



舰船电力系统

JIANCHUAN DIANLI XITONG

兰海 卢芳 孟杰 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

舰船电力系统

兰海 卢芳 孟杰 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是以舰船电力系统为主,介绍了舰船电站、舰船配电、舰船电网、负载和综合推进电力系统等部分的基本原理及简要的设计方法;然后对潮流计算、短路计算、保护、生命力、重构技术等基本的计算方法进行介绍;并对目前舰船电站暂态稳定问题进行了分析和仿真验证;最后扼要地介绍了舰船电力系统综合仿真平台的简单实现。

本书适合船舶电力系统计算和分析领域的科研人员、研究生、本科生使用。

图书在版编目(CIP)数据

舰船电力系统/兰海,卢芳,孟杰编著. —北京:国防工业出版社,

2013.2

ISBN 978-7-118-08504-4

I. ①舰… II. ①兰… ②卢… ③孟… III. ①船舶—电力系统

IV. ①U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 296530 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 字数 328 千字

2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 56.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

前 言

本书是以自成体系的描述方式介绍舰船电力系统的一部著作，也是结合作者多年科研经验与教学实践的一个总结，力求反映我国及世界舰船电力系统设计的最新技术和科研成果。本书主要面向从事船舶控制和仿真的读者，使读者对舰船电力系统有一个较全面的了解，并能够针对不同系统进行分析和仿真验证。

本书的内容是舰船电力系统。舰船电力系统是舰船电站、舰船配电网络和舰船用电负载的总称。本书旨在全面地介绍舰船电力系统的组成和设计技术，力求概念清楚，层次分明，便于自学。特别侧重舰船这一有特殊使命的船舶电力系统运行及控制方面出现的新问题，其内容涵盖舰船电力系统的推进模块分析、短路计算、生命力计算以及仿真平台的搭建等典型内容，同时还考虑电力推进及新概念武器引起的暂态、稳态计算和仿真等问题。

本书内容大体分为 5 部分。第 1 章是对舰船电力系统总体的概述，从中可以整体了解舰船电力系统的组成以及钢质海船入级规范中对舰船电力系统的一些参数的要求。第 2 章~第 5 章是对第 1 章描述的系统的组成部分进行分别介绍，主要包括发电、配电装置、负荷及容量的计算。第 6 章~第 10 章阐明了舰船电力系统的基本的计算方法，包括潮流计算、短路计算、保护、生命力、重构技术。第 11 章详细介绍世界各主要大国船舶动力系统的主要方向——舰船综合电力推进系统，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舰船电力系统。第 12 章主要以单电站船舶电力系统为例，给出一种暂态稳定分析方法。第 13 章介绍了仿真平台的简单实现。从书的整体结构来看，不仅有概述性的介绍，而且对舰船电力系统的暂态与稳态分析所需的一些高级应用算法给予具体论述与研究，最后一章介绍一种仿真平台，通过该平台可以对某一类型舰船电力系统进行拓扑分析、潮流计算和短路计算，具有很强的实用性。

本书的篇幅较大，编写分工为：兰海编写第 1 章、第 6 章~第 11 章和第 13 章，卢芳编写第 2 章~第 5 章，孟杰编写第 12 章。

哈尔滨工程大学李殿璞教授对本书原稿进行了认真的审阅，并给出了一些很有价值和切实的改进意见，在此表示深切的谢意。本书在编写的过程中，参考及引用了书末所列的参考文献，以及国内外关于船舶电站方面的论文。在此，一并致以诚挚谢意。

限于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请读者及同仁批评指正。

本书获得中央高校基本科研业务费舰船电力系统创新团队项目资助。

兰 海

2012.10

目 录

第 1 章 舰船电力系统概述	1
1.1 舰船电力系统的组成和类型	1
1.1.1 舰船电力系统的组成	1
1.1.2 舰船电力系统的类型	2
1.2 舰船电力系统的工作环境	6
1.3 舰船电力系统的主要电气参数	6
1.3.1 电流种类	6
1.3.2 额定电压	7
1.3.3 额定频率	9
第 2 章 舰船电站	10
2.1 舰船主电源	10
2.1.1 主电源发电机组的类别与选型	10
2.1.2 主发电机组的并联运行	13
2.1.3 主电源容量的估算和发电机组的选择	14
2.1.4 主发电机组的安装与试验	16
2.2 应急电源	17
第 3 章 舰船配电装置	18
3.1 舰船配电装置概述	18
3.2 主配电板	19
3.2.1 主配电板原理图	19
3.2.2 主配电板上配备的电器和仪表	20
3.2.3 主配电板的面板布置和安装方面的要求	21
3.3 配电装置中的开关电器	22
3.4 互感器	23
3.5 选择电器和载流导体的一般条件	24
3.6 应急配电板	27
3.7 充放电板及蓄电池	28
3.8 岸电箱及其他配电装置	30

第 4 章	舰船电网	31
4.1	舰船电网概述	31
4.2	舰船电网分析	32
4.2.1	舰船电网基本类型	32
4.2.2	世界舰船电网实例分析	35
4.3	舰船用电网及其选择	40
4.3.1	舰船供电网络的分类	40
4.3.2	电力负荷的分级	43
4.3.3	分配电箱设置原则	44
4.3.4	提高供电网络的可靠性和生命力	45
第 5 章	负荷计算和舰船电站容量的确定	48
5.1	舰船电站容量概述	48
5.2	舰船用电设备和运行工况	49
5.2.1	舰船用电设备和安全用电的原则	49
5.2.2	舰船用电设备的分类	50
5.2.3	舰船运行工况	51
5.3	负荷的计算	52
5.3.1	三类负荷法	52
5.3.2	需要系数法	56
5.4	电站容量确定的原则	58
第 6 章	舰船电网潮流计算方法	60
6.1	舰船电网潮流计算概述	60
6.2	电力网络的数学模型	61
6.2.1	节点电压方程	61
6.2.2	节点导纳矩阵的求取和修改	64
6.2.3	异步电动机的建模	65
6.3	节点电势法潮流计算	67
6.4	前推回代法潮流计算	70
第 7 章	舰船电网短路计算方法	75
7.1	短路电流概述	75
7.2	短路电流计算基础知识	77
7.3	短路点选择原则	79
7.4	舰船电力系统短路电流常用算法	80
7.4.1	各种常用方法比较	80
7.4.2	IEC 法	82

7.4.3	GJB-173 算法	83
7.5	舰船电力系统短路电流参考计算方法	86
7.5.1	临近汇流排处的短路电流计算	87
7.5.2	远离汇流排处短路电流计算	89
7.6	算例	91
第 8 章	舰船电力系统继电保护原则	93
8.1	继电保护概述	93
8.2	保护配置原则	94
8.3	舰船电力系统保护分类	96
8.3.1	发电机保护	96
8.3.2	变压器保护	98
8.3.3	电网保护	99
8.4	保护配合与协调	102
8.5	断路器选型	104
第 9 章	舰船电力系统生命力计算方法	105
9.1	舰船电力系统生命力概述	105
9.2	舰船电力系统生命力分析评估用的贝叶斯网络模型	105
9.2.1	贝叶斯网络的理论基础	105
9.2.2	舰船电力系统贝叶斯网络的建立	107
9.3	供电概率计算	108
9.3.1	电气设备破坏环境下的供电概率的确定	108
9.3.2	基于贝叶斯网络的负载供电概率计算	108
9.4	加权模糊综合评判	109
9.4.1	加权模糊综合评判法概述	109
9.4.2	加权模糊综合评判法的评判标准	109
9.5	算例	110
9.5.1	供配电网网络设备模型	110
9.5.2	贝叶斯网络的建立	112
9.5.3	贝叶斯网络法的计算	114
第 10 章	舰船电力网络重构方法	117
10.1	网络重构的概述	117
10.2	舰船电力网络故障修复系统	118
10.2.1	系统构架	118
10.2.2	故障恢复系统的典型实例	119
10.3	舰船电力网络故障恢复关键技术	122
10.3.1	最优(准最优)重构策略生成技术的概述	122

10.3.2	电力系统网络拓扑结构表达	122
10.3.3	重构优化算法	126
10.4	基于多 Agent 舰船电力系统网络重构方法	127
10.4.1	多 Agent 算法	127
10.4.2	引入负荷优先级和运行工况等影响因素	128
10.4.3	约束条件和目标函数的确定	130
10.5	与重构相关的其他研究	133
第 11 章	单机舰船电力系统的新型控制策略研究	134
11.1	舰船电力系统的数学模型	134
11.1.1	同步发电机转子运动方程	135
11.1.2	同步发电机输出功率方程	138
11.1.3	柴油机组调速系统	140
11.1.4	柴油机发电机组励磁绕组电磁方程	141
11.1.5	负载模型	141
11.2	舰船电力系统 L_2 干扰抑制控制策略研究	142
11.2.1	仿射非线性系统的 L_2 干扰抑制方法简述	143
11.2.2	舰船电力系统调速系统 L_2 干扰抑制控制策略	145
11.2.3	舰船电力系统调速、励磁系统综合控制策略	151
11.3	舰船电力系统 Hamilton 控制策略研究	155
11.3.1	基于 Hamilton 能量函数的非线性控制设计简述	156
11.3.2	基于 Hamilton 能量函数的综合控制设计	158
11.3.3	带有 SMES 的舰船电力系统 Hamilton 控制设计方法	164
第 12 章	综合全电力推进技术	170
12.1	电力推进技术概述	170
12.1.1	电力推进装置的优点	170
12.1.2	传统电力推进装置	172
12.1.3	综合电力推进概念	173
12.2	综合电力推进技术特点与优势	174
12.2.1	主要特征	174
12.2.2	技术优势	174
12.3	舰船综合电力系统的核心技术	175
12.4	推进电机种类、特点	177
12.4.1	推进电机性能特点	177
12.4.2	推进电机结构特点	177
12.5	综合电力推进系统典型实例	180
12.5.1	美国的综合电力系统	180
12.5.2	英国的综合全电力推进系统	182

12.6	综合全电力推进技术的发展前景	185
12.6.1	国外舰船综合电力推进技术应用发展状况	185
12.6.2	我国舰船综合电力推进技术发展状况	189
12.6.3	加速发展我国舰船综合电力推进技术的必要性	192
12.6.4	关于未来发展舰船综合电力推进技术的方向	194
第 13 章	基于模块化的舰船电力系统仿真平台设计	195
13.1	系统总体架构	195
13.2	功能模块及连接接口设计	195
13.2.1	功能模块的建立	195
13.2.2	模块间的接口设计	197
13.3	舰船电力系统数据库设计	198
13.3.1	数据库软件及开发技术	198
13.3.2	数据库系统的设计	199
13.3.3	数据库与仿真应用程序的接口设计	202
13.4	舰船电力系统网络拓扑分析	204
13.4.1	基于图论方法的舰船电力系统拓扑建模	205
13.4.2	拓扑分析算法模块	206
13.4.3	拓扑分析模块的输入接口数据设计	208
13.4.4	舰船电力系统网络拓扑分析	209
13.4.5	多电站舰船电力系统变工况下拓扑结构分析	213
13.5	图形化平台设计	215
13.6	软件说明及算例分析	219
13.6.1	软件主要功能界面	219
13.6.2	5 节点系统仿真算例分析	219
参考文献		221

第1章 舰船电力系统概述

现代舰船上都装备有一个供给电能的独立系统，这就是舰船电力系统。随着舰船日趋大型化和自动化，舰船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舰船电力系统的基本组成、特点和要求，使读者对舰船电力系统有一个概貌的了解。

1.1 舰船电力系统的组成和类型

1.1.1 舰船电力系统的组成

舰船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。舰船配电装置可以分为总配电板、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）。舰船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。舰船负载可分成下面几类。

① 各种舰船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——推进电机、螺旋桨等。

工程舰船的生产机械。

② 舰船电气照明。

工作场所和生活舱室的各种照明灯具和航行信号灯具等。

③ 舰船通信和电航设备。

舰船通信设备——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、电测深仪、电计程仪等。

④ 其他用电设备。

如电热器、电风扇、电视机等。

电力系统上述各组成部分相互间的关系可用图 1.1 来表示。

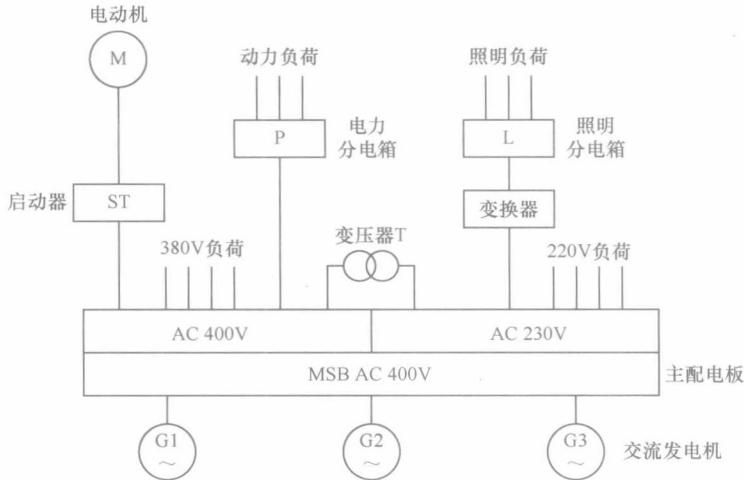


图 1.1 舰船电力系统示意图

1.1.2 舰船电力系统的类型

对于不同用途、不同吨位的舰船，其电力系统有很大的差异。通常将舰船电力系统的发电机组和主配电板称为电站。按舰船包含电站的数量、电源种类和它与舰船能源系统的连接形式可以分为以下几种类型。

1. 单电站电力系统

这种电力系统除了配备主电站、保证舰船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，用来保证舰船处于低负荷、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舰船和军用辅助舰船。

图 1.2 所示实例为万吨级货轮单主电站电力系统。电站的容量为 1000kW~1200kW，发电机的台数为 3 台~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。

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。当舰船停靠码头时,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。

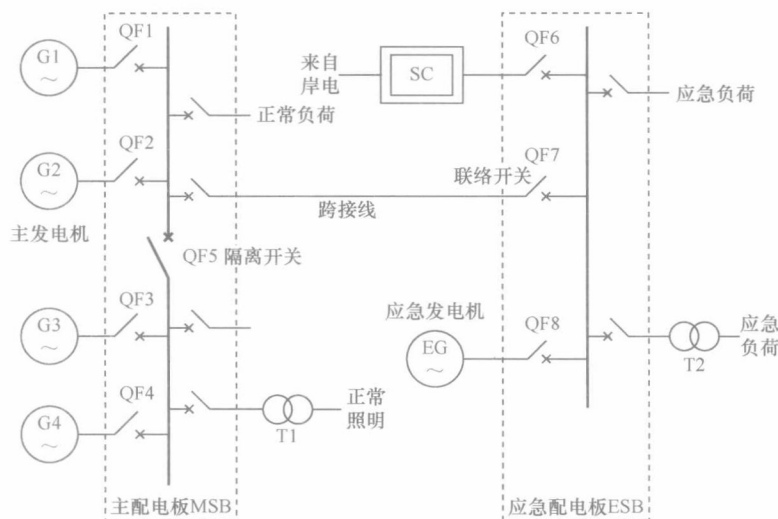


图 1.2 单电站电力系统

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。

2. 多主电站电力系统

多主电站电力系统是指舰船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八个电站。这些电站分散布置在舰船比较安全的部位,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舰船上。

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:一组为汽轮机电站(艏电站);另一组为柴油机电站(艉电站)。每个电站都装有两组发电机组,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艉两电站的主配电板连接起来。在非战斗时,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。

3. 交直流混合电力系统

图 1.4 所示是一种交流发电机组和直流蓄电池组混合构成的电力系统,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。根据舰船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。

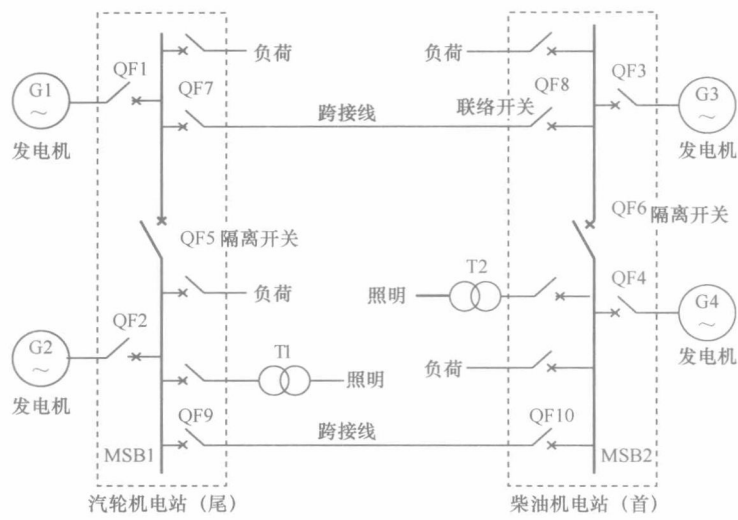


图 1.3 多主电站电力系统

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。

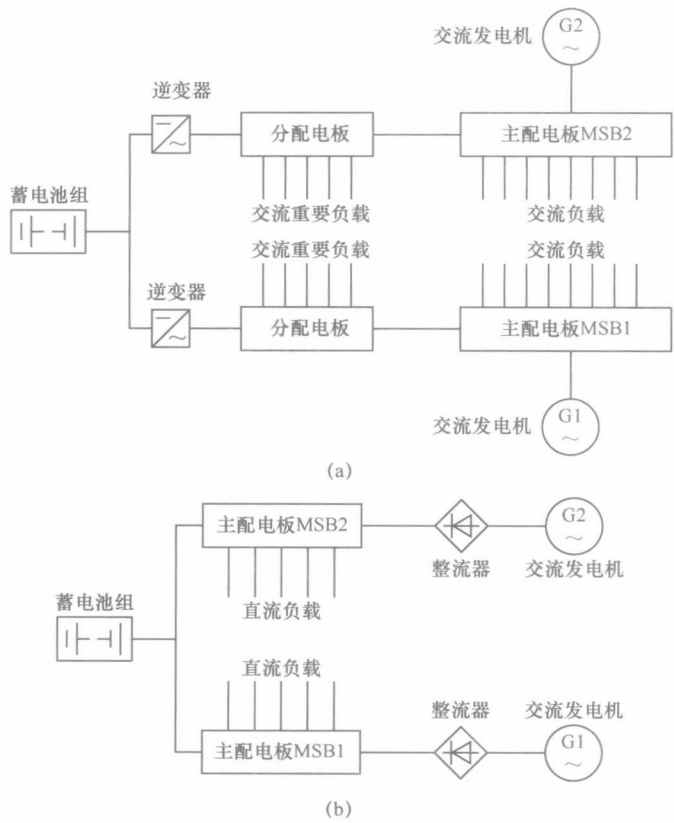


图 1.4 交直流混合电力系统

(a) 交流供电系统；(b) 直流供电系统。

4. 交流电力推进联合电力系统

电力推进的舰船，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。其单线示意图如图 1.5 所示。

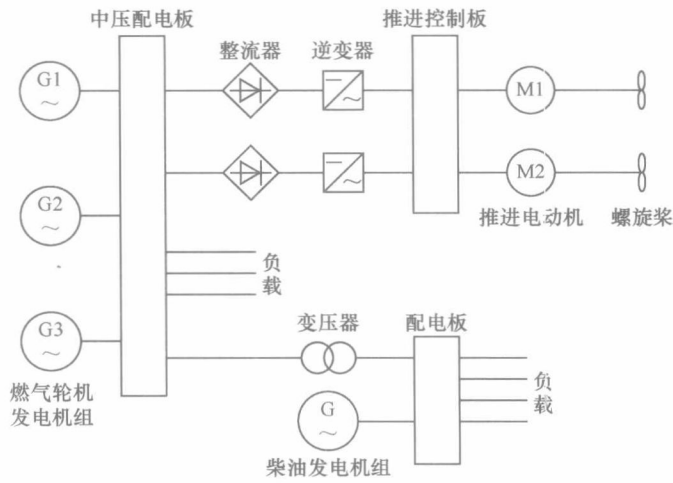


图 1.5 交流电力推进联合电力系统

5. 直流电力推进联合电力系统

这是柴电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，其单线示意图如图 1.6 所示。

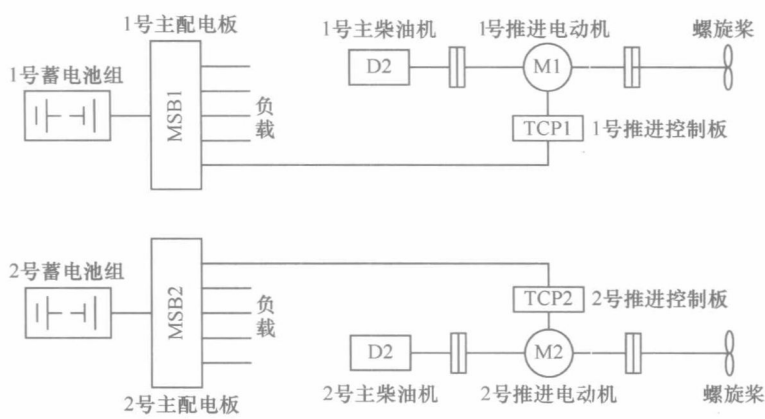


图 1.6 直流电力推进联合电力系统

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机发电机组外，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，可见舰船电力系统形式和内容是十分丰富和始终处在不断更新与发展变化中的。

1.2 舰船电力系统的工作环境

舰船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严重的影响。

舰船电气设备的工作环境经归纳有下列几个主要特点。

(1) 航行区域广(特别是远洋舰船),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,舰船还因受风浪的作用而产生幅度可能很大的倾斜和摇摆。

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

(3) 舰船舱室容积小,空间狭窄,周围的船体和隔墙、管路都是导电体。

(4) 电气设备之间有较大的电磁干扰。

根据以上的舰船环境条件,对舰船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。主要是指舰船因故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、振动、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舰船应有的续航能力。

不同类型的舰船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。某些特殊用途的舰船更有其特殊的要求。

1.3 舰船电力系统的主要电气参数

舰船电力系统的电气参数主要是指电流种类、额定电压和额定频率。

1.3.1 电流种类

舰船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，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，交流电气设备质量小、尺寸小、价格便宜。

早期的舰船多采用直流电制。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，50 年代向交流电制的更替形成了高潮。我国舰船在 60 年代至 70 年代完成了向交流电制的过渡。近年来建造的舰船除少数小型或特种工程舰船仍考虑直流电制外，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。

舰船电力系统的电流种类，仍然会受到舰船能源类型或某些条件的限制的例子还包括：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。

有些舰船只有少量工作机械功率比较大、拖动自动控制要求比较高因而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。舰船直流和交流配电系统的最高电压，我国舰船设计规范做了相应的规定。表 1.1 为钢质海船入级与建造规范关于舰船配电系统最高电压的规定。

表 1.1 配电系统的最高电压

序号	用 途	最高电压/V	
		直流	交流
1	电力推进装置	1200	15000
2	固定安装、连接于固定布线、交流设备需符合《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	15000
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	1000
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以符合《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) 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	50
		250	250

目前设计制造的舰船电力系统常用的电压等级是：50Hz 电网为 380V；60Hz 电网为 400V。我国舰船规范规定：一般交流电网采用 50Hz，380V；固定安装的电气设备采用 380V 或 220V；可携带电气设备选用 24V。

特种舰船（包括电力推进或带有大功率电力传动装置的舰船）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 28V 的直流电压。

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

下面讨论舰船电力系统额定电压选择的几个特殊问题。

1. 大型舰船采用的中压电力系统

随着舰船电站容量的增大，从 20 世纪 60 年代开始，一些大型舰船采用中压电力系统。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舰船、钻井平台以及工作性质特殊的大型舰船上。促使舰船采用中压电力系统的主要原因有以下几方面。

(1) 舰船消耗的电力日益增长，要求电力系统的容量增大，这引起系统的故障短路电流增大，而目前低压空气断路器的最大分段能力不能满足断流要求，即保护装置的断流容量限制了舰船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，450V 低压发电机的实际单机容量极限为 2500kW，超过这个极限时，则推荐采用 2300V（配电电压 2200V）。

(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。

舰船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 380V~440V 较为合适；故障电力容量 $10\text{MV}\cdot\text{A}\sim 15\text{MV}\cdot\text{A}$ 应采用 3300V 电压系统； $15\text{MV}\cdot\text{A}\sim 30\text{MV}\cdot\text{A}$ 应采用 6600V 电压系统；容量超过 $30\text{MV}\cdot\text{A}$ 最好采用 11000V 电压系统。

2. 常规潜艇电力系统的直流幅压

常规动力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 2V，以 1h 放电率放电到终了，电压可能下跌到 1.65V，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 2.7V 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