

环渤海区域海岸整治修复工程实践

刘国宝, 朱 浩

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对河口海湾滨海湿地生态功能退化、岸线岸滩侵蚀及人为影响、河口海域淤塞污染和水体底质环境恶化、陆源污染等环境问题, 通过对渤海区域海岸整治修复工程的实践, 采用归纳总结分析方法, 提出适用于类似工程的海岸生态修复理念、前期工作思路、修复工程措施及预期修复效果。得出如下结论: 可以通过拆除构筑物、清淤、潮沟疏通、植被恢复、岸线修复等措施, 达到恢复海岸类型、治理污染、修复湿地生态、增强区域水动力环境的目的, 进而实现修复滨海湿地和岸线的目标。

关键词: 渤海; 海岸修复; 工程实践

中图分类号: U 658

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0025-06

Practice of coastal regulation and restoration project in Bohai Rim region

LIU Guo-bao, ZHU Hao

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The Bohai Rim region is exposed to environmental problems such as the degradation of ecological functions of estuarine and bay coastal wetlands, shoreline and beach erosion and human impact, siltation and pollution of the estuarine sea area, environmental deterioration of waterbody and bottom sediment, as well as land-based pollution. Through the practice of the coastal regulation and restoration project in the Bohai Sea area, this paper puts forward the coastal ecological restoration concept and preliminary work ideas suitable for similar projects, repair engineering measures, and expected repair effects by the analysis of induction and summarization. It is concluded that the purpose of restoring coastal types, controlling pollution, restoring wetland ecology, and enhancing regional hydrodynamic environment can be achieved through measures such as structure demolition, desilting, tidal creek dredging, vegetation restoration, and shoreline restoration. In this way, the goal of restoring coastal wetlands and shorelines can be achieved.

Keywords: Bohai Sea; coastal restoration; engineering practice

渤海属于中国内海, 三面环陆, 自 20 世纪以来开发速度明显加快, 大规模围填海工程相继立项, 自 2002 年以来渤海累计填海造地 990 km²; 沿海的大规模开发也导致渤海近岸水质较差, 劣 4 类水质海域面积为 4 744 km²; 近岸围填海大量占用自然岸线及滩涂, 滨海湿地遭到严重破坏, 自 2000 年围海养殖占用湿地 1 770 km², 海洋开发占用自然岸线 340 km。为将渤海沿岸打造成“水

清、岸绿、滩净、湾美”的蓝色海湾, 使渤海沿岸周边受损湿地、岸线、重点围填海区得到修复, 入海水质进一步改善, 滨海湿地海洋生态服务功能进一步恢复, 海洋生态文明建设取得突破性进展, 海洋资源环境和生态价值在经济社会发展中充分彰显。自然资源部、生态环境部等部委联合指导开展了“蓝色海湾”“渤海综合治理攻坚战”等行动^[1-3], 结合山东、河北、天津、辽宁等省市

收稿日期: 2021-12-23

作者简介: 刘国宝(1981—), 男, 工程师, 从事海岸工程设计工作。

海洋海岸问题和实际情况，针对多个项目制定生态修复方案并予以落实，以恢复滨海滩涂湿地、修复岸线、提升海洋资源环境及生态价值。

海洋生态修复工程为近年来新兴的工程种类，实践经验较少，无成熟的规范标准体系，对工程方案和效果尚处于探索阶段，因此亟需对已建项目进行技术的归纳分析总结，供后续项目参照。基于多个生态工程项目，笔者总结渤海区域海域现状与问题、生态修复理念、前期研究及工程措施、实施效果等，对于后续类似项目具有借鉴意义，为建立生态修复的技术体系提供支撑。

1 海域现状与问题

1) 滨海湿地淤塞污染，水体底质环境恶化。受气候变化引起的河流入海流量和沙量减少以及堤闸建设、围海养殖池塘开发等人为因素的影响，部分河口海域附近水动力环境改变，导致泥沙沉积物逐渐在河道内淤积，局部海湾束窄、海水交换能力下降，河口海域淤塞日趋严重；人工岛及非透水堤坝将海湾分割成多个独立区域，且束窄海湾、阻断了湾内水体的连通性，造成湾内水体交换不畅。入海河口处于盲目无序的开发状态，缺乏统一管理，大量陆域污染物排河入海，使绝大部分入海河口水体和底质环境恶化。

2) 滨海湿地生态功能退化。河口天然翅碱蓬和芦苇湿地等典型滨海湿地有减少的趋势，生态系统完整性受到影响，导致海洋生物物种多样性下降、高营养层次生物生产力降低。

3) 岸线、岸滩侵蚀及人为影响。渤海是我国海岸侵蚀灾害的多发海域之一，除基岩海岸相对稳定和淤泥质海岸呈淤中有冲外，大部分砂砾质海岸已遭到强度不等的侵蚀。人类粗放式生产生活对海岸线造成大面积侵占和污染，绝大部分砂质、淤泥质岸线被用于旅游、养殖，生活生产污水和固体废弃物排放还处于粗放管理状态，对岸线造成了持续污染。

2 生态修复理念

生态修复的目标为恢复海岸、河口及海湾滨

海湿地生态系统的结构和功能的完整性，确保其稳定性和生态平衡，提升其生态系统服务功能，促进人与自然和谐共生。修复工程的指标一般为修复滨海湿地面积和修复岸线长度。

因此，修复工程方案建议基于以下理念。

1) 陆海统筹，综合治理。海洋污染大部分来源于陆地，治理陆地污染源是海洋治理的基础措施。

2) 因地制宜、因时制宜。不同区域采取不同的保护、恢复和整治修复措施。

3) 坚持自然理念。尽量减少人为痕迹，宜滩则滩，宜荒则荒；尽量选用沙、植被、天然块石等材质，少用混凝土等人工材料。

4) 尽量避免将修复工程建设成景观、市政工程。

5) 防止因修复产生新的污染，避免违法用海、占用生态红线等问题。

3 生态修复工程前期研究

岸线及湿地修复工程应开展科学准确的资料调研和研究试验等工作，方可判断工程位置环境问题，制定合理的工程方案，确定准确的工程量和投资规模。一般包含但不限于以下工作。

1) 地形测量。用于确定场地自身地形地貌、场地内地物、植被情况；与周边地形、海域的交界情况，高程与潮位的相对关系；必要时需要对局部堤坝等与工程量密切相关的地形出具剖面测量图。

2) 地质勘察。确定场地内拆除范围的材料组成，确定需要新建、疏浚、临时施工通道位置的地质情况。

3) 水文调查。对工程区域及附近海域冬、春两季大潮期进行多站定点同步水文全潮测验，分析工程区域附近海域海洋水文要素的时空分布特征和水文泥沙运动规律，为研究生态修复工程、泥沙运动相互作用及海洋水动力环境数值模拟提供基础数据。

4) 海洋环境调查。对所在海域进行水质、沉积物、海洋生物质量和海洋生物现状调查与分析，

为项目提供全面的背景数据和修复前环境基础资料;项目完成后,再进行同等内容调查,对比 2 次结果,分析修复效果(表 1)。

表 1 生态修复项目海洋环境调查内容	
调查项目	调查内容
海水水质	水温、pH 值、盐度、溶解氧、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、硫化物、石油类、悬浮物、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷、粪大肠菌群
海洋沉积物质量	有机碳、硫化物、油类、铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷
海洋生物质量	铜、铅、锌、镉、总汞、砷、铬、石油烃
海洋生物生态	叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物

5)波浪设计要素数值试验。为沙滩、海岸防护工程的数值、物理模型试验和设计提供参数。

6)潮流泥沙数值试验。用以判断海湾清淤工程工后回淤强度、海湾纳潮量改善程度,以及拆除工程施工后对水交换的改善程度^[4]。在有清淤工程的项目中宜采用此试验。

7)沙滩稳定性数值试验。首先结合 Dean 的平衡剖面理论,初步确定养护沙滩的平衡剖面,给出补沙的剖面形状、填沙粒径、滩肩高程等参数;再基于垂向二维剖面演变模型,对补滩剖面的稳定性进行数值分析;最后根据修复岸滩的动力条件,结合 Xbeach 二维平面数值模型对实施方案下岸滩的侵蚀过程进行研究,分析岸滩的侵蚀因素,提出维持岸滩整体稳定性的固沙保护措施以及平面布置方案,并采用数值模型评价固沙措施的保护效果^[5]。本试验在有砂质岸线恢复的项目中可以采用,与物理模型试验结论进行对照验证。

8)沙滩整体及断面物模试验。采用物理模型试验验证修复沙滩剖面及整体的稳定性,并根据试验结果提出优化建议,与数值模拟试验相互验证,为沙滩设计提供相对准确的依据。

4 工程措施

4.1 构筑物拆除

针对违法围填海造成的湿地占用、水动力减弱、水循环不畅、海湾淤积等问题,拆除围填海构筑物是较为合理的整治方案。拆除可以采用陆地机械完成,其难点在于拆除的土石方含有盐分,须提前明确拆除的土石方的永久性弃置场地。同

时,拆除前须明确构筑物产权,产权明确或有填海责任主体的构筑物不宜纳入生态修复项目中予以拆除。

4.2 清淤

受天然地形或人工构筑物影响,局部海域水动力较弱,容易淤积,若同时有陆源污染物入海,则容易形成受污染底泥,会对周边环境、海域水质、生物造成持续损害。清除此受污染底泥是海域综合治理的重要环节。淤泥一般位于潮间带、浅水区域,受潮水影响,陆地机械和大中型海上船机均无法正常作业,一般需采用小型绞吸船或两栖挖泥船作业,相对于常规陆上或海上清淤作业,此类清淤工程具有工效低、工期长、单价高的特点。清除的淤泥为污染物,按照环保法规,不允许随地排放,须进行环境影响评价后弃置在规定位置。

4.3 潮沟疏通

针对淤泥质海滩潮沟淤积、水动力减弱、海滩盐度升高、植被退化的问题,可采用疏通潮沟的工程措施,使潮水能顺利进出滩涂,改善水交换能力。疏通潮沟平面布局应设置一级潮沟和二级潮沟,尽量对原有潮沟进行挖深和拓宽。典型潮沟疏通平面布局如图 1 所示。

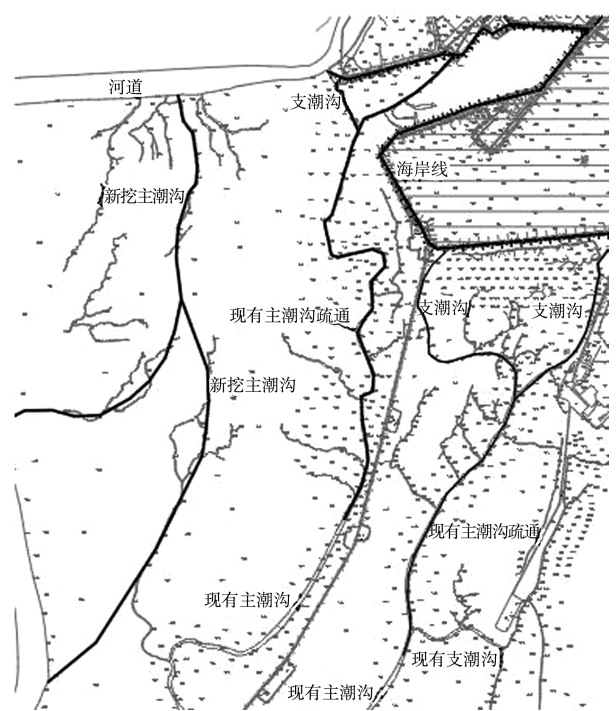


图 1 某项目潮沟疏通平面布局

4.4 植被恢复

环渤海区域海岸植被一般有翅碱蓬、芦苇、柽柳、耐盐碱陆生植物，是滩涂生物的理想栖息地。受气候变化、海滩自然淤积或冲刷等自然因素影响，部分区域植被生长时有退化，可以采用整治地形、人工补植的方式予以适当恢复。翅碱蓬、芦苇等植被补植的关键是确定合理的场地高程，高程影响潮水淹没时间，淹没时间过短或过长均不适宜其生长。翅碱蓬适宜种子种植，芦苇适宜根部移植，柽柳适宜树苗移栽。

在河流入海口周边湿地滩涂选择合适的场地高程，周围往年有碱蓬生长的海滩，补植翅碱蓬一般会在当年获得较好的生长效果。如果当年降雨量少，河流入海淡水较少，则翅碱蓬不易生长，

效果会受影响。

芦苇是强势物种，一般沿岸区域，在极端高水位以上位置适宜生长，天然状态即会长势茂盛，补植芦苇时只要将地形改造至合理高程即容易成活。柽柳只适合生长在较极端高水位 0.5 m 以上区域。

4.5 岸线修复

岸线一般分淤泥质、砂质、基岩质等几种类型，各自有不同的生态、地质特色，须因地制宜，采用适宜的修复手段。

淤泥质海岸可能会面临岸线侵蚀问题，针对岸线侵蚀的工程措施一般可采用生态海堤防护^[6]。典型生态海堤断面见图 2。砂质海岸面临的问题一般为岸滩侵蚀，可以采用人工补砂修复岸线的措施。典型沙滩断面如图 3 所示。

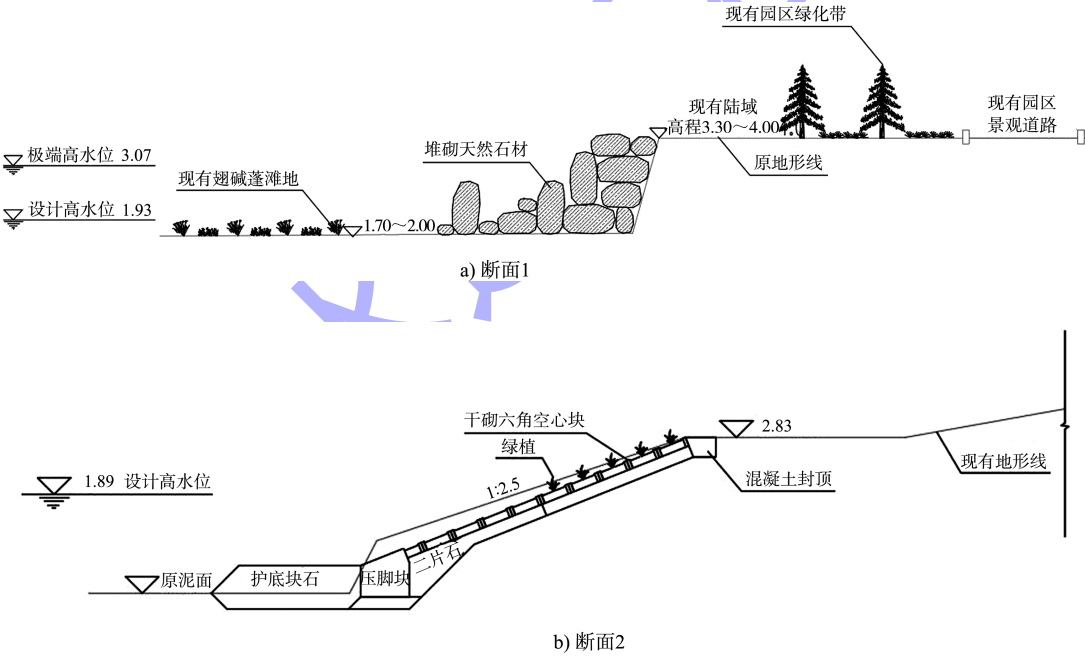


图 2 典型生态海堤断面（高程：m）

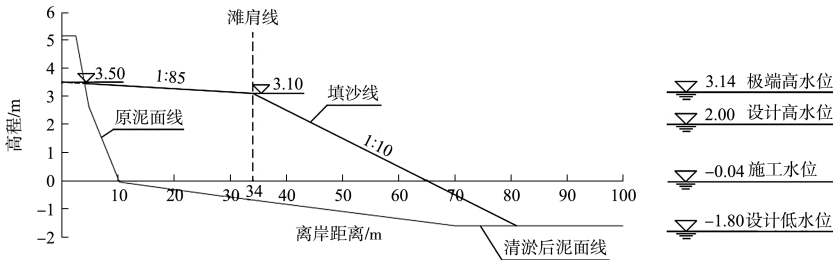


图 3 典型沙滩岸线断面

基岩质海岸面临的问题是在海侧的人为构筑物破坏海岸形态，岩面上人类活动造成污染。一般采用拆除构筑物和清理基岩的措施，将原始基岩暴露出来即可。

值得注意的是，自然岸线为宝贵的资源，须格外保护，不可因修复工程减少自然岸线。

实施此类项目的主要目的在于生态修复和污染治理。经上述工程措施修复后的海域，海岸类型可以尽量恢复到自然状态，底泥污染得到治理，

水动力得到恢复，生态系统得到初步重建，可以达到基本的修复治理目标。结合工后持续维护、控制陆源污染物入海，以及长期的海洋水动力自净化过程，可以实现彻底治理污染的生态修复效果。每一个项目面临的问题一般不止一种，应合理分析，必要时采用多种方案综合治理^[7-8]。

以 2019 年辽宁渤海攻坚战项目为例，14 个项目分别采取不同的组合措施，实现了不同的修复指标，见表 2。

表 2 辽宁省渤海攻坚战项目工程措施及修复指标

项目	湿地修复				岸线修复			修复指标	
	构筑物拆除	清淤	潮沟疏通	植被恢复	生态海堤	砂质岸线修复	基岩岸线清理	滨海湿地/万 m ²	修复岸线/km
葫芦岛芷锚湾	-	-	-	-	-	√	-	-	1.7
葫芦岛柳河河口	√	-	-	√	√	√	-	30	4.0
葫芦岛连山	√	-	-	-	√	-	-	-	2.5
葫芦岛龙港	√	-	-	-	√	-	-	140	1.9
锦州白沙湾	√	√	-	-	-	√	-	140	2.3
锦州四十军虾场	√	-	-	-	√	-	-	75	1.7
锦州小凌河	√	-	-	-	√	-	-	50	2.7
锦州大凌河	√	-	-	√	-	-	-	90	-
盘锦大凌河	-	-	√	√	-	-	-	420	-
营口团山	√	-	-	√	√	-	-	20	1.5
营口珍珠湾	√	√	-	-	√	√	√	82	1.4
营口月亮湾	√	√	-	-	-	√	-	45	0.4
大连复州湾	√	-	-	-	-	-	-	258	2.5
大连普兰店湾	√	-	-	-	-	-	-	500	7.5

5 修复效果

修复效果须基于科学合理的监测和调查，结合现场实际修复效果的观测进行评估，必要时辅以数值模拟等手段进行判断。

渤海攻坚战项目以修复湿地面积和修复岸线长度作为主要验收指标。总体上，从监测指标和现场效果看，绝大多数项目达到了修复效果，实现了修复目标。

1)海岸类型恢复。通过构筑物拆除、植被修复、砂质岸线修复、基岩岸线清理可以改善岸线前方水质，恢复岸线自然形态，提升岸线景观，有效恢复受损的泥质、砂质、基岩质天然海岸，辽宁省得到有效修复的岸线总长 30 km。

2)污染治理。海水水质不容易通过工程措施得到改善，甚至经过施工过程会导致水体悬浮物

增加，一般需截断陆源污染，通过改善水动力条件，改善沉积物质量，利用海洋长时间自净能力解决水体污染问题。海洋沉积物质量可以通过清淤得到改善，尤其是硫化物指标改善最为明显，一般清淤后沉积物指标可以改善至一类标准。

3)湿地生态修复。通过植被恢复可以改善湿地生态。用植被覆盖度、生物量、生物多样性指标予以评价。以营口团山项目为例，通过补植，翅碱蓬覆盖度从无增加到 50%，达到 40 株/m²以上，芦苇 3 株/m²以上。潮间带平均生物量从 102 g/m²增加到 126 g/m²，潮间带生物多样性指数平均值从 1.93 增加到 2.29，显著改善了生态系统。

4)水动力恢复。拆除构筑物后可以将原封闭、半封闭的海域变成开敞海域，水动力和水交换能力显著增强。以营口珍珠湾项目为例，修复区域

涨急流流速可以增大 0.1 m/s。潮沟疏通对滩涂水动力有明显的改善效果,以盘锦大凌河项目为例,潮沟疏通后涨落潮流速可以增加 20%左右。

6 结语

- 1)修复项目应以自然生境恢复为主、生态保护优先;
- 2)须对每个项目进行详细调研,明确其面临的问题,基于问题提出修复方案;
- 3)针对不同问题需选用对应的工程措施,并开展相应的研究试验工作;
- 4)须综合考虑施工难度、工程造价、工后效果等多方面因素确定修复方案;
- 5)工程措施只是海洋海岸修复治理的一部分前端内容,法律法规的制定、相关机构人员的配置、行业技术和规范的积累和发展均是更为重要的背景和基石。

参考文献:

[1] 中华人民共和国生态环境部.渤海综合治理攻坚战行

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 20 页)

[6] MCLVOR A L, MÖLLER I, SPENCER T, et al. Reduction of wind and swell waves by mangroves. Natural Coastal Protection Series: Report 1. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 40[R]. Washington, D.C. The Nature Conservancy and Wetlands International[R]. 2012: 27.

[7] 林婉婷. 应对风暴潮的景观基础设施设计研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2018.

[8] 陈琳. 海岸带生态景观规划整治研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.

[9] 徐文婵. 城市韧性视角下的风暴潮适应性景观设计研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.

[10] COHEN-SHACHAM E G, WALTERS C, JANZEN S. et al. Nature-based solutions to address global societal challenges[M]. Gland: IUCN, 2016.

[11] Thieler E R, HIMMELSTOSS E A, ZICHICHI J L, et al.

行动计划[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2018.

[2] 中华人民共和国生态环境部.关于实施<渤海综合治理攻坚战行动计划>有关事项的通知[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2019.

[3] 中华人民共和国自然资源部.自然资源部办公厅关于推进渤海生态修复工作的通知[R]. 北京: 中华人民共和国自然资源部, 2019.

[4] 俞聿修.随机波浪理论及其工程应用[M]. 大连: 大连理工大学, 2000.

[5] CAMINADA I. The influence of diffraction on artificial pocket beaches: a morphological assessment with XBeach [D]. Delft: Delft University of Technology, 2018.

[6] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.防波堤与护岸设计规范: JTS 154—2018[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.

[7] 赵博, 张盼, 于永海, 等.渤海海洋生态修复现状、不足及建议[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(6): 975-980.

[8] 陈克亮, 吴侃侃, 黄海萍, 等. 我国海洋生态修复政策现状、问题及建议 [J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 170-178.

Digital Shoreline Analysis System(DSAS) version 4.0: an ArcGIS extension for calculating shoreline change[R]. Woods Hole: U.S. Geological Survey, 2009: 2008-1278.

[12] BHEEROO R A, CHANDRASEKAR N, KALIRAJ S, et al. Shoreline change rate and erosion risk assessment along the Trou Aux Biches: Mont Choisy beach on the northwest coast of Mauritius using GIS-DSAS technique[J]. Environmental earth sciences, 2016, 75(5): 444.

[13] 自然资源部第三海洋研究所.海口市西海岸沙滩修复方案专题论证报告(报批稿) [R]. 海口: 自然资源部第三海洋研究所, 2020.

[14] 何岩雨, 朱君, 戚洪帅, 等.人工岛影响下的海滩修复对策研究: 以海口西海岸为例[J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 2-11.

(本文编辑 王传瑜)