

智能配电网技术支持系统的研究与应用

吴国沛^{1,2}, 刘育权^{1,2}

(1. 广东电网公司广州供电局调通中心, 广东 广州 510630; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510630)

摘要: 智能配电网通过网络技术和智能控制技术提高能源利用效率和能源供应安全性, 提高配电网智能化水平和供电可靠性。结合智能配电网技术发展和地区电网配网自动化系统建设, 研究智能配电网技术支持系统的关键技术。介绍地区电网在智能配电网部分关键技术中的研究和实施情况, 对包括基于地理信息系统的配网自动化系统建设、基于实时全景信息的配网智能调度运行技术和基于实时数据库的配网数据挖掘技术等关键技术进行分析。对建设试点工作情况和存在问题进行介绍, 对智能配电网的建设具有借鉴意义。

关键词: 智能配电网; 技术支持系统; 配网自动化

Research and application of technology support system for smart distribute grid

WU Guo-pei^{1,2}, LIU Yu-quan^{1,2}

(1. Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510630, China;
2. South China University of Technology, Guangzhou 510630, China)

Abstract: The using efficiency of energy and the security of energy-supply are improved by the digital network and AI control technology, thus the intelligence level and power supply reliability of smart distribution grid are advanced. Combining with the technology development of smart distribution grid and the construction of distribution automation system of district power network, the key technology of smart distribution grid technique support system is studied. The research and application status of the key technology including the distribution automation based on GIS, the smart dispatching based on the real-time and panoramic information, and the data-mining based on the real-time database are introduced and analyzed. The status quo and problems in pilot areas are introduced, which has reference value for the construction of smart distribute grid.

Key words: smart distribution grid; technology support; distribution network automation

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0162-05

0 引言

随着现代电网的发展, 节能减排、绿色能源、可持续发展成为各国关注的焦点, 电力安全可靠性和电能质量要求越来越高, 以分布式数据传输、计算和控制技术和数据传输技术为基础的智能电网为电力工业在安全可靠、优质高效、绿色环保等方面开辟了新的发展空间^[1-9]。智能电网以信息技术改造现有的能源利用体系, 通过智能化控制实现精确供能、对应供能、互助供能和互补供能, 将能源利用效率和能源安全水平大幅度提高, 使用户成本和投资效益达到合理的状态。

欧美发达国家已经在智能电网方面开展了大量的研究和实践^[10-21]。美国电力科学研究院于 2000 年提出“IntelliGrid”概念, 被认为是智能电网的雏

形。2008 年美国能源部出版了“The Smart Grid”的报告。美国总统奥巴马提出的经济复兴计划中, 将发展智能电网列为重要内容, 其目的在于最大限度地发挥美国电网的价值和效率, 提高电力安全可靠水平^[22]。为了应对近年来欧洲电力设施老化、电力市场建设和可再生能源发电的挑战, 欧洲委员会于 2005 年成立智能电网欧洲技术论坛^[23], 希望把电网转换成用户和运营商互动的服务网, 提高欧洲输配电系统的效率、安全性及可靠性, 推动分布式和可再生能源的大规模应用。

目前国外对智能电网的研究主要关注停电时间最小化和市场利益最大化, 侧重于建立一个高效、安全、环保、灵活应变的智能电力系统, 更多地从市场、安全、电能质量、环境等方面出发, 从用户的角度来看待和研究智能电网^[18]。对于目前我国

电力企业开展智能配电网建设研究具有重要的借鉴意义。

国家电网公司提出了打造统一坚强智能电网的思路,旨在建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础,以信息化、数字化、自动化、互动化为特征的自主创新、国际领先的坚强智能电网^[24-28]。南方电网公司重点开展配电网智能化方面的研究工作,着力提高配网的智能化水平和终端负荷侧的科学管理水平,提高供电可靠性和电能质量,提高配网经济性与灵活性。

本文分析智能配电网技术发展情况,结合地区电网配网自动化系统试点和建设工作情况,研究智能配电网技术支持系统的关键技术,介绍了智能配电网中部分关键技术的研究和实施情况,对包括基于地理信息系统的配电自动化系统建设、基于实时全景信息的配网智能调度运行技术和基于实时数据库的配网数据挖掘技术等关键技术进行研究,并对建设试点工作情况和存在问题进行介绍,对智能配电网的建设具有借鉴意义。

1 智能配电网及其技术支持系统

1.1 智能配电网^[29-32]

智能配电网通过广泛应用的分布式智能设备、通信系统和自动控制系统,对配网设备的运行状况进行实时监控,进行数据收集、整合和分析挖掘,实现电网各成员之间的无缝连接及实时互动,达到对整个电网运行的优化管理。

智能配电网可以提高对电网信息的获取能力,实现精细、准确、及时、绩优的电网运行和管理,提高能源综合投资及利用效益。智能配电网具有自愈和自适应功能,实时掌控电网运行状态和负荷分配,及时预测、诊断和处置系统故障和隐患,保证电网安全和供电可靠性。

智能配电网可以优化系统资源配置,提高需求侧管理水平,满足用户端个性化的电能需求。智能配电网具有良好的兼容性,支持分布式能源及可再生能源的友好接入,以最佳的电能质量和供电可靠性满足客户需求,满足电力与自然环境、社会经济和谐发展的要求。

确保对广大用户的安全可靠供电是地区电网企业的核心工作。智能配电网作为智能电网的重要组成部分,对于地区电网企业具有重要意义。智能配电网研究对提高配电网运行管理水平和供电可靠性具有重要意义。

1.2 配电网运行管理现状

配电系统处在电力系统的最末端,直接面向用

户,是保证用户可靠供电和电能质量的关键环节。配电网的可靠性指标是整个电力系统结构及运行特性的集中反映。

长期以来,配电网建设滞后于地区经济和输电网的发展,制约了配电网管理效率和供电可靠性的提高。目前用户停电80%以上是由配电系统原因引起的,电网有一半的损耗发生在配电网。目前配电网的自动化程度远低于输电网,而分布式电源接入主要影响配电网的运行与控制,因此开展智能配网及其技术支持系统研究具有重要意义。

智能配电网是配电自动化技术的发展,配电自动化是智能配电网技术支持系统的重要内容。配电自动化技术利用现代计算机、微电子、网络及通信技术,实现配电网的运行监控及管理的自动化、信息化,以保证配电网的安全经济运行,提高供电质量及生产管理效率。

1.3 智能配电网研究重点

智能配电网建设涵盖电源、电网、用户的全流程,贯穿电网规划、设计、建设、运行维护、技术改造、退役的全过程,最终形成电力流、信息流、业务流的高度融合和一体化。

(1) 开展智能配电网研究,需要优化配电网各环节的协调配合,实现对配电网运行状态、资产设备状态和供电可靠性的实时、全面监视,提高配网整体资产利用率与管理水平,建设结构合理、安全可靠、经济环保、技术先进、信息畅通的现代化配电网。

(2) 开展智能配电网研究,应积极推进配电自动化建设,采用经济、可靠、先进的传感、通信和控制技术,提升配网在网络重构、潮流优化和自愈控制方面的智能化水平,确保配电网的可观测性和可控性,提高供电可靠性和电能质量。

(3) 开展智能配电网研究,需要深入探索配网智能化的内涵和技术特征,构建促进配网智能化的整体技术构架,制定和实施相关技术标准和规范。

2 智能配电网技术支持系统的关键技术研究

2.1 配电自动化系统建设

配电自动化技术是智能配电网技术支持系统的重要组成部分。建立和完善配电自动化系统,可以提高对配电网的运行监控能力,实现对配电网的实时监控和运行分析,提高用户供电可靠性和配网运行管理水平。

目前部分地区供电企业已开展了配电自动化系统的试点和建设工作,存在的主要问题包括:

(1) 配电自动化系统涉及专业多,覆盖面大,

系统接入设备型号繁多，通道形式多样，相关技术标准尚未统一。配电自动化系统的建设应保证系统的兼容性、开放性、安全性、先进性与实用性，避免因系统发展和技术进步引起大规模改造甚至推倒重来。

(2) 配网结构调整和设备改造频繁，图形参数维护工作量巨大，配网自动化系统的难点在于运行维护。在配电自动化系统涉及和建设中，应充分考虑运行维护的业务流程设计，评估配电自动化系统投运后的管理成本，提高系统的投入产出效益；坚持建设和管理并重。

2.2 配电网智能调度技术

配电网智能调度通过获取配网全景信息实现一体化的信息支撑、优化的调度计划，建立智能调度技术支持系统和智能型运行控制体系。配电网智能调度的核心是在线实时决策指挥，包括系统快速仿真与模拟、智能预警技术、优化调度技术、预防控制技术和事故处理与恢复技术。配电网调度智能化是对现有配网调度控制功能的扩展。

目前的地区电网配电网调度工作存在的主要问题包括：

(1) 对配电网的监视、控制手段不足。目前配网运行数据的完备性和准确性存在差距，控制手段不足。配电自动化系统的建设应着重提高系统的覆盖面，保证较高的故障遥信覆盖率；利用与计量自动化等相关系统的接口，扩展系统信息监视功能；选择对故障隔离和网络重构效果最好的设备进行遥控，提高网络重构和设备控制能力。

(2) 配网故障快速处理能力不足。配网故障信息完备性和处理能力不足，无法快速发现、隔离和恢复故障，影响供电可靠性。具有自愈功能的智能配电网可以利用自愈控制技术提高故障快速处理能力，减少电网故障对用户的影响，保证供电可靠性和电能质量。

(3) 配网调度管理粗放，辅助决策手段不足。配网操作量大，合、解环操作频繁，误操作风险巨大，防误操作技术手段不完善。利用配网自动化的风险预警预控、智能报警、智能防误和程序化操作等技术，可以有效提高配网调度管理水平，减少人工操作，提高工作效率和安全运行水平。

2.3 配网数据平台与数据挖掘

建设规范化的数据平台，为电力企业各类应用系统提供全面一致的数据服务，进行数据集成、展现和综合查询，实现各业务系统数据的综合分析及应用，提供管理辅助决策信息。

(1) 配网运行数据繁多，需要有效整合。在电

网统一模型的基础上，需要对不同系统的模型、图形以及实时和非实时数据进行整合处理，提供各应用系统数据交换和共享的平台，实现数据、模型、图形管理，提供统一的信息服务和开放的集成开发环境，实现综合分析和数据挖掘功能。

(2) 配网用户种类繁多，负荷特性存在差异，需要深入挖掘。为准确了解配电网的各类负荷情况，需要对电网各个分区的不同特性负荷进行分类，实现对各类负荷数据的实时采集和多维度、多目标的分类统计，制定基于多种分类标准的、可定制的、多维度的负荷分类系统，为电力生产、营销、规划等各项工作提供技术指导。

3 智能配电网技术支持系统的应用

3.1 基于配网 GIS 的配电自动化系统

配电自动化系统的建设以主站系统和远方终端建设为重点，采取经济实用、方便灵活的通信方式，实现对配电网实时运行工况的掌握，建立基于配网 GIS 的配电自动化系统。

配电自动化系统建设应着重考虑以下问题：

(1) 配电自动化系统的数据维护

完善配网 GIS 与配电自动化系统的数据接口，实现 GIS 图形参数的全模型和增量模型自动导入，确保配电自动化系统的数据质量，避免重复维护图形数据。完善配网 GIS 与主网系统的模型拼接，按照 IEC61970/61968 等标准升级和扩展各自动化系统，做好安全防护，做到系统统一维护。建立配网图形参数的维护流程，提高 GIS 数据质量，确保系统维护质量和维护效率，实现整个电网模型、图形的统一创建和维护。

(2) 配电自动化终端设备的选择和管理

在通信方式选择上优先考虑利用已有的光纤通道资源，兼容电缆屏蔽层载波、GPRS/CDMA、Wimax 等灵活多样的通道方式，优选出最佳通信方式组合。在终端设备选择和配置上，采用系统供电和电池相结合的混合供电模式，提高系统免维护运行时间。将配网自动化作为配网建设和改造的必备条件，将配电自动化系统终端纳入配网标准设计，确保系统覆盖率。

3.2 基于实时全景信息的配网智能调度运行技术

利用配电自动化系统提供的实时全景信息，整合处理来自不同系统的模型、图形以及实时和非实时数据，实现模型、图形管理以及丰富的数据管理、展现、挖掘，为配网调度高级应用提供数据资源储备，开展配网智能调度运行技术研究。

(1) 风险预警预控和智能报警技术

利用准实时数据平台的潮流负荷数据和电网结构模型,通过在设定计划运行方式及其校核时段进行自动智能校核,判断是否存在设备负荷过载、停电计划冲突及保供电设备影响等问题,分析预设的电网薄弱点是否存在风险,为日常的运行方式安排提供智能辅助手段。通过智能校核,可以为运行方式的制定提供数据支持,从源头上保障电网运行安全;进行电网停电设备关联校核,减少重复停电操作造成的电网可靠性下降,减轻运行方式人员校核电网方式的工作量。

(2) 配电网程序化操作、自愈控制和快速复电技术

对典型的配电网停电、合环转电、复电操作开展程序化操作研究。根据网络拓扑判断和安全自检机制,建立完善的配网防误判断逻辑和运行校核条件,提高操作可靠性。将涉及多项设备的操作项目组合成操作任务,以智能化操作代替人工操作,杜绝人为操作事故,减轻现场人员的劳动强度,提高倒闸操作的工作效率。

对于频繁发生的配电网故障,开展配电网自愈控制研究。利用配电自动化终端的故障指示和主站的综合逻辑判断进行故障定位和故障隔离。根据系统运行方式、负荷情况、配网设备自动化程度及相关事故预案,自动选择配电网故障处理方式,进行网络故障重构,执行自动复电操作,最大程度地减少电网故障对用户的影响,提高供电可靠性。

配电网直接提供对客户的服务,急需开展快速复电技术研究。快速复电系统在系统故障导致用户停电时,综合各渠道的相关信息,以动态系统拓扑模型的方式集成在一起,迅速掌握故障信息并及时做出响应,便于相关人员进行准确的故障判断和影响评估,指挥急修操作和客户服务,为用户提供快速复电服务,提高供电可靠性和用户满意度。

(3) 可定制的配电网监视系统

社会政治、经济、文化活动对供电保障提出了更高的要求。与传统的电网监视系统重点不同,保供电系统的重点在于终端用户,需要可定制的电网监视系统。利用统一的标准接口和电网参数图形,可以根据需求灵活配置,定制相应的保供电系统。根据系统的拓扑结构,从配网直至主网进行保供电拓扑结构的搜索,实现重要供电电源点的双向搜索,并将搜索后的网络连接图进行自动显示和拓扑着色,监视保供电范围相关的系统信息。

3.3 基于实时数据库的配网数据挖掘技术

基于PI高速数据库的实时数据平台将电网模型和运行信息按标准接口存储,汇集调度自动化系

统、计量自动化系统、配网自动化系统、营配一体化系统的数据、模型和图形,建立完善的网络拓扑连接关系,提供电网统一模型的数据和图形服务,为电力生产、营销、规划等各专业提供支撑服务。

(1) 统一的实时数据平台

实时数据平台建设在IEC61970/61968/61850标准及命名规范的基础上,对来自不同系统的模型、图形、数据进行整合处理,建立统一的信息服务以及开放的集成开发环境。实时数据平台具备综合数据加工处理能力,为高级应用提供数据资源储备,实现整个电网模型、图形的统一创建和维护,提供符合标准的服务和相关接口;通过多样化的数据表现手段和统一灵活的任务调度机制,多角度多层次地动态展现数据;同时提供完善的数据安全管理机制,保证数据安全。

(2) 实时负荷特性分析

建设实时负荷特性分析系统,实现配电网各类型负荷数据的实时采集和统计、管理,提高供电企业对不同负荷需求的个性化服务和整体供电服务质量。分析研究各类负荷的规律性,为电力需求侧管理提供数据基础和数据支撑,达到节能降耗的整体目标。针对不同负荷的特点,有针对性地制定营销策略,为电价的制定提供决策,使峰谷时间的划分更合理、科学,优化系统接入策略和市场杠杆手段。通过系统的建设,为电网的运行管理、规划以及领导决策提供技术支持,提高供电企业的社会服务水平和形象。

4 结论

智能电网通过信息技术改造现有的能源利用体系,提高能源利用效率和能源供应安全水平。研究和发 展智能配电网应重点关注电力生产运行和用户可靠供电,从市场、安全、电能质量、环境等方面出发,重视提高供电可靠性的要求。配电自动化技术是智能配电网技术支持系统的重要组成部分。

本文结合智能配电网技术发展和地区电网配网自动化系统建设,研究智能配电网技术支持系统的关键技术,介绍了地区电网在智能配电网部分关键技术中的研究和实施情况,对包括基于地理信息系统的配电自动化系统建设、基于实时全景信息的配网智能调度运行技术和基于实时数据库的配网数据挖掘技术等关键技术进行分析和试点,对智能配电网的建设具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等.智能电网技术综述[J].

- 电网技术, 2009, 33 (8): 1-7.
CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33 (8): 1-7.
- [2] 康重庆, 陈启鑫, 夏清. 低碳电力技术的研究展望[J]. 电网技术, 2009, 33 (2): 1-7.
KANG Chong-qing, CHEN Qi-xin, XIA Qing. Prospects of low-carbon electricity[J]. Power System Technology, 2009, 33 (2): 1-7.
- [3] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41 (6): 19-22.
XIE Kai, LIU Yong-qi, ZHU Zhi-zhong, et al. The vision of future smart grid[J]. Electric power, 2008, 41 (6): 19-22.
- [4] 余贻鑫, 奎文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25 (1): 7-11.
YU Yi-xin, LUAN Wen-peng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (1): 7-11.
- [5] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2 (6): 14-16.
YU Yi-xin. Intelli-D-Grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2 (6): 14-16.
- [6] 陈建民, 周键, 蔡霖. 面向智能电网愿景的变电站二次技术需求分析[J]. 华东电力, 2008, 36 (11): 37-38.
CHEN Jian-min, ZHOU Jian, CAI Lin. Substation secondary technology demand analysis for intelligent grid vision[J]. East China Electric Power, 2008, 36 (11): 37-38.
- [7] 王明俊. 自愈电网与分布式电源[J]. 电网技术, 2007, 31 (6): 1-7.
WANG Ming-jun. Self-healing grid and distributed energy resource[J]. Power System Technology, 2007, 31 (6): 1-7.
- [8] 王明俊. 突出自愈功能的智能电网[J]. 动力与电力工程师, 2007 (2): 12-16.
- [9] 武建东. 全面推互动电网革命, 拉动经济创新转型 [EB/OL]. 2009-02-03.
<http://www.chinapower.com.cn/article/1146/art1146899.asp>.
- [10] EPRI. Power delivery system and electricity markets of the future, 1009102[R]. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2003.
- [11] EPRI. Technical and system requirements of advanced distribution automation, 1010915[R]. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2004.
- [12] EPRI. profiling and mapping of intelligent grid R&D programs, 1014600[R]. Palo Alto, CA and EDF R&D, Clamart, France: EPRI, 2006.
- [13] U. S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiative: a vision for modern grid [EB/OL]. [2008-10-10].
<http://www.netl.doe.gov/moderngrid/docs>.
- [14] European Commission. European technology platform smart grid: vision and strategy for Europe's electricity networks of the future [EB/OL]. [2008-10-10].
http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf.
- [15] VON DOLLEN D. IntelliGrid: enabling the power delivery system of the future[C]. //Proceedings of 9th International Symposium on power-Line Communications: ISPLC2005. Vancouver (Canada): 2005.
- [16] The National Energy Technology Laboratory. A systems view of the modern grid[C]. //Pittsburgh. PA, NETL(USA): 2007.
- [17] The National Energy Technology Laboratory. The modern grid initiative[C]. // Pittsburgh, PA, NETL (USA): 2007.
- [18] 法国电力公司试验智能电网提高风电使用率[EB/OL]. 2009-01-19.
<http://www.chinapower.com.cn/newsarticle/1082/new1082991.asp>.
- [19] IBM 论坛 2009. 点亮智慧的地球[EB/OL].
<http://www.900.ibm.com.cn/forum2009/wisdom.shtml>.
- [20] 柳明, 何光宇, 沈沉, 等. IECSA 项目介绍[J]. 电力系统自动化 2006, 30 (13): 99-104.
LIU Ming, HE Guang-yu, SHEN Chen, et al. Brief introduction to the IECSA project[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (13): 99-104.
- [21] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (9): 1-4.
XIAO Shi-jie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (9): 1-4.
- [22] 何华峰. 电网的智能革命[EB/OL]. 2009-03-04.
http://blog.caijing.com.cn/topic_article-5-331.shtml.
- [23] 蒋明桓. 关于“智能电网”与“智能能源”情况汇编 [G/OL]. 2009-03-17.
<http://www.china5e.com/subject/subjectshow.aspx?subjectid-97&classv-&pageid-1>
- [24] 刘文博, 张伯明, 吴文传, 等. 在线静态电压稳定预警与预防控制系统[J]. 电网技术, 2008, 32 (17): 6-11.
LIU Wen-bo, ZHANG Bo-ming, WU Wen-chuan, et al. An on-line early warning and preventive control system for static voltage stability[J]. Power System Technology, 2008, 32 (17): 6-11.
- [25] 宋新立, 汤涌, 卜广全, 等. 大电网安全分析的全过程动态仿真技术[J]. 电网技术, 2008, 32 (22): 23-28.
SONG Xin-li, TANG Yong, BU Guang-quan, et al. Full dynamic simulation for the stability analysis of large power system[J]. Power System Technology, 2008, 32 (22): 23-28.

(下转第 172 页 continued on page 172)

Restructuring and Power Technologies. 2000: 538-543.

[3] WEI Zhang, ALI Feliachi. Residential load control through real-time pricing signals[C]. // Proceedings of the 35th Southeastern Symposium on System Theory. 2003: 269-272.

[4] 雷绍兰, 孙才新, 周淦, 等. 基于径向神经网络和自适应神经模糊系统的电力短期负荷预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (22): 79-82.
LEI Shao-lan, SHUN Cai-xin, ZHOU Quan, et al. Short term load forecasting method based on the RBF neural network and adaptive neur-fuzzy power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (22): 79-82.

[5] Alireza Khotanzad, Zhou Enwang, Hassan Elragal. A neuro-fuzzy approach to short-term load forecasting in a price-sensitive environment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17 (4): 1273-1282.

[6] 齐亚超. 发展智能电网从电网需求入手—专访凯捷公司全球能源及公用事业转型负责人[N]. 中国能源报, 2010 (18).
QI Ya-chao. Develop the smart grid starting from the power demand—interview with Meir Shargal who is the lead of global energy and utility restructuring in capgemini company[N]. China Energy Report, 2010 (18).

[7] 张钦, 王锡凡, 付敏, 等. 需求响应视角下的智能电网[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (17): 19-55.
ZHANG Qin, WANG Xi-fan, FU Min, et al. Smart grid from the view of demand response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (17): 19-55.

[8] 牛丽仙, 苑津莎, 张英慧. 基于粗糙集和支持向量机的电力系统短期负荷预测[J]. 电力科学与工程, 2010, 26 (2): 32-35.
NIU Li-xian, YUAN Jin-sha, ZHANG Ying-hui. Short term load forecasting in power system based on the rough set and support vector machine[J]. Electric Power Science and Engineering, 2010, 26 (2): 32-35.

[9] 黄福全, 任震, 黄雯莹, 等. 电力市场中考虑用户价格反应的实时电价[J]. 中国电力教育, 2002, 35 (10): 45-49.
HUANG Fu-quan, REN Zhen, HUANG Wen-ying, et al. Real-time pricing considering customer responsiveness in electricity market[J]. China Electric Power Education, 2002, 35 (10): 45-49.

[10] 潘敬东, 谢开, 华科. 计及用户响应的实时电价模型及其内点法实现[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (23): 8-14.
PAN Jing-dong, XIE Kai, HUA Ke. Real-time pricing model and interior point methods considering the user response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (23): 8-14.

[11] Zarnikau J, Landreth G, Hallett I, et al. Industrial customer response to wholesale prices in the restructured texas electricity market[J]. Energy, 2007, 32 (9): 1715-1723.

收稿日期: 2010-04-20

作者简介:

何永秀 (1970-), 女, 教授, 研究方向为电力经济管理;

戴爱英 (1985-), 女, 研究生, 研究方向为电力市场与

实务. E-mail: aiyng_dai@126.com

(上接第 166 页 continued from page 166)

[26] 田芳, 李亚楼, 周孝信, 等. 电力系统全数字实时仿真装置[J]. 电网技术, 2008, 32 (22): 17-22.
TIAN Fang, LI Ya-lou, ZHOU Xiao-xin, et al. Advanced digital power system simulator[J]. Power System Technology, 2008, 32 (22): 17-22.

[27] 帅军庆. 创新发展建设智能电网: 华东高级调度中心项目群建设的实践[J]. 中国电力企业管理, 2009 (4): 19-21.

[28] 李岚峰. 华北公司智能电网建设取得新成果[S/OL]. 2009-03-07. <http://www.indaa.com.cn>.

[29] Research Reports International. Understanding the smart grid[R]. RRI 00026, 2007.

[30] The National Energy Technology Laboratory. Modern grid benefits[C]. //Pittsburgh, PA, NETL(USA): 2007.

[31] The National Energy Technology Laboratory. Integrated communication[C]. //Pittsburgh, PA, NETL(USA): 2007.

[32] 李亚楼, 周孝信, 林集明, 等. 2008 年 IEEE PES 学术会议新能源部分综述[J]. 电网技术, 2008, 32 (20): 1-7.
LI Ya-lou, ZHOU Xiao-xin, LIN Ji-ming, et al. A review of new energy power generation part in 2008 IEEE PES general meeting[J]. Power System Technology, 2008, 32 (20): 1-7.

收稿日期: 2010-04-20

作者简介:

吴国沛 (1975-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: wuguopei@gzpsc.com

刘育权 (1972-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统运行与控制。