

# 船舶电推进系统综述

李泽芃 刘新才 刘震宇

## 1. 概述

电力推进作为船舶的新型推进动力,世界各国都在进行深入的研究。国外已经开发了多种类型的电力推进系统,并在多型船舶上应用。国内在此领域的研究则刚刚起步。作为船舶主动力系统的电力推进系统,由于其高效率、高可靠性、高自动化以及低维护,正成为新世纪大型水面船舶青睐的主推进系统,目前,发达国家新造船舶的 30%已采用电力推进系统。本文将从历史,现状,组成,分类,优点等方面介绍船舶电推进系统。

## 2. 电力推进系统的历史

电推进系统有很长的历史,第一次提出“电推进”这个名词是在 1838 年,船舶的电推进系统和电力电子技术的发展密不可分,每一次电子技术的革命都会推进船舶电推进技术的发展。回顾其发展历程,大致可分为以下几个阶段。

### 2.1 试验阶段

在十九世纪末期,德国和俄国首先进行以蓄电池为能源的电力推进实验。这一时期的电推进的动力来源主要是蓄电池,并以直流电机作为推进电机。

### 2.2 广泛应用时期

在 20 世纪 20 至 30 年代,由于机械加工水平的限制,柴油机和大型汽轮机并未广泛应用于直接推进船舶。这个时期的舰船,从民用货轮到航空母舰,大都采用电力推进。典型例子是美国的“Lexington”与“Saratoga”两艘航空母舰。

### 2.3 技术改革期

20 世纪六七十年代,由于半导体产业的蓬勃发展,以及大功率电子元件(JFET)的应用,电力推进的技术得到了进一步发展,但是由于控制电机的变频器,电刷等技术还不成熟,这一时期的电推还存在诸多缺点。

### 2.4 蓬勃发展期

20 世纪 80 年代后,由于交流推进的广泛应用,以及逆变器与变频器技术的成熟,电推进系统得到了进一步的完善。

到 20 世纪后期,随着功率半导体器件(如 IGBT)的进一步发展,电力推进的功率等级进一步提升,在民船应用领域呈现了前所未有的盛世,电力商船的应用范围日益扩大。

## 3. 电力推进系统的现状

进入 21 世纪,各国都热衷于研究船舶电力推进技术,新建船舶 80%以上都采用了电力推进。各个造船强国也均提出了自己的电力推进技术的研究计划,如美国的 IPS 计划,英国的 IFEP 计划等。

我国在 20 世纪末期也开始研究以综合电力推进技术为背景的现代船舶。国内的第一艘交流电力船舶是“劳帕斯佩拉”号化学品船，随后建造的“泰安口”“康盛口”两艘半潜船也采用了交流电力推进系统。

#### 4. 电力推进系统的组成

电推进系统由原动机，发电机，推进电动机，桨以及对应的控制系统五部分构成。

原动机：与十九世纪的电推系统不同，现在的船舶采用的是“自带发电机”为电动机供电。这个“自带发电机”就是原动机，原动机将其他形式的能源转化成机械能，再带动发电机发电。目前主流的原动机类型有汽轮，柴油，燃气，原子能以及燃料电池。

发电机：由于船舶推进系统要消耗巨额的电能，因此需要独立的发电机对其供电。而这个发电机除了能供给推进系统外，还可以并入船舶的电网，为其他设施提供电力。如采砂船在航行时可通过发电机产生的电能来推进，作业时则将该发电机连接到吊盘上，进行采砂作业。

推进电动机，螺旋桨：船舶的推进系统，从发电机中发出的电通常要经过变频，整流等步骤才能供其使用。

#### 5. 电推进系统的分类

电推进系统可从原动机，电流种类，推进功能等方面进行分类。

##### 5.1 原动机

按照类型的不同分为汽轮，柴油，燃气，原子能及燃料电池等

##### 5.2 电流种类

从电机供给的电流种类分为直流，交流，直转交，交转直四种

##### 5.3 推进功能

推进功能分为独立推进，联合推进，特种电推进以及综合推进四种。

其中独立推进指桨只由原动机带动，联合推进则是原动机和电动机混合推进。

特种电推进则包含了各种新颖的技术，包括侧推式，吊舱式，超导推进，磁流体推进以及泵喷推进等。

#### 6. 电推进系统的优点

电推进系统最大的优点就是有着优良的调速比。调速比指桨能够提供最高转速与最低转速的比值，普通柴油机的调速比为 1: 4，而电动机则能达到 1: 10 甚至 1: 20。这给船只提供了广阔的速度域，有利于船舶实现机动航行，比如稳定低速接近目标，靠离码头等。

此外，电推进系统还由布置安装灵活，可靠性高，震动小等特点，这里不再一一详细叙述。

#### 7. 几种特种电推进系统的简介

##### 7.1 侧推系统

在太空中的火箭采用侧向喷口来调整姿态，船舶的侧推系统也与之类似。侧推系统是一个安装在船艏侧的侧向推进器，通过改变推进器的旋转方向与速度，可实现船舶的快速转向，大大提高了船舶的机动性。

##### 7.2 吊舱系统

吊舱的英文名称是“POD”，原意为“豆荚”。吊舱式推进系统将推进电机与桨独立出来，构成一个独立的推进模块，再像豆荚一样悬挂于船体尾部。这样的设计省去了通

常使用的推进器轴系与舵，大大增强了船只的机动性，可靠性与水动力性能。

吊舱系统也是各国目前研究的主流方向，从 20 世纪 90 年代开始，世界各大型船用设备生产商先后推出了不同型号的吊舱推进器，并在民船上得到了广泛应用。目前，据统计，有约 40% 的船只采用了吊舱电力推进器。

### 7.3 超导电磁推进系统

由于高温超导的发展，目前美国已经能够设计和制造超导特性的电缆（使用时放于液氮内部冷却）。超导电磁推进可看作是高功率的电力推进，由于超导的优点，相较于传统推进方式，能提供更大的功率。但是由于技术水平与成本的限制，该研究仍处于试验阶段。

### 7.4 轮缘驱动系统

传统的螺旋桨是由轴带动桨叶旋转，而轮缘驱动则恰恰相反，是由轮缘带动桨叶进行旋转。这种设计最大的优点就是占用空间小，结构紧凑。而且省去了轴也让螺旋桨的过流面上没有了任何阻碍，提高了推进效率。

由于轮缘推进的诸如结构紧凑，效率高，噪音小等优点，各国都在进行相关的研发工作，但是对其的研究大多还处在试验阶段，并没有广泛应用。

### 7.5 磁流体推进系统

磁流体推进系统是利用通电导体在磁场中受力的原理制作的。其基本结构与传统电推进系统类似，只不过将桨换为了磁流体推进器。在工作过程中，先将极板通电使海水极化带电，而后加上一磁场，这样通过调整磁场与电场的方向，即可给海水一向后的作用力，从而推动船前进。

其相关计算公式表述如下：

$$F_T = F_{em} - F_f$$

$F_{em}$  为电磁力， $F_f$  为通道阻力。 $F_T$  是磁流体推进能给船的最大推力。

$$F_f = \frac{1}{2} \xi \rho \left( \frac{L_d}{D_h} \right) A_d V_s^2$$

该公式表示了受到水阻力的大小，其中  $\xi$  为阻力系数， $\rho$  为流体密度， $L_d$  为通道的长度， $D_h$  为通道的直径， $A_d$  为通道横截面积， $V_s$  为流速。

$$F_{em} = B I b_h \cos \theta$$

该公式给出了电磁力的大小，其中  $B$  为磁场强度， $I$  为电极电流， $b_h \cos \theta$  表示了极板的正对面积。

1976 年，日本设计并制造成了世界上第一艘磁流体船“大和一号”，这艘船虽然未达到相关技术指标要求，但是为今后的磁流体船提供了设计计算基础。

我国对其的研究始于 1996 年，并于 2000 年前后造出了实验船。

然而，世界上对于磁流体推进的研究还不够深入，磁流体推进还远未达到实用化程度。但是，随着基础研究的开展，尤其是高温超导方面的研究进展，磁流体船有望实现技术突破。

## 8. 展望

节能环保、动力系统集成化已成为特种船用推进器的主要发展趋势，而在高速船领域，传统的螺旋桨推进效率受速度影响较大，电力推进器和喷水推进将是推进系统的新趋势。

### 8.1 节能环保

从环境保护方面考虑，目前常用的船用柴油机推进装置会在使用过程中排放出氮

氧化物( $\text{NO}_x$ )和硫氧化物( $\text{SO}_x$ ),它们都会对大气造成污染,属于IMO和ISO有强制限制规定标准要求的物质。因此,船用推进系统厂商会通过改进推进系统,实现简化动力推进系统、降低能耗等目标,最终达到节能环保的要求。

## 8.2 动力系统集成化

行业内罗·罗、瓦锡兰等巨头已经在向这个方向发展,将动力系统与推进系统集成在一起,为客户提供一站式服务。动力系统集成化的优势在于各组件质量更可控、动力与推进系统匹配性更好、装船维修服务更便利,这些优势都有助于企业在行业竞争中取得有利地位。

## 8.3 混合动力系统

混合动力系统主要包括柴-电推进系统、柴-燃推进系统、柴-电/燃气轮机推进系统等,主要用于军用船舶。然而,近几年来商用船舶也逐渐开始采用混合动力系统。目前,最简单的混合动力系统是在常规柴油机动力系统的基础上,采用轴带发电机和可调桨配置。主推进柴油机故障停车的情况下,轴带发电机作为电动机驱动螺旋桨低速航行,该系统目前越来越多地运用在单机单桨系统的船舶,如集装箱、多用途货船和化学品船等商用船舶上,从而大大提高了系统的可靠性。目前最先进的混合动力系统一般运用在多工况工程船上,如Ustein集团建造的多用途海洋工程船“奥林匹克赫拉”号交付船东,该船既可由柴油机直接推进,也可由柴-电推进系统提供动力。

## 参考文献:

- [1] 乔鸣忠,于飞,张晓锋. 船舶电力推进系统[M]. 北京:机械工业出版社,2003(08).
- [2] 刘赞,徐绍佐. 船舶综合电力推进系统综述[J]. 柴油机,2004(2).
- [3] 刘柱. 几种船舶推进系统的比较[J]. 青岛远洋船员职业学院学报,2003. 24(3).
- [4] 高海波,高孝洪,陈辉. 船舶电力推进几种典型方式的比较[J]. 航海技术,2006(6).
- [5] 陈新毅,杨烨. 船舶电力推进技术发展概述[J]. 中国水运:下半月,2008. 8(8).