

利用雷达作台风 0 ~ 3h 雨量等级预报

杜惠良

滕卫平

(浙江省气象台, 杭州 310021) (浙江省气象科学研究所, 杭州 310021)

摘 要 通过对 1989 ~ 1992 年台风影响浙江期间, 杭州数字化雷达回波及对应的地面 58 个气象站和 156 个水文站自记 1h 雨量资料, 进行了统计分析, 得到在浙江仅有台风单一系统引起降水时, 杭州数字化雷达回波强度 Z 与雨强 I 。根据 $Z = A \cdot I^b$ 关系得出 A 、 b 系数在不同探测范围的值, 以得到 Z 与 I 关系, 并结合雷达回波的移动情况, 制作了浙江省台风 0 ~ 3h 雨量等级预报。

关键词 雷达监测, 台风, 雨量预报
分类号 P457

台风是造成重大灾害的主要天气系统之一, 且主要灾害表现在降水和大风上。目前, 我国沿海省已配备数字化雷达, 给人们提供了直观详细的台风雷达回波强度图象。用数字化雷达作好台风的短时雨量预报, 对做好抗灾工作意义重大。

雷达定量测量降水已有较系统的研究成果^[1], 但国内真正能用于业务部门的比较少。其主要原因是 (1) 业务部门的雷达是人工操作, 一般不能长时间连续采集雷达回波; (2) 目前全自动的地面监测网还不能达到业务要求。为适应当前业务工作的台风雷达的定量测量降水。我们作了一些尝试性的研究。

雷达的定量测量降水比较成熟的方法是利用 $Z = A \cdot I^b$ 关系式来制作。但 A 、 b 系数随天气系统、地理位置而变化。常用的方法是利用雨滴谱法和实测回波强度 Z 与同时刻对应的自记雨量计前后 5 min 的平均值为雨强 I , 统计得到 A 、 b 值。用雨滴谱法比较可靠, 但要得到大量台风雨滴谱化费人力、物力巨大, 考虑到基层台站工作的可行性, 我们提出用本文研究的方法来研究台风的 0 ~ 3h 雨量等级预报。假设不考虑台风本身各种尺度的变化, 为了方便起见, 我们把 1h 实况雨量作为雨强 I 值。

1 资料处理与样本采集

收集了 1989 ~ 1992 年杭州 5 cm 数字化雷达整点前后观测的仰角小于 0.5 的台风 PPI 图, 共 336 幅。逐个分析在影响浙江期间与其他天气系统没有结合, 而能被雷达探测到的台风, 基本是登陆浙江或紧靠沿海北上的台风。据有关研究表明, 这类台风对浙江影响严重, 次数最多, 大部分出现在 7、8 月份^[2]。对应雷达回波资料, 收集了 65 个地面气象站的逐时雨量资料和 200 个水文站自记 1h 雨量资料, 分析发现, 在一些相邻测站两者相差较大, 其原因, 有些是系统性的偏差, 有些是出于其他原因。我们对有系统性偏差的水文站和气象站予以删除。另外,

杭州数字化雷达主要地物回波位于测站偏西方向 120km 处的天目山山脉, 为了提高样本的代表性, 再将固定地物处的水文站和气象站删除, 经两次处理后, 用于统计的气象站为 58 个, 水文站为 156 个。

由雷达 PPI 图象的投影关系, 地理经纬度(,)对应 PPI 图上的坐标(X, Y)^[6]为

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{LR\cos\theta\sin(\phi-\phi_0)}{a+R[\sin\theta\sin\phi+\cos\theta\cos\phi\cos(\phi-\phi_0)]} \\ Y &= \frac{LR[\cos\theta\sin\phi-\sin\theta\cos\phi\cos(\phi-\phi_0)]}{a+\sin\theta\sin\phi+\cos\theta\cos\phi\cos(\phi-\phi_0)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, R 为平均地球半径; a 是投影顶连结地心的距离; L 是将投影顶再引长到 $x-y$ 平面交点的距离; (ϕ_0 , ϕ_0) 为雷达站所在的地理经纬度。由(1)式求取 58 个地面气象站和 156 个水文站在 PPI 雷达图上的位置。进而将 336 幅 PPI 图每幅求取各气象站和水文站在雷达图上对应的回波强度值 Z, 当测站有回波($Z>0$) 且有降水($I>0$) 时, 取一组样本, 共有 53 008 组。分析取得的样本分布情况, 有少数虽然雷达回波很弱, 但 1h 实况雨量很大。其原因可能是: (1) 雷达探测到的降水区不完全代表实际情况, 特别在远距离时; (2) 系统具有小尺度特征。由于这些情况缺乏代表性, 取样时加以删除, 所以最后的样本有 45 398 组。

2 雷达 Z-I 关系统计分析

由雷达探测气象回波的原理, 雷达回波强度 Z 和 1h 雨强 I 存在 $Z=A\cdot I^b$ 的关系式, 系数 A、b 随降水性质、地点而变化。考虑到雷达回波强度随距离而衰减, 在远距离处的回波强度比实际情况要弱, 所以在做统计时, 我们按距离分档统计。由 $\ln Z=\ln A+b\ln I$, 采用一元线性回归统计分析, 根据

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{L_{IZ}}{L_{II}} \\ \ln A &= \overline{\ln Z} - b\overline{\ln I} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中, $L_{II}=\sum_{i=1}^n(\ln I_i-\overline{\ln I})^2$; $L_{IZ}=\sum_{i=1}^n(\ln I_i-\overline{\ln I})(\ln Z_i-\overline{\ln Z})$; $\overline{\ln I}=(\sum_{i=1}^n\ln I_i)/n$; $\overline{\ln Z}=(\sum_{i=1}^n\ln Z_i)/n$ 。n 是样本数, 由(2)式统计得到 b 和 A。根据

$$\left. \begin{aligned} r_{IZ} &= \frac{L_{IZ}}{L_{II}L_{ZZ}} \\ S &= \frac{(1-r_{IZ})^2L_{IZ}}{N-2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中, $L_{ZZ}=\sum_{i=1}^N(\ln Z_i-\overline{\ln Z})^2$ 。由(3)式计算相关系数 r_{IZ} 和剩余标准差 S 得到表 1。由表可知, 相关系数基本大于 0.9, 说明统计得到的 A、b 值相关性较好。

3 雷达回波移动分析

台风的雷达回波形态复杂, 目前用自动方法求得回波的移动比较困难, 也不太准确。我们采用人机交互式方法, 将相隔一定时间的台风雷达回波以不同颜色同时叠加显示在同一底图上, 在回波相交处, 采用异或方法处理图象, 使得回波的叠加透明可见, 由回波演变情况, 获得回波的移向, 移速 V, 根据

表 1 不同探测范围内的 A、b 以及它们的 r_{IZ}和 S 分布

Table 1 Coefficients A and b in Z= A · I^b at a range of distance

距离(km)	系数 A	指数 b	相关系数 r _{IZ}	剩余标准差 S
0~50	416	1.847	0.918 9	0.452 3
50~100	312	1.527	0.931 6	0.359 2
100~150	264	1.132	0.925 2	0.301 1
150~200	227	1.102	0.930 2	0.310 2
200~256	234	1.083	0.836 7	0.321 4

$$\left. \begin{aligned} V_x &= \frac{V \sin}{d} \\ V_y &= \frac{V \cos}{d} \end{aligned} \right\}$$

(4)

求出雷达回波整体沿东西向(V_x)和南北向(V_y)移动格点数, 式中 d 是雷达回波的网格距。

4 台风 0~3h 雨量监测预报

首先将接收到的 PPI 图进行地物消除, 由表 1 得到的不同探测范围的 A、b 系数, 根据 Z = A · I^b 求得当时的雨强分布情况, 由相隔一定时间的两张 PPI 图得到台风雷达回波的整体移动, 由(4)式求得 V_x 和 V_y 值。以研究区域为参照系, 根据回波整体移速 V 确定 3 h 积分次数 N= $\frac{3V}{t}$, 其中 t= $\frac{dl}{V}$, 而 dl 为空间积分步长。那么在研究区域内任一点的 0~3h 台风雨量为 R_{0~3}(i,j) = $\sum_{i,j=1}^N I(i + tV_x, j + tV_y) \cdot \frac{t}{60}$ 。最后, 根据基层台站雨量分级习惯, 将 0~3h 的雨量按 0.1~1.0 mm、1.1~5.0 mm、5.1~10.0 mm、10.1~20.0 mm、20.1~30.0 mm、30.1~50.0 mm 和大于 50 mm 等 7 个等级输出。

5 实际使用情况

该方法在 9507 号台风登陆浙江后, 进行了试用。9507 号台风登陆后北上, 台风降水云系主要位于杭州数字化雷达测站东南方向, 杭州数字化雷达在整点进行了逐时观测, 用整点观测到的回波进行台风 0~3h 雨量等级预报 16 次。图 1 是用 1995 年 8 月 25 日 16 时 56 分(北京时, 下同)的仰角 0.5° PPI 图所作的 0~3h 雨量等级预报。图 2 是对应 17~20 时的实况雨量。比较图 1 和图 2 可知, 除在离测站 180 km 外的大雨区(20.1~30.0 mm)漏报外, 其他地方两者基本相符。将每次所作的 0~3h 雨量预报与由气象站自记 1h 实况雨量 3h 累加进行对比, 按以实况与预报雨量和落区基本处在同一等级和范围内为正确, 实况比预报雨量低一个等级为空报, 实况比预报雨量高一个等级或与预报落区不一致为漏报, 进行检验, 其预报评分如表 2。

表 2 雷达 0~3h 台风雨量监测预报评分

Table 2 3 h rainfall forecast scoring based on the radar data

	击中率 POD	空报率 FAR	成功指数 CSI
≤ 180km	0.87	0.07	0.87
> 180km	0.60	0.10	0.58

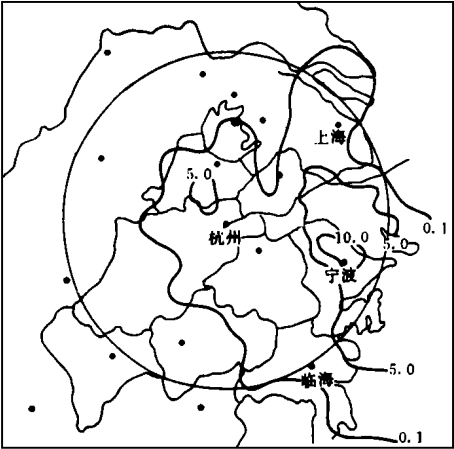


图 1 1995 年 8 月 25 日 17 时(北京时)作的
9507 号台风 3h 雨量等级预报(mm)
图中圆圈为 180km

Fig. 1 Forecasts of 3 h rainfall category (mm) for
Typhoon 9507 made at 1700 BST, August 25, 1995
Circle diameter is 180 km

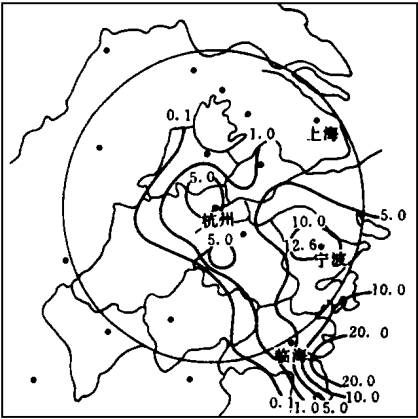


图 2 1995 年 8 月 25 日 17~20 时(北京时)
的实况雨量(mm)
图中圆圈为 180km

Fig. 2 Measured rainfall for 1700~2000BST
of the same day and the same area as in Fig. 1

由评分表可知,用雷达作台风 0~3h 雨量等级预报在 180 km 范围内,精确性较高,对基层台站参考价值大;而在 180 km 以外,对大雨量降水区的漏报率明显加大,其原因主要是雷达对于 180 km 以外的降水回波强度达不到实际回波强度而致。

6 结 语

台风的雷达雨量定量测量,由于受雷达、地面监测网条件限制,使降水的测量精度不能完全达到实际情况,我们制作的仅有台风单一系统引起的 3h 雨量等级预报。随着国产雷达性能的提高和地面自动监测网的普及,可以采用雷达与雨量计较准的联合探测方法,以提高雷达对台风的定量测量精度。但限于目前条件,气象部门对台风的短时降水预报又十分需要,用 7 个等级的雨量短时预报仍不失为一种有效的方法。

参 考 文 献

1 张培昌,戴铁丕,杜秉玉,等. 雷达气象学. 北京:气象出版社,1988.43~81
2 祝启恒,张淑云,顾强民,等. 浙江省灾害性天气预报. 北京:气象出版社,1992.6~42
3 方 俊. 地图投影学. 北京:科学出版社,1960

FORECASTING OF 0 ~ 3h TYPHOON RAINFALL CATEGORY BASED ON RADAR DATA

Du Huiliang

(Zhejiang Weather Center, Hangzhou 310021)

Teng Weiping

(Zhejiang Institute of Meteorological Sciences, Hangzhou 310021)

Abstract Investigation was conducted of the digitized radar data operating at Hangzhou and 1 h autographic rainfall from related 58 surface and 156 hydrological stations over Zhejiang province in typhoon seasons 1989 ~ 1992, deriving the echo vigor Z and rainfall intensity I associated only with typhoons striking the region during the seasons. Forecasts of 0 ~ 3h rainfall category were made following the $Z-I$ relation obtained based on coefficients A and b in $Z = A \cdot I^b$ found over a range of domains in conjunction with the migration of echoes.

Keywords radar monitoring, typhoon, rainfall forecasting