

电力线路故障隔离方法及智能供电的研究

文小龙 米小龙

中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司库尔勒供电段 新疆巴州库尔勒市 841000

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13146

[摘要] 10kV 自闭(贯通)电力线路因具有线路长、负荷点多且地理环境复杂的特点,易受环境、外力及设备老化等因素影响,引发频繁故障。这些故障不仅威胁行车安全,还严重影响供电稳定性和可靠性。本文重点围绕电力线路故障隔离方法及智能供电技术展开深入研究。

[关键词] 自闭(贯通)电力线路;故障区间判断;故障隔离;恢复供电

一、研究背景及意义

1.1 研究背景

电力线路设备故障是影响供电稳定性的关键问题,尤其自闭(贯通)线等长距离线路易引发连锁反应,导致大面积配电网故障,严重影响行车安全及铁路经济效益。尽管运维单位期望设备无故障运行,但基于现有技术水平,故障难以完全避免。为此,我们开发了一套智能的故障定位与隔离系统。该系统实时监测一次设备状态,当检测到过流跳闸时,通过分析电压-时间特性和配电自动化动作特性,快速定位故障区段并发出告警信号。

1.2 电力自闭(贯通)线现有故障隔离方式

电力自闭(贯通)线目前采用的故障隔离方案是通过配电所内馈线保护装置切除故障,随后由值班调度人员通过分合沿线箱变断路器逐段排查故障区段。这种模式下需将故障区段两端断路器分闸以实现隔离,但存在查找速度慢、耗时较长以及可能对设备寿命造成损害等问题。

1.3 电力自闭(贯通)线现有故障定位方式

(1) 电力自闭(贯通)线常见故障包括三相短路、两相短路、两相接地短路及单相接地短路,其中70%以上为单相接地短路。现有的故障定位方法分为精确定位法和区段定位法两类。精确定位法主要包括阻抗法、行波法及信号注入法等。阻抗法原理简单,但需电缆线路长度等参数,且仅适用于低阻或短路故障;行波法基于电流电压行波传播时间与速度计算位置,但在供电网中因负荷点多,双端、单端及零模-线模行波定位方法效果有限;信号注入式测距及中性点脉宽注入法定位已应用于现场,但需加装装置,投资高,可靠性易受过渡电阻和间歇电弧影响。

(2) 针对电力自闭(贯通)线的特殊结构,现场主要采用区段定位法来确定故障区段。暂态零模功率法通过比较故障前后各电力远动箱变(环网所)RTU测得的暂态零模电压

和电流计算出的零模功率方向差异来定位故障区段。该方法具有较高的检测灵敏度,但沿线负荷会影响零模电压和电流的相位,从而降低定位精度;此外,在各电力远动箱变(环网所)RTU检测点安装零序电压互感器不仅施工困难,还可能引发铁磁谐振问题。零模电流相关法通过计算相邻电力远动箱变(环网所)RTU的暂态零模电流相关位来确定故障区段。该方法仅需检测零模电流而无需依赖零模电压,但要求各电力远动箱变(环网所)RTU将暂态零模电流信号实时上传至主站或相互交换,并且需要精确的时间同步,在现场应用中存在一定难度。另一种方法利用各电力远动箱变(环网所)RTU测得的线电压和零模电流上传至控制主站,通过计算线电压与零模电流的相位差来确定方向参数从而定位故障区段。

二、电力线路故障隔离方法及智能供电的研究

(1) 研究对象和目标

基于自闭(贯通)电力线手拉手供电模式和区间电力远动箱变(环网所),结合铁路电力SCADA系统,利用区间电力远动箱变(环网所)RTU采集的电气信息量,研制了一套故障区间判断系统软件。该系统通过实时收集、记录和整合供电线路运行数据,基于供电网络拓扑分析和逻辑算法实现对供电线路设备运行状况的监视、保护、控制和调节功能。

(2) 主要研究内容

- ① 利用供电网络拓扑技术,形成一次系统对应关系表。
- ② 通过通讯获取一次系统运行数据。
- ③ 获取故障信息并依据算法判断故障区段。
- ④ 根据预案下发对应的控制命令。
- ⑤ 自动校验并给出最终的故判断清单。

(3) 算法模型

模拟现场常见的贯通线区间图,以双配电所五箱变结构为例。如下图:



模拟现场实际故障时,记录所有站点的报警情况并进行分析。可能存在故障的区段包括配电所A-箱变1、箱变1-箱变2、箱变2-箱变3、箱变3-箱变4、箱变4-箱变5和箱变5-配电所B共六个区段。

无重合闸和备自投的情况:

当箱变2-箱变3区段发生短路故障时,配电所A、箱变1和箱变2感受到过流信号。随后,配电所A的贯通出口断路器触发速断保护跳闸,导致箱变1、箱变2、箱变3、箱变4和箱变5失压。

有重合闸的情况:

当箱变2-箱变3区段发生短路故障时,配电所A、箱变1和箱变2感受到过流信号。配电所A的贯通出口断路器触发速断保护跳闸,导致箱变1、箱变2、箱变3、箱变4和箱变5失压。重合闸延时后,配电所A的贯通出口断路器自动重合。若为瞬时故障,供电恢复;若为永久故障,配电所A、箱变1和箱变2再次感受到过流信号,断路器再次跳闸,导致失压。

有备自投的情况:

当箱变2-箱变3区段发生短路故障时,配电所A、箱变1和箱变2感受到过流信号。断路器跳闸后,箱变1至箱变5

失压。各自投延时后，配电所B的贯通出口断路器自动合上。若为瞬时故障，供电恢复；若为永久故障，箱变3、箱变4、箱变5和配电所B感受到过流信号，断路器触发后加速保护跳闸，导致失压。

情况	配电所A动作	箱变1-箱变2动作	箱变3-箱变5动作	各自投动作
无重合闸/各自投	跳闸	过流、失压	失压	未启动
有重合闸	跳闸后重合（瞬时故障） 或再次跳闸（永久故障）	过流、失压	失压	无
有各自投	跳闸	失压	备用电源供电（瞬时故障） 或过流、失压（永久故障）	启动备用电源
两者均投入	结合上述两种情况表现	-	-	表现为以上两种的综合情况

通过模拟不同情况，可以更全面地了解系统的响应机制和处理逻辑。

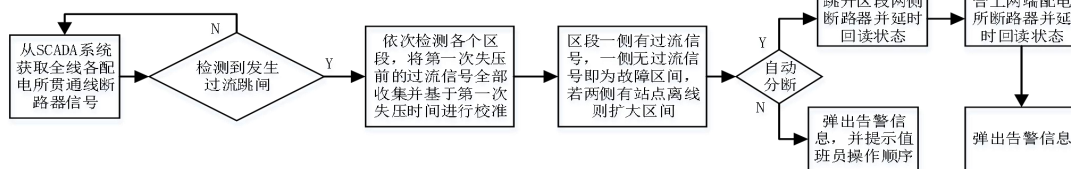
(4) 算法论证

根据以上模型提出算法：

(1) 除各自投模式外，故障点两侧的过流次数不同。

(2) 根据第一次失压前故障点两侧过流次数（有过流或无过流）这一理论结论，统计分析历史数据发现：在224个实际故障案例中，190例符合预期；剩余34例中存在个别站点多次报过流现象。

结合实际现场情况，需考虑过流多报的情况。统计供电区间所有站点的过流报警，若一侧存在、另一侧不存在，则确定该区间为故障区间；当所有区段两侧均有过流报警时，比较各区段在第一次失压前的过流报警情况：若一侧有报警、另一侧无，则判定该区段为故障区段。



故判断程序实时检测线路故障情况。当检测到有配电所发生跳闸，便开始记录所有车站和配电所的故障判断信号并以此时间往前查询一分钟，依次检查各个区段：

(1) 区段一侧有过流 SOE 信息，一侧无过流 SOE 信息，该区段为故障区段

(2) 区段所有站点都有过流（后加速）信息，第一次失压前，区段一侧有过流 SOE 信息，一侧无过流 SOE 信息，该区段为故障区段。

(3) 离电源点最近的故障区段为实际故障区段。

判断流程分为收集故障信号阶段和分析阶段：

收集阶段：只要有配电所和车站的故障相关点（过流、速断、后加速）的发信，则收集（收集的信号超过当前时间1分钟后清除），当有故障触发信号时（配电所过流故障信号）发信时，延迟十秒（可设置），等待区间内过流故障信号接收完毕后，启动故障分析。

分析阶段：①比较 SOE 次数，②比较失压前 SOE 次数

①统计这个区段车站产生的过流故障信号，比较相邻站点的故障次数，一端有故障一端无故障，为故障区。

②如果通过①流程找到了故障区，该线路则不再进行比较失压过程。如果①未找到故障区，再开始比较第一次失压前过流。比较第一次失压前过流方法与①流程相同。

当判断出实际故障区段后，立即弹出报警信息。再根据

同时投入重合闸和各自投的情况：

该情况结合了上述两种情况的表现。具体开关和信号的理论情况如下表所示：

(5) 判断流程

基于供电网络拓扑技术，建立一次系统对应关系表及区间模式，考虑两头供电方式。结合 SCADA 系统获取的一次系统运行数据和故障信息，应用上述算法进行故障区段判别。根据预案下发控制命令，并通过自动校验生成最终的故障判断清单。

必要条件如下：

1. 配电所在发生短路故障时能够启动跳闸并准确报告过流故障；
2. 箱变具备采集电流及过流报警功能；
3. 配电所与箱变的过流定值对应的一次侧值相同或在理论范围内，且延时一致（可设为0）；
4. 箱变具备失压报警功能并能够正常报出失压信息。

自动/手动隔离故障方式进行故障隔离，最终弹出详细故障分段信息。

三、电力线路故障隔离方法及智能供电的应用

电力线路故障隔离方法及智能供电的研究设计理念提出后，经过研究、论证、试验和调试，已在铁路某段全线10kV自闭（贯通）电力线路上成功应用。该系统能够有效识别并处理瞬时及永久性故障，算法具有较强的适应性，可涵盖各种现场故障情况。在永久性故障情况下，系统能够在30秒内实现故障隔离并恢复非故障区段供电。

四、结论与展望

铁路供电区段故障定位及分断技术研究契合我国铁路现代化发展需求，具有重要意义及广泛应用前景。本系统以快速、可靠、高效的方式，在一次设备发生短路故障时迅速启动，精准判断故障区段位置，并实现故障区段的隔离与非故障区段供电恢复，已具备工程化应用条件。

【参考文献】

- [1] 铁路供电远动系统（SCADA）主站暂行技术条件[TJ/GD013-2015
- [2] 邓明. 10kV 配网调度运行故障及对策[J]. 低碳世界, 2016 (21)
- [3] 王海楠. 浅谈配电网馈线自动化解决方案的技术策略[J]. 中国科技纵横, 2015 (23): 125-126.