

船舶电站及其自动装置

(船电管理专业用)

目 录

第一章 船舶电力系统概述·····	1
第一节 船舶电力系统·····	1
一、船舶电力系统的组成·····	1
二、船舶电力系统的特点及对其基本要求·····	2
三、船舶电力系统的基本参数·····	4
四、船舶电力系统的发展概况·····	5
第二节 船舶主电站容量确定和发电机组台数的选择·····	8
一、确定船舶电站容量的目的和方法·····	8
二、按需要系数法确定电站容量·····	9
三、按三类负荷法确定电站容量·····	13
四、按概率论法计算电站容量·····	17
第三节 船舶配电装置·····	24
一、概述·····	24
二、配电装置中的开关电器·····	25
三、互感器·····	26
四、选择电器和载流部分的一般条件·····	27
五、总配电盘·····	30
六、应急配电盘·····	31
七、充放电盘·····	31
八、区域配电盘和分配电盘·····	34
九、岸电箱和其它电盘·····	34
第四节 船舶电力网·····	34
一、船舶电网的分类·····	34
二、船舶电网的结线方式·····	36
三、船舶电缆·····	37
第五节 蓄电池·····	46
一、蓄电池在船上的应用·····	46
二、酸性蓄电池·····	46
三、碱性蓄电池·····	51
第二章 船舶同步发电机自动整步·····	54
第一节 概述·····	54
一、准确同期法·····	54
二、自同期法·····	54
第二节 船舶同步发电机的准确同步·····	55

一、并联运行的条件	55
二、手动准同步并车方法	59
三、粗同步并车方法	64
第三节 船舶同步发电机准同步自动并车原理	66
一、对自动并车装置的基本要求	66
二、脉动电压的形成和性质	66
三、准同步自动并车装置分类	68
四、自动准同步并车装置的基本原理	69
第四节 T2T-1型交流发电机通用自动并车装置	81
一、概述	81
二、频率预调的工作原理	82
三、电抗器接通控制电路	84
四、主开关合闸控制及电抗器的自动切除	86
第五节 ZB-1A自动整步器	86
一、概述	86
二、单元逻辑元件介绍	90
三、差频三角波的形成	92
四、差频符号的鉴别和调速信号的输出	94
五、超前时间的合闸信号发生电路	96
六、最大允许合闸频差检测电路	96
七、投入角限制和大频差闭锁	97
八、电压差闭锁电路	97
九、合闸信号的产生	97
十、单机投入电路	98
第三章 船舶电力系统继电保护	99
第一节 概述	99
一、继电保护的作用	99
二、对继电保护装置的基本要求	99
三、继电器	101
四、继电保护的基本原理	103
第二节 晶体管继电保护装置的基本电路	104
一、晶体管继电保护装置的基本结构	104
二、电压形成回路	104
三、起动电路	106
四、时限电路	109
五、出口电路	111
第三节 船舶同步发电机的继电保护	112
一、船舶同步发电机的不正常运行和故障及其所设继电保护	112
二、船舶同步发电机的过载保护	113
三、船舶同步发电机外部短路保护	115

四、船舶同步发电机的欠压保护	117
第四节 船用万能式自动空气断路器	118
一、作用	118
二、开关动作原理	119
三、继电保护装置动作原理	122
四、锁扣装置	130
五、维修	130
第五节 自动分级卸载保护装置	130
一、作用	130
二、工作原理	131
三、整定和检查方法	134
第六节 逆功率保护及逆功率继电器	135
一、逆功率保护	135
二、CG-21型逆功率继电器	135
三、晶体管逆功率继电保护装置	139
第七节 船舶同步发电机综合继电保护装置	143
一、SATR-6型过电流、逆功率综合保护装置	143
二、船用综合保护装置	149
三、GENOP21型过电流及逆功率综合保护装置	155
第八节 船舶电网的继电保护及其保护装置	158
一、装置式自动空气断路器及熔断器	158
二、船舶电网的继电保护	160
三、船舶电网单相接地监视及绝缘检测	162
四、岸电供电的保护	163
第四章 船舶同步发电机电压及无功功率自动调整	167
第一节 概述	167
一、同步发电机电压变化的原因、后果和调压基本措施	167
二、自动电压调整器的作用	168
三、对调压器的基本要求	168
四、船舶同步发电机自动调压器的基本作用原理	170
五、调压器的分类	171
第二节 不可控相复励自励恒压励磁系统	172
一、自励同步发电机自励起压基本原理	172
二、不可控相复励恒压基本原理	173
第三节 电流迭加相复励自励恒压装置	175
一、原理接线图及结构	175
二、调压器电路计算及分析	176
第四节 电磁迭加谐振式相复励自励恒压装置	179
一、原理接线图及结构	179
二、等值电路分析	180

三、电容器 CQ 的谐振起压作用	133
第五节 电磁法加具有电压曲折绕组的自励恒压装置	185
一、原理接线图及结构	185
二、作用原理	186
三、不可控相复励自励恒压装置安装调试及故障维护	188
四、不可控相复励自励恒压系统各装置比较	189
第六节 可控硅自励恒压励磁系统	189
一、可控硅自励恒压励磁系统基本工作原理	189
二、可控硅自励恒压励磁系统基本电路	190
第七节 可控硅自励恒压装置	197
一、TZ-250 型可控硅自励恒压装置	197
二、TZ-500 型可控硅自励恒压装置	200
三、TUR 型可控硅自励恒压装置	204
四、SMUJ-75 型可控硅自励恒压装置	207
第八节 可控相复励自励恒压励磁系统	209
一、基本作用原理	209
二、TZ-F 型可控相复励自励恒压装置	210
三、CRB 型可控相复励自励恒压装置	214
第九节 无刷同步发电机谐波励磁系统	216
一、无刷同步发电机	216
二、具有谐波励磁的 WST-400 无刷同步发电机励磁装置	217
第十节 船舶同步发电机间无功功率自动分配	223
一、并联运行发电机间无功功率自动分配基本原理	223
二、无功负荷自动分配装置	226
第五章 船舶电力系统频率及有功功率自动调整	232
第一节 频率和有功功率的自动调整	232
一、概述	232
二、电力系统频率变化的原因	232
三、电力系统的负荷调节效应	233
四、同步发电机的功角特性	234
五、调速器的基本原理及其特性	235
六、单机运行时频率的调整—调速特性的平移	237
七、并联运行机组间有功功率的转移和分配	238
第二节 自动调频调载装置的组成和调频调载的方法	240
一、概述	240
二、自动调频调载装置的基本组成	241
三、调频调载的方法	247
第三节 EPF-3 型自动调频调载装置	255
一、操作方式	255
二、EPF-3 型自动调频调载装置作用原理	256

三、EPF-3 型自动调频调载装置的工作过程	259
第四节 船舶轴带交流发电机电力系统频率的控制	260
一、轴带发电的优缺点	260
二、轴带发电系统的类型	261
三、主机转速可变的轴带交流发电机电力系统频率的控制	261
第六章 船舶柴油发电机组及电站运行自动控制	264
第一节 柴油发电机组自动控制的基本概念	264
第二节 船舶柴油发电机组自动控制实例	268
一、ZK-135 型船舶应急发电机组自动控制装置	268
二、船舶主柴油发电机组全继电器式自动控制装置	271
第三节 柴油发电机组及电站自动控制装置	274
一、柴油发电机组的自动起动	277
二、自动合闸及自动重合闸	280
三、柴油发电机组的停机	282
四、指示、故障报警和打印系统及模拟试验	283
第四节 船舶电站运行自动控制装置一般功能及流程图	285
一、总体控制的一般功能	285
二、船舶电站运行自动控制流程图	292

第一章 船舶电力系统概述

第一节 船舶电力系统

一、船舶电力系统的组成

船舶电力系统主要由电源、配电装置、电力网和负载四部分组成，其单线图如图 1-1 所示。

1. 电源

电源是将机械能、化学能等能源转变为电能的装置。船上常用的电源是发电机和蓄电池。

2. 配电装置

配电装置是对电源和用户进行保护、监视、测量、分配、转换、控制的装置。根据供电范围和对象的不同，配电装置可以分为总配电盘、应急配电盘、动力分配电盘、照明分配电盘和蓄电池充放电盘等。

3. 船舶电力网

船舶电力网是全船电缆电线的总称，其作用是将电能的生产者（各种电源）和电能的消费者（各类电能用户）联系起来。船舶电力网根据其所联接的负载性质可以分为动力电网、照明电网、应急电网、低压电网、弱电电网等。

4. 负载

船舶负载大体上可分为如下几类

1) 船舶各种机械的电力拖动：这类机械有，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、冷冻机、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) 船舶通讯和电航设备：船舶通讯设备有无线电收发报机、电话、广播、声光报警装置、电罗经、舵角指示器等；电航设备有电罗经、雷达、无线电测向仪、电测深仪、电计程

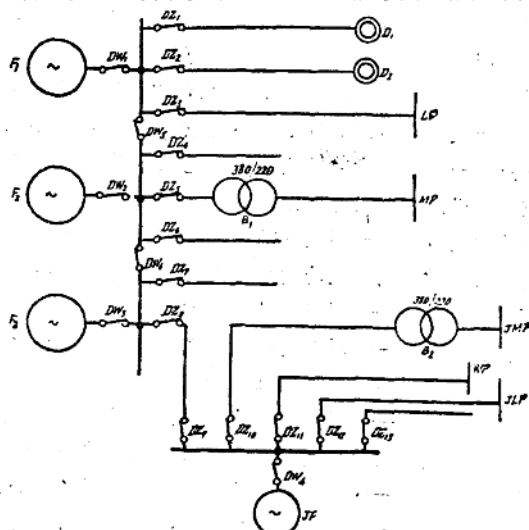


图1-1 船舶电力系统单线图

LP-电力分配电盘；MP-照明分配电盘；JMP-应急照明分配电盘；WP-无线电电盘；ILP-应急电力分配电盘；D1、D2-总配电盘直接供电的电动机；JF-应急发电机；F1、F2、F3-主发电机；DW1、DW2、DW3-发电机主开关；DW4-应急发电机主开关；DW5、DW6-母线分段开关；DZ1~DZ100-装置式自动开关；B1、B2-照明变压器

仪等。

4)其它用电设备：如电热器、电风扇、电视机、电影机等。

二、船舶电力系统的特点及对其基本要求

与陆上电力系统的定义一样，船舶电力系统是由发电设备、配电装置、送电网络和负载按照一定的联接方式组成的一个整体。但是，由于船用负载的特点与陆地不同，使得船舶电力系统在电站容量、联接方式、电压等级、送变电装置等部分又与陆上电力系统有很大的差别，主要表现在如下几方面。

1. 电站容量和型式

为了保证供电的可靠性、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。根据采用能源的不同，发电厂可分为水电厂、火电厂和原子能电厂等。电力系统的容量一般都很大，如我国某电力系统装机总容量高达1000万千瓦，单机容量也很大，目前国产发电机组单机容量已达30万千瓦，美、苏等国已生产100万千瓦的汽轮发电机组。由于船舶电站只供电给一条船上负载的需要，因此其单机容量和系统容量与陆上相比都要小得多。一般船舶电站单机容量不超过1万千瓦，装机总功率不超过5万千瓦。为了使管理维护简便，一条船上发电机组的型式也大多采用相同类型的。根据带动发电机的原动机种类，船舶发电机组大体上可以分为如下几种：

1)柴油发电机组——用柴油机带动发电机。至今为止，此种类型的发电机组用得最为普遍，这是因为其效率高、机动性强、起动快等优点决定的；

2)蒸汽发电机组——用蒸汽机带动发电机。由于其热效率低，现已基本上被淘汰；

3)汽轮发电机组——用汽轮机带动发电机。由于需要安装与汽轮机配套的锅炉，因此此种类型机组多安装在主机是汽轮机的船上；

4)轴带发电机组——用主机转轴带动发电机。在船舶航行工况下使用可以节约大量燃油，但需另外配置辅助柴油发电机组以供停港和装卸货时使用；

5)核子发电机组——采用原子反应堆做为能源使锅炉工作，产生高温、高压蒸汽带动汽轮机再带动发电机发电。采用核子发电机组可以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，相对地增加了船舶吨位，目前苏联、美国、日本、西德等国已有此类船舶在运用。

由于船舶电站容量小，单机容量与某些大的船用负载可相比拟，当大的电动机起动时对电网将造成较大的冲击，因而对船舶电力系统的稳定性提出了较高的要求。如要求船用发电机调压器动作时间要快，有强行励磁的能力，发电机有较大的承受过载的能力。另外，由于船舶工况变动也较频繁，因此要求船用并车装置简单、可靠。

2. 发配电装置和电力网

陆上电力系统容量大，发电机功率也大，发电机的出口电压即达数千伏甚至几万伏，因此主配电盘的电压一般都在一万伏以上，发电机主开关均为高压开关。继电保护不仅有保护发电机外部故障的过载保护和短路保护；而且，有保护发电机内部故障的差动保护、零序保护及母线电流差动保护，有保护电网的距离保护、高频保护等。自动装置有备用电源自动投入、自动重合闸、自动按频率减负荷、自动调频、自动调压等。陆上由于电力系统供电范围广，送电距离有时长达上千公里，为了减少电压损失和功率损失，必须采用高压输电，这样就需配备有各种电压等级的配电装置（断路器、互感器、变压器、避雷器）和输电线路以满

足送变电的要求。历来的输电方式都是将电能通过导体来传输的，因此不论采用哪种结构，输电线都包括两个部分，即导电的导体和使两根导线之间（单相供电）或三相导线之间（三相供电）以及导线对地之间互相绝缘的绝缘体。空气和其他绝缘材料都可以作绝缘体。在架空线路中就是利用空气和瓷质绝缘子来做绝缘材料的，而在电缆中则是用布、油、聚氯乙烯、橡胶、沥青等来做绝缘材料的。

架空线路由于主要依靠空气绝缘，所以在结构上有两个特点：

1) 由于空气的游离场强较低，为了防止空气击穿，线间距离就要大，因此架空线路占地面积较电缆线路大得多；

2) 为防止导线与地面上建筑物接近及影响地面交通，需装设笨重的杆塔和相应地为将导线挂在杆塔上所用的绝缘子和金具。

电缆的导电部分和绝缘部分处于一个整体中，对于高压电缆主要矛盾就是绝缘材料及工艺问题。35千伏以上的电缆在价格上是极其昂贵的，在工艺上也是很复杂的。目前陆上最高输电网络电压已达500千伏，这样高压、大容量、远距离输电，如果采用电缆，无论在经济上还是技术上都是难于实现的，因此陆上输电大多采用架空线路。船上从维护管理可靠、安全、经济、优质等方面考虑，主要采用400伏电压等级的发配电设备及各种类型的电缆供电给负载，因此维修、保养要比陆上容易得多。另外，由于船舶容积的限制，电气设备比较集中，发电设备和用电设备之间距离较短，电网长度不大并都采用电缆，所以发电机和电力网的保护比起陆地上要简单得多，一般只设置有保护发电机外部故障的短路及过载保护，电网保护和发电机保护采用一套装置。

3. 船舶电气设备的工作条件及对其基本要求

船舶电气设备的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。例如当环境温度高时，会造成电机出力不足，绝缘加速老化。相对湿度高则会使电气设备绝缘受潮、发胀、分层及变形等，使绝缘性能降低，并且会使金属部件加速腐蚀，镀层剥落。盐雾的存在、霉菌的生长和油雾及灰尘粘结都能使电气设备绝缘下降、工作性能受到影响，如直流电机的换向性能变坏、电器的接触不良。此外，当船舶受到严重的冲击和振动时，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

船用条件

表1-1

序号	工作条件	要求
1	周围温度	-25~+45°C
2	相对湿度	95%
3	凝露	有
4	盐雾	有
5	油雾	有
6	霉菌	有
7	倾斜：周 期 横 倾 长 期 横 倾 长 期 纵 倾	22.5° 15° (对应应急设备为22.5°) 10°
8	振 动	有
9	冲 击	有

足“船用条件”的要求，见表1-1。

船上使用的电机、电器种类较多，在选用时，需要用符合船用条件的电气设备，无船用产品时，可考虑采用陆用产品加三防来代替（防湿热、防盐雾、防霉菌）。

三、船舶电力系统的基本参数

船舶电力系统的基本参数是指电流种类（电制）、额定电压和额定频率的等级。

1. 电制

船舶电气化已有近百年的历史。在五十年代以前建造的船舶，基本上以直流电制为主。这是因为在当时的技术条件下，采用直流电有其明显的优越性，主要优越性为直流发电机调压、并车简单，直流电动机采用起动机后起动冲击小，可以实现大范围内平滑调速（这一点对于电动起货机来说尤其有利），直流配电盘开关电器及仪表也均比交流简单，蓄电池组又可直接充电，省去了整流器。虽然直流电制有以上优点，但是直流电制在工作的可靠性、经济性、维护方便、重量、尺寸等方面都远不如交流电制好。随着船舶电气化程度的不断提高、船舶电站容量的日益增大，直流电制的上述固有缺点就更为突出了，明显的例子是直流电压不适宜由230伏再提高，因为那将使直流电动机与直流照明的供电困难，继续采用直流电就限制了船舶电气化程度的进一步提高；另外，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，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），交流电制在船舶上已占了主要地位。近年来，除了某些特种工作船仍考虑采用直流电制或交直流混合电制外，几乎所有大、中型船舶都采用交流电制。实践证明，采用交流电制后，船舶造价和维修费用也有明显的降低。

2. 额定电压等级

船舶电力系统额定电压的大小直接影响到电力系统中所有电气设备的重量和尺寸，到底采用多高的电压从经济上来看最为合理，那要根据具体船舶电站容量来综合考虑。从减少导体电流角度来看，提高电压是有利的，但随着电压的提高，对电气设备的绝缘和安全方面也提出更高的要求，因此目前世界各国对电压等级的考虑主要是与本国陆上电制的参数统一起来选用，这样可以满足电气设备的通用性，使电气设备的造价最为经济。例如美国陆上采用450伏、60赫的电制，日本也沿用美国的电制，而我国与苏联、德国等则采用400伏，50赫的电制。

由于船舶电站容量的增加，在一些大型船舶、工程船舶及舰船上，电站容量已达2万~4万千瓦，这时，仍采用400伏电压等级已成为不可能，因而必须采用高于400伏的电压等级，当然这也应沿用陆上的标准电参数。

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均采用3300伏电压。如英国的“伊丽莎白二世皇后”号客船装设的三台5500千瓦的主发电机的额定电压为3300伏。

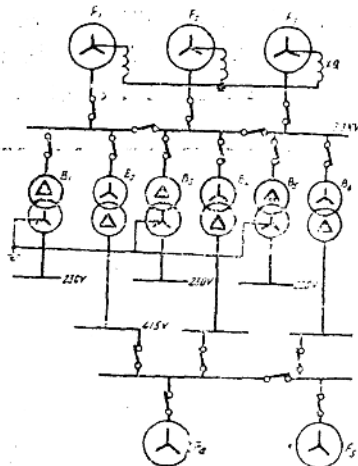


图1-2 “伊丽莎白二世皇后”号电力系统简图

F₁、F₂、F₃-主发电机 5500kW, 3.3kV,

B₁、B₂、B₃-800kVA 变压器,

B₄、B₅、B₆-1500kVA 变压器,

F₄、F₅-应急柴油发电机 350kW, 415V

这时一些小容量的电动机采用400伏的电源，因此需经变压器降压后供电。图1-2是该轮电力系统简图，因为电压级数较多，电压又较高，所以电力系统的控制和保护装置也相应地要比一般船舶复杂。

我国目前制造的远洋船舶电压均在500伏以下，《钢质海船建造规范》规定的船用额定电压等级如表1-2所列。

船用额定电压

表1-2

类 别	电 压	电源设备额定电压 (伏)	受电设备额定电压 (伏)
直流电气设备		28、115、230	24、110、220
交流电气设备		115、230、400	24、110、220、380

至于500伏以上电压标准，我国船舶规范尚无明确规定，如确因容量过大而需采用高压，则可参考陆用标准。

3. 额定频率

交流船舶电力系统的额定频率选用陆上的标准等级，我国统一规定为50赫，美、日等国为60赫。对个别要求非标准频率的弱电设备，如无线电导航系统用的500赫和1000赫的中频电源等，通常是由变流机组或变频器供电。

值得一提的是，近年来国外有些军舰上为了减轻电气设备的重量和尺寸，开始采用中频的船舶电力系统或局部设备由中频发电机供电。表1-3列出了当频率从60赫提高到400赫，电压由450伏提高到1000伏时，发电机重量和尺寸减少的数据。

美国“威斯汀豪斯”公司生产的发电机重量-尺寸特性，见表1-3。

美国“威斯汀豪斯”公司生产的发电机重量-尺寸特性

表1-3

发电机型号	60赫 450伏						400赫 1000伏					
	功率 (千瓦)	转 速 (转/分)	尺寸(毫米)		重量(公斤力/牛)		功率 (千瓦)	转 速 (转/分)	尺寸(毫米)		重量(公斤力/牛)	
			长度	高度	总 重	单位重			长度	高度	总 重	单位重
汽轮发电机	600	1200	1480	940	3315/32487	5.5/53.9	600	12000	680	440	945/9261	1.6/15.68
柴油发电机	250	1600	820	710	1850/18130	7.4/72.52	250	6000	470	410	510/4998	2/19.6

提高频率虽然可以减少电机的尺寸和重量，但也会带来一些不利因素，如要求制造特殊频率的电机、电器、仪表和高速机械等；交流阻抗增大，损耗也增大；为了实现准同步并车必须采用新型调速器和高速开关。因此，到目前为止，提高交流电制的额定频率能否成为船电的发展方向，尚无明确的结论。

四、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。最初只是由一台几马力的直流发电机供电给一些照明负载，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。由于船舶电网容量的不断增长，使110伏电压系统改用220伏电压系统。船舶上不需要象陆地上那样远距离供电，因此也就不需要较高的输电电压。到了五十年代，为了把陆用交流技术所获得的经验应用到船舶上去，伴随着自激恒压发电机的发展，世界各国船舶上都陆续采用了交流系统。对于船舶交流系统，欧州国家普遍选用陆上通用的380V/50Hz系统，而美国则选用440V/60Hz系

统。与此同时，船上的许多电力拖动采用异步电动机，众所周知，异步电动机可以通过改变其极对数而改变转速，使其与工作机械很好地匹配。近年来，还采用了中压船舶电网。以前，中压系统仅用于交流电力推进系统，由于功率在2000千瓦以上的中压交流发电机要比低压发电机便宜，所以从经济方面考虑促使选择较高电压（大部分选用3.3KV/60Hz）。

随着船舶向大型化、高速化和自动化方向发展，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。实现船舶电站自动化可以有如下好处。

- (1) 维持船舶电力系统供电的连续性和提高可靠性，增强船舶运行的生命力；
- (2) 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；
- (3) 大大改善了船员的劳动条件，减轻值班强度，使船员能有更多的时间和精力从事设备的维修工作；
- (4) 减少船员，提高劳动生产率，提高船舶运行的经济指标。

在六十年代，电站自动化停留在单元自动装置方面，如自动卸载、自动并车、自动调频调速、自动起停等。到了七十年代，随着无人机舱的出现，由电子计算机控制的超自动化船舶已经投入营运。

1970年，日本建成了第一艘超自动化油轮“星光丸”，其柴油主机功率21000千瓦，航速15.4节^②，138,000吨载重量，全船由一台电子计算机对导航系统、轮机系统和舾装系统实行自动控制；荷兰的“Nedlloyd Houtman”号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，该船安装有三套装置：

(1) 机舱监视系统——对两台主机和有关的辅机进行监控。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，用图象或文字数字在电视机上进行显示，如出现事故时，除在屏幕上出现闪耀外，还发出音响和旋转光束的警报信号并能记录下来；

(2) 冷冻装置监视系统——它是和机舱系统相似的一个独立的系统，仅仅容量较小而已；

(3) 冷冻集装箱记录和监控系统——能周期地检测和记录2,450只冷藏集装箱的温度和动力装置参数。

这种以微处理机为中心的船舶自动化技术已经显示出了极大的优越性，比用一台较大型的电子计算机集中控制的自动化系统不仅体积小、重量轻、可靠性好，而且成本低、维修使用方便，还避免了系统之间的相互干扰。

由于超自动化船舶的出现和发展，全自动化电站也必然成了船舶电力系统的发展方向。尽管各种类型船舶电站全自动化内容稍有不同，但大体都具有如下的功能：

1. 柴油辅机起动前的预润滑

柴油辅机的轴承、曲轴、汽缸等，在起动之前须保持适当油膜使之润滑。一般采用电动预润滑油，周期性地进行的。

2. 柴油辅机起动前的暖机

一般通过主机的冷却系统或者已运行柴油辅机的冷却系统，使“备用机组”处于适当的温度，以便一旦被自动起动，能够适应迅速升速和加载的要求。

^② 在国际单位制中，长度单位为米，速度单位为米每秒，代号为米/秒。1节 = 1海里/时 = (1852/3600)米/秒。

3. 柴油发电机组的自动启动

当运行机组发生故障时,运行监视器和信息处理单元根据故障的性质,立即发出一启动新机组的指令,使“备用机组”按照自动系统中已确定好的逻辑控制程序进行启动和投入运行。

4. 自动切换

“备用机组”启动失败或启动成功后合闸失败,由自动启动的顺序装置向另一台“备用机组”发出启动指令,并发出启动失败停机指令。

5. 发电机的自动并车

在电网已有机组供电的情况下,启动的机组通过自动同步装置来实现自动同步和自动并车。这种自动同步并车装置可以是准同步自动并车,也可以是粗同步自动并车。

6. 发电机的自动调频、调载和自动转移负载

发电机并网后处于空载状态,通过自动调频、调载装置来实现在维持电网频率不变的前提下,各发电机组的负荷能按机组容量成比例分配,在需要增减机组时,应能自动转移负载。

7. 根据功率的要求,自动控制机组的起停

当功率要求增加,而已运行机组功率不够用时,通过功率监视器和信息处理单元发出启动新机组的指令;当负载减少时,发出停机指令,自动停掉多余的机组。这样不仅保证电能供求平衡,并且使电站经济合理。

8. 重载询问

当大功率用户要投入电网运行时,需经系统判断可否后才行。若电网的功率余量足够,大功率用户可直接启动投入电网运行;若电网功率不足,则首先启动一台“备用机组”,并入电网后,才允许大功率用户启动。

9. 自动分级卸载

当网络过载时,有导致主开关跳闸的危险。为了保证对重要负载连续供电的要求,往往采用分级卸载的方法,先卸掉一部分次要负载,同时启动一台“备用机组”,如在启动过程中网络还出现持续性过载,就进行第二次卸载,一直到新机组投入运行为止。

10. 柴油辅机和电气故障的自动保护

除自动控制系统对故障的处理具有自动保护功能之外,在设备中还没有保护元件,如柴油辅机的超速保护、电网中的各种保护开关等。网络中的选择性保护是船舶电站自动化的一个重要方面,它能保证在局部故障条件下,实现对非故障负载连续供电的要求。

11. 故障时自动停车

当电网过流、失压、短路、逆功率和柴油辅机的超速、滑油低压等故障发生时,能实现自动停车,以保护发电设备。

12. 自动监视

当运行机组或者自动控制系统本身发生故障时,自动监视能进行报警和数据记录。这对于“无人机舱”船舶是很必要的。

目前国外的“超自动化”船上,电站的上述自动控制功能及其信息数据是通过电子计算机进行集中处理和集中控制的。

第二节 船舶电站容量确定和发电机组台数的选择

一、确定船舶电站容量的目的和方法

正确合理地计算船舶电站的容量，将直接影响到船舶运行的经济指标，并且影响着船舶的生命力，所以具有很重要的意义。船舶电站容量计算的基本理论，不仅设计人员要掌握，对于运行管理人员来说也很重要。它可以帮助机舱管理人员正确深入地了解船舶电站的特点，从而能够根据不同的运行工况，相应地改变电力系统的运行方式，充分发挥电站的功能，使电力系统保证安全、可靠、经济、优质（指电压和频率偏差在允许范围内）。另外，在监造船舶和接管船舶过程中，对所接船舶能够做出有理论依据的校验和评价。

在进行船舶设计时，船体的型式和尺寸及推进系统都可以由模型试验决定，但船舶电站容量的选择至今尚无类似的办法，只能根据统计规律采用近似的估算方法。

电站容量的计算方法有许多种，用得最多的是概率论法、昼夜航行图表法和负荷系数法等。概率论法对同类型的船舶适用，小船或电动辅机不多的船舶大多采用昼夜航行图表法，目前用得较多的仍然是负荷系数法。负荷系数法又分为两种，需要系数法和三类负荷法。将电站容量计算好后，就可以查对产品目录，根据发电机组标准和配套情况，选用发电机。

由于船上各用电设备的工作情况与船舶的运行工况有关，不论用什么方法计算电站容量都是按照船舶不同的工况分别进行的。船舶整个运行周期大体可以划分成几个典型工况，在每一个典型工况中负荷的变化相对说来是不大的。

1. 船舶工况

1) 航行状态：指满载全速航行状态。

2) 进出港状态（机动状态）：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：指货轮的装卸货或油轮的装卸油状态。

5) 应急状态：指船舶失火或被舱时的状态。

研究船舶各种典型工况的目的是要找出船舶的最大用电量、最小用电量和经常的用电量，从而找出用电的规律。

应该注意，类型不同的船舶，其运行工况的划分也不尽相同，所以在具体设计计算过程中，究竟该划分为哪几个工况，则应视具体情况而定。例如，客船就没有装卸货状态，但其照明功率相当大，在划分工况时可以将航行状态分成昼夜二种工况进行计算。

在按照所划分的工况进行计算时，为方便起见，通常还将全船用电设备按用途和系统分类。

2. 用电设备分类

1) 动力装置用辅机：包括为主机和锅炉服务的辅机，如燃油泵、滑油泵、海、淡水冷却泵、分油机、空压机、鼓风机等。

2) 甲板机械：包括舵机、锚机、绞盘机、起货机、弦梯绞车等。

3) 舱室辅机：包括生活用水泵、消防泵、舱底泵、压载泵、为辅锅炉服务的辅机等。

4) 冷藏通风机械：包括冷藏货舱、伙食冷库、通风机和空调装置等。

5) 机修机械：包括车床、钻床、电焊机等。

6) 无线电通讯设备：包括观察、通讯和导航设备。

7) 照明及生活设备：包括照明、航行信号灯、强光灯、风扇、电热器、电灶等。

8) 其它特种船需要的设备和电力推进等。

对于小型船舶，由于用电设备不多，计算时分类可适当减少，甚至可以不分类。

划分了工况和将用电设备按系统分类后，就可以根据选定的计算方法求出全船在各种工况下的计算功率。计算功率算出后，同时还必须考虑编制船舶营运年度曲线表，也就是船舶在一年营运过程中，每种工况所占的时间百分数，它是根据统计资料获得的，如苏联根据不同类型船舶几年的营运调查求出各种工况占全年的百分数列于表1-4。

表1-4

船舶工况	干 货 船	油 轮
航 行 工 况	41%	64%
停泊不装卸货	40%	23%
停泊装卸货	18%	7%
机 动	1%	1%

3. 电站容量的确定和发电机电数选择原则

在技术上正确选用最合适的电站方案，主要取决于确定各工况计算功率的准确度，以及能否配用功率和参数适宜的机组。这一问题要在设计各种具体船型时具体解决。选择电站容量和台数时一般应遵循下述原则：

1) 电站机组在最长的工况（航行和停泊无装卸）内的负载，应该不少于电站总容量的70~75%；

2) 选择保证停泊装卸作业的发电机功率，建议储备量不超过10%；

3) 不允许过分分散电站功率，虽然分散功率能增加每台机组的利用率和调用方便，但会使整个装置复杂化；

4) 在选择电站方案时，必须考虑辅柴油发电机组与主机的寿命比，不使相差过大；

5) 必须尽可能采用同容量同型号机组，以有利于并联运行的稳定性和减少维修保养工作量；

6) 备用机组的功率应保证在船上最大发电机故障停机后，仍能充分满足船舶航行状态用电的需要。

二、按需要系数法确定电站容量

需要系数是用电设备实际所需要的功率与额定负载时所需要的功率的比值，用公式表示为

$$K_c = \frac{P_{\Sigma h}}{P_{\Sigma e}} \quad (1-1)$$

式中： $P_{\Sigma h}$ ——用电设备实际所需功率；

$P_{\Sigma e}$ ——用电设备在额定负载时所需功率。

需要系数的大小综合考虑了该用电设备的负荷状态、工作制（指连续、短时、重复短时工作）和该类设备的同时工作几率等方面的因素，一般是根据多年实际经验统计后取平均值。表1-5列出了一些用电设备的需要系数。

1. 计算方法

1) 计算各类负荷的额定所需功率 $P_{\Sigma e}$ ，照明设备和弱电设备的额定所需功率，即采用其安装总功率；

2) 根据表1-5选择各类负荷的需要系数 K_c ;

3) 起货机负荷的需要系数, 随起货机电气控制方式和台数而不同, 可根据图1-3的曲线进行确定;

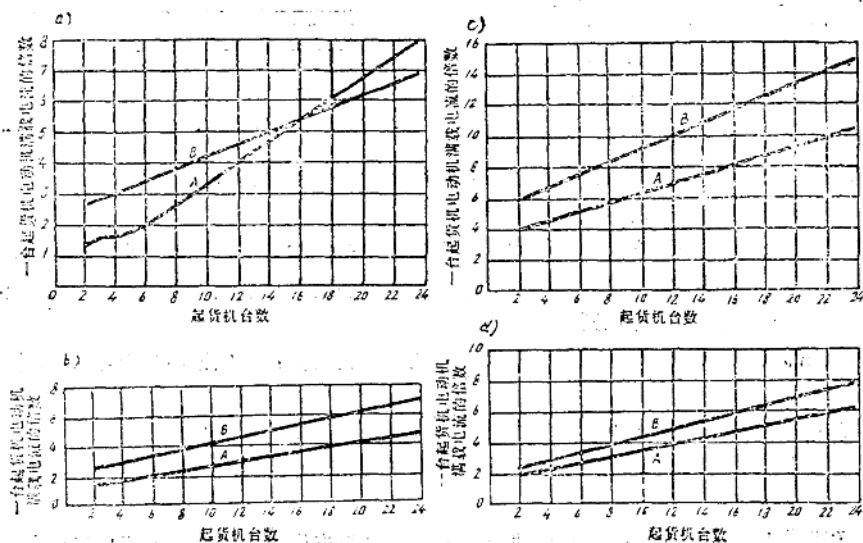


图1-3 起货机负荷曲线

a) 直流起货机; b) 发电机-电动机系统起货机; c) 交流阻 筈式电动起货机; d) 交流滑环式电动起货机
A-应用于选择电缆及开关, B-应用于选择发电机

各种负荷的需要系数值 (K_c) 见表1-5。

4) 将各类负荷的额定所需功率乘以需要系数, 然后总加起来, 便得到全船所需总功率 P

$$P = \sum P_{ic} \times K_c \quad (1-2)$$

2. 计算步骤

- 1) 计算各电动机和其它电气设备的额定所需功率;
- 2) 选择计算工况, 并确定各工况下所需使用的电气设备;
- 3) 估算各辅机和各电气设备实际使用功率及了解使用情况并确定需要系数;
- 4) 计算各电气设备的所需功率, 并计算总功率;
- 5) 考虑5%的网络损失, 计算所需总功率;
- 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, 因此发电机的负荷率不超过80~90%。

用需要系数法选择发电机容量和台数的例子见表1-6。

需要系数值 (K_c)

表1-5

	负 荷 名 称	需要系数		负 荷 名 称	需要系数
柴油机器用	淡水冷却泵	0.85	弱 电 设 备	蓄电池充电	0.2
	海水冷却泵	0.85		电工试验板	0.2
	滑 油 泵	0.65	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 舶 辅 机	舱底救火泵	
	用 鼓 风 机	0.85		救火总用泵	0.55
	废气锅炉循环水泵	0.85		舱底压载泵	0.2
冷 藏 通 风	空气压缩机①	0.85	机	潜水舱底泵	0.1
	发电机用冷却水泵②	0.85		压 载 泵	0.2
	机舱通风机	0.85		真 空 泵	0.1
	房舱通风机	0.8		洗 舱 泵	0.85
	货舱通风机	0.6~0.8		扫 舱 泵	0.15~0.25
	货舱干燥装置	0.5	甲 板 机 械	舵 机	0.2
	泵舱通风机	0.8		起 锚 机	0.4
	全船用冷藏压缩机	0.4		起 艇 机	0.8
	全船用冷藏循环泵	0.4		舷 梯 绞 车	0.8
	货舱用压缩机	0.6		绞 盘、系泊绞车	0.4
	空调用压缩机	0.75		货 油 泵 ②	0.8
	空调冷水泵	0.75		起 货 机 ②	
	空调热水泵	0.75		甲板机械加热器	1.0
	空调凝水循环泵	0.75	生 活 用 泵 和 设 备	热水循环泵	0.7
	空调送风机	0.75		汽水循环泵	0.7
生 活 用 泵 和 设 备	蒸馏器淡水输送泵	0.6		卫 生 水 泵	0.4
	厨房和餐室设备	0.3		淡 水 泵	0.4
	洗衣设备	0.2		污 冰 泵	0.2
	电 热 水 器	0.5		饮 用 喷 泉	0.3
工 具 机	房舱电热器	0.4		蒸馏器海水给水泵	0.75
	机 床	0.1		蒸馏器凝水泵	0.6
弱 电 设 备	船内通讯	0.4	备	蒸馏器化学给水泵	0.2
	航海仪器	0.4		盐 水 排 除 泵	0.75
	电 罗 经	0.4		管群疏水泵	0.6
	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。