

《互花米草除治后生态修复导则》

编制说明

标准编制组

2025年11月

一、工作简况

（一）任务来源

为规范互花米草除治后区域的生态修复工作，提升滨海湿地生态系统功能，南大（常熟）研究院有限公司（南京大学常熟生态研究院）联合南京大学结合互花米草治理实践及科研成果，提出编制本导则的任务。2025年6月经中国生态学学会批准，列入中国生态学学会团体标准制定计划，标准名称为《互花米草除治后生态修复导则》。

滨海湿地是位于陆地生态系统和海洋生态系统的交错过渡地带，在气候调节、缓解海平面上升、迁徙水鸟保护等方面发挥着重要作用。然而，互花米草的入侵对湿地生态系统造成了严重破坏，不仅侵占了大量滩涂空间，还显著削弱了湿地的生态服务功能，滨海湿地的生态修复日益受到研究者的重视。当前，国际上对于湿地生态修复的研究和实践已相对成熟，主要集中于植被恢复、水文改善和生物多样性保护等方面。许多海洋发达国家已在滨海湿地生态修复中形成了较为完善的技术体系，拥有切实可行的实施依据，包括相关法律法规和技术规范。例如美国的自然资源保护实践标准《湿地修复》（CODE657）、美国环保署（EPA）发布的《美国湿地生物修复和管理手册》、澳大利亚生态修复协会（SERA）与其12个非营利性合作伙伴和顾问组织合作编写的《澳大利亚生态修复国家标准》、阿拉斯加自然资源部发布《阿拉斯加沿海植被修复与侵蚀控制指南》、英国环境署发布《沿海湿地修复指南》等，为我国提供了可借鉴的先进经验和技術路径。

国内在互花米草治理及湿地生态修复方面也取得了积极进展。国家层面，互花米草的治理已被纳入生态文明建设和外来物种管理的重要议题。《全国湿地保护规划（2022-2030年）》明确提出以提升滨海湿地结构完整性和服务功能为核心目标，统筹推进入侵物种防控与生态修复。《国家生态文明建设规划纲要》和《外来物种入侵防治规划（2016-2020年）》强调加强外来入侵物种防控，尤其在生态敏感区。为推动落实《互花米草防治专项行动计划（2022-2025年）》相关部署，自然资源部于2023年印发《互花米草治理区域生态修复技术指南（试行）》，提出“清除-修复-监测”全流程技术框架。国家林业和草原局2023年也出台了行业标准《湿地生态修复技术规程》（LY/T 3353），为各类湿地修复工作提供通用性指导，但针对区域差异化修复的细化标准仍需完善。地方实践中，各地结合自身生态背景探索差异化修复路径，例如河北省2024年出台地方标准《滨海湿地生态廊道生态修复技术规程》（DB13/T 5883）、江苏省于2025年发布《滨海湿地生态修复技术规程》（DB32/T 5144-2025）。然而，现有技术文件多聚焦于一般性湿地修复路径，对于互花米草除治后区域的特殊生境修复，特别是在土壤盐渍化梯度调控、潮汐水文连通性优化及本土植物群落精准重建等关键环节，尚未形成系统化、具操作性的技术标准。

（二）协作单位

本标准由南大（常熟）研究院有限公司（南京大学常熟生态研究院）牵头起草，由南京大学协助起草。

（三）主要工作过程

2024年4月-2025年6月，成立标准起草工作组，研究和制定了标准编制工作方案，逐步落实本标准的制定工作。以下是主要工作过程：

1、成立标准起草工作组

2024年4月，南大（常熟）研究院有限公司（南京大学常熟生态研究院）抽调相关技术人员按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》，成立标准起草小组，成员由生态修复、湿地治理和相关领域的专家组成。小组成立后，立即展开了标准编制工作方案的研究和制定工作，明确了标准编制的指导思想 and 原则，制订了编制工作计划，确定了项目成员的任务和分工，开展了广泛的资料收集和野外调研工作。

2、撰写标准草案

2024年5月-2025年6月，在标准编制工作方案确定后，标准起草小组立即开展数据收集工作，通过广泛查阅、研读国内外有关湿地生态修复方面的论文专著，借鉴吸收科学合理的互花米草除治后湿地生态修复方法，初步制定了本标准的编写提纲和重要内容组成等，形成《互花米草除治后生态修复导则（工作组讨论稿）》。之后，团队进行了不同湿地治理区域的互花米草除治后生态修复试验，基于试验结果与实践经验，再经内部专家讨论进行不断修正、补充和完善的基础上，起草小组编写了《互花米草除治后生态修复导则（草案）》。

3. 召开专家咨询会

2025年7月-2025年9月，中国生态学学会团体标准工作委员会定于2025年7月28日上午通过视频会议的方式召开《互花米草除治后生态修复导则》团体标准专家咨询会。会后，工作小组根据专家意见对标准进行了修改，共采纳意见29条，不采纳0条，形成了《互花米草除治后生态修复导则（征求意见稿）》。

（四）起草组成员及所做的主要工作

序号	姓名	项目分工
1	安树青	项目主持人，负责确定标准基本思路、文本大纲和具体条款。
2	冷欣	项目组织协调，负责组织编写、修订和完善标准。
3	夏露	项目组织协调，负责组织编写、修订和完善标准。
4	赵晖	协助编写、并修改和完善标准。
5	朱正杰	协助编写、并修改和完善标准。
6	戈萍燕	协助编写、并修改和完善标准。
7	杨棠武	协助编写、并修改和完善标准。
8	邵一奇	协助编写、并修改和完善标准。
9	张静涵	协助编写、并修改和完善标准。
10	陈佳秋	协助编写、并修改和完善标准。
11	傅海峰	协助编写、并修改和完善标准。
12	卜弘毅	协助编写、并修改和完善标准。
13	陈曦	协助编写、并修改和完善标准。
14	崔素珍	协助编写、并修改和完善标准。
15	康晓光	协助编写、并修改和完善标准。

二、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

（一）标准编制原则

本标准制定主要遵循科学性、可行性、精确性和协调性的原则。

1、科学性原则

本导则以生态学原理和生态系统自我恢复能力为核心，结合国内外生态修复研究成果，系统设计修复流程与措施。通过引用技术标准与基于自然的解决方案（NbS）理念，强化修复措施与自然规律的契合，确保技术路径的科学性与生态合理性，为湿地功能恢复提供理论支撑。

2、可行性原则

立足实际修复场景，注重技术措施的可操作性与适应性。基于滩涂高程、水文条件及区域生态功能定位，制定分阶段实施策略，明确安全施工要求与长效管理机制，统筹生态效益与实施成本，确保修复方案在不同环境下的可落地性，兼顾生态目标与工程实施的现实条件。

3、精确性原则

通过标准化流程与量化指标提升技术规范的严谨性。明确修复成效评估的关键参数，统一监测方法与验收标准，以数据化评估贯穿修复全周期，确保技术实施的可验证性、修复效果的可追溯性及质量控制的客观性。

4、协调性原则

注重与现行政策、行业标准及生态保护目标的协同整合。统筹自然恢复与人工干预措施，平衡生态修复与区域发展需求，衔接多领域技术规范（如土壤检测、生物多样性观测），推动修复工程与自然水文循环、生物多样性保护的长效协同，实现生态效益、社会效益的有

机统一。

(二) 标准主要内容

本导则针对互花米草清除后的滩涂生态系统恢复需求，系统规范了生态修复的全流程技术框架。包括以下主要内容：

第一章：范围。提出了本导则的适用范围。

第二章：规范性引用文件。列出了引用的相关文件 11 项。

第三章：术语和定义。包括高潮带和低潮带。

第四章：修复原则。规定了互花米草除治后生态修复的原则。

第五章：修复流程。规定了互花米草除治后生态修复流程。

第六章：调查评估。规定了调查内容、调查方法与频次，评估内容。

第七章：修复类型与措施选择。规定了修复类型确定和修复措施选择。

第八章：修复措施。包括水文水系改善、地形改造、植物恢复、动物修复。

第九章：安全施工。规定了深水区作业、风暴潮应急响应。

第十章：监测与验收。包括监测指标方法频次，验收标准与材料。

第十一章：长效维护与管理。包括植被管护和海滩管护。

(三) 标准主要内容的论据

1、主要依据的标准和参考资料

GB/T 12763.6 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查

GB/T 12763.8 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查

GB 17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析

GB 17378.5 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析

GB/T 17501 海洋工程地形测量规范

GB/T 41339.4 海洋生态修复技术指南 第4部分：海草床生态修复

GB/T 44592 红树林生态保护修复技术规程

HJ 710.4 生物多样性观测技术导则 鸟类

HY/T 080 滨海湿地监测技术规程

HY/T 081 红树林生态监测技术规程

HY/T 083 海草床生态监测技术规程

HY/T 147.7 海洋监测技术规程 第7部分：卫星遥感技术方法

HY/T 255 海滩养护与修复技术指南

NY/T 1121.16 土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定

DB32/T 5144 滨海湿地生态修复技术规范

DB22/T 3175 退化盐碱湿地恢复芦苇栽植技术规范

DB31/T 1373 海三棱藨草种群生态修复技术规程

T/CAOE 20.4 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第4部分：盐沼

T/CAOE 21.2 海岸带生态减灾修复技术导则 第2部分：红树林

T/CAOE 21.3 海岸带生态减灾修复技术导则 第3部分：盐沼

GB/T 41339.1 海洋生态修复技术指南 第1部分：总则

DB11/T 1721 水生生物调查技术规范

NY/T 1121.2 土壤检测 第2部分 土壤pH的测定

NY/T 1121.6 土壤检测 第6部分 土壤有机质的测定

NY/T 1121.7 土壤检测 第7部分 土壤有效磷的测定

海洋生态修复技术指南（试行）（自然资办函〔2021〕1214号）

互米草治理区域生态修复技术指南（试行）（自然资办函〔2023〕2401号）

互花米草综合防治技术指南（国家林业和草原局办公室，2024年4月22日）

2、术语和定义

为便于理解与应用本标准，在本节中对高潮带、低潮带2个术语进行了定义。

将“高潮带”定义为“位于潮间带最上部，上界为大潮高潮线，下界是小潮高潮线，只在大潮时被海水淹没的滩涂”，该定义参考了潮间带. 国科学院烟台海岸带研究所. 2012-11-07.

（http://www.yic.cas.cn/kxpj/kpzi/201809/t20180911_5076365.html）中高潮区（上区）的定义“它位于潮间带的最上部，上界为大潮高潮线，下界是小潮高潮线。它被海水淹没的时间很短，只在大潮时才被海水淹没。”。

将“低潮带”定义为“上界为小潮低潮线，下界为大潮低潮线，大部分时间浸在水里，只在大潮落潮的短时间内露出水面的滩涂”，该定义参考了潮间带. 国科学院烟台海岸带研究所. 2012-11-07.

(http://www.yic.cas.cn/kxpj/kpzl/201809/t20180911_5076365.html) 中低潮区（上区）的定义“上界为小潮低潮线，下界是大潮低潮线。大部分时间浸在水里，只有在大潮落潮的短时间内露出水面。”。

3、修复原则

互花米草除治后会引发以下生态问题：

1) 海滩侵蚀防护能力下降。互花米草因其植物特性，有助于促淤保滩。互花米草除治工程实施后，光滩裸露，海岸带既失去了互花米草的保护，短期内原生盐沼植被也难以恢复，海滩防侵蚀能力显著降低，岸线受侵蚀风险大增。

2) 盐沼湿地生态系统多样性遭受破坏。通过人工干预强制消除互花米草，除治后初期，光滩裸露，地形平坦，除治区的生物量短时间陡然下降，食物链层级缺失明显，生态系统处于非稳态。互花米草除治大规模粗放式的机械作业一定程度上扰动了原生动植物的生存，进一步破坏了盐沼生态系统生境结构、压缩了原生生态系统自然演替的可能，短期内盐沼湿地原动植物难以自然恢复，需采取工程措施人为辅助修复盐沼生境。

3) 易造成水系淤塞。受互花米草入侵及施工影响，互花米草使水体中的泥沙快速沉降和淤积，改变盐沼地形地貌，导致潮沟进一步狭窄，阻碍水体流动（何丛颖，2023），导致片区生态连通性受阻、水系连通性变差；互花米草除治中机械施工破坏海岸带自然水系结构，导致盐沼湿地生态补水条件改变，导致盐沼植被有退化趋势；改变原有多变的自然地形，原有适宜不同湿地动物栖息的深水、浅水、浅滩、

生态岛等多样化湿地类型遭到一定的破坏。

互花米草治理后的生态修复工作不仅是对湿地生态系统功能的恢复，更是一个复杂且长期的过程，需要依据具体的区域生态特点与治理需求，制定科学合理的修复策略。本章节规定了互花米草除治后生态修复的原则，包括以下 4 个方面：

（1）因地制宜，科学修复

区域生态条件直接影响修复措施的效果。因地制宜能最大限度发挥生态系统的潜在功能，避免因盲目修复造成资源浪费或次生破坏。湿地生态系统的恢复必须考虑自然条件和区域特征的差异，遵循滨海生态系统演替规律，根据不同区域的生态需求及自然条件，科学制定生态修复方案，提升滩涂的生物多样性和生态稳定性，保障生态修复的长期成效。

（2）生态优先，兼顾效益

生态优先原则确保修复活动不会对现存的生态系统造成额外压力，而兼顾效益则能提升修复工程的可持续性和社会接受度。生态优先的原则反映了湿地作为重要生态系统在气候调节、水质净化、生物栖息地等方面的核心价值。互花米草的治理不仅要恢复其生态功能，还要避免二次生态破坏。经济和社会效益应在保证生态安全的前提下实现，因此修复方案需要兼顾多重效益。

（3）分区施策、精准修复

不同区域的生态功能和修复目标存在显著差异，统一措施难以全面满足修复需求。根据不同区域的生态功能和目标，采取分区分类的

修复策略，是实现湿地生态修复目标的有效途径，能够针对性地解决不同区域的生态问题，避免资源浪费和生态功能错位，提升整体修复效果。

（4）统筹规划、系统修复

湿地生态系统具有高度的系统性和整体性，单一的修复措施无法达到生态恢复的长远目标。在进行湿地生态修复时，必须考虑生态系统的各个环节，从生态系统整体性出发，综合考虑各空间尺度的影响，分步骤、分阶段实施修复工作，确保各项修复措施相互协调，推动生态效益的最大化。

4、生态修复流程

生态修复流程的设计旨在确保修复工作的科学性、系统性和可操作性。每个步骤的安排都有其特定的逻辑和生态学依据，通过系统性的方法实现沿海湿地生态系统的全面恢复。本章节规定了互花米草除治后生态修复的流程，可分为以下几个步骤：确定生态修复区域，进行调查评估，确定修复类型，选择合适的修复措施，安全施工，进行监测与验收，制定管理计划并实行长效维护与管理。

生态修复技术路线应基于多学科交叉的角度，确定生态修复范围，开展前期调查评估，确定修复目标，选择相对应的生态修复方式，结合长效维护与管理措施，开展评估与验收工作，最终构建健康的沿海湿地生态系统。1) 前期调查及评估。通过资料收集、遥感影像、现场调查和修复区监测等方式，对项目区除治后的环境质量、生物群落、地形地貌等自然条件，以及区域内生产活动、场地风险、互花米草治

理措施及成效和保护情况等场地条件进行梳理和评估，为滩涂的生态修复提供基础支撑(葛安定, 2024; 林秋莲, 2020; 王腾等, 2022)。2) 确定修复目标。结合互花米草治理前、中、后调查成果，参考项目区及周边原生沿海湿地生态系统分布历史，确定项目区的生态修复目标。3) 选择生态修复方式。依据前期调查与评估及修复目标的确定，选择相匹配的生态修复方式。包括水文水环境修复、生境生态修复、植被生态修复和动物种群生态修复等。明确适宜在当地生境种植的植物作为替代植物进行修复(葛安定, 2024)。4) 长效维护、适应性管理、评估与验收。为加强修复工程生态效益的发挥，需长效维护与适应性管理。在互花米草复发情况尚未严重、复发率较低的情况下，采取操作灵活的人工除草措施可作为互花米草治理后的长效管护措施(蒙宽宏等, 2023)。在生态修复完成后、管护期内、管护期结束后及时进行检查评估与验收。

5、确定修复类型

(1) 海堤区域的淡水灌溉与湿地恢复

在海堤区域采取淡水湿地恢复策略。首先，实施淡水灌溉是降低土壤盐度的有效手段，通过建立灌溉系统将外部淡水引入，定期灌溉以稀释土壤中的盐分，这一措施对于改变盐碱土质环境至关重要。同时，淡水灌溉可显著降低互花米草复发的可能性(袁红伟, 2009)。其次，在必要的区域，如土壤贫瘠区域，土壤改良措施也同样重要，包括添加有机肥料和土壤改良剂，这些措施可改善土壤的物理和化学性质，提高其肥力和保水能力。目前已有相关学者从事土壤理化性质

恢复技术修复受损土壤、重建湿地生物多样性的研究(张明亮, 2022)。再次, 植被恢复是该策略的关键环节, 通过种植耐盐植物如芦苇和香蒲(*Typha orientalis*)进行初步的植被建设, 随着土壤盐度的下降, 逐步引入更多种类的淡水湿地植物。

针对互花米草除治后无法自然恢复的滩涂区域, 采用人为辅助种植的方式修复盐沼植被。植物选择应优先考虑乡土植物, 综合评估植物的耐盐能力、适宜潮滩和底质类型等现状自然条件确定恢复目标物种(张明亮, 2022)。在江苏盐城湿地国家级自然保护区的射阳一号水库和响水陈家港水库, 采用类似的策略成功地恢复了大片淡水湿地, 修复后场地土壤盐度显著降低, 生物多样性得到有效提升(张轩波, 2018; 戈萍燕, 2021)。

(2) 高潮带的围堰水淹与开敞水面建设

在高潮带采取围堰水淹与开敞水面建设策略。互花米草作为初级生产者被除治后, 需选取替代的盐沼植物提供初级生产力, 以支撑整个生态系统的运行并抑制互花米草的入侵(何丛颖, 2023)。首先, 筑围堰封闭待修复区域, 这一举措主要是为了控制水位, 彻底消除互花米草。其次, 通过长期水淹, 促进了水下生态系统的自然恢复。目前, 在江苏盐城湿地国家级自然保护区互花米草除治工程中, 围淹区域已出现芦苇、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、川蔓藻(*Ruppia maritima*)等大规模恢复的情况。再次, 在围堰区域内创设开敞水面, 逐步引入适宜的水生植物, 并设置人工栖息地, 为水鸟等动物提供必要的生存条件和食

物来源。该方法已在浙江舟山的蚂蚁岛成功实践，通过水淹处理不仅彻底根除了互花米草，同时也大幅增加了鸟类的数量和多样性，显著改善了地区滩涂的生境（赵久龙, 2024）。

另外，围堰措施可能受围填海管控影响，存在政策上的冲突，但实践证明，互花米草除治后，围堰水淹是最佳恢复草滩植被的策略，因此，本文建议国家及地方在围填海管控政策调整中为生态修复提供独立审核通道，为该措施的实施提供政策保障。

（3）中低潮带的防浪堤建设与底栖动物恢复

在中低潮带采取防浪堤建设与底栖动物恢复策略。首先，防浪堤的建设旨在减少海浪对内陆的影响。互花米草除治后，滨海湿地水文连通性下降，进而引发湿地生态连通性受损、生态系统失衡和滩涂面积大幅缩减等一系列负面影响（张明亮, 2022）。其次，新建防浪堤可同时阻断互花米草种子和繁殖体的传播，可有效防止互花米草的再次入侵。其次，在互花米草除治过程中，深翻围淹等去除技术会对底栖动物群落造成较大影响（龚吕等, 2024），甚至直接导致大型底栖动物死亡（李佳骏, 2024），因此，除治完成后可通过定点播苗等措施，对当地底栖动物群落结构进行恢复。为增强土壤肥力，提高土壤质量，除治后开展土壤动物种群修复，在滩涂中引入沙蚕（*Nereis succinea*）、蚯蚓等优势种底栖动物、耐盐土壤微生物，恢复滩涂湿地的土壤动物多样性。通过人工引入本地适应性强的底栖生物，如泥螺（*Bullacta exarata*）和文蛤（*Meretrix meretrix*）等，能有效改善水底的生态环境，并为其他水生生物提供食物源（冷卓

字, 2023)。例如, 在广东省珠江口的万山群岛, 通过防浪堤的建设与底栖动物的人工恢复, 底栖动物群落的多样性和密度均有显著提升, 有效提升了整个区域的生态环境质量 (赵孜苗, 2024)。

参考文献:

陈中义, 付萃长, 王海毅, 等. 2005. 互花米草入侵东滩盐沼对大型底栖无脊椎动物群落的影响[J]. 湿地科学, 3(1): 1-7.

丁文慧, 姜俊彦, 李秀珍, 等. 2015. 崇明东滩南部盐沼植被空间分布及影响因素分析[J]. 植物生态学报, 39(7): 704-716.

冯翠翠, 龚语嫣, 叶观琼, 等. 2024. 全球海岸带国家蓝碳资源价值与类型研究[J]. 应用海洋学学报, 43(1): 1-11.

戈萍燕, 杨棠武, 张鹏, 等. 2021. 基于鸟类栖息需求的盐城滨海湿地生态修复工程: 以陈家港水库生态修复工程为例[J]. 湿地科学与管理, 17(4): 33-36.

葛安定. 2024. 互花米草侵入滩涂生态修复路径探索[J]. 港口航道与近海工程, 61(3): 146-150.

龚吕, 胡阳, 李贲, 等. 2024. 互花米草治理工程对大型底栖动物群落结构的影响: 以上海南汇边滩为例[J]. 生态学杂志, 43(9): 2892-2900.

江旷, 陈小南, 鲍毅新, 等. 2016. 互花米草入侵对大型底栖动物群落垂直结构的影响[J]. 生态学报, 36(2): 535-544.

冷卓宇. 2023. 沿海城市河流底栖生物和微生物群落结构特性研究[D]. 烟台: 烟台大学.

李佳骏, 金双, 李汝佳, 等. 2024. 刈割+翻耕治理互花米草后滦南湿地大型底栖动物群落结构变化特征[J]. 湿地科学, 22(3): 349-358.

林秋莲, 顾肖璇, 陈昕韡, 等. 2020. 红树植物秋茄替代互花米草的生态修复评估——以浙江温州为例[J]. 生态学杂志, 39(6): 1761-1768.

蒙宽宏, 何丛颖, 刘奎, 等. 2023. 象山港互花米草治理与长效管控机制研究[J]. 林业科技, 48(1): 20-24.

汤臣栋. 2016. 上海崇明东滩互花米草生态控制与鸟类栖息地优化工程[J]. 湿地科学与管理, 12(3): 4-8.

唐廷贵, 张万钧. 2003. 论中国海岸带大米草生态工程效益与“生态入侵”[J]. 中国工程科学, 5(3): 15-20.

王卿, 安树青, 马志军, 等. 2006. 入侵植物互花米草——生物学、生态学及管理[J]. 植物分类学报(5): 559-588.

王腾, 何彦龙, 赵丽侠, 等. 2022. 我国海岸带湿地互花米草治理现状与对策建议[J]. 湿地科学与管理, 18(6): 81-85.

颜宁, 刘苏慧, 申发, 等. 2024. 干燥方式对互花米草植物盐提取率及品质特性的影响[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 40(3): 235-241.

袁红伟, 李守中, 郑怀舟, 等. 2009. 外来种互花米草对中国海滨湿地生态系统的影响评价及对策[J]. 海洋通报, 28(6): 122-128.

张明亮. 2022. 滨海盐沼湿地退化机制及生态修复技术研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 37(4): 539-549.

张轩波,杨棠武,杨焯,等. 2018. 江苏盐城射阳盐场 1 号水库生态修复工程[J]. 湿地科学与管理,14(1):4-6,10.

赵彩云,柳晓燕,白加德,等. 2014. 广西北海西村港互花米草对红树林湿地大型底栖动物群落的影响[J]. 生物多样性,22(5):630-639.

赵久龙,陈圣炜. 2024. “护堤能手”缘何成“海滩霸主” [EB/OL]. 新华每日电 (6). (2024-01-04) [2024-07-12]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1787147704615163409&wfr=spider&for=pc>.

赵阳. 2023. 互花米草耐盐关键功能基因及其耐盐机制研究[D]. 青岛:自然资源部第一海洋研究所.

赵孜苗,李金雄,黄慧峰,等. 2024. 珠江口万山群岛珊瑚生态多样性调查[J]. 环境生态学,6(4):143-150.

朱晓泾. 2019. 生态治理后互花米草二次入侵的风险评估研究[D]. 上海:华东师范大学.

Chen Z,Li B,Zhong Y,et al. 2004. Local competitive effects of introduced *Spartina alterniflora* on *Scirpus mariqueter* at Dongtan of Chongming Island, the Yangtze River estuary and their potential ecological consequences[J]. *Hydrobiologia*,528(1-3):99-106.

Ge B, Jiang S, Liu Q N, et al. 2019. Density, but not distribution pattern of *Assiminea latericea* varies on tidal flats with smooth cordgrass *Spartina alterniflora* invasion stage[J]. *Regional Studies in Marine Science*,27(C):100528-100528.

Li,B. 2009. *Spartina alterniflora* invasions in the yangtze river estuary, china:an overview of current status and ecosystem effects[J]. *Ecological Engineering*,35(4):511-520.

Pomeroy L R,Wiegert R G. 1984. The ecology of a salt marsh[J]. *Journal of Ecology*,72(1):361-362.

Zhang G,Bai J,Jia J,et al. 2019. Shifts of soil microbial community composition along a short-term invasion chronosequence of *Spartina alterniflora* in a Chinese estuary-ScienceDirect[J]. *Science of The Total Environment*,657:222-233.

6、修复措施

(1) 水文水系改善

互花米草治理后,水文水系的正常运行是恢复湿地生态功能的基础,本章节对互花米草除治后的水文水系改善措施进行了规定。

1)互花米草的入侵常导致潮沟淤塞、滩涂缺水等水文过程受阻,影响湿地生态系统的水循环和生物栖息环境。因此,水文水系改善需要采取科学的修复措施,以确保湿地生态系统的长期健康与可持续性。

2) 健康的水文水系是湿地生态修复的核心要素之一。互花米草的生长扩张过程中，会淤塞潮沟、堵塞河道，破坏湿地的水文过程和水文连通性。为此，需要对水系进行清淤、疏通等措施，恢复滩涂和湿地的正常水流通道，确保水资源能够在湿地内部和周边区域之间自由流动，维持湿地的生态平衡和水文过程。

3) 水位调控对于湿地生态恢复至关重要，适宜的水位能保证湿地植物群落的正常生长，并为湿地动植物提供稳定的栖息地。在“刈割+淡水淹没”措施治理互花米草的区域，必须引入适量的淡水并进行水位调控，以防止互花米草的再生。

4) 湿地生态系统对水位变化非常敏感，水位的季节性变化直接影响湿地生物的栖息和觅食活动。特别是在鸟类栖息地和湿地动植物的繁殖期，适宜的水位能够提供稳定的生境条件。根据湿地的季节性水位需求，通过合理的水文调控，有助于恢复湿地的生物栖息地和觅食资源，同时保持生态系统的完整性。

(2) 地形改造

地形改造直接影响植被重建和动物栖息地的恢复。互花米草的扩散常导致滩涂地形的同质化和土壤结构的破坏，通过合理的地形地貌修复，可恢复湿地的自然地貌。本章节对互花米草除治后的地形地貌生态修复措施进行了规定。

1) 地形修复改造

对于野生动物保护区，地形多样性直接影响野生动物的生存环境，地形修复应特别考虑为动物提供多样化的栖息环境。多样化的栖息环

境能够促进湿地生物的生存和繁衍，恢复湿地的生态功能。对于有淡水供应条件的高潮带滩涂，通过塑造深水区、浅水区、浅滩和生态岛等多样化的水生生境，为湿地鸟类、鱼类、底栖生物等提供栖息与觅食场所。对于没有淡水供应条件的中潮带、高潮带滩涂，通过疏沟起垄等方式，创建退潮后积水的洼地，满足鸟类尤其是涉禽类的觅食需求。这些洼地能够在退潮后积水，提供食物资源。地形高程直接影响植物的生长条件，尤其是湿地植物的根系发展。通过合理的地形调整，优化土壤环境，促进植物群落恢复，同时避免对湿地生境造成干扰。对于中潮带和高潮带滩涂，如果地形高程不适宜植被恢复，应进行带状起垄和岛状整地等改造方式，采用就地取土进行挖填，满足植被生长需求。侵蚀型海岸因波浪和潮流的侵蚀作用导致湿地土壤流失，影响植物生长和栖息环境。通过设置防浪结构，可以有效减缓侵蚀，确保地形改造的稳定性，减少后续维护需求。

2) 基底生态修复

土壤结构直接影响植物生长，良好的土壤结构是植物扎根、吸水和吸收养分的基础。地形修复后，若基底土壤遭到破坏，需通过土壤改良措施来恢复基底生态功能。土壤的物理和化学性质直接影响湿地植物生长和生态功能。如果土壤结构破坏、板结、硬化，植物根系无法有效吸收水分和养分，阻碍植物群落恢复，则应通过旋耕、土壤晶化、添加土壤改良剂、局部换土等技术措施改良土壤，促进基底生态修复。

(3) 植物恢复

植物替代生态修复是湿地生态修复中的核心措施之一，旨在通过选择适宜的乡土植物替代入侵物种。互花米草治理后，滩涂和湿地生态系统可能出现植被空缺和生态失衡的情况，因此，通过适宜植物的替代种植，可有效恢复生态系统的结构与功能，提升生物多样性，重建植物群落。本章节对植物替代生态修复措施进行了规定。

1) 植物种类选择

优先选择乡土植物，合理搭配植物类型。乡土植物通常与当地生态系统的水文、气候、土壤等自然条件高度适应，能够更好地恢复原生湿地的生态功能，降低入侵风险，促进生物多样性并减少外来物种的负面影响。湿地植物的多样性和合理分布是保持生态系统健康的关键。通过合理搭配不同种类的植物，增强生态系统的稳定性，提升湿地生物的栖息地多样性。可选择的盐沼植物参照 DB32/T 5144；可选择的红树林植物参照 GB/T 44592；可选择的海草床植物参照 GB/T 41339.4。根据不同区域的盐度和水文条件，选择合适的植物进行修复，确保选植物种的科学性和适配性。

2) 植物种植技术

种子和幼苗的质量直接影响植物的存活率和生长速度。使用优质种子和苗木能够提高植物的生长速率和适应能力，确保湿地生态修复的效果。同时，选择适合的种植方式能够根据现场环境的不同要求，提高植物的存活率和生态修复的稳定性。

(4) 动物恢复

互花米草的扩散往往导致湿地生态系统的退化，不仅影响了植被，

还破坏了动物的栖息环境,尤其是底栖动物和鸟类的生存条件。因此,修复动物种群的多样性与数量,是恢复湿地生态系统完整性的重要环节。通过改善栖息地条件、引入或辅助野生动物的恢复,可以有效重建生态系统的功能。本章节对动物种群生态修复措施进行了规定。

1) 底栖动物种群修复

底栖动物是湿地生态系统的重要组成部分,参与土壤有机物分解、改善水质、增加土壤透气性,同时为湿地鸟类等动物提供食物来源。采用“刈割+淡水围淹”方式除治区域,对底栖动物群落影响较大,需通过人工干预、定点播种措施,结合潮汐自然恢复,推动底栖动物群落恢复。在野生动物类自然保护区的除治后区域,需根据保护动物的需求,适当投放底栖生物,恢复食物链,提高湿地生态系统的整体功能。

2) 土壤动物种群修复

土壤动物通过其生物活动改善土壤的透水性和通气性,并通过分解有机物增加土壤的养分含量,为植物根系提供更好的生长环境。对于位于野生动物保护区的中潮带和高潮带滩涂,需引入沙蚕等土壤动物或耐盐的土壤微生物改善土壤质量,为后续植物恢复和动物生境优化提供基础。

三、主要验证分析,技术经济论证,预期的经济效果

(一) 主要验证分析

案例 1: 射阳盐场一号水库湿地修复工程

1、主要验证过程

(1) 项目背景

射阳盐场 1 号水库位于江苏盐城国家级珍禽自然保护区缓冲区，占地面积 580 公顷，地理位置非常重要，是珍稀濒危鸟类栖息越冬的重要区域。项目区总面积约 8700 亩。因近海滩涂淤涨、引潮河淤塞、水库库底淤抬，于 2010 年前后无法引水而逐步干涸沙化，成了一个废弃水库，局部生态环境恶化，大部分地区丧失湿地功能。

(2) 项目内容

针对盐场 1 号水库土地旱化及土壤盐碱化、鸟类无法栖息等问题，项目秉承“基于自然的解决方案（NbS）”理念，对水库进行湿地恢复工程。通过对水库进行湿地恢复工程，包括引水补湿、地形改造、疏通水网水系、建设生态岛屿、营造栖息地植被、构建水生食物链，打造自然的生态环境，恢复成自然湿地。在恢复过程中，以上位规划为指导，重点恢复鸟类栖息地，通过针对性的地形塑造、植物选择、营造适合鸟类栖息的湿地微生境，供繁殖、越冬鸟类栖息，恢复项目区作为鸟类栖息地的生态功能。

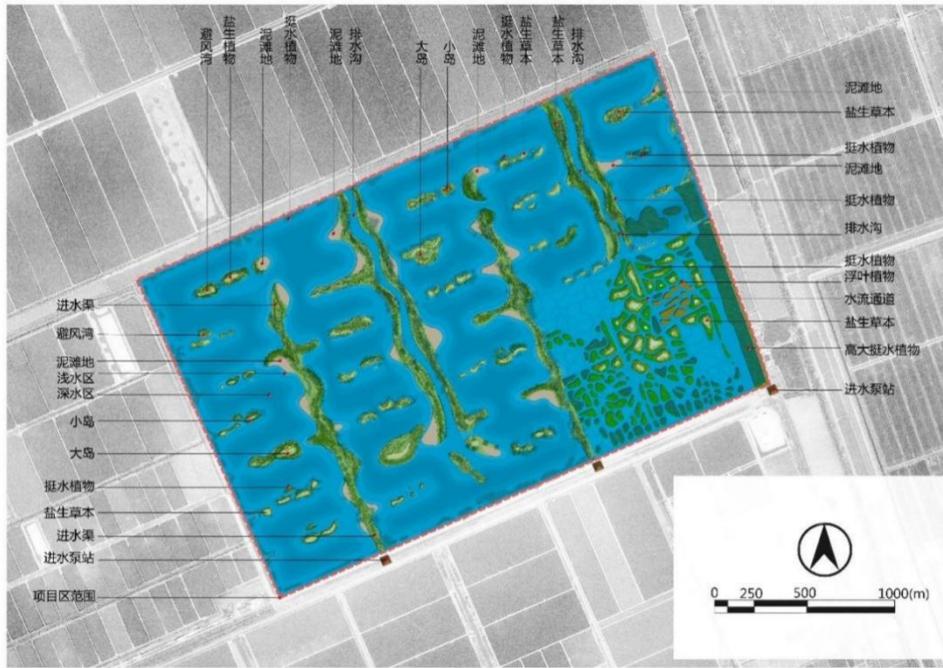


图 1 工程总体平面布局图

1) 地形改造工程

通过地形改造，构造鸟类栖息地，一是构建缓坡增加竖向生境多样性，同时增加可供鸟类栖息的面积；二是打通埝埂，制造洲、岛等，创造较小的半连续水面，创造类型丰富的鸟类栖息空间。

基于不同鸟类种群生境的需要设计不同的水深，较缓驳岸可保证各种生境水深的面积。在构建缓坡的同时，保证一定比例的敞水面区域，以利于鱼类栖息；洲、岛应有利于游禽休憩及避险，也是涉禽栖息中心区域。洲、岛等区域面积越大，越有利于食草鸟类生存，但面积过大不利于鱼类生存，也不利于食鱼鸟类栖息。此外，大的水面也会导致大风浪，侵蚀驳岸，破坏驳岸的稳定性，且过大的水面生境异质性较低，不利于生物多样性提高。地形改造包括进水渠和排水沟周边改造，挖低拓宽埝埂，深潭、浅水滩地和岛屿塑造等。

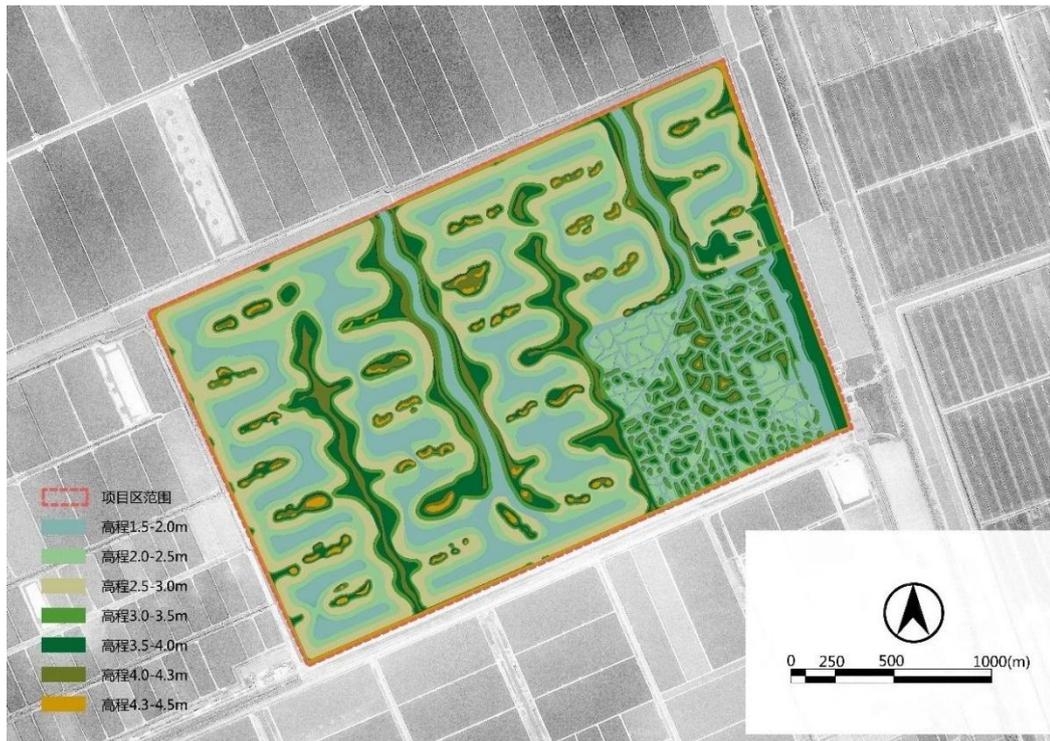


图 2 项目区改造后地形总体平面图

2) 栖息地植被恢复工程

A 典型生境植物配置

鸟类栖息地中，地表植物对鸟类栖息地影响重大，项目区大部分为裸露土壤，无覆盖物。植被种类少，主要有部分盐生植被，如碱蓬；水生植被，如芦苇；外来入侵种，如互花米草。项目区植物的缺失和种类的单一对鸟类栖息地的生境恢复是很大的制约因素。

项目因地制宜地选择和配置适生的植物种类，为鸟类栖息地的构建提供了重要依据。此外，工程区湿地生态恢复与湿地生态重构存在一定的制约因素（如土壤沙化、土壤有轻微盐碱化），则是通过引入淡水后解决。因此栖息地植物配置选择如下：

a) 盐生植物群落湿地

位于进水渠和排水沟两侧堤岸及涉禽栖息地水面以上区域。项目

区位于沿海地区，盐生植物群落是鸟类栖息地的重要组成部分，建立以碱蓬为主的盐生植物群落，同时搭配碱茅草、芒草、白茅等，为涉禽提供多样的栖息环境。

b) 草本沼泽湿地

位于涉禽栖息地水深 0-1 米区域。建群种分别选择香蒲、芦竹、水葱、旱伞草、蔗草、灯芯草等，种植水深 0.5 米以内；并选择浮叶植物荇菜等，种植水深 0.5-1 米。该区为相对闭合和稳定的环境，丰富的食物资源为水禽提供了良好的繁殖和栖息场所。

c) 芦苇沼泽湿地

位于进水渠和排水沟两侧低洼沼泽地，水深 0.5 米以上区域，为芦苇生长提供适宜生境。建群种芦苇，多年生高大禾草，地下根茎相当发达，且蔓延力强，常形成单种群落。茂密的芦苇荡为鸟类提供了庇护所和栖息地，丰富的生物多样性也为游禽、涉禽提供食物，芦苇地下茎的鲜嫩部分为雁鸭类所喜爱。

d) 浅滩湿地

项目区游禽栖息地生态岛，位于水面以上 0.5 米的区域。以苔草及湿生禾本科植物占优势，很多植物是根状茎，常聚集成大丛。主要的植物包括苔草、早熟禾、狗牙根等。浅滩是水禽觅食的重要组成部分，不仅为鸟类提供食物，同时还为鸟类提供栖息地和庇护所。

e) 开敞水面

位于项目区水深 1.5 米的区域。种植沉水植物，如金鱼藻、菹草、眼子菜等，作为建群种，在湿地的静水区进行沉水植被的恢复。该区

是水禽栖息地的重要组成部分，是游禽觅食、活动的主要场所。沉水植物不仅能为游禽提供食物，也能消耗水中营养物质，起到水质净化作用，提高水体透明度。

f) 深水区

位于开敞水面周边及中间水深 2.7 米区域。不种任何植物。为鱼类避险区。

B 植被恢复

在项目区根据鸟类栖息不同生境和水深，恢复陆生盐地草本和水生植物。同时，适当保留原有泥滩，不种植物，供不同鸟类栖息。

湿地植物是鸟类栖息地生境的重要组成部分，同时，对水质净化起着重要的作用。然而，各类湿地植物生境对水深的要求不同，因此，构建不同水深的湿地类型形成不同种类的湿地植物生境具有重要的意义。

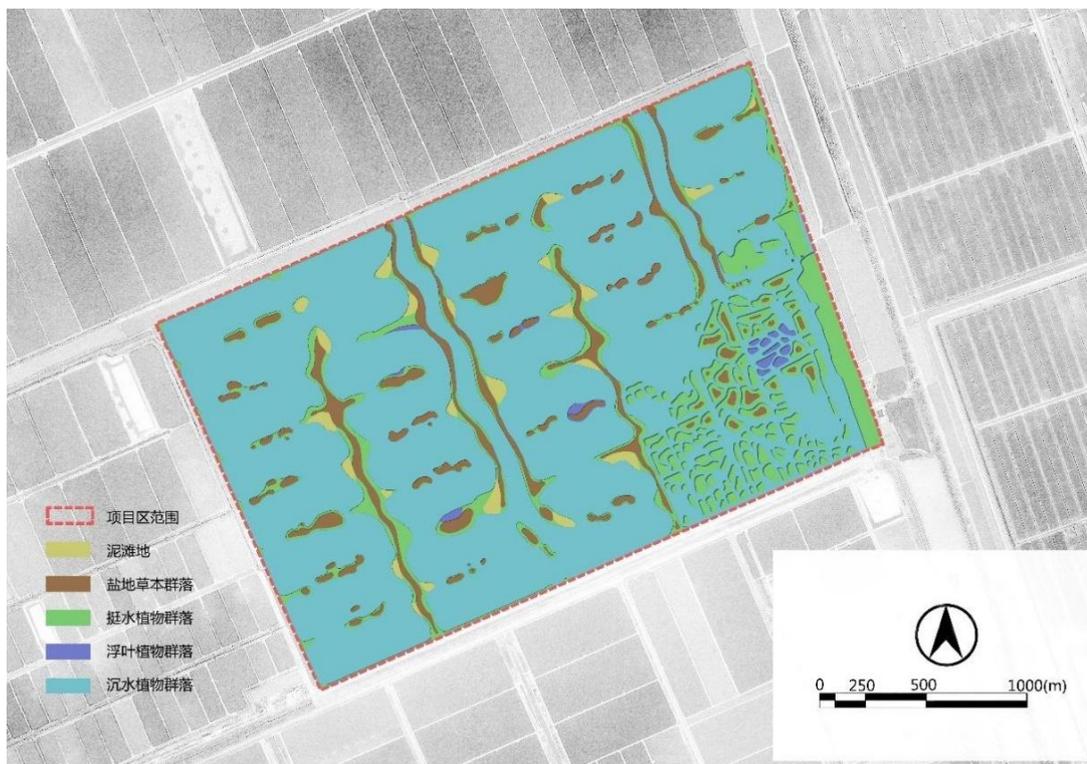


图 3 项目区植被恢复总平面图

3) 鱼类及底栖动物恢复工程

植物的配置和恢复完成后,进行水生动物的引入和恢复。项目区中要恢复的鸟类中,大部分鸟类捕食鱼类及底栖动物,因此,要针对性地放养一些底栖动物及鱼类等。放养季节应在鸟类数量较少的季节,防止被鸟类捕食。鱼类中,主要放养一些体型较小的鱼类,因为鸟类大部分捕食小型鱼类,大型鱼类难以捕捉。

项目区由于水质为半咸水,因此,恢复的鸟类及底栖动物都应根据项目区水质特征进行筛选。

A 鱼类恢复工程

项目区投放的鱼类中,主要投放一些体型较小的鱼类,自然生长繁殖后,可供食鱼性的鸟类食用。项目选择放养部分鲤科鱼类(油餐、中华鲮、高体鲮、鲫鱼等)、鳅科鱼类(鳅、大鳞副泥鳅等)、虾虎鱼科鱼类(髯须虾虎鱼、纹须虾虎鱼、斑尾刺虾虎鱼、长体虾虎鱼、红狼牙虾虎鱼等)、弹涂鱼科(大弹涂鱼、弹涂鱼等)以及少量大型鱼类幼苗。

B 底栖动物恢复工程

通过放养底栖生物,对项目区水域内水生生物进行恢复,可为鸟类提供了丰富的食物。

在项目区域投放泥螺、中华拟蟹守螺、珠带拟蟹守螺、绯拟沼螺等在底质面上生存的软体动物,以及缢蛏、无齿相手蟹、天津厚蟹、谭氏泥蟹、疣吻沙蚕等在底质面下生存的软体动物、节肢动物和环节

动物。

4) 水文调控

通过计算季节性需求水位，利用区域内进水渠、排水沟及水利设施，调控满足鸟类不同季节栖息地水位需求，水文调控措施可保证水库半咸水生境，同时有效解决大米草的入侵问题。

A 常水位。大部分区域被水淹没，仅保留生态岛及进水渠、排水沟两侧堤岸，整个区域水系连通性强。在一年中大部分时间保持常水位上下波动，可满足鸟类栖息地的生境要求。

B 高水位。在一年中仅夏季汛期可能达到该水位。该水位下，水库大部分区域被水淹没，仅留生态岛较高区域，整个区域水系连通性强。

C 低水位。区域内水系完全连通，是鸟类栖息地的另一种生境。此时，陆域面积增大，露出大面积浅滩，增加了涉禽的栖息地面积。

在湿地生态恢复的过程中，以上位规划为指导，通过工程措施，最终恢复水库作为鸟类栖息地的生态功能。

5) 修复工程总结

A 本项目实施可从工程建设、投资模式、协调模式上为未来滨海湿地修复提供很好参考，尤其是鸟类栖息地的修复。

B 恢复后的海滨湿地可发挥调节气候、涵蓄水源、净化污染、减少侵蚀等生态服务功能，降低自然灾害的发生频率，保障海岸带居民的正常生产、生活。

C 水库周边大部分地区为鱼塘，对原有湿地动植物资源保护较少。

将水库恢复成近自然湿地，可作为优质动植物的资源种质库，为可持续发展提供生物种质资源。

D 水库所处的“江苏盐城国家级珍禽自然保护区”于 1992 年 11 月被联合国教科文组织人与生物圈委员会协调理事会批准为生物圈保护区，2002 年 1 月被列入“拉姆萨尔国际重要湿地”名录。对射阳盐场 1 号水库进行湿地恢复，是我国履行国际公约的实际行动。

2、主要验证结论

互花米草除治完成后，通过引入淡水，成功降低了该区域的土壤盐度。随着盐度的降低，芦苇成为该区域的主要植物物种，取代了互花米草。同时，在浅水区域，成功恢复了金鱼藻和川蔓藻等沉水植物，为鱼虾栖息、产卵提供了重要的场所。这一综合治理手段有效防止了互花米草的再生，并提升了区域的生态稳定性。此外，经过湿地恢复后，项目区的底栖动物和鱼类数量显著增加，为鸟类提供了丰富的食物资源。结合季节性的水位调控，该区域的鸟类数量大幅上升，已成为鸟类栖息和觅食的热点区域之一。通过地形塑造、植被选择及水位调控，1 号水库区域的生态功能得到全面恢复，不仅抑制了互花米草的复发，还为鱼类和鸟类提供了理想的栖息场所。



图 4 射阳盐场 1 号水库现状照片

这一成功案例表明，在有条件的区域，通过提升水位、降低土壤盐度等措施，可以有效抑制互花米草的再生，同时显著改善湿地生态，为鸟类、鱼类等物种创造更好的生存环境。这种恢复方式在互花米草除治后湿地修复中具有重要的推广价值。

案例 2：江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区项目

1、主要验证过程

(1) 项目内容

江苏盐城国家级珍禽自然保护区海岸带生态退化严重，滨海生物多样性降低，项目针对江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区互花米草、芦苇无序扩张和湿地旱化趋势明显等问题进行修复设计。湿地恢复与重建区面积 540 公顷，主要是芦苇荡、滩地、坑塘、林地等，其中芦苇荡 200 公顷，约占 37.04%；滩地 134.6 公顷，约占 24.93%；坑塘 130.3 公顷，约占 24.13%；林地 32 公顷，约占 5.93%；其他类型 43.1 公顷，约占 7.97%。

湿地恢复与重建工程包括栖息地恢复工程区（460 公顷）和滨海湿地适应性恢复研究区（80 公顷）。根据地形和湿地管理需求，工程区划分为四个独立的水文单元，各水文单元根据地形塑造和植被种植的差异体现出不同的湿地功能。其中，栖息地恢复工程区包括蓄水储存区 S1（100 公顷）、水质净化区 S2（80 公顷）和珍禽栖息区 S3（280 公顷）；滨海湿地适应性恢复研究区（80 公顷）也作为一个独立的水文单元 S4。

1) 栖息地恢复工程

生物栖息地恢复工程主要包括地形改造、植被恢复和自然饵料培育。

A 地形改造工程

围堤设计长度为 1608 米，顶高程 3.9 米，顶宽 1.5 米，坡降比为 1:5，现状地形高程 2.6 米。

深水区设计高程 2.22 米，水深 1.0~1.5 米，从中心湖向四周呈放射状，浅水区设计高程 2.80 米，水深 0.5~1.0 米；光滩设计高程 3.3 米；草甸设计高程 3.5 米。而项目区现状地形高程 2.6 米，设计常水位 3.3 米，芦苇荡、滨水林地维持现有高程。

B 植被恢复工程

栖息地植被群落恢复主要根据不同的鸟类栖息地类型进行恢复，即对光滩、草甸、芦苇荡、滨水林地、浅淡水区和深水区生境进行湿地植被的恢复与重建。

栖息地植被群落恢复主要选择耐盐碱、耐水湿，适应性强的植物：

乔木类、灌木类、草本类以及水生湿地植物类。

针对不同的鸟类栖息地类型，其具体的植被恢复方案及工程量如下所示：

光滩生境是最高水位与最低水位之间的区域，坡度在 10%左右，其主要为鸟类提供藻类、贝类和甲壳类等食物，所以光滩生境中是不种植湿地植物的，就是一片裸露的泥滩。

草甸生境是高出常水位 20~30 厘米的区域，采取自然恢复，并进行人工引种麦冬、地肤、麦苔草等草本植物；吸引鸟类筑巢。

芦苇荡生境是依据现有的芦苇植物群落改造而成的，通过人为的收割形成大小不一的斑块，从而为鸟类提供了庇护所、栖息地和筑巢场所。

滨水林地生境是在现有的槐树林地基础上，进行适度间伐后，结合林下现有茅草等植物，在高大的乔木下引种低矮的草本植物，形成高低双层的植被结构，为鸟类和部分水禽的觅食、筑巢提供必需的条件。草本植物主要引种紫花目宿、地肤等植物。

浅淡水生境是水深 0.5 米~1.0 米的区域，是泥滩和草甸围合形成的几片面积不等的浅淡水区，并种植一定量的芦苇进行遮挡，相对闭合和稳定的环境，丰富的食物资源，为涉禽提供了良好的繁殖和栖息场所，总面积 127.4 万平方米。浅淡水区主要种植芦苇、芦竹、花叶芦竹、香蒲等为主的挺水植物。

深水生境是水深 1.0~1.5 米的区域，其主要是为游禽提供觅食、活动的场所。由于水较深，在本区域主要种植以野菱、睡莲为主的浮

叶植物和以轮叶黑藻、苦草、菹草为主的沉水植物；浮叶植物群落半径在 4.0~6.0 米。深水区总面积为 103.9 万平方米，以深水区 20% 的面积为种植区域，则浮叶植物和沉水植物的种植面积均为 20.78 万平方米。

C 自然饵料培育

在湿地构建、植物种植完成后，进行鱼螺蚬类动物的放养放流，选择 50-100 克左右的鱼苗为宜。

2) 滨海湿地适应性恢复研究区工程

A 防护堤的构筑

防护堤设计长度为 1778 米，顶高程 3.9 米，顶宽 1.5 米，坡降比为 1:5。

B 湿地地形塑造

深水区设计高程 2.22 米，水深 1.0-1.5 米，浅水区设计高程 2.8 米，水深 0.5-1 米；光滩设计高程 3.3 米；草甸设计高程 3.5 米。项目区现状地形高程 2.6 米，设计常水位 3.3 米，芦苇荡、滨水林地维持现有高程。

C 防护堤植物配置

主要种植刺槐、海滨木槿为主的乔灌木，缓坡坡面种植以芦苇为主的挺水植物。其中乔灌木种植面积为 0.267 万平方米，挺水植物种植面积 1.179 万平方米。

D 湿地研究区植物配置

湿地研究区的植被按不同生境种植：光滩维持裸露状态；盐生草

甸生境主要种植碱蓬、盐地碱蓬等为主的草本植物。芦苇荡主要种植芦苇，种植面积为 0.78 万平方米。

滨水林地主要种植刺槐、海滨木槿，草本植物主要种植紫花目宿、地肤等植物，种植总面积为 1.09 万平方米。

浅水区种植盐角草等为主的本土盐生植物，种植面积占浅水区的 60%。

3) 引水补湿工程

A 引水补湿区现状

引水补湿区面积为 1630 公顷，位于核心区，紧邻湿地恢复与重建项目区东南侧。由于珍禽保护区是淤长型滩涂，潮汐带来的泥沙将保护区的地面高程抬高，同时海堤的存在阻止内陆淡水的进入，由此造成保护区中的部分土地旱化，生态系统逐渐退化。该区域旱化滩地约 638.5 公顷，占 39.17%；芦苇 644.4 公顷，占 39.53%；坑塘 284.4 公顷，占 17.45%；道路堤坝 62.7 公顷，占 3.85%。实施区现状见下表。

表 1 引水补湿区现状情况表

类型	面积（公顷）	百分比（%）
坑塘	284.4	17.45
滩地	638.5	39.17
芦苇	644.4	39.53
道路	62.7	3.85
合计	1630	100.0

B 工程措施

引水补湿工程通过将河流中的淡水引入旱化的土地，补充湿地生态系统的水分，然后通过本地植被的少量补植，使其逐渐自然恢复成

原有的湿地生态系统，恢复原始的湿地景观。本工程主要包括围堤构筑、水系建设、水流控制和植被恢复。

a) 围堤构筑

围堤的构筑设计长度为 1608 米，顶高 3.3 米，顶宽 3.0 米，坡降比为 1:5。

b) 水系建设

水系建设主要是引水沟渠的挖掘和水下暗堰的建设，引水沟渠分两种规格：引水渠顶宽 10 米，挖深 1.8 米，坡降比 1:1.5。土方用于围堤构筑和堆于引水沟渠两侧，巩固沟渠护坡。

c) 水流控制

规划在本工程范围边界设置 Z6、Z7 两个口门，每个口门均设单向进水闸控制，以便淡水能够引入工程区。

泵站由水泵、机电设备及配套建筑物组成的提水设施，采用太阳能—普通电力混合能源泵站。

d) 植被恢复

本工程植物恢复包括围堤和区中植被恢复两部分。其中，围堤植被以芦苇为主，总面积为 1.8 万平方米，按种植密度 4 株/平方米计算，共计种植芦苇 7.2 万株。根据工程区现有的地形条件，在低洼多水处补植少量以芦苇、香蒲为主的本土挺水植物。工程区总面积为 1630 公顷，以其 10% 的面积为补植面积。

4) 退渔还湿工程

A 退渔还湿区现状

退渔还湿工程实施总面积为 1435 公顷，位于核心区西南侧。由于目前的渔业生产使用的饲料等对水质污染较重，通过将鱼塘退出，恢复成原始湿地，减少渔业生产的污染，为保护区中的珍禽提供更多的栖息环境。

根据遥感数据解译和现场调查，目前该区域主要是养殖水面，约 1433.30 公顷，占 99.88%；养殖水面之间的塘埂，约 1.36 公顷，占 0.1%；以及水面少量分布的芦苇，约 0.34 公顷，仅占 0.02%。退渔还湿区现状见下表。

表 2 退渔还湿区现状情况表

类型	面积（公顷）	百分比（%）
堤坝	1.36	0.10
养殖鱼塘	1433.30	99.88
芦苇	0.34	0.02
合计	1435.0	100.0

B 工程措施

根据现有的地形，利用鱼塘的塘埂，将本工程区划分为 4 个独立的水文单元，清除各水文单元中的多余塘埂，利用塘埂土方在水文单元中堆砌岛屿，为珍禽塑造不同的地形；同时，在岛屿和浅滩配置不同的植被，使其形成多种多样的生境类型，供不同的珍禽栖息。本工程包括湿地地形的塑造、湿地植被的配置、水系建设和水流控制四部分。

C 地形塑造

清除塘埂总长度为 18905 米（T1 区 2987 米，T2 区 3133 米，T3 区 6745 米，T4 区 6040 米），顶高程为 3.8 米，顶宽 3 米，坡降比

1:1, 现状水底高程为 2.02 米。

工程区中岛屿的塑造利用清除塘埂的土方, 现状水底高程 2.02 米, 水面高程为 2.39 米; 设计湿地的水底和水面高程保持不变, 岛屿高程为 2.72 米, 坡降比为 1:5。

D 植被配置

湿地植被的配置包括岛屿上的植被恢复和水中的植物恢复; 岛屿上的植被采用海滨木槿为主的灌木和麦冬为主的草本植物, 总面积为 15.7 公顷; 本工程区的水深只有 37 厘米, 规划种植以芦苇、香蒲为主的挺水植物, 但不进行密集种植, 只是种植少量的植物, 让其自然恢复, 工程区总面积为 1400 公顷, 以其 15% 的面积为种植面积。

E 水系建设

引水沟渠顶宽 10 米, 挖深 1.8 米, 坡降比 1:1.5, 总长度为 1489 米。土方堆于引水沟渠两侧, 用于巩固沟渠护坡。

F 水流控制

在本工程范围边界设置 Z8、Z9 两个口门, 每个口门均设单向进水闸控制, 在 Z9 口门设置单向进水泵站 B3, 装机流量 2.0 立方米/秒, 以使淡水能够引入工程区。同时, 结合现有的地形, 为使 4 个独立水文单元的水流有所沟通, 需要建设 10 个涵洞 (J17-J26)。泵站由水泵、机电设备及配套建筑物组成的提水设施, 采用太阳能—普通电力混合能源泵站。

2、主要验证结论

珍禽保护区累计退出种植养殖面积 24.9 万亩、拆除建筑面积

28.8 万平方米，有效恢复珍禽保护区内 7 万多亩湿地。本项目的实施促进了湿地功能的恢复与重建，珍禽保护区丹顶鹤、震旦鸦雀等珍稀鸟类的栖息数量，比建区时增加了数十倍。至 2017 年，盐城珍禽湿地保护项目干预区内的湿地退化率由 2010 年的 2.48% 下降到 1.24%。盐城湿地保护项目分别针对核心区、干预区和缓冲区等区域实施了差异化保护和恢复措施，进一步改善了湿地的水环境，控制了互花米草等外来物种的入侵，改善了盐城滨海湿地的生态环境，有效维护了广袤的沿海滩涂、两个国家级自然保护区和沿海万亩林场等无与伦比的大自然景观，为湿地内生活的丹顶鹤、麋鹿及其他鸟类等生物提供更好的迁徙环境和栖息环境。截至 2018 年，湿地保护区内国家一级重点保护野生动物有丹顶鹤、白头鹤、白鹤、东方白鹳、中华鲟、麋鹿等，由原来的 12 种增加到 14 种，二级国家重点保护野生动物达到了 83 种。

通过对江苏省滨海湿地互花米草除治后生态修复项目的深入实践与验证，本标准中的生态修复方法展现了良好的适用性和有效性。实践结果表明，本标准中的修复技术能够有效应对互花米草除治后栖息地环境恶化、生物多样性下降等生态问题，满足滨海湿地在不同情景下的修复需求。同时，这些项目的数据和经验为标准编制提供了科学依据，进一步验证了技术方法的可行性与适应性，为沿海地区的滨海湿地治理与生态保护提供了强有力的技术支撑。

（二）技术经济论证

1、技术可行性分析

本项目采用的修复技术基于多年生态修复实践和科研成果，已在多个国内外湿地修复案例中得到应用和验证。技术方案综合了物理修复、生物修复和生态恢复等多种方法，能够针对不同湿地类型的特点和互花米草的生物学特性，灵活调整修复策略。试点实验表明，本方案在控制互花米草扩散、恢复土壤质量、改善水体生态等方面效果显著，修复过程中没有出现技术难以克服的障碍。因此，所选技术路径具备高度的可行性，并能在实践中有效实施。

2、经济合理性分析

从经济角度看，互花米草除治后的生态修复技术在短期内的直接投入主要包括人工费用、设备投入、修复材料和生态监测等方面的成本。根据试点项目的实施数据，预计每单位修复面积的修复成本低于传统治理方法的成本，并且在修复周期结束后，生态系统的自我恢复能力大幅提高，能够减少未来的维护和治理费用。此外，修复后的生态环境将显著提升水资源管理的效率，改善水质，降低因生态退化引发的洪水、沙尘暴等灾害发生概率，从而在长期内节约因自然灾害造成的损失。

(三) 预期的经济效果

通过实施科学的生态修复措施，不仅能够恢复湿地生态系统的功能，还将带来显著的经济和社会效益。生态修复的首要效益是生态环境的恢复。通过有效治理互花米草，湿地的生物多样性将得到显著提升，恢复区域的水质、土壤质量、植物种群结构等将逐步趋于平衡和稳定。这不仅能够改善区域内动植物的栖息环境，还能增强湿地对水

土流失的控制能力,提升水源涵养和气候调节功能。从经济角度来看,修复后的湿地能够提供更优质的生态服务,如水质净化、碳储存等,带来直接的经济收益。随着生态环境的逐步恢复,水域渔业、生态旅游等产业将获得发展机会,促进地方经济多元化增长。此外,修复工作的实施将推动社会对生态保护的关注,提升公众环保意识,促进全社会对生态修复技术的认同与参与。

四、标准涉及的相关知识产权说明

本标准不涉及任何知识产权问题。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明

本标准未引用国际标准,技术指标与操作流程基于我国滨海湿地生态特征及实践制定,达到国内领先水平。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

无。

七、其他应予说明的事项

无。