



普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材

# 船舶电站

林洪贵 编著



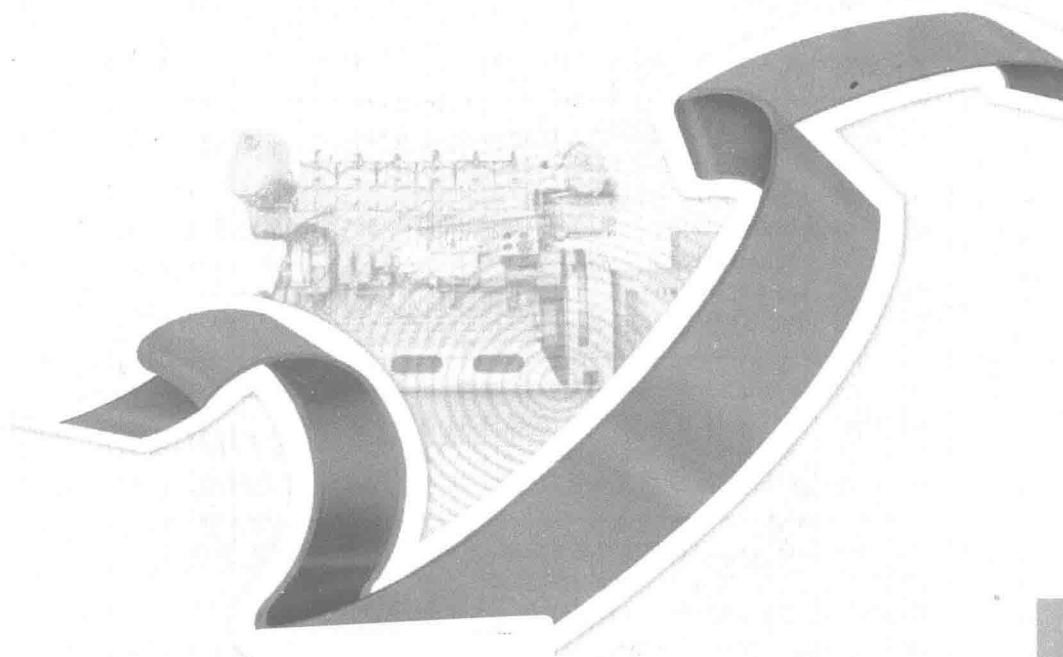
西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材

# 船舶电站

林洪贵 编著



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

本书主要介绍船舶交流电力系统及其自动化装置等,兼顾船舶电站技术发展趋势和新要求、新设备以及船舶电气管理的实际工作需求。主要内容有:船舶电力系统简介,应急电源系统,船舶同步发电机的并联,同步发电机组有功功率及频率的自动调节,同步发电机电压及无功功率的自动调整,轴带发电机,船舶高压电力系统,自动化电站,GAC—21型电力管理系统等实例介绍,船舶电站的管理与维修,船舶安全用电和安全管理等。

全书内容涵盖船舶电站方面的学历教育和船员培训考证。注重理论联系实际,注重内容的实用性。通过学习,为船舶电站运行管理和维护维修打下基础。

本书可作为高等院校船舶行业的轮机、电气及相关专业的教学、自学用书,也适用于从事船舶电力系统的工程技术参考用书。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶电站/林洪贵编著. —西安:西安交通大学出版社,2015.8  
ISBN 978-7-5605-7853-8

I. ①船… II. ①林… III. ①船用电站 IV. ①U665.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 206118 号

---

书 名 船舶电站  
编 著 林洪贵  
责任编辑 李文帆

---

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)  
网 址 <http://www.xjtupress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)  
(029)82668315(总编办)  
传 真 (029)82668280  
印 刷 虎彩印艺股份有限公司

---

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 16.125 字数 396千字  
版次印次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5605-7853-8/U·52  
定 价 39.00元

---

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82669097 QQ:8377981

读者信箱:lg\_book@163.com

版权所有 侵权必究

# 船舶电站 前言

## FOREWORD

为进一步加强普通高等学校应用型本科教育教材建设,更好地适应教学与改革的需要,本书是按照普通高等教育“十二五”应用型本科规划教材编写工作会议精神编写的。

《船舶电站》较系统全面地阐述船舶电站的基本理论、基本知识、实际工作与工程应用,作者长期从事电机员和船舶电站教学科研工作,本书是在编者多年教学经验和船员实践基础上编写的。

随着船舶大型化、专业化和自动化程度的不断推进,船用设备用电量越来越大,高压和中频在一些特殊船舶上的应用。特别是电力推进在船舶上的使用,使得船舶电力系统日趋复杂庞大,对船舶电力系统的要求也越来越高。为了保证全船生产和生活用电需求,对船舶电力系统的基本要求是:①安全;②可靠;③优质;④经济。本书内容是以船舶交流电力系统为主线,围绕其基本原理、基本要求展开。

本书第1、2章由许顺隆负责编写,第4章由李寒林负责编写,第8章由俞万能负责编写,第9章由马昭胜负责编写,第12章由吴德烽负责编写,林洪贵负责了第3、5、6、7、10、11章编写并进行统稿;大连海事大学张春来教授负责主审。阮初忠、林金表、陈坚、陈庆鹏、廖建彬、杜建宏、李斯钦、邹文俊、杨何伍参加部分章节的编写并进行了校对、审定和画图工作。在此,表示感谢!

本教材得到大连海事大学、海军工程大学、上海海事大学、公安海警学院、泉州师范学院等兄弟院校的大力支持,在此,一并表示感谢!

本书引用和参考了许多同行的论著、教材、文献,以及船舶行业规范和培训材料,在此向所有作者们深表感谢。

由于船舶电气控制发展迅速,新技术不断涌现。因此,本书存在知识的陈旧与缺陷,加之作者水平、能力有限,书中难免存在不足、欠缺和错误,殷切希望广大读者、专家批评指正。

编者

2014年9月于集美大学

# 船舶电站 目录

## CONTENTS

### 第1章 船舶电力系统组成

- 1.1 船舶电力系统的组成与特点 /001
- 1.2 船舶电力系统应遵循的规范和标准 /005
- 1.3 船舶电力系统的基本参数 /006
- 1.4 船舶电网的组成与分类 /009
- 1.5 船舶主配电板的组成与功能 /014
- 1.6 发电机主开关 /018
- 【复习与思考】 /023

### 第2章 船舶应急电源系统

- 2.1 应急发电机及应急配电板 /025
- 2.2 船用蓄电池 /028
- 2.3 蓄电池的维护保养常识 /031
- 【复习与思考】 /034

### 第3章 同步发电机的并联运行

- 3.1 概述 /035
- 3.2 同步发电机并车的条件 /036
- 3.3 同步发电机的并车和解列 /039
- 3.4 同步发电机自动并车 /044
- 【复习与思考】 /045

## 第4章 同步发电机组有功功率及频率的自动调节

- 4.1 概述 /048
- 4.2 有功功率和频率调整的基础知识 /049
- 4.3 有功功率的分配与频率调整 /053
- 4.4 自动调频调载装置 /057
- 【复习与思考】 /064

## 第5章 同步发电机无功功率及电压的自动调整

- 5.1 电压调整的原因和基本原理 /065
- 5.2 同步发电机的励磁自动调整 /068
- 5.3 自励起压原理 /072
- 5.4 不可控相复励自励恒压装置 /074
- 5.5 可控相复励自励恒压装置 /079
- 5.6 晶闸管自励恒压装置 /083
- 5.7 无刷发电机励磁系统 /087
- 5.8 并联运行发电机组的无功功率分配 /089
- 【复习与思考】 /095

## 第6章 船舶电站的安全保护

- 6.1 船舶电力系统保护的 task 和作用 /097
- 6.2 保护装置的基本要求 /098
- 6.3 船舶发电机的外部短路、过载、欠压和逆功率保护 /100
- 6.4 船舶电网的保护 /103
- 【复习与思考】 /108

## 第7章 轴带发电机

- 7.1 概述 /110
- 7.2 船舶轴带发电机的主要类型 /111
- 7.3 轴带发电机的运行操作 /114
- 7.4 轴带发电机运行操作注意事项 /116
- 7.5 AEG 型轴带发电机实例介绍 /117
- 【复习与思考】 /121

## 第 8 章 船舶高压电力系统

- 8.1 概述 /122
- 8.2 船舶高压电力系统基本知识 /123
- 8.3 船舶高压电力系统实例 /125
- 8.4 船舶高压电力系统接地技术 /128
- 8.5 船舶高压断路器与发电机保护 /130
- 8.6 船舶高压电力系统安全操作 /132
- 8.7 高压岸电连接 /134
- 【复习与思考】 /137

## 第 9 章 自动化电站

- 9.1 概述 /138
- 9.2 船舶自动化电站的组成及其基本功能 /139
- 9.3 船舶发电机的自动起动与停机 /141
- 9.4 电站监控及故障处理 /148
- 9.5 无人值守电站自动化系统 /154
- 9.6 船舶电站自动控制实例 /165
- 【复习与思考】 /175

## 第 10 章 GAC-21 型电力管理系统

- 10.1 GAC-21 系统的组成和特点 /176
- 10.2 GAC-21 的系统结构 /177
- 10.3 GAC-21 系统的主要功能 /180
- 10.4 设定器的数据显示和设置 /186
- 10.5 检查维护和自检 /188
- 【复习与思考】 /198

## 第 11 章 船舶电站的管理与维修

- 11.1 概述 /199
- 11.2 同步发电机维护及故障分析 /200
- 11.3 船舶电网故障分析与处理 /206
- 11.4 自动空气断路器常见故障的分析与检修 /209
- 11.5 轴带发电机装置的管理与维修 /213
- 【复习与思考】 /216

## 第 12 章 船舶安全用电和安全管理

- 12.1 船舶安全用电基本知识 /217
- 12.2 船舶电气火灾的预防 /222
- 12.3 船舶电气设备接地的意义和要求 /223
- 12.4 船舶电气设备绝缘 /227
- 12.5 高压系统的电气安全 /230
- 12.6 油船电气设备的安全管理 /232

【复习与思考】 /236

## 附录

- 附录一 国家标准部分常见电气图形符号 /237
- 附录二 国家标准常见基本文字符号和辅助文字符号 /244
- 附录三 部分电气设备外壳防护等级的最低要求 /247
- 附录四 船舶常用电缆 /248

## 参考文献

电力系统包含发电装置、配电装置、输变电网和用电设备等四个部分。船舶电力系统是由船舶电源装置、配电装置、船舶电力网和电力负载等按一定方式连接的整体,是船舶电能产生、传输、分配和消耗等全部装置和网络的总称。

## 1.1 船舶电力系统的组成与特点

### 1.1.1 各组成部分的功能

如图 1-1 所示是船舶电力系统的单线图(又称为系统简图),主要由电源、配电装置、船舶电力网和电力负载组成。它们的功能作用分别介绍如下。

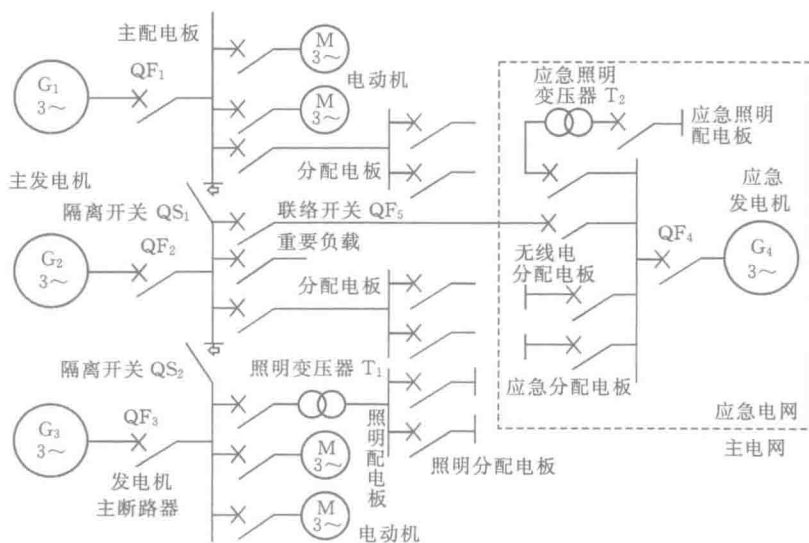


图 1-1 船舶电力系统单线图

### 1. 电源

电源是将其他形式的能源(如机械能、热能、化学能等)转变成电能的装置。船上的电源通常是发电机和蓄电池。发电机又分为主发电机和应急发电机,主发电机是船舶的主电源,

应急发电机是应急电源。正常情况下,由主发电机向主配电板供电,主配电板通过主配电板上手动联络开关  $QF_5$  和应急配电板上的自动联络开关  $QF_6$  向应急配电板供电,应急发电机处于备用状态,应急电网作为主电网的一部分;当主配电板失电时,主、应急配电板脱开(通过自动联络开关  $QF_6$  来实现),由应急发电机通过应急发电机主开关  $QF_4$  单独向应急配电板供电。主、应急配电板的连接和脱开是通过图 1-1 中自动断路器  $QF_5$  来实现的,主配电板有电时, $QF_5$  自动闭合;主配电板失电时, $QF_5$  自动断开,且  $QF_4$  与  $QF_5$  是互锁的。除了主发电和应急发电机外,船上一般设有专门的蓄电池组作为小应急电源(临时应急电源),蓄电池组通过充放电板向外供电(图中未画出)。

船舶电站容量和发电机组台数是从满足全船用电的需求,并保证船舶安全性、经济性和维护便利性而确定的,船舶电站容量既不等于全船所有用电设备的额定功率的总和,也不等于船舶某一运行工况下所用全部用电设备额定功率的总和。因为船舶在不同运行工况下投入运行的用电设备不同,各用电设备的运行时间长短不同,负荷变化的情况也不同,而且每一用电设备实际所需功率一般小于其额定功率。因此,确定电站容量的基本原则是:①电站容量应以实际用电量最大运行工况(一般为进出港或过狭窄水道的工况,又称为机动工况)为基础来确定,并有适当的裕量;②功率裕量不能太大,以保证经济性。

发电机组额定功率和数量的选择原则是:①各单机组的最高负荷率在 80% 左右来确定为宜,这样既能高效率的经济运行又有适当的功率裕量;②船舶电站必须有备用机组,船舶电站的总容量要能满足船舶各运行工况的用电需求,所以船舶最少要有两台发电机组;③确定单机组容量和机组数量时,要考虑各机组的使用寿命应与主机寿命相当;④为了方便维修管理和备件需求,一般设置 2~3 台(包括备用机组)同型号、同容量的主发电机组,最多为 4 台。

船舶电力系统中所采用的发电机与船舶电制有关,直流船舶电力系统采用直流复励发电机,交流船舶电力系统采用交流同步发电机。民用船上多采用柴油机作为主发电机和应急发电机的原动机,有些船为达到节能,充分利用船舶主机 10%~15% 的功率储备裕量和主机排出废气热能的目的,在配置主、应急柴油发电机组的同时,也常采用轴带发电机组和主机废气透平发电机组作为船舶电源,以及现在不断开发的各种新能源。

## 2. 配电装置

配电装置是接收和分配电能的装置,通常包括各种断路器、电力开关、互感器、测量仪表、连接母线、保护电器、控制按钮和转换开关、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。

配电装置主要功能是根据需要对电能进行分配,为了保证供电的可靠和安全,配电装置还负责对电源、电力网和负载进行保护、监视、测量和控制等。

## 3. 船舶电力网

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。在图 1-1 所示的船舶电力系统单线图中,虚线框外的电网是主电网,虚线框内的电网是应急电网。

#### 4. 电力负载

电力负载又称电力负荷,是指耗用电能的各种设备,即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,有动力设备、照明设备、加热制冷设备、通信导航等,舰艇还有特殊的武器装备平台等。动力负载是船舶电力系统的主要负载,其用电量最大,往往占总用电量的70%左右。根据用电设备不同,船舶电力负载大体可分为如下几类:①各种机械设备的电力拖动负载;②船舶照明设备;③通信导航设备;④生活及其他用电负载。

电力拖动负载主要包括的机械设备有甲板机械和舱室机械,如舵机、锚机、绞缆机、起货机、舷梯绞车、吊艇机等都是常见的甲板机械,各类油泵、水泵、空压机、通风机、空调、冰机设备等则属于舱室机械。电力推进船或特种工程船的电力拖动负载还包括船舶主推进电动机及特种电力生产机械等。电力拖动负载的主要特点是额定容量大,一般为三相交流用电设备。

船舶照明设备主要指工作场所和生活舱室安装的各种电气照明灯具,其主要特点是单个设备的容量相对较小,使用单相交流电。

通信导航设备负载包括船舶通信和电航设备。船舶通信设备有无线电收发报机、卫星通信地面站等船舶与岸上进行通信联系的设备和电话、广播、声光报警装置和电钟等船内通信设备;电航设备有陀螺电罗经、雷达、罗兰、卫星定位仪(GPS)、无线电测向仪、测深仪和计程仪等。通信导航设备负载都属于重要负载,其主要特点是单个设备的容量小,但重要等级高,一般使用单相交流电或蓄电池提供的24V直流电。

生活及其他用电负载如电热器、空调、电风扇、洗衣机、PC机、电视机和影碟机等家用电器。生活及其他用电负载属于次要负载,设备的容量也较小,在船舶电站为保证船舶安全运行需要时可暂时停止这部分负载的工作。

#### 1.1.2 船舶电力系统的特点

由于船舶是一个活动于水面上的独立体,其电力系统是孤岛微小电网。因此船舶电力系统与陆地电力系统相比有很大差异,主要包括:①容量小;②输电线路短;③工作环境恶劣等三个方面。

##### 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以上,如三峡水电站总装机容量7700000kW、单机容量为700000kW,且各电厂联网运行,陆地电源对于单个用电器而言,可看成是无限电源系统,不管单个负载多大,对整个电网的影响都很小。而一般远洋船舶,主电站通常装设3台发电机组,单机容量仅为几百千瓦,可见船舶电源远远小于陆地电源。而且,最大的单个负载容量可达单台发电机容量的60%左右。因此,船舶电站容量较小,负载的变化对船舶电网的影响大,即为有限电源系统。

由于船舶电站容量较小,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,所以当这些负载起动时,对船舶电网将造成很大的冲击,都会造成电网的电压和频率出现很大跌落。而且,在船舶电网日常工作时,局部故障或误操作都容易导致全船断电,威胁船舶安全。基于这些特点,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要高,还要有强行励磁能力及较强的过载能力等。此外,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。

## 2. 电网输电线路短

陆地电网线路的长度很长,短则几十千米,长则上千千米,而且都采用高压输电。与之相比,船舶电网输电线路就显得很短,大型船舶总长度也不过三百来米,加上线路走向等因素,船舶电网线路的总长度最长也只是一千千米左右。短距离的供电,线路上的电能损耗小,往往不需要采用高压输电。因此,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(非电力推进船舶一般是 500V 以下)。

船舶电网的电压等级低,电力系统的配电装置和继电保护装置相对陆地电力系统而言,比较简单,也相对容易实现。但由于电网线路的总长度短,输电时线路产生的电压降小,一旦发生短路故障,产生的短路电流将很大。所以对发电机组控制、配合和保护选择性等方面要求较高。

## 3. 船舶电网电气设备工作环境恶劣

船舶电气设备工作环境非常恶劣,主要体现在:船舶存在着冲击、振动、倾斜和摇摆的危害,船舶环境温度高(航行时机舱的温度一般都在四十摄氏度以上,在赤道附近水面航行白天甲板温度也可高达四十摄氏度以上),船舶环境的相对湿度高、空气中盐雾和油雾浓度高,甚至还会遇到有些热带昆虫咬食绝缘材料。

船舶的冲击、振动、倾斜和摇摆,容易造成电气设备损坏,接触不良或误动作。环境温度高,不仅加速绝缘的老化,而且为了避免电气设备的温度过高而损坏绝缘,通常需要降低容量使用,这将造成电机出力不足。相对湿度高则会使电气设备绝缘材料受潮、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。空气中存在的盐雾、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。热带昆虫对绝缘材料的咬食,对船舶电气设备的绝缘起直接的破坏作用。由此可见,船舶电气设备的工作环境确实非常恶劣。

应该说明的是,绝缘材料是电气设备最薄弱环节,可以说电气设备寿命相当大的程度取决于电气设备的绝缘。因此,船用电气设备必须满足“船用条件”要求。通常,为了适应船上工作要求,船舶电气设备必须是专门制造的船用系列产品,在无专用系列产品而需陆用产品替代时,还必须经过专门的“三防”处理(防潮、防盐雾、防霉菌),并经船检部门认证后方可使用。其对环境温度、倾斜摇摆、振动摇摆要求如表 1-1 至 1-3 所示。

表 1-1 环境温度要求

| 介质  | 安装位置                        | 温度/℃     |              |
|-----|-----------------------------|----------|--------------|
|     |                             | 无限航区     | 除热带海区以外的有限航区 |
| 空气  | 封闭处所内                       | 0~45     | 0~45         |
|     | 温度超过 45℃(或 40℃)和低于 0℃的所有处所内 | 按这些处所的温度 | 按这些处所的温度     |
|     | 开敞甲板                        | -25~45   | -25~45       |
| 冷却水 |                             | 32       | 25           |

表 1-2 倾斜和摇摆要求

| 设备和组件               | 倾斜角   |       |     |      |
|---------------------|-------|-------|-----|------|
|                     | 横向    |       | 纵向  |      |
|                     | 横倾    | 横摇    | 横摇  | 纵摇   |
| 应急电气设备、开关设备、电器和电子设备 | 22.5° | 22.5° | 10° | 10°  |
| 上述设备以外的设备和组件        | 15°   | 22.5° | 5°  | 7.5° |

表 1-3 振动要求

| 安装位置      | 频率范围/Hz                | 峰值                                 |
|-----------|------------------------|------------------------------------|
| 一般场所      | 2.0~13.2<br>13.2~100.0 | 位移±1mm<br>加速度±7m/s <sup>2</sup>    |
| 往复机上和舵机舱内 | 2.0~24.0<br>24.0~100.0 | 位移±1.6mm<br>加速度±40m/s <sup>2</sup> |

## 1.2 船舶电力系统应遵循的规范和标准

船舶电力系统必须遵循有关的规范和标准,以保证船舶电力系统满足使用要求,使船舶电力系统设计和建造符合标准化和规范化。我国船舶现行规范和标准分民用船舶规范和军用船舶标准两种。这些规范和标准每隔一定时间就需修改和更新,使用时应注意参照最新的版本。对规范和标准的熟悉有利于更好透彻理解船舶电力系统基本原理和要求。具体规范和标准有以下内容。

### 1.2.1 民用船舶规范

民用船舶规范是由中国船级社(CCS)制定和发布的。与船舶电力系统有关的现行规范有:

- (1)钢质海船入级与建造规范;
- (2)钢质内河船舶入级与建造规范;
- (3)钢质海船入级规范 2009。

这些规范是对民用船舶及其设备的基本技术要求,违反这些规范,船舶检验入级将不能通过。这两部规范的适用领域不同,除了某些特殊和专门的要求外,这两部规范的多数规定原则上是一致的,可以相互参考和借鉴。

### 1.2.2 军用舰船标准

军用舰船标准(GJB)是由国防科学技术工业委员会批准和发布的,与船舶电力系统有关的现行规范有:

- (1)海军水面舰艇规范;
- (2)舰船轮机规范·水面舰船;
- (3)舰船自动控制规范·动力装置;

- (4)舰用交流柴油发电机组通用技术条件;
- (5)舰用三相同步发电机通用技术条件;
- (6)舰用低压电器基本标准。

国家军用标准是对军用产品设备的基本要求,其中船舶建造规范是对军用船舶研究设计、建造的技术要求和规定,除经有关主管部门批准许可外,船舶电力系统的设计不应与规范规定的要求和指标相抵触。

### 1.2.3 国际标准

近年来,我国对外经济交往发展迅速,为适应船舶出口的需要,涉及船舶电力系统相关人员还必须了解与船舶电气有关国际标准。国际标准是由国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际海事组织(IMO)等国际组织制定的标准,例如国际海事组织制定的《国际海上人命安全条约》和《国际海上避碰规则》标准。

对军用舰船电力系统有参考价值的国外军用标准有:

- (1)美国军用标准化文件(MIL),包括:①军用规格(specification);②军用标准(MIL-STD);③军用标准图纸(MS);④军用标准手册(MIL-HDBK);
- (2)美国国防部标准化文件(DOD);
- (3)英国军用标准(DEF);
- (4)美、英、加、澳四国海军标准化大纲(ABCA-STD)。

对于涉外民用船舶及其设备及系统的入级检验,将会涉及到国外相关船级社的规范,世界上主要船级社的代号如下:

- (1)英国劳氏船级社 LR;
- (2)美国船级社 ABS;
- (3)法国船级社 BV;
- (4)德国劳氏船级社 GL;
- (5)挪威船级社 NV(或 DNV);
- (6)日本海事协会 NK。

## 1.3 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、额定电压、额定频率和线制。电站的基本参数决定了电气设备的生产和供应,制约着船舶电站工作的可靠性和电气设备的重量、尺寸、价格等。正确选择电站的基本参数,可以保证整个电站和电气装置的可靠性、稳定性和经济性。选择电站的基本参数应遵循的原则主要有:①船舶电站基本参数原则上应与本国或船舶运行需经常停靠的码头的陆用电力系统参数一致;②必须保持船舶电站基本参数的统一,一条船上一般不采用两种不同的基本参数(专用的局部电网或变流设备的特殊供电环节不包括在内),以免引起系统管理和电气设备供电混乱;③船舶电站基本参数应与今后可能协同工作的其他船舶的基本参数一致,以保证船舶之间的相互配合以及在紧急情况下实施救生和相互应急供电的需要;④电站基本参数应保证船舶机械电力拖动需要的特性、电动机和

电器工作的可靠性,还应注意比较电气设备的重量、尺寸和价格。

### 1.3.1 电流种类(电制)

船舶电力系统按电流种类的不同,可分为直流电力系统和交流电力系统,习惯上把称之为直流船舶和交流船舶。电力系统所采用的电流种类称为电制,即直流电制和交流电制。早期的船舶多采用直流电制,交流电制从20世纪30年代开始在军用船舶上应用,后来逐步推广到各种船舶。由于交流电制具有显著的优越性,50年代交流电制的更替形成了高潮;我国造船业也在60~70年代完成了向交流电制的过渡。近年来,除极少数小型或特种工程船舶仍采用直流电或交直流电制外,油轮、客轮、货轮、旅游船、工程作业船、科考船和军用舰艇等几乎所有船舶都采用交流电制。

与直流电制相比,交流电制具有以下优点:①电站电源装置采用交流同步发电机,配自动励磁装置,工作可靠。动力负荷选用三相交流异步电动机,结构简单,工作可靠,维护量少,可直接起动,起动控制设备简单等。②电站的动力网络与照明网络之间的联系可通过变压器,只有磁的联系、而没有电的直接联接,对于绝缘电阻较低的照明网络基本上不会影响动力网络。而直流电站的动力网络则直接受到照明网络的影响,使系统的绝缘降低、容易发生故障,影响系统的安全可靠性。③交流电气设备重量轻、尺寸小、价格便宜。由于大量的动力设备可采用三相交流异步电动机,电机结构简单,系统设备重量减轻、尺寸小,且价格也便宜,因此,目前商船广泛采用交流电力系统。

### 1.3.2 额定电压

额定电压是电力系统的重要参数之一。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基本内容,船舶电力系统的电压等级一般都尽可能与岸电相同。对于同一电压等级的额定电压针对电源设备和用电设备其数值有所不同,具体如下。

#### 1. 用电设备的额定电压

当电力线路通过电流时要产生电压降,所以线路上各点的电压都略有不同。但成批生产的用电设备不可能按其设备在电网安装点处线路的实际电压来制造,而只能按线路首端与末端的平均电压,即电网的额定电压来制造,因此用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

#### 2. 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ,即整个线路允许有10%的电压损耗值,因此为了使线路的平均电压维持在额定值,线路首端(电源端)的电压宜较线路额定电压高5%,而线路末端的电压则较线路额定电压低5%,所以发电机额定电压规定高于同级电网额定电压5%。

例如,用电设备额定电压有110 V、220 V、380 V、1 kV、3 kV、6 kV、10 kV等。发电机额定电压一般应比相同电压等级的受电设备高5%,对应的发电机额定电压则为115 V、230 V、400 V、3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV等。

目前船舶电力系统最常见的电压等级有:交流60 Hz、440 V/220 V(110 V)。发电机的

额定电压为 460 V;动力用电设备额定电压为 440 V;照明变压器的一次/二次侧的额定电压为 460/230 V(115 V);照明用电设备额定电压为 220 V(110 V)。以及交流 50 Hz、380 V/220 V。发电机的额定电压为 400 V;动力用电设备额定电压为 380 V;照明变压器的一次/二次侧的额定电压为 400/230 V;照明用电设备额定电压为 220 V。

### 1.3.3 额定频率

目前,世界范围内工频有 50 Hz 和 60 Hz 两种,船舶交流电力系统采用与陆上相一致的频率;我国民用船舶普遍采用 50 Hz 的额定频率。表 1-4 为世界部分国家船舶和陆用电力系统的额定频率的情况。

表 1-4 世界部分国家船舶和陆用电力系统的额定频率

| 国家        | 船舶电力系统频率            | 陆地电力系统频率                                          |
|-----------|---------------------|---------------------------------------------------|
| 中国        | 50 Hz               | 50 Hz                                             |
| 美国、加拿大    | 60 Hz               | 60 Hz                                             |
| 英国及欧洲大陆国家 | 50 Hz               | 50 Hz                                             |
| 日本        | 60 Hz               | 50 Hz(东京电力公司及以北的东部地区各公司)<br>60 Hz(中部电力公司及以西地区各公司) |
| 德国        | 民用船 50 Hz,军用船 60 Hz | 50 Hz                                             |

我国钢质海船入级规范对船用电源的频率规定:交流配电系统的标准频率为 50 Hz 或 60 Hz。

### 1.3.4 线制

所谓线制,是指电网输送电能时采用的输电电缆的数量和连接方式。对于交流电制的船舶电力系统,可选择的线制主要有:①三相绝缘系统;②中性点接地的四线系统;③以船体作为中性线回路的三线系统等等,如图 1-2 所示。

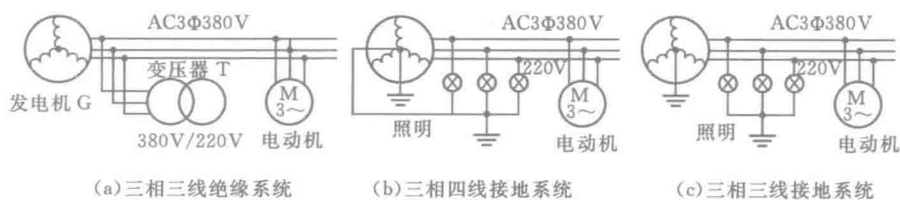


图 1-2 船舶电力系统的线制

图 1-2(a)是三相绝缘系统,其全称为:三相三线制中性点对地绝缘供电系统。其特点是 AC220 V 照明电源由 AC380 V 电网经变压器获得,照明系统与动力系统是经过变压器相联系的,依靠变压器原副绕组的绝缘,照明与动力两系统之间具有电气隔离作用(只有磁通的联系、而没有电气直接联系),因而相互间影响小,尤其是易出现绝缘故障的照明系统对动力系统的影响大为减少。当系统中发生单相接地时,不会出现单相短路而产生短路电流