

南中国海热带气旋时空分布及强度特征统计分析

乔光全^{1,2}, 冯曦², 冯卫兵², 卢永昌¹, 李晓恩³

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州 510640)

摘 要: 根据中国气象局1949年到2017年的热带气旋资料, 统计分析了中国南海及南海各区域的TC年际、年内变化及时空分布特征, 并采用泊松-耿贝尔联合概率分布和皮尔逊-III型概率分布得到不同重现期极端风速。结果表明: 长期来看, 南海海域TC总量和台风及以上级别的TC数量并未明显减少, 但在2005年左右台风数量和强度都处于低谷, 之后略有增多和增强。空间分布上, 南海海域TC呈现北多南少、北强南弱、北早南晚的特征。根据台风资料统计, 100年一遇风速在南海北部最大, 达75.7 m/s, 西沙群岛到黄岩岛附近海域在62.0~68.1 m/s之间。

关键词: 南海; 热带气旋; 时空分布; 概率分布; 极端风速

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2019)06-0053-09

1 引言

中国近海是热带气旋(Tropical Cyclone, TC)多发区, 台风对近岸工程和海洋工程都带来灾难性影响。因此, 对中国海域TC的时空分布及TC引起的极端风速的研究具有重要工程意义。

有很多学者对上述问题进行了研究, 比如廖菲等^[1]统计了1949—2017年西北太平洋TC路径变化和加强特征; 杨亚新和夏剑东^[2]对西北太平洋近10 a的TC路径、源地、发生和登陆频数等进行了分析。另外, 对局地区域TC统计特征的研究也不少。吴慧等^[3]统计了1949—2005年登陆海南岛的TC若干变化特征, 认为登陆海南岛的TC有数量减少但强度增加的趋势; 朱业等^[4]统计了1949—2009年登陆浙江的TC, 认为西北太平洋上TC生成个数近年来大幅减少, 但登陆浙江的强台风明显增多, 并分析了TC带来的降雨、大风等气象特征在浙江沿岸的分布; 黄昌兴等^[5]统计分析了中国1949—2013年登陆我国的TC资料, 认为21世纪以来的登陆台风呈个数

多、强度大、灾害重的趋势; 梁海萍等^[6]、刘天绍等^[7]和薛淑君^[8]等其他学者也分别对登陆我国海南、广东沿岸和南海土台风的特征进行了系统的统计研究。刘贝等^[9]、季倩倩等^[10]分别讨论了海面温度、ENSO(El Niño-Southern Oscillation, 厄尔尼诺-南方涛动)与南海台风活动的相关关系, 吴祖立等^[11]分析了南海22个渔场的台风活动特征以及台风对渔场生产安全的影响和相关应对建议措施。

上述针对TC统计特征的研究主要集中在热带气旋路径特点、活动时间、生成地和登陆地的分布、强度和数量的年内年际变化^[1-8]以及与其他气象要素^[9,10]或人类活动^[5,11]的关系。还有一些学者对TC引起的极端风速做了很多研究, 如秦鹏等^[12,13]分析了珠江口和粤东沿岸TC特征及最大风速, 得到50年一遇和100年一遇的风速。李运斌^[14]采用1974—2009年的TC资料推算湛江附近海域多年一遇重现期风速, 认为复合极值分布的计算结果较稳定; 李强等^[15-16]采用非对称台风风场模型计算经验风场, 并采用泊松-耿贝尔复合分布得到我国东海和15°N

收稿日期: 2019-04-18; 修回日期: 2019-07-12。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1404200); 卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放基金(SOED1609)。

作者简介: 乔光全(1986-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事港口航道设计及水文工作。E-mail: qiaogq@fhdigz.com

通讯作者: 冯 曦(1987-), 女, 讲师, 博士, 主要从事海洋科学和海岸带灾害与防护研究。E-mail: xifeng@hhu.edu.cn

以北南海海域的重现期风速;苏志等^[17]、张容焱等^[18]、周冲^[19]、金连根^[20]、钟鸣^[21]等人也分别对气旋引起的近岸不同海域的极端风速做了很多研究,得到很有意义的研究成果。上述研究为近岸工程提供了很重要的极值风速参数,但受当前我国工程项目地理位置等多方面因素的影响,这些研究多集中在近岸海域,虽然也有对远海极端风速的研究,但所采用的资料年限略显陈旧。一方面随着海洋工程的发展及我国海洋维权意识的进一步提高,海洋工程有越来越往远海发展的趋势,另一方面,随着近年来热带气旋的增强^[1-2,7],采用更新的TC资料对远海极端风速的研究显得越来越重要。

基于此,本文根据中国气象局(China Meteorological Administration, CMA)公布的1949—2017年共计69 a的TC数据资料^[22],对1949—2017年南中国海海域及内部各主要区域的多年资料进行了统计,分析其时空分布规律和强度特征,作为对已有研究的进一步补充。并以上述资料为基础,采用不同的概率分析方法以及相应的假设检验,分析了该海域的极端风速。

2 研究范围

分析的空间范围主要是105.0°~121.0°E, 5.0°~23.0°N围闭的海域,为方便分析,在南中国海海域内细分南海北部海域(105.0°~121.0°E, 18.0°~23.0°N),西沙附近海域(110.5°~113.5°E, 15.0°~18.0°N),中沙附近海域(113.5°~116.0°E, 14.5°~17.5°N),黄岩岛附近海域(116.0°~119.0°E, 13.5°~16.5°N)和南沙附近海域((114.0°E, 12.5°N)(118.0°E, 12.5°N)(118.0°E, 9.5°N)(113.5°E, 5.0°N)(110.0°E, 5.0°N)(110.0°E, 9.0°N)共6个点围闭的海域)。上述范围的选取是在各区域主要岛礁范围上外扩2°,考虑TC的影响。研究范围及各海域细分图见图1。

3 分析方法

对经过南中国海海域的TC,分析其在经过研究区域内的最大风速,根据该风速和CMA公布的TC等级对其进行分类,以此确定该场TC的等级。对于工程上常用的重现期风速,是指大于等于该风速

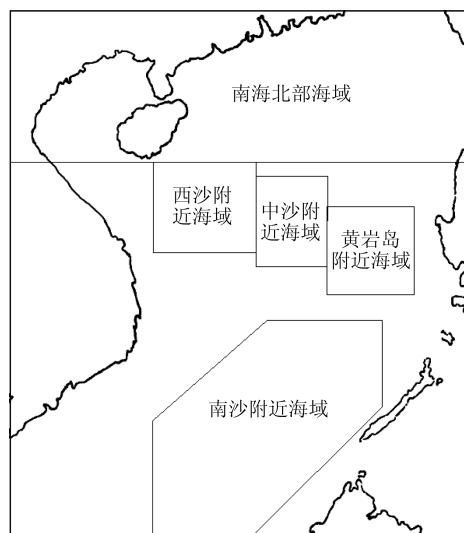


图1 研究范围及各海域位置示意图

出现一次的平均间隔年数,通常采用泊松-耿贝尔联合分布或皮尔逊-III型分布进行统计分析^[23]。本文分别采用上述两种方法对重现期极值风速进行分析,对泊松分布采用 χ^2 方检验,对泊松-耿贝尔联合分布和皮尔逊-III型分布采用Kolmogorov-Smirnov进行检验。

3.1 泊松-耿贝尔联合分布

假定某海域TC影响次数是随机的离散型分布,而最大风速可构成某种连续性分布,假设影响次数 N 符合泊松分布,记为^[14]

$$P(N=k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad (1)$$

式中: λ =TC总次数 N_v /总统计年数 M 。

气旋影响下的风速 v 符合耿贝尔分布,记为

$$G(v) = -\exp\{-\exp[-a_0(v-u_0)]\} \quad (2)$$

式中: a_0 为风速序列概率分布的尺度参数, u_0 为风速序列概率分布的位置参数。根据复合极值理论,该离散型分布和连续性分布组成的联合概率分布表达式如下:

$$F(v) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k [G(v)]^k = e^{-\lambda[1-G(v)]} = P(v) \quad (3)$$

联合式(2)和(3),并经过简单的整理,有

$$a_0(v-u_0) = -\ln\left[-\ln\left(1 + \frac{1}{\lambda} \ln P\right)\right] \quad (4)$$

可以得到设计概率为 P 的极值风速 v_p 为

$$v_p = u_0 - \frac{1}{a_0} \ln \left[-\ln \left(1 + \frac{1}{\lambda} \ln P \right) \right] \quad (5)$$

式中: a_0 、 u_0 及 λ 均可由样本统计得到。

3.2 皮尔逊-III型分布

皮尔逊-III型概率分布表达式为^[13]:

$$f(v) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (v - v_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(v-v_0)} \quad v \geq v_0, \alpha > 0 \quad (5)$$

式中: $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty v^\alpha e^{-v} dv$, v_0 为随机变量 v 的最小值, α_0 和 β 为待定参数, 分别由下式计算:

$$\alpha_0 = \frac{4}{C_s^2}, \quad \beta = \frac{2}{EC_v C_s} \quad v_0 = E \left[1 - \frac{2C_v}{C_s} \right] \quad (6)$$

式中: E 为期望值, C_s 为偏差系数, C_v 为离差系数, 均可由样本统计得到。

取标准化变量 $\Phi = \frac{v - E}{s}$ (其中 s 为样本标准差), 可以得到设计概率为 P 的极值风速 v_p 为:

$$v_p = (\Phi_p C_v + 1) E \quad (7)$$

式中: Φ_p 可由已知的 C_s 根据设计概率 P 查“皮尔逊 III 型分布值表”得到。

3.3 假设检验

对泊松分布采用 χ^2 方检验, χ^2 方检验公式如下:

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^K \frac{(f_i - MP_i)^2}{MP_i} \quad i = 0, 1, \dots, 4 \quad (8)$$

式中: f_i 为各组实际出现的次数, P_i 可由式(1)求得。

如果检验参数 χ^2 小于显著性水平为 0.05 的 $\chi^2(\alpha=0.05)$, 则接受气旋数量符合泊松分布的假设, 否则拒绝。 $\chi^2(\alpha=0.05)$ 依据分组数量或自由度而不同, 可通过查 χ^2 分布表得到。

对泊松-耿贝尔联合分布和皮尔逊-III型分布采用 Kolmogorov-Smirnov 进行检验。Kolmogorov-Smirnov 检验参数表达式为:

$$\eta = \sqrt{N} \max |P_N(v) - P(v)| \quad (9)$$

式中: N 为样本个数, $P_N(v)$ 为经验分布的累计频率, $P(v)$ 为理论分布累计概率。如果 η 小于显著性水平为 0.05 的 $\eta(\alpha=0.05)$, 则接受风速分布符合泊松-耿贝尔联合分布或皮尔逊-III型分布假设, 否则拒绝。根据柯尔莫哥洛夫检验函数表, 显著性水平为 0.05 时, $\eta(\alpha=0.05) = 1.35$ 。

4 结果分析

4.1 热带气旋时间变化

图 2 表示从 1949—2017 年南中国海、南海北

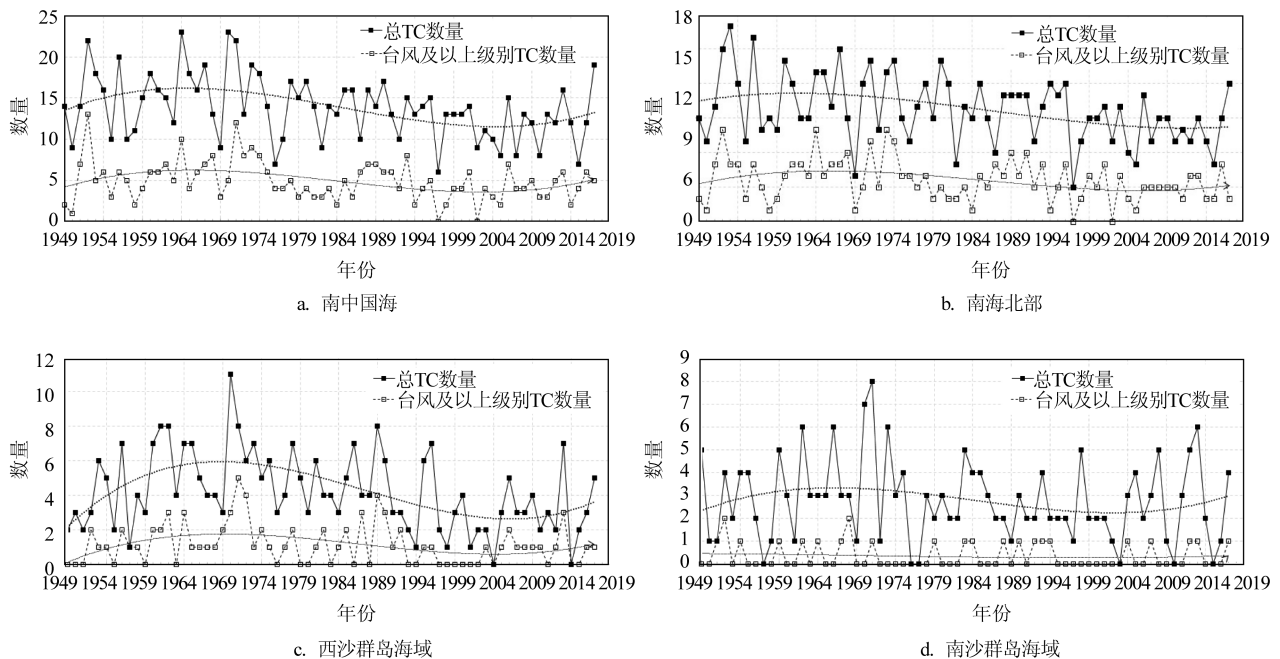


图 2 南中国海海域气旋年际变化

部、西沙附近和南沙附近的TC数量(点实线)及台风以上级别的TC数量(点虚线),曲线表示对年TC个数的多项式拟合,来反映其多年变化趋势。在1980年以前,TC总数和台风以上级别TC的数量比其他时间多,之后呈减少的趋势。在2004年左右数量达到低谷,之后台风数量和强度缓慢上升。该统计结果和吴慧等^[3]对海南和秦鹏等^[13]对粤东沿岸TC研究结果一致。

图3表示不同海域气旋的年内分布。整个南海气旋的高峰期出现在9月,西沙海域的高峰期与其一致,南海北部的高峰期略早,在8月。而南沙海域的高峰期较晚,出现在11月和12月。南沙海域与其他海域另一个不同点是,气旋在全年均有分布,而西沙海域和南海北部海域在1月~3月无气旋,12月和4月的比例也很少。总体上来看,南海海域热带气旋呈现北早南晚的特点。

另外,无论是TC总量还是台风及以上级别TC数量,南海北部海域明显多于西沙海域和南沙海域,南海北部的TC总量年均9.9个,台风及以上级别3.5个,西沙海域分别是4.2个和1.0个,而南沙海域的TC数量很少,平均年气旋数量2.8个,台风及

以上级别年均0.3个。

4.2 热带气旋空间变化

统计每 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 网格范围内经过的TC总量。一般来说,TC的七级风圈半径在十几公里至上百公里,风级越大风圈越小,TC等级越大,风圈越大。因此,实际影响每个网格的TC数量需考虑周围网格的权重,假设实际影响网格 (x, y) 的TC数量 $N(x, y)$ 表达式如下:

$$N(x, y) = n(x, y) + a[n(x-1, y) + n(x+1, y) + n(x, y+1) + n(x, y-1)] + b[n(x-1, y-1) + n(x-1, y+1) + n(x+1, y-1) + n(x+1, y+1)] \quad (10)$$

上述式中 x 表示经度, y 表示纬度, $n(x, y)$ 表示路径经过格点 (x, y) 的气旋数量, a 和 b 分别表示相邻格点的影响系数和对角格点的影响系数,为简单起见,取 $a = 2b$ 。

上述系数的取值可依据已有文献的统计结果率定得到,如秦鹏等^[13]统计粤东沿岸年均气旋个数为4.05个,台风以上级别为1.2个,吴慧等^[3]统计登陆海南的台风数量年均2.4个,姚才等^[24]统计得到进

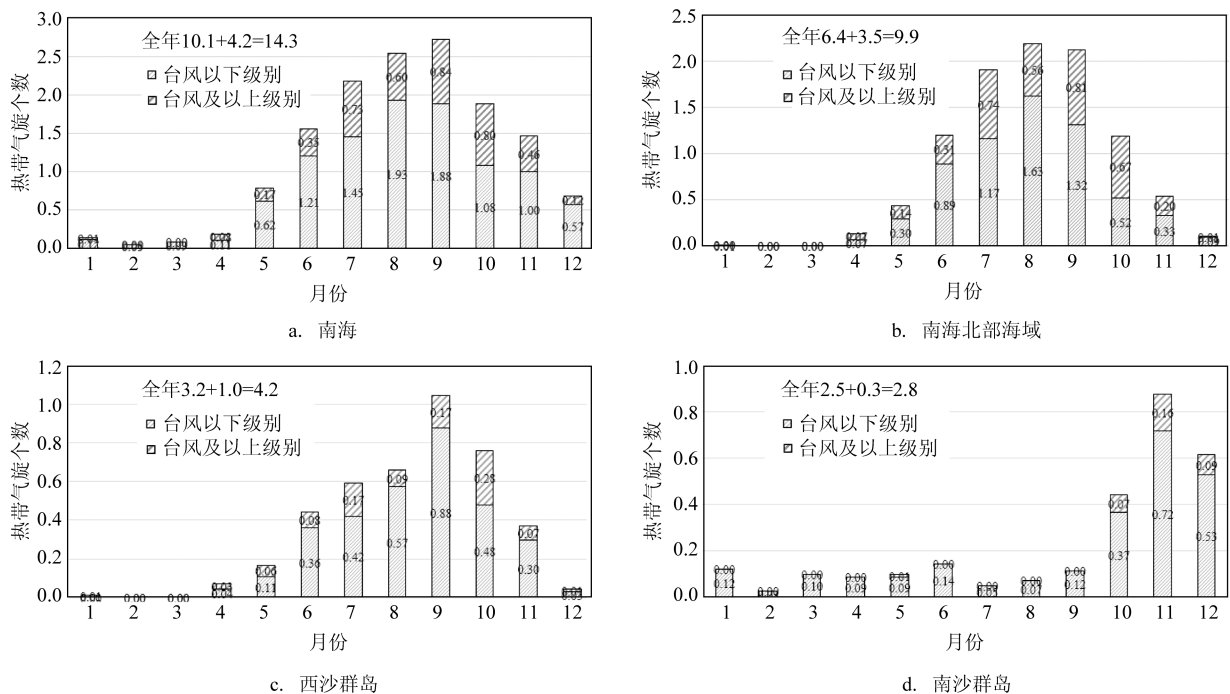


图3 南中国海海域气旋年内变化

入华南西部的年均气旋个数为5.0个。根据上述文献结果对公式中的系数试算,对于气旋总数,系数 a 和 b 分别为0.50和0.25,对台风以上级别热带气旋数量,分别取1.0和0.5。

根据统计结果和上述公式,南中国海年均TC数量及台风以上级别TC数量见图4。可看出,海南岛至吕宋海峡一带是TC影响最严重的海域,无论是TC总量还是台风以上级别TC数量,明显高于其他海域。对于西沙海域,TC影响程度和海南岛东部基本相同,中沙海域和黄岩岛海域TC数量多,但强度不大,其高强度TC数量和粤西沿岸基本相当。在北部湾海域,TC数量多,平均年TC数量在4个左右,但台风以上级别仅占不到1个。南沙附近海域由于纬度较低,和其他海域相比,TC量少势弱。整

个南海海域的TC影响程度呈现北多南少、北强南弱的趋势。

4.3 TC引起的极端风速

泊松分布参数及假设检验参数见表1,风速阈值在黄岩岛取为15 m/s,其余海域取20 m/s时,此时,各海域的气旋数量均接受泊松分布假设。但对于南沙海域,总样本数量较少,且无样本的年数太多,如果降低阈值,则 χ^2 方检验拒绝泊松分布假设,因此不建议用泊松分布对其求解。另外,南沙海域东北季风的影响相对较大,TC导致的大风速和东北季风相比并不突出^[25],在推求重现期极端风速时,不能仅考虑TC而忽略东北季风的影响。本文的主要研究目标是TC,并未收集东北季风的资料,暂不对

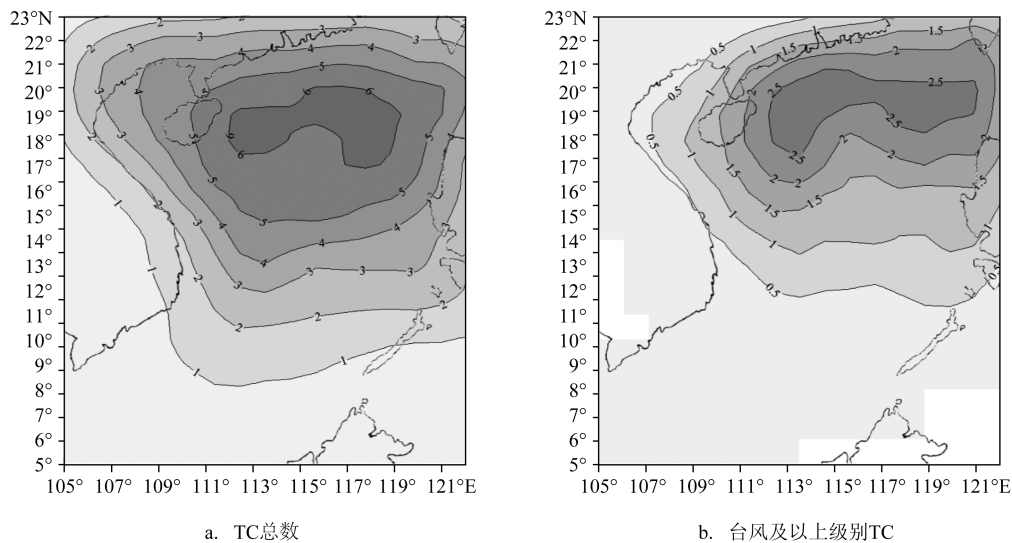


图4 南中国海海域TC空间分布

表1 台风个数的泊松分布基本参数及假设检验参数

海域	南海北部	西沙	中沙	黄岩岛	南沙
风速阈值 $v_c/(m/s)$	20	20	20	15*	20*
风速样本数量 $N_v/\text{个}$	480	159	157	202	86
统计年数 $M/\text{年}$	69	69	69	69	69
无样本年数 $M_{\text{null}}/\text{年}$	0	6	7	4	23
M_{null}/M	0.0%	8.7%	10.1%	5.8%	33.3%*
年均数量 λ_v	6.96	2.30	2.28	2.93	1.25
χ_v^2	6.12	2.34	0.80	4.29	2.05
$\chi_v^2(\alpha=0.05)$	18.31	9.45	9.49	12.59	5.99

南沙附近海域进行重现期极端风速分析。因此仅对其他4个海域的极端风速进行分析。对于黄岩岛海域,采用其他风速阈值时, χ^2 方检验拒绝接受泊松分布假设。各海域最大风速超过阈值的气旋数量分布及相应的泊松分布曲线见图5。图6列出了上述4个海域的泊松-耿贝尔分布曲线和皮尔逊-III型分布曲线。

图6中采用泊松-耿贝尔复合分布和皮尔逊-III型分布得到的不同海域的重现期风速及相应的概率分布参数(皮尔逊-III型分布中的期望值 E ,偏差系数 C_s 和离差系数 C_v ;泊松-耿贝尔复合分布的尺度参数 a_0 和位置参数 u_0)和假设检验参数 η 列于表2和表3中。从表中可以看出,检验参数 η 均小于 η ($\alpha=0.05$) = 1.35,即对于4部分海域的极值风速均接受泊松-耿贝尔分布和皮尔逊-III型分布假设,且皮尔逊-III型分布的检验参数 η 均小于泊松-耿贝尔分布,表明皮尔逊-III型分布的显著性水平更低,保证率更高。

从表中可以看出泊松-耿贝尔分布的统计结果比皮尔逊-III型分布的结果偏大。各区域之间,南海北部极端风速最大,黄岩岛海域极端风速最小,

西沙海域和中沙海域的极端风速基本相当,复合分布中西沙海域风速略大,中沙海域风速略小。上述表中各部分海域的极端风速值较大,作者对比在附近海域的其它研究结果,如表4所示。

表中文献[12]和文献[14]样本皆来自台风网统计结果,风速为2 min平均。文献[15]采用非对称台风模型的数学模型(有实测站验证)计算得到,风速时距为10 min平均。根据规范^[26],2 min平均风速是10 min平均风速的1.16倍,因此,文献[15]的风速转换为2 min平均分别为69.6 m/s(50年一遇)和75.4 m/s(100年一遇),和本文的皮尔逊-III型分布结果很接近。

而和文献[12]及文献[14]的结果相比,本文结果明显大,这是因为选取样本的空间范围比上述研究广很多,涵盖的极端气旋数量也多。另一方面,考虑到早期观测技术手段落后、仪器设备的观测精度偏低,对最大风速值的观测带来很多不确定性,这些都可能影响重现期风速的统计结果。而且,根据已有研究成果^[1, 5, 8, 11, 15]来看,台风强度增加是气候变化研究的主要结论之一,根据表4汇总的资料年限,本研究采用的数据时间更新,这可能也是本文结果

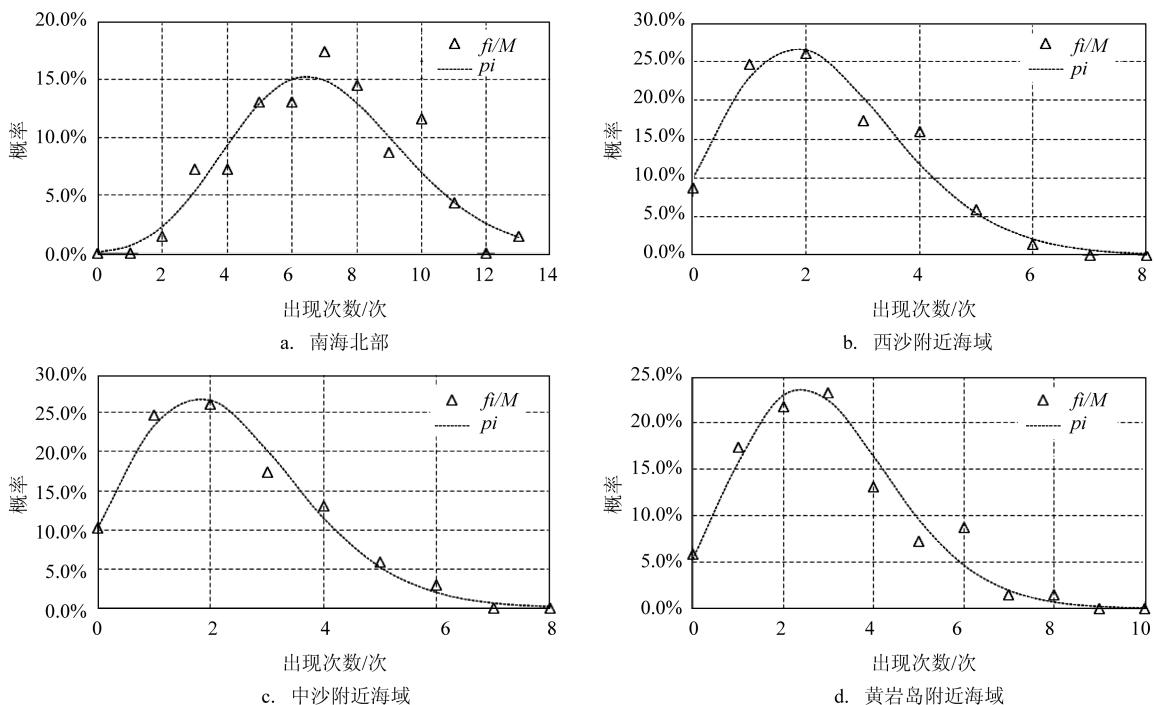


图5 南中国海部分海域极值风速年均次数泊松分布拟合

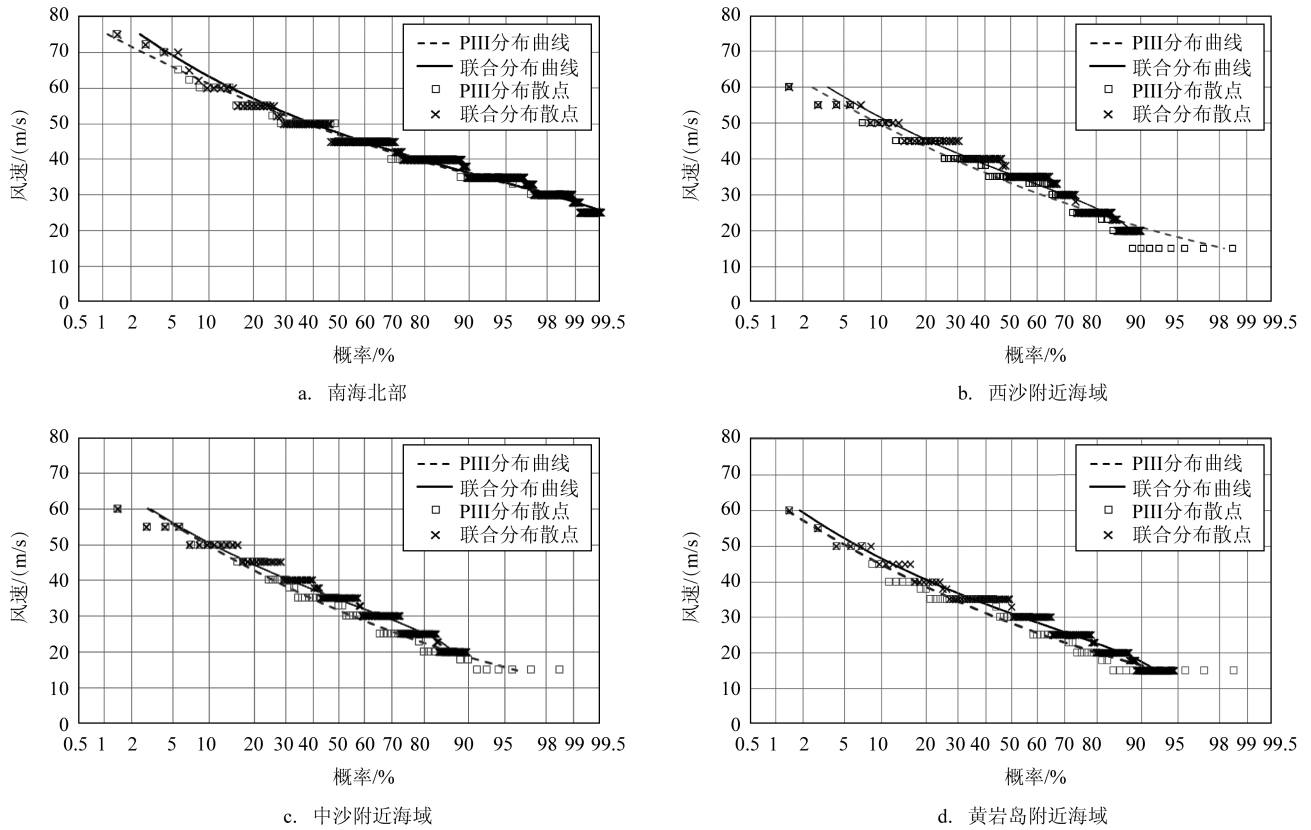


图6 南中国海部分海域极值风速泊松-耿贝尔分布曲线和皮尔逊-III型分布曲线

表2 不同海域重现期极值风速(2 min平均,单位 m/s)(泊松-耿贝尔复合分布)

重现期	2 a	10 a	50 a	100 a	a_0	u_0	η
南海北部	47.3	63.2	76.9	82.7	0.121 2	28.73	1.27
西沙海域	35.7	51.5	64.5	70.0	0.128 3	27.65	0.82
中沙海域	34.7	50.5	63.4	68.8	0.129 0	26.84	0.45
黄岩岛海域	31.1	46.5	59.4	64.8	0.129 6	21.02	0.99

表3 不同海域重现期极值风速(2 min平均,单位 m/s)(皮尔逊-III型分布)

重现期	2 a	10 a	50 a	100 a	E	C_s	C_v	η
南海北部	46.8	61.2	71.7	75.7	47.84	0.21	0.63	0.42
西沙海域	33.2	49.5	61.5	66.2	34.42	0.33	0.66	0.36
中沙海域	31.6	49.5	62.9	68.1	33.13	0.37	0.74	0.37
黄岩岛海域	28.3	44.8	57.2	62.0	29.7	0.38	0.76	0.78

表4 不同学者对南海部分海域极端风速的统计结果(单位 m/s)

项目	数据来源				
	文献[12]	文献[14]	文献[15]	本文1	本文2
50年一遇风速	56.2	61.75	60.0	76.9	71.7
100年一遇风速	62.5	67.41	65.0	82.7	75.7
时距	2 min平均	2 min平均	10 min平均	2 min平均	2 min平均
概率分布	泊松-耿贝尔	耿贝尔	泊松-耿贝尔	泊松-耿贝尔	皮尔逊-III型分布
海域	珠江口	湛江	海南至吕宋海峡	南海北部	南海北部
资料年限	1949—2011年	1949—2007年	1961—2007年	1949—2017年	1949—2017年

大的原因之一。总体来看,认为本文推算的各海域极端风速较具有代表性。因此,上述结果可以作为极端风速的上限参考值,在工程应用上,建议针对具体工程地点进行统计分析。

5 结 论

根据CMA公布的1949—2017年共计69 a的南中国海TC资料,统计分析我国南海海域及内部各主要区域的多年TC时空分布规律。采用泊松-耿贝尔联合分布、皮尔逊-III型分布统计分析了TC引起的部分海域的重现期极端风速,对上述概率分布模型分布采用 χ 方检验和Kolmogorov-Smirnov进行检验。根据分析结果,得到主要结论如下:

(1)南中国海TC呈现北早南晚,北多南少,北强南弱的主要特征,与已有研究一致;

(2)除南沙海域,其余海域TC数量均通过泊松分布假设的 χ 方检验,极端风速通过泊松-耿贝尔分布和皮尔逊-III型分布的Kolmogorov-Smirnov检验。皮尔逊-III型分布的检验参数比泊松-耿贝尔分布的检验参数小,得到的极端风速也比后者小,和其他学者的统计结果较接近;

(3)空间上,极端风速在南海北部最大,100年一遇2 min平均风速达75.7 m/s,西沙海域和中沙海域次之,黄岩岛海域最小,100年一遇风速为62.0 m/s。

感谢:本论文感谢中国交通建设股份有限公司科研项目:海洋岛礁开发成套技术研究的支持。

参考文献:

- [1] 廖菲,李文婷,张子然,等. 1949—2017年南海海域热带气旋强度和路径快速变化统计特征[J]. 海洋学报, 2019(9).
- [2] 杨亚新,夏剑东. 西北太平洋热带气旋活动特征[J]. 中国航海, 2019(2).
- [3] 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).
- [4] 朱业,丁骏,卢美,等. 1949—2009年登陆和影响浙江的热带气旋分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(2).
- [5] 黄昌兴,周国良,郑磊,等. 登陆我国台风的时空分布特征及其影响[J]. 水文, 2014, 34(6):81-85.
- [6] 梁海萍,梁海燕,车志伟,等. 近五十年登陆海南省的热带气旋统计特征分析[J]. 海洋预报, 2015(4):70-76.
- [7] 刘天绍,刘孙俊,杨玺,等. 1951—2015影响广东沿海台风的统计分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(4):70-76.
- [8] 薛淑君. 南海台风强度变化特征分析[J]. 海洋学研究, 2018, 36(3):4-19.
- [9] 刘贝,周倩莹,付东洋. 海面温度对南海台风强度的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(1):100-107.
- [10] 季倩倩,徐峰,张羽. 近50 a ENSO时频特征及其与南海台风的相关性[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(2):74-82.
- [11] 吴祖立,崔雪森,张胜茂,等. 南海台风活动特征及其对渔业活动的影响[J]. 海洋渔业, 2018, 40(05):39-50.
- [12] 秦鹏,黄浩辉,李春梅. 珠江口海域热带气旋气候特征及最大风速计算[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(2):26-30.
- [13] 秦鹏,黄浩辉,李春梅. 1949—2009年影响粤东沿海的热带气旋特征及最大强度计算[J]. 气象研究与应用, 2012, 33(4).
- [14] 李运斌. 湛江近海台风风速复合极值分析[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(2).
- [15] 李强,张秀芝,王乔乔,等. 15°~35°N、105°~130°E海域台风极值风速分析[J]. 太阳能学报, 2015(1):85-89.
- [16] 李强. 影响中国近海的台风极值风速分析及台风“凤凰”数值模拟[D]. 中国海洋大学, 2009.
- [17] 苏志,范万新,黄颖,等. 北部湾沿海最大风速分布特征及工程设计风速推算[J]. 应用海洋学学报, 2010(2).
- [18] 张容焱,张秀芝,蔡连娃. 沿海风工程设计风速中泊松-耿贝尔法的应用[J]. 应用气象学报, 2010, 21(2):237-242.
- [19] 周冲. 我国台风的强度变化趋势及台风风速重现值估计[D]. 中国海洋大学, 2012.
- [20] 金连根. 复合极值分布及其在台风多发海域设计风速推算中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2014(3):138-141.
- [21] 钟鸣. 琼州海峡大桥风环境研究[D]. 2016.
- [22] Ying M, Zhang W, Yu H, Lu X, Feng J, Fan Y. An Overview of the China Meteorological Administration Tropical Cyclone Database [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2014, 31(2): 287-301.
- [23] JTS145-2015, 港口与航道水文规范[S]
- [24] 姚才,贺海晏,黄明策. 华南西部登陆台风的大尺度条件对比分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(6):110-113.
- [25] 周兆黎,李淑君,梁广建. 南沙永暑礁近海面风的特征分析[J]. 广东气象, 2012 (4).
- [26] NB/T 25002—2011, 核电厂海工构筑物设计规范[S].

Statistical analysis of the spatial and temporal distribution and intensity characteristics of Tropical Cyclones in the South China Sea

QIAO Guang-quan^{1,2}, Feng Xi², Feng Wei-bing², Lu Yong-chang¹, Li Xiao-en³

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China; 2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Based on the China Meteorological Administration(CMA)tropical cyclone (TC) dataset from 1949 to 2017, we analyze the spatial and temporal distribution of TC in the South China Sea (SCS), and estimate the extreme wind speed of different return periods using the Poisson-Gumbel Joint Compound Distribution and Pearson-III Distribution. The results show that the total number of TC doesn't show a significant decreasing trend. However, both the TC amount and strength are at their trough in the period around year 2005, after which the amount and strength are gradually increased. Compared to the TC in the southern part of the SCS, it is more frequent, stronger and occurs earlier in the northern part. Statistical estimates show that the strongest extreme wind of 100years return period locates in the north part of the SCS with a maximum speed of 75.7 m/s. For the area from the Xisha Islands to the Huangyan Island, the extreme wind speed is between 62.0 m/s and 68.1 m/s.

Key words: South China Sea; tropical cyclone; temporal and spatial distribution; probability distribution; extreme wind speed