

# 智能电网环境下电力市场面临的机遇与挑战

颜伟, 文旭, 余娟, 李一铭, 赵霞

(重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030)

**摘要:** 针对目前智能电网环境下电力市场研究的不足, 对其进行了进一步研究。根据信息技术的广泛采用, 分析了智能电网环境下电力市场将面临的三个主要发展机遇: 高效可靠的电能质量保证体系、多样化的交易主体和全面信息化的智能交易平台, 以上三个机遇为电力系统节能效益的实现奠定了基础。进一步考虑绿色能源的接入和节能调度的需要, 分析了大规模分布式绿色能源并网、大容量间歇式绿色能源并网和广域互联电力系统给电力市场带来的挑战。所揭示的关键问题和新的研究方向, 为智能电网环境下电力市场的深入研究提供了借鉴。

**关键词:** 智能电网; 电力市场; 绿色能源; 信息技术; 节能效益; 电力系统风险

## Opportunities and challenges faced by electricity market in smart grid

YAN Wei, WEN Xu, YU Juan, LI Yi-ming, ZHAO Xia

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology,  
Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Aiming at the inadequate of the electricity market research in smart grid at present, a further study is carried out in this paper. Firstly, according to the information technology widely used, three main development opportunities, which the electricity market in smart grid faces, are presented including the efficient and reliable power quality assurance system, the diverse traders and the comprehensively information-based and intelligent trading platform. And the three opportunities are the basis of realizing the energy conservation efficiency of power system. Secondly, considering the needs of the integration of green energy and the energy conservation scheduling, three major challenges are proposed including the integration of large-scale distributed green energy, the connection of large-capacity intermittent green energy and the wide-area interconnected power system with electricity market. The key issues and new research directions showed in the paper provide reference for the further study of the electricity market in smart grid.

**Key words:** smart grid; electricity market; green energy; information technology; energy conservation benefits; power system risk

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)24-0224-07

## 0 引言

在资源与环保的双重压力下, 电力系统节能效益的实现变得更加重要<sup>[1-3]</sup>。在传统电力市场环境下, 绿色能源受自身运行特性的限制以及电力系统运行安全的要求, 参与市场交易难度较大<sup>[4-7]</sup>, 这为电力系统节能效益的实现带来了困难。智能电网的实质是能源替代、兼容利用和互动经济, 其目标是以现代信息技术改造传统电网, 以绿色能源替代传统化石能源来实现最大的社会节能效益<sup>[8-9]</sup>。这就为电力

系统节能效益目标的实现带来了新的发展机遇。

为了实现智能电网的这一目标, 各国家和地区都积极地对智能电网的整体发展模式展开一系列的研究与探索。美国最早开展智能电网的研究, 其研究的重点是配网智能化以及用户与电网的互动环节<sup>[10]</sup>; 欧洲智能电网的研究主要集中在电能可靠性与分布式能源方面<sup>[11]</sup>; 在总结欧美智能电网研究成果的基础上, 中国学者提出了坚强的智能电网发展模式<sup>[12]</sup>, 以强调坚强的大电网互联解决中国大规模的能源调度瓶颈问题的作用。

同时, 有关学者也对智能电网信息平台的关键技术展开了研究。具体包括通信技术<sup>[13]</sup>、智能调度<sup>[14-15]</sup>、广域量测技术<sup>[16]</sup>、自愈技术<sup>[17-19]</sup>, 文献[20]指出智能电网是信息技术与新能源的整合, 文献[21]

**基金项目:** 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题 (RFDP, 20090191120019); 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室自主研究项目 (2007DA10512710204)

对智能电网的技术构成进行了总结。

另外,也有文献对智能电网对电力市场的影响进行了初步的探索。文献[7]指出了低碳化的电力系统将增加电力市场交易的复杂程度;文献[21]指出了智能电网能通过电力市场优化各类绿色能源,其市场的交易需要电网的有效支撑;文献[22]从电能表计的技术角度出发分析了新一代用户信息系统对电力市场的支持作用;文献[23]从发展模式的不同简要分析了各个国家或地区智能电网环境下电力市场的差异;文献[24]从需求响应的角度分析了智能电网环境下电力市场用户侧的技术构成与市场效益。

智能电网以实现全社会节能效益的最大化为目标,而电力市场则为节能效益的具体实现提供了基础平台。智能电网信息平台的发展为市场的充分交易提供了巨大的潜力,而多源化的绿色能源又给传统的市场交易模式带来了新的挑战。现有文献对智能电网环境下电力市场还缺乏全面深入的研究。为此,本文首先从信息技术发展的新角度,深入分析智能电网给电力市场带来的主要发展机遇,然后从节能效益最大化的社会需求角度,全面分析电力市场面临的主要挑战及该领域需要解决的一些关键问题。从而为智能电网环境下电力市场发展模式的深入理解拓宽了思路。

## 1 智能电网给电力市场带来的发展机遇

智能电网利用强大的信息技术改造传统电网,再通过电力市场来促进绿色能源的高效发展。从信息技术角度来看,智能电网环境下电力市场将面临以下三个主要的发展机遇:1) 高效可靠的电能质量保证体系;2) 多样化的交易主体;3) 全面信息化的智能交易平台。

### 1.1 高效可靠的电能质量保证体系

电力市场的商品是电能,高效可靠的电能质量是智能电网的内在本质要求<sup>[8-9]</sup>。由于广域测量技术、现代通信技术等的广泛应用,智能电网与传统电网相比更是从发电、电网、用户端等对电力系统进行了实时的信息监控,为高效可靠的电能质量提供了全面的智能化的技术保证。

在电厂方面,通过智能电网中先进的并网技术可以安全、无缝地将环境友好的分布式绿色能源(如风能、太阳能等)可靠地接入电力系统<sup>[25-27]</sup>;而对大容量间歇式绿色能源,通过合理的备用容量以及接入容量的协调也可安全地接入电网。这些绿色能源再通过智能调度中心与传统能源的协调调度可提高电力系统可靠性和电能质量。

在电网方面,在建设坚强的智能输、配电系统基础之上,通过高级资产管理系统联合控制使得智能电网具有自愈功能<sup>[17-18]</sup>;柔性输电系统的应用也使得电网线路的输送功率在波动较大的情况下电网依然能够稳定运行;电力系统中相应的智能无功补偿装置、电压稳定装置也极大地提高了电网的稳定性和安全性。

在用户方面,智能电网采取技术和管理两种手段消除用户对电网电能质量的不利影响。从技术方面,智能电网通过限制用户端产生的谐波电流注入电网,来保证电网的电能质量;从管理方面,智能电网通过新的负荷侧管理系统引导用户合理的能源消费时段与消费类型,来保证电力系统的稳定性以及新能源发展的需要。

从以上智能电网环境下发电、输电、用电等电能质量保证环节可以看出,相对于传统电力系统环境下,智能电网可将新能源发电环节与用户消费环节的全景信息通过互动的信息传输平台传递到电力市场智能调度与交易中心,再通过其合理的交易和调度引导市场各相关主体的电能消费与供给,在满足节能效益需要的基础上,将提高电力系统安全性以及电能质量的可靠性。

### 1.2 多样化的交易主体

相对于传统环境下的电力市场,在智能电网中由于信息技术与双向互动通信系统的全面应用,大规模绿色能源与普通用户也可参与电力市场交易,从而使电力市场中交易主体变得多样化。

智能电网环境下的电力市场不仅包括传统的发电商、电网运营商以及单纯以获利为目的的中间商、投资商与期货商,也包括各个分布式能源、微电网,更包括大量的普通用户。以上各市场主体大规模进入电力市场使得市场选择范围更大、市场竞争更加激烈,市场风险更加分散,从而稳定了电力市场。在智能电网环境下,传统的发电商从简单的电力供应商变成了综合的能源、信息、科技服务商,除为用户提供优质的能源外,还利用先进的技术改进能源结构、实现能源升级换代和引导能源消费。而在智能电网环境下以前的普通用户则由单一的能源消费者变成了能源消费与供给的复合体:在能源消费方面,用户可以根据不同时段能源价格自主选择消费时段、控制负荷与消费电量以使其能源消费费用最低;在能源供给方面,用户可以借助智能电网提供的双向电能传输平台实现对太阳能、电气混合动力汽车(可作为专门的储能装置)、小型分布式电源等与电力系统的互动供电,而交易中心通过全面信息化的智能交易平台能够支持各个交易主体的市场

行为。在智能电网环境下电网、发电商、用户、交易中心之间新的交易关系是传统电力市场技术条件下所不具备的。

在电力市场各主体之间交易优先权方面，不同的市场主体其交易优先权也有一定差异。在智能电网环境下，除去传统的发电权、用电权、排污权以及很多金融性的交易品种之外，还有大量的与绿色能源相关的绿色证书的交易<sup>[28-30]</sup>。在智能化的电力市场交易中心实施以上交易品种时，交易优先权主要体现在以下几个方面：在交易主体间具有更大绿色效益的交易将优先进行；对电力系统安全稳定运行有利的交易将优先进行等。这些优先权通过交易平台的价格信号作引导，其目的就是使得绿色能源在电力系统安全可靠的基础上其绿色效益得到最充分的发挥。

### 1.3 全面信息化的智能交易平台

充分成熟的电力市场需要强大的信息技术的有效支撑，智能电网中全面快速的信息系统为电力市场智能化交易提供了技术保证，为成熟的电力市场创造了条件。

传统的电力系统大部分只能收集高压与部分中压电网的信息。而智能电网通过先进的传感技术、广域测量技术等可以实时地查看电网系统中中压或低压侧的电网信息，特别是中压或低压侧分布式绿色电源的运行状态。同时也可通过用户端的智能电表，实时获取用户端的能源消费和能源供给信息，故智能电网为电力市场交易提供了全景的电网信息支持。电力市场利用这些信息对各类能源进行市场化定价，建立市场化的负荷平衡机制等。而高速、集成的通信系统将提高对电网的管理能力与信息服务水平，这使得智能电网可以通过对电力系统信息进行分析来提高电网的供电可靠性、资产利用率以及经济效益，从而繁荣电力市场。

智能电网环境下电力市场智能化的交易平台具备电力市场运营业务所需的各项技术功能，其交易平台向各市场主体提供电力电量平衡、电力需求、负荷预测、网络阻塞、市场交易报价、签约以及电量结算等信息服务<sup>[29-30]</sup>。同时由于大规模绿色能源的接入，电力市场信息平台会特别针对绿色能源的交易提供信息服务<sup>[29]</sup>，如提供各个绿色能源的装机容量、绿色电力的预测信息、已上网交易信息、交易历史信息、绿色电价等供有访问权限的市场主体查阅，从而可增加市场的透明度、促进市场稳定、增加市场效益；同时电力交易中心通过浮动电价（或者绿色电价）来引导市场主体的经济行为以解决发、用电两端双向电能传输的问题；同时引导电能

在峰、谷之间的流向，实现电力系统的电量平衡，避免缺电现象产生。这也为电力市场的精益化管理创造了条件，同时也将推动电力系统跨区域的能源优化。

## 2 智能电网给电力市场带来的挑战

智能电网通过信息技术与新能源的整合为电力市场的发展带来了机遇，为节能效益的实现奠定了基础，但由于受大规模绿色能源接入以及节能调度的需要，电力系统安全性会受到严重影响。而电力市场的安全稳定性是建立在电力系统安全性基础之上<sup>[31-32]</sup>，故智能电网环境下的电力市场也必将面临一些新的挑战。这些挑战主要集中在以下三个方面：1) 大规模分布式绿色能源与配电网的作用机理变得十分复杂，这必然给电力市场的节能调度安全性带来挑战；2) 大容量间歇式绿色能源由于间歇性问题突出，接入电力系统容量受限，也给电力市场节能调度带来了挑战；3) 大规模绿色能源接入使得电力系统的广域互联成为必然，从而使电力系统受自然灾害、信息安全、市场信息等不确定性风险显著增加，由此必然给电力市场稳定性带来挑战。

### 2.1 大规模分布式绿色能源并网给电力市场带来的挑战

在智能电网模式下，大规模分布式绿色能源的接入改变了电力系统配电网的固有运行特性，其复杂的控制机理给电力市场节能调度带来了挑战。

在绿色能源替换传统能源的过程中，分布式绿色能源大都并网于中压或低压配电网运行。在智能电网环境下，由于用户端与配电网的双向能量流动彻底改变了传统配电网系统的单向潮流特性，同时也使得配电网从简单的辐射网变成了有源的复杂网络<sup>[9]</sup>；另外，由于分布式绿色能源在并网运行时可根据实际情况组成微电网脱离大电网系统独立运行，其运行模式常常需要切换。以上两种情况都给配电网带来了复杂的保护与控制问题，这就要求配电网必须采用新的保护、电压与频率控制方案来满足其双向潮流的需要<sup>[9,25-27]</sup>；同时电网也要应用新型柔性交流输电技术灵活控制输配电线路上的潮流、调节系统电压和频率，增强电力系统稳定性和可靠性<sup>[9]</sup>。

如上所述，当并网运行的分布式绿色能源数目很少时，分布式能源可利用相关控制与输电技术来消除其对电网的不利影响，由此提高电力系统的稳定性。但是，当电力系统中存在大量的分布式绿色电源时，其与接入的电网相互作用的机理变得极其复杂<sup>[25]</sup>，对电网的网损、谐波、短路电流、有功及无功潮流、暂态稳定、动态稳定、电压稳定、频率

控制等特性都会产生较大影响,从而影响到电力系统的稳定性和可靠性,由此给电力市场的交易与调度带来不确定性因素也给电力系统的优化、协调和控制等诸多领域带来了挑战。同时由于大量的分布式电源处于负荷中心,在电源规划与调度时需要重新科学评估分布式能源的整体环保效益。

由此可见,在智能电网环境下分布式绿色能源安全问题已经存在,且在分布式绿色能源接入电力系统的规模还会进一步扩大的情况下,电力市场面临的挑战是严峻的,归纳起来有以下几个问题还需做进一步研究:在电力市场体系中如何在众多的分布式电源投资商与供电商之间寻求利益平衡;如何协调不同种类绿色能源的互补调度以实现节能效益;如何建立新的配电网科学规划方法;如何在调度绿色能源的过程中保证系统的安全裕度等。

## 2.2 大容量间歇式绿色能源并网给电力市场带来的挑战

在智能电网环境下,大容量绿色能源发展是节能效益实现的必由之路,但大容量间歇式绿色能源一般是在高压侧集中供电且间歇性问题极为突出,如何安全、可靠地并网与调度大容量间歇式绿色能源成为智能电网实现节能效益最严峻的挑战之一。目前,在大容量间歇式绿色能源并网技术与储能技术没有突破性进展的情况下,间歇式绿色能源的并网容量与电力系统总容量之比一般要在10%<sup>[33]</sup>(受技术条件限制,中国是5%)以下,否则电力系统就会出现比较大的安全问题。解决大容量间歇式绿色能源利用问题主要有以下三种思路,但都会带来一些新的风险问题。

(1) 当大容量间歇式绿色能源接入电力系统后,即使间歇式绿色能源总容量与电力系统总容量之比仍在目前的安全比例之下,电力系统也可能会出现电网电压水平波动、线路传输功率超出极限、系统短路容量增加以及系统暂态稳定性改变等一系列问题<sup>[20]</sup>。为了防止间歇性绿色能源引起电网不安全问题,可以从以下两个方面解决:一方面是提高大容量间歇式绿色能源的储能技术水平以降低其对电力系统安全的影响,但受目前技术与经济水平的限制,其研发投资是一个巨大的挑战;另一方面是在电力市场中选择调节性好的常规能源为大容量间歇式绿色能源提供充足的辅助容量服务,但这也给智能电网中电力市场经济效益的实现带来了风险。

(2) 当前很多主要国家绿色能源发展规划中,间歇式绿色能源容量都会超过目前的安全比例<sup>[34]</sup>。这时可通过扩大电力系统总容量(以降低间歇式绿色能源在总能源容量中的比重)来解决其安全问题。

这就必须依托高电压等级的跨区域电网将间歇式能源大规模输送到其他负荷中心,在广域范围内实现绿色能源的消费。由此必然带来广域电力系统调峰、调频、电网适应性、电压控制、安全稳定等一系列问题,而这些问题给智能电网环境下电力市场节能调度带来了挑战。其挑战主要有以下几个方面:如何保证大电网系统整体安全;如何分析电网大面积连锁停电潜在的事故风险;在连锁事故发生时,如何考虑人为处理连锁事故的合理性等。

(3) 解决大容量间歇式绿色能源利用问题的第三个思路就是“非并网理论”<sup>[31]</sup>,即将风能等大容量间歇式绿色能源按较高比例或者全部直接供给对电能质量要求不高的高耗能企业(如电解铝),以绕开并网技术的局限。由于“非并网技术”采用直接将大部分(或全部)电能供给对电能质量要求不高的用户模式,该模式减少了过多的电能质量保障环节,从而大幅度降低了大容量间歇式绿色能源的生产成本以及电价,其完全可与传统能源展开市场竞争,这也增加了社会经济与节能效益。同时,在非并网模式中,由于间歇式绿色能源的大部分容量没有并入互联电网,由此自然降低了并网运行的技术难度;降低了电力系统安全运行所需的辅助容量;提高了电力系统与电力市场的稳定性;为更加灵活的市场交易与智能调度创造了条件。

但是,在非并网的大容量间歇式绿色能源的模式中,在出现该能源电能不足时,电力市场应及时调度足够的其他电源给该能源的客户;而在该能源电能富裕时,电力市场应合理调度其参与市场交易,这样才能实现最大的绿色能源效益与经济效益。而上述两个问题的协调受自然条件的不确定性因素影响较大,这就存在以下几个主要问题需要解决:如何充分考虑这些不确定因素对电力系统的影响;如何协同优化和联合调控各类能源以实现智能电网最大的节能效益;如何在智能调度过程中确保电力系统的安全裕度、停电风险等的有效评估。

## 2.3 广域互联电力系统给电力市场带来的挑战

智能电网环境下,低压侧的分布式绿色能源与高压侧的大容量绿色能源的并网,使得电力系统广域互联成为必然,在这种趋势下,电力系统受自然灾害、信息不确定性、市场交易等风险的概率也将显著增加,从而引起电力系统安全的问题,给电力市场的稳定性带来挑战。

首先,随着智能电网上升到国家战略层面,智能电网的安全性显得更加重要。在互联电网广域化的情况下,智能电网的首要作用是能较传统电网更加坚强有效地抵御自然灾害、极端灾害(如地震、

冰雪、恐怖袭击和战争等)的外力破坏以及各类电力系统自身运行的突发事件,因此要求电力系统具有强大的故障诊断系统、预防控制系统、应急指挥系统等以预防事故的发生,阻止事故扩大并实现电网的自愈功能。智能电网在实现其自愈功能的同时应尽可能减小对电力系统正常运行产生的影响,同时也要降低人为失误所引起的电力系统风险概率。而如何结合复杂系统理论和稳定性理论,通过电力市场合理引导市场主体协助电力系统实现其自愈功能是值得深入研究的问题。

其次,在智能电网环境下,广域互联的电力系统必然伴随着高速通信系统的延伸,使得电力系统的信息在更广域的范围内传播,也给电力市场的运行带来了风险。电力市场交易需要发电厂、用户、电网、分布式电源等的相关信息。在电力系统中,这些信息一般来自不同的复杂量测系统,这些信息易受到信息自身随机性及量测系统自身可靠性的影响,从而带来信息数据的极大不确定性<sup>[35]</sup>。虽然利用一定的数学模型与算法可以减少这种影响,但在广域化电力系统海量数据面前这是一个极大的挑战。市场主体若按不确定性较大的信息进行交易必然带来电力系统安全问题,同时也给交易主体带来利益风险。这就需要进一步研究电力系统中信息来源不确定性的机理问题;研究电力系统中监测系统的可靠性问题;研究电力系统海量数据处理模型与算法问题;研究电力系统多源信息规范化、标准化问题等。

最后,智能电网环境下的电力市场由于交易主体多样化、节能调度的需要,使得电力市场中不确定性因素增多、随机性增加,这些都可能导致电力系统电网输电堵塞、电压失稳等。故为了实现电力系统的节能效益,有以下工作还需要作进一步研究:为了对电力市场对电力系统安全的影响更为精细化的考察与评估,必须合理地考虑电力市场的随机性因素;为了改善能源结构和布局,必须合理地对电力市场中的电源规划进行科学评估;为了充分利用电力系统稳定极限输电能力必须合理协调输电投资以及电力消费等。

由此可见在电力系统广域互联的背景下,智能电网环境下电力市场节能效益目标的实现面临着越来越严峻的挑战,迫切需要结合智能电网的特点对电力市场稳定性作深入的研究。这其中包括深入研究电力市场的动力学模型;深入研究各种影响电力系统稳定性的机理以及这些机理之间的内在关系;深入研究影响电力市场稳定性的各种因素以及这些因素之间的内在联系;深入研究电力系统稳定性与

电力市场稳定性之间的内在关系。

### 3 结语

在发展模式上,各个国家和地区对智能电网的理解有一些差异,但智能电网利用信息技术改造传统电网,以绿色能源代替化石能源来实现最大的社会节能效益已成为共识。目前智能电网的相关研究还主要集中在发展模式与技术层面上,对智能电网环境下的电力市场还缺乏全面、深入的认识。智能电网中信息技术的全面应用为成熟的电力市场创造了条件,智能电网节能效益目标的实现正是建立在充分成熟的电力市场之上。系统、深入地对智能电网环境下电力市场展开研究对节能效益的实现和减轻环保压力具有重要的现实意义。本文从信息技术与节能目标的角度对智能电网环境下电力市场展开了初步研究,为下一步电力市场的深入具体的研究提供了借鉴。

#### 致谢

加拿大 BCTC 公司首席工程师、重庆大学顾问教授、IEEE Fellow 李文沅老师对本文提供了指导,特此表示感谢!

#### 参考文献

- [1] Stern N. The economics of climate change: The stern review[M]. Cambridge University Press, 2007.
- [2] Grubb M, Butler L, Twomey P. Diversity and security in UK electricity generation: the influence of low-carbon objectives[J]. Energy Policy, 2006, 34(18): 4050-4062.
- [3] Boemare C, Quirion P, Sorrell S. The evolution of emission trading in the EU: Tensions between national trading schemes and the proposed EU directive[J]. Climate Policy, 2004, 32:105-124.
- [4] De Carolis J F, Keith D W. The economics of large-scale wind power in a carbon constrained world[J]. Energy Policy, 2006, 34: 395-410.
- [5] Neuhoff K. Large-scale deployment of renew ables for electricity generation[J]. Oxford Review of Economic Policy, 2005, 21(1): 88-110.
- [6] Denholm P, Kulcinski G. Net energy balance and greenhouse gas emissions from renewable energy storage systems. Reportno. 223-1, Madison: Energy Center of Wisconsin[EB/OL]. www.ecw.org /prod/ 223-1.pdf.
- [7] 康重庆, 陈启鑫, 夏清. 低碳电力技术展望[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 1-7.
- [8] KANG Chong-qing, CHEN Qi-xin, XIA Qing. Prospects of low-carbon electricit yower[J]. Power System Technology, 2009, 33(2): 1-7.
- [9] 武建东. 互动电网再造高端信息化中国—中国互动电网创新发展技术报告[R]. 科学时报, 2009.
- [9] 余贻鑫, 栾文鹏. 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.
- [10] U.S Department of energy national energy technology laboratory modern grid initiative a vision for modern grid [FB/OL] [2008.10.10] <http://www.netl.doe.gov/moder-grid/doces>.
- [11] European commission European technology platform smart grid vision and strategy for Eurpe' electricity networks of the future [FB/OL] [2008.10.10] <http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smart-gridsen.fdf>.
- [12] 肖世杰. 构建中国智能电网技术的思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.  
XIAO Shi-jie. Thinking smart grid technology to build China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (9) : 1-4.
- [13] Srinivasa Prasanna G N, Lakshmi Amrita, Datass Sumanth. Communication over the Smart Grid[C]. // IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC. 2009: 273-279.
- [14] 姚建国, 严胜, 杨胜春. 中国特色智能调度的实践与展望[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 16-20.  
YAO Jian-guo, YAN Sheng, YANG Sheng-chun. Practice and prospects of intelligent dispatch with Chinese characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 16-20.
- [15] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传, 等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 21-25.  
ZHANG Bo-ming, SUN Hong-bin, WU Wen-chuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(7): 21-25.
- [16] 何江, 周京阳, 王明俊. 广域相量测量技术在智能电网中的应用[J]. 电网技术, 2009, 33(15): 16-19.  
HE Jiang, ZHOU Jing-yang, WANG Ming-jun. Wide-area phasor measurement technology in the smart grid application[J]. Power System Technology, 2009, 33(15): 16-19.
- [17] 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.
- [18] 万秋兰. 大电网实现自愈的理论研究方向[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 29-33.  
WAN Qiu-lan. Theory stuffy for self-heading of lager power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 29-33.
- [19] 何光宇, 孙英云, 梅生伟. 多指标自趋优的智能电网[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 1-5.  
HE Guang-yu, SUN Ying-yun, MEI Sheng-wei. Multi-index from the increasingly excellent smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 1-5.
- [20] 韩晓平. 智能电网-信息革命与新能源革命的整合[J]. 电力需求管理, 2009, 11(2): 5-7.  
HANG Xiao-ping. Intelligent grid-integration of information revolution and new enrgy reveolution[J]. POWER DSM, 2009, 11(2): 5-7.
- [21] 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): 1-5.  
CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology systems[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-5.
- [22] 王明俊. 电力用户信息系统的开发及应[J]. 电网技术, 2009, 33(16): 10-15.  
WANG Ming-jun. Development and application of electricity consumer information system[J]. Power System Technology, 2009, 33(16): 10-15.
- [23] 汤奕, Manisa Pipattanasomporn, 邵盛楠. 中国与美国和欧盟智能电网之比较研究[J]. 电网技术, 2009, 33(15): 7-15.  
TANG Yi, Manisa Pipattanasomporn, SHAO Sheng-nan. Comparative study on smart grid related R&D in China, the United States and the European Union[J]. Power System Technology, 2009, 33(15): 7-15.
- [24] 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): 29-33.  
ZHANG Qin, WANG Xi-fan, FU Min, et al. Demandresponse from the perspective of smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 29-33.
- [25] 王成山, 王守相. 分布式发电供电系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (20) : 1-5.  
WANG Cheng-shan, WANG Shou-xiang. Power system large scale blackout emergency evaluation index system and its application[J]. Antomation of Election Power System, 2008, 32 (20): 1-5.
- [26] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (19): 100-107.  
LU Zhong-xiang, WANG Cai-xia, MIN Yong, et al. Overview on micro grid research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
- [27] Research Reports International. Understanding the Microgrid[R]. Research Reports International, 2008.
- [28] 尚金成, 黄永皓, 夏清, 等. 电力市场理论研究与应[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [29] 罗鑫, 张粒子, 李才华. 可再生能源的电力市场模式[J]. 中国电力, 2006, 39(9): 32-36.  
LUO Xin, Zhang Li-zi, LI Cai-hua. Study on the power market mode of renewable energy[J]. Electric Power 2006, 39(9): 32-36.
- [30] 杨昆, 孙耀唯, 梁志宏. 电力市场及其目标模式[M].

北京: 中国电力出版社, 2008.

[31] 薛禹胜. 电力市场稳定性与电力系统稳定性的相互影响(一) [J]. 电力系统自动化, 2002, 26(22): 1-5.  
XUE Yu-sheng. Interactions between power market stability and power system stability(1)[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(22): 1-5.

[32] 薛禹胜. 电力市场稳定性与电力系统稳定性的相互影响(二) [J]. 电力系统自动化, 2002, 26(23): 1-5.  
XUE Yu-sheng. Interactions between power market stability and power system stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(23): 1-5.

[33] 顾为东. 大规模非并网风电系统开发与应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(19): 1-5.  
GU Wei-dong. Development and application of large scale non grid connected wind power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(19): 1-5.

(上接第 208 页 continued from page 208)

[2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 二版. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
ZHU Sheng-shi. Principle and technology of relay protection in high voltage grid[M]. Second edition. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

[3] 江苏省电力公司. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.  
Jiangsu Electricity Company. Principle and application technology of relay protection in power supply system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

[4] 国家电力调度通讯中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

(上接第 223 页 continued from page 223)

护系统中的重要部分, 在设备设计, 设备调试或大、小修过程中, 除了要清楚理解各部分的作用, 更要了解各分系统是否存在冲突, 认真检验保护装置的实际效果, 保证各元件都能按要求正确动作, 防止因为人为失误而造成设备拒动现象<sup>[2]</sup>。

参考文献

[1] 赵民, 叶绍仪, 侯佳才, 等. 失磁保护在发电机出现逆功率时的动作分析[J]. 继电器, 2003, 31(11): 30-31, 35.  
ZHAO Min, YE Shao-yi, HOU Jia-cai, et al. Operation analysis of field-loss protection when reverse-power starts in the generator[J]. Relay, 2003, 31 (11): 30-31, 35.

[2] 刘军, 潘俊生, 邹水华. 发电机出口开关控制回路的一种特殊故障及其处理[J]. 广东电力, 2003, 16 (4): 73-75.

[34] 世界风电产业发展的总趋势[EB/OL]. <http://www.51report.com/free/detail/310770.html>. 2009,9,20

[35] LI Wen-yuan. 电力系统风险评估模型、方法和应用[M]. 周家启, 卢继平, 胡小正, 等, 译. 北京: 科学出版社, 2006.

收稿日期: 2009-12-15; 修回日期: 2010-04-26

作者简介:

颜伟(1968-), 男, 博士、教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统优化运行与控制、风险评估, 电力市场, 智能电网; E-mail: cquyanwei@21cn.com

文旭(1980-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统节能调度、风险评估、智能电网;

余娟(1980-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统无功优化、电压稳定及风险评估, 智能电网。

State Power Dispatch Communication Center of China. The applied technology of relay protection of power system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

收稿日期: 2010-01-04; 修回日期: 2010-04-21

作者简介:

胡志保(1983-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护工作; E-mail: waini\_hu@163.com

曾庆汇(1976-), 男, 工程师, 本科, 主要从事电力系统继电保护工作;

周丹丹(1983-), 女, 助工, 本科, 主要从事电力系统继电保护工作。

LIU Jun, PAN Jun-sheng, ZOU Shui-hua. A peculiar kind of fault in control circuit of gengerator circuit breaker and its treatment[J]. Guangdong Electric Power, 2003, 16 (4) : 73-75.

[3] 陈小明. 发电机灭磁失败原因分析及改进措施[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (22): 54-57.

CHEN Xiao-ming. Analysis of cause of failure and improvement of generator de-excitation[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (22): 54-57.

收稿日期: 2009-12-16; 修回日期: 2010-02-23

作者简介:

陈刚(1980-), 男, 电气工程师, 本科, 从事电力系统继电保护工作; E-mail: chen17591@126.com

杨国辉(1981-), 男, 电气工程师, 本科, 从事电力系统继电保护工作。E-mail: yangguohui@cgnpc.com.cn