

毛儿盖水电站调速系统小网及孤网模式试验研究

刘 凯¹, 马晓光², 谢 波¹, 罗小晶³

(1. 四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610000; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100142;
3. 四川通能电力科技有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要:西南电网和华中电网异步联网后,需通过全面优化西南网内水电机组调速器参数降低西南电网超低频振荡风险。本文详细描述了毛儿盖水电厂在调速系统优化后进行的开度小网、开度孤网模式控制参数确认及控制模式切换测试试验,开展了 3 号机组甩 25 % 额定负荷试验,校验了开度孤网模式下调速系统控制稳定性。

关键词:异步联网;调速系统;开度小网模式;甩负荷

中图分类号:TV734.4 文献标识码:B 文章编号:1672-5387(2019)05-0024-05
DOI:10.13599/j.cnki.11-5130.2019.05.008

1 概述

西南电网和华中电网异步联网后,西南电网负荷规模相当于华北-华中-西南同步电网的 1/6,需通过全面优化西南网内水电机组调速器参数降低西南电网超低频振荡风险。根据相关要求,对异步联网后的西南电网主力水电机组提出了技术要求,调速系统需要在程序升级或改造后完成开度小网模

式参数确认及调速器孤网调节试验。

毛儿盖水电站位于四川省阿坝州黑水河中游,装设 3 台单机容量 140 MW 的混流式水轮机发电机组,调速系统生产厂家为东方电机控制设备有限公司,系统改造后开度模式下具备大网参数、小网参数和孤网参数,各模式下参数独立配置。其控制系统结构如图 1 所示。

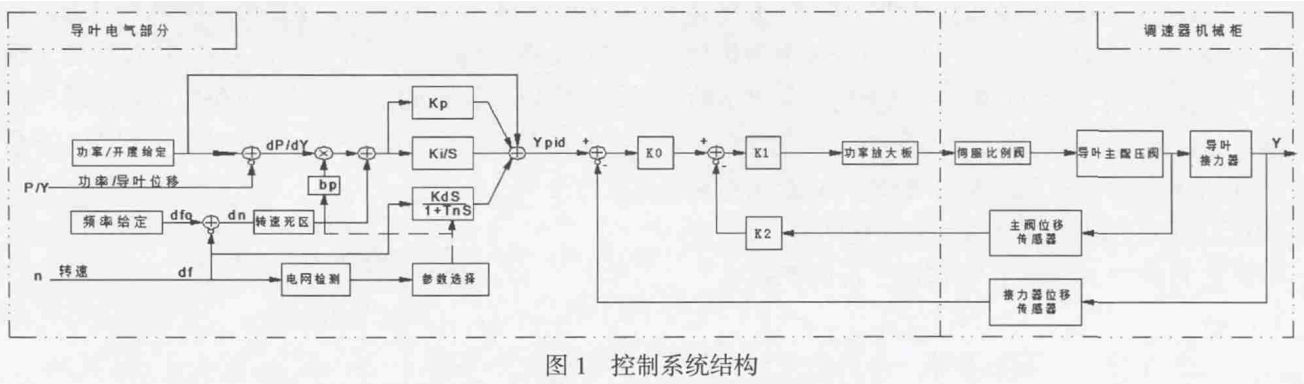


图 1 控制系统结构

2 调速系统现场试验

现场试验详细测试了毛儿盖电厂 3 号机组开度小网模式、开度孤网模式各控制参数,开展了开度小网模式、开度孤网模式下的动态频率扰动测试和开度小网模式下的甩负荷试验等。调速系统小网模式和孤网模式均是基于开度反馈调节的。

2.1 控制参数校验

(1) 开度小网模式比例环节校验

手动投入开度小网模式,调速器主要参数设置为 $K_p=5$, $K_i=0$, $K_d=0$, $\epsilon=0.00$ Hz, $b_p=0$ %。用频率发生器在机柜测频端子上加入正弦信号模拟机组转速,进行 0.5 Hz 的频率阶跃试验,使得小网开度模式 PID 前产生阶跃输入信号,如下页图 2 所示。

收稿日期: 2018-11-15
作者简介: 刘 凯(1989-),男,工程师,研究方向:水电厂水轮机调速系统。

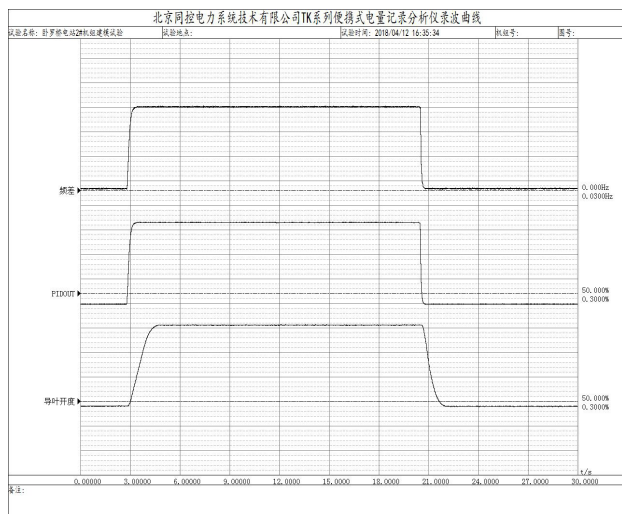


图2 开度小网模式比例环节校验

由图2可见, $K_p = \frac{49.72\% - 54.68\%}{-0.5 / 50} = \frac{4.96\%}{0.01} \approx 5$

该值与设置值 $K_p=5$ 基本一致。

(2) 开度小网模式积分环节校验

手动投入开度小网模式,调速器主要参数设置为 $K_p=0$, $K_i=3$, $K_d=0$, $\varepsilon=0.00$ Hz, $b_p=0\%$,用频率发生器在机柜测频端子上加入正弦信号模拟机组转速,进行 0.25 Hz 的频率阶跃试验,使得小网开度模式 PID 前产生阶跃输入信号,如图3所示。

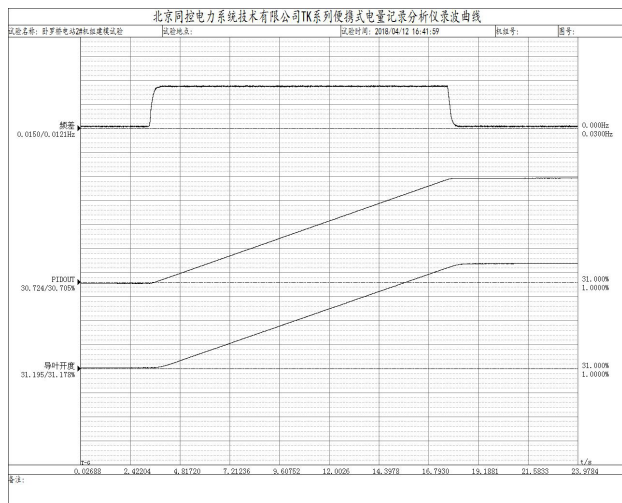


图3 开度小网模式积分环节校验

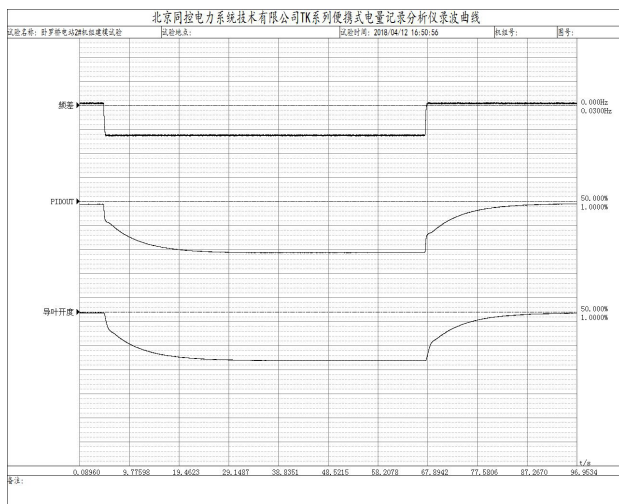
由图3可见, $K_i = \frac{44.46\% - 40.85\%}{2.473 \times 0.25 / 50} = \frac{3.61\%}{0.012365} \approx 3$

该值与 K_i 设置值基本相同。

(3) 开度小网模式永态转差系数校验

手动投入开度小网模式,调速器主要参数设置如下: $K_p=8$, $K_i=5$, $K_d=0$, $\varepsilon=0.00$ Hz, $b_p=4\%$,用频率发生器在机柜测频端子上加入正弦信号模拟机组转

速,进行 0.2 Hz 的频率阶跃试验。录波结果见图4。

图4 开度小网模式永态转差系数校核($b_p=4\%$)

从录波结果可以得出 $b_p = \frac{0.2 / 50}{59.77\% - 49.82\%} \approx 0.04$

实测结果与 b_p 设置值基本相同。

2.2 远方及现地大网 - 小网 - 孤网切换校验

(1) 现地实现控制模式切换

发电机并网运行在开度孤网模式。通过调速器柜屏实现控制模式切换,切换顺序为“A套开度大网模式-A套开度小网模式-A套开度孤网模式-A套开度小网模式-A套开度大网模式-A套开度孤网模式-B套开度大网模式-B套开度小网模式-B套开度孤网模式-B套开度小网模式-B套开度大网模式-B套开度孤网模式-B套开度大网模式”,录波曲线如图5所示。现地调速器柜上可以将上述各模式进行切换,切换过程无异常扰动。

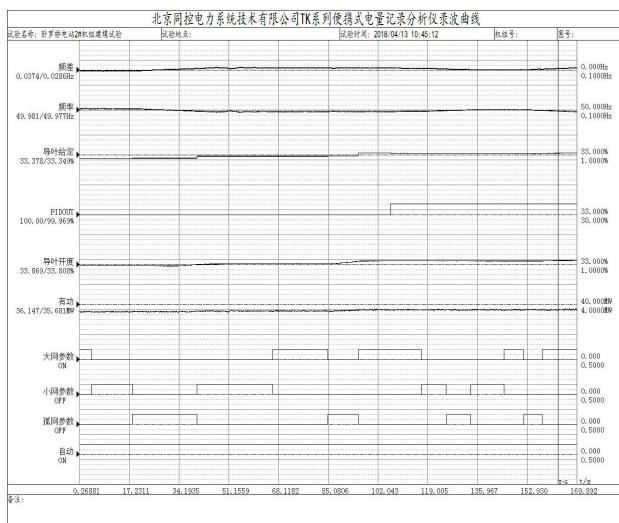


图5 现地控制模式切换功能校核

(2) 监控实现控制模式切换

发电机并网运行在大网开度模式。通过调速器柜屏实现控制模式切换,切换顺序为“开度大网模式-开度小网模式-开度孤网模式-开度小网模式-开度大网模式-开度孤网模式-开度大网模式”,录波曲线如图 6 所示。

监控系统可以将上述各模式进行切换,切换过程无异常扰动。

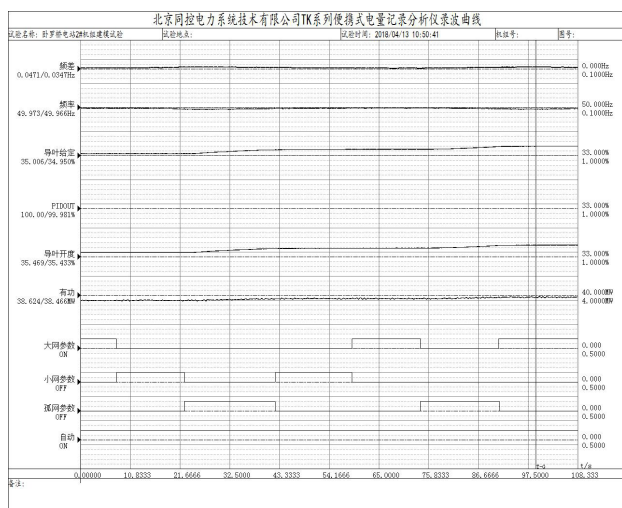


图 6 监控系统控制模式切换功能校核

2.3 调速系统大网-小网-孤网控制模式切换校验

(1) 开度大网控制模式“频差+延时”自动切换校验

调速器孤网检测设置:当频率偏差超出 0.5 Hz,延时 0.5 s 开度大网模式自动切入开度孤网模式,频率恢复后不自动返回开度大网模式。

发电机并网运行在大网开度模式,大网参数设置为 $K_p=8$, $K_i=6$, $K_d=0$, $b_p=4\%$, $\varepsilon=0.04$ Hz,孤网参数设置为 $K_p=3.5$, $K_i=0.3$, $K_d=1$, $b_p=1\%$, $\varepsilon=0.5$ Hz,无限幅,如图 7 所示,当频差达到 0.5 Hz,延时 0.52 s 时,由开度大网模式自动切入开度孤网模式;当频率恢复为 50 Hz 后,开度孤网模式没有自动切回开度大网模式,机组在开度孤网模式下运行稳定。

(2) 开度小网控制模式“频差+延时”自动切换校验

调速器孤网检测设置:当频率偏差超出 0.5 Hz,延时 0.5 s 开度小网模式自动切入开度孤网模式,频率恢复后不自动返回开度小网模式。

发电机并网运行在开度小网模式,小网参数设置为 $K_p=4$, $K_i=0.7$, $K_d=0$, $b_p=4\%$, $\varepsilon=0.04$ Hz,孤网参数设置为 $K_p=3.5$, $K_i=0.3$, $K_d=1$, $b_p=1\%$, $\varepsilon=0.5$ Hz,无限幅,如图 8 所示,当频差达到 0.5 Hz,延时 0.51 s

时,由开度小网模式自动切入开度孤网模式;当频率恢复为 50 Hz 后,开度孤网模式没有自动切回开度小网模式,机组在开度孤网模式下运行稳定。

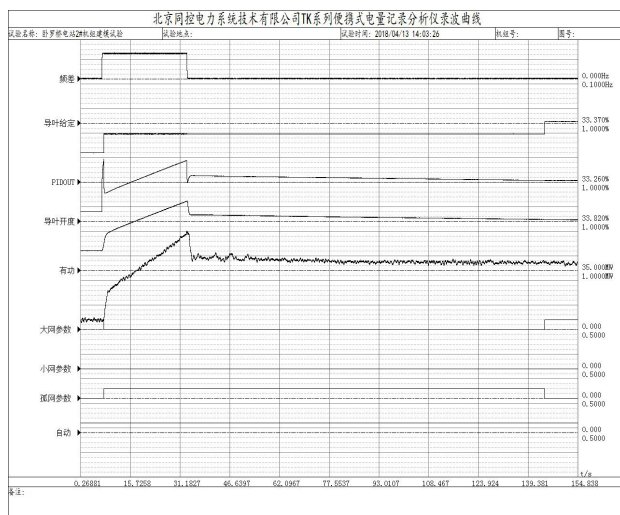


图 7 开度大网模式自动切入开度孤网模式且不自退出孤网功能校核

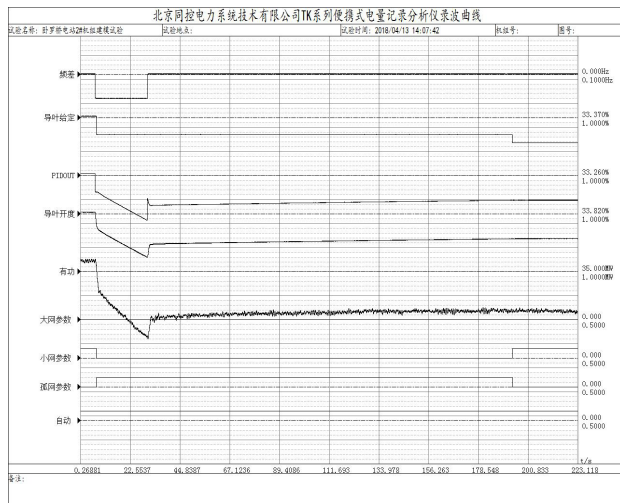


图 8 开度小网模式自动切入开度孤网模式不退出孤网功能校核

2.4 远方/现地孤网模式负荷调整试验

(1) 监控系统调整负荷

发电机并网运行在开度孤网模式,通过监控系统增减调整负荷,录波数据如图 9 所示。

(2) 现地手动调整负荷

发电机并网运行在孤网开度模式,通过调速器屏柜实现增减调整负荷,录波数据如图 10 所示。

2.5 机组动态试验

(1) 开度小网模式频率扰动试验

发电机并网运行在开度小网模式,调速系统控制参数设置为 $K_p=4$, $K_i=0.7$, $K_d=0$, $\varepsilon=0.04$ Hz, $b_p=4\%$ 。通过信号发生器给调节系统施加转速模拟

信号,如图 11 所示,频率阶跃 50-50.14-50 Hz,导叶开度变化量为 5.03 %,上升时间为 85.1 s,调节时间为 112.9 s,调速系统在小网参数下能够平稳、准确的进行频率调节。

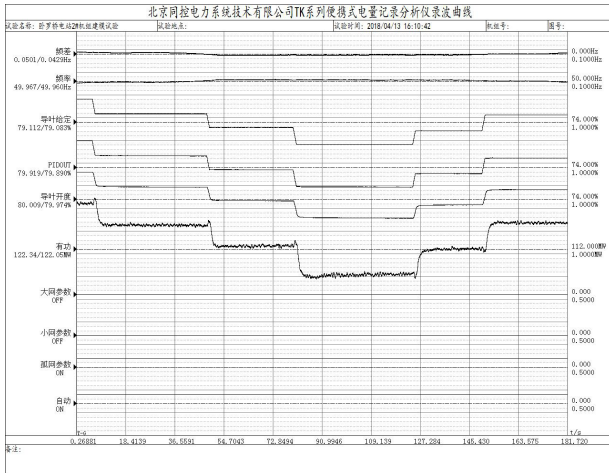


图 9 监控系统调整负荷

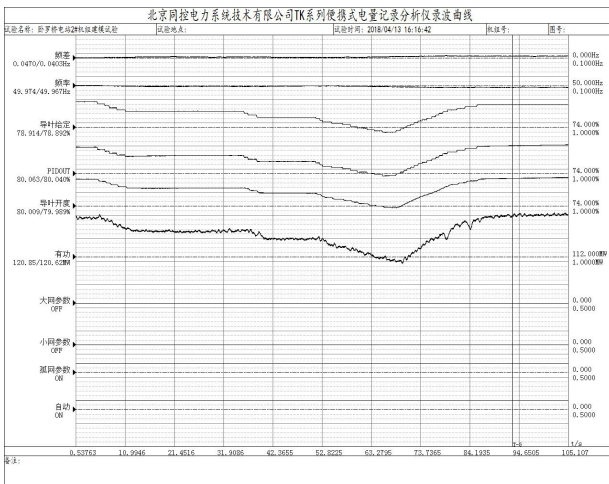


图 10 调速器屏柜调整负荷

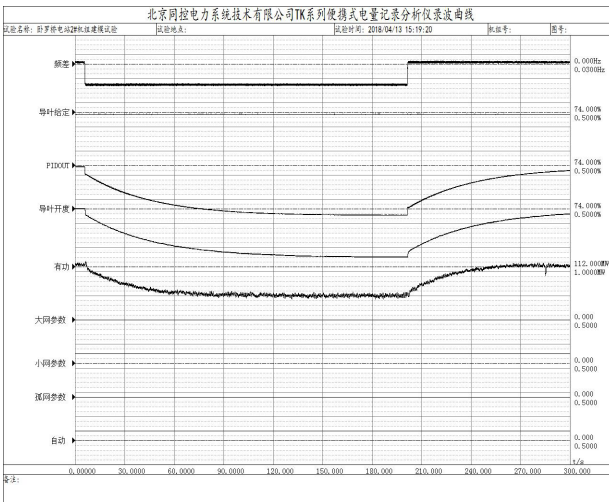


图 11 频率阶跃 50-50.14-50 Hz 录波图

(2) 开度孤网模式频率扰动试验

发电机并网运行在开度孤网模式,调速系统控制参数设置为 $K_p=3.5$, $K_i=0.3$, $K_d=1$, $\varepsilon=0.00$ Hz, $b_p=1$ %,无限幅。通过信号发生器给调节系统施加转速模拟信号,如图 12 所示,频率阶跃 50-50.15-50 Hz,调速系统在孤网参数下能够平稳的进行频率调节。

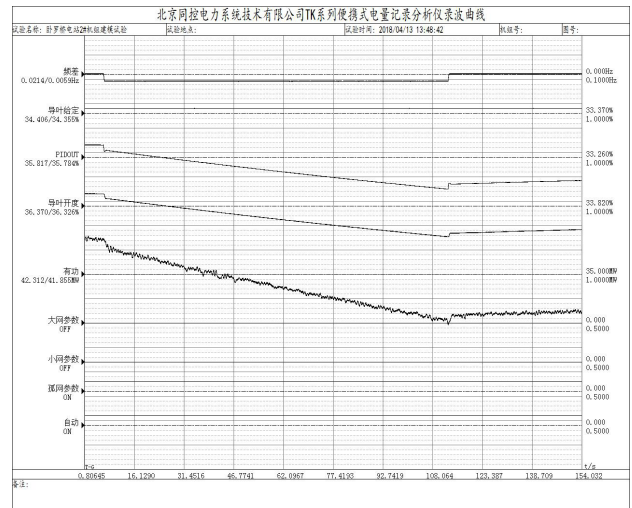


图 12 频率阶跃 50-50.15-50 Hz 录波图

2.6 一次调频限幅校验

手动投入开度小网模式,通过信号发生器给调节系统施加转速模拟信号,调速器主要参数设置如下: $K_p=4$, $K_i=0.7$, $K_d=0$, $\varepsilon=0.04$ Hz, $b_p=4$ %,开度限幅为 6 %。频率阶跃量为 0.24 Hz。录波结果见图 13。

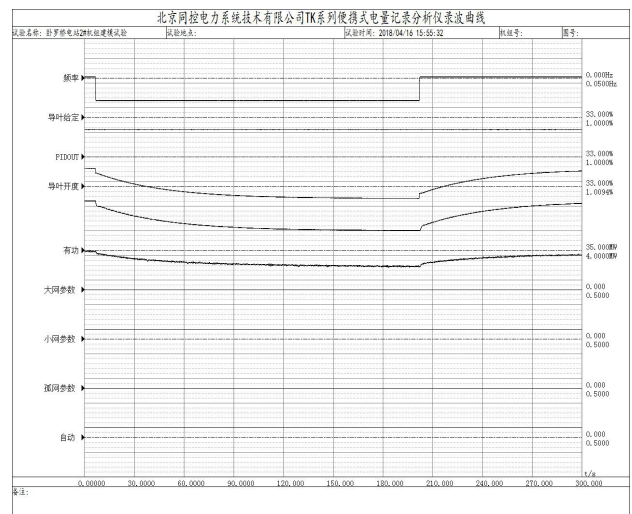


图 13 开度小网模式一次调频限幅校核(0.24 Hz 扰动)

在无限幅情况下,导叶在频率阶跃下的动作为 10 % 开度。根据录波结果可得,导叶实际动作为 6 %。限幅有效且限制量正确。

2.7 甩 25 % P_n 负荷及孤网自动切换试验

发电机带 36 MW 负荷运行在开度小网模式,小网参数设置为 $K_p=4$, $K_i=0.7$, $K_d=0$, $\varepsilon=0.04$ Hz, $b_p=4$ %,孤

网参数设置为 $K_p=3.5$, $K_i=0.3$, $K_d=1$, $b_p=1\%$, $\epsilon=0.50$ Hz, 无限幅。跳开主变高压侧断路器, 并且保证发电机出口断路器保持闭合, 使其与电网断开后带厂用电运行。

由图 14 可知, 调速器在频差大于 0.5 Hz 约 0.51 s 后切入开度孤网模式运行, 机组频率在 4.4 s 后达到最大值 53.09 Hz, 之后逐步恢复到 50.1 Hz。试验中, 机组功率、频率无异常波动, PID 输出和导叶开度动作正常, 能够较好的恢复频率的稳定, 机组孤网参数设置合理, 在开度孤网模式下能够保持稳定运行。

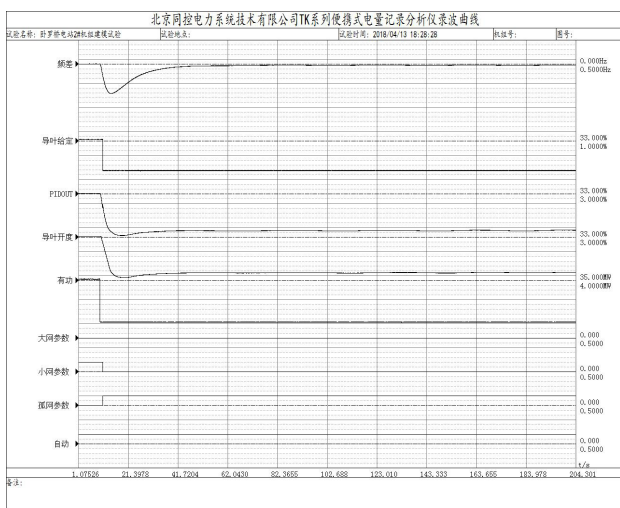


图 14 毛儿盖水电站 3 号机孤网试验录波图

3 结论

通过对毛儿盖水电站机组调速系统开度小网及开度孤网模式试验验证, 结论如下:

(1) 调速系统小网模式、孤网调节模式具有一致的调节框图且可以独立配置。通过对 3 号机组静态试验, 确定调速器小网、孤网 PID 参数、限幅、永态转差系数测试值与设备厂家现场设置值基本一致。

(2) 毛儿盖水电站可以实现开度大网模式、开度小网模式、开度孤网模式相互之间的远方、现地的手动切换; 可以根据“频差 + 延时”实现自动切换, 调速器由开度大网 / 小网模式自动切入开度孤网模式后不自动返回开度大网 / 小网模式。

(3) 频率扰动, 负荷调整以及控制模式切换过程中, 机组运行稳定, 调节未见异常。

(4) 毛儿盖水电站 3 号机在甩 25% 负荷(甩负荷后带厂用电)后调速系统进入孤网调节模式, 机组运行稳定, 调节未见异常。

参考文献:

- [1] 唐戡群, 刘昌玉, 何雪松, 等. 水电机组孤网运行频率振荡及其抑制研究 [J]. 水电能源科学, 2016(04): 131-134.
- [2] 王官宏, 于钊, 张怡, 等. 电力系统超低频振荡模式排查及分析 [J]. 电网技术, 2016(08): 131-134.
- [3] 朱亚飞. 异步联网后水轮机调速器参数的整定分析 [D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [4] 刘春晓, 张俊峰, 陈亦平. 异步联网方式下云南电网超低频振荡的机理分析与仿真 [J]. 南方电网技术, 2016, 10(7): 29-34.
- [5] 王官宏, 陶向宇, 李文锋, 等. 原动机调节系统对电力系统动态稳定的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2008(34): 80-86.
- [6] 翟晓娟, 郑源, 黄青松, 等. 孤网下调速器参数对调节品质的影响研究 [J]. 水电能源科学, 2011(12): 132-134.

(上接第 4 页)

评价模型的权重赋值中的应用。

总体来说, 水轮发电机组是一个复杂的设备, 其中包含了大量的故障机理、失效模式不尽相同的部件, 参与评价的特征参数也数量巨大。因此, 根据机组结构特点和运行特点、报警统计数据, 逐项合理确定各特征参数、各部件评价权重决定了状态评价的有效性和准确性。在本文中提出的层次分析法, 为权重的确定和赋值提供了一个较为科学的方法。然而, 层次分析法毕竟是一种主观的赋值方法, 在确定各权重系数中必然会带来一些不合理的因素。而且, 随着参与评价的特征参数越来越多, 人为构造判断矩阵也变得困难, 因此继续探讨其他基于历史数据挖掘的客观权重赋值方法变得势在必行。

参考文献:

- [1] 樊世英. 大中型水力发电机组的安全稳定运行分析 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(9): 164-172.
- [2] 代红, 王成江. 水电机组在线状态监测与故障诊断的现状与发展趋势 [J]. 中国电力教育, 2011(30): 141-142.
- [3] 何永勇, 任继顺, 陈伟, 等. 水电机组远程状态监测、跟踪分析与故障诊断系统 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(5): 629-632.
- [4] 沈东, 褚福涛, 陈思. 水轮发电机组振动故障诊断与识别 [J]. 水动力学研究与进展, 2000, 15(1): 129-133.
- [5] 钱冰, 邹磊, 马越. 设备故障早期预警系统在水电机组检修中的应用 [J]. 人民长江, 2014(17): 48-51.
- [6] 李文武, 郑俊, 吴稀西, 等. 考虑振动区的水电机组组合优化研究 [J]. 水电能源科学, 2012(9): 122-124.