

船舶电站及自动化

叶成民 张经国 编



上海海运学院

内 容 提 要

本书共分八章。第一章为船舶电力系统，扼要地介绍了船舶电力系统的组成、电气参数、电站容量选择，应急电源、配电装置及常用电气仪表、电力网；第二章～第七章分别较详细地讲述了船舶电站及自动化中的自动并车、电压及无功功率自动调整、频率及有功功率自动调整、继电保护、轴带发电机、电站运行自动化；第八章较详细地讲述了船舶交流电力系统短路电流及其计算。

本书为水运高等院校船电管理专业教学用书，也可供从事船舶电气工作的广大船员和技术人员参考，还可作船舶电机员培训班的教学参考书。

前 言

船舶电站是船舶的重要组成部分。随着船舶自动化的发展，对船舶电站提出的要求也越来越高。电站运行的可靠性、经济性对保证船舶安全、经济航行具有重要意义。

本书的内容主要是使读者对船舶交流电力系统特别是对船舶交流电站自动化有一个总的概念和较全面的了解，并能对船舶交流电力系统短路电流进行计算。

本书由上海海运学院轮机与电气系叶成民主编，其中第一、二、四、七章由张经国编写。

本书由李杰仁教授主审。

由于我们的水平有限，时间匆促，书中还可能有不少错误，恳切希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 船舶电力系统

第一节 概述	1
第二节 船舶电站发电机组的功率和数量的确定	8
第三节 船舶应急电源及蓄电池	22
第四节 船舶配电装置	32
第五节 船舶电网	46

第二章 船舶同步发电机的并车

第一节 概述	60
第二节 同步发电机的手动并车方法	61
第三节 船舶同步发电机自动并车装置的基本原理	71
第四节 TZT—1型交流发电机自动并车装置	84
第五节 SGA—23型自动并车装置	91
第六节 ZB—1A型自动整步器	93

第三章 船舶同步发电机电压及无功功率自动调整

第一节 概述	103
第二节 同步发电机的自动作用	108
第三节 不可控相复励自励恒压励磁系统	110
第四节 可控硅自励恒压励磁系统	131
第五节 可控相复励自励恒压励磁系统	146
第六节 无刷同步发电机励磁系统	158
第七节 并联工作发电机之间无功负荷分配的原理与线路	171

第四章 船舶电力系统频率及有功功率的自动调整

第一节 概述	184
第二节 系统频率和有功功率的自动调整	188
第三节 自动调频调载装置原理	192
第四节 SGA—23型自动调频调载装置	206
第五节 EPF—3型自动调频调载装置	208

第五章 船舶电力系统的继电保护

第一节 继电保护的基础知识	215
第二节 船舶电网的保护及保护装置	233
第三节 发电机保护	250
第四节 船用框架式自动空气断路器	255
第五节 逆功率继电器	278

第六节 晶体管综合继电保护装置	282
第六章 轴带发电机	
第一节 船舶电站的节能	297
第二节 船舶轴带发电机的类型及特点	297
第三节 可控硅轴带发电机要注意的几个问题	305
第四节 轴带发电机系统中的可控硅变换装置	309
第五节 轴带发电机的起动	310
第六节 轴带发电机并车条件的实现	312
第七节 轴带发电机电站频率和有功功率自动调整简述	314
第八节 轴带发电机的停车	317
第九节 轴带发电机的保护	318
第七章 船舶电站运行自动化	
第一节 概述	319
第二节 柴油发电机组自动启动和停机的控制	323
第三节 柴油发电机组自动控制装置	326
第四节 船舶电站自动控制装置	329
第五节 船舶电站运行自动化的一般功能及流程图	339
第六节 计算机在船舶电站自动化中的应用	343
第八章 船舶交流电力系统短路电流	
第一节 概述	346
第二节 船舶交流电力系统短路电流的粗略估算	348
第三节 船舶交流电力系统短路电流的简单计算	348
第四节 船舶交流电力系统短路电流的计算	356
第五节 相同型号规格发电机并联运行的船舶交流电力系统最大短路电流的计算 举例	378
第六节 配电电器短路分断能力和短路接通能力的校验	384
第七节 母线的选用和验算	384
第八节 船舶电网稳态短路电路的计算	386

第一章 船舶电力系统

第一节 概 述

一、船舶电力系统的组成

船舶发电机生产电能,在发电机中机械能转化为电能。配电装置和电网输送、分配电能。电动机、电加热器、电灯等用电设备消费电能。在这些用电设备中,电能转化为机械能、热能、光能等等。这些生产、输送、分配、消费电能的发电机、配电装置、电网、各种用电设备联系在一起组成的统一整体就称为船舶电力系统,如图1—1所示。

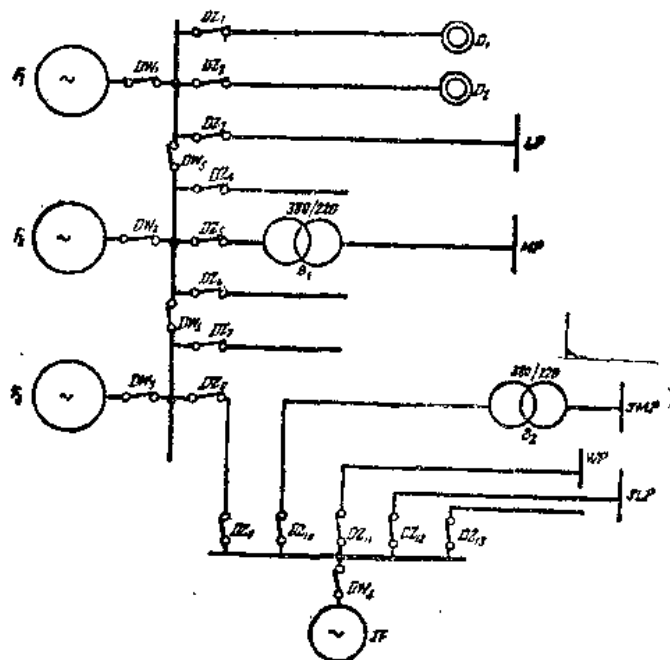


图 1—1 船舶电力系统简图

F_1 、 F_2 、 F_3 主发电机； JF ，应急发电机； ZP 总配电板； JP 应急配电板； DW 发电机主开关； DZ 分路开关； LP 电力分配电箱； MP 照明分配电箱； JMP 应急照明分配电箱； WP 无线电分配电箱； HP 助航仪器分配电箱； $D_1 \sim D_4$ 电动机； $B_1 \sim B_2$ ，照明变压器。

船舶电力系统由电源、配电装置、电网、负载四部分组成。

1. 电源

电源是发电部分，它是将机械能、化学能、核能等其它形式的能转换为电能的装置。船上常用的电源装置是发电机组和蓄电池。

2. 配电装置

配电装置是对电源、电网和用电设备进行保护、监视、测量、分配、转换、控制的装置。

船舶配电装置可以分为总配电板、应急配电板、电力分配电板、照明分配电板和蓄电池充放电板等。

3. 电网

电网是输电部分，它是全船输电电缆和电线的总称。其作用是将电源产生的电能输送给全船所有的用电设备。船舶电网通常由动力电网、照明电网、应急电网、低压电网、弱电网等几部分组成。

4. 负载

负载是全船所有用电设备的总称。船舶负载可分为以下几类：

(1) 各种船舶机械的电力拖动

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；

电力推进和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和航行信号灯具等。

(3) 船舶通信和电航设备

船舶通信——无线电收发报机、电话、广播、声光警报器、电钟、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) 其它用电设备

如电热器、电风扇、电视机等。

船舶电力系统是一个比较复杂的系统，它包括正常电力系统、大应急电力系统、小应急电力系统以及弱电网系统。每一系统分别含有发电、输配电和用电设备等。

正常电力系统包括几台主发电机、主配电板及航行、停泊、生活用电设备，这是正常情况下的发电、用电设备。

大应急电力系统是船舶在应急状态下，如失火、触礁、碰撞等主发电机不能供电的情况下，而用应急电源供电给一些应急用电设备，如通道照明、助航、通讯、救火设备、舵设备及吊艇等。

小应急系统的电源装置是蓄电池，其配电装置为充放电板，在正常电力系统和大应急系统未供电的间隙内或上述二者都因故无法供电时，才用小应急电力系统供给一些必要的照明和报警系统。

二、船舶电力系统的电气参数

船舶电力系统的电气参数是指电流种类(电制)、电压和频率。

1. 电流种类(电制)

我们在船舶上工作会遇到两种电制。一种是直流电制，另一种是交流电制。所谓直流电制或交流电制是对主电源是直流电还是交流电而言。直流电制的船舶习惯叫直流船，交流电制的船舶习惯叫交流船。

在五十年代以前建造的船舶，基本上是以直流电制船舶为主。这是因为在当时技术条件下，采用直流电制在许多方面具有其独特的优点，如直流发电机的调压和并车简单，直流电动机容易实现大范围平滑调速以及直流电可以直接对蓄电池充电等。自五十年代以后，由于电子工业技术的发展、大功率半导体器件的生产和应用，以及六十年代以来成功地解决了曾

经阻碍船电交流化的一系列难题(调速、调压、调频、并联运行等)之后,交流电制船舶就占了主要地位。这是因为交流电制比直流电制有许多优点。

(1) 提高电气设备的工作可靠性

交流鼠笼式电动机无换向器和电刷,比直流电机工作可靠,交流电动机通常可以直接起动,其起动设备比较简单、可靠,另外,采用交流电制时,就可以把照明网络与电力网络用变压器隔离,没有电的直接联系,交流电力网络的绝缘基本不受绝缘电阻低的照明网络的影响,提高了电力网络的工作可靠性。

(2) 交流电制可以方便地取得各种不同用途的电压,配电方便。

(3) 减少了电气设备的体积和重量。

交流发电机和电动机比起同样功率的直流发电机和电动机重量轻、体积小。

由于交流电制的电压可以设计得比直流电制高,在相同功率的情况下,输电电缆的截面较小,重量也就相应减小。

(4) 降低电气设备的制造成本

因为交流电机、电缆的尺寸和重量都比相同容量的直流电机、电缆的尺寸和重量要小,所以节省了大量的材料,这就大大降低了电气设备的制造成本。

(5) 便于维护、保养和管理

交流电动机无换向器和电刷,另外交流电动机起动设备简单,因此简化了维护、保养和管理。

另外,随着船舶电气化、自动化程度的不断提高,船舶电站容量的不断增长,采用交流电制的优越性越来越显著。近年来,除了某些特种工程船舶尚考虑采用直流电制或交直流混合电制外,几乎所有大、中型船舶都采用了交流电制。

2. 电压

船舶电力系统的额定电压从工作可靠和工作安全的角度来看,船舶电力系统的电压越低越有利,但是以电气设备的重量、尺寸和经济指标来看,提高额定电压等级是有利的。但是,随着电压的提高,也带来了绝缘和安全方面的问题,因此,电压等级的提高受到一定限制。目前世界各国对电压等级的考虑主要取决于陆上的电压标准,这主要是考虑到电气设备产品的通用性,使船舶电气设备的造价最为经济。直流或交流配电系统的最高电压应按照《钢质海船入级与建造规范》(下称“规范”)的规定。如表1—1的规定。

随着船舶吨位的不断增大,电站容量已达几万千瓦,发电机单机容量已超过2500千瓦,采用500伏以下的低电压电力系统已经不能适应这种状况的要求。因此,现代的大型船舶已逐渐趋向于采用1000伏至11000伏的中电压等级,当然这也应采用陆上的中电压等级的标准电压参数。如英、美等国因为陆上有3300伏的电压等级,所以这些国家在巨型船舶上亦采用3300伏电压。

目前,国内船舶已在电力推进或少数工程船上采用中电压等级。

3. 频率

交流船舶电力系统的额定频率是沿用陆上的标准等级。

我国“规范”规定交流电制的船舶采用50赫芝或60赫芝,对于航海仪器、雷达、电罗经等需要特殊频率的用电设备,通常是由变流机组或变频器供电。

为了进一步减少电气设备的重量和尺寸,各国正在研制采用中频的船舶电力系统或局部

配电系统的最高电压

表 1—1

序号	用 途	最高电压(V)	
		直 流	交 流
1	电力推进装置	1200	11000
2	固定安装、连接于固定布线及交流中压电力设备	500	11000
3	(1) 固定安装并连接于固定布线的电力设备, 电炊设备和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, 例如可移动的起重机等 (3) 以软电缆与插座连接, 运行不需手握持, 并以截面积符合《规范》1、3、4、4要求的连续接地导体, 可靠接地的可移动设备, 例如电焊变压器等	500	1000
4	(1) 居住舱内室的照明设备、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由只供一个用电设备的安全隔离变压器供电的设备 ③以符合《规范》1.3.4.4要求的连续接地导体接地的设备 (3) 本表所列以外的其他设备	250	250
5	除4(2)项以外供可携设备的插座	50	50
6	人特别容易触电的场所, 例如潮湿舱室, 狭窄处所中的可携设备用插座	24	24

发电机由中频发电机供电, 其额定频率范围从400赫至2400赫。但是, 提高频率也带来了另一些问题: 如必须要制造特殊频率的电机、电器及仪表和高转速的机械; 对于要求转速较低的机械, 就要使用附加减速设备; 交流阻抗增大, 特别是大型船舶其电网较大, 损耗也就增加很多, 同时电机的损耗也增大。所以提高交流电力系统的频率的额定值能否成为一种发展趋势, 尚有待研究。

三、船舶电力系统工作特点及基本要求

由于船舶负载的特点与陆地不同, 使得船舶电力系统在电站容量、电压等级、发、配电装置等部分与陆上电站有较大差别, 船舶电力系统与陆上电力系统相比有以下主要特点:

1. 船舶电站容量较小

船舶电站容量只供电给一条船上负载的需要, 因此其单机容量和电站容量与陆上相比要小得多。一般船舶单机容量不超过一千千瓦, 装机总功率不超过五千千瓦。一条船上发电机组的类型也大多采用相同类型的, 以便于管理、维护保养和并联运用。

由于船舶电站容量小, 单机容量与某些大电动机容量可相比拟, 因此相互影响大, 当大的电动机启动时, 对电网将造成较大冲击, 要求船用发电机调压器动作时间要快, 有强行励磁的能力, 发电机有较大的过载能力。另外, 船舶负载变动较频繁, 要求船用并车装置简单、可靠。

2. 船舶电站的发电设备与用电设备之间的距离很短

由于船舶容积的限制, 电气设备较集中, 发电设备和用电设备之间的距离很短, 这样小容量、短距离输电, 且船舶舱室、管路都是导体, 因此船上通常采用低电压等级的发电设

备和各种类型电缆供电给负载, 电网长度不大和低电压发、配电, 使得发电机和电网的保护比陆上要简单得多, 一般只设置保护发电机外部短路及过载保护, 电网保护可以和发电机及用电设备保护联系起来考虑, 但对短路保护, 要对电力系统保护的选择性作仔细考虑, 计算才能达到。另外, 在计算电网电压降时, 往往可以忽略电缆的电抗。

3. 船舶电气设备的工作环境条件比陆上恶劣

船舶的环境条件往往比陆地恶劣, 所以对船舶电气设备的要求也往往比陆用电气设备来得高, 因为电气设备的工作环境对电气设备的运行性能和工作寿命有很大影响。如环境温度高, 会加速绝缘的老化, 降低其寿命, 甚至会使电气设备烧坏, 环境温度低; 会使材料结构性能改变, 可能导致动作失灵。另外旋转电机轴承的润滑油在温度过低时会冻结, 使轴承润滑恶化。周围空气相对湿度大则会使电气设备变形、绝缘性能降低、加速金属腐蚀。盐雾、油雾和霉菌的存在和灰尘的粘结都能加速金属的腐蚀作用、电气设备绝缘下降、电器的接触不良。此外, 船舶的倾斜与摇摆以及船舶受到冲击和振动时, 也会造成电气设备损坏、接触不良或误动作。由此可见, 船用电气设备必须满足“船用环境条件和工作条件”的要求。

(1) 环境空气温度和初级冷却水温度如表1—2所列。但适用于电子设备的环境空气温度的上限为: 55°C 。

环 境 温 度 表1—2

介 质	部 位	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	
		无限航区	除热带海区以外的有限航区
空 气	封闭处所内	0至45	0至40
	温度超过 45°C (或 40°C) 和低于 0° 的处所内	按这些处所的温度	按这些处所的温度
	开敞甲板	-25至45	-25至40
水		32	25

(2) 倾斜摇摆如表1—3所列;

(3) 船舶正常营运中所产生的振动和冲击;

(4) 潮湿空气、盐雾、油雾和霉菌。

倾 斜 角 表1—3

设备、组件	倾 斜 角 ($^{\circ}$) ②			
	横 向		纵 向	
	横 倾	横 摇	纵 倾	纵 摇
应急电气设备、开关设备、电器和电子设备①	22.5	22.5	10	10
上列以外的设备、组件	15	22.5	5	7.5

注: ①在倾斜至 45° 的情况下, 不应有误动作和出现功能变化

②纵倾和横倾可能同时出现

(5) 电气设备应能在表1—4规定的电压和频率偏离额定值的波动情况下可靠工作:

电 压 和 频 率 波 动

表 1—4

设 备	参 数	稳态(%)	瞬 态	
			(%)	恢复时间 (S)
一般设备	电 压	+6至-10	±20	1.5
	频 率	±5	±10	5
由蓄电池或半导体变流器供电的设备	电 压	±20		

(6) 交流电气设备应能在供电电源的谐波成分不大于5%的情况下正常工作。由半导体变流器供电者,则应能在可能出现较大谐波成分的情况下正常工作。

四、高参数系统特点

随着船舶向大型化、自动化方向发展,船舶电站容量也不断增加,在某些大型船舶、工程船舶及舰船上,电站容量已达几万千瓦,电气设备的总重量和尺寸必将增长。因此,降低重量和尺寸指标便成了船电技术的基本任务之一,另一方面由于整流、交流技术的发展,这就为改变各种电能系统及其元件的结构,用最佳电压、频率参数来发电、输电和消耗电能,以及用变压、变流装置建立各类网络的联系成为可能。所以高参数(高压与高频)的设备和电网越来越多地得到采用。

采用高于400伏的电压等级,通常也应沿用陆上的标准电参数,常用的为3.3千伏。

当电压提高时,减少了输送同一功率的电流的数值,可以减小电器元件的导电截面,但另一方面,电压的提高却增加了电器灭弧的困难,为此要放大灭弧间隙,从而使电器的重量、尺寸增大。在电压高于660伏时,由于高压系统中变压器功率和数量的增长是很可观的,其重量、尺寸减小很少。

电压的增加,主要是使电缆的重量和尺寸减小。另外,当电压为380伏,发电机容量超过3000千瓦时,用选择性自动开关就不能保证可靠地切断短路电流,这类开关的断流能力只有150千瓦左右,要妥善解决这个问题,根本办法是提高电压。

在一定范围内提高频率,可提高自动化系统动作的快速性,并可降低许多电气设备的重量和尺寸。近年来国外有些舰船上开始采用中频(一般为400赫)的船舶电力系统或局部设备采用中频发电机供电。

频率的增加,主要是使电机的重量和尺寸减小,另外,可限制短路电流,改善控制系统的动态性能等,但也会带来一些问题,如要制造高速机械装置、要有中频的电器、电机和仪表进行配套,所以针对频率提高问题,目前国内外均在进行研究探讨。

五、船舶电力系统的节能技术

节能技术是探求如何减少有效能量在能量变换或输送中所产生的损失的技术总称。为了对付在船舶航运费用中,燃料费用占的比例越来越大的趋势,在航运界对于节能的要求也越来越迫切。

目前船舶电力系统的节能技术主要在下列各方面:

1. 利用主机废气能量的废气透平发电机的节能

废气透平发电机是将主机排出的废气引入废气锅炉产生蒸汽，再驱动蒸汽透平发电机，以供给航行中船舶所需电力。但这种系统受主机排气条件的影响很大，而且根据主机的类型和不同的运行状态回收电力的差别也很大，因此仅在主机马力较大的船上采用，如对主机功率为10000马力(7300千瓦)级以上的船舶，其船内用电大体上可以供给。

2. 轴带发电机系统的节能

轴带发电机是从主机或推进轴取得一部分主机输出功率来驱动发电机的。

航行期间，由轴带发电机系统提供全船的电力需求，最近，由于柴油主机低燃料费化的进展，主机用重油和柴油发电机用轻油的价格差变得更大，因而用重油代替轻油发电，就可以明显降低燃油费用。此外，主机的效率较高、而且也节省了发电机用柴油机的润滑油和维修费用。

对于轴带发电机与废气透平发电机的应用系统，其节约燃油费用效果最好。通常在系统中，应尽可能使废气透平发电机以最大功力运行，当废气能量不足时，由轴带发电机供给电力不足部分，相反，当废气能量有剩余时，即废气透平发电机的输出功率有剩余时，由于这种轴带发电机系统的整流器和逆变器是可逆的，所以可把轴带发电机作为电动机运行，这样可使废气能量得到充分利用，使主机的燃料费用降低。

3. 电动机运行中的节能

船舶电网输出的电功率绝大部分提供给电动机运行，因此在用电设备方面节能，电动机运行是最值得探讨的。

电动机运行中的节能措施通常有如下几种：

(1) 合理选择电动机

a. 选择高效率电动机：

由于绝缘技术的发展，电动机趋向小型化，并且尽量减小电动机内部损耗来提高效率。

b. 选择电动机最适当的额定功率：

一般电动机在额定输出的75~100%负载下工作效率最高，低于此负载下运行，效率就变差，功率因素也降低。

(2) 电动机的变速运行：

船上很多设备是泵和鼓风机，它们一般选用感应电动机，电动机大致以恒定的转速运行，当负载发生变化时来调节点门或气门，因此会产生控制损失，为了消除这一损失，利用电动机变速以达到节能。

4. 其它用电设备节能

船舶用电设备除了电动机外，照明灯具也消耗较多的电能，应研制电能消耗少的照明设备，采用适合灯的配光曲线的反射灯罩，采用半导体镇流器，减少镇流器的电能损耗(约为灯的输入功率9%)。

另外可提高电气控制装置的效率，如采用可控硅励磁装置代替变阻器励磁；采用可控硅交直流传动装置代替直流发电机——电动机传动装置；采用可控硅绕线式异步电动机转子调速代替转于串电阻调速；采用可控硅交流变频调速系统代替直流电动机调速系统，均能提高效率，可使效率提高8~10%。

需用电力推进的船上，采用超导电力推进装置和超导磁流体推进装置。

六、船舶电力系统的发展概况

二十世纪初,电开始应用于商船上。此后一直到二十世纪四十年代,商船上几乎都采用直流系统。到了五十年代,伴随着自激恒压发电机的发展,并且把陆用交流技术所获得的经验用到船舶上去,世界各国船舶上都陆续采用了交流系统。与此同时,船上许多电力拖动采用异步电动机。

随着船舶大型化、自动化方向发展,自六十年代以来,对船舶电站提出了更高的要求,这就是船舶电站自动化,从而提高了船舶电站供电的连续性和可靠性,增强了船舶运行的生命力;也提高了船舶电站供电质量和经济性。

各类型船舶电站自动化大体都具有如下的功能;

1. 柴油发电机组预热、预润滑控制
2. 柴油机自动启动、停止控制
3. 柴油发电机组故障自动处理;单台机运行故障时自动脱离电网,备用机组应急投入。
4. 发电机自动并车
5. 发电机组自动负荷分配控制
6. 发电机组自动频率调节
7. 自动控制系统的自检功能
8. 根据功率要求,运行机组的台数控制
9. 重载询问和负荷自动分级切除、投入控制
10. 其它综合作用,如轴带、废气发电综合应用

按照上述功能,从五十年代发展电站自动化开始,形成了适应船舶不同自动化要求的三类产品:

(1) 按单台机组设计的独立装置,如自动并车装置、自动调频调载装置等。

(2) 按整个电站设计的电站综合自动化装置,如德国西门子公司的EEA—22型,日本寺崎公司的GAC—2S型等。

(3) 按机舱微机系统中一个子系统设计的微型电站综合自动化装置。如丹麦STL公司的ACS900和GAC—5微机控制电站自动化系统。

第二节 船舶电站发电机组的功率和数量的确定

船舶电源产生的电能供全船用电设备使用,船舶上往往需要设置若干个不同用途的独立电源,根据它们各自的供电范围和供电时间的不同,船舶电源有主电源、应急电源和小应急电源。

船舶主电源要保证船舶在各种工况——航行状态、进出港状态、停泊状态、装卸货状态、应急状态下正常用电的需要,它通常由若干台发电机组所组成,称为船舶主电站。

一、确定船舶电站发电机组的功率和数量的方法

任何一条船舶都装备有许多的用电设备,但船舶电站的总功率显然不是所有用电设备用电量的总和,因为所有用电设备不可能同时使用,每一个用电设备也不一定长期工作的,也不是所有用电设备都是额定状况下运行的。例如对舵机来说,它只是在航行和进出港和应急

状态下工作，停泊时就不工作，也不一定始终在额定状况下工作；又如起货机，它只是在装卸货时才工作，在装卸货时所有起货机也不是同时使用和不是始终工作在额定状况下。如果将船上全部用电设备的总额定功率作为船舶电站的装置功率来选择发电机组，则必然会导致电站的容量过大，造成浪费；反之，若船舶电站的装置功率过小，则不能满足船舶在各种工况下用电量的需要，会严重影响船舶的安全航行和电站运行的经济性。

为了把船舶电站发电机组的功率和数量选择得好，就必须认真仔细地分析船舶在各种工况下，各种用电设备的使用情况，我们把全船用电设备的数量、负荷及使用情况汇总成一个表，称做船舶电力负荷计算书，或称全船电能平衡表。

列表方法，即船舶电站发电机组的功率和数量的计算方法可以有好多，可用昼夜航行图表法或概率统计法确定发电机组的功率和数量。概率统计法对同类型船舶适用，昼夜航行图表法对小船、电动辅机不多的船适用。但是最简单而又能得出较准确的结果的是负荷系数法。

负荷系数法常用的又有两种：需要系数法和三类负荷法。前者计算较简便，后者计算较精确。下面我们介绍一下用负荷系数法确定船舶电站发电机的功率和数量的具体计算方法。

二、船舶运行状态及用电设备的分类

1. 船舶运行状态

船上各用电设备的负载情况与船舶的运行状态有关，因此在列表计算船舶电站的容量时，一般都是按所划分的运行状态分别进行计算的，一般船舶整个运行周期大体可以划分为如下运行状态：

- (1) 航行状态：指船舶满载全速的航行状态；
- (2) 进出港状态：指港内低速航行以及起抛锚时的工作状态；
- (3) 停泊状态：指船舶停靠在码头或锚地上无作业状态；
- (4) 装卸货状态：货轮的装卸货或油轮装卸油时的工作状态；
- (5) 应急状态：指船舶失火或破舱时的状态。

应该注意，不同用途的船舶，运行状态的划分也不尽相同。在负荷表中究竟应包括哪几个运行状态，应根据实际情况来确定。但是一定要把可能出现的最大负荷状态、最小负荷状态和常用的负荷状态包括进去。

2. 用电设备的分类

在按照所划分的运行状态进行计算时，为了使编制负荷表清楚，通常还将全船用电设备按不同的用途和系统进行分类，一般可以分成下面几类：

(1) 机舱辅机：包括为主机、锅炉服务的辅机和全船性服务的舱室辅机。如滑油泵、海水泵、淡水泵、冷却泵、燃油输送泵、鼓风机、油分离器、空压机、消防泵、总用泵、舱底泵、压载泵、生活用水泵等；

(2) 甲板机械：包括舵机、锚、绞盘机、起货机、舷梯绞车等；

(3) 冷藏通风：包括冷藏货舱、伙食冷库和空调装置等用的泵和通风机；

(4) 机修机械：包括车床、钻床、刨床、机舱起重行车和电焊机等；

(5) 弱电设备：包括船内外通讯设备、导航设备以及自控设备等；

(6) 照明及其它：包括舱室照明、航行灯、信号灯、舱面探照灯、投光灯、电风扇、电灶等。

对于小型船舶,由于用电设备不多,分类时可适当减少。

划分了船舶运行状态和将用电设备按用途、系统分类以后,就可以着手编制全船电力负荷表,现就常用的按需要系数法和三类负荷法编制的步骤和计算方法分别介绍如下。

三、需要系数法

这种方法的关键是确定需要系数。需要系数K的值是指某用电设备实际所需要的功率与

需 要 系 数 值

表 1—5

	负 荷 名 称	需要系数		负 荷 名 称	需要系数
柴油机船用 辅 机	淡水冷却泵	0.85	弱 电 设 备	蓄电池充电	0.2
	海水冷却泵	0.84		电工试验板	0.2
	滑 油 泵	0.64	明 照 设 备	机舱照明	0.9
	燃油阀冷却水泵	0.85		房舱照明	0.6
	燃油阀冷却油泵	0.70		货舱灯	0.8
	燃油离心分油器	0.65		探照灯	0.8
	增压 泵	0.65		航行灯	1.0
	辅助 给水泵	0.85		电 风 扇	0.8
	锅炉 燃油喷射泵	0.65	船 船 辅 机	舱底救火泵	0.65
	用 鼓风机	0.85		救火总用泵	0.2
	废气锅炉循环水泵	0.85		舱底压载泵	0.1
冷 藏 通 风	空气压缩机①	0.85	甲 板 机 械	舱底压载泵	0.2
	发电机用冷却水泵②	0.85		潜水泵	0.1
				压 载 泵	0.2
				真空 泵	0.1
	机舱通风机	0.85	生 活 用 泵 和 设 备	洗 舱 泵	0.85
	房舱通风机	0.8		扫 舱 泵	0.15~0.25
	货舱通风机	0.6~0.8		舵 机	0.2
	货舱干燥装置	0.5		起 锚 机	0.4
	泵舱通风机	0.8		起 艇 梯	0.8
	全船用冷藏压缩机	0.4		舷 梯 绞 车	0.8
	全船用冷藏循环泵	0.4		机 绞 盘、系泊绞车	0.4
	货舱用压缩机	0.6		绞 油 泵 ②	0.8
	空调用压缩机	0.75		货 起 机 ②	1.0
	空调冷却水泵	0.75		加 热 器	
	空调热水泵	0.75	生 活 用 泵 和 设 备	热水循环泵	0.7
	空调凝水循环泵	0.75		汽水循环泵	0.7
	空调送风机	0.75		卫 生 水 泵	0.4
生 活 用 泵 和 设 备	蒸馏器淡水输送泵	0.6		淡 水 泵	0.4
	厨房和餐室设备	0.3		污 水 泵	0.2
	洗衣设备	0.2		饮 用 喷 泉	0.3
	电热水器	0.5		蒸 馏 器 海 水 给 水 泵	0.75
	房舱电热器	0.4		蒸 馏 器 凝 水 泵	0.6
工 具 机	机 床	0.1	泵 和 设 备	蒸 馏 器 化 学 给 水 泵	0.2
				盐 水 排 除 泵	0.75
弱 电 设 备	船内通讯	0.4		管 群 疏 水 泵	0.6
	航海仪器	0.4			
	电 罗 经	0.4			
	雷 达	0.4			
	无线电设备	0.45			

注: ①仅在进出港时用; ②仅在装卸油或装卸货时用。

其额定负载时所需要的功率的比值,用公式表示如下:

$$K = \frac{P_2}{P_1} \quad (1-1)$$

式中: P_2 ——用电设备实际所需功率;

P_1 ——用电设备在额定负载时所需功率。

需要系数的大小与该用电设备的负荷大小、工作制(指连续工作、短时工作或重复短时工作)和该类用电设备的同时工作几率等各方面的因素有关,一般是根据多年实际经验取平均值。表1—5列举了一些用电设备的需要系数。

现以某100吨运输船(直流电制)为例,编制其电力负荷计算书(参见表1—6)。

编制负荷表的计算步骤如下:

1. 将全船用电设备按系统分类和确定工况以及各工况下所需使用的用电设备;
2. 注明各用电设备的已知原始数据,如数量、机械、轴功率、额定电功率、额定效率、型号等;

100吨货船电力负荷计算书

表 1—6

序 号	用 电 设 备 名 称	数 量	装 置 轴 功 率 (瓩)	电 动 机			需 要 功 率 (瓩)	需 要 总 功 率 (瓩)	航 行		机 动		装 卸 货		
				定 额 功 率 (瓩)	型 号	转 速 (转/ 分)			效 率 (%)	需 要 系 数	实 需 要 功 率 (瓩)	需 要 系 数	实 需 要 功 率 (瓩)	需 要 系 数	实 需 要 功 率 (瓩)
一、甲板机械															
1	舵 机	1	11.2	2.8		1400	85	3.3	3.3	0.2	0.66	0.2	0.66		
2	锚 机	1	4.8	6	ZZYH-21	1370	83	7.2	7.2			0.4	2.88		
3	起 货 机	4	12	17	ZZYH-41	630	79	21.5	86					0.55	47.3
二、机舱机械															
4	空气压缩机	1	18.5	10	Z ₂ C—61	1500	85	111.8	111.8			0.85	10		
5	锅炉给水泵	1	10.8	1.1	Z ₂ C—32	1000	79	1.4	1.4	0.85	11.9	0.85	1.19	0.85	1.19
6	燃油输送泵	1	11.2	1.5	Z ₂ C—31	1500	80	1.9	1.9	0.1	0.19	0.1	0.19		
7	淡水泵	1	10.8	1.1	Z ₂ C—32	1000	79	1.4	1.4	0.4	0.56	0.4	0.56	0.4	0.56
8	舱底泵	1	14.5	5.5	Z ₂ C—61	1000	82	6.7	6.7	0.2	1.34	0.2	1.34		
9	消防泵	1	11	13	Z ² C—52	3000	86.5	15	15						
10	机舱通风机	1	11.2	2.2	Z ₂ C—32	1500	83	2.7	2.7	0.85	2.3	0.85	2.3	0.85	2.3
三、其它辅机															
11	舱室通风机	1	0.13	0.6	Z ₂ C—22	1500	73	0.82	0.82	0.8	0.66	0.8	0.66	0.8	0.66
12	蓄电池抽风机	1	0.27	0.8	Z ₂ C—21	1500	74	1.1	1.1	0.8	0.88	0.8	0.88	0.8	0.88
四、照明和弱电															
13	照 明								8	0.8	6.4	0.8	6.4	0.8	6.4
14	电冰箱	1	0.8						0.8	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4
15	电暖箱	1	0.5						0.5	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25
16	助航通讯 设 备								1.5	0.4	0.6	0.4	0.6		
总 功 率									(瓩)						
考虑 5 % 网络损耗时的总功率									(瓩)	15.		28.31		59.22	
使用发电机									(台 × 瓩)	16.3		29.8		62.9	
发电机负载的百分比									(%)	1 × 35		1 × 35		2 × 35	
备用发电机									(台 × 瓩)	85.2		85.2		90	
										1 × 35		1 × 35			

3. 计算各类用电设备的额定所需功率 P_1 ;

对于电动辅机可按下式计算:

$$P_1 = \frac{nP_e}{\eta_e} \quad (1-2)$$

式中: n ——该类电动辅机实际使用台数;

P_e ——电动机的额定功率;

η_e ——电动机的额定效率。

对于照明及弱电设备来说, P_1 就是它们的装置总功率。

4. 确定各用电设备的需要系数, 计算各用电设备的所需功率, 然后计算全船用电设备所需总功率 P' ;

$$P_2 = K \cdot P_1 \quad (1-3)$$

$$P' = \sum (K \cdot P_1) \quad (1-4)$$

5. 考虑5% 电网损失后, 计算所需总功率;

$$P = 1.05P' \quad (1-5)$$

6. 选择发电机组, 计算各工况下发电机的负荷百分率。一般发电机组应有10~20% 的功率余量, 因为发电机的负荷百分比一般不超过80~90%。

四、三类负荷法

由于船舶电气化程度不断提高, 用电设备越来越多, 电站容量也越大越大, 因此, 更加要求船舶电站容量设置得恰当, 就必须要有比较精确的计算方法。如果我们掌握了各用电设备的充分数据(如负载系数、工作周期、同时工作系数等), 就可以采用准确度较高的三类负荷法。

1. 负荷分类

用三类负荷法计算, 应先将用电设备根据其在各工况下负荷的特点分为以下三类:

第Ⅰ类负荷——连续使用的负荷;

第Ⅱ类负荷——短时或重复短时使用的负荷;

第Ⅲ类负荷——偶然短时使用的负荷或按操作规程可以在电源高峰时间外使用的负荷。

三类负荷的划分, 与船舶运行工况有关, 如在航行中连续使用的负荷属于第Ⅰ类负荷, 使用若干小时又停止使用若干小时的负荷则算作第Ⅱ类。在靠离码头的工况中, 虽然起锚机的工作时间较短(30分钟左右), 但在此过程中起锚机一直在使用, 因此, 亦可算作第Ⅰ类负荷。

现以某万吨远洋货轮为例, 将其用电设备进行分类, 见表1—7。

2. 电动机械负荷所需功率的计算

一般船舶的大部分电能为电动机械负荷所消耗, 因此在计算全船电力负荷时, 电动机械负荷应加以特别注意。

(1) 电动机利用系数 K_1

由于系列产品中电动机的输出额定功率不一定和机械轴上所需的额定功率相符, 有时为了保证起动力矩和短时发出最大力矩, 电动机的额定功率往往选得较大, 因此电动机未能充分利用, 这一点在负荷表中用电动机利用系数来反映。电动机利用系数为 K_1 。