

浅谈电气化铁路牵引站对继电保护的影响

陈 星

(南昌市供电公司调度中心, 江西 南昌 330006)

摘要: 电气化铁路以其动力性好、经济效益高的特点, 越来越成为现代社会最具发展潜力的交通运输方式。但是电气化铁路对电网也有着很大的影响。结合浙赣电气化铁路和江西电网的实际, 针对其给电网继电保护带来的影响进行了分析, 提出了基于 PSL 607 和 CSL 109A 数字式线路保护装置的输电线路保护方案。此方案已经在实际使用当中, 至今运行良好。

关键词: 电气化铁路; 继电保护; 线路保护装置

中图分类号: TM715

文献标识码: A

1 电气化铁路简介

早期的铁路均是采用蒸汽机车牵引, 以煤为燃料。因为受到设备和能源的限制, 蒸汽机车很快被以柴油为燃料的内燃机车所替代。相对而言内燃机车的牵引力大、效率高, 至今世界上很多国家仍然以内燃机车牵引为主。随着技术的发展和实际的需要, 电力机车越来越成为铁路牵引的主要方式。

电气化铁道最早出现于 19 世纪 80 年代, 当时发电机和直流电动机相继问世, 很多国家开始尝试将电力牵引应用于城市内的交通运输。20 世纪以后, 一些工业发达国家陆续在城市之间和繁忙的铁路干线上建设电气化铁路, 特别是在 20 世纪 50 年代以后, 这些国家在大规模进行铁路建设的同时, 大力修建电气化铁路。2000 年底, 世界电气化铁路的总里程已经达到了 262 179 km, 占世界铁路总运营里程的 21.7%, 其中有 68 个国家和地区修建例电气化铁路^[1]。

1.1 我国的电气化铁路

在我国的应用始于 20 世纪 50 年代末期。大规模的建设则是在改革开放之后, 1998 年全国电气化铁路长度突破 10 000 km。“十五”时期, 是我国电气化铁路建设史上亮点频闪的 5 年, 建成了宝兰二线、

神朔二线、兰武、哈大、秦沈客运专线、渝怀等 5 000 多公里电气化铁路。其中, 哈大电气化铁路, 系统引进了德国技术、装备等。我国自主设计、施工建成的秦沈客运专线, 试验时速达到了 321.5 km。到 2005 年底, 我国共建成开通 43 条电气化铁路, 总里程达到 20 132 km, 成为继俄罗斯、德国之后, 第三个电气化铁路总里程超过两万公里的国家^[2]。

在电气化铁路供电技术上我国电气化铁道采用了最具发展潜力的单相工频制, 这为今后的电气化铁路的发展打下了坚实的基础。单相工频牵引供电系统如图 1 所示。

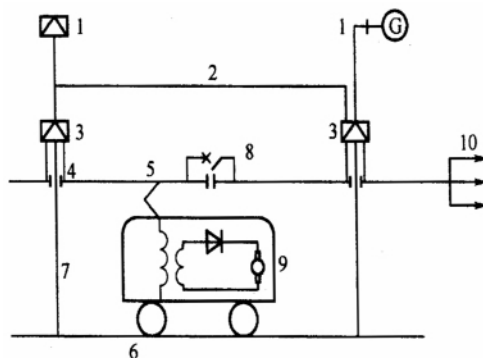


图1 工频单相交流牵引供电系统示意图

1 - 区域变电所或发电厂; 2 - 高压输电线; 3 - 变电所;
4 - 馈电线; 5 - 接触网; 6 - 钢轨; 7 - 回流线;
8 - 分区亭; 9 - 电力机车; 10 - 开闭所。

牵引供电系统主要由牵引变电所、分区亭及牵

收稿日期: 2007-09-25

作者简介: 陈星(1977-), 女, 江西南昌人, 工程师。

引电网组成. 牵引网额定电压为 25 kV 单相, 最高运行电压为 27.5 kV. 牵引变电所高压侧一般受电于 110 kV 或 220 kV 电力系统. 牵引变电所主变压器底压侧一相接地, 另外两相为两侧单相供电臂的电源. 为了减轻高压侧三相不平衡度, 铁路全线所有牵引变压器低压侧轮换接地, 牵引供电系统两个牵引变电所之间的供电臂在中间设立分区亭, 正常情况下断开运行, 事故情况下合闸后可作为两所的相互备用电源.

当然使用单相工频制的供电方式也存在很多的问题, 其中谐波和负序成为了影响最大的两个因素. 在某些地区就出现过由于电气化铁路牵引站引起的谐波和负序引发 200 MW 发电机跳闸的情况, 尤其是在山西、河南和贵州等省发生的电网大面积停电或系统解列的情况更为严重. 诸如电网产生局部谐振、网损明显增大、发电机转子损坏、继电保护和自动装置非正常频繁启动、用户电机和电容器大量烧坏或不能正常运行、小火电厂不能就近并网等问题越来越引起人们的关注.

1.2 浙赣铁路和江西电网

浙赣铁路位于浙江、江西、湖南三省境内, 东起杭州市, 向西经义乌、金华、上饶、横峰、贵溪、鹰潭、向塘、萍乡至株洲, 全长 942 km, 是我国长江以南最重要的东西向繁忙干线, 也是我国铁路网八纵八横主通道及四纵四横快速客运网的重要组成部分. 为改善运营条件, 提高客货列车运行速度, 对浙赣铁路进行提速、扩能技术改造及电气化工程建设, 电气化工程已于 2006 年上半年全线竣工投运.

浙赣电铁在江西境内有玉山、上饶、横峰、贵溪、东乡、进贤、向塘西、丰城、临江镇、新余、彬江、西村、萍乡北等 13 个牵引站, 贯穿江西省的东西方向, 从东到西依次穿过上饶、鹰潭、抚州、南昌、赣西、宜春、萍乡共 7 个供电区. 所有牵引站均采用 220 kV 接入, 也就是说所有浙赣电铁的供电线路都要从 220 kV 变电站的 220 kV 母线引出^[8].

江西电网隶属于华中电网, 是华中四省中供电负荷最小电网最为薄弱的, 与华中主网的联系也最弱. 因此电网短路容量小, 抗谐波和负序电流的能力最差, 尤其东面的上饶地区和西端的萍乡地区, 位于电网末端, 受电铁的影响最大.

2 电气化铁路对继电保护装置的影响

2.1 电气化铁路对继电保护装置的影响

作为保障电力系统安全稳定运行的重要手段, 继电保护能够有效的检测出电力系统的故障及不正常运行状态, 动作于断路器跳闸、自动隔离故障, 或是发出故障告警信号, 有助于运行人员或其它自动装置进行故障处理. 但是由于工频单相交流电气化铁路的负荷是单相的, 当三相电力系统向它供电时, 三相不平衡的负荷将在电力系统中引起负序电流, 同时整流型的电力机车使牵引网的电流畸变, 产生的谐波电流进入电力系统, 这些都将对保障电力系统安全稳定运行的继电保护系统产生不良的影响. 其主要影响我们主要有以下 9 个方面.

(1) 负荷波动大, 容易造成保护装置经常启动, 减少装置自检的时间;

(2) 三相不平衡, 出现的负序电流, 可能导致 PT、CT 的断线判据误报警;

(3) 系统中的负序可能导致以负序元件作为判据的保护误动. 如以前的线路负序方向高频相差高频; 现在常用的发电机定子负序过电流保护;

(4) 短时负荷过大或短时过载可能造成继电保护用各 CT 特性不一致, 可能造成高灵敏的差动保护误动;

(5) 负荷的迅速减小可能导致差动保护误动, 这种情况等同于线路故障切除对主变差动保护的影响;

(6) 变电站主变压器的复合电压启动过电流保护装置的负序电压启动元件误动;

(7) 母线差动保护的负序电压闭锁元件误动;

(8) 对于超高压长距离输电线路, 常采用单线自动重合闸来提高电力系统暂态稳定性, 较大的高次谐波电流能显著地延缓故障电流的熄灭, 导致单重失败, 或不能采用较短的自动重合闸时间;

(9) 自动故障录播装置的负序启动元件的误启动, 导致故障录波器频繁启动而影响其工作.

2.2 事故案例

在信阳和驻马店地区电气化铁路谐波就曾引起 220 kV 高频保护动作. 当时信阳和驻马店地区供电系统如图 2 所示^[9].

由于三个电气化铁路牵引站谐波电流严重超标, 产生“等价基波负序电流效应”, 启动元件启动, 同时, 该三个站的谐波电流又使该保护相差元件的复合滤过器受到方波形状失实效应的影响而将负荷电流误判断为保护区内短路电流, 导致线路的相差高频保护误判方向而跳闸.

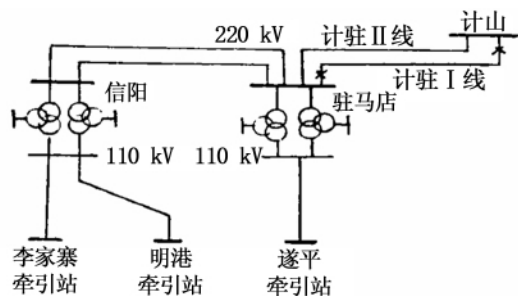


图2 信阳和驻马店地区供电系统如图

3 基于数字式线路保护装置的输电线路继电保护解决方案

3.1 电铁供电变电站继电保护装置配置策略分析

为了解决电气化铁路的运行中出现的各种问题,给电气化铁路供电的变电站出线配置的保护必须满足电气化铁路的负荷频繁变化对保护的特定要求。因此要配置两套电流差动全线速动主保护,并要求他们能够切除各种短路故障,具有各自独立的故障选向能力。同时考虑到同一厂商所研制的保护设备,在保护原理设计、工艺制造、元器件选用、尤其是软件的编制等方面,有很强的一致性,如果同时使用,那么其缺点难以弥补,在电网特定的条件、特定的故障类型下常常会出现问题。

正是基于以上考虑,南昌供电公司在相应的向塘变电站采用了两家不同厂家研制的不同的保护系统,并把它们有机的结合起来,形成了一个保护装置取长补短的合理方案。此方案选用的保护设备是国电南京自动化股份有限公司设计的PSL 607和北京四方继保自动化股份有限公司设计的CSC 109A数字式线路保护装置。

3.2 基于数字式线路保护装置的输电线路继电保护解决方案

保护方案中的两装置都是以距离保护、相过流保护及和电流保护为基本配置的成套线路保护装置,主要适用于220 kV(或110 kV)两相式供电的电气化铁道线路。当电气化铁道的牵引变电站采用220 kV(或110 kV)/27.5 kV单相变压器供电时(如图3),与受电的两相220 kV线路构成线路-变压器单元接线方式向电铁供电。

装置的保护作用主要反映在以下几个方面:

(1) 电铁供电线路的负载为脉动负载,采用电流突变量元件作为启动元件,会造成保护装置的频繁启动。为避免这种情况,装置主启动元件为低电压元件和相间过流启动元件。两启动继电器都动作时

启动元件动作;同时,为了提高经大电阻接地时的灵敏度,单相接地故障采用和电流启动元件作为启动元件,设有两段相间距离。

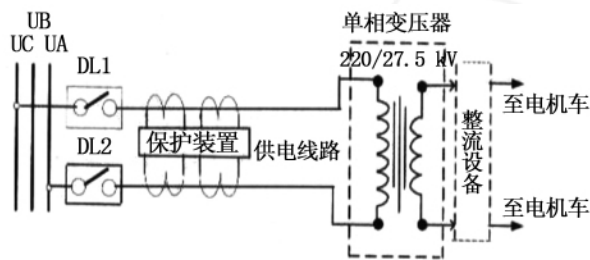


图3 牵引站单向变压器接线图

(2) 装置设置了两段式相间过流保护,可由压板投退。相间过流I段可用于出口短路时快速跳闸,相间过流II段作为后备。

(3) 为了保护单相接地故障,设置了两段式和电流保护,可由压板投退。为防止CT断线时保护误出口,采用经零序电压闭锁,零序电压动作门槛固定为5 V。

(4) 每个保护功能模块采用不同CPU进行处理,考虑最大资源情况下并留有一定裕度,在软件上和硬件上都设有完善的监视器,保护出口要经相应启动元件开放,可以大大增强保护的安全性。

(5) 采用了多CPU共享AD高精度模数转换自主专利技术,解决了多CPU共享AD的难题,提高了装置的模数转换精度,简化了调试和维护的工作量。

(6) 采用透明化设计思想,保护内部元件在系统故障时的动作过程可以全息再现,便于分析保护的动作过程。

3.3 继电保护方案试验数据分析

针对继电保护系统,江西送变电公司在80% U_e 条件下对两套保护装置进行了整组试验,其数值为调试定值试验数据如表1和表2。

表1 PSL-607 保护试验数据

故障类型		相别	故障量	保护投入情况	保护动作情况
相间 I 段	瞬时 (永久)	CA	$X = 1.9 \Omega$ $\Phi = 90^\circ$	仅投距离保护	三跳
相间 II 段	瞬时 (永久)	CA	$X = 3.8 \Omega$ $\Phi = 90^\circ$	仅投距离保护	三跳
过流 I 段	—	AN CN	$I = 4.2 A$ $t = 0 s$	仅过流离保护	三跳
过流 II 段	—	AN CN	$I = 3.15 A$ $t = 0.5 s$	仅过流离保护	三跳
和流 I 段	—	AN/CN (同相)	$I = 2.1 A$ $t = 0 s$	仅和流离保护	三跳
和流 II 段	—	AN/CN (同相)	$I = 1.6 A$ $t = 0.5 s$	仅和流离保护	三跳

故障类型		相别	故障量	保护投入情况	保护动作情况
反向故障	瞬时 (永久)	AN AC	$X = 1.9 \Omega$ $\Phi = 270^\circ$	投距离保护	不动作
手合故障	瞬时	AN AC	$I = 5 A$ $Z = 1 \Omega$ $\Phi = 90^\circ$	全投	三跳

表 2 CSC-109A 保护试验数据

故障类型		相别	故障量	保护投入情况	保护动作情况
相间 I 段	瞬时	AC	$X = 1.9 \Omega$ $\Phi = 90^\circ$	仅投距离保护	三跳
相间 II 段	瞬时	AC	$X = 3.8 \Omega$ $\Phi = 90^\circ$	仅投距离保护	三跳
过流 I 段	—	AN CN	$I = 4.2 A$ $t = 0.1 s$	仅过流保护	三跳
过流 II 段	—	AN CN	$I = 3.15 A$ $t = 0.5 s$	仅过流保护	三跳
和流 I 段	—	AN/CN (同相)	$I = 2.1 A$ $t = 0.1 s$	仅和流保护	三跳
和流 II 段	—	AN/CN (同相)	$I = 1.6 A$ $t = 0.55 s$	仅和流保护	三跳
反向故障	瞬时	AN CA	$X = 1.9 \Omega$ $\Phi = 270^\circ$	投距离保护	不动作
手合故障	瞬时	AN CA	$I = 5 A$ $Z = 1 \Omega$ $\Phi = 90^\circ$	全投 三跳	

从表中我们可以发现各种故障类型在定值范围内保护装置都能进行正确的反应,能达到有效的保护作用。

4 总结

基于 PSL 607 和 CSC 109A 数字式线路保护装置的输电线路保护方案针对电气化铁路的供电系统对继电保护装置的影响进行优化设计,对输电线路

进行了有效的距离保护、相过流保护和和电流保护,使浙赣电气化铁路供电系统的继电保护起到了很大的作用。虽然还存在诸如 220 kV 线路机构箱内无三箱不一致保护、电铁保护只有一套电压切换箱等问题,但在去年通车至今的运行中,情况良好,完全能满足实际的需要。

参考文献:

- [1] 赵乾钊. 我国电气化铁路的特点[J]. 铁道知识, 1997, (03): 6-7.
- [2] 冯金柱. 我国电气化铁路建设展望[J]. 铁道知识, 2003, (05): 12-13.
- [3] 韩柳, 谈顺涛. 电气化铁路对电网的影响及对策[J]. 江苏电机工程, 2005, (03): 8-11.
- [4] 陈薇. 牵引变电所的外特性及其在继电保护中的应用[J]. 继电器, 2000, (02): 28-32.
- [5] 黄石柱, 李建华, 赵娟, 夏道止. 电气化铁路牵引变电所概率谐波电流的仿真计算[J]. 电力系统自动化, 2002, (05): 26-31.
- [6] 闫晓丽, 林韩. 基于组件的继电保护测试软件研究[J]. 继电器, 2005, (13): 13-16.
- [7] 李新中, 上官帖, 孙旻. 浙赣电铁的谐波负序对江西电网的影响分析[J]. 华中电力, 2005, (03): 45-49.
- [8] 张华, 熊继锋, 王虎, 程虹. 浙赣铁路电气化牵引站负序电流及谐波对江西电网的影响[J]. 江西能源, 2005, (02): 2-8.
- [9] 任元, 吕润馥, 张直平. 信阳和驻马店地区电气化铁路谐波引起 220 kV 高频保护动作的分析[J]. 电网技术, 1995, (02): 45-49.
- [10] 肖湘宁, 徐永海. 电力系统谐波及其综合治理[J]. 中国电力, 1998, (04): 59-61.

Relay Protection Affected by Traction Substation

CHEN Xing

(Dispatching Office of Nanchang Power Supply Inc, Nanchang 330006, China)

Abstract: Electrified Railway has been most potential traffic manners for its excellent dynamic and economic benefit. But it affects power system badly. This paper analyzes impact of traction substation on relay protection by combining with facts of Zhejiang - Jiangxi electrified railway and Jiangxi power system and shows a plan of reply protection based on PSL 607 and CSC 109A digital protection system. It has been used well in Traction Substation.

Key words: electrified railway; reply protection; line protection device

(责任编辑: 王建华)