



国际电气工程先进技术译丛

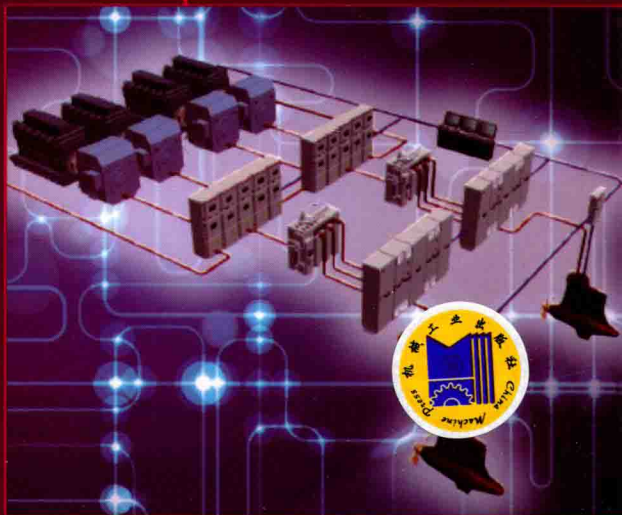
CRC Press  
Taylor & Francis Group

# 船舶电力推进、 电力电子和海洋能源

**Shipboard Propulsion, Power  
Electronics, and Ocean Energy**

[美] 姆昆德 R. 帕特尔 (Mukund R. Patel) 著

朱景伟 赵红 向川 译



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

# 船舶电力推进、电力电子 和海洋能源

Shipboard Propulsion, Power Electronics, and Ocean Energy

[美] 姆昆德 R. 帕特尔 (Mukund R. Patel) 著  
朱景伟 赵红 向川 译



机械工业出版社

Shipboard Propulsion, Power Electronics, and Ocean Energy, by Mukund R. Patel, 978-1-4398-8850-6.

© 2012 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All Rights Reserved. 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

本书中文简体翻译版授权机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2013-5759 号

### 图书在版编目 (CIP) 数据

船舶电力推进、电力电子和海洋能源/(美)帕特尔 (Patel, M. R.) 著; 朱景伟, 赵红, 向川译. —北京: 机械工业出版社, 2015. 6

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Shipboard Propulsion, Power Electronics, and Ocean Energy

ISBN 978-7-111-50841-0

I. ①船… II. ①帕… ②朱… ③赵… ④向… III. ①船舶推进-电力系统  
②船舶-电力系统-研究 ③海洋动力资源-应用-船舶 IV. ①U664.14 ②U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 154655 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 付承桂 责任编辑: 付承桂 任 鑫

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈 越

封面设计: 马精明 责任印制: 乔 宇

保定市 中画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20.5 印张 · 422 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-50841-0

定价: 88.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

本书以作者在通用电气公司、洛克希德·马丁公司和西屋公司 30 年的工作经验以及在美国纽约商船学院 15 年的教学经验为基础编写而成。是作者在 2011 年由 CRC 出版社出版的《船舶电力系统》的姊妹版。这是有关船舶电力推进和电力电子系统的首次综合,除此之外,海洋工程师所关注的海洋可再生能源技术及系统集成技术也在本书中进行讨论。

本书共分四篇,包含 16 章内容。第一篇为船舶电力推进和海洋能源发电技术所需的电力电子及电力传动等方面的基础知识。第二篇详细介绍船舶电力推进系统和各种推进电动机,包括美国为未来舰船研制的高功率密度永磁和超导电动机。第三篇介绍近几年新兴的海洋波浪能源、洋流能源和海上风电等海洋能源发电技术。第四篇介绍大型电气或机械系统集成所需的能量储存和系统可靠性方面的知识。本书的第一篇包含大量的例题以帮助读者理解基本概念,且在每章后面都附有思考题,供读者回顾相关主题或进行讨论。

本书适合船舶与海洋工程、船舶电子电气工程及其相关专业的高年级本科生和研究生的学习,也可供从事各类船舶建造的专业工程师、可再生海洋能源发电技术研究人员、船舶使用者、船舶监造师、船舶及海洋工程设备制造商以及从事相关专业教学与研究的高校及科研机构的学者们使用。

# 译者序

电力推进系统具有设备布置灵活、操纵性能好、维护保养少、振动与噪声低、能源使用效率高、环境污染小等优点，因此近年来在各类船舶上得到了广泛的应用。海洋是真正的取之不尽、用之不竭的能量源，世界各国都在致力研究如何利用海洋能源进行发电。然而，到目前为止国内还没有一本完整的全面介绍船舶电力推进和海洋能源相关技术的书籍，本书的出版可很好地填补这一空缺。

《船舶电力推进、电力电子和海洋能源》是一本国外优秀的学术专著，是作者在通用电气公司、洛克希德·马丁公司和西屋公司30年的工作经验以及在美国纽约商船学院15年的教学经验的结晶。本书内容全面丰富，不仅涵盖了电力电子器件、各种电力电子变换器、交流变频调速、电能质量以及电力变换器的冷却技术等基础理论，还包括船舶电力推进系统、燃料电池、海洋波浪发电、洋流发电、海上风电等新兴技术；特别是在提倡智能船舶、绿色海洋的今天，书中介绍的海军舰船上应用的超导电机及超导储能技术、混合推进技术、海洋能发电及大功率储能技术等，对于当今船舶电力推进系统的设计和海洋能源的开发都具有很好的学习借鉴意义。

本书翻译工作由大连海事大学朱景伟教授、赵红教授和向川博士合作完成。其中，向川博士翻译了第2~6章和第15、16章；赵红教授翻译了第7~14章；朱景伟教授负责其余章节的翻译及全书的统稿工作。

特别感谢机械工业出版社，他们慧眼识珠发现了本书的价值，引进了版权，使国内的读者得以有机会了解国外在该领域的先进理念和技术。也十分感谢出版社对我们的信任，选择我们的团队来承担翻译工作，并给予了充分的理解、宽容和支持，使我们在宽松自由的学术氛围中完成了翻译工作。

本书适合船舶与海洋工程、船舶电子电气工程及其相关专业的高年级本科生和研究生，船舶与海洋电气工程领域的研发人员以及工程师，船舶和航运管理人员，船舶监造和检验人员，船舶电气和机械设备制造商，海洋工程的从业人员等阅读参考。本书为船舶电力推进系统和海洋能源利用系统的设计、研发和制造提供了理论指导和技术依据，希望本书的翻译出版能为国内船舶与海洋工程领域的研究与从业人员提供学术参考和技术借鉴，并为促进我国在该领域的技术进步和发展略尽绵薄之力。

由于本书的内容丰富，不仅涉及电力电子、电机及电力传动、船舶电力推进、海洋能源发电及储能等电气工程的领域，还包括机械学、热力学、电化学、系统可靠性以及国际相关规范等诸多学科，给本书的翻译工作带来许多困难和挑战。加之

#### IV 船舶电力推进、电力电子和海洋能源

译者学识水平有限，翻译时间又较为仓促，书中的疏漏和错误在所难免，恳请广大读者批评指正，并提出宝贵意见。

译 者

2015年8月于大连海事大学

# 原 书 前 言

海洋工业对于具有更快速度、更低寿命周期成本、更低环境影响以及更高的可操作性、可靠性和安全性的大型货船和邮轮的需求十分迫切。目前，常规船舶在大西洋间的运货时长为2~3周。用快速货船运送同一批货物仅需一周的时间，且所需运费仅为空运的1/5。此外，在拥堵的陆地和空中交通路线上运营的运输工具排放出大量污染物，相比之下，海洋运输因远离人群而显得更加优越。在如今建造的大型邮轮中，自由级国际皇家加勒比邮轮长339m、宽38.6m，可乘载4375名乘客和1365名船员，其装备的柴油发电机的装机容量与陆地上的100MW级小型发电厂相当。

没有任何一项科技能像电力电子技术一样对船舶或陆地上的电力工业带来如此巨大的改变，且保持了推动其未来发展和革新的潜力。自20世纪90年代以来，电力电子设备的价格已下降至原来的1/10，促使其在电力行业中的应用飞速地增长。如今大多数邮轮和破冰船都采用了使用大量电力电子器件的电力推进系统。使用电力电子器件的电力推进技术具有众多优点，因此世界各国海军都将其作为下一代新型舰船的动力推进装置。

全世界各造船厂对所造船舶都提出了降低噪声和振动、增大可用空间的要求。这样对空间需求很高的海军军舰便可携带更大的武器，而邮轮也可乘载更多的游客。集成的电力系统可以使军舰进行重新构造，从而提高其生存能力。美国海军研究部门已为发展具有集成电力系统的电力推进装置提供了研究经费。这项研究由电动船舶研发联盟承担，该联盟成员包括佛罗里达州立大学、麻省理工学院、密西西比州立大学、普渡大学、美国海军学院、南卡罗来纳州大学和德克萨斯奥斯汀大学。

因此，自2000年以来，舰船电力系统进入了快速发展的新时期，而且在未来十年发展速度将会更快。如今，不论是商业性质的还是军工性质的造船厂，以及与其息息相关的各行业，都积极地参与先进的船舶电力推进和电力电子系统的研发之中，本书将花大量的篇幅对这两部分内容进行介绍。

本书还将讨论为适应推进器吊舱而研发的新型高功率密度永磁电动机和超导电动机，并探讨最新研发的高温超导材料在舰船消磁和为军舰提供脉冲功率所需的能量储存技术等领域的应用前景。

现代商用和军用造船厂都在寻求电力和电力电子工程师来满足他们对于快速、高效、可重构、经济性较高的船舶需求的快速增长，以增强他们在快速增长的国际贸易以及国防业务中的竞争力。目前为止，仍无单一专著同时涵盖了船舶的电力和

## VI 船舶电力推进、电力电子和海洋能源

推进系统这两方面内容。长久以来，专业人员只能依靠少量的会议论文资料和出版书籍，但这些资料对于该庞大的学科而言，仅是沧海一粟而已。

本书是 CRC 出版社于 2011 年出版的，由同一作者撰写的《船舶电力系统》一书的姊妹版。本书首次全面、系统地包含船舶电力推进和电力电子系统两方面内容。因提取海洋能的电力系统与已经广泛用于船舶电力推进的变频电动机拖动系统正好相反，因此本书还涵盖了可再生海洋能源技术。

希望本书可以作为全世界各海事类院校或海军类院校学生，以及业内专业人士的补充文献及参考书籍。

**Mukund R. Patel**

**Kings Point, New York**



# 致 谢

这是一本关于船舶电力推进、电力电子和海洋可再生能源获取等技术的专业书籍。如果没有各方面的协助，本书是无法完成的。我非常幸运地得到了该领域中诸多组织和个人的大力支持。他们不仅鼓励我按时完成本书，并在写作过程中提出了许多宝贵建议。

在此，我衷心地感谢美国商船学院的研究生项目负责人 Jose Femenia 教授、工程系 David Palmer 主任以及学术委员会主任、学术泰斗 Shashi Kumar 博士等对我从事科研、发表论文并促使我完成本书写作的支持。学院的很多海军学员、高年级本科生和研究生运用他们的专业经验向我指出了问题并进行了讨论，使我受益颇丰。

一些来自全球各地的造船厂和机构提供了关于船舶电力技术的最新报告和数据。他们分别是 ABB 船用公司 (ABB Marine)、劳斯莱斯船用公司 (Rolls Royce Marine)、科孚德股份有限公司 (Converteam Incorporated) 和美国海军研究办公室 (the Office of Naval Research)。这些机构的专家们十分乐意为我提供了所需的所有帮助。劳斯莱斯公司 (Rolls-Royce Corporation) 的电力推进与电力系统工程的首席技术专家 Kaushik Rajashekara 博士也提供了宝贵的帮助。此外，美国商船学院的一些在校研究生为本书提供了很多数据，让我获益匪浅。他们是 David Condron、Ted Diehl、Chad Fuhrmann、Bill Frost、James Hogan、Derrick Kirsch、Enrique Melendez、Dana Walker、Bill Veit、aul Osigian、Edward Woida 和 Edgar Torres 等。

即使在多次中断的情况下，CRC 出版社/泰勒 & 弗朗西斯集团的执行主编 Jonathan Plant 先生也耐心地鼓励我重新调整和完成本书。我还要感谢 Anthony J. Indelicato Jr. 少校、韦伯造船研究所的 John Hennings 教授以及英国纽卡斯尔大学的 Ehsan Mesbahi 教授，他们全面地审阅了本书并提供了宝贵的意见。

当然，还要感谢我的妻子 Sarla 和我的孙子 Rayna、Dhruv 和 Naiya，感谢他们一直陪伴我完成本书。

在此向所有为我提供支持 and 鼓励的人们表示衷心的感谢。

**Mukund R. Patel**

# 单位制和换算系数

本书采用了国际单位 (SI 或 MKS [米-千克-秒]) 和英制单位 (英尺-磅-秒)。下表列出了美国通用的国际单位和英制单位之间的换算关系。

分类	国际单位 =	转换系数 ×	英制单位
长度	米 (m)	0.3048	英尺 (ft)
	毫米 (mm)	25.4	英寸 (in)
	微米 ( $\mu\text{m}$ )	25.4	密耳 (mil)
	千米 (km)	1.6093	英里 (mile)
	千米 (km)	1.852	海里 (nmile)
面积	平方米 ( $\text{m}^2$ )	0.0929	平方英尺 ( $\text{ft}^2$ )
	平方毫米 ( $\text{mm}^2$ )	506.7	圆密耳 (cmil)
体积	升 [L ( $\text{dm}^3$ )]	28.3168	立方英尺 ( $\text{ft}^3$ )
	升 (L)	0.01639	立方英寸 ( $\text{in}^3$ )
	立方厘米 ( $\text{cm}^3$ )	16.3871	立方英寸 ( $\text{in}^3$ )
	立方米/秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.02831	立方英尺/小时 ( $\text{ft}^3/\text{h}$ )
	升 (L)	3.7853	加仑 (美) [USgal]
	升/秒 (L/s)	0.06309	加仑/分钟 (USgal/min)
质量	千克 (kg)	0.45359	磅 (lb)
	千克 (kg)	14.5939	斯勒格 (slug)
密度	千克/立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	16.020	磅/立方英尺 ( $\text{lb}/\text{ft}^3$ )
	千克/立方厘米 ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )	0.02768	磅/立方英寸 ( $\text{lb}/\text{in}^3$ )
力	牛顿 (N)	4.4482	磅力 (lbf)
压强	千帕 (kPa)	6.8948	磅/平方英寸 ( $\text{lb}/\text{in}^2$ , psi)
	千帕 (kPa)	100.0	巴 (bar)
	千帕 (kPa)	101.325	标准大气压 (760 托) [std atm(760Torr)]
	千帕 (kPa)	0.13284	20°C时的1mm汞柱 (1mm Hg at 20°C)
力矩	牛顿·米 (N·m)	1.3558	磅力·英尺 (lb·ft)
功率	瓦特 (W)	1.3558	英尺磅力/秒 ( $\text{ft}\cdot\text{lbf}/\text{s}$ )
	瓦特 (W)	745.7	马力 (hp)

(续)

分类	国际单位 =	转换系数 ×	英制单位
能量	焦耳 (J)	1.3558	英尺磅力 (ft · lbf)
	千焦耳 (kJ)	1.0551	国际 Btu
	千瓦时 (kW · h)	3412	国际 Btu
	兆焦耳 (MJ)	2.6845	马力 · 时 (hp · h)
	兆焦耳 (MJ)	105.506	撒姆 (th)
温度	摄氏度 (°C)	(°F - 32) × 5/9	华氏度 (°F)
	开尔文 (K)	(°F + 459.67) × 5/9	兰氏温度 (R)
热量	瓦 (W)	0.2931	Btu (Int.)/h
	千瓦 (kW)	3.517	冷冻吨
	瓦/平方米 (W/m <sup>2</sup> )	3.1546	英制热量单位 Btu/(ft <sup>2</sup> · h)
	瓦/平方米 · 摄氏度 [W/(m <sup>2</sup> · °C)]	5.6783	英制热量单位 Btu/(ft <sup>2</sup> · h · °F)
	兆焦/立方米 · 摄氏度 [MJ/(m <sup>3</sup> · °C)]	0.0671	英制热量单位 Btu/(ft <sup>3</sup> · °F)
	瓦/米 · 摄氏度 [W/(m · °C)]	0.1442	英制热量单位 Btu inch/(ft <sup>2</sup> · h · °F)
	瓦/米 · 摄氏度 [W/(m · °C)]	1.7304	英制热量单位 Btu ft/(ft <sup>2</sup> · h · °F)
	焦/千克 (J/kg)	2.326	英制热量单位 Btu/lb
	兆焦/立方米 (MJ/m <sup>3</sup> )	0.0373	英制热量单位 Btu/ft <sup>3</sup>
焦/立方米 · 摄氏度 [J/(m <sup>3</sup> · °C)]	4.1868	英制热量单位 Btu/(lb · °F)	
速度	米/秒 (m/s)	0.3048	英尺/秒 (ft/s)
	米/秒 (m/s)	0.44704	英里/小时 (mile/h)
	米/秒 (m/s)	0.51446	节 (knot)
磁场	韦伯 (Weber)	10 <sup>-8</sup>	高斯 (line)
	韦伯/平方米 (Wb/m <sup>2</sup> )	0.0155	千高斯/平方英寸 (kiloline/in <sup>2</sup> )

## 单位前缀

μ	微	10 <sup>-6</sup>	m	毫	10 <sup>-3</sup>
k	千	10 <sup>3</sup>	M	兆	10 <sup>6</sup>
G	吉 (千兆)	10 <sup>9</sup>	T	太 (兆兆)	10 <sup>12</sup>

## 其他换算

1 nmile = 1.15081 mile

1 bar = 14.50 lbf = 100 kPa = 29.53 in 的汞柱 = 10.20 m 水柱 = 33.46 ft 水柱

1 cal (CGS 单位) = 4.1868 J

1 kg cal (SI 单位) = 4.1868 kJ

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lb/s}$$

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 10000 \text{Gs}$$

$$\text{绝对零度} = -273.16^\circ\text{C} = -459.67^\circ\text{F}$$

$$\text{重力加速度} = 9.8067 \text{m/s}^2 \quad (32.1735 \text{ft/s}^2)$$

$$\text{真空磁导率 } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$$

$$\text{真空介电常数 } \varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$$

### 燃料的能量含量

$$1 \text{ 根火柴棍} = 1 \text{Btu} \quad (1 \text{lb 水升温 } 1^\circ\text{F 的热量})$$

$$1 \text{ 撒姆} = 100000 \text{Btu} \quad (105.5 \text{MJ} = 29.3 \text{kW} \cdot \text{h})$$

$$1 \text{ Quad} = 10^{15} \text{Btu}$$

$$1 \text{ ft}^3 \text{ 的天然气} = 1000 \text{Btu} \quad (1055 \text{kJ})$$

$$1 \text{ gal 液化石油气} = 95000 \text{Btu}$$

$$1 \text{ gal 汽油} = 125000 \text{Btu}$$

$$1 \text{ gal 2 号油} = 140000 \text{Btu}$$

$$1 \text{ USgal 油} = 42 \text{kW} \cdot \text{h}$$

$$1 \text{ 桶} = 42 \text{USgal}$$

$$1 \text{ 桶成品油} = 6 \times 10^6 \text{Btu}$$

$$1 \text{ 桶原油} = 5.1 \times 10^6 \text{Btu}$$

$$1 \text{ t 煤} = 25 \times 10^6 \text{Btu}$$

$$1 \text{ 捆木材} = 30 \times 10^6 \text{Btu}$$

$$100 \text{ 万 Btu} = 90 \text{lb 煤, 或 } 8 \text{gal 汽油, 再或 } 11 \text{ 加仑丙烷}$$

$$1 \text{ Quad} (10^{15} \text{Btu}) = 4500 \text{ 万 t 煤, } 10^{12} \text{ft}^3 \text{ 的天然气, 或 } 1.7 \text{ 亿桶石油}$$

$$1 \text{ lb 氢气} = 52000 \text{Btu} = 15.24 \text{kW} \cdot \text{h 一次能源}$$

2010 年世界每天初级能源总需求量约为  $1 \text{ Quad} (10^{15} \text{Btu}) = 110 \times 10^{16} \text{J} = 305 \times 10^{12} \text{kW} \cdot \text{h}$ 。

在发电厂中, 输入  $10000 \text{Btu}$  的能源能够产生  $1 \text{kW} \cdot \text{h}$  供用户使用的电能。

上述信息并不一定代表美国商船学院或美国交通部的观点。

虽然已经非常认真仔细地编写本书, 但作者和出版商声明对使用本书造成的任何后果不承担任何责任。本书给出的文字、图表、技术数据以及商品名仅作示意说明用途, 某些内容可能涉及专利内容。对于船用电力和推进系统的设计和分析, 设备制造商需寻求现行的准确数据。

# 目 录

译者序

原书前言

致谢

单位制和换算系数

## 第一篇 电力电子技术和电动机驱动装置

第1章 电力电子器件	3
1.1 二极管	7
1.2 晶闸管	11
1.3 功率晶体管	13
1.4 其他新型电力电子器件	16
1.5 $di/dt$ 和 $dv/dt$ 缓冲电路	17
1.6 开关功率损耗	19
1.7 器件的应用及选择	21
1.8 器件的冷却和重新定额	23
习题	24
问答题	25
延伸阅读	25
第2章 DC-DC 变换器	26
2.1 降压变换器	26
2.2 升压变换器	32
2.3 升降压变换器	33
2.4 反激式变换器(降压或升压)	34
2.5 变压器耦合型正向变换器	35
2.6 推挽式变换器	36
2.7 电感耦合型降压变换器	37
2.8 占空比控制电路	37

2.9 负载功率变换器	38
2.10 电源	40
习题	41
问答题	42
延伸阅读	42
<b>第3章 AC-DC-AC 变换器</b>	<b>43</b>
3.1 AC-DC 整流器	43
3.1.1 单相全波整流器	43
3.1.2 直流纹波和纹波系数	47
3.1.3 交流谐波和有效值	47
3.1.4 谐波畸变率	48
3.1.5 三相六脉冲整流器	50
3.2 AC-AC 电压变换器	53
3.2.1 单相电压变换器	53
3.2.2 三相电压变换器	55
3.3 DC-AC 逆变器	56
3.3.1 单相电压源型逆变器	56
3.3.2 单相 PWM 逆变器	57
3.3.3 三相六脉冲电压源型逆变器	62
3.3.4 三相六脉冲电流源型逆变器	63
3.4 变频器	65
3.4.1 交-直-交变频器	66
3.4.2 单相交-交变频器	67
3.4.3 三相交-交变频器	68
3.5 晶闸管换流电路	69
3.5.1 电网换流	69
3.5.2 电容强迫换流	70
3.5.3 谐振换流	70
3.5.4 负载换流	71
3.5.5 零电流和零电压开关技术	71
3.6 电力电子电路的其他应用	71
3.6.1 不间断电源	71
3.6.2 静态无功 (KVAR) 控制	72
3.6.3 静态开关和继电器	73
3.7 变换器设计常用术语	73

3.8 变换器设计中需要注意的问题	74
习题	76
问答题	78
延伸阅读	78
<b>第4章 变频器</b>	<b>79</b>
4.1 泵的工作特性	80
4.2 采用变频器的泵节能特性	81
4.3 船用变频器	85
4.4 中型电动机用变频器	85
4.5 恒压频比调速	88
4.6 换流及其控制方法	93
4.7 开环控制系统	94
4.8 矢量控制变频器	95
4.9 十二脉冲变频器推进系统	96
4.10 变频器专用电缆	98
4.11 直流电动机变压调速器	100
4.12 地铁列车中的调速装置	102
4.13 大功率电动机变频起动器	102
4.14 各种变换器拓扑结构比较	103
4.15 变频器设计中的注意事项	104
习题	106
问答题	106
延伸阅读	107
<b>第5章 电能质量</b>	<b>108</b>
5.1 有关电能质量术语	108
5.2 电气母线模型	110
5.3 谐波	112
5.3.1 谐波功率	113
5.3.2 谐波总畸变率和功率因数	115
5.3.3 K 定级变压器	118
5.3.4 电动机转矩脉动	119
5.3.5 船舶上谐波敏感型负载	122
5.4 电能质量研究	123
5.5 谐波抑制方法	125

5.5.1 谐波滤波器 .....	125
5.5.2 无谐波纯净电源 .....	129
5.5.3 D 联结变压器 .....	129
5.5.4 电缆屏蔽和绞合 .....	131
5.5.5 隔离变压器 .....	132
5.6 IEEE 519 标准 .....	132
5.7 国际标准 .....	133
习题 .....	134
问答题 .....	136
延伸阅读 .....	136
<b>第 6 章 电力变换器的冷却</b> .....	<b>137</b>
6.1 传导换热 .....	137
6.2 多重导热路径 .....	138
6.3 对流和辐射 .....	141
6.4 热瞬态方程 .....	142
6.5 水冷却 .....	143
6.5.1 冷却管的设计 .....	144
6.5.2 水压降 .....	145
6.5.3 冷却水品质 .....	149
习题 .....	150
问答题 .....	150
延伸阅读 .....	151

## 第二篇 电力推进技术

<b>第 7 章 电力推进系统</b> .....	<b>153</b>
7.1 电力推进的现状 .....	154
7.1.1 商业货船 .....	154
7.1.2 邮轮 .....	154
7.1.3 美国海军舰船 .....	154
7.1.4 其他国家的海军舰船 .....	156
7.2 综合电力推进 .....	159
7.3 Z 形方位驱动 .....	160
7.4 方位吊舱式驱动 .....	160
7.5 电力推进的优越性 .....	164



7.6 电力推进结构 .....	167
7.6.1 交流电与直流电的对比 .....	169
7.6.2 电压等级的选择 .....	169
7.6.3 推进电动机 .....	170
7.7 电动机驱动与转速控制 .....	170
7.8 用于变频调速装置 VFD 的电力电子变换器 .....	171
7.8.1 用于豪华邮轮的同步变换器 .....	171
7.8.2 配置同步电动机的负载换相式逆变器 LCI .....	171
7.8.3 用于破冰船的周波变换器 .....	172
7.8.4 用于小型船舶的直流推进方式 .....	174
7.9 推进功率需求 .....	176
7.9.1 摩擦阻力 .....	176
7.9.2 空气动力阻力 .....	176
7.9.3 兴波阻力(剩余阻力) .....	177
7.9.4 总牵引阻力 .....	177
问答题 .....	179
延伸阅读 .....	179
<b>第 8 章 推进电动机</b> .....	<b>181</b>
8.1 同步电动机 .....	182
8.2 异步电动机 .....	182
8.3 永磁电动机 .....	184
8.4 超导同步电动机 .....	186
8.5 超导单极电动机 .....	190
8.6 其他电动机类型 .....	191
8.7 其他组件 .....	193
8.8 有关推进电动机的注释 .....	193
问答题 .....	194
延伸阅读 .....	194
<b>第 9 章 海军舰船中的超导体</b> .....	<b>196</b>
9.1 超导电性 .....	196
9.2 消磁线圈 .....	197
9.3 同步电机 .....	200
9.4 超导储能 .....	201
9.5 工业应用 .....	204