

表 3.1.7.5 为 ALTISTART3 牌号 ATS-23 系列软起动器的性能参数。

表 3.1.7.5 ATS-23 系列软起动器性能参数

项 目	性 能 参 数
电压/V	220/240, 380/415, 440, 480/500
电流/A	12, 16, 30, 44, 72, 105, 140, 245, 410, 585, 820, 1200
功率/kW	3 ~ 800
起动方式	升压法(1s ~ 30s)、恒压法、限流法(2 ~ 5 倍)等
停机方式	自然法、电压下降法(2s ~ 60s)、直流制动法(2 倍 5s)
重量/kg	3 ~ 124

3.1.7.2 接触器

1. 接触器的分类

接触器是电动机控制电器中的主要器件,用来实现通断电动机主电路和改变其接线状态。接触器的正确选用和维护是保证其可靠工作的关键。根据不同的负载条件、负载类型规定了其通断能力,见表 3.1.7.6。接触器的分类及主要技术参数见表 3.1.7.7、表 3.1.7.8 和表 3.1.7.9。

2. 接触器的选用原则

由接触器的分类和试验条件可知,决不能只按线路额定电流而不分负载类别选用同容量接触器。正确的选用原则如下:

1) 除了 AC-1 负载外,用于控制 AC-2、AC-3 负载时,应按额定电流在规定的操作频率下选用相应额定发热电流的接触器。

2) 由于触头电寿命约与分断电流的 1.6 至 2.2 次方成反比,降低容量使用可增加电寿命,因此用户要求的电寿命次数可从操作频率及使用期限计算出来。如要求提高电寿命次数,对于 AC-4 负载可以用降低容量的方法来实现。

3) 用于长期工作制时,应选用银、银合金或镀银触头的接触器,如选用铜触头接触器,则应将其容量降至 8h 工作制额定容量的 50% 以下使用。

4) 用于重复短时工作制时,应按负载图计算其等效发热(方均根)电流来选择接触器的额定电流,可按式(3.1.4.6)计算。

5) 用于不同工作电压时,其工作电流可按功率相等原则来换算,但不能超过额定发热电流和额定绝缘电压。

6) 接触器安装于密闭的箱中或环境温度高于规定条件时,应适当降容使用,一般为 1 级,个别为 2 级。

7) 直流接触器用于高电感负载时应降容使用,但最小工作电流不得低于按 DC-3 使用类别时额定电流的 20%,以免磁吹灭弧性能减小而断弧困难。

表 3.1.1.7.6 交直流主回路用控制电器接通和通断能力分类

电 流 种 类	用途 分类 代号	用 途 分 类	额定工作电 流值 /A	通 断 条 件				接 通 条 件				试验间隔 /s	每次通电 时间 /ms
				I/I_N	U/U_N	功率因数 $\cos\varphi^{①}$ 或时间常数 T/ms	试验 通断 次数	I/I_N	U/U_N	功率因数 $\cos\varphi^{①}$ 或时间常数 T/ms	试验 接通 次数		
交 流	AC-1	无感或微感负载,电阻炉	全部值	1.5	1.1	0.95	25	1.5	1.1	0.95	20	5~10	50~500
	AC-2	启动和运转中断开绕线型 电动机	全部值	4	1.1	0.65		4	1.1	0.65	20		
	AC-3	启动和运转中断开笼型电 动机	$I_N \leq 17$ $17 < I_N \leq 100$ $I_N > 100$	8 8 8 ^②	1.1	0.65 0.35 0.35		10 10 8 ^②		0.65 0.35 0.35	100		
	AC-4	启动,反接制动,反向与断 接通断笼型电动机	$I_N \leq 17$ $17 < I_N \leq 100$ $I_N > 100$	10 10 8		0.65 0.35 0.35		12 12 10 ^③	—	0.65 0.35 0.35	20		
直 流	DC-1	无感或微感负载,电阻炉	—	—	—	—	—	—	—	—	20	5~10	50~500
	DC-3	启动,反接制动,反向与断 接通断并励直流电动机	全部值	4	1.1	2.5	4	1.1	2.5	20			
	DC-5	启动,反接制动,反向与断 接通断串励直流电动机	全部值								15		

① $\cos\varphi$ 的误差为 ± 0.05 , T 的误差为 $\pm 15\%$ 。
② I 或 I_N 的最小值为 $1000A$ 。
③ I_N 的最小值为 $800A$ 。
④ I 的最小值为 $1200A$ 。

① $\cos\varphi$ 的误差为 ± 0.05 , T 的误差为 $\pm 15\%$ 。② I 或 I_N 的最小值为 1000A。③ I_N 的最小值为 800A。④ I 的最小值为 1200A

表 3.1.7.7 接触器的分类

序 号	分 类 原 则	分 类 名 称	用 途
1	按主触头所控制电路的种类分	直流	1. 作为远距离频繁地接通和分断直流电路用; 2. 作为交流电动机动力制动用
		交流	作为远距离频繁地接通和分断交流电路用
2	按主触头极数分	单极	1. 用于控制单相负载,如照明、点焊机等; 2. 作为短接直流电动机各级起动电阻用; 3. 能耗制动
		双极	1. 在绕线型电动机的转子回路中,作短接各级起动电阻用; 2. 直接起动及控制直流电动机; 3. 交流电动机的动力制动; 4. 用于较大容量的控制回路中
		三极	1. 直接起动及控制交流电动机; 2. 用于较大容量的控制回路中
		多极	1. 用于桥式起重机上,控制两台电动机同时起动和停止; 2. 控制三相四线制的照明线路; 3. 组成自耦补偿器; 4. 控制双速笼型电动机,将定子绕组从三角形换接成两个并联星形; 5. 用于较大容量的控制回路中
3	按主触头的正常(即吸引线圈无电时)位置分	常开式	广泛用于控制电动机及电阻负载等
		常闭式	主要用于能耗制动或备用电源的接通
		一部分常开,另一部分常闭	用于发电机励磁回路的灭磁或备用电源的接通
4	按吸引线圈种类分	交流励磁	交流接触器用
		直流励磁	多用于直流接触器中,有时也用于交流接触器中
5	按灭弧介质分	空气式	用于一般用途的接触器
		真空式	因电弧不会外喷,触头间隙真空,介质恢复速度快,故适用于防爆、防腐、分断电容负载以及电压在 1000V 以上的场合
6	按有无灭弧室分	有灭弧室	用于直接分断负载的接触器
		无灭弧室	用作加速电动机起动的接触器及小容量接触器

表 3.1.7.8 接触器的主要技术参数

额定电压/V		辅助触头电压/V	额定电流/A	额定工作制	操作频率 (次/h)	使用类型 ^①		机械寿命 (万次)	电寿命 ^②
交流	直流					交流	直流		
380 660 1140	220 440	220 380	6.3, 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000	1. 8h 工作制 2. 不间断工作制 3. 断续周期工作制(按 FC 及次/小时分类) 4. 短时工作制	1, 3, 12, 30, 120, 300, 600, 1200, 1800, 3000	AC-1 AC-2 AC-3 AC-4	DC-1 DC-3 DC-5	300 ~ 1000	见表 3.1.7.9

① 不同使用类别的接通和分断条件的技术数据见表 3.1.7.6。
② 以相应于表 3.1.7.9 的使用条件, 无需修理或更换零件的负载操作次数表示, 在产品技术条件中规定。对于 AC-3 一类, 电寿命次数应不少于相应的机械寿命次数的 1/20

表 3.1.7.9 不同使用类别验证电寿命的试验条件

使用类别			额定工作 电流/A	接 通			分 断		
				I/I_N	U/U_N	$\cos\phi$ 或 $L/R/ms$	I/I_N	U/U_N	$\cos\phi$ 或 $L/R/ms$
AC	AC-1		全部值	1	1	0.95	1	1	0.95
	AC-2		全部值	2.5		0.65	2.5		0.65
	AC-3	一类	$I_N \leq 17$	6			0.35	1	
			$I_N > 17$						
		二类	$I_N \leq 17$	2	1.1	0.65	2	1.1	0.65
			$I_N > 17$						
	AC-4		$I_N \leq 17$	6	0.65	6	0.65		
			$I_N > 17$		0.35			0.35	
DC	DC-1		全部值	1	1	1	1	1	
	DC-3			2.5		2.5		2	
	DC-5					7.5		7.5	

注: $\cos\phi$ 的误差为 ± 0.05 , L/R 的误差为 $\pm 15\%$

常用接触器系列及性能参数见表 3.1.7.10。

表 3.1.7.10 常用船用接触器系列性能参数

序	系列	额定电压/V	额定电流/A	寿命($\times 10^6$ 次)		
				机械	电气 AC-3	电气 AC-4
1	CJ91	380	10~150	1	0.2	
2	CJ920	380,660	60~630	10	1.2~2	0.5~1.5
3	CJ913	380	250~600	1	0.2	
4	CJ914	380,440	10~150	1	0.2	
5	CT91	380	25~150	1	0.2	
6	CJC1	380,440	10~160	1~3	0.3~0.5	
7	B	380,660	16~460	10	1	0.01
8	3TB	380 660	9~32,45~630 7.2~18	10 10~15	1 1.2	0.2
9	3TH	380 660	6 2	30	1.2	
10	CJ98	380	20~150	1	0.2	

3.1.8 可编程控制器

1. 概述

可编程控制器(Programmable Logic Controller,缩写为 PLC)是从 70 年代发展起来的新型控制设备,它是在大规模集成电路成功开发的基础上建立起来的集计算机和接口电路于一体的微型工业控制电脑。PLC 的功耗低、速度快、功能强、使用灵活、操作简单、结构紧凑、可以安装在工业运行环境、输入光电隔离、输出继电器隔离、抗干扰和可靠性达到了很高的水平。它具有算术运算功能,并有强大的逻辑功能,包括延时、计数、条件和步进顺序控制,指令简单,编程方便,能适用于单一的电动机控制直到最高级的自动化控制。最小的控制器可以经济地替代少量继电接触器,而最大的则是具有过程计算机功能的大型控制器。可以说,PLC 的出现,从根本上改变了电力拖动控制的基本面貌,PLC 在技术经济指标及可靠性方面使电力拖动控制及自动化性能达到了一个极高的水平。

PLC 在性能上是集逻辑、定时、计数、算术运算、数字量输入/输出、模拟量输入/输出、智能输入/输出、通信、显示等功能于一体的综合型控制器,通过编程器及多种软件完成各种不同的程序应用,具有操作员控制和过程监视;在结构上均为模块式,可方便扩展;在规模上按输入/输出接口的数量可以分为超小型(≤ 64)、小型(65~128)、中型(129~512)、大型(513~1024)、超大型(> 1024)。

PLC 可广泛应用于各种场合,小到简单的机器,大到工厂或过程的控制。在船舶上,辅助锅炉、分油机、主机遥控、起货机等已有成功的采用 PLC 的例子。可以预料,随着造船技术水平的提高和 PLC 价格的下降,其应用会日趋扩大。

2. PLC 组成及工作原理

PLC 的硬件由中央处理器(CPU)、输入模块、输出模块、电源、编程器及外部设备组成,如

图 3.1.8.1 所示。输入模块与现场设备的开关、按钮及仪表信号连接读入 CPU,由 CPU 中的用户程序解读,这些程序是由一系列的指令组成的,包括逻辑运算、算术运算、定时、计数、比较、数据传送、存取及转换等。在完成了用户程序中所规定的控制任务后,按照输入和输出信号进行逻辑判断,用其结果来驱动输出模块,控制继电器、电磁阀或电动机等,完成工作过程的控制。输入及输出模块中均有电平、电压和电流的转换及隔离部件。CPU 中还有系统程序存储器,存放监控程序、模块化应用功能子程序、调用管理程序和各种系统参数。用户程序不用汇编语言编程,而是主要采用继电器梯形图语言编程。该语言是在常规的继电逻辑控制系统的基础上发展起来的,用继电器接点、线圈、定时器图形符号直接表达控制任务中的输入输出关系;对于算术逻辑运算、数据传送及转换等关系,则用功能图和助记符表示。

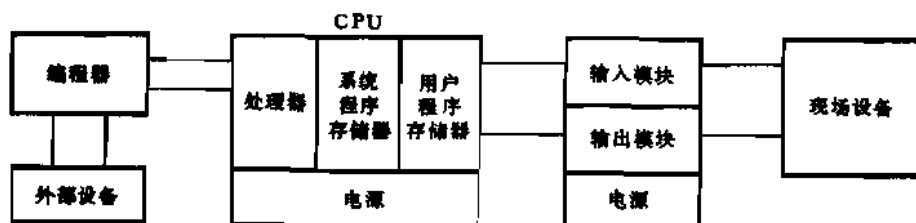


图 3.1.8.1 PLC 硬件组成框图

PLC 的选择是根据被控系统的技术要求,即满足开关量输入输出容量(点数)、模拟量输入及信号处理能力、通道及精度、隔离性能、采样速率、外部设备驱动功能、实时控制的响应速度和操作维修的方便程度等性能要求。PLC 的主要性能参数见表 3.1.8.1^[7]。

表 3.1.8.1 PLC 主要性能参数

规格项目	小 型	中 型	大 型
编程语言	语言表或梯形图	语言表或梯形图	梯形图
存储器容量和型号	0.5k ~ 2k CMOSRAM, EPROM EEPROM	2k ~ 8k CMOSRAM, EPROM EEPROM	4k ~ 256k CMOSRAM
典型扫描速率	30ms/1k ~ 50ms/1k	1ms/1k ~ 30ms/1k	0.15ms/1k ~ 3ms/1k
定时器/计数器	各 16 个 ~ 64 个	各 128 个	任意指定
内部继电器	32 个 ~ 128 个	128 ~ 1023 个	任意指定
数据寄存器	4 ~ 6	256 ~ 1023	1 ~ 8k
I/O 容量	8 ~ 128 点	128 ~ 1024 点	1024 ~ 32000 点
PID	无	少量 PID 回路	16 ~ 64 个 PID 回路
远程 I/O 能力	无	一些中型 PLC 有	有 并行传输距离 < 600m 串行传输距离 4.5km
高精度定位控制和 ASCII /BASIC 功能生产管理功能	无	高档中型 PLC 有	有
诊断功能	有	有	有
运算功能	主要做逻辑运算, 少数可做四则运算	逻辑和算术运算 (矩阵和双精度运算)	逻辑和算术运算 (矩阵、双精度、浮点运算等)
机型举例	三菱 F-40, 60 GES-3 MODICONPC-085 GE-1 西门子 S5-90, 95, 100	三菱 K-系列 GES-6 MODICON484, 884 西门子 S5-115	MODICON584, 984 西门子 S5-135, 155

3. PLC 系列产品简介

1) 西门子 SIMATIC 系列^[10]

主要有 S5(STEP5 编程语言)、S7(STEP7 编程语言)、TI 系列及其配套的种类繁多的输入输出模板、编程器、操作员控制和过程监视系统及开放型通信网络;另有 95F、115F 型带故障保护和 115H、155H 型带容错系统的产品,以二取一动态冗余方式运行,满足高可靠性需求,运行速度快且有优异的扩展能力。编程语言大都采用 STEP5 语言,具有梯形图 LAD、语句表 STL 和控制系统流程图 CSF 三种型式,也可用 GRAPH5 编程语言。系列产品具有多种规格及尺寸,以适用于各种恶劣环境及狭小空间。下面以 S5 系列为例介绍主要规格,图 3.1.8.2 为 S5 系列的各种产品照片,表 3.1.8.2 为 S5 系列各种产品的主要性能规格。

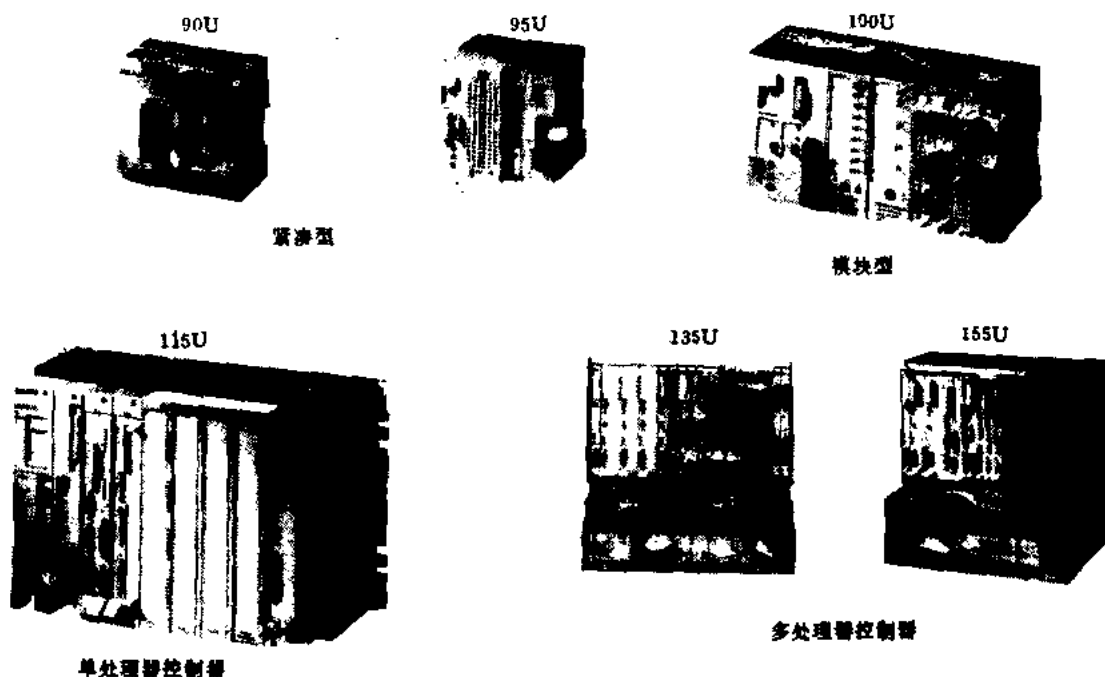


图 3.1.8.2 SIMATIC S5 系列产品外形

S5-90U 是一种密集型的小型 PLC,应用简单,价格便宜,可代替继电器用。

S5-95U 也是一种密集型的小型 PLC,但有着中等 PLC 功能,能用于复杂任务要求。

S5-100U 是一种模块型的小型 PLC,具有分立模板式总线进行扩展,与密集型不同,模块型必须配置合适的 I/O 模板才能应用。

S5-115U 是一种单处理器型的中型 PLC,也是模块型结构,有多种底板机架以组成集中式或分散式结构。

S5-135U 是一种多处理器型的中型 PLC,有 3 种具备特殊作用的 CPU,并可进行各种组合,每个 CPU 可独立运行。结构上由中央控制器及所需的扩展单元组成。

S5-155U 是一种多处理器型的大型 PLC,有四种具备特殊作用的 CPU,结构同 135U,具有强大的内存能力和运算时间,可与上位机和现场控制器联网而形成网络系统。

S5 系列的智能 I/O 模板还能完成超出逻辑控制的功能,如高速高精度 PID 控制、闭环控制、定位控制和高速计数等。

2) 三菱 F 系列

表 3.1.8.2 SIMATIC S5 系列 PLC 性能参数

[illegible]

三菱 F 系列微系统有 F1 及 F2 两种规格,其性能参数见表 3.1.8.3。

表 3.1.8.3 三菱 F 系列 PLC 性能参数

规 格	F1	F2
基本单元 I/O	6/6 ~ 36/24 五种	
扩展单元 I/O	4/6 ~ 36/24 四种	
编程语言	梯形图	
执行速度	12 μ s/Step	7 μ s/Step
执行方式	周期执行,集体 I/O	
指令(基本/步进/功能)	20/2/87	
程序存储器(内装 CMOSRAM,外插 EPROM)	1K	2K
计时器(0.1s ~ 999s)	24	
计数器(0 ~ 999 进计)	8	
辅助继电器	30 可保持	
特殊继电器	1 可保持(2kHz)	
电源	AC 115V/230V	
备用电池	锂电池(5 年)	

F1 基本单元的扩展口(除 F1 ~ 12)可连接模拟量 I/O 装置,4 路输入 2 路输出,每个单元占用 20 点。输入电压 0 ~ 10V 电流 0 ~ 20mA;输出电压 0 ~ 10V 电流 0 ~ 20mA,数字量均为 8 位,采用光电隔离。

3) 富士 NB 系列

富士 NB 系列是以 I/O 口点数为单位插入安装式的 PLC,有 NB1 和 NB2 两种规格,其性能参数见表 3.1.8.4 ~ 表 3.1.8.6。

表 3.1.8.4 富士 NB 系列 PLC 基本单元规格

	基本型号	框架尺寸	概 略 规 格			
			I/O 点数 ^②	增设时 最大 I/O 点	程序存 储容量	处理速度 (顺控命令)
I/O 自由配置	NB1 - P24	A	24 点	302 点	8K	0.61 μ s/Step
	NB1 - P40	B	40 点	318 点		
	NB1 - P56	C	56 点	334 点		
I/O 配置 按规格	NB2 - P24	A	24 点(12/12)	32 点	1K ^①	10 μ s/Step
	NB2 - P36	A	36 点(18/18)	44 点		
	NB2 - P56	B	56 点(28/28)	334 点	8K ^①	0.61 μ s/Step
	NB2 - P90	C	90 点(48/42)	368 点		

① 内存 PAM。使用 EPROM,EEPROM 时另装入存储器盒。

② () 内表示(输入点数/输出点数)

表 3.1.8.5 富士 NB 系列 PLC 扩展单元规格

	基本型号	框架尺寸	概 略 规 格		备 注
			输入点数	输出点数	
I/O 自由配置	NB1 - E8	D	合计 8 点		电源不要、扩展盒
	NB1 - E24	A	合计 24 点		
	NB1 - E40	B	合计 40 点		
	NB1 - E56	C	合计 56 点		
I/O 配置 按规格	NB2 - E24	A	12 点	12 点	
	NB2 - E36	A	18 点	18 点	
	NB2 - E56	B	28 点	28 点	
	NB2 - E90	C	48 点	42 点	

表 3.1.8.6 富士 NB 系列 PLC 性能参数

项 目			NB1 型	NB2 型	
			NB1 - P24 NB1 - P40 NB1 - P56	NB2 - P24 NB2 - P36	NB2 - P56 NB2 - P90
演算控制方式			反复演算存储程序		
输入输出控制方式			全部刷新方式(仅基本单元能直接方式)		
处理速度	基本指令		0.61 μ s/Step	10 μ s/Step	0.61 μ s/Step
	应用指令		平均 100 μ s	平均 100 μ s	平均 100 μ s
程序语言			助记符/梯形图/SFC		
程序容量			最大 8K	最大 1K	最大 8K
存储器形式			8K RAM 内	1K RAM 内	8K RAM 内
			EPROM 4K/8K	EPROM 1K	EPROM 4K/8K
			EEPROM 4K/8K (由盒方式任选)	EEPROM 1K (由盒方式任选)	EEPROM 4K/8K (由盒方式任选)
指令之种类	基本指令		22	22	22
	应用指令		58	25	58
输入输出继电器		X Y	512 点	64 点	512 点
辅助继电器	一般用	M	1024 点	1024 点	1024 点
	锁存用	L	1024 点	512 点	1024 点
	特殊用	M	512 点	512 点	512 点
状态继电器		S	1024 点	256 点	1024 点
定时器(10ms 速度)		T	512 点	32 点	512 点
计数器(可变)		C	256 点	32 点	256 点
寄存器	通用数据寄存器	D	1024 字	64 字	1024 字
	特殊用	D	256 字	64 字	256 字
	文件用	R	由设定使用程序区域	—	由设定使用程序区域
指示器	分枝用	P	256 点	256 点中任意 16 点	256 点
	中断用	I	20 点	16 点	20 点

NB 系列每个基本单元除可直接连接 1 台 8 点扩展盒外,尚可最大增设 3 台 I/O 扩展单元和 4 台功能单元。

NB 系列 I/O 继电器全部构成独立回路,因此能适应不同电压回路,并可以 1 点为单位可变速设定输入滤波时间常数。输入电压 DC 5V, 12V, 24V, 110V, 220V, 输出有继电器型 AC 220V, DC 24V, 晶闸管型 AC 110V, 220V, 晶体管型 DC 5V, 24V, 48V 3 种方式。

4) 欧姆龙 SYSMAC - C 系列

SYSMAC - C 系列 PLC 的主要性能参数见表 3.1.8.7。

P 型机是专用于开关量的小型机,分主箱体及扩展箱体和编程器 3 部分。H 型机为模块式中型机,有模拟量 I/O 口。

3.1.9 晶闸管变流器

1. 电力电子器件

在交流调速拖动及直流调速拖动中,主要是采用晶闸管变流器作为电源变换装置来实现的。晶闸管变流器能将电源的电能形式变换成负载所需的电能形式,这就为实现多种多样的拖动系统奠定了动力基础。

普通整流管和晶闸管是电力电子器件的基本代表和第一代器件,目前具有自关断能力的可关断晶闸管 GTO、大功率晶体管 GTR 及绝缘栅双极晶体管 IGBT 等第二三代器件已代替了普通晶闸管组成了新的变流器而得到应用。

常用普通晶闸管组成晶闸管变流器。普通晶闸管的结构及特性见图 3.1.9.1。

由晶闸管组成的常用整流线路、有关计算系数及特点见表 3.1.9.1^[5]。

一般,选择晶闸管的电流定额 I_{Ta} 时可按下式计算,即

$$I_{Ta} = (1.5 \sim 2) \frac{K_{IT} I_{dmax}}{n_b K_I} \quad (3.1.9.1)$$

其中(1.5~2)为安全裕量。

选择晶闸管的电压定额 U_{RRM} 时可按下式计算,即

$$U_{RRM} = (2 \sim 3) \frac{K_{UT} U_{V\phi}}{n_c K_U} \quad (3.1.9.2)$$

其中(2~3)为安全裕量。

式中 K_{IT} ——晶闸管电流计算系数(见表 3.1.9.1);

K_{UT} ——晶闸管电压计算系数(见表 3.1.9.1);

I_{dmax} ——最大整流电流值(A);

$U_{V\phi}$ ——电源相电压有效值(V);

n_b ——晶闸管并联数;

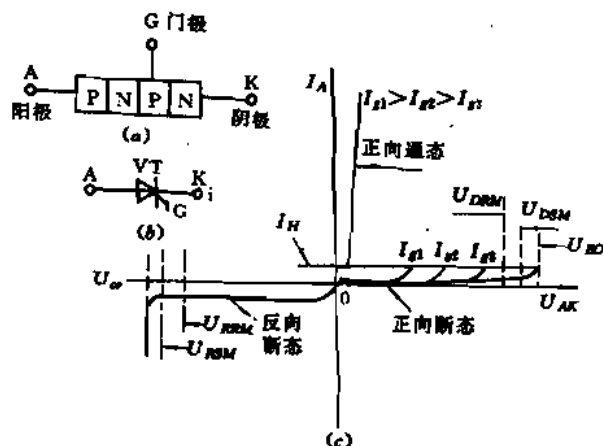


图 3.1.9.1 晶闸管静态特性
(a)结构示意图;(b)代表符号;(c)静态伏安特性。

n_c ——晶闸管串联数;

K_f ——均流系数 0.8~0.9, 无并联时为 1;

K_U ——均压系数 0.8~0.9, 无串联时为 1。

KP 型普通晶闸管元件的主要参数见表 3.1.9.2^[7]。

表 3.1.9.2 KP 型晶闸管元件性能参数

系 列	参 数								冲击电流 I_{TSM}
	通态平均 电 流 I_T	断态重复峰值 电压、反向重 复峰值电压 U_{DRM}, U_{RRM}	断态不重复 平均电流、 反向不重复 平均电流 I_{DS}, I_{RS}	额定结温	门极触发电 流 I_{GM}	门极触发电 压 U_{GM}	断态电压临 界上升率 dv/dt	断态电流临 界上升率 di/dt	
单位	A	V	mA	℃	mA	V	$V/\mu s^{-1}$	$A/\mu s^{-1}$	A
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KP1	1	50~1600	≤ 1	100	3~30	≤ 2.5	30	—	20
KP5	5	100~2000	≤ 1	100	5~70	≤ 3.5	30	—	90
KP10	10	100~2000	≤ 1	100	5~100	≤ 3.5	30	—	190
KP20	20	100~2000	≤ 1	100	5~100	≤ 3.5	30	—	380
KP30	30	100~2400	≤ 2	100	8~150	≤ 3.5	30	—	560
KP50	50	100~2400	≤ 2	100	8~150	≤ 3.5	30	30	940
KP100	100	100~3000	≤ 4	125	10~250	≤ 4	100	50	1880
KP200	200	100~3000	≤ 4	125	10~250	≤ 4	100	80	3770
KP300	300	100~3000	≤ 8	125	20~300	≤ 5	100	80	5650
KP400	400	100~3000	≤ 8	125	20~300	≤ 5	100	80	7540
KP500	500	100~3000	≤ 8	125	20~300	≤ 5	100	80	9240
KP600	600	100~3000	≤ 9	125	30~350	≤ 5	100	100	11160
KP800	800	100~3000	≤ 9	125	30~350	≤ 5	100	100	14920
KP1000	1000	100~3000	≤ 10	125	40~400	≤ 5	100	100	18600


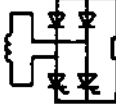

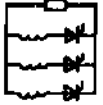
2. 变流器类型

晶闸管变流器主要类型见表 3.1.9.3。

表 3.1.9.3 晶闸管变流器类型及用途

类型	交-直	交-交	直-直	直-交
用途	不可控整流器 可控整流器	间接式“交-直-交”变频器 直接式“交-交”变频器	斩波器 脉宽调制器	有源逆变器 无源逆变器

表 3.1.9.1 常用整流线路有关的计算系数及特点

接法	线 路 图	换相 电抗压 降计算 系数	整流 电压计 算系数	晶闸 管电压 计算系 数	晶闸 管电流 计算系 数	晶闸 管侧电 流计算 系数	变压器 侧电抗 计算系 数	变压器 容量计 算系数	变压器 器漏感 计算系 数	变压器 器电感 折算系 数	变压器 器电阻 折算系 数	整流 线路最 大滞后 时间 T_{da} /ms	特 点 及 适 用 范 围					注
													线 路 组 成	电 压 脉 动	能 否 逆 变	变 压 器 利 用 率	应 用 范 围	
单 相 全 波		0.707	0.9	2.83	0.45	0.707	1	1.34	2	1	1	10	简单	最大	能	较差	10kW 以下 小容量	
单 相 半 桥		0.707	0.9	1.41	0.45	1	1	1.11	1	0	1	20	简单	大	不能	较好	10kW 以下 小容量,不可 逆	
单 相 全 桥		0.707	0.9	1.41	0.45	1	1	1.11	1	1	1	10	简单	最大	能	较好	10kW 以下 小容量	
三 相 零 式		0.866	1.17	2.45	0.367	0.577	0.472	1.35	2.12	1	1	6.6	较简单	较大	能	差	50kW 以下 传动及电机 励磁	有不平衡 磁通

1) 整流器

典型的可控整流电路及性能见表 3.1.9.4^[7]。用晶闸管组成的可控整流电路可以把交流电变成电压可调的直流电,这种整流装置称为晶闸管整流器。不同的整流电路、不同的控制角 α 、不同性质的负载都会使这种变换具有不同的特点。

表 3.1.9.4 典型的可控整流电路及性能

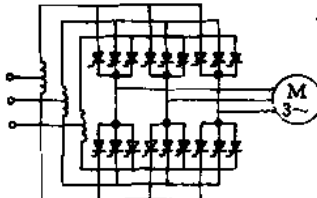
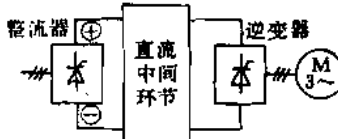
名 称	电 路 图	应 用 范 围	性 能 特 点
单相半控桥		适用于小功率不可逆的拖动系统 功率范围小于 1kW	输出电压 U_d $U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$ $U_{d0} = 0.9 U_2$ 输出波形为有续流的双脉波不能组成逆变线路, $t_{\text{max}} = 10\text{ms}$ ^①
单相全控桥		适用于小功率可逆的拖动系统 功率范围为 4kW 以下	$U_d = U_{d0} \cos \alpha$ $U_{d0} = 0.9 U_2$ 输出波形为无续流的双脉波可组成逆变线路, $t_{\text{max}} = 10\text{ms}$
三相半波		适用于中小功率的可逆拖动系统。要求电源中线允许流过电流的场合 功率范围 20kW ~ 30kW	$U_d = U_{d0} \cos \alpha$ $U_{d0} = 1.17 U_2$ 输出波形为三脉波, 脉动程度较单相小, 可组成逆变线路, $t_{\text{max}} = 6.6\text{ms}$
三相半控桥		适用于不可逆的拖动系统或磁场供电用装置 功率范围为 100kW 以下	$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$ $U_{d0} = 2.34 U_2$ 输出波形主要为三脉波不能组成逆变线路, $t_{\text{max}} = 6.6\text{ms}$
三相全控桥		通用性强 功率范围从几千瓦直到 1000kW	$U_d = U_{d0} \cos \alpha$ $U_{d0} = 2.34 U_2$ 输出波形为六脉波, 脉动较小常组成可逆线路, $t_{\text{max}} = 3.3\text{ms}$

① $t_{\text{max}} = \frac{1}{m f}$, f 为电源频率, m 为一个周期内的波头数, t_{max} 为最大的失控时间

2) 变频器

典型的变频器电路及性能见表 3.1.9.5^[7]。

表 3.1.9.5 典型的变频器电路及性能

名 称	典型 接 线 图	性 能 特 点
交-交变频器		<ol style="list-style-type: none"> 1. 换能过程为一次(交-交)、效率较高、变流器的电源可以是单相或三相; 2. 变频器所用元件较多、线路复杂、图示为三相半波反并联电路,需元件 18 个,若为三相桥式,则需 36 个; 3. 如不采用强迫换流,输出最高频率仅为电网频率的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$,且电网功率因数低; 4. 容易实现再生制动,适用于四象限运行状态; 5. 适用于低速大功率场合
交-直-交变频器		<ol style="list-style-type: none"> 1. 换能过程为二次(交-直、直-交)、效率较低; 2. 变频器所用元件较少; 3. 输出频率范围宽; 4. 变频器组成特点:由整流器与逆变器二大部分组成,各部分通常均采用三相桥式电路,当直流中间环节并联大电容时,为电压源型;串入大电感时,为电流源型; 5. 交-直-交变频器被广泛地应用在交流调速上, <ul style="list-style-type: none"> ① 主回路简单、可靠、易于实现过流、短路保护及再生制动,可四象限运行; ② 不允许无载运行,需要最小负载电流来满足逆变器的换流; <p>适用于大、中功率的单机拖动</p> <p>电压源型</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 换流电路比较复杂; ② 不能再生制动,需要制动时应附加电路; ③ 采用 PWM 控制,在较宽频率范围内,都有良好的输出; <p>适用于中、小功率拖动系统或多机拖动</p>

- ① 交-交变频器实质上是两组反并联的可控整流器所组成,与直流可逆系统不同之处,在于相控角 α 的调制规律不同。因此直流可逆系统中所用的有环流和无环流系统的概念,同样适用于交-交变频器。
- ② 交-直-交变频器中的逆变器,如采用晶闸管逆变电路,换流问题将是电路安全可靠运行的关键,在确定电路方案时,应重视各种换流电路的比较,如果采用 GTO(可关断晶闸管)、GTR(大功率晶体管)等自关断器件,则电路可大为简化

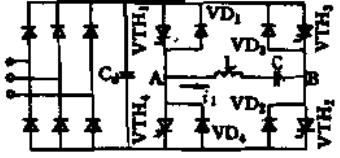
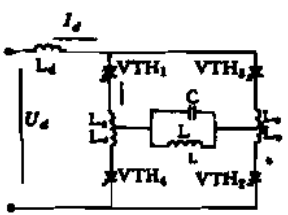
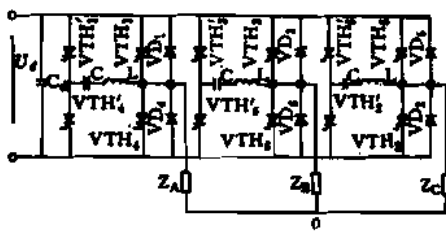
交-交变频器目前常以晶闸管作为开关器件,常用于变频器的输出频率为 $1/2$ 工频以下的大功率拖动系统。由于采用较多的电力电子器件及输出频率较低的原因,交-交变频器的使用还不广泛。

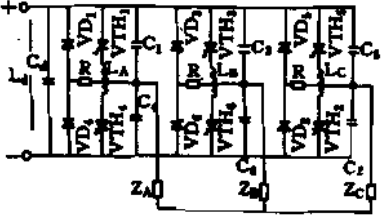
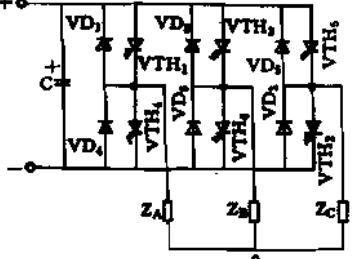
交-直-交变频器由整流器、滤波器及逆变器三部分组成,分为电压型和电流型两种。电压型的输出电压与负载变化和功率因素变化无关,即无需调压,这是电压型逆变器对交流电动机供电最本质的优点。电流型的逆变器输入电流的调节是用主电路电流负反馈的可控整流桥来保证的,以产生调压作用,即必须是负载总阻抗和功率因数的函数,这是电流型逆变器应用较为局限的原因^[7]。但是电流型因采用可控整流器而易于实现再生能量反馈,大电感滤波器的抑制电流上升易于实现过电流保护及易于以多重化实现变频器的功率扩大等优点,可组成简单、快速、经济的系统而应用于某些频繁的重重复短时运行可逆装置上。

变频器最简单的调速方案是向异步电动机提供电压与频率之比按一定规律变化的电源。采用转差频率控制的方案虽比上述开环系统进了一步,形成了转速闭环,但也只能满足静态的要求,其动态性能仍不够满意。而矢量控制的方案由于将定子电流分解为转矩分量和励磁分

典型的逆变器电路及性能见表 3.1.9.7^[7]。

表 3.1.9.7 典型的逆变器电路及性能

主 电 路	主 电 路	简要说明	特 点	应 用
串联谐振式逆变器		<p>L 为感应线圈与换流电容器串联, $VD_1 \sim VD_4$ 与晶闸管反并联, 当振荡电流反向流过二极管时使晶闸管承受二极管的反向电压而关断, 实现换流。C_d 是储能和滤波电容器</p>	<p>是电压型串联逆变器。电源整流器不必采用可控整流器, 对提高电网功率因数有利, 晶闸管关断时间短, 承受电压低, 由于负载电压高于所需电压, 需增设中频输出变压器, 效率低, 线路较复杂</p>	<p>适用于负载性质变化不大、工作频率较高的热加工场合</p>
并联谐振式逆变器		<p>L 为感应加热线圈, 与补偿电容器 C 并联四个独立的电感线圈 L_d 来抑制换流时的 di/dt。L_d 使电流连续, 同时起交流隔离作用。U_d 可由三相全控桥或半控桥获得, U_d 是连续可调的</p>	<p>是电流型并联逆变器。主电路惯性大, 启动困难, 必须采取相应措施</p>	<p>中频感应加热的电源已有系列产品, 型号为 KGP, 容量为 100kW ~ 1000kW, 工作频率为 1000Hz ~ 2500Hz</p>
麦克墨来三相逆变器		<p>是借助晶闸管接通 L、C 振荡换流电路, $VTH_1 \sim VTH_6$ 为主晶闸管, $VTH_1' \sim VTH_6'$ 为换流辅助晶闸管, $VD_1 \sim VD_6$ 为反馈二极管, 用来沟通感性负载的续流回路 C、L 分别为换流电容器和换流电感</p> $C = 0.893 \frac{I_A t_0}{U_C}$ $L = 0.397 \frac{U_d t_0}{I_A}$ <p>$t_0 = 2t_s$ t_0 为晶闸管承受反压时间, t_s 为关断时间, I_A 为最大负载电流, U_C 为换流电容电压稳态值</p>	<p>是电压型并联逆变器, 优点在于 ① 随着负载电流的增大, 换流电容器的电压能自动提高, 因而提高换流能力; ② 空载损耗小, 换流效率高; ③ 直流电压变化时对换流能力影响小, 有利于宽范围的调压调频; ④ 控制灵活, 主管导通角接近 180°, 利用率高, 缺点是换流电容器电压往往过高, 使晶闸管电压等级增大, 线路较复杂</p>	<p>适宜采用直流电压恒定的脉宽方式实现调压调频, 在电力牵引或电力传动领域里有较广泛的应用</p>

	主 电 路	简要说明	特 点	应 用
串联电感式三相并联逆变器		<p>$L_A \sim L_C$ 为换流电感, 直接和主晶闸管串联, $C_1 \sim C_6$ 为换流电容器。这种电路是以一个晶闸管导通, 迫使同相中相邻的晶闸管关断, 每管导电 180°</p> $C_i = \frac{4.7 I_{Amax} t_g}{U_{dmin}}$ $L_i = \frac{2.35 U_{dmax} t_g}{I_{Amax}}$ <p>$i = 1 \sim 6$</p>	<p>是电压型并联逆变器, 管子利用率高, 电路简单, 功率不大时, 换流电感的制作容易, 但频率范围比麦氏低, 效率也低。另外, 电容器应足够大, 否则换流困难</p>	<p>适用于中小容量的电力传动, 且频率不要超过几百赫兹</p>
可关断晶闸管三相逆变器		<p>用 GTO 代替普通晶闸管</p>	<p>是电压型逆变器, 线路简单, 不需换流电路, 关断损耗小, 效率高, 节能, 功率因数高, 开关频率高, 关断时间短</p>	<p>适用于高频、高功率因数的逆变器, 尤其适合于 PWM 控制的电压型逆变器</p>

无源逆变器能将直流电能变换成不同频率的交流电能供给负载, 这在交-直-交变频器中会应用到。

有源逆变器能将直流电能变换成和电网频率相同的交流电能返回电网, 这在交流串级调速和直流可控整流调速的四象限运行中会应用到, 如图 3.1.9.2 所示。

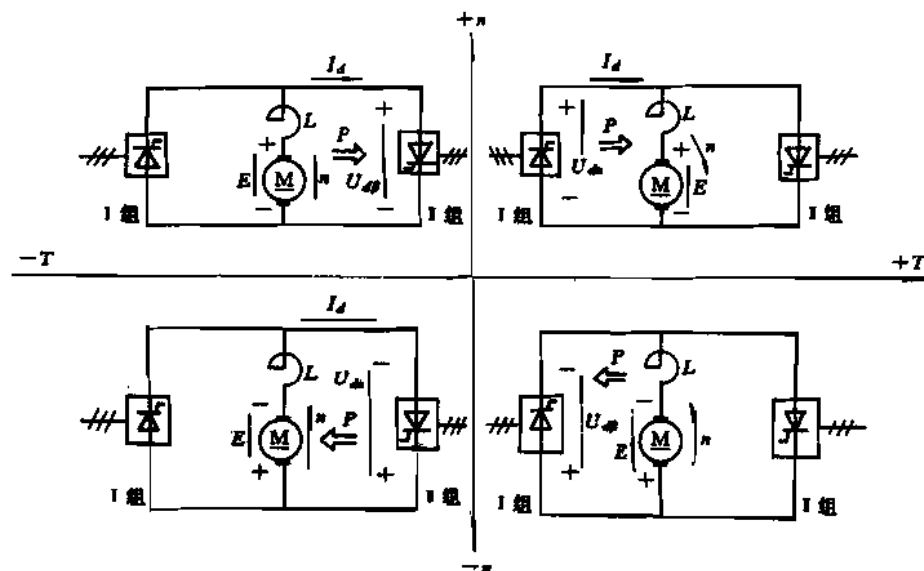


图 3.1.9.2 直流可控整流调速系统四象限运行时的有源逆变器工作原理图

3. 变流器产品

尽管船舶机械采用变流器作为调速装置已有不少应用,但多数应用于特种机械,在常规机械中应用极少,所以尚无标准的船用变流器产品,仅有少量作为船内通信的应急电源的小功率逆变器产品。

应用于电力拖动的较大功率的变流器通常是专门设计制造或从陆用产品中适当更改部分元件后派生采用。就变流器本身而言,晶闸管为固态元件,无船用与陆用之分,其工作条件能符合船用环境条件。因此,只要安装变流器的箱、柜结构设计及系统配套元器件(接触器、继电器等)选型符合船用条件即可。

下面简要介绍陆用定型的交直流晶闸管调速装置的概况以供需要时从中选择进行派生。

国内联合设计的通用直流电动机晶闸管调速装置从0.4kW~8370kW有四个系列,详见表3.1.9.8。晶闸管串级调速装置从10kW~2500kW的主要规格见表3.1.9.9。晶闸管交-直-交变

表 3.1.9.8 直流电动机晶闸管调速装置规格性能表(联合设计)

参数与特点 型号	额定输出电流 /A	额定输出电压 /V	控制回路	主回路	励磁系统	冷却方式	性能指标			外型尺寸 (宽×深×高) /mm×mm×mm	柜数	备注
							静差精度 /%	调速范围	1min 过载倍数			
ZCA1	5 10 25	110 160 220	双闭环	单相全控桥,不可逆	固定励磁	自冷	0.5	20:1	2	500×400×280	1	
ZCB1	5 10 25	110 160 220	双闭环	单相全控桥,可控环流,可逆	固定励磁	自冷	0.5	20:1	2	650×450×1400	1	
ZCC1	50 80 100 125	220 440	双闭环	三相全控桥,不可逆	固定励磁或可弱磁	50 80 100A 时为 自冷 125	0.5	20:1	2	50A: 700×800×2000 50A~200A: 900×800×2000 300A~500A: 900×800×2000	1 1 1	
ZCD1	160 200 300	220 400 440	双闭环	三相全控桥,无环流,可逆	固定励磁或可弱磁	160 200 300	0.5	20:1	2	50A:700×800×2000 200A:1200×800×2000 500A:900×800×2000+700×800×2000	1 1 2	
ZCE1	400 500	220 440	双闭环	三相全控桥,可控环流,可逆	固定励磁或可弱磁	400 500A 时为 风冷	0.5	20:1	2	50A:700×800×2000 200A:1200×800×2000 500A:900×800×2000+700×800×2000	1 1 2	
TSA1	400 500 630 800	220 400 440	双闭环	三相全控桥,不可逆	固定励磁或可弱磁	强迫风冷			2 2.5	400A } 1400×1000×2200 500A } 630A } 1600×1000×2200 800A }	2 2	
	400 500 630 800 1000 1250 1600	220 360 440 660	双闭环	三相全控桥,无环流,可逆	固定励磁或可弱磁	强迫风冷			2 2.5	400 } 1400×1000×2200 500A } 630A } 2400×1000×2200 800A } 1000A:2400×1000×2200 1250A } 3400×1000×2200 1600A }	2 3 4 4	

(续)

参数与特点 型号	额定 输出 电流 /A	额定 输出 电压 /V	控制 回路	主回路	励磁系统	冷却方式	性能指标			外型尺寸 (宽×深×高) /mm×mm×mm	柜数	备注
							静差 精度 /%	调速 范围	1min 过载 倍数			
TDZ1	1250 1600 2000 2370 2760 3130 3520 3890 4270 4650	750	双闭 环	三相全 控桥,不可 逆		强迫风冷			2	1250A: 800×1200×2200 1600A: 1000×1200×2200 2000A: 1500×1200×2200 2370A: 2000×1200×2200 2760A: 2000×1200×2200 3130A: 3000×1200×2200 3520A: 3000×1200×2200 3890A: 3000×1200×2200 4270A: 3000×1200×2200 4650A: 3000×1200×2200	1 1 2 2 3 3	可逆系 统为两个 不可逆整 流桥反并 联
	2370 3130 3520 3890 4650									2370A: 3000×1200×2200 3130A: 4000×1200×2200 3520A: 5000×1200×2200 3890A: 6000×1200×2200 4650A: 6000×1200×2200	3 4 5 6	
	4, 6, 3, 10, 16, 25, 40	170 290	单相 半控 桥,不可 逆			强迫风冷				516×482×220	1	供直流 电动机励 磁调节用
	40, 63	110 220 330	三相 全控 桥,不可 逆			强迫风冷				686×530×216	1	
	100 160 250 400 630	110 220	三相 全控 桥,不可 逆			强迫风冷				800×1000×2200	1	
	100 160 250 400 630	220 330 440	三相 全控 桥,不可 逆			强迫风冷				800×1000×2200	1	

频调速装置从 15kVA ~ 1120kVA 的主要规格见表 3.1.9.10。串级和变频调速装置无统一系列,因此规格各有差异^[5]。

表 3.1.9.9 晶闸管串级调速装置系列产品规格

所配电动机功率 /kW	直流侧电流 /A	直流侧电压 /V	备注
10 ~ 22	30 40	110, 160, 220, 315	三相零式
10 ~ 30	50	110, 160, 220, 315	三相零式
10 ~ 55	60 80 100	110, 160, 220, 315, 440	三相桥式
20 ~ 100	125 160 200	110, 160, 220, 315, 440	三相桥式
45 ~ 360	315 400 500	110, 160, 220, 315, 440	三相桥式

(续)

所配电动机功率 /kW	直流侧电流 /A	直流侧电压 /V	备注
75~1000	630, 800	160,220,315,440,630	三相桥式,双桥
800~1600	1250	220,315,440,630	三相桥式,双桥
1600~2000	1600	315,440,630	双桥
1600~2500	2000	315,440,630	双桥

表 3.1.9.10 晶闸管交-直-交变频调速装置性能参数

	电 流 型	电 压 型
输入电压	3 ϕ 50Hz380V \pm 5%	3 ϕ 50Hz 380V \pm 5%
额定输出容量	50,68,100,140,180,225,280,350,440,550, 660,880,1120kVA	15,30,40,50,75,100kVA
输出电压	3 ϕ 380V	3 ϕ 380V及3 ϕ 220V
输出频率	5Hz~50Hz,7Hz~75Hz	10Hz~50Hz,5Hz~75Hz,25Hz~200Hz
频率精度	\pm 1%, \pm 0.1%	0.1%, \pm 1%

国外变频调速或变频起动装置种类繁多、性能优良、技术先进,部分产品系列性能规格见表 3.1.9.11。

表 3.1.9.11 部分国外变频器性能参数

公司	系列	容量/kW	控制方式	晶闸管类型	频率范围/Hz	频率精度/%
日本 SANKEN	SVF	5.5~100	PWM	GTR	2.4~400	0.5
日本 YASKAWA	VS-616G5	0.55~600	PWM	IGBT	0.1~400	0.01(数字式) 0.1(模拟式)
日本三菱	FR MT VEC-3000	0.4~55 55~280 6kV6kA	PWM PWM PWM	GTO	0.2~400 0.5~400 0~60	0.01(数字式) 0.2(模拟式) 同上 0.01
美国 ROBICON	454GT	1.5~149 300~8000	PWM PWM	IGBT	0~400 0~120	0.5
美国 A-B	1336 1557	0.75~448 300~7500	PWM PWM	IGBT GTO	0~250 2~75	0.1
日本富士	FRN FVR	0.2~280 0.1~4	PWM PWM	IGBT IGBT	0.2~120 0.2~400	0.01(数字式) 0.2(模拟式) 0.01(数字式) 0.2(模拟式)

3.1.10 自动控制系统基本原理

3.1.10.1 概述

前面所述的内容基本为拖动所要解决的问题,也即是主电路的工作内容。接着就应解决其控制问题,也就是控制电路的工作内容。由于控制的内容极其广泛,本手册只能作一简要介绍。

自动控制的内容涉及控制、调节、保护、测量、显示、报警、记录等环节,以实现控制电能、满足工作过程的技术要求、确保操作人员和设备的安全、对事故状态进行自动保护和闭锁等功能。拖动与控制的综合构成了电力拖动自动控制系统。

电力拖动自动控制系统通常按控制作用可分为稳速系统、调速系统、随动系统、张力控制系统、多分部速度协调控制系统等。技术要求简单的控制系统通常采用开环控制系统,技术要求较高的往往要采用闭环控制系统(单闭环、双闭环或多闭环),并且根据性能要求采用反馈、前馈、最优化或自适应控制系统。根据对控制系统的精度、可靠性、快速性、灵活性、智能性以及多功能的要求,可分为模拟量控制和数字量控制两大类。近年来随着微电子技术的发展以及微型计算机的普及,数字控制系统应用日益广泛,乃至出现微机控制系统。由于各自的优缺点,实用中也较多出现数-模混合控制系统。

闭环自动控制系统必须保证系统稳定性并满足各项动态性能指标,主要有跟随性能指标如最大超调量及响应时间等,以及抗扰性能指标,如最大动态降落及恢复时间等。为了满足动态性能指标,往往采用各种校正装置。

现代各种自动控制系统都可利用计算机仿真技术,对系统进行仿真研究,以考核设计计算的正确性。

3.1.10.2 对电力拖动自动控制系统的一般性能要求

1. 对于调速系统的一般性能要求

1) 静差率 S

$$S = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% \quad (3.1.10.1)$$

式中 Δn_N ——负载由理想空载增加到满载时所对应的转速降落($r \cdot \min^{-1}$);
 n_0 ——理想空载转速($r \cdot \min^{-1}$)。

2) 调速范围 D

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (3.1.10.2)$$

式中 n_{\max} ——额定负载时的最大转速($r \cdot \min^{-1}$);
 n_{\min} ——额定负载时的最小转速($r \cdot \min^{-1}$)。

调速范围的大小即可实现的最低转速的程度必须与静差率结合起来才有实际意义,因为一般在低速时机械特性硬度较差。

3) 调速的平滑性及转向的可逆性

调速平滑性是指相邻两级转速之比,无级调速时接近 1。转向可逆性一般由工作机械性能要求而定。

4) 系统对起动、制动的要求

电动机起动、制动时会产生较大的过渡过程冲击电流以及电流变化率,对电网、电动机和电源变换装置都不利,系统一般有限制要求。

5) 给定输入作用下系统的响应特性

系统在施加一个阶跃输入信号时(突加最大给定值),应具有衰减振荡的响应特性,规定其超调量与调节时间。

6) 负载扰动作用下系统的响应性

当负载有突变时,系统产生的过渡过程指标,一般有最大动态速度 Δn_{\max} 与恢复时间。

7) 对系统工作制、故障率、可靠性以及使用寿命的要求

8) 系统工作环境条件

9) 系统重量、尺寸、结构外形及安装特点

10) 系统经济性要求

2. 对随动系统的一般性能要求

1) 系统的静态误差 e_s

随动系统理论静态误差应为零,但实际上由于制造误差及摩擦死区等因素会产生静差。

2) 系统的精度指标

一般有速度误差 e_v 、正弦跟踪误差 e_m 、速度品质误差 K_v 和加速度品质系数 K_a ,其条件与定义见表 3.1.10.1。品质系数越大,则系统稳态跟踪误差越小,即跟踪能力越强。

3) 系统的运动指标

一般有最大跟踪角速度 Ω_{\max} 、最小跟踪角速度 Ω_{\min} 和最大跟踪角加速度 ϵ_{\max} ,其条件及定义见表 3.1.10.1。

表 3.1.10.1 随动系统跟踪指标定义

跟 踪 指 标	条 件	定 义
速度误差 e_v	等速跟踪	输入输出间位置误差
加速度误差 e_a	等加速度跟踪	输入输出间位置误差
正弦跟踪误差 e_m	正弦波动跟踪	输入输出间误差的振幅值
速度品质系数 K_v	斜坡信号输入	稳态输出角速度 Ω/e_v
加速度品质系数 K_a	等加速度信号输入	稳态输出角加速度 ϵ/e_a
最大跟踪角速度 Ω_{\max}	在规定的 e_v 下	稳定运行的最大输出角速度
最小跟踪角速度 Ω_{\min}	在规定的 e_v 下	稳定运行的最小输出角速度
最大跟踪角加速度 ϵ_{\max}	在规定的 e_a 下	稳定运行的最大输出角加速度

4) 振荡指标 M_r 和频带宽 ω_b

这是评定随动系统动态品质的频域指标。

$$M(\omega) = \left| \frac{W(j\omega)}{1 + W(j\omega)} \right| \quad (3.1.10.3)$$

式中 $M(\omega)$ ——系统闭环幅频特性幅值;

$W(j\omega)$ ——系统开环频率特性。

当 $\omega = \omega_r$ 时, $M(\omega_r) = M_{\max} = M_r$ 。当 $M(\omega_b) = 0.707$ 时,则角频率 ω_b 称为闭环特性的频带宽。

5) 阶跃信号输入时系统的响应特性

系统输入阶跃信号所产生的过渡过程指标,有最大超调量、恢复时间及振荡次数。

6) 等速跟踪时负载扰动引起的系统响应特性

负载扰动为阶跃或脉冲时的指标,有最大瞬时误差 e_{mf} 和恢复时间 t_{fo} 。

3.1.10.3 自动调节环节

为了满足上述性能要求,自动控制系统必须采用各种闭环自动调节环节,一般应根据被调节的参数、调节的回路以及信号的控制方式,参考现有的典型调节环节的性能特点,进行比较和选择。常用的自动调节环节性能见表 3.1.10.2^[7]。

表 3.1.10.2 常用的自动调节环节性能

闭环类型	调节型式	性能及适用范围
单闭环	转速负反馈	$D \leq 50, S \geq 10\%$, 稳速及调速系统
	电压负反馈	$D \leq 10, S \geq 15\%$, 稳速及要求不高的调速系统
	电压负反馈加电流正反馈	$D \leq 20, S \geq 10\%$, 稳速及调速系统, 不易安装测速发电机的系统
双闭环	电流负反馈内环转速负反馈外环	$D \leq 50, S \geq 10\%$, 稳速及调速系统, 可实现限流以及改善动态性能, 电流负反馈带截止作用, 也可单独使用
多闭环	电流负反馈、电压负反馈、电流变化率负反馈等内环转速负反馈外环	$D \leq 100, S \geq 5\%$, 稳速及调速系统, 对动态性能要求特别高和抗干扰要求高的工作机械

3.1.10.4 反馈信号检测环节

为了提高自动调节回路的调节精度,对被调量(反馈信号)的检测装置的性能必须提出一定要求,一般为:

1. 被检测的参量与输出电信号(即反馈信号)之间,在规定的工作范围内应具有线性比例关系和单值性。
2. 输出电信号受扰动的影响要小,如温度、电压、磁场等。
3. 输出电信号应能在所要求的频带内,在动态上准确地复示被检测的参量。
4. 输出电信号的谐波分量应足够小。
5. 测量装置应有足够的功率输出,以便能不失真地传递反馈信号。
6. 输出电信号应与给定信号在数值上相适配。

常用的检测装置见表 3.1.10.3。

表 3.1.10.3 常用检测装置

检测参量	检测器件
转速	测速发电机、脉冲编码器
电流	分流器、互感器、霍尔变送器
电压	分压器、互感器、隔离组件、变送器
角度、位置	自整角机、脉冲发生器、光栅位移检测器、感应同步器
温度	变送器
压力	变送器

3.1.10.5 典型控制单元

采用电力电子技术的自动控制系统,常由典型的控制单元来组成,这些控制单元分别完成

各个独立的功能。通常有控制电源、给定指令、调节运算、逻辑控制、隔离变换、保护信号、触发驱动等单元,在文献[5,7]中有较完整的收集,可作为采用的参考。

3.1.11 电力拖动节能与防污

1. 概述

在篇首语中指出,电力拖动用电约占船舶电网的70%~90%。因此,电力拖动节能对减小船舶电网容量和防污对改善电网的供电质量具有十分重要的意义。

船舶电网是按船舶工况状态的负荷情况计算确定的一种独立电网。在一种工况下发电机的运行状态是确定的,并不因负荷的变动而变动。但是,电能质量是在变化的,电压的波动、转速的波动、功率因数的变化和波形系数的变化,对电动机、发电机以及柴油机均会带来不同程度的损害,通常称之为对电能的污染。例如附加发热损耗、效率降低、轴承及调速器磨损增加、喷油系统及气缸结炭、耗油率增加等等,既是与节能相违背的,又使电能质量恶化不能按标准定额运行。

现代大型船舶,特别是工程船舶,比常规船舶增设了许多电力拖动的设备,并且往往成为船舶电网的主要负荷。这些设备的运行状态及其电力拖动的型式使船舶电网产生新的更大的运行性能的变化。如果不对其电力拖动型式作出全面的选型分析,以减少其对船舶电网运行的影响,而只是片面的以一味扩大船舶电网的容量来适应,显然是与节能相违背的。

船舶通用水泵、风机的机电配套无标准依据、长期固定不变、富裕量过大、机电配套功率单一以及普遍采用节流调节的方法,都是造成效率降低功率因数增大的浪费电能的因素。

晶闸管变频器的应用虽然解决了调速的需要,但其造成功率因数的降低并使电压电流波形恶化甚至产生较多谐波的缺点也对电能质量产生了污染作用。

综上所述,在电力拖动问题上,合理的选型和配套对节能和防污具有重要的影响,最终可使船舶的经济性得以提高。

2. 节能原理与措施

1) 提高机械和电动机的效率

机械效率的高低直接影响到电动机功率选择的大小,一般机械设计中保守的因素较大,特别对于变负载工况工作的电动机,应严格核定所采用的计算值。若机械效率由75%提高到80%,则配套电动机功率就可减少8.3%。

2) 电动机选型和容量校验力求科学合理

电动机选型及工作制一定要与工作过程工艺要求吻合,使运行的工况点保持在高效区。电动机功率选择一定要作容量校验,不能只凭某点工况计算值来选择,因为这往往是机械设计中的最大值,若是变负载工作机械,造成的后果更坏。

3) 调速控制代替节流控制

水泵风机通常用闸阀或挡板改变管路特性曲线来调节流量,流量虽减小了,但阻力却增大了,所以输入功率降低有限,并不经济。而用调速控制,由于流量和压力分别与转速的一次方和二次方成比例,所以输入功率与转速的三次方成比例而大大下降,达到节能目的。

表3.1.11.1列出了节流与调速控制的功率消耗^[11]。由表可知调速控制比节流控制节能,而高效调速比低效调速更节能。表中粗线框以内的损耗功率接近输入功率的1/2,一般不宜采用。当流量在90%以上时,高效、低效调速方式节能差不多;流量在80%以上时,低效调

速与入口挡板调节几乎相当;当流量在 50% 以下时,宜采用高效调速。

表 3.1.11.1 水泵风机各种调节流量方式的损耗比较

单位: kW

风量 /%	轴功率 /kW	出口挡板		入口挡板		转子串电阻、滑差、 液力偶合器		变频、串级		变极	
		电机输入	总损失	电机输入	总损失	电机输入	总损失	电机输入	总损失	电机输入	总损失
100	100	107	7	106	6	108	8	108	8	106	6
90	72.9	103.5	30.6	84	11.1	86	13.1	79	6	/	/
80	51.2	99.5	48.3	72.5	21.3	68	16.8	55	3.8	/	/
70	34.3	96	60.7	68	33.7	52	17.7	38	3.7	/	/
60	21.6	89.5	67.9	64	42.4	39	17.4	25	3.4	/	/
50	12.5	84	71.5	60	47.5	29	16.5	15	2.5	14	1.5
40	6.4	77.5	71.1	56	49.6	21	14.6	9	2.6	/	/
30	2.7	71	68.3	52	47.3	15	12.3	5	2.3	/	/

4) 低效调速与高效调速的比较

一般用下列指标作比较:设备的可靠性,节能效果和投资回收时间,调速范围和容量大小,设备投资,易维修性,功率因数与谐波高低等。

一般情况下,容量不大、调速范围不高的宜采用技术成熟、设备简单、投资较少和易维护的调速方法,而不能仅以节能指标单一考虑。表 3.1.11.2 列出了各种调速系统的比较(以 6 极 1000kW 电动机进行比较)^[11]。

表 3.1.11.2 各种调速系统作水泵风机流量调节时的效率及功率因数

调速控制系统	总 输 入	总效率(P_0/P_1)		总功率因数		备 注
		100% 转速	50% 转速	100% 转速	50% 转速	
液力离合器	$P_1 = P_0 + (P_{LM} + P_0)$	约 0.95	约 0.5	约 0.9	约 0.65	
涡流离合器	$P_1 = P_0 + (P_{LM} + P_0)$ $P_1 = P_L + P_E$	约 0.8	约 0.5	约 0.9	约 0.65	
转子电阻器	$P_1 = P_0 + (P_{LM} + P_{2s})$	约 0.95	约 0.5	约 0.9	约 0.65	
电流源逆变器	$P_1 = P_0 + (P_{LM} + P_{LR} + P_{LX})$	约 0.95	约 0.8	约 0.8	约 0.3	
交-交变频器	$P_1 = P_0 + (P_{LM} + P_{LR} + P_{LX})$	约 0.95	约 0.8	约 0.9	约 0.3	
串级调速	$P_1 = P_{1M} - P_b$ $P_{1M} = P_0 + (P_{LM} + P_{LR} + P_{LX} + P_{LT})$ $P_b = P_{2s} - (P_{LR} + P_{LX} + P_{LT})$	约 0.95	约 0.83	约 0.7	约 0.35	(0~100%)
超同步串级调速 (低于同步转速)	$P_1 = P_{1M} - P_b$ $P_{1M} = P_0 + (P_{LM} + P_{LR} + P_{LX} + P_{LT})$ $P_b = P_{2s} - (P_{LR} + P_{LX} + P_{LT})$	—	约 0.83	—	约 0.4	50% 转速: 电动机同步 转速 (0~50%)
超同步串级调速 (高于同步转速)	$P_1 = P_{1M} + P_b$ $P_{1M} = P_0 + P_{LM} + P_{2s}$ $P_b = P_{2s} + (P_{LR} + P_{LX} + P_{LT})$	约 0.95	—	约 0.77	—	(50% - 100%)
定子电压控制	$P_1 = P_0 + (P_{LM} + P_{LR})$	约 0.95	—	约 0.8	—	

表中 P_1 —输入功率; P_0 —输出功率; $P_0 \propto (1-s)^3$; P_{LM} —电机损耗; P_L —离合器损耗; P_E —励磁功率; P_{2s} —转子滑差功率; P_{LR} —整流器逆变器损耗; S —滑差; P_b —反馈功率; P_{LT} —变压器损耗; P_{LX} —电抗器损耗; P_{1M} —电动机定子功率

3. 电力拖动防污

1) 谐波及功率因数的影响

采用调速系统后由于电源变换装置改变了电动机的运行状态,一般会导致功率因数降低和高次谐波的产生,恶化电网电能的质量,引起电污染。

谐波使电压电流波形发生畸变,不再是光滑的正弦波,而产生许多缺口或毛刺。谐波对通信设备会产生干扰;对电机引起附加损耗发热、换向恶化、振动和噪声;对电容器产生电流过载和谐振过电压,影响电网的安全和经济运行;对其他变流器产生干扰和控制失调。

功率因数降低使总电流加大、线路损耗增加、发电机输出功率降低、变压器和线路电压降增大。

2) 谐波计算与规定

船舶建造规范尚未对谐波作出规定,陆上电子系统已有规定,详见参考文献[12]。

电流谐波分量取决于脉动数 m 、相位滞后角 α 及回路中各器件的感抗。谐波次序 $n = km \pm 1$, 谐波频率 $f_n = n f_1$, $k = 1, 2, 3, \dots$ 。所以 $m = 6$ (三相全控桥) 时, $n = 5, 7, 11, 13, \dots$; $m = 12$ (两组三相全控桥并联) 时,理论上 $n = 11, 13, \dots$, 实际上 $n = 5, 7$ 次为 $0.3 I_n$; $n = 17, 19$ 也有 $m = 6$ 时较小的值,详见表 3.1.11.3。其中谐波电流 $I_n = \frac{1}{n} I_1$, f_1 、 I_1 为基波频率及电流。

表 3.1.11.3 谐波电流实际值修正系数

n	5	7	11	13	17	19	23	25
$m = 6$	1.0	1.0	0.75	0.70	0.50	0.40	0.25	0.20
$m = 12$	0.3	0.3	0.75	0.70	0.20	0.15	0.25	0.20

参考文献[12]中的主要规定如下:

a. 电网总电压正弦波畸变率极限值见表 3.1.11.4。各次谐波均为该次谐波电压有效值与基波电压有效值之比,总电压则为各次谐波值的均方根值与基波值之比。

表 3.1.11.4 电网电压正弦波形畸变率极限值(相电压)

电压/kV	总电压/%	各次谐波电压/%	
		奇次	偶次
0.38	5	4	2
6或10	4	3	1.75

b. 注入电网的谐波电流允许值见表 3.1.11.5。当电网短路容量与表中不同时,按比例折算。

表 3.1.11.5 变流器注入电网的谐波电流允许值

电压/kV	电网短路容量/MVA	谐波次数及谐波电流允许值/A																	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.38	10	53	38	27	61	13	43	9.5	8.4	7.6	21	6.3	18	5.4	5.1	7.1	6.7	4.2	3.0
6或10	100	14	10	7.2	12	4.8	8.2	3.6	3.2	4.3	7.9	2.4	6.7	2.1	2.9	2.7	2.5	1.6	1.5

c. 单台变流器容量不超过表 3.1.11.6 所列时,可不作谐波核算。

表 3.1.11.6 单台变频器接入电网的允许容量

电压 /kV	三相变频器/kVA			三相交流调压器/kVA	
	3 脉冲	6 脉冲	12 脉冲	6 个晶闸管	3 个晶闸管 3 个二极管
0.38	8	12	—	14	10
6 或 10	85	130	250	150	100

3) 减小谐波的方法

a. 增加变频器的脉动波数。通常采用改变变压器接线方式,组成多相整流电路。文献[13]介绍了两例采用变频调速的电力推进装置的谐波分析,在采用了 12 相电路后,波形畸变率约为 8%。

b. 增设高次谐波滤波器。目前,广泛采用 L-C 串联谐振滤波器,既能滤波又能作无功补偿。一般设 2 个~4 个谐振支路,按脉动波数选取幅值最高的支路。文献[13]的两例谐波分析中,采用了滤波器后,波形畸变率降至 5% 以下。

c. 减小相位控制角。对于大容量长期低速(低压)工作状态的机械,应在电源变压器内设置低压抽头,可减小控制角。

4) 功率因数补偿及功率因数控制器

为了对静态功率因数补偿,通常采取在电网侧并联电力电容器的方法,按表 3.1.11.7 补偿前后的功率因数值可查出需补偿的电容量。对动态功率因数补偿,用晶闸管投切电容器的分级调节方法,使无功功率保持在一个较小变化的水平上。

表 3.1.11.7 功率因数补偿电容容量系数(kVar/kW)

补偿前的功率因数 $\cos\phi_1$	补偿后的功率因数 $\cos\phi_2$				
	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8
0.60	1.333	1.004	0.849	0.713	0.583
0.62	1.266	0.937	0.792	0.646	0.516
0.64	1.201	0.872	0.717	0.581	0.451
0.66	1.138	0.809	0.654	0.518	0.388
0.68	1.078	0.749	0.594	0.458	0.328
0.70	1.020	0.691	0.536	0.400	0.270
0.72	0.964	0.635	0.480	0.344	0.214
0.74	0.909	0.580	0.425	0.289	0.159
0.76	0.855	0.526	0.371	0.235	0.105
0.78	0.802	0.473	0.318	0.182	0.052
0.80	0.750	0.421	0.266	0.130	0.000
0.82	0.698	0.369	0.214	0.078	
0.84	0.646	0.317	0.162	0.026	
0.86	0.593	0.264	0.109		
0.88	0.540	0.211	0.056		
0.90	0.484	0.155	0.000		
0.92	0.426	0.070			
0.94	0.363	0.034			
0.96	0.292				
0.98	0.203				
1.00	0.000				

参考文献[14]介绍了美国 ASA 协会工程师发明的“功率因数控制器”,其原理见图 3.1.11.1,其实质是一台由双向晶闸管构成的能自动检测电路功率因数的电压调节器。当电动机轻载时,功率因数变小,能使加在电动机上的有效电压减小,定子电流也就减小,使磁化电流和有功电流的比值提高,即功率因数被提高了。图 3.1.11.2 给出了降压系数与 $\cos\varphi$ 、 η 及磁化电流的关系曲线。因为电流减小使损耗减少,所以效率也得到提高。空载时,极端降压可达到 50%,损耗可减少 25%,功率因数约提高 1 倍。

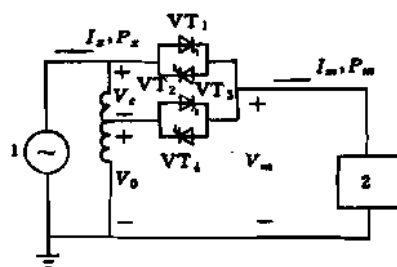


图 3.1.11.1 单相功率因数控制器原理图

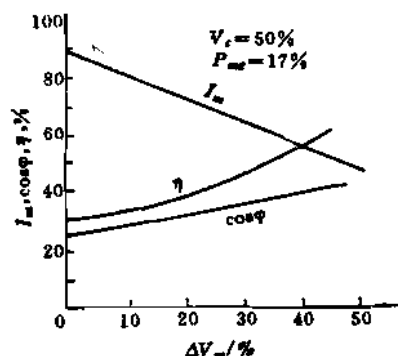


图 3.1.11.2 降压对电动机性能的影响

第2章 船舶辅助机械电力拖动

3.2.1 概 述

船舶辅助机械是为船舶动力装置(主机、辅机、锅炉等)、辅助装置(压载、舱底水、消防、通风、排污处理等)和生活设施(空调、冷藏、饮用水、炊具等)服务的机械总称。它们的动力绝大多数为电动机,成为船舶电网主要的负荷。

采用电动机有很多优点,可以使辅助机械迅速投入运行,可以使辅助机械的配置组合尽量合理、可靠、经济,可以根据辅助机械的工作要求进行遥控、自控、顺控。船舶辅助机械电力拖动的自动化是现代大型船舶机舱自动化的重要组成部分。

船舶辅助机械的分类、用途及工作情况如表 3.2.1.1。

表 3.2.1.1 船舶辅助机械分类、用途及工作情况汇总表

机 械 名 称	用	途	工 作 情 况
(一) 服务于船舶动力装置的辅机			
(1) 冷凝水泵(或抽水泵)	使冷凝器中形成真空并抽出其中冷凝水		连续工作
(2) 循环水泵	将冷却水输送给冷凝器		连续工作
(3) 冷却水泵	抽送海水,供给主机汽缸、汽缸盖、空气压缩机和轴承等冷却用		连续工作
(4) 锅炉给水泵	从热水箱或炉水储水箱供水给锅炉		连续工作或周期工作
(5) 燃油泵	由主油舱将燃油送到日用油箱		约每隔 8h ~ 12h 工作 30min ~ 60min
(6) 滑油泵	将润滑油输送到机器的摩擦部分,以冷却机器的活塞		连续工作
(7) 滑油离心分离器	将滑油中渗入的水或杂质与油分开		约每隔 4h ~ 8h 工作 30min ~ 60min
(8) 燃油离心分离器	将燃油中渗入的水或杂质与油分开		约每隔 12h ~ 24h 工作 30min ~ 60min
(9) 机舱通风机	维持机舱内有一定温度,并进行空气调节		连续工作
(10) 锅炉鼓风机	维持锅炉正常燃烧		连续工作
(11) 盘车机	主机维修时慢速转动主轴,以便使活塞移动		短时工作
(二) 服务于船舶一般需要的辅机			
(1) 消防泵	主要用作消防,也可用作应急舱底泵及压舱水泵		连续工作(正常情况下不用)
(2) 压载泵	输送压载水,抽干或灌满压载水舱,也可用作消防、卫生及舱底泵的备用泵		若使用时约 1h ~ 2h
(3) 舱底泵	将舱底的积水排出		若使用时约 1h ~ 2h
(4) 油污水处理装置	将油污水分离处理达到排放环保标准		短时工作

(续)

机 械 名 称	用 途	工 作 情 况
(5) 生活污水处理装置	将生活污水分离处理达到排放环保标准	短时工作
(6) 总用水泵	可以作为消防、压载、冷却、卫生等任何一个备用泵	连续工作(平时不常使用)
(7) 舱室通风机	调节舱室温度	连续工作
(8) 空气压缩机	产生压缩空气,储藏在空气瓶内,以供柴油机启动、汽笛等使用	储气时连续工作,平时受压力高低自动控制
(9) 焚烧炉	将污油渣及污物通过焚烧进行处理	短时工作
(三) 服务于船舶生活设施的辅机		
(1) 卫生泵	将海水送到日用水箱	受水箱压力高低自动控制
(2) 淡水泵	将淡水由淡水舱送到日用淡水柜	同上
(3) 冷藏机	冷冻食品	制冷时连续工作,平时受温度高低自动控制
(4) 空调机	工作及居住舱室空气调节	同上
(5) 电热炊具	厨房及生活用具	连续或断续工作
(6) 食品升降机	从储藏室或冷藏室输送物品至厨房,或由厨房至餐厅	短时工作

船舶辅助机械电力拖动绝大多数为交流笼型电动机单机拖动,因此电力拖动方案比较单纯,目前水泵、风机采用变极变速电动机或变频调速的还较少。

船舶辅助机械电力拖动的控制多数比较简单,仅为起动机即可。部分有单一的自动控制,如淡水泵、卫生水泵和空压机的压力控制;少数有较复杂的自动控制,如冷藏机和空调机的温度、压力控制,燃油辅助锅炉的温度、压力、液位控制等;另有一些则是辅助机械制造厂根据机械工作要求自行配套供应的控制装置具有特殊的控制,如分油机、污水处理装置等。在这些具有自动控制的装置中,除了电动机外,还有电磁阀、电动执行装置等被控制部件。

3.2.2 船舶辅助机械功率计算及电动机选择

1. 功率计算

1) 容积式液泵

容积式液泵分为往复式的活塞泵、柱塞泵及转子式的齿轮泵、螺杆泵、叶片泵等两种结构型式,通常用作输送水、油等液体。

功率:

$$P = \frac{\gamma Q (H + \Delta H)}{102 \eta_1 \eta_2} \times 10^{-4} \quad (3.2.2.1)$$

式中 P ——泵的轴功率(kW);

γ ——液体密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

Q ——泵的流量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

H ——泵的扬程(Pa);

ΔH ——管路压头损失(Pa);

η_1 ——泵的效率,一般取 0.6~0.82;

η_2 ——容积效率,一般取 0.94~0.98。

2) 离心式液泵

离心式液泵是动力式泵的主要形式,另外还有混流式泵及旋涡式泵,通常用作输送各种类型的水质液体。

$$\text{功率: } P = \frac{\gamma Q (H + \Delta H)}{102 \eta_1} \times 10^{-4} \quad (3.2.2.2)$$

式中代号同上,其中 η_1 一般取 0.5~0.84。

3) 离心式风机

离心式风机,包括轴流式风机,均为透平式结构。根据其压力,一般 10^4 Pa 以下称通风机, $10^4 \text{ Pa} \sim 10^5 \text{ Pa}$ 称鼓风机, 10^5 Pa 以上称压缩机。在压力较低情况下,轴流式风机比离心式效率高、重量轻、尺寸小,但噪声较高;当风管管路较复杂时,离心式的较稳定。

$$\text{功率: } P = \frac{QH}{102 \eta_1} \times 10^{-4} \quad (3.2.2.3)$$

式中 P ——风机的轴功率(kW);

Q ——送风量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

H ——空气压力(Pa);

η_1 ——风机效率,一般取 0.4~0.75。

4) 容积式压缩机

分为往复式(活塞压缩机)及回转式(罗茨压缩机、螺杆压缩机)两类结构。船舶空压机、冷藏压缩机、空调压缩机均为往复式活塞压缩机,个别大型空压机、制冷压缩机为回转式螺杆压缩机。

功率计算比较复杂,与各级之间的排气量、气缸行程容积、排气系数、进气压力、进气温度、抽气系数、干气系数等有关,计算公式略。空压机效率一般在 0.8~0.9。

2. 电动机选择

船舶辅助机械一般为长期连续工作,所以以选用连续工作制 S1 类型电动机为主。船舶辅助机械一般不要求调速,大多数泵、风机、压缩机也不要求可逆运行,仅盘车机、升降机等少量机械要求可逆运行。目前,无论大船小船都已实现了电站交流化,所以均选用 Y-H 系列交流笼型电动机这种简单、可靠、价廉的电动机来作为船舶辅助机械的拖动电机。

目前,船舶辅助机械均已与拖动电动机配套供应。由于船舶辅助机械品种规格复杂,实现配套标准化对造船工业生产管理的优化和缩短造船周期有一定作用。但是,由于船舶类型及吨位大小的不同,对于某些泵类机械,其管路参数差异较大,即式(3.2.2.1)和式(3.2.2.2)中 ΔH 的变化较大,对其运行功率影响较大。对于某一配套电动机,可能在某些情况下,负载率只能达到 50% 左右,既造成设备利用不足,又使运行功率因数降低。因此,船电设计人员应重视这个问题,特别在大功率情况下,要请轮机设计人员作管路特性、效率、功率的复核,必要时提出非标准的配套要求。

船舶辅助机械如果有运行工况的变化,应考虑采用调速措施,达到节能和改善功率因数的目的。变极变速型式可选用 YD-H 系列电动机,变频调速可选用合适的变频器或软启动器。

3. 负载特性

船舶辅助机械电力拖动的负载特性见表 3.2.2.1。

表 3.2.2.1 船舶辅机的负载特性

机 械 名 称	空载时的负载/%	起动时的负载大小和负载特点
往复式活塞泵	30~40	额定负载, 周期性变化, 受缸数影响
离心泵(不注水)	7~12	—
离心泵(注水, 但阀关闭)	40~50	轻载, 通风机类型
齿轮泵和螺旋泵	—	额定负载, 基本不变
高压活塞式压缩机	60~70	—
关闭进气阀起动(无负载时)	—	2/3 额定负载, 周期性变化, 受缸数影响
开启进气阀起动(有反压力时)	—	额定负载, 周期性变化, 受缸数影响
低压活塞式压缩机	50	—
关闭进气阀起动(无负载时)	—	1/2 额定负载, 周期性变化, 受缸数影响
开启进气阀起动(有反压力时)	—	额定负载, 周期性变化, 受缸数影响
离心式通风机	40	轻载, 通风机类型

无论是泵或风机、压缩机, 其机械特性均是相类似的, 即为通风机类型特性, 见图 3.2.2.1。其流量不同则压力也随之变化, 同时效率也不同, 这是对转速在某一不变值而言的。实际使用中, 可能为了调节流量而导致压力变化, 或者为了在某个出口达到某个压力而调节流量。两种情况和目的都用一个手段来调节, 即用阀门和挡板开闭的方法进行调节。这在电动机的额定转速和额定工况条件下一般需作此调节, 因为同一台机械在不同的船上会作出不同的调节。为了适应这种实际需要, 许多机械都给出一个调节范围的样本资料。然而, 实际运行工

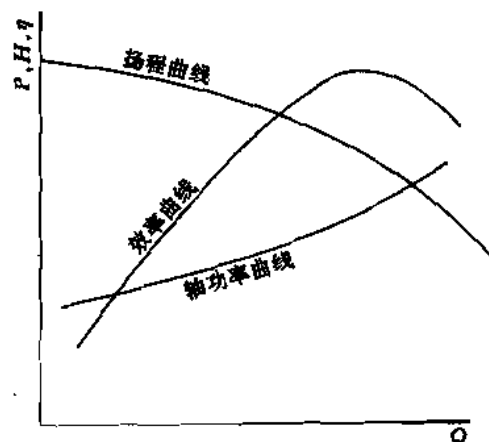


图 3.2.2.1 泵和风机的典型负载特性

作点的参数可能会和理论计算点的参数出入较大, 从而引起拖动电动机实际运行负载电流和额定值的不符, 一般会偏小, 需要对电动机的热保护重新进行调整。

辅助机械可能也需在非额定工况条件下再进行调节, 目前在船舶设计中较少考虑这种情况, 因此在实际运行中只能用节流方法来调节, 从而导致较大的能量浪费。理想的设计应在大功率辅助机械中采用调速节能的方法, 以逐步改变辅助机械电力拖动的旧面貌。

3.2.3 船舶辅助机械电力拖动控制及配套

1. 磁力起动器控制

磁力起动器是一种供交流笼型电动机频繁起动(或正反向)、停止运行, 具有过载、短路、断相和失压保护, 可以遥控按钮操作, 也可以作为用手动-自动转换控制的简单可靠的控制装置。按不同起动要求分成全电压直接起动、 Δ -Y 降压起动和自耦变压器降压起动 3 种型式, 每种型式还按电流等级分成若干规格。其自动控制仅适用于二位式开关量控制, 通过压力控制器、温度控制器、液位控制器、行程控制器等器件的上、下限开关触点进行电动机的起动和停止的简单控制。

船舶日用淡水泵、卫生水泵一般采用压力水柜形式供给船上生活用水。其原理是用水泵将水舱内的水压进水柜, 水柜上部空气被压缩后产生的压力将水送至船上各处, 其压力在 0.5MPa 以下; 当水柜中水逐渐减少时, 其上部之空气压力也下降, 至一定下限后, 就需起动水

泵压水。一般用压力控制器控制电动机的起动和停止。

空气压缩机是将大气压缩进空气瓶,形成一定压力的压缩空气供柴油机起动、气动控制系统、气动工具及检修等用途使用,也需采用压力控制器控制电动机的起动和停止。由于空压机起动转矩较大需卸荷起动,一般采用电磁阀进行控制,将出口通大气,并将油水分离器的泄放阀放空,所以在起动初期或停止前期的一段时间内需保证电动机为空载运行。大型空压机还需冷却水,一般采用独立冷却水泵或从其他冷却水系统通过电磁阀引入,其控制与空压机操作可同步。

柴油机的燃油或滑油一般从日用油柜中取得,由燃油或滑油输送泵从油舱中将油输送到日用油柜中。日用油柜设上下限控制开关以起动或停止电动机运行,一般采用液位控制器来控制。

升降机同电梯一样,需设上下行程的安全保护及精确平层控制,所以需用行程控制器进行控制。

以上这些辅助机械电力拖动的自动控制均能在磁力起动器的基础上配以合适的二位式控制器来实现。

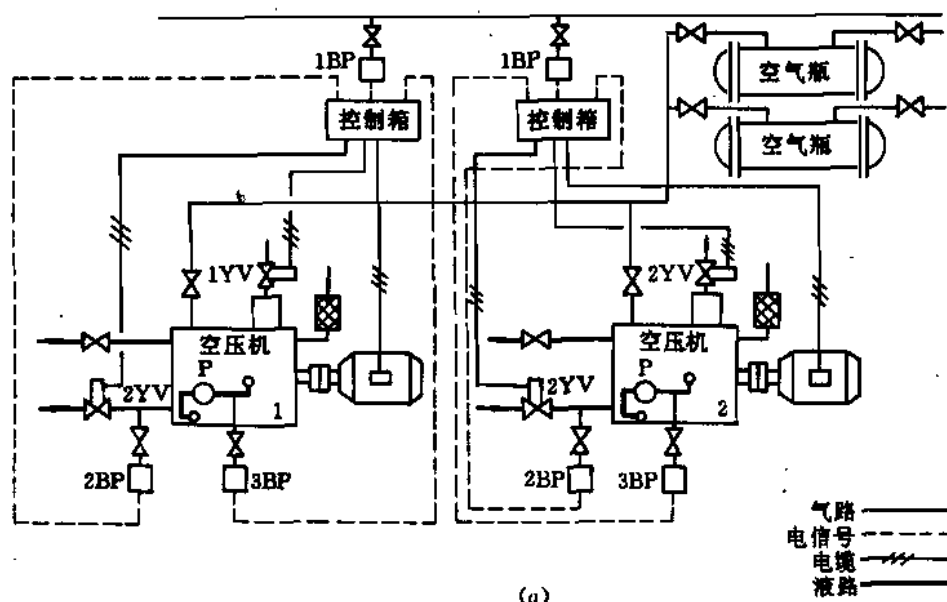
具有压力控制的船舶空压机电力拖动控制线路见图 3.2.3.1。

Y-H 系列笼型电动机采用磁力起动器控制的配套见表 2.5.7.10。

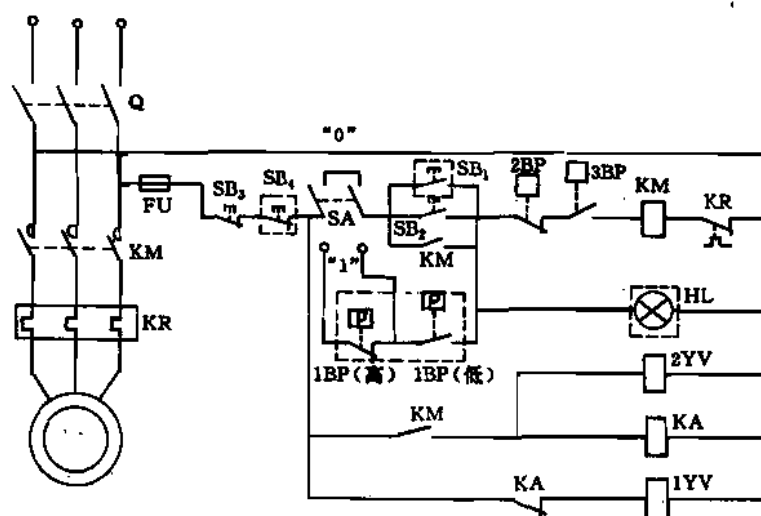
常用的二位式开关量控制器件系列见表 3.2.3.1,一般均具有一开一闭转换触点。

表 3.2.3.1 船用二位式开关量控制器件系列规格

序号	名称	型号	规格	触点容量
1	压力控制器	YWK-50-C	-0.1MPa~0MPa 至 0MPa~4MPa 共 11 档,波纹管式	AC 380V 3A DC 220V 2.5A
2	压力控制器	YPK-02-C	0.04MPa 常闭式, 0.2MPa、0.3MPa、0.85MPa、0.9MPa、1MPa 常开式	DC 24V 10W
3	压力控制器	YPK-03-C-01 (0.2,0.3)	0.1MPa~0.5MPa(0.1MPa~1.2MPa, 0.6MPa~3MPa), 膜片式	DC 300V 350W AC 380V 350VA
4	压力控制器	KD-155(255)	高压 0.6MPa~2MPa, 低压 0.07MPa~0.38MPa, 差压 0.05MPa~0.15MPa	AC 380V 300VA DC 220V 50W
5	压力控制器	7D(8D)	7D 中 D500 从 0.025bar~25bar, D502 从 0.025bar~25bar 均有 12 档, D511 从 1bar~63bar 有 13 档。8D 中 D500 从 0.2bar~30bar 有 4 档, D505 从 5bar~160bar 有 4 档	AC 220V 0.9A DC 220V 0.15A
6	温度控制器	WTZK-50-C	-60℃~30℃至 130℃~170℃共 10 档, 毛细管长 1m~12m	AC 380V 3A DC 220V 2.5A
7	温度控制器	WTZK-51-C	10℃~40℃, 带电加热器, 另配电源开关盒附件一只, AC220V	DC 220V 2.5A AC 380V 3A
8	温度控制器	WTQK-11(12)	-40℃~-10℃, -25℃~15℃, 0℃~40℃, 30℃~90℃	
9	温度控制器	WT-1226A(B)	-15℃~170℃	AC 380V 3A
10	液位控制器	UQK-65-C	侧装式 651-C, 顶装式 652-C, <1MPa, <200℃, 400mm~1250mm	AC 380V 1A
11	液位控制器	UQK-01(02,03)	侧装式 01, 02, 顶装式 03, <1MPa, <150℃, 10mm~1000mm	AC 220V 1A DC 100V 1.5A
12	行程控制器	LX91	碰撞式, 3 个独立触点, 可任意组合开闭	AC 380V 6A DC 220V 0.4A
13	行程控制器	LX97-2S	旋转式 1:50, 2 个独立触点, 防水式	AC 380V 20A DC 220V 2A
14	行程控制器	LX915	碰撞式, 2 个独立触点, 防水式	同上



(a)



(b)

图 3.2.3.1 船舶空压机电力拖动控制线路

(a)管路原理图;(b)控制线路图。

2. 继电器接触器控制

在 70 年代和 80 年代建造的船舶,其辅助机械中一些控制比较复杂的,如冷藏机、空调装置、燃油辅助锅炉等均采用继电器接触器组成专用控制箱进行控制,每种辅助机械的控制原理基本类似,但控制线路无统一标准的系列规格。之后,有的船用电器制造厂逐步进行定型,形成相对较统一的系列规格。有的随辅助机械配套供应,有的则单独订货自行配套。

1) 冷藏机

冷藏机是制冷压缩机的俗称。它利用制冷剂介质由液体变气体过程需吸热而起到制冷效果,压缩机则是将气态制冷剂压缩成液态供循环使用,所以需对制冷剂介质进行压力控制,一般采用压力控制器控制电动机的起动和停止。此外,为满足冷藏货物的温度要求,还需对冷藏