

我国近岸围填海环境影响评价研究进展^{*}

刘大海¹, 于莹^{1,2}, 李晓璇¹, 李彦平¹

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:围填海是缓解沿海地区土地资源紧缺的重要途径。进入 21 世纪以来,我国掀起了新一轮大规模的围填海热潮,随后关于围填海造成的负面影响受到越来越多的关注。近岸围填海作为最常见的一种围填海工程,其环境影响评价的理论体系和技术方法至今尚不系统。本研究从单一环境影响和综合环境影响两方面对近岸围填海环境影响评价的最新研究方法与成果进行归纳总结,在单一环境影响评价方面重点研究了水动力与沉积环境影响评价以及污染物运移影响评价,在综合环境影响评价研究方面重点研究了综合效益评价、适宜性评价、承载力评价、脆弱性评价等方法,以期海洋管理部门的围填海开发与管理提供参考。

关键词:围填海;环境影响;生态评价

中图分类号: X820.3 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1002-3682.2016.03.008

早在 20 世纪 60 年代,我国就开始了近岸浅滩种植农作物的实践,并很快意识到其开发利用对生态环境、地质环境平衡有着严重的负面影响^[1-2]。随着我国土地资源日益紧缺,近岸围填海工程规模不断扩大,使得原始自然海岸不断减少,海岸带环境的变化成为值得关注的重点问题。

相比于国外关于近岸围填海负面效应的研究,我国虽起步较晚,但研究水平与国际影响力提升迅速,近几年出现了一些高水平研究成果。然而在众多近岸围填海环境影响评价研究中,近岸围填海对海岸带环境的影响机制和程度始终难以得到较为统一的认识。

因此,本研究从单一环境影响评价、环境综合影响评价两方面对目前的研究方法与成果进行总结,并提出未来近岸围填海环境影响评价的研究方向,以期对我国近岸围填海的管理和海洋生态环境保护提出可行性建议。

1 近岸围填海单一环境影响评价研究

近岸围填海可在短期内有效缓解土地供求矛盾,扩大沿海地区发展空间,实现沿海地区土地“占补平衡”,社会效益和经济效益显著。然而,与此同时,近岸围填海工程造成的

^{*} 收稿日期:2016-08-04

资助项目:海洋公益性行业科研专项——近岸海域空间整治与开发存量评估关键技术研究及应用(201405025)和基于生态系统的海洋功能区划关键技术研究与应用(201505001);国家海洋局海域综合管理司项目——我国及国外滨海城镇发展围填海趋势研究(syj06201201)

作者简介:刘大海(1983-),男,助理研究员,博士,主要从事海洋政策方面研究。E-mail:liudahai@fio.org.cn

(王燕 编辑)

各类环境危害同样明显,主要体现在以下两个方面:一是改变海岸地貌形态,减少滩涂纳潮量,从而改变区域水沙动力环境,导致原有泥沙冲淤平衡状态遭到破坏,加剧沿岸侵蚀程度;二是减小海区污染物扩散速度,使其富集于近岸海底,严重影响近海海洋生态环境。

目前关于近岸围填海单一环境影响评价的研究大多集中在海岸底质沉积特性、泥沙冲淤状况和海湾纳潮量变化等方面,主要从经济损益、对资源和施工过程的影响等角度切入,且相关研究大多为短时间单一项目影响评估,缺乏长时间尺度的研究^[3]。本研究主要对水动力与沉积环境影响、污染物运移影响两类单一环境影响评价研究进行归纳总结。

1.1 水动力与沉积环境影响

随着我国围填海工程体量剧增,适宜围填的近岸浅海区域急剧减少,围垦重心逐渐由高滩转向中、低滩,滩涂面积急剧下降^[4]。这导致海湾潮汐和泥沙动力环境迅速改变,对海湾内泥沙或其他悬浮物的运移产生重要影响,使其运移速度加快或者大量富集在海湾内,给海湾沿岸岸滩稳定性和生态系统带来不利影响。

我国学者多年来对海湾水动力沉积环境进行了大量研究。早期研究多通过海湾潮流特征、流速潮差、沉积物粒度参数特征等实测数据来描述海湾泥沙运移过程及规律。该方法最为直观严谨,是水沙运移研究的经典方法,为后期数据模拟研究奠定了良好基础。如陈耕心等^[5]对浙江省乐清湾的潮汐要素特征进行了研究总结,发现潮汐对湾内沉积物的运动起着主要作用,其中驻波性质、倍潮以及潮差影响最大。董永发和曹沛奎^[6]从浙闽海岸的基本特征入手,从水动力条件、沉积过程、沉积来源等方面系统阐释了半封闭淤泥质港湾的沉积特征,认为半封闭淤泥质港湾总体水动力强度较低,沉积物分选差,层理不明显;沉积物以悬浮组分为主,但受到河流输入的泥沙影响,结构更为复杂。蒋国俊等^[7]对健跳港的水动力特征和泥沙动力沉降过程进行了深入研究,指出健跳港由于水动力强度较大,港道冲刷和潮滩淤积引起岸坡变陡而滑塌,部分潮滩物质得以进入港道,达到沉积物的冲淤平衡,该发现对围填海工程有重要指导意义。李加林等^[8]探讨了围垦方案对落潮水量组成及其维护闸下排水能力有效性的影响,认为潮上带匡围堤线对汛期及风暴潮时期截流量很大,但合理的围堤方案能够尽量减少不利影响。同时围海工程可切断部分潮沟系统的末梢,使潮盆面积减小并改变局地水沙环境,这方面的问题尚未得到充分研究。李九发等^[9]通过多年潮汐数据和地形变化情况对南汇嘴潮滩的大规模低滩促淤围垦工程进行了研究,发现当围垦堤线布置与原有海岸格局一致时,浅滩水沙环境可基本恢复到工程前的状态,这也是为数不多的海岸带围垦正面研究之一。

随着数值模拟技术的不断发展,相应方法逐渐被应用到了海湾动力沉积环境及沉积过程模拟计算方面,其中二维水动力模型的应用最为广泛。目前研究大多局限于:通过二维水动力模型的计算和转化,对围填海前后潮流场变化和水沙动力沉积进行研究,并通过前后数值的对比分析来评价不同围填海方案^[10-14]。此外,王勇智等^[15]运用 MIKE 21 模型的 HD 模块建立二维数值模型,通过逆向思维,就丁字湾目前水流不畅、淤积严重的情况,模拟了拆除养殖田和盐田堤坝后的水动力情况,对改善丁字湾海洋环境质量、减少泥沙淤积、增强污染物稀释能力和增加海洋环境容量具有重要的现实意义。郭晓峰等^[16]运用平面二维浅水潮波模型,对福建省湄洲湾围填海工程中的爆破、抛石等施工工艺产生的大量悬浮泥沙进行了数值模拟研究,预测悬浮泥沙的运移和扩散规律,并根据模拟结果综

合分析了海洋生态的影响。这也是为数不多的对围填海工程本身的影响分析研究。彭婷容等^[17]使用 Delft3D 建立二维水动力数值模型,结合幕景分析法,对浙江省三门湾围填海活动下的港湾纳潮量累积影响进行了计算,突破了仅分析围垦前后数值对比的局限。

尽管目前关于近岸围填海对水沙环境影响的研究较多,但大多集中在两者特征参数变化的对比上,而通过时间尺度衡量其变化过程的研究并不多见。如围填海工程中常采用挖掘、爆破、填补等工程技术方法,导致短时间内产生大量悬浮泥沙的扩散速度、影响范围、沉降时间等,目前相关研究甚少。此外,在长时间尺度方面,缺乏近岸围填海的长期累积影响及影响过程、时间段和能否恢复性的研究。我们认为,阐明近岸围填海长期累积影响下的水动力环境演变机理,揭示其变化的关键过程和控制因素,是评价近岸围填海影响研究中需要解决的重要问题。

1.2 污染物运移影响

近岸海湾围填海对水体的影响主要集中在海湾潮流流速、流量减小等方面,削弱海湾物理自净能力,加重水体污染的风险^[18]。另一方面,新围垦土地本身具有污染风险,在人类活动影响下重金属元素等污染物富集,对于种植业影响较大,并且土壤中的污染物在淋滤、氧化和陆相水补给等综合影响下,最终进入海湾水体,加剧了海水水体污染。

海湾水体污染物富集是近岸围填海的一大负面影响,目前的相关研究方法大多在海湾纳潮量和水交换能力模型基础上,对污染物监测数据进行对比研究。如孙长青等^[19]以胶州湾为例,通过分布杂交等方法建立二维变边界对流-扩散数值模型,并选取化学需氧量为指标因子,对不同填海方案下污染物运移进行对比分析,发现填海面积增加,对湾口断面污染物通量和水质影响随之增大。聂红涛等^[20]建立渤海湾近岸场流二维水动力模型,综合分析了围填海改变海岸形态、海水淡化工程排放浓缩海水、河口建闸阻断污水排放三方面对海水环境的主要影响因素,对近岸海水环境进行对比分析。沈林杰等^[21]在二维潮流模型的基础上,对温州近海水污染物进行示踪研究,通过不同时段总量变化,分析得到河口围垦对污染物运移的速度影响。刘明等^[22]在二维数值模型基础上,对锦州湾纳潮量、水动力、潮流量等以五年为间隔进行总结模拟,并结合海湾水质监测数据进行综合分析,可以得出随着围垦进程不断加深,锦州湾污染物富集速度加快。随着研究方法的不断创新,二维数值模型不再是判断水质变化的唯一方法,如张一帆等^[23]创建了适用于开阔海域的半定量评价方法,评价了福建省外围海域的水质状况。该方法拥有定量数值需求少且基本不依赖数值模型的优点,但同样有不同类型海湾评价因子不同、评价主观因素较大等弱点。Ock^[24]等通过二位数值模型和随机游走(rand walk)对流速和海水交换频率进行了模拟计算,发现围填海能够减少海水交换频率,而疏浚清淤可以提高海水交换频率,尤其适用于被污染的海域。

海岸带围垦土地大多为工业、农业发展用地,人类活动带来的大量污染物富集在土壤中,对海岸稳定性、农业生产等带来大量危害,同时农业生产需求量较大的重要成分如 N、P 等在土壤中分布也因滩涂围垦有所改变。该方向多通过实地取样或农作物取样分析,并在此基础上与国家标准相对比,进行综合评价。欧冬妮等^[25]对东海农场围垦前后土壤中无机氮进行取样分析,在空间、时间两个角度进行了综合对比分析,发现围垦后无机氮在含量、分布序列、沉积区位、季节性变化等方面较围垦前均有变化,且整体呈加剧趋势。

黄健敏^[26]以深港西部通道为例,就填海区重金属运移规律进行了研究,采用 Tessier 顺序提取法分析淤泥中重金属成分,并室外采样和室内模拟共同分析其运移过程。研究发现淤泥重金属含量明显增高,环境质量恶化,并提出了种植耐盐植物进行修复的方法。付红波等^[27]就珠江三角洲围垦农田重金属污染进行了测量,通过土壤和农作物取样检测并根据国家标准予以对比,对地区的重金属污染程度进行了分析。

目前,围填海影响下的污染物运移研究多基于水体运移模型开展,而海湾(尤其是河口海岸地区)水运动复杂多变,增加了水沙运移模型构建的难度,对污染物的运移评价研究造成了一定的困难。同时,如何分析总结适用于评价污染程度和污染物运移机制的评价体系,是该方向的一大难点。此外,围垦土壤污染物研究由于涉及地表水淋滤、地下水运移、工业抽水、农田施肥等活动的影响,影响因素十分复杂。目前该方向仅停留在现象分析程度,如何阐明其运移机制,区分和总结影响污染物运移影响因素,是今后该方向需要解决的重点问题。

2 近岸围填海环境综合影响评价研究

海岸地区水动力环境复杂,难以评价围填海工程带来的综合影响。在单一影响评价基础上的近岸围填海综合影响评价涉及的时间尺度长,项目范围广,研究难度大。我国相关综合影响评价研究大多出现在 2010 年后,此前多用可持续发展角度对海岸工程进行评价^[28]。尽管近年来该方向研究数量较多,但仍没有统一认可的评价标准,目前常用的评价方法有综合效益评价、适宜性评价、承载力评价、脆弱性评价等。众多方法各有利弊,但如何阐述其影响机制、力度及将人类影响和区域环境相结合,仍是围填海综合评价的未来研究方向。

尽管评价方法各异,但在评价体系的构建和评价指标的选择上,目前多使用 PSR 模型、德尔菲法、专家评分法等。在围填海工程环境影响评价中,利用 PSR 模型可以分析其对海洋资源、环境、物质等的影响程度,以及对海洋资源的影响作出的反应,从而综合考量围填海对海洋资源的影响程度。王玉广等^[29]将 PSR 模型应用于海岸开发活动评价,对该分析方法和指标体系构建进行了研究。于定勇等^[30]运用该方法对福清湾及海坛峡海域进行了指标体系的构建,通过专家打分法和判断矩阵法构建评价指标的权重,并进行了评价。此外,德尔菲法和专家评分法是定性描述定量化方法,尽管主观性较强,普及性较差,但与其他方法相比仍然具有方便简明的优势,因此仍在广泛使用。

2.1 综合效益评价方法

围填海综合效益评估是综合评价围填海支出与收益情况的一种方法,将围填海效益数字化,从收支角度评价围填海工程。李静^[31]利用资源经济和生态学方法,评估并分析了围填海的社会经济效益和生态环境损害效益。朱凌等^[32]运用模糊综合评价方法,将围填海效益分为经济效益、资源环境效益和社会效益三类,通过专家打分法确定权重,并进行评价。张建新等^[33]同样从这三方面选取评价指标构建了围填海综合效益评价模型。罗希茜^[34]从社会、经济和生态服务三个角度,选取评价指标,运用市场价值法、成果参照法、成本重置法等构建了琅岐岛围填海综合效益评价模型。刘晴等^[35]运用该方法对江苏省围填海情况进行了评价,综合考虑了经济、社会和生态环境三方面的影响,综合考量其

成本收益,分析得出部分区域存在盲目围填,并以此引导未来围填海活动。

2.2 适宜性评价方法

围填海适宜性评价是指通过建立量化的评价体系对用海项目进行适宜性评价。这一方法突破了完全依据海岸基本特征判定围填海适宜性的弊端,可根据项目用海的目的,有针对性地海湾围填活动进行评估。刘大海等^[36]参照环境经济学中的原理与方法,运用比率分析法构建了围填海损益评价体系框架,探讨了相关指标构建和评价标准,并以海州湾北侧为例,验证了评估体系的可操作性。于永海等^[37]通过海岸自然条件、海洋生态、开发利用现状、灾害地质、社会经济和其他六个指数构建了围填海适宜性评价指标体系与模型,并对辽宁省海岸进行了评估。王初升等^[38]针对红树林海岸的资源和生态特点,构建了一套红树林生物海岸围填海适宜性的评价指标体系。此后,王初升等^[39]又针对珊瑚礁海岸构建了一套围填海适宜性指标体系,解决了我国两大生物海岸围填海的指标难题。林霞等^[40]在适宜性评价基础上,通过 ArcGIS 投影将数据还原至图像,最终计算得出辽宁省适宜围填的区域面积。

2.3 承载力评价方法

环境承载力的概念出现于二十世纪六七十年代,目前海域环境承载力研究也逐渐深入,一些学者提出了海域环境承载力的评价指标体系及评价方法,但目前针对围填海影响下的环境承载力研究一般仅局限在地下水、环境和资源等方面。潘桂娥^[41]首次提出滩涂资源承载力的概念,并对其特征内涵、未来研究思路等进行了分析。王艳红等^[42]从承载力角度出发,对海岸带围垦适宜速度展开研究,以江苏淤泥质海岸带为例,对不同岸段的适宜围垦速度进行计算分析,提出围垦活动的强度应综合考虑经济和社会效益与海岸带的自然淤蚀承载力,以满足围垦活动与海岸带资源保护的平衡。魏超等^[43]从承载力角度,运用 PSR 模型对南通市海岸带综合承载力进行了评价,为围填海提供了更全面的指导。

2.4 3S 技术方法

3S 技术方法指 RS、GIS、GPS 三者相结合,多学科高度集成地对空间信息进行采集、处理、分析和应用的信息技术,也是近几年分析我国沿海地区变化的重要方法之一。海岸线的变化可以反映我国多年海岸带围填海趋势,同时可以分析围垦土地利用形式及我国海岸工程变化趋势。郭伟等^[44]运用遥感、GIS 技术及围填海地区的地形图和实地监测资料,对深圳湾 20 世纪末以来的围填海工程进行了评价,发现西海岸的滩涂和航道发生变化,纳潮量减少,导致潮流速度减少,流向改变,对当地生态环境产生重大威胁。孙云华等^[45]运用遥感和 ArcGIS 软件等技术就长时间尺度下的莱州湾海岸湿地面积变化进行了对比研究,发现在人工围垦下,自然岸线不断消失,人工岸线不断向海推进,但养殖池和盐田的大小很大程度上影响了人工滩涂面积的改变。高志强等^[46]运用遥感和 GIS 技术,对我国近 30 a 来海岸线变化进行了分析总结,认为修建港口码头、构筑建设用、沿海养殖、农业围垦等围填海工程是改变海岸线的关键因素。且随着我国经济社会需求的变化,围填海利用类型从最初的以农业用地为主,转变到后期的以养殖池为主,再转变到目前以利用水面为主,且港口所占比例不断上升,而农业用地所占比例则在逐渐下降。

2.5 脆弱性评价

脆弱性起源于对自然灾害的研究,开始时主要应用于生态领域,尔后被应用到其他领域如围填海研究。目前较易得到承认的脆弱性是一个集合概念,体现研究的系统、系统内的个体存在不稳定性,该系统自身以及其中的个体对于外界的压力较为敏感,最后在外来干扰和内部变化的共同作用下,产生不同程度的损失,并且难以复原。刘曦等^[47]从海岸侵蚀的角度,指出海岸带脆弱性体系是其对全球气候变化、海平面上升及其他不利影响的承受能力。刘宏伟等^[48]使用脆弱指数法,选取 6 项因子对曹妃甸地区的海岸带脆弱性进行了评价,并选取主成分因子法和德尔菲法分别计算其脆弱性程度,通过两者对比和调整,得到吻合结果。评价方法方面,地质环境评价方法目前还处于发展阶段,相关研究大多处于定性方面,定量研究较少。并且,对地质环境脆弱性的评价大多集中在某一特定的地质环境系统中,如岩溶地区、海岸带地区等,少有全方位的地质环境脆弱性评价^[49-50]。

此外,目前很多其他评价方法也被用于探讨围填海带来的海洋环境影响。如索安宁等^[51]运用环境影响回顾性评价(PAA)方法,对曹妃甸围填海工程带来的海洋生物和海洋环境两个主要方面的影响进行了评价。围填海强度指数(RII)是海湾围填海面积占海湾总面积的比率,可以用于评估海湾围海造地的环境影响累积效应,黄发明等^[52]运用该方法对福建省湄洲湾围填适宜性进行了评估。李延峰等^[53]运用人海关系空间量化模型方法,评价了人类活动对海洋生态系统的影响,并将评价结果进行空间可视化。

虽然我国研究人员对近岸围填海开展了不同层面和不同角度的研究,但由于经济利益的驱使,近年来我国近岸围填海的规模、特点与速度与之前有很大不同,且多数海岸是在之前围垦的基础上扩大围填面积,由此产生的环境累积影响更具复杂性,这对我国近岸围填海的环境影响评价研究提出了更高的要求。如何更精确地评价海岸带围填海的累积影响,将人类活动和区域本质特点相结合,从多角度多学科进行更全面的评价,将是未来近岸围填海影响评价的研究方向。

3 结 语

围填海造陆为我国沿海地区社会经济的发展提供了宝贵的发展空间,但过度的围填海工程使我国自然岸线不断减少,增加土地面积带来巨大社会效益的同时也给海岸带生态环境带来难以估量的破坏。近几年在大规模围垦下,沿海自然滩涂逐渐消失,如何在长时间尺度层面考虑近岸围填海的累积影响,如何更全面地对近岸围填海工程进行评价,如何在评价突出重点的同时减少或忽略其他项目,将是未来需要攻关的难题。

因此,在关注单个围填海工程短期影响的同时,更应重视大规模、长期性围填海工程的环境累积影响效应;在研究重点上,不应只局限于围填海对泥沙沉积的单一评价,还要加强围填海对滨海湿地和近岸生态、水文环境等的功能影响过程和影响机制的研究;在研究深度上,应加强海洋学科的交叉研究,深入剖析围填海对土地、海洋、生物、生态环境的综合影响。

参考文献:

- [1] 南京军区浙江生产建设兵团二师七团. 新围海涂种植水稻试验总结[J]. 科技简报, 1973(15): 19.

- [2] 刘桂友. 关于盐化厂围垦海涂影响渔业的调查[J]. 河北水产科技, 1981(3):9-11.
- [3] McCAY B J, JONES P J S. Marine protected areas and the governance of marine ecosystems and fisheries[J]. Conservation Biology, 2011, 25(6): 1130-1133.
- [4] WANG Y P, GAO S, JIA J J, et al. Sediment transport over an accretional intertidal flat with influences of reclamation, Jiangsu coast, China[J]. Marine Geology, 2012(291-294):147-161.
- [5] 陈耕心, 李伯根, 许卫忆. 乐清湾潮汐特征及对潮滩沉积作用的影响[J]. 东海海洋, 1992(1):1-9.
- [6] 董永发, 曹沛奎. 浙闽淤泥质港湾的沉积特征[J]. 华东师范大学学报, 1996(2):77-83.
- [7] 蒋国俊, 姚炎明, 张志忠. 浙江健跳港动力沉积过程及冲淤平衡机理[J]. 海洋学报, 2000, 22(2): 79-86.
- [8] 李加林, 张忍顺. 滩涂围垦海堤选线对邻近涵闸排水的影响分析——以条子泥西侧岸滩仓东片围垦为例[J]. 海洋技术, 2005, 9(4):55-65.
- [9] 李九发, 戴志军, 刘新成, 等. 长江河口南汇嘴潮滩围垦工程前后水沙运动和冲淤演变研究[J]. 泥沙研究, 2010(3):31-37.
- [10] 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):281-284.
- [11] 刘建, 黄明华, 娄鹏. 深圳湾填海工程对出海河流泄洪能力影响的研究[J]. 水利水电技术, 2006, 37(2):98-102.
- [12] 刘仲军, 刘爱珍, 于可忱. 围填海工程对天津海域水动力环境影响的数值分析[J]. 水道港口, 2012, 33(4):310-314.
- [13] 刘同敬. 围填海工程对青岛琅琊台湾海域水动力环境影响的数值分析[J]. 中国水运, 2013, 13(11):130-132.
- [14] 周广镇, 冯秀丽, 刘杰, 等. 莱州湾东岸近岸海域规划围填海后冲淤演变预测[J]. 海洋科学, 2012, 38(1):15-19.
- [15] 王勇智, 孙惠凤, 丰爱平, 等. 基于数值模拟的丁字湾海洋环境恢复研究[J]. 福建水产, 2013, 35(2):86-92.
- [16] 郭晓峰, 王翠, 陈楚汉, 等. 湄洲湾峰尾围垦工程施工期间海水悬浮泥沙输移扩散的数值模拟[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(1):125-132.
- [17] 彭婷容, 姚炎明, 陈琴. 石浦港纳潮量对三门湾围填海的累积响应[J]. 海洋湖沼通报, 2014(1): 169-178.
- [18] 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.
- [19] 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(10):47-50.
- [20] 聂红涛, 陶建华. 渤海湾海岸带开发对近海水环境影响分析[J]. 海洋工程杂志, 2008, 26(3):44-50.
- [21] 沈林杰, 陈道信, 黄惠明. 温州围垦工程对河口水交换能力的影响[J]. 海洋学研究, 2009, 27(4): 72-76.
- [22] 刘明, 席小慧, 雷利元, 等. 锦州湾围填海工程对海湾水交换能力的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1):110-114.
- [23] 张一帆, 方秦华, 张珞平, 等. 开阔海域围填海规划的水质影响评价方法:以福建省湾外围填海为例[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(4):586-590.
- [24] OCK L M, JIN P S, SOON K T. Influence of reclamation works on the marine environment in a

- semi-enclosed bay[J]. Journal of Ocean University of China, 2006, 5(3):219-227.
- [25] 欧冬妮,刘敏,侯立军,等. 围垦对东海农场沉积物无机氮分布的影响[J]. 海洋环境科学,2002,21(3):18-22.
- [26] 黄健敏. 填海区淤泥重金属释放迁移规律及其环境效应研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.
- [27] 付红波,李取生,骆承程,等. 珠三角滩涂围垦农田土壤和农作物重金属污染[J]. 农业环境科学学报,2009,28(6):1142-1146.
- [28] 金建君,恽才兴,巩彩兰. 海岸带可持续发展及其指标体系研究——以辽宁省海岸带部分城市为例[J]. 海洋通报,2001,20(1):61-66.
- [29] 于永海,王延章,张永华,等. 围填海适宜性评估方法研究[J]. 海洋通报,2011,30(1):81-87.
- [30] 于定勇,王昌海,刘洪超. 基于 PSR 模型的围填海对海洋资源影响评价方法研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2011,41(7):170-175.
- [31] 李静. 河北省围填海演进过程分析与综合效益评价[D]. 石家庄:河北师范大学,2008.
- [32] 朱凌,刘百桥. 围海造地的综合效益评价方法研究[J]. 海洋开发与管理,2009,26(2):113-116.
- [33] 张建新,初超. 围海造地工程综合效益评价模型的构建与应用分析[J]. 工程管理学报,2011,25(5):526-529.
- [34] 罗希茜. 琅岐岛围填海活动综合效益评价分析[J]. 海峡科学,2012(6):68-73.
- [35] 刘晴,徐敏. 江苏省围填海综合效益评估[J]. 南京师大学报,2013,36(3):125-130.
- [36] 刘大海,丰爱平,刘洋,等. 围海造地综合损益评价体系探讨[J]. 海岸工程,2006,25(2):93-99.
- [37] 于永海,王延章,张永华,等. 围填海适宜性评估方法研究[J]. 海洋通报,2011,30(1):81-87.
- [38] 王初升,黄发明,于东升,等. 红树林海岸围填海适宜性的评估[J]. 亚热带资源与环境学报,2010,5(1):62-67.
- [39] 王初升,林荣澄,黄发明. 珊瑚礁海岸围填海适宜性的评估方法研究[J]. 海洋通报,2012,31(6):695-699.
- [40] 林霞,王鹏,贾凯,等. 基于 GIS 的辽宁省围填海适宜性评价[J]. 海洋开发与管理,2015(5):27-29.
- [41] 潘桂娥. 滩涂资源承载力浅析[J]. 水利规划与设计,2009(1):7-9.
- [42] 王艳红,温永宁,王建,等. 海岸滩涂围垦的适宜速度研究——以江苏淤泥质海岸为例[J]. 海洋通报,2006,25(2):16-20.
- [43] 魏超,叶属峰,过仲阳,等. 海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用:以南通市为例[J]. 生态学报,2013,33(18):5893-5904.
- [44] GUO W, LI S H, MAO L, et al. A model for environmental impact assessment of land reclamation[J]. China Ocean Engineering, 2007, 21(2):343-354.
- [45] 孙云华,张安定,王庆. 基于 RS 和 GIS 的近 30 年来人类活动影响下莱州湾东南岸海岸湿地演变[J]. 海洋通报,2011,30(1):65-72.
- [46] 高志强,刘向阳,宁吉才,等. 基于遥感的近 30a 中国海岸线和围填海面积变化及成因分析[J]. 农业工程学报,2014,30(12):140-147.
- [47] 刘曦,沈芳. 长江三角洲海岸侵蚀脆弱性模糊综合评价[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(增1):196-200.
- [48] 刘宏伟,孙晓明,文冬光,等. 基于脆弱指数法的曹妃甸海岸带脆弱性评价[J]. 水文地质工程地质,2013,40(3):105-109.
- [49] 李彬. 中国南方岩溶区环境脆弱性及其经济发展滞后原因浅析[J]. 中国岩溶,1995(3):209-215.
- [50] 储金龙,高抒,徐建刚. 海岸带脆弱性评估方法研究进展[J]. 海洋通报,2005,24(3):80-87.

- [51] 索安宁,张明慧,于永海,等. 曹妃甸围填海工程的环境影响回顾性评价[J]. 中国环境监测,2012,28(3):105-110.
- [52] 黄发明,于东生,王初升. 海湾围填海强度指数的应用[J]. 亚热带资源与环境学报,2013,8(3):10-14.
- [53] 李延峰,宋秀贤,吴在兴,等. 人类活动对海洋生态系统影响的空间量化评价:以莱州湾海域为例[J]. 海洋与湖沼,2015,46(1):133-139.

Progress on the Environmental Impact Assessment of Coastal Reclamation in China

LIU Da-hai¹, YU Ying^{1,2}, LI Xiao-xuan¹, LI Yan-ping¹

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: Reclamation is an important way to solve the shortage of land resources. A new round of large-scale reclamation has been raised in China since entering the 21st Century. However, the negative effects caused by the reclamation are getting more and more attention. As one of the most common reclamation projects, the coastal reclamation has still no systematically theoretical system and technical methods for its environmental impact assessment. In order to provide references for the development and management of the coastal reclamation, the latest research methods and achievements of the coastal reclamation environmental impact assessment are summarized from the following two aspects: One is the single environmental impact assessment, which has focused on research of the methods for the hydrodynamic and sedimentary environmental impact assessment and the contaminant transport impact assessment; another is the comprehensive environmental impact assessment, which has mainly focused on research of the methods for integrated benefit evaluation, suitability evaluation, bearing capacity evaluation and vulnerability evaluation.

Key words: coastal reclamation; environmental impact; ecological assessment