

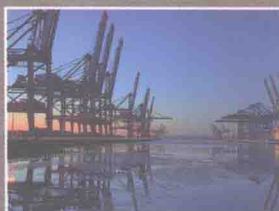
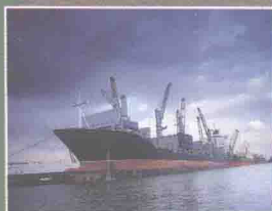
船舶电气系列教材

船舶电站 及其自动化

单海校◎主 编

张 华◎副主编

CHUANBO DIANZHAN
JI QI ZIDONGHUA



海洋出版社

船舶电站及其自动化

单海校 主编

张 华 副主编

海军出版社

2016 年 · 北京

内 容 简 介

主要内容：本书主要介绍船舶电力系统的基本概念、船舶电网、船舶配电装置、电气测量仪表、船舶电站自动控制原理、船舶电力系统保护及船用保护电器。总结归纳船舶电力系统的设计内容、要求和设计步骤，电缆的选择、电力负荷和电网电压降的计算方法，船舶电站容量及负荷计算的方法，并车条件和操作、无功功率和有功功率合理分配，并举例分析。

本书特色：本书包含船舶电站及其自动化的基本理论和实际应用知识，力求深入浅出，具有一定的理论系统性和可操作性。每章配有本章导读、本章小结及思考题，以加深读者对重要内容的理解。

适用范围：本书可作为高等院校船舶电子电气工程、船舶与海洋工程、轮机工程等相关专业的教材或参考书，也可供船厂、从事船舶电力系统设计的工程技术人员以及从事船舶运输的船员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶电站及其自动化/单海校主编. —北京：海洋出版社，2016.9

ISBN 978-7-5027-9560-3

I. ①船… II. ①单… III. ①船用电站 IV. ①U665.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 194548 号

责任编辑：郑跟娣

责任校对：肖新民

责任印制：赵麟苏

出 版：海洋出版社

地 址：北京市海淀区大慧寺路8号

邮 编：100081

开 本：787mm×1092mm 1/16

字 数：390千字

发行部：010-62132549 010-68038093

总编室：010-62114335

网 址：www.oceanpress.com.cn

承 印：北京朝阳印刷厂有限责任公司

版 次：2016年9月第1版

印 次：2016年9月第1次印刷

印 张：17.5

定 价：49.00元

本书如有印、装质量问题可与本社发行部联系调换

本社教材出版中心诚征教材选题及优秀作者，邮件发至 hyjccb@sina.com

浙江海洋大学特色教材编委会

主 任：吴常文

副主任：虞聪达

编 委：（按姓氏笔画排序）

王 颖	方志华	邓一兵
邓尚贵	全永波	李 强
吴伟志	宋秋前	竺柏康
俞存根	唐志波	黄永良
黄品全	韩伟表	程继红
楼然苗	蔡慧萍	

前 言

船舶电站是船舶及其电力系统的核心，船舶电站自动化是船舶机舱自动化的重要组成部分。随着船舶工业的飞速发展，船舶大型化和自动化以及电子信息技术和自动控制技术不断发展，特别是近几年来计算机技术、控制技术、通信技术、网络技术等技术的发展，船舶上已出现集监、控、管于一体的网络型船舶电站综合自动化系统。船舶电站自动化系统正向着监控的综合化和网络化方向发展。

本书是按照高等院校船舶电子电气工程、船舶与海洋工程、轮机工程三个专业的教学大纲编写的，是浙江海洋大学教材出版基金资助出版项目。

全书共分9章，系统地介绍了船舶电力系统的基本概念、船舶电网、船舶配电装置、电气测量仪表、船舶电站自动控制原理、船舶电力系统保护及船用保护电器。总结归纳了船舶电力系统的设计内容、要求和设计步骤，电缆的选择、电力负荷和电网电压降的计算方法，船舶电站容量及负荷计算的方法，并车条件和操作、无功功率和有功功率合理分配，并举例分析。

本书包含船舶电站及自动化的基本理论和实际应用知识，力求深入浅出、具有一定的理论系统性和可操作性。每章章首都有本章教学目标及导读，结尾均有本章小结及思考题，以加深读者对重要内容的理解。本书可作为高等院校船舶电子电气工程、船舶与海洋工程、轮机工程等相关专业的教材或参考书，也可供船厂、从事船舶电力系统设计的工程技术人员以及从事船舶运输的船员参考。

本书由浙江海洋大学单海校主编，张华副主编。在本书编写过程中，特别感谢华中科技大学王焕文恩师的支持与帮助，提出了许多宝贵意见，使本书得以顺利完成，对此深表谢意。谢应孝老师参与了本书绘图工作，同时也借鉴、参考了该领域相关书籍和文献资料，听取和采纳了一些同行的宝贵意见和建议，在此一并表示感谢。最后，感谢海洋出版社的大力支持。

限于编者的水平及经验，书中难免存在不妥及错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016年4月20日

目 录

第1章 船舶电力系统概述	(1)
1.1 船舶电力系统的组成	(2)
1.2 船舶电力系统的基本参数与选择	(3)
1.2.1 电流种类	(3)
1.2.2 额定电压	(4)
1.2.3 额定频率	(5)
1.2.4 线制	(6)
1.3 船舶电力系统的工作特点	(9)
1.4 船舶电力系统的工作条件及环境条件	(10)
1.5 船舶电力系统的类型	(12)
1.6 船舶电力系统的发展	(16)
1.7 船舶电力系统设计内容、要求及步骤	(17)
1.7.1 设计内容	(17)
1.7.2 设计要求	(18)
1.7.3 设计步骤	(18)
1.7.4 设计规范与标准	(19)
本章小结	(20)
第2章 船舶电网	(22)
2.1 船舶电网概述	(23)
2.1.1 船舶供电网络的分类	(23)
2.1.2 电力负荷的分级	(25)
2.1.3 船舶电网配电类型	(26)
2.2 船舶电缆	(30)
2.2.1 电缆型号、导体和绝缘材料的选择	(31)
2.2.2 船用电缆连续工作制的电流定额	(32)
2.2.3 电流定额校正系数	(33)
2.2.4 电缆的负载电流计算	(36)

2.2.5 电缆截面积的确定	(37)
2.3 船舶电网电压降的计算	(38)
2.3.1 直流电网电压损失的计算	(39)
2.3.2 交流电网电压损失的计算	(40)
2.4 船舶电网设计	(43)
2.4.1 船舶电网设计的基本要求	(44)
2.4.2 船舶电网可靠性设计注意事项	(45)
2.4.3 电力系统图设计绘制要求	(47)
2.5 船舶电网失电后的处理	(48)
本章小结	(50)
第3章 船舶配电装置	(51)
3.1 概述	(52)
3.1.1 配电装置的功能	(52)
3.1.2 配电装置的类型	(52)
3.1.3 配电装置的技术要求	(53)
3.2 配电板	(55)
3.2.1 主配电板	(55)
3.2.2 其他配电板	(63)
3.2.3 分配电箱	(68)
3.3 船舶配电装置常用电器	(68)
3.3.1 电器选择的基本准则	(69)
3.3.2 船用空气断路器	(70)
3.3.3 船用其他开关	(77)
3.3.4 互感器	(78)
3.4 船用保护电器	(81)
3.4.1 逆功率继电器	(81)
3.4.2 负序继电器	(84)
3.4.3 熔断器	(86)
3.5 电气测量仪表	(87)
3.5.1 频率表	(88)
3.5.2 电压表及电流表	(89)
3.5.3 功率表	(90)

3.5.4 功率因数表	(92)
3.5.5 兆欧表与电网绝缘监测仪	(93)
本章小结	(96)
第4章 船舶电站容量及负荷计算	(99)
4.1 船舶电站	(100)
4.1.1 概述	(100)
4.1.2 船舶电站设计的基本要求	(100)
4.2 船舶电力负荷	(102)
4.2.1 船舶电力负荷分类	(102)
4.2.2 船舶电力负荷运行工况	(103)
4.3 确定船舶电站容量的目的和方法	(104)
4.3.1 确定船舶电站容量的目的	(104)
4.3.2 船舶电站负荷计算方法	(105)
4.3.3 三类负荷法	(106)
4.3.4 需要系数法	(112)
4.4 船舶电站发电机组功率和台数的确定	(116)
4.4.1 电站容量及数量确定原则	(116)
4.4.2 发电机组容量和台数的选择	(116)
4.5 船舶电源设备的选型	(118)
4.5.1 发电机的选型	(118)
4.5.2 原动机的选型	(119)
本章小结	(123)
第5章 船舶同步发电机的并车	(125)
5.1 同步发电机的并车条件	(126)
5.1.1 理想的并车条件	(126)
5.1.2 并联运行分析	(127)
5.1.3 并联运行对原动机的要求	(129)
5.2 手动准同步并车原理与操作方法	(131)
5.2.1 手动准同步并车方法	(131)
5.2.2 手动准同步并车操作	(134)
5.3 粗同步电抗器并车	(137)
5.3.1 粗同步电抗并车原理	(137)

5.3.2 粗同步电抗并车条件	(137)
5.3.3 半自动粗同步并车原理	(138)
5.4 自动准同步并车原理	(139)
5.4.1 自动准同步并车原理与基本功能	(139)
5.4.2 基本环节	(140)
本章小结	(146)
第6章 船舶发电机电压及无功功率的自动调整	(148)
6.1 概述	(149)
6.1.1 同步发电机电压变化的原因	(149)
6.1.2 电压偏差的危害	(150)
6.1.3 发电机电压调整的基本措施	(151)
6.1.4 自动电压调整装置的作用	(152)
6.1.5 自动电压调整装置的技术指标	(153)
6.1.6 自动电压调整装置的分类	(155)
6.2 相复励自励恒压装置	(157)
6.2.1 自励恒压发电机	(157)
6.2.2 不可控相复励自励恒压装置	(159)
6.2.3 可控相复励自励恒压装置	(175)
6.3 晶闸管励磁自动调整装置	(180)
6.3.1 晶闸管励磁自动调整装置基本形式	(180)
6.3.2 晶闸管励磁自动调整装置的强励措施	(183)
6.4 无刷同步发电机励磁调整装置	(184)
6.4.1 无刷励磁的基本原理	(184)
6.4.2 无刷励磁系统实例	(186)
6.5 并联运行发电机之间无功功率的分配	(188)
6.5.1 无功功率的分配与转移	(189)
6.5.2 均压线	(192)
6.5.3 无功功率自动分配装置	(194)
6.5.4 差动电流互感器	(194)
本章小结	(197)
第7章 船舶同步发电机频率及有功功率自动调整	(199)
7.1 概述	(200)

7.2 原动机调速器及其调速特性	(202)
7.3 频率的调整	(204)
7.4 并联运行发电机之间有功功率的转移与分配	(205)
7.4.1 并联运行发电机之间有功功率的转移	(205)
7.4.2 并联运行发电机之间有功功率的分配	(206)
7.5 自动调频调载装置	(210)
7.5.1 自动调频调载装置的基本功能	(210)
7.5.2 自动调频调载装置的构成和工作原理	(211)
本章小结	(217)
第8章 船舶电力系统保护	(218)
8.1 电力系统保护概述	(219)
8.1.1 现代船舶电力系统保护的特点	(219)
8.1.2 船舶电力系统的故障分析	(220)
8.1.3 船舶电力系统保护的任务和作用	(221)
8.1.4 对保护装置的基本要求	(221)
8.1.5 船舶电力系统的保护设计	(223)
8.2 船舶同步发电机的保护	(224)
8.2.1 船舶同步发电机的过载保护	(225)
8.2.2 船舶同步发电机的外部短路保护	(227)
8.2.3 船舶同步发电机的欠压保护	(228)
8.2.4 船舶同步发电机的逆功率保护	(229)
8.3 船舶电网的保护	(229)
8.3.1 过载保护	(229)
8.3.2 短路保护	(230)
8.3.3 船用变压器的保护	(232)
8.3.4 岸电相序和断相保护	(232)
8.3.5 单相接地及绝缘监视	(233)
8.4 船舶电力系统的其他保护措施	(235)
本章小结	(237)
第9章 船舶电站自动控制	(238)
9.1 概述	(239)
9.1.1 船舶电站自动化等级	(239)

9.1.2 船舶自动电站基本功能	(240)
9.1.3 船舶电站自动化的技术特征	(241)
9.2 船舶柴油机自动启停控制	(242)
9.2.1 船舶柴油机工作条件	(242)
9.2.2 船舶柴油发电机组自动启停控制的主要功能	(243)
9.2.3 船舶柴油应急发电机组自动启停程序控制实例	(246)
9.3 电站监控及故障处理	(250)
9.3.1 电力参数的监控	(250)
9.3.2 备用机组的自动投入	(251)
9.3.3 电网的故障处理	(252)
9.3.4 发电机组的故障处理	(252)
9.3.5 柴油机的故障处理	(253)
9.3.6 监控系统故障处理程序	(254)
9.4 无人值守船舶电站	(255)
9.4.1 船舶电站自动控制系统总体功能	(256)
9.4.2 船舶电站自动控制装置实例	(260)
本章小结	(265)
参考文献	(266)

第1章 船舶电力系统概述

教学目标

1. 了解船舶电力系统的组成和类型。
2. 了解船舶电力系统的基本参数。
3. 了解船舶电力系统的工作条件和环境条件。
4. 掌握船舶电力系统的设计内容、设计要求及设计步骤。

船舶电力系统发展的标志是自动化水平和集中控制程度。随着船舶吨位的增大和电气化程度的提高及科学技术的发展,船舶电力系统亦有显著的进步。船舶的电站容量逐年增大,电力系统的设备性能和供电指标有很大的提高。电力系统中广泛采用各种新技术,使系统实现集中控制和自动化。

本章概括介绍船舶电力系统,主要包括船舶电力系统的组成、类型、基本参数以及船舶电力系统的工作条件和环境条件。重点在于掌握船舶电力系统的设计内容、设计要求及设计步骤。建议学时为2~3学时。

1.1 船舶电力系统的组成

船舶电力系统主要是由电源、配电装置、电力网与用电设备（负载）四部分组成，其单线图如图 1-1 所示。

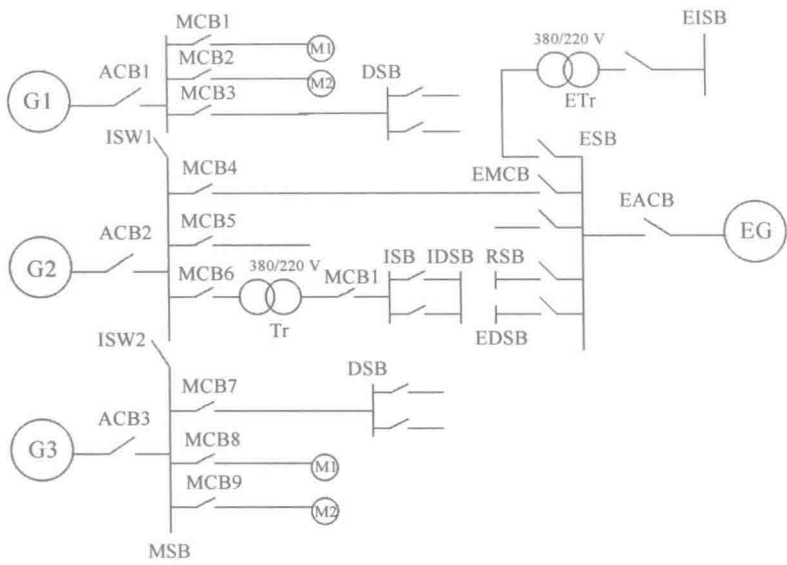


图 1-1 船舶电力系统示意图

G1、G2、G3：主发电机；EG：应急发电机；ACB：发电机主开关；EACB：应急发电机主开关；MSB：主配电板；ESB：应急配电板；MCB：主配电板开关；M：电动机；DSB：分配电板；RSB：无线电分配电板；EMCB：应急配电开关；ISW：主配隔离开关；ISB：照明配电板；EISB：应急照明配电板；IDSB：照明分配电板；EDSB：应急分配电板；Tr：照明变压器；ETr：应急照明变压器

1) 电源

电源是提供电能的装置。它是将机械能、化学能、核能等能源转变成电能的装置。船舶上通常采用的电源装置是发电机组或蓄电池组。发电机是由原动机带动的，原动机可分为蒸汽机、柴油机、汽轮机和燃汽轮机等。

2) 配电装置

配电装置是对电源、电网和用电设备进行保护、监视、测量、分配、转换和控制的装置。配电装置可分为主配电板、应急配电板、动力分配电板、照明分配电板

和蓄电池充放电板等。

3) 电网

电网是全船电缆和电线的总称,是联系发电机、主配电板、分配电板和用电设备间的中间环节,其作用是将电源的电能输送到全船所有的用电设备。电网分为主电网(动力电网、正常照明电网)、应急电网(应急配电板供电电网)、小应急电网(蓄电池应急供电的一部分电网)、弱电电网(导航通信、报警信号电网)。

4) 负载

负载是全船所有用电设备的总称。可分为甲板机械(如绞缆机、锚机等)、舱室机械(各类泵、空压机等)、船舶照明灯具(正常照明灯、应急照明灯)和通导设备(无线电、雷达、航行灯、信号灯、电子海图、风速风向仪等)。

1.2 船舶电力系统的基本参数与选择

船舶电力系统设计首先应确定电力系统的基本参数,它们涉及电气设备的生产和供应,决定船舶电力系统工作的可靠性和电气设备的重量、尺寸、价格等。正确选择船舶电力系统的基本参数,可以保证整个电力系统和电气装置的可靠性、稳定性和经济性。

船舶电力系统的基本参数有电流种类、额定电压、额定频率和线制。选择船舶电力系统的基本参数应遵循以下原则:①船舶电站基本参数原则上应与本国陆用电站参数一致;②保持船舶电站基本参数的统一。若船舶上采用两种不同的基本参数(专用的局部电网或变流设备的特殊供电环节不包括在内),会引起系统管理和电气设备供应上的混乱。次级电网可在基本参数的基础上扩展,尽可能靠近基本参数,以减少电源参数的种类;③电站基本参数应满足船舶机械电力拖动的需要,保证电动机和电器工作的可靠性。

1.2.1 电流种类

船舶电源有交流和直流两种电制。与直流电制相比,交流电制具有以下优点。

(1) 提高电气设备的工作可靠性。交流电站的电源装置采用船用交流同步发电机,配自励恒压装置,没有整流子,工作可靠。动力负荷选用三相交流异步电动机,无换向器和电刷,结构简单,工作可靠,维护量少,启动控制设备简单,比直流电

机工作可靠。采用交流电制时,可以将照明网络与电力网络用变压器隔离,没有电的直接联系,交流电力网络的绝缘基本不受绝缘电阻低的照明网络的影响,提高了电力网络的工作可靠性。

(2) 交流电制可以方便地取得各种不同用途的电压,配电方便。

(3) 减少了电气设备的体积和重量。交流发电机和电动机比起同样功率的直流发电机和电动机重量轻、体积小。由于交流电制的电压可以设计得比直流电制高,在相同功率的情况下,输电电缆的截面积较小,重量也就相应减小。

(4) 降低电气设备的制造成本。交流电机、电缆的尺寸和重量都比相同容量的直流电机、电缆的尺寸和重量要小,节省了大量的材料,大大降低了电气设备的制造成本。

(5) 便于维护、保养和管理。交流电动机无换向器和电刷,启动设备简单,因此便于维护、保养和管理。

早期的船舶多采用直流电制。交流电制从 20 世纪 30 年代开始在船舶上应用,后来逐步推广。由于交流电制具有显著的优越性,20 世纪 50 年代交流电制的更替形成了高潮。我国船舶大约在 20 世纪 60—70 年代完成了由直流电制向交流电制的过渡。近年建造的船舶除少数小型或特种工程船舶仍考虑直流电制外,其余船舶包括油轮、客轮、货轮、旅游船、工作船、调查船和军用舰艇等都采用交流电制。

1.2.2 额定电压

额定电压是船舶电力系统的重要参数之一。确定船舶电力系统及其负载的电压等级是电力系统设计的一项重要内容。船舶直流和交流配电系统的最高电压,我国船舶设计规范都做了相应规定。在选择船舶电站电压等级时,配电系统的最高电压不应超过船舶设计规范的有关规定。表 1-1 为《钢质海船入级与建造规范》(2014 年 7 月修订版,本书中所引用部分都为该版本)关于船舶配电系统最高电压的规定。

目前设计制造的船舶电力系统常用的电压等级是:50 Hz 电网为 380 V;60 Hz 电网为 440 V。我国船舶规范规定:一般交流电网采用 50 Hz,380 V;固定安装的电气设备采用 380 V 或 220 V;可携电气设备选用 24 V。

表 1-1 配电系统的最高电压

序号	配电系统	最高电压/V	
		直流	交流
1	固定安装、连接于固定布线、交流设备并符合《钢质海船入级与建造规范》交流高压电气装置特殊要求的电力设备	500	15 000
2	固定安装并连接于固定布线的电力设备、电炊设备和除室内取暖器以外的电热设备； 固定安装的电力设备和除室内取暖器以外的电热设备，由于使用上的原因需用软电缆连接者，例如可移动的起重机等； 以软电缆与插座连接，运行中不需手握持，并以截面积符合《钢质海船入级与建造规范》要求的连续接地导体可靠接地的可移动设备，例如电焊变压器等	500	1 000
3	居住舱室内的照明设备、取暖器； 向下列设备供电的插座：①具有双重绝缘的设备；②符合《钢质海船入级与建造规范》要求的连续接地导体接地的设备	250	250
4	人特别容易触电的场所，如特别潮湿、狭窄处所中的插座： (1) 用或不用隔离变压器供电； (2) 由只供一个用电设备的安全隔离变压器供电，这些插座系统的两根导线均应对地绝缘	50 250	50 250

特种船舶（包括电力推进或带有大功率电力传动装置的船舶）或船上的某些专用局部供电系统采用的电压原则上不做限制，但应参照规范的有关规定。

1.2.3 额定频率

船舶交流电力系统现行的额定频率有 50 Hz 和 60 Hz 两种。使用 60 Hz 电制具有较高的同步转速，50 Hz 电制具有较低的电磁损耗，但在实际应用中看不出它们有显著差别。因此，究竟应选取何种频率为船舶交流电力系统的标准频率，取决于各国所在地区电力工业的通用额定频率要求、技术经济发展程度以及相互间开展贸易交往的需要。在船舶电力系统设计时，系统的额定频率一般是不能任意选择的。

表 1-2 为世界部分国家船舶和陆用电力系统的额定频率情况。英、美等国采用 60 Hz 的频率。

表 1-2 世界部分国家船舶和陆用电力系统的额定频率 单位: Hz

国家	船舶电力系统频率	陆上电力系统频率
中国	50	50
美国	60	60
英国	60	60
日本	60	50 (东京电力公司及以北的东部地区各公司) 60 (中部电力公司及以西地区各公司)
德国	50 (民船), 60 (军船)	50

我国《钢质海船入级与建造规范》对船用电源的频率规定: 交流配电系统的标准频率为 50 Hz 或 60 Hz。新设计制造的船舶除出口船舶采用 60 Hz 的频率外, 国内船舶电源与陆用电源一律采用 50 Hz 为标准频率。无线电导航等弱电设备要求的特殊频率, 通常由变频器或变频机组提供。

1.2.4 线制

中国船级社《钢质海船入级与建造规范》和《钢质内河船舶入级与建造规范》中规定船舶配电系统可采用以下线制。

1) 直流

直流配电系统包括双线绝缘系统 [图 1-2 (a)]、负极接地的双线系统 [图 1-2 (b)]、利用船体作负极回路的单线系统 [图 1-2 (c)]。

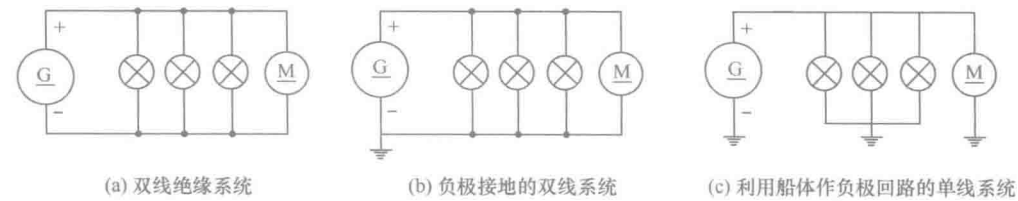


图 1-2 直流配电系统

2) 交流单相

交流单相配电系统包括双线绝缘系统、一线接地的双线系统、利用船体作回路的单线系统。