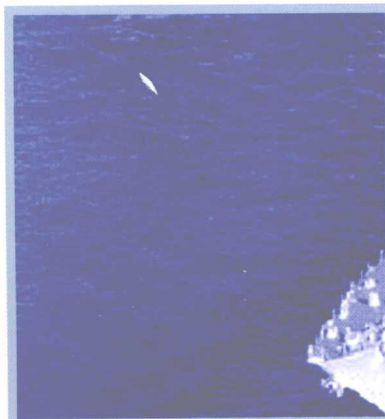
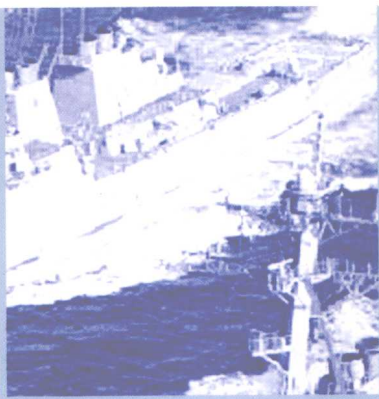




舰船电力系统及 自动装置

王焕文 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

舰船电力系统及自动装置

王焕文 编 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书精选和归纳了舰船电力系统及其自动装置的基本原理和设计技术。全书共分 11 章,主要内容有:电力负荷的计算,电站的设计与选型,电网的设计,配电板电路设计;同步发电机的并车、电压及无功功率、频率及有功功率的自动调整;电力系统的保护,交流电力系统的短路计算,电站自动控制,舰船电力系统 CAD 技术等。

全书注重理论联系实际,力求深入浅出、概念清晰。重要内容的分析、计算公式的推导都比较详细,便于读者自学。结合各章内容,每章后都附有思考题与习题,以加深读者对重要内容的理解。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业、轮机工程专业的教材,也可供船厂和船舶设计院所从事电力系统设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

舰船电力系统及自动装置/王焕文编著.——北京:科学出版社,2004
ISBN-7-03-013679-9

I. 舰… II. 王… III. 船舶—电力系统—自动装置 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 037235 号

责任编辑:刘剑波 / 责任校对:张怡君
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2004 年 8 月第一次印刷 印张:18 1/2 插页 1

印数:1—2 000 字数:357 800

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书是按照高等院校船舶与海洋工程、轮机工程两个专业的教学大纲编写的,是华中科技大学“新世纪教学改革工程”立项教材。

书中内容结合作者多年实船设计经验与教学实践,力争使理论和实际相结合,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。通过本书的学习,使读者对舰船电力系统及自动装置有一个较全面的了解,并能进行基本的计算和设计。

全书共分 11 章。第 1 章概括性地介绍了舰船电力系统的基本概念,归纳了舰船电力系统的基本类型。通过学习这一章读者可对舰船电力系统有一个全貌性的认识。第 2~4 章分别讨论舰船电站、舰船电网和配电装置的基本理论和设计技术。这 3 章是组成电力系统的重要部分,是本课程讲授的重点,因此对电力负荷和电网电压降的计算方法、电站容量和电缆截面积的确定、配电装置结构设计及其原理图的设计、电力系统图的设计、电源设备的选型等都做了详细的叙述,并给出了电气典型图例。第 5 章首先指出同步发电机并联运行的条件,分析如果任一同步条件不满足将对系统产生的影响,然后介绍手动准同步并车装置、电抗同步并车装置、带同步指令的半自动同步并车装置和准同步自动并车装置的工作原理。第 6 章介绍并联运行的同步发电机电压及无功功率的自动调整。为了使无功功率均匀分配,要求发电机具有大致相同的励磁特性,根据这一基本原理,介绍了几种常用的励磁自动调整装置的工作原理和实现无功功率均匀分配的几种接线方法。第 7 章则重点介绍自动调频调载装置的工作原理。第 8 章讨论舰船电源和电网的保护及电力系统的其他保护措施。第 9 章介绍船舶交流电力系统的短路电流计算方法,并给出了计算实例。第 10 章以微机控制电站为例讨论了舰船电站自动控制原理。第 11 章讨论舰船电力系统 CAD 的基本内容,介绍作者根据实船设计需要开发的电力负荷计算软件和短路电流计算软件,这两个应用软件界面友好,使用方便,在舰船电力系统设计中具有实用价值。

本书编写中,除参考了作者本人的讲义和论文外,还广泛参考和引用了同行的论著,这些论著大多在参考文献中列出,在此谨向有关作者表示衷心感谢。华中科技大学电气与电子工程学院龚世纓教授审阅本书并提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。

在本书长时期的编写过程中得到华中科技大学交通科学与工程学院领导和师生的支持与帮助,张琴老师等为本书绘图付出了辛勤劳动,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

王焕文

2004年5月于武汉

目 录

前 言

第 1 章 舰船电力系统概论	1
1.1 舰船电力系统的组成与设计	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
1.1.3 舰船电力系统设计的内容	6
1.1.4 舰船电力系统的设计步骤	8
1.1.5 舰船电力系统设计的规范和标准	8
1.2 船用条件.....	10
思考题与习题	11
第 2 章 舰船电站	12
2.1 舰船电站概述.....	12
2.1.1 舰船电站的分类和特点	13
2.1.2 舰船电站设计的基本要求.....	13
2.2 舰船电站基本参数的选择.....	17
2.2.1 电流种类.....	18
2.2.2 额定电压.....	18
2.2.3 额定频率.....	21
2.2.4 线制	21
2.3 舰船电力负荷的计算.....	24
2.3.1 舰船电力负荷的特点	25
2.3.2 计算方法.....	28
2.3.3 三类负荷法	28
2.3.4 需要系数法	35
2.4 舰船电站发电机组功率和数量的确定.....	42
2.4.1 电站容量和数量的确定	42
2.4.2 单电站发电机组数量和功率的确定	42
2.4.3 多电站发电机组数量和功率的确定	45
2.5 舰船电源设备的选型.....	46
2.5.1 发电机的选型	46

2.5.2 原动机的选型	47
2.6 舰船电站设备的布置	51
2.6.1 一般要求	51
2.6.2 发电机组的布置	52
2.6.3 主配电板的布置	53
2.7 特殊舰船电站的设计	56
2.7.1 核动力舰船电站的设计	56
2.7.2 大型舰船电站的设计	57
思考题与习题	60
第3章 舰船电网	62
3.1 舰船电网概述	62
3.2 舰船电网的供电网络	63
3.2.1 舰船供电网络的分类	63
3.2.2 电力负荷的分级	66
3.2.3 分配电箱设置原则	68
3.2.4 提高供电网络的可靠性和生命力	69
3.3 舰船电网分析	71
3.3.1 舰船电网基本类型	71
3.3.2 世界舰船电网实例分析	75
3.4 电缆截面积的选择	80
3.4.1 电缆型号、导体和绝缘材料的选择	81
3.4.2 船用电缆连续工作制的载流量	82
3.4.3 电缆载流量的修正系数	84
3.4.4 通过电缆的负载电流计算	86
3.4.5 电缆截面积的确定	87
3.5 舰船电网电压降的计算	88
3.5.1 直流电网电压损失的计算	89
3.5.2 交流电网电压损失的计算	91
3.6 电力系统设计	94
3.6.1 电力系统图	95
3.6.2 电气系统典型图例	95
思考题与习题	100
第4章 舰船配电装置和电器	101
4.1 配电装置的功能	101
4.2 主配电板	102

4.2.1	主配电板结构型式	103
4.2.2	主配电板原理图	105
4.2.3	主配电板布置图	106
4.3	船用开关	107
4.3.1	空气断路器	108
4.3.2	塑壳式自动开关	113
4.3.3	万能式转换开关	114
4.3.4	组合开关	114
4.4	电流互感器和电压互感器	115
4.4.1	电流互感器	115
4.4.2	电压互感器	116
4.5	船用保护电器	118
4.5.1	逆功率继电器	118
4.5.2	负序继电器	120
4.5.3	熔断器	122
4.6	电气测量仪表	124
4.6.1	频率表	125
4.6.2	电压表及电流表	127
4.6.3	功率表	127
4.6.4	功率因数表	130
4.6.5	兆欧表与电网绝缘监测仪	130
	思考题与习题	134
第5章	舰船同步发电机并车装置	135
5.1	同步条件	135
5.1.1	并联运行的条件	135
5.1.2	并联运行分析	136
5.1.3	并联运行对原动机的要求	138
5.2	手动准同步并车装置	140
5.2.1	同步指示器	140
5.2.2	同步指示灯	143
5.2.3	手动并车操作	145
5.3	电抗同步并车装置	146
5.3.1	工作原理	146
5.3.2	并车电抗器的计算	149
5.4	半自动同步并车装置	151

5.4.1	同步脉冲发生器	151
5.4.2	带并车指令的同步指示器	152
5.5	自动准同步并车装置	154
5.5.1	基本功能	154
5.5.2	基本环节介绍	154
	思考题与习题	160
第 6 章	发电机电压及无功功率自动调整	161
6.1	励磁自动调整概述	161
6.2	相复励自励恒压装置	164
6.2.1	自励恒压同步发电机	164
6.2.2	不可控相复励自励恒压装置	165
6.2.3	可控相复励自励恒压装置	174
6.3	晶闸管励磁自动调整装置	175
6.4	无刷同步发电机励磁调整装置	178
6.5	并联运行发电机之间无功功率的分配	181
6.5.1	均压线	182
6.5.2	无功功率自动分配装置	184
6.5.3	差动电流互感器	185
	思考题与习题	187
第 7 章	发电机频率及有功功率自动调整	188
7.1	调频调载概述	188
7.2	原动机调速器及其调速特性	190
7.3	并联运行发电机之间有功功率的分配	192
7.4	自动调频调载装置	196
7.4.1	自动调频调载装置的功能	196
7.4.2	自动调频调载装置的工作原理	196
	思考题与习题	202
第 8 章	舰船电力系统保护	203
8.1	电力系统保护概述	203
8.1.1	现代舰船电力系统保护的特点	203
8.1.2	舰船电力系统的故障分析	204
8.1.3	对保护装置的基本要求	205
8.1.4	电力系统的保护设计	206
8.2	发电机保护	207
8.2.1	发电机的过载保护	208

8.2.2	发电机的外部短路保护	209
8.2.3	发电机的欠压保护	209
8.2.4	发电机的逆功率保护	209
8.3	变压器的保护	210
8.4	舰船电网的保护	212
8.4.1	过载保护	212
8.4.2	短路保护	213
8.4.3	岸电相序和断相保护	215
8.5	舰船电力系统的其他保护措施	215
	思考题与习题	217
第9章	舰船交流电力系统的短路计算	218
9.1	短路计算概述	218
9.2	短路计算系统图和相对值	219
9.3	发电机馈送的短路电流计算	221
9.4	电动机馈送的短路电流计算	223
9.5	在邻近主汇流排处短路时短路电流的计算	224
9.5.1	发电机馈送的短路电流	224
9.5.2	电动机馈送的短路电流	225
9.5.3	短路点的短路电流	226
9.6	远离主汇流排处短路时短路电流的计算	226
9.6.1	等效发电机及其参数的求取	226
9.6.2	短路电流的计算	227
9.6.3	在变压器次级侧短路时短路电流的计算	229
9.7	短路功率因数计算	230
9.8	短路阻抗和时间常数的计算与换算	230
9.9	交流系统短路电流计算应用举例	232
9.10	自动空气断路器的选择	241
9.11	母线的选用和验算	243
	思考题与习题	246
第10章	舰船电站自动控制	247
10.1	舰船电站自动控制概述	247
10.2	柴油机自动起停控制	248
10.3	舰船电站自动控制	251
10.3.1	总体控制系统的功能	251
10.3.2	微机控制电站	255

10.3.3 电站自动控制装置	257
思考题与习题	258
第 11 章 舰船电力系统 CAD	259
11.1 舰船电力系统 CAD 的基本内容	259
11.2 开发舰船电力系统 CAD 软件应注意的问题	261
11.3 舰船电力负荷计算程序	263
11.3.1 开发环境	263
11.3.2 总体结构及主要功能	263
11.3.3 菜单	263
11.3.4 使用说明	265
11.4 船舶交流电力系统短路计算程序	268
11.4.1 开发环境	268
11.4.2 主要功能	268
11.4.3 总体结构	269
11.4.4 操作说明	271
思考题与习题	274
附录	275
A 船用同步发电机参数	277
B 某沿海货轮用电设备参数	278
C 乙丙橡皮绝缘(额定电压 0.6/1kV,DA 型)1 芯、2 芯、3 芯船用电力电缆	280
D 乙丙橡皮绝缘(额定电压 0.6/1kV,DA 型)多芯船用电力电缆	282
参考文献	284

第 1 章 舰船电力系统概论

本章主要内容:

- ▶ 舰船电力系统的组成和类型
- ▶ 舰船电力系统的设计内容和设计要求及设计步骤
- ▶ 舰船电力系统的工作条件和环境条件

1.1 舰船电力系统的组成与设计

1.1.1 舰船电力系统的组成

舰船电力系统主要由电源、配电装置、电力网和用电设备组成。其示意图如图 1.1 所示。电源通常采用发电机组或蓄电池组。发电机是由原动机带动的,原动机的类型可分为蒸汽机、柴油机、汽轮机和燃气轮机等。配电装置是用来接收发电机发出的电能、分配电能和控制电能的。联系发电机、主配电板、分配电板和用电设备的电缆称为电力网,其作用是用来输送电能。船上的用电设备很多,动力负荷(各种电力拖动机械)往往占总用电量的 70%左右,它们是电动舵机、锚机、各种油泵和水泵、空压机、通风机、冷冻机、空调设备等,还有照明负荷、通讯导航设备,对于舰

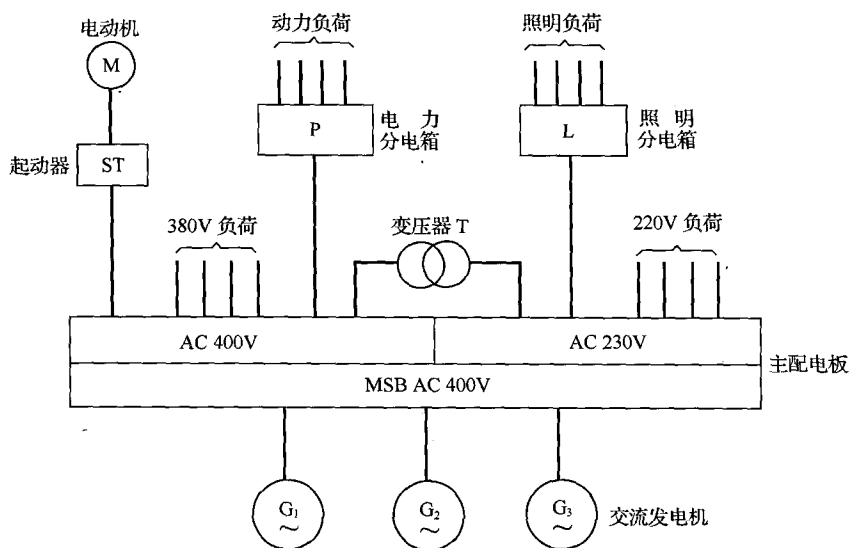


图 1.1 舰船电力系统示意图

艇还有武器装备等负载。舰船电力系统研究的对象是发电机发电、配电、输电给各用电设备的问题。随着舰船吨位的增大和电气化程度的提高及科学技术的发展,舰船电力系统亦有显著的进步和变化,尤其表现在:无论是军用舰艇还是民用船舶的电站,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。

船电技术的发展,使得舰船电力设备已日趋完善。工业部门不仅能为舰船提供完善的发电机组系列、性能优良的各种容量的自动开关和监视保护设备,而且船电设备的功能也有显著的提高。发电机的快速调压调频设备提高了电力系统的静态和动态性能指标,同时也加强了系统承受各种突然负载的能力。近年来,在某些舰船上又出现了大功率、高电压的高参数电力系统。如美国尼米兹级航母就配备了4160V电力系统。虽然目前这种系统还限于大型船和工程船等特种船舶,但电力系统高参数在舰船上的应用是技术上的一种突破,它为未来舰船电力系统的发展开辟了道路。

科学技术的发展也逐步改变了舰船电力系统的面貌。近年来电力系统控制线路的电子化程度有很大的提高,半导体和集成电路普遍代替了电磁、机械、液压等控制部件,出现了电子固态保护装置、电子调速器等性能更优越的新型部件。大功率半导体技术促使电能变换设备趋向静止型化,从而提高了系统运行的性能,减少了电力设备的体积和重量。电子计算机技术的推广应用,又出现了微机控制和管理的电站,它对发挥舰船电站的功能、应付舰船多工况的变化,有很大的促进作用。

电力系统的自动化是舰船自动化的一个组成部分,这也是舰船现代化的一个重要标志。自动化技术的广泛应用充分发挥了电力设备的潜在功能,并使船员的操作量大大下降,船员的数量也相应减少。自动化程度高的舰船实现了无人机舱,大大改善了船员的工作条件。电力系统自动化程度的提高不仅使电气设备管理维修人员不断减少,而且可以实现系统的最佳运行方式,提高设备运行的效率、经济性和安全性。

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。按其包含电站的数量和它与舰船能源系统的关系,可划分为以下几种类型:

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交替使用。这种系统常用于各种民用船舶和军

用辅助船舶。

图 1.2 所示为万吨级货轮单主电站电力系统。电站的总容量为 1000~1200kW,发电机的台数可为 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,还可以减小由于大的用电负荷的急剧变化(例如起动大电动机时)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排式的连接方式,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,但却具有一系列的优点。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,断开汇流排的分段隔离开关,就可通过另一台机组使未发生故障的一段汇流排仍可正常供电;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减少。

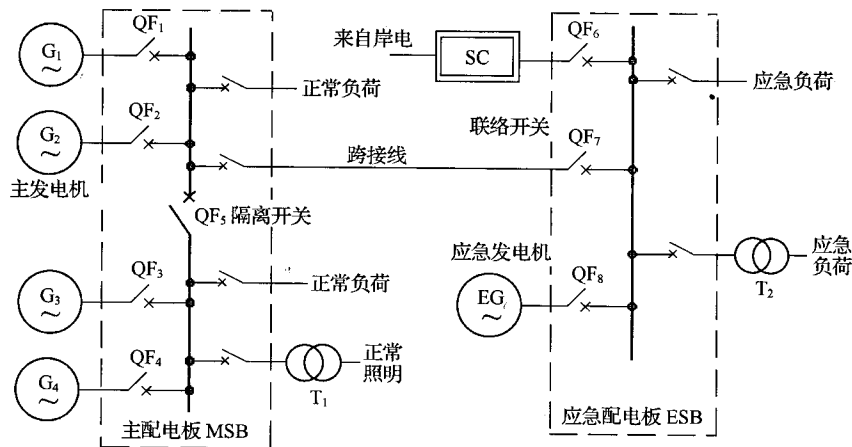


图 1.2 单主电站电力系统

MSB. 主配电板 $G_1 \sim G_4$. 主发电机 T_1 . 照明变压器 SC. 岸电箱

ESB. 应急配电板 EG. 应急发电机 T_2 . 应急照明变压器 $QF_1 \sim QF_8$. 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起动投入工作,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。这里必须注意,图 1.2 中的自动开关 $QF_1 \sim QF_4$ 和 $QF_6 \sim QF_8$ 之间必须有电气联锁。例如:当 QF_8 合闸时,其他自动开关都必须断开,以防止两种独立的电源发生不允许的并联运行而造成故障。

2. 多主电站电力系统

多主电站电力系统系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 8 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 所示为某种类型舰艇的多主电站电力系统。舰上有两个发电站:一组为汽轮电站(艏电站);另一组为柴油电站(艉电站)。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,可以在负载处由转换开关接到另一电站的供电线路上去,以提高供电的可靠性。

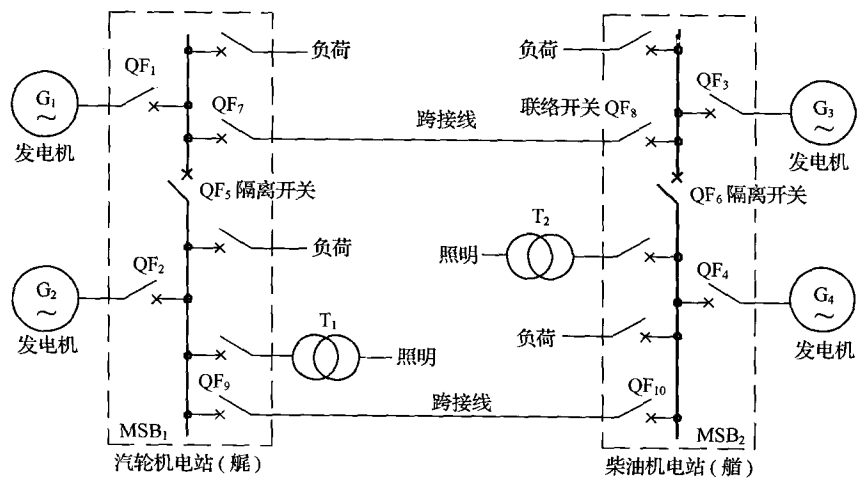


图 1.3 多主电站电力系统

$G_1、G_2$. 汽轮发电机 $QF_1 \sim QF_4$. 发电机主开关 $QF_5、QF_6$. 隔离开关
 $G_3、G_4$. 柴油发电机 $T_1、T_2$. 照明变压器 $QF_7 \sim QF_{10}$. 联络开关

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。

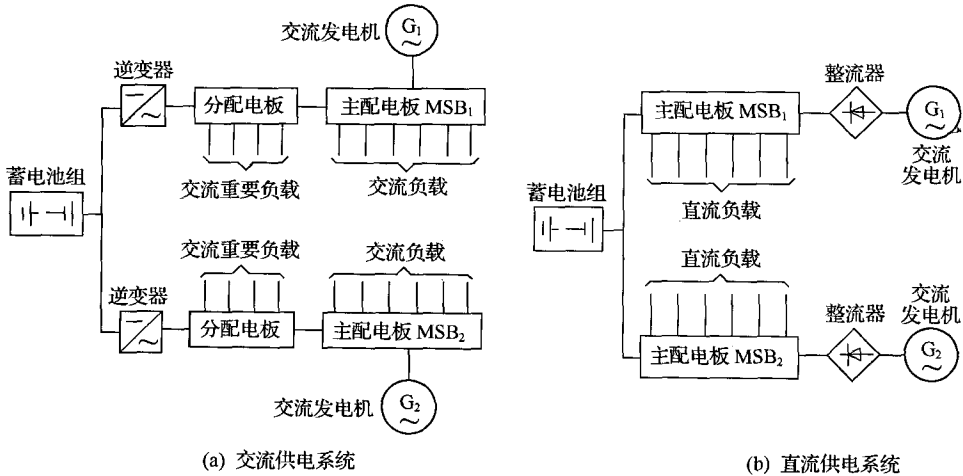


图 1.4 交直流混合电力系统

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。其单线示意图如图 1.5 所示。

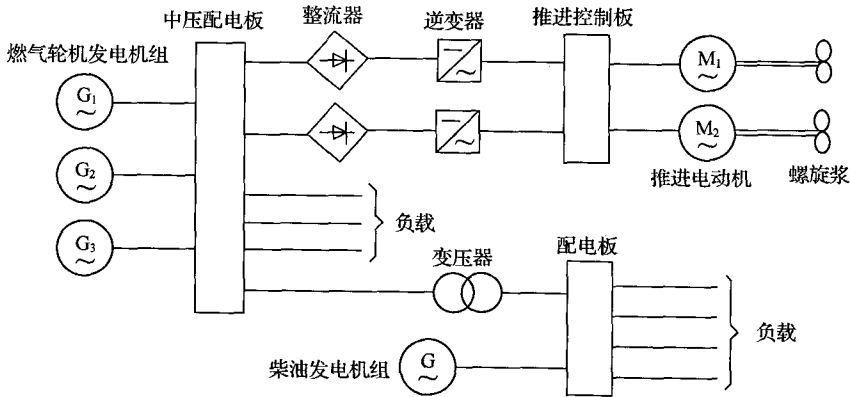


图 1.5 交流电力推进联合电力系统

5. 直流电力推进联合电力系统

这是柴油机直接驱动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。

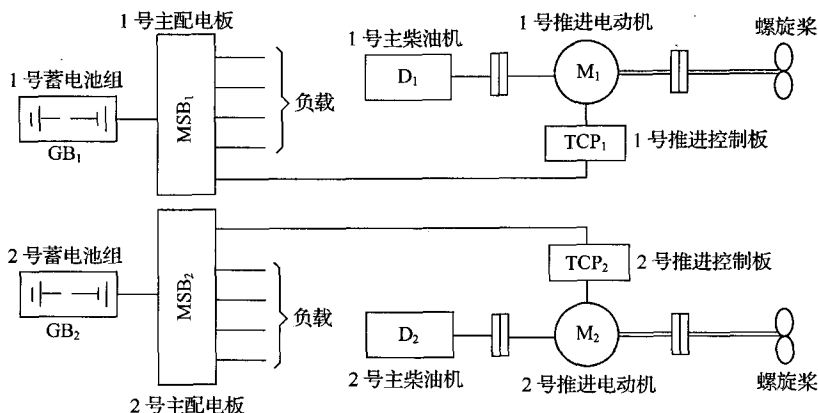


图 1.6 直流电力推进联合电力系统

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,还配备有利用主机余能发电的轴带发电机或利用主机排出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所需的用电,运行十分经济,应用也日趋广泛。新的电力系统形式还在不断涌现,可见舰船电力系统的内容是十分丰富的。

1.1.3 舰船电力系统设计的内容

舰船电力系统设计的任务就是依据设计任务书,按照舰船总体设计的意图,遵循相应的规范和标准,拟订电力系统的功能要求,选择电力系统方案和进行电力设备的选型。

舰船电力系统设计是舰船总体设计的一个部分,一般分方案设计、技术设计和施工设计这三个阶段进行。但设计阶段的划分并不是一成不变的,不同的设计部门、不同的设计对象,其设计阶段的划分也不一样。对于新型、复杂、缺乏成熟经验借鉴的舰船,其设计阶段要多一些,设计周期也要长一些;而对于常规、简单、多批建造、技术上较成熟的舰船,其设计周期则可缩短。有的舰船只需经过概念设计、生产设计两个阶段就可投入建造。

1. 方案设计

方案设计的主要任务是确定总体概貌,解决各种技术关键问题。由于方案设计从根本上确定了以后各阶段设计的方向和轮廓,因此它对总体设计的成败起着关键的作用。在这一阶段中,需要根据舰船总体的设想,着重估算全船的电力负荷,确定电站的主要参数、电力系统的主要组成、运行方式以及主要电力设备的选型方