

林奕桐, 刘永亮, 李 强, 等. 基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法[J]. 气象研究与应用, 2024, 45(3): 88–92.
LIN Yitong, LIU Yongliang, LI Qiang, et al. Reflectivity intensity consistency of weather radar based on spatial Data [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3): 88–92.

基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法

林奕桐¹, 刘永亮^{2*}, 李 强², 奉意杰²

(1. 南宁市气象局, 南宁 530022; 2. 广西壮族自治区气象技术装备中心, 南宁 530022)

摘要:为了解决传统雷达反射率强度一致性分析与评估中数据展示不直观、分析方法不系统、分析效率较低等问题,提出一种基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析新方法。通过空间数据库构建,获得雷达反射率强度平均偏差辐射图,并以广西及周边雷达为例开展了实例应用分析。结果表明,利用平均偏差辐射图可以直观地从宏观上评估多部雷达之间的反射率强度一致性关系,从而快速锁定可能存在问题的雷达,为台站开展整改提供重要参考,可有效用于雷达反射率强度一致性评估和雷达反射率强度一致性整改效果评估。

关键词:空间数据;天气雷达;反射率强度一致性

中图分类号: P412.25

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.13

经过20多年发展,我国天气雷达组网日趋完善,雷达气象业务体系基本建立,运行保障能力逐步提高,在防灾减灾服务和短临监测、预报预警中发挥越来越重要的作用^[1-4],气象雷达已成为衡量气象现代化能力水平的重要标志和支撑气象事业高质量发展的“四大支柱”之一。为了提高对中尺度灾害性天气的研究以及预警能力,发挥多部雷达在联合监测天气中的作用,就必须把来自多部雷达的资料进行组网拼图^[5]。经过长期的业务运行发现,相邻雷达在重叠区域中观测值并不完全相同。在相邻不同型号雷达的重叠区域,由于雷达参数及灵敏度不同而造成观测差异较大,对于相邻相同型号的两部雷达而言,当其中一部雷达存在遮挡、标定错误、发射机或接收机等故障问题时,重叠区域的反射率强度也存在较大的差异^[6]。雷达反射率强度一致性较差,会导致雷达拼图效果不好,使得雷达资料在数值模式同化的业务应用中受到限制^[7]。如何能快速对天气雷达反射率强度进行一致性分析,并对相应的雷达做有针对性的调整,以满足一致性的要求变得尤为迫切。2021年12月31日,中国气

象局印发《雷达气象业务改革发展工作方案(2021–2025)》(以下简称《方案》)。《方案》中明确提出到2025年,“提升现有业务气象雷达的质量,天气雷达网数据一致偏差达到2.5 dB”的要求。

关于天气雷达反射率强度一致性偏差的计算,国内学者已开展较多研究^[8-10]。肖艳姣等^[5]采用NVI方法把广州雷达和梅州雷达的球坐标资料插值到笛卡尔坐标系下的网格上后,对两部雷达同步观测时的等高面上的等距离线上反射率强度及反射率强度差进行比较分析。张林等^[6]提出相邻雷达回波差异检测方法,定量分析广州、河源两部天气雷达的回波差异。张巧明^[11]等通过对同一气象目标做剖面分析,得到岳阳与长沙雷达平均偏差序列,分析得出两部雷达之间平均偏差在3.8~5.8 dB之间。

以上研究主要从微观角度分析雷达之间的一致性偏差,可以得出较为准确的反射率强度一致性偏差计算结果。传统的反射率强度一致性评估方法主要是将偏差计算结果记录在列表中进行逐行分析,该方法无法直观看到问题站点的分布情况以及站点之间的相互关系,存在数据展示不直观、分

收稿日期:2024-07-28

基金项目:广西气象科研计划项目(桂气科2023ZL06)

第一作者:林奕桐(1990–),工程师,主要从事气象雷达保障与观测应用研究。E-mail:drift_lin@163.com

*通讯作者:刘永亮(1982–),硕士,高级工程师,主要从事气象雷达保障与观测应用研究。E-mail:450191136@qq.com

析方法不系统、分析效率较低等问题。如何通过对计算结果进行系统性分析,快速锁定可能存在的问题的雷达,为台站开展整改提供参考,目前很少学者研究。空间数据是包含空间特征、时间特征和属性特征的地理信息数据,记录空间实体的位置、拓扑关系和几何关系^[12],空间数据库是地理信息系统中空间数据的存储场所^[13]。相较于传统数据,空间数据的优势在于记录空间实体之间的联系,便于开展关系运算及系统性分析^[12]。因此,本文将基于空间数据,从宏观的角度探索一种新的天气雷达反射率强度一致性分析方法,为提升区域雷达反射率强度一致性提供重要参考依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

数据包含雷达反射率强度平均偏差数据及雷达站点元数据,均由中国气象局气象探测中心提供。雷达反射率强度平均偏差反映两部相邻雷达之间的回波重叠区域内反射率强度的差异。研究使用的数据为广西壮族自治区内 10 部 S 波段天气雷达及其周边 300 km 范围内相邻雷达两两之间的反射率强度平均偏差。观测时段为 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 5 月 31 日。雷达站点元数据记录雷达的站名、站号及经纬度信息。

1.2 研究方法

1.2.1 相邻雷达间反射率强度平均偏差计算方法

相邻雷达之间的反射率强度偏差计算主要分为以下五步:

步骤一:分别读取两部相邻雷达基数据,采用模糊逻辑算法^[14],识别并滤除地物及超折射杂波。

步骤二:对两部雷达进行时间及空间匹配^[6]。若两部雷达基数据体扫开始时间差小于 3 min,且空间距离小于 300 km,则匹配成功,进行下一步计算。

步骤三:对雷达基数据进行栅格化处理^[5]。利用笛卡尔坐标系下网格点的经度、纬度和高度计算其在球坐标系中的仰角、方位和斜距,然后根据计算出的仰角、方位和斜距在雷达球坐标系中的位置,利用内插方法给该网格点赋值,得到该网格点上的分析值。

步骤四:计算等距离线^[15]。对相同高度的雷达数据进行空间叠加分析,获取两部雷达观测数据的重叠区域(图 1),其中 AB 为等距离线。为了排除不同距离对两部雷达观测差异的影响(波束展宽、衰

减),计算偏差时只取等距离线上的反射率强度进行统计^[5]。

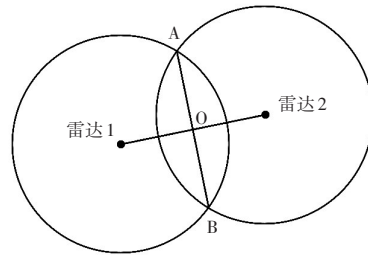


图 1 相邻雷达观测重叠区域等距离线示意图

步骤五:计算平均偏差,公式为:

$$D_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_1 - Z_2)}{n} \quad (1)$$

其中, D_{av} 为平均偏差, Z_1 和 Z_2 分别为参与统计的雷达 1 和雷达 2 的反射率强度值(单位:dBZ), n 为参与统计的像元的数量。

1.2.2 雷达反射率强度一致性空间数据库构建

原始的雷达反射率强度一致性数据为列表数据,其记录方式为:首先以每一个雷达站点作为主站,并根据 1.2.1 中步骤二的匹配原则,查找所有与之匹配的雷达站点,作为关联站,并记录主站与关联站之间的平均偏差,其属性包括:主站名、主站号、主站型号、关联站名、关联站号、关联站型号和反射率强度平均偏差。现需对其进行空间数据库的构建。

步骤一:对原始数据新增 4 个字段,分别记录主站经度、主站纬度、关联站经度、关联站纬度。

步骤二:分别以主站号、关联站号作为外键与雷达站点元数据库进行关联,查询并填充步骤一新增的字段。

步骤三:对原始数据进行冗余性检查,查询是否存在主站与关联站互为相反的重复关联。若存在重复关联,则表示原始数据存在冗余,若不存在重复关联,则表示原始数据不存在冗余。

步骤四:为了使算法逻辑更清晰,需对原始数据进行非负数处理。对于存在冗余的数据,重复关联的两组数据的反射率强度平均偏差数据互为相反数或均等于 0。当重复关联的平均偏差互相反数时只保留正值记录,当重复关联的平均偏差等于 0 时,只保留其中一条记录。对于不存在冗余的数据,则逐行进行遍历搜索,若反射率强度平均偏差

为负数,则对该记录进行主站、关联站所有字段互换,同时对反射率强度平均偏差值取反。

步骤五:空间数据库构建。在 ArcMap 软件中,将雷达站点元数据通过 Add XY Data 功能生成雷达站点空间点数据,将步骤一至四处理得到的雷达反射率强度一致性数据通过 XY To Line 功能生成雷达反射率强度关联线数据。

步骤六:平均偏差不合格关联生成。对雷达反射率强度关联通过 Select By Attributes 功能提取反射率强度平均偏差大于指定阈值的关联,生成平均偏差不合格关联线数据。

1.2.3 雷达反射率强度平均偏差辐射图生成及作用

雷达反射率强度平均偏差辐射图包含雷达站点空间点数据、雷达反射率强度关联线数据和平均偏差不合格关联线数据。其中,采用箭头线表示关联站点间反射率强度一致性的大小关系,箭头方向由高值指向低值,箭头为绿色,表示关联站点间的反射率强度平均偏差低于指定阈值,即为合格,箭头颜色为红色,表示关联站点间的反射率强度平均偏差高于指定阈值,即为不合格,线上的数值表示关联站点间雷达反射率强度平均偏差值。

经过非负数处理,主站的反射率强度均高于关联站,因此在雷达反射率强度平均偏差辐射图生成过程中,箭头方向可以直接由主站指向关联站。实验中,反射率强度平均偏差阈值设定为 2.7 dB,当平均偏差 > 2.7 dB 时,视为不合格。

经程序开发后,生成雷达反射率强度平均偏差辐射图的时间约为 5 s 内,其主要功能包括:

一是通过不合格关联(红色)和合格关联(绿色)的数量、比例和分布,可直观分析区域内所有雷达反射率强度一致性整体情况。二是通过辐射箭头的指向,可准确判断特定雷达反射率强度观测值的强弱。三是通过多部雷达系统性分析,可快速锁定可能存在问题的雷达,为台站开展整改提供参考。四是通过对不同时段平均偏差辐射图进行分析,可持续跟踪分析区域内所有雷达反射率强度一致性的变化情况,为整改效果评估提供帮助。

2 实例应用分析

2.1 雷达反射率强度一致性评估

对 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 31 日广西及周边雷达反射率强度平均偏差数据进行空间数据库构建,并生成雷达反射率强度平均偏差辐射图,

用于分析雷达反射率强度一致性问题的站点。

由反射率强度平均偏差辐射图可以看出,1—3 月,广西一共有 5 部雷达存在反射率强度一致性问题,分别为桂林、河池、梧州、玉林和北海。在广西区域内,雷达之间的反射率强度表现出较高的一致性,一致性偏差主要表现在广西雷达与省外雷达之间。本文将以河池、桂林两部雷达为例展开分析。

河池雷达与周边雷达的反射率强度一致性关联整体呈向外辐射型,证明河池雷达反射率强度较周边雷达总体偏大,但与都匀、榕江、桂林、柳州、百色雷达一致性均较好,平均偏差最大仅为 1.24 dB,远小于 2.7 dB 阈值,与贵阳雷达一致性最差,达 7.14 dB。对贵阳雷达进行分析,贵阳雷达与周边雷达的反射率强度一致性关联呈明显的向内接收型,证明贵阳雷达反射率强度较周边雷达明显偏弱,且与所有关联雷达之间的平均偏差均远大于 2.7 dB 阈值。据此分析,河池与贵阳之间的一致性可能主要源自贵阳雷达,在进行整改时,建议优先将贵阳雷达确定为问题站点,河池雷达则暂不列入问题站点,待贵阳雷达完成整改后再进行一致性评估。

桂林雷达与周边雷达的反射率强度一致性关联整体呈向内接收型,证明桂林雷达反射率强度较周边雷达总体偏小。其中与北面怀化,西面榕江、河池、柳州雷达一致性较好,平均偏差最大仅为 1.34 dB,远小于 2.7 dB 阈值,与东北面邵阳、永州、郴州雷达平均偏差均较大,其中与邵阳、郴州雷达之间的平均偏差分别为 3.55 dB 和 4.34 dB,明显高于 2.7 dB 阈值,与永州之间的平均偏差为 2.65 dB,也非常接近阈值。对邵阳与郴州雷达进行分析,发现邵阳、郴州与除桂林外的周边雷达一致性均较好。据此分析,桂林与邵阳、郴州之间的一致性问题可能主要源自桂林,因此在整改时,建议优先将桂林雷达确定为问题站点,并开展整改。

2.2 雷达反射率强度一致性整改效果评估

以桂林雷达为例,利用雷达反射率强度平均偏差辐射图(图 2)进行整改效果评估。参考 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 31 日雷达反射率强度一致性评估结果,依据回波强度定标和在线测量误差基准调校方法^[16],对桂林雷达收发支路损耗、天线增益、波束宽度进行实测,并依据实测结果对雷达进行 SYSCAL 值调整。以 2024 年 4 月 1 日至 2024 年 5 月 31 日雷达反射率强度一致性评估结果作为验证数据,评估整改效果。

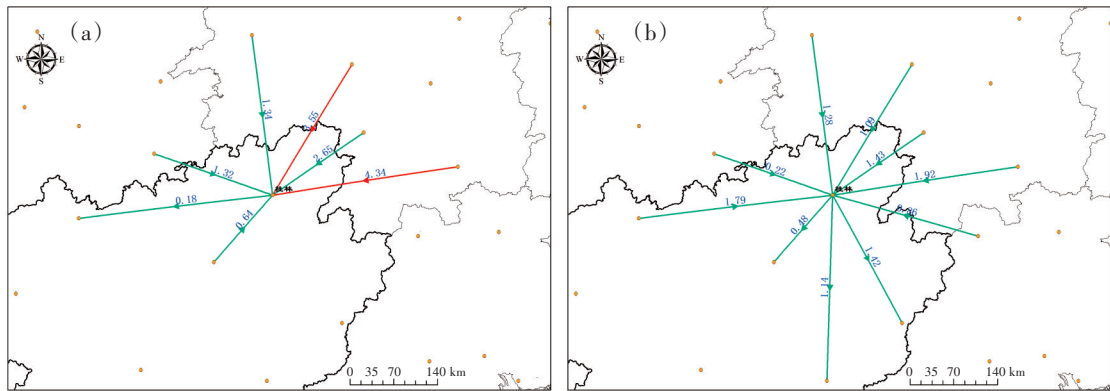


图2 桂林雷达反射率强度一致性整改效果评估

(a)整改前;(b)整改后

整改前,桂林雷达反射率强度较周边站点整体偏弱,其中绝对平均偏差大于2.7 dB的关联雷达有2部,分别为邵阳和郴州。整改后,与邵阳的绝对平均偏差降低至1.09 dB,与郴州的绝对平均偏差降低至1.92 dB,桂林雷达与周边所有关联站点之间反射率强度绝对平均偏差均小于2.7 dB。由此可见,桂林雷达反射率强度一致性整改效果较好。

3 讨论

本文提出一种基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法,并利用雷达反射率强度平均偏差辐射图开展雷达反射率强度一致性评估和雷达反射率强度一致性整改效果评估。相较于传统的从微观角度分析两部雷达之间的一致性偏差,基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法可以更直观地分析区域内所有雷达反射率强度一致性整体情况,准确判断特定雷达反射率强度观测值的强弱,可快速锁定可能存在问题的雷达,为台站开展整改提供参考。通过对不同时段平均偏差辐射图进行分析,可持续跟踪雷达反射率强度一致性的变化情况,实现整改效果评估。雷达反射率强度平均偏差辐射图已纳入中国气象局气象探测中心主持开发的“国家级雷达总控业务平台”,在全国雷达反射率强度一致性分析中得到应用。

基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法主要是从统计学角度对雷达反射率强度一致性开展评估,整改时,仍需先对问题雷达开展强度标定测试,进一步查找具体问题原因,才能进行有针对性的整改。在未来工作中,可考虑将太阳法强度标定结果、金属球标定结果和地形因素等数

据纳入空间数据库中进行综合分析,进一步提高问题站点识别的科学性和准确性。

4 结论

(1)基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法可有效用于雷达反射率强度一致性评估和雷达反射率强度一致性整改效果评估。

(2)相较于传统方法,基于空间数据的天气雷达可以更直观地分析区域内所有雷达反射率强度一致性整体情况,准确判断特定雷达反射率强度观测值的强弱,可快速锁定可能存在问题的雷达,为台站开展整改提供参考。

(3)基于空间数据的天气雷达反射率强度一致性分析方法在广西及周边雷达反射率强度一致性分析与评估的实际应用中,取得了很好的效果,显著减少天气雷达反射率强度一致性分析的工作量和时间。依据分析结果对问题台站开展整改,使其满足反射率强度一致性的要求。

参考文献:

- [1] 梁岱云,黄丹萍,苏兆达.2022年南宁市“龙舟水”暴雨期间模式对比及订正技巧[J].气象研究与应用,2023,44(1):51-56.
- [2] 韦靖,汤耀国,毛家桑,等.桂北一次极端强降雨过程宏微观物理特征分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):81-86.
- [3] 黄小燕,韦春霞,赵华生,等.地面-雷达-卫星资料的广西降水临近预报应用效果评估[J].气象研究与应用,2022,43(4):50-58.
- [4] 陆秋霖,李秀昌,林确略,等.玉林市2023年3月25日冰雹过程双偏振雷达特征分析[J].气象研究与应用,

- 2023,44(3):84-89.
- [5] 肖艳姣,刘黎平.新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究[J].气象学报,2006,64(5):647-657.
- [6] 张林,杨洪平,裴翀,等.相邻雷达回波差异检测方法研究与应用[J].气象,2018,44(2):268-276.
- [7] 朱艺青,王振会,李南,等.南京雷达数据的一致性和订正[J].气象学报,2016,74(2):298-308.
- [8] 张志强,刘黎平,王红艳,等.华北区域四部雷达探测强度与定位一致性分析[J].气象,2008,34(9):22-27.
- [9] 邓鑫,侯颀,刘颖,等.建三江平原C波段雷达回波强度一致性定标与分析[J].自动化技术与应用,2021,40(6):42-45.
- [10] 刘雨佳,陈洪滨,朱君鉴.山东省S波段与C波段天气雷达回波强度的对比分析[J].气象科学,2014,34(1):87-95.
- [11] 张巧明,雷永恒,余文会.新一代多普勒天气雷达强度定标研究[J].中低纬山地气象,2023,47(5):43-49.
- [12] 乌伦,刘瑜,张品,等.地理信息系统—原理方法和应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [13] 余明,艾廷华.地理信息系统导论[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [14] 杜捷,王海江,孙召平,等.基于模糊逻辑的双偏振天气雷达地物杂波识别算法[J].成都信息工程大学学报,2022,37(2):159-164.
- [15] 叶飞,梁海河,文浩,等,2020.基于单站CAPPI格点数据的相邻天气雷达均一性评估系统研究[J].气象,46(1):50-62.
- [16] 潘新民.新一代天气雷达故障诊断技术与方法[M].北京:气象出版社,2017:328-360.

Reflectivity intensity consistency of weather radar based on spatial data

LIN Yitong¹, LIU Yongliang^{2*}, LI Qiang², FENG Yijie²

(1.Nanning Meteorological Bureau, Nanning 530022, China; 2.Guangxi Meteorological Technology Equipment Center, Nanning 530022, China)

Abstract: To address issues such as non-intuitive data presentation, unsystematic analysis methods, and low analysis efficiency in traditional weather radar reflectivity intensity consistency analysis and evaluation, a novel method based on spatial data is proposed. This method involves constructing a spatial database to obtain average deviation radiation maps of radar reflectivity intensity. An empirical analysis is conducted using radars in Guangxi and its surrounding areas as examples. The results demonstrate that the average deviation radiation map can intuitively and macroscopically evaluate the reflectivity intensity consistency among multiple radars, enabling rapid identification of potentially problematic radars. This provides an important reference for stations to conduct rectification, effectively supporting both the assessment of radar reflectivity intensity consistency and the evaluation of rectification outcomes.

Key words: spatial data; weather radar; consistency of reflectivity intensity