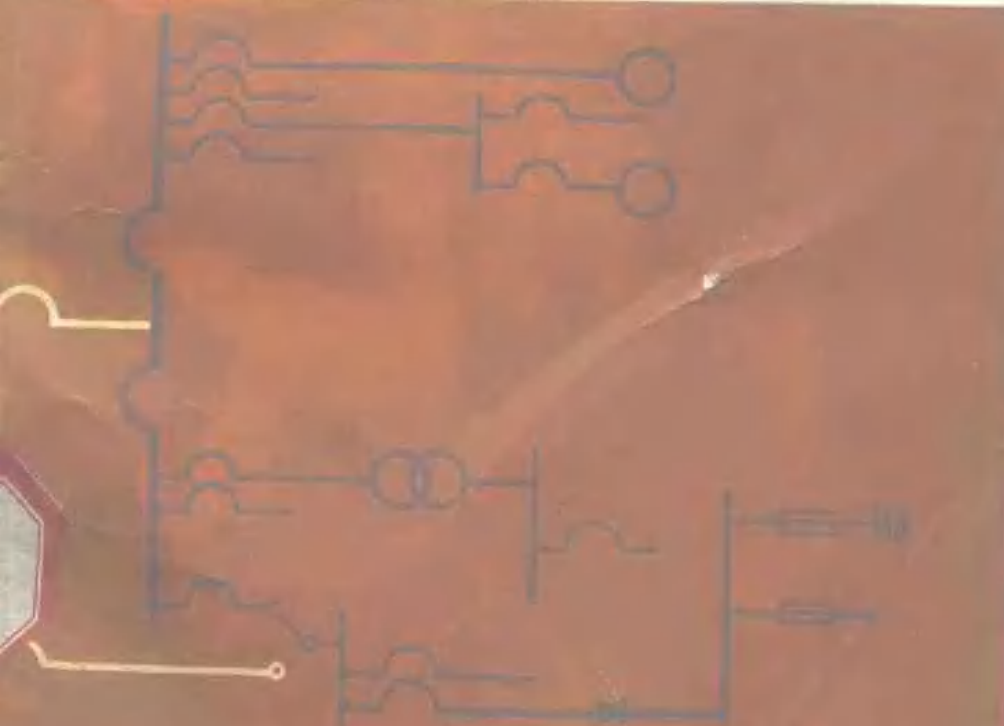




船舶交流电力系统保护

吴忠林 编



国防工业出版社

319705

船舶交流电力系统保护

吴忠林 编



国防工业出版社

01151/18

内 容 简 介

本书系统地介绍了船舶交流电力系统保护的要求和保护装置的特性，论述了船舶交流电力系统保护设计的原则和方法，并结合实船设计实例，具体说明有关参数的整定。

本书除了理论阐述之外，还特别注重于实际设计要求和方法的说明。不仅引用了部分国外保护装置的参数，还选取了有关公司的设计标准，并有实船设计的标准、经验数据和图表，可以用于船舶电力系统的保护设计。

本书可供从事船舶电力系统设计的人员参阅，也可供从事船舶电力系统保护研究的人员和船电专业师生参阅。



(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₃₂ 印张11¹/₄ 247千字

1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷 印数：0,001—1,080册

ISBN 7-118-00143-0/U15 定价：5.50元

前 言

船舶电力系统的设计，通常包括电力负载的估算、发电机容量和台数的决定、配电方式的确定、配电设备的选型以及保护的协调等。其中配电方式的确定、配电设备的选型以及保护的协调等都与电力系统的保护密切相关。

船舶电力系统设计的优劣，其保护性能和保护协调是重要标志之一。船舶电力系统保护设计好坏，不仅直接关系到船舶航行安全和人命安全，可以最大限度地保证供电的连续性，同时亦可以提高系统的经济性。

由于船舶电力系统保护非常重要，所以目前各船舶规范和规则对其都有具体而明确的规定和要求，各设计部门和公司都非常重视船舶电力系统保护的研究，制定出自己的设计标准，以满足不同规范和不同船主的要求。

鉴于目前国内正在开展对船舶电力系统保护的研究和试验，但尚无较系统的参考资料，所以笔者便动手编写本书。如它对读者有所帮助的话，将是令人欣慰之事。

本书以船舶电力系统保护设计为主要目的，参考了ZC、LR、NK、BU以及ABS等各主要船级社对船舶电力系统保护的要求，搜集整理国内外有关的技术资料（其中有一些资料是国外有关公司的设计标准和经验数据），并结合自己实际设计体会编写而成。

由于编写本书旨在供从事船舶电力系统设计人员参考，所以主要阐述船舶电力系统保护设计的有关问题，着眼于系

统保护的要求、设计原则和方法的说明，书中引用的一些设计标准、经验数据和图表等都是基于上述目的而选用笔者认为可以实际应用的资料，而对于稍加分析即可理解的部分，便没有多花篇幅加以说明。

诚然，船舶电力系统的保护问题涉及内容十分广泛，除了本书论及的内容之外，尚有原动机保护、绝缘监视和测量、漏电监视、保护装置的安装和调试以及系统保护协调试验方法等，由于篇幅所限，本书均未涉及；就其论及的内容而言，也只注重于交流系统，所以本书为船舶交流电力系统保护设计的参阅资料。

本书由徐世忻同志审阅。张慧元、朱定琛、周诗耀等同志，对本书的资料收集和编写、内容的取舍和论述等，均给予很大帮助。在此，谨向他们表示衷心感谢。

由于水平有限，缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概述	7
1.1 船舶电力系统保护的 特征	7
1.2 船舶电力系统保护目的和基本要求	3
1.3 船舶电力系统保护内容	6
第二章 船舶交流电力系统的保护方式和保护装置	9
2.1 概述	9
2.2 短路电流与保护装置短路定额	10
2.3 选择切断保护方式	18
2.4 后备切断保护方式	23
2.5 保护装置的 动作特性	29
2.6 装置式断路器和熔断器比较	53
第三章 船舶交流电力系统的选择切断保护	60
3.1 选择切断方式和条件	61
3.2 空气断路器与空气断路器的选择切断保护	63
3.3 空气断路器与装置式断路器的选择切断保护	67
3.4 装置式断路器与装置式断路器的选择切断保护	75
3.5 装置式断路器与熔断器的选择切断保护	88
3.6 熔断器与装置式断路器的选择切断保护	90
3.7 熔断器与熔断器的选择切断保护	92
3.8 选择切断保护方式的 选用	95
3.9 船舶交流电力系统的保护协调	98
第四章 船舶交流电力系统的后备切断保护	108
4.1 装置式断路器和装置式断路器的后备切断保护	109
4.2 熔断器和装置式断路器的后备切断保护	129

4.3 后备切断保护方式的选用	131
第五章 发电机回路的保护	133
5.1 发电机过载保护	134
5.2 优先脱扣	136
5.3 发电机短路保护	144
5.4 发电机内部短路保护	152
5.5 发电机逆功率保护	153
5.6 欠电压保护	157
5.7 发电机用空气断路器的选定	159
第六章 馈电回路的保护	169
6.1 瞬态电压降的计算和控制	169
6.2 汇流排连接回路和汇流排馈电回路的保护	187
6.3 电力和照明变压器的保护	190
6.4 照明和电热器回路的保护	200
6.5 岸电回路的保护	203
6.6 电动机回路的保护	204
6.7 舵机电动机回路的保护	237
6.8 蓄电池供电的应急电源系统保护	241
第七章 电缆的保护	251
7.1 电缆截面的选择	251
7.2 电缆的允许电流	256
7.3 电缆的短路容量	269
7.4 断路器与电缆保护的协调	277
7.5 起动器主回路电缆截面的选择	286
附录	292
附表1 日本寺崎公司空气断路器参数表	292
附表2 日本寺崎公司空气断路器(发电机保护用) 保护元件组合	296
附表3 日本寺崎公司装置式断路器切断容量表	297

附表 5	日本寺崎公司装置式断路器瞬时脱扣电流整定范围 (带热动-电磁式脱扣器)	312
附表 4	日本寺崎公司装置式断路器瞬时脱扣电流整定范围 (只带电磁脱扣器)	313
附表 6	日本寺崎公司断路器内阻值汇总表	317
附表 7	东芝公司装置式断路器切断容量表	321
附表 8	东芝新ESPAR系列断路器可调瞬时脱扣调整范围	325
附表 9	三菱公司空气断路器切断容量表	326
附表10	三菱公司装置式断路器切断容量表	331
附表11	日本宇都宫船用熔断器性能表	342
附表12	西门子熔断器切断容量表	343
附表13	国产乙丙橡胶绝缘船用电力电缆 (各种护层结构) 的允许电流 (一)	344
附表14	国产乙丙橡胶绝缘船用电力电缆 (各种护层结构) 的允许电流 (二)	345
附表15	国产耐热聚氯乙烯绝缘船用电力电缆 (各种护层结构) 的允许电流	346
附表16	国产一般聚氯乙烯绝缘船用电力电缆 (各种护层结构) 的允许电流	347
附表17	国产多芯船用电力电缆 (各种护层结构) 的允许电流	348
附表18	国产硅橡胶绝缘船用电力电缆 (各种护层结构) 的允许电流	348
附表19	国产乙丙橡胶绝缘、聚氯乙烯绝缘船用电力电缆交流电阻及电抗值	349
附表20	飞燕产乙丙橡胶绝缘电缆的导体电阻和阻抗 (双芯和三芯电缆)	350
附表21	飞燕产乙丙橡胶绝缘电缆的感应 (电抗) 电压降系数及电感	351
主要参考文献		351

第一章 概 述

1.1 船舶电力系统保护的特征

船舶电力系统，是指由一个或几个在统一监控之下运行的船舶电源及与之相连接的船舶电网组成的，以向负载供电的整体^[1]。换句话说，船舶电力系统是由发电装置、配电装置和负载按照一定方式连接的整体，是船上电能产生、传输、分配和消耗等全部装置、网络的总称。

由于船舶所处条件与陆上不同，其电力系统的组成特别是负载种类和性质与陆上也有差异，所以两者具有不同的特征，就其与电力系统保护有密切关系的方面而言，主要有下述几个方面：

1. 电能装置

陆上电力系统的电能装置，是由十几个乃至几十个不同类型的发电机联合并网供电，故电站容量很大，通常在进行有关计算时，可以考虑为无穷大的电源容量；作为某一工厂等用电单位的电能装置，通常是通过变压器供电。因此，在某种程度上使其计算得到简化。但是，船上主电源是以发电机为主，而通常采用几台同类型的发电机并联运行，不论是单机容量还是多机容量之和，都比陆上小得多。

由于船舶电站容量小，往往某些电动机的容量又可能与单机容量相比拟，故当大电动机起动时，将对船舶电网造成很大的冲击。因此，对船舶电力系统保护以及保护装置性

能提出了较高的要求。

2. 电网

由于船舶空间有限，电气设备的安装比较集中，发电机与用电设备之间的距离较近，发电机保护装置和配电保护装置又多采用主配电板集中安装和控制。不仅对配电保护装置的切断容量提出更高的要求，同时也给电力系统的选择性保护设计带来很大困难。比如，由通常的设计经验已知：当在主配电板汇流排附近短路时，其馈电用保护装置通过的短路电流大于发电机用保护装置通过的短路电流，因此馈电用保护装置的短路容量必须大于发电机保护装置的短路容量。

3. 短路功率因数

船舶电站的负载主要是感应电动机。虽然随船舶种类不同而异，但通常占总负载的60~80%，而且位于主配电板汇流排附近大容量电动机负载较多，所以短路功率因数较低。比如，在主配电板附近短路时，通常只有0.05~0.15。但陆上电力系统通常采用补偿装置，短路功率因数比船上高。

由于这一特点，对保护装置的性能提出更高的要求。比如，必须保证在低功率因数下具有足够的短路容量。

由于考虑到船舶电力系统感应电动机负载的特点，英国劳氏船级社推荐的短路电流简易计算方法中，把运行电动机的等效电动机假设为短路功率因数为0.2^[2]。

同样理由，在选择船舶电力系统保护装置时，短路功率因数是必须考虑的条件之一。

4. 控制和保护

由于船舶发电机容量较小，所以通常仅考虑发电机外部故障保护。其保护和控制内容，比陆上电力系统简单，开关与保护装置往往是一体的。这是与陆上电站另一个不同之处。

由于陆上高压系统短路故障往往具有暂时性，所以通常都要求有短路自动再合闸的控制。而船上电力系统的短路，通常是由电机、电器设备和电缆绝缘老化，或受机械损伤所致，故不仅没有短路自动再合闸的要求，而且某些规范规则还明确规定短路故障时仅允许合闸一次。

1.2 船舶电力系统保护目的和基本要求

船舶电力系统的设计，通常包括电力负载的估算、发电机功率和数量的确定、发电机的电压调整、发电机并联运行、配电系统的设计以及电缆的选择和电力系统的保护等^[4]。

对船舶电力系统供电的基本要求是：

1. 要保证安全可靠地供电；
2. 要保证电能质量；
3. 要能实现经济运行。

电力系统中保护装置就是为了实现上述目的而设置的。

众所周知，随着船舶大型化、高速化和自动化的发展，对船舶电能质量和供电连续性的要求也越来越高。船舶电力系统的任何故障均有可能带来不良的恶果，特别是短路故障，若不及时切除，将有可能导致并联运行的发电机失步，电站解列，使整个电力系统失电，甚至发生火灾，危及船舶安全航行和人命安全。

所以，电力系统保护设计的宗旨，是设法尽快切除故障回路，以保证故障涉及范围最小；同时又要最大限度地保证非故障回路的连续供电，增加电力系统的生命力。因此，对电力系统保护的基本要求是^{[4]、[6]}：

1. 快速切除短路故障。

为了把大的故障电流引起的系统和设备的损害以及火灾

危险限制在最小范围，当发生短路故障时，保护装置应能自动地快速动作，切除故障回路，排除受损的电路及火灾危险。由于船舶的大型化，电站容量亦随之增大，所以短路故障电流显著增加。

对空气断路器和装置式断路器而言，通常在10倍额定电流条件下，均可在0.5~3个周期内动作；而对熔断器而言，如果电流不达到额定电流的30~40倍，则动作时间变长，故用熔断器做短路保护时，选用熔断器的最大额定电流必须与短路电流相匹配。

2. 故障时的选择动作和供电的连续性。

为了最大限度地维持非故障回路的连续供电，希望电力系统保护具有选择性，所以各设备均应设置保护装置，保护装置间的动作要有选择性，仅故障回路的保护装置动作，保证供电的连续性，特别是保证船舶推进有关负载的供电连续性。

3. 设备和回路的最大保护。

由于船舶电力系统的电压等级通常是属于低压系统，故容易引起高阻抗短路故障，该故障在短时内易于发展为烧毁电路的开路故障或者低阻抗短路故障。所以保护装置应对较大范围的故障电流均能动作。为了实现故障时对设备和回路进行保护，其保护装置的脱扣特性必须与被保护设备和回路的热特性相协调。

4. 保护装置必须具有适当的短路定额。

如果保护装置切断容量不够时，在有关规范允许下，必须采用后备保护措施，在其电源侧设置具有足够切断容量的保护装置，以切除最大短路电流，把故障损伤限制在最小程度。当然，发电机保护装置不允许做后备保护。

5. 所有回路的保护装置必须具有适当的热容量。
6. 所有回路的保护装置必须具有适当的短时额定电流。
7. 故障报警。

当电气设备和回路出现不正常情况时，保护装置应能提供必要的报警信号，立即通知值班人员及时处理，以防扩大事故范围，或切除不正常回路。

8. 保护装置的操作应简单，易于维护和保养。

为了满足电力系统保护的基本要求，在进行电力系统保护设计时，必须充分注意下述工作内容。

1. 选定合理的保护方式。

应根据负载的重要程度、性质以及保护装置安装回路，合理地选定保护方式。例如，与船舶航行和人命安全有直接关系的负载，应采用选择性保护，对于非重要负载，在有关规范的允许下，可不采用选择保护。合理地选定保护方式，不仅可以实现把故障涉及范围限制在最小范围，而且可以达到提高经济性的目的。

2. 选用合适的保护装置。

当选用保护装置时，通常要考虑保护装置的短路定额（主要是额定切断电流、额定接通电流和短时电流特性）和时间协调以及动作特性。其灵敏度和可靠性等也是考虑的因素，因为保护装置的灵敏度和可靠性是电力系统保护品质的体现，也是提高电力系统可靠性的重要保证。

比如，船舶电力系统的电压和频率、保护装置安装点的短路电流和短路功率因数、按保护方式要求的动作特性等，都是必须满足的条件。

3. 合理地选择电缆。

电缆虽然不是保护回路的保护装置，但电缆的选择却是

电力系统保护设计的重要内容之一。这不仅是因为要根据负载的大小和性质选择合适的电缆截面，更重要的是选择合适电缆与保护装置特性相协调。所以，不仅要考虑电缆的允许电流，而且还必须考虑电缆的短路容量。

1.3 船舶电力系统保护内容

典型的船舶电力系统如图 1.3.1 所示。根据其系统的组成，保护内容主要包括：

1. 原动机保护。

除原动机自身所带的保护装置外，电力系统中采用发电机逆功率保护来保护原动机。

2. 发电机保护。

主要指包括短路在内的过电流保护、欠电压保护等。

3. 变压器保护。

主要是过载保护和短路保护。

4. 主汇流排连接回路的保护。

5. 馈电回路的保护。

6. 电动机保护。

除了过载和短路保护外，还有欠相运行保护。

7. 电缆的保护。

8. 电力系统保护协调。

9. 其他保护与监视测量。

如果按照保护的方式，又可以分为选择保护和后备保护。

由于船舶自动化程度的提高，特别是无人值班机舱船和超自动化船的出现，使船舶自动化的内容日趋扩大，与此同时，船舶电力系统实现自动控制，使供电连续性的措施得到

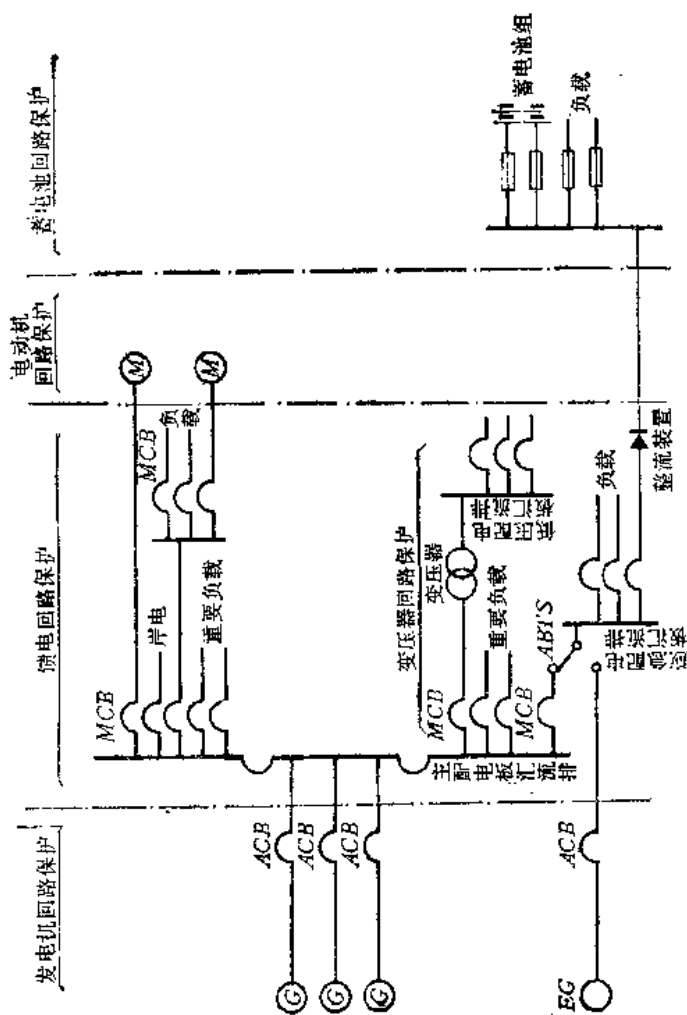


图1.3.1 典型船舶交流电力系统图

G—发电机；EG—应急发电机；M—电动机；ACB—空气断路器；

MCB—微型式断路器；ABTS—直流转换接触触头。

加强。比如，通常要求实现下述功能：

1. 当发电机有过载危险时，能自动切除非重要负载（即优先脱扣）。

2. 当发生电压过高、电压过低和频率过低等异常状态时，能快速自动起动备用发电机组，然后自动切换故障发电机组。

3. 当发电机并联运行时，因一台断路器脱扣或其他原因使一台发电机组发生故障，会招致余下发电机过载的场合，能瞬时切除非重要负载。

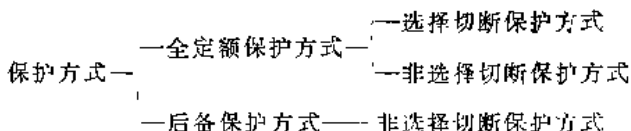
4. 当电网失电恢复电源后，重要用电负载应能自动顺序起动。

显而易见，上述要求都是为了提高系统供电的连续性而提出来的。由于自动化水平的提高，对电力系统及其保护装置也带来影响，比如，由于微计算机在船舶自动化方面的应用，则对电能质量提出新的更高的要求，从而对系统的保护设计以及对保护装置的灵敏度和可靠性方面也提出了新的课题。

第二章 船舶交流电力系统的 保护方式和保护装置

2.1 概 述

船舶交流电力系统的保护方式，通常分类如下^[6]：



全定额保护方式，是指系统内所有保护装置所具有的额定短路容量均大于其安装点的推算短路电流。根据所选定保护装置的特性，可以组成选择切断保护方式和非选择切断保护方式。

后备保护方式，是指系统内相串级连接的下位保护装置所具有的额定短路容量小于其安装点的推算短路电流，当在下位保护装置负载侧发生短路故障时，由后备的上位保护装置和下位保护装置一起实现保护，这种保护方式为非选择切断保护方式。

船舶电力系统的过电流保护的使命，主要是对船内电气设备（电气设备和电路）包括短路在内的所有过电流故障进行保护。不仅要能切除故障回路，消除回路的损伤和火灾的危险，而且要最大限度地保证其他非故障回路能连续供电。所以，进行电力系统保护设计时，选定适当的保护方式和保护装置是必要的。比如，从船舶航行和人命安全角度出发，