



大型船舶电力系统 关键技术与应用

■ 邵能灵 王 鹏 倪明杰 著



YZLI0890155662



科学出版社

大型船舶电力系统 关键技术与应用

邵能灵 王 鹏 倪明杰 著



YZLI0890155662

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统阐述了大型船舶电力系统运行的基本理论与应用,主要内容包括:电力系统型式论证和构成优化,船舶电力负荷分析及计算,大型电网的短路电流计算,船舶电网的接地方式,电压等级选择分析,船用开关电器,大型电网的协调保护,船舶电力系统漏电保护,大型电网的谐波分析及抑制,电磁干扰及抑制,船舶电网电机起动方式,变压器预充磁技术,船舶电网稳定性分析等。

本书可作为高等院校电气工程及其相关专业的本科生、研究生的专业教材或培训教材,也可供船舶电气设计、建造、施工、检验等人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大型船舶电力系统关键技术与应用/郇能灵,王鹏,倪明杰著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033500-5

I. ①大… II. ①郇…②王…③倪… III. ①船舶-电力系统-研究
IV. ①U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 020039 号

责任编辑:杨向萍 陈 婕 / 责任校对:朱光兰

责任印制:赵 博 / 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

*

2012年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年2月第一次印刷 印张:24 1/2

字数:478 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书基于作者长期研究成果,系统地介绍了大型船舶电力系统的关键技术,并充分利用 MATLAB、ETAP、PSCAD 等软件平台进行了大量的仿真测试,在对电力系统主接线、发电机、输配电系统、保护选择做出分析与对比的基础上,提出了电气设备的配置方案,反映了国际大型船舶电力系统设计的最新理念,可为船舶电力系统设计和制造提供技术指导和参考。

全书共 17 章,第 1、2 章主要对船舶电力系统进行型式论证,从安全性与可靠性角度研究船舶电力系统主接线与配电网的设计;第 3 章分析船舶电力负荷的特点,设计出船舶电力负荷计算分析系统;第 4 章为大型船舶电网的接地方式评估和比较;第 5 章介绍船舶电力系统短路电流计算方法,针对大型民用船舶的特点,分析影响短路电流的各种因素,以及降低短路电流的措施;第 6 章讨论影响船舶电压等级选择的要素;第 7 章重点讨论船用开关电器的特点及应用;第 8 章对船舶变压器各种预充磁技术进行分析;第 9 章对电机起动时的母线电压降进行详细分析,讨论各种方案对起动电流的抑制效果;第 10、11 章介绍船舶电力变压器、发电机、电网的协调保护以及漏电保护;第 12 章对电网谐波进行分析,提出船舶电网滤波器设计方法;第 13 章介绍船舶电力系统电磁干扰及抑制措施;第 14~17 章对船舶电力系统稳定性进行研究,分别对船舶电网的功角、频率和电压稳定性进行分析。本书系统地研究了大型船舶电力系统的关键技术,体现了我国船舶制造与国际先进技术的接轨,能够用于指导目标船型的设计。

本书由上海交通大学邵能灵教授、中国船舶及海洋工程设计研究院王鹏和倪明杰高级工程师共同撰写完成。其中,第 1、2、6~11、14~17 章由邵能灵撰写,第 3、5 章由王鹏撰写,第 12、13 章由倪明杰撰写,第 4 章由王鹏和邵能灵共同整理。研究生张琦兵、王江海、肖振坤、黄彬和王威参加了大量计算分析工作,在此对他们表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有不足之处,敬请读者提出宝贵意见。

目 录

前言

第 1 章 船舶电网主接线安全及可靠性论证	1
1.1 概述	1
1.2 电力系统主接线评估的基本理论	2
1.2.1 船舶供电网络分类	2
1.2.2 船舶配电系统结构	4
1.3 电气主接线可靠性评估	7
1.3.1 建立数学模型的基本思路	8
1.3.2 系统可靠性指标的计算	10
参考文献	28
第 2 章 船舶配电系统安全及可靠性论证	29
2.1 配电系统供电安全分析	29
2.1.1 船舶供电负载的分类	29
2.1.2 分配电箱设置原则	31
2.2 配电系统可靠性分析	31
2.2.1 配电系统可靠性指标	32
2.2.2 系统可靠性指标	33
2.2.3 配电系统可靠性实例分析	33
2.2.4 故障模式后果分析表的建立	37
2.2.5 可靠性指标的计算	38
2.3 不同拓扑结构的船舶电力系统安全及可靠性比较	40
2.4 大型船舶带状网络分区供电技术	42
参考文献	44
第 3 章 船舶电力负荷分析及计算	45
3.1 船舶电力负荷的分类及特点	45
3.1.1 船舶电力负荷的分类	45
3.1.2 船舶电力负荷的特点	46
3.2 船舶电力负荷计算方法	47

3.2.1	计算方法简介	47
3.2.2	三类负荷算法	48
3.2.3	需求系数法	50
3.2.4	无功功率计算	50
3.2.5	发电机容量确定	50
3.3	船舶电力负荷分析计算软件设计	51
3.3.1	开发工具	51
3.3.2	系统结构	51
3.3.3	负荷处理	53
3.3.4	软件特点	53
3.3.5	算例演示	53
3.3.6	计算结果分析	61
	参考文献	63
第4章	中压电力系统接地方式	64
4.1	中性点接地方式	64
4.1.1	船舶电力系统的基本参数	64
4.1.2	中性点接地方式的分类	66
4.2	中性点接地方式的分析	68
4.2.1	船舶中性点接地模型建立	68
4.2.2	中性点接地方式的比较	74
4.2.3	中性点接地方式的选择	81
	参考文献	82
第5章	船舶电力系统短路电流计算	84
5.1	概述	84
5.2	船舶电力系统短路电流计算方法	85
5.2.1	计算目的	85
5.2.2	短路电流计算方法简介	86
5.3	系统参数对短路电流的影响	90
5.3.1	并联发电机对短路电流的影响	90
5.3.2	并联异步电动机对短路电流的影响	93
5.4	船舶电网拓扑结构对短路电流的影响	94
5.4.1	不同结构对短路电流影响	94
5.4.2	同一结构不同运行方式对短路电流的影响	97

5.5 电压等级对短路电流的影响	101
5.6 降低船舶电力系统短路电流的方法	104
参考文献	107
第6章 电压等级选择分析	108
6.1 电压等级选择原则	108
6.1.1 提高电压质量	108
6.1.2 降低线路损耗	109
6.1.3 降低短路电流	109
6.1.4 保证电缆足以承受正常运行电流	110
6.1.5 提高经济性	110
6.2 电压等级选择的影响因素	110
6.2.1 船舶电力系统模型	110
6.2.2 潮流计算	114
6.2.3 短路电流分析	118
6.2.4 电压等级选择经验公式	120
6.2.5 系统容量对电压等级选择的影响	121
6.3 船舶电力系统电压等级的选择	128
6.3.1 电力系统标称电压和相关的绝缘水平	129
6.3.2 电力系统电压等级的选择	129
参考文献	130
第7章 船用开关电器	131
7.1 船用断路器	131
7.1.1 中压断路器	131
7.1.2 船用低压断路器	135
7.1.3 万能式空气断路器	138
7.2 装置式断路器在船舶电网中的应用	142
7.2.1 时间原则	142
7.2.2 电流原则	143
7.2.3 装置式断路器的应用	143
7.3 逆功率继电器	145
7.4 熔断器	147
7.4.1 熔断器的分类	147
7.4.2 熔断器的选择	147

7.5	自动分级卸载保护	149
7.5.1	自动分级卸载保护装置	149
7.5.2	工作原理	149
7.6	开关电器应用实例	151
7.6.1	小容量电动机的保护	151
7.6.2	大功率拖动电机的保护	151
7.6.3	舵机拖动电机的保护	153
	参考文献	153
第8章	变压器预充磁技术的研究	154
8.1	概述	154
8.2	励磁涌流原理分析	154
8.3	预充磁方案分析	157
8.3.1	仿真模型的建立	158
8.3.2	串接电阻方法	160
8.3.3	选相位分相合闸	163
8.3.4	变压器预充磁方案	167
8.3.5	预充磁变压器选型	171
	参考文献	174
第9章	船舶瞬态电压降分析	176
9.1	电动机起动引起电压降	176
9.2	降压起动	181
9.2.1	定子绕组串联电阻或电抗	181
9.2.2	自耦变压器	184
9.2.3	星-三角起动	186
9.3	软起动	190
9.3.1	电压斜坡控制起动方式	190
9.3.2	电流限幅控制起动方式	191
9.3.3	其他控制起动方式	193
9.4	变频器控制电机	194
9.5	实际模型的计算结果	200
	参考文献	202
第10章	船舶电网保护	203
10.1	船舶电网保护概述	203

10.1.1	船舶电力系统保护的分类	203
10.1.2	船舶保护装置的基本要求	204
10.2	船舶电网保护的特殊问题	205
10.2.1	运行方式	205
10.2.2	系统暂态问题	207
10.2.3	电动机馈送短路电流	209
10.2.4	电缆长度	211
10.3	大型发电机保护方案及应用	211
10.3.1	差动保护	212
10.3.2	发电机的过载保护	213
10.3.3	发电机的外部短路保护	214
10.3.4	发电机的欠压保护	215
10.3.5	发电机的逆功率保护	216
10.3.6	发电机的方向接地保护	217
10.4	变压器保护的方案及应用	217
10.4.1	变压器差动保护	218
10.4.2	变压器过电流保护	220
10.4.3	变压器的其他保护	221
10.5	船舶电网综合保护	222
10.5.1	船舶电网方向保护	222
10.5.2	船舶电网电流差动保护	225
10.5.3	船舶电网自适应保护	229
10.5.4	仿真与分析	231
	参考文献	240
第 11 章	船舶电力系统漏电保护	241
11.1	概述	241
11.1.1	漏电故障	241
11.1.2	中性点接地方式对漏电流的影响	241
11.1.3	船舶电力系统中的漏电装置	241
11.1.4	额定漏电动作电流的选择	242
11.2	漏电保护原理	242
11.2.1	零序电流保护	243
11.2.2	零序功率方向保护	246

11.2.3	故障支路选相原理	246
11.2.4	仿真分析	248
11.2.5	仿真结论	252
11.3	基于电流补偿法的船舶微机漏电保护	253
11.3.1	电流稳态补偿法	253
11.3.2	电流时域补偿法	254
11.3.3	电流补偿方法的仿真比较	255
11.3.4	硬件装置与主程序流程图	256
	参考文献	258
第 12 章	谐波分析与抑制	259
12.1	基本概念	259
12.1.1	谐波的基本概念	259
12.1.2	国内外对谐波的相关标准	260
12.1.3	谐波的危害	261
12.1.4	变频器及滤波器	263
12.2	船舶电力系统的谐波分析	264
12.2.1	变频器的电路构成及配置	265
12.2.2	典型船舶电力系统谐波分析	275
12.3	船舶电力系统谐波抑制方法	280
12.3.1	无源滤波器分析	281
12.3.2	有源滤波器分析	286
12.4	混合滤波器	291
12.4.1	混合型滤波器设计	292
12.4.2	混合滤波器参数优化	295
12.4.3	混合型滤波器有源滤波设计	301
	参考文献	303
第 13 章	船舶电力系统电磁干扰及抑制	305
13.1	干扰源	305
13.2	干扰传输方式	307
13.2.1	静电电容耦合	308
13.2.2	互感耦合	309
13.2.3	公共阻抗耦合方式	309
13.2.4	辐射干扰	310

13.3 抑制干扰的方法	310
13.3.1 滤波与退耦	310
13.3.2 瞬变干扰的限制	311
13.3.3 屏蔽和隔离	312
13.3.4 电缆屏蔽层的连接和接地	312
参考文献	313
第14章 船舶电力系统稳定	314
14.1 船舶电力系统稳定概述	314
14.1.1 功角稳定	315
14.1.2 电压稳定	315
14.1.3 频率稳定	316
14.2 船舶电力系统稳定分析模型	317
14.2.1 发电机模型	317
14.2.2 调速控制模型	320
14.2.3 励磁调节模型	322
14.3 典型船舶电力系统模型	324
14.3.1 系统仿真模型	324
14.3.2 运行工况	325
参考文献	326
第15章 船舶电力系统功角稳定	327
15.1 船舶电力系统静态稳定分析	327
15.1.1 电力系统静态稳定概述	327
15.1.2 单机-负荷静态稳定	328
15.1.3 多机系统下的静态稳定	331
15.2 船舶电力系统暂态稳定及动态稳定	332
15.2.1 故障点对系统暂态稳定/动态稳定的影响	333
15.2.2 工况对系统暂态稳定/动态稳定的影响	335
15.2.3 调速系统对暂态稳定/动态稳定的影响	336
15.2.4 励磁对暂态稳定/动态稳定的影响	339
参考文献	340
第16章 船舶电力系统电压稳定	341
16.1 电力系统电压稳定概述	341
16.2 船舶电力系统静态电压稳定	342

16.2.1 静态电压稳定指数	342
16.2.2 静态电压稳定计算分析	344
16.3 暂态电压稳定及中长期动态电压稳定	345
16.3.1 暂态不稳定现象及影响	345
16.3.2 励磁及调速控制的比较	349
16.4 SVC 对船舶电压稳定的影响	351
参考文献	355
第 17 章 船舶电力系统频率稳定	356
17.1 船舶电力系统频率稳定的分析	356
17.1.1 船舶电网频率失稳现象及影响	356
17.1.2 调速控制对频率稳定的影响	360
17.1.3 增强频率稳定的措施	362
17.2 电动机对频率稳定的影响	368
参考文献	373
附录 参数说明及典型值	375

第1章 船舶电网主接线安全及可靠性论证

1.1 概 述

船舶电网是由船用电缆、导线和配电装置以一定的连接方式组成的整体。发电机所产生的电能就是通过电网配送到船上各个用电设备的。电网主接线设计是确保船舶电网安全运行的重要内容,其主要内容就是合理配置电网器件之间和电网与用电设备之间的连接,以便在有限连接线的条件下,努力增加每项用电设备至电源的通路,也就是使用电设备有尽量多的通向各个电源的可能途径。在电站设备确定的条件下,电网型式的选择对保证供电的可靠性有决定性作用^[1~4]。因此,系统地分析现有船舶电网的运行情况,探索新的电网型式是船舶总体设计工作的一项重要内容。

船舶电网包括供电网络和配电网络。供电网络是指主发电机与主配电板之间、应急发电机与应急配电板之间、主配电板之间以及主配电板与应急配电板、岸电箱之间的电气连接网络。配电网络是指主配电板、应急配电板到用电设备之间的电气连接网络。当船上用电设备较多时,负载不可能全部由主配电板直接供电,而是将电能从主配电板经由分配电板或分配电箱再分到负载。为方便分析,通常称主配电板与分配电箱之间的网络以及由主配电板直接供电给负载的网络为一次网络,而分配电箱到各用电设备之间的网络为二次网络。

船舶电网设计的主要任务是:合理设计船舶电网的供电方式和配电方式,并采取各种有效措施来保证各种用电设备得到最可靠的电力供应;正确选择电缆和电线,并将选择的电缆和电线进行电压降核算。船舶电网设计的基本要求包括:

(1) 电网可靠性高,即要求电网在发电机组和线路发生故障或局部破损时仍能保证在最大范围内对负载的连续供电,并限制故障的发展、将故障的影响局限于最小的范围内;当电网严重破坏时,继续保持对最重要设备的连续供电^[5,6]。

(2) 电网设计应保证系统操作的灵活性,即电网运行的机动性和维修保养的方便性,包括控制部位操作的机动性、运行方案多样性、电源接口标准化、减少电气设备的型号规格、增加零部件的通用性。此外,考虑船舶以后的局部改装、增加新设备的需要,应在某些部位设置一定数量的备用供电支路。

为了保证电站设计中确定的控制功能的发挥,电网设计应采取相应的措施包括:

① 从网络设施上保障控制部位的地位。

② 保证实现控制部位的转换条件,即可根据系统使用要求从一个部位转换到另一个部位,也可从另一个部位转回到这个部位。

③ 电网器械配置应考虑某些部位之间操作的双向性。例如,船上配备两个电站 A 和 B,通常既要求可从电站 A 向电站 B 做并联操作,又要求可从电站 B 向电站 A 做并联操作。为此,这两个电站之间的跨接线两端都应设置可带电合闸的空气断路器,以实现两个电站之间的双向操作。

(3) 电网设计应努力提高其技术经济指标。设计时应选用最经济的电网连接方案:力求减少中间环节,节省配电电器;适当限制电缆的储备截面;在满足要求的前提下,选用价格低廉的电器设备,降低电网建造成本;提高电网运行的自动化程度,减少操作管理人员;降低设备故障率,减少运行损失和维修工作量;合理调配负荷,保持电网高效率运行;控制运行功率因数,减少线路损耗;提高负荷设备的运行效率。

(4) 电网设计应周密考虑电网的保护措施,衡量船舶电网的设计是否成功,不仅要看它处于正常状态的运行情况,更重要的是要观察它在故障状态下的行为有没有控制故障的能力。

对于一些重要的电网参数,应在故障动作前发出预警,以引起值班人员的警觉,提前采取必要的措施。保护电器的动作应具有选择功能。选择功能包括两点:①对故障点的判别能力,进行区域性的选择保护,缩小故障的影响面;②对故障性质的判别能力,如区别瞬时过流、短时过载等,然后采取不同的保护措施。船舶电网的合理设计直接关系到电力系统供电的可靠性,因此电网的重要性并不亚于电站。没有优良的电网相配合,电站的性能再好也不能发挥作用。船舶设计实践表明,选择合适的供电方式和配电方式,对提高船舶电力系统的设计质量具有重要意义。

1.2 电力系统主接线评估的基本理论

1.2.1 船舶供电网络分类

根据电源装置的不同,船舶供电网络可分为主电网、应急电网、临时应急电网和弱电电网。

1. 主电网

主电网是指由主发电机通过主配电板供电的网络。用电设备可直接由主配电板供电,或由主配电板供电至分配电箱再供电。主电网必须对下列动力、照明及通信导航等设备直接供电:

(1) 舵机必须有两路独立馈电线供电(如分左右舷敷设),若船舶设有应急发电站时,其中一路可以由应急配电板供电。

- (2) 锚机、起锚绞盘机。
- (3) 消防泵的电源和线路布置应保证在任何一舱失火时,至少有一台可供使用。
- (4) 总用泵、舵机泵。
- (5) 为推进装置服务的电动辅机的分配电箱。
- (6) 油船货油泵、起货机。
- (7) 冷藏船的冷藏电动装置。
- (8) 主照明变压器。
- (9) 航行信号灯控制箱、探照灯、舱室照明分配电箱。
- (10) 无线电台分配电箱、雷达、助航设备分配电箱。

(11) 驾驶室集中控制板。驾驶室内电气设备,如助航设备分配电箱、航行信号灯控制箱、工作灯和探照灯、室外照明分配电箱等集中设置在驾驶室集中控制板内时,若采用集中供电,应由主配电板设两路单独馈电线对其供电。当设有应急电源时,其中一路可由主配电板经由应急配电板供电。每路馈电线的电流定额均应满足驾驶室控制板内电气设备满负载时的用电,并应保证其中一路馈电线故障时,另一路能通过自动或手动转换使驾驶室控制板得到供电。

2. 应急电网

应急电网是指由应急发电机或应急蓄电池供电的电网。在主电网失电的情况下,应急电网应能向船舶最重要设备、具有要害功能的设备以及一些重要的必不可少的控制设备自动供电。应急电网应该保持相对的独立性,在安装和布线上都应尽量与主电网分开,而且有较高的安全可靠要求;但在特殊情况下,允许适当降低应急电网的运行指标。

我国船舶规范规定,航行于海上的货船,应急电网必须保证在主电网失电时,向应急动力负载、应急照明负载以及无线电通信、导航等应急负载连续供电 36h (客船 18h)。对航行于内河的客船,应急电网必须保证在主电网失电时,向应急动力各种负载、应急照明负载以及无线电通信、导航等应急负载连续供电 1h。

在正常工作情况下,应急电网可通过联络开关由主配电板供电。当主电网失电时能自动接通应急电源,供电给特别重要的辅机(如舵机、消防泵等)、应急照明信号灯以及通信助航设备。应急电网必须供电给下列负载:

(1) 应急动力负载,包括:①操舵装置的动力及控制设备;②通信导航设备、应急照明负载等的变流机组;③主机电遥控装置及电传令钟;④电动消防泵(设有应急发电机组时)。

当以应急发电机组作为应急电源时,在主电源失效状态下,对电动或电动液压操舵装置的两套互为备用的动力设备和控制装置应由应急配电板至少设一路单独馈电线对其供电。馈电线电流定额应能满足操舵装置同时工作的要求。

(2) 应急照明负载,包括:①主机操纵台的上方、主配电板及应急配电板的前后方;②舵机舱、机舱集中控制处所及机舱集中监视处所;③广播室、无线电室、海图室及驾驶室、灭火控制室;④机炉舱及其出入口处、应急逃生出口处、通道、扶梯口、救生艇停放处;⑤公共场所以及超过 16 人的客舱。

(3) 各种信号灯及通信助航设备,包括:①信号灯、磁罗经;②机械传令钟;③灭火剂释放预告信号装置;④紧急集合报警装置、火警系统。

3. 临时应急电网

临时应急电网是指由临时应急蓄电池供电的电网。临时应急电网应能在主电网失电时自动供电。在以应急发电机为应急电源而又无自动起动装置的船舶,必须安装临时应急电网,蓄电池的容量应能满足连续供电 30min。临时应急电网应对下列设备供电:

- (1) 临时应急照明和扩音机。
- (2) 失火报警和探火系统。
- (3) 机电设备故障检测报警系统。
- (4) 船内通信系统。
- (5) 操舵控制系统。
- (6) 失控信号灯。

4. 弱电电网

弱电电网包括助航、通信、无线电设备中各种不同电压、不同电流、不同频率的电网,也就是向船上无线电收发报机、各种助航设备(如雷达、测向仪、定位仪、测深仪等)、船内通信设备(如电话、广播等)以及信号报警系统供电的网络。这类用电设备的特点是耗电量不大,但使用电源与主电源不尽相同,对供电电源的电压、频率、稳压稳频的性能有特殊要求。因此,船上往往需要配置专门的变流机组或变频器向全船弱电设备供电。

1.2.2 船舶配电系统结构

电网设计的主要内容就是合理安排电网器件之间和电网与用电设备之间的连接,以便在有限连接线的条件下,努力增加每项用电设备至电源的通路,也就是使用电设备有尽量多的通向各个电源的可能途径。在电站设备确定的条件下,电网型式的选择对保证供电的可靠性有决定性作用。因此,系统地分析现有船舶电网的运行情况,探索新的电网型式是船舶总体设计工作的一项重要内容。

船舶电网采用的连接方式五花八门,但基本类型有以下五种:

- (1) 馈线配电方式(branch distribution)。
- (2) 干线配电方式(main route distribution)。

(3) 混合配电方式(辐射形, route and branch distribution)。

(4) 环形配电方式(loop distribution)。

(5) 网形配电方式(network distribution)。

这五种基本接线方式的结构和特点主要有:

(1) 馈线配电方式。

各个用电设备及分配电箱由主配电板的单独馈线引出,在具有两个电站时常采用以棋盘式的顺序给各个用电设备供电。这种配电方式的所有用电设备均由主配电板供电。从形式看,设备似乎能得到较高的供电可靠性,但由于这种方式的馈线电缆太多,任何一路用电负载发生较大的变动或意外故障都会对主配电板产生很大的影响,从而降低电力系统实际的供电可靠性。这种方式通常用于用电设备较少的小型船舶。主配电板向其所在舱室的负载供电也可能局部采用这种方式。

(2) 干线配电方式。

由主配电板引出几根叫做干线的电缆对分配电箱供电,用电设备再从分配电板上取得电源,这种配电方式的优点是电网结构简单,可以大大减少船舶干线电缆的数量。这对希望尽量减少穿过水密隔壁电缆数量的潜艇电力系统是很合适的。这种配电方式的缺点是供电可靠性较低,对电气装置不易进行集中控制。目前单纯采用干线式供电的电力系统已属少见。

(3) 混合配电方式(辐射形)。

馈线式和干线混合的配电方式,即一部分分配电箱或负载采用馈线配电方式,另一部分则采用干线配电方式。通常,前者是功率较大或较重要的负载,后者是较次要或功率较小的负载。混合配电方式的优点是局部线路发生故障不致影响整个电力系统,只要合理配置,可以保证重要设备有较高的供电可靠性,因此它是目前船舶上广泛使用的一种配电方式,见图 1.1。

(4) 环形配电方式。

这种方式是将主配电板和负载的分配电板串接在一起形成一个完整的环形,向用电设备供电。根据连接线形成的电网闭环的情况,环形配电方式可以分为全闭环、电源环和负载环数种。电源环和负载环是分别在电源或部分连接形成局部环。在两个电站的主配板之间加上两根跨接线就可以形成一个电源环。环形配电方式的优点是可以构成较多的电源到负载的通路,所以有较高的供电可靠性。但这种方式在管理和保护上比较复杂,故要求较高的技术水平。目前环形供电的应用逐渐增多。

在电网连接方式中,发电机与负载之间的连线称为纵向连线,而发电机之间或电动机之间的连线称为横向连线。由以上电网的基本类型可以看出,在某些情况下,横向连线有使负载电源通路数成倍增长的作用。如果纵横连线形成了闭合环,则可以显著地提高电网供电的可靠性,这就是电网设计中的环形原理。设计时应