

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.05.006

大规模滩涂围垦影响下近海环境变化及其对策

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:沿海滩涂是重要的土地后备资源,具有拓展生存空间的巨大潜力。针对江苏沿海滩涂特点,回顾了大规模滩涂开发利用的指导思想、总体布局及开发利用原则。同时指出,较大规模的、快速的滩涂围垦等人类活动,会对近海环境产生深远的影响,继而探讨了大规模滩涂开发利用对近海动力环境和生态环境的主要影响及其评价方法,并提出相对应的环境保护措施。

关键词:大规模人类活动;滩涂资源;围垦开发;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(2015)05-0424-07

Offshore environmental changes and countermeasures in response to large-scale tidal flat reclamation

ZHANG Changkuan, CHEN Xindi

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

Abstract: Coastal tidal flats are important land reserves, as they have significant potential for enlarging living space. Based on the characteristics of coastal tidal flats in Jiangsu Province, the guidelines, overall layout, and principles of large-scale development and utilization of tidal flats are discussed. It has been found that large-scale rapid reclamation and other human activities have large impacts on the offshore environment. The impacts of large-scale development and utilization of tidal flats on offshore dynamic conditions and the ecological environment are discussed, and corresponding environmental protection measures are provided.

Key words: large-scale human activities; tidal flat resources; reclamation and development; environmental impact; assessment method

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。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。20世纪50年代以来,我国围填海工程已取得显著成效。例如,河北唐山曹妃甸浅滩规划填海造陆310 km²,建设曹妃甸工业区,再建一座唐山市;上海南汇东滩先后实施了一系列围垦工程;浙江在河口整治的同时实施了大量围垦工程。围填规模比较大的地区有江苏、浙江、上海沿海和南部珠江口海域。根据预测,2050年前,有可能再造10 000~15 000 km²土地的生存空间^[1]。大规模围海造地虽然可以为人类生存提供新的空间,为我国沿海地区社会经济发展提供重要的土地资源支撑,这是可见效益的一面,但同时也可能导致负面的近海环境变化。诸如湿地减少、生物多样性遭破坏,河口泄洪不畅,淡水资源供应不足以及围垦对周边水工程的影响等。为降低围海造地的负面影响,提高正面效益,就需要对沿海滩涂资源进行合理规划、科学管理、综合利用、因地制宜、协调发展。江苏沿海滩涂资源丰富,据《江苏沿海地区综合开发战略研究》^[2]测算,江苏沿海地区可形成1 800 km²的垦区。本文以江苏大规模滩涂开发利用为例,提出滩涂围垦开发的指导思想、基本原则、布局方案等,讨论大规模人类活动影响下近海环境变化及其对环境的影响评价方法,提出相应的滩涂资源保护措施。

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

1 江苏沿海滩涂资源简介

根据江苏近海海洋综合调查与评价专项调查^[3],江苏省沿海滩涂总面积5 001.67 km²,其中潮上带滩涂面积307.47 km²,潮间带滩涂面积2 676.67 km²,南黄海辐射沙脊群理论最低潮面以上面积2 017.53 km²,如图1^[4]所示。南黄海辐射沙脊群分布于江苏海岸外侧,大体上以江苏东台的弶港为顶点,以黄沙洋为主轴,自岸至海呈展开的褶扇状向海辐射,由70多条沙脊和分隔沙脊的潮流通道组成。脊槽相间分布,水深介于0~25 m^[5]。

江苏近海海域受2个潮波系统的影响。太平洋前进潮波北上进入南黄海,受山东半岛的反射,形成逆时针的旋转潮波,由北向南传播。该潮波和后继前进潮波相遇,形成移动性驻潮波,并形成以弶港为顶点的辐射状潮流场^[6]。该潮流场为辐射沙脊群的形成和维持提供了必要的动力环境,是形成江苏丰富滩涂资源的前提条件。

关于辐射沙脊群的形成机制,一般认为,潮流是形成和维持辐射沙脊群的主要动力^[7]，“潮流形成—风暴破坏—潮流恢复”是其演变机制。辐射沙脊群东北的朝鲜半岛、北侧的山东半岛以及江苏海岸带自身所构成的南黄海平面轮廓,使得江苏近岸海区出现潮波辐聚辐散成为可能。先前研究成果^[7]将出现在江苏岸外的这一辐聚辐散状潮波称为移动性驻潮波,这一移动性驻潮波在古代海岸轮廓下为古长江口水下堆积体的形成提供了动力条件,而在近现代海岸条件下,又为辐射沙脊群的形成、演变和维持提供了必要的动力条件。每次风暴作用,辐射沙脊群区域的沙脊和潮流通道会有不同程度的漂移,但脊槽相间的基本平面格局仍会保持,使得本海区水下地形表现出“风暴破坏—潮流恢复—风暴再破坏—潮流再恢复”的演变特征。江苏岸外辐射沙脊群的演变动力机制为江苏形成丰富的滩涂资源奠定了基础。

2 江苏沿海滩涂资源开发利用

2.1 沿海滩涂围垦开发总体构想

江苏沿海滩涂面积约5 000 km²,滩涂资源丰富,约占全国滩涂总面积的1/4,居全国各省之首。《江苏沿海地区发展规划》要求着力建设中国重要的土地后备资源开发区。《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》^[4]提出可在盐城射阳河口至南通东灶港之间的淤长型海岸和辐射沙洲等地进行围填,形成1 800 km²左右的土地后备资源。

2.2 沿海滩涂围垦空间布局特点

江苏沿海滩涂围垦空间布局所考虑的基本要素包括:江苏沿海滩涂地貌与动力特征,江苏潮间带冲淤演变特征,围垦与湿地保护、自然区保护、河口治导线保护的关系,保证农业用地面积,保护沿海现有的港口、航道资源,并满足未来深水港口的建设、工业与城镇建设发展等。综合考虑各种因素,确定围垦区布局和规模^[8]。图2是江苏省沿海滩涂围垦规划图,沿海滩涂围垦空间布局的主要特点如下:

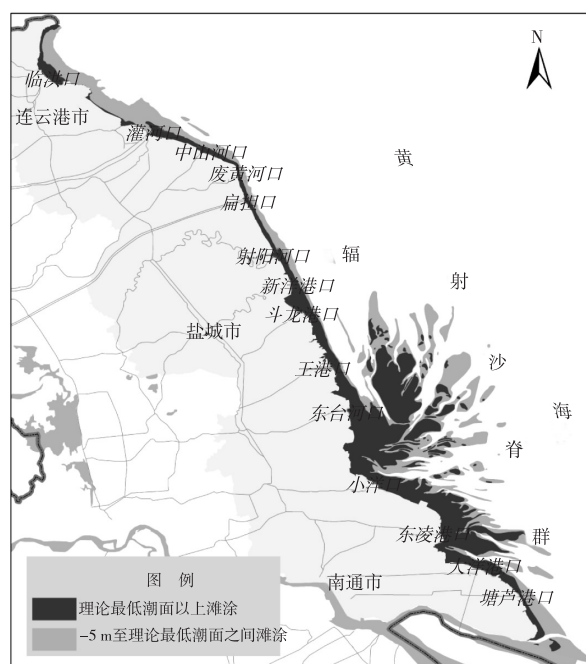


图1 江苏省沿海滩涂资源分布

Fig. 1 Distribution of coastal tidal flat resources in Jiangsu Province

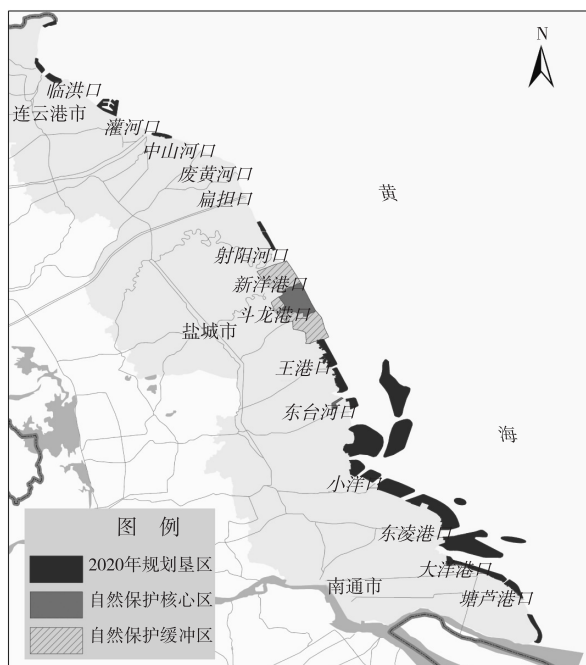


图2 江苏省沿海滩涂围垦规划示意图^[4]

Fig. 2 Sketch of reclamation planning of coastal tidal flats in Jiangsu Province

a. 以高滩围垦为主。规划的新围垦区以遵循、尊重滩涂自然演变规律的原则,起围高程不低于理论最低潮面以上2 m,并要求新建海堤外侧采用生态促淤或工程促淤,实施滩涂资源修复,实现滩涂资源的可持续利用。

b. 维持潮流通畅。江苏沿海的潮汐环境独特,潮流场辐聚辐散,地貌地形特点明显。毫无疑问,大规模围垦活动会改变海岸轮廓与海底地形,海岸线和水下地形的改变又将对海洋动力环境产生影响。因此,围垦布局要与地形地貌特征和水动力场相协调,预留足够的汇潮通道以保障前进潮波和旋转潮波在辐射沙脊群中心区域的交汇畅通,维持现有动力-地貌相适应的格局。

c. 保护并开发港口资源。港口工程建设的关键之一是航道,围垦活动对周边现有航道或未来可开辟航道的影 响,可通过数学模拟分析获得^[9]。大丰港、洋口港、吕四港地处辐射沙脊群区域的潮汐水道,是规划布局阶段的重点研究对象。另外,江苏沙脊围垦工程的实施,可以利用现有潮汐通道,增加深水岸线,开辟新的深水航道,形成新的港口航运资源。

d. 注重生态保护。对于滩涂资源的开发利用,必须充分考虑资源、环境的承载能力。不在珍禽自然保护区的核心区、缓冲区以及麋鹿保护区的向海一侧实施任何目的的围垦开发。此外,围垦布局还遵循了与河口治导线相协调的原则,在围垦岸段直接保留19个主要河口滩槽,保留相应河口湿地面积约666.67 km²。

3 滩涂开发利用对近海环境的主要影响

3.1 海洋动力环境变化

江苏沿海的海洋动力环境相当独特,历史研究成果表明: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。

对移动性驻潮波而言,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, M₂ 分潮无潮点位置、同潮时线和近岸海域潮差均变化不大。对辐射状潮流场而言,在移动性驻潮波的控制下,涨潮流自东南、东、东北、北不同方向朝辐射沙脊群顶点处辐聚,水流漫过滩;落潮流以弶港为顶点成150°的扇面角向外海辐散,辐射沙脊群滩地露陆。由于拟围垦的区域基本为高滩,涨落潮流态与现状岸线流态基本一致。

3.2 泥沙运动及海岸演变

目前,江苏沿岸及近海河流及外域来沙数量微小,海水含沙量与潮滩沉积物质主要来自海底的古松散沉积物。受波浪潮流作用,形成再搬运和堆积的过程。根据历史实测水文泥沙结果分析,废黄河三角洲底部淘刷,每年有约1亿t泥沙由北偏西向南偏东方向进入辐射沙脊群区域;长江水下三角洲每年约有2亿t泥沙从南和东南方向进入沙脊群区域;而整个沙脊群区域,每年约有1.6亿t泥沙从平涂洋向东北方向输出^[10]。总体上,进入辐射沙脊群区域的泥沙量大于输出的泥沙量,辐射沙脊群中区域仍处于缓慢淤涨状态,这也表明了泥沙从邻近海底向陆地运动的趋势^[11]。

沿海围垦开发等大规模人类活动将引起大陆海岸线格局发生变化。沿岸围垦会导致海岸剖面的重塑。根据海岸动力学理论,潮间带围垦以后,如果滩面上有足够的泥沙供给,则海堤外会逐步形成新的高滩,但高滩的宽度小于围垦前的高滩宽度,潮间带和潮下带的坡度会出现明显的陡化倾向;如果滩面上没有足够的泥沙供给,则海堤外将不再形成新的潮上带,海堤就此成为人工海岸。围填海工程海堤前沿滩面淤涨速度几乎不可能跟上围填海实施前滩面淤涨速度,围填海工程所在海岸区域的水流和波浪条件有可能会更加恶劣,水变深,流变急,浪变大,泥沙沉降淤积条件不复存在,原来的淤积环境逆转为侵蚀环境。潮间带面积的永久丧失,使得原来一直受到广阔滩涂保护的海岸失去了天然屏障,更多的堤防暴露于较深的水中,风暴潮、台风浪等海洋灾害问题会变得严峻。

3.3 对海洋生态环境的影响

滩涂围垦占用了一定面积的滩涂空间,必然对潮滩湿地生态环境和生物多样性产生一定的影响。

a. 对滩涂湿地和生物多样性的影响。江苏丰富的滩涂资源也是丰富的湿地资源,江苏有众多中小型入海河流,河口湿地也是江苏沿海湿地的一大特色。大规模围垦活动不可避免地使湿地面积减少,潮间带生物和沙脊生物失去栖息场所,生物种类和数量下降,甚至面临灭绝。而围垦后的人工养殖,不论是海水养殖还是淡水养殖,会增加生物密度,但物种趋于单一,滩涂生物多样性下降。另外,规划垦区为淤泥质潮滩,围垦

将使海岸线向外扩展,增加了海岸的曲折率,改变潮滩的淤积过程。这些因素一定程度上会减弱围垦造成的滩涂湿地面积的变化和对生物多样性的不利影响。

b. 对海岸带水、陆环境的影响。围垦吹填等在施工过程中将会产生大量悬浮质,形成一定范围水域固体悬浮物浓度升高,对该水域内浮游植物、浮游动物、游泳动物等产生不利影响,导致区域水生生物丰度、多样性的降低;此外,施工船舶、机械与施工人员的污水、废水以及固体废弃物的排放,直接影响邻近海域水质。沿海工业、农业和水产养殖业的发展,加重了陆源污染,对海洋尤其是海岸带造成一定程度的环境压力。而大面积的农业用地会增加区域的农业面源污染,增加海岸带污染物的环境负荷量。

c. 对自然保护区的影响。围垦区部分包括盐城国家级珍禽自然保护区和大丰麋鹿国家级自然保护区的非核心区。这2个自然保护区面积大,资源相对丰富,主要保护生物——麋鹿和丹顶鹤都是世界珍稀物种。围垦过程和开发利用可能会造成濒危、稀有生物栖息地面积有所压缩,活动范围减小。

d. 对海岸生物资源的影响。江苏沿海有泥螺文蛤等国家级和省级水产种质资源保护区,保护区的设立为有效保护珍稀生物种质资源和典型生态系统类型、维护生物资源的多样性提供了条件。围垦活动对生物的影响主要是对其生态环境的破坏和干扰,一个良好自然生态系统的形成需要一定的时间尺度和较大的空间尺度累积变化过程才能达到稳定,当围垦活动造成生物生存空间的累积性丧失和破碎化达到一定程度时,某些生物就会消失或者迁徙,导致生物多样性降低。

4 滩涂开发利用对沿海环境影响的评价方法

大规模围垦对海岸环境的影响一直是人们十分关注的问题。较早的研究主要集中在围垦对滩涂动物资源的影响、对海岸海水环境质量的影响、对天然滨海湿地的影响、对海岸生物多样性的影响、对近海水动力泥沙以及冲淤演变的影响等方面^[12-15],缺乏评价体系。近10多年来,不断有学者将大规模围垦对海岸环境影响作为一个系统来研究,尝试性地提出了一些评估理论、方法并建立评估模型,典型的有多目标决策模型。

多目标决策模型运用多目标决策理论与方法,考虑围填海对海岸水动力环境、泥沙环境、海洋生态环境、社会经济影响等因素,构建围填海影响评价指标体系^[16]。评价模型包含多个一级指标,也称评价要素,如:动力泥沙环境、生态环境、社会经济效益,一级指标又细分为十多个二级指标,也称为评价因子。针对不同海岸特点,以滩涂总量动态平衡为指标,将围垦速度与滩涂淤积速率进行比较,给出江苏不同岸段适宜围垦速度^[17];一些学者开展了围填海适宜性评估方法研究^[18],首先定义了围填海4个不同等级,即适宜围填、较适宜围填、不适宜围填和严禁围填,在此基础上筛选了6个一级指标和26个二级指标,以此建立一套围填海适宜性评估模型体系和方法;另一些学者构建了海湾围填海适宜性评估模型^[19],指标体系包括海岸、动力、冲淤、生物和水质5个方面适宜性条件指标,并以海州湾北侧为例进行了适宜性评估示范。此外,还有生态-经济模型^[20]、压力-状态-响应评价模型^[21]等。

综上所述,围填海环境影响评价的方法或围填海适宜性评估模型一般包括目标层、一级指标层和二级指标层3层。科学、准确地选取指标是体现评价结果的科学性与实用性的主要因素,而各评价因子或评价指标的赋分则是另一个重点。一般运用层次分析法对不同层次各个评价指标的相对重要性进行比较、判断,得出各个指标的权重值。

评价因子的选择应遵循以下基本原则:(a)重要资源优先保护原则。对有重点生态价值、重点海岸资源的开发应有一票否决的决定权,禁止围填海开发活动;(b)因地制宜区别对待的原则。根据研究海域的特点选定指标体系,围填海数模的控制因子因自然条件的不同而不同;(c)综合、全面的原则。根据围填海综合特征确定指标体系,注重指标的全面性、代表性;(d)开发与保护并重的原则。遵循滩涂自然属性,既满足海洋经济发展和开发建设的需要,又重视重点海洋生态区及其生态环境、重点渔业资源区、潮汐通道、港航资源和具有重点科研价值的海洋自然历史遗迹等的有效保护。

5 滩涂开发利用环境保护措施

滩涂围垦工程建设的主要负面影响是对滨海湿地资源、生物多样性、沿海生态环境等方面的影响,滨海地区生态环境承载力将是关键制约因素。因此,应坚持对滩涂湿地资源可持续发展的保护原则,在充分研究相关社会经济发展、生态环境保护等方面的规划、区划的前提下,分析沿海的生态环境承载力,提出滩涂资源

适度开发利用的规划方案,采取切实可行的滩涂保护措施,实现滩涂资源的可持续利用,减少围垦对生态环境的不利影响。同时,要加强我国围填海管理,加强海洋资源的管理^[22-23]。

5.1 湿地保护措施

江苏沿海湿地有2个国家级自然保护区和3个市县级自然保护区,根据国家环境保护法,对珍稀、濒危的野生动植物自然分布区域,应当采取措施加以保护,严禁破坏。因此,围垦规划首先应将江苏的沿海滩涂进行分类,将各级保护区的保护范围和类别详细区分。

河口湿地是海陆交互作用的重要场所,是高生产力、高生物多样性的生态系统,也是洄游性鱼类及珍稀水禽的活动场所。河口湿地处于咸淡水交界处,对入海河流和海岸水质有很好的净化功能。因此,为保护沿海海水环境及生物资源,围垦规划中应注重重要河口湿地的保护,发挥其净化水质和保护生物多样性的功能。

区分不同海岸的性质,属淤长型还是侵蚀型。对侵蚀和稳定型海岸应加以保护,适度围堤开垦;对淤长型海岸,在科学论证的基础上可进行合理有序的开发利用。淤长型海岸的围垦能促进滩涂的淤长,自然调节潮上带、潮间带之间的平衡,重建湿地生态系统,恢复因围垦而损失的底栖生物量,并吸引鸟类和其他生物的栖息。

5.2 围垦滩涂生态功能区划措施

由于历史的原因,江苏滩涂区域产业结构比较单一,以往滩涂围垦的利用模式主要是种植业和水产养殖,这种状况直接影响到江苏沿海经济的总体发展。根据新的滩涂开发利用目标定位,必须突破传统“围垦-种植-养殖”的旧模式,提高滩涂开发与保护的科技含量,加速科技与产业结合。根据滩涂的地貌多样性和环境多样性的特点,按照人类需求和自然条件对滩涂生态服务功能进行重新区划,因地制宜、科学规划、合理布局,做到宜农则农、宜渔则渔、宜工则工,从而获取滩涂各类生物资源最有效的利用,推进滩涂生态服务功能定位的多元化,推动滩涂经济的健康发展。

5.3 滩涂生物资源保护措施

围垦工程建成后,滩涂自然生态系统将转为人工生态布局,滩涂湿地种群的生存空间被压缩甚至破坏。但围垦区形成后,淤长型的海岸会促进新的潮间带形成,原有的底栖生物将重新在这些潮间带栖息。由于围垦区外新的滩涂淤长到平衡状态需要经历一个较长的时期,故短期内生物量有一定程度的损失。为促进新淤长潮间带生物群落的形成并达到稳定,应合理规划围垦区的范围和围垦的速度,尽可能在围垦区保留一定面积的自然滩涂,保留物种种源,特别是种质资源保护区,促进生物的繁衍和扩散。围垦速度最好与滩涂的淤长速度和植被的演替速度持平。

沿海滩涂湿地是珍稀物种栖息和迁徙的廊道。沿海大面积滩涂围垦会影响鸟类和洄游性鱼类的生存和繁衍,因此,围垦区的规划应考虑对生物产生的不利影响,在空间上尽可能采取斑块状的间隔围垦,时间上采取渐进围垦的方式,将物种丰富的滩涂湿地保留下来,避免同一时间大规模、大面积的围垦。

由于大多数滩涂围垦区的开发利用最初是以水产养殖为主,且规划用地中有一定的水利、水稻田、林业用地、滩涂水库,原滩涂湿地转为人工湿地后将增加经济类生物资源的数量,在某种程度上也有利于水鸟的栖息,这种结果可以减轻围垦带来的不利影响。

5.4 围垦区环境保护措施

每一围垦区的开发利用都应进行环境影响评价,对生产力低下、工艺落后、科技含量不高、物耗和能耗大、污染物产生指标高的项目应限制进入围垦区建设。对围垦区内的建设项目应严格执行环境影响评价制度。

加强水、大气、固体废物等的污染治理。对区域内生活、工业废水的水质和水量严格控制,对排污口重点整治,建设相配套的管网系统,对污水进行集中处理,达标排放;对不能收集的农业面源污染,可以建立人工湿地对其进行净化,减少化肥农药用量,推行科学种植等措施;对水产养殖的饵料污染加以控制,由人工精养变成粗养或自然放养,降低投饵量。加强大气污染治理,减少废气的无组织排放,在区域内配套建设尾气收集和治理设施,做到达标排放。注重垃圾等固体废物治理,对生产垃圾尽可能予以回收利用,生活垃圾集中处理。

加强对濒危物种的保护,充分发挥自然保护区的功能。根据经济建设与环境保护协调发展的原则,为减少围垦开发对生物资源的影响,应加强对剩余滩涂湿地、自然保护区,特别是濒危物种栖息地的保护,保护作

为动物繁殖地的场所不被破坏,不影响其繁殖,慎重开发生态敏感区。

加强生态景观建设。在生态功能区划的基础上,保护和开发利用现有的典型海涂生态类型,例如:多样性的海岸、独特的辐射沙洲、淤长型海涂景观、南黄海景观、千里海堤风景线、大规模水产养殖基地、多个稀有动物保护区等都具有独特的景观。适宜开发以海洋为特色的旅游资源。认真规划堤岸和道路的绿地建设,使其发挥生态廊道的作用,保证区内有足够的水面和绿化地,保护滩涂湿地资源,为鸟类和其他海滨湿地生物的栖息、繁衍提供条件。

加强环境监督,建立生态和环境补偿制度。加强各相关部门的环境监管能力,严格执行对地方各级领导的环境考核制度,同时充分调动群众参与环保的积极性,加强舆论监督和社会监督。建立有效的环境监测系统,对空气、水、固体废弃物等污染进行严密监控,严格控制污染的排放,对污染事件及时处理并建立生态和环境补偿制度。

6 结 语

我国浅海滩涂分布广、面积大,是潜在的后备土地资源。选择适宜的区域围垦开发,形成大规模的土地后备资源,对有效拓展人类的生存空间,促进沿海地区经济发展具有十分重要的意义。

大规模人类活动,特别是超越滩涂自然淤涨速率的大规模滩涂围垦会对海岸天然湿地、近海海洋和海岸生态系统、近岸生物资源等带来负面影响,充分认识这些影响,更好地推进可持续发展战略,加强海洋和海岸环境保护十分必要。科学确定围垦布局是实现大规模滩涂围垦目标的第一步,围垦布局是一项有利也有弊、若处理不当甚至会有害的系统工程,它不仅涉及围垦区的水动力、泥沙等自然条件和生物生态环境,还与社会经济发展联系紧密。

围垦工程涉及自然科学、工程技术、社会科学等多个学科,一般情况下对正面效益强调多,而对负面影响研究不足,对此人们还需要进一步思考和研究,目前的评估理论、方法和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。江苏大规模沿海滩涂的开发、利用及保护的可为我国其他沿海地区滩涂的可持续发展提供一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 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))
- [2] 钱正英.江苏沿海地区综合开发战略研究[M].南京:江苏人民出版社,2008.
- [3] 张长宽.江苏省近海海洋环境资源基本现状[M].北京:海洋出版社,2013.
- [4] 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.
- [5] 王颖.黄海陆架辐射沙脊群[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] XING F, WANG Y P, WANG H V. Tidal hydrodynamics and fine-grained sediment transport on the radial sand ridge system in the southern Yellow Sea[J]. Marine Geology, 2012, 291:192-210.
- [7] ZHANG C K, ZHANG D S, ZHANG J L, 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.
- [8] 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))
- [9] 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))
- [10] 任美镔.江苏省海岸带与海涂资源调查报告[M].北京:海洋出版社,1986.
- [11] WANG X Y, KE X K. Grain-size characteristics of the extant tidal flat sediments along the Jiangsu coast, China[J]. Sedimentary Geology, 1997, 112(1/2):105-122.
- [12] 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))
- [13] 罗章仁.香港填海造地及其影响分析[J].地理学报,1997(3):30-37.(LUO Zhangren. An analysis of Hong Kong reclamation and its effect[J]. Acta Geographic Sinica, 1997(3): 30-37.(in Chinese))
- [14] 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))
- [15] 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))
- [16] 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))
- [17] 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):15-20.(WANG Yanhong, WEN Yongning, WANG Jian, et al. Feasible rate of tidal flat reclamation:Jiangsu mud coast as a case study [J]. Marine Science Bulletin, 2006, 25(2): 15-20.(in Chinese))
- [18] 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))
- [19] 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))
- [20] 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))
- [21] 戴亚南,彭检贵.江苏海岸带生态环境脆弱性及其评价体系构建[J].海洋学研究,2009, 27(1):78-82.(DAI Yanan, PENG Jianguai. Fragility evaluation for the eco-environment of the coastal zone in Jiangsu[J]. Journal of Marine Sciences, 2009, 27(1): 78-82.(in Chinese))
- [22] 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))
- [23] 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))