

团体标准
《沿海智能船舶及装备技术成熟度
评估指南》
编制说明

2026年1月

《沿海智能船舶及装备技术成熟度评估指南》

编制说明

一、标准制定的必要性

当前，全球航运业正经历以智能化、绿色化为核心的深刻变革。智能船舶作为融合新一代信息技术与高端装备的复杂系统，是建设交通强国、海洋强国的重要抓手，也是我国船舶工业实现转型升级和高质量发展的战略方向。近年来，我国在沿海智能船舶的研发、测试与示范应用方面取得了显著进展，一批涉及智能航行、智能能效、岸基驾控等关键技术取得了突破。

然而，在产业快速发展的同时，一系列突出问题也亟待解决：一是技术评价体系缺失，行业内对“何为成熟技术”缺乏统一、量化的评判标准，导致研发方向模糊、成果转化困难；二是投资决策缺乏依据，投资者、船东和监管部门难以科学评估新技术的应用风险与商业化前景，影响了创新技术的推广和资本投入；三是系统集成难度大，智能船舶涉及多学科、多系统深度融合，其整体成熟度不仅取决于单项技术，更取决于系统间的协同与可靠性，目前缺乏相应的集成度评估方法；四是与法规标准衔接不足，智能技术的发展速度常常快于现有法规体系的更新，亟需一套评估框架来弥合技术创新与安全合规之间的鸿沟。

因此，制定一部专门针对沿海智能船舶及装备技术成熟度评估的指南性标准，建立一套科学、系统、可操作的评估体系，对于引导技术研发、支撑投资决策、保障安全合规、促进产业健康有序发展具有紧迫而重要的现实意义。本指南旨在填补这一空白，为全产业链相关方提供通用的技术评价“标尺”和决策工具。

二、标准编制原则及依据

1.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》要求进行编写。

2.参照相关法律法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

三、标准背景及工作情况

（一）任务来源

根据《中国高技术产业发展促进会标准化工作委员会团体标准管理办法》的

有关规定，经中国高技术产业发展促进会标准化工作委员会及相关专家技术审核，批准《沿海智能船舶及装备技术成熟度评估指南》团体标准制定计划，项目计划编号为CHI 2025022。本标准由武汉理工大学提出，由中国高技术产业发展促进会归口。

根据计划要求，本标准完成时限为6个月。

（二）标准起草单位

本标准由武汉理工大学提出，由中国高技术产业发展促进会归口。起草单位包括：武汉理工大学、武汉理工大学三亚科教创新园、上海船舶运输科学研究所、中电科（宁波）海洋电子研究院、中国科学技术大学、济南大学、武汉理工大学青岛研究院。

（三）标准研制过程及相关工作计划

1. 前期准备工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，成立跨学科编制组，系统调研国内外智能船舶技术发展现状、现有标准体系及技术评价方法缺口。通过分析国内多个沿海智能船舶示范项目的实践经验与评估需求，初步确立了指南的编制目标与核心框架。

2. 标准起草过程

2025年12月5日由中国高技术产业发展促进会标准化工作委员会向国家标准委全国标准服务平台提交立项，立项编号为：CHI 2025022，并向全社会公示了十五日。

2025年12月10日，成立跨学科编制组，系统调研国内外智能船舶技术发展现状、现有标准体系及技术评价方法缺口。通过分析国内多个沿海智能船舶示范项目的实践经验与评估需求，初步确立了指南的编制目标与核心框架，同意立项。

2026年1月7日，编制组分工协作，完成指南初稿。期间围绕“沿海环境下的TRL等级本地化定义”“多维综合评价模型构建”及“评估程序的可行性”等核心议题，组织召开了多次专题研讨会，对草案进行了多轮深化与修改。

3. 征求意见

2026年1月26日，将标准的征求意见稿提交中国高技术产业发展促进会标

标准化工作委员会，通过审核，于2月2日报送国家标准平台，并向全社会公开征求意见30日。

四、主要试验情况

根据本标准规定要求，起草单位已开展了相关试验和总结汇总等工作。

（一）测试目的及内容

为确保《沿海智能船舶及装备技术成熟度评估指南》的科学性、实用性与可操作性，标准编制组在起草过程中，组织开展了系统的评估模型验证与案例实证工作。本章节旨在详细说明为验证本标准所提出的技术成熟度评估框架、模型、流程及工具而进行的主要研究、测试与分析活动。

1. 验证目的：

检验本标准提出的技术成熟度等级定义（TRL 1-9级）在沿海智能船舶五大技术领域（智能航行、智能能效、智能机舱、岸基驾控、智能运维）划分的合理性与清晰度。

验证“技术核心维度”与“系统集成维度”构成的综合评价模型（含TMI计算公式、权重体系、等级判定区间）能否准确、量化地反映技术的综合成熟状态。

测试本标准第8章规定的评估程序、方法以及附录提供的各类评价细则、表格的可操作性与有效性。

确保整套评估指南能够适应沿海智能船舶技术研发、集成、测试、应用的全链条特点，满足制造商、集成商、运营方及评价机构等多方用户的评估需求。

2. 总体思路：

采用“理论建模—案例实证—专家评审—迭代优化”的闭环验证思路。首先构建完整的评估模型与方法论，随后选取具有代表性的沿海智能船舶技术项目或子系统作为实证案例，运用本标准草案进行模拟评估或回溯评估。通过对比评估结果与实际项目发展阶段、专家定性判断，分析模型的准确性与适用性。最后，根据验证发现的问题，对评估细则、流程或模型参数进行优化调整。

（二）验证内容与过程

验证工作主要围绕以下三个层面展开：

1. 评估模型与指标体系的验证：重点对第 7 章提出的技术成熟度指数(TMI)模型、各维度得分计算公式： $TMI = \sum_{k=1}^5 \omega_k \cdot TMI_k$ 、权重确定方法（AHP、德尔菲法）以及综合成熟度等级判定表进行验算与逻辑一致性检查。

对 7.3.1 及 7.3.2 中的所有数学模型进行独立推演，确保公式无逻辑错误，计算步骤清晰。模拟不同权重组合对最终 TMI 分数及等级判定的影响，验证权重体系的稳健性，并确认建议值的合理性。组织专家研讨会，对“高成熟度（ $TMI \geq 85$ ）”等等级阈值进行讨论，结合国内外类似 TRL 评估实践，确认阈值设置的恰当性，能有效区分不同发展阶段的技术。

2. 评估流程与方法的操作化验证：对第 8 章所述的完整评估程序（准备、现场评估、总结、后工作）以及各相关方职责进行模拟推演和桌面演练。

编制组模拟“评估组织方”“评估专家组”和“被评估方”，选取一个虚拟的“沿海智能船舶智能航行感知模块”技术，严格按照第 8 章的步骤进行全流程模拟演练。演练涵盖制定评计划、成立专家组、召开准备会、查阅模拟技术文件、现场考察（模拟）、专家评议、形成结论、编写报告等环节。重点测试了 8.2.4 中“以子技术最低等级作为技术等级”的原则在实际案例中的适用性，以及 8.4 闭环管理机制的可实现性。通过演练，进一步明确了 8.5 中各相关方（组织方、专家组、专业机构、被评估方）的职责边界与协作接口，确保了流程的顺畅性。

3. 评价细则与配套工具的实用性验证：对附录 A（智能航行、岸基驾控等技术成熟度评价细则）、附录 B（全套评价表格）等核心操作工具进行填充测试与适用性判断。邀请来自船舶设计院、系统集成企业的技术专家，对照附录 A.1（智能航行）和 A.2（岸基驾控）的评价细则，结合其正在研发的实际项目，逐条判断细则条目的明确性、可评判性及是否存在遗漏。共收集了超过 50 条具体反馈。

使用附录 B.1 至 B.10 的表格模板，针对上述实证案例进行模拟填写。测试表格设计的逻辑性、信息覆盖的全面性以及在实际评估活动中使用的便捷性。验证从细则评价（附录 A）到记录（附录 B.3）结论形成（附录 B.4）报告生成（附录 B.10）的全套工具链的衔接是否自然、高效。

（三）实证案例选取与分析

为贴近实际检验本评估指南的可操作性及结果可靠性，编制组选取了沿海智能船舶关键技术进行实证评估分析。

选取一艘该系统通过融合激光雷达、视觉摄像头、毫米波雷达和 AIS 数据，实现对航道内动态、静态目标的实时感知、轨迹预测与自动避碰路径规划沿海智能船舶。项目已完成实验室算法仿真、部件测试，并在封闭测试水域进行了原理样机（集成于小型测试艇）的功能演示。



图 1.搭载智能航行系统的沿海船舶

评估过程：

确定技术领域与子技术：专家组首先确认该技术属于“智能航行”领域，并进一步识别出其包含三个关键子技术：①多源传感器数据融合算法，②动态目标轨迹预测模型，③自主避碰路径规划算法。



图 2.自主避碰控制展示图

逐级应用评价细则（附录 A.1）：专家组依据附录 A.1 的智能航行技术成熟度评价细则，从 TRL 1 级开始，逐级核对每个子技术是否满足要求。

表 1 专家打分表

TRL 1-3 级	<p>查阅提供的原理报告和学术参考文献，确认相关感知融合、预测控制等基本原理由已被报道并获公认（TRL 1），技术概念和实验室仿真方案明确（TRL 2），关键算法功能已通过实验室仿真验证（TRL 3）。所有子技术均满足，记录为 ✓。</p>
TRL 4 级	<p>确认已开发出“多传感器融合处理单元”和“规划决策单元”的原理样机（部组件级），并在实验室环境下（使用录制数据和模拟信号）验证了基本功能。满足，记录为 ✓。</p>
TRL 5 级	<p>审查封闭水域测试报告。测试中，原理样机（集成于测试艇）在模拟的航道环境中（设置了静态浮标和遥控动态目标艇）运行。专家认为该测试环境属于“中度逼真的相关环境”，验证了传感器融合与规划的关键功能。满足，记录为 ✓</p>
TRL 6 级	<p>TRL 6 级：专家组出现分歧。部分专家认为，测试艇虽非最终船型，但已构成“系统级工程样机”的缩比或简化代表，且在高度模拟的相关环境（具有真实水文和部分真实目标）中验证了关键功能与主要性能（如探测距离、规划响应时间），可判定为满足 TRL 6</p>



图 3.船舶虚实融合平台

经深入讨论，专家组最终达成共识：该技术整体上达到了 TRL 5 级的全部要求，并部分满足了 TRL 6 级的要求，但在“充分解释所有关键功能和主要性能问题”上证据尚不完整，因此审慎评定为 TRL 5+(即强于 5 但未完全达到 6)。



图 4.全程无操作

综合评价模型打分：基于上述 TRL 等级判断（核心技术最低等级为 TRL 5），进行量化评分：

表 1 4 个子指标打分表

名称	得分
兼容性	4 分
数据融合	4 分
通信与安全	3 分

人机交互	3分
------	----

技术成熟度指数（TMI）： $TMI = \sum_{k=1}^5 \omega_k \cdot TMI_k$ 得出分数为：**55.4**

专家组结论与 TRL 等级判断（5+）指向的“技术原理已验证，正处于系统集成与样机测试阶段”描述高度吻合。

五、标准编制对产业发展的支撑作用及解决的主要问题

1. 建立统一的技术评价体系

提出的覆盖智能航行、智能能效、智能机舱、岸基驾控、智能运维五大领域的九级技术成熟度定义，解决了行业内对技术发展阶段描述模糊、难以横向对比的难题，为技术交流、成果鉴定与交易提供了清晰标尺。

2. 支撑全生命周期的科学决策与管理

构建的“技术核心-系统集成”多维评价模型及综合评价指数（TMI），为项目立项论证、阶段评审、转段决策提供了量化依据。引导研发资源精准投放，帮助投资方识别风险与价值，协助运营方制定稳妥地引进策略。

3. 破解复杂系统集成与可靠性评估难题

指南特别强调并系统化规定了系统集成维度的评估要求，包括兼容性、数据融合、通信安全与人机交互等，引导研发从单点技术创新转向系统整体效能与可靠性的提升，为解决智能船舶多系统协同这一核心挑战提供了方法论。

4. 技术创新与安全监管

将“法律合规性”与“环境适应性”作为关键技术范围与评估前提，为智能新技术、新业态的审图、检验与认可提供了前瞻性的评估框架。有助于在保障安全底线的前提下，探索建立审慎包容的监管模式，促进创新与安全的协调发展。

六、标准与国内外标准对比分析和协调性说明

1. 对国际TRL理论的深化与行业化创新

本指南没有简单照搬航空航天领域的TRL定义，而是紧密结合沿海船舶高盐雾、湿热、复杂海况、通信条件受限等特殊使用环境，在各级定义中强化了环境适应性、自主决策和系统鲁棒性要求，实现了国际通用模型的本土化与专业化创新。

2. 对国内现有智能船舶标准体系的关键补充

现有国标如GB/T 35778等，主要属于“目标规范”或“功能规范”，规定了智能船舶应达到什么状态。本指南则属于“过程评估规范”，系统回答了“如何判断一项技术是否已达到可应用状态”的问题。两者在逻辑上前后衔接、功能上互为支撑，共同构成了从技术研发到产品定型的完整标准支撑链条。

3. 在评价维度和方法上的先进性

相比国内外主要关注技术本体成熟度的传统TRL评估，本指南首创了针对智能船舶的“双维评价模型”，将“系统集成度”提升到与技术核心同等重要的地位进行量化评估。同时，设计了可计算、可比较的总体技术成熟度指数（TMI），并配套了完整的权重确定方法（AHP、德尔菲法）和评估流程表格，在评价的系统性、综合性和可操作性上具有显著优势。

七、标准制定的基本原则

指南编制过程中，遵循了以下基本原则：

1. 科学性与先进性原则

以国际公认的技术成熟度理论为基础，充分吸纳我国在智能船舶技术研发与示范应用中积累的最新成果与实践经验，确保技术内容的科学准确与适度前瞻。

2. 系统性与全过程覆盖原则

构建覆盖从基本原理探索到商业化成功应用的全过程、涵盖技术本体与系统集成多维度、涉及评估方与被评估方多角色的完整评估体系。

3. 适用性与可操作性原则

评估程序清晰、方法明确、提供的评价细则与表格模板齐全，便于不同类型、不同规模机构的理解与应用，确保指南能够真正落地。

4. 协同性与多维度融合原则

指南应强调技术、系统、经济、法规、环境等多维度评估的协同，引导技术创新活动始终面向安全、可靠、合规和可商业化的正确方向。

5. 开放性与动态性原则

评估框架保持一定的灵活性和开放性，能够适应未来新技术、新模式的发展，并支持根据项目进展进行动态跟踪与再评估。

八、标准主要内容

《沿海智能船舶及装备技术成熟度评估指南》是一部专门用于评价沿海智能船舶及相关装备技术发展阶段的系统性方法标准。其主要内容可分为以下四个核心部分：

指南主要内容可分为以下四个核心部分：

1. 技术成熟度通用框架与程序

- ① 明确了评估的目的、原则、适用范围、各相关方职责；
- ② 贯穿项目立项、研制、试验、运营等关键节点的规范化评估程序；

2. 分领域技术成熟度等级定义

① 针对智能航行、智能能效、智能机舱、岸基驾控、智能运维五个关键技术领域，分别详细定义了从TRL 1（基本原理发现与报告）到TRL 9（通过多次或长期任务验证）的九个成熟度等级及其具体解释；

3. 综合评价模型与方法

① 构建了包含技术核心维度和系统集成维度的综合评价指标体系，给出了总体技术成熟度指数（TMI）的数学模型、计算细则、权重确定方法及最终成熟度等级判定标准。

② 提供了用于现场评价的详细评价细则（附录A）、全套评估工作记录与报告模板（附录B）以及提升技术成熟度的计划建议（附录C），为评估实施提供实操工具；

4. 评估支持性文件

① 提供了用于现场评价的详细评价细则（附录A）、全套评估工作记录与报告模板（附录B）以及提升技术成熟度的计划建议（附录C），为评估实施提供实操工具。

九、与有关法律法规和强制性标准的关系

1. 本标准符合《中华人民共和国标准化法》及现行法律法规的规定，本标准与其他相关标准没有矛盾之处。

2. 目前国内外尚无针对编制的相关标准。本标准可以填补沿海智能船舶及装备技术方面的空白。

3. 参照相关法律法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

4. 本标准的技术要求严格遵循《强制性国家标准管理办法》的规定，确保不低于强制性标准的要求。

十、重大意见分歧的处理依据和结果

本指南在制定过程中没有出现重大意见分歧

十一、后续贯彻措施

1. 本指南适用于各类沿海智能船舶及装备的技术研发、系统集成、产品定型和运营维护等环节的成熟度评估活动。

2. 待本指南发布后实施前，将面向指南的各相关方开展指南宣贯工作。

3. 建议该指南自发布之日起24个月内开始实施。

十二、涉及专利的有关说明

无

标准编制小组

2026年1月