

(续)

型 号	额定 输出 功率 / kVA	峰值 电 流 /A	有效 值电流 /A	x_d /%	x_q /%	x_d' /%	x_d'' /%	x_q' /%	x_2 /%	x_0 /%	r_1 /%	T_a /s	T_d' /s	T_d'' /s	
1200r/min(6极)		450/260V, 60Hz													
1FC6	354	280	4700	1500	390	300	22.0	12.6	16.5	24.7	6.4	2.1	0.017	0.046	0.001
	356	370	7600	1700	345	265	17.4	9.9	12.9	20.6	5.1	1.6	0.018	0.047	0.001
1FC6	404	460	7400	1800	480	360	22.3	12.5	16.9	24.2	5.9	2.2	0.018	0.049	0.002
	406	560	10300	2200	455	345	19.5	11.0	14.9	22.3	5.3	1.9	0.018	0.048	0.002
1FC6	454	740	12000	3300	500	380	22.8	13.1	16.2	25.6	7.5	1.9	0.020	0.054	0.002
	456	860	14800	3500	490	370	20.7	12.0	14.8	24.5	6.9	1.9	0.018	0.052	0.002
1FC6	502	1200	19000	4000	560	425	23.1	12.2	15.1	23.5	9.7	2.4	0.015	0.054	0.003
	504	1320	24800	4300	520	395	20.6	10.8	13.4	20.4	7.2	1.6	0.019	0.053	0.003
	506	1530	32400	5000	485	365	17.5	9.2	11.3	19.9	6.6	1.7	0.016	0.054	0.003
1FC6	562	1570	28400	5400	490	375	22.6	12.0	14.7	21.9	8.2	1.7	0.021	0.071	0.004
	564	1830	33000	6200	540	405	22.7	11.9	14.5	23.2	7.9	1.7	0.021	0.068	0.003
	566	1900	36000	6900	520	390	21.9	11.8	14.3	23.3	8.6	1.4	0.024	0.069	0.003
	567	2100	46000	7700	520	390	19.0	9.5	11.8	18.1	6.0	1.4	0.020	0.066	0.003
					460	350	19.9	11.1	13.9	19.3	9.0	1.4	0.023	0.121	0.005
					580	440	24.2	13.3	16.8	22.8	10.2	1.5	0.026	0.112	0.004
900r/min(8极)		450/260V, 60Hz													
1FC6	502	820	11300	3500	465	350	28.2	16.4	21.0	24.3	6.6	2.3	0.021	0.081	0.003
	504	880	14800	5000	400	305	23.4	13.6	17.4	21.1	5.7	1.7	0.025	0.083	0.003
	506	950	17800	5200	375	285	21.1	12.2	15.7	19.6	5.1	1.5	0.025	0.085	0.003
1FC6	562	1260	19000	5400	560	420	27.6	13.8	19.1	22.4	7.1	2.1	0.020	0.084	0.003
	564	1440	21500	5500	590	445	28.4	14.5	20.1	23.6	7.5	1.9	0.023	0.084	0.003
	566	1560	21000	5700	670	510	32.3	16.4	23.0	26.5	8.1	2.0	0.025	0.086	0.003
	567	1680	29000	6500	550	390	24.7	13.1	17.8	22.0	6.5	1.6	0.026	0.093	0.003
	568	1800	33000	7500	510	340	22.9	13.1	17.1	21.6	6.1	1.3	0.029	0.100	0.003
720r/min(10极)		450/260V, 60Hz													
1FC6	502	670	9200	2640	360	270	29.7	15.8	19.1	23.3	7.5	2.0	0.023	0.082	0.002
	504	740	12200	3800	320	240	25.4	13.4	16.2	20.7	6.4	1.6	0.024	0.091	0.003
	506	810	14000	4000	315	240	24.7	13.0	15.8	20.5	6.2	1.4	0.026	0.097	0.003
1FC6	562	950	13200	4200	385	290	27.9	15.6	19.6	24.8	7.6	2.2	0.021	0.067	0.002
	564	1080	15000	4500	375	285	27.6	16.0	20.0	25.6	8.5	2.1	0.022	0.073	0.002
	566	1270	22400	5700	365	275	21.7	11.0	14.4	19.8	6.3	1.9	0.017	0.062	0.002
注：10极技术参数仅供参考															

注: 10极技术参数仅供参考

2.5.4 船舶电力系统保护的一般原则

由于有关规范和规则的要求略有不同,不同种类的船舶又有不同的特殊要求,这里仅就1000V及以下的船舶电力系统保护设计的一般原则加以说明,这些原则是设计中必须遵守的。

2.5.4.1 一般原则

1. 系统中的电气设备均应设有合适的保护装置,对包括短路在内的意外过电流故障进行保护。各保护装置的性能选择和安排,应能实现完全和协调的自动保护,以尽可能保证:

系统的连续工作——在系统的某一处发生故障的情况下,通过保护装置的选择性作用,确

保对非故障电路,特别是包含重要设备的非故障电路的连续供电;

限制故障范围——通过保护装置及时切除故障,以尽可能减少对系统的损害,避免发生火灾的危险。

2. 在上述情况下,在允许的时间内,系统中所有元件应能承受可能出现的过电流(包括短路)所产生的热效应和电动应力。

3. 应按照使用要求选择过电流保护装置,特别是过载保护装置和短路保护装置的选择。

4. 系统设计中,对重要负载应采用选择保护方式;而对非重要负载,可以采用非选择保护方式,有些规范允许采用后备保护方式。

2.5.4.2 保护装置的设置

1. 在配电系统的每一不接地的极(或相)上均应设有短路保护。

2. 过载保护的设置要求如下:

直流双线绝缘系统——至少一个极上;

交流单相绝缘系统——至少一个极(或相)上;

交流三相绝缘系统——至少两相上;

接地系统——每一不接地的极(或相)上。

3. 在配电系统中,凡接地导体上都不不得装设熔断器以及与绝缘极不相联动的开关或不相联动的断路器作为保护装置。

2.5.4.3 短路保护装置的选择

1. 可以采用熔断器或断路器作短路保护。

2. 除了具有后备保护外,每一保护装置的额定短路分断能力,不应低于其安装点的最大预期短路电流。

对于交流系统,其额定短路分断能力应不低于其安装点的预期对称短路电流,并应考虑其安装点短路功率因数对保护装置的额定短路分断能力的影响,当短路功率因数小于断路器额定分断能力对应的功率因数时,其分断能力应作相应的修正。

3. 除具有后备保护外,所有在短路情况下接通的断路器或其他开关,其接通能力不应低于其安装点的预期短路电流的最大峰值。

4. 发电机电路及断路器的故障可能危及船舶安全的电路中,应选用 P_2 通断能力的断路器,而其他电路可选用 P_1 通断能力的断路器。

P_1 通断能力试验程序为: $O \rightarrow t \rightarrow CO$

P_2 通断能力试验程序为: $O \rightarrow t \rightarrow CO \rightarrow t \rightarrow CO$

O 表示断开, CO 表示通断, t 表示间歇时间,一般为 3min 或为断路器恢复时间。

5. 如果在电源侧串联连接一后备保护装置,则使用一种短路分断能力和接通能力低于其安装点上最大预期短路电流的断路器是允许的,但该后备保护装置的通断能力必须大于其安装点的最大预期短路电流。

6. 在不包含重要设备的电路中,同一断路器或熔断器可作为一个以上的断路器的后备保护。

7. 负载侧可以采用带熔断器的断路器,此时熔断器相当于短路时的后备保护装置。但应特别注意熔断器与断路器的动作协调,确保熔断器和断路器承受过电流动作时,熔断器能及时

表 2.5.4.1 某些船舶短路电流及保护装置的选择

船名	Z400r	700TEU	300TEU	2200r	1000r	1000r	1200r	1200r	1200r	5000r	131TEU	600r
主发电机电数	3	3(一台TC)	3	2	3	2	2	2	2	3	2	2
电压/V	440	440	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
电流/A	706	802	563	135	115	115	135	162	162	445	162	115
频率/Hz	60	60	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
功率/kW	440	500	312	75	64	64	75	90	90	260	90	64
短路电流 (I_{sc}/I_{scp})/kA	12.87/30.02	15.70/29.09(DC) 13.95/22.63(TC)	7.969/21.967	1.96/4.246	3.162/6.030	1.58/3.02	1.851/3.524	2.628/5.617	2.628/5.617	6.683/17.87	2.357/5.078	1.584/3.026
功率因数 cosφ	0.147	0.142	0.1817	0.2544	0.309	0.34	0.357	0.301	0.301	0.183	0.273	0.339
保护装置	AH-10B	AH-10B	AE-1000-S	DW95-400B	DW95-400B	DW95-200	DW95-400B	DW95-400B	DW95-400B	AH-6B	DW95-400B	DW95-400B
主汇流排 短路点“B ₁ ”	17.72/41.34	21.87/51.19	10.77/29.22	3.46/7.074	4.542/8.483	2.95/5.49	3.468/6.397	4.697/9.07	4.697/9.07	9.123/24.014	4.155/8.591	2.969/5.496
主配电板分 路	17.72/41.34	21.87/51.19	10.77/29.22	3.46/7.074	4.542/8.483	2.95/5.49	3.468/6.397	4.697/9.07	4.697/9.07	9.123/24.014	4.155/8.591	2.969/5.496
功率因数 cosφ	0.147	0.142	0.1817	0.2544	0.309	0.34	0.357	0.301	0.301	0.183	0.273	0.339
保护装置	TC-100	TC-100	NP100-S	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	TD-100BA	IEZ10-60	IEZ10-100
电分电箱 短路点“C ₁ ”	15.15/27	17.47/29.56	10.148/20.34	3.161/5.56	3.709/5.653	2.05/2.98	3.015/4.75	4.284/7.164	4.284/7.164	8.412/14.87	3.310/4.794	2.647/4.219
功率因数 cosφ	0.48	0.48	0.48	0.48	0.641	0.81	0.606	0.525	0.525	0.583	0.798	0.566
保护装置	TD-100BA	TD-100BA	NP100-S	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	IEZ10-100	TD-100BA	IEZ10-100	IEZ10-100
变压器次级 短路点“D ₁ ”	17.29/29.7	8.8/13.9	7.036/10.58	1.817/2.742	1.722/2.625	2.15/3.17	2.834/4.269	3.475/5.199	3.475/5.199	2.889/4.085	2.252/3.573	1.871/2.670
功率因数 cosφ	0.738	0.738	0.738	0.738	0.616	0.69	0.668	0.678	0.678	0.496	0.762	0.773
保护装置	TD-100BA	TD-100BA	NP100-S	IEZ10-250	IEZ10-250	IEZ10-100	IEZ10-250	IEZ10-250	IEZ10-250	TD-100BA	IEZ10-250	IEZ10-250
照明分电箱 短路点“D ₂ ”	8.75/12.84	3.79/5.56	1.506/2.13	1.431/1.965	0.909/1.285	1.28/1.73	2.003/2.771	5.95/3.556	5.95/3.556	0.75/1.060	2.229/3.062	1.603/2.224
功率因数 cosφ	0.984	0.984	0.984	0.984	0.875	0.92	0.866	0.830	0.830	0.977	0.829	0.846
保护装置	TD-60BB	TH-5DB	NF-30SB	RL93-6	RL93-6	RL93-6	RL93-6	RL93-6	RL93-6	TH-5DB	RL93-6	RL93-6
最小短路电流 (I_{sc}/I_{scp})/kA			0.765/1.39	0.512/0.638	0.512/0.638	2.82/5.14	0.594/0.764	0.637/0.9	0.637/0.9	7.341/10.63	0.807/1.037	0.608/0.783
* 应急配电板 短路点“C ₂ ”			9.683/17.97			0.42				0.820		
功率因数 cosφ			0.561			0.42						
保护装置			NP100-S			IEZ10-100				TD-100BA		
* 短路点“C ₃ ”			1.821/2.575			1.52/2.111				1.586/2.243		
功率因数 cosφ			0.849			0.83				0.614		
保护装置			NF-30SB			IEZ10-100				TD-100BA		

注：标有*者为发电机发电时，该短路点的短路电流及功率因数

地分断,避免在断路器的各极之间、极与金属部件间产生电弧。

2.5.4.4 过载保护装置的选择

1. 可以选用断路器作过载保护,断路器应具有与其保护对象的过载能力相适应的(过电流-脱扣时间)脱扣特性。

2. 用作过载保护断路器的脱扣特性必须满足系统选择切断的要求。

3. 若具有合适的特性,可以选用等于及小于 320A 的熔断器作过载保护。通常情况下,不使用大于 200A 的熔断器作过载保护。对高压交流系统,不允许使用熔断器作过载保护。

现举几艘实船短路电流及保护装置的选择实例,列入表 2.5.4.1 中,作为根据短路电流选择保护装置时参考。

2.5.5 船舶电力系统中发电机的保护

2.5.5.1 概述

船舶发电机是船舶电源的主要设备,船舶电力系统的可靠性首先取决于船舶发电机的连续供电,因此,发电机的保护是电力系统保护的重要组成部分。

发电机保护的目的是:

1. 防止发电机过载损伤,以保证绝缘不受破坏。
2. 切除发电机和发电机故障。
3. 发电机断路器与馈电用保护装置协调动作,提高供电的连续性。
4. 发电机并联运行时,防止原动机损伤。

作为船舶电力系统的发电机保护内容如下:

1. 发电机过载保护。
2. 发电机短路保护。
3. 发电机内部短路保护。
4. 发电机逆功率保护。
5. 发电机欠电压保护。
6. 发电机自动卸载。

2.5.5.2 发电机保护的一般要求

1. 发电机应采用能同时分断所有绝缘极的断路器作过载保护和短路保护。
2. 过载保护装置的動作特性,应与发电机的热容量相适应。
3. 对大型发电机和高压发电机,应对断路器的发电机侧的故障提供保护。
4. 对容量小于 50kW,且不并联运行的发电机,可在每个绝缘极上用带熔断器的多极联动开关或熔断器作保护。

5. 两台同容量并联运行的发电机,可以只设置过载保护和短路短延时二段保护。当两台不同容量的发电机并联运行时,假如其容量比为 2:1 时,为了提高供电的连续性,小容量的发电机可以加装短路瞬时脱扣器。

6. 3 台及以上并联运行的发电机,应设置过载长延时脱扣器、短路短延时脱扣器和短路

瞬时脱扣器三段保护。

7. 发电机保护装置不能用作后备保护。

8. 对于并联运行的平复激发电机,应对每台发电机配置一个与断路器联锁的均压开关,它在有关断路器的触点闭合之前闭合,并在该断路器的触点断开之后断开,或配置一个能同时断开所有极的多极断路器。

9. 在三线直流平复激发电机供电的系统中,中线开关应与发电机另外两线的开关或熔断器相联锁,以使它们同时动作。

10. 并联运行的发电机还应设置逆功率保护和欠电压保护等。

2.5.5.3 发电机的过载保护

发电机的过载保护设计的基本要求如下:

1. 发电机过载保护装置的动作特性应与发电机的热容量相适应。为了得到较好的保护性能,通常都采用自动空气断路器的过载长延时脱扣器来实现。发电机的绝缘所允许的热特性为承受 50% 过电流 2min。

2. 对于小于 10% 的过载,可以仅设过载报警声响信号,通过延时继电器控制音响装置,延时继电器的最大整定值不大于发电机额定电流的 1.1 倍,延时时间不超过 15min。此时,自动空气断路器不脱扣,由人工去解除或由自动卸载环节消除过载。

3. 对于 10% ~ 50% 的过载,在不超过发电机额定电流的 1.5 倍时,断路器应延时脱扣,最长延时为 2min。如果运行工况需要,并且发电机的结构允许的话,则过载可以超过 50%,延时可以超过 2min。

在具体设计时,应根据有关规范规则的具体要求,并参照有关制造厂的标准进行。例如,CCS 建议整定在发电机额定电流的 125% ~ 135%,延时 15s ~ 30s 断路器分断。

按下述整定长延时脱扣器,有关船级社是认可的:

整定值为发电机额定电流的 110% 或 115%,动作电流为整定值的 115% ~ 120% 时,延时 20s ~ 30s 动作。

按照日本有关公司的标准,如果发电机过载保护与馈电用保护装置协调配合没有问题的话,长延时脱扣器整定电流为 115% 的发电机额定电流值,当通过 120% 的整定电流值(此时相当于发电机额定电流的 138%)时,延时 20s 动作。如果长延时脱扣器整定电流为 110% 发电机额定电流,当通过 115% 整定电流(相当于发电机额定电流的 126.5%)时,延时 20s 动作,各船级社也是可以认可的。

发电机保护用过电流脱扣器的整定值和延时动作时间,一般是可以调整的。选用时应注意其调整范围和档次。但必须注意,其最终考核仅为通过一定整定电流倍数(如 1.1, 1.15)电流时的延时时间(如 20s)。

2.5.5.4 发电机自动卸载

发电机自动卸载又称优先脱扣,是属发电机过载保护的一种形式。当发电机过载时,在其长延时脱扣器的延时时间内,优先切除次要负载,使发电机消除过载,从而保证重要负载的连续供电。

1. 自动卸载的设置

如果根据全船电力负载计算结果,在最大工况下仅使用一台发电机时,其负载率在 85%

左右,则不必设置自动卸载。这是因为不会出现正常使用中的过载,如果发电机过载,多数是由于高阻抗短路引起的,此时利用自动卸载是无济于事的。

对于两台或两台以上并联运行的发电机,若有一台发电机故障,很可能使运行的发电机过载,所以,必须设置自动卸载。

根据需要,可以采用延时脱扣和瞬时脱扣两种。延时脱扣可以避免因暂态过载造成不必要的卸载;瞬时动作一般不需要等待检测运行发电机过载,比如利用发电机用断路器故障脱扣信号,立即实现优先脱扣而自动卸载。

2. 优先脱扣特性

优先脱扣的实现,通常是通过设在断路器内的辅助触点或发电机保护回路的过电流继电器检测信号,使应优先脱扣的负载的馈电断路器分断而达到卸载。

如果采用过电流继电器,其动作特性应与发电机断路器长延时脱扣器的动作特性相接近,但动作点不能进入发电机断路器长延时脱扣器的动作区域之内,两者的动作时间延时应协调,故通常采用同一型号的过电流继电器,并由同一电流互感器引出。

船舶自动化程度越高,对优先脱扣的要求也越高。例如,某集装箱船设有废气涡轮增压发电机组和柴油发电机组,并按无人机舱要求,其优先脱扣信号来自下列故障:

- 1) 发电机过电流。
- 2) 并联运行时,任一台发电机用空气断路器故障脱扣。
- 3) 并联运行时,任一台发电机的原动机应急停车。
- 4) 涡轮增压机的涡轮增压蒸汽调节阀开度过大。
- 5) 主机应急停车。

对于无人机舱的船舶,当优先脱扣装置动作时,应发出报警,而且备用发电机组应同时自动启动、自动投入运行、再自动给已优先切断的负载供电。

某船故障优先脱扣的流程图如图 2.5.5.1 所示。

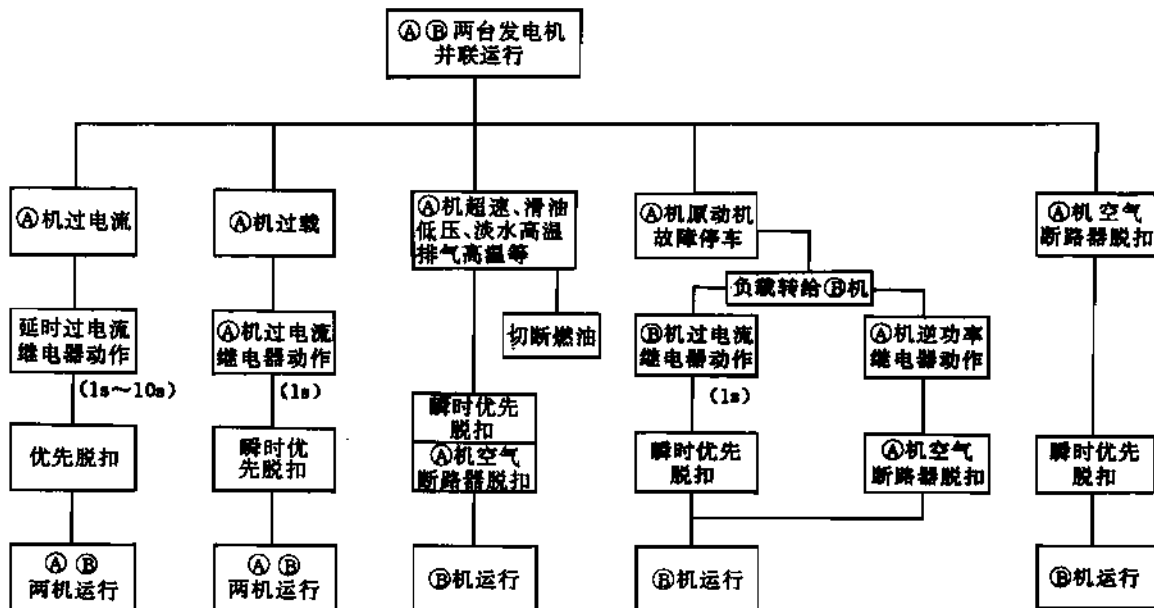


图 2.5.5.1 两台发电机并联运行时故障优先脱扣流程图

通常对发电机过电流时的优先脱扣采用延时动作,以减少不必要的切除负载,保证最大限度地给负载供电。而对于可能造成发电机停机或解列的故障而导致运行发电机的过载,采用瞬时优先脱扣,其脱扣总时间不大于 0.1s,这是根据发电机和原动机的过载能力决定的。

3. 优先脱扣过电流继电器的整定

优先脱扣过电流继电器的整定值包括动作电流值和延时时间两个方面。

1) 动作电流的整定

动作电流的整定通常是以发电机过载保护的长延时整定电流为基础,日本某公司设计标准为长延时整定值的 82%~96% 可调。例如,某集装箱船发电机的额定电流为 770A,其优先脱扣过电流继电器整定为 0.90 倍的长延时脱扣器整定电流,则:

$$\text{长延时整定电流} = 770 \times 1.1 = 847\text{A}$$

$$\text{优先脱扣整定电流} = 847 \times 0.9 = 762\text{A}$$

故优先脱扣整定电流为发电机额定电流的 99%。

2) 延时时间的整定

不仅要求该过电流继电器的动作电流整定值与发电机过载保护的长延时整定电流相互协调,而且延时时间的整定也应很好协调。在实际设计中,长延时脱扣器的延时通常整定为 15s~30s,所以,优先脱扣的过电流继电器的延时,通常整定值应小于 15s。有关公司标准为 5s~10s 和 5s~12s。

根据船舶电站发电机的容量和台数,考虑非重要负载的性能和大小,也可以采用分级脱扣卸载,以求最大限度地给负载供电。各级脱扣是利用延时的时间差来实现的。例如,长延时脱扣器的延时为 20s 时,若分 3 级脱扣时,建议延时时间整定为:

- 第 1 级脱扣延时 5s;
- 第 2 级脱扣延时 10s;
- 第 3 级脱扣延时 15s。

4. 优先卸载范围

优先切断的非重要负载,在规范中没有明确规定,通常是根据负载的性质、再根据功率的大小进行调整。如某集装箱船的优先脱扣切断负载分为 2 级,第 1 级切断的负载为:机修工具;厨房设备;造水机;绞缆机;一台起货机;空调;货舱风机;住舱风机;日用淡水泵;舱底水分离泵;舱底压载扫舱泵。

第 2 级切断的负载为冷藏集装箱电源。

优先切断多少负载,取决于并联运行发电机的台数和负载率。比如两台同容量发电机并联运行,当一台发电机故障解列时,其优先切断的负载,希望控制在表 2.5.5.1 范围内。

表 2.5.5.1 在不同负载率下应优先切断的负载

两台并联运行时负载率/%	一台脱扣后另一台负载率/%	优先切断后负载率/%	必须优先切断的负载/%
50	100	80	20
60	120	80	40
70	140	80	60
80	160	80	80
90	180	90	90

2.5.5.5 发电机的短路保护

发电机的短路保护,通常是利用断路器的短延时脱扣器和瞬时脱扣器来实现的。

根据发电机短路强度和实现选择性保护的要求,发电机用断路器的短延时脱扣器的整定,必须满足下述条件:

1. 整定电流应小于发电机的稳态短路电流;延时时间不应大于发电机短路强度允许的时间。
2. 整定电流应大于下位保护装置的瞬时脱扣器的整定电流,并尽量保证能大于下位保护装置的短延时脱扣器(若设有时)的整定电流。
3. 延时时间应大于下位保护装置的短延时脱扣器或瞬时脱扣器的整定时间,以求得动作时间的协调。

根据上述基本条件,通常,短延时脱扣器的整定原则是:

1. 短延时脱扣器动作电流的整定值为接近于发电机最小稳态短路电流的 80%,考虑其动作误差,不应大于最小稳态短路电流的 80%。

由于发电机的短路强度通常规定为能承受 3 倍的发电机额定电流 2s,而且要求发电机设计的稳态短路电流必须大于 3 倍的发电机额定电流。所以,短延时脱扣器的整定电流的始动值为发电机额定电流的 200%~250%;延时时间,直流最长为 0.2s,交流最长为 0.6s。

2. 短延时脱扣器的延时时间的整定,还必须大于与其相协调的下位保护装置的延时动作时间。该延时动作时间,应为“延时时间+切断时间”之和。

如果下位保护装置也有短延时脱扣器时,其时限带的使用也应考虑时间的协调。通常发电机用断路器短延时脱扣器使用上限带和中限带,下位断路器短延时脱扣器使用下限带。

发电机保护用短延时脱扣器的整定电流和延时时间一般是可调的,使用中应注意其可调整范围和动作误差。

利用瞬时脱扣器实现对发电机短路保护,主要用于 3 台及 3 台以上发电机并联运行的场合。其目的是:确保在发电机出线端短路时,迅速切除故障发电机,而维持非故障发电机正常供电,增强供电的连续性。所以,发电机保护用断路器的瞬时脱扣器的整定,必须满足下列条件:

1. 在主汇流排或远离主汇流排的负载端发生短路时,应不动作;
2. 在发电机出线端发生短路时,故障发电机保护用断路器的瞬时脱扣器必须动作,而非故障发电机保护用断路器不应动作;
3. 瞬时脱扣器的整定值,必须小于断路器允许的短时电流值。

根据上述基本条件,通常瞬时脱扣器的整定原则是:

1. 为了满足上述第 1 点的要求,必须确保瞬时脱扣器通过发电机提供的短路电流时不动作。因此,对于电磁式或一般电子式瞬时脱扣器应保证:

$$\text{瞬时脱扣器整定值} > \frac{\text{发电机最大非对称短路电流}}{\sqrt{2}}$$

对于新型具有选相合闸动作的电子式瞬时脱扣器,应保证:

$$\text{瞬时脱扣器整定值} > \text{发电机最大对称短路电流有效值}$$

2. 为了满足上述第 2 点的要求,必须确保瞬时脱扣器通过其他发电机和等效电动机提供的短路电流时必须动作。因此,瞬时脱扣器整定值应小于其他发电机和等效电动机提供的短

路电流之和。

3. 为了满足上述第3点的要求,瞬时脱扣器的整定值应低于断路器允许的短时电流的80%。

根据上述原则,再考虑到断路器的动作误差以及尽量减少非保护区域,通常,瞬时脱扣器的整定值取大于发电机提供的短路电流的120%,并接近于120%。但是,由于该值与系统选择性保护关系密切,有时为了选择性保护需要,还要将该值适当提高。设计时,需要综合加以考虑。

2.5.5.6 发电机的逆功率保护和逆电流保护

1. 逆功率的产生及其保护措施

当发电机并联运行时,如果某台发电机因故障输出功率突然下降,或发电机原动机故障使发电机没有功率输出,则发电机变为电动机,输出功率转为消耗功率,这种状态称之为逆功率状态。电动起货机在重钩下降时,起货机电机作为发电机工作,如果该功率较大,又没有足够的负载吸收该功率,则会反馈给主发电机,使发电机变为电动机,这是又一种逆功率状态。

很显然,逆功率的出现,不仅对原动机损伤较大,同时影响电力系统的稳定性。

对于第一种逆功率保护,通常是利用逆功率继电器或逆功率检测装置来检测逆功率,达到设定值时,使故障机断路器脱扣,切除故障机组。这是系统设计应考虑的保护内容。

对第二种逆功率保护,通常是接入适当的逆功率吸收装置,吸收逆功率的大小,取决于起货机的装卸周期、重钩下降时间、起货设备的总台数以及重钩下降的台数等等,还与逆功率的重复概率有关。不属系统保护应考虑的范围。

2. 船舶电力系统中发电机的逆功率保护和逆电流保护

并联运行的交流发电机应设有延时的逆功率保护,该延时时间通常为3s~10s。其保护装置的整定值与原动机类型有关。对汽轮机而言,保护装置的整定值推荐为发电机额定功率的2%~6%;对柴油机而言,推荐为发电机额定功率的8%~15%。当供电电压跌落至额定电压的50%时,逆功率保护不应失效,但其动作值可以有所改变。

彼此并联运行或与蓄电池组并联运行的直流发电机应设有瞬时或经暂短延时动作的逆电流保护装置,逆电流按原动机类型推荐的整定值为:

原动机为汽轮机-发电机额定电流的2%~6%;

原动机为柴油机-发电机额定电流的8%~15%。

当供电电压跌落至额定电压的50%时,逆电流保护不应失效,但其动作值可以有所改变。

如果有均压线时,逆电流保护装置应接在不接串复激绕组的一极上。

从保护原动机和供电质量角度出发,逆功率(或逆电流)整定值偏低较为有利;而从保证连续供电,避免因短时逆功率(逆电流)而切除发电机角度出发,整定值偏高为佳。所以,应权衡两者优劣,选取适当的数值。并应注意不同船级社的不同要求。

2.5.5.7 发电机的欠电压保护

1. 发电机欠电压保护的目

并联运行的发电机应设置欠电压保护,其目的是:

当发电机断路器断开时,防止发电机不发电或电压过低时其断路器闭合。

当发电机在供电状态时,防止发电机失电或电压过低仍然继续接在主汇流排上。

2. 发电机欠电压保护的整定

用于防止发电机电压不足时断路器闭合的欠电压保护装置应瞬时动作;防止发电机电压过低仍然继续接在主汇流排上的欠电压保护装置应延时动作。通常要求电压降低至额定电压的 70% ~ 35% 时,欠电压保护装置应具有满足系统保护所要求的延时。

通常,欠电压脱扣器的释放电压整定为 40% 或 35% 额定电压;吸合电压为 85% 额定电压。

在近于主汇流排处短路时,将出现很大的瞬时电压降,欠电压保护装置对切除短路故障前这一瞬时电压降应不动作,通常是以延时动作来保证的。所以,欠电压保护装置的延时动作特性,必须与负载侧保护装置在短路时的全切断时间以及发电机断路器的短延时脱扣器的动作时间协调。换句话说,欠电压保护装置的延时时间,必须大于馈电用保护装置在短路时的全切断时间及发电机断路器的短延时脱扣器的延时时间。由于在电力系统保护设计时,通常考虑了发电机断路器短延时脱扣器动作特性与下位馈电用保护装置动作特性的协调,所以,只要欠电压保护装置的延时时间大于发电机断路器短延时脱扣器的延时时间即可满足要求。

2.5.5.8 发电机的内部短路保护

发电机内部发生短路时,虽然利用主配电板内发电机保护装置可以将故障发电机从系统中切除,但其原动机仍然继续运转,故使故障发电机处于短路运行状态,可能导致故障发电机或外部电缆进一步损伤。所以,有必要对发电机内部短路进行保护,特别是对大容量发电机更显得十分重要。

对发电机内部短路进行保护,目前实用的方法是采用比率差动继电器。其动作原理如图 2.5.5.2 所示。在发电机内部(电枢绕组星形侧)设一个电流互感器 CT_G ,在其外部(主配电板内)设一个电流互感器 CT_L 。在正常状态下, I_G 和 I_L 相等,所以 $I_{G2} - I_{L2} = 0$,所以,比率差动继电器不动作。

假如发电机内部发生短路(例如 F 点短路),则 I_G 与 I_L 不相等,则 I_{G2} 与 I_{L2} 也不相等。则其差值与发电机短路电流 I_{G2} 的比率为:

$$\frac{I_{G2} - I_{L2}}{I_{G2}} \quad (2.5.5.1)$$

若式(2.5.5.1)值超过预先设定值,则比率差动继电器动作,送出一个信号,使发电机断路器脱扣;送出另一信号,切除发电机励磁或使原动机停机。从而达到保护发电机内部短路的目的。

2.5.5.9 失电恢复后重要负载顺序起动

为了提高对重要设备供电的连续性,另一重要措施是采用欠电压释放保护。所谓欠电压释放,就是当系统电压低至开关的允许工作范围时脱扣,而当电压恢复后,又能自动接通,维持供电。

电网失电后,采用分励脱扣的断路器(不带失压脱扣)并没有脱扣,而当失电恢复后,采用欠电压释放回路又自动再起动,这必然会出现同时接入负载很大,将导致出现过大的瞬态电压降,甚至会造成发电机过载保护装置动作。所以,通常设计成失电恢复后重要负载顺序起动。

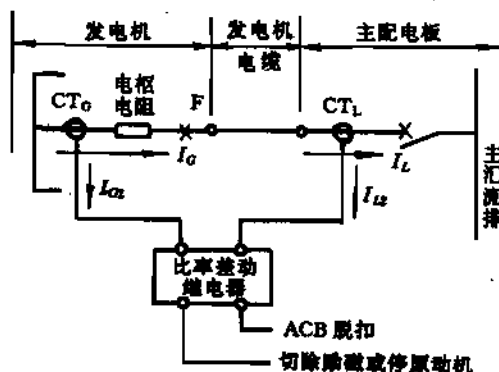


图 2.5.5.2 采用比率差动继电器
保护发电机内部短路原理图

自动顺序启动的设计,必须考虑下述各点:

1. 根据电站容量,控制自动顺序启动负载的容量,防止发电机过载。
2. 防止启动时瞬态电压降过大,通常控制在额定电压的 15% 以内。为此,要把顺序启动负载进行分组,控制每组的容量。
3. 按负载性质进行分级,对船舶推进和人身安全有关的设备,延时时间最短。例如照明、通信导航、舵机和滑油泵等一般列入第一级启动,不希望延时。
4. 保证在下一级启动延时时间内,基本完成启动,至少应避开启动的峰值电流,故每级启动时间不得小于 2s,通常考虑 5s~7s。
5. 计算电动机的启动电流时,不仅考虑第 n 级的启动电流,同时还应考虑第 $(n-1)$ 级的基本电流,并用矢量进行计算,即:

$$I_{STn} = \sqrt{(I_{be(n-1)} + I_{sen})^2 + (I_{br(n-1)} + I_{sn})^2} \quad (2.5.5.2)$$

式中 I_{STn} ——第 n 级启动电流(计算用);
 $I_{be(n-1)}$ ——第 $(n-1)$ 级基本电流有功分量;
 I_{sen} ——第 n 级启动电流有功分量;
 $I_{br(n-1)}$ ——第 $(n-1)$ 级基本电流无功分量;
 I_{sn} ——第 n 级启动电流无功分量。

6. 电动机负载的功率因数考虑为 0.35;变压器为 0.4;照明负载为 0.8;基本电流为 0.8。

7. 启动电流系数应与发电机过载保护的整定值很好配合。例如,若发电机空气断路器的过载保护装置整定电流为发电机额定电流的 110%,在其整定值的 115% 时延时 20s 动作,则电流系统 K_1 为:

$$K_1 = \frac{\text{第 } n \text{ 级启动电流}}{\text{空气断路器整定电流}} \times 100\% = \frac{I_{STn}}{1.1 \times I_n} \times 100\% \quad (2.5.5.3)$$

希望该电流系数 K_1 不大于 115% 为佳,这样可以与保护装置长延时脱扣器实现按电流原则的配合,由于每级启动时间为 5s~7s,所以,按时间原则也能得到良好的配合。

由于长延时时间较长,通常整定为 20s,所以,电流系数稍大一些有时也可以实现良好的配合。最终验证方法,应根据保护特性曲线决定。

将某船计算实例,列入表 2.5.5.2,供参考。

发电机的有关参数如下:

瞬态电抗 $x_d' = 0.203$ (标么值);

次瞬态电抗 $x_d'' = 0.159$ (标么值);

额定电流 $I_n = 995\text{A}$ 。

空气断路器长延时脱扣器整定电流为:

$$I_n \times 1.10 = 995 \times 1.10 = 1094.5\text{A}。$$

空气断路器长延时脱扣器的延时为:

通过 115% 的整定电流时,延时 20s。

其顺序启动的电流和瞬态电压降如图 2.5.5.3 所示。

由表 2.5.5.2 知,其第 6 级电流系数为 118.7%,虽然大于推荐值 115%,但断路器通过整定电流的 115%(即 1258.7A)时延时 20s 动作,可以由延时时间来保证。

表 2.5.5.2 顺序起动计算

起 动 级 数	起 动 时 间/s		负 载 类 别	起 动 状 态			稳 定 状 态			总 电 流 (基本+起动)	瞬 态 压 降 /%	电 流 系 数 /%			
	每级时间	断路器 合闸后时间		额 定 输 出 功 率 /kW	电 流 /A			实 际 功 率 /kW	功 率 因 数				电 流 /A		
					视 在 分 量	有 功 分 量	无 功 分 量						视 在 分 量	有 功 分 量	无 功 分 量
1	%		一般照明	30.4	50			30.4					676	11.0	61.7
			舵 机	37	$360 \times 0.65^2 = 153$			25% 10.3							
			冷藏压缩机	7.5	76			7.5							
			淡 水 泵	5.5	61			4.2							
			集 控 室 单位空调器	3.7	41			3.7							
			增压空压机	18.5	170			16.9							
			净油机室风机	1.5	18			1.5							
			循 环 油 柜 预供滑油泵	1	13			1							
			货 油 阀 液 压 油 泵	2.2	32			2							
			饮 水 泵	2.2	32			2.1							
			杂 用 泵		30			6							
小 计	109.5	676	237	634	85.6	0.8	140	112	84						
2	4/4		滑 油 泵	45	450			39.3					882	12.2	80.6
			十字头滑油泵	30	310			22.2							
			小 计	75	760	266	713	147.1	0.8	241	193	145			
3	4/8		气 缸 套 淡水冷却泵	22	240			21.7					908	11.3	83.0
			活塞淡水冷却泵	18.5	190			16.3							
			喷 油 嘴 阀 淡水冷却泵	2.2	29			1.7							
			滑油增压泵	3.7	40			3.2							
			辅 给 水 泵	11	135			10.6							
			锅炉水循环泵	5.5	61			4.3							
			小 计	62.9	695	244	651	204.9	0.8	336	268	201			

(续)

启动级数	启动时间/s		负载类别	起 动 状 态			稳 定 状 态						总电流(基本+启动)	瞬态电压降/%	电 流 系 数 /%
	每级时间	断路器 合闸后时间		额定 输出 功率 /kW	电 流 /A			实际 功率 /kW	功 率 因 数	电 流 /A					
					视在 分量	有功 分量	无功 分量			视在 分量	有功 分量	无功 分量			
4	4/12	海水冷却泵	90	850 × 0.8 ² = 544			83.2						1023	11.7	93.5
		控制空气压缩机	18.5	180			17.8								
		小 计	108.5	724	254	679	305.9	0.8	501	401	301				
5	6/18	日用海水泵	37	360			37						1223	12.3	111.8
		机舱风机	11	130 × 2 = 260			20.6								
		主燃油输送泵	15	150			13.7								
		小 计	63	770	270	722	378.2	0.8	620	496	372				
6	5/23	辅 锅 炉	45	520			40.7						1299	11.8	118.7
		辅机海水冷却泵	11	106			9.4								
		冷凝水泵	11	106			7.3								
		小 计	67	732	257	686	435.6	0.8	714	571	429				

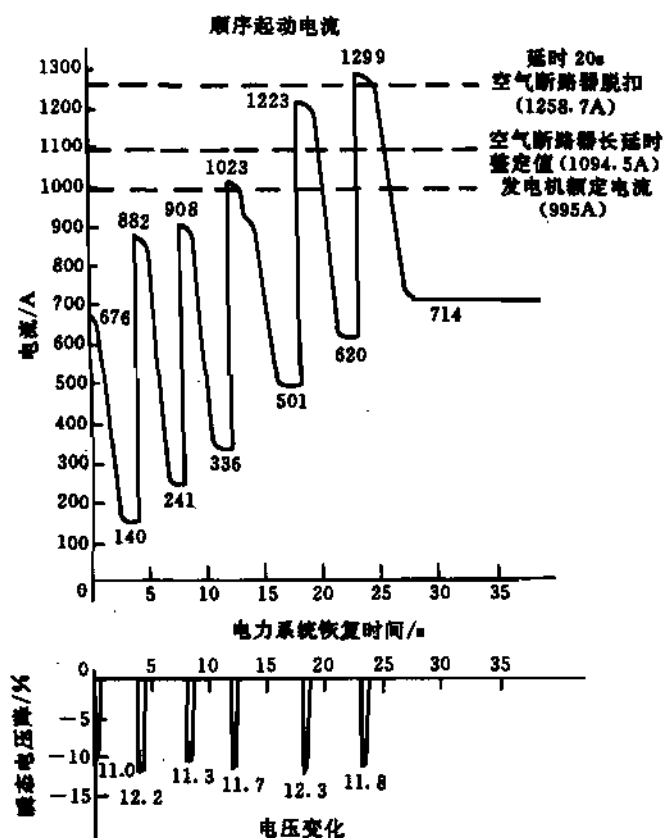


图 2.5.5.3 启动电流和瞬态电压降

2.5.6 船舶电力系统中电力和照明变压器的保护

2.5.6.1 一般原则

1. 变压器的初级电路,应采用具有足够短路定额的多极断路器或熔断器作短路保护。
2. 变压器应设有与其过载能力相适应的过载保护,该过载保护可设在变压器的初级电路,也可设在次级电路。如果变压器对其所供电的电路不可能出现过载时,则可不设过载保护。
3. 变压器在空载状态接通时,其初级侧短路保护装置应不动作。
4. 变压器初级侧和次级侧的保护装置之间应满足选择性保护要求,确保变压器次级侧馈电用保护装置负载端短路时,初级侧保护装置不动作。
5. 变压器并联运行时,次级电路应设有隔离措施,作为此用途的开关或熔断器,应能承受其安装位置的冲击短路电流。

2.5.6.2 变压器初级电路保护装置的选定

变压器初级电路保护装置可以采用断路器和熔断器,但通常采用断路器。当采用断路器作初级电路的保护装置时,可以采用下述3种装置式断路器:

1. 使用具有长延时和瞬时脱扣器的断路器——如果按过载保护要求选择断路器,则瞬时脱扣器的动作电流一般为其10倍左右。当变压器容量较大时,变压器次级侧负载端短路时,其短路电流折算到初级后,往往要大于瞬时脱扣器的动作电流,不能保证选择性保护。
2. 使用只有瞬时脱扣器的断路器——此时,瞬时脱扣器的动作电流是按上述选择性保护要求决定的。所以,往往会提高断路器的额定容量。同时,需要另外设置过载保护装置。
3. 使用具有三段保护的断路器——具有长延时脱扣器、短延时脱扣器和瞬时脱扣器的断路器,可以实现过载保护和短路保护的选择性,但断路器尺寸大,价格也比较昂贵。

综上所述,较为实用和经济性较好的方案,是采用只有瞬时脱扣器的断路器,另外设置过载保护装置,例如,使用过电流继电器。

2.5.6.3 变压器初级电路保护装置短路保护的整定

变压器初级电路保护装置的短路容量必须大于其安装点的预期最大短路电流,其短路保护的整定值要求如下:

当采用只有瞬时脱扣器的断路器时(见图2.5.6.1):

1. 在变压器初级电路发生短路时,应瞬时切断,为此,应保证:

$$I_{INST} < \frac{I_{asymA}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{K_1} \quad (2.5.6.1)$$

式中 I_{INST} ——变压器初级电路断路器的瞬时脱扣器的整定值

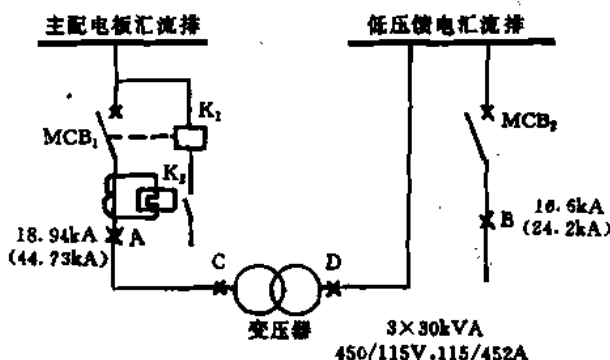


图2.5.6.1 变压器初级和次级回路保护装置的选择

(A);

 I_{asymA} ——A点短路时的短路电流非对称最大峰值(A); K_1 ——考虑断路器瞬时脱扣器动作误差的修正系数,一般取1.2~1.25。

2. 变压器在空载状态接通时,瞬时脱扣器应不动作,为此,应保证:

$$I_{INST} > K_1 \cdot K_2 \cdot I_T \quad (2.5.6.2)$$

式中 I_T ——变压器初级额定电流(A); K_2 ——变压器空载接通时,冲击励磁电流的第1周波峰值相对于变压器额定电流的倍数,具体数据,可见表2.5.6.1^[7]。

3. 变压器次级侧馈电负载端短路时,瞬时脱扣器应不动作,为此,应保证:

$$I_{INST} > K_1 \frac{1}{K_T} \cdot \frac{I_{asymB}}{\sqrt{2}} \quad (2.5.6.3)$$

式中 I_{asymB} ——B点短路时的短路电流非对称最大峰值(A); K_T ——变压器变比(=初级电压/次级电压)。

表 2.5.6.1 变压器冲击励磁电流

变压器容量/kVA	单相变压器		三相变压器	
	第1周波峰值(倍数)	衰减时间常数(周期)	第1周波峰值(倍数)	衰减时间常数(周期)
10	34	3~6	32	3~6
20	33	3~6	30	3~6
30	32	4~7	26	3~6
50	30	4~7	24	4~7
75	25	6~10	20	4~7
100	24	6~10	18	6~10
150	21	6~10	16	6~10
200	19	7~12	14	6~10

注: 1 上述值没有考虑电路阻抗的限流作用,所以表中各值比实际的冲击励磁电流大。
2 倍数表示冲击励磁电流峰值相对于变压器额定电流峰值的倍数。

当采用具有三段保护的断路器时:

1. 如果采用带有瞬时脱扣器时,瞬时脱扣器的整定电流 I_{INST} 应满足上述式(2.5.6.1)、式(2.5.6.2)和式(2.5.6.3)的要求。2. 短延时脱扣器的动作电流 I_{STD} , 应保证:

$$K_1 \frac{1}{K_T} \cdot \frac{I_{asymB}}{\sqrt{2}} < I_{STD} < \frac{1}{K_1} \cdot \frac{I_{asymA}}{\sqrt{2}} \quad (2.5.6.4)$$

3. 当 $I_{STD} < K_1 \frac{1}{K_T} \cdot \frac{I_{asymB}}{\sqrt{2}}$ 时,应保证短延时脱扣器的延时动作时间大于变压器次级馈电保护装置的瞬时脱扣器全切断时间。

4. 应保证短延时脱扣器的动作特性与主发电机保护用短延时脱扣器动作特性的协调,为此,该断路器的短延时脱扣器动作电流,在满足与变压器次级侧馈电保护装置选择性要求的前提下,应比发电机保护用短延时脱扣器的动作电流越小越好,其动作延时时间必须小于发电机保护用短延时脱扣器的延时时间。

当采用熔断器作短路保护时,应根据熔断器的熔断特性进行校核。

2.5.6.4 变压器过载保护装置的整定

1. 由于变压器的过载能力大,所以过载保护的整定要求并不十分严格,通常,过载保护装置的整定电流应不大于变压器额定电流的 1.25 倍,对熔断器、断路器的长延时脱扣器以及过电流继电器的动作特性是可以满足保护要求的。

2. 当变压器初级电路设置仅带有瞬时脱扣器的断路器作短路保护时,通常,还要另行设置过载保护装置。较为实用而简便的方法是采用热继电器作过载保护,其原理线路图如图 2.5.6.2 所示。

1) 热继电器的选定

热继电器的整定电流按下式计算:

$$I_{Thset} = K \cdot \frac{I_{CT2}}{I_{CT1}} \cdot I_T \quad (2.5.6.5)$$

式中 I_{Thset} ——热继电器的整定电流(A);

I_{CT1} ——电流互感器的一次侧电流(A);

I_{CT2} ——电流互感器的二次侧电流(A);

K ——过载保护整定电流值为变压器初级额定电流值的倍数;

I_T ——变压器初级额定电流(A)。

2) 电流互感器的选定

按图 2.5.6.2 所示电路,一般应选用额定一次电流接近于并大于变压器初级额定电流的电流互感器。电流互感器还应在通以 12 倍左右变压器初级额定电流时达到饱和。

通常在电流互感器二次电路中串入一个电阻 R ,通过调整 R 值的大小来调整互感器的饱和情况,以取得需要的数值。

3. 实例举例

已知某船变压器保护电路图如图 2.5.6.1 所示,变压器参数为 $3 \times 30\text{kVA}$ 、 $450\text{V}/115\text{V}$ 、 $115\text{A}/452\text{A}$;短路电流计算结果,A 点短路电流非对称最大峰值为 44.73kA ,对称有效值为 18.94kA ;B 点短路电流非对称最大峰值为 24.2kA ,其对称有效值为 16.6kA 。如果采用仅带瞬时脱扣器的断路器 MCB_1 作短路保护,用热继电器 K_2 作过载保护。

根据式(2.5.6.1),得:

$$I_{INST} < \frac{I_{asymA}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{K_1} = \frac{47.73}{\sqrt{2} \times 1.2} = 28.13\text{kA}$$

根据式(2.5.6.2),则:

$$I_{INST} > K_1 \cdot K_2 \cdot I_T$$

由表 2.5.6.1 可知, $K_2 = 32$, 所以

$$I_{INST} > 1.2 \times 32 \times 115 = 4.42\text{kA}$$

根据式(2.5.6.3)得:

$$I_{INST} > K_1 \cdot \frac{1}{K_T} \cdot \frac{I_{asymB}}{\sqrt{2}} = \frac{1.2 \times 24.2}{(450/115) \cdot \sqrt{2}} = 5.25\text{kA}$$

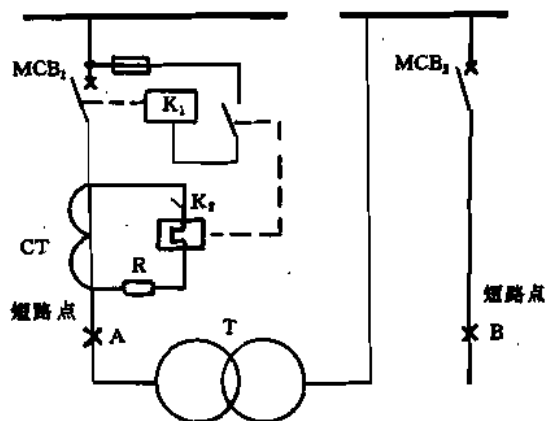


图 2.5.6.2 变压器过载保护电路图

T——变压器; MCB_1 ——变压器初级侧空气断路器;
 MCB_2 ——变压器次级侧馈电开关; K_1 ——空气断路器
 分励脱扣器; K_2 ——热继电器;
 CT——电流互感器; R ——电阻。

故可以选用 TO-400BA 型,其瞬时脱扣器整定其最高值 5400A。该断路器的切断/接通容量为 30kA/72.5kA,满足安装点短路容量的要求。

也可以选用 XS600CS 型,电磁脱扣电流整定为 6000A。该断路器的切断/接通容量 NK 认可值为 30kA/70.7kA,满足安装点短路容量的要求。

如果选用 150A/5A 的电流互感器,则过载保护用热继电器的整定值,由式(2.5.6.5)可知:

$$I_{Thset} = K \cdot \frac{I_{CT2}}{I_{CT1}} \cdot I_T = 1.1 \times \frac{5}{150} \times 115 = 4.22A$$

2.5.6.5 变压器回路保护协调

照明和电力变压器的保护设计中,应注意下述选择性保护设计:

1) 变压器初级回路保护装置与变压器冲击励磁电流的协调。

当用断路器作变压器初级回路保护装置时,其瞬时脱扣器的整定值,必须保证不因通过变压器的冲击励磁电流而产生误动作。为此,断路器的瞬时脱扣器整定值必须大于变压器的冲击励磁电流(换算为有效值)。

2) 变压器初级回路保护装置与次级回路保护装置的协调。

当变压器次级馈电回路发生短路故障时,次级馈电回路保护装置必须动作,而初级回路保护装置不应动作;而初级回路发生短路时,初级回路保护装置必须动作。

3) 发电机用空气断路器与变压器初级回路保护装置的协调。

如果变压器初级回路保护装置是采用过电流继电器实现对变压器的过载保护,必须注意过电流继电器动作特性与发电机用空气断路器动作特性应很好地配合。

如图 2.5.6.3 所示,最理想的配合方式,是变压器初级回路用过载保护继电器的动作特性曲线不与发电机用空气断路器的动作特性曲线相交,并且在发电机用空气断路器动作特性曲线的下侧或左侧。另外,继电器的动作特性曲线必须与变压器初级回路断路器的瞬时脱扣器动作特性相交。显而易见,为了缩小非选择保护区域,变压器初级回路断路器的瞬时脱扣器整定值应选得最小。

图 2.5.6.4 是某船发电机用空气断路器动作特性与变压器初级回路保护装置动作特性协调的实例。

发电机为 AC 450V,3 相 60Hz,额定电流为 770A。选用 AH-10B 型空气断路器。

整定值如下:

长延时脱扣器:

整定电流: $770 \times 1.1 = 847A$;

动作时限:在 115% 整定电流时,延时 20s。

短延时脱扣器:

整定电流: $770 \times 2.5 = 1925A$;

动作时限:在 250% 整定电流时,延时 420ms。

瞬时脱扣器:整定 15kA,瞬动。

优先脱扣:

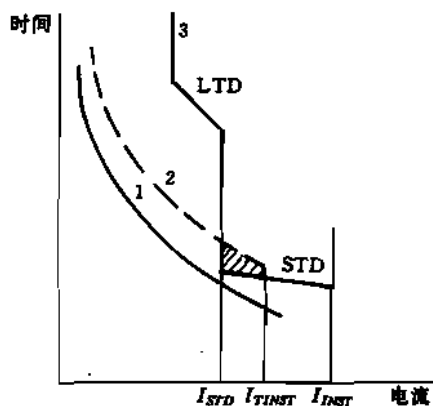
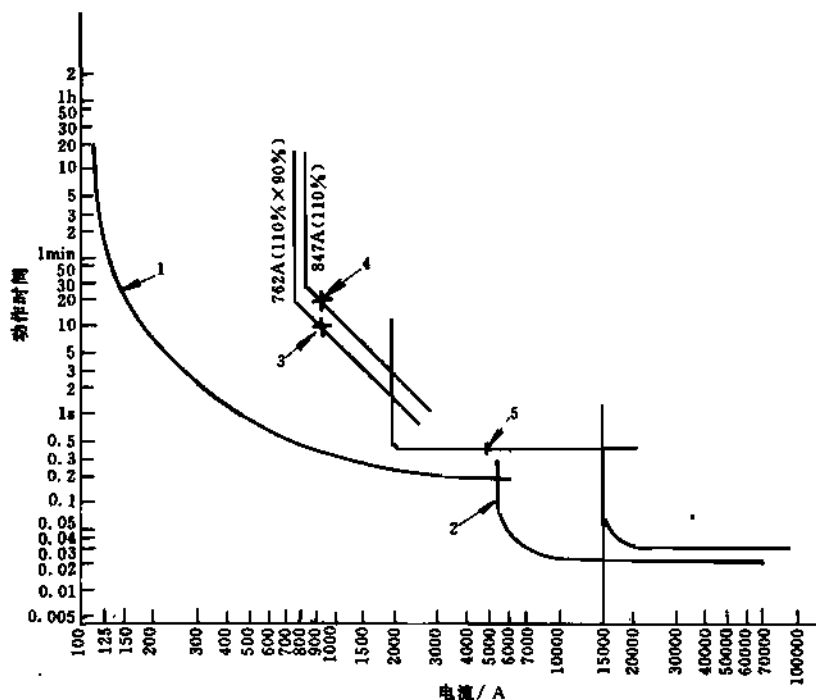


图 2.5.6.3 发电机用空气断路器的动作特性与变压器初级回路保护装置动作特性的协调

1—配合较好的变压器初级侧过电流继电器动作特性;2—配合较差的变压器初级侧过电流继电器动作特性;3—发电机空气断路器动作特性; I_{STD} —发电机用空气断路器短延时脱扣器始动电流; I_{INST} —变压器初级侧断路器瞬时脱扣器始动电流; I_{INST} —发电机用空气断路器瞬时脱扣器始动电流。



● 图 2.5.6.4 发电机用空气断路器与变压器初级回路保护装置保护协调实例
 1—变压器初级侧热继电器动作特性;2—变压器初级侧断路器瞬时脱扣器始动电流 5400A;
 3—优先脱扣始动电流 $I_n \times 110\% \times 90\%$, 延时 10s;4—长延时, $I_n \times 110\% \times 115\%$,
 延时 20s;5—短延时, $I_n \times 250\%$, 延时 420ms。

整定电流: $847 \times 0.90 = 762\text{A}$;

动作时限: 在 115% 长延时整定电流时, 延时 10s。

变压器为 $3 \times 30\text{kVA}$, 440/110V, 115/452A。

变压器初级回路断路器选用 TO-400BA 型, 瞬时脱扣器整定值为 5400A。

2.5.7 船舶电力系统中电动机回路的保护

2.5.7.1 电动机保护的一般要求

船舶电力系统中, 对电动机回路的保护一般要求如下:

1. 额定功率大于 0.5kW 和所有重要设备电动机, 均应设置独立的过载、短路保护和欠电压保护。

2. 重要设备的电动机, 过载保护可以用报警装置代替; 对舵机电动机, 过载保护必须用报警装置代替。

3. 保护装置应设计成在正常使用条件下, 允许电动机在正常加速期间的电流通过。如果电动机的保护装置的电流—时间特性与电动机的起动周期不相适应, 则在电动机加速期间可使过载保护装置暂短不起作用, 但短路保护仍保持有效。

4. 对连续工作制的电动机, 其保护装置的延时特性应保证电动机在过载情况下有可靠的热保护; 保护装置的最大持续电流应整定在被保护电动机额定电流的 105% ~ 120%, 不应超过

被保护电动机的额定电流的 125%。

5. 对断续工作制的电动机,其保护装置的整定电流和延时特性,应根据实际使用条件决定。

6. 当熔断器用于保护多相电动机电路时,应考虑有防止单相运行的保护。

7. 一般电动机均应设置欠电压保护。以保证电压降低或失电时自动分断电路,防止电动机自动重新起动。

8. 对于重要设备电动机或者按自动化电站要求,电站失电后电压恢复时顺序起动的电动机,应设置欠电压释放,以保证电压恢复时电动机可以重新起动。重新起动的容量分组应避免起动时产生过大的电压跌落及电流冲击,可参考本篇 2.5.5.9 所述方法实现。

2.5.7.2 电动机回路的保护方式

电动机回路的保护装置,通常与起动、正反转和停止等控制设备组装在一起,一般为如图 2.5.7.1 所示的 3 种方式。

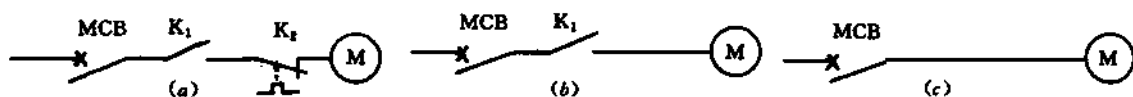


图 2.5.7.1 电动机回路保护方式

方式(a)的保护特点是:过载保护由热继电器 K_2 完成,大于 600% ~ 800% 的过载保护及短路保护,由断路器 MCB 来完成。电动机的起动、停止等控制,由继电器、接触器 K_1 完成,是最常用的保护方式。

方式(b)的保护特点是:过载保护和短路保护均由断路器 MCB 完成。电动机的起动、停止等控制,由继电器、接触器 K_1 完成。本方式省去了热继电器,适用于频繁起动的电动机保护,但对于起动电流较大的电动机回路,要充分注意电动机起动冲击电流与断路器瞬时脱扣器整定值的协调。

方式(c)的保护特点是:过载保护和短路保护由断路器 MCB 完成,电动机的起动和停止控制等也由断路器 MCB 完成。这种方式对于频繁起动的电动机以及远距离控制的电动机是不合适的。

当电动机保护装置的电流—时间特性与电动机的起动周期不相适应时,例如起动周期比较长的风机及净油机等,起动过程中可能出现过电流继电器动作。此时,可以采用短暂的闭锁环节,使过电流继电器在正常起动过程中不起作用,较为实用的方法,有如图 2.5.7.2 所示的 4 种。

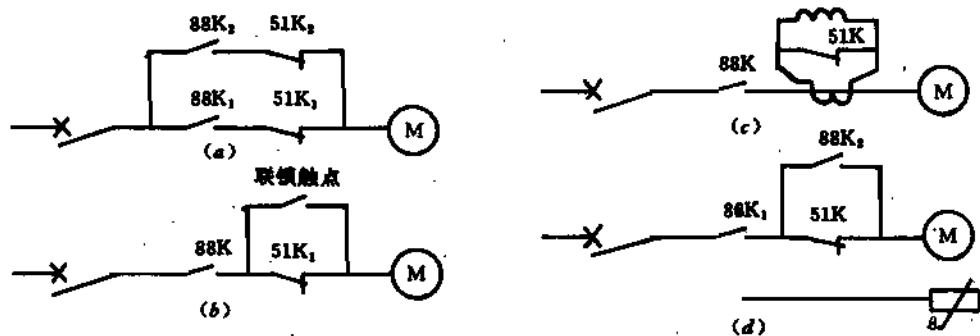


图 2.5.7.2 电动机起动保护方式

线路(a)中,采用两个过电流继电器 $51K_1$ 和 $51K_2$ 。 $51K_2$ 用作起动中保护, $51K_1$ 用作正常运行保护。这种方式需增加转换用接触器 $88K_2$ 。

线路(b)中的过电流继电器 $51K$,在起动过程中被联锁触头暂短短接。这种方式在起动过程中无保护。

线路(c)中采用带饱和电抗器的热继电器,当过电流很大时,电抗器进行分流,从而限制了热元件通过的电流。本方式需要适用的饱和电抗器。

线路(d)中使用温度开关或热敏电阻 θ 在起动过程中,若电动机绕组温度升到某设定值,则 θ 控制 $88K_2$ 触点,使过电流继电器 $51K$ 短接。本方式控制精度较高。

设计中,必须充分研究把握电动机的满载电流、起动电流、起动时间和起动频度,根据电动机的热特性,选择合适的线路。

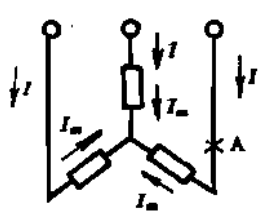
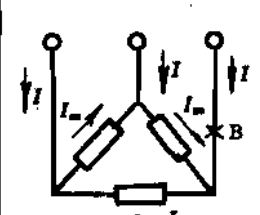
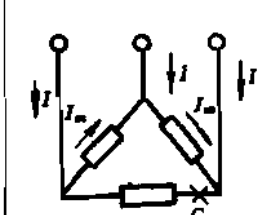
2.5.7.3 电动机的断相保护

电动机回路的断相保护可分为两种情况,即在电源断相时起动保护及运行中断相保护。

当电源断相时起动电动机的场合,电动机的起动转矩为零,电动机便通过很大的堵转电流,该堵转电流使过电流继电器动作,则电动机受到保护。

电动机在运行中发生断相又可分为两种情况。其一,电动机单相运行的转矩比负载转矩小。此时电动机便逐渐减速,最后停止,则电动机进入堵转状态,由于通过较大的堵转电流,则使过电流继电器动作,电动机受到保护。其二,电动机单相运行的转矩比负载转矩大。此时电动机继续运行,但其各相电流和线电流均与三相运行时不同。表2.5.7.1列出 Δ 形和Y形接法电动机,在不同点断相时的电流值比较。

表 2.5.7.1 电机在不同点断相时的电流比值

电 流	状 态	线 路								
										
线 电 流	正 常 时	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	欠 相 时	$1.73I$	$1.73I$	0	$1.73I$	$1.73I$	0	$0.87I$	$1.5I$	$0.87I$
相 电 流	正 常 时	I_m	I_m	I_m	I_m	I_m	I_m	I_m	I_m	I_m
	欠 相 时	$1.73I_m$	$1.73I_m$	0	$2I_m$	I_m	I_m	$1.5I_m$	$1.5I_m$	0

以 Δ 形接法的电动机为例,假如在B点断线。如果电动机在满载状态下运行,未断线的线电流为满载电流的1.73倍,过电流继电器可以起到保护作用。如果电动机负载电流为58%的额定电流,则未断线的线电流为 $58\% \times 1.73 \approx 100\%$,与额定电流相同,过电流继电器不会检测出电动机过电流,但此时已有一相电流为 $58\% \times 2 = 116\%$,超过了允许的相电流,长期运行