

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2016.01.005

海岸带滩涂资源的开发利用与保护研究进展

张长宽 陈欣迪

(河海大学港口海岸与近海工程学院 江苏 南京 210098)

摘要: 在归纳了滩涂可提供资源的不同类型及开发利用方式的基础上,探讨滩涂开发利用对海岸带水动力条件、泥沙冲淤环境、滩槽稳定性、海岸带生态环境、生物多样性及其他海洋资源等造成的主要影响。滩涂开发利用环境影响评价模型主要有:生态-经济模型、多指标层次分析模型、DPSIR模型。根据滩涂开发利用中产生的环境影响中一些较突出的方面,概括了在滩涂开发利用规划、实施过程中普遍需要关注的方面,针对滨海湿地资源的保护、生物资源的保护、围垦区块生态环境的保护,提出了相应的保护措施。

关键词: 海岸带滩涂资源;滩涂开发利用;滩涂资源保护;环境影响;评价方法

中图分类号: P748

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2016)01-0025-09

Advances in development , utilization , and protection of coastal tidal flats

ZHANG Changkuan , CHEN Xindi

(College of Harbor , Coastal and Offshore Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract: Through a summary of different types and development and utilization modes of available resources in tidal flats , the impacts of development and utilization of tidal flats on hydrodynamic conditions , sediment erosion and deposition , stability of the main channel and flood plain , the ecological environment , biodiversity , and other marine resources in the coastal zone are examined. Models for evaluating the environmental impacts of development and utilization of tidal flats mainly include the ecological-economic model , multi-index analytic hierarchy model , and DPSIR model. According to some significant aspects of the environmental impacts of development and utilization of tidal flats , a few aspects that require attention during the process of planning and implementation of development and utilization of tidal flats are summarized. Finally , protection measures for coastal wetland resources , biological resources , and the ecological environment in reclamation areas are put forward.

Key words: coastal tidal flat; development and utilization of tidal flat; protection of tidal flat; environment impact; assessment approach

滩涂不仅是重要的后备土地资源,也是重要的湿地资源,蕴藏着丰富的海洋资源,并具有缓冲风暴潮侵袭、保护生物多样性、降解环境污染等功能。顺应自然规律的开发利用能实现滩涂资源的良性循环,提高系统的生产能力,促进经济、社会、环境的和谐发展。相反,违背滩涂自然生长规律的对滩涂产生颠覆性影响的开发,将造成滩涂生态、经济、社会等功能的严重退化,导致湿地减少、生物多样性遭破坏、污染等负面的环境影响,甚至造成滩涂资源的永久丧失^[1]。因此,滩涂资源的开发利用与保护问题,引起越来越多的关注。本文综述滩涂可提供资源的不同类型及近十年来的开发利用方式,探讨滩涂开发利用可能的环境影响及环境影响评价方法,并提出相应的滩涂资源保护措施。

1 资源类型及开发利用方式

我国沿海滩涂可划分为泥滩、沙滩、岩滩和生物滩4种基本类型。泥滩又称潮滩、海涂,为淤泥质海岸潮

收稿日期: 2015-04-21

基金项目: 国家自然科学基金(51179067, 51109074)

作者简介: 张长宽(1954—),男,江苏兴化人,教授,主要从事海岸工程和海岸动力学研究。E-mail: ckzhang@hhu.edu.cn

间带浅滩, 占我国滩涂总面积的80%以上, 主要分为平原和港湾2种类型。其中, 平原型潮滩在我国主要分布于江苏沿海, 环渤海内的辽东湾、渤海湾、杭州湾等大河入海平原沿岸, 是本文主要探讨的滩涂资源类型。滩涂不仅是我国重要的土地资源和空间资源, 同时还可提供丰富的生物资源、生态服务功能及其他海洋资源。以下主要讨论滩涂的空间资源、生物资源和生态服务功能。

1.1 空间资源

随着我国沿海地区社会经济的快速发展, 人口增长和耕地占用是必然趋势, 拓展人类生存空间成为必由之路。通过滩涂资源的围垦开发, 已经成为实现耕地总量动态平衡的重要途径。我国浅海滩涂分布广、面积大, 是有效的潜在土地资源, 极具拓展生存空间的巨大潜力。根据预测, 未来40 a, 我国有可能再造10 000~15 000 km²土地生存空间^[2]。由于滩涂不断淤长扩大, 潮上带的土地资源可直接开发利用, 潮间带可通过围垦因地制宜综合利用, 中低潮滩可用以发展鱼、虾、贝藻及海珍品和水产养殖。在开发利用的规划中, 除港口、城市、交通及经济区建设外, 应充分利用海涂资源, 发展农、渔、林、牧、苇、盐等, 使进入潮滩的肥分重新进入海滨生态系统的物质循环中, 以利于我国农业基础资源的开发^[3]。

江苏海岸北起绣针河口, 南抵长江口北支。由于来自古长江和古黄河泥沙的共同堆积作用, 在沿岸地区形成了丰富的滩涂资源, 同时, 在岸外分布了大面积的辐射沙脊群。根据江苏近海海洋综合调查与评价专项调查^[4], 江苏省沿海滩涂总面积为5 001.67 km², 约占全国滩涂总面积的1/4, 居全国首位; 其中潮上带滩涂面积为307.47 km², 潮间带滩涂面积为2 676.67 km², 南黄海辐射沙脊群理论最低潮面以上面积为2 017.53 km²。历史上, 江苏沿海经历了如兴海煮盐、垦荒植棉、围海养殖、临港工业为主的多个发展阶段, 围垦经验丰富。张长宽等^[5]、陈君^[6]、王建^[7]对江苏沿海围垦开发利用潜力、滩涂开发与管理、围垦空间布局等进行了研究。2009年, 《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》^[8]提出, 2010—2020年, 可在江苏淤长型海岸和辐射沙洲等地进行围填, 共形成1 800 km²左右的土地后备资源。根据遥感资料显示, 至2014年6月, 沿海边滩与沙洲完成围填面积约为558 km², 形成的土地资源主要用于补充耕地资源, 并合理分配了生态与建设用地面积。农业用地主要发展现代农业种植业、耐盐特种作物种植、高效水产养殖业、海洋渔业等; 生态用地主要用于沿海防护林、护岸林草、河流、湖泊、人工湿地以及生态旅游等; 建设用地主要发展港区建设、临港产业、城镇建设及围区内基础设施建设等。

环渤海地区滩涂资源约占全国的1/3, 在全国具有重要地位, 滩涂的开发历史悠久。渤海湾沿岸滩涂的围填开发主要始于1949年中华人民共和国成立之后, 1949年前的围填工程主要在天津港区。2003—2012年间, 渤海湾的海岸线较以往发生了巨大的变化, 人类活动进入迄今最强的干扰时期, 表现为沿岸大规模、据点式的围填开发。天津滨海新区自纳入全国总体发展战略布局以来, 围海造地建设快速推进, 到2010年的10 a间围海造地超过了304 km²; 预测至2020年、2030年围海造地面积分别可达560 km²和650 km²^[9]。曹妃甸开发提出于2003年, 到2010年已围海造地155 km², 到2020年将再完成围海造地150 km²。与江苏沿海不同, 近期渤海湾沿岸规划围填区域主要用于工业建设, 以建成中国北方地区最大的深水港区, 形成世界级规模和水平的重化工业基地。目前, 除了局部的自然岸线处于侵蚀状态, 大部分海岸线逐步向海推进, 渤海湾大部分海岸天然的大潮高潮水边线已不复存在, 取而代之的是人工岸线。辽河口地区位于辽宁省南部, 是我国海岸线的最北端, 面临渤海, 海岸线绵长。据估算, 理论最低潮面以上区域的滩涂面积为889.13 km²^[10]。辽河口地区渔业、石油天然气、旅游业等资源丰富, 拥有著名的辽东湾渔场、辽河油田、世界级苇田和保存完好的芦苇沼泽地, 以及双台河口国家级自然保护区。就目前的开发利用情况而言, 已开发的滩涂面积约为总面积的10%, 仍有较大的开发潜力。

1.2 生物资源

入海江河携带的泥沙和营养盐既给滩涂提供了广阔的土地资源, 又为沿海水产生物资源创造了多种繁殖和生长的环境, 使我国浅海滩涂地带蕴含丰富的鱼、虾、贝、藻类资源。潮滩动物种类繁多, 江苏沿海潮滩具有经济利用、采捕价值的主要有高潮区的沙蚕, 中潮区的泥螺、青蛤等, 以及低潮区的文蛤、竹蛏等贝类资源^[11]。除可直接利用的动物资源外, 潮滩上的植物资源对于岸滩稳定、净化环境等有着不容忽视的作用。天然生长的红树林能抵抗强风巨浪, 形成保护海岸的天然屏障, 十分有利于水产的繁育及生长^[3]。曹明兰等^[12]通过对浙南西门岛红树林的净能产出率、能值投资率、环境产出率、

环境负载率等指标进行计算,研究结果表明,该区域红树林生态系统的净能值产出率接近全国平均水平的10倍,说明红树林的生态系统有很高的生产效率以及服务价值。我国于1979年从美国引进的互花米草,因其耐盐、耐淹的特性,适宜在广阔的滩面生长。近年来,互花米草对我国沿海的生态稳定与平衡产生了有利的影响,有保滩护岸、促淤造陆、改良盐土、净化水质等能效,同时能为潮滩动物提供栖息地。目前,互花米草已分布于我国沿海的大部分淤泥质滩涂,其中,宽度与面积均最大的互花米草盐沼分布于江苏沿海,在平原淤泥质海岸中具有一定的代表性^[13-14]。然而,也有学者提出,互花米草因其极强的繁殖能力,迅速大面积生长,在杭州湾沿海造成严重的生物入侵现象,破坏了当地的植物群落,在滩涂围垦中需采取合理的控制措施^[15]。

1.3 生态服务

对于自然生态系统服务功能的描述,主要有以下3种经典的分类方式。Costanza等^[16]将生态系统服务概括为四大主要方面:初始生产、基本调节、环境效益以及娱乐价值,又细分为包括气体调节、气候调节、水调节等共17类。de Groot等^[17]总结出生态系统所能提供的服务功能主要有调节功能、生境功能、生产功能和信息功能共四大类。并提出,在健康的自然生产过程中,前2类功能是形成和维持后2类功能的前提和必要条件。联合国《千年生态系统评估》中提出的分类体系,将生态系统可能提供的服务种类总结为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务^[18]。

在分析整理国内外生态系统服务价值评估理论和方法的基础上,不同学者针对不同潮滩湿地的特点,对滩涂的主要生态服务功能进行了归纳和评价。索安宁等^[19]根据环渤海海岸带实际土地利用的不同特点,将环渤海海岸带的主要生态服务功能分为物质生产、污染物净化、大气调节、物种保护、文化科研等共9种,认为环渤海海岸带在提供海洋水产品和工业原材料、保护生物多样性、调节气候和涵养水源等多方面起到重要的作用。在环渤海海岸带多种土地利用类型中,湿地、林地、耕地和水产养殖用地的生态服务功能最为显著。卢霞等^[20]利用遥感影像对江苏连云港土地利用类型进行分类,将连云港海岸带分为6种生态群落和17种生态系统服务类型,对各生态服务系统的功能价值进行计算,结果表明,养分循环、水分调节、水分供给的价值突出,总价值较高,发挥了较好的服务功能。

2 资源开发的环境影响与评价方法

从20世纪90年代至今,荷兰、印度、韩国等国家的学者^[21-23],针对围填海对海岸地理环境、生态、水质、社会、经济等方面形成的影响进行探讨,认为沿海围垦一旦对自然、生态环境造成破坏性的影响,必将对人类社会的发展造成不可估量的影响,且人为恢复的难度、代价极高。近10年来,我国大规模围填海造成的环境问题也引起了各领域专家、学者激烈的探讨,主要集中在围垦对潮滩动物^[11]及海洋产业资源的影响^[24]、对海洋环境的影响^[25]、对近海水动力泥沙以及冲淤演变的影响^[26-27]、对滩槽稳定性的影响^[28]、对闸下淤积的影响^[29]等方面。

2.1 对水动力、泥沙环境的影响

近10年来,由于沿海地区经济发展需求,我国加快了在渤海、黄海、东中国海沿岸的围垦。沿海大规模滩涂围垦工程的实施可能会直接改变海岸的轮廓以及近岸海域的海底地形,从而会对海洋动力环境产生长远的影响。围垦方案实施后,海域地形和海洋动力环境之间将通过相互作用达到一个新的平衡状态。Song等^[30]从剩余潮汐能的重新分布角度建立数学模型,研究了中国沿海地区围垦对潮汐动力的远场影响。沿海滩涂的围垦将天然潮滩转换为人工海岸,使潮滩失去了对潮能的存储与耗散作用,导致剩余潮汐能的重分布,从而使沿岸潮差、无潮点位置发生改变,而沿岸潮差的增加可能使人们面临的风暴潮等海岸灾害更加严峻。此外,对于涨潮占优的区域,失去了天然潮滩的缓冲作用,向岸的净泥沙输运增加,带来严重的淤积问题;相反,对于落潮占优的区域,将增加海岸侵蚀,对已围垦的土地造成不利影响。

江苏沿海垦区主要位于淤泥质平原海岸和岸外辐射沙脊群,岸外辐射沙脊群演变动力机制是形成江苏丰富滩涂资源的前提条件。李孟国^[31]对江苏辐射沙脊群的研究开发进展进行了归纳总结。江苏沿海射阳河口至长江口北岸近岸浅水区、以弶港为中心的辐射沙洲是世界上规模最大的辐射沙洲沉积体系,存储了丰富的海岸环境演变信息。辐射状潮流场是辐射沙脊群形成和维持的动力机制,潮流塑造—风暴破坏—潮流

恢复是辐射沙脊群形成演变的动力机制^[32]。江苏沿海复杂而独特的水动力环境特点,决定了针对江苏沿海围垦环境影响的研究中,对水动力、泥沙沉积环境的影响研究是非常必要的。陶建峰等^[26]基于江苏近海二维潮汐潮流预报数值模型,以2008年为基准年,对江苏沿海滩涂围垦规划(2010—2020年)^[8]的3个实施阶段完成后,水动力条件的变化情况进行了数值模拟。从围垦海域主要分潮潮波分布、潮汐通道流速和单宽纳潮通量三方面的变化探讨了围垦工程对江苏近海潮汐潮流的影响。研究结果表明,围垦方案实施后,除局部范围有较小差别外,对近岸的潮波系统几乎没有影响, M_2 分潮无潮点位置、同潮时线和近岸海域潮差均变化不大。

渤海湾沿岸潮差中等,但受历史上多条河流大量入海泥沙的影响,加上涨潮流速大于落潮流速的动力条件,以及存在南、北两岸沿海平均流速10 cm/s左右的、流向湾顶的余流,使渤海湾沿岸发育出我国典型的集中连片、宽广低平的滩涂,且滩涂面积随河流入海泥沙淤积而不断增长。南京水利科学研究院^[9]选取了渤海湾典型区域进行分析,研究滩涂开发对潮波、潮流、进出潮量等水动力环境的影响。以位于黄河口附近的 M_2 分潮无潮点为例,对近70多年来无潮点位置变化的研究结果显示,2003年以来的近10年间,黄河河口附近的 M_2 分潮无潮点一直向东南方向移动,由此可发现,渤海湾近10年来的开发对潮波系统产生了明显的影响。滨海新区自滨海旅游区向南至独流减河口、曹妃甸海域共选取44个点进行潮差和流速变化监测对比,结果表明,总体上,主要河口的潮差和流速呈增加趋势,而工程区前沿的潮差和流速均呈下降趋势。同时,以曹妃甸海域围填开发工程为例,从流速和流态变化的角度,研究了大规模滩涂围垦工程对滩槽稳定性的影响。通过对比维持深槽稳定的控制动力条件,认为曹妃甸海域近10年来的大规模围填海工程并未对滩槽稳定性产生明显影响^[28]。

2.2 对生态环境与海洋资源的影响

滩涂围垦占用了一定面积的滩涂空间,必然对海岸带生态环境和潮滩湿地、生物多样性及其他海洋资源产生一定的影响。

首先,对海岸带生态环境的影响。随着沿海滩涂的开发利用,工业、农业、水产养殖业等不断发展,陆源污染物排放将对海岸带造成负面的环境影响,例如,含有氮、磷、有机质等污染物排放将导致近岸水体的营养盐含量升高,水质变差,引发诸如海岸带的海洋资源与生态承载力下降等环境问题。黄苇等^[33]、谭映宇等^[34]对渤海内主要海洋资源和生态环境承载力进行了评价,结果表明:2005—2008年间,渤海内三湾海洋资源和生态环境承载力普遍偏低,且整体呈下降趋势;海洋环境支撑能力呈整体缓慢下降趋势,虽然有关部门增加了环保的投入比重,但就现状而言,水质状况仍未见明显好转,海洋环境容量趋于饱和,总体存在较大的环境压力。

其次,对滩涂湿地、生物多样性及其他海洋资源的影响。滩涂围垦将直接造成天然湿地面积减少,间接影响到生存在潮间带和辐射沙脊群的物种,失去了栖息场所的生物将面临种类和数量下降。陈才俊^[11]研究了江苏沿岸滩涂围垦对潮滩动物资源的影响,认为虽然围垦会导致潮滩动物的消亡,但若堤外潮滩不断淤高,环境逐渐适宜,潮滩动物将于堤外得到恢复。平均而言,随着围垦时间增长,潮滩动物资源会逐渐得到恢复。但陆生动物的消亡速度往往快于潮滩动物,这主要是捕猎所致,导致一些陆生动物灭绝,是人类进入潮间带更为方便带来的间接影响。此外,由于人工种、养殖业的发展,物种趋于单一,生物多样性下降。以渤海湾的开发利用为例,其生物多样性下降趋势明显,加上近海水质恶化,渤海湾内生物多样性的维持将面临长期的压力。索安宁等^[19]对曹妃甸围填海工程造成的海洋生态系统服务功能损失进行了评价,包括生物多样性维持功能损失、空气质量调节功能损失、气候调节功能损失等。结果表明,曹妃甸大规模围填海工程对工程及周边海域的海洋生态系统服务功能产生了较大的负面影响。

2.3 环境影响的综合评价方法

李加林等^[35]、陈宏友等^[36]、罗章仁^[37]从多方面探讨了滩涂围垦的环境影响,较全面地讨论了潮滩围垦对水沙环境、海岸带物质循环、潮滩生物生态、盐沼恢复与生态重建等方面的影响,指出对于围填海环境影响评价需建立在对海岸带环境组成要素系统分析的基础上。滩涂自身有其长期形成的自然演化特征,同时也受到气候变化、地基沉降、人口自然增长等作用。此时,将滩涂开发利用看作“外力作用”,通过综合对比海岸带主要环境因子(水动力-泥沙、生物-生态、经济-社会等)在自然演替与围垦演化下的区别,探讨人类

围垦活动对海岸环境演化的影响机制(图1)。这一观点暗示了建立评估体系对围填海环境影响进行综合评价的必要性与研究的发展趋势。其中,有关围填海对海岸生态环境的影响研究较多,但不同领域的专家学者得出的结论相差较大,关于滩涂开发利用对生态环境影响损益评价各持己见。因此,仅考虑单一影响难以对沿海大规模人类活动的利弊进行全面、系统性的评价。21世纪初期,欧洲发达国家的专家学者对综合评价指标体系进行了研究^[38],并通过案例研究,强调了进行海岸环境指标体系建立的重要性与必要性^[39]。

评价体系构建的基本方法包括分析评价区域特征,据此进行评价指标的筛选、赋分以及权重计算,进而选取合适的评价模型,形成海岸带环境的综合评判。沿海滩涂资源的开发对海岸环境影响的评估模型中,典型的有生态-经济模型、多指标层次分析模型、DPSIR模型。

2.3.1 生态-经济模型

生态-经济模型^[40-42]运用经济学、生态学理论,从生态系统的服务功能角度出发,建立一系列生态功能的经济价值评价公式,以生态损害所需付出的经济价值作为最终的判断标准,评判较为单一,但操作过程较简单,是较早出现的评价模型。Costanza等^[16]于1998年提出自然界所能提供的生态服务,形成早期的、描述全球性的生态系统服务功能的观点,因此,为界定填海造地的生态损害,应根据海岸带生态系统所能提供的具体服务进行调整。de Groot等^[17]为了评估需要,于2002年提出生态系统四大服务功能。彭本荣等^[43]根据这个划分,将海洋与海岸带生态系统提供的服务进行细分,并以权衡围填增加土地与海洋、海岸带生态系统的其他服务,使海洋与海岸带生态系统效益到达最大化的原则,建立了一系列生态-经济模型。该模型的缺点是在于其估算的是一个平均的标准,实际应用中需对海域进行分区,使用分类等方法克服这一缺陷。此外,应用于研究海岸带的综合环境影响(例如对潮波系统、潮流场、岸滩稳定等的影响)时,很多重要性指标无法用单一的经济价值来衡量。

2.3.2 多指标层次分析模型

于永海等^[44]、王静等^[45]、刘大海等^[46]基于多指标综合评价的层次分析模型,综合考虑围填海对动力泥沙环境、海洋生态环境、资源综合开发、地质灾害、社会经济等方面的影响,建立围填适宜性评价指标体系,构建模型,并提出对于不同海域,自然条件不同时针对海域特点选取相应的控制要素,构建评价指标体系。基于多指标综合评价的层次分析模型进行评价时,都是先进行评价指标筛选,再对单因子确定分值、计算权重,最后利用加权和法,得出评价对象的综合得分(图2)。该评价方法先对各评价要素独立打分,再通过权重的赋予综合考虑其共同影响,但未能考虑各要素间的关联。实际上,评价要素并非独立作用,而是相互影响。且层次分析法的作用是从备选方案中选择较优者,关心各方案的序关系,不能为决策提供新方案,因此在应用过程中该方法存在一定的局限性。

2.3.3 DPSIR模型

DPSIR模型,即驱动力-压力-状态-影响-响应方法,是由经济合作与发展组织(OECD)于1993年

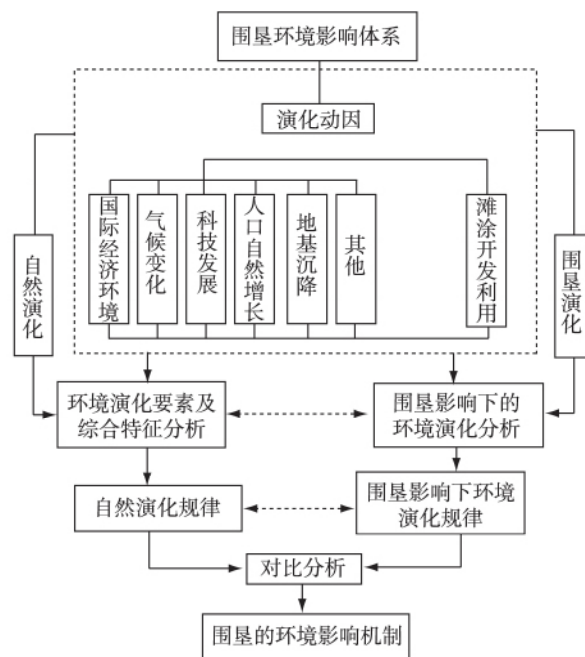


图1 围填海环境演化影响机制图^[37]

Fig. 1 Influence mechanism of reclamation on environmental evolution^[37]

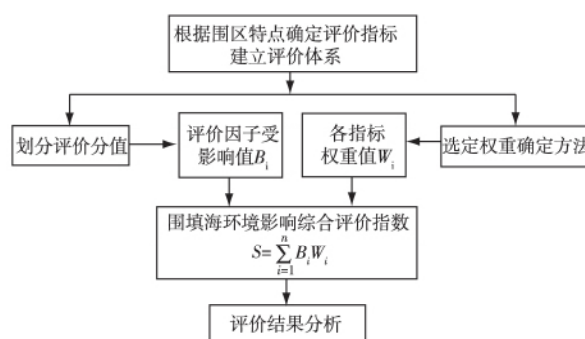


图2 多指标综合评价基本过程

Fig. 2 Basic process of multi-index comprehensive evaluation

提出

建立的。该方法从环境影响的根源即驱动力出发,构建出一个适用于分析较复杂环境问题的框架结构(图3)。自模型提出以来,大量专家学者对 DPSIR 方法进行了评价,并应用于建立海岸带的综合评价指标体系,用以研究海岸污染的环境影响^[48]、海岸带脆弱性评价^[49]、生态系统与人类经济社会共同发展的综合模型^[50]等。模型中,驱动力将引起沿海滩涂环境状态的响应,从而改变沿海环境现状,产生多方面综合的环境影响,如海洋及泥沙动力环境、生态环境、社会经济等。有利的环境改变是指沿海环境向人与自然和谐发展的方向演变,而不利的环境改变是指使自然生态环境恶化,使水动力、泥沙条件产生颠覆性改变等。不利影响将引起社会响应,从而促使相关管理部门、机构、组织通过政策调控改变驱动力,如严格用海审批、限制沿海地区人口迁入、围填海工程建设等;或通过应对措施的实施,直接减弱造成不利影响的压力因素,如净水节水措施、提高污水排放标准等,改变不利影响。与 DPSIR 模型类似的还有 PSR 模型^[51]、DPSIR 模型等。

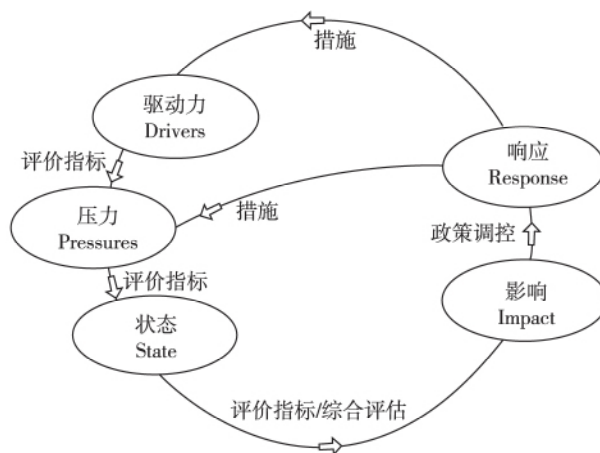


图3 DPSIR 模型问题分析过程示意图^[47]

Fig.3 Analysis process of DPSIR model^[47]

3 保护措施

刘伟等^[52]主要针对海洋生态环境问题,提出近年我国围垦的现状、原因、对策。戴桂林等^[24]、谢挺等^[53]对围填海的环境问题进行了思考,并结合具体工程海域,提出了保护措施与对策。针对江苏沿海滩涂大规模围垦,陈军冰等^[54]提出了大规模围垦的关键技术及保护技术,列举了国际上成功、失败的案例,以及众多国家和地区对沿海资源大规模盲目无序和不合理开发利用给人类生存发展及自然生态环境等造成破坏的实例,为江苏沿海滩涂围垦与保护敲响警钟。陈书全^[55]从政策层面分析环境问题形成的原因,并从政、法、管角度,提出应加强相关政策和体制的建立。洪华生^[56]提出,应将自然科学与人文科学科技力量相结合,共同研究海岸带生态安全的关键科学、技术和政策问题。海洋与海岸带管理从传统的管理方式向基于生态系统的管理方式转变,即从单一物种、狭小的空间范围、短期的视角,逐渐向整个生态系统、多层次的尺度、长期的视角转变。

对滨海湿地资源的保护,应按照国家法律法规以及海洋功能区划,避开具有重要自然生态价值的海岸湿地,保留一定的生态岸线比例。在对滩涂的围垦开发进行规划时,应充分考虑围垦的适宜性,尽可能选择淤涨较快的滩涂,围垦速度应与不同滩涂的自然特性相适应。此外,严禁在自然保护区的核心区与缓冲区进行滩涂围垦,为滨海湿地留有足够的生态空间,维护海岸带的生态平衡,促进滨海湿地生态系统向健康、可持续发展的方向发展。

对生物资源的保护,应同时考虑人工水产养殖与自然海洋鱼类的共同发展,保护水产种质资源,保留海洋鱼类的主要繁殖区域,确保其洄游通道的畅通。应维持自然景观的多样性,对现有的芦苇、盐沼等特色区域进行切实有效的保护,为保护物种预留适宜的生境。同时,针对不同滩涂的自然生态特点,形成相应的生态廊道、生态节点,以利于珍稀物种栖息和迁徙,保持生态流的畅通,促进生物的繁衍和扩散。

对围垦区块生态环境的保护,应根据农业、工业以及城镇建设的特色,转变传统中落后的发展模式,最大限度地减少滩涂开发利用对生态环境造成的负面影响。针对农业建设,应鼓励新型农业的发展,尽量减少化肥、农药的使用,提倡循环农业的发展,降低沿海种养殖产生的面源污染,以形成生态化的发展模式。针对工业和城镇,应加强水资源循环与重复利用的基础设施建设,鼓励工业固体废弃物、城镇生活垃圾的综合利用。同时,对围区内的项目建设,形成先评价、后建设的发展机制,并且必须淘汰生产力低下、工艺落后、污染物产量高的项目落户。

4 结 语

沿海滩涂的演变受到自然过程及人类活动的双重作用,近年来,沿海地区增长的土地需求与滩涂资源的

保护问题引起越来越多的关注和探讨。因而,如何对滩涂资源进行合理、高效的开发利用,如何对滩涂的开发利用进行科学有效的保护与管理,成为关系到沿海经济、社会、生态可持续发展、河口岸滩稳定、海岸带防灾减灾等众多方面的重要问题。基于对该领域前人研究成果的总结,提出以下有待进一步深入研究的方向:

a. 滩涂资源、泥沙来源、水沙动力环境变化等基础数据的获取和动态监测。运用大面积滩涂地形遥感遥测技术和滩涂稳定性分析方法,在掌握滩涂自然环境特征、演变动力机制的基础上,分析大规模人类活动由高滩向低滩推进过程中的动力地貌过程。

b. 沿海滩涂开发利用对海岸带环境的综合影响及评价体系的建立。围垦工程等对滩涂的开发利用方式涉及自然科学、工程技术、社会科学等多个学科,目前的评估理论、方法、模型均不足以清楚地回答人们的疑虑。开展大规模滩涂开发利用的环境影响及其评价方法的深入研究刻不容缓。

c. 海岸带管理视角与模式由传统的管理方式向基于生态系统的管理方式转变。海岸带资源开发利用与保护的研究视角应由单一物种在狭小的空间范围的短期变化,转向对整个生态系统在多层次尺度上的长期演变。将人作为生态系统的一部分,管理和研究相结合,建立适应性管理模式。

参考文献:

- [1] 陆永军,侯庆志,陆彦,等.河口海岸滩涂开发治理与管理研究进展[J].水利水运工程学报,2011(4):1-12.(LU Yongjun, HOU Qingzhi, LU Yan, et al. Advances in development and management of estuarine and coastal mudflats[J]. Hydro-Science and Engineering, 2011(4): 1-12. (in Chinese))
- [2] 陈吉余.开发浅海滩涂资源 拓展我国的生存空间[J].中国工程科学,2000,2(3):27-31.(CHEN Jiyu. To exploiting lower tidal flats for expending living space of China[J]. Engineering Science, 2000, 2(3): 27-31. (in Chinese))
- [3] 宋达泉.我国海岸带土地、生物资源的开发利用[J].自然资源学报,1988,3(2):114-120.(SONG Daquan. On the land and biological resources of seacoast zone and their exploitation and utilization of China[J]. Journal of Natural Resources, 1988, 3(2): 114-120. (in Chinese))
- [4] 江苏近海海洋综合调查与评价办公室.江苏近海海洋综合调查与评价总报告[M].北京:科学出版社,2012.
- [5] 张长宽,陈君,林康,等.江苏沿海滩涂围垦空间布局研究[J].河海大学学报(自然科学版),2011,39(2):206-212.(ZHANG Changkuan, CHEN Jun, LIN Kang, et al. Spatial layout of reclamation of coastal tidal flats in Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2011, 39(2): 206-212. (in Chinese))
- [6] 陈君.江苏沿海滩涂的围垦开发与管理[C]//中国水利学会.中国水利学会2006学术年会论文集(滩涂利用与生态保护).合肥:中国水利水电出版社,2006.
- [7] 王建.江苏省海岸滩涂及其利用潜力[M].北京:海洋出版社,2012.
- [8] 江苏省发展和改革委员会,江苏省沿海地区发展办公室.江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要[R].南京:江苏省发展和改革委员会,江苏省沿海地区发展办公室,2010.
- [9] 南京水利科学研究所.典型河口海岸滩涂资源承载力及开发优化机制初步研究[R].南京:水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,2014.
- [10] 林冰.辽河口海岸滩涂开发利用存在的问题及对策[J].农业与技术,2012(8):50-51.(LIN Bing. Problems and countermeasures in development and utilization of coastal mudflat in Liaohu Estuary[J]. Agriculture and Technology, 2012(8): 50-51. (in Chinese))
- [11] 陈才俊.围垦对潮滩动物资源环境的影响[J].海洋科学,1990,2(6):48-50.(CHEN Caijun. Impact of tidal flat reclamation on environment and animal resources[J]. Marine Sciences, 1990, 2(6): 48-50. (in Chinese))
- [12] 曹明兰,宋豫秦,李亚东.浙南红树林的生态服务价值研究[J].中国人口·资源与环境,2012(增刊2):157-160.(CAO Minglan, SONG Yuqin, LI Yadong. Research on ecological service value of southern Zhejiang coastal mangrove forest[J]. China Population, Resources and Environment, 2012(Sup2): 157-160. (in Chinese))
- [13] 沈永明,王艳芳,陈寿军,等.互花米草盐沼湿地大型底栖动物时空分布特征[J].地理研究,2013(4):638-644.(SHEN Yongming, WANG Yanfang, CHEN Shoujun, et al. The temporal and spatial distributions of the macrobenthos in *Spartina alterniflora* salt marsh[J]. Geographical Research, 2013(4): 638-644. (in Chinese))
- [14] 张忍顺,沈永明,陆丽云,等.江苏沿海互花米草(*Spartina alterniflora*)盐沼的形成过程[J].海洋与湖沼,2005,36(4):358-366.(ZHANG Renshun, SHEN Yongming, LU Liyun, et al. Formation of *Spartina alterniflora* salt marsh on Jiangsu coast, China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(4): 358-366. (in Chinese))
- [15] 慎佳泓,胡仁勇,李铭红,等.杭州湾和乐清湾滩涂围垦对湿地植物多样性的影响[J].浙江大学学报(理学版),2006,33(3):324-328,332.(SHEN Jiahong, HU Renyong, LI Minghong, et al. Influence of reclamation on plant diversity of beach

- wetlands in Hangzhou Bay and Yueqing Bay in East China[J]. *Journal of Zhejiang University(Science Edition)* ,2006 ,33(3) : 324-328 ,332. (in Chinese))
- [16] COSTANZA R ,D'ARGE R ,de GROOT R ,et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Ecological Economics* ,1998 ,25(1) :3-15.
- [17] de GROOT R S ,WILSON M A ,BOUMANS R M J. A typology for the classification ,description and valuation of ecosystem functions ,goods and services [J]. *Ecological Economics* ,2002 ,41(3) :393-408.
- [18] Millennium Ecosystem Assessment(MEA) . *Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis* [R]. Washington , DC: World Resources Institute ,2005.
- [19] 索安宁 ,张明慧 ,于永海 ,等. 曹妃甸围填海工程的海洋生态服务功能损失估算[J]. *海洋科学* ,2012 ,36(3) :108-114. (SUO Anning ,ZHANG Minghui ,YU Yonghai ,et al. Loss appraisal on the value of marine ecosystem services of the sea reclamation project for Caofeidian [J]. *Marine Sciences* ,2012 ,36(3) :108-114. (in Chinese))
- [20] 卢霞 ,谢宏全. 基于RS的连云港海岸带生态系统服务价值估算[J]. *淮海工学院学报(自然科学版)* ,2010 ,19(2) :85-88. (LU Xia ,XIE Hongquan. Estimation of ecosystem service value based on RS technology in coastal zone of Lianyungang [J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology(Natural Science Edition)* ,2010 ,19(2) :85-88. (in Chinese))
- [21] MOSTAFA Y E S. Environmental impacts of dredging and land reclamation at Abu Qir Bay ,Egypt[J]. *Ain Shams Engineering Journal* ,2012 ,3(1) :1-15.
- [22] LEE C ,LEE B ,CHANG W K ,et al. Environmental and ecological effects of Lake Shihwa reclamation project in South Korea: a review[J]. *Ocean & Coastal Management* ,2014 ,102 ,Part B(0) :545-558.
- [23] de MULDER E F J ,van BRUCHEM A J ,CLAESSEN F A M ,et al. Environmental impact assessment on land reclamation projects in the Netherlands: a case history [J]. *Engineering Geology* ,1994 ,37(1) :15-23.
- [24] 戴桂林 ,兰香. 基于海洋产业角度对围填海开发影响的理论分析: 以环渤海地区为例[J]. *海洋开发与管理* ,2009 ,26(7) :24-28. (DAI Guilin ,LAN Xiang. Analysis on influence of reclamation development on marine industry: taking Bohai sea area as an example [J]. *Ocean Development and Management* ,2009 ,26(7) :24-28. (in Chinese))
- [25] ZHANG Rui ,ZHOU Li ,ZHANG Fan ,et al. Heavy metal pollution and assessment in the tidal flat sediments of Haizhou Bay , China[J]. *Marine Pollution Bulletin* ,2013 ,74(1) :403-412.
- [26] 陶建峰 ,张长宽 ,姚静. 江苏沿海大规模围垦对近海潮汐潮流的影响[J]. *河海大学学报(自然科学版)* ,2011 ,39(2) :225-230. (TAO Jianfeng ,ZHANG Changkuan ,YAO Jing. Effect of large-scale reclamation of tidal flats on tides and tidal currents in offshore areas of Jiangsu Province [J]. *Journal of Hohai University(Natural Sciences)* ,2011 ,39(2) :225-230. (in Chinese))
- [27] 匡翠萍 ,李行伟 ,刘曙光. 大规模围垦对香港维多利亚港水动力环流的影响[J]. *同济大学学报(自然科学版)* ,2009 ,37(2) :176-181. (KUANG Cuiping ,LI Xingwei ,LIU Shuguang. Effect of large scale Reclamation on hydrodynamic circulation in Victoria Harbour of Hong Kong [J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)* ,2009 ,37(2) :176-181. (in Chinese))
- [28] 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室. 滩涂演化机理及减灾技术研究[R]. 南京: 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,2014.
- [29] 龚政 ,袁希萍 ,张长宽 ,等. 江苏沿海滩涂围垦对闸下河道淤积的影响[J]. *水利水运工程学报* ,2010(1) :73-78. (GONG Zheng ,DOU Xiping ,ZHANG Changkuan ,et al. Influence of tidal flat reclamation on channel sedimentation down stream of tidal sluice in Jiangsu coastal zone [J]. *Hydro-Science and Engineering* ,2010(1) :73-78. (in Chinese))
- [30] SONG Dehai ,WANG Xiaohua ,ZHU Xueming ,et al. Modeling studies of the far-field effects of tidal flat reclamation on tidal dynamics in the East China Seas [J]. *Estuarine , Coastal and Shelf Science* ,2013 ,133: 147-160.
- [31] 李孟国. 辐射沙洲研究开发的进展[J]. *水道港口* ,2011 ,32(4) :229-243. (LI Mengguo. Advances in the research and development of the radial sandbanks [J]. *Journal of Waterway and Harbor* ,2011 ,32(4) :229-243. (in Chinese))
- [32] ZHANG Changkuan ,ZHANG Dongsheng ,ZHANG Junlun ,et al. Tidal current-induced formation-storm-induced change-tidal current-induced recovery-Interpretation of depositional dynamics of formation and evolution of radial sand ridges on the Yellow Sea seafloor [J]. *Science in China ,Series D: Earth Sciences* ,1999 ,42(1) :1-12.
- [33] 黄苇 ,谭映宇 ,张平. 渤海湾海洋资源、生态和环境承载力评价[J]. *环境污染与防治* ,2012 ,34(6) :101-109. (HUANG Wei ,TAN Yingyu ,ZHANG Ping. Capacity evaluation on marine resources ,ecological environment in Bohai Bay [J]. *Environmental Pollution & Control* ,2012 ,34(6) :101-109. (in Chinese))
- [34] 谭映宇 ,张平 ,刘容子 ,等. 渤海内主要海湾资源和生态环境承载力比较研究[J]. *中国人口·资源与环境* ,2012(12) :7-12. (TAN Yingyu ,ZHANG Ping ,LIU Rongzi ,et al. Comparative study on the carrying capacity of marine resources ,ecology and environment in three bays of Bohai Sea [J]. *China Population ,Resources and Environment* ,2012(12) :7-12. (in Chinese))
- [35] 李加林 ,杨晓平 ,童亿勤. 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展[J]. *地理科学进展* ,2007 ,26(2) :43-51. (LI Jialin ,YANG Xiaoping ,TONG Yiqin. Progress on environmental effects of tidal flat reclamation [J]. *Progress in Geography* ,2007 ,26

- (2): 43-51. (in Chinese))
- [36] 陈宏友, 徐国华. 江苏滩涂围垦开发对环境的影响问题[J]. 水利规划与设计, 2004(1): 18-21. (CHEN Hongyou, XU Guohua. Environment impact of tidal flat reclamation in Jiangsu Province [J]. Water Resources Planning and Design, 2004(1): 18-21. (in Chinese))
- [37] 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. (LUO Zhangren. An analysis of Hong Kong reclamation and its effect [J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(3): 220-227. (in Chinese))
- [38] SCHERNEWSKI G, SCHOENWALD S, KATARZYTE M. Application and evaluation of an indicator set to measure and promote sustainable development in coastal areas [J]. Ocean & Coastal Management, 2014, 101: 2-13.
- [39] CUMMINS V, MCKENNA J. The potential role of Sustainability Science in coastal zone management [J]. Ocean & Coastal Management, 2010, 53: 796-804.
- [40] JOHNS G, LEE D J, LEEWORTH V B, et al. Developing economic indices to assess the human dimensions of the South Florida coastal marine ecosystem services [J]. Ecological Indicators, 2014, 44: 69-80.
- [41] JIN D, HOAGLAND P, MORIN DALTON T. Linking economic and ecological models for a marine ecosystem [J]. Ecological Economics, 2003, 46(3): 367-385.
- [42] RICO GARCÍA-AMADO L, RUIZ PÉREZ M, BARRASA GARCÍA S. Motivation for conservation: assessing integrated conservation and development projects and payments for environmental services in La Sepultura Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico [J]. Ecological Economics, 2013, 89: 92-100.
- [43] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪, 等. 填海造地生态损害评估: 理论、方法及应用研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 714-726. (PENG Benrong, HONG Huasheng, CHEN Weiqi, et al. Ecological damage appraisal of sea reclamation: theory method and application [J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 714-726. (in Chinese))
- [44] 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. (YU Yonghai, WANG Yanzhang, ZHANG Yonghua, et al. Research of evaluation methods for reclamation suitability [J]. Marine Science Bulletin, 2011, 30(1): 81-87. (in Chinese))
- [45] 王静, 徐敏, 陈可锋. 基于多目标决策模型的如东近岸浅滩适宜围填规模研究[J]. 海洋工程, 2010, 28(1): 76-82. (WANG Jing, XU Min, CHEN Kefeng. Study on appropriate scale reclamation of Rudong shoal based on multi-objective decision model [J]. The Ocean Engineering, 2010, 28(1): 76-82. (in Chinese))
- [46] 刘大海, 陈小英, 陈勇, 等. 海湾围填海适宜性评估与示范研究[J]. 海岸工程, 2011, 30(3): 74-81. (LIU Dahai, CHEN Xiaoying, CHEN Yong, et al. Suitability assessment of bay reclamation and its application example [J]. Coastal Engineering, 2011, 30(3): 74-81. (in Chinese))
- [47] BUCX T, MARCHAND M, MAKASKE A, et al. Comparative assessment of the vulnerability and resilience of 10 deltas—synthesis report [R]. Delft-Wageningen, the Netherlands: Delta Alliance International 2010.
- [48] TURJA R, HOHER N, SNOEIJIS P, et al. A multibiomarker approach to the assessment of pollution impacts in two Baltic Sea coastal areas in Sweden using caged mussels [J]. Science of the Total Environment, 2014, 473/474: 398-409.
- [49] NEWTON A, WEICHSELGARTNER J. Hotspots of coastal vulnerability: a DPSIR analysis to find societal pathways and responses [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, 140: 123-133.
- [50] HOU Ying, ZHOU Shudong, BURKHARD B, et al. Socioeconomic influences on biodiversity, ecosystem services and human well-being: a quantitative application of the DPSIR model in Jiangsu, China [J]. Science of the Total Environment, 2014, 490: 1012-1028.
- [51] WEI Chao, GUO Zhongyang, WU Jianping, et al. Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong [J]. Ocean & Coastal Management, 2014, 93: 51-59.
- [52] 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. (LIU Wei, LIU Baiqiao. Current situation and countermeasures of sea reclamation in China [J]. Guangzhou Environmental Sciences, 2008, 23(2): 26-30. (in Chinese))
- [53] 谢挺, 胡益峰, 郭鹏军. 舟山海域围填海工程对海洋环境的影响及防治措施与对策[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(增刊1): 105-108. (XIE Ting, HU Yifeng, KUO Pengjun. Influence of reclamation land project from marshes on marine environment and countermeasures of protection in Zhoushan [J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(Sup1): 105-108. (in Chinese))
- [54] 陈军冰, 王乘, 郑垂勇, 等. 沿海滩涂大规模围垦及保护关键技术研究概述[J]. 水利经济, 2012, 30(3): 1-5, 81. (CHEN Junbing, WANG Cheng, ZHENG Chuiyong, et al. Key technologies for large-scale reclamation and protection of tidal flats in coastal areas [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3): 1-5, 81. (in Chinese))
- [55] 陈书全. 关于加强我国围填海工程环境管理的思考[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(9): 22-26. (CHEN Shuquan. Reflections on strengthening the environmental management of reclamation projects in China [J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(9): 22-26. (in Chinese))
- [56] 洪华生. 全球变化下海岸带的生态安全问题[R]. 南京: 中国海洋湖沼学会, 2014.