

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。

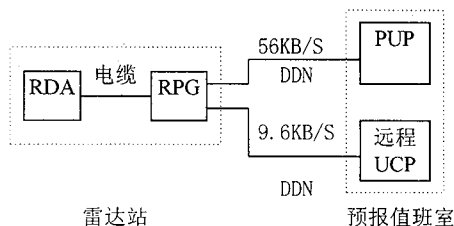


图 1 系统通信联接框图

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。

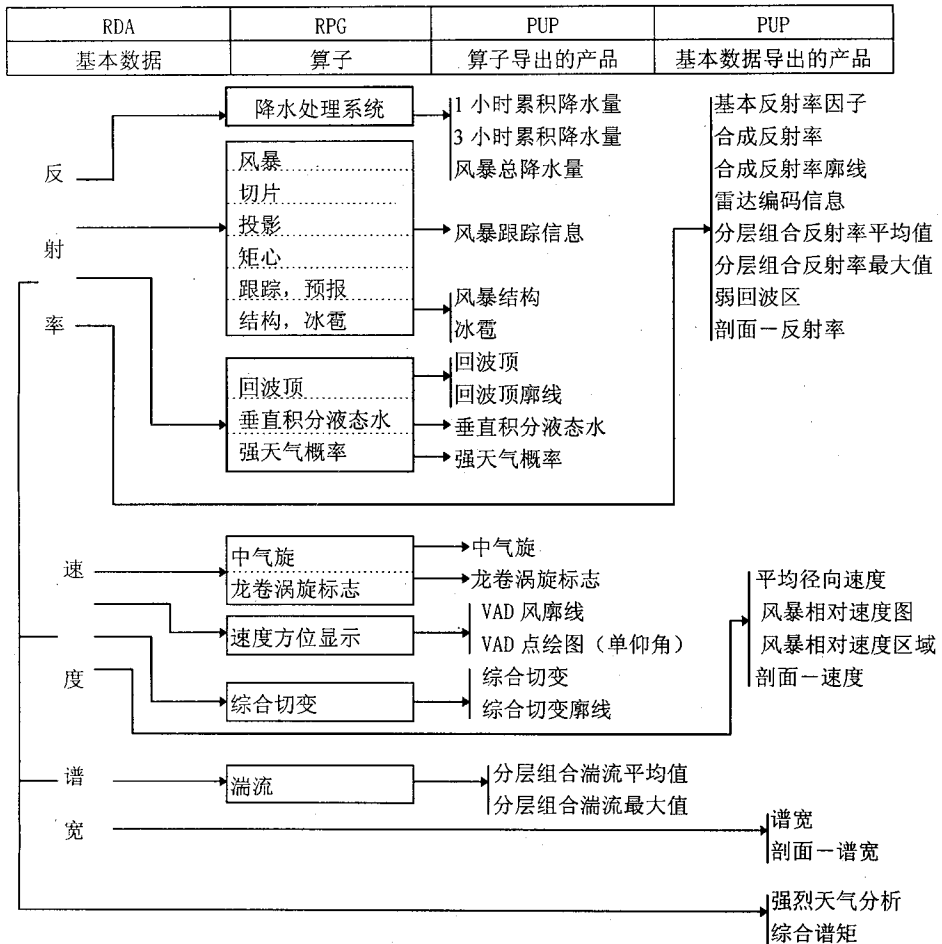


图 2 WSR-88D 系统数据流

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。

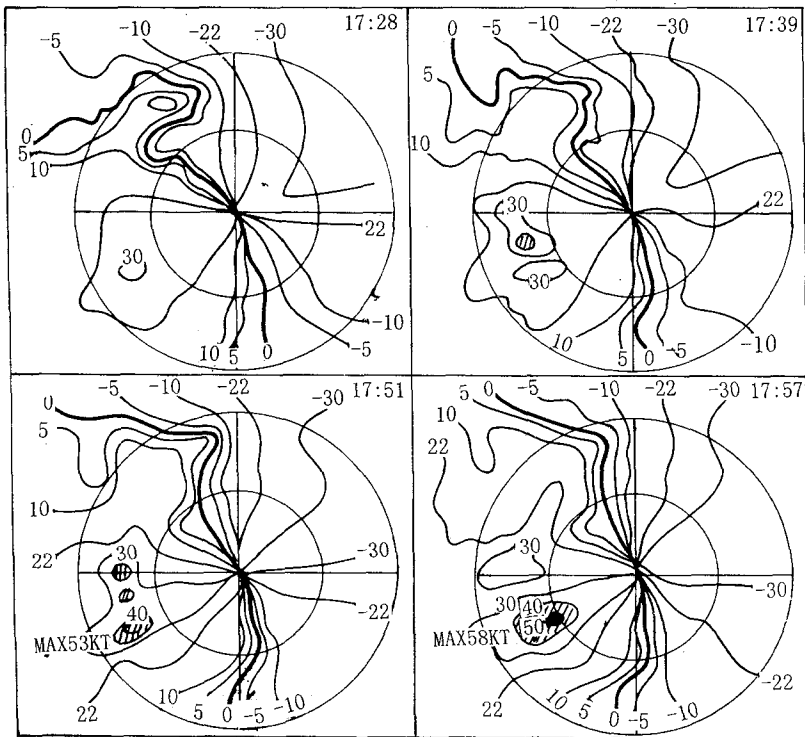


图 3 1998. 8. 16. 17:28~17:57 风暴相对速度场，等值线为 KT/H，正值远离雷达，负值朝向雷达，距离圈每圈 10 哩

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。

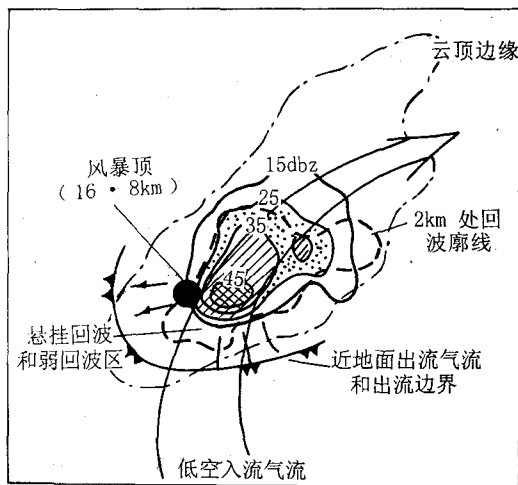


图 4 1998. 8. 9. 15:42 的风暴结构顶视图

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

