

刘佳奇,孟珍,毛峰,等. 基于天线标定测量细节的天气雷达组网回波强度改进技术研究[J]. 陕西气象,2025(4):66-68.

文章编号:1006-4354(2025)04-0066-03

基于天线标定测量细节的天气雷达组网回波强度改进技术研究

刘佳奇^{1,2}, 孟 珍¹, 毛 峰¹, 李成伟¹

(1. 陕西省大气探测技术保障中心, 西安 710014;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室, 西安 710016)

摘 要:提升新一代多普勒天气雷达定量降水估测及强对流天气的自动报警能力,对组网后的雷达回波强度精度提出了更高要求。通常认为组网雷达回波强度仅与雷达发射功率和接收通道增益的变化等参数有关。通过分析仪表、天线水平度、波束指向等相关参数在标定中产生误差的原因,提出避免误差的测量细节及对组网雷达回波强度影响,从而提升雷达回波强度的时空准确性。

关键词:天线参数;回波强度;组网

中图分类号:P412.25

文献标识码:A

对新一代天气雷达进行组网连续观测,可完整观测较大尺度灾害天气的演变过程,解决了单部雷达观测范围有限、远距离数据精细度不够的弊端,提高了中小尺度天气系统灾害预警能力。天气雷达回波强度的准确性尤为重要。一般认为,天气雷达回波强度测量误差主要来自发射功率和接收通道增益的变化^[1-3],此类误差可通过机内信号自动在线标定和人工标定(年、月定标)解决,该方法标定技术成熟,有相关技术流程保障,但该方法对强度误差标定的改进空间很小,通常误差在1 dB以内^[4-6]。以往将天线参数带来的误差大多归类于系统损耗,认为相对稳定^[7-8],未有天线参数测量精度相关研究,更无天线对回波强度影响方面的研究^[3]。在实际工作中发现,天线误差是影响组网雷达回波强度的主要因素。虽然天线系统在出厂和现场安装时均进行了系统标定,但在雷达安装和使用过程中,年限、外界环境影响和系统本身特性的变化均会对实际发射的电

磁波产生影响。2022年陕西3部天气雷达回波强度标准偏差和平均偏差均大于3.5 dB。经排查,此3部雷达强度标定准确,偏差均来自错误位置的数据,即天线标定问题,在对天线进行重新标定后,强度偏差正常。

以CINRAD/CB雷达为例,依据雷达基本原理,分析天线参数对雷达回波强度造成误差的原因。根据现有维护、维修设备和环境,提出了天线参数标定测量的具体细节和避免误差的测量方法。通过陕西3部新一代多普勒天气雷达站试验可知,该方法可进一步提升组网雷达系统回波强度标定精度。

1 天气雷达组网回波强度出现严重误差

2022年3月在全国业务运行的新一代天气雷达回波强度评估中,陕西省安康、汉中和商洛天气雷达出现了回波强度标准偏差大于3.5 dB的情况,误差严重偏大(安康标准偏差为5.52 dB、汉中为6.06 dB、商洛为9.96 dB)。

收稿日期:2022-12-13

作者简介:刘佳奇(1985—),男,汉族,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事天气雷达保障及其研究。

通信作者:毛峰(1983—),男,汉族,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事天气雷达保障及其研究。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022G-20);陕西省大气探测技术保障中心“揭榜挂帅”项目(2022S-1)

选取 2022 年 3 月汉中、安康、商洛 3 部雷达的雷达回波强度小时数据进行拼图(图 1),进一步确定回波强度在拼图中的误差情况。拼图方法为以两站垂直平分线为界,各取距离最近的雷达数据分别进行累积平均,如果雷达站高度相差不大且标定正确,那么在分界线处扫描到的回波强度几乎相同,回波强度也应该相差不大。而从汉中、安康、商洛 3 部天气雷达 1 h 数据拼图可以明显看出三站回波强度不一致,表明陕西 3 部雷达探测中存在系统误差,需要仔细查找误差产生的原因。

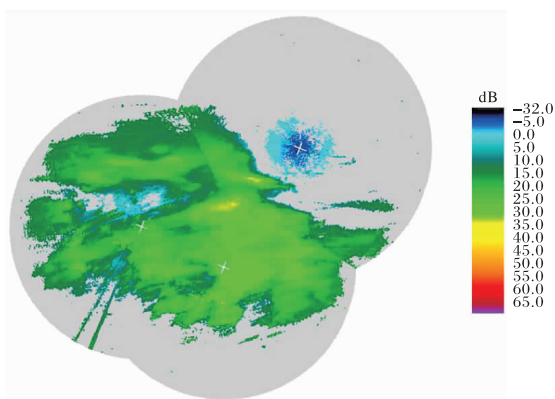


图 1 陕西汉中、安康、商洛 3 部新一代多普勒天气雷达在 2022 年 3 月相同时段内的 1 h 数据拼图(“×”代表站点所在位置)

2 误差产生的原因及解决办法

2.1 天线底座水平度测高

天线水平度误差超出允许范围(最小允许误差范围 $30''$)引起较大的测高误差。当实际天线角度和测量角度相差较小时,按误差范围 $30''$ 、距离最小观测范围 200 km 推算,可推算出雷达测高误差(Δh ,单位为 km)为 $\Delta h = 30'' \times \frac{\pi}{180^\circ \times 60'' \times 60''} \times 200 \approx 0.029$ 。

天线水平测量过程中应严格遵守合像水平仪使用方法,并在测量中将合像水平仪放置在天线底座平整位置处,与底座接触面必须紧密,这样可以避免因天线旋转晃动产生的误差。合像水平仪放置轴线必须指向天线旋转轴,否则会产生误差

(理论最大误差 $\left| 10^{-5} \times m \times \frac{180}{3.14} \times 3600 \right| \times 2, m$

为合像水平仪读数)。测量天线水平时,天线旋转一般为人工推动,多数台站天线标记方位误差较大,在实际天线测量中,对角标记(如 45° 和 225°)应在同一直线上,便可保证消除水平仪的仪器误差。

2.2 伺服角度控制精度

雷达波束空间分布是否均匀取决于天线伺服系统(伺服工控机、轴承、大齿轮、减速机、联轴节、旋变)的综合性能。伺服精度出现问题最明显的现象为天线角度定位产生偏差,方位偏差过大会导致雷达拼图相邻两部雷达回波错位,影响组网回波位置和强弱。

天线联轴节若发生松动,天线罩内天线角度定位后将会微弱摆动,有时摆幅达 3° 左右,此故障可定位为伺服系统反馈故障。该故障导致伺服无法准确定位天线,一般更换联轴节即可。若更换后再做精度检查时故障复现,则为减速机及其它伺服部件老化,一边人工推动天线一边仔细观察即可找到老化处,更换老化部件。此故障在雷达运行中无任何报警,若不做此项检查很难发现。按雷达最小观测范围 200 km 推算,此故障在观测范围最大值处,回波位置会偏离 10.5 km ($200 \times \sin 3^\circ = 10.5$),方位也会偏离 3° 。

测量过程中,应注意定期检查天线定位精度和日志。通常认为天线不报警就不存在偏差,但天线是旋转设备,工作环境相对恶劣,磨损老化现象比较普遍。这些器件任何一个环节出现问题都会影响方位精度(精度下降不多时通常肉眼难以察觉),这种情况可通过天线定位精度进行检查。另外,汇流环触点接触及软件传输等也会影响天线指向精度,可通过数据采集单元(data acquisition unit, DAU)监控信息和告警进行检查。

2.3 天线波束指向精度

雷达波束检查根据固定时间地日相对位置和雷达天线所在经纬度对雷达天线地理方位和仰角进行测量。因雷达伺服精度限制,在雷达运行一段时间后,其方位和俯仰角度将产生偏差,将影响雷达在回波方位和回波高度上的测量。

目前影响雷达波束指向测量的因素为经纬度和时间,经纬度由有资质的专业测量机构测量,只

要雷达站不搬迁,一般不会产生偏差。时间因部分雷达站未与陕西省气象信息中心统一授时服务器相连,加之业务计算机无法上网,将产生不小偏差,影响测量精度。

若发现波束指向性存在偏差,单纯通过做太阳法无法对其进行订正,需通过伺服端口发送命令,将偏差归零。大致流程为:先通过太阳法测量天线波束误差,然后将天线方位和俯仰角度转至波束偏差值所在方位,通过命令将方位归零。

天线波束指向测量过程中应注意测量时间。为确保探测精度,选择太阳高度角在 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间进行。太阳高度过高或过低都会影响测量精度。此外,此项测量必须在雷达方位和俯仰伺服角度控制精度符合要求后测量,否则数据无效。

3 误差消除后的评估

对汉中、安康、商洛3部雷达天线进行矫正后,2022年底管理部门对全国业务运行的新一代天气雷达回波强度进行重新评估,安康回波强度标准偏差为3.20 dB,汉中为3.24 dB,商洛为3.20 dB,均小于3.50 dB要求。对2022年7月汉中和安康2部雷达在西乡县境内的回波强度进行对比分析,汉中雷达的回波范围和强度与安康雷达的一致性很好。用相同方法检验安康和万州、安康和恩施、安康和达州、汉中和广元、商洛和襄阳、商洛和十堰,除部分拼图因强回波衰减造成两部雷达回波强度不一致外,选取两站中间区域进行对比,回波强度和范围一致性很好。

4 结语

通过天线水平校准、伺服角度控制精度及波

束指向精度测量细则补充,显著提高了组网雷达波束空间分布精度,减小了雷达间回波强度的一致性,进而提高了组网拼图雷达回波强度数据准确性,对台站级保障人员的实际操作有借鉴意义。现阶段雷达回波强度标定依然是雷达标定的难点,在具体标定中仍然依赖人工经验,目前正在研发标定自动控制伺服软件,结合自动仪表可解决标定不够智能化的缺点。

参考文献:

- [1] 周红根,高飞,蔡勤,等. CINRAD/SA 雷达标定技术研究[J]. 气象科技,2016,44(1):7-13.
- [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):27-29.
- [3] 张福贵,舒毅,唐佳佳,等. 天气雷达定标、测试与故障诊断技术发展及趋势[J]. 气象科技进展,2021,11(4):72-81.
- [4] 李喆,邵楠,高玉春,等. 中美天气雷达回波强度标定性能分析[J]. 电子测量技术,2016,39(6):35-38.
- [5] 方立军,马骏. 一种脉冲多普勒天气雷达接收机[J]. 现代雷达,2004,26(3):58-60.
- [6] 潘新民,汤志亚. 天气雷达接收功率定标的检验方法探讨[J]. 气象,2008,28(4):34-37.
- [7] 潘新民,柴秀梅,崔柄俭,等. CINRAD-SB 雷达回波强度定标调校方法[J]. 应用气象学报,2010,21(6):739-746.
- [8] 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):249-351.