



国防特色教材·职业教育

船舶电站组建与调试

CHUANBO DIANZHAN ZUJIAN YU TIAOSHI

王文义 主编

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

船舶电站组建与调试

王文义 主编

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书以交流船舶电力系统为主线,主要介绍船舶电站及系统的现有技术,突出船舶电站组建与调试方面的内容。主要内容有船舶电力系统的基本知识;船舶电站容量确定及负荷统计方法;船舶交流电力系统的短路计算方法和典型案例;船舶电力系统中常用电器的使用和选型;船舶配电装置的功用及产品设计;船舶电网结构和船用电缆的选择;船舶电力系统保护设置与整定;船舶同步发电机的并车方法和并车装置的构建与调试;电压及无功功率自动调整方法和恒压励磁装置的构建与调试;频率及有功功率自动调整方法和调频调载装置的构建与调试;轴带发电机的应用;船舶照明及配电;船舶电站自动化及柴油发电机组启停控制等。

本书可用于船舶行业电气专业和相关专业的高职高专教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶电站组建与调试/王文义主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2009.9

ISBN 978 - 7 - 81133 - 587 - 3

I. 船… II. 王… III. 船用电站 IV. U665.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 177861 号

船舶电站组建与调试

王文义 主编

责任编辑 史大伟

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451 - 82519328 传真:0451 - 82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:27.75 插页:1 字数:510千字

2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷 印数:2000册

ISBN 978 - 7 - 81133 - 587 - 3 定价:55.00元

前 言

本书以交流船舶电力系统为主线,主要介绍船舶电站及系统的现有技术,突出船舶电站组建与调试方面的内容。主要内容有船舶电力系统的基本知识;船舶电站容量确定及负荷统计方法;船舶交流电力系统的短路计算方法和典型案例;船舶电力系统中常用电器的使用和选型;船舶配电装置的功用及产品设计;船舶电网结构和船用电缆的选择;船舶电力系统保护设置与整定;船舶同步发电机的并车方法和并车装置的构建与调试;电压及无功功率自动调整方法和恒压励磁装置的构建与调试;频率及有功功率自动调整方法和调频调载装置的构建与调试;轴带发电机的应用;船舶照明及配电;船舶电站自动化及柴油发电机组启停控制等。

本书适用于船舶行业电气专业和相关专业的高职高专教材,也可供有关技术人员参考。

编 者

2009年2月

目 录

绪论	1
第 1 章 船舶电力系统概述	3
1.1 船舶电力系统的组成	4
1.2 船舶电力系统的特征及基本要求	6
1.3 船舶电力系统的基本参数	12
1.4 船舶电站的主接线	20
1.5 船舶电力系统的类型	24
1.6 船舶电力系统的可靠性	28
思考题与习题	31
第 2 章 电站容量及负荷计算	33
2.1 确定船舶电站容量的目的和方法	33
2.2 船舶用电设备和运行工况	35
2.3 三类负荷法	38
2.4 需要系数法	50
2.5 船舶电站发电机组功率和台数的确定	54
思考题与习题	61
第 3 章 船舶交流电力系统的短路计算	62
3.1 概述	62
3.2 短路电流	63
3.3 短路计算系统图和标么值	70
3.4 发电机馈送的短路电流计算	72
3.5 电动机馈送的短路电流计算	74
3.6 在邻近主汇流排处短路时短路电流的计算	75
3.7 远离主汇流排处短路时短路电流的计算	77
3.8 短路功率因数计算	81
3.9 短路阻抗和时间常数的计算与换算	82

3.10 船舶交流系统短路计算应用举例	84
3.11 断路器额定切断和接通电流的选择	94
3.12 母线的选择和验算	96
思考题与习题	100
第4章 船舶电力系统中的常用电器	102
4.1 概述	102
4.2 船用空气断路器	107
4.3 主令开关	116
4.4 互感器	117
4.5 船用保护电器	121
4.6 电量参数测量仪表	127
思考题与习题	136
第5章 船舶配电装置	138
5.1 概述	138
5.2 主配电板	140
5.3 应急配电板	150
5.4 充放电板及蓄电池	153
5.5 岸电箱及其他配电装置	157
5.6 配电装置的产品设计及装配	158
思考题与习题	175
第6章 船舶电网和船用电缆	176
6.1 概述	176
6.2 船舶电网	177
6.3 船舶电网的结构分析	183
6.4 船用电缆型号及其选择	187
6.5 按载流量选择电缆截面	197
6.6 船舶电网电压损耗的计算	204
思考题与习题	212
第7章 船舶电力系统的保护	213
7.1 概述	213
7.2 船舶同步发电机的保护	216

7.3 船舶变压器的保护	226
7.4 船舶电网的保护	228
7.5 船舶负载的保护	234
思考题与习题	238
第 8 章 船舶同步发电机的并车	240
8.1 概述	240
8.2 同步发电机的并车条件	241
8.3 同步检测	244
8.4 手动并车操作	249
8.5 电抗粗同步并车	252
8.6 半自动同步并车装置	257
8.7 自动准同步并车装置	259
思考题与习题	280
第 9 章 电压及无功功率自动调整	282
9.1 概述	282
9.2 相复励原理	289
9.3 不可控相复励恒压装置	293
9.4 可控相复励恒压装置	309
9.5 晶闸管励磁自动调整装置	317
9.6 无刷励磁	323
9.7 并联运行发电机之间无功功率的分配	328
9.8 电网无功的自动补偿	337
思考题与习题	340
第 10 章 频率及有功功率自动调整	341
10.1 概述	341
10.2 调速器与调速特性	344
10.3 频率的调整	347
10.4 并联运行发电机组间的有功功率转移与分配	348
10.5 调差系数与功率分配间的关系	351
10.6 自动调频调载装置	353
思考题与习题	376

第 11 章 轴带发电机	378
11.1 概述	378
11.2 晶闸管轴带发电机系统的组成和基本原理	380
11.3 轴带发电机的启动、并车、停止	384
思考题与习题	386
第 12 章 船舶照明	387
12.1 照明系统的分类和特点	387
12.2 船舶常用灯具与电光源	391
12.3 照明控制	396
思考题与习题	399
第 13 章 船舶电站系统自动化	400
13.1 概述	400
13.2 柴油机自动启停控制	402
13.3 电站监控及故障处理	410
13.4 无人值守电站自动化系统	417
思考题与习题	421
附录	422
参考文献	434

绪论

1. 船舶行业的社会背景和本课程地位

20 世纪 80 年代前,中国造船业一直以国内的内河船舶为主体,造船生产量小,甚至没有 100 吨以上的商船列入劳德船级统计记录。20 世纪 90 年代,中国积极地推进国营造船厂现代化改造,从国外引进技术和资金实现生产设备的大型化和集约化生产,提高了生产效率。1995 年以后,我国造船业致力于国际化,其竞争力日趋强大,订单逐年增多。1997 年以后中国超过德国确保了世界造船业第三位的市场份额。进入 21 世纪以来,我国的船舶工业步入快速发展时期,呈现出良好的发展势头。作为世界第三大造船国,中国 2010 年造船能力有望达到 21 100 万载重吨,占世界造船市场的份额则达到四分之一以上。

我国船舶工业具有明显的外向型特征,出口船舶在我国船舶建造量中的比例逐年提高。中国建造的船舶已经出口到包括美、日、德、法、加等发达国家在内的世界 110 多个国家和地区,达到了国际先进水平,船舶工业已成为重要的出口支柱产业。

船舶作为重要的交通工具依然保持着无可替代的地位。在全球经济一体化的发展过程中,船舶承担着 90% 以上的国际贸易货运量,适应新的航运要求的船舶不断出现。随着人类开发海洋、利用海洋的程度不断加大,海洋石油装备和海洋工程设施也不断发展;近年来,由现代军事强国发动的较大规模的现代战争表明,其主要的军事手段或者重要的战争方式是通过海上实施的,而海军实力则充分体现在装备的技术性能和水平上。可以看到,无论是军事用途还是民用领域,由于需求的强大牵引和推动,采用最新科技成果的新型船舶将层出不穷。

船舶电站是船舶的一个重要组成部分,也是船舶技术的重要标志,它反映了一个国家的战略地位和综合国力的水平。随着世界造船业市场竞争的日益加剧,船舶电气在船舶建造中的地位日益提高,甚至在国际市场竞争中起着举足轻重的作用,业已成为增强企业活力、参加国际经济大循环、与世界经济接轨的重要因素。《船舶电站组建与调试》一书正是在这样的背景下组织编写的。

2. 船舶电站及电力系统的发展与现状

电能能在船上应用已有近百年历史,早期电能的使用仅仅为了满足船上的夜间照明和简单的信号,而后发展到动力设备。在 20 世纪 50 年代以前建造的船舶,基本上以直流电为主。因为在当时的技术条件下,直流发电机具有调压和并车简单、易于调速且启动冲击小、开关电器及仪表简单、蓄电池可直接由电源充电等优点。

随着技术进步和船舶电气化程度的不断提高,电站容量日益增加。自 20 世纪 50 年代以

后,成功地解决了曾经阻碍船电交流化的一系列难题,交流电制得到飞速发展和完善,如今,交流电制在船舶上已占据主导地位。

随着船舶向大型化和多功能化的发展,对船舶电力系统提出的要求也越来越高。船舶电站在近几十年中有了很大的发展,其发展的突出标志是高容量和自动化。电气设备的性能优良、功能完备、系列化和高科技是实现船舶安全可靠运行的基本保证。随着电气基础元器件在理论、材料、制造工艺和应用技术等方面的研究开发,新一代电气元器件将不断涌现,从而使船舶电气设备向高可靠性、节能型方向发展,势必会对船舶电气技术带来重大变革。

船舶自动化经历着从最原始的手动就地操纵进化成手动遥控操纵,再进一步发展成半自动控制,最后发展到目前的全自动无人值守的发展过程。计算机技术为船舶综合自动化提供了广阔的发展空间。目前,船舶自动化技术正朝着微机监控、全面电气化、综合自动化方向发展。高可靠性、功能齐全、分布式、多微机网络型的电站自动化系统,将是未来船舶电站自动化的发展方向。

3. 本课程的研究对象及主要内容

《船舶电站组建与调试》一书研究的对象是船舶的“发电—配电—用电”这个特定的电力系统及其应用的技术领域,重点是船舶电站的组建与调试的相关技术。

目前,除了某些军船和特种工程船舶仍采用直流或交直流混合电制外,大、中型船舶均采用交流电制。考虑接用岸电和使用陆用派生电器产品的方便,以及安全和技术经济指标等因素,船舶电网的电压等级多为 380 V。因此,本书以船舶低压交流电力系统为主线展开全书的内容。

电力是船舶的生命线,安全可靠的供电是船舶电力系统的首要任务。为了确保船舶电力在任何情况下都不中断,船舶电站中除了主电源外,还配有应急电源。除此之外,在供配电方式和电网结构,以及继电保护等方面都需要采取切实可行的措施来加以保证,这是船舶电力系统所要研究的重要课题之一;由于船舶特定的环境,电力系统规模有限,用电负载会随工况不同大幅度变化,船舶电源要满足这种变化,就带来了发电机组的经常投入和切除的问题,亦即并车和解列,并车需要满足一定的并车条件,需要通过相应的控制电路来实现,这是船舶电站及系统所要探讨的主要课题之二。发电机组在运行过程中,由于负载的波动,会引起电网电压的频繁变化,要维持较高品质的供电质量,必须适时调整发电机的电压以保证电网电压的恒定,而发电机电压的调整与并联机组输出的无功又存在着内在的联系,电压调整还应保证各发电机输出的无功是合理分配的,这些是船舶电站及系统所要探讨的主要课题之三。负载的波动也会引起电网额定频率的变化,对发电机组的频率需要不断地调整以确保电网的频率恒定,而频率的调整则将引起并联运行发电机组输出的有功功率,频率的调整必须满足各发电机组输出有功功率的分配要求,这是船舶电站及系统所要探讨的主要课题之四。上述这些内容构成了船舶电站技术方面的主题,是从事船舶电气职业所必需掌握专业知识和职业技能。

第1章 船舶电力系统概述

知识与技能要点

- 船舶电力系统的构成
- 船舶电力系统的基本特征和船用条件
- 船舶电力系统的基本参数
- 船舶电站的主接线
- 船舶电站及其系统典型实例

船舶犹如一个可移动的海上城市,它的许多设备都需要使用电能,因此在船上都配备有由发电、配电和用电所组成的独立系统——船舶电力系统。随着船舶的大型化和自动化程度的不断提高,越来越多的船用设备需要用电能来驱动和控制,使船舶电力系统亦日趋复杂庞大。

众所周知,电能是船舶航行和作业的最主要的能量来源。电能既易于由其他形式的能量转换而来,又易于转换为其他形式的能量;电能的输送和分配既简单经济,又便于调节、控制和测量,并有利于实现生产过程自动化。信息技术和其他高新技术都是建立在电能应用基础之上的。因此,电能在现代船舶中的应用极为广泛。

电能是船舶运行和生产的主要能源和动力,但它在运营成本中所占的比重却很小。更重要的是实现电气化后,可以大大改善船舶性能、提高运行质量,并有利于实现全船的自动化。另一方面,如果供电中断,则对船舶运行和生产会造成严重的后果。例如,对供电可靠性要求很高的舵机设备,即使是短时的停电,也会造成重大损失,甚至可能发生灾难性的船毁人亡事故。因此,船舶电力系统对于船舶运行和安全具有十分重要的意义。

船舶电力系统要切实保证全船正常运行和生活用电的需要,必须达到下列基本要求。

- (1)安全 在电能的发送、分配和使用中,不应发生人身事故和设备事故。
- (2)可靠 应满足电能用户对供电可靠性,即连续供电的要求。
- (3)优质 应满足电能用户对电压和频率等质量的要求。
- (4)经济 电力系统的投资要少、运行费用要低,并尽可能地节约电能。

因此,确保船舶电力系统安全、可靠、优质和经济地运行,是船舶建造和运营的一项最基本任务。

1.1 船舶电力系统的组成

船舶电力系统主要由电源、配电装置、电力网和电力负载组成。图 1.1 为船舶电力系统简图。其反映了船舶电力系统的电源、配电装置、电力网和负载之间的关系,其各功用如下。

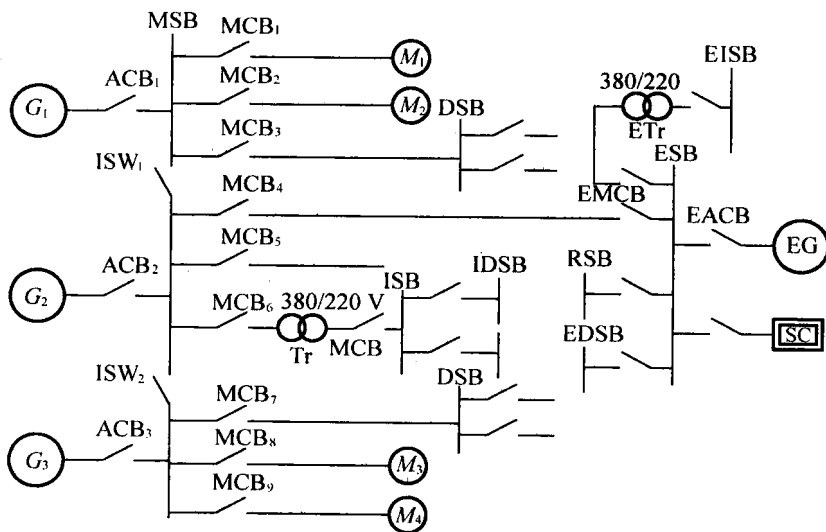


图 1.1 船舶电力系统简图

G—主发电机; EG—应急发电机; ACB—发电机主开关; EACB—应急发电机主开关; MSB—主配电板; ESB—应急配电板; MCB—配电开关; M—电动机; DSB—分配电板; RSB—无线电分配电板; EMCB—应急配电开关; ISW—隔离开关; ISB—照明配电板; EISB—应急照明配电板; IDSB—照明分配电板; EDSB—应急分配电板; Tr—照明变压器; ETr—应急照明变压器; SC—岸电箱

1. 电源

电源是将其他形式的能源(如机械能、化学能等)转变成电能的装置。

船上的电源装置通常是柴油发电机组和蓄电池。主发电机组是船舶的主电源,应急发电机组是应急电源,蓄电池组一般作为小应急电源。主发电机组不能供电时,由应急发电机组或蓄电池组向船舶重要航行设备和应急照明系统供电。直流船舶电力系统采用直流发电机组,交流船舶电力系统采用交流发电机组。

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。由于柴油机热效率较高、启动快、机动性好,因此在民用船舶上主发电机和应急发电机的原动

机多采用柴油机。如果船舶主机为汽轮机,其发电机的原动机一般采用汽轮机,汽轮机需要有配套的燃煤或燃油的蒸汽锅炉装置;核动力船舶(如有些破冰船和军用舰船)则为原子能锅炉;有些船舶为达到节能的目的,充分利用船舶主机 10% ~ 15% 的功率储备裕量和主机排出废气的热能,因而出现了用轴带发电机和主机废气透平发电机作为船舶电源。

2. 配电装置

配电装置是接受和分配电能的装置,也是对电源、电力网和负载进行保护、监视、测量和控制的装置。

配电装置包括各种电力开关、互感器、测量仪表、连接母线、保护电器、按钮、控制和转换开关、自动化设备及各种附属设施等。根据供电范围和对象的不同,配电装置可分为主(总)配电板、应急配电板、分配电板(箱)、充放电板和岸电箱等。

3. 船舶电力网

船舶电力网是全船电缆电线的总称。

船舶电力网是联系发电机、主(应)配电板、区域配电板、分配电板和负载的中间环节,是将电源的电能输送到负载的网络。船舶电力网按其所连接的负载性质,可分为动力电网、照明电网、应急电网、小应急电网等。

4. 电力负载

电力负载又称电力负荷,指耗用电能的各种用电设备,它是将电能转换成其他形式能量的用电设备。

船上的用电设备形式很多,主要有动力负载(各种电力拖动机械)、照明负载、通信导航设备等,舰艇还有特殊的武器装备负载。动力负载往往占总用电量的 70% 左右,对于船舶电力负载大体可分为如下几类。

(1) 船舶各种机械设备的电力拖动

甲板机械——舵机、锚机、绞缆机、起货机、舷梯绞车、吊艇机等。

舱室机械——各类油泵、水泵、空压机、冷冻机、通风机、空调设备等。

电力推进船舶或特种工程船舶所用的推进电动机及电力生产机械等。

(2) 船舶照明

工作场所和生活舱室安装的各种电气照明灯具、各种航行灯和信号灯。

(3) 通导设备

包括船舶通信和导航设备。船舶通信设备有无线电收发报机、电话、广播、声光报警装置和电车钟等;导航设备有陀螺罗经、雷达、罗兰、无线电测向仪、测深仪和计程仪等。

(4) 生活及其他用电设施

如电热器、洗衣机、电视机和影碟机等家用电器。

1.2 船舶电力系统的特征及基本要求

1.2.1 船舶电力系统的特征

由于多数船舶是活动于水面上的独立体,因此船舶电力系统与陆地电力系统相比有很大差异,主要有以下几个方面。

1. 船舶电站容量较小

陆地电网容量一般在几百万至几千万千瓦,单机容量大多在数十万千瓦,如三峡水电站总装机容量为7 700 000 kW、单机容量为700 000 kW,且各电厂联网运行。陆地电源可以认为是无限电源系统。而一般较大的远洋船舶主电站通常装三台发电机组,单机容量约为400~1 000 kW,可见船舶电源远远小于陆地电源。因此,船舶电源容量较小,只能视为有限电源系统。

因为船舶电站容量较小,而某些设备的单机容量却很大,其负载容量可与发电机容量相比,所以当这些负载启动时,对船舶电网将造成很大的冲击(电压、频率跌落均很大),此外,局部故障或误操作都容易导致全船断电,威胁船舶安全。因此,对于船舶电力系统的稳定性和可靠性要求较高,如船用发电机调压器的动态特性指标比陆地发电机的要高,还要有强行励磁能力,发电机要有较强的过载能力等。另外,由于船舶工况变动频繁,对自动控制装置的性能也提出了较高的要求。

由于船舶电力系统相对独立,且容量小,因此船舶发电机组的电压或频率调节相对较难,调整发电机的电压或原动机的转速,将直接影响电网的电压和频率波动。不同于陆地的无穷大电网,调节一台发电机组的电压或频率,无法左右全电网的电压或频率,只能以改变自身有功功率或无功功率的大小来取得平衡。

船舶电力系统容量虽小,但可靠性要求较高。通常船舶只有一个电站工作,任何断电事故都将危及船舶航行的安全。在无人值守的情况下,要求在未酿成断电事故之前应有完善的防范措施,当出现导致全船断电的趋势时,备用机组就要自动投入运行,替换故障机组,以保持供电的连续性。即使出现断电现象,也要保证断电时间最短,尽快恢复供电。

2. 船舶电网线路短

与陆地数千公里高压输电网络相比,船舶电网线路显得较短,船舶电网往往不需要采用高压输电,因此电能损失较小。大多数船舶发电机端电压、电网电压、负荷电压是同一个电压等

级(500 V以下),所以配电装置较陆地电力系统简单。因为船舶空间有限,电气设备比较集中,电网长度不长(一般不超过200 m),且都采用电缆,所以对发电机组和电网的保护比陆地系统要简单,但在保护配合方面却要求较高。

3. 船舶电气设备工作环境恶劣

船舶电气设备工作条件比陆地恶劣,环境对电气设备的性能和工作寿命有严重影响。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、膨胀、分层及变形等,导致绝缘性能降低,使金属部件加速腐蚀;空气中的盐雾、油雾、霉菌的生长及灰尘粘结都可能使电气设备绝缘下降,影响其工作性能;船舶运营中常常受到严重的冲击而产生振动、倾斜和摇摆,会造成电气设备损坏、接触不良或误动作。因此,船用电气设备必须满足“船用条件”的要求。

1.2.2 电气设备的船用条件及基本要求

船舶的工作环境恶劣,是一般陆用电气设备难以承受的。因此,船上的电气设备必须符合船用环境条件的使用要求。

1. 适应振动和冲击的条件

要求电气设备应能承受船舶正常运营所产生的振动和冲击。由于振动可使电气设备的固定或连接部件松脱,使部件结构损坏或失灵,因此这些部件要有防松脱的措施。对受振动影响较大的设备应有减振或隔振措施,并且具有坚固的耐振动和抗冲击的机械结构。

2. 适应倾斜和摇摆的条件

要求船用电气设备在表1.1所列的条件下能有效地工作。持续的倾斜和摇摆,破坏了电器部件的受力平衡,导致设备损坏或故障。例如,电机转子对轴承产生轴向推力或出现轴锤现象,使轴承不能正常润滑而损害,接触器的衔铁不能正常动作等。因此,要求船用电气设备在结构、技术条件和安装方式上要能适应这些条件。例如,电机轴端间隙要小,应采用轴向直立安装或沿船舶纵向卧式安装等;接触器要有足够的电磁吸力和弹簧释放力等。

表 1.1 倾斜摇摆角度

设备组件	倾斜角(°)			
	横向		纵向	
	纵倾	横摇	横倾	纵摇
应急电气设备、开关设备, 电器及电子设备	22.5	22.5	10	10
上列以外的设备、组件	16	22.5	5	7.5

注:①可能同时发生横向和艏艉向倾斜;②装运液化气体和化学品的船舶,其应急电源还应在船舶进水以致于最终横倾达30°的极限状态下能保持供电。

3. 适应环境温度条件

船舶环境温度一般为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +45\text{ }^{\circ}\text{C}$, 锅炉舱的电气设备规定为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。环境温度对电气设备性能和使用寿命有直接影响。船用电气设备应能在表 1.2 所列的初级冷却海水温度和标准环境温度下正常工作。

表 1.2 环境温度

介 质	部 位	温 度/ $^{\circ}\text{C}$	
		无限航区	除热带外的有限航区
空气	封闭处所内	0 ~ 45	0 ~ 40
	温度超过 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的处所	按该处所温度	按该处所温度
	开敞甲板	- 25 ~ 45	- 25 ~ 40
水		32	25

4. 耐受潮湿、盐雾、油雾和霉菌的环境条件

若相对湿度一般为 95% 并有凝露, 盐雾、油雾和霉菌也较严重, 则在 2 ~ 3 周内就能使绝缘体长毛、膨胀, 金属部件生锈腐蚀, 导致电气设备绝缘材料的绝缘性能下降。因为潮湿和盐雾在绝缘材料表面形成漏电薄膜, 在湿热条件下霉菌分泌有机酸, 加剧了表面的潮湿性。油雾和灰尘粘附于表面也增加了表面的漏电, 而且阻碍散热使温升增高, 潮湿的水分子渗入绝缘材料的裂缝和毛细孔中, 使漏电流增大导致绝缘电阻的下降。

在特殊的情况下, 如果某些设备没有专门的船用电气产品, 则可考虑采用经三防(防湿热、防盐雾、防霉菌)处理过的陆用产品代替, 但需征得有关船级社的认可。

5. 适应船舶电网电压和频率的波动

船舶电力系统是一个独立的有限电网, 电压和频率均受负载变化影响, 特别是频率的变化与陆地差别较大。电能质量包括电压、频率和交流电压的波形三项内容, 因此要求:

- (1) 船用电气设备应在表 1.3 所规定的电压、频率的变化范围内能有效地工作;
- (2) 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, 应能在出现较大谐波成分时, 正常工作。

表 1.3 电压和频率波动

设 备		参 数	稳 态	瞬 态	
				%	恢复时间/s
一般设备		电压	+6 ~ -10 V	±20	1.5
		频率	±5 Hz	±10	5
由蓄电池或半导体 变流器供电的设备	充电期间接于蓄电池者	电压	+30 ~ -20 V	—	
	充电期间不接于蓄电池者		+20 ~ -25 V	—	

6. 满足防护要求

为了避免电气设备受到外部固体和液体异物的侵入而发生故障或损坏,为避免人身遭受触电和机械伤害,一般电气设备都应有防护壳罩。由于一些舱室机器密布,空间狭小低矮,存在着设备或人员遭受各种侵害的复杂环境,因此船用电气设备的防护等级类型也比较复杂多样。我国电气设备的防护等级采用国际电工委员会(IEC)推荐的国际防护 IP 等级标准。防护标志 IP 后面第一位数字表示防护固体异物侵入的等级,第二位数字表示防水液侵入的等级,两位数字的意义见表 1.4。

表 1.4 电气设备外壳的 IP 防护等级

IP 等级	简 要 说 明		定 义
第一位数字	0	无防护	没有专门防护
	1	防 > 50 mm 的固体	人体大面积部分如手(对有意识接触无防护),直径 > 50mm 的固体
	2	防 > 12 mm 的固体	手指或类似物,长度不超过 80 mm,直径超过 12 mm 的固体
	3	防 > 2.5 mm 的固体	直径或厚度大于 2.5 mm 的工具、电线等,直径 2.5 mm 的固体
	4	防 > 1.0 mm 的固体	直径大于 1 mm 的线或片状物,直径超过 1 mm 的固体
	5	防尘	并不防止全部灰尘进入,但进入量不妨碍设备正常运转
	6	尘密	无灰尘进入
第二位数字	0	无防护	没有专门防护
	1	防滴	垂直滴水应无有害影响
	2	15°防滴	设备与垂直线成 15°角时,滴水应无有害影响
	3	防淋水	与垂直线成 60°角范围的淋水应无有害影响
	4	防溅	任何方向溅水应无有害影响
	5	防冲水	任何方向冲水应无有害影响
	6	防猛烈海浪	猛烈海浪或强烈冲水时进入机壳水量应无有害影响
	7	防浸水	沉浸在规定压力的水中,经规定的时间后,进入水量应无有害影响
	8	防潜水	能长期潜水,完全密封,进水量不产生有害影响