

不同负荷模型对湖南电网暂态稳定水平的影响

宋军英¹, 陈辉华¹, 唐外文²

(1. 湖南电力调度通信中心, 湖南省 长沙市 410007; 2. 湖南省电力公司, 湖南省 长沙市 410007)

Influence of Different Load Models on Transient Stability Level of Hunan Power Grid

SONG Jun-ying¹, CHEN Hui-hua¹, TANG Wai-wen²

(1. Hunan Electric Power Dispatch and Communication Center, Changsha 410007, Hunan Province, China;

2. Hunan Electric Power Company, Changsha 410007, Hunan Province, China)

ABSTRACT: Load model is an important factor that influences the stability analysis of power grid. The synthesis load model of Hunan Power Grid based on the research of load characteristics possesses the same proportions of induction motor and constant impedance as those in conventional load model, but in synthesis load model the stator leakage reactance of induction motor is smaller. By use of power system analysis software package (PSASP) and the load model based on the research of load characteristics the transient transport capacity of the tie-line connecting Hunan Power Grid with Hubei Power Grid as well as the transient stability level of load center located in central Hunan Power Grid under different load levels are analyzed; the obtained results are compared with those based on conventional load model. Comparison results show that the transient stability level of Hunan Power Grid is evidently improved while the load model based on the research of load characteristics is adopted.

KEY WORDS: Hunan power grid; load model; transport capacity; transient stability; stator leakage reactance

摘要: 负荷模型是影响电网稳定分析结果的一个重要因素。湖南电力系统负荷特性研究后的综合负荷模型与传统负荷模型有相同的感应电动机比例及恒定阻抗比例, 但感应电动机定子漏抗较小。利用电力系统综合分析程序和基于负荷特性研究后的负荷模型分析了湘鄂联络线的暂态输送能力、不同负荷水平下湘中负荷中心的暂态稳定水平; 并与基于传统负荷模型的湖南电网暂态稳定水平进行了比较。结果表明, 使用负荷特性研究后的负荷模型时, 湖南电网暂态稳定水平得到了明显提高。

关键词: 湖南电网; 负荷模型; 输送能力; 暂态稳定; 定子漏抗

0 引言

电力系统稳定计算分析是调度运行部门制定

运行方式的基础, 也是调度运行部门决策的重要依据^[1-3]。电力系统中各元件模型及参数不同, 系统暂态稳定分析结果也不尽相同, 其中发电机及负荷的模型对暂态稳定性的影响尤为突出。为此, 湖南电力调度通信中心与湖南大学联合开展了“湖南电力系统负荷特性及负荷建模软件的开发研究”课题^[4-6]。本文依据该研究结果, 对湘鄂联络线暂态输送能力、湘中地区负荷中心暂态稳定水平进行分析; 并与基于传统负荷模型下的电网稳定计算分析结果进行比较。

1 仿真计算条件

1.1 计算数据及计算负荷水平

计算数据以 2004 年底湖南电网的网络结构为基础, 包含了由华中电力调度通信中心提供的 2004 年度华中 5 省 1 市电网数据。湖南电网计算负荷水平为 8500 MW。

1.2 仿真计算工具

本文所采用的仿真计算程序为中国电力科学研究院编制的电力系统综合分析程序 PSASP 6.2 版 (Windows 版)。其中潮流计算采用牛顿-拉夫逊法, 稳定计算采用 PSASP 6.2 内定的经典隐式梯形积分法, 积分步长为 0.01s, 积分时段一般为 40s。

1.3 暂态稳定判据

判定系统暂态稳定的基本原则有: ①系统内主力机组之间最大相对角小于 180°且为减幅振荡; ②系统内主要中枢点电压在 1s 内恢复至 0.75 pu 以上; ③联络线功率振荡属衰减趋势。

1.4 发电机模型

计算中采用的发电机数学模型为: 100 MW 及以上机组采用交轴次暂态电势 E'_q 变化的 5 阶模型

且计及自动励磁调节器和调速器的影响, 其它发电机组则采用交轴次暂态电势 E_q' 恒定 2 阶模型^[7-10]。

1.5 负荷模型

1.5.1 传统负荷模型

在完成“湖南电力系统负荷特性及负荷建模软件的开发研究”科研项目以前, 湖南电网稳定计算使用的负荷模型为 65% 感应电动机+35% 恒定阻抗综合负荷模型, 其中感应电动机的模型参数为典型参数, 即定子漏电抗 $x_1=0.295$, 转子漏电抗 $x_2=0.12$ (称为传统负荷模型)。

1.5.2 研究负荷模型

根据负荷特性调查、综合统计及参数辨识, 得出湖南电网负荷模型及参数为(称为研究负荷模型): ①综合负荷构成比例, 感应电动机平均比例为 65%, 恒定阻抗比例为 35%; ②负荷模型中感应电动机定子漏电抗 $x_1=0.12$, 转子漏电抗 $x_2=0.12$ 。

这 2 种负荷模型有相同点, 2 者均具有相同的感应电动机比例及恒定阻抗比例; 不同之处是感应电动机定子漏电抗的大小不同, 即研究负荷模型中的感应电动机定子漏电抗较其典型参数数值小。

2 计算结果及分析

2.1 不同负荷模型对联络线输送能力的影响

2.1.1 工程背景

湘鄂第 2 回 500 kV 联络线, 即江复线(湖北江陵变—湖南复兴变)作为三峡外送的配套输变电工程项目已投入运行。在此之前, 湘网与华中主网间由单回 500 kV 输电线路(葛岗线)联网运行, 联系较为薄弱, 江复线的投运使湖南电网与华中主网的联系显著加强; 但受稳定控制问题的影响, 这 2 回联络线的暂态输送能力将受到一定限制。

确定联络线输送功率极限的基本方法是: 加大送端系统的开机方式, 相应减小受端系统的开机方式, 从而增加联络线的输送功率。如该线路发生三相短路故障, 继电保护能正确动作切除故障, 并采取相应的稳定措施, 系统能稳定运行。继续加大联络线的输送功率, 直到系统不能稳定运行, 此时线路的输送功率即为该线路的暂态输送功率极限。

2.1.2 对湘鄂联络线南送功率极限的影响

当湖南电网负荷模型为传统模型时, 湘鄂 2 回联络线南送功率之和小于 100 MW 时, 湘网内 500 kV 线路发生三相短路故障, 0.09 s 切除, 无需采取任何稳定措施, 系统可稳定运行。当减小湘网

内开机方式, 而相应加大湖北电网开机方式, 从而增加湘鄂 2 回联络线南送总功率至 1000 MW, 如葛岗线岗市侧三相短路故障, 0.09 s 切除, 不采取任何稳定措施, 系统不能稳定运行; 采取切云田地区 40% 负荷的稳定措施时, 系统能稳定运行。继续加大湘鄂 2 回联络线南送功率至 1400 MW, 葛岗线岗市侧发生三相故障, 0.09 s 切除, 湖南电网内的机组将与系统失去稳定, 如启动远切云田及沙坪地区 40% 负荷, 系统可稳定运行。继续增加联络线南送总功率至 1500 MW, 即使采取远切云田及沙坪 40% 部分负荷的措施, 系统仍不能维持稳定运行, 如图 1 所示。图中: $d_{1381-1G}$ 为葛洲坝电厂等值机与河南姚孟电厂机组之间的相对功角; d_{et81-0} 为四川二滩电厂机组与三峡左岸机组之间的相对功角; $d_{01-1381}$ 为湖南凤滩电厂机组与葛洲坝电厂等值机之间的相对功角。

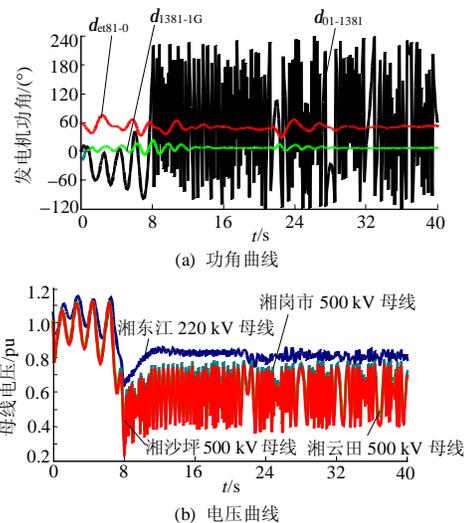


图 1 采用传统负荷模型, 葛岗线岗市侧三相短路故障并采取切负荷措施时的电网暂态稳定曲线

Fig. 1 Transient stability curves during three-phase short-circuit fault occurring in Gegang line at Gangshi side when applying traditional load model and load rejection measures

依据湖南电力系统负荷特性研究结果, 将湖南电网负荷模型改用研究模型参数, 即感应电动机定子漏抗为 0.12, 其余参数不变。当湘鄂联络线南送总功率为 1000 MW, 在葛岗线岗市侧发生三相短路故障, 0.09 s 切除, 无需采取任何稳定措施, 系统可稳定运行。同理, 当减小湘网内机组出力, 相应增大湖北电网机组出力, 从而增加湘鄂联络线南送总功率达 1500 MW, 在葛岗线岗市侧发生三相短路故障, 0.09 s 切除, 系统不能稳定运行, 如远切沙

坪及云田地区 10% 负荷, 系统可稳定运行。继续增加 2 回联络线南送总功率至 1800 MW, 在葛岗线岗市侧发生三相短路故障, 0.09 s 切除, 系统不能稳定运行, 如远切沙坪及云田地区 40% 负荷, 整个系统能维持稳定运行(如图 2 所示)。进一步增加南送总功率, 即使远切云田及沙坪 40% 负荷, 系统仍不能稳定运行。

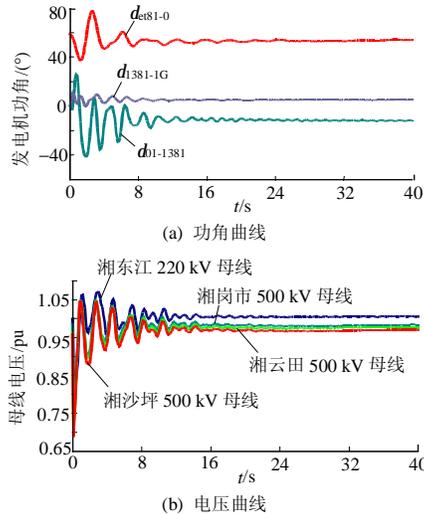


图 2 采用研究负荷模型, 葛岗线岗市侧发生三相短路故障并采取切负荷措施时的电网暂态稳定曲线

Fig. 2 The transient stability curves during three-phase short-circuit fault occurring in Gegang line at Gangshi side when applying research load model and load rejection measures

可以看出, 使用传统负荷模型时湘鄂联络线南送总功率极限为 1400 MW, 而使用研究负荷模型时湘鄂联络线南送总功率极限可达到 1800 MW。由 2 种不同的模型所得到的计算结果相差较大, 使用研究后的模型, 湖南电网的稳定水平较高, 湘鄂联络线的暂态南送功率极限提高了, 线路输送能力得到较大提高。

2.1.3 对湘鄂联络线北送功率极限的影响

当湖南电网负荷模型为传统模型时, 湘鄂 2 回联络线北送功率之和小于 400 MW 时, 湘网内 500 kV 线路发生三相短路故障, 0.09 s 切除, 无需采取任何稳定措施, 系统可稳定运行。当加大湘网内开机方式, 而相应减小湖北电网开机方式, 从而将湘鄂 2 回联络线北送总功率增加至 1200 MW 时, 江复线复兴侧三相故障, 0.09 s 切除, 湘网内机组将与系统失去稳定。如远切沙坪地区 40% 负荷及益阳电厂 1 台机组, 系统可维持稳定运行。继续增加联络线北送总功率至 1300 MW, 即使采取远切沙坪

地区 40% 负荷及益阳电厂机组的措施, 系统仍不能维持稳定运行, 如图 3 所示。

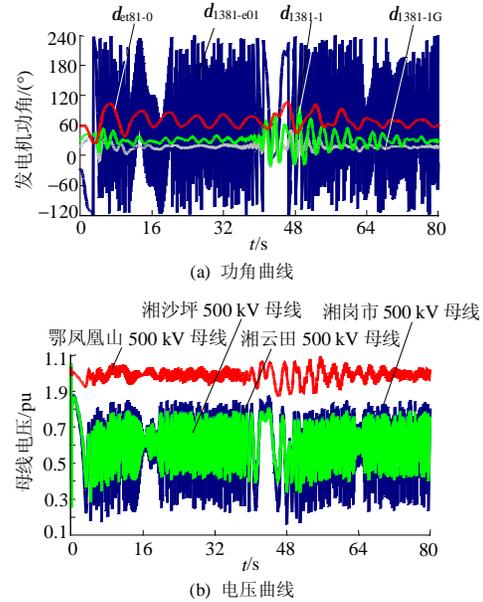


图 3 采用传统负荷模型, 江复线复兴侧发生三相故障并采取切负荷及机组措施时电网暂态稳定性

Fig. 3 The transient stability curves during three-phase short-circuit fault occurring in Jiangfu line at Fuxing side applying traditional load model and load rejection and generator cut-off measures

同理, 将湖南电网负荷模型设为研究模型参数, 当湘鄂联络线北送总功率达 1200 MW 时, 当江复线复兴侧发生三相短路故障、切除时间为 0.09 s 时, 无需采取任何措施, 系统可稳定运行。通过增加湘网内机组出力, 而相应减小湖北电网机组出力, 从而增加湘鄂联络线北送总功率, 当 2 回联络线北送总功率为 1900 MW, 在江复线复兴侧发生三相故障, 切除时间为 0.09 s 时, 无需采取任何稳定措施, 系统可稳定运行(稳定曲线如图 4 所示, 图中 d_{1381-1} 为葛洲坝电厂等值机与江西贵溪电厂机组之间的相对功角, $d_{1381-e01}$ 为葛洲坝电厂等值机与湖南东江电厂机组之间的相对功角)。

进一步增加 2 回联络线北送总功率至 2000 MW, 当江复线复兴侧发生三相短路故障、切除时间为 0.09 s 时, 系统不能稳定运行, 即使采取远切沙坪地区 40% 负荷及益阳电厂机组措施, 湘网内的机组仍不能维持稳定运行。

可以看出, 使用传统负荷模型, 湘鄂联络线北送总功率极限为 1200 MW, 而使用研究负荷模型, 湘鄂联络线北送总功率极限可达到 1900 MW, 提高了联络线的北送功率, 为湖南电力外送提供了条

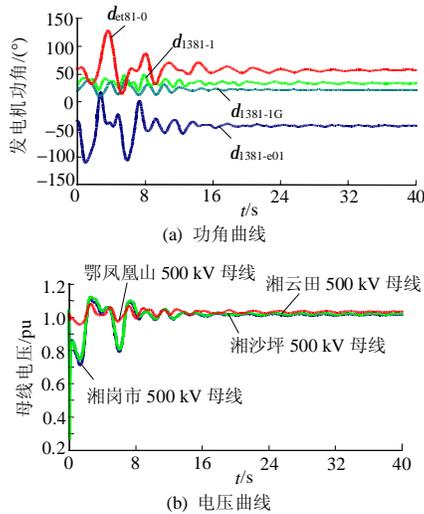


图4 采用研究负荷模型,江复线复兴侧发生三相故障并采取稳定措施时电网暂态稳定性

Fig. 4 The transient stability curves during three-phase short-circuit fault occurring in Jiangfu line at Fuxing side applying research load model and power system stability measures

件。这可能是因为负荷模型中感应电动机定子漏抗 x_1 较小时(研究后负荷模型), 负荷功率随电压、频率的变化将增大, 而该功率作用在各发电机上将增大减速转矩, 从而可提高系统的稳定性。

2.2 不同负荷模型对湘中负荷中心暂态稳定水平的影响

2.2.1 湖南电网潮流特点

湖南西北地区有大量的水电资源, 是湖南电网的电源集中地, 而长沙、湘潭及株洲等经济发展地区负荷增长迅速, 这些地区电源点少, 是湖南电网的负荷中心, 这种资源分布与负荷发展不平衡的状况, 使湖南电网呈现西电东送的潮流特点。湘西北地区大部分电能需通过 500 kV 网络由西向东向湘中负荷中心输送。因此, 湘中受端电网的稳定水平直接影响到湘中负荷中心用户的可靠供电。

2.2.2 基于典型负荷模型的湘中电网稳定水平分析

当湖南电网负荷模型为典型负荷模型, 且系统负荷水平为 6500 MW 时, 在湘中地区 500 kV 云田变各 220 kV 出线分别发生三相短路故障时, 0.1~0.12 s 切除故障, 必须投入相应的切负荷措施, 系统才可稳定运行。

湖南省负荷水平为 8500 MW 时, 如荷白线发生三相短路故障, 即使将故障切除缩短为 0.09~0.1 s, 且加切白马垅变的部分负荷, 系统仍不能稳定运行。

湖南电网负荷水平为 9500 MW 时, 在 500 kV

沙坪变中压侧发生三相短路故障, 0.09 s 切除故障, 并加切沙坪部分负荷, 系统可稳定运行; 但在 500 kV 云田变各 220 kV 出线、220 kV 荷白线、云田变中压侧发生三相短路故障, 即使将故障切除缩短为 0.09~0.1 s, 且分别加切云田部分负荷或白马垅部分负荷, 系统仍不能稳定运行。

可以看出, 湘中受端网络结构还很薄弱, 在高负荷水平下, 湘中地区部分元件发生三相故障, 即使采取相应的切负荷措施, 系统仍不能稳定运行, 为保证系统的安全稳定运行, 需采取对湘中联变下网功率进行限制的措施, 从而影响了对用户的可靠供电。

2.2.3 基于研究负荷模型的湘中电网稳定水平分析

使用研究负荷模型后, 全网负荷水平为 6500 MW 时, 在云田各 220 kV 出线、荷白线、云田变中压侧、沙坪变中压侧或沙坪各 220 kV 出线分别发生三相短路故障, 0.1~0.12 s 切除故障, 无需采取任何稳定措施, 系统可稳定运行。

省网负荷水平为 8500 MW 时, 云田各 220 kV 出线、云田变中压侧、荷白线或沙坪变中压侧发生三相短路故障, 0.1~0.12 s 切除故障, 无需采取任何稳定措施, 系统可稳定运行。

省网负荷水平为 9500 MW 时, 在沙坪变中压侧、云田变各 220 kV 出线、荷白线、云田变中压侧分别发生三相短路故障, 故障切除时间缩短为 0.09~0.1 s 或 0.09 s, 且分别切除云田地区部分负荷、沙坪地区部分或白马垅部分负荷, 系统可稳定运行。

可以看出, 使用研究负荷模型后, 在系统处于中等负荷水平下, 湘中地区部分元件发生三相短路故障, 无需采取任何切机、切负荷的稳定措施, 系统可稳定运行, 湘中地区的暂态稳定水平得到了较大的提高。而在高负荷水平下, 湘中地区负荷中心的部分元件发生三相短路故障, 继电保护装置正确动作切除故障, 并采取切除部分负荷的稳定措施, 系统可稳定运行。

3 结论

(1) 电网计算分析中不同负荷模型对电力系统的暂态稳定分析结果有较大的影响。

(2) 湖南电网使用基于电力系统负荷特性研究的研究负荷模型时, 湘鄂联络线的暂态输送能力得到了明显提高。

(3) 湖南电网使用研究负荷模型, 可提高湘中地区的暂态稳定水平, 并可避免或减少不必要的切机或切负荷措施, 增加向用户供电的可靠性。

参考文献

- [1] DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[S].
- [2] 宋军英, 潘力强, 唐外文. 湖南电网 2005 年度稳定计算报告[R]. 长沙: 湖南电力调度通信中心, 2004.
- [3] 李西泉, 潘力强, 宋军英. 湖南电网 2005 年度电网运行方式[R]. 长沙: 湖南电力调度通信中心, 2004.
- [4] 陈辉华, 李欣然, 唐外文. 湖南电网负荷特性研究及其建模技术支持系统鉴定材料[R]. 长沙: 湖南电力调度通信中心, 2004.
- [5] 李培强, 李欣然. 电力综合负荷感应电动机模型参数的研究[J]. 中国电力, 2004, 37(11): 6-10.
Li Peiqiang, Li Xinran. Research on inductor and constant impedance proportion of load modeling based on statistical synthesis approach [J]. Electric Power, 2004, 37(11): 6-10(in Chinese).
- [6] 胡杰, 余贻鑫. 电力系统动态等值参数聚合的实用方法[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 30-34.
Hu Jie, Yu Yixin. A practical method of parameter aggregation for power system dynamic equivalence[J]. Power System Technology, 2006, 30(24): 30-34(in Chinese).
- [7] 徐兴伟, 穆钢, 王文, 等. 东北电网广域动态测量系统[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 70-73.
Xu Xingwei, Mu Gang, Wang Wen, et al. Wide area dynamic measuring system of northeast power grid[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 70-73(in Chinese).
- [8] 陈海焱, 段献忠, 陈金富. 计及配网静态电压稳定约束的分布式发电规划模型与算法[J]. 电网技术, 2006, 30(21): 23-26.
Chen Haiyan, Duan Xianzhong, Chen Jinfu. Distributed generation planning model and algorithm considering static voltage stability constrain in distribution network[J]. Power System Technology, 2006, 30(21): 23-26(in Chinese).
- [9] 孙华东, 汤涌, 马世英. 电力系统稳定的定义与分类述评[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 35-39.
Sun Huadong, Tang Yong, Ma Shiyong. A commentary on definition and classification of power system stability[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 35-39(in Chinese).
- [10] 张保会, 谢欢, 于广亮, 等. 基于广域轨迹信息的多机系统暂态不稳定性快速预测方法[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 57-62.
Zhang Baohui, Xie Huan, Yu Guangliang, et al. Fast prediction method for multi-machine system transient instability based on wide area trajectory information[J]. Power System Technology, 2006, 30(19): 57-62(in Chinese).
-
- 收稿日期: 2007-01-06.
作者简介:
宋军英(1969—), 女, 博士, 高级工程师, 从事电力系统运行与控制等方面的工作;
陈辉华(1953—), 男, 教授级高级工程师, 从事电力系统运行与控制等方面的管理工作.
(责任编辑 马晓华)
- (上接第 28 页 continued from page 28)
- [12] 张东霞, 汤涌, 朱方, 等. 接于高压母线的电动机负荷等值模型[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(6): 14-18.
Zhang Dongxia, Tang Yong, Zhu Fang, et al. Equivalent model for induction-motor load connected to high voltage bus[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(6): 14-18(in Chinese).
- [13] 李欣然, 金群, 刘艳阳, 等. 遗传策略的综合改进及其在负荷建模中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(11): 40-46.
Li Xinran, Jin Qun, Liu Yanyang, et al. Synthetic improvements of genetic strategies and their application in power load modeling [J]. Power System Technology, 2006, 30(11): 40-46(in Chinese).
- [14] 张红斌, 贺仁睦, 刘应梅. 感应电动机负荷模型参数解析灵敏度分析及参数辨识策略研究[J]. 电网技术, 2004, 28(6): 10-14.
Zhang Hongbin, He Renmu, Liu Yingmei. Analysis on parameter analytic sensitivity of induction motor load model and parameter identification strategy[J]. Power System Technology, 2004, 28(6): 10-14(in Chinese).
- [15] 黄梅, 贺仁睦, 杨少兵. 模糊聚类在负荷实测建模中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(14): 49-52.
Huang Mei, He Renmu, Yang Shaobing. Application of fuzzy clustering in measurement-based load modeling[J]. Power System Technology, 2006, 30(14): 49-52(in Chinese).
- [16] 张红斌, 汤涌, 李柏青. 差分方程负荷模型参数分散性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 1-5.
Zhang Hongbin, Tang Yong, Li Baiqing. Study on dispersing of difference equation load model parameters[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(18): 1-5(in Chinese).
- [17] 程华, 徐政. PSASP 与 PSS/E 稳定计算的模型与结果比较[J]. 电网技术, 2004, 28(5): 1-4-8.
Cheng Hua, Xu Zheng. Comparison of mathematical models for transient stability calculation in PSASP and PSS/E and corresponding calculation results[J]. Power System Technology, 2004, 28(5): 1-4,8(in Chinese).
- [18] 中国电力科学研究院. 电力系统分析综合程序用户手册[Z]. 北京: 中国电力科学研究院, 2001.
- [19] 李广凯, 李庚银. 电力系统仿真软件综述[J]. 电气电子教学学报, 2005, 27(3): 61-65.
Li Guangkai, Li Gengyin. The summary of power system simulation software[J]. Journal of Electrical & Electronic Engineering Education, 2005, 27(3): 61-65(in Chinese).
- [20] 魏守平, 罗萍, 卢本捷. 我国水轮机数字式电液调速器评述[J]. 水电自动化与大坝监测, 2003, 27(5): 1-7.
Wei Shouping, Luo Ping, Lu Benjie. Review of digital electric-hydraulic governor for hydraulic turbine in China[J]. Dam Observation and Geotechnical Tests, 2003, 27(5): 1-7(in Chinese).
- [21] 魏守平, 罗萍, 张富强. 水轮机调节系统的适应式变参数控制[J]. 水电能源科学, 2003, 21(1): 64-67.
Wei Shouping, Luo Ping, Zhang Fuqiang. Adaptive variable-parameters control of hydro-turbine regulating system [J]. Hydroelectric Energy, 2003, 21(1): 64-67(in Chinese).
- [22] 常兆堂, 姜之琦, 陈仲华. 水轮机调节系统原理、试验与故障处理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [23] 魏守平. 水轮机控制工程[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
-
- 收稿日期: 2006-12-30.
作者简介:
李 华(1973—), 男, 高级工程师, 长期从事水电机组一次调频、AGC、调速系统及机组稳定性方面的试验研究工作, E-mail: namelihua@126.com;
史可琴(1964—), 女, 高级工程师, 研究方向为电力系统运行与控制;
范 越(1970—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为电力系统运行与控制;
牛拴保(1978—), 男, 工程师, 研究方向为电力系统运行与控制.
(责任编辑 沈杰)