

高阻接地故障双重化保护动作不一致原因分析

温靖华, 罗美玲, 徐丽娟

(国网宁夏电力公司调度控制中心, 宁夏 银川 750001)

摘要: 针对 220 kV 线路高阻接地故障过程中线路两侧双重化保护动作行为不一致的问题, 依据故障时序分为 3 个阶段分析故障保护报文信息和录波, 同时通过故障仿真计算验证, 找出保护动作不一致的原因和影响保护动作行为的现场缺陷, 提出保护定值整定方法及保护装置应用的优化逻辑, 以使高压线路发生高阻接地时两侧双重化保护装置能够快速、一致的动作, 最大限度地保护电网和设备安全。应用结果表明: 提出的保护整定方法易于计算, 适用于 220 kV 及以上线路保护定值计算, 利用背侧电源大小整定保护启动值从根本上解决了线路两侧保护动作不一致问题。

关键词: 保护动作行为; 高阻接地; 定值计算

中图分类号: TM774 **文献标志码:** B **文章编号:** 1672-3643(2014)05-0023-06

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2014.05.006>

Cause analysis of duplicate protection action inconsistency for high-resistance grounding fault

WEN Jinghua, LUO Meiling, XU Lijuan

(Dispatching Control Center of State Grid Ningxia Power Co., Yinchuan Ningxia 750001, China)

Abstract: Aiming at the problem of duplicate protection action inconsistency on both sides of the line in the process of high-resistance grounding fault of 220 kV transmission line, according as fault time order divides three phases to analyze fault protection report information and fault waveform, simultaneously by fault simulation calculation and verification, finds out the causes of protection action inconsistency and protection action behavior defect, puts forward the setting method and optimization logic for application for protection device, when high-resistance grounding fault occurs on high voltage line, both sides of duplicate protection device can act fleetly and congruously, uttermostly protects the security of power grid and equipments. The application result shows that the proposed protection setting method calculate easy, suits for 220 kV and above line protection setting calculation, using dorsal power source value setting protection start-up value solves the problem of protection action inconsistency on both sides of transmission line.

Key words: protection action behavior; high-resistance grounding fault; settings calculation

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2014.05.006

收稿日期: 2014-07-18

作者简介: 温靖华(1968), 女, 高级工程师, 从事继电保护整定计算及运行技术管理工作。

数字通信技术的发展,使得目前 220 kV 线路优先采用光纤通道的电流差动保护,且双重化配置^[1]。由于光纤通道频道宽,光差实现的分相式差动具有天然的选相能力^[2]。双重化光差保护中含有距离、零序电流保护。零序电流保护是反应接地故障的后备保护,尤其零序电流Ⅳ段承担着电网发生高阻接地最后一道保护防线^[3],统计资料^[4]表明,220 kV 系统故障时的接地电阻可达 100 Ω,为此相应的整定规程^[5]要求零序电流Ⅳ段定值不大于 300 A。一般 220 kV 级以上线路,为提高保护装置动作的可靠性,线路配置 2 套不同制造商的光纤差动保护,因线路光纤差动保护两侧需要相互交换数据和信号,以确保护装置正确动作,故线路两侧的 2 套保护装置必须保持型号一致,以取得线路两侧保护逻辑完全的一致。本文针对某 220 kV 线路发生 C 相高阻接地故障,线路 M 侧第一套保护装置的零序方向电流Ⅳ段动作,三相跳闸,第二套保护启动但未动作出口;线路 N 侧两套保护装置差动动作,单跳单重,重合成功。故障过程中线路两侧的双重化保护装置出现了动作行为不一致的现象,依据保护装置报文信息、录波及故障仿真计算找出不一致动作的原因,提出解决方法以供整定计算人员和现场保护人员参考。

1 故障经过

11 时 54 分,某公司新进厂重型自卸货车司机,未在安检人员现场监督下,进入某工业园区原料场卸载原料。卸载过程中,车厢靠近某 220 kV 线路的 5 号杆塔大号侧 C 相导线约 180 m,线路下方砂石料堆放距离 C 相导线不足 6 m,造成空气间隙不足产生放电,并将装沙车绝缘轮胎击穿形成高阻接地故障。该线路 M 侧第一套零序方向电流Ⅳ段保护动作,开关三跳;第二套保护未动作。线路 N 侧 2 套光纤电流差动保护动作,C 相开关跳闸,重

合闸动作且重合成功,故障位置如图 1 所示。

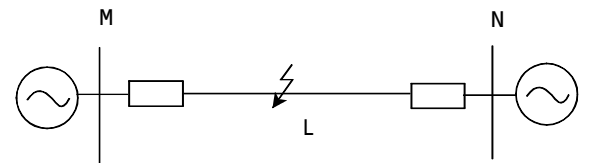


图 1 220 kV 线路高阻接地故障

2 保护动作行为分析

2.1 线路 M 侧保护动作行为分析

保护装置报文信息如下:
第一套保护装置报文信息:
动作绝对时间:11:54:55.387。
0 ms:保护启动。
4 078 ms:零序方向电流Ⅳ段动作,跳 ABC。
4 124 ms:光纤电流差动保护动作,跳 ABC;
故障零序电流:1.71 A;
故障差动电流:2.10 A。
4 143 ms:B 相跳闸位置 0→1。
4 143 ms:C 相跳闸位置 0→1。
4 144 ms:A 相跳闸位置 0→1。
第二套保护装置报文信息:
动作绝对时间:11:54:55.700。
0 ms:保护启动。

线路第一套和第二套保护启动及动作定值如表 1 所示。由表 1 可看出,线路 M 侧两套保护装置定值完全相同。以时间为顺序,故障过程可分为三个阶段。

- 2.1.1 故障第一阶段(11 时 54 分 55 秒 38 毫秒)
零序电流达到启动值 1A,第一套、第二套保护启动。
- 2.1.2 故障第二阶段(11 时 54 分 55 秒 316 毫秒)
保护启动 278 ms 后,如图 2 所示,故障零序电流 3I₀ 采样值由 1 A 逐渐增大至 1.71 A,大于第一套保护装置的零序Ⅳ段电流定值 1.25 A,满足

表 1 M 侧双套保护启动及相关动作定值

保护装置	相电流启动 二次值/A	零序电流启动 二次值/A	零序电流Ⅳ段 二次定值/A	零序Ⅳ段 时间/s	差动电流二 次定值/A	差动电流 时间/s	CT 一次值/A	CT 二次值/A
第一套保护	1	1	1.25	3.8	2	0	1 200	5
第二套保护	1	1	1.25	3.8	2	0	1 200	5

动作条件。如图 3 所示, 零序电压 $3U_0$ 采样值为 1.48 V 大于装置固有的零序电压门槛值 0.5 V, 零序方向元件满足开放条件, 零序方向电流 IV 段动作出口, 延时 3 800 ms 后, 跳 M 侧开关三相。

此时, 故障零序电流也大于第二套保护装置零序 IV 段电流定值 1.25 A, 满足电流动作条件。与第一套装置不同的是第二套装置零序电压固有门槛值设定为 0.5 V+浮动门坎。故障前由于系统存在不平衡电压使装置采样零序电压 $3U_0$ 已达到 1.1 V, 装置将该电压记为浮动电压值, 故障时零序电压 $3U_0$ 采样值 1.48 V, 低于当前装置零序电压 1.6 V (1.1 V+0.5 V) 的判别门槛, 零序方向未开放, 造成零序电流被零序电压闭锁, 零序方向电流 IV 段未动作。

2.1.3 故障第三阶段(11 时 54 分 59 秒 118 毫秒)

保护启动 4 124 ms 后, N 侧第一套保护装置收到 M 侧第一套保护装置零序方向电流 IV 段动作出口信号, 按图 4 逻辑启动 N 侧第一套保护装置, 此时 C 相采样差流达到 2.10 A 大于差动定值 2 A, M 侧第一套光纤差动保护满足线路两侧保护启动和差流达到的动作条件也动作, 一般开关固

有动作时间 40~50 ms, 经过 10 ms 还未能跳开 C 相时, 第一套零序方向电流 IV 段保护已出口将 M 侧开关三相跳开。

2.2 线路 N 侧保护动作行为分析

保护装置报文信息如下:

第一套保护装置报文信息:

动作绝对时间: 11:54:58.900。

0 ms: 保护启动。

10 ms: 光纤电流差动保护动作, 跳 C。

659 ms: 重合闸动作;

故障相电流: 0.86 A;

故障差动电流: 1.59 A。

65 ms: C 相跳闸位置 0→1。

674 ms: C 相跳闸位置 1→0。

第二套保护装置报文信息:

动作绝对时间: 11:54:59.115。

0 ms: 保护启动。

11 ms: 光纤电流差动保护, C 跳出口。

626 ms: 重合闸出口。

线路第一套和第二套保护启动及动作定值如表 2 所示。由表 2 可看出, 线路 N 侧两套保护装置定值完全相同。以时间为顺序分析故障过程, 可分为 3 个阶段。

2.2.1 故障第一阶段(11 时 54 分 55 秒 38 毫秒)

未达到启动值, 第一套、第二套保护未启动。

2.2.2 故障第二阶段(11 时 54 分 59 秒 115 毫秒)

M 侧开关三跳, M 侧第一套保护装置向 N 侧第一套保护装置发内部联跳信号 (如图 4 所示), 第一套保护装置保护启动, 经 C 相差流判别, 满足 C 相差动动作条件, 10 ms 后发出 C 相跳闸令, 63 ms 后跳开 N 侧 C 相开关。

2.2.3 故障第三阶段

线路 M 侧三相开关跳开后, 系统故障电流重新分配, 受电流助增的影响, 线路 N 侧开关 C 相故障电流增大 (如图 5 所示), 达到 0.76 A 大于电

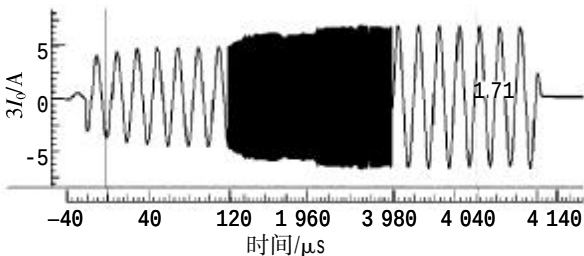


图 2 线路 M 侧零序电流 $3I_0$ 录波

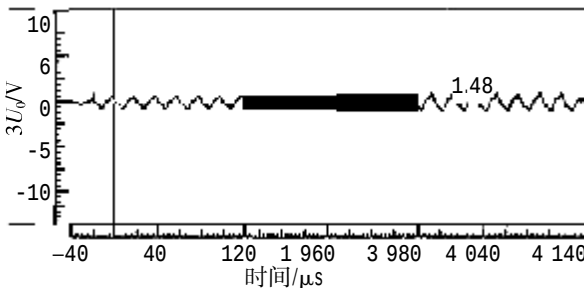


图 3 线路 M 侧零序电压 $3U_0$ 录波

表 2 N 侧双套保护启动及相关动作定值

保护装置	相电流启动 二次值/A	零序电流启动 二次值/A	零序电流 IV 段 二次定值/A	零序电流 IV 段时间/s	差动电流 二次值/A	差动电流 时间/s	CT 一次/A	CT 二次/A
第一套保护	0.5	0.7	0.9	3.9	1.5	0	1 600	5
第二套保护	0.5	0.7	0.9	3.9	1.5	0	1 600	5

流变化量启动值 0.5 A,此时,第二套保护装置被启动,同时 M 侧开关跳闸位置开放了 N 侧的差动保护,经 11 ms 判断满足差动动作条件,C 相差动保护动作,出口跳 C 相。经 626 ms 延时,重合闸动作,C 相重合成功。

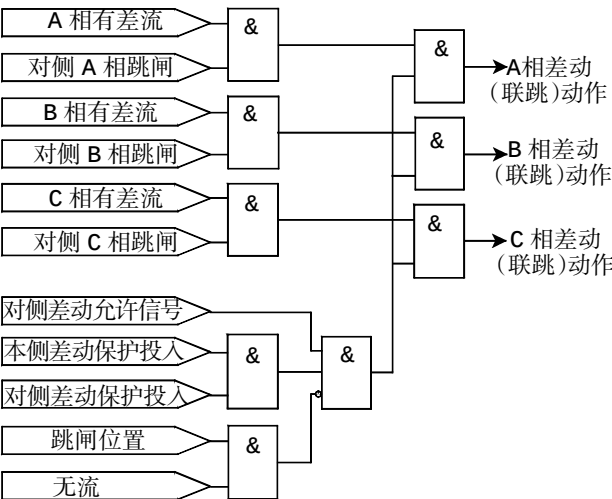


图 4 第一套保护装置联跳逻辑

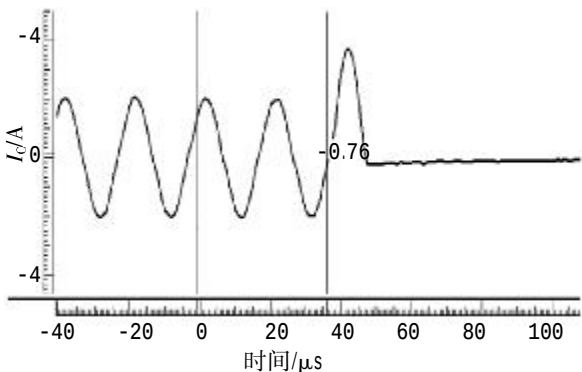


图 5 线路 N 侧 C 相电流 I_C 录波

3 故障仿真计算分析

现场查找故障点在线路的 5 号、6 号杆之间,距离 M 侧 1.68 km,线路全长 6.735 km,经计算故

障点至 M 侧距离约占全线的 25%。搭建故障时系统模型,利用“省地一体化整定计算系统”中的仿真功能对故障点 C 相金属性、经 100 Ω 电阻接地和经 256 Ω 电阻接地 3 种工况进行仿真计算,结果如表 3 所示。对比装置实际采样电流,可以判断实际故障大约经 256 Ω 电阻接地,并且是发展性故障,装沙车因电气安全距离不足,造成线路对其持续放电击穿,接地电阻由最初较大数值逐渐减小至能够启动线路 M 侧保护装置的 256 Ω 。由统计资料表明^[4],一般 220 kV 线路接地电阻最大可达 100 Ω ,所以文献^[5]规定零序电流 IV 段定值按不大于 300 A 整定,通常按 300 A 取值。本次故障跳闸时接地电阻已高达 256 Ω ,故障发生初始的过渡电阻也应远大于 256 Ω ,所以是一次罕见的高阻接地故障。保护装置线路录波(如图 2 所示)表明电流是从开始持续性的增大,接地电阻也能够由 256 Ω 持续减小到 100 Ω 。当接地电阻减小至 100 Ω 时,仿真计算结果表明线路两侧双重化保护装置能够同时启动,线路两侧差流达到差动定值,线路两侧光纤差动保护能够快速动作。

4 防止线路两侧双重化保护动作不一致的策略

西北干旱地区高压线走廊下少有树木,发生对树放电的高阻接地故障较为少见,尤其经 256 Ω 电阻接地的故障就更难以发生。文献^[4]中叙述故障接地电阻小于等于 100 Ω 时保护装置能够可靠跳闸,就本次故障案例高阻已达 256 Ω 接地电阻未要求保护装置跳闸,虽然未对系统稳定及电气设备造成危害,但终究发生对设备的放电现象,使高压线、车厢和轮胎多处受损,线路两侧保护装置

表 3 故障点经不同接地过渡电阻的仿真计算数据

故障点经不同电阻接地	M 站				N 站				故障点			
	I_C/A	$3I_0/A$	U_0/kV	$3U_0/kV$	I_C/A	$3I_0/A$	U_0/kV	$3U_0/kV$	I_C/A	$3I_0/A$	U_0/kV	$3U_0/kV$
故障点 C 相金属性接地	21 318	3×7 104	19	3×40	7 861	3×26 224	21	3×38	29 179	3×9 726	0	3×50
故障点 C 相经 100 Ω 接地	963	3×321	132	3×1.81	355	3×118	132	3×2.28	1 318	3×439	131	3×2.28
故障点 C 相经 256 Ω 接地	378	3×125	132	3×0.71	139	3×46	132	3×0.68	517	3×171	132	3×0.89

有责任快速、一致动作以缩短隔离故障的时间,保护设备和电网的安全。因此需要优化保护动作行为。

通过以上分析可以看出,线路两侧双重化保护动作有三处动作不一致行为。需要从现场运行、保护装置逻辑和线路保护计算三方面采取解决方法,避免保护动作不一致行为的发生。

4.1 防止零序方向电流保护动作不一致

由上述分析可知,线路 M 侧第一套和第二套零序方向电流Ⅳ段保护动作不一致的原因为零序电压 $3U_0$ 的门槛值不一致。第一套为 0.5 V ,第二套为 $0.5\text{ V}+$ 浮动门槛。事实上浮动门槛是躲过正常运行系统产生不平衡电压的有效方法,不应该被取消。而 0.5 V 的取值已是多年因零序方向元件拒动由 2 V 降低为 0.5 V 而来的,为保证可靠性文献[6]中已明确指出不宜过分降低电压门槛值来提高零序电压的灵敏度,以避免误动的发生。因此本次故障浮动门槛 1.1 V ,是造成第二套零序方向电流Ⅳ段不动作的首要原因。要消除 1.1 V 的正常不平衡电压,就需要现场运维人员巡视发现保护装置 $3U_0$ 采样异常时,检查 PT 的一、二次回路,分析产生异常采样的原因,及时消除异常采样的缺陷。

4.2 防止双重化保护动作出口强制对侧启动逻辑不一致

第一套零序方向电流Ⅳ段保护动作出口后,对侧收到信号,在对侧有差流的情况下,强制对侧保护启动,使两侧差动保护动作,加快了线路内部故障的判别速度。第二套保护不具备该功能,线路光差保护增加强制启动对侧功能,该功能是在本侧保护启动的情况下,如果本侧保护出口,并经差流判别确认是线路内部故障,可强制启动对侧保护,然后继续判定差流是否达到定值,再可靠动作出口。这样,在高阻故障时线路两侧差动保护能够快速启动并动作。所以第二套保护装置有必要完善该功能以优化保护逻辑,确保高阻接地故障时保护快速动作。

4.3 防止线路两侧保护启动的不一致的定值优化

本次故障时线路两侧保护不能同时启动,也是制约两侧光纤差动保护不能快速动作的根本原因。

线路两侧保护不能同时启动是因为启动定值整定的灵敏度不一样所致,由表 3 线路两侧电流仿真计算结果可以看出,线路 M 侧的背侧电源大于 N 侧的背侧电源。通过计算可以得到线路两侧电源大小的比值,具体方法是计算出线路 M 侧线末最小相电流 $3\ 047\text{ A}$,线路 N 侧线末最小相电流 $1\ 233\text{ A}$,两侧最小相电流的比值即为两侧电源大小的比值。可以得到线路 M 侧电源大于 N 侧 2.47 倍,如果线路两侧的保护启动值按相同的灵敏度整定,线路 M 侧启动一次定值若取 240 A ,N 侧启动一次定值应为 $240\div 2.47=97\text{ A}$ (实际整定为 160 A),那么在上述故障案例中线路 M 侧启动时,N 侧也可同时启动,当两侧差流达到时可以同时出口,避免两侧保护动作行为的不一致。当发生高阻接地时两侧电源比值不会发生变化,保护装置的零序电流的辅助启动值同样按上述方法整定,应该是行之有效的方法。

5 应用效果

近两年,电网新建 220 kV 靖安、金贵、李俊、新梁智能变电站及新能源集中送电站 330 kV 九彩变电站的建设工程中,通过利用线路两侧背侧电源大小整定线路光纤差动保护启动值,保护装置统一采用单侧保护动作有差流条件下启动线路对侧保护逻辑,加强现场保护人员发现保护装置采样异常的消缺能力,在 220 kV 线路发生多起故障后,保护装置再未出现线路两侧双重化保护动作行为不一致的现象,电网设备得到了快速、可靠的保护。

6 结论

(1)线路发生高阻接地时两侧双重化保护不一致动作的原因是:

①线路两侧保护启动定值灵敏度不同;

②线路正常运行时有三相不平衡电压存在,保护启动逻辑不统一。

(2)现场需要经常检查保护装置 PT 二次回路的采样值,实时监视保护装置的自检信号,保持电

压一、二次回路的对称性,避免保护装置零序电压保护范围限制零序电流保护范围的问题发生,以提高线路方向保护动作的灵敏度和可靠性。

(3)不同型号不同制造商的线路光差保护装置,当线路保护一侧已判别达到保护定值动作时,同时线路两侧判有差流下,可以增加强制对侧启动的逻辑功能,以加快线路区内故障的切除速度。

(4)通过计算线路末端最小故障电流得到线路两侧背侧电源大小,线路两侧保护启动值按背侧电源大小比值即相同灵敏度整定,可以保证线路发生高阻接地时两侧保护同时启动,当判别差流达到定值时,两侧保护能够同时快速动作。

(上接第 3 页)

实现各类指标的统计;

(3)基于可靠性的电网状态分析。依据输变电设备的可靠性数据,对电网状态进行概率分析,评估电网的安全风险;

(4)辅助输变电设备状态评估。根据输变电设备状态评估的需要,为其提供辅助决策数据,并进行趋势分析,如设备负载率等。

3 应用效果

通过现场部署、试运行,表明在线动态安全评估系统能够满足电网在线校核的计算需求,实现了对电网调度生产运行的在线支撑;离线动态安全评估支持系统能够对在线系统进行全面的支持,数据模型更新与维护方面较传统模型更加及时、准确,确保了在线计算结果的可靠性;电网断面深度分析方面强化了对电网运行断面的扩展分析内容,为调度提供了更为精确的调度策略。

4 结论

(1)在线动态安全评估系统可满足电网调度生产运行的计算需求,为调度员进行电网安全调度提供可靠的依据。

参考文献

- [1] GB/T 14285—2006,继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [2] 朱声石 编 高压电网继电保护原理与技术(第三版)[M].北京:中国电力出版社.2005.
- [3] 贺家李,宋从炬 主编 电力系统继电保护原理[M].北京:中国电力出版社.2004.
- [4] 崔家佩等,主编 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M].北京:中国电力出版社.1993.
- [5] DL/T 559—2007,220~750 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].
- [6] 国家电网公司运维检修部编.国家电网公司十八项电网重大反事故措施(修订版)[M].北京:中国电力出版社.2012.

(2)离线动态安全评估支持系统可在数据模型、准确性校验、深度分析等方面为在线动态安全评估系统及调度员提供支撑。

(3)宁夏电网动态安全评估系统在线一离线一体化功能设计有效提升了动态安全评估系统的运维及应用水平,为电网生产运行提供了在线技术支撑。

参考文献

- [1] 严剑峰,于之虹,田芳,等.电力系统在线动态安全评估和预警系统[J].中国电机工程学报,2008,28(34): 87-93.
- [2] 郑超,侯俊贤,严剑峰.在线动态安全评估与预警系统的功能设计与实现[J]. 电网技术,2010,34(3):55-60.
- [3] 潘志宏,张伯明.能量管理系统中在线动态安全评估的研究[J].清华大学学报:自然科学版,1999,39(3): 45-48.
- [4] 宋敏文,马世英,侯俊贤.实时动态安全评估中在线和离线仿真互访过程研究[J].电网技术,2010,34(2): 71-75.
- [5] 王守相,张伯明,郭琦.在线动态安全评估中事故扫描的综合性能指标法[J].电网技术,2005,29(1):60-64.
- [6] 丁平,奚江惠,江嫚等.大电网在线动态安全评估系统仿真效果评价[J].电网技术,2012,36(12):153-158.