

航道职工中级技术培训教材

挖泥船电站与自动化

WA NI CHUAN DIAN ZHAN YU ZI DONG HUA



243243

交通部航道职工教育研究组编

1987年9月

挖泥船电站与自动化

肖其伟

林耀生

廖宏亮

编

主审

1987年9月

前 言

为了适应航道事业发展的新形势，不断提高航道职工队伍的素质，航道职工教育研究组，在编写了初级和中级技术培训教学计划和教学大纲及十八种初级技术培训教材之后，在交通部教育局的领导下，于1985年7月在扬州召开了中级技术教材编写会议。经研究决定，组织编写中级技术培训教材二十三种：航道水力学基础、河流水文学基础、地质与土壤、航道应用力学基础、航道水下钻孔技术、航道爆破工程、航道整治施工、挖泥船机械电力拖动、挖泥船水手工艺、疏浚工程及其管理、绞滩技术、航道通讯设备、航标电源与充电、航道演变基本原理、小型斜面升船机、船闸机械与电气、船闸管理与维修、船闸结构与基础、挖泥船电站与自动化、航道班组管理、航标管理、航道工程管理、挖泥船电工工艺和管理。这套教材是根据内河航道的特点和需要而编写的。

本教材的编写，在于帮助内河航道职工在初级技术教育的基础上，进一步提高基础理论知识，掌握较新较复杂的工艺技术，获得较好的适应能力，以满足岗位职务工作的需要。本书的内容，主要包括挖泥船电力系统概述、船舶同步发电机的自动整步、船舶电力系统的继电保护、船舶同步发电机电压及无功功率自动调整、船舶柴油发电机组及电站运行自动控制，它适合中级内河与沿海挖泥船电工工人技术培

训之用，也可作为船电技术等人员的参考。

这本教材由福建省航道工程处肖其伟、林耀生同志编写。廖宏亮同志担任了主审工作。最后由交通部教育局委托长江、上海、天津、广州航道局、湖南省航务管理局、四川省第一航道工程处、天津市航道工程处等单位的船电技术人员及有关同志参加审定，作为内部出版试用。由于编写时间仓促，资料不够齐全，难于完全适应全国各地的具体情况。希望各地在组织教学时，能根据实际情况，作一些必要的补充。其中不当之处，请提出宝贵意见，以便将来进一步修改完善。对于参加核审和在编写过程中给予支援和帮助的同志，在此谨致衷心的感谢。

交通部航道职工教育研究组

一九八七年九月

目 录

第一章 挖泥船电力系统概述

- 第一节 船舶电力系统的特点及基本参数…… (1)
- 第二节 船舶主电站容量的确定…… (11)
- 第三节 船舶配电装置…… (25)

第二章 船舶同步发电机的自动整步

- 第一节 船舶同步发电机的准确同步…… (56)
- 第二节 船舶同步发电机自动并联运行…… (73)
- 第三节 自动并车装置实例…… (92)

第三章 船舶电力系统的继电保护

- 第一节 继电保护的作用和基本原理…… (103)
- 第二节 船舶同步发电机的继电保护…… (120)
- 第三节 船用万能式自动空气断路器…… (131)
- 第四节 自动分级卸载保护装置…… (154)
- 第五节 逆功率保护装置…… (161)
- 第六节 船舶同步发电机综合继电器保护装置
…… (169)

第四章 船舶同步发电机电压及无功功率自动调整

- 第一节 同步发电机电压变化原因及自动调压

	器的基本作用原理·····	(185)
第二节	不可控相复励自励恒压励磁系统·····	(192)
第三节	可控硅自励恒压励磁系统·····	(221)
第四节	可控相复励自励恒压励磁系统·····	(260)
第五节	无刷同步发电机和三次谐波励磁系统·····	(273)
第六节	船舶同步发电机间无功功率自动分配·····	(285)

第五章 船舶柴油发电机组及电站运行自动控制

第一节	船舶电站自动控制的基本概念·····	(303)
第二节	船舶柴油发电机组自动控制实例·····	(316)
第三节	柴油发电机组及电站自动控制装置·····	(327)

第一章 挖泥船电力系统概述

第一节 船舶电力系统的特点 及基本参数

一、挖泥船电力系统的组成

挖泥船是作为航道及港湾、码头疏浚和挖掘用的工程船舶。挖泥船主要有耙吸式挖泥船、绞吸式挖泥船和链斗式挖泥船等几种类型。如果按照可否航行分类，又可分为自航式和非自航式两种类别，特别是自航式挖泥船在调遣时，与货船又有同等的要求。因此，挖泥船的电力系统，不但有工程船舶自身的特点，又有货船所具有的特点。

挖泥船电力系统的组成与一般船舶的一样。主要包括船舶发电站、船舶电力网和负载三部分，其单线原理示意图如图1—1所示。

1. 船舶发电站

船舶发电站由电源装置和主配电装置组成，这是船舶电气设备的核心。船舶发电站分为主电站和应急电站，主电站中有主发电机组和主配电板(又称总配电板)，应急发电站中有应急发电机组和应急配电板或应急蓄电池组和充放电板。

1) 电源装置

目前一般船舶主电站都采用柴油发电机组，柴油机是一种活塞式的动力装置，它把柴油的化学能转换成曲轴上的旋

转机械能，机械能通过同轴上的发电机转换成电能。

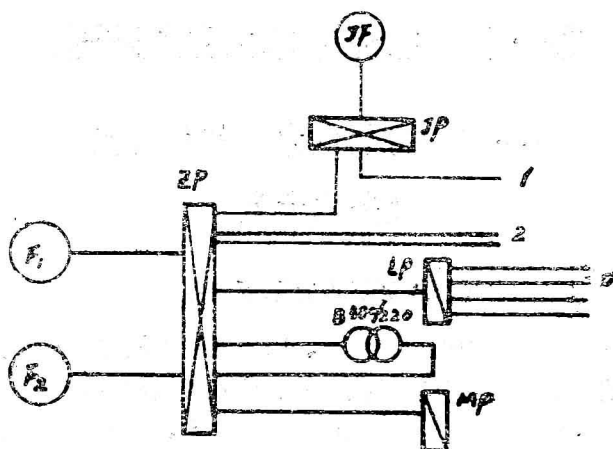


图1-1 船舶电力系统示意图

F_1 、 F_2 —主发电机；ZP—主配电板；JF—应急发电机；JP—应急配电板；LP—电力分电箱；MP—照明分电箱；B—照明变压器；1—到应急配电板供电的设备；2—到主配电板直接供电设备；3—到用电设备

应急电站在大型船舶中由应急柴油发电机组和蓄电池组组成，在小型船舶中仅用蓄电池组，蓄电池是最可靠的电源，它是唯一的在需要时能立即供给电能的电源装置。任何类型的机动船舶都离不开它。

2) 配电装置

配电装置是对电源和用电设备进行保护、监视、测量、分配和控制的装置。船舶配电装置的种类比较多，根据其在船舶中的作用和供电区域，可以分为总配电板、应急配电板、动力分电箱、照明分电箱和蓄电池充放电配电板等。

2. 船舶电网

船舶电能的传输是通过分布于全船的电缆和电线来完成的，我们把这些电缆和电线按一定的结线方式所构成的整个传输线路称为船舶电网，它是联系电源和负载之间的桥梁。

船舶电网按电源装置供电系统可分为：主电网、应急电网、临时应急照明电网（又称小应急电网）、挖泥专用仪表及弱电网络。

主电网是由主发电机通过总配电板供电的网络，包括动力网络和照明网络，用电设备可直接按由总配电板供电，或由总配电板供电至分配电板再供电。通常人们习惯地把发电机到主配电板和由主配电板直接供电负载与分配电板之间的连接电缆称为一次网络，把由分配电板到负载的连接电缆称为二次网络。图1—2是某挖泥船一次网络系统简图。

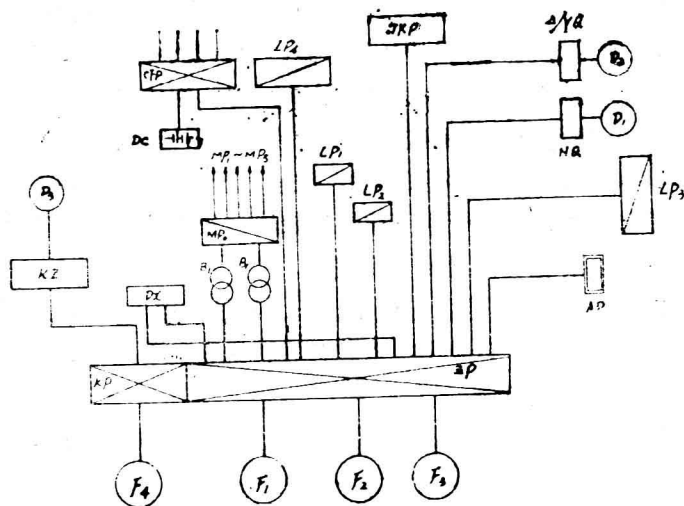


图1—2 某挖泥船一次网络系统简图

F₁、F₂—主发电机；F₃—停泊发电机；F₄—泥泵发电机；
NQ—船推控制箱；Q₁—推进电机；△/YQ—喷射泵控制箱；
D₂—喷射泵电机；ZP—总配电机；KP—泥泵发电机控制屏；
DX—舵机电源箱；KZ—泥泵控制箱；D₃—泥泵电机；LP₁~
LP₄—电力分电箱；B₁B₂—380/220主变压器；MP₁—220
伏分电板；MP₁~MP₆—照明分电箱；CFP—充放电板；
JKP—驾驶控制台；AP—岸电箱；DC—蓄电池组

3. 负载

挖泥船用电设备按系统大体上可分为如下几类：

1) 动力装置用辅机：为主机和副机服务的辅机。如：滑油泵、海、淡水冷却泵、燃油输送泵等。

2) 甲板机械：如绞刀架绞车、横移绞车、吸泥管绞车、液压装置油泵、锚机、舵机、救生艇起落架等。

3) 生产机械：泥泵、绞刀、喷射泵、斗链电动机等。

4) 舱室辅机：包括生活用水泵、消防泵、舱底泵、压载泵、油水分油水分分离器、污油水处理装置、空压机等。

5) 冷藏通风：空调装置、伙食冷库等用辅机、通风机。

6) 仪器、仪表：泥浆流量、浓度、产量计、艏艉吃水和载重指示器，耙吸管水下位置监控器，绞刀挖掘断面监控器，以及各种挖泥系统专用仪表等。

7) 弱电设备：包括无线电设备、导航、通讯设备、船内通讯联络设备，以及主机遥控装置、机仓集中监控装置、蓄电池充放电装置等。

8) 照明设备：包括舱室照明、航行灯、挖掘信号灯、强光灯等。

9) 其他用电设备：如电热器、电风扇、电视机、录音

机，还有洗衣机、厨房器械用电等。

二、船舶电力系统的特点

船舶电力系统是由船舶电站、供电网络和负载按照一定的联接方式组成的一个整体。船舶电站属于移动电站的范畴，船舶负载，特别是有些挖泥船生产机械的单机功率与电站的单机容量相近，以及电站的空间条件和环境条件，使得船舶电力系统与陆电电力网相比有如下一些特点：

1. 电站容量较小

为了保证供电的可靠性和经济性，陆上电力系统一般都由几个甚至数十个发电厂并网供电，电力系统的容量一般都很小。由于船舶电站只供给一条船上负载的需要，电站总容量或单机容量，比陆上电力系统都要小得多（目前一般大中型挖泥船电站容量仅达到数千千瓦）。由于船舶电站容量小，单机容量与船舶挖泥机械电动机功率可相比拟。当交流异步电动机起动时的冲击电流使电网的电压降落大，发电机组的转速和频率波动较大。因此，对船舶电力系统运行和稳定性提出更高的要求，要求船舶电站有较好的调压特性和机组有较高的过载能力。

由于挖泥船在不同工况时用电量相差很大，在船舶作业时往往要求电站的几台机组并联运行，因此，要求并联运行的发电机组要有较高的并联运行的可靠性和稳定性，并车装置应操作简单、可靠。

2. 短路阻抗小

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。陆上电力系统供电范围广，送

电距离长达上千公里，为了减少电压损失和功率损失，采用高压输电，而船舶电力系统从维护管理可靠、安全、经济等方面考虑，主要采用400伏电压等级的发配电设备及各种类型的船用电缆供电给负载，电气设备又只限制在船舶的小范围，发电设备与用电设备之间距离较短，因此线路的阻抗比陆上电力系统小得多。在计算电网压降时，往往可以忽略电缆的电抗，当线路发生短路时，所产生的短路电流也相对地比较大。除了要求船舶电站又有可靠的短路保护装置之外，要求发电机及其励磁装置应能承受至少三倍额定电流的短路电流，持续时间不少于2秒钟。

3. 船舶电力系统的保护要求齐全

随着船舶自动化的发展，船舶电站的容量不断增加，为了提高电力系统的供电质量和系统工作的可靠性，对船舶电力系统的各种保护提出更高的要求。船舶电力系统一般必须有如下的保护功能：

1) 短路保护

船舶电力系统正常运行状况的破坏，大多数是由短路故障所引起的。为了正确选择短路保护装置，正确整定其动作值，对船舶电力系统必须进行短路电流的计算，并校核作为短路保护的电器的分断能力和接通能力。短路保护的电器的分断能力应不小于安装点的预期对称短路电流（有效值），其接通能力不应低于其安装点的预期短路电流的最大峰值。

2) 系统的过载保护

用作过载保护的电器应具有与其保护对象的过载能力以及与系统的选择性要求相适应的特点。

3) 系统的选择性保护

选择性保护是满足系统区域保护，并将故障断电流限制在最小范围。其目的就是使最接近短路故障处的断路器断开故障电流，而其余正常电路能继续供电。因此，要求上下级串联的断路器或熔断器的断流特性和时间延时应相互协调。

4) 发电机的保护

发电机应具有过载延时和短路保护以及欠电机保护，并联合运行的机组还应有逆流或逆功保护。

关于船舶电力系统保护的具体性能和作用原理将在第三章中详细讨论。

4. 配置小功率停泊发电机

挖泥船的作业机械设备数量多，功率大，对于机械设备采用电力拖动的挖泥船来说，电站容量主要是由特种机械的大功率电机所决定的。但是，船舶停止作业时，用电量大大减少，只要满足所必须的生活用电就可以了。如某挖泥船作业时最大用电量为1400多千瓦，而停泊只有60多千瓦，仅占作业用电量的5%左右，因此，为了解决停泊用电和节省能源，一般大中型挖泥船都装有小功率的停泊发电机组。

三、船舶电力系统的基本参数

船舶电力系统的基本参数系指主电源的电流种类（电制）、电压等级和标准频率。

1. 电制

目前挖泥船上电制有：直流电制、交流电制和交直流混合电制。交直流混合电制在挖泥船上应用比较广，是工程船舶的一大特点。

众所周知，直流电制的主要优越性表现为直流发电机调

压，并车操作简单，直流电动机采用起动机后起动电流冲击小，可以实现大范围内平滑调速。随着船舶电气化、自动化的程度不断提高，船舶电站容量的日益增加，目前外国大型挖泥船用电量有高达5000~6000KW。而船舶上主要用电设备是电动机，由于交流电机没有整流子，结构简单、体积小、重量轻、运行可靠，且鼠笼式异步电动机可直接起动，启动设备简单，因此，维护保养方便，特别是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。如调速、调压、调频、并联运行等。因此交流电制的船舶异军突起，后来居上占了主要地位。

然而，由于挖泥船的特种工程机械的电力拖动功率比较大，电机调速性能的要求又比较高，为了综合利用直流电制和交流电制的优点，提高电力系统的可靠性，不少挖泥船的电力系统采用交直流混合式电制。如：国产500方/时自航链斗式挖泥船，船上设有两台6300ZD型600转/分柴油机，每台柴油机各拖动一台200KW交流发电机和一台250KW直流发电机，交流系统供船舶一般用电设备用电；直流系统在挖泥作业时供电给主挖泥系统用电，在不作业航行时电能可全部用于电力推进装置用电。

2. 电压等级

船舶电力系统的额定电压等级直接关系到电力系统的可靠性、经济性和通用性，直接影响到所有电气设备的重量和尺寸大小。因此，要根据具体船舶电站时容量来综合考虑。目前世界各国对电压等级的考虑，都与本国的陆上电制的参数相一致，这样可以满足电气设备的通用性。例如：我国和欧

州国家普遍选用陆上通用的380V/50HZ系统，而美国、日本则选用440V/60HZ系统。

随着港湾航道工程和海洋事业的发展，使包括挖泥船在内的工程船舶需要量有比较明显的增加，用电量是这些工程船舶的特点。因此，电站容量增大，船舶电压的等级有逐渐增加的趋势。从整个船舶电力系统而言，采用高压系统可以使造价便宜、设备重量减轻，可以解决低压、大功率电机制造工艺上的许多技术问题，可以减少电缆的重量。目前，国外有不少的挖泥船的电力系统已经采用3.3KV和6.6KV的电压等级。

高压电在船舶上的应用还只是处在新的、正在探索中的一支生力军。目前我国所造的船舶，电压一般均在500伏以下，只有挖泥船的泵系电气设备和电力推进装置的电压允许达到6300伏。表1—1给出我国船检局《钢质海船建造规范》（1983年）和《钢质挖泥船建造规范》（1978年）规定的船舶电力系统最高电压等级标准。

3. 标准频率

我国《钢质海船建造规范》（1983年版）规定了交流配电系统的标准频率为50HZ或60HZ。对于船舶非标准频率的弱电设备，如无线电导航系统用的电源其频率为500HZ和1000HZ的中频电源，而且都是由变流机或变频器专门供电的。

船舶电力系统最高电压等级标准

表1—1

类别	用途	直流最高电压 (伏)	交流最高电压 (伏)
一般配电系统的电气设备	1.可靠固定并永久连接的动力设备、电炊具和电热设备	500	500
	2.狭窄处所、潮湿舱室、露天甲板、储藏室、机舱以及其他机器处所的可携设备:		
	(1)一般设备	50	50
	(2)具有加强绝缘或双重绝缘的设备	250	250
	(3)由仅对一个设备供电的安全隔离变压器供电的设备	250	250
	3.居住舱室和公共舱室的照明设备,取暖器以及除上列1、2项以外的其他设备	250	250
电力推进装置	1.主电路任意两点之间	1000	—
	2.主电路线电压	—	6300
	3.励磁回路	220	220
	4.控制、保护、信号及联锁电路	220	380
挖泥船专用设备	1.甲板挖泥机械的电气设备 { 主电路 控制电路	440	380
		220	380
	2.泵系电气设备 { 主电路 控制电路	1000	6300
		220	380

第二节 船舶电站容量的确定

一、概 述

正确地计算船舶电站容量和选择合适的发电机组是船舶电气装置设计中的一项十分重要而复杂的工作，也是造船厂和船舶使用部门十分关切的问题。它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；它对降低船舶造价和节约能源以及保证供电质量都具有很重要的意义。

电站负荷决定于用电设备的实际负荷和具体使用情况，以及全船用电设备同时使用的情况，影响的因素很多。因此，目前对船舶电站的容量确定仍然没有一种精确的计算方法，而只能根据统计规律采用近似的估算方法。

一般船舶电站容量的计算方法主要有：概率统计法和负荷系数法。负荷系数法可分为两种：需要系数法和三类负荷法。负荷系数法是船舶电力负荷设计计算中最常用的一种方法，只要需要系数或负荷系数，同时系数选取得适当，将能得到准确的结果，在计算时，把全船用电设备的数量、负荷以及使用情况按照不同的工况分别进行计算并汇总成一个表，称为电力负荷计算书。对于船舶电工来说，它可以帮助我们了解全船电气设备的概貌以及对电气设备的运行进行合理地调配。

1. 船舶工况

不论用什么方法计算电站容量都是要按照船舶不同工况分别进行的，挖泥船电站，应满足以下工况的用电需要：

1) 作业工况（挖掘工况）；