

美国电力市场发展分析及 对我国电力市场建设的启示

许子智, 曾鸣

(华北电力大学 经济与管理学院, 北京市 昌平区 102206)

Analysis on Electricity Market Development in US and Its Inspiration to Electricity Market Construction in China

XU Zizhi, ZENG Ming

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: Centered on the issues of construction of regional electricity market, development of smart grids, development of clean energy and mechanism of demand-side response, the development trend and features of electricity markets in US are emphatically analyzed. In allusion to development of electric power industry in China, it is proposed that the electricity market construction in China should be sustainable and the construction of smart grids should be speeded up; domestic electricity markets, demand-side management and auxiliary service markets should be further improved.

KEY WORDS: electricity market; smart grid; clean energy; ancillary service; demand side response

摘要: 重点围绕区域市场建设、智能电网发展、清洁能源发展、需求侧响应机制, 分析了美国电力市场的发展趋势和特点。针对我国电力工业的发展情况, 提出我国电力市场建设应以可持续发展为目标, 加快智能电网建设, 进一步完善国家电力市场、需求侧管理和辅助服务市场。

关键词: 电力市场; 智能电网; 清洁能源; 辅助服务; 需求侧响应

0 引言

美国是最早进行电力市场改革的国家之一, 在电力市场模式设计和选择方面经历了曲折的探索过程, 对市场建设的长期性和复杂性有着深刻认识。国内学者对美国电力市场进行了广泛而深入的研究, 成果丰富^[1-13]。近年来, 随着能源安全、气候危机、环境保护等大环境的改变, 美国电力市场建设突出表现为传统市场设计与适应新形势的市场建设齐头并进的发展趋势。一方面, 继续完善批发电力市场、辅助服务市场、零售市场等, 不断提

高区域市场运营效率。另一方面, 开展适应清洁能源和智能电网发展的市场机制建设。需要指出, 这2个方面并不截然分开, 既有区别也有融合, 如需求侧响应机制就是智能电网的最佳应用之一^[14-15]。

近年来, 美国电力科学研究院、哈佛大学电力市场组、亚利桑那州立大学电力系统工程研究中心等主要研究机构重点围绕市场模型与方法、监管问题、金融与财务、气候变化等问题开展研究。在传统市场设计方面, 主要研究稀缺定价机制、发输电投资与容量充裕性、金融交易在消除市场力中的作用以及电力终端与电力市场的关系, 即促进需求侧响应、提高能源利用效率和电动交通应用等。此外, 本文重点研究了气候变化对系统运行策略、电源扩展计划、可再生能源接入和市场规则的影响, 以及相应的可再生能源交易机制、排放权交易机制等热点问题。

在此背景下, 本文重点围绕区域市场建设、智能电网发展、清洁能源发展、需求侧响应机制, 分析美国电力市场的发展趋势和特点, 相关理念和具体措施对我国电力市场建设可以起到借鉴作用。

1 美国区域电力市场建设

1.1 电力市场的改革方向

自1992年电力市场化改革以来, 以加州危机和美加大停电为代表的美国电力工业经历了改革蓬勃期、挫折期和缓慢发展期。虽然各方对电力市场化改革仍存有疑虑, 如美国公共电力联盟认为区域输电组织(regional transmission organization, RTO)偏离了保障区域内输电投资的充裕性这一最核心

任务, 而节点电价(locational marginal price, LMP)也没有起到引导发电和输电投资的作用。但美国联邦能源监管委员会(federal energy regulatory commission, FERC)充分肯定了市场改革的作用, 认为正是竞争确保了美国在 25a 来以合理的价格、安全可靠地供应电力和天然气。FERC 认为美国电力市场已具备有效竞争市场的应有特点, 即充裕的发电投资、燃料的多样性、市场准入、电网准入、坚强电网、充裕的电网投资、良好的运行绩效、市场透明性、需求侧响应以及提供新产品、新服务和新技术。

长期来看, 自由竞争仍是美国电力和天然气能源政策的核心, FERC 未来将在培育自由竞争和加强必要监管之间采取更灵活的协调方式, 以解决静态监管难以处理不确定性因素大幅增多的问题, 逐步由静态监管变为动态监管, 及时根据市场变化调整监管方式, 以实现平稳改革。

1.2 区域电力市场建设

美国各区域电力市场进一步完善市场设计。其中, 加州电力市场实施了市场再设计与技术升级(market redesign and technology upgrade, MRTU), 建立了集合电能、辅助服务(运行备用)和阻塞管理的日前市场, 以期能够以最低的成本实现资源优化配置, 建立了新的市场规则和惩罚方式, 以限制和惩罚一些公司的博弈和市场操纵行为, 建立了节点定价机制, 以消除阻塞区域内外价差以及利用最新的计算机技术提供一个更加精确的模型, 使独立系统运行机构(independent system operator, ISO)能更好地预测日前市场交易的潮流情况。

此外, 纽约电力市场制定了市场设计改进计划, 以建立充分竞争和流动的市场, 实现日前市场和实时市场的跨区协作。中西部 ISO 以最小化生产成本为目标, 建立辅助服务市场, 通过市场方式确保系统安全运行。虽然负荷和发电容量占美国全国电量的 40%左右, 西北部和东南部地区尚未形成有组织的电力市场, 但这些地区仍在深化改革, 开展公有公司对大工业用户供电的竞争。

同时, FERC 从 4 个方面规范和促进电力批发市场竞争: 1) 增强需求侧响应, 特别是在运行备用短缺时, 利用市场价格来刺激需求弹性, 以提高系统运行的灵活性。2) 促进长期合约交易发展, 重点在于增加市场参与者之间的透明度, 允许相互交流长期电力交易的信息。3) 提高市场监测能力,

主要是增强市场监测机构(market monitoring unit, MMU)的独立性。4) 建立新的规则, 提高 RTO 和 ISO 对用户意见的处理速度, 提高服务水平。

1.3 区域电力市场的发展趋势

目前, 美国只有区域电力市场, 尚未形成全国范围内的国家电力市场, 但逐步扩大市场范围已成主要趋势。一方面, 美国政府已经意识到区域市场间的协调在电网规划建设、区域市场运营等方面的重要作用, 因而不断推动批发市场和 RTO 范围的扩大。另一方面, 各区域电力市场之间也在逐渐加强协调与合作。其中, 宾夕法尼亚、新泽西和马里兰 3 州互联系统(Pennsylvania-New Jersey-Maryland, PJM)和中西部 ISO 建立了 2 个 RTO 共同解决问题的联合运行协议(joint operating agreement, JOA), 实现机组停运协调、紧急事故协调、数据共享等。纽约 ISO 则与 PJM 建立协调机制, 以消除跨区交易的壁垒, 解决成本分摊问题, 提高东北部市场的整体效率, 同时还将与新英格兰 ISO、加拿大的安大略、魁北克和滨海诸省建立合作。

1.4 区域市场电价发展情况

美国近年的批发电价总体上呈上升趋势, 主要原因是能源价格上涨。以 PJM 批发电力市场为例, 如图 1 所示。若除去能源价格上涨的因素, 电力批发价格总体是下降的。这表明在过去的 10a 中, PJM 市场日益增加的市场竞争效率带来了电力价格的下降。

改革州零售电价增幅明显高于管制州。在 1998—1999 年间, 改革州零售价格有所下降, 管制州基本维持不变。而在 1997—2003 年, 改革州和管制州零售价格均增加了 0.5 美分/kW·h。美国解除管制州与管制州零售电价的对比如图 2 所示。由图 2 可知, 自 2004 年后, 改革州零售价格增加了 3.4 美分/kW·h, 但管制州仅增加了 2.1 美分/kW·h。



图 1 能源价格上涨对 PJM 批发电力价格的影响
Fig. 1 Impact of energy price rise on PJM electricity wholesale price

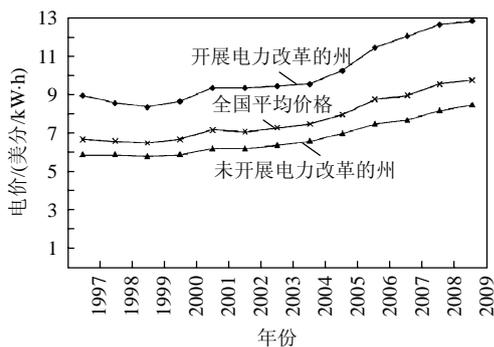


图 2 美国解除管制州与管制州零售电价的对比
Fig. 2 Retail electricity price comparison between regulated provinces and deregulated ones in US

2 美国电网建设与电力市场的发展

2.1 跨区电网与智能电网建设

美国正综合利用各方面措施来加速电网建设,推动全国骨干高压电网的形成,实现全国大范围联网。虽然自 2005 年实施新能源法刺激输电投资以来,电网投资有了明显上升趋势,但仍未能形成大规模的跨州、跨地区的高电压传输网络,不能有效地将清洁能源从偏远地区输送到人口密集中心。预计到 2030 年 20% 的美国电力将由风电产生,为此需要修建 30.5767 Mm 的 765 kV 骨干电网^[16]。

与此同时,智能电网已成为奥巴马政府绿色能源环境气候一体化政策的重要组成部分,包括 PJM 在内的多个区域都已开始研究设计智能电网系统。FERC 则进一步引导工业界在发展智能电网的标准和装置方面协调一致。这包括在区域市场运行机构、公共事业公司、供应商和消费者之间提供双向通信,以及协调发展可再生能源、需求侧响应、电力储能装置和电动交通系统等。

2.2 电网升级对市场发展的影响

电力系统与电力市场在物理运行和经济运营方面密切相关^[17-18]。近年来,美国电网建设加速将对电力市场运营带来重大影响。跨区电网建设为扩大交易范围、加强各区域市场间的协调运营提供了物质基础,而智能电网将对数 10a 来保持的电力系统运作方式带来变革,这会对电力市场建设提供新的契机,从而深刻影响和改变现有电力市场。

在市场建设方面,智能电网将促使电力市场对用户选择权进一步放开,因而支撑零售市场迅速发展,并接近完全竞争。电力用户双向互动、用电弹性变大,这将提高批发市场和零售市场之间的互动性。其中,需求侧响应机制作为联结批发市场和零售市场的重要一环,作用将更突出。

在规划机制方面,FERC 推动各区域的输电规划向实现跨区域的能源资源优化整合方向发展。为此,FERC 检查各区域现有输电规划程序能否促进跨区输电线路的发展以及能否大规模整合分布式能源资源等,推动用户和其他利益相关者参与输电规划程序,开发各区间统一的可用输电容量的计算方法,制定区域输电成本分配方法,建立宽松的输电选址管理规则,以吸引更多的投资等。美国能源部(Department of Energy, DOE)每 3 年开展 1 次全国输电阻塞研究,以完善输电规划。

在价格机制方面,FERC 采用灵活的融资政策,通过增加回报率、调整输配电价、合理分摊风电接入引起的输电成本等来激励跨区输电投资,帮助公共事业公司回收智能电网投资,获得淘汰老旧设备的成本补贴。

3 美国清洁能源发展与电力市场建设

3.1 清洁能源发展对市场运营的影响

美国现有的电源结构仍然高度依赖化石燃料。2008 年,煤电占美国总电力供应的 49.94%,天然气发电占美国总电力供应的 20.19%,核电占美国总电力供应的 20.37%。为确保能源供应安全,保护环境,应对气候危机,近年来,美国大力发展新能源和优化电源结构。根据美国《清洁能源安全法案》,到 2020 年,至少有 20% 的发电量来自风能、太阳能等可再生能源。

可再生能源具有间歇性发电、可变运行成本低、难以精确预测等特点,对美国电网和市场运营带来很多影响。电力系统运行安全是电力市场健康运营的基础。可再生能源的大规模接入将给系统调度机构的安全可靠性带来挑战。

电网是支撑电力市场交易的物理载体,是可再生能源输送的唯一方式。可再生能源的大规模接入,将使美国输电网规划面临如下问题:如何联合多州、多区域共同制定最经济的输电扩展方案;如何建立能实现输电成本完全回收的输电定价机制。然而,由于美国目前仍没有确定最终的可再生能源和减排发展目标,输电规划方案只能依赖场景分析,尚不精确。

电力市场是体现可再生能源价值、促进可再生能源发展的重要环节。可再生能源的大规模接入,将使美国市场运营机构面临如下问题:如何在促进可再生能源发展的前提下,确保市场定价和规则的

非歧视、透明性和有效性；如何能不改变最小成本调度模式，采用基于安全约束的经济调度方式；如何确保发电容量充裕性；如何获得所需的辅助服务。

3.2 未来美国市场机制建设的重点

探索促进可再生能源大规模发展的市场机制，是美国电力市场建设的重要趋势。这主要包括 3 个方面：

1) 探索区域市场间协作，以使可再生能源在较大范围内消纳。美国 Minnesota 州的研究结果表明，将 4 个调度平衡区域整合为 1 个平衡区域，将削减 50% 的调频服务需求，风电接入成本显著降低。

2) 关注并促进可再生能源发展的 10 min 等超短期发电市场设计。对于不同的发电市场设计，风电接入成本显著不同。由于风电出力在 10min 内基本保持常量，如果以单位小时为时间间隔，则会因较大风电出力预测偏差而引起大量的调频服务需求。相反，超短期市场会削减这一成本。美国电力科学研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)提出，在开发适合可再生能源发展的超短期市场时，需要建立合适的定价机制来激励可再生能源发展，同时提供灵活的输电服务，促进可再生能源更多使用非峰荷期的输电容量。

3) 积极完善辅助服务市场设计。加州市场的调频价格是按能量和其他辅助服务联合出清结果确定的，这反映了不供电而提供备用服务的机会成本。在此基础上，加州 ISO 着手建立关于调频服务的稀缺定价机制，即当支撑可再生能源接入的调频服务供应稀缺时，形成价格尖峰信号来吸引足够的调频容量。

4 美国需求侧响应机制建设

4.1 需求侧响应机制的重要性和发展概况

需求侧响应资源在确保电力市场竞争性和电网运行可靠性中具有重要的作用，需求侧响应资源能提供削减批发价格的竞争压力，增强用户节能和高效用电的意识，削减市场势力，支撑可再生能源和分布式发电等。根据估算，如果削减 PJM 和亚特兰大在前 100 个最高价时间间隔内 3% 的负荷，将会使节点电价降低 6%~12%，这相当于每年节省 3.3×10^8 USD。如果美国峰荷削减 5%，在 20a 内将节省 350 亿 USD。

这也是美国需求侧响应资源近年来发展快速的主要原因。目前，美国 8% 的电能用户都参与了

需求侧响应计划，总量接近 41 GW，相当于美国峰荷的 5.8%。在 2009 年夏季峰荷期，实际利用的需求侧响应资源超过了 2.2 GW。

4.2 需求侧响应机制的建设情况

FERC 试图建立一个联邦管制框架来确保需求侧响应资源能有合适的机会参与有组织的电力市场。为了能为需求侧响应资源初期发展提供一个稳定的基础，FERC 要求 RTO/ISO 采取行动，以确保需求侧响应资源能与其他资源在市场中得到相似的地位，同时，如果电力零售相关法规没有禁止零售用户参与需求侧响应，则要求每个 RTO/ISO 都应接受已满足相关技术约束条件的需求侧资源的报价。

美国重点针对容量市场、辅助服务市场等，建立完善需求侧响应机制。关于容量市场，在交割物上，PJM 推动能源效率资源参与容量市场拍卖；在交割时间上，PJM 鼓励需求侧响应资源提前 3 a 参与容量市场拍卖；在惩罚机制上，PJM 修改容量市场规则中的罚金结构，使惩罚不可供应行为时，对需求侧响应资源和发电机组具有同等的力度。2009 年，在 PJM 举行的 2012—2013 年容量市场拍卖中，申报的需求侧响应资源总量达 9847.6 MW，同比增长 496%，最终容量为 7047.3 MW 的需求侧响应资源达成交易。

此外，FERC 分别允许需求侧响应资源参与中西部 ISO 日前市场和西南电力库的实时能源不平衡服务市场。纽约 ISO 则采用修改费率的方式，激励需求侧响应资源在辅助服务市场提供运行备用和调频服务。

美国需求侧响应资源的发展主要面临如下挑战：1) 需要完善有效的信息分享程序；2) 加强用户对需求侧响应机制教育的理解；3) 建立能协调批发市场和零售市场在促进需求侧响应发展方面的策略；4) 提高和扩大需求侧响应双方的交互性和开放性；5) 完善关于促进需求侧响应发展和提高能源效率 2 方面的政策；6) 使需求侧响应在市场短期运行和长期规划中的角色定位清晰连贯，并确保实现相关成本的回收。

5 美国电力市场发展对我国电力市场建设的启示

电力市场建设是个系统工程，需要增强整体的协调性，并根据实际情况不断调整。目前，我国电力市场建设仍处在市场和计划双轨制中，完全基于

市场机制开展的交易仅包括跨省区交易、发电权交易和大用户交易。在这样的基础上,考虑到未来我国可再生能源的大发展,我国电力市场建设需要实现跨越式发展,应将可持续发展作为市场建设的目标。然而,由于环保等公共物品和大量不确定性因素的引入,宏观调控更显出其独特性和不可替代性,因而这可能会调整、甚至改变我国电力市场建设路径。此外,这也要求形成系统性的市场建设推进方案,制定综合的发展规划,实现传统能源、清洁能源的协同发展。

加快推进智能电网建设将为我国电力市场发展创造新的机遇。电网作为电力输送的物理载体,在电力市场交易中发挥着重要的作用,担负着传输电力,保障电力系统运行安全,促进电力市场充分竞争、促进资源大范围优化配置、调节电力需求等作用。未来电力市场交易的蓬勃开展,要求一个高效的运营平台。智能电网为此提供了基础。智能电网将使市场更加开放,同时汇集更多的市场参与者,为各方频繁互动和市场繁荣提供基本保障。

完善我国电力市场是适应我国能源资源分布和经济发展不平衡、建立开放有序电力市场体系的客观要求。我国能源供需逆向分配,与美国情况类似,我国“三北”地区的风电不能在本地完全消纳,需要跨地区、跨市场在较广阔的范围内消纳。建立一个与之相适应的国家电力市场,有利于实现向全国统一电力平衡方式转变,有利于打破地方壁垒,有利于统一考虑和发挥电力交易在协调地区发展中的作用。

进一步加强需求侧管理,推进绿色电力市场建设,符合我国经济社会可持续发展的客观规律。同时,气候变化问题是21世纪全球的重要议题,我国能源资源紧缺程度日益加剧,环境压力继续增大,我国的能效水平与发达国家还存在较大差距,因此,大力发展清洁能源和开展节能减排已成为当前乃至今后一段时间内电力工业最重要的行业主题。随着可再生能源的大幅接入和智能电网技术的发展,需求侧响应将成为重要的提供供需平衡的灵活资源和发挥智能电网功能的最佳应用之一。相应的电力市场建设需要具有这一新的特点,电力市场出清方式将由单一的经济安全调度方式转化为安全、经济和环保的综合调度方式。

为适应可再生能源发展,需要加快建立完善辅助服务补偿机制。在我国,风电的影响最大,大规

模风电接入将导致电网等效负荷的峰谷差变大,这需要较大的调峰容量。短期而言,这将引起日前发电计划执行偏差显著增加,辅助服务需求量变大,备用实际调用量提高。我国规定的不弃风利用方式将进一步增大这些影响。若对辅助服务采用补偿机制,目前我国发电公司间互补的方式将使可再生能源电厂承担较大的辅助服务成本。为有利于可再生能源的发展,可考虑将可再生能源机组引起的辅助服务成本单独核算,并转由用户承担。

6 结语

本文通过深入分析美国电力市场的发展趋势,得到了我国电力市场建设和发展的气势,为深化我国电力市场建设提供了有益参考。

我国可再生能源正蓬勃发展,智能电网建设也处在试点和探索过程中,我国电力市场建设应以可持续发展为目标,进一步完善国家电力市场、需求侧管理和辅助服务市场。

参考文献

- [1] 国家电力监管委员会. 美国电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 1-10.
- [2] 朱兆霞, 邹斌. PJM 日前市场电价的统计分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 20(23): 53-57.
Zhu Zhaoxia, Zou Bin. Statistical analysis of day-ahead prices in PJM market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 20(23): 53-57(in Chinese).
- [3] 鲁顺, 李灿, 魏庆海, 等. 纽约电力市场探析[J]. 电网技术, 2004, 28(17): 62-66.
Lu Shun, Li Can, Wei Qinghai, et al. A preliminary analysis on new york electricity market[J]. Power System Technology, 2004, 28(17): 62-66(in Chinese).
- [4] 文福拴, David A K. 加州电力市场失败的教训[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 1-5.
Wen Fushuan, David A K. Lessons from electricity market failure in California[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(5): 1-5(in Chinese).
- [5] 李道强, 韩放. 美国电力市场中的金融交易模式[J]. 电网技术, 2008, 32(10): 16-22.
Li Daoqiang, Han Fang. Financial transaction modes applied in electricity market in USA[J]. Power System Technology, 2008, 32(10): 16-22(in Chinese).
- [6] 张森林. 南方电力市场建设和模拟运行[J]. 电网技术, 2008, 32(10): 28-30.
Zhang Senlin. Construction and simulative operation of south China electricity market[J]. Power System Technology, 2008, 32(10): 28-30(in Chinese).
- [7] 王绵斌, 谭忠富, 乞建勋, 等. 我国电力市场环境两部制输电电价传递模型[J]. 电网技术, 2008, 32(15): 77-79.
Wang Mianbin, Tan Zhongfu, Qi Jianxun, et al. A transfer model of two-part transmission and distribution price under electricity market in China[J]. Power System Technology, 2008, 32(15): 77-79(in

- Chinese).
- [8] 贾燕冰, 严正, 杨立兵, 等. 电力市场中的电价动态特性及灵敏度分析[J]. 电网技术, 2008, 32(16): 101-105.
Jia Yanbing, Yan Zheng, Yang Libing, et al. Dynamic character and sensitive analysis of power price in electricity market[J]. Power System Technology, 2008, 32(16): 101-105(in Chinese).
- [9] 张森林, 陈皓勇, 屈少青, 等. 南方电力市场模拟运行近况及发展建议[J]. 电网技术, 2010, 34(11): 162-170.
Zhang Senlin, Chen Haoyong, Qu Shaoqing, et al. Recent simulated operation situation of south china electricity market and suggestions on its development[J]. Power System Technology, 2010, 34(11): 162-170(in Chinese).
- [10] 张森林, 陈皓勇, 屈少青, 等. 南方电力市场西电东送双边交易模式及电价形成机制研究[J]. 电网技术, 2010, 34(5): 133-141.
Zhang Senlin, Chen Haoyong, Qu Shaoqing, et al. Research on bilateral transaction modes and formation mechanism of electricity price in south China electricity market[J]. Power System Technology, 2010, 34(5): 133-141(in Chinese).
- [11] 田廓, 曾鸣, 鄢帆, 等. 电力市场中考虑灵活性措施的发电投资决策分析[J]. 电网技术, 2010, 34(11): 151-156.
Tian Kuo, Zeng Ming, Yan Fan, et al. Analysis on investment decision of power generation project in electricity market considering flexible tactics[J]. Power System Technology, 2010, 34(11): 151-156(in Chinese).
- [12] 赵鸿图, 朱治中, 于尔铿. 电力市场中需求响应市场与需求响应项目研究[J]. 电网技术, 2010, 34(5): 146-154.
Zhao Hongtu, Zhu Zhizhong, Yu Erkeng. Study on demand response markets and programs in electricity markets[J]. Power System Technology, 2010, 34(5): 146-154(in Chinese).
- [13] 李清清, 周建中, 莫莉, 等. 基于通用博弈模型的电力市场均衡对比分析[J]. 电网技术, 2010, 34(7): 14-20.
Li Qingqing, Zhou Jianzhong, Mo Li, et al. Contrastive analysis on electricity market equilibrium based on general game model[J]. Power System Technology, 2010, 34(7): 14-20(in Chinese).
- [14] 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): 49-54.
Zhang Qin, Wang Xifan, Fu Min, et al. Smart grid from the perspective of demand response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 49-54(in Chinese).
- [15] US Department of Energy. 20% wind energy by 2030-increasing wind energy's contribution to us electricity supply[R]. US: US Department of Energy, 2008.
- [16] 薛禹胜. 电力市场稳定性与电力系统稳定性的相互影响[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(21): 1-6.
Xue Yusheng. Interactions between power market stability and power system stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(21): 1-6(in Chinese).
- [17] FERC. The technical conference of integrating renewable resources into the wholesale electric grid[EB/OL]. 2009-04. <http://www.ferc.gov>.
- [18] US Energy Information Administration. Annual Energy Review (2008)[R]. US: US Energy Information Administration, 2009.



许子智

收稿日期: 2011-01-05。

作者简介:

许子智(1969), 男, 博士研究生, 研究方向为技术经济, E-mail: zizhi-xu@sgcc.com.cn;

曾鸣(1957), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为技术经济、电力市场等。

(责任编辑 杜宁)