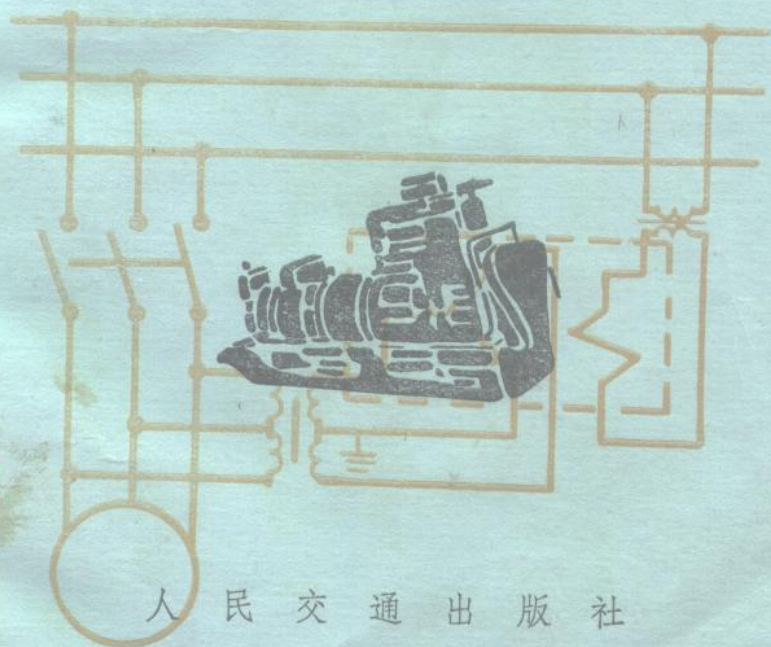


轮机业务知识丛书

(船舶电气设备部分)

船舶交流电站

叶成民 编



人民交通出版社

轮机业务知识丛书

(船舶电气设备部分)

船舶交流电站

Chuanbo Jiaoliu Dianzhan

叶成民 编

人民交通出版社

轮机业务知识丛书
(船舶电气设备部分)

船舶交流电站

叶成民 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 3.375 字数: 67 千

1984年2月 第1版

1984年2月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,300 册 定价: 0.54 元

内 容 提 要

本书共分七章：船舶电力系统概述；船舶电力系统的继电保护；船舶同步发电机的并联运行；自动电压调整；频率和有功功率的调整；船舶电站自动化简介；轴带发电机。本书力求用通俗易懂的语言进行说明，每章后，附有复习思考题，其中个别思考题，因书中不宜涉及，采用解答形式。本书内容较丰富，可供船上电工、轮机人员，船厂电工、技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并以小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

第一章 船舶电力系统概述.....	1
§1 船舶电力系统的组成与分类.....	1
§2 温度对电气设备的影响.....	3
§3 船舶配电装置.....	6
§4 船舶电力网.....	13
复习思考题.....	16
第二章 船舶电力系统的继电保护.....	18
§1 船舶同步发电机的保护.....	19
§2 船用万能式自动空气断路器.....	22
§3 逆功率保护及逆功率继电器.....	36
§4 船舶电网的保护.....	40
复习思考题.....	44
第三章 船舶同步发电机的并联运行.....	46
§1 手动准同步并车法.....	48
§2 粗同步并车法.....	53
§3 船舶同步发电机准同步自动并车装置简介.....	56
复习思考题.....	62
第四章 电压自动调整.....	62
§1 不可控相复励自励恒压装置.....	64
§2 可控硅自励恒压装置.....	71
§3 可控相复励自励恒压装置.....	76
§4 无刷同步发电机简介.....	80

§5 发电机间无功功率分配	81
复习思考题	84
第五章 频率和有功功率的调整	86
§1 原动机的调速器及调速特性	86
§2 并联运行发电机有功功率分配的原理及 操作方法	89
§3 频率和有功功率自动调整简介	90
复习思考题	92
第六章 船舶电站自动化简介	93
§1 概述	93
§2 自动化电站应具有的功能	94
复习思考题	95
第七章 轴带发电机	96
§1 轴带发电机的特点和类型	96
§2 对轴带发电机的要求	98
复习思考题	100

第一章 船舶电力系统概述

§1 船舶电力系统的组成与分类

(一)船舶电力系统的组成

我们知道，在普通类型的船舶上，有许多电动机（如起货机电动机、锚机电动机、水泵电动机、油泵电动机等）、电热器、照明灯具等都需要用电，所有这些设备统称为用电设备（俗称负载）。为满足这些用电设备的用电量，船上就要设置足够的发电装置。发电装置是由几台发电机及其附属设备组成的。发电机本身又是靠原动机拖动才能发出电来。原动机有蒸汽机、汽轮机、柴油机等几种类型。目前采用较多的是柴油机。

从发电机到各用电设备有一定的距离，因而就有一个电能输送问题。从供电的可靠性和经济性的角度来看，又要求合理地分配电能，因此又有一个所谓配电问题。

电能的产生和分配可用图 1-1 来说明。

图中从发电（原动机、发电机）、配电（主配电板，分配电板）、输电（俗称电力网）到各用电设备构成了一个统一整体，称为电力系统。它包括发电机、配电装置、电力网和用电设备。

船舶发电站是由原动机、发电机和主配电装置组成的。发电站是船舶电力系统的重要组成部分，它的任务是把机械能变为电能并分配给各用电设备。船舶交流发电站是采用

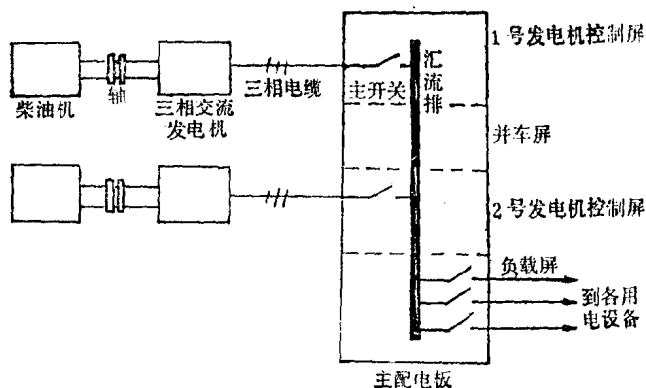


图 1-2

中、小容量的三相交流同步发电机，发电机容量为几十到几百千伏安，一般采用相同型号的多机组并列运行。

电力网是用电缆、电线组成的网络，它的任务是把发电机、主配电装置和用电设备联系起来。

(二)船舶电力系统的分类

按电流种类分：直流电制和交流电制；

按电压标准分：

	电器设备额定电压(伏)	受电设备额定电压(伏)
交流电器设备	115*	110*
	230*	220*
	400	380

注：* 仅适用于单相交流电气设备。

按频率标准分：50赫和60赫。

§2 温度对电气设备的影响

船上电气设备要受到海上气候、温度、船舶振动等条件的影 响，所以一般说来，用于陆上的电气设备不宜用于船上。对于船用电气设备，希望其寿命和船舶相当，即长达三十年或四十年之久，并要求性能可靠。

通常每艘海船都要向某一船级社登记，所以要求符合有关船级社的规范。国际电工委员会已出了第92号出版物《船舶电气安装细则》，以统一各国船级社的规范，建立国际通用的标准。

电气设备的性能实际上总是受温度的影响。温度不但影响性能，而且决定电气设备的有效寿命。例如：对发电机而言，因励磁绕组的电阻随温度的增加而增加，从而会减少励磁电流，使发电机的输出电压随其温度的升高而下降。对电机而言，重要的因素是总的温度，它部分决定于周围空气温度，部分决定于绕组中电流的热效应。

周围环境温度 t_0 ，在机舱内一般取 45°C 。

应当说明，在电机发热时，各部分温升的分布是不均匀的，即使同一个部件，例如电枢线圈，它的温度有的地方高，有的地方低。要使电机能够安全可靠地长期运转，其温度最高的部分应该不超过其相应部分所采用绝缘材料的最高允许温度。但是要准确地找到电机发热最剧的部位，并测出其最高的温度，不是一件容易的事，目前采用三种测温方法：（1）温度计法；（2）埋置测温元件法；（3）电阻法，这些方法都不能十分准确地测出电机的最高温度。

用温度计测量，简单可靠，但它仅能接触到电机各部分

表面，故量得的数值仅为其表面温度，而不是内部最热点温度，大约相差15℃。

用埋置测温元件法，其测量值与最热点温度相差最少，大约为5℃。

用电阻法测量温升是利用绕组在发热时电阻的变动来测定绕组的温度，这只能测出绕组的平均温度，它和最热点温度大约相差10℃。其测量方法是：先测定冷态绕组的电阻 R_1 及冷态绕组的温度 t_1 ℃（如果在机舱中，冷态绕组的温度正好是45℃，则 $t_1 = t_0 = 45$ ℃）。再测定热态绕组的电阻 R_2 （最好是电机停转后，稍过片刻再测定）。

热态温度用下列公式决定：

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1}$$

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1}(t_1 + 234.5) - 234.5$$

T_0 ——导体电阻等于零时的温度与0℃之间的差值。对于铜 $T_0 = 234.5$ ℃。

电机的温升 $\tau = t_2 - t_1$ ，将此温升与电机铭牌上允许温升 $\tau_{允}$ （如表1-1所示）进行比较，即可做出电机在运行中温升 τ 是否超过电机铭牌上所规定的允许温升 $\tau_{允}$ 。这里， $\tau_{允}$ 是根据电机所用的绝缘材料性能规定的。例如E级绝缘材料，其最高允许温度为120℃，周围环境温度取45℃，则 $\tau_{允} =$

表1-1

电机中使用绝缘材料等级	A	E	B
绝缘材料最高允许温度（℃）	105	120	130
电机铭牌上允许温升（℃）	60	75	80

$$120^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C} = 75^{\circ}\text{C}$$

表 1-2 列出各国船级社对额定容量为 500 千伏安以下电动机、发电机定子、电枢和励磁绕组的要求。

表 1-2

船 级 社	环境温度 ℃	温 升 绝 缘 等 级		
		℃		
		A	E	B
英国劳埃德船级社	45	50	65	70
法 国 船 级 社	45	55	65	75
美 国 船 舶 局	50	50	60	70
西德劳埃德船级社	45	55	70	75
挪 威 船 级 社	50	50	65	70
日 本 海 事 协 会	50	50		70
苏联船舶登记局	40	60	75	80

注：表中数值为用电阻法测得温升。

由上述可知，在相同负载和工作情况下电流热效应将是相同的。因此，不管该电机在北极圈工作或在赤道工作，在所有其它条件相同的情况下，温升实际上是相同的。对船舶来讲，当航行到环境温度为最高的地区时，通常这些地区是赤道地区 and 红海地区，电机总的温度就为最大，这总温度就决定了设备的绝缘寿命和性能。

例题 1 一只铜线圈，在 18°C 时，测得其电阻为 12.7Ω ，问当线圈温度为 50°C 时，线圈的电阻应是多少？

解

$$\frac{R_{50}}{R_{18}} = \frac{234.5 + 50}{234.5 + 18}$$

$$\therefore R_{50} = \frac{12.7 \times 284.5}{252.5}$$

$$= 14.3 \text{ 欧}$$

例题2 发电机励磁绕组（铜）的电阻，在 19°C 时是 35.3 欧，在温升试验后，用电阻法测量温升，测得其电阻是 41.9 欧，问励磁绕组的温升是多少？

解 根据题意已知 $t_1 = 19^{\circ}\text{C}$ ， $R_1 = 35.3$ 欧， $R_2 = 41.9$ 欧
先求励磁绕组的总温度 t_2

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1}(t_1 + 234.5) - 234.5$$

$$= \frac{41.9}{35.3}(19 + 234.5) - 234.5$$

$$= 66.4^{\circ}\text{C}$$

$$\text{所以励磁绕组的温升 } \tau = t_2 - t_1$$

$$= 66.3 - 19 = 47.3^{\circ}\text{C}$$

§3 船舶配电装置

船舶配电装置用以接受和分配电能，并能对发电机、电网和用电设备等进行保护、检测和调整。船上的配电装置均做成金属结构的箱体。箱体内根据需要装有各种开关、控制器、保护器、仪表和信号指示器等。

其功能有：

- (1) 正常运行时，接通和断开电路；
- (2) 电力系统发生不正常运行时，保护装置动作，进行报警或切断故障电路；
- (3) 测量和显示运行中的各种电气参数，如电压、电

流、功率、功率因数、绝缘电阻等；

(4) 对电源电压、频率进行调整；

(5) 信号指示各种电路的工作状态。

下面我们分别介绍各种配电装置：

(一) 主配电板

主配电板由发电机控制屏和配电屏组合而成，连成一系列装在机舱平台上，用符号 ZP 表示。

1. 发电机控制屏 如图1-2(a)所示，一般由上屏、中屏和下屏组成，其上屏装有电压表、电流表、功率表和频率表，有些船上还装有功率因数表或无功功率表，以及测量电压用的转换开关和测量电流用的转换开关。

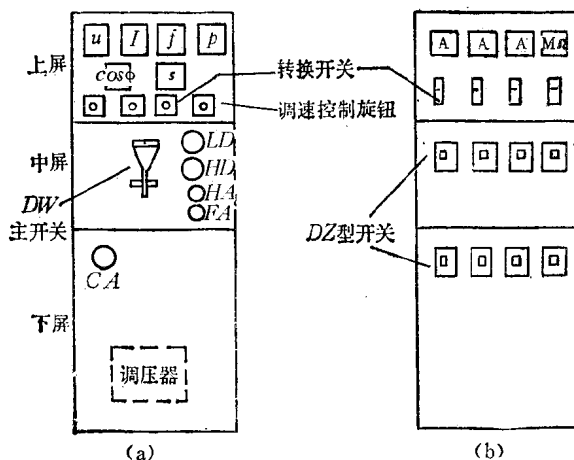


图 1-2

电流测量：利用电流互感器 LH ，通过转换开关 LW 测量 A 、 B 、 C 三相电流，其接线和开关闭合表如图1-3 所示，注意，电流互感器的副边要接地并不允许开路。

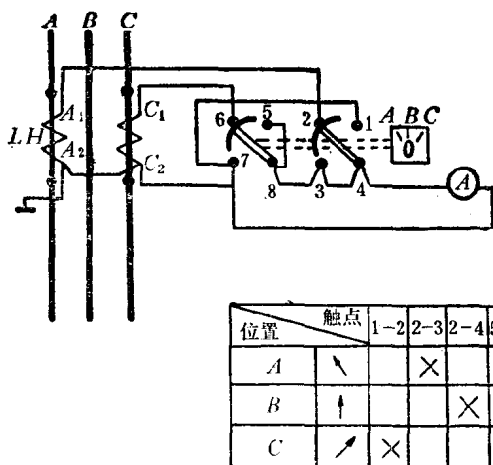


图 1-3

如测 A 相电流，将开关打在位置 A 上，由开关表可见，触点 2—3、6—7 闭合，此时 A 相电流经由电流互感器副方 A_1 —触点 2—3—4—电流表④—7— A_2 ，电流表④的读数就反映了 A 相电流的有效值。触点 6—7 闭合，则使 C 相电流互感器短接，以保安全。

图中，测三相电流，只用两只电流互感器，由交流电的原理知 $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ 而 $\dot{I}_A$ 、 $-\dot{I}_B = \dot{I}_A + \dot{I}_C$ 和 $\dot{I}_B$ 和 $\dot{I}_C$ 为互差 120° 的三相电流，所以 $\dot{I}_B = -(\dot{I}_A + \dot{I}_C)$ (如图 1-4)，因此当测 B 相电流时，只要把 LW 开关打在 B 位置

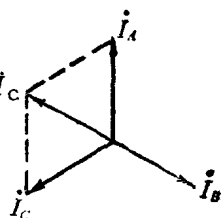


图 1-4

上，此时流过电流表④的电流即为 B 相电流的有效数值。

电压测量：利用电压互感器 YH，通过转换开关 LW，

测量 AB 、 BC 、 CA 三相电压，其接线和开关闭合表如图 1-5 所示，注意，电压互感器的副边要接地并不许短路。

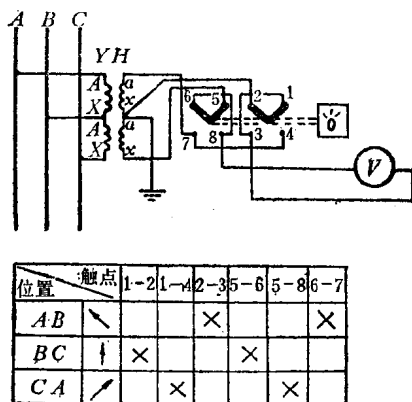


图 1-5

如测 AB 线电压，将 LW 开关打在 AB 位置上，触点 2-3、6-7 闭合，伏特表 V 就反映了 $A-B$ 间的线电压有效值。

整步表 S 和整步指示灯主要是为了两台以上的发电机并车时使用。有的船上单独设置并车屏，整步表 S 和整步指示灯就装在该屏上。另外还装有专门控制柴油机调速马达正反转的控制开关（又称调速控制旋钮），用来调节电网频率以及在并车时用来整步或并联运行时转移负载。在上屏的板后面，装有一台逆功率继电器，以防止发电机并联运行时功率倒送。在中屏便于操作的地方装有 DW 型自动空气断路器（又称主开关），其主要功能是控制发电机向电网输送电能。主开关可手动合闸操作，也可用电动合闸操作。电动合闸操作时，可按合闸按钮 HA ，分闸（即断开主开关）时，可按分闸按钮 FA 。为了显示主开关处在合闸还是分闸状

态，装有合闸指示灯 LD （绿灯），分闸指示灯 HD （红灯）。其下屏内装有自动调压器，面板上装有充磁按钮 CA ，以便在发电机无剩磁时充磁用。充磁电源由蓄电池供给。有的船上还装有粗同步并车时用的同步电抗器的接通按钮等。

2. 配电屏 如图1-2(b)所示，其上屏装有检测重要负载（如舵机、锚机、起货机、消防泵等）的电流表及转换开关。兆欧表 $M\Omega$ 和绝缘指示灯用来检测动力电网的绝缘电阻和照明电网的绝缘电阻，中屏和下屏，依据负载的大小，类型及重要性装有空气断路器或 DZ 型装置式自动开关。

配电屏上装有岸电开关，岸电由岸电箱通过岸电开关送到主汇流排，再经各开关至负载。照明负载通常集中在一屏上，称照明配电屏，它是由变压器降压后（380/220 伏），再送到照明配电屏，经220伏自动开关，到各照明分配电箱。

在主配电板后面，装有三根粗铜排，称汇流排或称母线，其上涂有绿色的表示 A 相，黄色的表示 B 相，褐色的或紫色的表示 C 相。所有发电机和负载均接到母线上。

我们对主配电板原理图应该有一个了解，图 1-6 所示，是某船主配电板部分原理图，从图中可以看出：

（1）四台（图中只画出一台）主发电机可以任意两台并联运行，同时又可分段独立供电；

（2）分段开关 $1HD$ 将汇流排分成二段，以便检修；

（3）照明负载由汇流排经装置式自动开关 DZ_0 ，经380/220 伏变压器变压后，由 $2HD$ 闸刀开关供电；

（4）调压器为三绕组相复励磁装置；

（5）主开关 $1DW$ 可手动、电动操纵（图中未画出）；

（6）装有准同步手动并车，粗同步并车装置；

（7）测量仪表有功率表、电压表、电流表、频率表、功