

智能电网与智能能源网

王明俊

(中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

Smart Grid and Smart Energy Resource Grid

WANG Mingjun

(China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

ABSTRACT: At present a new tendency appears in the research, development and implementation of smart grid, that is, the research, development and implementation of smart grid are extending to related industries and interacting with them, and a high-level smart energy resource grid will be built in China. On the basis of expounding the idea of smart grid, following items, such as the research and development courses for smart grids home and abroad, the extension of smart grid to related industries and the interaction of smart grid with them as well as the preparation for building smart energy resource grid in China, are analyzed and discussed to propose some notable problems, which are favorable for the conformity of smart grid with smart energy resource grid.

KEY WORDS: smart electric power grid; smart energy resource grid; smart meter; demand response (DR)

摘要: 当前, 智能电网的研发和实施出现了向相关行业延伸互动的动向, 我国将为此建立高一层次智能能源网。在阐述智能电网理念的基础上, 对国内外智能电网的研发路线、国外向相关行业延伸互动和国内筹建智能能源网的发展进行了分析讨论, 提出一些智能电网和智能能源网相互整合时值得关注的几个问题。

关键词: 智能电网; 智能能源网; 智能电表; 需求响应

0 引言

“智能电网”(Smart Grid 或 IntelliGrid)的研讨方兴未艾。在取得若干共识的基础上, 各国正在根据国情进行研发实施的同时, 出现了向相关行业延伸互动的动向。我国则更进一步, 正式立项在智能电网之上建立“智能能源网”。

本文在描述智能电网基本理念的基础上, 对国内外智能电网的研发路线、国外向相关行业延伸互动和国内筹建智能能源网的发展进行了分析讨论, 试图提出一些对智能电网和智能能源网相互整合有益并值得关注的几个问题。

1 智能电网的理念和主要特征

和常规电网发输配电单向为用电服务的供需

关系不同, 随着负荷发电效应的需求响应资源、大量用户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, 形成了供需互动的双向服务关系, 常规电网对此已无能为力, 故必须求助于智能电网的研发。

尽管智能电网尚有待于规范定义, 但智能电网研发领域有别于常规电网的几个特点已逐步形成共识, 如图 1 所示。

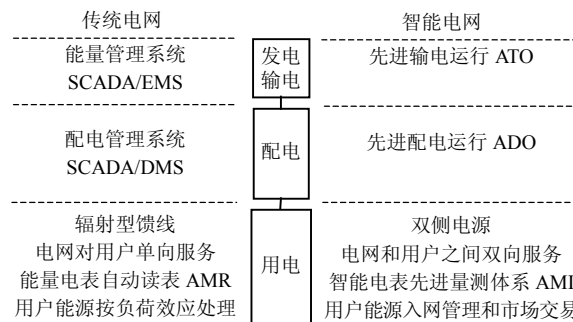


图 1 传统电网与智能电网

Fig. 1 Traditional power network and smart power grid

图 1 中, 先进量测体系(advanced metering infrastructure, AMI)继承与发展了传统 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。

先进配电运行(advanced distribution operations, ADO)继承与发展了传统 SCADA/DMS 的各种应用, 支持需求响应资源、大量用户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, 电网的安全自愈和优质高效运行。

先进输电运行(advanced transmission operations, ATO)继承与发展了传统 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,智能电网中的先进资产管理(advanced asset management, 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,传统电网和智能电网的不同,主要反映在从供需的单向服务发展到供需互动的双向服务上。

传统电网、特别是垄断经营时期的发输配用电,是从上而下的单向供需关系。那些由用户控制启停的自备电厂,都被视为是虚拟负荷,即使接入配电系统,也不参与自动发电控制,甚至在配网侧安装逆功率继电器,正常时不向电网注入功率,更不用说量大面广的可再生能源发电了。随后,这些分散发电直接或间接纳入需求侧管理(demand side management, DSM),在开源节流、改善负荷曲线方面发挥了积极作用,但单向的供需关系基本未变。

对电网而言,分散发电的启停可以看成是虚拟负荷的减少和增加。同样,负荷的减少和增加也可等效于虚拟发电的增减。因此,需求响应资源,除与发电商之间的双边合同外,还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。值得注意的是,需求侧响应的瞬时性明显优于发电机,而其价格却仅为新建峰时发电的1/4到1/3。

智能电网环境下,主要通过供需关口的智能电表和通信、信息集成的先进量测体系AMI来实现供需之间电力和信息的双向流动,以支持需求响应资源、用户可再生能源发电、储能、电动汽车充放电以及自备电厂的入网管理和市场交易。这也是从仅在发输配电结点之间实现电力和信息的双向流动的传统电网发展到双向服务的智能电网时需要填补的一大空白。

值得注意的是,AMI除提供如上所述的电网侧表前服务外,还提供量大面广的用户侧表后服务。如与用户侧网络(home area network, HAN)相连,实现用户分散发电、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(distributed energy resources, 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等。

总之,智能电网的研发和实施以及传统电网的改进和发展,同样都必须依靠监管法规的推动和市场机制的激励,而且两者在发输配用之间也没有必

然的先后顺序联系。因此,由于各国资源配置、监管决策取向、电力市场进展、以及用户认知程度不同,切入点、重点和先后顺序必然有所差异。

此外,旨在应对能源和环境挑战,重视可再生能源发电、电动汽车运输、和优化能源使用的智能电网,与相关的煤水气油能源、以及气象运输等行业,存在着密切的关联和互动关系。是加强行业间的宏观调控、或是建立智能能源网统一管理,也是当前令人关注的一个问题。

2 国外智能电网的研发与实施

在国外智能电网的研发中,已通过立法、比较有代表性并具有影响力的,是欧洲的20/20/20计划和美国的Grid2030。

1) 欧洲20/20/20计划。

能源消耗排名居世界第二的欧洲国家,面临不同程度的能源短缺,并在一定程度上制约了经济的发展;另一方面,在欧洲引起气候变化的90%CO₂排放来自能源消费。此外,预计到2030年,欧盟对能源的依赖程度将从当前的50%上升到70%。因此,欧盟委员会在2006年发表的绿皮书《A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy》中强调,欧洲已进入了一个新世纪,欧洲能源政策的核心是发展可持续的、具有竞争力和安全供应的能源,并将通过连续一致的政策手段来达到此目的。为了降低化石燃料在能源生产中所占的比例,可再生能源及与之相关的分布式发电技术无疑是最有潜力的选择。

为此,欧洲议会与欧盟委员会在其关于促进可再生能源发电的2001/77/EC指导性文件中订立了以下目标:2010年绿色电能占总用电量的比例从14%提高到22%,可再生能源占总能源消耗的比例从6%提高到12%。

同年,欧洲未来电网技术平台咨询理事会发布了一个在欧洲实现智能电网的长期规划《智能电网——战略规划文件(smartgrid—strategic development document, SDD)》。要求在2020年前可再生能源增加20%、碳排放减少20%、和能源效率提高20%,故简称20/20/20计划。

为了实现20/20/20目标,采取了优化电网的基础设施、接入大量的断续的发电设施、推广信息与通讯技术、主动的配电网络、推广和改善新型的电力市场、和提高用户的用电效率等6项措施。

在政策的支持下,欧洲各国可再生能源的利用已初见规模。德国可再生能源的发展十分迅速,

2006年其可再生能源的利用已占到所有能源的11.8%，其中风能占11.8%，光伏发电量较上年增加53.8%。西班牙、丹麦、意大利和英国等紧跟其后。

可见，欧洲20/20/20计划，着重于应对能源和环境的挑战，加强供需互动，偏重于从下而上进行智能电网的研发和实施。

2) 美国 Grid2030。

美国的 Grid2030 由美国能源部于 2003 年 7 月发布，紧接着发生了震惊全球的“8.14”美加大停电。Grid2030 有关编制人员参与事故调查后，Grid2030 随即纳入由美国 EPRI 发起、突出自愈功能的智能电网(IntelliGrid)研发。2009 年，奥巴马政府将智能电网改造列入美国经济复苏计划，宣布将铺设 3000 英里输电线路，为全国近 1/3 的 4000 万家庭安装智能电表。此外，还将集中对落后的电网系统进行更新换代，建立跨越 4 个时区的统一电网，实现太阳能、风能、地热能的统一入网管理。

Grid2030 是一个完全自动化的发输配用电网络，它监控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。

Grid2030 具有 3 层结构：上层的全国电网骨架，通过低阻超导电缆和变压器组成的输电走廊与中层区域互联网相连；区域内，长距离输电由升级的交流或扩充的直流线路构成，并大量应用先进的储能设备以解决由于气候或其他原因所造成的供需失衡；基层的地方配电网、小型网和微电网，通过区域网与国家骨架网相连，从任何地方的发电商购买电源，而向用户提供服务。用户可以根据需要挑选电力供应，包括电价，环境的影响，可靠性和电能质量。用户的分布式电源也可与区域网相连，参与市场交易和竞争。

旨在应对突发事件、提高抗灾变能力、突出自愈功能的 IntelliGrid^[1]，进一步将智能电网结构概括为市场、输电、配电、高压发电、分布能源(包括分散发电、分布储能和需求响应资源)、用户服务、IT 服务等 7 个领域，当前列出 400 多项应用功能，今后随技术进步和最佳实践可能有所增减，被称为是走向下一代电力系统的交通图。

此前，由美国国防部牵头、EPRI 和华盛顿大学等单位参与，已投资 3 000 万 USD、历时 5 a 先期完成电力基础设施战略防护系统(strategic power infrastructure defense system, SPID)的开发^[2]。该系统采用面向 Agent(agent oriented, AO)技术的反应、协作和认知 3 层 Multi-Agent 结构，用以防护来自自然灾害、人为错误、电力市场竞争、信息和通信

系统故障、蓄意破坏等对电力设施的威胁。

可见，和欧洲 20/20/20 计划不同，美国的 Grid2030，较多关注大面积停电和反恐形势，偏重于应对突发事件、提高抗灾变能力、实现自愈功能，从上而下进行智能电网的研发和实施。

3) 智能电网与相关行业的互动。

旨在应对全球能源和环境挑战、推动节能减排，重视可再生能源发电、电动交通运输和优化能源使用的智能电网，与相关的煤水气油能源以及气象运输等行业，存在着密切的关联和互动关系。因此，智能电网的研发，必须具有全盘的整体观点。这就提出一个令人关注的问题，是加强行业间的宏观调控，还是建立诸如智能能源网这样高一层次智能能源网来统一管理。

国外研发智能电网与其他能源和行业的关联和互动关系，主要包括 2 个方面，即智能能源供应价值链的整体优化和相关系统的协同增效创新。

涉及智能能源供应价值链的整体优化的系统有：燃气公用事业系统，燃料供应系统(油/天然气管道、煤及其运输)，用于发电厂冷却和地区供热的水系统，电动交通运输，风力和太阳能预报的气象系统，碳减排和其他防污控制系统，电力、碳、其他排放市场，以及用户行为承诺等。协同增效创新的相关系统有：交通运输系统，水系统，电器设备设计，区域规划，绿色建筑，绿色城市规划等。

全盘的整体观点要求按一体化系统考虑，在研发实施智能电网的同时，应给予社会高效的回报。智能电网主要对含可再生能源在内的分散发电、电动汽车充放电、储能、智能电表、需求响应、先进传感器、先进输电技术、广域测量和控制、紧急控制和恢复控制等实现系统集成。对社会的高效回报除集成可再生能源、电动汽车充放电、储能、需求响应、和提高能效外，还应实现供电的安全自愈功能和参与全球环境的改善。

3 我国的智能电网和智能能源网

3.1 智能电网的研发和实施

我国智能电网的研发和实施，从上到下分为 3 个阶段。即：2009—2010 年的规划试点阶段、2011—2015 年的全面建设阶段和 2016—2020 年的引领提升阶段。

在规划试点阶段，主要完成坚强智能电网的整体规划，形成顶层次设计；开展关键性、基础性、共用性技术研究，进行包括特高压骨干网架和智能配电网在内的技术和应用试点。

在全面建设阶段，基本建成以特高压电网为骨

干网架、各级电网协调发展的国家电网；具备接纳和优化配置大型火电、水电、核电和可再生能源基地电力的能力；在电网部分重要区域内开展枢纽变电站智能化建设和改造；双向互动服务在大中城市得到推广，在有条件的地方开展分布式能源试点。

在引领提升阶段，全面建成坚强智能电网；实现以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强国家电网；发电及需求之间实现实时互动反馈；超过 50%的关键变电站实现全站设备的智能化；智能化用电设备得到广泛应用，双向互动服务全面推广；分布式能源系统以及具备发电能力和用电功能的各种终端用电设备实现“即插即用”。

显然，和欧洲的 20/20/20 计划和美国的 Grid2030 相比，我国智能电网的研发，具有充分考虑资源优化配置的特点。先期主要是结合西电东送，建设类似美国 Grid2030 的全国电网骨架，不同的是美国采用的是低阻超导电缆而不是我国的特高压输电。至于供用电领域大量可再生能源和电动汽车充放电的入网管理和市场交易、以及通过智能电表实现供需互动的双向服务，主要是第三阶段的事，但已为此根据国情开展了有关的若干基础和试点工作。

为了迎接全球性环境和能源的挑战，大力推动可再生能源的发展和开展节能减排。2007 年 9 月 4 日，国家发改委发布的《可再生能源中长期计划》，制定了 2010 年达到 10%、2020 年达到 15%的可再生能源发展目标。2007 年 8 月，国务院发改委、环保总局、电监会和能源办颁发了《节能发电调度办法(试行)》，明确规定：“优先调度可再生发电资源，按机组能耗和污染物排放水平由低到高排序，依次调用化石类发电资源，最大限度地减少能源、资源消耗和污染物排放”。供用电领域大力推动节能降耗，如制定电器能效标准、综合线损率要求 2010 年降至 6.3%等。

对节能减排和配电市场影响较大的插入式电动汽车，也取得了长足进步。2008 年 12 月 15 日，世界第一款续航里程达 100 km 以上、时间上领先国外 2~3 a 的比亚迪 F3DM 双模电动车在深圳上市，2010 年可望进入北美市场。

供需互动方面，正在结合拉动内需、积极筹建包括智能电表在内的新一代电力用户信息系统，用以支持电力市场的发展，并计及智能电网的研发和实施。该系统与国网公司现已建成推广的 SG186 一体化企业级信息平台(包括安全生产、项目管理、

物资管理、财务资金、营销管理、协同办公、人力资源和综合管理 8 大应用，和信息安全防护、技术研究、管理调控、标准和制度保障、评价考核、人才队伍 6 项保障体系)相结合，将为智能电网的信息化奠定良好基础。

在上海世博园智能配电网的试点中，包括分布式电源接入、储能系统、智能变电站、配电自动化系统、故障报修-管理系统、电能质量监测、用电信息采集系统、智能用电楼宇和智能用电家居、电动汽车充电站等 9 项示范工程。

3.2 智能能源网的提出

当前国外智能电网的研发，正处于制定标准、并向能源供应价值链的整体优化和相关系统的协同增效方向延伸发展阶段。与此同时，我国全面覆盖水电气热力行业、比智能电网层次更高、规模更大的智能能源网，将在“十二五”期间提上日程。

《国家“十二五”中国智能能源网发展模式和实施方案课题》已获国家主管部门批准立项，并成立课题组正式着手研究筹备智能能源网。智能电网的建设，将是智能能源网的核心。

虽然课题研究的完成、中国智能能源网发展模式和实施方案的正式出台尚需时日，但从有关文献^[3-4]和报道已可看出其要点。

智能能源网将电力、燃气、水务、热力、储能等资源捆绑为整体资源，实现能源替代优化，统一解决有关能源的有效利用和调峰问题。

大力推动就近消纳的可再生能源发电，倡导充分利用我国毗邻太平洋近 2 万 km 的海岸线，将我国东部地区的负荷中心和风能主要聚集地的海洋风电场结合起来。

智能能源网将智能电网的当前研发，和今后向能源供应价值链的整体优化、以及相关系统的协同增效方向延伸合二为一，实现跨越式发展，减少二次升级成本。

标准先行，地方先动。改革可分行业进行，但涉及计量设施、通信模式、基站模式等 12 项标准，需从智能能源网高度制定，并从地方政府(如 600 多个市级单位)开始启动智能能源网。

和智能电网从上而下的研发路线不同，智能能源网从投资少见效快的供需互动双向服务入手，仅错峰调节一项，即可节约 120 GW 的装机容量，相当于约 8000 亿元的经济效益。

3.3 智能电网与智能能源网的整合

综上所述，国内外智能电网的研发路线及其发展方向一致，但侧重点、先后顺序和采用技术有所

不同。在我国,当前还将面临智能电网研发及其和智能能源网的整合问题。

首先,我国智能电网的研发,由于充分考虑资源优化配置的特点,建设含西电东送在内的全国电网骨架,必然成为重中之重。但无论是采用特高压或是低阻超导输电,都存在如何实现故障隔离、避免或缩小大面积停电问题。

与我国 2008 年冰雪灾害较为类似的加拿大 Hydro-Quebec (H-Q)系统,为了实现灾变后 4 d 内恢复 50%、21 d 内恢复 100%负荷的供电安全指标,根据系统特点采取了加强网络结构建设 735 kV 环网工程、加固主干线段、建设熔冰工程、和增加应急资源等 4 项措施。

智能能源网倡导的充分利用我国毗邻太平洋近 2 万 km 的海岸线,通过海洋风电场来就近解决东部负荷中心问题,较为符合就近消纳可再生能源的智能电网理念,值得进一步进行技术经济分析和比较。

另一个值得关注的问题是,智能能源网的“标准先行、地方先动”,要求从地方政府开始启动中国智能能源网,推动以 600 多个市级单位为主导的集成化改革作为智能电网建设重要的体制突破口。除新能源的接入和碳减排的收益外,它还涉及到含需求响应资源在内的供需互动双向服务、调峰利益分配、多网合一的增值服务等。这就要求正式迈开智能电网改革的步伐,而不仅停留在规划研究和试点阶段。

与此相互关联的是,还要求推动和发展基于智能电网运转的供用电交易市场。否则,供需互动的双向服务将是一句空话。但我国的电力市场,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 号文提出“十五”期间逐步对配电业务实行内部独立核算,为输配电分开的批发竞争预作准备。至于配用电分开的零售竞争,尚未提上日程。

再有,智能能源网有关计量设施、通信模式、基站模式等的一体化管理,是基于行业间的强制协调,还是实现物理上的一体化,也颇值得关注。

国外推行的千家万户电气水表的一体化,主要是通过电表上增加气水表的接口,实现方便用户、供需双赢的统一计量计费,而不是物理上的三表合一。至于变电站、煤气站、和水泵站,由于电气水行业特点和路径的不同,只能是行业间的相互调控,更不是物理上的三站合一。

总之,随着中国智能能源网发展模式和实施方案的正式出台,智能电网与智能能源网将进入一段整合期,有关各方应为此预作准备。

4 结语

由于各国资源配置、监管决策取向、电力市场进展、以及用户认知程度不同,智能电网的研发和实施的切入点、重点和先后顺序必然有所差异。

和欧洲 20/20/20 计划着重于应对能源和环境的挑战、美国 Grid2030 偏重于应对突发事件相比,我国智能电网的研发,具有充分考虑资源优化配置的特点。

智能电网的研发正在向智能能源供应价值链的整体优化、和相关系统的协同增效创新方面发展。我国智能能源网的筹建,实现跨越式发展,减少二次升级成本。

智能能源网将电力、燃气、水务、热力、储能等资源捆绑为整体资源,实现能源替代优化,统一解决有关能源的有效利用和调峰问题。标准先行,地方先动。

随着中国智能能源网发展模式和实施方案的正式出台,智能电网和智能能源网有可能对可再生能源的就近消纳、配用电领域智能电网改革的进程、供需互动双向服务电力市场的开放以及电、气、水等能源的一体化管理等进行必要的整合。

参考文献

- [1] 王明俊. 突出自愈功能的智能电网[J]. 动力与电气工程师, 2007(2): 12-16.
- [2] Chen Chingliu. Strategic power infrastructure defense[C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting, USA: IEEE, 2004.
- [3] 武建东. 中国智能互动电网发展总体战略[J]. 动力与电气工程师, 2009(4): 12-17.
- [4] 武建东. 中美智能能源网发展模式体系比较[C]//智能电网实践探索专家研讨会. 上海, 2009.



王明俊

收稿日期: 2010-08-19.

作者简介:

王明俊(1931), 男, 教授级高级工程师, 咨询委员, 原院副总工程师, 长期从事电力系统自动化研究工作, 曾参加我国第一套 SCADA(湖北), EMS(四大网)/DMS(绍兴)系统的引进和自主知识产权 CC-2000 系统的开发工作, E-mail: mjwang@epri.sgcc.com.cn.

(编辑 杨天和)