

浅谈海上电网短路电流计算及限制措施

高璇, 王艳红, 车久玮

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要: 海上油气田电网规模的不断增大带来系统短路电流水平的增加。针对海上油气田电力系统的特点, 分析了短路电流计算方法, 阐述了多种限制短路电流的措施及其优缺点, 并探讨这些限流措施在海上平台的适用性。通过采用合适的限流措施, 可有效限制短路电流, 对保证海上电力系统安全稳定运行具有重要的意义。

关键词: 短路电流; 短路计算; 故障限流器

Brief introduction of short circuit current calculation and restriction measures in offshore power grid

GAO Xuan, WANG Yanhong, CHE Jiuwei

(China National Offshore Oil Corporation Research Institute Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: The continuous expanding of power grid in offshore oil and gas field brings the increase of short-circuit current level. According to the characteristics of offshore oil and gas field power system, this paper analyzes the calculation method of short circuit current, expounds various measures to limit short circuit current and their advantages and disadvantages, and discusses the applicability of these measures in offshore platform. Appropriate current limiting measures can effectively limit short-circuit current, which is of great significance to ensure the safe and stable operation of offshore power system.

Key words: short-circuit current, short-circuit calculation; fault current limiter

0 引言

随着海上油气田的开发, 海上油田群电网也不断扩容, 海上平台电力系统的短路电流不断增大, 短路时将在电气设备上产生巨大的电动力, 并严重发热, 危及电网安全稳定运行^[1], 导致停电, 过高的短路电流甚至会威胁设备和人身安全。

解决电力系统短路容量超标问题的措施往往带来电气设备的尺寸、重量和费用的显著增加。在工程设计中, 寻求合理有效地限制短路电流的方法可以降低变压器、断路器等电气设

备对短路电流的设计容量标准。

本文旨在分析海上油气田电网短路电流计算方法, 并探讨适合海上平台电力系统的限流措施。

1 海上电网短路电流计算方法

1.1 短路计算目的

在进行海上油气田开发工程电力系统的设计时, 对电力系统中各点的短路电流进行计算和核实, 可以用于配电装置的选型、开关装置的整定及校核, 具体如下: ①电气主接线方案的比选, 如有需要则采取限制短路电流的措

施；②校验载流导体及电气设备的动、热稳定，校验开关装置、避雷器等的开断能力；③设计与整定继电保护装置；④为电力及配电装置内的断路器、熔断器和开关等进行选择性保护的框架电流值和整定值提供基础数据；⑤接地装置的设计；⑥输电线对通信线路的影响；⑦故障分析。

在海上电网架构重构时，可以根据短路计算得到的最大、最小故障电流进行实时保护自动整定和设置以及故障定位等，还可以用于确保保护设备能够相互协调以及校验过载设备^[2]。

1.2 短路电流计算方法

短路过程中短路电流变化的情况决定于系统电源容量的大小或短路点离电源的远近，根据 GB/T 15544 《三相交流系统短路电流计算》，短路电流波形如图 1 所示，包含不断衰减的交流分量和直流分量。

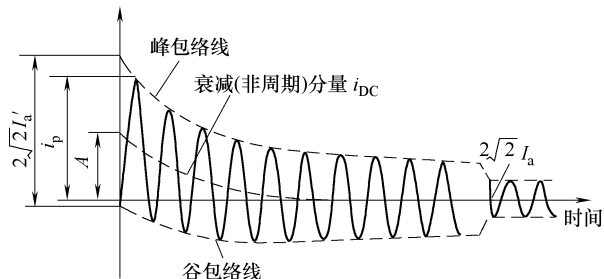


图 1 短路电流波形图

Fig. 1 Short-circuit current waveform

短路电流计算一般需要根据系统不同运行方式计算短路峰值电流 i_p 、对称短路电流初始有效值 I_k' 、短路后 0.2 s 的短路电流交流分量有效值 $I_{0.2}$ 和稳态短路电流有效值 I_k 。其中，最大短路电流值用以校验电气设备的动稳定、热稳定及分断能力，整定继电保护装置；最小短路电流值，作为校验继电保护装置灵敏系数和校验电动机起动的依据。

由于电力系统短路时电磁和机电暂态过程以及短路电网的结构都很复杂，再加上励磁和调速系统的影响，若利用网络元件的电磁暂态

模型进行短路电流计算，结果准确，但是方法复杂，计算量巨大，不能满足工程的需求^[3]。因此通常采用简化和近似的方法进行海上油气田电网的短路电流计算。

常用的方法是 GB/T 21066 《船舶和移动式及固定式近海设施的电气装置 三相交流短路电流计算方法》和 GB/T 15544 《三相交流系统短路电流计算》。海上油气田电力系统与船舶电力系统都不是无穷大电网，以发电机作为主电源，需要考虑发电机阻抗的影响；但是，其电力系统的发电机组的容量、数量、电网规模以及电压等级又均要大于船舶电力系统。所以，比较稳妥的做法是采用 GB/T 21066 和 G/T 15544 同时进行计算^[4]，并将结果进行比较，选取相对合理的短路电流值，作为配电装置选型的依据。

2 短路电流限制措施

2.1 提高设备短路容量

更换开断能力更大的开关设备是限制短路电流最直接的方法。但是，该方法存在一定局限性。当短路容量超过断路器最大开断能力，则可能没有合适的断路器可以匹配。

目前成熟可用的 35 kV 开关最大开断能力约为 40 kA。通常情况下，10 kV 系统的极限短路电流水平尽可能限制在 42 kA 以内，400 V 配电系统尽可能限制在 85 kA 以内^[4]。否则，会给配电和保护电器的选型带来困难。若选择超高断流容量的设备，价格非常昂贵。同时，电气设备和电缆的动稳定性和热稳定性难以满足。

2.2 提高系统供电电压

早期的海上油气田采用孤岛供电模式，海上平台自建电站，为自身或通过海底电缆给周边井口平台供电。系统规模小，中压系统常采用 6.3 kV 便可满足要求。目前随着海上油田电力组网，系统容量不断增加，10 kV 更多地被采用作为中压系统的电压等级。

国内电制低压系统为 400 V，若提高供电电压，可能不利于用电设备选择。但海上平台钻修机相关设备却常常采用 600 V 或 690 V 电压等级，一定程度上提高了系统的短路容量。

2.3 调整系统运行方式

电网分层分区运行、母线分段运行，可以降低系统的短路电流。对于低压配电系统，这是一个非常有效且可行的措施。海上油田电网中，降压变压器一般采用分列运行，低压汇流排分为多段，由于每段汇流排只给各自所带负载供电，其供电变压器容量也相应降低，从而降低了每个低压汇流排上的短路容量。

但是，该措施不一定适合中高压系统。因为中高压系统联网运行更有利于系统的安全和稳定。

系统母线分段运行可能会使短路电流降至普通断路器开断范围之内，满足设备选择要求，方案简单可靠，无需增加任何设备，但是却降低了系统的安全裕度，对生产设备的运行方式、电力系统运行操作和故障处理有所限制，系统运行灵活性不足。这是以降低系统安全稳定为代价来换取短路电流水平的降低。

2.4 采用限流电抗器、高阻抗变压器等设备

在电力系统中串联限流电抗器，或者采用高阻抗变压器，增加系统的短路阻抗，从而限制短路故障时线路的短路电流，维持母线电压，以便断路器开断故障线路。

在海上油气田电网中，设备的安装空间受到一定的限制，而限流电抗器一般尺寸较大。同时，限流电抗器会影响电网供电质量，给大容量电动机的起动带来困难^[4]，还会造成损耗和发热。因此，该措施不适合用于海上平台电力系统。

2.5 采用直联联网

直联联网通过降低系统互联网络的紧密性使系统的短路电流水平降低，但是两端换流设备投资非常大，不太适用于海上油气田电力系统。

2.6 应用故障限流器

近年来，故障限流器技术不断成熟，涌现出一些质量可靠的产品，如 ABB 公司的 Is-Limiter 快速隔离器，陕西蓝河电气公司的 DDX1 短路电流限制器，如图 2 所示。



图 2 故障限流器外观

Fig. 2 Fault current limiter appearance

将故障限流器串联于电气回路中，在短路电流瞬时值没上升到预期峰值之前迅速将其完全开断，对故障电流进行有效限制，使短路电流值限于开关设备的额定范围内，如图 3 所示。其使用直接减轻了断路器的开断负担，不仅解决了短路电流过大致使无断路器可选的问题，还降低系统中大多数设备选型时所要求的热稳定和动稳定极限，降低设备投资。

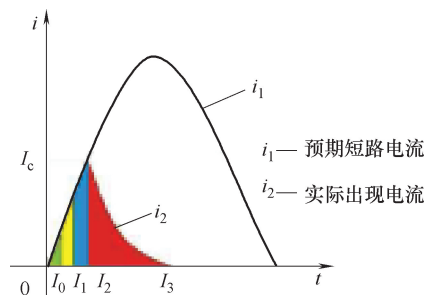


图 3 故障限流器动作时序示意图

Fig. 3 Diagram of action sequence of fault current limiter

该措施能够保证无论是正常或者发生短路情况下系统母线均为并列运行，保证电网安全稳定水平。同时，故障限流器尺寸较小，可满足海上平台紧凑的布置要求。尤其对于因电网扩容造成的短路电流超标问题，应用故障限流器，对已建电力系统及配电装置布置的改动较小，非常适合应用于海上油田电力系统。

3 结束语

短路电流的限制对于保证电网安全稳定运行具有重要意义。当常规的断路器在切除短路电流水平不能满足要求时,采取合理有效的措施不仅需要考虑技术可行性,也需要根据海上油气田电力系统特点,权衡经济效益等来综合比选。本文探讨了不同短路电流限制措施的优缺点和适用情况,为海上油气田电力系统故障限流设计提供参考。**EA**

参考文献

- [1] 陆佳政,赵纯,方针. 新型故障限流器的仿真与现场实验 [J]. 高电压技术, 2010, 36 (9): 2258-2264.
- [2] 吴佳. 配网短路分析及短路电流计算方法综述 [J]. 中国高新技术企业, 2011 (10): 104-106.
- [3] 王寓,王主丁,张宗益,等. 国内外常用短路电流计算标准和方法的比较研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (20): 148-152, 158.
- [4] 《海洋石油工程设计指南》编委会. 海洋石油工程电气、仪控、通信设计 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.

作者简介



高璇

高璇 (1987—), 女, 硕士, 工程师, 现从事海上油气田电力系统研究与分析工作。

(收稿日期: 2021-02-02)