

# 团 体 标 准

T/CHI XXX—2026

## 沿海智能船舶及装备技术成熟度 评估指南

Guidelines for technology readiness level assessment of coastal  
intelligent ships and equipment

(征求意见稿)

提交反馈意见时，请将您知道的专利连同支持性文件一并附上。

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国高技术产业发展促进会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	2
5 被评价技术及其子技术 .....	3
6 技术成熟度等级定义 .....	4
7 技术成熟度评价模型 .....	8
8 技术成熟度评估程序和方法 .....	11
附录 A（资料性）技术成熟度评价细则 .....	15
附录 B（资料性）技术成熟度评价相关表格 .....	26
附录 C（资料性）技术工作建议与提升成熟度计划 .....	35
参考文献 .....	37

## 前 言

本文件按照 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》的规定起草。

本文件由武汉理工大学提出。

本文件由中国高技术产业发展促进会归口。

本文件起草单位：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。

本文件主要起草人：

征求意见稿

# 沿海智能船舶及装备技术成熟度评估指南

## 1 范围

本文件规定了沿海智能船舶及装备技术成熟度评估的术语和定义、总则、被评价技术确定、技术成熟度等级定义、评价模型、评估程序与方法以及各相关方职责

本文件适用于沿海区域智能船舶及装备的技术成熟度评价及可行性研究，具体包括新研发技术、现有技术升级、系统集成方案以及装备部署应用的全过程评估。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 35778-2017 《智能船舶规范》
- GB/T 39269-2020 《船舶智能航行系统技术要求》
- CB/T 4501-2019 《智能船舶岸基支持系统通用要求》

## 3 术语和定义

### 3.1

少人智能化船舶 reduced crew autonomous vessel

通过集成先进传感器、人工智能（AI）、自主决策系统和远程控制技术，实现在船员数量显著减少或无人值守条件下安全运营的船舶。其自主化程度需满足国际海事组织法规对航行安全、应急响应和远程监控的要求。

### 3.2

沿海智能船舶及装备 coastal intelligent ships and equipment

服务于沿海航区智能船舶的各类装备与系统，包括但不限于智能航行系统、智能能效管理系统、智能集成平台等。

### 3.3

技术成熟度等级 technology readiness level, TRL

一种用于量化技术从基础研究到商业化应用成熟程度的标准化评估体系，通常分为9级(TRL 1-9)。

### 3.4

实验室环境 laboratory environment

用于验证基本原理和功能性能的试验环境。

### 3.5

**使用环境** operational environment

沿海航区智能船舶技术及技术载体的真实海洋与航行环境。

### 3.6

**相关环境** relevant environment

根据技术验证需要确定的，模拟与使用环境相关的若干关键因素（如盐雾、湿热、振动、电磁兼容等）的集合所形成的试验环境。

## 4 总则

4.1 在沿海智能船舶及装备项目实施中，宜科学、系统、规范、有效地开展技术成熟度评估工作。开展技术成熟度评估的目的包括：科学评价技术的可用性和成熟度；加强预先研究与工程研制的衔接；正确选用新技术，推动新技术在风险可控的情况下得到应用；支持制定技术开发计划和组织技术攻关，精准匹配技术阶段与资金投入，避免超前投资或重复研发；支持构建技术发展路线图，为技术引进、自主研发、国际合作提供科学依据；准确查找技术瓶颈和技术管理薄弱环节，对技术评审提供依据，以提高评审的有效性；支持技术决策，从而确保船舶航行任务成功。

4.2 从科学原理发现到在使用环境中多次成功应用或长期稳定应用，技术成熟度分为9个等级（见第7章）。开展技术成熟度评估，首先需要明确技术成熟度等级定义和划分，作为技术成熟度等级确定的内容。在沿海智能船舶航行立项论证、试验验证和运营维护各阶段，应明确各类技术需达到相应的技术成熟度等级（见第6章）。

4.3 开展技术成熟度评估需遵循“客观、独立、规范、实效”的原则。

4.4 组织开展技术成熟度评估工作时，需制定技术成熟度评估计划，明确被评价的技术及其载体、评估程序和方式，各相关方的职责分工、评估时机和时间安排以及评估工作的资源保障等，并将评估工作纳入工程项目论证工作计划、工程研制程序、试验大纲、运营维护计划等技术文件。

4.5 技术成熟度评估所确定的技术成熟度等级是针对指定的技术载体及其状态、任务目标、开发过程和使用环境等。若这些因素发生变化，所评价的技术成熟度等级也随之发生变化。为此，需要重新进行技术成熟度评估。

4.6 应明确评估组织方、评估专家组、被评估方和评估专业机构等各相关方的职责。

4.7 开展技术成熟度评估活动，宜在沿海智能船舶及装备项目立项论证评审前、研制阶段评审前、生产制造前、实船试验前、运营总结前等重要工程节点前分别设置评估点。

4.8 评估组织方和被评估方宜建立被评价技术及其子技术的编码体系，建立完整和可追溯的技术成熟度评估文档。

## 5 被评价技术及其子技术

### 5.1 被评价技术的确定

#### 5.1.1 确定评价技术

将选择直接影响船舶航行任务成败、技术创新程度高、技术难度大、技术协作跨工程系统、技术攻关周期长、经费投入巨大的重大或关键技术作为被评价的技术。通常只要符合下列之一的技术宜确定为被评价技术：

- a) 国内沿海智能船舶领域新应用的技术；
- b) 成熟程度直接影响沿海智能船舶航行成败的新技术；
- c) 立项论证、初步设计和方案设计中技术攻关工作的重点新技术；
- d) 成熟程度将影响沿海智能船舶研制计划和转阶段工作的新技术；
- e) 成熟程度可能导致沿海智能船舶研制费用大幅度增加的新技术；
- f) 应用于新的技术载体并体现为关键功能的技术；
- g) 使用环境变化或具有接口变化，且变化导致的影响在水池或湖上无法通过现有成熟方法验证的继承性技术；
- h) 其他具有高风险的新技术。

### 5.1.2 评价技术清单及说明

对于沿海智能船舶及装备项目，宜根据产品分解结构建立技术分解结构，明确应用被评价技术对应的关键功能，或明确被评价技术能够体现的关键功能和具有这一功能的载体，形成拟被评价技术清单及说明。

### 5.1.3 沿海智能船舶及装备项目技术评价清单管理规范

对于沿海智能船舶及装备项目，宜在立项论证阶段评审前确定被评价技术的清单。研制阶段转阶段评审前宜确定被评价技术的清单，通常宜保持论证阶段确定的技术，也可根据研制工作需要增加被评价技术，对于研制不再采用的技术可在按原审批程序履行审批手续后，不再作为被评价技术，并办理上报和备案手续。

## 5.2 沿海智能船舶及装备的特殊性

沿海智能船舶装备应宜满足：

a) 在应用技术成熟度模型时，应充分考虑沿海智能船舶及装备所处环境的严苛性。设备与系统须具备在高盐度、高湿度、生物附着及风浪冲击等恶劣条件下的耐受能力，对其耐腐蚀性、水密性、结构强度及可靠性提出高于陆用设备的要求；

b) 评估工作须在国际海事组织（IMO）、各国海事主管机关及船级社等机构构成的复杂法规体系框架下进行。安全性是技术评价的根本前提和否决性指标，任何技术创新均须以确保安全合规为基础；特别是，智能船舶系统的通用要求、安全与功能设计应遵循 GB/T 35778-2017，智能航行系统的具体技术要求应参照 GB/T 39269-2020，岸基支持系统的设计与评估应依据 CB/T 4501-2019。

c) 宜认识到沿海智能船舶是高度集成的复杂系统。评估需关注导航、通信、控制、动力等子系统间的深度融合与协同工作能力，并要求系统具备极高的可靠性及必要的冗余设计，以防范单点故障可能引发的严重后果；

d) 技术的评价须考虑沿海通信可能存在的盲区与干扰问题，这要求智能系统具备更高层次的自主决策能力。同时，应评估智能装备的能效水平，确保其在智能船舶有限的能源供应下实现高效运行；

e) 在人机功能分配与协同设计中，应明确智能系统作为船员决策辅助与任务执行工具的定位。技术成熟度的评价须包含对人机交互界面的效能、信息呈现的清晰度以及应急接管机制的可靠性与便捷性的评估

### 5.3 实践建议

### 5.3.1 实施动态评价与管理

技术成熟度评估应贯穿于项目全生命周期，实施动态管理。宜在项目关键里程碑设置技术成熟度等级评审点，并建立技术状态档案以持续跟踪各维度指标变化，从而及时识别风险与瓶颈，支撑研发策略的优化与调整。

### 5.3.2 推动多维度评价融合

技术成熟度的综合评价应避免单一技术导向，须将技术核心、系统集成、商业应用及法规标准四个维度的评估结果进行系统融合与综合权衡，作为项目决策的重要依据，以准确判断技术的综合成熟状态与发展前景。

### 5.3.3 充分利用政策红利

应紧密跟踪国家与地方在智能制造、海洋强国等领域的产业政策。鼓励积极利用国家级智能航运先导应用示范区的先行先试政策，加速技术中试验证与商业化准备。建议主动与船级社等认证机构协作，提前规划并前置法规符合性与认证取证工作。

## 6 技术成熟度等级定义

### 6.1 智能航行技术成熟度等级定义

指利用传感器、算法和控制系统实现船舶自主感知、决策和航行的技术。智能航行技术的成熟度等级评估，其技术功能的定义、性能指标及验证方法宜以 GB/T 39269-2020 中规定的要求作为重要依据和基准。智能航行技术成熟度等级定义及其详细解释见表 1。

表 1 智能航行技术成熟度等级定义及其详细解释

等级	等级定义	解释
TRL 1	发现和（或）报道了技术的基本原理，发现和（或）报道了科学理论能够支持基础性硬件技术概念和（或）应用。其理论研究成果得到了同行公认，已取得相关技术资料，学习了相关专业知识。	发现和（或）报道的科学理论能够支持基础性硬件技术概念和（或）应用。其科学研究成果得到了学术界同行公认或有其成功应用的权威报道，给出了理论出处，基本原理分析和描述清晰，证明该基本原理是科学的。技术团队已取得相关技术资料，学习了相关理论知识
TRL 2	根据基本原理，提出明确的技术概念、技术应用方案和（或）应用设想	对基本原理提出了实际应用设想，开始了应用性研究或技术载体的初步概念设计，简要描述了技术的内涵和适用范围、支持技术应用方案的基本原理模型等。简要描述了作为技术载体的预期产品的主要功能、主要性能和基本结构的设想，以及在预期使用环境下所能达到的主要技术能力预测结果 和实现其所采取的技术途径
TRL 3	技术应用方案的关键功能或特性通过了分析与实验室证实，主要功能单元得到了实验室验证	明确了预期产品的应用背景、关键结构以及主要功能和性能指标，通过分析研究、建模与仿真、实验室演示等确认了对技术能力的预测，研制出基于概念设计的实验室样品、部件或模块，主要功能单元得到了实验室验证，提出了技术向预期产品转化的途径，证实其具有可行性

等级	等级定义	解释
TRL 4	部组件或功能试验模型（原理样机）的功能，在实验室环境下得到验证	针对应用背景，明确了作为技术载体的预期产品的功能性能总体要求，提出了预期产品的技术方案，搭建（或制造）了低度逼真的部组件/系统功能试验模型（原理样机），对其在实验室环境下进行试验验证，演示验证部件和系统的基本功能和关键测试环境条件，预测使用环境下的相关性能
TRL 5	部组件、单机、分系统级原理样机的关键功能，在相关环境下得到验证	确定了作为该技术载体的部件的关键功能，定义了初步的性能要求和试验的相关环境，设计和制造了中度逼真的部组件/系统功能试验模型（半实物功能试验模型），即中度逼真的部组件级、分系统级的原理样机（可以是缩比尺寸），在中度或高度逼真的相关环境进行试验，并通过了验证，关键功能和性能满足设计要求。由于这种验证可能受到缩比效应的影响，进行了必要的缩比影响分析
TRL 6	单机、分系统或系统级工程样机（初样产品）的关键功能和主要性能，在高度逼真相关环境下得到验证	制造了作为该技术载体的高度逼真的部组件级、单机级、分系统级或系统级的工程样机（或初样产品），在高度逼真的相关环境（模拟使用环境）或使用环境下进行试验，试验所用的工程样机能够充分解释所有的关键功能和主要性能问题，通过试验验证了在高度逼真的相关环境下关键功能和主要性能满足总体要求
TRL 7	最终的系统级工程样机（正样或试样产品）的性能，在使用环境或高度逼真的相关环境中得到验证	技术载体集成到最终的系统级工程样机或正样产品，通过对其在使用环境或高度逼真的相关环境（模拟使用环境或比使用环境更加严酷的环境，包括所有必要的环境要素）进行试验，验证在实际或预计的使用环境中的性能，试验用工程样机或正样产品的相关技术性能达到了首次执行智能航行任务的要求
TRL 8	系统级产品（实际系统）已完成，并通过航行任务成功的实际使用对技术进行了鉴定	最终系统级产品以最后的状态，通过了使用环境的测试和评价（或在使用环境下通过定型试验和试用），性能指标全部满足实际使用要求，完成了首次或短期沿海智能船舶航行任务，对技术进行了使用环境的鉴定
TRL 9	系统级产品（实际系统）通过多次（三次及以上）或长期执行智能航行任务，得到技术成功应用的证明	最终的系统级产品在实际的沿海智能船舶航行中，通过了多次（三次及以上）或长期成功执行航行任务

## 6.2 智能能效技术成熟度等级定义

指用于监测、分析和优化船舶能源使用，提升能效的管理技术。智能能效技术成熟度等级定义及其解释见表 2。

表 2 智能能效技术成熟度等级定义及其解释

等级	等级定义	解释
TRL 1	发现和报道了能效优化模型与算法原理	发现和（或）报道的科学理论能够支持基础性硬件技术概念和（或）应用。其科学研究成果得到了学术界同行公认或有其成功应用的权威报道，给出了理论的出处，基本原理分析和描述清晰，证明该基本原理是科学的。技术团队已取得相关技术资料，学习了相关理论知识

TRL <sub>2</sub>	提出智能能效管理的技术概念与应用设想	提出针对特定船型的能效监控与管理方案设想，明确优化目标和数据需求
TRL <sub>3</sub>	核心能效分析算法通过实验室仿真验证	在实验室利用历史数据或模拟数据，验证了核心能效评估与优化算法的有效性
TRL <sub>4</sub>	能效监测原理样机在实验室环境下功能得到验证	开发出能效数据采集与监测的原理样机，在实验室环境下验证其数据准确性与基本功能
TRL <sub>5</sub>	能效优化系统在模拟相关环境下得到验证	系统在模拟船舶航行工况（如不同负载、航速、海况）的相关环境中，验证了优化建议功能
TRL <sub>6</sub>	系统级工程样机在测试船上得到验证	完整的智能能效系统在测试船上安装并测试，验证其在实际运行环境下的数据整合与分析能力。
TRL <sub>7</sub>	最终系统在实船试验中得到验证	系统在实船试验航次中运行，验证其能效监测与管理功能的有效性，达到设计指标
TRL <sub>8</sub>	最终系统在实船试验中得到验证	在商业运营中首次应用，成功采集数据并提供优化建议，获得船东认可，完成技术鉴定
TRL <sub>9</sub>	系统通过多次或长期商业运营验证	在长期商业运营中持续稳定运行，所提优化策略被证实能有效降低燃油消耗和排放

### 6.3 智能机舱技术成熟度等级定义

指利用传感器、数据分析和诊断算法对机舱设备进行状态监测、故障预测与健康管理的技術。智能机舱技术成熟度等级定义及解释见表 3。

表 3 智能机舱技术成熟度等级定义及解释

等级	等级定义	解释
TRL <sub>1</sub>	发现和报道了设备故障机理与预测诊断原理	发现和（或）报道的科学理论能够支持基础性硬件技术概念和（或）应用。其科学研究成果得到了学术界同行公认或有其成功应用的权威报道，给出了理论的出处，基本原理分析和描述清晰，证明该基本原理是科学的。技术团队已取得对关键设备（如主机、发电机）的故障模式、失效机理及诊断算法原理有深入研究
TRL <sub>2</sub>	提出智能机舱监控与诊断的技术概念	发现和（或）报道的科学理论能够支持基础性硬件技术概念和（或）应用。其科学研究成果得到了学术界同行公认或有其成功应用的权威报道，给出了理论的出处，基本原理分析和描述清晰，证明该基本原理是科学的。技术团队已提出针对机舱设备的状态监测、故障预测与健康管理的系统性应用设想
TRL <sub>3</sub>	核心诊断算法通过实验室数据验证	利用实验室台架数据或历史故障数据，验证了核心诊断与预测模型的准确性
TRL <sub>4</sub>	数据采集与诊断原理样机在实验室环境下得到验证	开发出数据采集与诊断原理样机，在实验室台架环境下验证其数据分析和初步诊断功能
TRL <sub>5</sub>	分系统在模拟机舱相关环境下得到验证	监测诊断分系统在模拟机舱环境（如温度、振动、噪声）下，验证其关键性能

TRL <sub>6</sub>	系统级工程样机在实船机舱中得到验证	完整的智能机舱系统在实船机舱中安装并测试，验证其多源数据融合与状态评估能力
TRL <sub>7</sub>	最终系统在实船试验中得到验证	系统在实船试验中，成功预警或诊断出设备状态，性能达到设计要求和安全标准
TRL <sub>8</sub>	系统通过首次或短期商业运营鉴定	在商业运营中成功预警潜在故障，避免了非计划停机，通过了船东的运营鉴定
TRL <sub>9</sub>	系统通过多次或长期商业运营验证	在长期运营中，系统诊断准确率高，有效提升了机舱设备的安全性和运维效率

#### 6.4 岸基驾控技术成熟度等级定义

指在岸基控制中心对船舶进行远程监视、操作和控制的技术。岸基驾控技术的成熟度等级评估，其系统架构、功能、性能及与船舶的交互要求宜以 CB/T 4501-2019 中规定的要求作为重要依据和基准。岸基驾控技术成熟度等级定义及解释见表 4。

表 4 岸基驾控技术成熟度等级定义及解释

等级	等级定义	解释
TRL <sub>1</sub>	发现了远程监控、通信延迟补偿与控制安全等基本原理	发现和（或）报道的科学理论能够支持基础性硬件技术概念和（或）应用。其科学研究成果得到了学术界同行公认或有其成功应用的权威报道，给出了理论的出处，基本原理分析和描述清晰，证明该基本原理是科学的。技术团队已取得对低延时高清视频传输、远程控制指令可靠性、网络安全等原理有深入研究。
TRL <sub>2</sub>	提出岸基驾控系统的技术概念与应用场景设想	提出针对特定航线或作业的岸基驾控方案设想，包括中心布局、功能定义和通信需求
TRL <sub>3</sub>	核心远程控制与通信算法通过实验室仿真验证	在实验室仿真环境中，验证了核心控制算法在通信延迟和丢包情况下的稳定性和安全性
TRL <sub>4</sub>	岸基驾控原理样机在实验室环境下基本功能得到验证	搭建岸基控制站和船端模拟器，在实验室环境下验证基本的远程监视和指令下发功能
TRL <sub>5</sub>	系统在模拟相关通信环境下得到验证	系统在模拟真实卫星通信/5G 网络（如延迟、带宽波动）的相关环境下，验证其控制性能
TRL <sub>6</sub>	系统级工程样机在测试船上实现远程操控验证	岸基控制中心与测试船连接，在指定水域（如封闭测试区）成功实现远程监视和辅助操控。
TRL <sub>7</sub>	最终平台在实船试验中得到全面验证	系统在实船试验中，在真实通信环境下，实现对船舶的远程监视和关键设备的安全控制
TRL <sub>8</sub>	系统通过首次或短期商业运营鉴定	在商业运营中（如特定航线），成功实现岸基支援或部分远程操控，通过安全性与有效性鉴定。
TRL <sub>9</sub>	系统通过多次或长期商业运营验证	系统在长期、多船、复杂海况的运营中，稳定可靠，成为常态化运营模式的一部分

#### 6.5 智能运维技术成熟度等级定义

指利用数据驱动和预测性模型，优化沿海智能船舶维护保养计划与执行的技术。智能运维技术成熟度等级定义及解释见表 5。

表 5 智能运维技术成熟度等级定义及解释

等级	等级定义	解释
TRL1	发现和报道了设备故障预测、健康管理等基本原理	技术团队已对预测性维护、故障诊断算法、数据驱动决策等基本原理有深入研究。
TRL2	提出智能运维系统的技术概念与应用设想	提出针对船舶设备全生命周期健康管理的系统性应用设想，明确数据需求与运维目标。
TRL3	核心运维系统通过实验室仿真验证	利用实验室台架数据或历史运维数据，验证了核心诊断与寿命预测模型的准确性。
TRL4	运维数据采集与诊断原理样机在实验室环境下得到验证	开发出数据采集与诊断原理样机，在实验室台架环境下验证其数据分析和初步诊断功能。
TRL5	分系统在模拟机舱相关环境下得到验证	监测诊断分系统在模拟机舱环境（如温度、振动、噪声）下，验证其关键性能。
TRL6	系统级工程样机在实船机舱中得到验证	完整的智能运维系统在实船机舱中安装并测试，验证其多源数据融合与状态评估能力。
TRL7	最终系统在实船试验中得到验证	系统在实船试验中，成功预警设备潜在故障或优化维护周期，性能达到设计要求和安全标准。
TRL8	系统通过首次或短期商业运营鉴定	在商业运营中成功预警潜在故障，避免了非计划停机，通过了船东的运营鉴定。
TRL9	系统通过多次或长期商业运营验证	在长期运营中，系统诊断准确率高，维护策略有效，显著提升了设备可靠性与运维效率。

## 7 技术成熟度评价模型

### 7.1 多维评价指标体系

#### 7.1.1 技术核心维度侧重于对技术本体成熟度的评估

该维度涵盖基础理论与核心概念的原理验证状况、关键智能功能的实现度与功能性能指标达成情况、在模拟及真实海洋环境下的可靠性/稳定性表现，以及对盐雾、高湿与复杂海况等沿海特殊环境的环境适应性能力。该维度直接对应第 5 章中定义的各领域技术成熟度等级，是评价的基础。

#### 7.1.2 系统集成维度评估技术与船舶大系统的融合协同能力

该维度关注与现有船舶平台的系统兼容性、多源异构传感器的数据融合能力、船岸通信的网络与信息安全保障水平，以及智能系统与船员协同作业的人机交互效能，确保系统集成后的整体效能与安全。

### 7.2 行业定制化评价流程

表 6 行业制定化评价流程

技术成熟度等级	解释
TRL 1	技术成熟度等级 1 为核心基本原理的发现与报告阶段。此阶段应观察到并阐明与沿海智能船舶及装备相关的基础科学原理
TRL 2	技术成熟度等级 2 为技术概念与应用方案的形成阶段。应基于已发现的基本原理，提出具体的技术应用概念，其评价依据为核心学术论文与理论分析报告
TRL 3	技术成熟度等级 3 为关键功能与特性的实验验证阶段。须通过实验室环境下的分析与部件试验，验证技术概念的可行性。评价依据应包括对核心学术论文与专利的检索审查报告、实验室测试数据及原理样机演示验证记录
TRL 4	技术成熟度等级 4 为实验室环境下的部件集成验证阶段。应在实验室环境中将关键部件或分系统集成成为功能样机，并在模拟环境中进行验证。评价依据为实验室集成测试报告与模拟环境运行数据
TRL 5	技术成熟度等级 5 为模拟相关环境下的部件验证阶段。关键部件或分系统应在实验室模拟沿海环境中进行测试验证。评价依据为部件级环境适应性测试报告
TRL 6	技术成熟度等级 6 为模拟相关环境下的原理样机演示阶段。应构建具有代表性的系统样机或原型，并在高度模拟的沿海环境中成功演示其核心功能
TRL 7	技术成熟度等级 7 为真实环境下的系统原型示范阶段。应完成实际系统的原型机，并在真实的沿海运营环境中进行示范运行
TRL 8	技术成熟度等级 8 为系统完成与资格认证阶段。实际系统应已完成并定型，通过所有必需的测试与验证，满足任务要求与监管规定。
TRL 9	技术成熟度等级 9 为系统成功的商业化应用阶段。技术系统应在实际的商业运营中得到成功且常态化的应用。

### 7.3 综合评价模型

#### 7.3.1 模型公式

为综合评估沿海智能船舶及装备技术的整体成熟状态，构建一个包含技术维度、系统集成维度和领域权重的分层综合评价模型。总体技术成熟度指数由五个关键技术领域的成熟度加权综合得出，计算公式如下：

$$TMI = \sum_{k=1}^5 \omega_k \cdot TMI_k \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$TMI$ ：总体技术成熟度指数。

$TMI_k$ ：第  $k$  个技术领域的成熟度指数。

$\omega_k$ ：第  $k$  个技术领域的权重，满足  $\sum_{k=1}^5 \omega_k = 1$ 。权重反映了该技术领域对整个智能船舶系统的重要程度。

$k = 1, 2, 3, 4, 5$ ：分别对应智能航行、智能能效、智能机舱、岸基驾控、智能运维五个技术领域。

#### 7.4 各技术领域成熟度指数

每个技术领域的成熟度指数  $TMI_k$  由其技术核心维度得分和系统集成维度得分加权计算得出：

$$TMI_k = \beta \cdot S_{T,k} + (1 - \beta) \cdot S_{S,k} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$S_{t,k}$ :第 k 个技术领域的技术核心维度得分。

$S_{s,k}$ :第 k 个技术领域的系统集成维度得分。

$\beta$ : 技术核心维度的权重 ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) 建议值为 0.6。

### 7.5 得分计算细则

技术核心维度得分 ( $S_{t,k}$ )

该得分直接来源于第 5 章中定义的技术成熟度等级。将评估得到的 TRL 等级 (1~9) 通过线性映射转化为百分制得分, 转化公式为:

$$S_{t,k} = \frac{(TRL_k - 1)}{8} \times 90 + 10 \dots \dots \dots (3)$$

### 7.6 系统集成维度得分 ( $S_{s,k}$ )

该得分通过对每个技术领域在系统集成方面的表现进行评价得出。对系统集成维度的评估, 应综合考虑 GB/T 35778-2017 对智能船舶整体架构、系统集成及信息交互的通用要求。评价指标包括但不限于:

- a) 兼容性 ( $C_k$ ): 与现有沿海智能船舶平台的接口兼容与适配能力。
- b) 数据融合 ( $D_k$ ): 多源异构数据的采集、处理与融合能力。
- c) 通信与安全 ( $S_k$ ): 船-岸-船通信的稳定性、实时性与网络安全水平。
- d) 人机交互 ( $H_k$ ): 系统与船员交互的友好性、信息呈现清晰度及应急接管便捷性。

对每个指标采用 1~5 分制进行专家打分 (1-差, 2-较差, 3-中等, 4-良好, 5-优秀), 然后计算加权平均分, 最后转化为百分制:

$$S_{s,k} = \frac{(\omega_1 C_k + \omega_2 D_k + \omega_3 S_k + \omega_4 H_k)}{5} \times 20 \dots \dots \dots (4)$$

式中  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  为各子指标的权重, 满足  $\sum \omega_i = 1$

### 7.7 权重确定方法

项目各层级权重的确定应遵循科学、共识的原则, 具体方法如下:

a) 领域权重  $\omega_k$  与集成子指标权重  $\omega_i$ : 采用层次分析法 (AHP), 通过专家两两比较判断矩阵的方式科学确定。

b) 核心与集成权重 ( $\beta$ ): 采用德尔菲法, 通过多轮专家咨询达成共识。

### 7.8 评价等级判定:

根据计算得出的总体 TMI 分数, 对沿海智能船舶及装备技术的综合成熟度进行等级判定:

表 7 综合成熟度等级评判表

综合成熟度等级	TMI 分数区间	说明
高成熟度	$TMI \geq 85$	技术已高度成熟并成功集成, 具备大规模商业化应用条件。
较高成熟度	$70 \leq TMI < 85$	技术基本成熟, 系统集成度良好, 可在特定场景下进行商业化示范应用。
中等成熟度	$55 \leq TMI < 70$	技术原理已验证, 正处于系统集成与样

		机测式阶段，存在一定技术风险。
较低成熟度	$40 \leq TMI < 50$	技术处于概念开发或实验室原理验证早期，系统集成方案尚不明确，风险较高。
低成熟度	$TMI < 40$	技术处于基础研究阶段，概念尚不清晰，离工程应用甚远。

## 8 技术成熟度评估程序和方法

### 8.1 评估准备

- 8.1.1 明确被评价技术及载体，通知被评估方，明确评价要求等事项。
- 8.1.2 评价组织方组织成立由独立于被评价技术开发团队的同行专家所组成的评价专家组，并确定评价专家组组长，明确评价专家组的职责和任务。
- 8.1.3 召开评估准备会，明确目的、对象、标准、计划等。其主要内容包括：
- 明确评价的目的、原则、对象、要求等；
  - 了解评价的依据标准、程序、方法和注意事项等；
  - 确定被评价技术的子技术、被评价技术的载体及其状态、各被评价技术之间的相互关系、对应相应的工程阶段宜达到的技术成熟度等级等；
  - 对于被评价技术而言，沟通对于技术成熟度等级定义的理解，明确是否针对被评价技术编制具体的评价细则（硬件、软件技术成熟度评价细则参见表 A.1和表 A.2，其他类技术可参照）；
  - 对被评价方初步提出的备查技术文件清单（参见附录 B 表 B.1）进行确认；
  - 对评价关注重点、评价时间安排、评价地点等进行沟通，确定评价工作的具体实施安排。
- 8.1.4 被评估方准备技术资料、落实评估场所
- 梳理被评价技术及其子技术相关情况，包括技术团队、技术类型、对应的技术载体、技术特点和难点、开发进展情况等，填写被评价技术及其子技术相关情况表（参见表 B.2）。
  - 办理评价备查技术文件借阅手续或电子版技术文件归集和提供工作。相关技术资料主要包括证实被评价技术理论公认正确性的相关学术著作、论文等。技术文件主要包括被评价技术研究与应用过程中的研究报告、试验报告以及其他必要的分析、计算和相关信息资料等。对应每一技术成熟度等级，提供相应的备查技术资料。
  - 落实评价场所。评价场所最好选在被评价技术研发单位内部，以便于评价过程中补充技术文件、考察科研现场等。
  - 技术文件、评价场所等方面的评价准备工作注意满足有关保密要求。

### 8.2 现场评估

召开首次会议，介绍技术情况评价专家组组长主持召开评价工作首次会议，宣布评价范围和子技术、评价要求、评价专家组成员以及评价实施计划安排。被评价技术的负责人介绍该技术在预先研究、立项论证、工程应用中的相关情况，包括相关理论原理的论著和国际公认、理论及资料的掌握情况、原有的技术储备、技术攻关、理论计算、建模仿真、设计应用、样机制造、技术文件编制、试验验证、技术状态控制、质量问题归零、技术评审结论、技术总结以及相关证据材料等。包括下列内容：

- 专家查阅资料、交流、考察现场，逐级逐项评价并记录；评价专家依据技术成熟度等级定义和评价细则，通过查阅相关资料、与被评价方技术人员交流、科研现场考察等方式，开展现场评价工作。

现场评价时，每一位评价专家依据技术成熟度等级定义表和（或）评价细则对每一项技术及其子技术的每一级的每一项评价条目进行逐级、逐项的评价，填写现场评价记录表，对不能满足技术成熟度等级定义其评价细则要求的情况如实反映在评价记录中（参见表 B.3）

b) 对新技术的评估建议从一级开始，对于立项论证转方案阶段评审前提出的新技术和工程项目研制阶段新增加的新技术，宜从技术成熟度等级的一级开始逐级评价，并在后续各转阶段评审和出厂评审前按要求开展技术成熟度评价。对于已经过立项论证阶段或部分研制阶段的工程项目，也宜从技术成熟度等级的一级技术成熟度开始逐级评价，并在后续各转阶段评审和出厂评审前按要求开展技术成熟度评价；

c) 评估专家组讨论后，形成评估结论和建议，判定该技术是否可以选用，确认技术分析和试验是否到位，发现技术攻关的瓶颈，给出技术成熟度等级，形成明确、清晰的评价意见和结论（评价结论模板参见表 B.4）。评价专家组按照该技术中子技术的最低等级作为该技术的成熟度等级的原则，确定其技术成熟度等级；

d) 评价专家组组长主持召开评价工作末次会，向被评价方通告评价情况，包括评价结论、发现的薄弱环节和问题等，并提出后续提升该技术的成熟度等级的建议；

### 8.3 评估总结、汇报、结论审查和文件归档

#### 8.3.1 编写技术成熟度评估报告

评价专家组编写技术成熟度评价报告（评价报告模板参见表 B.10）。技术成熟度评价报告的内容包括：确定的被评价技术及其子技术，被评价技术及其技术载体的介绍；评价专家组组成；评价工作过程；被评价技术所依据科学原理的研究和掌握情况；技术攻关和技术应用的情况；发现的技术问题及与任务目标的差距；达到的技术成熟度等级；后续技术工作建议等。

#### 8.3.2 向评估组织方汇报

评价专家组向评价组织方汇报评价工作情况、评价结论和相关建议，其主要内容包括：被评价技术项目达到的技术成熟度等级；发现的技术问题；在推迟技术项目评审、后续技术攻关以提升技术成熟度、采用其他成熟技术进行替代等方面的建议。

#### 8.3.3 评估组织方审查确认评估结论

评价组织方组织审查评价报告，复议评价专家组中个别专家的保留意见（必要时组织补充评价），审查确认评价结论和相关建议。评价报告通过审查后，发送至被评价方及其上级工程项目组织，必要时送被评价方的上级主管部门。

#### 8.3.4 完成所有评估文档的归档

被评价方完成技术成熟度评价文档（评价文件清单、评价细则、现场评价记录、评价专家意见签署表和评价报告等）的归档工作

### 8.4 评估后工作

#### 8.4.1 被评估方制定并实施技术成熟度提升计划

被评价方落实评价意见和建议，针对未能达到智能船舶规范相应阶段规定的技术成熟度等级要求的

技术，制定后续提升技术成熟度的计划。其内容主要包括后续的技术攻关以及试验验证及其进度安排、相关资源和评审等。该计划的有效实施建议能够保证该技术在后续评价中达到规定的技术成熟度等级要求。

#### 8.4.2 评估组织方跟踪计划实施情况，进行闭环管理

评价组织方对提升技术成熟度计划进行评审、审查和批准，检查被评价方对评价意见和建议的落实或答复情况，跟踪被评价方对提升技术成熟度的计划实施情况。负责承担遗留问题跟踪工作的人员或补充评价的专家填写现场评价遗留问题跟踪表中相关后续工作、证实资料或现场证实等内容。

### 8.5 各相关方在技术成熟度评估工作中的职责

#### 8.5.1 评估组织方

评估组织方主要的职责如下：

- a) 制定技术成熟度评价管理办法，明确技术成熟度评价的内容范围、等级定义、程序、方法和要求等；
- b) 制定沿海智能船舶各阶段技术成熟度评价计划，确定各阶段评价工作目标、被评价技术项目、评价时间节点和相关资源保障等，纳入立项论证、工程研制计划等；
- c) 组织开展技术成熟度评价工作，包括：确定评价专家组的组成，审查评价工作实施计划，支持评价专家组工作，监督评价过程等；
- d) 审查技术成熟度评价报告，并上报和向被评价方反馈评价报告及评价结论和相关建议；
- e) 组织对未达到技术成熟度等级要求而制定的提升技术成熟度的计划等进行审查、批准和跟踪，实施闭环管理；
- f) 规范技术成熟度评价文档管理，保证技术成熟度评价结果的可追溯性。

#### 8.5.2 评估专家组

负责制定实施计划、开展现场评估、编写报告、给出结论与建议、保守技术秘密。

- a) 与被评价方沟通，确定被评价技术项目中拟被评价的子技术，制定针对该被评价技术项目的技术成熟度评价实施计划。
- b) 通过与被评价方沟通、查阅技术资料、质疑和解答、科研现场实地考察等方式，开展现场评价工作。
- c) 编写技术成熟度评价报告，作出技术成熟度评价结论，给出被评价技术的成熟度等级，说明评价结论的依据，指出评价中发现的技术问题，提出进一步提升技术成熟度或替换为其他更加成熟技术的建议。
- d) 按照评价组织方的要求，对未达到技术成熟度等级要求而制定的提升技术成熟度计划等进行评审。
- e) 保守被评价技术秘密。

#### 8.5.3 评估专业机构

评价专业机构的主要职责如下：

- a) 配合评价组织方制定技术成熟度评价管理办法、评价计划等；
- b) 对评价专家组、被评价方相关人员进行技术成熟度评价的培训和指导；
- c) 配合评价组织方和评价专家组开展现场评价以及评价后的工作。

#### 8.5.4 被评估方

项目承研单位在技术成熟度评价过程中应履行以下职责：

- a) 配合评价专家组，确定被评价子技术项目和评价实施计划；
- b) 向评价专家组提供评价工作所需的技术资料，陪同评价专家组实地考察科研现场，向评价专家组详细介绍被评价技术的研究和应用情况，解答评价专家组的询问和质疑；
- c) 针对评价中发现的问题开展相应的技术工作，落实评价专家组提出的意见和建议；
- d) 对未达到技术成熟度相应等级的技术项目，制定有针对性的提升技术成熟度的计划，并接受评价专家组对其的评审。

## 附录 A

(资料性)

## 技术成熟度评价细则

## A.1 智能航行技术成熟度评价细则

用于对沿海智能船舶智能航行技术项目现场评价中逐条、逐项评价的提示和记录。(本技术领域的具体技术工作建议与验证方法,可参考附录 C。)

A.1.1 硬件技术成熟度评价细则见表 A.1,用于对硬件技术项目现场评价中逐条、逐项评价的提示和记录。

A.1.2 智能航行技术成熟度评价细则使用说明:

- a) 当评价某一条满足评价细则的内容时,建议提供证实性相关信息;
- b) 当评价某一条没有满足评价细则的内容时,建议说明现有技术成熟程度与建议达到的技术成熟程度的差距;
- c) 当评价对某一条评价细则的内容不相关时,建议对不相关的原因进行解释说明,并列出具体的证实文件名单;
- d) 在评价结果一栏中,满足划“√”,不满足划“×”,不相关划“○”。

表 A.1 智能航行技术成熟度评价细则

等级	等级定义	评价内容	评价结果 (√、×或○)	备注 (请注明选择√、×或○的理由及文件名称)
一	定义: 发现和(或)报道了技术的基本原理,理论研究成果得到了同行公认,业知识	是否明确了研究的假设(前提)条件?		
		基于假设条件,是否提出了基本科学原理?		
		是否明确了支持基本科学原理的物理定律和假设条件?		
		是否已证明提出的基本科学原理符合物理定律和假设条件?		
		是否确定了技术的基本要素?		
		是否产生能支持假设(前提)条件的可应用的科学知识?		
		技术团队是否取得相关技术资料,对其学习和掌握情况如何?		
		说明基本原理的公布出处(学术刊物、学术会议论文集、学术著作或技术报告等),学术权威程度如何?是否得到同行认可或评审?		
		是否形成了技术概念,是否提出了技术应用方案?		
		是否明确了支撑技术概念、技术应用方案的基本科学原理?		
		是否已通过初步的分析研究(理论分析、建模和仿真等)证实了技术概念、技术应用方案?		

二	定义： 根据基本原理，提出明确的技术概念、技术应用方案和（或）应用设想	是否明确了技术应用方案的应用前景？		
		是否提出技术载体预期产品的基本结构和功能特性？		
		是否初步确定了设计方案？		
		是否进行了预期产品初步系统研究的可行性分析？		
		是否预测了预期产品初步的性能？		
		是否对预期产品进行了建模和仿真，进一步改进性能预测并确认了技术的应用价值？		
		是否系统地阐述了技术的应用价值？		
		是否已形成了研究、开发途径？		
		是否对预期产品初步提出了实验室试验及其试验环境条件？		
		在学术期刊、会议论文集、学术著作、技术报告中是否研究、发表过技术方案或应用的可行性及价值？		
三	定义： 技术应用方案的关键功能或特性通过了分析与实验室证实，主要功能单元得到了实验室验证	是否识别出了方案（应用设想）的关键功能或组成？		
		是否分析预测了分系统或部组件的性能？		
		是否初步确定了预期产品的关键性能参数量化指标？		
		是否制定了实演示室试验方案并明确了试验环境条件？		
		是否通过建模和仿真对分系统或部组件的预测性能进行了评价？		
		用于验证部组件基本原理测试的试验设备和基础设施是否到位？		
		试验用的部组件是否到位（是否已购买或自行制造了试验用的部组件）？		
		是否完成了部组件的实验室试验？		
		是否完成了试验结果分析，并明确了部组件、单机或分系统的关键性能量化指标？		
		是否通过方案演示验证对关键功能进行分析验证？		
四	定义： 部组件或功能试验模型（原理样机）的功能，在实验室环境下得到验证	是否已编写了分析报告和验证原理试验的试验报告？		
		方案（应用设想）是否已转化为详细的部组件级的功能试验模型的设计？		
		是否初步明确了技术的使用环境？		
		是否制定了功能试验模型实验室试验的试验方案并明确了试验环境条件？		
		是否在试验前通过建模和仿真评价了功能试验模型在实验室环境下的预测性能？		

		是否确定了功能试验模型在实验室试验下的关键性能参数指标？		
		功能试验模型的实验室试验设备和基础设施是否到位？		
		是否制造了实验室试验用的部组件级的功能试验模型？		
		是否完成了实验室环境下的功能试验模型试验？		
		是否完成了试验结果的分析，并验证了与预测相关的性能？		
		是否确定了最终用户应用的初步系统要求？		
		是否确定了与初步确定的使用环境相关的关键试验环境条件及试验性能？		
		是否明确了相关试验环境条件？		
		是否形成了验证分析预测性能的功能试验模型的性能结果和相关使用环境条件的报告？		
		方案（应用设想）是否已转化为详细的部组件级的功能试验模型的设计？		
五	定义： 部组件、单机、分系统级的原理样机的关键功能，在相关环境下得到验证	是否确认了关键功能及其相关的分系统和部组件？		
		是否确定了最终的相关环境？		
		是否用文件明确了缩比要求？		
		是否设计和确认了关键分系统和零部件的功能试验模型（实物和（或）半实物功能试验模型）？		
		是否生产和确认了关键零部件、分系统的功能试验模型和（或）半实物功能试验模型？		
		相关环境试验的基础设施、地面保障设备、特殊试验设备是否到位？		
		在试验前，是否用建模和仿真的方法预测试验性能？		
		是否预测了后续开发阶段系统级性能？		
	是否在相关环境中成功地演示验证了关键分系统和部组件功能试验模型和（或）半实物功能试验模型？			

		是否形成了与缩比要求一致的试验验证文档?		
六	定义: 单机、分系统或系统级工程样机(初样)的关键功能和主要性能,在高度逼真相关环境下(地面或空间)得到验证	是否确定了最终的系统要求?		
		是否确定了最终的使用环境条件?		
		是否明确了能体现最终使用环境关键方面的相关环境?		
		是否通过建模和仿真模拟了使用环境下的系统性能?		
		是否通过建模和仿真模拟了相关环境中分系统和系统工程样机或原型产品的性能?		
		是否确定了外部接口基线?		
		是否最终确定了相关环境试验下的分系统或系统的工程样机或原型产品的缩比要求?		
		相关环境试验的基础设施、地面保障设备、特殊试验设备是否到位?		
		是否已经制造了试验用的满足缩比要求的工程样机或原型产品?		
		是否完成了体现工程样机或原型产品的相关环境试验?		
是否完成了试验结果的分析,并验证了相关环境下的预测性能?				
是否形成了与预测性能一致的演示验证文档?				
七	定义: 最终的系统级工程样机(正样或试样产品)的性能,在使用环境或高度逼真的相关环境中得到验证	是否建立了正样或试样产品的设计基线?		
		设计是否体现了所有的关键缩比问题?		
		是否通过建模和仿真预测了使用环境下的性能?		
		智能航行试验产品鉴定试验的基础设施、地面保障设备、特殊试验设备是否到位?		
		是否制造了能充分体现所有关键缩比和外部接口的完整工程样机或者缩比样机单元?		
是否已经完成了产品的鉴定试验?				

		是否通过试验或分析验证了所有性能技术要求？		
		是否在使用环境或高度逼真的相关环境下成功地演示验证了完整的样机单元？		
		是否建立了最终验收试验计划、演示程序和验收准则的基线？		
		是否形成了成功航行演示验证文档？		
八	定义： 系统级产品（实际系统）已完成，并通过沿海智能船舶航行首次成功的实际使用对技术进行了鉴定	是否已经完成所有航行试验产品分系统研制？		
		是否已确定了所有航行试验产品的接口？		
		是否已完成了智能航行系统的研制？		
		是否形成了航行控制手册、地面操作手册？		
		是否完成了所有航行系统鉴定试验？		
		是否通过试验或分析验证了所有系统性能的技术要求？		
		是否已完成了所有部组件、分系统、系统的航行试验产品的验收试验？		
		是否按照最终的工艺文件完成了最终系统的总装？		
九	定义： 系统级产品（实际系统）通过多次（三次及以上）或长期执行沿海智能船舶航行工程任务，得到技术成功应用的证明	是否已将智能航行系统多次（三次及以上）应用于航行任务？		
		系统在实际使用环境下是否连续或长期成功运行？		
		是否深入、系统地分析了智能航行系统性能？		
		是否验证了航行系统性能完成满足使用要求？		
		是否形成了智能航行系统完成满足使用要求的全套验证文档？		

## A.2 岸基驾控技术成熟度评价细则

用于对岸基驾控技术项目现场评价中逐条、逐项评价的提示和记录。（本技术领域的具体技术工作建议与验证方法，可参考附录 C。）

A.2.1 硬件技术成熟度评价细则见表 A.2，用于对硬件技术项目现场评价中逐条、逐项评价的提示和记录。

A.2.2 岸基驾控技术成熟度评价细则使用说明：

- a) 当评价某一条满足评价细则的内容时，建议提供证实性相关信息；
- b) 当评价某一条没有满足评价细则的内容时，建议说明现有技术成熟程度与建议达到的技术成熟程度的差距；
- c) 当评价对某一条评价细则的内容不相关时，建议对不相关的原因进行解释说明，并列出具体的证实文件名单；
- d) 在评价结果一栏中，满足划“√”，不满足划“×”，不相关划“○”。

表 A.2 岸基驾控技术成熟度评价细则

等级	等级定义	评价内容	评价结果 (√、×或○)	备注 (请注明选择√、×或○的理由及文件名称)
一	定义： 发现和（或）报道了技术的基本原理，理论研究成果得到了同行公认	是否明确了研究的假设（前提）条件？		
		基于假设条件，是否提出了基本科学原理？		
		是否明确了支持基本科学原理的物理定律和假设条件？		
		是否已证明提出的基本科学原理符合物理定律和假设条件？		
		是否确定了技术的基本要素？		
		是否产生能支持假设（前提）条件的可应用的科学知识？		
		技术团队是否取得相关技术资料，对其学习和掌握情况如何？		
		说明基本原理的公布出处（学术刊物、学术会议论文集、学术著作或技术报告等），学术权威程度如何？是否得到同行认可或评审？		
		是否形成了技术概念，是否提出了技术应用方案？		
		是否明确了支撑技术概念、技术应用方案的基本科学原理？		
是否已通过初步的分析研究（理论分析、建模和仿真等）证实了技术概念、技术应用方案？				

二	定义： 根据基本原理，提出明确的技术概念、技术应用方案和（或）应用设想	是否明确了技术应用方案的应用前景？		
		是否提出技术载体预期产品的基本结构和功能特性？		
		是否初步确定了设计方案？		
		是否进行了预期产品初步系统研究的可行性分析？		
		是否预测了预期产品初步的性能？		
		是否对预期产品进行了建模和仿真，进一步改进性能预测并确认了技术的应用价值？		
		是否系统地阐述了技术的应用价值？		
		是否已形成了研究、开发途径？		
		是否对预期产品初步提出了实验室试验及其试验环境条件？		
		在学术期刊、会议论文集、学术著作、技术报告等中是否研究、发表过技术方案或应用的可行性及价值？		
三	定义： 技术应用方案的关键功能或特性通过了分析与实验室证实，主要功能单元得到了实验室验证	是否识别出了方案（应用设想）的关键功能或组成？		
		是否分析预测了分系统或部组件的性能？		
		是否初步确定了预期产品的关键性能参数量化指标？		
		是否制定了实验室试验方案并明确了试验环境条件？		
		是否通过建模和仿真对分系统或部组件的预测性能进行了评价？		

<p>定义： 部组件或功能试验模型（原理样机）的功能，在实验室环境下得到验证</p> <p>四</p>	用于验证部组件基本原理测试的试验设备和基础设施是否到位？		
	试验用的部组件是否到位（是否已购买或自行制造了试验用的部组件）？		
	是否完成了部组件的实验室试验？		
	是否完成了试验结果分析，并明确了部组件、单机或分系统的关键性能量化指标？		
	是否通过方案演示验证对关键功能进行分析验证？		
	是否已编写了分析报告和验证原理试验的试验报告？		
	方案（应用设想）是否已转化为详细的部组件级的功能试验模型的设计？		
	是否初步明确了技术的使用环境？		
	是否制定了功能试验模型实验室试验的试验方案并明确了试验环境条件？		
	是否在试验前通过建模和仿真评价了功能试验模型在实验室环境下的预测性能？		
	是否确定了功能试验模型在实验室试验下的关键性能参数指标？		
	功能试验模型的实验室试验设备和基础设施是否到位？		
	是否制造了实验室试验用的部组件级的功能试验模型？		
	是否完成了实验室环境下的功能试验模型试验？		
	是否完成了试验结果的分析，并验证了与预测相关的性能？		
是否确定了最终用户应用的初步系统要求？			
是否确定了与初步确定的使用环境相关的关键试验环境条件及试验性能？			

五	定义： 部组件、单机、分系统级的原理样机的关键功能，在相关环境下得到验证	是否明确了相关试验环境条件？		
		是否形成了验证分析预测性能的功能试验模型的性能结果和相关使用环境条件的报告？		
		是否确认了关键功能及其相关的分系统和部组件？		
		是否确定了最终的相关环境？		
		是否用文件明确了缩比要求？		
		是否设计和确认了关键分系统和零部件的功能试验模型（实物和（或）半实物功能试验模型）？		
		是否生产和确认了关键零部件、分系统的功能试验模型和（或）半实物功能试验模型？		
		相关环境试验的基础设施、地面保障设备、特殊试验设备是否到位？		
		在试验前，是否用建模和仿真的方法预测试验性能？		
		是否预测了后续开发阶段系统级性能？		
		是否在相关环境中成功地演示验证了关键分系统和部组件功能试验模型和（或）半实物功能试验模型？		
		是否形成了与缩比要求一致的试验验证文档？		
		是否确定了最终的系统要求？		
		是否确定了最终的使用环境条件？		
		是否明确了能体现最终使用环境关键方面的相关环境？		
是否通过建模和仿真模拟了使用环境下的系统性能？				
六	定义： 单机、分系统或系统级工程样机（初样）的关键功能和主要性能，在高度逼真相关环境下（水池或湖面）得到验证	是否通过建模和仿真模拟了相关环境中分系统和系统工程样机或原型产品的性能？		
		是否确定了外部接口基线？		
		是否最终确定了相关环境试验下的分系统或系统的工程样机或原型产品的缩比要求？		

证		相关环境试验的基础设施、地面保障设备、特殊试验设备是否到位？		
		是否已经制造了试验用的满足缩比要求的工程样机或原型产品？		
		是否完成了体现工程样机或原型产品的相关环境试验？		
		是否完成了试验结果的分析，并验证了相关环境下的预测性能？		
		是否形成了与预测性能一致的演示验证文档？		
		是否建立了正样或试样产品的设计基线？		
		设计是否体现了所有的关键缩比问题？		
		是否通过建模和仿真预测了使用环境下的性能？		
七	定义： 最终的系统级工程样机（正样或试样产品）的性能，在使用环境或高度逼真的相关环境中得到验证	沿海智能船舶航行试验产品鉴定试验的基础设施、地面保障设备、特殊试验设备是否到位？		
		是否制造了能充分体现所有关键缩比和外部接口的完整工程样机或者缩比样机单元？		
		是否已经完成了产品的鉴定试验？		
		是否通过试验或分析验证了所有性能技术要求？		
		是否在使用环境或高度逼真的相关环境下成功地演示验证了完整的样机单元？		
		是否建立了最终验收试验计划、演示程序和验收准则的基线？		
		是否形成了成功航行演示验证文档？		
		是否已经完成所有岸基驾控航行试验产品分系统研制？		
		是否已确定了所有岸基驾控航行试验产品的接口？		
		是否已完成了岸基驾控系统的研制？		
八	定义： 系统级产品（实际系统）已完成，并通过岸基驾控任务首次成功的实际使用对技术进行了鉴定	是否形成了岸基驾控航行控制手册、地面操作手册？		

九	定义： 系统级产品（实际系统） 通过多次（三次及以上）或长期执行航行工程任务，得到技术成功应用的证明	是否完成了所有岸基驾控航行系统鉴定试验？		
		是否通过试验或分析验证了所有系统性能的技术要求？		
		是否已完成了所有部组件、分系统、系统的岸基驾控式验产品系统的验收试验？		
		是否按照最终的工艺文件完成了最终系统的总装？		
		是否按岸基驾控航行大纲完成了验证岸基驾控航行试验？		
		是否进行了验证航行试验结果分析与评审？验证岸基驾控航行试验结果是否满足大纲要求？		
		是否已将岸基驾控系统多次（三次及以上）应用于航行任务？		
		系统在实际使用环境下是否连续或长期成功运行？		
		是否深入、系统地分析了岸基驾控系统性能？		
		是否验证了岸基驾控系统性能完成满足使用要求？		
是否形成了岸基驾控系统完成满足使用要求的全套验证文档？				



表 B.2 被评价技术相关情况表

技术名称		技术类型	
技术开发单位		技术负责人	
对应的技术载体 (产品或装备) 及功能			
技术简要说明：(对照技术成熟度等级定义，简要介绍该技术开发进展情况)			
技术特点和技术攻关难点：(简要介绍该技术的特点和技术攻关的难点)			
证实资料：(对应技术成熟度等级定义和评价准则，逐级给出主要证实性技术资料名称，也可单独列表)			

注：每一项技术或子技术都填写一份

表 B.3 现场评价记录表

被评价技术名称：

子技术名称：

被评价技术名称：		子技术名称：	
评价活动记录			
评价活动基本情况（简要地描述现场评价过程，包括查阅资料、访谈、答疑、现场考察等活动和被评价方人员姓名等）			
评价内容（简要地描述重点查阅的技术文件及主要内容，评价专家重点关注的问题）			
初步评价意见（拟定的技术成熟度等级及理由）			
下一步工作的建议（依据技术成熟度等级定义，针对存在的问题和薄弱环节，提出达到期望的技术成熟度等级所需要进一步开展技术工作的建议或采用成熟的同类技术代替该技术的建议）			
评价专家 签名		评价日期	

表 B.4 评价结论模板表

技术成熟度评价结论
<p>经过评价专家组对（被评价技术名称）（或中）（子技术名称）技术成熟度第一级～（评价预期等级）进行逐级、逐项的分析和评价，（一致）认为该项技术（满足或不满足或基本满足）任务要求，（有或无）遗留问题，（达到或基本达到或未达成）技术成熟度（评价预期等级）级中对该项技术的要求。按技术成熟度等级定义（和评价细则），（一致）认为（被评价技术名称）（或中）（子技术名称）技术（达到或基本达到或未达成）了成熟度（实际等级）级。</p> <p>遗留问题：</p> <p>其他建议：</p> <p>评价专家组组长： 年 月 日</p>
<p>不同意见：（简要阐述对上述评价结论的不同意见）</p> <p>专家： 年 月 日</p>

注：个别评价专家不同意评价专家组多数专家意见时，应在评价结论中注明。可将个别评价对象不同意见单独填写相应表格，见表 B.9。



表 B.6 评价专家签署表

被评价技术名称:

被评价子技术名称:

	姓名	职务/职称	单位和(或)部门	技术专长	签名	备注 (填写不同意评价专家组多数专家的意见,相关专业组织中的任职等)
组长						
	成					
员						

日期:

签署:

表 B. 7 评价活动汇总表

被评价技术名称：

被评价子技术名称：

日期	地点	评价活动 (查阅资料、访谈、答疑、现场考察等活动)	重点关注问题	评价专家	被评价方参加人员	备注

日期：

签署：

表 B.8 现场评价遗留问题跟踪表

被评价技术名称		技术类型	
技术开发单位		技术负责人	
对应的技术载体 (产品或装备) 及功能			
<p>遗留问题简要说明：(如，提供资料不充实，暂时没有给出评价结论；被评价方技术负责人不认可，有待进一步沟通或补充评价；个别评价专家对评价给出的评价结论持保留意见等)</p>			
<p>后续相关工作：(简要介绍复核、补充评价等活动的时间、部门或人员、方式和结果等)</p>			
<p>证实资料或现场证实：(列出补充的证实资料或补充进行的现场证实活动等)</p>			

表 B.9 评价专家对评价结论保留意见表

被评价技术 名称		技术类型	
技术开发单位		技术负责人	
对应的技术载体 (产品或装备) 及功能			
对评价结论所持保留意见的简要说明:			
对后续相关工作的建议:			
对评价结论持保留意见的评价专家签名			

## 附录 C

## (资料性)

## 技术工作建议与提升成熟度计划

## C.1 技术工作项目及方法

## C.1.1 智能航行技术

C.1.1.1 进一步开展的项目：加强智能航行算法在复杂海洋环境下的验证与优化。

## C.1.1.2 建议方法：

a) 实验室仿真验证：构建高精度海洋环境仿真平台，模拟不同海况、气象条件及交通状况，对智能航行算法进行大量测试，验证其鲁棒性和适应性。

b) 实船测试：选择具有代表性的沿海航段进行实船测试，收集实际航行数据，与仿真结果进行对比分析，进一步优化算法。

c) 第三方评估：邀请行业专家或权威机构对智能航行系统进行独立评估，确保技术指标达到国际先进水平。

## C.1.2 智能能效管理技术

C.1.2.1 进一步开展的项目：完善能效监测与优化系统的数据采集与分析能力。

## C.1.2.2 建议方法：

a) 数据采集设备升级：采用高精度传感器和物联网技术，提升数据采集的准确性和实时性。

b) 大数据分析：

c) 系统集成测试：在测试船上安装升级后的能效管理系统，进行长期跟踪测试，验证其在实际航行中的节能效果。

## C.1.3 智能机舱技术

C.1.3.1 进一步开展的项目：进行状态监测、故障预测与健康管理的技術

## C.1.3.2 建议方法：

a) 故障模式库建设：收集历史故障数据，建立详细的故障模式库，为故障预测提供数据支持。

b) 智能诊断算法研发：研发基于深度学习的故障诊断算法，提高故障识别的准确性和及时性。

c) 实际运行验证：在实船机舱中安装智能诊断系统，进行长期运行验证，不断优化算法性能。

## C.2 时间计划

## C.2.1 短期计划（1-3个月）

a) 完成智能航行算法在实验室仿真平台上的初步验证。

b) 升级智能能效管理系统的数据采集设备，并完成初步调试。

c) 启动智能机舱故障模式库的建设工作。

## C.2.2 中期计划（1-3个月）

a) 在选定的沿海航段进行智能航行技术的实船测试。

- b) 完成智能能效管理系统的大数据分析模块开发，并进行集成测试。
- c) 完成智能机舱智能诊断算法的研发，并在测试环境中进行验证。

#### C.2.3 长期计划（6-12个月及以上）

- a) 根据实船测试结果，对智能航行算法进行持续优化，直至达到商业应用标准。
- b) 在多艘实船上安装并运行升级后的智能能效管理系统，收集长期运行数据，进一步优化系统性能。
- c) 根据实船测试结果，对智能航行算法进行持续优化，直至达到商业应用标准。

#### C.3 要求

在沿海真实环境中开展智能航行等技术实船测试验证时，应遵循以下基本原则：

- a) 数据真实性：所有测试数据必须真实可靠，能够准确反映技术在实际运行中的表现。在选定的沿海航段进行智能航行技术的实船测试。
- b) 安全性：在实船测试过程中，必须严格遵守安全操作规程，确保人员和设备的安全。
- c) 合规性：所有技术工作必须符合国际海事公约、国内法律法规及行业标准的要求。
- d) 持续改进：根据测试结果和专家评估意见，持续优化技术方案，确保技术成熟度的不断提升。

#### C.4 提升技术成熟度的计划

为加速技术成果转化、构建良性产业生态，项目相关方应在技术研发与评价基础上，重点推进以下战略性支撑工作：

- a) 加强产学研合作：与高校、科研机构及行业领先企业建立紧密的合作关系，共同开展关键技术研发和测试验证工作。
- b) 参与标准制定：积极参与国际和国内相关标准的制定工作，推动技术成果的标准化和产业化应用。
- c) 人才培养与引进：加大在智能船舶及装备领域的人才培养和引进力度，打造一支高素质的技术研发团队。
- d) 市场推广与应用：通过参加国际展会、举办技术研讨会等方式，加强技术成果的市场推广和应用示范，提升品牌影响力和市场竞争力。

参 考 文 献

- [1] IMO MSC.1/Circ.1580 《自主船舶试航暂行指南》
- 

征求意见稿