

# 四川电网扰动对川渝断面及特高压 联络线功率波动影响仿真研究

张鹏 孙永超

(国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072)

**摘要:** 大规模交流同步电网中, 某个区域发生的扰动不仅会影响到本区域, 而且会通过区域间交流联络线对与之互联的其他区域电网产生影响。基于四川电网及华北、华中电网 PSASP 仿真模型, 研究了四川电网不同地点切机及三相接地短路两种扰动类型对川渝断面及华北、华中电网特高压联络线有功功率波动的影响。

**关键词:** 功率波动; 交流联络线; 特高压; 扰动

**Abstract:** For a large synchronized interacted power grid, the disturbances inside one area may affect not only the area itself, but also other areas connected to this area through tie lines. Based on PSASP simulation models, the effect of two kinds of disturbances inside Sichuan power grid, that is, loss of generation and three phase to ground fault, on power oscillation of Chuan-Yu section and that of UHV tie lines connecting Huabei power grid and Huazhong power grid is studied.

**Key words:** power oscillation; AC tie lines; ultra-high voltage; disturbance

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)02-0028-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.007

## 0 引言

电网互联是现代电网发展的一大趋势。大规模互联电网在实现资源优化配置, 增强供电可靠性的同时, 也给电网运行带来了一些问题。比如, 对于多个区域电网互联形成的大规模同步电网, 某个区域产生的扰动会导致联络线功率波动, 从而对与之互联的其他区域产生影响。联络线功率波动严重制约其输送能力, 而一旦产生负阻尼振荡, 有可能导致系统失稳解列。多篇文献从不同角度针对联络线功率波动问题开展研究, 文献[1-2]分别基于两机模型对联络线功率波动峰值计算方法进行了研究; 文献[3]基于概率统计理论研究了随机扰动下联络线功率波动幅值与阻尼比的关系; 文献[4]对华中-华北交流同步电网进行简化等值建模, 并基于简化模型研究扰动的传播特性; 文献[5-6]均从能量计算的角度对故障后系统中暂态能量的产生和流动过程以及特高压电网扰动冲击传播机理进行阐述; 文献[7]基于电网支路功率分布特性法分析发电机状态量对联络线功率振荡的影响, 并制定相应的控制措施; 文献[8-9]对特高压直流系统故障引起的交流联络线功率波动进行研究; 文献[10-11]基于储能

装置提出联络线功率振荡抑制策略。

四川电网通过川渝联络线连接重庆电网并进而与华中电网相连, 华中电网则通过晋长治-南阳-荆门特高压联络线与华北电网互联。作为全国最大的水电外送基地, 四川电网有着举足轻重的地位, 有必要研究其网内功率扰动对相关交流联络线功率波动的影响。基于四川电网及华北、华中电网详细的 PSASP 仿真模型, 研究了四川电网不同地点切机及三相接地短路两种扰动类型对川渝断面及华北、华中电网特高压联络线有功功率波动的影响。

## 1 网架结构简介

图1所示为四川电网与周边电网连接情况。四川电网通过三大特高压直流输电线路(复奉、宾金、锦苏)与华东电网相连, 通过德宝直流连接西北电网; 通过川渝联络线连接重庆电网并进而与华中电网相连; 2014年川藏联网工程之后, 四川电网与西藏电网通过川藏交流联络线相连。华中电网则通过晋长治-南阳-荆门特高压联络线(以下简称特高压联络线)与华北电网互联。下面主要研究交流联络线功率波动情况, 所用模型为川藏联网之前的模型, 因此, 主要研究四川电网扰动对川渝断面(即洪

板线和黄万线两条交流联络线) 以及特高压联络线功率波动影响。

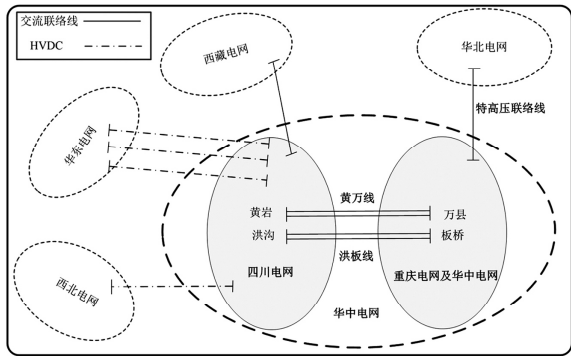


图1 四川电网与周边电网联系图

## 2 四川电网切机扰动对联络线功率波动影响

在特高压功率北送情形下研究四川电网切机扰动对联络线功率波动影响。之所以选择切机扰动,是因为切机可以精确获知扰动功率大小,从而能够进行定量计算。切机地点选择在四川3个大型水电基地:二滩、向家坝和溪洛渡。

分别在二滩、向家坝和溪洛渡进行切机实验,切机量从100 MW到1500 MW,以每100 MW为一个阶梯进行递增。图2~图4分别为三大水电基地切机后川渝断面以及特高压联络线上功率波动情况。计算川渝断面输送功率时,采用将洪板线双回线和黄万线双回线功率相加的方式。川渝断面功率流向从四川到重庆,特高压联络线功率选取山西长治到河南南阳段线路功率,从南阳流向长治。

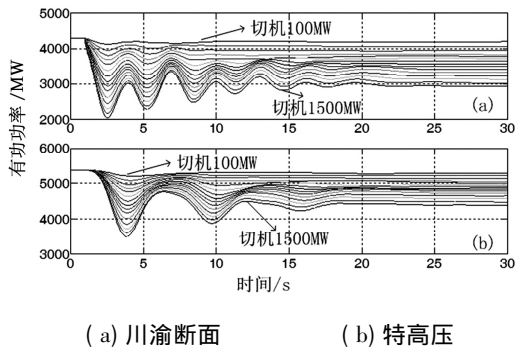


图2 二滩切机后联络线功率波动情况

由图2~图4可知3处切机扰动均会导致联络线功率跌落,其中:在川渝联络线上功率振荡频率约为0.35 Hz;在特高压联络线上功率振荡频率约为0.17 Hz;振荡均为正阻尼振荡,约20 s后在系统阻

尼作用下振荡消失,系统进入新的稳态;功率跌落幅值均在第1个峰值达到最大值。

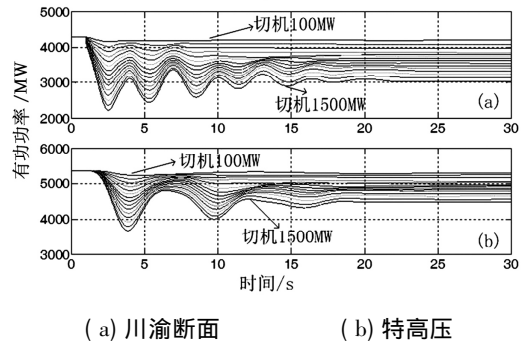


图3 向家坝切机后联络线功率波动情况

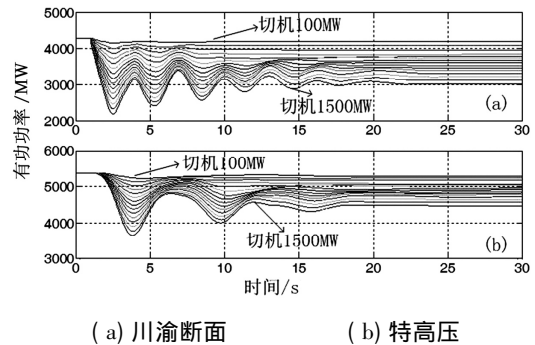


图4 溪洛渡切机后联络线功率波动情况

由于功率跌落的最大幅值最能反映四川电网内切机后对联络线功率的影响,因此,此处对3处切机扰动导致的联络线功率跌落峰值做进一步分析。

图5~图7分别为三大水电基地切机后川渝断面以及特高压联络线上功率波动最大值与切机量关系图。可以看出,无论对于川渝联络线,还是特高压联络线,切机所导致的联络线功率波动幅值与切机量基本满足线性关系。

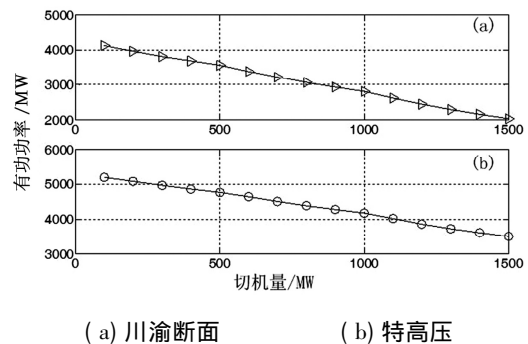
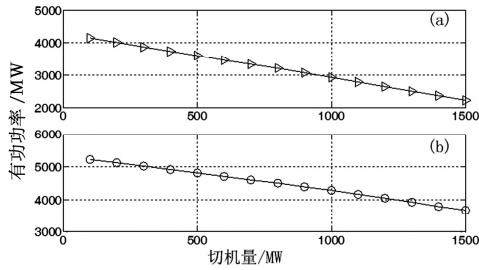


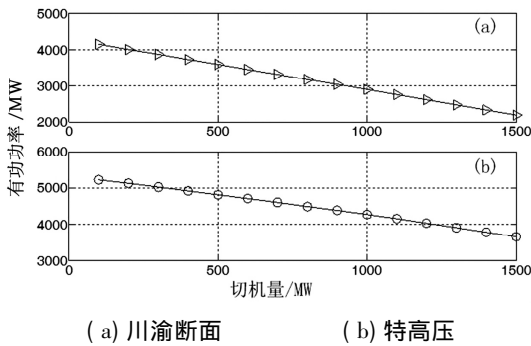
图5 二滩切机后联络线功率波动最大值

表1为三大水电基地切机后川渝断面以及特高压联络线上功率波动最大值与切机量线性关系的斜率近似值。由表1可以看出3处切机点切机扰动发生后,川渝断面及特高压联络线上功率波动最大值都大于扰动功率值,川渝断面所受影响大于特高

压联络线所受影响;同时也可以看出,二滩切机后对联络线功率波动影响要略大于其他两处切机点,但总体来看不同地点的切机扰动对联络线功率波动影响差别不是特别大。基于该斜率,可近似估算某切机量下联络线功率最大变化量。比如,二滩切机2 000 MW时可以估算得到川渝断面最大功率跌落值为3 046 MW,而特高压联络线最大功率跌落值为2 524 MW。



(a) 川渝断面 (b) 特高压  
图6 向家坝切机后联络线功率波动最大值



(a) 川渝断面 (b) 特高压  
图7 溪洛渡切机后联络线功率波动最大值

表1 斜率近似计算值

切机地点	斜率	
	川渝断面	特高压联络线
二滩	1.523	1.262
向家坝	1.378	1.134
溪洛渡	1.415	1.151

### 3 四川电网三相接地短路对联络线功率波动影响

基于四川电网内8处500 kV母线三相短路故障,研究该类型故障对川渝断面及特高压联络线功率波动影响。8处母线分别选在尖山、东坡、月城、谭家湾、桃乡、资阳、蜀州以及雅安变电站。

图8、图9分别为以上不同地点500 kV母线三相接地短路后川渝断面和特高压联络线有功功率波

动情况。

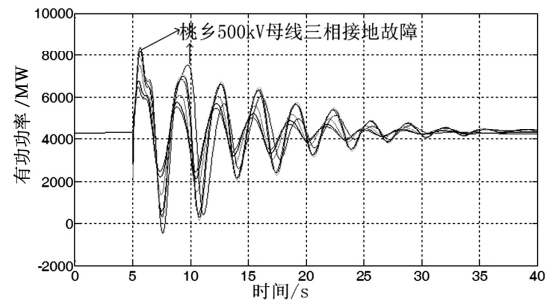


图8 不同地点三相接地短路川渝断面功率波动情况

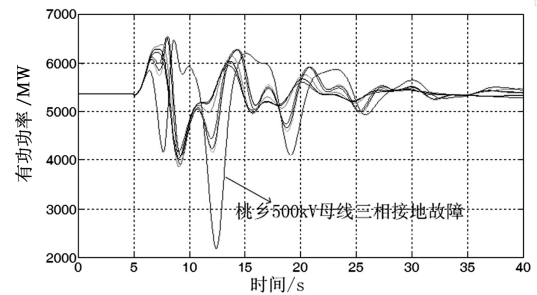


图9 不同地点三相接地短路特高压  
联络线功率波动情况

从图8和图9可以看出,不同地点500 kV母线三相接地短路对所引起的川渝断面和特高压联络线功率主导振荡频率与切机扰动类似,对于川渝断面仍约为0.35 Hz,对于特高压联络线仍约为0.16~0.17 Hz。但三相接地短路故障同时激发出其他频率振荡模式,这一点对于特高压联络线功率波动尤其明显,表现为振荡并非衰减的正弦波,而是某一衰减的畸变波形。而不同地点500 kV母线三相接地短路所引起的川渝断面和特高压联络线功率振荡幅值差别较大,比如,对于川渝断面,正常运行时功率为4 300 MW,当短路地点位于桃乡时,功率最大上升至8 400 MW,功率最大涨幅为4 100 MW;最小跌落至小于0,即出现功率反送情形,功率最大跌幅约4 500 MW。对于特高压联络线,正常运行时功率为5 365 MW,当短路地点位于桃乡时,功率最大上升至6 471 MW,功率最大涨幅约900 MW;最小跌落至小于2 209 MW,功率最大跌幅约3 100 MW。而在月城发生三相接地短路时,在川渝联络线上产生的功率最大涨幅和跌幅分别为2 200 MW和1 800 MW;在特高压联络线上产生的功率最大涨幅和跌幅分别为800 MW和1 000 MW。在这8处地点短路实验中,川渝断面受到的影响都明显大于特高压联络线受到的影响。(下转第50页)

[8] Cao Y X, Chang M, Tang C, et al. Remote Sensing Interpretation and Early Warning System Designing of Geohazards along Transmission Lines - A Case Study of the Danba - Kangding 500 kV Double Circuit Transmission Line[J]. Advanced Materials Research, 2014, 986 - 987: 1647 - 1650.

[9] 何满潮. 滑坡地质灾害远程监测预报系统及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1081 - 1090.

[10] 刘传正. 中国地质灾害监测预警站网建设构想[J]. 地质通报, 2002, 21(12): 869 - 875.

[11] 王福涛, 王世新, 周艺, 等. 高分辨率多光谱的芦山地震次生地质灾害遥感监测与评估[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(1): 181 - 185.

(上接第30页)

从图8和图9可以明显看出桃乡变电站500kV母线发生三相接地短路故障对联络线功率的影响明显要大于其他地点故障;另外,通过观察故障时川电外送的三大特高压直流输送的功率也可以发现,当桃乡变电站发生故障时,该功率波动值也较其他地点故障时更大,因主要研究交流联络线功率波动情况,故未列出该仿真结果。因此,四川电网运行过程中桃乡变电站500kV母线及其附近输电线路应作为重点关注的对象。

## 4 结 语

基于四川电网及华北、华中电网PSASP详细仿真模型,研究了四川电网不同地点切机及三相接地短路两种扰动类型对川渝断面及华北、华中电网特高压联络线有功功率波动的影响,得出以下结论:

1) 四川电网切机扰动所导致的联络线功率波动最大变化量与切机量基本满足线性关系,且不同地点相同的切机量对联络线功率产生的影响差别不是很大,基于该线性关系可对联络线功率波动最大值进行估算。

2) 四川电网不同地点的母线三相接地短路故障对联络线功率产生的影响差别较大,严重时甚至导致功率反送现象。其中,桃乡变电站500kV母线处故障造成的影响尤其严重,应对该母线密切关注。

### 参考文献

[1] 洪峰, 陈金富, 段献忠, 等. 弱互联大区电网联络线功率振荡研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(10):

[12] Cao Y X, Xue Z H, Zhang C H, et al. Design and Application of Online Landslide Monitoring System for Transmission Lines Corridor Based on the Optical Fiber Sensing Technology [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 556 - 562: 3160 - 3163.

[13] 牛朝阳, 马德宝, 张向峰. SAR目标极化分解方法研究[J]. 微计算机信息, 2005(23): 98 - 100.

[14] 于晶涛, 陈鹰. D-InSAR监测地面沉降研究[C]. 城市建设与生态环境监测遥感技术应用交流会 2002.

作者简介:

韩晓言(1965), 博士、高级工程师, 研究方向为电力系统运行和控制、智能电网技术。

卜祥航(1987), 博士, 主要从事输电线路地震地质灾害与抗震减灾技术研究。(收稿日期: 2017-03-03)

46 - 51.

[2] 陈磊, 刘辉, 闵勇, 等. 两区域互联系统联络线功率波动理论分析[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 53 - 58.

[3] 赵红生, 刘源, 陈伟彪, 等. 互联电力系统联络线功率波动机理及其扰动概率分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 1 - 9.

[4] 刘巨, 孙海顺, 刘子全, 等. 华中 - 华北交流同步电网简化等值建模分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(6): 38 - 42.

[5] 汤蕾, 沈沉, 王志文, 等. 基于端口供给能量的特高压电网扰动冲击传播机理分析[J]. 高电压技术, 2015, 41(3): 824 - 831.

[6] 刘巨, 孙海顺, 文劲宇, 等. 交流互联电网中大扰动对联络线的冲击特性分析方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 17 - 21.

[7] 云雷, 刘涤尘, 廖清芬, 等. 基于功率分布法分析和控制区间联络线功率振荡[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(10): 7 - 13.

[8] 屠竞哲, 杨莉, 黄涌, 等. 直流闭锁引发交流联络线功率波动的机理以及峰值计算[J]. 电力系统自动化设备, 2013, 33(1): 12 - 17.

[9] 何剑, 张健, 郭强, 等. 直流换相失败冲击下的两区域交流联络线功率波动峰值计算[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(4): 804 - 810.

[10] 王康, 兰洲, 甘德强, 等. 基于超导储能装置的联络线功率控制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(8): 5 - 9.

[11] 孙建波, 赵娴, 李大虎, 等. 利用储能抑制互联电力系统联络线功率振荡的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(17): 10 - 17.

作者简介:

张鹏(1985), 博士, 主要研究方向为电力系统稳定性分析与监测, 交直流电网相互影响研究;

孙永超(1991), 硕士, 主要研究方向为直流输电及配网研究。(收稿日期: 2016-11-30)