

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 相关概念理论.....	2
1.2.1 生态安全概念.....	2
1.2.2 海洋生态安全概念.....	3
1.3 国内外研究进展.....	3
1.3.1 生态安全研究进展.....	3
1.3.2 海洋生态安全评价研究进展.....	5
1.3.3 港口建设对生态环境影响研究进展.....	6
1.4 研究内容与方法.....	8
1.4.1 研究内容.....	8
1.4.2 研究方法.....	8
1.4.3 技术路线.....	10
1.5 数据来源.....	11
第二章 研究区域概况.....	12
2.1 社会经济概况.....	12
2.2 自然环境概况.....	12
2.2.1 地质地貌.....	12
2.2.2 气象气候.....	13
2.2.3 生态环境.....	13
2.3 腰沙-冷家沙海域概况.....	13
2.3.1 地理位置及评价范围.....	13
2.3.2 资源现状.....	17
2.3.3 敏感目标.....	18
2.4 腰沙-冷家沙海域港口建设概况.....	19
2.4.1 工程内容及规模.....	19

2.4.2 港口其他功能区	21
第三章 腰沙-冷家沙海域生态环境调查监测与对比分析	22
3.1 监测调查内容	22
3.1.1 监测内容	22
3.1.2 监测规范与方法	25
3.2 海水水质监测结果与对比分析	27
3.3 海洋生态监测结果与对比分析	29
3.4 本章小结	31
第四章 腰沙-冷家沙海域生态安全评价	32
4.1 构建 PSR 评价模型	32
4.2 确定评价指标体系	34
4.2.1 指标选取原则	34
4.2.2 评价指标释义	36
4.2.3 计算指标权重	38
4.3 生态安全评价	47
4.3.1 生态安全等级划分	47
4.3.2 综合评价法	48
4.3.3 生态安全评价	50
4.4 本章小结	50
第五章 腰沙-冷家沙海域生态安全预测及影响分析	51
5.1 生态安全预测	51
5.1.1 灰色 GM (1,1) 模型	51
5.1.2 预测结果	53
5.2 生态安全的影响因素研究	55
5.2.1 灰色关联度法	55
5.2.2 基于子系统的影响分析	56
5.3 本章小结	58
第六章 腰沙-冷家沙海域生态保护措施和工程实施建议	60
6.1 海域生态环境保护措施	60
6.1.1 减缓生态安全压力	60
6.1.2 改善生态安全状态	60
6.1.3 提高生态安全响应	61
6.2 港口建设实施建议	61

6.3 本章小结	63
第七章 结论与展望	64
7.1 主要结论	64
7.2 特色与创新	65
7.3 不足与展望	65
参考文献	66
致 谢	71

表目录

表 2-1 评价范围四至坐标	16
表 2-2 评价周边生态环境敏感目标	19
表 3-1 腰沙-冷家沙海域生态环境调查内容	22
表 3-2 监测站位点	23
表 4-1 基于 PSR 模型的腰沙-冷家沙海域生态安全指标体系	35
表 4-2 相对重要性取值	40
表 4-3 判断矩阵	40
表 4-4 随机一致性的指标 RI 取值标准	41
表 4-5 B-A 判断矩阵	43
表 4-6 C-B1 判断矩阵	43
表 4-7 C-B2 判断矩阵	43
表 4-8 C-B3 判断矩阵	43
表 4-9 AHP 法标权重计算结果	44
表 4-10 熵值法指标权重计算结果	45
表 4-11 组合权重计算结果	46
表 4-12 生态安全指数等级	48
表 4-13 腰沙-冷家沙海域生态安全指数（2011-2019 年）	49
表 5-1 GM（1,1）模型适用范围	54
表 5-2 腰沙-冷家沙海域生态安全指数指数预测(2010-2019 年)	55

图目录

图 1-1 研究技术路线	10
图 2-1 腰沙-冷家沙海域与南通港地理位置	14
图 2-2 江苏省海洋主体功能分区图	15
图 2-3 腰沙-冷家沙沙洲及周边滩涂	16
图 2-4 腰沙-冷家沙海域生态安全评价区卫星遥感影像	17
图 2-5 生态安全评价区与敏感目标叠图	18
图 2-6 腰沙-冷家沙海域围填海分期实施示意图	20
图 3-1 三个时期腰沙-冷家沙海域生态环境调查监测站位叠图	23
图 4-1 PSR 模型体系	33
图 4-2 腰沙-冷家沙生态安全评价指标体系图	36
图 4-3 AHP 法流程图	39
图 4-4 压力、状态、响应系统指数变化	49
图 4-5 2011-2019 腰沙-冷家沙海域生态安全指数变化	50
图 5-1 2011-2030 年腰沙-冷家沙海域生态安全变化	55
图 5-2 压力子系统的指标关联度	57
图 5-3 状态子系统的指标关联度	58
图 5-4 响应子系统的指标关联度	59

摘 要

海洋生态安全是国家安全的重要组成部分。随着沿海地区城市化和工业化进程不断推进,海岸带的生态安全受到严重威胁。规模化的港口开发建设引发了众多海洋生态问题,加剧了港口资源利用矛盾和冲突,也制约了区域生态环境和经济可持续发展。目前南通港腰沙-冷家沙海域周边已建立沿海工业园,人类活动干扰频繁,生态系统功能有不断退化的趋势。因此,通过研究生态安全评价理论方法,评价该海域生态安全状况、预测生态安全变化、探究主要影响因素、提出生态保护措施,为区域海洋环境管理决策者提供理论指导与建议。

本文以腰沙-冷家沙海域为研究对象,引入 PSR (Pressure - State - Response) 评价模型,构建基于压力、状态、响应系统的指标体系;利用层次分析法和熵权法确定指标权重;采用综合评价法得到 2011~2019 年腰沙-冷家沙海域生态安全指数和生态安全等级;借助 GM (1,1) 模型预测和灰色关联度方法预测未来十年该海域生态安全变化趋势;结合灰色关联度方法探究三个子系统的驱动影响因素。本文主要研究内容及结论如下:

1、腰沙-冷家沙海域生态环境变化研究,监测结果显示,该海域 2011~2018 年生态系统功能有退化的趋势。2011 年海水水质优于 2018 年,其中无机氮和活性磷酸盐超标明显;该海域生物多样性减少;海洋生物种类减少;平均生物量降低明显。分析得到生态环境质量下降与填海造陆等港口建设、海洋资源开发利用有关。

2、基于 PSR 模型选取 20 个评价指标,综合评价腰沙-冷家沙海域生态安全状况。

从生态安全等级来看,2011~2019 年生态安全等级发生降级,2013 年从“安全”下降到“预警”状态,该变化趋势与 2013 年开始的港口规模化开发建设有关。

从生态安全指数来看,状态系统对生态安全的影响最大,响应系统最小。生态安全状况随着时间变化呈现先降低后缓慢上升的趋势。2011 年生态安全指数最高,为 0.602,2015 年生态安全指数最低,与 2011 年相比下降了 15.46%。

3、生态安全预测结果表明,腰沙-冷家沙海域生态安全将在 2020~2030 年间呈现不断增长趋势,2030 年达到“安全”状态。2020~2025 年生态安全状况逐渐变好,但 2020~2022 年仍处于“预警”状态,2024 年生态安全指数超过 0.6,达到“良好”状态,但 2024 年开始增长幅度有所减缓,2026~2028 年生态安全增长幅度最快,达到 27.6%。

压力、状态、响应系统的主导因素研究,关联度计算结果表明,压力系统、状态系统、响应系统重关联度最高的因素分别为 D3(工业废水排放量)、D8(滩涂淤积均值)和 D17(第三产业占 GDP 比重),在压力系统影响下,可以通过加强港口建设环境治

理、加大生态敏感区保护力度和调整海洋产业结构等改善腰沙-冷家沙海域生态安全状况。

4、生态保护措施和港口开发建议研究，根据腰沙-冷家沙海域生态安全评价和预测分析结果，通过减缓经济、环境和人为压力，改善海域生态环境质量提升生态安全等级，扩大社会和经济响应力度，不断优化围填海工程和改进港区环保措施，实现港口建设和生态环境可持续发展。

关键词：生态安全评价；PSR 模型；港口建设；腰沙-冷家沙海域

STUDY ON ECOLOGICAL SECURITY ASSESSMENT OF YAOSHA-LENGJIASHA SEA AREA

ABSTRACT

Marine ecological security is an important part of national security. Along with the urbanization and industrialization of coastal areas, the ecological security of coastal zones has been seriously threatened. Large-scale port development and construction have caused many Marine ecological problems, aggravated the contradiction and conflict of port resources utilization, and restricted the sustainable development of regional ecological environment and economy. At present, a coastal industrial park has been established around Yaosha-Lengjiasha sea area of Nantong port, which is frequently disturbed by human activities and has a tendency of continuous degradation of ecosystem functions. Therefore, through the study of ecological security evaluation theory and methods, the ecological security status of the sea area is evaluated, the changes of ecological security are predicted, the main influencing factors are explored and ecological protection measures are put forward, so as to provide theoretical guidance and suggestions for the decision makers of regional Marine environment management.

This paper takes Yaosha-Lengjiasha sea area as the research object, introduces PSR (Pressure-state-Response) evaluation model, and constructs an index system based on Pressure, State and Response system. Ahp and entropy weight methods are used to determine the index weight. The ecological security index and ecological security level of Yaosha-Lengjiasha sea area from 2011 to 2019 were obtained by comprehensive evaluation method. GM (1,1) model prediction and grey correlation degree method are used to predict the trend of ecological security in the sea area in the next ten years. The driving factors of the three subsystems are explored by using grey correlation degree method. The main research contents and conclusions of this paper are as follows:

1. Study on ecological environment changes in Yaosha-Lengjiasha Sea area, and the monitoring results show that the ecosystem functions in this sea area have a trend of continuous degradation from 2011 to 2018. The water quality in 2011 was better than that in 2018, and inorganic nitrogen and active phosphate exceeded the standard obviously. The biodiversity index of the sea area is poor. The decline in Marine species; The average biomass decreased significantly. The analysis shows that the decline of ecological

environment quality is related to the construction of port such as land reclamation and the exploitation and utilization of Marine resources.

2. Based on THE PSR model, 20 evaluation indexes were selected to comprehensively evaluate the ecological security status of Yaosha-Lengjiasha sea area.

From the perspective of ecological security levels, the ecological security level has been downgraded from 2011 to 2019, and dropped from "safe" to "early warning" in 2013. This trend is related to the large-scale port development and construction since 2013.

From the perspective of ecological security indexes, the state system has the greatest impact on ecological security, while the response system has the least. The status of ecological security decreased firstly and then increased slowly with the change of time. The ecological security index was the highest in 2011 (0.602) and the lowest in 2015 (15.46% lower than that in 2011).

3. The ecological security prediction results shows that the ecological security of Yaosha-Lengjiasha sea area shows a growing trend from 2020 to 2030, and reach the "safe" state in 2030. The ecological security gradually improved from 2020 to 2025, but it was still in the "early warning" state from 2020 to 2022. The ecological security index exceeded 0.6 in 2024, reaching the "good" state. However, the growth rate slows down in 2024, and the ecological security increased the fastest from 2026 to 2028, reaching 27.6%.

The results of correlation degree calculation show that the factors with the highest correlation degree of pressure system, state system and response system are D3(discharge of industrial wastewater), D8 (mean value of tidal flat deposition) and D17 (proportion of tertiary industry in GDP) respectively. Under the influence of pressure system, The ecological security of Yaosha-Lengjiasha sea area can be improved by strengthening environmental management of port construction, strengthening protection of ecologically sensitive areas and adjusting Marine industrial structure.

4. Research on ecological protection measures and port development proposals. According to the results of ecological security evaluation and forecast analysis in Yaosha-Lengjiasha sea area, by alleviating economic, environmental and human pressures, improving the quality of the marine ecological environment, improving the ecological security level, expanding social and economic response, and continuously optimizing the reclamation projects and improving Environmental protection measures in the port area to achieve sustainable development of port construction and ecological environment.

KEY WORDS: Ecological security evaluation; PSR model; Port construction; YaoSha - Lengjia Sha Sea area

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

生态安全属于国家安全的十六个基本内容之一，其内涵包含自然、经济和社会三个层面^[1]，从范围上可划分为全球生态安全、区域生态安全和微观生态安全等层次，区域生态安全主要由海域、陆域和空域组成^[2]。21 世纪是海洋世纪，海洋是地球生命的摇篮，也是人类生存与发展的重要空间，同时也是带动国家经济发展、社会进步的重要领域^{[2][3]}。海洋生态安全是提升沿海地区综合发展的关键，是实现国家政治、经济、文化、生态共同可持续发展的重要保障^[4,5]。近半个世纪以来，人们不断地将土地空间延伸至海岸带^[6]，规模化的港口开发建设引发了众多生态问题^[7,8]。海洋环境恶化一方面由于经济发展使得人们需求增长，另一方面由于海洋资源稀缺、海洋生态环境脆弱不易恢复，加之人们对海洋生态保护意识不足和持续的港口开发建设，不同程度地影响了渔业、港航及旅游等发展，加剧港口资源利用矛盾和冲突，使资源利用与临港产业之间矛盾爆发，也制约了沿海地区生态、经济可持续发展^[9]。

日益突出的海洋生态安全问题已经成为世界性的话题，在“共建地球生命共同体”“海洋命运共同体”的时代背景与“生物多样性大会”等国际会议的召开下，联合国环境规划署呼吁采取紧急行动，应对生态环境的挑战。近年我国生态文明建设力度空前，党的十八大以来，党中央在维护国家安全部署的新举措中，将构建国家安全体系作为一项重大战略任务。习近平总书记指出要构建政治安全、国土安全、军队安全相统一的国家安全体系。党的十九大报告中强调发展经济要以生态环境的保护为前提。2021 年 12 月国务院批复《“十四五”海洋经济发展规划》，加快构建现代海洋产业体系，优化海洋经济空间布局，协调推进海洋资源保护与开发，统筹海洋发展和安全。

腰沙-冷家沙海域位于南通港通州湾港区，港口功能以运输为主，如散杂货、液化品、煤炭等货类运输。重点布局船舶、海洋工程及重装备、新能源、石化等港口产业。目前在该海域已经相继建立了沿海工业园，大量的围海造田、海水养殖等人类活动干扰频繁，生态系统功能有不断退化的趋势。因此，通过对海洋生态安全的影响研究可以分析、预测一定范围内人类活动和工程扰动下海洋生态环境产生的变化趋势和影响因素，缓解生态安全与资源利用、社会经济发展之间的矛盾，为区域海洋环境管理决策者提供理论指导^[10-13]，实现腰沙-冷家沙地区资源、环境、经济和社会可持续发展提供了理论支撑。

1.1.2 研究意义

1.1.2.1 理论意义

生态安全是国家安全重要组成部分。生态安全评价是区域生态安全研究的基础与前提, 对一个国家或地区经济发展、资源的合理利用和生态环境保护具有重要意义。目前国内外海洋生态安全研究领域尚不成熟。我国对主要省区、重点区域生态安全状况的研究不足, 对生态安全理论与实践的研究还不够深入, 且生态安全评价多以定性分析为主。对腰沙-冷家沙海域生态安全进行时间序列的定量化评价, 以揭示该区域海洋生态安全状况及其动态演变特征, 为港口建设影响下的生态安全评价模型选取、指标体系构建等研究提供思路与研究基础, 本文的研究思路和成果可以丰富生态安全理论相关内涵, 研究模式与方法对类似海域的生态安全评估具有一定的参考价值。

1.1.2.2 现实意义

全球 1/3 以上的沿海地区正遭遇着不同程度的生态威胁^[14], 人与资源、环境之间关系的严重失衡而引发众多社会安全问题。海洋生态安全稳定促进海洋生态保护与社会经济协调发展, 是实现各国政治、经济、文化、生态可持续发展的重要保障。在如今构建“海洋命运共同体”的时代背景下, 呼吁人们关注海洋生态环境既响应了时代需求, 又引导人们科学、合理、有序使用海域, 对促进人类与自然和谐共处具有深远意义。

合理开发海洋资源、保护海洋生态环境、促进海洋生态安全是我国建设海洋强国的重要任务^[15]。根据“十四五”江苏省国民经济和社会发展规划, 通州湾港区是带动江苏沿海地区开发开放的重要战略支点, 本次研究有助于推动南通港口及周边港口结构调整和转型升级, 推动南通港港口可持续发展^[16],

目前在腰沙-冷家沙海域由于人类活动干扰频繁, 生态系统功能有不断退化的趋势。因此, 通过开展生态安全评估研究, 利于恢复当地海域生态系统, 针对工程和海域特点提出相应的施工建议和生态安全治理方向, 指导腰-沙冷家沙海域用海规划工作开展^[17], 为区域海洋环境管理决策者提供理论指导与建议。

1.2 相关概念理论

1.2.1 生态安全概念

生态安全指复合的生态系统受到外界压力破坏或损害时, 系统所具备功能仍满足人类发展需求、维持社会可持续发展的状态。广义上的生态安全概念以 1989 年国际应用系统分析研究所 (IIASA) ^[18]提出的定义为代表: 生态安全是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能

力等方面不受威胁的状态，包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全，组成一个复合人工生态安全系统。狭义上的生态安全概念指自然和半自然生态系统自身的安全，反映的是生态系统的完整程度和健康水平^[19]。

1.2.2 海洋生态安全概念

海洋生态安全作为一种自然属性的非传统安全，指与人类生存、生活和生产活动相关的海洋生态处于良好的状态或不遭受不可恢复的破坏^[20]，海洋生态具体包括海洋环境、海洋生物、海洋生态系统三个方面。其主要含义是经济可持续发展的维持能力没有受到海洋资源种类或质量的减少和海洋环境质量下降等因素的影响，人们的生活水平和社会环境处于良好、和谐状态^[21]。海洋生态安全具有复杂性、脆弱性、动态性、滞后性等特点。

1.3 国内外研究进展

1.3.1 生态安全研究进展

1.3.1.1 生态安全概念研究

早在 1977 年，被誉为“环境运动宗师”的美国学者莱斯特·布朗就提出将安全概念与环境变化相联系，他认为有必要重新界定国家安全这一概念^[18]。直到 1989 年，国际应用系统分析研究所（IIASA）才首次正式定义“生态安全”：指在人类健康生活、确保基本权利、保障必要资源、维系社会秩序以及适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态，包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全^[22, 23]。同年，学者 Westing 对这一概念进行补充，他指出生态安全还要包括政治安全与环境安全^[23]。进入 90 年代末期，环境与安全问题的范围已超出学术范围，学术界与公共政策界产生了争论。不同国家提出自己的生态安全定义、响应与政策，推动了环境与生态安全关系与政策研究进展^[24]。联合国在 2000 年召开了关于生态变化、稳定的社会秩序和文化会议，明确了生态安全是国家乃至国际安全的重要组成部分。这标志着生态安全已经在全球范围内得到重视。目前国外对生态安全概念研究已经到了深层次的内在关系探讨，并密切全球环境恶化带来的危害^[25]。

国内对生态安全的研究起步较晚，直到 20 世纪 90 年代后期才逐渐被学者们重视。国务院于 2000 年正式颁布《全国生态环境保护纲要》，我国首次提出了维护国家生态安全的总体目标，将保障国家生态安全作为胜过他保护的首要目标与任务^[26]。程漱兰朝对国家生态安全概念、特点和衡量标准等方面做了论述，提出了实现国家生态安全的条件和机制^[27]。崔胜辉^[28]提出生态安全的本质对生态风险和生态脆弱性。生态风险表示影响、危害环境的潜在因素与后果，而生态脆弱性是生态安全的重点，通过脆

弱性分析和评价找到生态安全的威胁因子,研究其响应机制和响应对策。曲格平在讨论了生态安全的概念后,介绍了影响我国生态安全问题和生态安全问题的特点,并提出我国生态安全的战略重点和措施^[29]。

从定义来看,广义的生态安全指为了维护人类安全、健康和发展,地球资源和环境的有效保护和利用而应该具有的发展状态或水平^[30]。狭义的生态安全指人类生态系统的安全,以人类生存环境为对象,是维持自然和半自然生态系统的安全^[31]。总之,国内外学者对生态安全概念有许多不同的认识,但存在两方面的局限,一是忽略了生态安全脆弱性特征,往往只考虑生态风险,二是没有意识到生态安全是随着时空间变化在不断变化的一种动态过程。

1.3.1.2 生态安全内容研究

(1) 生态安全范围

生态安全包含自然、经济和社会复合的三个方面,表示生态系统受到外界影响时,系统所具备功能仍满足人类发展需求、维持社会可持续发展的状态^[1]。国外对生态安全研究有较长的历史。第一阶段始于 20 世纪 40 年代,Leopold 在对土地生态功能进行综合评价研究时,引入生态健康的概念,为生态安全初期的研究内容奠定理论基础^[32]。随着对生态安全内涵理解的不断深入以及多起全球环境安全问题的发生,第二阶段的研究从 80 年代开始,在世界环境与发展委员会(WCED)和多国政府部门的带领下将生态安全的研究内涵拓展为生态环境恶化,通过构建全球化的生态安全监测体系来保障人类健康发展^[33]。第三阶段从 90 年代开始,随着联合国环境与发展大会通过了《21 世纪议程》^[34],Barry 等学者开展了大量针对生态环境安全问题的实践性研究^[35],推动经济、军事、环境、社会等复合生态安全理论的探讨推广。我国目前主要的生态安全研究方向有生态安全现状评估、生态安全格局规划和生态安全管理三个方面^[36-38],主要内容涉及生态安全现状诊断、区域生态风险分析、生态安全评价、生态安全监测与预警以及生态安全管理与保障。我国生态安全研究处于初级阶段,研究主要集中在区域水平上^[6],如西部地区、流域、区域农业和自然保护区上,并对生态安全的监控、评价和保障体系作了初步探讨,对生态安全的理论与实践的研究还不够深入^[39]。

(2) 生态安全评价

生态安全评价是在一定时间范围内,研究自然与社会、经济相互作用关系,依据相关标准评估生态环境影响因子及生态系统的安全状况。蔡懿苒提出生态安全研究的核心问题是生态安全评价^[40]。国外的生态安全评价研究由生态系统健康评价(ESHA)和生态风险评价(ERA)发展而来。其研究方式主要有两种:一种是基于生态系统健康、风险及服务评价等相关研究成果构建生态安全评价体系;另一类是基于遥感技术

技术和景观生态学理论形成的评价体系。1992 年,美国国家环境保护局(EPA)颁布生态风险评价大纲首次提出了生态风险评价研究方法^[4, 40-42]。

2000 年之前,我国生态安全评价内容以生态环境评价为中心展开研究,21 世纪以来,随着中科院“国家生态安全的监测、评价与预警系统”重大研究项目的实施^[43],我国生态安全评价研究内容重点转向生态安全评价指标体系和评价方法。2001 年,王韩民等采用 PSR 模型对我国的生态安全进行了比较分析并提出了对策措施,这是我国首次提出国家生态安全概念^[44]。秦鹏在对黄河三角洲地区滨海湿地生态安全进行评价时,结合景观生态学原理和 PSR 模型构建生态安全评价指标体系,从时间和空间维度分析生态安全状态^[45]。高洁芝^[46]以土地生态安全内涵为基础构建 DPSIR 模型,判断 2008 至 2017 年江苏省土地生态系统健康状况,探讨人类活动对土地生态系统健康的影响。蒲佐利用经济学模型丰富生态安全评估方法,通过建立 VAR 经济学模型,研究新疆地区城市化发展对当地生态环境的冲击强度及相互响应过程^[47]。2003 年,左伟等^[48]利用 PSR 模型分目标层、准则层和指标层三个层次提出了包括 27 个指标的区域生态系统安全评价指标,为区域生态安全评价和管理提供了依据。

总的来看,国外关于生态安全的研究内容集中于全球生态安全和国家安全与可持续发展等宏观问题及内在联系,对于特定区域或对象的研究较少。目前我国生态安全研究内容集中于自然科学领域,尤其关注生态环境变化,对反映区域经济水平以及法律法规制度的人文科学领域研究相对匮乏,而从人文社会科学角度的研究不足。截至 2022 年,中国知网中以“海洋生态安全”为主题的文献有 237 篇。对海洋生态安全研究内容主要集中于概念内涵的基础研究、评价理论方法的应用研究、区域的实验性研究^[49, 50]。

1.3.2 海洋生态安全评价研究进展

1.3.2.1 评价方法模型研究

区域生态安全评价需要通过模型实现评价目标。国内外应用最为广泛的海域生态安全评价方法主要分为单一评价模型和复合评价模型两类^[48]。单一评价模型有利用专家判读和 AHP 层次分析为代表的综合指数评价法、构建生态系统模型为代表的生态模型评价法、以生态学理论为基础的景观生态模型评价法和以 3S 技术为支撑的数字地面模型评价法等^[51-53]。Xu 等^[54]通过景观指标构建景观干扰指数和景观脆弱性指数,评估江苏省滨岸带生态安全状况。

评价模型主要包括数学模型和逻辑模型,基于多元 logistic 回归分析建立围垦发生的概率模型、基于总磷迁移数学模型阐明了工程对水动力和水质的影响^[55]。曹超、吴承强等学者运用 ArcGIS 10.5 软件的 DSAS 算法,得到围填海工程演变规律,分析其

对岸线类型和岸线环境的影响及工程开发的生态安全适宜程度^[56]。“压力-状态-响应”(Pressure-state-response, PSR)模型最早由联合国经济合作与发展署(OECD)建立^[45, 57],是生态安全评价、环境影响评价等领域中常用的逻辑评价模型之一^[58, 59]。

在 PSR 模型基础上,联合国可持续发展委员会(UNCSD)提出了“驱动力-状态-响应”(DSR)概念模型。随后,欧洲环境署(EEA)建立了“驱动-压力-状态-影响-响应”模型(Driving-pressure-state-impact-response, DPSIR)^[60]。该模型在 PSR 框架的基础上增加了“驱动 Driving”和“影响 Impact”指标,能够准确表示系统的复杂性和相互关系。这三个模型已成为目前海域生态安全评价的主要逻辑。学者们综合各种方法优点基础上,还开发了多种方法相结合的复合评价模型。2005 年,左伟等^[48]提出一种区域生态安全评价优化模型:基于 AHP-变权-模糊-灰色关联复合的模型,如基于模糊决策分析原理的生态安全评价方法(FDA)^[61]、多级模糊综合评价-灰色关联优势分析模型等^[62]。刘汉斌通过 EES(环境-经济-社会)复合模型确定评价指标体系,运用模糊物元法评价广东省海洋生态系统安全^[49]。吴春笃等采用基于 AHP 的 PSR 模型经改进后应用于镇江市生态安全综合评价。在预测分析方面,主要以灰色模型和人工神经网络预测为主^[63-66],高丽萍^[67]采用 PSR-GM(1,1)模型对华池县耕地生态安全进行评价和预测,左伟等^[68]研究了灰色关联复合模型在区域生态安全综合评价方面的运用。

1.3.2.2 评价指标体系研究

近 20 年来,国内外学者已有部分关于海洋生态安全评估的研究成果。总体而言对指标的选取还没形成体系化的研究,未明显反映生态环境特征及影响评估的主要指标,且评价指标之间没有明确的分类规定。Dale 等学者认为指标体系选取应具备可测算性、敏感性、相关性等特点,我国生态安全评价仍然沿用 20 世纪末期和 21 世纪初提出的技术体系。王泽昱以宁波大嵩围填海工程为例,运用 AHP-模糊综合评价法进行存量资源梯度开发、生态安全可行性评价,基于开发建设现状,从自然、生态、社会影响和规范性角度构建了 5 项准则层指标的围填海存量资源梯度开发适宜性评价体系^[69]。将定性定量评价方法相结合,建立适用于我国海洋国情的生态安全评价体系具有重要意义。

1.3.3 港口建设对生态环境影响研究进展

港口建设对海洋生态环境影响研究主要包括三方面:

(1) 宏观角度

对生态环境影响研究从宏观角度来看主要是各国制定颁布的政策、法规等。荷兰是世界上进行港口填海造陆建设最早的国家之一,其历史已有八百多年,也是外海造

陆最成功的范例。二十世纪末荷兰政府设立相关国家机构负责协调海洋管理和政策制定，成立了 IDON (inte - departmental deliberations over North Sea) 组织对围填海发展计划进行综合评估、协调管理，相关机构制定的有关北海的政策、法律以及地区性的围填海发展计划^[70]。国务院于 2009 年 6 月正式通过了《江苏沿海地区发展规划》。依据我国有关法律规定和国务院批准的《江苏省海洋功能区划（2011-2020 年）》中合理划定了海洋功能区，加强了对港口建设项目选址适宜性、设计合理性的审查。

（2）海洋工程

该角度主要基于生态学理论，对于量化指标采用数学模型分析港口工程建设对海域泥沙动力环境、估算渔业资源等生态损益 Yusuke Hiraga 等学者通过 MNDWI、NDVI 和 NDSI 遥感分析提取湄公河围填海位置，研究其对下游流域生态环境的影响，Lee H.J 的研究表明，1984 年韩国西海岸的大河潮滩工程修建后潮流显著增加，结合海堤建设和季节性影响的沉积学模型，得出了人工结构对向海湾方向沉积物和水运动造成阻碍的因果关系^[71]。王刚^[72]指出港口与航道建设主要影响水文和生物状况，改变流域面积和流向、破坏原生植被、当地出现滑坡等灾害。我国北方最大的海上人工岛群——龙口离岸岛，位于岛上的曹妃甸工业区周边物种数和生物多样性最低^[73]；近 50 年来胶州湾经历了盐田建设、填湾造陆、临港工业建设等填海高潮，使区域资源生态受损了 41.33%，湾内外水体交换能力和自净能力锐减，湿地退化严重^[74]。

（3）综合评价

该角度主要是从社会经济、生态环境等方面综合评价海洋生态环境安全。二十世纪 70 年代，Cendrero A 使用生产率变化法，综合了旅行成本法评估西班牙围填海工程对当地渔业资源和滨海湿地景观效益的经济损害^[75]。到了八十年代中期，联合国粮农组织（FAO）和 OSPAR 委员会发布了围填海资源环境影响评价技术指南来综合评价港口建设开发利用的合理性。刘修德和李涛改进了我国早期研究的局限，探讨了港口建设规划实施方案对海洋生态资源、环境容量、社会经济等多方面的综合影响^[76, 77]。王伟伟、付元宾收集并分析大连市社会经济、海洋资源、海洋环境质量的现状，运用 AHP 法评价海洋资源开发安全程度^[78]。

总的来看港口建设影响海洋生态资源的 5 个方面：海水动力不足，悬浮泥沙扩散冲淤速率下降^[79]；自然岸线长度及海湾和海岛数量锐减；滨海湿地等自然景观价值严重丧失；大量海域空间和沿海滩涂遭到破坏；近海渔业资源加剧衰退，近岸海域生物多样性降低^[79-81]。海洋生态安全的系统研究综合了自然生态系统和人类社会系统，对其内涵与范围界定都十分困难。加强对海洋生态安全评价相关内涵、评价范围等方面的深入研究，是今后国内外学者研究的重要任务^[82]。

1.4 研究内容与方法

1.4.1 研究内容

本文在海洋生态安全相关理论研究基础上,结合研究区生态环境状况,探索建立生态安全评价模型与指标体系,分析影响该海域生态安全变化的主导因素,预测生态安全变化发展趋势,提出生态保护措施与港口发展建议,实现海洋生态安全和港口建设、海洋生态的可持续发展。主要包括四个方面:

(1) 腰沙-冷家沙海域生态环境变化分析

对腰沙-冷家沙海域 2011~2019 年的生态环境状况进行监测调查,结合生态环境监测关于水质、海洋生态、海洋渔业资源、潮间带生物的调查结果和港口建设发展情况,对比三年的生态环境变化,分析海域生态环境主要问题、变化状况及可能的影响因素。

(2) 腰沙-冷家沙海域生态安全评价研究

从压力、状态、系统三个层次选取 20 个评价指标,基于 PSR 模型构建评级指标体系,结合 AHP 法和熵权法确定指标权重,评价腰沙-冷家沙海域的生态安全状况,分析该海域 2011~2019 年生态安全指数和生态安全等级的变化趋势。

(3) 腰沙-冷家沙海域生态安全预测与影响因素研究

基于灰色理论的研究,将 GM(1,1) 模型用于预测腰沙-冷家沙海域 2020~2030 年生态安全发展状况,结合灰色关联度方法探究压力、状态、响应子系统的驱动影响因素。

(4) 腰沙-冷家沙海域生态保护措施和港口建设对策研究

根据腰沙-冷家沙海域生态安全评价和预测结果,从调控压力、改善状态、提高响应三个角度提出生态保护措施,如开展点-线-面的生态修复对策研究,结合生态安全影响因素结论提出港口建设和围填海工程优化建议。

1.4.2 研究方法

(1) 文献研究与资料收集法

通过知网、万方、Web of Science 等中英文数据库研读国内外相关文献,掌握海洋生态安全概念、研究最新进展等相关理论,通过国家生态环境部、南通市统计局等政府官网,收集大量基础资料和监测报告,明确了研究对象、研究意义和研究方法,为论文提供了理论支撑。

(2) 实地调查法

实地调查南通港港口建设和腰沙-冷家沙海域生态环境状况,制定监测布点和采样方案。根据相关规范标准,选取海水水质和海洋生态监测方法对腰沙-冷家沙海域生态环境进行监测调查。

（3）对比分析法

根据监测结果，对比分析了腰沙-冷家沙海域 2011~2018 年海洋生态、水质监测结果，掌握海域生态环境特征以及港口建设状况，初步判断影响生态安全的因素，为指标体系的选取与构建提供了研究基础。

（4）定性与定量分析结合法

基于相关研究基础构建压力-状态-响应（PSR）的生态安全评价模型和 GM（1,1）的预测模型，运用主观的层次分析法和客观的熵权法计算评价指标权重，采用综合评价方法定量评价 2011~2019 年腰沙-冷家沙海域生态安全状况并预测动态发展变化，采用灰色关联度计算方法对压力、状态、响应系统下的指标进行关联度分析，确定主要的影响因素。

1.4.3 技术路线

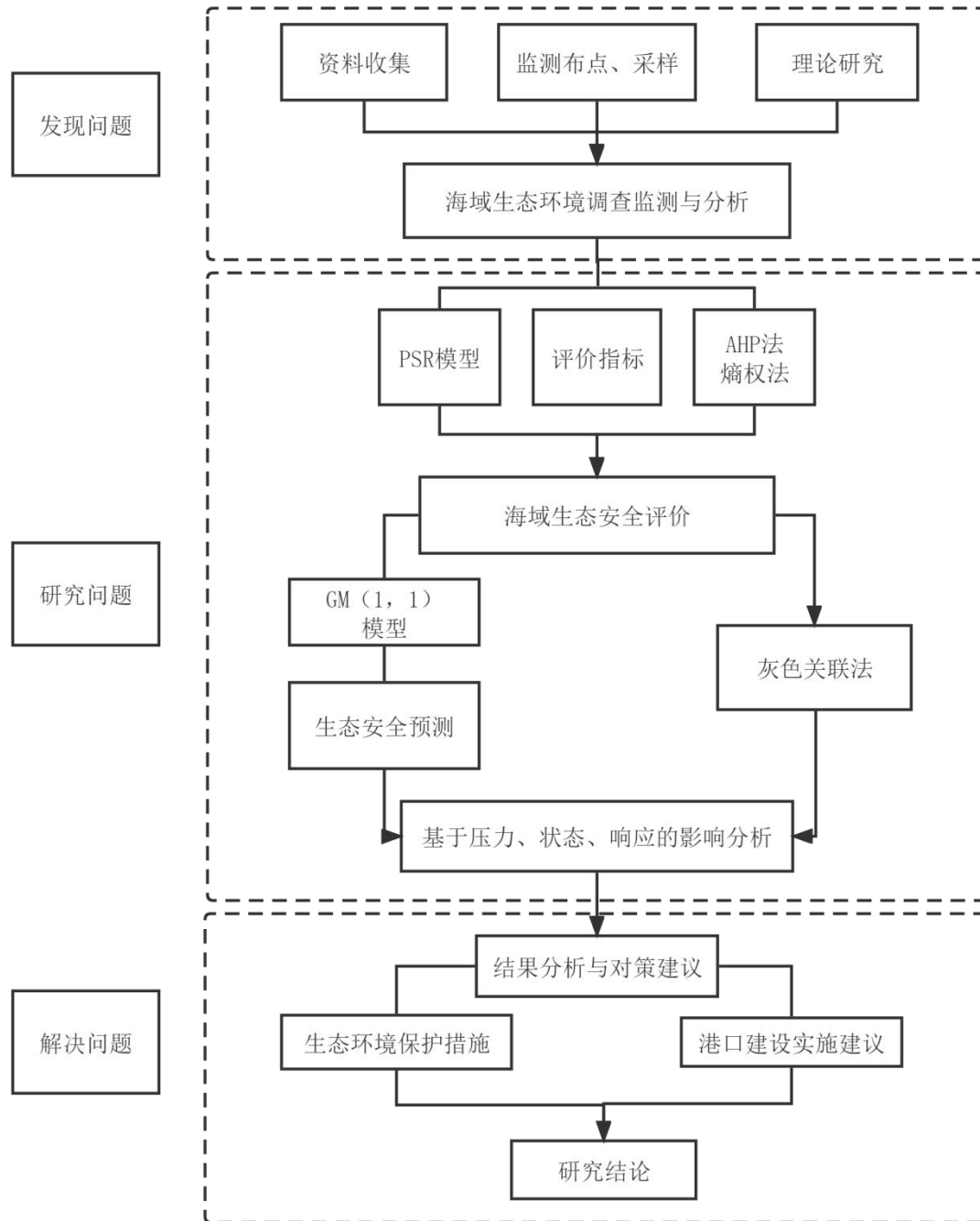


图 1-1 研究技术路线

Fig. 1-1 Research technical route

1.5 数据来源

本文研究数据来源于《南通市统计年鉴》（2011~2021 年）、《南通市通州区国民经济和社会发展统计公报》（2011~2021 年）、《江苏省海洋环境质量公报》（2011~2021 年）、《南通市生态环境状况公报》（2011~2021 年）、《南通港总体规划（2018~2035 年）》其它相关文件资料。

第二章 研究区域概况

本次研究区腰沙-冷家沙海域位于南通市通州湾新区、南通港通州湾港区，是长三角北部待开发的重点深水港区^[16]。南通地处长江三角洲北翼，素有“黄金海岸”和“黄金水道”之称，是我国沿海主要港口之一。通州湾新区是江苏省通州湾江海联动开发示范区。通州湾是腰沙、冷家沙的组合，地理位置优越，资源条件优良，是南通市沿海开发的重点区域、核心区域和枢纽区域。目前在腰沙-冷家沙海域已经相继建立了沿海工业园，大量的围海造田、海水养殖、城市化建设等人类活动干扰频繁，生态系统功能有不断退化的趋势。

2.1 社会经济概况

2021 年末，通州区年常住人口 124.5 万人，居民收入稳定增长。2021 年全区生产总值达 1462.51 亿元，人均 GDP 达 116758 元。分产业看，第一产业增加值 67.1 亿元，增长 4.5%；第二产业增加值 815.3 亿元，增长 10.4%；第三产业增加值 711.8 亿元，增长 8.5%。三次产业结构比例由上年的 4.4：49.3：46.3 调整为 4.2：51.1：44.7。

2021 年，全年新增私营企业 8689 户，注册资本 257.7 亿元；新注册个体工商户 15914 户，注册资金 20.0 亿元。规模以上工业民营经济产值占全部规模以上工业总产值的比重为 68.9%，民营经济入库税金占全部税收比重为 79.2%。

2021 年，全年实现规模以上工业高新技术产业产值 472.9 亿元，增长 33.6%，占规模以上工业总产值比重 42.0%，比上年提高 1.4 个百分点。限额以上批发和零售业通过公共网络实现商品销售额增长 45.7%。规模以上服务业中信息传输软件和信息技术服务业增长 23.6%。

2.2 自然环境概况

2.2.1 地质地貌

南通市地质构造上属扬子准地台与江南古陆的交接部。通州区沿海地带第四系地层厚 400m 以内，其中全新世灰黄~浅灰色粉质粘土层厚 10~40m。在海域表层为灰色淤泥和粉细砂，其中启东庙洪水道自下而上形成松散的灰色细沙、灰质粘性土与灰质细砂之间为夹层。沿海的如东地区地表以下 33~43m 的深度范围，以浅海洋灰色粉质粘土和粉土夹层为主，其容许承载力 90~250 kPa。

南通沿海区域主要为沙槽相间分布的动力地貌组合。腰沙-冷家沙海域滩槽地理位置稳定，小庙洪水道长期格局稳定。冷家沙及岸外小沙洲整体处于南移趋势，腰沙东端的淤积出露面积增大和南移趋势推测与冷家沙泥沙向南堆积有关。

2.2.2 气象气候

通州区属典型的亚热带季风气候，夏季高温多雨，冬季寒冷干燥。2021 年平均气温为 16.8℃，历年极端最高气温 38.5℃，极端最低气温-10.8℃。全年日最高气温大于等于 35℃的天数平均为 5 天。降水主要集中在 5~9 月，年平均降雨量 1534.9mm，历年最大降雨量 1626.8mm，历年最小降雨量 641.3mm。月最大降水量出现在 8 月，降水量达 405.8mm。地区夏季多东南风，冬季多西北风，平均风力 2.8m/s。沿海地区常常受到台风影响。

2.2.3 生态环境

（1）水质状况

入海河口水质：2020 年全市 6 条主要入海河流入海控制断面水质全面消除劣 V 类，其中流经通州湾的通吕运河和通启运河为 III 类水，水质为良。

近岸海域水质：2020 年全区近岸海域达到或优于《海水水质标准》（GB3097-1997）二类标准的面积比例为 62.7%，三类面积比例为 16.8%，四类面积比例为 13.8%，劣四类面积比例为 6.7%。与 2019 年同比，优良（一、二类）面积比例降低 26.4%，劣四类面积比例上升 6.2%，主要超标指标为无机氮和活性磷酸盐。

（2）生态环境状况

2020 年通州区生态环境状况指数 63.49，处于良好状态，生物丰度指数 29.78，植被覆盖指数 77.14，水网密度指数 65.54，土地胁迫指数 6.79，污染负荷指数 0.25。

2.3 腰沙-冷家沙海域概况

2.3.1 地理位置及评价范围

本次研究区腰沙-冷家沙海域位于南通港通州湾港区，是长三角北部待开发的重点深水港区^[16]。南通被誉为“黄金海岸”与“黄金水道”，是我国沿海主要港口之一。南通港地处长江三角洲北翼，是兼具海港和江港的沿海港口，也是“长三角”沿海交通运输体系最重要的纽带和港口之一。南通港从长江口出海可达我国沿海和世界各港，上溯长江可通往苏、皖、赣、滇、黔等省，地处沿江和沿海经济轴线交汇口。腰沙-冷家沙海域在地理位置上处于江苏省南通市通州区和如东县交界的东部海域，也位于南通港通州湾作业区。腰沙-冷家沙海域与南通港地理位置见图 2-1。

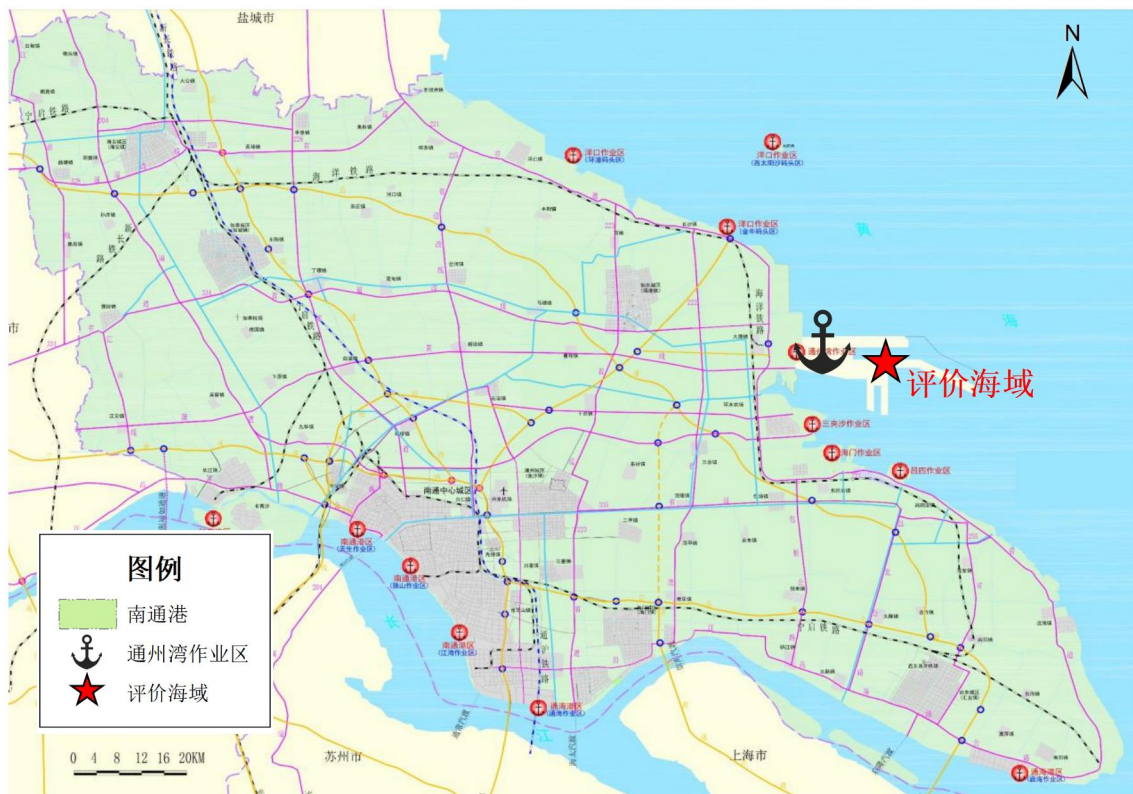


图 2-1 腰沙-冷家沙海域与南通港地理位置

Fig. 2-1 Yaosha - Lengjiasha sea area and nantong port geographical location

根据图 2-2 江苏省海洋主体功能分区，可见腰沙-冷家沙海域属于江苏省海洋重点开发区。该海域岸段位于海辐射沙脊群，潮流动力较强，工程占域含沙量高，且围填海工程数量逐年上升。目前在腰沙-冷家沙海域已经相继建立了沿海工业园，“十二五”期间用于水产养殖和港口建设的围垦面积达 17.53km^2 ，大量的围海造田、海水养殖、城市化建设等人类活动干扰频繁，生态系统功能有不断退化的趋势。



图 2-2 江苏省海洋主体功能分区图

Fig. 2-2 Zoning map of Marine main functional zones in Jiangsu Province

该片海域位于黄海南部小庙洪水道北侧、辐射沙洲最南端，该水域属于沙洲最东部的低潮出露沙洲，东北方向为开敞型海域。相关研究表明，冷家沙东北侧具备建设 30 万吨级深水航道的条件^[83]；冷家沙与腰沙之间的三沙洪水道具备中深岸线的条件；腰沙东南侧小庙洪水道通过人工浚疏、顺通岸线可形成丰富的中深水岸线资源，可开发建设大型深水海港，建成于各类型泊位配套设备齐全的大型深水港口群；匡围范围辐射两个沙岛邻近滩涂海域数百平方公里，形成了约 130km 中深水岸线和 370km² 陆域用地，具备港口工业、产业综合开发的条件^[84]。这片海域为围填海提供了良好的资源场所。

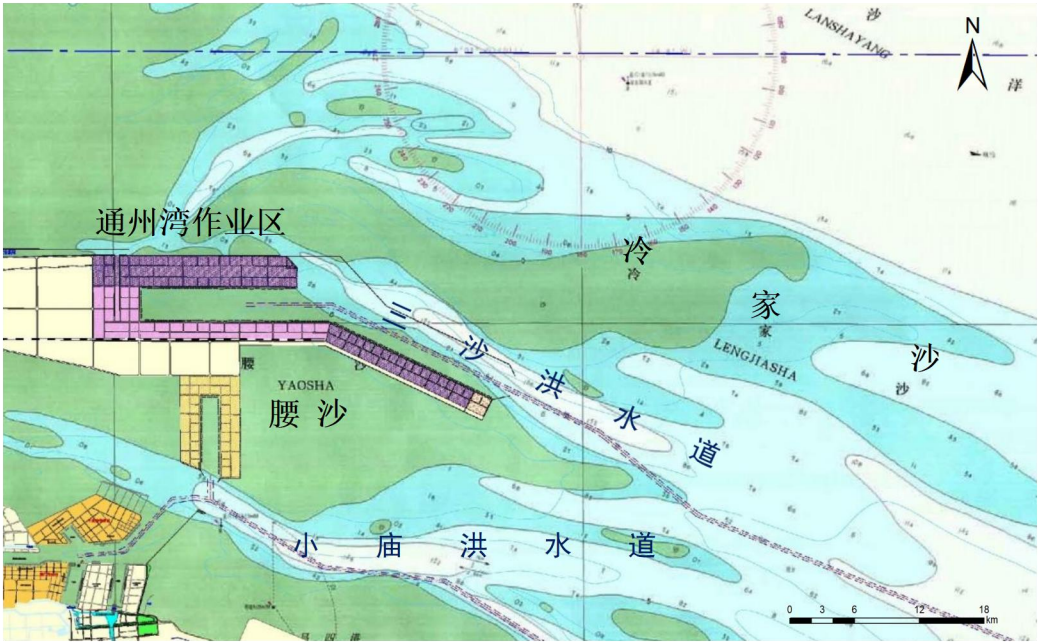


图 2-3 腰沙-冷家沙沙洲及周边滩涂

Fig. 2-3 Yaosha-Lengjiasha sandbank and its surrounding beach

根据港口建设用海情况、所在海域的特点确定本次生态安全评价范围：北侧至为洋口港临港工业区，南侧界线沿着海岸线延伸至吕四作业区，西侧边界沿着海岸线延伸并连结滨海园区海洋旅游度假区边界，东侧为工程向东延伸约 15km，评价范围约 1024km²，见图 2-4。评价范围四至坐标见表 2-1。

表 2-1 评价范围四至坐标

Tab. 2-1 Evaluation range four to coordinate

序号	北纬	东经
A	121° 24' 55.404"	32°22' 24.804"
B	121° 45'46.351"	32° 22' 24.804"
C	121° 45' 46.351"	32° 04' 57.959"
D	121° 25' 32.713"	32° 06' 47.691"

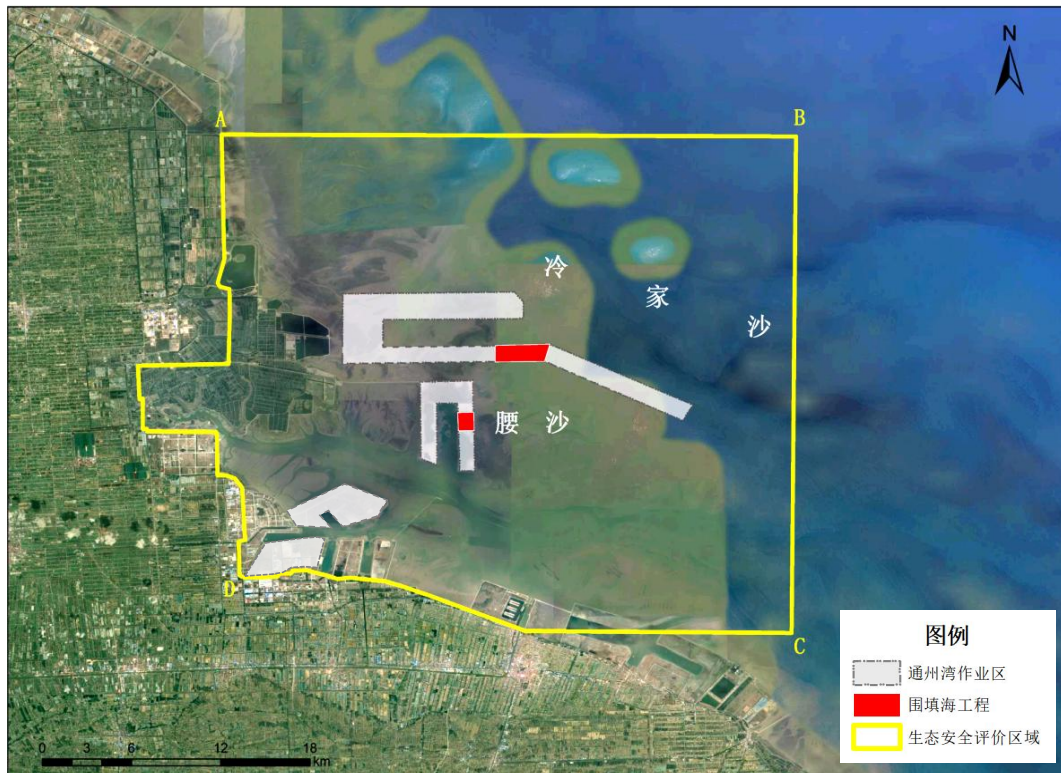


图 2-4 腰沙-冷家沙海域生态安全评价区卫星遥感影像

Fig. 2-4 Satellite remote sensing image of Yaosha-Lengjiasha sea area ecological security assessment area

2.3.2 资源现状

(1) 岸线资源

南通港是江苏省乃至长江三角洲地区唯一的拥有沿江沿海岸线的港口，沿海地区岸线仍处于起步开发阶段。沿海岸线自启东向北至海安、东台交界处，全长约 206km。评价海域涉及的作业区包括吕四作业区、通州湾作业区、三夹沙作业区以及海门作业区。吕四作业区区域规划岸线总长 30.4km，分为三段：启东与海门交界～吕四渔港西侧，规划岸线长 4.6km；大洋港闸～蒿枝港闸，该段岸线长 14.8km；塘芦港～协兴港，该段岸线长 10km；连兴港外码头区规划岸线长 1.0km。通州湾作业区主要为在腰沙段岸线围填开发。所在海岸线由人工海堤所构成，南侧由小庙洪水道末端向北，可利用岸线长约 6km，全部为人工海堤，向外海围填形成通州湾作业区。三夹沙段港口岸线和海门港段岸线由遥望港闸南侧海堤至海门作业区一突堤外侧根部，规划港口岸线总长约 15.8km。

(2) 湿地资源

通州湾港区湿地属于南通滨海湿地区（湿地编码为 3210003），总面积 39.55 万 hm^2 。拥有湿地生态系统维护功能的如东县如泰运河入海河口重要湿地，属于

生态敏感保护区中的生态红线二级管控区，总面积 10hm²。

(3) 旅游资源

自然旅游资源：位于海门蛎岬山国家级海洋公园的蛎岬岛，动植物资源十分丰富。不仅盛产各种牡蛎，还有海葵、海螺、泥螺、螃蟹、小鱼等多种海生生物。大片的护提林和湿地滋生着丰富的水生资源，引来野兔、野鸡、野鸭及海鸟来此安家，成为东灶港镇一道亮丽的自然美景。

2.3.3 敏感目标

根据《江苏省生态空间管控区域规划》、《江苏省国家级生态保护红线规划》，环境敏感区包括饮用水水源保护区、自然保护区、水产种质资源保护区、森林公园、海洋公园、生态公益林、重要湿地、湿地公园、清水通道维护区、风景名胜区和特殊物种保护区。研究区内涉及生态环境敏感目标共 7 处，包括重要渔业资源、滨海旅游区、旅游度假区、国家级海洋公园等，生态安全评价区与敏感目标叠图见 2-5，具体名称及位置关系见表 2-2。

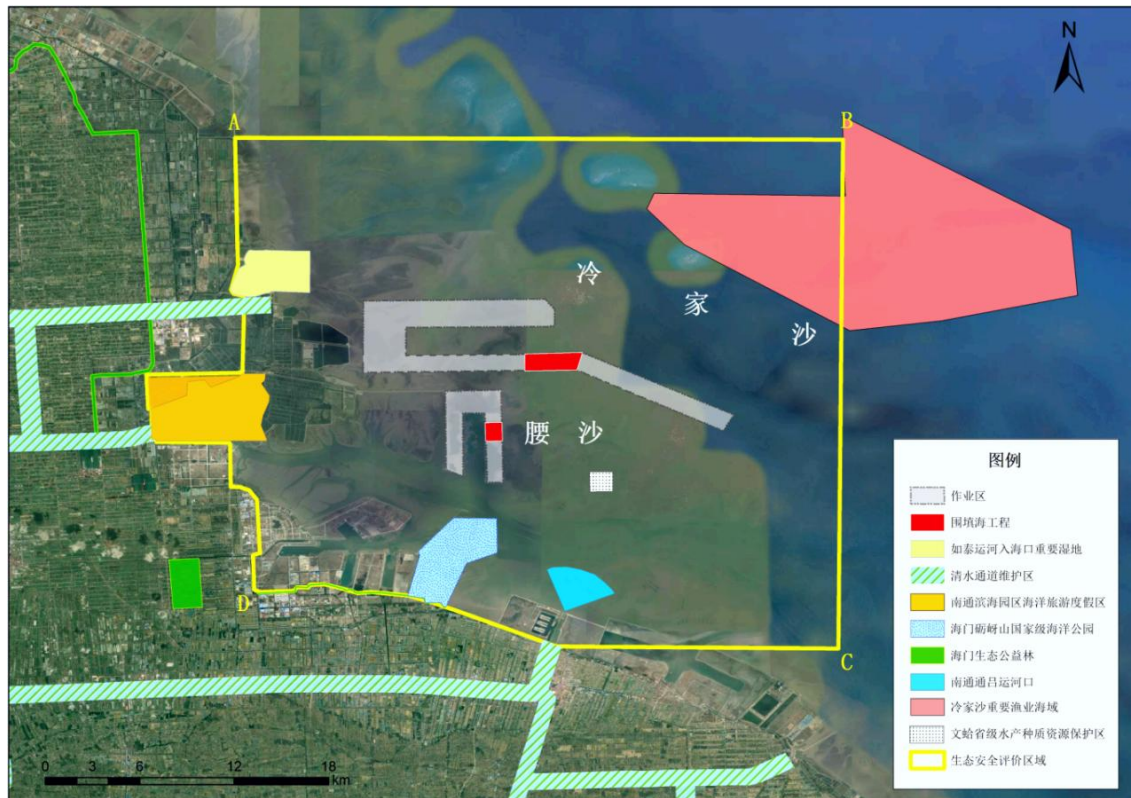


图 2-5 生态安全评价区与敏感目标叠图

Fig. 2-5 Overlay map of ecological security assessment area and sensitive target

表 2-2 评价周边生态环境敏感目标

Tab. 2-2 Sensitive targets of ecological environment around the region

生态环境敏感目标	面积 (hm ²)	与评价区距离 (km)	保护类型	环境功能
如泰运河入海河口重要湿地	10.02	与评价区紧邻	湿地生态系统保护	二级管控区
南通滨海园区海洋旅游度假区	5.55	港区一港池陆域距离度假区约 7.5km	自然与人文景观保护	一级管控区、二级管控区
海门砬蛎山国家级海洋公园(含蛎蛎山牡蛎礁海洋特别保护区)	10.54	规划利用的吕四港区小庙洪航道与保护区二级管控区略有重叠	生物多样性保护	一级管控区、二级管控区
如东文蛤省级水产种质资源保护区	3.21	位于港区三港池预留发展区陆域范围	水源水质保护	二级管控区
冷家沙重要渔业海域(部分)	50.83	渔业海域西部位于评价区内	水源水质保护	二级管控区
如东县沿海生态公益林	4.15	评价区南部边界	海岸带防护	二级管控区
遥望港(南通滨海园区)清水通道维护区	9.10	港区一港池陆域清水通道维护区入海口约 11km	水源水质保护	二级管控区
南通滨海园区沿海生态公益林	3.23	与评价区西部边界相距约 15km	海岸带防护	二级管控区

2.4 腰沙-冷家沙海域港口建设概况

通州湾港区分为南部港区和北部港区两部分，布置临港工业港口配套服务区（“前港后厂”布置）、通用码头作业区、干散货码头作业区、通用及干散货码头作业区、液体散货码头作业区、通用及集装箱码头作业区、内河转运区等六大功能区。各作业区陆域 48.76km²（含设置的临港产业区在内面积 92.9km²），港口岸线 37.3km，码头泊位 116 个，发展空间巨大。其中围垦面积最大、占用海域最多的是新出海口填海造地工程。

2.4.1 工程内容及规模

近十年来，依托小庙洪水道的深水航道资源和腰沙沙脊的滩涂空间资源，新出海口工程整体实施时间为 2013 年 3 月~2016 年 8 月。围填海工程选址于通州湾港区腰沙-冷家沙海域。

- (1) 工程项目名称：通州湾新出海口一期工程填海造地工程
- (2) 项目性质：在建
- (3) 地理位置：选址在位于通州湾港区一港池、二港池区域。

(4) 用海情况：用海总面积 302.0327hm，用海类型为交通运输用海，用海方式为建设填海造地，申请用海期限 50 年。

(5) 审批情况：该项目用海申报材料已上报国家发改委和自然资源部，国家发改委提出，待新出海口建设方案获批后，再进行审查认定。

(6) 主要建设内容：围填后为规模化的临港工业提供所需用地。围填海工程包括疏浚港池、吹填成陆，形成港口陆域、港池，集装箱码头，通用码头，矿石码头、散货码头以及后方陆域形成、地基处理配套产业园区、航道和防波堤等基础设施。

(7) 围填海分期实施方案

通州湾一港池：一港池面积约 9.8km²（不含启动区中的 0.93km²），该区域已由省自然资源厅作为围填海历史遗留问题上报，获批后将不涉及新增用海。

启动区：总面积约 3.11km²。主要为集装箱进出港服务，兼顾为后方物流企业及临港产业配套服务。目前，启动区用海已由江苏省政府上报国家发改委和自然资源部。

规划拟实施区域：“十四五”拟实施区域总面积约 10.7km²。“十四五”跨“十五五”拟实施区域总面积约 7.4km²。“十五五”拟实施区域总面积约 17.8km²。

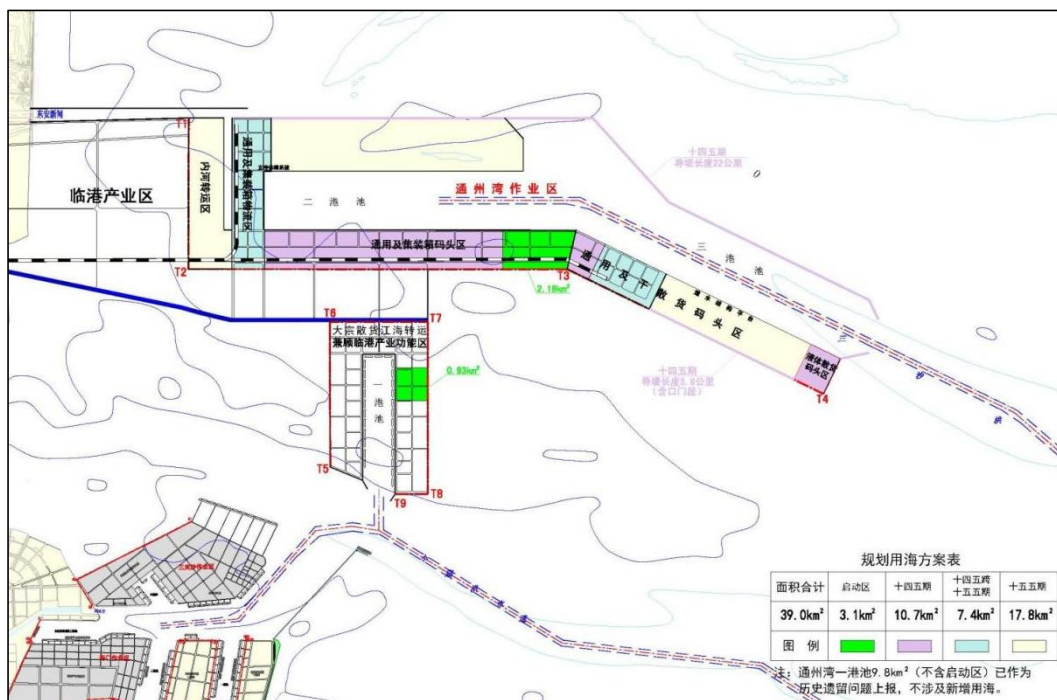


图 2-6 腰沙-冷家沙海域围填海分期实施示意图

Fig. 2-6 Phased implementation of reclamation in Tongzhou Bay Operation area

2.4.2 港口其他功能区

目前通州湾港口以运输功能为主，重点发展散杂货、液化品、煤炭、等货类运输。重点布局船舶、海洋工程及重装备、新能源、石化及新材料等产业，服务后方园区液体化工、精密仪器制造等临港产业，兼顾为地方物资运输服务以服务临港工业起步，为逐步发展成为腹地地区提供物资中转运输服务的大型现代化综合性港区。港口功能分区如下：

（1）临港工业港口配套服务区。布置在作业区南部一港池内，岸线总长约 9.1km，主要为后方园区所引进的与港口密切相关的临港产业服务，岸线在使用上可采用“前港后厂”的布置形式，陆域纵深 1km，陆域面积约 10.7km²。利用一港池西侧南端布置支持系统区，使用岸线 300m。

（2）液体散货码头区。主要布置在三港池南侧东段岸线，规划岸线总长 1.0km。可供建设约 3 个各类成品油及液体化工品等液体散货泊位。码头区纵深约 1.0km，占地面积约 1km²。

（3）通用及干散货码头区。主要布置在两块区域，二港池北侧岸段和三港池南侧岸段。其中二港池北侧规划岸线总长 7.9km，可供建设约 23 个大中型通用及干散货泊位，码头后方作业区陆域纵深约 1.6km，占地面积约 12km²。码头区后方紧邻内河转运区，通过运河与南通市内河水网相连通，可为各类物资向沿江、苏北及长三角地区中转提供服务。三港池南侧岸线总长 8.0km，可供建设约 25 个各类大中型通用及干散货泊位，码头作业区纵深约 1.2km，占地面积约 9.6km²。

（4）通用及集装箱码头区。主要布置在北部港区的二港池西侧和南侧岸线，规划岸线总长 11.3km，可供建设约 35 个各类通用及集装箱泊位，具体泊位类型可包括通用、多用途及专业化集装箱泊位等。码头后方作业区纵深 1.0~1.5km，占地面积约 15.9 km²。

（5）内河转运区。内河转运区以开挖人工运河的形式建设，宽 300m，岸线长度约 10.0km，可建设超过 70 个千吨级及以下内河泊位，内河转运区陆域空间与海运码头作业区共用，便于货物进行中转运输。后方通过东安新闻与如泰运河相连，进而沟通苏北内河水网。在九圩港河和新江海河处可与长江相连通，为通州湾港区提供便捷的内河转运条件，实现“河海、江海联运”服务功能。

第三章 腰沙-冷家沙海域生态环境调查监测与对比分析

为更好的了解腰沙-冷家沙海域生态海域生态环境状况，掌握港口建设项目在其施工期和运营期对海洋水质和海域生物的影响，分析其影响范围和影响程度，为腰沙-冷家沙海域生态安全评价提供数据支撑和依据来源。因此委托南通市海洋环境监测预报中心、江苏省海洋环境监测预报中心、大连华信理化检测中心有限公司开展腰沙-冷家沙海域海洋生态环境跟踪监测工作。

3.1 监测调查内容

3.1.1 监测内容

通州湾作业区新出海口围填海项目整体实施时间为 2013 年 3 月-2016 年 8 月。选择项目实施期间同季节的调查资料进行对比分析。海洋生态环境调查资料分别为 2011 年 10 月，实施中的海洋生态环境调查资料为 2013 年 9 月和 2015 年 4 月，实施后的海洋生态环境调查资料为 2018 年 10 月。具体内容见表 3-1。

三次监测的采样范围在以通州湾港区已建工程为中心外扩 20km 的范围内，涵盖腰沙、冷家沙、小庙洪、三沙洪等海域。但是不同调查时间的测量范围并不完全重合，腰沙、小庙洪水道、小庙洪西侧岸滩的测点重复率相对较高。监测内容主要包括水质和海洋生态。不同调查时间的监测内容并不完全一致，具体内容详见表 3-1。三期调查监测站位叠加如图 3-1 所示。

表 3-1 腰沙-冷家沙海域生态环境调查内容

Tab. 3-1 Investigation of ecological environment in Yaosha-Lengjiasha sea area

调查时间	调查内容	委托检测单位
2011.10	秋季海水、沉积物、生物生态、渔业资源	南通市海洋环境监测预报中心
2013.09	秋季海水、沉积物、生物生态、渔业资源	江苏省海洋环境监测预报中心
2018.10	海水、沉积物、生物生态、渔业资源	大连华信理化检测中心有限公司



图 3-1 三个时期腰沙-冷家沙海域生态环境调查监测站位叠图

Fig. 3-1 Overlapping map of ecological environment survey and monitoring stations in
Yaosha-Lengjiasha sea area in three periods
(黑色为 2011 年, 粉色为 2013 年, 蓝色为 2018 年)
(• 为水质采样点; ○ 为生态采样点; ◇ 为沉积物采样点; — 为采样断面)

表 3-2 监测站点点

Tab. 3-2 Monitoring station sites

序号	经度	纬度	监测内容
1	121°26'23.07 "	32°24'8.27 "	水质
2	121°28'54.41 "	32°24'11.84 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
3	121°31'58.68 "	32°24'14.88 "	水质
4	121°36'8.56 "	32°24'15.79 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
5	121°39'33.89 "	32°24'16.51 "	水质
6	121°43'15.17 "	32°24'17.10 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
7	121°26'34.60 "	32°20'36.63 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业

8	121°29'13.64 "	32°20'39.60 "	水质
9	121°31'55.59 "	32°20'38.76 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
10	121°36'13.77 "	32°20'45.48 "	水质
11	121°39'35.33 "	32°20'48.69 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
12	121°43'24.60 "	32°20'54.42 "	水质
13	121°26'40.03 "	32°17'41.09 "	水质
14	121°29'19.45 "	32°17'47.93 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
15	121°31'54.94 "	32°17'48.68 "	水质
16	121°36'12.51 "	32°17'53.91 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
17	121°39'37.28 "	32°17'52.40 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
18	121°43'32.43 "	32°17'52.64 "	水质
19	121°29'13.70 "	32°15'35.75 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
20	121°31'56.66 "	32°15'33.30 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
21	121°36'3.86 "	32°15'45.69 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
22	121°39'46.63 "	32°15'41.37 "	水质
23	121°43'13.77 "	32°15'50.76 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
24	121°45'18.81 "	32°15'59.68 "	水质
25	121°29'13.68 "	32°14'32.14 "	水质
26	121°31'56.81 "	32°14'34.19 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
27	121°36'4.86 "	32°14'33.56 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
28	121°39'53.18 "	32°14'22.05 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
29	121°42'46.35 "	32°14'26.11 "	水质
30	121°45'13.06 "	32°14'23.30 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
31	121°29'13.79 "	32°12'45.26 "	水质
32	121°31'43.08 "	32°12'47.87 "	水质
33	121°33'5.25 "	32°12'37.79 "	水质、生物质量、渔业
34	121°36'9.16 "	32°12'43.81 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
35	121°39'46.22 "	32°12'36.67 "	水质
36	121°43'54.84 "	32°12'42.55 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
37	121°25'12.28 "	32°11'45.60 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
38	121°28'44.47 "	32°10'43.90 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
39	121°32'31.66 "	32°10'21.62 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
40	121°36'31.28 "	32°10'17.94 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
41	121°39'39.01 "	32°10'17.80 "	水质

42	121°42'26.66 "	32°10'5.14 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
43	121°27'57.31 "	32°08'24.87 "	水质
44	121°30'29.67 "	32°08'34.52 "	水质
45	121°32'18.80 "	32°08'14.48 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
46	121°32'47.64 "	32°08'55.79 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
47	121°35'43.13 "	32°07'29.80 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
48	121°39'48.45 "	32°08'13.54 "	水质、沉积物、生物质量、生态与渔业
49	121°39'40.65 "	32°06'30.46 "	水质

3.1.2 监测规范与方法

3.1.2.1 采样方法

(1) 海水水质

现场样品采集、贮存与运输等要求按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)、《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)等相关要求进行。根据各调查要素分析所需水样量和对采水器的要求,选择合适容积和材质的采水器(本次调查采用有机玻璃材质的采水器采样),并洗净。水样采上船甲板后,先填好水样登记表,并核对瓶号,然后按顺序分装水样。营养盐、重金属、叶绿素等样品采集后均需在现场实验室进行预处理,以保障分析质量。

(2) 海洋生态

现场采样按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)、海洋调查规范(GB/T 12763-2007)的要求进行。

本次调查中生态站位生态样品的采集均采用网采、水采两种方式。

浮游植物(水采):用采水器采样,采样层次同水质;

浮游植物(网样):采用浅水Ⅲ型浮游生物网自底至表进行垂直拖网,落网为 0.5m/s,起网为 0.5~0.8m/s;

浮游动物(网样):采用浅Ⅰ型和Ⅱ型浮游生物网从底至表层垂直拖网获取,落网为 0.5m/s,起网为 0.5~0.8m/s;

底栖生物:底栖生物定量用采泥器(采样面积 0.025m²)进行采集,每站采集 4 次。底栖动物样品在船上用 5%福尔马林溶液固定保存后带回实验室称重(软体动物带壳称重)、分析,计数,鉴定到种,并换算成单位面积的生物量(mg/m²)和栖息密度(个/m²)。依据《全国海岸带和海涂资源调查简明规程》,用网口宽度为 1.5 米的阿氏拖网(Agassiz trawl)进行拖曳,拖速为 1-2kn,拖网时间为 10 分钟,采集底栖生物定性样品。

潮间带底栖生物:每一断面的高、中、低 3 个潮区分别布设站位,每一样方取样 25cm×25cm×30cm,如遇基岩海岸则随机取样 25cm×25cm。高、中、低 3

个潮区分别布设 2、3、2 个站位，样方土壤以孔径 1mm² 的筛子筛出其中生物，并在各取样点周围采集定性标本。样品用 5%福尔马林溶液固定保存后带回实验室称重（软体动物带壳称重）、分析和鉴定，并换算成单位面积的生物量(g/m²)和栖息密度(个/m²)。

3.1.2.2 样品的运输和保存

(1) 海水水质

根据《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》（GB 17378.4-2007）现场采集的水样样品预处理和保存方法。

(2) 海洋生态

浮游植物：拖网样品采集后装入标本瓶（500mL），加入甲醛（加入量为样品容量的 5%）；水样样品采集后每升水样加入 6~8mL 饱和碘液固定，带回实验室鉴定分析。浮游动物：样品采集后装入标本瓶（500mL），加入甲醛溶液（加入量为样品容量的 5%），上岸后静置一昼夜后，浓缩至 100mL 的标本瓶中，带回实验室鉴定分析。潮间带底栖生物：样品用 5%甲醛固定保存，带回实验室鉴定分析。底栖生物：样品用 5%甲醛固定保存，带回实验室鉴定分析。

3.1.2.3 实验室分析

(1) 海洋生态

水质要素的分析参照国家标准《海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测》（GB/T 12763.2-2007）、《海洋调查规范 第 4 部分：海洋化学要素观测》（GB/T 12763.4-2007）和《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》（GB 17378.4-2007）。具体包括 pH 计法、紫外分光光度法、原子荧光法等分析方法。

(2) 海洋生态

参照《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》（GB 17378.7-2007）中规定的方法对叶绿素 a、浮游植物、浮游动物和底栖生物进行分析。

3.1.2.4 评价方法

评价标准包括《海水水质标准》（GB 3097-1997）、《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）、《海洋生物质量》（GB 18421-2001）、《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》、《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）、《近岸海域环境监测规范》（HJ 442-2008）。

(1) 海水水质

参照海水水质因子各类别标准值，结合《江苏省海洋功能区划（2011—2020 年）》各功能区执行的水质标准，采用单因子指数法进行质量评价。

(2) 海域生态

通过优势度 (Y)、种类丰富度 (d)、均匀度指数(J')、多样性指数计算来评价海域生态情况。

3.2 海水水质监测结果与对比分析

调查结果如下:

(1) 海水水质

表 3-3 腰沙-冷家沙海域海水水质调查结果

Tab. 3-3 Comparison of Marine water quality survey results of Yaosha-Lengjiasha sea area

监测项目		2011.10		2013.09		2018.10	
		平均值	类别	平均值	类别	平均值	类别
pH		8.12	一类	8.09	一类	8.01	一类
悬浮物	mg/L	90.5	/	/	/	33.48	/
化学需氧量	mg/L	0.99	一类	1.29	一类	0.74	一类
溶解氧	mg/L	8.67	一类	6.67	一类	6.41	一类
磷酸盐	mg/L	0.023	一类、二类、 三类、四类	0.003	一类、二类、 三类	0.047	一类、二类、 三类、四类
无机氮	mg/L	0.138	一类、二类	0.194	一类、二类、 三类、四类	0.21	一类、二类、 三类、四类
挥发酚	mg/L	0.003	一类	/	/	0.001	一类
石油类	mg/L	0.0263	一类	0.0078	一类	0.0073	一类
铜	mg/L	0.0021	一类	0.0021	一类	0.0022	一类
铅	mg/L	15×10^{-4}	一类、二类	3.2×10^{-4}	一类	4.1×10^{-4}	一类
锌	mg/L	<0.0031	一类	0.016	一类	0.008	一类
镉	mg/L	<0.00001	一类	0.71×10^{-4}	一类	0.82×10^{-4}	一类

铬	mg/L	9.83×10^{-4}	一类	/	/	ND	一类
汞	mg/L	<0.000018	一类	3.2×10^{-5}	一类	2.8×10^{-5}	一类、二类
砷	mg/L	1.13×10^{-3}	一类	0.24×10^{-3}	一类	1.72×10^{-3}	一类

腰沙-冷家沙海域水质评价中无机氮和活性磷酸盐超标明显，沉积物质量符合一类标准，生物体质量基本符合二类标准。总体而言本区域水质超标要素主要为无机氮和活性磷酸盐。

2011 年 10 月水质监测评价结果如下：

(1) 涨潮期：调查海域涨潮期间 pH、盐度、悬浮物、化学需氧量、溶解氧、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、石油类、挥发性酚、总汞、铜、铅、镉、锌、铬、砷的含量均符合二类海水水质标准。20 个站位中有 2 个站位的活性磷酸盐超标，超标率在 16.7%~23.3%之间，但均符合三类水质标准。

(2) 落潮期：调查海域落潮期间 pH、盐度、悬浮物、化学需氧量、溶解氧、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、石油类、挥发性酚、总汞、铜、铅、镉、锌、铬、砷的含量均符合二类海水水质标准。20 个站位中有 8 个站位的活性磷酸盐超标，超标率在 3.3%~23.3%之间，但均符合三类水质标准。

2013 年 9 月水质监测评价结果如下：调查海域各站位水体的 pH、铜、镉、铅、锌、砷、汞均符合海水水质一类标准。溶解氧符合一类海水水质标准的占 78.33%，符合二类海水水质标准的占 20.00%，符合三类海水水质标准的占 1.67%。化学需氧量符合一类海水水质标准的占 98.33%，符合三类海水水质标准的占 1.67%。无机氮符合一类海水水质标准的占 63.33%，符合二类海水水质标准的占 15.00%，符合三类海水水质标准的占 16.67%，符合四类海水水质标准的占 1.67%，超过四类海水水质标准的占 3.33%。活性磷酸盐符合一类海水水质标准的占 96.67%，符合二类海水水质标准的占 3.33%。石油类符合一类海水水质标准的占 96.67%，符合三类海水水质标准的占 3.33%。主要超标水质要素是无机氮、活性磷酸盐、石油类，个别站位的化学需氧量和溶解氧超标。

2018 年 10 月水质监测评价结果如下：监测海域水质中的 pH 值、化学需氧量、硫化物、挥发酚、油类、铜、铅、锌、镉、总铬、砷含量均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）中一类水质标准的要求。溶解氧符合一类海水水质标准的占 95.17%，符合二类海水水质标准的占 4.83%。汞符合一类海水水质标准的占 90.32%，符合二类海水水质标准的占 9.68%。磷酸盐含量超标严重，均不满足一类水质；62 个样品中仅 4 个样品低于四类海水水质标准，24 个符合四类海

水水质标准，34 个超出四类海水水质标准。无机氮含量超标严重，62 个样品中仅 1 个样品符合一类海水水质标准，4 个样品符合二类海水水质标准，12 个样品符合三类海水水质标准，12 个样品符合四类海水水质标准，33 个样品超出四类海水水质标准。

从三次调查的评价结果可以看出（表 3-3），整体而言，工程实施前海水水质质量优于工程实施后。2011 年，监测海域海水中大部分监测因子能符合二类海水水质标准以上，活性磷酸盐符合三类海水水质标准以上；2011 年以后，监测海域海水中大部分监测因子仍能符合一类和二类海水水质标准以上，但是活性磷酸盐和无机氮超标现象突出。

该海域水质超标要素主要为无机氮和活性磷酸盐。污染源可能来自港口工业生产和工人日常生活污水等陆源污染排放。港池围垦施工易扰动产生底床沉积物，施工作业对浮游动物最主要的影响是水体中增加的悬浮物质，增加了水体的浑浊度。填海造地部分与航道、港池结合，实施疏浚吹填成陆等工程措施，施工期打桩、泥沙吹填等作业过程可能扰动悬浮泥沙扩散对海洋水质产生影响。疏浚施工过程中，挖泥船的搅动、挖掘等因素会引起底沙悬扬，而且在转移疏浚物时，洒落在水中的泥沙也会造部水域成局的浑浊，污染性物质可能再次输移。

3.3 海洋生态监测结果与对比分析

（1）叶绿素 a

2011 年 10 月，监测海域各站位叶绿素 a 含量变化范围在 0.29-3.51 $\mu\text{g/L}$ ，平均值为 1.02 $\mu\text{g/L}$ ；2018 年 10 月，监测海域各站位叶绿素 a 含量变化范围在 0.83-4.16 $\mu\text{g/L}$ ，平均值为 2.22 $\mu\text{g/L}$ 。近八年来，叶绿素 a 含量变化范围的区间和含量的平均值变略有增加。参照海水富营养化判别标准，叶绿素 a 浓度为 0~2 mg/m^3 时处于贫营养状态，叶绿素 a 浓度为 2~5 mg/m^3 时处于中营养状态且对生态系统最为有利。因此，腰沙-冷家沙海域的叶绿素 a 含量正向着有利于生态系统健康的方向转变。

（2）生物体质量

通过三期海洋生物质量监测结果对比可知，2011 年的潮间带海洋生物部分指标超标现象比较明显，主要受沿岸地区生产生活、海水养殖、船舶交通等影响。2013 年和 2018 年相比，海洋生物质量状况明显好转，但由于 2013 年采集的是菲律宾蛤仔，2018 年采集的是脉红螺，由于不同生物的栖息环境和存活特性以及在对海洋环境中对化学因子、生物毒素的不同耐受等，均会影响到生物质量监测结果。

（3）浮游植物

浮游植物生态密度变化范围和平均值波动均较大；中肋骨条藻作为优势种相

对较稳定；对比 2011 年 10 月和 2018 年 10 月的群落特征值可知，多样性指数平均值分别为 2.58 和 2.63，均匀度指数平均值分别为 0.62 和 0.63，丰富度指数平均值分别为 1.27 和 0.87，群落特征变化不显著，生态群落结构较稳定。浮游植物种类有所上升，生态密度变化范围和平均值波动均较大，多样性指数和均匀度指数平均值增加，丰富度指数平均值降低，硅藻在浮游植物种类组成和群落结构中具有重要地位。

（4）浮游动物

对比 2011 年 10 月和 2018 年 10 月的群落特征值可知，I 型多样性指数平均值分别为 2.16 和 2.54，均匀度指数平均值分别为 0.80 和 0.62，丰富度指数平均值分别为 1.32 和 1.99；II 型多样性指数平均值分别为 1.88 和 2.99，均匀度指数平均值分别为 0.55 和 0.68，丰富度指数平均值分别为 1.12 和 1.87。群落特征变化不显著，生态群落结构较稳定。浮游动物种类明显增加，节肢动物在种类组成中优势较大，且其多样性指数、丰富度和均匀度指数平均值增加均较明显。浮游生物群落特征变化不显著，生态群落结构较稳定。浮游动物种类数、密度和多样性指数略有降低，主要优势种变化不大。

（5）底栖动物

2011 年 10 月底栖生物平均生物密度为 36 个/m²，平均生物量为 47g/m²；2013 年 9 月平均生物密度为 26.5 个/m²，平均生物量为 10.461g/m²；2018 年 10 月平均生物密度为 134 个/m²，平均生物量为 3.5g/m²。底栖动物平均生物密度增加，但是平均生物量却明显降低。底栖生物种类略有减少、生物量减少，密度均值增大。

（6）潮间带生物

2011 年 10 月两条断面总平均生物密度为 62.67 个/m²，平均生物量为 38.57g/m²；2013 年 9 月平均生物密度为 55 个/m²，平均生物量为 26.009g/m²；2018 年 10 月平均生物密度为 111.41 个/m²，平均生物量为 153.00g/m²。通常情况下，低潮位生物密度最高，高潮位生物物密度最低。由于潮间带采样断面的位置不同，导致生物种类组成、生物密度与生物量、优势种、生物群落特征等存在较大差异。潮间带生物：生物种类数和生物量呈现先下降再增加的变化趋势，栖息密度稍有提高，优势种种类有所变化。

（9）渔业资源

2011 年 10 月调查期间调查海域共鉴定游泳动物 3 大类 17 种，其中鱼类占 56%；平均资源量为 372.120kg/km²，平均资源密度为 33982 尾/km²。2013 年 9 月调查期间调查海域共鉴定游泳动物 3 大类 20 种，其中鱼类占 60%；平均资源量为 599.155kg/km²，平均资源密度为 42377 尾/km²。2018 年 10 月共鉴定 4 大类

38种,其中鱼类占63.16%;平均资源量为949.35kg/km²,平均资源密度为72306.33尾/km²。

工程疏浚挖泥、填海造陆、码头等水工构筑物占海将影响海域生态环境自净能力。港口项目建设的生态影响主要发生在施工期,施工期生态影响包括直接影响和间接影响两个方面。直接影响主要限定在建构筑物、港池施工的范围之内。港口工程建设将永久占用海洋生物原有的栖息环境,对潮间带和底栖生物群落产生不可逆转的破坏,但由于水工构筑物受影响的底栖生物量较小。港池疏浚、码头施工等作业方式,将直接破坏底栖生物生境,掩埋底栖生物栖息地;间接影响则是由于挖掘、疏浚等致使施工的局部水域悬浮物增加。渔业资源增加,促进组织较大规模的滩涂围垦开发,新增水产池塘养殖面积,可能进一步导致生态问题。

第二章 由此可见港口开发建设工程施后调查海域底栖生物种类略有减少、生物量减少,密度均值增大,以围填海等港口开发建设造成的环境影响为主。对该海域生态环境产生影响和损坏的主要是港口工程的实施。工程建设随着施工结束,对生态环境的影响基本消除,工程对海洋生态环境的变化贡献相对有限。

3.4 本章小结

根据海域生态环境监测结果和对比分析结论来看,腰沙-冷家沙海域2011~2018年生态系统功能有退化的趋势。总体来看2011年海水水质优于2018年,海水中大部分监测因子仍能符合一类和二类海水水质标准以上,但是活性磷酸盐和无机氮超标现象生态系统突出。污染源主要来自港口工业生产废水和工人生活污水等陆源污染排放,以及港池围垦施工易扰动产生底床沉积物和悬浮物质。

该海域生物多样性指数平均值小于3,属于一般和差的级别;海洋生态具有较明显的季节性特征,变化最为明显的是底栖生物,种类和平均生物量降低明显;海洋渔业资源种类组成增加、平均生物密度保持稳定、平均资源量增加。功能退化与填海造陆、码头施工、港池疏浚等港口建设有关,大力开发渔业资源和湿地资源,利用滩涂进行围垦养殖,这些开发建设活动容易导致海洋生态质量下降。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/67704116154010025>