

P——乙丙橡胶绝缘;  
 R——天然橡胶绝缘;  
 B——丁基橡胶绝缘;  
 SR——硅橡胶绝缘;  
 Y——聚氯乙烯绝缘。

### 3) 护套符号

MI——矿物绝缘护套;  
 L——铅包护套;  
 Y——聚氯乙烯护套;  
 N——氯丁护套;  
 D——编织护套。

### 4) 铠装符号

C——席纹铠装;  
 B——铜合金线铠装。

### 5) 防腐层符号

Y——聚氯乙烯防腐蚀;  
 N——氯丁防腐蚀。

采用上述符号组合而成的电缆种类和代号,见日本工业标准 JIS3410 或日本电缆标准 JCS 的有关规定。例如 660V 3 芯乙丙橡胶绝缘聚氯乙烯护套席纹铠装电缆为:660V TPYC 型。

## 2. 船用电缆的芯数和截面

我国船用电力和照明回路用电缆的芯数和导体截面规格,如表 2.7.1.3 所示。有关电缆的导体根数和线径可由有关产品样本中查得。国外船用电缆的芯数和导体截面规格与我国的不同。

表 2.7.1.3 我国船用电力和照明回路用电缆的芯数和截面

序号	芯数	截面/mm <sup>2</sup>
1	1	1.0, 1.5, 2.5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300
2	2	1.0, 1.5, 2.5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 90, 120
3	3	1.0, 1.5, 2.5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185
4	4, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 27, 30, 33, 37	1.0, 1.5, 2.5

## 3. 电缆的允许电流

选择电缆时,必须根据使用条件,保证电缆实际通过的电流低于其允许电流。电缆的允许电流,是取决于电缆的绝缘材料,并以最高允许温度为基准决定的,是以电缆通过电流时散热量和导体产生的热量平衡状态决定。

IEC92 号出版物规定,单芯电缆允许电流的计算式为:

$$I = \alpha \cdot S^{0.625} \quad (2.7.1.1)$$

式中  $I$ ——单芯电缆的允许电流(A);

$S$ ——导体标称截面(mm<sup>2</sup>);

$\alpha$ ——最高允许温度下的绝缘材料系数,该值如表 2.7.1.4 所示。

表 2.7.1.4 绝缘材料系数

导体最高允许温度/℃		60	75	80	85	95
导体标称截面/mm <sup>2</sup>	≥2.5	9.5	13.5	15	16	18
	<2.5	8	13	15	16	20

各绝缘材料的允许工作温度,列入表 2.7.1.5。

表 2.7.1.5 绝缘材料允许工作温度

绝 缘 材 料	最高允许工作温度/℃
聚氯乙烯(一般)	60
聚氯乙烯(耐热)	75
丁基橡胶	80
无机物	95
乙丙橡胶和交联聚乙烯	85
硅橡胶	95

根据式(2.7.1.1)计算,各种绝缘材料的单芯电缆的连续工作电流的电流定额列入表 2.7.1.6。双芯及多芯电缆的连续工作电流的电流定额,是将表 2.7.1.6 中的电流定额乘以修正系数求得。

双芯电缆的修正系数为 0.85;三芯和四芯电缆的修正系数为 0.70。

以截面为 1.5mm<sup>2</sup> 的三芯电缆为例,其各种绝缘材料的连续工作电流为:

乙丙橡胶绝缘:  $20 \times 0.70 = 14\text{A}$ ;

聚氯乙烯绝缘:  $12 \times 0.70 = 8.4 \approx 8\text{A}$ ;

丁基橡胶绝缘:  $19 \times 0.70 = 13.3\text{A}$ ;

硅橡胶绝缘:  $24 \times 0.70 = 16.8\text{A}$ 。

表 2.7.1.6 单芯电缆连续工作的电流定额(环境温度 45℃)

标称截面/mm <sup>2</sup>	普通用途的 聚氯乙烯/A (60℃) <sup>①</sup>	耐 热 聚氯乙烯/A (75℃) <sup>①</sup>	丁基橡胶/A (80℃) <sup>①</sup>	乙丙橡胶和 交联聚乙烯/A (85℃) <sup>①</sup>	硅橡胶和 矿物绝缘/A (95℃) <sup>①</sup>
1	8	13	15	16	20
1.5	12	17	19	20	24
2.5	17	24	26	28	32
4	22	32	35	38	42
6	29	41	45	48	55
10	40	57	63	67	75
16	54	76	84	90	100
25	71	100	110	120	135
35	87	125	140	145	165
50	105	150	165	180	200
70	135	190	215	225	255
95	165	230	260	275	310
120	190	270	300	320	360
150	220	310	340	365	410
185	250	350	390	415	470
240	290	415	460	490	—
300	335	475	530	560	—

① 导体的最高允许工作温度

在空气中敷设的低压电缆的允许电流,也可采用下述理论计算式求得:

$$I = \eta_0 \sqrt{\frac{T_1 - T_2}{nrR_{th}}} \quad (2.7.1.2)$$

- 式中  $I$ ——电缆允许电流(A);  
 $n$ ——电缆芯数;  
 $r$ ——导体允许工作温度下有效电阻( $\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ );  
 $T_1$ ——导体最高允许温度( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $T_2$ ——周温( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $R_{th}$ ——电缆总热阻( $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ );  
 $\eta_0$ ——成束敷设时电流低减系数。

电缆有效电阻  $r$  由下式求得:

$$r = r_{20} \cdot K_1 \cdot r_2 \cdot 10^{-5} \quad \Omega/\text{cm} \quad (2.7.1.3)$$

- 式中  $r_{20}$ ——在  $20^{\circ}\text{C}$ , 直流最大导体电阻/ $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ;  
 $K_1$ ——最高允许温度下, 导体电阻与  $20^{\circ}\text{C}$  导体电阻之比

$$K_1 = 1 + \alpha(T_1 - 20) \quad (2.7.1.4)$$

- 式中  $\alpha$ ——导体温度系数(铜为 0.00393);  
 $K_2$ ——导体集肤效应和互感效应系数。

根据式(2.7.1.4)求得的  $K_1$  值, 如表 2.7.1.7 所示。

单芯电缆时, 仅考虑集肤效应, 对两芯以上的电缆, 还要同时考虑互感效应。日本生产的 660V-TPYC 型电缆的  $K_2$  值, 如表 2.7.1.8 所示。

表 2.7.1.7 电缆导体电阻温度系数(铜导体)

导体温度/ $^{\circ}\text{C}$	温度系数 $K_1$
20	1.000
50	1.118
55	1.138
60	1.157
65	1.177
70	1.197
75	1.216
80	1.236
85	1.255
90	1.275
95	1.295
150	1.511

表 2.7.1.8  $K_2$  值

截面/ $\text{mm}^2$	325	250	200	150	125	100	80	60
$K_2$	1.15	1.10	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01

导体最高允许温度  $T_1$ , 如表 2.7.1.5 所示; 周温  $T_2$ , 按船用条件选用  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$  或  $50^{\circ}\text{C}$ 。

电缆总热阻  $R_{th}$ , 可由式(2.7.1.5)求得。

$$R_{th} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2.7.1.5)$$

- 式中  $R_1$ ——绝缘的热阻( $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ );  
 $R_2$ ——保护护套的热阻( $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ );

$R_3$ ——电缆表面的散热阻( $K \cdot W^{-1}$ )。

成束敷设时,电缆允许电流低减系数  $\eta_0$  与电缆敷设条件有关,随电缆的中心距离大小和排列层次不同而异。表 2.7.1.9 列出成束敷设电缆的允许电流的低减系数。

表 2.7.1.9 成束敷设电缆电流低减系数

根数	电 流 低 减 系 数 $\eta_0$				
	1	2	3	6	4
排列 中心 距离					
$S_1 = d_s$		0.85	0.80	0.70	0.70
$S_1 = 2d_s$	1.00	0.95	0.95	0.90	0.90
$S_1 = 3d_s$		1.00	1.00	0.95	0.95
根数	电 流 低 减 系 数 $\eta_0$				
	6	8	9	12	
排列 中心 距离					
$S_1 = d_s$	0.60	—	—	—	
$S_1 = 2d_s$	0.90	0.85	0.80	0.80	
$S_1 = 3d_s$	0.95	0.90	0.85	0.85	

#### 4. 电缆的短路容量

当电力系统发生短路故障时,在系统的保护装置切除故障的暂短时间内,电缆将通过比额定电流大许多倍的短路电流。该短路电流可使导体的温度急剧上升,可能导致电缆的绝缘变形和断裂、护套熔化,以及电缆线芯熔断等故障。所以,电缆的短路容量是电缆的重要电气参数之一。

电缆的短路容量,由引起电缆绝缘的电气和物理性质发生显著变化的温度以及能够维持短路电流的持续时间来决定。如果知道电缆通过短路电流的持续时间,并且知道电缆的绝缘材料的短路时最高允许温度,可以利用焦耳热法或电阻法求得电缆短路温升,也可以求得各种截面电缆的短路允许电流。

按照焦耳热法的原则,电缆短路允许电流的计算公式如下:

$$I = \sqrt{\frac{JCS}{\alpha r_1 t} \log e \frac{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_m}{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_n}} \quad (2.7.1.6)$$

式中  $I$ ——短路允许电流(A);

$J$ ——焦耳常数,亦称热功当量( $=4.186$ );

$S$ ——导体截面( $\text{cm}^2$ );

$C$ ——导体热容量,此公式的量纲采用( $\text{Cal}\cdot^\circ\text{C}^{-1}\cdot\text{cm}^{-3}$ );

$\alpha$ —— $20^\circ\text{C}$ 时导体电阻温度系数;

$r_1$ —— $20^\circ\text{C}$ 时导体电阻( $\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$ );

$T_m$ ——短路时导体最高允许温度( $^\circ\text{C}$ );

$T_n$ ——短路初始导体温度( $^\circ\text{C}$ );

$t$ ——短路电流通过时间(s)。

通常是考虑电缆通过连续的额定电流(允许电流)状态下发生短路。根据这一原则短路初始导体温度  $T_n$ ,应考虑为与电缆绝缘允许的最高工作温度相同。

短路时导体最高允许温度  $T_m$  是以在短路时不损伤电缆的绝缘性能为原则,取决于电缆的结构和材料,按 JIS·C3410 规定,电缆的  $T_n$  和  $T_m$  值如表 2.7.1.10 所示。

表 2.7.1.10 电缆的  $T_n$  值和  $T_m$  值

电 缆 的 种 类	$T_n/^\circ\text{C}$	$T_m/^\circ\text{C}$
丁基橡胶	80	230
乙丙橡胶 交联聚乙烯	85	230
聚氯乙烯	75	120
硅橡胶	95	250

按 JIS 规定,利用式(2.7.1.6)计算电缆的短路允许电流时,铜导体各参数可取为:

$$c = 0.81(\text{Cal}\cdot^\circ\text{C}^{-1}\cdot\text{cm}^{-3});$$

$$\alpha = 0.00393;$$

$$r_1 = 1.72 \times 10^{-6} \frac{1}{s} (\Omega\cdot\text{cm}^{-1})$$

对乙丙橡胶绝缘,  $T_m = 230^\circ\text{C}$ ,  $T_n = 85^\circ\text{C}$ 。

将上述各值代入式(2.7.1.6)后,便可求得:

$$I = \sqrt{18837 \frac{S^2}{t}} = 137.248 \frac{S}{\sqrt{t}} \approx 138 \frac{S}{\sqrt{t}} \quad (2.7.1.7)$$

式中  $S$ ——导体截面( $\text{mm}^2$ );

$t$ ——通过短路电流时间(s)。

分析式(2.7.1.7)可知,电缆的短路容量仅与电缆的截面和通过短路电流的时间有关。也就是说,电缆的短路允许电流与导体截面成正比,与通过短路电流的时间的平方根成反比。

我国船用电缆的允许最大短路电流,可按表 2.7.1.11 所列公式计算。

例如,截面为  $4\text{mm}^2$  的乙丙橡胶绝缘电缆,短路时间为  $0.42\text{s}$  时,其最大允许短路电流为:

$$I = 145.8 \frac{S}{\sqrt{t}} = 145.8 \frac{4}{\sqrt{0.42}} = 899.90\text{A}$$

表 2.7.1.11 船用电缆允许最高短路电流计算公式

绝缘材料种类	导电线芯短路时允许最高温度/℃	最高允许的短路电流/A
乙丙橡胶	250	$I = 145.8 \frac{S}{\sqrt{t}}$
耐热聚氯乙烯	160	$I = 116.7 \frac{S}{\sqrt{t}}$
一般聚氯乙烯	150	$I = 111.3 \frac{S}{\sqrt{t}}$

注:  $S$ —导电线芯标称截面( $\text{mm}^2$ )。  
 $t$ —短路时间(s)

日本 TPYC 型电缆的短路允许电流与通电持续时间关系,列入表 2.7.1.12 中,供参考。

表 2.7.1.12 TPYC 电缆对应不同通电持续时间的短路允许电流

通电持续时间/s			0.001		0.01		0.05		0.1		1.0	
电缆截面/mm <sup>2</sup>		允许 电流 /A	短 路 允 许 电 流									
标称值	计算值		A	倍数	A	倍数	A	倍数	A	倍数	A	倍数
1.25	1.113	13	4860	373.8	1535	118	685.7	52.7	486	37.4	153.6	11.8
2.0	1.979	17	8643	508.4	2731	160.6	1219	71.7	864	50.8	273	16.1
3.5	3.519	25	15684	672.4	4856	194	1990	79.6	1568	62.7	485.6	19.4
5.5	5.498	32	24010	750.3	7587	237	3110	97.2	2401	75.0	759	23.7
8	7.917	41	34574	843.3	10926	267	4478	109	3457	84.3	1093	26.7
14	14.08	58	61489	1061	19430	335	7963	137	6149	106	1943	33.5
22	21.49	77	93849	1219	29656	385	12154	158	9385	122	2966	38.5
30	29.25	94	127722	1359	40365	429	16543	176	12772	136	4037	42.9
38	38.21	110	166866	1517	52730	479	21611	197	16687	152	5273	47.9
50	48.36	130	211192	1625	66737	513	27351	210	21119	163	6674	51.3
80	74.39	175	324868	1856	102658	587	42073	240	32487	186	10266	58.7
100	94.15	200	411161	2056	129927	650	53249	266	41116	206	12993	65.0
150	153.7	255	671220	2632	212106	832	86929	341	67122	263	21211	83.1

## 2.7.2 船舶电力系统中电缆负载电流的估算

正确估算电缆负载电流,是选择电缆截面的主要依据,所以,在电力系统设计时,必须十分注意电缆负载电流的估算。

### 2.7.2.1 发电机主回路负载电流的估算

目前有两种选择方法,即:

1. 按发电机额定电流的 100% 选择。
2. 按发电机长延时保护装置动作整定值选择。

### 2.7.2.2 照明回路负载电流的估算

1. 最后支路按各设备的额定电流的总和计算,例如货舱照明、探照灯、电热器和小型电动机等。但在确定照明电路的电流定额时,每一灯头必须按能与其连接的最大负载电流计算,

最小为 60W(装置结构只能装接定额低于 60W 者除外)。

2. 照明回路的最大负载电流,考虑下述负载电流的总和:

连续负载的额定电流的总和;

分配电板备用开关额定电流的 50%;

分电箱备用开关的电流(该电流值按分电箱其他非备用开关的实际电流的平均值估算)。

### 2.7.2.3 电动机馈电回路负载电流的估算

#### 1. 单台电动机回路

通常的考虑方法是大于电动机的额定电流即可。而 IEEEStd45 中明确规定应大于电动机额定电流的 1.25 倍。

#### 2. 一般用交流电动机电力分电箱

通常可以采用式(2.7.2.1)计算;但若满足 IEEEStd.45 要求,应采用式(2.7.2.2)计算。

$$I = \sum_{i=1}^n I_i + 0.3 \sum I_s \quad (2.7.2.1)$$

式中  $I_i$ ——第  $i$  台电动机额定电流(A);

$I_s$ ——备用回路容量(A)。

$$I = 1.25 I_{\max} + \sum_{i=2}^n I_i + 0.5 \sum I_s \quad (2.7.2.2)$$

式中  $I_{\max}$ ——最大电动机额定电流(A);

$I_i$ ——不包括最大电动机的第  $i$  台电动机额定电流(A);

$I_s$ ——备用回路容量(A)。

#### 3. 工作机械用电动机电力分电箱

一般采用式(2.7.2.3)和式(2.7.2.4)计算。

$$I = I_{\max} + 0.5 \sum_{i=1}^n I_i \quad (2.7.2.3)$$

$$I = 1.25 I_{\max} + 0.5 \sum_{i=2}^n I_i \quad (2.7.2.4)$$

上式中各符号意义与式(2.7.2.1)和式(2.7.2.2)相同。

#### 4. 装卸货用起货机和克令吊回路

目前使用较多的计算方法,是按 IEC92-201 中规定的方法,如表 2.7.2.1 所示。

表 2.7.2.1 IEC92-201 规定装卸货用起货机和克令吊回路同时使用系数

电动机数量	所 提 供 的 电 流	
	相同规格电动机	不同规格电动机
2 台	电动机总满载的 100%	
3 台	电动机总满载的 67%	最大电动机满载的 100% 加上其余 每台电动机满载的 50%
4 台	电动机总满载的 62%	
5 台	电动机总满载的 60%	
6 台或 6 台以上	电动机总满载的 58%	

#### 2.7.2.4 蓄电池回路负载电流的估算

蓄电池回路的连续最大负载电流,一般按最大充电电流计算。但要特别注意蓄电池的最大放电电流。对于短时放电回路,必要时,应校核放电时间内通过放电电流时所产生的温升在允许的范围內。

#### 2.7.2.5 电力和照明变压器回路负载电流的估算

电力和照明变压器回路的连续工作电流,一般可按额定电流的 100% 来选择。由于变压器过载能力大,有时其过载保护整定值偏高,此时亦可以根据过载保护整定值选择。

#### 2.7.2.6 岸电回路负载电流的估算

通常是根据岸电开关的整定电流来估算。如果主配电板(或应急配电板)内岸电供电断路器的整定值小于岸电开关的整定电流,亦可以根据主配电板(或应急配电板)内岸电供电断路器的过载保护整定值来估算。

#### 2.7.2.7 其他回路负载电流的估算

1. 直流发电机的均压线电流,按发电机额定电流的一半估算。

2. 相复励式自励恒压交流发电机,若采用转子均压线接法时,其均压线电流按励磁回路电流的一半估算。

#### 2.7.2.8 区配电板回路负载电流的估算

由于区配电板回路通常指主配电板上馈电用装置式断路器供电给区配电板,而区配电板负载往往包括电动机负载和其他负载。所以,确切地选择电缆是十分困难的。T 公司的估算方法,如图 2.7.2.1 所示。其考虑条件是:电动机的起动电流为满载电流的 12 倍,起动电流峰值为满载电流的 17 倍,而且通过 500% 满载电流的时间不大于 15s。

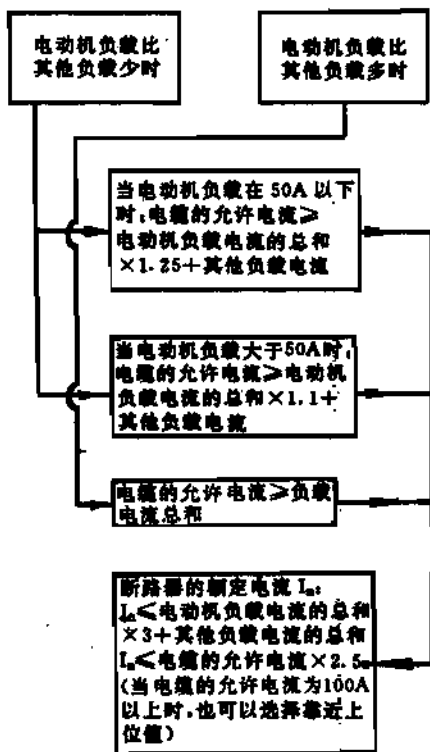


图 2.7.2.1 区配电板回路负载电流估算框图

### 2.7.3 船用电缆的选择

#### 2.7.3.1 电缆的选择步骤和原则

船舶电力系统中各电缆的选择步骤和原则如下:

1. 根据电缆的用途、敷设位置和工作条件选择合适的电缆型号。
2. 根据用电设备的工作制、电源种类、电缆线芯和负载电流选择合适的电缆截面。
3. 根据系统短路电流计算结果,判断电缆的短路容量是否满足要求。



4. 根据环境温度对电缆的额定载流量进行修正,然后,再判断电缆的允许电流是否大于负载电流。

5. 根据成束敷设修正系数,对电缆的额定载流量进行修正,然后,再判断电缆的允许电流是否大于负载电流。

6. 校核线路电压降,判断线路电压降是否小于规定值。

7. 根据保护装置的整定值,判断电缆与保护装置是否协调;如果不协调,判断是否可以改变合适的保护装置或整定值,否则应重新选择合适的电缆截面。

上述步骤和原则,可参考图 2.7.3.1。

### 2.7.3.2 电缆型号的选择

电缆型号的选择应考虑下述因素:

1. 电缆的用途——用于动力、照明和无线电通信等。

2. 电缆敷设位置——干燥、潮湿、低温和是否要求屏蔽等。

3. 工作条件——固定敷设、穿管敷设和可移动等。

根据上述因素选择电缆型号时,还必须遵守下述原则:

1. 任何电缆的额定电压不应低于其所在电路的额定电压。

2. 电缆绝缘材料的额定运行温度至少比电缆敷设处所可能存在的或产生的最高环境温度高 10℃。

3. 敷设在露天甲板、阴湿和潮湿(例如浴室)、货物处所、冷藏处所、机器处所和通常可能出现凝结水或有害蒸气(包括油蒸气)处的电缆,均应具有不透性护套。虽然聚氯乙烯、氯磺化聚乙烯和氯丁橡胶护套不适宜长期浸入液体中,但亦认为是不透性的。

铅护套的物理性能和化学性能最稳定,使用处所没有特别限制,主要用于高温、低温和油船等危险处所。与其他非金属护套相比,重量大而价格昂贵,而且不宜多次反复弯曲。

聚乙烯护套除了不适用于特殊的低温和高温处所外,充分具备护套材料性能,而且重量轻,价格便宜,也可以作铠装防腐覆盖物用。

氯丁橡胶护套与聚乙烯护套一样,是代替铅护套而使用的新型合成材料,但比聚乙烯耐热,机械强度好,可以用于冷藏处所和高温处所。

铜护套通常作为矿物绝缘电缆的护套使用,由于其电缆绝缘耐热性好,所以多用于锅炉等

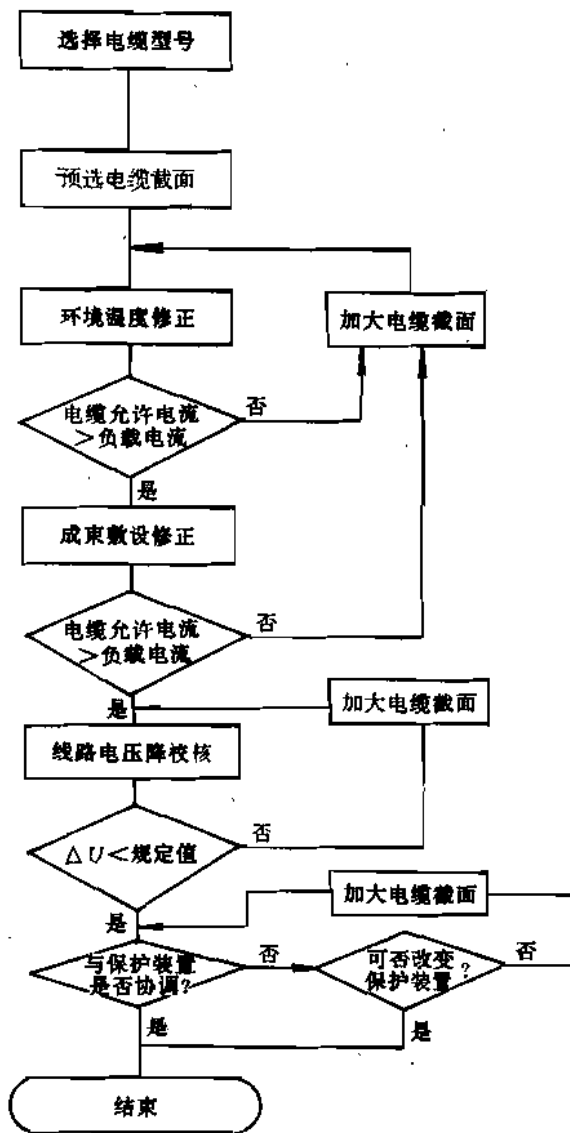


图 2.7.3.1 电缆的选择步骤和原则

高温处所。

4. 选择不同类型的防护覆盖层时,应适当考虑每根电缆在敷设和使用时可能会受到的机械作用。

5. 所有电缆和电气设备的外接线至少应为滞燃型。

6. 失火报警、探火、应急灭火设备、失火通信和遥控停机用电路,以及类似的保安控制电路,在失火状态下也必须维持工作,所以,应考虑采用耐火型电缆。但下述情况可以除外:

——系统为自检型或故障安全型;

——系统为双套。

7. 敷设在冷藏处所内的电缆应具有水密或不透性护套,一般不应选用聚乙烯绝缘或护套的电缆。如果电缆铠装由非耐蚀材料制成,则应采用耐潮和耐低温的覆盖物来防止腐蚀。

### 2.7.3.3 电缆截面的选择<sup>[17]</sup>

选择电缆导体截面时,应遵守下述原则:

1. 根据电缆供电的电路,按 2.7.2 所述估算电缆可能承载的最大负载电流。

2. 根据不同环境空气温度时的修正系数、成束敷设的修正系数和不连续工作的修正系数,对预选电缆的额定载流量进行修正,每根电缆的修正后,电流定额不应小于该电缆所可能承载的最大电流。

3. 校核线路电压降,保证电缆在正常工作条件下承载最大电流时的电压降,不超过有关规范、规则的规定值。

4. 根据上述确定电缆导体截面后,校核由短路和电动机起动电流所引起的温升应满足要求。电缆的短路容量应满足要求,这意味着电缆的绝缘和导体应能承受住可能通过其电路的最大短路电流引起的机械效应和热效应,不但要考虑到电路保护装置的时间—电流特性,而且还要考虑到第一个半周期内预期短路电流的峰值。

5. 导体应有足够的机械强度,以满足敷设和工作条件。一般单芯电缆和双芯电缆都选用  $1\text{mm}^2$  或  $1.5\text{mm}^2$  以上。

6. 三相交流供电系统,当电缆截面较大时(一般限定  $120\text{mm}^2$ ),可以采用二根或多根三芯电缆并联使用。并联使用的电缆应具有相同阻抗、相同截面和相同导体额定温度,其载流量为所有并联导体电流定额之和。但只有截面等于或大于  $10\text{mm}^2$  的电缆才允许并联使用。

7. 临时应急低压灯具,由于受到填料函尺寸的限制,选用电缆截面不应超过  $2.5\text{mm}^2$ 。

8. 进入蓄电池室的蓄电池连接线应选用单芯电缆,以便于连接。

9. 船舶采用单线制时,照明灯具、无线电和导航设备等所使用的电缆一般仍选双芯电缆,通过分配电板的汇流排进行总接地。

10. 选择多芯电缆时,应考虑备用芯线;一般可参照表 2.7.3.1。

表 2.7.3.1 电缆备用线芯数

实 用 线 芯 数	备 用 线 芯 数
2~4	0~1
5~16	1~2
19~37	2~4

### 2.7.3.4 不同环境空气温度的修正系数

电缆的允许电流定额是表示标准环境温度下的值。表 2.7.1.6 所列电流定额是基于  $45^\circ\text{C}$

环境温度。

如果预计到电缆工作环境空气温度可能高于 45℃ 时,则应适当降低电缆的电流定额;如果电缆工作环境空气温度永久低于 45℃ (例如沿海船舶、渡轮和港口船等特种船舶) 时,则可适当增加电缆的电流定额。即以表 2.7.3.2 所列的修正系数乘以标准环境温度(45℃)下的电流定额。

表 2.7.3.2 各种环境空气温度的修正系数

导体最高温度/℃	环境空气温度的修正系数										
	35℃	40℃	45℃	50℃	55℃	60℃	65℃	70℃	75℃	80℃	85℃
60	1.29	1.15	1.00	0.82	—	—	—	—	—	—	—
65	1.22	1.12	1.00	0.87	0.71	—	—	—	—	—	—
70	1.18	1.10	1.00	0.89	0.77	0.63	—	—	—	—	—
75	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58	—	—	—	—
80	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53	—	—	—
85	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	—	—
90	1.10	1.05	1.00	0.94	0.88	0.82	0.74	0.67	0.58	0.47	—
95	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45

### 2.7.3.5 成束敷设的修正系数

按 IEC92-201 规定,敷设在单根导管或管道内,或者虽不密封在管内,但彼此并不分离的两根或多根电缆均为成束电缆。

对于成束敷设在电缆架上、电缆导管、管道或线槽内的电缆,可认为其电流定额是适用的,不用进行修正;但可能同时以满载电流容量运行的六根以上的电缆成束紧靠敷设,使得其周围没有自然空气循环时,应乘以 0.85 的修正系数。

根据 CCS 规定,下述场合可以不进行修正:

——不超过 6 根的电缆成束敷设在导板上,或管道、管子或电缆槽内;

——超过 6 根的电缆按下列方式组合:

在任何两组 6 根束集之间的距离应至少等于最粗电缆的直径

○○○○○○ ○○○○○○ ○○○○○○

或在任何两组三根束集之间的水平及垂直距离应至少等于最粗电缆的直径

○○○ ○○○ ○○○  
○○○ ○○○ ○○○

### 2.7.3.6 不连续工作的修正系数

对于短时和重复短时工作制的用电设备的电缆,允许根据其实际发热情况对电缆的电流定额进行修正。

在无确切资料的情况下,对于“半小时”和“1 小时”工作制用电设备,电缆的电流定额,可以用式(2.7.3.1)修正系数予以增加。

$$S_1 = \sqrt{\frac{1.12}{1 - \exp\left(-\frac{t_a}{T}\right)}} \quad (2.7.3.1)$$

式中  $S_1$ ——短时工作制修正系数;

$t_a$ ——电气设备运行时间(min);

$T$ ——电缆时间常数(min),当间歇周期大于临界持续时间( $=3T$ ),可采用图 2.7.3.2 数值。

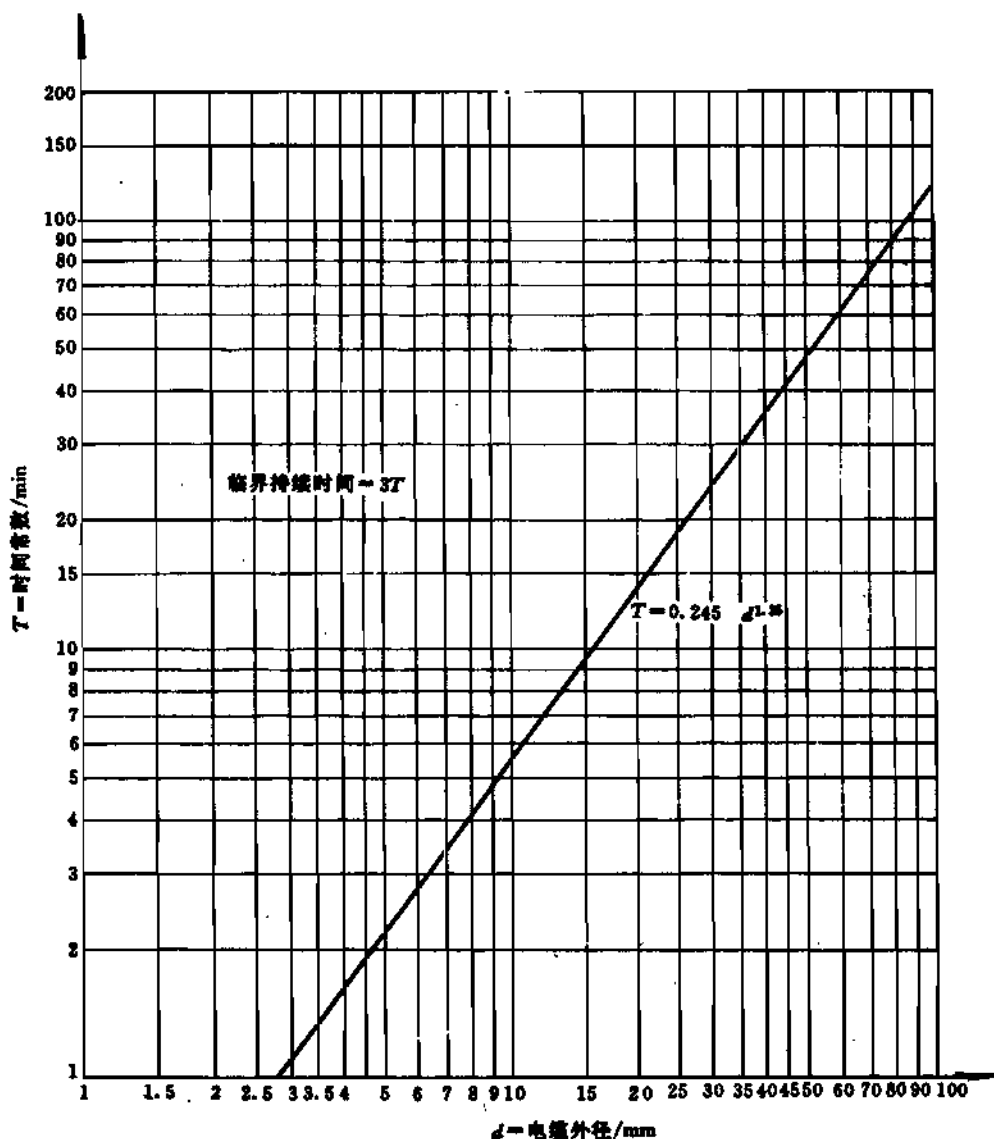


图 2.7.3.2 电缆的时间常数

由于电缆时间常数为电缆直径的函数,所以修正系数也是电缆直径的函数,如图2.7.3.3所示。

通常,绞缆机、起锚机、重型起货机和首推力器等可考虑为“半小时”运行周期,但自动恒张力绞缆机和特种船舶的首推力器,考虑其运行周期大于半小时。

对于重复短时负载供电电缆的电流定额,可以用式(2.7.3.2)修正系数予以增加。

$$S_2 = \sqrt{\frac{1 - \exp\left(-\frac{t_p}{T}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{t_a}{T}\right)}} \quad (2.7.3.2)$$

式中  $S_2$ ——重复短时工作制修正系数;

$T$ ——电缆时间常数  $(= 0.245 d^{1.35})(\text{min})$ ;

$t_p$ ——间歇运行周期(min);

$t_a$ ——恒定负载运行时间(min);

$d$ ——电缆外径(mm)。

如果重复短时工作的间歇运行周期为 10min, 恒定负载运行时间为 4min, 空载运行时间为 6min, 其修正系数可参照图 2.7.3.4。

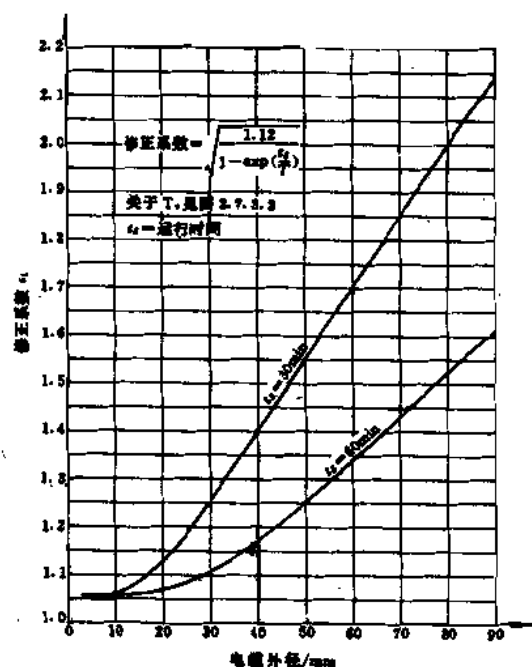


图 2.7.3.3 “半小时”和“一小时”运行周期的修正系数

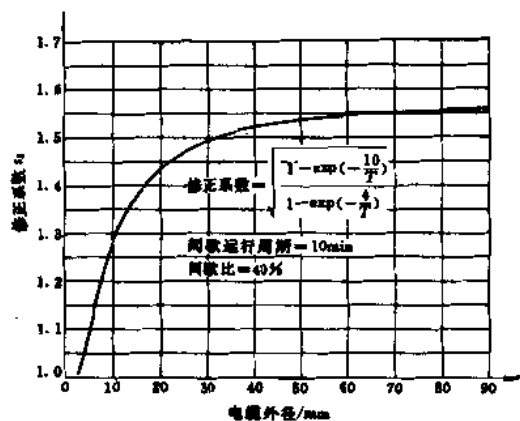


图 2.7.3.4 间歇运行的修正系数

根据日本电缆标准(JCS)计算的重复短时负载允许电流的修正系数与 IEC92-201 推荐的方法求得的重复短时负载允许电流修正系数,列入表 2.7.3.3<sup>[18]</sup>,供参考。

表 2.7.3.3 重复短时负载允许电流修正系数

导体截面/mm <sup>2</sup>	IEC 法			JCS 法	
	660V-SPYC	660V-DPYC	660V-TPYC	660V-SPYC	660V-TPYC
1.25	1.185	1.317	1.330	—	—
2	1.200	1.340	1.353	1.257	1.367
3.5	1.229	1.368	1.383	1.281	1.398
5.5	1.248	1.388	1.400	1.298	1.413
8	1.278	1.408	1.420	1.327	1.436
14	1.313	1.437	1.448	1.389	1.460
22	1.346	1.460	1.468	1.400	1.476
30	1.363	1.471	1.480	1.404	1.486
38	1.384	1.483	1.491	1.423	1.494
50	1.400	1.493	1.500	1.440	1.504
60	1.415	1.502	1.508	1.450	1.510
80	1.429	1.510	1.516	1.468	1.518
100	1.444	1.518	1.523	1.478	1.525
125	1.455	1.524	1.529	1.487	1.530
150	1.470	1.531	1.536	1.493	1.535
200	1.483	1.538	1.541	1.504	—
250	1.495	—	—	1.511	—
325	1.505	—	—	1.520	—

## 2.7.4 线路电压降计算

### 2.7.4.1 线路电压降允许值

就船舶电力系统设计而言,计算线路电压降是为了校核所选用的电缆回路产生的电压降,是否满足有关规范和规则的要求。其实际意义仍在于确保电力系统的供电质量。有关规范和规则的线路电压降的允许值列入表 2.7.4.1,供参考。

表 2.7.4.1 电力系统电压降允许值

回 路	允许值/%	规 范 和 规 则
电 力	10	USSR(短时定额)
	7	BV, GL, USSR
	6	NK, LR, NV, CCS, IEC92 号出版物
	5	AB, IEEEStd. 45, 船舶设备规程
照 明	6	LR, NV, NK(航行灯除外), CCS
	5	AB, BV, GL, USSR, IEC92 号出版物, 船舶设备规程,
	3	IEEEStd. 45
24V 回路	10	NK, USSR, IEC(50V 以下)船舶设备规程, CCS
	6	LR, NV
	5	AB, BV, GL

### 2.7.4.2 线路电压降计算

船舶配电网路的电压降的计算方法有很多,一般采用下述计算公式进行计算。

#### 1. 直流二线制回路的计算公式

直流二线制回路导线两端的电压降,可以采用下式计算:

$$\Delta U = R_{20} \cdot K_1 \cdot 2L \cdot I \quad (2.7.4.1)$$

$$\Delta u = (R_{20} \cdot K_1 \cdot 2L \cdot I / U) \cdot 100\% \quad (2.7.4.2)$$

式中  $\Delta U$ ——线路电压降(V);

$\Delta u$ ——线路百分比电压降(%);

$U$ ——额定电压(V);

$I$ ——负载电流(A);

$L$ ——电缆长度(m);

$R_{20}$ ——电缆 20℃时电阻( $\Omega \cdot m^{-1}$ );

$K_1$ ——电缆电阻温度系数,对铜导体电缆可参阅表 2.7.1.7。

如果没有确切的电缆 20℃时电阻值,可以采用导体截面和导体电导率计算,铜的电导率  $r = 54(m/\Omega \cdot mm^2)$ ,所以式(2.7.4.1)和式(2.7.4.2)则为:

$$\Delta U = K_1 \frac{2L \cdot I}{rS} \quad (2.7.4.3)$$

$$\Delta u = K_1 \frac{2L \cdot I}{r \cdot S \cdot U} \cdot 100\% \quad (2.7.4.4)$$

式中  $S$ ——电缆截面( $mm^2$ )。

计算举例:某万吨级远洋货船的一个电力分电箱的供电系统图如图 2.7.4.1 所示,电网额定电压为 DC 220V,计算主配电板至各电动机的电压降。

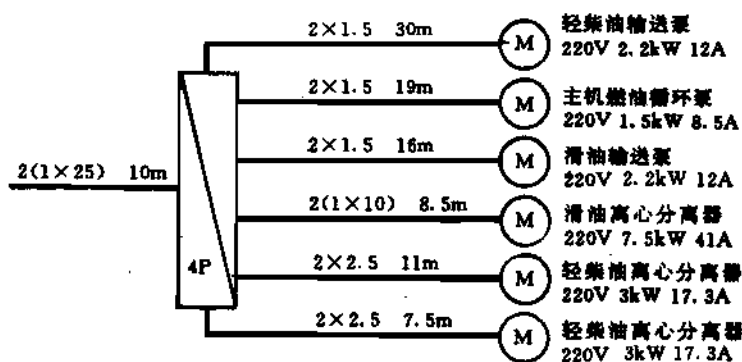


图 2.7.4.1 直流电力网电压降计算举例

先求出干线负载电流,由于两台轻柴油分离器只使用一台,所以

$$I = 12 + 8.5 + 12 + 41 + 17.3 = 90.8 \text{ A}$$

再利用式(2.7.4.4)求出干线和各支线的电压降。当忽略温度修正时,  $K_1 = 1$ , 所以得:

$$\Delta u = \frac{2 \times 10 \times 90.8}{54 \times 25 \times 220} \times 100\% = 0.62\%$$

$$\Delta u_1' = \frac{2 \times 30 \times 12}{54 \times 1.5 \times 220} \times 100\% = 4.05\%$$

$$\Delta u_2' = \frac{2 \times 19 \times 8.5}{54 \times 1.5 \times 220} \times 100\% = 1.82\%$$

$$\Delta u_3' = \frac{2 \times 16 \times 12}{54 \times 1.5 \times 220} \times 100\% = 2.16\%$$

$$\Delta u_4' = \frac{2 \times 8.5 \times 41}{54 \times 10 \times 220} \times 100\% = 0.54\%$$

$$\Delta u_5' = \frac{2 \times 11 \times 17.3}{54 \times 2.5 \times 220} \times 100\% = 1.29\%$$

$$\Delta u_6' = \frac{2 \times 7.5 \times 17.3}{54 \times 2.5 \times 220} \times 100\% = 0.88\%$$

最后求得主配电板至各电动机的电压降如下:

$$\Delta u_1 = 0.62\% + 4.05\% = 4.67\%$$

$$\Delta u_2 = 0.62\% + 1.82\% = 2.44\%$$

$$\Delta u_3 = 0.62\% + 2.16\% = 2.78\%$$

$$\Delta u_4 = 0.62\% + 0.54\% = 1.16\%$$

$$\Delta u_5 = 0.62\% + 1.29\% = 1.91\%$$

$$\Delta u_6 = 0.62\% + 0.88\% = 1.50\%$$

计算照明网络的电压降时,利用功率矩  $PL$  比较方便,具体计算方法,参考第 6 篇 6.3.5.3。

## 2. 交流单相二线制回路的计算公式

交流单相二线制回路的电压降可采用下式进行计算:

$$\Delta U = R_{20} \cdot K_1 \cdot 2L \cdot I \cdot \delta \quad (2.7.4.5)$$

$$\Delta u = (R_{20} \cdot K_1 \cdot 2L \cdot I \cdot \delta / U) \times 100\% \quad (2.7.4.6)$$

式中  $\delta$ ——交流电压降系数,亦称感应电压降系数,可根据式(2.7.4.7)求得;  
 $\cos\varphi$ ——负载功率因数。

$$\delta = \frac{\Delta U_{ac}}{\Delta U_{dc}} = \frac{R_{ac} \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi}{R_{dc}} \quad (2.7.4.7)$$

式中  $\Delta U_{ac}$ ——交流电压降;

$\Delta U_{dc}$ ——直流电压降;

$R_{ac}$ ——电缆交流电阻( $= R_{dc} \cdot K_2$ );

$R_{dc}$ ——电缆直流电阻;

$K_2$ ——交流回路导体的集肤效应和互感效应系数,参阅表 2.7.1.8;

$X$ ——电缆电抗。

如果忽略电缆的集肤效应和互感效应,则  $K_2 = 1$ ;若忽略电缆的电抗,则式(2.7.4.5)和式(2.7.4.6)变为下式:

$$\Delta U = R_{20} \cdot K_1 \cdot 2L \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.7.4.8)$$

$$\Delta u = (R_{20} \cdot K_1 \cdot 2L \cdot I \cdot \cos\varphi / U) \times 100\% \quad (2.7.4.9)$$

如果忽略电阻温度系数的影响,又无确切的  $20^\circ\text{C}$  电缆导体电阻  $R_{20}$ ,则可以根据导体截面  $S$  和导电率  $\gamma$  计算。对铜导体而言,  $\gamma = 54(\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ,所以,式(2.7.4.8)和式(2.7.4.9)变为式(2.7.4.10)和式(2.7.4.11)。

$$\Delta U = \frac{2L \cdot I}{\gamma S} \cdot \cos\varphi \quad (2.7.4.10)$$

$$\Delta u = \frac{2L \cdot I}{\gamma S U} \cdot \cos\varphi \times 100\% \quad (2.7.4.11)$$

### 3. 交流三相三线制回路的计算公式

交流三相三线制网络的电压降的计算公式与交流单相二线制网络的计算方法基本相同,仅是其电流应为负载电流的  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  倍,所以上述式(2.7.4.5)、式(2.7.4.6)和式(2.7.4.8)~式(2.7.4.11)可变为下述各式:

$$\Delta U = R_{20} \cdot K_1 \cdot L \cdot \sqrt{3} I \cdot \delta \quad (2.7.4.12)$$

$$\Delta u = (R_{20} \cdot K_1 \cdot L \cdot \sqrt{3} I \cdot \delta / U) \times 100\% \quad (2.7.4.13)$$

或者,

$$\Delta U = R_{20} \cdot K_1 \cdot L \cdot \sqrt{3} I \cdot \cos\varphi \quad (2.7.4.14)$$

$$\Delta u = (R_{20} \cdot K_1 \cdot L \cdot \sqrt{3} I \cdot \cos\varphi / U) \times 100\% \quad (2.7.4.15)$$

或者,

$$\Delta U = \frac{L \cdot \sqrt{3} I}{\gamma S} \cdot \cos\varphi \quad (2.7.4.16)$$

$$\Delta u = \frac{L \cdot \sqrt{3} I}{\gamma S U} \cdot \cos\varphi \times 100\% \quad (2.7.4.17)$$

### 4. 交流网络平均功率因数计算

当计算分电箱干线的电压降时,为了计算简便,其干线负载功率因数可取各分支线功率因



数的平均值,即:

$$\cos \varphi = \frac{\sum P_i \cos \varphi_i}{\sum P_i} \quad (2.7.4.18)$$

式中  $P_i$ ——各支线的功率;

$\cos \varphi_i$ ——各支线的功率因数。

计算举例:某船一个电力分电箱的供电系统如图 2.7.4.2 所示,额定电压为 AC 380V,计算主配电板至各电动机的电压降。

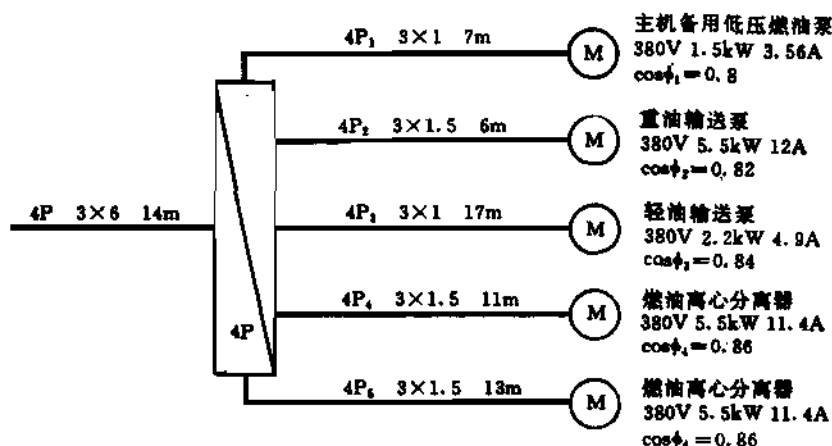


图 2.7.4.2 交流电力网电压降计算举例

先求出干线负载电流及功率因数,由于两台燃油离心分离器只使用一台,所以,

$$I = 3.56 + 12 + 4.9 + 11.4 = 31.86(\text{A})$$

$$\cos \varphi = \frac{1.5 \times 0.8 + 5.5 \times 0.82 + 2.2 \times 0.84 + 5.5 \times 0.86}{1.5 + 5.5 + 2.2 + 5.5} = 0.82$$

再求出干线和各支线的电压降,采用式(2.7.4.17)计算结果如下:

$$\Delta u = \frac{\sqrt{3} \times 14 \times 31.86 \times 0.82}{54 \times 6 \times 380} \times 100\% = 0.52\%$$

$$\Delta u_1' = \frac{\sqrt{3} \times 7 \times 3.56 \times 0.8}{54 \times 1 \times 380} \times 100\% = 0.17\%$$

$$\Delta u_2' = \frac{\sqrt{3} \times 6 \times 12 \times 0.82}{54 \times 1.5 \times 380} \times 100\% = 0.33\%$$

$$\Delta u_3' = \frac{\sqrt{3} \times 17 \times 4.9 \times 0.84}{54 \times 1 \times 380} \times 100\% = 0.63\%$$

$$\Delta u_4' = \frac{\sqrt{3} \times 11 \times 11.4 \times 0.86}{54 \times 1.5 \times 380} \times 100\% = 0.61\%$$

$$\Delta u_5' = \frac{\sqrt{3} \times 13 \times 11.4 \times 0.86}{54 \times 1.5 \times 380} \times 100\% = 0.72\%$$

最后求得主配电板至各电动机的电压降为:

$$\Delta u_1 = 0.52\% + 0.17\% = 0.69\%$$

$$\Delta u_2 = 0.52\% + 0.33\% = 0.85\%$$

$$\Delta u_3 = 0.52\% + 0.63\% = 1.15\%$$

$$\Delta u_4 = 0.52\% + 0.61\% = 1.13\%$$

$$\Delta u_5 = 0.52\% + 0.72\% = 1.24\%$$

交流照明网络的电压降计算,如果考虑其功率因数  $\cos\varphi = 1$  时,则与直流照明网络完全一样。

### 2.7.4.3 电压降计算公式汇总

现将各种网络的电压降计算公式部分地汇总于表 2.7.4.1 中<sup>[1]</sup>,并将各系数和电压值代入,以便于应用。表中  $\gamma$  以铜导体计算,电缆长度  $L$  用米(m)计,电缆导体截面用平方毫米( $\text{mm}^2$ )计。

表 2.7.4.1 电压降计算公式

网 络 分 类		以伏(V)表示		以百分数(%)表示		
		已知电流/A	已知功率/kW	已知电流/A	已知功率/kW	
基本公式	直流网络		$\frac{2IL}{\gamma S}$	$\frac{2PL}{\gamma SU} \times 10^3$	$\frac{2IL}{\gamma SU} \times 100$	$\frac{2PL}{\gamma SU^2} \times 10^3$
	单相交流网络		$\frac{2IL}{\gamma S} \cos \varphi$	$\frac{2PL}{\gamma SU} \times 10^3$	$\frac{2IL}{\gamma SU} \cos \varphi \times 100$	$\frac{2PL}{\gamma SU^2} \times 10^3$
	三相交流网络		$\frac{\sqrt{3}IL}{\gamma S} \cos \varphi$	$\frac{\sqrt{3}PL}{\gamma SU} \times 10^3$	$\frac{\sqrt{3}IL}{\gamma SU} \cos \varphi \times 100$	$\frac{\sqrt{3}PL}{\gamma SU^2} \times 10^3$
计 算 公 式	直 流 网 络	24V	$0.037 \frac{IL}{S}$	$1.54 \frac{PL}{S}$	$0.154 \frac{IL}{S}$	$6.42 \frac{PL}{S}$
		110V	$0.037 \frac{IL}{S}$	$0.336 \frac{PL}{S}$	$0.0336 \frac{IL}{S}$	$0.306 \frac{PL}{S}$
		220V	$0.037 \frac{IL}{S}$	$0.168 \frac{PL}{S}$	$0.0168 \frac{IL}{S}$	$0.0765 \frac{PL}{S}$
	单 相 交 流 网 络	24V	$0.037 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$1.54 \frac{PL}{S}$	$0.154 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$6.42 \frac{PL}{S}$
		110V	$0.037 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$0.336 \frac{PL}{S}$	$0.0336 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$0.306 \frac{PL}{S}$
		220V	$0.037 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$0.168 \frac{PL}{S}$	$0.0168 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$0.0765 \frac{PL}{S}$
	三 相 交 流 网 络	380V	$0.032 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$0.0844 \frac{PL}{S}$	$0.00844 \frac{IL}{S} \cos \varphi$	$0.0222 \frac{PL}{S}$

### 2.7.4.4 电动机回路电缆允许长度估算

根据电动机的额定参数,按其额定电流选择电缆截面,即可求得在允许电压降下电缆的允许长度,现将部分电动机的计算结果列入表 2.7.4.2 中<sup>[1]</sup>,仅供设计计算参考。

### 2.7.4.5 电压降计算书格式

电压降计算书格式,目前尚无具体标准规定,以前述交流三相三线制电力分电箱电压降为例,可参考表 2.7.4.3。

表 2.7.4.2 电动机回路电缆容许长度

电动机 功率 /kW	直流 110V						直流 110V						三相交流 380V 50Hz						
	额定电流/A			乙丙橡皮 绝缘电缆			额定电流/A			乙丙橡皮 绝缘电缆			额定电流/A			乙丙橡皮 绝缘电缆			
	3000	1500	1000	750	容许 长度 /m	/mm <sup>2</sup>	3000	1500	1000	750	容许 长度 /m	/mm <sup>2</sup>	3000	1500	1000	750	容许 长度 /m	/mm <sup>2</sup>	
																			/r·min <sup>-1</sup>
	/r·min <sup>-1</sup>						/r·min <sup>-1</sup>						/r·min <sup>-1</sup>						
0.4	5.26	5.31			39	2×1	2.64	2.66			2×1	157	0.55	1.6				3×1	518
0.6	7.6	7.6		7.91	26	2×1	3.77	3.90		4.15	2×1	100	0.75	1.9	2.1	2.3		3×1	361
0.8	9.85	10		10.1	21	2×1	4.92	4.98		5.1	2×1	82	1.1	2.6	2.7	3.20		3×1	259
1.1	13.3	13.3		14.4	22	2×1.5	6.52	6.6		7.1	2×1	59	1.5	3.4	3.7	4		3×1	207
1.5	18.2	18.3		18.5	28	2×2.5	8.85	8.87		9.2	2×1	45	2.2	4.7	5.0	5.6	5.8	3×1	143
2.2	24.8	26.4		26.5	31	2×4	12.2	12.67		13.2	2×1.5	47	3	6.4	6.8	7.2	7.7	3×1	108
3	33.2	34.5		35.6	35	2×6	17	17.1		17.7	2×2.5	59	4	8.2	8.8	9.4	9.9	3×1.5	126
4	44.4	45.2		47	44	2×10	22.4	22.4		22.8	2×4	73	5.5	11.1	11.6	12.6	13.3	3×2.5	156
5.5	62.3	61		61.5	54	2×16	31	30.9		30.5	2×6	82	7.5	15	15.4	17	17.7	3×4	187
7.5	81.7	82.3		86	61	2×25	41.5	41.1		42.8	2×10	97	11	21.8	22.6	24.6	25.1	3×6	198
10	107.5	111.1		112	65	2×35	54.5	53.5		55.5	2×16	120	15	29.4	30.3	31.4	34.1	3×10	243
13	134.4	142.5		148.5	70	2×50	68.3	68.6		73.8	2×16	90	18.5	35.5	35.9	38.1	41.3	3×10	201
17	183	188.4		188.3	77	2(1×70)	88.8	91		93.6	2×25	111	22	42.2	42.5	44.7	47.6	3×16	279
22	235	238		242	82	2(1×95)	113.6	116		118	2×35	124	30	56.9	56.9	58	63	3×25	329
30	317	322		325	64	4(1×50)	170	157.5		156	2×70	172	37	60.6	70.4	72	78.2	3×25	265
40		425		427.5	68	4(1×70)	211	207.5		207	2(1×70)	138	45	84	84.2	85	93.2	3×35	311
55							287	284		280	2(1×120)	174	55	102.7	102.5	104.9		3×50	395
75							381.5	385		387	4(1×70)	151	75	140.1	139.7			3×70	414

注：容许长度根据7%的电压降计算得出

注：容许长度根据 7% 的电压降计算得出

表 2.7.4.3 电压降计算书格式

序号	干 线 编 号	支 线 编 号	名 称	电压 /V	功率 /W	效率 /%	功 率 因 数 /cosφ	电 流/A		导线 长 度 /m	导 线 截 面 /mm <sup>2</sup>	电压降 /V		电压降 /%			备 注
								干线	支线			干线	支线	干线	支线	总计	
1	4P		4号电力分电箱	380			0.82	31.86		14	6	1.98	0.52				
2		4P <sub>1</sub>	主机备用低压燃油泵	380	1.5		0.8		3.56	7	1	0.65		0.17	0.69		
3		4P <sub>2</sub>	重油输送泵	380	5.5		0.82		12	6	1.5	1.25		0.33	0.85		
4		4P <sub>3</sub>	轻油输送泵	380	2.2		0.84		4.9	17	1	2.39		0.63	1.15		
5		4P <sub>4</sub>	燃油离心分离器	380	5.5		0.86		11.4	11	1.5	2.32		0.61	1.13		
6		4P <sub>5</sub>	燃油离心分离器	380	5.5		0.86		11.4	13	1.5	2.74		0.72	1.24		

## 2.7.5 保护装置动作特性与电缆的保护协调

### 2.7.5.1 保护装置动作特性与电缆的保护协调的基本原则

保护装置动作特性与电缆的保护协调,是以电流在电缆导体中发热为依据。也就是说,在低电流的过电流区域内,虽然电缆通以过电流,但在保护装置(例如断路器)的过载保护元件(例如断路器长延时脱扣装置)动作时,电缆的实际温度不能超过其允许的最高温度;在短路电流区域内,在保护装置切除短路故障的时间内,短路电流引起电缆严重发热的  $I^2t$  值,不能大于电缆的允许  $I^2t$  值。

以图 2.7.5.1 为例,保护协调的基本原则如下:

1. 电缆的工作环境最高温度至少应比电缆导体的最高工作温度低 10℃。
2. 修正后的电缆允许电流,应与其负载电流相适应。
3. 如果负载侧没有过载保护,在过载区域内,断路器应保护电缆。
4. 断路器的额定切断电流,应大于 A 点短路电流。
5. 在 B 点短路时,断路器应保护电缆。

根据上述原则,可以按图 2.7.5.2 所示的框图,进行保护装置动作特性与电缆的保护协调设计。

### 2.7.5.2 过载区域的保护协调

如果负载侧已设有过载保护,而断路器又是主配电板上的馈电开关,则该断路器可以不考虑过载保护。否则,应考虑断路器的过载保护装置要保护电缆。

确切计算应根据断路器的过载保护装置动作电流  $I$  和延时动作时间  $t$ ,来校核  $I^2t$  值是否在电缆允许的  $I^2t$  值之内,或者利用焦耳热法或电阻法计算电缆的温升是否在允许范围之内。

由于电缆的过载能力较大,所以,通常认为,只要修正后的电缆载流量大于过载保护装置的动作电流,便可以在过载区域内断路器和电缆的保护协调。

### 2.7.5.3 短路区域的保护协调

电缆通过短路电流时,会引起热损伤和电动力的损伤,因此,在短路区域对电缆的保护,应包括上述两个方面。然而,船内电缆多是采用紧固敷设,所以不易引起机械损伤,故通常仅考

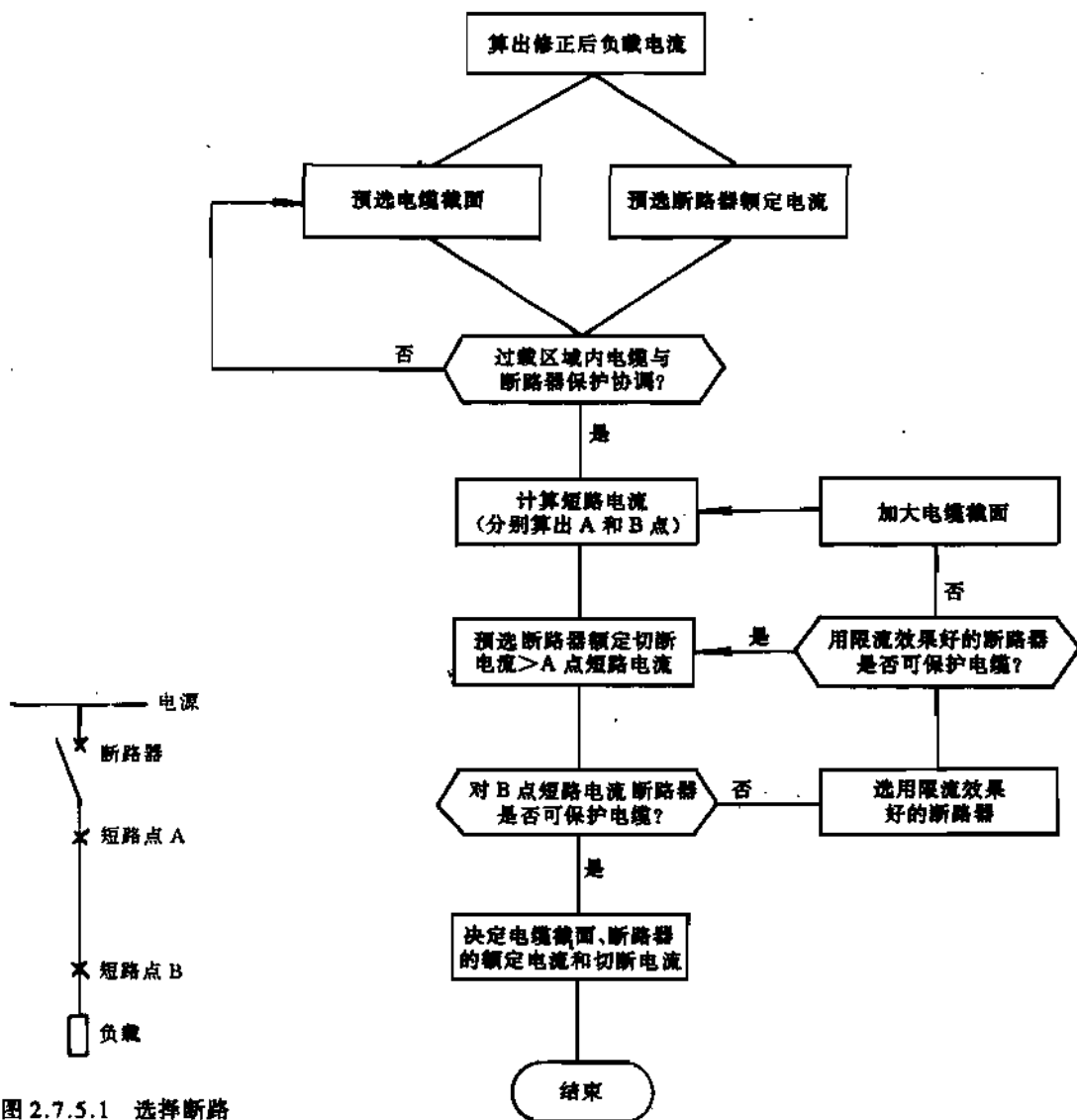


图 2.7.5.1 选择断路器与电缆协调  
考虑热损伤。

图 2.7.5.2 断路器与电缆的保护协调设计框图

铜导体电缆的允许  $I^2t$  值,可利用下述公式计算:

$$I^2t = \int i^2 dt = S^2 \times 5.05 \times 10^4 \times \log_e \frac{234 + T}{234 + T_0} \quad (2.7.5.1)$$

式中  $S$ ——电缆导体截面( $\text{mm}^2$ );

$T_0$ ——电缆导体初始温度( $^{\circ}\text{C}$ );

$T$ ——短路后电缆导体的最高允许温度( $^{\circ}\text{C}$ )。

显而易见,若电缆的铜导体最高允许温度  $T$  为  $150^{\circ}\text{C}$ ,在电缆通过允许电流状态  $T_0 = 60^{\circ}\text{C}$  时发生短路,则式(2.7.5.1)可变为:

$$I^2t = 14000S^2 \quad (2.7.5.2)$$

其单位为  $\text{A}^2 \cdot \text{s}$ 。

另外,已知乙丙橡胶和交联聚乙烯绝缘的铜导体电缆的允许工作温度为  $85^{\circ}\text{C}$ ,最高允许

温度为 230℃。故也可以将式(2.7.5.1)化成式(2.7.5.3),计算上述电缆的允许  $I^2t$  值。

$$I^2t = 19000S^2 \quad (2.7.5.3)$$

其单位为  $A^2 \cdot s$ 。

根据式(2.7.5.2)计算求得的电缆允许短路电流和  $I^2t$  值,列入表 2.7.5.1,供参考。

表 2.7.5.1 电缆短路允许电流和允许  $I^2t$  值

电缆截面/ $mm^2$	允许 $I^2t/A^2 \cdot s$	$I_s/kA$
3.5	$0.172 \times 10^6$	4.1(0.6)
5.5	$0.425 \times 10^6$	5.2(0.4)
8	$0.9 \times 10^6$	7.6(0.4)
14	$2.74 \times 10^6$	12.6(0.2)
22	$6.8 \times 10^6$	13.0(0.2)
30	$12.6 \times 10^6$	17.7(0.2)
38	$20.3 \times 10^6$	22.5(0.2)
50	$35.0 \times 10^6$	29.6(0.2)
60	$50.5 \times 10^6$	35.5(0.2)
80	$89.5 \times 10^6$	47.3(0.2)
100	$140 \times 10^6$	59.2(0.2)
125	$215 \times 10^6$	73.3(0.2)
150	$315 \times 10^6$	88.7(0.2)
200	$560 \times 10^6$	118.3(0.2)
250	$847 \times 10^6$	147.8(0.2)

注: 1  $I^2t$  值计算条件为:不考虑散热,导体允许最高温度为 150℃,从 60℃ 状态下热态起动。  
 2  $I_s$  值为假设短路相位使短路电流直流分量为最大,并考虑 14mm<sup>2</sup> 以下切断时间为 10ms,22mm<sup>2</sup> 以上切断时间为 20ms 时,被允许  $I^2t$  限制的允许短路电流对称值。  
 3 ( ) 内为功率因数

短路区域断路器与电缆的保护协调,可以根据电缆通过的短路电流大小和断路器切除短路故障的时间,求出电缆在短路时承受的  $I^2t$  值是否小于电缆允许的  $I^2t$  值来判断。

由于实际设计中,并不是逐点计算各负载端的短路电流,所以无法估算电缆通过的短路电流,故通常的设计原则为:

电缆的允许  $I^2t \geq$  断路器的  $I^2t$

断路器的  $I^2t$  值在产品样本中不提供,必须向制造厂索取。设计时,可以根据断路器的短时电流定额来计算求得。

寺崎公司生产的断路器,切断短路电流时的最大  $I^2t$  值,如表 2.7.5.2 所示,供参考。

在考虑短路区域断路器与电缆的保护协调时,应注意下述各点:

1. 由于断路器安装点的短路电流小于断路器的额定切断电流,所以断路器切除短路故障时实际  $I^2t$  比表 2.7.5.2 所列数据低得多。

2. 在回路的推算短路电流比较大,而负载电流比较小的回路中,为了限制电缆的温度,往往要把按负载电流选定的电缆截面适当加大。

3. 通常认为,电缆截面大于 30mm<sup>2</sup>,或额定电流大于 100A 时,其选定电缆的允许  $I^2t$  值极大,在短路区域电缆与断路器的保护协调易于满足。例如,30mm<sup>2</sup> 电缆,按表 2.7.5.1 的条件,其  $I^2t$  值为  $12.6 \times 10^6 A^2 \cdot s$ ;若选用断路器型号为 TO-100BA,则按表 2.7.5.2,AC500V 时断路器  $I^2t$  值为  $0.97 \times 10^8 A^2 \cdot s$ 。可见电缆的允许  $I^2t$  值比断路器的  $I^2t$  值大得多。

表 2.7.5.2 寺崎断路器在额定切断电流时的最大  $I^2t$  值

断 路 器		AC 220V		AC 460V		AC 500V(NK)	
型 号	额定 电流 /A	额定切断 电流 <sup>①</sup> /kA	最大 $I^2t$ $\times 10^6$ /A <sup>2</sup> ·s	额定切 断电流 /kA	最大 $I^2t$ $\times 10^6$ /A <sup>2</sup> ·s	额定切 断电流 /kA	最大 $I^2t$ $\times 10^6$ /A <sup>2</sup> ·s
TO-30D	30 以下 40~100	5	0.26	2.5	0.053	2.5	0.08
TO-60BA		7.5	—	5	—	5	0.22 <sup>②</sup>
TO-60BB		10	—	7.5	—	7.5	0.43
TO-100BA		35	0.3	18	0.8	18	0.45 <sup>②</sup>
TO-225BA		42	1.58	25	2.29	25	0.97
TO-400BA		50	—	30	—	30	3.34
TO-600BA		50	25.1	30	—	30	8
TO-800BA		85	25.1	50	29.5	42	16
TO-1000B, TO-1200B		85	34	50	—	42	20.3
TO-30E	30 以下 40~100	2.5	—	—	—	—	27
TO-50D		5	0.26	2.5	0.053	2.5	—
TO-100CA		7.5	—	5	—	5	0.08
TO-100CB		10	—	7.5	—	7.5	0.22
TO-225C		16	—	10	—	10	0.415
TO-400C		20	—	15	3.9	—	0.9
TO-600CA		25	—	20	6	—	—
TC-30		85	0.22	30	0.45	30	—
TC-100		85	—	42	—	12	0.52
TC-225	30 以下 40~100	85	7.07	42	12.8	35	0.68 <sup>②</sup>
TC-400B		85	—	42	8.8	42	1.6
TC-600B		85	25.1	50	29.5	42	10
TL-100E		85	—	80	—	70	8.5
TL-225E	30 以下 40~100	85	3.2	80	7.7	75	20.3
TL-400E		120	—	120	—	100	0.8
TL-600E		120	—	120	—	100	1.6
TL-800E		120	—	120	—	100	7.2
TL-100C	30 以下 40~100	180	—	180	—	—	14
TL-225B		180	—	180	—	—	40
TL-400		180	—	180	—	—	40
TL-600		180	—	180	—	—	0.65
TL-800		180	—	180	—	—	6.1
TM-30DR	2 5 12	— — —	— — —	— 50 —	0.006 0.065 0.1	— — —	6.4
TH-5DB		NK250V 5	0.053	—	—	—	26
TH-5SG		2.5	—	2.5	0.071	—	26
TH-10SG		10	—	5	0.247	—	—

① 额定切断电流均指对称值。  
② 额定电流小的场合,最大  $I^2t$  值比本表值小

## 主要参考文献

- 1 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, 1977
- 2 日本船用機関学会編, 船舶電氣・電子工学便覧, 日本: 海文堂, 1981
- 3 中国船级社, 钢质海船入级与建造规范: 1996 第4分册, 北京: 人民交通出版社
- 4 IEC pub 92-201(1994) Electrical installations in ships System design - General, 1996

- 5 NIPPON KAIJI KYOKAI. RULES AND REGULATIONS, 1996
- 6 LLOYD'S REGISTER RULES AND REGULATIONS, 1995
- 7 吴忠林编. 船舶交流电力系统保护. 北京: 国防工业出版社, 1988
- 8 陆祥润, 刘凤梧主编. 船舶电气实用指南. 大连: 大连海运学院出版社, 1993
- 9 华南工学院, 船舶船厂电气自动化教研组. 船舶电力系统. 北京: 国防工业出版社, 1982
- 10 本书翻译组译. 船舶电气实践. 北京: 国防工业出版社, 1978
- 11 日本蓄電池工業会. 据置蓄電池の容量算法 (SBA6001-1982)
- 12 孙诗南. 舰船电力系统的设计. 北京: 国防工业出版社, 1990
- 13 吴忠林编译. 船舶交流电力系统的短路电流. 北京: 国防工业出版社, 1983
- 14 大山敏夫, 高木秀樹. 蓄電池による非常電源システムの保護協調に関する研究. 日本船用機関学会誌, 1980, Vol. 15
- 15 GB11803—89 船用交流低压配电板、结构及基本外形尺寸
- 16 GB11634—89 船用交流低压配电板通用技术条件
- 17 吴忠林. 船舶低压电力系统设计中的电缆的选择. 船电通讯, 1996
- 18 村山元久. 船用 EPゴム絶縁ケーブル間欠許容電流. 日本船用機関学会誌, 1980, Vol. 15 No. 5
- 19 GB7358—87 船舶电气设备系统设计原则
- 20 CB\*/Z 323—81 船用主配电板基本环节线路
- 21 久保田 慶. 船内短絡電流の各種計算法の実際. Journal of the M. E. S. J., 1974, Vol. 9, No. 4
- 22 GB3321—82 船舶交流电力系统的短路计算



## 第3篇 船舶机械电力拖动

船舶机械电力拖动是船舶电气设备的一个重要组成部分。电力拖动用电约占船舶电网的70%~90%,电力拖动的型式和性能在一定程度上反映了船舶电气设备的水平。因此,在船舶电气设备系统设计中,船舶机械电力拖动是一个很重要的内容,特别在方案设计中应予以重点研究,因为它将决定全船的电气设备总的面貌。

### 1. 船舶机械电力拖动分类<sup>[1]</sup>

船舶机械电力拖动按机械类别可分为常规和特种两类,主要包括:

#### 1) 常规机械

- a. 船舶舱室辅助机械,如动力装置和船舶系统的各类泵、风机、空压机、锅炉、冷藏机和空调机等。
- b. 船舶起锚系缆机械,如航行锚机、定位锚机、起锚系缆绞盘、系缆绞盘和绞车等。
- c. 船舶起重机械,如起货机、起重机、起艇机、电梯和吊杆等。
- d. 船舶舵机,如电动舵机、液压舵机和舵桨机等。

后3种通常又称为甲板机械。

#### 2) 特种机械

- a. 电动液压机械,如泵、电磁阀和比例阀等。
- b. 工程机械,如各类工程船舶特有的工作机械:
  - 挖掘机械,如绞刀、抓斗、链斗、铲斗和泥泵等;
  - 特种起重机械,如大重量起重机、宽调速起重机等;
  - 钻探机械,如钻机、泥浆泵等;
  - 特种系缆机械,如移船绞车、自动拖缆机和布缆机等。
- c. 特种推进,如侧向推进、低速推进和主动舵推进等。
- d. 船舶操纵机械,如防摇鳍、减摇水舱等。

船舶机械电力拖动除了研究电动机的适用类型和容量选择外,另一个重要的内容是其控制问题。拖动与控制是两个密切联系不可分割的问题。但是,拖动的容量大小与控制的繁易程度或性能好坏之间并无规律可循,完全依据工作机械的要求而定。常规机械的拖动与控制一般已定型并比较简单,目前基本上与机械已配套,在设计中可直接选型,不必重复设计;特种机械则由于种类繁多、规格多变、要求不一,因而常需专门设计。

本篇主要叙述电力拖动与控制的基本问题,使设计者以此为工具,能对工作中所遇到的个别问题进行深入的研究和设计,并对常规机械的电力拖动与控制的标准配套作完整介绍,以便选型设计。对特种机械则作概要介绍,设计人员在涉及这类较专门的机械时,本篇可为研究设计提供参考。

### 2. 船舶机械电力拖动的设计阶段及工作内容<sup>[2]</sup>

#### 1) 方案设计阶段

- a. 详细了解工作机械的结构、性能参数和使用要求,进行电动机选型和确定控制方式。
- b. 必要的估算和校验,包括功率、转速、工作制等。
- c. 控制设备选型。
- d. 对主要的或复杂的系统应画出控制框图或原理图的雏形。
- e. 编制主要设备订货清单。

## 2) 技术设计或施工图设计阶段

- a. 根据技术评审结论修正方案设计内容。
- b. 绘制准确完整的控制原理图。
- c. 必要的计算,包括静态、动态特性、阻容元件参数、电器整定值等。
- d. 进行控制柜、台设计。
- e. 绘制系统接线图。
- f. 编制完整的设备订货清单。
- g. 编制使用说明书。

## 3. 船舶总体设计中电力拖动部分的设计方法

在船舶总体设计中,电气专业设计师应对船舶机械电力拖动这部分设计内容进行下列工作:

- 1) 汇总船舶机械电力拖动电动机参数清单。
- 2) 对电动机主电路控制设备选型,包括直接起动、降压起动、电源变换装置及成套控制设备。
- 3) 对电动机控制电路附属设备选型,包括遥控设备、遥测设备、信号设备、报警设备、成套附属设备及其他附属设备。
- 4) 对主电路及控制电路电缆选型,包括型号、芯数、截面。
- 5) 绘制每个船舶机械电力拖动系统接线图。
- 6) 对所有控制设备进行装船定位布置,确保安全运行和操作方便。

上述工作内容应根据船舶类型和机械性质在不同的设计阶段中的深度可有所侧重,但在施工图设计阶段应全面完成。每完成一个工作内容应与船舶总体设计的其他有关专业以及电气专业内其他有关部分设计师保持密切联系与配合,使拖动与控制性能能满足船舶机械的要求,使拖动与控制的电源及设备布置等要求得到落实,从而最终完成船舶机械电力拖动的设计工作。

## 第1章 船舶机械电力拖动的一般问题

### 3.1.1 概述

本章论述电力拖动的一般问题,即电力拖动的基本原理和共性问题。包括电力拖动动力学基础、电力拖动动态分析基础、电动机分类及容量选择、直流和交流电力拖动基本原理、自动控制系统的基本原理和电力拖动节能问题等。这些一般理论与基本性能分析对于无论何种机械的电力拖动设计均是有用的,可以起到参考和指导作用。对于承担电力拖动和控制设计的人员来说,必须十分熟悉这些基本理论,在面临各种具体的新的机械时,就能灵活分析应用,参考这些基本的理论来解决新的问题。对船舶机械电力拖动的一般要求:

#### 1. 技术性能

船舶机械电力拖动的技术性能指标主要有:适应性、可靠性、操纵性等。

船舶机械种类繁多,即使同样机械按照各类船舶的特点也可能选用各种不同型式的拖动系统,其技术性能也会随之而变;不同的机械其拖动系统更会有所不同。不论何种系统,其技术性能指标均应满足要求,并进行综合平衡。在此基础上,针对具体情况,确定合理的技术参数,以便做出实用的设计。

#### 2. 经济性

船舶机械电力拖动的经济性指标主要有:重量轻、体积小、效率高、价格低等。

对于常规机械而言,虽然电力拖动型式及设备大多已定型配套,不存在经济性分析的问题;然而在某些船舶,尤其是小船上可能会有突出的矛盾需解决,就会对选型作出新的分析。在特种机械电力拖动设计中一般均需重点研究,在满足技术性能的不同方案中做经济性指标的比较,以深化经济性的分析。

#### 3. 运行管理和维护修理

船舶机械电力拖动的管理和维修指标主要有:管理监视的目标少而集中、排除故障迅速、维护方便、减轻劳动强度、增强自修能力等。

船舶环境条件较差,管理和维修的难易,对船员的生理和心理状态影响较大,因而对船舶运行安全和技术性能的发挥亦是一个重要的因素。

一般来说,上述三方面的因素应尽量做到有机结合。当然,不排斥在某些特种机械电力拖动设计中可能有某种方面的侧重。电力拖动型式的方案选择就是这些因素综合的结果,因此必须抓好这一设计环节的工作。本章所论述的内容提供了进行这项工作所必需的理论基础。

### 3.1.2 电力拖动动力学基础

#### 1. 运动基本方程式

电力拖动运动状态的基本研究内容,就是运动机构的速度变化及其能量的变化,因此必须

对运动机构的动力学关系充分了解,其运动基本方程式为:

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (3.1.2.1)$$

式中  $T_M$ ——电动机转矩(N·m);

$T_L$ ——已折算至电动机轴上的负载转矩(N·m);

$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}$ ——转动惯量(kg·m<sup>2</sup>);

$m$ ——物体质量(kg);

$\rho$ ——物体对转动轴的回转半径(m);

$GD^2$ ——物体的飞轮力矩(N·m<sup>2</sup>);

$G$ ——物体的重量(N);

$D = 2\rho$ ——回转直径(m);

$g$ ——重力加速度(m·s<sup>-2</sup>);

$\omega$ ——电动机角速度(rad·s<sup>-1</sup>);

$d\omega/dt$ ——电动机角加速度(rad·s<sup>-2</sup>);

$n$ ——电动机转速(r·min<sup>-1</sup>);

$dn/dt$ ——电动机加速度(r·min<sup>-2</sup>)。

式(3.1.2.1)中的系数 375 在本篇中具有加速度量纲,即为 375m·s<sup>-2</sup>。

式(3.1.2.1)适用于转动惯量恒定的机械,式中各参数均为已折算到电动机轴上的数值。

当电动机产生的转矩  $T_M$  的方向与转速方向一致时称为电动状态,  $T_M$  为正值称电动转矩;反之,称为制动状态,  $T_M$  为负值称制动转矩。负载转矩有多种类型,详见 3.1.4.1 所述。

根据式(3.1.2.1)分析,可以确定拖动装置有三种运动状态:

1)  $T_M - T_L > 0$ ——加速运动;

2)  $T_M - T_L < 0$ ——减速运动;

3)  $T_M - T_L = 0$ ——等速运动。

## 2. 负载转矩的折算

1) 转动机构负载转矩折算到电动机轴时为:

$$T_{LT} = \frac{T_L'}{i\eta} \quad (3.1.2.2)$$

式中  $T_L'$ ——转动机构负载转矩(N·m);

$i = \frac{n_M}{n_L}$ ——电动机与负载机构之间的转速传动比;

$\eta$ ——电动机与负载机构之间的传动效率。

2) 移动机构负载阻力折算到电动机轴时为:

$$T_{LM} = \frac{60FV}{2\pi n_M \eta} \quad (3.1.2.3)$$

式中  $F$ ——移动机构负载阻力(N);

$V$ ——移动机构负载运动速度(m·s<sup>-1</sup>);

$n_M$ ——电动机转速(r·min<sup>-1</sup>)。

3) 当拖动装置中同时包括转动及移动机构时为:

$$T_L = \Sigma T_{LT} + \Sigma T_{LM} \quad (3.1.2.4)$$

式中  $\Sigma T_{LT}$ ——拖动装置中各个转动机构负载转矩折算值之和；

$\Sigma T_{LM}$ ——拖动装置中各个移动机构负载转矩折算值之和。

### 3. 转动惯量和飞轮力矩的折算

1) 转动机构转动惯量和飞轮力矩折算到电动机轴时为：

$$J_T = \frac{J'}{i^2} \quad (3.1.2.5)$$

$$GD_T^2 = \frac{(GD^2)'}{i^2} \quad (3.1.2.6)$$

式中  $J'$ ——转动机构的转动惯量；

$(GD^2)'$ ——转动机构的飞轮力矩。

2) 移动机构负载质量折算到电动机轴时为：

$$J_M = m \frac{V^2}{\omega_M^2} \quad (3.1.2.7)$$

$$GD_M^2 = 364 \frac{GV^2}{n_M^2} \quad (3.1.2.8)$$

式中  $m$ ——移动机构负载质量(kg)；

$G$ ——移动机构负载重量(N)；

$\omega_M$ ——电动机角速度( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

3) 当拖动装置中同时包括转动和移动机构时的折算为：

$$J = \Sigma J_T + \Sigma J_M \quad (3.1.2.9)$$

$$GD^2 = \Sigma GD_T^2 + \Sigma GD_M^2 \quad (3.1.2.10)$$

式中  $\Sigma J_T$ ——拖动装置中各个转动机构转动惯量折算值之和；

$\Sigma J_M$ ——拖动装置中各个移动机构负载质量折算值之和；

$\Sigma GD_T^2$ ——拖动装置中各个转动机构飞轮力矩折算值之和；

$\Sigma GD_M^2$ ——拖动装置中各个移动机构负载重量折算值之和。

### 4. 传动效率的折算

拖动装置中的传动机构(例如齿轮)在运动过程中存在损耗,这就产生传动效率。传动效率不是常数,而是与被传输的转矩大小有关,即效率与满载程度有关,一般可用图 3.1.2.1 所示的曲线来确定<sup>[3]</sup>。当功率传输方向变化时,即电动机在电动和制动两种状态中时,传动效率对电动机转矩的作用也是相反的。电动状态中传动效率将使电动机转矩增大,而在制动状态中传动效率将使电动机转矩减小。这在起重机械中反映最为典型,当起升重物时,电动转矩为：

$$T_{LM}^{\uparrow} = \frac{30GV}{\pi n \eta_{\uparrow}} \quad (3.1.2.11)$$

而下降重物时,制动转矩为：

$$T_{LM}^{\downarrow} = \frac{30GV\eta_{\downarrow}}{\pi n} \quad (3.1.2.12)$$

则

$$T_{LM}^{\downarrow} = \eta_{\downarrow} \eta_{\uparrow} T_{LM}^{\uparrow} \quad (3.1.2.13)$$

显然,制动转矩要比电动转矩小  $\eta_{\downarrow}^2$  倍还要多。若假定  $\eta_{\uparrow} = \eta_N$ , 则  $\eta_{\downarrow}$  按图 3.1.2.1 起码

可从  $\eta_N$  的曲线中以满载程度的数值等于  $\eta_N$  来查。如果下降时,重物比额定值小,则满载程度还应乘上  $G/G_N$  的比值。

由于传动效率的变化规律非常复杂,至今尚无精确计算方法,而用上述方法得出的结果能得到部分补偿,并简化了解决实际问题的方法,可供工程计算参考。

### 5. 传动的功率

#### 1) 转动运动时为:

$$P_M = \frac{T_M n_M}{9565} \quad (3.1.2.14)$$

式中  $P_M$ ——电动机功率(kW);  
 $T_M$ ——电动机转矩(N·m);  
 $n_M$ ——电动机转速(r·min<sup>-1</sup>)。

#### 2) 起重运动时为:

$$P_M = \frac{GV}{\eta} \quad (3.1.2.15)$$

式中  $G$ ——起重物体的重量(kN);  
 $V$ ——起升速度(m·s<sup>-1</sup>);  
 $\eta$ ——起重机构效率。

#### 3) 平移运动时为:

$$P_M = \frac{G(C + 7V)V}{\eta} \times 10^{-3} \quad (3.1.2.16)$$

式中  $C$ ——平移运动阻力系数,滚动轴承  $C = 10 \sim 12$ ,滑动轴承  $C = 20 \sim 25$ ;  
 $V$ ——平移运动速度(m·s<sup>-1</sup>)。

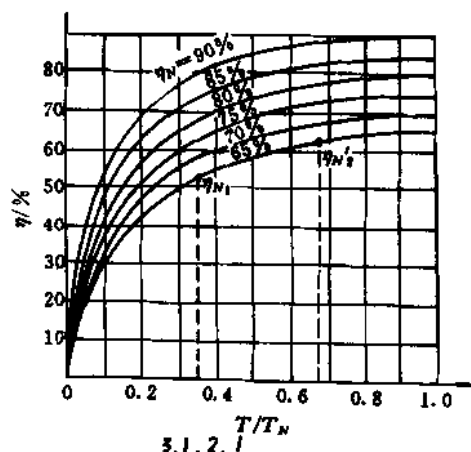


图 3.1.2.1 齿轮传动效率与负载程度关系

## 3.1.3 电力拖动过渡过程计算基础

电动机运转状态发生变化的过程就是过渡过程。在一般情况下,影响过渡过程的因素或者是机械因素的改变,或者是电气因素的改变。过渡过程的计算,是为了了解主要电气量和机械量的变化规律以及研究各种电气和机械参数对过渡过程的影响。本节只是列出在线性条件下计算过渡过程最基础的公式。如果考虑非线性因素影响时,则应采用图解法或分段线性化来求过渡过程。

### 1. 机械过渡过程

此时仅考虑机械因素的影响,所以只需对运动基本方程式(3.1.2.1)进行研究。

#### 1) 转速变化时间

##### a. 动态转矩不变

起动(加速)时间为:

$$t_s = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375T_d} \quad (3.1.3.1)$$

式中  $T_d = T_M - T_L$ ——动态转矩(N·m);

$n_1$ ——起动(加速)前的转速(r·min<sup>-1</sup>);

$n_2$ ——起动(加速)后的转速(r·min<sup>-1</sup>)。

制动(减速)时间为:

$$t_b = \frac{GD^2(n_1 - n_2)}{375(-T_d)} \quad (3.1.3.2)$$

式中  $-T_d = -(T_M + T_L)$ ——动态转矩(N·m);

$n_1$ ——制动(减速)后的转速(r·min<sup>-1</sup>);

$n_2$ ——制动(减速)前的转速(r·min<sup>-1</sup>)。

动态转矩不变理论上是不管  $T_M$  和  $T_L$  的各自变化,而只管其二者差或和的值不变,这种拖动装置很难实现。实际上,具有恒转矩机械特性的起重机械拖动装置可视为符合这种状态,如图 3.1.3.1 所示。一般具有电流负反馈环节或具有挖土机特性的自动控制系统能方便地实现恒转矩机械特性。

b. 动态转矩线性变化

起动(加速)时间为:

$$t_s = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375(T_1 - T_2)} \ln \frac{T_1 - T_L}{T_2 - T_L} \quad (3.1.3.3)$$

式中  $T_1$ ——起动(加速)前的电动机转矩(N·m);

$T_2$ ——起动(加速)后的电动机转矩(N·m);

$T_L$ ——恒定的负载转矩(N·m)。

制动(减速)时间为:

$$t_b = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375(T_1 - T_2)} \ln \frac{T_1 + T_L}{T_2 + T_L} \quad (3.1.3.4)$$

动态转矩线性变化一般适用于负载转矩恒定不变而电动机转矩在转速变化过程中呈线性变化的状态,因此其二者差或和也为线性变化。直流电动机或交流绕线电动机串电阻起动是这种状态的典型特性,如图 3.1.3.2 所示。

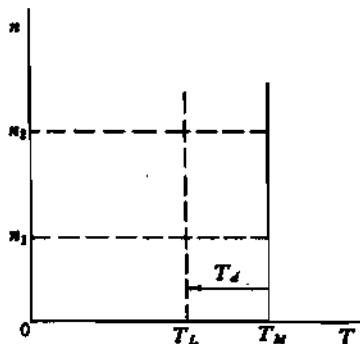


图 3.1.3.1 动态转矩不变状态的过渡过程特性

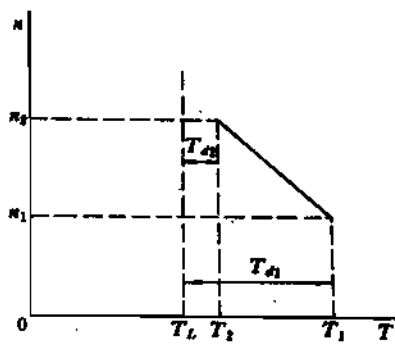


图 3.1.3.2 动态转矩线性变化状态的过渡过程特性

c. 动态转矩非恒定也非线性变化

起动(加速)时间为:

$$t_s = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{T_d} \quad (T_d > 0) \quad (3.1.3.5)$$

制动(减速)时间为:

$$t_b = \frac{GD^2}{375} \int_{n_2}^{n_1} \frac{dn}{T_d} \quad (T_d < 0) \quad (3.1.3.6)$$

这是一种非规律的状态,只能按动态转矩对转速的函数关系用积分计算得出,或用实验方法测试得到。

## 2) 机电时间常数

机电时间常数为:

$$\begin{aligned} B &= \frac{GD^2(n_0 - n_N)}{375T_N} = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375(T_1 - T_2)} = \frac{GD^2n_0S_N}{375T_N} \\ &= \frac{GD^2n_0}{375T_s} = \frac{GD^2n_0r}{375T_N} = \frac{GD^2R}{375C_eC_T\Phi^2} \end{aligned} \quad (3.1.3.7)$$

式中  $S_N = \frac{n_0 - n_N}{S_0}$ ——电动机转差率;

$C_e, C_T$ ——电动机常数;

$\Phi$ ——电动机定子磁通(Wb);

$T_s$ ——静态转矩(N·m)。

机电时间常数  $B$  的物理意义可以用图 3.1.3.3 的电动机机械特性来定义,表示为拖动系统以某一起动转矩起动或加速至某一速度所需的时间。式(3.1.3.7)的第一、三个表达式表示以  $T_N$  转矩加速至  $n_0$ ,第二个表达式表示以  $T_1$  转矩加速至  $n_2$ ,第四式表示以  $T_s$  转矩加速至  $n_0$ 。说明在这条机械特性曲线上,不论从哪一点开始起动或加速,也不论到达哪一点结束,其所需的时间均相同。实则上,如把  $n_0$  点的  $T=0$  计入的话,第一至第四个表达式的  $\Delta n/\Delta T$  均相等,等于这条机械特性曲线的斜率,因此四式相等就不容置疑了。第五和第六个表达式则是以电动机电路电阻值来表示其  $B$  值,其中  $r = R/R_N$ 。

可见,机电时间常数是和机械特性曲线形状有关的参数,每条不同的曲线有不同的  $B$  值,每条不同的曲线显然也有不同的电阻  $R$ 。

式(3.1.3.1)或(3.1.3.2)中的  $t_s, t_b$  实际上即为  $B$  值。式(3.1.3.3)或(3.1.3.4)ln 值前的系数也为  $B$  值。

## 3) 过渡过程的分析

在机械特性曲线和负载特性线性化的条件下,对运动基本方程式(3.1.2.1)求解微分方程式,可得:

$$T = T_L(1 - e^{-\frac{t}{B}}) + T_{st}e^{-\frac{t}{B}} \quad (3.1.3.8)$$

$$n = n_{Ed}(1 - e^{-\frac{t}{B}}) + n_{st}e^{-\frac{t}{B}} \quad (3.1.3.9)$$

$$I = I_L(1 - e^{-\frac{t}{B}}) + I_{st}e^{-\frac{t}{B}} \quad (3.1.3.10)$$

式中  $T_L, I_L$ ——起动结束稳定后的负载转矩(N·m)和负载电流(A);

$n_{Ed}$ ——起动结束稳定后的负载转速(r·min<sup>-1</sup>);

$T_{st}, n_{st}, I_{st}$ ——起动开始时的电动机转矩(N·m)、转速(r·min<sup>-1</sup>)和电流(A);

$B$ ——该起动特性曲线的机电时间常数(s);



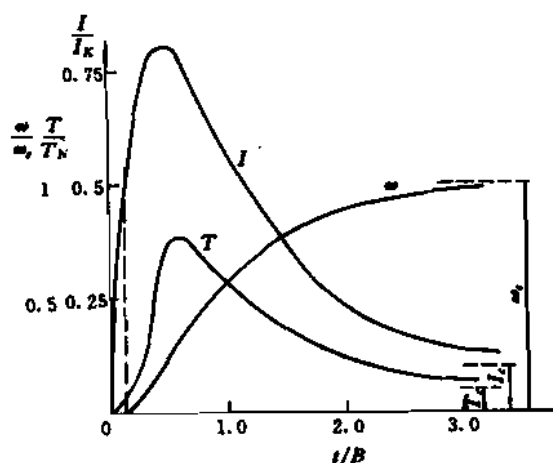
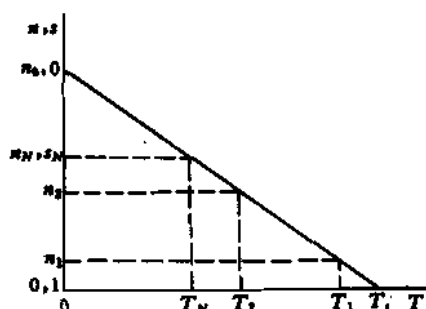


图 3.1.3.3 表示机电时间常数物理意义的机械特性曲线 图 3.1.3.4 直流电动机电枢电路的过渡过程

$T, n, I$ ——对应于某一时间  $t$ (s) 时的瞬时转矩(N·m)、瞬时转速( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )和瞬时电流(A)。

式(3.1.3.8)、式(3.1.3.9)和式(3.1.3.10)表达的形式相同,都有一个相同的指数规律的变化过程,适用于直流并激电动机及异步电动机的工作段部分(近似直线)。

## 2. 电气过渡过程

在直流电路中,此时仅考虑电气因素的影响,不论是电枢电路还是励磁电路。其电路基本方程式为:

$$U = E + IR + L \frac{dI}{dt} \quad (3.1.3.11)$$

式中  $U$ ——电路端电压(V);

$E$ ——电枢反电势(V);

$I$ ——电路电流(A);

$R$ ——电路电阻( $\Omega$ );

$L$ ——电路电感(H)。

对于电枢电路,端电压加上的瞬间,电动机由于惯性作用仍处于停止状态,因此尚无反电势产生,而电感值很小的低电阻电路立即产生一个极大的冲击电流,从而产生电磁转矩使转速上升而产生反电势,趋使电流值减小并最终到达稳定状态,如图 3.1.3.4 所示。

对于励磁电路,端电压加上的瞬间,则电感值很大的大电阻电路不会产生冲击电流,从而不会产生反电动势。电流按指数规律渐升直至稳定状态,如图 3.1.3.5 所示。

$$I = I_s(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (3.1.3.12)$$

式中  $I_s = \frac{U}{R}$ ——稳态电流(A);

$T = \frac{L}{R}$ ——电磁时间常数(s)。

电磁时间常数  $T$  是一个很重要的物理量,是直流电动机中影响其运行性能,特别是动态指标的一个关键参数。在电枢电路中由于其值太小,因而产生电流冲击;而在励磁电路中由于其值又太大,因而产生迟滞作用,它们均与转速的变化不能同步,而使动态指标逊色不少。因而对于直流调速系统往往需增加许多校正环节或技术措施来改善电磁时间常数的影响。例如

电枢电路的电流负反馈环节和励磁电路的提高端电压及串附加电阻等办法均是经常采用的。

### 3. 电气机械过渡过程

此时既考虑机械因素也考虑电气因素的影响,对式(3.1.2.1)及式(3.1.3.11)联合求解,得:

$$I = A_1 e^{P_1 t} + A_2 e^{P_2 t} + I_L \quad (3.1.3.13)$$

$$\omega = D_1 e^{P_1 t} + D_2 e^{P_2 t} + \omega_L \quad (3.1.3.14)$$

式中  $A_1, A_2, D_1, D_2$ ——决定于各种情况下的起始条件的常数(由于繁复不作介绍);

$P_{1,2} = -\frac{1}{2T} \pm \sqrt{\frac{1}{4T^2} - \frac{1}{TB}}$ ——指数系数;

$I_L, \omega_L$ ——稳态负载电流及负载角速度<sup>[4]</sup>。

可见,机电时间常数  $B$  和电磁时间常数  $T$  均对系统的过渡过程起作用,机械和电气的综合作用影响着过渡过程的进程。

图 3.1.3.6 画出了电气机械过渡过程中电流  $I$  按式(3.1.3.13)分解综合的典型过程。

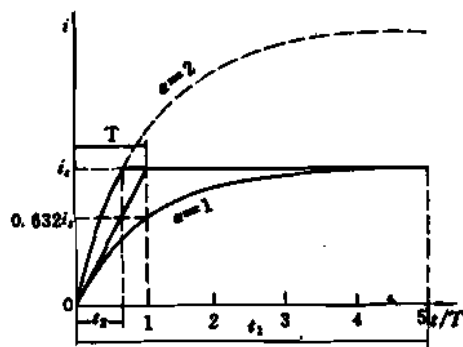


图 3.1.3.5 直流励磁电路的过渡过程

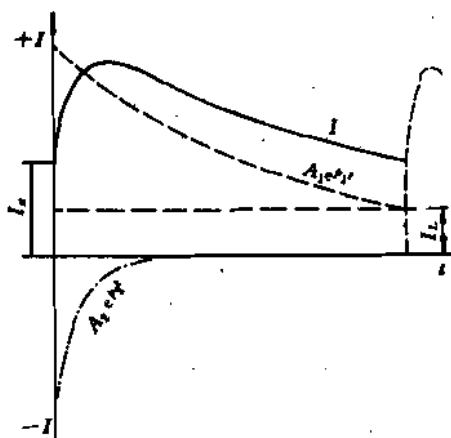


图 3.1.3.6 电气机械过渡过程中电流的典型过程

## 3.1.4 电动机选择

### 3.1.4.1 船舶机械的负载类型

船舶机械的负载转矩  $T_L$  随转速  $n$  而变化的特性  $T_L = f(n)$  称为负载特性,通常有 4 种类型。

#### 1. 反应性负载

反应性负载转矩  $T_L$  由摩擦、切削、非弹性体的伸长、扭转等因素产生,在一定状态下总保持恒定,并永远阻碍电动机的运动。因此,其方向与速度方向有关,即其极性随着运动方向改变而改变;但其数值与速度、行程等工作过程因素有关,一般分为恒转矩负载和恒功率负载两种,如图 3.1.4.1 所示。如机床、布缆机、铺管机、皮带运输机等,有静摩擦转矩存在。

#### 2. 位势性负载

位势性负载转矩  $T_L$  由重力、弹性体的压缩、伸长、扭转产生,在一定状态下保持恒定,也

是恒转矩负载。与反应性负载不同,位势性负载在速度方向改变时保持原来的作用方向。因而在一定旋转方向下阻碍运动,而在相反的旋转方向下促进运动,这是位势性负载的特点。其数值与速度大小无关,如图 3.1.4.2 所示。如起货机、起重机、吊杆等。

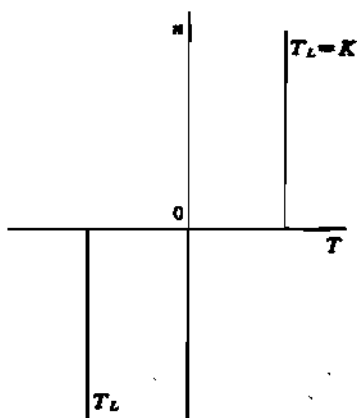


图 3.1.4.1 反应性负载特性

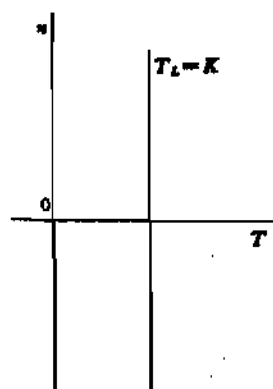


图 3.1.4.2 位势性负载特性

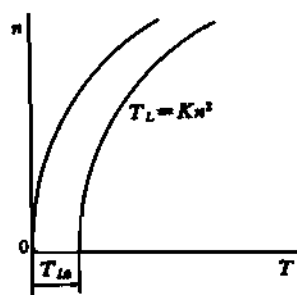


图 3.1.4.3 流体负载特性

### 3. 流体负载

流体负载转矩  $T_L$  由气体、液体的摩擦阻力产生,这种机械一般只在一种旋转方向下工作,不能反方向工作。其转矩数值与速度的平方成正比例,如图 3.1.4.3 所示。如风机、水泵、油泵等,因此通常又称为风机负载,也有静摩擦转矩存在。

### 4. 惯性负载

无论何种负载,在作变速运动时都有惯性负载产生。惯性负载始终阻碍运动的变化,所以也是一种反应性负载。然而它是动态产生的,在拖动系统的动态分析中应予以考虑。

### 3.1.4.2 电动机工作制

由于工作机械按照工作过程的不同具有各种不同的运行方式和负载特性,所以电动机按照负载和持续时间及先后次序情况,分为连续的、短时的和周期的 3 种状态和 8 类工作制,见表 3.1.4.1 所列。

表 3.1.4.1 电动机的工作制类型

序号	工作制类别	定 义	示 意 图
1	连续工作制 S1	在恒定负载下连续运行至热稳定状态	<p>该示意图展示了电动机在连续工作制下的运行特性。图中包含三个部分：顶部是一个矩形，标注为 <math>N</math>，表示额定功率；中间是一个带有斜线阴影的矩形，标注为“负载”，表示负载功率；底部是一个带有斜线阴影的矩形，标注为“电损耗”，表示电损耗功率。在右侧，有一个标注为“温度”的曲线，它从原点开始，随着时间增加而上升，最终达到一个稳定的水平线，标注为 <math>\theta_{max}</math>。横轴标注为“时间”。</p>

(续)

序号	工作制类别	定 义	示 意 图
2	短时工作制 S2	在恒定负载下按给定的时间运行,未达到热稳定状态时即停机和断能一段时间,使电机再度冷却到与冷却介质温度之差在 2K 以内	
3	断续周期工作制 S3	按一系列相同的工作周期运行,每一周期由一段恒定运行时间及一段停机和断能时间所组成,但这些时间较短,均不足以使电机达到热稳定状态,且每一周期的起动电流对温升无明显的影响 $FC = [N / (N + R)] \times 100\%$	
4	包括起动的断续周期工作制 S4	按一系列相同的工作周期运行,每一周期由一段起动时间、一段恒定负载运行时间及一段停机和断能时间所组成,但这些时间较短,均不足以使电机达到热稳定状态 $FC = [(D + N) / (D + N + R)] \times 100\%$	
5	包括电制动的断续周期工作制 S5	按一系列相同的工作周期运行,每一周期由一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段快速电制动时间、一段停机和断能时间所组成,但这些时间较短,均不足以使电动机达到热稳定状态 $FC = [(D + N + F) / (D + N + F + R)] \times 100\%$	

(续)

序号	工作制类别	定 义	示 意 图
6	连续周期工作制 S6	按一系列相同的工作周期运行,每一周期由一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间所组成,但这些时间较短,均不足以使电动机达到热稳定状态 $FC = [N/(N+V)] \times 100\%$	
7	包括电制动的连续周期工作制 S7	按一系列相同的工作周期运行,每一周期由一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间所组成,但这些时间较短,均不足以使电动机达到热稳定状态 $FC = 100\%$	
8	包括负载与转速相应变化的连续周期工作制 S8	按一系列相同的工作周期运行,每一周期由一段加速时间、一段按预定转速的恒定负载运行时间及再按一个或几个不同转速的其他恒定负载运行时间所组成,但这些时间较短,均不足以使电机达到热稳定状态 $FC_1 = [(D+N_1)/(D+N_1+F_1+N_2+F_2+N_3)] \times 100\%$ $FC_2 = [(F_1+N_2)/(D+N_1+F_1+N_2+F_2+N_3)] \times 100\%$ $FC_3 = [(F_2+N_3)/(D+N_1+F_1+N_2+F_2+N_3)] \times 100\%$	

注:  $FC$ ——负载持续率;  $N, N_1, N_2, N_3$ ——在额定条件下运行的时间;  $\theta_{max}$ ——在工作周期中达到的最高温度;  
 $R$ ——停机和断能时间;  $D$ ——起动(或加速)时间;  $F, F_1, F_2, F_3$ ——电制动时间

对于 S1 工作制,可按电动机铭牌给出的连续定额长期运行;对于 S2 工作制,电动机应在实际冷却状态下起动,并在规定的时限内运行,短时定额时限一般规定为 10min, 30min, 60min, 90min;对于 S3 和 S6 工作制,每一工作周期为 10min;对于 S3, S4, S5, S6 和 S8 工作制,负载持续率为 15%, 25%, 40% 和 60%;对于 S4, S5, S7 和 S8 工作制,每小时等效起动次数优先采用 150 次、300 次或 600 次,并应给出电动机的转动惯量  $J_M$  和折算到电动机轴上的全部外加转动惯

量  $J_{em}$ , 也可用  $GD^2$  表示。

### 3.1.4.3 电动机类型

从电动机类型角度来考虑其选择问题主要有以下几个因素:

#### 1. 电流种类

目前船舶常规机械绝大多数采用交流电动机拖动, 但特种机械仍有采用直流电动机拖动的, 一般是在调速要求较高以及有堵转要求的场合。

#### 2. 用途类型

常用的电动机主要分一般用途及起重用途两大类。不调速连续工作的机械采用一般用途类, 主要用于舱室机械拖动; 调速、变负载、过载、断续周期工作的机械采用起重用途类的较多, 主要用于甲板机械及特种机械。

#### 3. 防护型式

船舶机械按其安装环境不同选择不同的防护型式。通常, 在舱内选择防滴式或封闭式, 在甲板上选择封闭式或防水式, 危险区选择防爆式。某些工程船舶甲板上常设有大功率调速型电动机, 可是从电动机系列中难以选择封闭式或防水式, 专门特殊订货又由于种种原因无法实现, 因此不得不采用较低要求的型式, 同时辅以一些防护措施以弥补不足。

防护型式以  $IP \times \times$  表示, 详见 1.2.2 所述。

#### 4. 冷却形式

电动机冷却方法表示按国际冷却法代号表示为 IC 字母  $\times \times$ 。字母为冷却介质的代号, 如空气为 A、水为 W 等。规则规定若全部为空气冷却则 A 可省略。 $\times \times$  为冷却方法代号, 冷却方法代号的写法必须按从电机外部(低温区)向电机内部(高温区)的顺序连续编写。

第一个  $\times$  表示冷却介质循环回路的布置方式(0~9), 第二个  $\times$  表示冷却介质循环所需动力的提供方式(0~9)。两种数字的代表图形及定义见国家标准 GB/T 1993—93 旋转电机冷却方式。

船用电动机一般为自扇式空气冷却方式, 仅大功率电机或特殊用途电机有时用水或油作为冷却介质。除了自扇式外, 管道循环、表面冷却、带冷却器以及带独立电动鼓风机循环的冷却方式均有采用。

### 3.1.4.4 常用电动机系列及应用范围

船舶机械常用电动机的系列及应用范围见表 3.1.4.2。表中以船用系列为主, 适当增列目前特种机械拖动常用的陆用系列。

表 3.1.4.2 船舶机械常用电动机系列

系 列	名 称	容量范围/kW	转速范围/r·min <sup>-1</sup>	结构形式及性能	应用范围
Y-H	船用三相异步电动机	0.55~315	750~3000	IP44 全封闭自扇冷, 有较好的起动性能	舱室机械
Y-H	船用三相异步电动机	5.5~250	750~3000	IP23 防护式自扇冷	舱室机械
Z <sub>2</sub> C	船用直流电动机	0.4~200	600~3000	防滴式自扇冷	舱室机械
YB-H	船用隔爆式三相异步电动机	0.55~90	750~3000	隔爆 dⅡ BT4 级自扇冷	危险区舱室机械

(续)

系 列	名 称	容量范围/kW	转速范围/r·min <sup>-1</sup>	结构形式及性能	应用范围
YD-H	船用变极多速三相异步电动机	0.65/0.85~13/16 0.45/0.75~11/17	6/4, 8/4	双速全封闭自扇冷	需变速的舱室机械
ZO <sub>2</sub> C	船用直流电动机	0.4~6.5	750~3000	封闭式自扇冷	露天安装的舱室机械
JZ <sub>2</sub> -H (JZ <sub>2A</sub> -H)	船用起重交流异步电动机	单速 1.5~18.5 双速 3/1.2~18/5 三速 7.5/7.5/5~85/85/60	4, 6, 8P, 4/12, 4/16P 4/8/16P	25% 30/15min 10/30/5min 防水式自冷 带圆盘制动器	甲板机械
IPB1	船用起重异步电动机	单速 11~16 三速 2.7/5.8/12~7/14.5/30 四速 4/4.2/9/9~61/65/135/135	8P 16/8/4P 16/8/4/2P	40% 5/15/15% 2/5/30/10min 防水式自冷 带圆盘制动器	甲板机械
YHLQ-H	船用起货机恒力矩异步电动机	双速 7.5/3.7 三速 44/22/5.2	4/8P 4/8/24P	25/25%防水式自冷 25/25/25% 防水式强风冷 带圆盘制动器	起货机
JZF <sub>2</sub> -H	船用起货机恒功率异步电动机	双速 10/3 三速 38/26/4.5~54/37/6	4/12p 4/8/28P	25/15% 15/20/15% 防水式强风冷 带圆盘制动器	起货机
IPB2	船用起货机异步电动机	三速 4.1/19/38 四速 4.1/19/38/38	28/8/4P 28/8/4/2P	25/25/25% 25/25/25/10% 防水式强风冷 带圆盘制动器	起货机
IPB4	船用重吊起货机异步电动机	三速 6.8/29/61 三速 6.5/40/80 四速 6.5/40/80/80	36/12/6P 28/8/4P 28/8/4/2P	15/15/15% 15/15/40% 15/15/20/20% 防水式强风冷 带圆盘制动器	起货机
ZZY-H	船用直流起重电动机	1.9~40	640~1600(分低速 高速两个系列)	防水式自冷带圆盘 制动器,有不同工作制	甲板机械
ZZH	船用直流起重电动机	7~42	630~1050	同上	甲板机械
ZZKH	船用直流起重电动机	9~56	1000~1250	同上	甲板机械
ZDH	船用大中型直流电动机	160, 185, 200, 320 780 1250	600 190 500	防滴式强风冷	特种机械
YZR	起重用绕线型异步电动机	1.5~110 (40%)	580~970	封闭式自冷 另有 15%~100%不同工作制	特种起重机械
ZZ	起重冶金用直流电动机	1.3~125	390~1470	封闭式自冷或强风冷	特种起重机械
YCT	电磁调速异步电动机	0.55~100	1150~1320 调速范围 10:1	防滴式转差离合器 与 Y 系列电动机组成	特种机械
YR	中型绕线型异步电动机	90~355	500~1500	防护式自扇冷	特种机械

### 3.1.4.5 电动机容量

#### 1. 概述

大部分船舶舱室辅机的拖动电动机的容量比较容易确定,它们的负载基本不变,大都不要求调速,且是连续工作,所以只要按其机械轴功率大小,就可以直接配置电动机容量。目前一般船用辅机已有系列标准,按配套要求,电动机都随辅机成套供应。

船舶甲板机械的负载情况比较复杂,且为短时或断续周期工作制,需对预选电动机作容量校验。目前大多数甲板机械已有系列标准,按配套要求,电动机都随机成套供应。

船舶特种机械的负载情况更为复杂。有调速要求乃至堵转要求,工作制也多种多样,因此控制系统一般比较复杂。目前一般由机械专业设计人员计算其静态额定功率,电气专业设计人员只配合选择电动机并作容量校验。

电动机容量选择,实质上是电动机过载能力与容许发热的校验,以电动机的允许值为选择的依据。校验是按工作机械的负载图进行的,负载图是指电动机的转矩或电流与工作时间的函数关系。过载能力是技术性能,其实质是电动机能否正常运行的问题;而容许发热是经济指标,其实质是绝缘的寿命和容许的最高工作温度问题。个别机械可能还要作起动校验和  $GD^2$  校验等。

#### 2. 过载能力与容许发热

##### 1) 过载能力

电动机的过载能力是指转矩过载及电流过载两个方面。对交流电动机,主要考虑转矩过载不致引起最大转矩的颠覆;对直流电动机,主要考虑电流过载不致引起换向的恶化。

过载能力的表达式为:

$$\lambda_T = \frac{T_{\max}}{T_N} \quad (3.1.4.1)$$

$$\lambda_I = \frac{I_{\max}}{I_N} \quad (3.1.4.2)$$

式中  $\lambda_T$ ——转矩过载倍数;

$\lambda_I$ ——电流过载倍数;

$T_{\max}$ ——最大转矩(N·m);

$T_N$ ——额定转矩(N·m);

$I_{\max}$ ——最大电流(A);

$I_N$ ——额定电流(A)。

船用电动机的过载能力见表 3.1.4.3。

对直流起重电动机,还有起动转矩的过载能力问题,其值比在额定电流及额定转速下的过载能力还要大。直流电动机在削弱磁场后过载能力将有所减小。

交流和直流起重电动机系列均具有不同的负载持续率(FC)定额的规格,应注意在不同的负载持续率时其过载能力也不同。因为  $P_{15\%} > P_{25\%} > P_{40\%} > P_{100\%}$ , 所以  $\lambda_{15\%} < \lambda_{25\%} < \lambda_{40\%} < \lambda_{100\%}$ 。一般无特别说明时, $\lambda$  均是指 25% 负载持续率的过载倍数。

##### 2) 容许发热

根据发热的基本理论,物体产生的热量应等于物体储藏的热量加上发散的热量。因此,物