

基于快速开关的江西西部电网短路电流柔性抑制措施研究

汪硕承,程思萌,陈波,刘柳,戈田平

(国网江西省电力有限公司电力科学研究院,江西 南昌 330096)

摘要:为兼顾江西西部电网暂态稳定水平与短路电流控制需求,文中基于现有短路电流抑制措施和加装快速开关两种短路电流控制方案,分别从短路电流、潮流疏散和暂态稳定三个维度进行对比计算分析,论证了加装快速开关的有效性,并综合考虑短路电流抑制效果、电网运行安全等因素,提出加装快速开关推荐方案。

关键词:快速开关;三相短路电流;拓扑快速重构;柔性抑制措施

中图分类号:TM 732 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2026)01-0001-05

0 引言

随着电力系统结构的日益复杂,交直流交互影响,系统网架补强后短路容量提升的现象日益增多,且短路电流超标问题愈加凸显^[1]。但是,一方面,短路容量越大,电力系统抗扰动能力越强,稳定性越好;另一方面,短路电流同步增大,故障下对设备安全产生威胁,体现出“双刃剑”特性^[2-3]。

目前,电力部门常规短路电流的抑制措施主要是通过采取停运机组、拉停线路、线路出串、加装线路串抗或中性点小电抗、主变分列运行、电磁环网解环等来控制短路电流,但上述措施或限制了机组运行方式的灵活性、削弱电网主干网架,对潮流疏散和暂态稳定水平造成不利影响。采取高阻抗变压器或关键线路加装串抗的方案,存在投资大、网损增加、运维成本较高等问题;采取中性点小电抗仅能限制单相短路电流;主变分列运行或电磁环网解环会显著降低联络通道受电能力与暂态稳定水平,进一步加剧电力保供压力^[4-10]。

相对于以削弱全接线网架为代价的短路电流限制措施,采取自适应状态变化的方法,能够对短路电流进行柔性抑制。通过加装快速开关,实现短路瞬间电网拓扑重构,降低系统短路电流,故障清除后,电网拓扑恢复完整接线。目前,快速开关已在浙江舜江

变、天一变和涌潮变开展应用^[11],分别加装在厂站出线侧或母联、分段间隔处,可有效抑制近区短路电流超标问题,提高局部电网正常和事故方式下的供电能力和供电可靠性。

加装快速开关既可有效降低故障短路电流,又可避免正常方式削弱网架结构。因此,文中基于快速开关短路电流柔性抑制原理,通过电网拓扑瞬态重构方式减小常规断路器需要遮断的最大短路电流,以江西西部电网为分析应用场景,对比现有短路电流抑制措施和加装快速开关控制措施,验证加装快速开关的有效性,并提出江西西部电网加装快速开关推荐方案。

1 快速开关短路电流柔性抑制原理

1.1 短路电流抑制效果

短路电流柔性抑制快速开关是基于快速开断技术,快速动态调整系统拓扑,在短路故障发生阶段隔离与电网故障点短路电流相连的多条馈电支路,实现柔性抑制故障点短路电流;故障消除后,可快速恢复常态拓扑,挖掘电网潜力^[12-14]。

图1为传统系统支路8发生短路故障,故障点流经的最大短路电流为 $I_{bk_max}=I_{S1}+I_{S2}+I_{S3}+I_{S4}+I_{S5}+I_{S6}$;图2为加装快速开关,短路故障后快速开关动作完成拓扑解列,此时故障点流经的最大短路电流为 $I_{bk_max}=I_{S4}+I_{S5}+I_{S6}$,故障清除后拓扑恢复。通过拓扑瞬态重构的

收稿日期:2025-07-17

作者简介:汪硕承(1994),男,硕士,工程师,从事电力系统安全稳定运行。

方式降低故障期间近区短路电流水平,同时维持正常方式下网架结构,保障系统的供电可靠性。

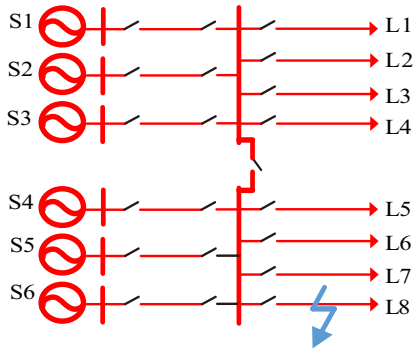


图1 未加装快速开关,短路故障拓扑不解列

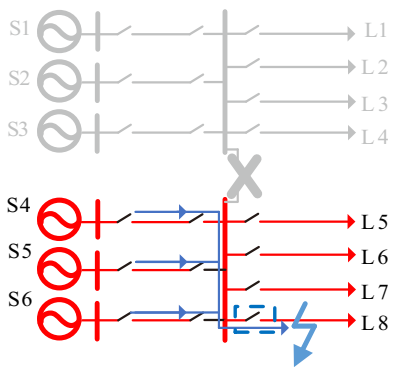


图2 加装快速开关,短路故障后拓扑解列

1.2 快速开关动作时序

时序配合如图3所示。常规断路器触头机械分离拉弧前,快速开关完成拓扑调整,故障切除后,快速开关重合闸,拓扑恢复。常规断路器在故障后的动作时间一般在50ms左右,快速开关可在25ms内完成开断,在常规断路器动作前完成系统拓扑重构。



图3 拓扑调整动作时序

1.3 拓扑调整形式选择

快速开关加装在电网系统不同位置上,动态调整后电网系统拓扑结构也不同,柔性抑制短路电流效果也不同。快速开关典型加装位置主要有分段间隔、母联间隔、中开关、边开关、大负荷出线端等位置,如图4—5所示。以装设在220kV母联开关处(位置3)为例说明:正常运行方式下,快速开关闭合状态,系统处于母线合母正常运行方式;当发生母线或线路出口故

障后,通过快速控制保护装置使快速开关立即分闸,在常规断路器分闸前可靠开断,完成厂站内母线分母运行,从而降低了常规断路器开断时的故障电流。

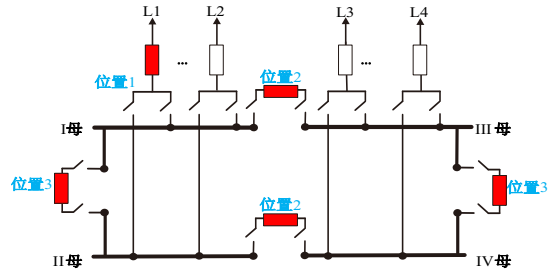


图4 220kV变电站应用的典型拓扑结构

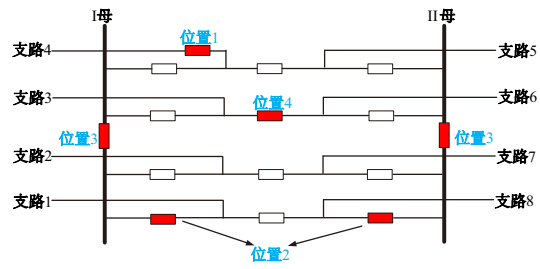


图5 500kV变电站应用的典型拓扑结构

2 快速开关在江西西部电网的应用分析

2.1 江西西部电网概况

因江西西部电网K站两台500kV主变中压侧长期维持分列运行,江西西部电网分为PYX和YXX两个片区,西部电网之间的联络强度削弱,供电灵活性和可靠性降低,并对暂态稳定水平产生不利影响,在2025年大负荷期间存在K站220kV IIB段母线N-1故障局部电网失稳现象,近区机组至少需留取150MW旋转备用容量。随着地区负荷增长,局部电网稳定特性降低,系统保持稳定所需的机组旋转备用容量增加,地区电力保供受到威胁。

为加强西部电网之间的联络强度,提升地区电网暂稳水平,考虑500kV K变电站220kV侧合环运行。合环后,K站、L站等近区500kV变电站220kV母线三相短路电流超标,2025年分别达56.9kA、51.82kA;在此基础上,需进一步开断近区220kV MS双回线,以解决L站220kV母线短路电流超标问题,但K站220kV母线短路电流在2025—2027年仍超过断路器额定遮断容量。

综上所述,当前500kV K站主变分列运行或直接合环运行均存在明显弊端。为降低对电网运行的

影响,文中应用快速开关实现短路电流柔性抑制,通过在K站220 kV出线或站内母联开关处加装快速开关,可在故障期间瞬时改变网架拓扑结构,降低断路器开断短路电流水平。通过加装快速开关,K站主变可合环运行,PYX和YXX合为一个片区运行,电气联系将更加紧密,局部电网暂态稳定水平得以提升。

2.2 拟选方案

针对500 kV K变电站220 kV侧合环运行后220 kV母线三相短路电流超标问题,拟采取在K站220 kV出线或分段开关处加装快速开关,K站220 kV侧为双母双分段接线,共有IA母、IB母、IIA母、IIB母四段母线和四个母联开关。

2.2.1 方案一:线路侧加装1套快速开关

在K变电站220 kV某一回出线的线路间隔加装1套快速开关,具体加装位置可根据短路电流抑制效果择优选择,如图6所示。

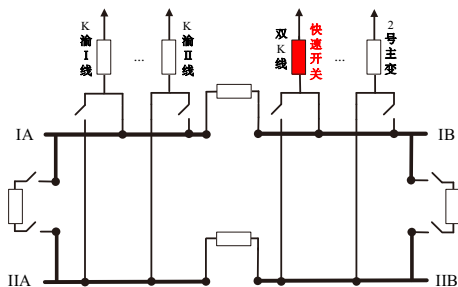


图6 K变电站线路侧加装快速开关接线图

2.2.2 方案二:母线侧加装2套快速开关

在K变电站220 kV IA、IB段和IIA、IIB段母线分段开关处,加装快速开关,共需加装2套,如图7所示。

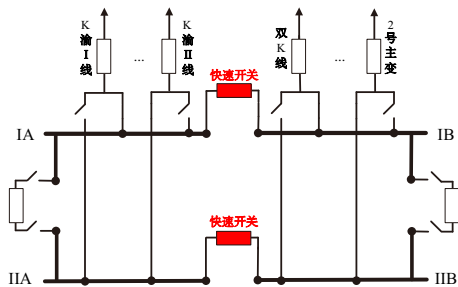


图7 K变电站母线侧加装快速开关接线图

2.3 安装方案对比

2.3.1 短路电流抑制效果

在K变电站220 kV侧合环,开断近区220 kV MS双回线网架下,2025—2027年的K变电站220 kV出线分支短路电流情况如表1所示,其中,K变电站220 kV出线中双K线支路短路电流最大,抑制短路电流效果最好。因

此,快速开关在线路出线侧方案中考虑加装在双K线上。

表1 K变电站220 kV出线分支短路电流情况

支路名称	分支短路电流		
	2025年	2026年	2027年
双K线	11.17	12.11	12.78
K站1号主变	10.77	11.26	11.19
K站2号主变	10.75	11.24	11.17
K渝I线	6.09	3.83	3.72
K渝II线	6.18	3.83	3.72
K仙I线	3.19	3.38	3.53
K仙II线	3.10	3.28	3.43
K钢I线	0.21	0.32	0.34
K钢II线	0.21	0.32	0.34
K狮I线	0.10	0.24	0.28
K狮II线	0.10	0.24	0.28

采用电力系统综合稳定程序PSASP基于该方案的短路电流算法,考虑华中全开机、全接线方式,K变电站合环,开断近区220 kV MS双回线,分析快速开关加装在双K线或分段开关上K变电站220 kV三相短路电流的抑制效果,其结果如表2所示。

方案一:双K线加装快速开关。2025—2026年的K变电站220 kV母线短路电流可控制在50 kA之内,且短路电流裕度大于5 kA,2027年K变电站220 kV母线短路电流刚好达到断路器额定容量50 kA;2027年,由于西部电网将新投2 000 MW清洁煤电,局部电力供应充足,无地区供电压力,可考虑将西部电网老旧电厂退役,之后K变电站220 kV母线短路电流可降至49.57 kA,因此双K线加装快速开关可适用于2025—2027年电网过渡期。

方案二:分段开关处各加装1套快速开关,2025—2027年的K变电站220 kV母线短路电流均可控制在50 kA之内,且短路电流裕度较大。

表2 K变电站220 kV母线三相短路电流抑制效果

快速开关安装位置	K变电站220 kV母线三相短路电流			
	2025年	2026年	2027年	
			全接线	老旧电厂退役
无	51.82	50.03	58.09	57.13
双K线	45.01	42.36	50.00	49.57
母线分段开关	A段母线短路电流			
	27.26	23.38	31.03	30.11
	B段母线短路电流			
	31.73	33.19	34.20	33.74

根据国家电网有限公司(以下简称国网)设备部下发的《国网设备部关于印发运行15年以内330至750 kV在运变压器抗短路能力校核结果及问题治理要求的通知》,500 kV K变电站1号、2号主变中压侧绕组短路电流分别按14.5 kA、14.4 kA开展校核,满足

动稳定要求。不同运行方式及快速开关加装方案下主变绕组短路电流如表3所示。

表3 K变电站1号、2号主变绕组短路电流水平

年份	开关 加装位置	K变电站中压侧 绕组组别	A段母线故障 短路电流	B段母线故障 短路电流
2025	分段开关	1号主变	13.4	0.95
		2号主变	1.84	13.91
	双K线	1号主变		10.89
		2号主变		10.88
2026	分段开关	1号主变	14.00	0.80
		2号主变	1.59	14.01
	双K线	1号主变		11.43
		2号主变		11.41
2027	分段开关	1号主变	14.09	1.40
		2号主变	1.42	13.89
	双K线	1号主变		11.52
		2号主变		11.49

综上所述,两种快速开关加装方案均可有效解决未来3年内K变电站合环运行后近区短路电流超标问题。线路加装方案:K变电站主变绕组承受的短路电流更小,安全裕度更大;分段开关处加装快速开关K变电站220 kV母线短路电流安全裕度更大。

2.3.2 潮流适应性分析

考虑加装快速开关后,线路或主变发生N-1、N-2故障时,由于快速开关会在故障切除后重合闸,网架拓扑结构和初态保持一致,因此,快速开关加装前后稳态方式下潮流疏散特性也保持一致。

2.3.3 暂态稳定适应性分析

若快速开关加装在母线分段处,考虑K变电站220 kV IIB段母线故障,快速开关加装前只有故障母线及相连线路正常跳开,PYX和YXX仍为一个片区,故障后系统可保持稳定运行;加装快速开关后,K变电站2个220 kV分段开关20 ms跳开,PYX和YXX分为两个片区,系统失去稳定。两种方式下,K变电站500 kV母线电压和近区机组功角曲线对比如图8—9所示。

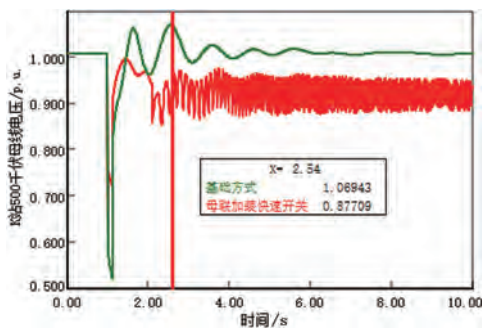


图8 母线分段处加装快速开关前后,K变电站500 kV母线电压对比(红色竖线为测值线)

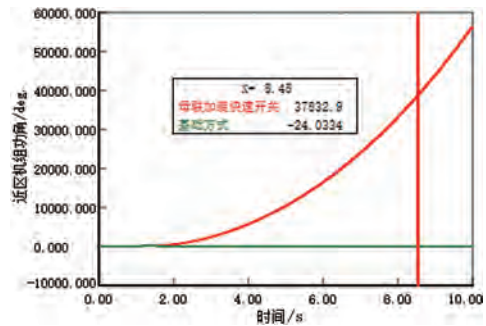


图9 母线分段处加装快速开关前后,近区机组功角曲线对比(红色竖线为测值线)

若考虑快速开关加装在双K线,加装快速开关后,K变电站220 kV IIB段母线故障会带跳双K线(20 ms断开),PYX和YXX仍可通过1个分段开关及1回220 kV线路联络为一个片区,PYX地区无局部失稳问题。加装快速开关前后K变电站的500 kV母线电压和近区机组功角曲线对比如图10—11所示。加装快速开关后,K变电站500 kV电压曲线跌落程度更轻,机组功角摆动略小,暂稳特性略有改善。

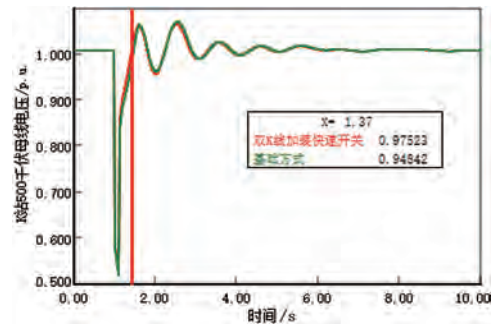


图10 双K线加装快速开关前后,K变电站500 kV母线电压对比(红色竖线为测值线)

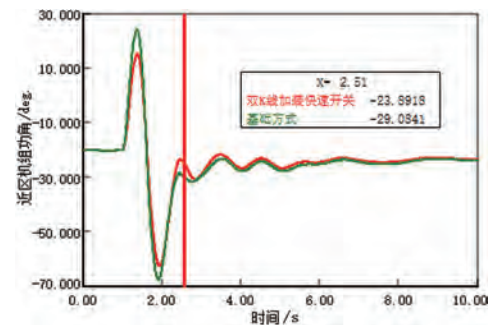


图11 双K线加装快速开关前后,近区机组功角曲线对比(红色竖线为测值线)

综上,双K线加装快速开关后PYX地区无局部失稳问题;而分段处加装快速开关无法解决PYX地区的局部失稳问题,因此,建议双K线加装快速开关。

3 结语

文中根据快速开关短路电流柔性抑制原理,分析江西西部电网加装快速开关应用效果,从短路电流、潮流疏散和暂态稳定三个维度,对现有短路电流抑制措施(K变电站分列运行)和加装快速开关控制措施开展电网运行风险详细对比分析。研究结果表明:江西西部电网加装快速开关短路电流抑制效果明显,且能提升局部电网暂态稳定水平;结合近三年源网荷发展规划,双K线加装快速开关方案可适用于2025—2027年电网发展过渡期。主要结论如下:

1) K变电站分段处加装快速开关后,短路电流抑制效果明显。2025—2027年,K变电站220 kV三相短路电流可分别降至31.73 kA、33.19 kA、34.20 kA。线路侧加装方案中由于双K线支路短路电流最大,短路电流抑制效果最好,因此,选择在220 kV双K线加装快速开关,该方案下2025—2027年K变电站的220 kV三相短路电流可分别降至45 kA、42.36 kA、49.57 kA。

2) 加装快速开关在故障切除后,重合闸,网架拓扑结构和初态保持一致。因此,快速开关加装前后,稳态方式下潮流疏散特性也保持一致。

3) 考虑K变电站分段处加装2套快速开关,K变电站220 kV IIB段母线故障后带跳2个分段开关,K变电站220 kV侧重新成为分列运行状态,不能解决PYX地区的局部失稳问题,因此,K变电站分段处不适合加装快速开关。若快速开关安装在双K线,IIB段母线故障后PYX地区和YXX地区仍可通过1个分段开关和220 kV线路联络构成一个片区,局部地区不存在失稳问题。

参考文献:

- [1] 牛拴保,柯贤波,任冲,等.基于短路容量量化评估的大规模新能源直流送端电网运行方式优化方法[J].电力自动化设备,2021,41(12):123-129.
- [2] 范璇,张玉红,苏丽宁,等.多直流馈入受端电网短路电流控制水平研究[J].智慧电力,2018,46(03):61-67.
- [3] 洪雯,林涛,陈宝平.基于短路容量裕度的电网运行状态评估方法研究[J].电测与仪表,2018,55(14):58-62.
- [4] 袁娟,刘文颖,董明齐.西北电网短路电流的限制措施[J].电网技术,2007,31(10):42-45.
- [5] 程思萌,刘柳,王伟,等.500 kV变电站拉停中/边断路器运行抑制遮断电流效果分析[J].江西电力,2023,47(05):1-6.
- [6] 万卫,蔡恒,钟士元.江西电网500 kV/220 kV电磁环网解环方案研究[J].江西电力,2008,32(05):19-21.
- [7] 郑健超.故障电流限制器发展现状与应用前景[J].中国电机工程学报,2014,34(29):5140-5148.
- [8] 刘民伟,郭洪芹,胡凯.云南电网短路电流超标原因及限制措施研究[J].云南电力技术,2018,46(05):35-38.
- [9] 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(01):141-144,151.
- [10] 宋云亭,申旭辉,赵利军,等.大容量电网短路电流控制措施优化配置原则和方法[J].智能电网,2016,4(04):402-407.
- [11] 杨勇,张弛,徐华,等.采用220 kV快速开关的柔性短路电流抑制技术与工程实践[J].浙江电力,2021,40(04):82-88.
- [12] 韩彬,陈维江,常乃超,等.基于系统拓扑动态调整的短路电流限制方法研究[J].电网技术,2021,45(03):1158-1166.
- [13] 韩奕,陈维江,韩彬,等.基于系统拓扑动态调整的短路电流抑制措施对系统暂态功角稳定性的影响研究[J].电网技术,2023,47(05):2069-2077.
- [14] 鄯鑫,韩彬,金玉琪,等.动态调整系统拓扑限制短路电流的配置方案及控制策略研究[J].电网技术,2024,48(01):325-334.