

# 小电流接地选线跳闸技术分析探讨与试点建设

周 兰, 尚 超

(国网重庆市电力公司市南供电分公司, 重庆 601336)

**摘要:**针对当前小电流接地配电网系统中电缆线路不断增多,传统中性点接地方式及人工拉路方法难以满足现代城市电网安全要求的形势,梳理了灵活并小电阻选线跳闸、灵活并中电阻选线跳闸、主动干预灭弧、分布式选线跳闸、集中式选线跳闸共5种接地选线后作用于跳闸方案的动作逻辑及主要优缺点。并通过某电力公司试点建设的动作数据及运行经验,推荐已投运设备选择集中式单相接地选线跳闸方案,新建与改造设备选择分布式单相接地选线跳闸方案。

**关键词:**小电流系统;接地选线跳闸;分布式接地选线;集中式接地选线

**中图分类号:**TM774 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)01-0035-03

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20210108

## Analysis and Pilot Construction of Grounding Line Selection Tripping Technology in Small-current Grounding System

Zhou Lan, Shang Chao

(State Grid Shinan Electric Power Supply Branch of Chongqing Electric Power Company, Chongqing 601336, China)

**Abstract:** Due to the increase of cable lines in small-current grounding distribution systems currently, traditional neutral point grounding modes and manual pulling method now is difficult to meet the security requirements of modern urban power grid. The action logic, main advantages and disadvantages of five kinds of grounding line selection tripping schemes are sorted out, that is, parallel small resistance line selection, parallel medium resistance line selection, active intervention of arc extinction, distributed line selection and centralized line selection. Through the actual data and operation experiences of a electric power company, the centralized single-phase grounding line selection tripping scheme is recommended if the electrical equipment is already in operation, and the distributed single-phase grounding line selection tripping scheme can be selected if the equipment has not been put into operation.

**Key words:** small-current grounding system; grounding line selection tripping; distributed grounding line selection; centralized grounding line selection

## 0 引 言

配电网主要作用是向用户分配电能,其网络庞大,结构复杂,分布面广,易产生各类故障,其中线路单相接地故障占比80%以上。国内外普遍存在配电网接地故障的难题。目前中国中低压配电网较为广泛地采用小电流接地系统,因单相接地后三相线电压基本保持不变,国内传统运行规程规定小电流接地系统发生单相接地允许接地运行 $1\sim 2\text{ h}^{[1-3]}$ 。

近些年来,随着国内电网的不断发展,城市中心变电站电缆出线越来越密集,电缆沟道数量亦急剧增加,电缆线路接地后若弧光长时间存在,会加重对故障点的破坏,严重时造成相间故障,甚至引发火灾造成电缆群伤事件或大面积停电。欧洲国家中,除奥地利、德国允许小电流接地系统继续带电运行外,其他国家都是在检测到发生接地故障且经过一段时间不能自行熄弧后直接跳开故障线路。亚洲的日本也采用直接跳开故障线路的做法<sup>[4]</sup>。国内的广东电网等单位已开始优化中性点接地方式实现接地快速跳

闸的功能<sup>[5-6]</sup>。

近两年某电力公司已多次发生电缆沟火灾事故,造成了一定的经济损失及社会影响。究其原因,均因未能快速切除始发的 10 kV 电缆单相接地故障有关。因此,急需开展小电流接地系统单相接地故障时快速切除故障的研究与试点。

## 1 小电流接地选线跳闸技术

小电流接地系统单相接地故障选线跳闸技术(以下简称小电流接地选线跳闸),是以变电站、开闭所内线路保护装置或公用设备为基础,利用故障产生的信息或其他设备附加的信息确定故障线路,经延时判断非瞬时故障后,直接作用于跳闸的方法。

应用小电流接地选线跳闸技术需对变电站内现有一次或二次设备进行改造,主要通过改造一次设备实现选线跳闸的有灵活并小电阻选线跳闸、灵活并中电阻选线跳闸、主动干预灭弧 3 种方案;主要通过改造二次设备实现选线跳闸的有分布式选线跳闸、集中式选线跳闸两种方案。

### 1.1 一次设备改造

#### 1.1.1 灵活并小电阻选线

该方案中,当系统发生单相接地时,若接地故障持续 1~10 s,则消弧线圈自动并小电阻接地,接地回路零序电流升高,利用馈线零序保护动作跳闸。无论馈线回路跳闸与否,小电阻持续投入 0.1~10 s 自动退出,系统恢复为消弧线圈接地方式。若接地消除,则装置自动复归;若接地故障仍存在,则靠人工断开故障线路。

该方案施工难度与成本不高,即使馈线回路跳闸不成功,但选线装置仍能正确发出信号,因此理论上选线正确率高。但实际运行电网中接地情况复杂,馈线零序保护定值整定困难,灵活并小电阻选线法对于复杂故障可能难以准确判断。因接地时并小电阻对一次系统有较大影响,该方法会造成故障回路零序电流升高,使电弧可能更大。另外,控制器发生故障,在并接小电阻无法自动退出时,容易被烧坏,对零序 CT 容量要求也较高。

#### 1.1.2 灵活并中电阻选线

该方案中,当系统发生单相接地时,若接地故障持续 1~10 s,则消弧线圈自动并中电阻接地。中电阻投入持续 0.1~10 s 后自动返回。消弧线圈中性

点处零序电流与各线路零序电流进行相位比较判断出接地线路,接地装置再进行告警、跳闸。

灵活并中电阻选线方案对零序 CT 要求不高,施工难度与成本相对较低。但该方法因一个判断逻辑的最多选线条数未受限制,若选线错误则存在多条线路误跳的风险。接地时并中电阻对一次系统有较大影响,会造成故障回路零序电流升高,电弧可能更大。此外,灵活并中电阻选线方案对一次电缆屏蔽层接地方式要求高,且每套装置所接回路数少。

#### 1.1.3 主动干预灭弧

通过主动干预灭弧,当系统发生单相接地时,若接地故障持续 40 s,故障相的接地开关柜自动合闸,母线直接接地,30 s 后自动复位。若自动复位后线路单相接地故障未消除,将再次合闸,之后需人工远方断开故障线路,再进行接地装置复位。

主动干预灭弧法最大的优点是单相接地线路故障点可实现快速灭弧。但也存在诸多缺点,如选线正确后不作用于跳闸,需靠人工断开故障线路;主动干预灭弧装置动作时,会造成母线直接接地,对系统影响较大;当控制器发生故障时,存在接地开关柜烧坏的风险。

### 1.2 二次设备改造

#### 1.2.1 分布式选线跳闸

分布式小电流接地选线方案是将接地选线功能分布集成于 10~35 kV 的线路保护装置中。当本线路的接地概率最高时,则经延时率先跳闸。若跳闸后“选跳错误重合闸延时”内故障消失则判定选线跳闸成功,否则判定为选线跳闸错误。若选线跳闸错误,并且重合闸功能未投入,则继续跳其他可能接地的线路;若选线跳闸错误,并且重合闸功能投入,则经延时重合线路,线路重合后 0.2 s 继续跳其他可能接地的线路,最多跳 3 条线路,若选线跳闸成功,则保护复归。

分布式选线跳闸法选线跳闸成功率较高,一个判断逻辑最多可选择 3 条概率最大的线路,即使错误选线也不会造成多条线路跳闸。若选线失败则自动重合,且与线路本身重合闸是两个完全独立的逻辑,不相互影响。此外,该方法将功能集成于线路保护 CPU 中,不需增加额外设备,在新建与改造站中特别适用。因仅对二次设备进行改造,不会对一次系统造成影响;且设备运行较为稳定,故障率低。

但是,分布式选线跳闸法对诸如 3 s 内两条线

路同时发生同相接地的复合故障不能正确选线。针对已投运站,站内必须是同一厂家且版本较新的装置才能实现升级,因此适用范围较小,且对现场已有的保护装置要求高,施工时需对每套保护装置更换 CPU 或升级,重新配置装置二次线,费用较高,施工难度大,停电时间长。另外,该方法对零序 CT 的极性、一次电缆屏蔽层接地方式的要求较高。

### 1.2.2 集中式选线跳闸

集中式选线跳闸方案将功能集成于集中式接地跳闸装置中,最多可以选出 3 条线路,并且按照接地概率进行排序,率先跳接地概率最高的线路。若跳闸后 2 s 内故障消失则判定选线跳闸成功,否则判定为选线跳闸错误。若选线跳闸错误,并且重合闸功能未投入,则继续跳其他可能接地的线路;若选线跳闸错误,并且重合闸功能投入,则经延时重合线路,线路重合后 0.2 s 继续跳其他可能接地的线路。

类同于分布式跳闸方案,集中式选线跳闸具有选线跳闸成功率高、选线失败会自动重合、不会造成多条线路跳闸、不会对一次系统造成影响、设备运行稳定等诸多优点。且主网、配电网设备均适用,施工难度与成本相对较低。

同样,集中式选线跳闸方案,对零序 CT 的极性、一次电缆屏蔽层接地方式要求高。且对已投入重合闸的馈线,集中式选线跳闸不能闭锁线路保护重合闸,无论选线是否正确,均会重合一次,靠选线装置后加速跳闸功能切除故障线路。

## 2 试点建设

自 2018 年以来,某电力公司分别试点建设了灵活并小电阻选线跳闸、灵活并中电阻选线跳闸、主动干预灭弧、分布式选线跳闸、集中式选线跳闸 5 种单相接地快速跳闸方案。截止 2020 年 5 月,该 5 种试点装置已分别在 A、B、C、D、E 等 5 座 110 kV 变电站投入运行,动作情况如表 1 所示。

表 1 接地选线跳闸试点建设情况

方案	灵活并小电阻	灵活并中电阻	主动干预灭弧	分布式	集中式
试点变电站	A	B	C	D	E
动作次数	0	1	0	18	7
正确率/%	—	0	—	100	100

从改造一次设备的 3 种方案来看,灵活并小电阻方案所试点的 A 站以及主动干预灭弧方案所试点的 C 站,投运至今线路设备未发生单相接地故障,未取得运行跳闸数据,需进一步试运行。灵活并中电阻方式 B 站动作一次但选线失败,厂家虽已整改,但建议工程完工后先仅投告警功能,待选线成功率提高后再启用跳闸功能。

从改造二次设备的两种方案来看,已投运的 110 kV D、E 站选线装置共动作 25 次,全部选线正确并快速跳闸切除故障,正确率达 100%。综合投资、施工、运行效果等方面考虑,对已投运的主网、配电网设备,集中式接地选线跳闸方案较为适合。对于新建或改造的主网、配电网设备,分散式接地选线跳闸方案更为适合。

## 3 存在的问题及建议措施

### 3.1 存在的问题

单相接地选线跳闸启用后,对电缆设备起到了较好的保护作用,电缆群伤风险得到有效控制,但同时也出现了一些新的问题。

1) 停电范围扩大。由于双电源开闭所自备投功能大量启用,开闭所分列运行时,开闭所某一出线发生单相接地(开闭所无单相接地选线跳闸功能),站端跳闸后开闭所自备投自动合备用电源,将导致另一回电源跳闸失电,扩大停电范围。

2) 故障查找困难。为快速切除故障,单相接地延时 2 s 就会跳闸,电缆损坏程度较轻,故障点查找难度增大。采用试送方式时,分割试送很可能造成正常负荷多次跳闸。

3) 零序电流存在难题。目前,各试点方案对零序 CT、电缆屏蔽层接地均有较高要求,而在实际施工、运行中,零序 CT 极性、电缆屏蔽层都极易出错,且正常运行时难以发现,导致正常运行时零序 CT 不能满足要求。

### 3.2 建议措施

针对以上问题,提出以下 3 点解决措施:

1) 加强配电网保护逐级配合。开闭所等配电网保护须具备接地选线跳闸功能,逐步实现逐级配合,有选择性地切除接地点。

2) 故障处理短时退出接地跳闸出口。过渡期

(下转第 82 页)