

文章编号:1673-8411 (2015) 01-0001-05

影响广东沿海的热带气旋最大强度估算

秦 鹏, 黄浩辉

(广东省气候中心, 广州, 510080)

摘 要:利用广东省沿海阳江、汕头气象探空站 1980~2012 年的观测资料,采用基于动力气象学原理的方法,估算影响广东沿海的热带气旋的海面可能最低中心气压为 866.3hPa,热带气旋中心附近海面可能最大风速为 $80.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,进一步估算热带气旋登陆广东沿海时近地面可能最大 10min 平均风速为 $60.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,同时利用 1949~2012 年热带气旋资料对估算结果进行了合理性分析。

关键词:广东沿海;热带气旋;最大强度

中图分类号:P457.8

文献标识码:A

Estimation on Maximum Intensity of Tropical Cyclones Affecting Guangdong Coast

Qin Peng, Huang Hao-hui

(Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080)

Abstract: Based on the observational data from 1980–2012 in Yangjiang and Shantou Meteorological radiosonde station at Guangdong coast, by using the methods according to the principle of dynamical meteorology, the estimated possible minimum central air pressure of sea surface of Guangdong coast affected by tropical cyclones is 866.3 hPa, the possible maximum wind speed near the center of tropical cyclone is $80.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, on the basis of further estimation, the possible maximum 10min average wind speed near the ground is $60.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ when tropical cyclones landing Guangdong coast, and the reasonable estimating results were analyzed by using the tropical cyclone observational data during 1949–2012.

Key words: Guangdong coast; tropical cyclone; maximum intensity

引 言

热带气旋(Tropical Cyclone,简称 TC)是由热带海洋中的扰动发展起来的,在北半球是一种呈强烈反时针旋转的暖性气流涡旋。热带气旋内部的结构深厚,垂直尺度可以达到对流层顶(15~20km),水平尺度可达其 50 倍或以上^[1]。热带气旋是影响我国的主要灾害性天气系统之一,热带气旋的路径、强度变化、登陆时间和地点、以及台风季的变化趋势、年代际变化、周期分析和 ENSO 的关系等气候特征及物理机制始终是气象学的研究热点^[2-10]。热带气旋在

其活动过程中,往往伴随狂风、暴雨和风暴潮,破坏力巨大^[11-13]。广东省位于南海之滨,有 4114km 的漫长海岸线(介于东经 109.659~117.175°,北纬地区不断出现跨江海桥梁、核电厂、石化、风电场及港口码头等大型工程建设项目,对热带气旋的影响十分关注。因此估算影响广东沿海的热带气旋最大强度,对沿海地区的防灾减灾以及大型工程的抗灾设计均具有重要的参考价值。

近年来,周小珊、蔡菊珍、顾裕兵和张容焱等学者采用基于动力气象学原理或概率论的方法对影响我国辽宁、浙江和福建等沿海局部地区的热带气旋

收稿日期:2014-11-25

作者简介:秦鹏(1981-),男,辽宁建平人,高工,主要从事气候可行性论证和应用气象研究工作。

地区不断出现跨江海桥梁、核电厂、石化、风电场及港口码头等大型工程建设项目,对热带气旋的影响十分关注。因此估算影响广东沿海的热带气旋最大强度,对沿海地区的防灾减灾以及大型工程的抗灾设计均具有重要的参考价值。

近年来,周小珊、蔡菊珍、顾裕兵和张容焱等学者采用基于动力气象学原理或概率论的方法对影响我国辽宁、浙江和福建等沿海局部地区的热带气旋最大强度进行了估算^[14-17]。由于自1949年以来的TC资料较为齐全,原理上可以通过概率论方法估算TC最大强度,如对主要的参数TC最低中心气压,通常采用极值分布函数计算千年一遇值作为可能最低值^[15,19],但是TC的可能最低中心气压并不具有时间界限,重现期是不确定的,因而结果存在不确定性,因此,本文尝试利用广东沿海的历史探空资料,采用基于动力气象学原理的方法对影响广东沿海的热带气旋最大强度进行估算,给出具有确定性的结果。

1 资料来源和研究方法

1.1 资料来源

(1)广东省阳江、汕头气象探空站1980~2012年的探空资料。其中汕头探空站位于粤东东部沿海,阳江探空站位于粤西中部沿海,两站相距约500km,对广东沿海有良好的代表性。

(2)中国气象局上海台风研究所发布的1949~2012年“CMA-STI热带气旋最佳路径数据集”。包括历年西北太平洋(含南海,赤道以北,东经180°E以西)海域TC每6h的位置和强度(近海面或地面的TC最低中心气压和中心附近最大风速),强度等级的划分以正点前2min内的平均风速为准。

1987年以前,主要利用美国在西北太平洋飞机侦察TC的手段来确定TC中心位置和强度,自1987年美国终止西北太平洋飞机侦察TC业务以来,利用气象卫星云图确定TC中心位置和强度成为唯一的手段。TC的云型特征可用于确定其中心附近最大风速,但TC中心最低海平面气压只能间接由风速与气压两者的统计关系求得^[18]。

1.2 研究方法

(1)以大气静力学方程为基础估算热带气旋海面可能最低中心气压^[19-20]

假设有这样一个影响广东沿海的TC,它产生了海面可能最低中心气压,它是一系列假设的气象条

件组合同时出现的结果,这些气象条件包括TC上界的温度和高度、海面温度以及TC眼区上方垂直空气柱的温度、湿度条件等,以大气静力学方程为基础可估算出其海面可能最低中心气压。

由大气静力学方程:

$$dp/dz=-\rho g \quad (1)$$

结合湿空气状态方程:

$$p=\rho R_d T_y \quad (2)$$

导出等压面之间的重力位势厚度公式:

$$\Delta h = \frac{R_d \bar{T}_y}{g} \ln \frac{P_L}{P_v} \quad (3)$$

可变形为:

$$P_L = P_{uex} P \left(\frac{gh}{R_d \bar{T}_v} \right) \quad (4)$$

其中:

$$\bar{T}_v = \bar{T} \left(1 + \frac{0.38e}{p-e} \right) \quad (5)$$

上述各式中:为气压(hPa), z 为位势高度(gpm),为空气密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); g 为重力加速度(取值 $9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),为干空气气体常数(取值 $287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),为虚温(K), Δh 为等压面之间的厚度(gpm), \bar{T}_v 为等压面之间的平均虚温(K), P_L 为下层等压面气压(hPa),为上层等压面气压(hPa), \bar{T} 为等压面之间的平均温度(K), \bar{p} 为等压面之间的平均气压(hPa), e 为等压面之间的平均水汽压(hPa)。

通常以对流层顶(100hPa等压面)作为TC的上界^[19],由于在该界面上气象要素值不受TC的影响,因此可根据探空资料较为可靠地确定在海面上产生TC可能最低中心气压时其上界的温度和高度,从(4)式来看,结合海面的温度、湿度条件即可推算出TC的海面气压,但由于TC眼区上方垂直空气柱的温度、湿度条件较为复杂,经一层推算会造成较大误差,因此有必要进行分层推算。从TC上界向下至靠近海面的一层等压面(一般取850hPa),以一定间隔划分等压面,每一层能确定温度、湿度条件,由(3)式计算每层的厚度,以TC上界高度减去850hPa以上各层的累计厚度可得到850hPa至海面的厚度,从而由(4)式推算出TC的海面可能最低中心气压。

(2)估算热带气旋最大梯度风速的梯度风公式^[19]

采用Myers的TC气压场分布模型,有如下形式的梯度风公式:

$$V_g=(\rho e)^{-\frac{1}{2}}\cdot(P_w-P_0)^{\frac{1}{2}}\frac{fR}{2}\tag{6}$$

式中: V_g 为 TC 的最大梯度风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), ρ 为空气密度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), e 为自然常数, P_w 为 TC 边缘气压 (Pa), P_0 为 TC 中心气压 (Pa), R 为 TC 最大风速半径 (m), f 为地转偏向力 ($f=2\omega\sin\varphi$, 其中 $\omega=7.28\times10^{-5}\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$, φ 为纬度)。

2 热带气旋最大强度估算

2.1 影响广东沿海的热带气旋的统计特征

中心位置距离海岸线 400km 以内的热带气旋均可能严重影响沿海地区^[19], 根据现有 1949~2012 年共

64 年的“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”资料, 建立影响广东沿海的历年 TC 最低中心气压极低值、历年 TC 中心附近最大风速极大值和历年 TC 登陆时中心附近最大风速极大值序列, 经检验, 各序列均服从极值 I 型概率分布, 统计得到历年 TC 最低中心气压极低值序列的最大值为 980hPa, 最小值为 910hPa (6903 号超强台风); 历年 TC 中心附近最大风速极大值序列 (2min 平均) 的最大值为 $70.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (6903 号超强台风), 最小值为 $30.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 历年 TC 登陆时中心附近最大风速极大值序列 (2min 平均) 的最大值为 $65.0\cdot\text{s}^{-1}$ (登陆台湾的 5904 号超强台风), 最小值为 $20.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (表 1)。

表 1 影响广东沿海的热带气旋统计特征参数

序列	平均值	最大值	最小值
历年 TC 最低中心气压极低值 (hPa)	953	980.0	910.0
历年 TC 中心附近最大风速极大值—2min 平均 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	47.0	70.0	30.0
历年 TC 登陆时中心附近最大风速极大值—2min 平均 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	41.6	65.0	20.0
*历年 TC 登陆时中心附近最大风速极大值—10min 平均 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	37.4	58.5	18.0

* 注: 10min 平均风速由 2min 平均风速乘以折减因子 0.9 得出^[19]。

2.2 热带气旋海面可能最低中心气压估算

2.2.1 参数设定

估算 TC 海面可能最低中心气压 P_0 , 需要设定以下参数:

(1) 对流层顶温度与高度

TC 在本质上是一个气流在低层辐合而在高层辐散的系统, TC 的垂直范围可用对流层顶来界定, 一般采用 100hPa 等压面来代替对流层顶, 考虑形成 TC 海面可能最低中心气压的条件及减少不确定性, 对流层顶温度取盛夏季节 (7、8 月份) 100hPa 等压面的平均最高温度, 对流层顶高度取盛夏季节 100hPa 等压面的最低平均高度^[19]。利用广东省沿海阳江、汕头两个气象探空站 1980~2012 年共 33 年的观测数据, 计算得到盛夏季节 100hPa 等压面的平均最高温度为 -71.8°C , 最低平均高度为 16653gpm。

(2) 海面温度

根据我国海洋气象学家的经验研究, 可假设南海北部海面极端最高温度为 32°C ^[19]。

(3) TC 眼区内温度、湿度的垂直分布

对于南中国海区 TC 眼区上空的温度垂直结

构, 假设 200hPa 以上呈干绝热分布, 200hPa~300hPa 之间为干绝热与湿绝热分布的过渡层, 300hPa 以下为湿绝热分布; 对于 TC 眼区上空湿度垂直结构, 假设 100hPa 的相对湿度为 5%, 200hPa 的相对湿度为 20%, 300hPa 及以下为 100%^[19]。

2.2.2 计算过程及结果

对 TC 眼区上方的垂直空气柱, 在 100~850hPa 之间, 以 100hPa 为间隔划分为若干层, 利用温度—对数压力图查算各等压面的气温, 根据 100hPa 气温, 200hPa 气温可经干绝热线查到, 300hPa 气温取干绝热线和湿绝热线的平均值, 300~850hPa 气温可经湿绝热线查到, 由各层的相对湿度 (R_H) 和气温, 根据 WMO 推荐的戈夫—格雷奇 (Goff-Gratch) 公式计算其水汽压, 从而计算各等压面之间的平均气温 (\overline{T})、平均虚温 (\overline{T}_v) 和平均水汽压 (\overline{e}), 由 (3) 式计算得到各层的厚度 (Δh) 及各层的累计厚度。相关计算值见表 2, 海平面至 850hPa 之间: $\Delta h=16653-16479.8=173.2\text{gpm}$, $\overline{T}_v=37.5^{\circ}\text{C}$, 上层等压面气压为 850hPa, 代入 (4) 式计算得到: $P_0=866.3\text{hPa}$ 。

表 2 热带气旋海面最低中心气压估算相关计算

P_U-P_L (hPa)	\overline{T} (°C)	$\overline{T_v}$ (°C)	$\overline{R_H}$ (%)	\overline{e}	$-h$ (gpm)	累计 $-h$ (gpm)
100-200	-49.7	-49.7	13	0.048	4532.9	4532.9
200-300	-15.6	-15.1	60	2.384	3063.0	7595.9
300-400	1.7	3.9	100	7.342	2333.2	9929.1
400-500	10.8	14.0	100	13.256	1875.8	11804.9
500-600	17.5	21.7	100	20.303	1573.8	13378.6
600-700	22.8	27.8	100	27.886	1357.9	14736.5
700-850	27.8	33.6	100	37.664	1743.3	16479.8
> 850	31.3	37.5	100	43.660	—	—

2.2.3 合理性分析

根据现有 1949~2012 年共 64 年的 TC 资料统计,在距离广东海岸线 400km 范围内的 TC 中心气压最低值为 910hPa,出现在 1969 年 7 月 27 日(6903 号超强台风),估算的 P0 值较其低 43.7hPa。在近几十年的西北太平洋上,有不少 TC 个例在其生命史的实测最低中心气压低于 900hPa,历史记录最低值为 870hPa,出现在 7919 号台风(1979 年 10 月 12 日),因此,本文估算影响广东沿海的 TC 海面可能最低中心气压为 866.3hPa 是较为合理的。

2.3 热带气旋中心附近可能最大风速估算

2.3.1 梯度风公式估算热带气旋海面可能最大风速

(1)参数设定

①热带气旋边缘的海面压力 P_w

根据影响南海及西北太平洋的台风样本,逐个普查天气图上 TC 最外圈的闭合等压线值,最大值为 5427 号台风的最外圈气压值 1011hPa,影响广东沿海并产生最大风速的 TC 边缘的海面压力 P_w 假设为该值。

②TC 最大风速圈半径 R

显著的“台风眼”是 TC 发展成熟的一个明显标志,台风最大风速往往出现在台风眼边缘附近,台风强度越强,一般眼区越小。郭晓岚曾对 TC 最大风速圈半径的理论极限最小值进行过研究,指出在北纬 20°附近的西北太平洋中,TC 最大风速圈半径的最小值可能低于 10km^[19],因此,可假设影响广东沿海并产生最大风速的 TC 最大风速圈半径为 10km。

(2)计算结果

取 TC 中心最低气压 $P_0=86630\text{Pa}$ 、边缘海面压力 $P_w=101100\text{Pa}$ 、最大风速圈半径 $R=10000\text{m}$ 、空气密度 $\rho=0.963\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (TC 眼区海面附近空气密度)及 $\varphi=20^\circ$ (距广东海岸线 400km 海域的平均纬度)代入(6)式,得到影响广东沿海的 TC 海面最大梯度风速 $V_g=74.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

由于气旋的向前运动,破坏了滞留气旋风场的对称性,因此计算 TC 最大海面风速需在滞留气旋风场的基础上叠加不对称性修正矢量: $\vec{A}=Y\vec{T}_x$,其中经验常数 $Y=1.5, X=0.63, T$ 为热带气旋移速(kn)^[19]。根据历史 TC 资料检索,距广东海岸线 400km 范围内 TC 的最大海面移动速度为 $T=26.3\text{kn}$ (9719 号热带风暴),计算得到 $\vec{A}=11.8\text{kn}=6.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,最终得出 TC 最大海面风速 $V_{\max}=74.1+6.1=80.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(3)合理性分析

根据现有 1949~2012 年 TC 资料统计,在距离广东海岸线 400km 海域内,TC 中心附近最大风速的最大值为 $70\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (出现在 6903 号台风),本文估算值较其高 $10.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,而在所有生命史内中心最低气压低于 900hPa 的 TC 个例中,其中心附近最大风速大于或等于 $80\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的占比超过 1/3,因此本文估算影响广东沿海的 TC 中心附近海面可能最大风速为 $80.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 是较为合理的。

2.3.2 热带气旋登陆广东沿海时可能最大风速估算

假设强度如上述估算的 TC 登陆广东沿海地区,可用折减因子 0.9 将 V_{\max} 换算为陆地气象观测站距地面 10m 高度的 10min 平均风速为 $72.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

[19]。

当 TC 中心从海域上空移动到毗连的陆地上空时, 风速将受下垫面摩擦阻力以及气旋眼内压力增加(陆上填塞)的影响而减小。一般在离海岸线 15km 范围内, 受不同类型下垫面的摩擦阻力影响, 风速减小幅度从 15%~60%不等, 陆上填塞影响则与 TC 登陆的时间长短有关, 一般在 5h 后风速减小幅度近似为 10%^[19]。广东沿海离海岸线 15km 范围内下垫面以滩涂和低矮丘陵为主, TC 刚登陆的较短时间内风速受下垫面摩擦阻力影响的减小幅度可假设为 15%, 按 TC 在陆上移动速度估算, 距离海岸线 15km 范围内, 陆上气压填塞影响时间约为 1h, TC 风速的减小幅度可假设为 2%, 则 TC 登陆时近地面的可能最大 10min 平均风速为 $72.2 \times 0.85 \times 0.98 = 60.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

统计现有 1949~2012 年 TC 资料进行对比分析, 在距广东海岸线 400km 区域内, TC 登陆区域包括海南、广东、福建和台湾等地区, 各地区 TC 登陆时中心附近最大风速的最大值均按折减因子 0.9 换算为近地面的 10min 平均风速, 海南为 $49.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (7314 号台风), 广东为 $45.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (9615 号台风), 福建为 $40.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (8510 号台风), 台湾为 $58.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (5904 号超强台风)。本文估算值 $60.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 较现有值高 1.6~19.6m/s 是较为合理的。

3 小结

利用广东省沿海阳江、汕头气象探空站 1980~2012 年的观测资料, 以大气静力学方程为基础, 估算影响广东沿海的热带气旋的海面可能最低中心气压为 866.3hPa, 利用梯度风公式估算热带气旋中心附近海面可能最大风速为 $80.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 考虑陆上摩擦阻力和陆上填塞等影响因素, 进一步估算热带气旋登陆广东沿海时近地面可能最大 10min 平均风速为 $60.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。与现有热带气旋观测资料对比, 估算结果具有一定保守性, 在工程气象应用以及防灾减灾方面是较为合理的。

参考文献:

- [1] 广东省人民政府农业办公室, 广东省气象局农业气象中心. 广东气候与农业 [M]. 广东高等教育出版社, 1996: 33~34.
- [2] 炎利军, 黄先香, 于玉斌, 等. 近 58 年西北太平洋热带气

旋频数的气候变化特征 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S2): 63~64.

- [3] 谢炯光, 纪忠萍. 登陆广东省热带气旋的奇异谱分析 [J]. 热带气象学报, 2003, 19(2): 163~168.
- [4] 马红云, 何伟芬, 王咏青. 两类不同路径热带气旋登陆前后的总能量对比分析 [J]. 广东气象, 2008, 30(1): 35~38.
- [5] 苏丽欣, 黄茂栋, 黄晴晴. 近 10a 西北太平洋海域登陆台风的环境场特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(4): 11~13.
- [6] 刘静, 吴启树, 龚振彬, 等. 近 30 年来影响福州的热带气旋统计研究 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S2): 61~62.
- [7] 吴慧, 林熙, 吴胜安, 等. 1949~2005 年海南岛登陆热带气旋的若干变化特征 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31(3): 9~12.
- [8] 李辉, 郑群峰, 王博, 等. 1952~2008 年影响深圳市热带气旋的气候特征 [J]. 广东气象, 2010, 32(5): 12~14.
- [9] 何小娟, 甘静, 潘静, 等. 201002 号台风“康森”移动路径特点的分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31(4): 12~15.
- [10] 张洁婷, 陈明璐, 廖胜石, 等. 0812 号台风鹦鹉分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32(1): 18~21.
- [11] 唐晓春, 梁梅青. 登陆广东的热带气旋及其产生的灾害链 [J]. 灾害学, 2006, 21(3): 47~53.
- [12] 梁水林. 设计基准台风浪推算法的探讨 [J]. 电力勘测, 1996 年 02 期: 51~55.
- [13] 刘德辅, 韩凤亭, 庞亮, 等. 台风作用下核电站海岸防护标准的概率分析 [J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(6): 140~146.
- [14] 周小珊, 杨森, 杨阳, 等. 影响红沿河核电厂区热带气旋特征及最大强度估算 [J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 916~923.
- [15] 蔡菊珍. 可能最大热带气旋中心气压计算研究 [J]. 浙江气象科技, 1998, 19(3): 3~7.
- [16] 顾裕兵, 赵鑫, 黄君宝, 等. 影响秦山核电厂热带气旋特征及核安全可能最大热带气旋参数设计值计算 [J]. 浙江水利科技, 2010, (1): 41~45.
- [17] 张容焱, 李玲, 高建芸, 等. 影响闽南核电厂热带气旋特征及其最低气压的计算 [J]. 热带气象学报, 2011, 27(5): 745~752.
- [18] 范蕙君, 李修芳, 燕芳杰, 等. 确定台风强度方法的改进 [J]. 气象, 1990, 16(8): 10~14.
- [19] 国家核安全局政策法规处. (HAD101/11) 核电厂设计基准热带气旋 [G]. 北京: 中国法制出版社, 1991.
- [20] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学 [M]. 北京大学出版社, 2003: 18~22, 133~143.