

中国智能互动电网 发展总体战略

◆ 武建东

(中国科学院科学时报社, 北京 100190)

全球主要经济体正面临着一次使电力体系效益最大化的历史机遇, 整合或改造传统电力流程, 其本质是更有效地重组人类的能源体系, 改造人类基本的生产方式。以信息化电网重塑全球电力体系是危机时代人类提高能源效率的最佳途径。

互动电网革命将推动电力基础设施通过加载数字设备和改进网控技术, 升级为人类创新生产和生活的主要设施。因此, 将实现有插座的地方就有能源, 有插座的地方就有信息互动的变革; 将推动电力产业从中低端的电力供应商提升为具有综合能源、通信和信息的服务商, 电力产业将实现自工业革命以来最重要的大跨度转型。电网体系的信息化是我国在能源革命中最有可能执世界之牛耳的大业, 应该成为我国能源革命的优先突破产业。

为此, 可以将电力产业应对全球危机的创新使命和发展责任确定为10个方面: ①互动电网是下一代全球电网的基本模式; ②互动电网发展应该成为中国电网现代化的核心; ③互动电网应该超越特高压, 成为中国电力发展的首要目标并确定与此相关的战略投资计划; ④中国应该确定制高点型的互动电网发展战略; ⑤互动电网是跨产业、跨越式的新产业和新技术革命; ⑥中国应在适当时机推进与欧美并列的洲际互动电网计划, 实现电力体系交易的国际化、区域化; ⑦营建与欧美两大电力体系不同的“电力光纤复合电缆电网”, 实现电网运行的安全性和高效率; ⑧营建电力设施、房屋、电动交通工具、网络家电、医疗以及水、电、燃气、热力、冷气等客户终端无缝连接的一体化服务网络。这是一个较互动电网更高端的网络, 简称互动网;

⑨应该推动电力产业实现自工业革命以来最重要的大跨度转型; ⑩应该推动智能互动电网发展的市场化、投资主体的多元化和电力、通信、视频产业的融合。

1 发展智能电网正在成为国际新产业革命的突破口

1.1 互动电网是下一代全球电网的基本模式, 也是中国电网现代化的核心

工业革命最伟大的成就之一就是化石能源建造人类能源的生产方式和消费方式。信息化技术的进步面临的巨大挑战就是需要转变这个能源利用方式, 以更加清洁的能源(包括可再生能源)建造人类使用能源的创新体系。危机的拯救之中, 美国奥巴马和欧洲的领导人一致选择的推动自身经济走出危机的复兴之道就是推动信息化技术、新的管理变革与人类能源现有的生产方式和消费方式的整合变革。目前来看, 这个转变有3个使命: ①以信息技术改造和提升现有的能源体系。特别提高集能源大成的传统电网体系的能源效率。②逐步更新以化石能源为主的能源利用体系。其中一个革命性的做法就是奥巴马政府拟在2012年实行排污者承担治污的费用。这将提高化石能源的利用成本, 同时可以借此拓展可再生能源的规模发展。③建造消费者和生产者互动的能源运转体系。实现有插座的地方就有能源, 有插座的地方就有信息互动, 芯片技术也将推动无处不在的个性化插座分解为公共设施和用户财产, 如同手机话费计量一样, 携带芯片的充电装置将在公共插座上实现(例如车辆电池)买电或售电的交易行为。目

前谷歌正在开发车辆电池充电技术。因此，消费者既可以是电力客户，也可能是风能、太阳能、氢电池、生物沼气等小型电力供应商。这个转变将使人类消费能源的方式发生历史性的变革。

在这个转变中，信息化技术应该是“刀俎”，传统能源的运行方式将成为“鱼肉”。因此电力基础设施将是全球具有最大价值的物质设施，也是可以最大限度地实现提高能源效率的平台。

1.2 关于智能互动电网

本文所述的智能电网，是指广义的全球行将推进的发电、输电、供电、用电、客户售电、电网分级调度、综合服务等电力产业全流程的整体生产方式的产业革命、技术革命和管理革命。

互动电网简称为ISG，(Interactive Smart Grid)，电、水、热、医、冷、数据等综合性的网络的整合可以称作智能网或互动网。为突出消费者的积极参与，也可以称为互动网。智能电网的含义已涵盖其中。

互动电网可以通过电子终端将用户之间、用户和电网公司之间形成网络互动和即时连接，实现电力数据读取的实时、高速、双向的总体效果，实现电力、电信、电视、智能家电控制和电池集成充电等的多用途开发，实现用户富裕电能的回售；可以整合系统中的数据，完善中央电力体系的集成作用，实现有效的临界负荷保护，实现各种电源和客户终端与电网的无缝互连，优化电网的管理，形成电网全新的服务功能，提高整个电网的可靠性、可用性和综合效率。

实际上，互动电网的本质就是能源替代、兼容利用和互动经济。从技术上讲，互动电网应是最先进的通信、IT、能源、新材料、传感器等产业的集成，也是配电网技术、网络技术、通信技术、传感器技术、电力电子技术、储能技术的合成，对于推动新技术革命具有直接的综合效果。因此，智能电网具备可靠、自愈、经济、兼容、集成和安全等特点。

互动电网的功效包括：①能够实现双向互动的数据传输，实行动态的浮动电价制度；②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和数据整合，遇到电力供应的高峰期时，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；③能够将新型可替代能源接入电网，

比如太阳能、风能、地热能等，实现分布式能源管理；④提高供电效率，减少能量损耗，改善供电质量，解决电网商业化运行；⑤智能电表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、宽带业务或传播电视信号。

智能网改革将推动全球能源革命的深度扩展。通过建造互动的电网，将推进IT建设进入创新阶段；将为消费者提供更好的减少能源消耗的方式；将为整个社会节约成本、降低温室气体排放，促进绿色经济的发展。

2 中国互动电网体系发展的10大架构原则

(1) 适合信息化电网管理体系。实现发电、输电、供电、用电、客户服务加载一体化互动的物理设备，建立国际化标准的电力管理平台，使用国际化、标准化的软件界面，实现电能的清洁、有效、可靠和灵活运用。

(2) 能适应21世纪新一代电网运行的需要。可有效接入各种电源，实现各种电源和客户终端与电网的无缝互连，以及电网与电力储能装置的大规模互动对接。例如将太阳能、风能、地热能、海洋能等可再生能源发的电能以及燃料电池等接入电网。

(3) 提升电网运行效率。能够实现双向、互动、实时的智能化数据传输和读取，实行动态的有选择的浮动电价制度。可根据用户需求有效控制电力的生产和输配，提高能源效率，实现节能减排目标。

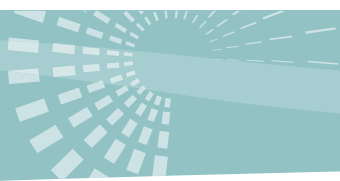
(4) 实现电网自愈。建立电力传感器系统和更新自动控制系统，实现预测、检测和修复电力系统的安全运营。

(5) 抵御不当攻击。有效识别和应对来自任何人为的恶意破坏或自然干扰。

(6) 提供高品质的电力服务。提高供电效率，减少能量损耗，改善供电质量，实现电网商业化运行以及清洁、稳定的电力供应，节省客户费用和社会资源。

(7) 激励消费者积极参与。通过电网的互动，消费者能够更好地管理自身的需求，降低用电费用。消费者既可以是电力客户，也可以是小型电力供应商。

(8) 优化电力资产管理。节约电网的运营和维护费用，推动电力市场的创新发展。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和数据整合,在电力供应高峰时,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。

(9) 能将智能电表和微传感器作为电网的新型物理要素。可以将智能电表作为互联网路由器,推动电力部门以其终端用户为基础,实现通信、宽带业务、电视传播等信号的传输。

(10) 营建更灵活的能源系统,推动建立分布式能源管理体系。可再生能源具有能流密度较低、分散性强、投资省、能耗低、利用率较低的特点,适合分布式能源管理。这种管理体系具有无需建设配电站、土建和安装成本低、提高设备的年利用小时数、各电源相互独立、用户可自行控制、供电可靠性高、输配电损耗低、适合于热电比的变化、可进行遥控和监测区域电力质量及性能、便利商业区和居民区供电、能提高环保水平等特点。分布式能源体系与以化石能源为主的集中化能源管理模式之间,迫切需要建立联通平台,以便整合管理。而发展互动电网的使命之一就是实现集中式能源管理和分布式能源管理的结合,建立双轨合成的能源管理平台。

目前,国内外的现实情况需要我国的电网发展战略必须大胆变化,从应变型战略转变为建立制高点型的电力经济发展战略。成功的战略应将这个转变变为一种机遇而非负担。倘若中国推进互动电网变革,那么从2009年起我国需要更新10万个以上变电站,3000万~5000万块电表更改为智能电表,以推动中国的电网体系分期实现互动电网技术的升级。其它数字设备的加载需求也十分巨大。为此,我国应该全面推进互动电网发展,而忽视或仅满足于互动电网局部试点,则将使中国的电力体系仍难脱传统模式的窠臼。为此,互动电网改革必须是整体的,否则,一旦美欧经济复苏并实现了经济与电力结构的升级转型,我国不但将失去一次领跑世界经济的机会,也将再一次沦为国际分工的苦力角色。

3 实现有别于欧美模式的中国互动电网超越发展的突破口

发展中国互动电网要达到事半功倍的效果,就必须推进有别于欧美的超越战略。寻找这个战略突破口是我们所处时代的能源革命的智慧。可归

纳为8个方面:

(1) 集成化。互动电网的本质是最大限度地推动电网体系与创新技术结合以实现新产业化,而且该体系将进一步发展到整合电力设施、房屋、电动交通工具、网络家电、广域可视化、医疗、水电燃气热力冷气等领域一体化管理的智能网或互动网的水平。目前从欧洲、亚洲到大洋洲,都有国家或城市在推进建设智能电网或智能网的计划。例如,发展电动车、中低速超导磁悬浮快车、混合动力车等交通工具。电力行业需要构造新的产业链,向电力交通项目投资或者建立产业衔接关系。未来10年,中国市场需要1000万部以上出租车,1000万辆以上公交车、旅游车和校车等绿色车辆。面对这些需求,没有电力企业的大规模介入,电动车难以进入革命性发展时期。再比如,集成发展气候、环境、能源、医疗、智能管理等链接起来的传感器产业,以及集成发展视频、宽带等产业。笔者认为,不确立集成化的改革模式,互动电网就难以出现跨越式的展开。因此,应该确立互动电网的集成化改革形态。

(2) 通信化。这需要我国实行有别于欧美、甚至超越欧美的技术路线,即营建复合电力光纤电缆电网。以此为起点,使世界电网进入金属电缆网和复合电力光纤电缆电网双网的时代,并逐步实现以复合电力光纤电缆电网为主的时代。

(3) 国际化。中国需要进入单独、共同,甚至资助国际组织创建电网现代化标准的时代。也就是进入电力体系国际化的时代。以往的危机将全球的能源商品投送到全球定价时代,这次能源革命将实现电力开发和交易的国际化及区域化的转变。越是以国际化标准推动互动电网的发展,该革命将越具有生命力。

(4) 实现主力能源的替代化、兼容化。中国需要加快实现由以煤为主的传统能源向以可再生能源为主的能源体系的转变。而互动电网必须能够包容这些复杂的新能源,比如水力发电、风力发电、太阳能发电、海洋能发电、生物质能发电等。实现可再生能源的利用至少有3层含义:首先是利用现代技术开发干净、无污染新能源,如太阳能、风能、潮汐能等;其次是化害为利,同改善气候和环境相结合,充分开发能源中所蕴藏的有效价值;第三是大量采用数字控制技术和新设备等,提高各种能源的使用效率。其中以创新技术实现可再生

能源的有效利用最为重要。这是互动电网运行的核心问题之一。

(5) 实现分布式能源管理的现代化和体系化。所谓分布式能源系统, 就是为终端用户提供灵活、节能型的综合服务的系统。在中国农村和边远地区有广大的需求。它包括的技术有: 智能控制与群控优化技术, 资源深度利用技术, 综合系统优化技术, 一次和二次能源相关技术, 能源转换技术、储能技术、热电冷系统综合技术等。分布式能源既需要满足用户多种需求的能源梯级利用, 也需要通过中央能源供应系统提供支持和补充, 更需要依托信息化技术实现自动化运行、用户系统的就近支援和互保可靠的能源供应。必须实现电力、热力、制冷与蓄能技术的结合, 实现多系统能源容错, 力争能择优源效率。这是实现中国互动电网运行的战略目标。

(6) 实现电力储能技术的实用化。电能可以转换为物理、电磁、电化学和相变储能4类方式存储。电化学储能包括锂离子、铅酸、镍氢、镍镉、钠硫和液流等电池储能。锂离子储能是中国市场迫切需要的一种储能方式; 物理储能包括压缩空气储能、飞轮储能、抽水蓄能, 此储能方式应用范围很广, 特别是电动交通行业发展飞轮储能技术的前景远大。电磁储能包括超导和高能密度的电容储能等技术, 该方式还需要大力引进和开发。相变储能主要包括冰蓄冷储能等技术。目前储能技术已经成为电网运行过程中的基本环节, 它有助于实现需求侧管理, 平衡昼夜间的峰谷差, 遏制负荷波动。这是我国可再生能源应用的重要前提和实现电网互动化管理的关键技术。

(7) 实现互动电网升级的芯片技术和兼容标准的择优化。例如, 复费率电表所用的计量芯片、驱动芯片、微处理器芯片及时钟芯片, 电力线载波通信(PLC, Power Line Communication)系统所需的电力线载波调制解调器芯片, 其它如高频化、大功率化、智能化和模块化的电力半导体器件, 以及实现互动电网所需的其它芯片。因此, 没有电力芯片技术的突破就没有具备自主知识产权的中国现代化电网。整个中国电网需要装载数十亿先进的电力芯片。这需要制定创新战略才能实现中国电力芯片的创新使命。

(8) 实现海量计算机管理系统、能源卫星和电力中央信息管理平台的体系管理。以期实现对电

力系统的即时、双向、趋势的安全管理。

4 创新: 推动中国互动电网发展的若干主要战略

4.1 推行洲际能源互动网络计划

面对欧美加快发展智能电网这个残酷的竞争现实, 我国应该集一切可能的力量, 充分利用我们的需求和资源, 加快启动国际电网的互动大转型战略。

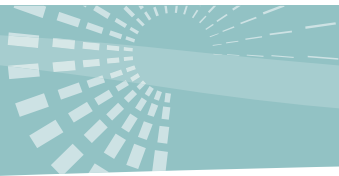
该计划可称为“洲际能源互动网络”。该计划体系框架内容包括: 以一个全球电网互动升级标准为基础, 革命性地实现我国互动电网快速的转型, 同时吸收洲际互动电网体系的革命成果, 将东亚、东南亚、中亚、俄罗斯等地的发电、输电、供电、用电的电力产业互联集成起来, 重组全球能源体系。该体系也有必要与北美、欧盟的超大型、区域性智能电网建立体系通道, 实现电力能源的全球化互动整合, 大力推动体系间的联通和电力国际化交易。并根据全球气候、环境、社会和能源的变化不断择优升级。

为此, 建议国家投入1000亿~2000亿美元, 以内地需求为基础, 联合韩国、朝鲜、蒙古、中亚诸国、泰国、缅甸、越南、柬埔寨等东亚和东南亚国家, 以及俄罗斯、日本诸国建立区域互动电网标准, 大力推动电力体系最大的联通和电力国际化交易。该体系的搭建将使中国的电网体系犹如中国通信系统国际化一样, 实现国际化、商业化和现代化的创新运作。这相当于把中国电网和东南亚、俄罗斯、日、韩都连通起来, 构筑一个奠基于通信系统标准的能量交流系统。若能实现, 中国今后可以从西亚、中亚和俄罗斯进口电力, 而无需庞大的海运也可减少交通线负荷, 使海上运输和陆上运输得到极大的改进。假设该体系全部由超导电缆建设, 线路长度可能超过200万km, 这将促使亚洲地区主动地发动一场全球性的新能源革命。其结果将使上网速度提高到5M到10M左右, 成本比今天还低; 将颠覆和重构我们的生活方式, 改变现有的交通工具, 促使电动交通工具走遍世界。

中国互动电网的超越战略必须包含国际化主题。当前, 中国互动电网迫切需要的是建立一个基于国际化的互动电网的标准。这不仅是为了市场, 也是为了我们可能实现的历史跨越。

4.2 营建一个有别于欧美的“电力光纤复合电缆电网”

美国和欧洲的智能电网改革的基础是立足于



一网(电力网)一线(电力线),并在此基础上构建互联数据网,实现实时、高速、双向的电力数据读取和可再生能源的接入。

以化石能源为主的中国能源体系不具备快速转入以可再生能源为主的模式,盲目追随欧美国家智能电网的改革路线,将使我们电网的战略转型陷入“东施效颦”之路。中国应该推行超越式战略,采用大规模突破性手段进行电网的组建,推行一网(电力网)多线(添附光纤线)的转型战略,即在现有电力线的基础上,添加二三条光纤线缆,通过电力光纤复合电缆电网的模式解决民用网、政府网和军用网3网捆绑电缆线互动运行的问题。为此,我国电网现代化的择优技术路线应明确为跨越式、跨产业的变革方式。其发展目标应明确为主体营建互动电网,推动电力产业从中低端的电力提供商提升为综合能源、通信和信息服务商,实现有插座的地方就可以高速上网。因此,中国的农村将在这次变革中直接进入高速互联网。这也是我国实现电网现代化的最小代价和最理想捷径。

我国电网的转型战略,实际上是通过对我国电力主网进行改造的机遇,实现多通道主辅线缆捆绑的合成。与此同时,还可以建立多通道共享的系统网络管理技术和中央信息管理平台、数字变电站体系和满足不同客户需要的智能终端,有效解决电力数据采集、传输、集成、优化和表达的运行流程。由此,可将我国电网营造为综合性、多层次的服务网络。

多通道电网体系的功能应该包括:电力线运营配电网、可再生能源接入网、光纤线缆运行通信网、数据网、电视网、家电管理网、智慧电能存储网(即电池充电网等)、远程医疗网、生物传感器网、政府公共服务网和灾难、救援、医疗救护等网络,可在灾难发生时通过政府网向家庭终端实时报警。这10个功能可成为我国互动电网发展的主体内容,并随着社会需求变化而逐步提升。对于我国36万km的输电网系统,这两三个新增的添附线缆投资不过1000亿元左右,我国是能够承担的,也是必须承担的。如由各地电力、通信和军队通信兵联合施工,3~5年我国主要城镇就可以初步实现互动电网的基础营建和运行。

由于光纤和电力线复合在一起时几乎没有电气绝缘问题,因此,可以将我国电网的电气绝缘水准和杆塔、网架资源发挥至极限。经测算,若合成

生产和使用光纤及电力线复合线缆,节省了线缆的外保护套、光纤保护件和挂缆等工程,因此光纤和电力线复合线缆的采用,其成本仅增加15%~30%,这应该也是电网发展投资最少的战略大工程。

为此,应该充分利用全球危机的历史机遇,将我国电力建设的主战场转移到互动电网建设上来,集中将我国的高、低压电网及其配套设施更新为与互动电网匹配的运行系统。其中缆线管理路线应明确3个原则:①新建电网加快推行光纤和电力复合网络;②旧有电网添附光纤网络;③特殊地区推广电力通信系统。

推动电力光纤复合电缆电网的建设将使我国的互动电网建设的起点立足于全球电网现代化的最高点,把握世界电网模式转型之牛耳。未来的世界电网将进入电力光纤复合电缆电网和金属电缆电网的双网时代,而且,伴随着世界能源革命的发展,电力光纤复合电缆电网将成为基本模式。这应该是中国对世界电缆电网模式转变的一个贡献。

4.3 推进与欧美模式不同的可再生能源发展战略

奥巴马政府就任伊始,美国超导公司(AMSC)为美国海军成功地研发了超导舰船推进电机和发电机的技术。2009年2月10日,美国能源部的国家可再生能源实验室(NREL)和国家风能技术中心(NWTC)与AMSC签署了为期12个月的合作研发10MW级超导风机的协议。

美国超导公司分析,采用传统技术制造的10MW级直驱式风力发电机,其质量将达到300t左右,而利用超导技术制造的同样级风力发电机质量只有120t左右。高温超导直驱式风力发电机系统与传统发电机和齿轮箱相比,体积更小、重量更轻、成本更低,而且效率高,可靠性好。它将打破单机风力发电容量的瓶颈,降低发电成本。

笔者以为,应该发展海洋人工岛平台发电事业,以可再生能源置换传统能源。近几年,我国风电发展迅速,400×10⁶亿元振兴计划尤其侧重于陆上风电场的建设。但这个战略的明显不足之处是,没有将我国负荷中心的东部地区和风能主要聚集地的海洋风场有机地结合起来。中国有近20000km的海岸线,又毗邻太平洋,海上风能得天独厚,具有成为世界海上风能利用大国的优越条件。为此,我国应该投资150亿~200×10⁶亿元人民币,用5~10年的时间,营建3000个左右近海人



图：美国的智能电网

工岛，建造12000~15000台10M~80MW的高温超导风力发电机。其发电量相当于中国现有发电总量的50%~70%。同时还可结合水下潮汐发电等综合管理和全球卫星导航、即时监控、近海电缆传输等系统，建立中国可再生能源的创新利用体系，改造中国人民的生产方式，一举改变我国北部和西部能源东输的问题。因此也应尽快调整我国铁路、公路体系的布局 and 产业发展计划。

与此同时，应该加快制定水力发电、风力发电、太阳能发电、海洋能发电、生物质能发电和输电的创新战略。

4 发展中国互动电网的建议

(1) 尽快制定国家互动电网改造的发展战略和长期规划，优先确定互动电网的试点计划、试点城市和试点评价。

(2) 成立国家互动电网发展领导小组，分析国内外的智能电网的实际情况，选择广州、上海等地为互动电网试点城市，大力推动以互动电网为主的产业集群的建设和发展，规划和设计我国互动电网的主要投资运作。

(3) 加快建立兼容集成的电网升级的新标准，特别是互动电网的通信系统标准。该标准应该将电力基础设施、可再生能源、房屋、电动车、公路、传感器、数字变压器等体系一体化。国际电工委员会(IEC)已有了智能网络的一些初步标准，包括变电站自动化系统和通用信息模型，可作为我国的参考。我国的标准应该为今后推进更大规模的物理互动网建设预留衔接通道。

(4) 制定以可再生能源和低碳能源作为主力能源的电网转型战略；确立大规模发展电动车辆，5~10年内我国发电能力需求翻番的变革战略——从电力一网一线的传统制式提升为电力一网多线的运行模式；大力推进电网兼容转型、替代提升的发展战略。

(5) 加快推进互动电网设施的全面升级，解决建立新的测量系统、安

装新型传感器、升级变电站、完善电网接入设施，适应新的市场需求等基础建设。

(6) 加快推进互动电网技术的集成，如储能技术、广域测量系统、高速传感器、自动抄表、智能电表、微电网、电力路由器等创新技术的研发、换代和应用。

近年来，国家电网公司提出的“SG186工程”规划，南方电网公司实施包括信息工程、电力综合宽带数据网、电力市场支持系统等IT系统管理，都为我国实现互动电网打下了坚实基础。

(7) 开展互动电网改造工程，以自主发展和支持内需为主，同时加强对有关技术的吸收和引进工作。

(8) 将发展互动电网的产业变革主题列入我国与其它国家或国际组织的战略对话和有关双边、多边协议框架。

(9) 投入1000亿~2000亿美元建立商业化的洲际互动能源网络计划。

(10) 通过互动电网，建立集中式能源管理和分布式能源管理相结合的混合能源管理体制。■



作者简介：

武建东，中国科学院科学时报社首席经济学家、教授，《中国改革杂志》学术顾问，北京师范大学等大学兼职教授、研究员，《中国电力企业管理》杂志特聘顾问等。

E-mail: bebobe@163.com