

中国电机工程学会
1988年学术年会论文集



中国电机工程学会

1988年9月

中国电机工程学会
1988年学术年会论文集

中国电机工程学会

前 言

中国电机工程学会定于1988年11月初，召开第五次会员代表大会，同时举行学术年会。去年十月发出征文通知，经过审选、通知录用、撰写正文，然后编辑排印成论文集并出版发行，历时一年。全集内容涉及电机工程技术各个方面，如远景规划，经验总结，电力设备制造和运行，新技术发展方向以及若干研究专著。涉及的专业有电力系统、自动化、输变电、电工理论基础、火力发电、水力发电、新能源以及动能经济和管理技术等方面的论文50篇，其中不少是若干专委会编写的综述或重要的科技发展动向，因而也是电机工程界普遍关心的问题。论文集中还有一部分文章代表了某一专业方面水平的论著，有的则是通过现场工程实践中的技术总结，不难看出文章较能适应于各方面的阅读需要。本来这次年会准备采用大会宣读论文和小组宣读、讨论相结合的方法，碍于这次大会受出席人数的限制，加之日程安排上时间较紧，因此只能选取论文集中部分比较宏观的文章，在会上宣讲，无法就所有论文展开学术讨论，谨向未能到会的论文作者致歉！

一九八八年十月

目 录

1. 中国电力工业发展的回顾和展望	温克昌 (1)
2. 我国电力工业的长远发展战略	
——从资源条件看我国电源和电力开发	沈根才 (9)
3. 二十世纪后十年我国水电建设的若干设想	沙锡林 (16)
4. 从世界能源发展的总趋势看我国以电力为中心的能源建设	许金涛等 (21)
5. 山东电力工业近十年来迅速发展的建设经验	孙玉声 (39)
6. 中国电力系统的发展原则	郑美特 (44)
7. 我国电力系统科研现状与分析	周孝信等 (49)
8. 安全稳定是发展大电网的突出问题	蒙定中 (54)
9. 智能型联合通讯网络是实现联合电网统一调度的必要手段	戴宏慈 (59)
10. 合理解决调峰问题	周庆昌 (63)
11. 暂态能量函数法电力系统动态安全评估综述	倪以信 (68)
12. 东北电力系统自动化现状及其发展设想	高元楷 (75)
13. 我国电网和电厂自动化技术走向八十年代水平	王平洋等 (84)
14. 论华中电网调度自动化与泛系方法论应用	许有方 (87)
15. 我国输变电设备制造及发展预测	周仲民 (91)
16. 我国第二代 500 千伏超高压输变电设备技术进步与发展	吴恒义 (97)
17. 特高压交流输电	李 岱 (103)
18. 电力设备的在线故障监测	严璋等 (110)
19. 500 千伏超高压输变电线路结构探讨	黄怀仁 (119)
20. 舟山直流输电工程建设的主要经验	郑德明 (127)
21. 舟山直流输电工程成套设备工作总结	李毅达 (134)
22. 高压直流输电系统的数字仿真	江泽佳 (138)
23. 内附着 250 米塔吊组装特高跨越铁塔	邢凌洲 (146)
24. 变电站的无功控制和调压技术	滕福生 (157)
25. 电力电容器电容计算新方法	朱耀明 (163)
26. 小功率双向可控硅交流调压干扰问题初探	郎黔山 (169)
27. 发展农村小型化变电站趋势	庄和安 (174)
28. 20 千伏配电电压等级是农村电网发展的需要	陈本和 (180)
29. 国内外大电机技术的发展综述	陆忠麒 (187)
30. 高压测试技术发展动向	戚庆成 (195)
31. 关于几何方法在电力工程中的应用	丘昌涛 (201)
32. 数值最优化进展及其在电力工程中的应用	赵凤治 (210)
33. 群及其在电工中的应用	周克定 (217)
34. 模糊数学在电力工业中的应用	王平洋 (222)
35. 国外火电发展动向及存在问题	钟史明 (227)

36. 火电厂煤耗分析和预测	刘 俭 (234)
37. 火电燃料政策和煤的燃烧问题	邱长青等 (238)
38. 汽轮发电机组故障诊断技术的应用与开发	杨建明等 (244)
39. 我国现有汽轮机组的现代化改造	王国才 (253)
40. 关于我国发展燃气——蒸汽联合循环发电的前景	中国电机工程学会 (261)
41. 设备能耗方程及设备能耗综合分析	李 沛 (269)
42. 核电的发展	陈维敬 (278)
43. 风力发电技术发展的趋势及我国的进展	王承煦 (285)
44. 我国建设潮汐电站发展趋势	陆凤谔等 (295)
45. 我国地热发电和太阳能热发电的现状、研究和展望	魏保太等 (300)
46. 对动能经济研究的回顾	吴 迁 (309)
47. 可靠性管理在电力工业中的应用	胡修谱 (313)
48. 电力工业计算机管理信息系统的开发	张科等 (320)
49. 水轮发电机组及其附属设备	赵士云等 (323)
50. 我国燃煤发电厂的脱硫深度问题	冯俊凯等 (331)

中国电力工业发展的回顾和展望

温克昌

(中国电机工程学会)

提 要

本文叙述了新中国建国以来三十多年电力工业所取得的成就和存在的问题,分析了电力工业发展过程中的主要经验教训,提出了今后进一步发展电力工业应该遵循的客观规律和必须重视的各项工作。

一、新中国建国以来电力工业发展的情况及成就

中国从 1882 年开办第一个公用电厂到 1949 年新中国诞生的六十多年内,电力工业的发展是相当缓慢的,而且大多数由外国资本或官僚资本以及日本侵华期间成立的掠夺性公司经营。1949 年新中国成立时,仅有发电设备 185 万千瓦,当年发电量仅为 43 亿千瓦时,分别占世界的第 21 位及第 25 位。

旧中国的电力工业尽管有一部份电厂和电网以及一些城市的供电网的设备接近当时工业发达国家的装备水平,有的也有相当高的管理水平,但是总体情况,特别是经过长期战乱影响,还是比较落后的。1949 年标准供电煤耗率高达 1112 克/千瓦时,线损率高达 22.5%,发电设备利用小时仅 2300 小时。

新中国成立以来,大陆部分的电力工业发展比较快。到 1987 年底,发电设备容量已达到 10192 万千瓦,发电量 4960 亿千瓦时,分别占世界第 5 位及第 4 位。美国和日本从相当于中国大陆 1949 年到 1987 年间 38 年电力工业发展规模所用的时间大约分别为 70 余年和 50 余年。因此,近三十多年来,中国电力工业的发展还是比较快的。

经过三十多年的建设,中国的电力工业面貌发生了相当大的变化。

1. 电力布局有了根本改善,为各地区经济发展创造了条件

建国前电力工业集中于少数大城市及沿海地区,西南及西北的一部份地区基本上是空白点。新中国的电力工业布局有了根本性的变化(见表 1)。

表 1 1949 年和 1987 年电力分布比较

地 区	1949 年		1987 年		1949 年至 1987 年 平均年增长率
	装机容量(万千瓦)	比 重	装机容量(万千瓦)	比 重	
华 北	34.25	18.5%	1588.45	15.44%	10.3%
东 北	68.01	36.8%	1487.18	14.46%	8.2%
华 东	59.57	32.2%	2990.24	29.07%	10.6%
中 南	14.70	8.0%	2337.73	22.72%	13.9%
西 南	6.91	3.7%	1007.83	9.8%	13.6%
西 北	1.42	0.8%	875.42	8.51%	17.9%

2. 设备条件有了很大的变化和改善

建国前电力工业虽然也采用了一些当时比较先进的设备,但全部是国外产品。到1987年底,发电设备中,国产的占85%;设备装备水平也有一定的提高,单机容量6000千瓦及以上的汽轮发电机组中,高温高压及更高参数的占总容量的77.8%;单机容量10万千瓦及以上的占总容量的61.7%,其中国产的占78.6%。

建国前,除东北地区于1935年建成154千伏线路、1943年建成220千伏线路外,其它地区的最高输电电压为京津唐电网的77千伏,其余基本为短距离的城市供电系统。建国后,1958年第一条交流220千伏线路建成投产,1972年第一条交流330千伏线路投产,1981年第一条交流500千伏线路投产。到1987年底全国建成投产的35千伏及以上的交流线路39.5万公里,其中500千伏4477公里,330千伏2530公里,220千伏5.45万公里,220千伏线路已遍布除西藏以外的大陆部分省、市、自治区。直流输电虽然起步较迟,但也有相当的发展,1977年建成31千伏工业性试验线路,1987年第一条全部靠国内技术和设备建设的±100千伏直流线路投产,1985年开工建设葛洲坝至上海全长1080公里的±500千伏直流输电工程,线路部份已在1987年建成,全部工程可在1988年建成投产。

城市供电系统随着供电负荷的增长迅速发展。近年来,各主要城市都根据城市发展规划和用电负荷增长的预测,对城市电网进行了技术改造,逐步向城市供电现代化迈进。

3. 逐步发展了具有一定规模的大电力系统

建国以来,随着电力建设的发展,已先后形成17个跨省的及省内和地区的电力系统(见表2)。其中华北、东北、华东、华中4个跨省电力系统1987年底的容量都在1300至1500万千瓦之间,此外,还有容量超过100万千瓦的省内电力系统3个。

表2 1987年底电力系统基本情况

电力系统	设备容量 (万千瓦)	其中统一调度部份										
		设备容量(万千瓦)			发电量(亿千瓦时)			标准煤耗(克/千瓦时)		设备利用小时		
		合计	水电	火电	合计	水电	火电	供电	发电	合计	水电	火电
华北	1310.83	1271.68	63.08	1208.60	745.16	8.69	736.47	413	380	6209	1380	6477
东北	1431.74	1396.17	283.94	1112.23	721.85	107.35	614.50	409	373	6169	3847	6896
华东	1544.35	1412.10	173.29	1238.81	805.46	41.20	764.26	397	370	6027	2554	6503
华中	1473.26	1283.62	510.36	773.26	659.36	233.04	426.32	455	416	5358	4984	5587
西南	595.02	533.00	235.55	297.45	272.57	103.05	169.52	483	437	5374	4493	6101
西北	670.96	661.36	309.61	351.75	322.07	91.76	230.31	428	391	5373	3574	6720
华南	549.26	365.34	168.89	216.45	197.70	60.30	137.40	441	407	5247	3658	6484
福建	200.44	141.25	68.35	72.90	63.59	22.08	41.51	498	452	4752	3625	5694
山东	535.43	479.60		479.60	307.33		307.33	394	367	7039		7039
云南	177.56	154.62	73.22	81.40	73.47	31.78	41.69	544	484	5297	4658	5915

4. 水电有了相当的发展

建国前,水电设备不到全部发电设备的9%,到1987年底,水电设备达到3015.5万千瓦,占全部发电设备的29.3%,水电发电量1002.3亿千瓦时,占全部发电量的20.2%。七十年代以来中小型水电站发展比较快,1987年底,2.5万千瓦及以下的水电站容量达1131.32万千瓦,占水电设备容量的37.5%,对农村电气化起了重要作用。

5. 农村电气化发展迅速

建国前,除个别经济发达地区外,农村用电基本上是空白点,1949年农村用电量仅0.2亿千瓦时,占总用电量的0.6%。到1987年,农村用电设备容量占全国用电设备的30%,农村用电量547.69亿千瓦时,占总用电量的12.8%,农村用电,特别是乡镇工业用电的增长速度远远高于全国用电量的增长水平。农村电气化的发展对促进农村面貌的变化和农村经济的发展起了重要作用。

对农村供电,除了直接对农村供电的乡村电厂521.6万千瓦外,还有专门向农村提供电力的35千伏及以上的农用输电线路11.16万公里,其中110—220千伏线路1.02万公里。

6. 进行了多种能源发电的开发,为今后合理利用能源资源打下基础

三十多年来,除发展了水、火电外,还进行了潮汐、风力、地热发电的开发。目前运行发电的潮汐电站7座,浙江江厦潮汐电站装机容量3100千瓦。风力发电从六十年代起步,已发展了40多种机型,在中、小、微型机组上已初步形成系列,容量从0.1千瓦到200千瓦,对解决牧区、渔区供电开始发挥了作用。地热发电除西藏羊八井地热试验电站装机1万千瓦外,其它地区也建有试验电站,逐步积累经验。我国核电起步较晚,但具有良好的发展条件,我国自行设计、制造和建设的第一座原型压水堆核电站秦山电站,采用30万千瓦机组,正在加紧施工;广东大亚湾核电站,规模为两台90万千瓦机组,正在建设中。

7. 初步建立起生产指挥、科学研究、设计施工及为发展电力工业的后方技术服务体系

随着电力工业的发展,华北、东北、华东、华中、西北等跨省电网中建立了三级制的生产调度指挥系统,省内电网也建立了两级制的调度指挥系统,并逐步装备了现代化的设施。为适应建设的需要,建立了有一定实力的电力、热工、水电的科学研究机构及以解决电力生产技术为主的试验研究机构以及水、火电和输变电的勘测设计院及专业施工公司。为加强后方技术服务,建立了提供发、供电设备配件备品、专用施工机械、配套辅机、断电保护、热工控制自动化装置、仪器仪表、杆塔、金具、金属结构等的专业工厂,形成比较完整的体系。这些机构体系的建立和逐步完善,为电力工业的进一步发展创造了条件。

8. 培养了一大批有相当水平的队伍

三十多年来,我国在实践中培养出一大批电力工业专业队伍,具有管理千万千瓦以上大电力系统、百万千瓦级以上大型水、火电站和500千伏交直流输电系统的能力,有独立设计和建设大型亚临界和超临界火电厂和500千伏交直流输变电工程及现代化城市供电系统的能力,有设计、建设大型水电站、蓄水量超过200亿立方米、在复杂地质条件下建设各种大坝高坝的能力,有进行有关电力工业各项技术的科研能力。此外,还有大量建设和管理农村供电的队伍。这支有一定水平、具有高度责任感的队伍,是我国发展电力工业的宝贵财富。

二、电力工业存在的问题

三十多年来,中国电力工业的发展有了相当大的成就,但也存在着一些问题,有的还是很严重的。

1. 电力工业的发展速度还不能适应国民经济发展和人民生活对用电的需要。1958年以来的三十年中,除少数年份由于整个国民经济调整及产业和产品结构有大的调整外,都是缺电的,而且缺电的程度越来越严重,电力供需矛盾已成为国民经济发展的主要制约因素之一,也影响了城乡人民对物质和精神生活提高的要求。

在长期缺电的情况下,也给电力工业本身带来很多问题和困难:

(1)由于发电设备容量不足,电力部门不得不采取许多压低高峰负荷,提高负荷因数的措施,尽量提高发电设备利用小时,多供电量。全世界从1950年到1980年三十年内,发电设备容量和发电量的平均年增长率分别为9.5%和7.55%,而中国从1957年到1987年三十年内,分别为10.8%和11.4%。由于发电量增长率长期高于发电设备容量增长率,全国火电设备年利用小时多年超过6000小时,而一些电网更超过7000小时,一部份主力机组更高于这个数字,甚至被迫长期超出力运行;一部份主力机组得不到及时维修,被迫临时故障停机增多,安全运行基础不稳。

(2)由于缺电压力大,电力部门不得不把建设投资的绝大部分用于增加发电设备,也不得不从初投资小、建设周期较短来考虑发电设备投资的分配。其结果是:水电设备比例长期停留在30%左右,水力资源不能很好利用,电网调峰能力长期不足;火电燃料供应和运输长期处于紧张状态;输变电和城市供电投资不足,电力工业内部的发电和输变配电间、有功电力与无功电力间等内部比例关系失调,电网结构薄弱,电压质量和供电可靠保证差。

(3)由于缺电幅度大,虽然采取很多调整负荷曲线和节约用电的措施,也远不能弥补缺电的影响,一些电网周波变动大,甚而有的长期低周波运行,不仅危及发电设备的安全运行,降低发供电设备的效率 and 能力,更给用户带来很大的损失。

(4)一些严重缺电地区,尤其是经济比较发达的地区,为解决用电急需,不得不大量就地安装小型火电机组或再次启用已退役的小型火电机组,造成投资增大、燃料相对浪费,因而在一定程度上冲击了大型机组的燃料供应。

造成以上问题的主要原因是,在过去高度集中的经济管理体制中,经济决策部门对电力工业形势的估计和在总建设投资中分配给电力工业投资份额比例对电力工业的发展起着决定性的作用。尤其在电力紧张的情况下,而未能及时对电力工业投资采取“倾斜政策”,就会造成长期缺电,限制国民经济发展的后果。

2. 长期以来,电力工业靠国家投资,“独家办电”,形成各部门、各地方只用电,不办电。这种弊端在经济体制改革,相当一部份建设资金由中央转移到由地方掌握时就更加明显。由于中央掌握的投资减少,地方投资没有用于电力工业,尽管中央强调加快电力建设,并在中央投资中提高电力工业的投资比例,但电力工业投资占实际总建设投资比例下降,缺电问题未能扭转。在中央加强宏观控制,进一步采取了诸如征收能源税、按照用电量提取电力建设费、发行电力债券、鼓励地方及部门、企业集资办电等一系列措施后,这种情况才开始有所改变。

3. “左”的路线对电力工业的发展也带来很严重的影响。“大跃进”、“文化革命”等运动中,电力工业的安全生产方针受到批判,正确的技术政策被否定,强制推行一些违反科学的措施,使电力工业在发展过程中有不少曲折和干扰,有的甚而带来一定的破坏性的后果,管理水平和人员素质都受到相当的影响。

三、电力工业发展中的主要经验教训

回顾三十多年电力工业的发展，有不少经验教训，正确认识这些经验教训，对今后发展是有益的。

1. 电力工业的发展速度应超前于国民经济的发展速度是必须遵循的规律，否则就会造成缺电局面。还要力求发电设备利用小时适当，发电量的增长速度不能长期高于发电设备容量的增长速度，有条件时应略低于发电设备容量的增长速度。

电力消费弹性系数必须大于1是国内外发展电力工业的客观规律。但具体的超前程度与电气化程度、工业用电占总用电量的比重、产业和产品构成、农业用电和生活用电的发展程度等诸多因素有关；电力消费弹性系数随工业化程度的发展逐步下降，在某些特殊情况下，如产业和产品构成有重大变化等，也可能在短时期内并非超前，但从一个较长的发展时期整体考虑，电力消费弹性系数总是大于1的。“电力先行”是符合客观规律的。

2. 电力工业的发展必须有正确的技术政策，技术政策要随着科学技术的发展和进步进行必要的修订和补充。

早在1957年原电力工业部就提出了发展电力工业的技术政策，在1962年又进行了补充。提出的内容参照了世界上发展电力工业的经验，是切合制订当时的水平的，如能顺利执行，将对电力工业的发展，推动技术进步起重要作用。在“左”的路线影响下，对电力工业的干扰和破坏，违反科学，否定技术政策是一个主要方面，其结果是推迟了电力工业的技术进步，扩大了与先进工业国家间技术水平的差距。今后坚持正确的技术政策，并根据科学技术的进步，修订和补充技术政策是十分重要的。

3. 电力工业的发展必须有长远的和中期的规划，重视前期工作。

电力工业的发展必须与国民经济的发展和人民生活水平的提高协调配合，电力工业本身又是资金密集，需要大量设备的装置性行业，建设周期长，耗用大量能源，对环境、生态影响大、选址要求高等特点。三十多年的正反两面经验证明，没有科学的、周密的规划，就不能做到合理的布局、合理利用能源资源，及时适应用电的需要。某些时期曾出现不重视前期工作和规划工作，甚而提倡“边勘测、边设计、边施工”，给电力工业的发展带来严重的后果。

在规划中要认真做好科学的、分地区、分年度的负荷预测，做好动力资源开发和利用的技术可能性和经济合理性的研究，做好电力布局和优化选点定点，合理安排建设进度。为适应电力工业投资大、建设周期长的特点，要编制长期和中期发展规划，在此基础上编制好滚动的年度计划，以指导电力工业的建设。

在规划中要注意电网结构合理，电网建设与电源建设同步进行；电厂规模要合理确定，并尽可能连续建成；水电开发与综合利用有密切关系，要最大限度增加整个流域开发的总效益，尽量采用梯级开发以有效利用水力资源，合理确定蓄水式和径流式水电站建设顺序；重视城市电网发展等。

4. 要重视发展大电力系统和城市供电网，同时也要根据我国具体情况解决山区、边远地区供电问题。

发展大电力系统是电力工业技术进步和适应国民经济发展的必然结果。我国地区间能源资源分布不平衡，经济发展程度有一定的差距，发展大电力系统以解决能源资源的合理利用

和电力供应更为重要。人为地限制电力系统的发展，把电力系统的范围限制在一定的行政区域范围内是极不可取的。

发展电力系统必须全面考虑经济性、可靠性和灵活性；一次系统（发送变配）和二次系统（自动化、通讯、继电保护装置等）要配套建设；内部比例关系（发送变配出力、有功无功出力等）适当；要有合理的安全标准，要有适当的有功功率储备和抗干扰能力；要考虑近期需要与远期发展相结合。

城市供电占全部供电量的75%，城市电网的发展要适应用电负荷的增长和电力系统运行的可靠性的要求。城市电网尽量简化变压层次，各电压层次的网络要结构合理，结线力求简化；要规定合理的供电可靠性指标，据以进行设计；要合理确定各级电网的短路容量，采取无功补偿及调压手段；城市电网的设备要逐步实现规格化；逐步实现城市电网自动化。

我国地域辽阔，经济发展和人口分布很不平衡，完全靠大电力系统解决所有地区的电力供应是不现实的。除农村电力网向广大农村供电外，还要根据实际情势，利用各种能源资源，用小电网、小电厂、小机组解决山区、边远地区等的供电。

5. 电力工业在任何时候都要特别重视安全生产，保证供电质量。

电力工业的安全和质量直接关系到国民经济各部门的正常生产和人民生活。电力工业的建设必须重视为安全生产和保证供电质量创造条件。在电力生产中必须保证人员的高素质水平，包括高技术水平、高度责任心和严格的纪律；要有严密的科学的规程和管理制度。在电力短缺的情况下，正确处理缺电与安全质量的关系更为重要，要更加重视安全生产；保证设备完好；实行严格的科学的电力分配制度，用行政的、技术的和经济的手段予以保证；要有严格的电力调度及用电管理纪律，以保证安全生产和供电质量。

6. 电力工业的性质决定电力工业必须依靠自身力量发展。

电力工业是服务于全社会的，具有公用事业的性质，同时电力工业也是企业，必须有自我发展的条件和能力。这就决定了电力工业要在谋求为全社会创造最大社会效益的前提下，要不断在提高经营管理水平和技术水平的基础上谋求合理的自身经济效益，以取得的利润进行自我发展，以创造更多的社会效益。

在过去相当一段时间，对电力工业的性质认识不够全面，往往忽视电力工业做为企业的这个特点。表现于电力工业本身，则是重生产、轻经营；表现于发展，则是电力工业的投资来源与实现的利润脱钩，“收支两条线”，利润上缴国家，发展靠国家拨款，不还本不计息，因而实现的利润并非真正的利润，造成电力工业利润率高的假象。在国家对固定资产投资由拨款改为贷款后，这种虚假现象打破了，现行电价不仅不能解决自身的发展，而且出现由贷款建设的机组发电后亏损的问题，投产越多，亏损越大，对解决缺电十分不利。

近几年来，逐步重视这些问题的研究。电力工业内部逐步重视了经营管理，提出了从生产型向生产经营型转变；在建设投资上，国家从政策上鼓励扩大投资渠道，相应地对集资，外资等建设的电厂允许按实际成本核定电价。最近，对以国家贷款建设的电厂（也是电力工业的主干部份）的电价问题也引起各方面的重视，有望得到解决。

7. 电力工业的管理体制必须适应改革的形势。

过去电力工业的管理体制曾经历过几次变化，但不外乎“条条”或“块块”的变化，实际只是把电力工业部门做为中央或地方政府管理的部门，而未把电力工业做为企业的根本问题。

随着经济体制改革，逐步扩大企业自主权，电力建设的多渠道投资来源，电网内的电厂

及输变电工程的多种所有权,这些新形势促使电力工业管理体制要进行变革,以适应新形势带来的新情况,必须向在政府政策指导和调控下实现以电网为独立企业的方向发展。

四、电力工业发展的展望

中国国民经济发展的战略目标是到本世纪末力争工农业年总产值比1980年翻两番。近年由于经济体制改革,1981年至1985年的第六个五年计划已经提前一年完成,由1986年至1990年的第七个五年计划也必将提前完成,原定的2000年发展目标完全有可能提前达到。

根据国内外经验,工农业总产值在二十年内增长四倍,电力工业至少要保持同步的发展速度。考虑到国民经济发展计划可能提前完成和当前缺电等因素,经测算,到2000年解决缺电需发电设备容量2.9亿千瓦,最低限也要达到2.4亿千瓦。2000年以后,按工农业产值十五年增长一倍考虑,全国发电设备应达到4.8—5.8亿千瓦。

1. 根据中国一次能源的条件,煤炭储量和水力资源丰富,但地区间分布不平衡,石油已探明的储量尚不够多,因而在今后电源开发应采取以下方针:

(1)充分开发水电,把有利河段的开发放在优先地位,增加可再生能源。

过去四十年内,中国进行过五次水力资源普查。1977至1978年进行的第五次以准确核实水力资源为目的第五次普查结果,全部理论蕴藏量为6.76亿千瓦,相应年发电量5.92万亿千瓦时;其中全部可开发的水力资源蕴藏量为3.78亿千瓦,相应年发电量1.92万亿千瓦时。在可开发的水力资源中,经过一定的地区勘测和工程设计或规划的约占 $1/3$,这是今后三十年水电开发的重点。

2000年以前,大型水电的开发将主要集中在黄河上游、长江中上游干支流、红水河和澜沧江的开发条件优越、经济指标较好、淹没损失较小、送电距离能以交流500千伏解决的河段上,东部沿海地区除根据条件开发一些大型水电站外,还要扩建或改建一些原有的水电站并发展一些抽水蓄能水电站。到2015年规划开发水电1.07—1.38亿千瓦。

为充分开发水电调峰的优越性,在水电开发中凡有条件进行调节的,都应建设能承担调峰任务的水电站;现有水电站中利用小时超过4000小时以上的也在大坝不动、库容不变的条件下进行技术改造和扩建。

为作好水电的开发,除提高勘探和设计技术外,还要配合制造部门研究解决50—70万千瓦水轮机组、高水头机组和20—30万千瓦抽水蓄能机组的有关技术问题。

中小型水电站,特别是小型水电站的开发,对实现农村电气化起很大作用。设想2000年时,6000千瓦以下的小型水电站将由1987年底的870万千瓦发展到2000万千瓦。

(2)以建设大型烧煤电厂为主,加速发展火电。

中国煤炭资源丰富,多数距负荷中心较近,为尽快缓和缺电局面,还要加速发展火电。今后新建的火电厂全部烧煤,不建烧油电厂。根据我国煤炭分布情况,新建大型火电站及火电站群将主要集中在煤炭基地。同时,根据电力负荷分布,华南、华东地区主要依靠海运煤炭在沿海沿江建设港口火电厂;湖北、湖南、江西、山东、河北以及东北主要依靠铁路运煤建设处于铁路枢纽的路口火电厂。

小型火电厂只应在当地有可靠的煤炭资源而且向外运输困难的地区建设,或结合当地供热建设。

在大电力系统中应逐步淘汰老旧的中低压火电机组,改造一部分高压和次高压凝汽机组。

采用大机组是建设大型火电厂,加速电力建设的关键。要改造20万千瓦汽轮机机型,在2000年前仍将采用20—30万千瓦机组并逐步过渡到以50—60万千瓦机组为主,逐步采用

一部份超临界参数机组。逐步使火电厂及机组容量标准化,建设 120—360 万千瓦、机组 4—6 台的火电厂。

为减轻煤炭运输的压力,除要研究采用一部份管道运煤外,应考虑煤炭洗选后运输,火电厂燃料逐步由低质煤改为发热量 5000—6000 大卡/公斤的煤炭,洗煤后的煤泥宜就近建设沸腾炉电厂燃烧。

为提高大型火电厂运行的可靠性和经济性,降低耗水量,解决对环境及生态的不利影响,在提高大机组的质量、性能、效率的同时,要研究改进辅机的性能,辅机定型及与主机的协调配套;研究提高大型火电厂卸煤、配煤、输煤的自动化程度;研究节水技术;提高除尘效率,研究除氮除硫技术;研究减少对水源污染和噪音影响等。

中国一部份电网调峰能力不足,除在发展大电力系统过程中加强电网间调峰能力的协调外,在一部份电网中要考虑安装调峰火电机组。在一部份地区要发展供热机组。

(3) 积极开发核电。

中国有核燃料资源,有一定的核技术基础,过去对核电发展起步迟了一些,今后应在发展水、火电的同时,要在经济发达而又缺乏能源的东北、华东、华南等沿海地区积极建设一部份核电站。

(4) 在发展水电、火电、核电的同时,对一些山区、牧区、边远地区也要结合具体情况开发风力、潮汐、沼气、内燃机以至太阳能发电。

2. 随着发电设备容量的增长,电力系统的规模将不断扩大。在 2000 年以前,仍以目前的七大跨省电力系统为基础,并加强各电力系统的联系。到 2000 年,东北、华北、华东、华中电网的容量都将超过 4000 万千瓦,西北、西南、华南电网也将超过 2000 万千瓦。2015 年规划,东北、华北、华东、华中电网的容量将发展到 8000—11000 万千瓦,西北、西南电网将发展到 5000—7000 万千瓦,华南电网也超过 3000 万千瓦,各电网间将有 200—900 万千瓦的基荷或调峰送受容量;各电网除西北电网外,仍保持以 500 千伏做为骨干网架,但应着手研究 1000 千伏级输变电技术,为进一步发展做好准备。要进一步做好电网规划设计,并按电网分层、分区供电和分级调度原则,建立发电自动控制和分层安全监控系统。

城市供电系统将进一步发展,到 2000 年预计,特大城市的规划市区范围内的用电负荷密度将达到 6000 千瓦/平方公里,中心区将达到或超过 20000 千瓦/平方公里;2015 年,可分别达到 20000 千瓦/平方公里和 50000 千瓦/平方公里以上。为适应城市用电负荷的增长,要加紧城市供电系统的技术改造和建设,到 2000 年少数几个特大城市可能形成向城市电网供电的 500 千伏环网,一部分大城市也将建成 220 千伏供电网。大城市中心地区要发展地下电缆,城市电网设备逐步走向规格化,市区变电所采用占地少的户外型或半户外型布置,市中心变电所采用全户内型或与其它建筑物混合建设,特大城市中心必要时建设地下变电所。配电网逐步采用成套箱式配电装置。逐步实现城市电网自动化,对重要断路器、自动调节装置和部份变电所进行遥控、遥调。逐步采用微机远动、音频控制进行城市电网调度管理和负荷管理,实现非中心变电所和配电站无人值班。

3. 农村电气化将进一步发展,到 2000 年至少要达到 90% 以上的农户用上电,2015 年全国实现农村电气化,全部农户用上电,人均年用电量达到 400 千瓦时。要继续发展和改造现有农村供电网,继续发展向农村供电的小水电,有条件的建设一些小火电,在个别地区发展多种能源发电。

4. 在电力系统,电厂及城市电网提高自动化水平。(下转第 15 页)

我国电力工业的长远发展战略

——从动力资源条件看我国电源和电源开发

沈根才

(水利电力部)

提 要

本文较详细地论述了我国电力工业的长远发展战略。首先评述了我国中长期电力需求以及一次能源开发的预测。特别指出由于我国动力资源条件所限，第一要把水力作为一次能源，必须充分开发水电；第二要大量建设烧煤的大电厂并解决由此带来的运输和环境污染问题；第三要积极开发核电并形成我国自己的核电制造能力；第四要为三十年后留余地。文中还论述了我国发展大电网和大力推进节能的必要性。

电力工业是能源工业，其发展取决于三个战略条件：一是国民经济发展的用电需要；二是动力资源的开发条件；三是发、供电设备和技术的供应条件。而电源的开发布局又更直接地与作为动力资源的国家一次能源情况有关。为此，在近三年间，我们编制 1986 ~ 2015 年电力发展规划时，对上述三个条件，特别是国家一次能源平衡情况作了一系列的调查研究。

我国的能源与电力供应紧张，已经出现十多年了。1975 年人民日报的元旦社论中已经指出煤、电、运是国民经济的薄弱环节，十多年来，这个局面并未改变。展望将来，一次能源的供应，随着国民经济的不断发展，将越来越紧，前十五年（到 2000 年），努力增产和节约，可能勉强满足需要，后十五年（2001 ~ 2015 年），如不及早采取措施，将会限制国民经济，使之不能保持必要的发展速度。

一、

建国以来，直到 1985 年末，三十六年间，我国的发电量平均年增长 13.5%，发电设备平均年增长 11.3%。电力工业是国民经济的一项基础工业，它应该是先行工业，其发展速度应高于工农业总产值的发展速度，但近十几年却低于工农业总产值的增长，这就造成缺电局面日益严重。1980 年，全国拥有发电设备 6000 多万千瓦，缺电为 1000 万千瓦；1985 年全国拥有发电设备 8000 多万千瓦，缺电 1200 万千瓦；1986 年缺电达 700 亿度，约 1500 万千瓦。长期电力不足给国民经济和人民生活带来严重的影响。

党的十二大决定，到 2000 年，全国工农业总产值比 1980 年要翻两番，即为 1980 年的四倍，电力发展如保持同样速度，到 2000 年，至少应达 2.4 亿千瓦（ $= 4 \times 6000$ 万千瓦），年均增长 7.1%。但事实上，“六五”计划的工农业总产值指标和发电量指标均已提前一年完成。1986 年发电量又增长 9.47% 1987 年发电量增长 10.3%，今年一季发电量增长 12%，都高于二十年翻两番的年均增长 7.1% 的计划速度，“七五”计划也必将提前完成。从钢铁和煤炭近年调整后的规划看，原拟在 2000 年完成的指标均将提前五年在 1995 年完成。看来，

二十年翻两番的计划也必将提前完成。今年三月二十五日，李鹏代总理向七届人大一次会议所作的报告中提出：“中国国民生产总值今后五年平均每年增长7.5%左右”，工农业总产值增长率一般高于国民生产总值增长率，如国民生产总值年增长7.5%，则工农业总产值的增长率将在9%左右。所以，今后发电设备仅仅年增7.1%，势必不能解决缺电问题。据各电业管理局、省电力局按用户的实际计划进行具体测算，到2000年，如果解决缺电问题，全国发电设备至少需达2.9亿千瓦。

2000年以后，按工农业总产值三十年再翻两番，即十五年翻一番，年平均增长4.73%考虑，电力至少也应十五年翻一番。到2015年，全国发电设备拥有量应由2.9亿千瓦增到5.8亿千瓦。这也是一个必需达到的较低的速度。美国1967年达到2.88亿千瓦，1977年达到5.76亿千瓦，1978年达到5.99亿千瓦，用了十年多的时间完成了这个阶段的增长，我们考虑用十五年，比他们还慢。苏联1983年达到2.93亿千瓦，以后每年只增加1000万千瓦左右，速度较慢，他们自1970年以来，长期缺电，电力系统降低周波运行，据苏联国家计委副主任拉拉杨茨的文章介绍，1985年以前，每年74%的时间处于低周波状态，就现场所见，低至48.5周波。1985年三月，戈尔巴乔夫执政之后，在报上公开宣布能源拖住了国民经济后腿，撤换了主管石油和电力的部长，并指出过去国民经济发展速度过低是错误的，苏共二十七大通过新的发展国民经济的远景计划，要求1986~2000年的十五年间，国民经济要翻一番，年均增长4.73%。如果我们考虑的速度比这个速度还低，到时，现在在苏联出现的问题我们也可能要出现。

国民经济的发展是有它内在的规律的，过快不行，过慢也不行。今年三月十五日赵紫阳总书记在党的十二届三中全会所作的报告中指出：“我们是个发展中国家。经济的增长和稳定，都是必需的。经济不稳定，无法保持经济持续增长和整个社会的安定；没有一定的增长速度，许多矛盾会更尖锐。总之，经济要稳定，又要增长；要有较好的效益，又要有较好的速度”。

1986~2000年的十五年间，我国将有33724万人达到十八岁，除少量仍在大学读书外，绝大部分均将就业；有13059万人达到60岁，如果全部退出劳动，就业人口将净增20665万人。我国自1952年至1982年的三十年间，城乡劳动者的劳动生产率平均每年增长5.21%，1983~1985年平均年增长11.4%，如仍以5.21%计算，仅仅因为增加20665万人劳动，工农业总产值每年必需增长7.44%以上，这个速度就超过了二十年翻两番的速度。如果低于这个速度，就必然有些人不能就业，这是不能允许的。事实上，到2000年另外还有4000万人达到十六岁，其中至少有一半不能升高中，也需要就业。实际上，我国国民经济的发展，是不能满足于仅仅安排大量人口就业的，还必需进行四个现代化，因此，在2000年前，年增长速度必然要高于7.44%的速度。

总之，从1986年到2015年的三十年间，全国发电设备拥有量将由8000多万千瓦必然要增长到5.8亿千瓦，也就是说，要净增5亿千瓦，这是我们必须考虑的一个艰巨任务。

二、

我国的一次能源平衡预测与对节能的估计经过很多部门的研究，近来已趋于一致。1980年的基数是产原油1亿吨（相当2亿吨原煤），原煤6亿吨，共合原煤8亿吨，折合标准煤5.7亿吨。过去曾想以一番能源保两番工农业总产值，即到2000年达到产原油2亿吨，原煤12亿吨，现在看来，这种设想是难以保证的。1987年原油产量已达到1.34亿吨，原煤产量

已达 9.2 亿吨。石油虽经连年在近海勘探，但石油部门计划仍按 2000 年达到 2 亿吨考虑。煤炭有足够的资源，但又集中在山西—陕西—蒙西—宁夏这块基地，其他各省（除新疆外）大量增产煤炭困难很大，今后将陆续出现仅本省自给或不足自给，而基地的煤炭大量外运，存在困难。煤炭部门考虑努力增产，2000 年想达到 14 亿吨原煤，其中基地产 7 亿吨以上，外运 4.5 亿吨以上。现在基地外运煤约 1.76 亿吨，大秦铁路、侯月铁路建成后可达 3.5~3.6 亿吨，仍然不足，需要在 2000 年前完成神木—朔县—石家庄铁路以及一系列相应的铁路。

据多方测算，2000 年全国所需一次能源约在 15 亿吨（标煤）左右，2015 年约在 22 亿吨（标煤）左右。2000 年如能产油 2 亿吨，煤 14 亿吨，合 18 亿吨原煤，折合标准煤 12.6 亿吨，缺口 2.4 亿吨标准煤。其他一次能源（包括天然气、核电、水电）即使按最大可能性考虑，2000 年只能达到天然气 200 亿立方米（相当 2700 万吨标准煤），核电装机 500—600 万千瓦，发电 250 亿千瓦时（相当 800 万吨标准煤），水电装机 8000 万千瓦，发电 2500 亿千瓦时（相当 8800 万吨标准煤）。三项共达 1.23 亿吨标准煤，尚有 1 亿多吨标准煤的缺口，只能依靠节约来解决。

2000 年以后更加困难，假定到 2015 年，石油增长到年产 3 亿吨，探明储量需比现在已探明的增加 3~4 倍，至少需成倍地增加石油勘探费用。煤炭的增长，即使尽力而为，2001~2005 年间，每年增加 5000 万吨产煤能力，到 2015 年全国达到年产 21.5 亿吨原煤，这样，油煤合计 27.5 亿吨原煤，相当 19.6 亿吨标准煤，尚缺 2.4 亿吨标准煤。但全国如产原煤 21.5 亿吨，其中山西—陕西—蒙西—宁夏这块基地必须生产 12 亿吨以上，需要调出 8 亿吨以上。而铁路由于山口有限，运量如超过 5 亿多吨，有很大困难。在基地内尽量多建火电厂向外送电，但又限于水资源不足，外送电力难以超过 2400 万千瓦（相当外供 7200 万吨原煤）。也就是说，至少有 2 亿吨以上的原煤运不出来。现在可以考虑的办法只有在北面通过草原向东北建设大容量的铁路，并向东、向南采取管道输送。管道输煤也需用水，比例为 1:1；管道输送水煤浆，可用 1 份水送 3 份煤，目前国外只有苏联在建设一条年送 300 万吨煤的 230 公里长的管道，但推延了好几年尚未投产。

总之，石油资源探明储量不多，煤炭大量生产后运输有很大的困难，这两个因素，随着时日的增长，随着国民经济发展规模的增长，随着能源需要量的增长将越加难以解决。

三、

从上述一次能源平衡越来越紧的情况出发，我国电源开发与布局，理应着眼于减轻一次能源的压力，这就需要采取下列几条方针：

第一、充分开发水电，将之作为一次能源开发。

过去，开发水电，往往感到水电厂单位千瓦投资比火电厂高，因而在电力投资不足时，往往多安排火电。事实上，水电厂的建设，不仅相当于建设了相应的火电厂，而且相当于建设了相应的煤矿。今后，很多火电厂需要脱硫，以防止环境污染，一般建设脱硫设备，火电厂的建设投资和运行费用要大幅度增加。鉴于全国一次能源将越来越紧张，因此，在具有水力资源的地区应该充分开发水电，特别是在煤炭资源缺乏而水力资源又很丰富的西南地区应抓紧水电开发，国家安排计划时应将用电多的有色金属冶炼企业和化学电解工业安排在西南，就近利用大量水电。

一般来说，电网规模大了，火电厂单机容量增大，采用了中间再热方式，效率大大提高，但机组则不宜经常开停。因而，一个电网上的各个电厂，出现分工，有的带基本负荷，有的

带中间负荷,有的带尖峰负荷。水电开停简便,调整负荷迅速,最宜于承担峰荷,从电源布局来说,应尽可能让水电承担峰荷(迳流水电站则只能承担基荷)。我国各地电网负荷日负荷率在正常状态时为0.85左右,一般尖峰负荷约占最高负荷的 $1/6$,低谷负荷也占最高负荷的 $1/6$,亦即峰谷差为最高负荷的 $1/3$ 。考虑到一些火电老机组仍可开停,可以承担调整负荷任务,电网内的水电容量最好保持在总容量的 $1/4$ 以上,力争由水电调整尖峰负荷。特别是有核电站的电网,为了保证核电站的负荷稳定,一般应建相当核电站总容量的30%左右的抽水蓄能电站与之配合。从这些技术要求出发,并尽可能考虑了开发的可能性,在未来三十年所需增加的5亿千瓦发电设备容量中,拟安排1.38亿千瓦水电。到2015年,水电总容量将达1.6~1.7亿千瓦,年发电量相当2.0~2.7亿吨原煤,或1.4~1.8亿吨标准煤。

三十年内开发1.38亿千瓦水电虽然只占开发总容量的27.6%,但是一个巨大的任务。东北、华北、华东、华中、华南各省,包括黄河自龙羊峡以下,乌江、红水河流域的5万千瓦以上的水电站,均将全部开发,三峡在2005年前需要建成。在2005年前需要着手开发金沙江。为了配合沿海的核电建设,还将建设17个抽水蓄能电站,共1257万千瓦。现有水电站中有较大调节库容年利用小时在4000小时以上的,有15~20个应予扩建改造,使其年利用小时降到2500~3000小时左右,充分承担调峰任务,总容量可增550万千瓦左右。

第二、在坑口、港口、路口,大量建设烧煤的火电厂。

三十年内,烧煤发电还是占主要成份,在新增5亿千瓦发电设备容量中,将新建3.4亿千瓦烧煤的火电厂。要下大力量解决煤炭运输和环境污染问题。

到2015年,全国火电厂年用原煤量将达12亿吨,其中需山西—陕西—蒙西—宁夏能源基地外运的6.26亿吨;东北需要0.82亿吨,应建设集宁至通辽的1亿吨运量的重载直达铁路;华东需要1.66亿吨,山东0.68亿吨,福建0.21亿吨,广东需0.22亿吨,共需2.77亿吨,其中需要海运的2.28亿吨,现在秦皇岛港运量为4500万吨,扩建后达7500万吨,最终可达9500万吨,显然不足,还需要在秦皇岛附近利用现有铁路新建上亿吨运量的新港口;华中需要1.05亿吨,京广焦枝两条铁路目前已经超载,两线进行改造和焦枝复线电气化后,可望增加0.84亿吨运量,仍然不足,还需建成京九铁路。

在神木、府谷、准格尔、大同、丰镇、神头建立电站群,以50万伏交流和直流线路向京津唐和东北送电,在五曲建电站向山东送电,在阳城建电站向河南送电,并将晋东南煤运至焦作,在焦作建立1000万千瓦火电基地。

在建铁道港口和送电线同时,应开发管道输送,拟建四条管道自晋中和陕西黄陵至武汉东部两个电厂,自晋东南至江苏仪征和南通两个电站,每条管道输送1000万吨原煤,输煤或水煤浆。

为了减少长途运灰,减少大型锅炉的磨损,今后煤炭应先洗后运,火电厂烧煤应烧发热量在5000~6000大卡/公斤以上的好煤。洗后煤渣可在洗煤厂附近建设中小型沸腾炉,燃用发电。

经计算,在新增3.4亿千瓦容量的烧煤火电厂中,将有30%的电厂需要装设烟气脱硫装置,更多的电厂采取电气除尘。在人口密集地区,火电厂不能烧高硫煤,特别是上海—南京—杭州间,将建设5000万千瓦烧煤电厂,应供给低硫、低灰的煤炭,以减轻当地环境污染的威胁。

第三、积极开发核电,并形成我国自己的核电制造能力。