

智能配电网研发路线探讨 关键技术应用备受关注

全面覆盖发输配用和电力市场、含括一二次系统的智能电网，由于在发输配用之间没有必然的先后顺序联系，既可从从上到下、也可从下到上进行研发实施。如美国科罗拉多州的Boulder，就是从供用电领域入手，于2008年3月率先建成全美第一个智能电网城市。智能电网中的配用电领域，通称为智能配电网。由于以下几个原因，从配用电领域入手搭建智能电网，日益备受关注。

- 1、智能电网有别于当代电网的几个主要特征，均与甚至有的仅与配用电有关;
- 2、智能电网的基础，是发输配用电各个结点之间电力和信息的双向流动。因此，解决当前供需双向互动的薄弱环节，自然成为首选;
- 3、由于全球的共同关注与参与，配用电领域技术创新的智能电器和智能电力交换设备不时涌现;
- 4、在传统电网基础上发展起来的智能电网，量大面广的配用电，可通过充分发挥现有系统作用，优化投资，获取较好的性价比。

此外，我国由发改委所辖中国国际经济交流中心所承担的“中国智能能源网发展模式和实施方案课题”，已于2010年7月15日和8月5日分别通过内部评审和向国内外公开发布其研究成果，得到国际智能电网联盟和国际电工委员会智能电网工作委员会等权威单位的高度评价和认可，并应邀作为国际智能电网联盟理事会理事，参与标准和规范的制定。倡导以电力和燃气为引擎，“标准先行、地方先动”(600多个市级单位)的智能能源网，势必有力推动智能配电网的研发和实施。

本文在阐述智能配电网研发特点的基础上，将智能配电网的研发划分为支持各种应用的支撑系统、表前表后当前今后的各种应用、以及集支撑与应用于一体的智能设备三个层次展开分析讨论，试图寻求一条既充分发挥当代电网现有系统作用、又跟踪技术创新实现跨越式发展的研发路线。

1、智能电网研发中配用电领域的特点

智能电网是一个完全自动化的发输配用电网络，它监视控制每一个用户和电网结点，保证电力和信息在所有结点的双向流动，用以支持研发智能电网的各种应用，解决智能电网安全自愈和优质高效运行、大量分布能源和电动汽车充放电的入网管理和市场交易、以及供需互动的双向服务等问题。智能电网是在传统电网的基础上发展而来，并继承了许多传统和新技术的应用。智能电网的研发领域及其和传统电网的对应关系，如图1所示。



图1：传统电网与智能电网

图中,高级量测体系 AMI：继承与发展传统 AMR 的各种应用，通过智能电表和通信、信息集成，实现供需之间电力和信息的双向流动，支持表前电网侧和表后用户侧的各种应用。

高级配电运行 ADO：继承与发展传统 SCADA/DMS 的各种应用，支持分布能源和电动汽车充放电的入网管理和市场交易，电网的安全自愈和优质高效运行，和供需互动的双向服务。

高级输电运行 ATO：继承与发展传统 SCADA/EMS 的各种应用，支持接入灵活交流输电、高温超导输电等新系统元件，高压集中发电和低压分散发电的协调优化，事件启动快速仿真决策、灵活分区故障隔离，避免或缩小大面积停电。

此外，智能电网中的高级资产管理 AAM，与 AMI、ADO、ATO 相集成，使用有关信息和控制，实现对资产规划、建设、运行维护等全生命周期的优化管理。

可见，智能电网研发领域中，和传统电网重大不同且量大面广的，都集中在配用电领域。即：用电领域智能电表与通信信息结合组成的先进量测体系 AMI、及其表前表后各种应用，应对简单受电网络转型为复杂有源网络、大量分布能源和电动汽车充放电入网管理和市场交易的 ADO，以及两者共同支持的供需互动双向服务等。

考虑到智能电网是从传统电网发展而来，因此，研发智能配电网时，应充分利用传统电网的现有基础，最大限度地优化投资，避免重复建设。为此，本文将智能配电网的研发内容划分为实现电力和信息的双向流动、支持各种应用的支撑系统，表前表后、当前今后的各种应用，以及支撑应用一体化的智能设备三个层次，在充分发挥传统电网现有系统作用的同时，跟踪技术创新实现跨越式发展。

2、智能配电网的支撑系统

智能电网中发输配用电各个结点之间电力和信息的双向流动，既是智能电网的基础，也是用以接入各种系统元件(含可再生能源发电和电动汽车充放电)、支持当前和今后各种应用的支撑系统。对于发输配之间而言，电力和信息的双向流动以及支持 SCADA、EMS、DMS 等应用已具有一定基础。但长期处于单向供需关系的配用电领域，供需之间的双向互动及其应用、特别是用户参与电网管理和辅助服务尚属空白。这也是当前智能电网研发和实施，所面临的一个首要任务。供需之间电力和信息的双向流动、及其支持当前和今后的各种应用，主要由智能电表和信息通信系统所组成的高级量测体系 AMI(advanced metering infrastructure)来实现。AMI 可与当前现有的调度管理负荷管理和营销管理等系统、以及今后用户的分布式能源和电动汽车充放电相连，并支持表前表后、当前今后的其他各种应用。

通过供需互动的双向服务，达到供需双赢、国家受益，因而成为智能电网所追求的一个重要目标。但供需互动的效益，必须以开放配用分开的零售竞争为前提。否则，供需关口上下双向通信的智能电表将不能充分发挥其作用。

我国的电力市场，当前主要处于厂网分开的发电竞争阶段。国务院 2002 年关于电力改革的 5 号文中，提出“十五”期间逐步对配电业务实行内部独立核算，为输配分开的批发竞争作准备。至于配用分开的零售竞争，尚未提上日程。

这就提出了一个问题，我国正在筹建的、包括智能电表在内的新一代电力用户信息系统，仅用以支持当前电力市场的发展，或一并支持今后智能电网的研发和实施。

配用电之间的信息通信，也和发输配之间有着许多不同。信息方面，除实时、历史、和各种管理信息外，还包括用户服务和电力营销。而且，不仅量大面广，还要考虑供需互动后的双向服务。这就提出了一个难题，是按传统方式建立一个个的数据库，还是一体化处理。与之相关的通信网络方面，面对庞大、分散、但距离较近的通信结点，同样也存在一体化还是分区处理的问题。

考虑到智能小区量大面广时分布智能控制应用的前景，信息流的一体化和短距离通信网络的结合已成为当前关注的研发方向。诸多解决方案中，一种基于 ZigBee 技术(小无线)，组网灵活、具有路由自愈功能，利用高级量测体系和信息技术，在电力系统物理网络之上建立起来的基础信息架构，将设备、装置、系统、客户、员工等连接在一起所构成的物联网，实现对双向流动的电力和信息随机访问，用以支持当前的增效应用和今后的潜在应用，值得注意。此外，多网合一、光纤到户，也是一个看好的发展方向。

3、智能配电网的各种应用

智能配电网支撑系统支持下的各种应用，可概括为表前表后、当前今后四个方面的不同组合。表前应用指智能电表电网侧的应用，包括当前的增效应用和今后的潜在应用，表后应用指智能电表用户侧的应用，同样包括当前的增效应用和今后的潜在应用。但其所碰到的难点问题，大相径庭、各有不同。

3.1 表前电网侧当前的增效应用

表前电网侧当前的增效应用，包括当代电网现有的各个应用系统，如保证电网安全经济和优质运行的调度管理系统、需求侧管理的负荷控制系统、电力市场的营销管理系统、用户服务的停电管理系统、以及当前实施的电力用户信息系统等，在支撑系统的支持下，勿需推倒重来，即可起到增效作用。

增效作用表现在两个方面，一是借助功能强大、水平较高的支撑系统，增加现有系统的应用效果，如直接提高现有各种应用对电网和用户的认知程度、反应能力和可视化水平等。二是在现有系统的基础上，扩充新的应用功能。如旨在实现安全自愈能力的事件启动快速仿真决策、故障隔离的网络重构，支持电力电子技术接入系统、保证电网的优质运行，以及实施分时电价、深化营销管理等。

但这些增效应用，都以当前单向的供需关系为前提，即使接入少量的可再生能源发电和电动汽车充电桩或充电站，也是按负荷效应处理，不涉及供需互动的双向服务问题。

表前电网侧当前的这些增效应用，如支撑系统的水平不低，对集中控制系统(SCADA/DMS、负荷管理、营销管理等)而言，并无突出的难点。但对于分布控制系统(继电保护、就地无功补偿等)却存在网络重构后的再整定或自适应难点问题。对此，将在下节的潜在应用中，一并加以讨论。

3.2 表前电网侧今后的潜在应用

表前电网侧今后的潜在应用，主要是解决配电系统接入大量的系统新元件(包括可再生能源发电和电动汽车充放电)后，所引发的双向服务、入网管理和市场交易问题，研发和实施工作量较大。

间歇性、功率不稳的可再生能源分布式发电大量并网运行时，将改变传统电网的结构，使配电系统从简单的受电网络变成复杂的有源网络。当前配网的保护和配置方案不适应多分布电源的接入，已成为广泛采用分布式发电的技术瓶颈，更不用说由于通过逆变装置并网而带来的诸多电能质量问题了。

电动汽车充放电的入网管理，技术上虽较可再生能源发电简单。但由于更加量大面广，存在大量用户、中间服务商和电力公司之间的单独组网和营销管理等复杂问题。

尽管可再生能源发电和电动汽车充放电的入网管理和市场交易，提出了许多难题。但主要的难点，还在于供需互动后接入的这些用电设备和系统，将以千位数量级增长，并需解决与电网并网运行后的系统优化、协调和控制等问题。此时，传统的 SCADA/DMS 系统已不可能监视控制到每个单独设备，只能监视控制到运行工况的边界，而通过设置在边界的分布式的智能控制来解决问题，这才是实施智能配电网所面临的一个研发难点和热点。

和静态模型与动态数据相结合的精确解不同，分布式的智能控制必须与知识工程的智能解相结合，当前分布式智能的研发方向，几乎毫无例外地采用多智能体(multi-agent)技术。面向 Agent (AO, agent-oriented)是继面向过程和面向对象(OO, object-oriented)之后、新一代的软件系统工程技术。Agent 是将知识和使用它的一组操作或过程封装在一起得到的一个实体，具有结构和属性，并可通过消息互相通信。Agent 特有的自治性和主动性，可独立地完成其目标而不需要外界的命令、或感知环境变化时通过规划实现其目标。因此，Agent 又有“主动的对象”之称，知识工程界均将 Agent 意译为“主体”或“智能体”，而不采用概念易于混淆的“代理”。单个的 Agent 拥有解决问题的不完全的信息或能力，没有系统全局控制能力。但可通过相关 Agent 间的协调和协作组成 Multi-Agent 系统，来解决复杂的全局性问题。包括反应、协作和认知三层结构的 Multi-Agent 系统，如图 2 所示。

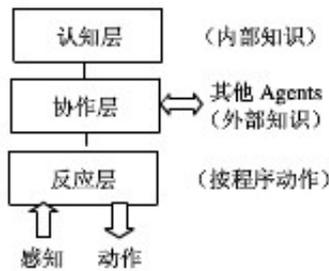


图 2: Multi-Agent 三层结构图

图中无通信能力的反应式 Agent，相当于传统上“事先整定、实时动作”的继电保护和就地无功补偿装置，根据程序安排自主作出反应，而无须外部指令控制。但保护和补偿定值的设定和修改只能离线进行。加上具有通信能力的协作层后，当事件响应的快速仿真决策需对有关保护定值或稳定补救方案进行修改和调整时，就可依靠外部知识协作、对反应参数或程序进行修改和调整，以提高装置的适应性水平。这种通过不断修改系统控制参数来改进系统执行能力的感知型学习，不涉及与具体任务有关的知识，但对外部知识依赖性强，在通信中断的情况下难于达到自适应的水平。如进一步加上具有与具体任务有关的内部知识组成认知式 Agent，即使通信中断或情况紧急来不及协同时，也可根据内部积累的知识作出自适应反应，充分体现 Agent 的自主性。

三层结构的 AO 系统，既可用于解决上节所述分布控制系统的再整定或自适应、和本节集中控制系统作为远方终端的分布智能控制问题，也可用于解决下节用户侧应用的分布智能体系结构问题。

3.3 表后用户侧当前的增效应用

不言而喻，作为在用户和电网之间反映电力和信息双向流动的智能电表，除作为电网侧现有调度管理、需求侧管理、营销管理系统、停电管理、以及用户信息等系统的终端外;对用户来说，由于增加了电网侧电力和市场、用户侧设备和用电信息的可视化和透明度，大大有利于用户主动选择和优化用电方式，节约用电和减少电费支出。一般可减少 15%以上的峰荷和10%以上的总需求。

早期，这些增效应用，都以当前单向的供需关系为前提，即使接入少量的可再生能源发电和电动汽车充电桩或充电站，也是按负荷效应处理，不涉及供需互动的双向服务问题。因此，智能电表对用户设备的监控比较简单，可按类似继电保护“离线整定、实时动作”原则，按预定程序进行反应处理。随着再生能源发电、电动汽车充放电、以及其他用户设备的大量并网运行、和供需互动双向服务的实现，单向的“离线整定、实时动作”，已不能实现双向互动后的系统优化、协调和控制。而现有的 SCADA 系统，又不可能直接接入千位数量级增长的系统新元件。因此，必须采用上节所述的分布式智能控制技术，组成如图 3 所示的分布式智能体系结构，以解决“量大面广”的分区控制问题。



图 3: 分布式智能体系结构图

3.4 表后用户侧今后的潜在应用

表后用户侧今后的潜在应用，主要是与用户侧网络 HAN 相连，实现分散发电、分布储能(包括电动汽车充放电)与需求响应组成的分布能源 DER

系统集成，优化用电设备的使用和管理，支持供需互动的双向服务。

供需互动的双向服务，主要是指：电网侧向用户提供有关的电力和市场信息，以及营销管理、负荷管理、停电管理等各种服务，用户可据此选择服务商、竞价增减负荷、优化用电设备的使用等。用户向电网侧提供的服务，除与发电商之间签订的双边合同外，包括各种形式的辅助服务(频率控制、电压控制、备用和黑启动)、参与可中断供电合同或峰谷电价计划、在平衡市场中竞价增减出力以及缓解输配电阻塞等。但一般只有兆瓦级以上的大用户、或是多个同行企业通过集总代理才直接参与需求竞价，小用户则是通过其供电商作为代理间接参与需求竞争。

显然，供需互动的双向服务，除电力市场应开放到配用分开的零售竞争外，由于用户具有大、中、小之别，分散发电能力从大用户的自备电厂到千家万户的光伏电池，包括电动汽车在内的储能设备更是五花八门，用户设备的系统集成又是多式多样。如此等等，给入网管理和市场交易带来诸多复杂问题。如用户与电网之间、增加了中间服务商或集总代理，间歇性功率不稳的可再生能源分布式发电、不能以功率kW只能用能量KWH进行市场交易，为数众多的电动汽车充放电入网管理和市场交易、必须用户、服务商和电力公司有关各方单独组网等。

4、集支撑应用于一体的智能设备

上述支撑系统和各种应用的一体化和智能化进一步发展，推动智能设备的问世。智能设备包括用户侧的智能电器，以及电网侧的智能电力交换设备和系统。其共同特点是：集支撑与应用于一体，即插即用。

4.1 用户侧的智能电器

如上所述，表后用户用电设备的优化管理，主要是在智能电表的支撑下，通过应用系统对常规电器进行智能控制来实现。如峰值高电价期间对空调、热水器等进行中断调整，低谷期间对包括电动汽车在内的储能设备进行充电等。

智能电网环境下，用电设备正在从被动调整走向智能化的自动调整。如对电网友好的空调、热水器等智能电器，感知电网频率下降时自动对温度整定值或启停时间进行调整，而无需外部指令。智能电器的理念，同样适用于各行各业的用电设备。如非线性用电设备感知谐波、异步用电设备感知无功过大时自动进行补偿等。

应该说，实现常规电器的智能化，并不存在技术上的难点。问题是必须市场机制(实时电价、谐波无功超标罚款等)的激励，否则用户不会掏钱来购买这些较贵的增值产品。

4.2 电网侧的智能电力交换设备

电网侧的智能电力交换设备，由于应用涉及面广，远比用户侧的智能电器复杂得多。特别是在智能电网环境下，大量可再生能源发电和电动汽车充放电的入网管理和市场交易，引发了接口、变压、保护、监视、调整和控制等诸多问题。但正因为如此，集支撑与众多相关应用于一体的智能电力交换设备，由于投入产出的高“性价比”而备受关注。一种称为智能电力交换机/器/站的技术创新设备，即将在我国问世。

和常规电磁感应原理不同，智能电力交换设备采用电力电子技术变压、实现不同电压等级之间的电力交换。并在电力系统物理网络之上、利用信息通信技术，连接有关设备和装置实现电力和信息的双向流动。和前述支撑系统不同的是，智能电力交换设备还同时纳入接口、保护、监视、调整、控制，以及无功补偿、谐波治理、甚至故障录波等有关应用，集一次二次、支撑应用于一体。

可以预期，随着大量可再生能源发电和电动汽车充放电、及其相应配变台区的出现，投入产出性价比较高的智能电力交换机/器/站，将在用户、中间服务商、和电力公司不同层次得到广泛应用。这也是为什么这种智能电力设备，视应用规模不同而可分别称为交换机、交换器、或交换站的原因。

理论上说，智能电力交换设备可往更高电压等级发展。但受限于电子元件的工作电压水平和市场的大小，当前，仍以中低压的配用电领域为主。

5、结语

(1)全面覆盖发输配用和电力市场、含括一二次系统的智能电网，由于在发输配用之间没有必然的先后顺序联系，既可从下到上、也可从上到下、也可从下到上进行研发实施。

(2)配用电领域的智能配电网，充分体现有别于常规电网的几个主要特征，既填补智能电网供需互动的主要空白、又奠定整个智能电网的基础，投入产出的高性价比也较明显，因而往往成为优先研发实施的首选。此外，由于全球的共同关注和参与，配用电领域技术创新的智能电器和智能电力交换设备不时涌现，而益发备受关注。

(3)智能配电网主要解决量大面广含可再生能源在内的各种类型分散发电、以及插入式电动汽车进入电网和市场后所引发的各种问题，实现自愈功能所需的快速仿真决策和分布能源的系统集成，以及供需互动双向服务所需的智能电表研发和应用等。

(4)研发智能配电网的诸多难点中，分布式控制系统(继电保护、就地无功补偿等)的再整定或自适应，以及表前表后的分布式智能控制，既量大面广而又难度较大，但两者均可采用多智能体 (Multi-Agent)技术来解决问题。

(5)智能电网的研发和实施，是一个跨世纪的系统工程。智能配电网的搭建，将填补智能电网供需互动主要空白，奠定整个智能电网坚实基础;此外，考虑到智能电网是从传统电网发展而来，研发智能配电网时，应采取充分发挥传统电网现有系统作用，与跟踪技术创新实现跨越式发展并重的方针。为此，首先应建设好电网和用户各结点之间电力和信息双向流动的支撑系统，支持表前电网侧和表后用户侧、当前的增效应用和今后的潜在应用，并跟踪智能设备的研发和应用、实现跨越式发展。

(6)行业聚焦关键技术，推动智能配电网的研发和实施。由北极星电力网主办，北极星智能电网在线承办的“2012智能配电网及其关键技术研讨会”将就未来我国智能配电网的发展，邀请这一领域的专家学者、企业高层以及相关电力部门领导，共聚一堂，进行深入探讨。本次研讨会将与2012年国内最大电力电工展同期举办，届时，各路商家、学者、媒体云集，对配电网这一领域的最近技术与解决方案将实现激情碰撞，助力智能配电网市场的进一步升温!联系电话：010-85758795

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/exhibition/exhibition_news_38125.html