

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.01.006

# 含大量风电场的地区电网联络线 $N-1$ 故障下稳定控制策略分析

胡仁祥<sup>1</sup>, 白生荣<sup>1</sup>, 徐立亮<sup>1</sup>, 常喜强<sup>2</sup>, 宋东东<sup>1</sup>

(1. 国网吐鲁番供电公司 新疆 吐鲁番 838000; 2. 国网新疆电力公司 新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 针对含大量风电场的地区电网外送时, 联络线发生  $N-1$  故障后, 地区电网发生电压、功角稳定问题的动态过程, 运用 PSASP 程序仿真分析, 提出稳定控制策略, 并对不同的稳定控制策略进行了分析。计算结果表明: 不同的策略对地区电网的电压、功角恢复影响较大, 该结果可为此类事故的处理提供依据。

**关键词:** 电力系统; 稳定控制; 控制策略; 风电场

**Abstract:** Aiming at the power transmission of regional power grid with large amount of wind farms, the dynamic process of voltage and power angle in regional power grid during after  $N-1$  failure of tie line is analyzed with PSASP, the stability control strategy is put forward, and the different stability control strategies are analyzed. The calculation results show that the different strategies have great effect on the recovery of voltage and power angle of regional power grid, which can provide the basis for the processing of such accidents.

**Key words:** power system; stability control; control strategy; wind farm

中图分类号: TM614 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0026-03

## 0 前言

电力系统稳定指电力系统在正常运行时, 经受干扰而不发生非同步运行、频率崩溃和电压崩溃的能力。通常指保持第一或第二个振荡周期而不失步。暂态稳定的判据是电力系统遭受每一次大扰动(如短路、切成故障、切除线路、切机等)后, 引起电力系统机组之间的相对功角增大, 在经过第一个最大值后作同步的衰减振荡, 系统中枢点电压逐步恢复。

电网正常运行情况, 风电场变桨距风力发电机可自动调节自身的桨距来实现最大功率输出, 却不能根据电网的总负荷量自动调节功率输出, 风电所独有的随机性、间歇性特性, 使得风电的出力不可控。对于系统功率缺额, 风力发电机无能为力。

下面主要针对含大量风电场的地区电网, 两回外送通道发生  $N-1$  故障后, 分析不同的控制策略, 对电网稳定的影响。

## 1 风电对系统频率的影响

频率是电力系统重要的电能质量, 由系统中

有功的供需平衡决定。当风电大规模接入后, 势必替代部分常规发电机组, 在电网频率发生改变时, 风电机组无法对电网提供频率响应, 导致电网发生功率缺额时, 电网频率降低的变化率较高, 频率跌落的幅度较大, 不利于电网的频率稳定。此外当电力系统中风电装机容量达到一定规模时, 风电功率波动或者风电场因故整体退出运行, 可能会导致系统有功出力与负荷之间的动态不平衡, 当电网其他发电机组不能够快速响应风电功率波动时, 则有可能造成系统频率偏差, 严重时可能导致系统频率越限, 进而危及电网安全运行。

## 2 风电对系统电压的影响

根据电压变化经验公式, 风电场到其接入点的联络线功率在传输无功  $Q$  不变, 输送有功由  $P$  波动至  $\Delta P + P$  时, 可得电压变化水平与有功变化量之间的关系为

$$\Delta U \approx -X/US_{sc} \Delta P^2 - 2X/US_{sc} P \Delta P \quad (1)$$

式中:  $S_{sc}$  为母线短路容量;  $X$ 、 $U$  为联络线电抗及送端电压。

由式(1)可知, 电压变化与联络线传输功率、联

络线潮流波动大小、线路阻抗以及母线短路容量相关。联络线有功变化越大,电压变化越大;联络线基础潮流越大,电压变化越大。因此,对具体风电场而言,有功变化可能导致电压越限。

由于风场出力的间歇性,其出力的变化率也对电压的稳定性带来影响。由式(1)可得

$$\Delta Q/\Delta t = (X/U) \times (\Delta P + 2P) \times (\Delta P/\Delta t) \quad (2)$$

因此,为满足风场出力快速增长的要求,必须配备响应速度足够快的无功补偿装置,才能保证电压快速稳定。无功补偿装置的响应速率受到线路电压、输送有功、线路参数和有功变化率的影响。

综合公式(1)、(2)可知,单个风场的有功送出受输送功率总值、电压水平和线路参数影响,并且有功变化率也对无功补偿的响应速率提出了要求。

### 3 某地区电网简介

该电网处于新疆主电网的末端,网内电源主要以风电、水电装机为主,其中6座风电场的总装机规模336.5 MW,5座水电的总装机规模732 MW,其他50 MW。网内用电负荷约750 MW,剩余电力通过220 kV龙丰线、齐丰线双回线路与新疆主电网外送。风电场主要集中在龙湾地区。

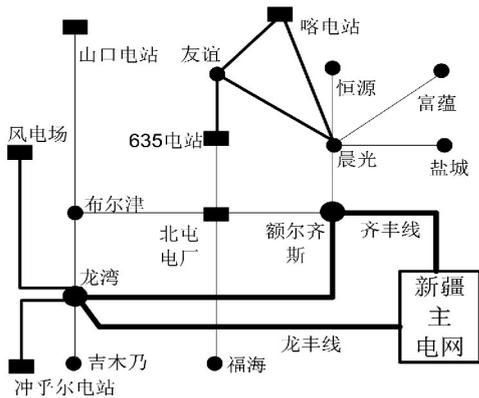


图1 某地区电网结构及与主电网联络图

### 4 分析条件

条件1:地区电网正常大负荷运行情况下,假定电网内水电大发,且风电全部满发。地区电网在这种运行方式下通过220 kV龙丰线、齐丰线双回线路输送有功功率约180 MW。

条件2:地区电网正常大负荷运行情况下,假定

电网内水电大发,地区无风情况下。地区电网在这种运行方式下通过220 kV龙丰线、齐丰线双回线路反送有功功率约220 MW。

仿真分析计算过程中考虑各变电站配备的无功补偿容量满足无功功率分层分区平衡原则。

电网稳定性与电网运行方式密切相关,这里着重分析双回联络线中的龙丰线(风电主要送出),因故障退出运行后的地区电网和风电场的稳定性。

#### 4.1 水电、风电满发

当水电、风电满发时,地区电网电力充沛,通过220 kV龙丰、齐丰线外送电约180 MW。当风电主要送出通过220 kV龙丰线故障三相故障0.12 s切除后,系统电压、大机组功角、风电场等相关变化如下。

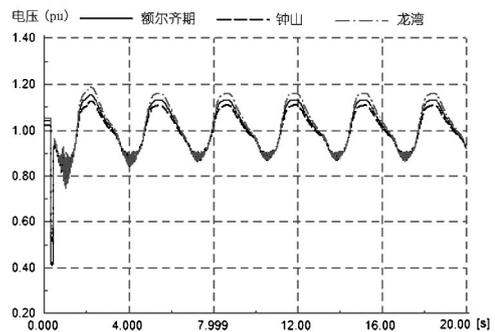


图2 地区电网中变电站母线电压变化情况

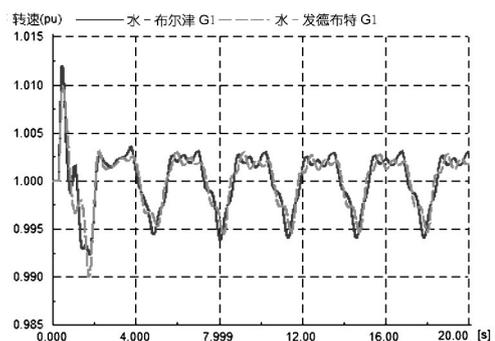


图3 地区电网中水电站发动机转速变化情况

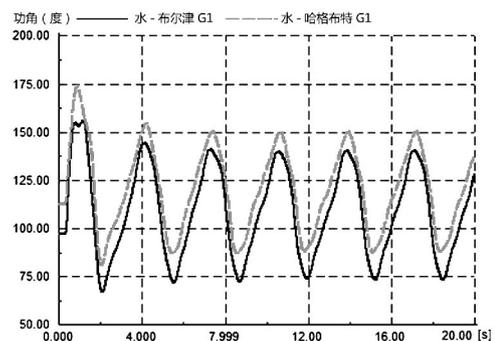


图4 地区电网中水电站发动机功角变化情况

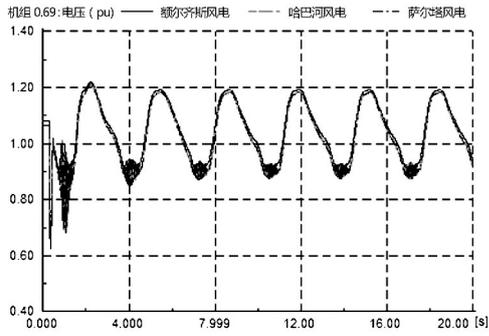


图 5 地区电网中风电机组端电压变化情况

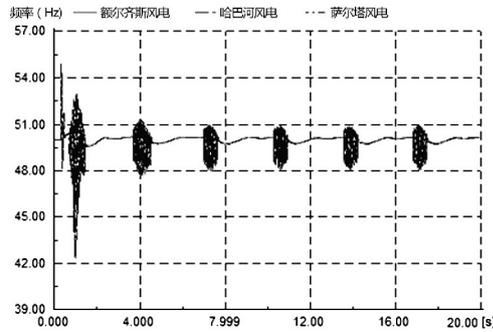


图 6 地区电网中风电机组频率变化情况

从图 2 ~ 图 6 可以看出,由于风电机组在故障期间对电网电压支撑不足。当 220 kV 龙丰线发生故障并切除后,地区电网电压不能恢复到故障前水平,电网内水电机组振荡显著,风电场内电压较低,有功功率无法送出,从而导致风电机组转速振荡和风电机组机端频率振荡,且频率振荡的幅度将超出保护设定的范围。

#### 4.2 水电满发、风电出力为 0

当水电满发、风电出力为 0 时,地区电网电力有功缺额,需通过 220 kV 龙丰、齐丰线受入电力约 220 MW。当风电主要送出通过 220 kV 龙丰线故障三相故障 0.12 s 切除后,系统电压、大机组功角相关变化如下。

从图 7 ~ 图 9 可以看出,当 220 kV 龙丰线发生故障并切除后,风电没有投入运行时,机组转速、功角经过振荡可以恢复稳定,系统电压也可以重新恢复稳定。

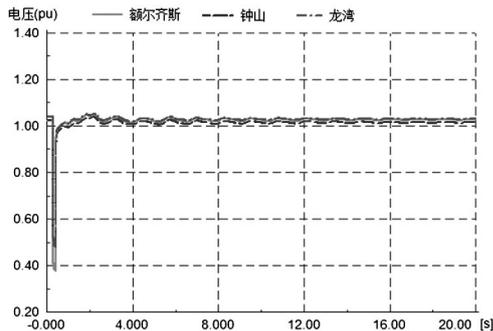


图 7 地区电网中变电站母线电压变化情况

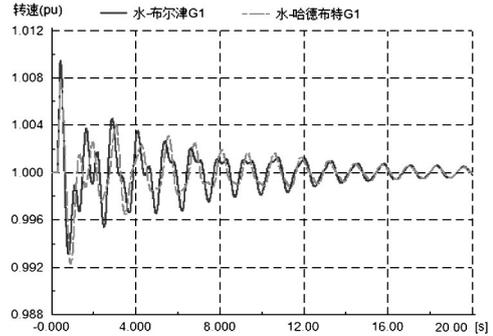


图 8 地区电网中水电站发动机转速变化情况

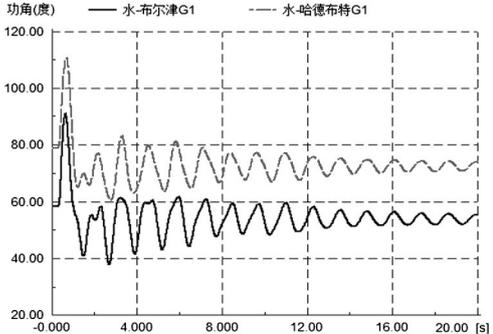


图 9 地区电网中水电站发动机功角变化情况

## 5 不同稳定控制策略分析

分别考虑切除 200 MW 风电出力、投运 200 Mvar 的动态无功补偿 SVG 或者切除 100 MW 水电出力。分析如下:

从图 10 ~ 图 12 可以看出,策略 1,故障后切除 200 MW 风电,风电场和电网经过振荡后都可快速恢复,维持稳定运行;策略 2,在额尔齐斯变补偿 200 Mvar 的 SVG,电网电压持续振荡无法恢复稳定;策略 3,切除冲乎尔水电站 100 MW 水电机组出力,降低联络线传输功率,可以使系统电压经振荡后恢复稳定,发电机组功角和转速也可以恢复稳定。

## 6 结 论

当 220 kV 龙丰线发生故障时,由于输电线路电气距离较长(170 km),且传输功率较大,经过振荡不能重新恢复稳定,需要切除部分水电或风电降低联络线输出功率。

但要注意的是,虽然调节水电也可使系统重新恢复稳定,但由于风电场在故障后动态无功支撑能力不足,在故障清除后不能快速恢复电压,导致风机

(下转第 37 页)

[14] 陈珍珍, 林集明. EMTF/EMTPE 使用说明 [R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2009.

[15] 林集明, 王晓刚, 班连庚, 等. 特高压空载变压器的合闸谐振过电压 [J]. 电网技术, 2007, 31(2): 6-8.

[16] 李振强, 谷定雯, 戴敏, 等. 特高压空载变压器谐振过电压和励磁涌流分析及抑制方法 [J]. 高电压技术, 2012, 38(2): 387-390.

[17] 王燕, 皇甫成, 赵淑珍, 等. 考虑铁磁磁滞的变压器励磁涌流仿真分析 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(15): 80-82.

[18] 郝治国, 张保会, 褚云龙, 等. 变压器空载合闸励磁涌流抑制技术研究 [J]. 高压电器, 2005, 41(2): 81-84.

[19] 董宏林, 张立国, 杜迎辉, 等. 变压器几起冲击合闸故障分析 [J]. 变压器, 2007, 44(10): 47-49.

[20] 张科, 马歆, 刘祖军, 等. SF<sub>6</sub> 断路器投切 500 kV 空载变压器试验分析 [J]. 高压电器, 2002, 38(2): 37-39.

[21] 蔡百凌, 陈葛松. 空载变压器谐振过电压的探讨析 [J]. 华中电力, 2006, 19(2): 8-10.

作者简介:

刘强(1987), 工程师、硕士, 研究方向为电力系统过电压及其防护;

刘守豹(1983), 高级工程师、博士, 研究方向为电力系统过电压及其防护。

(收稿日期: 2015-10-22)

(上接第 28 页)

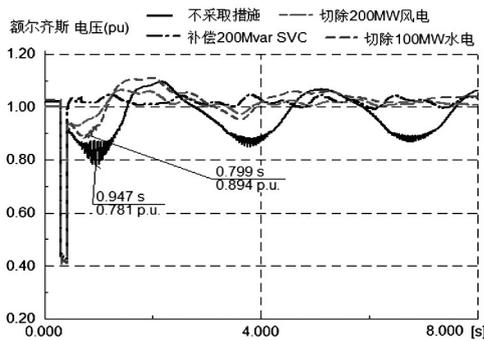


图 10 各种策略下变电站母线电压变化情况

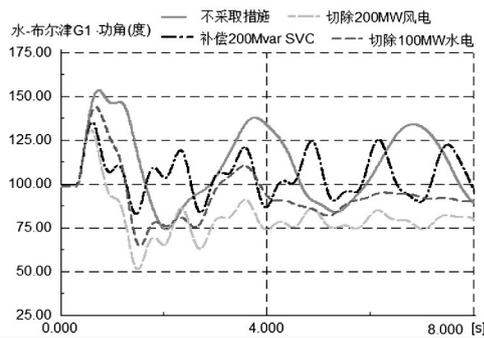


图 11 各种策略下风电机组功角变化情况

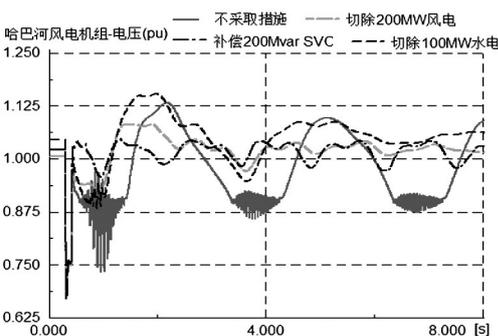


图 12 各种策略下风电机组端电压变化情况

在电压较低时有功功率无法送出, 机端频率有一个

下降的过程, 在此期间, 由于风电机组一般的频率保护为低于 48 Hz 动作, 很可能导致风电机组退出运行。因此, 虽然切除水电可以恢复系统稳定, 但风电场若无动态无功支撑能力, 还是有可能退出运行。

综合考虑, 对于网内风电装机容量超过常规电源, 且送出电力以风电为主时, 发生送出线路 N-1 故障时, 为保证地区电网的稳定运行, 建议直接采取切除部分风电出力来维持系统稳定。

参考文献

[1] 陈珩. 电力系统稳态分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995: 223-229.

[2] 常喜强, 解大, 姚秀萍, 等. 新疆阿勒泰地区电网的频率动态过程仿真 [J]. 四川电力技术, 2008, 31(5): 35-38.

[3] 徐衍会, 贺仁睦, 孔祥云, 等. 调速系统超速保护控制对电力系统稳定的影响 [J]. 现代电力, 2006, 23(6): 6-9.

[4] 程旻, 吴琛, 李玲芳. 云南电网主网高周切机方案研究 [J]. 云南电力技术, 2008, 36(1): 1-4.

[5] 周川梅, 孙斌. 贵州主网及地区电网孤网运行安全稳定措施研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(19): 54-56.

[6] 韦钢, 吴伟力. 分布式电源及其并网时对电网的影响 [J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 36-40.

[7] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 电力系统安全稳定导则 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

作者简介:

胡仁祥(1987), 硕士, 从事电网调度运行。

(收稿日期: 2015-09-06)