

# 分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战

王成山, 李 鹏

(天津大学电力系统仿真控制教育部重点实验室, 天津市 300072)

**摘要:** 介绍了分布式发电、微网与智能配电网的基本概念和发展趋势, 从分布式电源大规模接入的角度重点分析了分布式发电技术和微网技术对智能配电网的影响以及应重点关注的技术问题。分布式发电技术有助于充分利用各地丰富的清洁可再生能源, 但分布式电源大规模的并网运行将会对电力系统的安全稳定和调度运行带来一定影响; 微网技术通过不同层次的结构为各种分布式电源的并网运行提供接口, 是发挥分布式电源效能的有效方式; 智能配电网则可通过对微网的有效管理实现分布式电源的灵活接入与整个电力系统的安全、可靠、经济运行。最后, 通过对三者的分析对实现智能配电网的思路与技术手段提出建议。

**关键词:** 智能电网; 分布式发电; 微网; 配电网

## 0 引言

当前, 作为集中式发电的有效补充, 分布式发电及其系统集成技术<sup>[1-2]</sup>已日趋成熟。随着单位千瓦电能生产价格的不断下降以及政策层面的有力支持, 分布式发电技术正得到越来越广泛的应用。各种分布式电源(distributed energy resource)的并网发电对电力系统的安全稳定运行提出了新的挑战, 一些分散的小容量分布式电源对于系统运行人员而言往往是“不可见”的, 而一些集中的大型分布式电源又通常是“不可控”或“不易控”的。正像大容量风电场或大容量光伏电站的接入对输电网的安全稳定运行带来诸多影响一样, 当中低压配电网中的分布式电源容量达到较高的比例(即高渗透率)时, 要实现配电网的功率平衡与安全运行, 并保证用户的供电可靠性和电能质量也有很大困难。当前的配电网可能并不能适应分布式电源大规模接入的要求。

微网技术的提出旨在中低压层面上实现分布式发电技术的灵活、高效应用, 解决数量庞大、形式多样的分布式电源并网运行时的主要问题, 同时由于它具备一定的能量管理功能, 并尽可能维持功率的局部优化与平衡, 可有效降低系统运行人员的调度难度。特别地, 微网的独立运行模式可以在外部电网故障时继续向关键负荷供电, 提高了用电的安全性和可靠性。在未来, 微网技术是实现分布式发电系统大规模应用的关键技术之一。

智能电网(smart grid)主要是基于通畅的双路

通信、高级传感器和分布式计算技术实现电网运行和控制的信息化与智能化, 其目的是改善能源结构和利用效率, 满足各种关键的功能需求, 提高电力传输的经济性、安全性和可靠性。智能电网涉及发电、输电、变电、配电、用电以及调度等 6 个环节<sup>[3]</sup>。其中, 智能配电网发展的目标之一就是解决大量分散的分布式电源在配电网中的运行问题, 但如果由智能配电网直接管理网络中的分布式电源则可能由于数量巨大而导致难以调度, 同时电源的不同归属也无法保证调度指令能够被快速、准确、有效地执行, 微网技术可能是解决这一矛盾的有效途径。未来智能配电网可能并不直接面向各种分布式电源, 而是通过微网实施对分布式电源的有效管理。通过微网可实现大量分布式电源的接入, 既保证了对配电网的安全运行产生尽可能小的影响, 又能够实现分布式电源的“即插即用”, 同时可以最大限度地利用可再生能源和清洁能源。相对于传统配电网, 智能配电网具有高度信息化、自动化和智能化的特点, 对分布式电源将能够做到“看得见, 管得了, 用得好”。

分布式发电技术将成为未来一种重要的电能生产方式, 它与微网和智能配电网一起将改变电力系统中低压层面的结构与运行方式, 即以智能配电网为平台, 有效地整合分布式发电技术与微网技术, 发挥它们的技术优势, 真正实现电力系统的安全、环保与高效运行。正因为如此, 对智能配电网的技术需求从未像今天这样迫切。

## 1 分布式发电

分布式发电是指利用各种可用和分散存在的能源, 包括可再生能源(太阳能、生物质能、小型风能、

收稿日期: 2009-08-03; 修回日期: 2009-12-07。

国家自然科学基金资助项目(50595412, 50625722); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB219700)。

小型水能、波浪能等)和本地可方便获取的化石类燃料(主要是天然气)进行发电供电的技术。小型的分布式电源容量通常在几百千瓦以内,大型的分布式电源容量可达到兆瓦级。灵活、经济与环保是分布式发电技术的主要特点,但是,一些可再生能源具有的间歇性和随机性等特点,使得这些电源仅依靠自身的调节能力难以满足负荷的功率平衡,通常还需要其他内部或外部电源的配合。目前,比较成熟的分布式发电技术主要有风力发电、光伏发电、燃料电池和微型燃气轮机等几种形式。

近年来,欧盟在第5、第6和第7框架计划(The 5th, 6th and 7th Framework Programme)的“能源、环境与可持续发展”主题下支持了一系列与可再生能源和分布式发电接入技术有关的研究项目;美国政府则通过资助其国内为数众多的研究机构、高等学校、电力企业和国家实验室开展专门的或交叉项目的研究<sup>[4-5]</sup>。这些项目的实施为分布式发电技术的成熟化、规模化应用奠定了良好的基础。2009年,中国国家科技部通过“973”计划项目专门资助了分布式发电供电系统的相关基础研究<sup>[6]</sup>,为中国在这一领域的基础性研究工作提供了有力支持。

### 1.1 分布式发电系统运行特性

分布式发电系统通常包括能量转换装置(即分布式电源)及控制系统,并通过电气接口与外部电网相连,如图1所示。

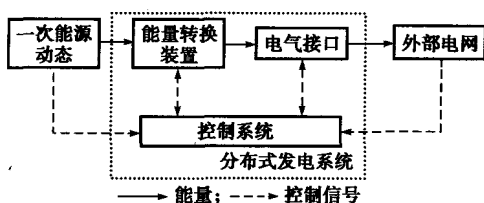


图1 分布式发电系统组成

Fig.1 Configuration of distributed generation system

分布式发电技术的千差万别使得各种分布式电源具有完全不同的动态特性,而分布式发电系统的动态特性却不仅仅体现其电源本身的特性,除了少数直接并网的分布式电源外,其他大多通过电力电子装置并网,因此,分布式发电系统的动态特性还包括电力电子变流器及其控制系统的特性;此外,一些分布式电源需要详细考虑外界条件的约束和限制。从数学上讲,分布式发电系统是一个由上述各环节相互耦合的强非线性系统,其动态特性是各元件在各个时间尺度上动态特性的叠加,这为分布式发电系统动态特性的分析带来了较大困难,但详细了解各种分布式电源的动态特性对系统运行人员而言却

又是十分重要的。

### 1.2 分布式发电相关技术问题

考虑到经济性,各种分布式电源只有并网运行(具有并网运行功能)才能有效发挥其技术优势。分布式电源自身的特性决定了一些电源的出力将随外部条件的变化而变化,因此,这些电源不能独立地向负荷供电,不可调度,需要其他电源或储能装置的配合以提供支持和备用。此外,分布式电源的并网运行改变了系统中的潮流分布,对配电网而言,由于分布式电源的接入导致系统中具有双向潮流,给电压调节、保护协调与能量优化带来了新问题。

当前,一些分布式电源在系统侧发生故障时自动退出运行,加剧了系统暂态功率不平衡,不利于系统的安全性和稳定性;同时,为数众多、形式各异、不可调度的分布式电源将给依靠传统集中式电源调度方式进行管理的系统运行人员带来更大的困难,缺乏有效的管理将导致分布式电源运行时的“随意性”,给系统的安全性和稳定性造成隐患。因此,有必要对并网运行的分布式电源加以规范。目前,国际上比较有影响力的分布式电源并网导则是由IEEE制定的IEEE 1547系列标准,其发布情况参见附录A。今后,包括对分布式电源的规范、并网的认证标准以及电力电子设备的要求都将会成为IEEE 1547系列标准的一部分。

分布式发电技术的多样性增加了并网运行的难度,而独自并网的分布式电源易影响周边用户的供电质量,同时很难实现能源的综合优化,这些问题都制约着分布式发电技术的发展。总之,阻碍分布式发电获得广泛应用的难点不仅仅是分布式发电本身的技术壁垒,现有的电网技术也还不能完全适应分布式发电技术的接入要求。

## 2 微网

微网是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统,是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统,既可以与外部电网并网运行,也可以孤立运行。从微观看,微网可以看做是小型的电力系统,它具备完整的发输配电功能,可以实现局部的功率平衡与能量优化,它与带有负荷的分布式发电系统的本质区别在于同时具有并网和独立运行能力。从宏观看,微网又可以认为是配电网中的一个“虚拟”的电源或负荷。

现有研究和实践表明,将分布式电源以微网形式接入到电网中并网运行,与电网互为支撑,是发挥分布式电源效能的最有效方式,具有巨大的社会与

经济意义,体现在:①可大大提高分布式电源的利用率;②有助于电网灾变时向重要负荷持续供电;③避免间歇式电源对周围用户电能质量的直接影响;④有助于可再生能源优化利用和电网的节能降损等。当前,微网实验室和示范工程的建设格外令人关注,欧盟以及美国、加拿大、日本等国家都建成了具有各自特点的微网项目,并开展了相关领域的研究工作<sup>[7-8]</sup>。

### 2.1 微网结构

为了满足不同的功能需求,微网可以有多种结构<sup>[9]</sup>,如图2所示。

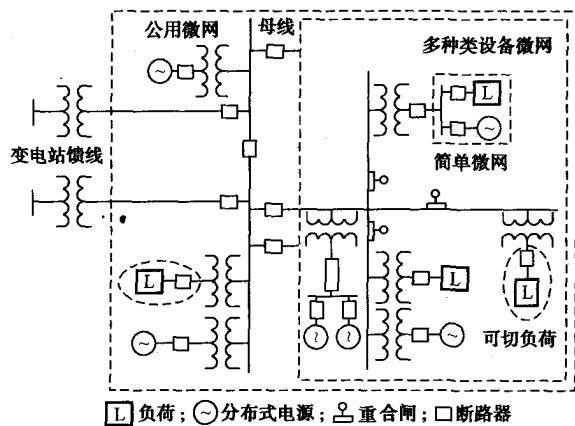


图2 微网结构示意图

Fig. 2 Illustration of micro-grid structure

简单微网中一般仅含有一类分布式电源,其功能和设计也相对简单,如仅为了实现冷热电联供(CCHP)的应用或保障关键负荷的供电。多种类设备微网内含有不止一类分布式电源,它可能由多个不同的简单微网组成或者由多种性质互补协调运行的分布式电源构成。相对于简单微网,多种类设备微网的设计与运行则更加复杂,为此,网络中应配备一定数量的可切负荷,以便在紧急情况下的孤岛运行时维持微网的功率平衡。微网的高级形式是公用微网。在公用微网中,凡是满足一定技术条件的分布式电源和微网都可以接入,它根据用户对可靠性的要求进行负荷分级,紧急情况下首先保证高优先级负荷的供电。微网的分层结构很好地解决了微网运行时的归属问题:简单微网可以由用户所有并管理;公用微网则可由供电公司运营;多种类设备微网既可属于供电公司,也可属于用户。对属于用户的微网,只需要达到公共连接点(PCC)处的并网要求即可并网运行,供电公司则负责监测PCC的各种信息量并提供辅助服务。

### 2.2 微网运行特性及相关技术问题

如前所述,微网既可以看做是一个小型的电力

系统,也可以看做是配电网中一个虚拟的电源或负荷。微网的运行特性也包含了2方面含义:一方面是微网自身的运行特性,这主要在微网独立运行时体现;另一方面则是微网与外部电网的相互作用,这主要在微网并网运行时体现。图3给出了微网的各种运行状态及其之间的相互转化。

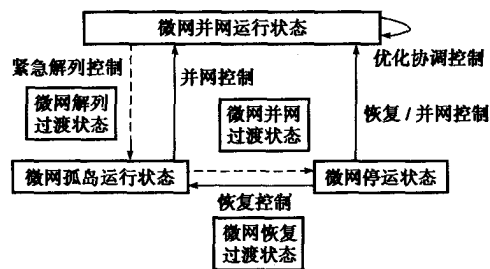


图3 微网运行状态

Fig. 3 Operation modes of micro-grid

了解微网自身的运行特性是认知微网与外部电网相互作用机理的基础。微网中存在的多种能源输入(光、风、氢、天然气等)、多种能源输出(电、热、冷)、多种能量转换单元(光/电、热/电、风/电、交流/直流/交流)以及多种运行状态(并网、独立)使得微网的动态特性相对于单个的分布式发电系统而言更加复杂,除了各分布式发电单元的动态特性外,网络结构与网络类型(直流微网或交流微网)也将一定程度上影响着微网的动态特性。

微网的出现将完全改变配电网的结构和运行特性,许多与输电网安全性、保护与控制等相类似的问题也同样需要关注,但由于二者在功能、结构和运行方式上的不同,关注的重点与研究方法也将截然不同。微网的最终目标是实现各种分布式电源的无缝接入,即用户感受不到网络中分布式电源运行状态改变(并网或退出运行)及出力的变化而引起的波动,表现为用户侧的电能质量完全满足用户要求。实现这一目标关系到微网运行时的一系列复杂问题,包括:①微网运行特性及与外部电网相互作用机理;②微网自身的保护与控制;③微网经济运行与能量优化管理等方面。

### 3 智能配电网

智能电网以实现电网的安全稳定运行,降低大规模停电的风险,使分布式电源得到有效利用,同时提高电网资产的利用率以及用户用电的效率、可靠性和电能质量为主要目标<sup>[10]</sup>。

智能输电网立足于提高输电网运行的安全性和稳定性,降低全网大规模停电的风险,实现能源的广域优化配置以及大型可再生能源的集约化开发。智

能输电网的建设为智能配电网的实现提供了坚强的网架基础<sup>[3]</sup>,保证了智能配电网发展的可持续性。

与智能输电网一样,智能配电网也通过应用各种先进的信息技术,实现电网的数字化、信息化、自动化和智能化,并最终实现配电网与用户间的互动,以满足未来各种关键的技术需求,这包括:实现资产优化提高运行效率;兼容各种分布式电源和储能设备;创造新的产品、服务和市场;实现用户的积极参与;提高配电网的安全性,电网故障时具有自愈功能;提高配电网的稳定性,以灵活的运行方式抵御各种物理破坏、网络攻击和自然灾害;根据需求提供不同质量的电能。

### 3.1 智能配电网组成

作为智能电网的重要组成部分,智能配电网包括智能表计(smart metering)、智能网络(smart networks)和智能运行(smart operations)3个部分。智能表计用以实现网络中的数据测量、收集、存储、分析与双向传输,技术上依靠高级量测体系(AMI)实现<sup>[11]</sup>。智能表计提高了系统的可观性,只有首先实现电网的信息化才可能实现电网的智能化。对于智能网络,未来可能并不仅限于电力传输,而是包含了其他形式能源的智能能源网。智能运行基于智能表计的量测数据完成各种计算与分析功能,通过智能决策对智能配电网进行控制,以实现运行效率的优化和系统安全性的改善,满足各类不同的商业需求。智能运行是实现智能配电网的关键,也是技术难度最大的部分。对此,输电网和配电网分别具有不同的功能需求<sup>[10-12]</sup>。智能配电网与智能输电网的最大区别也体现在智能运行方面,通过与用户的互动,智能配电网可以衍生出一系列新的产品与服务,其中蕴含着巨大的商业价值。智能电网的投资回报也要靠各种创新的商业需求来体现。图4给出了智能配电网中的技术层次示意图。

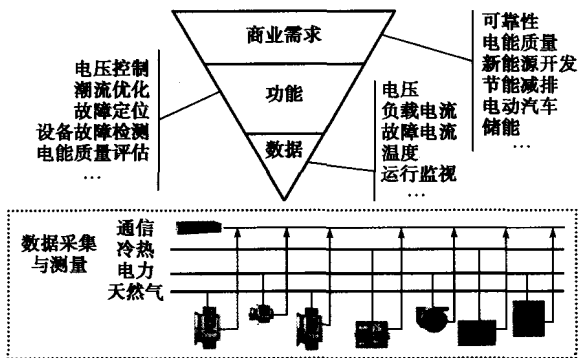


图4 未来智能配电网的技术层次  
Fig. 4 Technical levels of smart distribution system in future

### 3.2 智能配电网相关技术问题

智能配电网的发展动力主要来源于技术上的推动和商业需求的拉动。从技术上看,分布式发电技术、通信与信息技术的发展是促进配电网向智能化方向发展的最大动力。其中,分布式发电技术的需求又更为迫切。大量的分布式电源通过微网接入到配电网中必将产生深远的影响。这些影响技术上主要体现在以下几个方面。

在机理研究方面,微网作为可输入、输出功率的特殊电源分布于配电网中,微网间的相互影响将进而影响配电网运行的可靠性。在配电网中,仍然存在稳定性问题,揭示微网与微网、微网与配电网相互作用机理是提高配电网运行安全性和稳定性的前提,目前的研究仅限于案例分析和实验性结果,缺乏对相关机理的深刻认识,配电网结构和微网特性的特殊性决定了需要探讨新的稳定性分析理论与方法。

在规划设计方面,含微网的智能配电网不仅要解决空间负荷预测、变电站优化、配电网优化以及无功电源优化等常规配电网规划工作的困难,还应考虑分布式电源优化、微网结构优化、微网接入位置优化以及配电网综合优化等一系列新问题,要综合考虑网络中的冷、热、电负荷的需求,体现规划工作的科学性和前瞻性。

在系统控制方面,含微网的智能配电网与大电网的控制问题具有典型区别:①智能配电网与输电网中的电源特性明显不同,后者主要为同步电机,具有自同步性,而分布式电源则大多通过电力电子逆变器并网,没有自同步性;②微网及配电网中的负荷波动对电源输出影响较大,而输电网中负荷波动相对冲击小;③分布式电源的多样性、间歇性与随机性增加了电压与频率控制的难度,而实现多微网的协调控制则更加困难;④输电网的控制侧重于可靠性,而智能配电网还要同时关注电能质量等其他问题。

在系统保护方面,由于分布式电源和微网的存在使得配电网中的潮流具有双向性,含微网的智能配电网应该在故障和非正常运行时首先保证整个系统的安全性和稳定性。当分布式电源和微网故障时使配电网得到保护;而当配电网故障或非正常运行时,使分布式电源和微网得到保护,能够做到不拒动、不误动、快速反应和有选择性。不同的分布式发电技术可能对故障电流和保护判据有不同的影响,此外,系统故障时的网络重构也要求保护装置具有自适应的整定功能。

在调度运行方面,含微网的智能配电网运行的复杂性使得运行人员必须借助一定的辅助工具才能

实现有效调度与管理。实现含微网的智能配电网的建模与运行仿真是实现智能配电网能量管理的前提,在此基础上实现快速的系统孤岛保护与网络重构算法,克服高渗透率下可再生能源的间歇性与随机性对配电网运行造成的影响,保证在极端故障情况和极端天气条件下系统运行的安全性和稳定性。

#### 4 分布式发电、微网与智能配电网的关系

当前,分布式发电技术、微网技术和智能配电网技术分别处于不同的发展阶段。其中,部分分布式发电技术已经比较成熟,处于规模化应用的关键阶段,政策上的支持加快了分布式发电技术的推广与应用,影响分布式发电技术发展的关键问题并不是分布式发电本身的技术问题,而是其并网后带来的电网运行问题。

微网技术从局部解决了分布式电源大规模并网时的运行问题,同时,它在能源效率优化等方面与智能配电网的目标相一致,本质上公用微网已经具备了智能配电网的雏形,它能很好地兼容各种分布式电源,提供安全、可靠的电力供应,实现网络层面的能量优化,起到了承上启下的作用,但它与智能配电网的主要区别体现在多样化商业产品的提供和与用户的互动性方面。微网技术的成熟和完善关系到分布式发电技术的规模化应用以及智能配电网的发展,目前技术上可以实现简单微网的设计与运行。

相对于微网,智能配电网则是站在地区电网全局的角度来考虑未来系统中的各种问题,它具有完善的通信功能和更加丰富的商业需求。分布式发电技术和微网技术推动了智能配电网的发展,今后,基于各种商业需求的应用将继续推动智能配电网的发展,而智能输电网的建设则为智能配电网的实施奠定了良好的基础。

当前,在世界范围内智能电网的研究与建设都还处于起步阶段,一些发展较好的国家或地区也大多仅完成了智能表计的铺设。而以往中国的配电网建设投资远小于发电和输电系统,智能电网技术在配电网层面将有更大的作为。准确把握智能电网技术的发展方向有利于提高中国电力工业的自主创新能力与技术装备水平。因此,应站在智能配电网的高度统领分布式发电技术与微网技术的发展。做到分工明确、统一协调,政府、电力企业、科研院校、设备制造商分别做好标准制定、理论研究、工程示范及应用推广等方面的工作;要扎实推进、平稳有序,研究、规划、设计和实施相协调,以利于向智能配电网的过渡。

建议遵循智能表计是基础、智能网络是重点、智

能运行是关键的整体思路,优先安排好相关的科学论证与理论研究工作,为智能配电网的实施奠定基础。应尽早推动AMI的实施,并为智能配电网提供通信支持;应着力推广微网的示范工程建设,以便于智能配电网的验证、完善与推广。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

#### 参考文献

- [1] ACKERMANN T, ANDERSSON G, SODER L. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 2001, 57(3): 195-204.
- [2] 王建,李兴源,邱晓燕.含有分布式发电装置的电力系统研究综述. *电力系统自动化*, 2005, 29(24): 90-97.  
WANG Jian, LI Xingyuan, QIU Xiaoyan. Power system research on distributed generation penetration. *Automation of Electric Power Systems*, 2005, 29(24): 90-97.
- [3] 肖世杰.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.
- [4] EPRI. Distributed energy resources: current landscape and a roadmap for the future. Palo Alto, CA, USA: EPRI. 2004.
- [5] EPRI. Renewable energy technical assessment guide. Palo Alto, CA, USA: EPRI. 2005.
- [6] 王成山,王守相.分布式发电供电系统若干问题研究. *电力系统自动化*, 2008, 32(20): 1-4.  
WANG Chengshan, WANG Shouxiang. Study on some key problems related to distributed generation systems. *Automation of Electric Power Systems*, 2008, 32(20): 1-4.
- [7] HATZIARGYRIOU N, ASANO H, IRAVANI R, et al. Microgrids: an overview of ongoing research, development, and demonstration projects. *IEEE Power and Energy Magazine*, 2007, 5(4): 78-94.
- [8] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述. *电力系统自动化*, 2007, 31(19): 100-107.  
LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Overview on microgrid research. *Automation of Electric Power Systems*, 2007, 31(19): 100-107.
- [9] DRIESEN J, KATIRAEI F. Design for distributed energy resources. *IEEE Power and Energy Magazine*, 2008, 6(3): 30-40.
- [10] 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.
- [11] 栾文鹏.高级量测体系. *南方电网技术*, 2009, 3(2): 6-10.  
LUAN Wenpeng. Advanced metering infrastructure. *Southern Power System Technology*, 2009, 3(2): 6-10.

(下转第 23 页 continued on page 23)

2009, 33(4): 1-7.

CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology. Power System Technology, 2009, 33(4): 1-7.

[11] BENNETT C, HIGHFILL D. Networking AMI smart meters// Proceedings of IEEE Energy 2030 Conference, November 17-18, 2008, Atlanta, GA, USA; 8p.

[12] HART D G. Using AMI to realize the smart grid// Proceedings of Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA.

[13] VOJDANI A. Smart integration. Power and Energy Magazine, 2008, 6(6): 71-79.

[14] ULUSKI R W. Interactions between AMI and distribution management system for efficiency/reliability improvement at a typical utility// Proceedings of Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA.

[15] KANG B W, CEDER G. Battery materials for ultrafast charging and discharging. Nature, 2009, 458(235): 190-193.

### The Impact of AMI on the Future Power System

ZHANG Jingchao, CHEN Zhuoya

(Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** As an important component of the smart grid, the advanced metering infrastructure (AMI) will trigger profound changes in the future power system. In this paper, the definition, functions and some issues closely related to AMI, such as the electricity pricing mechanism, renewable sources of energy generation and consumer energy storage devices, are studied. The influence of AMI on future power system is discussed and the AMI and customer power information gathering system are compared. Finally, suggestions are made for research on and construction of AMI in China.

**Key words:** smart grid; advanced metering infrastructure (AMI); customer power information gathering system; consumer energy storage device

Key words: smart grid; advanced metering infrastructure (AMI); customer power information gathering system; consumer energy storage device

YU Yixin. Intelli-D-Grid for the 21st century. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(6): 14-16.

Wang Chengshan (1962-), male, communication author, Yangtze River University professor, Ph.D. supervisor, main research direction: power system security analysis, urban power network.

### Development and Challenges of Distributed Generation, the Micro-grid and Smart Distribution System

WANG Chengshan, LI Peng

Key Laboratory of Power System Simulation and Control of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China

**Abstract:** The basic concepts and development trend of distributed generation (DG), the micro-grid and smart distribution system are described. In particular, the influence of DG and micro-grid on the smart distribution system is analyzed from the point of view of the large-scale access of distributed energy resources. DG supplies users with green power from various locally available renewable energy resources, but large-scale interconnected operation of DG in the distribution system may give rise to security and operation problems. Micro-grid technology provides an interface to the interconnection of various DGs by means of structures at different levels, which is the most efficient way for the operation of DG. On the other hand, the smart distribution system makes it possible to realize flexible access to DG and safe, reliable, and optimal operation of the entire power system by effectively managing the micro-grids. Based on an analysis of the relationship between the three, suggestions about the idea and technical means are given for implementing the smart distribution system.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50595412, No. 50625722) and Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2009CB219700).

**Key words:** smart grid; distributed generation (DG); micro-grid (MG); distribution network