

空钩下降速度	$V_1(\text{m})$	绞车卷筒的直径	$D(\text{m})$
绞车机械的总传动比	K	起升额定负载时的总效率	η
绞车的负载系数	$X = \frac{G}{G_n}$		

2) 计算方法

按计算要求可归纳成下列几个内容:

电动机轴静阻力矩计算;

各阶段工作时间计算;

电动机工作制计算;

简易负载图的绘制;

电动机发热计算;

电动机选择。

具体计算顺序见表 3.4.2.1。

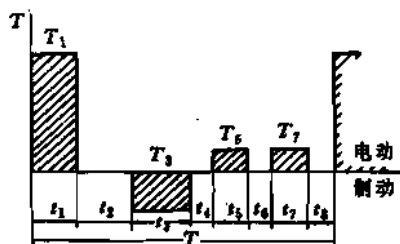


图 3.4.2.1 单吊杆起货机负载图

根据表 3.4.2.1 的计算结果,可绘制如图 3.4.2.1 的简易负载图。按 $FC = 25\%$ 及 P_n 或 P_n 值可选择电动机。视绞车的负荷性质及工作繁重程度不同,也可选择 $FC = 40\%$ 或 15% 的电动机。

如果单吊杆起货机配有电动回转和变幅绞车,可按其绞车钢索的额定拉力参照式 (3.4.2.1) 进行功率计算。

2. 双吊杆起货机

双吊杆起货机的功率计算顺序同单吊杆的相同,只是各段操作时间内电动机的负载不同。例如,货物由码头上起升时,舷边的吊杆是重载,货舱上方的吊杆是空载;在货物平移过程中,两台绞车都有负载,并且都在变化着的;货物下放到舱内时,舷边吊杆是空载,货舱上方的吊杆是重载。而单吊杆操作时,货物的起升与下降都是重载,货物平移时是停止不工作。由于双吊杆操作中的变化因素较多,计算较繁琐,计算结果与实际情况也有出入,所以一般不进行这种计算,而以单吊杆计算结果为参考。由于双吊杆操作中,每个吊杆的绞车工作时间较单吊杆时长,尽管有时负载为空载,但对于异步电动机而言,其发热程度可能会比单吊杆时严重。在 70 年代至 80 年代双吊杆起货机用三速三绕组变极变速异步电动机的曾有一些电动机被烧毁的事故,尽管与控制线路的保护设计不可靠有关,但这种功率计算的近似性似乎也可能是原因之一。所以有必要将双吊杆起货机功率作适当放大。

根据双吊杆操作在货物平移过程中的受力和速度图解分析来看^[2],实际上受力均在起重量的左右,以及在平移时速度未能降至规定要求,势必造成平移中绞车均处于接近额定功率的运行,证实了双吊杆运行情况要比单吊杆时条件严酷。

3. 一般起重绞车

一般起重绞车因无生产效率要求,因此按表 3.4.2.1 来计算功率显得繁琐而无必要,通常只以额定起重量及额定起升速度作为计算之依据,而工作制则往往选择短时的如 30min 或 $FC = 15\%$ 。计算公式如下:

1) 电动机计算额定功率:

$$P_n = \frac{(G_n + G_0) V_1}{\eta} \quad (3.4.2.1)$$

表 3.4.2.1 单杆起货机功率计算表

序号	计算值名称	符号	单位	公 式	备 注
1	起升额定负载的电动机轴阻力矩	T_1	N·m	$\frac{(G_n + G_0)D}{2K\eta} \times 1000$	η' 从图 3.1.2.1 中查 式中 α ——空载损耗力矩与额定力矩之比 $\alpha=0.05 \sim 0.1$ η_0' 从图 3.1.2.1 中查
2	下降额定负载的电动机轴阻力矩	T_3	N·m	$\frac{(G_n + G_0)\eta'D}{2K} \times 1000$	
3	空钩效率	η_0		$\frac{1}{\frac{1}{\eta} + \frac{G_0}{G_n} - \alpha}$	
4	起升空钩的电动机轴阻力矩	T_5	N·m	$\frac{G_0 D}{2K\eta_0} \times 1000$	
5	下降空钩的电动机轴阻力矩	T_7	N·m	$\frac{G_0 \eta_0' D}{2K} \times 1000$	
6	起升额定负载时间	t_1	s	$\frac{H_1}{V_1}$	
7	下降额定负载时间	t_3	s	$\frac{H_3}{V_3}$	
8	起升空钩时间	t_5	s	$\frac{H_5}{V_5}$	
9	下降空钩时间	t_7	s	$\frac{H_7}{V_7}$	
10	一次起落货循环周期时间	T	s	$\frac{G_n X}{Q} \times 3600$	
11	一个周期内总停歇时间	Σt_0	s	$T - (t_1 + t_3 + t_5 + t_7)$	
12	电动机的工作制度	FC'		$\frac{t_1 + t_3 + t_5 + t_7}{T} \times 100\%$	
13	电动机计算额定力矩	T_n'	N·m	$\sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_3^2 t_3 + T_5^2 t_5 + T_7^2 t_7}{t_1 + t_3 + t_5 + t_7}}$	
14	电动机计算额定转速	n_n	r/min	$\frac{H_1 + H_3 + H_5 + H_7}{t_1 + t_3 + t_5 + t_7} \times \frac{60K}{\pi D} \text{ 或 } \frac{60KV_1}{\pi D}$	
15	电动机计算额定功率	P_n'	kW	$\frac{T_n' n_n}{9565}$	
16	折算至标准工作制 $FC=25\%$ 时的功率	P_n''	kW	$P_n' \sqrt{\frac{FC'}{25\%}}$	
17	计及过渡过程影响时的电动机功率	P_n	kW	$k P_n''$	

2) 电动机计算额定转速:

$$n_n = \frac{60KV_1}{\pi D} \quad (3.4.2.2)$$

3) 电动机参数:

按 P_n 及 n_n 值选择电动机参数。

4. 起艇机

1) 计算前需要的原始数据

艇重、属具、备件及机器重量	$G(\text{kN})$	起艇高度	$H(\text{m})$
乘员重量	$0.74(\text{kN})$	绞车卷筒的直径	$D(\text{m})$
乘员总人数	N	绞车机械的总传动比	K
起艇速度	$V(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	绞车效率	η

2) 计算方法

a. 电动机计算功率:

$$P = \frac{(G + 0.74N)V}{\eta \cdot 60} \quad (3.4.2.3)$$

b. 电动机计算转速:

$$n = \frac{KV}{\pi D} \quad (3.4.2.4)$$

c. 工作时间计算(连续3次):

$$t = \frac{3H}{V} \quad (3.4.2.5)$$

3) 电动机参数

按 P 及 n 值初选电动机,再进行不同工作时间的容量折算即成,对交流电动机还需作起动转矩的校验。

a. 选择 FC 工作制电动机

可按式(3.1.4.17)及式(3.1.4.13)计算得出。

b. 起动转矩校验

起动转矩应考虑为满载负载为:

$$T = \frac{(G + 0.74N)D}{2K\eta} \quad (3.4.2.6)$$

应满足

$$\lambda_T \geq \frac{T}{T_n} \quad (3.4.2.7)$$

3.4.2.2 电动机选择

起重机械是一种断续周期工作的机械,调速要求较高,电力拖动性能要求也较高。目前一般以交流变极变速电动机为主,也有一些特别是回转式起重机采用了各种型式的直流调速拖动,个别采用了交流串级调速拖动。

用于起重机械的交流变极变速电动机有两大类,一类为恒功率型,另一类为恒转矩型,变速范围有双速、三速、四速三种。恒功率与恒转矩的区别是指双速、三速的中速与高速及四速的中间两速之间的功率的配比关系,功率相同即为恒功率,功率相差一倍即为恒转矩。恒功率

型可适用在轻载或空钩时能提高一倍速度运行,以提高生产效率。但为了防止在重载操作与高速挡运行时发生电动机过载现象,采用了过载继电器作保护。由于在实际使用中的可靠性不高而引起电动机的过载损坏,将高速挡功率增大了约 1.5 倍以获得适当改善。恒转矩型则可在重载时也可运行在高速挡,所以不存在过载保护问题,并有利于自由操作,特别在双吊杆起货机操作中更为安全,不会产生过载及烧毁电机事故。尽管恒转矩型功率消耗较大,但安全可靠的因素是提高货船营运经济效益的关键。我国两种类型电动机都有,欧洲大多数国家都采用恒转矩类型电动机。

无论恒功率还是恒转矩类型,起货机电机均具有特别的结构。电动机为防水式,自带风机强制通风外冷式,机座无底脚凸缘卧式安装, S3 断续周期工作制,带圆盘制动器。由电动机本体、直流圆盘制动器和通风箱 3 部分组成,前两部分与起锚系统机械用的变极变速电动机类似,而通风箱则是起重机械用变极变速电动机所特有的。通风箱在电动机本体下部,分两个小室,一个装通风机,按规定方向运转,另一个为循环风室,产生的风通过电动机本体的外壳起到冷却作用。通风箱侧面装有风门,使用时应将风门打开,风门开关起动通风机,并连锁接通电动机控制电路,电动机才能起动运行,以保护电动机可靠使用。电动机定子绕组中均埋置热敏电阻起过热保护作用,有的电动机还可加设空间加热器以防凝露。

JZF₂-H 系列三速三绕组恒功率电动机定子有三套 Y 型绕组,其规格参数见表 3.4.2.2。

表 3.4.2.2 JZF₂-H 系列电动机规格参数

型号	额定功率 /kW	极数	额定电压 /V	负 载 持续率 /%	额定值					启动 电流 /A	基挡 电流 /A	启动 转矩 /N·m	每小时 允许空 载基挡 次数	转子飞 轮转动惯 量 /kg·m ²	直 流 电 磁 制 动 器						重量 /kg
					转速 /r·min ⁻¹	定子 电流 /A	效率 /%	功率 因数	转矩 /kg·m						额定制 动力矩 /kg·m	额定电 压 /V	额定电 阻 /Ω, 75℃	额定通 电 功率 /W	每小时 允许制 动次数 (次·h ⁻¹)		
JZF ₂ -H-3	10/3	4/12	380	25/15	1400/450	20/15	83/54	0.9 /0.5	7.6/5	5/2.5	4	2/2	150/300	1.2	12	$\frac{110}{110}$	58	210	40	150	250
JZF ₂ -H-6	30/25 4.5	4 8 28	380	15/20/15	1440 690 140	82 89 71	88 82 28	0.8 0.54 0.34	26 37 31	4 2 1.2	3.2 1.8 1.8	1.9 1.8 1.8	360 720 720	5.5	65	$\frac{110}{110}$	17.6	690	50	360	1200
JZF ₂ -H-7	54/37 6	4 8 28	380	15/20/15	1458 712 140	117 133 90	89.5 84.5 29.5	0.78 0.5 0.34	36 50.5 42	4.1 2.1 1.2	3.2 1.8 1.8	1.95 1.8 1.8	240 480 480	9	75	$\frac{110}{110}$	17.6	690	50	240	1600

YHLQ-H(D)-250 型双速二绕组恒转矩电动机定子有两套 Y 型绕组,其规格参数见表 3.4.2.3。

YHLQ-H(D)-550 型三速三绕组恒转矩电动机定子有 3 套 Y 型绕组,其规格参数见表 3.4.2.4。

1PB1-1BL 系列三速二绕组恒转矩电动机定子有二套绕组,一套 4 极为 Y 型或 Δ 型,一套 8 极 YY 型与 16 极 Δ 型合用,该系列适用于小型辅助起货机,功率不大,工作制不频繁,所以是

表 3.4.2.3 YHLQ-H(D)-250 型电动机规格参数

型 号	功率 /kW	负 载 持续率 /%	接 法	电 压 /V	额定转速 /r·min ⁻¹	额定电流 /A	功率因数	效 率 /%	定子电阻 /Ω, 115℃	空载电流 /A	空 载 损 耗 /W	铁耗 /W
YHLQ-H(D) 250-4/8	7.5/3.7	25/25	Y/Y	380	1410/682	16.33/12.16	0.84/0.61	83.3/76.4	0.64/1.16	6.53/8.25	392/395	242/168
	7.5/3.7	25/25	Y/Y	440	1710/810	14/10.5	0.84/0.61	83.3/76.4	0.64/1.16	6.0/7.8	392/395	242/168
	启动电流	启动转矩	每小时允 许空载换 挡次数 /次·小时 ⁻¹		转子飞 轮力矩 /kg·m ²	直 流 电 磁 制 动 器					重 量/kg	
	额定电流	额定转矩				额定制 动力矩 /kg·m	额定吸上电 压/V/吸上 电流/A	维持电压 /V/维持 电流/A	激磁绕组 直流电阻 /Ω, 115℃	每小时允许 制动次数 /次·小时 ⁻¹		
	4.24/2.60	2.62/2.33	350/700		0.79	12	80/2.83	30/1.46	23.81	350	500	
	4.9/3.0	2.9/2.6	350/700		0.79	12	80/2.83	30/1.46	23.81	350	500	

表 3.4.2.4 YHLQ-H(D)-550 型电动机规格参数

型 号	功 率 /kW	负载持续率 /%	接 法	电 压 /V	额定转速 /r·min ⁻¹	额定电流 /A	功率因数	效 率 /%	定子电阻 /Ω,115℃	空载电流 /A	
YHLQ-H(D) 550-4/8/24	44 22 5.2	25/25/25	Y/Y/Y	380	1430 667 193	91.5 63.9 53.3	0.83 0.64 0.30	88.7 81.6 47.9	0.07 0.10 0.39	33.2 30 52.4	
	44 22 5.8	25/25/25	Y/Y/Y	440	1730 810 260	90/56/49	0.83 0.64 0.30	88.7 81.6 52.5	0.07 0.10 0.39	33 30 47	
	空 载 损 耗 /W	铁 耗 /W	起 电 流	起 动 转 矩	每小时允 许空载换 挡次数/ 次·小时 ⁻¹	转子飞 轮力矩 /kg·m ²	直 流 电 磁 制 动 器				重 量 /kg
			额 定 电 流	额 定 转 矩			额定制 动力矩 /kg·m	额定吸上 电压/V/ 吸上电 流/A	激磁绕 组直流 电阻 /Ω,115℃	每小时允 许制 动次数/ 次·小时 ⁻¹	
	1716 906 3126	1082 556 631	3.57 2.11 1.24	1.9 1.94 2.44	320 640 960	5.7	65	100/3.66	27.05	320	1250
	1716 906 3126	1082 556 631	3.96 2.35 1.66	2.21 1.93 2.0	320 640 960	5.7	65	100/3.66	27.05	320	1250

外壳表面空气自冷式无通风箱。1PB2 及 1PB4 系列三速三绕组恒转矩电动机定子有三套绕组,或全为 Y 型或全为 Δ 型;1PB2 及 1PB4 系列四速三绕组恒转矩电动机定子有三套绕组,一套 2 极 YY 型与 4 极 Δ 型合用,8 极及 28 极均为独立 Y 型。1PB1, 1PB2 及 1PB4 系列电动机的规格参数见表 3.3.2.3。

起重机械采用直流调速拖动时需选用直流起重电动机。电动机为防水式,外壳空气自冷,带圆盘制动器,他励励磁,具有各种不同的 S3 断续周期工作制。

ZZY-H 系列、ZZH 系列及 ZZKH 系列他励直流起重电动机规格参数见表 3.4.2.5。

表 3.4.2.5 船用直流起重电动机(他激)主要规格数据

工 作 制	FC=25%		FC=40%		FC=60%		30min		60min		FC=15%		重量/kg 带制动器/ 不带制动器	高速 /r·min ⁻¹
型 号	功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹	功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹	功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹	功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹	功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹	功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹		
ZZY-12-H	3	1200	2.2	1250	1.9	1250	3	1200	2.6	1210	4	1150	180/125	3300
ZZY-21-H	4.5	1100	3.5	1150	2.9	1170	5	1080	4.2	1100	6	1050	250/190	3200
ZZY-22-H	6	1000	4.5	1000	3.8	1030	7	970	6	1000	8	950	280/215	3000
ZZY-31-H	9	850	7	850	6	850	10	860	8	840	12	830	410/295	2600
ZZY-32-H	12	750	9.5	760	7.5	760	13.5	740	11	750	15	730	460/350	2300
ZZY-41-H	16	700	12	700	10	720	22	680	17	690	21	680	700/520	2200
ZZY-42-H	21	650	16	655	13	660	28	640	24	640	26	650	810/620	2100
ZZY-12-H	3.5	1550	2.6	1550	2.2	1600	3.5	1550	3.3	1600	4.5	1500	机座号同上	机座号同上
ZZY-21-H	5.5	1410	4	1480	3.5	1500	6	1420	5.5	1450	7	1400		
ZZY-22-H	8	1350	6	1400	5	1450	9	1350	8	1350	10	1300		
ZZY-31-H	12	1300	9	1400	7.5	1420	13.5	1280	12	1300	15	1270		
ZZY-32-H	17	1170	13	1150	11	1180	20	1180	18	1170	22	1130		
ZZY-41-H	22	1130	17	1130	14	1150	28	1100	25	1100	28	1100		
ZZY-42-H	30	1000	23	1050	20	1050	41	950	35	1000	40	980		
ZZH-41	11	730	8	740	7	740	13	720	11	730			630/	1900
ZZH-42	15	720	11	725	9	730	17	710	15	720			756/	1800
ZZH-51	24	680	18	680	14	685	30	675	26	678			1210/965	1700
ZZH-52	35	720	23	720	16	725	42	720	39	720			1340/1175	1700
ZZKH-41	16	1250	12	1260	9	1200	21	1240	17	1250			685/	2500
ZZKH-42	20	1100	15	1110	12	1100	28	1090	22	1100			756/570	2300
ZZKH-51	30	1050	22	1050	15	1050	42	1050	33	1050			1140/	2100
ZZKH-52	38	1000	27	1000	22	1000	56	1010	46	1000			1030/	2100

起重机械采用交流串级调速拖动时需选用交流起重用绕线型电动机,目前尚无船用型,可选用“TH”级绝缘处理的陆用电动机。电动机为封闭式,外壳空气自冷,不带制动器需另配抱闸式电磁制动器,如安装在甲板上需附加防水措施,亦具有各种不同的S3断续周期工作制。

YZR系列陆用起重用绕线型电动机规格参数见表3.4.2.6。

表 3.4.2.6 陆用起重用

机座号	工作制												S3 6次/h
	FC				15%				25%				40%
	项目	P	I ₁	I ₂	n	P	I ₁	I ₂	n	P	I ₁	I ₂	$\frac{M_{max}}{M_n}$
		/kW	/A	/A	/r·min ⁻¹	/kW	/A	/A	/r·min ⁻¹	/kW	/A	/A	
1000													
YZR	112 M	2.2	6.6	18.4	725	1.8	5.3	13.4	815	1.5	4.63	12.5	2.19
	132 M1	3.0	8.0	16.1	855	2.5	6.5	12.9	892	2.2	6.05	12.6	2.86
	132 M2	5.0	12.3	18.2	875	4.0	9.7	14.2	900	3.7	9.2	14.5	3.5
	160 M1	7.5	18.5	35.4	910	6.3	16.4	29.4	921	5.5	15	25.7	2.56
	160 M2	11	24.6	39.6	908	8.5	19.6	29.8	930	7.5	18	26.5	2.78
	160 L	15	34.7	39	920	13	28.6	31.6	942	11	24.9	27.6	2.47
	180 L	20	42.6	58.7	946	17	36.7	49.8	955	15	33.8	46.5	3.2
	200 L	33	62		942	26	56.1	82.4	956	22	49.1	69.9	2.88
	225 M	40	80	101	947	34	70	85	957	30	62	74.4	3.3
	250 M1	50	99	123	950	42	80	103	960	37	70.5	91.5	3.13
	250 M2	63	121	134	947	52	97	110	958	45	84.5	95	3.48
	280 S	75	144	169.5	960	63	118	142	966	55	101.5	119.8	3.0
	280 M	100				85				75			
750													
YZR	160 L	11	27.5	35.3	676	9.0	22.4	28.1	694	7.5	19.1	23	2.73
	180 L	15	34	56	690	13	29.1	47.8	700	11	27	44	2.72
	200 L	22	48	81	690	18.5	40	67.2	701	15	33.5	53.5	2.94
	225 M	33	70	92	696	26	55	71.2	708	22	46.9	59.1	2.96
	250 M1	42	75	97.5	710	35	64	80	715	30	63.4	68.8	2.64
	250 M2	52	103	98	706	42	86	79	716	37	78.1	70	2.73
	280 S									45			
	280 M	75	150	132	715	63	126	110	722	55	110.5	92.5	2.85
	315 S	100				85				75			
	315 M	125	250	232	717	100	190	183.5	715	90	172	160.9	3.13
600													
YZR	280 S	55	112	235.2	564	42	92	177.1	571	37	84.8	153.2	2.8
	280 M	63	146	241	548	55	127	207	556	45	103.8	165	3.16
	315 S	75	154	194	574	63	132.5	161.9	580	55	118.3	138.7	3.11
	315 M	100	210	203	570	85	179	171	576	75	160	149.3	3.45
	355 M	132	266	252	576	110	220	207	581	90	180	166.6	3.33
	355 L1	160	314	261	571	132	275	213	578	110	217	172	3.1
	355 L2	185	353	241	585	150	293	194	588	132	262	167.5	3.48
	400 L1									160			
	400 L2									200			

注: I₁ 为额定定子电流。I₂ 为额定转子电流。I₀ 为空载电流

3.4.3 船舶起重机械电力拖动控制及配套

1. 恒功率变极变速电动机控制

起重机械采用恒功率变极变速电动机时其控制基本为继电器接触器型式,在七八十年代使用较多。由于其中速与高速之间需有过载保护,而在实际运行中常发生过载保护动作不可靠而发生电机烧毁事故^[18]。有的运行部门甚至作出了不准使用高速挡的强制规定。所以陆续出现不少改进的线路,直至采用了 PLC 控制,类似在本篇第 3 章起锚系统机械控制及配套中已述及的情况,曾在一批旧船改造中大量采用^[17]。表 3.4.3.1 列出了恒功率变极变速起货机控制

表 3.4.3.1 JZF₂-H 系列起货电动机控制箱规格参数

控制箱型号	电压 /V	电流 /A	被控电动机			外形尺寸(高×宽×深) /mm×mm×mm
			型 号	功率/kW	极 数	
PH3-Q181JA	380	100	JZF ₂ -H-6	38/26/4.5	4/8/28	1700×750×500
PH4-Q202JA	380	400	JZF ₂ -H-7	54/37/6	4/8/28	1955×1027×611.5
PH5-Q301J	380	400	JZF ₂ -H-7	37/37/7.5	4/8/28	2000×1030×611.5
XH2-Q141J	380	45	JZF ₂ -H-3	10/3	4/12	1370×700×350

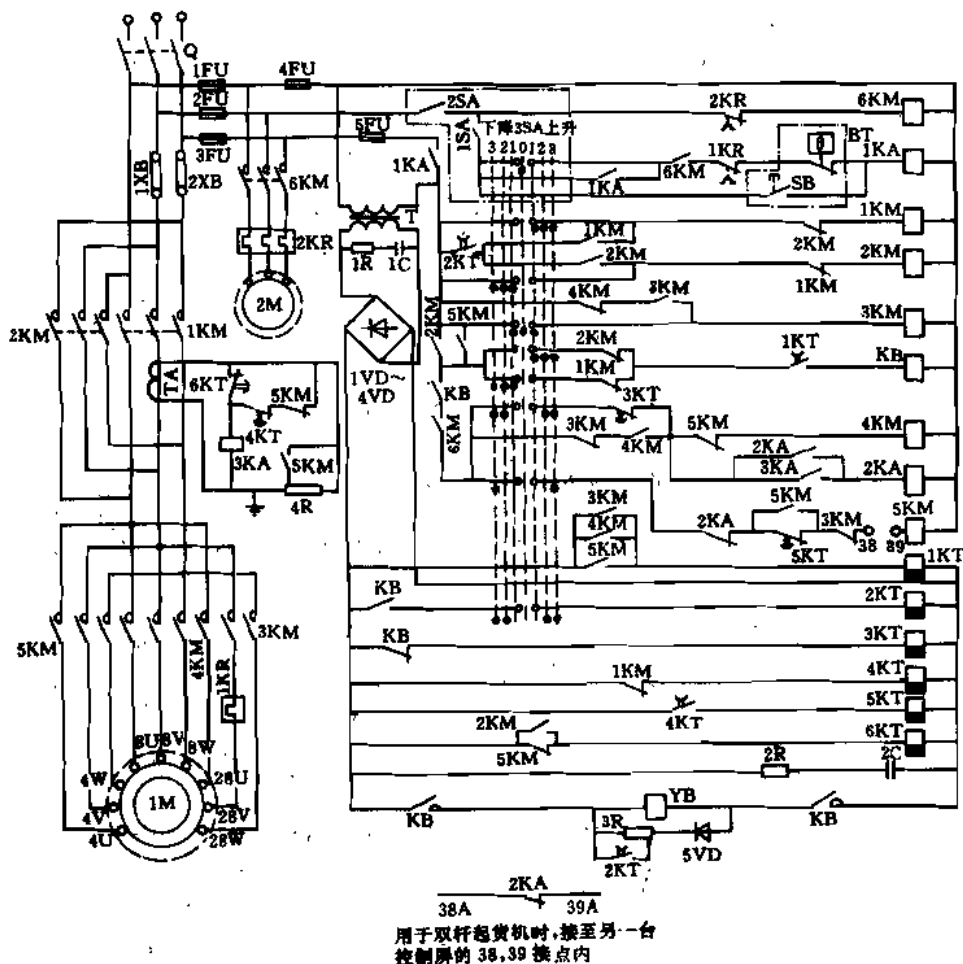


图 3.4.3.1 JZF₂-H 系列起货电动机控制线路(PH3-Q181JA 型)

制箱的规格参数,图 3.4.3.1 为恒功率变极变速起货机的控制线路。

2. 恒转矩变极变速电动机控制

1) 继电器接触器控制

根据不同的电动机系列,具有多种控制箱配套,见表 3.4.3.2~表 3.4.3.4,其部分控制线路见图 3.4.3.2~图 3.4.3.4。

表 3.4.3.2 YHLQ-H(D)系列起货电动机控制箱规格参数

控制箱型号	电压/V	电流/A	被控电动机			外形尺寸(宽×深×高) /mm×mm×mm
			型 号	功率/kW	极数	
PHH1-40 (XHH1-40) (HKH1-40/2)	380	40	YHLQ-H(D)250	7.5/3.7	4/8	600×400×1305 (600×300×1260) (600×280×1200)
PHH1-40 (XHH1-40) (HKH1-63/2)			YHLQ-H(D)350	15/5	4/8	
PHH1-80 (XHH1-80) (HKH1-63/3)		80	YHLQ-H(D)450	30/15/3.7	4/8/24	710×400×1605 (700×350×1560) (650×280×1500)
PHH1-100 (XHH1-100) (HKH1-100/3)		100	YHLQ-H(D)550	44/22/5.2	4/8/24	710×400×1605 (700×350×1560) (700×300×1500)
HXX1-100 (HKH1-100/3)		100	YZHL-H	38/19/4.1	4/8/28	650×350×1790 (700×300×1500)

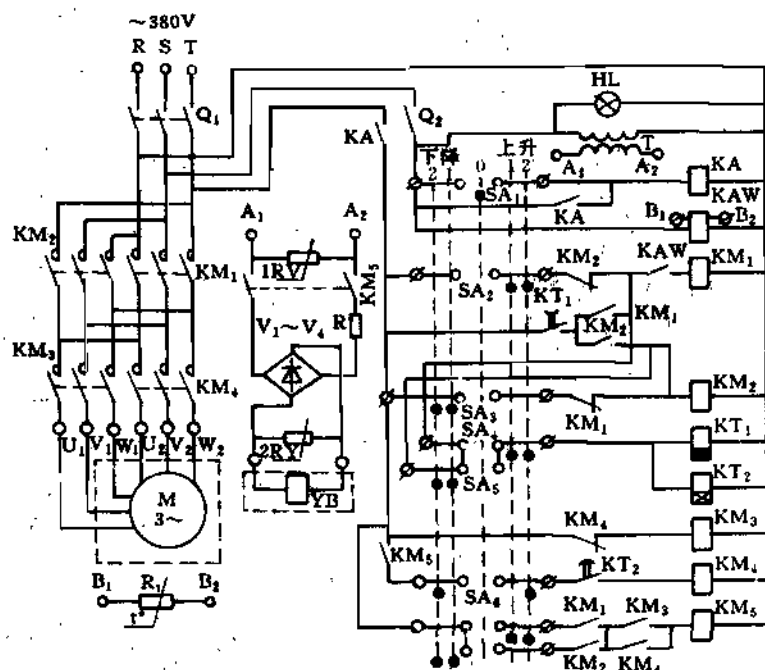


图 3.4.3.2 YHLQ-H(D)系列双速恒转矩起货机控制线路

表 3.4.3.3 1PB2 及 1PB4 系列起货电动机控制箱规格参数

控制箱 型 号	被 控 电 动 机							控制箱 重 量 /kg
	型 号	极 数	功 率 /kW	电 流 /A	S3 工作制 /FC%	频 率 /Hz	电 压 /V	
A111D	1PB2 205	28/8/4	4.1/19/38	42/63/81	25/25/25	50	380	130
			4.4/19/38	38/45/69		60	440	
A309D	1PB4 313	36/12/6	6.8/29/61	90/98/136	15/15/15	50	380	200
			7.8/29/61	83/85/120		60	440	
A310D	1PB4 315	28/8/4	6.5/40/80	100/118/164	15/15/40	50	380	200
			7.9/40/80	92/104/142		60	440	
A211D	1PB2 206	28/8/4/2	4.1/19/38/38	42/67/85/95	25/25/15/10	50	380	200
			4.4/19/38/38	38/59/74/82		60	440	
A311D	1PB4 316	28/8/4/2	6.5/40/80/80	100/118/164/162	15/15/20/20	50	380	~280
			7.9/40/80/80	92/104/142/140		60	440	
HDK2-100	1PB2 205	28/8/4	4.1/19/38	42/63/81	25/25/25	50	380	

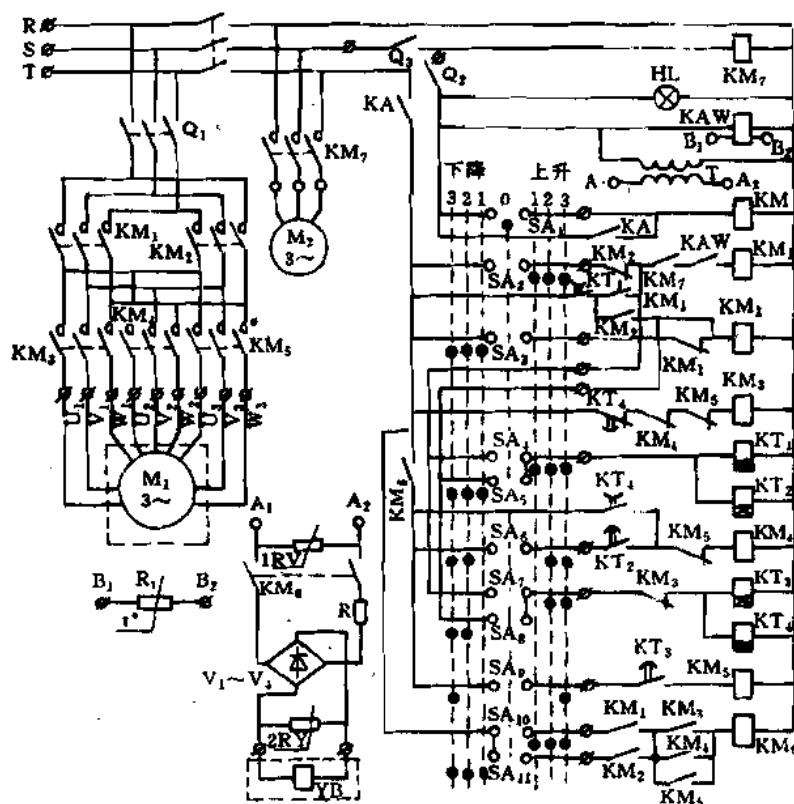


图 3.4.3.3 YHLQ-H(D) 系列三速恒转矩起货机控制线路

PLC 采用美国 A-B 公司的 SLC-500 系列的 L40P 型, 电源 AC220V, 输入 20 点, 输出 24 点, 内存 1K。可用于控制 32/16/5kW 恒转矩三速电动机, 也可用于控制相似功率的恒功率三速电动机。系统具有如下实时控制功能: 直接加速、延时加速、直接制动、三级制动(再生制动→再生、机械联合制动→机械制动)、逆转矩换向(先执行三级制动再执行延时加速)、机械刹车滞后打开、主令越位保护(越位时间小于延时加速时不作响应)、快速重复起动(主令回零时间小于再生制动时间不作响应以减少制动器动作次数)、主令信号确认(系统经 200ms 延时确认以防止主令抖动或不正常操作时主接触器的无效动作)。应急功能有: 应急停车(主令电源开关切断)、应急下降重物(PLC 故障时由零压继电器作应急下降)、无保护运行(切除全部保护功能只有实时控制)。安全保护功能有: 零位、缺相、失压、过载(各挡速度均有)、操作过频、工作持续率自动计算、制动故障、电机温度过高。主令控制器各挡触点作为 PLC 的输入, PLC 输出给中间继电器再控制原主接触器。本图中 B 机的主电路与控制电路和 A 机的完全相同, 由 PLC 的 OU8~OU15 输出控制。

3) 单片微机控制

这是在采用 PLC 控制获得成功的基础上,采用了 8031 单片微机,以获得更多的 I/O 口和更高的实时性和更优的经济性,使恒功率三速电动机起货机的性能更加完善。单片微机控制的系统原理框图见图 3.4.3.6。单片微机控制的功能有:自检、仿真测试、通电/失电瞬态过程

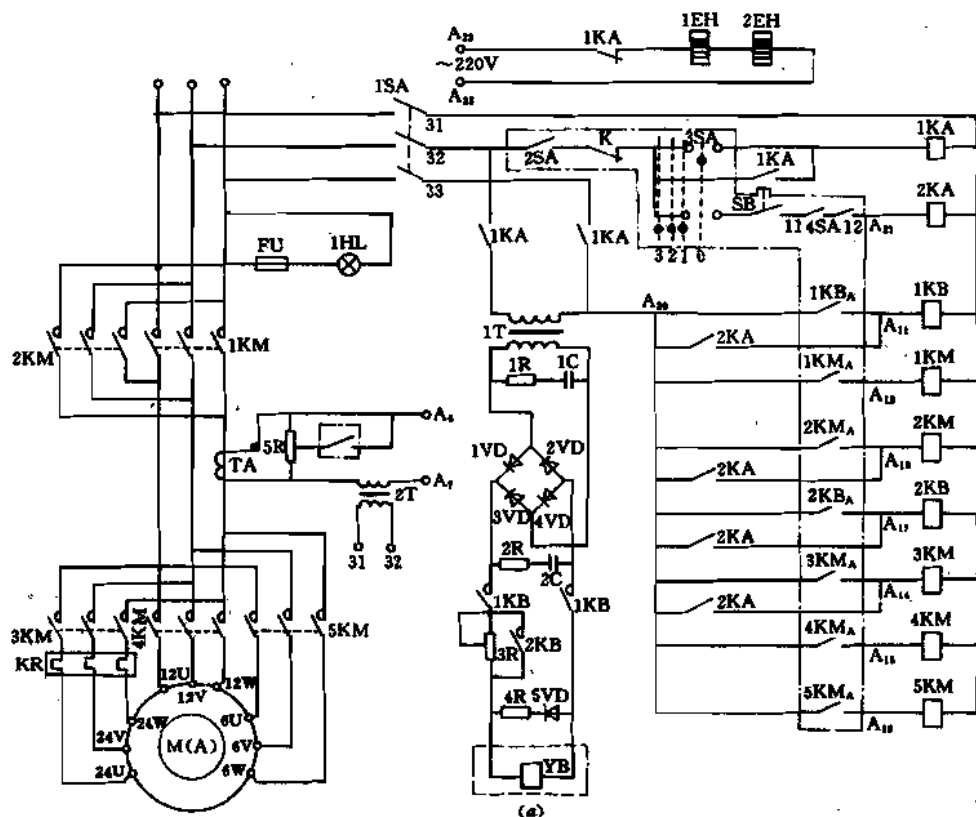
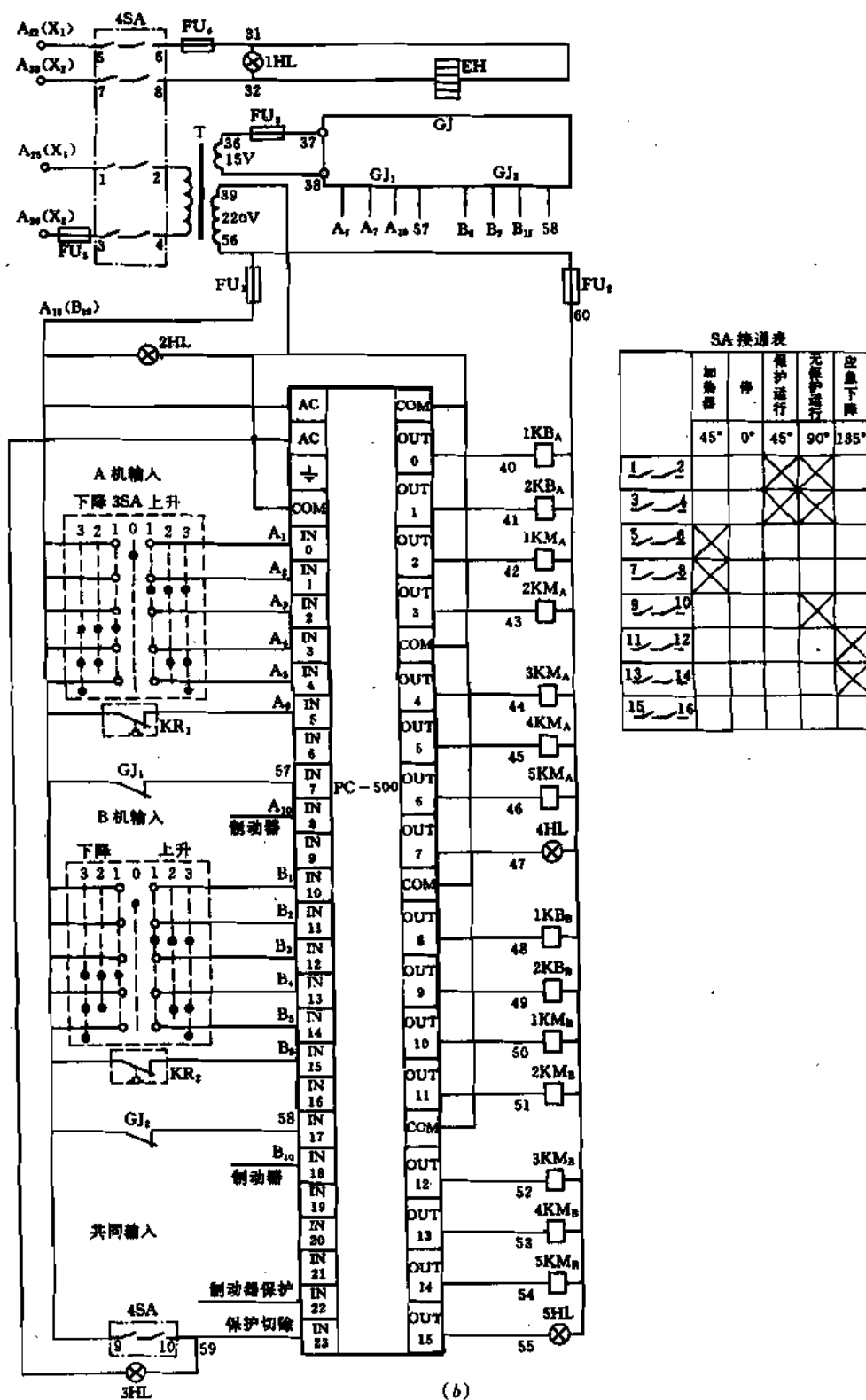


图 3.4.3.5 PLC 控制

(a)主电路及控制电路:



起货机控制线路

(b) PLC 接线图。

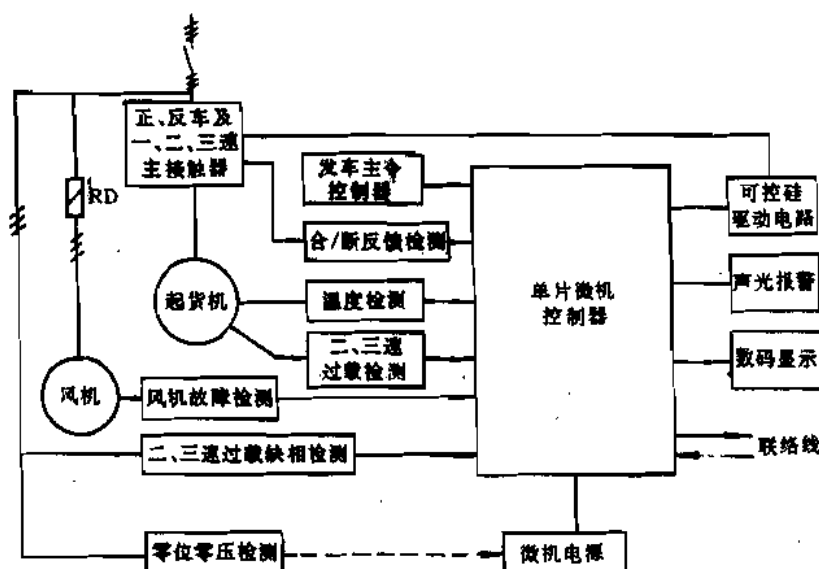


图 3.4.3.6 单片机控制起货机控制线路框图

保护、现场设定延时时间、起动、制动、换向自动控制、检测与保护、报警、双机联络、数据显示等,输入输出均有光电隔离,输出经晶闸管开关电路直接控制主接触器。软件以 MCS-51 汇编语言编程,软件模块化,调用方便,目标文件固化在 EPROM 中,可根据不同起货机的保护配备予以增删。软件除了主程序外,还有三挡起动、三级制动、同向换速、两个外部中断、两个 CTC 中断、自检和仿真测试、组合主令检错、输出命令纠错、主接触器通断的反馈检查、频繁操作限速限时等子程序^[19]。

3. 千斤索和稳索电动机控制

千斤索和稳索是吊杆式起货机不可缺少的辅助装置,起到调整吊杆位置的作用。随着劳动条件的改善和生产效率提高的需要,千斤索和稳索从手动绞车改为电动绞车,并且做到与起货机连锁控制。千斤索和稳索绞车电动机控制箱规格参数见表 3.4.3.5。

表 3.4.3.5 千斤索和稳索电动机控制箱规格参数

控制箱 型 号	被 控 电 动 机					用 途	控制箱重 量/kg
	型 号	功 率 /kW	工作制/min 或 /S3 - FC/%	频率 /Hz	电压 /V		
A815D	1PB3 130 - 4A	10.5	5	50	380	千斤索	130
		8.5	10				
		12	5	60	440		
		10	10				
	1PB3 164 - 8J	7.5	10	50	380	稳索	
		4.3	S3 - 40				
		8.6	10	60	440		
		5	S3 - 40				

(续)

控制箱 型 号	被 控 电 动 机					用 途	控制箱重量/kg
	型 号	功 率 /kW	工作制/min 或 /S3-FC/%	频率 /Hz	电压 /V		
A816D	1PB3 130~4A	10.5	5	50	380	千斤索	130
		8.5	10				
		12	5	60	440		
		10	10				
	1PB3 164-8J	7.5	10	50	380	稳索	
		4.3	S3-40				
		8.6	10	60	440		
		5	S3-40				
A822D	1PB3 133-4D	15	5	50	380	千斤索	130
		12	10				
		17	5	60	440		
		14	10				
	1PB3 164-8J	7.5	5	50	380	稳索	
		4.3	10				
		8.6	5	60	440		
		5	10				

4. 三输出直流调速拖动控制

这是用于回转起重机的特殊的三输出直流发电机的发电机—电动机直流调速拖动系统的控制型式。三输出直流发电机有三个独立的输出,分别向三台直流电动机供电,以拖动起升、回转和变幅机构,具有体积小重量轻的特点^[20]。

三输出直流发电机组及电动机的规格参数见表 3.4.3.6,其控制线路见图 3.4.3.7。

表 3.4.3.6 三输出直流发电机组及电动机规格参数

控 制 站 型 号 ^①	电机名称	型号	额定功率 /kW	额定电流 /A	额定电压 /V
XHHZ1-40/15/15	发电机组驱动电动机	ZFB355	60	110	380
	起升电动机	ZZ-250L-H	40	163	270
	旋转电动机	ZZ-225M-H	15	53.2	320
	变幅电动机	ZZ-225M-H	15	53.2	320

① 控制站全套包括控制箱、继电器箱、电源箱、起动机、行程开关箱、联动控制台、石英晶体负荷限制器各 1 台及电阻箱 3 台

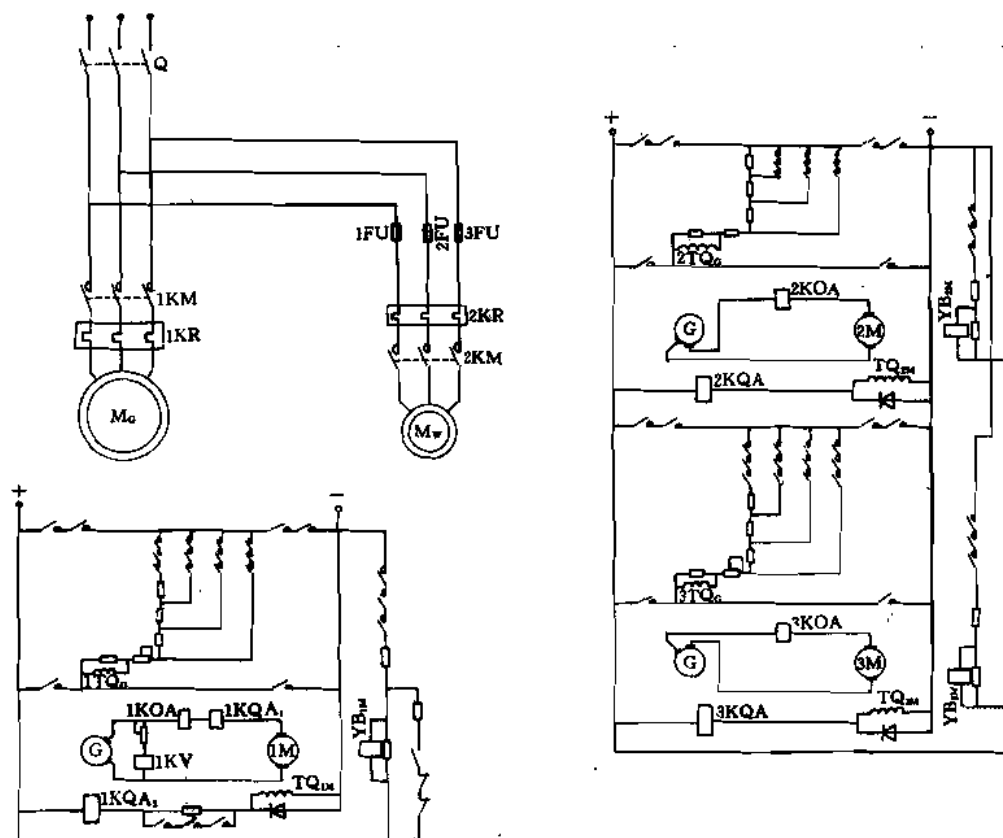


图 3.4.3.7 三输出直流调速拖动起货机主线路及励磁电路

三输出发电机组为强制通风附带通风机,三个发电—电动机主电路内无开关,发电机励磁均为可逆串电阻调节,电动机励磁只有起升机构具有弱磁调节,控制电路为继电器接触器型式。

5. 绕线型电动机交流调速拖动控制

1) 交流串级调速控制

这是一种在陆用各种起重机上已获得广泛应用并已派生用于 300t 救捞起重驳上的起重机械的交流调速系统,交流串级调速系统的基本原理详见 3.1.5。300t 救捞起重驳为扒杆式起重机械,主钩 300t,由两台 YZR-315M 85kW 拖动,副钩 100t,由两台 YZR-280S 42kW 拖动,变幅由两台 YZR-315M 85kW 拖动。主钩与变幅经转换合用一套串级调速装置,副钩另用一套串级调速装置,其控制线路见图 3.4.3.8。系统调速范围为 10:1,为了补偿在低速时功率因数的降低,系统中采用了 240kVar 的电容器。

2) 双向晶闸管调压调速控制

这是一个定子采用两组双向晶闸管组成可逆调速电路而转子接入频敏变阻器及固定电阻的综合笼型电动机和绕线电动机调速特点的系统,主电路为无触点型式。为了获得稳定工作的硬特性,系统必须采用测速反馈。其主令开关与调速电位器采用同轴联结且具有中间抽头,以满足上升与下降操作信号的换向,这是所有起重机械调速控制的必须措施。该系统结构框图及主电路图见图 3.4.3.9,系统调速范围为 20:1^[21]。

6. 液压起重机控制

液压起重机的使用已较普遍,性能较完善的使用电液控制的较多。图 3.4.3.10 为液压起

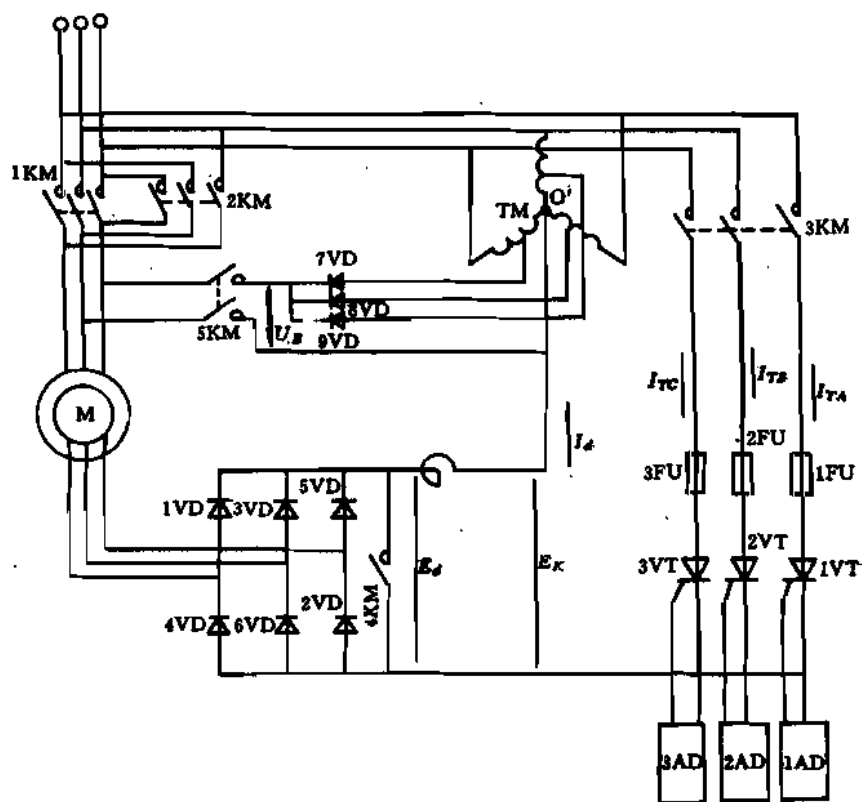


图 3.4.3.8 交流串级调速起重机控制线路

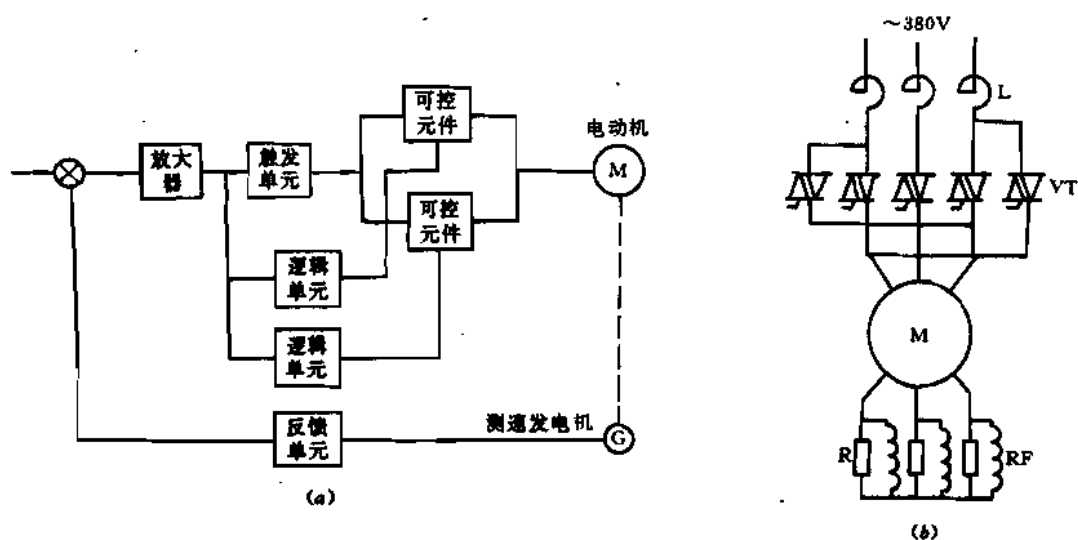


图 3.4.3.9 双向晶闸管调压调速起货机控制线路

(a) 结构框图；(b) 主电路。

机的起升机构控制框图。液压起重机上有柴油机液压泵组，构成独立动力系统及电液控制系统，从控制框图中可看出电液控制系统具有负载反馈（功率限制器）及转速反馈（电子式泵位

置器)的双馈控制作用,与电力拖动控制系统功能相类似。

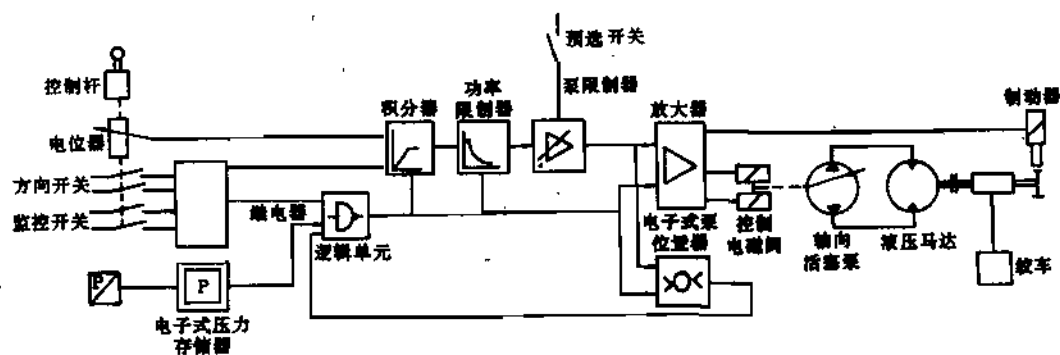


图 3.4.3.10 液压起重机起升绞车控制框图

第5章 船舶舵机电力拖动

3.5.1 概述

1. 舵机的种类

舵机是保证船舶安全航行、作业并使船舶具有良好操纵性的重要设备,其作用是使船舶按操纵的要求控制船舶的航行方向。舵机按传动型式可分为人力舵机、电动舵机和液压舵机。电动舵机一般用于中小型船舶,其结构型式常用扇形齿轮式或螺杆式,在70年代以前应用较多。由于舵机拖动性能要求较高,调速范围要大,最好为无级调速,且需要有堵转性能,所以在较小功率时(约2kW),就可能采用调速拖动,造成电动舵机的控制系统极为复杂。70年代以后,随着液压技术的发展和成熟,其调速和堵转性能得到充分发挥,且不论功率大小,性能可以保持相同和稳定,所以液压舵机获得迅速发展,目前大多数船舶均采用液压舵机。按海洋船舶液压舵机标准(CB/T972—94)转舵扭矩范围从 $5\text{kN}\cdot\text{m}$ 到 $2000\text{kN}\cdot\text{m}$,而电动舵机标准(CB504—66)转舵扭矩范围仅从 $10\text{kN}\cdot\text{m}$ 到 $160\text{kN}\cdot\text{m}$,且只有直流配套,一直未有发展。所以本章主要介绍液压舵机电力拖动有关内容,并简称为舵机。有关电动舵机的设计内容可参见1973年版的本手册相同章节的介绍。

液压舵机结构简单,效率高,工作可靠,系列容量范围大,大中小船舶均可采用。其结构有往复式及回转式两类,常用有5种,见图3.5.1.1。海洋船舶舵机能满足 $\pm 35^\circ$ 转舵角度,在28s时间内能将舵从一舷 35° 转至另一舷 30° ,在 35° 处能输出公称扭矩。舵机的操纵从操舵信号性质来分有机械(直控)、液压(液控)和电气(电液控)3种;从操舵信号类型来分有随动(手轮)、非随动(手柄)和自动三种;而操舵设备则可将上述各种操舵方式进行各种组合而成,如液压随动、电气随动等等。

舵机的调速型式可分为泵控型(变量泵调速)和阀控型(不调速或节流阀调速)两种。泵控型舵机应有补液设施,如采用补液泵,则应与主泵有联锁。随动机构的型式可分为机械反馈型和电气反馈型两种。

2. 舵机电力拖动的基本要求

由于舵机的主要性能(调速、堵转、操舵次数等)是由液压系统来保证的,所以对电力拖动的要求就不像电动舵机那样多而且高,主要是对液压泵动力机组和电液(磁)阀的控制系统有所要求,原则上可参考3.6.3所述。

此外,由于舵机对船舶安全的特殊性,根据《1974年国际海上人命安全公约1981年修正案》有关规定,中国船级社(CCS)在1996年的《钢质海船入级与建造规范》中也列出了详细规定,下面仅列出与动力机组及控制有关的规定的主要内容:

- 1)每艘船至少应设置1个主操舵装置和1个辅助操舵装置,且其布置应满足其中1个失效时不致使另1个也失灵。
- 2)如主操舵装置具有2台或几台相同的动力设备,则在下列条件下可不设辅助操舵装置:

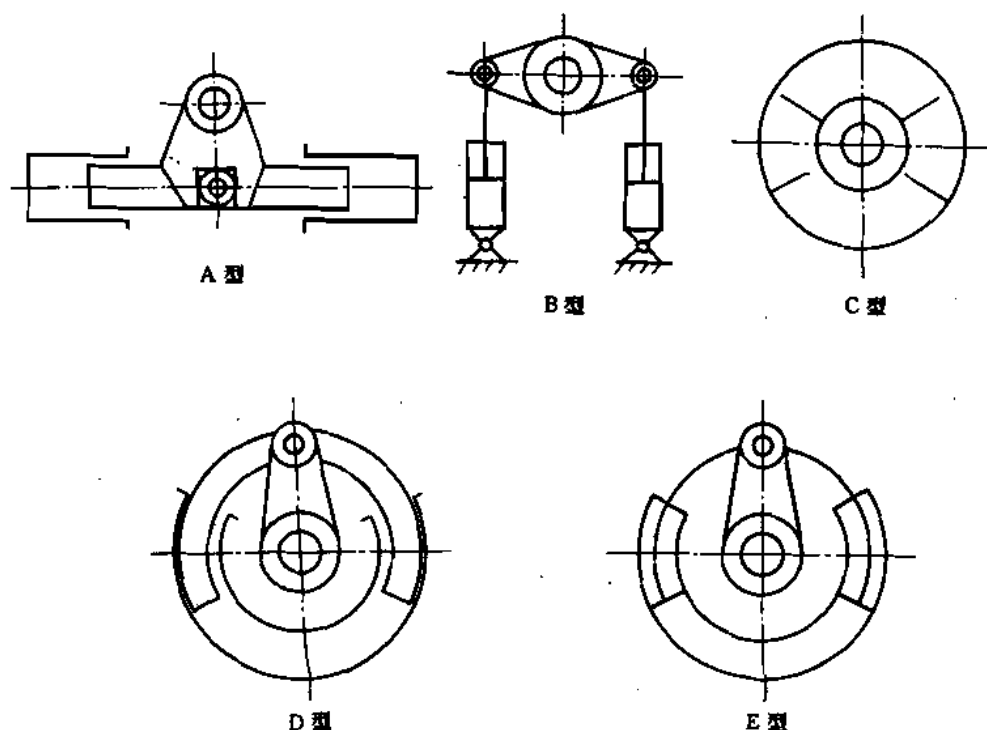


图 3.5.1.1 液压舵机结构型式

A 型—往复柱塞式；B 型—往复活塞式；C 型—转叶式；

D 型—回转柱塞式；E 型—回转活塞式。

- a. 对于客船,当任一动力设备不工作时,主操舵装置能满足规定的操舵要求($\pm 35^\circ$ 转舵角度及 28s 内将舵从一舷 35° 转至另一舷 30°)。
- b. 对于货船,当所有动力设备都工作时,主操舵装置能满足规定的操舵要求(同上)。
- c. 主操舵装置应布置成当其管系或 1 台动力设备发生单项故障时,此缺陷能被隔离,使操舵能力能够保持或迅速恢复。
- d. 非液压型式的操舵装置,应达到本条的上述同等要求。
- 3) 辅助操舵装置的操舵要求降低为能在最大营运前进航速的一半但不小于 7kn 时进行操舵,使舵自一舷 15° 转至另一舷的 15° ,且所需时间不超过 60s。
- 4) 主、辅操舵装置动力设备的布置应:
 - a. 当动力源发生故障失效后又恢复输送时,能自动再启动。
 - b. 能从驾驶室控制其投入工作。
- 5) 以动力转舵的操舵装置应设限位开关,使舵在到达舵角限位器前停止。限位开关应与转舵机构同步,而不应与舵机的控制同步。
- 6) 对操舵装置控制系统的要求:
 - a. 对主操舵装置,应在驾驶室和舵机室两处设控制器。
 - b. 主操舵装置如有 2 台或几台相同的动力设备时,应设置两个独立的控制系统,每个系统均应能在驾驶室控制,但这并不要求设双套操舵手轮或手柄。
 - c. 辅助操舵装置应在舵机室进行控制,若辅助操舵装置是用动力操纵,则也应能在驾驶室进行控制,并应独立于主操舵装置的控制系统。
 - d. 在舵机室应设有能将驾驶室操作的主、辅操舵装置的控制系统与其所服务的操舵装置

脱开的设施。

e. 在驾驶室操作的主、辅操舵装置的控制系统应能在驾驶室某一位置被投入操作。

7) 液压泵为电动机驱动时,电动机允许适当过载,当安全阀开启时,电动机的过电流或过力矩不超过电动机技术条件的规定。

8) 液压动力源及操纵方式的转换应迅速可靠。由一个人进行转换其时间不大于 10s,带自动检测、报警、转换装置的其时间不大于 45s。

9) 电动机及控制电路应设短路保护和过载报警装置,过电流保护应不小于满载电流的 2 倍,并允许适当的起动电流通过。三相供电时应设置任一相断开的报警装置。上述报警应为声光警报,并在主机控制室和驾驶室内均设置。驾驶室内操作的主、辅操舵装置控制系统的电源只应设短路保护。在驾驶室内还应设主、辅操舵装置动力故障及控制系统电源故障的声光警报。

10) 操舵装置的报警和监测要求见表 3.5.1.1。

表 3.5.1.1 操舵装置的报警和监测要求

序 号	项 目	报 警	备 注
1	操舵装置动力设备的动力	失效	
2	舵机电路及电动机	断相及过载	每一电动机工作时,均应于驾驶台和机舱主控制台进行运行指示
3	操舵装置控制系统动力	失效	
4	操舵装置液压油柜油位	低	每一油柜均应进行监测
5	舵角位置		主操舵装置为动力操作时,在驾驶室进行指示。舵角的指示应与操舵装置的控制系統独立。在舵机室内能看到舵角的指示
6	自动舵装置	失效	进行运行指示
7	液压油温度	高	在油冷却器安装处
8	液压油滤油器压力差	高	当滤油器安装时

11) 用随动操纵方式的舵机,舵的实际位置与操纵台舵角指针位置的偏差不得超过 $\pm 1^\circ$ 。

12) 当采用非随动操纵方式时,电气反馈型舵机的冲舵角不大于 2° 。

3.5.2 船舶舵机功率计算及电动机选择

1. 功率计算

1) 舵杆力矩曲线

船舶在前进或后退航行时,水流在舵叶上会形成阻力,其合力对舵杆存在一个力矩,舵杆转动偏舵时,就需要克服这个阻力矩。不同的舵叶结构以及在不同的偏舵角时舵杆力矩均不同,由船舶舾装专业计算提供,图 3.5.2.1 为两种基本舵叶结构的舵杆力矩曲线。图中规定:
a. 舵由纵剖面一舷偏转的行程称为正舵;b. 舵由一舷向纵剖面偏转的行程称为回舵;c. 正舵

时之偏舵角 α 取为正值; d. 回舵时之偏舵角 α 取为负值; e. 阻碍舵叶偏转的舵杆力矩 T_K 取为正值; f. 帮助舵叶偏转的舵杆力矩 T_K 取为负值。

一台舵机同时拖动两个或三个舵杆时, 舵杆力矩应为其合成结果。舵机推舵机构通常是自制动的, 所以回舵时帮助舵叶偏转的舵杆力矩并不能起反馈作用, 推舵机构以空载转

矩做功回舵。因此, 实际反映在舵机机械中的负载图见图 3.5.2.2。图中 T_{\max} —正车最大力矩; T'_{\max} —倒车最大力矩; T_0 —空载力矩; T'_0 —计及平衡舵影响时的空载力矩; $-\alpha_1'$ —舵杆力矩曲线线性简化时的等效偏舵角; α_1 —平衡舵舵杆力矩 $T_K=0$ 时的偏舵角。

液压舵机由于结构形式不同, 其推舵机构输出转矩特性也不同, 见图 3.5.2.3。与图 3.5.2.2 比较, 可见对于滚轮式、摆缸式及转叶式结构舵机来讲, 在小的偏舵角时液压系统实际负载(压力)可减小; 而拨叉式及十字头式结构舵机, 即使在小偏舵角时实际负载减小不多, 基本上一直处于满载情况, 这对液压泵拖动电动机的功率计算有较大影响。

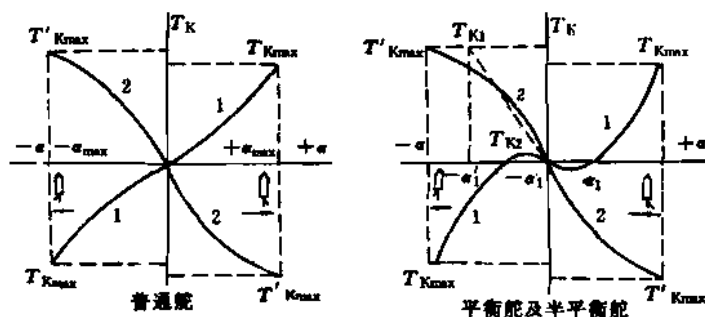


图 3.5.2.1 舵杆力矩曲线

1—前进航行; 2—后退航行。

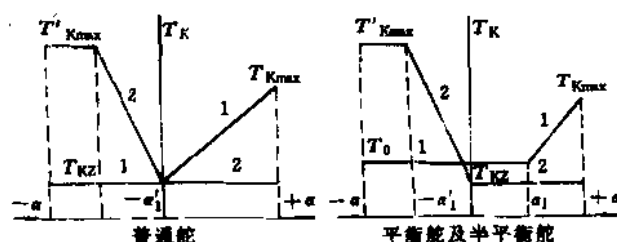


图 3.5.2.2 舵机的简化负载图

1—前进航行; 2—后退航行。

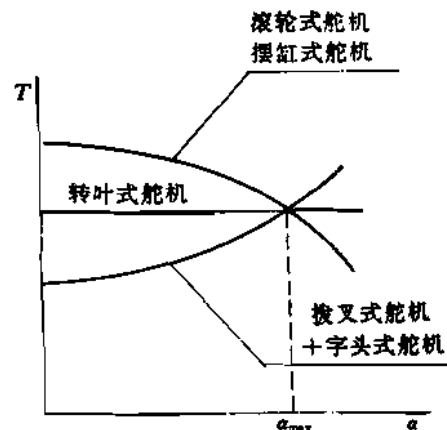


图 3.5.2.3 液压舵机在公称压力

下的输出转矩曲线

液压舵机还可具有限制负转矩的联锁装置, 该装置不起作用时, 回舵操作时如上述的自制动情况, 液压系统为空载运行状态; 反之, 则为反馈能量状态, 液压系统负载应比空载状态还小, 即液压泵拖动电动机的实际负载也比空载还要小。

2) 功率校核

液压舵机功率计算实际上不必非从舵杆力矩曲线出发进行, 而只需根据最大舵杆力矩和规范所要求的转舵时间这两个值就可确定, 不管这个最大舵杆力矩发生在何种工作状态。实践证明, 计算所得的舵机功率不需进行发热校验, 因为最大力矩在偏舵周期中出现时间很短, 出现机会也较少, 即使按过载能力来选择电动机也并未得到充分利用, 所以允许发热裕量较

大。特别在液压舵机中,电动机是拖动液压泵,只需选择一般用途的交流笼型电动机,目前也只有连续工作制(S1)的规格,使用在断续周期工作的舵机上本身就有较大的发热裕量。过去,有过选择1小时工作制的规范规定,在电动舵机中曾起到过作用,在液压舵机中已无此必要规定了。具体计算公式如下:

a. 电动机计算额定功率

$$P_n = \frac{T_{\max} \alpha}{9565 \cdot 6 t \eta_{PI} \eta_{PM} \eta_{im} \eta_v \lambda_T} \quad (3.5.2.1)$$

式中 T_{\max} ——最大舵杆力矩(N·m);

α ——按规范要求的规定转舵角度(°);

t ——按规范要求的规定转舵时间(s);

η_{PI} ——管路效率;

η_{PM} ——机械效率;

η_v ——容积效率;

系数。

从舵杆上计算功率后逐步折算到电动机的功率,并非从液压泵功率。而液压系统的参数计算则是轮机专业的工作内容,电

式的液压舵机的输出转矩特性的分析,对于拨叉式及十字头式结构,其 λ_T 值应比其他结构型式的要适当选得小些,以免其发热裕量留得过小。

b. 电动机额定转速

按轮机专业选择的液压泵转速 n_n 决定。

c. 电动机参数

按 P_n 及 n_n 值选择电动机参数。

2. 电动机选择

船舶液压舵机电动机拖动液压泵是长期连续工作,所以选用连续工作制 S1 类型的电动机,液压泵不调速,可选用 Y-H 系列交流笼型电动机。

3.5.3 船舶舵机电力拖动控制及配套

1. 液压舵机动力设备控制

液压舵机动力设备均为电动液压泵机组,其电动机控制基本可采用标准的不可逆磁力起动器,无特殊控制要求,仅需根据表 3.5.1.1 要求配套必要的报警监测即可。

电动机与磁力起动器的配套可参见表 2.5.7.10。

2. 液压舵机液压系统控制

目前液压舵机绝大多数采用电控方式,即无论是泵控型还是阀控型舵机,其控制均是采用电磁阀来操作。对于电气专业设计人员来说,了解其液压系统原理有利于电磁阀控制原理的设计。电控型液压舵机的液压系统原理图见图 3.5.3.1~图 3.5.3.4^[2]。

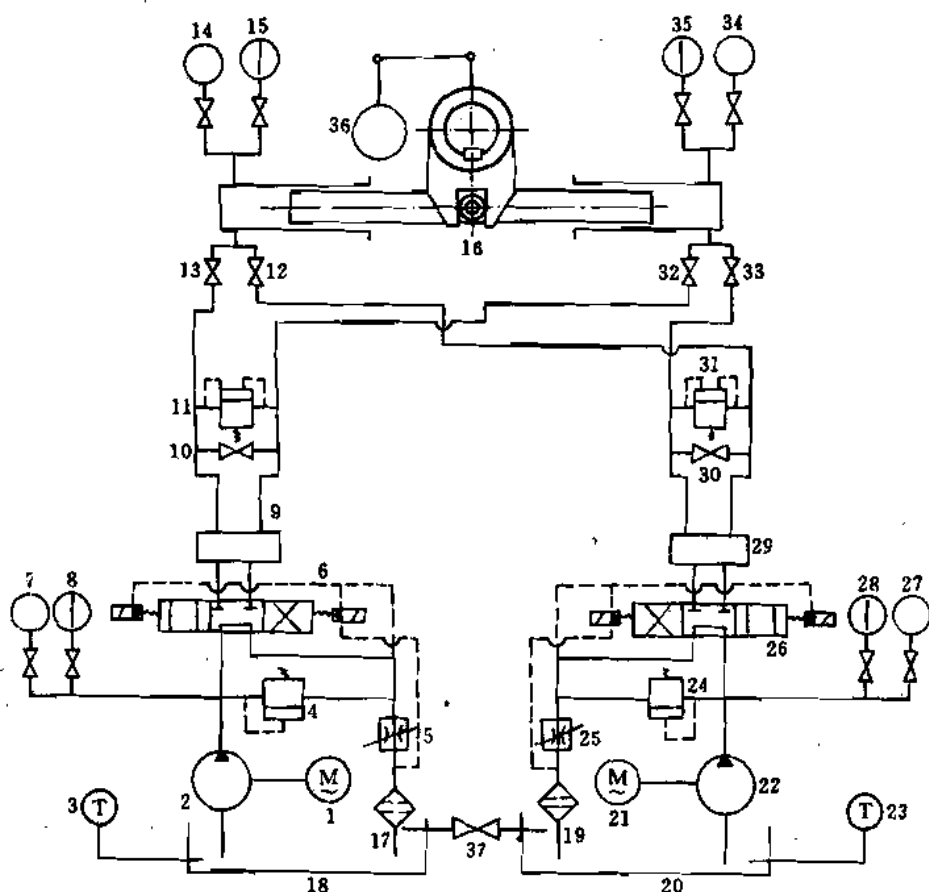


图 3.5.3.1 阀控型液压往复泵式舵机液压系统原理图

1, 21—电动机； 2, 22—油泵； 3, 23—温度计； 4, 24—溢流阀； 5, 25—节流阀；
6, 26—电液（磁）换向阀； 7, 14, 27, 34—压力传感器； 8, 15, 28, 35—压力表；
9, 29—连锁装置； 10, 30—旁通阀； 11, 31—安全阀； 12, 13, 32, 33, 37—截止阀；
16—推舵机构； 17, 19—过滤器； 18, 20—油箱； 36—电气反馈装置。

可见，无论是哪种结构型式的液压舵机，均是采用电液（磁）换向阀来达到正舵和回舵的作用。阀控型舵机是采用电气反馈装置来完成随动控制作用的，泵控型舵机除了电气反馈装置外还要采用机械反馈装置。

3. 随动及手动操舵控制

随动操舵控制是舵机操舵控制系统中的主要型式。随动操舵采用手轮操舵，操舵人员按舵令要求将手轮向某舷转某一指令舵角，舵叶就跟随手轮方向转过某一舵角后自动停止。手轮转到零位，舵叶也跟随转到纵中线上停下来。总之，随动操舵时，舵叶的偏转角度与操舵手轮的指令角度总是完全一致的。

随动操舵系统框图见图 3.5.3.5，它由指令机构、比较机构、放大器、执行机构、测量机构和调节对象等环节组成。可见，其控制可自成系统，与动力机组功率大小无关，可适用于舵机系列中各挡规格。

随动操舵仪系列按 CB* 3113—81 标准可分成电子式、继电式和液压式三种型式，系列的主要规格参数见表 3.5.3.1。

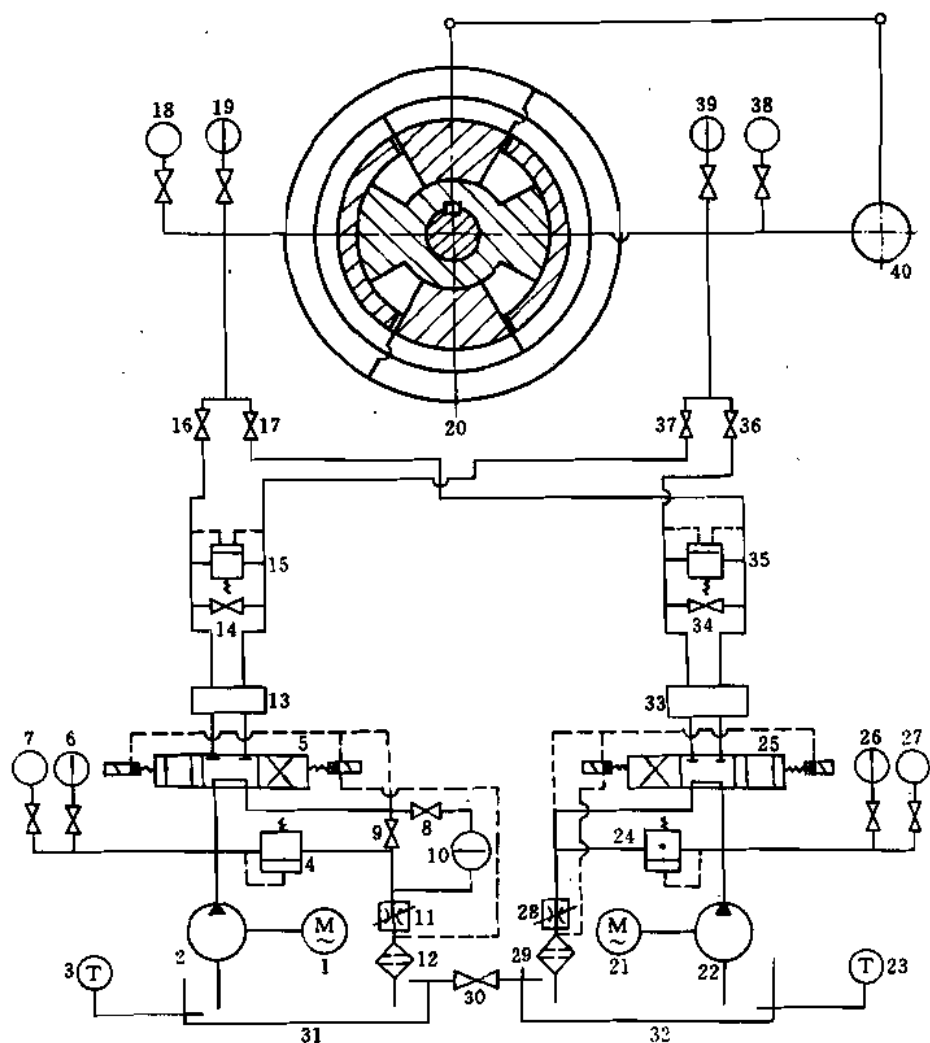


图 3.5.3.2 阀控型液压转叶式舵机液压系统原理图

- 1, 21—电动机； 2, 22—油泵； 3, 23—温度计； 4, 24—溢流阀； 5, 25—电液（磁）换向阀；
 6, 19, 26, 39—压力表； 7, 18, 27, 38—压力传感器； 8, 9, 16, 17, 30, 36, 37—截止阀；
 10—流量计； 11, 28—节流阀； 12, 29—过滤器； 13, 33—连锁装置； 14, 34—旁通阀；
 15, 35—安全阀； 20—转叶油缸； 40—电气反馈装置。

从表 3.5.3.1 中可见随动操舵仪除了有随动操舵方式外，均带有手动（非随动）操舵方式，即手柄操舵。手柄操舵的特点是手扳舵转，手放舵停（手柄自复位）；左舵左扳，回舵右扳；右舵右扳，回舵左扳。一般用于阀控型舵机，仅控制两个电液（磁）换向阀。操舵人员是按舵令要求并观察舵角指示器及罗经的航向角变化来操作的。手柄操舵的冲舵角较大，所以手柄复位的快慢影响操舵的准确性，受操舵人员的经验影响。

随动操舵仪有的还带有应急操舵方式。从操舵地点来看，均有驾驶室与舵机舱两个地点，符合规范规定要求，有的还有桥楼操舵点。

4. 自动操舵控制

自动操舵控制俗称自动舵，其特点是根据船舶航向的变化自动控制舵机偏舵，以保持某一航向航行。自动舵主要用在现代化的远洋航行船舶或长途海运和高速快艇上。它不但能减轻

表 3.5.3.1 随动操舵仪系列规格参数

名 称 参 数		电 子 式 操 舵 仪				继电式操舵仪	液 压 式 操 舵 仪	
		DD1	DD2	DD3	DD4	DJ1	DY1	DY2
电 源	交流	380V/440V 50Hz/60Hz				380V, 110V 50Hz	380V, 220V 50Hz	
	直流	24V				24V	24V	
耗电功率		≤350VA	≤350VA	<500VA	≤350VA	≤100VA	≤100VA	
转舵速度		2.5°/s~3°/s(单机) 5°/s~6°/s(双机)	2.5°/s~3°/s	2°/s~5°/s	7°/s	2.5°/s~3°/s	—	
操舵误差		≤±1°				≤±1°	<±1.5°	
不灵敏区		0.5°~2°可调				0.5°~2°可调	—	
控制元件		直流 24V 电磁阀或电磁阀				中间继电器	伺服油缸	1. 伺服油缸 2. 直流 24V 电磁阀
输出信号		直流 24V, 2A				触点的断 开与闭合	压力为 392N/ cm ² ~ 588N/ cm ² 流量不 小于 0.095L/r	1. 压力为 392N/ cm ² ~ 588N/ cm ² 流量不 小于 0.095L/r 2. 直流 24V, 2A
手轮转值		90°/r	5°/r	90°/r	90°/r	5°/r	10°/r	
最大操舵角度		左 35° 右 35°	左 32°~35° 右 32°~35° 可调	左 35° 右 35°	左 40° 右 40°	左 35° 右 35°	左 35° 右 35°	
操舵方式		随动、手动	随动、手动、应急	随动、手动		随动、手动	随动、手动	随动、手动、应急
操舵地点		驾驶室、桥 楼、舵舱	驾驶室、舵舱	驾驶室、桥 楼、舵舱		驾驶室、舵 舱、桥楼	驾驶室、舵舱	
报警范围		失压、过载				失压、过载	失压、过载	
指示装置		操舵角指示	操舵角指示 舵角复示 航向复示	操舵角指示 舵角复示		操舵角指示	操舵角指示 压力表	
工作方式		连 续				连 续	连 续	
重量/kg		≤75	≤105	≤60	—	≤70	≤120	

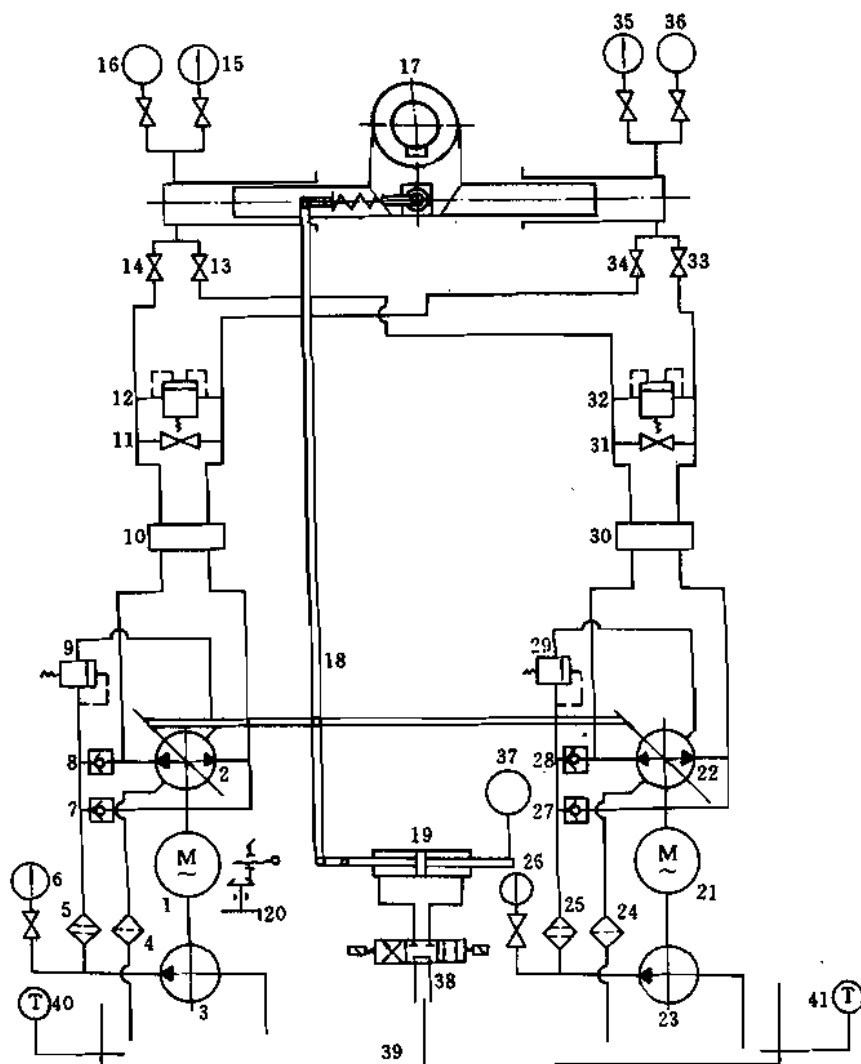


图 3.5.3.3 泵控型液压往复舵机液压系统原理图

- 1, 21—电动机； 2, 22—变量泵； 3, 23—辅泵； 4, 24—回油过滤器； 5, 25—精滤器；
 6, 15, 26, 35—压力表； 7, 8, 27, 28—补油单向阀； 9, 29—背压溢流阀； 10, 30—连锁装置；
 11, 31—旁通阀； 12, 32—安全阀； 13, 14, 33, 34—截止阀； 16, 36—压力传感器；
 17—推舵机构； 18—机械反馈装置； 19—执行机构； 20—手动应急操纵机构；
 37—电气反馈装置； 38—操纵电磁阀； 39—油箱； 40, 41—温度计。

船长及舵工的劳动强度,而且使船舶运行的经济性得到改善。使用自动舵,主机耗能可减少2%~2.5%,航行时间减少5%~10%。

自动舵是一个自动调节系统,其框图见图3.5.3.6。目前常用电罗经或磁罗经作为航向信号来自动发出操舵命令,经控制环节操纵舵机动力执行机构来推动舵。其中舵角反馈是舵机动力执行机构的组成环节(见随动操舵控制说明),而航向反馈则是自动调节系统的组成环节。因此,自动调节系统是一个双闭环自动控制系统,实际上其内环一般即为随动操舵控制系统,可以独立操舵。

由于船舶航行中受风、浪、流的影响,其航向很难保持不变,但为了不使自动舵动作异常频

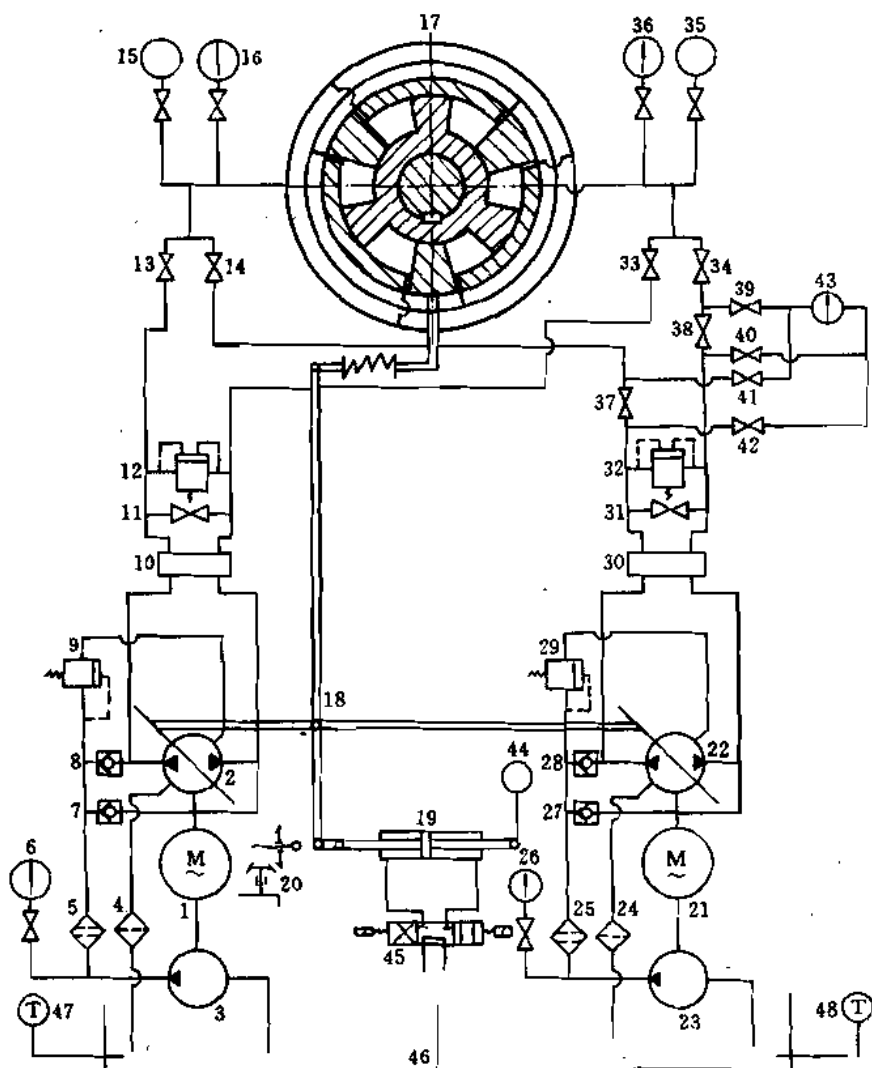


图 3.5.3.4 泵控型液压转叶式舵机液压系统原理图

- 1, 21—电动机； 2, 22—变量泵； 3, 23—补泵； 4, 24—回油滤器； 5, 25—精滤器；
 6, 16, 26, 36—压力表； 7, 8, 27, 28—补油单向阀； 9, 29—背压溢流阀； 10, 30—连锁装置；
 11, 31—安全阀； 13, 14, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42—截止阀；
 15, 35—压力传感器； 17—转叶油缸； 18—机械反馈装置； 19—执行机构；
 20—应急手动操纵机构； 43—流量计； 44—电气反馈装置； 45—操纵电磁阀；
 46—油箱； 47, 48—温度计。

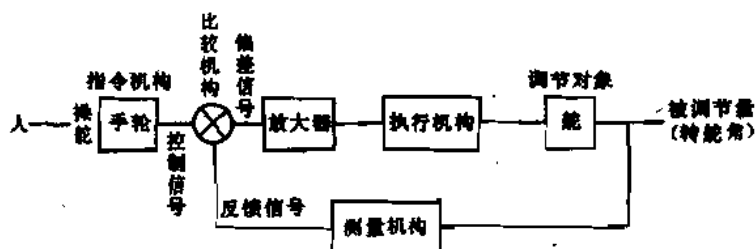


图 3.5.3.5 随动操舵系统框图

繁,所以自动舵控制环节具有比例、微分、积分3种调节(PID)作用,根据需要采用其中一种乃至3种,调整作用满足下列关系条件:

$$\alpha = f(\beta, \frac{d\beta}{dt}, \int \beta dt) \quad (3.5.3.1)$$

式中 α ——偏舵角;

β ——偏航角。

自动舵的调节作用应满足对灵敏度、反舵角、二次偏舵角、压舵角及航向角调整的要求。图3.5.3.7为比例调节时偏航角与偏舵角随时间变化的规律,图3.5.3.8为比例微分调节时偏航角与偏舵角随时间变化的规律,积分调节则是产生一个恒定的偏舵角,使之产生的转船力矩恰好抵消外界干扰的一种恒定持续的对船的力矩。自动舵中的压舵环节则是一个非自动的积分调节。

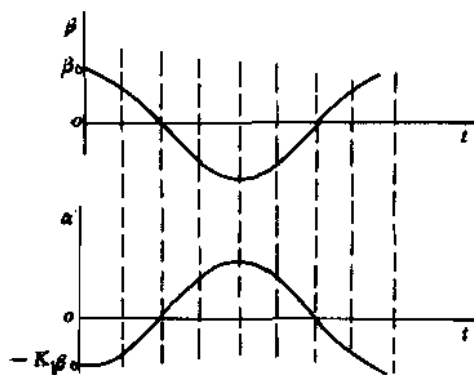


图 3.5.3.7 比例调节时自动舵操舵规律

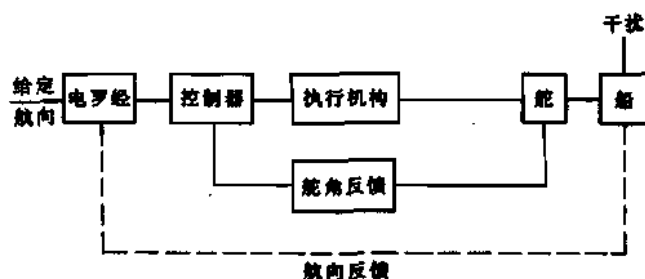


图 3.5.3.6 自动舵结构框图

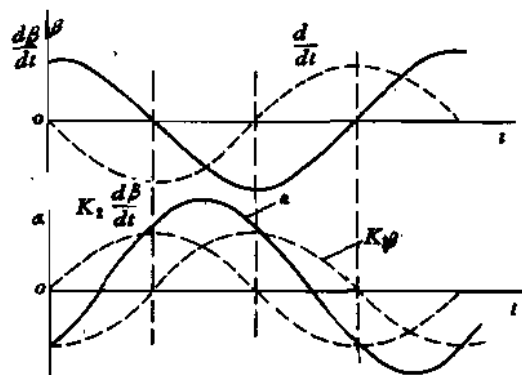


图 3.5.3.8 比例微分调节时自动舵操舵规律

图3.5.3.9为自动操舵控制中电罗经航向信号环节,即通常称为自动操舵仪的发信装置结构原理图。其中有罗经接收机、航向匹配器、航向改变器及航向指示盘,通过齿轮连接在一起,最后通过信号发送器送出航向控制信号。

常用的自动操舵仪性能参数见表3.5.3.2。

5. 自适应自动操舵控制

目前电子式常规自动舵已发展到新一代的用微型计算机的具有自适应控制功能的自适应自动舵。

船舶固有的运动特性可用船舶数学模型来表达,其参数是随船速、装载和海况等因素的变化而变化。常规自动舵不可能在不断变

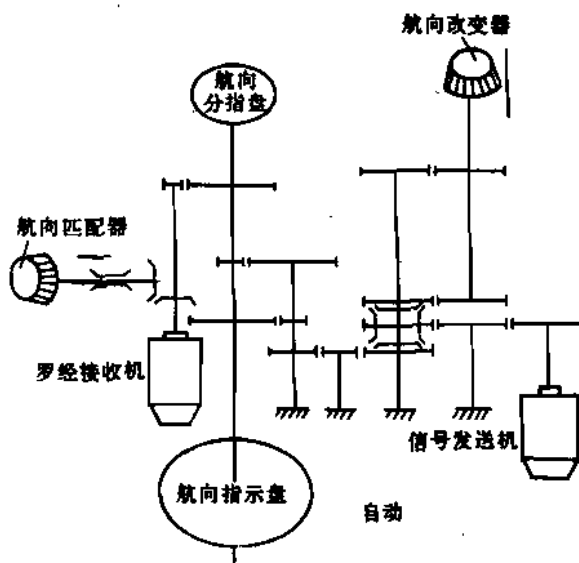


图 3.5.3.9 自动操舵仪发信装置结构原理图

表 3.5.3.2 自动操舵仪性能参数

罗经类型	型号	配用舵机类型	灵敏度 (最高/最低)	平均偏舵角 (舵向)	转舵速度/(°)s ⁻¹
电 罗 经	HQ-5D	电磁阀系统	$\pm 0.3^\circ/1.5^\circ$	$\pm 1^\circ$	3.2
	HQ-5G	电机放大机系统	$\pm 0.5^\circ/1.5^\circ$	$\pm 1^\circ$	
	HQ-5X	直流伺服电动机系统	$\pm 0.5^\circ/1.5^\circ$	$\pm 1^\circ$	
	HQ-5S	油泵伺服机构系统	$\pm 0.2^\circ/1.5^\circ$	$\pm 0.5^\circ$	
	HQ-5GD 及 HQ-5GD ^(L) (Z)	伺服油泵系统	$\pm 0.2^\circ/1.5^\circ$	$\pm 0.5^\circ$	
	CP-1100	电磁阀系统	$\leq 0.3^\circ$	$\leq 1^\circ$	2.5~5
	CP-1101	油泵伺服机构系统			
	HD-9TD	伺服油泵系统	$\pm 0.35^\circ$	$\leq 1^\circ$	2.5~5
磁 罗 经	HD-15D	直流伺服电动机系统	$\leq 1^\circ$		3~8
	HD-15Y1	电磁阀(功率管型)系统			
	HD-15Y2	电磁阀(继电器型)系统			
	DC-I	电磁阀系统(螺管型)		$\pm 1^\circ$ $\pm 0.5^\circ$	
	DC-II	电磁阀系统(开关型)			

化着的运行环境下实时精确地辨识船舶数学模型的参数,也不可能随着模型参数的变化自动调节其参数,因而经常会偏离其最佳工作状态。这样就会造成操舵次数多、偏舵角和偏航角增大的后果,导致加重船舶主机的负载、使油耗增加、降低航速、影响船舶运行效率和经济效益;同时,在大风浪中航行时大角度的左右偏舵和大角度的左右偏航会增加危险。这些缺点很难满足 1975 年 IMO 关于自动舵执行标准的建议案 A342 条的规定:(1)在有关船舶机动性范围内自动舵应使舵机以最小的动作来保持航向;(2)自动舵能适应船舶各种气候和负载情况下不同的操纵性和确保在各种条件下的可靠操纵。

自适应自动舵根据可测量到的船舶实时状态信息(如偏舵角、船首向、偏航角和航速等)不断地实时辨识船舶模型和扰动模型的参数,来有效地滤除噪声,实施有效的控制,使船舶能按设定的性能指标尽可能达到和接近最优控制,这样可以避免无效舵,在大风浪中航行时能自动限制偏舵角,实现节能和安全航行的目的。

自适应自动舵一般有两类,即自校正控制和模型参考控制。自校正控制的自适应自动舵系统框图见图 3.5.3.10,模型参考控制的自适应自动舵系统框图见图 3.5.3.11^[23]。

自校正自适应自动舵一般不需要提供船舶要素,但为了快速辨识船舶数学模型的参数,往往需要在自适应操舵前先要手动操舵一段很短的时间,当显示“自适应操舵就绪(Ready)”时,即可由手动操舵转到自适应自动操舵。自校正控制器可解决船舶操纵动态模型及风浪等扰动模型参数为未知时的广义最小方差控制问题,其中的辨识器完成参数辨识和形成控制算法,控制器将事先选定的性能指标与辨识器产生的估值进行比较,不断地修正控制器的参数并给出

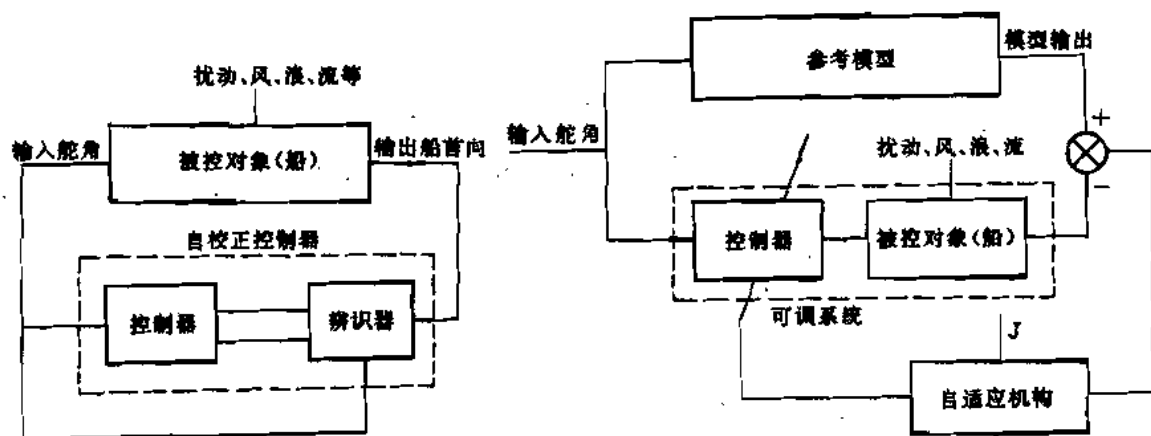


图 3.5.3.10 自校正控制自适应自动舵框图

图 3.5.3.11 模型参考控制自适应自动舵框图

自适应控制的指令舵角。参数辨识和控制算法是由软件来完成的,随着运行过程的不断进行,自校正控制器不断地进行采样、估计、修正和控制,使控制的性能指标接近最优。

模型参考控制自适应自动舵需要提供船舶要素(船长、型宽、吃水、排水量等),通过参数整定开关装入微机,还有满载/压载选择开关及航速选择开关。自适应机构根据选定的性能指标 J 与模型输出和可调系统输出之间的偏差进行比较后的结果来修正可调系统的参数,以达到可调系统的特性接近于理想参考模型的特性。自适应机构由估计部分和控制部分组成,见图 3.5.3.12,估计部分采用改进的扩展型卡尔曼滤波器,控制部分由最佳增益调节器和最佳控制器组成。自适应机构也是由软件来完成的,其功能在于能适应天气、海况、装载状态和吃水差的随机变化来实现最佳操舵。

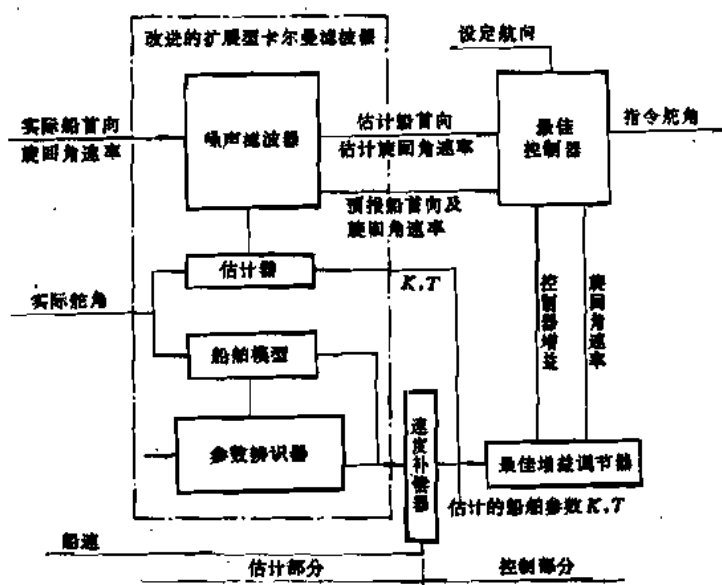


图 3.5.3.12 自适应机构功能框图

第6章 船舶特种机械电力拖动

3.6.1 概 述

随着科学技术的发展,现代船舶向超大型高性能方向发展。某些船舶辅助机械的功率很大,如压载泵、消防泵及空调机等功率均达到了 300kW ~ 500kW。为了改善船舶的操纵性能,陆续出现了一些非常规船所必须的特种操纵机械,如防摇鳍、主动式减摇水舱、自动拖缆机、侧向推进等,多数为电力拖动。

另外,为了保证运输船舶的高效运营,为航道、港口、航保等水路交通服务的辅助工程船舶也大量出现,具有大量的特种作业机械。

同时,现代的船舶建造也远远不是停留在运输船、拖船、渔船等几种常规类型的船舶上。海洋开发事业正在兴起;一大批原来与船舶毫无关联的陆上行业也纷纷需要借助于船舶来发展其事业,如水利、石油、地质、邮电、航天等。因此,一批种类繁多,要求各不相同,有着各行各业所特有的工作机械的特种船舶应运而生,也带来了大量的特种机械电力拖动任务。

由于液压技术的发展与成熟,不少船舶机械从电力拖动演变为电动液压拖动。电力拖动主电路及其性能变得简单了,但是控制电路变得复杂了,一个系统往往有几十只各种类型的电磁阀需要进行控制,成为船舶机械电力拖动的一个特殊内容。

特种机械电力拖动由于其一系列特殊性,所以在船舶电气设计时,不能按一般设计原则和步骤来考虑问题。常规机械电力拖动一般在一个交流电站下均能作出方案,而特种机械电力拖动就很难这样做。往往是先对电力拖动方案进行分析和选择,然后才决定电站的电制和功率,甚至牵连到对动力装置合理配置的探讨。所以,特种机械电力拖动是一个涉及到特种机械、舾装设备、轮机和电气等多个专业的设计工作。

特种机械的基本性能特点是^[24]:

(1) 具有大功率拖动机械,是决定船舶电站及动力装置配置的主要用电设备,机械功率占发电机总功率的比值达到 50% ~ 90%。

(2) 有调速和堵转的要求,但对调速系统的精度和快速性要求不高。

(3) 有大电流主电路的工况转换,牵涉到合理确定发电机的单机功率和数量,使电力系统保护复杂化,并应考虑在各种工况下充分利用功率和方便进行转换。

(4) 有的船舶需要低速推进(包括动力定位)或附加辅助电力推进,因此有采用各种形式的电力推进装置的可能,也有利于大功率工况的转换。

(5) 有采用中压供电的可能。

(6) 工作可靠性要求特别高,并且要求维护方便,自修能力强。

工程船舶特种机械具有特种机械中较典型的性能,并且涉及到较广的船舶种类范围及应用,所以本章重点以工程船舶特种机械为例叙述有关基本设计原理。