海洋工程对觉华岛国家级海洋公园海域生态环境影响研究

张雪[1]，张云[2,3]，吴英超[2,3]，张笑[2]，龚艳君[2,3]，尤广然[2,3]，孔重人[2,3]

（1. 辽宁省自然资源事务服务中心　沈阳　110001；2. 辽宁省海洋水产科学研究院　大连　116023；
3. 大连市海域海岛开发与保护研究重点实验室　大连　116023）

摘要：文章根据 2016—2019 年觉华岛周边海域生态环境监测结果，并结合期间大规模海洋开发活动，分析了觉华岛国家级海洋公园海域环境变化趋势。结果表明：2016—2019 年，觉华岛周边海域水质要素监测结果均符合《海水水质标准》中的二类标准，沉积物要素监测结果均符合《海洋沉积物质量》中的一类标准。水质与沉积物大部分监测要素的平均含量年际变化呈先降低再上升的变化趋势，生物环境状况整体水平变化情况与水质和沉积物的变化趋势有良好的对应关系，说明海洋工程建设对觉华岛国家级海洋公园海域生态环境造成了一定的负面影响，但影响程度不大。

关键词：觉华岛；国家级海洋公园；海洋工程；海域生态环境；影响

中图分类号：P76；X5　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2021)03－0033－06

Study on the Influence of Ocean Engineering on the Marine Ecological Environment of Juehuadao Island National Marine Park

ZHANG Xue[1], ZHANG Yun[2,3], WU Yingchao[2,3], ZHANG Xiao[2],
GONG Yanjun[2,3], YOU Guangran[2,3], KONG Zhongren[2,3]

(1. Affairs Service Center of Natural Resources of Liaoning Province, Shenyang 110001, China; 2. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China; 3. Dalian Key Laboratory of Study on the Development and Protection of Sea Area and Island, Dalian 116023, China)

Abstract: Based on the monitoring results of ecological environment in the sea area around Juehuadao island in 2016—2019, combined with the large-scale marine development activities during the period, the paper analyzed the changing trend of marine environment in sea area of Juehuadao Island National Marine Park. The results showed that the water quality of the investigated areas reached the second-class water quality according as The Chinese National Standard of Seawater Quality in 2016—2019, and the sedimentary quality of the investigated areas reached the first-class sedimental quality according as The Chinese National Standard of Sediment Quality. The average content of most monitoring elements of water quality and sediment decreased first and then

收稿日期：2020-04-22；**修订日期**：2021-02-24

基金项目：辽宁省自然科学基金项目(20180551164).

作者简介：张雪，工程师，研究方向为海洋生态学

通信作者：张云，高级工程师，硕士，研究方向为海洋资源开发利用与保护

increased, and the overall level of biological environment had a good corresponding relation with the change trend of water quality and sediment, which indicated that the marine engineering construction has a certain negative impact on the marine ecological environment of Juehuadao Island National Marine Park, but the impact was not significant.

Keywords: Juehuadao Island, National Marine Park, Ocean engineering, Sea area ecological environment, Influence

0 引言

近几年，随着科学技术的不断发展，人类对海洋的开发利用程度也在不断增大[1]。由于开发方式粗放，缺乏科学管理，致使海洋生态环境出现了很多问题，主要体现在海水水质恶化、沉积物质量降低、水动力环境改变、海洋生物物种及生物量减少等方面[2-9]。目前，以海岛为基础的国家海洋公园建设是保护海洋生态环境的有效措施之一[10]。海洋公园建设是通过海洋生态环境保护，兼顾海洋景观开发、海洋研究、休闲娱乐及环境教育为一体的发展模式，使海洋生态环境保护与社会经济发展同时兼顾，受到社会各界的普遍认可[11]。自 1963 年我国第一个海洋保护地——辽宁蛇岛老铁山国家级自然保护区建立以来，经过 50 余年的发展，我国已初步建成了以海洋自然保护区、海洋特别保护区（含海洋公园）为代表的海洋保护地网络，在保护海洋生态环境和生物多样性、推动陆海统筹、维护国家海洋权益等方面发挥了重要作用。截至 2018 年年底，我国共建各级各类海洋自然保护地 271 处，涉及沿海 11 个省、市、自治区，总面积达 12.4 km^2，其中国家级 106 处[12]。

觉华岛位于辽宁省葫芦岛兴城市海域，是渤海辽东湾第一大岛屿。2014 年国家海洋局批准成立觉华岛国家级海洋公园。公园总面积为 10 249 hm^2，其中海岛面积为 1 463 hm^2（包括觉华岛、磨盘山岛、张家山岛、杨家山岛），占海洋公园总面积的 14.27%。海洋公园的建立在一定程度上可统筹觉华岛群岛的开发与保护，最大限度地发挥区域和资源环境优势，引导海岛的合理开发利用，实现海岛资源环境的可持续发展。近几年，为提高中央分成海域使用金使用效益，增强我国管辖海域海岛管理能力和水平，国家在觉华岛周边海域开展了一系列海洋开发项目，兴建了一批海洋工程。因此，了解海洋工程建设对海洋环境造成的影响，加强海域环境管理显得尤为重要。本研究根据 2016—2019 年在海洋工程建设前、中、后的海域现场监测结果，分析及评价觉华岛海洋公园海域生态环境变化情况，为海域环境管理和污染控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究分别于 2016 年 6 月、2017 年 6 月、2019 年 6 月利用“辽葫渔 25038”号调查船在觉华岛周边海域采集海水、沉积物及生物样品，调查区域与站位见图 1。调查与站位布设方法依据《海洋调查规范》[13]，样品的采集、保存、运输和分析按照《海洋监测规范》[14]的相关规定执行。

水质指标包括 pH、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、无机氮（DIN）、活性磷酸盐（PO_4-P）、汞（Hg）、铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）和石油类；沉积物指标包括有机碳、硫化物、石油类、汞（Hg）、铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、砷（As）；生物指标包括浮游植物、浮游动物、底栖生物的种类数、密度、生物量及香农-威纳指数。

1.2 水质要素评价方法

海水水质评价采用单因子质量指数法[15]和内梅罗水质综合评价法[16]。化学需氧量（COD）、无机氮（DIN）、活性磷酸盐（PO_4-P）、汞（Hg）、铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）和石油类的计算公式如下：

$$I=\sqrt{\frac{(I_{max}^{i})^{2}+(I_{avc})^{2}}{2}}$$

$$I_{avc}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_{i}\qquad I_{i}=\frac{C_{i}}{C_{Si}}$$

式中：I 为内梅罗指数；I_{max}^{i} 为所有评价因子中污染指数最大值；I_{avc} 为所有评价因子的污染指数平均

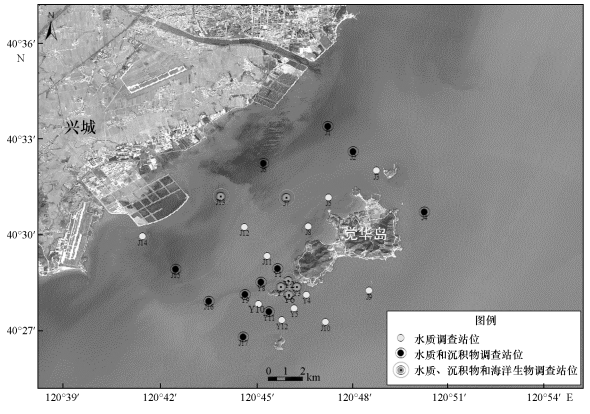

图 1　研究区域与监测站位分布

值；I_i 为第 i 项评价因子的污染指数；C_i 为某污染因子的实测值；C_{Si} 为某污染因子引用的评价标准值。

对于评价因子 DO 和 pH，其计算公式有所不同。DO 质量指数计算公式为：

$$I_{DO}=|C_f-C|/(C_f-C_0)\text{，当 }C>C_0$$

$$I_{DO}=10-9C/C_0\text{，当 }C\leqslant C_0$$

式中：C_f 为现场温度、盐度条件下水中氧饱和含量；C_0 为溶解氧的评价标准值；C 为溶解氧实测值。

pH 质量指数计算公式为：

$$I_{\mathrm{pH}}=|2C-C_{下限}-C_{上限}|/(C_{上限}-C_{下限})$$

式中：$C_{下限}$ 为 pH 评价标准值下限；$C_{上限}$ 为 pH 评价标准值上限；C 为 pH 实测值。

本研究采用第二类海水水质标准（GB3097—1997）[17]。一般来说，如果 $I\leqslant 1$，说明环境质量较好，水体较清洁；如果 $I>1$，则说明环境质量较差，水体受到了污染。

1.3　沉积物要素评价方法

沉积物质量评价采用单因子质量指数法[15]和综合污染指数法[18]，评价模式为：

1.3.1　单因子评价

单因子评价依据质量分数模式进行，其计算公式为：

$$P_i=\frac{C_i}{C_{Si}}$$

式中：P_i 为第 i 项评价因子的污染指数；C_i 为某污染因子的实测值；C_{Si} 为某污染因子引用的评价标准值。

1.3.2　多因子评价

多因子评价采用加权评价模式，即把各污染因子的质量分数乘以各因子的权重值，再综合成沉积物的环境质量总指数，然后进行评价。其计算公式为：

$$I_{SQJ}=\sum_{i=1}^{n}W_iP_i$$

式中：I_{SQJ} 为沉积物的环境质量总指数；W_i 为污染因子的权重值，$\sum W_i=1$；P_i 为 i 污染因子的质量分指数。

1.3.3　权重值计算

权重值代表各个污染因子对环境质量影响程度的比重分配。权重值可以根据污染因子的环境可容纳量来确定，其计算公式为：

$$W_i=(1/K_i)/\sum(1/K_i)$$

式中：K_i 为 i 污染因子的环境可容纳量，可由评价标准（S_i）和背景值（C_{0i}）来确定，其计算公式为：

$$K_i=(S_i-C_{0i})/C_{0i}$$

本研究采用第一类海洋沉积物质量标准（GB18668—2002）[19]。与水质评价相同，若 $I\leqslant 1$，说明环境质量较好，沉积物清洁；如果 $I>1$，则说明环境质量较差，沉积环境受到了污染。

1.4　生物要素评价方法

本研究采用香农-威纳指数对海洋生物进行分析，计算公式为：

$$H'=-\sum_{i=1}^{S}(P_i\times\log_2 P_i)$$

式中：H' 为香农-威纳种类多样性指数；S 为样品中的种类数；P_i 为第 i 种的个体数（n_i）与总个体数（N）的比值。

一般来说，H' 值越高，海洋环境越好；H' 值低则说明海洋环境受到污染[20]。

2　结果与讨论

2.1　海水水质评价及变化趋势分析

影响海水水质环境质量的因素有很多，如工业废水与生活污水的排放，海水养殖过程产生的废水以及船舶的泄露与倾废等，由于评价区域是国家级海洋类型特别保护区，管理尤其严格，对入海废弃物处理标准要求非常高，故本研究忽略上述因素对海水水质的影响，仅考虑海洋工程的影响作用。

2016 年、2017 年、2019 年，各水质监测要素均符合二类标准，质量等级均为清洁。水质质量指数

变化范围分别为 0.26～0.82、0.41～0.78、0.31～0.76，平均值分别为 0.41、0.55、0.50，说明海域水质质量先降低再升高，但变化幅度不大。具体表现为 pH、DO 平均含量无明显变化，COD 在小幅范围内波动，磷酸盐、无机氮和石油类变化相对比较明显，呈先增大后减小的变化趋势（图 2）。重金属平均含量整体水平较低，从大到小依次为锌、铜、铅、镉、汞。整体变化趋势相同，为先增大后减小（图 3）。

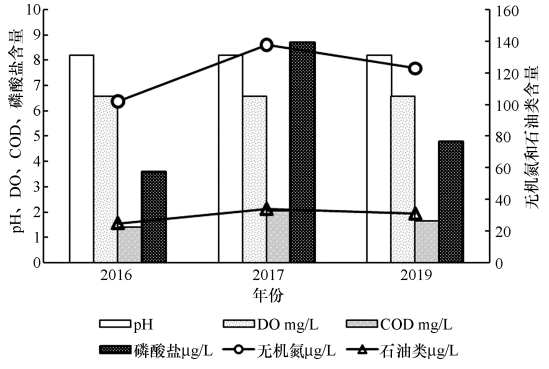

图 2 2016—2019 年觉华岛周边海域海水监测要素平均含量变化

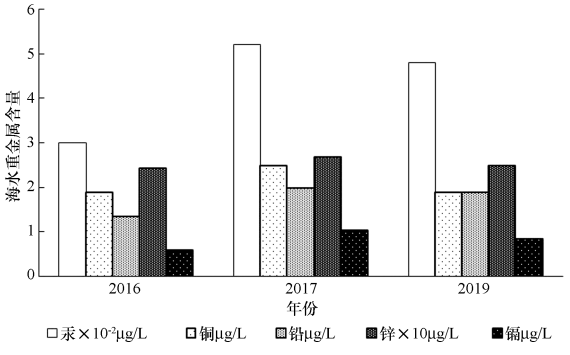

图 3 2016—2019 年觉华岛周边海域海水重金属平均含量变化

综上所述，2016—2019 年海洋工程的建设造成了觉华岛周边海域水质环境中磷酸盐、无机氮、石油类以及重金属含量在某时段内增高，但均未超过海水二类水质标准，水质保持清洁状态。可见，海洋工程建设对觉华岛周边海域水质造成了一定负面影响，但影响较小。

2.2 海洋沉积物评价及变化趋势分析

海洋工程在施工过程中，可能将油类和重金属带入沉积物中，会成为慢性污染源，导致沉积物中的油类、重金属等污染物含量上升[21]。

2016 年、2017 年、2019 年，各沉积物监测要素均符合一类标准，质量等级均为清洁。沉积物综合指数变化范围分别为 0.13～0.51、0.12～0.69、0.12～0.71，平均值分别为 0.25、0.39、0.34，说明海域沉积质量先降低再升高，但变化幅度不大。具体表现为沉积物中有机碳、硫化物、石油类的平均含量呈先增大再减小的变化趋势（图 4）。除汞外，其他重金属的含量变化与有机碳和硫化物变化相同（图 5），这是由于水体中重金属易与有机物、硫化物结合形成有机络合物与硫化物而沉淀在沉积物中所致[22]，而汞的含量 2016—2017 年呈增加趋势，2017—2019 年无明显变化。

综上所述，2016—2019 年海洋工程建设造成了觉华岛周边海域沉积物环境中有机碳、硫化物、石油类以及重金属含量在某时段内增高，但均未超过沉积物一类标准，沉积环境保持清洁状态。可见，海洋工程建设对觉华岛周边海域沉积物造成了一定影响，但影响程度不大。

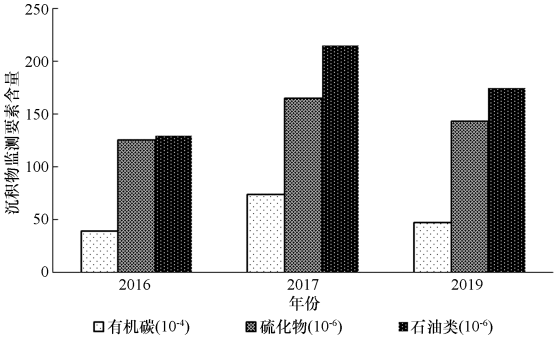

图 4 2016—2019 年觉华岛周边海域沉积物监测要素平均含量变化

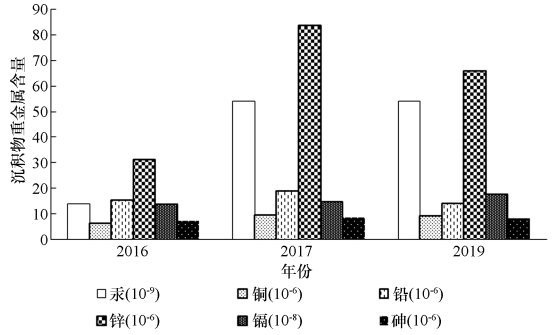

图 5 2016—2019 年觉华岛周边海域沉积物重金属平均含量变化

2.3　海洋生物评价及变化趋势分析

2016 年、2017 年、2019 年，觉华岛周边海域浮游植物种类、密度、生物量和香农-威纳指数呈先减少再增大的趋势，浮游动物和底栖生物种类数变化不大，密度、生物量和香农-威纳指数也呈先减少再增大的趋势（表 1）。由于海洋生物种类、密度、生物量、群落结构等与很多因素相关，如调查期间的温度差异、水文条件不同均会引起其发生变化，故本研究不能完全反映海洋工程建设对其产生的影响，若要进一步了解还需进行更深入和持久的研究。

蔡立哲等[20]认为环境质量变化会影响生物种群结构，而香农-威纳指数是生物种群结构的重要指标之一，故可根据香农-威纳指数判别海洋环境质量状况。根据上述分析，研究海域生态环境质量变化趋势为先降低再增高，这与水质、沉积物的评价结果一致。

表 1　2016 年、2017 年、2019 年觉华岛周边海域海洋生物指标

海洋生物	指标		2016 年 6 月	2017 年 6 月	2019 年 6 月
浮游植物	种类数		25	20	23
	密度/($\times10^4$cells·m^{-3})	范围	6.2～27.5	5.3～29.7	4.7～25.8
		平均值	17.5	14.7	16.8
	香农-威纳指数	范围	0.36～2.71	0.28～2.65	0.2～2.61
		平均值	1.67	1.15	1.77
浮游动物	种类数		16	15	15
	密度/(ind.·m^{-3})	范围	1 104.17～12 281.25	743.63～10 007.53	955.36～15 507.81
		平均值	7 573.83	6 638.09	7 651.09
	生物量/(mg·m^{-3})	范围	388.3～6 360.0	228.24～4 275.00	333～6 455.00
		平均值	3 738.5	2 651.09	3 688
	香农-威纳指数	范围	1.00～3.88	1.62～3.04	1.62～3.84
		平均值	3.11	2.43	3.03
底栖生物	种类数		40	40	40
	密度/(ind.·m^{-2})	范围	85～680	15～475	65～705
		平均值	193	180	208
	生物量/(g·m^{-2})	范围	16～148	12～105	22～195
		平均值	23.9	17.8	25.1
	香农-威纳指数	范围	2.89～3.68	2.54～3.29	2.56～3.50
		平均值	3.49	3.01	3.11

3　结论

2016—2019 年，本研究对觉华岛周边海域监测结果表明，水质监测要素均符合《海洋水质标准》第二类水质标准，沉积物监测要素均符合《海洋沉积物质量》一类标准。水质和沉积物的大部分监测要素平均含量年际变化均呈先降低再增加的变化趋势。海洋生物物种数年际变化不大，在一定范围内波动，密度、生物量、香农-威纳指数年际变化趋势与水质和沉积物变化基本相同。说明海洋工程建设对觉华岛国家级海洋公园海域生态环境造成一定负面影响，但影响程度不大。

参考文献

[1]　康婧，付元宾，杜宇，等.大连长山群岛国家级海洋公园建设对我国海岛保护区管理的启示[J].海洋开发与管理，2017，34(7)：27－32.

[2]　孔梅，黄海军，高兴国，等.长海县海岛开发活动的环境效应评价[J].海洋科学，2010，34(10)：96－100

[3]　张秋丰，靳玉丹，李希彬，等.围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展[J].海洋科学进展，2017，35(4)：454－461.

[4] 谢挺,胡益峰,郭鹏军.舟山海域围填海工程对海洋环境的影响及防治措施与对策[J].海洋环境科学,2009,28(1):105－108.

[5] 孙元敏,陈彬,俞炜炜,等.海岛资源开发活动的生态环境影响及保护对策研究[J].海洋开发与管理,2016,33(6):85－89.

[6] 孙兆明,马波,张学忠.我国海岛可持续发展研究[J].山东社会科学,2010(1):110－114.

[7] 季荣耀,陆永军,左利钦.岛屿海岸工程作用下的水沙动力研究[J].水科学进展,2008,19(5):640－649.

[8] 李莉.长兴岛国家级经济技术开发区生态环境脆弱性分析[D].大连:辽宁师范大学,2011.

[9] 陈娟,王风维,刘阳.中国海岛旅游开发中的环境问题研究[J].安徽农业科学,2011,39(35):21858－21860.

[10] 王恒,李悦睁,邢娟娟,等.国外国家海洋公园研究进展与启示[J].经济地理,2011,31(4):673－679.

[11] 王恒.国家海洋公园选址研究:以大连长山群岛为例[J].自然资源学报,2013,28(3):492－503.

[12] 张红梅.我国各级各类海洋自然保护地达 271 处[EB/OL].(2019-06-05)[2020-02-01]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/05/content-5397578.htm

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB12763－2007 海洋调查规范[S].北京:中国标准出版社,2007.

[14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB17378－2007 海洋监测规范[S].北京:中国标准出版社,2007.

[15] 国家环境保护总局环境工程评估中心.环境影响评价技术导则与标准汇编[M].北京:中国环境科学出版社,2005.

[16] NEMEROW N L.Scientific stream pollution analysis[M].New York:Script Book Co,1974:210－231.

[17] 国家环境保护局.GB3097－1997 海水水质标准[S].北京:中国标准出版社,2002.

[18] 陆书玉.环境影响评价[M].北京:高等教育出版社,2001.

[19] 国家质量监督检验检疫总局.GB18668－2002 海洋沉积物质量[S].北京:中国标准出版社,2002.

[20] 蔡立哲,马丽,高阳,等.海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J].厦门大学学报(自然科学版),2002,41(5):641－645.

[21] HOLDWAY D A.The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production and tropical marine ecological process[J].Marine Pollution Bulletin,2002,44(3):185－203.

[22] 王蕴,蔡明刚,黄东仁,等.福建牙城湾海水、沉积物的环境特征及其质量评价[J].海洋环境科学,2009,28(1):22－25.