

附件 1

中国造船工程学会标准制修订项目立项申请书

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |                                                                                                              |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 项目名称（中文）          | 海草种子胶种植水下机器人                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |                                                                                                              |
| 项目名称（英文）          | Seagrass Seed-Adhesive Planting Underwater Robot                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |                                                                                                              |
| 制修订               | <input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 被修订标准号 |                                                                                                              |
| 被修订标准名称           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 编制周期   | <input checked="" type="checkbox"/> 12 个月 <input type="checkbox"/> 18 个月<br><input type="checkbox"/> 其他_____ |
| 起草单位<br>（不少于 3 家） | 中国船舶集团环境发展有限公司、中国海洋大学、国家海洋环境监测中心                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |                                                                                                              |
| 联系人               | 张桢                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 地址     | 北京市丰台区西四环中路 78 号首汇健康园 6 号楼                                                                                   |
| 电话                | 17332180420                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 邮箱     | 17332180420@163.com                                                                                          |
| 技术与市场发展背景         | <p>海草床承载着多重关键生态服务功能，包括为海洋生物提供栖息庇护、净化水质及维持近岸生态平衡等。同时，作为地球上重要的碳汇生态系统之一，海草床虽仅占海洋表面积的 0.2%，却贡献了全球海洋固碳总量的 10% ~ 15%。然而，受人类活动持续干扰与全球气候变化叠加影响，中国超过 80%的海草床已完全退化。因此，亟需开展海草床生态系统修复工作。</p> <p>针对这一紧迫需求，国内政策与市场形成双重驱动。国家持续加码海洋生态修复，出台多项规范与工程扶持政策，将海草床蓝碳生态系统的修复提升至国家战略层面。国内多地区打通蓝碳交易路径，促使了修复成果转化为碳汇资产，反向激活市场需求。</p> <p>国内海草床生态修复技术主要包括海草植株移植技术、种子播种技术和综合修复技术，其中海草移栽与种子播种是恢复海草床面积的关键技术手段。海草种子播种技术是通过采集成熟种子并进行储存、萌发处理或育苗后，将种子直接播撒、定点埋播，或借助种子袋、播种装置等投放至目标海域。与植株移植相比，种子播种对天然海草床的扰动较小，运输与投放更加便捷，具有覆盖范围广、规模化实施潜力大和单位面积成本相对较低等优势，尤其适用于大面积退化海草床的恢复。然而，海草种子的播种效果易受水动力、底质稳定</p> |        |                                                                                                              |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | <p>性、种子流失及幼苗早期死亡等因素影响，因而对播种技术以及管护提出了更高的要求。</p> <p>海草种子载体技术作为海草种子播种的技术手段之一，通过将种子包埋、固定或定点投放于适宜底质和深度，为种子提供物理保护和相对稳定的萌发微环境，从而提高种子在目标修复区域内的留存率及播种位置的可控性。目前，该类技术主要包括可降解种子袋、种子带或种子绳、种子球、可降解播种容器及注入式载体播种等形式。</p> <p>海草种植技术从人工低潮种植迭代至种子载体介质的机械化种植，有效解决了人工作业窗口短、成本高、风险大、效率低等问题。此外，水下机器人产业正朝着标准化、智能化、自主化升级，市场规模高速增长，为海草种植专用装备迭代提供了技术支撑与行业趋势指引。然而，当前专用种植设备缺乏统一标准、性能参差，例如地形适配性差、易故障，极大制约了规模化应用。为此，亟需研制一种新型海草种植机器人，其集成履带行走、精准电动注胶、双重通信等智能技术，能够良好适配复杂水下滩涂环境，从而显著提高种植效率及种子的留存率与存活率，代表行业技术前沿。</p> |
| 标准必要性和可行性 | <p><b>一、标准制定的必要性</b></p> <p>随着海洋生态保护修复、蓝碳生态系统建设及海岸带综合治理工作的持续推进，海草床修复项目逐渐增多，对低扰动、低成本和规模化修复技术提出了更高要求。专门适配于海草种子胶的水下种植机器人的应用利于调控播种密度、播种深度和空间分布，是突破海草种子规模化修复瓶颈的重要技术支撑。因此，有必要通过标准化方式明确装备的结构、性能和使用要求，提高该技术在真实海域中的可靠性。</p> <p>当前，我国海草种植主要依赖人工播种和植株移植等方式。该作业模式通常需选择潮位较低时段进行，存在作业窗口期短、劳动强度大、人员安全风险高及人工成本高等固有局限。此外，受制于作业可达性，离岸较远区域难以有效开展人工播种作业。与此同时，当前简易机械播种设备在浅海滩涂环境中的适用性严重不足。其轮式底盘</p>                                                                                                    |

在松软底质上通行困难，陷车与侧翻风险高。现有装备的种植系统敞开式设计导致泥沙侵入频繁，作业稳定性差，关键参数（播种深度、出胶量）无法精确调控。同时，装备防腐与水下通信能力的欠缺，进一步制约了其在多变水深条件下的可靠运行。

现行标准体系中，海草种植机器人相关技术标准尚属空白，尤其是海草种子胶种植机器人的设计、制造、试验及验收等环节，缺乏统一的技术依据与规范。本标准涉及的海草种子胶种植机器人，是集履带式行走、电动注胶、自动播种和自适应通信等功能于一体的海洋生态修复专用装备。制定本标准旨在明确设备的技术要求、试验方法、检验规则及验收要求，规范设备设计与制造，提升设备的作业性能、可靠性和安全性，提高海草播种效率及种子留存率、萌发率和幼苗建成率，降低工程作业成本与安全风险。同时，通过标准制定，可将已有成果转化为可复制、可检验和推广的技术要求，促进种子胶载体材料、设备制造与工程施工等环节有效衔接，推动海草种植装备标准化、系列化和产业化发展，为大规模海草床生态修复及海洋生态文明建设提供装备技术支撑。

## 二、标准制定的可行性

国内外已围绕海草种子的采集、保存、萌发、播种及幼苗建成开展了较多研究，并形成了种子袋、种子带、种子绳、种子球、可降解播种容器和注入式播种等多种技术形式。相关研究已初步揭示载体材料、播种深度、种子密度、固定方式及底质条件对种子留存和幼苗建成的影响，可为技术指标的确定提供理论依据和试验数据支持。

海草种植机器人中的种植设备已成功研制且应用于河北省唐山市曹妃甸海草床生态修复工程，累计完成了百万级植株移栽与种子播种，修复海草床超过 900 公顷，充分验证了机械化种植技术方案的工程可行性。

本标准通过联合相关单位参与标准编制，可充分吸收海草生态学、材料科学、海洋工程和生态监测等不同领域的技术成果，保证标准内容的科学性、适用性和工程可操作性。

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>国内外情况<br/>简要说明</p> | <p>本领域标准体系由海洋生态修复技术标准和水下作业装备标准两部分构成。</p> <p>经检索，国际上尚未制定针对海草种植设备或海洋生态修复专用装备的技术标准。现有国际标准主要集中于以下领域：</p> <p>1.ISO 水下设备标准：主要涉及水下无损检测、潜水器安全等通用技术领域，未涵盖生态修复专用装备。</p> <p>2.区域海洋公约：如《波罗的海海洋环境保护公约》（HELCOM）等对海草床保护提出了原则性要求，但未制定专用设备技术标准。</p> <p>3.各国实践：美国、澳大利亚等国家在海草修复实践中多采用人工移植或简单机械辅助方式，尚未形成专用种植装备的技术标准体系。</p> <p>在海洋生态修复技术标准方面，我国已发布 GB/T 41339.4-2023《海洋生态修复技术指南 第 4 部分：海草床生态修复》、GB/T 41339.2-2022《海洋生态修复技术指南 第 2 部分：珊瑚礁生态修复》、HY/T 0454-2024《海洋生态保护修复标准体系》等国家和行业标准；地方层面发布了 DB37/T 4880-2025《潮间带海藻场和海草床生态修复规范》、DB37/T 4881-2025《日本鳗草海草床人工修复技术规范》等地方标准。上述标准主要聚焦于海草床生态修复的技术指南、方法流程和监测评估层面，均未涉及专用种植设备的技术要求。</p> <p>在水下作业装备标准方面，我国已发布 GB/T 46238-2025《淡水水下搜救机器人通用技术条件》、GB/T 46413-2025《遥控潜水器作业规程》，并已立项《无人遥控潜水器（ROV）水下作业规范》等国家标准。上述标准主要针对通用型水下机器人的安全作业和搜救应用，未涵盖海草种植等生态修复专用设备的功能要求和性能指标。</p> <p>经分析，现有标准体系存在以下空白：一是缺乏针对海草种植设备的产品技术标准，海草种子胶种植设备作为新兴生态修复专用装备，尚无对应的国家标准、行业标准或国外标准可循；二是现有海洋生态修复标准侧重于修复技术方法，未涉及专用装备的技术指标和性能要求；三是现有水下设备标准侧重于通用安全作业，未涵盖电动</p> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | <p>注胶机构、自动播种机构、自适应通信等海草种植专用功能的技术规范。本标准自主制定，填补了海草种子胶种植设备标准的空白，与现有海洋生态修复技术标准体系形成互补。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 标准适用范围<br>和主要技术内容 | <p>本文件规定了海草种子胶种植设备的术语和定义、分类和标记、设计、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等要求。本标准适用于以履带式行走机构为底盘、采用电动注胶方式种植海草种子胶的设备，可用于浅海滩涂及近海水下（水深不超过 10m）海草床生态修复作业。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 工作进度安排            | <p>第一阶段：在 2026 年 7 月至 2027 年 3 月期间，完成标准草案起草、征求意见、技术审查及报批稿编制等全部工作。以已研制并经工程验证的海草种子胶种植设备样机为基础，结合辽宁大连、河北秦皇岛海草种植项目的现场作业数据，确定技术指标和试验方法。编制过程中邀请海洋生态修复、水下装备、标准化等领域专家参与评审，确保标准技术内容的科学性和可操作性。</p> <p>第二阶段：本团体标准审批完成且发布（2027 年 4 月—2027 年 7 月）。</p>                                                                                                                                                                                   |
| 标准预期实施<br>应用方案    | <p><b>一、标准实施总体安排</b></p> <p>本标准实施分为标准编制与宣贯、试点验证、推广应用三个阶段，编制周期为 2026 年 7 月至 2028 年 7 月，分为以下三个阶段。</p> <p>第一阶段：标准发布与宣贯（2027 年 4 月—2027 年 7 月）。本标准审批完成发布后，组织标准宣贯培训，面向海洋生态修复业务相关单位、设备研制人员和工程作业人员，解读标准技术要求、试验方法和检验规则。编制标准应用指南和作业操作手册，确保标准使用人员准确理解和执行标准条款。</p> <p>第二阶段：试点验证与优化（2027 年 8 月—2028 年 6 月）。在已有应用基础上，选取辽宁大连、河北秦皇岛现有海草种植项目作为首批标准实施试点，按照标准技术要求对设备进行对标验证和性能测试，收集标准实施过程中的技术数据和意见反馈。针对试点中发现的标准适用性问题，形成标准修订建议，适时启动标准修订工作。</p> |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>第三阶段：规模化推广应用（2028 年 7 月起）。在试点验证成功基础上，将标准推广至山东、河北、辽宁沿海海草床生态修复工程，推动设备批量化生产和系列化发展，逐步扩大标准在集团海洋生态修复业务中的应用覆盖面。</p> <p><b>二、标准实施效果评估与持续改进</b></p> <p>建立定量与定性相结合的标准实施效果评估指标体系。其中，定量指标包括设备作业效率（单位时间种植面积，相较人工提升倍数）、种子成活率（%）、作业成本降低率（%）、设备故障率（次/百小时）、标准应用覆盖率（%）等；定性指标包括设备操作便捷性、维护便利性、标准条款适用性等。</p> <p>试点阶段每季度开展一次标准实施效果评估，推广阶段每半年开展一次。评估采用数据统计、现场调研和用户访谈相结合的方式，形成评估报告并报集团科技部。</p> <p>建立标准实施意见反馈渠道，收集设备研制单位、作业单位和检测机构在标准执行过程中发现的问题和建议。根据评估结果和反馈意见，适时启动标准修订工作。原则上标准实施 2~3 年后进行一次全面评估，根据技术发展和应用需求变化，修订完善标准技术内容，推动标准升级为行业标准或国家标准。</p> <p><b>三、应用前景与推广路径</b></p> <p>本标准首先在中国船舶集团环境发展有限公司的海洋生态修复业务中推广应用，为公司承接的海草床生态修复工程提供标准化装备支撑。通过标准化统一设备技术状态，降低研制和采购成本，提高工程交付质量和效率。</p> <p>其次，团对将通过技术交流、学术会议和行业展会等渠道，向行业内外介绍标准实施经验；积极与自然资源部、沿海地方海洋主管部门对接，推动标准在政府主导的海洋生态修复工程中的应用；并在条件成熟时，联合行业相关单位将集团标准升级为行业标准（CB/T）或国家标准（GB/T），扩大标准的影响力和适用范围。</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | <p>最终，以标准化为引领，推动海草种子胶种植设备向产业化方向迈进。通过整合设备制造、租赁服务、种植工程、技术培训及碳汇开发等环节，构建全产业链服务能力。同时，积极创新“设备+服务+碳汇”商业模式，将种植装备标准体系与蓝碳交易市场深度对接，从而实现生态效益与经济效益的协同共赢。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 经费保障      | 能提供必要的经费保障                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 技术基础及研究团队 | <p><b>一、已有的技术基础</b></p> <p>主编单位已完成海草种子胶种植设备的系统研发与样机研制工作。设备总体方案设计明确，涵盖履带底盘、电控系统、种植机构平台（升降平台）、自动胶枪种植系统、安全线缆与绞盘、遥控器等系统组成，已完成设备核心重难点分析，针对作业环境适配（泥沙淤积、地形崎岖与水流扰动等）、设备结构与性能实现（轻量化与可靠性平衡、种植精准控制与履带稳定适配）、控制系统稳定性（多组件联动、信号延迟与指令冲突）等方面提出了技术优化、工艺提升、操作管理三维度的解决措施。目前，海草种子胶种植设备样机已应用于曹妃甸海草种植项目，该项目获评自然资源部 2025 年典型生态修复案例。预计设备持续应用于辽宁省大连市、河北省秦皇岛市等后续海草种植项目。实际工程应用验证了设备在浅海滩涂及近海水下复杂工况下的行走稳定性、播种精准性和作业可靠性，积累了丰富的现场作业数据和应用经验，为标准技术指标的确定和试验方法的制定提供了坚实的实践基础。</p> <p><b>二、预期实施效果</b></p> <p>本标准实施后，将规范海草种子胶种植设备的设计、制造和验收，统一产品技术指标和试验方法，提高设备质量和可靠性，降低研制与生产成本；在辽宁大连、河北秦皇岛等已有应用经验基础上，进一步推动海草种植设备在山东、辽宁、河北等沿海地区海洋生态修复工程中的规模化推广应用，显著提升海草种植效率（相较人工方式大幅提高），降低作业成本和安全风险，提高种子成活率；促进海草床</p> |

|                      |                                                                                                                                                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | <p>生态修复装备的产业化、系列化发展，为海洋生态文明建设提供标准化装备支撑。标准实施的主要单位为主编单位及集团内相关单位，预期在集团海洋生态修复业务中推广应用，并可为行业内其他单位提供参考。</p>                                                            |
| <p>申请立项单位<br/>意见</p> | <p>同意</p> <div data-bbox="954 1529 1273 1848"><p>2026 年 09 月 03 日</p></div> |

注：如本表空间不够，可另附页。