

船舶工人培训丛书

# 船舶电气设备

林华峰 赵克威 陈胜林 编



哈尔滨工程大学出版社

# 船舶电气设备

林华峰 赵克威 陈胜林 编

哈尔滨工程大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

船舶电气设备/林华峰,赵克威,陈胜林编. —哈尔滨:  
哈尔滨工程大学出版社,2005  
ISBN 7-81073-758-9

I. 船… II. ①林…②赵…③陈… III. 船用电气设备 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 130581 号

---

### 内 容 简 介

本教材包括船舶电站设备、配电设备和船舶电力拖动设备三个部分。

船舶电站设备主要介绍船舶电力系统的组成、船舶发电机、主电站和应急电站;介绍船舶交流发电机的结构和运行原理、励磁自动调节原理、发电机保护的设置;介绍主电站的结构、主配电板各功能屏的一般使用要求。着重介绍应急电站的结构、应急配电板和应急电站的码头试验方法。

配电设备主要介绍分配电板、充放电板、区域配电板和岸电箱。着重介绍临时应急配电系统的结构、充放电控制方式、充电装置电路、区域配电系统的结构和配电板控制电路。

船舶电力拖动设备主要介绍磁力启动器、机舱泵和风机类电动机械的控制、冷藏设备、锚机。着重介绍磁力启动器的各种电路形式,机舱风、泵的典型控制电路,冷藏设备的电气控制电路,交流三速锚机的控制电路。

本教材是为培训中级船舶电工编写的,也可供从事船舶电气工作的人员和船员参考。

---

哈尔滨工程大学出版社出版发行  
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼  
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001  
新 华 书 店 经 销  
黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

\*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 9 字数 214 千字

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—2 000 册

定价:11.00 元

## 编者的话

本教材参照“船舶电工职业鉴定”中有关中级工的要求,在原中级工培训教材的基础上重新编写。

考虑到目前船舶电气设备都采用交流电,本教材不介绍直流电气设备。

本教材着重介绍设备的各个主要功能电路,不“复制”具体型号设备的整体电路,以便实际工作中能按功能组合看图。考虑到便于直观地理解电路功能,本教材主要介绍基本的继电器、接触器的控制电路。

本教材在编写过程中承蒙陈国民、王旭、梁月莲、李建国、钱德福、陈波、王进、邵勤奋、许豪芬和郭伟祥等高级工程师、工程师提供帮助,在此表示感谢。

由于编者知识和经验的局限性、资料来源的局限性,对某些问题的提法和分析纯属个人理解,错误在所难免,恳请批评指正。

编者

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 船舶电站和配电设备</b> ..... | 1  |
| 1.1 船舶电力系统 .....             | 1  |
| 1.1.1 组成 .....               | 1  |
| 1.1.2 主要参数 .....             | 7  |
| 1.1.3 运行的特点和要求 .....         | 8  |
| 1.2 船舶发电机 .....              | 9  |
| 1.2.1 三相交流同步发电机结构 .....      | 9  |
| 1.2.2 额定参数 .....             | 10 |
| 1.2.3 运行原理 .....             | 12 |
| 1.2.4 性能要求 .....             | 15 |
| 1.2.5 电压自动调节 .....           | 17 |
| 1.2.6 过电流保护 .....            | 20 |
| 1.3 船舶电站 .....               | 22 |
| 1.3.1 主电站 .....              | 22 |
| 1.3.2 应急电站 .....             | 26 |
| 1.4 配电设备 .....               | 41 |
| 1.4.1 电力分配电板 .....           | 42 |
| 1.4.2 照明分配电板 .....           | 43 |
| 1.4.3 区域配电板 .....            | 44 |
| 1.4.4 岸电箱 .....              | 47 |
| 1.5 蓄电池充放电板 .....            | 53 |
| 1.5.1 临时应急配电系统 .....         | 53 |
| 1.5.2 充放电控制方式 .....          | 54 |
| 1.5.3 蓄电池和充电方式 .....         | 57 |
| 1.5.4 充电装置 .....             | 58 |
| 1.5.5 充放配电板实例 .....          | 60 |
| <b>第 2 章 船舶电力拖动设备</b> .....  | 64 |
| 2.1 电力拖动知识 .....             | 64 |
| 2.1.1 机械负载特性 .....           | 64 |
| 2.1.2 电动机的机械特性 .....         | 66 |
| 2.1.3 异步电动机的启动和制动 .....      | 69 |
| 2.1.4 异步电动机的调速 .....         | 75 |
| 2.2 磁力启动器 .....              | 76 |
| 2.2.1 主电路 .....              | 76 |
| 2.2.2 控制电路的基本形式 .....        | 82 |

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 2.2.3 | 中间继电器控制电路     | 90  |
| 2.2.4 | 具有辅助功能的控制电路   | 93  |
| 2.3   | 泵、风机类电动机械的控制  | 98  |
| 2.3.1 | 日用水泵          | 98  |
| 2.3.2 | 空气压缩机         | 100 |
| 2.3.3 | 离心水泵          | 101 |
| 2.3.4 | 机舱风机          | 103 |
| 2.3.5 | 具有重载启动询问的控制电路 | 105 |
| 2.3.6 | 备用泵自动转换的控制电路  | 108 |
| 2.3.7 | 具有跟随工作的控制电路   | 119 |
| 2.4   | 冷藏设备          | 120 |
| 2.4.1 | 压缩制冷原理简介      | 120 |
| 2.4.2 | 压缩制冷装置的自动控制   | 121 |
| 2.4.3 | 制冷装置的电气控制和电路  | 123 |
| 2.5   | 锚机和系缆机        | 128 |
| 2.5.1 | 锚机和系缆机简介      | 128 |
| 2.5.2 | 交流三速电动锚机      | 129 |
| 2.5.3 | 试验            | 135 |

# 第 1 章 船舶电站和配电设备

## 1.1 船舶电力系统

### 1.1.1 组成

船舶电力系统由发电、配电、输电和用电 4 个部分组成,如图 1.1.1.1 所示。

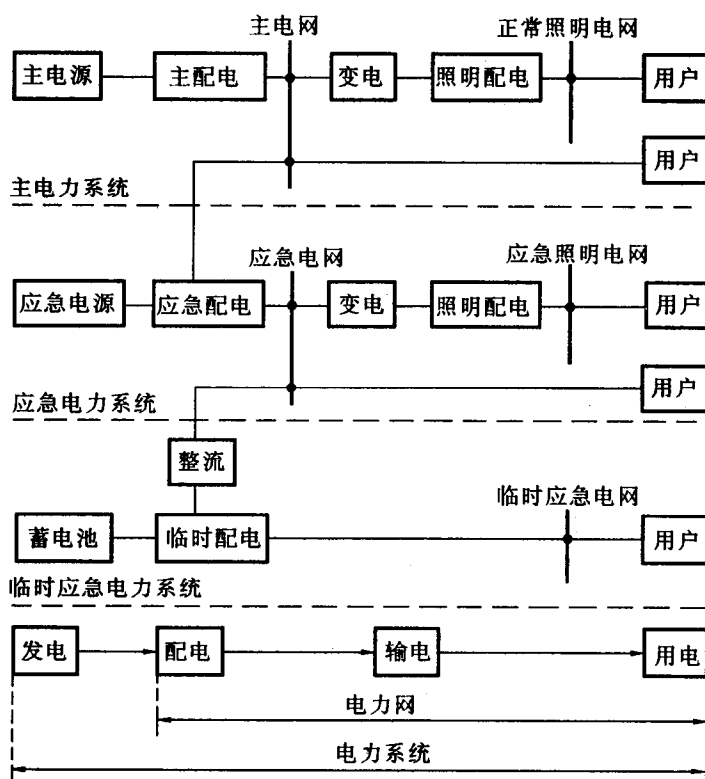


图 1.1.1.1 船舶电力系统组成示意图

#### 1. 发电部分

发电部分是发生电能的电源装置。

##### 1) 主电源

主电源是向为船舶正常航行和居住条件所必需的所有设备供电的电源,是设置在机舱或辅机舱的发电机组。主电源供电构成主电力系统。正常情况下,还向应急电力系统供电,并通过应急电力系统向临时电力系统供电。

主电源一般是采用柴油发电机组。考虑到节能,也有采用轴带发电机组或废气透平(涡轮)发电机组。

柴油发电机组是由独立的柴油机作原动机的发电机组,柴油机和发电机的容量是相匹配的。“匹配”是指柴油机的容量配备只承担发电机输出的功率和拖动中的各种损耗,不作其他用途,即该柴油机只驱动发电机而不同时驱动其他机械。

轴带发电机是作船舶推进的主机在运行时带动的发电机。主机是驱动主推进器的,对发电机来说,它的原动机是作它用的。主机的容量大大大于发电机,容量上是不匹配的。

废气透平发电机组是利用主机(柴油机)排出的废气驱动透平机,透平机再驱动发电机发电。

轴带发电机组或废气透平发电机组航行时才能使用,还必需配置由独立原动机驱动的发动机组。

船舶主电源至少设置2台发电机组。海船典型的设置是3台。

## 2) 应急电源

应急电源是在主电源供电发生故障的情况下,用来在应急情况下向保证旅客和船员安全所必需的设备供电的电源。应急电源供电构成应急电力系统。正常情况下是主电力系统的子系统。

应急电源可以是发电机组,小型货船也可以是蓄电池组。一般是设置在艇甲板专用舱室内的柴油发动机组。

大多数海船都设1台应急发电机组。

## 3) 临时应急电源

海船规范要求:“当应急电源为发电机组时,尚应设置一临时应急电源。临时电源应为有足够容量的蓄电池组。”

临时应急电源是在主电源和应急电源都失电的状态下,向各重要部位(如走道、梯口等)的照明灯和重要的报警、指示等(短时)供电的电源。正常情况下只向重要的报警、指示等供电,是应急电力系统的子系统。在主、应急电源都失电的状态下,同时向临时应急照明(也称为小应急照明)供电。

## 2. 配电部分

“配电”是联系“发电”和“用电”的中心环节,是各种具有配电和控制功能的配电板。

### 1) 主配电板

是用来控制主电源发电,并有控制地把电能分配至各种设备的开关设备和控制设备。

### 2) 应急配电板

是用来控制应急电源发电,并有控制地把电能分配至各种设备的开关设备和控制设备。正常情况下由主配电板供电,而在主电源供电系统发生故障的情况下,由应急电源供电。

### 3) 蓄电池充放电板

是用来对蓄电池进行充、放电控制和对由蓄电池供电的设备进行配电的开关设备和控制设备。

### 4) 区域配电板

是用来向某一个区域配电的开关设备和控制设备。

主(或应急)电源向区配电板供电,区配电板再向区域内的用电设备(包括电力设备和照明器具)或配电设备(分配电板)供电。



### 5)分配电板

是用来对某一个区域、一组相同性质的终端负载配电的。对电力负载配电的称为电力分配电板；对照明器具配电的称为照明分配电板。

### 6)岸电箱

岸电箱是用来在船舶泊岸(靠码头)时接岸供电用。

## 3.输电部分

“输电”是连接“配电”和“用电”的电缆线路。纵横交错的电缆线路构成配电“网络”。因此把全船传输电能的电缆线路称为电力网,或简称电网。

### 1)电网分类

电网按供电电源的不同、负载的性质和用途不同,可分为:

- 主电网——由主发电机通过主配电板供电的网络;
- 应急电网——由应急发电机通过应急配电板供电,或由蓄电池通过蓄电池充放电板供电的网络;
- 临时应急电网——由蓄电池通过蓄电池充放电板用以传输临时应急电能的网络;
- 动力电网——向动力设备供电的网络;
- 照明电网——向照明设备、电风扇及小容量电热设备供电的网络;
- 弱电网络——向各导航、通信及无线电设备等供电的网络。

这里提到的“电网”或“网络”都是同一个意思。电网通常是指电力输送形成的网络,网络还包括信号传输所形成的网络。

### 2)配电和连接方式

主电源通过主配电板上的各配电开关(断路器)向负载供电。同样,应急电源通过应急配电板电源上的各配电开关(断路器)向负载供电。

向负载“供电”现在多用“馈电”这个术语。配电开关一般称为负载开关,现在也称为馈电开关。需要建立一个概念,配电系统中的馈电开关是具有过电流保护性能的断路器,它用来对电路(负载)供电的通、断控制,当所控制的电路发生过电流或短路时切断供电。

馈电开关可以人为操作通、断,故障时会自动分断。系统设计是按电力系统运行的可靠性、灵活性、经济性及操作管理方便等因素来选择配电方式的。

配电和连接方式的名称很多,现在一般提及的有馈线式和环路式。我们接触到的一般只有馈线式。

#### (1)馈线式

是主配电板直接用单独的纵向线路向各个负载供电的方式,如图 1.1.1.2(a)所示。2 台主发电机 G1、G2 单独或并联向主配电板供电。平时隔离开关 Q3 处于合闸状态。母线即主汇流排上的各馈电开关,通过单独的电缆向负载供电或区配电板、分配电板供电,再通过区配电板、分配电板上的馈电开关,通过单独的电缆向负载供电。对这两种配电的连接方式,系统设计习惯上称为:

一次网络——由主配电板和应急配电板直接供电的区配电板、分配电板和负载网络,也称为一次网络系统;

二次网络——由区配电板或分配电板向负载供电的网络,也称为二次网络系统。

国内的系统设计把由主配电板和应急配电板直接供电的设备归在一次(网络)系统图,把由区配电板或分配电板供电的设备归在二次(网络)系统图。

我国 CCS 规范和国际电工委员会(简称 IEC)的定义是:

一次配电系统:系指与发电机有电气连接的系统。

二次配电系统:系指与发电机无电气连接的系统,例如用双绕组变压器加以隔离的系统。

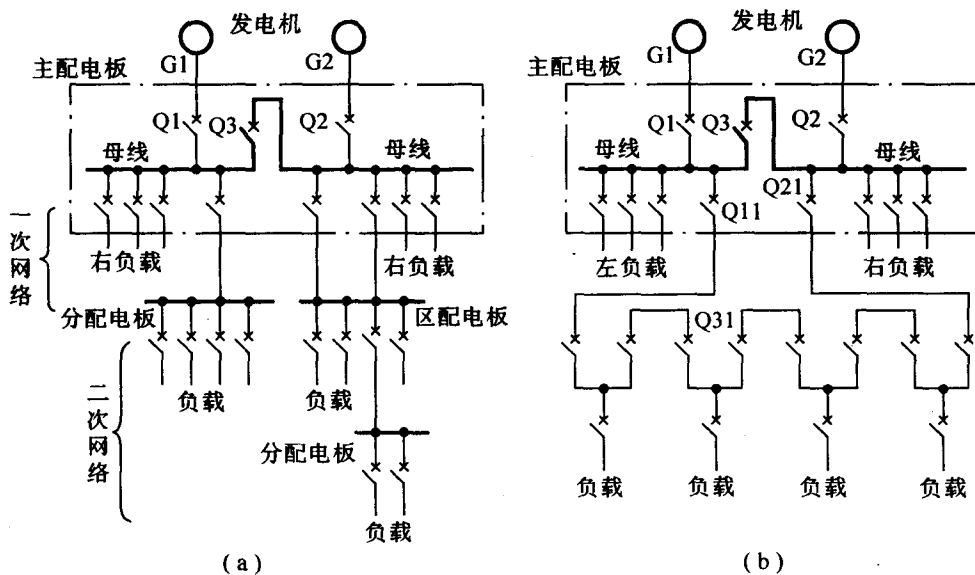


图 1.1.1.2 配电方式示意图

(a)馈电式;(b)环路式

我们接触的低压电力系统只有照明系统是用双绕组变压器加以隔离的。以后接触采用高压电力系统的船舶,需要用到严格的定义。

### (2)环路式

环路式也称环形式或环网式,是利用纵向和横向连接线构成闭合电网,向用电设备供电,如图 1.1.1.2(b)所示。开关 Q11、Q21 纵向馈电,通过横向开关连接构成闭合电网,向 4 个重要负载供电,任何一处开关发生故障分闸,4 个负载总可以从一侧开关获得供电。当母线隔离开关 Q3 分断分区供电时,环路中的 Q31 也应分断。当一侧母线故障不能供电,隔离开关 Q3 和故障侧输出开关分断,正常侧输出开关通过环路向负载供电。

只有在大型游轮和战舰中对重要负载供电才可能采用环路式配电。

### (3)两路供电

我们接触的都是采用馈电式配电。在这种配电系统对重要负载采用两路供电的方式,如图 1.1.1.3 所示。担任重要负载供电的区配电板,由前电站主配电板和后电站主配电板两路供电。两台受电开关 Q11 和 Q21 相互连锁,一侧供电中断,手动或自动分断该侧开关,合上另一侧开关供电。

两路供电与环路配电方式不同,环路配电的环路闭合时,两侧配电开关是同一个电源,而两路供电的两侧不是同一电源,因此两台受电开关不能同时合闸,否则两侧电源(发电机)会通过区配电板母线并联。

配电系统是通过输电线路向用户供电。输电线路构成电网。因此通常提到的“配电系统”、“配电网”或“电网”都是同一个意思。

### 3) 配电线制

配电线制是规定用几根线输电。

CCS 规范对“供电与配电系统”的线制有如下规定：

#### (1) 直流

双线绝缘系统；

负极接地的双线系统；

利用船体作负极回路的单线系统。

#### (2) 交流单相

双线绝缘系统；

一线接地的双线系统；

一线利用船体作回路的单线系统。

#### (3) 交流三相

三线绝缘系统；

中性点接地的四线系统；

利用船体作中性线回路的三线系统。

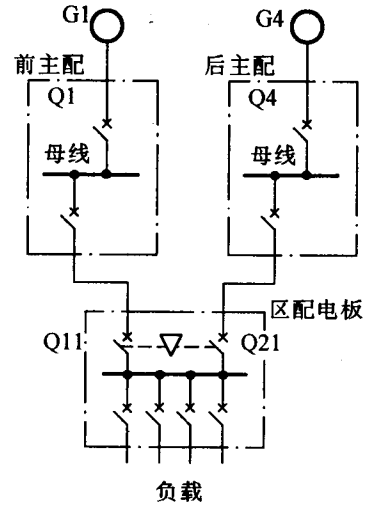


图 1.1.1.3 两路供电示意图

直流配电系统的 3 种线制如图 1.1.1.4 所示，直流电源有正、负 2 极。图(a)电源出 2 根线向负载供电，负载 2 根线接在 2 极上，输电需要 2 根线。在国外，有的系统设计为检测接地故障方便，电源一端接地。电源绝缘的一端，某个分路发生接地故障，该分路的熔断器或断路器分断，接地故障点明显暴露。图(b)电源出 2 根线向负载供电，电源负极接地。这种线制仍用双线，一般很少使用。图(c)电源负极接船壳(地)，另 1 极用 1 根线连接负载，负载另 1 极也接船壳，输电只需 1 根线。这种线制又称为单线制。如果电源负极接地，一般都采用单线制。

交流单相配电系统的 3 种线制如图 1.1.1.5 所示。交流的照明器具一般都是单相。单相电源有 2 极，因无极性一般也称 2 端。输电线制与直流一样。

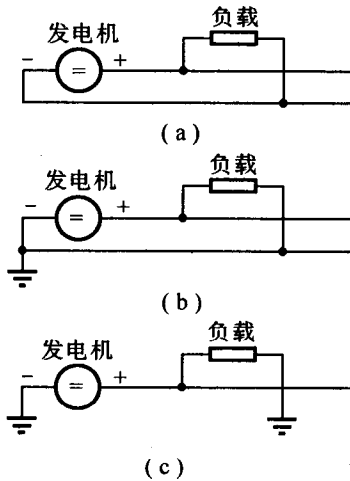


图 1.1.1.4 直流配电线制  
(a) 双线绝缘系统；(b) 负极接地的双线系统；  
(c) 利用船体作负极回路的单线系统

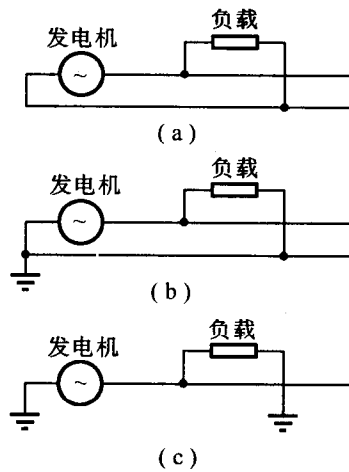


图 1.1.1.5 交流单相配电线制  
(a) 双线绝缘系统；(b) 一线接地的双线系统；  
(c) 一线利用船体作回路的单线系统

交流三相配电系统的3种线制如图1.1.1.6所示。作为电源的发电机(或照明变压器),接成星形的3相绕组,有3根相线、1根中性线。3相负载例如3相电动机,用3根线与电源连接,单相负载,如果电压与线电压一致,可以用2根线与2相线连接,中性点不出线,对地绝缘,发电机只出3根线,如图(a)所示。如果单相负载与相电压一致,可以用2根线1根接相线、1根接中性线。考虑到安全,中性点接出使用就必须接地,发电机需用4根线输电,如图(b)所示。中性点接船壳,单相负载1端也接船壳,利用船体作中性点回路,只需要3根线输电,如图(c)所示。

在三相绝缘系统中,线电压为380 V或440 V,照明电压220 V,用变压器降压提供。照明器具布点多,又容易出现绝缘故障,采用变压器隔离,不会影响整个电力系统。因此绝大多数船舶都采用三线绝缘系统。在380 V系统中,相电压是220 V,照明可以接相电压,利用船体作中性点回路的三线系统,单相负载采用单线系统,可以节省照明变压器,节省导线。西欧有的国家的船舶曾一度采用。

#### 4)用电部分

用电设备一般分为:

- 动力装置用(机舱)辅机;
- 甲板机械;
- 舱室辅机;
- 机修机械;
- 冷藏通风;
- 厨房设备;
- 照明设备;
- 弱电设备;
- 自动化设备及其他设备。

用电设备按重要性分为:

●重要设备:是指推进、操舵和船舶安全所必需的设备,如舵机、动力装置用(机舱)辅机等,以及具有特殊附加标志船舶上的特殊设备。

●次重要设备:是指为保持推进和操舵不必连续运转的设备,以及为保持船舶安全必需的设备,如锚机、消防泵、压载泵等。

●非重要设备:是指短时间不运转不会对船舶推进和操舵有损害,也不会危及乘客、船员、货物、船舶以及机械安全的设备,如舱室辅机、机修机械、空调设备等。

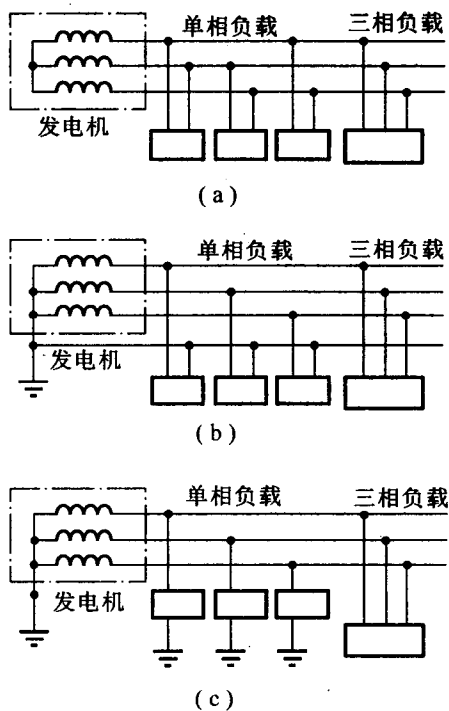


图 1.1.1.6 交流三相配电线制  
(a)三线绝缘系统;(b)中性点接地的四线系统;(c)利用船体作中性点回路的三线系统

●应急设备:是指在主电源失电后,需由应急电源供电的设备。

### 1.1.2 主要参数

电力系统运行的主要参数是电压和频率。

#### 1. 电压

船舶电力系统的电压分为低压和高压。我国 CCS 规范对此的定义是:

“低压系统:系指工作于额定频率为 50 Hz 或 60 Hz、导体间最高电压不超过 1 000 V 的交流系统,或在额定工作条件下导体间最高电压不超过 1 500 V 的直流系统。”

高压系统:系指额定电压大于 1 kV 但不超过 11 kV,额定频率为 50 Hz 或 60 Hz 的交流系统,或在额定工作条件下瞬时电压超过 1 500 V 的直流系统。”

陆地电力系统的电压分为低压、中压和高压。CCS 规范定义的船舶电力系统的高压是陆地的中压。其他国家船级社有的仍用中压。CCS 规范可能考虑到目前不会采用比 11 kV 更高的电压,用中压名称时上面需要有可比较的高压。需要注意,这里的低压、高压是指船舶电力系统的电压。移动用电器具使用的 36 V,是安全低压。例如高低压插座的电压是 220 V 和 36 V,这里的高、低压是这两个电压相对比较的概念,不要与电力系统的高低电压混淆。

我们接触的船舶大多数是低压电力系统,本教材也只局限于此。

我们要接触到 3 个电压名称:电源电压、系统电压和用电设备电压。

- 电源电压是发电设备输出的电压;
- 系统电压是在电网上传输的电压;
- 用电设备电压是送到用户的电压。

主配电板母线上是电源电压。用电设备受电是经过输电线路阻抗电压降落后的电压,是与电源电压不一致的。介于电源和用电设备之间的系统电压按国家标准是指用电设备的额定电压。

用于传输电能的电缆总是有阻抗存在,电流流过会产生电压降,电压降的大小由输电线路的阻抗决定。电压降太高,用电设备的电压太低,不能保证设备正常运行。要保证用电设备正常运行,电源电压要适当升高;传输电压降必须限制在一定范围内。

陆地要求电压变化在  $\pm 5\%$  以内。因此发电机的额定电压比用电设备高 5%。如图 1.1.2.1 所示,系统电压为  $U_s$ ,发电机电压  $U_G = 1.05 U_s$ ,用户电压最低为  $0.95 U_s$ 。用电设备电压为 380 V (440 V),发电机电压为 400 V (460 V)。

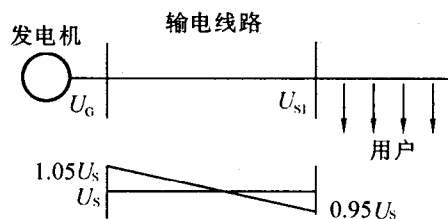


图 1.1.2.1 电力系统电压分布示意图

CCS 规范规定:“当电缆在正常工作条件下承载最大电流时,从主配电板或应急配电板的汇流排到任何安装点的电压降,应不超过额定电压的 6%。”规范要求设备正常运行的电压范围是额定电压的  $-10\% \sim +6\%$ 。

事实上航行时大量用电设备都集中在离发电机很近的机舱,按照比用户高 5% 的电压供电,机舱附近的设备都在  $+5\%$  额定电压下工作,这是不利的。发电机电压比用电设备电压高 5% 是船舶电气设备过去沿用陆地标准。现在按照船舶实际情况,有的发电机额定

电压在380 V系统中改为 390 V,440 V 系统中改为 450 V。实际运行可能整定得更低些。

380 V 或 440 V 是目前船用的标准电压。两者的选择在很大程度上取决于可以利用的标准设备和进坞期间可以接用的岸电。我国船舶基本上是采用与陆地低压电力系统一致的标准电压380 V(50 Hz)。国外船舶较多采用 440 V(60 Hz)。我国远洋船舶也多采用国外标准。

根据船东的选择可采用的标准设备,照明设备电压为 110 V 或 220 V。照明电源电压为 115 V 或 230 V,目前多采用 230 V。在三线绝缘系统中,照明电压都是经变压器供电。

## 2. 频率

额定频率与所用的额定电压有关,50 Hz 对应 380 V、60 Hz 对应 440 V。现在的船舶电力系统经常是在 440 V、60 Hz 和 380 V、50 Hz 两者之间选择。

对电动机拖动来说,440 V、60 Hz 系统的可以运行于 380 V、50 Hz 岸电。60 Hz 所得到的转速一般比 50 Hz 的更为适合。但为 50 Hz 转速设计的电动机拖动,在 60 Hz 系统下运行,就不那么满意。

### 1.1.3 运行的特点和要求

电力系统的质量指标是电压和频率的稳定性。在这个质量指标保证下,所有电气设备得以安全、有效地运行。

船舶航行时,电力系统由有限的几台(甚至一台)发电机供电,是一个孤立的电力系统。现代船舶航行的动力和操纵都依靠电力,发电机组的机械或电气故障会影响电力系统电压和频率的稳定性,电力系统的(短路)故障可能引起供电中断,危及航行安全。

电力系统的容量(功率),电压和频率表现在输电电网上。在讨论这些电量时通常直接用“电网”术语。

#### 1. 独立电网

有资料这样来定义独立电网,即“总容量不超过各发电机容量的 5~10 倍的电网称为独立电网。”1 台发电机供电,电网的总容量是该供电发电机的容量,2 台发电机并联供电,总容量是 2 台容量之和。一般船舶电力系统的设计,长期用单机供电运行,对某些工况,短期并联运行。船舶电网是独立电网,电网的电压和频率随发电机组的变化而变化。单机运行,调节发电机的电压或频率,就是改变电网的电压或频率。并联运行,调节某台发电机的电压或频率,将改变各发电机之间的有功功率和无功功率的分担,同时改变电网的电压或频率。

陆地电网由数十、数百台发电机并联供电,称为无穷大电网。调节某台发电机的电压或频率,只能改变本身对有功功率和无功功率的承担,不能改变电网的电压或频率。

为了保证船舶电网电压和频率的质量指标,对发电机的电压和频率的动态和静态特性有较高的要求。

#### 2. 故障电流大

船舶的长度是有限的,一般商船最长只有一、二百公尺。发电设备与用电设备之间的距离很短,输电线路的阻抗很低,短路故障产生的电流很大。特别是在主配电板附近的短路故障最严重,而且被运转着的电动机输送的电流进一步恶化。断路器切断故障电流时可能产生严重损伤,甚至无法分断。

需要选用有足够分断能力的断路器。当系统发生可能预计到的最大短路电流时,能可靠分断。例如有 3 台主发电机的电站,预计可能发生的最大短路电流是正好有 3 台发电机

进行短时的交换机组并联,这时所有电动机都投入运行。

采用合理的保护措施,有选择地分断有故障的电路,保证无故障的电路设备正常运行。最大限度保证供电的连续性。

### 3. 环境条件差

船舶电气设备工作环境温度高、相对湿度大;空气中含有盐雾、霉菌、油雾。要承受航行产生的摇摆、倾斜、冲击和振动。

电气设备应采用耐高温、耐腐蚀的材料,有良好的制造工艺来保证对环境的适应。

## 1.2 船舶发电机

船舶一般都采用三相交流(旋转)同步发电机。发电机本身不会旋转,需要用其他机械驱动,驱动的机械称为原动机,一般由容量相匹配的原动机驱动。用柴油机作原动机的称为柴油发电机,用汽轮机作原动机的称为汽轮发电机或透平发电机。

原动机把燃料的热能转换为机械能,旋转发电机是把原动机的机械能转换为电能的机械。

### 1.2.1 三相交流同步发电机结构

交流发电机由发电机本体和励磁装置组成。

发电机本体由 2 个部件组成:一个是产生磁场的磁场(励磁)绕组,另一个是发电的电枢绕组,如图 1.2.1.1 所示。三相电枢绕组出线端子用 U、V、W 表示。也有用 A、B、C 表示的。三个电枢绕组的一端连接在一起,称为中性点或中点用 N 表示。电枢绕组的这种连接称为星形接法。船舶发电机的中点一般都不引出。励磁绕组出线端子用 F1 和 F2 表示。以后讨论无刷发电机时可以看到,这 2 个端子不引出线,引出的是励磁机的励磁绕组。

电枢绕组在磁场绕组产生的磁场中相对旋转运动感生电势发电。

同步发电机有 2 种结构形式:转场式和转枢式。

转场式的励磁绕组在转子上,电枢绕组在定子上。

转枢式的电枢绕组在转子上,励磁绕组在定子上。

旋转着的绕组与外部连接需要用滑环和碳刷接触导电。大功率发电机的电压较高、电枢电流大,为了制成绝缘可靠的电枢相绕组、易于引出电枢电流,都采用转场式。船舶交流发电机都采用转场式。

转场式发电机的转子有 2 种结构形式:凸极式和隐极式。凸极式用于转速较低的,隐极式用于高速。柴油发电机的转速一般在 1 800(r/min)以下,较多采用凸极式,转速较高的也有采用隐极式。发电的原理是一样的。

现以凸极式为例,如图 1.2.1.2 所示。转子有显露的磁极,转子励磁绕组为集中绕组,转子的磁轭和磁极一般不是整体的,图示磁极是用燕尾槽插入,安装在转子上。在转子磁极的表面上,有嵌在槽内的阻尼绕组,它是一组铜条,两端连接在一起,像异步电动机的鼠笼转子一样。定子电枢绕组分布在定子铁心的槽内。磁极是成对的,1 对极有 2 个极,2 对极有 4

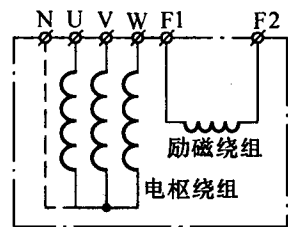


图 1.2.1.1 发电机原理图

个极。

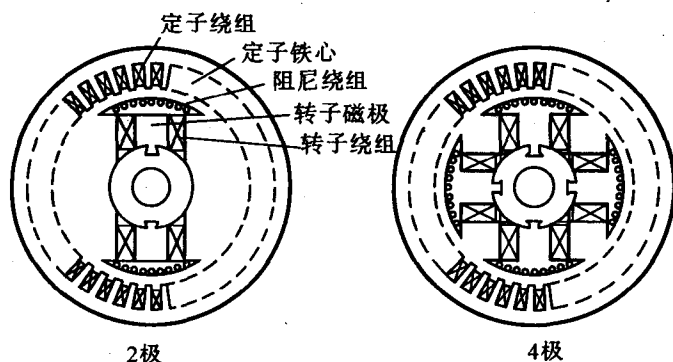


图 1.2.1.2 凸极式发电机定、转子结构形式

励磁绕组是用直流电流激励,电流的大小由自动励磁调节器控制。励磁电流随发电机负载电流和性质(超前、滞后)改变,以保持发电机端电压恒定在一定水平上。提供直流电流的电源称为励磁装置。励磁装置有旋转励磁和静止励磁。旋转励磁装置也是发电机;静止励磁则是变压器和整流器。

励磁发电机称为励磁机。直流励磁机的输出要通过碳刷和滑环接入励磁绕组。交流励磁机是采用转枢式交流发电机,电枢绕组在转子上。结构上把励磁机转子和发电机转子安装在同一轴上,励磁机电枢绕组的输出通过安装在与轴一起旋转的转子整流器,把输出交流整流成直流电流输入励磁绕组。无需碳刷和滑环,称为无刷励磁发电机简称无刷发电机。现在的船舶发电机大多采用无刷发电机。

典型的无刷发电机结构如图 1.2.1.3 所示,组件分解图如图 1.2.1.4 所示。励磁机的转子与发电机的转子在同一根轴上,轴两端用轴承安装在机壳端盖上,轴伸出端为拖动端。励磁机电枢绕组的输出,直接与安装在转子上旋转的整流桥连接,输出直流电流,通过沿轴布放的导线接入发电机转子绕组。

发电机转子绕组套在定子铁心内,定子铁心槽内嵌电枢绕组。定子铁心安装在机壳内。定子绕组出线引入上部的接线盒。发电机运行时流过电流所产生的主要损耗都转变成热能,使发电机发热。为了使发电机各部分的温度不超过允许值,发电机运行时需要对绕组和铁心进行冷却。小功率发电机一般利用环境空气进行通风冷却;大功率发电机采用冷却空气进行循环冷却。图例是采用轴向通风系统,离心风扇装在拖动端,发电机旋转时,外部冷却空气从非拖动端的进风口吸入,经由铁心与机座之间的空间,定、转子之间的气隙,通过风扇在拖动端的出风口排出,把热量带走。

### 1.2.2 额定参数

发电机的额定参数都刻印在发电机壳体的铭牌上。

1. 额定电压 以  $U_e$  表示,是发电机三相出线端 2 线间的电压,即线电压。单位为 V (伏)或 kV(千伏)。

2. 额定电流 以  $I_e$  表示,是发电机电枢绕组允许长期通过的电流值,是视在电流,一般



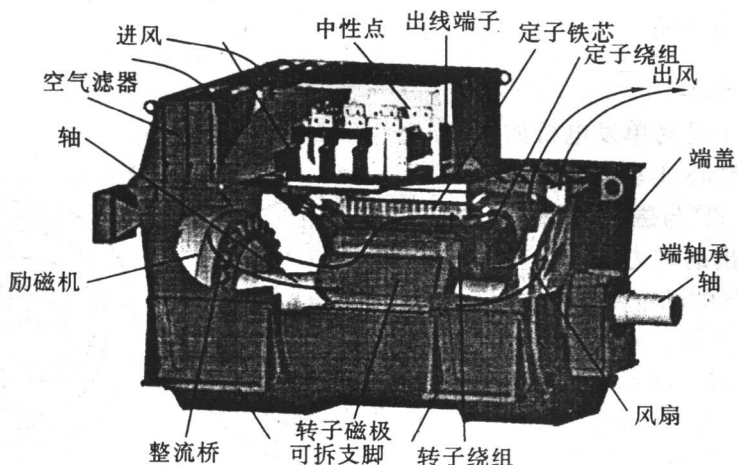


图 1.2.1.3 无刷发电机的结构图例

是相电流。单位为 A(安)或 kA(千安)。

3. 额定容量或额定功率以  $S_e$  表示,或以  $P_e$  表示,是发电机允许长期输出的功率值。 $S_e$  是视在功率,单位为 kVA(千伏安); $P_e$  是有功功率,单位为 kW(千瓦)。

4. 额定功率因数 以  $\cos\varphi$  表示,或以 P.F 表示,是发电机在额定电流  $I_e$  和额定功率  $P_e$  时,电流滞后电压的相角  $\varphi$  的余弦值。一般是 0.8(滞后)。

5. 额定频率 以  $f_e$  表示,是发电机(正弦)电压(电流)每秒钟交变的次数。单位是 Hz(赫)。

6. 额定转速 以  $n_e$  表示,是在额定频率下发电机转子每分钟的转速。

7. 额定励磁电压 以  $U_{Fe}$  表示,是发电机的电压、电流、功率、功率因数和频率运行在额定值时,励磁绕组两端需施加的直流电压值。单位为 V(伏)。

8. 额定励磁电流 以  $I_{Fe}$  表示,是发电机的电压、电流、功率、功率因数和频率运行在额定值时,励磁绕组所需的直流电流值。单位为 A(安)。

9. 绝缘耐热等级 是发电机运行时绕组绝缘中最热点的允许温度。分为 A、E、B、F 和 H 五个等级。

在端盖上还标有发电机的旋转方向的箭头。

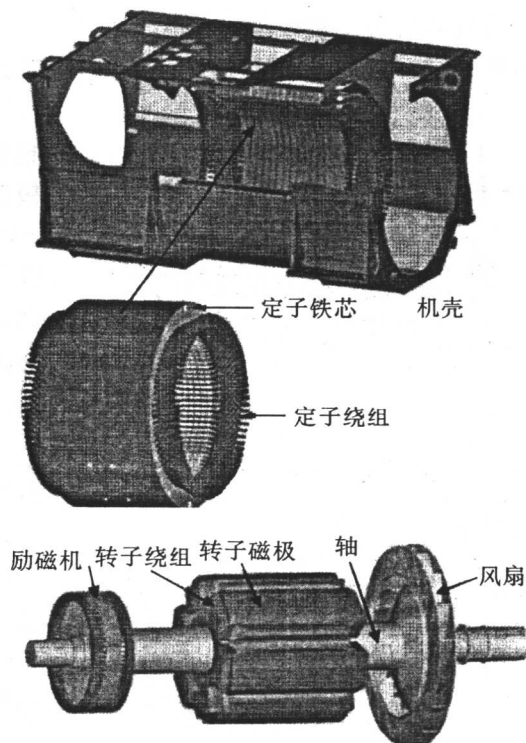


图 1.2.1.4 无刷发电机组件分解图