

基于位置误差的分布制作热带 气旋路径袭击概率预报

高拴柱 张守峰 钱传海 端义宏 王海平

(国家气象中心,北京 100081)

提 要: 为了探讨热带气旋路径预报的不确定性,利用2004—2007年4年中央气象台综合预报的误差分布状况,建立热带气旋路径综合预报的统计集合模型,制作热带气旋路径的袭击概率预报及产品,并为警报发布工作中有关登陆地段的预报提供有意义的参考。

关键词: 袭击概率 综合预报 误差 热带气旋

A Track-Error-Based Forecast Method of Tropical Cyclone Track and Striking Probability

Gao Shuanzhu Zhang Shoufeng Qian Chuanhai Duan Yihong Wang Haiping

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: To examine the uncertainties of tropical cyclone track forecast, track errors of the comprehensive forecast of National Meteorological Center during 2004—2007 are used to build a statistical model to produce tropical cyclone striking probability. It could be a meaningful reference for issuing typhoon warning.

Key Words: strike probability comprehensive forecast error tropical cyclone

引 言

热带气旋是一种强烈的灾害性天气系统,其路径预报对于灾害预防活动具有重要的影响^[1]。长期以来,无论是在理论研究还是业务实践中,热带气旋运动都是一项重要

的内容,其研究水平和预报能力也都有了长足的进展。但是,预报误差是不可避免的,特别是随着预报时效的延长,误差会明显地增加^[2]。早在20世纪70—80年代,除了发布台风中心预报位置外,美国和日本的业务预报中心还相继开始发布伴随着的概率(椭圆)^[3-4],使用户增加了对预报位置的可靠性

判据。我国在20世纪90年代初期,也有以概率圆为导向的决策台风路径预报的客观方法^[5],有很好的实用价值。随着预报误差的减少,同一概率量的圆半径也在逐渐减小^[6],表明热带气旋位置预报的总体误差减少的趋势。但是这样的常规概率(conventional probability)只给出给定预报时刻(如24、48和72小时)的概率圆或概率圆半径。随着集合预报的出现和发展,“袭击概率(strike probability)”概念逐渐出现。它是指:在未来一定的预报时段内,路径穿过给定位置、半径为120km范围内热带气旋集合成员数占所有成员数的比率,形成概率“羽翼”图。这种预报产品的优点是它不再局限于某一确定的时间点,而是可以使预报员能够迅速地对某一时间段的高风险区域做出判断。“羽翼”的宽度与模式的性能和集合预报的发散度关系密切。利用历史上热带气旋综合路径预报的误差分布状况,设计制作热带气旋路径“袭击概率”统计模式,其性能与历史上综合预报的能力有关,将为热带气旋的警报发布和登陆预报提供一个有意义的参考工具。此方法在2008年的业务实践中得到了应用,具有较好的应用价值。

1 数据和方法

1.1 研究区域和数据资料

所用数据资料是2004—2007年4年间,当有热带气旋在西北太平洋出现时,中央气象台每日02、08、14和20时四个时次发布的所有热带气旋实时观测定位资料 and 位置预报资料(中央气象台2004—2007年发布24、48和72小时时效位置预报),用其建立样本库。样本库中的每一个成员包括某一热带气旋在预报起始点的分析位置和各预报时效的预报位置及相应时间的分析位置。由于每个时次的预报时效不尽相同,各个预报时效的样本成员数目差别较大,分别为:24小时1793

个、48小时1414个、72小时1089个。2008年相应预报时效的时次数分别为250、186和133,并且2008年中央气象台还发布96小时时效的位置预报,共有52个时次。

1.2 概率圆半径的求取

由于不可避免的预报误差,使得热带气旋的预报位置与相应时间的分析位置总有一定的偏离,而且由于是在二维球面上,所以它们不仅表现在距离上的偏离,同时也有方向的偏离。图1是关于热带气旋分析位置相对于24小时前相应时效预报位置的分布图。这个误差分布图与Mannoji^[3]的工作略有不同。Mannoji是求算预报位置相对于分析位置的分布。这两种方法得到的距离误差相等,但是,分析位置相对于预报位置的方向与预报位置相对于分析位置的方向正好相反。考虑到在实际业务中,概率圆是以确切的预报位置为中心、一定长度为半径的圆,前者应该更为合理。当圆能够包含样本集中70%的样本成员时,此半径的值被称作70%概率圆半径。

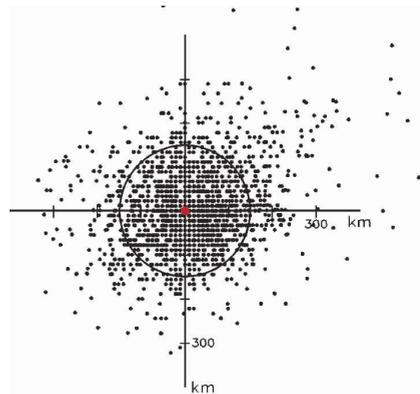


图1 热带气旋分析位置相对于24小时前相应时效预报位置的分布

1.3 袭击概率的计算

在某时刻对某一热带气旋做出确切的路径预报(即实时的、确定性的综合路径预报)以后,利用样本库中的每一个成员可以制作

一个相应的模拟路径。全部的模拟路径组成模拟路径集合。模拟路径的多少,即模拟集合的大小,与数据库的体积有关,如,做 48 小时预报时可以制作 1414 个模拟路径。那么,通过以任何一点为圆心、120km 为半径的圆的模拟路径条数与所有模拟路径的比率,即为该点处的关于统计模式的路径袭击概率。

模拟路径的制作方法如下:

如图 2,设有实时热带气旋 RT,其 00 时刻位于点 RT_{00} 处,点 C_{24} 、 C_{48} 和 C_{72} 分别表示 24、48 和 72 小时时效的综合预报位置,折线 $\overrightarrow{RT_{00}C_{24}C_{48}C_{72}}$ 是 RT 在 00 时的预报路径。从历史数据资料库中取一历史热带气旋 HT,其预报起始点的分析位置为 HT_{00} ,点 A_{24} 、 A_{48} 和 A_{72} 分别表示以 HT_{00} 为起始点的 24、48 和 72 小时时效的综合预报位置,而点 B_{24} 、 B_{48} 和 B_{72} 则分别表示相应时间后获取的分析位置,这样,折线 $\overrightarrow{HT_{00}A_{24}A_{48}A_{72}}$ 是 HT 在 00 时的预报路径,折线 $\overrightarrow{RT_{00}B_{24}B_{48}B_{72}}$ 是 HT 在 00 时以后的分析路径。

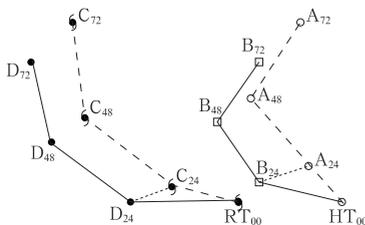


图 2 模拟路径的求取方法

设点 x 在平面上位置的数学表达为 $I(x)$,则热带气旋 HT 的 24 小时分析位置 B_{24} 与相应时间预报位置 A_{24} 的相对关系矢量 $L_{24} = I(B_{24}) - I(A_{24})$,表示这一热带气旋在 24 小时后的分析位置与此前预报位置的偏离程度和偏离方向。

把表示分析位置和预报位置的偏离矢量 L_{24} 平行移动,使得 L_{24} 起端与 C_{24} 重合,此时 L_{24} 末端 D_{24} 即为实时热带气旋 RT 模拟路径

的 24 小时位置 $I(D_{24})$,其数学表达式是 $I(D_{24}) = L_{24} + I(C_{24})$ 。矢量线段 $\overrightarrow{A_{24}B_{24}}$ 和 $\overrightarrow{C_{24}D_{24}}$ 具有相同的方向和模长。

同样的方法可以求出模拟路径上 D_{48} 和 D_{72} 的位置 $I(D_{48})$ 和 $I(D_{72})$ 。连接点 RT_{00} 、 D_{24} 、 D_{48} 和 D_{72} 即为一条模拟路径。从数据库中分别取出每个成员,进行同样的计算过程,都可以得到一条模拟路径。全部的模拟路径组成模拟路径统计集合。模拟路径的多少,即统计模式集合的大小,与数据库的体积有关,如,做 72 小时预报时可以制作 1089 条模拟路径。那么,通过以任何一点为圆心、120km 为半径的圆(如图 3a 中的“+”位置和小圆圈)的模拟路径条数与所有模拟路径的比率,即为该点处的关于统计模式的袭击概率,计算各点的数值后可以得到该热带气旋在有效预报时效内的路径袭击概率分布(图 3b)。

2 击中率和登陆点袭击概率检验

2.1 2008 年位置预报的击中率检验

击中率(hitting ratios)是指某一时期预报的热带气旋,进入概率圆中的数量与总数之比,它反映了与往年相比,这一时期预报能力的改进与否。当击中率大于 70%,表明有所改进;反之,没有改进,甚至退步。

2008 年热带气旋 24 小时时效路径预报,有 78.0% 个例落入 2004—2007 年 70% 的概率圆中,说明本年度的 24 小时预报水平较往年提高,与平均误差减少的趋势是一致的。有时并非完全一致,如 48 小时预报的击中率接近 70%,但是平均误差却有较大幅度的减少。同时可以看出,2008 年 72 小时时效预报,无论是击中率,还是平均误差,都表明预报水平的下降。

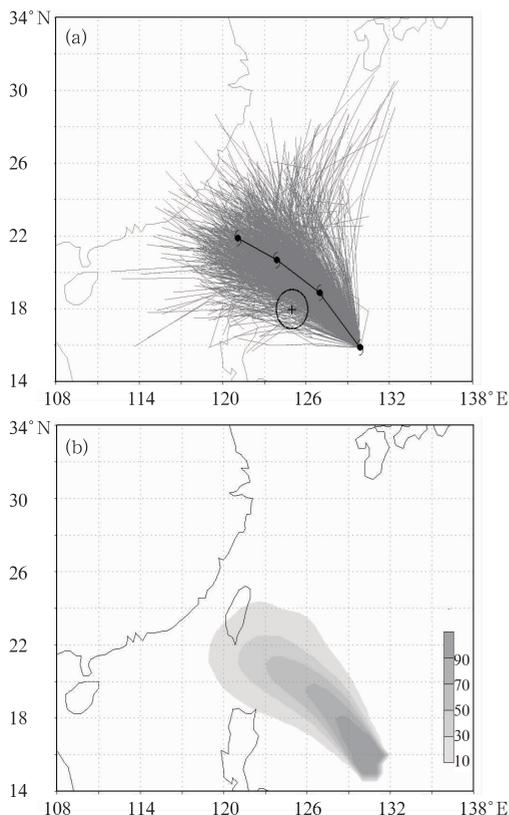


图 3 2008 年 9 月 26 日 08 时 0815 号台风蔷薇 72 小时(a):综合预报路径(台风符号及黑色连线)和 1089 条模拟路径(灰色折线)(b):路径袭击概率分布(单位:%)

2.2 登陆点袭击概率的检验

通过对 2008 年 10 个登陆热带气旋的预

预报时效(小时)	年份	样本数	平均误差(km)	70%概率圆半径(km)	击中率(%)
24	2004—2007	1793	125.2	149.0	※
	2008	250	111.6	133.4	78.0
48	2004—2007	1414	213.9	251.6	※
	2008	186	193.9	253.3	70.2
72	2004—2007	1089	306.0	340.8	※
	2008	133	324.9	400.5	57.6

报检验发现,热带气旋在登陆前 24 小时前后的 24 小时时效预报中,登陆点的袭击概率由原来较小的值突然增加到 50% 以上。如, 0807 号热带气旋海鸥在 2008 年 7 月 17 日 21:40 分在台湾省宜兰沿海登陆,登陆前 24 小时前后(16 日 20 时—17 日 02 时)的预报中,登陆点的袭击概率由 4.4% 突然增加到 79%,在以后的预报中袭击概率值逐渐增加到登陆时的 100%。与此同时所做的 48、72 小时时效的袭击概率值则更大,一般为 60% 或 70% 以上,登陆点 50% 袭击概率在更早的预报中即可得到。同样,登陆福建省霞浦前 24 小时前后的预报中,霞浦站 24 小时的袭击概率由 48% 增大到 69%,48、72 小时的袭击概率由 60% 以上增大到 70% 以上(表 2)。可以说明,海岸线与 24 小时时效的袭击概率为 50% 的等值线(同时 48、72 预报时效的袭击概率更大)相交的地段可作为登陆地段预报的区间。

表 2 0807 号热带气旋海鸥袭击概率预报检验

预报发布时间	18/14	18/08	18/02	17/20	17/14	17/08	17/02	16/20	16/14	16/08	16/02	15/20	15/14
17/21:40	24			100	98	91	79	4.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0
台湾	48			100	99	94	86	62	47	35	1.3	1.1	0.7
宜兰	72			100	99	95	88	68	62	53	10	8.6	19
18/18:10	24	100	89	79	69	48	19	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
福建	48	100	93	87	75	60	36	38	14	3.9	4.1	0.0	0.0
霞浦	72	100	94	89	78	62	38	42	36	33	35	2.3	2.0

3 登陆地段预报的应用

袭击概率“累加”了某一个预报时段内热

带气旋中心经过各点的概率值。而以统计模式为基础的袭击概率预报与综合路径预报精度密切相关,而且直接由发布综合预报和预警服务的人员操作,具有较强的适用性和易

于判别的特点。在业务实践中,除了路径预报之外,热带气旋中心登陆地段的预报和袭击某站点概率大小的预报可以是统计模式袭

击概率预报的新内容,在业务实践中具有一定的使用价值。

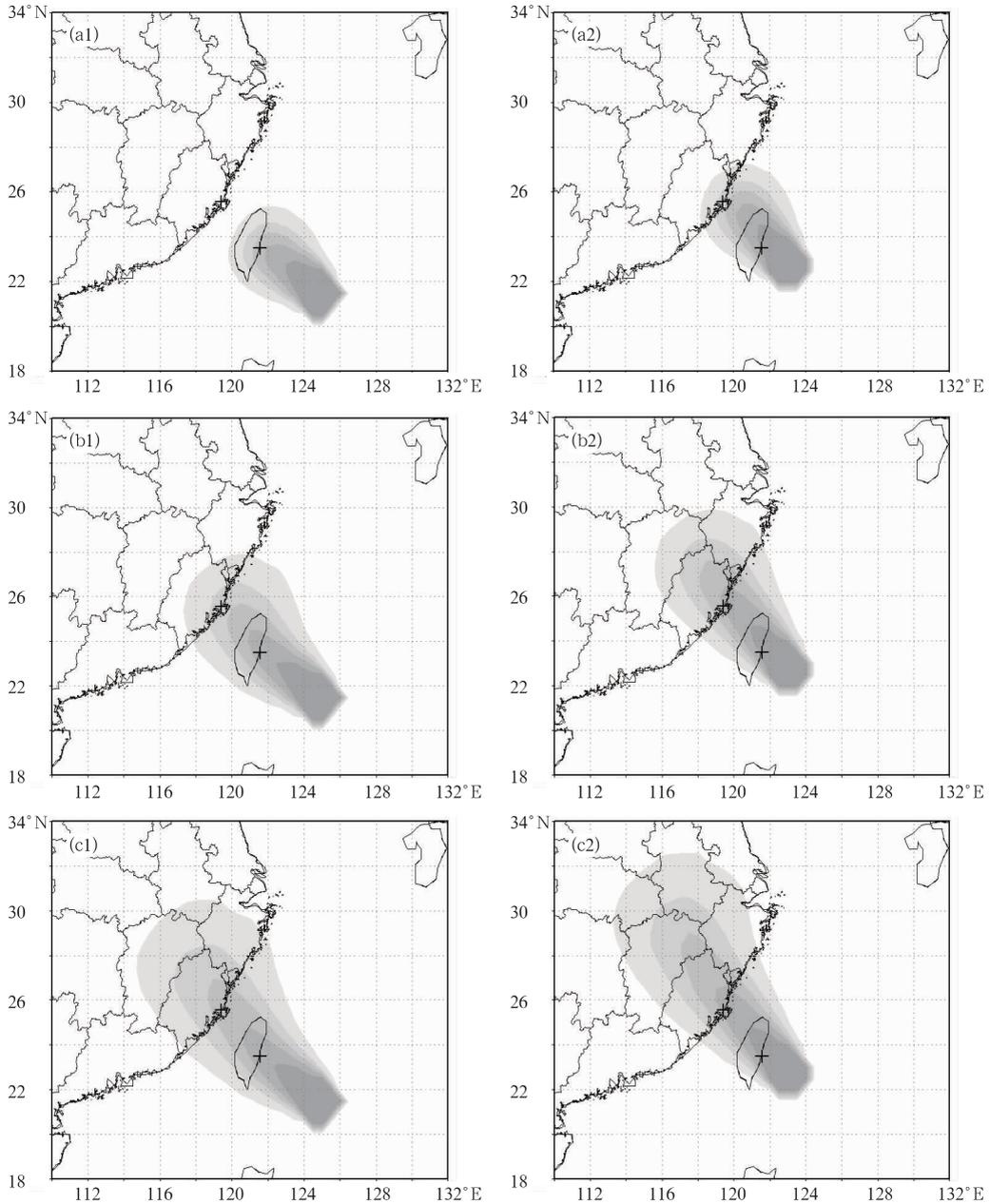


图 4 2008 年 7 月 27 日 0808 号热带气旋凤凰袭击概率预报:08 时(a1);24 小时、(b1);48 小时和(c1);72 小时与 20 时(a2);24 小时、(b2);48 小时和(c2);72 小时,图中的两个“+”分别为事后证实的登陆点
阴影图色标与图 3b 中的色标相同

下面将对其在 0808 号热带气旋凤凰 (FUNG-WONG) 登陆预报中的应用略作介绍。

“凤凰”于 7 月 25 日早上在菲律宾吕宋岛以东 1000 多千米的洋面上生成,然后以西北路径向我国台湾省东部沿海移动。在移动过程中强度不断增强,26 日下午加强成为台风,27 日晚上达到其生命史中的极值强度 $45\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (强台风级别),持续到 28 日早晨登陆前,强度开始有所减弱。

7 月 27 日上午 08 时 24、48 和 72 小时时效的袭击概率如图 4(a1~c1)。24 小时袭击概率 50% 等值线与台湾岛海岸线略有相交,而同时时间所做的 48、72 小时的 50% 等值线与海岸线明显相交(其 70% 等值线也与海岸线相交),表明“凤凰”的中心于未来 24 小时前后在台湾岛东海岸的中北部沿海登陆的可能性很大,这与当日发布“凤凰”“将于 28 日早晨到中午在台湾花莲到台东一带沿海登陆”的台风橙色警报基本一致。同时沿岸与 70% 等值线相交的地段又是概率密度最大的,就是最可能登陆的地段。

事实上,还可以制作并计算热带气旋对任意站点或城市的袭击概率。如,上述预报时间在台湾沿岸登陆点(注意:此点只能在事后确定)的 24、48 和 72 小时时效的袭击概率分别为 62.2%、80.1% 和 83.0%,同时预报福建沿岸登陆点的概率按时效分别为 0.5%、39.4% 和 57.4%。

图 4(a2~c2)为 27 日 20 时不同时效的袭击概率预报,可见,随着时间的推移、热带气旋与沿海的接近,台湾岛沿岸的袭击概率仍在增加,直至登陆后。同样对福建沿海的登陆概率分析可以得出相似的结果,不再重复。

4 结论和讨论

在热带气旋路径预报难以做到绝对完美的现实条件下,常规概率预报和袭击概率预报都是给予预报员和天气预报用户的一种有用的参考,在趋利避害、减灾防灾的过程中具有一定的指示作用。

热带气旋路径袭击概率预报是热带气旋在给定的时间段和地域(或地点)出现的概率,更能接近自然的现实状况,具有更大的使用空间。在业务实践中,特别是热带气旋的警报发布工作中,具有非常重要的价值。

统计模式的袭击概率预报是以综合预报的误差分布为依托。综合预报精度的大小在一定程度上影响着袭击概率的精细化程度,即概率预报“羽翼”的发散度。当其发散度越小,参考作用越大,就会更多地减少或减小警报发布中的不确定性内容。

参考文献

- [1] 李津,王华,郭金兰. 关于台风麦莎影响北京预报失误的思考[J]. 气象, 2007, 33(7), 60-66.
- [2] 高拴柱,孟智勇,杨贵名. 台风麦莎渤海转向的可预报性研究[J]. 气象, 2009, 35(2), 08-14.
- [3] Hope J R and Neumann C J. An operational technique for relating the movement of existing tropical cyclones to past tracks[J]. Mon. Wea. Rev. 1970, 98(12), 925-933.
- [4] 祝启桓. 气象预报客观表达方法的重要改进[J]. 浙江气象, 1983, (2), 30-33.
- [5] 朱定真,樊永富,周曾奎. 用概率圆法决策台风预报路径[J]. 气象, 1996, 22(1), 26-28.
- [6] Mannoji, Nobutaka. Reduction of the Radius of Probability Circle in Typhoon Track Forecast[R]. Technical Review No. 8 (March 2005). National Typhoon Center, Japan Meteorological Agency.