

# 甘肃河西电网小干扰分析

姚 巽 宋建光

(国网甘肃省电力公司调度控制中心,甘肃 兰州 730030)

**摘要:**介绍了甘肃河西电网低频振荡的产生原因和抑制办法,阐述了配置电力系统稳定器所带来的优势,对河西电网在几种不同的电力系统稳定器配置方式下进行了小干扰分析,研究了其系统振荡模式和模态,对甘肃河西电网的振荡分析及控制策略研究有一定指导作用。

**关键词:**甘肃河西电网;低频振荡;小干扰分析

**Abstract:** The causes and suppression methods of low frequency oscillation in Gansu Hexi power grid are introduced, and the advantages brought by power system stabilizer are described. Small-signal analysis is carried out for the different power system stabilizer configuration in Hexi power grid. The oscillation modes of the system are studied, and the research plays some guiding roles to low frequency oscillation and its control strategy of Gansu Hexi power grid.

**Key words:** Gansu Hexi power grid; low frequency oscillation; small-signal analysis

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)02-0079-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.018

## 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,目前主网电压等级为750 kV、330 kV<sup>[1]</sup>。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。尤其是河西地区,此处有大量光伏接入,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<sup>[2]</sup>。但此处的低频振荡问题由来已久,自2008年11月至2009年6月,甘肃河西电网330 kV输电线上,酒泉、嘉峪关、张掖、山丹、金昌、凉州、古浪、海石湾站多次监测到振荡频率为0.6 Hz左右,最大峰谷值达135 MW,持续最长时间为80 s的低频振荡现象。酒钢第三热电厂2号机(酒钢第三热电厂共有2台300 MW机组)于2008年元月投运,而后河西电网330 kV输电线路表现出不稳定状态<sup>[3-4]</sup>。

文献[5]采用对降阶简化系统的方法,证明了规划中大区联网系统的小干扰稳定分析具备可行性;文献[6]采用追踪联网成功研究了山东电网低频振荡问题;文献[7]中保持网架结构、系统潮流和发电机总数不变,求出了与四川电网相关的系统主导低频振荡模式。下面介绍了低频振荡的产生和抑制问题,阐述了配置电力系统稳定器所带来的优势,

对河西电网在几种不同的PSS配置方式下进行小干扰分析,研究了其系统振荡模式和模态,对甘肃河西电网的振荡分析及控制策略研究有一定指导作用。

## 1 低频振荡的产生和抑制

低频功率振荡主要发生在经长距离、重负荷、弱联系的区域之间,主要表现为区域间一个发电机群对另一个发电机群的弱阻尼或负阻尼振荡问题。

系统发生低频功率振荡可能的原因和现象如下:

- 1) 系统弱阻尼时,系统受到扰动后功率发生振荡且长时间才能平息;
- 2) 系统负阻尼时,系统发生自激振荡。这种振荡幅度逐渐增大,造成系统失步,或由于控制系统的饱和成为等幅振荡,长时间不能平息;
- 3) 系统振荡模的固有振荡频率与某种功率波动的频率相同而引起强迫振荡,这种振荡随功率波动源的消除而消除;
- 4) 发电机转速变化引起的电磁力矩变化与电气回路耦合产生的机电振荡。

发生低频功率振荡可能会引起联络线过流跳闸或造成系统与系统、机组与系统之间的失步而解列,严重威胁电网的安全运行。

影响电力系统阻尼的因素,主要有参与互联的各区域电网的结构和潮流方式、自动电压调节器及各种自动控制装置、电网互联的强弱和联络线输送的潮流、方向及负荷特性等参数。目前,提高电力系统阻尼和稳定性最经济、最有效的措施仍然是在相关机组上配置电力系统稳定器,即 PSS (power system stabilizer)。同时,应研究充分利用已有的各种控制装置的作用,例如直流调制、可控串补和静补等。

## 2 配置电力系统稳定器的优势

配置电力系统稳定器可以从源头上消除产生负阻尼的根源。自动电压调节器是发电机励磁控制系统的最重要组成部分,对提高电力系统的静态稳定水平和暂态稳定水平有重要的作用。但是,一定条件下它也是互联系统中“地区振荡模式”和“区域间振荡模式”产生负阻尼的最重要的根源。如果在产生负阻尼的发电机的励磁控制系统中配上电力系统稳定器,并合理选择其参数,使 PSS 提供的正阻尼等于或大于电压调节器产生的负阻尼,这样就从源头上消除了电力系统中产生负阻尼的根源。

电力系统稳定器使用效率很高。电力系统稳定器、自动电压调节器都是励磁控制系统的一个组成部分,它们有相同的可使用率和可靠性。尤其是在使用微机型励磁调节器的情况下,电力系统稳定器的功能是由软件实现的,可以做到发电机的电压调节器在投入运行时,电力系统稳定器也同时投入运行状态。这样的同步关系在电力系统运行方式发生改变时也不会改变。

电力系统稳定器的参数有良好的适应性。在进行电力系统稳定器的参数整定时,要根据所在

电网的特点以及配置电力系统稳定器的发电机励磁控制系统调节特性,确定电力系统稳定器运行的合理参数及其应当满足的频率范围。这样就能保证电力系统稳定器有很好的适应性,在各种可能出现的运行方式下,每一台发电机组的电力系统稳定器对于与该发电机有强相关的各个振荡模式都能提供正阻尼。

广泛的配置 PSS 可以适应系统运行方式的变化。特别是对那些联络线模式,与它相关的机组可能有多个,从全局协调控制的角度出发,是将所需的阻尼分配给所有有作用的机组共同承担,并不是只依靠一台机(虽然在对于许多地区振荡模式,一台强相关的机组有可能提供足够的阻尼),这样当那台机停运,不致失去对该模式全部阻尼,或当部分网解列成为独立电网运行方式出现时,这个独立电网因没有电力系统稳定器或电力系统稳定器太少而引起振荡。这是一种基于备用或分担风险的策略。

## 3 河西电网主力机组小干扰分析

### 3.1 计算条件

根据甘肃电网特点及发生低频振荡时的电网运行方式,选择甘肃电网 2009 年典型方式进行分析,西北电网及分区发电量摘要如表 1 所示。

对全网进行了低频振荡分析,主要是针对振荡频率 0.1 ~ 2.5 Hz 范围内的特征根进行扫描。振荡模式强弱的判定条件是: 阻尼比  $\xi \geq 0.05$  时称为强阻尼,  $0.05 > \xi \geq 0.03$  时称为中等阻尼,  $0.03 > \xi > 0$  时统称为弱阻尼(  $0.01 > \xi > 0$  时称为极弱阻尼),  $\xi = 0$  时称为零阻尼或临界阻尼,  $\xi < 0$  时称为负阻尼。

### 3.2 河西电网主力机组均不配置 PSS 时小干扰分析

河西主力机组全部退出 PSS 情况下进行小干扰

表 1 甘肃 2009 年典型方式下西北电网及分区发电量

区域名	总有功发电 /MW	总无功发电 /Mvar	总有功负荷 /MW	总无功负荷 /Mvar	总有功损耗 /MW	总无功损耗 /Mvar
华中	0	0	360.000	71.724	4.080	-164.865
陕西	6 343.02	1 255.965	6 930.000	3 089.766	70.655	-1 748.688
甘肃	6 101.30	1 357.145	5 483.217	2 027.129	131.321	-722.766
青海	4 760.50	1 554.067	4 078.910	1 900.320	63.198	-390.266
宁夏	5 323.00	1 191.332	5 397.826	2 266.728	38.337	-592.940
全网	22 527.82	5 358.509	22 249.953	9 355.667	307.591	-3 619.525

表2 河西电网主力机组均不配置 PSS 时河西 - 系统振荡模式特征值

实部	虚部	频率/Hz	衰减阻尼比/%	机电回路相关比
-0.009 498	3.686 532	0.586 730	0.257 6	3.850 55

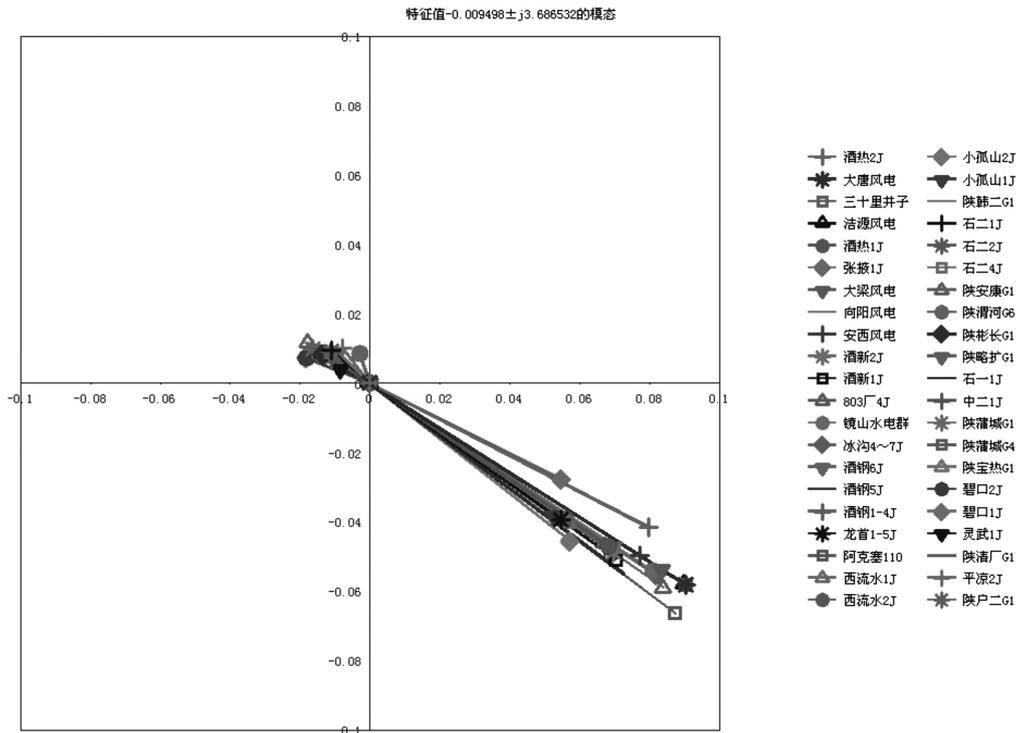


图1 河西电网主力机组均不配置 PSS 时河西 - 系统振荡模式模式图

表3 对酒钢自备电厂大机组配置 PSS

编号	母线编号	机组功率 /MW	励磁参数		PSS 参数	
			模型编号	参数组号	模型编号	参数组号
1	酒钢 1~4J	72	1	2	无	无
2	酒钢 5J	50	12	903	无	无
3	酒钢 6J	50	12	903	无	无
4	酒新 1J	135	12	902	2	903
5	酒新 2J	135	12	902	2	903
6	酒热 1J	300	12	51	4	80
7	酒热 2J	300	12	51	4	81

分析,发现河西走廊机群对系统间存在明显的振荡模式,振荡频率为 0.59 Hz,阻尼比为 0.257 6%,属于极弱阻尼情况,并且与 PMU 装置监测到的河西电网低频振荡频率相符。

该振荡模式与酒钢内部 3 个自备电厂、酒泉地区大量风电场、张掖电厂及一些小水电厂密切相关,具体情况见表 2 和图 1。

### 3.3 河西电网主力机组按实际情况配置 PSS 后小干扰分析

根据 2009 年典型数据,河西电网主力机组中实

际上只有金川 2 号机配置了 PSS,对此进行小干扰分析的结果与 3.2 节几乎完全相同,不再赘述。

### 3.4 酒钢内部大机组配置 PSS 后小干扰分析

对酒钢内部大机组配置 PSS,如表 3 所示。

按表 3 配置酒钢内部大机组 PSS 后,重新进行小干扰分析,结果表明河西电网内部仍存在该典型振荡模式,振荡频率仍为 0.59 Hz,但是阻尼比由原来的 0.257 6% 提高到 3.011 9%,由极弱阻尼振荡变为中等阻尼振荡,说明酒钢的自备电厂确实对该振荡模式起到了主导作用,对其 PSS 进行整定和投

表4 酒钢内部大机组配置 PSS 后河西 - 系统振荡模式特征值

实部	虚部	频率/Hz	衰减阻尼比/%	机电回路相关比
-0.111 702	3.706 984	0.589 985	3.011 9	2.415 00

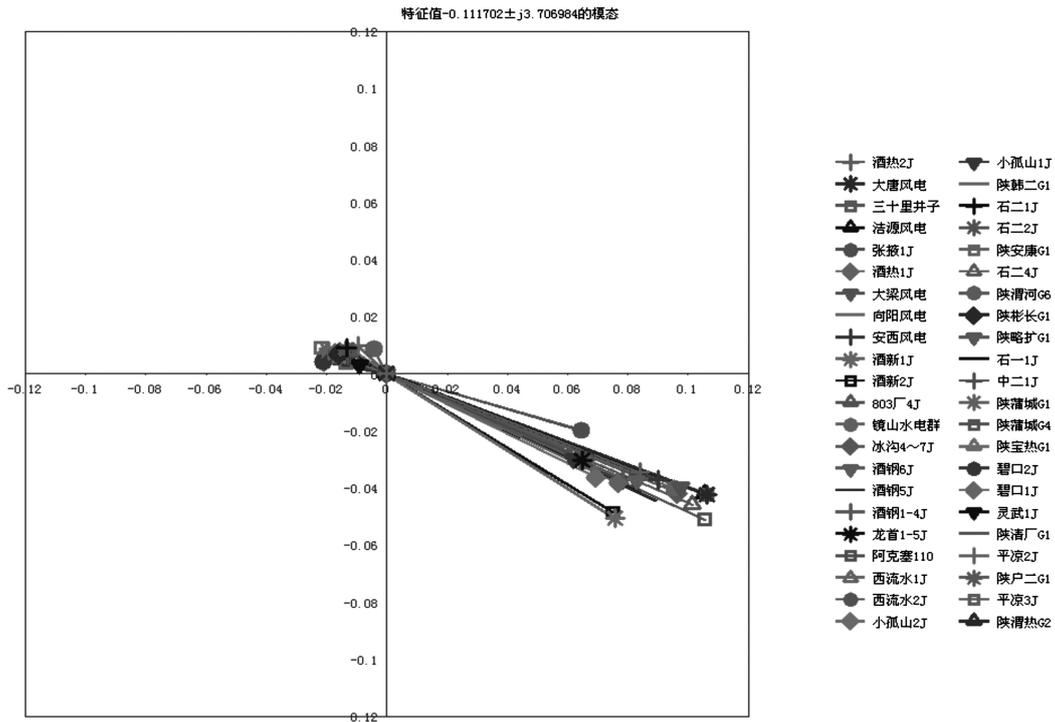


图2 酒钢内部大机组配置 PSS 后河西 - 系统振荡模式模式图

表5 河西电网全部主力机组配置 PSS 后河西 - 系统振荡模式特征值

实部	虚部	频率/Hz	衰减阻尼比/%	机电回路相关比
-0.192 001	3.723 510	0.592 615	5.149 6	1.878 17

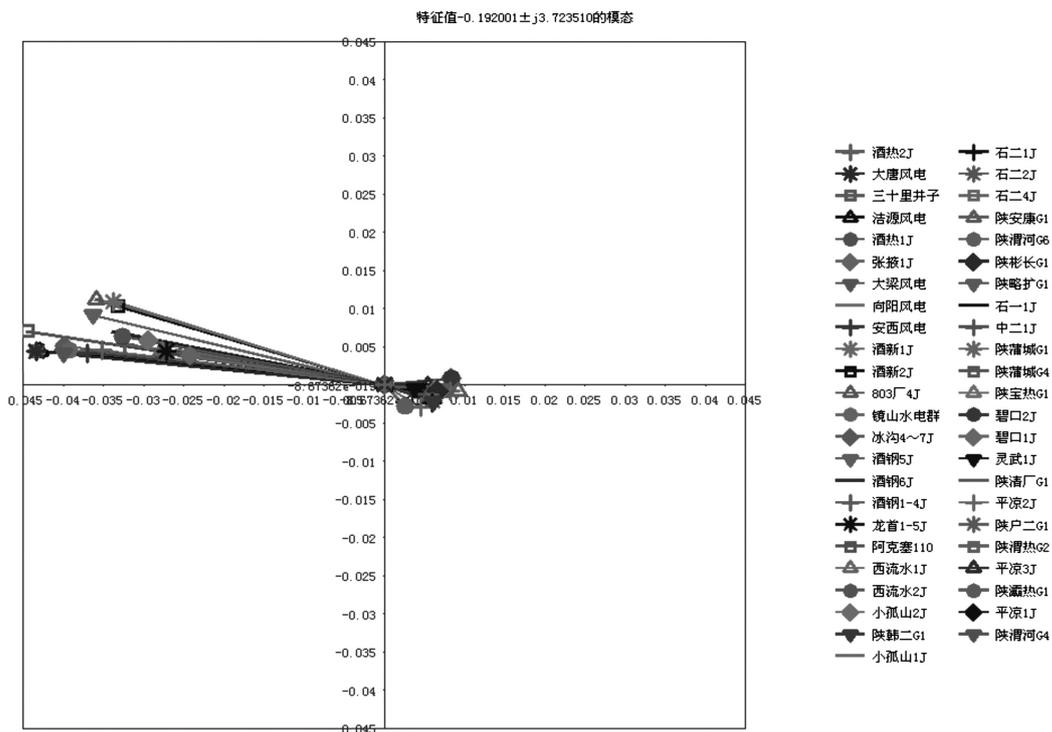


图3 河西电网全部主力机组配置 PSS 后河西 - 系统振荡模式模式图

表6 河西电网低频振荡小干扰分析结果

河西电网配置 PSS 情况	实部	虚部	频率/Hz	衰减阻尼比/%	机电回路相关比
均不配置	-0.009 498	3.686 532	0.586 730	0.257 6	3.850 55
实际情况配置	-0.009 498	3.686 532	0.586 730	0.257 6	3.850 55
酒钢大机组全部配置	-0.111 702	3.706 984	0.589 985	3.011 9	2.415 00
河西主力机组全部配置	-0.192 001	3.723 510	0.592 615	5.149 6	1.878 17

运 能够很大程度上提高系统阻尼,有利于抑制河西电网低频振荡的发生。有关该振荡模式的详细信息如表4和图2所示。

### 3.5 河西电网全部主力机组配置 PSS 后小干扰分析

对河西电网全部主力机组配置 PSS 后,在原潮流情况下重新进行小干扰分析,结果表明河西电网与系统间存在一个强阻尼振荡模式,振荡频率仍为 0.59 Hz,但是阻尼比已经提高到 5.149 6%,由最初的极弱阻尼振荡变为强阻尼振荡,说明对河西电网全部主力机组配置并投运 PSS,能够更有效地提高系统阻尼,可以显著抑制河西电网低频振荡的发生。有关该振荡模式的详细信息如表5和图3所示。

## 4 小 结

各次小干扰分析结果汇总如表6所示。

根据前面计算分析可以得到如下结论:

1) 河西电网主力机组均不配置 PSS 或按照甘肃 2009 年典型方式配置 PSS,河西机群对系统间存在明显的振荡模式,振荡频率为 0.59 Hz,阻尼比为 0.257 6%,属于极弱阻尼情况,并且与 PMU 装置监测到的河西电网低频振荡频率相符。

2) 酒钢的自备电厂对该振荡模式起到了主导作用,对其大机组 PSS 进行整定和投入,能够在很大程度上提高系统阻尼,有利于抑制河西电网低频振荡的发生。酒钢大机组 PSS 投入后,河西机组对系统间振荡频率仍为 0.59 Hz,但是阻尼比由原来的 0.257 6% 提高到 3.011 9%,由极弱阻尼振荡变为中等阻尼振荡。

3) 对河西电网全部主力机组配置并投入 PSS,

能够更有效地提高系统阻尼,可以显著抑制河西电网低频振荡的发生。河西电网全部主力机组投入 PSS 后,河西机群与系统间存在一个强阻尼振荡模式,振荡频率仍为 0.59 Hz,但是阻尼比已经大幅提高到 5.149 6%,由最初的极弱阻尼振荡变为强阻尼振荡。

### 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]. 北京:华北电力大学,2012.
- [3] 王官宏,肖洋. 甘肃电网 2009 年动态稳定性研究技术报告[C]. 北京:中国电力科学研究院,HXT2009.
- [4] 翁利民,张莉,舒立平,等. 电弧炉对电网的不利影响及其抑制措施[J]. 供用电,2000,17(3):45-46.
- [5] 朱方,赵红光,刘增煌,等. 大区电网互联对电力系统动态稳定性的影响[J]. 中国电机工程学报,2007,27(1):1-7.
- [6] 王洪涛,刘玉田,雷鸣,等. 电网互联对山东电网内部低频振荡模式的影响[J]. 中国电力,2004,37(6): 12-15.
- [7] 邓集祥,贺建明,姚天亮,等. 大区联网条件下四川电网低频振荡分析[J]. 电网技术,2008,32(17): 78-83.

作者简介:

姚 巽(1984),工程师,主要研究方向为电网调度、电力系统稳定性;

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。

(收稿日期:2016-11-04)

\*\*\*\*\*

# 欢迎订阅《四川电力技术》