

3.6.2 工程机械电力拖动

1. 工程机械类型

工程机械泛指工程船舶的特种机械。工程船舶以工程类别可分为港口工程、航道工程、海洋工程、航保工程、水利工程、宇航工程等。不同的工程有不同的工程船舶,但有的工程船舶也可在不同的工程中使用。以工程用途可分为疏浚用船(如各种挖泥船、泥驳、吹泥船、抛锚艇、航道测量船、炸礁船等)、水工建筑用船(如起重船、打桩船、抛石船、地质勘探船、混凝土搅拌船、发电船等)、海洋开发用船(如地质勘探船、采矿船、石油钻探船、海洋调查船、水文气象船、水声船、三用工作船、敷管船、埋管船、深潜器母船等)、防险救助用船(如救生船、打捞船、修理船、浮船坞、破冰船、潜水作业船等)、敷设用船(如航标船、布缆船、敷管船等)、测量用船(航天测量船、海道测量船等)。

各种工程船舶中,特种机械有的较多,有的较少,性能要求也各不相同,主要的特种机械为:

1) 疏浚机械

绞刀、链斗、抓斗、铲斗、泥泵等。

2) 特种起重机械

大重量起重机、宽调速起重机、专用起吊机械(耙头架、绞刀架、斗桥架、定位桩等)。

3) 特种系统机械

移船绞车(横移、定位等)、布缆机、自动拖缆机等。

4) 钻探机械

钻机、泥浆泵等。

5) 特种推进

低速推进、主动舵推进、侧向推进等。

工程船舶主要特种机械的功率比值见表 3.6.7.1 所列。

工程船舶主要特种机械的调速及堵转要求见表 3.6.2.2。

2. 工程机械电力拖动的基本要求

1) 疏浚机械

绞刀和链斗要求有深度不大的向下调速和偶尔反转(检修或排除故障用)性能,并要求有典型的挖土机特性,负载为连续工作制反应性负载。为了使其挖泥性能适应范围较大,能在不同土质条件下充分利用装置功率,所以最好具有 1.5 倍的恒功率向上调速性能。工作负载变动较大,经常出现超载。通常以功率大小来区分电力拖动方案,在满足基本拖动要求前提下,顾及适应性及经济性。目前绞刀趋向采用液压马达拖动。

抓斗与铲斗是指绳索式结构的机械,目前趋向采用全液压油缸传动。对绳索式结构机械而言,实质上是两台绞车,一台起升,一台开闭斗。要求有深度不大的向下调速和频繁正反转,是断续周期工作制位势性负载,开闭斗绞车有堵转特性,工作负载变动大。两台绞车要求有转速平衡和负载平衡的控制要求。一般均在直流调速拖动中选择适宜的方案。

泥泵主要是指耙吸挖泥船及吹泥船,也包括采用岸电的绞吸挖泥船。与其他疏浚机械相比,泥泵功率要大得多,约比绞刀功率大 8 倍~10 倍。泥泵一般不调速不反转,工作负载基本稳定,在耙吸挖泥船上为断续周期工作制,在吹泥船及绞吸挖泥船上为连续工作制。耙吸挖泥船泥泵采用电力拖动时,一般其推进装置也采用电力推进,且两者之间有功率转换,所以采用

表 3.6.2.1 工程船舶大功率特种机械功率比值表

序号	船 型	最大功率 机械名称	功率×数量 /kW×台	拖动 方式	发电机 总功率 /kW×台	机械 功率 所占 比值 /%	动力装置 总功率 /kW×台	机械 功率 所占 比值 /%	备 注
1	4500m ³ 耙吸	泥泵	DC 780×2	调速	DC 840×2 AC 250×2	71.5	主机及发电 1956×2 发电 298×2	34.5	另有 250kW×1 备用
2	800m ³ 耙吸	泥泵	DC 370×2	调速	DC 410×2 AC 120×2	70	主机及发电 971×2 发电 150×2	33	另有 120kW×1 备用
3	350m ³ 绞吸	绞刀	DC 160×1	调速	DC 170×2	47	发电 221×2 主机 794×1	13	
4	200m ³ 绞吸	绞刀	AC 75×1	单机	AC 90×2	41.5	发电 125×2 主机 551×1	9.3	
5	40m ³ 绞吸	绞刀	AC 22×1	单机	AC 50×1	44	发电 57×1 主机 88×1	15	
6	500m ³ 链斗	斗链	DC 160×2	调速	DC 170×2 DC 135×2	52.5	发电 298×2	53.5	
7	750m ³ 链斗	斗链	DC 500×2	调速	DC 780×2	64.1	发电 882×2	56.7	
8	350m ³ 抓斗	抓斗	DC 100×2	调速	DC 200×2	50	主机及发电 294×2	34	
9	2m ³ 抓斗	抓斗	AC 75×2	单机	AC 250×1	60	发电 298×1	50.5	回转不同时工作
10	2m ³ 抓斗	抓斗	DC 160×1	调速	DC 170×1 DC 48×1	73.5	发电 298×1	53.5	使用反映 48kW×1 大小
11	4m ³ 铲斗	铲斗	DC 350×1 DC 72×2	调速 调速	AC 250×2	98.5	发电 298×2	83	
12	500t 起重船	主钩	DC 100×2	调速	AC 192×2	52	发电 224×2	44.5	
13	300t 起重船	主钩	AC 85×2	调速	AC 250×2	34	发电 298×2	28.5	
14	180t 起重船	主钩	DC 55×2	调速	DC 65×2 DC 48×1	62	发电 75×2 发电 50×1	55	
15	50t 起重船	主钩 旋转	DC 55×1 DC 22×2	调速 调速	DC 65×2 DC 48×1	55.5	发电 75×2 发电 50×1	49.5	
16	航标船	起重機 低速推进	DC 75×1 DC 55×2	调速 调速	DC 65×2 DC 65×2	71	发电 75×4 主机 794×2	9.8	
17	打捞船	低压空压机 中压空压机 高压水泵	AC 155×1 AC 70×3 AC 75×1	单机 单机 单机	AC 200×3 DC 200×1	55	发电 200×4 主机 1471×1	19.5	
18	8 万 t 浮船坞	水泵	AC 110×6	单机	AC 664×2	49.7	发电 738×2	44.7	
19	布缆船	布缆机 侧向推进	AC 55×1 DC 100×1	调速 调速	AC 90×2 DC 115×1	52.5	发电 126×3 主机 809×1	13	另有 90kW×1 备用
20	钻井平台	钻机 泥浆泵	AC 500×2 AC 500×2	单机 单机	AC 1000×2	100	发电 1325×2	75.5	
21	钻井平台	钻机 泥浆泵	DC 588×2 DC 588×2	调速 调速	AC 660×5	71.3	发电 735×5	64	
22	浮式生产储油船	输油泵	AC 730×2	单机	AC 2800×4	26.1	发电 3088×2	23.6	
23	采油平台	压缩机	AC 2000×2	单机	AC 6000×1	66.7	发电 6618×1	60.4	

表 3.6.2.2 某些特种机械的性能要求

船 型	机械名称	调速范围	堵转倍数	负 载	工作制	备 注
耙吸式挖泥船	推进	5:1	1.5~2	周期(重—轻)	连续	调速系启动要求
	泥泵	—	1.5~2	周期(满—停)	$T \approx 1h$ $t = 20min \sim 30min$	
	耙头架升降	(5~8):1		1) 短时重载 2) 周期极短时	$t \approx 5min, t = 5s \sim 10s$	
绞吸式挖泥船	绞刀	(5~8):1	1.3~1.5	变动	连续	大中功率要求
	横移	5:1	1.3~1.5	周期(重—轻)	$T = 10min \sim 20min$ $t = 5min \sim 10min$	
	绞刀架升降	(2~3):1		1) 短时重载 2) 周期极短时	$t \approx 5min, t = 5s \sim 10s$	
链斗式挖泥船	斗链	(5~8):1	1.3~1.5	变动	连续	大中功率要求 大功率要求
	横移	5:1	1.3~1.5	周期(重—轻)	$T = 10min \sim 20min$ $t = 5min \sim 10min$	
	斗桥架升降	(2~3):1		1) 短时重载 2) 周期极短时	$t \approx 5min, t = 5s \sim 10s$	
	船首锚	(2~3):1		1) 一次性重载 2) 周期极短时	$t \approx 1 \sim 2h, t \approx 10s$	
	船尾锚	(2~3):1		1) 一次性重载 2) 周期变载	$t \approx 1h$ $T = 10min \sim 20min$ $t = 5min \sim 10min$	
抓斗式挖泥船	起升	(5~8):1	2	周期(重—轻)	$T \approx 1min$ $t \approx 20s$	堵转系大功率要求
	闭斗	(5~8):1	2	同上	同上	大功率要求
	旋转	(2~3):1			$T \approx 1min$ $t \approx 15s$	
铲斗式挖泥船	起升	(5~8):1	2	周期(重—轻)	$T \approx 1min$ $t \approx 20s$	堵转系大功率要求
	推压	(2~3):1	2	同上	同上	大功率要求
	旋转	(2~3):1			$T \approx 1min$ $t \approx 15s$	
起重船	起升 变幅 旋转	(8~10):1 (3~5):1 (2~3):1		} 短时重载有很低的重复率 } 同起重船	$t = 5min \sim 10min$ $t = 3min \sim 5min$ $t \approx 1min$	大功率要求
航标船	起重机	(8~10):1			} 同起重船	
打捞船	起重机	(8~10):1				
布缆船	布缆机	(8~10):1	1.3~1.5	变动	连续, 偶停	
钻井船	钻机	(8~10):1	1.3~1.5	变动	连续, 偶停	
有关船舶	辅助推进	(2~3):1		} 变动	} 连续	
	侧向推进	(2~3):1				
	低速推进	(2~3):1				

直流调速拖动较多。采用岸电供电的泥泵电力拖动一般采用绕线电动机串频敏变阻器启动较多。

2) 特种起重机械

大重量起重机一般为起重船专用的、起升速度慢、无生产率要求、负载持续率较低的、负载平稳的位势性负载机械,无堵转要求,但工作可靠性、下降特性的稳定性及制动性能要求特别高。个别起吊行程大的则要求有空载高速特性。宽调速起重机一般在打捞船、航标船、深潜器母船等船上应用,起升速度要比大起重重量起重机大,调速范围要求较大,工作条件较差,所以性

能要求也较高。

起重机结构型式较多,有的为全回转式,有的为半回转式或固定式。一般操作要求较高的场合,可考虑起升、变幅、旋转三个机构同时工作。一般情况下,也可只允许两个机构同时工作,转换操作,以简化控制设备。

专用起吊机械也是一些大重量起重绞车,基本拖动要求同大重量起重机,且是一些极短时工作制的工况,可以用过载使用的手段来缩小电动机功率。一般也按功率大小来区分电力拖动方案。

特种起重机械电力拖动方案一般均采用各种型式的直流调速系统。

3) 特种系缆机械

移船绞车是非自航工程船舶的重要设备,对疏浚船舶而言,性能好坏直接影响其生产效率。一般要求深度不大的向下调速和向上调速,最好是无级调速,并且频繁可逆运行。要求高时通常还需与其他疏浚机械协调工作。负载变化大,绞吸及链斗挖泥船比抓斗和铲斗挖泥船的要求高,甚至可能堵转。一般以功率大小来区分电力拖动方案,目前也趋向采用液压马达传动。

布缆机是敷设和打捞水下电缆的机械,要求有深度不大的向下调速,最好为无级调速,并有一定范围内的向上调速。其性能要求为:可连续工作,负载变化不大,需可逆运行,捞缆时需有堵转性能,深水布缆时可能出现位势性负载特性而有能量反馈,因此有四象限工作要求,一般采用直流调速系统。

自动拖缆机是远洋拖船上的主要设备,由于风浪流的变化对缆索产生极大的动拉力,为了不使缆索断裂,自动拖缆机能自动迅速的相应于动拉力方向收放缆索,以维持缆索中的拉力保持在一定范围内,并使拖船与被拖船之间距离也为一定。同时也可减少主机负载的不均衡度,改善操纵性能。其性能要求为工况变化大,负载变化剧烈,经常堵转,频繁可逆运行,且有电动制动状态转换,最好无级调速及调整堵转转矩,因此也是四象限工作要求,一般用直流调速系统为宜。

4) 钻探机械

钻探机械是钻井船的主要设备,由起升绞车和转盘两部分机构组成,轮流作业。起升绞车要求与宽调速起重机类似,随着钻井深度变化,起升钻杆负载变化极大,因此要求有较大的恒功率调速范围,一般达到4:1,靠四挡机械变速来达到。转盘正常工作时,负载随钻压而变化,一般根据地质情况保持某值不变,因此需调速与之适应,在作钻杆上扣卸扣作业时需堵转。起升绞车的功率一般为转盘功率的2倍~3倍,以方便功率转换操作。

泥浆泵是通过输送泥浆来配合转盘工作,将被钻头粉碎的地底物质排出地面,随钻深不同需调整流量,所以也要调速。

钻机与泥浆泵功率很大,一般以直流调速拖动为主。

5) 特种推进

特种推进虽然为电力推进,但与主推进的功率等级相差较大,因此其控制要求及调速性能等不可与主推进等同而言,一般归入电力拖动范围。不论它们是否为定螺距桨还是变螺距桨,特种推进基本不调速或调速范围很小,有的要可逆,有的不可逆运行,连续工作或断续周期工作,负载变化不大。这类装置可能受到较大的条件限制,系统的技术经济指标不易做得很高。一般可从由船舶电网供电与采用专用发电机组供电两大类型来选择合适的方案,继而再确定何种拖动系统。

在上述各种工程机械电力拖动要求分析中,已根据各种机械的特点,指出了电力拖动方案选择的方法。它们有的是按功率分挡来分析的,有的是从直流调速拖动来分析的,有的则从动力装置和电源类型来分析的。这就说明了为什么特种机械电力拖动难以仅在一个交流电站下进行设计的理由。

3. 工程机械电力拖动型式分类

根据上述分析,表 3.6.2.3 列出了工程机械电力拖动型式的分类。这些型式是几十年来工程船舶设计和建造实践中经过多次证明而肯定下来的,一般是合理的。有些机械给出了几种方案,这就要求应根据当时当地具体情况来分析决定。由于近几年来交流调速系统的蓬勃兴起,因此表 3.6.2.3 中一些直流调速系统有被交流调速系统取代的可能,事实上如 300t 起重船已采用了交流串级调速系统。

表 3.6.2.3 工程船舶特种机械电力拖动分类

电力拖动型式		机 械 名 称		
		小型功率	中型功率	大型功率
交 流 单 机 拖 动	力矩电动机	绞刀、斗链		
	绕线型串电阻		特种推进	特种推进
	绕线型串频敏变阻器		抓斗、绞刀、斗链、泥泵	
	变极变速连续工作	横移		
	变极变速短时工作	肥头架、特种起重	肥头架、起重机械旋转	起重机械旋转
交 流 调 速 拖 动	电磁调速电动机		横移、肥头架、特种推进	肥头架
	变频调速			特种推进
	电机串级调速			斗链
	电气串级调速			特种推进、起重机械起升
直 流 调 速 拖 动	简单的发电机-电动机系统		特种推进 特种起重	泥泵、起重机械起升、肥头架
	三绕组发电机-电动机系统		抓斗	绞刀、斗链
	电机放大机-发电机-电动机系统		抓斗、自动拖缆	绞刀、斗链、横移
	磁放大器-发电机-电动机系统		布缆、特种推进	绞刀、斗链、抓斗、铲斗、布缆、特种推进
	晶闸管整流器-电动机系统		布缆、特种推进、特种起重	抓斗、铲斗、起重机械起升、特种推进、钻机
	晶闸管整流器-发电机-电动机系统			泥泵
	恒流制系统			泥泵及主推进、横移、布缆

从表 3.6.2.3 中可见,在交流电力拖动中,中小功率以单机拖动偏多,大中型功率以调速拖动偏多。直流调速拖动大多用于大中型功率,基于历史原因,电机放大机、磁放大器系统采用较多,现在均可改为晶闸管整流器了。对于大中小功率的划分,不同系统有不同的容量范围,对交流来说,小型功率为 15kW 以下,中型功率为 10kW ~ 55kW,大型功率为 40kW ~ 150kW;对直流来说,中型功率为 50kW ~ 200kW,大型功率为 150kW 以上(目前已达 780kW)。可见,直流与交流的大中小功率是相对的,对具体机械来说,应从其本身比较来定,不同机械之间功率范围是不同的。抓斗、铲斗和特种推进应以直流的功率划分为准,绞刀、链斗、特种系缆、特种起重等应以交流的功率划分为准。

3.6.3 电动液压电力拖动

1. 概述

船舶液压传动技术在近 20 年来有了重大的发展,特别在甲板机械和特种机械传动中已被广泛采用。液压传动的主要特点为:

- (1) 易获得较大的力或力矩,目前压力已达 $320 \times 10^5 \text{N/m}^2$ 。
- (2) 在相同输出功率下,液压马达重量和体积较小,约为电动机的 1/8 ~ 1/10。
- (3) 惯性小,动作灵敏,响应快,换向迅速。
- (4) 大范围实现无级调速,节流阀可达 5000 调速比。
- (5) 液压油介质能吸振,运动平稳。
- (6) 执行装置可直线、旋转、摆动运行,机构简单,可水下工作。
- (7) 易实行过载保护,蓄能器可在动力故障时使用,可靠性高。
- (8) 能在运动表面自行润滑,延长工作寿命。
- (9) 操纵方便,液压与电气配合使用,充分发挥各自优点,易于遥控与自控。
- (10) 易于通用化、标准化和系列化。

液压传动的缺点是:液压油易渗漏产生污染;液压油粘度受温度影响大,系统应有冷却或加热措施,需有冷却器或大油箱;元器件制造精度要求高,密封性能要好;故障分析较复杂,使用维护要求较高。

液压系统完全可与电气系统相类比,从组成来说,也分动力、控制、执行、辅助几个部分;从控制原理来说,也分开环、闭环两大类。液压传动与电力拖动各有优缺点,特别在重量、尺寸和价格方面的定量比较尚未见到详细的分析,所以难以下一个简单的好坏结论,从定性角度的比较可见表 3.6.3.1。

2. 液压电控基本原理^[25]

在自动化要求不高、操作不频繁、不需要经常调整的地方常用手动液压控制;而对于操纵费力、操作频繁、有自动化要求的地方常用电动控制。液压电控是通过各种型式和功能的电磁阀和电液阀进行的,不同阀的组合,就可形成不同的基本回路(压力、方向、速度),达到对液压系统控制的目的。

液压阀通常有液控式、手动式、电液式和电磁式等,根据液压系统各种回路性能设计的需要而选择。本节只介绍电液式和电磁式这两种受电路开关器件控制的液压阀的控制原理。

控制各种阀的通断,犹如控制各种类型的继电器,以得到各种液压功能。

1) 溢流阀控制

表 3.6.3.1 电力拖动与液压传动的比较

比较项目		电力拖动	液压传动
动力	名称 工作形式 技术原理 重量 尺寸	电源变换装置 固态 电路理论 相当 大	电动液压油泵 旋转 流体理论 相当 小
执行	名称 工作形式 重量 尺寸	电动机 旋转 大 大	液压马达(油缸) 旋转(往复) 小 小
控制	名称 工作形式 重量 尺寸	电子装置 固态 小 小	阀件 活动部件 大 大
辅助	名称 重量 尺寸	补偿装置、电缆 小 小	油箱、冷却器、管路 大 大
系统	性能 效率 自控 调整 维修 大功率	优 较高 易 易 易 易	良 较低 难 难 难 难

溢流阀用于压力控制回路,以限制液压泵的最大输出压力,相当于电气控制回路中的过电流继电器或电流截止反馈环节。电控溢流阀通常在系统不工作时作卸载功能之用,使液压油通过溢流阀回油箱,并应为失电溢流形式。

2) 换向阀控制

换向阀用于方向控制回路,以控制执行元件的运动方向,相当于电气控制回路中的正反转接触器环节。通常采用三位(零位、正向、反向)四通(一进三出,通向正、反、油箱三路)换向阀,有两只电磁铁线圈,正向反向分别接通其中之一,零位时两只均不通电。也有采用电控双向变量泵(也可手控或液控)来换向的。

3) 流量阀控制和变量泵控制

流量阀和变量泵用于速度控制回路,以控制执行元件的运动速度,相当于电气控制回路中的变电压或变频调速环节。流量阀通常采用节流阀,它会产生发热损耗,类似电气调速中的损耗型调速系统。电磁比例流量阀可根据电气信号大小调节节流孔径,从而控制流量,能用于遥控操作,是常用的电控流量阀。变量泵一般用压力反馈形式控制变量头进行调节,无发热损耗,是节能型调速。

4) 控制电路中的其他环节

a. 失压保护

如同通常电动机控制电路的设计原则一样,液压电控电路中也需设置失压保护,当控制电路失电时,电控液压系统不会工作且处于卸载状态。

b. 零位保护

当电控液压系统采用主令开关操作处于正常工作状态时,电控电路突然失电并复电后,如主令开关还未回零位,能使液压系统不会自动恢复工作的一种保护。必须将主令开关还原到

零位后重新操作,才能使液压系统恢复工作。这是防止事故的安全措施。

c. 联锁保护

这是使某些元件不能同时工作或一种功能元件的动作必须联系到另一种功能元件的动作的一种保护。如方向联锁、泵的起动联锁、主用泵与备用泵的联锁、行程及压力控制与溢流阀的联锁、比例流量阀的调节与基速的联锁等。

d. 信号指示灯与电磁阀不要并联工作,以免影响断电时电磁阀的动作灵敏度。

3. 液压系统电控线路举例

图 3.6.3.1 为液压 500L 链斗式挖泥船的电控原理图的典型环节。该船需对 4 个油泵及 14 个机械进行操作,共有比例调速电磁阀 4 只、电磁溢流阀 7 只、电磁换向阀 28 只。线路中具有失压保护、零位保护及联锁保护,上述液压电控的基本原则均有所包含。

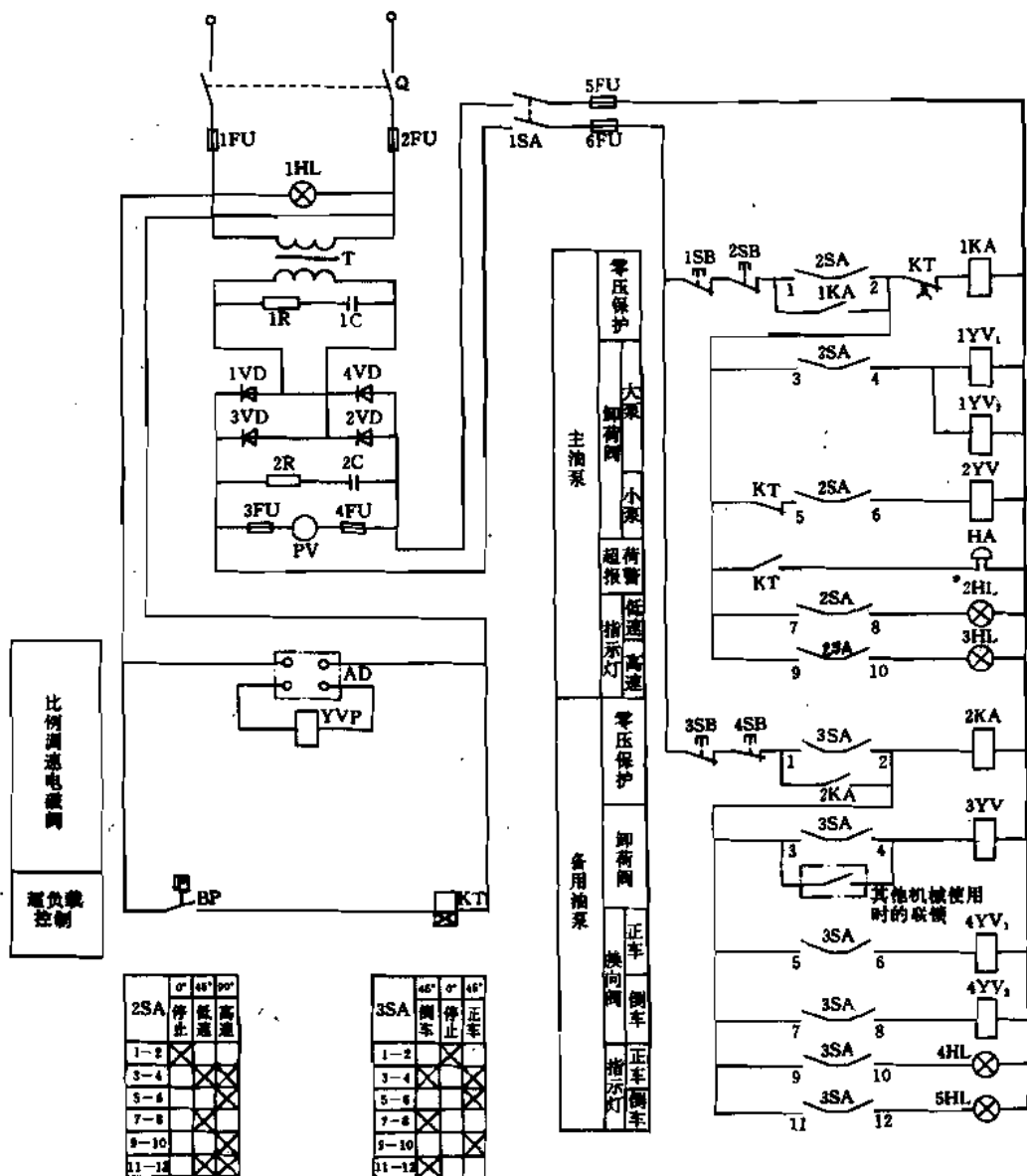


图 3.6.3.1 液压 500L 链斗式挖泥船电控原理图典型环节

3.6.4 中压供电的电力拖动

1. 概述

特种机械由于具有大功率的特点,船舶电站容量往往很大,从技术经济和施工工艺角度考虑,有采用中压供电的必要和可能。船舶中压供电的电压等级是指 1kV ~ 11kV 范围,IEC92-503 出版物及 CCS 规范均已专门规定。

仅从电动机功率大小来划分中压和低压的界线是不科学的,实际上电动机系列内中压和低压的划分也是存在一个带而不是一条线。中压电动机最小功率为 75kW ~ 90kW(不同极数时),而低压电动机最大功率为 180kW ~ 300kW(不同极数时),即在 75kW ~ 300kW 之间存在一个双重区域。中压电动机平均比低压电动机重 8%,贵 40%。

而从电缆来看,在相同的输电能力情况下(110kVA ~ 400kVA 范围内),中压比低压平均轻 52%,便宜 69%,正好与电动机的情况相反。不言而喻,电缆敷设的工作量在采用中压时将大大降低,而这是很难以数字来作比较的。

因此,为了确定以多大功率电机(P)在多远馈电距离(L)时作为中压和低压系统的临界区域,以 PL 值来划分是较恰当的。研究表明^[25], PL 值在 20MWm 可近似作为中低压系统的临界值。这样,在设计中压电力系统时,可将尽可能多的拖动系统纳入中压供电范围,特别当 P 值较大、 L 值较小时更应如此。此时,可使降压变压器的标称功率尽可能小,备用变压器储备功率也可减小。反之,在低压电力系统中,如有远距离较大功率馈电时,只要达到 PL 值,也可采用先变中压以中压馈电,可达到同样的目的。

工程船舶有不少可采用岸电供电,一般也用中压供电。

表 3.6.4.1 列出了采用中压供电的船舶电力拖动参数。

表 3.6.4.1 采用中压供电的特种机械电力拖动电气参数

船 型	电压/kV	电站容量/kW × 台	机械名称	功率/kW × 台
60m ³ 绞吸式	3	岸电	泥泵	170 × 1
120m ³ 绞吸式	3	岸电	泥泵	430 × 1
120m ³ 绞吸式	6	岸电	泥泵	550 × 1
1000m ³ 吹泥船	6	岸电	泥泵	550 × 1
钻井平台	3	1000 × 2	钻机 泥浆泵	500 × 2 500 × 2
采金船	6	岸电	变流机	360 × 1
52000t 浮式生产储油船	3	2800 × 2	输油泵 扫舱泵 消防泵 压载泵	730 × 2 400 × 2 250 × 1 132 × 2
采油平台	6	4300 × 3	注水泵 压缩机	1500 × 3 2000 × 2

2. 中压供电单机拖动

单机拖动一般不调速,只有一个起动问题。只要电网容量允许,一般也限制在 1/4 以下,可采用笼型电动机由中压开关柜全电压直接供电起动。如电网较小,也可采用绕线型电动机串频敏变阻器起动,定子仍用中压开关柜直接供电,转子接入频敏变阻器控制柜,根据起动电流允许值选择起动级数。由于大型异步电动机与同步电动机在效率方面是相当的,仅功率因数由滞后变为超前。所以由船电供电时,不必考虑功率因数问题,也就不考虑采用同步电动机。

机,可简化控制设备。如由岸电供电时,为了减少功率因数补偿装置容量,在超过 500kW 时就可考虑采用同步电动机。

中压开关柜一般应采用真空式或六氟化硫(SF_6)式断路器,可以适用于较频繁的通断控制。中压断路器与低压断路器不同,一般合闸操作采用电磁或弹簧机构,分闸操作采用电磁机构,不用手动操作。中压断路器也不带过电流保护装置,一切保护均通过保护继电器在二次电路中组成,最终动作通过分闸线圈完成。合闸、分闸、控制、保护、信号等电路均采用直流,所以中压系统必须配用带有自动充电装置的直流电池配电柜,电池采用碱性镉镍电池或酸性免维护电池。中压开关柜一般由断路器手车室(包括电流互感器)、母线室、二次仪表室、电缆室等封闭隔离的小室组成,一路出线占用一柜。一般配有过流、差动、失压、接地等保护措施。转子频敏变阻器柜装有频敏变阻器、接触器及继电器等。

图 3.6.4.1 为中压绕线型电动机控制原理图,其定子控制线路完全适用于中压笼型电动

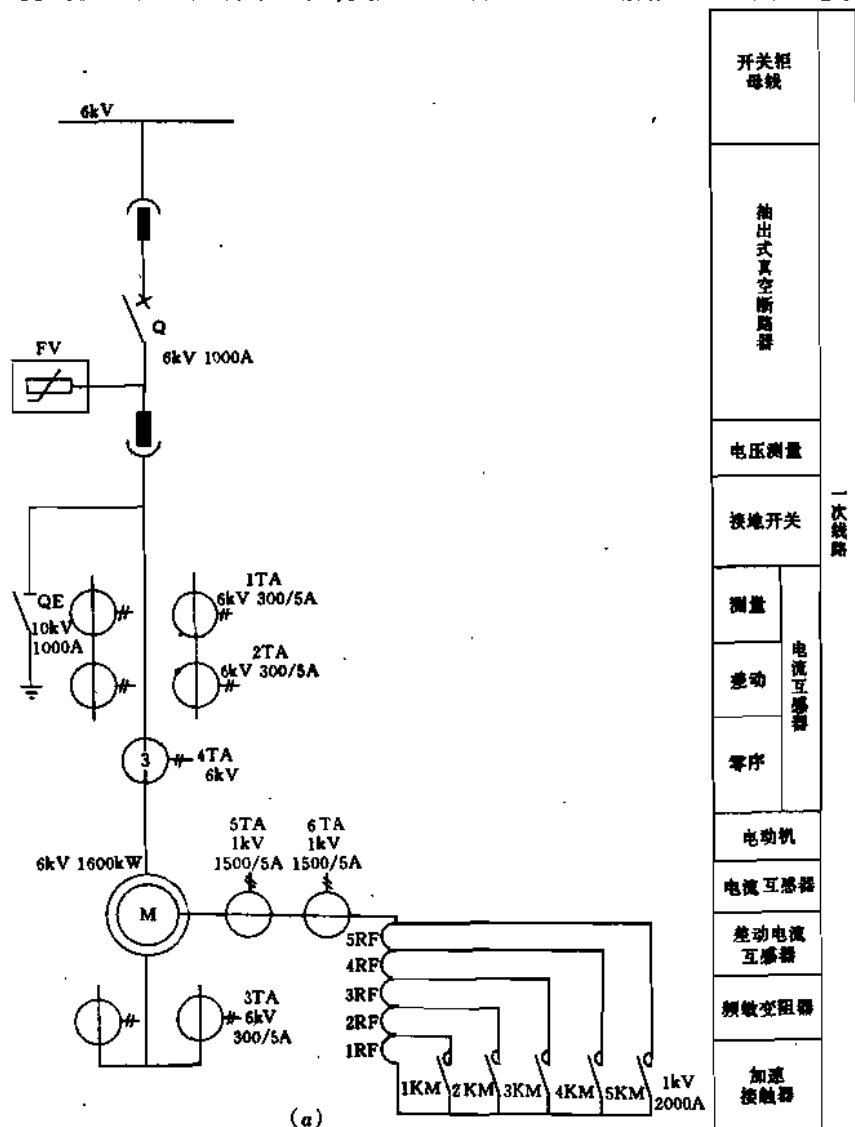


图 3.6.4.1 中压绕线型

(a) 一次线路图;

级,可供选用参考。中压调速拖动在电力推进方面可能会更多的得到采用,如日本“水晶谐波”号客船的 $2 \times 12000\text{kW}$ 、 6kV 变频电力推进^[26]及英国“伊丽莎白女王 2”号客船的 $2 \times 44000\text{kW}$ 、 10kV 变频电力推进^[27]。

主要参考文献

- 1 吴斐文.我国船舶电力拖动的现状和发展.船舶电气设备资料选编.上海:舰船特辅机电设备编辑室,1979
- 2 本书编写组.船舶设计实用手册:第5分册电气装置.北京:国防工业出版社,1973
- 3 (苏)波波夫 В К.电力驱动基础.钟兆骥译.上海:龙门联合书局,1954
- 4 (苏)АНДРЕЕВ В П САБИНИН Ю А.ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.МОСКВА:ГОСЭНЕРГОИЗДАТ,1956
- 5 天津电气传动设计研究所编.电气传动自动化技术手册.北京:机械工业出版社,1992
- 6 吴斐文,顾龙祥.新型的起重型电磁调速控制装置.舰船科研与设计,1985(4):35~40
- 7 朱仁初,万伯任.电力拖动控制系统设计手册.北京:机械工业出版社,1992
- 8 (苏)屠加诺夫 М С.无触点船舶电力拖动.许百春,吴斐文等译.上海:上海科学技术出版社,1980
- 9 上海航道局.AUTISTART3 异步电动机软启动/软停止装置说明书,1987
- 10 SIEMENS.SIMATIC 样本.STCS2.1,STCS2.3,STCS4.1.上海:上海西门子工业自动化有限公司,1995
- 11 佟纯厚等编.风机水泵交流调速节能技术.天津:中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会,1984
- 12 SDI26-84 电力系统谐波管理暂行规定.北京:水利电力出版社,1984
- 13 黄建章.晶闸管变流装置的谐波问题.船舶,1994(2):58~61
- 14 姚沛然.使用异步电动机时的节能技术.船舶,1995(6):48~56
- 15 陈锡云,王元旦.船用燃油锅炉炉内自动控制系统实施.中国电工技术学会船舶电工专业委员会第六届学术年会论文集.163~169.上海:《船电通讯》编辑部,1993
- 16 夏永明.船用锅炉炉内单片机控制系统.中国电工技术学会船舶电工专业委员会第六届学术年会论文集.158~162.上海:《船电通讯》编辑部,1993
- 17 陈锡云,王元旦.PLC在船舶中的推广、应用.中国国防科技信息网联合会船舶分会船舶电气专业网第九届学术会议论文集,1996
- 18 上海电器科学研究所八室.交流恒力矩起货电动机和控制装置的研究.舰船特辅机电设备编辑室编.船舶电气设备资料选编,1979
- 19 郑华耀,徐品亨.船舶起货机单片机实时控制.中国电工技术学会船舶电工专业委员会第五届学术年会论文集.上海:《船电通讯》编辑部,1989
- 20 吴质根等.用于5吨船用回转起货机的三输出发电机和控制装置.船电通讯,1989(3):19~30,1990(1):6~11
- 21 陈三宝,唐晓敏.船舶起货机双向晶闸管交流调速系统及特性分析.中国电工技术学会船舶电工专业委员会第六届学术年会论文集.上海:《船电通讯》编辑部,1993
- 22 CB 3129-82 液压舵机通用技术条件.北京:全国船舶标准化技术委员会,1982
- 23 本书编委会.轮机工程手册.北京:人民交通出版社,1994
- 24 吴斐文.工程船舶特种机械电力拖动.北京:国防工业出版社,1979
- 25 吴良宝,黄德峰,魏虎仁.船舶液压传动系统.北京:国防工业出版社,1987
- 26 (日)武田幸男.日本船舶电力、电子系统的最新话题.上海:中国电工技术学会船舶电工专业委员会,1992
- 27 黄建章.客船电力推进装置中的变频调速系统.船舶,1994(2):41~46

第4篇 船舶电力推进

第1章 电力推进一般问题

4.1.1 电力推进的分类

电力推进可按原动机类型、电流种类和装置功能来分类。

1. 按原动机类型分

1) 柴油机电力推进

柴油机是目前船舶电力推进中广泛采用的原动机,特别是中小型船舶。为了减轻重量和减小体积,电力推进一般采用高中速柴油发电机组。

2) 汽轮机电力推进

一般适用于大功率电力推进以及船上本身需要大量蒸汽消耗的船舶。汽轮机可用低级廉价的燃料,降低营运成本,其缺点是需要蒸汽锅炉,使动力装置占用面积大,重量亦大。

3) 燃气轮机电力推进

燃气轮机功率大、体积小、重量轻、结构简单、起动快,其缺点是寿命短,加之转速很高(达10000r/min以上),故需加装减速器,这样却又抵消了重量轻的优点。

4) 原子能装置电力推进

把原子能反应堆中产生的热能,通过热交换器,加热蒸汽或惰性气体,然后通过汽轮机发电。作为船舶电力推进,它可以不需燃料储备而航行很长时间,因而特别适合于破冰船、潜艇、远洋船等大中型船舶。

5) 燃料电池电力推进

燃料电池是直接或间接地使用燃料氧化自由能的化学电池,其热效率可达90%,大大高于现有的一切热机。燃料电池的单位容积和单位重量的能量输出大(可达70kWh/m³)。它与通常的电池不同,只要连续供应燃料就能连续产生电能。此外,它工作可靠,无噪声,并可根据需要任意串、并联。这些优点使燃料电池在电力推进中的应用具有广阔的发展远景,目前尚处于试用阶段。

6) 太阳能电力推进

利用组装在船(艇)顶上的太阳能电池,把太阳能直接转变成电能,驱动推进电动机。由于通过采用由微机控制的高效率的DC/DC转换器,可确保太阳能发电机在最佳工作点运行,而不管天气状况和蓄电池充电情况如何,总是给出最大合计功率。这种推进无需燃料,可满意地符合对环保的日益严格的要求,特别适用于中小型游艇^[1]。

2. 按电流种类分

按电流种类可分成直流、交流和交直流系统电力推进。前两类将在本篇第2章、第3章分

别叙述。交直流系统是采用电力电子技术把交流发电机和直流电动机结合成一个系统,它既具有直流系统的操纵灵活性,又可以采用高速原动机和发电机,改善了技术经济指标,其实例见 4.2.7。

3. 按装置功能分

1) 独立电力推进装置

螺旋桨专由推进电动机带动,如图 4.1.1.1 所示,这是最常用的电力推进方式。主发电机除供电给推进电动机外,有时尚可把一部分电能供给船舶电网。

2) 联合电力推进装置

这种装置如图 4.1.1.2 所示,它可以有 4 种工况:

- 螺旋桨由推进电动机带动(此时主柴油机与螺旋桨脱开),作低速航行。
- 螺旋桨由主柴油机带动(此时推进电动机与螺旋桨脱开)。
- 螺旋桨由主柴油机与推进电动机共同带动,作高速航行。
- 在航行时推进电动机由主轴带动,作发电运行,把电能回馈给电网(相当于轴带发电机)。

这种装置常用在测量船、调查船和科学考察船上,一般只有前两种工况。如某航道测量船就是采用此类电力推进,其主机功率 $2 \times 1500\text{kW}$,航速为 17.0kn ,推进电动机功率 $2 \times 55\text{kW}$,在只使用推进电动机时,航速为 3kn 。

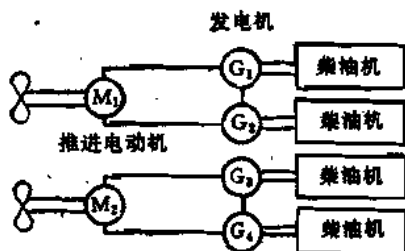


图 4.1.1.1 独立电力推进装置

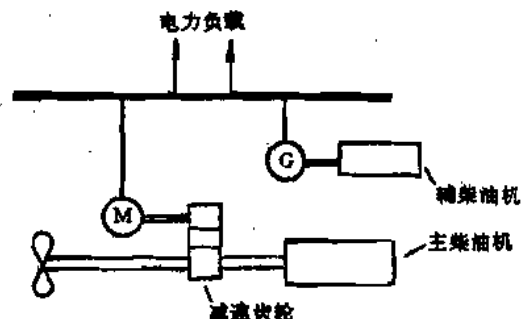


图 4.1.1.2 联合电力推进装置

3) 辅助电力推进装置

主发电机用来供电给主要工作机械,而在航行时,主要工作机械不工作,主发电机供电给推进电动机,如图 4.1.1.3 所示。这种装置用在自航式起重船、挖泥船和水上工厂等工程船上。

4) 特殊电力推进装置

主机工作时,除带动螺旋桨外,尚带动推进电动机,此时,推进电动机实际上用作轴带发电机,供电给蓄电池充电。主机不工作时,由蓄电池供电给推进电动机,如图 4.1.1.4 所示。这

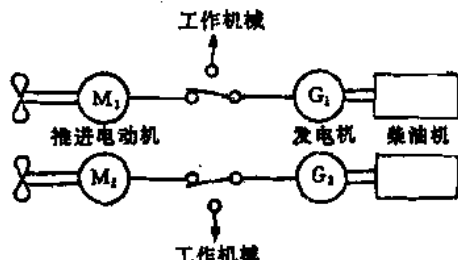


图 4.1.1.3 辅助电力推进装置

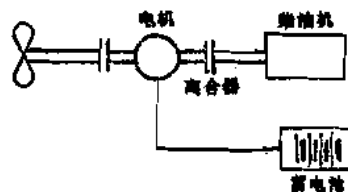


图 4.1.1.4 特殊电力推进装置

种装置常用在潜艇上。

5) 主动舵电力推进装置

为了获得良好的船舶低速回转性能,可在舵板内装设潜水电动机,由电网供电后带动一小螺旋桨,即成为主动舵。我国某调查船采用了主动舵电力推进。

4.1.2 电力推进的优缺点及应用

正确和全面地认识电力推进优缺点,对于编制推进装置的方案比较是十分重要的。以下优缺点是一般性的,而且是相对的,在一定条件下会相互转化,因此在应用于各类具体船舶时,应按其用途及运行方式的不同区别对待。

1. 优点

1) 可采用中、高速原动机,以减小体积和重量。

2) 原动机可在最大限度上统一化,以至标准化,从而可减少备品,提高互换性。如两台 450kW 的柴油发电机组可驱动两个 400kW 或一个 800kW 的螺旋桨,四台可驱动两个 800kW 或一个 1600kW 的螺旋桨。也就是说,一型 450kW 的柴油发电机组就可适应船舶螺旋桨功率从 400kW 至 1600kW 的需要。

3) 提高船舶的营运率。通常,电力推进的原动机在两台以上,且常另有备用,故可轮换在航行中进行检修;而且由于高速柴油机体积小,甚至可在码头停泊的较短时间内,进行整台更换而不影响航行。

4) 有利于船舶总体布置,也便于建造和营运管理。推进电动机设在船尾部,而机舱可设在船舶的任意位置,故便于总体布置。如耙吸式挖泥船,由于采用电力推进,泥泵与推进电动机均由主发电机组供电,就可把机舱设置在船尾部,船首部的泵舱可不设原动机,便于营运管理。

推进电动机在船尾部,推进轴短,不需要尾轴隧,不但可提高舱室的水密性,也便于安装,加之高速柴油机可整台吊装到船上,这些都加快了船舶的建造。

高速柴油发电机组体积小,在机舱内可考虑采用双层布置,从而减少占用面积。

电力推进的原动机不需要反向,一般也无需变速运行,起动操作次数减少,原动机的磨损也减少,从而延长了使用寿命,减少了维修工作和维护费用。

5) 可更合理地选择螺旋桨的尺寸和转速,不必受原动机的限制,从而使螺旋桨和原动机都工作在最佳状态。

6) 在轻负载时可使用一部分原动机,从而提高动力装置的运行效率。

7) 螺旋桨与原动机之间无机械联接,故螺旋桨受到波浪或冰块冲击,不会直接传给原动机。这一点对有些船舶,如破冰船等具有十分重要的意义。

8) 易于实现驾驶室遥控和驾驶自动化。由于电动机操纵灵活,可无级调速、快速逆转,还可通过自动调节获得螺旋桨的堵转性能和恒功率调速,故船舶机动性好。

9) 可综合利用船舶动力装置,减少装置数,提高运行经济性。在电力推进需用功率较少时,可把多余电能输送给船舶电网或大型辅机,如渔船的拖网、冷藏加工用电以及供电给挖泥船的泥泵。

2. 缺点

1) 由于能量的两次转换——机械能到电能,再由电能到机械能——因而比原动机直接推

进效率要低。

- 2) 由于增加了发电机和推进电动机,故整个动力装置的价格高,且增加了重量。
- 3) 采用高速原动机噪声大、寿命短。
- 4) 对维护人员技术要求较高,还需要配备比较熟练的电气技术人员。

3. 应用

1) 渡轮

电力推进易于集中控制,可在驾驶室直接操纵船舶,也可方便地在船首部及左右舷装设侧向推进器,这使渡轮在港口交通要道和狭窄航道中能灵活和安全地航行,也使靠码头快速准确。我国的某些火车渡轮就采用了电力推进。

2) 挖泥船

耙吸式挖泥船采用电力推进的最大优点是挖泥机械(大功率泥泵)不必由专用的原动机带动,供电装置的功率可给耙吸工作和推进任意分配使用。这样,不仅可减少原动机数量,提高装置运行经济性,还可节省机舱值班人员和维护,降低挖泥成本。对于其他类型的挖泥船,如链斗式挖泥船,在需自航时,也常利用挖泥机械的电力供推进使用。如 $180\text{m}^3/\text{h}$ 挖蛎壳船就采用交流变频控制电力推进,详见第3章。

3) 破冰船

电力推进在低速时能发出大推力,可出色完成破冰任务,它的堵转特性使机组不会超载,并在螺旋桨被冰块卡住时也不会发生事故,这对破冰船尤为重要。电力推进装置在机动状态时的快速反应和自动恒功率调节,也改善了破冰工作效率。

4) 起重船

在自航的起重船上,可利用起重机械的电力作为推进动力。如某 50t 起重船,装有两台 65kW 的柴油发电机组,起重作业时,供电给起重机械;航行时供电给两台 55kW 的推进电动机,此时船的航速约 3kn。

5) 渔船

可根据各工况的不同要求,方便地把电能适当分配至推进、捕捞和冷藏机械等。如对拖网渔船,在拖网捕鱼时,除把一部分电能供低速推进外,其余可供电给拖网、冷藏与其他设备,在捕捞完毕返回基地时,可把全部电能供给推进装置,全速返回基地。

6) 拖轮

电力推进装置可在广泛范围内调速,故可保证从自由航行到拖带状态都发出全功率,给出拖航的最佳效率。此外,在拖带过重时,可实现堵转,避免事故发生。由于电力推进可方便地在驾驶室控制,保证了正确的操纵和拖带的安全,这对港口拖轮尤为重要。

7) 调查船和测量船

这些船上的甲板机械、附属设备和科研仪器需要大量的电能,它可与电力推进装置一起从主发电机组获得电能。电力推进所具有的较高机动性,低速航行特性和堵转特性等,对航行状态多变、航区复杂的调查船和测量船都是必不可少的。

8) 消防船

消防船在急驶火场时,须把主发电机组的全部功率用于推进;在到达火场后,只需以少量电能供低速推进,在火场周围缓慢航行,而把大部分电能供给消防泵。电力推进不仅可减少消防船上的原动机数,且可在驾驶台集中控制,使消防船处于最佳灭火位置,迅速完成任务。

9) 救生打捞船

同消防船相似,在急驶救生地点后,救生打捞设备(如空压机、绞车等)可从主发电机组获得大量的电能。

10) 领港船

采用电力推进,可精确控制低速推进,保持船位不变,在恶劣气候下移船时,电力推进可增加其安全性。由于领港船工作中包括了相当长时间的低速航行(用来瞭望船只),采用电力推进后,可只开一部分主发电机,增加了经济性,减少了燃料消耗,在一定燃料储备下,减少了返航添加燃料的次数,增加了营运时间。

11) 布缆船

布缆时需稳定和保持正确的航向,以及较大范围内调节的低速推进,电力推进可满足上述要求,也可把低速推进时剩余的电能用于布缆作业。

12) 航标工作船

在敷设和维修航标时,电力推进可满足低速推进,使船舶逐渐靠近和保持在航标位置,进行作业。我国某沿海航标船就采用了电力推进。

13) 客船

由于现代交流变频调速系统的实际应用,使得交流变频电力推进系统具有可靠性高、灵活性好、振动小、噪声低等特点,这些对于客船,特别是豪华旅游客船是至关重要的^[2]。如大型远洋客船“伊丽莎白二世女王”号就由汽轮机推进改装为柴油机电力推进^[3]。

14) 油轮

作为电力推进动力源的主发电机,在不用于推进时可用于货油泵、消防泵、货物冷藏和加热等,且可由任意数量的主发电机组来满足所需的推进功率的不同要求。如北极油轮的电力推进系统对船东和使用者就具有极大吸引力^[6]。

4.1.3 螺旋桨特性及功率估算

1. 螺旋桨正反转特性曲线

螺旋桨是推进电动机的负载,要进行电力推进系统的设计,必须了解螺旋桨的特性曲线(见图 4.1.3.1),此曲线由总体设计提供。

1) 自由航行特性曲线

自由航行曲线是船舶在风平浪静的静水中航行时的螺旋桨机械特性曲线,如图 4.1.3.1 中的曲线 1。此曲线可近似地用二次方程表示:

$$T_1 = K_1 n^2 \quad (4.1.3.1)$$

式中 T_1 ——螺旋桨在自由航行状态时的转矩(Nm);

K_1 ——自由航行状态时的常数;

n ——螺旋桨转速/ $r \cdot \min^{-1}$ 。

2) 抛锚特性曲线

抛锚特性曲线是船速等于零时的螺旋桨机械特性曲线,又称系缆特性曲线,如图 4.1.3.1 中曲线 2。它也可近似地用二次方程来表示:

$$T_2 = K_2 n^2 \quad (4.1.3.2)$$

式中 T_2 ——螺旋桨在抛锚状态时的转矩(Nm);

K_2 ——抛锚状态时的常数($K_2 > K_1$)。

螺旋桨特性曲线是随着船舶推进阻力变化而改变的一簇曲线,而自由航行特性曲线与抛锚特性曲线只是其中的两条典型特性曲线。当船舶航行阻力增大时(如拖曳其他船舶,遇有逆风、浮冰等),螺旋桨特性曲线将往上移,处于自由航行特性曲线与抛锚特性曲线之间,如图 4.1.3.1 中曲线 4 所示。当船舶航行阻力较自由航行状态阻力更小时(如船舶在顺水、顺风中航),螺旋桨特性曲线将较自由航行特性曲线更低,如图 4.1.3.1 中曲线 5 所示。

3) 反转特性曲线

反转特性曲线是船舶倒车时螺旋桨的机械特性曲线,如图 4.1.3.1 中曲线 3(全航速下反转)。当在较低航速下使螺旋桨反转时,其特性曲线所对应的转矩值将较全速反转时特性曲线的转矩值为低,如图 4.1.3.1 中虚线所示的一簇曲线。在航速为零时反转螺旋桨,其特性曲线就是一条反向的抛锚特性曲线,它与抛锚特性曲线相对称,如图 4.1.3.1 中曲线 6 所示。

反转特性中出现负制动力矩,是由于船舶继续按原航向前进,螺旋桨在水压作用下将力图保持原先的旋转方向,此时螺旋桨不再作为推进器工作,而是作为水力发动机运行。

倒车时的负制动力矩是随着船舶原来航速的增加而增加,如图 4.1.3.1 中所示。

螺旋桨反转的时间很短,是以秒来计算的,而船舶的倒车(如由全速前进到全速后退)所需时间却很长,是以分来计算的,两者过渡过程的时间相差甚大(如可达 100 倍~150 倍)。因此必须把螺旋桨反转与船舶倒车区别开来。

在螺旋桨由正转改为反转的过程中,船舶还是继续前进的,航速改变得极少,可不计。推进电动机转矩必须大于螺旋桨反转特性曲线上的最大负转矩值(如图 4.1.3.1 中 B 点),才能将螺旋桨反转。

2. 功率估算

螺旋桨所需的功率及转速由总体设计提供,在估算推进电动机功率 P_M 时,必须计及轴系效率 η_s ,如下式:

$$P_M = \frac{P_s}{\eta_s} \quad (4.1.3.3)$$

式中 P_s 为螺旋桨所需轴功率。一般 η_s 取为 99%。

由推进电动机功率,计及推进电动机效率 η_M 和推进主电路网络效率 η_N ,就可估算出主发电机总功率 P_G ,如下式:

$$P_G = \frac{P_M}{\eta_M \eta_N} \quad (4.1.3.4)$$

一般 η_N 取为 97%~99%。

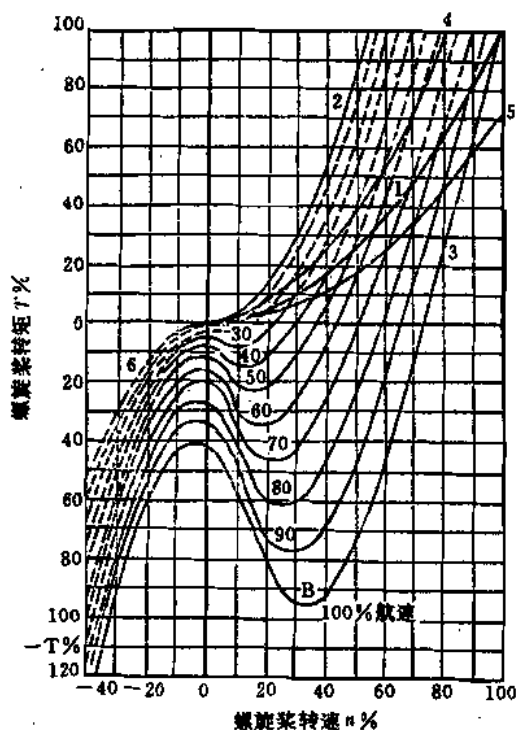


图 4.1.3.1 螺旋桨正反特性曲线

在估算时,应考虑到多台主发电机和多台推进电动机等情况。

4.1.4 对电力推进装置的要求

用于电力推进的电机和开关设备容量较大,往往无现成产品可供选用,需根据具体要求进行试制。在进行电力推进装置设计或制造时,应符合国际电工委员会 IEC92-501“船舶电气设备 专辑——电力推进装置”^[4]的要求,对于入级船舶,其电力推进装置尚应符合相应船级社的有关要求。

1. 对系统要求

1) 主发电机台数一般应不少于2台,以在其中一台发生故障时,船舶仍可继续航行。

2) 对电力推进装置,应采用可靠的保护方法,一般把保护作用到主发电机励磁回路(在某些情况下,也可作用到推进电动机励磁回路),而不是采用直接断开主电路开关的方法。在必须断开主电路时,对于操纵线路开关、磁场开关和类似装置的所有手柄都应予以联锁,以防其误操作。磁场手柄应装有联锁,以防在磁场的励磁没有先行降到零之前就断开任何主电路^[5]。

3) 主发电机和推进电动机用的开关最好为空气断路型,但对交流系统,如这些开关设计成能在全电压时断开满载电流,且具有防漏、不会溅出之容器,也可使用不可燃液体的油断路器^[5]。在电机功率超过2000kW时,建议装备灭火设备。

4) 主发电机和推进电动机最好采用强迫通风,以减小体积和重量,对推进电动机尤应采用强迫通风,以避免在船舶制动或倒车时过热。在采用单独通风系统时,电动通风机最好布置成:对推进电动机采用管道通风;对主发电机采用自带鼓风机的强迫通风,这样对机舱布置有利。为了安全可靠,对一台推进电动机最好安装两台电动通风机,每台的风量应不小于总风量的一半,一台主发电机可安装一台电动通风机。最好用舷外水循环冷却的空气冷却器来冷却强迫通风系统的空气。电机冷却通风管路口要安装金属网罩。

2. 对原动机要求

1) 原动机与主发电机应安装在同一基座上。

2) 任何类型的原动机均应装设调速器,当负载从满载变到空载时,调速器能使原动机保持预置的稳定转速,其转速变化不大于满载额定转速的5%。

如螺旋桨的转速控制要求原动机的转速变化,则调速器应设有机旁手控和遥控装置。

在发电机并联运行时,所用的调速系统应允许在原动机的全部运行转速范围内保持稳定运行。对并联运行的主发电机,除每台发电机具有单独调速系统外,还应设置各发电机的遥控调速系统。

3) 原动机额定功率连同它的过载能力和增载能力,应足以供给因船舶处于机动状态以及海况和气候条件,而使电气设备运行工况瞬时变化期间所需的功率^[4]。

4) 应采取措施以保证主柴油机,在已划定的转速禁区范围内,不可能持续运转^[5]。

5) 主柴油机应采用压缩空气起动或电起动。对采用压缩空气起动者,应设有起动空气低压报警,该低压整定于某一仍允许主柴油机起动操作的压力值。如设有主柴油机的自动起动,则其自动连续起动尝试的次数应加以限制,以维持用于手动起动用的足够能量。

3. 对主发电机、推进电动机和半导体变流器要求

1) 如电机采用强迫通风,则应借助于易在电机外部直接读数的温度计或由合适的温度检

测器引发的远距离的声响报警器来连续监测其冷却空气温度。

对于用热交换器的封闭循环冷却的电机,应监测其一次和二次冷却剂流。可用绕组温度的监测和报警来代替冷却剂流的报警。

2) 所有额定功率在 500kW 以上的交流电机的定子绕组和直流电机的换向极绕组应装有温度传感器。

3) 主发电机的布置应使在一组励磁系统发生故障或一组励磁系统的一个电源发生故障时,船舶推进仍能得以保持。如装设两台或两台以上的主发电机组,则可降低功率进行推进,但此降低后的功率应足以提供不低于 7kn 或设计航速之 1/2(取小者)的航速。

4) 为了检查和修理,应采取措施,使工作人员能接近定子和转子线圈以及拆卸和调换磁场线圈。

应留有适当的通道以修整换向器和滑环的表面以及更新和研磨炭刷。

5) 即使电机在相当长时期内不运行,也应在电机内采取有效措施,例如用空间加热器来防止积聚潮气和冷凝水。

6) 电机的接线盒应布置在机座的上部,电缆最好通过填料函引入接线盒。对于直流电机需装设防无线电干扰电容器(耐压试验时应拆除电容器接线)。

7) 主发电机结构应为防溅式。对原动机轴系过低,在花铁板以下者应为防水式,并设放水孔,机座为上下可分式。

8) 对封闭式主发电机,应安装适合于电气设备失火的灭火系统。

9) 推进电动机外壳在轴线以下者应为防水式并设放水孔,轴线以上者为防溅式。

10) 直流推进电动机的转子应能承受得住其超速保护装置所整定的超速值。

11) 如半导体变流器采用强迫通风,则其冷却系统应装有监测设施。

12) 推进电动机转子的直径应尽可能小,以减小转动惯量,减少反向和调速时的过渡时间,提高机动性。

4. 对励磁机组要求

1) 励磁机能达到的电流和电压及其电源应与在机动和包括短路在内的过载期间所需的输出相适应。

为此应注意旋转机组的轴和联轴节的强度及其驱动机的功率。

2) 励磁机组应为防溅式,并附有自通风。

3) 允许由定压励磁机供电给推进装置的控制、保护与专门的操纵电路。这些电路应经单独的自动开关或熔断器获得供电。

4) 应能就地与远距离起动励磁机的拖动电动机。

5) 同步发电机与同步电动机的励磁机应为他激式,因其外特性较硬。直流推进电动机的励磁机允许采用自激式。

5. 对控制装置要求

1) 主推进系统的操纵控制器可以设置在任何方便的地方。如控制器布置在机舱外,则应在推进装置近旁设置一也能从机舱或控制室进行控制的装置。

2) 操纵控制器可采用手动操作或动力辅助操作,也可采用两者联合操作。

手动操作时,所有的操纵开关、磁场调整器和控制器,均应不需要过分用力就能操纵。

3) 当对推进系统设有两个或两个以上的控制站时,一般应区分主控制站和副控制站。

推进装置的主控制站应能实现包括起动、停机以及重要的泵和电动机的转换等控制,还应

装设有效的设施,以检测温度、压力、电气系统、液流和气流、液位以及对于推进装置的运行为必不可少的其他参数。

4) 推进装置的主控制站应具有转换功能,以能随时将控制从一个副控制站转换到主控制站,并能同时闭锁来自任何副控制站之未经授权的控制命令。应考虑到在特殊情况下,例如电缆敷设船、测量船、挖泥船等船舶上可能必须使一个副控制站具有超越于控制站之间的转换控制而发令的能力。

5) 从一个控制站到另一个控制站的控制转换,除了主控制站可越控之外,只有在得到接收站应答后才能进行。主、副控制站均应具有表明哪一个控制站正处于控制状态的指示器。在从一个控制站向另一控制站进行转换时,推进器的推力不应发生显著变化。

6) 应装有独立的手动控制设施,以供集中控制系统中个别的控制失效时使用。其应设有必要的仪表,以使推进装置在独立的手动控制下能长期满意地运行。此独立的手动控制应在试验或试航中验证。此项试验应包括在全部操纵范围内进行独立的手控,以及从自控转换到手控。

7) 通常,从驾驶室或其他位置用于控制推进装置的副控制站应尽可能简单,仅设置用于正常运行,为有效地控制推进电动机转向和转速,以及为有效地控制可调螺距螺旋桨(如装设)所必需的控制器和指示器。这种遥控应以某一控制器用于一个螺旋桨的方式进行。在驾驶室控制时,其他控制位置应不起作用。

8) 由于任何原因,控制系统自动地使主机停机时,在主控制站和每一副控制站均应发出报警。只有在手动复位后才能恢复正常工作,不允许有自动再起动。

9) 主推进装置应在驾驶室内设有紧急停机设施,该设施应独立于驾驶室控制系统。

10) 推进遥控系统的控制用电发生故障时,应能发出报警,推进装置应以最后指令的推进器转速和推力方向继续运行,直至就地控制投入运行或控制用电得以恢复为止。

6. 对控制板(台)要求

1) 控制板可与主配电板组合在一起,其上装以转换、保护与信号电器及测量仪表。结构可为可拆式,便于安装和检修。

2) 对控制板的要求与对一般配电板要求相同。在面板上醒目处或侧门上应有最高电压指示及高压危险指示。面板上最好附示原理图。

3) 对直流电力推进装置,控制器上刻度盘应有五个“前进”、五个“后退”及一个“停止”刻度。五个刻度的名称为“最低速”、“低速”、“中速”、“全速”及“最高速”。手柄转动角度不超过 180° ,即 $-90^\circ \sim 0 \sim 90^\circ$ 。

4) 每一推进轴在控制台上都应有单独的手柄。手柄移动的方向应与船舶航行方向一致。

5) 如在驾驶室内有几个控制台,则要求各控制台上相应手柄能同时一起转动。

7. 对仪表和电缆要求

1) 应装有指示各时刻存在状态所必需的仪表,这些仪表应装设在便于操作手柄和开关的控制板(台)上。装设的仪表应加上铭牌,且应划有指出其满负载情况的显著标记。所有固定装设仪表的金属箱体均应永久性接地。

2) 对交流推进系统,其每台主发电机应装有一只电流表、一只电压表、一只指示式功率表和一只转速表(或频率表)。如主发电机拟并联运行,尚需设功率因数表或无功功率表或磁场电流表。

对额定功率在500kW以上的主发电机,应装有一只能直接读出定子绕组温度的指示器。

对每台推进电动机应装有一只电流表、一只磁场电流表。对额定功率在 500kW 以上的推进电动机,应装有一只能直接读出电动机绕组温度的指示器。

对每一推进器轴应装有一只转速指示器。

3) 对直流推进系统,其每台主发电机应装有一只电流表、一只电压表和一只磁场电流表。

对每台推进电动机应装有一只电枢电流表和一只磁场电流表。对由半导体变流器供电的推进电动机尚应加装一只电枢电压表,且在变流器的每一并联桥路的输入端加装一只电流表。

对额定功率在 500kW 以上的推进电动机,应装有警告换向极绕组温度过高的装置。

对每一推进器轴应装有一只转速指示器。

4) 电力推进装置间外部连接电缆的导体,除用于计算机、巡回检测装置或其他所需电流很小的自动化设备的电缆和互连接线外,均应为不少于 7 股的绞线,导体截面积应不小于 1.5mm^2 。

所有电缆的机械强度和绝缘性能应足以完成其预定的任务,而不应危及船舶安全。

8. 对系统保护要求

1) 如在主电路中有过电流保护装置,则其应整定得足够高,以使它们不可能因船舶机动或在恶劣海况中或在飘浮的碎冰块中正常运行所引起的过电流而动作。

2) 对在轻载或失落螺旋桨时,有可能产生推进电动机过度超速的直流推进系统,应设置适当的超速保护装置。

3) 在励磁电路中,不应设置会引起励磁电路断开的过载保护装置。

4) 推进电机的励磁电路应装设对地漏电检测设施,但对无刷励磁系统的电路和电机额定功率不超过 500kW 的电路可省略。

5) 在设计直流电机及其保护系统时,应考虑在一旦短路时,将损坏减至最小所必需的措施。

6) 半导体变流器中的半导体元件应以熔断器保护。

7) 如螺旋桨有可能堵转(例如在破冰工况),则应设置防止推进装置损坏的保护。

8) 同一推进轴上有两台或两台以上主发电机,两台或两台以上半导体变流器,或者两台或两台以上推进电动机的电力推进系统,应布置成任一设备都能退出运行,且能在电气上予以隔离。

第2章 直流电力推进

4.2.1 概 述

1. 直流电力推进的特点

由于直流电力推进一般采用发电机-电动机系统(G-M系统)或恒流制系统,可以通过改变发电机、电动机的励磁来达到控制螺旋桨转速和转向的目的,而不必改变发电机组的转速,也不必换接主电路。这样,不但可实现广阔、平滑和经济的调速,而且由于励磁功率要较主电路功率小得多,因而易于遥控。由于推进电动机的转速与发电机转速无关,因而有可能在船舶推进阻力改变时,使用装置的全功率。

与交流电力推进相比,直流电力推进设备较重,较大,价格较贵,效率较低,同时在设备简单、可靠和易于维护等方面都不如交流电力推进。

由于上述特点,直流电力推进一般较多地应用在要求机动性高的中小型船舶上,如渡轮、拖轮、破冰船等。近年来,以交流无刷发电机发电,经晶闸管整流供电给直流推进电动机的交直流电力推进系统得到广泛应用,详见4.2.7。

2. 直流电力推进的分类

1) 恒电压制

即在一般的船舶直流电网中接入推进电动机。由于电网的电压是不变的,因而为降低推进电动机的起动电流和进行调速,需在其电枢回路中串入很大的电阻,使其不经济,运行效率低,调速范围也受限制,故一般不采用。

2) ACG-SCR-DCM系统

这种系统把定速运转的交流发电机(ACG)所发出的交流电,经晶闸管装置(SCR)变换成可变的直流电,供直流推进电动机(DCM)运行。其工作原理如图4.2.1.1所示。此系统为交直流电力推进系统,是目前采用较多的电力推进系统。

3) 发电机-电动机(G-M)系统

这种系统又可分为:简单的G-M系统、具有差复激的G-M系统、具有三绕组的G-M系统、具有电机放大机的G-M系统和具有晶闸管整流器的G-M系统等,详见4.2.3。

4) 恒流制系统

在恒流制系统中,所有主发电机和电动机的电枢在主电路里是全部串联的,如图4.2.1.2所示。主发电机1G,2G的励磁绕组 TQ_g 由多绕组的励磁机EX(操纵的恒流制)或电机放大机(调节的恒流制)供电,自动保持主电路电流的恒定。电动机1M~3M的励磁绕组 TQ_m 可由多绕组励磁机、电机放大机或直接从直流电网通过电位器或变阻器供电。由于主电路中总是流过一个恒定的电流,因此当不给电动机励磁时($\Phi=0$),电动机不会输出转矩($T=C_m\Phi I=0$);当电动机有励磁时,即

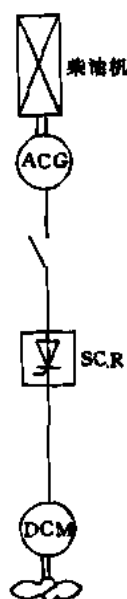


图 4.2.1.1
ACG-SCR-DCM
系统单线
示意图

输出一个转矩,其值与励磁的大小成正比。如此转矩大于负载转矩,电动机就加速,直至两转矩相等。所以电动机转速系由这两个转矩的平衡状态决定,而不像恒压制中由两个电势的平衡状态决定。因此调节电动机的励磁,即调节了电动机的转矩和转速。如给电动机以相反方向的励磁,电动机就将反转。当负载转矩大于电动机转矩时,电动机将降速,当螺旋桨被外力卡住时,电动机就堵转,系统的负载电流及力矩均自动保持在一定范围内,故恒流制系统特别适用于拖动那种在运行中经常发生过载甚至可能堵转的机械负载。反之,当负载在运行中发生突然轻载以至失载时,如螺旋桨逸出水面或脱落等,电动机的转速可能被恒定的电动机转矩加速到不允许的数值,因此应装设超速保护。

由于主电路电流能自动保持恒定,主电路中可串联很多只电枢电流相同(或相近)的电动机,这些电动机可各自运转,互不影响。各电动机可任意正反转和快慢速调节,完全由操纵各自电动机的励磁进行控制。这一点,在G-M系统中就办不到。例如在某火车渡轮上,两个主推进器和首尾两侧向推进器需按工况以不同功率同时或交替使用、分别操纵,采用恒流制就非常适宜。又如对双桨船,发电机为单数,而又需要分别操纵两只螺旋桨时,若采用G-M系统,发电机就不宜分配,而采用恒流制就很方便。

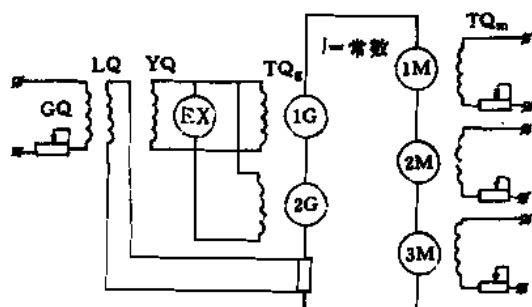


图 4.2.1.2 直流恒流制系统

4.2.2 主 电 路

1. 电压参数选择

由于电力推进的功率较大,故应尽可能采用较高电压,使主电路中电流不致过大,以减小电缆截面和电器导电部分尺寸,但一般在主发电机和推进电动机电枢上的电压应不大于 1000V。在主发电机电枢串联时,主电路的连接应使主电路中任意两点之间的电压不大于 1000V。

当主发电机除供电给推进电动机外,尚需供电给船舶电网或专用电气设备时,可根据电网或用电设备的电压来选定较低的发电机电压。如某航标船选用了 230V。

2. 电动机采用单、双电枢的选择

在相同的功率下,单电枢电动机与双电枢电动机的比较见表 4.2.2.1。由此表可知,单电

表 4.2.2.1 单、双电枢电动机的比较

序 号	比 较 项 目	单电枢	双电枢
1	体 积	小	大
2	长 度	短	长
3	重 量	轻	重
4	价 格	低	高
5	效 率	高	低
6	直 径	大	小
7	电枢损坏对航行工作的影响	大	小
8	在多个发电机供电的情况下,提高发电机电压的可能性	小	大

枢电动机与双电枢电动机相比较具有许多优点,故一般采用单电枢的推进电动机。因电枢损坏可能性极小,故只有在下列情况下,才考虑采用双电枢推进电动机:

1) 船尾部位置较窄,轴系高度不够,或有多台推进器,必须减小电动机的直径时。

2) 推进功率较大,需提高发电机电压时,如两台发电机串联供电给一台单电枢推进电动机,则每台发电机的电压不能超过 500V,如图 4.2.2.1(a)所示;但如采用双电枢推进电动机,由于每一电枢均可允许采用 1000V,且使两台发电机与两个电枢相间串联,则每台发电机可采用 1000V,如图 4.2.2.1(b)所示。

3) 多台发电机串联而使推进电动机电枢电压超过 1000V 时,采用双电枢,可使发电机电压分配至两个电枢上而不致超过 1000V。

4) 螺旋桨起动、制动和倒顺转换性能要求特别高时,双电枢电动机直径小,转动惯量小,机动过渡过程时间可缩短。

3. 双电枢接法选择

推进电动机的双电枢一般采用串联接法,如要采用并联接法,应在两电枢回路间加均压线,以避免两电枢间电势差引起负载电流分配不均,如图 4.2.2.2 所示。

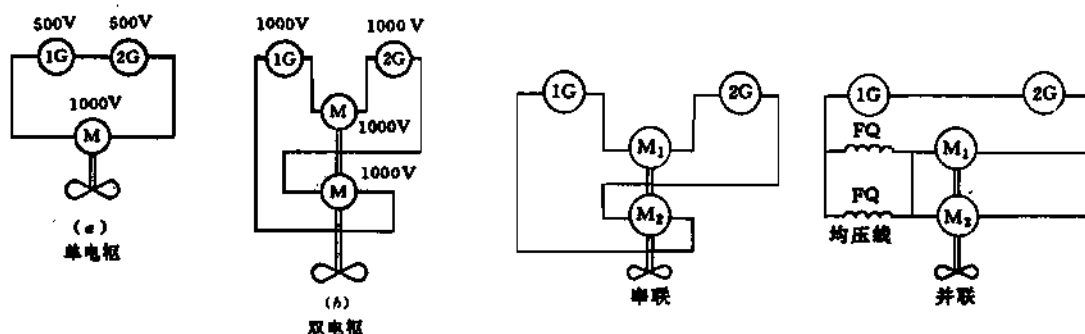


图 4.2.2.1 双电枢可提高发电机电压的原理

图 4.2.2.2 推进电动机双电枢接法

4. 发电机数量的选择

主发电机数通常不少于 2 台,且一般应等于或多于推进电动机数,以提高装置工作可靠性,线路转换灵活性及运行经济性。

主发电机数不宜过多,以免电路过分复杂。一般对单推进轴的船舶,如采用柴油发电机组,宜选 2 台~4 台;如采用汽轮发电机组,宜选 1 台~2 台。

5. 主电路接法

主电路接法应根据主发电机与推进电动机的数量,电动机的型式以及各工况对电力推进的要求决定。可采用主电路选择开关,通过开闭其相应的触头来组成所需的主电路接法;也可采用刀开关,但须有联锁装置,使在操作刀开关前将主发电机励磁切断。以下为几种常用接法。

1) G-M 系统

a. 2G-1M

电动机可为单电枢或双电枢,如图 4.2.2.3 所示。

b. 2G-2M

a) 不供电网

主发电机只供电给推进电动机,不供电给船舶电网,如图 4.2.2.4 所示。

b) 兼供电网

主发电机除供电给推进电动机外,尚对船舶电网供电,如图 4.2.2.5 所示。由此图可见,

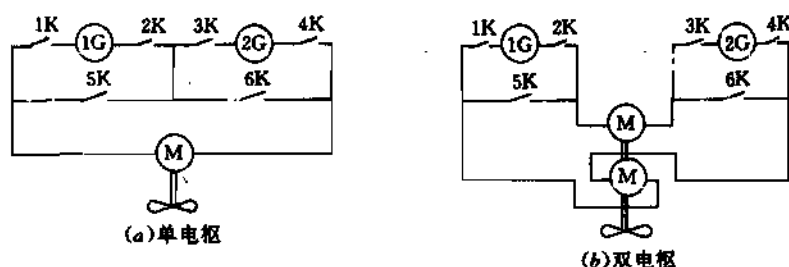


图 4.2.2.3 主电路接法 2G-1M

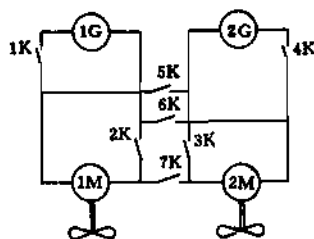


图 4.2.2.4 主电路接法 2G-2M

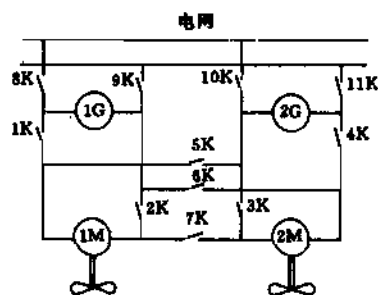


图 4.2.2.5 主电路接法 2G-2M(兼供电网)

在需由主发电机供电给船舶电网时,每台主发电机只要增加两个主触点即可,此方法可用于各种主电路接法。

2) 恒流制系统

a. 3G-2M

奇数发电机供电给 2 台推进电动机时,用 G-M 系统就难于分配,采用恒流制系统十分相宜,主电路接法如图 4.2.2.6 所示。

b. 3G-4M

在某火车渡轮上,采用刀开关 1S~3S 及接触器 1K~4K 进行主电路换接,如图 4.2.2.7 所示。

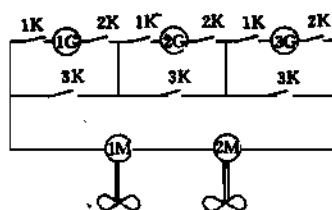


图 4.2.2.6 主电路恒流制 3G-2M 接法

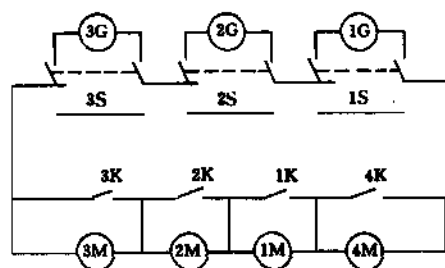


图 4.2.2.7 主电路恒流制 3G-4M 接法

3) ACG-SCR-DCM 系统

a. 3G-2M

某调查船的 2 台直流推进电动机由 3 台交流发电机组成的三相交流电源经晶闸管变流器获得供电,其主电路如图 4.2.7.1 所示。

b. 4G-2M

某破冰船的2台直流双电枢推进电动机由4台交流发电机组成的交流电源经晶闸管桥式电路供电。

4.2.3 励磁系统

1. 电压参数和励磁功率

励磁系统的电压应按相应电机所需的励磁电压来确定。即在直接励磁系统中,应按发电机的励磁电压来确定;而当发电机的励磁系通过励磁机或电机放大机供给时,应按励磁机或电机放大机的励磁电压确定。一般为220V或110V,而采用晶闸管整流励磁时,则常用380V交流电压整流。

直流电机的励磁功率随电机功率的增加及转速的降低而增加,表4.2.3.1可供估计励磁功率时参考。

表4.2.3.1 直流电机对应的励磁功率(他激)参考值

励磁功率/kW 直流电机功率/kW 直流电机转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1500	1000	750	500~400	320
100~240	2.2~3.5	3~3.8	2.2~4.2	2.8~4.2	3.0~5
250~470	3.5~4.5	3.2~5	4~5.2	5~8	5~8.5
500~730		4~5.8	4.8~6.5	5.8~6.8	6.5~9.2
800~1450		4.2~5.2		8.0~9.2	

2. 励磁系统的分类

励磁系统(主要是主发电机的励磁)可分为单独、集中与混合励磁系统3种,其中每一种系统又都可分为直接法和间接法两种。直接法是通过发电机励磁电路中的电位器来调节发电机的励磁,一般用于励磁电流小于20A的发电机。间接法是通过改变发电机励磁机磁场来调节发电机的励磁,由于励磁机磁场的调节电流不大,故控制设备可轻便简单,但由于增加了中间环节,故过渡过程时间较长。间接法适用于大功率发电机。

在上述的单独励磁系统中,每台主发电机均由与其同轴的励磁机独立供给励磁,不需其他原动机;在集中励磁系统中,主发电机由公用的励磁机系统获得励磁,这些励磁机与主发电机无机械联系,由专用原动机拖动;在混合励磁系统中,励磁机与主发电机有机械联系,但组成公共励磁系统,主发电机由此公共励磁系统获得励磁。

推进电动机一般采用集中励磁系统,而且由于推进电动机功率较大,往往采用间接法。

在现代电力推进船舶中,推进电机的励磁大多已不是由励磁机供给,而直接由船舶电网经晶闸管供给,显然其作用最快,励磁功率允许增大,便于控制,便于获得各种需要的特性。

3. 励磁系统的调节

1) 简单 G-M 系统

对于推进机械特性无特殊要求的小型船舶,可采用简单的 G-M 系统。这种系统通过调节发电机励磁来改变发电机电压,从而调节推进电动机转速,由于其没有任何自动控制,因而较简单可靠。

2) 具有差复激绕组的 G-M 系统

发电机具有差复激绕组的 G-M 系统的原理图如图 4.2.3.1 所示, 图中 JFQ_g 为差复激绕组。采用这种系统, 可获得具有堵转保护的挖土机特性, 如图 4.2.3.3 中曲线 1 所示。

3) 具有三绕组的 G-M 系统

发电机具有三绕组的 G-M 系统的原理图如图 4.2.3.2 所示。发电机具有他激绕组 TQ_g 、并激绕组 BQ_g 和差复激绕组 JFQ_g , 其中他激与并激绕组的磁场方向一致, 而差复激绕组的磁场方向与前两个绕组相反。

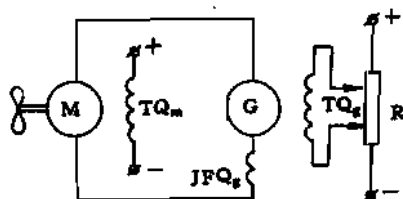


图 4.2.3.1 发电机具有差复激绕组的 G-M 系统

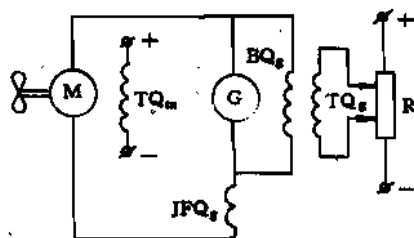


图 4.2.3.2 发电机具有三绕组的 G-M 系统

采用这种系统, 也可获得具有堵转保护的挖土机特性, 如图 4.2.3.3 中曲线 2 所示。由此可见, 具有三绕组的 G-M 系统的特性较硬, 且堵转电流较小, 这是本系统的优点。

4) 具有电机放大机的 G-M 系统

当负载变化时, 可通过调节发电机或电动机的励磁来自动调节其功率。其间必有一过渡过程, 它的长短主要取决于电机励磁绕组的时间常数, 即取决于励磁电压的增长速度。采用电机放大机来作为主发电机或推进电动机的励磁机, 可使励磁电压增长得很快, 从而加速过渡过程。

按调节作用的不同, 该系统可分为调节发电机电压和调节电动机转速两种。

5) 恒流制系统的励磁调节

恒流制系统的励磁调节一般可分为操纵恒流制和调节恒流制。操纵恒流制采用多绕组励磁机供给主发电机励磁, 恒流精度较低, 但较简单; 调节恒流制则采用电机放大机供给发电机励磁, 恒流精度较高, 但线路比较复杂。

6) 具有晶闸管的励磁调节

以上 5 种励磁调节方式中, 除小功率电机采用简单的 G-M 系统外, 一般都采用带电机放大机的励磁系统, 因为用它可获得推进电机的各种工作特性。但电机放大机是比较高级的多绕组直流电机, 加工工艺要求高, 价格贵, 维护难, 有剩磁影响工作, 且需与原动机同轴或专设拖动原动机。

利用晶闸管励磁调节方式同样可获得上述 5 种励磁方式的各種工作特性, 且其与上述系统相比, 具有反应速度快、要求反馈信号可以很小、控制弱电化、便于多处或远距离操纵、不受船舶电网波动影响、装置本身有稳压措施以及无需经常维护等优点。

图 4.2.3.4 所示的系统采用晶闸管励磁。发电机他激励磁绕组 TQ_g 由船电直接经三相桥式整流供电。电流截止负反馈是利用稳压管的反向导通特性得到的 (图 4.2.3.5 中特性 AB 段就是稳压管反向击穿前一小段特性变化引起的), 将电流反馈信号与给定控制信号比较放大

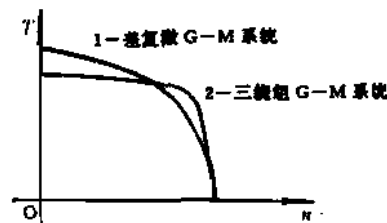


图 4.2.3.3 三绕组的 G-M 系统与差复激的 G-M 系统机械特性比较

后,控制触发脉冲的相移,从而控制了晶闸管的开放角,即调节了发电机励磁、发电机电压,以至改变了电动机转速。对于一般要求的推进装置,电动机的正反转可采用图 4.2.3.4 所示的正反向接触器 1K,2K 来完成。这样使有触点与无触点相结合往往既可发挥晶闸管的优点又可避免线路复杂化。当然对需频繁正反转者,可进一步考虑用晶闸管使发电机励磁正反向。对恒流制系统,同样可用晶闸管获得可变的励磁供电。

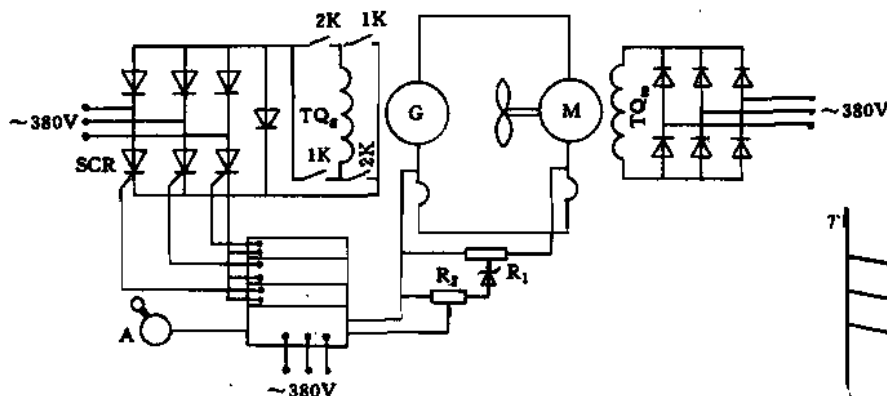


图 4.2.3.4 具有电流截止负反馈的晶闸管励磁的 G-M 系统

图 4.2.3.5 为其工作特性。此特性转弯处对运行有好处,使略有超载不马上堵转。调 R_1 即调节电流开始截止点 A 的位置;调 R_2 即调节下坠特性的斜率,同时也就改变了堵转点。因此特性调整很方便。

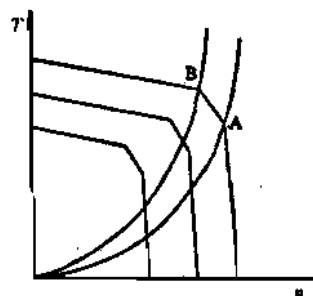


图 4.2.3.5 具有电流截止负反馈的 G-M 系统机械特性

4.2.4 控制、信号和保护

1. 发电机在主电路中的转换

发电机在主电路中的转换是用刀开关或主电路选择开关(即发电机选择开关)来进行的,开关设在推进主配电板的发电机屏上。它的作用是将需要投入工作的主发电机接入主电路中。

开关主触点的电流量按发电机或主电路的电流值来确定。主电路接法的转换应在没有主电路电流的情况下进行,故一般要求有联锁装置,即只有在主发电机没有励磁的情况下,才能扳动相应的刀开关或主电路选择开关。这时主触点可不设灭弧装置(但要考虑主发电机剩磁影响)。

2. 发电机励磁、保护和信号回路的转换

通常用刀开关或主电路选择开关的辅触点来进行发电机励磁、保护和信号回路的转换。当发电机接入主电路后,发电机励磁绕组应接上电源或接至相应励磁机的输出端上。原动机如有超速、反转等保护开关,其触点也应接至相应的控制电路中去。此外,还可接通指示灯回路,以显示发电机接入主电路的工作状态及故障等。

3. 励磁机的选择

励磁机的选择由励磁机转换开关完成,其可设在推进主配电板的励磁屏上。当系统中具有几台励磁机或具有备用励磁机时,如其中一台要投入工作,则须将其励磁绕组接至操纵推进的电位器或变阻器上,且将其电枢输出接至发电机励磁绕组上。如励磁具有自动控制,则尚需

将有关反馈电路接至励磁机控制绕组上。

4. 控制站的选择

一般有两个或两个以上的推进控制站,一个可设在机舱,另一个可设在驾驶室,也可根据需要设在桥楼或其他地方。用控制站转换开关进行选择,此开关可设在机舱集中控制台上,如无集中控制台,也可设在推进主配电板上。当某一控制台工作时,控制台转换开关的触点应接通该台的工作指示灯,并接通励磁控制电路,且将其对应的操纵电位器的输入和输出分别接至电源和励磁机上。

5. 推进装置的保护

推进装置的保护分为3类:一类是在发生故障时自动停止或调整推进装置有关部分的工作;一类是发生故障时发出声光信号;另一类是操作联锁。

1) 发生故障时自动停止或调整推进装置有关部分的工作的保护

a. 主电路过电流保护

通常在主电路内装设瞬时动作的过电流继电器,以实现过电流保护。在实际应用中,过电流继电器1K的触点接在零压继电器(接触器)2K的回路中,通过零压继电器(接触器)触点来断开发电机的励磁,如图4.2.4.1所示。

b. 发电机及推进电动机的过载保护

图4.2.4.2是发电机及推进电动机过载保护的原理图。过载时,借助于过载继电器1K使接触器2K的线圈获得供电,从而打开并联于电阻1R上的常闭触头2K,使电阻1R接入发电机的励磁回路,削弱发电机励磁,降低发电机电压;同时闭合并联于电阻2R上的常开触头2K,增强电动机励磁,降低电动机转速,从而自动消除过载。

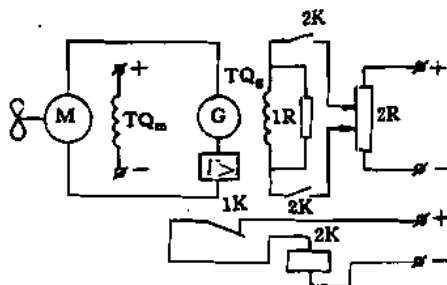


图 4.2.4.1 主电路过电流保护

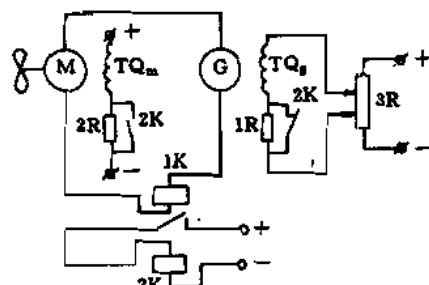


图 4.2.4.2 发电机及推进电动机过载保护

过载保护实质上也是一种过电流保护,只是由于动作电流较小,使在这种电流下无须停止推进装置的工作,而只要减小负载即可。

在自动调节功率的推进系统中,可不必采用此保护,因系统本身可防止过载。

c. 励磁机电路的保护

应安装合适的保护电路,以防止在励磁机电路断开时产生感应电压^[8]。

励磁机电路不应设有用于断开励磁机电路的过载保护,但具有半导体变流器的励磁电路除外。励磁机电路短路保护用熔断器的熔断,不应断开磁场放电电阻的电路^[8]。

d. 原动机超速保护

在船舶快速倒车时,发电机可能短时作为电动机运行,从而引起原动机超速。此保护通过离心式速度继电器来实现。超速时,离心式速度继电器的触点断开发电机励磁。

由于这种快速倒车情况很少出现,过渡过程也极短暂,螺旋桨在此过程中反馈能量也极有限,故此保护常可省去。

e. 原动机反转保护

在几台发电机串联运行的情况下,一台发电机的原动机突然发生故障停车时,由于主电路电流仍流过发电机电枢,而发电机还有励磁,故会使发电机作为电动机运行,使原动机反转,故须设此保护。此保护也是利用离心式速度继电器来实现的。它在原动机转速降至某一给定值时,通过其相应的触点切断发电机励磁。

f. 推进电动机超速保护

在下列两种情况下,可能出现推进电动机的超速,为此应设有防止螺旋桨超速的保护^[8]。

——在恒流制系统中,当螺旋桨露出水面或脱落(或打断叶片)而失去负载时,推进电动机就会超速。超速保护系用装在推进电动机轴上的离心式速度继电器来实现,当超速时其相应触点断开推进电动机励磁;

——在主发电机供电给两台串联的推进电动机时,如一个螺旋桨失去负载,则此台推进电动机就会超速。此时除采用离心式速度继电器外,还可用过电压继电器进行超速保护,其并联在推进电动机电枢两端,超速时此继电器动作,其触点断开发电机励磁。

g. 推进操纵的零位保护

通常采用零位继电器进行推进操纵的零位保护。即把系统中所有保护触点及联锁触点都接入零位保护回路,使推进装置因故障或其他原因断电后,必须把操纵手柄回到零位后,才能重新启动和操纵。

2) 发生故障时发出声光信号

为了显示原动机、发电机及推进电动机的故障,如原动机滑油压力低、温度高,冷却水压力或流量低、温度高,主发电机冷却介质出口温度高,推进电动机滑油压力低、温度高以及冷却介质出口温度高等,应配置声光报警信号^[5]。

3) 操作联锁保护

为避免误操作及带电扳动各种选择开关,应采用电磁及机械联锁加以保护。

a. 主电路选择开关或闸刀转换开关

主电路开关的联锁通常有两个目的,一是防止带电扳动,二是在多个开关的情况下,不允许几个开关同时扳动。

对开关位置的限制,一般采用电磁锁,其吸引线圈回路里设有其他开关的联锁触点,使只有在其他开关为规定位置时,联锁触点闭合,电磁锁才能得电释放,允许此开关扳动。

防止带电扳动开关的联锁,一般采用机械电气方法。选择开关轴平时用机械销子锁住。只有先将销子松出,才能扳动开关,此机械销子联动一只联锁触点,当销子松出时,联锁触点打开,除去发电机励磁,保证在不带电情况下操作。

b. 励磁机选择开关

励磁机选择开关的联锁,就是使励磁机只有在不供推进装置励磁的情况下,即不供电情况下,才能转换。

4.2.5 推进配电板及控制站

1. 推进配电板

推进配电板设在机舱内接近主发电机处,板上装有主电路选择开关或闸刀转换开关等,可参照电力系统主配电板进行设计。

在采用联合电力推进时,推进配电板可与主配电板联在一起。

2. 控制站

1) 除机舱控制站(一般定为“主控制站”)对推进装置进行操纵外,可再在机舱外的一个或数个地点(一般定为“副控制站”)分别操纵。当有两个或两个以上的控制站时,应在机舱控制站设有能迅速转换的装置,用以选择控制站,以避免两个或两个以上地点同时进行操纵。如在罗经平台设控制站,则允许在驾驶室设转换装置(只转换罗经平台与驾驶室之间的操纵)。此外须于每一控制站设有信号灯以指示某控制站正在使用以及指示励磁电路是否有电。见4.1.4中“5.对控制装置要求”。

2) 在每一控制站上应设有零位保护触点,使控制站手柄只有从零位开始才能进行操纵。

3) 控制站上应装设下列设备和仪表:

- a. 操纵器——电位器、变阻器或自整角发信器等。
- b. 仪表——见4.1.4中“7.对仪表和电缆要求”。
- c. 指示灯——指示电源有电及励磁电源有电或故障失电的指示灯。

4.2.6 燃料电池电力推进

1. 燃料电池及其用于电力推进的特点

燃料电池是一种可直接使燃料和氧化剂进行电化学反应,把燃料的化学能转变成电能的化学电池。它与热机发电不同,其电化学反应过程不受卡诺循环限制,效率可达90%以上。燃料电池不像蓄电池受电池内活性物质贮量限制,需经常充电。在燃料电池中,燃料和氧化剂是从外面加到电池中,分别在电极上起电化学反应而连续产生电能的。其示意图如图4.2.6.1所示,其本体主要由电极、电介质、燃料、氧化剂和外壳5部分组成^[9]。

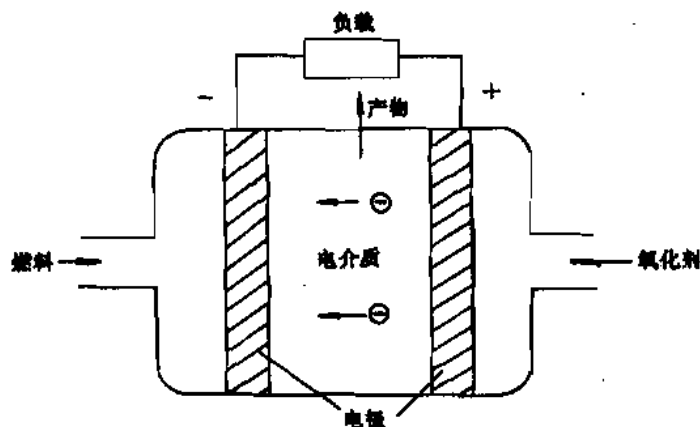


图 4.2.6.1 燃料电池构成示意图

电极材料主要采用多孔碳、石墨、多孔镍、多孔银、软尼(Ranny)合金等。燃料可用氢、钠(汞齐)、液氢、甲醇、联氨、甲醛、水煤气、天然气、石油气等。氧化剂一般使用氧、空气或过氧化氢水溶液等。对中、低温燃料电池(工作温度 $0^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$),电介质可用碱性水溶液(常温 $\sim 100^{\circ}\text{C}$)或酸性水溶液($120^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$);对高温($500^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$)燃料电池,电介质可用熔融碳酸盐(600°C 左右)或用金属氧化物作为固体电介质($800^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$)。

为使燃料电池能使用石油、天然气等燃料,须附加重整器(改质器)等一系列装置。如美国TARGET计划研制成12.5kW的PC11A-2型燃料电池系统,就采用天然气通过水蒸汽进行改质作为燃料,采用空气作为氧化剂,其电介质采用磷酸,最适宜工作温度为140℃。这种燃料电池的各部分都做在一起,使用方便。又如同类型40kW的PC18型燃料电池系统各部分都做在一起,其重量为2200kg。

燃料电池用于电力推进时,可方便地根据需要进行串、并联,以满足推进电动机所要求的电压和电流,特别是对于低电压、大电流的单极电机(如12000kW的单极电机,其电流为165000A,电压仅为75V)。燃料电池只需定时加注燃料和氧化剂(在氧化剂为空气时,不必加注),平时可无人管理地自动运行,便于实现机舱自动化。

燃料电池电力推进装置允许过载能力大,可短时过载2倍左右,十分适合电力推进的负载要求。燃料电池在短路时也只能给出2至3倍额定电流,因为不是任意多的电子可同时通过电池的,因此电力系统保护可简化。采用燃料电池电力推进,可通过改变工作参数,如温度、压力、电介质浓度来调节航速;也可通过改变电动机参数,如励磁绕组电阻来调节航速;如要扩大航速调节范围,可同时采用这两种方法,这对于要求机动性好的船,特别是低速推进和动力定位的船,十分方便,且可使推进装置效率提高。

燃料电池可与高比功率的蓄电池组成燃电-蓄电混合系统,以满足船舶推进峰值功率到平均功率的需求。在平时由燃料电池供推进功率;在低速推进时,燃料电池除供推进外,尚可将剩余功率对蓄电池充电;在需作高速航行时,可由燃料电池和蓄电池同时供推进功率。与蓄电池联用,可使燃料电池负载较为均匀,从而提高其寿命(一般为5年^[10]),且在燃料电池发生故障时,可用蓄电池作为推进的应急电源。

2. 燃料电池用于电力推进概况

根据燃料电池特点、船舶航运的有关条件及安装要求等,在下述各类船上使用燃料电池电力推进较为适宜。

1) 液化天然气船(LNG船)

燃料电池热效率比汽轮机等热机高,此外其燃料电池的燃料可采用LNG船舱内自然蒸发的天然气(一般情况下够用,如不足,可使部分液体气化予以补充),从而大大提高了LNG船运行经济性。这种船的机舱布置示意图如图4.2.6.2所示^[10]。

2) 客船、车客渡船

燃料电池推进振动小、噪声低,船上乘客感觉良好,条件舒适。还能改善部分负载的特性。

3) 科学调查船、救生打捞船

科学调查船、救生打捞船及水声工作船在到达工作区域后,既要求有安静的环境,也要保证船上大量仪器的供电,有时尚需提供低速电力推进以保持船位,此时须使船上主机和发电机停下来,以减小振动和噪声。如采用蓄电池,则供电时间有限,采用燃料电池最合适。特别是救生打捞船,往往与深潜救生艇联合作业,如采用同型燃料电池,还可为深潜救生艇补充燃料和氧化剂。

如美国洛克希德公司设计和建造了两艘深潜救生艇(DSRV),这种艇原采用两组银锌蓄电池,其容量为100kWh,在完成一次营救(下潜深度1520m,每次载24名遇难人员)后,必须在救生打捞母船上充电,每次充电时间为3h。该公司与哈特福德联合技术动力系统部研制了60kW(2×30kW)的氢氧燃料电池来代替原有两组银锌蓄电池中的一组,另一组银锌蓄电池留作备用电源。此60kW的燃料电池电力系统包括其监测和控制设备为该艇推进、照明、仪表及生活用电设备供

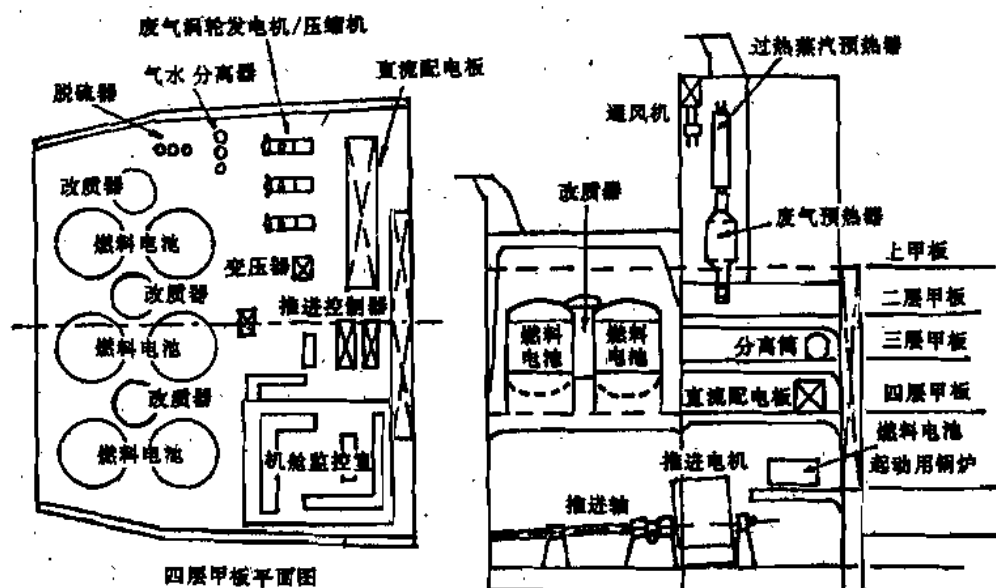


图 4.2.6.2 燃料电池推进的 LNG 船的机舱布置

电。在再加燃料前,此燃料电池能产生 700kWh 的电能,几乎是银锌蓄电池容量的 7 倍,因此可缩短救生时间一半。燃料电池和储罐装在直径 2.4m、长 2.4m 的壳体内,燃料电池本体重量约 170kg,能装于直径 35cm、长 1.8m,体积为 0.173m³ 的容器中,产生 120V 的直流电^[9]。

4) 深潜器和中小型潜艇

各种用途的深潜器已用于大陆架和 6000m 至 11000m 深的海洋开发中,其排水量从几百千克至几十吨,航速为 0.5kn ~ 6kn,潜水时间从几小时到几十天,通常工作人员为 2 人 ~ 5 人。如美国海军为深潜搜索艇(DSSV)研制了氢氧燃料电池(Powercell),其功率为 20kW,电压为 120V,重 190kg,装于容积为 0.184m³ 的耐压容器中,该燃料电池采用多孔烧结镍电极,电解液为氢氧化钾,工作温度 90℃,工作压力为 $4.12 \times 10^5 \text{ Pa}$ (4.2kgf/cm²)。

常规中小型潜艇采用燃料电池后,只要带有足够的燃料和氧化剂,其水下续航力可比采用蓄电池潜艇大大提高。此外由于燃料电池工作中除局部的泵外,无其他运动部件,振动小,噪声低,且无其他烟雾状生成物和物理场出现,不易被发现,提高了潜艇的隐蔽性。

5) 小艇

英国海军部材料试验室研制了燃料电池作为动力源的侦察小艇,其功率为 0.75kW,电压为 24V。燃料气体氢储于艇尾的两只气瓶中,可在几分钟内完成加燃料工作,氧储于一只气瓶中。其续航半径为 20n mile,航速为 4.5kn。这种小艇的最大特点是运行时几乎无声。

3. 漓江游艇推进方案比较

漓江游艇航行在桂林至阳朔的漓江上,其主要参数如下:

排水量	19.8t	吃水	0.35m
总长	20.0m	方形系数	0.669
型宽	4.2m		

该游艇在整个航程(约 60km)中,有 30km 要以 12km/h 航速航行 2.5h,此时螺旋桨需轴功率 35.6kW;其余约 30km 风景特别好,需低速航行(8km/h)4h,此时螺旋桨需轴功率 17.6kW。考虑到普通的柴油机推进振动、噪声和污染严重,故着重考虑了蓄电池和燃料电池推进方案。

1) 柴油机推进方案

选用 4135 型柴油机经减速齿轮带动螺旋桨,以 285 型柴油发电机向用电设备供电,其柴油机、轴系、管路、减速箱、发电机组、空气瓶、压气机、泵和起动蓄电池等各部分总重为 3310kg (不包括柴油的重量)^[9]。

2) 铅酸蓄电池电力推进

计及轴系效率 $\eta_s = 99\%$ 及推进电动机效率 $\eta_M = 90\%$, 由螺旋桨轴功率 $P_s = 17.6\text{kW}$ 算得低速航行时所需电动机功率为:

$$P_M = \frac{P_s}{\eta_s \cdot \eta_M} = 19.8\text{kW}$$

同样可算得较高航速时所需电动机功率为:

$$P'_M = 40\text{kW}$$

由于电压为 220V, 可算得其所需电流分别为:

$$I_M = 19.8 \times 1000 / 220 = 90\text{A} \quad I'_M = 40 \times 1000 / 220 = 182\text{A}$$

低速航行 4h, 所需蓄电池容量为:

$$Q = 90 \times 4 = 360\text{Ah}$$

较高速航行 2.5h, 所需蓄电池容量为:

$$Q' = 182 \times 2.5 = 455\text{Ah}$$

所需蓄电池总容量:

$$Q_{\Sigma} = Q + Q' = 360 + 455 = 815\text{Ah}$$

选用 DG-490 型电瓶车用铅酸蓄电池, 每只 2V, 110 只串联成一组, 2 组并联, 5h 放电率时容量为:

$$Q_{\text{需}} = 490 \times 2 = 980\text{Ah}$$

可见, 除满足电力推进所需总容量外, 尚可对其他用电设备供电。

该型蓄电池重为 31kg, 蓄电池总重为:

$$W_{\text{蓄}} = 31 \times 110 \times 2 = 6820\text{kg}$$

选用 40kW、600r/min 的 Z₂C-102 型推进电动机, 其重量为 1150kg, 故推进系统总重约为:

$$W_{\Sigma} = 6820 + 1150 = 7970\text{kg}$$

3) 燃料电池电力推进

选用 PC-18 型燃料电池, 其功率为 40kW, 燃料为天然气, 氧化剂为空气, 电介质为磷酸, 其整个燃料电池装置 (包括重整器、送风机等) 重 2200kg。

加上推进电动机 (Z₂C-102 型, 40kW, 600r/min) 重 1150kg, 故燃料电池电力推进系统总重约为 3350kg (未包括燃料——天然气的重量)。

综上所述, 柴油机推进虽重量较轻, 但其对环境污染严重; 蓄电池推进虽环境品质甚佳, 但重量太重; 燃料电池推进兼具上述两种推进的优点, 实为理想的方案。

4.2.7 实船举例

1. 采用独立电力推进的火车渡轮

我国某火车渡轮的主要参数如下:

满载排水量	2256t	满载吃水	2.55m
总长	108m	最大载重量	1050t
型宽	10.7m	设计航速	9kn
型深	3.55m		

根据航道情况及航行需要,在该轮尾部设主推进器两台,每台需功率 294kW, 350r/min, 分别由两台 320kW 的 ZDH-320-3.5 型主推进电动机驱动。此外在近船首、船尾处各装一台导管螺旋桨式侧向推进器, 每台需功率 170kW, 700r/min, 分别由两台 185kW 的 ZDH-185-7 型侧向推进电动机驱动。

侧向推进器主要在船只靠离码头时使用。在航行中,一般仅需使用主推进器,有时为使船舶迅速回转,也可同时开动侧向推进器,但此时主推进器应降低功率运行。利用 4 台推进电动机不需同时全功率工作的特点,本轮采用调节式恒流制(见 4.2.3),由一个主电站供电,主电站总功率小于 4 台推进电动机功率之和。

主电站由 3 台 250kW 的 ZFH-250-6 型主发电机组组成,每台均由 330kW 的 6250ZC 型柴油机驱动(600r/min),同轴还带动 75kW 辅发电机,供船舶电网用电。其推进系统主电路接法如图 4.2.2.7 所示。

4 台推进电动机均设置两套操纵器,分别设在驾驶室和机舱配电间,以便驾驶室遥控和机舱就近操作(检修、调整、应急、备用)。驾驶室主推进操纵器采用双联双主机式,在左右舷各设 1 台,用机械联动,以利靠离码头。驾驶室侧向推进操纵器装在集中操纵台上。所有机舱操纵器及重要的控制、调节、指示、信号设备均安装在配电间推进集中控制台上,部分装在推进配电控制板上。

2. 采用独立电力推进的科学调查船

在德国远洋科学调查船“索南”号(Sonne)的改建中,由 STN(Systemtechnik Nord)提供和安装了整套的变流器供电的电力推进系统。该系统(见图 4.2.7.1)由 3 台柴油发电机组(2000kVA, 1000r/min, 660V, 50Hz)供电。其推进器由 2 台直流电动机(在 730V 时,其输出为 1150kW,在转速调节范围为 168r/min ~ 210r/min 时,均能达到此输出)驱动。其所采用的滑动轴承由加压系统供滑油,以确保在电动机低速(低于 45r/min)时具有良好润滑。该系统为交直流电力推进系统。

侧推器由具有速度控制的一台直流电动机(在 750V, 541r/min 时,其输出为 1115kW)驱动。

这些全封闭的发电机和电动机由安装在顶部,且接至 35℃ 低温冷却系统的双管淡水冷却器进行冷却。在此冷却系统一旦出现故障时能通过打开在这些电机中的风门片进行应急冷却。

直流推进电动机和直流侧推电动机分别由 660V 的三相交流电源,经由为这些电动机专门设计的晶闸管变流器获得供电。由于采用了冗余技术,使故障容差水平及可靠性提高,因此实际上不可能出现整个推进系统失效的情况。

所有调节、控制和监测均由 Geamic 0.5 微处理器系统以数字化方式完成。该系统包括用于推进系统的标准化的存储程序控制系统。

3. 采用联合电力推进的工作船

我国某航标船要求有稳定的低速航行,采用了联合电力推进。该船主要参数如下:

满载排水量	1115t	总长	65.2m
型宽	10.2m	设计吃水	3.6m

