

平。核电将在减少化石燃料的使用、减少温室气体的排放、环境保护方面作出重要的贡献。

从上述规划目标可见,我国核电发展的任务十分艰巨,但这是可以实现的2010~2050年的40年间新增核电3.9亿kW,平均年增加不到1000万kW,平均年增长率为9.5%,这一增长速度实际上与全世界1970~2004年的增长率相当,这一规划与印度的核电规划也基本相似。我们坚信,实现半个世纪以前世界已经做到的事,半个世纪后的中国完全有信心、有能力做到,而且可以做得更大些、更好些。

## 2. 应予高度重视的几个问题

为了全面实现上述核电发展目标,必须继续坚持改革,紧紧依靠自主创新,坚定不移地贯彻落实科学发展观。理顺建设投资与管理体制、完善决策机制是加快核电发展的前提,建立现代核电工业体系是核电快速健康发展的关键,建设能力配套的燃料循环体系是核电发展的重要基础,构建核电自主创新体系是整个核电发展的基本支撑,健全核电安全保证体系是核电规模化发展的基本保证。因此,建议当前重点要做好如下几方面工作:

(1) 要加快建设投资体制改革,进一步打破垄断局面。特别是对核电建设投资体制,要进一步加大改革力度,要以批准中国电力投资集团公司具有投资建设管理核电项目资质为起步,进一步加大改革力度,彻底打破核电投资建设的垄断,尽快让其余电力公司和地方国有电力公司都有投资核电的均等机会,都能积极投资于核电项目建设,调整电源结构,这是实现上述核电目标的首要条件。同时各大电力公司在核电选址与前期工作储备上,在核电建设、运行管理及人才培养上,在核电筹备处组织准备上,都做了大量工作,以项目业主的身份进入核电建设领域,以尽快调整公司的电源结构,也是他们迫切的要求。另外,要以广东台山核电允许法国EDF投资30%为起点,进一步鼓励各类外国资本和民营资本进入核电项目,在不占控股的前提下,开放核电领域的投资。

(2) 要理顺核电项目决策程序。理顺政府对核电项目的决策管理体制,进一步明确项目决策程序,建立责任明确、内容透明、行为规范的项目审查与核准制度。

(3) 建立现代核工业体系,促进我国核电自主化发展。要在政府领导下,按市场经济原则,参照法国、俄罗斯的改革,优化重组若干个核蒸汽系统供应商集团,形成从核电研究开发到设计、设备制造,直到建设服务、军民结合、独立经营的具有中国特色的核工业体系,适应我国核电发展的需要。这一工业体系在近期要尽快形成每年6~8套核电机组的供货能力,2020年后达到每年10套的能力,并要对大型铸锻件作出相应的安排。因此,建议国家能源局早日召

开全国核电发展工作会议,就落实2020年核电规模发展在项目计划、前期工作、资质要求、主要设备器材、燃料供应、国际合作等作出安排。

(4) 加强工程建设管理和运行管理的服务体系。在工程建设管理方面要尽快培育与推进核电AE公司的专业化发展,同时要创造条件,支持和扩大、吸纳更多的建筑施工与安装力量及管理公司进入核电建设,加强社会化的核能技术服务体系的培育与建设。

(5) 建立能力配套的核燃料循环体系,确保核燃料长期稳定、可靠的供应。

(6) 健全和完善核安全体系。包括建立和健全法律、法规和相应的技术标准体系,核安全监管体系、环境安全体系及应急响应体系。

(7) 加快核电由沿海向中西部扩展的速度。至今中西部没有一个核电工程开工建设,这种局面要尽快结束。特别是中部地区是我国能源资源短缺、运输紧张的地区,尤其需要加快核电的发展,提高核能在能源消费中的比重。

要加快核电的前期选址及核电厂址的保护工作,地方政府要出台保护核电厂址的相关规定性文件。

(8) 重视核电站相关的电力系统规划工作。

一是要做好核电站,特别是群堆核电站的接入系统规划和相应送出输电线路的路径规划,经过规划审批的路径通道要受到法律保护。

二是研究相应的调峰规划,包括配套建设抽水蓄能电站的规划工作,为提高核电站运行经济性和安全性创造良好的系统条件。

核电建设是一个宏大的系统工程,核电建设规划与目标应经政府人大审定之后正式纳入国家统一的具有法律效力的规划中,并需倾国家的力量去努力实施,在当前我国核电即将步入规模化高速发展的关键历史时刻,需要中央、地方、各方面、各公司共同努力,力保我国核电快速、健康、可持续发展,这也是核能发电分会全体同志共同努力并为之奋斗的目标。

## 我国电力发展规划 需要研究的重大问题

白建华<sup>①</sup>

### 一、我国电力规划必须高度关注电力结构调整

目前电力供应以燃煤火电为主,未来需要不断加

<sup>①</sup> 国网能源研究院副总经济师,兼能源战略与规划研究所所长。

大核电、水电、风电、太阳能发电等清洁和可再生能源发电的比重。

我国能源资源特点是煤炭资源丰富,油、气资源相对不足;水能、风能及太阳能等可再生能源资源也很丰富,但开发利用程度较低。我国电力工业长期维持以燃煤电厂为主的电力供应结构。改革开放以来,以燃煤发电为绝对主力的火电装机容量占全国总装机容量的比重一直保持在69%以上。2003年至今,受经济加快发展、电力需求快速增长的推动,电力发展出现了前所未有的快速增长,火电装机容量占总装机容量的比重呈上升趋势。在2004~2008年的5年间,火电装机容量快速增长,其中2006年新增火电装机容量9244万kW,为历年之最。至2008年底,全国发电装机容量为79253万kW,其中火电装机容量达到了60132万kW,占总装机容量的比重为75.9%。

我国核电起步较早,但发展比较缓慢,2008年底,我国核电装机容量仅为885万kW,占全国电力装机容量的比重为1.12%;进入21世纪以来,我国风电有了突飞猛进的发展,2008年底,并网风电装机容量达到894万kW,占全国电力装机容量的比重为1.13%;2008年底,我国水电装机容量(不含抽水蓄能,下同)达到1.61亿kW,约占全国总装机容量的20%。从总量来看,核电、水电、风电等清洁和可再生能源发电装机容量所占的比重仍然较小,截至2008年底,三者合计仅占全部发电装机容量的22.25%。

随着经济社会的发展,人们对环境的要求越来越高;我国温室气体减排的国际压力也将越来越大。因此,未来我国电力工业发展必须不断优化电力供应结构,大力发展核电、水电、风电、太阳能发电等清洁和可再生能源发电,提高清洁和可再生能源发电的比重。

## 二、我国电力规划必须同时关注电力布局优化

我国目前电力布局以分省“就地平衡”为主,跨省跨区输电能力不强,限制了电网在更大范围的能源资源优化配置能力;今后我国必须加快建设跨省跨区输电通道,在全国范围内优化配置煤炭、水能、风能、太阳能等能源资源。

在分省“就地平衡”为主的电力发展方式下,我国中东部能源资源匮乏地区的煤炭调入量不断增长,煤炭对外依存度不断增加。2007年,华北电网的京津冀鲁地区煤炭对外依存度达到50%;华东电网的4省1市(苏浙沪皖闽)对外依存度达到72%;华中电网的湖北达到86%,江西达到46%。

国家电网公司经营区域内的常规煤电装机容量分

布以中东部的13个省市(华北—京津冀鲁、华中—鄂豫湘赣和华东—苏浙沪皖闽)为主。截至2008年底,中东部13省市的常规煤电装机容量占全国煤电总装机容量的53.0%。

长期以来,我国电力发展方式以分省“就地平衡”为主,燃煤电厂大量布局在煤炭资源匮乏的中东部地区,引发了一系列问题。

### 1. 煤炭运输长期紧张

我国煤炭消费大量集中在中东部地区,就利用西部北部煤炭资源满足中东部电力需求而言,煤炭运输可有两种方式——输煤和输电;我国输电在能源输送中所占比例很小,2006年“三西”(山西、陕西及内蒙古西部)和宁东地区输煤输电的比例为20:1,输电不足5%。由于中东部地区煤炭调运需求快速增长,而铁路运力增长缓慢,铁路煤炭运力长期不足,因此近年来中东部地区电煤供应紧张的情况时有发生,严重影响电力供应安全。

### 2. 环境危害严重

中东部地区大量布局燃煤电厂,SO<sub>2</sub>排放总量大,给中东部地区环境造成了严重的危害,尤其是酸雨问题严重。2007年,全国二氧化硫排放量为2468万t,其中,晋陕蒙宁新五省区单位国土面积的二氧化硫排放量平均为1.5t/km<sup>2</sup>,而京津冀鲁、华东四省一市和华中东四省分别为9.7、7.5、5.2t/km<sup>2</sup>,分别为晋陕蒙宁新五省区的6.7、5.1、3.5倍。

### 3. 区域经济发展不协调

长期以来,我国西部北部煤炭产区大量煤炭直接送出,影响了煤炭产业链的延伸,使得资源优势不能有效地转化为经济优势。我国煤炭产地——晋陕蒙宁新地区,煤炭保有储量占全国的80%左右,但人均GDP大多低于全国平均水平。

可见,我国传统的以分省“就地平衡”为主的电力布局与发展方式已经难以为继,急需得到改变。加快发展跨省跨区输电,在全国范围内优化配置能源资源,是促进我国区域经济协调发展、优化利用环境资源、提高能源资源利用效率和构建输煤输电综合能源输送体系的必然选择,是电力工业贯彻和落实科学发展观的具体体现。同时,通过建设跨区跨省的坚强电网,将为更大范围地消纳水电、风电及太阳能发电提供保障,是实现电力供应结构调整的前提和基础。

## 三、把握我国中长期经济社会发展走向,做好电力需求预测,为规划建设总量充足的、结构合理的电力供应打好基础

要特别关注不同地区的经济社会发展阶段,并与发达国家和地区的发展轨迹进行对比分析,从而为各区域电力消费增长和负荷特性的预测提供依据。

2020年前,我国仍将处于工业化和城镇化快速发展的阶段,经济总量将保持快速增长,各种基础设施大量建设。即使全社会注重能源资源节约,电力和能源消耗总量也将快速增加,电力工业必将在相当长的时期内保持较快的发展速度。

研究表明,2020年全社会用电量将达到7.7万亿kWh左右,最大负荷将达到12.7亿kW左右。为满足未来我国经济社会发展对电力的需求,需要不断努力调整电力结构,实现电力供应的高效、洁净及多元化,应优先发展核电、水电和风电等清洁和可再生能源发电。优化电力布局,将新增煤电装机容量大量布置在西部和北部地区的煤炭基地,发展跨区特高压输电,同时可以为“三北”地区的风电、太阳能发电提供输送通道,推动大型可再生能源基地的建设。另外,为保证大规模核电、风电并网后电力系统的安全稳定运行,需要发展一定规模的抽水蓄能、燃气等调峰电源。

2020年,预计全国发电装机容量规模将达到16.8亿kW左右,其中燃煤火电10.6亿kW、燃气发电5800万kW、核电8000万kW、常规水电3.0亿kW、抽水蓄能5000万kW、风电1.0亿kW、太阳能发电2000万kW、其他发电1500万kW。2020年的电源结构仍以火电为主,但清洁和可再生能源发电比重显著增加。与2008年相比,2020年火电在装机结构中的比重将下降7.1个百分点,核电比重将上升3.7个百分点,风电比重将上升4.8个百分点。

四、煤电在未来相当长的时期内仍将是我国的主力电源,未来新增规模大,布局优化非常重要

在电力规划中,加快优化煤电布局对我国电力工业的可持续发展非常关键。煤炭的高效利用、污染物及温室气体减排,在煤电的发展中也应充分重视,作好规划。

我国煤炭资源主要分布在西部和北部地区,而煤炭消费主要集中在中东部地区,这种错位性布局决定了我国煤炭的大规模、远距离输送不可避免,并将长期存在。而分省“就地平衡”为主的电力发展方式,是我国煤炭运输长期紧张和中东部地区环境污染严重的主要因素之一,优化煤电布局,加快跨省跨区输电发展,已成为我国电力工业发展的当务之急;“十二五”及“十三五”期间必须加快实施,否则将极大地影响我国电力的布局优化和结构调整。

我国西部和北部的部分煤炭产区,同时具有丰富的风能资源和太阳能资源,具备建设大型风电基地和太阳能发电基地的资源条件。与西部和北部煤电基地同步建设的特高压跨区输电,同时可以为毗邻建设的风电基地、太阳能发电基地提供跨区输送通道,为可

再生能源的大规模发展创造条件。因此,充分利用西部和北部地区丰富的煤炭资源和可再生能源资源,建设大型电源基地,将煤电、风电、太阳能发电“打捆”后联合送出,是一种技术可行、经济合理、能有效扩大可再生能源消纳范围和规模的电力发展方式,是促进我国清洁能源发展、优化能源消费结构的必然选择。

我国西部和北部地区煤炭资源非常丰富,山西、陕北、彬长、宁东、蒙西、锡盟、呼盟、哈密、准东、宝清等煤炭产区,具备建设大型煤电基地的资源条件。在这些基地中,除呼盟和宝清外,其余几个煤炭产区都是水资源比较缺乏的地区。研究表明,通过采用有效节水措施,加大水利工程建设,加强城市中水和矿井排水的再利用,在相关省区供用水整体平衡的情况下,2020年可供这些煤炭产区使用的发电用水,总共可支撑节水型空冷燃煤发电机组规模达6.4亿kW。可见,在做好供水、用水规划的基础上,我国主要煤炭产区的水资源条件完全可以支撑大型煤电基地的建设。在优化煤电布局、输煤输电协调发展的情况下,2020年上述煤电基地的煤电建设规模将达到3.5亿kW左右,其中外送规模约2亿kW;“三西”和宁东地区输煤输电比例为4:1,输电占20%。

电力规划中还应注意研究实现煤电的洁净化发展,通过大力发展超(超)临界机组、IGCC、碳捕捉及埋藏等多种技术,提升燃煤发电的高效和洁净水平,最大程度降低燃煤发电对环境和气候变化的影响。

五、我国水电资源丰富,整体来看开发利用程度还较低,未来开发重点在西南地区

电力规划中,要统筹兼顾四川、西藏等西南各流域水电开发进度及特高压输送通道建设,在满足当地电力需求的基础上,实现水电的长期可持续外送。同时,我国小水电资源比较丰富,在电力规划中应充分关注。

我国水力资源非常丰富,根据2005年水力资源复查成果,全国水电技术可开发量5.42亿kW,年发电量为2.47万亿kWh。其中,西南地区(云贵川渝藏)水力资源技术可开发量为3.61亿kW,占全国的67%;西北地区(陕甘宁青新)0.58亿kW,占全国的11%;西部地区(西南、西北)合计占全国的3/4以上,在我国水电开发中占有非常重要的地位。

在我国重点开发的13个水电基地中,长江上游、乌江、南盘江红水河、黄河北干流、湘西、闽浙赣和东北等水电基地开发程度已较高;金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江和怒江等水电基地开发程度还较低,

未来开发潜力巨大。

预计到2020年,我国水电装机容量将达到2.6亿~3.5亿kW,新增水电装机容量主要分布在四川、云南等西南地区。2020年前后,预计西藏水电也将进入大规模开发阶段。

我国西部地区经济发展水平相对较低,西南水电在满足当地电力需求后,需要大规模送往华中、华东负荷中心地区。由于输电距离较远,现有500kV输电技术无法满足西南水电远距离外送的需要。因此,加快建设特高压输电,特别是特高压直流输电,是我国西南水电大规模开发利用的必然要求。从长远来看,在电力规划中需要协调好四川、西藏等地区各流域水电的建设时序,在满足当地电力需求的基础上,合理规划送出规模、目标市场、输电方式和通道,确保送出通道长期稳定的电力输送规模。

根据全国农村水能资源调查评价成果(2008),全国农村水能资源技术可开发单站装机容量0.1MW(含)~50MW(含)的水电站55256座,加上国际界河电站8座,装机容量为1.28亿kW,年发电量为5350亿kWh。农村水电资源点多、面广、总量大、开发技术成熟,是我国主要的分布式电源之一。目前,农村水电仅开发了1/2略强,未来开发潜力仍然很大。

六、核电是调整电力结构的重要发电形式,未来我国将加速东部沿海核电发展,积极推进部分中部地区核电建设

电力规划中要特别协调好核电厂址资源与其他行业发展的关系;加快推进核电机组的国产化进程,在确保安全的基础上,降低核电比投资,提高经济性。

未来我国核电规划布局 and 开发建设的原则是“大规模规划布局、分步开发实施”,坚持统筹规划、合理布局,不断加强厂址规划与开发,有序推进沿海与内陆地区核电站建设。

充分考虑各地区环境容量和厂址资源条件,优先在用负荷增长快且能源资源缺乏的东部沿海地区发展核电,使核电逐步成为这些地区新增发电容量的主要形式;加快内陆厂址的选址工作,在已具备厂址条件的中部省份,加快项目的可行性研究工作,尽早安排适量的内陆核电项目开工建设,取得建设经验后批量规模化发展。

目前,我国已储备了一定规模的核电厂址,其中沿海核电开展前期工作较充分的厂址容量超过5000万kW,主要分布在辽宁、山东、江苏、浙江、福建和广东等地。湖北、湖南、江西、河南、广西、安徽、吉林等省区也不同程度地开展了核电厂址前期工作,这些厂址均可作为核电后续发展的资源储备。到

2020年,预计我国核电装机容量将达到8000万kW左右。

七、风电大规模发展需要同步规划好系统调峰电源和跨区跨省电网

大规模并网风电的开发建设,需要综合考虑系统电源的整体调峰能力及系统负荷特性,合理确定电力系统对并网风电的消纳能力;风电开发需要与电网发展相协调,风电规划与电网规划需要同步进行;风电单独远距离输送经济性较差,技术上也存在较大难度,需要深入研究风火“打捆”等跨区送出方式。

我国风能资源十分丰富,初步估算我国陆地10m高度风能资源技术可开发量约3.8亿kW;我国沿海5~20m深的海域面积辽阔,10m高度风能资源技术可开发量约为7亿kW。我国风能资源丰富的地区主要分布在“三北”(华北、东北、西北)地区、东部沿海及附近岛屿。其中,“三北”地区是我国最大的成片风能资源丰富带,包括东北三省、河北、内蒙古、甘肃、宁夏、新疆等近200km宽的区域,其地面10m高度风能资源储量约占全国陆地风能资源总储量的86%。

风能资源分布相对集中的特点,决定了我国风电大规模、基地式的开发趋势。在“三北”和东部沿海风能资源丰富区,我国先后提出了建设甘肃酒泉、新疆哈密、蒙西、蒙东、吉林、河北、江苏沿海等七千万千瓦级风电基地。除江苏沿海外,其他风电基地所在的电网规模较小,风电消纳能力有限,较大比例的风电需要送到区域电网内,甚至其他区域电网消纳。经初步分析,吉林风电主要在东北电网内消纳;河北风电主要在华北电网内消纳;江苏沿海风电主要在华东电网内消纳;甘肃酒泉风电需要在西北电网内消纳,同时其部分风电需要与火电“打捆”后送到其他区域电网消纳;内蒙当地风电消纳能力有限,未来内蒙风电的大规模开发需要与火电“打捆”送到东北电网负荷中心及“三华”(华北—华中—华东)特高压同步电网消纳;新疆电网风电消纳能力有限,新疆大规模风电必须与火电“打捆”后通过特高压直流输送到区外电网消纳。

初步研究表明,在适当配置调峰电源、充分利用各种电源调峰能力,并通过加强跨省跨区电网建设,特别是通过加快发展跨区特高压输电,风电与煤电联合开发、“打捆”外送,能有效扩大风电的消纳范围和规模,2020年我国电力系统可消纳的风电总规模可超过1亿kW。

因此,我国风能资源的分布和开发特点,决定了必须通过建设特高压电网,才能实现我国风电的大规

模开发利用。“开发大风电、融入大电网”是我国风电发展的必然要求，也是优化我国电源结构和能源消费结构的必然选择。

#### 八、我国未来太阳能发电开发前景广阔，基地式开发需要借助强大电网的支撑

太阳能发电规划，需要深入研究太阳能资源分布；太阳能发电的开发潜力、开发方式和开发布局；太阳能发电的出力特性，太阳能发电的大规模开发与其他电源、电网发展的协调性。

我国太阳能资源十分丰富，太阳能总辐射量为 $120\sim 280\text{W}/\text{m}^2$ ， $2/3$ 的国土面积年日照时间在 $2200\text{h}$ 以上，属于太阳能利用条件较好的地区。我国太阳能总辐射量分布具有西高东低的特点，其中西藏、新疆、青海、甘肃和内蒙古是我国太阳能资源最丰富的地区。

根据我国太阳能资源分布，未来我国太阳能发电主要有三种方式。一是发挥太阳能发电适宜分散供电的优势，在西藏、青海、内蒙古、新疆、宁夏、甘肃、云南等省区的偏远地区，以及海岛地区推广户用光伏发电系统或建设小型光伏电站，解决这些地区的供电问题；二是在北京、上海、江苏、浙江、广东等地区经济较发达的大中城市，建设屋顶太阳能并网光伏发电设施，扩大城市可再生能源的利用量；三是在内蒙古、甘肃、新疆等地区的太阳能资源最为丰富的荒漠、戈壁、荒滩上建设大型并网太阳能光伏发电基地，进行太阳能的大规模集中开发利用。

与风电类似，太阳能发电也具有间歇性的特点，大规模太阳能发电并网将对电力系统安全稳定控制提出更高要求。我国未来的太阳能光伏发电基地主要集中在西部北部偏远地区，当地电网可接纳太阳能发电的规模有限，太阳能光伏发电基地存在着与风电基地相同的远距离、大容量外送需求。因此，必须借助于坚强的特高压输电，才能实现太阳能发电的大规模集中式开发利用。

城市屋顶太阳能并网光伏发电的发展，对配电网的规划和运行将带来较大影响，如对配电网结构的影响，对电能质量、继电保护、电网频率稳定、电力系统电压、电网经营、配电自动化等的影响，在电力系统规划中必须给予关注。

#### 九、在电力规划中，应结合我国能源资源及电力消费的逆向分布特点，加强跨区电力输送通道建设

以加快建设坚强的特高压电网为核心，大型煤电基地、大型水电基地、大型核电基地和大型可再生能源发电基地同步发展，形成多种能源资源在全国范围

内优化配置的电力发展格局。

2020年，预计全国将形成四大同步电网，即以“三华”同步电网为核心，通过直流和东北、西北、南方电网互联，连接各煤电基地、水电基地、核电基地、可再生能源基地和主要负荷中心，构建各级电网协调发展的坚强智能电网。

以特高压交流试验示范工程为基础，加快“三华”特高压同步电网建设；晋陕蒙宁新煤电、西南水电、西部北部风电等能源基地及周边国家电力通过特高压交直流混合系统向“三华”电网送电。推动辽宁受端负荷中心特高压环网建设，宝清、呼盟能源基地及俄罗斯电力分别通过多回线路与负荷中心相连，其中呼伦贝尔煤电基地通过特高压交流、特高压直流实现大规模电力外送。加快形成覆盖陕甘青宁新的坚强 $750\text{kV}$ 交流同步电网，结合宁夏、陕西、新疆煤电基地，甘肃、新疆哈密风电基地开发，建设多路直流外送通道。依托特高压输电，构建坚强的“西电东送”网架，推进与周边国家的联网，形成覆盖南方五省区的强大输电网络。

在一次能源资源贫乏、环保空间有限的中东部地区，大力发展核电、风电、太阳能发电等清洁及可再生能源发电；发展适度规模的燃气电站和抽水蓄能电站；除必要的热电联产机组外，严格控制新增燃煤电厂发展规模；为西部、北部的水电、火电、风电及太阳能发电保留充足的市场空间。西南水电，西部北部的火电、风电及太阳能发电大规模发展，除满足当地电力需求外，为中东部地区持续提供安全、可靠、清洁、经济的优质电能。按照我国整体能源发展战略，积极发展与周边国家的能源合作，实现从缅甸、蒙古、俄罗斯、哈萨克斯坦等国引进电力，并逐步扩大规模。

## 电网抗冰减灾情况及对策

韩 丰<sup>①</sup>

2008年1月中旬以来，我国南方部分地区遭受了历史罕见的持续低温雨雪冰冻灾害，交通阻塞，电力供应中断，工农业生产和人民群众生活受到严重影响。由于输电线路覆冰厚度大大超过国家规定的设计标准，导致受灾地区电网设施损毁严重，电网安全和电力供应受到严峻考验。

国家电网公司启动应急预案，从23个网省公司

<sup>①</sup> 国网北京经济技术研究院总工程师。