

董超, 王建强, 陈选博, 等. 瓯江口核心港区海域地质资源环境承载力评价[J]. 海洋地质前沿, 2025, 41(4): 71-81.

DONG Chao, WANG Jianqiang, CHEN Xuanbo, et al. Geological resources and environment carrying capacity in the core port area of Oujiang River Estuary[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(4): 71-81.

# 瓯江口核心港区海域地质资源环境承载力评价

董超, 王建强, 陈选博, 周宇渤, 张朋

(浙江省水文地质工程地质大队, 宁波 315000)

**摘要:**瓯江口大、小门岛港区和状元岙港区是温州港的重要组成部分,也是温州市海洋经济重点建设区块。基于对港区海岛岸线资源开发强度、水深地形条件、波浪动力环境、海床冲淤风险及海水富营养化的分类分级评价,从港区岸线资源供给能力、地质条件支撑能力及海洋环境纳污能力 3 个方面对大、小门岛港区和状元岙港区开发利用现状和地质资源环境承载力进行综合分析和评估,结果表明:核心港区地质资源环境承载力介于 1.6~2.4,属于承载力临界区间中的较高范围;小门岛港区资源承载力最低,制约因素主要为自然岸线资源供给能力及海水纳污能力较低;大门岛港区承载力最高,水深地形条件为最大限制条件;状元岙港区承载力居中,限制因素为自然岸线供给能力。

**关键词:**瓯江口; 核心港区; 地质资源环境; 岸线开发强度; 冲淤; 承载力

中图分类号:P736.2

文献标识码:A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.140

## 0 引言

温州地处浙江南部,是浙江海洋经济发展示范区的重要组成部分,拥有丰富的“港、涂、渔、景、能”等海洋资源,尤其是港口资源通过汇集水运、陆运多种运输方式,实现了区域腹地经济往来,推动了地区经济发展,是海洋资源中的核心战略资源。

长期以来,丰富的港口空间资源为温州市乃至浙江省经济社会发展提供了重要的基础保障。然而,不合理的海洋空间开发布局和高强度的人类开发活动,给区域自然环境和生态系统也带来了一定的负面影响。优化国土空间开发布局,科学划定“三区三线”,开展资源环境承载能力评价,特别是针对港口开发利用和布局的资源环境承载力评价的重要性日益凸显。马诗敏等<sup>[1]</sup>选取生态保护重要性、农业生产适宜性、城镇建设适宜性、海洋环境影响、

社会经济条件和海洋经济发展现状等 5 个方面探讨了陆海统筹资源环境承载能力评价体系。方静涛<sup>[2]</sup>根据地壳稳定性、活动断裂、地面沉降、地面塌陷等地质问题,从环境地质角度对辽宁省海岸带地质条件进行了综合评价。

港口资源环境承载力,通常是指一定时期、一定范围内,在自然环境和社会经济共同作用下,港口维系其自身健康、稳定发展的潜在能力,即从自然环境和社会经济角度出发,用相关影响因素作为承载力指标,半定量地描述港口可持续发展的能力<sup>[3]</sup>。黄丽华等<sup>[4]</sup>以生态承载力理论为基础,探索建立了一套基于 RS、GIS、GPS 的沿海港口生态承载力预警系统,并以厦门港为例对其系统的可应用性进行了验证;王瑞<sup>[5]</sup>针对港口存在的问题以及港口环境承载力的主要影响元素,利用集对分析法和数据包络分析法,构建了港口环境承载力评价模型,并对天津港环境承载力水平进行了静态和动态评价;张亚冬等<sup>[6]</sup>探讨了港口环境承载力的概念、内涵,分析了港口环境承载力的主要影响因素。郭子坚等<sup>[7]</sup>基于生态足迹理论,从资源供给与需求,建立了港口生态足迹模型、港口承载力模型。总体来看,目前关于港口资源环境承载能力的相关研究较少,且多数研究主要围绕生态、社会条件对港口承载力

收稿日期: 2024-06-20

资助项目: 浙江省省级地质专项资金项目“浙江省海岸带重点区综合地质调查(温州重点区)([省资]2018009)”,“玉环国家级海洋公园综合地质调查([省资]2024010)”;亚洲合作资金项目“长江三角洲与红河三角洲海洋地质环境与地质灾害对比研究”

第一作者: 董超(1985—),男,硕士,工程师,主要从事河口海岸沉积动力和地质环境方面的研究工作. E-mail: 315060923@qq.com

影响等,关于地质资源环境承载力评价研究较少。

地质资源环境是港口建设和发展的先决条件,本文基于海域地质资源环境多要素构建了温州瓯江口核心港区资源环境承载力评价体系,开展港区海域地质资源环境承载力研究,对于认识区域地质资源环境禀赋特点,明确港口资源开发的最大合理规模和适宜空间,科学划定港口海洋产业开发空间管控边界具有科学意义。

## 1 研究区概况

温州港地处浙江南部、东南沿海黄金海岸线中部,长江三角洲经济区与海西经济区的交汇处,北邻宁波—舟山港、南毗福州港,与台湾基隆港隔海相望,是长三角地区发展对台贸易的最佳港口,有

着较好的区位优势 and 建港条件。温州港为中国沿海 25 个主要港口之一,2023 年全港完成货物吞吐量 8 812.72 万 t,集装箱吞吐量再次突破“百万标箱”。根据《温州港总体规划》<sup>[8]</sup>,主体规划为“一港七区”,包括乐清湾港区,状元岙港区,大、小门岛港区以及瓯江港区,瑞安港区,平阳港区,苍南港区等 4 个辅助港区。本文以瓯江口大、小门岛港区与状元岙港区为研究对象,运用地质资源环境要素对瓯江口核心港区现状开发利用承载情况进行了评价。

瓯江口大、小门岛为临港工业岛和港口物流岛,以石化、大宗散货中转运输,储存和加工基地为依托,发展临港产业和现代物流;瓯江口状元岙岛,是温州港优先重点发展的深水港区,是以承担集装箱和大宗散货装卸为主,发展临港工业、现代物流的多功能现代化港区(图 1)。

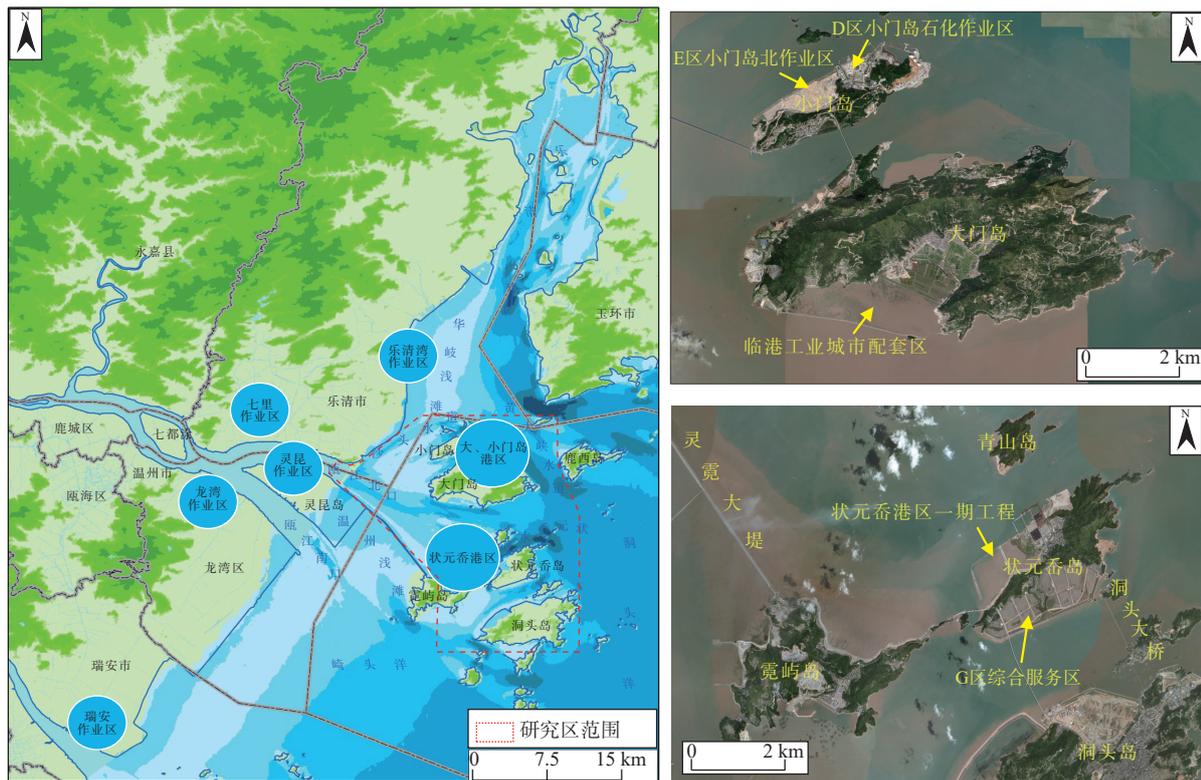


图 1 研究区范围

Fig.1 Research area and General Plan of the Wenzhou Port

## 2 数据来源及方法

### 2.1 数据来源

港口海岛岸线资源数据来源于 2021 年度浙江省大陆、海岛岸线测量和监测数据;水深地形数据

采用 2012、2013 年公开出版的大门岛(比例尺为 1:25 000)、洞头岛附近(比例尺为 1:25 000)的海图资料;波浪动力数据、地形冲淤数据引用《浙江省海岸带重点区综合地质调查(温州重点区)成果报告》<sup>[9]</sup>中开展的瓯江口水文动力、泥沙模型中的相关资料;海水水质数据采用 2019 年 8 月研究区周边海域的 9 个站位的水质调查资料,调查站位自瓯江河口区

沿中水道至状元岙岛,范围涵盖大、小门岛和状元岙港区周边海域。

## 2.2 评价指标及方法

### 2.2.1 评价指标选择及分级

港口资源环境承载力影响因素众多,陈鹏等<sup>[10]</sup>在对大亚湾海岛港口开发利用与保护适宜性评价中,综合海域及岛群的自然生态属性、资源条件和社会生态属性等条件,按照约束型和引导型 2 个类别筛选评价因子,构建了大亚湾海岛港口开发利用与保护适宜性分区评价指标体系;赵宇哲等<sup>[11]</sup>从生态文明建设角度选取人口社会发展、资源消耗、绿色经济等指标构建了生态港口评价指标体系;黄沛等<sup>[12]</sup>以港口功能适宜性为评价目标,构建了以海岸自然条件和海岸社会经济条件为主要影响因素的港口功能适宜性评价模型。以上评价指标体系的构建更多地侧重于港口建设发展的社会经济因素,本次评价主要选择影响港口开发建设及功能发挥的关键性地质环境资源要素,包括岸线资源、水深地形、波浪动力、泥沙冲淤及海水水质等,从岸线资源供给、地质条件支撑及海洋环境纳污 3 个方面开展。

其中,岸线开发强度评价结果可划分为可载、临界超载和超载 3 个等级。当  $N < 0.1$  时,岸线开发强度属于可载级别;当  $0.1 \leq N < 0.3$  时,岸线开发强度属于临界超载级别;当  $N \geq 0.3$  时,岸线开发强度属于超载级别。

水深地形评价指标参照《资源环境承载力国土空间开发适宜性评价技术指南》<sup>[13]</sup>中的海域双评价对港口航运区水深分级评价标准,按照  $h > 20 \text{ m}$ 、 $20 \geq h > 10 \text{ m}$ 、 $h \leq 10 \text{ m}$  由高到低划分承载力。

港口航运功能指向的水动力条件支撑能力是指水动力环境对港口航运功能的限制作用,有效波高能够反映海域波高对于航运的限制程度<sup>[14-17]</sup>。按有效波高  $W \leq 0.5 \text{ m}$ 、 $0.5 < W \leq 1 \text{ m}$ 、 $W > 1 \text{ m}$  划分 3 个等级,分别代表波浪动力条件限制能力由低到高。

海床地形冲淤变化参考金翔龙<sup>[18]</sup>在杭州湾北岸海岸侵蚀风险评估研究中有关冲淤稳定性指标的划分,本次将冲淤量级按照  $-10 \leq D < 10 \text{ cm}$ 、 $-20 \sim -10 \text{ cm}$  或  $10 \sim 20 \text{ cm}$ 、 $D \geq 20 \text{ cm}$  或  $D < -20 \text{ cm}$  划分风险承载力由高到低。

参考《海水质量状况评价技术规程(试行)》<sup>[19]</sup>中关于海水水质富营养化分级标准,将海水水质富营养化指数  $E > 1$  即定为富营养化,  $1 < E \leq 3$  为轻度富营养化,  $3 < E \leq 9$  为中度富营养化,  $E > 9$  为重度富营养化。

具体评价指标见表 1。

### 2.2.2 评价方法

#### (1) 岸线资源开发强度

参考《海洋资源环境承载力监测预警技术方法指南》<sup>[20]</sup>对岸线资源承载力评估的方法和标准,对港口岸线开发强度所体现的海岛岸线空间资源承载力进行评价。

表 1 核心港区地质资源环境承载力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of geological resources and environment carrying capacity of the core port area

项目	因子	指标	划分标准	承载力等级量值	
地质资源环境承载力(C)	岸线资源供给能力(S1)	岸线资源开发强度(N)	$N < 0.1$	3	
			$0.1 \leq N < 0.3$	2	
			$N \geq 0.3$	1	
	地质条件支撑能力(S2)	有效波高(W)	水深地形(h)	$h > 20 \text{ m}$	3
				$20 \geq h > 10 \text{ m}$	2
				$h \leq 10 \text{ m}$	1
			冲淤风险(D)	$W \leq 0.5 \text{ m}$	3
				$0.5 < W \leq 1 \text{ m}$	2
				$W > 1 \text{ m}$	1
海洋环境纳污能力(S3)	富营养化(E)	$-10 \leq D < 10 \text{ cm}$	3		
		$10 \sim 20 \text{ cm}$ 或 $-20 \sim -10 \text{ cm}$	2		
		$D \geq 20 \text{ cm}$ 或 $D < -20 \text{ cm}$	1		
			轻度富营养化	3	
			中度富营养化	2	
			重度富营养化	1	

人工岸线主要包括围塘堤坝(围海养殖、渔港等)、工业与城镇、防护堤坝、港口码头4种岸线开发利用类型,不同类型的人工岸线对海洋资源环境影响存在差异,岸线人工化指数( $P_A$ )<sup>[21]</sup>计算公式如下:

$$P_A = (l_{mB} \times q_B + l_{mT} \times q_T + l_{mG} \times q_G + l_{mH} \times q_H) / l_{\text{总}} \quad (1)$$

式中: $l_{\text{总}}$ 为海岸线总长度;

$l_{mB}$ 为围塘堤坝人工岸线长度;

$l_{mT}$ 为防护堤坝人工岸线长度;

$l_{mG}$ 为工业与城镇人工岸线长度;

$l_{mH}$ 为港口码头人工岸线长度;

$q_B$ 、 $q_T$ 、 $q_G$ 、 $q_H$ 分别为对应的人工海岸类型对海洋环境影响指数(表2)。

表2 人工岸线类型及影响因子

Table 2 Classification of artificial coastline and the impact factor

分类	海洋资源环境影响描述	影响因子
围塘堤坝	对海洋资源环境有一定影响	$q_B=0.6$
交通运输	对海洋资源环境有明显影响	$q_H=0.8$
人工海岸	对海洋资源环境有较大影响,部分影响不可恢复	$q_T=1.0$
城镇填海	对海洋资源环境有较大影响,部分影响不可恢复	$q_G=1.0$

海岸线开发利用评价标准( $P_{A0}$ )计算如下:

$$P_{A0} = \sum_{i=1}^9 w_i l_i / l_{\text{总}} \quad (2)$$

式中: $l_{\text{总}}$ 为区域海岸线总长度;

$l_i$ 为区域内第*i*类海洋功能区毗邻海岸线长度;

$w_i$ 为第*i*类海洋功能区海洋开发对海岸线的影响因子。

区域岸线开发强度( $N$ )计算公式:

$$N = P_A / P_{A0} \quad (3)$$

### (2) 地质资源环境承载力

从资源和环境对于港口发展支撑能力角度,选取相关指标开展核心港区地质资源环境承载力评价工作。

承载力评价是基于一定的量化规则,对各评价因子进行量化,然后按照一定的计算规则对评价区域承载力进行相对大小的比较,不同的指标由于单位不同、量级不同,需要对各因子先进性量化分级。选取的评价因子包括:岸线资源供给能力( $S1$ ),对应指标为岸线资源开发强度( $N$ );地质条件支撑能力( $S2$ ),对应指标包括水深地形( $h$ )、有效波高( $W$ )、

冲淤风险( $D$ );海洋环境纳污能力( $S3$ ),对应指标富营养化( $E$ )。通过对相应指标进行分级,对各级别量值进行规定,级别数为3;指标效应由高到低分别对应量值为3、2、1。

各因子经过量化分级后,将地质资源环境承载力按照如下规则进行计算:

$$C = (S1 + S2 + S3) / 3 \quad (4)$$

式中: $S1$ 取值为岸线资源供给能力( $N$ );

$S2$ 为地质条件支撑能力,取水深地形( $h$ )、有效波高( $W$ )和冲淤风险( $D$ )算术平均值;

$S3$ 为海洋环境纳污能力,取富营养化指数( $E$ )。

对地质资源环境承载力 $C$ 可以按照可载、临界和超载3个级别进行划分,并规定超载得分为1,临界为2,可载为3,然后按照平均分割方法对承载力进行界定: $1 \leq C < 1.6$ 为超载; $1.6 \leq C < 2.4$ 为临界; $C \geq 2.4$ 为可载。

## 3 评价结果

### 3.1 港口岸线资源供给能力

大、小门岛规划为临港工业岛和港口物流岛,据最新的岸线调查统计,大门岛岸线总长度为47.07 km,自然岸线长度达41.235 km。其中,基岩岸线39.545 km,砂砾质岸线1.69 km,船舶工业岸线0.015 km,交通道路岸线1.33 km,城镇工业岸线2.07 km,港口码头岸线2.42 km。

小门岛岸线总长度为15.28 km,自然岸线长度为9.58 km。其中,基岩岸线8.51 km,砂砾质岸线0.15 km,淤泥质岸线0.92 km,交通道路岸线2.09 km,城镇工业岸线3.09 km,港口码头岸线0.51 km。

状元岙港区是温州港优先重点发展的深水港区,以发展临港工业、现代物流为目标的多功能现代化港区。据最新的岸线调查统计,状元岙岛岸线总长度为27 km,自然岸线长度达16.05 km。其中,基岩岸线15.63 km,砂砾质岸线0.42 km,交通道路岸线1.66 km,城镇工业岸线8.10 km,港口码头岸线1.19 km。各岛屿功能类型岸线长度统计结果见表3和图2。

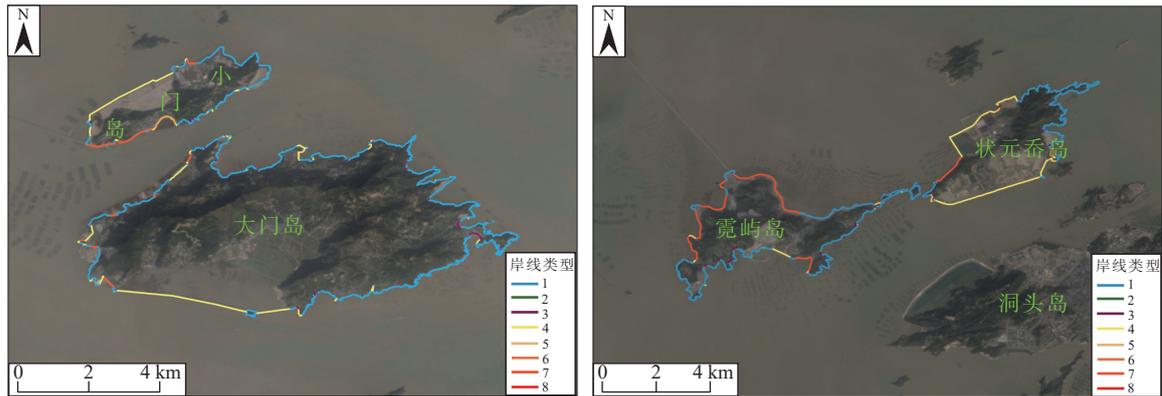
根据海岛岸线类型统计结果,岛屿人工岸线开发类型主要包括防护堤坝岸线、工业与城镇岸线与港口码头岸线。其中,小门岛人工岸线长度占其岛

表 3 岸线类型及长度

Table 3 The type and length of coastline

岸线类型	基岩岸线	砂砾质岸线	淤泥质岸线	船舶工业岸线	交通道路岸线	城镇工业岸线	港口码头岸线
大门岛	39.545	1.69	0	0.015	1.33	2.07	2.42
小门岛	8.51	0.15	0.92	0	2.09	3.09	0.51
状元岙港区	15.63	0.42	0	0	1.66	8.1	1.19

km



左-大小门岛;右-状元岙岛;图例中:1-基岩岸线,2-淤泥质岸线,3-砂砾质岸线,4-海堤,5-码头,6-船坞,7-道路,8-防潮闸

图 2 核心港区海岛岸线开发类型分布

Fig.2 Island coastline types in the core port area

屿岸线总长度的 37.26%,自然岸线占 62.74%,人工岸线类型中,城镇填海岸线长度占比最大,为 20.24%;大门岛人工岸线长度占其岛屿岸线总长度的 12.40%,自然岸线占 87.60%,人工岸线类型中港口码头交通运输岸线长度占比最大,为 5.14%;状元岙岛人工岸线长度占其岛屿岸线总长度的 40.56%,自然岸线占 59.44%,人工岸线类型中城镇填海岸线长度占比最大,为 30.00%。根据《温州市海洋功

能区划(2011—2020 年)》<sup>[22]</sup>中主要海洋功能区毗邻的岸线长度,计算得出 3 个岛屿岸线开发利用标准,其中,小门岛和状元岙岛周边均为港口航运区,岸线开发利用标准为 1,大门岛毗邻海域功能区划为港口航运区和工业与城镇用海区,开发利用标准同样为 1。综合  $P_A$  和  $P_{A0}$  计算,大门岛岸线开发强度为 0.10,小门岛岸线开发强度为 0.34,状元岙岛岸线开发强度为 0.38(图 3)。评价结果表明,港区



图 3 核心港区岸线开发强度分布图

Fig.3 Coastline exploitation intensity of the core port area

岸线空间资源开发强度适宜,属于可载级别,一定时期内现有的自然岸线能够支持港区后续规划开发运行。

### 3.2 港口地质条件支撑能力

#### 3.2.1 港区水深地形

瓯江口岛屿纵横、浅滩密布、滩槽交错,北口水深多 $<15\text{ m}$ ,平均约为 $7\sim 8\text{ m}$ 。岛间潮流冲刷强烈,发育良好的水道,水深多 $>20\text{ m}$ 。良好的水深地形是港口开发建设的先决条件,通常水深较深的地方适宜建设中型及大型以上的港口,水深地形在很大程度上可以指向港口建设开发承载力的强度。

水深支撑能力结果表明,岛屿外侧及岛屿间水道水深支撑能力较高,尤其是状元岙港区,其北侧水深可达 $40\text{ m}$ 以上,能够满足大型船舶进港停靠;

其次是黄大峡与大门水道、小门水道连接段,水深局部可以达到 $20\text{ m}$ 以上,平均水深约为 $10\sim 15\text{ m}$ ;此外沿黄大岙水道—中水道一线也具备一定的水深条件支撑能力,可以较好地保障船舶进出瓯江口海域(图4)。

#### 3.2.2 港区水文动力

本文给出了现状条件下常风向SE向大风(风力7级)作用下的波高分布情况(图5)。总体来看,区域波高分布与岛屿地形有一定关系,无岛屿障壁的水道内较深的区域波高普遍较大,如7级风力作用下,黄大峡水道波高约为 $1.2\text{ m}$ ,进瓯江口主航道黄大岙水道7级风力作用下波高也可以达到近 $1\text{ m}$ 。受岛屿障壁,大门水道、小门水道及状元岙水道内波高较小,一般 $<0.5\text{ m}$ ,有利于港内安全运营。

评价结果表明,核心港区的航运水动力条件等级以岛屿为中心向两侧递减,其中,近岛海域的承

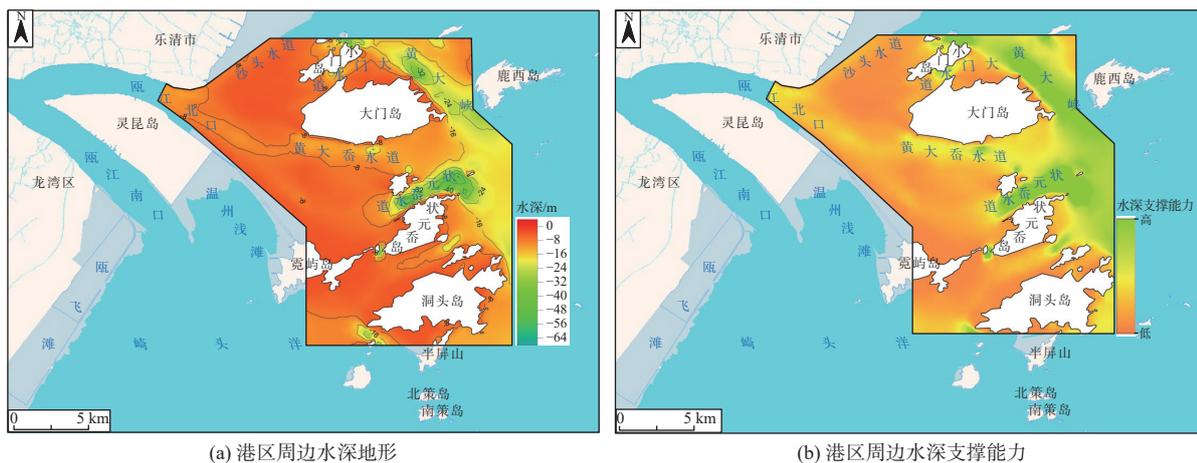


图4 港区周边海域水深地形支撑能力

Fig.4 Bathymetric topography supporting capacity around the port area

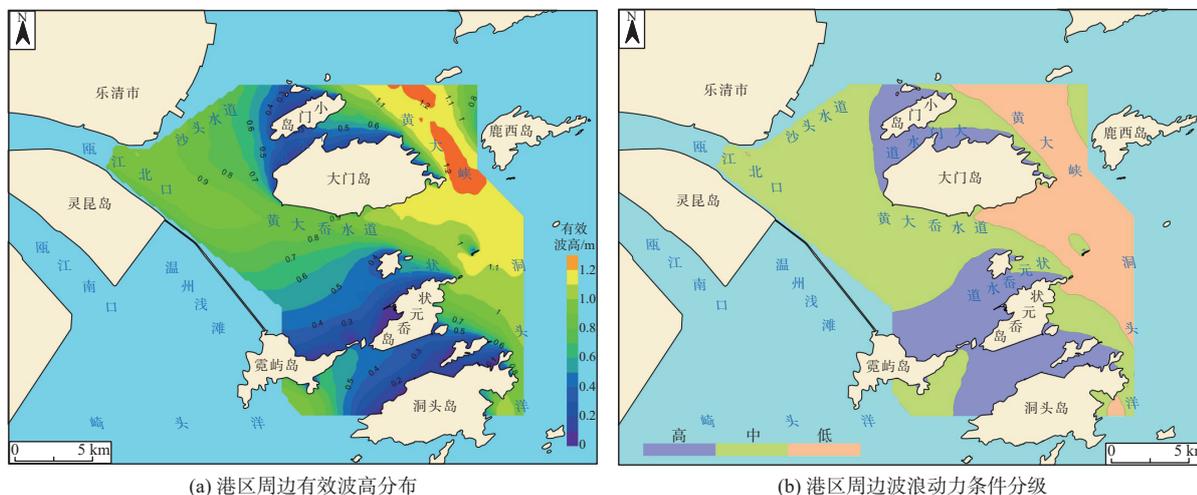


图5 港口航运功能指向的动力条件承载能力

Fig.5 Dynamic load capacity and carrying capacity for shipping function in the port areas

载等级更高; 靠大陆侧的河口航运区承载等级中等, 外侧的黄大峡水道有效波高普遍 > 1 m, 承载等级较低。

### 3.2.3 海床地形冲淤

港口工程建设及运营需要海床处于相对稳定的状态, 底床的冲刷虽然对船舶进港、停泊等所需的优良水深条件维护有利, 但过于强烈的冲刷也直接影响到码头构筑物基础的稳定性; 强烈的淤积一方面增加了港口航道维护的成本, 另一方面也会对构筑物基础稳定性产生威胁<sup>[23-24]</sup>。海岸工程的实施将使海域水动力条件产生变化, 具体体现在海域流场的调整和海床的冲淤变化。在相对稳定的海床上, 与流速、含沙量相适应的水深为平衡水深。流速越大, 含沙量越小, 则平衡水深也越大; 反之, 则平衡水深越小。根据这一理论, 曹祖德等<sup>[25]</sup>建立了海岸港口工程建设引起的海床冲淤变化计算公式, 并在洋山深水港一期、二期工程实践中得到应用证明, 公式为:

$$\Delta = \frac{\alpha \omega S_1 t}{\rho_c} \left[ 1 - \left( \frac{u_{12}^2}{u_1^2} \right)^m \right] \quad (5)$$

式中:  $\Delta$  为冲淤厚度, m;

$\alpha$  为比例系数;

$\omega$  为泥沙沉降速度, m/s;

$S_1$  为工程前含沙量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$t$  为计算冲淤时段;

$\rho_c$  为海床土的干重度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$u_{12}$  为工程后的流速, m/s;

$u_1$  为工程前的流速, m/s。

本次评价参考上述公式, 通过将瓯江口核心港区规划建设前后相应的流速代入公式进行计算, 得

到规划港区建设前后的相应地形冲淤变化(图 6)。瓯江口核心港区周边海床冲淤表现为出瓯江口门后, 冲刷区自中水道接黄大乔水道沿大门岛南侧展布, 东侧与黄大峡、南侧与状元岙水道相连, 冲刷幅度基本介于 10~25 cm/a, 水道的中心局部冲刷幅度达到 50 cm/a 以上, 这些区域海床冲淤环境风险承载力明显偏低。沙头水道、大门水道及中水道外侧边滩、岛屿周边分布的淤泥质潮滩呈微弱淤积, 海床冲淤环境风险承载力较高。总体来看, 小门岛及大门岛北侧呈现海床冲淤环境风险高承载力, 状元乔港区呈现海床冲淤环境风险低承载力。

### 3.3 海洋环境纳污能力

受瓯江口、乐清及口外岛屿陆源污染物排放的影响, 海水水质各因子含量的总趋势是从瓯江口内以及沿岸向外海递减。溶解氧含量介于 5.92~7.66 mg/L; 无机氮含量介于 0.21~0.93 mg/L; 活性磷酸盐含量介于 0.013~0.055 mg/L; 根据所在海域瓯江口港口航运区水质环境质量要求, 海水水质应执行四类标准, 从监测结果来看, 部分站位无机氮和活性磷酸盐超标, 其超标率分别为 10% 和 30%。

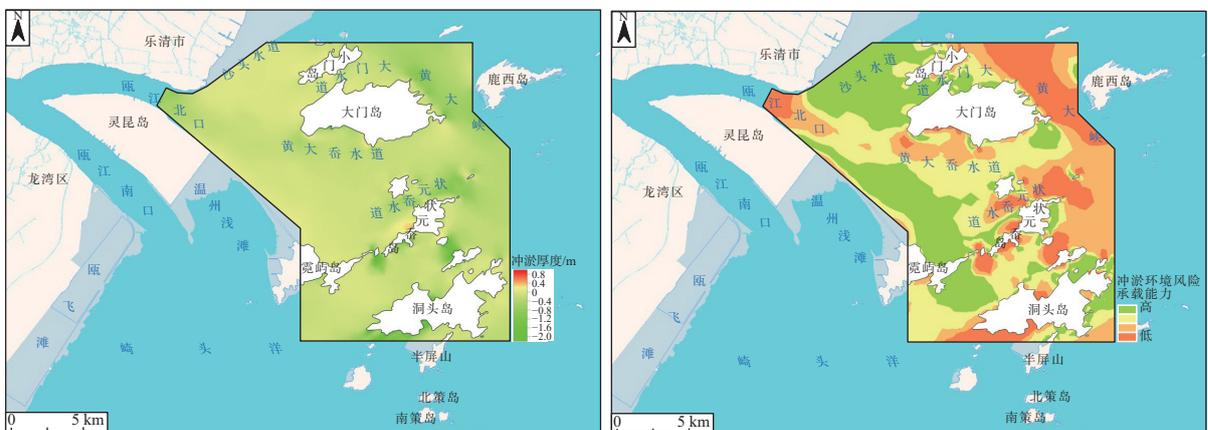
根据海域水质环境现状调查所获得的数据, 用富营养化指数法对港区及其邻近海域水体富营养化程度进行分析, 并以大潮水体富营养化程度作为海域环境纳污能力分区指标。

富营养化指数公式:

$$E = (\text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP} \times 10^6) / 4500 \quad (6)$$

式中: COD 为化学耗氧量浓度, mg/L;

DIN 为无机氮浓度, mg/L;



(a) 港区周边地形冲淤厚度分布

(b) 港区周边地形冲淤分级

图 6 港区冲淤环境风险承载力

Fig.6 Environmental risk carrying capacity of scouring and silting in the port areas

DIP 为活性磷酸盐浓度, mg/L。

经计算, 海域各站位富营养化指数见表 4。

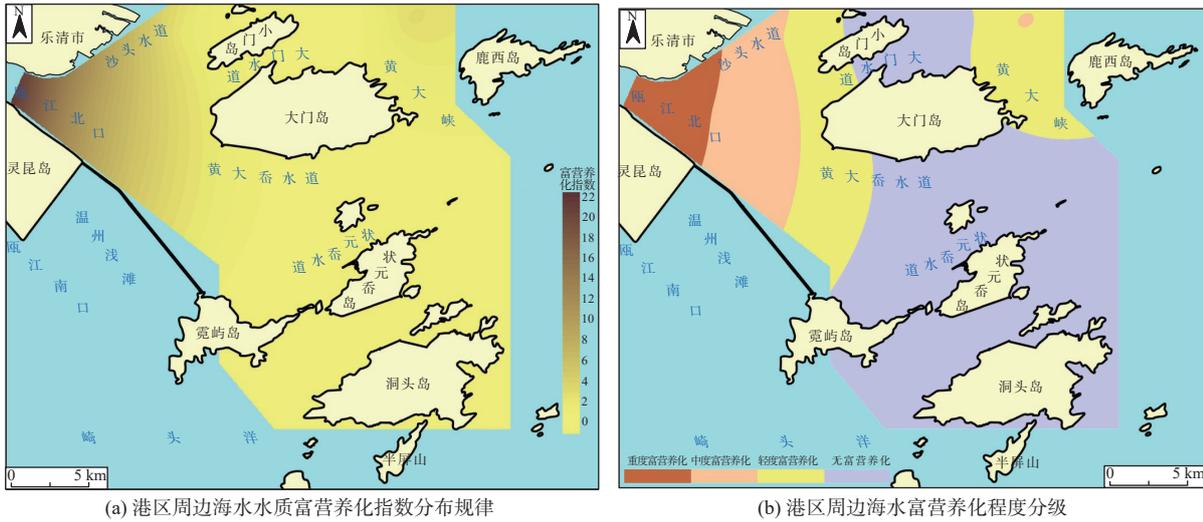
从计算结果来看(图 7), 各站位富营养化指数介于 0.45~26.96, 富营养化指数呈自河口向口外滨海区域逐渐递减趋势。富营养化指标分区表明, 状元岛周边水体交换能力较好, 海洋环境纳污能力

表 4 海水富营养化指数

Table 4 Eutrophication index around the port areas

站位	WQ1	WQ2	WQ3	WQ4	WQ5	WQ6	WQ7	WQ8	WQ9	WQ10
指数值	1.13	0.45	2.51	26.96	5.27	0.90	3.14	0.52	0.48	10.37

力较高, 大门岛南侧海域纳污能力中等, 小门岛港区离瓯江口较近, 海域环境容量较低。



(a) 港区周边海水水质富营养化指数分布规律

(b) 港区周边海水富营养化程度分级

图 7 港区海洋环境纳污能力

Fig.7 The carrying capacity of environmental pollution in the port area

### 3.4 核心港区地质资源环境承载力评价

根据前述计算方法, 结合各岛屿评价因子统计数据(表 5—7), 计算结果表明, 小门岛港区地质资源环境承载力  $C=1.5$ ; 大门岛港区地质资源环境承载力  $C=2.22$ , 大、小门岛核心港区地质资源环境承载力  $C=1.86$ ; 状元岛港区地质资源环境承载力  $C=2$ 。

从承载力等级的评价结果来看, 核心港区地质资源环境承载力均介于 1.6~2.4, 属于承载力临界区间中较高范围; 其中, 小门岛港区资源承载力最低, 主要是由于岛屿人工岸线开发强度较大及近河

口较重的富营养化所影响, 岛屿本身已经属于超载级别; 大门岛港区承载力最高, 其不论是岸线资源的供给还是岛屿周边自然条件, 均具有较好的承载

表 6 大门岛港区地质资源环境承载力评价因子统计值

Table 6 Geological resources and environmental carrying capacity in the Damen Island port area

因子	指标	统计值	承载力等级量值
岸线资源供给能力(S1)	岸线资源开发强度(N)	0.10	3
	水深地形(h)	10 m	1
	波浪动力(W)	0.57 m	2
地质条件支撑能力(S2)	冲淤风险(D)	-17 cm	2
	富营养化(E)	中度	2

表 7 状元岛港区地质资源环境承载力评价因子统计值

Table 7 Geological resources and environmental carrying capacity in the Zhuangyuan'ao Island port area

因子	指标	统计值	承载力等级量值
岸线资源供给能力(S1)	岸线资源开发强度(N)	0.38	1
	水深地形(h)	10.5 m	2
地质条件支撑能力(S2)	波浪动力(W)	0.51 m	2
	冲淤风险(D)	-19 cm	2
海洋环境纳污能力(S3)	富营养化(E)	轻度	3

表 5 小门岛港区地质资源环境承载力评价因子统计

Table 5 Geological resources and environmental carrying capacity in the Xiaomen Island port area

因子	指标	统计值	承载力等级量值
岸线资源供给能力(S1)	岸线资源开发强度(N)	0.34	1
	水深地形(h)	12.0 m	2
地质条件支撑能力(S2)	波浪动力(W)	0.34 m	3
	冲淤风险(D)	-10 cm	3
海洋环境纳污能力(S3)	富营养化(E)	重度	1

潜力,不足之处是天然的水深地形条件可能会对未来发展有一定的限制;状元岙岛港区主要是其岸线资源的人工开发强度较大导致自然岸线资源的下降,这在很大程度上弱化了港区的承载力。

## 4 结论

(1)选取岸线资源供给能力、地质条件支撑能力及海洋环境纳污能力3个一级评价因子和5个二级评价因子,建立了瓯江口核心港区地质资源环境承载力评价指标体系,基于一定的量化规则和计算方法对核心港区地质资源环境承载力进行评价。港区岸线空间资源开发强度适宜,属于可载级别,大、小门岛核心港区地质资源环境承载力值为1.86,状元岙岛港区地质资源环境承载力值为2,均介于1.6~2.4,属于承载力临界区间中较高范围。港区地质资源环境承载力主要影响因素为自然岸线保有率的下降及海域环境纳污能力的降低。

(2)海水环境、岸线开发强度是影响核心港区承载力水平的重要因子,今后港区需要立足于可持续发展理念,针对上述因子制定相应对策措施。岸线开发利用方面,建议结合核心港区建设规划,进一步明确海岛岸线的开发利用方向与保护要求,科学划定海洋生产、生活和生态空间,划定禁止围填海区域。另外,严格控制小门岛及状元岙岛港口码头建设,减少港口开发占用岸线资源比例,集约/节约利用现有港口岸线,提高单位港口岸线吞吐量。同时,加强对海岛自然岸线资源的动态监测与评估,确保自然岸线保有率不降低。改善海水环境质量方面,建议进一步规范入海排污口管理,对瓯江河口入海排污企业进行全面排查,减少陆源污染排放。结合瓯江口“蓝色海湾”工程,推进瓯江口生态修复工作,减少海岛高影响开发活动,逐步改善受损生态环境,强化海域本底功能,保持海域水流自然条件,提升防污净化能力,维持海岛地质环境资源平衡。

### 参考文献:

- [1] 马诗敏,徐新阳,倪金,等. 陆海统筹资源环境承载能力评价体系构建[J]. 地质与资源, 2021, 30(2): 186-192.  
MA S M, XU X Y, NI J, et al. Evaluation system construction for the resources and environment carrying capacity of sea-land coordination[J]. Geology and Resources, 2021, 30(2): 186-192.
- [2] 方静涛. 辽宁省海岸带地质环境综合评价研究[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 85-100.
- [3] 白景峰,于航. 渤海湾港口区域发展与环境承载力响应机制研究[M]. 北京:海洋出版社, 2016.  
BAI J F, YU H. Research on the Response Mechanism of Bohai Bay Port Area Development and Environmental Carrying Capacity[M]. Beijing: China Ocean Press, 2016.
- [4] 黄丽华,姜昀,杨帆,等. 基于“3S”的沿海港口生态承载力预警系统构架研究:以厦门港为例[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(12): 195-201.  
HUANG L H, JIANG Y, YANG F, et al. Early warning system construction of coastal port ecological carrying capacity based on "3S" technology: Xiamen Port for example[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 42(12): 195-201.
- [5] 王瑞. 天津港港口环境承载力评价研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2014.  
WANG R. The evaluation study of Tianjin Port environmental carrying capacity[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [6] 张亚冬,张騷,崔凯杰,等. 港口环境承载力概念及其影响因素初探[J]. 水道港口, 2008, 29(5): 372-376.  
ZHANG Y D, ZHANG L, CUI K J, et al. Research on port environmental carrying capacity and the effecting factors[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2008, 29(5): 372-376.
- [7] 郭子坚,望灿,王文渊,等. 基于生态足迹的港口生态承载力模型[J]. 港工技术, 2015(2): 48-51.  
GUO Z J, WANG C, WANG W Y, et al. Port ecological capacity model based on ecological footprint[J]. Port Engineering Technology, 2015(2): 48-51.
- [8] 温州港集团. 温州港总体规划[R]. 温州:温州港集团, 2012.  
Wenzhou Port Group. General plan of Wenzhou Port [R]. Wenzhou: Wenzhou Port Group, 2012.
- [9] 陈俊兵,王一鸣,董超,等. 浙江省海岸带重点区综合地质调查(温州重点区)成果报告[R]. 宁波:浙江省水文地质工程地质大队, 2022.  
CHEN J B, WANG Y M, DONG C, et al. Comprehensive geological survey of coastal zones in Zhejiang Province (key area of Wenzhou) [R]. Ningbo: Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 2022.
- [10] 陈鹏,顾海峰,吴剑,等. 海岛港口开发利用与保护适宜性分区评价:以大亚湾岛群为例[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(4): 614-618.  
CHEN P, GU H F, WU J, et al. Zoning assessment of suitability for port development and protection of islands: an example of Dayawan Bay[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(4): 614-618.
- [11] 赵宇哲,刘芳. 生态港口评价指标体系的构建:基于R聚类、变异系数与专家经验的分析[J]. 科研管理, 2015, 36(2): 124-132.  
ZHAO Y Z, LIU F. The ecological port evaluation indicator system based on R-cluster, coefficient of variation and expert ex-

- perience[J]. *Science Research Management*, 2015, 36(2): 124-132.
- [12] 黄沛, 丰爱平, 吴桑云, 等. 基于 GIS 的港口功能适宜性评价模型构建研究 [J]. *海洋开发与管理*, 2010, 27(1): 31-35.  
HUANG P, FENG A P, WU S Y, et al. Research on the construction of port functional suitability evaluation model based on GIS[J]. *Ocean Development and Management*, 2010, 27(1): 31-35.
- [13] 自然资源部. 资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南 [S]. 北京, 2020.  
Ministry of Natural Resources. Technical Guidelines for the Evaluation of the Carrying Capacity of Resources and Environment and the Suitability of Territorial Spatial Development[S]. Beijing: Ministry of Natural Resources, 2020.
- [14] 李连伟, 刘展, 宋冬梅, 等. 黄河三角洲环境脆弱性评价方法及其应用 [J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18(1): 195-201.  
LI L W, LIU Z, SONG D M, et al. Application and method of environmental vulnerability evaluation in Yellow River Delta[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(1): 195-201.
- [15] 王公伯, 李广雪, 徐继尚. 近海人工岛稳定评价方法体系的研究 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2011, 31(4): 83-88.  
WANG G B, LI G X, XU J S. A stability evaluation system for offshore artificial islands[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2011, 31(4): 83-88.
- [16] 于莹. 海岸带地质环境脆弱性评价研究: 以黄河口为例 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2016.  
YU Y. Research on coast zone geological environment vulnerability evaluation: case study of Yellow River Estuary[D]. Beijing: China University of Geosciences, Beijing, 2016.
- [17] 徐元芹, 李萍, 刘乐军, 等. 河北南堡—曹妃甸海域工程地质条件及海底稳定性评价 [J]. *海洋学报*, 2017, 39(5): 103-114.  
XU Y Q, LI P, LIU L J, et al. Engineering geological conditions and seabed stability assessment of Nanpu-Caofeidian, Hebei Province[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 39(5): 103-114.
- [18] 金翔龙. 浙江海洋资源环境于海洋开发 [M]. 北京: 海洋出版社, 2014.  
JIN X L. Marine Resources, Environment and Marine Development in Zhejiang[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014.
- [19] 国家海洋局. 海水质量状况评价技术规程 (试行)[S]. 北京: 国家海洋局, 2015.  
State Oceanic Administration. Technical Regulations for the Evaluation of Seawater Quality Status (Trial) [S]. Beijing: State Oceanic Administration, 2015.
- [20] 国家海洋局. 海洋资源环境承载能力监测预警技术方法指南 [S]. 北京: 国家海洋局, 2015.  
State Oceanic Administration. Technical Guidelines for Monitoring and Early Warning of the Carrying Capacity of Marine Resources and Environment [S]. Beijing: State Oceanic Administration, 2015.
- [21] 赵蕾, 曹议丹, 高伟明. 昌黎县海洋环境承载力评估研究 [J]. *海洋科学*, 2016, 40(8): 84-90.  
ZHAO L, CAO Y D, GAO W M. Assessment of marine environmental carrying capacity in Changli County[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(8): 84-90.
- [22] 温州市人民政府. 温州市海洋功能区划 (2011—2020 年)[R]. 温州: 温州市自然资源和规划局, 2017.  
Wenzhou Municipal People's Government. Marine functional zoning of Wenzhou City(2011-2012)[R]. Wenzhou: Wenzhou Bureau of Natural Resources and Planning, 2017.
- [23] 白玉川, 廖世智. 广西钦州湾海域海床稳定性特征的研究 [J]. *海洋通报*, 2005, 24(2): 26-32.  
BAI Y C, LIAO S Z. Analysis on the features of seabed stability in Qinzhou Bay, Guangxi[J]. *Marine Science Bulletin*, 2005, 24(2): 26-32.
- [24] 季荣耀, 陆永军, 左利钦. 渤海湾曹妃甸深槽形成机制及稳定性分析 [J]. *地理学报*, 2011, 66(3): 348-355.  
JI R Y, LU Y J, ZUO L Q. Formation mechanism and stability of Caofeidian channel in the Bohai Bay[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(3): 348-355.
- [25] 曹祖德, 肖辉. 潮流作用下淤泥质海床冲淤演变预测及应用 [J]. *水道港口*, 2009, 30(1): 1-8.  
CAO Z D, XIAO H. Seabed evolution prediction and application on muddy coast under action of tidal current[J]. *Journal of Waterway and Harbor*, 2009, 30(1): 1-8.

## Geological resources and environment carrying capacity in the core port area of Oujiang River Estuary

DONG Chao, WANG Jianqiang, CHEN Xuanbo, ZHOU Yubo, ZHANG Peng  
(Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ningbo 315000, China)

**Abstract:** The port areas in Damen Island, Xiaomen Island, and Zhuangyuan'ao Island in the Oujiang River Estuary are important parts of Wenzhou Port, Zhejiang, and are important areas of marine economy in Wenzhou City. Based on the coastline exploitation intensity, bathymetric topography condition, wave dynamic environment, seabed erosion and siltation risk, and seawater eutrophication in the port area, the geological resources and environmental carrying capacity of the port areas were comprehensively analyzed and evaluated in three aspects of coastline resource supply capacity, geological condition support capacity, and environmental carrying capacity. Data were collected in 2019 and earlier. Results show that the geological resources and environmental carrying capacity of the port areas was between 1.6 and 2.4, belonging to the higher range of the critical range of carrying capacity. The resource carrying capacity of Xiaomen Island was the lowest due to its low supply capacity of natural coastline resource and weak environmental carrying capacity; that of Damen Island was the highest and the water depth and terrain condition were the main limiting factors; and that of Zhuangyuan'ao Island was in the middle, and the constraint was the supply capacity of natural coastline.

**Key words:** Oujiang River Estuary; core port area; geological resources and environment; coastline exploitation intensity; erosion and deposition; carrying capacity