

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD18-2014



中国船级社

船舶能量消耗分布与节能指南

北京

2014年11月

目 录

第1章 通则.....	1
第2章 三大主力船型能量消耗分布.....	2
第1节 能量消耗分布总体情况.....	2
第2节 能量消耗分布.....	2
第3节 船舶能量消耗分布分析结论.....	6
第3章 能量有效利用水平分级.....	8
第1节 概述.....	8
第2节 能量有效利用水平分级曲线.....	8
第4章 典型节能技术.....	11
第1节 概述.....	11
第2节 提高主机效率技术.....	11
第3节 提高推进效率技术.....	12
第4节 降低船体阻力技术.....	13
第5节 排烟余热回收技术.....	14
第6节 冷却水余热回收技术.....	15
第7节 清洁能源应用技术.....	15
第5章 绿色技术节能效果敏感度分析.....	17
第1节 概述.....	17
第2节 绿色技术节能效果敏感度定量估算.....	17
附录A 船舶能量消耗分布计算方法.....	19
第1章 概述.....	19
第1节 一般规定.....	19
第2节 定义.....	20
第3节 图纸资料.....	21
第4节 符号.....	22
第5节 采集参数.....	26
第2章 基本假设.....	28
第3章 船舶推进系统耗能分布计算.....	29
第4章 船舶电力系统耗能分布计算.....	33
第5章 热源系统耗能分布计算.....	38
第6章 其它耗能装置耗能分布计算.....	41
第7章 计算得出的耗能分布结果.....	42

船舶能量消耗分布与节能指南

第 1 章 通则

1.1.1 为指导新造船节能设计和现有船舶节能改造工作开展，制定《船舶能量消耗分布与节能指南》（以下简称“本指南”）。

1.1.2 本指南中所指“能量”为船用燃料燃烧所产生能量，而不包括其它形式能量。

1.1.3 本指南在对一定数量船舶能量消耗数据统计计算分析基础上，总结出集装箱船、油船、散货船（以下简称“三大主力船型”）的能量消耗分布规律，并分析出节能重点方向，为三大主力船型新造船节能设计和现有船舶节能改造工作提供指导。

1.1.4 本指南第 3 章中给出了一系列能量有效利用水平分级曲线，该曲线源自于一定数量船舶能量消耗数据，随着样本船舶数量增加，该曲线将不断修正完善，因此本章给出的曲线仅供参考使用。

1.1.5 本指南第 4 章中列举了一系列船舶节能技术手段，其对于应对 EEDI 和燃油消耗限值等指标要求具有借鉴价值。

1.1.6 本指南附录 A 中给出的能量消耗分布计算方法，对于指导新造船和现有船舶能量消耗分布计算、掌握船舶能量消耗分布状况和水平具有重要指导意义。

1.1.7 为便于本指南使用者独立开展船舶能量消耗分布计算，除了在本指南附录 A 中提供详细的计算方法，还开发出一套能量消耗分布计算分析软件供使用。

第 2 章 三大主力船型能量消耗分布

第 1 节 能量消耗分布总体情况

2.1.1 利用附录 A 给出的船舶能量消耗分布计算方法,对三大主力船型一定数量船舶设计状态数据采集、统计及分析,每艘船从整船、系统、分系统、耗能设备等不同层次,按航行工况、装卸货工况、进出港工况、停港工况以及全航程分别进行分析计算,通过对每艘船舶计算数据统计汇总,最终形成三大主力船型总体汇总数据。

2.1.2 汇总后三大主力船型能量消耗分布如下图所示。

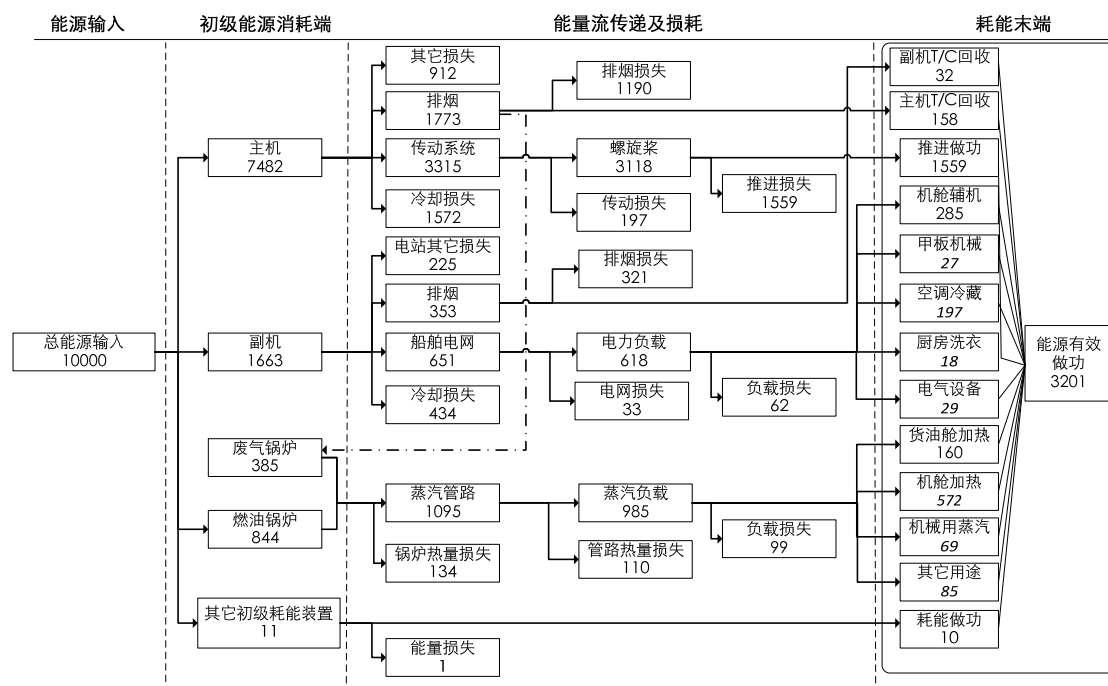


图 2.1.2 全船能量消耗分布图

第 2 节 能量消耗分布

2.2.1 初级能量消耗端能量分布

根据图 2.1.2 中的计算结果,可以分析得出初级能量消耗端能量分布图(图 2.2.1),初级能量消耗端能量使用主要有四方面,主机 74.8%,副机 16.6%,燃油锅炉 8.4%和其它 0.1%。该数据反映能量通

过哪些设备进入到船舶能量系统当中，还反映化石能量输入不同设备的比例。对于大多数船舶而言，船舶主机是最大的初级能量消耗单元，单从主机角度来看，通过新技术提升主机效率、在日常维护中保证主机良好工作状态，在保证同等输出情况下，降低化石能源使用量，将对船舶整体节能贡献巨大。从另外一方面，通过船舶线型优化、船机桨最佳匹配、高效螺旋桨、船体减阻等技术应用，将有效减低船舶对主机输出功率的需求量，从而降低主机消耗，显著减少船舶能量消耗。

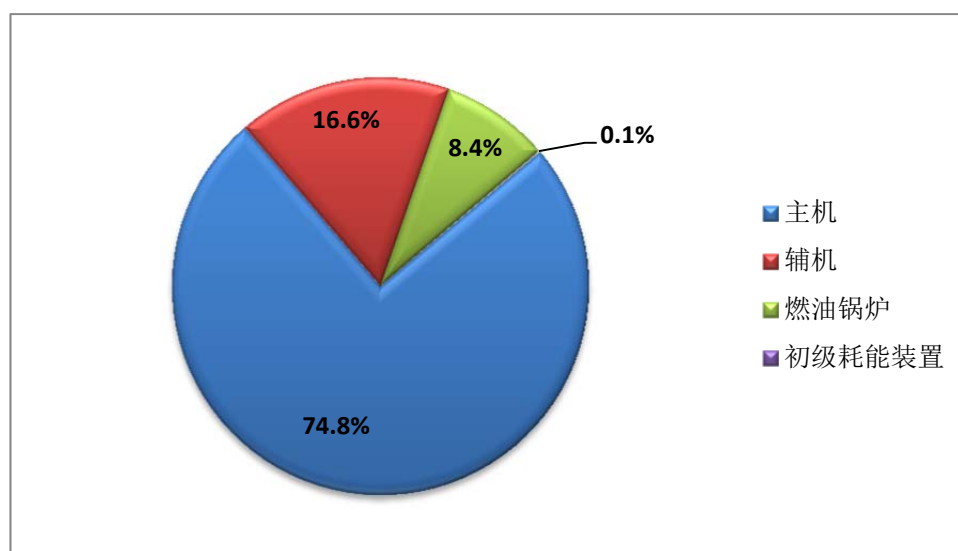


图 2.2.1 初级能量消耗端能量分布图

2.2.2 能量损失分布

根据图 2.1.2 中计算结果，可以得出能量损失分布图(图 2.2.2)，分布数据给出了船舶能量损失的主要方面，从数据可以看出，船舶能量损失主要集中在排烟损失、冷却损失、推进损失和主机其它损失四方面。目前船舶排烟损失和冷却损失均为直接热损失，虽然大多数船舶已经采用废气锅炉进行部分热能回收，但该部分热损失依然数量较大，采用能量综合优化梯级利用原则，对这部分热损失进行回收利用，

将有助于提高船舶能量利用效率，节约能源。推进损失主要原因为螺旋桨在工作时，产生有效推力的同时大量能量随着旋转尾流而耗散，对此采用新型推进方式和尾流能量回收装置提高推进系统整体效能，对于船舶节能减排具有较大潜力。另外，从数据可以看出，主机其它损失也占有相当份额，这部分能量损失主要是热辐射损失及零散的热损失，回收较为困难，但采用高效主机技术等，也能在一定程度上减少该部分损失。

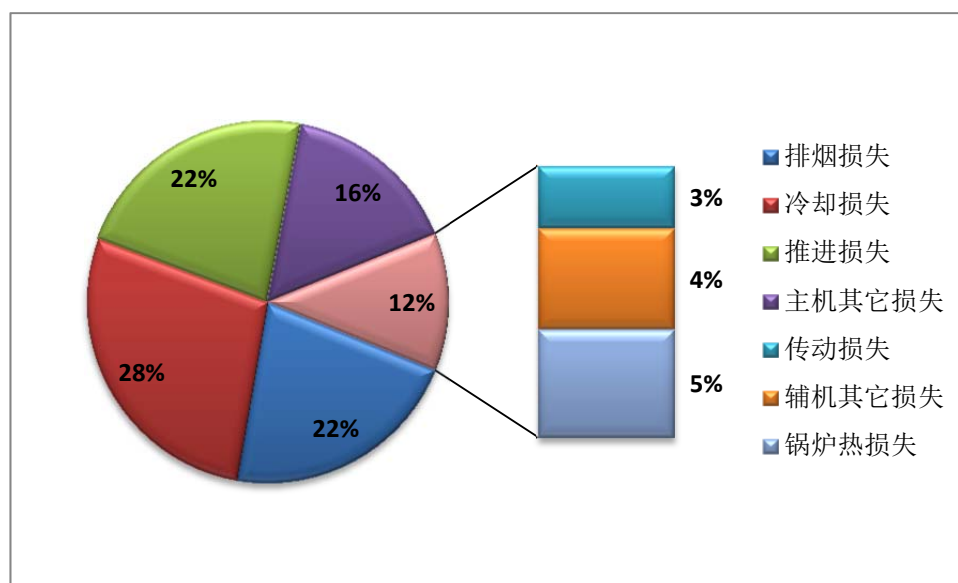


图 2.2.2 能量损失分布图

2.2.3 有效做功能量分布

根据图 2.1.2 中计算结果，可以得出能量损失分布图(图 2.2.3)，船舶有效做功能量分布主要有四方面，推进做功 49%，蒸汽做功 27%，电力做功 17%，其它做功合计 6%。从数据中可以发现，克服阻力推进船舶做功约为 50%，改进船舶阻力性能和提高推进效率的节能潜力显著。而对于一般货船而言，用电需求相对占比较小，通过对电力系统和电力负载进行节能改造，虽然能起到一定节能效果，但从总量占比而言，效果可能不会很明显。对于有加热需求的原油船，通过改进原

油加热保温操作方法和工艺，将有可能取得较好的节能效果。

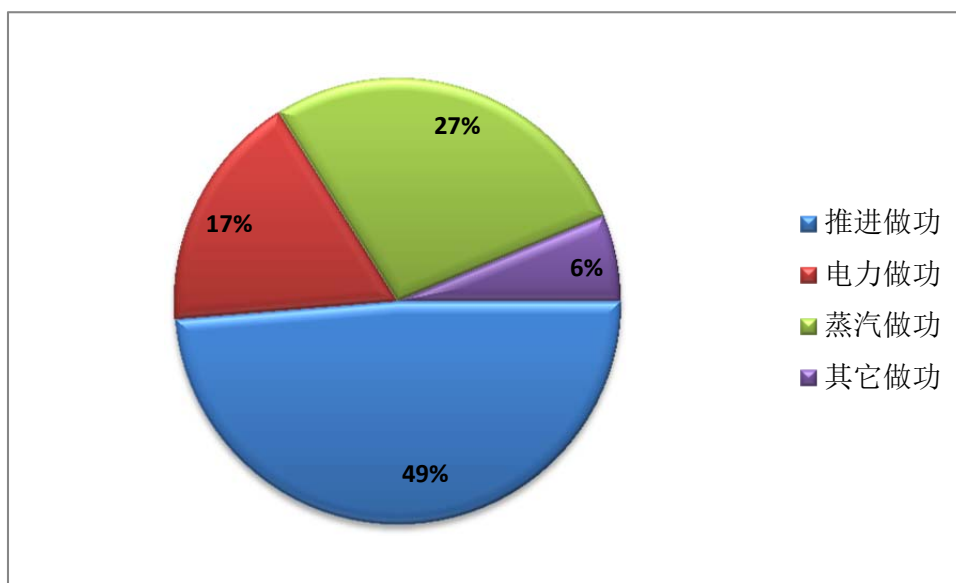


图 2.2.3 有效做功能量分布图

2.2.4 全船能量分布

根据图 2.1.2 中计算结果，可以分析得出全船能量分布图（图 2.2.4），该图反应了能量最终流向，从总体而言，能量部分为有效做功，部分则以各种方式损失。从整船计算数据中可以看出，全船能量分布主要集中在推进做功、排烟损失、冷却损失、推进损失和主机其它损失五方面，由于这五方面能量占比相对较大，因此船舶节能应着眼于这五方面展开。另外，随着新技术不断进步，太阳能、风能等清洁能源在船舶上应用也逐渐成为可能，因此清洁能源也是未来船舶节能的重点方向之一。

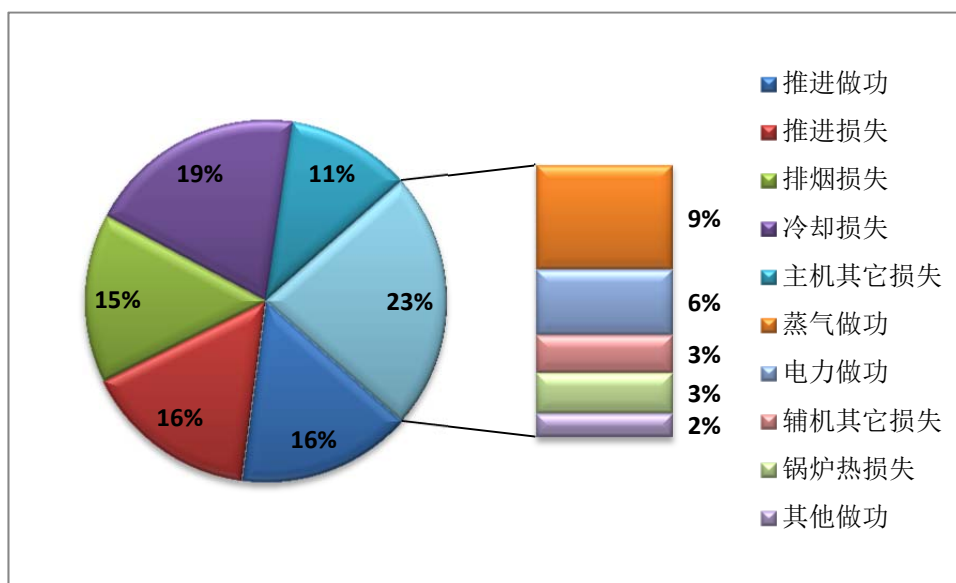


图 2.2.4 全船能量分布图

第 3 节 船舶能量消耗分布分析结论

3.1.1 从分析数据可以得出，三大主力船型船舶能量有效利用百分比约为 32%，存在较大节能空间。

3.1.2 从初级能量消耗端看，主机占全船化石能量消耗 75%左右，是主要耗能设备，通过使用第 4 章列举的技术来改进主机效率和降低船舶对主机功率需求，将对船舶节能起到较好效果。

3.1.3 从能量损失角度看，主副机排烟和冷却损失约占全船总能量损失的 50%，在现有技术条件下，采用第 4 章列举的船舶能量综合梯级利用和余热回收等技术，则节能潜力较大。

3.1.4 从能量有效做功方面看，船舶推进做功约占总有效做功的 50%，第 4 章中列出的诸如船舶船型优化、船机桨最佳匹配、高效螺旋桨、船体减阻等技术的应用，将有效降低船舶有效做功需求，节能效果较为明显。

3.1.5 对于普通货物运输船，电力需求占比相对较小，通过改进电

力系统和设备，对于船舶总体节能而言，效果不太明显。

3.1.6 新能源的引进将对船舶节能起到重大影响，虽然目前由于技术成熟度原因在船上应用节能空间不大，但技术一旦成熟，部分替代主副机作为船舶主动力源或主电力源的一部分，对船舶节能减排将起到革命性的推动作用。

3.1.7 船舶节约能量、提高能量有效利用应着重从以下几个方面开展：提高主机效率、提高推进效率、降低船体阻力、排烟余热回收、冷却水余热回收、清洁能源应用等。

第3章 能量有效利用水平分级

第1节 概述

3.1.1 为表征单船、重点系统及设备的能量有效利用水平在船舶样本总体中相对水平高低，本章给出了能量有效利用水平分级曲线。

3.1.2 由于样本船舶数量有限，拟合得出曲线不能完全反映样本总体真实情况，随着样本船舶数量增加，该曲线将不断修正完善，本章给出的曲线仅供参考使用。

第2节 能量有效利用水平分级曲线

3.2.1 给出的能量有效利用水平分级曲线是基于正态分布理论，通过对一定数量样本船舶数据统计计算拟合得出的。

3.2.2 拟合得出的水平分级曲线包括全船、推进系统、电力系统、主机、副机五大类，其中全船按船型又分为散货船、集装箱船和油船三小类曲线。

3.2.3 每类曲线按 40%、60%和 85%三个水平基线值将能量有效利用水平分为 1 级、2 级、3 级和 4 级四个等级。等级 1 表示能量有效利用水平高，能耗最低，节能；等级 2 表示能量有效利用水平较高，比较节能；等级 3 表示处于整体样本的平均水平；等级 4 表示能量有效利用水平较低，能耗较高。

3.2.4 五类分级水平曲线各自完全独立。以 85%水平限值曲线为例，其表征含义如下：对某吨位区间内船舶样本按能效值进行高低排序，该吨位区间上对应曲线值表示该船在区间内高于 85%样本船舶的能效值。

3.2.5 分级水平曲线根据公式 (3.2.4) 确定, 取值按四舍五入取整至小数点后两位。

$$LimitEE = a \times DWT^c \quad (3.2.4)$$

式中:

$LimitEE$ —— 能量利用效率值, %;

DWT —— 船舶载重吨, t;

a 、 c —— 常数, 根据曲线类别、分级等级按表 3.2.4 选取。

能源利用效率限值曲线表 ($LimitEE = a \times DWT^c$)

表 3.2.4

水平基线值		40%	60%	85%
散货船	a	1900	2110	2460
	c	0.0313	0.0234	0.0120
集装箱船	a	1850	1950	2110
	c	0.0397	0.0366	0.032
油船	a	1450	1660	1450
	c	0.0506	0.0506	0.0673
推进系统	a	1220	1250	1310
	c	0.0458	0.046	0.0463
电力系统	a	1970	2010	2080
	c	0.044	0.0446	0.0453
主机	a	2400	2380	2350
	c	0.0676	0.0703	0.0742
副机	a	2180	2170	2170
	c	0.0766	0.0803	0.0857

3.2.5 曲线示例见图 3.2.5。

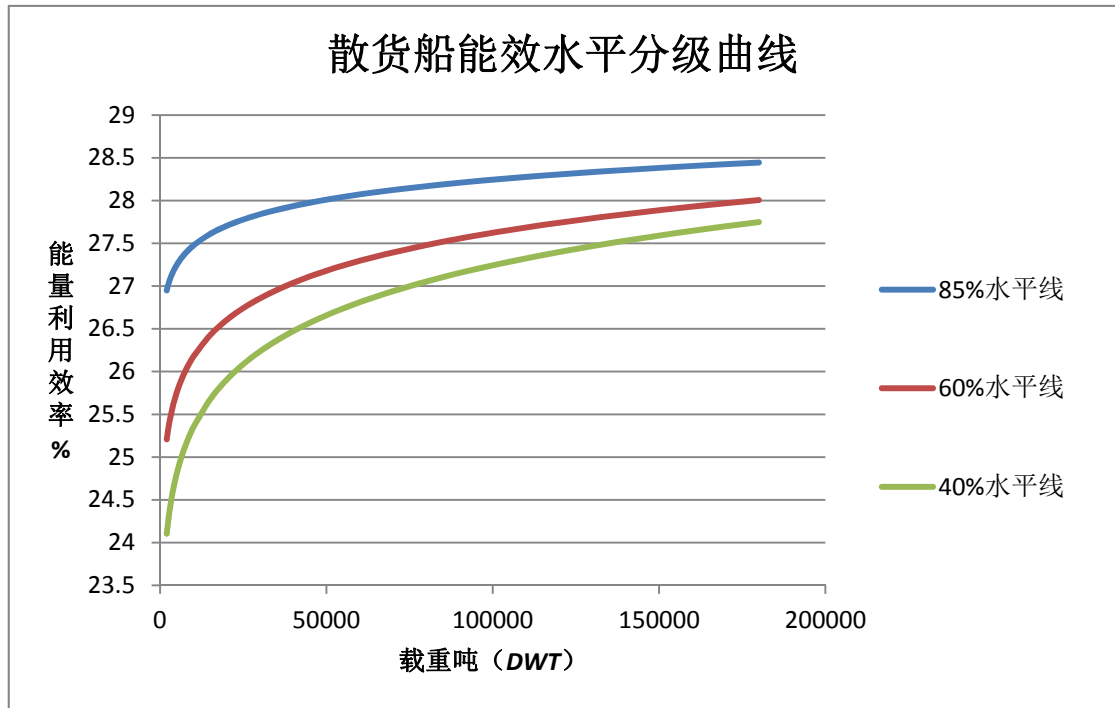


图 3.2.5 曲线示例图

第4章 典型节能技术

第1节 概述

4.1.1 新型船舶节能技术层出不穷，本章列举出目前较为典型的节能技术，并对其进行简单说明，以期对未来绿色船型开发中节能新技术应用和现有船舶节能改造提供参考。

4.1.2 本章围绕提高主机效率、提高推进效率、降低船体阻力、排烟余热回收、冷却水余热回收、清洁能源应用等六方面给出相应的节能技术。

4.1.3 本章给出的绿色节能技术是当前船舶绿色技术研发重点，但并不限于此，随着技术进步，新技术将不断涌现。

4.1.4 当多种节能技术综合应用时，所获得的节能效果并不是简单叠加，也可能是节能效果降低、无节能效果、甚至是增加能耗。

4.1.5 本章列举的各项节能技术对于改进 EEDI 和燃油消耗限值指标均具有一定效果。

第2节 提高主机效率技术

4.2.1 高效节能柴油机技术

该技术主要采用机内和机外技术相结合等手段提升燃油利用率，减少燃油消耗，其适用于所有主力运输船型。

4.2.2 可调频主机轴带发电机技术

该技术将轴带发电机与船舶主机相连接，当船舶需要最佳经济航行时开启轴带发电机，关闭副机。当船舶全速航行时，关闭轴带发电机。该技术可大大降低油耗，尤其是对于降低 EEDI 指数具有明显效

果。

第 3 节 提高推进效率技术

4.3.1 船-机-桨匹配优化技术

该技术通过能量匹配分析计算，找出船-机-桨间最佳匹配优化，进而优化推进系统提高船舶推进效率，节约燃料。其适用于所有主力运输船型。

4.3.2 高效螺旋桨技术

该技术通过提高推进效率达到节能，目前主要有 CRP 螺旋桨、CLT 螺旋桨等。CRP 螺旋桨利用两个同轴螺旋桨反向旋转减少空泡产生，提供较高推进效率。CLT 螺旋桨能够减少端板粘性阻力，增加进入桨中水流量，使螺旋桨推力有所增加。其适用于所有主力运输船型。

4.3.3 吊舱对转螺旋桨技术

该技术采用对转桨，并将电动机和螺旋桨直接相连，其具有较好的水动力特性，改善空泡性能和提高螺旋桨效率。其适用于所有主力运输船型。

4.3.4 螺旋桨前来流整流附体装置技术

该技术减少舭涡和斜流造成的螺旋桨推力与力矩的脉冲，通过改变水流方向改善船舶伴流或在桨前形成一个与螺旋桨旋转方向相反的预旋流，改善螺旋桨来流均匀性，提高螺旋桨效率。其适用于所有主力运输船型。

4.3.5 桨后尾流回收装置技术

该技术通过在船尾安装附体，回收螺旋桨旋转产生的非做功旋转

尾流能量。其适用于所有主力运输船型。

第 4 节 降低船体阻力技术

4.4.1 线型优化技术

该技术将先进的计算流体动力学技术（CFD）和最优化技术应用于新型船舶设计过程中，通过利用 CFD 对设定的优化目标（船舶水动力性能）进行数值计算，同时利用最优化技术和几何重构技术对船型设计空间进行探索，最终获得给定约束条件下性能最优的船体外形。线型优化包括球艏优化、艏部线型优化和尾部线型优化。该技术能够优化船舶阻力性能，降低推进所需能量。其适用于所有主力运输船型。

4.4.2 船舶气泡（气层）润滑减阻技术

该技术通过风机向船舶底部输送空气，形成微气泡（气层）隔绝水与船体的接触，从而减少船舶航行过程中的摩擦阻力。该技术能够降低船舶阻力，降低推进所需能量。其适用于所有主力运输船型。

4.4.3 低表面能涂料（涂层）技术

该技术通过使用低表面能涂料减少船舶摩擦阻力，降低船舶推进所需能量。其适用于所有主力运输船型。

4.4.4 船体柔性壁面减阻技术

该技术利用仿鲨鱼皮涂层表面结构只能有很小吸附面的特点，在船舶上使用仿鲨鱼皮涂层，能够明显降低生物污损，提高航行速度，节省能量。其适用于所有主力运输船型。

4.4.5 被动推进鳍装置技术

该技术通过在船艏和船艉加装一种类似机翼的附体装置，不仅能

够有效降低船舶纵摇运动，而且通过与船舶纵摇运动周期相匹配，进行该机翼附体的攻角调整，在减少船舶纵摇同时产生一定推力。该技术能够降低船舶前进阻力，提供一定前进推力，降低能量消耗。其适用于所有主力运输船型。

4.4.6 球鼻艏技术

该技术通过在船艏加装球鼻艏来减少船舶的兴波阻力。该技术能够降低船舶前进阻力，降低能量消耗。值得注意的是，该技术在大型系数船舶，且傅氏数低于 0.15 时未必起到节能效果。

4.4.7 低空气阻力船型技术

空气阻力在船舶总阻力中占有一定份额，与传统运输船常用的空气动力学效率较低的正方形船艏，该技术采用了低空气阻力船体外形，可以显著降低空气阻力。特别适用于集装箱船、邮船等布置型船。

4.4.8 无（少）压载水船型技术

相比传统船型，无（少）压载水船型阻力明显降低，能够减少船舶推进能耗。当前无（少）压载水船型主要包括 V 型船身、贯通流系统船型和单一结构船身。该技术特别适用散货、油船等重心较低的排水型船舶。

第 5 节 排烟余热回收技术

4.5.1 排烟余热回收技术

该技术通过对主机、副机及锅炉排烟余热进行回收综合利用，减少船舶能量损失。该技术适用于所有运输船舶。

4.5.2 热泵对排烟余热回收技术

该技术利用热泵设备的杠杆效应，对主、副机及锅炉排烟废热进行回收利用，为船舶生活、生产供热或者制冷。该技术适用于所有运输船舶，特别适用于客船、原油船和冷藏集装箱船等用热制冷需求大的船型。

第 6 节 冷却水余热回收技术

4.6.1 排烟余热回收技术

该技术通过对主机、副机冷却水余热进行回收综合利用，减少船舶能量损失。该技术适用于所有运输船舶。

4.6.2 热泵对冷却水余热回收技术

该技术利用热泵设备的杠杆效应，对主、副机及锅炉冷却水余热进行回收利用，为船舶生活、生产供热或者制冷。该技术适用于所有运输船舶，特别适用于客船、原油船和冷藏集装箱船等用热制冷需求大的船型。

第 7 节 清洁能源应用技术

4.7.1 太阳能技术

该技术在船舶使用太阳能电池板，通过太阳能供热和发电，减少船舶一次能源消耗，适用于所有主力运输船型（特别适用于具有较大甲板面积的船舶，例如油船、客船等）。该技术对于降低 EEDI 指数具有一定效果。

4.7.2 风能应用技术

该技术通过风帆助航和风力发电，减少船舶一次能源消耗，适用于所有主力运输船型。该技术对于降低 EEDI 指数具有一定效果。

4.7.3 燃料电池技术

该技术将存在于燃料与氧化剂中的化学能直接转化为电能，燃料电池引擎是通过化学过程产生电力，而不是通过燃烧过程，效率与柴油发电机相比较，能够节约燃料。适用于所有主力运输船型。

第 5 章 绿色技术节能效果敏感度分析

第 1 节 概述

5.1.1 在第 4 章中，列举了六大类典型节能技术。本章抛开对某一项技术的研究，仅从技术应用后产生效果和影响角度对船舶能量利用效率的提高进行估算，以期对未来新造船节能设计和现有船舶节能改造提供参考。

5.1.2 本章绿色技术节能效果敏感度分析主要从推进效率提高、主机效率提高、船体阻力降低、排烟余热回收、冷却水余热回收、清洁能源应用等几方面开展定量估算。

5.1.3 定量估算结果能够充分反映出不同技术对于提高能量有效利用率和节约燃油方面的效果。

第 2 节 绿色技术节能效果敏感度定量估算

5.2.1 本节每项绿色节能技术各选取三种情况进行估算，估算内容包括能量有效利用提高比例和燃油节约比例两方面。

5.2.2 对各类绿色节能技术效果估算数据汇总如表 5.2.2。

绿色技术节能效果敏感度估算表

表 5.2.2

序号	技术分类	假定节能程度	能效提高	燃油节约	技术列举
1	提高主机效率	提高 5%	2.78%	8.05%	见第 4 章 第 2 节
		提高 10%	5.47%	14.7%	
		提高 15%	8.06%	20.24%	
2	提高推进效率	提高 5%	2.53%	7.39%	见第 4 章 第 3 节
		提高 10%	4.96%	13.53%	
		提高 15%	7.33%	18.75%	
3	降低船体阻力	降低 5%	0.41%	4.06%	见第 4 章 第 4 节
		降低 10%	0.93%	8.11%	
		降低 15%	1.50%	12.17%	
4	排烟余热回收	回收 10%	0.34%	1.06%	见第 4 章 第 5 节
		回收 20%	0.68%	2.11%	

		回收 30%	1.04%	3.17%	
5	冷却水余热回收	回收 10%	0.96%	2.94%	见第 4 章 第 6 节
		回收 20%	1.98%	5.88%	
		回收 30%	3.07%	8.82%	
6	清洁能源应用	输入电能 50KW	0.27%	0.85%	见第 4 章 第 7 节
		输入电能 100KW	0.55%	1.70%	
		输入电能 150KW	0.83%	2.55%	

附录 A 船舶能量消耗分布计算方法

第 1 章 概述

第 1 节 一般规定

A.1.1.1 为指导船舶能量消耗分布计算，制定《船舶能量消耗分布计算方法》（以下简称“本计算方法”）。

A.1.1.2 本计算方法对于应对 EEDI、燃油消耗限值等指标要求具有重要指导作用。本计算方法与指标关系如下：

（1）EEDI 和燃油消耗限值表征船舶一定航程内的燃油消耗量；

（2）本计算方法针对所消耗燃油按有效做功、无效损耗、回收综合利用等不同层次、不同部位进行分布计算分析，计算分析结果对于改善指标具有指导意义。

A.1.1.3 本计算方法适用于具有常规推进系统（主机机械传动）的干散货船、集装箱船、液货船等，其它具有常规推进系统的类似船舶（如客船、滚装货船等）也可参照使用。尚不适用于具有非常规推进系统（例如柴油-电推进，涡轮推进或混合推进系统）的船舶。

A.1.1.4 采用本指南计算方法计算得出的能量消耗分布和能量有效利用率，其计算结果可用作：

（1）评估新造船的节能设计水平，为节能优化设计提供指导；

（2）评价现有船舶的营运状态和操作水平，为船舶的节能改造提供指导；

（3）必要时，可以为船舶能量有效利用水平分级提供依据。

A.1.1.5 在计算船舶设计状态的能量消耗分布和能量有效利用率时，

应考虑正常工作情况，即在正常工况下船舶或关键设备额定负载情况。

A.1.1.6 对于整船的能量消耗分布和能量有效利用率计算，一般应从四大方面分别开展分析：

- (1) 船舶推进系统，主要包括主机、传动系统、推进装置等；
- (2) 船舶电力系统，主要包括发电机组、电力网、用电负载等；
- (3) 热源系统，主要包括主/辅锅炉、蒸汽管路、蒸汽负载等；
- (4) 其它直接使用一次能源的装置，如焚烧炉、惰性气体发生装置等。

A.1.1.7 新造船计算所需要的主机、发电机组、锅炉等主要设备的性能参数可从设计图纸资料中查询，营运船有关性能参数可通过实船测量获得。计算所需的动力传输损耗、电网损耗、管路传输损耗等很难从设计图纸资料中获取的参数，可根据工程经验使用估算值，本章第4节中给出了部分缺省的估算值。

A.1.1.8 为简化计算，仅考虑航行工况、进出港工况、装卸货工况和停港工况四种工况状态。

A.1.1.9 本计算方法中仅针对船舶满载航行工况开展相关计算评估，其它工况可参照进行。对于船舶全航程的计算评估，可将各航程计算结果累加。

第2节 定义

A.1.2.1 定义

A.1.2.1.1 能量利用效率

又称能量有效利用率、能量利用率或能量效率。通常指在使用能

量的过程中得到的有效用能与实际投入的能源能量之比，其为船舶设计水平和技术装备水平的一项重要指标。

A.1.2.1.2 航行工况

指船舶满载全速航行的工作状态。

A.1.2.1.3 进出港工况

指船舶在港内低速航行或机动时的工作状态。

A.1.2.1.4 装卸货工况

指货轮装卸货状态或油轮装卸油的工作状态。

A.1.2.1.5 停泊工况

指船舶停靠在码头或锚地上无作业状态。

A.1.2.1.6 船舶能量消耗系统

系指与船舶能量消耗有关的系统、设备等，包括主机、副机、锅炉、推进装置、轴系、管路、和其它耗能装置等要素组成的系统。

A.1.2.1.7 船舶电力网

电能从主配电板（应急、停泊配电板）通过电缆传输，经过中间分配电装置（区配电板，分配电箱等）输向各电力负载，形成的电力网路统称为船舶电力网。

第3节 图纸资料

A.1.3.1 为对船舶设计状态进行评估，评估人员应获取有关设计图纸资料，其包括的信息至少有：

(1) 船舶机械设备估算书

船舶主机的总体及细节情况；

发电机组的总体及细节情况；

主/辅锅炉的总体及细节情况；

动力系统油耗的总体及细节情况；

中央淡水冷却系统图；

(2) 电力负荷计算书

不同工况下各发电机组工作情况；

不同工况下各电力负载工作情况；

(3) 船舶蒸汽耗量计算书

不同工况下主/辅锅炉工作情况；

不同工况下蒸汽负载工作情况；

(4) 评估人员认为必要的其他图纸和资料。

第 4 节 符号

A. 1.4.1 一般要求

本指南采用 A.4.2 规定的符号，并规定了统一单位。

A. 1.4.2 符号

A. 1.4.2.1 通用符号见表 A. 1.4.2.1。

通用符号

表 A. 1. 4. 2. 1

序号	符号	名称	备注
1	<i>me</i>	主机	
2	<i>ae</i>	副机	
3	<i>ab</i>	燃油锅炉	
4	<i>bl</i>	废气锅炉	
5	<i>oe</i>	其它耗能装置	
6	<i>E</i>	能量	
7	<i>W</i>	做功	
8	<i>Q</i>	总量	

9	t	工作时间	
10	T	温度	
11	g	燃油消耗率	
12	N	功率	
13	η	效率	
14	M	设备数量	
15	DWT	船舶载重吨	

A. 1.4.2.2 燃油消耗量、功率和效率符号见表 A. 1.4.2.2。

燃油消耗量、功率和效率符号

表 A. 1. 4. 2. 2

序号	符号	名称	单位	备注
1	Q_{mef}	主机燃料消耗总量	g	
2	Q_{aef}	副机燃料消耗总量	g	
3	Q_{abf}	燃油锅炉燃料消耗总量	g	
4	Q_{oef}	其它耗能设备燃料消耗总量	g	
5	N_{me}	主机 MCR 工况下功率	kW	
6	N_{meac}	主机空冷器额定功率	kW	
7	N_{mejc}	主机缸套水冷器额定功率	kW	
8	N_{melc}	主机滑油冷却器额定功率	kW	
9	N_{ae}	柴油机额定工况下功率	kW	
10	N_{aeac}	柴油机空冷器额定功率	kW	
11	N_{aejc}	柴油机缸套水冷器额定功率	kW	
12	N_{aelc}	柴油机滑油冷却器额定功率	kW	
13	N_{aeo}	发电机输出功率	kW	
14	η	整船能量利用效率	%	
15	η_{me}	主机效率	%	
16	η_{megb}	齿轮箱传动效率	%	缺省值为 95%
17	η_{meb}	轴承传动效率	%	缺省值为 99%
18	η_{mets}	传动系统效率	%	
19	η_{mepe}	推进装置效率	%	缺省值为 50%
20	η_{meps}	推进系统整体效率	%	
21	η_{aed}	柴油机效率	%	
22	η_{aeg}	发电机效率	%	
23	η_{aes}	船舶电站效率	%	
24	η_{aeen}	电网效率	%	缺省值为 95%
25	η_{aeep}	电力负载效率	%	缺省值为 90%
26	η_{ae}	电力系统整体效率	%	
27	η_{bl}	废气锅炉效率	%	缺省值为 80%
28	η_{ab}	燃油锅炉效率	%	缺省值为 85%
29	η_{sle}	蒸汽负载效率	%	缺省值为 90%
30	η_{sns}	蒸汽管路系统效率	%	缺省值为 90%

31	η_{oe}	其它耗能设备热效率	%	缺省值为 92%
32	ΔF_{s1}	燃料节约比例值	%	主机排烟废热回收技术
33	$\Delta \eta_1$	能量利用效率提高值	%	主机排烟废热回收技术
34	ΔF_{s2}	燃料节约比例值	%	主机冷却水余热回收技术
35	$\Delta \eta_2$	能量利用效率提高值	%	主机冷却水余热回收技术
36	ΔF_{s3}	燃料节约比例值	%	提高推进器效率技术
37	$\Delta \eta_3$	能量利用效率提高值	%	提高推进器效率技术
38	ΔF_{s4}	燃料节约比例值	%	提高主机效率技术
39	$\Delta \eta_4$	能量利用效率提高值	%	提高主机效率技术
40	ΔF_{s5}	燃料节约比例值	%	船体阻力降低技术
41	$\Delta \eta_5$	能量利用效率提高值	%	船体阻力降低技术
42	ΔF_{s6}	燃料节约比例值	%	清洁能源应用技术
43	$\Delta \eta_6$	能量利用效率提高值	%	清洁能源应用技术

A. 1.4.2.3 能量和做功符号见表 A. 1.4.2.3。

能量和做功符号

表 A. 1. 4. 2. 3

序号	符号	名称	单位	备注
1	E_i	全船输入总能量	kJ	
2	E_o	全船有效利用总能量	kJ	
3	E_{mei}	主机输入总能量	kJ	
4	E_{meo}	主机输出能量	kJ	
5	E_{mec}	主机冷却带走能量	kJ	
6	E_{mes}	主机排烟带走能量	kJ	
7	E_{meol}	主机其他能量损失	kJ	
8	E_{metc}	主机涡轮增压回收能量	kJ	
9	E_{metse}	传动系统有效传递能量	kJ	
10	E_{metsl}	传动系统能量损失	kJ	
11	W_{mepee}	推进装置有效做功	kJ	
12	E_{mepel}	推进装置能量损失	kJ	
13	E_{pssl}	推进系统排烟损失	kJ	(不包括废气锅炉和 T/C 利用的烟气能量)
14	E_{aei}	副机输入总能量	kJ	
15	E_{aedo}	柴油机输出总能量	kJ	
16	E_{aedc}	柴油机冷却带走能量	kJ	
17	E_{aeds}	柴油机排烟带走能量	kJ	
18	E_{aedl}	柴油机其他能量损失	kJ	
19	E_{aetc}	柴油机涡轮增压回收能量	kJ	
20	E_{aegl}	发电机能量损失	kJ	
21	E_{ael}	柴油发电机组其他损失	kJ	
22	E_{aeo}	船舶电站输出能量	kJ	
23	E_{aeeni}	电网接收总能量	kJ	

24	E_{aeenl}	电网能量损失	kJ	
25	E_{aeeo}	电网输出总能量	kJ	
26	E_{aeepli}	电力负载接收总能量	kJ	
27	E_{aeepll}	电力负载能量损耗	kJ	
28	E_{essl}	电力系统排烟损失	kJ	(不包括 T/C 利用的烟气能量)
29	W_{aee}	电力有效做功	kJ	
30	E_{abi}	燃油锅炉输入总能量	kJ	
31	E_{abl}	燃油锅炉能量损失	kJ	
32	E_{abo}	燃油锅炉输出能量	kJ	
33	E_{bli}	废气锅炉回收能量	kJ	
34	E_{ble}	废气锅炉有效利用能量	kJ	
35	E_{bll}	废气锅炉能量损失	kJ	
36	E_{bl}	锅炉能量损失	kJ	(燃油锅炉能量损失和废气锅炉能量损失之和)
37	E_{sni}	蒸汽管路接收能量	kJ	
38	E_{sne}	蒸汽管路有效传输能量	kJ	
39	E_{snl}	蒸汽管路能量传输损失	kJ	
40	W_{sle}	蒸汽负载有效做功	kJ	
41	E_{sll}	蒸汽负载能量损失	kJ	
42	E_{oei}	其它耗能设备输入总能量	kJ	
43	W_{oei}	其它耗能设备有效做功	kJ	
44	E_{oel}	其它耗能设备能量损耗	kJ	
45	E_{essl}'	主机排烟回收能量	kJ	主机排烟废热回收技术
46	$\Delta E_{abis}'$	主锅炉输入能量减少量	kJ	主机排烟废热回收技术
47	E_{mec}'	主机冷却水余热回收能量	kJ	主机冷却水余热回收技术
48	$\Delta E_{abic}'$	主锅炉输入能量减少量	kJ	主机冷却水余热回收技术
49	$\Delta E_{metse}'$	推进器输入能量减少量	kJ	提高推进器效率技术
50	$\Delta E_{mei}'$	主机输入能量减少量	kJ	提高推进器效率技术
51	$\Delta E_{mei}''$	主机输入能量减少量	kJ	提高主机效率技术
52	$\Delta E_{mei}'''$	主机输入能量减少量	kJ	船体阻力降低技术
53	$\Delta E_{aei}'$	副机输入能量减少量	kJ	清洁能源应用技术

A. 1.4.2.4 其它符号见表 A. 1.4.2.4。

其它符号

表 A. 1. 4. 2. 4

序号	符号	名称	单位	备注
1	g_{me}	主机燃油消耗率	g/kW·h	主机在 ISO 条件, MCR 工况下的油耗
2	g_{ae}	柴油机燃油消耗率	g/kW·h	
3	g_{ab}	燃油锅炉燃油消耗率	g/h	
4	g_{oe}	其它耗能设备燃油消耗率	g/h	

5	K_{me}	主机燃油热值	MJ/kg	
6	K_{ab}	锅炉燃油热值	MJ/kg	
7	K_{ae}	柴油机燃油热值	MJ/kg	
8	Q_{meps}	主机排气量	kg/h	
9	Q_{blps}	废气锅炉排气量	kg/h	
10	Q_{aepe}	柴油机排气量	kg/h	
11	C	废气比热	kJ/kg·°C	
12	T_{mei}	主机进气口温度	°C	缺省值 150
13	T_{meo}	主机排气口温度	°C	缺省值 370
14	T_{metci}	主机涡轮增压进气口温度	°C	缺省值 370
15	T_{metco}	主机涡轮增压排气口温度	°C	缺省值 350
16	T_{bli}	废气锅炉进气温度	°C	缺省值 350
17	T_{blo}	废气锅炉排气温度	°C	缺省值 300
18	T_{aei}	柴油机进气口温度	°C	缺省值 150
19	T_{aeo}	柴油机排气口温度	°C	缺省值 370
20	T_{aetci}	柴油机涡轮增压进气口温度	°C	缺省值 370
21	T_{aetco}	柴油机涡轮增压排气口温度	°C	缺省值 350
22	t_{me}	推进系统有效工作时间	h	在一个完整航程中该系统的有效工作时间
23	t_{ae}	电力系统有效工作时间	h	
24	t_{ab}	燃油锅炉有效工作时间	h	
25	t_{bl}	废气锅炉有效工作时间	h	
26	t_{oe}	其它耗能设备有效工作时间	h	
27	M_{me}	主机台数		
28	M_{ae}	副机台数		
29	M_{ab}	燃油锅炉数量		
30	M_{bl}	废气锅炉数量		
31	M_{oe}	其它耗能设备数量		

第 5 节 采集参数

A. 1.5.1 开展船舶能量利用效率计算和评估，需要采集一系列参数，这些参数主要分为船舶基本参数和船舶耗能系统运行参数两大类。

A. 1.5.2 需要采集的具体参数见表 A. 1.5.2。

采集参数表

表 A. 1.5.2

序号	系统及设备	参数名称	符号	量纲	备注
1	船舶基本参数	船舶类型			
2		船舶名称			
3		船舶登记号			
4		船舶用途			

5			服务航速					
6			船舶载重吨					
7	船舶推进系统	船舶主机	主机型号					
8			主机厂商					
9			主机台数	M_{me}	n			
10			主机燃油消耗率	g_{me}	g/kW·h			
11			主机最大持续功率 (MCR)	N_{me}	kW			
12			主机燃油热值	K_{me}	MJ/kg			
13			废气比热	C	kJ/kg·°C			
14			主机空冷器额定功率	N_{meac}	kW			
15			主机缸套水冷却器额定功率	N_{mejc}	kW			
16			主机滑油冷却器额定功率	N_{melc}	kW			
17			主机排气量	Q_{meps}	kg/h			
18			主机进气口温度	T_{mei}	°C			
19			主机排气口温度	T_{meo}	°C			
20			主机涡轮增压进气口温度	T_{metci}	°C			
21			主机涡轮增压排气口温度	T_{metco}	°C			
22			传动系统	齿轮箱传动效率	η_{megb}	%		
23				轴承传动效率	η_{meb}	%		
24			推进设备	推进装置效率	η_{mepe}	%		
25				推进系统有效工作时间	t_{me}	h		
26			船舶电力系统	发电机组	副机型号			
27		副机台数			M_{ae}	n		
28		副机燃油消耗率			g_{ae}	g/kW·h		
29		副机额定工况下功率			N_{ae}	kW		
30		副机燃油热值			K_{ab}	MJ/kg		
31		副机空冷器额定功率			N_{aeac}	kW		
32	副机缸套水冷却器额定功率	N_{aejc}			kW			
33	副机滑油冷却器额定功率	N_{aelc}			kW			
34	副机排气量	Q_{aeeps}			kg/h			
35	副机进气口温度	T_{aei}			°C			
36	副机排气口温度	T_{aeo}			°C			
37	副机涡轮增压进气口温度	T_{aetci}			°C			
38	副机涡轮增压排气口温度	T_{aetco}			°C			
39	副机输出功率	N_{aeo}			kW			
40	船舶电网	电网效率			η_{aeen}	%		
41	电力负载	电力负载效率		η_{aeep}	%			
42		电力系统有效工作时间		t_{ae}	h			
43	锅炉蒸汽管理系统	燃油锅炉		燃油锅炉数量	M_{ab}	n		
44				燃油锅炉燃油消耗率	g_{ab}	g/h		
45				锅炉燃油热值	K_{ab}	MJ/kg		
46			燃油锅炉效率	η_{ab}	%			
47			燃油锅炉工作时间	t_{ab}	h			

48	废气锅炉	废气锅炉排气量	Q_{blps}	kg/h	
49		废气锅炉数量	M_{bl}	n	
50		废气锅炉进气温度	T_{bli}	°C	
51		废气锅炉排气温度	T_{blo}	°C	
52		废气锅炉效率	η_{bl}	%	
53		废气锅炉工作时间	t_{bl}	h	
54		蒸汽管路	蒸汽管路传输效率	η_{sns}	%
55	蒸汽负载	蒸汽负载效率	η_{sle}	%	
56	其它耗能设备	其它耗能设备数量	M_{oe}	n	
57		其它耗能设备有效工作时间	t_{oe}	h	
58		其它耗能设备燃油消耗率	g_{oe}	g/h	
59		其它耗能设备热效率	η_{oe}	%	

第 2 章 基本假设

A.2.1 基本假设

A.2.1.1 本章以下各节所述计算公式，是用来计算能量在船舶耗能系统中的消耗分布状况。其是以热力学第一定律为基础，针对能量传递和转换的数量关系进行计算，并采用了下列假设：

(1)为便于分析计算，全船能量消耗系统工作流程简化为图 A.2.1.1 所示。

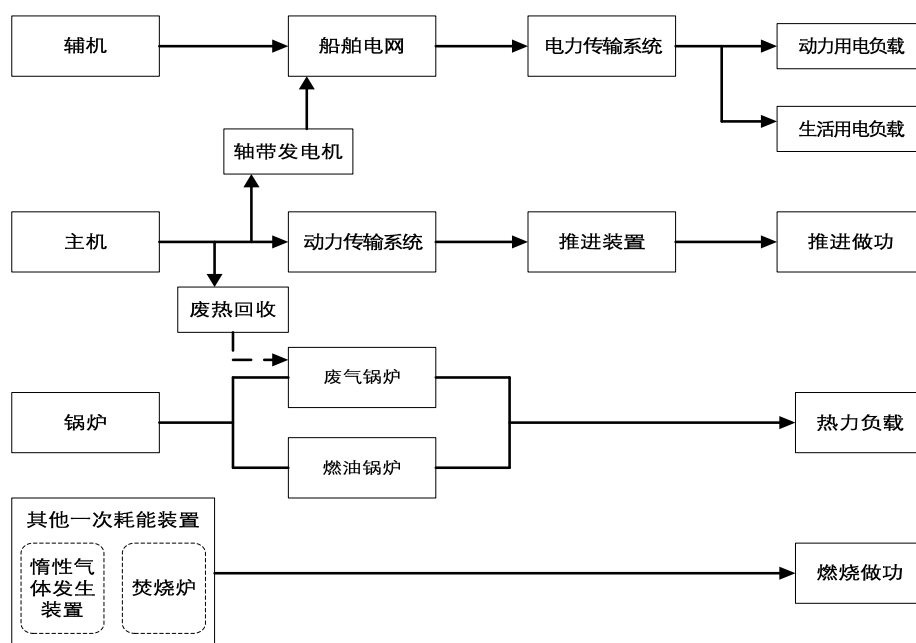


图 A. 2. 1. 1 全船能量消耗系统典型模型

(2) 新造船各主要耗能设备均处于额定负载状态工作，营运船按实际营运状态；

(3) 除典型模型外的其它耗能设备，由于其耗能量相对较少，可忽略不计；

(4) 太阳能、风能等新型清洁能源设备，由于其容量相对较小，在计算过程中可忽略不计。

第 3 章 船舶推进系统耗能分布计算

A.3.1 概述

A.3.1.1 船舶推进系统主要包括主机、传动系统（齿轮箱和传动轴）和推进装置等，这些装置使化学能转化为动能，并作为推进船舶前进的动力。

A.3.1.2 涡轮增压设备为安装在船用主柴油机上的能量回收装置，该设备回收了部分发动机排气中的剩余能量，在计算过程中考虑到了该部分能量回收。

A.3.1.3 典型模型

船舶推进系统能量消耗分布计算可按图 B.2.1.3 给出的典型模型开展。

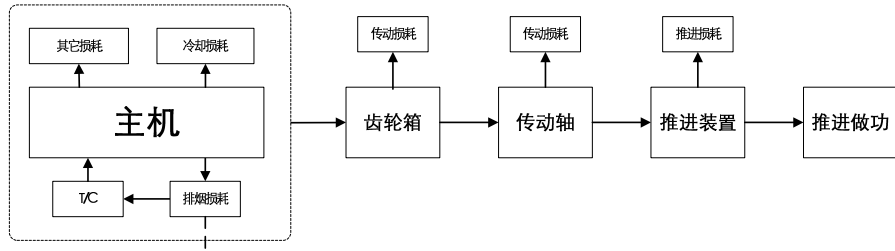


图 A.3.1.3 推进系统典型模型

A.3.2 主机

A.3.2.1 主机耗油总量

在航行工况下， M_{me} 台主机油耗总量可由公式（1）计算得出。

$$Q_{mef} = \sum_i^{M_{me}} N_{me} \cdot g_{me} \cdot t_{me} \quad (1)$$

A.3.2.2 主机耗油所含总能量

在航行工况下， M_{me} 台主机耗油所含总能量可由公式（2）计算得出。

$$E_{mei} = \sum_i^{M_{me}} Q_{mef} \cdot K_{me} = \sum_i^{M_{me}} N_{me} \cdot g_{me} \cdot t_{me} \cdot K_{me} \quad (2)$$

A.3.2.3 主机对外输出能量

在航行工况下， M_{me} 台主机对外输出能量可由公式（3）计算得出。

$$E_{meo} = \sum_i^{M_{me}} 3600 N_{me} \cdot t_{me} \quad (3)$$

A.3.2.4 主机效率

主机效率可由公式（4）计算得出。

$$\eta_{me} = \frac{E_{meo}}{E_{mei}} 100\% = \frac{3600 N_{me} \cdot t_{me} \cdot M_{me}}{N_{me} \cdot g_{me} \cdot t_{me} \cdot K_{me} \cdot M_{me}} 100\% = \frac{3600}{g_{me} \cdot K_{me}} 100\% \quad (4)$$

A.3.2.5 主机排烟系统带走热量

主机排烟系统带走热量可由公式（6）计算得出，其中单台主机排烟量如若较难获取，可按经验公式（5）计算得出。

$$Q_{meps} = 3600(0.0022\text{kg} / \text{kW}\cdot\text{s})\cdot N_{me} \quad (5)$$

$$E_{mes} = \sum_i^{M_{me}} Q_{meps} \cdot C \cdot (T_{meo} - T_{mei}) \cdot t_{me} \quad (6)$$

A.3.2.6 主机冷却系统带走热量

为简化计算，由冷却系统带走的热量仅考虑主机空冷器、主机缸套水冷却器、主机滑油冷却器三大方面，主机冷却系统带走热量可由公式（7）计算得出。

$$E_{mec} = \sum_i^{M_{me}} 3600(N_{meac} + N_{mejc} + N_{melc}) \cdot t_{me} \quad (7)$$

A.3.2.7 主机废气涡轮增压系统回收能量

主机废气涡轮增压系统利用主机排出的高温高压废气提高主机工作效率，其回收能量利用公式（8）计算得出。

$$E_{metc} = \sum_i^{M_{me}} Q_{meps} \cdot C \cdot (T_{metci} - T_{metco}) \cdot t_{me} \quad (8)$$

A.3.2.8 主机其它损耗

燃油在主机内燃烧产生的总能量主要分为用于推进做功能量、主机排烟系统带走热量、主机冷却系统带走热量和其他能量损失四部分，为简化计算，将其它能量损失合并为一项，并可按公式（9）计算如下：

$$E_{meol} = E_{mei} - W_{meo} - E_{mes} - E_{mec}$$

$$E_{meol} = \sum_i^{M_{me}} \left[N_{me} \cdot (g_{me} \cdot K_{me} - 3600) - Q_{meps} \cdot C \cdot (T_{meo} - T_{mei}) - 3600(N_{meac} + N_{mejc} + N_{melc}) \right] \cdot t_{me} \quad (9)$$

A.3.3 传动系统

A.3.3.1 传动系统效率

为简化计算，传动系统简化为由齿轮箱和轴承两部分组成，传动

系统效率由公式（10）计算。

$$\eta_{mets} = \eta_{megb} \cdot \eta_{meb} \quad (10)$$

A.3.3.2 传动系统有效传递能量

传动系统有效传递能量按公式（11）计算。

$$E_{metse} = E_{meo} \cdot \eta_{mets} = \sum_i^{M_{me}} 3600 N_{me} \cdot t_{me} \cdot \eta_{megb} \cdot \eta_{meb} \quad (11)$$

A.3.3.3 传动系统损失能量

传动系统损失能量按公式（12）计算。

$$E_{metst} = E_{meo} \cdot (1 - \eta_{mets}) = \sum_i^{M_{me}} 3600 N_{me} \cdot t_{me} \cdot (1 - \eta_{megb} \cdot \eta_{meb}) \quad (12)$$

A.3.4 推进装置

A.3.4.1 推进装置有效做功

船用推进装置一般指船用螺旋桨，其推进有效做功按公式（13）计算。

$$W_{mepee} = E_{metse} \cdot \eta_{mepe} = \sum_i^{M_{me}} 3600 N_{me} \cdot t_{me} \cdot \eta_{megb} \cdot \eta_{meb} \cdot \eta_{mepe} \quad (13)$$

A.3.4.2 推进装置能量损失

推进装置能量损失按公式（14）计算。

$$E_{mepe} = E_{metse} \cdot (1 - \eta_{mepe}) = \sum_i^{M_{me}} 3600 N_{me} \cdot t_{me} \cdot \eta_{megb} \cdot \eta_{meb} \cdot (1 - \eta_{mepe}) \quad (14)$$

A.3.5 推进系统

A.3.5.1 推进系统整体能量利用效率

推进系统整体能量利用效率按公式（15）计算。

$$\eta_{meps} = \frac{W_{mepee} + E_{metc}}{E_{mei}} 100\% = \frac{3600 N_{me} \cdot \eta_{megb} \cdot \eta_{meb} \cdot \eta_{mepe} + Q_{meps} \cdot C \cdot (T_{metci} - T_{metco})}{N_{me} \cdot g_{me} \cdot K_{me}} 100\% \quad (15)$$

A.3.5.2 推进系统排烟损失

当船舶配备有废气锅炉、废气涡轮增压系统时，推进系统排烟损

失按公式（16）计算。

$$E_{pssl} = E_{mes} - E_{bli} - E_{metc} = \sum_i^{M_{me}} Q_{meps} \cdot C \cdot (T_{meo} + T_{metco} - T_{mei} - T_{metci}) \cdot t_{me} - \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \quad (16)$$

第4章 船舶电力系统耗能分布计算

A.4.1 概述

A.4.1.1 船舶电力系统主要包括柴油发电机组、船舶电网和电力负载等，这些装置使化学能转化为电能并驱动船上电力负载工作。

A.4.1.2 对于使用轴带发电机情况，可考虑简化计算，将主机近似考虑为独立的两台柴油机，一台为全船提供动力，另一台为发电机提供动力，其各部分能量按相应比例计算。

A.4.1.3 本节计算过程中，为简化计算，将所有电力负载作为整体考虑，如若需要开展更加详细计算，可根据船舶电力负载计算书相关数据进行。

A.4.1.4 典型模型

船舶推进系统耗能分布计算可按图 A.4.1.4 给出的典型模型进行。

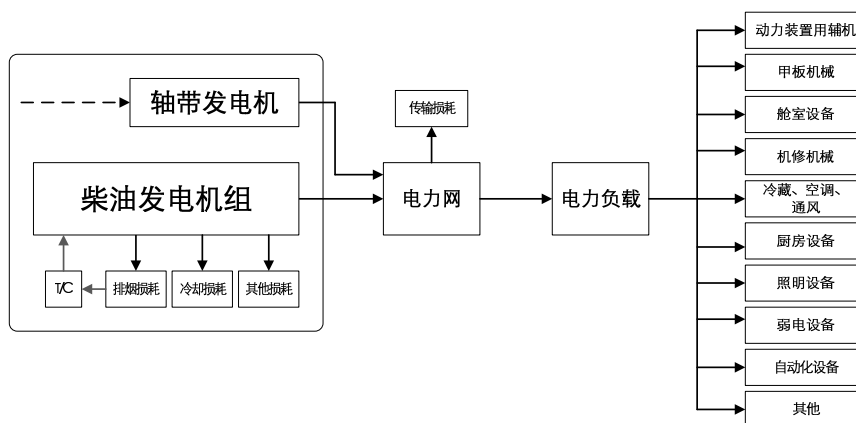


图 A.4.1.4 电力系统典型模型

A.4.2 船舶电站

船舶电站一般由原动机、发电机和附属设备（组合成发电机组）及配电装置组成。为简化计算，仅考虑原动机和发电机有关能耗情况。本节计算仅适用以柴油机作为原动机的柴油发电机组。

A.4.2.1 柴油机耗油总量

在航行工况下， M_{ae} 台柴油机油耗总量可由公式（17）计算得出。

$$Q_{aef} = \sum_i^{M_{ae}} N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot t_{ae} \quad (17)$$

A.4.2.2 柴油机耗油所含总能量

在航行工况下， M_{ae} 台柴油机耗油所含总能量可由公式（18）计算得出。

$$E_{aei} = Q_{aef} \cdot K_{ae} = \sum_i^{M_{ae}} N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot t_{ae} \cdot K_{ae} \quad (18)$$

A.4.2.3 柴油机输出能量

在航行工况下， M_{ae} 台柴油机输出能量可由公式（19）计算得出。

$$E_{aedo} = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{ae} \cdot t_{ae} \quad (19)$$

A.4.2.4 柴油机效率

柴油机效率可由公式（20）计算得出。

$$\eta_{aed} = \frac{E_{aedo}}{E_{aei}} 100\% = \frac{3600 N_{ae} \cdot t_{ae}}{N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot t_{ae} \cdot K_{ae}} 100\% = \frac{3600}{g_{ae} \cdot K_{ae}} 100\% \quad (20)$$

A.4.2.5 柴油机排烟系统带走热量

柴油机排烟系统带走热量可由公式（21）计算得出，其中单台柴油机排烟量如若较难获取，可按经验公式（20）计算得出。

$$Q_{aeps} = 3600(0.0022\text{kg} / \text{kW}\cdot\text{s}) \cdot N_{ae} \quad (20)$$

$$E_{aeds} = \sum_i^{M_{ae}} Q_{aeps} \cdot C \cdot (T_{aao} - T_{aei}) \cdot t_{ae} \quad (21)$$

A.4.2.6 柴油机冷却系统带走热量

为简化计算,由冷却系统带走热量仅考虑空冷器、缸套水冷却器、滑油冷却器三方面,柴油机冷却系统带走热量可由公式(22)计算得出。

$$E_{aedc} = \sum_i^{M_{ae}} 3600 (N_{aeac} + N_{aejc} + N_{aelc}) \cdot t_{ae} \quad (22)$$

A.4.2.7 柴油机废气涡轮增压系统回收能量

柴油机废气涡轮增压系统利用其排出的高温高压废气提高工作效率,其回收能量利用公式(23)计算得出。

$$E_{aetc} = \sum_i^{M_{ae}} Q_{aeps} \cdot C \cdot (T_{aetci} - T_{aetco}) \cdot t_{ae} \quad (23)$$

A.4.2.8 柴油机其它能量损失

燃油在柴油机内燃烧产生总能量主要分为用于推进做功能量、柴油机排烟系统带走热量、柴油机冷却系统带走热量和其它能量损失四部分,为简化计算,将其它能量损失合并为一项,并可按公式(24)计算如下:

$$E_{aedl} = E_{aei} - E_{aedo} - E_{aeds} - E_{aedc}$$

$$E_{aedl} = \sum_i^{M_{ae}} \left[N_{ae} \cdot (g_{ae} \cdot K_{ae} - 3600) - Q_{aeps} \cdot C \cdot (T_{aao} - T_{aei}) - 3600 (N_{aeac} + N_{aejc} + N_{aelc}) \right] \cdot t_{ae} \quad (24)$$

A.4.2.9 发电机输出能量

M_{ae} 台发电机输出能量可由公式(25)计算得出。

$$E_{aao} = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{aao} \cdot t_{ae} \quad (25)$$

A.4.2.10 发电机能量损失

M_{ae} 台发电机能量损失可由公式(26)计算得出。

$$E_{aegl} = \sum_i^{M_{ae}} 3600(N_{ae} - N_{aao}) \cdot t_{ae} \quad (26)$$

A.4.2.11 发电机效率

发电机效率可由公式（27）计算得出。

$$\eta_{aed} = \frac{E_{aao}}{E_{aedo}} 100\% = \frac{3600N_{aao} \cdot t_{ae}}{3600N_{ae} \cdot t_{ae}} 100\% = \frac{N_{aao}}{N_{ae}} 100\% \quad (27)$$

A.4.2.12 船舶电站效率

船舶电站效率主要由柴油机和发电机两部分设备效率决定，船舶电站效率可由公式（28）计算得出。

$$\eta_{aes} = \eta_{aed} \cdot \eta_{aeg} = \frac{3600N_{aao}}{N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot K_{ae}} 100\% \quad (28)$$

A.4.2.13 船舶电站其它损失

船舶电站其它损失主要由柴油机其它损失和发电机损失两部分之和，船舶电站其它损失可由公式（29）计算得出。

$$E_{ael} = E_{aedl} + E_{aegl} = \sum_i^{M_{ae}} \left[N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot K_{ae} - Q_{aeps} \cdot C \cdot (T_{aao} - T_{aei}) - 3600(N_{aeac} + N_{aejc} + N_{aelc} + N_{aao}) \right] \cdot t_{ae} \quad (29)$$

A.4.3 船舶电力网

电能从主配电板（应急、停泊配电板）通过电缆传输，经过分配电装置（区配电板，分配电箱等），输向各电力负载，形成的电力网路统称为船舶电力网。

A.4.3.1 船舶电力网有效传递能量

船舶电力网接收能量 E_{aeni} 即为发电机输出能量 E_{aao} ，船舶电力网有效传递能量可由公式（30）计算得出。

$$E_{aeni} = E_{aao}$$

$$E_{aeeno} = E_{aeni} \cdot \eta_{aen} = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{aao} \cdot t_{ae} \cdot \eta_{aen} \quad (30)$$

A.4.3.2 船舶电力网传输损失能量

船舶电力网传输损失能量可由公式 (31) 计算得出。

$$E_{aenl} = E_{aeni} \cdot (1 - \eta_{aen}) = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{aao} \cdot t_{ae} \cdot (1 - \eta_{aen}) \quad (31)$$

A.4.4 电力负载

本节计算过程中，为简化计算，将所有电力负载作为整体看待，如若需要开展更加详细的计算，可根据船舶电力负载计算书相关数据进行。

A.4.4.1 电力负载有效做功

电力负载接收的能量 E_{aepli} 即为船舶电力传输能量 E_{aeeno} ，电力负载有效做功可由公式 (32) 计算得出。

$$E_{aepli} = E_{aeeno}$$

$$W_{aee} = E_{aepli} \cdot \eta_{aepl} = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{aao} \cdot \eta_{aen} \cdot \eta_{aepl} \cdot t_{ae} \quad (32)$$

A.4.4.2 电力负载能量损耗

$$E_{aepll} = E_{aepli} \cdot (1 - \eta_{aepl}) = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{aao} \cdot \eta_{aen} \cdot t_{ae} \cdot (1 - \eta_{aepl}) \quad (33)$$

A.4.5 电力系统

A.4.5.1 电力系统整体效率

电力系统整体效率按公式 (34) 计算。

$$\eta_{ae} = \frac{W_{aee} + E_{aetc}}{E_{aei}} 100\% = \frac{3600 N_{aao} \cdot \eta_{aen} \cdot \eta_{aepl} + Q_{aept} \cdot C \cdot (T_{aetci} - T_{aetco})}{N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot K_{ae}} 100\% \quad (34)$$

A.4.5.2 电力系统排烟损失

电力系统排烟损失按公式 (35) 计算。

$$E_{essl} = E_{aeds} - E_{aetc} = \sum_i^{M_{ae}} Q_{aept} \cdot C \cdot (T_{aao} + T_{aetco} - T_{aei} - T_{aetci}) \cdot t_{ae} \quad (35)$$

第 5 章 热源系统耗能分布计算

A.5.1 概述

A.5.1.1 热源系统主要包括主/辅锅炉、蒸汽管路和蒸汽负载等，这些装置使化学能转化为蒸汽能供蒸汽负载使用。

A.5.1.2 本节计算过程中，为简化计算，将所有蒸汽负载作为整体看待，如若需要开展更加详细的计算，可根据船舶蒸汽负载计算书相关数据进行。

A.5.1.3 典型模型

热源系统能量消耗分布计算可按图 A.5.1.3 给出的典型模型进行。

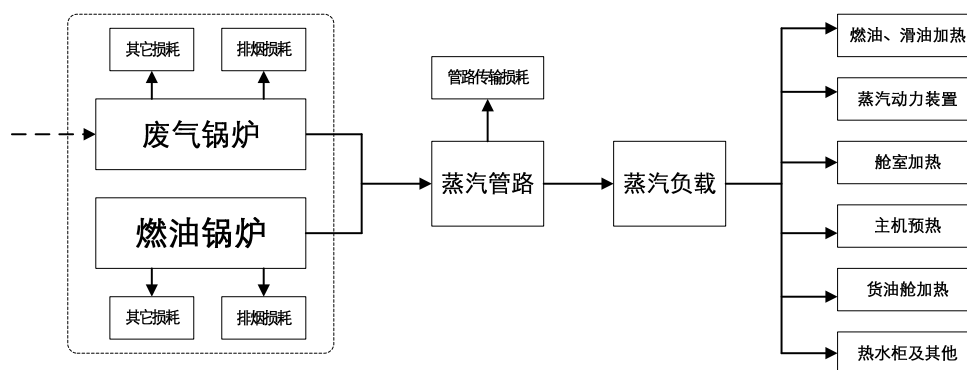


图 A.5.1.3 热源系统典型模型

A.5.2 锅炉

船用锅炉用于产生蒸汽，蒸汽为蒸汽动力装置提供动力，同时也用于满足全船的热量需求。

A.5.2.1 燃油锅炉耗油总量

M_{ab} 台燃油锅炉耗油总量按公式 (36) 计算。

$$Q_{abf} = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \quad (36)$$

A.5.2.2 燃油锅炉输入总能量

M_{ab} 台燃油锅炉输入总能量按公式 (37) 计算。

$$E_{abi} = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \quad (37)$$

A.5.2.3 燃油锅炉输出总能量

M_{ab} 台燃油锅炉输出总能量按公式 (38) 计算。

$$E_{abo} = E_{abi} \cdot \eta_{ab} = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} \quad (38)$$

A.5.2.4 燃油锅炉能量损失

M_{ab} 台燃油锅炉能量损失按公式 (39) 计算。

$$E_{abl} = E_{abi} \cdot (1 - \eta_{ab}) = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot (1 - \eta_{ab}) \quad (39)$$

A.5.2.5 废气锅炉回收能量

M_{bl} 台废气锅炉回收能量可由公式 (41) 计算得出，其中废气锅炉废气进气量 Q_{blps} 即为主机排烟量 Q_{meps} ，如该值较难获取，可按经验公式 (40) 计算得出。

$$Q_{blps} = Q_{aeps} = 3600(0.0022\text{kg} / \text{kW}\cdot\text{s}) \cdot N_{me} \quad (40)$$

$$E_{bli} = \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \quad (41)$$

A.5.2.6 废气锅炉有效利用能量

M_{bl} 台废气锅炉有效利用能量按公式 (42) 计算。

$$E_{ble} = E_{bli} \cdot \eta_{bl} = \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \quad (42)$$

A.5.2.7 废气锅炉能量损失

M_{bl} 台废气锅炉能量损失按公式 (43) 计算。

$$E_{bll} = E_{bli} \cdot (1 - \eta_{bl}) = \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot (1 - \eta_{bl}) \quad (43)$$

A.5.2.8 锅炉能量损失

锅炉能量损失为燃油锅炉能量损失和废气锅炉能量损失两部分

之和，其按公式（44）计算。

$$E_{bl} = E_{abl} + E_{bll} = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot (1 - \eta_{ab}) + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot (1 - \eta_{bl}) \quad (44)$$

A.5.3 蒸汽管路

为方便计算，将蒸汽管路简化处理，视其传输效率为固定值 η_{sn} 。

A.5.3.1 蒸汽管路接收能量

蒸汽管路接收能量按公式（45）计算。

$$E_{sni} = (E_{abo} + E_{ble}) = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \quad (45)$$

A.5.3.1 蒸汽管路有效传输能量

蒸汽管路有效传输能量按公式（46）计算。

$$E_{sne} = (E_{abo} + E_{ble}) \cdot \eta_{sn} = \left(\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \right) \cdot \eta_{sn} \quad (46)$$

A.5.3.2 蒸汽管路能量损失

蒸汽管路能量损失按公式（47）计算。

$$E_{sni} = (E_{abo} + E_{ble}) \cdot (1 - \eta_{sn}) = \left(\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \right) \cdot (1 - \eta_{sn}) \quad (47)$$

A.5.4 蒸汽负载

本节计算过程中，为简化计算，将所有蒸汽负载作为一个整体看待，如若需要更加详细的计算，可根据船舶蒸汽负载计算书相关数据进行。

A.5.4.1 蒸汽负载有效做功

蒸汽负载有效做功按公式（48）计算。

$$W_{sle} = E_{sne} \cdot \eta_{sle} = \left(\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \right) \cdot \eta_{sn} \cdot \eta_{sle} \quad (48)$$

A.5.4.2 蒸汽负载能量损失

蒸汽负载能量损失按公式（49）计算。

$$E_{sll} = E_{sne} \cdot (1 - \eta_{sle}) = \left(\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \right) \cdot \eta_{sn} \cdot (1 - \eta_{sle}) \quad (49)$$

A.5.5 热源系统整体效率

锅炉及蒸汽管路系统整体效率按公式 (50) 计算。

$$\eta_{sns} = \frac{W_{sle}}{E_{abi} + E_{bli}} 100\% = \frac{\left(\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \right) \cdot \eta_{sn} \cdot \eta_{sle}}{\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl}} 100\% \quad (50)$$

第 6 章 其它耗能装置耗能分布计算

A.6.1 概述

除推进系统、电力系统、锅炉及蒸汽管路系统外，船舶上配备的其它耗能装置也消耗一定量能量，如焚烧炉、惰性气体发生装置等。

A.6.2 其它耗能装置

A.6.2.1 其它耗能装置耗油总量

其它耗能装置耗油总量按公式 (51) 计算。

$$Q_{oef} = \sum_i^{M_{oe}} g_{oei} \cdot t_{oei} \quad (51)$$

A.6.2.2 其它耗能装置耗油输入总能量

其它耗能装置输入总能量按公式 (52) 计算。

$$E_{oei} = Q_{oef} \cdot K_{oei} = \sum_i^{M_{oe}} g_{oei} \cdot t_{oei} \cdot K_{oei} \quad (52)$$

A.6.2.3 其它耗能装置有效做功

其它耗能装置输入总能量按公式 (53) 计算。

$$W_{oei} = E_{oei} \cdot \eta_{oe} = \sum_i^{M_{oe}} g_{oei} \cdot t_{oei} \cdot K_{oei} \cdot \eta_{oe} \quad (53)$$

A.6.2.4 其它耗能装置能量损失

其它耗能装置能量损失按公式（54）计算。

$$E_{oel} = E_{oei} - E_{oei} \cdot \eta_{oe} = \sum_i^{M_{oe}} g_{oei} \cdot t_{oei} \cdot K_{oei} \cdot (1 - \eta_{oe}) \quad (54)$$

第 7 章 计算得出的耗能分布结果

A.7.1 全船输入总能量

根据本章第 2 节至第 5 节计算结果，全船航行工况下能量系统中输入总能量可由公式（55）计算。

$$E_i = E_{mei} + E_{aei} + E_{abi} + E_{oei} \quad (55)$$

其中：

$$E_{mei} = \sum_i^{M_{me}} N_{me} \cdot g_{me} \cdot t_{me} \cdot K_{me}$$

$$E_{aei} = \sum_i^{M_{ae}} N_{ae} \cdot g_{ae} \cdot t_{ae} \cdot K_{ae}$$

$$E_{abi} = \sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab}$$

$$E_{oei} = \sum_i^{M_{oe}} g_{oei} \cdot t_{oei} \cdot K_{oei}$$

A.7.2 全船有效利用能量

根据本章第 2 节至第 5 节计算结果，全船航行工况下能量系统中有效利用总能量可由公式（56）计算。

$$E_o = W_{mepee} + W_{aeae} + W_{sle} + W_{oei} + E_{aetc} + E_{metc} \quad (56)$$

其中：

$$W_{mepe} = \sum_i^{M_{me}} 3600 N_{me} \cdot t_{me} \cdot \eta_{megb} \cdot \eta_{mep} \cdot \eta_{mepe}$$

$$W_{aee} = \sum_i^{M_{ae}} 3600 N_{aeo} \cdot \eta_{aeen} \cdot \eta_{aepl} \cdot t_{ae}$$

$$W_{sle} = \left(\sum_i^{M_{ab}} g_{ab} \cdot t_{ab} \cdot K_{ab} \cdot \eta_{ab} + \sum_i^{M_{bl}} Q_{blps} \cdot C \cdot (T_{bli} - T_{blo}) \cdot t_{bl} \cdot \eta_{bl} \right) \cdot \eta_{sn} \cdot \eta_{sle}$$

$$W_{oei} = \sum_i^{M_{oe}} g_{oei} \cdot t_{oei} \cdot K_{oei} \cdot \eta_{oe}$$

$$E_{metc} = \sum_i^{M_{me}} Q_{meps} \cdot C \cdot (T_{metci} - T_{metco}) \cdot t_{me}$$

$$E_{aetc} = \sum_i^{M_{ae}} Q_{aeps} \cdot C \cdot (T_{aetci} - T_{aetco}) \cdot t_{ae}$$

A.7.3 全船耗能分布

以本章第 2 章图 A.2.1.1 给出的全船能量消耗系统典型模型为基础, 根据本章第 3 章至第 6 章计算方法, 可以得出航行工况内全船能量传递及消耗分布图, 具体如图 A.7.3 所示。图 A.7.3 给出了全船能量传递及消耗分布框架, 同时也给出了各单元耗能数值的计算方法。

为便于计算, 此处一般将总输入能量定为 10000, 其它各值取总输入能量万分比的数值。

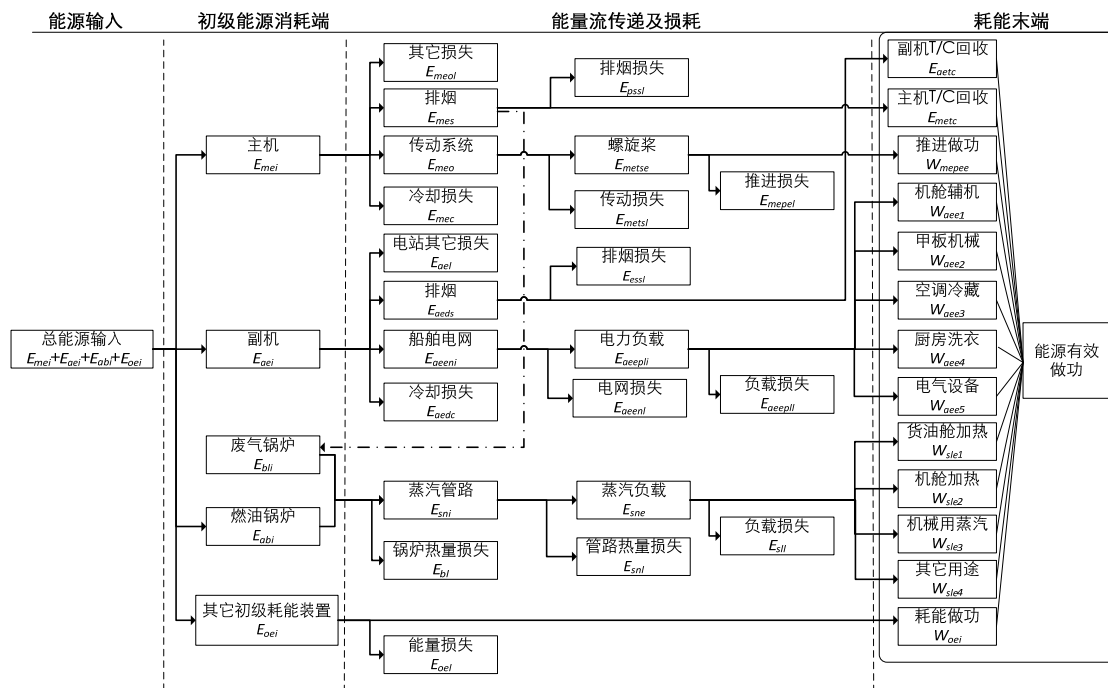


图 A. 7. 3 全船能量传递及消耗分布图

A.7.4 初级能源消耗端能量分布

化石能源主要从主机、副机、燃油锅炉和其它燃料消耗装置这几大方面进入到船舶能量系统中，因此分析船舶输入端能量分布，主要分析 E_{mei} 、 E_{aei} 、 E_{abi} 和 E_{oei} 这四个指标。利用本章第 2 节至第 5 节中方法，可以计算得到 E_{mei} 、 E_{aei} 、 E_{abi} 和 E_{oei} 这四个指标，填写表 A.7.4 即可得到输入端能量分布结果。

初级能源消耗端能量分布计算表

表 A. 7. 4

指标名称	E_{mei}	E_{aei}	E_{abi}	E_{oei}
数值 (KJ)				
所占比例 (%)				

A.7.5 能量损失分布

能量在船舶能量系统中一部分按照设计需求进行做功，另一部分则以其它形式损失。在全船能量消耗系统典型模型下，损失的能量主要有主机冷却损失 E_{mec} 、主机其它损失 E_{meo} 、推进系统排烟损失 E_{psst} 、

传动损失 E_{metsel} 、推进系统损失 E_{mepel} 、副机冷却损失 E_{aedc} 、电站其它损失 E_{ael} 、副机排烟损失 E_{essl} 、电网损失 E_{aeenl} 、电力负载损失 E_{aeepll} 、蒸汽管路损失 E_{snl} 、锅炉热损失 E_{bl} 、蒸汽用户损失 E_{sll} 和其它初级耗能装置损失 E_{oel} 。利用第 3 章至第 6 章中方法，可以计算得到以上各指标，填写表 A.7.5 即可得到能量损失分布结果。

能量损失分布计算表

表 A. 7. 5

指标名称	E_{mec}	E_{meo}	E_{psl}	E_{metsel}	E_{mepel}
数值 (KJ)					
所占比例 (%)					
指标名称	E_{aedc}	E_{ael}	E_{essl}	E_{aeenl}	E_{aeepll}
数值 (KJ)					
所占比例 (%)					
指标名称	E_{snl}	E_{bl}	E_{sll}	E_{oel}	
数值 (KJ)					
所占比例 (%)					

A.7.6 能量有效做功分布

在全船耗能系统典型模型下，船舶能量系统中能量有效利用主要用于推进做功 W_{mepel} 、驱动电力负载做功 W_{aee} 、驱动蒸汽用户做功 W_{sle} 、燃料燃烧做功 W_{oei} 和废气涡轮增压器回收能量 E_{aetc} E_{metc} 等。利用本章第 2 节至第 5 节中方法，可以计算得到以上各指标，填写表 A.7.6 即可得到能量有效做功分布结果。

能量有效做功分布计算表

表 A. 7. 6

指标名称	W_{mepel}	W_{aee}	W_{sle}	W_{oei}	E_{aetc}	E_{metc}
数值 (KJ)						
所占比例 (%)						