

人工鱼礁投放误差分布研究

赵静¹, 章守宇^{1*}, 沈天跃², 沈蔚¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 中国极地研究中心, 上海 200129)

摘要: 人工鱼礁建设海域的鱼礁实际分布状态与设计方案的鱼礁配置组合之间往往存在着不同程度的偏离差异, 而如何从单位鱼礁和鱼礁群层面上评估鱼礁投放误差, 是评价人工鱼礁投放质量乃至建设效果的基本前提。本实验选择港湾、岛礁、开阔等典型海域的人工鱼礁区, 以重心位置、外围面积、重叠面积、单体数量以及平均间距为指标, 在单位鱼礁的层面上, 对实际投放的人工鱼礁进行误差计算与分析。结果显示, 各指标的误差整体上基本服从正态分布, 某个鱼礁区指标的误差可能服从多种合理的拟合分布, 不同投礁海域的同一个误差指标具有类似的分布规律, 不同的误差指标拟合分布的情况也有可能相同。重心位置误差、重叠面积误差以及单体数量误差在不同区域极限误差相同, 其标准化误差分布范围分别为[0, 1]、[0, 1]、[0, 0.451], 而其他误差要素在不同区域得到的极限误差略有差异, 总体上, 外围面积误差分布在[0, 1]之间, 礁体间距误差和总体误差的分布范围分别为[0, 1], [0, 0.890]。通过对人工鱼礁投放误差规律及误差范围的分析, 才能对投放误差进行等级划分, 进一步为鱼礁投放评价标准的划分提供依据。

关键词: 人工鱼礁; 投放误差; 分布规律; 分布范围

中图分类号: S 931.4

文献标志码: A

人工鱼礁建设包括礁体设计、礁址选择、鱼礁投放以及管理和维护等方面, 是一个复杂的系统工程, 每个方面都影响着人工鱼礁效果的实现, 其中人工鱼礁投放是人工鱼礁建设的重要环节^[1-2]。如果鱼礁投放的位置不当, 将会改变鱼礁的布局、鱼礁间距、鱼礁设置规模等, 难以达到修复海洋生态环境和增殖渔业资源的作用, 不仅建设目标无法实现, 甚至引起反作用使水域的环境遭到破坏^[3-4]。在人工鱼礁投放施工过程中, 受到多种因素的限制, 如风浪、GPS定位精度、浮标误差、海潮流等, 投放后的鱼礁位置与设计位置常常不吻合发生偏移, 也就是误差, 其中很大一部分的原因是人工投放技术不娴熟、鱼礁投放准确性无法定量评估造成的^[5]。为了改变在人工鱼礁投放过程中

出现随意投放的现象, 需要对人工鱼礁的投放技术进行评价, 从人工鱼礁投放及布局准确性出发, 确定人工鱼礁投放技术的优劣。而目前国内国外还没有相关的评价标准, 因此, 迫切需要建立人工鱼礁投放技术评价体系, 评价人工鱼礁投放技术的优劣^[2]。在评价体系中, 评价的等级与投放误差相关, 人工鱼礁投放误差的分布研究就成了进行误差评价的首要问题。只有确定了投放误差的分布规律, 分析投放误差的范围, 才能对投放误差进行评价。

实际海域投放的人工鱼礁, 通过C3D测扫声呐等现代仪器得到实际分布情况, 以鱼礁间的空间自相关性为基础, 经过空间聚类后, 调查发现, 有些单位鱼礁的面积比设计方案小, 也有些比设计方案大, 而单位鱼礁中包含的鱼礁

收稿日期: 2015-12-29 修回日期: 2016-05-30

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203063, 201003068)

通信作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

单体数量也存在相似的情况^[6], 这种现象的呈现是偶然的还是具有某种固有的特定规律, 误差值的大小是随机的还是分布在一定的范围内, 以及人工鱼礁投放误差的实际分布情况等均未开展研究。为了解决以上问题, 需要对投放误差进行定量描述, 本实验选取了多个表征人工鱼礁分布状态的误差指标, 确定各指标的计算方法, 并与设计方案进行比较, 得出人工鱼礁实际投放误差, 分析投放误差的分布情况, 并进行拟合与检验, 找出投放误差尽可能准确的概率分布规律, 进而得出人工鱼礁投放误差的分布范围, 定量描述投放误差的特性。

1 材料与方法

不同的建设区域, 人工鱼礁建设目的不同, 随之人工鱼礁设计时的配置组合方式也不一样。为了深入了解不同建设海域中各种组合方式下人工鱼礁的投放情况, 从而对不同的方案做出合适的分析与评价, 本研究选取了3种不同情况的投礁海域进行调查探测, 分别为港湾人工鱼礁建设区、岛礁海域人工鱼礁建设区以及开阔水域人工鱼礁建设区。

1.1 数据获取

数据采集使用C3D三维侧扫测深系统^[7]。利用C3D声呐系统对人工鱼礁区进行现场测量, 快速获取水下每个鱼礁的三维地理位置和分布状态, 获得大范围水深和水下声呐图像信息。基于C3D提供的高清晰水下声呐图像信息, 结合ArcGIS矢量化功能, 人工提取图像中每个鱼礁点在水下的空间位置以及它们之间的相互距离与方位等空间关系。

尽管实际投放的人工鱼礁在表象上呈现散乱的分布状态, 但各个鱼礁单体之间在空间上存在一定的规律和趋势^[8-9]。空间聚类主要是通过空间数据的空间自相关性, 挖掘空间实体的分布规律, 找出空间实体的集聚模式, 揭示空间实体的结构特征^[10-15]。因此, 应用空间聚类算法, 对实际的人工鱼礁进行划分归类, 以得到单位鱼礁实际的分布情况, 详细结果见沈天跃等^[6]。

1.2 指标确定及转换

本研究主要从以下几个要素作为鱼礁投放误差的分析指标, 重心位置偏移(重心误差)、外

围面积的改变(外围面积误差)、设计方案与实际鱼礁区面积的吻合程度(即重叠区域的面积误差)、鱼礁单体数量的增多或减少(单体数量误差)以及礁体之间的间距变化(礁体间距误差)。

1.3 误差计算

重心位置偏移误差 单位鱼礁的分布反映了鱼礁布局情况, 建立单位鱼礁重心位置偏移误差, 用以监测鱼礁布局是否处于合理的状态。

$$\Delta d = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}$$

$$\delta_w = \Delta d / L$$

式中, (x_0, y_0) 为鱼礁设计重心, (x, y) 为实测重心, Δd 为重心偏移的绝对误差, L 为设计的单位鱼礁对角线长度的一半, δ_w 为单位鱼礁重心偏移的相对误差(图1)。

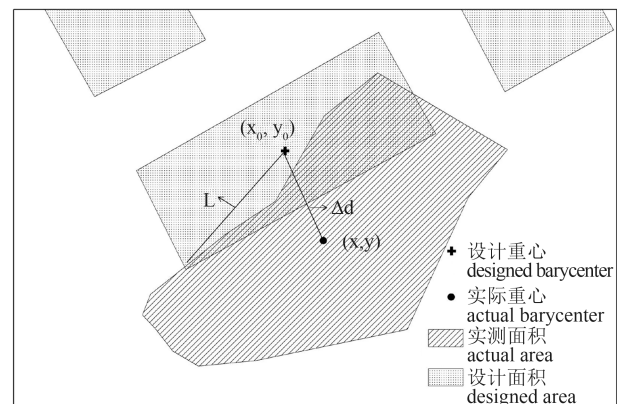


图1 重心位置误差计算

(x_0, y_0) . 实测重心, Δd . 重心偏移的绝对误差, L . 设计的单位鱼礁对角线长度的一半

Fig. 1 The error calculation of the center of gravity position

(x_0, y_0) . the measured center of gravity, Δd . the absolute error for the shift of center of gravity, L . the half length of diagonal for one unit reef

外围面积误差 在相同的配置组合条件下, 外围面积越大, 单位鱼礁整体的调控范围增大, 但随之鱼礁单体之间的协同作用降低, 外围面积越小, 单位鱼礁整体的调控范围缩小, 鱼礁单体之间产生的效应出现重叠现象。

$$\delta_p = (S_0 - S) / S_0$$

式中, S_0 为鱼礁设计外围面积, S 为实测外围面积, δ_p 为单位鱼礁外围面积变化的相对误差(图2)。

重叠面积误差

$$\delta_{OA} = 1 - S_1 / S_0$$

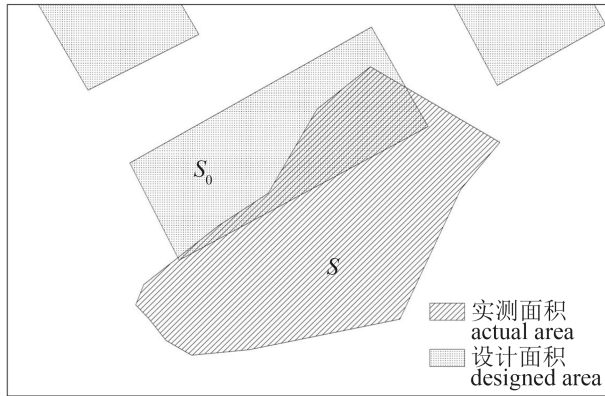


图2 外围面积误差计算

S_0 鱼礁设计外围面积, S 实测外围面积

Fig. 2 The error calculation of the peripheral area

S_0 the design area size, S the measured actual area size

式中, S_l 为鱼礁设计区域与实测区域之间的重叠区域的面积, S_0 为鱼礁设计面积, δ_{OA} 为鱼礁实测区域与设计区域之间的吻合程度大小(图3)。

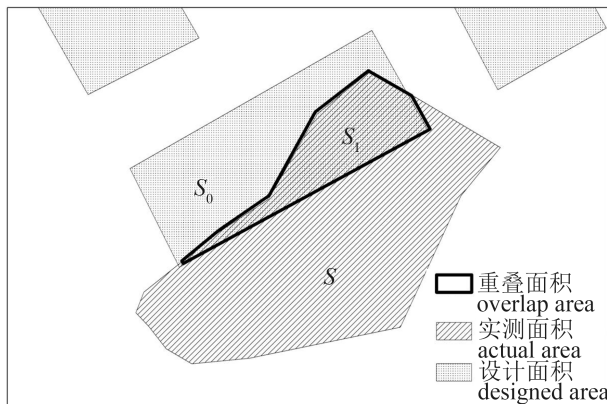


图3 重叠面积误差计算

S_l 鱼礁设计区域与实测区域之间的重叠区域的面积, S_0 鱼礁设计面积, S 为实测面积

Fig. 3 The error calculation of the overlapping area

S_l the size of the overlap area, S_0 the design area size, S the actual area

单体数量误差 鱼礁单体数量反映了人工鱼礁的规模情况, 由于单位鱼礁的规模应在400 m³以上, 单位鱼礁中礁体数量也存在相应的限制。

$$\delta_N = (N_0 - N)/N_0$$

式中, N_0 为鱼礁设计时单位鱼礁中的礁体个数, N 为实测的单体数量, δ_N 为单位鱼礁单体数量变化的相对误差(图4)。

礁体间距偏差 人工鱼礁区水体交换能力由礁体间距决定, 不同间距水体交换能力不同。

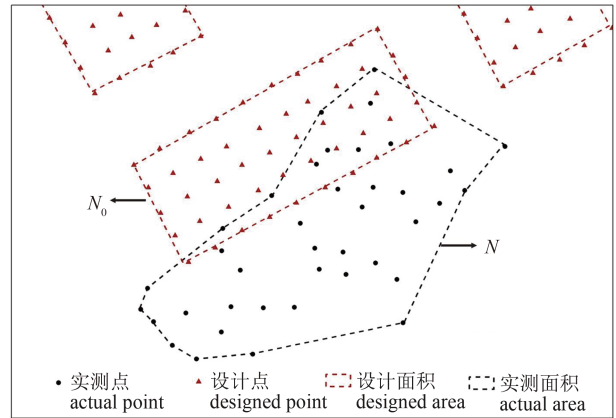


图4 单体数量误差计算

N_0 鱼礁设计时单位鱼礁中的礁体个数, N 实测的单体数量

Fig. 4 The error calculation of the number of monoblocks

N_0 the designed reef number in one unit reef, N the actual reef number in one unit reef

$$\delta_\ell = \ell_0/a - (\sum_{i=1}^n \ell_i/n)/a$$

式中, ℓ_0 为鱼礁单体之间间距的设计值, a 为鱼礁的边长, ℓ_i 为单体间距的实测值, δ_ℓ 为单体间距的相对误差(图5)。

1.4 指标归一化方法

在评价投放误差时, 各个误差指标实际数值的量纲不同, 例如重心位置误差描述的是距离, 单位为m, 而单体数量误差描述的是个数的变化, 单位为个, 并且各个误差指标的数值不在同一个数量级上, 重心位置误差得到的值较

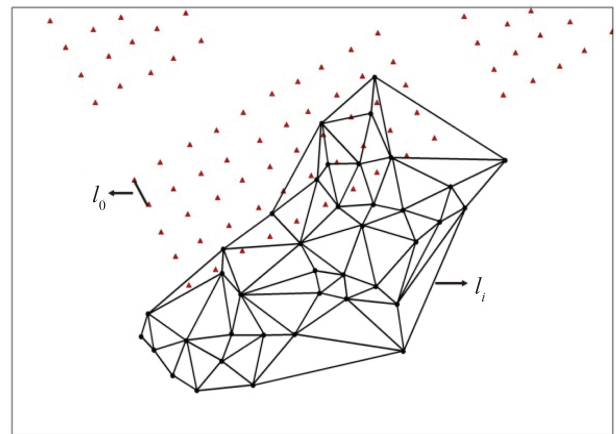


图5 礁体间距误差计算

ℓ_0 鱼礁单体之间间距的设计值, ℓ_i 单体间距的实测

Fig. 5 The error calculation of reefs spacing

ℓ_0 the designed spacian among reefs, ℓ_i the actual among reefs

大, 单体数量误差值较小。因此, 在将各个误差指标进行综合之前, 需要解决误差值量纲和数量级的问题。因此, 对各个指标的误差值进行无量纲化处理, 通过将实际误差值进行转变, 使各个误差值具有相同的量纲和数量级, 进而进行综合, 求出整体误差值^[16]。数据挖掘中的归一化方法能够解决数据量纲存在差异的问题。为了便于处理和分析, 归一化方法经常将实际数据转化为0~1范围内数值。本研究采用以下公式, 对人工鱼礁各个误差指标进行归一化处理。

$$y = 1 - e^{-x^2}$$

式中, x 为误差指标实测值, y 为误差归一化后的转换值。

1.5 误差分布拟合效果分析

不同假设分布得到的误差拟合的精确度不同, 为了定量比较各种假设分布的拟合结果, 确定最合适的统计分布, 定义两个拟合指标: 拟合标准差和相关系数。

①拟合标准差(ζ)

$$\zeta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$$

式中, $i=1, 2, \dots, n$ 。其中, n 为频率分布直方图的分组数, x_i 为第 i 个分组中实测频率值, \bar{x}_i 为第 i 个分组中拟合的概率值。

②相关系数(r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)(\bar{x}_i - \bar{x}_m)}{[\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x}_m)^2]^{\frac{1}{2}}}$$

式中, $i=1, 2, \dots, n$ 。其中, n 为频率分布直方图的分组数, x_i 为第 i 个分组中实测频率值, x_m 为实测频率的均值, \bar{x}_i 为第 i 个分组中拟合的概率值, \bar{x}_m 为拟合概率的均值。

当实测的频率值与拟合的概率值越接近, 两者之间差异越小, 线性关系越好, 则说明假设分布拟合越好^[17], 即相关系数越大越好, 而拟合标准差越小越好。由于不同假设分布拟合的精确度不同, 在确定最合适的统计分布时, 需要根据相关系数和拟合标准差这两个指标确定投放误差最终的分布模式。

1.6 人工鱼礁投放误差的分布规律及分布范围

人工鱼礁投放误差为一随机变量, 根据不

同海域得出的各个误差要素的误差值发现, 误差结果呈现某种固有的特定规律性, 因此, 投放误差其概率分布必满足某一特定规律。为了了解投放误差的分布情况, 本实验选用3种常用的假设分布: 正态分布、指数分布、对数正态分布, 对各个误差指标进行分布拟合检验分析, 揭示投放误差的分布规律^[21-28]。同时, 利用斯米尔诺夫(Kolmogorov-Smimov, 简称K-S)对人工鱼礁误差要素的概率分布进行了统计检验^[22]。

当测量数据存在误差时, 误差总是分布在一定的范围内^[23], 这一范围即为测量数据的误差限, 或称为极限误差。如果误差服从正态分布, 则误差分布范围为3倍的标准偏差。根据统计学原理, 正态分布中参数 μ 就是随机变量 X 的数学期望, 而 σ^2 就是它的方差, 随机变量 X 出现在给定区间 $(\mu - \kappa\sigma, \mu + \kappa\sigma)$ 内的概率(κ 为正数)为

$$P(\mu_0\kappa\sigma < X < \mu + \kappa\sigma) = \int_{\mu_0\kappa\sigma}^{\mu + \kappa\sigma} f(x)dx = [5pt] \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{\mu_0\kappa\sigma}^{\mu + \kappa\sigma} \exp[-\frac{1}{2\sigma^2}(x - \mu)^2]dx$$

由上式可得

$$P\mu - \sigma < X < \mu + \sigma \approx 68.3\%$$

$$P\mu - 2\sigma < X < \mu + 2\sigma \approx 95.5\%$$

$$P\mu - 3\sigma < X < \mu + 3\sigma \approx 99.7\%$$

根据上式可知, 当误差服从正态分布时, 误差分布在3倍的标准偏差范围内的概率为99.7%, 而超过3倍的标准偏差的概率为0.3%, 概率接近为零, 可视为不可能事件。公式右端的概率称为置信概率, $(\mu - \kappa\sigma, \mu + \kappa\sigma)$ 为此置信概率下的置信区间, $\mu - \kappa\sigma$ 为置信区间的下界(U_1), $\mu + \kappa\sigma$ 为置信区间的上界(U_2)。由此, 当已知误差的分布规律时, 给定置信概率, 便可计算出置信区间, 即误差分布的范围。

2 结果

2.1 投放误差的分布模式

港湾人工鱼礁投放误差的各个指标都满足正态分布, 外围面积误差和单体数量误差能同时符合3种分布情况(表1)。礁体间距误差只满足正态概率分布, 岛礁海域人工鱼礁投放误差的结果与开阔水域的误差结果类似, 重心位置误差、

重叠面积误差、单体数量误差不符合任何概率分布类型,其他误差指标都满足正态分布,甚至存在满足多种假设分布的情况,例如外围面积能同时服从正态分布和指数分布。在不同投礁海域,外围面积误差能够同时服从正态概率分布和指数概率分布,礁体间距误差和总体误差均能满足正态分布情况。综上得出,误差指标整体上基本服从正态分布,同一投礁海域的误差指标可能服从多种合理的拟合分布,不同投礁海域的误差指标具有类似的分布规律,不同的误差指标拟合分布的情况也有可能相同。

2.2 人工鱼礁投放误差的概率分布拟合

港湾人工鱼礁投放误差重心位置误差这一指标服从正态分布,重叠面积误差、单体数量误差以及礁体间距误差分布情况相较于指数分布和对数正态分布而言更符合正态分布,而外围面积服从参数为($\lambda=2.289$)的指数分布,在两种分配情况下,港湾总体误差分别符合参数为($\mu=0.416, \sigma=0.174$)的对数正态分布和参数为($\mu=0.401, \sigma=0.159$)的正态分布,岛礁海域人工鱼礁投放的外围面积误差服从参数为($\lambda=3.634$)的指数分布,而礁体间距误差和总体误差服从正态分布。开

表 1 假设分布参数

Tab. 1 The parameters of hypothesis distribution

投礁海域 artificial reef area	误差指标 deviation index	正态分布 normal distribution			指数分布 exponential distribution		对数正态分布 lognormal distribution		
		P	μ	σ	P	λ	P	μ	σ
港湾1 harbor area1	重心位置 gravity center	0.530	0.659	0.322	0.053	1.484	0.033	/	/
	外围面积 peripheral area	0.052	0.419	0.393	0.258	2.289	0.068	0.556	1.318
	重叠面积 overlapping area	0.481	0.417	0.212	0.046	/	0.016	/	/
	单体数量 monocase number	0.299	0.099	0.117	0.085	9.663	0.065	0.288	2.761
	礁体间距 average spacing between monocases	0.152	0.776	0.237	0.003	/	0.000	/	/
	总体误差 total deviation	0.150	0.415	0.166	0.006	/	0.199	0.416	0.174
港湾2 harbor area2	重心位置 gravity center	0.665	0.611	0.330	0.079	1.604	0.101	0.614	0.352
	外围面积 peripheral area	0.052	0.419	0.393	0.258	2.289	0.068	0.556	1.318
	重叠面积 overlapping area	0.575	0.389	0.221	0.071	2.493	0.040	/	/
	单体数量 monocase number	0.299	0.099	0.117	0.085	9.663	0.065	0.288	2.761
	礁体间距 average spacing between monocases	0.152	0.776	0.237	0.003	/	0.000	/	/
	总体误差 total deviation	0.153	0.401	0.159	0.005	/	0.190	0.402	0.166
岛礁海域 island-reef area	重心位置 gravity center	0.005	/	/	0.000	/	0.000	/	/
	外围面积 peripheral area	0.177	0.261	0.336	0.303	3.634	0.500	0.419	1.833
	重叠面积 overlapping area	0.000	/	/	0.000	/	0.000	/	/
	单体数量 monocase number	0.002	/	/	0.000	/	0.000	/	/
	礁体间距 average spacing between monocases	0.261	0.497	0.339	0.248	1.910	0.000	/	/
	总体误差 total deviation	0.259	0.565	0.093	0.000	/	0.174	0.567	0.101
开阔水域 open water	重心位置 gravity center	0.001	/	/	0.000	/	0.000	/	/
	外围面积 peripheral area	0.546	0.249	0.198	0.317	3.882	0.002	/	/
	重叠面积 overlapping area	0.010	/	/	0.027	/	0.000	/	/
	单体数量 monocase number	0.003	/	/	0.000	/	0.000	/	/
	礁体间距 average spacing between monocases	0.415	0.672	0.332	0.003	/	0.005	/	/
	总体误差 total deviation	0.238	0.439	0.150	0.002	/	0.000	/	/

阔水域人工鱼礁投放误差的外围面积误差、礁体间距误差和总体误差相对于指数分布和对数正态分布更满足正态分布情况。在重心位置误差、重叠区域误差、单体数量误差以及礁体间距误差这4个指标中, 不同区域人工鱼礁投放误差服从的分布情况相同, 而外围面积误差和总体误差在不同区域分布模式存在差异, 没有统一的分布情况。

2.3 人工鱼礁误差分布范围

人工鱼礁重心位置误差、重叠面积误差以

及单体数量误差在不同区域极限误差相同, 误差分布范围分别为[0, 1]、[0, 1]、[0, 0.451], 而其他误差要素在不同区域得到的极限误差略有差异(表3), 总体上, 外围面积误差分布在[0, 1]之间, 礁体间距误差和总体误差的分布范围分别为[0, 1], [0, 0.890]。

3 讨论

目前人工鱼礁建设效果评价包括海域环境质量评价、海洋生物生态评价、社会经济效益

表 2 拟合检验分析

Tab. 2 The analysis of fitting test

投礁海域 artificial reef area	误差指标 deviation index	正态分布 normal distribution		指数分布 exponential distribution		对数正态分布 lognormal distribution	
		ζ	γ	ζ	γ	ζ	γ
港湾1 harbor area1	重心位置 gravity center	0.068	0.368	0.075	0.017	/	/
	外围面积 peripheral area	0.068	0.270	0.063	0.304	0.072	0.092
	重叠面积 overlapping area	0.080	0.307	/	/	/	/
	单体数量 monocase number	0.063	0.743	0.093	0.569	0.097	0.462
	礁体间距 average spacing between monocases	0.056	0.363	/	/	/	/
	总体误差 total deviation	0.057	0.397	/	/	0.024	0.590
港湾2 harbor area2	重心位置 gravity center	0.063	0.497	0.068	0.303	0.074	0.067
	外围面积 peripheral area	0.068	0.270	0.063	0.304	0.072	0.140
	重叠面积 overlapping area	0.073	0.273	0.079	0.087	/	/
	单体数量 monocase number	0.071	0.743	0.093	0.569	0.098	0.462
	礁体间距 average spacing between monocases	0.064	0.363	/	/	/	/
	总体误差 total deviation	0.050	0.679	/	/	0.083	0.273
岛礁海域 island-reef area	重心位置 gravity center	/	/	/	/	/	/
	外围面积 peripheral area	0.082	0.279	0.071	0.543	0.082	0.457
	重叠面积 overlapping area	/	/	/	/	/	/
	单体数量 monocase number	/	/	/	/	/	/
	礁体间距 average spacing between monocases	0.060	0.460	0.062	0.162	/	/
	总体误差 total deviation	0.047	0.856	/	/	0.102	0.131
开阔水域 open waters	重心位置 gravity center	/	/	/	/	/	/
	外围面积 peripheral area	0.066	0.440	0.069	0.414	/	/
	重叠面积 overlapping area	/	/	/	/	/	/
	单体数量 monocase number	/	/	/	/	/	/
	礁体间距 average spacing between monocases	0.060	0.750	/	/	/	/
	总体误差 total deviation	0.056	0.550	/	/	/	/

表3 误差分布范围

Tab. 3 The range of error distribution

误差指标 deviation index	投礁海域 artificial reef area							
	港湾1		港湾2		岛礁海域		开阔水域	
	Harbor area1		Harbor area2		Island-reef area		open water	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2	U1	U2
重心位置 gravity center	0.000	1.000	0.000	1.000	/	/	/	/
外围面积 peripheral area	0.000	0.999	0.000	1.000	0.000	0.999	0.000	0.843
重叠面积 overlapping area	0.000	1.000	0.000	1.000	/	/	/	/
单体数量 monospace number	0.000	0.451	0.000	0.451	/	/	/	/
礁体间距 average spacing between monospaces	0.064	1.000	0.064	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
总体误差 total deviation	0.077	0.890	0.000	0.877	0.285	0.845	0.000	0.889

评价等^[24]，但针对人工鱼礁工程建造质量的评价还没有。到目前为止，尚无有关相应的技术规范，也没有统一的相关标准评价人工鱼礁投放施工技术的准确性和合理性，致使很难对实际投放位置与工程设计位置之间的偏差进行量化及评估，加大责任追究的难度，从而导致对实际投放施工无法进行监管，影响了人工鱼礁建设工程的可靠性和效率性。

从20世纪80年代开始，我国陆续投放了一些人工鱼礁，但对人工鱼礁的投放效果的真实评估尚缺乏有效手段，这个问题不仅存在于我国，即使在发达国家如美国也存在。虽然利用声学仪器得到的扫描图像，可以从表象上看出实际投放与设计方案的差异，但具体差异程度很难看出。因此，现场海域人工鱼礁的投放效果是否满足当初设计时的布局要求、以及局部的鱼礁配置与组合的偏移是否对整体的鱼礁建设目标产生影响等，需要进行正确的评估，以利于改善目前人工鱼礁建设中出现的随意投放等现象。

3.1 评价指标选取

影响人工鱼礁设置的内容很多，包括鱼礁布局、鱼礁间距、鱼礁设置规模等。礁区布局通过影响水体交换能力，进而影响鱼礁的效应。鱼礁之间间距具有一定的要求，较大的间距，礁体之间的协同作用降低，间距较小，鱼礁之间分布相对集中，又会导致鱼礁形成的面积缩小，因而，人工鱼礁的效应也受鱼礁间距的影响。鱼礁建设的规模也有一定的要求，作为鱼礁能产生效应的最小单位，单位鱼礁规模

至少需要达到400 m^{3[25]}。鱼礁建设的规模与鱼礁本身形状、礁体个数以及构成的面积有关。投放技术的优劣将会影响以上几个方面，进而影响鱼礁建设效果的实现。因此，本研究在评价鱼礁投放误差时选取重心位置误差、重叠面积误差、单体数量误差、外围面积误差、礁体间距作为误差评价指标。

3.2 人工鱼礁投放误差的分布模式

在本研究中，重心位置误差、重叠面积误差、单体数量误差、礁体间距误差呈对称分布，并且分布较为均匀，因此拟合以正态分布为好；外围面积误差值主要分布在数值较小的范围内，这与指数分布相吻合，因此外围面积误差分布情况与指数分布拟合较好；而总体面积在不同的区域服从不同的分布情况，这可能是由于不同区域各误差要素以及相应的权重得到不同的结果。对岛礁海域人工鱼礁分布情况检验结果显示重心位置、重叠面积、单体数量等误差因素不服从任何分布情况，这可能由于岛礁海域人工鱼礁投放存在整体偏移，实际海域鱼礁与设计鱼礁的重心、面积吻合程度偏离较大所致，在港湾地区由于距离较近，单位鱼礁之间的单体数量存在相互影响，而岛礁海域和开阔水域由于单位鱼礁之间距离较远，相互影响较少，导致单体数量误差在岛礁海域和开阔水域不符合任何分布情况。而对港湾进行误差分布情况检验时，由于区域类型较为接近，得出的误差分布情况也较为相似。因此，在重心位置误差、重叠区域误差、单体数量误差以及礁体间距误差这4个指标中，不同区域人工鱼

礁投放误差服从的分布情况相同, 而外围面积误差和总体误差在不同区域分布模式存在差异, 没有统一的分布情况。

3.3 存在不足及展望

为统一评价指标, 本实验在考虑人工鱼礁投放误差的计算时, 涵盖了目前国内常见的3种鱼礁建设类型: 港湾人工鱼礁建设区、岛礁海域人工鱼礁建设区以及开阔水域人工鱼礁建设区, 所得结果适用范围扩大, 可适用性广, 可直接用于计算目前3种类型鱼礁的投放误差, 如需计算其他类型人工鱼礁的投放误差, 本实验所采用的方法也同样适用。但由于本实验的数据量还较少, 在判断误差分布模式上受到一定影响, 不能涵盖国内所有鱼礁类型。在下一步工作中, 在进一步扩大涵盖鱼礁类型的同时, 将根据误差分布模式和范围, 进行投放精度的等级划分, 对人工鱼礁投放质量进行评价。

参考文献:

- [1] 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.
Tao F, Jia X P, Chen P M, *et al.* Advance in the research on artificial reef design[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(3): 64-69 (in Chinese).
- [2] 李文涛, 张秀梅. 我国发展人工鱼礁业亟需解决的几个问题[J]. 现代渔业信息, 2003, 18(9): 3-6.
Li W T, Zhang X M. The Problems to be dealt with in the development of artificial fish reef in China[J]. Modern Fisheries Information, 2003, 18(9): 3-6(in Chinese).
- [3] 林连钱. 人工鱼礁建设及管理中存在问题的初步研究[D]. 上海: 上海水产大学, 2007.
Lin L Q. The preliminary research on the management of artificial reefs construction and reef area abstract [D]. Shanghai :Shanghai Ocean University, 2007(in Chinese).
- [4] 王磊, 唐衍力, 黄洪亮. 人工鱼礁基本设计与礁区管理的初步研究[C]//2011年中国水产学会学术年会论文集. 厦门: 中国水产学会, 2011: 487-487.
Wang L, Tang Y L, Huang H L. Preliminary research on artificial reef design and management [C]//2011 Academic annual meeting of the China society of fisheries, Xiamen:China Society of Fisheries, Xiamen: China Society of Fisheries, 2011: 487-487 (in Chinese).
- [5] 王麟鹤. 东山海域人工鱼礁区的布局与适应性管理研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2012.
Wang L H. Study on layout and adaptive management of artificial reef in Dongshan sea area[D]. Xiamen: Xiamen University, 2012(in Chinese).
- [6] 沈天跃, 章守宇, 沈蔚, 等. 现场海域人工鱼礁分布状态聚类分析[J]. 水产学报, 2015, 39(9): 1350-1358.
Shen T Y, Zhang S Y, Shen W, *et al.* Cluster analysis on distribution status of artificial reefs in field sea area[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(9): 1350-1358. (in Chinese)
- [7] 沈蔚, 程国标, 龚良平, 等. C3D测深侧扫声纳探测系统综述[J]. 海洋测绘, 2013, 33(4): 79-82.
Shen W, Cheng G B, Gong L P, *et al.* Review on the probing system of the C3D bathymetry side-scan sonar[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2013, 33(4): 79-82.
- [8] 胡天硕. 地图匹配中的空间实体相似性测度[C]. 中国地理信息产业论坛暨2008'中国GIS协会年会论文集. 2008: 415-421.
Hu T S. The similarity measurement of spatial object in map matching [C]//China geographic information industry development forum, 2008. Guangzhou:China GIS society, 2008: 415-421(in Chinese).
- [9] 刘启亮. 自适应空间聚类方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
Liu Q L. A methodology of adaptive spatial clustering analysis[D]. Changsha: Central South University, 2011 (in Chinese).
- [10] 邓敏, 刘启亮, 李光强, 等. 空间聚类分析及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 3.
Deng M, Liu Q L, Li G Q, *et al.* Analysis and application of spatial clustering[M]. Beijing: Science Press, 2011: 3(in Chinese).
- [11] 马娜娜. 基于密度的模糊聚类分析算法研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2012.
Ma N N. Research on fuzzy clustering analysis algorithm based on density[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science & Technology, 2012 (in Chinese).
- [12] 肖维. 用于高斯混合模型参数估计的EM算法及其初始化研究[J]. 电子测试, 2011 (6): 26-30.
Xiao W. EM algorithm and its initialization research for parameter estimation of Gaussian mixture models[J]. Electronic Test, 2011(6): 26-30(in Chinese).

- [13] 王慧. C-均值聚类算法的改进研究[D]. 开封:河南大学, 2011.
Wang H. Research on the improvement of C-means clustering algorithm[D]. Kaifeng: Henan University, 2011 (in Chinese).
- [14] 王小华, 沈杰, 王荣波, 等. 一种新的基于蚁群和凝聚的混合聚类算法[J]. 杭州电子科技大学学报, 2010, 30(1): 26-29.
Wang X H, Shen J, Wang R B, *et al.* A study on removing duplication using N-gram terms for Chinese text[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2010, 30(1): 26-29 (in Chinese).
- [15] 马程. 空间聚类研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 134-137, 142.
Ma C. A survey of spatial clustering research[J]. Computer technology and development, 2009, 19(4): 134-137, 142 (in Chinese).
- [16] 王懿祥, 周国模, 白尚斌, 等. 森林可持续发展综合评价的方法系统[J]. 世界林业研究, 2006, 19(6): 6-10.
Wang Y X, Zhou G M, Bai S B, *et al.* Methodological system of comprehensive appraisal of sustainable forestry development [J]. World Forestry Research, 2006, 19(6): 6-10 (in Chinese).
- [17] 龚循强, 刘国祥, 周秀芳. 高速铁路桥墩沉降监测数据粗差探测方法研究[J]. 铁道建筑, 2013 (10): 34-36.
Gong X Q, Liu G X, Zhou X F. Research on detection method of the gross error of settling monitoring data of high speed railway bridge pier[J]. Railway Engineering, 2013(10): 34-36 (in Chinese).
- [18] Patel J K, Read C B. Handbook of the normal distribution [M]. 2nd ed. New York: CRC Press, 1996: 4.
- [19] Tong Y L. The Multivariate Normal Distribution (Springer Series in Statistics) [M]. New York: Springer, 1989: 5.
- [20] Hume C A. Understanding the normal distribution. [M]. American, 2011: 12.
- [21] Limpert E, Stahel W A, Abbt M. Log-normal distributions across the sciences: Keys and clues[J], BioScience, 2001, 51(5): 341-352.
- [22] 徐刚. 坡面泥石流流域地貌要素的概率分布[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(2): 70-74.
Xu G. Probability distribution of geomorphic factor of debris flow on mountain slope [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(2): 70-74(in Chinese).
- [23] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 19-20.
Academic committee of survey adjustment of school of geodesy and geomatics, wuhan university. Theory of errors and basis of surveying adjustment [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003: 19-20 (in Chinese).
- [24] 孙利元. 山东省人工鱼礁建设效果评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
Sun L Y. Evaluation of artificial reef construction in Shandong province[D]. Qingdao: China Ocean University, 2010 (in Chinese).
- [25] 陈玲玲. 青岛开发区人工鱼礁建设项目可行性研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
Chen L L. Qingdao development zone artificial reef construction project feasibility study[D]. Qingdao: China Ocean University, 2008(in Chinese).

Distribution model of deviation in artificial reef installation

ZHAO Jing¹, ZHANG Shouyu^{1*}, SHEN Tianyue², SHEN Wei¹

(1. *College of Ocean Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *Polar Research Institute of China, Shanghai 200129, China)*

Abstract: Actual position often deviates from the original design position in the installation of artificial reefs for the construction of sea ranching program. How to estimate the deviation error at unit artificial reef and artificial reef groups was the precondition of evaluation of artificial reef building quality. In this paper, three different types of artificial reefs were chosen to do the research, which were harbor artificial reef area, island-reef area, open artificial reef water area. Five indexes were used to calculate and analyse the deviation error between actual artificial reef and designed artificial reef at unit artificial reef level, which were gravity center, peripheral area, overlapping area, monocase number, and average spacing between monocases. The results showed that the error of each index was mainly normal distribution, however, error of index in one artificial reef area may follow different types of reasonable fitting distribution. The same error index of different artificial reef areas may have the same fitting distribution, and the fitting distribution of different error indexes may be the same. Gravity center, overlapping areas and monocase number have the same limit error in different areas, the standardizing distribution scope were [0, 1], [0, 1], [0, 0.451] respectively. Limit error was different from other indexes, generally, distribution scope of peripheral area was [0, 1], and distribution was [0, 1] and [0, 0.890] separately of the average spacing between monocased and total error. Based on the analysis of distribution pattern and distribution scope of artificial reef, the deviation errors between actual artificial reef and designed artificial reef can be divided and can be used to evaluate the quality of artificial reef building.

Key words: artificial reefs; installation deviation; distribution pattern; distribution scope

Corresponding author: ZHANG Shouyu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn

Funding projects: Special Public Welfare Program (Agriculture)(201203063, 201003068)