

# 中国智能电网基本特征及其技术进展评述

常 康, 薛 峰, 杨卫东

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

**摘要:** 智能电网被公认为电力系统在 21 世纪的发展趋势。信息化、数字化、自动化、互动化是智能电网的基本特征。文中对中国电力工业发展中智能电网基本特征的技术进展情况进行了回顾, 指出了当前存在的问题, 提出了相应改进建议。最后, 从全局的角度分析了智能电网建设应该注意的问题。

**关键词:** 智能电网; 信息化; 数字化; 自动化; 互动化

**中图分类号:** TM73

## 0 引言

进入 21 世纪后, 美国电力科学研究院 (EPRI)、美国能源部 (DOE) 以及欧盟委员会 (EC) 等纷纷提出各自对未来智能电网的设想和框架<sup>[1-7]</sup>。其中提出的概念包括 IntelliGrid, Modern Grid, GridWise, Smart Grid 等。这些不同的概念对未来电网的特点给出了相似的设想, 即自愈、安全、兼容、交互、协调、高效、优质、集成等。国际电工委员会 (IEC)、国际大电网会议组织 (CIGRE) 等国际组织也给予智能电网高度关注, 如 IEC 成立了智能电网国际战略工作组 SG3, IEEE 启动了智能电网制定标准与互操作性的项目 P2030。

但是, 目前智能电网还处于初期研究阶段, 国际上尚无统一而明确的定义。由于发展环境和驱动因素不同, 不同国家的电网企业和组织都在以自己的方式对智能电网进行理解、研究和实践; 各国智能电网发展的思路、路径和重点也各不相同<sup>[8]</sup>。

近年来, 中国学者在借鉴欧美智能电网研究的基础上, 对中国发展智能电网的特点、技术组成以及实现顺序等进行了研究<sup>[9-15]</sup>。在 2009 年 5 月 21 日—22 日召开的“2009 特高压输电技术国际会议”上, 国家电网公司公布了对智能电网内涵的定义, 即统一坚强智能电网是以坚强网架为基础, 以通信信息平台为支撑, 以智能控制为手段, 包含发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节, 覆盖所有电压等级, 实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合, 是坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代电网。

统一坚强智能电网在技术上包含 4 个基本特

征: 信息化、数字化、自动化、互动化。其中, 信息化是指实时和非实时信息的高度集成、共享和利用; 数字化是指电网对象、结构及状态的定量描述和各类信息的精确高效采集与传输; 自动化是指电网控制策略的自动优选、运行状态的自动监控和故障状态的自动恢复等; 互动化是指电源、电网和用户资源的友好互动和协调运行。

本文对中国电力工业发展中信息化、数字化、自动化和互动化的技术情况进行回顾, 并结合智能电网的特点指出其发展过程中存在的问题, 进而提出相应的建议。

## 1 信息化

### 1.1 电力工业信息化进展

中国电力工业信息化可以追溯到 20 世纪 60 年代<sup>[16-17]</sup>。初期只是电子计算机应用起步阶段, 主要应用在电力实验计算、工程设计与计算、科研计算、发电厂设备自动监测、变电站自动监测等方面; 20 世纪 80 年代以后, 信息技术、计算机技术在电力工程领域得到广泛应用, 如电网调度自动化、发电厂生产自动化控制系统、电力负荷预测与控制、计算机辅助设计、计算机仿真系统等, 各电力企业信息技术的应用由操作层向管理层延伸, 从单机、单项目向网络化、整体性、综合性应用发展, 从局部应用发展到全局应用, 从单机运行发展到网络化运行; 在“十一五”期间, 电力信息化建设已纳入企业总体发展战略, 信息化进一步与电力企业的生产、管理与经营融合。

电力信息化的成果主要体现在:

1) 电力通信硬件设施的不断完善<sup>[18]</sup>。电力通信的传输方式从 20 世纪 70 年代的电力线载波、80 年代的模拟微波、90 年代的数字微波, 到今天以

光纤和数字微波为主,卫星、电力载波、电缆、无线等多种通信方式并存,通信范围已基本覆盖了全国各个网、省公司,电力专用通信网已初具规模。

2) 电力工业软件系统不断升级。电力信息化可分为两大类应用<sup>[19-20]</sup>:一是电力生产控制,如数据采集与监控(SCADA)系统、分散控制系统(DCS)、配电管理系统(DMS)、能量管理系统(EMS)、相量测量单元/广域测量系统(PMU/WAMS);二是电力企业管理,如管理信息系统(MIS)、企业资源规划(ERP)、企业资产管理(EAM)、自动作图/设备管理/地理信息系统(AM/FM/GIS)、电能计量(TMR)、电力营销系统等。

3) 进入“十一五”之后,国家电网公司开始实施“SG186”信息化工程<sup>[21]</sup>,这是电力信息化建设新时期的标志性事件。许多示范工程成果已经纷纷上线,如华东电网企业级信息系统项目、华北电网企业级信息技术集成平台项目、西北电网 ERP 项目、上海电力“SG186”示范工程等。

## 1.2 问题与建议

在电力系统信息化建设中暴露出诸多问题:缺乏统一的标准体系,存在重复建设;信息孤岛众多,信息集成度低,无法相互协作发挥整合效益;企业管理信息系统与生产控制系统通常相互分离;信息化建设过程中,过多地投入到设备的自动控制、数据信息的收集共享,却忽视了对信息的整理和挖掘。

针对上述问题,建议有步骤地开展以下工作:

1) 加快制定电力行业信息化标准。在《国家电网公司“十一五”信息发展规划》的指导下,按照相关的成熟信息技术标准体系,统一数据编码,统一制定软件架构标准体系,统一制定电力业务标准、文档标准和服务标准等相关规范。

2) 建设统一的电力信息平台。以“SG186”工程为契机,整合现有各信息管理平台,争取尽早实现整个电力大企业的数据一体化、集成应用一体化、电力服务一体化。

3) 电力企业管理信息系统与电力生产控制系统有机结合。如 MIS 与 EMS 等系统之间实现信息双向传输,形成综合信息系统。

4) 加强数据深层挖掘研究和应用。在未来的统一信息平台中,集成系统内各部门、各种业务的信息,甚至集成系统外的公共服务系统信息(如天气信息、地质灾害信息等)。但是随着信息量的剧增,必须结合先进的信息存取机制和数据挖掘技术,才能真正有效地为电力系统服务。

## 2 数字化

### 2.1 电力系统数字化进展

1998年1月31日,美国前副总统戈尔在加利福尼亚科学中心讲演时首次提出了“数字地球”的理念。随后,各个行业也纷纷提出自己的数字化理念,如“数字城市”、“数字水利”、“数字电网”等。

2000年,卢强院士在国内首次提出了“数字电力系统(digital power systems, DPS)”的概念<sup>[22]</sup>。文献[22]将 DPS 定义为:“它是某一实际运行的电力系统的物理结构、物理特性、技术性能、经济管理、环保指标、人员状况、科教活动等数字地、形象化地、实时地描述与再现。”可见,电力系统数字化涵盖系统运行、企业管理、外部环境等所有方面,实现对研究对象的实时描述与再现 2 个方面的功能。

文献[23]在 DPS 的基础上提出了“数字南方电网”的概念。该文提出的“数字南方电网”有 2 层含义,即数字化南方电网和智能化南方电网。其中:数字化阶段的目标是实现管理、安全、运行等信息的获取、传递和使用的数字化;而智能化阶段的目标则是在数字化的基础上,实现全局性智能决策以及智能决策的自动分解、执行。

综上所述,数字化包括 2 个方面的工作:①对系统状态、企业管理、外部环境等信息的数字表示,这与信息化建设密切相关<sup>[24]</sup>;②基于数字仿真的高级应用系统,这与自动化建设紧密联系<sup>[25]</sup>。这也从一个侧面说明,智能电网的“四化”建设是一个有机的整体,相辅相成,互相促进。

目前,电力系统离线仿真软件都是电磁暂态与机电暂态分离,实时仿真主要还是依靠数模混合仿真系统。电力系统实时数字仿真器(real time digital simulator)正得到越来越广泛的应用。电力系统仿真必然朝着全过程超实时全数字的方向发展<sup>[26]</sup>。

当前,调度侧基于 SCADA、PMU/WAMS 等数据采集传输系统开发了 EMS、在线动态安全分析(DSA)系统以及广域监测分析保护控制系统 WARMAP<sup>[27]</sup>等高级应用系统。这些可以看做是数字化电网的初级阶段。

### 2.2 问题与建议

在电力系统数字化建设过程中暴露出如下问题:

1) 厂站侧的数字化进程滞后于调度侧。调度侧的高级应用系统已经相对较为丰富和先进,但是厂站侧大多停留在数据采集、传输阶段;当前的“数字化变电站”仍然处于示范阶段,离实际的规模应用还

有一段距离。

2) 调度侧的高级应用系统缺少集成和统一的标准。

3) 对某些元件的数学模型有待进一步深入研究, 如负荷模型、风电机组控制模型、风速模型、光伏系统模型等。

4) 缺少系统以外的重要信息, 如光照、风力、地质运动等。

针对上述问题, 建议有步骤地开展以下工作:

1) 积极推进厂站侧数字化进程。具体来说有:

①在 IEC 61850 标准的指导下, 推动数字化变电站建设; ②实现输电元件的测量、保护、控制、通信一体化, 实现对输电元件的数字化监测以及分散式的智能决策; ③实现发电厂的数字化生产, 如汽机/锅炉的效率管理、发电机的调频/调压管理等。

2) 加强调度侧高级应用系统的集成和标准化建设。“华北电网稳态、动态、暂态三位一体安全防御及全过程发电控制系统”首次将以往分散的 EMS、电网广域动态监测系统、在线稳定分析预警系统高度集成, 调度人员无需在不同系统和平台间频繁切换, 便可实现对电网综合运行情况的全景监视并获取辅助决策支持。该方面的经验值得借鉴和推广。

3) 加强系统元件数学模型研究, 尤其是一些传统难点(如负荷模型)或新兴元件(如风电机组、光伏电站、柔性交流输电系统(FACTS)设备等)的数学模型分析。精确且物理意义明确的数学模型, 可以更好地指导数字化过程中的数据采集、状态监测、安全控制等。

4) 积极与公共服务系统配合, 将对系统安全稳定影响较大的外部信息(如天气、地质等)数字化, 并集成到相应的决策分析系统中<sup>[27]</sup>, 为电力系统避免自然灾害导致的大停电提前做好准备。

## 3 自动化

### 3.1 电力系统自动化进展

传统电力系统自动化按照领域可划分为调度自动化、厂站自动化和配电自动化<sup>[28-29]</sup>。

电网调度自动化系统发展迄今已经历 3 代<sup>[29-30]</sup>: 20 世纪 70 年代基于专用计算机和专用操作系统的 SCADA 系统可以称为第 1 代; 80 年代基于通用计算机的 EMS 称为第 2 代; 90 年代基于 RISC/UNIX 的开放式分布式 EMS/DMS 称为第 3 代。文献<sup>[30]</sup>指出: “随着计算机和网络技术的飞速发展, 第 4 代自动化系统的基础条件如 Internet 技术、面向对象技术、数据库技术、Java 技术、中间件技术、多代理技术、厂站自动化技术、安全防护技

术、电力市场运营技术等已经具备, 预计新一代自动化系统将于 21 世纪初诞生。”

厂站自动化随着计算机、自动化、通信和网络技术的发展, 大体经历了集中式、分层分布式和现场总线式 3 个发展阶段<sup>[28]</sup>。

中国配电自动化的进程明显落后于世界先进水平。西方发达国家的配电自动化已经经历了 3 个阶段<sup>[31]</sup>: 第 1 阶段是 20 世纪 70 年代实现重要线路故障自动隔离、自动抄表等; 第 2 阶段从 20 世纪 80 年代开始, 进行了大量的配电自动化试点工作及馈线自动化、营业自动化、负荷控制的试点工作; 第 3 阶段从 20 世纪末开始, 伴随计算机与网络通信技术发展以及电力工业市场化改革, 以配电管理系统、配电自动化、用户自动化为主要内容的综合自动化成为配电网自动化的发展方向。1999 年原国家电力公司《配电系统自动化规划设计导则》正式对“配电系统自动化”的概念进行了定义。中国从 20 世纪 90 年代中后期开始了配电自动化的试点工作, 目前基本处于发达国家发展历程中的第 2 阶段。

事实上, 按照自动控制的功能可以将电力系统各项控制措施划分为“三道防线”<sup>[32]</sup>。“三道防线”的概念是中国电力工作者对电力技术的重要贡献。随着电力系统越来越复杂, 以及测量、通信技术的发展, “三道防线”必然朝着在线、优化、协调、自适应和综合防御的方向发展<sup>[33-35]</sup>。

### 3.2 问题与建议

在电力系统自动化发展过程中存在如下问题:

1) 调度侧各种控制系统或辅助决策系统, 种类较多, 缺少集成和统一标准; 另外, 调度侧仍需人工参与才能实现闭环控制, 缺少智能专家系统支持。

2) 厂站端的自动控制装置依然以 PID 控制为主。PID 有简单、可靠的优点, 但在某些场合下, 已不能满足智能电网对自动化的要求。

3) 相对于调度自动化处于世界领先水平, 中国的厂站自动化, 尤其是配电自动化水平仍较低。

4) 各种控制措施以分散、独立控制为主, 缺少彼此间的协调优化。

针对上述问题, 建议有步骤地开展以下工作:

1) 类似于数字化与信息化中的标准化建设, 统一调度侧各控制系统的功能、接口、数据库等。

2) 加快智能控制方法的工程化进程, 如专家系统、多代理系统等。依靠智能控制方法, 减少人工参与, 实现实时在线的定值修改、策略搜索、在线自动控制等功能。

3) 借鉴国外在综合自动化方面的经验, 积极发展配电自动化。配电自动化是实现用户与电网互动

的重要环节,是智能电网建设的重要组成部分,需引起高度重视。

4)深入研究各种安全稳定问题的机理和控制措施原理,达到全局范围内的自动控制措施的优化协调,如“三道防线”间的协调、有功/无功控制间的协调、频率/电压控制间的协调等。

## 4 互动化

### 4.1 电力系统互动化进展

如果说信息化、数字化和自动化是实现智能电网的手段,那么,互动化则可以称为智能电网的目的和本质要求。文献[15]则直接将智能电网称为“互动电网”。

智能电网中的互动化包含2层含义:①发电与电网之间的互动;②电网与用户之间的互动。电网为发电商提供透明公开的电价信息,发电商之间通过报价竞标参与博弈。同样的道理,用户也通过透明公开的电价信息决定用电量和自有分布式电源的使用情况。通过电力市场参与者之间的互动,实现社会效益最大化。

电力工业市场化改革使得发电与电网之间的互动成为可能。1998年,国务院办公厅发文,首次正式明确要求电力工业实行“厂网分开、竞价上网”,并确定6省(市)电网为首批试点单位。2002年2月国务院颁布《电力体制改革方案》(国发[2002]5号文),标志中国电力市场改革的开始。国家电力监管委员会、国家电网公司、南方电网公司及五大发电集团公司相继挂牌成立<sup>[36-37]</sup>。电力市场有3种交易方式,即现货交易、期货交易和远期合约交易<sup>[38]</sup>。发电商通过博弈,合理地决定在各个市场中的投标发电量<sup>[39]</sup>,实现发电与电网之间的互动。

用户参与是电力市场改革的必然趋势<sup>[40]</sup>。发电侧开放和用户侧开放,是电力市场化改革的2个方面,缺一不可。但目前中国电力体制改革,仍然局限在行业内部,没有真正扩大到用户端。用户侧仍停留在大用户直购电的试点阶段。

可再生能源发电是智能电网互动化面临的新问题。2005年颁布《中华人民共和国可再生能源法》之后,不仅大型并网风电场和光伏电站得到快速发展,而且与新能源密切相关的分布式发电也得到迅速发展,如光伏建筑一体化(BIPV)等。

可见,在可再生能源发电快速发展的新的市场环境下,将赋予智能电网互动化新的内涵:①在《节能发电调度办法(试行)》的约束下,发电商之间的博弈与互动呈现新的格局;②用户侧同时拥有可并网的分布式发电设备,可以根据信息平台的实时电价

信息,积极地参与到电力供需平衡中。

### 4.2 问题与建议

在电力系统互动化发展过程中存在如下问题:

1)在发电商竞价上网的过程中,“三公”(公开、公正、公平)原则的力度不够,其主要原因是市场透明度不够,还不能真正实现发电与电网的互动。相信随着统一信息平台的建设,市场透明度会得到有效改善。

2)可再生能源发电(尤其是风力发电和光伏发电)的装机容量快速增长。但是,目前对可再生能源发电并网的相关研究(如对系统影响、并网技术规范等)相对滞后。

3)用户侧硬件装置和软件配置还不具备与电网互动的智能化条件。

针对上述问题,建议有步骤地开展以下工作:

1)建立公开、透明的统一电力市场信息平台,并逐步纳入电网统一信息平台之中。另外,随着特高压全国联网的实现,有必要加快全国电力市场的建设进程。

2)加快可再生能源并网对系统安全稳定影响的研究,并制定、完善相应的并网标准。目前,现行的风电场接入电力系统技术规定<sup>[41]</sup>已过有效期,且内容缺乏对具体技术性能指标的明确规范,对风电机组的低电压穿越能力也未明确规范要求。国家电网公司2009年4月颁布了风电场接入电网技术规定的修订版<sup>[42]</sup>在技术上比较全面合理,但仅作为企业标准缺乏有效的约束力,应考虑将其升级为国家标准。国家电网公司于2009年7月公布的光伏电站接入电网技术规定<sup>[43]</sup>开始试行。实际上,这些标准都需要在实践中不断地检验和完善,最终目标是实现分布式电源的“即插即用”。

3)着力开展双向互动营销技术、高级量测技术等研究,并开展智能电器和智能电表研发。作为电力系统的终端设备,智能电表应该能够为用户提供当前的市场信息、电能质量信息、系统安全稳定信息;智能电器可以根据智能电表提供的各种信息,并结合用户设定的规则进行工作。

## 5 结语

综上所述,有以下几点需要特别注意:

1)“四化”是一个相辅相成的有机整体。信息化、数字化、自动化是手段,互动化是目的。应该科学规划,保证“四化”建设齐头并进,才能确保智能电网更好、更快的建设。

2)加强标准化建设。技术支撑体系(如统一信息平台)和智能应用体系(如高级调度中心)的建设

都必须以标准规范体系为基础。

3) 积极推动全国电力市场建设。特高压输电以及全国联网使得全国电力市场建设成为必然。

4) 加强可再生能源发电及其并网研究。风力发电、光伏发电的随机性大,如何实现“即插即用”将是一个长期的研究课题。

## 参考文献

- [1] EPRI. Profiling and mapping of intelligent grid R&D programs [R/OL]. [2008-12-21]. [http://www.electricitydeliveryforum.org/2007/pdfs/EPRI\\_Report\\_1-07.pdf](http://www.electricitydeliveryforum.org/2007/pdfs/EPRI_Report_1-07.pdf).
- [2] HAASE P. IntelliGrid: a smart network of power [EB/OL]. [2008-11-15]. [http://mydocs.epri.com/docs/CorporateDocuments/EPRI\\_Journal/2005-Fall/1012885\\_IntelliGrid.pdf](http://mydocs.epri.com/docs/CorporateDocuments/EPRI_Journal/2005-Fall/1012885_IntelliGrid.pdf).
- [3] U. S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiative: a vision for modern grid [EB/OL]. [2008-06-01]. <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/docs>.
- [4] European Commission. European technology platform smart grids: vision and strategy for Europe's electricity networks of future [EB/OL]. [2008-10-10]. [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf).
- [5] EPRI. EPRI's IntelliGrid program [EB/OL]. [2009-02-03]. <http://www.epri-intelligrid.com/intelligrid/home.jsp>.
- [6] U. S. Department of Energy. The U. S. Department of Energy's GridWise program [EB/OL]. [2009-02-03]. <http://www.gridwise.org>.
- [7] HUGHES J. The integrated electric communication system architecture (IECSA), White Paper. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2003.
- [8] 肖杰杰. 构建中国智能电网技术思考. 电力系统自动化, 2009, 33(9):1-4.  
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.
- [9] 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. 中国电力企业管理, 2009(4):19-21.
- [10] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述. 电网技术, 2009, 33(8):1-7.  
CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7.
- [11] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.  
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid. Power System and Clean Energy, 2009, 25(1): 7-11.
- [12] 余贻鑫. 智能电网的技术组成和实现顺序. 南方电网技术, 2009, 3(2):1-5.  
YU Yixin. Technical composition of smart grid and its implementation sequence. Southern Power System Technology, 2009, 3(2): 1-5.
- [13] 韩晓平. 智能电网: 信息革命和新能源革命的整合. 电力需求侧管理, 2009, 11(2):5-7.  
HAN Xiaoping. Intelligent grid: the integration of information revolution and energy revolution. Power Demand Side Management, 2009, 11(2): 5-7.
- [14] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网. 中国电力, 2008, 41(6):19-22.  
XIE Kai, LIU Yongqi, ZHU Zhizhong, et al. The vision of future smart grid. Electric Power, 2008, 41(6): 19-22.
- [15] 武建东. 智能电网与中国互动电网创新发展. 电网与清洁能源, 2009, 25(4):5-8.  
WU Jiandong. Innovative development of smart power grid and interactive smart grid in China. Power System and Clean Energy, 2009, 25(4): 5-8.
- [16] 乔建国. 电力信息平台的构建研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [17] 王聪生. 论电力信息化的特点及其发展. 电力信息化, 2003, 1(2):18-21.
- [18] 中国电机工程学会电力信息化专业委员会. 2004 电力信息化发展综述报告. 电力信息化, 2005, 3(3):20-25.
- [19] 辛耀中. 电力信息化几个问题的探讨. 电力信息化, 2003, 1(3): 20-23.
- [20] 王继业. 对电力体制改革后电力信息化建设模式的分析与探讨. 电力信息化, 2004, 2(1):12-16.
- [21] 辜体仁. 谈电力信息化“十一五”规划. 电力信息化, 2007, 5(1): 30-32.
- [22] 卢强. 数字电力系统(DPS). 电力系统自动化, 2000, 24(9):1-4.  
LU Qiang. Digital power systems. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(9): 1-4.
- [23] 张弥, 吴国青, 吴小辰, 等. “数字南方电网”构想. 电力系统自动化, 2007, 31(23):94-98.  
ZHANG Mi, WU Guoqing, WU Xiaochen, et al. Strategy vision of “Digital China Southern Power Grid”. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(23): 94-98.
- [24] 余虎, 姚建刚, 罗滇生, 等. 数字电力系统基础架构平台的设计与实现. 电力系统自动化, 2006, 30(18):94-97.  
YU Hu, YAO Jiangan, LUO Diansheng, et al. Design and implementation of base platform on digital power system. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(18): 94-97.
- [25] 黄梅. 电力系统安全稳定控制与数字电力系统. 华北电力技术, 2001(2):12-13.  
HUANG Mei. Electric power system security and stability control & digital power system. North China Electric Power, 2001(2): 12-13.
- [26] 汤涌. 电力系统数字仿真技术的现状与发展. 电力系统自动化, 2002, 26(17):66-70.  
TANG Yong. Present situation and development of power system simulation technologies. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(17): 66-70.
- [27] 薛禹胜, 费圣英, 卜凡强. 极端外部灾害中的停电防御系统构思:(一)新的挑战与反思. 电力系统自动化, 2008, 32(9):1-6.  
XUE Yusheng, FEI Shengying, BU Fanqiang. Upgrading the blackout defense scheme against extreme disasters; Part I new challenges and reflection. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9):1-6.
- [28] 王强, 韩英铎. 电力系统厂站及调度自动化综述. 电力系统自动化, 2000, 24(5):61-69.  
WANG Qiang, HAN Yingduo. Survey of power plant and substation automation and automation of power system

- dispatching. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(5): 61-69.
- [29] 陆延昌. 用自动化技术带动中国电力工业的现代化建设. 电力系统自动化, 2004, 28(24): 1-4.
- [30] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势. 电网技术, 2001, 25(12): 1-10.  
XIN Yaozhong. Development trend of power system dispatching automation technique in 21st century. Power System Technology, 2001, 25(12): 1-10.
- [31] 黄志伟, 严正, 陈允平, 等. 电力市场环境下配电系统综合自动化探讨. 电力自动化设备, 2004, 24(5): 79-83.  
HUANG Zhiwei, YAN Zheng, CHEN Yunping, et al. Distribution system integrated automation in power market environment. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(5): 79-83.
- [32] DL 755—2001 电力系统安全稳定导则. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [33] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (一) 从孤立防线到综合防御. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 8-16.  
XUE Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part I from isolated defense lines to coordinated defending. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 8-16.
- [34] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (二) 广域信息、在线量化分析和自适应优化控制. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 1-10.  
XUE Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part II reliable information, quantitative analyses and adaptive controls. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 1-10.
- [35] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (三) 各道防线内部的优化和不同防线之间的协调. 电力系统自动化, 2006, 30(3): 1-10.  
XUE Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part III optimization and coordination of defense-lines. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(3): 1-10.
- [36] 牛东晓, 陈志强. 电力市场的改革与发展综述. 华东电力, 2008, 36(11): 99-102.  
NIU Dongxiao, CHEN Zhiqiang. Review of electricity market reform and development. East China Electric Power, 2008, 36(11): 99-102.
- [37] 刘宝华, 王冬容, 赵学顺. 电力市场建设的几个本质问题探讨. 电力系统自动化, 2009, 33(1): 1-5.  
LIU Baohua, WANG Dongrong, ZHAO Xueshun. Investigation on some essential issues of electricity market building in China. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(1): 1-5.
- [38] 吴军, 涂光瑜, 罗毅, 等. 电力市场交易方式分析. 电力系统自动化, 2002, 26(12): 1-6.  
WU Jun, TU Guangyu, LUO Yi, et al. Analyzing on the exchange mode of power market. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(12): 1-6.
- [39] 任震, 黄福全, 黄雯莹, 等. 电力市场中的发电厂投标组合策略. 电力系统自动化, 2002, 26(2): 14-17.  
REN Zhen, HUANG Fuquan, HUANG Wenying, et al. Bidding strategy for power plant in multi-electricity markets. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(2): 14-17.
- [40] 史连军, 韩放. 中国电力市场的现状与展望. 电力系统自动化, 2000, 24(3): 1-4.  
SHI Lianjun, HAN Fang. Status quo and prospects of power market in China. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(3): 1-4.
- [41] GB/Z 19963—2005 风电场接入电力系统技术规定. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [42] 国家电网公司. 国家电网公司风电场接入电网技术规定(修订版). 北京: 2009.
- [43] 国家电网公司. 国家电网公司光伏电站接入电网技术规定(试行). 北京: 2009.

常 康(1983—), 男, 通信作者, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 电力系统安全稳定分析与控制、可再生能源发电。  
E-mail: changkang@sgepri.com

薛 峰(1971—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 电力系统安全稳定分析与控制。

杨卫东(1967—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 电力系统安全稳定分析与控制。

## Review on the Basic Characteristics and Its Technical Progress of Smart Grid in China

CHANG Kang, XUE Feng, YANG Weidong

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Smart grid is recognized as the development trends of power system in 21st century. Informatization, digitization, automation and interaction are the four basic characteristics (abbreviated as “Four-tions”) of smart grid. The progress of the construction of “Four-tions” in the development of electricity industry of China is summarized. The existing problems are pointed out, and the corresponding suggestions for improving “Four-tions” are proposed. Finally, the important issues of the construction of “Four-tions” are given from an overall perspective.

**Key words:** smart grid; informatization; digitization; automation; interaction