



713雷达探测降水系统的能力

黄炎叶其欣*

(上海市气象局)

利用天气雷达可以警戒和探测一定范围内降水天气系统的发生、发展和演变情况，预计降水强度和影响时间等。目前布网天气雷达（如713或843型）的设计探测范围为400—600公里，而实际上却不一定能探测到这么远，其原因是多方面的。天气雷达的实际探测能力，将直接关系到它在预报中的使用价值和布网的设计。

本文根据1980年长江下游雷达协作片上海、江苏、安徽、浙江等省市有关天气雷达站的综合探测资料，同年在上海开展的5厘米、10厘米雷达对比观测试验资料，以及有关气象站的雨量自记记录等逐时观测资料，以6月17日一次弱冷锋上降水系统的演变过程为例，讨论了713雷达的实际探测能力和警戒范围。并进而指出，对灵敏度较高的雷达来说，由于地球曲率所引起的垂直波束充塞问题，是影响实际探测能力的主要因素。

一、中尺度降水系统的活动情况

17日08时，地面弱冷锋位于如东、常州、芜湖、安庆一线，锋后有一条比较宽阔的降水带A。由于受副高西北侧中低层强西南气流的影响，冷空气非常浅薄，如锋后南京在600米以上就转为西南风控制。因此在

冷锋南移过程中，锋后雨带逐渐和地面冷锋脱离，并趋于减弱。中午前后，冷锋到达黄山、天目山北麓一带，其东段因太湖附近无山脉阻挡继续南下，沿锋面相继生成对流降水带C₁和C₂。在其西段，冷空气沿大别山和黄山山脉间的长江河谷向西南推进，在午后和环境流场在安庆、怀宁一带辐合，不断有对流回波带(B₁, B₂, B₃, B₄)生成，并向东传播，形成锋后多条带状的回波结构。我们综合了上海、南京、贵池、合肥、盐城等十余个雷达站的资料，绘制出当天每小时的降水系统雷达回波综合图（图1）。

这是一次弱冷锋上降水带向南传播的过程，由上午锋后近东西走向的混合型降水带，转变为东北—西南走向的多条对流降水带。由于受地形等环境条件的影响，使过程变得比较复杂，在上海713雷达的400公里探测范围内，降水性质从间断小雨、一般对流性降水到较强的对流性降水都有，资料具有一定代表性。

二、对713雷达探测降水系统能力的分析

1. 雷达发现降水目标必要条件的估算

根据雷达气象方程^[1]，降水目标的

* 参加本文工作的还有葛张全、金关海、陈桐良、蔡绍元。

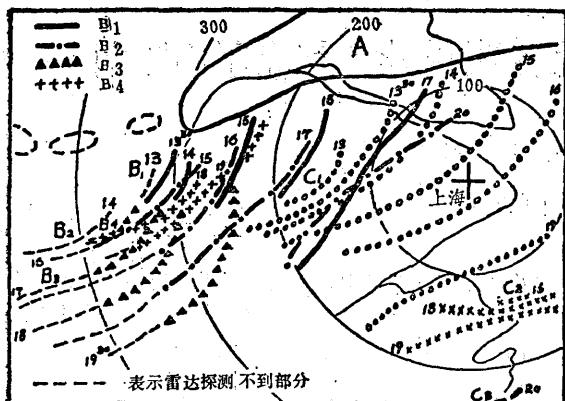


图 1 1980年6月17日中尺度降水系统综合图
图中圆弧为距上海雷达站距离, A₁, B₁, B₂, B₃, B₄, C₁, C₂, C₃, 为回波带, 数字为时间

反射因子Z可表示为:

$$Z = \frac{10241 \ln 2}{\pi^3 \tau c |k|^2} \left(\frac{\lambda^2 P_{r \min}}{P_t G^2 \theta \varphi} \right) r^2 10^{-\frac{N}{10}} \quad (1)$$

式中符号为通用符号。对一定雷达说来,其参数都是已知的,可用一个雷达常数C₀来表示,于是(1)式可改写成

$$Z = C_0 r^2 10^{-\frac{N}{10}} \quad (2)$$

在本次探测过程中,C₀=1.56×10⁻²⁸m。因此在衰减量N为0分贝时的雷达最小可测反射因子为,

$$Z_{\min} = 1.56 \times 10^{-4} r^2 \text{ mm}^6/\text{m}^6 \quad (3)$$

r是目标距雷达站的距离(单位为公里)。另外反射因子Z=ΣD_i⁶,D_i是雷达照射波束内雨滴的直径,它反映滴谱的分布,因此反射因子Z和降水强度I存在某种关系,在通常情况下可用马歇尔关系来表示:

$$Z = 200 I^{1.8} \quad (4)$$

根据(3)式和(4)式,可以作出雷达的最小可测雨强I_{min}随距离的变化曲线(图2中a曲线)。在计算中考虑了机器对视频信号的传输损耗约6分贝。我们在这里作如下假设:①电磁波在途中衰减可以忽略。由于向东传播的回波带(B₁-B₄)多数都不很强,宽度也不大,对5厘米波段衰减大都低于1分贝,这是符合当天实际情况的。②反射因子Z值随高度而减小。因此马歇尔关系只能适用于一定的距离范围,当超过

200公里,即雨区被探测部位较高时,由马歇尔关系计算的雨强必然与实际雨强存在较大的偏差,为此我们参考了多纳逊(1961)雷暴反射因子Z值的平均垂直廓线资料^[25],对不同距离探测高度上的Z值进行订正,使I_{min}的估算值更合理一些。可以看出,经订正后的曲线(图2中b曲线)在250公里以

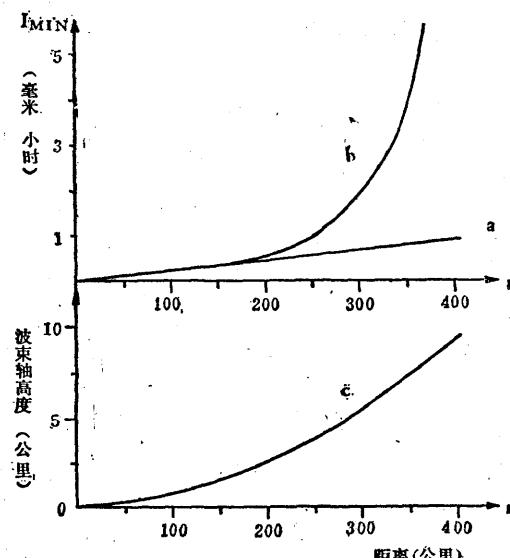


图 2 最小可测雨强I_{min}随距离的变化

远急速增加,这对探测是明显不利的。

由于地球曲率的影响,一定距离以远的降水回波,若其高度低于雷达扫描波束或波束充塞程度很小,也不能被雷达探测到。我们引用了在标准大气情况下平地雷达的波束传播路径(图2中c曲线)。由此可见,一定距离处的降水回波被雷达探测到的必要条件是,实际雨强大于I_{min}和回波顶高大于波束所在高度。根据图2,250公里处的降水回波被探测到的条件是:雨强大于1毫米/时和回波顶高超过4公里。一般对流性降水可满足上述条件;而一些稳定性小雨,则无论回波高度或降水强度都因达不到要求而探测不到。这与1980年夏上海雷达对比观测试验中得出的713雷达发现概率在200公里以远很快减小,到250公里处仅有50%的结果是相符的。

2. 雷达对降水系统的实际探测能力

①对锋后降水带A的探测能力 锋后降水回波带A东起海上，向西延伸到安徽省中部，长达700公里以上，位置少动。13时30分上海713雷达探测到的部分约为500公里，主要是南京以东带的东段和中段的雷阵雨和稳定性降水的混合区。从探测范围看，西限达到南京周围一片正在减弱的稳定性降水和阵雨的混合区，距测站约220—280公里（图3）。13时30分，南京、仪征雨强分别为3.6和1.8毫米/时，南京雷达实测回波高度6公里，都在理论可测范围之内。再往西合肥雷达反映在全椒附近有小片东移的弱回波，距上海300公里以上，13时30分全椒雨强0.6毫米/时，小于 I_{min} ，高度也低于6公里，所以上海雷达未探测到。回波带西段全椒至合肥的零星小雨区，则无论从回波高度或降水强度看，都在阈值以下，更无法探测到。

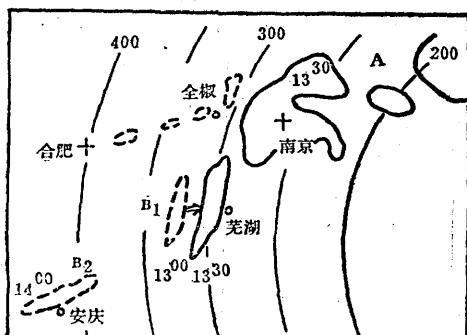


图3 13时30分前后南京附近回波综合图
虚线表示上海雷达没有探测到的回波区(下同)

②对B₁，B₂回波带东移时的警戒能力

长江河谷中安庆一带，午后不断有回波带产生并东移。回波带B₁13时东移到芜湖以西40公里处（见图3），该回波带移经芜湖时出现1毫米/时的降水。上海713雷达在13时30分即在距测站280—320公里处探测到，其主要原因是回波顶高超过8公里。

14时左右，安庆附近又发展了一条较强的对流降水带B₂，带上枞阳、怀宁13—14时的降水量分别为3.9和12.2毫米，但由于

枞阳附近的最大回波顶高只有8.5公里，且距上海约380公里，波束充塞程度很小，上海雷达未探测到。15时，B₂降水带东移到芜湖、铜陵（图4），带上降水又有加强，怀宁、贵池、铜陵一小时降水量分别达到45.9、

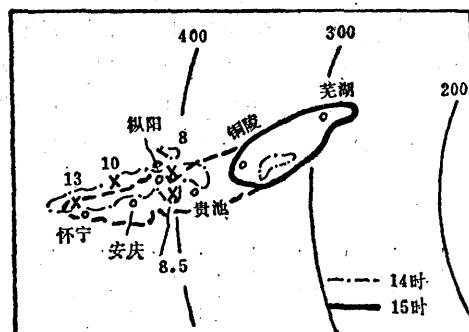


图4 14—15时B₂降水带回波综合图
图中X表示测高点，数字为回波顶高（公里）

9.3、3.5毫米，回波顶高除怀宁为13公里外，其他都不超过8公里。15时上海雷达仅探测到360公里以内的B₂回波带的东半部。虽然降水强度和回波顶高都是由西向东递减的，但360公里以远B₂带的西半部仍未探测到，其原因并不在于雨强不够，而是360公里处的雷达波束轴高度已达7公里以上，对回波顶高不超过8公里的降水带，充塞系数很小，已接近探测极限。

③对新生雷暴回波带C的警戒能力

雷暴回波带C₁是午后在雷达200公里范围内的冷锋上生成的。13时上海雷达就探测到成带的降水回波，比地面间距为30—50公里的加密站网提前1小时探测到，这说明在200公里最佳探测半径内警戒降水系统的生成是非常有效的。这已为大量观测事实所证实，不再多述。

三、回波发展高度对探测能力的影响

从以上分析可见，713雷达在探测较远距离的降水系统时，降水云体的发展高度对雷达的探测能力有很大影响。这是因为一方面随着距离增大而波束高度在增加，垂直辐度也变大，使波束充塞程度很快减小；另一方面Z值在降水云体内也随高度而减小。这两

点从理论上讲都是限制雷达探测能力的因素。

为了进一步说明云体高度对探测能力的影响，我们利用雷达站网中大量的测高资料，而不考虑其相应的降水强度（即Z值），作点聚图分析。图5中纵坐标是回波顶的实测高度，横坐标是该测高回波距上海雷达站的距离，同时还标出了标准大气中天线仰角零度时的波束传播路径。由图可见，在波束轴线以上的回波，除少数在轴线附近未测到外，大

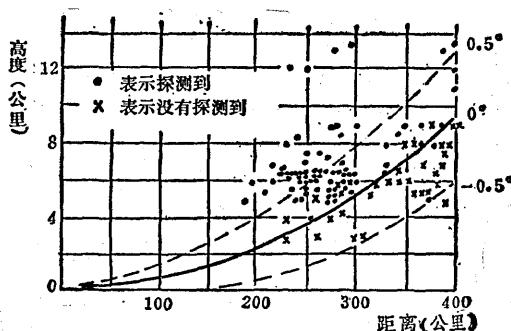


图5 回波顶高与探测距离点聚图

部分都能探测到。但在轴线以下的回波，则基本上未探测到。这说明用713这种灵敏度较高的雷达探测较远距离处尤其是300公里左右的回波时，其探测能力将主要取决于回波发展高度，而与降水强度的关系则并不明显。所以在某种意义上，可把仰角零度时的波束轴线看作713雷达探测能力的界限。例如19时30分当B₄回波带移到芜湖、铜陵一带时，我们综合了南京等五个雷达站的回波记录（图6），发现上海雷达只探测到B₄的东半部，而在300公里以远仅探测到沿回波带方向的一些零散弱回波（图6箭头所指处）。这些零散回波正好对应合肥雷达10分贝以上的强回波中心。这时虽然B₄回波带的强度较大，铜陵地面雨强为16.2毫米/时，但就大范围而言，已演变成稳定性降水，回波顶高只有6—7公里。所以在300公里以内能基本不失真地反映，而在300—350公里则

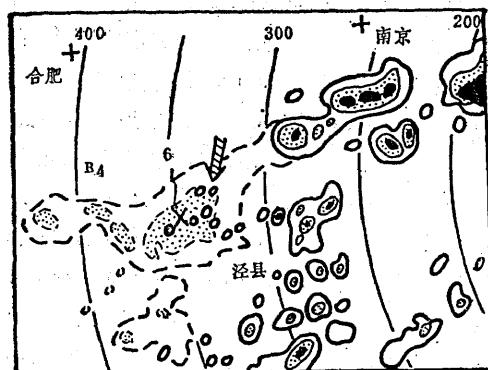


图6 19时30分皖南地区回波综合图
阴影区表示衰减10分贝，涂黑区为衰减20分贝

处于探测的临界状态，仅能探测到带状回波中一些发展稍高的回波顶部，显示为一群零散的弱回波。超过350公里，即使雨强很大也探测不到。上海雷达站还探测到相距300公里的泾县附近的另一群零散对流回波，而此时泾县、宁国雨量为0，南陵为3.0毫米/时，但由于其发展高度超过7公里，所以上海雷达能探测到。这些观测事实进一步说明远距离回波被探测到主要取决于回波高度，而与雨强的关系不大。

我们还统计了1970—1974年上海周围共三千多个测高数据，得到各种不同性质回波的平均回波顶高度。根据以上讨论结果，可估计其相应的探测距离（见附表）。

附表 各类回波的平均顶高及平均探测距离

回波性质	稳定性降水	阵雨	混合型降水	雷雨	强对流
平均回波顶高度（公里）	4.1	5.6	6.2	10.1	13.9
平均探测距离（公里）	260	310	325	400	430

参考资料

- 〔1〕中央气象局，《测雨雷达观测手册》，1972年。
- 〔2〕Battan, L. J., *Radar observation of atmosphere*, Chicago, 1973.