

热带气旋气候数学模型的预报应用

谢定升, 翁向宇, 曾 琮

(广州中心气象台, 广东 广州 510080)

摘要: 使用西太平洋海温格点资料, 选取若干个因子, 组成多个复合因子, 建立权重方程, 使得单因子的相关系数信度检验 0.05 提高到复合因子的信度检验 0.01, 权重方程的信度检验提高到 0.001。用权重方程产生的突变的高阶非线性预报方程, 其 Y 与 X 的相关系数比 1 阶线性方程提高 5% 左右。自 1999 年至今, 热带气旋年、月频数气候预测的模型投入到实际预报应用, 其预报准确率律达到 75%~90%。使用非线性预报模型作了逐日气压、逐日雨量的气候预测。将沿海气压场、雨量场的气候预测结果用于分析、制作热带气旋登陆中国以及广东地区的时段、地段的气候预报, 准确率达 80%~90%。

关键词: 热带气旋; 数学模型; 气候; 预报应用

中图分类号: P466 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2004)04-0052-06

热带气旋的气候规律研究, 20 世纪 70 年代到 80 年代, 以统计线性模型为主, 如高建芸^[1]等利用最优子集回归作福建 TC 频数预测, 李诈泳^[2]等利用投影追踪逐步回归作华南地区登陆热带气旋(TC)年频数预测。线性模型的统计方法, 虽然有一定的预测效果, 但不如非线性统计模型。如刘春霞^[3]用非线性理论相空间的方法作热带气旋的长期预测, 该方法利用时间序列相空间相似进行预报, 效果较好。因此有必要加强非线性数学模型作热带气旋气候预报方法的研究。

作者利用海温格点资料建立多项式曲线、指数曲线等数学模型作 TC 年、月频数预测效果较好。下面重点介绍热带气旋气候数学模型的预报方法及应用情况。

1 多项式曲线预报

1 个月以上时效的预报, 目前主要靠气候统计预报。气候统计预报主要有相关分析、相似预报、周期预测等方法。下面介绍根据相关分析原理建立多项式曲线方程的方法^[4]步骤及预报效果。

1.1 资料

使用 1949~1999 年西太平洋 12 个月海温的 286 个格点资料 12 个文件, 另外根据服务需要建立了西

太平洋热带气旋年、月个数, 南海热带气旋年、月个数, 登陆中国以及广东地区等热带气旋个数等, 建立了 4 个预报对象文件。

1.2 选取质量高的预报组合因子

许多研究表明, 热带气旋与海平面平均气温有关^[5,6], 作者的方法是计算某月 286 个格点海温与热带气旋的年、月个数的相关系数, 挑选 6 个到 12 个通过相关系数信度检验为 0.05 的格点, 每 3 个格点的海温值相加作为一个组合因子, 计算组合因子与预报对象的相关系数。下面以 3 月份海温为预报因子, 9 月份太平洋热带气旋个数为预报对象为例子说明其操作的方法。

经普查, 3 月份海温有 9 个格点值都大于信度为 0.05 的相关系数值 0.279。仅有 3 个格点大于信度为 0.01 的相关系数值 0.361。每 3 个格点为一个组合因子, 即:

$$X_A = X_{33} + X_{61} + X_{62} \quad (1)$$

收稿日期: 2003-01-08; 修回日期 2003-04-28

作者简介: 谢定升(1944-), 男, 广东揭阳人, 正研级高级工程师, 目前从事中长期和海洋天气预报工作, 地址: 广东省广州市福今路 6 号广东省气象台, 电话: 020-87766322, E-mail: xds@tqyb.com.cn

$$X_B = X_{188} + X_{191} + X_{192} \quad (2)$$

$$X_C = X_{200} + X_{201} + X_{210} \quad (3)$$

X_A, X_B, X_C 与预报对象 Y 的相关系数分别是： $R_A = 0.419, R_B = 0.468, R_C = 0.405$ ，很显然组合因子的相关系数一般比原来 3 个格点的相关系数绝对值要大，组合因子的拟合和预报能力有明显提高，而且较稳定。

1.3 用组合因子建立权重回归方程

如上述 3 个组合因子 X_A, X_B, X_C ，其相关系数为 R_A, R_B, R_C 。

令 $E = R_A + R_B + R_C$ ，则， $E = 1.292$ ，则权重回归系数为：

$$A = R_A / E = 0.3240, B = R_B / E = 0.3625, C = R_C / E = 0.3134.$$

权重回归方程为：

$$Y_1 = AX_A + BX_B + CX_C \quad (4)$$

上述回归方程综合了 3 个组合因子。计算 Y_1 与预报对象 Y 的相关系数是： $R_{Y_1} = 0.616$ 。

相关系数 R_{Y_1} ，通过信度为 0.001 的相关系数检验，比各个单因子和各个组合因子的相关系数都有更大的提高。

1.4 多项式曲线模拟热带气旋频数的气候规律及预报

统计学理论和实践表明，非线性回归更能反映预报对象与因子的相关关系。多项式回归在统计中有着特殊的地位。因为任何函数（或复杂问题）都可以用正交多项式回归进行分析和计算，并对任意形状的曲线进行模拟。应用它，可以在热带气旋的年月频数的气候规律分析的基础上进行气候预报和控制。下面介绍多项式曲线模拟热带气旋频数的气候规律及预报方法。

由海温格点资料代入(1)到(4)式得到自变量 Y_1 和预报对象 Y 是按等时间取样的等间隔值。适用正交多项式^[6]。令 $X = Y_1$ 则：

$$Y_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 X_i^2 + \dots + a_k X_i^k \quad (5)$$

上式 Y_i 为预报对象（即热带气旋频数）， X_i 为海温格点的综合预报因子。

方程(5)的系数 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ 可由正规方程组求得。实际工作中，方程(5)的多项式系数的求解，阶数 K 的选取等繁杂的计算问题，目前都由计算机解决了。

把历史资料代入方程(5)，可得 1 阶预报方程：

$$Y = -45.63401 + (7.646332 \times 10^{-2})X \quad (6)$$

方程(6)中 Y 与 X 的相关系数 $R = 0.616$ ，把 1999 年 3 月 9 个海温格点资料：73, 158, 158, 268, 257, 256, 279, 283, 261 分别代入(1), (2), (3)式后，再代入(4)式可得 $X = 667.1428$

把 $X = 667.1428$ 代入方程(6)。

1999 年 9 月太平洋热带气旋个数的预报值： $Y = 5.37$ (个)。

再把历史资料代入方程(5)，可得 2 阶预报方程：

$$Y = 93.42555 - 0.3441034X + (3.1786 \times 10^{-4})X^2 \quad (7)$$

方程(7)中 Y 与 X 的相关系数 $R = 0.628$ 。

把 $X = 667.1428$ 代入方程(7) 1999 年 9 月太平洋热带气旋个数的预报值： $Y = 5.33$ (个)。

1999 年 9 月太平洋热带气旋实况有 6 个。

把 2000 年 3 月 9 个海温格点的资料，代入方程(1)~(5)和方程(7)可得：

2000 年 9 月太平洋热带气旋个数的预报值： $Y = 5.04$ (个)。实况有 5 个。

2 指数曲线预报

2.1 指数曲线预报的原理

以 1963~1993 年登陆广东的热带气旋年个数为例，说明预报的原理和方法。

把 1963 年定为序号 1，把原始数列记为：

$$X^{(0)}(i), i = 1, 2, 3, \dots, n$$

设横坐标为时间 t (年序)，纵坐标为热带气旋年个数，取一定的阈值：

$$S_k = 1, 2, 3, \dots, m$$

按这些阈值作平行于横坐标的水平线，和 $X^{(0)}(i)$ 的曲线的交点，得到 m 组不同的时间作为变量的序列：

$$T_1^{(0)}(i), i = 1, 2, 3, \dots, n_1$$

$$T_2^{(0)}(i), i = 1, 2, 3, \dots, n_2$$

.....

$$T_m^{(0)}(i), i = 1, 2, 3, \dots, n_m$$

以个数 6 作平行横坐标的水平线，和 $X^{(0)}(i)$ 的曲线的交点为 1, 7, 12, 16, 22。

以上 5 个数据序列记为：

$$Y^{(0)}(5) = \{1, 7, 12, 16, 22\} \quad (8)$$

经一次累加生成数列为：

$$Y^{(1)}(5) = \{1, 8, 20, 36, 58\} \quad (9)$$

一阶单变量常微分方程和最小二乘法^[7]可得到时间响应方程：

$$Y^{(1)}(k+1) = -18.40817 + 19.40817e^{0.3410465k} \quad (10)$$

令 $k=0, 1, 2, 3, 4$ 代入 (10) 式后一次累减得到拟合值序列:

$$Y^{(2)}(5) = \{1, 7.89, 11.09, 15.6, 21.94\}$$

实况与预测值的误差:

$$E_E = Y^{(0)}(5) - Y^{(2)}(5),$$

$$E_E = \{0, -0.89, 0.91, 0.4, 0.06\} \text{ 绝对值平均误差: } 0.57.$$

令 $k=5, 6$ 代入 (10) 式后一次累减得到预测值 (年序号):

$Y_5 = 31, 1963+31=1994$ (年) 即预报: 1994 年登陆广东的台风有 6 个, 实况是 7 个。

$Y_6 = 43, 1963+43=2006$ (年) 即预报: 2006 年登陆广东的台风有 6 个。

2.2 指数曲线预报的方法

上述用指数曲线进行拟合及外推的预测模型称为 GM(1,1) 模型。显然对上述 m 组时间距离分别建立 GM(1,1) 模型, 然后预测每一个 (如: 2, 3, 4, 5, 7 个) 未来发生的时间, 把这些未来时间所对应的 S_i 值 (即个数) 连接成曲线, 就可以得到不同水平起伏的预报曲线。把作预报的年份序号与预报曲线交点的 S_i 值就作为年台风个数预报值。这种基于多个 GM(1,1) 模型群的预测称为拓扑预测。

3 热带气旋年月频数气候数学模型的预报应用

根据指数曲线预报的方法, 使用西太平洋海温格点资料, 选取前期若干组合因子, 建立多项式曲线方程。根据热带气旋年月频数气候数学模型的方法, 热带气旋年、月频数的数据, 用指数曲线方程, 拟合热带气旋的年月频数。用权重方程进行综合预报, 从而建立的数学模型, 称为热带气旋年、月频数气候数学模型。

此数学模型总结了热带气旋年、月频数与前期海温格点资料的相关关系, 此数学模型使用了热带气旋年、月频数的时间序列, 也总结了热带气旋年、月频数时间序列的变化规律。此模型属于非线性数学模型, 因此预报效果也较好。

1999 年至 2002 年, 每年都制作热带气旋的气候预测, 对西太平洋、南海、以及登陆中国、登陆广东的热带气旋的年、月频数作出预报。下面介绍气候预测结果检验情况。

3.1 热带气旋年频数的预报检验

根据广州中心气象台的评分办法, 全年总台风

数预报中值误差 2 个以内为正确。

3.1.1 1999 年热带气旋年个数预报和实况

预报登陆或严重影响中国的台风和热带风暴可能有 10~11 个, 实况 9 个。

预报登陆或严重影响广东的台风和热带风暴有 5~7 个, 实况 7 个。

在北纬 18° 以北, 东经 120° 以西的南海海面 (以下简称南海北部), 有热带气旋 11~13 个 (含从太平洋移入) 实况是 13 个。

预报南海北部有 11~13 个热带气旋, 实况是 13 个。

3.1.2 2000 年热带气旋年个数预报和实况

登陆或者严重影响中国的台风和热带风暴可能有 9~10 个。实况是 7 个。

登陆或严重影响广东的台风和热带风暴有 4~6 个。实况是 4 个。

预报南海北部海面, 有热带气旋 9~11 个 (含从太平洋移入) 实况是 9 个。

3.1.3 2001 年热带气旋年个数预报和实况

预计登陆或者严重影响中国的台风和热带风暴可能有 7~9 个, 实况 10 个。

登陆或者严重影响广东的台风和热带风暴有 4~6 个 (正常), 实况 5 个。

预报南海北部海面, 有热带气旋 10~12 个 (含从太平洋移入), 偏少 1 个, 实况 11 个。

3.1.4 2002 年热带气旋年个数预报和实况

预计登陆或者严重影响中国的台风和热带风暴可能有 7~9 个, 实况 7 个。

登陆或者严重影响广东的台风和热带风暴有 4~5 个, (正常), 实况 4 个。

预报南海北部海面, 有热带气旋 9~11 个 (含从太平洋移入), 比常年少 1 个, 实况 9 个。

3.2 热带气旋月频数的预报检验

表 1 是 12 月作下一年度 8 月份热带气旋登陆广东个数预报的验证, 表中的多项式预报是使用 1990 年以前 11 月的海温 9 个格点资料制作的预报方程。3 个预报方法各有优缺点, 表中平均绝对误差都较小, 其预报有参考意义。

4 热带气旋登陆时段、地段的预报

4.1 逐日气象要素的非线性预报模型

应用周期叠加、韵律、拓扑预测等方法, 用权重回归方程进行综合这种数学模型, 称为非线性预报模型。使用非线性预报模型制作逐日气压、雨量

值^[8]的短期气候预测。分析中国特别是华南沿海后汛期的逐日气压场、雨量场预报值,其雨量最大、气压最低值,出现的时段、地段是热带气旋影响或登陆的时段、地段。由于非线性预报模型,预报极端值的能力较强,因此雨量最大、气压最低值预报较准确,热带气旋影响或登陆的时段、地段预报也较准确。

4.2 若干热带气旋登陆时段、地段的预报检验

表2是根据非线性预报模型,所作的影响或登陆广东和南海2001年6~9月热带气旋预报及检验表。

例如:2002年,根据非线性预报模型,预报8月10~16日有热带气旋登陆广东,实况0214号热带气旋“黄蜂”8月11日生成,8月19日在广东吴川市登陆,见图1。

又如,2002年预报9月22~28日有热带气旋登陆广东粤西地区,实况0220号热带气旋“米克拉”9月23日生成,9月26日登陆海南岛,27日在广

表1 8月份热带气旋登陆广东个数预报结果验证

Tab.1 Forecast checkout of Tc frequency, which landing

年份	实况(个)	多项式预报(个)	指数曲线	周期预报
1990	1	-	1.6	0.8
1991	1	1.9	1.0	0.9
1992	1	1.9	1.5	1.5
1993	1	1.0	1.2	1.8
1994	1	1.1	1.1	1.2
1995	3	2.0	1.0	1.2
1996	1	1.5	1.9	0.8
1997	2	1.2	1.7	1.5
1998	2	0.9	1.6	1.4
1999	1	1.7	1.9	1.3
2000	1	1.4	0.8	0.8
绝对误差		0.67	0.59	0.52

表2 2001年6~9月热带气旋预报表

Tab.2 Number forecast of TC from June to September in 2001

月份	南海海面(预报)	实况	广东(预报)	实况
6	2个:6月14~18日 6月25~30日	2	1个:6月25~30日影响粤西	6月30日~7月2日0103号榴莲在湛江登陆
7	2个:7月8~13日 7月23~28日	2	2个:7月8~13日登陆珠江口 7月23~28日登陆粤西	7月5~6日0104号尤特登陆海丰-惠东 7月23~26日0107号玉兔登陆电白
8	1个:8月11~17日	2	1个:8月11~17日登陆广东	8月9~11日0109号天兔影响粤西 8月28~31日0114号菲特严重影响粤西
9	2个:9月1~7日 9月22~27日	2	2个:9月1~7日登陆粤西 9月22~27日登陆粤东	9月18~20日0016号百合登陆惠来 9月22~28日0019号利奇马影响粤东

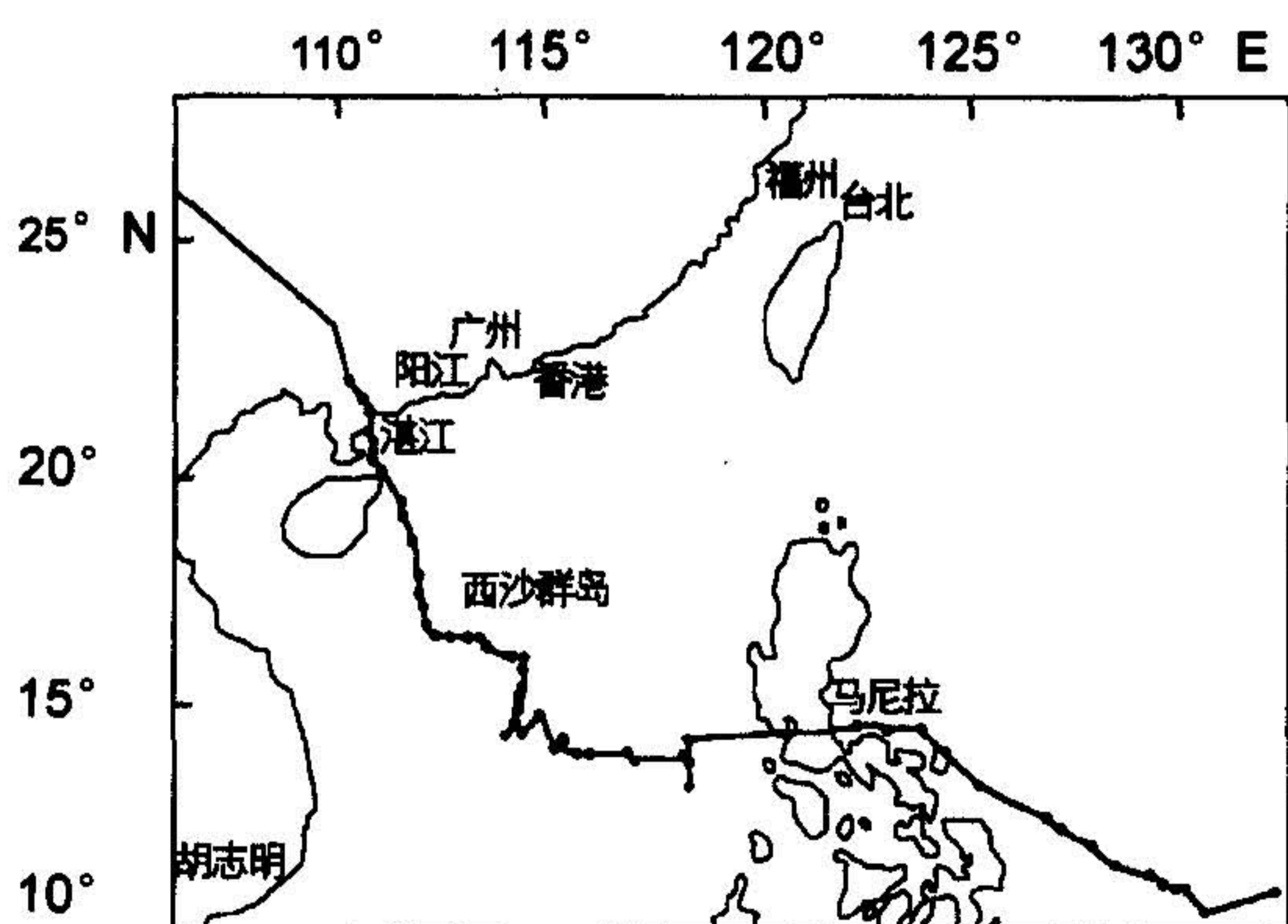


图1 热带气旋黄蜂路径
Fig.1 Route of "VongFong"

西、28日在广东粤西地区遂溪县再次登陆,详见图2。

5 拓展气候服务领域

在热带气旋的预报实践中,热带气旋的年月频数预报,与热带气旋的登陆时间、登陆地段的气候预报,其准确率已相当高,可与中期数值预报相比。拓展气候服务领域过程中,必须学会两个相结合的预报方法,也就是,长中短期预报方法相结合,数值预报与统计预报方法相结合。在2002年的路径及登陆时段、地段的预报应用中,有较好的效果。

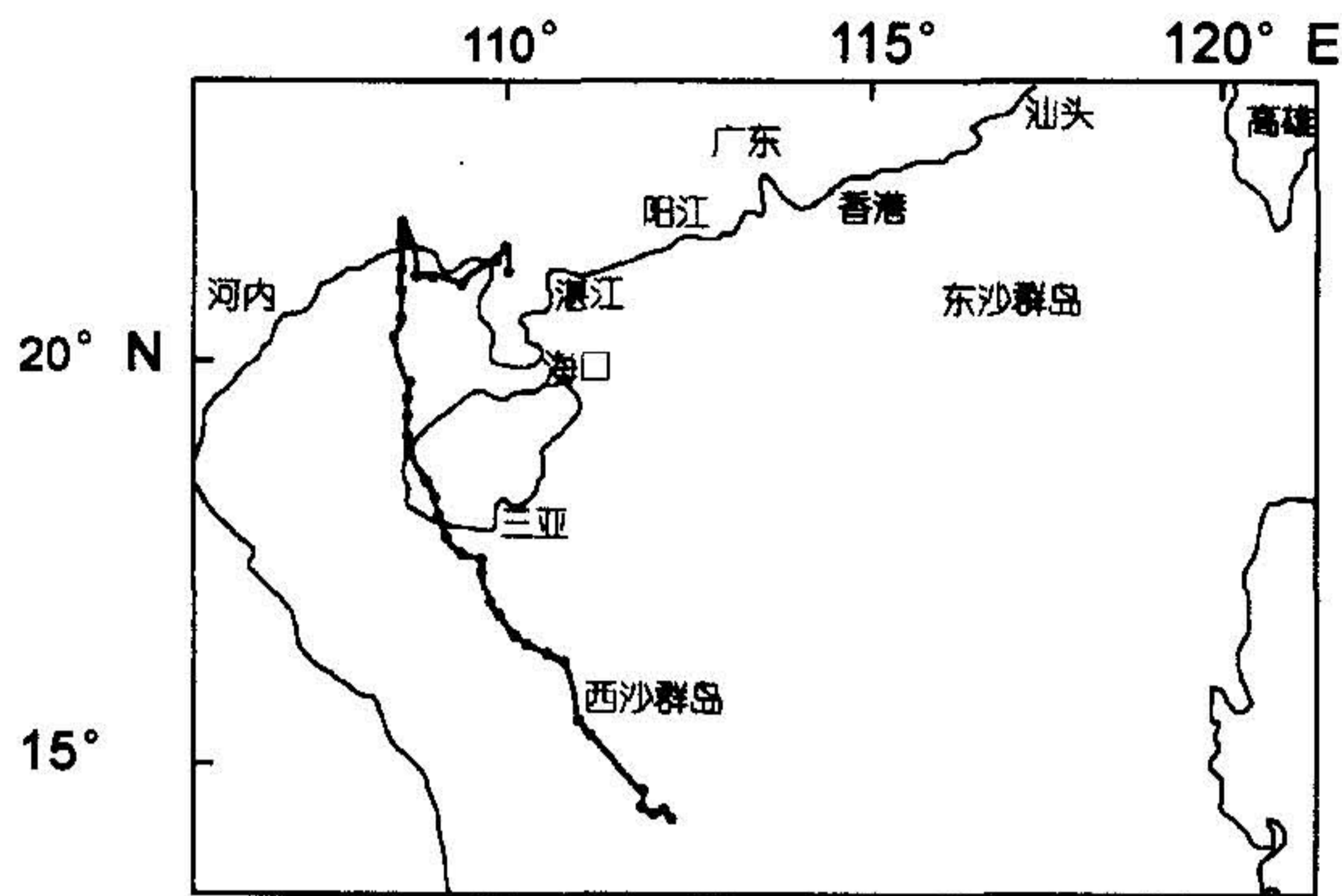


图2 热带气旋米克拉路径
Fig.2 Route of "Mekhla"

5.1 长中短期预报方法相结合

在7~9月份,达到强热带风暴以上热带气旋的路径一般较稳定,指数曲线拟合,拟合误差小于0.4时,作热带气旋的短期路径预报较准确。用逐日气压场、雨量场分析热带气旋的登陆时间、地段也较可靠。短期数值预报可信度高。2002年热带气旋黄蜂、黑格比和米克拉的长中短期预报方法大体一致,所以路径预报准确。

5.2 数值预报与统计预报方法相结合

2002年9月上旬前期,日本、欧洲中心等的中期数值预报都一致报0216号热带气旋森拉克将影响广东。作者使用上海、杭州、温州、福州、厦门、汕头等站9月上旬逐日雨量、气压预报进行分析,3~7日温州以北雨量较大气压低,福州以南雨量少,汕头无降水且气压高。

考虑热带气旋路径短期预测,0216号台风森拉克于6~7日在福建北部到浙江南部附近登陆,对广

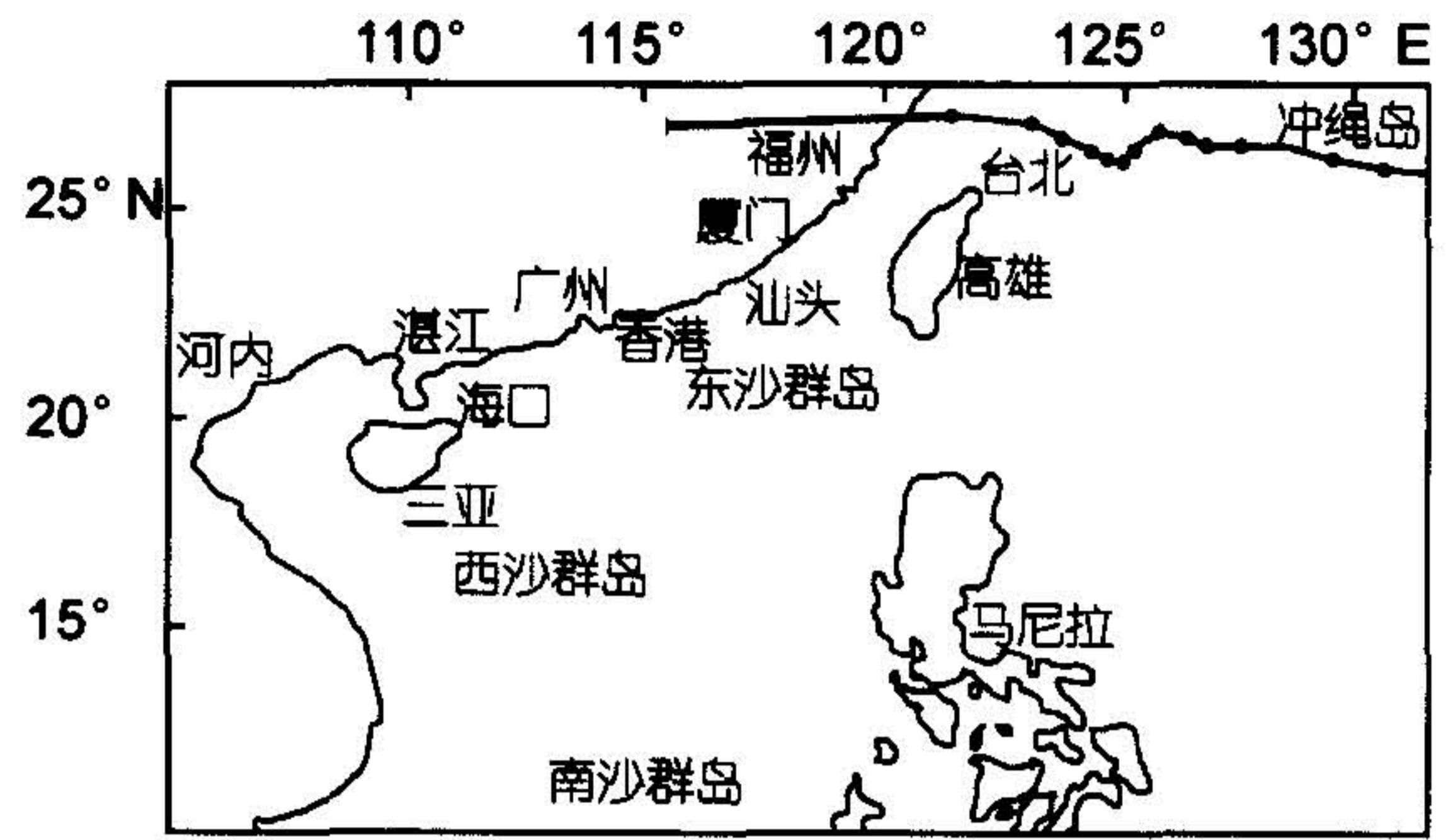


图4 热带气旋森拉克路径
Fig.4 Route of "Sinlaku"

东无影响,见图3。实况是0216号台风森拉克9月7日在浙江南部苍南县大渔镇登陆,对广东无影响。靠长中短期的统计方法和短期数值预报方法报准森拉克的等陆地点,预报基本准确,见图4。

6 结束语

热带气旋造成的灾害,造成广东直接经济损失年平均83亿元人民币^[9]。因此报准热带气旋年月频数,特别是报准热带气旋的登陆时段、登陆地段,对于防灾减灾有重要意义。

热带气旋数学气候模型,制作的热带气旋年月频数气候预测,经过近年的气候预报的检验,其预报准确率75%~90%左右,它是非线性数学预报模型,比线性预报模型有明显的提高。

利用非线性数学模型,制热带气旋预报、登陆时间、地点,是一种客观定量的预报方法,经过近年的气候预报的检验,其预报准确率80%~90%,有较大的提高;热带气旋的时段、地段预报基本准确,受到用户的好评,得到沿海气象台站预报员的信赖。

近年来作者利用热带气旋气候数学模型进行预测,不但拓展了气候领域的服务范围,也拓展了气候领域的业务范围,而且成为中、短期天气预报的重要参考工具之一。其热带气旋气候预报方法、预报系统有推广意义。

参考文献:

- [1] 高建芸,许金镜.最优子集回归在福建热带气旋频数预测中的应用[J].海洋预报,1999,16(2):49-57.
- [2] 李诈泳,邓新民,桑华民.台风登陆华南年频数的投影追踪预测模型[J].热带气象学报,1998,14(2):182-185.
- [3] 刘春霞.广东热带气旋短期气候预测:相空间相似预报方法的应用[A].黄增明,谢炯光,吴尚森,等.

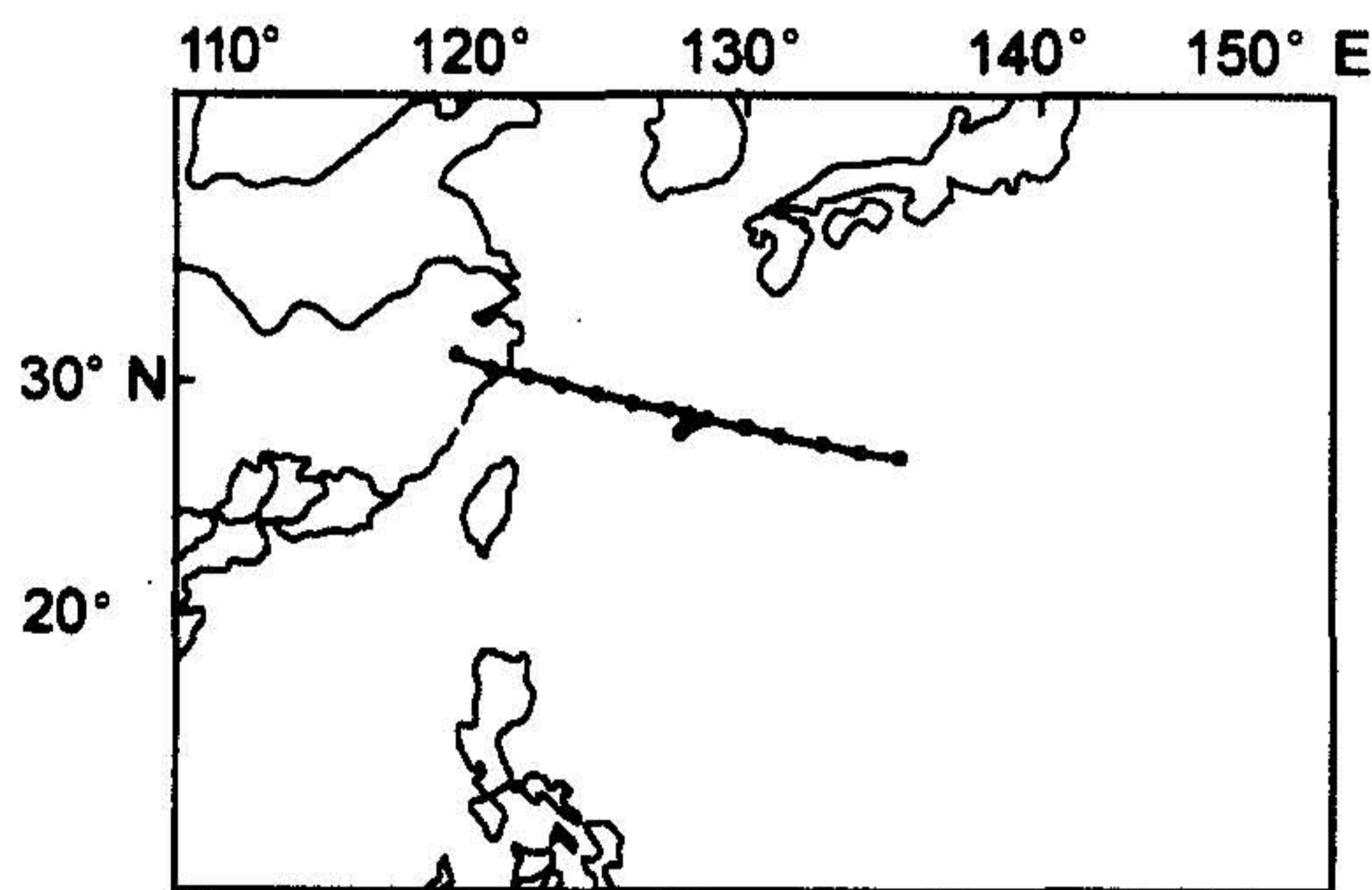


图3 热带气旋森拉克9月3日14时预报图
Fig.3 "Sinlaku" route observation

- 广东省短期气候预测研究[C]. 北京: 气象出版社, 2000.266-271.
- [4] 吴国雄. 海温异常对台风形成的影响[J]. 大气科学, 1992, 16(3): 322-332.
- [5] 邓自旺, 屠其璞, 冯俊茹, 等. 我国登陆台风率变化与太平洋海表温度场的关系[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增刊): 55-60.
- [6] 谢定升, 张晓辉, 梁凤仪. 热带气旋的年月频数预测[J]. 海洋预报, 2000, 17(4): 60-68.
- [7] 谢定升, 梁凤仪. 用灰色理论作降水峰日的中期预报[J]. 气象, 1992(11):22-23.
- [8] 谢定升, 关小文, 梁凤仪. 逐日气象要素的短期气候预测及应用[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999, 38(增刊2): 148-152.
- [9] 广东省农业厅, 广东省气象局. 广东省农业气象灾害及其防灾减灾对策[M]. 北京: 气象出版社, 2000.5.

Forecast of tropical cyclones using climatic mathematical model

XIE Ding-sheng, WENG Xiang-yu, ZENG Cong

(Guangzhou Central Meteorological observatory, Guangzhou 510080, China)

Received: Jan., 8, 2003

Key words: tropical cyclone; mathematic model; climate; forecast application

Abstract: Several factors selected and combined from Western Pacific surface seawater data were used to construct weighted equations. As a result, reliability of correlation coefficients was improved from 0.05 for single-factor to 0.01 for complex-factors, with the reliability of weighted equations up to 0.001. The $Y-X$ correlation coefficient of a high order non-linear equation through mutation was higher than that of a simple linear equation by about 5 percent. The model forecast has been employed since 1999; during this time the accuracy rate has been verified at between 75 to 90 percent. The non-linear forecast model has been used for daily climate pressure and precipitation prediction. By analyzing the climatic forecasting results of coastal pressure and precipitation, the non-linear forecast model has shown an accuracy rate of between 80 to 90 percent in the forecasting of tropical cyclone climatic landing time and landing spots in Guangdong and other coastal provinces of China.

(本文编辑: 刘珊珊)