月 26—27 日河北沧州雷达站、2007 年 5 月 13 日广东梅州雷达站和 2012 年 9 月 18 日广东阳江雷达站。

2 提出诊断方法

在以上定位误差源分析的基础上,总结出雷达空间定位误差诊断方法(图 4)。从天馈系统和伺服系统两个大方面展开分析,具体到天线座水平、旋转

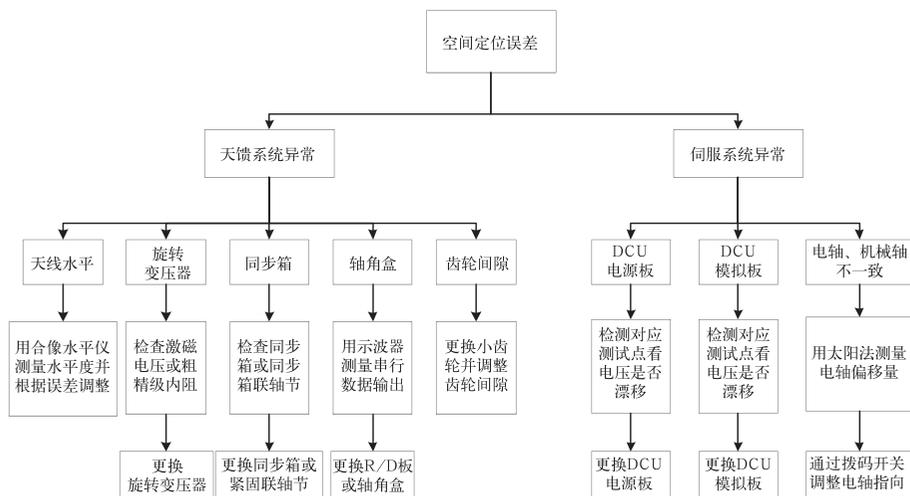


图 4 空间定位误差诊断方法

Fig. 4 Diagnosis of spatial aberration

变压器、同步箱、轴角盒、齿轮间隙、DCU 电源板、模拟板以及电轴与机械轴一致性等几个面进行误差分析诊断。

3 典型个例分析

2004—2013 年,项目小组在全国各 CINRAD/SA 雷达站共采集到 17 个空间定位故障案例,以下从中选取 3 个典型个例进行分析。

3.1 宜昌雷达 DCU 地电位漂移导致俯仰定位偏差超界

现象:天线俯仰定位偏差大,并频繁因为定位偏差造成雷达空转,体扫时间有时达 8 min。

处理:将该站原有的 DCU 数字板和模拟板更换为敏视达雷达公司自制产品(自制产品均为 4 层板),使得板上 $\pm 15\text{ V}$ 电源对称度良好且无漂移,更换后稳定在 $+14.98$ 和 -14.97 V ,从而使得雷达俯仰定位准确稳定,空转和体扫过长问题解决。究其原因,原有的 DCU 数字板和模拟板都是两层板且已老化,地电位在板上出现长周期较大幅度的漂移

跑偏, $\pm 15\text{ V}$ 对称度失衡,为 $+14.67$ 和 -15.26 V ,导致模拟板上本已调好的速度环零点严重偏移,俯仰定位偏差为 -0.26° 至 0.32° ,发生定位偏差超界会导致雷达在刚进入一个仰角时无法发射雷达波,空转约 100 多度,直到系统自动再次发出 DOUBLET 操作进行调整,使得天线上冲,瞬间角度合法,虽然其后因为位置闭环天线仰角又回到了负偏角度,但之前的瞬间合法角度已诱使系统发射雷达波,直到该仰角结束,当天线在每个仰角都空转了 100 多度即 $1/3$ 圈时,体扫就从 6 min 变为了 8 min。

3.2 荆州雷达电轴轴向偏离引起方位定位偏差超界

现象:PUP 产品与相邻站点比较有明显位置偏移,导致雷达组网拼图出现虚假回波。

处理:更换 PUP 地图,故障依旧。15 时后做太阳法,无法完成。初步判断为误差指标超过上限阈值(0.3°),但又不确定误差值范围,于是根据 PUP 产品与相邻站点对同块回波的比较,判断方位角大概偏差 30° 左右,调解 DCU 单元数字板方位拨码开

关组 SA1、SA2 至 30° ，再做太阳法即成功，此时显示方位角误差为 2° ，说明之前方位偏差 $+32^\circ$ 左右，重新调整方位拨码开关组对电轴方向进行标定，再做太阳法时方位角误差已在指标要求内。究其原因，由于雷达月维护时对 DCU 机箱做过除尘、插拔印制板等工作，怀疑数字板上的拨码开关被无意间拨动，进而引起电轴轴向偏移。

3.3 盐城雷达同步箱联轴节松动导致方位出现大角度偏差

现象：方位在长时间运行情况下出现大角度偏差。

处理：测量 DCU 内电源板正常，用 RDASOT 测试平台控制天线，方位、俯仰到位精度均正常。更换 DCU 模拟板，方位偏差依旧，测量天线水平度与旋转变压器均正常，更换轴角盒，仍未解决问题，最后在方位仓检查时发现同步箱联轴节有松动现象，紧固联轴节的螺钉，再做太阳法标定，定位偏差指标恢复正常。

4 结论

(1) 天伺系统信号链路上导致雷达定位出现偏差的环节很多，随机性大，定位故障源难度较大。在实际检修过程中，结合本文总结的空间定位误差诊断方法，重点优先检测 DCU、同步箱、电轴轴向等，在排除重点环节的前提下，再对天线水平、旋转变压器、轴角盒 R/D 板、齿轮间隙等误差源进行逐步隔离排除，能快速准确判断引起空间定位误差的真正原因。

(2) 对于单站而言，日常很难发现空间定位误差的存在。太阳法可以定量检查空间定位指标，但当偏差过大会导致太阳法无法完成，此时还有两种定性的方法可以找到定位偏差：

① 单站数据与雷达组网拼图进行同块回波的位置对比。但这种方法存在局限性，需要有适合对比的典型天气过程才能判断。

② 在单站未滤波的基数据里找 1 个比较突出的地物杂波，然后隔一段时间再观察，看这个地物杂波是否随时间偏移。

参考文献

- 敖振浪. 2008. CINRAD/SA 雷达使用维修手册. 北京: 中国计量出版社, 168-225.
- 白峰. 2003. 浅析天馈线对单脉冲雷达电轴零点的影响. 火控雷达技术, 32(4): 60-63.
- 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.
- 柴秀梅, 潘新民, 汤志亚, 等. 2011. 新一代天气雷达回波强度异常分析与处理方法. 气象, 37(3): 379-384.
- 陈玉宝, 安涛, 胡垣, 等. 2013. 基于 GNSS 差分定位的天气雷达坐标精确定位研究. 气象, 39(3): 389-393.
- 胡东明, 胡胜, 刘强. 2006. CINRAD/SA 雷达调制器真空开关漏气故障的分析处理. 气象, 32(8): 118-120.
- 胡东明, 刘强, 程元慧, 等. 2007. CINRAD/SA 天线伺服系统轴角箱多次故障的分析. 气象, 33(10): 114-117.
- 李柏, 古庆同, 李瑞义, 等. 2013. 新一代天气雷达灾害性天气监测能力分析及未来发展. 气象, 39(3): 265-280.
- 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.
- 潘新民, 柴秀梅, 申安喜, 等. 2009. 新一代天气雷达(CINRAD/SB)技术特点和维护、维修方法. 北京: 气象出版社, 180-210.
- 王志武, 林忠南. 2012. 早期 CINRAD/SB 型雷达故障综合分析. 气象科技, 40(2): 165-169.
- 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.
- 周红根, 周向军, 祁欣, 等. 2007. CINRAD/SA 天气雷达伺服系统特殊故障分析. 气象, 33(2): 98-101.
- Keeler R J, Passarelli R E. 1990. Signal Processing for Atmospheric Radars // Radar in Meteorology. Amer Meteor Soc, 199-230.
- Kessinger C, Ellis S, Van Andel J. 2001. NEXRAD Data Quality Enhancements: The AP Clutter mitigation Scheme // Preprints, 30th International Conference on Radar Meteorology. Amer Meteor Soc, 707-709.
- Pratte J F, Keeler R J, Gagnon R, ed al. 1995. Clutter Processing During Anomalous Propagation Conditions // Preprints, 27th Conf on Radar Meteorology. Amer Meteor Soc, 139-141.
- Smith P L. 1990. Precipitation Measurement and Hydrology: Panel Report // Radar in Meteorology. Amer Meteor Soc, 607-618.