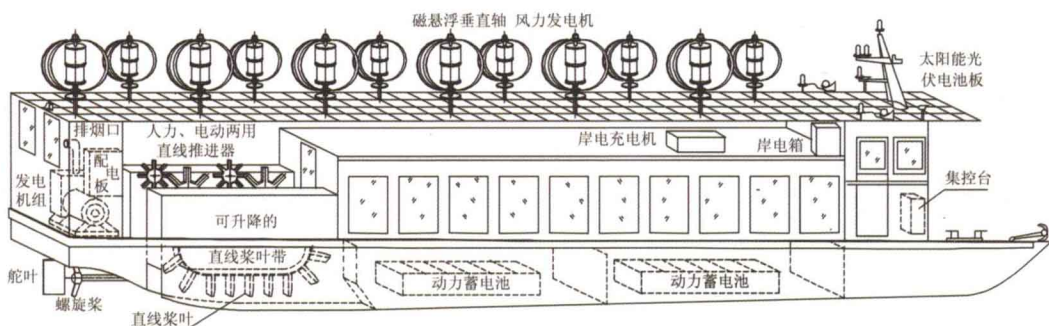


将综合能源与综合电力推进技术相结合
推出现代综合能源电动船

现代综合能源 电动船舶的电力推进技术

庞志森 庞明 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代综合能源电动船舶的 电力推进技术

庞志森 庞 明 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书探讨了一种综合能源全电动船舶的电力推进技术。立足于太阳能、风能和取用岸电的动力蓄电池与燃油发电机组相结合,构成不同组合模式的综合能源船舶电站,以风光能和岸电大幅度取代燃油,将船舶新能源与综合电力推进系统相结合,构成实用新型综合能源船舶。探讨了综合能源船舶电站的电制统一方式、运行机制和主流模式。立足于蓄电池统一电制为直流电,且作为主流模式,并利用蓄电池改造传统电站的刚性建立柔性船舶电站和微电网系统,储存风光能和岸电,增加能量供给。以间接型矩阵变换器的变频控制策略为主,介绍和探讨了推进电动机交流变频控制策略,并与多种电站模式相结合形成了实用综合能源船舶的综合电力推进系统的总体方案。

本书可供船舶研究设计制造人员、交通水运和船厂管理人员阅读,也可作为大学船电、电气传动和应用电子技术专业师生的选修教材和创新科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

现代综合能源电动船舶的电力推进技术 / 庞志森,
庞明编著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-5170-1356-3

I. ①现… II. ①庞… ②庞… III. ①船舶推进—电
力装置—动力装置 IV. ①U664.14

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第261484号

策划编辑: 杨元泓 责任编辑: 陈洁 封面设计: 李佳

书名	现代综合能源电动船舶的电力推进技术
作者	庞志森 庞明 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排版	北京万水电子信息有限公司
印刷	北京蓝空印刷厂
规格	170mm×240mm 16开本 16.75印张 394千字
版次	2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷
定价	55.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

现代综合能源电动船舶是现代能源工程与船舶工程的结合。太阳能和风能是目前最安全最清洁的绿色能源，而且是储量最大的综合能源。当地球上的化石燃料即将枯竭的时候，将替代能源瞄准风光能显然是一种正确的选择。本书正是立足于这一思路，试图以太阳能和风能发电装置和取用岸电的蓄电池与燃油发电机组相结合构成综合能源船舶电站，并形成适应不同需求的能源组合模式和船舶模式，进而采用现代综合电力推进系统理念来探讨具有现代气息的综合能源电动船舶的电力推进技术。本书主要围绕以下的主线和问题展开。

目前风、光能发电装置的能量密度较低，导致船舶能量供不应求。例如已经完成全球试航的德国制造世界首条全太阳能电力推进船舶“星球阳光”号，不得不采用新概念三体船形，以极大地增加船舶受光面积，其长宽分别为 31 米和 15 米，这种船形无法使用，而对于太阳能舍此别无办法。那么，立足于传统船舶形式又如何呢？本书的回答是肯定的，技术出路在于转而以风能为主来利用风光能，并以磁悬浮风力发电技术的突破来获得高能量密度，从而能够立足于传统船舶形式，全面满足船舶能源需求。这是因为磁悬浮风力机可利用微风而极大地增加利用风光能的效率时间和机会，这至少可适用于小型船舶。原因在于理论和实践都证明光伏电池只能利用照射面积上的太阳能，而风力机可利用整个环境中温度差形成的广义太阳能，只要有温度差，而不一定有太阳光，就有风能，显而易见的事实是在缺乏太阳光的冬天也不乏西北风。

为了扩大风光能的利用，必须采用动力蓄电池储能，从而利用过去的风光能，以便于移峰填谷均化能量供应，并取用岸电防止阴雨天而保持工作连续性。岸电清洁廉价，能以岸电取代燃油是船舶的一种进步，因为岸电是综合能源大规模供电供热统一模式高效率的产物，而船电是小型燃油机组以油换电的低效污染的结果。动力蓄电池进入船舶电站将带来许多新功能，不仅可优化资源配置，而且对于建立微电网和改造传统电站刚性具有不可替代的作用。微电网是一种既能够并网运行，又能够独立运行的系统，以蓄电池建立微电网完全符合 2011 年 IFAC 国际自动控制联合会第 18 届世界大会的学者提出的建立储能充电放电状态的特殊模型来保障电力供应的思路。电站刚性表现在多方面：时刻全面满足需求、发电用电的同时性、PWM 技术的谐波污染、电力电子元器件的快速性要求、电动机启动停止时都会引起电网波动等。蓄电池改善电站刚性的表现为：改变发电用电的同时性，以蓄电池作用协助电站供电提高运行速度，

并能够在电机断电时吸收电网中瞬间冲击式能量，这缘于蓄电池兼有电源与用户的双重角色，且在以上四种电源中具有唯一性。为了改变刚性建立柔性船舶电站，需要立足于动力蓄电池并应用瞬时功率理论，本书对此进行了说明。

综合能源可形成多种性质的电源，电站需要统一电制和电源，为此，需要比较各种电源特性、讨论电制统一方式和统一结果的等效电源性质。热力发电机组作为瞬时功率发生器，系统复杂惯性大，过渡过程反应慢动态性能差，而静态性能好；反之蓄电池作为储能器，可在瞬间将长时间储存的能量放出，其动态性能好反应快，而静态性能差。多种电源可以互补而强化电站功能。由此产生能量源、功率源、快速机动电源、静音电源、静态负荷、动态负荷等多种概念和作用，对此进行了讨论。由于直流电制和电源具有许多优势，例如可回避交流电频率相位差和并联运行的复杂控制内容，所以将其作为电制主流模式。这与当前电推技术的发展理念也是吻合的。除了采用整流统一电制以外，还可以采用间接型矩阵变换器方式。它将虚拟整流与虚拟逆变环节相结合，可轻易实现交直流电制统一或者将两者并联起来使用，且不需要整流方式的大型滤波装置而高度节能，同时可对输出线电压和输入相电流进行 SVPWM 空间矢量的联合调制，具有多种用途和优势。例如可在直流电环节并联风光能发电装置和蓄电池直流电源，同时可进行多用户逆变器输出，形成类似于直流电网和母线的工作平台，极有利于综合能源的船舶电站以及综合电力推进系统的构成及运行，同时还可以利用蓄电池快速回收船舶所有动力用户的再生制动动能，以及构成组合式控制策略。

本书主要包括电站与推进两部分内容。电站采用综合能源重在开源，而推进控制策略的优化则重在节流以及提高性能，开源与节流的结合就是综合能源船舶的总体原则与方案。节流包括推进控制策略与采用新型推进方式。讨论了多种控制策略，且重点探讨了间接型矩阵变换器及调制算法的变频控制策略，以及它与传统控制策略相结合而形成组合式控制策略，例如直接转矩控制矩阵式变换器—异步电动机组合式控制策略调速系统。提出了一种直线推进方式，即双轮带式桨叶推进器，与螺旋桨推进效率相比的理论计算几乎可提高一倍。在探讨直线推进的机械形式及电气控制方案的基础上，形成了直线推进系统方案。在重点分析控制策略和立足于电制统一的等效电源的基础上，将电站与电推方案两部分结合起来，形成了综合能源船舶实用的总体方案，并且结合笔者的实践进行了举例。

本书特点是立足于普及推广电推技术，力求贴近实际应用，所以对于基本概念和原理进行了较为详细的说明。例如在前几章中，详细比较了传统船舶柴油机推进与电推的能量效率差异，希望迅速取代柴油机推进，详细讨论了船舶电站与推进工作原理，从动态与静态负荷、能量与功率供应角度提出满足用户

需求的理论，由此再来分析多种电源的性能与作用，以便于综合能源电站的构成和发挥多种电源的特性。在分析中结合多年工作经验提出了独到的见解。

本书的主要内容都是在近几年中获得的专利内容和研制国内第一条开放水域 B 级航区蓄电池电动旅游船舶的实践总结、以及理论探索，包括在制定电动船舶的企业标准中的体会。例如直线式推进船和风光电综合能源电动船、以及永磁同步电动机矢量控制无齿轮箱推进装置都是团队的专利，后两者是发明专利。

由于水平有限，书中错误在所难免，衷心希望读者不吝赐教。在本书出版之际，我们要感谢团队的王文忠船体高级工程师，他为本书提供了船体方面的资料，同时要感谢为我们提供实践平台的宜昌发中船务公司的张大中总经理，在此谨致衷心的感谢！

编著者
2013 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 总论	1
1.1 电力推进概述	1
1.1.1 电力推进的概念	1
1.1.2 电力推进与热力机直接推进的差异	2
1.2 现代综合能源电动船舶概述	3
1.2.1 综合能源电动船舶的概念	3
1.2.2 综合能源的运行原理	5
1.3 现代综合能源电动船舶的主要特征及其与传统船舶和汽车的差异	6
1.4 现代综合能源电动船舶基本分类和主流模式	8
1.4.1 分类原则概述	8
1.4.2 主流模式	11
1.5 主流模式的特点对比及用途概述	14
1.5.1 主流模式的特点	14
1.5.2 主流模式对比及其用途	16
1.6 现代综合能源电动船舶的工程哲学	20
1.6.1 树立正确的科技哲学理念	20
1.6.2 未来船舶的能源出路和撑起水上的一片蓝天	21
1.7 船舶电力推进的发展趋势	23
第 2 章 综合能源船舶电站和电力推进的一般性问题	25
2.1 船舶电站和电力推进的基本运行原理	25
2.1.1 电力推进的动力学原理与电气传动原理	25
2.1.2 船舶电站与推进电动机的工作特性	28
2.1.3 电网互补原理	30
2.2 电力推进的机械特性及其功率估算	31
2.3 综合能源船舶电站的数学物理模型	33
2.4 综合能源在电站中的相互关系和作用	35
2.4.1 主能量源和辅能量源	35
2.4.2 静态负荷和动态负荷	36
2.4.3 能量源与功率源	39
2.5 柔性船舶电站电网系统与瞬时功率理论	42

2.5.1	柔性船舶电站电网系统的概念	42
2.5.2	柔性船舶交流电站电网系统的技术基础——瞬时功率理论	44
2.6	动力蓄电池对于柔性船舶电站和综合能源的作用	49
2.6.1	动力蓄电池是扩大综合能源利用的关键	49
2.6.2	蓄电池是改造刚性船舶电站的重要因素	51
第 3 章	现代综合能源电动船舶及其带有动力蓄电池的船舶电站	53
3.1	现代综合能源电动船舶的主要特点	53
3.2	现代综合电力推进系统的船舶电站与传统船舶电站的差异	54
3.3	传统船舶电站存在的问题和技术劣势	56
3.4	能源及其发电装置自身的劣势	58
3.5	蓄电池的电气特性、特殊功能和工作原理	59
3.5.1	电气特性	59
3.5.2	特殊功能和工作原理	60
3.6	动力蓄电池在综合能源船舶电站中的地位和作用	61
3.7	综合能源船舶电站的特点和优势	63
3.7.1	带有动力蓄电池的船舶电站	63
3.7.2	综合能源船舶及其综合电力推进系统技术的优势	67
第 4 章	综合能源电动船舶的船体和轮机特殊性	69
4.1	综合能源船舶的船体特殊性概述	69
4.2	综合能源船舶的船舶形式	70
4.3	综合能源船舶对传统船舶空间布局的改变	72
4.4	综合能源船舶的轮机特殊性概述	73
4.5	柴油机推进与电力推进的工作原理对比	75
4.5.1	能量生产与推进原理的差异	75
4.5.2	两种推进模式中的柴油机的工作原理及工作模式的差异	76
4.5.3	转速转矩调节性能差异	78
4.5.4	柴油机推进与电推系统的附属配备及运行性能差异	80
4.6	电力推进与柴油机推进的能量效率比较	80
4.6.1	能量传递环节比较	81
4.6.2	控制程序和工作流程比较	81
4.6.3	空载怠速损耗比较	82
4.6.4	运动惯性动能损耗和制动损耗比较	84
4.6.5	控制性能导致节能情况比较	84
4.6.6	能源供应与传递模式耗能比较	85
4.6.7	综合节能因素比较	86

4.7	直线推进器及其船舶	87
4.7.1	三种推进器的工作原理分析	88
4.7.2	直线推进器的基本结构	89
4.7.3	直线推进的优势	90
4.7.4	直线推进的典型方案	92
4.7.5	直线推进的电轴系统——同步旋转系统 ^{[10][11]}	93
第 5 章	综合能源电动船舶的光伏发电装置和风力发电装置	98
5.1	船舶利用风光能发电技术概述	98
5.2	太阳能发电系统	100
5.2.1	光伏发电的原理——光伏效应	100
5.2.2	光伏电池的特性	101
5.2.3	光伏发电系统的结构及控制	103
5.2.4	光伏发电系统的逆变技术	105
5.3	风力发电系统	109
5.3.1	风力发电原理及风力机的效率	109
5.3.2	风力发电系统的功率和速度调节	113
5.3.3	风力发电系统的频率调节	115
5.3.4	风力发电装置分类	116
5.3.5	速度调节型变速恒频技术的工作原理	117
5.3.6	船舶利用风力发电的基本特点	119
5.3.7	风力发电系统的结构和控制	122
5.3.8	船舶利用风能发电装置的基本模式及实用形式	124
5.4	船舶光伏发电装置的容量估算	128
5.5	船舶风能发电装置的容量估算	130
第 6 章	综合能源电动船舶的推进电动机	132
6.1	综合能源电动船舶的推进电动机概述	132
6.1.1	直流电动机	132
6.1.2	交流电动机	133
6.1.3	永磁电动机	134
6.1.4	开关磁阻电机	140
6.1.5	国内外新型推进电动机	142
6.1.6	推进电动机及其驱动系统对比	143
6.2	综合能源电动船舶对于推进电动机的要求	144
6.2.1	船舶推进性能对于推进电动机的要求	145
6.2.2	电源及控制策略与推进电动机配套性的要求	146

6.2.3	推进方式对于电动机及其控制策略的要求	148
第 7 章	综合能源电动船舶的动力蓄电池	150
7.1	综合能源电动船舶的动力蓄电池概述	150
7.1.1	动力蓄电池的概念及用途	150
7.1.2	动力蓄电池的主要类型及性能比较	151
7.2	磷酸铁锂离子电池简介 ^[14]	152
7.3	不同运行模式中的蓄电池的不同作用	154
7.3.1	独立推进的能量源作用和储能器作用	154
7.3.2	静音电源作用	155
7.3.3	功率源作用	156
7.3.4	蓄电池与发电机组及多种能源的互补作用	157
7.3.5	机动快速电源作用	158
7.3.6	应急电源作用	159
7.3.7	蓄电池对于刚性船舶电站的改造作用	160
7.4	综合能源船舶对动力蓄电池的要求	163
7.4.1	一般性综合要求	163
7.4.2	不同船舶模式对于动力蓄电池的要求	164
第 8 章	综合能源电动船舶的推进控制策略及技术	169
8.1	综合能源电动船舶的推进控制策略概述	169
8.1.1	推进控制策略与电源变换	169
8.1.2	控制策略的优劣综述	171
8.2	基本控制要求和控制规律	172
8.2.1	基本控制要求	172
8.2.2	基本控制规律	173
8.3	控制技术和控制元器件概述	174
8.3.1	控制技术概述	174
8.3.2	控制元器件——电力半导体开关元器件概述	177
8.4	直—交变换变频控制策略和技术 ^{[8][9]}	178
8.4.1	V/F 变压变频调速	179
8.4.2	矢量控制	181
8.4.3	直接转矩变频控制	186
8.5	交—直—交变换变频控制策略和技术	189
8.5.1	矩阵式变换器交—直—交变换变频控制策略和技术概述	189
8.5.2	间接型矩阵式变换器	191
8.6	组合式控制策略 ^[16]	202

第 9 章 综合能源电动船舶的能源组合及其电站构成	204
9.1 综合能源的组合与电能供应.....	204
9.2 综合能源的选择.....	207
9.2.1 风力发电机组选择.....	207
9.2.2 太阳能发电装置选择.....	210
9.2.3 燃油发电机组选择.....	211
9.2.4 动力蓄电池的选择.....	213
9.3 综合能源电动船舶的电站构成方式.....	214
9.3.1 电站构成方式概述.....	214
9.3.2 风光电模式的交一直流式独立运行电站.....	221
9.3.3 电油混合能源船舶电站.....	222
9.3.4 风光电油综合能源的船舶电站.....	224
9.4 综合电力推进系统与柔性电站.....	226
9.5 无波动电站与电网的运行原理及构成.....	228
第 10 章 现代综合能源电动船舶的综合电力推进系统总体方案	232
10.1 综合能源电动船舶的综合电力推进系统总体方案概述.....	232
10.1.1 选择和确定总体方案的原则.....	232
10.1.2 推进总体方案构成方式概述.....	233
10.2 推进总体方案的类型.....	235
10.2.1 直流电动机电力推进.....	235
10.2.2 交流电动机电力推进.....	236
10.2.3 永磁无刷电动机电力推进.....	236
10.3 综合电力系统的相关问题.....	237
10.3.1 综合用户的供电方案.....	237
10.3.2 非推进动力用户的微电网供电及软启动与自动电压调整.....	239
10.4 风光电模式船舶的综合电力推进系统总体方案.....	241
10.4.1 风光电模式船舶的综合电力推进系统总体方案的构成.....	241
10.4.2 风光电模式船舶总体方案举例.....	242
10.5 电油混合能源船舶的综合电力推进系统总体方案.....	243
10.5.1 电油混合能源船舶的综合电力推进系统总体方案的构成.....	243
10.5.2 总体方案举例——间接型矩阵控制系统.....	246
10.6 风光电油综合能源船舶的综合电力推进系统总体方案.....	249
10.6.1 风光电油综合能源船舶的电力推进总体方案的构成.....	249
10.6.2 总体方案举例——直接转矩控制矩阵变换器.....	252
参考文献	255

第 1 章 总论

1.1 电力推进概述

1.1.1 电力推进的概念

现代船舶是利用能源带动动力机械装置做功进行水上航行的交通工具。船舶动力机械不仅需要动力，而且需要做功的装置，一般可分为动力供应原动机和推进动力装置（即被动工作机）两部分。原动机将燃料的化学能转变为机械能或者电能，转变为工作机使用的形式，带动其做功。自从高效的内燃机和涡轮机诞生以来，就取代了蒸汽机，目前柴油机在船舶上占有统治地位，大型船舶以及军舰多采用涡轮机。传统船舶主要是柴油机推进船舶，它利用燃料化学能转变为机械能直接带动螺旋桨实现船舶推进，推进柴油机兼有原动机和推进工作机的双重功能。目前我国仍然以这种推进方式为主，而发达国家只占 70%，已有 30%采用了电力推进。正是因为柴油机直接推进方式，才难以获得优良的个性化精确节能的推进特性，导致其推进性能粗糙且能效较低，并显示出不合时代的能量使用模式。利用电能做功已经成为现代先进的能量使用模式和精确控制的模式，并成为潮流，大电网已经取代了柴油机直接做功的模式，包括船舶在内，都以精确的电力推进作为发展方向。将原动机和工作机分开，由原动机带动发电机发电产生电能供应用户、由电动机及其配套的动力机械装置将电能转变为机械能做功。可见，现代先进的能量使用模式应该分为两部分：利用能源转变为电能的原动机和利用电能做功的被动工作机。这种能量使用模式在船舶上就是电力推进。

船舶电力推进是指由电动机带动船舶推进器或螺旋桨、进行船舶推进的技术，而不是由原动机或动力装置（例如风帆）直接带动推进器的模式，也就是把电动机作为船舶推进主机、依靠电力带动推进器的模式。与电力推进相对应的还有电磁推进，是通过固定在船体上的磁体所形成的磁场与流过海水中的电流相互作用产生电磁力，以其反作用而得到推进动力。它是超导技术的一种应用，是直接利用电磁力进行推进的方式。电力推进也可以采用超导技术，即制成超导电动机来带动螺旋桨工作。超导电力推进和电磁推进，是超导技术应用于船舶推进的两种不同的方式。不管哪一种方式，都是利用电流与磁场的相互作用产生电磁力，从而实现船舶推进。只是超导电磁推进不需要螺旋桨，而超导电力推进与常规电动机带动螺旋桨的方式一样，不同之处仅仅在于采用超导电动机。

现代动力船舶的运动是由推进器（如螺旋桨）与舵机共同完成的。螺旋桨承

担推进任务，它是船舶运动、产生航速的主动力和原动力；利用舵机可改变船舶的运动方向，具有操纵船舶航向的功能，是船舶运动的必要装置和辅助动力。

1.1.2 电力推进与热力机直接推进的差异

不考虑人力划桨，可以作为船舶推进的动力装置有三种：风帆、热力机和电动机。作为现代动力船舶的显著特点是采用强大的动力机械。热力原动机就是现代船舶的标志和开拓者。长期以来，热力原动机都是利用化石燃料的化学能，直到现在才开始利用生物燃料，且数量较少。可以说，从自带能源的动力船舶诞生以来，船舶动力机就是利用燃料化学能转变成热能、再转变为机械动力的热力机。它包括蒸汽机、内燃机和涡轮机。蒸汽机已被现代船舶和火车淘汰。目前主要采用内燃机和涡轮机。前者包括柴油机和汽油机，它们可利用柴油汽油酒精天然气及其混合燃料。汽油机由于安全因素在我国船舶上少见。涡轮机包括燃气轮机和蒸汽轮机，主要用于大型船舶。在当今船舶上，柴油机广泛应用于中小型船舶，目前柴油机船舶占有统治地位。这不仅是因为主流船舶大都采用柴油机作为推进主机、直接进行机械式推进，而且在于将其作为船舶辅机、即发电机组的原动机，以及在众多工程船舶上作为提供电力推进电源的发电机组的原动机。

从推进角度看，由于传统船舶采用热力机的目的是作为船舶非人力的动力推进装置，且作为唯一的船舶推进能源与动力，它与满足其他用户的用电需求的发电机组的原动机不同，且具有大型化的特征，是船舶的主要耗能装置，所以也称为船舶主机，而将传统船舶作为发电机组原动机的柴油机称为辅机。传统船舶的显著特点就是采用热力原动机直接进行船舶推进，现代船舶的特点则是电力推进。由于推进主机具有动力心脏的重大作用，所以一般习惯按照推进主机来进行船舶分类，将采用不同的动力机作为推进主机的船舶直接称为柴油机船舶、燃气轮机船舶或者电力推进船舶。

作为推进动力机，电动机是排在风帆和热力机之后的第三代动力机。电力推进与热力机推进的重大差异在于：推进主机是电动机，而不是热力原动机；推进方式是采用电气传动的方式，而不是由热力机与螺旋桨刚性轴连接，直接进行机械式推进，电力推进经过了电的环节。正是因为多了这一个环节，所以产生了一个传统习惯的偏见：认为机械式直接推进的能量效率高。实际上那仅仅是过去的技术，在现代电力推进技术面前，传统机械式推进的劣势凸显，不仅在控制性能上难与电力推进媲美，而且在能量效率方面也十分逊色，因此才出现了新型远洋电力推进船舶、电力战舰、潜艇、现代电力推进航母，以至于陆用电力坦克。

从能源与推进两方面来看，热力机直接推进、例如柴油机推进，其热力原动机同时扮演两种角色：能量生产者与推进装置，而在电力推进中的热力机仅仅只是作为原动力提供者及电源的生产者、并不是推进的执行者或者推进装置。由此可见，热力机直接推进是以机械方式将原动机直接与螺旋桨对接，而电力推进则

是将热力机与发电机相连,然后再以电的方式与电动机和螺旋桨相连,可称为机械硬连接与电气软连接的差异,由此,带来革命性的变化。在本质上,体现了专业化分工,从而可充分发挥各自的优势,必然可优化推进性能和大幅度提高能量效率。让启动、正反转、调速、制动性能较差的柴油机仅仅只是承担发电任务,以恒向恒速的方式工作,让控制性能优良的电动机来执行推进任务,各自的工作条件都得以优化,且工作任务单一,各得其所,恰到好处。

1.2 现代综合能源电动船舶概述

1.2.1 综合能源电动船舶的概念

显然,无论什么动力装置都需要能源,电力推进需要电源和电能生产装置,所以仍然离不开热力原动机和作为能源的燃料。所谓原动机是指利用燃料热能、水力和风力产生动力的机械,包括将太阳能转变为电能的光伏电池。所谓能源是指能够提供能量的燃料、核能、风能、太阳能等。目前主要能源仍然以化石燃料为主,以生物燃料、核动力、水力、风、光能等为辅。

由于地球上化石燃料即将枯竭,而人类社会对于能源的需求与日俱增,所以供求矛盾十分突出,能源危机已经威胁到人类生存和发展,因此有人提出了世界第四次工业革命或者技术革命的主要目的是解决能源问题。正是因为如此,在船舶和水上运输方面,综合能源电动船舶被提到议事日程。

综合能源电动船舶是指:采用目前已知的实用的多种安全能源和发电装置组成新型综合船舶电站,构成综合电力推进系统,以电能供应全船用户实现集中统一管理、以电力方式驱动推进主机——电动机实现船舶电力推进的全电动船舶,能够实现这种目标的技术就是综合能源电动船舶的电力推进技术。

综合能源是指以能源装置为载体和分类标准的多种能源的集合,在本质上是指多种能源与将能源转换为电能的多种装置的集合体,包括太阳能、风能、生物燃料、化石燃料的化学能等及其发电装置。在能源种类上要求尽可能采用清洁绿色的能源,而所谓安全能源是指排除核能,因为它具有一定的不可控性和产生一定安全隐患的副作用。由定义,本书将以风能、光能、岸电以及化石燃料为主体,它们的特点是:风光能及其装置“低能”且不稳定但潜力最大,可为主攻方向;燃料“高能”而稀缺,可为突击力量;岸电以蓄电池为标志且可储存风光能,是扩大风光能应用的不可或缺的因素,可为关键因素。

所谓船舶综合电力推进系统是一种新型系统,是指将传统的热力机直接推进船舶的推进动力与电站动力合二为一,形成一个同时为电力推进负载和其他用户集中供电的集成化电力系统,且能实现全船能源综合利用与统一管理,以“电推”代替“热力机油推”,并且以综合电力推进系统取代传统电推系统,这是当前国内

外船舶领域的主要发展方向。

由定义可知,采用现代多种综合能源是综合能源电动船舶与传统船舶的区别性特征。从严格意义上说,近代动力船舶基本上没有采用过综合能源。自从船舶以燃煤和燃油为动力,就放弃了风帆和风能,更没有大幅度利用太阳能和生物能。作为近代意义上的船舶,一般都只是采用单一能源作为动力,而谈不上以取代燃油为目标大幅度地利用综合能源。虽然常规潜艇依靠蓄电池进行水下推进、依靠柴油机进行水面推进,表面上是采用电和油两种能源,然而电能主要是在水面航行时由柴油机发电为蓄电池充电而获得的,而难以经常性利用岸电充电,且没有利用风光能。因此,常规潜艇不符合现代综合能源电动船舶的标准。核动力船舶虽然也采用燃油发电机组作为备用,但也没有大幅度利用综合能源。由此可以说传统船舶可能采用两种能源,但没有从取代燃油动力角度来利用综合能源。船舶为了提高运行可靠性,对于推进能源进行了加倍配置,例如增加燃油机组数量。同时,由船舶规范规定入级船舶必须设置应急照明系统,即必须配备蓄电池电源以及应急照明灯具系统,蓄电池充电主要由船舶电站解决,也可采用岸电充电,但相对较少。从能源看,传统船舶只有燃油,但具备多种电源,包括蓄电池应急照明电源以及燃油发电机组的交流电源。可见,传统船舶能源单一,而综合能源电动船舶具有能源多样化的特征,两者差异明显。正是因为能源紧缺,才将现代意义上的大幅度利用综合能源及其电动船舶提上议事日程。

定义中的综合能源只是针对电动船舶,为什么不包括柴油机直接推进船舶呢?原因在于:综合能源与综合电推系统具有必然联系和重大优势,后者不仅是全电力推进,而且是全电力供应,电能是现代能源使用主流模式;多种综合能源需要统一能源形式,而立足于电能可轻易实现转换而统一,且更有利于高效方便的使用;电力推进性能更优、效率更高;一个简单的道理是综合能源无法以机械能方式与柴油机并联推进。目前实用而安全的能源和装置主要有燃油燃气(包括生物燃料)及热力原动机、核能及装置、蓄电池及岸电(包括多种发电)、燃料电池及其原材料、风能、太阳能及其发电装置等。对于核能,由于其具有较大的不可控性和副作用,特别是在日本福岛核事故以后,人们普遍认为其不够安全,更加慎用,本书将不考虑核能。其他能源都属于安全能源。从长远看,太阳能前景广阔,风能是太阳能的一种形式,或广义太阳能、燃油燃煤天然气等化石燃料都是过去的太阳能化石形态,生物燃料是生物生长过程储存的太阳能,且生成极慢,氢气等可以与氧气进行化学反应的燃料需要由太阳能转化的能源制造。从使用角度看,太阳能装置以光伏电池的形式利用太阳能,且可采用蓄电池储存电能,从而可以简单地将光能转变为电能以化学能方式储存起来。机械能与电能可以借助于发电机和电动机轻易实现相互转变,并且能够以电能的方式简单方便地实现能量远距离传输和使用。可见它们都能够在电能的基础上统一,从而构成以电能生产传输和使用为主流模式的现代能源供应与应用的基本格局。正是由于现代综合

能源可以方便地转变为电源,所以船舶动力机械的原动机和工作机的两个方面就可以在电能的平台简单地统一起来,同时由于电力推进的机械电气性能与节能水平远远优于热力机械式的推进,所以全电力推进就成为综合能源电动船舶的一种必然选择,一种高效率和高性能的工作模式。相对于柴油机直接机械式推进船舶而言,综合能源与电力推进具有天然匹配性,使得综合能源船舶只是针对全电动船舶。全电动是现代能源模式与综合能源以及综合电力推进系统相结合的必然结果。

概括现代综合能源电动船舶特征,即采用现代综合能源及节能技术与现代船舶技术及电推技术相结合;大幅度利用安全清洁绿色的风光能,并与岸电和燃油结合,组成多种能源综合船舶电站;采用现代综合电力推进技术;进行全电力推进。这既是区别于传统船舶的本质性特征,也是综合能源船舶的现代化特征。

1.2.2 综合能源的运行原理

多种能源组合在一起必须要有一种运行机制。弄清综合能源的运行原理可以反过来看为什么柴油机推进不具备这种机制。柴油机不仅在推进环节不如电动机,而且在能源组合环节也难以形成一种共同的工作平台。柴油机推进是将燃油化学能转变为热能、再转变为机械能来进行推进,而多种能源不能转变为机械能来并联推进,并且不能进行相互可逆转换,因此,机械式推进不具备上述电推的优点。燃油化学能不能简单与太阳能统一,不能相互转变,也不能与机械能相互可逆转变,且难以与电动机、蓄电池等装置简单地配套。一个简单的道理是太阳能装置可以直接带电动机、而不能带柴油机,加上机械式推进存在的固有劣势,导致柴油机推进船舶缺乏简单地利用综合能源、特别是利用风光能的基础。可见,电能可以构成一种共同的运行平台和机制:实现多种能源的相互转换,能够以柔性的方式与推进电动机连接,而且能与推进要求简单地实现统一。

同时,从现实情况来看,目前传统船舶或主流模式都采用柴油机直接推进。虽然配备了蓄电池,但是蓄电池和燃油能源基本上都是各自独立存在,即能源和电源没有统一。实际上传统船舶存在两种柴油机能源和一个应急电源,即推进主柴油机、辅机发电机组组成的电站以及蓄电池。辅电站作为电力用户的电源,而蓄电池仅仅作作为应急照明灯及其重要低压仪器仪表的电源,主推进柴油机则是螺旋桨的动力来源。可见,过去传统的船舶不仅没有、而且难以采用综合能源。这也正是综合能源只是针对电动船舶的原因。

以上不仅说明综合能源需要统一为电源的道理,而且预示着蓄电池在利用综合能源中的重大作用。蓄电池是综合能源运行原理的重要基础。其原理在于以储能方式增加利用风光能的数量且取用岸电,并且改变传统发电与用电同步模式。目前,风光能不稳定不连续,不能以发电和用电同步的方式来满足需求,而必须利用昨天的风光能,以蓄电池储存风光能的方式来满足用户连续性需求。因此,

电能和蓄电池不仅能够与风光能简单地统一，而且可解决风光能发电与用户用电同时性的矛盾，构成利用综合能源的另一个技术基础：储存能量。因此，目前利用综合能源必须利用蓄电池，这样才能增加利用风光能的机会、时间和数量。为了寻求燃油替代能源，综合能源应该以风光能为重点和主体，原因在于：燃料电池商业化有待时日，因多方面原因而难成主体，且不考虑核能，而生物燃料生长较慢，同时可将其归于燃油之中，如此，利用风光能和包括水力发电在内的岸电与燃油就必然是近期使用安全综合能源的主攻方向，并且应该逐步使其成为主力，因为燃油接近枯竭，而风光能前途无量。为了简化问题，本书将利用同一种能源生产装置的生物燃料、燃气归于燃油，同时不考虑核能，再将燃料电池归于蓄电池，且包括超级电容器，这样所谓的综合能源装置将集中于风、光、岸电、燃油发电机组，它们成为能源主流模式。

概括以上分析，说明了综合能源的运行原理，也就是将多种能源统一于电能，以构成推进动力装置的工作平台，同时满足电站与电推两方面的需求，形成综合能源的综合性电站与综合电力推进系统的相结合，这就是综合能源电动船舶的技术基础。综合电站提供了多种交直流电源，而现代电力推进可轻易实现与两种电源的配套，这种配套优势构成了综合能源船舶推进模式多样化的技术基础。原因在于：即使是将所有能源都转变为电源，也有交直流不同的形式，需要统一电源与电制，且可形成交直流两种类型的等效电源，还需要与电推方案配套。这对于传统船舶的电推技术仍然是困难的且难以优化，而对于现代电推技术却轻而易举，因为现代推进控制策略和电动机可与交直流两种电源直接配套，且具有多样化的优化方案。这得益于开关电源逆变技术和交流电动机的变频控制技术。它们不仅构成综合能源船舶的技术平台，而且也成为其现代化的标志。进而，由于综合能源最终立足于电能，所以全电力推进顺理成章就成为综合能源船舶另一个标志。

1.3 现代综合能源电动船舶的主要特征及其与传统船舶和汽车的差异

由综合能源的概念可知，现代综合能源船舶的主要特征是大幅度利用综合能源和采用全电力推进。为理解这个特征，可与传统船舶以及电动汽车进行对比。在一定意义上它可相当于混合动力电动汽车，或者说混合动力汽车就是一个综合能源的例子，即一方面采用蓄电池取用岸电，另一方面配备内燃机和燃油，形成电油结合能源，构成混合动力，可作为综合能源的一种类型。显然，由于汽车的受光面积较小且运行速度较高，所以难以大幅度利用风光能。由电力推进和电动船舶的定义来看，现代综合能源电动船舶必须是采用电动机作为推进主机来构成推进动力装置，由电动机带动船舶推进器或螺旋桨、进行船舶推进的技术和船舶，