

750 kV 凤凰片区短路电流分析及抑制措施

张增强, 吕盼, 周专, 宋新甫

(国网新疆电力公司经济技术研究院 新疆 乌鲁木齐 830016)

摘要: 由于大量大容量机组集中接入以及网架结构的不断加强, 导致系统短路电流水平不断上升, 750 kV 凤凰片区短路电流已经超出断路器的遮断电流(50 kA), 运行方式难以安排。随着后续机组不断接入, 短路电流问题更加突出, 短路电流超标已成为困扰电网安全稳定运行的关键问题。因此以750 kV 凤凰片区短路电流现状为基础, 结合规划网架结构, 分阶段对凤凰片区短路电流水平进行计算, 分析各工程对凤凰片区短路电流的影响大小。同时分别从调整运行方式、加装中性点小电抗、改变中性点接地方式等几方面对限制凤凰片区短路电流进行计算分析, 并得出相应的结论, 为凤凰片区运行方式安排以及后续的电网规划和电网建设项目可行性研究工作提供了重要的参考。

关键词: 凤凰片区; 运行方式; 短路电流; 中性点小电抗

Abstract: Due to the integration of a large number of large-capacity units and the continuous strengthening of grid structure which causes the continuous rising of short-circuit current, the short-circuit current in 750 kV Fenghuang area has exceeded the breaking current of relay (50 kA), so the operating mode is difficult to arrange. With the integration of the following units, short-circuit current problem becomes more prominent, and the excessive short-circuit current has become a key problem influencing the safe and stable operation of power grid. So based on the actual situation of short-circuit current in 750 kV Fenghuang area and combined with the grid structure planning, the level of short-circuit current in Fenghuang area is calculated in stages, and the effects of each project on the short-circuit current in Fenghuang area are analyzed. At the same time, as viewed from adjusting operating mode, installing small reactor on neutral point and changing neutral grounding mode, the restrictions on short-circuit current in Fenghuang area are analyzed and calculated, and the corresponding conclusions are obtained, which provides an important reference for the arrangement of operating modes and the following feasibility research of grid plan and grid construction in Fenghuang area.

Key words: Fenghuang area; operating mode; short-circuit current; neutral small reactance

中图分类号: TM713 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)04-0020-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.04.005

0 引言

随着电网规模的不断扩大, 大量大容量机组接入电网, 导致系统短路电流水平不断提升。短路电流水平超标问题, 不但威胁系统的安全、稳定运行, 而且直接影响电网运行的经济性。解决短路电流问题有两个方向, 一是直接更换开关设备, 二是采取限制短路电流的措施。更换开关设备适用于局部短路电流过大的情况, 当整个系统短路电流水平提高时, 更换开关设备的费用很大, 这时应考虑采取限制短路电流的措施, 改善电网结构就是其中行之有效的方法^[1]。

750 kV 凤凰变电站是连接新疆西北部和乌昌

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51267017)

城网的枢纽变电站。凤凰片区短路电流形势较为严峻, 根据《新疆电网2015年度运行方式》, 全接线方式下750 kV 凤凰变电站220 kV 侧短路电流已经超过50 kA(三相: 52.39 kA, 单相: 56.65 kA)^[2]。目前采取750/220 kV 电磁环网解环方式可以将短路电流降低至50 kA以下。但是根据电网规划凤凰片区还将接入大量电源, 网架结构不断增强。凤凰片区短路电流将严重超标, 限制凤凰片区运行方式安排, 制约凤凰地区机组接纳以及电力送出能力, 严重影响系统安全稳定运行。

因此以750 kV 凤凰片区短路电流现状为基础, 结合规划网架结构, 分阶段对凤凰片区短路电流水平进行计算, 分析各工程对凤凰片区短路电流的影响大小。同时分别从调整运行方式、加装中性点小电抗、改变中性点接地方式等几方面对限制凤凰片

区短路电流进行的计算分析,并得出相应的结论。为凤凰片区运行方式安排以及后续的电网规划和电网建设项目可行性研究工作提供了重要的参考。

1 凤凰片区网架结构及存在问题

1.1 网架结构介绍

750 kV 凤凰变电站是连接新疆西北部和乌昌城网的枢纽变电站,主要负责新疆西北部地区、昌吉西部地区电力外送,同时是向昌吉西部大用户以及天业电网供电。目前接入凤凰片区机组容量约为 17 270 MW,其中火电 13 450 MW,占总容量的 77.8%。凤凰片区机组分布如图 1 所示。

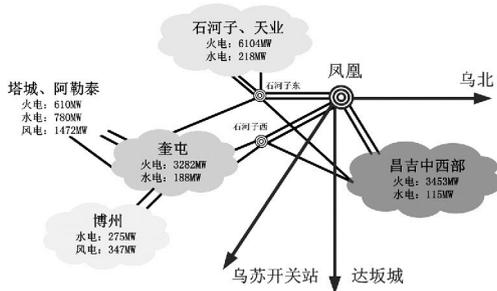


图 1 凤凰片区机组分布图

从图 1 可以看出,750 kV 凤凰变电站接带大量机组,多为火电机组且电气距离较短,同时 750 kV 凤凰变电站处于电网核心位置。由于新疆电网电压等级级差大,从 220 kV 直接升压至 750 kV,导致 750 kV 变电站 220 kV 侧进出线较多,从而导致 750 kV 变电站 220 kV 侧短路电流严重超标。

1.2 存在问题

目前 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧母线采用双母双分段形式,出线共有 12 回,220 kV 母线间隔排列方式如图 2 所示。

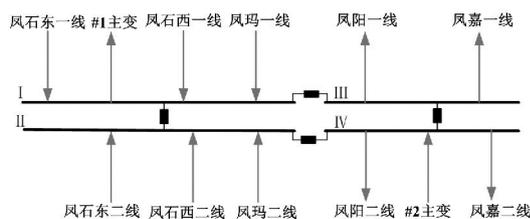


图 2 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧母线排列位置图

由图 2 可以看出,凤石东一线、220 kV 凤石西一线、220 kV 凤玛一线接在 I 母,同时 1 号主变压器连接在 I 母上,220 kV 凤石东二线、220 kV 凤石

西二线、220 kV 凤玛二线接在 II 母,220 kV 凤阳一线、220 kV 凤嘉一线接在 III 母,220 kV 凤阳二线、220 kV 凤嘉二线、2 号主变压器接在 IV 母。由于新疆西北部剩余电力全部通过凤石东一、二线,凤石西一、二线,凤玛一、二线送出,若将 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧母线分列运行,将导致 750 kV 凤凰变电站的 1 号主变电站满载,玛电、玛电三期以及西部电力送出受阻,而 2 号主变压器处于轻载状态。因此 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧母线间隔排列不利于 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧母线分列运行。

2 限制短路电流水平的主要技术措施

随着电网的发展,系统不断增强,短路电流持续攀升成为威胁电网安全的突出矛盾。如何在控制电网短路电流的同时提高系统安全稳定运行水平,成为电网规划与运行亟待解决的问题。限制电网短路电流水平的主要技术措施如下^[3-6]:

1) 合理规划电源接入电压等级、接入方式。电源接入不宜过度集中,接入点的选择应充分考虑对系统短路电流水平的影响,注意给电网短路电流水平留有一定的发展空间,发电厂宜以单元接线型式接入系统,大电厂间尽可能不要有直接的联络线,大电厂不宜串在环网中运行。网内新建大容量电源应尽可能采用高电压等级接入。

2) 合理规划电网网架结构。对网架合理的分层、分区可以有效地控制短路电流。在更高电压等级骨干网架形成后依托该电压等级变电站采取低电压等级电网分片区运行能有效抑制电网短路电流水平。

3) 采用高阻抗变压器。负荷中心地区网络紧密,可适当提高电厂升压变压器的短路阻抗,从源头上控制注入电网的短路电流。同时对于电源接入相对集中的变电站亦可考虑采用高阻抗变压器抑制分支短路电流水平。

4) 加装限流电抗器。加装限流电抗器对限制短路电流亦具有一定的效果,但限流电抗器的限流效果与电网运行方式密切相关。限流电抗器通常加装在线路潮流较轻而对系统短路电流影响较大的线路中,可有效地减少局部区域系统短路电流^[7-8]。

5) 加装变压器中性点小电抗。在变压器中性点加装小电抗便利,投资较小,该阻抗值在零序网络中将放大3倍,因此在单相短路电流过大而三相短路相对较小的场合很有效。

6) 采取电网运行方式调整。主要包括母线、变压器分列运行、线路开断等。采取该措施时需结合电网供电可靠性、供电能力等方面综合考虑,防止电网可靠性、供电能力等出现明显下降。

3 凤凰片区短路电流水平分析

3.1 现状短路电流水平分析

根据当前凤凰片区机组投运情况和电网网架结构,对凤凰片区进行短路电流计算。在全接线方式下750 kV凤凰变电站220 kV侧三相短路电流为52.39 kA,单相短路电流为56.65 kA。

通过调整凤凰片区运行方式,将750/220 kV电磁环网(凤-乌、凤-达)解环运行。正常运行方式安排如图3所示。

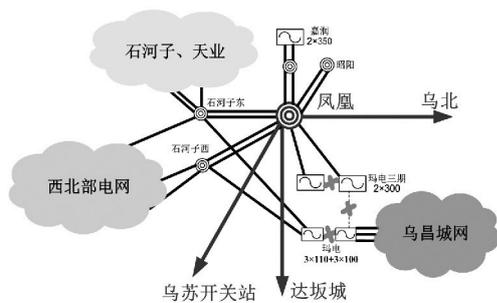


图3 凤凰片区运行方式

从图3可以看出,为了限制750 kV凤凰变电站220 kV侧短路电流水平,采取运行方式调整,将220 kV玛电母联分列(I母带玛石东线、玛石西线,II母带玛三联络线、玛乐三回线)、220 kV玛电三期母联分列、220 kV玛三联络线断开。基于当前网架结构,采取上述运行方式可以将750 kV凤凰变电站短路电流降低至额定遮断电流以下(三相短路电流为44.7 kA,单相短路电流为39.65 kA)。随着昌吉中西部火电机组的大量并网,采取上述运行方式可能导致昌吉中西部电力送出受阻。

3.2 各项工程对短路电流贡献分析

根据电网规划,凤凰片区还将继续接入大量火电机组,如嘉润一期二列(2×350 MW)、天伟电厂

(2×330 MW)、宝塔石化电厂(2×350 MW)等一系列大容量机组。同时根据电网规划,750 kV凤凰变电站与各区域电网联系更加紧密,如750 kV乌苏开关站增容工程、750 kV亚中变电站输变电工程等电网建设项目。随着电网项目的不断建设,750 kV凤凰变电站与各地区电网联系更加紧密,从而导致750 kV变电站220 kV侧短路电流严重超标。根据规划网架结构,分析各项工程项目对750 kV凤凰变电站220 kV侧短路电流贡献大小。依据可研审查意见及投运时序,各项工程对750 kV凤凰变电站220 kV侧短路电流影响的计算结果如表1所示。

表1 各项工程短路电流计算结果/kA

工程项目	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA	贡献大小	
			三相/kA	单相/kA
天伟电厂	45.4	49.9	5.47	4.9
嘉润一期二系列电厂	48.75	53.25	3.35	3.35
宝塔石化电厂	49.44	53.76	0.69	0.51
750 kV亚中输变电工程	50.25	54.7	0.81	0.94
天池能源电厂	50.37	54.87	0.12	0.17
750 kV乌苏开关站增容工程	50.53	55.23	0.16	0.36

从表1可以看出,天伟电厂(2×330 MW)接入电网,提高750 kV凤凰变电站220 kV侧母线三相、单相短路电流约5.47 kA、4.9 kA,届时750 kV凤凰变电站220 kV侧母线单相短路电流已接近额定遮断电流,严重影响电网安全稳定运行。随着凤凰片区各项工程相继投运,750 kV凤凰变电站220 kV侧母线短路电流不断升高,尤其是单相短路电流严重超过750 kV凤凰变电站220 kV侧额定遮断电流。为了保证电网安全稳定运行,需要采取有效措施降低凤凰片区短路电流。

4 抑制凤凰片区短路电流水平措施

通过上述各项工程对凤凰片区短路电流影响分析,天伟电厂投运后,凤凰片区短路电流已接近额定遮断电流。因此在对抑制凤凰片区短路电流水平措施分析时,以天伟电厂投运为基础,结合凤凰片区网架结构,提出以下3种降低短路电流措施。

4.1 调整凤凰片区运行方式

针对凤凰片区网架结构,研究该地区运行电网运行方式,通过调整运行方式以降低凤凰片区短路电流。经分析提出以下3种运行方式:

方式1:220 kV 玛电母联分列(I母带玛石东线、玛石西线,II母带玛三联络线、玛乐三回线)、220 kV 玛电三期母联分列、220 kV 玛乐三回线断开。

方式2:220 kV 玛电母联分列(I母带玛石东线、玛石西线,II母带玛三联络线、玛乐三回线)、220 kV 玛电三期母联分列、220 kV 玛三联络线断开。

方式3:220 kV 玛石东线、220 kV 玛石西线断开,220 kV 玛电三期母联分列,220 kV 玛三联络线断开。

按照上述3种运行方式,凤凰片区短路电流计算结果如表2所示。

表2 750 kV 凤凰变 220 kV 短路电流计算结果

调整运行方式	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA	变化量/kA	
方式1	48.21	52.44	—	—
方式2	45.4	49.9	-2.8	-2.5
方式3	43.3	48.3	-4.9	-4.1

从表2可以看出,通过调整运行方式可以降低750 kV 凤凰变电站220 kV 侧母线短路电流,其中方式3短路电流降低最多。以方式3运行可以满足电网安全稳定运行,但是导致玛电及其昌吉中西部电流送出受阻,出现严重窝电现象,同时随着后续各项工程的相继投运,仅采取调整运行方式无法满足电网安全稳定运行。

4.2 调整220 kV 变电站中心性点接地方式

由于750 kV 凤凰变电站220 kV 侧母线单相短路电流大于三相短路电流,正常情况下,单相短路电流首先出现超标。调整变电站中性点接地方式可以改变电网零序网络结构,从而降低单相短路电流。因此,通过调整750 kV 凤凰变电站附近220 kV 变电站中性点接地方式可以降低750 kV 凤凰变电站220 kV 侧单相短路电流。

结合凤凰片区网架结构,调整凤凰片区220 kV 变电站中性点接地方式,取消玛电6号机升压变压器接地、玛电3号机升压变压器接地、玛电三期高备

接地、嘉润一期主变压器接地、昭阳1号变压器接地、天伟电厂1号机升压变压器接地、天辰电厂7号机升压变压器接地。凤凰片区短路电流计算结果如表3所示。

从表3可以看出,通过调整750 kV 凤凰变电站附近220 kV 变电站中性点接地方式,可以降低750 kV 凤凰变电站220 kV 侧单相短路电流,但是降低效果不明显,调整后750 kV 凤凰变电站220 kV 侧短路电流仍接近额定遮断电流,无法满足后续各项工程的相继投运,同时调整变电站中性点接地方式,对电网中继电保护影响较大,需要重新整定、更改保护定值。

表3 750 kV 凤凰变电站 220 kV 短路电流计算结果

	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA	变化量/kA	
调整前	48.21	52.44	—	—
调整后	48.21	49.78	0	-2.66

4.3 750 kV 凤凰变电站主变压器中性点加装小电抗

由于750 kV 变压器采用的是自耦变压器,正常运行情况下,变压器中性点必须接地,从而导致750 kV 变电站220 kV 侧单相短路电流大于三相短路电流。根据单相短路电流计算原理,为了减小单相短路电流,可以改变零序网络,适当增大零序网络阻抗值。在750 kV 变电站主变压器中性点加装小电抗,可以将增大系统的零序阻抗值,降低单相短路电流。

假设在750 kV 凤凰变电站两台主变压器中性点分别加装12 Ω 小电抗,计算结果如表4所示。

表4 750 kV 凤凰变电站 220 kV 短路电流计算结果

	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA	变化量/kA	
加装前	48.21	52.44	—	—
加装后	48.21	40.42	0	-12.02

从表4可以看出,在750 kV 凤凰变电站两台主变压器中性点加装12 Ω 小电抗之后,可以降低750 kV 凤凰变电站220 kV 侧单相短路电流12.02 kA,可以有效地降低750 kV 凤凰变电站220 kV 单相短路电流,但是加装中性点小电抗只能降低单相短路电流,不能降低三相短路电流。随着后续凤凰片区各项工程的相继投运,仅依靠加装中性点小电抗不能满足要求,需采取几种措施联合降低短路电流。

(下转第82页)

[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21 (4): 1763 - 1769.

[3] S. Liu, J. K. Peng. An Improved Optimal Design Scheme for High Voltage Cable Accessories [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2014, 21 (1): 5 - 11.

[4] 聂永峰, 王建辉, 孟毓. 输电电缆支架涡流损耗的计算与分析 [J]. 电网技术, 2008, 32(S1): 142 - 145.

[5] 徐莎, 金先龙, 庞峰, 等. 大电流母线桥三维涡流场的有限元分析 [J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(12): 2097 - 2100.

[6] 陈平, 薛毓强, 郭建钊, 等. 大电流母排三维涡流场 - 温度场耦合分析 [J]. 电力科学与技术学报, 2009, 24(3): 68 - 71.

[7] 颜威利, 杨庆新, 汪友华. 电气工程电磁场数值分析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[8] 刘志珍, 朱常青, 励庆浮. 计算导体涡流分布的 FEM - IEM 混合数学模型 [J]. 电工技术学报, 2001, 16(6):

46 - 49.

[9] 王泽中, 王炳阁, 卢斌先, 等. 三维开域涡流场 A - V 位有限元与边界耦合分析方法 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(5): 1 - 4.

[10] D Labridis, P Dokopoulos. Finite Element Computation of Eddy Current Losses in Nonlinear Ferromagnetic Sheaths of Three - phase Power Cables [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1994, 30(4): 1407 - 1415.

[11] 谢德鑫, 白保东, 等. 三维涡流场的有限元分析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

[12] Pyungwoo Jang, Bonghan Lee. Effects of Insulator Resistivity on Eddy Current Loss of Compressed Powder Cores Studied by FEM [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2009, 45(6): 2781 - 2783.

[13] 李晓松, 陈乔夫, 胡贵. 超导变压器绕组环流损耗 [J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 1 - 4.

(收稿日期: 2015 - 05 - 13)



(上接第23页)

5 结论

通过对凤凰片区现状短路电流水平分析, 得出 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧短路电流已接近额定遮断电流, 制约电网运行方式安排, 影响系统安全稳定运行。根据电网规划, 凤凰片区各项电网工程对 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧短路电流均有一定的贡献, 短路电流超标严重影响凤凰片区安全稳定运行。针对凤凰片区短路电流水平超标问题, 结合该地区网架结构特点, 提出了 3 种抑制短路电流的措施, 3 种措施均能降低 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧短路电流水平。但随着各项电网项目的相继投运, 仅靠单一的措施无法满足电网发展需要, 需要多种措施并举才能降低 750 kV 凤凰变电站 220 kV 侧短路电流, 保证电网安全稳定运行, 同时在后续电网规划中应重点关注凤凰片区短路电流问题, 合理规划、合理分配 750 kV 凤凰变电站接带电源容量, 形成 750/220 kV 分片区运行。

参考文献

[1] 周坚, 胡宏, 庄侃沁, 等. 华东 500kV 电网短路电流分析及其限制措施探讨 [J]. 华东电力, 2006, 34(7): 55

- 59.

[2] 国网新疆电力公司. 新疆电网 2015 年度运行方式 [R]. 2015.

[3] 韩戈, 韩柳, 吴琳. 各种限制电网短路电流措施的应用与发展 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 141 - 151.

[4] 江道灼, 敖志香, 卢旭日, 等. 短路限流技术的研究与发展 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(3): 8 - 19.

[5] 袁娟, 刘文颖, 董明齐, 等. 西北电网短路电流的限制措施 [J]. 电网技术, 2007, 31(10): 42 - 45.

[6] 孙奇珍, 蔡泽祥, 李爱民, 等. 500kV 电网短路电流超标机理及限制措施适应性 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(21): 92 - 96.

[7] 杨雄平, 李力, 李扬絮, 等. 限制广东 500kV 电网短路电流运行方案 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 104 - 107.

[8] 叶幼君, 鲍爱霞, 程云志. 浙江 500kV 电网短路电流的控制 [J]. 华东电力, 2006, 34(3): 11 - 15.

作者简介:

张增强 (1982), 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划与分析;

吕盼 (1984), 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划与分析;

周专 (1987), 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划、稳定与控制。

(收稿日期: 2015 - 05 - 11)