

主旨报告

中国科学技术协会
2005 年学术年会 11 分会场
暨中国电机工程学会
2005 年学术年会

2005 年 8 月 21 ~ 24 日 新疆 · 乌鲁木齐

主办单位:



中国科学技术协会



中国电机工程学会

主旨报告

中国科学技术协会 2005 年学术年会 11 分会场
暨中国电机工程学会 2005 年学术年会

2005 年 8 月 21 - 24 日 新疆 · 乌鲁木齐

本书为电力系李琳老师捐赠

2005 年 12 月 20 日

主办单位:



中国科学技术协会



中国电机工程学会

目 录

我国节能形势和我们的任务	鲍云樵	1
加速发展核电——中国能源结构调整的必由之路.....	徐大懋	7
火电结构优化和技术升级研究的回顾与展望	赵 洁	14
华东电网技术创新和发展展望	帅军庆	25
1000kV 级交流输电线路电磁环境的研究.....	邬 雄	32
基于“北斗一号”的卫星定位与定时.....	王飞雪	40
电力线通信 (PLC) 技术的应用及未来	李祥珍	46
新疆电力发展现状与前景.....	洪连忠	53
大电网动态安全分析与监控	周孝信	58
风电发展趋势与龙源风电开发战略	谢长军	81
以技术管理创新促进节电工作	胡兆光	95

我国节能形势和我们的任务

鲍云樵

中国能源研究会 北京市 2103 信箱 邮编: 100037

作者简介: 鲍云樵, 中国能源研究会副理事长兼秘书长、《世界能源导报》总编辑、研究员。

曾任国务院技术经济研究中心能源专家组成员, 国务院核电领导小组办公室核电专家组组长, 国家 863 高技术计划能源领域能源发展战略研究组长。1996-1997 年参加中国工程院“中国可持续发展能源战略”中央咨询项目研究, 任其中第三专题组组长之一, 并为总报告起草组成员。1999-2000 年 4 月, 参加国家科技部主持的“中国 21 世纪后续能源发展战略研究”, 任总体组组长。2003 年主持研究“美伊战争对我国能源供应的影响及对策”, 任项目主持人, 该项目受中国科协委托, 给中央的咨询研究项目。2004 年主持“2020 年我国能源科技发展研究”, 任项目负责人, 该项目是中国科协组织的国家咨询项目。他长期从事能源政策、经济和发展战略, 以及核能政策和发展战略研究。曾参加中国能源研究会主持的“中国能源政策研究”, 并为《中国能源政策研究报告》的主要执笔人; 曾参加国务院技术经济研究中心主持的“2000 年中国”研究, 并为《2000 年中国能源》报告的主要撰写人。曾参加国家十二项重大技术政策研究, 为《我国核能技术政策》的主要执笔人。曾参加国家和部级 30 多项研究, 为主要完成者和突出贡献者的获奖成果有: 2 项国家科技进步 1 等奖; 1 项部级 1 等奖; 1 项部级 2 等奖; 3 项部级 3 等奖; 2 项部级 4 等奖。1989 年被评为有突出贡献中青年专家。1992 年荣获国家颁发的在科技工作中做出突出贡献享受政府特殊津贴的专家称号。他的专著有《原子巨人-核反应堆》、《原子时代奇迹》、《能源与我们》、《原子弹与中子弹》、《原子世界奇遇》、《新世纪能源》等。

随着人民生活水平的提高和现代化社会的发展, 需要有强大的能源作后盾, 预测表明, 到本世纪中叶, 我国成为现代化强国, 按传统的消费模式, 将需要 50 - 70 亿吨标准煤, 如果不采取节能和环保措施, 则不但资源将供不应求, 而且环境也不堪重负。因此, 节能和环保是我们每位能源工作者义不容辞的神圣使命。不仅如此, 我们还要做好向民众宣传, 向政府建议, 使全民来关心和参与资源的节约和持续利用问题, 这也是我们长期而艰巨的任务。

一、我国能源形势是成就巨大, 供需紧张、效率逆转、面临资源和环境的挑战

(一) 我国已成为世界能源生产和消费大国

我国 2004 年能源产量总计 18.56 亿吨标准煤, 煤炭 19.56 亿吨、原油 1.75 亿吨、天然气 414.93 亿米³, 全国电力装机总容量达 4.4 亿千瓦, 总发电量达 21870 亿千瓦时。水电 3280 亿千瓦时、核电 501 亿千瓦时。

2004 年全国能源消费总计 19.7 亿吨标准煤, 其中煤炭 18.7 亿吨、原油 2.9 亿吨、天然气 414.93 亿米³、电力和新能源可再生能源消费量与产量相同。2004 年全国能源消费增长迅速, 消费总量比 2003 年增长 14.13%。

(二) 我国 1980—2000 年的 20 年间, 在能源增长不到翻一番前提下, 保证了国民经济翻两番, 能源利用效率得到显著提高。

我国能源工业取得了举世瞩目的成就, 煤、电、油分别位居世界第一、二、五位。从 1980—2000 年, 我国 GDP 年均增长 9.7%, 而能源消费量年均增长 4.1%, 能源消费弹性系数仅为 0.42, 实现了我国能源供应一半靠开发, 一半靠节约的预定目标。

在 20 世纪后 20 年, 我国能源利用效率大幅提高, 按 2000 年不变价计算, 我国每万元 GDP 的能耗从 1980 年的 4.28 吨标准煤下降到 2000 年的 1.45 吨标准煤。20 年间, 单位产值能耗下降了 66%, 年均节能率达 5.5%。

(三) 从 2000 年到 2004 年, 我国能源消费弹性系数明显回升, 2003 年开始能源全面短缺。

从 2000—2003 年, 能源消费弹性系数明显回升, 分别为 0.2、0.47、1.21、1.45。2004 年, 能源消费总量的增长速度比 GDP 的增长速度快了 4.1 个百分点。

2003 年开始能源短缺, 其根本原因是经济发展过快, 经济年增长率达到 9.1%。高耗能产业迅速增长, 2003 年第一产业只增长 2.5%, 比上年减慢了 0.4 个百分点; 第二产业增长 12.5%, 加快了 2.7 个百分点; 第三产业增长 6.7%, 减慢了 0.8 个百分点。在第二产业中, 高耗能产业增长速度惊人, 其中氧化铝增长 11.24%, 水泥增长 18.9%, 钢增长 21.92%, 十种有色金属增长 19.7%, 汽车增长 36.69%, 其他主要化工产品增幅也在 7—12%。相比之下一次能源生产总量只增长 11%, 特别是原油只增长 1.8%, 尽管电力和煤炭增长较快, 但仍不能满足需要。

(四) 我国能源供需矛盾突出, 面临资源、环境、交通和安全的严峻挑战

按中央部署, 到 2050 年, 我国的经济和人民生活达到中等发达国家水平, 要求人均能耗达到相应水平, 由于人口众多, 我国势必成为世界能源消费大国。但是由于我国人均能源和矿产资源占有量低下, 人均水资源只为世界平均水平的 1/3 以下; 人多地少, 靠占全球 1/10 的耕地要养育占全球 22% 的人口, 环境受污染、生态遭破坏, 严重制约我国能源的可持续供应, 能源将是我国实现本世纪上半叶经济发展战略目标的瓶颈。

1. 我国人均能耗水平远低于世界平均水平, 很难达到中等发达国家的标准

2003 年, 我国年人均能耗为 1.0 吨标准煤, 不到世界平均值的一半, 与发达国家人均能耗水平相比差距很大, 如美国为 11 吨标准煤, 日、英、德等为 4—6 吨标准煤。即使考虑到我国能源利用效率提高到日本和欧洲目前水平, 到 2050 年我国的人均能耗至少要达到 2.5—3 吨标准煤。按 2050 年全国人口达 16 亿计算, 能源的总需求量也将达 41—48 亿吨标准煤, 均值为 44 亿吨 (按现在发展势头推算, 将远远超过此值)。如此巨大的需求量相当于八十年代中期世界能源消费总量的一半。国内远不能满足这样巨量的能源需求, 需要从国外采购, 能源也是一种战略物资, 过分依赖外国, 我们将冒能源安全的风险。

2. 我国靠发展高耗能产业实现 GDP 的增长, 得不偿失

自 2003 年开始出现全国性电力短缺局面以来, 国家加大了电力投入。2004 年, 我国发电量比 2003 年增长了近 15%, 经济增长了 9.5%, 电力弹性系数为 1.57。2004 年我国消耗了全球的 8% 石油、10% 电力、

19% 铝、20% 铜和 31% 煤炭，但中国 GDP 总量只占全世界总量的 4% 多一点。

因为各地片面追求 GDP 的增长，犯了短视的毛病，放任钢、电解铝、水泥、硅铁高耗能产业的快速发展，加上世界工业发达国家采取向中国转移耗能和高污染工业的策略，国家没有及时发现问题和采取干预措施，才形成高消耗、高投入、低效益为特征的粗放型增长方式，导致了产业低度化，最终形成以电力短缺为表征的煤、电、运的极度紧张和环境糟污染，生态被破坏的状态。

3. 我国能源结构因资源原因，将长期处在以煤炭为主的状态

我国能源储量中煤炭占 92%，石油占 2.9%，天然气占 0.2%，水电占 4.7%，这就注定了我国能源生产和消费结构在今后相当长的时期内仍以煤炭为主。2004 年，我国煤炭在一次能源消费结构中的比例仍高于 67%，即使采取各种措施，大力发展油、气、核能和可再生能源，尽力降低煤炭所占的比重，但随着能源消费总量的增加，煤炭总量也将增加，大幅度减少煤炭消费量是很难办到的。预计到 2050 年，因没有足够的可替代能源补充，煤炭所占比例也不可能低于 50%。

4. 我国能源资源分布不均，经济重心偏东偏南，能源资源重心偏西偏北

我国煤炭资源主要集中在新疆、内蒙、山西、陕西和贵州等省区，这 5 个省区共占全国总资源量的 82.67%，而经济发达的华东和华南不到 5%。

常规能源（特别是煤）需经 3000—4000 公里的长途运输才可以抵达用能中心，这给交通运输造成严重压力。全国运力的 50% 是用来运煤，要大量增加运煤能力，需大力增建铁路和公路，这不但要占用已日趋减少的农田，而且还会造成大量能源的浪费和付出环境污染代价。

5. 能源造成的环境污染和生态破坏严重，我国面临严峻的环境挑战

我国高耗能产业快速发展、煤炭为主的能源结构及能源利用效率低下等众多因素造成了我国环境受到严重污染，生态遭破坏的局面。

目前，我国二氧化硫和二氧化碳排放量分别列居世界第一位和第二位，造成的经济损失占 GDP 的 3—7%。

由于直接燃烧煤炭未能采取有效的环境措施，70% 的烟尘和二氧化碳排放量、90% 的二氧化硫、67% 的氮氧化物排放来自燃煤，此外，快速增长的机动车已对城镇带来越来越严重的环境污染。

因能源消费中造成的环境污染，已成为中国全面实现小康社会的障碍。2003 年，全国 40 个受监测的城市中，空气质量良好的只占 41%，轻度污染的占 32%，严重污染的达 27%。全国有近 30% 的国土面积受到不同程度的酸雨污染，30% 的水源受到严重污染，荒漠化土地面积扩大到 260 万平方公里。

我国允许的环境容量为：二氧化硫是 1620 万吨左右，氮氧化物是 1880 万吨。2003 年二氧化硫排放量已达 2150 万吨，已明显超标。预计到 2020 年，二氧化硫将达 4000 万吨，氮氧化物达 3500 万吨。预计到 2030 年，我国的二氧化碳排放量将超过美国居世界第一位。在防止全球变暖的国际谈判中。我国将受到很大的国际压力。

此外，在开矿过程中大量排放废渣、废液，污染环境和大面积占用土地已成大害。目前，全国有金属矿尾矿 50 亿吨，煤矸石 40 亿吨，占地 8000 公顷，并正以年增 5 亿吨速度增长。

还有水环境污染严重，50% 城市地下水和城市湖泊遭污染，全国 118 个大城市中约有 98% 的浅层地下水受到不同程度的污染

6. 我国石油安全正面临着严峻的挑战

我国从 1993 年开始成为成品油的净进口国，1996 年又变成原油净进口到 2004 年，我国原油年净进口量已从 2000 万吨增加到 1.227 亿吨，对外依存度已达 34.8%。

我国石油消费中，有 81% 应用于石油加工业，化纤制造业、化学原材料及制成品行业上。如果没有这些油料保证，这些行业就不可能高速发展，中国经济的可持续发展将受到重大影响。

石油并不单是液体燃料和原料，也是一种战略物资，已成为许多国家的政治牌。石油外交已成为我国重要战略部署。

据统计，国内石油产量只能保持现有水平或略有增加（1.8—2.0 亿吨）。但是随着经济发展对液体燃料需求的增长，我国石油消费量将快速递增，预计到 2020 年石油年需求将达 5 亿吨，其中国内只能供应 2 亿吨，有 3 亿吨需要进口，对外依存度将达 60%，高过美国目前对外依存度 50% 的水平。这显然要冒很大的安全风险并将付出重大代价。

（五）我国能源利用效率低下，与国际先进水平差距甚大

我国的能源利用效率目前仅为 34%，比发达国家落后 20 年，相差 10 个百分点。能源消费强度大大高于发达国家及世界平均水平，约为美国的 3 倍，日本的 7.2 倍。我国的单位产值能耗是世界上最高的国家之一，每千克标准煤产出的国内生产总值仅为 0.36 美元，而日本为 5.58 美元，世界平均值为 1.86 美元。例如：我国火电厂供电煤耗为每千瓦时 404 克标准煤，国际先进水平为 317 克标准煤，高出 27.4%；我国的工业锅炉，平均能耗率为 60%，低于发达国家 20 个百分点；我国的主要产品单位能耗平均比国际先进水平高 40%，单位建筑面积采暖能耗相当于气候条件相近的发达国家的 2—3 倍；与国际先进水平相比，中国工业部门每年至少多用 2.3 亿吨标准煤。

我国矿产资源采收率低，综合利用水平差。金属矿山采收率平均比国际水平低 10—20 个百分点，在开采过程中造成了大量资源的浪费。

二、近几年来，全国节能工作受追求经济高速增长的局面影响，能源效率明显逆转，节能处在既无压力，又缺动力状况下，面临严峻局面。

（一）节能形势严峻的原因

1. 对节能的神圣使命，缺乏足够认识，当能源紧张时，开始呼唤节能，当能源富裕时，就会淡忘节能。没有真正把节能放在优先地位，也没有形成促进节能的激励机制。

2. 计划经济年代的激励和促进节能的手段已经不再实行，原来的节能机构也被取消，行政推进节能的作用失灵，但经济杠杆推动节能的机制还未推广，企业重视产品销路，忽视节能。

3. “十五”期间由于能源供应充足，全社会已忘掉缺能之苦，人们误解了奔小康的真正内含和意义。在电力多余时，政府鼓励多用电；汽车追求大排量、住房建造大户型；宾馆空调调到 16—18℃；会议室拉上窗帘，不让阳光进来，开大灯照明；街灯长明，还实行光亮工程；请客吃饭大讲排场，浪费饭菜不心疼……。从种种表现看出，公众对建设节约型小康社会没有足够的认识。

4. 国家尽管已制订《节能法》，现在也做了中长期规划，但因为缺乏完整的、有效的监督体系，节能就无法得以实施。

三、加强我国节能工作的对策措施

（一）建设节约型小康社会已成共识，但应加强法治、加大实施力度。

带领人民走出对富裕和挥霍认识的误区，摒弃旧有的浪费型生活模式。现在，不少人认为，好像富

裕起来就要讲排场、比阔气、浪费一些没关系。要针对中国人口众多、资源匮乏、环境脆弱的实际，应量入为出地安排我们的经济生活。

1. 改变以往东京圈城市发展模式，减少能源浪费、交通拥堵，环境遭污染的状况，实行分布式优化城市发展模式。

2. 改变房子越住越大，追求大排气量小轿车、生活讲排场的浪费型生活模式，建设小户型住房，开发节能型小轿车，提倡乘公交车，对生活上讲排场造成的浪费要有处罚规定，要立法规定浪费有罪。

（二）要聪明用能、节约用能，真正将节约落实到实处

1. 要聪明用能：日本人懂得聪明用能，日本人每年要用掉一次性筷子 257 亿双，平均每人 200 双，其中 97% 是从中国进口的，中国的森林面积已缩减至 17%，我们还向日本出口筷子，而日本人将用过的筷子回收，还可用来造纸，一举两得。日本人从国际上大量采购能量密度大的铀燃料制品，作为能源战略储备。可我国在铀资源不富裕的情况下还向国外出口铀，有人认为这是在卖血。我国当前大炼钢铁，而且大量用生铁炼钢，造成国际生铁大幅价涨（去年国际生铁涨价就达 71%），回收废玻璃制玻璃要比用矿石制玻璃节省能源 60—70%，但我国不回收废玻璃，这是一大失误，应赶紧采取相应措施。类似种种不胜枚举。

2. 要节约用能：节能工作一要有压力，二要有动力。

要有压力：《节能法》已经出台多年，节能机构不健全，在市场经济大潮冲击下，浪费不处罚，节约不奖励，节能成为一句美好的“空话”。建议：国家成立节能局，统管全国节能工作，《节能法》要修改，要细化，立法将浪费列为犯法，追究法律责任。加大节能标识实施力度，让各行各业都感受到节能的压力。政府机构要设立节能指标和考核制度，从政府自身做起。

要有动力：起用市场经济的杠杆激励节能，对节能服务体制要鼓励，要开绿灯，给予政策上的优惠。国家对于节能产品应加强研发力度，定期淘汰旧的能耗不合格的产品，强制推广新的节能产品。淘汰白炽灯已讲了多年，但就是淘汰不了，类似此种例子很多，要很好地研究解决老大难问题的办法。

（三）优化经济发展模式，调整产业结构

改变靠消耗能源的高耗能产业支撑经济发展的模式，重点发展劳动密集型的服务业和现代服务业，提高第三产业在国民经济中的比重；建立节能型工业体系，走新兴工业化道路。

（四）制订激励节能的方针政策

建立适合我国能源、环境和经济发展特点的统一能源规划，制订和实施相关的激励节能的政策，并健全相关的宏观调控体系，使节能工作落到实处。

（五）革新节能管理体制，推行以市场调节为基础的节能机制

推行行业有效的综合资源规划和电力需求侧管理；建立节能信息发布制度；实施节能产品认证和能效标识管理制度；推行合同能源管理、建立节能投资担保机制；推行节能自愿协议。

（六）对量大面广的节能技术和产品，国家要花大力气去推广

像新建的大型发电机要采用超超临界，这种新型机组可使发电效率提高 10 个百分点。计算表明不久的将来，如推广超超临界机组以取代现有低效发电机组，可节约 25% 的发电用煤。又如，我国 90% 建筑物是费能的，而且全国建筑能耗占全国能源消费量的 27%，如果精心地在建筑节能上做文章，可

大幅度减少能源消费。照明节能已经走上半导体化的康庄大道，如果国家下大力气研发高效半导体节能灯、并加强推广力度，就可以从照明节能中拿到一大块节能效益。总之，目前是要行动，不要空洞的口号。

（七）大力开展节能宣传教育，开展节能培训和经验交流

要广泛、深入、持久地开展全民节能宣传教育，提高全民的资源和环境的忧患意识和节能观，将节能纳入中小学、高等教育和职业教育的教科书中去。政府部门要经常组织节能经验交流和技术培训。

加速发展核电——中国能源结构调整的必由之路

徐大懋

中国广东核电集团有限公司 深圳 518031

作者简介：徐大懋（1935.10--）安徽当涂人。1960年毕业于清华大学，1987年于该校获我国第一位论文工程博士学位，1997年选聘为中国工程院院士。曾任哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨电站设备集团公司总工程师，哈尔滨动力设备股份有限公司副总经理等职。1999年调深圳后，在中国广东核电集团有限公司任高级顾问、科技委副主任。长期致力于热力涡轮机和热能工程的设计与研究。提出了一系列新的设计概念和方法：如汽轮机长叶片气动设计准则，最佳余速分布，等转速模化，长叶片分类法，供热机组设计原则，“比焓差”法等，形成了先进的设计体系。他所主持开发的新产品和科研项目，多数达到了当时的国内外先进水平。两排汽210MW汽轮机开拓了广阔的国际市场，在国内全面替代了老产品；引进型300MW和600MW汽轮机的国产化和优化过程中，解决了600MW汽机因推力过大而不能满发的难题，纠正了外商的计算方法，优化后机组性能超过了引进技术；主持开发了长叶片系列，采用了国际首创的半刚性叶片，具有高效、安全和重量轻的优点，运行最长者已达10年；降低火电煤耗的研究已付诸实施，具有巨大的经济效益和社会效益，并已有首批成果。在广核工作期间，参与了岭澳核电的建设，解决了与汽轮机有关的许多关键技术问题。在国内外发表论文30余篇，申请专利二项，获国家级和部级奖励各三次。

一、中国能源的特点和能源战略观点

（一）中国能源的特点

中国目前的能源特点可用24个字概括：资源有限，分布欠佳；浪费严重，需求量大；结构畸形，环境恶化。

资源有限，分布欠佳。就目前已勘探的结果，我国天然气人均储量不到世界的5%，石油不到12%。即使最丰富的煤，人均储量也只有世界的55%左右。另外，一次能源的不利分布给能源的合理利用带来很多困难：煤80%在缺水地区，不利于建坑口电站；油、气、风能和太阳能大部分在西北，水能主要分布在西南，均远离负荷中心，输送困难。

浪费严重，需求量大。我国能源的技术转换效率（主要指热能转换成电能）约33%，比发达国家低5-7个百分点。而能源强度（指单位GDP所消耗能源）约为世界平均值的3倍。发展经济必须有可持续的能源支撑。目前我国人均能耗为世界的一半，据保守的预测，2035年约为世界的90%，美国的1/4；但全国能源消耗总量已达50亿tce，占世界20%，并超过美国列世界第一。

结构畸形，环境恶化。与世界平均能源结构相比^[3]，我国能源结构比较特殊。首先是煤多，石油和天然气少。世界平均能源结构中，石油和天然气之和占65%，我国仅占25%；恰恰相反，煤在能源结构中的比率世界平均值为25%，我国却高达65%。其次是我国核能在能源结构中的比率奇少，仅为0.5%，而世界平均值为7.6%。由于我国一次能源结构中煤占绝对优势，环境恶化在所难免：SO₂排放世界第一，CO₂第二（2020年左右将超过美国）；全球污染最严重的10大城市中国占7个；我国酸雨造成的损失约占GDP的5%。

（二）能源战略观点

基于上述中国能源的特点，本文对中国可持续发展能源战略有一系列观点。

能源安全极为重要。能源安全的概念是：以合理的价格提供足够的燃料和电能，支持国家经济的可持续发展，保障人民生活，保卫本国领土。我国是能源短缺的发展中国家，应以建立自身安全能源体系为主，国际合作为辅。

一次能源以煤为主的格局短期难以改变，但比率应逐步减少，并应大力发展清洁煤技术。石油缺口较大，在开展国际合作的同时，应研究各种替代液体燃料（如二甲醚、甲醇、车用乙醇等），逐步减少石油进口。

从长远看，国产天然气主要供城市生活用。发展燃气—蒸气联合循环的近期目标是利用“西气东送”和 LNG；中长期目标是用于以煤气化为核心的多联产；远期目标则是和燃料电池（以氢为燃料）组成联合循环，效率可高达 0.65 以上。

水电方针不变。风能和太阳能应大力发展，但由于对气候依赖性强，年运行小时少，资源主要在西北，故难以成为主力能源。

东南沿海和长江流域主要发展核电，彻底解决“煤、电、运”的难题。

中国建立可持续发展的能源体系，必须坚定不移实施三项政策：优化经济发展模式，调整能源结构，大力提倡节能。

一、能源结构调整和核电地位

（一）用界限分析法展望中国能源结构

多元函数 $y=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，其中部分自变量为不定值，但可知其界限值（最大或最小），因而可求出 y 的界限值。此概念可应用于对能源或电力结构的分析，无需作各种假定，结果比较可信。如分析核电比率应占多少，则有：

$$\text{核电} = \text{电力总容量} - (\text{煤电} + \text{水电} + \text{气电} + \text{可再生能源电源})$$

现研究如下情况：

2035 年，我国经济接近目前中等发达国家水平，工业化基本完成，能源消费高峰期已过。人口 15 亿，人均发电容量 1KW，共 15 亿 KW，应是最小值。因为 2020 年装机容量 9 亿 KW 已是最小值，2035 年为 15 亿 KW，则年增长率仅 3.5%。若 2020 年电力容量为 10 亿（目前默认值），则年增长率仅为 2.7%！

煤电：用科学采煤、安全采煤的标准要求，并全面考虑环境容量和运输能力，煤业专家认为我国原煤的极限产量为 20-25 亿吨。取上限 25 亿吨，（约为目前世界产煤量的 40%），其中 15 亿吨用于发电，计及技术进步，可供 7 亿 KW 煤电。上限值。

水电：经济可开发量 3.8 亿千瓦，取 3.2 亿千瓦为 2035 年之上限值。

气电：2004 年天然气产量为 340 亿 m^3 ，居民用气比例大。即使考虑进口 LNG，2035 年用于发电的天然气最多为 550 亿 m^3 ，可供 0.7 亿 KW 气电。还应注意，我国气电成本较高。

新能源 主要是风电，2020 年美国 and 欧盟各规划 1 亿 KW，本行专家建议 2020 年规划为 2000 万千瓦。

2035 年达 1.2 亿千瓦是上限值。

由各种界限值可得 2035 年电力结构（表 1）。

表 1 由界限分析法求得之 2035 年电力结构

发电类型 项目	水电	新能源发电	气电	煤电	核电	总计
容量, 亿千瓦	3.3	1.2	0.7	7.0	2.8	15
年运行小时	3500	2500	3500	5000	7000	/
电量, 10^3 亿千瓦时	11.6	3.0	2.5	35.0	19.6	71.7
容量, %	22.0	8.0	4.7	46.6	18.7	100
电量, %	16.2	4.2	3.5	48.8	27.3	100

（二）核电必须加速发展

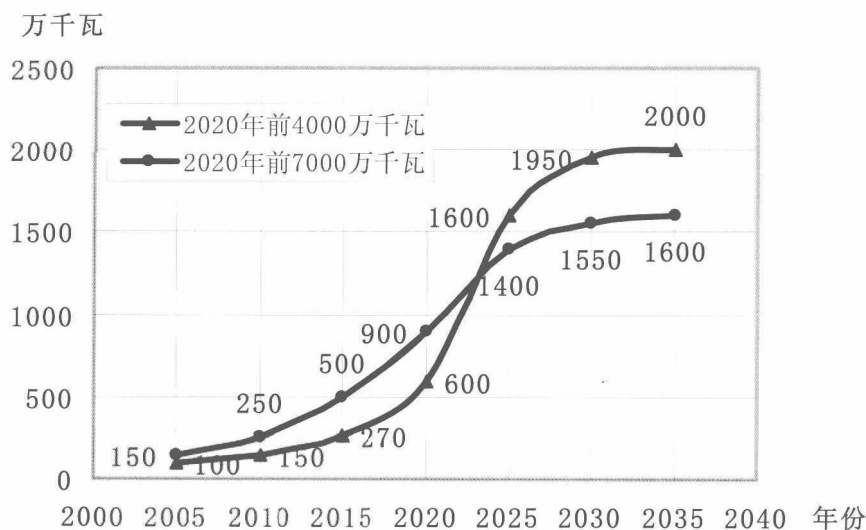


图 1：每年需要建成的核电容量

由表 1 可以看出，只有煤电、水电和核电才能成为主力能源，核电在电力结构中的比率应达到发达国家的平均水平。如要实现此目标，从现在起到 2035 年需平均年增核电 900 万千瓦；而从 2020 年到 2035 年平均年增 1600 万千瓦。图 1 表示每年需要建成的核电容量，如 2020 年前建成 4000 万千瓦核电，则最多年投产 2000 万千瓦（黑线）；如 2020 年前可建成 7000 万千瓦，则最多年投产 1600 万千瓦（红线）。

毫无疑问，多数人会认为这是不切实际的幻想，但中国的能源特点决定了中国的电力结构必须是这样。纵观国际上发达国家的核电发展史，横观近几年来中国火电的飞跃，就可相信：只要市场需要，条

件成熟,科学决策,加速发展核电就可以做到。

法国从 1970 年—2003 年共生产了 71 台核电机组,功率为 90—150 万千瓦,其中 11 台出口。1974 年—1981 年共投产 46 台,年平均 5.8 台。最多年投入 7 台(1975、1977 和 1980 三年),最多在建 37 台(1980、1981 二年)。

美国当年核电发展速度更快:1967 年—1978 年共批准建设核电 149 台,平均每年 12.4 台,最高批建数为 23 台(1968、1974);1972 年—1987 年共投运机组 94 台,平均 6 台,最高投运数 15 台(1973、1974)。美国共建成核电 132 台,已停运 28 台,在役 104 台,总容量约 1.05 亿千瓦。

再看中国火电,2003 年—2005 年装机约 1.35 亿千瓦,2004 为 4500 万千瓦,2005 年各大制造集团生产任务均超过 2000 万千瓦,表明 2006 年的装机还会继续增加。无论是年装机容量还是单个制造集团的产量,均创世界纪录。四年前我们不会料到火电发展如此迅猛,如今却成了现实。

火电的高速发展告诉我们,我国已具有较强的制造能力;已有核电站的成功运行表明,我国核电厂的设计、建造和运行能力已走上自主化的道路。一句话,我们已具备当年美国和法国等发达国家高速发展核电的条件。我国核电建设的速度最少应达到和美国当年相同的速度,应是法国速度的 2-3 倍。总容量则应是美国的 2.5 倍,法国的 5 倍。广东省的核电容量就应相当于法国。

三、核电的竞争能力

(一) 核电造价

影响核电竞争能力的主要因素是上网电价和安全性,上网电价则与造价及运营成本密切相关。“核电造价高”已成为公众共识,但核电上网电价低也是不争的事实。核电燃料价格低是电价低的原因之一;另一重要原因则是,长期以来电力建设采用“单位千瓦造价”,而上网是按“千瓦小时”计价,不是按“千瓦”计价。为此,应对习惯采用的“单位造价”进行修正,才能公正地评定不同发电类型的经济效益。

首先是各种发电类型运行小时 h 的差别,以年运行小时 5000 为基准,引进运行小时修正系数 K_h :

$$K_h = 5000/h$$

其次是运行年限的差别,由于核电运营成本对热耗不敏感,技术寿命可达 40—60 年。假设贴现率为 5%,以 20 年技术寿命为基准,引进寿命修正系数 K_l :

$$K_l = \frac{20}{20 + (0.95 - 0.95^{n+1})/0.05} = \frac{1}{1.95 - 0.95^{n+1}}$$

式中 $n = \text{设计寿命} - 20$, $n \geq 20$ 。

修正后的单位造价称“折合造价”,见表 2。表中核电列出了 4 种情况,单位造价 7500 元为实现自主化后的值,其相应的折合造价已比煤电低 15% 左右,发电成本必然低。单位造价 14000 元为目前中国核电的平均值,相应的折合造价约比煤电高 60%,加之国内的核燃料价格也高于国外,故中国目前的核电成本仍高于火电。由此可见,折合造价可以更客观地评估不同发电类型的投资效益。

表 2 各种发电类型的折合造价

发电类型	煤电	GSCC	水电	风电	核 电	
设计寿命 (年)	30	20	50	20	40	60
年运行小时	5000	3500	3500	2500	7000	7000
单位造价 RMB/KW	5000	4000	7000	6000	7500/14000	7500/14000
K_h	1.00	1.43	1.43	2.00	0.714	0.714
K_l	0.725	1.00	0.573	0.725	0.621	0.546
折合造价 RMB/KW	3.652	5270	5736	8700	3325/6208	2924/5458

(二) 核电发电成本

近 10 年来由于核电的容量因子不断提高,发电成本也不断下降。以美国为例^[2],2000 年核电平均发电成本为 1.72 美分/千瓦时,煤电为 2.07 美分/千瓦时,油电为 3.24 美分/千瓦时,气电为 3.52 美分/千瓦时。经济合作及发展组织 (OECD) 发布《2005 年发电成本预测报告》^[4],指出大多数国家基荷电厂的平均发电成本在 2.5-4.5 美分/千瓦时之间,与气电、煤电相比,核电的经济性优势已大大提高。表 3^[1] 为煤电和核电成本的比较,贴现率 5% 较切合实际。俄国和法国核电更有竞争力;日本和韩国核电与煤电成本相当;加拿大核电成本较高,可能是重水堆运行成本较高所致;中国核电成本较高的主要原因则是目前的核电的折合造价仍高于煤电 60%。可见只有坚定地走自主化和国产化的道路,核电才能降低投资和发电成本,才有生命力。

表 3 核电和煤电发电成本比率

国家	加拿大	法国	日本	韩国	中国	俄罗斯
贴现率 5%	1.01	0.69	1.03	0.89	0.97	0.58
贴现率 10%	1.28	0.83	1.24	1.07	1.27	0.84

(三) 核电的安全与清洁

全世界 400 多台反应堆和 10,000 多堆年的运行经验表明,核电不但经济,而且安全、清洁。

核电至今只发生过两起较大事故,只有 1986 年的切尔诺贝利事故死亡 31 人,该事故的根本原因是“二差”:石墨沸水堆安全性差;人员素质极差。

核电的清洁更是众所周知,以大亚湾核电厂为例,三废处理远优于国家标准和设计标准。10KM 范围内 10 个监测站长期跟踪,放射性水平无任何变化。

公众目睹多年来核电运行安全和清洁的事实,反核情绪已经不是发展核电的障碍。

四、核电的自主化和国产化

文献 [5] 已对核电的自主化和国产化 (后文简称“二化”) 进行了详细的论述,本文择其要点进一步说明二化后核电将有很强的竞争力,我国加速发展的条件已经具备。

（一）概念

自主化表示业主所在国单位有能力在商务上和技术上对项目负责，外方只是某些分项目的分包商，或在技术上进行咨询和指导；国产化则是在总项目中，业主所在国单位承担部分任务，而项目的责任方可为外方，也可为业主所在国单位。

上述概念既适用电站设计，也适用于设备制造、安装与调试。自主化和国产化率则是业主所在国所完成工作价值占总项目价值的比率。

（二）国外二化的模式与经验

模式：美、原苏联为原始创新。法、德、日引进美国技术，经消化、创新达到二化。韩国为后起之秀，进行“货比三家”，最后选定原美国 CE 压水堆技术，逐步建立研发、设计和制造体系，向二化迈进。西班牙和巴西由于内需有限，很难达到二化。

经验：只要有市场，有决心，核电二化一定能成功。实现二化是长期的过程，一般 10 年左右可见成效，即对已引进的技术进行重复设计或组合设计，并能建造。引进技术后，消化和研发十分重要，直接影响二化的速度、质量和创新。

（三）我国二化的现状

在电站设计方面，我国已形成专业配套，有工程经验的设计队伍，20 多年来虽产量不高，但一直未停。具备必要的软件及试验设备，掌握了相应的法规与标准。具有秦山一期、秦山二期和出口巴基斯坦恰希玛核电站的自主设计经验，大亚湾和岭澳核电站的部分设计经验。

在设备制造方面，经历了核潜艇，国内核电及恰希玛核电的大部分设备制造。经过近几年来火电和水电飞速发展的考验，制造能力上了新台阶。最近三大制造集团专为核电兴建了三个滨海核电基地，年产量各为 2—3 台百万级机组，并留有余地。

总之，无论是设计还是制造，发展核电的条件均好于 30 年前的法国和 40 年前的美国。

（四）二化的发展 —— 体制完善

各国核电的发展方式可以不同。美国和日本以企业行为为主，国家给予政策和资金的支持；法国和韩国则以国家行为为主，充分听取企业和专家意见，大刀阔斧进行了核电体制改革。但无论何种方式，下列几方面必须与国际惯例接轨，否则将会影响核电的竞争能力。

电站设计必须“核常交融”，不应该核电设计院只设计“核”，而常规电力设计院只设计“电”。核常交融可以减少接口，提高效率，节省费用，缩短周期。

核蒸汽供应系统制造与设计应统一。设计与工艺结合可促进科技进步，有利于提高产品质量；科研可纳入企业的发展规划，有持续的开发经费支持。

核蒸汽供应系统应具有成套供货能力，不应由业主零星采购。可减少接口，明确责任。

上述几点也正是我国目前核电体制存在问题，应逐步改进。

五、结束语

从国情出发，核电应是我国的主力能源，根据界分析结果 2035 年核电在电力结构中的比率应达到发达国家平均水平，即容量占 20% 左右，电量占 30% 左右。

由于我国核电工业起步晚,发展慢,要达到上述目标必须加速发展,至少与美国当年发展核电速度相当,是法国当年发展速度的 2 ~ 3 倍。

根据国际核电发展的经验和我国目前的情况,我国已基本具备高速发展核电的条件。只要统一认识、科学规划、改革体制、措施果断,本文所预期的核电高速发展目标是可以实现的。

参考文献

1. 徐大懋等,多联产、核电与中国近期能源规划,中国能源[J],2004,(9)。
2. 黄钟(译文),美国2020年核能发展计划[J],《核电站》,2003年第3期。
3. 朱训,关于中国能源战略的辩证思考[J],中国能源,2003,(9)。
4. CGNPC,财经参阅[R].2005/07/02—2005/07/08。
5. 竞争性电力市场环境中核电发展战略研究[R],中国工程院咨询报告,2004,北京。

火电结构优化和技术升级研究的回顾与展望

赵洁 赵锦洋

中国电力工程顾问集团公司

发言人简介: 赵洁, 女, 大学本科, 教授级高级工程师, 1983 年至 1998 年在华北电力设计院工作, 参加和组织过多项大中型火力发电工程设计, 主持过整体煤气化联合循环发电示范工程设计研究等重大科研项目, 担任过 S-863 计划纲要软课题研究能源领域专家, 历任副科长、副处长、副总工程师、副院长, 1998 年至今主要从事电力发展规划研究、电力工程项目评审和科研标准化工作, 担任电力规划设计总院副院长、中国电力工程顾问集团公司副总经理。

背景

电源结构优化和技术升级是一个受到业界乃至社会各界普遍关注的问题。2001 年, 中国电力工程顾问集团公司(电力规划设计总院)在国家电力公司的指导下, 联合有关方面共同努力, 历时一年完成了《火电结构优化和技术升级研究》课题报告。开展这项研究工作目的是想回答三个问题, 一是国民经济发展对电力的要求; 二是火电的比例; 三是火电发展需要解决的问题, 以期为电力发展规划的制定和宏观决策提供参考。整个研究工作针对能源供给和电力负荷预测, 我国火电技术现状和与发达国家的差距, 火电技术升级的途径、手段以及计划安排等内容, 围绕“能源资源和电源结构研究”; “我国火电现状分析研究”; “发达国家火电发展计划研究”; “火电新技术研究”; “火电厂专项技术应用研究”; “火电新技术装备国产化研究”; “火电新技术造价和上网电价研究”七个部分展开。研究得出的主要结论是: 根据预测的发展速度, 我国能源资源供给不足; 以煤为主的结构还将长期存在; 火电结构调整势在必行; 技术升级应该借鉴发达国家的成功经验等。研究对实施结构优化和技术升级排出了时间表, 提出了实施方案和若干政策建议。

国家电力公司于 2002 年 5 月 14 日在北京主持召开了《火电结构优化和技术升级研究》课题报告科技项目验收会, 充分肯定了研究报告的思路、方法和结论。在国家后续颁布的电力工业有关产业政策和电力行业环保政策上都可以直接或间接看到本报告的影响。

2002 年以来, 电力工业经历了体制改革和快速发展的特殊时期, 火电结构和技术水平至今发生了很大变化, 形成了新的格局。分析新体制下的发展趋势, 正视客观环境的变化, 有助于统一认识, 推进和加快火电结构优化和技术升级。

一、“报告”中提出的目标、途径和实施计划的简要回顾

(一) 火电结构优化和技术升级目标和途径

1. 2030 年末, 全国火电机组平均供电煤耗将降到 330g/kWh。

- 分阶段关停单机 50MW 及以下容量的燃煤纯凝汽机组和柴油机发电机组;
- 推广采用大容量超临界机组和超超临界机组、IGCC 发电技术等洁净煤技术,
- 增加燃气机组, 有效改善电网的调峰能力, 使大容量燃煤机组运行负荷率进一步提高,