

甘肃电网重要断面稳控措施研究

宋建光 姚 巽

(国网甘肃省电力公司调度控制中心,甘肃 兰州 730030)

摘要: 甘肃电网是西北电网的重要组成部分。由于地处西北电网中心地带,肩负着“西电东送”和“北电南送”的重任,与新疆、青海、宁夏、陕西4省均有重要750 kV的联络线。由于甘新断面、甘青断面、甘宁断面和甘陕断面均通过较大功率,甘肃电网的稳定与否也就成了西北电网稳定与否的关键。仿真了各个断面在 $N-2$ 故障下重要发电机相对功角和重要750 kV交流线频率,提出了针对实际情况的稳控措施,对提高甘肃电网重要断面的稳定性有一定指导作用。

关键词: 甘肃电网; 断面; 稳控措施

Abstract: Gansu power grid is an important part of the northwest power grid. It is located in the center of Northwest Power Grid and bears the "west to east" and "north to south" transmission tasks. It has important 750 kV tie lines with Xinjiang, Qinghai, Ningxia and Shanxi provinces. The stability of Gansu power grid is the key to the stability of the Northwest Power Grid because the power going through the sections of Gansu - Xinjiang, Gansu - Qinghai, Gansu - Ningxia and Gansu - Shanxi is great. The relative power angles of important generators and frequency of important 750 kV AC lines under $N-2$ fault are simulated. The stability control measures for the actual situation are proposed and it plays a guiding role to improve the stability of the important sections of Gansu power grid.

Key words: Gansu power grid; section; stability control measures

中图分类号: TM74 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)04-0078-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.04.015

0 引言

甘肃电网处于西北电网的中部,是西北电网的主要组成部分,主网电压等级为750 kV、330 kV^[1]。目前,甘肃电网总装机量约为30 000 MW,地区负荷约为15 000 MW,外送需求迫切。尤其是甘肃西北部敦煌桥湾地区大量风电接入、河西地区大量光伏接入,而这些地区负荷不大无法就地消纳,使得新能源外送需求迫切^[2]。甘肃电网总体结构是细长型,甘肃西北部和甘肃南部通过细长的河西走廊相连。在西电东送的大形势下,新疆送到甘肃和甘肃西北部的的新能源主要通过河西走廊中的线路输送至甘肃南部,再经由甘肃南部进行外送。相对来说,甘肃西北部与新疆、青海联系紧密,甘肃南部与陕西、宁夏、青海西宁地区联系紧密,而西北部和南部联系相对来说不紧密^[3]。

随着大规模联合电力系统的逐步形成,远距离和大功率输电线路的出现,系统发生事故导致大面

积停电的概率增加,而保证安全可靠的供电是电力系统运行的首要要求,因此对系统进行安全稳定分析是十分必要和重要的^[4]。文献[5]分析了甘肃电网冬季及夏季大运行方式下系统的动态稳定性。文献[6]提出了甘肃陇南南部电网运行优化及安全稳定的控制方案,对如何根据实际情况采取稳控措施给出了有益的分析。

下面对甘肃内部断面和与外部联络断面进行了 $N-1$ 故障扫描,重点仿真了甘陕断面、甘宁断面、甘青断面、甘新断面和甘肃内部断面在 $N-2$ 故障下重要发电机相对功角和重要750 kV交流线频率,提出了针对实际情况的稳控措施,对提高甘肃电网重要断面的稳定性有一定指导作用。

1 $N-1$ 故障下的稳控措施

对甘肃内部断面和与外部联络断面进行 $N-1$ 故障扫描,大部分均未发现元件过载情况,未发现严重故障情况。仅仅是敦煌变电站 $N-1$ 下有可能发

表 1 典型方式下甘肃 750 kV 各主变压器的通过功率

名称	变电容量/MVA	冬大方式/MW	冬小方式/MW	夏大方式/MW	夏小方式/MW
武胜	2×2 100	1 293.4	1 220.5	1 265.6	990.6
白银	1×1 500	304.5	420	194.6	25
河西	2×2 100	173.1	409.8	67.6	486.3
敦煌	2×2 100	2 026.5	1 309.5	1 658.1	1 656.6
沙州	1×2 100	85.9	68.6	72.9	66.4
天水	1×2 100	275.3	29.9	278.2	284
兰州东	2×1 500	145.1	113.5	433.9	342.2
平凉	1×2 100	225.1	218.6	308.1	346.8
酒泉	2×2 100	60.8	248.9	134.6	22.1

生过载情况 如表 1 所示。

750 kV 敦煌变电站接入风电规模大 330 kV 及以下电压等级接入的风电容量达到 7 000 MW 左右 在输电通道允许时 风电出力可达到 4 000 MW 以上。敦煌变电站主变压器规模为 2×2 100 MVA , 正常时需预控上网功率不超过主变压器容量。在主变压器 N-1 故障时 如果超过主变压器容量 则需要根据情况采取安控措施切除部分风电 保证敦煌变电站满足 N-1 要求。

2 N-2 故障下的稳控措施

由于 N-1 故障不会造成严重后果 因此重点研究 N-2 故障下各个断面的稳控措施 包括甘陕断面、甘宁断面、甘青断面、甘新断面和甘肃内部断面。

2.1 甘陕断面

2015 年甘陕断面网络结构发生重要变化: 第二联络通道 750 kV 天水—宝鸡双回线投运 与 750 kV 平凉—乾县双回线形成双通道; 同时天水—宝鸡 330 kV 线路开断 解开 750 kV/330 kV 电磁环网。

陕甘断面输送方式一般为西电东送 经仿真 输送功率极限受限于 750 kV 乾县—平凉双回线 N-2 故障后 750 kV 天水—宝鸡双回线的静态稳定水平 稳定极限约为 8 200 MW。因此提出稳控措施 在正常运行方式下 控制甘陕断面输送功率不超过 8 200 MW。在现有夏季大运行方式下 分别设置重要 750 kV 线路 N-2 故障 故障均是 750 kV 双回线短路 监视甘肃南部地区重要发电机功角是否失步以及频率是否可以保持稳定; 同时 检验以往稳控措施合理

与否 如果不合理 提出新的合理的稳控措施。

下面 以乾县—平凉双回线为例 设置 N-2 故障: 发生异名两相同时接地故障 重合不成功双回线三相同时跳开。利用软件进行故障设置 进行仿真后得到结果。监视甘肃南部重要发电机功角如图 1 所示。

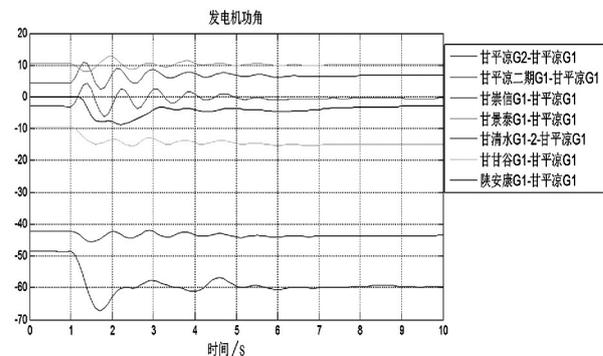


图 1 乾县—平凉重要发电机相对功角曲线

图 1 是故障之后 甘肃南部重要发电机的相对功角曲线。选取甘肃平凉电厂为参考 监测陕西电厂和其他甘肃电厂相对平凉电厂的相对功角。从图 1 上可以看出 故障之后发电机相对功角略有波动 但未超过 180°。说明系统可以保持暂态稳定。

同时监测南部重要 750 kV 母线的频率 如图 2 所示。

由图 2 可以看出 故障之后母线频率略有波动 但很快恢复稳定。频率波动中极限值为 50.06 Hz 和 49.98 Hz 在允许的范围内。所以频率稳定 无需进行切机或者切负荷的稳控措施。经分析 乾县—平凉事故前功率约为 2 092 MW 事故后功率绝大部分转由天水—宝鸡输送。对夏季大运行方式做完仿真后 再对冬季大运行方式进行仿真。结果发

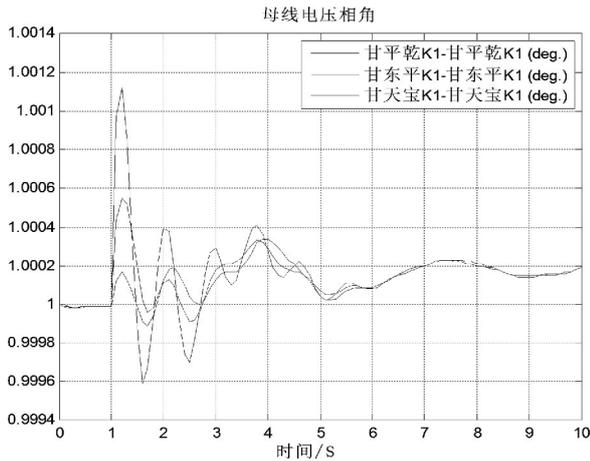


图2 乾县—平凉重要750 kV交流线频率
电系统仍可保持暂态稳定。此外,还仿真了兰州东—平凉、兰州东—天水 and 宝鸡—天水回路的N-2故障,细节不再赘述。

甘陕断面仿真分析的主要结论和稳控措施如下:2014年甘陕断面第2通道兰州东—天水—宝鸡750 kV线路投入,使得甘陕断面输电能力大大增强。经过校验,确定甘陕断面静态稳定极限为8 200 MW。当其中一个通道发生N-2故障时,原来由该通道输送的功率转由另外一个通道输送;同时,由于目前运行方式下,甘陕断面输送功率并不大,综合上述两点原因,4个重要750 kV线路发生N-2故障并不会造成系统失步和不稳定。部分故障需要采取稳控措施,其中乾县—平凉N-2故障需要采取新的稳控措施:天水变电站加装稳控装置,监测乾县—平凉双回线。一旦发生N-2故障,切除崇信、平凉、西固等电厂机组约1 000 MW,以保证主变压器不过载。兰州东—平凉N-2故障需要采取如下稳控措施:切除平凉或景泰一台机150 MW,以维持系统频率稳定。天水—宝鸡N-2故障采取稳控措施如下:平凉变电站装置监测天水—宝鸡双回线,一旦发生N-2故障,切除崇信、平凉、西固等电厂机组约900 MW,以保证平凉变电站不过载。

为此提出建议,随着甘肃西北部新能源的接入,甘肃西电东送的需求愈加迫切。可以预见,甘陕断面在未来输送的功率可能会持续增加,因此,条件允许可以在天水变电站、平凉变电站再分别加装1台2 100 MW的主变压器。加装主变压器后,将有效提高断面功率的输送能力。发生N-2故障后,也不用再进行切机。

2.2 甘宁断面

甘宁断面网架结构变化:2015年甘宁断面第2通道平凉—六盘山—太阳山750 kV工程投运,甘宁断面形成了4回750 kV联络线,考虑断开原甘宁断面330 kV联络线路,解开750/330 kV电磁环网。第2通道投运后,甘宁断面功率输送能力大大提高,同时在北电南送的情况下缓解了白银—黄河线路的压力。在现有夏季大运行方式下,分别设置甘宁断面的重要750 kV线路N-2故障,故障均是750 kV双回线短路,监视甘肃南部地区重要发电机功角是否失步以及频率是否可以保持稳定。

下面,以黄河—白银双回线为例,设置N-2故障:发生异名两相同时接地故障,重合不成功双回线三相同时跳开。利用软件进行故障设置,进行仿真后得到结果。监视甘肃南部重要发电机功角和重要750 kV交流线频率如图3和图4所示。

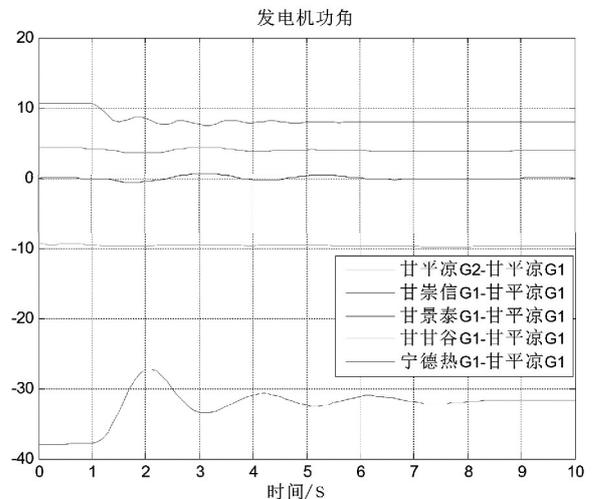


图3 黄河—白银重要发电机相对功角曲线

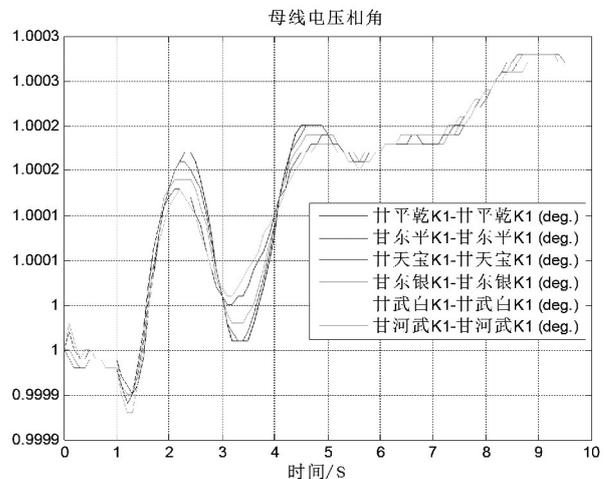


图4 黄河—白银重要750 kV交流线频率

从图3中可以看出故障发生后发电机之间并没有发生失步问题。可以认为系统保持了暂态稳定。

从图4中可以看出,甘宁断面上的交流线和附近的交流线频率会略有上升,但在允许范围之内,所以在现有的运行方式下无需采取稳控措施。

综上所述,黄河—白银 $N-2$ 故障不需要采取稳控措施。此外,还仿真了兰州东—白银、武胜—白银回路的 $N-2$ 故障,细节不再赘述。

2.3 甘青断面

2015年甘青断面网架结构并未发生重大变化,由750 kV武胜—西宁交流线和750 kV兰州东—官亭构成。在现有夏季大运行方式下,分别设置重要750 kV线路 $N-2$ 故障,故障均是750 kV双回线短路,监视甘肃南部地区重要发电机功角是否失步以及频率是否可以保持稳定。

下面,对武胜—西宁、兰州东—官亭双回线设置 $N-2$ 故障:发生异名两相同时接地故障,重合不成功双回线三相同步跳开。利用软件进行故障设置,进行仿真后得到结果。下面直接给出主要的分析结论和稳控措施。

相对而言,武胜—西宁输送功率较大,而兰州东—官亭输送功率较小,所以武胜—西宁发生故障时对系统影响较大需要采取稳控措施以保证系统频率稳定;而兰州东—官亭发生故障时对系统影响不大,故而无须采取稳控措施。在兰州东变电站加装稳控装置,兰州东变电站监测武胜—白银线路,一旦发生 $N-2$ 故障,将切机命令下发至兰铝、西固、连城等电厂,切机量整定在290 MW左右。

2.4 甘新断面

2015年甘新断面第2通道甘肃沙洲—新疆哈密南投运,和原来第1通道甘肃敦煌—新疆哈密形成4回线的联络通道。第2通道的投入使得断面间的输送功率大大提高,即使其中1个通道发生故障,另1个通道也可以传输盈余功率。分别对沙洲—哈密南、敦煌—哈密、敦煌—酒泉双回线设置 $N-2$ 故障:发生异名两相同时接地故障,重合不成功双回线三相同步跳开。利用软件进行故障设置,进行仿真后得到结果。主要的分析结论和稳控措施如下。

沙洲—哈密南 $N-2$ 故障下的稳控措施,由于敦煌主变压器是重载主变压器,所以一旦敦煌—哈密线路输送功率上升,有可能会超过敦煌主变压器的额定容量。由此制订稳控措施,沙洲—哈密南发生 $N-2$ 故障后,敦煌变电站下发切机命令,切除敦煌地区上网风电300 MW,依次保证敦煌主变压器

不过载。

敦煌—哈密 $N-2$ 故障,该故障发生后系统保持暂态稳定,频率不会受到明显影响,主变压器不存在过载问题,因此无需采取稳控措施。

敦煌—酒泉 $N-2$ 故障下的稳控措施,该故障一旦发生,在沙洲变电站、敦煌变电站加装振荡解列装置,故障发生后新疆机组和整个西北电网机组失步,因此解开沙洲—哈密南双回线、敦煌—哈密双回线,使得新疆电网脱离出整个西北电网。采取解列措施后,使得甘肃电网不再受新疆电网影响,发电机功角稳定,频率稳定;另一方面,解列后甘肃敦煌地区风电无法送出,而本地负荷无法消纳,所以在解列的同时需要进行切机,切除敦煌、桥湾地区全部上网风电,以保持敦煌地区的频率稳定。

2.5 甘肃内部断面

经过上面的分析,甘肃网架中750 kV的交流线基本都已经分析完毕,只剩下酒泉—河西750 kV双回线需要研究。由于酒泉—河西处在狭长的河西走廊上,是甘肃电网西电东送的唯一通道,所以发生故障后可能会造成严重后果。设置 $N-2$ 故障:发生异名两相同时接地故障,重合不成功双回线三相同步跳开。利用软件进行故障设置,进行仿真后得到结果。监视酒泉—河西750 kV双回线重要发电机功角和重要750 kV交流线频率,如图5和图6所示。

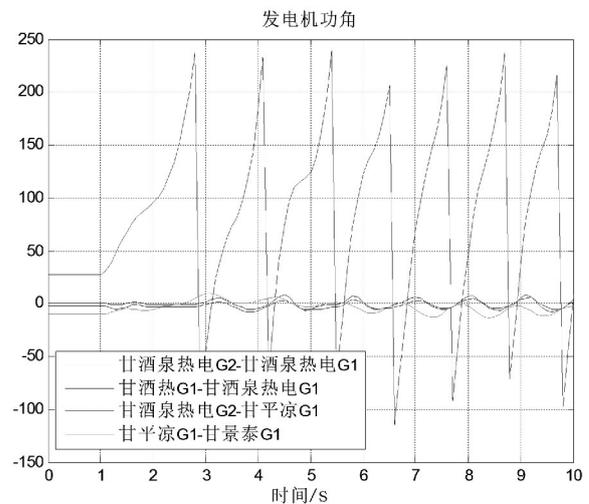


图5 酒泉—河西重要发电机相对功角曲线

图5中可以看出,酒泉地区发电机相对功角稳定,甘肃南部地区发电机相对功角稳定,但酒泉地区相对甘肃南部地区发电机功角振荡剧烈,说明系统已经失去暂态稳定。

从图6可以明显发现,西北地区频率严重失稳。

说明系统已经失去稳定,需要采取稳控措施去解决问题。经过进一步分析,发现新疆电网机组、甘肃西北部酒泉地区机组和全网失步,因此应该采取解列措施。

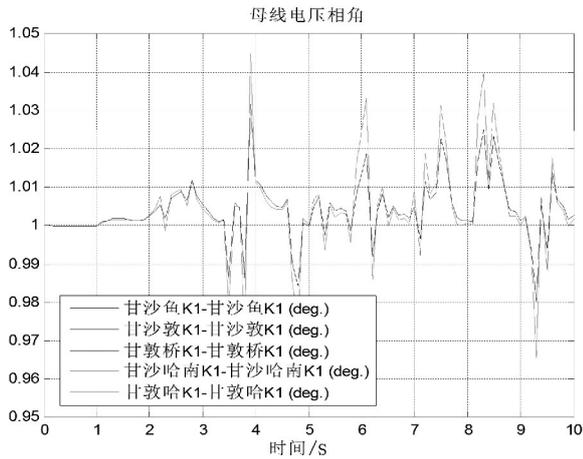


图6 酒泉—河西重要750 kV交流线频率

解列断面选择泉鱼断面,即酒泉—河西、沙洲—鱼卡。酒泉—河西已经发生N-2故障,此时应解开沙洲—鱼卡双回线,使得新疆地区连带甘肃西北部地区解列出西北主网;同时,由于甘肃西北部地区敦煌、桥湾上网风电无法送出,需要进行部分切机,切机量经过仿真整定在2600 MW左右较为合适。

由此,提出酒泉—河西N-2故障下的稳控措施:酒泉变电站加装稳控装置,监测酒泉—河西线路状况,一旦发生N-2故障,传递命令至沙洲变电站,解开沙洲—鱼卡双回线;同时,向敦煌变电站、桥湾变电站发出切机命令,切除敦煌、桥湾地区上网风电和酒泉热电厂1台机共计2600 MW。

采取稳控措施之后,酒泉—河西750 kV双回线重要发电机功角和重要750 kV交流线频率如图7和图8所示。

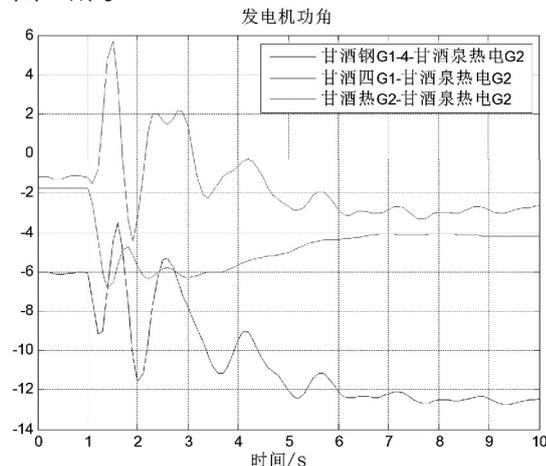


图7 采取稳控措施后酒泉—河西重要发电机相对功角曲线

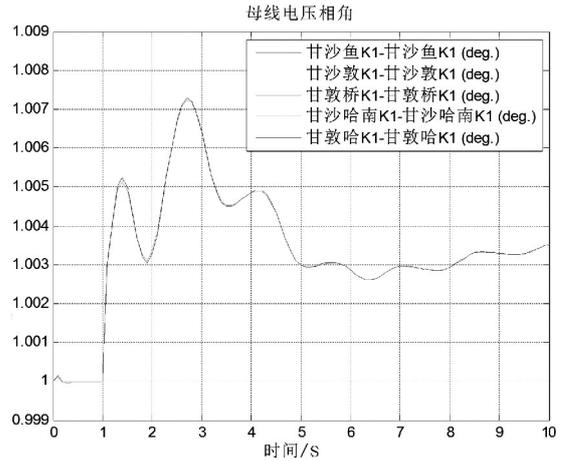


图8 采取稳控措施后酒泉—河西重要750 kV交流线频率

由此可见,采取稳控措施之后系统相对功角稳定、交流线路频率稳定,可以认为稳控措施得当。主要的分析结论和稳控措施如下:

地处狭长的河西走廊地区,酒泉—河西750 kV肩负着甘肃电网西电东送的重任;同时,酒泉—河西也是唯一的输送通道;所以,一旦发生故障,将导致甘肃西北部和甘肃南部发电机失步,系统失去暂态稳定。此时,就需要进行解列,以保持系统的稳定性。稳控措施如下:酒泉变电站加装稳控装置,监测酒泉—河西线路状况,一旦发生N-2故障,传递命令至沙洲变电站,解开沙洲—鱼卡双回线;同时,向敦煌变电站、桥湾变电站发出切机命令,切除敦煌、桥湾地区上网风电和酒泉热电厂1台机共计2600 MW。

3 结论

通过对甘肃电网几个重要断面的故障进行仿真,得出了N-1故障对电网稳定影响并不严重的结论。在N-2故障下分析了故障对重要发电机相对功角和重要750 kV交流线频率的影响,并提出了合理的稳控措施。甘陕断面网络结构发生了重要变化,提出了在部分地区加装主变压器等新的稳控措施。甘宁断面在现有的运行方式下无需采取稳控措施。甘青断面中武胜—西宁发生故障时对系统影响较大,需要采取稳控措施以保证系统频率稳定,而兰州东—官亭发生故障时对系统影响不大,故无需采取稳控措施。对于甘新断面,故障一旦发生,在沙洲变电站、敦煌变电站加装振荡解列装置,故障发生后新疆机组和整个西北网机组失步,因此解开沙洲—哈密南双回线、敦煌—哈密双回线,使得新疆电网脱

离出整个西北电网。由于甘肃内部断面地处狭长的河西走廊地区,酒泉—河西也是唯一的输送通道,所以,一旦发生故障,将导致甘肃西北部和甘肃南部发电机失步,系统失去暂态稳定。此时,需要进行解列,以保持系统的稳定性。

参考文献

[1] 梁才,刘文颖,周喜超,等. 750 kV 电网在甘肃电网中的降损作用分析[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 100 - 103.

[2] 董立娟. 大规模风电接入对甘肃电网安全运行影响的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2012.

[3] 史兆杰. 甘肃河西电网 750/330 kV 电磁环网解环研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.

[4] 蔡希鹏,柳勇军,徐光虎,等. 海南电网与主网联网后的稳控措施研究[J]. 南方电网技术, 2009, 3(5): 46 - 49.

[5] 智勇,王官宏,肖洋,等. 750 kV 线路投运后甘肃电网动态稳定性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(3): 114 - 118.

[6] 米雪峰. 甘肃陇南南部电网运行优化及安全稳定控制方案[D]. 保定: 华北电力大学, 2013.

作者简介:

宋建光(1980), 工程师, 主要研究方向为电网调度、电力系统稳定性;

姚 巽(1984), 工程师, 主要研究方向为电网调度、电力系统稳定性。

(收稿日期: 2016-02-14)

(上接第 28 页)

作系统接入点,这样研究两个分布式电源之间的线路保护,就可用前面所述原则研究分布式电源接入点之间的线路保护了,只是 IED4 电流相当于式(1)中的 I_1 , I_f 此时则为 IED6 处测量到的正方向电流。

由于研究方法相同,故主要研究上游区域的保护失去选择性的情况,不再详细阐述下游区域的改进方案。

5 结 语

随着越来越多的分布式电源接入配电网,传统的电流保护已经受到很大的影响。DG 接入配电网后, DG 下游区域保护的灵敏度得到了提高,但是 DG 接入点的上游区域会出现保护误动或者拒动的可能。根据分析, DG 在容量很大的时候, DG 上游区域主要会出现保护误动的问题。针对这种情况,利用 WAMS 对 DG 接入点反向出口处的电流值进行采集,通过研究,对上游区域各保护进行在线修改,以达到防止保护误动的目的。该方法相较于文献[11]提出的广域自适应保护,利用的数据量少,原则简单,计算量小,能更快地做出判断,更有利于防止保护误动。

参考文献

[1] 张超,计建仁,夏翔. 分布式发电对配电网馈线保护的影响[J]. 继电器, 2006, 34(13): 9 - 12.

[2] 黄伟,雷金勇,夏翔,等. 分布式电源对配电网相间短路保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 93

- 97.

[3] Nouredine Hadjsaid. 有源智能配电网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[4] 张青杰,陆于平. 基于故障相关区域自适应划分的分布式保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 39 - 52.

[5] 牟龙华,陆健. 微网的有限广域一体化保护[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(6): 20 - 25.

[6] 孙景钊,陈荣柱,蔡轶,等. 含分布式电源配电网的故障定位新方案[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1645 - 1650.

[7] 丛伟,潘贞存,赵建国. 基于纵联比较原理的广域继电保护算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(21): 8 - 14.

[8] 苗世洪,刘沛,林湘宁,等. 基于数据网的新型广域后备保护系统实现[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(10): 32 - 36.

[9] 许克明,熊炜. 配电网自动化系统[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2007.

[10] 陶顺,郭静,肖湘宁. 基于电流保护原理的 DG 准入容量与并网位置分析[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 265 - 270.

[11] 王希. 广域自适应保护新原理研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.

作者简介:

张翠娟(1986), 工程师, 长期从事电力系统继电保护工作;
古 昕(1989), 硕士、助理工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

吕飞鹏(1968), 教授、硕士生导师, 研究方向为电力系统继电保护和故障信息处理智能系统等。

(收稿日期: 2016-04-11)