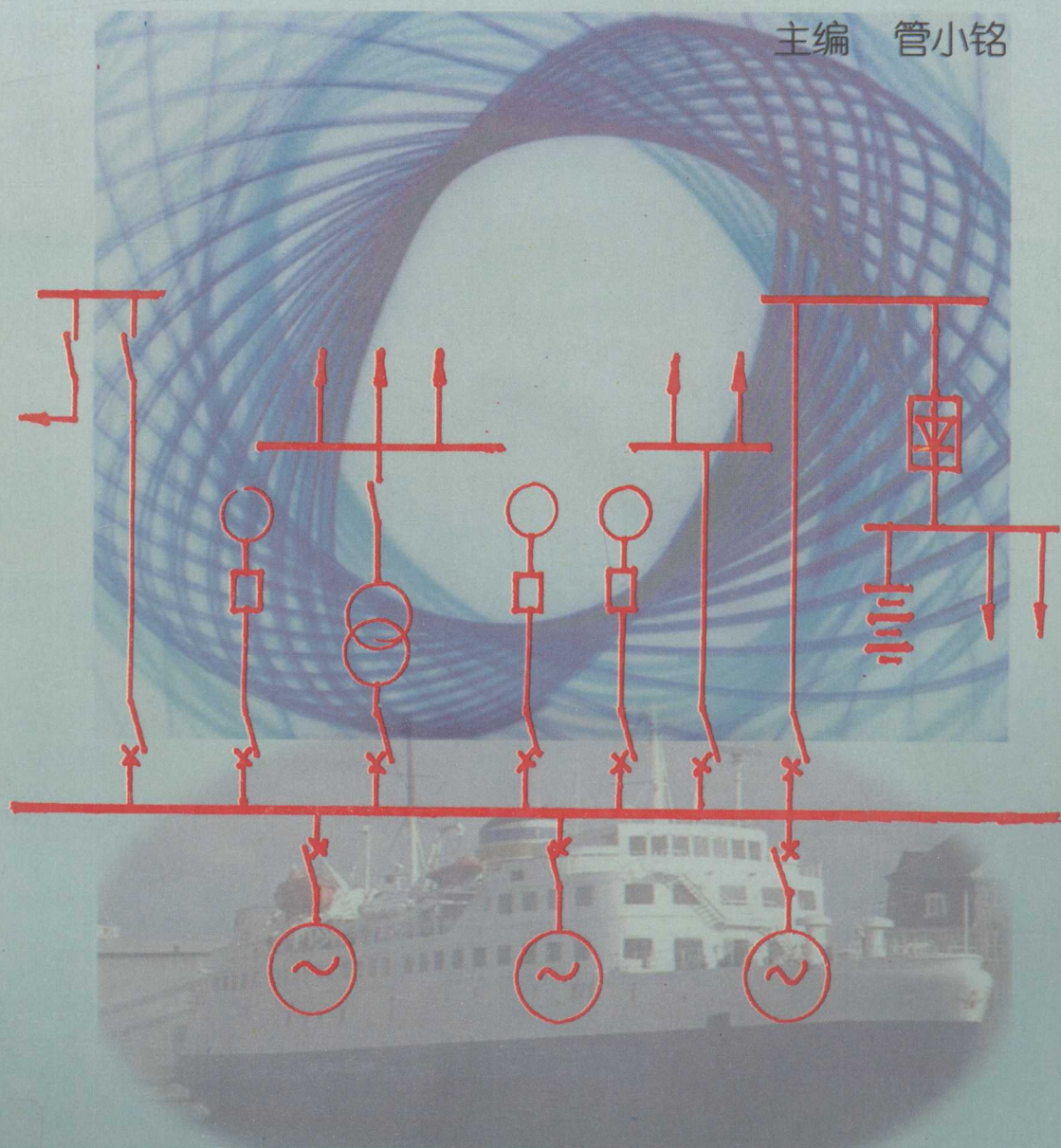


普通高等学校部委级重点教材

船舶电力系统及自动化

主编 管小铭



大连海事大学出版社

船舶电力系统及自动化

主 编 管小铭

大连海事大学出版社

内 容 提 要

本书共分十章。第一章概述了船舶电力系统总体及系统设计的一些基本问题。第二、三、四章分别介绍了发电机选用、电缆的选择方法,短路电流计算方法。第五、六、七、八、九章介绍了船舶电站各种自动化装置及其原理。第十章介绍与自动化船或无人机舱相关联的船舶电站综合自动化。此外还提供了相关的实用的设计用图、表和资料。

本书作为工业自动化电气技术专业的船电自动化专业课教材,也可供船电设计、研究、建造、运行管理、检验监督、维修等方面技术人员参考。

出版说明

根据国务院发(1978)23号文件批转试行的《关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定》,中国船舶工业总公司负责全国高等学校船舶类专业规划教材编审、出版的组织工作。

为做好教材编审组织工作,中国船舶工业公司相应地成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”、“水中兵器”五个教材小组,聘请了有关院校的教授、专家 50 余人参加工作。船舶类专业教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设研究、指导、规划和评审方面的专家组织,主要任务是协助船舶总公司做好高等学校船舶类专业教材的编审工作,为教材质量审查把关。

经过前四轮教材建设,共出版教材 300 余种,建立了较完善的规章制度,扩大了出版渠道,在教材的编审依据、计划体制、出版体制等方面实行了有成效的改革,这些为“九五”期间船舶类专业教材建设奠定了良好基础。根据国家教委对“九五”期间高校教材建设要“抓好重点教材,全面提高质量,继续增加品种,整体优化配套,深化管理体制和运行机制的改革,加强组织领导”的要求,船舶总公司于 1996 年又制定了“全国高等学校船舶类专业教材(九五)选题规划”。列入规划的选题共 133 种,其中部委级重点选题 49 种,一般选题 84 种。

“九五”教材规划是在我国发展社会主义市场经济条件下第一个教材规划,为适应社会主义市场经济外部环境,“九五”船舶类专业教材建设实行指导性计划体制。即在指导性教材计划指导下,教材编审出版由主编学校负责组织实施,教材委员会(小组)进行质量审查,教材编审室组织协调。

“九五”期间要突出抓好重点教材,全面提高教材质量,为此教材建设引入竞争机制,通过教材委员会(小组)评审、择优确定主编,实行主编负责制。教材质量审查实行主审、复审制,聘请主编校以外的专家审稿,最后教材委员会(小组)复审,复审合格后由有关教材委员会(小组)发出版推荐证书,出版社方可出版。全国高校船舶类专业规划教材,就是通过严密的编审程序和高标准、严要求的审稿工作来保证教材质量。

为完成“九五”教材规划,主编学校应充分发挥主导作用。规划教材的立项是由学校申报,立项后由主编校组织实施,教材出版后由学校组织选用,学校是教材编写与教材选用的行为主体,教材计划的执行主要取决于主编校工作情况。希望有关高校切实负起责任,各有关方面积极配合,为完成“九五”船舶类专业教材规划、为编写出版更多的精品教材而努力。

由于水平和经验局限,教材的编审出版工作和教材本身还会有很多缺点和不足,希望各有关高校、同行专家和广大读者提出宝贵意见,以便改进提高。

中国船舶工业总公司教材编审室

一九九七年四月

前 言

本书根据中国船舶工业总公司船电自动化教材组确定的“九五”重点教材计划及船舶电力系统及自动化教材编写大纲编写。全书分十章,从供电角度看,涵盖了船舶交流电力系统设计的基本问题和船舶电站的主要自动化技术。全书注重基本概念的阐述,分析问题的思路和方法。注意介绍新技术、新设备、新规范、新标准。

近十年来,包括可编程序控制器在内的微型计算机技术迅速发展及数字化技术应用,是船舶电力系统自动化的新特点,但考虑到计算机硬件技术更新速度快,且自动化专业设有相关课程,所以本书仅侧重于介绍该技术应用思路。

本教材内容按 60 学时编写,其中第四章和第八章为课外自学用。实际教学内容可根据教学计划要求作适当调整。

本书由武汉交通科技大学管小铭主编。秦媛媛编写了第一章一至五节、第二章和第四章,何志渔编写了第七章和第八章,管小铭编写了第一章第六节以及第三、五、六、九、十章。海军工程学院张汝均教授对全书进行了认真、仔细的审阅,并提出了许多宝贵的修改意见。龚昌奇完成了本书插图的描图工作。编者在此表示衷心的感谢。

编者还要感谢唐嘉亨、刘清、张晓峰在本书编写过程中给予的关心和支持;感谢方显进、李麟、钟守谦、沈兵、涂光莹、刘碧瑞、胡召音对编写工作提出的意见或给予的帮助。

由于编者水平有限,时间仓促,书中错谬不周之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1998 年 2 月

本书中常用符号及其含义

CDP	充放电板 (Charging and Discharging Panel)
E	励磁机 (Exciter)
EP	辅励磁机 (Pilot Exciter)
ESB	应急配电板 (Emergency Switch Board)
G	发电机 (Generator)
GE	应急发电机 (Emergency Generator)
KT	时间继电器 (Time—delay Relay)
LC	移相电抗, 复励阻抗 (Compounding Excitation Reactor)
L_{sat}	饱和电抗器 (Saturated Reactor)
MSB	主配电板 (Main Switch Board)
Q	断路器 (Circuit Breaker)
SPCB	岸电箱 (Shore Power Connection Box)
SB	按钮 (Push Button)
SSB	分配电板 (Section Switch Board)
T	变压器 (Transformer)
TA	电流互感器 (Current Transformer)
TC	相复励互感器 (Phase—compounding Excitation Transformer)
TV	电压互感器 (Potential Transformer)
UR	整流器 (Rectifier)
V	晶体管 (Transistor)

以下符号用于下标时的含义

d	直轴 (direct—axis)
dc	直流 (direct—current)
e	励磁机 (exciter)
f	励磁、磁场 (field)
g	发电机 (generator)
l	环路 (loop)
M	电动机 (Motor)
m	幅值 (magnitude)
max	最大值 (maximum)
min	最小值 (minimum)
N	额定值 (Nominal)
n	电网 (network)
P	峰值 (Peak value)

目 录

第一章 船舶电力系统概论.....	(1)
第一节 船舶电力系统.....	(1)
第二节 船舶电力系统基本参数.....	(4)
第三节 船舶电站.....	(6)
第四节 船舶电网.....	(7)
第五节 配电装置	(15)
第六节 船舶电力系统的可靠性及生命力概念	(16)
思考题	(19)
第二章 船舶电站参数选择	(20)
第一节 概述	(20)
第二节 三类负荷法	(21)
第三节 需要系数法	(34)
思考题	(36)
第三章 船舶电缆选择	(38)
第一节 概述	(38)
第二节 电缆截面的选择和校验	(44)
思考题	(50)
第四章 船舶交流电力系统短路电流计算	(51)
第一节 概述	(51)
第二节 短路电流的计算	(52)
第三节 短路电流的国家标准计算	(55)
第四节 母线的选择	(80)
第五节 用计算机计算短路电流	(83)
思考题	(84)
第五章 船舶同步发电机投入并联工作	(86)
第一节 概述	(86)
第二节 手动准同步方法	(88)
第三节 电抗同步方法	(91)
第四节 自动准同步原理	(93)
思考题.....	(102)
第六章 船舶同步发电机电压及无功功率自动调整.....	(103)
第一节 概述.....	(103)
● 第二节 相复励原理.....	(105)
第三节 可控硅励磁装置.....	(114)
第四节 可控相复励原理.....	(115)

第五节 无刷励磁.....	(119)
第六节 关联运行的同步发电机之间无功功率的分配与稳定.....	(123)
第七节 实例综合分析.....	(129)
思考题.....	(132)
第七章 船舶同步发电机频率及有功功率自动调整.....	(133)
第一节 概述.....	(133)
第二节 调速器作用原理和特性.....	(134)
第三节 并联运行的同步发电机之间有功功率的分配.....	(136)
第四节 自动频载调节装置原理.....	(137)
思考题.....	(145)
第八章 轴带发电机.....	(146)
第一节 概述.....	(146)
第二节 晶闸管轴带发电机的组成和基本原理.....	(149)
第三节 轴带发电机的的启动、停止、并车、监测和保护	(153)
思考题.....	(157)
第九章 船舶电力系统保护.....	(159)
第一节 概述.....	(159)
第二节 船舶同步发电机的保护.....	(160)
第三节 船舶电网的保护.....	(174)
第四节 船舶负载的保护.....	(182)
思考题.....	(184)
第十章 船舶电站综合自动化.....	(185)
第一节 概述.....	(185)
第二节 参数自动监测报警系统.....	(187)
第三节 柴油发电机组自动启动和停机.....	(188)
第四节 自动电站的总体控制.....	(192)
第五节 微机在船舶自动化中的应用.....	(195)
思考题.....	(197)
附录.....	(198)
附录 1 CCFJ 系列船用柴油发电机组	(198)
附录 2 无锡电机厂船用无刷三相同步发电机系列	(200)
附录 3 1FC6、1FC5 型船用无刷三相同步发电机短路电流计算用数据	(202)
附录 4 上海电缆厂生产的船用电缆资料	(205)
附录 5 自动化监控项目表	(207)
附录 6 发电机控制屏及主配电板典型环节原理图	(211)
参考文献.....	(213)

第一章 船舶电力系统概论

第一节 船舶电力系统

一、船舶电力系统的组成

由发电、变配电、输电和用电四部分设备构成的统一整体称为电力系统。船舶电力系统也可分为船舶电站、船舶电网和用电设备。船舶电力系统的示意图如图 1-1 所示。

船舶电站由原动机、发电机和主配电装置组成。

船舶电网是全船电缆电线和配电装置以一定方式连接起来的组合体,是联系电能的生产者(各种电源)和电能的消费者(各种用电设备)的中间环节,担负分配和输送电能的任务。船舶电网按其所联系的负载性质分为动力电网、照明电网、应急电网、弱电电网等。

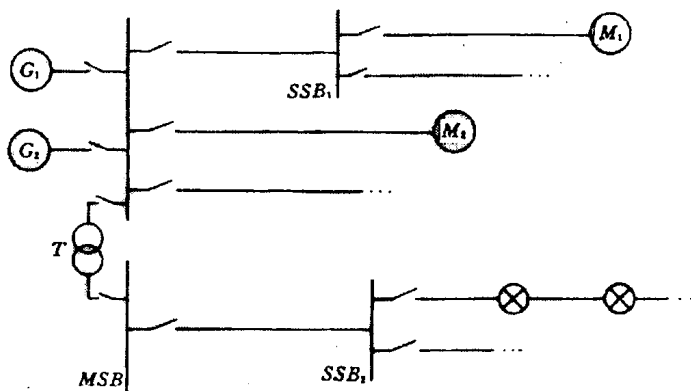


图 1-1 电力系统示意图

配电装置是用来接收和分配电能,并对电力系统进行保护、监视、测量、指示、调整、变换和控制等工作的设备。配电装置可以分为属于船舶电站的主配电板(Main Switch Board, 简称为 MSB),船舶电网中间的分配电板(Section Switch Board, 简称为 SSB);属于应急电力系统的应急配电板(Emergency Switch Board, 简称为 ESB),蓄电池充放电板(Charging and Discharging Panel, 简称为 CDP)。分配电板又可分为动力配电板和照明配电板。

船舶用电设备即负载,分为四类:

- (1) 船舶各种机械的电力拖动,包括甲板机械(舵机、锚机、绞缆机、起货机等)、舱室机械(各类油泵、水泵、空压机、通风机、空调设备等)、电力推进和工作船舶用的生产机械。
- (2) 船舶照明设备,包括工作场所、生活舱室的各种照明灯具和航行、信号灯具等。
- (3) 船舶通讯和导航设备。
- (4) 舰船上生活所需的其它用电设备,如电热器、冰箱、电视机等。

总之,船舶电站是船舶电力系统的核心,它在船舶整体设计中占有很重要的位置,特别是在现代自动化船舶上,显得尤为突出。

二、船舶电力系统特点

和陆上电力系统一样,船舶电力系统由发电设备、变配电装置、输电网络、用电设备等,按一定的联接方式组成。但由于负荷特点和具体工作条件不同,船舶电力系统和陆上电力系统相比,有明显的不同特点。

第一,船舶电站和电力系统容量较小,为了保证供电可靠性、经济性,陆上电力系统一般都由十几个甚至数十个不同类型的发电厂联合供电,电力系统容量高达上亿千瓦。我国单机容量,火力发电已达 60 万千瓦,水力发电已达 70 万千瓦。美国等国已生产 100 万千瓦汽轮发电机组,电力系统输送距离已达上千公里。由于船舶电站只供给一条舰船负载需要,因此单机容量和系统容量要小得多,一般万吨船装机容量为 1000kW 左右。目前世界上最大的船舶电站容量达到数万千瓦,单机容量已达 5000kW,但总的说来,船舶电力系统与陆上电力系统的容量是无法比拟的。

由于船舶电站容量小,单机容量可与某些大的船用负荷相比拟,当大的电动机起动时,对电网造成较大冲击,因而对船舶电力系统的稳定性提出了较高要求,如要求船用发电机调压器动作时间要快,有强行励磁能力。发电机有较大的承受过载的能力。此外,由于船舶工况变动频繁,要求船用并车装置简单、可靠。

第二,船舶电气设备比较集中,电网较小。陆上电力系统由于容量大,输电距离远,为了减少电压和功率损失,必须采用高压输电,这就需要配备有各种电压等级的配电装置和输电线路,以满足输变压的要求,输电线路可采用电缆,但大多数采用架空线路,因为像 500kV 这样高电压、大容量、远距离的高压输电采用电缆,无论在经济上还是技术上都是难于实现的。而一条船充其量 200~300m 长,整个系统范围不大,船舶电站与用电设备之间距离很短,因此,船上主要采用 400V 电压等级的发配电设备及电缆供配电,在计算线路电压降时,往往可以忽略电缆的电抗。船舶发电机和船舶电网的保护也比陆地上的简单得多,但由于线路短,电网发生短路时对发电机和系统的影响大。

第三,舰船电气设备工作条件恶劣。舰船被水包围,自成体系,独立性强,在航行中倘遇意外,主要依靠自救。舰船电气设备工作条件比陆地恶劣得多,环境条件对电气设备的运行性能和工作寿命有严重影响,如环境温度较高(在赤道附近,机舱温度高达 50℃以上),相对湿度较大(有时高达 95%~100%);存在盐雾、霉菌、油雾、凝露,使导电金属受到腐蚀,绝缘材料的性能降低,加速老化,电气设备工作性能受到影响;船舶的摇摆(横摇 22.5°)、倾斜(长期横倾 15°~22°,纵倾 10°)、振动(由波浪冲击、往复式机器运转、火炮射击等引起),影响了电气设备工作的可靠性和正确性。由此可见,船用电气设备必须满足船用条件下,可靠、稳定地工作的要求,如表 1-1 所示。

表 1-1 船用条件

序号	工作条件	要 求	序号	工作条件	要 求
1	周围温度	-25°~+45°	7	倾 斜	周期横倾 22.5°
2	相对湿度	95%			长期横倾 15°(应急设备为 22.5°)
3	凝 露	有			长期纵倾 10°
4	盐 雾	有	8	振 动	有
5	油 雾	有	9	冲 击	有
6	霉 菌	有			

选用船舶电气设备需要用符合船用条件的产品,无船用产品时,可考虑采用陆用产品加三防(防湿热、防盐雾、防霉菌)来代替。

三、船舶电力系统的发展概况

船舶电力系统的设计通常以舰船总体设想和对各系统的要求为依据,故舰船总体的发展必然会对舰船电力系统提出更高的希望和要求。随着舰船吨位的增大、电气化程度的提高和科

学技术的发展,舰船电力系统亦有显著的进步和变化。

(1)舰船电力系统的发电功率逐年增大。解放初,我国只能建造简单的小型钢质船舶,总吨位不到1万吨。40多年来,中国造船业不断发展,尤其是改革开放以来,发展十分迅速,建立了具有一定规模的现代造船工业,并且从完全封闭的国内市场走向世界造船市场。现在除少数几种技术特别复杂的船舶外,中国能建造15万吨级(载重吨)以下的各种运输船舶。自70年代迄今,中国造船业共承接出口船订单近500万吨,已出口到20个国家和地区。近十年来,我国已建造一批技术复杂、要求高、难度大的现代船舶,如118 000t穿梭油轮、69 000t成品油/化学品船、4 000辆汽车滚装船、2 700箱冷藏集装箱船、冷藏船和LPG船等。目前,与船舶吨位增加相适应的船舶电力系统发电功率,已达数万千瓦,单机容量5 000kW。

(2)电力系统的设备性能和供电指标有了很大的提高。现代船舶电力系统的设计以最大限度地维持不间断供电为目标。由于船电技术的发展,船舶电力设备日趋完善。工业部门不仅能为舰船提供完整的发电机组系列,性能优良的各种容量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荷的能力。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,电网电压达3~6kV。虽这种系统仅限于大型船、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,它为舰船电力系统的进一步发展提供了空间。

(3)电力系统实现集中控制和自动化。电力系统自动化是舰船自动化的一个组成部分,也是舰船现代化的一个重要标志。船舶电站自动化有以下优点:

第一,维持船舶电力系统供电的连续性和可靠性,增强船舶运行的生命力。

第二,提高船舶电站供电质量,使各用电负载处于良好的工作状态。

第三,改善船员的劳动条件。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,劳动强度减轻,使船员有更多的时间、精力从事设备的维修工作。

第四,减少船员,提高劳动生产率和船舶运行的经济指标。

此外,自动化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。

随着船舶容量的不断增加,为了提高电气的可靠性,减小电气设备的尺寸和重量,50年代普遍开展了船电交流化工作;60年代开始进行电站局部自动化,提出了提高船舶电站的电压和频率并进行试验,各国采用船舶电站单元自动化装置,如自动并车、自动调频调载、自动卸载和自动启动等。

1964年出现无人机舱。1970年日本建成第一艘超自动化油轮“星光丸”,其柴油主机功率为21 000kW,载重量为138 000t,全船由一台电子计算机自动控制导航系统、轮机系统和舾装系统,实现全面的自动控制。稍后,荷兰建造了“Nedlloyd Houtman”号,它是世界上第一艘应用大规模集成电路和微处理机技术进行报警和监控的集装箱船,采用图象显示和微处理机控制巡回检测装置系统,系统安装有3套装置:

第一套装置是机舱监视系统,对两台主机和有关辅机进行监视。该系统在集中控制室和船员居住区各有两台大小不同的彩色电视机,从传感器来的模拟和数字信号通过微处理机,用图象或文字在电视机上显示各种工作的正常或事故状态。

第二套装置是冷却装置监视系统。它是和机舱系统相似的一个独立系统。

第三套装置是冷藏集装箱记录和监控系统。这个系统周期地监测和记录2 450只冷藏集装箱的温度和动力装置的参数。

这种以多台微处理机的分散控制方式显示了极大的优越性:它比一台较大型的电子计算机集中控制的自动化系统体积小、重量轻、可靠性好、成本低,维修使用方便,并避免了系统之间的相互干扰。

航海事业处于国际竞争之中,因此要求有价廉、高效率、可靠性高的船舶。在船舶有关费用中,主要是船员的费用和修理费用,这就不得不谋求船舶设备自动化以精简船员。自动化电站为船舶减少人员提供了可能与条件。第二次世界大战后,一万吨级远洋轮有 60 名船员,到了 20 世纪 50 年代,由于自动化程度的提高,船员减少到 50 名;60 年代,由于无人机舱的实现,船员减少到 26 名;70 年代后,自动化程度较高的船仅需 14~15 名船员。目前,德国、挪威、日本等国正在研究“未来型”、“2000 年型”大型船,每船只配备 6~10 名船员。

(4)在舰船电力系统中广泛采用各种新技术。科学技术的发展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了很大的提高,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。电力电子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。电子计算技术的推广应用,出现了用微机控制和管理的电站,对于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。设备电子化的结果,推行了便于生产装配和维护保养的标准部件和插件方式,提高了生产效率,缩短了设备维修时间。

第二节 船舶电力系统基本参数

船舶电力系统的基本参数有电流种类、电压等级和频率标准。它们决定了船舶电站工作的可靠性和电气设备的重量、尺寸、价格等。

一、电流种类的选择

电流有直流和交流两种。早期船舶多采用直流电力系统,30 年代开始在军用舰船上采用交流电制,以后逐渐推广到各种船舶,50 年代形成电制更替高潮。我国舰船在 60~70 年代完成了向交流电制过渡。然而舰船电力系统的电流种类,仍然会受到舰船能源类型或某种条件的限制,例如,采用蓄电池组为能源的常规潜艇,就很难推行交流电制;有较高调速要求的推进电力系统也往往采用直流电制。

交流电站与直流电站相比,前者设备成本和维护保养方面的费用及工作量比后者少得多。因为交流电动机没有整流子,结构简单、体积小、重量轻、运行可靠。鼠笼式电动机可以直接起动,控制设备少。此外,交流动力网络与照明网络之间可通过变压器实现电气隔离,使绝缘电阻低的照明电网基本上不影响动力电网。交流电制也有利于船舶电气化程度的提高和系统容量的增长。直流电站的优点是调压并车简单,电动机起动时冲击小,可实现大范围平滑调速(这对电动起货机尤为有利),蓄电池组充电毋须整流器等。然而,由于电力电子技术的发展,直流电制的优点越来越不明显,交流电制在国内外各种船舶中占了主要地位。

二、电压等级

确定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。从减少导体电流的角度来看,提高电压是有利的,可以减小电器元件的导电截面,节约有色金属。如以电器在电压为 127V 时的重量为 1,则当电压为 220V、380V 和 500V 时,电器的重量分别近似地等于 0.58、0.33 和 0.25。

另一方面,电压的提高增加了电器灭弧的困难,为此对电气设备的绝缘和安全方面提出了更高的要求,需要加大灭弧间隙,这样又使电器的重量、尺寸增大,故在电压高于 600V 时,其重量、尺寸减小很少。

目前世界各国对电压等级的考虑,主要与本国陆上电制的参数能统一。我国发电设备具有 230V(单相)、400V(三相)的额定电压。欧盟从 1992 年起规定低压发电设备的额定电压只允许使用 230V/400V。由于船舶容量的增加,提高电压是必然趋势。在一些大型船舶、工程船舶及舰船上,电站容量已达 20 000~40 000kW 以上,单机功率达 3 000~5 000kW,这时仍采用 400V 电压等级已成为不可能。因为当三相 400V 和 $\cos\varphi=0.8$,发电机额定相电流为 5 700A 时,就需要截面为 $3\times 240\text{mm}^2$ 电缆 18 根并联运行,这是不合理的。此外,这样大的电流使开关保护电器复杂化。

船舶电站额定电压有向中压发展的趋势。国际电工委员会建议采用 3.3kV 电压;英美等国因为陆上有 3.3、6.6kV 电压等级,所以这些国家在巨型船舶上采用 3.3、6.6kV;德国允许最高工作电源电压为 11 000V,这是充分估计了船舶电压发展趋势的最高电压。我国电力推进系统最高允许电压规定直流为 1 000V,交流为 6 300V。英国“伊丽莎白皇后二世”号客轮(3 台 5 500kW 主发电机)和我国 500t 浮吊船上已采用了 3.3kV 电压。

三、额定频率

船舶交流电力系统现行额定频率有工频和中频两种。工频是船舶动力电气设备使用的频率,按各国传统习惯,有 50Hz 和 60Hz 两种。我国船舶与陆用电源一致,用 50Hz 的标准频率。美国、韩国、菲律宾等采用 60Hz。有些国家和地区如巴西、日本等采用 50Hz 和 60Hz 两种频率。

在一定范围内提高频率,可提高自动化系统动作的快速性,降低电气设备自动化元件的重量和尺寸。因此,船舶电力系统有采用中频或局部设备由中频发电机供电的可能。近年来,国外有些军舰已开始采用 400Hz 频率供电,我国舰船规范也推荐优先采用 400Hz 频率。

电源采用中频 400Hz 的优点是:

(1)减少电气设备重量。因为转速 $n=60f/a$ (a 为磁极对数),使发电机和拖动机械转速提高,如 $a=2, n=12\,000\text{r/min}$ 。而电机的电磁转矩 $M=975P/n$ (P 为电磁功率),当功率恒定时, M 随着 n 的升高而减小,电机绕组的导线因电流减小而其截面可以缩小,因而电动机的重量和体积可以减小。对于高速机械,因转矩小,其相应重量、体积也小。变压器、电抗器和电容器也因此而减小重量和尺寸。但由于集肤效应的影响,频率提高到 400Hz,电缆、配电装置和电器元件的重量和尺寸指标有些增加。总的来说,频率提高到 400Hz,则电气设备和电动机拖动机械的重量将减小到 60%。

(2)用静止整流器对直流用电设备供电时,滤波要求低。

(3)因短路电流近似与短路电路电抗成反比,电抗随频率而增大,因此可限制短路电流,并改善装置安全工作条件。

(4)动态性能好。因为负载控制线路的时间常数 $T=X_L/2\pi fR$, T 随 f 的提高而减小,使系统快速性增加,起动与发电机功率可比拟的异步电动机也快。电机的惯性常数 $W=CGD^2n^2$ (C 为常数, GD^2 为转子的飞轮惯量, n 为转速),当功率不变时,由 50Hz 的转速 1 500r/min 提高到 400Hz 的 12 000r/min,将使发电机惯性常数增大至 9 倍以上。

(5)电动机在高频轻载时, $\cos\varphi$ 高。

提高频率也会带来一些不利因素,如要求制造高速电机、电器、仪表和高速机械,交流阻抗增大,损耗增大。为了实现准同步并车,必须采用新型调速器和高速开关。中频电器、高速机械工作噪音较大,这是现代舰船所不希望的。

第三节 船舶电站

船舶电站由原动机、发电机和主配电装置组成,它是船舶电力系统的主要组成部分。

一、船舶电站的分类

船舶电站按原动机类型分为柴油发电机组、汽轮发电机组、燃气轮机发电机组、蒸汽发电机组、轴带发电机组、核能发电机组。蒸汽机由于其热效率低,已基本淘汰。在用蒸汽动力装置的舰船上,除了安装汽轮发电机外,为了快速备航和提高生命力,也安装柴油发电机组。迄今为止,柴油发电机组用得最为普遍,这是因为其具有效率高、机动性强、起动快等优点。近年来,船舶在减员、自动化、节能等方面有较大发展。在船舶航行工况下,所需电能不超过主机功率的10%,而主机有10%~15%的功率储备,因此用轴带发电机(尤其是渔轮、小轮)可节约大量燃油,提高经济性,但需另外配置辅助柴油机组以供停港和装卸货时使用。核能发电机组是用原子反应堆作为能源使锅炉产生高温、高压蒸汽驱动汽轮机从而驱动发电机。这种发电机组可节约日趋短缺的石油等能源,并使燃料在船舶所占容积和重量大为降低,相对增加了船舶的吨位。目前,美国、日本、德国等国已有此类船舶在运行。

二、主配电装置

主配电装置是船舶电力系统的中枢,其作用是用来控制和监视主发电机的工作,并将主发电机送出的电能向全船电网进行分配。主配电装置一般由四部分组成:发电机控制屏、并车屏、负载屏和连接母线。

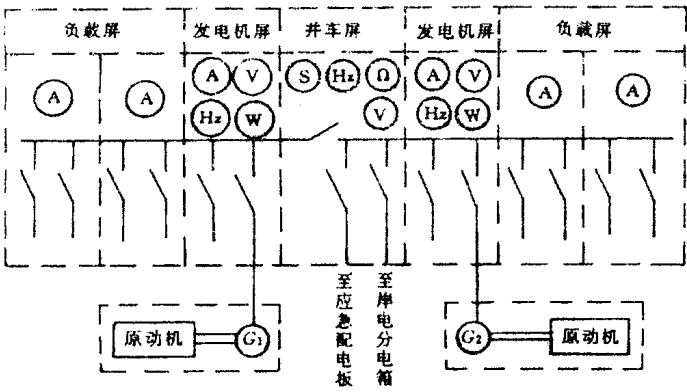


图 1-2 船舶交流主配电板单线图

船舶交流主配电板单线图如图1-2所示。军用船舶主配电板应布置在船舶防护较好的地方,以减少受敌人炮火损坏的可能性。大型舰艇的主配电板放在装甲区域。轻型舰艇应尽量布置于中心,因为两舷受攻击机会较多。具有两个主配电板的船舶,最好能相互远离并超过弹片的爆破半径。民用船一般安装于机舱控制室内。

1. 发电机控制屏

发电机控制屏包括发电机主开关(即万能式空气断路器)及其指示操作部分(指示发电机与母线接通状态或断开状态或储能状态的绿、红、黄指示灯和操作按钮等),发电机的保护(发电机的短路、过载保护、逆功保护,分级卸载、欠压保护等),发电机的励磁控制与调节、发电机频率手动调节及测量部分(包括转换开关、仪用互感器和测量仪表)。

2. 发电机并车屏

发电机并车屏包括分段母线的隔离开关、手动及自动并车时的检查和测量仪表、转换开关

等。简单的并车屏常与发电机控制屏合二为一。

3. 发电机负载屏

发电机负载屏包括控制负载供电的自动开关(即万能式或装置式自动开关)及测量、报警装置,可分为动力负载屏和照明负载屏。

4. 连接母线

从连接母线(汇流排)的连接上能直接反映出全船的供、配电情况。公共母线可为一整体,也可分两段,中间用隔离开关连接。采用分段母线的方式,发电机组可以并联供电,也可单独分区供电。

发电机控制屏(兼并车屏)原理图及一些主配电板典型环节原理图见本书附录六。

第四节 船舶电网

一、概 述

船舶电缆、导线和配电装置,以一定的联接方式组成的整体称船舶电力网络,简称船舶电网。发电机所产生的电能通过船舶电网输送到船舶各部分的用电设备,因此船舶电网是联接电源和负载之间的桥梁。

对船舶电网的基本要求是生命力强,即要求电网在发生故障或局部破损时,仍能保证对负载的连续供电,并限制故障的影响在最小范围之内;此外,要求经济性好,安装、使用和维护方便、灵活。

二、船舶电网的线制

对直流电的船舶,常用配电方式主要有双线绝缘系统、负极接地双线系统和以船体作为负极回路的单线系统等 3 种,如图 1-3 所示。对交流单相的船舶,可采用双线绝缘系统或一线接地的双线系统。

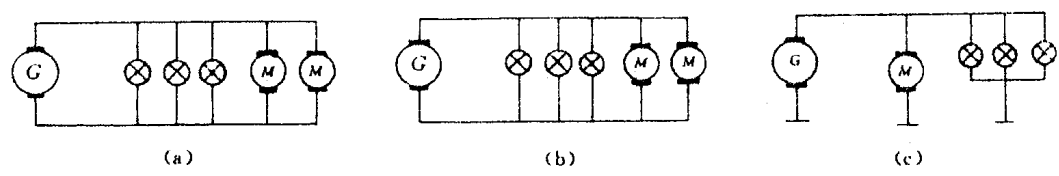


图 1-3 直流配电系统

(a)直流双线绝缘系统;(b)负极接地的双线系统;(c)以船体作负极回路的单线系统

在单线制中,由于利用船体作为回路的回线而节约了大量电缆,简化了配电装置,从而降低了建造费用,但易造成漏电发生短路,甚至引起火灾,对人身危险性大,目前仅用于少数小船、渔船上。

对三相交流电的船舶,常用的配电方式有三线绝缘系统(三相三线系统)、中点接地的四线系统(三相四线系统)和利用船体作为中性线回路的三线系统(中点接地的三线系统),如图 1-4 所示。

三相绝缘系统中,照明系统与动力系统经过变压器相联系,两系统间只有磁的联系而没有电气的直接联系,因而相互间影响小。电力系统既具有较好的电气防火安全性,亦保证人体触及一相时的电气安全性。但带来两个主要问题:一是随着船舶向大型化、自动化发展,电缆线数、长度及其截面增加,以及防无线电干扰电容的广泛应用,使船舶电力系统的对地电容大大

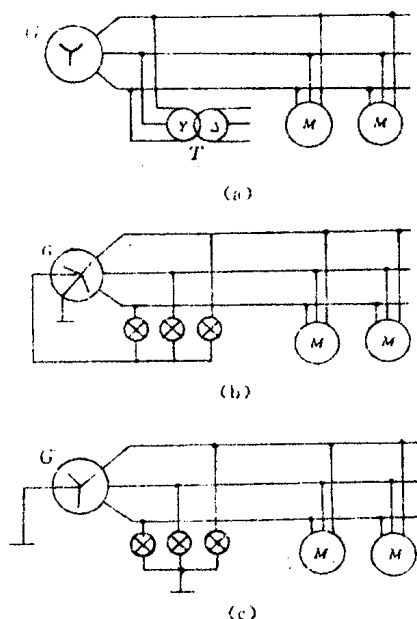


图 1-4 交流电的配电系统
(a) 三线绝缘系统; (b) 中点接地的四线系统; (c) 中点接地的三线系统

增加,从而使电网相线和船体之间产生了电气联系,存在引起电火灾的电压并有可能危及人员安全,这就使防火及电气安全性大大降低(特别是对采用高电压和中频电源的船舶)。二是在中点绝缘系统中,在故障状态或合闸瞬间可产生 2~5 倍过电压的冲击,这是现代船舶上广泛使用半导体元件的计算机、集中控制台和测量仪表必须注意的问题。

对于中点接地的三相四线系统的特点是,同一电源可供给电力和照明不同的电压,过电压倍数小,维护方便,不需要经常检查电网的绝缘电阻。但当单相接地时便形成短路。也有人认为,合理的选择分段保护后,在故障点附近就能切除短路,并根据切断点可方便地查出故障点,这反而成了这种系统的优点。在中点接地的四线系统中,具有较大中线电流和三次谐波环流。但这与三相负载的不对称度及两台并联机组的有功和无功负载分配的不均匀有关。因此要加接直流均压线并把不均匀度限制在 10% 以内。三相三线系统与中点接地的三相四线系统的比较如表 1-2 所示。

目前大多数船舶使用三线绝缘系统,随着船舶大型化、自动化,将采用三相四线系统。

表 1-2 中点接地的三相四线系统与三相三线系统的比较

序号	系统方式 比较项目	中点接地的三相四线系统		三相三线系统	
		状 态	措 施	状 态	措 施
1	接地电流	为三相短路电流或更大	要求合理选择分段保护,保证及时切除	有少量对地分布电容,并随系统容量和线路的增减而增减	
2	暂时性接地故障的后果	转为短路	要求合理选择分段保护,保证及时切除	可能形成断续电弧	
3	一相接地时,其它相的电压升高	为相电压		等于或略大于线电压	
4	电弧接地过电压	可不考虑		可能很高	提高设备耐压
5	操作过电压	最低		很高	提高设备耐压
6	单相接地延续时间	最短		长	要求迅速查出,排除故障
7	单相接地发展到多相短路的可能性	最小		最大	要求迅速查出,排除故障
8	接地故障的排除	方便		困难	
9	绝缘电阻的检测	困难	要使设备接地回路断开	方便	
10	负载不平衡时,中点位移及负载电压的不对称度	最小		最大	
11	中线电流	有(无危险)		无	
12	发电机并联时的三次谐波环流	有		无	
13	三次谐波对通讯的干扰	有	报房电源需加装滤波器	无	

三、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之间的电气联接网络。

配电网络是指主配电板及应急配电板到用电设备的网络。当船上用电设备较多时,全部负载不可能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。为了分析方便,通常称主配电板与分配电板之间的网络为一次配电网络,而分配电板到各用电负载之间的网络为二次配电网络。

1. 供电网络

根据船舶种类的不同、负载的多寡及对船舶电站的不同供电要求,供电网络可分为单主电站供电网络及多主电站供电网络。前者多用于民用船舶,后者多用于军用舰艇及大型客船。

1)单主电站供电网络:图 1-5 所示为万吨级货轮单主电站的典型供电网络。船舶电站总容量为 1 000~1 200kW,发电机 3~4 台。每台机组通过电缆、自动空气开关与主配电板汇流排(母线)相连接。发电机可以并联运行,同时向汇流排供电。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,并且可减小由于大的用电负荷的急剧变化(如起动大电动机时)所引起的电网电压波动。

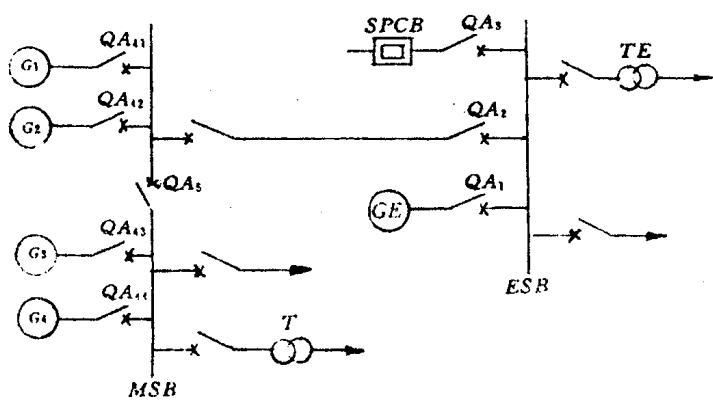


图 1-5 单主电站供电网络

MSB-主配电板;ESB-应急配电板;G₁~G₄-主发电机;EG-应急发电机;
QA-自动开关;T-变压器;TE-应急系统变压器

图 1-5 中主配电板汇流排采用分段联接方式,它比单汇流排式仅多一个或几个自动开关,但提高了供电的可靠性和灵活性;同时工作的发电机可以单独运行,也可以并联运行。当汇流排一段发生故障,可以断开分段开关,保证未发生故障的一段汇流排仍可正常供电;当某段馈线发生故障,由于迅速跳开分段开关而切断了另一段汇流排上供给的短路电流,从而相应减少了馈线上的短路电流。

在单主电站供电网络中,正常情况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,并通过联锁装置将主配电板和应急配电板的联络开关断开,这样,既可防止应急发电机向主配电板供电而超载,也可避免当主发电机恢复供电时出现两者同时向应急配电板供电而发生事故。

当船舶停靠码头时,还可将岸电接到船上的岸电箱,利用陆上电网供电,然后再送到主配电板。图 1-5 中自动开关 QA₁、QA₂、QA₃ 和 QA₁₁~QA₁₄之间必须有电气联锁。例如,当 QA₁合闸时,其它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)多主电站供电网络:图 1-6 所示为某类型舰艇的多主电站供电网络。舰上有两个发电