

## 大型厂矿局部电网振荡影响因素的研究与分析

周荣玲, 陈 谦, 鞠 平, 张正利, 张 浩  
(河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100)

**摘 要:**含有特殊负荷的大型厂矿局部电网振荡问题时有发生。针对某钢铁企业存在的实际振荡问题,初步分析事故原因,并仿真分析冲击负荷相关因素及企业内部发电机组励磁方式对该电网振荡的影响。结果表明,特殊负荷的位置、冲击幅度及企业内部发电机组励磁方式对局部电网振荡的影响较显著。负荷冲击幅度越大,越易引发振荡;冲击负荷与发电机组电气距离越近,越易引发振荡;发电机组选用恒功率因数励磁方式时,容易引发振荡。仿真结果验证了理论分析结论。根据仿真分析结果,建议厂矿企业局部电网内部发电机组选用恒电压励磁方式;加强局部电网与大电网的电气联系;同时合理布局企业内部的冲击负荷。

**关键词:**局部电网;振荡;特殊负荷;励磁方式

**中图分类号:**TM714

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2015)06-0070-04

随着我国经济的快速发展,对能源、材料、冶金等行业的需求与日俱增。因而,相应大型厂矿企业的安全生产一直是重中之重。大型厂矿的特殊负荷容量较大,通常其从电网汲取的功率随着其生产过程的特性而大幅变化。该类负荷由于自身的特性,可以在极短的时间内(秒级乃至毫秒级)从电网汲取或释放几十兆瓦乃至百兆瓦的功率<sup>[1]</sup>,如轧钢机(轧钢)、电解铝、硅铁冶炼(电弧炉)等,对电网造成较大地冲击。特殊负荷对电网的安全稳定带来了不可忽视的影响,相关的研究也取得了不少进展。文献[2]以电弧炉为研究对象,分析了由此带来的电压波形畸变、电压闪烁等电能质量问题;文献[3]和文献[4]建立了电弧炉模型,分析其对电网的冲击影响;文献[5]研究了特殊电力负荷对电网暂态稳定性的影响,并提出了相应的安全控制措施;文献[6-9]研究了具有冲击性的特殊负荷对电力系统相关电力设备的危害,如发电机谐振、变压器发热升温造成绝缘破坏等。

目前仿真计算已经成为电力系统设计、分析和控制中最为重要的辅助工具<sup>[10-13]</sup>。通过仿真分析,一方面可以对大型厂矿局部电网已发生的事故进行分析,进而采取相应的整改措施;另一方面可以对现有的运行方式进行有效校核检验,从而大大提高局部电网的安全运行裕度。本文结合某钢铁企业局部电网实际振荡事故,分析了该企业的特殊负荷及发电机组控制方式对电网振荡的影响,并在PSASP中仿真验证,得出了有效结论,相应的研究分析思路及结论将有助于改善类似厂矿企业的运行特性。

## 1 某局部电网实际振荡事故的过程

某钢铁企业局部电网电气接线图如图1所示。该企业内部的特殊负荷主要位于二总降和三总降(企业电网内部变电站),其中二总降主要为轧钢负荷,三总降为电弧炉精炼负荷。二者冲击功率之和可达数百兆瓦,是该剧部电网中显著的冲击源。

事故发生前,其3台50 MW自备机组稳定运行。事故发生时,值班人员首先观察到照明功率发生波动,振荡周期为数秒钟左右。随后,2号机开关指示灯熄,判断2号机组跳机,8 s后随机手按停机按钮;48 s后1号机组因发电机组过流,开关跳闸。期间因给水系统波动,导致3号炉锅炉水位自动调节方式退出,运行人员及时进行人工跟踪调整,因调整经验不足,15 min后锅炉水位低保护动作跳炉;最终3台发电机组全停。

## 2 事故原因初步分析

### 2.1 事故可能的原因

结合事故存档、历史数据和该剧部电网电气接线图,发现1号机组所在系统上接有中板等冲击性负荷,当冲击负荷随着生产过程的特性产生较大功率冲击时,造成发电机出力下降,且该剧部电网当时采用恒功率因数的发电机励磁控制方式,当有功下降时,无功进一步下降,此时发电机处于较易失稳状态,发电机转速发生变化,产生振荡,机组失步,导致1号发电机过流跳闸。2号机组停机是由事故发生时当班运行人员手动停机。3号机组在1号、2号机组停机后,给水系统波动较大,导致3号锅炉水位过高,因操作人员经验不足,在调节锅炉水位时,因水位低保护动作跳炉。

综上所述,初步分析认为该剧部电网发生此次振荡的电力系统方面主要原因是特殊负荷离内部机组较近,

收稿日期:2015-08-10;修回日期:2015-09-21

基金项目:国家自然科学基金(51377046,51190121);

国家电网公司大电网重大专项资助项目课题;  
(SGCC-MPLG001(001-031)-2012)

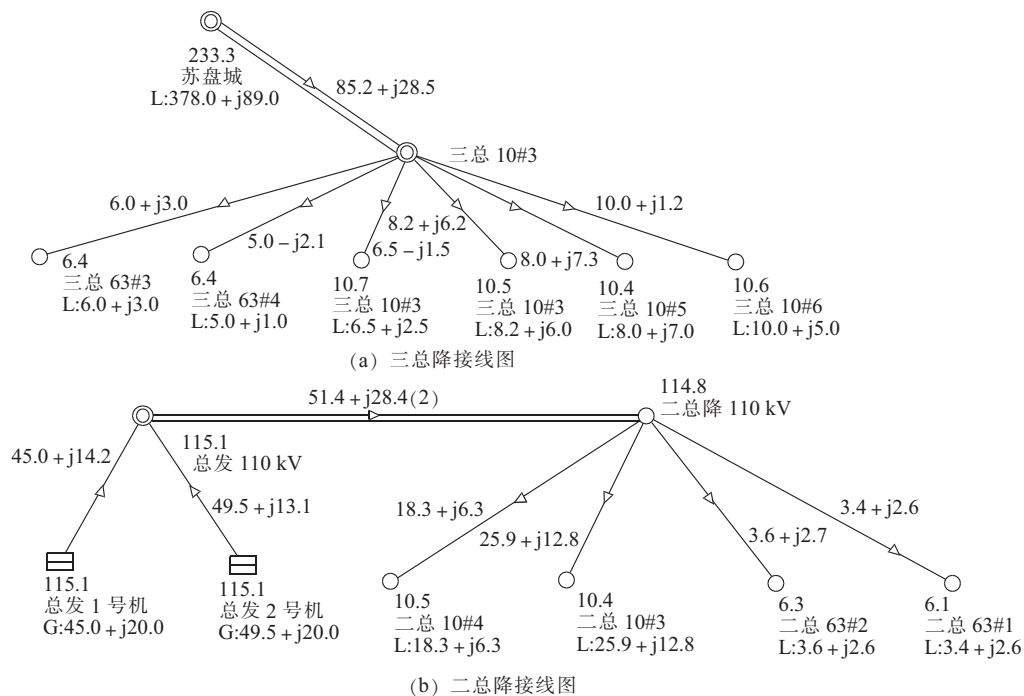


图1 某钢铁企业局部电网电气接线图

当特殊负荷功率大幅变化时,对内部机组产生较大冲击,由于发电机采用恒功率因数励磁控制方式,导致发电机处于较易失稳状态,最终过流跳闸。

## 2.2 特殊负荷冲击特性对振荡的影响

特殊负荷区别于常规负荷,主要表现为自变性和冲击性,不仅设备容量较大,其生产过程中,设备的启停、工艺因素等时常造成负荷水平地突变,给电网带来较大功率冲击,故又常称为冲击负荷,可能造成电网低频振荡问题。近年来,我国西部地区某 330 kV 输电线上屡次发生频率 0.6 Hz 左右低频振荡,振荡发生时间与附近大型钢铁企业冲击负荷投入时间有一定关联。

冲击负荷的组成、冲击量、冲击速率以及冲击负荷与发电机组电气距离等冲击特性都可能对电网振荡问题带来不同影响。电动机负荷相较于恒阻抗负荷,当系统发电机转速发生变化时,更易引发振荡,故冲击负荷组成中电动机比例越高,越易引发振荡;不同的负荷冲击量在短时间里(秒级)会给系统造成不同程度的负荷缺口或盈余,冲击负荷造成的功率偏差会造成发电机转子的转速变化,一方面会给系统电压带来不同程度的波动,同时也会影响系统的安全稳定;冲击速率越快,对电网平稳运行带来的隐患也就越大;系统两点之间的联系阻抗称为电气距离,电气距离近的两点之间联系较紧密,相互影响也较大,故冲击负荷与局部电网内部发电机组之间电气距离越近,造成电网振荡的可能性越大。

## 2.3 发电机控制方式对振荡的影响

发电机的励磁控制可以维持机端电压在给定水平,并调节机组间的无功分配,进而提高系统的静态和

暂态稳定性<sup>[14,15]</sup>。厂矿企业大都建有自备电厂,而自备电厂的机组有相当一部分是容量较小的机组,该局部电网的 3 台机组容量均为 50 MW。对于受容量限制的同步发电机,通过小机组励磁控制提高电压水平,进而改善系统稳定性是不现实的<sup>[16]</sup>。因此采用不同励磁方式具有实际意义。该企业事故发生时采用恒功率因数发电机励磁控制方式,冲击负荷的大幅变化造成发电机有功出力下降,无功随之也下降,进而可能造成发电机失稳,引起振荡。若采用恒无功励磁控制方式,当发电机有功出力下降时,无功出力不会随之下降,系统振荡的可能性相对较小;而当采用恒电压励磁控制方式时,特殊负荷带来较大冲击时,发电机出力下降幅度相对恒功率因数励磁控制方式较小,因此发电机失稳可能性较小,引起振荡的可能性较小。

## 3 仿真分析

根据以上对该局部电网振荡影响因素的理论分析,结合实际调研情况,在 PSASP 中仿真分析励磁方式、负荷组成、冲击负荷幅度、冲击速率及电气距离 5 个因素对该电网振荡的影响。通过仿真分析,得到了这些因素对局部电网振荡影响的定性结论,验证了前述理论分析结论。在此给出励磁方式、冲击负荷量及冲击负荷与发电机组之间的电气距离这 3 个影响因素的仿真分析过程。

### 3.1 励磁方式

调研发现该局部电网系统内机组先后使用了恒功率因数和恒机端电压的励磁控制系统,为充分地对比分析,在仿真研究中加入了恒无功控制方式。其余影响

因素设置相同。在不同励磁方式作用下,发电机 1 号的有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  以及励磁电压  $E_{fd}$  变化曲线如图 2 所示。

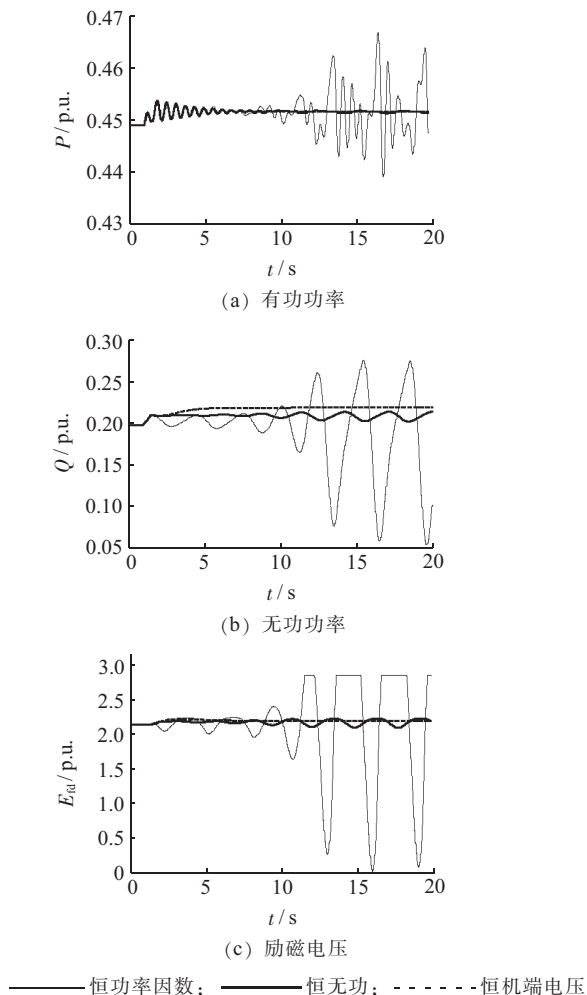
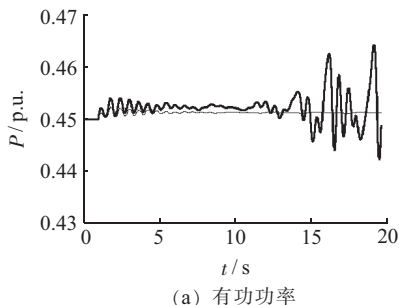


图 2 励磁方式对发电机的影响曲线

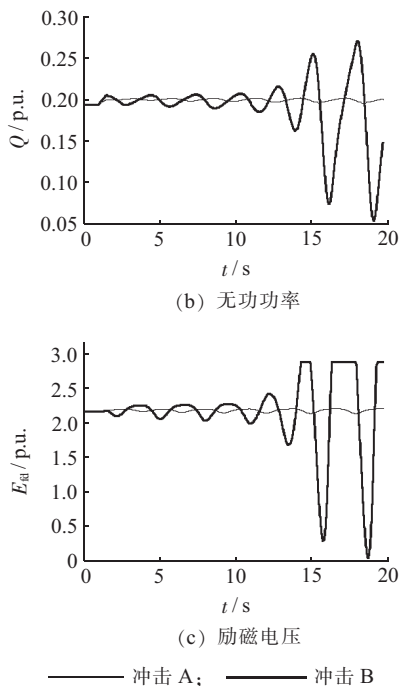
由图 2 曲线可以看出,相同冲击负荷作用下,恒功率因素励磁方式最易引起系统强迫振荡,恒无功控制方式次之,恒电压励磁方式较为理想;临界情况下,不同的励磁方式能够定性地改变系统稳定性。

### 3.2 冲击负荷量

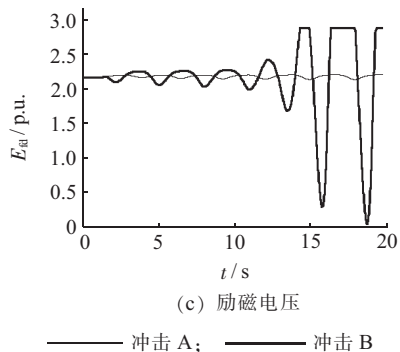
选取 2 种不同幅度的冲击 (冲击 A:60 MW/45 Mvar, 冲击 B:120 MW/90 Mvar), 功率因数均为 0.8。其他影响因素设置相同。不同冲击幅度下,发电机 1 号的有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  以及励磁电压  $E_{fd}$  变化曲线如图 3 所示。



(a) 有功功率



(b) 无功功率



(c) 励磁电压

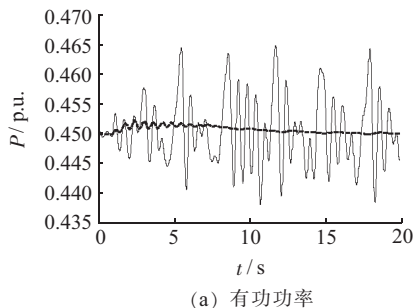
—— 冲击 A; —— 冲击 B

图 3 冲击负荷量对发电机的影响曲线

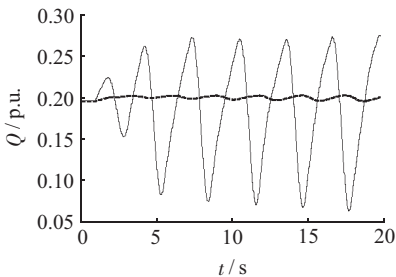
由图 3 可以看出,相同条件下,特殊负荷冲击幅度越大,系统振荡越大,严重时导致励磁电压达到上限,引起系统强迫振荡。

### 3.3 电气距离

由该企业局部电网电气接线图可知,二总降和内部总发 1 号机和总发 2 号机直接相连,电气距离短;三总降和外网苏盘城变采用双回路直接相连,和内部发电机组距离相对较长。考虑不同电气距离的负荷冲击点对局部系统稳定性影响;二总降和三总降。其余影响因素设置相同。不同电气距离的冲击负荷作用下,发电机 1 号有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  以及励磁电压  $E_{fd}$  变化曲线如图 4 所示。



(a) 有功功率



(b) 无功功率

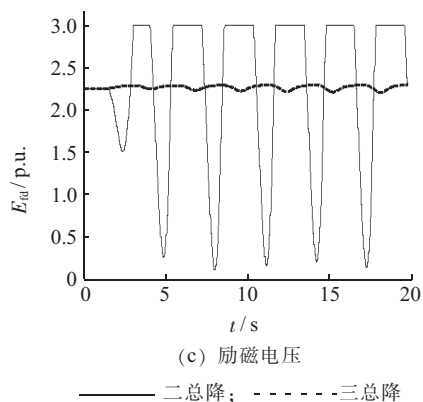


图4 电气距离对发电机的影响曲线

由图4可见,不同地点的冲击负荷由于在网架中的位置差异,对电网稳定性影响差异显著。三总降与外电网联系紧密,和内部发电机组距离相对较长,负荷冲击对内部机组影响较小;二总降和内部1号机和2号机电气距离短,对内部机组有明显地影响。

总结5个因素对该局部电网振荡问题的仿真分析结果如表1所示。

表1 某钢铁企业局部电网振荡影响因素仿真分析结果

影响因素		仿真研究结论
负荷组成	90%恒阻抗	相同的功率冲击下,纯电动机负荷(轧钢)引起振荡最大;纯电阻负荷(电弧炉)引起振荡最小。
	50%恒阻抗	
	10%恒阻抗	
冲击幅度	60 MW	恒功率因数励磁方式下,特殊负荷冲击幅度越大,越易引发振荡,严重时导致励磁电压达到上限,引起系统振荡。
	120 MW	
励磁方式	恒功率因数、恒无功、恒电压	其余条件相同情况下,恒功率因素励磁方式最易引起系统强迫振荡,恒无功控制方式次之,恒电压励磁方式较为理想。
冲击速率	0.5 s, 1 s, 2 s	特殊负荷冲击速率对系统是否强迫振荡无影响;若系统振荡,仅影响启振时间。
冲击负荷地点	二总降、三总降	相同条件下,特殊负荷离大电网电气距离远,容易引起系统振荡。

以上仿真分析结果基本验证了前述理论分析结论。该厂矿企业事后将励磁控制方式由恒功率因数励磁控制方式改为恒电压励磁控制方式,振荡情况得到了较好地控制。

## 4 结束语

本文结合某钢铁企业局部电网实际振荡事故,初步分析事故原因,并仿真分析冲击负荷相关因素及企业内部发电机组励磁方式对该电网振荡的影响。仿真结果表明,负荷冲击越大,越易引发振荡;冲击负荷与局部电网内部发电机组电气距离越近,越易引发振荡;发电机组选用恒功率因数励磁方式时,容易引发振荡。该仿真结果基本验证了理论分析结论。根据仿真分析结果,建议厂矿企业局部电网内部发电机组选用恒电

压励磁控制方式;加强局部电网与大电网的电气联系;合理布局企业内部的冲击负荷,以减少对企业内部发电机组的冲击。

## 参考文献:

- [1] 陈大宣,余一平,鞠平,等.基于时变电流注入方法的特殊电力负荷建模研究[J].电力自动化设备,2014,34(3):120-124.
- [2] 刘小河,崔杜武.电弧炉电气系统的模型,谐波分析及电极调节系统自适应控制的研究[D].西安:西安理工大学博士论文,2000.
- [3] 王丰华.电弧炉建模研究及其应用[D].上海:上海交通大学,2006.
- [4] 王育飞,潘艳霞,姜建国.基于MATLAB的交流电弧炉随机模型与仿真[J].高电压技术,2008(5):973-977.
- [5] 高超,程浩忠,李宏仲,等.大容量冲击负荷对地区电网暂态稳定性的影响[J].电网技术,2008,32(1):31-35.
- [6] WU C J, YEN S S, CHANG W N, et al. Enhancement of Static Excitation System Performance for Generators Near Electric arc Furnace Loads [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999, 14(2): 225-231.
- [7] FU W H, JAMES D M, VIJAY V. Risk Assessment for Transformer Loading [J]. Power Systems, IEEE Transactions on, 2001, 16(3):346-353.
- [8] 顾丹珍,艾芊,陈陈,等.冲击负荷实用建模新方法[J].电力系统自动化,2006,30(20):10-14.
- [9] 周利军,吴广宁.牵引负荷对变压器绝缘老化和寿命损失的影响[J].电力系统自动化,2005,29(18):90-94.
- [10] 汤涌.电力系统数字仿真技术的现状与发展[J].电力系统自动化,2002,26(17):66-70.
- [11] 周孝信.研究开发面向21世纪的电力系统技术[J].电网技术,1997,21(11):11-15.
- [12] CIGRE Task Force 38. 02. 08. Tools for long-term dynamics [J]. Electra, 1995(163):151-165.
- [13] 潘学萍.电力系统数字仿真研究综述[J].江苏电机工程,2005,24(1):80-84.
- [14] 刘倩,罗建裕.发电机组励磁系统参数辨识原理及方法[J].江苏电机工程,2001,20(1):22-25.
- [15] 鞠平.电力工程[M].北京:机械工业出版社,2009:87-88.
- [16] 刘取.电力系统稳定性及发电机励磁控制[M].北京:中国电力出版社,2007:121-122.

## 作者简介:

周荣玲(1992),女,江苏扬州人,河海大学硕士在读,研究方向为电力系统建模与控制;

陈谦(1972),男,江苏南京人,河海大学副教授,研究方向为电力系统建模、电力电子在电力系统中的应用;

鞠平(1962),男,江苏靖江人,河海大学教授,研究方向为电力系统建模与控制;

张正利(1990),男,江苏淮安人,河海大学硕士在读,研究方向为分布式在线建模;

张浩(1990),男,江苏张家港人,河海大学硕士在读,研究方向为电力系统建模与控制。



- [10] 王晓兰,葛鹏江. 基于相似日和径向基函数神经网络的光伏阵列输出功率预测[J]. 电力自动化设备, 2013(1):100-103, 109.
- [11] 傅美平,马红伟,毛建容. 基于相似日和最小二乘支持向量机的光伏发电短期预测[J]. 电力系统保护与控制, 2012(16): 65-69.
- [12] 孟洋洋. 风电场发电功率短期预测模型研究[D]. 重庆:重庆大学, 2011.

作者简介:

倪春花(1992),女,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为分布式发电与微电网;

李弘毅(1997),男,江苏南京人,高中在读,协助从事能源与环保相关试验工作;

吴在军(1975),男,江苏南京人,博士生导师,研究方向为变电站自动化、分布式发电与微网、电能质量监测与控制。

## Impact Analysis of Haze on Photovoltaic System's Power Generation

NI Chunhua<sup>1</sup>, LI Hongyi<sup>2</sup>, WU Zaijun<sup>1</sup>

(1.School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Nanjing Foreign Language School, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Solar energy is regarded as the most powerful weapon to resist haze, while photovoltaic (PV) generations are facing severe challenge due to frequently-occurring haze. In this paper, the basic principle of PV cells is introduced and the mechanism of haze's affection to PV output power is analyzed. A group of so called similar days are chosen, and then the standalone affection of haze to PV output is analyzed while other factors are guaranteed to be nearly the same. The actual output power of a certain PV plant in Jiaying validates the reliability of the proposed method.

**Key words:** solar energy; photovoltaic power generation; haze; similar day

(上接第 73 页)

## Research and Analysis for the Factors of Local Oscillation of the Electric Network of Large-sized Mine

ZHOU Rongling, CHEN Qian, JU Ping, ZHANG Zhengli, ZHANG Hao

(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The local oscillation occurs occasionally in the electric network of large-sized mine. This paper focuses on the oscillation problem in a steel enterprise with a mass of special loads. The possible reasons of the local oscillation is analyzed firstly, and then the simulation considering the mentioned reasons including the impact characters of special load, the excitation mode of local generators, etc. are implemented. It is manifested that the changes of impact load, the location of impact load and the excitation mode of a local generator may significantly affect the oscillation in the small grid. Moreover, the larger the change of impact load is, the larger possibility of the oscillation will be, and the closer the distance between the impact load and generators is, the more significant the oscillation will be. If the exciter of local generator is operated in the constant power factor mode, the generator tends to oscillate more easily than in other modes. The simulation results suggest that the constant voltage mode is a good choice for the exciting regulator, connecting the local grid to the outer power grid improves its reliability, and the impact loads should be reasonably distributed.

**Key words:** local power grid; oscillation; special power load; excitation mode

(上接第 76 页)

## Project Management Improvement on the Commission of Intelligent Substation's Secondary Systems

WU Jun<sup>1</sup>, WAN Luofei<sup>2</sup>, WU Chonghao<sup>2</sup>

(1.State Grid Nanjing Power Supply Company, Nanjing, 210019, China;

2.NARI Technology Co.Ltd., Nanjing 211106, China)

**Abstract:** Due to the application of many new technologies, complicated system structures and virtual electrical secondary circuits, the commission of intelligent substation becomes a long period, much manpower, complicated commissioning process and quality hard to control project. In this paper, the method of project management is used to improve the management of intelligent substation. By analyzing the statistical data between before and after using the method, it is found that the improved management can shorten the period, promote the quality and control the costs effectively.

**Key words:** intelligent substation; project management; costs control; human resource