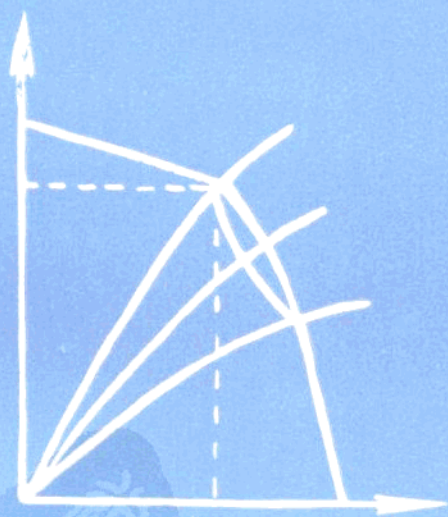


船舶电力推进原理

金德昌 姜孟文 云峻峰 编著



国防工业出版社

373840

船舶电力推进原理

金 德 昌
姜 孟 文 编著
云 峻 峰



国防工业出版社

(京) 新登字 106 号

内 容 简 介

本书系统地论述了船舶电力推进系统的基本原理。全书共分十三章。内容包括船舶电力推进简介；电力推进装置主要部件的基本特性；简单的发电机-电动机系统；恒功率系统；恒电流系统；交流电力推进装置；联合推进装置、辅助推进装置和电磁离合器推进装置；不可控整流器交直流电力推进系统；晶闸管电力推进系统；船舶电力推进系统的动态分析；磁场定向技术的应用；计算机在电力推进系统中的应用；超导电力推进简介。

本书可供船舶和海洋电气自动化领域的工程技术人员、大学师生、电力推进装置运行维护人员等参考。

000660

船舶电力推进原理

金 德 昌
姜 孟 文 编著
云 梭 峰

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市飞龙印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 印张16¹/₄ 373千字

1993年10月第一版 1993年10月第一次印刷 印数：001—800册

ISBN 7-118-01088-X/U·91 定价：14.20元

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分，又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展，加强社会主义物质文明和精神文明建设，培养优秀科技人才，确保国防科技优秀图书的出版，国防科工委于1988年初决定每年拨出专款，设立国防科技图书出版基金，成立评审委员会，扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是：

1. 学术水平高，内容有创见，在学科上居领先地位的基础科学理论图书；在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖，内容明确、具体、有突出创见，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作，职责是：负责掌握出版基金的使用方向，评审受理的图书选题，决定资助的图书选题和资助金额，以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书，由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版，随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金
第一届评审委员会组成人员

主任委员：邓佑生

副主任委员：金朱德 太史瑞

委 员：尤子平 朵英贤 刘琯德

(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫悟生

曾 铎

秘 书 长：刘琯德

前 言

多数船舶采用原动机直接地或通过减速机构带动螺旋桨，推动船舶运动。电力推进则是采用电动机来带动螺旋桨，这是一种较为进步的推进方式。由于它具有一些突出的优点，因此在多种船舶上得到了应用，受到人们的重视和欢迎。在电力推进装置刚出现的时候，电动机是采用蓄电池供电的。随着自动控制技术的发展，电力推进系统的结构不断更新，性能日趋完善。时至今日，已出现了采用集成电子调节器、集成逻辑组件及计算机于调节控制电路，采用晶闸管于主电路的各种电力推进系统。但是无论设计何种系统，对于电力推进系统的基本原理都是必须深刻了解的。否则，即使采用最新的技术手段也不可能得到适当的特性。本书着重介绍电力推进系统的基本原理，包括螺旋桨对推进系统特性的要求与相互间的配合、电力推进系统的基本工作状态、电力推进系统的主要参数计算等。同时也介绍了采用大功率整流元件（可控与不可控）的电力推进系统、系统动态特性和系统数字仿真、电子计算机和磁场定向控制技术在电力推进系统中的应用以及超导电力推进等内容。

我国自行设计和建造的电力推进船舶为数不多，国内也尚无这方面的专著可供参考，加之编者能力有限，因此在向读者奉献此书时，心情是不安的。可借以自慰的仅是编者通过努力，为这一专题填补了一个空白。我们切望读者批评指正，并期待有更好的有关著作问世。

本书由七一二所金德昌高工、云峻峰高工、华中理工大学姜孟文副教授合编。其中第六、八、九、十三章及第七章部分内容由金德昌编写，第十二章以及第十三章部分内容由云峻峰编写，姜孟文编写了第一、二、三、四、五章，以及第七章部分内容并校定全书。

华中理工大学陈坚教授及七一二所副总工程师周文璋、研究员耿树彬等审阅了书稿，提出了宝贵意见。陈渭珠同志为本书精心绘制了图稿。编写过程中还得到了金松林副教授、李树棠、黄友朋、张光兰等高工及张八英同志的热心帮助。对上述同志谨致深切的谢意。

编 者

一九九一年九月

目 录

第一章 船舶电力推进概述	1
1-1 电力推进装置的组成和分类	1
1-2 电力推进的特点	2
1-3 电力推进装置的应用	7
1-4 电力推进装置发展简史及发展趋势	9
第二章 电力推进装置主要部件的基本特性	12
2-1 螺旋桨特性	12
2-2 柴油机特性	16
2-3 汽轮机的特性及调节	18
2-4 柴油机与螺旋桨的共同工作——直接推进	18
2-5 螺旋桨对推进电动机机械特性的要求	20
第三章 直流电力推进系统的一般问题和简单的发电机-电动机系统	23
3-1 主电路连接方式	23
3-2 中间工作状态	27
3-3 简单的G-M系统	31
3-4 带蓄电池组的G-M系统	35
第四章 恒功率系统	39
4-1 理想恒功率特性和发电机电动机特性的自动调节方法	39
4-2 三绕组发电机系统	41
4-3 三绕组励磁机系统	43
4-4 带电流负反馈和电压截止负反馈的电力推进系统	46
4-5 带原动机转速负反馈的系统	53
4-6 电动机转速负反馈系统	57
4-7 一个功能较为完善的调 ϕ 系统	61
4-8 系统的稳定环节	63
第五章 恒电流系统	66
5-1 恒电流系统的基本原理、特性和应用范围	66
5-2 操纵恒电流系统	69
5-3 调节恒电流系统	72
5-4 恒电流系统静特性	78
第六章 交流电力推进装置	81
6-1 交流电力推进装置的特点	81
6-2 交流电力推进装置的功率、电压和频率	82
6-3 交流主发电机	83
6-4 交流推进电动机	86
6-5 交流电力推进装置的调速	97
6-6 船舶阻力变化对螺旋桨转速的影响	103

6-7	交流电力推进装置激磁电流的计算	105
6-8	交流电力推进装置的主电路	108
6-9	交流电力推进装置的激磁	113
6-10	交流电力推进装置的保护	115
第七章	联合推进装置和电磁离合器推进装置	118
7-1	联合推进装置	118
7-2	电磁离合器推进装置	121
7-3	轴带发电机辅助电力推进装置	125
第八章	不可控整流器交直流电力推进系统	133
8-1	硅整流器交直流电力推进的工作原理	133
8-2	整流线路	134
8-3	硅整流器交直流电力推进装置的调节特点	142
8-4	硅整流器交直流电力推进装置的静特性计算	143
8-5	带硅整流器的交直流电力推进装置的主电路	148
8-6	带硅整流器的交直流电力推进装置的激磁系统和调节系统	149
第九章	晶闸管电力推进系统	152
9-1	电力推进中所用的各种晶闸管元件	152
9-2	晶闸管交直流电力推进系统	155
9-3	晶闸管斩波器推进系统	167
9-4	晶闸管交流电力推进系统	172
9-5	电力晶体管和可关断晶闸管电力推进系统	182
第十章	船舶电力推进系统的动态分析	184
10-1	电力推进系统结构图和传递函数	184
10-2	电力推进系统稳定性分析	197
10-3	电力推进装置反转时间的计算	200
10-4	计算机辅助设计与仿真	203
第十一章	磁场定向控制技术的应用	219
11-1	基本原理	219
11-2	系统结构	227
第十二章	计算机在电力推进系统中的应用	230
12-1	概述	230
12-2	电力推进系统的计算机控制	232
12-3	计算机控制系统的可靠性	236
12-4	计算机控制系统的抗干扰措施	239
第十三章	超导电力推进简介	241
13-1	概述	241
13-2	超导体	244
13-3	超导电力推进系统	249

第一章 船舶电力推进概述

本章着重介绍电力推进装置的组成、分类、优缺点及应用范围。

1-1 电力推进装置的组成和分类

一、组成

船舶电力推进装置一般是指采用电动机机械带动螺旋桨来推动船舶运动的装置。采用电力推进装置的船舶称为电力推进船舶或电动船。

船舶电力推进装置一般由下述几部分组成：螺旋桨、电动机、发电机、原动机以及控制调节设备。其结构图见图1-1。

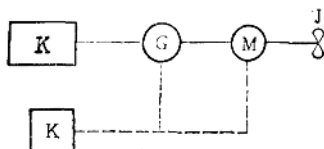


图1-1 电力推进装置简图

Y—原动机；G—发电机；M—电动机；J—螺旋桨；K—控制设备。

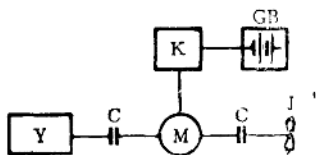


图1-2 常规潜艇电力推进装置简图

Y—原动机；G—离合器；M—电动机；J—螺旋桨；GB—蓄电池；K—控制设备。

其中，原动机Y的机械能经发电机G变为电能，传输给推进电动机M，由电动机将电能变为机械能，传递给螺旋桨J，推动船舶运动。由于螺旋桨所需功率很大（一般为几百kW至几千kW），推进电动机不能由一般船舶电网供电，必须设置单独发电机或其他大功率的电源；另一方面，由于功率相差悬殊，船舶的一般电能用户（如辅机、照明等），也不能由推进电站供电。因此，电力推进船舶一般总是有两个独立的电站——电力推进电站和辅机电站。

电力推进用的原动机可以采用柴油机、汽轮机或燃气轮机。目前一般采用高速或中高速柴油机，大功率时多用汽轮机或燃气轮机。

发电机可以采用直流他激、差复激电机或交流同步发电机。

电动机可以采用直流他激电动机或交流同步电动机、异步电动机、同步-异步电动机等。

船舶推进器一般都采用螺旋桨，因为其效率高，尺寸较小。

常规潜艇处于水下航行时，必须用蓄电池供电，因为在水下时原动机因缺氧无法工作。其电力推进装置结构图见图1-2。原动机只在水面航行时作推进动力，或者带动电动机向蓄电池充电。

常规潜艇在水面航行时也可以采用电力推进，但这时不用蓄电池供电，而是采用发

电机供电。这时潜艇上既有发电机组又有蓄电池组。目前多数国家倾向于水上水下全部采用电力推进。

核潜艇的原动机在水下也可以照常工作，因为它的主电力推进装置不用蓄电池供电。由核反应堆的热能先转变为机械能，再由机械能转变为电能（通过发电机），发电机将电能传送给电动机，转变为机械能来推动船舶航行。

当采用电磁离合器带动螺旋桨时（图1-3），由原动机带动电磁离合器主动部分，转矩由主动部分传递给从动部分，从动部分带动螺旋桨转动。主动部分的转速与原动机的转速相同，一般保持恒定，通过调节励磁来改变从动部分的转速，以获得不同的船舶航速。

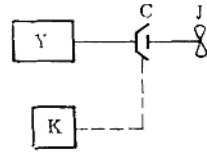


图1-3 电磁离合器电力推进装置

Y—原动机，C—离合器；
J—螺旋桨，K—控制设备。

二、船舶电力推进装置的分类

船舶电力推进装置可以根据所用的原动机型式、主电路电流种类及其在船舶推进中的地位等来进行分类。

根据原动机型式可将电力推进装置分为柴油机电力推进、汽轮机电力推进、燃气轮机电力推进等。

根据主回路电流种类可将电力推进装置分为直流电力推进、交流电力推进、交直流电力推进等。

直流电力推进又可按系统调节原理分为恒压电力推进系统、简单的G-M电力推进系统、恒功率电力推进系统、恒电流电力推进系统等。

根据电力推进装置在船舶推进中的地位，可以分为独立的电力推进装置、附加（联合）电力推进装置以及辅助电力推进装置等。

1-2 电力推进的特点

目前各种船舶上所采用的推进方式大多是所谓直接推进方式，即原动机（柴油机、汽轮机或燃气轮机）通过主轴和齿轮箱直接带动螺旋桨推动船舶运动。

电力推进由原动机带动发电机，发电机供电给电动机，再由电动机带动螺旋桨。它比直接推进多了发电机和电动机这些中间设备，因此自然会产生电力推进装置在重量、尺寸、价格等指标上是否合理的问题。若要正确回答这些问题，必须对推进装置的重量、尺寸、价格、效率、可靠性、生命力、机动性、适航性、维修控制的方便性等各方面进行较为深入的、全面的分析和考察才能作出评价。由于我国建造和使用电动船不多，对于电力推进装置众议不一，因此下面将较为详尽地对电力推进装置的特点加以介绍，供读者参考。

一、电力推进装置的优点

1. 操纵灵活，机动性能好。

采用电力推进易于实现由驾驶室直接进行船舶的操纵，使船舶的操纵十分机动灵活。对于直接推进，一般是由驾驶室通过车钟向机舱传递主机操作指令，由主机操作人

员按指令操纵柴油机，然后通过车钟向驾驶室回令。这样不但来车速度慢而且很容易产生误操作。若采用电力推进，驾驶人员只需在驾驶室操纵发电机或电动机的磁场或改变晶闸管的触发角，即可实现对船舶的操纵，大大减少了误操作的可能性。

电力推进装置的操纵过渡过程比直接推进的大大缩短（来车快），因此它应付紧急状态的能力较强，增加了航行安全性（见表1-1）。

表1-1 某电力推进渡轮与某直接推进渡轮的操纵时间比较

操纵项目	推进型式	直接推进			电力推进		
		启动 0 → 300 (r/min)	停车 300 → 0 (r/min)	倒车 + 300 → - 300 (r/min)	启动 0 → 300 (r/min)	停车 300 → 0 (r/min)	倒车 + 300 → - 300 (r/min)
车钟操作		4	4	5	0	0	0
机器加减速		10	10	25	8	8	13
合计		14	14	30	8	8	13

由于电力推进操纵比较灵活，因此特别适用于某些对机动性能要求较高的船舶，如渡轮、拖轮、破冰船等。

2. 易于获得理想的拖动特性，提高船舶的技术经济性能。

① 低速特性。

柴油机的速比一般为 1 : 3，因此采用直接推进时，不容易获得低转速（额定转速为 250~300 r/min 时，稳定低速不可能低于 90~120 r/min）。而电动机的速比可达一比十甚至一比几十，故采用电力推进时螺旋桨可以获得很低转速（4~5 r/min 以下），有利于船舶实现机动航行，比如以稳定低速接近目标，靠离码头等。

② 动车停车等的快速性。

电动机的起动、停止与反转均比柴油机迅速，因此螺旋桨动车停车及倒车速度很快，有利于提高船舶的机动性（见表1-1）。

③ 恒功率特性。

船舶在航行过程中，由于风浪等因素的影响，阻力经常发生变化。采用电力推进装置可以在阻力经常变化的条件下，始终维持动力设备（柴油机或发电机、电动机）处于恒功率运行，使动力设备的效率保持在较高的水平上，以利于充分发挥动力设备的效能（即充分利用设备的装置功率）。

④ 恒电流特性。

电力推进系统的主回路电流可以采用一定的调节措施使其保持一定的数值不变，这就有可能在主回路内串接若干个电动机，这些电动机可以独立调节而彼此不受影响。这一特性对某些工程船舶特别适合。这些船舶具有容量相近而不同时使用的若干个负载，比如自航式挖泥船的螺旋桨与泥泵，火车渡轮的螺旋桨与平衡水泵等，将它们的拖动电动机电枢串接在一条主回路内，由公共的发电机组供电，可以使发电机组的装置容量大大减小。采用恒电流系统时还具有电动机过渡过程较快、工作可靠、操纵灵活、系统无过载危害等特点。这些将在“恒电流系统”一章内加以讨论。

⑤ 堵转特性。

当螺旋桨被绳缆、冰块等卡住时，由于采用电力推进，系统具有“堵转特性”，在短

时内不必断开电动机，待到卡住的原因消除以后，螺旋桨很快恢复正常运转，免除了系统经常“断开-接通”的弊端。

3. 推进装置的总功率可以由好几个机组承担，增加了设备选择的灵活性，提高了船舶的生命力，见图1-4。

采用直接推进时，一般是一个螺旋桨由一台柴油机带动。而采用电力推进时，一桨可由两台或两台以上柴油发电机组供电，这将带来一些明显的好处，如：

① 可以采用很少种类的柴油机获得较多的功率级，因而增加了设备选择的灵活性。

② 有利于提高船舶的生命力以及提高中间航行速度时的经济性。当一部分机组损坏时，其余机组仍可照常工作，生命力强；当只需以较低航速航行时，可以切断部分机组，使剩下的机组以全负荷率工作，获得较高的效率，提高运行的经济性。

4. 可以采用中高速不反转原动机。

螺旋桨的转速不能太高，通常是在 300 r/min 以下，否则其效率将降低。因此在直接推进时，原动机若为柴油机，它的转速就不可能做得较高，只得采用所谓重型低速柴油机。其特点是功率大，速度低。由于速度低，因此重量尺寸大。如采用电力推进装置，则可用轻小的中高速柴油发电机组，柴油机也不必采用可反转的。

中高速柴油机重量轻、尺寸小、便于舱室布置；

不反转柴油机结构简单、运行可靠、寿命长。在其他条件相同时，不反转柴油机比反转柴油机寿命要长得得多。据有的资料称，柴油机每反转一次的磨损与它工作 16 h 的磨损相当；

中高速柴油机维护管理与检修比较简单，更换也比较方便。

由于原动机不必反转，因此电力推进装置也为燃气轮机的广泛应用创造了良好条件。

5. 原动机与螺旋桨间无硬性连结。

可以防止冲击振动，有利降噪；

使得螺旋桨转速可以选择最佳值，而不必受到原动机转速的限制；

可以允许柴油机转速也选取最佳值，不必受到螺旋桨转速的限制；

可以允许主轴长度大为缩短；

可使动力设备布置更为灵活。

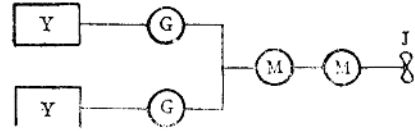


图1-4 由两套机组提供船舶推进所需功率

Y—原动机；G—发电机；
M—电动机；J—螺旋桨。

二、电力推进装置存在的问题

1. 重量较大。

2. 存在中间损耗（发电机-电动机组），故在额定工况时效率较低。

直流电力推进一般为 $86\% \sim 90\%$ ；

交流电力推进一般为 $94\% \sim 95\%$ ；

齿轮直接推进一般为 98% 。

3. 初投资较大。

4. 需要技术水平较高的电气维护人员。

三、克服电力推进装置存在问题的一些措施

我们将比较详尽地分析一下电力推进装置的上述各项指标, 看在什么条件下这些指标可以得到补偿和转化, 使情况变得有利一些。

1. 重量尺寸指标

因为电力推进装置在原动机与螺旋桨间另设了一套发电机电动机组及控制设备, 因此一般认为电力推进装置的重量尺寸要比直接推进来得大, 但也可能存在相反情况。

这主要是因为:

① 推进电动机的重量尺寸比同功率同转速的柴油机来得小, 电动机的相对重量参见表1-2。

表1-2 电动机相对重量的参考数据

转速 (r/min)	150~180	115~140	105~145
电动机的相对重量 (kg/kW)	23.3	18	17.5
船名	“勒拿”号柴油机电动船	某冰区航行干货船	“北极”号破冰船

② 发电机的重量比同功率同转速的柴油机重量也来得小。发电机相对重量可见表1-3。

表1-3 发电机相对重量的参考数据

转速 (r/min)	360	810	810
发电机相对重量 (kg/kW)	16.6	6.0	5.65
船名	“勒拿”号柴油机电动船	某冰区航行干货船	“北极”号破冰船

因此, 发电机和电动机并非一定是决定推进装置重量尺寸的主要因素。

③ 中高速柴油机的重量尺寸比低速柴油机的要小许多。由表1-4可见: 1100 r/min的柴油机单位功率重量只有125 r/min的柴油机的1/15。柴油机制造技术日益发展, 高速柴油机单位重量不断降低(如原联邦德国“玛依巴哈”型1500 r/min柴油机的单位功力重量仅为2.35kg/kW), 这就为电力推进的应用创造了有利条件。推进装置重量主要决定于原动机的重量, 原动机重量小, 使得整个装置重量尺寸大为降低。

表1-4 柴油机相对重量参考数据

转速 (r/min)	125	250	400	540	650	720	800	1100	2000
柴油机相对重量 (kg/kW)	109	57	30	24	20	19	16	8~12	4~7

由表1-2~表1-4可见, 若采用转速为125 r/min的柴油机作为直接推进, 则柴油机重量功率比达109kg/kW, 若采用转速为125 r/min左右的电动机, 配以800 r/min左右

的柴油发电机组，则总重量功率比约为 41kg/kW 。

④ 燃气轮机和超导电机具有功率大、重量尺寸小的突出优点。采用燃气轮机配合常规电机或超导电机使电力推进装置重量尺寸指标大为改善，必将使电力推进装置得到新的发展。

在某些特殊船舶中（如拖网渔船、挖泥船、起重船、调查测量船、消防船、救生打捞船等），动力装置总重量还因下述一些因素而降低：

① 用推进发电机供电给大容量特种辅机电动机，省去大容量辅机发电机。

② 公共的发电机向几个不同的推进电动机、负载电动机等供电，使柴油发电机的总装置容量大大降低。

2. 效率指标

上面已经提到过电力推进装置的效率指标比直接推进的差一些。但必须指出，直接推进时如果船舶处于机动状态或轻载运行，则原动机的效率会大大降低。而电力推进装置可以利用部分机组以接近全负荷运行，因此其效率较高。这使电力推进的平均效率要比直接推进为高。这种情形对于经常处于部分负载机动航行的柴油机船（如拖船、渔船、挖泥船等）显得特别突出。

据国外一些资料介绍，常在港内作机动航行的电动船比内燃机船耗油量要少 18% 。原联邦德国汉堡轮渡公司的电动渡轮在三年运行中，平均耗油量为 44kg/kW ，而柴油机船平均耗油量达 52kg/kW ，电动的要低 19% 。

除了在部分负载时可以断开个别机组以保持装置的高效率之外，还有很多因素可以补偿中间环节（发电机-电动机组）的损耗：

① 电动船的机动时间较短，

② 可以更自由地选择螺旋桨和原动机的最佳参数，提高其效率，

③ 柴油机不必经常起动、反转，有较高的使用指标和较小的磨损，

④ 采用电力推进装置可以在驾驶室直接操纵，有可能减少维修人员，节省开支。

3. 装置的价格指标

装置的价格指标比直接推进高，但是实际上高得并不多，而且存在很多促使装置价格降低的因素，比如：

① 中高速柴油机成批系列生产，成本较低，

② 有可能不必为大容量辅机设置单独的柴油发电机组，

③ 当船上有许多不同时工作的辅机时，可以采用主发电机以恒流制向其供电，以降低发电机的总装置容量。

4. 装置的营运费用

电动船的营运费用一般比直接推进低，这从另一方面补偿了电力推进装置的中间损耗和初投资。电动船的营运费用较低的原因有：

① 年平均运行时间长，

② 修理时间短，修理费用低，

③ 工作人员少，

④ 航行快速，周转快，

⑤ 舱室利用合理，载货量大，

⑥ 安全可靠，事故损失少。

表1-5列出柴油机电动船与柴油机船的营运费用的比较。

表1-5 营运费用比较 (%)

指 标	某柴油机 电 动 船	某柴油机船	指 标	某柴油机 电 动 船	某柴油机船
燃料和滑油	100	77	运行消耗	100	101
主机零件消耗	100	706	运费总假	100	82.5
修理 (包括零件价格)	100	190	使用期	100	99
岸耗	100	89	每吨-海里成本	100	110
折旧	100	99	净收入	100	73

由表中可见，柴油机电动船每吨-海里成本较低，而收入较高，经济指标是好的。它的技术性能，也比直接推进较为优越。

1-3 电力推进装置的应用

一般说来，电力推进装置可以应用于一切类型的船舶。但是形成理想的电力推进装置的条件不易同时具备，因此电力推进装置多数用在具有下列特点的船舶上：

- ① 需要有高度机动性能的船舶；
- ② 需要有特殊工作性能的船舶；
- ③ 具有大容量辅助机械的船舶。

比如，在下述一些船舶上采用电力推进装置有其突出的优点，国内外均有应用实例：

1. 渡轮

电力推进易于集中控制，可在驾驶室直接操纵船舶。采用电力推进后，除了船尾部装设推进器外，尚可方便地在船首及左右舷装设侧向推进器，使渡轮在港口要道和狭窄航道中能快速灵活和安全地航行，也使靠离码头的操作快速准确，安全可靠。我国自行设计制造的电力推进火车渡轮的运行实践也证明了这一点。

2. 挖泥船

耙吸式挖泥船在采用电力推进时，挖泥机械（大功率泥泵）不必由专用的原动机带动，动力装置的功率可以给耙吸工作和推进工作随意分配使用。即在耙吸挖泥时，船舶低速航行，主发电机除把一部分电能供推进装置外，尚可供电给泥泵。不进行耙吸操作时，船舶可利用全部推进功率高速航行，提高船舶利用率。这样，可减少原动机组数量，提高动力装置运行的经济性，还可简化机舱值班和维护工作，提高船舶生产率，降低挖泥成本。对于其它挖泥船，如链斗式挖泥船，在需要自航时，也常利用挖泥机械的电力作为推进动力。我国自行设计、制造的某挖泥壳船就是采用交流变频电力推进。

3. 破冰船

电力推进在低速时能发出大推力，可以出色地完成破冰任务。它的堵转特性使机组不会超载，并在螺旋桨被冰块卡住时也不会发生事故。电力推进装置的快速机动性能和恒功率自动调节性能，也改善了破冰船工作的效率。

4. 起重船

在自航式起重船上,可利用起重机械的电力作为推进动力。如我国自行设计、制造的50 t起重船,装有两台65kW柴油发电机组,起重作业时,供电给起重机械;在航行时,供电给两台55kW推进电动机,航速约为3 kn。

5. 渔轮

可以根据各工况的不同要求,方便地把电能适当分配至推进、捕捞和冷藏机械,以节省一些专供辅机(如拖网机、冷藏机)的发电机组。如拖网渔船,在寻找鱼群时,只需在经济航行状态运行,推进装置耗用一部分电能;在拖网捕鱼时,除将部分电能供低速推进外,其余可供电给拖网机械与其他设备;在捕捞完毕返回基地时,可把全部电能供给推进装置,全速返航。

6. 拖轮

电力推进装置可在广泛的范围内调速,故可保证从自由航行状态到拖带状态都发出全功率,获得拖航工作的最佳效率。此外,在拖带过重时,还可实现堵转,避免事故的发生。由于电力推进可以方便地在驾驶室控制,保证了正确的操作和拖曳的安全。对港口拖轮,就更为适宜。我国某救捞船和某长江拖轮均采用电力推进,使用较为满意。

7. 调查船、测量船

这些船上的甲板机械、附属设备和科研仪器,往往需要大量电能,它们可以与电力推进装置一起从主发电机组中获得电能。电力推进具有较高的机动性、低速航行特性和堵转特性等,这些对于航行状态多变、航区复杂的调查船和测量船都是必不可少的。

8. 消防船

消防船在急驶火场时,必须把主发电机组的全部功率用于推进;在到达火场后,只需把少量电能供低速推进,在火场周围缓行,而把大部电能供给消防泵。电力推进不仅可以减少消防船上原动机数量,而且可以在驾驶室集中控制,获得良好的机动性和操纵性,使消防船处于最佳灭火位置,出色完成消防任务。

9. 救捞船

同消防船相似,在急驶救生地点后,救生打捞设备(如空压机、绞车等)可从主发电机组获得大量电能。

10. 领航船

采用电力推进,可精确地控制低速推进,使船的位置保持不变,在恶劣的气候条件下移动时,电力推进还可增加其安全性。由于领航船的工作中包括了一段相当长的低速航行,采用电力推进后,可以只开一部分机组,增加了经济性,减少了燃料消耗,在一定的燃料储备下,减少了返航添加燃料的次数,增加了营运时间。

11. 布缆船

在敷设电缆时,需要稳定正确的航向和较大调节范围的低速推进。采用了电力推进,就可以达到上述要求,同时还可降低推进时将剩余的电力用于布缆作业。

12. 航标工作船

在敷设和维修航标时,需要低速电力推进,使船舶逐渐靠近和保持在航标敷设的位置,进行作业。我国某沿海航标船采用了电力推进。

1-4 电力推进装置发展简史及发展趋势

一、电力推进装置发展简史

电力推进是较为进步的一种船舶推进方式。从1838年第一艘电动试验船诞生以来,虽已有100多年的历史,但电动船的大批建造,只是在整个电机工业、原动机制造业及其他有关工业进一步发展以后的事情。回顾电力推进装置的发展,大致有以下几个阶段:

1. 试验时期

这个时期大约从电动船诞生到20世纪初。电力推进装置大多采用蓄电池作动力,用直流电动机作推进电动机,功率在75kW以下。

2. 广泛应用时期

1912年和1918年美国先后建成了一艘往复式蒸汽机交流电力推进航空母舰和一艘汽轮机交流电力推进战列舰“新墨西哥”号,总轴功率分别达4000kW和22000kW。这些电力推进装置的成功运行,使船舶电力推进进入一个迅速发展和广泛应用时期,这一时期一直延续到二次大战结束。

美国从1916年到1927年建造了118艘电动舰船,总功率近 50×10^4 kW。到1944年美国建造了总功率达 560×10^4 kW的汽轮机电力推进装置以及总功率达 190×10^4 kW的柴油机电力推进装置。主要用于油船、货船、护卫舰和潜艇。

第二次世界大战期间美英两国建造的电动船推进总功率占其船舶动力装置总功率20%。

3. 充分应用电力推进特长的时期

第二次世界大战以后,由于齿轮加工能力的提高,电力推进船舶在数量上大为减少。但是,由于战后自动控制系统的发展以及电机放大机在推进系统中的广泛应用等,使电力推进装置朝另一方向迅速发展。这时不再是主要利用其减速性能,而是主要利用其良好的调节性能、机动性能以及低噪声性能。

这一时期典型的电力推进船舶有:

英国于1961年建成的定期客轮“堪培拉”号,汽轮机交流电力推进,额定功率50000 kW,桨速136.5r/min。发电机:最大功率32000kW,3087r/min,51.5Hz, $\cos\varphi=1$, 6000V,二台;推进电动机:双枢,他励,凸极同步电动机,31200kW,147r/min,6000V,极面有起动鼠笼绕组,二台,全功率时效率为98.4%。

原苏联于1964年建成的核动力破冰船“列宁”号,采用汽轮机直流电力推进装置。左右舷推进电动机功率各为7200kW(双枢),中间推进电动机为14400kW(双枢),总功率近30000kW

法国建造的核潜艇全部用汽轮机电力推进装置,11000kW。美国核潜艇“白鱼”号和“利普斯康”号也是采用汽轮机电力推进。

60年代以来,由于大功率晶闸管变流技术的发展,集成电路电子调节器的广泛应用以及自动控制技术的进一步发展,使电力推进装置面目一新,出现了许多晶闸管电力推进装置。最为广泛的是晶闸管励磁装置和晶闸管交直流电子推进装置。