



# 低碳电力初探

◆ 国网能源研究院 胡兆光

为了应对全球气候变化，作为最大的发展中国家，我国政府承诺：到2020年，我国非化石能源消费占一次能源消费的比重达到15%左右；单位GDP CO<sub>2</sub>排放强度比2005年降低40%~45%。

电力是由一次能源转换而来的二次能源，是一次能源的使用大户。我国是全球除美国以外的第二大电力生产国与电力消费国。2009年我国发电装机容量达到8.7亿kW，发电量达37010亿kWh，其中，火电机组发电量为30534亿kWh。2009年的发电用煤约10亿t标煤，CO<sub>2</sub>排放约25亿t，可见火电也是污染物的排放大户。这是由我国能源资源

以煤炭为主的国情所决定的。随着经济、社会的发展，电气化水平会越来越高，发电用煤占煤炭消费的比重也会越来越高。落实节能减排目标是我国电力工作者所面临的重要课题。

低碳时代已然到来，低碳经济、低碳能源、低碳电力等已成为热门话题。中国电力必须走低碳电力之路。

## 1 低碳电力

低碳经济就是在不影响经济发展的前提下，尽量减少对资源的消耗及污染物的排放。

由低碳经济的内涵,可以衍生出低碳电力。低碳电力是一种寻求帕累托改进的过程。即在保持经济可持续发展的情况下,最大限度地减少对电力的需求以及在电力生产中的污染物排放。根据这个内涵,低碳电力的外延应满足:在需求侧,引导用户节约用电,最大程度降低电力需求;在发电侧,在确保电网安全稳定运行的前提下,最大可能地发挥清洁能源(如风能、太阳能、水能、核能)的作用,吸纳、送出、使用清洁能源发电。

低碳电力包含综合资源战略规划与智能电网(如图1所示),即:

低碳电力 = 综合资源战略规划 + 智能电网

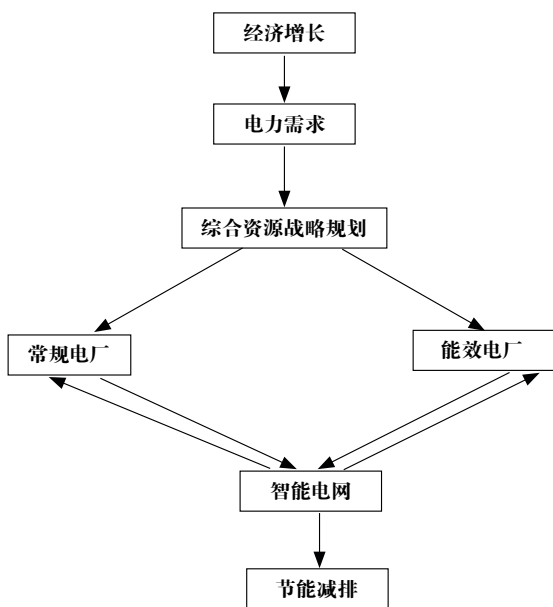


图1 低碳电力

## 2 综合资源战略规划

综合资源战略规划(Integrated Resource Strategic Planning, IRSP)<sup>[1]</sup>是根据国家能源电力发展战略,在全国范围内将电力供应侧资源(如煤电、气电、水电、核电、风电等)与电力需求侧资源(将节约视为一种重要资源)统一优化,并通过经济、法律、行政等手段从战略的高度合理地利用供应侧与需求侧的资源;在满足未来经济发展对电力需求的前提下,使得整个规划的社会总成本最小,社会效益最大。

我国政府在能源发展战略中明确提出节能优先,即先节约,后开发。如何实现这个战略?综合

资源战略规划强调通过市场机制、政策引导、行政手段及法规等手段先从电力需求侧推动节能节电。将电力用户节约的电力视为能源资源,称为能效电厂(Efficiency Power Plant, EPP)。比如假定全国推广1亿支10W节能灯,每天运行10h,则1年可以节电163.52亿kWh(厂用电按5%,线损按7%计算)。由此可以降低负荷300万kW(同时率按0.75计算)。相当于少建1座年运行5450h的300万kW的电厂。这类需求侧管理项目称为节能能效电厂。它是个虚拟电厂,是一种通过实施需求侧管理项目,减少电力需求,达到新建电厂以满足相同电力需求目的的电厂。同样,根据不同的节能方式,则可以有高效电动机能效电厂、节能调速能效电厂、高效变压器能效电厂、蓄能能效电厂、高效家电能效电厂以及可中断负荷能效电厂等。

能效电厂的容量越大,减少的负荷也越大,对缓解高峰负荷压力及降低发电厂的能耗效果也越好;其利用小时数越高,则发的负电量(节约的电量)也越多,对节能减排的贡献也越大。

作为国家的综合资源战略规划,政府可以充分利用各种政策(包括财政政策、货币政策、产业政策等)支持能效电厂,建立适合于能效电厂发展的市场机制,推动能效电厂的发展;同时,鼓励清洁能源发电,真正实现由国家制定的综合资源战略规划。因此,政府可以通过政策调整IRSP/EPP中支撑点C(如图2所示),使其向B方向移动,增大能效电厂规模,充分发挥IRSP/EPP对资源优化配置的能力。这也为政策模拟实验提供理论依据,设计最佳的市场机制及激励政策,达到能源战略的目标。

综合资源战略规划是将各类常规发电厂与各类能效电厂视作同样的能源资源,进行统一规划。在电力供应侧,鼓励发展清洁能源发电,采用新技术、新工艺以减少污染物排放;在电力需求侧,通过市场机制、政策引导、行政手段及法规等推广使用节能灯、高效电动机、节能变压器、变频调速、高效家电和冰蓄冷空调等以达到节能减排的效果。

一旦规划出各类常规发电厂的规模及节电目标,需要通过智能电网在确保电网安全稳定运行的前提下,最大限度地吸纳、送出、使用清洁能源发的电量;同时,密切保持与电力用户的联系,最大限度地通过需求侧管理引导用户科学合理地节约用电,真正达到节电目标,最终实现综合资源战

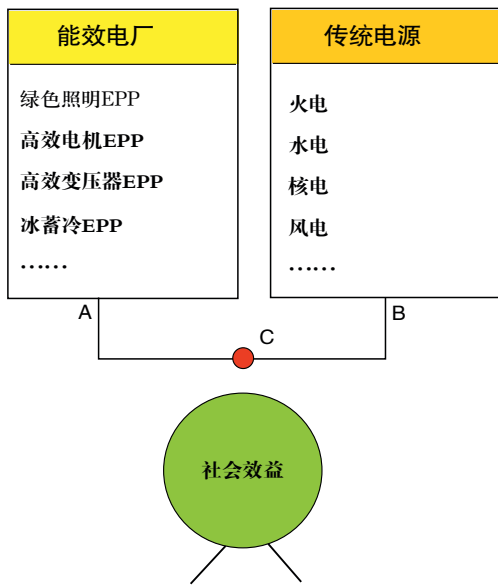


图2 综合资源战略规划原理

略规划的方案，达到低碳电力的实施效果。

### 3 智能电网

为了挖掘电力需求侧用户的节电资源及充分利用可再生能源发电，欧洲美国等在配电网中通过IT技术与用户进行交流，引导用户科学合理节约用电，并鼓励用户采用可再生能源发电，所发电量除了自用外还可以将其卖给电网，以经济杠杆引导大家节约用电及充分利用可再生能源发电（分布式能源发电），实现低碳电力。

但随着气候变化的要求，减排CO<sub>2</sub>的压力不断加大，仅靠配电网的智能电网已经不能满足要求。美国曾提出统一智能电网（Unified National Smart Grid）<sup>[2]</sup>，即将基于分散的智能电网连成全国性的网络体系。通过统一智能电网实现美国电网的智能化，以大容量、长距离、高电压的智能输电网连接发电厂，以智能配电网连接电力用户；以统一智能电网，实现可再生能源的优化输配，提高电网的可靠性和清洁性；在全国范围内的进行电力优化调度、监测和控制，实现美国跨区的可再生能源提供电力的平衡。

实际上，统一智能电网是以美国的可再生能源为基础，实现发电、输电、配电和用电体系的优化管理。美国总统奥巴马在《经济复兴计划进度报告》中宣布将铺设或更新3000英里（约4827.9km）输电线路，并在未来3年内为美国家庭

安装4000万块智能电表。2009年4月16日，奥巴马政府又宣布了1项约40亿美元的用于开发新的电力传输技术计划。美国的统一智能电网今后也将对加拿大、墨西哥等地电力进行整合，为向美国输送可再生能源电力奠定基础。

欧盟为了达到2050年减排80%的目标，由欧盟联合研究中心（JRC）主持的一项研究提出了发展“超级智能电网”（SuperSmart Grid）<sup>[3, 4]</sup>，以支撑远距离输电和分散供电相结合。欧洲现有的电网无法适应不断增长的能源需求，因而需要加以改造。研究人员提出了建设可使可再生能源电力远距离传输的大规模电网、超级电网（Super Grid）、分布式可再生能源发电和智能电网（Smart Grid）<sup>[5-7]</sup>。以上两者相结合即组成超级智能电网。超级智能电网具有在广阔区域输送电力并与小型、分布式发电装置联接的能力，这能抵消大范围内的任何电网波动，使得在北非沙漠地区大规模建设风电及太阳能发电站，并将其输送到欧洲电网成为可能。

我国也在研究坚强智能电网，即一方面在电力用户侧通过现代化通信手段引导用户科学、合理地节约用电，发挥电动汽车的蓄电功能，既可降低电动汽车的运行费用，也可降低电网的峰谷差，提高电力系统的能效；另一方面，在发电侧通过智能化调度，实现长距离送出大容量清洁能源发电。

### 4 低碳电力在应对气候变化中的作用

在过去30年中，我国经济快速发展，取得了举世瞩目的成就。如图3所示：若以1980年为100，则2005年GDP为1035.1，能源消费为372.8，电力消费为841.1，CO<sub>2</sub>排放为451。在这25年中，能源消费弹性系数为0.55，电力消费弹性系数为0.907。显然我国以较低的能源-电力消费支撑了经济的快速发展，节能减排成效显著。在低碳经济方面，我国的实践与成效比英国2003年提出“低碳经济”概念早20年。如图4所示：2005年我国能源强度为36，比1980年下降74%；电力强度为81.25。由于电气化水平的不断提高，2005年的电力强度仅比1980年下降18.75个百分点；单位GDP CO<sub>2</sub>排放强度为43.63，比1980年下降56.37个百分点。可见，我国对缓解全球气候变化做出了重大贡献。

在能源强度方面，美国在1980~1989年期间能源强度下降了19.2%；意大利在1980~2002年

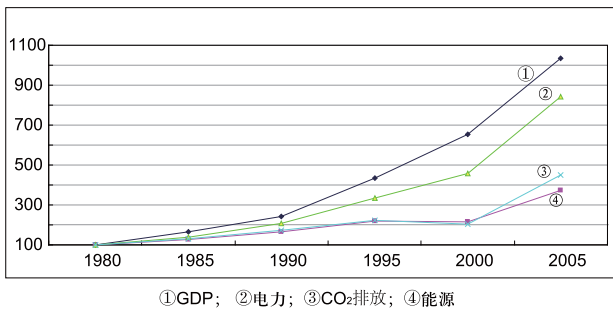


图3 1980~2005年我国经济-能源-电力发展情况

期间能源强度下降了16.27%；日本在1980~2004年期间能源强度下降了15.65%。我国提出2010年能源强度比2005年下降20%的目标。这在国际上是没有先例的，全球还没有哪个国家在5年内能实现能源强度下降20%的，而我国即将做到。我国利用3年半的时间关停小火电5400万kW，供电煤耗标煤由374g/kWh下降到339g/kWh，居国际领先水平。

我国正处于工业化进程的中后期，经济还将继续保持较快的增长速度。模拟显示：“十一五”期间我国GDP年均增长9.9%，2010年将达到29.86万

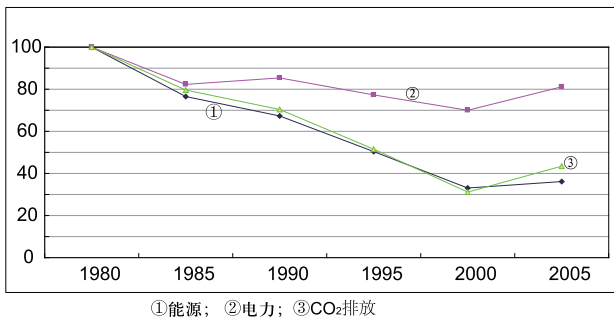


图4 我国能源强度-电力强度-单位GDP CO<sub>2</sub>排放强度

亿元(2005年价,下同)；“十二五”期间我国GDP年均增长拟达到8.2%，到2015年将达到42.28万亿元；“十三五”期间我国GDP年均增长拟达到6.82%，2020年将达到61.59万亿元，是2005年的3.34倍(图5)。2020年我国人均GDP将会达到42480元，是2000年的4.66倍。此时，我国将基本完成工业化进程，开始跨入后工业化阶段。

今后我国能源及电力需求还会保持较快的增长速度：2020年一次能源消费将达到42.68亿t标煤，是2005年的1.88倍。纵观全球发达国家的电气化水平，研究表明：当一国完成其工业化进程时，其人均用电量在4500~5000kWh<sup>[9]</sup>。2020年我国电

力需求将达到75028亿kWh，是2005年的3.01倍。

由综合资源战略规划模型模拟显示(如表1所示)：2020年发电装机容量需达16.6亿kW，其中清洁能源(包括水电、核电、风电、太阳能发电)发电装机容量达5.78亿kW，占总发电装机容量的34.8%，清洁能源发电量达19480亿kWh，占总发电量的25.97%；能效电厂1.42亿kW，能效电厂发电量2856亿kWh。

表1 2020年我国综合资源战略规划模拟

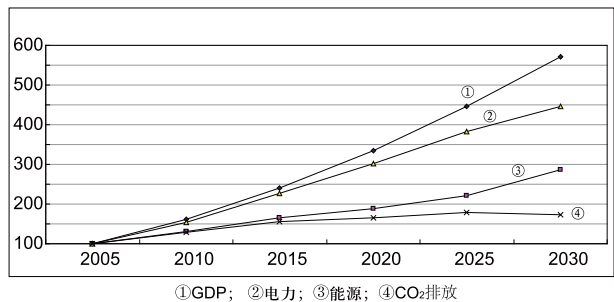


图5 我国经济-能源-电力发展展望

IRSP	发电装机容量/GW	发电量/亿kWh
	1660.32	75006
水电	335.00	10720
火电	1038.32	50000
核电	78.00	5460
风电及太阳能	165.00	3300
气电	44.00	1900
能效电厂	142.00	2856

由此可见：若2020年我国清洁能源发电量达到19480亿kWh，则可以使非化石能源在一次能源中的比重达到15.88%。仅由低碳电力便可实现我国政府的承诺。

若通过智能电网，不仅可以促进终端电力用户节电(能源电厂发电量)2856亿kWh，以及促进清洁能源发电，而且还能降低发电煤耗及线损。2020年我国万元产值在电力行业排放的CO<sub>2</sub>将为0.6599t，比2005年下降0.3695t，当年减排CO<sub>2</sub>22.98亿t，可以使得我国单位GDP CO<sub>2</sub>排放量比2005年下降13.52%，为我国承诺的下降40%~45%的目标贡献33.68%~29.93%。

## 5 结论

低碳电力应是一种寻求帕累托改进的过程。它可在保持经济可持续发展的情况下，最大限度地减少对电力需求以及减少在电力生产中的温室气体排放。研究表明：采用低碳电力，2020年一



次能源消费标煤控制在43亿t左右,清洁能源发电大于19500亿kWh,可以实现我国政府提出的非化石能源消费占一次能源消费的比重达到15%左右的承诺;若2020年GDP总量大于61万亿人民币(2005年价),火电发电量小于50000亿kWh,发电能耗标煤小于310g/kWh,电网线损小于6.2%,能源电厂容量大于1.4亿kW(其发电量大于2850亿kWh),则我国单位GDP CO<sub>2</sub>排放强度将比2005年下降13.52%,可以为我国单位GDP CO<sub>2</sub>排放强度下降的承诺贡献30%左右。低碳电力将是实现我国低碳经济的重要路径。低碳电力包含综合资源战略规划与智能电网。因此,大力推广应用综合资源战略规划,加快智能电网的建设是实施低碳电力的重要举措。■

### 参考文献

- [1] Zhaoguang Hu, et al. Integrated resource strategy planning and demand side management: fundamental and implementation. China Electric Power Press 2008, ISBN 978-7-5083-6726-2.
- [2] Deborah Zabarenko. Al Gore group urges Obama to create U.S. power grid [EB/OL]. 2009-10-20 <http://www.reuters.com/article/politicsNews/idUSTRE4A58N620081106>
- [3] Battaglini A, Lilliestam J, Haas A, et al. Development of SuperSmart grids for a more efficient utilisation of electricity from renewable sources. Journal of Cleaner Production, 2009, 7(10): 911-918.
- [4] European Commission. Limiting global climate change to 2 degrees Celsius. The way ahead for 2020 and beyond. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels; European Commission, 2007.
- [5] SuperSmartGrid. <http://www.supersmartgrid.net/> [2008-6-17].
- [6] <http://www.desertec.org/en/concept/>.
- [7] European Commission. "European SmartGrids Technology Platform", 2006.
- [8] Zhaouang HU, Ming Yang: 'Achieving China's Energy Efficiency Target' 20th World Energy Congress Nov.2007, Italy



### 作者简介:

胡兆光,男,博士,教授。国网能源研究院副院长,中国电力科学研究院学位委员会委员,中国电机工程学会动能经济专委会主任委员,中国科学与科技政策研究会政策模拟专委会副主任委员,《能源技术经济》杂志主编,华北电力大学、北京交通大学兼职教授、博导,享受政府特殊贡献津贴。从事电力经济、能源与环境、综合资源战略规划等方面研究,在国内外报刊杂志、学术会议发表论文120余篇。著书两本。获中国电力科学技术奖多项。

