

# 2009年广东电网动态稳定问题分析研究

杨雄平, 李扬絮, 罗向东

(广东省电力调度中心, 广州 510600)

**摘要:** 以2009年广东电网夏季大方式及小方式数据为基础, 研究了广东电网内的弱阻尼振荡模式, 对重要地区机组的PSS投、退进行了灵敏度分析, 揭示了广东电网内动态稳定性薄弱的地区, 优化了广蓄B厂机组PSS增益定值, 另外, 采用综合负荷模型, 对广东电网内振荡模式及广东电网与外网区域振荡模式进行了研究, 并同静态负荷模型结果进行了对比, 给广东电网PSS现场试验、运行及励磁参数实测工作提供了依据。

**关键词:** 动态稳定; PSS; 增益; 励磁系统; 负荷模型

## Study of Dynamic Stability Problem in Guangdong Power Grid in 2009

YANG Xiongping, LI Yangxu, LUO Xiangdong

(Guangdong Power Dispatching Center, Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** This paper studies weak damp ratio oscillation modes of Guangdong Power Grid based on power network data in summer peak load and low load operation mode. It gives sensitive analysis for PSS on and off in important zones, opens out those zones whose dynamic stability are weak, optimize the plus of PSS in Guangzhou Pumped Storage Power Station, in addition, this paper studies and compares weak damp ratio characteristic of inter-area and inner-area in Guangdong Power Grid when using different load models. This paper offers the guidance for setting, operation of PSSes and measure of generator excitation system.

**Key words:** dynamic stability, PSS, plus, generator excitation system, load model

互联电网动态稳定性问题已经成为影响电网稳定运行的重要因素<sup>[1-3]</sup>。大规模长距离外电送入, 给电网运行带来较大的风险, 其中可能导致的动态稳定问题已经成为广东电网十大运行风险之一<sup>[4-5]</sup>。

本文以2009年广东电网数据为基础, 对广东电网的阻尼特性和振荡模式进行研究, 揭示广东电网内动态稳定性薄弱的地区, 为PSS现场试验及运行工作提供依据, 并为励磁参数实测工作的进一步推进提供指引, 通过分析 with 试验的结合, 不断提高广东电力系统的动态稳定水平。

### 1 计算数据、原则和工具

计算基础数据为2009年广东电网夏季大方式数据, 包括广东、云南、贵州、广西和香港的220 kV及以上电网, 以及海南电网。计算稳定数据中, 机组均采用已有的励磁参数实测报告和PSS现场试验报告的相关定值; 对于无实测报告的, 尽量采用厂家模型参数, 或与实际系统较为接近的模型; 新投产机组按照装机容量及电压等级, 采用相似的已完

成实测励磁的机组参数。发电机采用考虑 $E'_q$ 、 $E'_d$ 变化的次暂态模型, 并计及自动励磁调节器、汽轮机、调速器的作用。

频域计算方式下的动态稳定的计算判据为阻尼比大于等于0.04。时域计算方式下的动态稳定的计算判据为: 系统发生小扰动时, 振荡9次后振荡幅度减至最大振幅的10%以下。

研究计算以频域分析方法为主, 辅以时域分析。计算软件采用电科院的小扰动频域分析软件、中文版BPA潮流以及暂态稳定计算程序。

### 2 振荡模式分析

#### 2.1 夏大方式分析

2009年夏大方式下, 通过频域下的搜索计算分析, 求出0.1~2.0 Hz频率段的所有系统特征根, 发现整个南方电网不存在负阻尼的特征根, 但仍有14种模式存在弱阻尼, 其中, 与广东电网机组相关的有4种振荡模式存在弱阻尼, 其对应的特征根见表1所示。

广东电网内部 4 种弱阻尼振荡模式均为 2009 年新投产机组的本机振荡模式。下面以其中阳西机组本机振荡模式为例进行说明:

表 1 夏大方式下相关特征根及振荡模式

Tab.1 Characteristic Roots and Oscillation Modes in Summer Peak Load Operation Mode

实部	虚部	频率/Hz	阻尼比	振荡模式
-0.131 2	7.276 5	1.158 1	0.018	源和机组本机振荡
-0.243 5	7.432 1	1.182 9	0.032 7	惠蓄机组本机振荡
-0.360 2	10.173 1	1.619 1	0.035 4	阳西机组本机振荡
-0.358 8	9.483 6	1.509 4	0.037 8	海门机组本机振荡

该振荡模式的频率为 1.619 1 Hz, 阻尼比 0.035 4。从参与因子及右特征向量分析可知: 阳西机组的参与因子, 为 0.997, 其余机组参与因子均小于 0.1, 与该模式的相关性较弱。从右特征向量的模看, 阳西机组的模值为 0.063, 其余机组的模值均小于 0.02, 对该振荡模式的响应较小, 从右特征向量的相位看, 阳西机组的相位与系统机组相位基本相反。因此, 该振荡模式是阳西机组相对于系统振荡为主的本机振荡模式。

## 2.2 夏小方式分析

2009 年夏小方式下, 除夏大方式中的 4 种弱阻尼振荡模式外, 广东电网内部还存在两种弱阻尼的振荡模式, 分别为广蓄 B 泵工况本机振荡和飞来峡机组本机振荡模式。其中飞来峡机组本机振荡模式的出现是因为清远地区夏季重负荷时段多出现在夜间, 在夏小方式数据中, 清远地区负荷较重。尽管飞来峡为 4 台 35 MW 的小水电机组, 但考虑到清远地区电网以往动态稳定性能较差, 建议尽快完成飞来峡机组的励磁参数实测。

表 2 夏小方式下新出现的特征根及振荡模式

Tab.2 New Characteristic Roots and Oscillation Modes in Summer Low Load Operation Mode

频率/Hz	阻尼比	振荡模式
1.119 8	0.014 4	广蓄 B 泵工况本机振荡
1.176 7	0.028 3	飞来峡机组本机振荡

## 3 PSS 投退灵敏性分析

### 3.1 新投产机组 PSS 投入

源和、阳西、惠蓄和海门电厂机组均为 2009 年新投产机组, 在前述计算中, 其励磁系统参数参

照了类似的已完成实测励磁的机组参数, 根据前述频域分析可知, 在夏大方式下, 新投产电厂机组均存在本机弱阻尼振荡模式。

同样参照类似已完成 PSS 现场整定的机组, 假定新投产机组投入同样类型及参数的 PSS 后, 上述四个新投产电厂本机弱阻尼振荡模式不复存在。

### 3.2 粤东机组 PSS 退出

粤东电网投运 PSS 的机组有: 枫树坝 1 号机、柘林 2 台机、红海湾 2 台机、靖海 2 号机、汕头 3 号机和青溪 4 台机。考虑所有机组的 PSS 退出运行, 则系统将增加 5 个与粤东机组相关的弱阻尼特征根, 见表 3。其中新出现两个与海南电网的区域振荡模式: 粤东、海南机组对系统的区域振荡及海南对粤东区域振荡。

表 3 粤东机组 PSS 退出后下新出现的特征根及振荡模式

Tab.3 New Characteristic Roots and Oscillation Modes when Guangdong-East Generator PSS out

频率/Hz	阻尼比	振荡模式
0.807 2	0.015 6	粤东、海南机组对系统区域振荡
0.763 7	0.022	海南对粤东区域振荡
1.281 9	0.033 7	粤东内部机组局部振荡
1.588	0.034 2	红海湾机组本机振荡

2009 年夏大方式数据中, 海南电网与广东电网并无功率交换, 仅通过联络线与广东粤西电网相连。从占主导作用的海南机组看, 东风电厂 1 号机、海电 8 号机、牛路岭四台机、大广坝水电等机组未投入 PSS 或者未采用实测参数, 因此, 应对海南上述机组参数及 PSS 校核后做进一步的分析。

### 3.3 江中珠机组 PSS 退出

江中珠电网投运 PSS 的机组有: 铜鼓 5 台机和珠海 B 厂 2 台机。考虑所有机组的 PSS 退出运行, 则系统将增加 4 个与江中珠机组相关的弱阻尼甚至负阻尼特征根, 见表 4。

### 3.4 粤北机组 PSS 退出

粤北地区投运 PSS 的机组有: 桥口 2 台机、鲤鱼江 2 台机、韶关 2 台机。考虑粤北所有机组的 PSS 退出运行, 则系统将增加 1 个与粤北机组相关的极弱阻尼特征根, 见表 5。

### 3.5 清远机组 PSS 退出

清远地区电网以往动态稳定性较差, 尤其是其水电大发方式下, 外送断面较为薄弱, 清远电网投

运 PSS 的机组有连州电厂 4 台机及螺阳电厂 2 台机, 考虑其所有 PSS 均退出运行, 则系统将增加 1 个与清远机组相关的弱阻尼特征根, 见表 6。

表 4 中珠机组 PSS 退出后下新出现的特征根及振荡模式

Tab.4 New Characteristic Roots and Oscillation Modes when Zhongzhu Generator PSS out

频率/Hz	阻尼比	振荡模式
1.120 6	-0.003 5	铜鼓 A 厂机组本机振荡
1.430 1	0.027 8	珠海 B 厂机组本机振荡
1.303 4	0.028 1	江中珠机组的局部振荡 1
1.250 1	0.034 5	江中珠机组的局部振荡 2

表 5 粤北机组 PSS 退出后下新出现的特征根及振荡模式

Tab.5 New Characteristic Roots and Oscillation Modes when Guangdong-North Generator PSS out

频率/Hz	阻尼比	振荡模式
1.025 1	0.003 0	粤北机组对系统的局域振荡

表 6 清远机组 PSS 退出后下新出现的特征根及振荡模式

Tab.6 New Characteristic Roots and Oscillation Modes when Qingyuan Generator PSS out

频率/Hz	阻尼比	振荡模式
1.343 2	0.038 2	清远机组相对主网的局部振荡

## 4 综合负荷模型下的动稳分析

### 4.1 计算用负荷模型

综合负荷模型包括感应电动机模型和综合静态负荷模型 (ZIP), 其组成为 60% 电动机和 40% 的静态负荷。对于综合静态负荷模型, 考虑负荷的频率特性, 各类型负荷比例参数见表 7。

表 7 南方电网静态负荷模型中组成比例

Tab.7 Composing Proportion of Static Load

地域	恒阻抗 (比例)	恒电流 (比例)	恒功率 (比例)
广东	30%	40%	30%
广西	30%	40%	30%
贵州	30%	40%	30%
云南	30%	30%	40%
香港	40%	60%	

综合负荷模型中的电动机模型参数见表 8, 其中  $R_r$  为定子绕组电阻,  $X_r$  为定子绕组电抗,  $R_s$  为转子绕组电阻,  $X_s$  为转子绕组电抗,  $X_m$  为激磁绕组电抗,  $T_j$  为惯性时间常数,  $K_l$  为初始滑差,  $A$  和  $B$

为转矩系数。

表 8 电动机模型参数

Tab.8 Parameter of Electromotor Model

$R_r$ (标么值)	$X_r$ (标么值)	$R_s$ (标么值)	$X_s$ (标么值)	$X_m$ (标么值)
0.09	0.17	0.013	0.067	3.8
$T_j$ (s)	$K_l$	$A$	$B$	
2.0	0.4	0.85	0	

### 4.2 广东电网内部振荡模式分析

采用动态负荷模型, 通过频域下的搜索计算分析, 得到广东网内部阻尼比小于 0.04 的特征根及相关振荡模式, 同前述采用静态负荷模型下振荡模式相比, 并没有增加新的弱阻尼振荡模式, 采用不同负荷模型下广东网内部相关振荡模式及其特征根列表如表 9。

从表中可以看出, 与采用静态负荷模型相比, 采用综合负荷模型后, 广东电网内部机组振荡模式的阻尼比有所增加, 动态稳定水平相对提高。

表 9 不同负荷模型下广东网内弱阻尼特征根比较

Tab.9 Comparison of Weak Damp Ratio Characteristic in Different Load Model

振荡模式	模型	频率/Hz	阻尼比
源和机组 本机振荡	静态负荷模型	1.158 1	0.018
	综合负荷模型	1.152 2	0.028 1
惠蓄机组 本机振荡	静态负荷模型	1.182 9	0.032 7
	综合负荷模型	1.182 5	0.033 2
阳西机组 本机振荡	静态负荷模型	1.619 1	0.035 4
	综合负荷模型	1.617 7	0.037 9
海门机组 本机振荡	静态负荷模型	1.509 4	0.037 8
	综合负荷模型	1.505 8	0.039 5

### 4.3 粤港与云贵机组的区域振荡模式分析

采用静态负荷模型, 通过频域下的搜索计算分析, 得到一个广东、香港与云贵机组的振荡模式, 该振荡模式对应的特征根为  $-0.301 3+j2.687 6$ , 阻尼比为 0.111 5。该振荡模式主要为香港、广东与云南、贵州机组之间的区域间振荡 (简称粤港与云贵机组的区域振荡), 覆盖范围很大, 涉及香港、广东、云南、贵州电网的众多机组。

当采用综合负荷模型, 该振荡模式的阻尼比为 0.058, 振荡频率也由 0.427 6 Hz 减小到 0.396 5 Hz。

可见, 采用综合负荷模型后, 粤港与云贵机组的区域振荡的阻尼比明显减小, 但是, 无论采用综

合负荷模型还是静态负荷母线,两者对应的阻尼比均大于0.04,为强阻尼振荡,满足电网动态稳定要求。

## 5 广蓄B厂PSS整定值分析

### 5.1 广蓄B厂PSS定值优化分析

根据前述分析可知,在2009年夏小方式下,出现了一个弱阻尼的广蓄B泵工况本机振荡模式。广蓄B厂PSS现用增益为0.194,考虑对其优化,将广蓄B厂PSS的增益增加到0.5。在夏小方式下,当广蓄B厂4台机PSS增益均采用0.5后,通过频域下的系统特征根搜索计算分析可知,广蓄B泵机本机振荡模式不复存在,或者变为一个阻尼比较大的振荡模式。

### 5.2 时域分析

下面对广蓄B厂机组的动态特性进行时域仿真。在夏小方式下,广蓄B厂泵机PSS增益分别取0.194和0.5,当北增一回施加一个20ms的三相短路扰动,当增益采用0.5后,广蓄B厂PSS能够很好地抑制本机振荡模式。

根据南方电网2008年动态稳定分析报告<sup>[6]</sup>可知,广蓄B厂增益采用3.89时,广蓄B机组在粤港对云贵的区域性振荡模式中起主导作用,其参与因子最高。

采用综合负荷模型,当广蓄B厂PSS增益优化为0.5,频域分析表明:在粤港对云贵的区域性振荡模式中,广蓄B机组从起主导作用变为完全消失,即对该模式不具有影响。

## 6 结 语

1) 2009年广东电网夏大方式下,广东电网内部共存在4个弱阻尼振荡模式,均为2009年新投产本机振荡,建议在投运前应完成其励磁参数实测及PSS试验、参数整定。

2) 当粤东机组PSS退出后,系统中存在海南机组对粤东机组的弱阻尼区域振荡模式,其中主导作用的海南机组未投入PSS或者未采用实测参数,应对海南上述机组参数及PSS校核后做进一步的分析。

3) 2009年夏小方式下,系统新出现一个弱阻尼的广蓄B厂泵工况本机振荡模式,频域及时域分析表明广蓄B厂的PSS现用增益0.194偏小,建议对广蓄B厂的PSS定值进行优化。

4) 粤北、粤东、清远、铜鼓和珠海电厂机组的PSS对相关地区的动稳性能影响非常显著,应加强这些地区机组PSS装置的运行维护,确保其正常运行,同时,上述地区未完成励磁参数实测的机组应尽快完成实测工作。

5) 采用综合负荷模型时,全网没有出现负阻尼的振荡模式,广东电网内部机组的振荡模式阻尼比均有小幅增加,粤港与云贵区域振荡模式阻尼比明显减小,但总体满足电网动态稳定要求。

6) 根据2008年动稳分析报告<sup>[5]</sup>,部分存在本机振荡模的机组在采用励磁系统实测参数后,及存在区域振荡的粤北机组在完成PSS现场整定并投入PSS后,其相关弱阻尼振荡模式在2009年动稳分析消失。通过分析及试验的结合,不断提高了广东电力系统的动态稳定水平。

### 参考文献:

- [1] 朱方,汤涌,张东霞,等.我国交流互联电网动态稳定性的研究及解决策略[J].电网技术,2004,28(15):1-5.  
ZHU Fang, TANG Yong, ZHANG Dongxia, et al. Study of Dynamic Stability Problems of AC Interconnected Area Power Grids in China and their Solutions [J]. Power System Technology, 2004, 28 (15): 1-5.
- [2] 罗国俊,徐显华,龙绍涛.广东—香港联网系统的低频振荡[J].中国电机工程学报,1986,6(1):29-35.  
LUO Guojun, XU Xianhua, LONG Shaoqing, et al. Low Frequency Oscillations on the Interconnections between Hong Kong and Guangdong[J]. Proceedings of the CSEE, 1986, 6 (1): 29-35.
- [3] 李杨楠,刘文颖,潘炜,等.西北750kV电网动态稳定特性分析和控制策略[J].电网技术,2007,31(12):63-68.  
LI Yangnan, LIU Wenyong, PAN Wei, et al. Analysis of Dynamic Stability Characteristics of 750 kV Northwest China Power Grid and Research on its Control Strategy[J]. Power System Technology, 2007, 31 (12): 63-68.
- [4] 广东省电力调度中心.广东电网2008年度运行方式报告[Z].广州:广东省电力调度中心,2008.
- [5] 广东省电力调度中心.广东电网2008年动态稳定分析报告[Z].广州:广东省电力调度中心,2008.
- [6] 中国南方电网电力调度通信中心,中国电力科学研究院.南方电网2008年动态稳定性研究技术报告[Z].广州:中国南方电网电力调度通信中心,2008.

收稿日期:2009-01-20

作者简介:

杨雄平(1978),男,湖北应城人,工程师,博士,从事电力系统运行方式分析工作(e-mail:hustyp@163.com);

李杨絮(1968),女,四川成都人,高级工程师,硕士,从事电力系统运行方式、运行管理等工作;

罗向东(1968),男,湖南永州人,高级工程师,硕士,从事电力系统运行方式、运行管理等工作。