

热带气旋移速的预报

陈淑琴 黄 辉 李晓丽

(浙江省舟山市气象台,舟山 316004)

提 要

主要用统计方法分析热带气旋本身的要素(位置、近中心最低气压、移速等)与热带气旋移速的相关性,用前期的中心气压、位置、移速等作为因子并结合热带气旋数值预报产品建立移速预报的逐步回归方程。

关键词: 热带气旋 移速 集对分析 数值预报产品

引 言

热带气旋是一种破坏力极强而又难以预报的重大灾害性天气系统,对热带气旋影响的预报,关键是预报热带气旋的移动及强度的变化,以往人们对热带气旋强度的变化和路径研究较多,而对热带气旋的移速的研究相对较少,事实上热带气旋移速的预报非常重要,即使强度和路径预报完全正确,如果移速的预报出现偏差,就可能使影响时间报错,得出完全错误的天气预报。文献[1,2]介绍了目前国内外专家对热带气旋移动的各种预报方法,基本上都用到过去的气旋移动资料,气候学方法还用到了气旋的位置。由于热带气旋的移动既受气旋内部因子的作用又受环境条件的影响^[3],气旋内部因子的作用有可能在热带气旋的要素(位置、强度、移速等)上表现出来,所以可以尝试用这些要素来探讨移速的预报。

1 资 料

本文选取了1980~1998年的热带气旋年鉴中在10~35°N,145°E以西有编号的热带气旋资料,一共选取了158个热带气旋,4831个样本,包括经纬度、近中心最低气压等资料,通过经纬度计算热带气旋的移速。

2 热带气旋移速的气候统计

通常情况下,热带气旋在低纬度的移速慢于在高纬度的移速,加强阶段的移速慢于

减弱阶段^[4]。经过统计,得出具体情况如表1和表2。

表1 各纬度带的热带气旋平均移速

纬度/°N	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35
平均移速/km·h ⁻¹	17.95	16.50	17.94	21.21	27.86

表2 各强度段的热带气旋平均移速

中心最低气压/hPa	平均移速/km·h ⁻¹	中心最低气压/hPa	平均移速/km·h ⁻¹
905~915	20.62	955~965	18.66
915~925	16.96	965~975	20.27
925~935	16.30	975~985	21.24
935~945	17.65	985~995	20.71
945~955	18.71	995~1005	18.71

从表1可以看出,在低纬阶段,10~25°N气旋的移速没有明显的差异,25~35°N则有明显的增长,随着纬度的增加,移速增长的幅度也加大。因为中心气压在925hPa以下的气旋很少,所以大多数气旋强度较弱的时候,移速较快,当中心气压超过985hPa以后,强度弱,移速也慢。

热带气旋突然增速最容易使预报失败,所以统计各个纬度和中心最低气压下热带气旋增速的气候概率有一定的意义。图1是各个纬度的热带气旋增速的概率分布,在北纬20°N以南,增速的概率在50%附近上下摆动,在20~35°N之间,增速的概率都大于50%,在28°N、32°N、34°N是三个峰点,增速的概率都大于65%。图2是热带气旋增速的概率对热带气旋强度的分布图。935hPa

是一个峰点, 增速的概率为 65%, 970hPa 也是一个峰点, 为 60%, 在 945~990hPa 之间, 增速的概率都大于 50%。

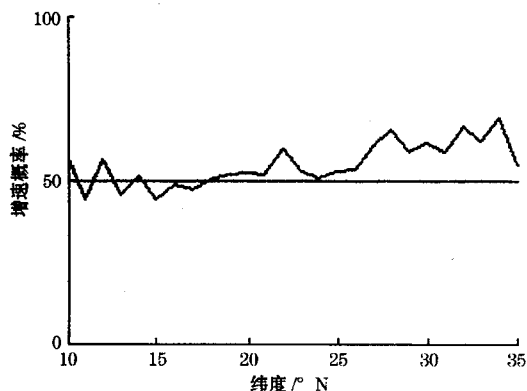


图1 气旋增速概率对纬度分布

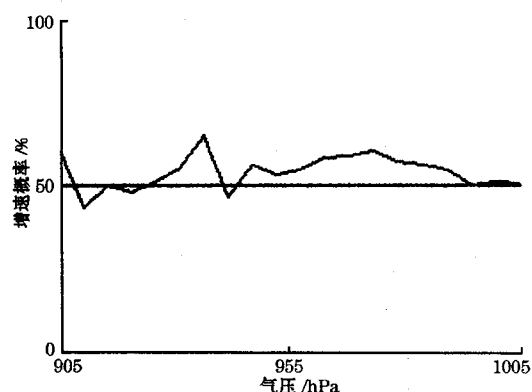


图2 气旋增速概率对中心气压的分布

3 热带气旋移速与强度的关系

为了进一步了解热带气旋移速与强度的关系, 为所选资料的每一个气旋制作了移速与强度的演变图, 图3是其中的一张, 8507号热带气旋的移速与强度的演变图, 在热带气旋发展阶段, 气压逐渐降低, 移速也逐渐减小, 当发展到成熟阶段, 气压进一步降低, 移速逐渐增大, 当气压到达最低, 开始增加的时候, 移速却减慢, 但时间不长, 6小时左右, 又开始随气压增加而增加。气压的变化曲线象V型, 移速的曲线象W型, 而且V的波谷正对着W的波峰, 有时后者落后前者几个时次。这种现象还是比较多的, 比较典型的还有8013、8209、8214、8406、8807、9216、9219、9620、9808等。它在预报上的意义就是如果

当气旋强度增强时, 移速增大, 那么当气旋强度开始减弱时, 移速也可能随后减小, 但只是短暂的, 6~24小时以后还可能增大。有时气旋移速变化的曲线中没有中间的小波峰, 是V型, 而且移速与强度变化的转折点在时间上比较近, 移速与强度的变化趋势基本相同。这样的例子也很多, 如8605、8608、8820、9020、9225等。当然也有很多的气旋不符合上述两种情况。

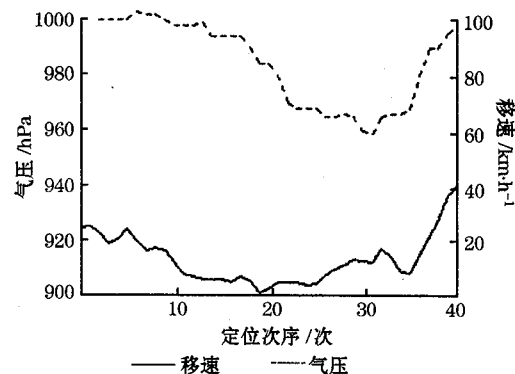


图3 8507台风移速与中心最低气压演变图

由此可知, 气旋移速与气压的变化趋势有时是一致的, 有时是相反的, 有时是不确定的, 怎样用数学表达式来表达这种关系呢? 赵克勤的集对分析理论^[5]提出了联系度的概念, 他把两个集合的关系表示为:

$$\mu(w) = s/n + (f/n)i + (p/n)j$$

或

$$\mu(w) = a + bi + cj$$

式中, $j = -1, i \in [-1, 1], s + f + p = n, a + b + c = 1$

具体意义是在命题 w 下对两个集合作分析, 共得到 n 个特性, 其中有 s 个特性为两个集合所共有, p 个特性为两个集合相对立, f 个特性既不对立也不同意, $a = s/n$, 为两个集合相同的比例, 叫同一度, $b = f/n$, 为有差异的比例, 叫差异度, $c = p/n$, 为相对立的比例, 叫对立度。这一理论已广泛用于现代科学管理, 系统控制, 决策分析等诸多领域。

这里把移速与中心气压的变化趋势一致

的作为相同,即移速和气压同时增加,或同时减小,由于气旋中心气压精度不高,变化为0的情况很多,所以假定当气压变化为0时,移速的6小时变化不超过 $1\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的也作为相同。当气压增加,移速减小的和气压减小,移速增加的作为对立,其余的作为差异,最后统计的结果是:

$$\mu = 0.56 + 0.18i - 0.26$$

其中同一度最大,说明气旋移速与中心气压变化一致的占多数。

由于气旋中心气压的变化曲线类似一个余弦波,而很多气旋的移速的变化也有相似的变化,所以可以对这些气旋的中心气压和移速的变化序列作波谱分析^[6]。用0.05的信度作检验,结果80%的气旋的气压和移速变化序列都可分析出一个显著的波,有20个气旋气压变化可分析出两个显著的波,其中10个移速变化也可分析出两个显著的波,这说明大部份气旋移速变化具有与气压变化相同的周期性,但是移速的变化更加复杂,常常是由多个波叠加起来的。

4 用逐步回归建立预报方程

从以上的分析可看出,气旋的位置、近中心气压等与移速有一定的关系,所以可用前期的位置、气压、移速等作为因子,用逐步回归建立预报方程^[6],预报未来气旋的移速。

用1980~1998年的158个热带气旋的资料,共3567个样本作逐步回归。因子 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 分别是当前、前6、12、18、24小时的气旋移速, x_6 、 x_7 、 x_8 、 x_9 、 x_{10} 分别是当前、前6、12、18、24小时的气旋的近中心气压, x_{11} 、 x_{12} 、 x_{13} 、 x_{14} 分别是当前、前6、12、18小时的气旋移速的增量, x_{15} 、 x_{16} 、 x_{17} 、 x_{18} 分别是当前、前6、12、18小时的气旋近中心气压的增量, x_{19} 、 x_{20} 分别是当前的经度和纬度。预报结果 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 分别是未来6、12、18、24小时的移速。用0.05的信度的 f 来引入、剔除因子,用逐步回归得出的预报方程如下:

$$y_1 = -9.509 + 0.747x_1 + 0.157x_2 + 0.063x_{14} + 0.048x_{15} + 0.063x_{19} + 0.188x_{20}$$

$$y_2 = -12.668 + 0.883x_1 - 0.076x_5 - 0.171x_{11} + 0.076x_{15} + 0.085x_{19} + 0.306x_{20}$$

$$y_3 = -12.739 + 0.809x_1 - 0.100x_5 - 0.158x_{11} + 0.085x_{16} + 0.088x_{19} + 0.398x_{20}$$

$$y_4 = -11.105 + 0.602x_1 + 0.080x_{12} + 0.083x_{13} + 0.112x_{15} + 0.086x_{19} + 0.443x_{20}$$

其中相关性较好的因子有当前的移速 x_1 、经度 x_{19} 、纬度 x_{20} ,四个方程都选入了,而且都与移速成正相关。其它入选的因子还有前24小时的移速 x_5 、当前的移速增量 x_{11} ,这两个因子与移速成反相关。当前的气压增量 x_{15} 在三个方程里用到了,与移速成正相关,而且预报时间越长,相关程度越高。

用回归方程进行拟合,与实况比较, y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 的平均误差分别是4.70、5.76、6.59、7.20 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。由于环境场的引导对热带气旋的移动有重要的作用,上述方程中不包含环境场的因子,所以预报效果不是很好,但如果和热带气旋的数值预报方法结合起来,应该会使预报成绩有所提高。在日常业务中,各台站可收到的热带气旋的数值预报产品主要有两种,一种是北京发的客观路径预报,一种是日本发的客观路径预报。可根据这两种产品的路径预报来反演气旋的移速,作为预报因子,和前面已选出的相关性较好的因子一起,再进行回归分析。对2000年的10个热带气旋的资料共120个样本作上述回归分析,得出预报方程如下:

$$y_1 = 2.736 + 0.144x_1 + 0.673x_{22}$$

$$y_2 = 5.422 - 0.155x_5 + 0.816x_{22}$$

$$y_3 = 6.183 - 0.208x_5 + 0.846x_{22}$$

$$y_4 = 6.725 - 0.619x_1 + 0.383x_{12} +$$

$$0.236x_{13} + 0.504x_{21} + 0.744x_{22}$$

式中 y_1, y_2, y_3, y_4 分别是未来 6、12、18、24 小时的移速预报, x_1, x_5 分别是当前、前 24 小时的气旋移速, x_{12}, x_{13} 分别是前 6 小时和前 12 小时的气旋移速的增量, x_{21}, x_{22} 分别是根据中央台、日本客观路径预报产品中位置的 24 小时预报推算出的未来 24 小时的平均移速预报。拟合结果见表 3。

表 3 预报方程拟合结果

预报时段/h	复相关系数	平均误差/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
6	0.696	3.45
12	0.672	3.73
18	0.631	4.47
24	0.629	4.90

如果不采用前期移速、增速等预报因子, 仅仅采用数值预报产品, 将北京和日本两种数值预报产品进行二元回归, 也可得到预报方程, 其拟合结果如表 4。

表 4 两种数值预报产品回归方程的拟合结果

预报时段/h	复相关系数	平均误差/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
6	0.679	3.54
12	0.642	3.79
18	0.584	4.66
24	0.493	5.31

将表 3 和表 4 进行比较, 无论从哪个指标看, 表 3 的拟合结果都更好, 预报时效越长, 提高越明显, 这说明加入前期移速和增速因子, 可对数值预报产品进行订正。对 2001

年 13 个热带气旋共 117 个样本进行了试报, 6、12、18、24 小时预报的平均误差分别为 4.00、4.54、5.73、6.25 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

5 结 论

(1) 气候统计证实: 热带气旋的移速在高纬大于低纬, 中心气压在 965~995hPa 之间移速最大, 在中等强度的时候, 移速随强度增加减小。

(2) 热带气旋的移速有时与中心气压的变化有共同的趋势, 有时有一定的规律, 在实际业务中, 可以绘制移速与中心气压的演变图, 积累预报经验。

(3) 用热带气旋前期经纬度, 近中心最低气压, 移速以及气旋数值预报产品等作为因子建立的移速预报回归方程, 具有较好的拟合结果, 有一定的应用价值。

参考文献

- 1 陈联寿, 董克勤, 金汉良等译. 热带气旋全球观. 北京: 气象出版社, 1994: 200~220.
- 2 裘国庆, 方维模等译. 全球热带气旋预报指南. 北京: 气象出版社, 1995: 81~92.
- 3 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992: 737.
- 4 彭安仁, 陈林桃, 仇永康等. 天气学. 北京: 气象出版社, 1981: 149.
- 5 赵克勤. 集对分析及其初步应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 9~18.
- 6 黄嘉佑. 气象统计分析方法与预报方法. 北京: 气象出版社, 1990: 81~100, 300~316.

Study on Forecast of Movement Speed of the Tropical Cyclone

Chen Shuqin Huang Hui Li Xiaoli

(Zhoushan Meteorological Observatory, Zhejiang Province 316004)

Abstract

Statistical methods are mainly applied to the analysis on the factors of the tropical cyclone itself, such as location, lowest pressure near center, speed of movement etc., so as to study their correlation with the speed of movement of the tropical cyclone. And with the predictors of previous central pressure, latitude, longitude, speed of movement, productions of numerical forecast of tropical cyclone and so on, stepwise regression equations are established for the speed forecast.

Key Words: speed of movement of the tropical cyclone set pair analysis productions of numerical forecast of tropical cyclone