

智能电网中的分布式发电技术综述

摘要：各种分布式电源灵活、友好的接入电网是智能电网的重要目标之一。随着智能电网概念的兴起，分布式电源的接入技术受到越来越多的重视。文章简要介绍了分析了分布式电源接入对电网产生的影响，并着重讨论分析了分布式发电技术在智能电网中的发展方向。

关键词： 分布式发电；智能电网；微网；虚拟发电厂

引言：在世界绿色产业革命的大环境下，人类面临化石能源资源短缺、地球气候变暖等一系列严峻问题，智能电网所提出的“安全、经济、高效、清洁、低碳”的变革理念标志着世界电力发展进入了一个新的历史阶段。分布式发电（Distributed Generation, DG）作为高效、清洁、灵活的发电技术，成为智能电网中关键技术领域之一。文章对分布式电源并网对系统的影响进行归纳分析，并对分布式电源技术在智能电网中的发展方向进行了展望。

1 智能电网的发展：

1.1 智能电网概念的发展有 3 个里程碑：

第一个就是 2006 年，美国 IBM 公司提出的“智能电网”解决方案。IBM 的智能电网主要是解决电网安全运行、提高可靠性，从其在中国发布的《建设智能电网创新运营管理—中国电力发展的新思路》白皮书可以看出，解决方案主要包括以下几个方面：一是通过传感器连接资产和设备提高数字化程度；二是数据的整合体系和数据的收集体系；三是进行分析的能力，即依据已经掌握的数据进行相关分析，以优化运行和管理。该方案提供了一个大的框架，通过对电力生产、输送、零售的各个环节的优化管理，为相关企业提高运行效率及可靠性、降低成本描绘了一个蓝图。是 IBM 一个市场推广策略。

第二个是奥巴马上任后提出的能源计划，除了以公布的计划，美国还将着重集中对每年要耗费 1200 亿美元的电路损耗和故障维修的电网系统进行升级换代，建立美国横跨四个时区的统一电网；发展智能电网产业，最大限度发挥美国国家电网的价值和效率，将逐步实现美国太阳能、风能、地热能的统一入网管理；全面推进分布式能源管理，创造世界上最高的能源使用效率。

可以看出美国政府的智能电网有三个目的，一个是由于美国电网设备比较落后，急需进行更新改造，提高电网运营的可靠性；二是通过智能电网建设将美国拉出金融危机的泥潭；三是提高能源利用效率。

第三个是中国能源专家武建东提出的“互动电网。互动电网，英文为 Interactive Smart Grid，它将智能电网的含义涵盖其中。互动电网定义为：在开放和互联的信息模式基础上，通过加载系统数字设备和升级电网网络管理系统，实现发电、输电、供电、用电、客户售电、电网分级调度、综合服务等电力产业全流程的智能化、信息化、分级化互动管理，是集合了产业革命、技术革命和管理革命的综合性的效率变革。它将再造电网的信息回路，构建用户新型的反馈方式，推动电网整体转型为节能基础设施，提高能源效率，降低客户成本，减少温室气体排放，创造电网价值的最大化。

互动电网还可以通过电子终端将用户之间、用户和电网公司之间形成网络互动和即时连接，实现电力数据读取的实时、高速、双向的总体效果，实现电力、电讯、电视、智能家电控制和电池集成充电等的多用途开发，实现用户富裕电能的回售；可以整合系统中的数据，完善中央电力体系的集成作用，实现有效的临界负荷保护，实现各种电源和客户终端与电网的无缝互连，由此可以优化电网的管理，将电网提升为互动运转的全新模式，形成电网全新的服务功能，提高整个电网的可靠性、可用性和综合效率。

互动电网既是下一代全球电网的基本模式，也是中国电网现代化的核心实际上，互动电网的本质就是能源替代、兼容利用和互动经济。从技术上讲，互动电网应是最先进的通讯、IT、能源、新材料、传感器等产业的集成，也是配电网技术、网络技术、通信技术、传感器技术、电力电子技术、储能技术的合成，对于推动新技术革命具有直接的综合效果。由此，智能电网具备可靠、自愈、经济、兼容、集成和安全等特点。我以为：互动电网学说的本质就是以信息革命的造发性标准和技术手段大规模推动工业革命最重要财产——电网体系得革新和升级，建立消费者和电网管理者之间的互动。互动电网的运转功效和社会意义互动电网学说的本质，就是以信息革命的造法性标准和技术手段大规模推动工业革命的最重要资产——电网体系的革新和升级，建立消费者和电网管理者之间的互动。互动电网的功效包括：一是智能电网能够实现双向互动的智能传输数据，实行动态的浮动电价制度；二是可以利用传感器对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监控和数据整合，遇到电力供应的高峰期之时，能够在不同区域间进行及时调度，平衡电力供应缺口，从而达到对整个电力系统运行的优化管理；三是智能电网能够将新型可替代能源接入电网，比如太阳能、风能、地热能等，实现分布式能源管理；四是可以提高供电效率，减少能量损耗，改善供电质量，解决电网商业化运转；五是智能电表可以作为互联网路由器，推动电力部门以其终端用户为基础，进行通信、宽带业务或传播电视信号。

为此，IT产业的深度革命和能源革命将成为孪生兄弟，智能电网改革将推动全球能源革命的深度扩散。通过建造互动的电网，将推进IT革命进入创新阶段；将为消费者提供更好的减少能源消耗的路径；将为整个社会节约成本、降低温室气体排放，并促进绿色经济占统治地位。

1.2 历史发展：

2005年，坎贝尔发明了一种技术，利用的是（Swarm 群体行为）原理，让大楼里的电器互相协调，减少大楼在用电高峰期的用电量。坎贝尔发明了一种无线控制器，与大楼的各个电器相连，并实现有效控制。比如，一台空调运转15分钟，以把室内温度维持在24℃；而另外两台空调可能会在保证室内温度的前提下，停运15分钟。这样，在不牺牲每个个体的前提下，整个大楼的节能目标便可以实现。这个技术赋予电器于智能，提高能源的利用效率。

2006年欧盟理事会的能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的电能策略》(A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy)强调智能电网技术是保证欧盟电网电能质量的一个关键技术和发展方向。这时候的智能电网应该是指输配电过程中的自动化技术。

2006年中期，一家名叫“网点”(GridPoint)的公司最近开始出售一种可用于监测家用电路耗电量的电子产品，可以通过互联网通信技术调整家用电器的用电量。这个电子产品具有了一部分交互能够，可以看作智能电网中的一个基础设施。

2006年，美国IBM公司曾与全球电力专业研究机构、电力企业合作开发了“智能电网”解决方案。这一方案被形象比喻为电力系统的“中枢神经系统”，电力公司可以通过使用传感器、计量表、数字控件和分析工具，自动监控电网，优化电网性能、防止断电、更快地恢复供电，消费者对电力使用的管理也可细化到每个联网的装置。这个可以看作智能电网最完整的一个解决方案，标志着智能电网概念的正式诞生。

2007年10月，华东电网正式启动了智能电网可行性研究项目，并规划了从2008年至2030年的“三步走”战略，即：在2010年初步建成电网高级调度中心，2020年全面建成具有初步智能特性的数字化电网，2030年真正建成具有自愈能力的智能电网。该项目的启动标志着中国开始进入智能电网领域。

2008年美国科罗拉多州的波尔得(Boulder)已经成为了全美第一个智能电网城市，每户家庭都安排了智能电表，人们可以很直观地了解当时的电价，从而把一些事情，比如洗衣服、烫衣服等安排在电价低的时间段。电表还可以帮助人们优先使用风电和太阳能等清洁能源。同时，变电站可以收集到每家每户的用电情况。一旦有问题出现，可以重新配备电力。

2008年9月 Google 与通用电气联合发表声明对外宣布，他们正在共同开发清洁能源业务，核心是为美国打造国家智能电网。

2009年1月25日美国白宫最新发布的《复苏计划尺度报告》宣布：将铺设或更新3000英里输电线路，并为4000万美国家庭安装智能电表——美国行将推动互动电网的整体革命。2月2日独能源问题专家武建东在《全面推互动电网革命拉动经济创新转型》的文章中，明确提出中国电网亟须实施“互动电网”革命性改造。

2009年2月4日，地中海岛国马耳他在周三公布了和IBM达成的协议，双方同意建立一个“智能公用系统”，实现该国电网和供水系统数字化。IBM及其合作伙伴将会把马耳他2万个普通电表替换成互动式电表，这样马耳他的电厂就能实时监控用电，并制定不同的电价来奖励节约用电的用户。这个工程价值高达9100万美元（合7000万欧元），其中包括在电网中建立一个传感器网络。这种传感器网络和输电线、各发电站以及其他的基础设施一起提供相关数据，让电厂能更有效地进行电力分配并检测到潜在问题。IBM将会提供搜集分析数据的软件，帮助电厂发现机会，降低成本以及该国碳密集型发电厂的排放量。

2009年2月10日，谷歌表示已开始测试名为谷歌电表（PowerMeter）的用电监测软件。这是一个测试版在线仪表盘，相当于谷歌正在成为信息时代的公用基础设施。

2009年2月28日，作为华北公司智能化电网建设的一部分——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在京通过专家组的验收。这套系统首次将以往分散的能量管理系统、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。此外，该系统通过搭建并网电厂管理考核和辅助服务市场品质分析平台，能有效提升调度部门对并网电厂管理的标准化和流程化水平。

美国谷歌2009年3月3日向美国议会进言，要求在建设“智能电网（Smart Grid）”时采用非垄断性标准。

智能电网的目标是实现电网运行的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全，电网能够实现这些目标，就可以称其为智能电网。智能电网必须更加可靠——智能电网不管用户在何时何地，都能提供可靠的电力供应。它对电网可能出现的问题提出充分的告警，并能忍受大多数的电网扰动而不会断电。它在用户受到断电影响之前就能采取有效的校正措施，以使电网用户免受供电中断的影响。

智能电网必须更加安全——智能电网能够经受物理的和网络的攻击而不会出现大面积停电或者不会付出高昂的恢复费用。它更不容易受到自然灾害的影响。智能电网必须更加经济——智能电网运行在供求平衡的基本规律之下，价格公平且供应充足。智能电网必须更加高效——智能电网利用投资，控制成本，减

少电力输送和分配的损耗，电力生产和资产利用更加高效。通过控制潮流的方法，以减少输送功率拥堵和允许低成本的电源包括可再生能源的接入。

智能电网必须更加环境友好—智能电网通过在发电、输电、配电、储能和消费过程中的创新来减少对环境的影响。进一步扩大可再生能源的接入。在可能的情况下，在未来的设计中，智能电网的资产将占用更少的土地，减少对景观的实际影响。智能电网必须是使用安全的—智能电网必须不能伤害到公众或电网工人，也就是对电力的使用必须是安全的。

2 分布式电源接入对智能配电系统的影响

2.1 对系统规划的影响

分布式电源并入电网，将对传统的配网规划带来较大的复杂性和不确定性^[1]。分布式电源增大了区域内负荷增长及分布的预测难度，同时其安装位置的不确定性及固有的间歇性、随机性加剧了配电规划工作的难度；智能配电网规划中，主要需给出分布式电源的最优接入位置及容量，解决可再生能源的友好接入问题，降低配网规划的复杂性，保证配网整体运行的安全性和经济性。

2.2 对电网运行的影响

分布式电源接入电网，系统供需平衡被打乱，系统频率将发生变化；分布式电源的启动和停运将造成配电网明显的电压闪变；分布式电源的电压调节及控制将产生开关器件频率附近的谐波分量，造成谐波污染；可见分布式电源并网将对系统电压、电能质量、网络损耗等诸多方面产生负面影响^[1]。

2.3 对系统保护的影响

目前，我国中低压配网大都是单侧电源、辐射型 10kV（35kV）网络，馈线保护装设在变电站内馈线断路器处，采用保护和测控一体化装置，一般配置传统的三段式电流保护，即瞬时电流速断保护、定时限电流速断保护和过电流保护，采用时间配合的方式实现全线路的保护。

上述馈线保护方式只适用于单侧电源供电的辐射状馈线网络。分布式电源接入配电系统后，使配电系统变成多源网络，网络中的潮流分布及故障时短路电流的大小、流向和分布均会发生变化，传统配电网中保护之间的配合关系被打破，保护的动作行为和性能都会受到影响，甚至无法起到保护作用。对基于重合器、分断器的馈线自动化装置可能导致重合器误动、相邻线路的瞬时速断保护误动、分断器计数不正确等。

对于这些问题，国内外已经有了广泛的探讨，提出了各种解决办法。一类是改进型的方法，利用现有的保护装置根据分布式电源的接入位置进行分区域设计；另一类是网络式保护，依靠通信网络解决传统保护装置的不足。

3 分布式电源接入技术在智能电网中的发展方向

3.1 储能技术

储能系统由两部分组成：由储能元件(部件)组成的储能装置；由电力电子器件组成的能量转换系统 (Power Conversion System, 简称 PCS)。储能装置主要实现能量的储存、释放或快速功率交换^[14]，能量转换系统通过电力电子设备实现充放电控制、交直流电转换、功率调节控制及运行参数检测监控等。

目前国内外研究的应用于分布式电源中的储能装置主要为：

1) 蓄电池储能^[6]：蓄电池储能可与超级电容器联合使用。但其存在投资高、寿命短、环境污染等诸多问题。目前已有各项新型蓄电池的相继研发成功。

2) 超导储能^[6]：超导储能装置将能量存储在由电流超导线圈的直流电流产生的磁场中。其主要受到运行环境的影响，即使是高温超导体也需要运行在液氮的温度下，这是目前利用超导储能的瓶颈。

3) 超级电容储能^[6]：超级电容器容量可达几百至上千法拉。与传统电容器相比，它具有容量大、能量高、工作温度范围宽和使用寿命极长的特点；与蓄电池相比，它功率较高，且对环境无污染。因此，超级电容器是一种高效、实用、环保的能量存储装置。

4) 飞轮储能^[6]：飞轮储能是一种新型的机械储能方式，它将能量以动能的形式存储在高速旋转的飞轮中。它拥有储能密度高、无过充放电问题、充电时间短、对温度和环境不敏感等优点，运用于分布式发电技术中拥有较大的优势和竞争力。

智能电网中，储能技术需要解决分布式发电与储能装置容量配置问题、电力电子装置接口的拓扑结构、控制及保护技术、智能充放电控制及储能装置维护等方面的问题。

3.2 微网协调控制技术

微网技术将分布式电源、储能装置、电力电子设备及终端用户有效整合，形成电力系统中的一个可控单元，可以灵活地并网和独立运行，其入网标准只针对微网和大电网公共连接点 (PCC) 上，解决了分布式电源大规模接入问题，能进一步提高电力系统运行的灵活性、可控性和经济性，更好地满足电力用户对电能质量和供电可靠性的更高要求。

微网的运行离不开完善的稳定与控制系统。协调控制技术是微网研究中的一个难点问题。目前国内外对微网协调控制技术的研究主要集中在三个方面，分别为对等控制(peer to peer)^[7]、基于功率管理系统控制 (PQ 控制)^[8]以及主从控制 (master-slave)。

在智能电网的微网协调控制策略中，为实现分布式电源灵活、安全接入电网，应该有针对性地选择协调控制策略：对于微型燃气轮机和燃料电池等能输出稳定电能的分布式电源，可采用 PQ 控制或对等控制策略；而对于风电、光伏发电等间歇性强的电源，一般采用 PQ 控制策略^[8]。总之，微网的协调控制技术的实用化仍有许多问题尚待解决，但其发展潜力十分巨大。

3.3 虚拟发电厂技术

为了克服风能、太阳能等可再生能源的间歇性，电力系统往往需要增加备用容量，从而使得这些电源的经济性降低。随着这些电源比例的逐步提高，电网的运行和调度的问题变得越来越突出。

目前欧洲提出了利用分布式能量管理系统（DEMS）的虚拟发电厂（Virtual Power Plants, VPP）技术^[9]。虚拟发电厂把一个地区的分布式电源、储能装置和负荷集成起来，虚拟成电网一个独立个体，具有类似大规模发电厂或集中负荷一样的可控性，可以提前向电网提交发电计划和负荷需求。

4 结语

分布式发电技术的研究和应用在我国已取得不少成果，但仍有许多问题需进一步研究解决。随着智能电网工作的不断推进，不仅可作为传统供电模式的一种重要补充，还将在能源综合利用上占有十分重要的地位，将成为未来能源领域的一个重要发展方向。

参考文献

- [1] 韦 钢, 吴伟力, 胡丹云等. 分布式电源及其并网时对电网的影响[J]. 高电压技术, 2007, 33 (1): 36-40
- [2] 胡成志, 卢继平. 分布式电源对配电网继电保护影响的分析[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(8)
- [3] Girgis A, Brahma S. Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System [C]//2001 Large Engineering Systems Conference on PowerEngineering, Canada, 2001:115-119.
- [4] 王希舟, 陈鑫. 分布式发电与配电网保护协调性研究[J]. 继电器, 2006, 34(3): 15-19.
- [5] 黄伟, 雷金勇. 分布式电源对配电网相间短路保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 93-97.
- [6] 李 鹏, 张 玲, 盛银波. 新能源及可再生能源并网发电规模化应用的有效途径——微网技术[J]. 华北电力大学学报, 2009, 36 (1): 10-14
- [7] 鲁宗相, 王彩霞, 阎勇, 等. 微网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (19): 100-108
- [8] 王成山, 肖朝霞, 王守相. 微网综合控制与分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (7): 98-103
- [9] Siemens PTI, Virtual Power Plants: basic requirements and experience and practice, www.pti-us.com, 2006

- 在哪里查看智能电网的信息？
- 答：通过在网上了解的智能电网的信息。
- 利用了哪些信息资源来整理您的论述报告，并罗列出来。
- 答：百度文库、新浪共享资源、豆丁网等等。
- 决定使用这些信息的原因？
- 答：这些信息能够比较全面的把所需的信息观点等表达清楚，信息准确，观点鲜明。
- 哪些因素确定所用的信息是准确的？
- 答：详细的参考文献，详细的内容，充分的把观点表达清楚、确凿、准确无误。