

天气雷达探测性能评估方法及初步分析

陆方岳¹, 苏德斌^{1,2}, 周筠珺¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 成都信息工程大学中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225)

摘要:天气雷达具有高时空分辨率的探测资料在强对流天气监测和预报业务中得到广泛应用。随着中国新一代天气雷达网的逐步建成,其探测资料在数值模式和资料同化中的应用对雷达资料的质量提出了更高要求。影响新一代天气雷达资料质量的因素有很多,其中雷达本身的探测性能是直接影响其探测资料质量的因素之一。基于中国新一代天气雷达反射率资料数据,介绍一种天气雷达探测性能评估方法,并对华北区域相同型号的几部天气雷达进行初步分析。结果表明,部署在不同位置相同型号的雷达,其探测性能存在不同程度差异;同一部雷达,随着使用时间的增长,探测性能也会有所改变。因此,对组网内的天气雷达的探测性能进行定期评估,对于控制雷达资料质量,以提高雷达数据的应用水平具有十分重要的意义。

关 键 词:天气雷达网;探测性能;评估方法;质量控制;雷达拼图

0 引言

新一代多普勒天气雷达由于其探测资料相对于传统的常规探测资料(地面观测站资料、探空站资料等)具有更高的时空分辨率,是强降水、雷暴等中小尺度灾害性天气监测预警工作中不可或缺的重要手段,被广泛应用于天气系统监测和气象科学研究^[1-2]。随着中国新一代天气雷达网的逐步建成,多普勒天气雷达探测覆盖面和探测能力也随之迅速增加。为更加充分地利用新一代天气雷达网的探测资料,从中尽可能多地提取有意义的气象信息,以用于改善数值模式的初值场,从而提高数值模式的预报效果,是短时临近预报技术研究的方向之一^[3-4]。数值模式预报效果主要由以下两个因素决定,一是模式初值场的质量,另一是数值模式本身的完善程度。在使用雷达资料以改善数值模式的初值场过程中,雷达资料本身的质量会直接影响数值模式的预报效果^[5]。

影响新一代天气雷达数据质量的因素有很多,如地物杂波、晴空回波和超折射杂波等在雷达探测过程中测得的各种非降水回波造成的影响。也有雷达设备本身故障,计算机系统和网络传输故障等雷达本身造成的影响。同时以及雷达布设地点周边环境差异不同,雷达定标标准不同,雷达波段不同等因素也将影响造成资料的有效应用误差。Steiner 等^[6]认为提高雷达

资料质量有 3 个途径:一是使用更高质量的雷达和更合适的雷达站点选址;二是对雷达资料在存储之前和之后的处理;三是通过与其他探测方法得到的资料比较等。其中,制约雷达型号的选择和站点的选址的因素有很多^[7],而对雷达资料的质量控制处理,国内外学者也都做过很多相关的研究^[8-12]。在基于中国现已建成的新一代天气雷达网进行雷达资料拼图时,对于多部雷达探测覆盖区域内的资料处理方法的不同,也会影响雷达组网拼图资料的质量^[13]。天气雷达的探测性能在一定程度上决定了其探测资料的可信度,雷达组网中不同雷达探测性能的差异直接导致了多部雷达观测同一目标物存在数据的不一致性。因此,使用天气雷达的探测性能作为进行雷达组网资料拼图时处理多部雷达覆盖区域资料的取舍权重,可以在一定程度上提高雷达组网拼图资料的质量。

天气雷达探测性能指标是影响其准确、有效获取强天气过程信息的重要依据^[14-15]。一般来说,在雷达参数确定的前提下,根据雷达方程可以准确获知雷达的探测性能。但是,在实际工作中,由于雷达出厂参数与实际站点观测时性能指标出现差异,且如雷达系统无法及时进行技术参数标定,则实际获得的雷达性能指标将存在较大差异。以京津冀地区的 6 部天气雷达为例,通过选取几次强降水的探测资料,从定性和定量的角度,分析几部雷达在最小可探测信号强度上的差异,形成一种用于评估不同雷达探测性能的方法,将雷达探测性能的评估结果用于改进雷达组网拼图算法,以提高组网拼图资料的质量。

1 雷达概况和数据资料

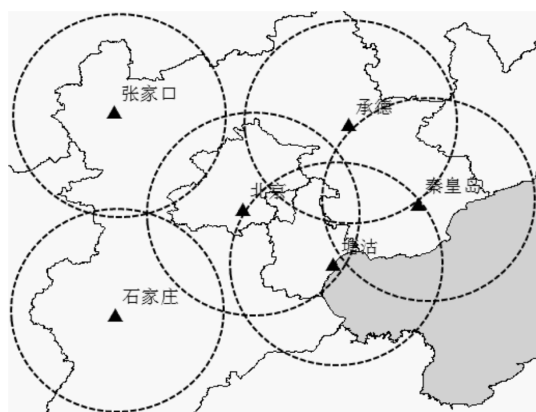


图1 京津冀地区六部天气雷达探测覆盖范围示意图

北京及其周边地区共部署了6部新一代天气雷达,如图1所示。其中S波段雷达4部,C波段雷达2部。布设地点分别为北京(CINRAD-SA)、塘沽(CINRAD-SA)、石家庄(CINRAD-SA)、张家口(CINRAD-CB)、承德(CINRAD-CB)和秦皇岛(CINRAD-SA)。6部雷达的探测范围互有重叠,能覆盖全部北京及其周边区域,在2008年北京奥运会雷达组网组网观测基础上实现了6部雷达的同步观测。文中使用以上介绍的4部SA雷达2013年和2014年6、7月汛期期间几次京津冀地区强降水的反射率探测资料对其探测性能进行了初步分析研究。

2 评估分析方法

雷达在某特定距离可探测到的最小信号可作为雷达探测性能的评估标准。对雷达一段时间内(如一天)获得的大量体扫资料进行处理,提取反射率信息,对各仰角相同探测距离上获得的信号强度值出现的频数进行统计,可以得到雷达随探测距离增加可测得的最小信号值的变化特征曲线以及雷达测得的不同信号值的分布特征。

统计公式如下:

$$N(r, z) = \sum_{j=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_A} n_{i,j}(r, z) \quad (1)$$

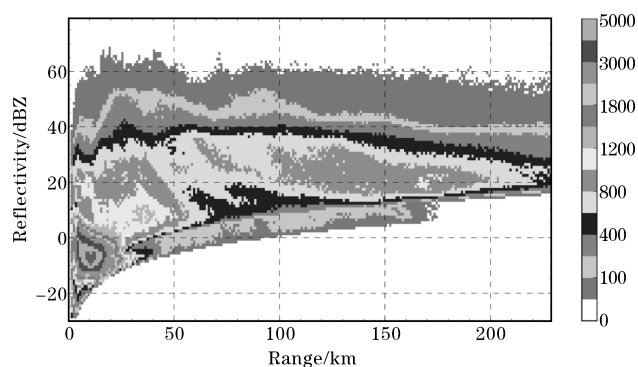
其中, N_L 为数据可用仰角层数, N_A 为数据可用方位个数, $n_{i,j}(r, z)$ 为某一特定方位、仰角在距离 r 处取值为 z 的样本个数。 $N(r, z)$ 为距离 r 处取值为 z 的样本总数。

以距离雷达站点50 km或100 km处可测得的最小信号值作为雷达探测性能评估的标准。

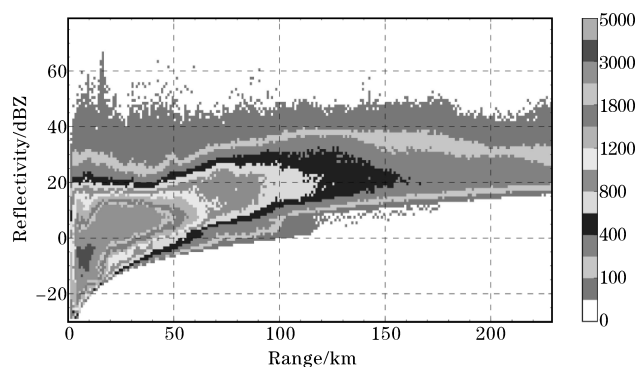
3 数据处理与讨论

2013年7月1日和2013年7月14-15日以及2014年6月6日京津冀地区出现了几次强降雨过程,全市达到大雨级别,局部地区达到暴雨级别。特别是7月14-15日的降水为北京2013年汛期的最大暴雨过程,北京地区全市平均降雨58.1 mm,最大雨强达到50.7 mm/h。

为检测雷达探测性能,对探测到此次降雨过程的北京以及周边地区雷达的观测资料进行统计分析。图2给出石家庄(Z9311)雷达使用2013年7月1日12时54分-15时54分图2(a)和7月14日21时00分-23时54分图2(b)的各30个体扫资料进行统计得到的探测性能分析图。图中,横坐标为距雷达所在地的距离,纵坐标为测得回波信号的强度,颜色代表在该距离测得对应信号强度值的次数。分析得到距该雷达50 km处测得最小回波强度值-7 dBZ,100 km处测得最小回波强度值0 dBZ。



(a) 2013年7月1日12时54分-15时54分



(b) 2013年7月14日21时00分-23时54分

图2 石家庄(Z9311)雷达探测能力随距离变化图

从图2中可以看到,雷达的最小可测信号值随探测距离的增加而减小,100 km处可测得最小可测信号值比50 km处相差7 dBZ,两次过程观测时间较近,所能测得的最小信号值相差不大。统计结果可以看出,雷

达回波强度大多在60 ~ -20 dBZ。在雷达探测范围25 km以内,回波强度-20 ~ 0 dBZ处有大值区。

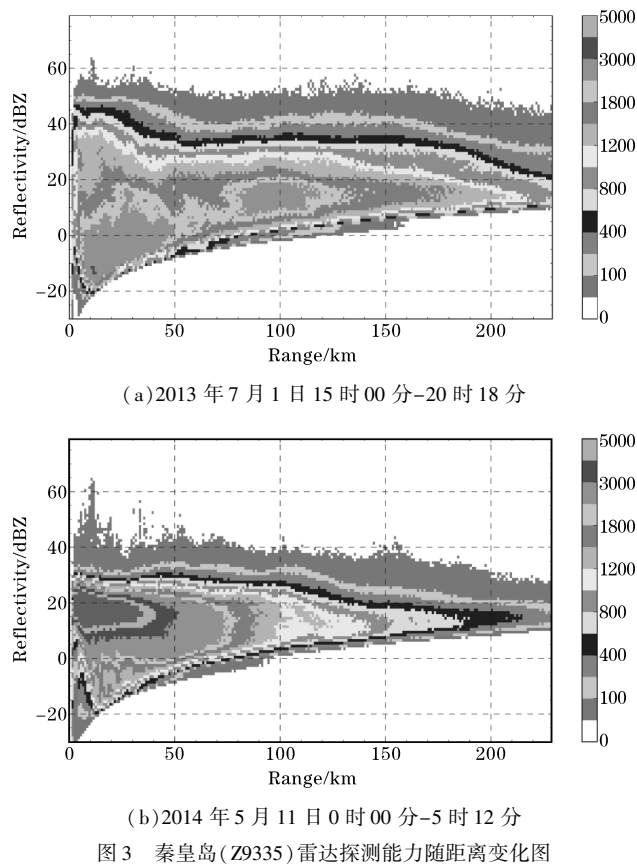


图 3 是秦皇岛 (Z9335) 雷达使用 2013 年 7 月 1 日 15 时 00 分-20 时 18 分图 3(a) 和 2014 年 5 月 11 日 0 时 00 分到 5 时 12 分图 3(b) 的体扫资料统计得到的雷达探测性能分析图。可知,2013 年秦皇岛雷达在 50 km 处测得最小回波强度值-8 dBZ,100 km 处测得最小回波强度值-2 dBZ,2014 年在 50 km 处测得最小回波强度值-9 dBZ,100 km 处测得最小回波强度值1 dBZ。可见,同一部雷达随时间的变化(相隔约 10 个月),探测性能也会有所变化。

表 1 四部同型雷达(SA)在 50 km 和 100 km 处可测到的最小信号值

时间	距离/km	北京 (Z9010)/dBZ	塘沽 (Z9220)/dBZ	石家庄 (Z9311)/dBZ	秦皇岛 (Z9335)/dBZ
2013. 7	50	-12	-1	-7	-8
	100	-5	5	0	-2
2014. 6	50	-6	-4	-9	-9
	100	1	3	-2	1

由分析可知,组网中各部天气雷达,因布设位置,标定标准等因素的影响,体现出了不同的探测性能。因此,在组网拼图的过程中,如果能将各部雷达探测性能的差异考虑进去,改进拼图算法,理论上应该可以在一定程度上提高拼图资料的质量。

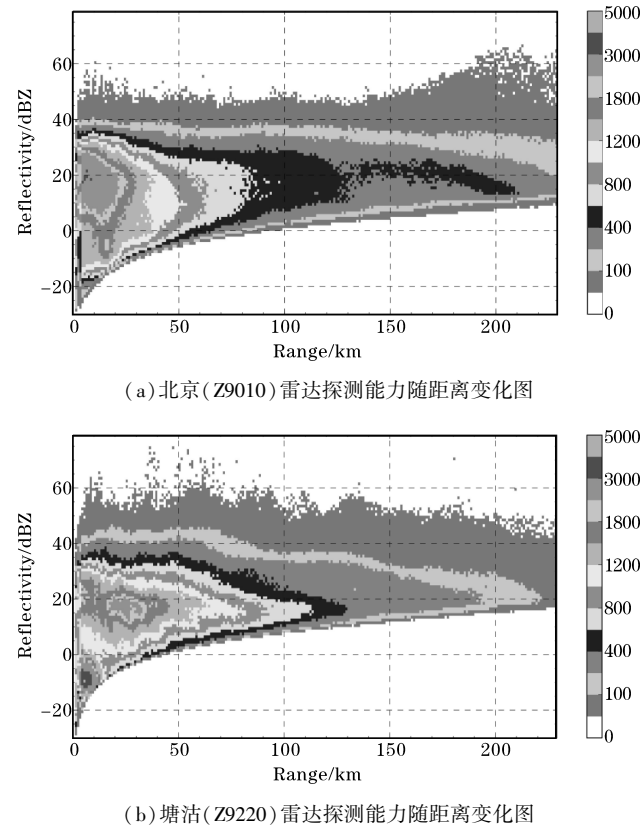


图 4 2014 年 6 月 6 日 08 时 00 分-10 时 54 分探测能力对比

从图 4 可以看到,2014 年 6 月 6 日 08 时 00 分-10 时 54 分雷达探测资料用于对北京 (Z9010)、塘沽 (Z9220) 两个雷达探测性能分析可知,北京雷达在 50 km 处测得最小回波强度值-6 dBZ,100 km 处测得最小回波强度值-1 dBZ,塘沽雷达在 50 km 处测得最小回波强度值-4 dBZ,100 km 处测得最小回波强度值 3 dBZ。塘沽雷达的探测性能明显要低于北京雷达。可见相同型号雷达因布设位置不同,地理环境、大气环境、标定标准不同等因素,会出现探测性能的差异。

根据以上方法对各部雷达分析即可得到各部雷达探测性能的评估结果,如表 1 所示。

4 结论

根据多部天气雷达观测数据的特征,提出了基于统计的对雷达自身探测性能评估方法。以北京、塘沽、石家庄、秦皇岛 4 部雷达为例,对同一部雷达不同时间

的探测性能以及布设在不同位置的相同型号雷达的探测性能进行了初步分析,提供一种分析不同雷达探测性能的方法。可以得到如下结论:

(1)采用基于统计分析的方法,对天气雷达的探测性能进行客观分析,该方法不依赖雷达站址附近的地理信息数据以及大气状态等信息,也不涉及大量的人工操作,仅使用业务雷达的实际观测资料进行评估分析,便于实施应用。

(2)由于布设位置不同,所处的地理环境和大气环境也不同,标定标准不同等因素,导致相同型号的雷达也存在探测性能上的差异。同一部雷达,因时间不同,雷达老化,定标失真等因素,探测性能也会有所变化,在多部雷达协同观测时,有必要定期进行雷达标定,以保持观测能力的一致性。

(3)与目前较常用的雷达拼图方法,如最大值法,距离权重法等方法相比,加入雷达本身探测性能评估结果作为权重,以优化拼图算法,可以有效降低探测性能较低雷达的探测资料对拼图结果的影响,提高雷达探测覆盖重叠区域内的组网拼图资料的质量。

参考文献:

- [1] Rosenfeld D, Wolff D B, Atlas D. General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate [J]. *Journal of applied meteorology*, 1993, 32(1): 50-72.
- [2] Joss J, Lee R. The application of radar-gauge comparisons to operational precipitation profile corrections [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1995, 34(12): 2612-2630.
- [3] 许小永, 郑国光. 多普勒雷达反演技术及雷达资料在数值模式中的应用 [J]. *气象*, 2005, 31(3): 7-11.
- [4] 陈明轩, 俞小鼎, 谭晓光, 等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展 [J]. *应用气象学报*, 2004, 6.
- [5] 李媛, 刘健文, 董佩明, 等. GRAPES-3Dvar 雷达资料直接同化对江淮暴雨数值预报影响的分析研究 [J]. *气象*, 2011, 37(4): 403-411.
- [6] Steiner M, Smith J A. Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of nonprecipitating echoes in radar data [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2002, 19(5): 673-686.
- [7] 许小峰. 中国新一代多普勒天气雷达网的建设与技术应用 [J]. *中国工程科学*, 2003, 5(6): 7-14.
- [8] Lakshmanan V, Fritz A, Smith T, et al. An automated technique to quality control radar reflectivity data [J]. *Journal of applied meteorology and climatology*, 2007, 46(3): 288-305.
- [9] Friedrich K, Hagen M, Einfalt T. A quality control concept for radar reflectivity, polarimetric parameters, and Doppler velocity [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2006, 23(7): 865-887.
- [10] 曹杨, 苏德斌, 周筠珺, 等. 基于双线偏振多普勒雷达识别地物回波 [J]. *成都信息工程学院学报*, 2014, (5): 509-516.
- [11] 马中元, 朱春巧, 刘照明, 等. CINRAD 雷达数据质量控制方法初探 [J]. *气象*, 2010, (8): 134-141.
- [12] 孟昭林, 王红艳. 提高新一代多普勒天气雷达产品数据质量的途径与方法 [J]. *气象科技*, 2006, 34(B09): 85-89.
- [13] 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.
- [14] 苏德斌, 孟庆春, 沈永海, 等. 双线偏振天气雷达天线性能要求及其检测方法 [J]. *高原气象*, 2012, 31(3): 847-861.
- [15] 汪旭东, 胡志群, 刘浩, 等. 双线偏振天气雷达性能测试方法研究 [J]. *雷达科学与技术*, 2015, 13(4): 395-401.