

基于生态重构的上海奉贤海岸带生态修复技术与应用

姜红娥

上海园林（集团）有限公司，上海市，200335；

摘要：随着海岸带生态系统面临入侵物种、生境退化及气候变化等多重压力，基于生态重构的修复策略成为实现海岸带可持续发展的关键。本文以上海奉贤滨海海洋生态保护修复项目（一标段）为案例，系统阐述了其针对互花米草入侵、盐沼湿地退化及生境单一等核心问题，所采用的一系列生态重构关键技术。项目通过“分级、分区物理生态治理”技术有效控制互花米草；依据生态位理论进行“本土盐沼植被阶梯式恢复”；并综合运用“潮下带生物礁生境营造”与“水文联通管与潮沟重构”技术，重塑健康的海岸带生态系统结构。实践表明，这些技术协同应用，显著提升了区域的生物多样性和生态系统韧性，为类似滨海生态修复工程提供了可复制、可推广的技术范本。

关键词：海岸带；生态修复；盐沼植被；生物礁

DOI：10.69979/3060-8767.26.03.028

1 引言

1.1 研究背景与意义

海岸带是陆海交互作用最活跃的地带，兼具陆海两种特殊属性^[1]，也是生态脆弱区。近年来，受人类活动和气候变化叠加影响^[2]，海岸带生态系统普遍面临入侵物种肆虐（如互花米草、加拿大一枝黄花）、自然岸线侵蚀、生境破碎化及生物多样性下降等严峻挑战。伴随着人们对生态环境保护意识的日益增强，在海岸带治理中更加强调生态优先的理念^[3]，也更加重视海岸带防护措施的功能性与环境友好性^[4]。上海奉贤区位于杭州湾北岸，属于淤泥质海岸，是典型的易侵蚀海岸，生态修复需求迫切。实施基于生态重构的修复工程，不仅是保障区域生态安全、提升防灾减灾能力的需要，也是践行“基于自然的解决方案（NbS）”、实现人与自然和谐共生的重要实践。

1.2 国内外研究现状

国际上，海岸带生态修复已从单一的工程措施转向强调生态系统整体性和自我维持能力的生态重构^[5]。例如，美国通过建设牡蛎礁进行海岸防护并恢复生境，荷兰等国则广泛采用“软”工程进行海滩养护和湿地恢复。国内，莆田蓝色海湾整治、秦皇岛的海滩静态平衡生态修复模式等均为海岸带生态修复提供了宝贵经验。然而，针对高强度人类活动区及严重生物入侵的复杂海岸带，如何系统整合多种技术进行生态重构，仍是当前研究的重点和难点。

1.3 本研究内容与目标

本研究旨在系统总结上海奉贤项目在生态重构方面的技术创新与实践经验。重点分析其对互花米草的分区治理、本土植被的恢复、生物礁生境营造、海塘前沿消浪坝修复及水文连通性管道重建等一系列关键技术，评估其综合应用效果，以期为我国类似淤泥质海岸带的生态修复提供理论依据和技术参考。

2 项目概况与核心问题分析

2.1 项目概况

上海奉贤滨海海洋生态保护修复项目位于杭州湾北岸中部，东起奉贤区中港、西至华电灰坝，其中（一标段）岸线总长 7.47 公里。项目核心目标是修复受损海岸带生态系统，构建一条兼具生态韧性、防灾减灾功能和亲水空间的滨海生态廊道。

2.2 项目核心问题分析

互花米草严重入侵：入侵面积达 31.83 公顷，其快速扩张挤占了本土盐沼植物（如芦苇、海三棱藨草）的生存空间，导致生态系统单一化，生物多样性显著降低。

盐沼湿地退化与生境单一：由于互花米草和加拿大一枝黄花的入侵，原生植被覆盖度极低，潮沟系统淤塞，导致水文连通性差，湿地生态功能衰退，无法为底栖生物和鸟类提供充足的栖息地与食物源。

海岸侵蚀与生态功能丧失：部分岸段受浪潮冲刷严重，原有的消浪坝损坏，岸线蓝绿融合程度差，既削弱了海岸的天然防护能力，也限制了公众的亲海空间。

3 生态重构关键技术与应用

3.1 互花米草的分级、分区物理生态治理技术

针对互花米草 (*Spartina alterniflora*) 在不同滩面环境下的生态适应性差异, 本项目基于“分区治理、分类施策”原则, 设计了差异化的物理生态治理方案。该方案通过整合生境特征与生物生态学特性, 实现了治理效率与生态安全性的统一。

3.1.1 中低潮滩的“刈割+翻耕深埋”技术

在底质松软、互花米草连片分布的中低潮滩, 采用“三次刈割+翻耕深埋”的组合工艺。刈割作业选择在互花米草营养生长旺盛期 (6 - 8 月) 进行, 通过周期性刈割 (间隔 15 - 20 天) 持续消耗其根系储存的碳水化合物, 抑制有性繁殖能力。后续采用深耕机械将残留根茎翻埋至 30 - 40 cm 深层土壤中, 利用厌氧环境促使根系窒息死亡。该技术避免了化学药剂使用, 有效防止了对水体及底栖生物的二次污染, 且治理后土壤结构更利于本土植物定植。

3.1.2 深水区与零星分布区的“人工刈割+遮荫覆膜”技术

针对机械难以进入的深水区或互花米草零星斑块, 采用人工刈割结合专用遮荫膜覆盖的治理方式。刈割后立即覆盖透光率低于 5% 的黑色遮荫膜, 通过阻断光合作用有效抑制植株再生。监测表明, 持续覆盖 60 - 90 天后, 地下根茎死亡率可达 95% 以上。此法尤其适用于生态敏感区或地形破碎区域, 兼顾治理精度与生态干扰最小化。

通过上述差异化治理, 项目区互花米草灭除率超过 95%, 且治理后滩面底栖动物种类数量显著回升。该成果为后续乡土盐沼植被的恢复奠定了坚实的生境基础。

3.2 基于生态位的本土盐沼植被阶梯式恢复技术

在清除互花米草后, 为重建稳定可持续的盐沼生态系统, 本项目依据生态位理论与胁迫梯度假说, 设计了阶梯式植被恢复方案, 重点强化物种与环境因子的适应性匹配。

3.2.1 物种选择的生态学依据

基于滩面高程、土壤盐度及潮汐浸没频率等环境梯度, 筛选具有互补生态位的乡土物种:

高潮滩 (淹水时间短、盐度较低): 种植芦苇和海滨木槿, 利用其较强耐盐碱能力及深层根系增强滩面稳定性;

中潮滩 (中度淹水与盐度): 以海三棱藨草为主, 该物种具有较强的水文扰动适应能力, 其地下球茎可为迁徙鸟类提供食物;

低潮滩 (长期淹水、盐度较高): 引入盐地碱蓬, 其耐淹性与盐腺排盐能力有助于在恶劣生境中率先定殖。

3.2.2 配置模式与生态演替促进

通过“高程-物种”匹配模型, 沿潮滩梯度形成自然过渡的群落序列:

低滩至高滩依次配置盐地碱蓬—海三棱藨草—芦苇—海滨木槿, 构建连续带状植被格局;

采用簇状种植与斑块移植相结合的方式, 增强种内正相互作用 (如密植斑块可有效消浪促淤, 改善微生境);

结合人工播种与自然扩繁, 加速群落向顶级演替阶段过渡。

表 1 盐沼植物品种选择

序号	品种	拉丁名	科属	生态习性
1	芦苇	<i>Phragmitesaustralis</i>	禾本科芦苇属	生于江河湖泽、池塘沟渠沿岸和低湿地
2	海三棱藨草	<i>Scirpusmariqueter</i>	莎草科藨草属	多年生盐生草本植物, 生长于滩涂湿地
3	盐地碱蓬	<i>Suaedasalsa(L.)</i>	藜科碱蓬属	生长于盐碱土, 在海滩及湖边常形成单种群落
4	海滨木槿	<i>Hibiscushamabo</i>	锦葵科木槿属	多生长于海滨盐碱地上, 性喜光, 对土壤的适应能力强

3.2.3 恢复成效

项目累计恢复盐沼植被 43.95 公顷, 监测显示植物群落盖度达 85% 以上, 鸟类及底栖生物种类数量显著增加, 生态系统结构与功能得到系统性提升。

3.3 潮下带生物礁生境营造技术

通过创新工程设计与精准施工管理, 项目在潮下带成功构建了 21 公顷的人工礁体, 显著提升了区域海洋生态系统的结构与功能稳定性。

3.3.1 生态功能与综合效益

潮下带生物礁的营造旨在通过引入硬质基质, 增强

软底沿海生态系统的栖息地异质性。人工礁体为鱼类、贝类等海洋生物提供了关键的庇护所、产卵场和觅食地, 有效促进生物资源增殖。研究表明, 硬质基质的引入能显著提升物种丰富度、群落组成复杂性和食物网连接密度。同时, 礁体结构通过消减波浪能量、稳定滩底沉积物, 与盐沼湿地协同形成立体化生态防护屏障, 缓解海岸侵蚀并提升生态系统韧性。这种多维度生态功能的整合, 对恢复退化海岸带生境具有重要实践价值。

3.3.2 预制技术的创新与质量控制

在礁体预制阶段, 项目采用组合拆装式铝制模具进

行镂空箱型钢筋混凝土礁体的批量生产。该技术通过模块化设计与精准拼装,大幅提升预制效率,缩短生产工期,并有效保障砼浇筑的密实度与均匀性。模具的标准化设计不仅优化了礁体结构的稳定性,还确保了外观质量的一致性,为后续投放奠定了坚实基础。此外,预制过程中选用环保材料(如椰壳纤维编织网、白云岩混合基质等),避免对海洋环境产生二次污染,符合生态修复的可持续性要求。

3.3.3 精准投放与施工优化

礁体投放环节通过集成钢架自动脱钩吊具与点式自动脱钩吊具,结合GPS定位技术,实现了水下投点的精准控制。钢架吊具适用于大型礁体单元的平稳吊装,而点式吊具则针对复杂地形提供灵活定位能力。GPS技术的应用进一步确保了礁体按设计坐标精确沉放,误差控制显著提升投放效率与安全性。这种多技术协同的施工策略,有效克服了潮下带水流与底质环境的不确定性,保障了礁体阵列的空间布局符合生态设计意图。

3.4 水文联通管与潮沟重构技术

为重构受海堤工程割裂的自然水文通道,本项目通过潮沟系统重构与水文联通管建设两类关键技术,系统性恢复海岸带水体交换能力与生态连通性。潮沟重构工程总长1401.7米,包括对既有淤积潮沟的疏浚修复及基于地形模拟的新建潮沟,其设计遵循自然潮汐通道的水动力学特征,确保潮水可充分漫流至滩涂各个区域,有效维持盐沼湿地的水文浸润周期与土壤盐度梯度。新建的4处水文联通管布设于海堤关键阻隔节点,采用高密度聚乙烯(HDPE)材质管道,通过预应力混凝土包覆固定,形成堤内外水体的双向流通通道。这一设计不仅显著提升水体交换效率、改善水质,还为蟹类、鱼类等水生生物提供了迁徙通道,助力形成陆海统筹的生态网络。

监测表明,潮沟与联通管的协同运作使滩涂水体交换周期缩短约30%,盐沼植被覆盖区地下水盐度分布更趋自然梯度,底栖生物种类数量亦有显著提升。该技术体系通过模拟自然水文过程,有效增强了海岸带生态系统的结构与功能连通性。

3.5 消浪坝修复

针对原有消浪坝存在的坡脚冲刷、块体移位及内坡损毁等问题,本项目依据“结构加固-生态功能协同”原则,分区分段实施了差异化修复措施。对于外坡脚冲

刷区域,采用坡面整平后重新理砌扭王字块体的工艺,通过增加块体嵌锁密度提升抗波浪冲刷能力;对于内坡脚掏空岸段,则通过内坡整理与抛石加固结合的方式稳定坝基,防止底部持续侵蚀。尤为重要的是,在坝体内侧增设的扭王字块体不仅起到抵御越浪侵蚀的作用,其多孔结构还为贝类、藻类等生物提供了附着基底,实现了消浪结构与生境营造的一体化融合。

修复工程共完成消浪坝加固6349米,优化后的坝体在波高2米以下工况中能量消减效率提升约40%。结构监测数据显示,修复段坝体位移量控制在设计允许范围内,且表面生物附着量较修复前增长显著,表明其生态减灾协同功能得到有效发挥。

4 结语

上海奉贤滨海海洋生态保护修复项目通过系统性的生态重构技术体系,借助工程技术手段与生态化修复理念,成功地将一片受入侵物种威胁、生态功能退化的海岸带,转变为一条生机勃勃的滨海生态廊道。项目的成功实践表明,针对复杂的海岸带生态问题,“精准诊断-分区治理-自然恢复-生境增强”的综合策略具有高度的可行性和有效性。其关键技术,特别是互花米草的物理生态治理与基于生态位的植被恢复模式,对于我国乃至全球类似海岸带的生态修复工作具有重要的借鉴意义。未来,仍需加强对修复区生态效应的长期监测,并进一步探索生态修复与碳汇(蓝碳)能力提升的协同路径。

参考文献

- [1] 骆永明,中国海岸带可持续发展中的生态环境问题与海岸科学发展[J],中国科学院院刊,2016,31(10):1133-1142.
- [2] 张志卫,刘志军,刘建辉,我国海洋生态保护修复的关键问题和攻坚方向[J]. 海洋开发与管理,2018,35(10):26-30.
- [3] 张志锋,许妍,索安宁. 海岸带综合治理,怎样做到生态优先?[J]. 中国生态文明,2019(4):24-28.
- [4] 曲红玲,徐孟飘,韩宇,张新周. 基于生态重构的广西防城港山新村海岸带生态系统修复技术与应用,浙江水利水电学报[J]. 2025(3):13-17.
- [5] 林伟龙,张健,石远灵,等. 我国实施生态海堤建设的思考和建议[J]. 自然资源情报,2024(6):1-6.