

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DANYUAN JIZU YUNXING YUANLI

单元机组运行原理

杨建蒙 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DANYUAN JIZU YUNXING YUANLI

单元机组运行原理

主 编 杨建蒙
编 写 鲁许整 彭学志
主 审 焦海锋



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本教材从单元机组集控运行的角度出发,对锅炉、汽轮机、发电机—变压器组设备及计算机控制系统综合考虑,对火电厂单元机组的启动、停机及运行调整等几个方面进行了全面系统的分析介绍。

结合单元机组集控运行的要求,共编写了八章。主要内容有:单元机组集控运行的概述,金属材料的高温特性及热应力的基本知识,单元机组动态特性的基本知识,单元机组启动、停机的主要过程,单元机组正常运行与调节,单元机组常见的设备故障、原因及处理对策,超临界参数机组的特点及运行调节,循环流化床锅炉的特点及运行。

本书可作为普通高等教育本科热能动力工程专业教材,也可作为从事大型火力发电机组运行、管理的工程技术人员的参考书和新机组运行人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

单元机组运行原理/杨建蒙主编. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-9190-8

I. 单… II. 杨… III. 火电厂-单元机组-电力系统运行-高等学校-教材 IV. TM621.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第126638号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年10月第一版 2009年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 21.25印张 519千字

定价 35.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是根据普通高等学校能源与动力学科专业教学大纲的要求，为热能与动力工程专业编写的。

随着我国电力工业的快速发展，大容量、高参数的火电机组已成为国家电网的主力机组，集控运行水平不断提高。本书从火电机组集控运行角度出发，综合考虑锅炉、汽轮机、发电机—变压器组设备及计算机控制系统，对火电厂单元机组的启动、停机及运行调整等几个方面进行了比较全面系统的分析介绍。

本书由华北电力大学杨建蒙副教授主编，并编写了第一、三、四章、第六~八章的内容，以及第二、五章的大部分内容；华北电力大学鲁许鳌讲师参与了第二章部分内容的编写和整理工作；华北电力大学彭学志讲师参与了第五章部分内容的编写和整理工作。

全书由山西大学工程学院焦海锋副教授主审，并提出了宝贵的修改意见和建议，在此深表感谢。

本书在编写和出版过程中，得到了华北电力大学能源与动力工程学院、华北电力大学教材科有关领导、老师和电力行业朋友们的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

除了所列的参考文献外，作者还参阅和引用了许多电厂技术人员提供的资料，在此表示谢意。

由于编者水平所限，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请读者不吝指正，编者谨此预致谢忱。

编 者

2009年10月

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 电力工业发展简史.....	1
第二节 单元机组的构成和特点	18
第三节 火力发电厂生产过程自动化发展概况	20
第四节 单元机组集控运行的概念和内容	23
第五节 单元机组运行管理	24
第六节 火力发电厂大型单元机组控制系统概述	26
第七节 我国发电机组的发展趋势	36
第二章 金属材料的高温特性	39
第一节 金属材料的物理化学特性	39
第二节 金属材料的机械性能	40
第三节 金属疲劳	41
第四节 金属蠕变	42
第五节 金属的松弛	44
第六节 金属的脆化	45
第七节 热应力	47
第八节 火电厂高温金属常见的事故	49
第九节 火电厂金属监督工作	54
第十节 电厂锅炉和汽轮机主要零部件使用钢材	56
第三章 单元机组动态特性	60
第一节 单元机组动态特性的基本原理	60
第二节 过热器动态特性	67
第三节 汽包锅炉动态特性	75
第四节 直流锅炉动态特性	81
第五节 汽轮机组的动态特性	84
第六节 单元机组动态特性	89
第四章 单元机组的启动和停运	92
第一节 单元机组启动和停运方式及特点	92
第二节 单元机组旁路系统及其控制	97
第三节 影响锅炉汽轮机启动的因素.....	101
第四节 配汽包锅炉的单元机组冷态启动.....	109
第五节 中压缸方式启动.....	125
第六节 汽包炉单元机组热态启动.....	128

第七节	单元机组的停运	131
第八节	单元机组停机后维护及保养	140
第五章	单元机组正常运行与调节	147
第一节	锅炉运行调节	147
第二节	汽轮机主要参数的监视与调节	170
第三节	发电机、主变压器的监视	175
第四节	厂用电系统的运行与维护	176
第五节	发电机励磁系统运行	183
第六节	火电机组调峰运行	186
第七节	单元机组经济运行	188
第六章	单元机组常见事故分析及处理	199
第一节	概述	199
第二节	锅炉设备常见事故与处理	200
第三节	汽轮机设备常见事故与处理	225
第四节	发变组常见事故与处理分析	240
第五节	热工及其他设备故障分析	246
第七章	超临界参数机组运行与调节	250
第一节	概述	250
第二节	超临界参数机组的启动系统	254
第三节	超临界参数机组的旁路系统	272
第四节	配直流锅炉机组的启动	286
第五节	超临界参数机组锅炉的运行调节	292
第八章	循环流化床锅炉及运行	308
第一节	流化床燃烧技术的发展概况	308
第二节	循环流化床锅炉的结构特点	309
第三节	循环流化床锅炉的运行特性	311
第四节	循环流化床锅炉的启动说明	315
第五节	循环流化床锅炉的正常运行	321
附录	书中主要名词英汉对照	329
参考文献		332

第一章 绪 论

大容量、高参数、高效率的大机组标志着一个国家的技术装备水平。自 1978 年以来,我国电力工业的技术装备水平得到了较大的提高,大型发电机组有了较快的增长。据有关资料统计,1978 年全国 200MW 及以上的发电机组只有 18 台,装机容量共计 4.32GW,占全部装机容量的 7.6%;1997 年上升到了 424 台,装机容量共计 113.2GW,占全部装机容量的 44.5%;2006 年达到了 1026 台,装机容量共计 346.5GW,占全部装机容量的 55.7%。目前全国电力系统中 300、600MW 发电机组已成为主力机组。

截至 2008 年底,我国已经发电的电厂中,单机容量最大的火电机组是浙江玉环电厂、山东邹县电厂、外高桥三厂和泰州电厂的 1000MW 超超临界参数机组。最大的火电厂是大唐托克托电厂,装机容量 $2 \times 300 + 8 \times 600 = 5400\text{MW}$ 。单机容量最大的水电机组是三峡水力发电厂的 700MW 机组,最大的水力发电厂是三峡水力发电厂,截至 2008 年拥有容量 $2 \times 50 + 26 \times 700 = 18\,300\text{MW}$ 。单机容量最大的核电机组是岭澳核电站的 990MW 机组,最大的核电站是岭澳核电站,装机容量 $2 \times 990 = 1980\text{MW}$ 。

单机容量不断提高的同时,全国电力系统总装机容量和发电量也有了迅速的提高。1949 年新中国成立初期,全国总装机容量 1850MW,年发电量 43 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,分别列世界第 21 位和 25 位。到 1978 年,装机容量达到了 57 120MW,比 1949 年增长了 29.9 倍;发电量达到了 2566 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,比 1949 年增长了 58.7 倍。自 1978 年以来,电力工业快速发展。1987 年 12 月,全国总装机容量突破 100 000MW (1 亿千瓦),1995 年 3 月,全国总装机容量突破 200 000MW (2 亿千瓦)。从 1997 年起,全国装机容量和发电量均仅次于美国,列世界第二位。到 2000 年 4 月,全国总装机容量突破 300 000MW (3 亿千瓦),发电量达到 12 000 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。2004~2007 年全国总装机容量连续突破 4 亿、5 亿、6 亿、7 亿 kW 。到 2008 年底,全国总装机容量达到 792 530MW,发电量达到 34 334 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

随着电力系统单机容量的不断扩大,单元机组及其集控运行已得越来越普遍应用。什么是单元机组?怎样才是单元机组集控运行?单元机组集控运行包含哪些内容?在系统学习单元机组集控运行之前,我们有必要了解这些概念。

本章讲述了单元机组和单元机组集控运行基本概念,并在此基础上介绍了单元机组集控运行组织和管理制度。

第一节 电力工业发展简史

一、世界电力工业的发展

自 1799 年意大利物理学家阿 A. 伏特 (Alessandro Volta) 发明电池以来,70 余年间,法、德、英、比、丹麦、美、俄等国的大批物理学家和发明家在电、磁以及电磁感应方面发现了一系列规律,并着手制造了一些简单的机械能与电能的转换装置,逐步制成了直流、交

流发电机和电动机。这些研究和发明为电力工业的诞生开辟了道路。

1870年,比利时发明家Z.格拉姆(Zenobe Gramme)改进直流发电机,用绕有铜绕组的铁芯电枢,以往复式蒸汽发动机带动,供给工厂电弧灯用电。

1875年,巴黎北火车站建成世界上第一座火电厂,安装经过改装的格拉姆直流发电机,供附近照明用电。

1879年,在旧金山建成世界上第一个商用发电厂,有两台发电机,供22盏电弧灯用电,同年在法国巴黎和美国的克利夫兰都先后装设了电弧路灯。

1880年,T.爱迪生(Thomas Edison)与J.斯旺(Joseph Swan)同时发明碳丝白炽灯泡,大大优于电弧灯。这个发明开辟了大量采用电照明的道路。

1882年1月,在伦敦荷尔蓬高架路(Holborn Viaduct)建成了英国第一个发电厂。同年7月26日,在中国上海,英国人立德尔(R. W. Little)成立了上海电气公司,从英国购得直流发电设备,成立了中国第一家商用发电厂,共12kW,从电厂到外滩及虹口招商局码头,沿街架线,连接了15盏电弧灯照明。1882年9月,爱迪生在纽约珍珠街建立了世界上第一个较正规的商用发电厂,装有6台蒸汽机带动的直流发电机,共660kW,以110V地下电缆供电,最大供电距离1.6km。

1884年,英国工程师C. A. 帕森斯(Charles A. Parsons)发明了高速的反动式汽轮机,带动发电机发电,这是电力工业采用汽轮发电机组的开端。

1885~1886年,美国发明家和制造商G. 威斯汀豪斯(George Westinghouse)与W. 斯坦利(William Stanley)等人合作,在买到了变压器发明专利权的基础上,建成了世界上第一个单项交流送电系统。用一台变压器使电源侧的送电电压升到1000V,将电力输送约1.2km,在受电端由另一台变压器降压至500V,显示出交流配电的优越性。

1895年,尼亚加拉大瀑布的水电站建成,装有三台5000HP(约3.675MW)发电机,采用交流输电35km。这次送电成功结束了1880年以来交流与直流电优越性的争论,交流电的优越性迅速被确认并取得统治地位。

1903年威斯汀豪斯电气公司采用了帕森斯汽轮机,组成发电机组并装设在宾夕法尼亚的维尔明顿和康涅狄格州的哈特福德电厂,当时最大的一台汽轮发电机组为5MW,安装在芝加哥的一家火电厂,标志着火电厂采用汽轮发电机组作为通用机组的开始。

1907年,美国工程师E. M. 休利特(Edward M. Hewlett)与H. W. 巴克(Harold W. Buck)发明了悬式瓷瓶,为提高输电线路的电压开辟了道路。

1916年从西弗吉尼亚州的惠林(Wheeling)至俄亥俄州的坎顿(Canton)建成第一条132kV的输电线路。

1918年,美国制造了第一台60MW汽轮发电机组。

1929年,第一台200MW汽轮发电机组在美国制造,次年投入运行。

1932年,前苏联建成第聂伯水电站,单机容量62MW。美国1935年建成的胡佛水电站,单机容量82.5MW,总规模1340MW,而1934年着手建造的大古力水电站单机容量108MW,总规模1974MW,是当时世界上最大的水电机组和水电站。

电力工业在其开创阶段,西欧各国与美国相差不多,但十几年后,美国遥遥领先。1920年,全世界发电装机容量约30000MW,其中美国占20000MW。美国在1920年已普及132kV输电线路,1923年开始使用220kV输电线路,而英国直到1938年才完成132kV国

家电网，日本到1943年才在中国东北和朝鲜建设220kV输电线路。

表1-1和表1-2为世界主要国家装机容量、发电量和发电能源构成。

表1-1 世界主要国家装机容量与发电量构成 (截至1997年底)

国家	装机容量 (MW)				发电量 (亿 kW·h)				人均发电量 (kW·h/人)
	水电	火电	核电	合计	水电	火电	核电	合计	
加拿大	66 823	32 393	13 390	112 606	3452.7	1268.9	778.6	5500.3	18 153
美国	99 430	587 540	99 720	791 620	3549.6	24 812.0	6 287	34 831.1	12 711
日本	44 462	152 733	45 248	242 447	1004.0	6184.0	3192	10 379.0	8211
法国	25 127	28 498	70 319	123 944	619.9	377.8	3759.4	4757.1	8118
德国	8920	87 402	23 486	119 808	208.8	3585.2	1703.3	5497.3	6721
俄罗斯	44 100	150 700	21 200	216 000	1584	5671	1085	8340	5689
英国	1499	52 628	12 762	69 711	42.3	2264.7	892.8	3258.5	5514
韩国	3131	28 259		43 406	61.0	1256.1	852.6	2153.0	4637
中国	59 730	192 408	2100	254 238	1945.7	9252.2	144.2	11 342.0	872
印度	21 720	73 400	1940	96 803	722	3785	101	4634	471
中国*	128 570	484 050	7014	622 000	4167.0	23 573.0	543.0	28 344.0	2168

* 2006年底的数据。

表1-2 部分国家1997年发电能源构成

%

国家	美国	日本	德国	加拿大	法国	英国	中国
煤电	53.83	19.06	53.45	17.39	5.18	34.84	77.92
油电	2.94	18.19	1.25	2.41	1.55	2.34	3.66
气电	13.82	20.54	9.16	4.07	0.98	31.25	
水电	8.99	8.72	3.7	61.06	12.47	1.2	17.15
核电	18.15	30.99	31.08	14.35	79.27	28.54	1.27

二、中国电力工业的发展历程

中国电力工业发展的历程可以分为中华人民共和国成立前的70年和成立后的近60年两个阶段。

(一) 中华人民共和国成立前的70年

1. 初创时期 (1882~1911年)

1882年英国商人在上海建成约12kW火力发电机组，创办了第一家公用电灯公司。随后，中国官府及中、外商人在中国的沿海、沿江的城市、口岸和租界陆续开办了以照明为主的电灯公司。到1911年，全国发电设备装机容量为27MW。

2. 伴随民族资本工业发展时期 (1912~1936年)

1911年到抗战爆发前的25年间，伴随着民族资本工业艰难坎坷的发展，中国电力工业

也得到了相应的发展。1936年底,中国发电装机总容量达到1365.9MW(不含台湾和港澳地区)。

3. 抗日战争时期(1937~1945年)

在抗日战争期间,在国民党政府统治的大后方(四川、云南、贵州、陕西和甘肃等省),共筹建了27个小电厂,总装机容量28.4MW,其设备多为各地拆迁而来,东拼西凑,有些直到1945年日本投降时仍尚未建成。在日本占领的沦陷区,日本侵略者为了掠夺中国的煤炭资源和其他战略物资的需要,先后在河北、山东、山西、安徽等地修建了一些发电厂。至1945年日本投降前,东北三省已投产的发电容量为1782MW。1945年日本投降后,东北电力设备中的主要部分被进驻的苏军拆往前苏联,据不完全统计,被拆走的发电设备约有1398.4MW。苏军撤走后,中国的发电设备总容量仅剩下1455.1MW。

4. 抗日战争胜利后(1945~1949年)

国民党政府致力于打内战,中国电力工业恢复和发展极为缓慢。截至1949年底,全国发电设备总容量只有1848.6MW,年发电量为43.1亿kW·h,分别居世界的第21位和第25位。

(二) 中华人民共和国成立后的近60年

1949年10月1日,中华人民共和国成立,为我国电力工业的发展创造了有利条件。经过三年国民经济恢复时期,截至1965年,发电装机容量达到15080MW,年发电量676亿kW·h,均居世界第九位。

随着国民经济的整顿和调整,电力工业逐步进入正常发展的轨道。至1978年末,全国发电装机容量达到57120MW,年发电量2565亿kW·h。

从1978年底开始,我国政府实行改革开放政策。1981年,山东开创先例,由地方筹款和中央拨款联合建设龙口发电厂,这种模式迅速在全国推广,改变了我国长期以来由国家投资办电的格局。从1983年起,我国开始利用外资建设电厂。集资办电调动了中央、地方、企业、内资和外资的积极性,从而加快了我国电力发展的速度,全国发电装机容量分别于1987年和1995年先后突破100000MW和200000MW,于2000年和2004年又先后突破300000MW和400000MW。表1-3、表1-4为全国发电设备装机容量、构成及增长情况。

表 1-3

全国发电设备装机容量及构成

年份	总装机容量(MW)/ 比上年增长的百分比 (%)	水电装机容量(MW)/ 占总装机的容量百分比 (%)	火电装机容量(MW)/ 占总装机容量的百分比 (%)	核电装机容量(MW)/ 占总装机容量的百分比 (%)
2004	442 387/13.02	105 242 /23.79	329 483/74.48	7014/1.59
2005	517 185/16.67	117 388/22.70	391 377/75.67	7014/1.38
2006	623 698/20.59	130 292 /20.89	483 822/77.57	7014/1.12
2007	718 216/15.15	148 232/20.64	556 074/77.42	8846/1.23
2008	792 530/10.35	171 520/21.64	601 320/75.87	8846/1.12

注 资料来源:中国电力工业统计。

表 1-4 全国发电设备装机容量年增长情况

年份	净增容量 (MW)	比上年增长比例 (%)	水电净增容量 (MW)/比上年增长比例 (%)	火电净增容量 (MW)/比上年增长比例 (%)	核电净增容量 (MW)/比上年增长比例 (%)	风电净增容量 (MW)/比上年增长比例 (%)
2004	50 980	13.02	10 345/10.9	39 712/13.70	650/10.21	
2005	66 023	16.91	11 278/11.54	54 647/18.78	0/0	
2006	106 513	20.59	12 940/10.99	92 446/23.62	0/0	1333/105
2007	94 518	15.15	17 940/13.77	72 252/14.93	1832/26.12	
2008	74 314	10.35	23 288/15.71	45 246/8.14	0/0	

注 资料来源：中国电力工业统计。

表 1-5~表 1-7 为人均指标、发电量及构成和主要技术经济指标。

表 1-5 全国电力工业人均指标 kW·h/人

年份	人均装机容量 (kW/人)	人均发电量	人均净用电量	人均生活用电量	城市人均生活用电量	乡村人均生活用电量
2002	0.2780	1275.7	1095.8	155.8	232.8	106.4
2003	0.3030	1474.3	1205.5	173.2	259.2	114.6
2004	0.3400	1688.1	1436.8	188.9	272.2	129.2
2005	0.3950	1910.1	1632.0	216.0		
2006	0.4750	2168.0	1888.7	246.5		

表 1-6 全国发电量及构成

年份	总发电量 (kW·h)/比上年增长百分比 (%)	水电 (kW·h)/占总发电量的百分比 (%)	火电 (kW·h)/占总发电量的百分比 (%)	核电 (kW·h)/占总发电量的百分比 (%)	风电 (kW·h)/占总发电量的百分比 (%)
2004	21 944/15.18	3310/15.08	18 103/82.50	505/2.30	
2005	24 747/13.16	3952/15.97	20 180/81.55	523/2.11	
2006	28 499/15.16	4148/14.55	23 741/83.30	548/1.92	27/0.095
2007	32 644/14.54	4714/14.44	27 207/83.34	629/1.93	56/0.17
2008	34 334/5.18	5633/16.41	27 793/80.95	684/1.99	128/0.37

注 资料来源：中国电力工业统计。

表 1-7 全国电力生产主要技术经济指标

年份	6000kW 及以上机组								电力弹性系数		线损率 (%)
	发电设备平均利用小时 (h)			发电厂用电率 (%)			标准煤耗 [g/(kW·h)]				
	合计	水电	火电	合计	水电	火电	发电	供电	生产	消费	
2002	4860	3289	5272	6.15	0.49	7.10	356	383	1.43	1.15	7.52
2004	5460	3374	5988	5.95			349	376	1.60		7.55
2005	5411	3642	5876	5.87	0.44	6.8	343	370	1.35	1.33	7.18
2006	5221	3434	5633	5.93	0.43	6.77	342	367	1.27	1.28	6.45
2007	5011	3532	5316	5.92					1.22	1.24	6.97
2008	4677	3621	4911					349			

注 资料来源：中国电力工业统计。

20世纪80年代初,我国从美国引进了亚临界参数的300MW和600MW火力发电机组的设计和制造成套技术,第一台引进型300MW火电机组于1987年在山东石横投入运行;第一台引进型600MW火电机组于1989年在安徽平圩发电厂投入运行。随后,我国还从国外直接引进了多台300、500、600、800、900MW超临界参数的火力发电机组。国产化600MW超临界参数的火力发电机组2004年在河南华能沁北电厂投入运行。这标志着我国的火电机组向超临界参数方向发展,缩小了同国际先进水平的差距,大大提高了火电厂的热效率。全国供电标准煤耗已从1980年的448g/(kW·h),下降到2008年的349g/(kW·h),28年间共下降了99g/(kW·h)。

到20世纪末,世界最大规模的火电厂按其燃料划分共有四座:最大的燃气电厂是俄罗斯的苏尔古特第二发电厂,规模为4800MW,装有6台800MW机组;最大的燃煤发电厂是中国台湾省台中电厂,规模为4680MW,装有8台550MW燃煤汽轮发电机组和担任尖峰负荷的4台70MW燃气轮机发电机组;最大的燃油电厂是日本的鹿岛发电厂,规模为4400MW,装有4台600MW机组和2台1000MW机组;最大的燃褐煤电厂是波兰的贝尔哈托夫火电厂,规模为4320MW,装有12台360MW机组。

水电方面,1982年云南鲁布革水电站工程利用世界银行贷款,在引进外资、引进技术和装备的同时,引进了先进的管理模式,对推动中国水电工程建设,做出了积极的贡献。从1979年到2004年的25年间,中国建成了一大批大型水电站,如葛洲坝水电站(2715MW),漫湾水电站(1250MW),二滩水电站(3300MW),广州抽水蓄能电站(一、二期总装机2400MW)是世界上装机容量最大的抽水蓄能电站。三峡水电站计划装机 26×700 MW,总容量达18200MW,2003年左岸第一台机组开始发电,2008年底已投产26台,成为世界上最大的水电站。

巴西和巴拉圭合建的伊泰普水电站是目前世界上运行的最大水电站,总装机容量为12600MW,于1983年开始发电;其次是委内瑞拉的古里水电站,总装机容量为10300MW,于1968年开始发电。

核电方面,1994年4月,由我国自行设计和建造的300MW机组的秦山核电站正式投入运行,从此结束了中国内地无核电的历史。广东大亚湾核电站两台进口984MW压水堆核电机组分别于1994年2月和5月投入商业运行,广东岭澳核电有限公司(2×990 MW)、秦山第二核电站(2×650 MW)、秦山第三核电站(2×700 MW),江苏田湾核电站(2×1000 MW)也相继投入运行,广东阳江、辽宁红沿河等正在建设中。截至2008年核电总装机容量达8846MW。

自从1954年世界上建成第一座核电厂以后,由于它的发电运行成本低于煤电,再加上20世纪70年代的石油危机,核电在20世纪60~70年代得到了很大的发展。到1997年底,全世界32个国家和地区,共有433座核电机组在运行,总装机容量约为348000MW。核电装机容量最多的国家依次是美国(105台,97979MW)、法国(56台,58748MW)、日本(53台,43414MW)、德国(30台,23486MW),俄罗斯(26台,19849MW)、加拿大(22台,15439MW),全世界核电的发电量约占总发电量的17%。

现在最大的核电机组是法国舒兹电厂的B1、B2机组,单机容量为1455MW。世界上最大的核电厂是日本柏崎·刈羽核电厂,装有7台沸水堆机组,总容量7965MW,其次是乌克兰的扎波罗热核电厂,装有6台1000MW级的压水堆机组,总容量5700MW。容量在

3000MW 以上核电厂，法国有 9 座，日本有 7 座。

新能源发电方面，风力发电发展较快，至 2002 年底，全国风力发电的装机容量已达 468MW，其中新疆达坂城风力发电厂容量已达 87MW，内蒙古辉腾锡勒风电厂 36MW，浙江临海括舍山风电厂 20MW。表 1-8 为 2002 年世界主要国家风电装机容量。

表 1-8 2002 年世界主要国家风电装机容量 MW

排名	国家	截至 2002 年底装机容量	2002 年新增装机容量
1	德国	12 001	3247
2	西班牙	4830	1493
3	美国	4685	410
4	丹麦	2880	497
5	印度	1702	195
6	意大利	785	103
7	荷兰	688	217
8	英国	552	87
9	中国	468	68
10	日本	415	140
欧 洲		23 291	5983
世 界		31 128	6868

地热等其他新能源的利用也取得了一定进展。西藏羊八井地热电站装机 25.2MW；在我国西部地区建成了一批小容量试验性的太阳能光伏电站；潮汐能、生物能发电的研究也取得了进一步的成果。

我国的电源结构已开始向多能互补的方向发展。

2008 年底，我国已建成投产发电的机组总容量为 792 530MW，火电装机总容量为 601 320MW，水电装机总容量为 171 520MW，核电装机总容量为 8846MW。截至 2008 年底，我国已建成的装机总容量超过 1000MW 的大电厂有 249 个（见表 1-9）。

表 1-9 我国装机容量超百万千瓦电厂及容量构成（截至 2008 年底） MW

序号	电厂名称	2008 年底拥有容量	容量构成台数×单机容量
1	三峡水力发电厂	18 300	2×50+26×700
2	龙滩水电厂	4900	7×700
3	二滩水电厂	3300	6×550
4	葛洲坝水力发电厂	2715	19×125+2×170
5	广州蓄能电厂	2400	8×300
6	水布垭水电厂	1840	4×460
7	白山水电厂	1800	2×150+5×300
8	小浪底水电厂	1800	6×300
9	天荒坪蓄能电站	1800	6×300
10	彭水水电厂	1750	5×350
11	漫湾水电厂	1670	1×120+5×250+1×300
12	李家峡水电厂	1600	4×400

续表

序号	电厂名称	2008 年底拥有容量	容量构成台数×单机容量
13	光照水电站	1560	6×260
14	公伯峡水电厂	1500	5×300
15	水口水电厂	1400	7×200
16	刘家峡水电厂	1350	2×225+2×260+1×320
17	大朝山水电厂	1350	6×225
18	天生桥二级水电厂	1320	6×220
19	龙羊峡水电厂	1280	4×320
20	乌江渡水电厂	1250	5×250
21	隔河岩水电厂	1212	2×300+2×306
22	岩滩水电厂	1210	4×302.5
23	桐柏蓄能电站	1200	4×300
24	五强溪水电厂	1200	5×240
25	天生桥一级水电厂	1200	4×300
26	万家寨水电厂	1080	6×180
27	景洪水电厂	1050	3×350
28	丰满水电厂	1002.5	1×60+2×65+5×72.5+2×85+2×140
29	泰安蓄能电厂	1000	4×250
30	宜兴蓄能电站	1000	4×250
31	三板溪水电厂	1000	4×250
32	张河湾蓄能电站	1000	4×250
33	田湾核电站	2000	2×1000
34	岭澳核电站	1980	2×990
35	大亚湾核电站	1968	2×984
36	秦山第三核电站	1400	2×700
37	秦山第二核电站	1300	2×650
38	大唐托克托发电厂	5400	8×600+2×300
39	邹县发电厂	4540	4×335+2×600+2×1000
40	后石发电厂	4200	7×600
41	玉环发电厂	4000	4×1000
42	北仑港发电厂	3000	5×600+2×1000
43	达拉特发电厂	3180	6×330+2×600
44	嘉兴发电厂	3000	2×300+4×600
45	台山发电厂	3000	5×600
46	利港发电厂	2660	4×350+2×630
47	华能德州发电厂	2650	2×300+1×320+1×330+2×700
48	华能珞璜发电厂	2640	4×360+2×600
49	蒲城发电厂	2640	4×330+2×660
50	扬州第二发电厂	2520	4×630
51	华能上安发电厂	2500	2×300+2×350+2×600

续表

序号	电厂名称	2008 年底拥有容量	容量构成台数×单机容量
52	洛河发电厂	2440	2×300+2×320+2×600
53	姚孟发电厂	2410	3×300+1×310+2×600
54	西柏坡发电厂	2400	4×300+2×600
55	沙岭子发电厂	2400	8×300
56	岱海发电厂	2400	4×600
57	上都发电厂	2400	4×600
58	乌沙山发电厂	2400	4×600
59	宁海发电厂	2400	4×600
60	兰溪发电厂	2400	4×600
61	福州可门火电厂	2400	4×600
62	沁北发电厂	2400	4×600
63	阳逻发电厂	2400	4×300+2×600
64	广安发电厂	2400	4×300+2×600
65	韩城第二发电厂	2400	4×600
66	神木锦界发电厂	2400	4×600
67	盘南发电厂	2400	4×600
68	滇东发电厂	2400	4×600
69	伊敏发电厂	2200	2×500+2×600
70	阳城发电厂	2100	6×350
71	元宝山电厂	2100	1×300+3×600
72	台州发电厂	2070	6×135+2×300+2×330
73	日照发电厂	2060	2×350+2×680
74	黄岛发电厂	2050	2×140+2×225+2×660
75	双鸭山发电厂	2020	2×200+2×210+2×600
76	神头第二发电厂	2000	4×500
77	潍坊发电厂	2000	2×330+2×670
78	泰州发电厂	2000	2×1000
79	外高桥第三发电厂	2000	2×1000
80	谏壁发电厂	1980	6×330
81	沙角 C 发电厂	1980	3×660
82	常熟第二发电厂	1950	3×650
83	七台河发电厂	1900	2×350+2×600
84	华能营口电厂	1840	2×320+2×600
85	高资发电厂	1815	2×137.5+2×140+2×630
86	漳山发电厂	1800	2×300+2×600
87	铁岭发电厂	1200	4×300+1×600
88	华能太仓发电厂	1800	2×300+2×600
89	外高桥第二发电厂	1800	2×900
90	三门峡发电厂	1800	2×300+2×600

续表

序号	电厂名称	2008 年底拥有容量	容量构成台数×单机容量
91	益阳发电厂	1800	2×300+2×600
92	妈湾发电总厂	1800	6×300
93	宣威发电厂	1800	6×300
94	沧州发电厂	1690	3×130+4×325
95	秦皇岛热电厂	1600	2×200+4×300
96	绥中发电厂	1600	2×800
97	荆门热电厂	1600	2×200+2×600
98	哈尔滨三厂	1600	2×200+2×600
99	淮阴发电厂	1540	1×220+4×330
100	湘潭 B 电厂	1500	1×300+2×600
101	邢台发电厂	1480	4×220+2×300
102	温州发电厂	1470	2×135+4×300
103	菏泽发电厂	1450	2×125+4×300
104	华能南通发电厂	1404	2×350+2×352
105	通辽热电厂	1400	4×200+1×600
106	华能大连发电厂	1400	4×350
107	华能福州发电厂	1400	4×350
108	宝钢发电厂	1400	4×350
109	丰城发电厂二期	1400	2×700
110	珠海发电厂	1400	2×700
111	九江发电厂	1350	2×125+2×200+2×350
112	华能岳阳发电厂	1325	2×362.5+2×300
113	邯峰发电厂	1320	2×660
114	国华准格尔发电厂	1320	4×330
115	华电芜湖发电厂	1320	2×660
116	焦作发电厂	1320	6×220
117	石嘴山第二发电厂	1320	4×330
118	新乡宝山发电厂	1320	2×660
119	大港发电厂	1314	4×328.5
120	陡河发电厂	1300	4×200+2×250
121	三河电厂	1300	2×300+2×350
122	平圩第二发电厂	1280	2×640
123	大别山发电厂	1280	2×640
124	华润阜阳发电厂	1280	2×640
125	石洞口发电厂	1270	1×300+1×320+2×325
126	张家港沙洲电厂	1260	2×630
127	钦州发电厂	1260	2×630
128	京达发电厂	1260	2×330+1×600
129	济宁运河发电厂	1240	4×145+2×330

续表

序号	电厂名称	2008 年底拥有容量	容量构成台数×单机容量
130	华润彭城发电厂	1240	2×300+2×320
131	石横发电厂	1230	2×300+2×315
132	常熟发电厂	1230	3×300+1×330
133	平圩发电有限责任公司	1230	1×600+1×630
134	大坝发电厂	1230	3×300+1×330
135	玛纳斯发电厂	1230	3×100+3×110+2×300
136	沙角 A 发电厂	1220	1×200+2×210+2×300
137	夏港发电厂	1216	2×138+2×140+2×330
138	龙山发电厂	1200	2×600
139	衡水发电厂	1200	4×300
140	沧东发电厂	1200	2×600
141	定州发电厂	1200	2×600
142	王滩发电厂	1200	2×600
143	太原第一热电厂	1200	4×300
144	太原第二热电厂	1200	3×200+2×300
145	神头第一发电厂	1200	6×200
146	大同第二发电厂	1200	6×200
147	阳泉二电厂	1200	4×300
148	河曲发电厂	1200	2×600
149	阳城第二发电厂	1200	2×600
150	王曲发电厂	1200	2×600
151	国电电力大同发电厂	1200	2×600
152	武乡发电厂	1200	2×600
153	运城发电厂	1200	2×600
154	塔山发电厂	1200	2×600
155	华光发电厂	1200	2×600
156	丰镇发电厂	1200	4×300
157	包头河西发电厂	1200	2×600
158	霍林河发电厂	1200	2×600
159	杨柳青发电厂	1200	4×300
160	大唐盘山发电厂	1200	2×600
161	青岛发电厂	1200	4×300
162	莱城发电厂	1200	4×300
163	聊城发电厂	1200	4×300
164	费县发电厂	1200	2×600
165	锦州发电厂	1200	6×200
166	庄河发电厂	1200	6×200
167	双辽发电厂	1200	4×300
168	富拉尔基发电总厂	1200	6×200