

OFweek 智能电网每周观察

2011.8.08-2011.8.14

目 录

目录.....	1
【解读构成坚强智能电网的环节及元素】	2
【OFweek 视界：网络通信是电网智能化的核心】	7

解读构成坚强智能电网的环节及元素

2009年5月，国家电网公司宣布正式对外界公布了“坚强智能电网”计划。智能电网计划的启动将带动电网生产运行、经营管理、客户服务以及社会能源利用模式的重大变革。信息化作为智能电网的重要特征，其发展趋势、建设方向将成为电网企业以及IT业界共同关注的问题。

一、智能电网的构成

目前，全球对智能电网尚未形成一个统一的概念，各国在智能电网的建设内容方面也各具特色。根据现阶段智能电网的建设特征和目标分析来看，智能电网的建设主要由以下几个部分构成：

1、灵活的分布式电源

智能电网的优势之一是兼容性，即支持大电源的集中式接入，又能够接入更多分布式的清洁能源，如光伏发电、风电、水电等。分布式电源的并网运行对配电网的潮流控制提出了新的要求，智能电网将提供新的保护方案、电压控制技术和仪表来满足双向潮流的需要。集中和分布式能源的同时接入将提高电力系统的可靠性和效率，提供对电网峰荷电力的支持；同时，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。

2、坚强的骨干网架

国家电网公司提出全面建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强智能电网是符合中国国情的智能电网建设目标。通过一个统一的、共同的平台对电网进行全面的协调、规划和运行，以大型能源基地为依托，建设由1000千伏交流和±800千伏、±1000千伏直流构成的特高压电网，形成电力“高速公路”，促进大煤电、大水电、大核电、大型可再生能源基地的集约化开发，在全国范围内实现资源优化配置。同时，通过高级调度中心建设、大电网运行控制技术和灵活输电等智能电网技术和装备研发，来保障在长距离、大负荷输电的情况下电网的稳定性。

3、高级的配电自动化

与输电网相比，配电网的灵活性、自动化分析和控制水平还不足。高级配电自动化建设将成为智能电网的重要组成部分。高级的配电自动化将包含系统的监视与控制、配电系统管理功能和与用户的交互，实现对负荷的管理以及电价实时定价。配网自动化通过与智能电网的其他组成部分的协同运行，既可改善系统监视、无功与电压管理、

降低线损，提高资产使用率，也可辅助优化人员调度和维修作业安排等。

4、可通信的电力设备

在目前的电网设备中，除了部分的二次设备可以实现远程操作外，大部分的电力设备之间的信息传输基本上是单向方式，而未来智能电网将会形成一种新的通信和交互机制，实现电网设备间的信息交互，以此为依托可以大幅度提高电网的智能性。利用智能电网的互动性，能够实现双向的传输数据，实行动态的浮动电价制度，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，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，提高电网运行的稳定性和可靠性。

5、实时的电网监测与控制

完善的智能电网需要建立涵盖从发电、输电网到配网的电网实时监控系统，能够通过传感器实现实时地(秒到毫秒级延迟)全面查看电网状态，监控电网运行，通过建立电力传感器系统和更新电力体系的自动控制系统，电网性能信息能够通过被集成的SCADA系统，提供自动、接近实时的电网电力控制能力，解决预测、检测和修复电力系统的安全运营问题。

从而可以通过完善的智能电网监控和调度，实现尽早地发现故障，采取正确的措施来快速隔离问题，避免代价高昂的断电现象，保障电网安全和用电可靠性，实现电网自愈功能。管理系统效率日趋复杂，这也需要集成分散的决策机制，即将智能集成入电网，从而实现电网管理的优化，大幅度减少断电现象。

6、互动的终端解决方案

智能电网区别于传统电网的另外一个特点是“互动”，与最终端的电力消费者能够双向互动，获得最优化的供用电方案将会极大地改变现有的用电行为，提升客户满意度。与用户进行互动的最基本要求是，电网企业能够实时采集和跟踪客户端的用电信息，进行负荷的控制，分析并采取最经济、稳定的供电方案；同时终端设备能够将实时电价、电量等信息传导给用户。因此，在智能电网的建设中，智能计量装置的应用将成为实现供用电双方互动的基础设备。通过智能计量装置，供电企业能够实时采集客户信息，与智能计量装置集成的管理软件能够获取这些数据进行分析，掌握负荷信息，对配电做出调解；根据用电信息，供电企业可以计算实时电价、预测电价走势，并通过用户终端智能家电来调节电器用电方案。

二、信息化的定位

智能电网建设将开启电网的一次重大革新，而信息化则是这次革新中不可或缺的重要内容和变革手段，信息化与电力工业的深度融合也将随着智能电网的建设体现得更加充分。

国家电网公司在对智能电网概念的界定中提到，“智能电网将是具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网”，信息化作为“四化”突破口的重要性凸显。电网企业信息化建设起步较早，在生产调度自动化的基础上，各专业应用逐渐发展起来，形成了由信息网络、基础软硬件、应用系统、数据资源、集成平台、信息安全、IT 管理与服务等方面组成的信息化体系。目前，电网企业信息化已经进入了建设与应用并行推进的阶段。在基础设施方面，光纤主干通信网络铺设完成，为设备间实现基于数字通信的交互提供了信息通道。在人才培养方面，电网企业的调度中心、信息主管部门通过多年的调度自动化、管理信息化的建设培养了一大批熟悉电力生产业务和 IT 技术的人才队伍。当前的电力企业信息化应用正在从专业化应用向企业信息一体化应用方向转变，在这个过程中，电网业务数字化的程度已经有大幅度的提高。当前电网信息化建设历程是智能电网建设的必经之路，电网企业信息化的成果给未来智能电网的建设奠定了良好的基础。

三、信息化发展趋势

在智能电网建设框架下，信息化建设将随着电网应用需求的提升而面临新的发展要求。

1、信息化将渗透到业务价值链的各环节

目前，电网企业信息化建设主要关注营销收费、企业资源管理以及办公自动化等领域，而在调度管理、电网优化、生产管理、需求侧管理方面的应用水平则普遍滞后。智能电网的建设将覆盖从电源、输配电、售电和用电管理的各个环节，信息化也将成为各业务环节实现智能化的手段，信息化部门需要为更多新的业务需求提供支撑和服务，如提供基于智能设备的应用功能、为设备安全交互提供可监测的数字宽带网络等。信息化部门也需要更加深入业务，紧跟智能电网建设带来的业务变革。

2、管理信息化与自动化将结合紧密

在建设智能电网的环境下，调度自动化与管理信息化的结合将更加紧密。由于大批的智能设备、仪器仪表、传感器等将被置入各级电网以及终端用户侧，届时将有大量的设备状态数据、生产实时数据、负荷数据在各类设备之间、系统之间传递，企业的生产管理和经营决策都需要依赖这些数据来完成，管理决策信息也需要有效地反馈到电网运行中，并进行调节。信息化部门将需要提供自动化与管理信息化交互的平台，为更多实时数据的安全传输、科学管理和分析应用提供环境和工具。

3、面向服务的信息一体化架构是发展方向

目前，电力企业信息化建设正在从专业级应用向企业级应用转变，信息集成建设成为当前电力企业解决信息孤岛，实现信息资源共享的重要手段。智能电网建设将加快企业信息一体化的进程。

智能电网的基础是电网业务的全数字化，信息资源能够得到充分地共享和应用，实现业务的协同化运作，因此信息一体化架构将成为智能电网下的电网企业信息化架构。由于未来会有各种类型的智能设备在不同时期进入网络环境，并且基于智能电网的环境会有各种应用需求产生，因此需要企业的信息集成平台是一个面向服务的、能够提供标准化接口的平台，兼容分散式和集中式的信息系统。

4、技术引领与业务驱动并重，信息化与业务创新深度融合

智能电网的建设将会促使电网企业进行大量的业务创新和管理创新。信息技术的发展将带动业务与管理创新能力的提升，促使企业研发更多新的应用和面向用户的增值服务；同时，管理能力的创新也将对信息技术提出更高的要求。二者互相促进，形成良性发展螺旋式上升的状态。

在这样的环境下，信息化将不仅仅扮演业务支撑的角色，而是需要完全参与到企业业务创新的过程中，通过引进新的信息技术，不断地挖掘智能电网的应用价值。

四、智能电网信息化体系分析

智能电网的信息化体系实际上是从信息化架构层级、电网产业链、业务类型三个不同的维度，对建设体系进行划分和组合。智能电网下，无论是从电能流的方向还是从企业业务链递进方向，每个环节都伴随有大量数据生成、被采集、处理，供分析应用，并最终不同的形态展示在用户面前。信息化的理念和技术将在这些环节实现智能化目标的过程中充分发挥作用。

在这样的体系结构下，信息化建设将主要有以下内容。

1、稳健的通讯网络设施和高性能的数据处理设备

智能电网的运行依赖于大量数据采集、传输、计算分析，稳健的通信网络是智能电网的基础。智能电力设备将通过通信网络进行数据通信和互动，实施自动故障识别、对已经发生的扰动做出响应等。

基于通讯网络设施，大量的数据在各设备、系统之间进行传输和计算，对数据的处理能力和计算效率提出了更高的要求，分布式计算技术和网格计算服务器的应用将应运而生。

2、集成的电网实时监控信息与管理信息

电网运行数据和设备运行状态数据的采集、分析为整个电网运行控制和管理决策提供支持。目前，电网企业信息化比较领先的企业已经通过生产实时数据平台等技术手段实现了电网实时信息与管理信息的单向交互，为进一步科学管理电网运行提供了支撑。业务管理人员通过对设备状态数据的分析，能够对设备资产实施全生命周期跟踪管理，对设备进行有效地评估和风险控制，最大化程度提高设备的使用效率，实现电网的经济运行。

3、基于企业服务总线的信息化集成平台

智能电网强调需要建立高速的信息通道，使数据在业务流引擎的驱动下，在电网设备运行、电网调度以及各业务系统间有序流动，包括电网实时运行数据、电网拓扑结构数据、计量数据、用户数据以及外部应用系统数据，从而实现信息集成，形成跨部门、跨系统、跨应用的业务协同环境。电网企业可以通过建立企业服务总线，集成分散式和集中式的应用系统。同时，为了不同系统和不同主体能够相互识别与交换信息、协调运行，接口协议和通用信息模型（CIM）等标准规范必不可少。当然，要达到系统之间的无缝衔接，还必须界定各个系统的软、硬件组成，明确它们相互之间的接口。

4、新一代电网的业务功能开发和应用创新

智能电网业务功能的开发与应用创新是智能电网价值的根本体现。智能电网的功能开发可以覆盖电网企业业务流、电能流的各个环节。从目前的研究进展和发展趋势来看，与智能电网相关的业务需求基本有：电网的优化、系统模拟和方针、设备资产的全生命周期管理、设备状态的检测与远程诊断、电力交易撮合、营销与配电一体化管理、需求侧管理、智能家电应用解决方案、企业生产经营绩效分析等。智能电网的业务功能将随着业务的发展和需求的增长不断地丰富完善。

5、纵深的信息安全防御体系

坚强是智能电网的基础，坚强不仅仅是要求骨干网架的安全稳定、抗攻击性强，对智能电网运行所依赖的整个信息环境的安全也同样有严格的要求，建立一套覆盖物理层到应用层的纵深信息安全防御体系是对坚强智能电网的基础支撑。

OFweek 视界：网络通信是电网智能化的核心

尽人皆知，中国的智能电网则体现特高压、超长距、清洁能源并网、配电自动化、用户双向互动等。毫无疑问，要建设经济、高效、可靠的智能电网，离不开现代先进的通信技术，比如内蒙、西北的风电，青海西藏的太阳能以及其他的西电东送，均离不开全国性的调度通信网的实时监控与调度，以减少并网波动。

随着中国经济的快速发展，电力需求不断提升，西电东送，新的超高压线路和变电站不断涌现，风电和光电等清洁能源的并网，这对网络的扩展性提出了很高要求，要求通信设备具备大容量和灵活配置能力。智能电网能够实现双向互动。在用电侧，用电设备的智能联网是智能电网的核心内容之一。

目前，电力系统的数据通信网络主要包括电力调度数据网和电力综合数据网。未来的电力通信网将在这两张网的基础上进一步扩展，建立起智能电网广泛互联的坚强通信网架构。

全球正在开展大量活动来升级电网，使电力能以更有效、更可靠、更环保也更经济的方式传输。其中包括升级电网发电、输配电和计量部分所用的各种设备和技术。这些升级活动的一个重要方面是在各种监控和计量设备中加入通信能力。目前有多种无线和有线通信技术在世界各地进行评估和部署。RF 通信已成为许多地区和应用的首选技术，但也面临着自己的挑战。

在电网中加入通信能力的一般原则是在网络中的发电点、输配电点和用电点之间提供双向通信。为使电网更高效地运作，这种通信链路是至关重要的工具。然而，RF 技术最初采用时并不是出于此目的，其初衷是让电表、水表和煤气表的抄表工作自动化，从而不需要通过人工来记录消费数据。

这种自动抄表(AMR)系统旨在支持从电力公司到消费者的单向电力流。AMR 系统还向电力公司提供单向信息流用以计费，并在一定的时间内传输用电信息。数据速率很低，传输的总数据量也很少，每月通常不到 1 kb。目前大约有 1.5 亿只在用的电表、水表和煤气表具有通信能力，其中大部分具有这种低数据速率、单向通信能力。

在多种力量的共同推动下，一种与上世纪所开发的电网截然不同的新型电网已浮出水面。随着全球电力需求迅速增长，以及人们减少对化石燃料依赖的强烈愿望，新一代能源将越来越多地来自可再生能源，如风能和太阳能等。美国能源部预测，未来 25 年全球电力消耗增长将超过 80%，可再生能源将成为第二大发电来源。

与传统的化石燃料发电厂相比，风能和太阳能发电更加难以预测，因而其管理系统也更加复杂。此外，来自电动汽车的电力需求预计会大幅提高，这会导致需求量不均衡。最后，为了减慢电力需求的增长速度，企业和家庭用户需要通过新的方式来管理用电。

因此，我们需要一种拥有更高层次测量、通信、控制和保护功能的“智能电网”。“智能电网”的功能远不止是抄表，它还可以运用双向信息流让通信变得更加频繁。在智能电网的支持下，许多功能将得以实现，包括：平衡集中式发电厂的发电量；优化电力配送；改善电力质量监控和停电响应；支持对最终用户的负荷量进行控制；实现按天计费制；兼容多种能源，包括再生能源；支持远程连接/断开；向消费者实时反馈其需求曲线。

一旦这种通信方式部署到位，电力公司和消费者就可以合作降低耗电量，提高电网的效率和可靠性，支持电动汽车和再生能源的更广泛使用。

驱动智能电网发展的要求和挑战

智能电网计划已经启动，并且设定了一系列宏大目标。许多情况下，为了实现这些目标，在我们尚未充分了解相关问题及其解决方案之前，需要构建一个基础设施来解决现有的问题并迎接将来的挑战。“美国能源独立和安全法案(2007)”针对智能电网列出了 10 多个关键政策目标，其中既有笼统性的目标，例如“利用数字技术提高电网的可靠性、安全性和效率”，也有更为具体的目标，例如“采用自动化计量、电网运作和状态管理以及分布式电网管理”。根据这些目标，期望中的电网应能整合分布式可再生资源，落实需求响应资源，支持电力储存，支持插电式电动汽车，集成“智能”电器和其它设备以向消费者提供及时用电信息并允许其加以控制。

除了这些挑战以外，并存的风险要求我们制定网络安全和互通标准。这些标准将使得电力公司初期部署的网络基础设施有能力兼容将来由许多公司开发的数以百万计的互连设备。但这数以百万计能够轻松互连的节点，其中一些还能关闭或接通家庭和变电站的电源，或者向电网增加难以控的负荷，无疑会令人们担忧心怀不轨者可能通过恶意攻击而使严重依赖电力的国家瘫痪。除了这种广泛的风险之外，还存在对个人隐私的担忧。有人认为，对能源使用情况的持续跟踪是在人们的家庭和生活中打开的又一扇不受欢迎的数字窗户。

所有这些目标和风险加在一起，代表了一个复杂的闭环系统问题。如果只比较智能电网与互联网或蜂窝网络各自所需的数据速率，现有通信技术似乎绰绰有余，但真正的挑战在于寿命、可靠性成本和未来需求之间的平衡。智能电网对于电力公司和政府来说将是一笔巨大的投资(Pike's Research 估计到 2015 年全球累计支出将达到 2000 亿美元)，而且电力公司对设备的投资还会持续 20 年甚至更长的时间。这些通信系统

要求能够适应未来的发展，设计留有足够的余量，应考虑到 10 年后可能出现的问题。电力公司和设备供应商需要不断比较和权衡当前的实施成本与未来相对模糊的需求。

智能电网通信：多个互连网络

由于智能电网将不同发电形式之间的双向通信扩展到电力消费者，因此它会涉及到多个具有不同控制、测量、数据记录、保护和优化程度的系统。主要的系统可以分为以下组别：1) 输配电现场和广域网络；2) 连接到数据采集器或网络接入点的智能表计；3) 连接到家用电器或充电站的智能表计（见图 2）。

以智能计量为中心的通信系统吸引了最多的目光，成为不同技术的必争之地。美国的潜在表计更换量超过 1.4 亿只，全球超过 10 亿只，因此智能表计代表了智能电网通信系统中的绝大部分节点，大部分成本都集中于此。

世界各地不同程度地采用了两种主要的竞争技术：RF 和电力线载波 (PLC)。北美市场以 RF 解决方案为主。由于免执照高功率 ISM 频段中存在可用的频谱，并且每个变压器对应的表计相对较少，因此一般来说，RF 解决方案在北美市场能以较低的成本进行部署。

智能计量 RF 通信技术使用现状

进一步分析目前用来连接表计与电力公司的 RF 系统，我们会发现另一层次的竞争技术：网格系统和星型系统。这两种系统试图通过不同方式应对智能计量的 RF 挑战。

将数百万只表计连接到电力公司是一个巨大的挑战。仅就美国而言，连接现有表计意味着需要创建超过 1 亿个预定位置的 RF 链路。其中许多位置处在对 RF 通信不利的环境中，例如地下室和混凝土墙后面。还有许多位置是在 RF 干扰源众多且不断变化的城市区域。

网格系统通过相邻表计为单只表计创建多条连接到一个中心采集器的较短路径，中心表计充当电力公司广域网的网关。目前有多家供应商提供网格系统，其数据速率通常为 100 - 150 kbps，采用 FSK 或扩频调制方案，一般工作在以 915 MHz 为中心的 ISM 频段，信道带宽为 50 - 200 kHz。

星型系统主要使用特许执照频段中的窄带信号来连接相距较远但数量较少的中心采集器。中心采集器所需的数量较少，位于山顶或高楼楼顶等视线清晰的位置，但其发射功率较高。星型系统通常采用 FSK 调制，其数据速率低于带宽较宽的网格系统。除了所需中心采集器的数量较少外，星型系统的拥护者还提出它具有带内频谱无干扰和网络协议更简单的优势。

在美国，ISM 频段和特许执照频段均已变得非常拥挤。对于网格系统和星型系统，这都意味着干扰是必须攻克的中心挑战。大规模计量网络的部署会显著提高频谱拥挤程度，因为系统的最大干扰源可能正是系统本身。

这种拥挤会给无线电和网络要求带来严重影响。例如，良好的空闲信道评估 (CCA) 和跳频程序可以简化空闲信道的查找。提高数据速率可以缩短各节点的传输时长，但其代价是链路裕量减少。对于无线电，这种拥挤还意味着阻塞和邻道抑制常常比接收灵敏度更紧要。

如上所述，计量基础设施的主要挑战在于表计的位置是固定的。它不像家用无线路由器，可以通过调整方向、高度或位置来解决干扰问题。此外，为了适合现有表计外壳，表计通常需要进行改装，因此几乎或根本不存在为增强 RF 性能而改变封装的灵活性。表计一般固定在离地仅一米左右的厚钢筋混凝土墙上。简单的视线模型难以有效地描述信道。

需要注意的干扰源因频段和地区的不同而异。在美国，特许执照频段和 ISM 频段系统均存在重大干扰源。常见干扰源包括电视白带信号、蜂窝载波和在同一频段的其它设备，这些设备可能是、也可能不是同一系统的一部分。就数据包结构、调制方案选择和发射频谱符合 FCC 原则的程度而言，工作在同一频段的设备可能不是按照“和平共处”方针进行设计的。

对于已经部署的 80% 到 90% 的表计来说，通信相对较为容易。其余的 10% 到 20% 表计因为地理位置、物理对象、严重的局部干扰或附近噪声源等因素，面临着严峻的 RF 挑战。由于无法移动存在问题的表计，系统层面的解决方案只有增加数据采集器或中继器，增加 PLC 或蜂窝等辅助替代通信设备，或者增强无线电性能。广泛存在的计量基础设施最终必须极其鲁棒，提供 100% 的覆盖率。联系实际来说，大规模部署的电表数量可能是 500 万只，如果覆盖率只有 99%，那么将有 5 万只电表无法读取。

智能电网在技术、市场和社会方面带来了许多挑战。RF 设计人员必须提出新的优化措施，满足工业级产品的需求，使其能在日益拥挤的频谱环境中数十年如一日地工作，由此我们将获得能够灵活适应电力需求和供应发展的电网基础设施。