

黄河河口莱州湾人工潟湖的设计和功能

王开荣¹, 韩沙沙², 吴保生³, 杜小康¹, 郑 珊²

(1. 黄河水利科学研究院 水利部黄河泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003;

2. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

3. 清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:在简要概述潟湖基本概念和特征的基础上,围绕黄河河口莱州湾人工潟湖工程的布局方案进行了初步设计。初步设计的莱州湾人工潟湖属于半封闭型海岸潟湖,涉及海岸线长度约 35 km,海域面积 470 km²,主要由入海水沙通道、人工沙坝、潮汐通道三大工程体系组成。分析指出:人工潟湖将具有优化黄河入海水沙分配格局、减轻河口防洪防凌防潮压力、改善和维护海岸带生态环境、发展水产养殖、丰富旅游资源等多项功能。本文从施工技术、维护技术两个方面论证分析了人工潟湖的可行性,最后提出了兴建人工潟湖需要解决的诸多关键技术问题,如入海水沙通道的设计标准、补水分洪时机和规模、潮汐通道的设置及其纳潮数量、潟湖形成后泥沙输移与沉积及其容沙能力、对周围海域环境及其滨海生物的影响效应等问题等。

关键词:人工潟湖;设计;功能;可行性;黄河河口;莱州湾

中图分类号:P748

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)04-0001-08

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.04.001

自 20 世纪 80 年代末期以来,黄河入海水沙量急剧减少,现行清水沟流路行河年限持续加长,此为完善黄河河口流路运用方案和模式,优化调控入海水沙分配格局提供了难得的契机^[1-5];与此同时,伴随着入海水沙量的锐减以及人类对海岸带开发强度的不断提高,黄河三角洲地区海岸带及其滩涂资源的开发利用、承载力乃至环境问题也日益突出^[6-9]。莱州湾地处黄河入海口南部海域,这里海岸滩涂宽广、变化缓慢,海底地形单调平缓且潮汐动力相对较弱,平均潮差约为 1.15 m,水产丰富,具有兴建人工潟湖的独特条件。人工海岸潟湖具有多项功能,其成功修建对于进一步提升黄河河口综合治理水平,合理开发黄河三角洲滩涂资源,改善生态环境,保障河口地区高效生态经济可持续发展,都不失为一种具有重大实践意义的战略举措。本研究就黄河河口莱州湾人工潟湖工程的布局方案、功能和可行性等进行分析论证。

1 潟湖的基本概念和特征

潟湖泛指被滨外坝分割而形成的与外海相分离的局部浅海水域。按照滨外坝结构成分的差异和位置的不同,潟湖可相应地分为海岸潟湖和珊瑚潟湖两种类型。

海岸潟湖作为潟湖的主要类型之一,主要由海岸线、滨外坝(或沙坝、沙嘴)、潟湖湖体和潮汐通道等地貌单元共同构成,并较多分布于波能较低或中、弱潮的海岸地带,是沉积性海岸的主要组成部分,约占世界海岸线总长度的 13%。其滨外坝作为潟湖与外海的隔离屏障,是构成海岸潟湖的主要地貌单元,多由分选良好的泥沙由于波浪作用而堆积形成的沙坝、沙嘴组成,通常高出平均海面 1.0~1.5 m。海岸潟湖与外海之间常

收稿日期:2018-06-11

资助项目:国家重点研发计划项目——黄河河口演变与流路稳定综合治理研究(2017YFC0405502);国家自然科学基金项目——河床演变时间滞后与空间联动的耦合机理(51779183)

作者简介:王开荣(1963-),男,教授级高级工程师,硕士,主要从事河流动力学及河口海岸治理方面研究. E-mail: kairongw@163.com

(李 燕 编辑)

有一条或数条潮汐通道与其相连,受河流和海水的共同影响,因而在水文特征和沉积作用上都具有特殊性。海岸潟湖水深一般不足 10 m,呈狭长带状平行于滨岸坝或海岸线延伸,从而有别于深凹入海岸的河口湾。

潟湖形成后由于与水体连通性的差异,导致其水体盐度出现差异,因此又可分为淡化潟湖和咸化潟湖。同时,潟湖中盐度亦受海水和径流的影响,一般从潮汐通道向河口方向盐度递减,形成盐水带、半盐水带和微盐水带;在平行于潟湖的延长方向上,盐度通常变化不大。

海岸潟湖是海岸带湿地类型之一,不仅具有湿地的几乎所有的生态价值功能,还有某些特有的价值,例如,一些潟湖可以作为避风港口、优良养殖场所和重要的矿区,部分潟湖还具有承泄区域洪水的功能。

我国大陆海岸潟湖主要集中分布于辽宁、河北、山东、广东和广西五个省(自治区),相关研究结果表明:1979年,我国大陆海岸潟湖共计 251 个,海岸潟湖岸线总长度为 2 692.26 km,总面积为 1 092.81 km²。近年来,由于潟湖的自然演变退化,尤其是人类不合理的开发及其它活动的影响,致使部分潟湖加速退化并趋于陆化消亡,至 2010 年,19 个潟湖已消失,海岸潟湖岸线总长度减少 337.80 km,潟湖总面积减少 204.10 km²,其发展形势不容乐观^[10]。

2 黄河河口莱州湾人工潟湖工程布局方案设计

拟建的黄河河口莱州湾人工潟湖位于莱州湾的西北海岸,其具体位置见图 1。根据海岸潟湖的基本构成和演化特征,并结合黄河河口综合规划及治理的目标和方向,初步考虑莱州湾人工潟湖的工程布局(图 2)和设计方案如下:

2.1 入海水沙通道

入海水沙通道主要有 2 个功能:一是为人工潟湖补充和提供更多的径流淡水和泥沙资源;二是作为泄洪通道,在伏秋大汛和凌汛时期发生异常高水位时相机排泄洪水。

黄河河口莱州湾人工潟湖的入海水沙通道拟安排 2 条:通道(一)从渔洼附近河段往东偏南,沿十八户备用流路延伸至莱州湾海岸线(一般指高潮线),直线距离全长约 28 km;通道(二)自清 7 断面附近南下偏东至海岸线,可借助大嘴沟子和甜水沟汇合后的汉河入海,直线全长不足 10 km。

2.2 人工沙坝

人工沙坝是潟湖不可或缺的重要组成部分。考虑莱州湾现有的滨海地形条件,拟从入海水沙通道(二)入海处的东端一定范围内的 5 m 等深线处开始布设,并沿 5 m 等深线向西南(SW)、南(S)方向延伸,至支脉沟口东北某处海域结束,路径全长约 28 km。人工沙坝的坝高可考虑超出平均海平面或平均高潮位 1.5~2.0 m,而其数量、规模长度应与潮汐通道的布设方案及特征尺寸统筹考虑,参见表 1。

2.3 潮汐通道

潮汐通道的设置,对于保障潟湖区域内水体与潟湖外围海域水体正常交换乃至海洋鱼类等海洋生物的正常迁徙洄游至关重要。潮汐通道按照其位置的不同,可分为沿岸潮汐通道和连海潮汐通道,拟订的潮汐通道设计方案及其特征尺寸亦见表 1。其中,两个沿岸潮汐通道的宽度分别是指人工沙坝起点、终点至海岸线的垂直距离;连海潮汐通道的宽度是指相邻两个人工沙坝间预留的海域距离;潮汐通道总宽度系指包括两个沿岸潮汐通道和所有连海潮汐通道的宽度之和。

2.4 人工潟湖总体特征

莱州湾人工潟湖属于半封闭型海岸潟湖。涉及海岸线从清 7 断面南部的大汶流海堡至支脉沟口以北的黄河路处,海岸线全长约 35 km,在其人工沙坝修建完成后,将与人工沙坝共同形成面积约 470 km²的潟湖

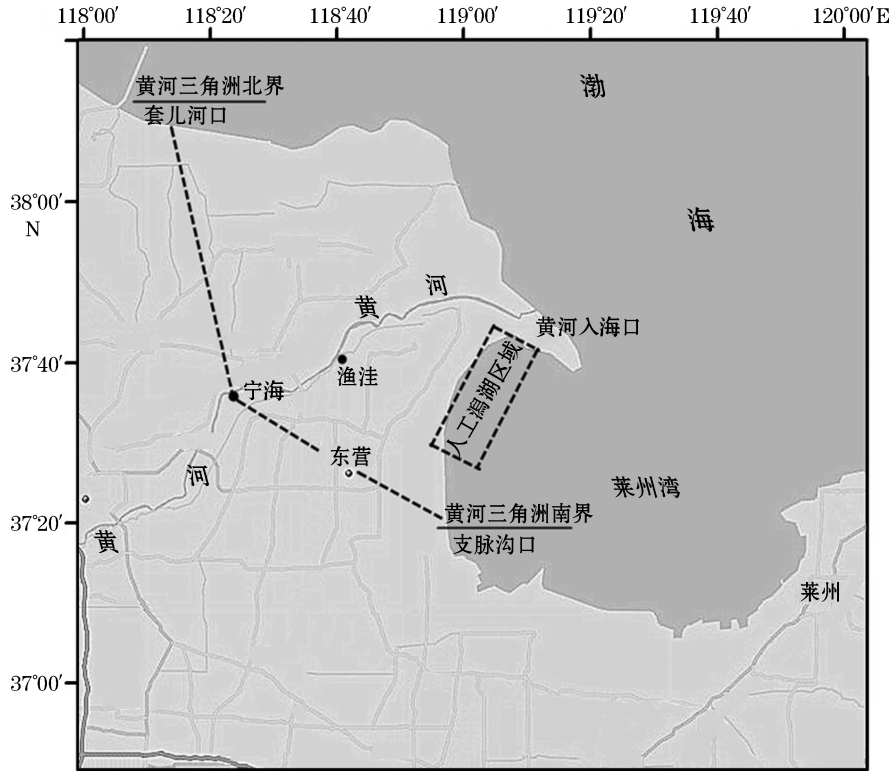


图 1 黄河河口莱州湾人工潟湖工程位置图

Fig.1 Location of the artificial lagoon in the Laizhou Bay nearby the Yellow River Estuary

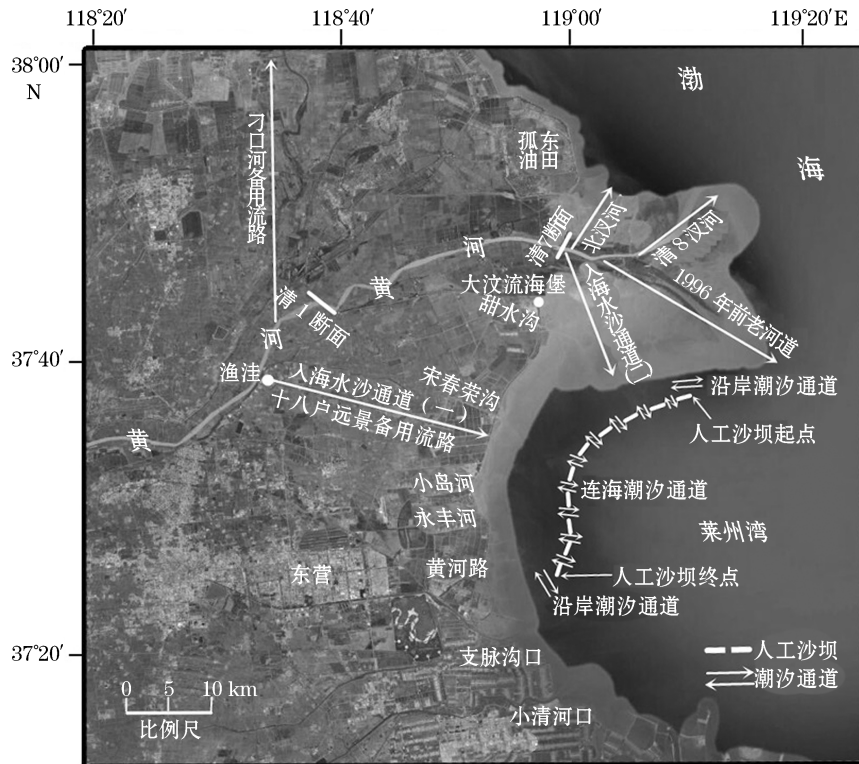


图 2 黄河河口莱州湾人工潟湖工程布局示意图

Fig.2 Engineering Layout of artificial lagoon in the Laizhou Bay nearby the Yellow River Estuary

区域。整个潟湖区域呈狭长型,区域内最大水深 5 m,平均水深 2.3 m;人工沙坝距海岸线距离介于 10~20 km,最窄处不足 10 km,位于永丰河以南区域部分岸段;最宽处可达 20 余 km,位于大汶流海堡附近岸段和支脉沟口以北部分岸段。

表 1 沙坝与潮汐通道不同设计规模方案比较

Table 1 Comparison of design scale between the sandbars and the tidal inlets

工程类别	工程特征	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
人工沙坝	沙坝数量/个	6	8	10	12	15
	单个沙坝长度/km	2.0	1.8	1.5	1.5	1.0
	拟建沙坝总长度/km	12.0	14.4	15.0	18.0	15.0
沿岸	通道数量/个	2	2	2	2	2
	通道宽度/km	10.0	8.0	8.0	6.0	6.0
潮汐通道	通道数量/个	5	7	9	11	14
	通道宽度/km	3.2	1.8	1.5	1.0	0.8
合计	通道总数量/个	7	9	11	13	16
	通道总宽度/km	36.0	28.6	29.5	23.0	23.2

3 黄河河口莱州湾人工潟湖的主要功能

3.1 完善河口流路布局,优化入海水沙分配格局,保护备用流路河流功能

南行入海水沙通道和沙坝是人工潟湖工程的主要组成部分,其中,南行入海水沙通道的兴建,将最终形成河口地区入海流路“东行(河)、北分(流)、南补(水)”的整体布局,也使得优化入海水沙的分配格局成为可能。同时,这种入海流路格局可以在一定程度上扩大河口泥沙的堆沙范围,充分利用不同海域的海洋动力输送泥沙至外海区域,相应减少进入现行入海流路的沙量并减缓河口河道的淤积延伸速率,从而遏制由于侵蚀基准面上升而产生的对黄河下游的不利反馈影响。当然,受莱州湾滨海地形的限制,其容沙数量相对有限,但在目前及其未来入海沙量仅有数亿吨的情况下^[11],其分沙的效果是可以显现的。

需要特别指出的是,2013 年国务院正式批复的《黄河流域综合规划》^[12]在涉及“河口入海流路规划”时指出:“综合考虑各种因素,规划期仍主要利用清水沟行河,保持流路相对稳定;清水沟流路使用结束后,优先启用刁口河备用流路;马新河和十八户作为远景可能的备用流路”。人工潟湖的入海通道(一)即位于规划的十八户远景备用流路范围以内,其定期或不定期运用,对于保护十八户远景备用流路的河流功能意义十分重大。当然,尽管十八户流路河长最短,有一定行河能力,且无石油勘探影响,但因其距支脉河口和小清河口较近,海域容沙和动力条件相对最差,故目前不宜作为优先启用的预备流路考虑,而将其作为具有补水、分洪功能的入海水沙通道乃至现行流路的辅助流路却是现实可行的。

3.2 分滞洪水,减轻河口防洪防凌防潮压力

黄河河口河段的安全问题事关大局,尤其是在目前三角洲大规模开发和河口地区高效生态经济迅速发展的形势下,这个问题一直是制约当地经济发展的主要隐患和因素之一。20 世纪 50 年代以来,黄河河口地区已形成较为完备的防洪防潮工程体系,防洪减灾能力大为提高,尤其是随着 2001 年小浪底水库竣工运用,黄河下游的防洪标准得到了极大提高,防洪标准亦由六十年一遇提高到千年一遇。尽管如此,这些工程举措对于防范、避免河口地区某些特殊的极端水文事件所造成的灾难性后果而言,其作用效果并不够显著。譬如凌汛问题,黄河河口改道点以下尾间河段多具宽浅、散乱之特点,加之受海潮顶托,下排入海的冰凌多聚集于

口门沿岸形成卡冰,由于冰塞冰坝在河道内的存在,直接阻碍和影响了上游冰凌及来水的正常下泄,水无出路乃壅积于冰坝上游,导致水位猛涨,故而产生凌汛灾害甚至发生决口;1983-01,黄河河口发生凌汛,在利津站流量仅为 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 的情况下,其水位竟高达 13.72 m ,比当年最大洪峰流量 $5320 \text{ m}^3/\text{s}$ 时的水位 13.64 m 还高出 0.08 m ,比当年同流量水位高出 3.07 m ;再比如风暴潮问题,历史上,黄河三角洲发生过多次严重风暴潮灾害,风暴潮一旦发生,往往水位暴涨,水借风势,海水大范围入侵沿岸陆地,淹没村庄、农田、渔业生产和工业设施等,给三角洲地区造成重大的人员伤亡和财产损失,有时还会伴随着大量潮水倒灌进入河流近口段,导致水位急剧上升,浸滩决堤而形成危害;以发生于 1992-09-01 的黄河三角洲台风风暴潮为例,该风暴潮发生时,位于黄河三角洲东南部的羊角沟潮位最高潮位达到了 3.59 m ,海水入侵距离达到 25 km ,风暴潮冲毁防潮堤 50 km ,直接经济损失 5.088 亿元。上述相关极端水文事件,多具有突发性强、持续时间短和人力不可扭转的客观特点,其威胁在今后相当时期内仍将存在。而黄河河口莱州湾人工潟湖的兴建,在凌汛期抑或伏秋大汛期遭遇河口异常高水位时,可借助于入海水沙通道及时排泄洪水;同时,在莱州湾发生风暴潮时,可利用人工沙坝有效降低其风暴强度,防止风暴潮侵蚀冲刷海岸,从而大大减轻河口防洪防凌和防潮压力。

3.3 防止海岸侵蚀和盐渍化,改善和维护海岸带生态环境

缺少水沙资源的补给是海岸侵蚀和盐渍化等海洋环境灾害的主因之一。以黄河三角洲北部海岸为例,自 1976-05 黄河入海流路由刁口河改走清水沟以来,原刁口河流路所属岸线由于缺乏泥沙供给,至 2014 年,其口门陆地面积共侵蚀了 307.56 km^2 ,年均侵蚀达到 8.09 km^2 。与此同时,2016 年中国海洋环境状况公报表明:位于黄河三角洲北部的滨州市沾化区,其海水入侵距离已超过 22.48 km ,土壤盐渍化距岸距离达到了 10.66 km ;位于黄河三角洲以南的潍坊寿光市,其海水入侵距离也已超过了 21.66 km 。

未来拟兴建的人工潟湖海岸带区段,位于大汶流海堡至支脉沟口海岸区段之间。自 1976 年清水沟流路行河以来,大汶流海堡至支脉河口海岸区段由于入海泥沙向莱州湾的输移而使其海岸线处于相对稳定的状态,且在一定程度上遏制了海岸侵蚀和盐渍化等海洋环境灾害的发生;但可以预见的是,随着未来黄河入海水沙数量的持续偏枯,或者入海流路北改走刁口河流路,那么,该区段海岸发生海岸侵蚀和盐渍化等海洋环境灾害的趋势将逐渐凸现。而人工潟湖的兴建无疑是未雨绸缪之举,将使该海岸区段能够通过设置的两条入海水沙通道,得到持续的水沙资源补给,进而避免海岸侵蚀和盐渍化等海洋环境灾害的发生,维护和改善其生态环境。

3.4 为渔业发展营造更为优良的生产环境

潟湖汇集丰富的营养盐,是优良的水产养殖场所。众所周知:河口冲淡水直接影响近岸盐度时空分布范围,并携带丰富的营养元素至口门附近区域,为浮游植物的繁殖提供物质基础。浮游植物位于海洋食物链的底层,是浮游动物和游泳生物的主要食物来源。黄河河口莱州湾人工潟湖的修建,将通过两条入海水沙通道为潟湖水域直接提供适量乃至充足的河口冲淡水资源,从而为当地的渔业发展营造更为优良的生产环境。

3.5 丰富和拓展河口地区的旅游资源

进入 21 世纪以来,随着生态旅游在全国范围内的兴起,湿地资源尤其是滨海湿地的生态旅游价值与功能日益受到旅游界的关注。目前,我国内陆湿地地区正大力兴建湿地公园,开展湿地生态旅游活动,滨海湿地的旅游发展也已起步,而作为旅游资源质优量丰的潟湖湿地旅游发展却相对滞后。不言而喻,随着黄河河口莱州湾人工潟湖的修建,必将构成黄河三角洲地区自然保护区、内陆湿地生态旅游、海岸潟湖生态旅游乃至水上运动基地的大旅游格局,从而全面促进黄河河口地区旅游事业的可持续发展。

4 黄河河口莱州湾人工潟湖工程可行性分析

任何工程实践是否具有可行性,主要取决于其是否符合客观实际、技术可行、经济合理和具有显见实效。

黄河河口莱州湾人工潟湖的修建,充分考虑了黄河河口及其三角洲治理开发的客观实际,且具有显见的社会、经济和环境生态效益。基于此,其技术可行性如何便成为制约人工潟湖能否付诸于实践的关键因素之一。

黄河河口莱州湾人工潟湖的建成运用,需要具备 2 个方面的关键技术,其一是入海水沙通道和浅海区人工沙坝的建造及施工技术;其二是人工潟湖的维护技术。

就入海水沙通道和浅海区人工沙坝的建造及施工技术而言,黄河沿岸多个大型灌区输水干渠、引黄济津(天津)、引黄济淀(白洋淀)通道乃至我国南水北调工程的兴建,都为入海水沙通道的建设奠定了坚实的技术基础;而我国多处实施的海岸、海洋工程如曹妃甸吹沙造地工程、青岛胶州湾大桥工程、港珠澳大桥工程、南海永暑岛造地工程,以及众多水利工程施工中的河道截流工程等,则为浅海区人工沙坝的修筑提供了可以借鉴的成功范例。

人工潟湖形成后,其演化发展、作用影响及其维护问题至关重要。围绕这些问题,诸多专家学者开展了一系列分析研究,包括沙坝—潟湖海岸的成因、演化特征^[13-17],潮汐通道体系的稳定性及冲淤变化^[18-22],人类活动的影响及环境效应^[23-24],人工沙坝的作用^[25-26],潟湖生态系统退化、富营养化、赤潮发生机制与修复对策^[27-30]等,这些研究成果的提出,对于保障黄河河口人工潟湖相关功能的正常发挥和可持续运用,也均具有重要的支撑作用和参考价值。

5 结 语

对黄河河口开展行之有效的综合治理和入海水沙资源的开发利用,发展高效生态经济,是目前黄河河口三角洲地区社会经济发展进程中的两条主线,如何协调和统筹两者之间的关系,使之相互促进,共同发展,是摆在人们面前亟待解决的一个重大课题,黄河河口莱州湾人工潟湖的兴建即是其有益的尝试。

迄今为止,我国尚没有在淤泥质海岸兴建大型人工潟湖的实践先例。因此,从某种程度上而言,在黄河河口莱州湾海域兴建人工潟湖极富挑战性。同时,围绕人工潟湖的某些关键技术问题,诸如入海水沙通道的设计标准、补水分洪时机和规模、人工沙坝的结构及尺寸、潮汐通道的设置及其纳潮数量、潟湖形成后泥沙输移与沉积及其容沙能力问题、对周围海域环境、滨海生物的影响效应等问题,都需要通过深入细致的研究分析和详尽的科学论证去加以解决。

参考文献 (References):

- [1] LI Z G. The Yellow River Mouth harness and comprehensive utilization of water and sediment resources[J]. Yellow River, 2001, 23(2): 32-34. 李泽刚. 黄河河口治理与水沙资源综合利用[J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 32-34.
- [2] YANG Y Z. Study on building ecological-type hydraulic projects at the Yellow River Estuary[J]. Yellow River, 2005, 27(5): 7-8. 杨玉珍. 建设黄河河口生态水利枢纽工程研究[J]. 人民黄河, 2005, 27(5): 7-8.
- [3] LIU S G, LI X N, ZHENG Y L, et al. Construction of alternative diversion project between the Qingshuigou and Diaokouhe channel to keep the Yellow River estuary permanent[C]//The Yellow River estuary problem and the governance countermeasures seminar specialist forum. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2003: 223-231. 刘曙光, 李希宁, 郑永来, 等. 建设清水沟和刁口河两条流路轮换使用工程保持黄河河口长治久安[C]//黄河河口问题及治理对策研讨会专家论坛. 郑州: 黄河水利出版社, 2003: 223-231.
- [4] WANG K R, YU S B, RU Y Y, et al. Different models of Yellow River running into the sea and its impact[J]. China Water Resources, 2011(20): 9-13. 王开荣, 于守兵, 茹玉英, 等. 黄河入海流路的不同运用模式及其影响效应[J]. 中国水利, 2011(20): 9-13.
- [5] CHEN X B, LEI M, WANG P. Scheme comparison for combined service of Qingshuigou channel and Diaokou River flow passages[J]. Ocean Engineering, 2014, 32(4): 117-123. 陈雄波, 雷鸣, 王鹏. 清水沟、刁口河流路联合运用方案比选[J]. 海洋工程, 2014, 32(4): 117-123.
- [6] CHEN H L, XIAO S J, CHENG Y J, et al. Study of the exploitation and utilization of the Yellow River delta tidal flat resources[J]. Coastal Engineering, 2000, 19(4): 59-64. 陈红莉, 肖素君, 程义吉, 等. 黄河三角洲滩涂资源开发利用研究[J]. 海岸工程, 2000,

- 19(4): 59-64.
- [7] DENG Y M, XING T W. Research on sustainable development and utilization of beach resources in Yellow River delta[J]. Journal of Shandong University of Technology(Social Science), 2008, 24(3): 35-38. 刘裕民, 邢同卫. 黄河口滩涂资源可持续开发利用研究[J]. 山东理工大学学报(社会科学版), 2008, 24(3): 35-38.
- [8] YANG W. Shifting of coastline and evolution of tidal flat in modern yellow river delta[J]. Marine Geology Frontiers, 2012(7): 17-23. 杨伟. 现代黄河三角洲海岸线变迁及滩涂演化[J]. 海洋地质前沿, 2012(7): 17-23.
- [9] GUO J H, LU Y, HOU Q Z, et al. Study on index and evaluation of tidal flat resources carrying capacity[J]. Yellow River, 2015, 37(6): 63-66. 郭巨海, 陆彦, 侯庆志, 等. 滩涂资源承载力指标及评价方法研究[J]. 人民黄河, 2015, 37(6): 63-66.
- [10] SUN W F, ZHANG J, MA Y, et al. Investigation of the evolution of China coastal lagoons from 1979 to 2010 using multi-temporal satellite data[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(3): 54-69. 孙伟富, 张杰, 马毅, 等. 1979-2010 年我国大陆海岸潟湖变迁的多时相遥感分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(3): 54-69.
- [11] TONG G Q, WANG Q L. Prediction of silt load in the estuary of Yellow River after operation of the Xiaolangdi Reservoir[J]. China Water Resources, 2006(21): 9-13. 童国庆, 王秋玲. 小浪底水库运用后黄河河口来水来沙预测[J]. 中国水利, 2006(21): 9-13.
- [12] 水利部黄河水利委员会. 黄河流域综合规划(2012—2030 年)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2013. Yellow River Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources. Comprehensive Planning for the Yellow River Basin(2012—2030)[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy PR, 2013.
- [13] DAI Z J, HAN L, SHI W Y. Analyses of dynamics and evolution on bar-lagoon coast in Houjiang Bay, east Guangdong[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20(2): 142-146. 戴志军, 韩丽, 施伟勇. 粤东后江湾沙坝-潟湖海岸系统的演变及动力分析[J]. 台湾海峡, 2001, 20(2): 142-146.
- [14] HE W, LI C C, LEI Y P. Progress of research on dynamical geomorphology in barrier-lagoon coast[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20(4): 565-571. 何为, 李春初, 雷亚平. 沙坝-泻湖动力地貌学研究进展[J]. 台湾海峡, 2001, 20(4): 565-571.
- [15] DAI Z J, SHI W Y, CHEN H. Research progress and prospects of Barrier-Lagoon coast[J]. Shanghai Land & Resources, 2011, 32(3): 12-66. 戴志军, 施伟勇, 陈浩. 沙坝-潟湖海岸研究进展与展望[J]. 上海国土资源, 2011, 32(3): 12-66.
- [16] JIANG L X, MA Y, ZHANG J. Study on the evolution of the tombolo-lagoons in Shandong peninsula:1979-2009[J]. Journal of Marine Sciences, 2010, 28(4): 36-42. 姜来想, 马毅, 张杰. 1979-2009 年山东半岛连岛沙坝-潟湖的变迁[J]. 海洋学研究, 2010, 28(4): 36-42.
- [17] ZUO L Q, JI R Y, LU Y J. Case study of siltation in channel-mouth bar in offshore barrier-lagoon coast[J]. Advances in Water Science, 2012, 23(1): 87-95. 左利钦, 季荣耀, 陆永军. 离岸沙坝-潟湖海岸拦门沙航道回淤——以渤海湾曹妃甸海域老龙沟拦门沙为例[J]. 水科学进展, 2012, 23(1): 87-95.
- [18] QING Z P, WANG H S, CHEN Z Y. Evolution of lagoons-tidal inlet system and sediment movement in Shanwei port, Guangdong[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1990, 8(1): 54-63. 庆秩甫, 王鸿寿, 陈志永. 粤东汕尾港潟湖-潮汐通道体系的演变及泥沙运动[J]. 海洋学报, 1990, 8(1): 54-63.
- [19] WEI H L, ZHUANG Z Y. Study on the evolution of Yuehu lake-tidal inlet system, Rongcheng Bay, Shandong Province[J]. Journal of Lake Sciences, 1997, 9(2): 135-140. 魏合龙, 庄振业. 山东荣成湾月湖地区的潟湖-潮汐通道体系[J]. 湖泊科学, 1997, 9(2): 135-140.
- [20] WANG S J, LI C L, TIAN X P. Self-adjustment and deterioration of Xiaohai barrier-lagoon-tidal inlet system in Hainan Island[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003, 22(2): 248-253. 王世俊, 李春初, 田向平. 海南岛小海-沙坝-泻湖潮汐通道体系自动调整及恶化[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 248-253.
- [21] WANG W. Impact of human activities on erosion and deposition of barrier-lagoon-tidal inlet—taking the Yinkuang bay coast in Hong Kong as an example[J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(4): 146. 王为. 人类活动对砂坝泻湖海岸潮汐通道冲淤变化的影响——以香港大屿山岛银矿湾海岸为例[J]. 第四纪研究, 2004, 24(4): 146.
- [22] TIAN X P, LI C C. Lagoon inlet hydraulic characteristic and transformation[J]. Marine Science Bulletin, 2006, 25(4): 9-15. 田向平, 李春初. 潟湖潮汐通道水力特性与治理[J]. 海洋通报, 2006, 25(4): 9-15.
- [23] FENG J L. Natural evolution and artificial land accretion of lagoon on northwest coast of Bohai Bay[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1998, 16(2): 32-40. 冯金良. 渤海湾西北岸泻湖自然演变及其人为陆化[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(2): 32-40.
- [24] WU S Y, GENG X S, JIN Y D, et al. Evolution of lagoon system in the Jidong area and effect of human interference[J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(2): 190-199. 吴桑云, 耿秀山, 金永德, 等. 冀东潟湖系统演进与人类干预影响[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(2): 190-199.
- [25] WU J, SHI B, LI Z, et al. Experimental study on the shore nourishment for beach protection and siltation promotion[J]. Marine Science

- Bulletin, 2012, 31(2): 176-180. 吴建, 拾兵, 李智, 等. 近岸人工沙坝保滩促淤的试验研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(2): 176-180.
- [26] GU J, SONG H L, WANG J Y, et al. Study on responses of tidal currents to artificial island and sandbars in coastal waters[J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2017, 32(2): 182-188. 顾杰, 宋竑霖, 王佳元, 等. 近海人工岛及沙坝工程与潮流的响应特征研究[J]. 水动力学研究与进展, 2017, 32(2): 182-188.
- [27] TIAN X P, LI C C. The environmental disruption and transformation of Xiaohai lagoon in Hainan[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(1):91-94. 田向平, 李春初. 海南小海潟湖环境的破坏与治理[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(1): 91-94.
- [28] YUAN Z J. The dynamic evolution and environmental renovation of the Qilihai lagoon wetland in Hebei Province[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2007: 19-47. 袁振杰. 河北七里海潟湖湿地动态演变与环境整治研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2007: 19-47.
- [29] LIU Y L, JIN Z G. Analysis and restoration of the ecological system degradation of the Qilihai lagoon wetland in Changli golden coast natural reserve[J]. Jilin Geology, 2010, 29(2): 127-129, 136. 刘亚柳, 金照光. 昌黎黄金海岸自然保护区七里海潟湖湿地生态系统退化分析与修复对策[J]. 吉林地质, 2010, 29(2): 127-129, 136.
- [30] YE W J, CHEN Y Q. Ecological restoration and effective assessment of an artificial lagoon in city beach of Jinshan district in Shanghai [J]. Fisheries Science, 2014, 33(12): 794-799. 叶维钧, 陈亚瞿. 上海金山城市沙滩人工潟湖水体生态修复及效果评价[J]. 水产科学, 2014, 33(12): 794-799.

Design and Function of Artificial Lagoon in the Laizhou Bay Nearby the Yellow River Estuary

WANG Kai-rong¹, HAN Sha-sha², WU Bao-sheng³, DU Xiao-kang¹, ZHENG Shan²

(1. *Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China;*

2. *State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;*

3. *State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)*

Abstract: On the basis of a brief overview of the basic concepts and characteristics of lagoons, an artificial lagoon in the Laizhou Bay nearby the Yellow River mouth is preliminarily designed according to the layout scheme of the project. The artificial lagoon thus designed is a semi-closed coastal lagoon which involves a coastline of about 35 km and a sea area of about 470 km² and is mainly composed of three large engineering systems; the channels for water and sediments entering into the sea, the artificial sandbars and the tidal inlets. Analyses have pointed out that the artificial lagoon would have multiple functions such as optimizing the distribution patterns of water and sediments entering into the sea from the Yellow River, reducing the pressure of flood prevention, ice prevention and tide prevention, improving and maintaining the ecological environment of coastal zone, developing the aquaculture, enriching the tourism resources, and so on. The feasibility of the artificial lagoon is analyzed from the aspects of construction and maintenance technologies, and finally many key techniques which need to be solved in constructing the artificial lagoon are put forward, which include the standard for the design of seaward water and sediment channels, the time and scale of water replenishing and flood diversion, the setting of tidal inlets and tidal capacity, the sediment transport and deposition and the sediment capacity after the construction of the lagoon and the impact on surrounding marine environment and coastal organisms, etc.

Key words: artificial lagoon; design; function; feasibility; Yellow River Estuary; the Laizhou Bay

Received: June 11, 2018