智能电网基本理念阐释

余贻鑫，刘艳丽，秦超

近年来，电力系统正面临着越来越多的挑战，其中包括全球气候变暖、能源安全需求压力和生态文明意识的提升，以及数字化社会对供电可靠性和电能质量的严格要求等。为此，我国已经开展了许多与“智能电网”开发和实践相关的研究。

从电网的角度来说，智能电网的原动力至少包含下述4个方面：①实现事故扰动情况下大电网的安全稳定运行，降低大规模停电的风险和增强灾难性事件后的快速恢复能力；②实现大量分布式电源(DER)的无缝接入和充分利用；③高级市场化和需求侧管理；④满足数字化社会对电网供电的高可靠性、高质量和高效率的要求。

从广义层面来看，由于智能电网的实施涉及许多技术和商业领域，智能电网的一个关键目标是催生新的技术和商业模式，从而实现产业革命。

智能电网涉及许多重要的理念，厘清这些理念有助于科学高效地实施智能电网工程。本文对其中的一些基本理念进行了阐述。

1智能电网最本质的技术特点

智能电网最本质的技术特点是：电力和信息的双向流动性，并由此建立起一个高度自动化和广泛分布的能量交换网络；把分布式计算、通信和互联网的优势引入电网，实现信息实时交换并达到设备层次上近乎瞬时的供需平衡。有如下四个方面的特点需要强调。

1.1灵活的网络拓扑结构和综合能源及通信系统体系结构(IECSA)

由于DER的广泛接入，电网(含输电网和配电网)每条支路的电力潮流都可能是双向的和时变的，因此，为了使智能电网的潜在效益最大化，配电网拓扑结构应该是灵活的、可重构的，应该使用柔性交直流输配电装置和以智能万用变压器(IUT)为代表的其他电力电子装置，其中智能万用变压器已被看成智能配电网的基石，在能源互联网的概念中它属于能量路由器。此外，电力所及之处均有可靠的双向通信网络。从底层的传感器和智能代理开始，能源网和信息通信网将高度融合。

1.2广泛的分布式电源(DER)

DER包括分布式发电、分布式储能和需求响应。其中，太阳能、风能和需求响应是按照自然地理学进行分布的。这里“需求响应”的定义是：在正常耗电模式下，终端用户用电情况能够随着零售电价的变化而变化，或当电力零售市场电价过高或电网系统可靠性受到损害时，用户会减小用电量。因此，如下观察结果值得注意。

(1)当DER发电接近电力负荷时，功率与能量可以就地消纳，因此它可以节省电网的投资、降低网损和电网的运维成本。加之传统电力价格逐年上升，太阳能光伏发电成本迅速下降，分布式储能成本也在不断下降，以燃气为主的分布式热电联产(CHP)系统的能源利用率将会高于80%。这一切预示着分布式发电成本与零售电价之间有望持平。而且分布式发电可以提高对用户供电的可靠性，增强电网的安全性。因此，世界上与智能电网的开发和实施相关的研究主要是关于分布式发电的。

事实上，天津大学所做的研究已经表明，在当今的中国，从社会总成本的角度看，实施“分布式光伏发电+有源配电网”计划(例如，给无储能系统的分布式光伏发电站局部接入有源配电网)比实施一个“大规模集中式可再生能源发电基地+长距离传输”计划(例如，将一个风电与火电结合的大规模发电基地通过±800kV超高压(UHV)、2000km长距离直流输电线接入到负荷中心的一个大容量电力系统)所花费的社会总成本要低。

因此，如何处理数以万计的分布式电力资源并应对其间歇性、多变性和不确定性，同时确保电网的可靠性、人身和设备安全及市场的活力是未来电网发展所面临的挑战。

(2)研究表明，电网中存在大量的可平移负荷，这些负荷可与电网友好合作(犹如虚拟电源)，从而实现削峰填谷(可提高资产利用率、提高发电效率和降低网损)并达到设备层次上近乎瞬时的供需平衡(例如，需求响应和负荷控制可能

对太阳能和风能等的间歇性、多变性和不确定性发挥补偿作用)。与传统电网把时刻满足负荷需求作为刚性约束相比，这是革命性的变化。智能电网将通过智慧型电表基础设施建设(AMI)、即插即用技术和先进的电力市场来协调需求侧响应和负荷控制。同时综合考虑负荷与配电系统的控制和管理。

(3)插电式混合动力电动汽车与智能汽车电网(V2G)技术本身都具备负荷和电源的双重属性，它们的充电功率和存储能量均很大；另外，与分布式光伏发电和风电等相比，这些电动汽车接入电网的位置和容量具有更大的不确定性。一方面，作为一种新型负荷，电动汽车的大量接入使得配电网的负荷增大且特性更加复杂多变，对未来电网的规划与运行提出了挑战；另一方面，作为一种储能装置，电动汽车又可为电网的削峰填谷和频率调节等提供重要的潜在调控手段。为此，智能电网应该为电动汽车提供一种即插即用的平台(包括先进的市场与新型技术支持)。

除了在电动汽车中的应用，分布式储能也可应用于配电系统的各个环节，以提高系统运行的可靠性、改善电能质量和提高可再生能源的接入能力等。因此，智能电网将为分布式储能与配电系统间更多的交互与协调控制提供基本的平台。

令人可喜的是，近年来分布式储能技术的创新发展十分迅速，有望突破储能成本过高的瓶颈。

1.3分布式智能基础设施

(1)在微处理器时代之前创建的电力基础设施(基于集中规划和控制)，在很大程度上限制了电网的灵活性，降低了电网的效率、安全性和可靠性。此外，由于未来电网中将接入数量巨大的DER，并且其发电量又难以预测，传统的集中控制模式将更加难以适用于未来电网的运行。因此智能电网特别是智能配电网将成为分布式智能基础设施。

如图1所示，以智能配电网为例，它被分成许多片(cell)。正常运行条件下，两片之间的交换功率可以根据制订好的计划进行调度。每片中有许多由片内通信网络相互连接起来的智能网络代理(INA)，如继电保护装置和DER等。这些代理能够收集和交流系统信息，可以对局部控制做出自主决策(如继电保护)，也可以通过各片配电系统快速仿真与建模(DFSM)协调做出决策(如电压调节、无功优化和网络重构等)；同时各片之间有通信联系，各片可以自主做出决策，也可由装有DFSM系统的配电运营中心协调各片间的决策。此外，输电网调度中心和由该输电网供电的配电运营中心之间也有通信链接。

装有输电快速仿真与建模(TFSM)系统的输电调度中心，根据区域电力系统的要求协调做出决策，实现跨地理边界和组织边界的智能控制，使整个系统具备了自愈能力和韧性。

(2)系统“韧性”包括承受蓄意攻击、偶然事故或自然发生的威胁或事件的能力及从中恢复的能力。这要求我们改变对系统、系统结构和目前研究的许多复杂的交互网络的认识。如图1所示的分布式智能基础设施能够对前述的扰动做出自愈的响应，在紧急状态下，它能分片实现“自适应孤岛运行”，并使整个系统快速恢复正常运行，从而提高系统韧性并将电力系统的停电损失减到最小。

(3)智能配电网的结构与控制策略必须满足现在电网所不能满足的两个基本要求：

• 综合考虑终端用户控制和总体配电系统控制。终端用户系统除拥有可与电网友好合作的可平移负荷之外，还有分布式发电和储能、电力调节设备、无功补偿设备和能量管理系统。所有这些设备和负荷的控制必须和配电系统控制综合考虑，以达到系统性能的最优和期望的安全性与电能质量；

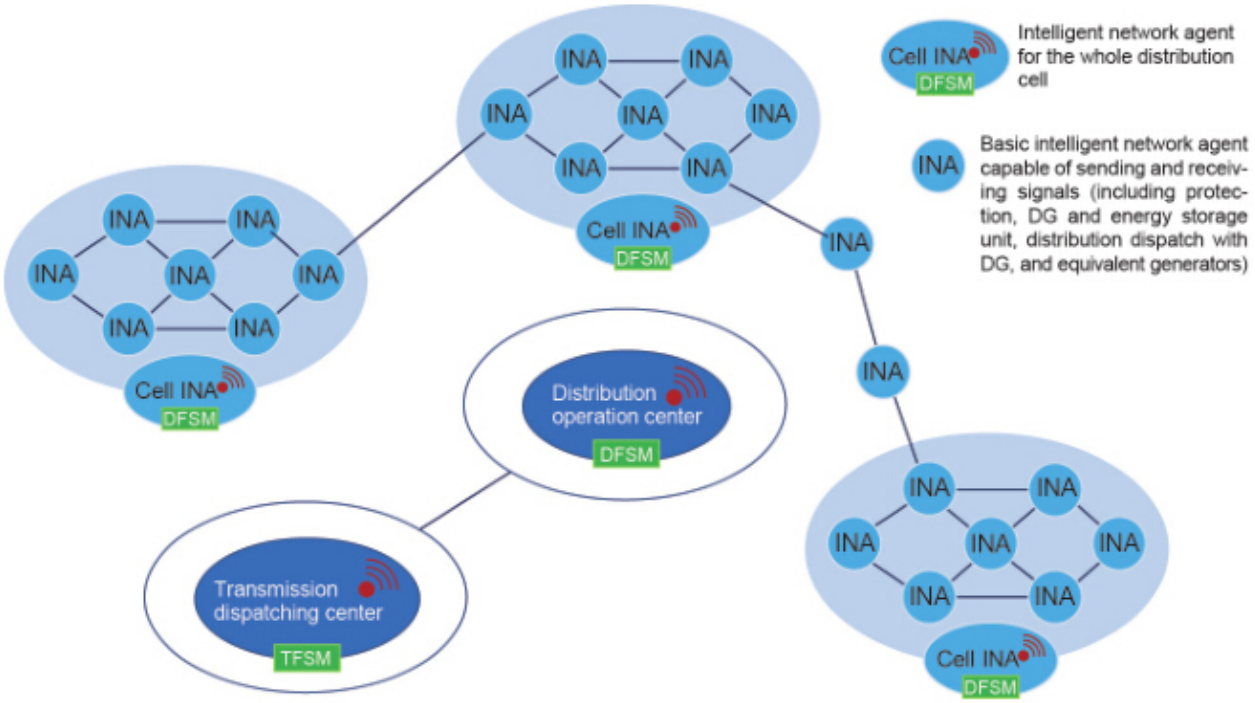

图 1. 分布式智能基础设施。

• 支持高比例的DER。

(4)图1中的每一片可以是一个智能微电网(简称微网)或含有多个微网的配电网。微网是为满足一群用户(小区或城镇)或单个用户(如大学、楼宇或企业)能量需求的一种集成系统。微网和分布式发电的关键区别在于它有能力进行孤岛协调控制。正常运行时，可再生能源的间歇性、波动性和不确定性可在微网内部得到补偿，从而尽可能地将它与大电网连络线上的功率维持在恒定水平，有助于大电网安全运行。因而，对大电网而言它是个“好市民”，在未来它将会更广泛地存在于智能电网中，研究者也应更加重视如何降低其成本。

1.4信息的实时交换与高度共享

输电网运行时使用的信息技术与配电网运行时使用的信息技术一样。实质上，任何智能电网的命脉都是这些用以驱动其运行的数据和信息，而这些数据和信息使开发新的和改进的运营策略成为可能。从电力系统任一层收集到的数据，包括用户耗电量、配电量、输电量、发电量和电力市场运营数据，都可能同其他层相关，用于改善其他层的运行状况。因此，在这些利益相关者之间进行实时和及时的数据共享是智能电网的基本要素。

2智能电网的基本功能和相关技术

智能电网是一个推动者，一个设计良好的智能电网应该有如下基本功能。

(1)便于更广泛地参与。

• 能够激励电力用户，及时向用户提供关于他们电量消耗的详细信息，以及各种可供用户选择的包括实时(或分时)的电价方案；

• 能容易和透明地接受任何种类的能源；

• 以大量“即插即用”的DER补充集中式发电，从而创造新的机遇和市场。

(2)提高效率。

• 终端用户可以积极参与到成熟、健康和综合的电力市场中；

・提高电能质量，有各种各样的质量/价格方案可供选择；

・优化资产利用和高效运行。

(3)提高可靠性和韧性。

・自愈，即发生故障时系统可自愈，以降低停电影响；

・抵御攻击，即遇到攻击或自然灾害时具有快速恢复供电的能力。

除上述三种基本功能外，智能电网还有一些其他基本功能，在这里不一一赘述。

为了实现上述功能，需要通过创新引入新的技术和新的商业模式。这些技术包括：

(1)智能电网技术，包括电网广域监视(电网广域监测系统/相量测量装置(WAMS/PMU)和态势感知)与控制系统、信息和通信技术(ICT)的集成、可再生能源和分布式能源发电的集成、输电网的扩展应用(如柔性交直流输电技术)、灵活的配电网络拓扑结构和先进的配电网管理技术、AMI和用户侧管理系统等。

(2)智能电网可带动的技术，包括风力发电机组、光伏发电装置、电动车辆充电基础设施、绿色节能建筑和智能家电等，其中电动汽车和绿色建筑可能成为智能电网最重要的应用。

(3)为智能电网创建平台的技术，包括综合的通信技术、传感和测量技术、储能技术、电力电子技术、诊断技术和超导技术等。

为了加速智能电网的实现，在智能电网中将应用工业界最好的技术和理念，如开放式的体系结构、互联网协议、即插即用技术、共同的技术标准、非专用化和互操作性等。事实上，有些技术已经在电网中得到了应用；但只有在体现智能电网的双向数字通信和即插即用能力的时候，这些技术的潜能才能得到充分的利用。

3需特别注意的事项

3.1智能电网的效益是广泛而巨大的根据美国电力研究协会2011年的报告，预计2010—2030年，美国实现电网的现代化所需的成本为3380亿~4760亿美元；而这20年内的效益估计为12940亿~20280亿美元，是投资成本的2.8~6倍。我国智能电网发展战略的实施不仅能使我们获得高安全性、高可靠性、高质量、高效率和价格合理的电力供应，还能提高国家的能源安全保障能力并改善环境，推动可持续发展，同时能够激励市场发展与创新，从而提高国家的国际竞争力。

3.2智能电网所面临的挑战和研发机遇是巨大的

智能电网面临的挑战极其广泛，涉及许多技术性、体制性和社会性问题；电网的变迁必将改变整个行业的商业模式。厘清其发展过程中的关键性障碍将有利于智能电网最大限度地发挥其潜能。这些挑战带来了前所未有的机遇。

3.3一个整体良好的环境是智能电网发展的必要条件

(1)制订法律、政策、标准和发展路线图。智能电网的性质决定了其参与者不再局限于电力公司和电力设备厂商，还应包括广大消费者和众多其他行业；而且其组织、研发和实施均十分复杂。因此，需要由国家尽早制订相应的法律、政策、标准和发展路线图，以鼓励、支持和指导更多的企业和人群的参与。

(2)开放先进的电力市场。为了激励在智能电网方面的创新，亟需建立一个成熟、健康、综合的电力市场。其中包括：实施分时或实时电价，使电能作为商品的市场价值得到合理的体现；制订政策，鼓励分布式电力和能源的所有者将电卖给电网公司，促进清洁能源的供应(以固定价格)，以及确保电力公司和其他投资者的智能电网投资成本的回收等。

(3)智能电网与互联网。事实上，智能电网是一个跨学科的产物，其互联网思维与生俱来。1925—1950年，区域互联电网的思想诞生并得到极大的推广。事实上它已具有了互联网的四个基本性质，即互联、开放、对等和分享。智能电网愿景的最终实现需要引入互联网领域最新的技术与理念。为了加速智能电网的创新，能源领域的科学家和工程师们需要与通信、信息等互联网领域的同行密切合作，使用共同的语言和协议，这样可以最大程度发挥智能电网的潜能，

从而为人类提供广泛的社会和经济效益。

3.4智能电网的近期目标和远期目标

智能电网将像互联网一样改变着人们的生活和工作方式。由于智能电网需要持续的研发和颠覆性的技术突破，所以智能电网的实现将是一个较为漫长的过渡和与多种技术长期共存的过程(回顾一下互联网的发展历史就会明白)。短期内可以着眼于实现一个较为智能的电网，即利用已有的或即将形成的技术使目前的电网更有效，使其在提供优质电力的同时创造较大的社会效益(如改善环境)。

3.5重视效益

智能电网的不断发展需要进行持续的研究以预测不断变化的需求，评估不断变化的收益和成本。在实施智能电网时，需要时刻考虑所做的工作是否适用于市场？能否激励用户参与？是否可实现资产优化？是否能够获得高效运行？电力公司和监管机构应该持续地向消费者证明：智能电网的效益最终会超过其成本的投入。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/93476.html