

超高压线路主保护丢失情况下的后备保护应急优化方案研究

杨三根¹,徐 驰¹,周宇成²,柯 新²,阮班义³

(1.国网江西省电力有限公司综合服务中心,江西 南昌 330096;2.国网江西省电力有限公司超高压分公司,江西 南昌 330029;
3.国网江西省电力有限公司,江西 南昌 330077)

摘 要:超高压输电系统通常采用双重化配置的光纤保护,但在光纤通道同时异常的情况下,可能导致线路主保护丢失。此时,后备保护可能因动作延时、无选择性动作或拒动而无法有效切除故障。文中针对超高压线路主保护丢失的极端工况,提出了两种后备保护应急优化方案,并分析了不同故障类型及区域内后备保护的動作情况。通过对两种方案的对比分析,提出了合理的优化配置方案,为线路主保护丢失情况下的后备保护应急提供了技术支持。

关键词:主保护丢失;后备保护;应急方案;超高压线路

中图分类号:TM 727 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2025)06-0006-04

0 引言

随着 1000 kV 荆门—武汉特高压线路的投入运行,华中电网已形成“E”字型特高压交流环网,各省电网与华中主网的联系进一步加强,大电网一体化特征更加突出。然而,500 kV 及以上线路在故障过程中或隔离故障时间较长时,会对大电网系统稳定性造成较大冲击,甚至可能导致与华中主网失步解列及江西全网失稳的运行风险。在 500 kV 输电系统中,线路保护通常包括主保护和后备保护,其中主保护主要为纵联保护,后备保护则包括距离保护、零序过流保护、过电压保护等。随着高压输电线路的建设和通信技术的快速发展,线路保护策略逐渐向强化主保护、简化后备保护整定和不完全配合的方向发展,并带来设备冗余、配置复杂和系统响应不及时等问题^[1]。然而,近年来,全站失电、直流系统异常停运、保护装置闭锁、复用通道通信设备失电、通信通道故障等极端工况时有发生,这些故障可能导致变电站单间隔、多间隔甚至全站线路失去差动主保护^[2-3]。当线路主保护丢失后,后备保护因简化或失配,可能导致线路故障时拒动或越级动作,给电网的稳定性和设备安全性

带来巨大风险^[4-5]。

针对线路主保护丢失的极端工况,文中提出改进后备保护定值参数方案,以此提高后备保护应急能力。通过对线路保护设置临时定值区,当线路主保护丢失情况发生时,运维人员及时将定值区切换至临时定值区,解决主保护丢失工况下区域内线路后备保护的长延时动作、无序误动风险和保護灵敏度不够问题,提高后备保护应急快速切除故障的能力。

1 两种应急方案

1.1 调整距离Ⅰ段阻抗定值

在线路主保护丢失的情况下,临时扩大距离Ⅰ段保护范围,将距离Ⅰ段阻抗定值临时调整为距离Ⅱ段阻抗。根据《220 kV ~ 750 kV 电网继电保护装置运行整定规程》(DL/T 559—2018)规定,距离Ⅰ段保护通常按可靠躲过本线路末端故障原则整定,一般为本线路阻抗的 0.8 ~ 0.85,即保护范围为本线路的 80% ~ 85%。如图 1 所示,当 L1 线路主保护丢失时,将 A、B 两站 L1 线路保护的距離Ⅰ段阻抗定值临时调整为距离Ⅱ段阻抗。此时,距离Ⅰ段保护范围将扩大至距离Ⅱ段范围,即 L1 线路全长并延伸至 L2 线路的 30% ~ 40%。该方案能够

收稿日期:2025-07-26

作者简介:杨三根(1989),男,硕士,高级工程师,从事电力审计及电力检修工作。

实现L1线路全长的保护,并快速切除故障线路。

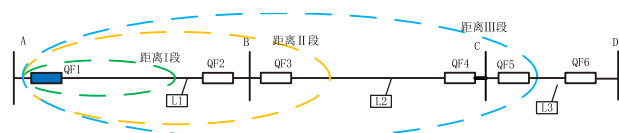


图1 距离保护各段保护范围

1.2 调整距离II段时间定值

考虑系统稳定性,线路主保护失去下,临时缩短距离II段定值时间。为了确保距离II段在加速后不会误动作,该延时需大于保护继电器固有动作时间,基于工程实践及保护动作时限技术要求,即需要满足以下要求:

$$T_{II-set} > T_{relay} \quad (1)$$

$$T_{II-set} = T_{relay} + \Delta t \quad (2)$$

式中: T_{relay} 为微机保护动作时间规程要求上限; Δt 为安全裕度时间。根据工程试验及微机保护特性,其动作时间普遍为0.001~0.015 s,安全裕度时间设置为0.005 s。因此 $T_{II-set} = T_{relay} + \Delta t = 0.015 + 0.005 = 0.02$ s。

根据《220 kV~750 kV 电网继电保护装置运行整定规程》(DL/T 559—2018)规定,距离II段定值按本线路末端发生金属性短路故障有足够的灵敏度原则整定,并与相邻线路距离I段或纵联保护配合,距离II段增加相应动作时间延时。根据《Q/GDW 10422—2017 国家电网继电保护整定计算技术规范》(Q/GDW 10422—2017)规定,线路两套纵联保护全部停运时,要求线路同时停运;特殊情况下,若线路仍需运行,应根据系统计算分析确定缩短线路两侧后备保护灵敏段动作时间定值,并经生产主管领导批准后实施。如图1所示,当L1线路主保护失去时,将A、B两站L1线路保护距离II段定值时间缩短,此方案能够实现保护L1线路全长,并快速切除故障线路。

2 两种方案对比分析

目前,江西电网500 kV线路均为双重化配置线路差动保护,采用主后一体保护装置,同时各线路后备保护按照简化和近后备原则进行配置整定。距离I段保护瞬时动作,发生瞬时故障时“单跳单重”,距离II段保护时间定值一般为0.5 s左右,并投入了“II段保护闭锁重合闸”,发生瞬时故障时,距离II段保护延时“三跳”。

断路器动作时间包括保护动作时间、出口继电器动作时间、断路器固有动作时间。按技术规范的要求,保护动作时间不应超过20 ms,出口继电器动作时间不超过20 ms,按行业标准中的合分时间要求,断路器固有动作时间值不应超过50 ms。因此,断路器动作时间不超过90 ms。

2.1 本线路发生瞬时单相故障

如图2所示,假设B站L2线路保护P3主保护丢失,此时L2线路发生瞬时单相故障。



图2 保护配置及故障示意图

若采用方案一,调整距离I段阻抗定值。此时故障均在保护范围内,B、C两站保护P3、P4距离I段均动作,断路器QF3、QF4单跳单重后,线路L2重新恢复正常运行。

若采用方案二,调整距离II段时间定值。根据故障点位置分三种情况,见表1。

表1 故障点分类及分析

故障点位置	P3距离I段保护范围内	P3、P4距离I段保护范围内	P4距离I段保护范围内
保护动作行为	P3距离I、II段动作 P4距离II段动作	P3、P4距离I、II段动作	P4距离I、II段动作 P3距离II段动作
断路器动作情况	QF3、QF4三相跳闸	QF3、QF4三相跳闸	QF3、QF4三相跳闸

具体分析如下:

1) 若此时故障在近QF3处(P3保护距离I段范围内,P4保护距离I段范围外),B站保护P3距离I段动作,由于距离II段定值时间改为0.02 s,在0.02 s内L2线路断路器QF3还未断开,保护P3距离II段动作,断路器QF3三跳。

C站保护P4距离II段动作,断路器QF4直接三跳,线路L2被切除。

2) 若此时故障在QF3与QF4中间(P3、P4保护距离I段范围内),B、C两站保护P3、P4距离I段均动作,由于距离II段定值时间改为0.02 s,在0.02 s内L2线路断路器QF3、QF4还未断开,保护P3、P4距离II段动作,断路器QF3、QF4三跳,线路L2被切除。

3) 若此时故障在远QF3处(P3保护距离I段范围外,P3、P4保护距离I段范围内),C站保护P4距离I段能可靠动作,由于距离II段定值时间改为0.02 s,在0.02 s内L2线路断路器QF4还未断开,保护P4距离II段动

作,断路器 QF4 三跳。B 站保护 P3 距离 II 段动作,断路器 QF3 三跳,线路 L2 被切除。

此时,值班调度人员无法根据断路器 QF3、QF4 的位置及保护报文,判别 L2 线路发生瞬时故障还是永久故障。

2.2 本线路发生永久故障

图 3 中,假设 B 站 L2 线路保护 P3 主保护丢失,此时 L2 线路发生永久故障。

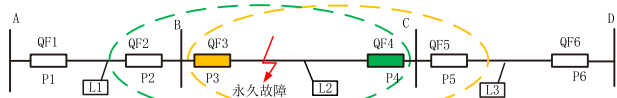


图 3 保护配置及故障示意图

若采用方案一,调整距离 I 段阻抗定值。此时故障均在保护范围内,B、C 两站保护 P3、P4 距离 I 段均能可靠动作,断路器 QF3、QF4 单跳单重,重合故障后三跳,线路 L2 被正确切除。

若采用方案二,调整距离 II 段时间定值。其故障位置、保护动作行为、断路器动作行为与本线路发生瞬时单相故障一致,值班调度人员也无法判别 L2 线路发生瞬时单相故障还是永久故障。

2.3 相邻线路发生瞬时单相故障

图 4 中,假设 B 站 L2 线路保护 P3 主保护丢失,此时 L3 线路发生瞬时单相故障。



图 4 保护配置及故障示意图

若采用方案一,调整距离 I 段阻抗定值。此时故障在 B 站 P3 保护的范围内,也在 C、D 站保护 P5、P6 的主保护的范围内,B 站保护 P3 距离 I 段能可靠动作,断路器 QF3 单跳单重后,线路 L2 重新恢复正常运行;同时,C、D 两站保护 P5、P6 主保护动作,断路器 QF5、QF6 单跳单重后,线路 L3 重新恢复正常运行。

若采用方案二,调整距离 II 段时间定值。此时故障在 B 站 P3 保护的范围内,也在 C、D 站的主保护的范围内。由于距离 II 段定值时间改为 0.02 s,在 0.02 s 内 L3 线路断路器 QF5、QF6 还未断开,B 站保护 P3 距离 II 段动作,断路器 QF3 直接三跳,线路 L2 被切除;同时,C、D 两站保护 P5、P6 主保护动作,断路器

QF5、QF6 单跳单重后,线路 L3 重新恢复正常运行。此时,值班调度人员根据断路器 QF3、QF5、QF6 的位置能够判别 L3 线路发生瞬时故障,L2 线路未发生故障,值班调度人员可合上断路器 QF3,恢复 L2 线路正常运行。

2.4 相邻线路发生永久故障

图 5 中,假设 B 站 L2 线路保护 P3 主保护丢失,此时 L3 线路发生永久故障。

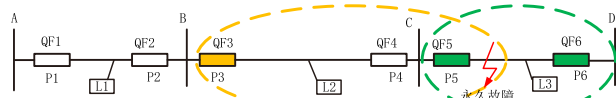


图 5 保护配置及故障示意图

若采用方案一,调整距离 I 段阻抗定值。此时故障在 B 站 P3 保护的范围内,也在 C、D 站的主保护的范围内,B 站保护 P3 距离 I 段动作,断路器 QF3 单跳单重,重合故障后三跳,线路 L2 被切除。同时,C、D 两站保护 P5、P6 主保护动作,断路器 QF5、QF6 单跳单重,重合故障后三跳,线路 L3 被切除。此时,值班调度人员根据断路器 QF3、QF5、QF6 的位置能够判别 L3 线路发生永久故障,L2 线路未发生故障,值班调度人员可合上断路器 QF3,恢复 L2 线路正常运行。

若采用方案二,调整距离 II 段时间定值。此时故障在 B 站 P3 保护的范围内,也在 C、D 站的主保护的范围内。由于距离 II 段定值时间改为 0.02 s,在 0.02 s 内 L3 线路断路器 QF5、QF6 还未断开,B 站保护 P3 距离 II 段动作,断路器 QF3 直接三跳,线路 L2 被切除;同时,C、D 两站保护 P5、P6 主保护动作,断路器 QF5、QF6 单跳单重,重合故障后三跳,线路 L3 被切除。此时,值班调度人员根据断路器 QF3、QF5、QF6 的位置能够判别 L3 线路发生永久故障,L2 线路未发生故障,值班调度人员可合上断路器 QF3,恢复 L2 线路正常运行。

2.5 相邻线路发生高阻接地故障

图 6 中,假设 B 站 L2 线路保护 P3 主保护丢失,此时 L3 线路发生高阻接地故障。

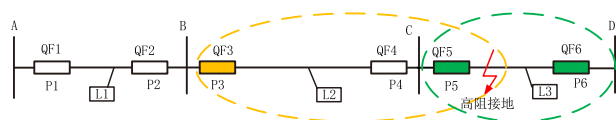


图 6 保护配置及故障示意图

若采用方案一,调整距离I段阻抗定值。此时故障在B站P3保护的范围内,也在C、D站的主保护的范围内。但是,由于L3发生高阻接地,B站保护P3距离I段不动作;同时,C、D两站保护P5、P6主保护可靠动作。

若采用方案二,调整距离II段时间定值。此时故障在B站P3保护的范围内,也在C、D站的主保护的范围内。但是,由于L3发生高阻接地,B站保护P3距离II段不动作;同时,C、D两站保护P5、P6主保护可靠动作。

3 结语

随着特高压变电站的增多,500 kV线路延时动作、拒动会引起换流站直流线路换相失败,严重时导致特高压线路被迫停运。文中提出了线路主保护丢失的极端工况下,修改后备保护临时定值,以此提高后备保护应急能力。

1) 方案一在本线路失去主保护的情况下,无论本线路或相邻线路发生瞬时或永久故障,均能正确动作并切除故障。即便在相邻线路近端故障时存在选择性减少的问题,有可能导致停电范围扩大,但作为临时应急措施,仍能优先确保故障可靠、迅速切除;同时,值班调度人员能够通过各站断路器的位置特征,准确判断本线路及相邻线路的故障类型,并及时恢复电网运行方式,因此对系统整体稳定性的影响较小。

2) 方案二在本线路失去主保护的情况下,无论本线路和相邻线路发生瞬时或永久故障,均将本线路切除,能够有效地切除故障。但直接切除本线路,增加了线路停电时间,降低了系统的稳定性。

3) 在本线路失去主保护的情况下,相邻线路发生高阻接地时,方案一、方案二中距离I段、距离II段保护均不动作,对本线路动作无影响。

4) 在本线路失去主保护的情况下,本线路发生多相故障时,方案一与方案二断路器动作行为一致,断路器均为三跳。

5) 综合对比方案一和方案二在不同故障情况下的保护动作及断路器动作行为,方案一在正确切除故障的同时,能够帮助值班调度人员准确判断故障类型,因此方案一优于方案二。

参考文献:

- [1] 管茗同. 继电保护装置在智能变电站中的配置优化[J]. 电气技术与经济, 2025(08): 198-201.
- [2] 肖洪光, 郭永鑫, 杨璐. 继电保护越级跳闸事故的原因追溯及措施研究[J]. 自动化仪表, 2023, 44(11): 90-96.
- [3] 傅亦宏. 直流系统异常停运致保护拒动处理与预控措施分析[J]. 电气技术与经济, 2025(01): 311-313.
- [4] 王英英, 金明亮, 王玉龙, 等. 应对线路差动主保护丢失的后备保护应急方案[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(07): 174-181.
- [5] 葛立青, 杨敏, 滕井玉, 等. 应对信息缺失的变电站广域后备保护研究[J]. 供用电, 2021, 38(02): 33-39.