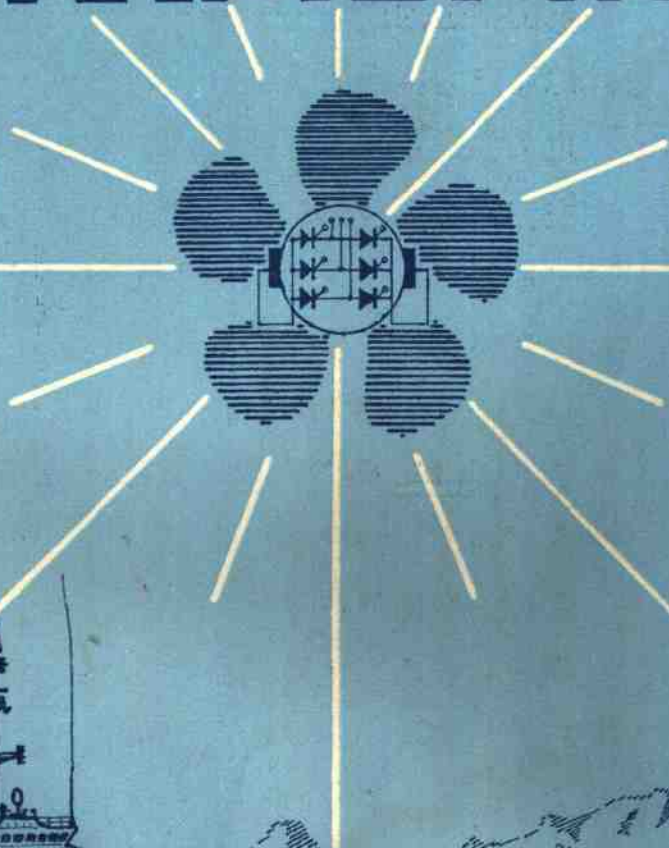


厦门水产学院
 渔业机械系资料专用章
 总号 分类号
 U : C159



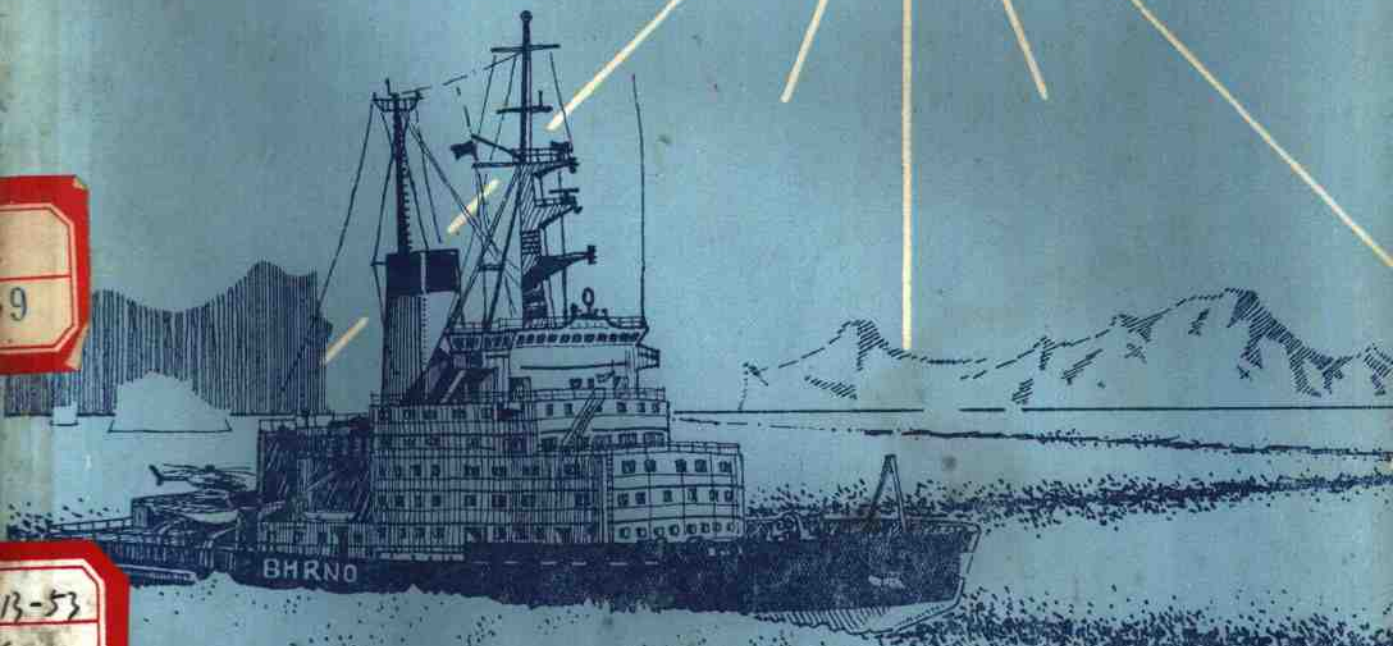
船舶电力推进文集

厦门水产学院
 渔业机械系资料专用章
 总号 分类号
 1-4-342



9

13-53
 6



中国船舶及海洋工程设计研究院

前 言

随着造船事业的发展，船舶电力推进也广泛引起人们的注意，这是因为电力推进有其许多独特的优点。

电力推进装置在战斗舰艇和民用船舶上都得到应用，尤其在特种船舶（诸如调查船、集装箱船、破冰船、海洋工程船、石油钻探船等）上应用得更多；不仅在排水船上，而且在水面效应船上也得到应用。目前，国外对于电力推进技术的研究不再局限于电力推进装置本身，已经进展到电力推进系统动力源的研究。

从事一个良好的电力推进系统设计，需要解决很多问题，诸如系统方案的选择、基本控制理论的应用与研究、采用新动力源的可能性及其与传动装置的配合。本文集就是着眼于上述问题而编辑的，全集内容包括：电力推进的国内外发展状况及其展望、系统设计时应该注意的有关问题、电力推进各方案的比较分析、基本理论的研究分析、典型船舶电力推进系统介绍以及实船使用情况等。

由于篇幅有限，选题的深度和广度还很不够；即使已选的文章，也因编译水平所限，一定存在很多缺点，诚恳希望读者批评指正。

在编译本文集中，曾得到六机部七院七一二所等单位的支持，谨致以衷心的感谢。

编 者

1980年2月

目 录

电力推进的应用	(1)
综述电力推进的现状	(12)
电力推进系统设计中应该考虑的有关问题	(17)
交流—直流电力推进装置的	
电源变换设备的比较分析	(21)
由变换器供电给直流电动机的电力推进装置	(25)
电力推进励磁电路和特性的计算	(32)
直接变频器及其在电力推进装置中的应用	(45)
超导电力推进和磁流体推进	(55)
高能量密度船用燃料电池系统	(61)
燃料电池动力装置在船舶电力推进中的应用	(69)
研究船“波赛顿”号电力推进装置特点	(72)
南极考察探险破冰船“富士”号的	
柴油机电力推进装置	(79)
“北极”号破冰船电力推进装置	(87)
16.2MW波罗的海破冰船	(92)
“航道王子”号	
——燃气轮机电力推进装置	(99)
水下调查及布缆船	
——“RMAS 牛顿”号	(103)

电力推进的应用

严伯才

电力推进船舶，一般是指船舶的主推进系统是由电动机所带动的。所以我们这里所说的电力推进，主要是指用于船舶主推进的电力推进。

船舶电力推进，通常是原动机的动力经发电机传送至电动机而带动螺旋桨，能量经过二次变换，其效率一般约为原动机直接带动螺旋桨的推进方式的80%~90%。但它作为一种独特的推进系统，能满足船舶特种工况推进特性和灵活布置舱室的需要，是船舶推进类型中一种不可缺少的推进装置，受到国内外造船行业和船舶使用部门的重视。国外一些现代化的破冰船舶，其推进方式绝大多数是采用电力推进

的。电力推进装置在近百年的发展史中，由小型到大型、由满足单一功能到适应多种工作特性，而日趋现代化。近年来，随着海洋航运事业和海洋开发事业的发展，越来越需要各种各样的调查船舶和工程船舶。这些船舶都需要有很好的机动性和操纵性，又配有各种各样的工作机械。采用电力推进恰好能满足其工作特性和工作机械的需要，可以发挥电力推进装置的固有特长。从现代的船舶种类来看，适宜于采用电力推进或可以考虑采用电力推进的船舶很多，适合于采用电力推进的各种民用船舶见表1。

从表1中可以看出，有下述要求的船舶可

表1 可采用电力推进的民用船舶

顺号	船型	采用电力推进的优点
1	破冰船	堵转性能好，过载能力大，扭矩随速度降低而增大，低速时能产生大马力，正倒车容易迅速，操纵性好
2	调查船	能实现低速走航，机动性好，噪音小，振动小
3	海道测量船	操纵性好，能实现低速走航
4	领港船	机动性好、操纵性好、遥控方便
5	航标船	机动性好，操纵性好，能微速行走
6	轮渡	便于在各种位置配置螺旋桨，遥控方便，操纵性好
7	港口拖轮	低速拖带效率高(约高40%)，过载能力强，操纵性好
8	燃气轮机滚装船	舱室布置灵活方便。可以大大减少排气管路长度，节约舱容
9	补给船	推进装置和补给装置可以合用一个电站，交替使用，减少设备，节约投资
10	高级客轮	噪音小，振动小，采用大功率动力装置时可以节约舱容
11	大型油轮	大功率动力装置时可以节约舱容，总体设计布置灵活方便
12	救生船	出动迅速，操纵灵活
13	消防船	出动迅速，操纵灵活，救灾功率大
14	布缆船	经济性好，操纵性好。推进装置和大功率的工作机械可以合用一个电站，减少设备，节约投资
15	拖网船	
16	打捞船	大功率的工作机械和推进装置可以合用一个电站，交替使用，减少设备，节约投资
17	起重船	
18	修理船	
19	渔业加工船	
20	石油钻探船	
21	浮动基地	
22	挖泥船	

以考虑采用电力推进:

(1) 有堵转要求, 需要一定的过载能力。

(2) 需要良好的机动性、调速性、操纵性

和低速航行。

(3) 有大容量的工作机械, 这些工作机械

在低速巡航或停航时使用。

(4) 要求噪音低、振动小。

(5) 要求能灵活布置仓室。

(6) 需在船舶前后、左右多面配置螺旋

桨。

表 2 近代国外主要破冰船一览表

完 工 年 分	船 名	国 籍	装 载 量 (排水量) [吨]	电 力 推 进 总 轴 马 力	电 制	控 制 方 式
1954	圣 马 丁	阿 根 廷		7000	直 流	F-D
1955	船 长	苏 联	(5360)	10500	直 流	F-D
1955	格 拉 西	美 国	8760	21000	直 流	F-D
1957	奥 登	瑞 典	5260	10500	直 流	F-D
1958	卡 罗	芬 兰	3370	7500	直 流	F-D
1959	摩 塔 耶	芬 兰	3370	7500	直 流	F-D
1959	列 宁	苏 联	16000	39200	直 流	F-D
1961	列 宁 格 勒	苏 联	13290	22000	直 流	F-D
1964	他 尔	瑞 典	5230	12000	直 流	F-D
1965	富 士	日 本	(7760)	12000	直 流	F-D
1965	唐 强	丹 麦	3685	10500	直 流	F-D
1965	基 辅	苏 联	12840	22000	直 流	F-D
1967	亨 斯	西 德	3346	88000	直 流	F-D
1970	北 极	美 国	120000	80000	交 直 流	硅 整 流
	北 极 星	美 国	12000	18000	交 直 流	
1973	WAGB-10级	美 国	13100		交 直 流	硅 整 流
1974	北 极	苏 联	23460	75000	交 直 流	硅 整 流
1974		美 国		18000	交 直 流	
1974		瑞 典	(7900)	22000	直 流	
1975		芬 兰	(7900)	22000	直 流	
1975		瑞 典	(7900)	22000	直 流	
1976		芬 兰	(7900)	22000	直 流	
1977	浅 水 破 冰 船	苏 联		16200kw	交 直 流	硅 整 流
	港 口 破 冰 船	苏 联		3100kw	交 直 流	可 控 硅

表 3 我国电力推进主要应用一览表

船 型	等级(吨)	推 进 类 型	控 制 方 式	功 率 (千 瓦)
双体试验船	1000	附 带	绕线型串电阻	2×115
测量船	1000	低 速	电磁滑差异步电动机	2×55
链斗挖泥船	1000	附 带	电机变频	2×170
布缆船	1000	侧 推	简单直流 F-D	90
航标船	1000	低 速	简单直流 F-D	2×55
起重船	1000	附 带	简单直流 F-D	2×55
链斗挖泥船	1000	附 带	可控硅整流器 F-D	700
耙吸挖泥船	10000	侧 推	绕线型串电阻	660
调查船	20000	主 动 舵	电机变频	400
调查船	10000	主 动 舵	电机变频	2×250
调查船	4000	主 动 舵	电机变频	2×250
布缆船	4000	侧 推	绕线型串频敏变阻器	3×280
打捞船	4000	侧 推		280
火车渡轮	2256	主 推 进 侧 推	直流恒流	2×320 2×185
消磁船		主 推 进	直流恒流	2×1250

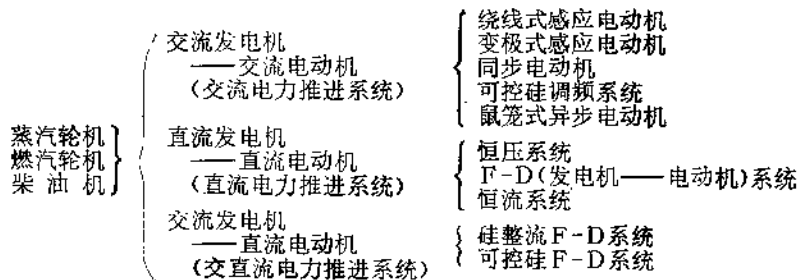
由于船舶采用电力推进有上述适应性，国外制造了各种类型的电力推进船舶，有交流的、直流的或交直流的。其中国外近年来建造的主要破冰型船舶见表 2。

目前，国内船舶电力推进还属研究发展时期，最大单桨推进功率为 1250 千瓦的推进系统还属实船应用试验阶段，比较成熟的是一些小型的电力推进和辅助电力推进。这些在渡轮、

调查船和工程船舶等都有应用。表 3 列出了我国装有这种推进装置的主要船舶。

二

为了满足各种船舶的推进特性、经济指标和工作机械的需要，可以采用以下各种不同的组合形式，大致可分为：



船舶电力推进的原动机一般采用蒸汽轮机、燃气轮机或柴油机。在直流电力推进系统中，由于直流发电机在高转速下换向条件变坏，所以一般采用转速较低的柴油机为原动机；交流发电机可以在高转速下运转，可以采用高速柴油机、蒸汽轮机或燃气轮机。对于以汽轮机为动力装置的船舶来说，因为汽轮机的高转速不能直接与螺旋桨联接，而必须经减速装置后才能带动螺旋桨。另外汽轮机需要粗大的排汽管路。所以从代替减速装置缩短排气管路、节约仓容等方面来看，电力推进也是一种可取的方案。

下面就几种主要的电力推进系统的特点结合典型的实船作一简要介绍：

1. 直流电力推进系统

直流电力推进系统可以满足船舶各种推进特性的要求，在速度控制方面优于其它推进系统，通过调整推进电机的电压和磁场，可以得到极低转速的速度点，并且易于反转，是性能优良的控制系統。虽然对换向器和电刷必须定期维护保养，但能适应各种新的工作特性的要求，充分发挥其优越的性能。在60年代前后，国外所造的特种船舶、工程船舶绝大多数的电力推进是采用直流电力推进系统。这种系统有

下列优点：

① 能进行直至低速的连续控制，并能微速调节。

② 能迅速地进行正倒车操纵。

③ 能连续地得到适应于推进器负载特性的转矩特性。

④ 便于采用多台原动机，从而提高了动力装置安装的灵活性，运行的可靠性，低速时的经济性。

⑤ 易于遥控，变换操纵位置方便。

⑥ 因推进器与原动机无直接的机械联接，推进器产生的冲击、振动无害于原动机，并且不会过载。

直流电力推进系统，推进装置的总功率一般在20,000千瓦以下比较适宜。采用这种推进系统时，船舶电站一般与推进电站分开设置。直流电力推进系统按控制方式可分为恒电压控制系统、F-D控制系统和恒流控制系统。恒电压控制系统，由于电网电压是不变的，因而为了降低推进电动机的起动电流和进行调速，需在电动机的电枢回路里串入很大的电阻，故不经济，运行效率低，调速范围也受限制，故一般不予采用。能广泛应用的是F-D控制系统和恒流控制系统。其区别和性能比较见表4。

表 4 F-D 系统和恒流系统区别比较表

系 统	调速方式	多电动机转速	接入电动机		主回路
			数量	功率	电 压
F-D	调发电机励磁	一致	固定	相同	随转速而变化
恒流	调电动机励磁	任意	任意	任意	随负载而变化

电 流	低转速	剧变负载适应性	效 率	装 置	操作维护	反转时间
变 化	大	好	不 变	简 单	容 易	短
固 定	较大	较好	随功率下降而下降	复 杂	较 难	较 长

F-D 控制系统有优越的操纵性能，恒功率控制容易，低速时有大的转矩特性，能达到微速控制，但在 10% 以下的速度控制时一般需加入速度反馈装置。该控制系统被广泛的应用于破冰船等船舶。1967 年前，国外建造的主要破冰型船舶基本上都是采用该种类型的控制系统。在 F-D 控制系统中，采用典型的三绕组式 F-D 控制系统的船舶如日本的“富士”号海洋考察船和“白凤丸”号海洋调查船。该二型船的电力推进控制原理基本相同，详细介绍请参见本文集《南极考察探险破冰船“富士”号的柴油电机电力推进装置》一文。

在 F-D 控制系统中，采用典型的磁放大器电机放大机式控制系统的船舶如苏联的“列宁”号原子破冰船。该船的主要参数如下：

排水量：16000 吨。

最大航速：18 节。

螺旋桨：3 只，最大转速：中间桨 195 转/分，两舷桨 215 转/分。

原动机：汽轮机 11000 马力，经减速器带动二个双电枢的发电机。 4 台

推进发电机：直流、双电枢， 2×1920 千瓦 600 伏，595 转/分。 8 台

中间轴推进电动机：直流 1200 伏，双电枢 2×9800 马力，150/195 转/分。 1 台

两舷轴推进电动机：直流 1200 伏，双电枢 2×4900 马力，150/215 转/分。 2 台

中间轴励磁机组：(其中一组为备用) 3 组。

拖动电动机：MΛφ32-92/4 型，交流 380 伏，100 千瓦，1475 转/分。

控制回路电源发电机：ΠH-45 型，直流 230 伏，3.15 千瓦。

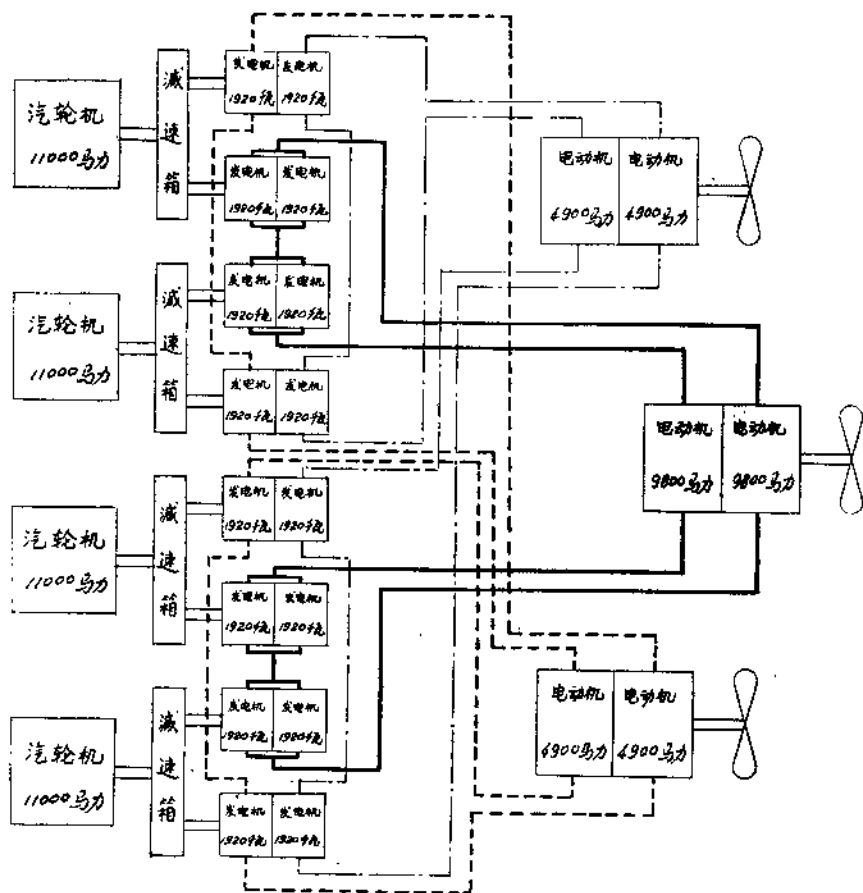


图 1 “列宁”号破冰船电力推进系统图

发电机励磁放大机: ЭМУ550 型, 直流 220 伏, 32 千瓦。

电动机励磁放大机: ЭМУ550 型, 直流 220 伏, 45 千瓦。

两舷轴励磁机组:(其中二组为备用) 6 组。

拖动电动机: МАФ32 型, 交流 380 伏, 70 千瓦。

发电机励磁放大机: ЭМУ290 型, 直流 220 伏, 16 千瓦。

其它同中间轴励磁机组。

每台汽轮机带动二个双电枢发电机, 同时给三台推进电动机供电。一台双电枢发电机并联给中间轴推进电动机供电, 在发电机并联电枢之间接有均衡绕组, 以保证能使负载均匀分配。另一台双电枢发电机的二个电枢分别给两舷的二台推进电动机供电。电力推进系统联接见图 1。采用这样的联接方式使每一台汽轮发电机可以给任一推进轴的电动机供电。推进系统的电网电压采用直流 1200 伏。主电机的额定参数按照最繁重的工作状态即系柱状态去选择的。船舶在自由航行时, 推进电机在额定转速时, 螺旋桨的转矩大约只有 45% 的额定转矩, 所以推进电机未能被充分利用。为了提高自由航行时推进电机的效率, 采取提高推进电机的转速。当主发电机电压为额定值时, 提高推进电动机的转速, 借助于功率调节器采取削弱电动机的磁场来达到。为了避免损坏螺旋桨和轴系, 堵转力矩整定为 1.33 倍的额定值。

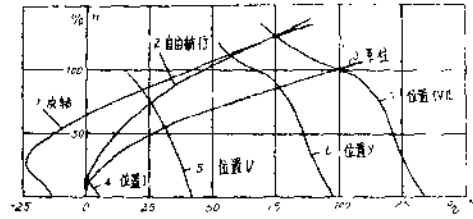


图 2 中间轴推进装置的静态特性

1.2.3 螺旋桨特性

4.5.6 各操纵部位推进电动机的机械特性

中间轴推进装置的静态特性见图 2。两舷轴也如此。图中, 曲线 1、2、3 为螺旋桨特性, 4、5、6、7 为各操纵部位推进电动机的机械特性, 其中曲线 4 和 5 是在电动机磁通恒定时, 用改变发电机的电压进行调速时的机械特性。曲线 6 和 7 为功率调节器工作时的机械特性。

中间轴推进系统主电路联接见图 3, 推进电动机的二个电枢可以与发电机串成一个回路, 也可以组成 2 个独立的回路。这样的组合当一部分损坏时, 另一部分仍然继续工作, 使系统更加安全可靠、更有生命力。线路转换由换接片 H₁ 和 H₂ 来达到。发电机在线路上能实现各种状态的转换。由选择转换开关 C 来完成。两舷推进系统主电路联接的区别仅是二个并联的发电机改为一个而已。

在推进装置的调节和控制系统中采用直轴电机放大机作为主发电机和推进电动机的励磁机。全船共有 9 个励磁机组。每一个螺旋桨的两个独立的电气回路各有一个励磁机组, 另有

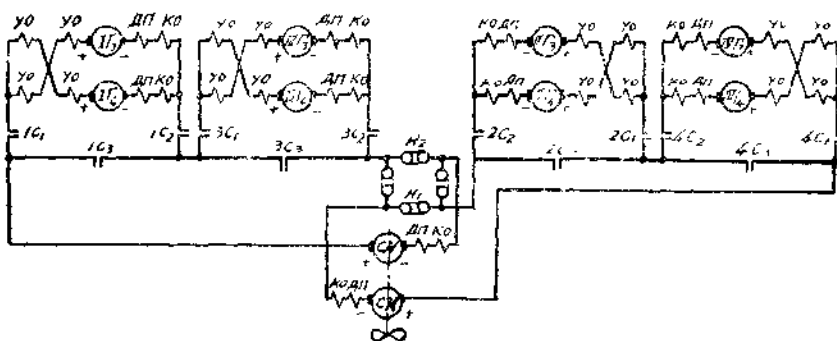


图 3 中间轴推进系统主电路联接图

Г₁—Г₂: 主发电机的电枢, CH、CK: 推进电动机的电枢, YO: 控制绕组, ДП, 附加极绕组, КО: 补偿绕组, 1C₁—4C₃: 选择性转换开关

一个备用机组。图4为中间电动机控制原理图。推进电动机从零到额定值的调速，通过改变主发电机的电压来实现。推进电动机正反转通过改变电动机的激磁磁通方向来实现。推进电动机的启动采取在ЭМУГ和ЭМУД的控制绕组上逐渐加电压的办法来实现。励磁放大机各绕组的主要功能见表5。

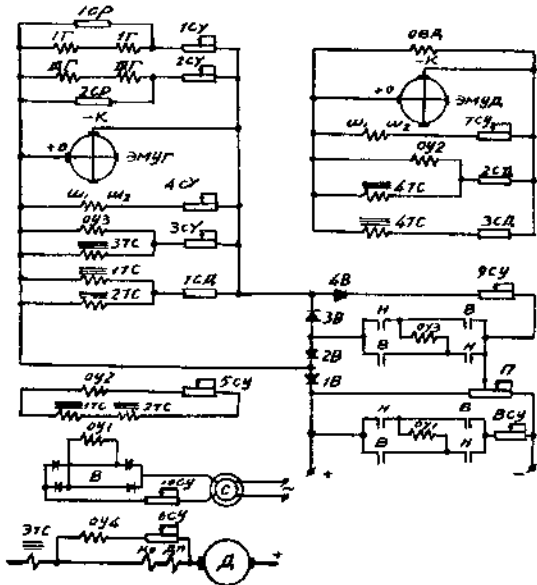


图4 中间电动机控制原理图

Д：推进电动机，ЭМУГ，ЭМУД：电机放大机，П'-1-1：发电机激磁绕组，ОУ1-4：ЭМУ控制绕组

表5 励磁放大机绕组主要功能

类别	绕组代号	主要功能
ЭМУГ	ОУ1	控制主发电机的电压
	ОУ2	电压软反馈(1TC, 2TC是TC-144型稳压变压器的副边绕组)
	ОУ3	电流软反馈(1TC、2TC、3TC是TC-144型稳压变压器的绕组)
	ОУ4	电流硬反馈，限止堵转力矩
ЭМУД	ОУ1	控制正反转向
	ОУ2	电压硬反馈，保持电动机磁通稳定(4TC是TC-72型稳压变压器的绕组)
	ОУ3	去磁绕组，进行恒功率控制

在辅助机械与主推进负载相比，有相当大比例的船舶上，则比较适宜于采用恒流系统。它能够把任何数量的电动机接入电路，可以各自独立、相互无关地进行工作，有优越的控制性能。在挖泥船、拖网渔船等船舶采用电力推进时，较多地采用恒流控制系统。典型的恒流系统的电力推进如英国的“多米尼克”号拖网渔轮。推进机组的主要参数如下：

- 原动机：“密斯”柴油机760马力，650转/分 3台
 - 推进发电机组：3组
 - 恒流主发电机：直流440千瓦0~260伏。
 - 激磁及辅助用发电机：直流70千瓦，220伏激磁扩大机。
 - 推进电动机：直流双电枢，2×800马力，170转/分(配微场扩流激磁机) 1台
 - 拖网电动机：直流300马力，600转/分0~260伏(配微场扩流激磁机) 1台
- “多米尼克”号拖网渔轮的电力推进主回路原理如图5。发电机的电枢是通过转换开关接入主回路，在任何时候都可以转接。为了确

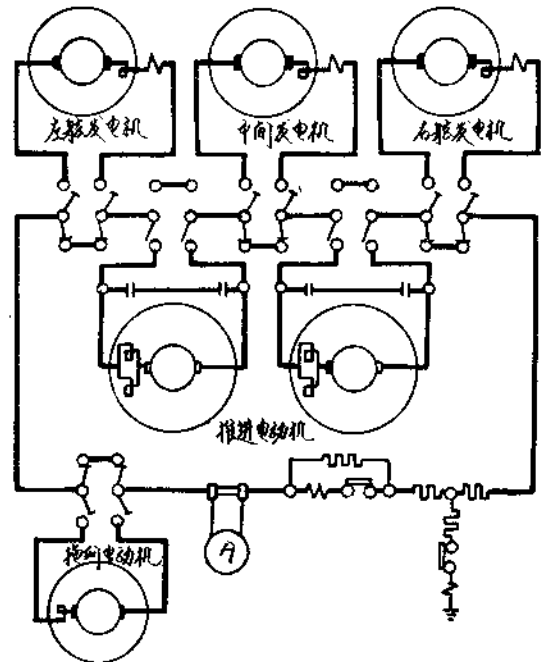


图5 “多米尼克”号渔轮主回路原理图

保主回路不会开路，转接时具有先接通后断开的特点。这样的转接方式会造成发电机的瞬时短路。所以在该瞬时，必须切除发电机的磁场电流，这靠机械连锁的方法来达到。发电机的磁场在柴油机因故不能工作时也能自动切断。推进电动机用隔离开关接入电路，只有在某个电枢损坏时才使用。推进电动机两端接有短路接触器的两个相互串联的短接触头。该短路接触器的作用是：使停止状态的电动机短接，其辅助触点可以给电动机造成一个弱磁场，保持电枢处于静止位置。

2. 交直流电力推进系统

直流电动机所需的直流电源可以由交流发电机发出经整流装置整流后取得，这样船舶电力推进便可组成一个新的推进系统，即交直流系统。使原来只有直流推进系统才能满足的特性要求的控制系统由新的交直流推进系统来完成，使系统既具有高速交流发电机组的体积小、重量轻等优点，又能具备纯直流系统所能得到的工作特性。

国外有关资料介绍，采用交直流推进系统和直流推进系统比较，造价可以降低20—30%，重量可以减少10—25%。从七十年代起，国外

所造的以直流电动机作推进电机的船舶中，大多数已采用交直流电力推进系统，因为该系统有一般直流推进系统的优点外还有如下优点：

① 可以采用高经济性、高转速的大功率的原动机。

② 交流高速发电机可与原动机直接联接，并且可以提高交流发电机的频率，从而缩小机组的外形尺寸和减少重量。

③ 可以提高电力推进系统的可靠性。

④ 可以使推进电站和船舶电站合一，使供电系统更加灵活经济。

⑤ 借助于自动调节系统，可以得到一个类似直流系统所能得到的工作特性。

交直流电力推进系统的整流装置一般可以分为硅整流装置和可控硅整流装置二种（这里指的是主回路整流装置）。该型式的电力推进系统装置的总功率一般也在20000千瓦以下的比较适宜。硅整流装置和可控硅装置应用于电力推进，可以使电力推进实现高度的自动化和适应各种转矩，转速特性的需要。采用硅整流装置的交直流电力推进，可以得到与直流F-D控制系统相同的工作特性。典型的硅整流交直流电力推进控制系统如芬兰为苏联建造的浅水

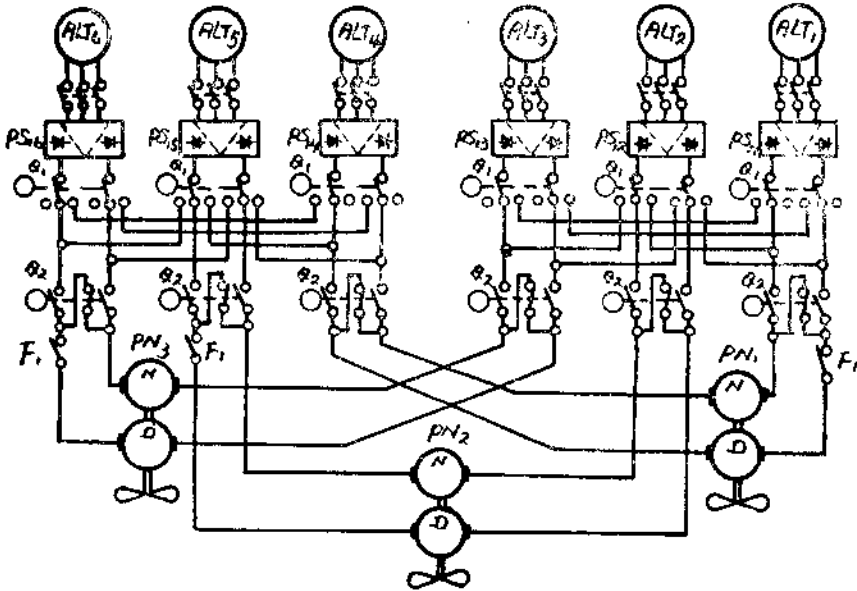


图 6 浅水破冰船主回路系统联接图

可控硅整流装置采用 6000 安的高速直流断路器 和每个可控硅配保护熔断器双重保护。如果有一个熔断器熔断时在指示器上即有显示，并自动把可控硅整流装置的输出电流减少到 85%。如果有二个熔断器熔断时，自动断路器就自动切断整流装置，整个电站是全自动的。为了防止无线电、导航设备受干扰，采用了推进电网与船舶电网隔离机组。用异步电动机拖动的交流发电机进行并联运行时，负载分配的误差小于 1%，两电网的频率差小于 0.63%。

3. 交流电力推进系统

交流电力推进，其突出的优点是可以采用高速原动机。与直流电力推进装置相比，在重量、体积和价格等方面都可以降低，效率提高，维护保养简便。而机械特性与螺旋桨特性配合就不如直流那么容易，所以一般只能用于交通运输船舶和战斗舰艇上。装置功率一般在 40000 千瓦以上比较适宜。交流电力推进，推进电动机的调速目前一般通过调电动机的电源电压和频率来达到，所以一般用于交流电力推进的原动机应能在 20~100% 转速范围内调速。采用这种型式，推进电站和船舶电站一般也分别设置。美国北极星核潜艇补给船“亨利”号就是交流电力推进，其主要参数如下：

排水量：18300 吨。

原动机：柴油机 2655 马力， $8\frac{1}{2} \times 10$ 透平增压式。 6 台

同步发电机：全封闭水冷。 6 台

用作推进时：交流 2000 千瓦，3300 伏，70.8 赫， $\cos\phi = 1$ 。

用作补给电站等时：交流 1500 千瓦，2800 伏，60 赫， $\cos\phi = 0.8$ ，配三台 2000 千伏安 2800/450 伏变压器。

同步推进电动机：15000 马力，3300 伏，157 转/分全封闭水冷（带一只螺旋桨）1 台

系统设计成可以由三台、四台、五台或六台柴油发电机组用于推进。当由三台发电机用于推进时，其余的发电机可以用于补给等日常

用电。电力推进系统原理见图 8。柴油机的空载转速选择在 45% 的额定转速（即是推进电动

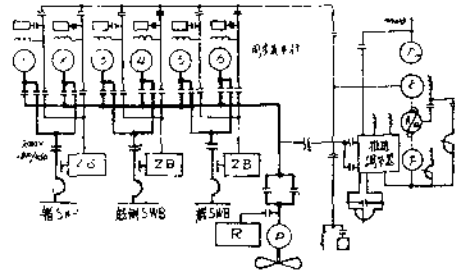


图 8 “亨利”号电力推进系统原理图

D：推进电动机， D_N ：拖动电动机，B：激磁机，BD：前置激磁机，ZB：静止激磁机，R：制动电阻

表 6 直流、交直流和交流电力推进比较表

项目	交流	直流	交直流	备注
推进电动机	交流	直流	直流	
推进发电机	交流	直流	交流	
原动机转速	高	较低	高	
重量	轻	重	较轻	
体积	小	大	较大	
价格	低	高	较高	
网路电压	>6300伏	>1000伏	AC >6300伏 DC >1000伏	我国规定
网路电流	小	大	较小	
速度控制	差	容易	容易	
机动性	差	好	好	
推进特性适应性	差	好	好	
效率	高	较高	较低	
可靠性	好	较差	较好	
维护管理	容易	难	较难	
与船舶网路通用性	好	差	好	

机开始启动时的转速)。当推进器转速 $\geq 35\%$ (35转/分)时，推进电动机和推进发电机进入同步运行，此时推进装置的效率约为 94~96%。

在启动和反转过程中，推进电动机运行于异步状态。推进电动机的反转是通过可逆接触器实现的。为了加快制动过程，系统采用了动力制动。

随着可控硅整流技术的发展，可以用可控硅变频器来变换电源的频率，这样原动机就可以恒速运转。变频器把发电机发出的固定频率转换成可调频率。控制这可调频率的振荡器来触发可控硅，从而可以精确地控制电动机的电源频率而达到调速，可以获得与直流控制系统相似的特性。变频器在陆上已有许多应用。用于船舶电力推进，还处于发展试验阶段。

前面综述了直流、交直流和交流电力推进控制系统的一些基本特点和应用情况。综合起来各系统的区别和性能比较见表6。

三

船舶电力推进，作为一种独特的推进方式受到重视和发展。船舶的其它各种动力装置直接推进的方式也都在不断的发展。从船舶的种类来看，最有可能采用电力推进的是破冰型船舶。对于该种船舶的推进方式，采用电力推进最理想最合适。至今，还无其它的推进方式可以与其媲美。从五十年代以来，国外建造的一些主要破冰型船舶，几乎全部是有电力推进的，而且推进电动机都是直流的。因为这种系统最能适应急剧频繁变化的负载，低速时能产生大转矩，有灵活的操纵性能。该性能保证船舶能破坚冰前进是必不可少的。从今后一段时间的发展来看，一般的破冰船其推进方式还离不开电力推进。其它船舶，如耙吸式挖泥船，采用

电力推进后，大功率的挖泥机械可以不必另设专用的原动机带动，动力装置的功率可以任意分配给工作机械和推进装置。再如车辆渡轮采用电力推进也是十分合适的，它可以把前后螺旋桨和侧向推进器综合在一个电力推进控制系统中，使原动机数量最少，节约投资，降低噪音，舱室布置灵活。澳大利亚有许多车辆渡轮都是采用电力推进的。

近十多年来，以燃汽轮机为原动机的交流电力推进又有发展，如澳大利亚建造的万吨级滚装船，美国建船的三万五千吨油轮都是采用燃汽轮机交流同步电动机电力推进加可变螺距桨的形式。在这类船舶及其它如高级客轮大型油轮等船舶上，发展交流电力推进还是很有前途的。由于整流技术的发展，直流电力推进逐渐由交直流电力推进来代替。因为两者相比，交直流电力推进有较多的优点。这种控制系统既可用于电力推进，也可用于控制其它船舶机械，更可以用于陆上机械。在解决了整流装置的质量牢靠，性能稳定问题以后，是一种比较理想的控制系统。船舶上有许多较高调速要求的机械都可以采用这种控制系统。近期来，国外还在发展单极电机电力推进、电磁齿轮装置和超导电力推进。国外在电力推进成套装置的配套上，可以做到根据要求，进行设计制造，及时提供产品。

我国有漫长的海岸线，辽阔的海域。为了保证航道畅通，开发海洋，需要各种类型的考察船和工程船。去南极进行科学考察已是迫切的共同愿望。所以研制出我国自己的电力推进装置来装备我们自己的科学考察船已是一项很有现实意义的工作。

综述电力推进的现状

(日) 立花康夫、村本英久、丹羽合一

本文将结合实例,对目前电力推进方式的趋势,电力推进的优点等问题分别予以介绍。

一、控制方式与实例

电力推进的控制方式,按发电机向电动机功率传输方式大致有:(1)交流——交流方式,(2)交流——变换装置——直流方式,(3)直流——直流方式三种类型。例如:交流——交流方式就是交流发电机与交流电动机组合的控制方式。下面对各种方式及最近的趋势进行介绍。

1. 交流——交流方式 这种方式按使用的螺旋桨类型又可分为调距桨的固定频率方式与定距桨的调频方式两种。其调频方式,有通过调节发电机原动机的转速来改变频率和由电气调频装置来实现频率的调节两种。原动机一般可采用中速柴油机、蒸汽轮机或燃气轮机。而电气调频装置方式,目前在陆上使用也较少,且造价较高。但随着电力用可控硅的发展,不久就可期望得到应用。本文限于篇幅,不作详细的介绍,其主要的特点如下:(1)能把推进装置电源与船内动力电源统一使用;(2)可用与直流电机相类似的调速方法;(3)无齿轮传动机构,适用于大功率的电机;(4)无换向器和碳刷,不需保养。

交流——交流方式可用于大功率的推进装置中,但转速不易控制,且低速时也不能输出大转矩。因此,一般适用于长期满负荷航行的船舶。用调距桨或调频装置来解决调速问题。

(1)实例 本文介绍Chevron建造的

35000T“普洛特科脱卡利亚”号的概况。该船的螺旋桨采用了调距桨。

① 燃气轮机 该船采用了GE公司生产的MS-3002型燃气轮机1台(12000马力,6500转/分)。

② 电机规格 发电机为凸板、无刷同步发电机1台,9550千伏安,1200转/分;推进电动机为强迫风冷式同步电动机1台,12500马力,100转/分。电源采用4100伏,60周系统。电气部分功率传输效率约为95%,也是电力推进装置中最佳的效率。

③ 推进电动机的特点 推进电动机的螺旋桨端轴承座离转子较远,因此加长了电动机轴的长度。这样能便于电动机维修时,定子能在轴向移动,可不取出轴进行定子绕组或转子的检修。图1是GE公司所发表的推进同步电动机的外形尺寸、重量与功率关系的估算曲线。

④ 电源系统的统用 由于采用了调距桨装置,使主电源系统功率得到了充分的利用,它也能提供给艏侧推装置,货油泵等设备的电源。应急时,才把辅机发电机接到主系统上,开回港口。

⑤ 起动 燃气轮机要用辅机发电机或应急发电机来运转起动电动机进行起动。推进电动机用异步电动机的星——三角起动方式,起动后再引入同步运转。

⑥ 燃气轮发电装置 已标准化,能布置在甲板上。

(2)交流电动机 推进电动机有异步电动机和同步电动机两类。异步电动机具有造价低、没有摩擦部分等优点,但与同步电动机相

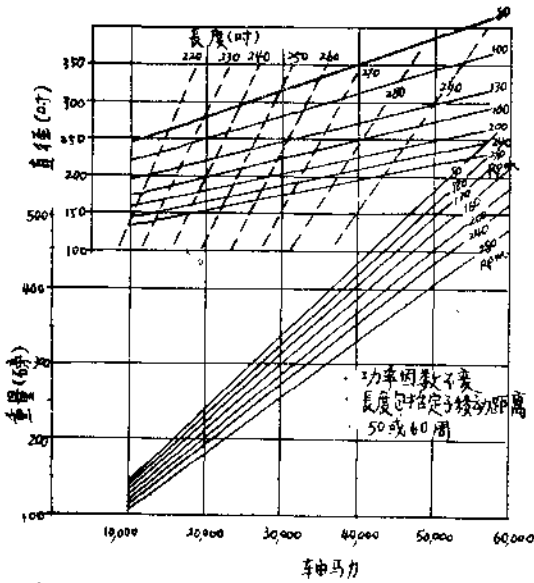


图 1 推进电动机估算曲线

比也有如下的缺点，即效率低，功率因数也低（同步电动机可调整磁场，使功率因数保持不变）、气隙小就需要特别考虑船上安装和维修问题（如增大气隙，则功率因数降低）、并且不易制造大功率低速电机。

(3) 主电路举例

① 调距桨的场合 图 2 是主电路接线图的一例。在图中用系统保护用的断路器(1)连接发电机和电动机。根据给程序控制器(3)的起动信号(2)，使电动机开始加速，并调节发电机的磁场，使原动机的负荷限制在规定的范围内。在可接向辅助动力系统的情况，为了使起

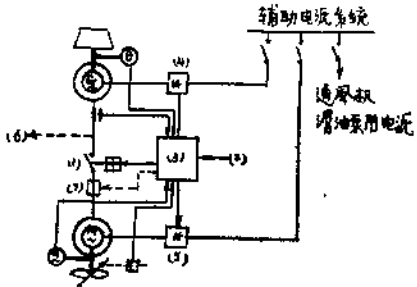


图 2 调距桨场合主电路接线图

- (1) 断路器 (2) 起动停止按钮 (3) 程序控制器 (4) 发电机励磁装置 (5) 电动机励磁装置 (6) 向辅助电源系统的转接(在需要情况) (7) 有(6)运转时的电流限制

动过程中电压变动不予过大，在线路中增加了限流装置(7)。起动时，调距桨螺距应置在“0”位，当推进电动机加速完了即引入同步运转。这种方式，在输出转矩范围内，推进电动机的负荷直接加到主原动机上。为了限制螺旋桨的负荷，必须相应地测出推进电动机的主电流，来控制螺旋桨的螺距。

② 定距桨的场合 图 3 是采用定距桨主电路接线图的一例。这种场合用改变主原动机的转速，来改变螺旋桨的转速(调频)。并分别控制二个断路器(1)或(2)来变换主电路的相序，达到方向改变。系统用断路器(3)进行保护。电动机用起动绕组起动后，在主原动机最低转速下引入同步，以后就根据要求，对主原动机进行增、减速的控制。在需要反转时，首先将原动机转速降到最小值，使推进电动机进入制动状态。为了加速反转过程，在主电路采用了反接制动法(也有考虑采用接入制动电阻法)。但在短时内，过电流可达 200%左右，对此必须予以很好考虑。制动后保持已变换的相序，经起动绕组反向起动，再引入同步进入反转运行状态。

所示的接线图中，程序控制器(4)能对主原动机远距离控制系统(8)、励磁装置(9)和

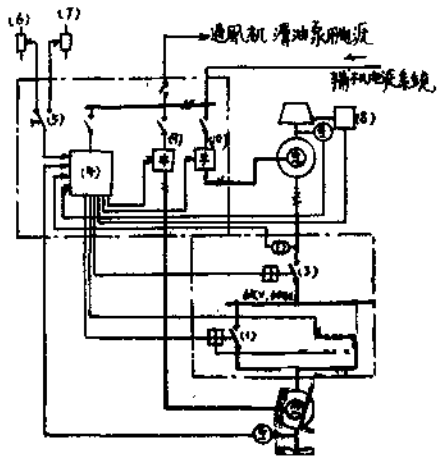


图 3 定距桨场合的主电路接线图

- (1), (2) 正、反转开关(前进-后退) (3) 断路器 (4) 程序控制器 (5) 操纵位置选择开关 (6), (7) 控制手柄 (8) 主原动机远距离控制系统 (9), (10) 励磁装置

(10)、正反转开关(1)、(2)和断路器(3)发出相对应的控制信号。此外,程序控制器还能对转速的变化和运转状态进行充分监视,并把负荷监视调整在规定范围内。主原动机转速控制范围约在25~100%内。发电机和电动机的磁场、通风机和滑油泵从辅助电源供电。

2. 交流——变换器——直流方式 在这种场合的变换器有硅整流器和可控硅变换器两类。对交流——硅整流器——直流(AC-R-DC)方式,在欧洲为渡轮、破冰船等所采用,但本文重点介绍引入注目的可控硅变换器(AC-TH-DC)方式(本方式亦称为可控硅—列奥纳特系统),它的交流电源能自由地提供给其他设备。

本文介绍这种方式的典型例子是1972年西德 Werft Nobishrug GmbH 造船厂建造的大型渡轮“德意志”号的概况。

该船采用了可控硅——列奥纳特系统,其主要原因是使电源电路的统一,省去供船内负荷用的发电机组,提高设备的利用率。但更重要的原因是其主原动机可选用机车用的高速柴油机(250 马力、1500 转/分),配用的发电机采用交流比较合适(因高速大功率的直流电机存在换向困难的问题)。

① 主电路 图4表示了船内主电路设备接线图,其推进汇流排分割成两部分,其他负荷采用三汇流排的供电方式。一般8台发电机供推进用,剩下1台供船内负荷使用。

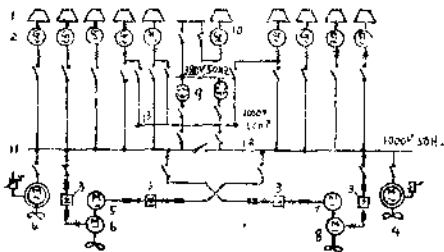


图4 电力系统和推进装置主电路接线图

- (1) 柴油机 (2) 交流发电机 (3) 交流—直流变换装置 (4) 舷侧推装置 (5)(6) 左舷直流推进电动机 (7)(8) 右舷直流推进电动机 (9) 船内一般供电变压器 (10) 应急发电机 (11) 推进系统 I (12) 推进系统 II (13) 船内一般电源系统

② 电机规格 交流发电机9台,每台为2180千伏安,1000伏,50周,功率因数0.8,托架轴承,自润滑及无刷励磁方式。冷却方式为自带通风方式,通过机舱滤器吸气,经冷却器后向机舱排气。

直流推进电动机采用双电枢,每极为3500千瓦(在195转/分时),1200伏,3070安。冰海航行或单轴运转时的过载量为3860千瓦(195~217转/分时)。

③ 变换装置 按各电动机需要装设了三相桥式不可逆可控硅整流器,交流输入电压1000伏,直流输出4400安,风冷式。全船共有主电路用可控硅整流盘16屏,励磁用可控硅整流盘2屏及控制盘2屏。电动机的磁场也采用无环流的反向并联的变换装置,并由380伏,50周的船电供电。

④ 转速控制 推进电动机的转速,在0~185转/分范围内采用控制电枢电压的大小,而在185~217转/分范围内,则用削弱磁场方法进行控制,其转速的方向用改变磁场的极性来达到。图5表示了控制系统的方框图。控制系统基本上是转速和少量电流反馈的自动

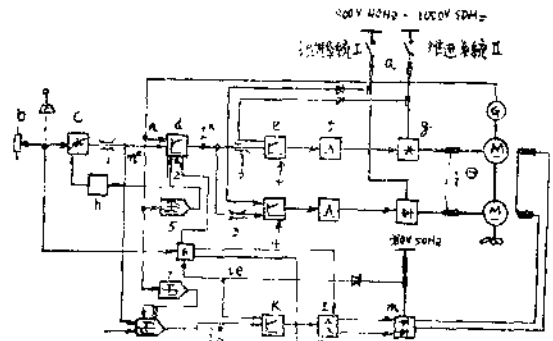


图5 推进控制电路方框图

- a. 交流电抗器 b. 设定值 c. 增减速运算器 d. 转速调节器 e. 电流调节器 f. 触发角调整器 g. 反馈 i. 滤波电感器 ⊖ k. 磁场电流调节器 l. 触发角调整器 m. 磁场变换装置限制特性: 1. 供电发电机台数 2. 电枢电流 3. 使用可控硅桥数 4. 电枢电流“0” 5. 对应转速的电枢电流(函数发生器) 6. 转矩反转器 7. 反向转矩(函数发生器) 8. 磁场电流(函数发生器)

⊖ 原图内符号之遗漏——译注。