

# The Application of the Asynchronous Interconnection and Research of Jin'anqiao Hydropower Unit of Governor Parameters Improvement

Yangyang Wu, Youkuan Liu, Changgeng Li, Li Li, Siyuan Hong, Xiaolong Li

Yunnan Electric Power Test Research Institute (Group) Co., LTD., Kunming Yunnan  
Email: 445800890@qq.com

Received: Aug. 5<sup>th</sup>, 2016; accepted: Aug. 28<sup>th</sup>, 2016; published: Aug. 31<sup>st</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In view of the Yunnan power grid during asynchronous interconnection, the frequency of power grid has a small fluctuation in the condition of small disturbance test system. After south power network analysis, there possibly may exist negative damping phenomenon in the speed regulation system of Jin'anqiao power plant as well as other power plant involved in asynchronous networking and it needs to modify frequency modulation controller parameters. The optimized speed governor model test completed in Yunnan asynchronous networking has laid a good foundation.

## Keywords

Asynchronous Networking, Small Disturbance Test, Negative Damping Phenomenon, Primary Frequency Regulation

---

# 金安桥水电站机组调速器参数改进在云南异步联网中的应用与研究

伍阳阳, 刘友宽, 李长更, 李黎, 洪思源, 李晓龙

文章引用: 伍阳阳, 刘友宽, 李长更, 李黎, 洪思源, 李晓龙. 金安桥水电站机组调速器参数改进在云南异步联网中的应用与研究[J]. 电气工程, 2016, 4(3): 149-157. <http://dx.doi.org/10.12677/jee.2016.43019>

云南电力试验研究院(集团)有限公司, 云南 昆明  
Email: 445800890@qq.com

收稿日期: 2016年8月5日; 录用日期: 2016年8月28日; 发布日期: 2016年8月31日

## 摘要

针对云南电网在异步联网期间, 在系统小扰动试验情况下, 电网频率出现小幅度的波动状况。经南网总调分析, 金安桥电厂以及参与异步联网的其它电厂的调速系统可能存在负阻尼现象, 需修改一次调频控制器参数, 优化后的调速器模型为云南异步联网试验顺利完成打下了良好的基础。

## 关键词

异步联网, 小扰动试验, 负阻尼现象, 一次调频

## 1. 引言

随着云南水电的大量开发, 南方电网加快了西电东送地实施步伐, 东西交流电网送电距离越来越远, 交直流混合运行电网结构日趋复杂, 发生多回直流同时闭锁或相继闭锁故障的风险加大, 对南方电网整体安全稳定运行造成威胁。将云南电网主网与南方电网主网异步联网, 可有效化解交直流功率转移引起的电网安全稳定问题、简化复杂故障下电网安全稳定控制策略、避免大面积停电风险, 大幅度提高南方电网主网架的安全供电可靠性。

如图 1 所示: 本文主要研究云南电网在异步联网期间, 系统小扰动试验情况下, 电网频率出现小幅度的波动。而金安桥水电厂通过楚穗直流换流站将电能输送至广东, 通过观察金安桥水电厂与参与异步联网的其它电厂, 发现一次调频动作频率太快, 导致一次调频与 AGC 开回进行调节, 出现波动。为此验证在优化调速器参数的情况下, 电网频率是否能够在异步联网期间, 符合电力系统安全稳定准则[1]。

## 2. 电力系统调频方式

电力系统的一次调频(primary frequency regulation, PFR)指利用系统固有的负荷频率特性, 以及发电机组调节系统的作用, 来阻止系统频率偏离标准的调节方式[2] [3]。电力系统的一次调频包括电力系统负荷对频率的一次调节和发电机组的一次调频, 对电力系统控制而言, 频率的一次调节主要指由发电机组来实现。

电力系统的二次调频是指根据系统频率的变化情况, 通过改变发电机组的调差特性曲线位置来改变机组有功功率, 弥补由于电力系统一次调频存在的频率偏差, 将系统频率稳定在允许的范围内, 实现频率的无差调节。目前, 电力系统的二次调频一般是通过 AGC (Automatic Generation Control, 自动发电控制)或调度指令实现的, 系统负荷的增减基本上主要由调频机组或调频电厂承担。

对于水电厂而言, 一次调频系水轮机调速系统的基本功能, 由控制机组调速系统的调差特性, 随系统频率变化而自主进行开度/有功调整, 进而控制系统频率变化, 并使各台机组间合理分担负荷。在机组发电运行过程中, 当系统频率变化超过调速器设定的人工频率死区时, 调速系统就要按设定的调差率改变接力器位移/导叶开度, 从而引起机组有功的变化, 其特点是调整速度较快。而 AGC 能够根据调度下发的指令, 按照一定的调节速率实时调整发电出力, 以满足水电厂所处电力系统频率和联络线功率控制

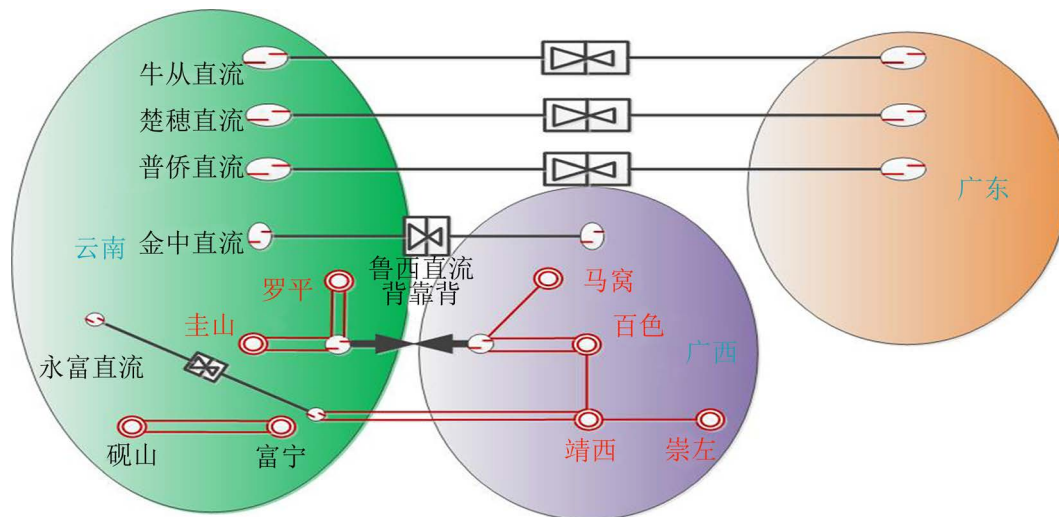


Figure 1. Yunnan power grid and southern grid main asynchronous network diagram  
图 1. 云南电网与南方电网主网异步联网示意图

要求，其特点是无差调节。只有一次调频与 AGC 合理的正确动作，才能保证电网频率稳定。

### 3. 云南异步联网试验

异步联网，就是将两部分电网的交流通道全部断开，仅有直流联系。直流联系是通过整流(交流转换为直流)、逆变(直流转换为交流)过程来实现的，在这一过程中，相位是可以人为干预的。异步联网后的两部分电网不再有直接交流联系作为频率的强约束，两部分的频率彼此独立，是为异步。

#### 3.1. 调速器参数不变

根据南网安排，2016 年 3 月 28 日金安桥电厂参与了云南异步联网系统性整体验证试验。现将云南电网转为异步运行时进行小扰动试验期间，19 时小湾电厂向上调节 600 MW 时，金安桥电厂侧的一次调频与 AGC 的动作情况分析。

金安桥电站 AGC 与一次调频的关系：机组在 AGC 指令不变的情况下，只要一次调频动作，机组能迅速响应一次调频动作到位，一次调频动作复归后，继续响应 AGC 指令；在一次调频首先动作后，AGC 指令随即变化，机组有功功率实际响应 AGC 指令。机组在执行 AGC 设定值时不受一次调频功能的影响，出力变化是优先响应 AGC 指令。

在 19:00~19:02 时，小湾电厂以调节速率 600 MW/min 向上调节 600 MW，金安桥电厂 #4 机组一次调频动作记录如图 2 所示。下面详细分析金安桥电厂在此期间两次一次调频动作前后的机组功率、频率和导叶开度情况。

19:00:04~19:00:12 时，19:00:04 时金安桥电厂 #4 机组调速器一次调频动作，#4 机组  $P_{set} = 456.5$  MW， $P_{实发} = 473.0$  MW，机组频率 50.07 Hz，导叶开度 60.88%，如图 3 所示；19:00:12 时 #4 机组调速器一次调频动作复归，#4 机组  $P_{set} = 456.5$  MW， $P_{实发} = 419.2$  MW，机组频率 50.03 Hz，导叶开度 58.37%；由于此时(一次调频动作复归后) #4 机组有功功率实发值与有功功率设定值差值大于调节死区(7 MW)，AGC 动作，开启导叶开度，增加有功功率。

19:00:19~19:00:28 时，19:00:19 时金安桥电厂 #4 机组调速器一次调频动作，#4 机组  $P_{set} = 460$  MW， $P_{实发} = 475.6$  MW，机组频率 50.1 Hz，导叶开度 62.02%，如图 3 所示；19:00:28 时 #4 机组调速器一次调频动作复归，#4 机组  $P_{set} = 460$  MW， $P_{实发} = 433.5$  MW，机组频率 50.03 Hz，导叶开度 59.43%；由于此

第二次	2016-03-28 19:00:35.271	4号机组调速器一次调频动作
	2016-03-28 19:00:28.625	4号机组调速器一次调频动作复归
第一次	2016-03-28 19:00:19.966	4号机组调速器一次调频动作
	2016-03-28 19:00:12.845	4号机组调速器一次调频动作复归
	2016-03-28 19:00:04.185	4号机组调速器一次调频动作
	2016-03-28 18:59:57.388	4号机组调速器一次调频动作复归

Figure 2. A frequency modulation  
图 2. 一次调频动作记录

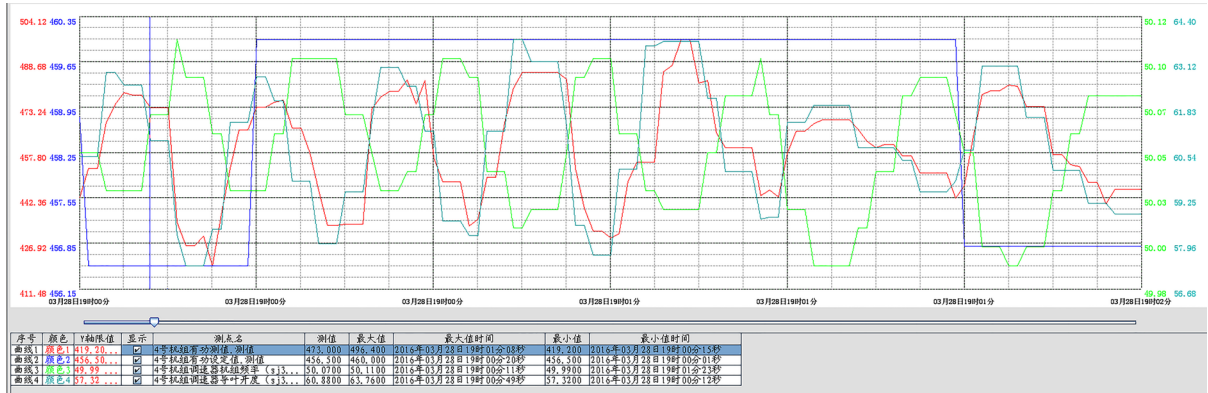


Figure 3. Jin'anqiao #4 units power frequency curve  
图 3. 金安桥#4 机组功频曲线

时#4 机组有功功率实发值与有功功率设定值差值大于调节死区(7 MW)，AGC 动作，开启导叶开度，增加导叶开度。

由于此试验阶段，金安桥电厂#4 机组频率平均偏高于电网正常频率(50.01 Hz 至 50.11 Hz)，所以一次调频频繁动作，一次调频动作复归后由于机组实发有功功率与有功功率设定值差值大于调节死区(7 MW)，AGC 动作，来回进行负荷调节。

### 3.2. 修改调速器参数

针对在异步联网期间，云南电网在小扰动试验时云南电网频率出现小幅度的波动。根据试验期间各个水电厂以及换流站的试验数据分析，调速系统可能存在负阻尼现象，为此参与异步联网的各个电厂调速器参数要进行优化。而金安桥水电厂机组并网运行时，无 PID 控制，调速器的控制结构如图 4 所示。

由于各个调速器生产厂家的调速器控制结构都不相同，改变参数的形式也不一样。在没有 PID 控制器的情况下，要实现改变调速器阻尼特性，通过滤波环节时间常数地改变，来等效地实现 PID 参数改变的效果。

滤波环节的工作原理：简单说就是一个 RC 电路，如图 5 所示；输入、输出关系如公式(1)，在 RC 参数一定时，幅值 A 随着角频率的逐渐增大，而从 1 快速的趋近于 0；相角  $\theta$  随着角频率的逐渐增大，而从  $0^\circ$  趋近于  $-90^\circ$ ；

$$\frac{U_o(S)}{U_i(S)} = \frac{1/j\omega C}{R+1/j\omega C} = \frac{1}{j\omega RC+1} \quad (1)$$

令  $T_f = RC$ ，则：

$$A = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 \cdot T_f^2}}, \quad \theta = -\arctan \omega \cdot T_f \quad (2)$$

由于在传统一次调频控制下，其滤波环节的时间常数函数  $T_f = 1\text{ s}$ ，根据现场调试经验以及一次调频的调节时间。如图 6 所示，分别取  $T_f = 1\text{ s}$  和  $T_f = 15\text{ s}$  从频率特性进行分析：可以看出在角频率相同时，滤

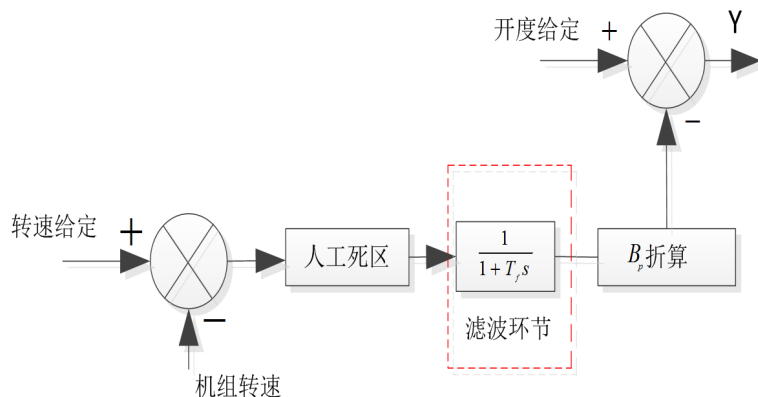


Figure 4. Speed regulation system control block diagram  
图 4. 调速系统控制框图

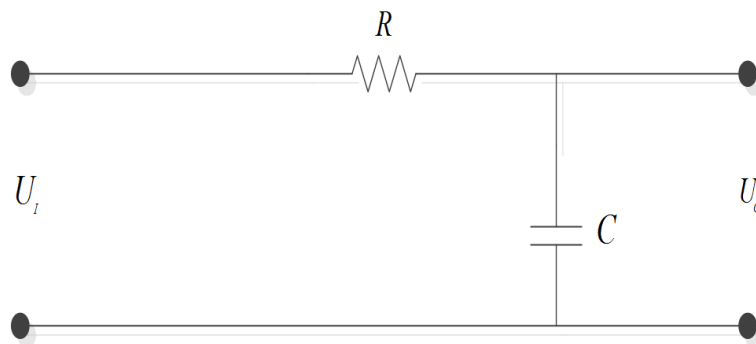


Figure 5. RC circuit  
图 5. RC 电路

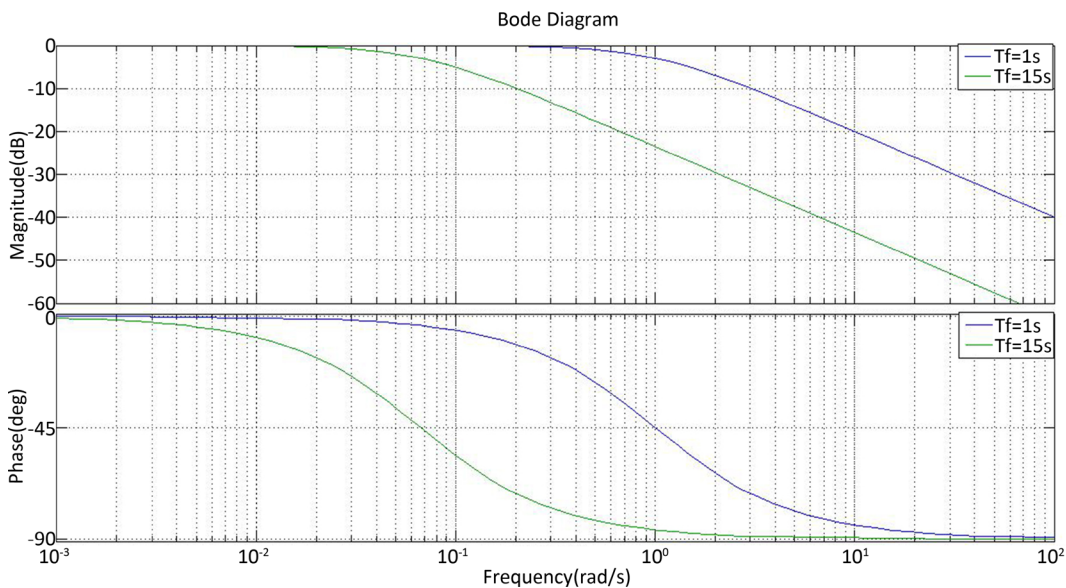


Figure 6. Bode diagram of filter link  
图 6. 滤波环节 Bode 图

波时间常数越大，其幅值衰减的越快，阻尼强度就越大；而相角负向变化的也相对越快。

根据参考文献[4] [5]，利用 MATLAB 仿真软件，在 SIMULINK 环境下搭建金安桥水电机组的调速系统，分别进行滤波时间常数  $T_f = 1\text{ s}$  和  $T_f = 15\text{ s}$ ，频差为 0.12 Hz 的仿真。仿真结果如图 7 所示，从曲线可以观察到，改变滤波时间常数，只是影响一次调频的调节速率和稳定时间，对调节量没有影响。

### 3.3. 一次调频响应测试

金安桥电厂#1 机组进水阀门全关状态，机组处于停机状态，油压装置运行正常，调速器主机各项参数调整完毕，把导叶开度信号、仿真机频信号和一次调频动作信号接入仿真测试仪，进行  $\pm 0.2\text{ Hz}$  频差的一次调频响应试验，相关参数如表 1、图 8、图 9 所示。

从表 2 及表 3 数据对比可以看出，在相同扰动量下 ( $\pm 0.2\text{ Hz}$ )，工况二比工况一，导叶开度与有功功率基本没有变化，这与调速系统调节参数的影响特性相符；稳定时间增加了约 60 s；有功调整速率减小了约 5.5 MW/s。现场机组测试再次说明修改滤波时间常数对调节量没有影响，只影响调节速率及稳定时间。

### 3.4. 异步联网测试

云南省内部分机组调速器参数进行优化后，继续开展云南异步联网系统性整体验证试验。待云南电网从同步转异步稳定运行后，进行参数修改后的异步小扰动测试；由于金安桥水电站与小湾水电站通过

Table 1. A frequency modulation parameters

表 1. 一次调频参数

参数	Bp (%)	Ef (Hz)	计算死区(Hz)	滤波时间常数(s)
工况一	4	0.05	0.05	1
工况二	4	0.05	0.05	15

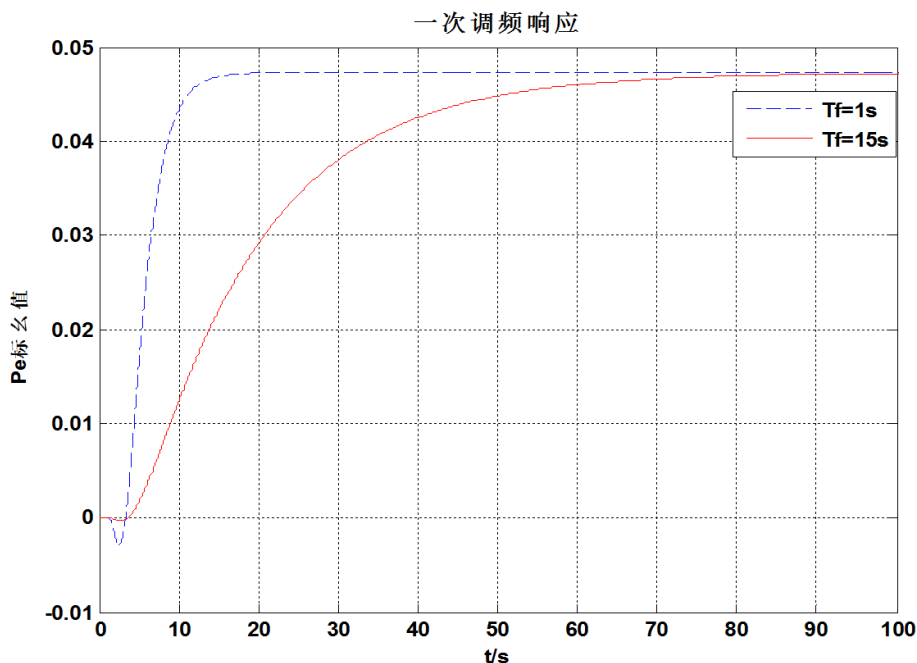


Figure 7. Under different filter time constant of a frequency modulation response curve

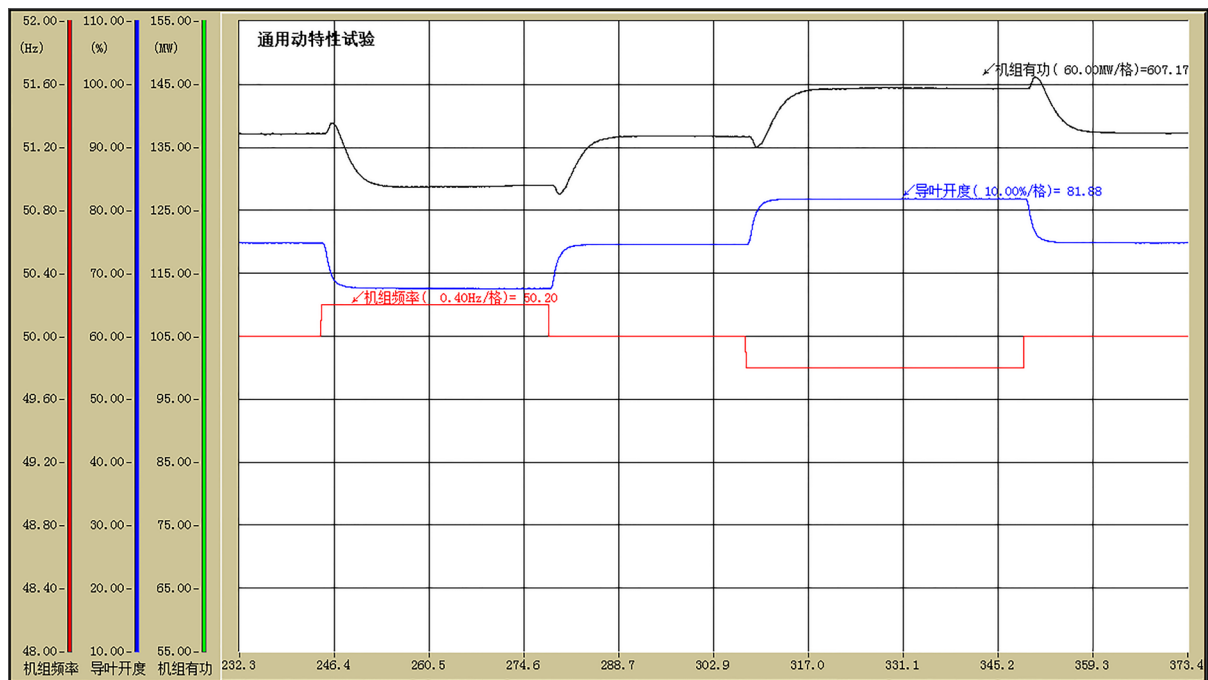
图 7. 不同滤波时间常数下的一次调频响应曲线

**Table 2.** Jin'anqiao power plant unit #1 working condition of the test data  
**表 2.** 金安桥电厂 #1 机组工况一下试验数据

频率 (Hz)	频率扰动前		频率扰动后		变化量		响应时间(s)	稳定时间(s)	有功化速率(MW/s)
	开度(%)	有功(MW)	开度(%)	有功(MW)	开度(%)	有功(MW)			
50~50.2	74.7	553.5	67.4	501.5	7.3	51.9	0.390	9.05	6.62
50~49.8	74.6	550.7	82.2	598.4	7.6	47.7	0.555	11.174	4.76

**Table 3.** Jin'anqiao power plant under the working condition of #1 unit 2 test data  
**表 3.** 金安桥电厂 #1 机组工况二下试验数据

频率 (Hz)	频率扰动前		频率扰动后		变化量		响应时间(s)	稳定时间(s)	有功变化速率 (MW/s)
	开度(%)	有功(MW)	开度(%)	有功(MW)	开度(%)	有功(MW)			
50~50.2	74.6	551.5	67.2	500.5	7.4	51.1	0.983	65.3	1.18
50~49.8	74.3	548.2	81.9	597.5	7.6	49.3	0.779	79.4	1.11



**Figure 8.** A test curve Jin'anqiao working condition of power plant unit #1  
**图 8.** 金安桥电厂 #1 机组工况一试验曲线

楚穗直流换流站将电能输送至广东。因而进行小湾电厂功率上调 600 MW，调节速率 200 MW/MIN 和功率下调 600 MW，调节速率 600 MW/MIN 的系统小扰动，来验证金安桥水电站机组一次调频与 AGC 对电厂功率调节扰动的适应性及协调动作策略。

金安桥电厂 AGC 与一次调频的关系：机组在 AGC 指令不变的情况下，只要一次调频动作，机组能迅速响应一次调频动作到位，一次调频动作复归后，继续响应 AGC 指令；在一次调频首先动作后，AGC 指令随即变化，机组有功功率实际响应 AGC 指令。机组在执行 AGC 设定值时不受一次调频功能的影响，出力变化是优先响应 AGC 指令。

在 15:55~16:05 期间：云南电网在异步运行后，小湾电厂以调节速率 200 MW/MIN 上调 600 MW，

作为系统小扰动信号。从表 4 可以看出金安桥水电站 AGC 与一次调频能够协调动作，使电网频率满足云南异步联网系统性试验方案的要求，其电网频率  $\leq 50 \pm 0.11$  Hz (稳态频率值)；从图 10 也可以看出，机组功率能够快速调节到位。

在 16:55~17:05 期间：小湾电厂以调节速率 600 MW/MIN 下调 600 MW，以不同的速率作为系统的扰动信号。从表 5 以及图 11 可以看出，母线频率以及机组的功率都在正常范围内。

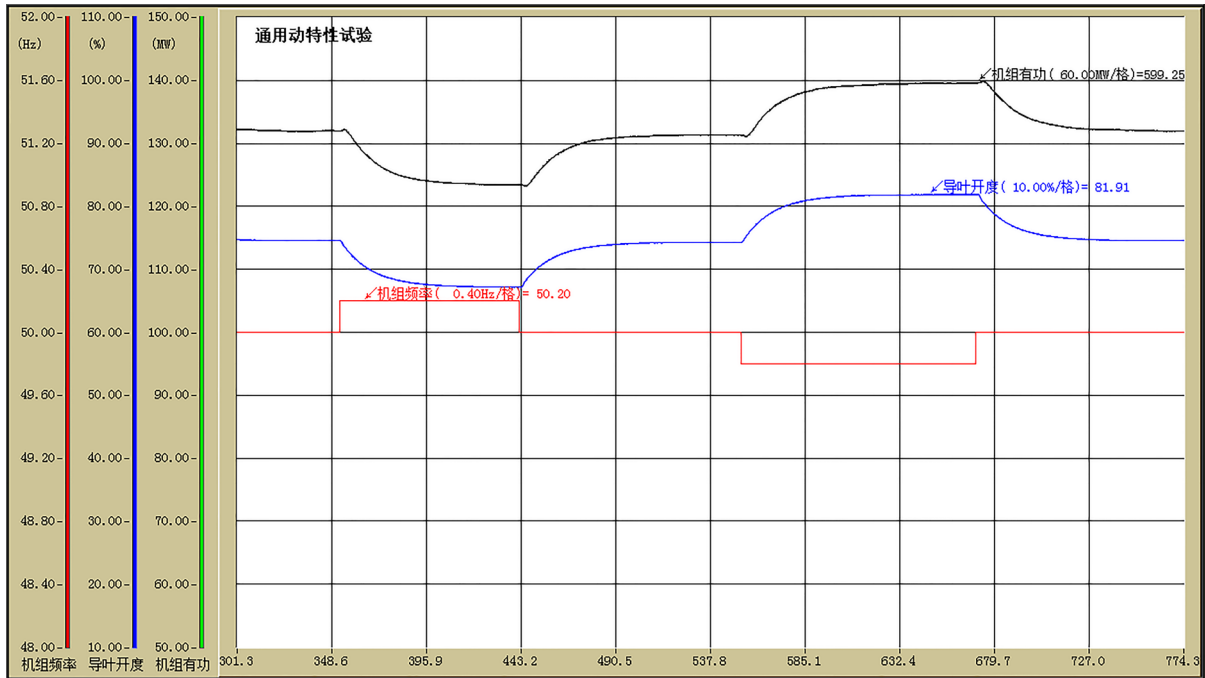


Figure 9. Jin'anqiao working condition of power plant unit #1 2 test curve

图 9. 金安桥电厂#1 机组工况二试验曲线

Table 4. Xiaowan raised 600 MW power plant power, adjust the rate of 200 MW/MIN

表 4. 小湾电厂功率上调 600 MW，调节速率 200 MW/MIN

测量量	最大值	最小值	最大值时间	最小值时间
频率(Hz)	50.07	49.95	15:57:08	15:55:00
$P_{set}(MW)$	460.6	455.00	15:59:10	15:55:00
$P_{实际}(MW)$	460.2	450.9	15:56:15	16:00:53
导叶开度(%)	62.8	62.34	15:55:00	15:57:21

Table 5. Xiaowan power plant, power cut of 600 MW, regulate the rate of 600 MW/MIN

表 5. 小湾电厂功率下调 600 MW，调节速率 600 MW/MIN

测量量	最大值	最小值	最大值时间	最小值时间
频率(Hz)	50.03	49.89	16:59:53	16:57:22
$P_{set}(MW)$	460.2	457.7	16:55:00	16:59:28
$P_{实际}(MW)$	477.30	447.2	16:58:00	17:03:57
导叶开度(%)	64.69	61.83	16:57:54	17:01:52



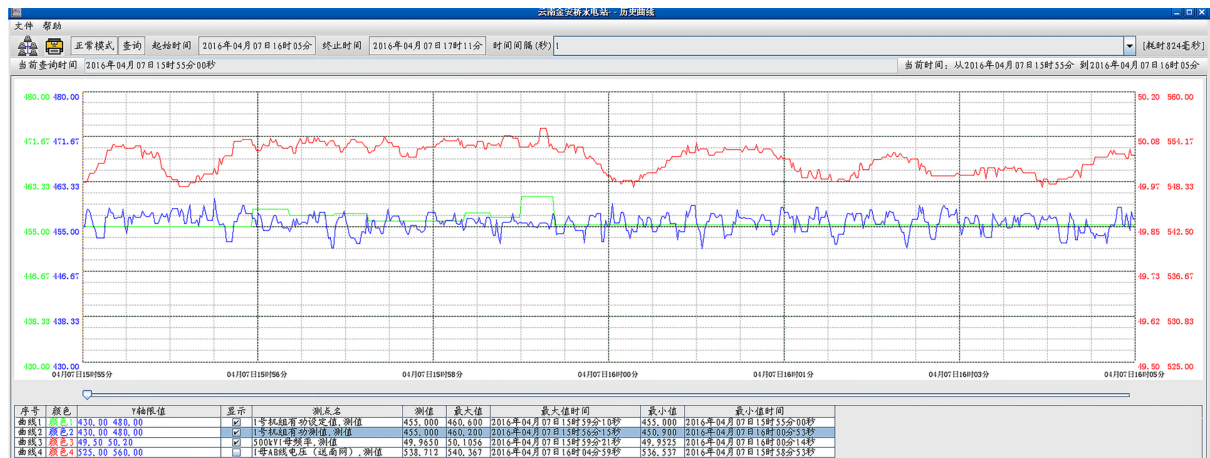


Figure 10. Xiaowan raised 600 MW power plant power, adjust the rate of 200 MW/MIN, Jin'anqiao #1 unit power curve  
图 10. 小湾电厂功率上调 600 MW, 调节速率 200 MW/MIN, 金安桥#1 机组功率曲线

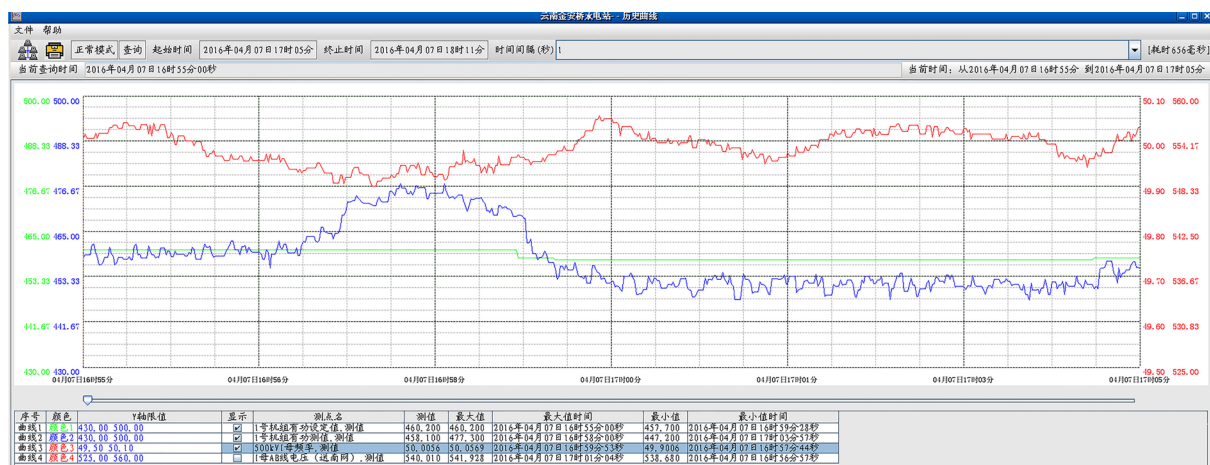


Figure 11. Xiaowan power plant, power cut of 600 MW, regulate the rate of 600 MW/MIN, Jin'anqiao #1 unit power curve  
图 11. 小湾电厂功率下调 600 MW, 调节速率 600 MW/MIN, 金安桥#1 机组功率曲线

#### 4. 结语

从金安桥电厂参与云南异步联网整体性验证的角度出发, 通过改变调速器的相关参数, 解决了在异步联网期间, 云南电网频率在系统小扰动时出现幅值来回波动的现象。但一次调频的快速性却减慢了, 有悖于一次调频的出发点。因而可以建议采用两组调速器参数, 进行电网同步与异步之间的切换。

#### 参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL 755-2001. 电力系统安全稳定导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 卢勇, 贺翔飞, 刘友宽, 等. 云南电网一次调频试验工作现状及策略分析[J]. 中国电力, 2006, 39(11): 42-45.
- [3] 何常胜, 董鸿魁, 翟鹏, 苏杭, 王新乐, 丁永胜. 水电机组一次调频与 AGC 典型控制策略的工程分析及优化[J]. 电力系统自动化, 2015(3): 146-151.
- [4] 卢勇, 刘友宽, 孙鹏, 杜朝波. 用于系统分析的机组调速系统及其原动机建模问题研究[J]. 电网技术, 2007(S2): 123-126.
- [5] 周伟. 350 MW 水电机组调速器系统控制浅析[J]. 电子世界, 2014(16): 252-253.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>