

集装箱船 EEDI 实船计算与优化

黄帅鹏* 俞婵娥 彭洪强 冯代强

舟山长宏国际船舶修造有限公司 浙江 舟山 316000

【摘要】：以 1700TEU 集装箱船计算应用为例，依据《MEPC.203(62)决议 MARPOL73/78 公约附则修正案-MARPOL 附则 VI 中引入船舶能效条款》中关于集装箱船的 EEDI 计算方法，以 EXCEL 为平台，通过编写程序，建立主机、辅机、螺旋桨、空船重量、70%载重量、油耗、75%主机功率的航速等影响的重要因素的方法，可以快速方便地对 Attained EEDI 进行估算修正，得到初步 Attained EEDI 的主要影响因素，将对应的各项影响因素进行优化和降低，最后将计算应用于实船中。

【关键词】：集装箱船；EEDI；EEDI 计算；EEDI 优化

Calculation and Optimization of Container Ship EEDI

Shuaipeng Huang*, Chane Yu, Hongqiang Peng, Daiqiang Feng

Zhoushan Changhong International Shipyard Co., Ltd, Zhejiang Zhoushan 316000

Abstract: Content of abstract Take the calculation application of 1700TEU container ship as an example, according to the EEDI calculation method of container ships in the amendment to the supplementary provisions of mepc.203 (62) resolution MARPOL73/78 convention - introduction of ship energy efficiency provisions in MARPOL supplementary provisions VI, using EXCEL as a platform, the program was written. The easiest way to reach the early peak is to find the main influencing factors, especially the main engine, the auxiliary engine, the propeller, the light ship weight, deadweight, the fuel consumption, the speed of 75% of the main engine power, etc., so that the early peak can be Attained quickly and conveniently, the main influencing factors can be obtained, and the corresponding influencing factors can be optimized and reduced. Finally, the calculation is applied to a container ship.

Keywords: Container ship; EEDI; Calculate for EEDI; optimized for EEDI

引言

船舶能效设计指数（Energy Efficiency Design Index，EEDI），是在船舶设计阶段，对于每单位船舶运输量（货运量）所产生的 CO₂ 排放的估算。EEDI 是一项设计指标，是考虑船舶在设计工况下产生 CO₂ 排放的主要因素和可能的改进手段，并鼓励船舶设计单位、造船厂、设备制造厂采取各种措施来改进船舶能效，促进技术进步和革新，而与船舶的运营情况无关。采用船舶能效设计指数，就是要在船舶设计阶段考虑提高船舶运输量并通过各种手段降低 CO₂ 的排放。

国际海事组织（IMO）于 2011 年 7 月推出了船舶能效设计指数（EEDI）和船舶能效管理计划（SEEMP）强制要求，这是全球首部针对船舶温室气体排放控制节能、环保、工作环境的船舶规范。并计划下一步采用市场机制的方法对航运温室气体排放总量进行有效的控制，采集航运公司及其船舶年度 CO₂ 排放数据和相关能效信息成为航运温室气体排放市场机制的实施基础。2012 年 7 月，国内结合新时代绿色生态发展的新内涵，制定《绿色船舶规范》2012，融入生态发展的新理念，推动绿色新技术标准升级，引导航运可持续、高质量发展。

1 EEDI 适用范围

1.1 船舶能效指数 EEDI 适用范围

船舶能效指数将对所有 400 总吨及以上的国际航行所有新

船和重大改建的新船、部分重大改建的现有船舶强制适用（包括 LNG、LPG 电力推进的运输船、非传统推进的邮轮），目前仅对海工平台、极地规则中的 A 类船和非常规推进的船舶等一些特殊船舶予以排除。国际海事组织 IMO 后续将逐步制定此类推进方式的 EEDI 要求。

1.1.1 Required EEDI

法规要求，适用于 MAPROL 附则 VI 中每个能效消减阶段要求的时间见下表：

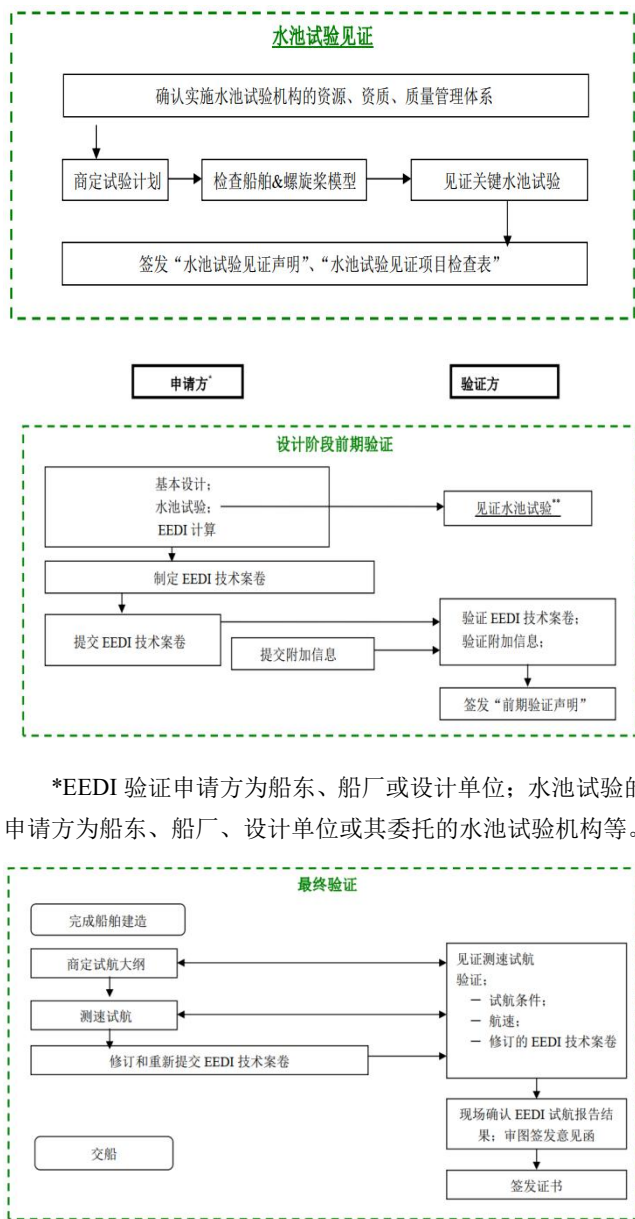
阶段 0	阶段 1	阶段 2	阶段 3
2013.1.1-2014.12.31	2015.1.1-2019.12.31	2020.1.1-2024.12.31	2025.1.1及以后
在2013.1.1-2014.12.31间签订造船合同，并于2019.1.1前交船；或	在2015.1.1-2019.12.31间签订造船合同，并于2024.1.1前交船；或	在2020.1.1-2024.12.31间签订造船合同，并于2029.1.1前交船；或	(1) 在2025.1.1及以后签订造船合同；或
2013.1.1前签订造船合同，并于2015.7.1-2018.12.31间交船。或	在2015.1.1前签订造船合同，并于2019.1.1-2023.12.31间交船。或	在2020.1.1前签订造船合同，并于2024.1.1-2028.12.31间交船。或	(2) 对于没有建造合同的，2025.7.1及以后安放龙骨或处于类似建造阶段；或
对于没有建造合同的，(1) 在2013.7.1-2015.6.30间安放龙骨或处于类似建造阶段，并于2019.1.1前交船；或	对于没有建造合同的，(1) 在2015.7.1-2020.6.30间安放龙骨或处于类似建造阶段，并于2024.1.1前交船；或	对于没有建造合同的，(1) 在2020.7.1-2025.6.30间安放龙骨或处于类似建造阶段，并于2029.1.1前交船；或	(3) 2029.1.1及以后交船。
(2) 在2013.7.1前安放龙骨或处于类似建造阶段，并于2015.7.1-2018.12.31日交船。	(2) 在2015.7.1前安放龙骨或处于类似建造阶段，并于2019.1.1-2023.12.31日交船。	(2) 在2020.7.1前安放龙骨或处于类似建造阶段，并于2024.1.1-2028.12.31日交船。	

2 Attained EEDI

达到的 EEDI 值（Attained EEDI）是指单一船舶实际达到

的 EEDI 值。应按照依据《MEPC.203(62)决议 MARPOL73/78 公约附则修正案-MARPOL 附则 VI 中引入船舶能效条款》中关于集装箱船的 EEDI 计算方法。

Attained EEDI 计算应分两个阶段进行：设计阶段的前期验证和试航阶段的最终验证，水池验证见证流程如下图所示，本文主要验证最终计算：



*EEDI 验证申请方为船东、船厂或设计单位；水池试验的申请方为船东、船厂、设计单位或其委托的水池试验机构等。

2.1 Attained EEDI 计算公式

Attained EEDI 是指船舶的能效设计指数，是衡量船舶能效水平的一种计算方法，公式如下：

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^{**} \right) + \left(\prod_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nEF} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{nEF} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right) \right)}{f_i \cdot f_c \cdot capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

2.2 Attained EEDI 公式中主要参数及其含义

Attained EEDI 的影响因素主要由以下几个部分组成：

(1) 载运能力 (Capacity)

集装箱船，Capacity 参数应以 70%DWT 表示；载重吨 (DWT) 是指在比重为 1.025kg/m³ 的水中夏季载重吃水下的船舶排水量与船舶空船重量之间的吨位差。夏季载重吃水应取主管机关或本社批准的稳性手册中认证的最大夏季吃水。

(2) 功率参数 (P)

P 是指主、辅机功率，用 kw 表示。下标 ME 和 AE 分别代表主机和辅机。i 的总和代表发动机数量 (nME)。EEDI 计算公式中涉及到的各功率参数如下：

①PME (i) - 每台主机的额定安装功率 (MCR) 的 75%。该 MCR 值应取 EIAPP 证书上规定的值计算。如果主机不要求 EIAPP 证书。

②PPTO (i) - 如果安装了轴带发电机，则轴带发电机功率 PPTO(i) 每台轴带发电机的额定电功率输出的 75%。

③PPTT (i) - 如果安装了轴带马达，则 PPTT(i) 是每台轴马达的额定功率消耗的 75% 除以发电机的加权平均功率。

$$P_{AE} (MCR_{ME} \geq 10000kW) = \left(0.025 \times \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) + 250$$

④PAE - 指在为保障船舶在正常最大海况下以船速 (V_{ref}) 和最大设计载运能力营运所需的辅机功率。在实际 EEDI 计算中按照一下公式计算：a，对于主机功率大于等于 10000kw 的船舶：b，对于主机功率小于 10000kw 的船舶：

$$P_{AE} (MCR_{ME} < 10000kW) = 0.05 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right)$$

(3) EEDI 的航速 (V_{ref})

是指在假定无风无浪的气象条件下，通过航速修正软件 STAIMO 修正至深水水中的 75%EEDI 的航速，如下图。

EEDI Sea Trial results
Shaft Power with Ship Speed

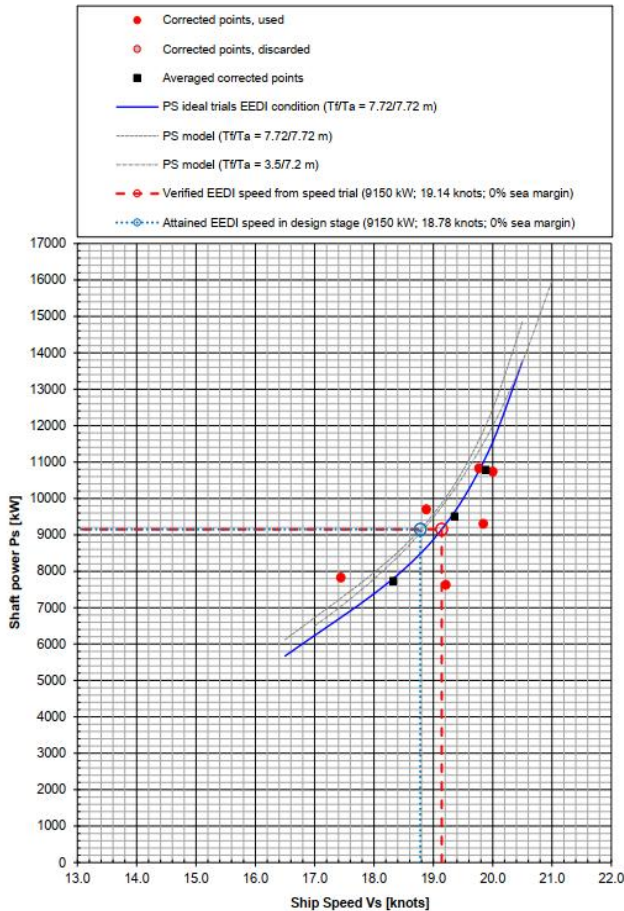


Figure 8 Speed - power graph for EEDI condition

(4) 主机在 75%MCR 功率下的燃料类型及单位燃油消耗量 (SFCME)

(5) 辅机在 50%MCR 功率下的燃料类型及单位燃油消耗量 (SFCAE)

(6) 碳转换系数 (CF)，集装箱船按燃油类型取：

碳转换系数 C_F

燃料类型	参照等级	碳当量	C_F (t-CO ₂ /t-Fuel)
1. 柴油/汽油	ISO 8217 DMX 级-DMC 级	0.8744	3.206
2. 轻燃油 (LFO)	ISO 8217 RMA 级-RMD 级	0.8594	3.151
3. 重燃油 (HFO)	ISO 8217 RME 级-RMK 级	0.8493	3.114

(7) 修正系数 f_i ，集装箱船取 1.0

修正系数 f_i ，集装箱船取 1.0

修正系数 f_w ，集装箱船取 1.0

修正系数 f_{eff} ，集装箱船取 1.0

修正系数 f_{iCSR} ，集装箱船取 1.281

2.3 Attained EEDI 计算方法

CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX		OHAB712-0700-0060-0		PAGE	
EEDI 计算书				7	
No./Item	Symbol	Unit	Note	Result	
6 Calculation Value of attained EEDI					
1 Ship type	Lpp	m	Input	CONTAINER SHIP	
2 Ship length between perpendiculars	Lpp	m	Input	159.58	
3 Ice class			Input	None	
4 Dead weight at summer load draft	D	ton	Input	23494.00	
5 Ship capacity coefficient			Known	1.00	
6 Dead weight at summer load draft X 70%	capacity	ton	calculated	16445.80	
7 Ship speed at (75% MCR-PTO) without EEDI draft	V_{ref}	kn	Input	19.14	
8 Type of M/E fuel oil in EIAPP certificate			Input	Diesel oil	
9 Type of M/E fuel oil in EIAPP certificate			Input	DO	
10 M/E type of fuel oil used in EIAPP certificate	C_{FME}		known	3.206	
11 A/E type of fuel oil used in EIAPP certificate	C_{FAE}		known	3.206	
12 M/E fuel oil consumption in EIAPP certificate	SFC_{ME}	g/kWh	75%MCR	166.80	
13 A/E fuel oil consumption in EIAPP certificate	SFC_{AE}	g/kWh	50%MCR	193.20	
14 The quantity of main engine			Input	1	
15 The specified MCR of main engine	MCR_{ME}	kw	Input	12200	
16 Main engine margin	CSR	%	Input	85%	
17 Sea margin		%	Input	15%	
18 The quantity of shaft generator			Input	0	
19 The specified output of shaft generator	P_{PTD}	kw	Input	0	
20 75% output of each shaft generator	P_{PTD}	kw	calculated	0	
21 75% of the rated installed power(MCR) after deducted installed shaft generator	P_{ME}	kw	calculated	9150	
22 The quantity of PTI			Input	0	
23 The specified output of PTI	P_{PTI}	kw	Input	0	
24 75% output of each PTI	P_{PTI}	kw	calculated	0	
25 The required auxiliary engine power	P_{AE}	kw	calculated	555.00	
26 Main engine power reduction due to innovative mechanical energy efficient technology.	P_{eff}	kw	Input	0	
	P_{eff}	kw	75% P_{eff}	0	
27 The auxiliary power reduction due to innovative electrical energy efficient technology measured at P_{AEff}	P_{AEff}		Input	0	
28 Technical limitation on capacity	f_i		known	1.000	
29 Technical limitation on capacity(CSR)	f_{iCSR}		known	1.281	
30 Correction factor for ice-classed ships	f_i		known	1.000	
31 Wave and wind speed coefficient	f_w		known	1.00	
32 Innovative energy efficiency technology	f_{eff}		known	1.00	
33 Attained EEDI	EEDI		gCO ₂ /(t mm)	16.637	
34 Base line	a	c	Value	gCO ₂ /(t mm)	
	174.22	0.201		23.043	
35 Difference between calculated EEDI & base value(gCO ₂ /(t mm))	Phase1	Phase2	Phase3	Calculated	
	20.74	18.43	16.13	27.80%	
	Yes	Yes	No		

以上实船 EEDI 计算是 1700TEU 集装箱船，该船配置了一台主机和三台辅机，未配轴带发电机。详细计算过程见上表。该船的交船时间为 2020 年 9 月份。

其最终的 AttainedEEDI 值达到了 Phase2 的要求。根据上文 1.11 节的法规要求本船满足 2020.1.1-2024.12.31 的时间表要求。

2.4 Attained EEDI 主要影响因素优化

(1) 运载能力 (Capacity)-载重吨

载重吨对 EEDI 的影响极为重大，在 EEDI 计算公式中其它因素固定时，随着 Capacity 增加 Attained EEDI 的值会减小。所以在实船设计和建造过程中尽量精准把控。同时 EEDI 的衡量指标为：EEDI (计算量) < EEDI (要求值)，满足要求。但是依然不能满足 IMO 的第三阶段减排 30% 的目标，载重量变化对船舶本身的强度、稳性、快速性以及回转性都不利，所以一味改变装载量不能解决问题。

计算 capacity 与 EEDI 之间的关系，见下表：

Capacity	AttainedEEDI	Re. EEDI
16100	16.994	23.141
16800	16.286	22.944
17500	15.635	22.757

(2) 功率参数-P

主机功率对 EEDI 的影响同样重大，在 EEDI 计算公式中其它因素固定时，随着 P 的减小 AttainedEEDI 的值也会减小。

同时满足 EEDI 的衡准指标为: $EEDI(\text{计算值}) < EEDI(\text{要求值})$, 由此可知, 通过改变主机功率达到 10200KW 时满足 IMO 的第三阶段减排 30% 的目标。主机功率越小, EEDI (计算值) 与 EEDI (要求值) 就会越远, 也不会太影响船舶向前的推进功率, 可见主机功率的改变能够提高本船的效能。具体计算见下表:

P (kW)	Capacity	AttainedEEDI	Re. EEDI
12200	16100	16.994	23.141
11200	16800	14.991	22.944
10200	17500	13.147	22.757

(3) 航速 (Vref)

船舶 75%EEDI 的航速对 EEDI 的影响, 在 EEDI 计算公式中其它因素固定时, 随着 (Vref) 的增加 AttainedEEDI 的值也会减小。同时满足 EEDI 的衡准指标要求: $EEDI(\text{计算值}) < EEDI(\text{要求值})$ 。具体见下表:

Vref	P (kW)	Capacity	AttainedEEDI	Re. EEDI
18.14	12200	16100	17.931	23.141
19.14	11200	16800	14.991	22.944
20.14	10200	17500	12.495	22.757

EEDI 的设立是为了在未来为船舶建立一个最低能源效率的标准。所谓最低能源效率 EEDI 表现为各个船型的功能和船

舶的运载能力。由于能源效率与二氧化碳联系的紧密, IMO 在设立了 EEDI 标准后通过设定最大允许 EEDI 指数, 然后在未来几年内逐步减小。为积极应对 EEDI 的新变化, 适应造船与航运业的发展, 以及建设造船强国的需求, 我们深入研讨 EEDI 对造船和航运业的影响, 提出以上一系列应对措施和建议

3 总结

本文首先对 EEDI 公式进行解读分析, 从 EEDI 相关参数进行详细阐述, 结合实例分析各种参数对实船的影响。并以 1700TEU 集装箱船为实例计算 EEDI 的详细过程进行阐述和解读, 确定主要影响因素, 同时列举一些主要影响因素优化后对 EEDI 的数值有效降低。

随着国际法规的不断完善和更新, 在今后集装箱船的设计和建造中对 EEDI 要求也会提出更高的期望, 文中通过一些措施可以不同程度地改善船舶的节能减排效果, 希望能为集装箱船后续的设计提供一些借鉴。我国作为世界造船强国, 不论从国家的节能减排国策角度出发, 或者从船舶企业发展方面考虑均要求我们船舶行业密切关注 EEDI 发展, 加强高新技术的研发和使用, 大力发展绿色环保型船舶。我司一直以建造高技术含量、高附加值船舶为核心目标, 必须着眼于未来高新科技, 加强加快发展绿色、高性能船舶, 在未来激烈的竞争中稳居行业翘楚地位。

参考文献:

- [1] GD27-2020, 船舶能效设计指数 (EEDI) 验证指南[S].2020.
- [2] 中国船级社. 绿色船舶规范[S].2012,7.
- [3] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines,2012.

作者简介: 黄帅鹏 (1984-), 男, 工程师, 从事船舶总体设计工作。