

南麂岛重现期波高空间分布特征分析

郭敬, 李尚鲁, 李婷, 王勤, 朱业

(浙江省海洋监测预报中心, 浙江 杭州 310007)

摘要: 运用第三代海浪模式SWAN, 建立浙江沿海波浪传播模型, 选取1949—2016年68 a对平阳县南麂岛影响严重的118场台风进行计算, 得到南麂岛周围海域年极值海浪场, 经P-Ⅲ曲线拟合分析后得到不同重现期海浪空间分布场。结果表明: 南麂岛西北方向的波高明显小于东南方向的波高。从海浪角度考虑, 南麂岛马祖岙、国姓岙海域的波高明显小于其他海域的波高, 是南麂岛开展渔业养殖的最佳地点。

关键词: SWAN; 海浪; 南麂岛; 波高; 重现期

中图分类号: P731.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)05-0086-09

1 引言

南麂列岛位于浙江省东南部海面, 隶属平阳县鳌江镇。整个列岛由52个(面积大于500 m²)大小岛屿组成。其中南麂岛为主岛, 位于列岛中央, 面积为7.64 km², 岸线长24.8 km; 大沙岙、火焮岙和马祖岙、国姓岙4个海湾分置于东南和西北两个方向。南麂列岛海域水深一般在15~25 m之间, 南麂岛东北和西南两侧为深水通道, 其水深在30 m以上, 最深处达45 m。

南麂岛水质良好, 常年处于一类水质, 气候条件适宜养殖大黄鱼。但南麂岛处于台风多发海域。根据1949—2016年的统计资料显示, 每年影响该区的台风次数平均为3.3个。在全球气候变化和海平面上升的背景下, 台风灾害呈现出发生次数增加、强度加大、影响范围扩大的趋势。0216号台风“森拉克”、0608号台风“桑美”、1323号台风“菲特”、1808号台风“玛莉亚”、1909号台风“利奇马”都严重影响南麂岛海域, 台风引起的灾害性海浪造成养殖业损失惨重。因此, 计算台风过程中南麂岛周围海

域波高并分析海浪空间分布, 对于海水养殖防灾减灾和空间规划布局尤为重要。

黄树生^[1]通过分析南麂站30 a的实测风浪资料, 分析了波高、周期和风速的主要变化周期。潘晓东等^[2]通过分析南麂站25 a的波浪观测资料, 分析了灾害性海浪的分布特征。邱桔斐^[3]、徐亚男等^[4]和沈旭伟等^[5]分别对江苏沿海、斯里兰卡科伦坡港口海域和东南沿海开展了海浪数值模拟, 获得了多年海浪的波高年极值, 并通过Pearson曲线(P-Ⅲ曲线)拟合, 得到不同重现期的波浪场特征。

之前的研究由于模型计算能力及地形资料精细程度不足, 只能得到大面波浪场分布特征^[6-8], 无法满足实际生产需求。本文将在前人研究基础上, 收集平阳县南麂岛海域最新1:10 000的岸线及水深数据, 运用第三代近岸海浪数值计算模式(Simulating WAVes Nearshore, SWAN), 建立浙江沿海精细化海浪数值模型^[9-10]。对严重影响南麂岛的台风进行模拟, 计算南麂岛周围海域年极值海浪场, 并进行P-Ⅲ曲线拟合, 得到不同重现期海浪空间分布场。本文用到的波高均为有效波高, 采用平面坐标系。

收稿日期: 2020-05-25; 修回日期: 2020-08-15。

基金项目: 海洋设施渔业受灾破坏机理分析与风险预警技术服务产品研发及应用。

作者简介: 郭敬(1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事海洋预报和海洋防灾减灾研究。E-mail: 455831866@qq.com

通讯作者: 李尚鲁(1964-), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事海洋减灾防灾技术和管理研究。E-mail: zjhyybt@163.com

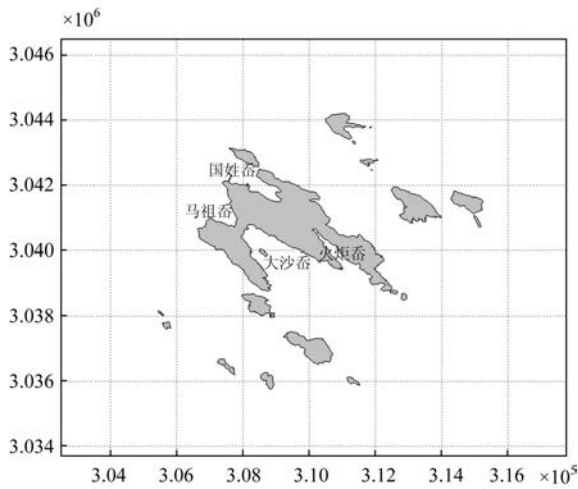


图1 南麂岛地形图

2 海浪数值模式

2.1 SWAN模式简介

SWAN模式是国际上非常流行的第三代浅海海浪数值模式,由荷兰Delft大学开发并维护。SWAN模式采用了基于Euler近似的作用量谱平衡方程,采用线性随机表面重力波理论,全面考虑了风能量输入、白浪耗散、底摩擦、水深诱导波破碎和非线性波-波相互作用,能够描述在浅水区特定的风、流和水下地形条件下的波浪场演化。控制方程如下:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

式中: N 为波作用量, σ 为波的相对频率, θ 为波向, S 项为源汇项。式中左端第一项为波作用量的局地变化;第二、三项为波作用量在地理空间上的传播,其中 C_x 和 C_y 分别为波作用量在 x 和 y 方向上的传播速度;第四项为由于水深和流速变化造成的相对频率变化,其中 C_σ 为波作用量在频率空间中的传播速度;第五项为水深和流产生的波浪折射,其中 C_θ 为波作用量在波向空间中的传播速度。波作用量方程的离散基于迪卡尔坐标下的隐式差分,对于波的传播和源项采用固定的时间步长。

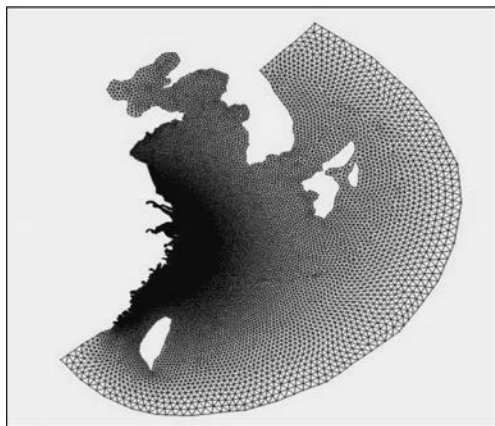
2.2 模式建立

海浪模型计算域西至广东汕尾、东至日本东部海域、南至台湾岛南端、北至渤海海域,计算区域涵盖了渤黄东海。计算范围为 $115^\circ \sim 134^\circ \text{E}$, $18^\circ \sim 41^\circ \text{N}$ (见图2a),采用三角网格,由215 407个单元和111 422个节点组成(见图2b),外部海域网格较疏,近岸逐渐加密,最密处南麂岛周边网格边长约15 m,可以较好地刻画南麂列岛岸线特征,满足项目计算需求。

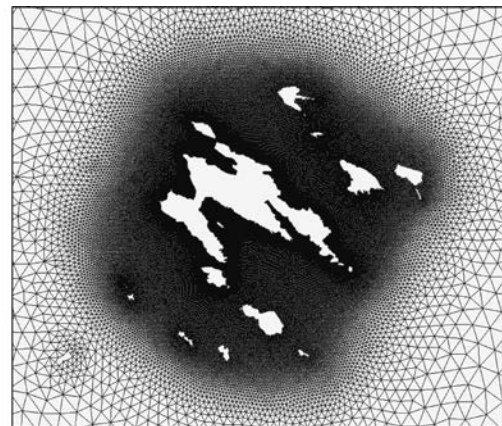
3 资料与方法

3.1 台风风场模型

台风模型能快速、较准确地给出台风周围的气



a. 模型计算范围



b. 网格

图2 海浪数值模型计算范围及网格

压和风场分布,模型气压场有众多模型供使用。台风场和气压场的计算是海浪模式计算中的重要环节,本次选用Jelesnianski模型的风场和气压场。其风场公式和气压公式如下:

$$W = \begin{cases} \frac{r}{r+R} (V_{0x}\vec{i} + V_{0y}\vec{j}) + W_R \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{3}{2}} (A\vec{i} + B\vec{j}) / r, & 0 < r \leq R \\ \frac{R}{r+R} (V_{0x}\vec{i} + V_{0y}\vec{j}) + W_R \left(\frac{R}{r} \right)^{\frac{1}{2}} (A\vec{i} + B\vec{j}) r, & (r > R) \end{cases} \quad (2)$$

$$P_a = \begin{cases} P_0 + \frac{1}{4} (P_\infty - P_0) \left(\frac{r}{R} \right)^3, & 0 < r \leq R \\ P_\infty - \frac{3}{4} (P_\infty - P_0) \frac{R}{r}, & (r > R) \end{cases} \quad (3)$$

式中: R 为最大风速半径; r 为计算点到台风中心的距离; V_0 为台风移动速度; W_R 为台风最大风速; $A = -[(x-x_c)\sin\theta + (y-y_c)\cos\theta]$; $B = (x-x_c)\cos\theta - (y-y_c)\sin\theta$; (x, y) 、 (x_c, y_c) 分别为计算点坐标和台风中心坐标; θ 为流入角(计算中当 $r \leq R$ 时 θ 取 10° ,当 $r > 1.2R$ 时 θ 取 25° ,其他情况下 θ 在 $10^\circ \sim 25^\circ$ 之间线性内插); P_0 为台风中心气压, P_∞ 为无穷远处的大气压(计算中取 $1\,010\text{ hPa}$)。

一般来说,在实际观测中,中心低压与最大风速相比后者的观测更加困难,误差也较大,因此模型使用Atkinson-Hollidy提出的风-压关系式来计算最大风速:

$$W_R = 3.029(P_\infty - P_0)^{0.644} \quad (4)$$

另外一个待确定的台风参数为最大风速半径 R 。模型中采用黄冠鑫1994年利用美国西北太平洋上15 a的高空航测资料统计建立的一个适用于东海台风的经验公式:

$$R = R_k - 0.4 \times (p_0 - 900) + 0.01 \times (p_0 - 900)^2 \quad (5)$$

式中: R_k 为经验常数,模型中取 40 km 。

3.2 资料简介

浙江附近海域岛屿众多,岸线复杂。普通的岸线数据难以满足精细化模型的需求,因此本文所用的岸线为浙江近海调查测量数据。模式运行选用的外海地形资料来自于美国国家海洋和大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)公布的ETOPO2全球地形数据集,分辨率为 $2' \times 2'$;南麂岛附近水深资料为温州市自然资源部门近2 a的现场测量数据;模型验证所需海浪资料来自于南麂岛波浪浮标观测;台风相关资料来自于中央气象局热带气旋最佳路径数据集。

3.3 模式验证

模型验证选取有海浪观测资料的、在浙江南部、福建北部登陆或近岸转向等对南麂岛影响较大的6场台风进行检验,台风组次见表1。

运用SWAN模式对6场台风进行计算,并利用南麂岛波浪浮标实测数据进行验证,实测数据及计算结果均为有效波高。通过图3和表2的验证结果可以看出,SWAN模式对各组次台风的检验结果良好,模拟值与实测值符合较好,基本能反映南麂岛附近的台风浪分布特征。

4 海浪重现期分析

4.1 台风选择

根据2006—2016年南麂岛浮标海浪观测年极值数据(见表3),南麂岛海浪年极值均发生在台风期间,所以在本文中只考虑台风过程,不再考虑冷空气和温带气旋。

表1 台风验证组次(登陆时间均为北京时,下同)

序号	台风编号	登陆位置	登陆时间	登陆时台风中心气压/hPa	备注
1	9417	温州瑞安	8月21日22时	960	“弗雷德”
2	0414	台州温岭	8月12日20时	950	“云娜”
3	0908	福建宁德	8月9日16时	970	“莫拉克”
4	1209	福建霞浦	8月3日08时	985	“苏拉”
5	1509	舟山普陀	7月11日17时	955	“灿鸿”
6	1616	近海转向	—	—	“马勒卡”

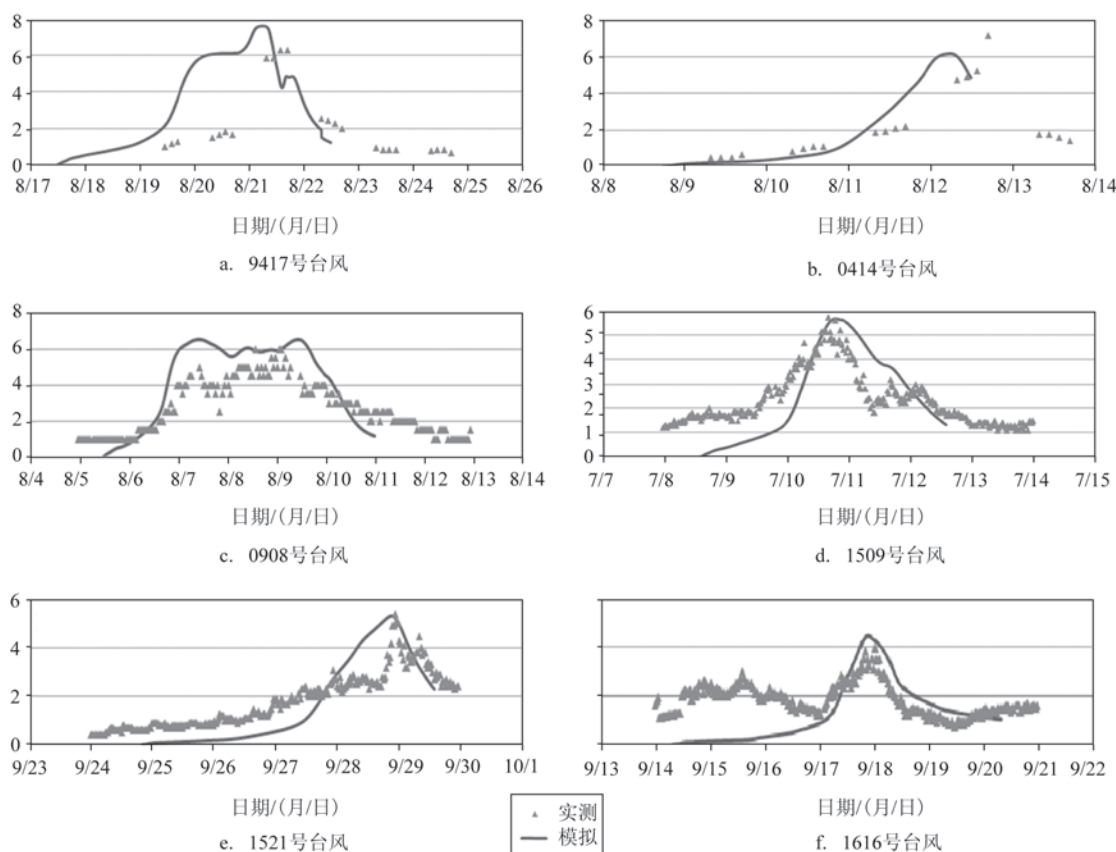


图3 海浪数值模型验证结果

表2 南麂岛台风海浪验证误差统计

台风编号	实测 波高值/m	数值 计算值/m	相对 误差/%
9417	6.3	6.7	6.4
0414	7.1	6.2	12.7
0908	6.0	6.5	7.7
1509	5.7	5.6	1.8
1521	5.4	5.3	1.9
1616	3.9	4.4	12.8

选取 1949—2016 年以南麂岛为中心、半径 400 km(普通台风 7 级风圈半径)内包含的所有台风,共筛选出 201 条台风路径。若同一年有若干场台风,则去掉强度明显偏弱的台风,或者去掉同等强度下距离南麂岛更远的台风;若不能明显判断孰强孰弱,则予以保留。最终选取 68 a 共 118 场台风进行模式计算,详细结果见表 4。

影响南麂岛的台风过程,依照路径大致可分为 4 类:一是在浙江沿海登陆;二是在福建北部登陆;三是在闽南至广东之间登陆;四是海上掠过,

表3 南麂浮标海浪观测年极值及出现时间

年份	海浪有效 波高观测 年极值/m	出现时间	发生事件
2006	3.5	8月10日 11:00	0608“桑美”
2007	5	10月7日 08:00	0716“罗莎”
2008	6.5	7月28日 19:00	0807“海鸥”
2009	6	8月8日 14:00	0908“莫拉克”
2010	5.5	9月9日 14:00	1010“莫兰蒂”
2011	4.5	8月6日 10:00	1109“梅花”
2012	5	8月7日 09:00	1211“海葵”
		8月27日 12:00	1215“布拉万”
2013	8.5	7月13日 13:00	1307“苏力”
2014	4.6	10月12日 19:30	1419“黄蜂”
2015	6.5	8月8日 11:00	1513“苏迪罗”
2016	6.6	9月27日 20:30	1617“鲇鱼”

从近海北上或转向东北。

由表 5 的统计结果来看,登陆浙江、福建北部和近海北上的台风过程更容易对南麂岛产生影响。其中登陆浙江的台风有 36 个,占总数的

表 4 选择计算台风编号

年份	台风编号	年份	台风编号	年份	台风编号
1949	4908	1972	7209	1995	9507
1950	5004	1973	7303、7304	1996	9608
1951	5122	1974	7410、7413	1997	9711
1952	5207、5229	1975	7504	1998	9806、9808
1953	5310	1976	7613、7615	1999	9914
1954	5411	1977	7701、7704、7705、7707	2000	0004、0012、0014
1955	5507、5518、5521	1978	7805、7810、7815、7821	2001	0102、0116、0119
1956	5612	1979	7909、7910	2002	0216
1957	5705	1980	8012	2003	0311
1958	5822	1981	8103、8104、8107、8108、8114	2004	0414、0425
1959	5901、5905	1982	8211	2005	0509、0515
1960	6001、6007、6008	1983	8310	2006	0608
1961	6126	1984	8407	2007	0713、0716
1962	6205、6208	1985	8506、8519	2008	0807、0815
1963	6303、6312	1986	8605	2009	0908
1964	6404	1987	8707	2010	1008、1010
1965	6506、6513	1988	8807	2011	1105、1109
1966	6611、6614、6615	1989	8909、8923	2012	1209、1211、1215
1967	6704、6721	1990	9005、9015	2013	1323、1307
1968	6807	1991	9110	2014	1410、1416、1419
1969	6906、6910	1992	9219	2015	1509、1513、1521
1970	7010	1993	9313	2016	1616、1617
1971	7123	1994	9414、9417		

表 5 影响南麂岛的台风路径类型统计

类型	登陆浙江	登陆福建北部	登陆福建南部或广东	近海北上	合计
次数	36	37	4	41	118
频率/%	30.5	31.4	3.4	34.7	100

30.5%；登陆福建北部的台风有 37 个，占总数的 31.4%，近海北上的台风有 41 个，占总数的 34.7%。

4.2 重现期分析

将 1949—2016 年 118 场台风全部进行计算，输出每场台风过程的最大海浪场（每个网格点数据均取本次台风过程中最大波高），并将 1 a 内包含 2 个

以上台风的进行再次计算，选出南麂岛周围海域 1 万余个网格点的当年海浪年极值，得到 1949—2016 年共 68 a 的年极值海浪场。

在南麂岛东、南、西、北、东南、东北、西南、西北共 8 个方向挑选 8 个代表点（位置见图 4）采用 P-Ⅲ 曲线拟合，并进行重现期进行分析，结果见图 5 和表 6。

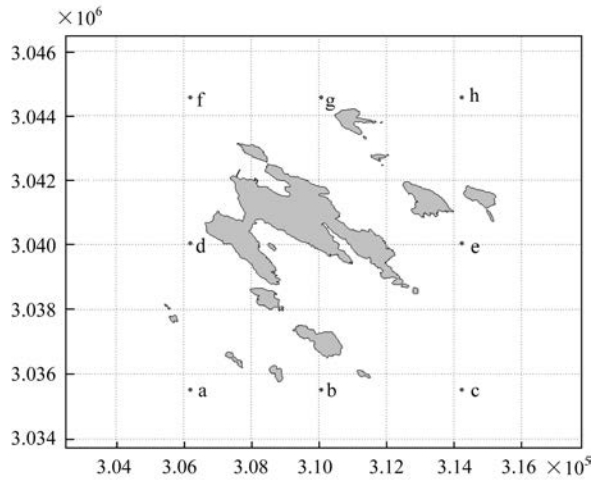


图4 南麂岛周围代表点分布图

根据表6结果可见:在各个重现期,南麂岛西向、北向和西北向3个点的重现期波高值均明显低于其他代表点的波高值,其中西向d点波高最小,东

向e点波高最大。这说明在台风期间,南麂岛的海浪通常以东向和东南向的涌浪为主;南麂岛对海浪和风的削弱作用比较明显,并且随着台风强度的增强,南麂岛对海浪的削弱作用愈强。重现期为2 a一遇时,南麂岛东部海域波高可达4~5 m,西部海域波高为2~3 m。重现期为100 a一遇时,南麂岛东部海域波高可达11~13 m,西部海域波高为4.5~5.5 m。

利用以上方法对南麂岛周围海域1万余个网格点全部采用P-Ⅲ曲线拟合,并进行重现期统计分析,得出2 a、5 a、10 a、20 a、50 a和100 a一遇的有效波高空间分布场,结果详见图6。

在各个重现期下,马祖岙、国姓岙海域的波高均明显小于其他海域的波高。重现期为2 a一遇时,南麂岛东南侧海域波高为4~5 m,马祖岙和国姓岙波高在2 m以下;重现期为100 a一遇,南麂岛东南侧海域波高为12 m以上,马祖岙和国姓岙波高仅为3~5 m。

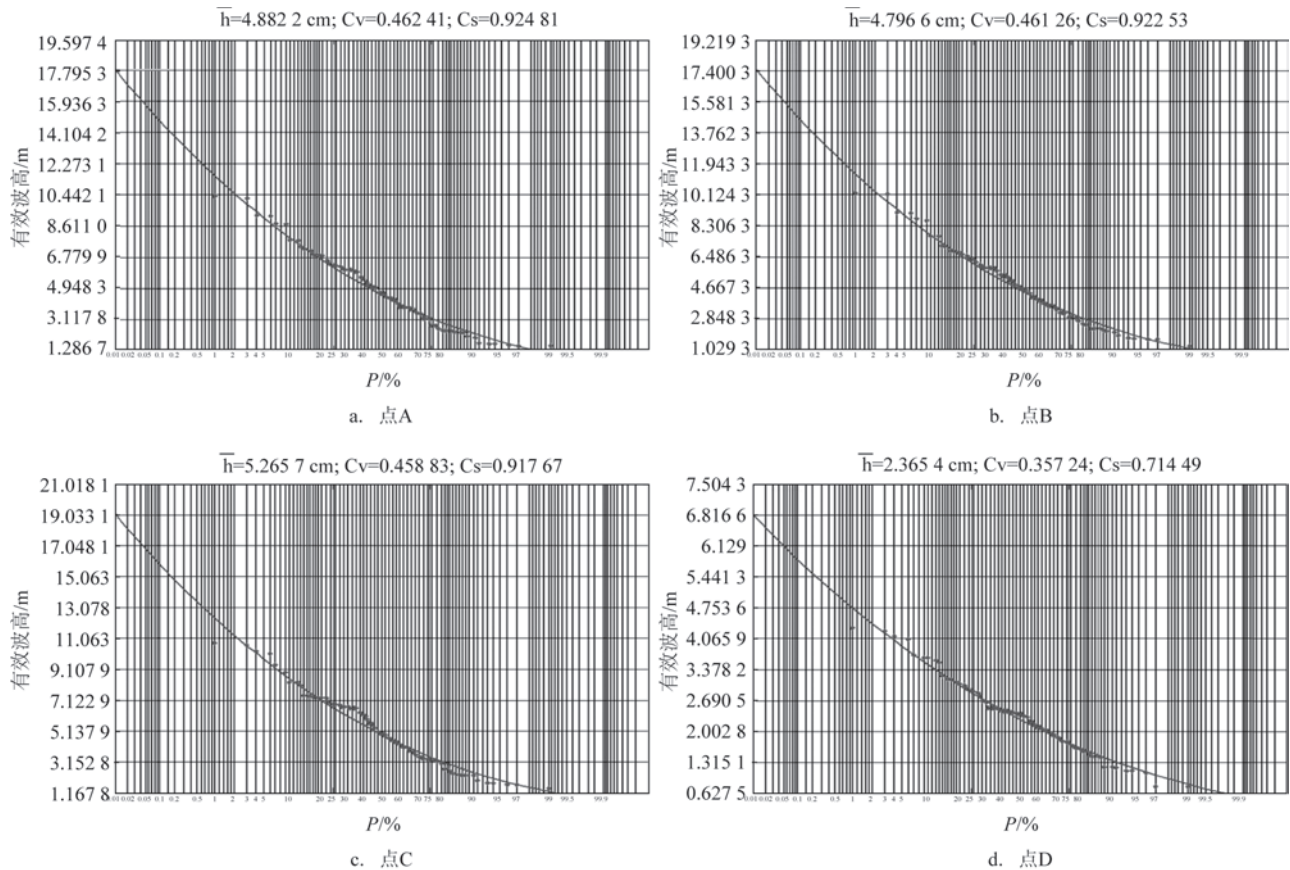


图5 各代表点P-Ⅲ曲线拟合

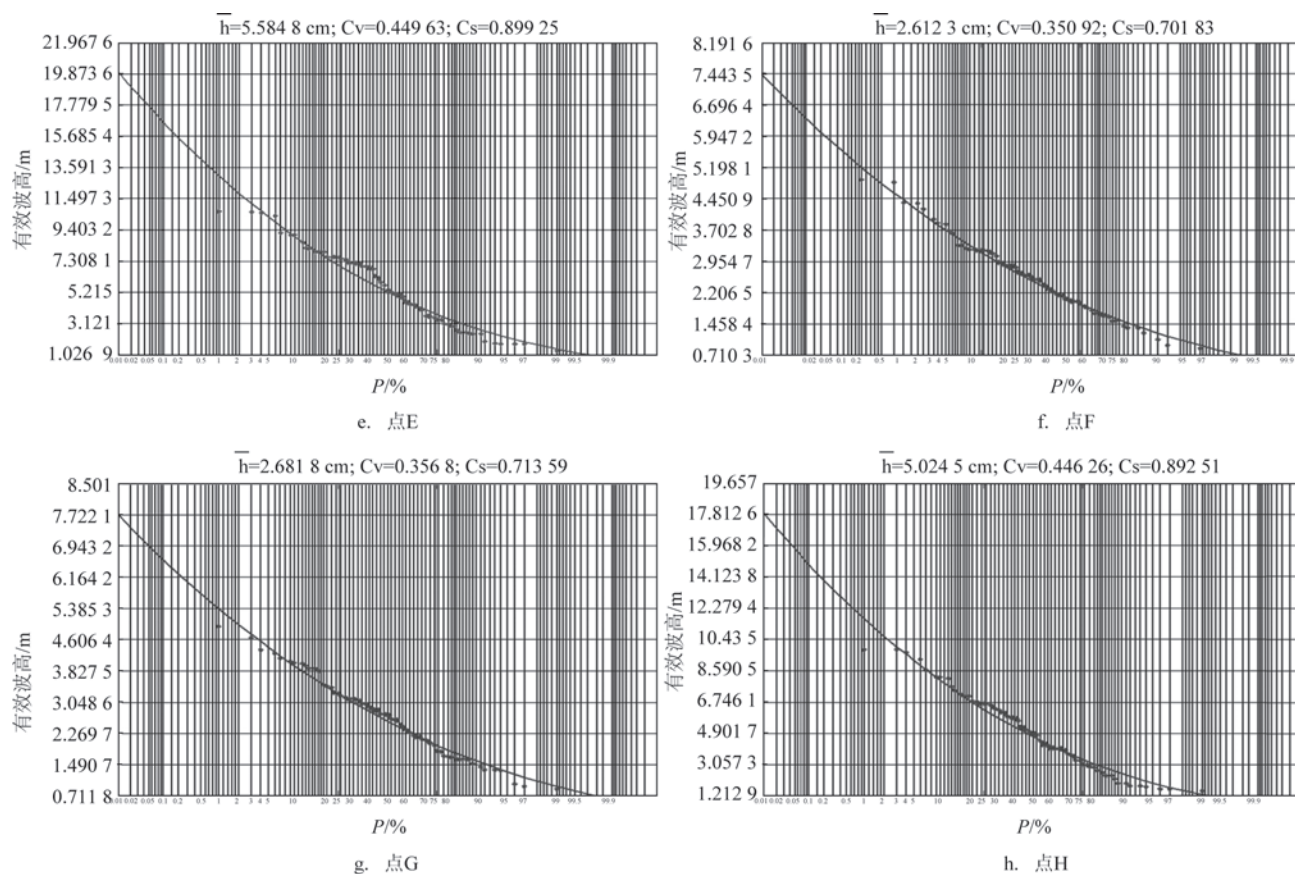


图5 (续)

表6 各代表点不同重现期波高值

代表点	水深/m	重现期波高值/m					
		2 a一遇	5 a一遇	10 a一遇	20 a一遇	50 a一遇	100 a一遇
a(西南)	23.06	4.5	6.6	7.9	9.1	10.5	11.6
b(南)	26.52	4.5	6.5	7.8	8.9	10.3	11.3
c(东南)	26.80	4.9	7.1	8.5	9.8	11.3	12.4
d(西)	21.76	2.3	3.0	3.5	3.9	4.4	4.8
e(东)	26.20	5.2	7.5	8.9	10.2	11.9	13.0
f(西北)	20.42	2.5	3.3	3.8	4.3	4.8	5.2
g(北)	20.86	2.6	3.4	4.0	4.4	5.0	5.4
h(东北)	24.76	4.7	6.7	8.0	9.2	10.6	11.7

当台风从南麂岛南部沿海登陆或近海转向时,马祖岙和国姓岙海域在南麂岛阻挡下波高明显偏小;当台风从南麂岛北部沿海登陆时,马祖岙、国姓岙受 W-NW 向风时间较短,且风区较短,较难形成

灾害性海浪。

马祖岙、国姓岙水深在 5~15 m 之间,符合渔业养殖条件;而南麂岛东北和西南两侧为深水通道,其水深在 30 m 以上,最深处达 45 m,且海流速度偏

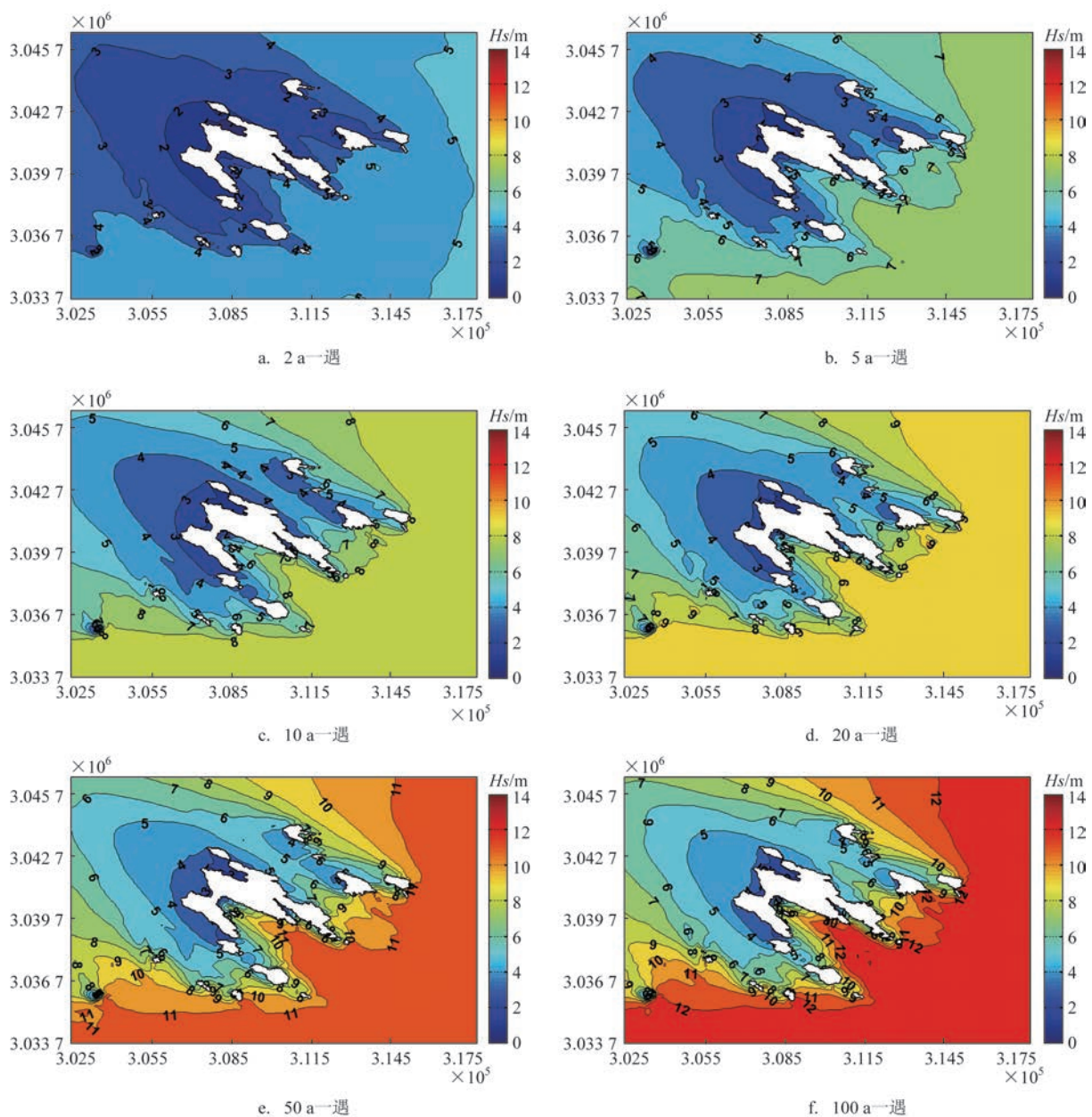


图6 南麂岛重现期有效波高空间分布场

大,不适宜开展渔业养殖。综上所述,马祖岙、国姓岙是南麂岛开展渔业养殖的最佳地点。

5 结论

(1)基于台风模型风场和气压场的SWAN海浪模式能很好地反映南麂岛海浪变化情况。根据多年数值模拟结果,采用P-Ⅲ曲线进行重现期统计,

得到南麂岛海域不同重现期的海浪空间分布场,可为南麂岛当地渔业养殖空间规划布局提供参考。

(2)登陆浙江、福建北部和近海北上的台风过程容易对南麂岛产生影响。台风期间,由于南麂岛阻挡作用以及风时、风区不利,南麂岛马祖岙、国姓岙海域的波高明显小于其他海域的波高,在各个重现期其波高仅为南麂岛东南侧海域波高的1/2以下。从海浪减灾角度考虑,马祖岙、国姓岙是南麂

岛开展渔业养殖的最佳地点。

参考文献:

- [1] 黄树生. 南麂海域海浪分布基本特征[J]. 海洋通报, 1994, 13(4): 10-19.
- [2] 潘晓东, 林顺利, 姚玉娟, 等. 南麂海域灾害性海浪分布特征[J]. 中国水运, 2016, 16(12): 160-162.
- [3] 邱桔斐. 江苏沿海风、浪特征研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [4] 徐亚男, 冯建国. 斯里兰卡科伦坡临近海域波浪数值模拟[J]. 水道港口, 2014, 35(4): 312-316.
- [5] 沈旭伟, 陈国平, 严士常, 等. 合成风场作用下的近海重现期波要素分析[J]. 海洋预报, 2016, 33(5): 41-47.
- [6] 许富详. 中国近海及其邻近海域灾害性海浪的时空分布[J]. 海洋学报, 1996, 18(2): 26-31.
- [7] 王智峰, 董胜. 三沙近海海域灾害性海浪数值推算[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(S1): 98-101.
- [8] 谢冬梅, 陈永平, 张长宽. 江苏外海深水波要素推算[J]. 海洋工程, 2013, 31(2): 94-99.
- [9] 郑国诞, 谢亚力, 胡金春, 等. 台州温岭市风暴潮淹没危险性分析[J]. 海洋预报, 2016, 33(6): 40-50.
- [10] 应王敏, 郑桥, 朱陈陈, 等. 基于SWAN模式的“灿鸿”台风浪数值模拟[J]. 海洋科学, 2017, 41(4): 108-117.

Characteristics of wave height spatial distribution with different return periods in Nanji Island

GUO Jing, LI Shang-lu, LI Ting, WANG Qin, ZHU Ye

(Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang, Hangzhou 310007 China)

Abstract: Using the third-generation wave model SWAN, a coastal wave propagation model is established for the Zhejiang coastal area. A total of 118 typhoons that severely affected Nanji Island in Pingyang County from 1949 to 2016 are selected to calculate the annual extreme waves around Nanji Island. The P-III curve fitting analysis is performed to obtain the spatial distribution of ocean waves with different return periods. The results show that the wave height northwest of Nanji Island is significantly smaller than that in the southeast area. From the perspective of ocean waves, the wave heights in the Mazuao and Guoxingao sea areas are significantly smaller than those in the other sea areas of Nanji Island, making them the best places for fishery and aquaculture in Nanji Island.

Key words: SWAN; ocean wave; Nanji Island; wave heights; return periods