

# 围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展

张秋丰<sup>1,2,3</sup>, 靳玉丹<sup>1,2</sup>, 李希彬<sup>2\*</sup>, 王鲁宁<sup>2</sup>, 叶风娟<sup>2</sup>

(1.上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2.国家海洋局 天津海洋环境监测中心站, 天津 300450;

3.国家海洋局 第四海洋研究所, 广西 北海 536000)

**摘 要:**随着沿海地区大量人口的涌入, 国内外沿海各地纷纷兴起围海造陆的热潮。大规模的围填海工程在解决用地不足的同时也给近海海洋环境造成了深远的影响, 这引起了许多学者的关注。本文分别从围填海对近海海域地形地貌、水动力环境以及海洋生态环境等方面阐述围填海工程对近海海洋环境影响, 并重点分析数值模拟在海洋水动力环境影响分析中的发展应用。最后根据围填海工程对近海海洋环境影响的研究现状与进展趋势, 提出围填海工程对近海海洋环境影响研究的建议以及今后研究的方向, 未来应系统的研究大规模围填海工程对近海海域的长期影响, 考虑多项因素, 全方位地论述研究的方法, 以便于科学合理的开发利用海洋资源。

**关键词:**围填海; 海洋环境; 数值模拟

**中图分类号:**P75; X820.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-6647(2017)04-0454-08

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6647.2017.04.002

沿海地区作为经济发展的前沿地带, 吸引了大量人口涌入, 与此同时也造成了土地资源的严重不足。因此, 国内外的沿海地区纷纷开始实施围填海工程。围填海工程主要是将海域埋填成为陆地, 用来建设工业区、经济技术开发区、滨海旅游区等等, 以缓解用地不足的矛盾<sup>[1]</sup>。

自建国以来, 我国经历了 3 次围填海的高潮<sup>[2]</sup>。首先是建国初期的围海晒盐; 接着是 1960—1970 年间围填海工程; 第三次是 1980—1990 年间开始的围填海养殖, 至此奠定了我国成为世界第一养殖大国的地位。新一轮的围填海也已经持续数十年, 根据国家海洋局《海域使用管理公报》<sup>①</sup>显示, 自 2002 年海域法实施至 2014 年底, 我国累计确权围填海面积达到 15.68 万  $\text{hm}^2$ , 年均确权面积 1.21 万  $\text{hm}^2$ 。

国外进行围填海的国家主要有荷兰、日本、韩国、新加坡以及阿联酋, 这些国家在围填海工程方面都有相当多的经验<sup>[3]</sup>。荷兰通过围填海工程获得的土地面积大约有 1/5。日本更是寸土寸金, 自二战以来, 约有 12 万  $\text{km}^2$  的土地通过围填海获得, 约占目前日本国土面积的 32%。韩国公布的《2014 年土地统计年报》<sup>②</sup>显示, 在 2014 年这一年其国土面积增加了 78  $\text{km}^2$ , 都是通过围填海工程获取得到的。新加坡自 1965 年以来至今的 50 多 a 中, 通过围填海获得超过 100  $\text{km}^2$  的新土地。迪拜的围填海工程则侧重于建设人工岛, 帆船酒店等。

大规模的围填海工程在解决用地资源短缺的同时也对近海海洋环境造成了很大的影响。自然湿地景观被破坏; 很多港口造成了航道淤积; 还有经济类海产品如鱼、虾、蟹等难以再尝到往常的鲜美等, 这些影响都引起了专家学者的重视。

**收稿日期:**2016-10-02

**资助项目:**国家海洋局北海分局科技项目——基于环境容量的渤海湾排污优化的数值研究(2017B14)

**作者简介:**张秋丰(1965-), 男, 河北秦皇岛人, 教授, 硕士, 主要从事海洋环境工程方面研究。E-mail: zhangqiufeng@bhj.gov.cn

**\* 通讯作者:**李希彬(1983-), 男, 山东潍坊人, 高级工程师, 硕士, 主要从事物理海洋学方面研究。E-mail: jinyudan2010@163.com

(王 燕 编辑)

① 国家海洋局. 2014 年海域使用管理公报. 2014 年海域使用管理公报(2015-04-17)[2016-10-02]. [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/hysyglgb/201504/t20150417\\_36860.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/hysyglgb/201504/t20150417_36860.html).

② 中国新闻网. 2014 年土地统计年报. 韩国土总面积去年增 78 平方公里 围海造陆系主因.(2014-05-12)[2016-10-02]. <http://www.chinanews.com/gj/2014/05-12/6161337.shtml>.

## 1 围填海工程对近岸和近海地形地貌和冲淤环境的影响

### 1.1 围填海工程对近岸和近海地形地貌的影响研究

围填海工程对近岸和近海的地形地貌产生消极和积极两方面的影响。目前主要研究方法为遥感和地理信息系统等,主要分为以下几个方面:

1) 围填海造成了自然岸线的改变,使得岸线长度增加或者减少,同时对海湾面积也造成了影响,导致海湾面积发生变化;如王伟伟等<sup>[4]</sup>利用 1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2009 年五年辽宁省的遥感图像,从中提取到海岸线等特征信息,分析得出这 5 年以来,辽宁省全省自然岸线减少了 246.8 km,约占原来海岸线长度的 26.7%,辽宁省的围填海面积增加了 53.6%,现保持较好的海湾面积减少了 18.4%;再比如天津海岸线长度在 2008 年公布的官方数据是 153.669 km,经过围填海之后,2014 年的岸线长度超过了 200 km。

2) 围填海还会导致不同生态系统类型面积的减少,如滩涂、养殖区、盐田等等。例如俞炜炜等<sup>[5]</sup>采用了地理信息系统技术,并且结合他人研究结果分析了福建兴化湾 3 个历史时期由于围填海工程所导致的各类生态系统面积变化,分析得到 1959—2000 年的 41 a 间兴化湾滩涂面积减少了 21.35%,其他生态系统类型也有不同程度的减少;同样的马志远等<sup>[6]</sup>基于地理信息系统与遥感这两种目前比较先进的技术,分析兴化湾围填海工程对其生态系统面积大小的影响,得出兴化湾围填海工程造成滩涂湿地面积缩小,景观破碎化程度逐渐加重;还有姜玲玲等<sup>[7]</sup>利用遥感技术研究了大连滨海湿地景观情况,结果表明,6 a 间大连湿地面积减少了 97.62 km<sup>2</sup>。

3) 也有学者以岸线变迁导致海洋陆地失衡以及近岸地形演变研究为基础,开展围填海影响的驱动机制研究,例如李杨帆等<sup>[8]</sup>和 Liu 和 Diamond<sup>[9]</sup>的研究显示围填海使得滨海湿地不再出现一体化的格局,相反近岸地形斑块化破碎化程度明显加重,滩涂、湿地景观已经失去其原有的形态以及功能属性,取而代之的是孤立发展的趋势。

4) 另一方面围填海可形成各种人工景观,例如迪拜创造世界奇迹的四大围填海工程,从西到东分别是中号的杰贝勒阿里棕榈岛、最小的朱迈拉棕榈岛、世界岛、最大的代拉棕榈岛。这些人工岛屿在视觉上给人以强烈的冲击,同时带动了迪拜在商业休闲领域的发展。

### 1.2 围填海工程对冲淤环境的影响

围填海工程的实施使得附近海岸先前的地形地貌发生改变,同时破坏了海域原有的性质;先前海域潮流情况也会发生很大的变化,潮流各项要素的变化造成海床泥沙冲淤,泥沙的运动情况随之变化。该变化使得污染物沉积不易扩散,堵塞航道,影响航运。因此,研究学者分别针对沙质海岸、淤泥质海岸进行研究,包括围填海工程前后波浪对沙质海岸沿岸输沙影响、平衡剖面影响、岸线变形影响以及近岸人工岛建设后对冲淤环境的影响研究。

在围填海工程对冲淤环境的影响研究方面,有的学者利用经验公式对围填海工程之后的冲淤环境进行预测,计算相关数据来分析冲淤环境的变化:庄小将等<sup>[10]</sup>在计算温州大、小门岛填海工程对附近海域冲淤环境的影响时运用半经验半理论公式计算了回淤强度,利用输沙平衡原理计算潮流挟沙能力,预测了在工程实施一年后和五年后附近海域的冲淤变化,根据计算结果得知大小门道围堤附近的冲淤环境受工程影响较大,并随着时间的推移,挟沙能力减弱,冲淤变化越来越明显,冲淤幅度也逐渐加大;丁冉<sup>[11]</sup>通过计算公式对断面输沙量、海床高度、淤积强度进行计算,计算结果显示在大连凌水湾围填海工程实施后,断面输沙量减小,附近航道和凌水河口水域均有不同程度的淤积。随着与填海工程边缘距离的增加淤积强度逐渐减轻,同样冲刷强度也是离工程距离越远冲刷强度越弱。

数值模拟方法兴起之后因其成本低,方法使用灵活的优点在围填海工程对附近海域冲淤演变研究方面

被广泛使用。目前冲淤演变分析方法主要是通过分析研究区的地理环境、自然条件、泥沙特性、动力条件、泥沙运移等,为海岸工程中数值模拟提供研究基础和初始条件,同样可以利用实测数据验证其结果。薛刚<sup>[12]</sup>利用 ECOMSED 模型对岚山港西突堤工程海底冲淤进行数值模拟,与工程实施前相比悬沙量减少,淤积加重。李拴虎<sup>[13]</sup>在研究湛江湾填海工程对湾口的冲淤影响时,利用 MIKE21 数值模型对填海工程建设前后湾口的冲淤特征进行了数值模拟,预测到不同填海时期湛江湾的冲淤状况:在湛江湾围填海工程实施以后,湾口向湾外输沙率减小,填海区湾内出现强烈淤积,湾外侵蚀率加大。

还有一些研究是针对人工岛建设后对冲淤环境的影响。王诺等<sup>[14]</sup>以大连海上机场离岸式人工岛为模拟对象,利用构建的泥沙输运数学模型计算预测输沙量以及海床冲淤变化,结果表明大连海上机场离岸式人工岛的建设会使得金州湾内泥沙堆积,人工岛周围出现一定程度的冲刷,所得结论成为大连海上机场选址的决策依据之一。安永宁<sup>[15]</sup>利用 CREC 公式计算预测龙口湾沿岸输沙率,结果表明在人工岛建成后,其沿岸输沙率大幅减小,岛陆间水道严重淤积。

## 2 围填海对近海水动力环境的影响

大规模的围填海工程对近海水动力环境造成很大的影响,对于在水动力方面的影响研究主要是从对海浪、潮流、水交换等方面开展的。

### 2.1 围填海对近海波浪场的影响研究

围填海工程对近海波浪的影响显著,尤其是港池通道内的波浪波高、周期发生了明显的变化,同时波向的变化不仅受控于入射波向,而且也 and 工程走向有着密切的联系。

在波浪特征的研究中,波浪数值模型占据了很重要的位置。按照原理波浪数值模型主要有 3 种<sup>[16]</sup>,分别是缓坡方程计算模型、Boussinesq 方程计算模型和能量平衡方程计算模型。目前国际上应用较广泛的波浪模型——SWAN 模型是能量平衡方程模型中的第三代模型,主要用于较大尺度空间和时间的波浪计算以及数值模拟,同时也适用于湖泊、港口等小尺度的波浪计算。

国内有很多研究者利用 SWAN 模型对不同海域的波浪场进行过研究。勾鸿量等<sup>[17]</sup>针对曹妃甸海域特征,采用 SWAN 模型建立了曹妃甸海域波浪数学模型,利用此模型分析了曹妃甸工程对该海域 4 个不同方向波浪场的影响,经过分析得知该海域港内波浪周期和波高减小显著,波向也发生了变化。路本升<sup>[18]</sup>利用 SWAN 模型和 MIKE21-BW 模型研究了围海造田工程对波浪数值模拟的影响,并通过分析确定了最终围海造田工程方案。赵鑫等<sup>[19]</sup>在研究围填海工程对渤海湾风浪场的影响时同样也使用 SWAN 海浪数值模型,将其应用到渤海湾,经过分析得到有效波高呈减小趋势,港池和潮汐通道内的有效波高减小幅度较大。

国外针对围填海工程对海浪场影响的研究比较少,主要是对各区域海浪的特性以及海浪模型方面的研究比较多。例如 Lin 等<sup>[20]</sup>对美国切萨皮克湾的海浪进行测量并建立海浪模型,通过利用 SWAN 和 GLERL 两种模型模拟海浪场,并分析二者的不同之处。Akpınar 和 Kömürcü<sup>[21]</sup>基于黑海 15 a 的风浪场数据,使用 SWAN 模型对黑海附近的风浪场进行研究,并且利用该数值模拟进行风浪参数计算。

通过学者们在不同海域的研究可以得知,SWAN 海浪数值模型在研究围填海工程对近海海域波浪场的影响中得到了广泛的应用。

### 2.2 围填海对近海潮流场的影响研究

围填海工程对近海潮流场的研究相对来说比较成熟。尤其是数值模拟在该研究领域的运用兴起之后,国内外学者纷纷开展了相应的研究。

目前,近海潮流数值模拟的研究常采用两种模拟手段,一种是物理模型,另一种是数学模型<sup>[22]</sup>。物理模型在工程领域比较常用,数学模型是以自然现象为基础利用数学的方法进行模拟,需要通过引入近似简化方



程或者将方程离散求解。在此过程中会拥有庞大的计算量,因此其逐渐兴起是在电子计算机得到广泛应用之后。随着计算机软硬件水平的提高以及当前模拟计算方法的飞速发展,数学模型获得了广泛的应用。

约 1970 年左右三维动力学模型开始逐渐兴起,英国的海洋学家 Heaps 建立了谱模型,美国的 Leendertse 等开发了以河口和海岸为基础的三维动力学模型。再往后的 10 a 里,美国普林斯顿大学的 Blumberg 和 Mellor 开发了 ECOM 和 POM 模型、德国汉堡大学的 Backhaus 建立了 HAMSOM 陆架海洋动力模型,这些三维水动力模型具有物理过程全面、数值方案合理、运行性能稳定等优点,在国内外得到了广泛的应用<sup>[23]</sup>。再后来美国陈长胜研究组<sup>③</sup>建立了一种三角形网格、有限体积、三维原始方程组的海洋数值模式 FVCOM。

国内在模型开发和应用方面起步较晚,从 20 世纪 80 年代中期才开展,但是进展很快,从单个模型的应用到不同模块不同功能的多个模型共同使用,不仅从理论上有了深刻的研究,而且还广泛运用到了我国不同的海域。例如聂源等<sup>[24]</sup>在进行围填海工程对周边海域流场影响的预测时,采用了数值模拟的方法,经过对预测结果的分析得到在围填海工程的前沿,对流场的影响是非常显著的,尤其是围堤附近流速呈现明显的减小趋势。杜鹏等<sup>[25]</sup>采用 ECOM—SED 模式建立胶州湾海域数值模型,并且引入了“干湿”点法模拟胶州湾漫滩过程,分析得出胶州湾围填海工程对附近海域的流场具有较大影响,余流以及潮流变化显著。王学昌等<sup>[26]</sup>通过建立胶州湾二维变边界潮流数值模型找出该海域潮流的分布规律,研究发现胶州湾填海工程附近大部分水域潮流速度减小,相应的潮流通量也减小,而且对于不同的填海区域,方式和结果也不同。陆荣华<sup>[27]</sup>为了研究围填海工程对厦门湾海域的影响,采用 MIKE21 模拟其 5 个典型历史时期潮流场,结果显示,由于围填海工程对潮流动力的显著影响,使得海湾流速呈现逐渐减小趋势,水动力环境不容乐观。

陈长胜等<sup>③</sup>提出 FVCOM 模型在国内学者进行潮流场的研究中得到了广泛应用,例如吴伦宇<sup>[28]</sup>基于 FVCOM、海浪模型、泥沙模型这三种模型进行耦合,建立了一套浪-流-泥沙耦合模型,然后将该耦合模型应用到渤海风浪流的计算过程。在围填海对水动力环境影响的研究方面,宋威娇<sup>[29]</sup>利用 FVCOM 模型进行模拟,对威海中心渔港围海工程建设前后葡萄滩湾附近海域水动力环境进行分析,发现葡萄滩湾内的潮流运动规律因为有围填海工程的存在而发生改变,潮流场明显的减弱,水动力条件也随之逐渐减弱。鲁友朋<sup>[30]</sup>采用 FVCOM 三维水动力模型,建立了宁波舟山附近海域两个不同时段的水动力模型,经过对模型模拟结果的分析显示,该区域在围填海之后流速明显减小。

目前,围填海工程对于潮流场的影响研究方法已经成熟,主要是采用数据分析和数值模拟相结合的方法,在模型验证的基础上得到研究结果。

### 2.3 围填海对水交换的影响研究

数值模拟方法在围填海对水交换影响的研究中也得以应用:曾相明等<sup>[31]</sup>基于动边界处理技术,采用 POM 数值模型分别对象山港的 3 个不同时期进行模拟,计算得到在不同时期象山港附近海域的纳潮量以及水交换率,依据模拟结果可以得知,由于围填海工程使得象山港附近海域的纳潮量显著减小,并且水交换率呈现明显的减小趋势。王勇智等<sup>[32]</sup>基于 MIKE3 水动力模型以及罗源湾岸线数据,模拟分析出罗源湾围填海工程前后不同年份附近海域纳潮量和水交换能力的变化规律和特征,结果显示围填海工程使得该海域水交换率以及纳潮量明显减小。袁德奎等<sup>[33]</sup>利用二维水动力模型和拉格朗日粒子跟踪法分析了围填海工程对渤海湾水交换能力的影响,结果表明大规模围填海之后渤海湾海水的半交换周期明显增大。

经过数值模拟的迅速发展,国内外越来越多的学者开始关注数值模拟的应用,而且国内对于使用数值模型来研究围填海对潮流场的影响已经逐渐趋于成熟化。但是当前应用数值模型研究近海海洋围填海工程对

③ CHEN C S, BEARDSLEY R C, COWLES G W. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model: FVCOM user manual. 2st edition. Technical Report SMAST/UMASSD. School for Marine Science and Technology, University of Massachusetts Dartmouth, 2006.

水动力规律的影响,以及影响相关因素和驱动机制,是数值模拟在研究应用中亟待解决的问题。

### 3 围填海对海洋生态环境的影响研究

围填海带来的生态环境问题主要有 6 个方面:

1) 天然的排洪通道由于大量的围填海工程受阻,导致河床以及地下水位升高,防洪压力无形中加大。近年来,珠江三角洲洪涝灾害增加与围填海有直接的关系<sup>[34]</sup>。同时围填海工程之后新增加的土地很大程度上会造成盐渍化,这样海岸侵蚀情况加剧,要做到海岸防灾减灾更加困难<sup>[35]</sup>。

2) 围填海工程破坏近岸海域的渔业资源。有绝大部分海洋鱼类繁衍生存主要在近海海域,但是围填海工程大规模的实施,改变了近海海域水文特征,使鱼类的洄游规律发生变化,鱼群的栖息环境遭到了严重破坏,近年来在近海海域这样的情况下渔业资源明显锐减。曾庆波<sup>[36]</sup>研究指出在东莞虎门港长安港区在实施围填海工程之后物种减少,尤其是珍稀濒危动物,中华鲟已不多见;另外围填海工程的实施还对鱼类造成了“驱赶效应”,同时对鱼类的繁殖生存构成了很大的威胁。

3) 围填海工程改变海岸带的自然景观,破坏生态平衡。大规模的围填海活动,破坏海岸自然景观环境,造成生态环境和社会经济问题,因不合理的围填海工程导致很多海湾自然环境发生变化,生物生态环境被严重损害。

4) 围填海工程毁掉大批红树林,生态系统退化。有“海上森林”之称的红树林是热带、亚热带沿海潮间带特有的木本植物群落,具有极其重要的生态服务功能,然而填海造地毁坏红树林,换来的是海滨生态环境的恶化、海岸国土侵蚀日益严重、台风暴潮损失加剧、近海珍珠养殖业整体衰败、滩涂养虾暴病、林区和近海渔业资源减少等。

5) 围填海工程造成近海海域重金属污染。潘少明等<sup>[37]</sup>针对围海造地工程对香港维多利亚港现代沉积作用的影响进行研究,认为围海造地、海岸工程等造成的岸线变化是影响维多利亚港堆积侵蚀的主要因素。另外在沉积柱状样中,Pb,Zn,Cu 等重金属的分布表明,围填海工程使得该海域重金属的污染严重。

6) 同时围填海工程对污染物的输运也会造成影响,围填海工程会导致海湾减小,会造成该海湾纳潮量减小,纳潮量减小之后该海湾物理自净能力较之前减弱,这样就会影响到污染物的输运。孙长青等<sup>[38]</sup>在填海造地对胶州湾污染物输运影响的数值研究中就得到类似的结论。

围填海工程对生态环境的影响引起了广泛关注,国内外学者多数基于生态补偿机制进行围海的生态修复及管理,郭臣<sup>[39]</sup>、林磊等<sup>[40]</sup>都针对胶州湾围填海生态补偿机制进行研究,认为这一机制在围填海生态修复方面更为合理化。

### 4 建议及展望

围填海工程对近海海洋环境的影响是显而易见的,经过对前人研究的分析,我们得知对于围填海所产生的海洋环境问题,很多专家学者利用不同的研究方法对不同海域开展了诸多研究。但是近年来我国围填海工程的规模、特点和方式较之前相比有很大不同:

1) 围填海的规模大幅度增加,仅在渤海就有辽宁的五点一线,河北的曹妃甸和渤海新区,天津的临港工业区、临港产业区、南港工业区、东疆港区,面积动则几十平方公里到上百平方公里;

2) 逐渐趋向于多元化行业及领域,石化项目用海、工业开发区用海、城镇建设用海、港口用海,石油勘探开发用海取代了过去单一的围垦或者养殖用海;

3) 围填海的方式趋于区块化,以政府主导的大规模区域用海取代了过去的单一项目用海。

之前的研究工作中,专家们不管是从围填海对地形地貌的影响,还是对水动力环境以及生态环境的影响都有研究,但是研究过于单一化,仅仅针对某一要素进行研究。而我国围填海工程现状复杂,对海洋环境产

生的影响具有多样性,这就对研究我国围填海的海洋环境影响提出了更高的要求,在未来的研究中,需要考虑多重因素,对多项要素进行系统准确的研究,全方位阐述围填海对海洋环境影响的评估方法,这样才可以更加科学准确地认识到围填海对海洋环境的影响,同时对于科学合理开发海岸带资源、保护海岸带生态环境提供决策参考。

首先,不能单纯的只针对某一海域的单个工程进行研究,而是要对整个大规模的围填海工程进行总体把握,这样便于对周围海洋环境影响更深入地研究;

其次,对于目前的研究来讲只是侧重于围填海工程对海洋环境某一领域的影响,例如对生态环境、水动力环境、海岸地貌等等的影响,今后需要加强对各大领域影响的相关性的研究,才能深入剖析围填海对近岸海洋环境的深刻影响;

另外,在研究的时候不能只是简单的关注一段时期的发展,而要注重围填海对近海海域的长期影响;

最后,建议在进行沿海的相应围填海规划前,加强围填海工程可能对海洋环境产生的影响分析,避免因不合理的围填海工程而产生灾难性的海洋环境后果。

### 参考文献(References):

- [1] ZHANG M H, CHEN C P, SUO A N, et al. International advance of sea areas reclamation impact on marine environment[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(8): 1509-1513. 张明慧, 陈昌平, 索安宁, 等. 围填海的海洋环境影响国内外研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1509-1513.
- [2] LIU W, LIU B Q. Current situation and countermeasures of sea reclamation in China[J]. Guangzhou Environmental Sciences, 2008, 23(2): 26-30. 刘伟, 刘百桥. 我国围填海现状、问题及调控对策[J]. 广州环境科学, 2008, 23(2): 26-30.
- [3] LUO Y, XIE J, WANG P, et al. Implications of reclamation for Guangdong province[J]. Ocean Development and Management, 2010, 27(3): 23-26. 罗艳, 谢健, 王平, 等. 国内外围填海工程对广东省的启示[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(3): 23-26.
- [4] WANG W W, WANG P, ZHENG Q, et al. Effect of reclamation activities on coastal ecologic environment in Liaoning province[J]. Marine Environment Science, 2010, 29(6): 927-929. 王伟伟, 王鹏, 郑倩, 等. 辽宁省围填海海洋开发活动对海岸带生态环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(6): 927-929.
- [5] YU W W, CHEN B, ZHANG L P. Cumulative effects of reclamation on ecosystem services of tidal flat wetland: A case in the Xinghua Bay, Fujian, China[J]. Marine Bulletin, 2008, 27(1): 88-94. 俞炜炜, 陈彬, 张璐平. 海湾围填海对滩涂湿地生态服务累积影响研究: 以福建兴化湾为例[J]. 海洋通报, 2008, 27(1): 88-94.
- [6] MA Z Y, CHEN B, YU W W. Impact of reclamation on wetland landscape ecology in Xinghua Bay[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009, 28(2): 169-176. 马志远, 陈彬, 俞炜炜. 福建兴化湾围填海湿地景观生态影响研究[J]. 台湾海峡, 2009, 28(2): 169-176.
- [7] JIANG L L, XIONG D Q, ZHANG X Y, et al. Change of landscape pattern and its driving mechanism of the coastal wetland in Dalian city[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2008, 38(4): 670-675. 姜玲玲, 熊德琪, 张新宇, 等. 大连滨海湿地景观格局变化及其驱动机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(4): 670-675.
- [8] LI Y F, ZHU X D, ZOU X Q, et al. Resource-environmental pressure analysis and ecological cybernetics response: A case study of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu province[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(6): 754-760. 李杨帆, 朱晓东, 邹欣庆, 等. 盐城海岸湿地资源环境压力与生态调控响应[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 754-760.
- [9] LIU J G, DIAMOND J. China's environment in a globalizing world[J]. Nature, 2005, 435(7046): 1179-1186.
- [10] ZHUANG X J, CHEN F D, WANG F P, et al. Numerical study on the tidal current and siltation after implementation of Wenzhou Damen Cross-sea Bridge and Damen-Xiaomen Island reclamation projects[J]. Journal of Marine Science, 2010(3): 43-51. 庄小将, 陈方东, 王丰平, 等. 温州大门跨海大桥及大、小门岛填海工程实施后流场及冲淤变化的数值研究[J]. 海洋学研究, 2010(3): 43-51.
- [11] DING R. Effects of reclamation on marine environment in Dalian Lingshui Bay[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2012. 丁冉. 大连凌水湾填海工程对海洋环境的影响研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [12] XUE G. Prediction on erosion and accumulation of the seabed by the project of Western Jetty of Lanshan Harbor[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007. 薛刚. 岚山港西突堤工程对海底冲淤影响预测[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [13] LI S H. Impacts of reclamation on the erosion and deposition at the coast of Zhanjiang Bay entrance[D]. Qingdao: The First Institute of Oceanography, SOA, 2013. 李拴虎. 湛江湾填海工程对湾口冲淤影响的分析研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2013.

- [14] WANG N, YAN H K, ZUO S H, et al. Impact of exploitation of Dalian offshore airport artificial island on regional hydro-dynamic condition and erosion-deposition variation of Jinzhou Bay[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(4): 5-11. 王诺, 颜华锟, 左书华, 等. 大连海上机场人工岛建设对区域水动力及海床冲淤影响分析[J]. 水运工程, 2012(4): 5-11.
- [15] AN Y N. Study on impacts of offshore artificial islands cluster's construction on scouring-deposition features in Longkou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. 安永宁. 离岸人工岛群建设对龙口湾冲淤特征的影响研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [16] ZHANG Y Q. The numerical study of storm surge, wave and tide in Laizhou Bay[D]. Qingdao: The First Institute of Oceanography, SOA, 2010. 张永强. 莱州湾风暴潮过程增水、波浪、风暴潮流数值模拟研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2010.
- [17] GOU H L, LIU S G, KUANG C P. Influence of Caofeidian harbor on wave field in coastal area[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2009, 30(5): 17-22. 勾鸿量, 刘曙光, 匡翠萍. 曹妃甸工程对海域波浪场的影响[J]. 华北水利水电学院学报, 2009, 30(5): 17-22.
- [18] LU B S. Numerical simulation and analysis of a land reclamation engineering wave[D]. Jinan: Shandong University, 2013. 路本升. 某围海造田工程波浪数值模拟分析[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- [19] ZHAO X, SUN Q, WEI H. Effects of coastal reclamation on the wave fields in the Bohai Bay[J]. Marine Science, 2013, 37(1): 7-16. 赵鑫, 孙群, 魏皓. 围填海工程对渤海湾风浪场的影响[J]. 海洋科学, 2013, 37(1): 7-16.
- [20] LIN W Q, LAWRENCE P S, STEVEN E S. Wave measurement and modeling in Chesapeake Bay[J]. Continental Shelf Research, 2002 (18-19): 2673-2686.
- [21] AKPINAR A, KÖMÜRCÜ M I. Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data[J]. Applied Energy, 2013, 101: 502-512.
- [22] LI X B. Research on the effects of Donghai dam on the hydrodynamic environment of the Zhanjiang Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. 李希彬. 东海大堤对湛江湾水动力环境影响研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [23] SUN W X. Offshore environmental fluid dynamics numerical model[M]. Beijing: Science Press, 2004. 孙文心. 近海环境流体动力学数值模型[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [24] NIE Y, YANG T Z, XU X F. Preliminary study of the flow field variation resulted from reclamation project at bedrock coast[J]. Journal of Marine Sciences, 2009, 27(4): 45-54. 聂源, 羊天柱, 许雪峰. 基岩海岸围填海工程后的流场变化[J]. 海洋学研究, 2009, 27(4): 45-54.
- [25] DU P, LOU A G, ZHANG X Q, et al. Analysis and prediction of effects of reclamation in forebay on hydrodynamics in the Jiaozhou Bay [J]. Coastal Engineering, 2008, 27(1): 28-40. 杜鹏, 娄安刚, 张学庆, 等. 胶州湾前湾填海对其水动力影响预测分析[J]. 海岸工程, 2008, 27(1): 28-40.
- [26] WANG X C, SUN C Q, SUN Y L, et al. Study on impact of Jiaozhou Bay sea-filling on hydrodynamic environment[J]. Marine Environmental Science, 2000, 19(3): 55-59. 王学昌, 孙长青, 孙英兰, 等. 填海造地对胶州湾水动力环境影响的数值研究[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(3): 55-59.
- [27] LU R H. A Study on the cumulative effects of coastal reclamation to hydrodynamics in Xiamen Bay[D]. Xiamen: The Third Institute of Oceanography, SOA, 2010. 陆荣华. 围填海工程对厦门湾水动力环境的累积影响研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2010.
- [28] WU L Y. FVCOM-based wave-current-sediment model coupling and its application[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. 吴伦宇. 基于FVCOM的浪、流、泥沙模型耦合及应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [29] SONG W J. Study of the impact of the sea reclamation project on the hydrodynamic environment of the Grape Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. 宋威娇. 威海中心渔港围海工程对葡萄滩湾水动力环境影响的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [30] LU Y P. Analysis on the cumulative effect of hydrodynamic change caused by topographical change in Ningbo Sea Area[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014. 鲁友朋. 地形变化对宁波海域水动力影响累积效应分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [31] ZENG X M, GUAN W B, PAN C. Cumulative influence of long term reclamation on hydrodynamics in the Xiangshangang Bay[J]. Journal of Marine Science, 2011, 29(1): 73-83. 曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应[J]. 海洋学研究, 2011, 29(1): 73-83.
- [32] WANG Y Z, SUN H F, GU D Q, et al. Research on cumulative effects of coastal reclamation on hydrodynamic environment in Luoyuan Bay[J]. Periodical of Ocean University of China(Natural Science), 2015, 45(3): 16-24. 王勇智, 孙惠凤, 谷东起, 等. 罗源湾多年围填海工程对水动力环境的累积影响研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(3): 16-24.
- [33] YUAN D K, LI G, WANG D S, et al. Numerical simulation of effects of land reclamation on water exchange capability of Bohai Bay[J]. Journal of Tianjin University(Science and Technology), 2015, 48(7): 605-613. 袁德奎, 李广, 王道生, 等. 围填海工程对渤海湾水交换能力影响的数值模拟[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2015, 48(7): 605-613.
- [34] YANG C Q. Negative Effects of marine reclamation in Guangdong, Hong Kong and Macao and the preventive counter measures[J]. Guangdong Geology, 2000, 15(2): 1-8. 杨超群. 粤港澳填海造地的负效应及防范对策[J]. 广东地质, 2000, 15(2): 1-8.



- [35] GUO H P, JIAO J J. Impact of coastal land reclamation on ground water level and the sea water interface[J]. *Ground Water*, 2007, 45 (3): 362-367.
- [36] ZENG Q B. Study on the effects on fishery resources of reclamation work[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008. 曾庆波. 围海造地对渔业资源的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [37] PAN S M, SHI X D, WANG J Y, et al. Assessing the impact of reclamation activities on recent sedimentation in Victoria Harbour, Hong Kong[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 22-28. 潘少明, 施晓冬, 王建业, 等. 围海造地工程对香港维多利亚港现代沉积作用的影响[J]. *沉积学报*, 2000, 18(1): 22-28.
- [38] SUN C Q, WANG X C, SUN Y L, et al. Study on impact of Jiaozhou Bay sea-filling on pollutant transportation[J]. *Marine Science*, 2002, 26(10): 47-50. 孙长青, 王学昌, 孙英兰, 等. 填海造地对胶州湾污染物输运影响的数值研究[J]. *海洋科学*, 2002, 26(10): 47-50.
- [39] GUO C. Study on ecological compensation mechanism of Jiaozhou Bay sea reclamation project[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. 郭臣. 胶州湾围填海造陆生态补偿机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [40] LIN L, LIU D Y, LIU Z, et al. Impact of land reclamation on marine hydrodynamic and ecological environment[J]. *Haiyang Xuebao*, 2016(8): 1-11. 林磊, 刘东艳, 刘哲, 等. 围填海对海洋水动力与生态环境的影响[J]. *海洋学报*, 2016(8): 1-11.

## Progress in the Impact of Reclamation Projects on Offshore Marine Environment

ZHANG Qiu-feng<sup>1,2,3</sup>, JIN Yu-dan<sup>1,2</sup>, LI Xi-bin<sup>2</sup>, WANG Lu-ning<sup>2</sup>, YE Feng-juan<sup>2</sup>

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

2. *Tianjin Marine Environmental Monitoring Center, SOA, Tianjin 300450, China;*

3. *Fourth Institute of Oceanography, SOA, Beihai 536000, China* )

**Abstract:** With the flux of large numbers of people into the coastal regions, a reclamation boom is rising one after another in the coastal countries. At the same time to solve the shortage of land, the large-scale reclamation projects have also caused a far-reaching impact on the offshore marine environment, which has aroused the concern of many scholars. The influences of the reclamation projects on the offshore marine environment are elaborated from the aspects of topographic features, hydrodynamic environment and marine ecological environment in the offshore areas, and the development and application of numerical simulation in the analysis of the influence of marine hydrodynamic environment are emphasized. According to the current situation and progress trend in the study of the influence of the reclamation projects on the offshore marine environment, some suggestions and future research directions are proposed. In order to develop and utilize the marine resources scientifically and rationally, the long-term influences of the large-scale reclamation projects on the offshore marine environment should be systematically studied and multiple factors and a full range of research methods should be considered in the future.

**Key words:** reclamation; offshore marine environment; numerical simulation

**Received:** October 2, 2016