

新一代天气雷达对局地 强风暴预警的改善

俞小鼎

(中国气象局培训中心, 北京 100081)

提 要

介绍美国新一代天气雷达(WSR-88D)与传统天气雷达在探测和预警局地强风暴方面的评分对比。评分系统采用命中率 POD 、误警率 FAR 和警报提前时间。这有助于了解正在布网的我国新一代天气雷达可能带来的对局地强对流风暴预警能力的改善程度。

关键词: 新一代天气雷达 强对流风暴 预警评分 对比

引 言

我国新一代天气雷达业务组网的建设目标是:在我国东部和中部地区,装备先进的新一代 S 频段(10cm)和 C 频段(5cm)多普勒天气雷达系统,组成探测空间相互衔接覆盖的监测网。雷达实时监测提供反射率因子、平均径向速度和速度谱宽等信息,对局地强风暴、热带气旋和暴雨等重要天气系统进行有效的监测和预警,并对降水量进行估测。与传统天气雷达相比,新一代天气雷达的优势主要表现在:①具有良好的多普勒测速能力,能获取降水和降水云体中风场的信息,得到较准确的径向风场分布数据,从而尽早识别和预警局地强风暴及其相应的灾害性天气如大风、龙卷、冰雹、下击暴流和暴洪等;②具有较高的灵敏度,因此具有一定的晴空探测能力。对流风暴的出流边界和边界层辐合线在反射率因子场上可以显示出来,从而为对流风暴的生成和消亡的预报提供了线索;③新一代天气雷达是智能型的探测系统,它有丰富的软件支持对获取的探测信息进行综合处理。除了实时提供降水回波图像分析的信息外,还具有准实时的对多种灾害性天气的自动识别和追踪等产品;其中 1h 和 3h 累积降水产品对暴洪的预报很有参考价值。但需要

强调的是,上述潜在的优势必须在实际业务中才能充分体现出来。人们关心的焦点之一是在实际业务中新一代天气雷达究竟能比传统天气雷达带来多大的改进。由于我国尚没有这方面的数据,我们介绍美国新一代天气雷达与传统雷达的对比情况,对我国的情况有很好的参考意义。我国的新一代天气雷达的设计在相当大的程度上参考了美国新一代天气雷达 WSR-88D。美国新一代雷达 WSR-88D 于 1991 年开始布点,于 1996 年布点完毕。总共布置了 166 部 WSR-88D 雷达。其中 12 部雷达在海外,其余 154 部在美国本土。有 8 部雷达用于培训和后勤及业务支持。我们主要讨论对局地强风暴和相应的强烈天气(龙卷和暴洪)的预警能力方面新一代天气雷达和传统天气雷达的差异。

1 天气雷达预警的评分系统

首先引入命中率(POD)、误警率(FAR)和临界成功指数(CSI)的概念。令 X 代表事件发生并对其预先发出了警告的次数; Y 代表事件发生但没有发出警告的次数; Z 代表事件没有发生但误发出了警告的次数; W 代表没有发出警告同时事件也没有发生的次数。命中率 $POD = \frac{X}{X + Y}$,代表事件发生的总次数中,发出警告的次数所占的比率。警告

的次数越多, POD 的值越高。误警率 $FAR = \frac{Z}{X+Z}$, 代表发出警告的总次数中事件没有发生的次数所占的比率。误发警报的次数越多, FAR 越大, 结果越差, 其最坏的可能值是 1; 误发警报的次数越少, FAR 越小, 结果越好, 其最好的可能值是 0。

过多的报警会使得 POD 值较高, 但同时 FAR 值会较高。过少的报警会使得 FAR 值较小, 但又会导致较小的 POD 值。我们用成功指数 $CSI = \frac{X}{X+Y+Z}$ (即通常的 TS 评分) 来代表 POD 和 FAR 的综合效应。 CSI 的最好可能值是 1, 最坏可能值是 0。 CSI 可用 POD 和 FAR 来表示:

$$CSI = [(POD)^{-1} + (1 - FAR)^{-1} - 1]^{-1}$$

2 最早布设新一代天气雷达的 6 个雷达站的对比情况

首先介绍 Polger 等^[1]给出的 6 个雷达站新一代和传统天气雷达的对比情况。这 6 个站是 Oklahoma 州的 Norman (1991 年 3 月布设 WSR-88D)、Florida 州的 Melbourne (1992 年 1 月布设)、Virginia 州的 Sterling (1992 年 1 月布设)、Missouri 州的 St. Louis (1992 年 3 月布设)、Kansas 州的 Dodge City (1992 年 3 月布设) 和 Texas 州的 Houston (1992 年 4 月布设)。自 WSR-88D 安装运行至 1992 年年底, 上述预报台分别发出了 2228、76、193、193、196 和 106 个局地强风暴和暴洪警报。而被报告的局地强风暴和暴洪事件数分别是 1902、62、191、159、190 和 82。将强天气分为局地强风暴(包括非龙卷强风暴和龙卷)、龙卷和暴洪三类事件进行讨论。

2.1 局地强风暴(包括非龙卷强风暴和龙卷)

与传统天气雷达不同, 新一代天气雷达的平均径向速度产品可以用来探测切变区、辐合、辐散以及和局地强风暴相关的中气旋。

图 1a 给出了 1980 年以来 Oklahoma 州 Norman 预报台发布的局地强风暴警报的命中率 POD 和误警率 FAR 的变化情况。注意每年只有一个数据点。1983 年有一个明

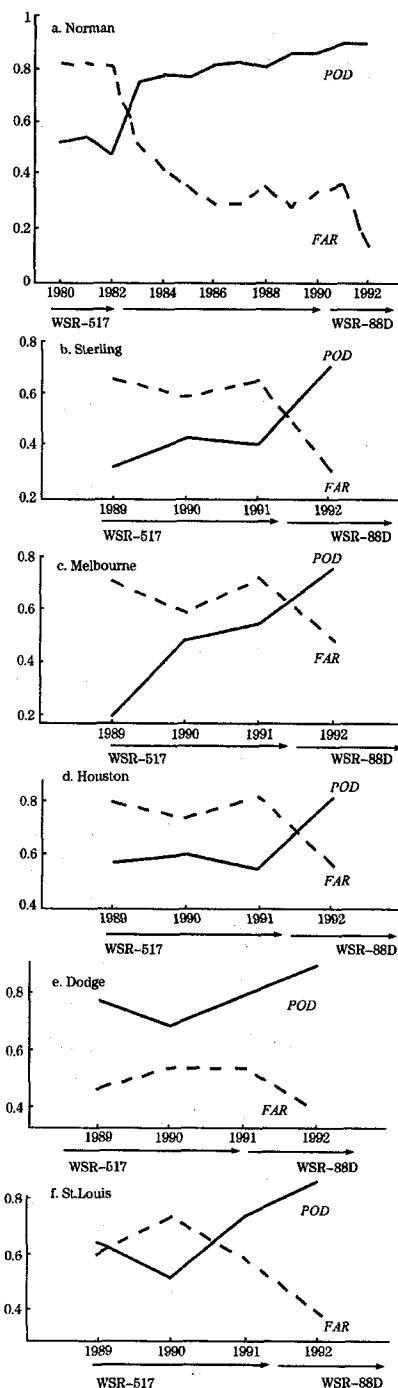


图 1 6 个预报台发布的局地强风暴(包括非龙卷强风暴和龙卷)警报的命中率 POD 和误警率 FAR (每年一个数据点)

Norman 预报台的数据从 1980~1992 年, 其余台站的数据从 1989~1992 年。

显的改善。这主要是由于多普勒等新技术的采用和预报员的创新努力,这些新技术的采用最终导致新一代天气雷达 WSR-88D 的出现。预报员个人能力的提高和先进技术的采用使得警报的评分稳定改善。WSR-88D 开始运行以后,1992 年的误警率 FAR 显著降低。其它预报台(图 1b~f), WSR-88D 从 1992 年 1~4 月开始运行。Sterling、Melbourne 和 Houston 预报台,1992 年的 POD 和 FAR 比 1991、1990 和 1989 年改进的非常大。Dodge City 预报台 1992 年的误警率 FAR 比前三年有明显的改进,可归功于 1992 年 3 月起 WSR-88D 的使用;然而,其命中率 FOD 从 1990 年开始持续改善,因此不能完全归功于 WSR-88D 的使用。Missouri 州的 St. Louis 预报台,其命中率 POD 和误警率 FAR 自 1990~1992 年持续改善,显然也不能完全归功于 WSR-88D 的使用,可能部分地由于预报员个人能力的提高和采用新的预警技术。

关于 WSR-88D 探测强风暴的能力,一种相当流行的观点是:WSR-88D 对强风暴发展的充分描述的距离上限是 150km。但事实说明,WSR-88D 的局地强风暴探测能力可以远远超过 150km。由于 Norman 气象台最早安装和运行 WSR-88D(1991 年 3 月),并且强风暴发生的频率高,所以我们给出该气象台自 WSR-88D 安装运行以来所发局地强风暴警报的命中率 POD 和误警率 FAR 随距离(直到 240km)变化的情况(图 2a)。零距离以上每个直方形代表以该距离为中心的 40km 宽的范围内的平均情况。240km 大致代表最大的警报范围。图 2a 显示 POD 和 FAR 值随距离的变化几乎保持定常。人们关心的另一个问题是警报的提前时间。在 WSR-88D 安装运行之前,5~10 分钟的局地强风暴警报提前时间就被认为是相当不错的。自引入 WSR-88D 之后, Norman 预报台的警报提前时间在距雷达 240km 范围之内平均在 14.9~17.3 分钟(图 2b)。也就是说,自 WSR-88D 安装运行之后, Norman 预

报台发布的局地强风暴警报的时间大大提前。

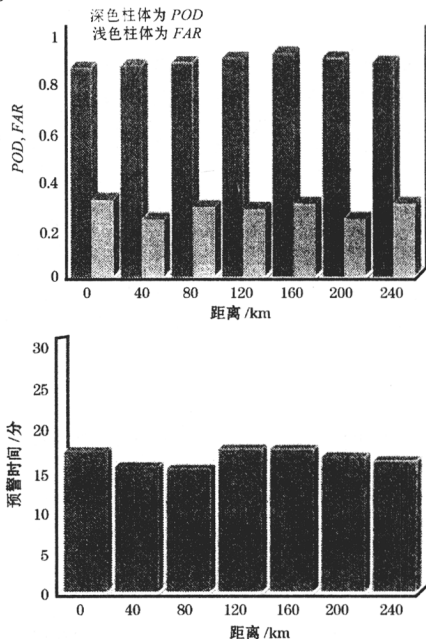


图2 自 WSR-88D 安装运行(1991 年 3 月)之后, Norman 预报台所发警报的命中率 POD 和误报率 FAR 随距离的变化(a)及局地强风暴警报的提前时间(b)

每 40km 间隔的强风暴发生次数和警报次数分别是 306 和 340

2.2 龙卷

因为非龙卷强风暴和龙卷发生的频率比为 14 比 1。因此,将龙卷事件从上述 6 个气象台的强风暴数据中分离出来单独讨论。将 1989、1990 和 1991 年的数据作为 WSR-88D 运行前传统天气雷达的代表数据(Norman 气象台至 1991 年 3 月),这里称为基线雷达。表 1 给出基线雷达和 WSR-88D 在发生的龙卷总次数中,发布了龙卷警报、强风暴警报和未发警报的次数和百分比。从表中可以看出,对于基线雷达,如果一个龙卷发生,发布龙卷警报的概率是 46%,发布强风暴警报的概率是 21%,不发警报的概率是 33%;而对于 WSR-88D,分别是 72%、15% 和 13%,明显优于基线雷达。表 2 给出基线雷达和 WSR-88D 在发布龙卷警报的总次数中,被核

实发生龙卷、非龙卷强风暴和未发生强风暴的次数和百分比。对于基线雷达,若发布一个龙卷警报,则实际发生龙卷、非龙卷强风暴和不发生强风暴的概率分别是 30%、23% 和 47%;而对于 WSR-88D,分别是 46%、32% 和 22%,明显优于基线雷达。很明显,随着 WSR-88D 的安装运行,预报台对局地强风暴的预警能力大大提高。上述 6 个雷达站的统计还表明,基线雷达期间发布龙卷警报的平均提前时间是 4.8 分钟。WSR-88D 运行以后,发布龙卷警报的平均提前时间为 8.8 分钟,几乎增加了一倍。

表 1 在发生的龙卷总数中,发布了龙卷警报、强风暴警报和未发警报的次数(百分比)

	基线雷达	WSR-88D
龙卷发生次数	153	163
发布龙卷警报	70(46)	117(72)
发布强风暴警报	32(21)	24(15)
未发警报	51(33)	22(13)

表 2 在发布龙卷警报的总次数中,被核实发生龙卷、非龙卷强风暴和未发生强风暴的次数(百分比)

	基线雷达	WSR-88D
总的龙卷警报次数	223	202
观测到龙卷	67(30)	92(46)
观测到非龙卷强风暴	51(23)	65(32)
未观测到强风暴	105(47)	45(22)

2.3 暴雨

WSR-88D 增加的测量沿雷达径向速度能力改善了其探测局地强风暴的效果。此外,相对于传统天气雷达,WSR-88D 反射率因子估计精度大大增强不仅有助于更有效地探测局地强风暴,而且有助于更精确地估测降水。算法给出 1h 和 3h 累积降水以及风暴总降水。这些量对于发生暴雨潜势的早期探测是非常关键的。图 3 给出了上述 6 个站中的 4 个站的基线雷达和 WSR-88D 的命中率 POD 和误警率 FAR 。Houston 和 Melbourne 站没有被包括在内是因为在这两个站自 WSR-88 开始运行到 1992 年底几乎没有暴

洪事件发生。一般说来,暴雨事件发生的频率比局地强风暴发生的频率小一个量级。Norman 站的统计显示在该站尽管 WSR-88D 预警暴雨的能力比基线雷达要好,但改善很小。这主要是由于在基线雷达时期,Norman 站的雷达已不是 WSR-57 而是带有很多新功能的做为 WSR-88D 前身的研究雷达。其他 3 个站,WSR-88D 与基线雷达相比,预警暴雨的能力明显改善。

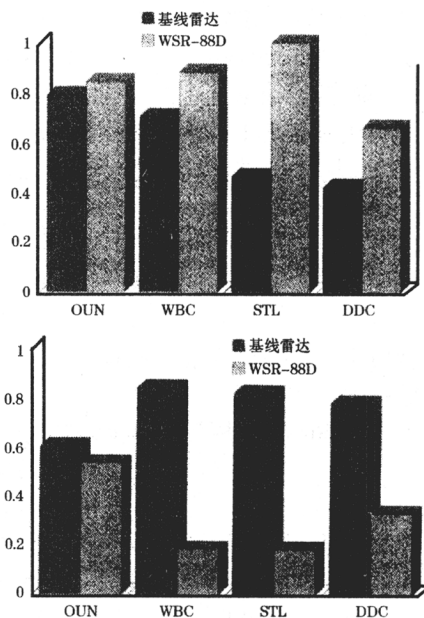


图 3 Norman (OUN)、Sterling (WBC)、St. Louis (STL)和 Dodge City(DOC)4 个预报台 WSR-88D 与基线雷达预警暴雨事件的命中率 $POD(a)$ 和误警率 $FAR(b)$

3 WSR-88D 布网完成后的评分对比

Crum 等^[2]给出了在完成 WSR-88D 在全美国的布网之后,美国天气局在局地强风暴预警方面整体改善的情况。图 4 和图 5 描述了美国天气局自 1991 年布设 WSR-88D 以来发布局地强风暴和龙卷警报方面的进展情况。由图 4 可见 POD 值从 1990 年的 0.65 增加到 1996 年 0.83,在同一时段内 FAR 的值由 0.56 减少到 0.49,相应的 CSI 值由 0.36 增加到 0.46。图 5 上部曲线表示所有局地强风暴警报的提前时间,而下部的

一条曲线表示龙卷警报的提前时间。可以注意到,对局地强风暴,警告提前时间由1990年的14.1分钟增加到1996年的18.3分钟;对龙卷,警告提前时间由1990年的5.7分钟增加到1996年的9.9分钟。美国天气局对岗位培训的重视、新的GOES卫星数据、风廓线仪数据都对上述改善有贡献。但WSR-88D无疑起了最重要的作用。

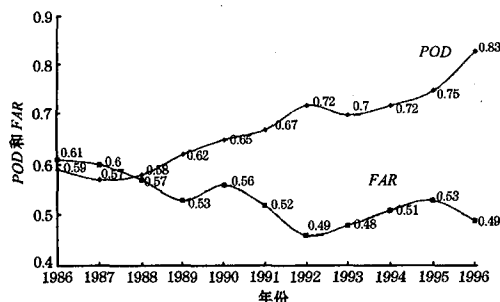


图4 美国天气局统计的1986~1996年对所有的局地强风暴警报的POD和FAR

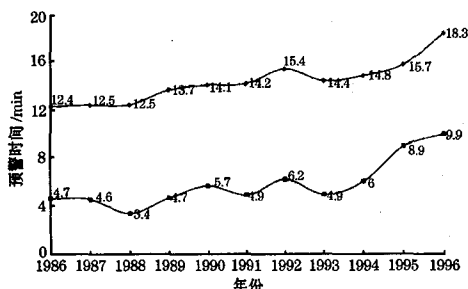


图5 美国天气局统计的1986~1996年对所有局地强风暴的警报提前时间(上)和单独对龙卷警报的提前时间(下)

WSR-88D除了在强对流和龙卷的警报方面比过去有了明显的改善外,由于灵敏度和分辨率比上一代雷达有较大的提高,使在晴空情况下,可帮助预报员预报大气边界层辐合线(如干线、雷暴的出流边界和海陆风锋)的过境时间。对风切变、对流风暴、和暴雨暴洪的发生和持续的定时定点预报有所改善,美国国家大气研究中心的局地对流风暴临近预报系统Auto-Nowcaster^[3]就是利用边界层辐合线的探测来预报雷暴的生成、发展

和消亡的。

4 小结

美国天气局在新一代天气雷达WSR-88D布网前后对局地强风暴、龙卷和暴洪预警能力改善较大,说明与传统天气雷达相比,新一代天气雷达对局地强风暴、龙卷和暴洪的预警能力明显提高。我国的气象工作者关注的一个问题是中国龙卷发生的频率比美国低得多,这在一定程度上降低了新一代天气雷达在中国使用的价值。事实上,我国龙卷发生的频率比通常人们认为的要多,每年发生在我国东部的龙卷大约在200~300个,其中灾害性的龙卷为10~15个^[4]。2003年7月8日夜间发生在安徽无为的一次强烈龙卷导致16人死亡,100多人受伤。产生该龙卷的超级单体风暴在反射率因子图上并不很强,而径向速度图上的强烈中气旋特征在龙卷发生前10~15分钟就已经出现,为龙卷预警提供了可能^[5]。从上面的介绍看到,除了龙卷以外,新一代天气雷达的使用对非龙卷的局地强风暴和暴洪的预警能力也大大改善了,这与我国的情况有相当大的可比性。暴雨在中国是一个受到格外重视的天气现象,由于新一代天气雷达具有测速功能,可以获得降水云体内的辐合、辐散和涡度场的半定量信息,相信可以改善暴雨发展趋势的短时临近预报水平。是否能做到这一点,需要经过实践的检验。另一个需要强调的是培训的重要性。美国在引入新一代天气雷达后对强对流天气预警能力的明显改善在很大程度上归功于对预报员及时和强化的培训。这一点是非常值得我们借鉴的。

参考文献

- 1 Polger, P. D., et al. National Weather Service Warning Performance based on the WSR-88D, B. A. M. S., 1994, 75: 203—214.

(下转第26页)

(上接第 7 页)

- 2 Grum, T. D., et al. An Update on the NEXRAD Program and Future WSR-88D Support to Operations, Wea. And. Forecasting, 1998, 13: 253—261.
- 3 Wilson, J. W., et al. Nowcasting Thunderstorms: A Status Report, B. A. M. S., 1998, 79: 2079—2099.
- 4 魏文秀,赵亚民. 中国龙卷风的若干特征,气象,1995, 21:36~40.
- 5 郑媛媛,俞小鼎,方翀等. 2003 年 7 月 8 日安徽系列龙卷的新一代天气雷达分析. 气象,2004,30(1):38~40.

Comparison between NEXRAD and Traditional Radars in Their Warning Capability on Local Severe Storms, Tornadoes and Flash Flood

Yu Xiaoding

(CMA Training Centre, Beijing 100081)

Abstract

The comparison between US NEXRAD and traditional radars in their warning capability on local severe storms, tornadoes and flash flood is described. It shows that the warning capability is significantly improved with NEXRAD (WSR-88D) replacing the traditional weather radars (WSR-57). Although in China, tornado is much less frequent than that in US, a large improvement can be still expected in local severe storm warnings with the installation of new generation weather radar network.

Key Words: CIORAD warning performance local severe storms comparison