

WSR-88D 多普勒天气雷达的运行设计和使用情况分析

黄 炎 邵玲玲 葛张全

(上海中心气象台, 200030)

提 要

介绍了上海市气象局 WSR-88D 型多普勒天气雷达的架设、通信传输、系统数据流、产品的获取方式、雷达可调参数设置等运行设计, 并举了 1998 年的三个应用实例, 表明 WSR-88D 对强风暴具有很强的探测能力, 通过对风暴的结构和多普勒风场连续演变分析, 在强风暴的短时预报中发挥了明显的作用。

关键词: WSR-88D 运行设计 使用

引 言

WSR-88D (Weather Surveillance Radar-88 Doppler) 目前在美国已完成全国布网, 并作为延用到 21 世纪的下一代天气雷达, 是当今世界上最先进的业务化多普勒天气雷达。上海市气象局在 1997 年引进该雷达, 同年 11 月底投入业务运行。本文就 WSR-88D 雷达的通信传输、产品获取方式、雷达可调参数设置和一年来在业务工作中的应用进行分析讨论。

1 WSR-88D 的架设和通信传输

WSR-88D 由三个主要功能单元组成: RDA (雷达数据获取)、RPG (雷达产品生成) 和 PUP (主用户处理机)。由于上海市区高楼林立, RDA 如果架设在市内将会形成很多遮挡, 不能充分发挥雷达的性能, 所以经多次选址考察, 最后确定将 RDA 架设在市区东南约 50km 的南汇县海边, 为方便预报人员的使用, PUP 必须放在气象台的预报值班室内, 这样 RDA、RPG 和 PUP 之间就成为远距离的异地设置, RDA 和 RPG 放在南汇的雷达站内, 两者之间由机器原来提供的硬导线宽带通信联接, 而 RPG 和 PUP 之间的雷达产品数据传输采用远程的窄带通信。

另外, RPG 的一个重要部件, 作为雷达工作人员人机交互平台的 UCP (Unit control position) 也可以与 RPG 异地放置, 构成远程 UCP, 它和 RPG 之间也使用窄带通信联系, 其工作框图见图 1。

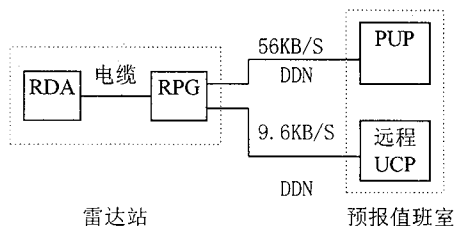


图 1 系统通信联接框图

一般在美国从 RPG 到 PUP 之间采用 $9.6\text{KB} \cdot \text{s}^{-1}$ 的模拟窄带通信, 其速率比较低, 为了提高雷达产品传输速率, 使用了 DDN 通信网络, 从 RPG 上的 56K 通信接口, 直接连到 DDN 网的数字终端设备 DTU 上, 经调试实现了 56K 的远程窄带通信, 这样虽然 RPG 和 PUP 远距离异地设置, 但通信速率与二者放在一起的效果相同, 使得大量雷达产品的快速传输成为可能^[1]。目前每个体扫描最多可传送 35 个以上产品, 一般日

常设置的 20 个产品,在体扫描结束后的一分钟内都可实时地传送到 PUP,基本上能满足预报人员的需求。远程 UCP 通过 9.6K 的窄带与 RPG 相联,雷达站在无人值守的情况下,操作和维护人员可在预报值班室的远程 UCP 上及时了解雷达的工作状况,以及对雷达进行控制和有关参数的设定。

2 雷达系统的数据流和产品的获取

RDA 对返回的信号进行处理,生成三种基本的雷达气象信息,即基本反射率、平均径向速度和速度谱宽。进入 RPG 后经一系列的水文气象算法处理,生成大量的雷达产品,其中一类是直接由基本数据导出的产品,另一类是由算子导出的产品,根据性质分类,共可生成 39 种不同种类的分析产品^[2],图 2 表示雷达系统的数据流。

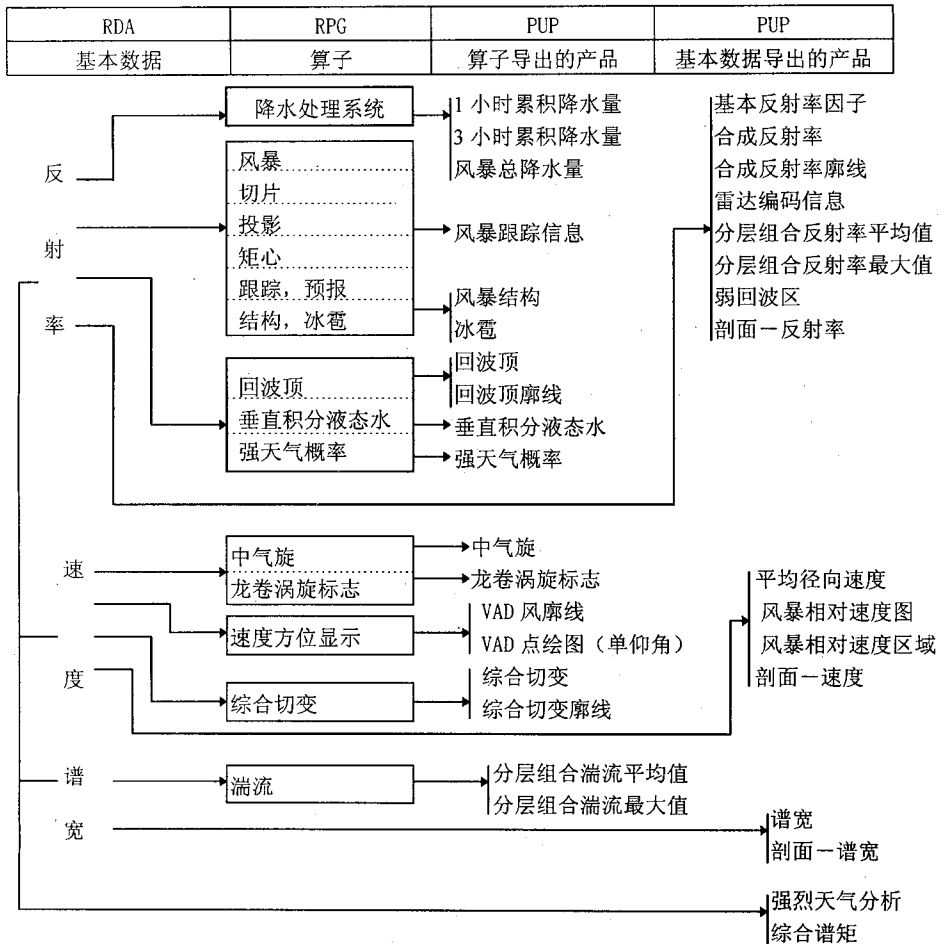


图 2 WSR-88D 系统数据流

在 PUP 上可通过三种方式实时地获取 RPG 上生成的雷达图象产品。

2.1 RPS 表

由于 RPG 和 PUP 之间开通了 56K 的专线,产品可通过专线自动地向 PUP 传送,为了方便日常产品的有效传输,我们对在不同天气模式下,选择预报最经常使用的产品,

编制了多个 RPS (routine product set) 表,其中 A、B、C 表各有 20 个日常产品,分别对应于晴空和远距离时的降水模式,产品基本上包括了低仰角的反射率 (R)、低仰角的速度场和风暴相对速度 (V 和 SRM)、组合反射率 (CR)、垂直积分液态水 (VIL)、一小时累积降水量 (OHP)、风暴总降水量 (STP)、

冰雹指数(HI)、风暴踪迹(STI)、VAD 风廓线(VWP)、回波顶(ET)等,如 A 表对应于 100km 以远有明显降水时,表中有 12 个仰角产品,在该仰角扫描完成后,立即送到 PUP,而 8 个体扫描产品,在体扫描结束后一分钟全部送到 PUP,为了在强天气影响时收集更多仰角的资料和中气旋、龙卷涡旋标志、弱回波区等导出产品,RPS 表编制了 35 个产品,不同的 RPS 表在工作中可根据天气变化方便地切换。

2.2 产品的一次性请求

不包括在当前 RPS 表中的产品,如一些高仰角资料、剖面等,可通过图象板或应用终端作一次性请求,一次只能获取一个产品。

当专线通信出现故障时,RPG 就不能自动地按 RPS 表正常传送产品,这时通过备份的拨号电话线,以非相关 PUP 的形式向 RPG 作一次性请求调用产品。在 RPG 预先设置好的产品生成和分配表中,对 39 种产品的仰角、分辨率、生成频率和存放在 RPG 库中的时间(一般为 90 分钟)都作了具体的规定。

2.3 和警报配对的产品

在设置的警报区中,当定义的天气现象其实测值或预报值超过它的警报阈值时,就自动把该现象的产品和警报一起发送到 PUP。通过以上三种方式,在 1998 年中对一些典型的天气过程积累了约 4 万幅雷达图象资料。

3 雷达可调参数的设置

WSR-88D 雷达的处理和算法软件中含有约 400 个可调参数,可针对各地的地理、气候特点和本站的条件、业务要求调整,以优化雷达的性能^[3]。本文主要介绍其中的两类。

3.1 警报区、警报对象和阈值的设置

WSR-88D 可以设置两个警报区域,在警报区中选择有关的天气现象作为警报对象,当超过设定阈值时,就自动以声音报警,引起值班人员的注意,同时 RPG 根据需要自动传送和警报现象配对的产品。上海在各个方向上都有强对流天气移入影响,据此我们

设置了两个警报区的范围(图略)。I 区大约在 230~115km 之间,目的是强天气进入该区时及早引起注意,但不一定马上发布短时强天气警报;II 区大致在 115~60km 之间。根据以前的工作经验,强天气进入雷达 100km 范围后,就应考虑发强天气警报。每个区都设定十种天气现象,主要是组合反射率、速度场、冰雹指数、中气旋、龙卷涡旋标志、预报的风暴最大反射率和速度等,警报阈值是依据上海多年的雷达气候统计结果而设定,如反射率超过 50dBz,即可能认为有强对流天气产生,两个警报区的警报对象和阈值由距离的远近而作一些调整,如速度场在 I 区中为 40KT,II 区中增大到 50KT,II 区中增加了 1 小时雨量大于 1in 和市区每小时雨量超过 20mm 即可能引起局部积水相符,警报的设置还尽量考虑了预报值,当预报的最大风暴反射率和速度场超过一定阈值后,也会进行报警。

3.2 杂波抑制功能

由于上海周围地面建筑众多,以前架设在徐家汇的 714 雷达在低仰角时测站 40km 内布满了地物杂波,在超折射条件时,杂波强度常超过 50dBz,范围有时到达 200km,严重干扰对降水的探测。WSR-88D 具有较强的地物杂波抑制能力,我们通过多次试验,设置了杂波抑制的范围,不同体扫描模式和不同通道的抑制方式及抑制水平等。针对上海地物杂波的情况,为了更有效地进行抑制,抑制范围采用 2~510km 和 0~360°的全程抑制。对不同的体扫描模式采用在抑制区内每个距离库都进行过滤(VCP21)或者用旁通图(Bypass Map)来控制需要抑制的距离库(VCP11),对于抑制的水平,也即滤波器的槽口宽度,一般用 2 或 3 级,对应为 2~3KT 或 3~5KT 的槽口宽度。如在降水模式 VCP21 时,因为最经常使用,希望杂波抑制不受大气条件变化的影响,所以放在对全程每个距离库都进行抑制,抑制水平对监测通道为 2 级,相当于抑制 40dBz,为进行杂波抑制前后的对比,大片近站地物杂波和直到

200km 以远的超折射都能有效地抑制，而并不很强的降水目标，其范围和强度并不受影响，对于多普勒通道抑制水平放在 3 级，可有效地消除由地物杂波等固定目标所引起的大片零速度区。

4 1998 年的使用情况

WSR-88D 架设至今已正常运行了一年，在日常的降水预报、热带风暴探测，尤其是强对流天气的短时预报中发挥了重要的作用，现举几例说明。

4.1 及时发现强对流天气现象，提供预报线索

多普勒雷达可以直接测出云雨区中的径向速度场，从而推演出风暴中风场的变化，及时发现雷雨大风的出现。8 月 16 日下午市郊先后发生二次雷雨大风，18:02 奉贤 NE 风达到 $32\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，18:04 青浦又出现 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 NW 风，造成一定的损失。在雷达反射率

图上 15:30 以后，太湖以东不断有强对流单体发展东移，17 时市区及南郊也有一些对流单体生成，如果仅仅从反射率分析，其强度和面积 (160km^2) 都很难分析出有强烈对流天气的可能，但从 17:28 以后的多普勒速度场进行连续的观测分析，发现该地区底层的东北风一直在加大，到 17:51 和 17:57 奉贤一带已出现大于 $25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的东北风 (图 3)，根据速度场的演变，可提前反映出雷雨大风的出现过程。这时上海西面的强回波带仍在继续东移，会不会再次发生雷雨大风？参照 18 时以后的风暴相对速度图 (略)，发现在带的前方具有明显的辐合流场，一支 $5 \sim 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的相对入流气流预示强回波带仍在发展，结果青浦在该带影响时再度出现雷雨大风。利用多普勒雷达的风场资料，我们较好地做出了这次雷雨大风的短时预报。

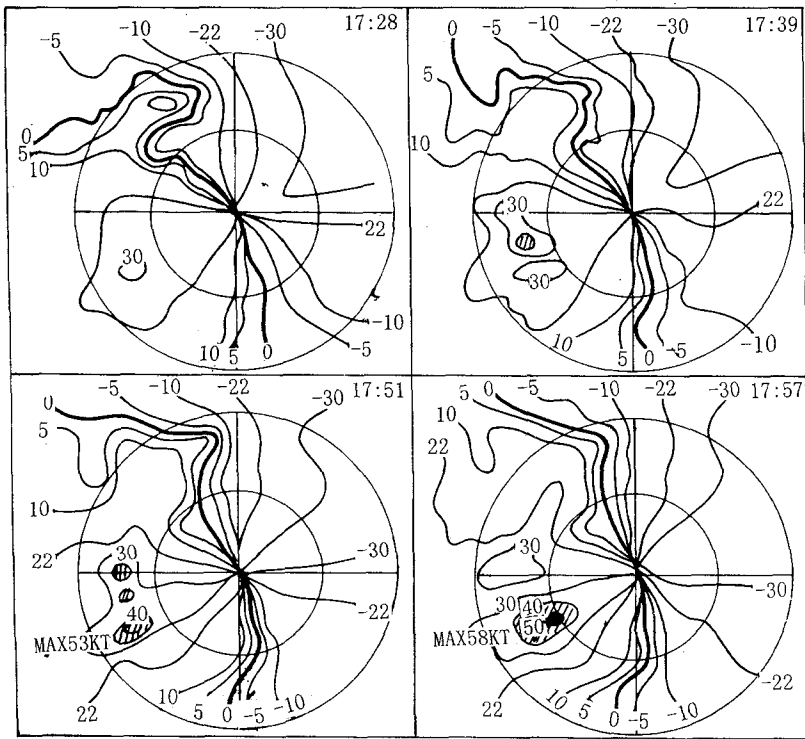


图 3 1998. 8. 16. 17:28~17:57 风暴相对速度场，等值线为 KT/H，正值远离雷达，负值朝向雷达，距离圈每圈 10 哩

4.2 揭示风暴系统的结构

8月9日16:20杨浦、浦东新区等地发生局地冰雹天气,最大冰雹直径3~4cm。当天上海地区处于副高北侧的对流不稳定环境中,中午前天空晴好,14时在市区东北的地面切变线上有局地的对流单体生成,15时强度达到67dBz,位置停滞少动,15:30更发展到72dBz,最大回波顶高超过16km,如此强盛的单体风暴,在盛夏季节也是比较罕见的。我们利用在降雹前不同仰角的反射率、风暴相对速度、回波顶高度分布、速度方位显示风廓线等雷达产品对风暴结构进行综合分析,以探讨其未来降雹的可能性。图4是15:42的风暴结构顶视图,可以看出当时的回波结构已具有明显的超级单体风暴特征,图中实线是风暴底层的反射率廓线,风暴有一个非常强的核心,在入流方向上是十分陡直的回波反射率梯度,形成回波墙,近地面层从风暴中心往外是下沉的辐散气流,它和环境偏南风之间在离风暴前沿约5km处形成一圈向外逐渐推进的出流边界,说明风暴已发展到旺盛阶段,在低层出流气流之上600m处开始是一支 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南入流气流,一直深入到风暴云的中心,并随高度逐渐转为西南风,风暴云顶廓线顺高层西南风向下方伸展到20km处;2km处的回波反射率廓线在入流方向上悬挂在地面回波的上方,形成悬挂状回波和弱回波区,最大风暴顶高度达到16.8km,并偏离于地面强回波中心,说明入流气流进入风暴后,在风暴云中形成一支十分强烈的上升气流。从以上分析中的强反射率核、悬挂状回波、弱回波区、偏离风暴中心的顶、凌驾于底层出流边界之上的强低空入流气流等特点,正是分析在超级单体旺盛阶段产生降雹的主要依据。

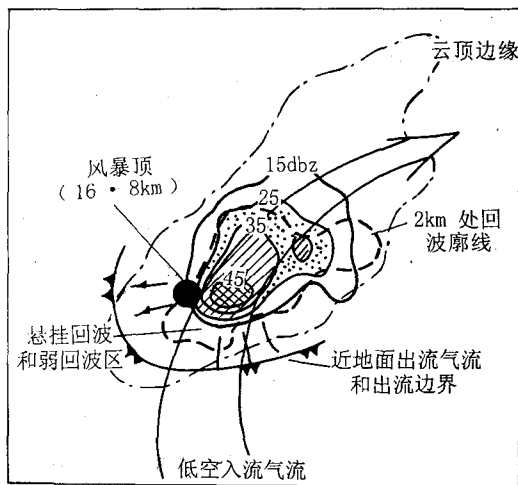


图 4 1998. 8. 9. 15:42 的风暴结构顶视图

4.3 热带气旋的定位

以前用常规雷达对热带气旋的定位,主要根据反射率资料中的眼区回波结构和螺旋雨带进行定位,但上海所处纬度较高,当热带气旋北上,尤其是接近登陆时,眼区和螺旋带结构往往变得不清晰。如9806号热带气旋在9月19日21时后进入浙东沿海时,回波眼区为弱回波填塞,螺旋带也不标准,给定位带来一些困难(图5a)。88D雷达提供的动画、回波定位功能和速度场资料,正好可以弥补这方面的不足,具体方法是:

(1) 先利用反射率的动画,初步定出眼区范围内回波旋转中心的位置,作为热带气旋中心的近似位置。

(2) 为了进一步定量地确定回波旋转中心,也可以用88D雷达特殊的回波定位功能,挑选二块旋转比较明显的回波,根据相隔1个或几个体扫描间回波位置的变化,计算旋转中心的位置^[4],计算公式为:

$$X = \left[\frac{y_2'^2 - y_2^2 + x_2'^2 - x_2^2}{2(y_2' - y_2)} \quad \frac{y_1'^2 - y_1^2 + x_1'^2 - x_1^2}{2(y_1' - y_1)} \right] \left(\frac{x_1 - x_1'}{y_1' - y_1} - \frac{x_2 - x_2'}{y_2' - y_2} \right)^{-1}$$

$$Y = X \left(\frac{x_1 - x_1'}{y_1' - y_1} \right) + \frac{y_1'^2 - y_1^2 + x_1'^2 - x_1^2}{2(y_1' - y_1)}$$

其中X、Y是旋转中心的经度和纬度(或者也可以是由方位距离转换成的直角坐标位置),

(x_1, y_1) 、 (x_1', y_1') 和 (x_2, y_2) 、 (x_2', y_2') 分别是回波块1和2的初始位置及1个(或几

个)体扫描后的位置。

(3) 确定速度场中的零速度线,利用零速度线应该通过热带气旋中心的特点,进一步准确确定出中心位置。

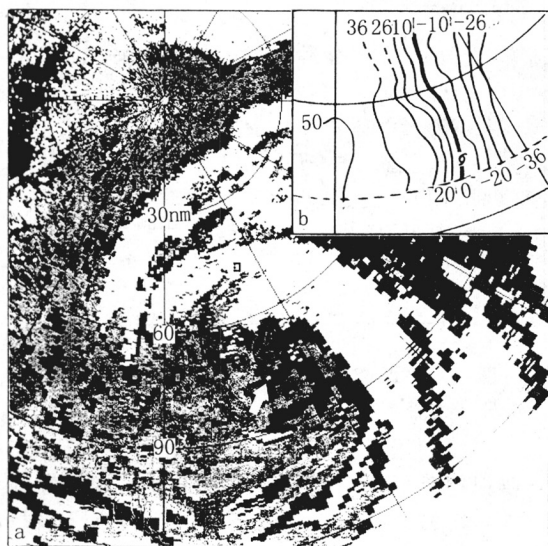


图5 a. 1998. 9. 19. 21: 40 9806号热带气旋的反射率图
b. 同时时间的热带气旋中心附近的多普勒速度场

图5b是同一时刻的热带气旋中心附近的多普勒速度场,图中标出了由零速度线最

后确定的中心位置。该次热带气旋,利用88D资料从19日中午进入雷达探测范围直到20日晨移出进行了每小时1次的雷达定位,及时提供了比较准确的热带气旋位置变化。

5 小节

我们对1998年7~8月用雷达作强对流的短时预报作了统计,2个月中共出现强对流天气20次,发布警报29次,其中报对19次,空报10次,漏报1次,统计评分命中率POD为95%,达到了很高的水平,空报率FAR34%,造成空报较多的原因,大都是因为外地产生的强对流在雷达上发现后即发布警报,但在移近上海时减弱或消散了,所以产生了空报。

参考文献

- 1 诸兆庆,宋声平等. 上海雷达站NEXRAD的通信与业务流程. 中国气象学会气象电子技术委员会1998年学术年会论文集,1998,11.
- 2 Gerard E. K. and David A. I., A description of the initial set of analysis products available from the NEXRAD WSR-88D system, Bulletin of the American Meteorological Society. 1993, 74 (7).
- 3 OTB, OSF, WSR-88D Operations Course, 1997, 5.
- 4 黄炎,邵玲玲. 热带气旋的数字化雷达定位方法研究. 北京:气象出版社,大气科学研究与应用,1995,(2): 84~89.

The Operating Design and Applicational Analysis of the WSR-88D

Huang Yan Shao Lingling Ge Zhangquan

(Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

Abstract

The radar installation, communication transmission, data flow through the system, product acquisition ways and radar adaptable parameters setting of the WSR-88D in Shanghai Meteorological Bureau were introduced. Three applicable samples in 1998 were analyzed. The results showed that the WSR-88D has a very strong detective ability for storms. It has played an important role in severe weather nowcasting through analysis of the storm structure and evolution of velocity field data.

Key Words: WSR-88D operating design severe weather nowcasting