

船舶电力系统

● 燕居怀 谭银朝 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十三五”重点规划教材

船舶电力系统

燕居怀 谭银朝 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

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、船舶安全用电和安全管理、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、船舶综合电力推进技术等。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。

本书内容涵盖船舶电站方面的学历教育和船员培训考证,力求深入浅出,具有一定的理论系统性和可操作性。通过学习,为船舶电站设计、运行管理和维护维修打下基础。

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。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

船舶电力系统 / 燕居怀, 谭银朝编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.7 (2018.8 重印)
ISBN 978-7-5682-5899-9

I. ①船… II. ①燕… ②谭… III. ①船舶-电力系统 IV. ①U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 158693 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 9.5

字 数 / 223 千字

版 次 / 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 8 月第 2 次印刷

定 价 / 30.00 元

责任编辑 / 张鑫星

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

Preface

本书是作者近年来船舶电气设计与教学实践的总结，力求反映我国及世界船舶电力系统设计的最新技术和成果，是高职类船舶专业的教学用书，亦可以作为船舶电气工程的设计、制造、安装、修理、检验等科技人员专业参考用书。

本书共分九个项目，项目一是对船舶电力系统的总体概述，从中可以了解船舶电力系统的组成、相关参数及特点；项目二、项目三、项目四分别对船舶电力系统中的船舶电源、船舶配电装置、船舶电网做了介绍。项目五和项目六介绍了船舶电站容量的确定及负荷计算、船舶电网短路计算的基本方法，为船舶电站的设计提供重要参考；项目七着重讲解了船舶电力系统的保护，把常用保护电器的工作原理及其在船舶电力系统中的具体应用做了介绍。项目八主要介绍船舶电站自动化的实现。项目九详细介绍了现代船舶动力系统的重要方向——船舶综合电力推进技术，从中可以了解到将电力和推进两大系统从统筹全船能源的高度实现全面融合的新型船舶电力系统。

在编写过程中，哈尔滨工程大学兰海教授对书稿提出了很有价值的改进意见，在此深表感谢。本书在编写过程中，参考及引用了国内外关于船舶电站方面的论文，再次一并致以诚挚谢意。由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，请谅。

编者

目 录

Contents

► 项目一 船舶电力系统概述	1
任务 1.1 船舶电力系统的组成和类型	1
1.1.1 船舶电力系统的组成	1
1.1.2 船舶电力系统的类型	2
任务 1.2 船舶电力系统的工作环境	6
任务 1.3 船舶电力系统的主要电气参数	7
1.3.1 电流种类	7
1.3.2 额定电压	7
1.3.3 额定频率	9
► 项目二 船舶电源	11
任务 2.1 船舶主电源	11
2.1.1 主电源发电机组的类别与选型	12
2.1.2 主发电机组的并联运行	14
2.1.3 主电源容量的估算和发电机组的选择	15
2.1.4 主发电机组的安装与试验	17
任务 2.2 应急电源	18
► 项目三 船舶配电装置	19
任务 3.1 船舶配电装置概述	19
任务 3.2 主配电板	21
3.2.1 主配电板原理图	21
3.2.2 主配电板上配备的电器和仪表	22
3.2.3 主配电板的面板布置和安装要求	23
任务 3.3 应急配电板	24
任务 3.4 蓄电池及充放电板	27
3.4.1 船舶蓄电池	27
3.4.2 充放电配电板	29
任务 3.5 岸电箱及其他配电装置	33

► 项目四 船舶电网	35
任务 4.1 船舶电网概述	35
任务 4.2 船舶电网分析	36
4.2.1 船舶电网基本类型	36
4.2.2 世界船舶电网实例分析	39
任务 4.3 船舶用电网及其选择	44
4.3.1 船舶供电网络的分类	44
4.3.2 电力负荷的分级	47
4.3.3 分配电箱设置原则	48
4.3.4 提高供电网络的可靠性和生命力	49
► 项目五 负荷计算和船舶电站容量的确定	51
任务 5.1 船舶电站容量概述	51
任务 5.2 船舶用电设备和运行工况	52
5.2.1 船舶用电设备的环境技术条件和安全用电原则	52
5.2.2 船舶用电设备的分类	54
5.2.3 船舶运行工况	54
任务 5.3 负荷的计算	55
5.3.1 三类负荷法	56
5.3.2 需要系数法	60
任务 5.4 电站容量确定的原则	62
► 项目六 船舶电网短路计算方法	63
任务 6.1 短路电流概述	63
任务 6.2 短路电流计算基础知识	65
任务 6.3 短路点选择	67
任务 6.4 船舶电力系统短路电流常用算法	68
6.4.1 各种常用方法比较	68
6.4.2 IEC 法	70
6.4.3 GJB 173—1986 算法	71
任务 6.5 船舶电力系统短路电流参考计算方法	75
6.5.1 邻近汇流排处的短路电流计算	75
6.5.2 远离汇流排处短路电流计算	78
任务 6.6 算例	80

▶ 项目七 船舶电力系统继电保护	83
任务 7.1 继电保护概述	83
任务 7.2 保护配置原则	84
任务 7.3 船舶电力系统的常用电器	86
7.3.1 自动空气断路器	86
7.3.2 配电装置中的其他开关电器	90
7.3.3 互感器	91
7.3.4 选择电器和载流导体的一般条件	92
任务 7.4 船舶电力系统保护分类	95
7.4.1 发电机保护	95
7.4.2 变压器保护	97
7.4.3 电网保护	98
任务 7.5 保护配合与协调	101
任务 7.6 断路器选型	103
▶ 项目八 船舶电站运行自动化	104
任务 8.1 船舶电站自动化系统要求	104
任务 8.2 船舶电站自动化系统的自动化操作	105
任务 8.3 某轮船电站的自动控制系统的操纵程序	106
任务 8.4 船舶电站、柴油发电机组启动与停止	106
任务 8.5 自动电站的总体控制系统及其功能	110
▶ 项目九 综合全电力推进技术	115
任务 9.1 电力推进技术概述	115
9.1.1 电力推进装置的优点	115
9.1.2 传统电力推进装置	117
9.1.3 综合电力推进概念	118
任务 9.2 综合电力推进技术的特点与优势	119
9.2.1 主要特点	119
9.2.2 技术优势	119
任务 9.3 船舶综合电力系统的关键技术	120
任务 9.4 推进电机的种类、特点	122
9.4.1 推进电机的性能特点	122
9.4.2 推进电机的结构特点	123
任务 9.5 综合电力推进系统典型实例	125
9.5.1 美国的综合电力系统 (IPS)	125
9.5.2 英国的综合全电力推进系统 (IFEP)	128

任务 9.6 综合全电力推进技术的发展前景	131
9.6.1 国外船舶综合电力推进技术应用发展状况	131
9.6.2 我国船舶综合电力推进技术的发展状况	135
9.6.3 加速发展我国船舶综合电力推进技术的必要性	138
9.6.4 关于未来发展船舶综合电力推进技术的方向	139
► 参考文献	141

项目一

船舶电力系统概述

现代船舶上都装备有一个供给电能的独立系统，这就是船舶电力系统。随着船舶日趋大型化和自动化，船舶电力系统的容量日益增大，复杂性日益提高。本章的任务是简明扼要地介绍船舶电力系统的基本组成、特点和要求，使读者对船舶电力系统有一个大概的了解。

任务 1.1 船舶电力系统的组成和类型

1.1.1 船舶电力系统的组成

船舶电力系统包括以下四个组成部分：

(1) 发电部分，又称为电源装置。船上常用的电源装置是发电机组和蓄电池。发电机是由原动机拖动，原动机的类型可分为蒸汽机、汽轮机和燃气轮机等。

(2) 配电部分，又称为配电装置。它的作用是对电源进行分配、切换、保护、监视、控制。船舶配电装置可以分为主配电板、应急配电板、动力分配电箱、照明分配电箱和蓄电池充放电配电板等。

(3) 输电部分，又称为电网。它是全船输电电缆和电线的总称。其作用是将电能传送给全船所有用电设备（负载）。船舶电网通常由动力电网、照明电网、应急电网、低压电网、弱电电网等部分构成。

(4) 用电部分，又称为负载。船舶负载可分成以下几类：

① 各种船舶机械的电力拖动设备。

甲板机械——如舵机、锚机、绞缆机、起货机等。

舱室机械——各类油泵、水泵、空压机、冷冻机、通风机、空调设备等。

电力推进——推进电动机、螺旋桨等。

工程船舶的生产机械。

② 船舶电气照明。

工作场所和生活舱室的各种照明灯具以及航行信号灯具等。

③ 船舶通信和电航设备。

船舶通信设备——无线电收发报机、电话、广播、声光警报器、电车钟、舵角指示器等；

电航设备——电罗经、雷达、无线电测向仪、电子测深仪、电子计程仪等。

④ 其他用电设备。

如电热器、电风扇、电视机等。

船舶电力系统的组成示意图如图 1.1 所示。

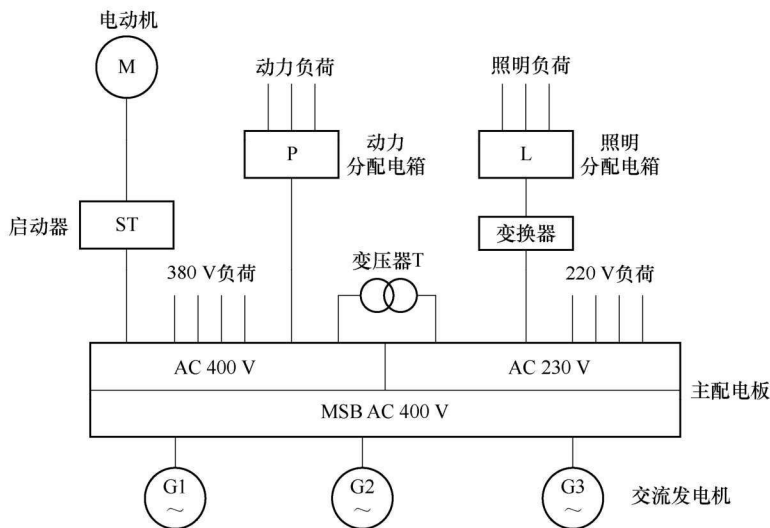


图 1.1 船舶电力系统的组成示意图

1.1.2 船舶电力系统的类型

对于不同用途、不同吨位的船舶，其电力系统有很大的差异。通常将船舶电力系统的发电机组和主配电板称为电站。按船舶包含电站的数量、电源种类及其与船舶能源系统的连接形式可以分为以下几种类型。

1. 单主电站电力系统

这种电力系统除了配备主电站，保证船舶正常运行工况下各种用电设备的供电外，还设置停泊电站或应急电站，用来保证船舶处于低负荷、应急或其他特殊工况下部分电气设备的供电。单主电站电力系统中常设置两台以上的发电机组，以便在检修或一台发电机组发生故障时替换使用。这种形式的系统常用于各种民用船舶和军用辅助舰船。

图 1.2 所示为万吨级货轮单主电站电力系统。电站的容量为 1 000~1 200 kW，发电机的台数为 3~4 台。每台机组通过电缆、自动空气开关和主配电板汇流排（即母线）相连接。当两台机组同时供电时，发电机并联运行在共同的汇流排上。这种运行方式不但简化了供电网络，提高了电站备用容量的备用程度，还可以减小由于用电负荷的急剧变化（如启动大电动机时）所引起的电网电压波动。图 1.2 中主配电板汇流排是采用分段汇流形式的连接方式，

即通过隔离开关把汇流排分为两段或几段。它比单汇流排式的连接方式仅多了一只或几只自动开关，但具有一系列的优点。例如，同时工作的发电机可以单独运行，也可以并联运行；当汇流排的一段发生故障时，断开汇流排的分段开关，就可以通过另一台机组使未发生故障的一段汇流排仍保持正常供电；当某段馈线发生短路故障时，由于分段隔离开关的迅速跳开，切断了另一段汇流排上供给的短路电流，因而馈线上的短路电流就相应地减小。

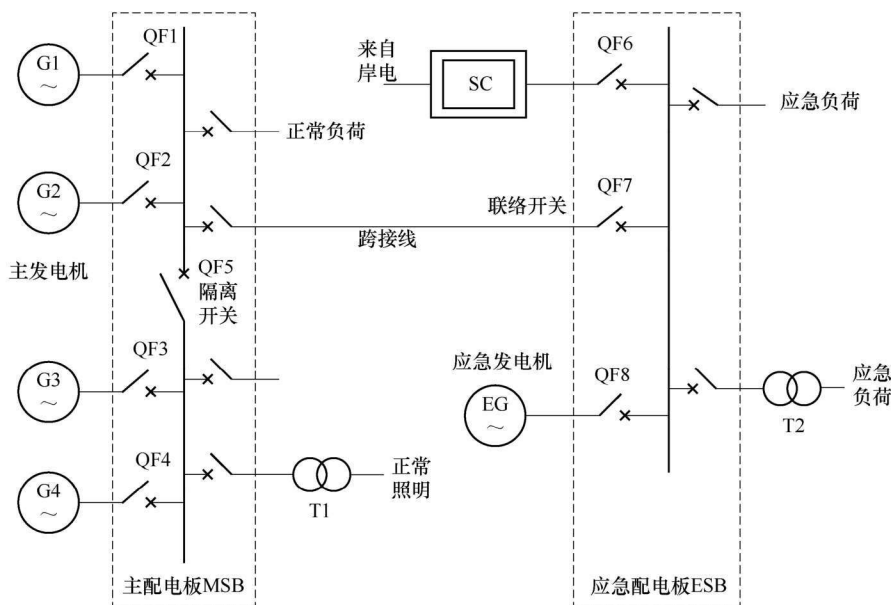


图 1.2 万吨级货轮单主电站电力系统

MSB—主配电板；G1~G4—主发电机；T1—照明变压器；SC—岸电箱；
ESB—应急配电板；EG—应急发电机；T2—应急照明变压器；QF1~QF8—自动空气开关

在单主电站电力系统中，正常情况下是由主发电机供电给主配电板汇流排和应急配电板汇流排。在主发电机发生故障停止供电时，应急发电机可手动或自动启动投入工作，并通过联锁装置将连接主配电板和应急配电板的联络开关断开，既可防止应急发电机向主配电板供电而造成过载，也可避免当主发电机组恢复供电时出现两者同时向应急配电板供电的现象而发生事故。当船舶停靠码头时，还可以利用陆上的电网供电。岸电一般均接到应急配电板上，然后通过联络开关再送至主配电板。

2. 多主电站电力系统

多主电站电力系统系指船舶上设有两个以上主电站的电力系统，大型的航空母舰上有时甚至设置 8 个主电站。这些电站分散布置在船舶比较安全的部位，保证电力系统具有较高的供电可靠性和生命力。这种系统通常用于战斗舰艇、核动力船或其他对供电可靠性有较高要求的船舶上。

图 1.3 所示为某型舰艇的多主电站电力系统。舰上有两个发电站：一个为汽轮电站（舰电站）；另一个为柴油电站（艏电站）。每个电站各装有两组发电机组，同一电站发电机可长期并联运行。为了提高供电的可靠性，系统采用跨接线将艏舰两电站的主配电板连接起来。在非战斗状态时，全舰负载轻，跨接线的自动开关（联络开关）接通，这时可只由一个电站向全舰供电。在战斗状态时，跨接线上的开关断开，两电站独立工作，分区供电。对重要的负载，可以由两个电站供电。当一条供电线路断电时，可以在负载处将转换开关接到另一电

站的供电线路上去，以提高供电可靠性。

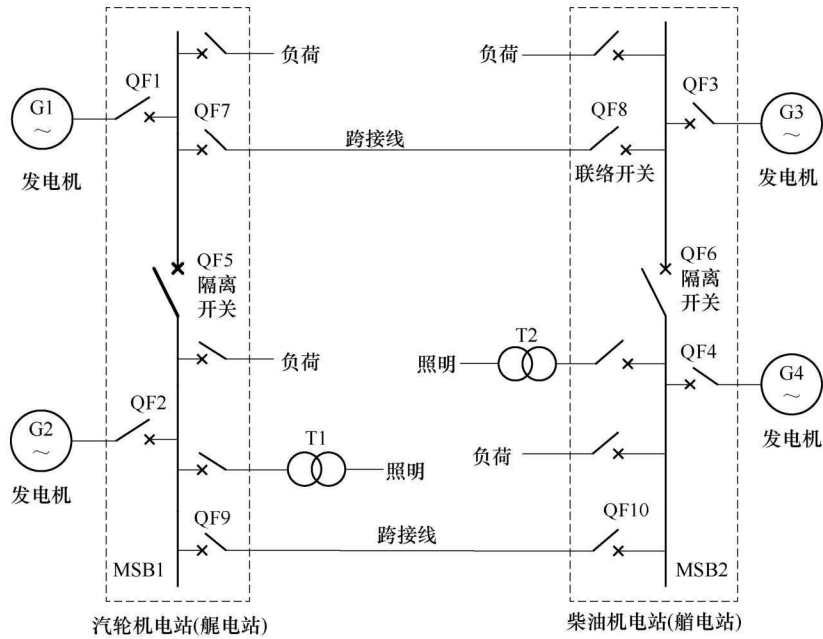


图 1.3 某型舰艇的多主电站电力系统

G1、G2—汽轮发电机；QF1~QF4—发电机主开关；QF5、QF6—隔离开关；
G3、G4—柴油发电机；T1、T2—照明变压器；QF7~QF10—联络开关

3. 交直流混合电力系统

图 1.4 所示为交直流混合电力系统，主要用于潜艇等特种舰艇。它可以在蓄电池中储存电能，有较高的供电可靠性。根据船舶主要用电设备是交流还是直流，又可分为交流供电系统和直流供电系统。

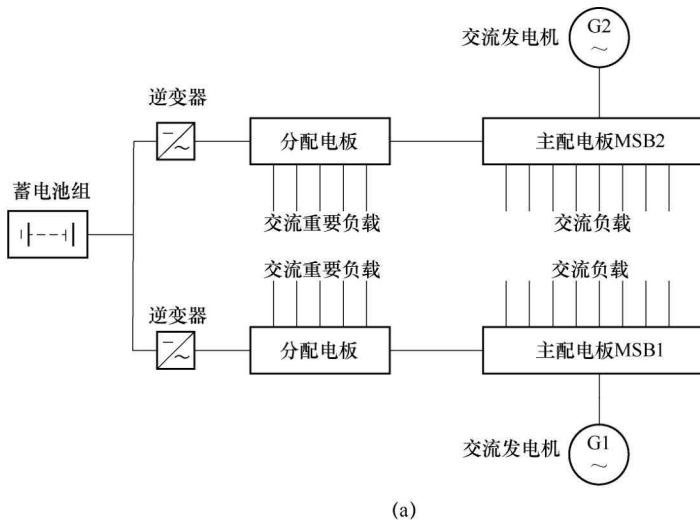


图 1.4 交直流混合电力系统

(a) 交流供电系统

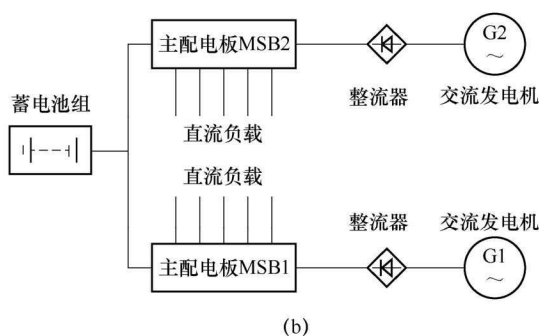


图 1.4 交直流混合电力系统（续）
(b) 直流供电系统

4. 交流电力推进联合电力系统

电力推进的船舶，如破冰船、工程船等常采用推进和供电联合起来的电力系统，这样的电力系统具有更大的经济性和机动性。交流电力推进联合电力系统如图 1.5 所示。

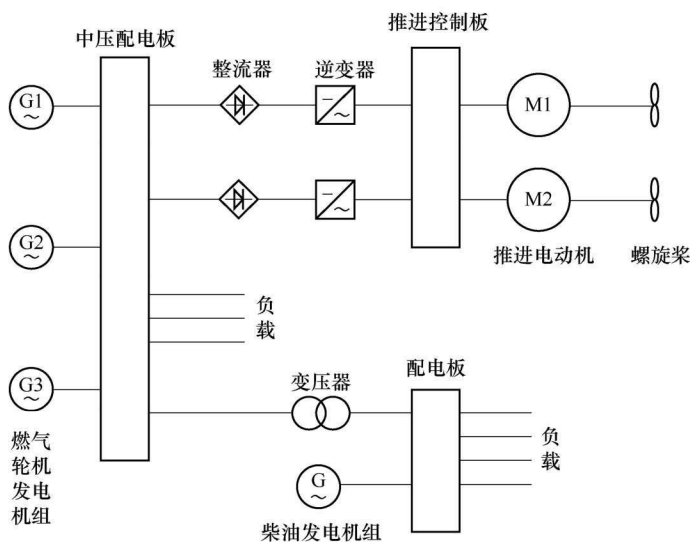


图 1.5 交流电力推进联合电力系统

5. 直流电力推进联合电力系统

直流电力推进联合电力系统是柴油常规潜艇早期应用较多的一种电力系统，它既可由蓄电池组供电，也可由推进发电机供电，如图 1.6 所示。

除了以上几种电力系统外，还有一种利用主机余能发电的电力系统，这是近几年来发展起来的一种节能型电力系统。它除了有通常的柴油发电机组外，还配备有利用主机（汽轮机等热力机）余能发电的轴带发电机或利用主机排出的废气发电的废气涡轮发电机。当主机持续工作时，主要依靠节能发电机组提供全船用电，运行十分经济，应用日趋广泛。新的电力系统形式还在不断涌现，可见船舶电力系统形式和内容十分丰富，始终处在不断更新和发展变化中。

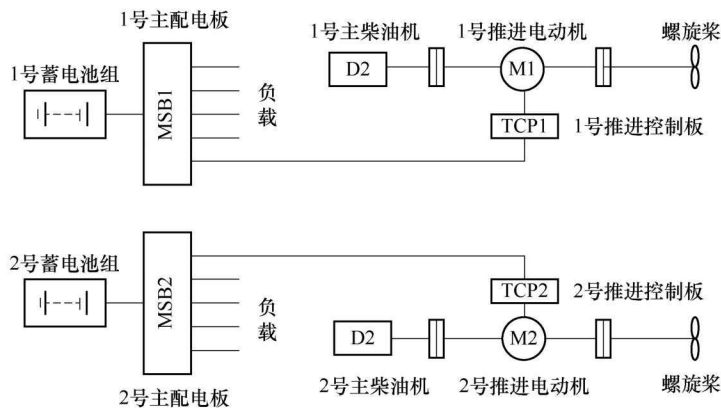


图 1.6 直流电力推进联合电力系统

任务 1.2 船舶电力系统的工作环境

船舶的环境条件往往比陆地要恶劣得多，环境条件对电气设备的运行性能和工作寿命有很大的影响。

船舶电气设备的工作环境归纳有下列几个主要特点：

(1) 航行区域广（特别是远洋船舶），气温变化大，湿度高，空气中常常有盐雾、油雾及霉菌等腐蚀物，甚至还混合有爆炸性气体。此外，船舶还因受风浪的作用而产生大幅度的倾斜和摇摆。

(2) 主机及推进系统运行时会产生振动，如舰艇在战斗过程中会受到各种强烈的机械冲击和振动。

(3) 船舶舱室容积小，空间狭窄，周围的船体、隔墙和管路都是导体。

(4) 电气设备之间有较大的电磁干扰。

根据以上的船舶环境条件，对船舶电力系统提出下列几点基本要求：

(1) 工作可靠。主要是指电气设备在运行过程中不发生结构和性能上的故障，最大限度地保证不间断供电。

(2) 生命力强。主要是指船舶发生舱室破损进水或失火时，电力系统仍能保持不间断工作的能力。

(3) 应具有防盐雾、防油雾、防霉菌（通常称“三防”）、防水、防燃、防爆等性能和耐冲击、耐振动、耐摇摆的能力。长期横倾不超过 15° ，长期纵倾不超过 10° ，周期横摇幅值不超过 22.5° 。

(4) 要求能在 $-25^\circ\text{C} \sim +45^\circ\text{C}$ 的环境空气温度和最大空气相对湿度为 95% 的条件下正常工作。

(5) 保证工作人员的人身安全，防止发生触电事故。

- (6) 电气设备的外壳结构要便于装拆和维修。
- (7) 要有防止无线电干扰和电磁干扰的措施。
- (8) 尽可能提高系统工作效率,减少燃料消耗和确保船舶应有的续航能力。

不同类型的船舶对上述各点要求是不尽相同的,应根据具体情况而有所侧重。某些特殊用途的船舶更有其特殊的要求。

任务 1.3 船舶电力系统的主要电气参数

船舶电力系统的电气参数主要是指电流种类(电制)、额定电压和额定频率。

1.3.1 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) 交流电站电源装置采用同步发电机,通常配自励恒压装置,没有整流子,工作可靠;动力负荷选用三相交流异步电动机,也没有整流子,结构简单、工作可靠、维护量小、容量小、多直接启动,启动控制设备简单。

(2) 交流电站的动力网络与照明网络之间的联系可通过变压器,没有电的直接联系,只有磁的联系。绝缘阻抗偏低的照明网络基本上不影响动力网络。而直流电站的动力网络则直接受到照明网络的影响,使绝缘电阻降低。

(3) 与直流电气设备相比交流电气设备质量轻、尺寸小、价格便宜。

早期的船舶多采用直流电制。交流电制从 20 世纪 30 年代开始在军用舰船上应用,后来逐步推广到各种民用船舶。由于交流电制具有显著的优越性,20 世纪 50 年代向交流电制的更替形成了高潮。我国船舶在 20 世纪 60~70 年代完成了向交流电制的过渡。近年来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,几乎所有船舶包括油轮、客轮、货轮、旅游船、工作船、调查船和军用舰船等都采用交流电制。

船舶电力系统的电流种类仍然会受到船舶能源类型或某些条件的限制,例如,有较高调速性能要求的推进电力系统往往采用直流电制;小渔船、小快艇和只有少量照明负荷的小船上仍采用蓄电池组作电源。

有些船舶只有少量工作机械,功率比较大、拖动自动控制要求比较高,采用直流电又更适宜时,可以考虑采用交直流混合电制,以交流电供给机舱辅机及一般甲板机械和照明等用电,而以直流电供给少量工作机械。

1.3.2 额定电压

额定电压是电力系统的重要参数之一。船舶直流和交流配电系统的最高电压,我国船舶设计规范做了相应的规定。表 1.1 所示为《钢质海船入级与建造规范》关于船舶配电系统最高电压的规定。

表 1.1 船舶配电系统最高电压的规定

序号	用途	最高电压/V	
		直流	交流
1	电力推进装置	1 200	15 000
2	固定安装、连接于固定布线、交流设备必须是符合《钢质海船入级与建造规范》的交流高压电气装置特殊要求的电力设备	500	15 000
3	(1) 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； (2) 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，如可移动的起重机等； (3) 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，如电焊变压器等	500	1 000
4	(1) 居住舱室内的照明设备、取暖器； (2) 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
5	人体特别容易触电的场所，如特别潮湿、狭窄处所中的插座： (1) 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

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 400 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；可携带电气设备选用 24 V。

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。例如，有些舰艇的武器系统就使用 28 V 的直流电压。

船舶电气设备使用电源等级应尽量选用标准电压种类。对于 50 Hz 三相对地绝缘系统，电气设备应选用三相额定电压 380 V。某些船舶上所采用直流电网电压的选择应注意电气设备的标准化，尽量选用船舶规范规定的 220 V 额定电压。常规潜艇的直流电力推进系统的电压，除了 220 V 外，还可选用 440 V。

下面讨论船舶电力系统额定电压选择的几个特殊问题。

1. 大型船舶采用中压电力系统

随着船舶电站容量的增大，从 20 世纪 60 年代开始，一些大型船舶采用中压电力系统。其中，有的只有某些特定的大功率负载选用局部中压系统，有的则包括日常用电、大功率负荷在内甚至其电力推进装置均采用中压系统。目前中压系统较多应用在大型工程船舶、钻井平台以及工作性质特殊的大型船舶上。促使船舶采用中压电力系统的主要原因是：

(1) 船舶消耗的电力日益增长，要求电力系统的容量增大，这引起系统故障的短路电流增大，而目前低压空气断路器的最大分断能力不能满足断流要求，即保护装置的断流容量限

制了船舶电力系统容量的增大。采用中压系统可以减少短路电流的绝对值，增大电力系统的极限容量，缓和这个矛盾。

(2) 发电机和负载电动机的单机容量增大，如采用低压，则制造困难，而且不经济。美国造船和轮机工程协会认为，450 V 低压发电机的实际单机容量极限为 2 500 kW，超过这个极限时，则推荐采用 2 300 V（配电电压 2 200 V）。

(3) 配电系统容量增大，采用低压，电缆用铜量大，布线施工困难且不经济。

船舶电力系统是否采用中压，需要综合分析主发电机和大功率负载电动机的容量及电力设备能达到的实际容量水平。根据自动开关今后可能达到的分段能力，有人认为故障电力容量小于 $10 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 采用 380~440 V 较为合适；故障电力容量为 $10 \sim 15 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 应采用 3 300 V 电压系统；故障电力容量为 $15 \sim 30 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 应采用 6 600 V 电压系统；容量超过 $30 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 最好采用 11 000 V 电压系统。

2. 常规潜艇电力系统的直流幅压

常规潜艇以蓄电池组为主要电源。由于蓄电池组在放电和充电过程中电压不是恒定的，因此常规潜艇的直流电网出现一个额定电压值上下波动的变化范围，称为电网的幅压范围。以铅酸蓄电池为例，单个电池的标准电压是 2 V，以 1 h 放电率放电到终了，电压可能下降到 1.65 V，只占标称电压的 82.5%；而在蓄电池充电末尾时，每块电池的电压可上升到 2.7 V 以上，为标称电压的 135%。采用铅酸蓄电池的常规潜艇电压的幅压范围可能达到额定电压的 80%~140%。

3. 发电机额定电压

由于网络上的电压降，通常电力系统的发电机额定电压应比相同电压等级的用电设备（如电动机）的额定电压高 5%。按照国家标准，受电电压为 380 V 时，发电机额定电压应为 400 V。

4. 生活用电电压

近年来，陆上某些地区电网的生活用电采用对人身相对安全的 100~110 V 电压。一些客船上也开始采用 110 V 电压作为生活用电。这种发展趋势应该引起船舶电力系统设计人员的注意。除了安全之外，110 V 电压的另一个优点是用于照明时有较高的发光效率。

1.3.3 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，但在实际应用中并不能看出它们有任何显著的差别。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、技术经济发展的影响以及相互间开展贸易交往的需要。表 1.2 所示为世界部分国家船舶和陆用电力系统的额定频率。英、美、日本等国采用 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

国家	船舶电力系统频率/Hz	陆上电力系统频率/Hz
中国	50	50
美国	60	60