

# 滩涂围垦的环境影响与生态效应研究进展

华祖林<sup>1,2</sup> 耿妍<sup>1,2</sup> 顾莉<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098 ;

2. 河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 从围垦工程对环境要素的影响和生态效应 2 个方面总结并分析了其主要研究进展及存在的问题, 其中环境要素包括水动力、泥沙、污染物输运等, 生态效应方面主要是围垦工程对植物、动物以及生态系统的影响, 对该领域未来研究方向进行了展望。

**关键词:** 滩涂; 围垦; 环境影响; 生态效应; 综述

中图分类号: TV213.1 ; X171

文献标识码: A

文章编号: 1003-9511(2012)03-0066-04

滩涂是一种潜在的自然资源, 围垦开发沿海滩涂资源, 拓展生存空间是我国沿海省市缓解人多地少矛盾的一项重要举措。世界上大部分沿海国家都有或长或短的围海造地历史, 也因此积累了许多的成功经验及失败教训。我国海岸线长、海湾多, 东部沿海地区是我国经济增长最活跃、工业化和城市化进程最快的区域。随着人口增长和经济高速发展, 这一地区非农建设用地扩张和耕地资源短缺、生态环境恶化与宜居环境需求之间的矛盾日益突出, 因而充分利用海洋的空间资源属性, 向海洋空间发展, 缓解人地矛盾、优化生态环境以及保障人口食物安全、维持社会经济全面协调可持续发展, 将是沿海城市发展的重要选择之一。以浙江省为例, 由于浙江省人多地少, 围垦力度逐年增加, 到 1949 年杭州湾南岸的“三北平原”围垦面积达 5 万  $\text{hm}^2$  [1]。1949 年新中国成立以来, 浙江省结合海堤的修造, 已围垦滩涂约 20 万  $\text{hm}^2$ 。但是, 由于围海造地是在短时间、小尺度范围内改变自然海岸格局, 对整个自然系统会产生强烈的扰动, 造成新的不平衡, 有时甚至会引发环境灾害, 给沿海地区生态环境稳定性、生物多样性和持续发展带来一定影响。为最大限度避免或减轻围海造地所导致的不良影响, 需要对其可能产生的环境影响和生态效应进行分析评价, 作出综合判断, 以便寻找合理的解决途径。滩涂围垦的环境影响与生态效应研究正逐渐受到国内外学者的关

注, 并取得了阶段性研究成果。本文拟就围垦对环境要素的影响和生态效应方面的主要研究进展进行探讨, 以期对围垦工程的科学实施提供借鉴和启示作用。

## 1 滩涂围垦对环境要素的影响

### 1.1 围垦对于水动力的影响

围垦会影响原有的潮流状态, 改变了围垦区附近海域的水动力状况。例如, 辛文杰 [2] 采用潮流数值二维模拟的方法, 以中国华南的珠江口黄茅海河口为例, 进行边滩围垦后湾内潮波变形的模拟计算, 得出湾内潮差和纳潮量与围垦规模成反比, 流速分布的变化与边滩围垦位置关系密切, 并指出在较浅的边滩上适度围垦, 新岸线保持适当的放宽率, 对湾内的潮波变形影响不大。王学昌等 [3] 应用不规则三角形网格的分步杂交法, 建立了胶州湾二维变边界潮流数值模型重现了该海域的潮流分布规律, 结果表明填海面积越大, 影响也越大, 截流填海比顺流填海影响大, 强流区填海比弱流区填海影响大的结论。陆永军等 [4] 以瓯江口温州浅滩围海工程为例, 应用二维潮流泥沙数学模型, 研究了强潮河口围海工程对水动力环境的影响问题, 研究潮量、流速场、含沙量场的变化及瓯江口长时期的底床变形, 为工程决策提供了重要依据。为了对北仑后涂围垦工程前后的潮流场进行了数值模拟, 在对现场实测资料验证

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAB03B04) 江苏省六大人才高峰计划项目(08-C)

作者简介: 华祖林(1965—)男, 江苏江阴人, 教授, 博士生导师, 从事水环境保护研究。

的基础上,李孟国等<sup>[5]</sup>通过建立基于不规则三角形差分法的洞头岛附近海区二维潮流数学模型,表明单纯潮流对围塘根部冲刷的可能性很小。姚炎明等<sup>[6]</sup>应用平面二维有限元数学模型模拟计算不同水文条件下鳌江口外南岸边滩围垦前后的区域潮流与潮流变化分布,研究结果表明:在相同径流条件时,河口潮差越大,工程对潮位与潮流速的影响越明显;在相同潮汐条件时,上游径流量越大,工程对洪水波波面的抬升越明显。赵东波<sup>[7]</sup>通过建立二维动边界的水动力数学模型,对填海前后罗源湾潮流场进行数模研究,研究这些工程引起的水动力变化,并对罗源湾的冲淤影响作了初步探讨。李加林等<sup>[8]</sup>以江苏辐射沙洲内缘区仓东垦区围垦工程为例,运用潮滩均衡态概念框架,探讨潮滩演变规律在围堤选线中的应用,为同类研究和工程应用提供新的思路。华祖林等<sup>[9-10]</sup>采用任意非结构网格,引入在结构网格下具有三阶计算精度的 QUICK 并加以改进,提出了适用于非结构网格下的 Q-QUICK 高阶计算精度格式,构建高精度水流及物质输运数学模型,他们基于 COHERENS 模型,对感潮河段潮流及污染物质输运进行了数值模拟<sup>[11]</sup>。

### 1.2 围垦对泥沙输运的影响

在河口进行围垦,由于边界条件的改变和纳潮量的变化,一般都会引起河床的冲淤变化,由于河口泥沙问题的复杂性和特殊性,对淤积过程的预测是一个非常重要且困难的问题。有学者以镇江湾为例,参照河道二维全沙数学模型,利用波浪-潮流二维全沙数学模型,较好的模拟了当时的冲淤变化态势,并对泥沙的补给进行了估算<sup>[12-13]</sup>。为计算铁基湾泥沙冲淤情况,王义刚等<sup>[14]</sup>根据三沙湾的平面二维潮流数值模型,比较围垦工程前后流场的变化发现围垦工程使得湾内纳潮量减少,从而对湾内的深水航道产生影响,故不宜进行大规模围垦。彭世银<sup>[15]</sup>建立了贴体坐标系下平面二维的深圳河河道-河口-海湾整体水域的水流泥沙数学模型,研究深圳河河口福田保税区围垦填土占用部分河道对深圳河治理工程的影响,并计算了不同频率洪峰流量和河口潮位过程组合下河口围垦所造成的深圳河沿程水位抬高程度和河床冲淤变化情况。周安国等<sup>[16]</sup>采用平面二维有限元数学模型模拟计算乐清湾边滩围垦前后的潮流变化分布,预测了围垦工程建设后导致的泥沙冲淤变化,表明海湾围垦工程对流场及泥沙冲淤的影响局限于工程区临近水域。另外,有的学者还应用最小能耗原理求得极限淤积平衡状态,建立了平面二维潮流模型进行数值模拟,采用灰色

预测方法对围垦后的河床变形和演变趋势进行了分析<sup>[17]</sup>。

### 1.3 围垦对污染物输运的影响

围垦直接导致潮流、纳潮量等减小,从而使物理自净能力削弱,影响到污染物的输运,从而加重环境污染。罗章仁<sup>[18]</sup>在香港填海造地及其影响分析中指出,填海减少维多利亚港水容积和减弱潮流动力,减小水环境容量和污染物扩散能力,在局部水流不畅的区域如观塘等地水质严重恶化,并加快污染物在海底积聚。在此之后,潘少明等<sup>[19]</sup>利用<sup>210</sup>Pb 及 Pb、Zn、Cu 等重金属在沉积柱样中的分布对维多利亚港现代沉积速率进行了研究,指出由于填海造地工程及岸线的变化,使得一些区域潮流作用减弱,形成了有利于沉降的环境,从而影响重金属的沉积。孙长青等<sup>[20]</sup>以整个胶州湾为计算域,利用数值模拟重现污染物的浓度分布,通过模型的调整和验证,预测不同填海造地方案引起海域形态变化,对胶州湾内 COD 浓度场及污染物通量等进行研究,表明围垦对污染物输运产生不利影响。郭伟等<sup>[21]</sup>在深圳围海造地对海洋环境影响的分析中指出围海造地使得纳潮量迅速减少,纳潮量的锐减使得潮流流速低,流向发生变化,更加不利于污染物的稀释与扩散,最终导致海水环境污染加重。随着滩涂资源的加速开发,种植业和养殖业的农药化肥尤其是高残留农药的使用以及生活污水的排放都给滩涂生态环境带来了严重的污染,造成巨大损失<sup>[22]</sup>。李景保等<sup>[23]</sup>对湖泊滩地围垦研究表明,围垦后一是耕地面积扩大,农药化肥量增加,二则水环境容量缩小,湖内水位普遍抬高,水面坡降趋于平缓,湖流缓慢。如洞庭湖换水周期由 20 世纪 50 年代多年平均 18 d,增加到 80 年代的 21.5 d,换水周期延长,水体自净能力减弱,污染物增多,造成湖区局部水体污染严重。

## 2 围垦工程的生态效应分析

大规模的围垦工程,不仅会改变原有陆生动植物的生存环境,改变物种组成结构,导致其物种多样性下降,还会侵占潮间带沙滩和盐沼泥滩,破坏鱼类和底栖动物的生存环境,导致潮间带生物种类多样性的下降,资源与环境体系的结构改变,生物多样性降低,最终影响生态系统的生产力和生态服务功能,致使生态功能退化。

国内不少学者对于生态效应进行了研究。葛振鸣等<sup>[24]</sup>指出由于滩涂围垦导致围垦后土壤环境的改变,导致植被发生快速演替。有研究表明围垦使得沿岸的红树林生态系统造成严重危害,红树林生

态系统的退化,直接造成红树林的大面积减少<sup>[25-26]</sup>。陈俊才<sup>[27]</sup>根据有关观测资料对围垦所引起的潮滩动物资源的变化作初步探讨,指出大规模滩涂围垦行为,使大片水生生物的栖息地、产卵场、繁殖场、索饵场遭到破坏,不少生物种群濒临灭绝,遗传多样性大量丧失。同时指出不同的围垦利用方式对潮滩动物的影响也不同。

葛宝明等<sup>[28]</sup>在浙江温州灵昆岛进行了不同围垦年份的潮沟大型底栖动物群落研究,表明围垦影响了物种的分布、密度、多样性,并引起群落结构的变化。通过对长江口南岸围垦潮滩和自然潮滩大型底栖无脊椎动物进行取样调查,袁兴中等<sup>[29]</sup>发现围垦以后,甲壳动物种类明显减少,随着围垦时间延长,多毛类种类减少,而软体动物和昆虫幼虫种类所占比例则明显增加。吴耀泉<sup>[30]</sup>根据近20年来胶州湾海域生态综合调查资料,对湾内沿岸带开发利用而导致的生物资源下降等现象进行研究,得出海岸带环境变化导致岸滩潮间带海洋生物种类多样性的下降,以及海域渔业资源出现大幅度下降。李景保<sup>[23]</sup>、伍善庆<sup>[31]</sup>在研究中指出滩涂围垦缩小了鱼类赖以生存空间及水生植物的分布面积,使得鱼类生栖空间缩小,水产资源明显下降。

倪晋仁等<sup>[32]</sup>应用水动力学数学模型对不同填海工程方案可能造成的潮间带面积变化进行了预测,并以此为依据进一步提出了评估填海工程对潮间带湿地生境损失影响的方法。文献<sup>[33-34]</sup>分别以厦门海湾和大连市围垦活动为例,指出围垦工程致使湿地、海岸等生态系统功能退化,并分析了区域生态系统服务功能退化主要影响因素。有学者借鉴生态城市的规划建设理念,研究海湾资源开发利用活动的累积生态效应<sup>[35]</sup>。苗丽娟<sup>[36]</sup>探讨与研究了适合评估我国围海造地对生态环境造成损失的方法与测算模型,为制定围海造地规划提供决策依据。于格等<sup>[37]</sup>根据不同国家围海造地经验教训,从生态系统服务功能角度对围海造地带来的生态环境影响进行总结。邱惠燕<sup>[38]</sup>利用遥感解译方法,研究厦门市1973—2007年的填海进程,并在此基础上分析厦门市填海造地的社会经济驱动因素以及填海对厦门海域产生的影响。

### 3 总结与展望

从研究方法看,围垦工程对环境要素的影响研究大多是基于水力学和泥沙、污染物质输运动力学方法,建立数学模型计算工程前后流场分布和浓度场分布,或用经验公式计算淤蚀强度,或辅以必要的

物理模型进行。从研究成果看,围垦会改变水动力条件和海洋冲淤条件,产生潮流流场改变和淤积等情况,并且填海的面积越大,对海域的潮流流场、流向、流速等水动力条件的影响也越大。同时,围垦可使水环境容量减小,从而影响污染物的迁移转化规律等。不合理的开垦,会导致被围垦区域环境的改变,如动植物数量和种类的改变,底栖生物的生存环境变化,最终导致生物多样性降低,生态系统的生态功能退化问题,造成不可估计的损失。因此,围垦工程所造成的环境影响和生态效应迫切需要更深入的研究,将围垦工程所带来的负面影响尽可能降低。

围垦作为影响海岸带环境的最主要人文因素之一,加强围垦对海岸带环境的影响研究,对揭示沿海典型区海陆气相互作用与人类活动互馈-协调机制,构建人地关系生态过程与生态安全对全球变化的反馈模式具有重要的科学意义。未来的主要研究问题包括以下几个方面。

a. 从时空尺度来看,目前研究重点是短期的水文和生物过程,未来的研究应当更多涉及长时间尺度的过程如海洋地貌和气候过程,克服围垦工程环境影响评价缺乏整体性,无法进行交叉影响、累积影响评价的缺陷。

b. 研究围垦工程对沿海滩涂生境条件变化,探讨滩地植被种类、群落的时空变化。

c. 研究围垦施工方式对底栖生物的影响。

d. 围垦所造成的生物资源的损失多也是描述性结论,并未形成完善的定量评价方法,需加强围垦工程的资源环境效益评价研究,确定合理的生态补偿措施。

e. 围垦使得生态系统功能退化,并未有完整的评价体系,没有相应的标准来衡量,所以围垦的生态效应研究就显得尤为重要。

#### 参考文献:

- [1] 王绍良,陈桥驿,李泰然,等.浙江省水利动态[M].北京:中华书局,1998.
- [2] 辛文杰.河口湾边滩围垦的潮波变形数值模拟[J].水利水运科学研究,1997(4):310-319.
- [3] 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):55-60.
- [4] 陆永军,李浩麟,董壮,等.强潮河口围海工程对水动力环境的影响[J].海洋工程,2002,20(4):17-25.
- [5] 李孟国,时钟,范文静.瓯江口外洞头岛北岙后涂围垦工程潮流数值模拟研究[J].海洋通报,2005,24(1):1-7.
- [6] 姚炎明,沈益锋,周大成,等.山溪性强潮河口围垦工程

- 对潮流的影响[J].水力发电学报,2005,2(2):25-60.
- [7] 赵东波.罗源湾港口工程填海前后流场变化分析[J].海洋地质动态,2006,22(9):11-17.
- [8] 李加林,王艳红,张忍顺,等.潮流演变规律在围堤选线中的应用:以江苏辐射沙洲内缘区为例[J].海洋工程,2006,24(2):100-106.
- [9] HUA Z L,XING L H,GU L. Application of a modified QUICK scheme to depthaveraged  $k-\epsilon$  turbulence model based on unstructured grids[J]. Journal of Hydrodynamics,2008,20(4):514-523.
- [10] HUA Z L,XING L H,CHU K J,et al. Verification of QUICK scheme for convective flux in incompressible flow on unstructured grid[J]. Journal of Hydraulic Research,2009,47(6):764-776.
- [11] 华祖林,顾莉,查玉含,等.基于 COHERENS 模型的感潮河段水流及污染物质输运数值模拟[J].环境科学与技术,2009,32(4):14-18.
- [12] 贺松林,丁兴平,孔亚珍,等.湛江湾沿岸工程冲淤影响的预测分析 I:动力地貌分析[J].河海大学学报:自然科学版,1997,19(1):55-63.
- [13] 丁兴平,贺松林,张国安,等.湛江湾沿岸工程冲淤影响的预测分析 II:冲淤的模拟计算[J].河海大学学报:自然科学版,1997,19(1):64-72.
- [14] 王义刚,王超,宋志尧.福建铁基湾围垦对三沙湾内深水航道的影响研究[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(6):99-103.
- [15] 彭世银.深圳河口围垦对防洪和河床冲淤影响研究[J].海洋工程,2002,20(3):103-108.
- [16] 周安国,周大成,姚炎明.海湾围垦工程作用下的动力沉积响应[J].环境污染与防治,2004,26(4):281-283.
- [17] 宋立松.钱塘江河口围垦回淤过程预测探讨[J].泥沙研究,1999(3):74-79.
- [18] 罗章仁.香港填海造地及其影响分析[J].地理学报,1997,52(3):220-227.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 郭伟,朱大奎.深圳围海造地对海洋环境影响的分析[J].南京大学学报:自然科学版,2005,41(3):286-296.
- [22] 龚江海.浅析围涂工程对环境的影响[C]/中国水利学会.滩涂湿地保护与利用专委会 2005 学术年会论文集.北京:中国水利学会,2005:62-68.
- [23] 李景保,邓铭金.洞庭湖滩地围垦及其对生态环境的影响[J].长江流域资源与环境,1993,2(4):340-346.
- [24] 葛振鸣,王天厚,施文,等.崇明东滩围垦堤内植被快速次生演替特征[J].应用生态学报,2005,16(9):1677-1681.
- [25] 张乔民,张叶春.华南红树林海岸生物地貌过程研究[J].第四纪研究,1997(4):344-353.
- [26] 刘育,龚凤梅,夏北成.关注填海造陆的生态危害[J].环境科学动态,2003(4):25-27.
- [27] 陈俊才.围垦对滩涂动物资源环境的影响[J].海洋科学,1990,14(6):48-50.
- [28] 葛宝明,鲍毅新,郑祥.灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究[J].生态学报,2005,25(3):446-453.
- [29] 袁兴中,陆健健.围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响[J].生态学报,2001,21(10):1642-1647.
- [30] 吴耀泉.胶州湾沿岸带开发对生物资源的影响[J].海洋环境科学,1999,18(2):38-42.
- [31] 伍善庆.浅议漩门港围海工程对乐清湾海洋资源及环境的影响[J].海洋信息,2000(3):17-19.
- [32] 倪晋仁,秦华鹏.填海工程对潮间带湿地生境损失的影响评估[J].环境科学学报,2003,23(3):345-349.
- [33] 余兴光,郑森林,卢昌义.厦门海湾生态系统退化的影响因素及生态修复意义[J].生态学杂志,2006,25(8):974-977.
- [34] 狄乾斌,韩增林.大连市围填海活动的影响及对策研究[J].海洋开发与管理,2008,25(10):122-126.
- [35] 林桂兰,左玉辉.海湾资源开发的累积生态效应研究[J].自然资源学报,2006,21(3):432-440.
- [36] 苗丽娟.围填海造成的生态环境损失评估方法初探[J].环境与可持续发展,2007(1):47-49.
- [37] 于格,张军岩,鲁春霞,等.围海造地的生态环境影响分析[J].资源科学,2009,2(2):265-270.
- [38] 邱惠燕.厦门市填海造地进程的初步研究[D].厦门:厦门大学,2009.

(收稿日期 2012-03-20 编辑 张志琴)

