

团 体 标 准

T/CSNAME 205—2026

船舶能效多源协同优化效果评估方法

The evaluation method for multi-source collaborative optimization effect of ship energy efficiency

2026 - 02 - 12 发布

2026 - 05 - 11 实施

中国造船工程学会 发 布

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：大连海事大学、中国船级社、上海交通大学、武汉理工大学、招商局能源运输股份有限公司。

本文件主要起草人：王凯、黄连忠、尹勇、孙永刚、陈俐、范爱龙、尹奇志、黎晓武。



船舶能效多源协同优化效果评估方法

1 范围

本文件规定了船舶能效多源协同优化效果评估指标、评估流程、数据获取要求、优化算法运行规范及能效优化效果量化评估方法。

本文件适用于运营船舶的能效多源协同优化效果评估。对于基本性能相同的船舶，若采用同一优化方案，无需重复开展评估工作。

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。

国际海事组织海洋环境保护委员会（IMO MEPC）.船舶能效营运指数（EEOI）自愿使用指南.（Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)）

政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）.IPCC国家温室气体清单指南（IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船舶能效 ship energy efficiency

船舶在运输过程中对能源的利用效果，可用于衡量船舶能源利用效率和经济性，是船舶运营成本控制的核心指标。

3.2

航速优化 speed optimization

根据船舶的运输需求、气象海况条件以及船舶自身特性等因素，综合考虑航程、航行时间、航行条件、单位时间的燃油消耗等来确定最优的航速，以降低船舶燃油消耗和CO₂排放。

3.3

航线优化 route optimization

根据船舶的运输需求和条件，结合气象海况预报、航行安全等因素，科学地确定最佳航行路线，以降低船舶能耗和温室气体排放。

3.4

纵倾优化 trim optimization

通过调整船舶的首尾吃水，使船舶在航行过程中保持最佳的纵倾状态，以减少航行阻力并改善船舶的水动力性能，提高船舶的能效水平。

3.5

风帆攻角优化 sail's angle of attack optimization

针对配有风帆装置的船舶，根据风速、风向以及船舶的航行状态等因素，适时调整风帆的攻角，使其能够适应不同的风速和风向，充分地利用风能，获得最佳的风帆助推效果，降低风帆助航船舶的能耗及温室气体排放。

3.6

能效多源协同优化方法 energy efficiency multi-source collaborative optimization method

通过组合航速优化、航线优化、纵倾优化、风帆攻角优化等营运优化措施，利用多种策略的组合搭配来有效提升船舶整体的能效水平，以进一步降低船舶能耗和温室气体排放。

3.7

能效优化算法 energy efficiency optimization algorithm

通过综合考虑船舶航行过程中的多种因素（如航速、航线、动力系统运行状态、环境条件等），利用先进的优化技术实现船舶能效协同优化的算法（如遗传算法、粒子群优化算法、鲸鱼优化算法等）。

3.8

船舶能效多源协同优化平台 ship energy efficiency multi-source collaborative optimization platform

面向航运业绿色低碳发展需求，以提升船舶能源利用效率、降低能源消耗与碳排放为目标，集成“数据采集-建模分析-协同优化-决策输出”的全流程的多功能集成优化平台。

3.9

能效多源协同优化评估 evaluation for energy efficiency multi-source collaborative optimization

通过对能效多源协同优化方法实施效果的评价来获得能效优化的效果，其通过设定一系列评估指标（如能源消耗减少率、二氧化碳减排量等），对优化后的能效提升情况进行量化分析。

3.10

传统优化算法 traditional optimization algorithm

指在优化领域长期应用的经典算法，如线性规划、非线性规划、遗传算法、粒子群优化算法等。

3.11

改进优化算法 improved optimization algorithm

指对传统优化算法进行改进和创新，以提高其在特定问题上的求解性能和效率。在船舶能效优化领域，通常针对传统算法的不足之处进行算法优化，例如：提高算法的收敛速度、增强全局搜索能力、减少计算复杂度等。

3.12

船舶能效营运指数 ship energy efficiency operational index

用于衡量船舶在实际营运过程中能效水平的一个重要指标，其通过计算船舶单位货物运输周转量的CO₂排放量来反映船舶的能效水平，通常以每吨每海里的CO₂排放量来进行表征。

3.13

碳强度指标 carbon intensity indicator

用于衡量船舶碳排放强度的重要指标，通过年度CO₂排放总量除以总运输功（载运能力乘以航行距离）计算获得，这一指标将船舶的载运能力、航行距离与碳排放量建立数学关系，使得不同船型、不同航线的船舶可以在统一标准下进行能效比较。

4 船舶能效多源协同优化评估指标

4.1 优化算法运行效率提升指标

优化算法运行效率提升指标以船舶能效优化算法的运行时间为计算基础。通过对比传统优化算法与改进优化算法在船舶能效多源协同优化决策中的运行时间，计算得到时间效率提升的百分比。

时间效率提升指标计算见公式（1）：

$$\Delta T = (1 - \frac{T_2}{T_1}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔT ——时间效率提升百分比；

T_2 ——改进优化算法对船舶能效多源协同优化决策的运行时间，单位为秒（s）；

T_1 ——传统优化算法对船舶能效多源协同优化决策的运行时间，单位为秒（s）。

4.2 船舶能效水平提升指标

4.2.1 船舶能效营运指数水平提升

通过计算船舶能效优化算法实施前后船舶能效营运指数（EEOI）变化，以百分比表示能效的提升。

依据《船舶能效营运指数（EEOI）自愿使用指南》，EEOI的计算见公式（2）。

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- j ——燃油类型；
- FC_j ——在航段中燃油 j 的消耗量，单位为吨（t）；
- C_{Fj} ——燃油 j 的燃油量与CO₂排放量的转换系数，该转换系数按照《IPCC国家温室气体清单指南》中的默认排放因子制定；

m_{cargo} ——载货量，单位为吨（t）；

D ——航行距离，单位为海里（nm）。

基于EEOI的船舶能效提升指标计算件公式（3）：

$$\Delta EEOI = \frac{EEOI_1 - EEOI_2}{EEOI_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $\Delta EEOI$ ——基于EEOI的船舶能效提升百分比；
- $EEOI_1$ ——船舶能效多源协同优化前的EEOI指标值；
- $EEOI_2$ ——船舶能效多源协同优化后的EEOI指标值。

4.2.2 碳强度指标水平提升

通过计算船舶能效优化算法实施前后的碳强度指标（CII），以表示能效优化方法对CO₂排放强度的改善。

基于CII的能效水平提升指标计算见公式（4）：

$$\Delta CII = \frac{CII_1 - CII_2}{CII_1} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- ΔCII ——基于 CII 的船舶能效提升百分比；
- CII_1 ——船舶能效多源协同优化前的 CII 指标值；
- CII_2 ——船舶能效多源协同优化后的 CII 指标值。

5 船舶能效多源协同优化评估流程

船舶能效多源协同优化评估流程应包括能效相关数据获取、能效多源协同优化算法运行、能效多源协同优化效果评估、优化效果评估结论与评估报告等环节（见图1）。

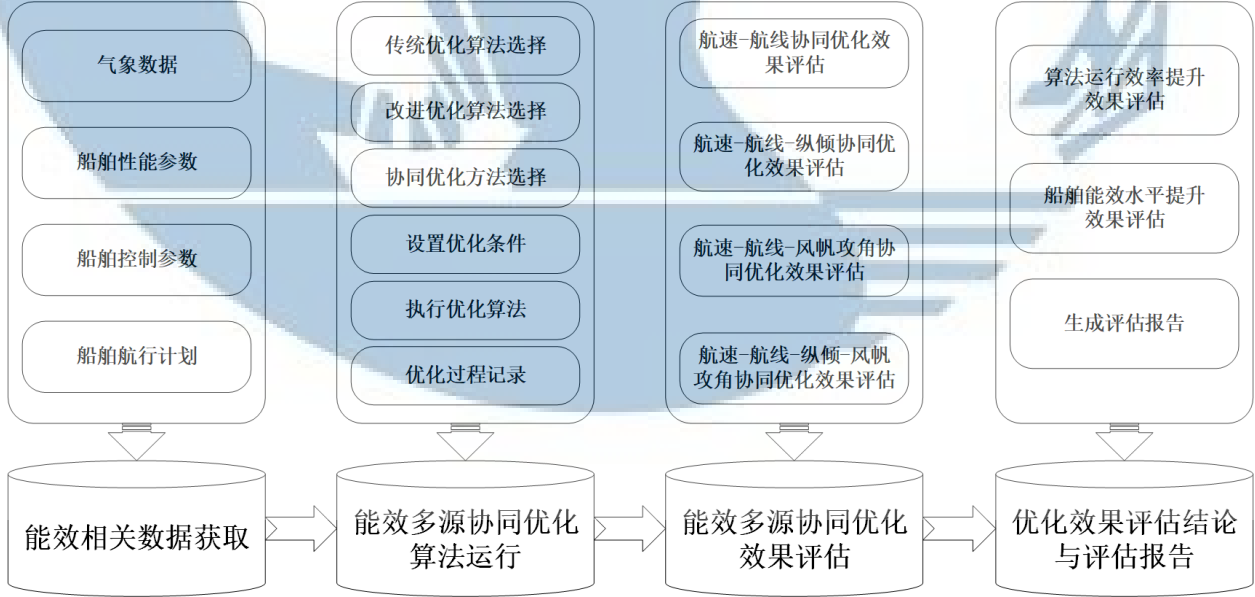


图1 船舶能效多源协同优化评估流程

5.1 能效相关数据获取环节

应获取气象数据、船舶性能参数、船舶控制参数、航行计划等基础信息（所需数据信息见附录A），为船舶能效多源协同优化算法计算提供基础条件。

5.2 能效多源协同优化算法运行环节

5.2.1 算法选取

选取待对比的传统优化算法，传统优化算法可选取粒子群优化算法、遗传算法、动态规划算法等；此类算法已广泛应用于船舶能效优化研究，认可度较高，可作为传统优化算法用于评估测试。

选取改进优化算法，改进优化算法可选取经过改良的群智能算法（如改进粒子群算法、改进遗传算法、等）或A*算法、强化学习算法（如Q-Learning、DQN、SAC、DDPG等）等新型优化算法，将其作为测试组以评估能效优化性能提升效果。

5.2.2 优化方式与参数设定

选取待评估的船舶能效多源协同优化方式，具体包括：航速-航线协同优化、航速-航线-纵倾协同优化、航速-航线-风帆攻角协同优化、航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化等多源协同优化方式。

应设定统一的船舶起航前初始状态，包括船舶配载情况、气象环境、初始位置等；应设定一致的优化目标，优化目标宜选取船舶燃油消耗总量、EEOI状态值等。

5.2.3 算法运行

上述环节准备完成后，执行优化算法计算过程。同时记录算法计算过程与计算结果，以及传统优化算法计算耗时 T_1 和改进优化算法计算耗时 T_2 ；对比两者计算时间消耗，通过公式（1）计算算法的运行效率提升指标。

5.3 能效多源协同优化效果评估环节

应根据能效多源协同优化方式（如航速-航线协同优化、航速-航线-纵倾协同优化等），按不同优化方式分别记录优化结果，以评估优化效果。

应按公式（3）和公式（4）的计算方法，计算得到算法运行效率提升指标、船舶能效水平提升指标，得到不同优化算法在算法运行效率、EEOI指标及CII指标上的提升结果。

5.4 优化效果评估结论与评估报告环节

分别根据算法运行效率提升指标、船舶能效水平提升指标的参考值，对比分析改进优化算法在运行效率提升指标、船舶能效水平提升指标上的提升效果是否达标，据此得出船舶能效多源协同优化评估结果，随后生成评估报告作为船舶能效多源协同优化效果评估的最终文件。

6 能效相关数据获取

6.1 气象数据

收集测试船在航行过程中的航行环境气象数据，具体包括测试船航行期间的相对风速、相对风向、浪高/浪向等气象数据。

6.2 船舶性能参数

包括测试船的长度、宽度、吃水、货载量、主机功率曲线、总吨位、螺旋桨直径等重要结构参数，这些参数对船舶的阻力特性和“船-机-桨”匹配关系具有一定的影响，因此，需要在能效多源协同优化效果评估前获取。

6.3 船舶控制参数

收集测试船的主机转速控制范围、纵倾调整范围、航速限制等船舶控制信息，明确船舶航次的起点和终点、时间限制、速度限制、路径限制、纵倾限制等，通过这些信息来限制优化算法的计算范围，以保证船舶能效优化策略的可执行性与船舶测试过程的安全性。

6.4 船舶航行计划

收集测试船在测试航次中的航行计划，包括载货量 (M_{cargo})、航行距离 (D)、航行时间 (T) 等信息。其中预期航行距离根据GPS计划航迹计算，根据船舶能效多源协同优化效果评估所使用航行轨迹的起止点自动计算，去除锚泊/靠港期间的无效里程。

7 能效多源协同优化算法运行

7.1 传统优化算法选择

选择传统优化算法作为评估算法性能的基准算法，其可根据优化需求和计算条件进行选择。

7.2 改进优化算法选择

改进优化算法是在所选取的优化算法的基础上，采用先进技术或方法对所选取的优化算法进行改进后获得的算法，所采用的具体技术或方法可根据优化需求和计算条件进行选择。

7.3 协同优化方法选择

根据测试船所需评估的能效多源协同优化类型，选择船舶能效协同优化方法，具体包括：航速-航线协同优化、航速-航线-纵倾协同优化、航速-航线-风帆攻角协同优化、航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化。

7.4 设置优化条件

为确保评估结果能够反映营运船舶的综合能效水平，评估周期应涵盖船舶的典型营运工况。其中，评估周期至少包含一个典型完整的长距离航次。具体设置优化条件包括：

- 定义航行路径的起点和终点。
- 考虑到船舶避免与障碍物（如岛屿、其他船只）碰撞、狭窄水道等约束条件。
- 定义航行时间约束与航速优化的上下限范围。
- 定义船舶吃水、纵倾角等船体姿态调整限制范围。
- 定义测试船装载情况、所选用的能效多源协同优化方案类型。
- 若有其他辅助动力源，如电能储备设备或转子风帆等设备，需要预先定义其可控区间范围、调整频率。

7.5 执行优化算法

部署并执行传统优化算法和改进优化算法，以所需要对比的传统优化算法为对照组，例如：粒子群优化算法、遗传算法、动态规划算法等，保存对照组的算法运行时间 (T_1)。随后选择改进优化算法作为测试组，例如：改进的群智能算法（如改进粒子群算法、改进遗传算法等）、A*算法、强化学习算法（Q-Learning、DQN、SAC、DDPG等）等新型优化算法，保存测试组的算法的运行时间 (T_2)。

7.6 优化过程记录

为实现船舶能效多源协同优化方法的能效优化效果的评估，需要获取优化过程中的船舶航行及能耗相关数据，包括燃油消耗 (FC_j)、燃油CO₂转换系数 (C_{Fj}) 以及优化算法计算时间 (T_1 和 T_2)，以便于分析比较能效优化过程的节能效果，各参数的获取方式如下：

- T_1 ，传统算法运行时间，从船舶能效管理系统日志提取，每次算法运行结束后进行保存，包含算法计算耗时、计算开始时间、结果输出时间。
- T_2 ，改进算法运行时间，从船舶能效管理系统日志提取，每次算法运行结束后进行保存，与 T_1 测试工况严格一致。
- FC_j ，航段燃油消耗量，由燃油流量计或轮机日志人工记录，每小时/航段结束时进行记录，区分燃油类型（如 HFO/MGO）。
- C_{Fj} ，燃油 CO₂转换系数，参考 ISO 14687-2 或供应商提供的燃油特性报告，航次开始前获取，按燃油类型对应取值。

- e) 其中, T_1 和 T_2 的采集需在相同硬件环境(如服务器型号、数据接口)下进行, 避免设备差异干扰。此外, FC_j 采集需同步记录主机功率及运行时间。

8 能效多源协同优化效果评估

8.1 通则

船舶能效多源协同优化效果评估应根据所采用的船舶能效协同优化方式进行, 协同优化方式包括航速-航线协同优化、航速-航线-纵倾协同优化、航速-航线-风帆攻角协同优化、航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化等。评估前应统一设定船舶初始状态及优化算法约束条件, 包括航速范围、航线规划区域、纵倾范围、航期限制等。优化目标函数应以船舶燃油消耗总量最小化为目标。评估过程中应记录优化算法的输入输出数据, 并符合船舶能效多源协同优化平台的数据接口要求。

8.2 航速-航线协同优化效果评估

8.2.1 优化计算

以航速和航线为优化变量, 在约束条件下, 采用优化算法计算使航次总油耗最小的航行策略。

8.2.2 试验验证

应分别基于未优化(原始航行规划)、优化后(航行策略优化结果)的航行策略开展试验。试验条件应保持一致, 包括船舶装载状态、气象环境、初始船位等。试验过程中使用的参数清单如附录A《船舶能效多源协同优化决策评估试验过程数据要素清单》所示。

8.2.3 数据记录

优化结果应包括航行轨迹、航段划分、各航段航速、油耗、气象信息、航行时间、航行距离及总油耗等, 记录格式应符合船舶能效多源协同优化平台的数据要求, 并填写附录B.1《航速-航线协同优化决策记录表》和附录B.5《船舶能效多源协同优化决策结果记录表》。

8.2.4 性能评估

通过对比航行策略优化前后的能耗数据, 评估优化算法的节能效果。应计算并对比EEOI和CII指标值, 以辅助判断能效提升效果是否达标, 结果记录于附录B.6《船舶能效多源协同优化算法性能记录表》。

8.3 航速-航线-纵倾协同优化效果评估

8.3.1 优化计算

以航速、航线和纵倾为优化变量, 在约束条件下, 采用优化算法计算使航次总油耗最小的航行策略。

8.3.2 试验验证

应分别基于未优化(原始航行规划)、优化后(航行策略优化结果)的航行策略开展实船试验。试验条件应保持一致, 包括配载状态、气象环境、初始船位等, 纵倾应按优化方案调节。试验过程中使用的参数清单如附录A《船舶能效多源协同优化决策评估试验过程数据要素清单》所示。

8.3.3 数据记录

优化结果应包括航行轨迹、航段划分、各段航速与纵倾设置、油耗、气象信息、航行时间、航行距离及总油耗等, 记录格式应符合平台数据要求, 并填写附录B.2《航速-航线-纵倾协同优化决策记录表》和附录B.5《船舶能效多源协同优化决策结果记录表》。

8.3.4 性能评估

通过对比航行策略优化前后的能耗数据, 评估优化算法的节能效果。应计算并对比EEOI和CII指标值, 以辅助判断能效提升效果是否达标, 结果记录于附录B.6《船舶能效多源协同优化算法性能记录表》。

8.4 航速-航线-风帆攻角协同优化效果评估

8.4.1 优化计算

适用于配备风帆辅助推进装置的船舶。以航速、航线和风帆攻角为优化变量，在约束条件下，采用优化算法计算使航次总油耗最小的航行策略。

8.4.2 试验验证

应分别基于未优化（原始航行规划）、优化后（航行策略优化结果）的航行策略开展试验。试验条件应保持一致，包括装载状态、气象环境、初始船位等。试验过程中使用的参数清单如附录A《船舶能效多源协同优化决策评估试验过程数据要素清单》所示。

8.4.3 数据记录

优化结果应包括航行轨迹、航段划分、各航段航速与风帆操纵设置、油耗、气象信息、航行时间、航行距离及总油耗等，记录格式应符合平台数据要求，并填写附录B.3《航速-航线-风帆攻角协同优化决策记录表》和附录B.5《船舶能效多源协同优化决策结果记录表》。

8.4.4 性能评估

通过对比航行策略优化前后的能耗数据，评估优化算法的节能效果。应计算并对比EEOI和CII指标值，以辅助判断能效提升效果是否达标，结果记录于附录B.6《船舶能效多源协同优化算法性能记录表》。

8.5 航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化效果评估

8.5.1 优化计算

适用于配备风帆辅助推进装置的船舶。以航速、航线、纵倾和风帆攻角为优化变量，在约束条件下，采用优化算法计算使航次总油耗最小的航行策略。

8.5.2 试验验证

应分别基于未优化（原始航行规划）、优化后（航行策略优化结果）的航行策略开展试验。试验条件应保持一致，包括装载状态、气象环境、初始船位等，纵倾与风帆操纵应按优化方案调节。试验过程中使用的参数清单如附录A《船舶能效多源协同优化决策评估试验过程数据要素清单》所示。

8.5.3 数据记录

优化结果应包括航行轨迹、航段划分、各航段航速、纵倾与风帆操纵设置、油耗、气象信息、航行时间、航行距离及总油耗等，记录格式应符合平台数据要求，并填写附录B.4《航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化决策记录表》和附录B.5《船舶能效多源协同优化决策结果记录表》。

8.5.4 性能评估

通过对比航行策略优化前后的能耗数据，评估优化算法的节能效果。应计算并对比EEOI和CII指标值，以辅助判断能效提升效果是否达标，结果记录于附录B.6《船舶能效多源协同优化算法性能记录表》。

9 优化效果评估结论与评估报告

9.1 算法运行效率提升效果评估

计算时间效率提升百分比（ ΔT ），时间效率提升百分比大于等于 $a\%$ ，则证明改进优化算法比传统优化算法的寻优效率大于等于 $a\%$ 。

若设置寻优效率提升目标为 $A\%$ ，当 $a\%$ 大于等于 $A\%$ 时，则证明改进优化算法能够满足算法寻优效率提升目标的要求。

9.2 船舶能效水平提升效果评估

计算基于EEOI的船舶能效提升百分比（ $\Delta EEOI$ ）和基于CII的船舶能效提升百分比（ ΔCII ），评估能效多源协同优化效果是否达标。

9.2.1 双指标验证

若需验证算法对营运能效和碳强度的综合改善效果，应同时满足 $\Delta EEOI \geq B_1\%$ 且 $\Delta CII \geq B_2\%$ ，其中， $B_1\%$ 、 $B_2\%$ 分别为EEOI和CII的能效提升目标阈值，应在试验前根据船舶特性分别合理设定。仅当双指标同时达标时，方可判定为满足船舶能效提升双指标要求。

9.2.2 单指标验证

若应用场景仅需验证单一指标优化效果，可单独使用 $\Delta EEOI \geq B_1\%$ 或 $\Delta CII \geq B_2\%$ 作为判定依据，但应在评估结果中明确说明仅针对EEOI或CII进行评估验证。

9.3 生成评估报告

评估报告是船舶能效多源协同优化效果评估的最终文件，用于系统呈现评估过程基本信息、协同优化决策结果、优化算法性能对比结果、评估结果分析，作为优化方案验收、船舶能效备案及后续优化迭代的依据。评估报告编写格式可按附录表C.1编制，其应客观、准确、完整地涵盖以下核心内容：

应包含评估对象船舶信息（船名、船舶类型、主尺度等）、评估执行单位、评估人员、评估起止时间、采用的能效多源协同优化方式（如航速-航线、航速-航线-纵倾、航速-航线-风帆攻角、航速-航线-纵倾-风帆攻角）、优化算法类型（传统优化算法/改进优化算法）、评估指标（算法运行效率、 $\Delta EEOI$ 、 ΔCII ）、验证方式（双指标验证/单指标验证）、算法提升目标（寻优效率提升目标 $A\%$ 、EEOI和/或CII的能效提升目标阈值 $B_1\%$ 和/或 $B_2\%$ ）等评估过程基本信息。

应包含传统优化算法与改进优化算法的能效协同优化决策结果，包含总航行时间、航行总油耗、航行距离、平均航速等关键船舶营运状态结果。

应包含各优化算法的计算时间、航行总油耗等算法性能结果，同时包含时间效率提升百分比 ΔT 、基于EEOI的能效提升百分比 $\Delta EEOI$ 、基于CII的船舶能效提升百分比 ΔCII 等计算结果。

应包含对优化效果的结果分析。依据本标准9.1节，明确时间效率提升百分比 ΔT 是否达到寻优效率提升目标 $A\%$ 。依据本文件9.2节，明确能效优化效果评估结果 $\Delta EEOI/\Delta CII$ 按选定的验证方式（双指标/单指标）是否达标。输出各项指标达标情况结论，并注明评估过程中的技术限制因素（如气象条件约束、船舶操纵边界）及适用边界条件。

附 录 A
(资料性)
船舶能效多源协同优化决策评估试验过程数据要素清单

表A. 1 气象数据参数清单

序号	参数	数据类型	单位
1	相对风向	double	°
2	相对风速	double	m/s
3	浪高	double	m
4	浪向	double	°
5	流速	double	m
6	流向	double	°



表A.2 船舶性能参数及辅助参数清单

序号	参数	数据类型	单位
1	船长	double	m
2	船宽	double	m
3	型深	double	m
4	垂线间长	double	m
5	舵面积	double	m ²
6	舵展弦比	double	/
7	方形系数	double	/
8	菱形系数	double	/
9	螺旋桨直径	double	m
10	船舶正投影面积	double	m ²
11	空气密度	double	kg/m ³
12	伴流系数	double	/
13	设计吃水	double	m
14	粗糙度表观高度	double	m
15	海水粘度	double	m ² /s
16	海水密度	double	kg/m ³
17	重力加速度	double	N/kg
18	空气阻力系数	double	/
19	航速上限	double	kn
20	航速下限	double	kn
21	风帆长宽尺寸（如有）	double	m
22	风帆转角范围（如有）	double	°
23	风帆数量（如有）	double	/
24	风帆升起时帆面积（如有）	double	m ²
25	风帆降落时帆面积（如有）	double	m ²
26	船舶序号	int	/
27	设计排水量	double	t
28	主机油耗率曲线	/	/

表A. 3 船舶控制参数清单

序号	参数	类型	单位
1	艏吃水	double	m
2	艉吃水	double	m
3	排水量	double	t
4	主机转速调整范围	double	r/min
5	航行速度调整范围	double	kn
6	航线区域限制范围	double	°
7	纵倾调整范围	double	m
8	风帆转角调整范围	double	°
9	航段起点经纬度	double	°
10	航段终点经纬度	double	°
11	航段最大航行时长	double	h



表A. 4 船舶航行计划需求参数清单

序号	参数	类型	单位
1	计划航行时长	double	h
2	预计航行距离	double	n mile
3	船舶载货量	double	t
4	航段原计划设计航线	double	°
5	航段原计划设计航速	double	kn
6	航段原计划纵倾角状态	double	°
7	航段原计划风帆转角	double	°



附 录 B
(资料性)

船舶能效多源协同优化效果对比记录

B.1 此部分包含对航速和航线协同优化后计算得到的航行效果对比记录，记录中使用的指标数据应当符合表 B.1 所示的决策过程记录信息。

表B.1 航速-航线协同优化决策过程记录表

序号	指标	优化决策航行信息	未优化航行信息
1	航行路径情况		
2	航线的气象情况		
3	航段划分情况		
4	各航段航速设置		
5	各航段燃油消耗		

B.2 此部分包含对航速、航线、纵倾协同优化后计算得到的航行效果对比记录，记录中使用的指标数据应当符合表 B.2 所示的决策过程记录信息。

表B.2 航速-航线-纵倾协同优化决策过程记录表

序号	指标	优化决策航行信息	未优化航行信息
1	航行路径情况		
2	航线的气象情况		
3	航段划分情况		
4	各航段航速设置		
5	各航段纵倾设置		
6	各航段燃油消耗		

B.3 此部分包含对航速、航线、风帆攻角协同优化后计算得到的航行效果对比记录，记录中使用的指标数据应当符合表 B.3 所示的决策过程记录信息。

表B.3 航速-航线-风帆攻角协同优化决策过程记录表

序号	指标	优化决策航行信息	未优化航行信息
1	航行路径情况		
2	航线的气象情况		
3	航段划分情况		
4	各航段航速设置		
5	各航段风帆控制		
6	各航段燃油消耗		

B.4 此部分包含对航速、航线、纵倾、风帆攻角协同优化后计算得到的航行效果对比记录，记录中使用的指标数据应当符合表 B.4 所示的决策过程记录信息。

表B.4 航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化决策过程记录表

序号	指标	优化决策航行信息	未优化航行信息
1	航行路径情况		
2	航线的气象情况		
3	航段划分情况		
4	各航段航速设置		
5	各航段纵倾设置		
6	各航段风帆控制		
7	各航段燃油消耗		

B.5 此部分包含船舶能效多源协同优化后计算得到的航行状态对比记录，记录中使用的指标数据应当符合表 B.5 所示的航行信息记录类型。

表B.5 船舶能效多源协同优化决策结果记录表

序号	指标	优化决策航行信息	未优化航行信息	提升效果（%）
1	总航行时间			
2	航行总油耗			
3	航行距离			
4	平均航速			

B.6 此部分包含船舶能效多源协同优化算法计算后的优化效果评估记录，记录中使用的评估指标应当符合表 B.6 所示的算法性能记录类型。

表B.6 船舶能效多源协同优化算法性能记录表

序号	算法名称	优化决策计算时间	优化航行过程总油耗	EEOI 结果	CII 结果
1	算法 1				
2	算法 2				
3	...				
4	...				
...	算法 <i>N</i>				

附 录 C
(资料性)
评估报告模版

C.1.1 船舶能效多源协同优化效果评估报告模版

报告编号	xxxx-001 (年份: xxx, 序号: 001)					
一、评估过程基本信息						
评估任务名称	xxx 航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化效果评估					
评估对象船舶信息	船名	xxx		船舶类型	xxx	
	主尺度 (总长×型宽×型深)	xxxx×xxx×xxx m		主机额定功率	xxx	
	载货量: xxx t; 压载状态: <input type="checkbox"/> 空载 <input type="checkbox"/> 压载 <input type="checkbox"/> 满载					
评估执行单位	xxx		评估人员	xxx		
评估起止时间	xxxx 年 xx 月 xx 日- xxxx 年 xx 月 xx 日		协同优化方式	<input type="checkbox"/> 航速-航线协同优化 <input type="checkbox"/> 航速-航线-纵倾协同优化 <input type="checkbox"/> 航速-航线-风帆攻角协同优化 <input type="checkbox"/> 航速-航线-纵倾-风帆攻角协同优化		
传统优化算法类型	xxx 算法		改进优化算法类型	xxx 算法		
评估指标	<input type="checkbox"/> 算法运行效率 (ΔT) <input type="checkbox"/> EEOI 提升率 (ΔEEOI) <input type="checkbox"/> CII 提升率 (ΔCII)					
验证方式	<input type="checkbox"/> 双指标验证 <input type="checkbox"/> 单指标验证 (<input type="checkbox"/> EEOI <input type="checkbox"/> CII)					
预设优化目标	寻优效率提升目标 A%		EEOI 能效提升目标 B ₁ %, CII 能效提升目标 B ₂ %			
二、协同优化决策结果						
	总航行时间	航行总油耗		航行距离	平均航速	
原船舶航行计划	xxx h	xxx t		xxx n mile	xxx kn	
传统优化算法	xxx h	xxx t		xxx n mile	xxx kn	
改进优化算法	xxx h	xxx t		xxx n mile	xxx kn	
三、优化算法性能对比结果						
传统优化算法	计算耗时 T ₁	xxx	EEOI 结果	xxx	CII 结果	xxx
改进优化算法	计算耗时 T ₂	xxx	EEOI 结果	xxx	CII 结果	xxx
性能指标提升情况	时间效率 提升 ΔT	xxx %	EEOI 改善比 例 ΔEEOI	xxx %	CII 改善比例 ΔCII	xxx %
四、评估结果分析						
预设阈值	时间效率提升阈值 A%		EEOI 提升阈值 B ₁ %		CII 提升阈值 B ₂ %	

计算结果	$\Delta T = \text{xxx} \%$	$\Delta EEOI = \text{xxx} \%$	$\Delta CII = \text{xxx} \%$
双指标验证判定	<input type="checkbox"/> 均达标 ($\Delta EEOI \geq B_1\%$ 且 $\Delta CII \geq B_2\%$) <input type="checkbox"/> 单一达标 (<input type="checkbox"/> EEOI <input type="checkbox"/> CII) <input type="checkbox"/> 均未达标		
单指标验证判定	选定指标: <input type="checkbox"/> EEOI <input type="checkbox"/> CII; 判定结果: <input type="checkbox"/> 达标 <input type="checkbox"/> 未达标 (若采用双指标验证, 此项不填写)		
未达标指标分析	xxx		
综合能效目标判定	<input type="checkbox"/> 达标 <input type="checkbox"/> 未达标		
结论	能效优化效果 (完全/未完全/未) 满足预设综合目标		



参 考 文 献

- [1] 国际标准化组织. ISO 14687-2:2022 氢燃料 第 2 部分:道路车辆燃料规格 [S]. 日内瓦: ISO, 2022.

