

登陆台风短时定量降水预报方法初探

岳彩军 陈佩燕 雷小途 杨玉华

(上海台风研究所,上海 200030)

摘要 利用登陆台风的 GMS-5 IRI TBB 资料及地面自动站逐时雨量资料,初步建立了适用于登陆台风的定量降水估计(QPE)方法,基于 QPE 结果,采用外推法,初步实现了对登陆台风未来 0~3 h 的短时定量降水预报(QPF)。应用于 0104 号登陆台风“尤特”和 0414 号登陆台风“云娜”两个例表明:对单站逐小时雨量定量预报而言,如果 50%相对误差可以接受,0~3 h 的 QPF 准确率分别达 20%~70%、30%~80%、30%~70%、20%~60%;对于单站过程雨量定量预报而言,如果 50%相对误差可以接受,0~3 h 的 QPF 准确率基本都达 60%~80%;对未来 0~3 h 的面雨量也具有一定定量预报能力。0~3 h QPF 结果对实际短时登陆台风降水业务预报工作具有一定的参考价值。

关键词 登陆台风 定量降水估计 定量降水预报 外推法

引言

登陆台风一般都会带来降水,大多数会产生严重的洪涝灾害,但有时也会起到缓解旱情的作用。由于目前地面雨量站分布稀疏,雷达探测范围有限,这使得人们很难从定量角度及时获得登陆台风降水的全面信息,也给政府部门制定防洪抗旱决策带来了困难。静止气象卫星可以提供完整的登陆台风云图,且具有很高的时间频数和空间分辨率,这为实时定量估计登陆台风降水带来了可能,不失为全面了解登陆台风降水信息的一种有效途径。但仅仅限于对登陆台风降水的定量估计,还很难满足当前气象业务和公共服务需要,显然,能定量预报出登陆台风降水将是一项更具有实际意义的工作。当前用于登陆台风降水的预报方法很多,如:数值预报、统计预报等,都具有一定预报能力。尤其是数值预报技术,其预报结果可以实现量化。但数值预报模式存在 0~6 h“激活”(Spin-up)现象,尤其是 0~3 h 短时预报能力非常有限^[1]。对于几小时的短时预报来讲,外推法被视为一种有效预报途径。江吉喜等^[2]根据台风移动路径的预报,确定未来 6 h 台风中心位置,外推出相应台风云系,然后在云系覆盖区选取若干雨量分布有代表性的特征点,再求出这些点处不

同云区所覆盖时间,最后按照台风的云降水估计方法计算出格点雨量值,且分析等雨量线,从而得到 6 h 降水预报。美国国家环境卫星资料及信息局(NESDIS)对短时登陆热带气旋降水预报采用的也是外推法,在得到对登陆台风降水定量估计结果基础上,采用外推法,对未来 0~3 h 降水给出定量预报^[3~5]。对于系统性很强的登陆台风降水,0~3 h 短时外推预报结果具有一定的实际应用价值。因此,本研究将依据初步建立的定量降水估计(QPE)方法结果,采用外推法,实现对登陆台风降水的 0~3 h 定量预报,为短时业务预报提供参考。

1 资料及 QPE 方法简介

所用卫星资料为逐时 GMS-5(GOES-9)IRI TBB 资料,分辨率为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。雨量资料为地面自动站逐时观测雨量。针对登陆台风 IRI TBB 特点,参照地面自动站逐时雨量资料,初步建立了一种可用于登陆台风的 QPE 方法^[6]。该方法主要借鉴了 Adler 等^[7]、Golderberg 等^[8]及 Li 等^[9]的工作思路,但同时又具有以下特点:

(1)考虑到所用的 GMS-5 IRI 卫星资料的分辨率为 $5.6 \text{ km (NS)} \times 5.6 \text{ km (EW)}$,与 Adler 等^[7]所用的 GOES 卫星资料($8.0 \text{ km (NS)} \times 3.1 \text{ km}$

“上海台风研究基金项目(2003ST005)、上海市气象局科研开发项目(0301)及科技部社会公益项目(2005DIB3J104)共同资助”

作者简介:岳彩军,男,1972年生,博士,从事登陆台风、梅雨锋暴雨及 ENSO 形成机理与预报研究,Email:yuecaijun2000@163.com

收稿日期:2004年12月13日;定稿日期:2005年4月18日

(EW))及Golderberg等^[8]所用的GMS-1卫星资料(5.2 km(NS) × 2.1 km(EW))的水平分辨率存在明显的差异,因此,我们针对GMS-5 IRI TBB资料东西向与南北向分辨率相同的特点,建立了新的倾斜参数(S)计算公式:

$$S_{i,j} = \frac{\overline{\Delta}}{4} \left| \frac{T_{i-1,j} + T_{i+1,j} - 2T_{i,j}}{\Delta_{EW}} + \frac{T_{i,j-1} + T_{i,j+1} - 2T_{i,j}}{\Delta_{NS}} \right| \quad (1)$$

其中, $\overline{\Delta} = 5.8$ km, $\Delta_{NS} = \Delta_{EW} \approx 5.6$ km, $S_{i,j}$ 为格点(i, j)的倾斜参数; $T_{i,j}$ 为格点(i, j)的云顶TBB,其它类似。

(2) 登陆台风的最低云顶温度大约在190 ~ 210 K之间,这与WMONEX(冬季风试验)^[8]期间云顶最低温度达到180 K存在差异,但基本类似于FACE(佛罗里达地区积云试验)^[7]期间的最低云顶温度(约200 K),如果使用207 K将易使判断结果中产生虚假的对流核。于是,建立了新的倾斜参数临界值(S_{lope})判别方程:

$$S_{lope} = \exp[0.0826(T_{min} - 217)] \quad (2)$$

其中, T_{min} 表示格点(i, j)云顶温度,即该格点云顶温度低于或等于其周围格点云顶温度。

(3) 同样是由于所使用的GMS-5 IRI云图水平分辨率与GOES卫星^[7]及GMS-1^[8]IR云图分辨率都存在明显的差异,我们认为直接引用文献[7][8]二者之中任一温度校正公式都是不合适的。因此,建立了适用于GMS-5 IRI最低云顶温度的校正公式:

$$T_{min} - T_c = \begin{cases} 0.354 T_{min} - 70.8, & T_{min} > 200 \text{ K} \\ 0, & T_{min} \leq 200 \text{ K} \end{cases} \quad (3)$$

其中, T_c 为校正后云顶温度。

(4) 由于登陆台风所造成的逐小时降水强度与WMONEX^[8]期间对流降水率存在差异,于是根据地面自动站逐时雨量资料,对平均对流降水率估计公式中的参数作了适当调整:

$$R_{mean} = \exp(-0.0257 T_c + 7.468) \quad (4)$$

其中, R_{mean} 为平均对流降水率。

(5) 对处于对流降水区中的每个格点降水率进行分别计算,而并非如文献[7][8]及[9]那样都赋予相同的降水率即平均对流降水率,从而更能充分体现降水分布的不均匀性。

有关QPE方法的具体描述,请参见文献[6]。

在QPE结果基础上,采用外推法,得到0~3 h定量降水预报(QPF)。基于此思想,下面将以0104号台风“尤特”和0414号台风“云娜”为例,初步检验QPF对登陆台风的单站逐时雨量、单站过程雨量以及面雨量的0~3 h定量预报能力。

2 具体应用

2.1 0104号台风“尤特”(Utor)

0104号台风“尤特”于2001年7月6日约08:00(北京时,下同)在海丰和惠东交界的红海湾附近登陆,登陆后向偏西方向移动并伴有明显降水过程^[10]。鉴于研究工作需要,及考虑到“尤特”台风逐时GMS-5 IRI TBB资料以及地面雨量资料的连续性及完整性,我们选取2001年7月6日09:00~19:00作为研究时段,其间缺6日12:00 IRI TBB资料,因此也将缺少基于该时刻QPE结果所作的0~3 h降水预报场。所用的逐时观测雨量资料来自广东省29个自动雨量站。采用所建立的QPE方法,首先可以得到“尤特”台风的定量降水估计场即0 h预报场。从图1可以看出,QPE方法对单站逐时雨量具有一定的定量估计能力,也能反映出不同站点间的降水分布不均匀性,还可以分离出对流、层云降水。

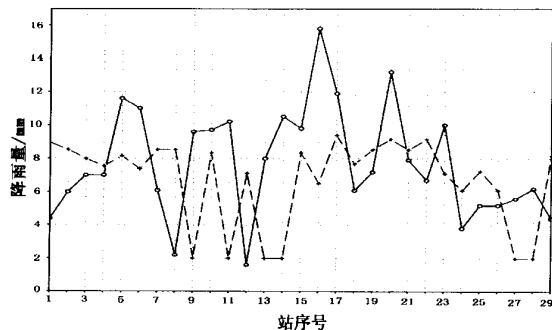


图1 2001年7月6日14:00 29个自动站1 h平均雨量(实线和虚线分别代表观测值和估计值,下同)

在此基础上利用外推法,可得到0~3 h定量降水预报场。首先,我们看每个站点的逐时0~3 h QPF情况,表1给出了对0~3 h预报结果的准确率(相对误差小于50%的站点数除以总站点数29,下同)分析,如果50%相对误差可以接受,逐时所作的0~1~2~3 h QPF准确率分别达20%~70%、30%~70%、20%~60%、20%~60%。从09:00~19:00整个过程来看,相对来讲,1 h QPF准确率略高,3 h

QPF 准确率略低。

表 1 0~3 h 的逐时 QPF 准确率(开始预报时间 2001 年 7 月 6 日) %

	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
F_{0h}	27.6	41.4	75.0	/	64.3	58.6	46.4	21.4	55.2	72.0	72.0
F_{1h}	44.8	41.4	82.1	69.0	/	62.1	50.0	35.7	37.9	76.0	68.0
F_{2h}	58.6	34.5	64.0	62.1	60.7	/	60.7	28.6	41.4	36.0	68.0
F_{3h}	58.6	17.2	28.6	51.7	64.3	58.6	/	21.4	31.0	32.0	20.0

注: F_{0h} 、 F_{1h} 、 F_{2h} 、 F_{3h} 分别代表 0、1、2、3 h 预报准确率,下同,“/”代表空缺。

比较 29 个站点在 09:00~19:00 期间的观测过程雨量及 0~3 h 的预报过程雨量(图略)可知,观测的过程雨量强度大都在每 10 h 降 45~65 mm,相应的过程雨量预报值大都在每 10 h 降 45~75 mm,预报不出个别站点的极端过程强降水(每 10 h 降 109 mm)、弱降水(每 10 h 降 22 mm、18 mm)。0~3 h 过程雨量的定量预报效果由表 2 给出,如果 25 % 的相

对误差可以接受,那么 0、1、2、3 h 的过程降水预报准确率基本相差不大,这表明 0~3 h 外推短时预报具有一定的可信度,并没有因为预报时效延长,而使预报准确率受到明显影响。如果 50 % 的相对误差可以接受,那么 0、1、2、3 h 的过程降水预报准确率都达 80 % 以上。可见,在误差允许范围内,0~3 h 短时过程雨量预报具有较好的效果。

表 2 过程雨量 0~3 h QPF 准确率 %

	过程雨量相对误差 R 绝对值								
	≤5	≤10	≤15	≤20	≤25	≤30	≤35	≤40	≤50
F_{0h}	24.1	34.5	48.3	55.2	58.6	69.0	72.4	79.3	86.2
F_{1h}	13.8	31.0	34.5	44.8	62.1	75.9	75.9	75.9	82.8
F_{2h}	6.9	31.0	37.9	44.8	62.1	75.9	79.3	79.3	82.8
F_{3h}	17.2	17.2	41.4	58.6	65.5	79.3	82.8	82.8	89.7

注: $R = |(X - O_T) / O_T \times 100|$, O_T 代表观测, X 为 F_{0h} 、 F_{1h} 、 F_{2h} 、 F_{3h} ,下同。

对于 09:00~19:00 期间逐时面雨量(29 个自动站雨量之和)0~3 h 的预报结果(图略)来讲,有些时次观测值与预报值很接近,但有些时次两者之间也相差很大。相应的相对误差计算结果(表略)表明,0、1 h 面雨量预报相对误差绝对值在大多数时次都小于 50 %,2、3 h 面雨量预报相对误差绝对值基本上有半数时次大于 50 %,相对来讲,0、1 h 面雨量定量预报效果更好些。

2.2 0414 号台风“云娜”(Rananim)

0414 号台风“云娜”于 2004 年 8 月 12 日 20:00 在浙江温岭市石塘镇登陆,登陆后沿大陆高压南侧的偏东气流西进,13 日 02:00 在穿过浙江中部时减弱为强热带风暴^[1]。考虑到逐时雨量资料的连续性、完整性,下面将 8 月 12 日 14:00 至 13 日 02:00 作为研究时段,并挑选浙江省 33 个自动站逐时雨量资料为研究所用。所建立的 QPE 方法对“云娜”台风降水强度及其水平分布不均匀性也具有一定的估计能力,可以分离出对流层云降水(图 2)。

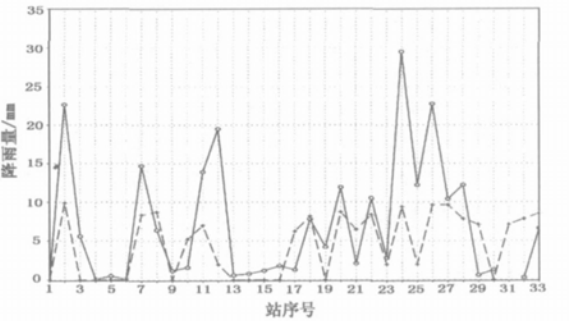


图 2 2004 年 8 月 12 日 19:00 33 个自动站 1 h 平均雨量(第 31 号站缺测)

同样基于 QPE 结果,采用外推法可得 0~3 h 33 个自动站逐时降水定量预报,表 3 给出了评析结果,在 50 % 相对误差条件允许下,对于单站逐时降水来讲,预报准确率(相对误差小于 50 % 的站点数除以总站点数 33,下同)没有表现出随预报时间延长而下降的现象,从 12 日 14:00 至 13 日 02:00 整个情况来看,0、1、2、3 h 的 QPF 准确率分别达 20 %~60 %,30 %~70 %,30 %~60 %,30 %~60 %。

表 3 0 ~ 3 h 的逐时 QPF 准确率(开始预报时间 2004 年 8 月 12 日) %

	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00
F_{0h}	57.6	27.8	21.2	51.2	46.9	62.5	36.4	33.3	41.9	38.7	39.4	33.3	54.5
F_{1h}	60.6	30.3	36.4	42.4	40.6	71.9	39.4	36.4	48.4	32.2	36.4	39.4	51.5
F_{2h}	54.5	36.4	42.4	63.6	34.4	59.4	48.5	48.5	35.5	41.9	30.3	33.3	45.5
F_{3h}	48.5	42.4	54.5	63.6	46.9	46.9	36.4	66.7	41.9	50.0	42.4	36.4	42.4

对于单站过程雨量预报来讲(图略),很难预报出大于 13 h 降 120 mm 的过程强降水。由表 4 可知,在相对误差大于或等于 20 % 时,0 ~ 3 h 的过程

雨量预报准确率基本相同。如果 50 % 的相对误差可以接受,那么 0 ~ 3 h 的过程雨量预报准确率基本都达 60 % 左右。

表 4 过程雨量 0 ~ 3 h QPF 准确率 %

	过程雨量相对误差 R 绝对值								
	≤5	≤10	≤15	≤20	≤25	≤30	≤35	≤40	≤50
F_{0h}	9.1	18.2	21.2	24.2	33.3	33.3	39.4	45.5	57.6
F_{1h}	12.1	21.2	24.2	27.3	30.3	36.4	39.4	45.5	60.6
F_{2h}	3.0	9.1	20.1	24.2	27.3	30.3	36.4	42.4	60.6
F_{3h}	0.0	3.0	12.1	24.2	27.3	30.3	36.4	48.5	66.7

对于面雨量(33 个自动站雨量之和)预报(图略)来讲,19:00 之前,0 ~ 3 h 面雨量明显小于观测值。进一步通过计算相对误差(表略)可知,在所有时次的 0.1 h 面雨量预报相对误差绝对值都小于 50 %,2.3 h 面雨量预报相对误差绝对值仅有 1 ~ 2 个时次大于 50 %,同样相对来讲,0.1 h 面雨量定量预报效果更好些。

通过上述对两个登陆台风个例应用情况分析表明,建立在 QPE 基础上的 0 ~ 3 h QPF 技术具有一定的预报能力,尽管在强度上还存在一定差异,但可以反映出登陆台风降水所具有的水平分布不均匀性特点,尤其是可以给出整个登陆台风降水螺旋雨带分布特征(图略),这为全面了解台风降水信息提供了一个量化参考依据。

3 结论与讨论

基于 QPE 结果,采用外推法,初步得到对登陆台风的 0 ~ 3 h QPF。综合对 0104 号台风“尤特”和 0414 号台风“云娜”两个例的具体应用结果表明:

(1)所建 QPE 方法可以分离出登陆台风产生的对流降水、层云降水,估计降水场可很好地反映出登陆台风实际降水强度水平分布不均匀性。

(2)采用 0 ~ 3 h 外推法所得 QPF 技术对登陆台风单站雨量及单站过程雨量都有一定的定量预报能力。对单站逐小时雨量定量预报而言,如果 50 % 相对误差可以接受,0.1、2.3 h 的 QPF 准确率分别达 20 % ~ 70 %、30 % ~ 80 %、30 % ~ 70 %、20 % ~ 60 %。对于单站过程雨量定量预报而言,如果 50 %

相对误差可以接受,0.1、2.3 h 的 QPF 准确率基本都达 60 % ~ 80 %。

(3)0 ~ 3 h QPF 对登陆台风的面雨量也具有一定的定量预报能力,相对来讲,0.1 h 的 QPF 效果更好些。

由于台风是一个系统性很强的降水天气系统,因此采用外推法进行短时预报是一种可行的方法,基于所建 QPE 结果,可以得到对登陆台风降水的 0 ~ 3 h 定量预报。这弥补了数值模式在预报运行前期几个小时内不足表现,给实际业务预报工作增加了一个定量预报参考依据,有利于做好对政府部门及公众服务工作。但我们也注意到,所建 QPE 方法对不同登陆台风降水估计能力表现出一定的差异性,如对“尤特”台风的降水估计较“云娜”台风好,同时对降水强度在 15 mm/h 以上的逐小时极端强降水估计能力有限,这可能也是造成其对“云娜”台风降水定量估计能力相对较差的一个主要原因。另外,通过 QPE 方法在具体个例应用中所表现出的能力上差异,也说明降水的复杂性,同样的 TBB 在不同的台风中会产生不同的降水强度,未来的 QPE 方案中如何能体现出这种差异是值得认真考虑的。依据云图估计降水的基本思想是冷云降水思想即云顶温度越冷将产生的降水越多,而这种思想对于暖云降水则无所适从。如何提高对暖云降水的估计能力,将是对现有 QPE 方法的一个很好完善。外推法是预报方法中最为简单而又直接的一种,预报结果很容易得到,但其准确率不仅依赖于 0 h 估计场的准确性,同时又明显相关于降水天气系统的发生发展状况,即期望于降水系统在短时间内不要有明显

变化,也即表明该预报方法对降水的急剧变化(迅速增强、迅速衰减)预报能力有限,同时也表明很难说清楚外推预报时效具体有多长^[12]。上述分析表明,我们目前的研究工作仅是初步的,将来不仅需要从技术手段上进行完善,同时也需要增加更多个例进行检验、修正。但不管怎样,在目前地面自动观测站分布稀疏、雷达探测范围有限、卫星的微波探测时空分辨率低、数值预报模式“Spin-up”现象没有克服等情况下,本文的工作具有一定的实际预报业务应用价值。其实,在真正业务应用时,由于可以获得逐时静止气象卫星云图,因此可以逐时对 0~3 h 的 QPF 结果进行修正,从而更有利于预报精度提高。

参考文献

- [1] Doswell C A. Short-range forecasting (III) // Ray P S. Mesoscale Meteorology and Forecasting [J]. Amer. Meteor. Soc., 1986. 689 - 719.
- [2] 江吉喜,叶惠明.用GMS云图作登陆台风降水预报的方法研究.热带气象[J],1987,3(2):369-376.
- [3] Spayd L E Jr, Scofield R A. An experimental satellite-derived heavy convective rainfall short range forecasting technique [C]. Preprints of the 10th Conf. on Weather Forecasting and Analysis, Clearwater Beach, FL, Amer. Meteor. Soc., Jun, 1984. 400 - 408.
- [4] Scofield R A. The NESDIS operational convective precipitation estimation technique [J]. Mon. Wea. Rev., 1987, 115 (8): 1773 - 1792.
- [5] Scofield R A, Kuligowski R J. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme precipitation events [J]. Weather and Forecasting, 2003, 18(6): 1037 - 1051.
- [6] 岳彩军,陈佩燕,端义宏,等.一种可用于登陆台风定量降水估计(QPE)方法的初步建立[J].气象科学,2006,26(待发表)
- [7] Adler R F, Negri A J. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall [J]. J. Appl. Meteor., 1988, 27: 31 - 51.
- [8] Li Jun, Wang Luyi, Zhou Fengxian. Convective and stratiform cloud rainfall estimation from geostationary satellite data [J]. Adv. Atmos. Sci., 1993, 10(4): 475 - 480.
- [9] Goldenberg S B, Houze R A, Churchill D D. Convective and stratiform components of a winter monsoon cloud cluster determined from geosynchronous infrared satellite data [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1990, 68(1): 37 - 62.
- [10] 马经广.“尤特”0104号风暴潮分析[J].海洋预报,2002,19(2):36-40.
- [11] 薛根元,俞善贤,何凤翩,等.0414号台风“云娜”的基本特征与强降水成因分析[J].科技导报,2004,(9):23-25.
- [12] Elsberry R L. Predicting hurricane landfall precipitation: optimistic and pessimistic views from the symposium on precipitation extremes [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2002, 83(9): 1333 - 1339.

Preliminary Study of Short-Term Quantitative Precipitation Forecast Method for Landfalling Typhoon

Yue Caijun Chen Peiyan Lei Xiaotu Yang Yuhua
(Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 200030)

Abstract: By using GMS-5 IRI TBB of landfalling typhoon (LT) and hourly rainfall from ground automatic weather stations, a preliminary method of quantitative precipitation estimation (QPE) suitable for LT was found. Based on the results from the QPE method, the short-term quantitative precipitation forecast of 0 h to 3 h (QPF) for LT can be realized with the extrapolation method preliminarily. The applications of the QPF method to 0104 LT Utor and 0414 LT Rananim show that as far as single station hourly rainfall quantitative forecast is concerned, if 50 % relative error can be accepted, the accuracies of QPF for 0 h, 1 h, 2 h and 3 h can reach 20 % to 70 %, 30 % to 80 %, 30 % to 70 %, and 20 % to 60 %, respectively; as far as single station process rainfall quantitative forecast is concerned, if 50 % relative error can be accepted, the accuracies of QPF for 0h, 1 h, 2 h and 3 h can all almost reach 60 % to 80 %; quantitative forecast for 0 h to 3 h area rainfall can also be provided, to a certain extent. The QPF results of 0 to 3 hours can serve as a reference for the operational short-term operational precipitation forecast for LT, to some degree.

Key words: landfalling typhoon, quantitative precipitation estimation, quantitative precipitation forecast, extrapolation