

大亚湾不同波浪、水深与坡度条件下车叶型人工鱼礁的安全重量

唐振朝, 陈丕茂*, 贾晓平

(中国水产科学研究院南海水产研究所,农业部南海渔业资源环境科学观测实验站,广东 广州 510300)

摘要: 基于小振幅波和力学理论,以车叶型鱼礁为对象,对其在大亚湾不同波浪(台风、十年一遇、二十五年一遇、五十年一遇)、不同水深(6~20 m)、不同海床坡度(10^{-1} 、 30^{-1} 、 50^{-1})及附着生物等多种条件下的安全性进行了研究分析,确定了车叶型鱼礁的安全重量和大亚湾海域适于其投放的水深范围。结果表明,安全重量在深于12 m的水深范围内变化平稳,而在较浅的水深特别是在波浪发生破碎的前后过程大小差异明显,表现出随水深变浅先变大后变小的波动特征,二十五年一遇的波浪条件下3种坡度的安全重量最大值分别为42.4、22.4和20.3 t,对应水深为10、12和14 m。坡度对礁体安全重量的影响非常明显,坡度越小,安全重量越轻,各种波浪条件下 30^{-1} 与 50^{-1} 下的安全重量随水深的变化特征相似,而 10^{-1} 与 30^{-1} 的差异远大于 30^{-1} 与 50^{-1} 的差异。礁体的安全重量与波浪条件、水深和海床坡度有直接关系,水深过浅或海床坡度过大均可能导致礁体在较大波浪下失稳。从礁体稳定性与航道安全性两方面考虑,应选择大亚湾12 m以深、坡度平缓的水域,投放设计重量为22.4 t的车叶型人工鱼礁。

关键词: 人工鱼礁; 礁体重量; 投放水深; 海床坡度

中图分类号: S 953.1

文献标志码: A

人工鱼礁是海洋牧场系统工程的重要组成部分,即人为在水域中投放和设置构造物,改善修复与优化水生生物栖息环境,为鱼类等生物提供索饵、繁殖、生长发育等场所,以保护、增殖资源和提高渔获物的质量。多年来,国内外研究人员开展了大量关于人工鱼礁基础理论和模型试验等方面的研究^[1-6],吴子岳等^[7]对十字形人工鱼礁进行了水动力学分析,陶峰等^[8]对礁体设计及稳定性进行了研究,王伟定等^[9]对浙江沿岸休闲生态型人工鱼礁的选点进行了底质分析及承载力的计算。由于国内人工鱼礁的基础研究开展相对国外较晚,建设实践中仍然存在如礁区选址、礁体投放、材料耐用性、礁体稳定性和结构优化等方面的技术难题。其中,礁区选址及礁体设计的不合理均会导致礁体出现滑移、翻滚或者沉陷,直接影响礁体的功能及使用年限,甚至造成航道堵塞。相关研究表明,波浪过大的情况下,被放置在5~33

m水深海域的小型鱼礁移动距离可长达1~2 km^[10]。TSENG等^[11]也指出,礁区选址时应考虑包括地形学、水深、海床底质、水质、波流和潮流、与天然礁体和海岸线的距离等多种因素。为提高人工鱼礁的使用年限与效果,需综合考虑波浪、水深、海床底质及坡度等多种因素以确定礁体结构和设计重量。

本研究以大亚湾波浪、水深和坡度条件为参数,计算分析了不同波浪、水深和坡度条件下车叶型礁体不发生滑移的安全设计重量,给出了车叶型鱼礁的安全重量和适宜其投放的水深范围,以期为人造鱼礁工程建设提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 车叶型鱼礁

研究选取的钢筋混凝土制车叶型鱼礁如图1所示,尺寸为4 m × 4 m × 4 m,礁体表面积为

收稿日期:2011-03-16 修回日期:2011-07-04

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA100303);公益性行业(农业)科研专项(201003068);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2007ZD03,2009TS19)

通讯作者:陈丕茂,E-mail:cpmgd@yahoo.com.cn

134.6 m², 实体体积为 6.4 m³, 开孔直径为 1.0 m, 竖板与底板厚度均为 0.2 m。

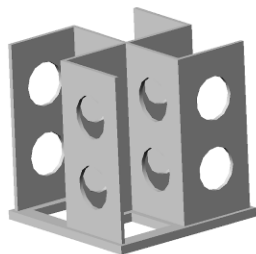


图 1 车叶型鱼礁

Fig. 1 Investigated reef

1.2 波浪要素的转换

大亚湾海域的波浪成长主要受台风和冷空气的影响,其地理位置决定了波浪成长受到地形岸貌的限制,绝大多数大浪经湾口传至湾内时,由于受岛屿与岬角的影响,波能大为削弱。1985—1988 年的观测数据显示,大亚湾湾口平均周期 T_0 为 5.5 s, 平均波高 H_0 为 0.8 m, 1986 年 8607 号台风过境时湾口最大波高 H_{max} 为 5.6 m^[12-13]。李少英^[12]通过计算 1949—1983 年 35 年间沿 ESE—SE 方位,影响大亚湾海域的热带气旋引起的波浪,求得了湾口测点处的各重现期波浪要素(表 1)。

表 1 大亚湾湾口重现期波浪

Tab. 1 Wave data of different return period

波向 wave direction	波高/m wave height			
	十年一遇 10-year of return period	二十五年一遇 25-year of return period	五十年一遇 50-year of return period	一百年一遇 100-year of return period
ESE	7.3	8.8	9.5	10.8
SE	5.1	8.8	9.9	11.1
SSE	8.3	9.9	11.1	12.1

本研究中的车叶型鱼礁设计投放于浅海区域,波浪在由深水到浅水的传递过程中存在变形,变形后波高、波长等波浪要素的确定对海岸工程

具有重要的试验价值,因此需对波浪要素进行转换^[10],台风波浪要素的转换结果见表 2。

表 2 8607 号台风波浪要素转换

Tab. 2 Wave parameters of typhoon No. 8607 with 1 m intervals in Daya Bay

波高/m H_0	周期/s T_0	波长/m L_0	浅水波长/m L	水深/m h	计算水深/m h'	水质点速度/(m/s) u			浅水波高/(m/s) H_h		
						10 ⁻¹	30 ⁻¹	50 ⁻¹	10 ⁻¹	30 ⁻¹	50 ⁻¹
5.6	8.3	107.45	59.91	6	2	3.27	2.37	2.00	5.32	3.86	3.26
			64.03	7	3	2.95	2.78	2.43	5.37	5.06	4.42
			67.74	8	4	2.68	2.57	2.51	5.37	5.15	5.03
			71.08	9	5	2.43	2.35	2.35	5.32	5.15	5.15
			74.12	10	6	2.21	2.17	2.17	5.26	5.15	5.15
			76.90	11	7	2.03	2.01	2.01	5.21	5.15	5.15
			79.44	12	8	1.87	1.87	1.87	5.18	5.15	5.15
			81.78	13	9	1.74	1.74	1.74	5.15	5.15	5.15
			83.93	14	10	1.62	1.62	1.62	5.13	5.13	5.13
			85.90	15	11	1.52	1.52	1.52	5.12	5.12	5.12
			87.72	16	12	1.43	1.43	1.43	5.12	5.12	5.12
			89.40	17	13	1.34	1.34	1.34	5.11	5.11	5.11
			90.95	18	14	1.26	1.26	1.26	5.11	5.11	5.11
			92.38	19	15	1.19	1.19	1.19	5.12	5.12	5.12
			93.69	20	16	1.13	1.13	1.13	5.13	5.13	5.13

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{[1 + 4\pi h/L/\sinh(4\pi h/L)]\tanh(2\pi h/L)}} \quad (1)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) = L_0 \tanh(kh) \quad (2)$$

$$L_0 = \frac{gT_0^2}{2\pi} \quad (3)$$

当 $h/L_0 \geq 0.2$ 时,

$$H_h = K_s H_0 \quad (4)$$

当 $h/L_0 < 0.2$ 时,

$$H_h = \min\{\beta_0 H_0 + \beta_1 h; \beta_{\max} H_0; K_s H_0\} \quad (5)$$

其中, $\beta_0 = 0.028(H_0/L_0)^{-0.38} \exp(20 \tan^{15} \theta)$

$$\beta_1 = 0.52 \exp(4.2 \tan \theta)$$

$$\beta_{\max} = \max\{0.92; 0.32(H_0/L_0)^{-0.29} \exp(2.4 \tan \theta)\}$$

1.3 波浪力计算

波浪力是影响鱼礁稳定性的重要因素,本研究基于小振幅波理论,引入莫里森方程,将水平波浪力分为两个分量:波浪水质点的水平速度对柱体的作用力即水平拖曳力 F_D ; 水质点的水平加速度对柱体的作用力即水平惯性力 F_I 。作用在高度 dz 上的水平波浪力的计算由下列方程给出^[14-16]:

$$F_D = \frac{C_D \rho A u_x |u_x|}{2} \quad (6)$$

$$F_I = C_M \rho V \frac{\partial u_x}{\partial t} \quad (7)$$

$$dF = dF_D + dF_I =$$

$$d\left[\frac{C_D \rho A u_x |u_x|}{2} + C_M \rho V \frac{\partial u_x}{\partial t}\right] \quad (8)$$

将式(8)在整个礁体高度上积分可得到作用在整个礁体上的水平波浪力,即:

$$F = F_D + F_I = \int_0^z 2.1 \frac{1}{2} C_D \rho A u_x |u_x| dz +$$

$$\int_0^z 2.1 C_M \rho V \frac{\partial u_x}{\partial t} dz \quad (9)$$

$$F = F_{D_{\max}} \cos \omega t | \cos \omega t | - F_{I_{\max}} \sin \omega t \quad (10)$$

$$F_{D_{\max}} = C_D \frac{\rho A_x H^2}{2} K_1 \quad (11)$$

$$F_{I_{\max}} = C_M \frac{\rho V H}{2} K_2 \quad (12)$$

$$K_1 = \frac{2k(h+z) \sinh 2k(h+z)}{8 \sinh 2kh} \quad (13)$$

$$K_2 = \frac{\sinh(h+z)}{\cosh kh} \quad (14)$$

式中, C_D 为拖曳力系数, C_M 为惯性力系数, A 为礁体在来流方向上的投影面积, V 为礁体的排水体积, ρ 为流体密度, u_x 为水质点的水平速度, k 为波数, h 为水深, z 为鱼礁顶部到海底的高度。

由于 F_D 和 F_I 相位不同,令式(10)对时间的一阶导数为零,可求得出现最大值的时刻 t ,将 t 代入式(10)即可得水平波浪力最大值。

1.4 水质点速度

水质点的水平速度和水平加速度分别由(15)和(16)计算^[14-16]:

$$u_x = \left(\frac{\pi H}{T}\right) \frac{\cosh kh(h+z)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega t) \quad (15)$$

$$a_x = 2\left(\frac{\pi^2 H}{T^2}\right) \frac{\cosh kh(h+z)}{\cosh kh} \sin(kx - \omega t) \quad (16)$$

式中, H 为波高, T 为波浪周期。

1.5 波浪力系数

波浪力计算中需确定拖曳力系数 C_D 和惯性力系数 C_M 等波浪力系数。其中, C_D 值与礁体形状、相对海流的方向、表面粗糙度、雷诺数等有密切关系,可通过水池或风洞的模型试验进行确定。由于受到实验条件限制,研究中引入了流体力学软件 FLUENT,对车叶型鱼礁进行数值建模,根据大亚湾人工鱼礁区实测数据设定水深、流速等条件后确定 C_D 值为 1.5。惯性力系数 C_M 的值参考规范取为 2.0。此外,礁体投放后表面会出现附着生物,造成糙率和柱体直径的增加,因此礁体所受波浪力应乘以系数 n 。根据该人工鱼礁区的跟踪调查结果,投放礁体单位面积附着生物量为 9.3 kg/cm^2 ,附着生物厚度为 $2 \sim 5 \text{ cm}$,参考规范将系数 n 设为 1.15。

1.6 稳定性分析

鱼礁投放后,所受作用力包括重力 W_{ref} 、浮力 F_B 、升力 F_L 、波浪力 F_W 和海床摩擦力 F_F 等(图2)。图中夹角 θ 的正切值 $\tan \theta$ 即为坡度, 10^{-1} 、 30^{-1} 和 50^{-1} 对应的 θ 分别为 5.71° 、 1.90° 和 1.14° 。受力关系如下列各式:

$$F_W = F_D + F_I; \quad F_B = \rho g Q;$$

$$F_F = (W_{\text{ref}} - F_B - F_L) \mu; \quad F_L = (C_L \rho u^2 A_x)/2.$$

由受力分析可知鱼礁不发生滑移的条件为 $F_W \leq F_F$, 即 $F_W \leq (W_{\text{ref}} - F_B - F_L) \mu$ 。进一步计算得到礁体重量 $W_{\text{ref}} \geq F_B + F_L + F_W/\mu$, 本研究将礁体不发生滑移的最小重量定义为安全

重量。

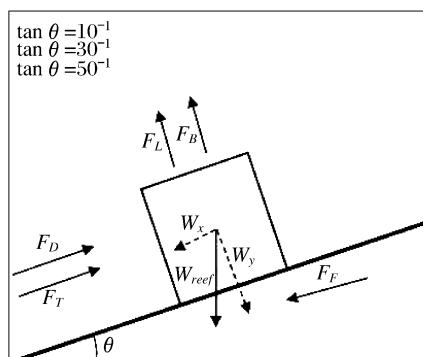


图2 鱼礁受力示意图

Fig.2 Forces acting on a reef unit

2 结果

2.1 波浪要素

图3和图4分别给出了8607号台风过境和十年一遇波浪时各坡度条件下6~20 m水深段的波高一水深曲线和波浪力—水深曲线。

图3的波高一水深曲线显示:台风过境的波浪条件下,12~20 m的水深范围内波高变化平缓,坡度为 10^{-1} 时波高在水深7 m处达到峰值后缓慢递减,而坡度为 30^{-1} 和 50^{-1} 时波高在水深8 m处达到峰值后迅速减小;十年一遇的波浪条件下,波浪变化特征与台风过境时相似,波高最大值分别出现在水深9 m和8 m处。

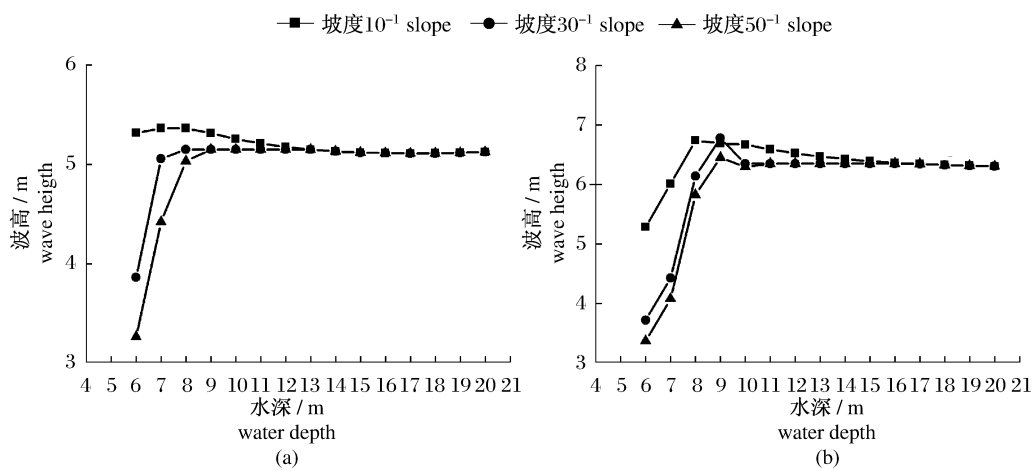


图3 波高一水深曲线

a. 台风过境; b. 十年一遇波浪。

Fig.3 Curve of wave height and water depth

a. typhoon; b. 10-year return period.

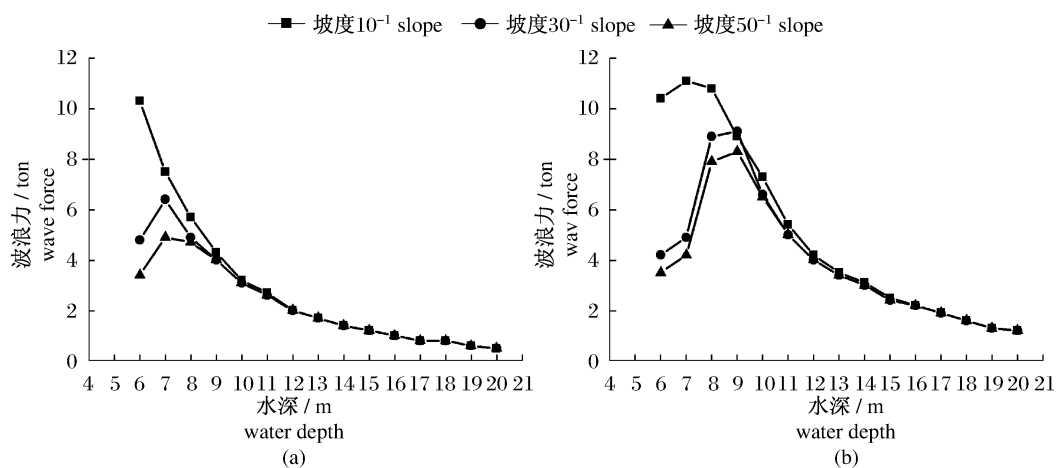


图4 波浪力—水深曲线

a. 台风过境; b. 十年一遇波浪。

Fig.4 Curve of wave force and water depth

a. typhoon; b. 10-year return period.

图4的波浪力—水深曲线显示:台风过境时,在9~20 m的水深范围内3条曲线基本重合,波浪力随水深变浅而增大,坡度为 30^{-1} 和 50^{-1} 时波浪力在水深7 m处达到峰值后出现下降,而坡度为 10^{-1} 时波浪力在整个水深段始终随水深变浅而增大;十年一遇波浪时,波浪力的变化特征与台风过境时基本相似,12~20 m的水深范围内3条曲线基本重合,坡度为 30^{-1} 和 50^{-1} 时波浪力在9 m处达到峰值,坡度为 10^{-1} 时水深7 m处波浪力最大。

2.2 礁体安全重量与投放水深的选择

根据礁体抗滑移稳定性的判断标准,对车叶型鱼礁在台风过境、十年一遇、二十五年一遇以及五十年一遇的波浪条件下进行了抗滑移稳定性分析,得到了各种波浪条件下车叶型鱼礁安全重量与水深、坡度的关系(图5~图8)。

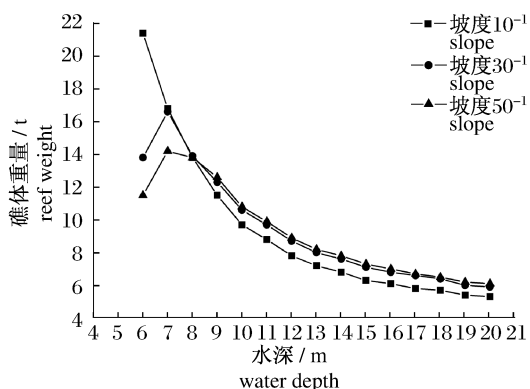


图5 台风过境时不同水深下的礁体安全重量

Fig. 5 Reef weight under wave of typhoon

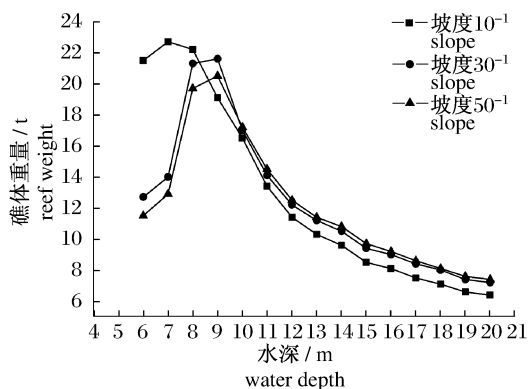


图6 十年一遇的波浪时不同水深下的礁体安全重量

Fig. 6 Reef weight under wave of 10-year return period

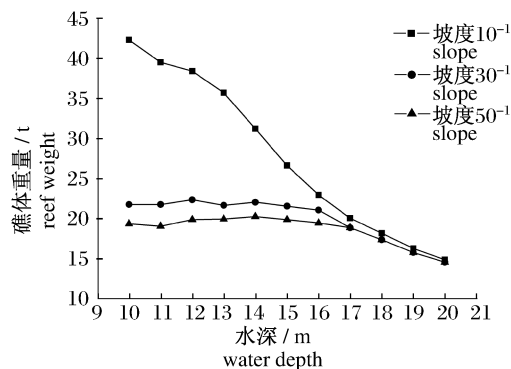


图7 二十五年一遇的波浪时礁体安全重量

Fig. 7 Reef weight under wave of 25-year return period

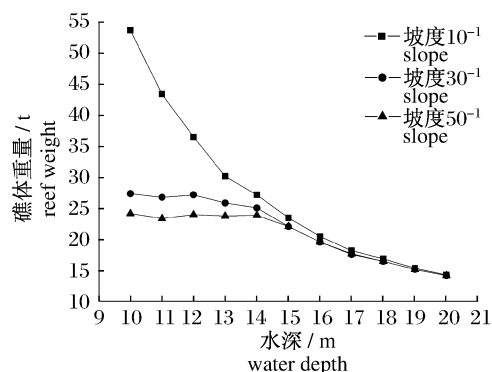


图8 五十年一遇的波浪时不同水深下的礁体安全重量

Fig. 8 Reef weight under wave of 50-year return period

图5~图6中礁体安全重量均出现了随水深变浅先变大后变小的波动,这是由于水深从深变浅的过程中波浪力逐渐增加,对应的礁体安全重量随之增大至峰值,而波浪到达一定水深发生破碎,波浪力减小,安全重量也开始变小。例如,出现十年一遇的波浪时, 10^{-1} 、 30^{-1} 和 50^{-1} 对应的安全重量最大值分别为22.7、21.6和20.5 t,出现最大值的水深分别为7、9和9 m,当水深浅于7 m或9 m时,安全重量明显减小,在7~11 m的范围内同一坡度条件下的安全重量最大值达到了最小值的1.54倍。由于二十五年一遇和五十年一遇的波浪较大,波高接近10 m,因此选择计算的水深范围为10~20 m,在该范围内波浪未发生破碎,因此图7~图8中安全重量随水深的波动并不明显。比较安全重量在整个水深段的变化趋势,在深于12 m的水深范围内安全重量变化平稳,且数值较小,而在较浅的水深范围特别是在波

浪发生破碎的前后过程变化明显。

如上各图所示,坡度对礁体安全重量的影响非常明显,坡度越小,对应的安全重量越轻。计算结果表明, 10^{-1} 与 30^{-1} 的差异远大于 30^{-1} 与 50^{-1} 的差异,各种波浪条件下 30^{-1} 与 50^{-1} 下的安全重量随水深的变化在数值和趋势上均较为接近。例如,在台风过境时水深6 m处, 10^{-1} 、 30^{-1} 和 50^{-1} 分别对应的安全重量值为21.4、13.8和11.5 t, 10^{-1} 坡度为 50^{-1} 坡度的1.86倍。在波浪较大即出现二十五年一遇或五十年一遇波浪时, 10^{-1} 坡度对应的安全重量最大值甚至达到了 50^{-1} 坡度对应的最大值的2.2倍。由于坡度 10^{-1} 对应的安全重量最大值过重将导致礁体易沉陷和建造成本大幅增加,因此在确定鱼礁设计重量时以坡度 10^{-1} 对应的安全重量最大值作为标准。

3 结论

目前我国的人工鱼礁建设通常采用钢筋混凝土制作,选择近海区域进行投放。礁体设计时重量过轻容易在波流作用下发生滑移或倾覆,过重则可能出现沉陷导致礁体失效。因此进行人工鱼礁建设时,应综合考虑礁体功能、波浪、海床坡度及底质等因素进行礁区选址、礁体设计和投放。礁区选址是以海域功能区划、礁区建设规模、拟建礁海域的水文水质、生物环境等方面为依据采用科学方法确定人工鱼礁投放地点;礁体设计则从礁体稳定性、流场效应和生物聚集效应等方面优化礁体结构、尺寸和重量等参数;礁体投放时需根据礁体功能、种类和材料强度等因素选择适当的投放方式。

目前国内研究人员针对礁体稳定性开展了模型试验与数值计算方面的大量工作,也从流场效应的角度对礁体设计高度和投放水深进行了探讨,但关于礁体设计重量与水深、坡度之间关系的研究很少有报道。本研究通过数值计算的方法探讨礁体安全重量与波浪、水深及坡度之间的关系,以车叶型鱼礁为例,引入大亚湾的波浪条件,通过计算波浪力与力学分析,综合比较了6~20 m水深区域及不同海床坡度条件下(10^{-1} 、 30^{-1} 和 50^{-1})礁体安全重量的最大值,确定了适于礁体投放的水深范围,得到以下结论:

(1) 台风过境时,坡度 10^{-1} 、 30^{-1} 和 50^{-1} 对应的安全重量最大值分别为21.4、16.8和14.2

t,出现最大值的水深分别为6、7和7 m;十年一遇的波浪时,3种坡度条件对应的安全重量最大值分别为22.7、21.6和20.5 t,出现最大值的水深分别为7、9和9 m;二十五年一遇波浪时,安全重量最大值分别为42.4、22.4和20.3 t,对应水深分别为10、12和14 m;五十年一遇时波浪时,安全重量最大值分别为53.7、27.4和24.2 t。

(2) 坡度与安全重量关系密切,坡度越小,安全重量越轻。各种波浪条件下坡度 30^{-1} 与坡度 50^{-1} 的安全重量随水深的变化在数值和趋势上均较为接近,坡度 10^{-1} 与坡度 30^{-1} 的差异则远大于坡度 30^{-1} 与坡度 50^{-1} 的差异。出现二十五年一遇或五十年一遇波浪时,同一水深下坡度 10^{-1} 对应的安全重量最大可达到坡度 50^{-1} 对应安全重量的2.2倍。鱼礁建设中应选择海床平缓的海域进行投放。

(3) 对安全重量在整个研究水深段的变化趋势进行分析,发现安全重量在深于12 m的水深变化平稳,且数值较小,而在较浅的水深特别是波浪发生破碎的前后过程变化明显,如十年一遇的波浪下9 m水深的的安全重量分别是7 m处和12 m处的1.59和1.64倍,而12 m水深的的安全重量仅为15 m处重量的1.28倍。因此在保证礁体流场效应的同时选择相对较深的水域进行鱼礁投放既可节约成本,又能确保礁体安全性。

以上研究结果表明,礁体的安全重量与波浪、水深和海床坡度均有直接关系,如投放水深过浅或海床坡度过大可能导致礁体失稳。国外的相关研究也指出:投放水深过浅会影响航道安全以及拖网渔船的正常作业,且当水深浅于16 m时,鱼礁投放后极易失稳,过深则增大了投放鱼礁的难度^[11];在黑海投放方型空心鱼礁的最浅水深应为20 m^[17]。本研究根据大亚湾海域的水深情况,考虑航道安全、渔船作业等因素,并结合人工鱼礁设计使用寿命在20年以上的要求,建议以鱼礁在二十五年一遇波浪下的安全重量最大值22.4 t作为设计标准,在12 m以深的湾内海域进行投放,当出现台风过境或二十五年一遇波浪时均不会发生滑移,能较好地保证人工鱼礁的建设效果和使用年限。

参考文献:

[1] WOLANSKI E, HAMNER W M. Topographically controlled fronts in the ocean and their biological

<http://www.scxuebao.cn>

- influence[J]. *Science*, 1998, 241: 177 - 181.
- [2] BAINÉ M. Artificial Reefs: a review of their design, application, management and performance[J]. *Ocean and Coastal Management*, 2001, 44: 241 - 259.
- [3] 虞聪达, 俞存根, 严世强. 人工船礁铺设模式优选方法研究[J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(4): 299 - 305.
- [4] 张硕, 孙满昌, 陈勇. 不同高度混凝土模型礁背涡流特性的定量研究[J]. *大连水产学院学报*, 2008, 23(4): 278 - 282.
- [5] 李珺, 章守守. 米字型人工鱼礁流场数值模拟与水槽实验的比较[J]. *水产学报*, 2010, 34(10): 1587 - 1594.
- [6] 刘彦, 关长涛, 赵云鹏, 等. 水流作用下星体型人工鱼礁二维流场 PIV 试验研究[J]. *水动力学研究与进展 A 辑*, 2010, 25(6): 777 - 783.
- [7] 吴子岳, 孙满昌, 汤威. 十字形人工鱼礁礁体的水动力学计算[J]. *海洋水产研究*, 2003, 24(4): 32 - 35.
- [8] 陶峰, 贾晓平, 陈丕茂, 等. 人工鱼礁礁体设计的研究进展[J]. *南方水产*, 2008, 4(3): 64 - 69.
- [9] 王伟定, 徐汉祥, 潘国良, 等. 浙江沿岸休闲生态形人工鱼礁初选点底质类形分析及承载力的计算方法[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2006, 25(2): 119 - 123.
- [10] BELL M, HALL J W. Effects of hurricane-Hugo on South-Carolinas Marine Artificial Reefs[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1994, 55(2-3): 836 - 847.
- [11] TSENG C T, CHEN S C, HUANG C S, *et al.* GIS-assisted site selection for artificial reefs[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(6): 1015 - 1022.
- [12] 李少英. 大亚湾的波浪[J]. *南海研究与开发*, 1991, 4: 25 - 31.
- [13] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第九分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 234 - 235.
- [14] GODA Y. *Random Seas and design of maritime structures*[M]. Tokyo: University of Tokyo Press, 1985: 323.
- [15] 丰鉴章, 李元智, 孙淑敏, 等. 海岸工程中的海浪推算方法[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 154 - 170.
- [16] 中华人民共和国交通部. 港口工程技术规范(1987)上卷[M]. 北京: 人民交通出版社, 1988: 387 - 392.
- [17] DÜZBASTILAR F O, LÖK A, ULAS A, *et al.* Recent developments on artificial reef applications in Turkey: hydraulic experiments [J]. *Bulletin of Marine Science*, 2006, 78(1): 195 - 202.

Study on safe weight of artificial reef in different water depths and bottom slopes under Daya Bay wave

TANG Zhen-zhao, CHEN Pi-mao*, JIA Xiao-ping

(*South China Sea Fishery Resources and Environment Observation Station, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China*)

Abstract: Artificial reefs (ARs), constructed with reinforced concrete, have been deployed along many coasts to enhance fisheries aquaculture and diving tourism, protect habitats, and foster research all over the world for a few years. Though new techniques and developments were applied to ARs, unexpected problems have also occurred in deployment processes, stability, local scours, durability of materials, and design characteristics. Of these problems, the stability of ARs is a very important issue in preventing the failure of reef units due to wave and current action. It is indicated that the principal hydrographic factors to be considered in AR construction consist of installation depth, reef weight, wave height, currents, and tides. In this study, the authors analyzed stability of an cube artificial reef to determine safe weight and deployment depth at varying water depths (6 – 20 m) and bottom slopes (10^{-1} , 30^{-1} , 50^{-1}) based on wave theory. FLUENT software and physics equations were used to estimate drag coefficients and waves forces. Drag coefficients for the reef is 1.5. Deep water offshore wave conditions in Daya Bay were transformed into shallow nearshore waters representative of the artificial reef site using linear wave theory. Four wave conditions were used in this study, including typhoon wave and different return period wave (10-year, 25-year, 50-year). The results showed that the safe weights fluctuated with water depths, increased first and then decreased when wave broke. Under typhoon wave, the maximum values of safe weights were 21.4, 16.8 and 14.2 t for 3 bottom slopes, which occurred at water depths of 6, 7 and 7 m respectively. When wave height and period were increased, safe weight and corresponding water depth were increasing at the same time. The maximum values of safe weights were 42.4, 22.4 and 20.3 t, which occurred at water depths of 10, 12 and 14 m respectively under wave of 25-year return period. Bottom slope was closely related to safe weight. When bottom slopes were investigated for the same wave parameters and depths, safe weights decreased and vice versa when slopes increased. The distinction was much more evident between a bottom slope of 10^{-1} and the other bottom slopes (30^{-1} , 50^{-1}). The maximum value of safe weight for 10^{-1} could be 2.2 times the safe weight for 50^{-1} at the same water depth under wave of 25-year return period. The flat seabed is more proper for ARs deployment. It is concluded that safe weight design must take wave parameters, water depths and bottom slopes into consideration, and improper water depth or slopes might cause the failure of reef units. To prevent navigational hazards and loss of stability, the investigated reef was suggested to deploy at a water depth of 12 m or deeper with a design weight of 22.4 t in Daya Bay. The design weight and selected deployment depth can resist wave force of 25-year return period and satisfy the ARs engineering project requirement of safety.

Key words: artificial reef; reef weight; deployment depth; bottom slope

Corresponding author: CHEN Pi-mao. E-mail: cpmgd@yahoo.com.cn