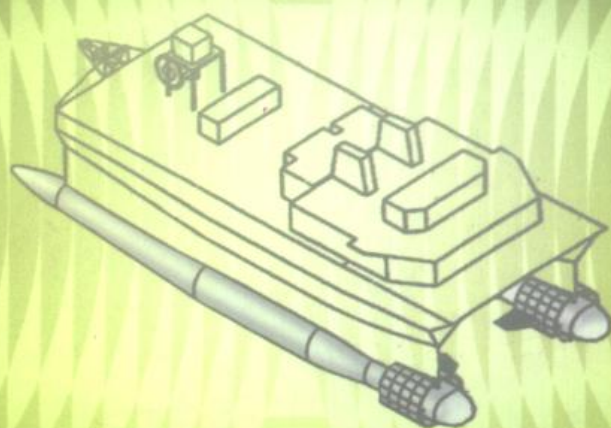


Magnetohydrodynamic Propulsion

磁流体推进

谭作武 恽嘉陵 著



北京工业大学出版社

416164

磁 流 体 推 进

Magnetohydrodynamic Propulsion

谭作武 恽嘉陵 著

北京工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

磁流体推进/谭作武, 恽嘉陵编著. -北京: 北京工业大学出版社, 1999

ISBN 7-5639-0738-6

I. 磁… II. ①谭… ②恽… III. 船舶推进-推进器, 磁流体 IV. U664.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 39040 号

磁流体推进

著 者 谭作武 恽嘉陵

责任编辑 张 瑚 炳 忠

责任校对 乐 声

※

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

※

1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷

850×1168mm 32 开本 10.875 印张 270 千字

印数: 1~1500 册

ISBN 7-5639-0738-6/T · 97

定价: 21.00 元

《全国高技术重点图书》

出版指导委员会

主 任：朱丽兰

副主任：刘 杲

卢鸣谷

总干事：罗见龙 梁祥丰

委 员：(以姓氏笔划为序)

王大中	王为珍	牛田佳	王守武	刘 仁	刘 杲
卢鸣谷	叶培大	朱丽兰	孙宝寅	师昌绪	任新民
杨牧之	杨嘉墀	陈芳允	陈能宽	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	张兆祺	张钰珍	张效祥	赵忠贤	顾孝诚
徐修存	谈德颜	龚 刚	梁祥丰		

《全国高技术重点图书·超导技术领域》

编审委员会

主任委员：赵忠贤

委 员：甘子钊 宋玉升 章立源

出版前言

电工科学是一门有着上百年发展历史，理论基础比较完善的技术科学，对国民经济发展起着举足轻重的作用。跨入 90 年代，世界进入科学技术更加迅猛发展和科技成果更加快速转向生产实践的时代，电工科学和其他学科一样，也面临着汲取别的新兴学科成就促进自身创新和向其他学科渗透派生出新的交叉学科的任务。对于我国这样一个发展中的开放的大国来说，拓扩电工学科领域，增加电工学科活力，发展电工电能高新技术，使之更好地服务于提高国力的各项建设，更是不容忽视的问题。

近 30 年来，我国电工界的科学技术人员为发展电工电能新技术进行了大量艰苦卓绝的研究工作，在电工新材料、新工艺、新能源、工业制造中的高新电工技术，以及环保、医学、生物学中的高新电工技术等方面取得了一批批成果。由丁肇中教授主持的 α -质谱仪中的大型永磁

设备主要是中国科学院电工研究所的研制成果，就充分地证实了这一点。

为了向国内外读者介绍近年来我国电工电能高新科学技术的发展情况和主要研究成果，为促进我国高新科学技术发展尽一份力量，1996年以来，我们特请中国科学院电工研究所研究员万遇良、沈国镠为学术顾问，朱尚廉、张瑚为选题策划，先后组织中国科学院电工研究所、中国科学院空间科学与应用研究中心、北京大学、东南大学等单位的资深研究人员，就超导电工新技术、超导磁流体发电、超导磁流体推进、太阳能发电、风力发电、宽离子束加工、电子束加工、永磁和永磁机构等撰写了一批学术专著，将于1998年至2000年陆续出版。其中不乏“863”国家高技术研究发展计划主题项目，有的还是率先发表的著作。在选题和选题计划实施过程中得到了中国科学院院士、中国科学院电工研究所所长严陆光和北京市新闻出版单位的指导与支持，在此谨致谢意。

北京工业大学出版社

1998年9月

作者简介

谭作武 男,1932年生,1953年毕业于湖南大学电机系,1960年于苏联科学院动力研究所研究生毕业,获技术科学副博士学位,现为中国科学院电工研究所研究员。1983~1991年任电工研究所微电机研究室主任,1985~1995年先后任电工研究所学位评定委员会副主席、主席。曾任中国电工技术学会第一届和第二届理事。1992年起享受政府特殊津贴。



早期从事高电压技术和电路理论的研究,60年代后从事微特电机及其控制系统的研究,近期又从事磁流体推进技术的研究。曾主持完成了多项科研工作,获得了中国科学院1979年重大成果二等奖,1991年科技进步三等奖;主持编著的《往复电动机》一书获得1991年度北方十省市优秀科技图书一等奖。此外,还取得发明专利一项,在国内外发表学术论文40余篇。

恽嘉陵 女，1942年生，1964年毕业于西安交通大学电机系，现任中国科学院电工研究所副研究员，主要从事微特电机及其控制系统的研究，近年来还从事磁流体推进技术及永磁电机的研究。曾完成多项科研工作，获得中国科学院1979年重大成果二等奖，1986年科技进步三等奖（主持完成），1991年科技进步三等奖。此外，在国内发表学术论文30余篇，并参予编著《往复电动机》一书。



前 言

磁流体推进是利用海水中电流与磁场间的相互作用力使海水运动而产生推力的一种推进方法，可用于船舶、鱼雷等水中装置的推进。它具有振动小、噪声低、操纵灵活的特点和高速推进的能力。60年代船舶磁流体推进的设想一经提出，即受到人们的普遍关注，但由于当时常导磁体与永磁磁体的技术所限，不能提供足够高的强磁场，使得它的发展一度几乎处于停滞状态。超导技术的发展以及利用超导磁体的磁流体推进器及其船模的成功试验，使人们看到了光明前景，因而许多造船大国纷纷对此进行研究。1992年世界上第一艘超导磁流体推进船“大和一号”的试航，标志着磁流体推进的研究进入了一个新阶段。它是当前船舶推进研究和发展的一个方向。

磁流体推进是一项综合性很强的高新技术，既涉及到电磁学、流体力学、电化学等学科相互交叉的理论，又

涉及到新结构、新材料、新工艺、新控制方法等综合性技术。到目前为止,有些问题已经解决,有些问题已取得重大进展,有些问题尚有待于未来的高新技术,如高场超导磁体技术的发展和突破。可以确信,随着科学的发展、技术的进步和新材料的涌现,磁流体推进的关键技术问题是有望得到解决的。人们预言:21 世纪初船舶磁流体推进将会得到应用,从而改变一百多年来船舶螺旋桨推进的状况,并导致船舶推进技术的质的飞跃。

磁流体推进的研究在国外正在发展,在国内也已开始进行跟踪,在中国科学院电工研究所所长严陆光院士的支持和帮助下我们正开展这方面的研究工作。为了传播磁流体推进理论和实际知识,发展磁流体推进技术,使其早日在船舶上得到应用,我们根据国内外文献资料和多年来从事磁流体推进的研究结果,撰写了本书。

本书在简述磁流体推进原理的基础上,系统地阐述了磁流体推进器的结构、理论及试验装置,给出了推进器的数学模型及运行性能计算方法,阐明了推进器运行过程中的物理和化学现象,分析和计算了船舶磁流体推进的性能,展望了它的前景。

本书着重于原理性的分析和计算,以便比较清楚地阐述磁流体推进器的主要性能和现象。全书共分十章,第五章和第七章由恽嘉陵撰写,谭作武撰写了其余各章,并校正了全书。

磁流体推进是一项正在研究和发展的高新技术,其结构、理论、性能分析和计算方法等都在研究发展中,尽

管本书力求全面反映有关的研究成果，但因著者水平有限，书中定会有不足、不当和谬误之处，祈请读者给予批评指正，并期望有更好的有关著作问世。

在本书成稿过程中，得到了廖少葆、沙次文、凌金福、冯之鑫等研究员及同事们的支持和帮助，在此一并表示感谢。

谭作武

1998年8月于北京

[illegible]

第一章	绪论	(1)
一、	问题的提出.....	(2)
二、	研究进展概况.....	(8)
第二章	直流磁流体推进的基本概念	(13)
一、	推进原理及特点	(13)
二、	分类	(15)
三、	主要技术指标	(15)
四、	磁流体推进器的关键部件——超导磁体	(21)
第三章	直流磁流体推进器的数学模型	(26)
一、	基本方程	(26)
二、	稳态运行方程	(34)
三、	功率平衡方程	(43)
四、	效率方程	(45)
第四章	直流内磁式磁流体推进器的运行性能	(58)
一、	线性磁流体推进器	(58)
二、	螺旋型磁流体推进器	(86)

三、环型磁流体推进器·····	(118)
第五章 直流外磁式磁流体推进器的运行性能·····	(142)
一、鼠笼型磁流体推进器·····	(143)
二、平板型磁流体推进器·····	(157)
第六章 直流磁流体推进器的物理和化学现象·····	(171)
一、电解·····	(171)
二、气泡·····	(174)
三、噪声·····	(182)
四、电极的腐蚀·····	(187)
五、海水电导率·····	(195)
六、漏磁·····	(201)
七、磁流体效应·····	(215)
第七章 直流磁流体推进器的试验·····	(224)
一、循环回路工作原理·····	(225)
二、循环回路装置·····	(227)
三、磁流体推进器试验·····	(234)
四、数据分析及处理·····	(240)
第八章 船舶直流磁流体推进性能的分析 and 计算·····	(246)
一、磁流体推进船模概况·····	(246)
二、磁流体推进试验船概况·····	(257)
三、船舶磁流体推进的工况方程·····	(272)
四、船舶磁流体推进性能的计算方法·····	(281)
五、推进器参数对船舶推进性能的影响·····	(289)
六、磁流体推进船型的构想·····	(295)
第九章 船舶交流磁流体推进性能分析和模拟试验·····	(299)
一、推进原理及分类·····	(299)
二、平面型磁流体推进器的运行性能·····	(302)
三、圆筒型磁流体推进器的运行性能·····	(307)

四、船舶磁流体推进性能与参数的关系·····	(312)
五、交流超导磁流体推进器的模拟试验·····	(316)
第十章 船舶磁流体推进的前景展望·····	(321)
一、推进方式·····	(321)
二、推进性能·····	(322)
三、实用化中的几个问题·····	(323)
四、前景展望·····	(325)
参考文献·····	(327)

第一章 绪论

在核动力、化工、冶金和铸造等工业部门中，电磁泵广泛地用于输送导电流体。如果流体是液态金属，则电磁泵被称为液态金属电磁泵；如果流体是海水，则电磁泵被称为海水电磁泵。海水电磁泵是使通电海水在磁场中受到电磁力而运动的装置。它有两个用途：一是利用电磁力推动海水，即输送海水；另一是利用电磁力使海水运动而产生推力来推进船舶、鱼雷等水中运动的物体，即海水磁流体推进，简称磁流体推进。用于推进海水的电磁泵也就被称为海水磁流体推进器，简称磁流体推进器。要使磁流体推进器产生很大的电磁力、推力和效率，需要建立强磁场，因此一般采用超导磁体。为了强调超导磁体的作用，有时把采用超导磁体的磁流体推进器称为超导磁流体推进器或超导电磁推进器，其磁流体推进称为超导磁流体推进或超导电磁推进，但一般分别简称为磁流体(MHD)推进器和磁流体(MHD)推进。

一、问题的提出

磁流体推进，尤其是采用超导磁体的磁流体推进的设想一经提出，即引起了人们的极大关注。为什么会这样呢？可以结合船舶推进的发展来回答这个问题。

船舶推进一般具有人力、风力、机械力、电力等四种推进方式。

（一）人力推进

在远古时期，人们就利用自身的力量即人力推进船舶运动，其推进方法有两种：一种是拉纤，另一种是划船。

利用拉纤推进船舶运动的方法是，将纤的一端固定在船上，另一端由人拉住，人用力拉纤使船前进。

利用划船推进船舶运动的方法是，人利用图 1-1 所示的桨、橹等推进器具拨水，即划船使船前进，在水浅处，人还可用篙插入水底或抵住水中的不动物体，撑船使船前进。

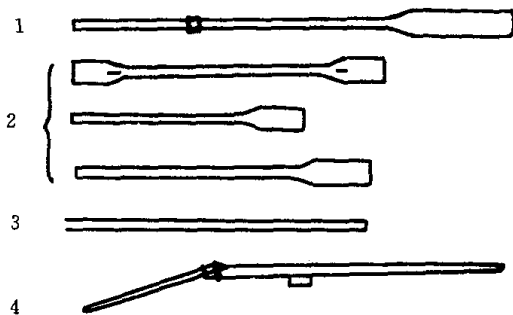


图 1-1 人力推进器具

1—桨；2—棹；3—篙；4—橹

（二）风力推进

人们很早就利用风力推进船舶运动。风力推进是通过固定在

船上的帆来实现的。当风吹向帆时，帆将风力传递给船，迫使船顺风而行，如图 1-2 所示。为了使船高速航行，就需要用人力或辅助机械不断调节帆的位置，使其接受最大的风力。

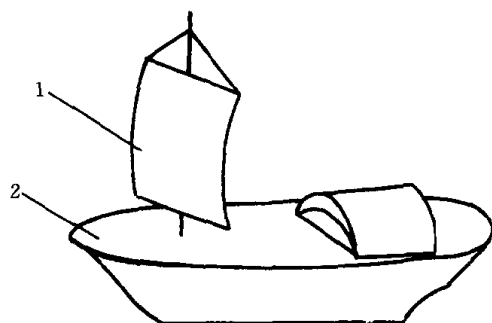


图 1-2 风力推进

1—帆；2—船

（三）机械力推进

1765 年瓦特发明蒸汽机，引起了世界工业革命，并导致船舶推进方式的变革。1807 年开始用以蒸汽机为动力的机械（原动机）产生机械力驱动推进器来推进船舶运动，从而开创了利用机械力推进船舶运动的新纪元。图 1-3 是机械力推进船舶运动的示意图。

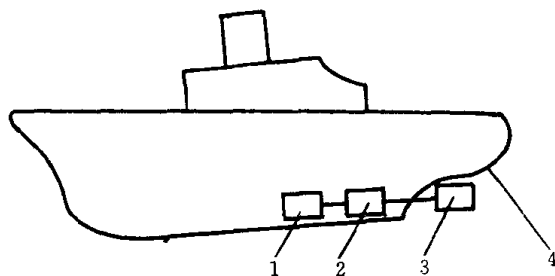


图 1-3 机械力推进

1—原动机；2—传动机构；3—推进器；4—船体