

## 智能电网涉及的关键技术及应用

摘要：本文对智能电网关键技术进行了具体阐述，主要是量测、通信、信息管理、调度、电力电子和分布式能源接入等方面。最后借助美国智能电网研究应用情况，对智能电网技术实现的功能进行了归纳和评述。

### 1. 智能电网的技术概况

智能电网是为了实现能源替代和兼容利用，它需要在创建开放的系统和建立共享的信息模式的基础上，整合系统中的数据，优化电网的运行和管理。它主要是通过终端传感器将用户之间、用户和电网公司之间形成即时连接的网络互动，从而实现数据读取的实时（real-time）、高速（high-speed）、双向（two-way）的效果，整体性地提高电网的综合效率。它可以通过传感器对发电、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；同时，智能电表也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、运行宽带业务或传播电视信号。

2009年6月27~28日，第一届智能电网研究论坛在天津大学召开。论坛共安排了十四个学术报告，从智能电网的基本理念、技术组成、设备需求等多个角度对我国智能电网的建设和发展进行了探讨。天津大学余贻鑫院士的报告为“智能电网的原动力、技术组成和实施路线”。报告中提出，系统安全稳定运行、需求侧管理、分布式电源等是推进智能电网建设的原动力。智能电网是综合应用通讯、高级传感器、分布式计算等技术，提高输配电网络的安全性、可靠性和效率。

华中科技大学程时杰院士在“储能技术及其在智能电网中的应用”的报告中指出，在可再生能源发电所占比例较大的电力系统中，储能技术的应用是解决如何保证系统正常运行这个难题的一条可行的途径。并提出了智能电网对储能系统的基本要求，即足够大的储能容量、足够快的功率响应速度、足够大的交换功率、足够高的储能效率、足够小的放电周期、足够长的使用寿命、足够小的运行费用。

天津大学电气与自动化工程学院院长王成山教授作了“分布式电源、微网、智能配电系统”的报告，分别对分布式电源、微网和智能配电系统的关键技术、应用以及存在的问题进行了介绍，并分析了三者之间的关系。山东理工大学徐丙根教授的“智能配电网中的配电自动化技术”、加拿大卑诗省水电公司栾文鹏的“高级量测系统”、国家电网需求侧管理中心陈江华的“我国需求侧管理实践成效与展望”、ABB公司刘前进的“智能电网—远景，技术与应用”等，都从不同角度分析和探讨了智能电网的技术特点、实现方式和发展前景。

### 2. 智能电网的关键技术

我国数字化电网建设涵盖了发电、调度、输变电、配电和用户各个环节，包括：信息化平台、调度自动化系统、稳定控制系统、柔性交流输电，变电站自动化系统、微机继电保护、配网自动化系统、用电管理采集系统等。实际上，目前我国数字化电网建设可以算是智能电网的雏形。

#### 2.1 参考量测技术

参数量测技术是智能电网基本的组成部件，先进的参数量测技术获得数据并将其转换成数据信息，以供智能电网的各个方面使用。它们评估电网设备的健康状况和电网的完整性，进行表计的读取、消除电费估计以及防止窃电、缓减电网阻塞以及与用户的沟通。

未来的智能电网将取消所有的电磁表计及其读取系统，取而代之的是可以使电力公司与用户进行双向通信的智能固态表计。基于微处理器的智能表计将有更多的功能，除了可以计量每天不同时段电力的使用和电费外，还有储存电力公司下达的高峰电力价格信号及电费费率，并通知用户实施什么样的费率政策。更高级的功能有用户自行根据费率政策，编制时间表，自动控制用户内部电力使用的策略。

对于电力公司来说，参数量测技术给电力系统运行人员和规划人员提供更多的数据支持，包括功率因数、电能质量、相位关系（WAMS）、设备健康状况和能力、表计的损坏、故障定位、变压器和线路负荷、关键元件的温度、停电确认、电能消费和预测等数据。新的软件系统将收集、储存、分析和处理这些数据，为电力公司的其他业务所用。

未来的数字保护将嵌入计算机代理程序，极大地提高可靠性。计算机代理程序是一个自治和交互的自适应的软件模块。广域监测系统、保护和控制方案将集成数字保护、先进的通信技术以及计算机代理程序。在这样一个集成的分布式的保护系统中，保护元件能够自适应地相互通信，这样的灵活性和自适应能力极大地提高可靠性，因为即使部分系统出现了故障，其他的带有计算机代理程序的保护元件仍然能够保护系统。

## 2.2 智能电网通信技术

建立高速、双向、实时、集成的通信系统是实现智能电网的基础，没有这样的通信系统，任何智能电网的特征都无法实现。因为智能电网的数据获取、保护和控制都需要这样的通信系统的支持，因此建立这样的通信系统是迈向智能电网的第一步。同时通信系统要和电网一样深入到千家万户，这样就形成了两张紧密联系的网——电网和通信网，只有这样才能实现智能电网的目标和主要特征。高速、双向、实时、集成的通信系统使智能电网成为一个动态的、实时信息和电力交换互动的大型的基础设施。当这样的通信系统建成后，它可以提高电网的供电可靠性和资产的利用率，繁荣电力市场，抵御电网受到的攻击，从而提高电网价值。

适用于智能电网的通信技术需具备以下特征：一是具备双向性、实时性、可靠性特征，出于安全性考虑理论上应是与公网隔离的电力通信专网。二是具备技术先进性，能够承载智能电网现有业务和未来扩展业务。三是最好具备自主知识产权，可具有面向电力智能电网业务的定制开发和业务升级能力。

作为国家电网公司从事骨干信息通信网络建设、运行管理的直属公司，国网信息通信有限公司高度重视智能电网建设工作，积极开展相关前期研究工作，并着力推进有关信息通信技术（ICT）的软硬件产品研发，开展新一代电力信息通信（ICT）网络模式研究，加快信息通信产业化发展。

电力客户用电信息采集系统是智能电网的重要组成部分，信通公司积极参与其中与信息通信专业相关的研究，向国家电网公司提交了通信专题技术报告。同时，积极推进产业化进程，进一步完善了用电信息采集主站软件平台、基于电力线宽带通信技术的采集器等产品。

智能电网客户服务是智能电网用电环节的重要组成部分，是实现电网与客户之间实时交互响应，增强电网综合服务能力，满足互动营销需求，提升服务水平的重要手段。信通公司将智能电网客户服务试点分别设立在北京莲香园小区和阜成路95号院。其中，阜成路95号院试点以光纤入户为主要特点，以机顶盒和电视机为展现手段，实现三表抄收和查询、物业、配送、网络增值等一系列特色服务，体现出良好的交互性和智能化特色。

### 2.3 信息管理系统

智能电网中的信息管理系统应主要包括采集与处理、分析、集成、显示、信息安全等五个功能。（1）信息采集与处理。主要包括详尽的实时数据采集系统、分布式的数据采集和处理服务、智能电子设备(intelligent electronic device, IED)资源的动态共享、大容量高速存取、冗余备用、精确数据对时等。（2）信息分析。对经过采集、处理和集成后的信息进行业务分析，是开展电网相关业务的重要辅助工具。纵向包括“发电-输电-配电-需求侧”四级产业链业务分析和“国家-大区-省级-地县”四级电网信息分析。横向包括发电计划、停电管理、资产管理、维护管理、生产优化、风险管理、市场运作、负荷管理、客户关系管理、财务管理、人力资源管理等业务模块分析。（3）信息集成。智能电网的信息系统在纵向上要实现产业链信息集成和电网信息集成，横向上要实现各级电网企业内部业务的信息集成。（4）信息显示。为各类型用户提供个性化的可视化界面，需要合理运用平面显示、三维动画、语音识别、触摸屏、地理信息系统(GIS)等视频和音频技术。（5）信息安全。智能电网必须明确各利益主体的保密程度和权限，并保护其资料和经济利益。因此，必须研究复杂大系统下的网络生存、主动实时防护、安全存储、网络病毒防范、恶意攻击防范、网络信任体系与新的密码等技术。

### 2.4 智能调度技术

智能调度是智能电网建设中的重要环节，智能电网调度技术支持系统是智能调度研究与建设的核心，是全面提升调度系统驾驭大电网和进行资源优化配置的能力、纵深风险防御能力、科学决策管理能力、灵活高效调控能力和公平友好市场调配能力的技术基础。

现有的调度自动化系统面临着许多问题，包括非自动、信息的杂乱、控制过程不安全、集中式控制方法缺乏、事故决策困难等。为适应大电网、特高压以及智能电网的建设运行管理要求，实现调度业务的科学决策、电网运行的高效管理、电网异常及事故的快速响应，必须对智能调度加以分析研究。

为加快推进智能电网调度技术支持系统总体设计和应用功能规范编写工作，国网电力科学研究院受国家电力调度中心委托，承担智能电网调度技术支持系统总体设计工作。2009年7月6日至18日，在国调中心带领下，国网电科院工作组顺利完成智能电网调度技术支持系统总体设计，并讨论确定智能电网调度技术支持系统功能规范体系，为一体化智能电网调度技术支持系统的快速有序建设提供指导。国网电科院工作组成员全程参与了智能电网调度技术支持系统基础平台和四大应用的总体设计，承担并顺利完成调度计划应用、安全校核应用和调度管理应用的功能流程和总体设计。

### 2.5 高级电力电子技术

电力电子技术是利用电力电子器件对电能进行变换及控制的一种现代技术，节能效果可达10%~40%，可以减少机电设备的体积并能够实现最佳工作效率。目前，半导体功率元器件向高压化、大容量化发展，电力电子产业出

现了以 SVC 为代表的柔性交流输电技术、以高压直流输电为代表的新型超高压输电技术、以高压变频为代表的电气传动技术，以智能开关为代表的同步开断技术，以及以静止无功发生器、动态电压恢复器为代表的用户电力技术等。柔性交流输电技术是新能源、清洁能源的大规模接入电网系统的关键技术之一，将电力电子技术与现代控制技术相结合，通过对电力系统参数的连续调节控制，从而大幅降低输电损耗、提高输电线路输送能力和保证电力系统稳定水平。

高压直流输电技术对于远距离输电、高压直流输电拥有独特的优势。其中，轻型直流输电系统采用 GTO、IGBT 等可关断的器件组成换流器，使中型的直流输电工程在较短输送距离也具有竞争力。此外，可关断器件组成的换流器，还可用于向海上石油平台、海岛等孤立小系统供电，未来还可用于城市配电系统，接入燃料电池、光伏发电等分布式电源。轻型直流输电系统更有助于解决清洁能源上网稳定性问题。

高压变频技术最大的优点是节电率一般可达 30%左右，但缺点是成本高，并产生高次谐波污染电网。同步开断（智能开关）技术是在电压或电流的指定相位完成电路的断开或闭合。目前，高压开关大都是机械开关，开断时间长、分散性大，难以实现准确的定相开断。实现同步开断的根本出路在于用电子开关取代机械开关。

## 2.6 分布式能源接入技术

智能电网的核心在于构建具备智能判断与自适应调节能力的多种能源统一入网和分布式管理的智能化网络系统，可对电网与用户用电信息进行实时监控和采集，且采用最经济与最安全的输配电方式将电能输送给终端用户，实现对电能的最优配置与利用，提高电网运营的可靠性和能源利用效率。

分布式电源（DER）的种类很多，包括小水电、风力发电、光伏电源、燃料电池和储能装置（如飞轮、超级电容器、超导磁能存储、液流电池和钠硫蓄电池等）。一般来说，其容量从 1kW 到 10MW。配电网中的 DER 由于靠近负荷中心，降低了对电网扩展的需要，并提高了供电可靠性，因此得到广泛采用。特别是有助于减轻温室效应的分布式可再生能源，在许多国家政府政策上的大力支持下，迅速增长。目前，在北欧的几个国家，DER 已拥有 30%以上的发电量份额。在美国 DER 目前只占总容量的 7%，而预期到 2020 年时这一份额将达 25%。

大量的分布式电源并于中压或低压配电网运行，彻底改变了传统的配电系统单向潮流的特点，要求系统使用新的保护方案、电压控制和仪表来满足双向潮流的需要。然而，通过高级的自动化系统把这些分布式电源无缝集成到电网中来并协调运行，将可带来巨大的效益。除了节省对输电网的投资外，它可提高全系统的可靠性和效率，提供对电网的紧急功率和峰荷电力支持，及其他一些辅助服务功能，如无功支持、电能质量改善等；同时，它也为系统运行提供了巨大的灵活性。如在风暴和冰雪天气下，当大电网遭到严重破坏时，这些分布式电源可自行形成孤岛或微网向医院、交通枢纽和广播电视等重要用户提供应急供电。

## 3. 智能电网的功能实现

目前，智能电网研究较为成熟的主要是美国，美国多个州已开始设计智能电网系统，GE、IBM、西门子、Google、Intel 等信息产业龙头都已投入智能电网业务。

美国能源部中国办公室的 Maitin Schoenbauer 出席了 2009 年 6 月在天津大学召开的第一届智能电网研究论坛，介绍了美国智能电网的有关情况。Martin Schoenbauer 介绍了“美国能源部智能电网业务”，美国能源部正在发起建立智能电网信息共享交流平台和信息库，资助智能电网技术研发项目，并指出清洁能源和智能电网将是中美能源领域合作的重要内容。

美国科罗拉多州的波尔得市是美国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。

在美国西弗吉尼亚州，阿勒格尼电力公司 (Allegheny Energy) 的“超级电路”项目 (Super Circuit project) 把先进的监测、控制和保护技术结合在一起，从而增强供电线路的可靠性与安全性。该电网将整合生物柴油发电、能量储存以及先进的计量基础设施 (智能仪表) 和通信网络，迅速地预测、确定并帮助解决网络问题。

美国科罗拉多州科林斯堡 (Fort Collins) 及该市拥有的公用事业公司支持多项清洁能源计划。其中一项涉及在五个用户区域内把太阳能和风能等近 30 种可再生能源结合在一起。该计划与其他一些分布式供电系统共同支持该市一个称为 FortZED 的零能耗区。

美国夏威夷大学 (University of Hawaii) 在研制一个配电管理系统平台，它采用智能计量作为门户站，综合了需求反应、住宅节能自动化、分布式发电优化管理、配电系统的储存与负荷、允许配电系统与主电网中其他系统协调的各种控制手段。

美国伊利诺伊理工学院 (Illinois Institute of Technology) 的“完美电力” (Perfect Power) 项目应用先进技术建设微型电网的原型，该微型电网能够对主电网的变化作出反应，增强电网的可靠性，并降低电力需求