

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD29-2022



中国船级社

现有船舶能效指数（EEXI）计算与验证指南
Guidelines on Calculation and Verification of the Attained
Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)
（2022）

2022 年12月1日生效

北京

目 录

第 1 章	通 则	1
1.1	一般要求	1
1.2	适用范围	1
1.3	定义	2
1.4	EEXI 验证流程	4
第 2 章	Attained EEXI 的计算	6
2.1	Attained EEXI 计算公式	6
2.2	Attained EEXI 公式中参数选取方法	6
第 3 章	Attained EEXI 的验证	13
3.1	一般规定	13
3.2	提交资料要求	13
3.3	检验验证要求	14
3.4	重大改建情况下的 EEXI 验证	16
附录 1	EEXI 技术案卷样本	17
附录 2	LNG 运输船的 Attained EEXI 计算	22
附录 3	营运船舶性能测量方法、程序和验证指南	26
附录 4	数值计算的验证	38

第1章 通则

1.1 一般要求

1.1.1 本指南旨在指导现有船舶达到的能效指数（Attained EEXI）的计算和验证。

1.1.2 根据国际海事组织（IMO）《防止船舶造成污染公约》（MARPOL）附则VI规定，需满足EEXI要求的船舶应在2023年1月1日及之后的船舶国际空气防污染（International Air Pollution Prevention, IAPP）首次年度、中间、换证或船舶国际能效（International Energy Efficiency, IEE）证书对应的初次检验（取早者）时进行船舶的Attained EEXI验证，以便在相应检验时换发/签发IEE证书。适用于EEXI要求的重大改建船舶应在完成重大改建后，对船舶EEXI进行验证并换发IEE证书。

1.1.3 对具有Attained EEDI的船舶，如其Attained EEDI已经满足Required EEXI的要求，则其Attained EEDI可作为船舶的Attained EEXI进行验证。在这种情况下，船舶的Attained EEXI验证可根据EEDI技术案卷进行。对自愿符合EEDI要求的非EEDI船舶及仅完成前期EEDI验证的EEDI船舶，不适用于此条。

1.1.4 对符合本指南1.3.1（14）定义的LNG运输船的船舶，其Required EEXI应按照LNG运输船进行计算，不论其是否曾按照气体运输船进行EEDI计算和验证。

1.1.5 现有船舶为满足EEXI要求所采取的能效技术措施应在EEXI检验验证前完成，并经由CCS检验确认。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于400总吨及以上的下列船舶：

- （1）散货船；
- （2）气体运输船；
- （3）液货船；
- （4）集装箱船；
- （5）杂货船；
- （6）冷藏货船；
- （7）兼用船；
- （8）LNG运输船；

- (9) 滚装客船；
- (10) 滚装货船（车辆运输船）；
- (11) 滚装货船；
- (12) 具有非传统推进的豪华邮轮。

1.2.2 除具有非传统推进的豪华邮轮和LNG运输船外，1.2.1所列的其他船舶如为非传统推进，则本指南暂不适用。

1.2.3 对1.2.1所列船舶中符合1.3.1（14）规定的A类船舶定义的船舶，本指南暂不适用。

1.3 定义

1.3.1 船型定义

(1) 散货船：系指在 SOLAS 第 XII 章第 1 条所定义的主要用于运输散装干货的船舶，包括矿砂船等船型，但不包括兼用船。

(2) 气体运输船：系指除 LNG 运输船外，经建造或改建用于散装运输任何液化气体的货船。

(3) 液货船：系指在 MARPOL 附则 I 第 1 条所定义的油船或 MARPOL 附则 II 第 1 条所定义的化学品船及有毒液体物质（NLS）船。

(4) 集装箱船：系指专门设计用于在货舱内和甲板上载运集装箱的船舶。

(5) 杂货船：系指设有多层甲板或单层甲板主要用于载运杂货的船舶。该定义不包括在制定杂货船 EEDI 基线时没有统计在内的专用干货船，即牲畜运输船、载驳船、重货运输船¹、游艇运输船和核燃料运输船。

(6) 冷藏货船：系指专门设计用于在货舱内载运冷藏货物的船舶。

(7) 兼用船：系指设计用于载运 100%载重量的散装液体和干货的船舶。

(8) 客船：系指载客超过 12 人的船舶。

(9) 滚装客船：系指具有滚装货物处所的客船。

(10) 滚装货船（车辆运输船）：系指具有多层甲板的设计用于载运空的小汽车和卡车的滚装货船。

(11) 滚装货船：系指设计用于载运滚装运货单元的船舶。

(12) LNG 运输船：系指经建造或改建用于散装运输液化天然气（LNG）的货船。

(13) 豪华邮轮：系指无货物甲板且专门设计用于对海上航行中过夜住宿乘客进行

¹ 重货运输船的定义范围可参考 IACS Rec.170 文件要求。

商业运输的客船。

(14) A类船舶：系指《极地规则（Polar Code）》¹中定义的设计用于在极地水域内至少存在中厚当年冰（可能包夹旧冰）的冰况中航行的货船。

1.3.2 传统推进：系指以往复式内燃机作为原动机且直接或通过齿轮箱与推力轴连接的一种推进方式。

1.3.3 非传统推进：系指不属于传统推进的一种推进方式，包括但不限于柴电推进、涡轮推进和混合推进。

1.3.4 达到的 EEDI 值（Attained EEDI）：系指单一船舶实际达到的船舶能效设计指数（EEDI）值。

1.3.5 要求的 EEDI 值（Required EEDI）：系指对特定船舶类型和尺度的船舶所允许的最大 Attained EEDI 值。

1.3.6 达到的 EEXI 值（Attained EEXI）：系指单一船舶实际达到的现有船舶能效指数（EEXI）值。

1.3.7 要求的 EEXI 值（Required EEXI）：系指对特定船舶类型和尺度的船舶所允许的最大 Attained EEXI 值。

1.3.8 水池试验：系指模型阻力试验、自航试验和螺旋桨敞水试验。

1.3.9 数值计算：系指计算机辅助水动力计算，采用现代计算流体力学（CFD）求解器/软件进行求解，并考虑粘度对计算精度的影响。数值计算可等同于模型螺旋桨敞水试验予以接受，或用于对水池试验的补充（例如，评估鳍板等附体对船舶性能的影响），或经验证方认可，在所用的方法和数值模型已经母型船舶试航和/或模型试验验证/修正的前提下替代模型试验。

1.3.10 同形船舶：系指除增加的船体特征（如鳍板）外，船型（以型线表示，例如型线侧视图和型线横剖图等）和主要细节与母型船舶相同的船舶。

1.3.11 相似船舶：系指船舶在 1.3.1 条定义下的船型相同，轴/螺旋桨数量相同，垂线间长、方形系数、最大夏季载重线吃水时的排水量相差 5%（含）以内，具有相似的船首形状（如球鼻首，集成球鼻首，直线型船首等）和相似的船尾形状及附体布置的船舶。

1.3.12 校准系数：系指数值计算结果与模型试验或实船试航所得到的同等航速下的船舶功率的比值。

1.3.13 载重吨（DWT）：系指在比重为 1025kg/m³ 的水中夏季载重线吃水下的船舶

¹ MSC.385(94)和 MEPC.264(68)决议通过的《国际极地水域操作船舶规则》。

排水量与船舶空船重量之间的吨位差。除非主管机关另有规定，夏季载重线吃水取船舶 IEE 证书附件中的最大夏季吃水。

1.3.14 姐妹船：系指由同一船厂建造的具有相同主尺度、型线、附体和推进系统的系列船舶。

1.3.15 功率限制：系指经验证和批准的、通过技术手段限制最大轴功率或发动机最大功率的操作，分为可越控功率限制和不可越控功率限制。可越控功率限制系指该限制可以由船长或负责航行值班的高级船员在为确保船舶安全或救护海上人命条件的情况下予以临时解除。

1.3.16 降功率改装：系指为降低发动机最大输出功率，对主推进装置（包括主机、传动装置、螺旋桨等）进行优化调整的改装，分为可越控降功率改装和不可越控降功率改装。可越控降功率改装系指该改装造成的输出功率限制可以由船长或负责航行值班的高级船员在为确保船舶安全或救护海上人命条件的情况下予以临时解除。

1.3.17 重大改建：系指对本指南适用船舶所作的下述改建：

- (1) 实质上改变了该船的尺度、载运能力或发动机功率；或
- (2) 改变了该船的船型；或
- (3) 改建的目的实际上是为了要延长该船的使用年限；或
- (4) 改建使得该船等同于一艘新船；或

(5) 实质上改变了该船的能效并且使得该船超出 MARPOL 附则 VI 中所规定的 Required EEXI。

1.3.18 验证方：系指进行 EEXI 检验及发证的主管机关或其授权的组织。如无特殊规定，本指南中验证方系指 CCS。

1.3.19 与 Attained EEXI 计算相关的参数定义可参照 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中的定义。

1.4 EEXI 验证流程

1.4.1 申请方可向 CCS 检验机构提交船舶的 EEXI 验证申请，并同时提交 EEXI 技术案卷（至少有英文版本）及相关资料。CCS 将在 2023 年 1 月 1 日及之后的首次 IAPP 年度、中间、换证或 IEE 证书对应的初次检验（取早者），完成船舶的 IEE 证书换发/签发工作。

1.4.2 对采用功率限制/降功率改装以满足 EEXI 要求的船舶，应提供主机厂家或专业机构出具的功率限制/降功率改装相关技术文件，对采用可越控功率限制/降功率改装的船舶还需提供功率限制/降功率改装船上管理手册（OMM）。申请方可待 EEXI 技术案卷

审批完成后再申请功率限制/降功率系统现场验证，该验证可结合IEE证书的换发同时进行。OMM的审批可参照CCS《船舶降功率检验指南》中相关规定进行。

1.4.3 对具有Attained EEDI，且Attained EEDI可直接满足Required EEXI的船舶，申请方可向CCS检验机构申请在完成EEDI技术案卷验证后直接为船舶换发IEE证书；也可结合2023年1月1日及之后的首次IAPP年度、中间或换证检验（取早者）向CCS检验机构申请换发IEE证书。对已通过检验验证符合EEXI要求的船舶，CCS检验机构可应申请方申请在2023年1月1日之前为船舶签发EEXI符合声明。。

1.4.4 船舶Attained EEXI的验证程序如图1.1所示。

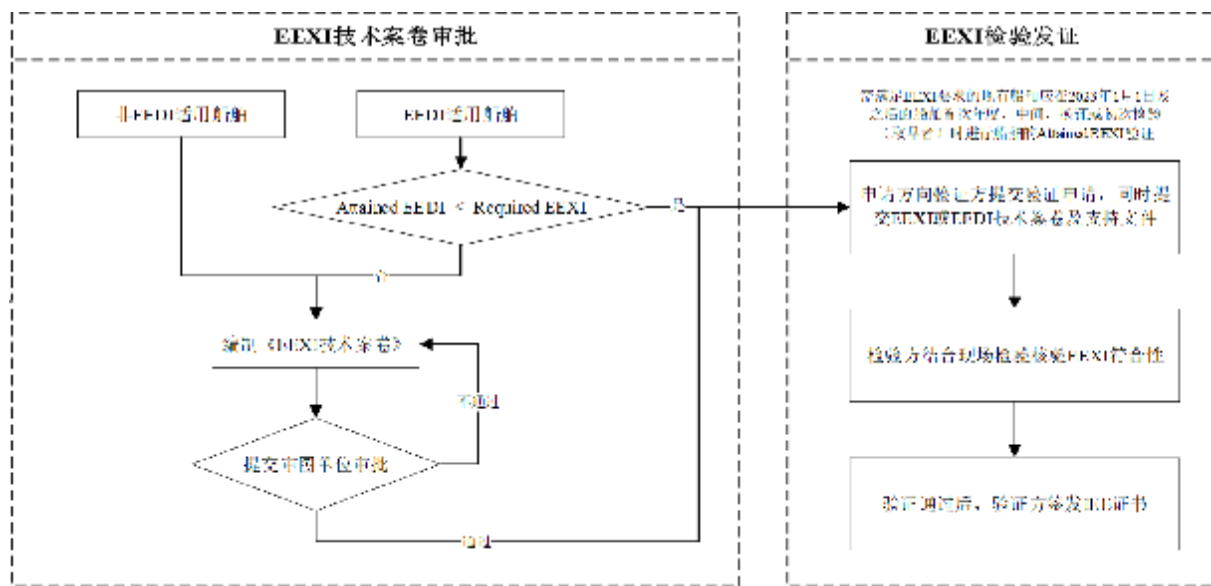


图1.1 Attained EEXI的验证程序

第 2 章 Attained EEXI 的计算

2.1 Attained EEXI 计算公式

2.1.1 现有船舶达到的能效指数（Attained EEXI）应通过下式计算得到：

$$EEXI = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ME}} f_j \times \frac{P_{ME(j)} \times C_{FME(j)} \times SFC_{ME(j)} + (P_{AE} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}^*)}{\rho} + \sum_{j=1}^{n_{PTI}} f_j \times \frac{P_{PTI(j)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \times P_{AE_{eff(i)}} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}^*}{\rho}}{\sum_{j=1}^{n_{ME}} f_j \times f_c \times f_i \times Capacity \times f_w \times A'_{ref} \times f_m}$$

* 如果部分的正常最大海上负荷由轴带发电机提供，则对该部分功率可使用 SFC_{ME} 和 C_{FME} 替代 SFC_{AE} 和 C_{FAE} 。

** 如果 $P_{PTI(j)} > 0$ ，则 $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ 和 $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$ 的加权平均值应用于 P_{eff} 的计算。

2.2 Attained EEXI 公式中参数选取方法

2.2.1 除另有规定外，使用 2.1 中的公式计算 Attained EEXI 时，应按照 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中的参数规定取值。在参考使用该指南时，术语“EEDI”应理解为“EEXI”。

2.2.2 对采用创新型能效技术的船舶，其 Attained EEXI 应使用《2021 年用于计算和验证 Attained EEDI 和 EEXI 的创新能效技术处理导则》（MEPC.1/Circ.896）进行计算。

2.2.3 主机功率（ $P_{ME(i)}$ ）

(1) 对采用可越控功率限制/降功率改装的船舶，每台主机（ i ）的 $P_{ME(i)}$ 为限制功率（ MCR_{lim} ）的 83% 或原装机功率（ MCR ）的 75%，取较低者。对采用不可越控功率限制/降功率改装的船舶，每台主机（ i ）的 $P_{ME(i)}$ 取限制功率（ MCR_{lim} ）的 75%。

(2) 对同时采用功率限制/降功率改装和轴带发电机的船舶， $\sum P_{ME(i)}$ 的计算公式为：

$$\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} = 0.75 \times (\sum MCR_{lim(i)} - \sum P_{PTO(i)}) \text{ 且 } 0.75 \times \sum P_{PTO(i)} \leq P_{AE}$$

(3) 对于设有蒸汽涡轮推进系统的 LNG 运输船，每台主机（ i ）的 $P_{ME(i)}$ 为限制功率（ MCR_{lim} ）的 83%。对于设有柴油电力推进系统的 LNG 运输船，每台主机（ i ）的 $P_{ME(i)}$ 为 83% 限制功率（ MPP_{lim} ）除以电效率。对于 LNG 运输船，发动机或锅炉中为避免释放大气或不必要的热氧化而燃烧过量自然蒸发气体而消耗的功率，经验证方批准，应从 $P_{ME(i)}$ 中扣除。扣除计算的建议方法见附录 2。

2.2.4 辅机功率（ $P_{AE(i)}$ ）

(1) 对采用除螺旋桨改造之外的不可越控功率限制/降功率改装的船舶，在采用 CCS

《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中 2.3.5.5 条提供的公式计算辅机功率（ P_{AE} ）值时，“ MCR_{ME} ”应理解为“ MCR_{lim} ”。对采用其他形式功率限制/降功率改装的船舶，在采用 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中 2.3.5.5 条提供的公式计算辅机功率（ P_{AE} ）值时，“ MCR_{ME} ”仍取主机的额定功率。对同时采用以上两种改装的船舶， P_{AE} 可取其中较低值。

（2）如果船舶（例如客船）按 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中 2.3.5.5 条提供的计算公式所得的辅机功率（ P_{AE} ）值与正常航行时所使用的总功率存在显著差异且无电力负荷表， P_{AE} 值可以取：

- ① . 在 EEXI 认证前获得的船上监测得到的海上 P_{AE} 的年度平均数据；
- ② . 对于豪华邮轮，辅机功率的近似值（ $P_{AE,app}$ ），由下式计算得到：

$$P_{AE,app} = 0.1193 \times GT + 1814.4 \quad [kW]$$

- ③ . 对于滚装客船，辅机功率的近似值（ $P_{AE,app}$ ），由下式计算得到：

$$P_{AE,app} = 0.866 \times GT^{0.732} \quad [kW]$$

2.2.5 航速（ V_{ref} ）

（1）对于属于 EEDI 要求范围的船舶，航速 V_{ref} 应通过船舶 EEDI 技术案卷中已批准的速度-功率曲线获得。

（2）对于不属于 EEDI 要求范围的船舶，航速 V_{ref} 应通过符合 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》验证要求的方法得到的速度-功率曲线获得（含通过模型试验和/或通过试航获得）。

（3）对于不属于 EEDI 要求范围的船舶，试航报告中如有在 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》2.3.2 条中规定的 EEDI 吃水和海况下的试航结果（可能已经经过水池试验修正），航速 V_{ref} 可由试航报告中数据采用下式计算得到：

$$V_{ref} = V_{S,EEDI} \times \left[\frac{P_{ME}}{P_{S,EEDI}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

式中： $V_{S,EEDI}$ ——在 EEDI 吃水下的试航速度；

$P_{S,EEDI}$ —— $V_{S,EEDI}$ 对应的主机功率。

（4）对于不属于 EEDI 要求范围的集装箱船、散货船和液货船，试航报告中如有在设计吃水和 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》2.3.2 条中规定的 EEDI 海况下的试航结果（可能已经经过水池试验修正），航速 V_{ref} 可由试航报告中数据采用下式计算得到：

$$V_{ref} = k^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{DWT_{S,service}}{Capacity} \right)^{\frac{2}{9}} \times V_{S,service} \times \left[\frac{P_{ME}}{P_{S,service}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

式中： $V_{S,service}$ ——设计装载吃水下的试航速度；

$DWT_{S,service}$ ——设计装载吃水下的载重吨；

$P_{S,service}$ ——对应 $V_{S,service}$ 的主机功率；

k ——比例系数，取值见表 2.1。

表 2.1 比例系数 k

船 型	k
集装箱船 (DWT ≤ 120,000)	0.95
集装箱船 (DWT > 120,000)	0.93
散货船 (DWT ≤ 200,000)	0.97
散货船 (DWT > 200,000)	1.00
液货船 (DWT ≤ 100,000)	0.97
液货船 (DWT > 100,000)	1.00

(5) 如无速度-功率曲线或试航报告中不包含 EEDI 或设计吃水工况时，航速 V_{ref} 可通过营运中性能测量方法获得，该方法的程序和验证要求在附录 3 中给出。

(6) 如无速度-功率曲线或试航报告中不包含 EEDI 或设计吃水工况时，航速 V_{ref} 也可取 $V_{ref,app}$ 的值，计算公式如下：

$$V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum P_{ME}}{0.75 \times MCR_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

对于设有柴油电力推进系统的 LNG 运输船和设有非传统推进系统的豪华邮轮，航速 V_{ref} 可取 $V_{ref,app}$ 的值，计算公式如下：

$$V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum MPP_{Motor}}{MPP_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

对于蒸汽涡轮推进的 LNG 运输船，航速 V_{ref} 可取 $V_{ref,app}$ 的值，计算公式如下：

$$V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum MCR_{SteamTurbine}}{MCR_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

式中： $V_{ref,avg}$ ——给定船型和尺寸船舶的航速分布统计均值，按下式计算，其中 A 、 B 和 C 的取值在表 2.2 中列出；

$$V_{ref,avg} = A \times B^C \quad [knot]$$

m_V ——船舶的性能冗余量，为 $V_{ref,avg}$ 的 5% 或 1kn，取较低者；

MCR_{avg} ——船舶主机功率的分布统计均值，按下式计算，其中 D 、 E 和 F 的取值在表 2.3 中列出：

$$MCR_{avg} = D \times E^F \quad [kW]$$

MPP_{avg} ——给定船型和尺寸船舶的电机分布统计均值，按下式计算，其中 D 、 E 和 F 的取值在表 2.3 中列出：

$$MPP_{avg} = D \times E^F \quad [kW]$$

对采用功率限制/降功率改装的船舶，航速 V_{ref} 取 $V_{ref,app}$ 的值，计算公式如下：

$$V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum P_{ME}}{0.75 \times MCR_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

对于设有柴油电力推进系统的 LNG 运输船和设有非传统推进系统的豪华邮轮，如采用功率限制/降功率改装，航速 V_{ref} 取 $V_{ref,app}$ 的值，计算公式如下：

$$V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum MPP_{lim}}{MPP_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

对于蒸汽涡轮推进的 LNG 运输船，如采用功率限制/降功率改装，航速 V_{ref} 取 $V_{ref,app}$ 的值，计算公式如下：

$$V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum MCR_{lim}}{MCR_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [knot]$$

表2.2 $V_{ref,avg}$ 计算参数

船型	A	B	C
散货船	10.6585	船舶载重吨	0.02706
气体运输船	7.4462	船舶载重吨	0.07604
液货船	8.1358	船舶载重吨	0.05383
集装箱船	3.2395	当载重吨 ≤ 80,000 时， 取船舶载重吨 当载重吨 > 80,000 时， 取 80,000	0.18294
杂货船	2.4538	船舶载重吨	0.18832
冷藏货船	1.0600	船舶载重吨	0.31518

兼用船	8.1391	船舶载重吨	0.05378
LNG运输船	11.0536	船舶载重吨	0.05030
滚装货船 (车辆运输船)	16.6773	船舶载重吨	0.01802
滚装货船	8.0793	船舶载重吨	0.09123
滚装客船	4.1140	船舶载重吨	0.19863
具有非传统推进系 统的豪华邮轮	5.1240	船舶总吨	0.12714

表2.3 MCR_{avg} 或 MPP_{avg} 计算参数

船型	D	E	F
散货船	23.7510	船舶载重吨	0.54087
气体运输船	21.4704	船舶载重吨	0.59522
液货舱	22.8415	船舶载重吨	0.55826
集装箱船	0.5042	当载重吨 $\leq 95,000$ 时, 取船舶载重吨 当载重吨 $> 95,000$ 时, 取95,000	1.03046
杂货船	0.8816	船舶载重吨	0.92050
冷藏货船	0.0272	船舶载重吨	1.38634
兼用船	22.8536	船舶载重吨	0.55820
LNG运输船	20.7096	船舶载重吨	0.63477
滚装货船 (车辆运输船)	262.7693	船舶载重吨	0.39973
滚装货船	37.7708	船舶载重吨	0.63450
滚装客船	9.1338	船舶载重吨	0.91116
具有非传统推进系 统的豪华邮轮	1.3550	船舶总吨	0.88664

(7) 如果船舶采用安装节能装置方式满足 EEXI 要求, 节能装置的作用效果可基于装置安装后试航测量结果、营运中性能测量结果、模型试验、数值计算各方法中的至少

一种获得，经验证方认可后，体现在航速 V_{ref} 上。对于姐妹船，同一节能装置在其中一艘船舶上的节能效果适用于其他姐妹船。

(8) 对船舶采用减阻涂层获得的能效提升，其节能效果可通过试航获得。

2.2.6 单位燃油消耗量 (SFC)

(1) 对采用功率限制/降功率改装的船舶，应使用经批准的主机 NO_x 技术案卷中适用的试验报告中列出的 SFC 通过内插计算 P_{ME} 相对应的 SFC 。

(2) 如无适用报告，也可使用由制造商规定或验证方确认的 SFC 。

(3) 对于 NO_x 技术案卷中不含试验报告且无法提供由制造商规定或验证方确认的 SFC 值的发动机，其 SFC 可取 SFC_{app} 的值：

$$SFC_{ME,app} = 190 [g/kWh]$$

$$SFC_{AE,app} = 215 [g/kWh]$$

2.2.7 碳转换系数 (C_F)

对于 NO_x 技术案卷中不含试验报告，且无法提供由制造商规定的 SFC 值的发动机， SFC_{app} 对应的 C_F 定义如下：

$$C_F = 3.114 [t \cdot CO_2/t \cdot Fuel], \text{ 适用于柴油机船 (包括实际使用重燃油)}$$

2.2.8 船舶特定设计要素修正系数 f_j

(1) 滚装货船和滚装客船修正系数 (f_{jRoRo})

对于滚装货船和滚装客船， f_{jRoRo} 按下式计算：

$$f_{jRoRo} = \frac{1}{F_{nL}^\alpha \cdot \left(\frac{L_{pp}}{B_S}\right)^\beta \cdot \left(\frac{B_S}{d_S}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{L_{pp}}{\sqrt{V^3/3}}\right)^\delta} ; \text{ 如 } f_{jRoRo} > 1 \text{ 则 } f_j = 1$$

式中，傅汝德数 F_{nL} 按照下式计算：

$$F_{nL} = \frac{0.5144 \cdot V_{ref,F}}{\sqrt{L_{pp} \cdot g}}$$

式中： $V_{ref,F}$ ——对采用可越控功率限制/降功率改装的船舶，为对应 $75\%MCR_{ME}$ 的航速；对采用不可越控功率限制/降功率改装的船舶，为对应 $75\%MCR_{lim}$ 的航速；

指数 α 、 β 、 γ 和 δ 定义如表 2.4 所示：

表2.4 α 、 β 、 γ 和 δ 取值

船型	指数			
	α	β	γ	δ
滚装货船	2.00	0.50	0.75	1.00
客滚船	2.50	0.75	0.75	1.00

(2) 冰区加强船舶的功率修正系数 f_j

对采用除螺旋桨改造之外的不可越控功率限制/降功率改装船舶，在采用 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中 2.3.8.2 条提供的方法计算冰区加强船舶的功率修正系数 f_j 时，“ MCR_{ME} ”应理解为“ MCR_{lim} ”。对采用其他形式功率限制/降功率改装的船舶，在采用 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中 2.3.8.2 条提供的方法计算冰区加强船舶的功率修正系数 f_j 时，“ MCR_{ME} ”仍取主机的额定功率。

(3) 杂货船修正系数 f_j

对采用功率限制/降功率改装的船舶，在采用 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中 2.3.8.6 条提供的方法计算杂货船修正系数 f_j 时，“ V_{ref} ”应理解为本指南 2.2.5 条中定义的“ V_{ref} ”。

2.2.9 滚装货船（车辆运输船）修正系数（ $f_{cVEHICLE}$ ）

对于 DWT/GT 小于 0.35 的滚装货船（车辆运输船），应计入修正系数 $f_{cVEHICLE}$ ：

$$f_{cVEHICLE} = \left(\frac{(DWT/GT)}{0.35} \right)^{-0.8}$$

式中：DWT——载重吨；

GT——《1969 年国际船舶吨位丈量公约》附则 I 第 3 条规定的总吨。

第3章 Attained EEXI 的验证

3.1 一般规定

3.1.1 对采用创新型能效技术的船舶，其 Attained EEXI 应依据《2021 年用于计算和验证 Attained EEDI 和 EEXI 的创新能效技术处理导则》（MEPC.1/Circ.896）进行验证。

3.1.2 验证过程中使用的信息可能包含申请方要求知识产权保护的保密信息。对申请方希望与验证方达成保密协议的情况，应按照互相商定的条款和条件向验证方提供附加信息。

3.2 提交资料要求

3.2.1 对 Attained EEDI 满足 Required EEXI 的船舶，需向验证方提交检验申请，以及其 Attained EEDI 满足 Required EEXI 的证明文件。对 Attained EEDI 不能满足 Required EEXI 的船舶或非 EEDI 船舶，应向验证方提交检验申请、包含验证所需信息的 EEXI 技术案卷以及其他相关支持性文件（如 NO_x 技术案卷、功率限定的技术措施、必要的试航报告/模型实验报告/数值计算报告等）。

3.2.2 EEXI 技术案卷¹应至少使用英语写成，且应至少包括但不限于：

- (1) 载重吨 (*DWT*) 或客滚船和具有非传统推进系统的豪华邮轮的总吨 (*GT*)；
- (2) 主机和辅机的额定功率 (*MCR*)；
- (3) 采用功率限制/降功率改装后的限制功率 (*MCR_{lim}*)，及其限定形式（可越控/螺旋桨改造形成的不可越控/其他形式不可越控）；
- (4) 航速 (*V_{ref}*)；
- (5) 非 EEDI 船舶估算得到的近似航速 (*V_{ref,app}*)（如适用）；
- (6) 经批准的 EEDI 技术案卷中给出的 EEDI 工况下的速度-功率曲线（如适用）；
- (7) 从水池试验、和/或数值计算、和/或试航、和/或营运中测量获得的 EEDI 工况下或不同载重吃水修正到 EEDI 工况下的速度-功率估算曲线（如适用）；
- (8) 必要的速度-功率曲线估算过程和方法，如：与所规定的质量标准（如：最新修订的 ITTC 7.5-03-01-02 和 ITTC 7.5-03-01-04）一致的证明文件，以及采用数值计算时，对母型船数值设置或对可对比船舶参考设置的验证等；

¹ EEXI 技术案卷样本见本指南附录 1。

- (9) 船舶的试航报告和/或营运中性能测量结果报告（如适用）；
- (10) 非 EEDI 船舶的 $V_{ref,app}$ 的计算过程（如适用）；
- (11) 燃料类型；
- (12) 主机和辅机的单位燃油消耗量 (SFC)；
- (13) 特定船型的电力负荷表（如适用）；
- (14) 在船舶 EEXI 验证检验申请之日以前获得的、海上辅机负荷年度平均值的文件记录（如适用）；
- (15) $P_{AE,app}$ 的计算过程（如适用）；
- (16) 主尺度，船型和将船舶归入该船型的相关信息，船舶推进系统和电力供应系统的技术信息；
- (17) 节能设备的描述（如有）；
- (18) Attained EEXI 的计算值，包括计算概述（应至少包括用于确定 Attained EEXI 的每个计算参数值和计算过程）；和
- (19) 对于 LNG 运输船：
 - ① 推进系统的类型和概况（如柴油机直接推进、柴油电力推进、蒸汽轮机推进）；
 - ② LNG 液货舱容积，以 m^3 计，和 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》中所定义的蒸发率 BOR；
 - ③ 推进电机 100% 额定输出功率 (MPP_{motor}) 时传动齿轮后螺旋桨轴的轴功率和柴油电力推进的电效率 $\eta(i)$ ；
 - ④ 采用功率限制/降功率改装的情况下，推进电机处于限制功率 ($MPP_{motor,lim}$) 时传动齿轮后螺旋桨轴的轴功率；
 - ⑤ 蒸汽轮机的额定功率 ($MCR_{SteamTurbine}$)；
 - ⑥ 进行功率限制/降功率改装后，蒸汽轮机的限制功率 ($MCR_{SteamTurbine,lim}$)；
 和
 - ⑦ 蒸汽轮机的 $SFC_{SteamTurbine}$ 。如果制造商不能提供计算， $SFC_{SteamTurbine}$ 可由提交方计算。

3.3 检验验证要求

3.3.1 应使用燃油的标准低热值将 SFC 修正至 ISO 标准基准条件对应的值，参见 ISO 15550:2002 和 ISO 3046-1:2002。为了确认 SFC ，应向验证方提交一份经批准的 NO_x 技

术案卷副本和修正计算概述文件。

3.3.2 如果船上安装使用液化天然气和燃油的双燃料发动机，气体燃料（液化天然气）的 C_F 系数和气体燃料的单位燃料消耗量（ SFC ）的使用，应按照 CCS《国际航行海船能效设计指数(EEDI)计算与验证指南》2.3.1 和 2.3.7 条进行计算并按照该指南 4.3.3 条进行验证。

3.3.3 对采用功率限制/降功率改装的船舶发动机，或如果发动机的 NO_x 技术案卷中不含试验报告， SFC 应按本指南 2.2.6 计算。该种情况下， SFC 可采用验证方接受的发动机实测值。

3.3.4 验证方可要求申请方提供除 EEXI 技术案卷中包含的信息外的必要的附加信息，以检查 Attained EEXI 的计算过程。具体可参见 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》规定。对采用或部分采用数值计算方法获得 V_{ref} 的船舶，其验证要求参见本指南附录 4 的规定。

3.3.5 如果提交了 3.2.2（9）中规定的试航报告，申请方应提供进一步信息以确认：

- （1）试航条件满足 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》5.3.2（2）、5.3.2（3）和 5.3.2（6）条要求；
- （2）按照 ISO 15016:2002 或验证方满意并接受的等效方法对海况进行了测量；
- （3）按照 ISO 15016:2002 或验证方满意并接受的等效方法对航速进行了测量；和
- （4）按照 ISO 15016:2002 或可接受的等效方法（前提是该方法的概念对验证方是透明的且可以公开提供/获得），对所测得的航速通过考虑风、潮涌、波浪、浅水和排水量的影响进行修正（如必要）。

3.3.6 对在本指南生效后进行的船舶试航，其试航和试航报告要求参见 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》的规定。

3.3.7 对采用营运航速测量获得 EEXI 航速的船舶，其测量和报告要求按照本指南附录 3 执行。

3.3.8 应参照最新修订的 ITTC 7.5-03-01-02 和 ITTC 7.5-03-01-04 及相关文件，对从水池试验和/或数值计算和/或经水池试验修正的试航/营运测量结果中获得的速度-功率曲线进行检查。

3.3.9 对采用可越控功率限制/降功率改装的船舶，应按 CCS《船舶降功率检验指南》要求正确安装和/或铅封，且船上应备有经验证的可越控功率限制/降功率改装船上管理手册（OMM）。

3.3.10 对船舶进行功率限制/降功率改装同时 NO_x 关键设置和/或部件的改变超出批

准的主机 NO_x 技术案卷的情况，主机应重新认证。

3.3.11 对采用不可越控功率限制/降功率改装的船舶，应按照功率限制操作时的最新版 MEPC.1/Circ.850 通函（《确定船舶在恶劣海况下维持操纵性的最小推进功率导则》）确定船舶进行功率限制后仍具备足够的推进功率维持船舶在恶劣海况下的操纵性。

3.3.12 船舶发生功率限制/降功率改装后的相关检验和试验项目可参照 CCS《船舶降功率检验指南》要求进行。

3.3.13 如果船舶采用电力负荷表计算辅机功率，则该表格应根据 CCS《国际航行海船能效设计指数（EEDI）计算与验证指南》的规定进行单独验证。

3.4 重大改建情况下的 EEXI 验证

3.4.1 如果船舶在 EEXI 验证检验完成之日或以后进行重大改建，申请方应将总体或部分检验申请连同基于所作改建而适当修订的 EEXI 技术案卷和其他相关背景文件提交给验证方。

3.4.2 背景文件应至少包括但不限于：

(1) 改建的详细信息；

(2) 改建后改变的 EEXI 参数和每一相关参数的技术依据；

(3) EEXI 技术案卷中所作其他改变的理由（如有）；和

(4) Attained EEXI 的计算值和计算概述，应至少包括用于确定改建后的 Attained EEXI 的每个计算参数值和计算过程。

3.4.3 经修订的 EEXI 技术案卷和提交的其他文件以及 Attained EEXI 的计算过程应经验证方审查和验证，以确保其技术上可靠、合理并符合本指南要求。

3.4.4 对于重大改建后 Attained EEXI 的验证，必要时需进行船舶试航测试。

附录 1 EEXI 技术案卷样本

1 数据

1.1 一般信息

船东	XXX 航运公司
船厂	XXX 造船公司
船名	XXX
船体编号	12345
IMO 编号	94XXX12
船型	散货船

1.2 主尺度

总长	250.0 m
垂线间长	240.0 m
型宽	40.0 m
型深	20.0 m
夏季载重线吃水, 型吃水	14.0 m
夏季载重线吃水时的载重吨	150,000t

1.3 主机

制造商	XXX 工业公司
型号	6J70A
额定功率 (MCR _{ME})	15,000kW×80 rpm
限制功率 (MCR _{ME,lim})	9,940 kW ×70 rpm
功率限定形式	可越控
主机的 SFC	166.5 g/kWh
台数	1
燃油类型	柴油

1.4 辅机

制造商	XXX 工业公司
型号	5J-200
额定功率 (MCR _{AE})	600kW×900rpm
辅机的 SFC	220.0 g/kWh
台数	3
燃油类型	柴油

1.5 航速

航速 (V _{ref})	13.20kn
------------------------	---------

2 功率曲线

(例 1: EEDI 船舶)

EEDI 技术案卷中包含的经批准的速度-功率曲线, 见图 2.1。

(例 2: EEDI 生效前的船舶)

从水池试验和/或数值计算中获得的(如有)速度-功率曲线, 也见图 2.1。

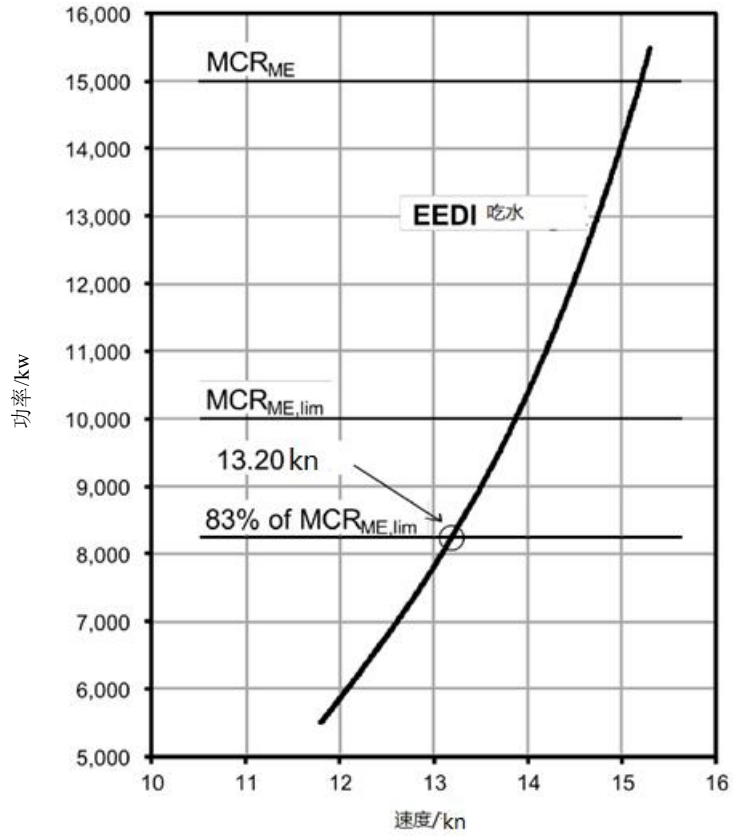


图 2.1 功率曲线

(例 3: 试航结果修正到不同吃水条件的 EEDI 生效前的船舶)

由水池试验和/或数值计算中获得的(如有)、从压载吃水修正到设计吃水的速度-功率曲线见图 2.2。

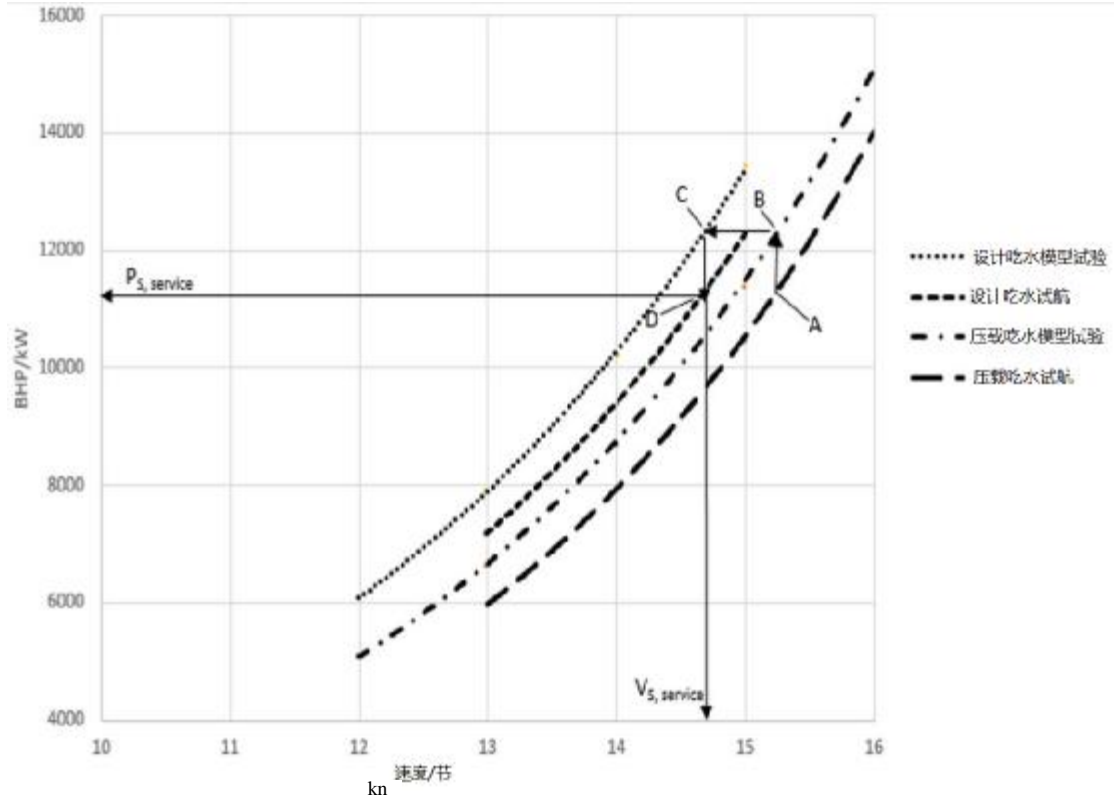


图 2.2 功率曲线

3 推进系统和电力供应系统概述

3.1 推进系统

3.1.1 主机

参见本附录 1.3。

3.1.2 螺旋桨

类型	固定螺距螺旋桨
直径	7.0 m
桨叶数量	4
台数	1

3.2 电力供应系统

3.2.1 辅机

参见本附录 1.4。

3.2.2 主发电机

制造商	XXX 电气
额定输出功率	560 kW(700 kVA)×900 rpm
电压	AC 450V
台数	3

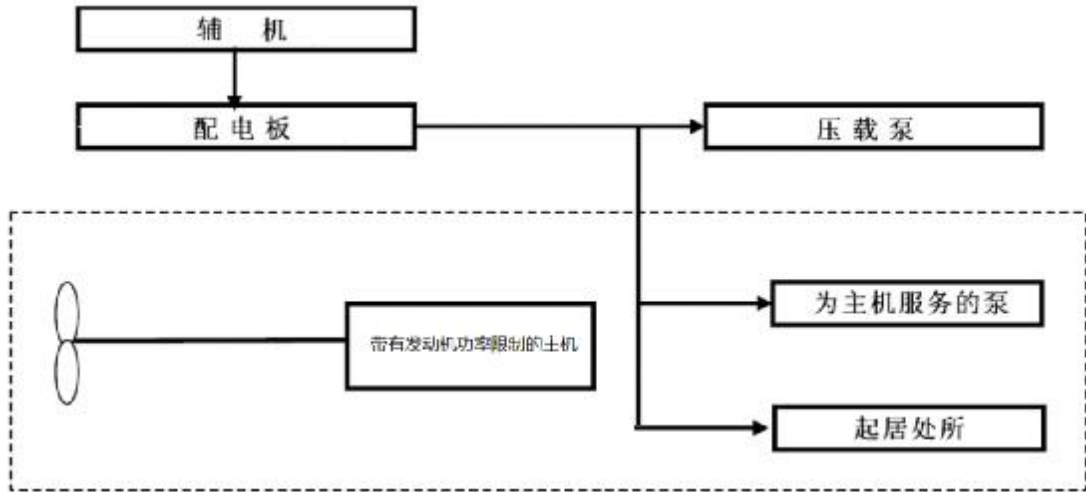


图 3.1 推进和电力供应系统原理图

4 速度-功率曲线估算过程

(例如: EEDI 生效前的船舶)

基于模型试验结果和/或数值计算(如有)估算速度-功率曲线。估算过程的流程如下。

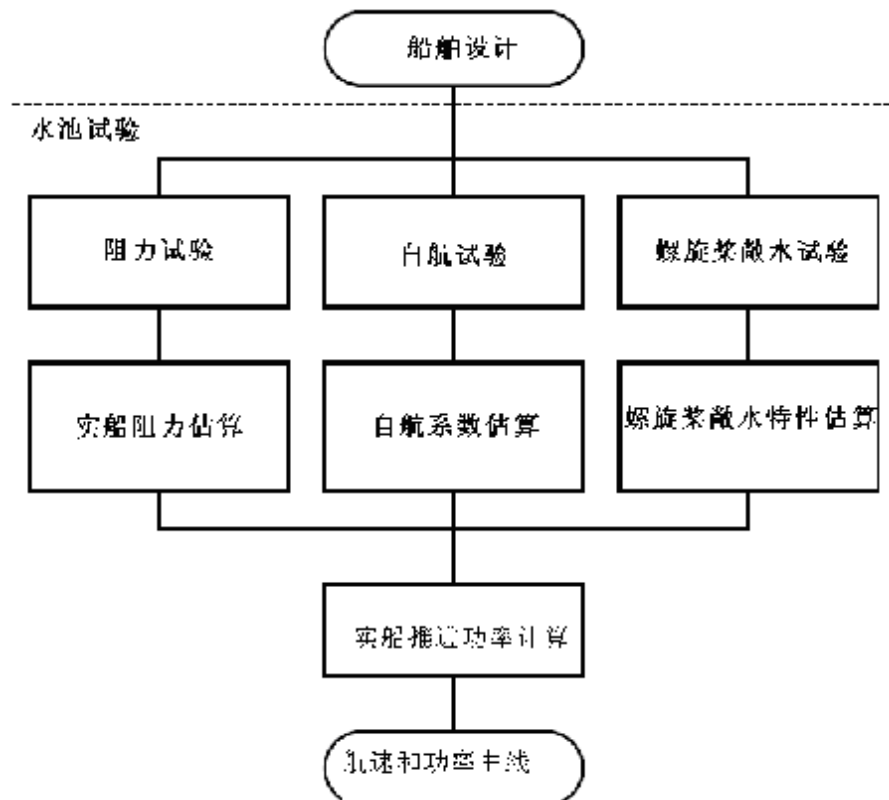


图 4 根据水池试验估算速度-功率曲线过程的流程图

5 节能设备描述

5.1 在 EEDI 计算公式中表述为 $P_{AEff(i)}$ 和/或 $P_{eff(i)}$ 的节能设备

(举例)

5.2 其他节能设备

(举例)

5.2.1 舵鳍

5.2.2 舵球

.....

(应标明每台设备或装置的说明书、原理图和/或照片等。作为替代,附上产品商业目录也可接受。)

6 Attained EEXI 的计算值

6.1 基础数据

船型	载重吨	航速 V_{ref} (kn)
散货船	150,000	13.20

6.2 主机

MCR_{ME} (kW)	$MCR_{ME,lim}$ (kW)	P_{ME} (kW)	燃油类型	C_{FME}	SFC_{ME} (g/kWh)
15,000	9,940	8,250	柴油	3.206	166.5

6.3 辅机

P_{AE} (kW)	燃油类型	C_{FAE}	SFC_{AE} (g/kWh)
625	柴油	3.206	220.0

6.4 冰级

N/A

6.5 创新型电力节能技术

N/A

6.6 创新型机械节能技术

N/A

6.7 舱容修正系数

N/A

6.8 Attained EEXI 的计算值

$$\begin{aligned}
 EEXI &= \frac{(\prod_{j=1}^M f_j)(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \\
 &+ \frac{\{(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\}}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \\
 &- \frac{(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \\
 &= \frac{1 \times (8250 \times 3.206 \times 166.5) + (625 \times 3.206 \times 220.0) + 0 - 0}{1 \times 1 \times 1 \times 150000 \times 1 \times 13.20 \times 1} \\
 &= 2.45 \text{ (g - CO}_2\text{/ton} \cdot \text{n} \cdot \text{mile)}
 \end{aligned}$$

Attained EEXI: 2.45g-CO₂/t*nm

附录2 LNG 运输船的 Attained EEXI 计算

1 蒸汽涡轮推进 LNG 运输船的计算

蒸汽涡轮推进 LNG 运输船的 Attained EEXI 计算公式如下：

$$Attained\ EEXI = \frac{P_{ME} \cdot SGC \cdot C_{F,LNG}}{Capacity \cdot V_{ref}}$$

在功率受限的情况下，扣除过量的自然蒸发气燃烧所消耗功率后，公式如下（该方法只适用于功率限制情况下使用）：

$$Attained\ EEXI = \frac{P_{ME_revised} \cdot SGC(P_{ME_lim}) \cdot C_{F,LNG}}{Capacity \cdot V_{ref}(P_{ME_lim})}$$

式中：

MCR ——主机额定功率值，单位为 kW；

MCR_{lim} ——主机限定功率值，单位为 kW。 MCR_{lim} 的计算是一个迭代过程，因为需要应用折减系数 R_f ，直到 Attained EEXI 小于或等于 Required EEXI。 MCR_{lim} 与 MCR 计算关系如下：

$$MCR_{lim} = R_f \cdot MCR$$

其中， R_f 为折减系数， $R_f < 1$ ；

P_{ME} —— $0.83 MCR$ ；

P_{ME_lim} —— $0.83 MCR_{lim}$ ；

V_{ref} ——航速，单位为 kn；

$Capacity$ ——载运能力，单位为 t；

$C_{F,LNG}$ ——LNG 的碳转换系数，取 $2.750\ t\ CO_2/t\ Fuel$ ；

SFC ——单位燃油消耗量，单位为 g/kWh；

SGC ——气体消耗量，单位为 g/kWh，应使用 SNAME 工况（工况标准：气温 $24^\circ C$ 、风机进风温度 $38^\circ C$ 、海水温度 $24^\circ C$ ）下的 LNG 标准低热值（ $48,000\ kJ/kg$ ）将 SFC 修正到 LNG 的 SGC 值的结果。换算公式如下：

$$SGC = SFC \cdot \frac{LCV_{(Fuel\ Oil)}}{LCV_{(LNG)}}$$

其中， LCV_{LNG} 和 $LCV_{Fuel\ Oil}$ 分别为《国际航行海船能效设计指数(EEDI)计算与验证指南》中规定的 LNG 和燃油的低热值。

如果气体消耗量在蒸汽热平衡和流程图中（3 个或更多负载点）可用，则也可通过这些值获得 SGC 的值。

$P_{ME_revised}$ ——扣除 $P_{Excessive}$ 后的相关功率值，单位为 kW，计算如下所示：

$$P_{ME_revised} = 0.83MCR_{lim} - P_{Excessive}$$

$P_{Excessive}$ ——过量自然蒸发气体燃烧所消耗的功率，单位为 kW，计算如下所示：

$$P_{Excessive} = P_{BOG} - MCR_{lim}$$

P_{BOG} ——从货舱中消耗所有蒸发气体 (BOG) 产生的额定功率，单位为 kW，可以根据每日蒸发率 (BOR_{LNG}) 和来自船舶蒸汽热平衡和流程图的输入确定。

BOR_{LNG} ——每日蒸发率，单位为 t/day，计算如下：

$$BOR_{LNG} = 0.000864 \cdot V_{Cargo}$$

其中， V_{Cargo} ——货舱舱容，取 100% 净容积，单位为 m^3

蒸汽热平衡和流程图提供不同功率水平下的燃油消耗量 (kg/h)，需至少 4 个点或相应的燃油率 (g/kWh)，然后使用《国际航行海船能效设计指数(EEDI)计算与验证指南》中规定的低热值的比率将燃油消耗量转换为每日 LNG 消耗量。

不同功率水平下每日 LNG 消耗量 (t LNG/day) 的计算如下式所示：

$$LNG\ Consumption = \frac{Fuel\ Oil\ Consumption(\frac{kg}{h}) \cdot 24}{1000} \cdot \frac{LCV_{FO}}{LCV_{LNG}} \quad (\frac{tons}{day})$$

P_{BOG} 可以从每日 LNG 消耗量与相应功率之间的关系中读取。典型曲线如下图所示。

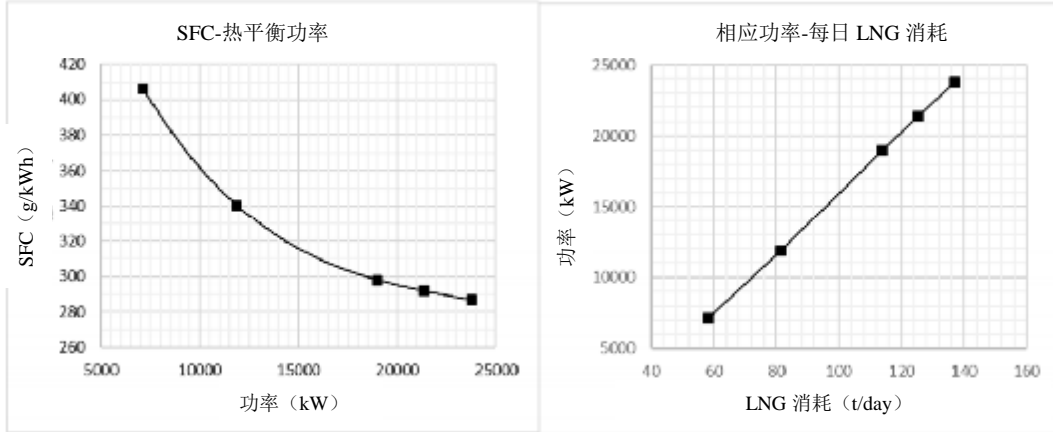


图 1 典型蒸汽船舶的 SFC-热平衡功率和相应功率-每日 LNG 消耗曲线示例

2 柴油电力推进 LNG 运输船的计算

只有没有安装再液化设备的柴油电力推进 LNG 运输船才能进行此扣除。如果安装了再液化设备，则需要使用额外的辅助功率。以下方法仅适用于将 LNG 视为主要燃料的情况。

考虑到 DFDEs 是配备双燃料的辅助发动机，没有专用的 LNG 燃料舱，且 DFDEs 没有单独的主机和辅机，但有许多 4 冲程双燃料发电机组充当主机，所以柴油电力推进 LNG 运输船的 Attained EEXI 计算公式可简化为：

$$Attained\ EEXI = \frac{(P_{ME} + P_{AE}) \cdot (C_{FMEGas} \cdot SFC_{MEGas} + C_{FMEPilotfuel} \cdot SFC_{MEPilotfuel})}{Capacity \cdot V_{ref}}$$

在功率受限的情况下，扣除过量自然蒸发气体燃烧所消耗功率后，计算公式如下（该方法只适用于功率限制情况下使用）：

$$Attained\ EEXI = \frac{(P_{ME_revised} + P_{AE}) \cdot (C_{FMEGas} \cdot SFC_{MEGas} + C_{FMEPilotfuel} \cdot SFC_{MEPilotfuel})}{Capacity \cdot V_{ref} \cdot (P_{ME_lim})}$$

式中：

MPP ——电机额定输出功率，单位为 kW；

MPP_{lim} ——电机限定功率值，单位为 kW。 MPP_{lim} 的计算是一个迭代过程，因为需要应用折减系数 R_f ，直到 Attained EEXI 小于或等于 Required EEXI。计算如下所示：

$$MPP_{lim} = R_f \cdot MPP$$

其中： R_f 为折减系数， $R_f < 1$ ；

P_{ME} —— $0.83 MPP / \eta_{electrical}$ ；

$\eta_{electrical}$ ——电效率，取 0.913；

P_{ME_lim} —— $0.83 MPP_{lim} / \eta_{electrical}$ ；

P_{AE} ——辅机功率，单位为 kW；

V_{ref} ——航速，单位为 kn；

$Capacity$ ——载运能力，单位为 t；

C_{FMEGas} ——气体模式下四冲程双燃料发电机组（在本例中视为主机）所用燃料的碳转换系数；

$C_{FMEPilotfuel}$ ——引燃燃料的碳转换系数；

SFC_{MEGas} ——气体模式下四冲程双燃料发电机组（在本例中视为主机）的单位燃料消耗量，单位为 g/kWh；

$SFC_{MEPilotfuel}$ ——根据台架试验结果，双燃料主机在 75% MCR 下的引燃燃料的单位燃料消耗量，单位为 g/kWh；

$P_{ME_revised}$ ——扣除 $P_{Excessive}$ 后的相关功率值，单位为 kW，计算如下所示：

$$P_{ME_revised} = 0.83 \cdot \frac{MPP_{lim}}{\eta_{electrical}} - P_{Excessive}$$

$P_{Excessive}$ ——过量自然蒸发气体燃烧所消耗的功率，单位为 kW，计算如下所示：

$$P_{Excessive} = P_{BOG} - \left(\frac{MPP_{lim}}{\eta_{electrical}} + P_{AE} \right)$$

P_{BOG} ——从货舱中消耗所有蒸发气体（BOG）产生的额定功率，可以根据每日蒸发率（ BOR_{LNG} ）和来自发电机组 NOx 技术文件（母型机）的输入确定。计算公式如下所示：

$$P_{BOG} = \frac{BOR_{LNG} \cdot 1000000}{SFC_{MEgas} \cdot 24} \quad [kW]$$

其中， BOR_{LNG} ——每日蒸发率，单位为 t/day，计算如下所示：

$$BOR_{LNG} = 0.000864 \cdot V_{Cargo}$$

式中： V_{Cargo} ——货舱舱容，取 100%净容积，单位为 m^3

SFC_{MEgas} ——对应于发动机 75% MCR 值的加权平均值，单位为 g/kWh。

每日 LNG 消耗与功率的典型曲线如下图所示。

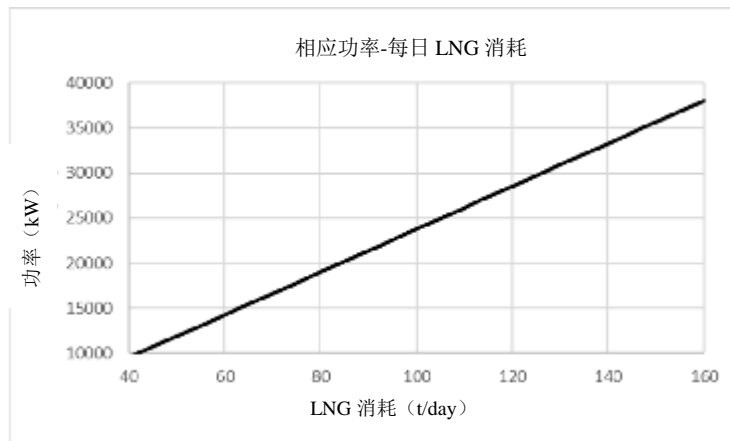


图 2 典型 DFDE 船舶每日 LNG 消耗-功率示例

附录3 营运船舶性能测量方法、程序和验证指南

1 引言

对无航速-功率曲线或试航报告中不包含 EEDI 或设计吃水工况的船舶，为了进行 EEXI 计算，可通过营运船舶性能测量方法获得航速 V_{ref} 。

2 概述

2.1 在进行营运船舶性能测量时，除非本附录明确规定，否则应参考通用的国际标准^①。

2.2 对于营运船舶性能测量所需的准备工作和程序的概述见下表。准备工作和程序应在预备会议上讨论和商定（详见“准备工作”一节）。

表 1：营运船舶性能测量准备工作和程序

营运船舶性能测量、分析	
步骤1：准备传感器	<ul style="list-style-type: none"> · 航速计程仪/GPS · 回声测深器 · 航向控制 · 燃油流量计 · 轴扭力计 · 吃水测量 · 电罗经
步骤2：测量前参数	<ul style="list-style-type: none"> · 排水量 · 首/尾吃水 · 水深 · 空气/海水温度 · 海水密度 · 风速仪安装高度 · 燃油密度 · 燃油低热值
步骤3：营运船舶性能测量	<ul style="list-style-type: none"> · 海况 · 风 · 水深 · 水流
步骤4：测量中参数	<ul style="list-style-type: none"> · 报告的数据 · 系统打印 · 设备控制 · 燃油分析

^① 例如 ITTC 建议程序，ISO 15016:2002、ISO 15016:2015 和/或 ISO 19030:2016。

步骤5: 文件记录	<ul style="list-style-type: none"> · 轴RPM/功率 · 航向 · 航速 · 距离 · 风速/风向 · 流速/流向 · 浪高/波浪周期/浪向
-----------	---

2.3 在使用营运船舶性能测量方法时，在进行测量之前，应召开参与该过程的所有相关方（船东、可能的顾问、验证方和主管机关）共同参加的会议。对现有信息的概述应包括但不限于船舶设计、节能设备（ESD）和测量传感器。各方应就营运船舶性能测量时间计划达成一致，并应对分析报告的提交及格式进行统一。

3 准备工作

3.1 在测量开始前，应对相关仪器进行校准，应由验证方对其操作条件进行确认。下表列出了用于收集数据的主要仪器：

表 2 营运船舶性能测量所需仪器

仪器	备注
轴扭力计	该测量系统功率测量应经核准，具有尽可能小的偏移差量。测试前和测试后应检查零位设置。
GPS	GPS系统应在差分模式下运行，以确保足够的精度。
风速仪	附近应无障碍物（上层建筑、桅杆、烟囱等），记录其在海平面以上的高度。
吃水测量	吃水测量系统（如能提供并经过校准）：否则，需要进行实际观测。
航速计程仪	传感器最近应进行过清洁。
回声测深器	对检查水深安全及确保浅水对船舶性能无影响具有重要意义。
航程记录仪	应在测量前进行检查，并能在每次测量后进行航程打印。
燃油流量计	船上应安装体积流量计或质量流量计。两者都应按照制造商的建议进行校准和清洁及维护。
电罗经	在航行中记录船舶的航向，并应在测量前进行校准。

3.2 船舶应至少在整个营运船舶性能测量期间配备一个经校准的轴扭力计。根据详细的燃油特性信息、记录的机舱条件和燃油消耗详细情况，可对某一特定燃油消耗值下的功率进行估算，从而进行验证和交叉检查。

3.3 如果船上安装了自动数据采集系统，应在性能测量前检查该系统的准确性，以确保系统具有所需的精度和测量频率，并能够提供所需的所有数据的跟踪。

3.4 每次性能测量航行开始前，应注意数据记录模板格式（见附件 C 示例）中的以下项目：

表 3 营运船舶测量环境和工况

参数	备注
排水量	进行测速测量的排水量和吃水工况应与交付试航或模型试验或假定的压载工况相对应。纵倾应保持在非常有限的限制范围内。对于平浮工况，纵倾应小于垂线间长的0.1%。在纵倾工况下，首吃水与船舶理想状态的误差应在±0.1米以内。
船首、船中和船尾吃水	
水深	无
空气温度	应使用经校准的温度计和气压计测量空气温度和压力。
空气压力	
海水温度	应记录试航地点的海水温度和密度，以便计算船舶的排水量和修正粘度。水温应在水线处测量。
海水密度	
风速仪高度	应记录其在海平面以上的高度。
燃油密度	应从实验室分析报告中获得燃油密度和低热值。
燃油低热值	

3.5 应在 EEXI 吃水工况下进行营运船舶性能测量，如果有参考工况的数据，那么在此工况下也可以进行一组营运船舶性能测量，以便更好地校准速度-功率关系。

(1) 参考工况是船舶文件记录的工况，例如，压载工况下的试航曲线或设计工况下的试航/模型试验曲线。营运船舶性能测量结果可以根据参考状态曲线校准。如果有参考工况，参考工况的使用不应导致高估 V_{ref} ，但可以作为一个验证和校准速度-功率关系的有用的工具。如果使用参考工况，校准结果也可以用于 EEXI 吃水工况。

(2) EEXI 吃水工况是《国际航行海船能效设计指数(EEDI)计算与验证指南》2.3.2 条中规定的吃水工况。性能测量结果使用与参考工况（如有）相同的校准因子。

3.6 如果不能完全满足 EEXI 吃水工况，可以接受用海军系数法^①来调整速度-功率关系，但只有在排水量变化不超过 2%时，或验证方接受的情况下方可进行。

3.7 针对 EEXI 吃水工况，在等效于 EEDI 试航工况的功率设置下，船舶应进行至少一组营运船舶性能测量。如无法进行，则在功率设置为 30%、60%，75%和 90%MCR（余量为+/- 5%）的情况下分别进行营运船舶性能测量。如果有参考工况的数据，在此工况下也应进行一组营运船舶性能测量，以便于校准。

3.8 如果采用了功率限制/降功率改装，在验证方接受的情况下，营运船舶性能测量可在功率设置为限制功率的 30%、60%、83%和 90%（余量为+/- 5%）的情况下进行。

3.9 如果在持续航行状态下进行营运船舶性能测量，应考虑在更改功率设置时留出足够的时间，以

^① 可参考《船舶设计实用手册》总体分册第 3 篇 3.3.1 中相关说明。

确保获得稳定状态。

3.10 每次航行的持续过程应按本附录表 4 执行。

3.11 在进行营运船舶性能测量之前，应研究天气预报，以确保测量期间的天气条件满足测量要求（接近平静海况）。

3.12 参与实施的船员应熟悉性能测量，并了解其任务和所收集的测量数据的重要性。

3.13 船舶的安全至关重要，如果发现对船舶和/或船员有任何危险，应暂停性能测量。在任何时候都要遵守所有的规章制度，并具备良好的航行状态。

3.14 本节规定的工况和计划应在进行营运船舶性能测量之前由验证方进行检查和确认。

3.15 船舶的船体和螺旋桨可能会出现污垢，这可能会影响船舶的性能。如果在营运船舶性能测量时船舶有严重污垢，得到的 V_{ref} 可能低于预期，这将导致对 Attained EEXI 的低估。建议在船体和螺旋桨清洁的情况下进行营运船舶性能测量。

3.16 船舶可能在交付后安装了节能装置。这将对性能产生影响，可使用营运船舶测量来反映节能装置的影响。

4 营运船舶性能测量期间

4.1 除保持航向所需的舵角操作外，所有控制杆都应该保持不变。

4.2 在每次航行中，需要有经验丰富的舵手或自动适配的自动驾驶仪保持航向。在保持稳定航向的同时使用最小舵角。舵角修正应限制在 5° 或更小范围内。

4.3 为了减少修正的影响，并获得性能测量结果的最佳精度，应满足下列条件：

表 4 营运船舶性能测量的环境条件

参数	备注
海况	见ISO 15016: 2015中规定的条件
风速	见ISO 15016: 2015中规定的条件
水深	见ISO 15016: 2015中规定的条件
水流	避开已知的水流大和变化大的区域。在测量过程中，应满足以下条件： $V_{GPS} - V_{STW} < 0.3 \text{ kn}$ ； 或见ISO 15016: 2015中规定的条件
测量时段	测量应在白天进行
持续时间	对于所有测速航行，航行持续时间应该相同，至少为10分钟，见下图1

4.4 如果在营运船舶性能测量过程之，不再满足上述任何条件之一，则有必要放弃测量。

4.5 对于各负载工况下的每一组营运船舶性能测量，都应至少进行一组往返航行，并保证船舶航行在同一轨道上，并且当监测开始时，工况处于稳定状态。每次测速应在同一地点开始和完成。

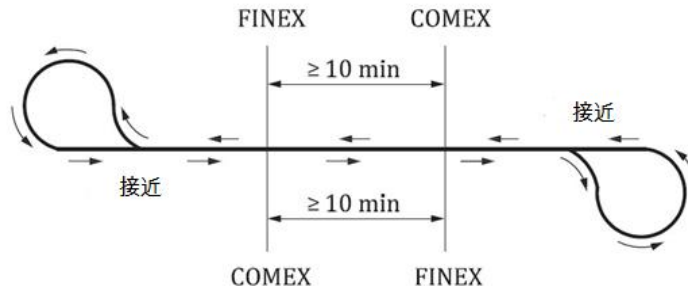


图1 往返航行试航

4.6 在营运船舶性能测量期间，应在满足船舶稳定状态时准确记录每次航行的参数。

4.7 在每次性能测量航行开始和结束时，应收集以下数据：

主机供油流量计读数	[ltr/h] 或 [kg/h]
主机供油流量计温度	[deg]
主机回油管路流量计读数*	[ltr/h] 或 [kg/h]
主机回油管路流量计温度*	[deg]

(*对于在回油管路上安装了流量计的船舶)

4.8 在进行营运船舶性能测量时，应以至少 1hz 的采样频率收集以下数据：

表 5 营运船舶性能测量期间记录的参数

参数	单位
日期	dd-mm-yyyy
时间	hh:mm:ss
转速计读数	[s ⁻¹]
轴功率	[kW]
航向	[deg]
航速 (GPS和航速计程仪)	[kn]
距离 (每次航行开始时应为“0”)	[nm]
相对风速	[m/s]
相对风向 (风来自...)	[deg]
流速	[kn]
相对流向 (流向...)	[deg]
观测到的浪高	[m]
观测到的波浪周期	[s]
观测到的浪向 (向....)	[deg]

4.9 除功率、转速和油耗外，还应在每次航行时提供下列主要发动机参数的平均值：

扫气温度	[deg]
------	-------

扫气压力	[kg/cm ²]
鼓风机进风口温度	[deg]

4.10 这些数据以及任何其他主机数据应在本地传感器上收集，而不是在发动机主控制继电器上收集。

4.11 在切实可行的情况下，应由验证方见证营运船舶性能测量。验证方能确认是否按照商定的程序进行了营运船舶性能测量。

5 营运船舶性能测量之后

5.1 应由验证方检查所有收集到的信息，任何错误/编辑性错误应在补充文件中注明，包括任何修正/替换值均需清晰的标记。持续记录的数据应按照初始状态提供，在营运船舶性能测量开始和结束时应注明不可变数据，以确认任何变化都设置为最小。

5.2 对于每次航行应提交下列资料：

- .1 填好的“营运船舶性能监测报告表”电子版（附件 C）；
- .2 性能监测系统输出的打印件和/或电子版；
- .3 装载仪计算输出的打印件和/或电子版，代表了开始航行时的装载工况；和
- .4 从航程记录仪输出的打印件和/或电子版，涵盖了整个航行阶段。

5.3 此外，还应提交一份营运船舶性能测量期间所用燃油的燃油分析报告的副本。

5.4 应记录针对营运船舶性能测量的任何注释，包括环境条件的任何重大变化。

5.5 需提交验证的资料信息见附件 A、B 和 C。

附件 A

进行营运船舶性能测量前应提交的资料

在进行营运船舶性能测量前，应提交下述资料：

文件	强制性	非强制性
静水力表	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
主机台架试验	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
试航（机器和船体部分）	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
模型试验	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
螺旋桨特性和结构图纸	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
总布置图	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
附体和舵的详细资料	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
燃油管路图	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

船舶主要参数

IMO号	
交船日期	
船舶的电子邮件地址	
船舶下水日期	
船名	
船东	
管理公司	
船型	
船舶载运能力（DWT或GT）	
船厂	
总长(m)	
垂线间长 (m)	
型宽(m)	
上甲板型深(m)	
设计吃水(m)	
设计吃水排水量(t)	
EEXI吃水(m)	
EEXI吃水排水量(t)	
空船重量(t)	
设计航速 (kn)	

进坞历史（最近5年内）：			
日期	船厂	涂层规格	船体处理
		请附说明	请附说明

自上次进坞以来船体清洗和螺旋桨抛光的历史：			
日期	位置	施工简述	螺旋桨抛光标准*

* 仅对于螺旋桨抛光

主机	
制造商	
型号	
编号	
燃油类型	
MCR (kW)	
SMCR (kW) x RPM	

主机改造/升级	是	否
降功率	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
切断涡轮增压机	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
部分负载调整	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
低负载调整	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
改造	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
改造详细说明		
其他调整	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
调整详细说明		

螺旋桨改造/升级			
类型（定距桨或调距桨）			
直径(m)			
螺距(m)			
编号			
	是	否	
纵倾	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
其他（请说明）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

推进改进设备	是	否
导管	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
鳍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
其他（请详细说明）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

功率测量	是	否
使用扭力计	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
（有关扭力计的详细说明，包括最近一次校准）		
使用负载指示器	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
其他方法（请详细说明）		

性能监测系统	是	否
PMS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
型号和制造商详细资料		

燃油测量	是	否
通过体积流量计	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
（对流量计进行详细说明，包括最近一次校准）		
通过质量流量计	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
（对流量计进行详细说明，包括最近一次校准）		
测深	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

用于数据收集的其他仪器和仪表	校准日期
计程仪	
DGPS	

风速仪， 提供风速仪高度（以m计）：.....	
其他（请详细说明）	

附加信息	是	否
减速齿轮	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
（请详细说明）		
轴马达	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
（请详细说明）		
轴带发电机	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
（请详细说明）		

如需进一步信息，请联系：（联系人）	
-------------------	--

附件B

营运船舶性能测量后应提交验证的资料

在进行营运船舶性能测量后，需提交如下资料：

文件	强制性	非强制性
扭力计校准证书	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
流量计校准证书	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
风速仪校准证书	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
航程记录仪校准证书	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
GPS校准证书	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
回声测深器校准证书	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
电罗经校准证书	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
燃油分析	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

另外，对于每次航行，还需提交下列资料：

文件	强制性	非强制性
测量报告	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
航程记录仪的打印件	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
主机负载指示器的打印件（显示测量期间船舶负载工况）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> *
风速仪输出的打印件/电子版（对数字化风速仪）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> *

*非强制，但强烈建议输出

附件 C

营运船舶性能测量报告格式示例

营运船舶性能测量报告格式

船名 _____ IMO 编号 _____

空气温度(°C)		海水温度(°C)		海水密度(t/m ³)														
船首吃水(m)		船尾吃水(m)		排水量(t)														
燃油密度(kg/m ³)		燃油低热值(kJ/kg)		风速仪高度(m)				水深(m)										
机舱									驾驶台									
测试序号	航次	测试开始时间	耗时	主机供油流量计读数	主机供油流量计温度	主机回油流量计读数	主机回油流量计温度	转速计读数	轴功率	航向	航速	距离	相对风速	相对风向	流速	观测到的波高	观测到的波浪周期	观测到的浪向
														来向	流向			流向
		hh:mm	mm	ltr(1)	°C	ltr(1)	°C	r	kW	° (绝对值)	kn	mm	kn	° (相对值)	kn	m	s	° (绝对值)
1	1		10															
	2		10															
2	1		10															
	2		10															
3	1		10															
	2		10															
4	1		10															
	2		10															

#1 主机功率设置平均值	扫气温度		°C	扫气压力		kg/cm ²	鼓风机进风温度		°C
#2 主机功率设置平均值	扫气温度		°C	扫气压力		kg/cm ²	鼓风机进风温度		°C
#3 主机功率设置平均值	扫气温度		°C	扫气压力		kg/cm ²	鼓风机进风温度		°C
#4 主机功率设置平均值	扫气温度		°C	扫气压力		kg/cm ²	鼓风机进风温度		°C

附录 4 数值计算的验证

1 对采用数值计算方法获得 V_{reg} 的船舶，为保证计算结果的准确性和合理性，需提交的附加信息应至少包括但不限于以下内容：

(1) 目标介绍：对数值计算工作进行介绍并说明模拟的目标、所采用方法的已有计算结果与模型试验/实船试航结果的对比，及适用的校准系数，相关支持性算例可在报告附件中列出；

(2) 数值计算资格证明：提交数值计算报告方需参照 ITTC 7.5-03-01-02 提供其能进行数值计算能力的说明；

(3) 支持文件：提交数值计算报告方进行数值计算的文件依据，如模型试验报告、试航报告、型线图、总布置图、螺旋桨图等；

(4) 船舶和螺旋桨的描述：船舶信息包括船名、船型、设计吃水、EEDI 吃水、空船重量和载重量、主机额定功率、垂线间长、型宽、型深等；螺旋桨信息包括直径、桨叶数量、旋转方向、盘面比、桨毂的主尺度、 $0.7R$ 处的弦长、最大厚度和螺距比、节能装置 (ESD) 类型 (如适用) 等；

(5) CFD 软件的描述：使用的软件类型及版本的简单介绍；

(6) CFD 建模的说明，包括：

①几何模型的详细说明 (含舵等附体)，以确定数值计算模型与实际船舶的一致性。其中，船舶对比信息应至少包括缩尺比、总长、垂线间长、型宽、型深、不同吃水及其对应的排水体积和湿表面积 (包括舵和裸船体)、浮心纵向位置、浮心垂向位置及型线图与数值建模的对比；螺旋桨对比信息应至少包括直径、桨叶数量、旋转方向、盘面比、桨毂的主尺度、 $0.7R$ 处的弦长、最大厚度和螺距比及型线图与数值建模的对比；

②网格划分说明，包括对网格区域、大小和类型的描述 (边界层、单元尺寸等)，如果网格大小不尽相同，则不同细化区域和每个方向 (x, y, z) 都需进行说明；

③网格划分的视图，含船体不同部分的边界层网格、船体关键位置 (船首，船尾，横梁和附体等) 网格的特写视图；

④网格收敛性研究，以证明所选择的网格细化是合理的。该收敛性验证应包含至少 3 套不同尺寸离散网格划分方案。经验证方批准，网格收敛性研究可由同形船舶/相似船舶的收敛性研究结果替代；

(7) 计算设置说明，包括：求解方程、模拟类型 (steady 或 unsteady)、湍流模型及其选取理由、数值求解格式、迭代停止标准、计算域主尺度、边界条件、阻尼区设置 (如有时)、坐标系和模

型原点的描述、模型自由度、螺旋桨建模说明、收敛标准、初始条件；

(8) 结果和后处理，报告应包含对所使用的后处理程序（如平均值、最终值等）的说明，以及找到自航点结果的方法的描述（如果使用了螺旋桨敞水数值模拟，则还需要该模拟的详细信息），并提供如下的视图和结果：

①残差收敛图，每种类型的模拟（船舶阻力，船舶自航，螺旋桨敞水曲线等）至少需要提供一个图；

②下列结果的彩色示例图：

- 全局视图下的自由面波形和兴波高度
- 船首和船尾区域的自由面波形和兴波高度
- 船体和附体的 y^+ 值视图
- 船体和附体的压力视图
- 螺旋桨处的压力和流场图

③以下参数的数据结果列表：

- 船舶阻力（总阻力、粘性阻力和压阻力）
- 推力减额 (t)
- 伴流分数 (w)
- 螺旋桨推力
- 螺旋桨扭矩
- 螺旋桨效率
- 相对旋转速率
- 主机输出功率

(9) 数值计算方法的验证评估说明：对所采用的数值方法的详细说明，以证明该数值计算结果的合理性。

2 数值计算应符合 ITTC 7.5-03-01-02、ITTC 7.5-03-01-04、ITTC 7.5-03-03-01 最新版的相关要求。

3 数值计算所采用数值方法的准确性应通过对比目标船舶的母型船、同形船舶或相似船舶的数值计算结果与模型试验或实船试航结果予以验证。用于比较的试航结果的获得应符合 ISO 15016:2015 或同等标准要求。数值计算方法的准确性采用校准系数表示，校准系数为同一工况点下母型船、同形船舶或相似船舶数值计算结果与模型试验或实船试航结果的比值，其值应介于 0.95 和 1.05 之间（含）。对于速度-功率曲线，校准系数的核定可取 65% 主机额定功率 (MCR) 和 100% MCR 之间（含）至少 4 个功率点（尽量均布，含 75% MCR 工况点）的比值的平均值。对采用功率限制/降功

率改装的船舶，“MCR”应理解为“ MCR_{lim} ”。

4 数值计算结果应基于模型尺度计算得到，并按照 ITTC 程序外推到实船尺度。用于数值计算的船舶模型垂线间长不小于 6m，对应螺旋桨模型直径不小于 200mm。

5 数值计算报告中所采用的方法和外推至实船尺度的换算方法应与报告提供的既有方法的准确性验证所采用的方法完全一致。计算结果采用校准系数予以修正。对于各个功率点校准系数不一致的情况，应对各个功率点采用各自校准系数分别进行修正。

6 对数值建模的具体要求在表 1 中列出。

表 1 数值建模要求

类别	要求
几何	计算模型应与设计船舶完全一致
自由度	建议至少考虑纵摇和垂荡自由度的运动影响
螺旋桨建模	敞水计算须完全建模，自航计算允许采用激励盘替代
湍流模型	通常使用 $k-w$ SST 或 RSM 作为船舶计算用标准模型
后处理	需要证明，在最终结果的平均中已考虑了足够的时间步长，以避免结果中的潜在振荡产生不可接受的负面影响
粗糙度	在数值模拟中不应直接考虑粗糙度，而是在遵循 ITTC 程序对结果进行后处理时将粗糙度纳入考量
湍流强度	不超过 10%
Y+值	按照 ITTC 7.5-03-02-03 要求

7 为得到完整的速度功率曲线，同一曲线上数值计算工况点不应少于模型试验取点数。

8 数值计算报告样本在附件中给出。

附件 数值计算报告格式

1 介绍

此报告包含 XXX（船舶名称）EEDI 参考速度（Vref）的数值计算结果。本报告中使用的方法和流程符合 ITTC 关于数值计算的最新程序要求。

本报告中采用的数值计算建模和求解方法已应用于 XXX（船舶名称）的母型船 YYY（船舶名称）。经母型船 YYY（船舶名称）数值计算结果与模型试验结果的对比得到该方法的校准系数为 1.02。XXX（船舶名称）与 YYY（船舶名称）的型线和参数对比、YYY（船舶名称）的数值计算报告、YYY（船舶名称）数值计算结果与模型试验结果的对比和分析结果详见附件。

2 资格

在过去的 5 年中，ZZZ（公司名字）根据 ITTC 7.5-03-01-02 开展了多项数值计算研究，涵盖船舶阻力和推进性能等方面。项目示例如下：

序号	年份	项目简单描述	计算船型	船舶主尺度	与目标值差异*（%）
1					
2					
3					
4					
5					
...					
...					

*对曲线结果对比，取曲线上多点对比结果的差异均值。

3 支持文件

以下证明文件用于此次数值计算，文件文本见附件。

文件编号	文件名称	描述
1	YYY 模型实验报告	
2	XXX 总布置图	
3	XXX 螺旋桨图	
...		

4 CFD 软件说明

本数值计算采用 Cadence Fidelity Marine V10 完成。Fidelity Marine 包括全六面体非结构网格制作前处理、不可压缩流体粘性求解器和功能强大的后处理模块，是 Cadence 专门为船舶海洋工程打造的专业水动力学仿真工具，具有最先进的船舶海洋应用技术。可以模拟任何复杂船舶和海洋结构的单相流、多相流粘性流绕流场，可以仿真深海船只也可以模拟内河浅水船只性能，可以模拟系泊系统作用、以及两船相遇等复杂问题，具备功能专业化、模块化的阻力、耐波、操纵和推进器高精度预报，以及复杂流场的船桨耦合、自航预报和空化、流固相互作用的多物理场模拟功能。

5 船舶和螺旋桨信息

船舶基本信息：

船舶名称	
船舶编号	

船型	
主机额定功率/转速/rpm	
载重吨/t	
空船重量/t	
设计吃水/m	
EEDI 吃水/m	
垂线间长/m	
型宽/m	
型深/m	

螺旋桨基本信息:

直径/m	
桨叶数量	
旋转方向	
盘面比	
桨毂直径/m	
0.7R 处弦长/m	
0.7R 处最大厚度/m	
0.7R 处螺距比	

6 CFD 建模说明

6.1 模型几何说明

船舶建模信息:

项目	计算建模
缩尺比	
总长/m	
垂线间长/m	
型宽/m	
型深/m	
设计吃水/m	
设计吃水对应排水体积/m ³	
设计吃水对应湿表面积/m ²	
EEDI 吃水/m	
EEDI 吃水对应排水体积/m ³	
EEDI 吃水对应湿表面积/m ²	
浮心纵向位置/m	
浮心垂向位置/m	
重心垂向位置/m	

螺旋桨建模信息:

项目	计算建模
缩尺比	
直径/m	

桨叶数量	
旋转方向	
盘面比	
桨毂直径/m	
0.7R 处弦长/m	
0.7R 处最大厚度/m	
0.7R 处螺距比	

数值建模整体几何模型见图 6.1-1。



图 6.1-1 船舶整体几何建模

本模型附体包括：XXX、XXX、XX 和 XXX。

船舶附体和推进器的细节几何建模见图 6.1-2 和图 6.1-3。

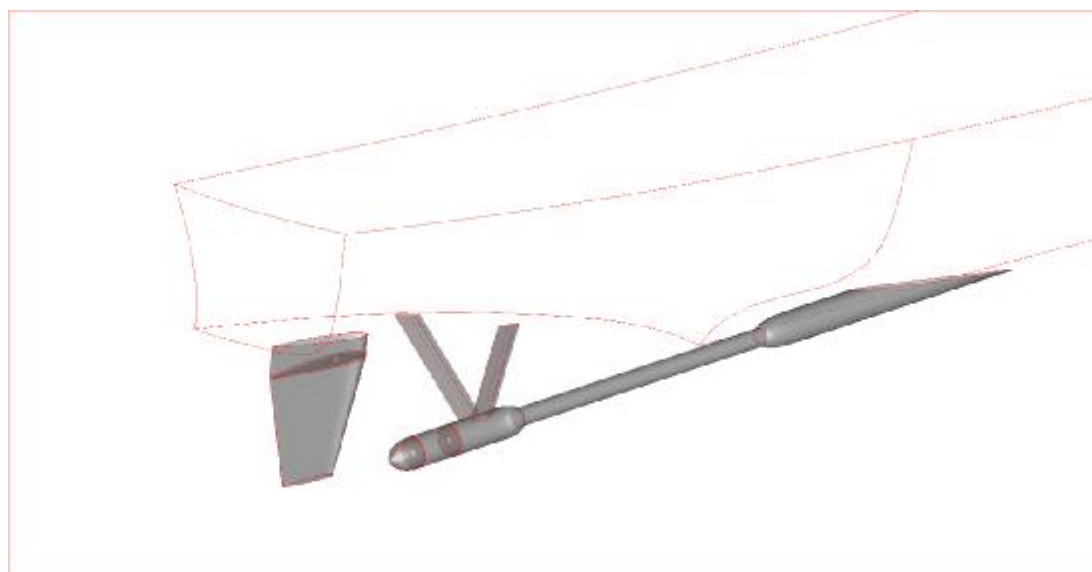


图 6.1-2 船舶附体几何建模

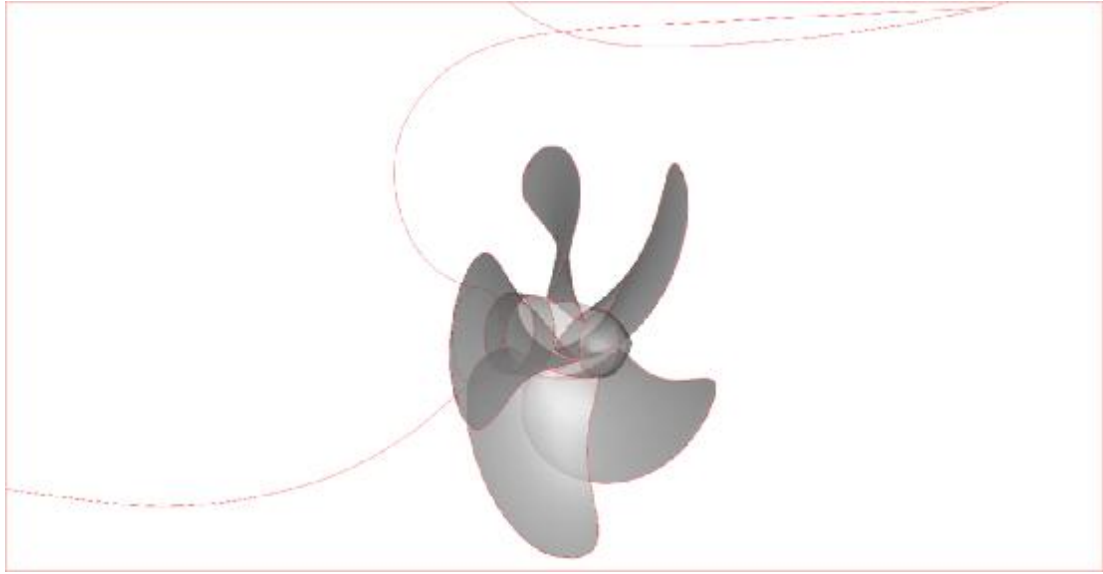


图 6.1-3 推进装置几何建模

6.2 网格说明

（网格划分策略需要详细说明，包括对网格区域、大小和类型的描述（边界层、单元尺寸等），如果网格大小不尽相同，则不同细化区域和每个方向（ x , y , z ）都需进行说明。还需提供不同细化区的不同视图，并提供示意图。）

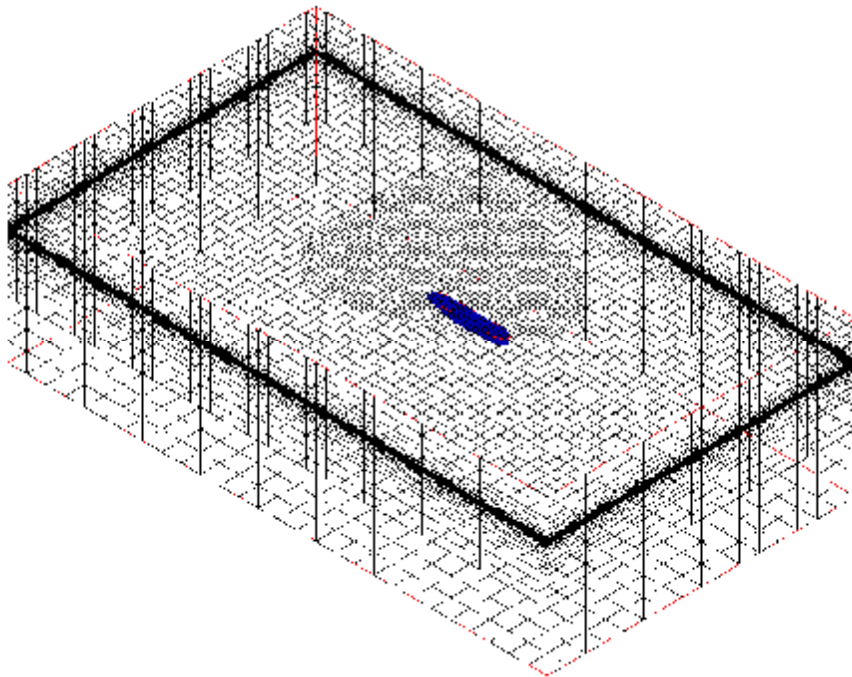


图 6.2-1 计算域划分

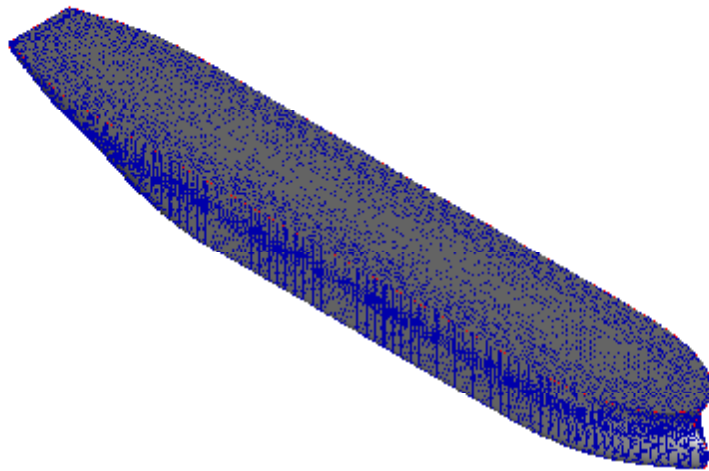


图 6.2-2 计算网格划分三视图

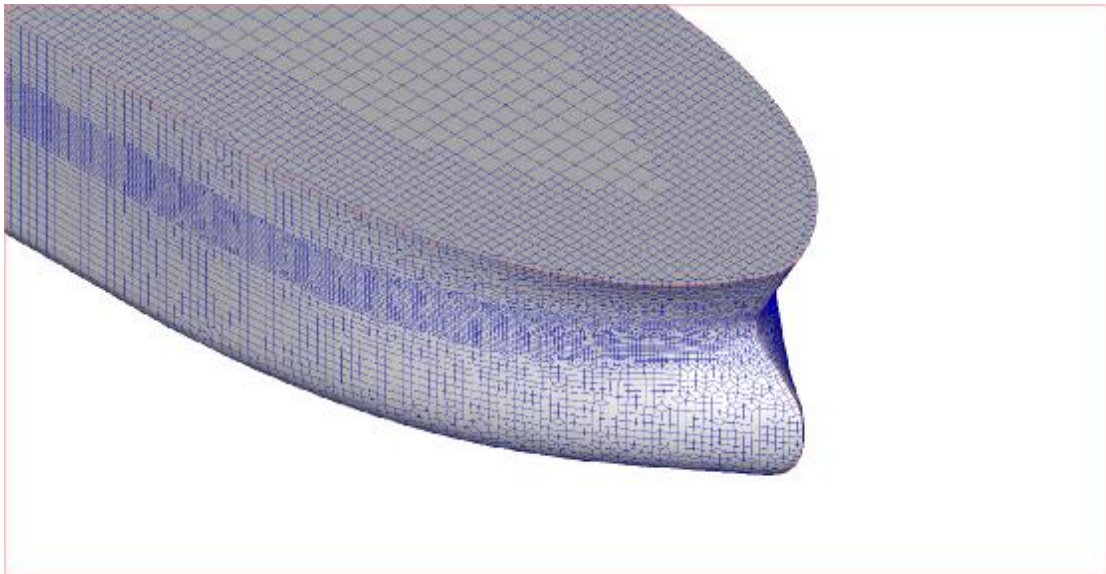
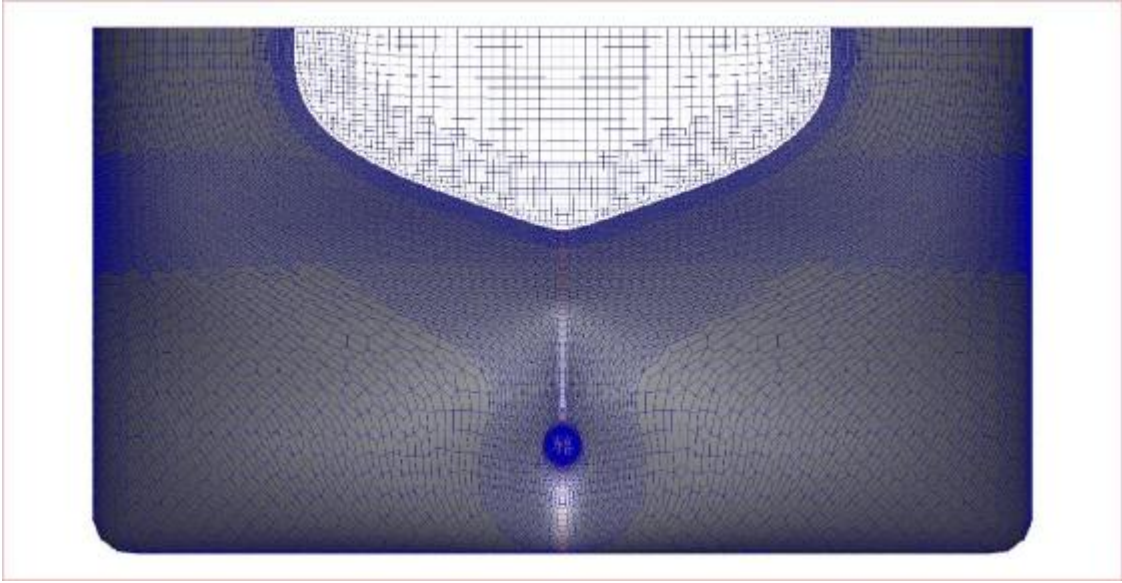
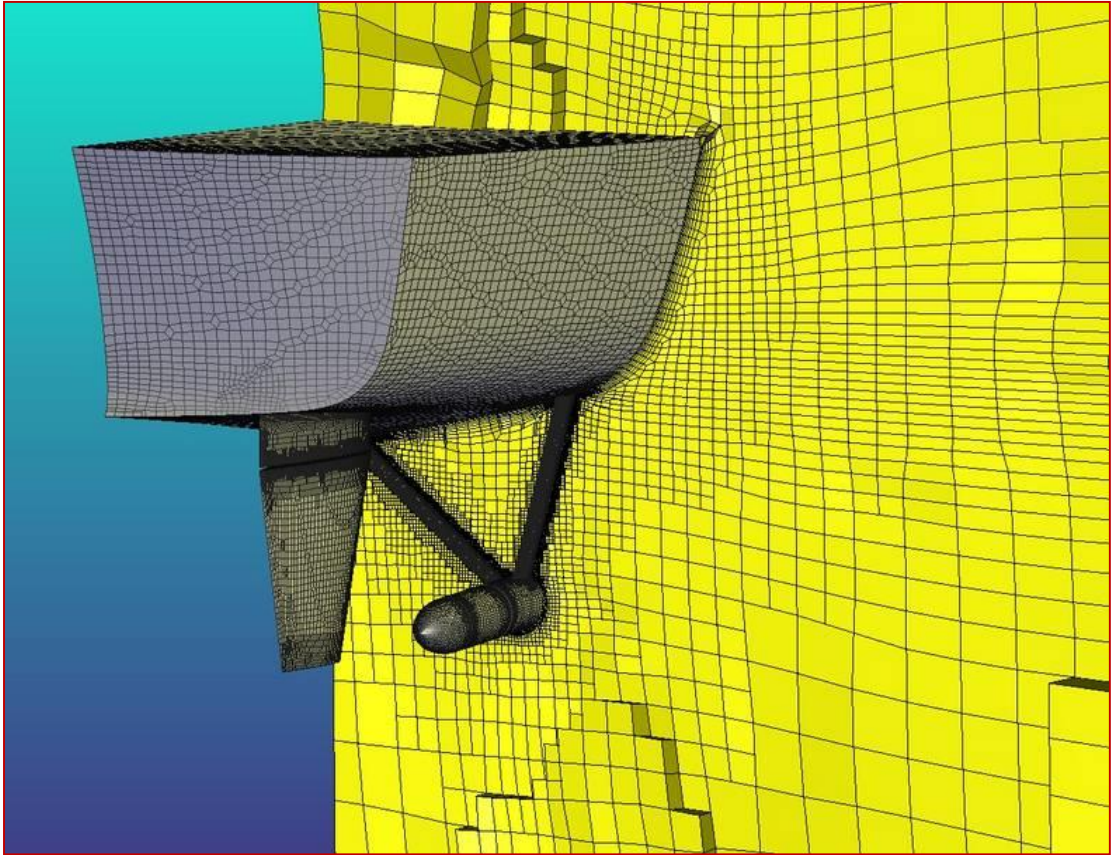


图 6.2-3 船首处网格划分



图

6.2-4 船尾处网格划分



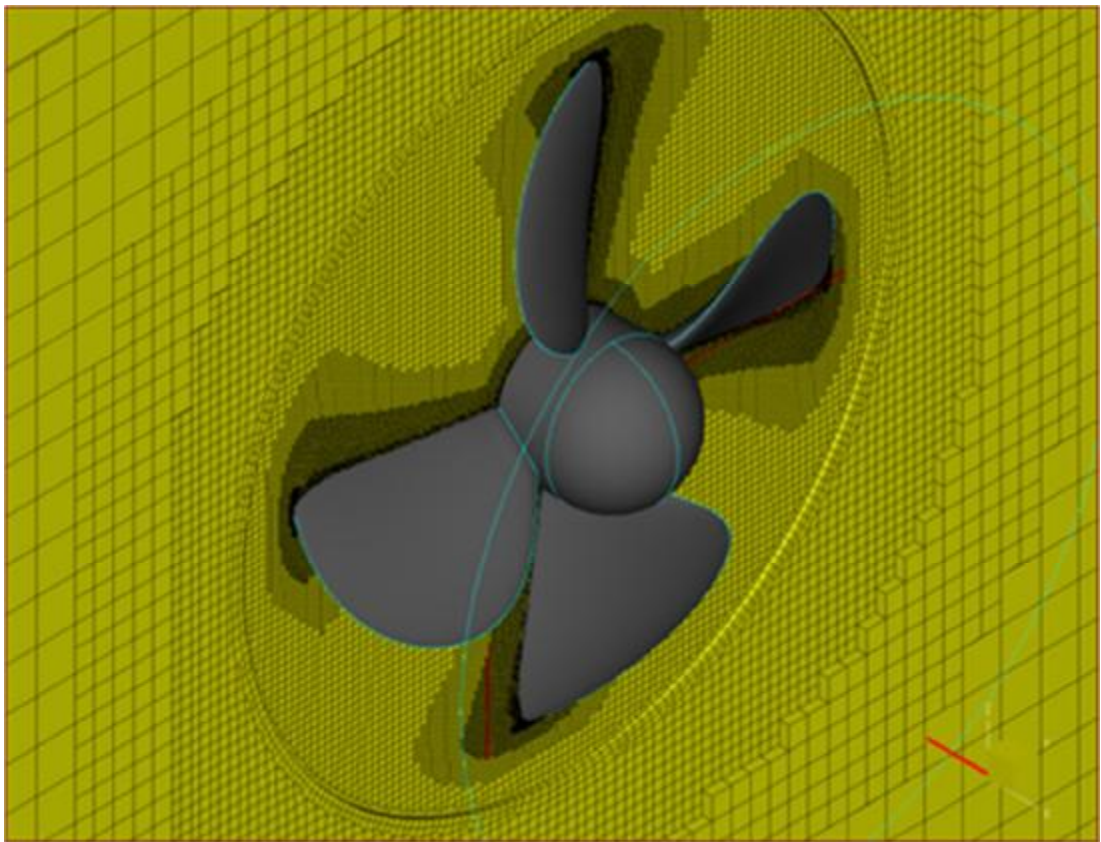
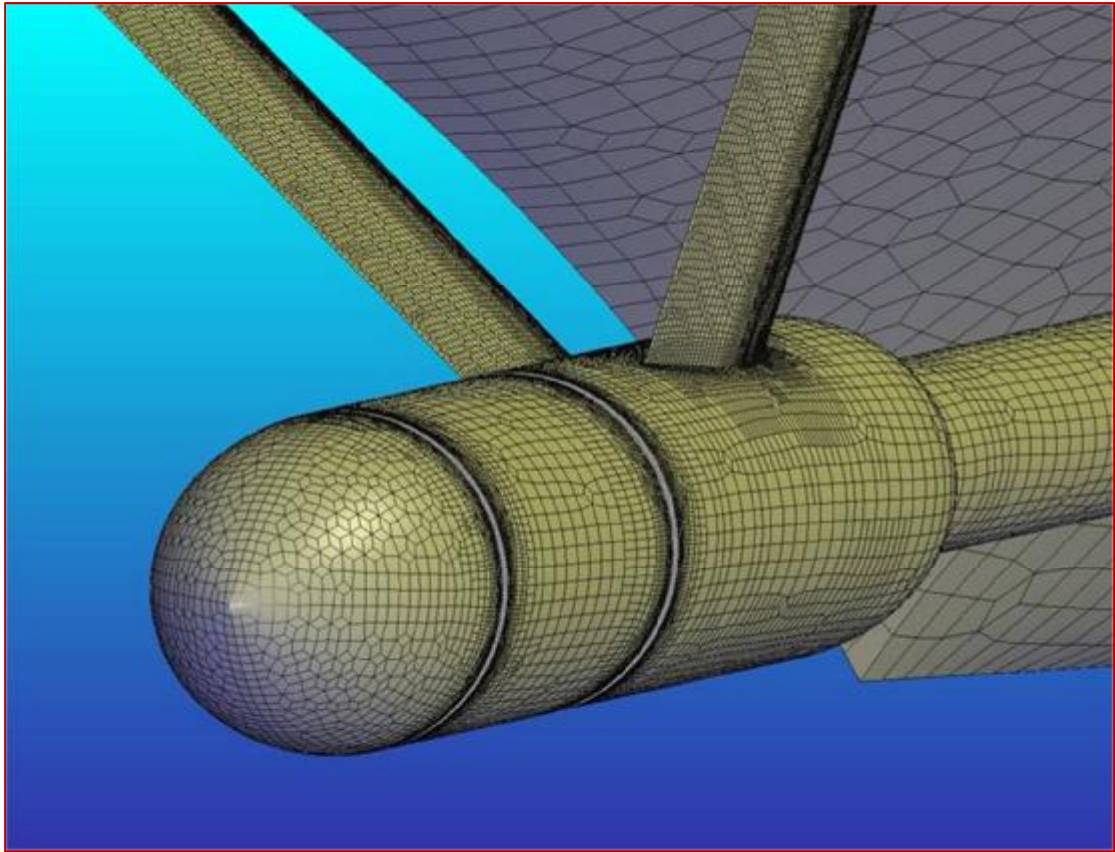


图 6.2-5 船舶附体处网格划分

6.3 网格收敛性验证

本模型网格划分策略同母型船，母型船网格收敛性验证详见附件。

7 数值计算的设置

7.1 求解方程

7.2 模拟类型

7.3 湍流模型（含选取理由）

7.4 数值求解方法（含迭代停止标准）

7.5 边界条件（含计算域划分说明）

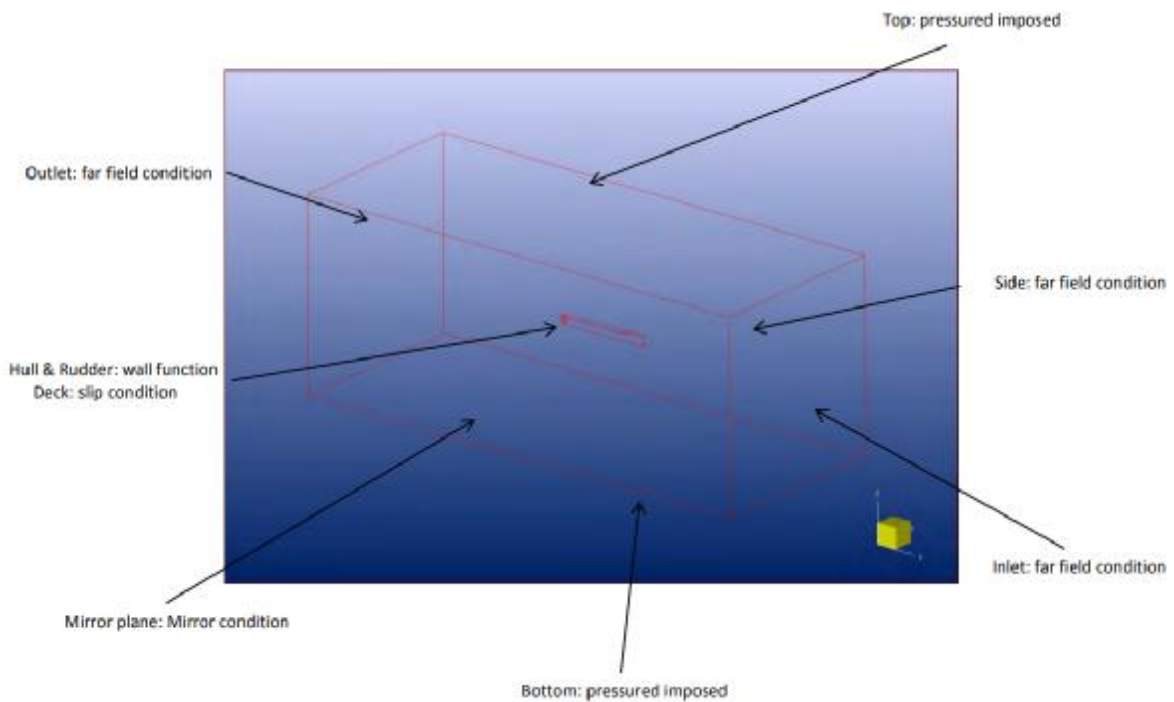


图 7.5 计算边界条件设置

7.6 模型坐标系和自由度设置

7.7 螺旋桨建模说明

7.8 初始条件设置（含收敛标准）

8 后处理和结果分析

8.1 后处理

（对所使用的后处理程序（如平均值、最终值等）的说明，以及找到自航点结果的方法的描述）

8.2 计算结果

8.2.1 计算结果统计

模型尺度下各参数的数值计算结果见下表。

参数	工况 1	工况 2	工况 3	工况 10
总阻力/N					
粘性阻力/N					
压阻力/N					
推力减额 (t)					
伴流分数 (w)					
螺旋桨推力/N					
螺旋桨扭矩/N*m					
螺旋桨效率					
相对旋转速率/r/s					
主机输出功率/W					

8.2.2 残差收敛图

(船舶静阻力、自航阻力、螺旋桨推力、螺旋桨扭矩残差收敛图)

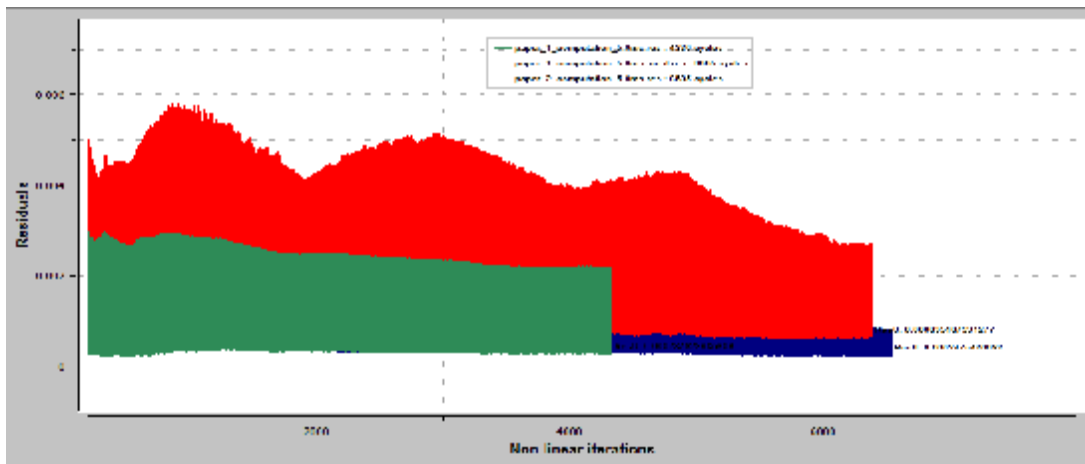


图 8.2.2 数值残差收敛图 (阻力示意)

8.2.3 结果收敛图

(船舶静阻力、自航阻力、螺旋桨推力、螺旋桨扭矩结果收敛图)

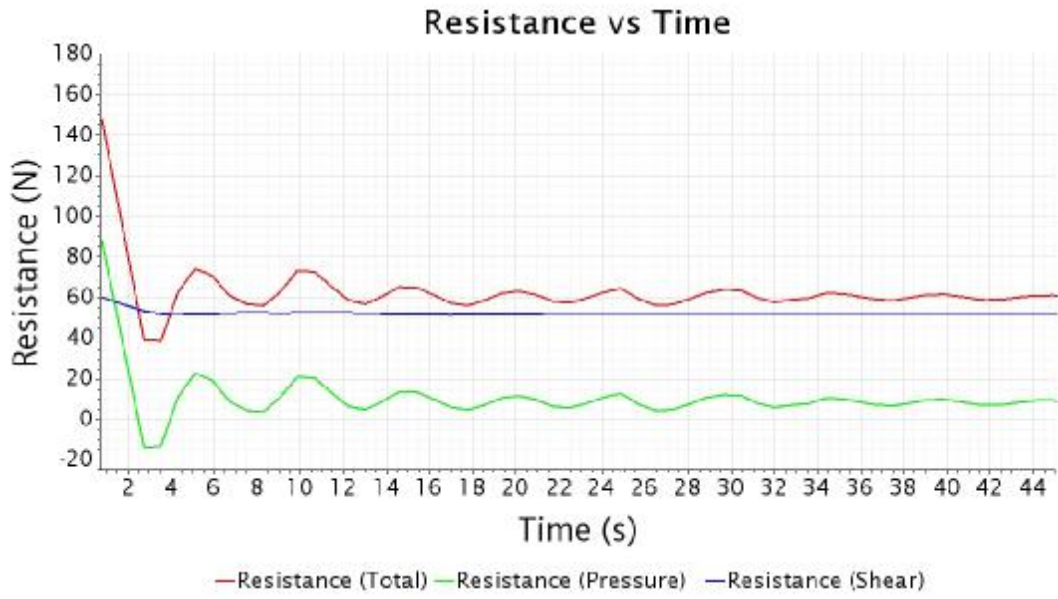


图 8.2.3 结果收敛图（阻力示意）

8.2.4 浪高、压力、流场图

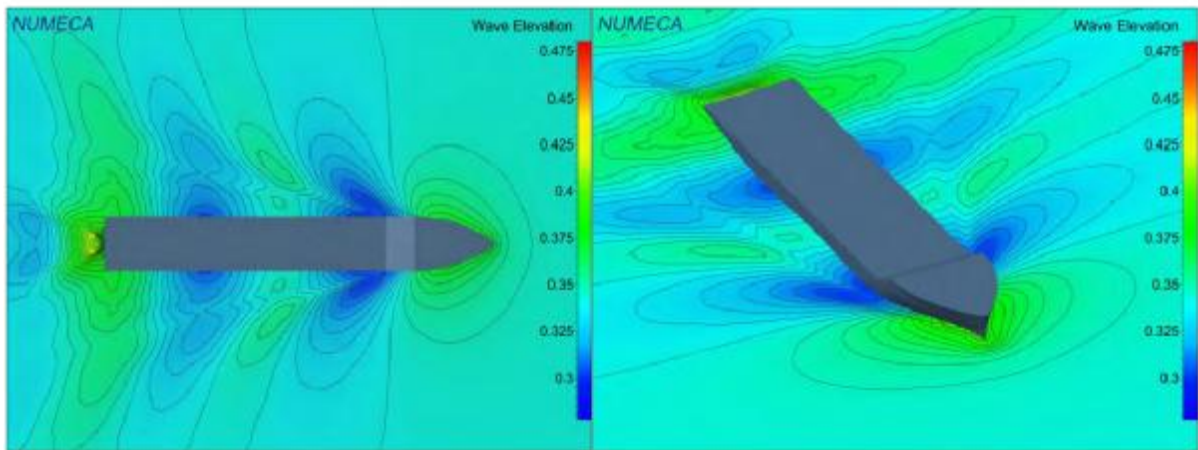




图 8.2.4-2 船体压力分布图

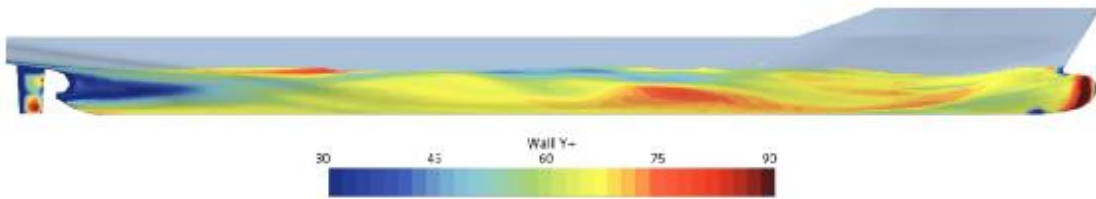


图 8.2.4-3 Y+值分布图

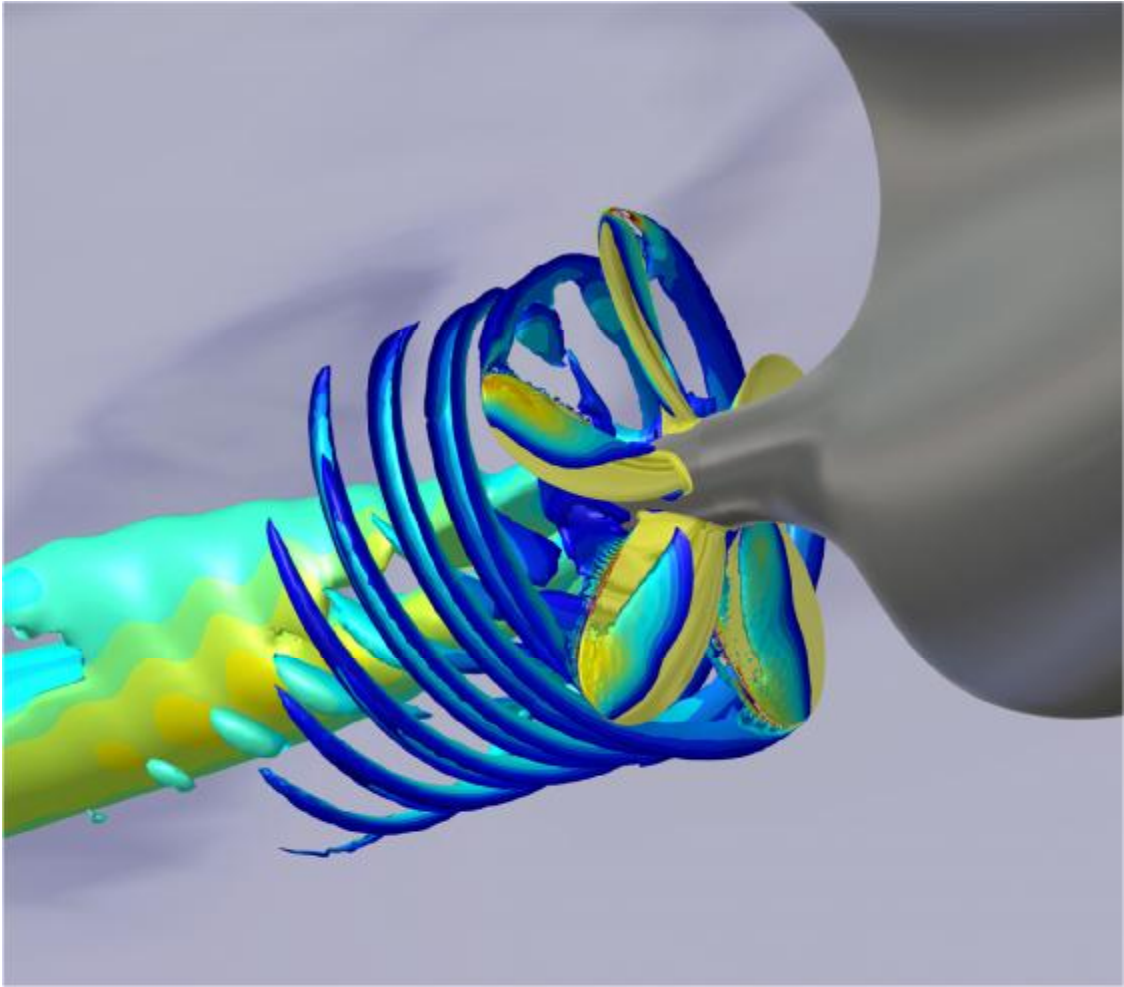


图 8.2.4-4 螺旋桨处流场分布

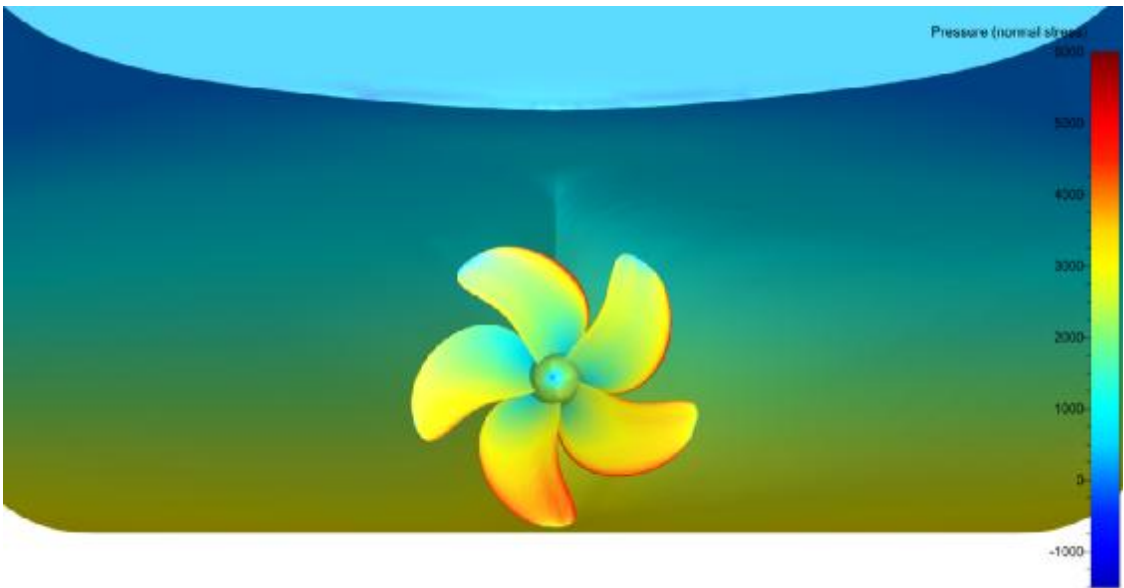


图 8.2.4-5 螺旋桨压力分布图

8.3 结果换算

8.3.1 模型-实船换算方法

(对模型尺度计算结果换算至实船尺度计算结果的说明)

8.3.2 结果汇总

实船尺度下各参数的计算结果见下表。

参数	工况 1	工况 2	工况 3	……	工况 10
总阻力/kN					
粘性阻力/kN					
压阻力/kN					
推力减额 (t)					
伴流分数 (w)					
螺旋桨推力 /kN					
螺旋桨扭矩 /kN*m					
螺旋桨效率					
相对旋转速率 /r/s					
主机输出功率 /kW					

9 数值计算方法验证评估说明

(对所采用的数值方法的详细说明, 以论证该数值计算结果的合理性。)

附件 1 XXX (船舶名称) 与 YYY (船舶名称) 的型线和参数对比

附件 2 YYY (船舶名称) 的数值计算报告

附件 3 YYY (船舶名称) 数值计算结果与模型试验结果的对比和分析 (含校准系数的获取)

附件 4 (支持文件文本-1)

附件 5 (支持文件文本 2)

……

附件 X (支持文件文本 X)