

高等学校统编精品规划教材

发电动力系统概论

主 编 胡念苏

主 审 刘梅清



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 武丽丽 邹昱

销售分类：水利水电工程 / 发电动力系统概论

ISBN 978-7-5084-8434-1



9 787508 484341 >

定价：32.00元

高等学校统编精品规划教材

发电动力系统概论

主 编 胡念苏

主 审 刘梅清



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材全面介绍了各类发电厂中将其他能量转换成电能的动力设备、动力装置、动力系统。第一章全面介绍了我国电力工业的现状与发展,各类发电动力形式的特点。第二章至第四章分别介绍了水力发电、火力发电、核能发电的基本原理、生产过程、主要设备的结构以及运行技术等,第五章介绍了风力发电、生物质发电、垃圾焚烧发电等新能源发电动力装置以及燃气—蒸汽联合循环、分布式能源动力系统等新型发电系统。

本教材为能源动力类、电力类专业的通选课程教材,也可作为相应专业的认识实习的教材,还可供相关行业的技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电动力系统概论 / 胡念苏主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2011.3
高等学校统编精品规划教材
ISBN 978-7-5084-8434-1

I. ①发… II. ①胡… III. ①发电厂—动力系统—高等学校—教材 IV. ①TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第028305号

书 名	高等学校统编精品规划教材 发电动力系统概论
作 者	主编 胡念苏 主审 刘梅清
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 15.5印张 368千字
版 次	2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

能源是人类赖以生存的基本条件，人类历史的发展与能源的获取与使用密切相关。人类对能源利用的每一次重大突破，都伴随着科技进步、生产力迅速发展和社会生产方式的革命。随着现代社会与经济的高速发展，人类对能源的需求急剧增长。大量使用化石燃料不仅使有限的能源资源逐渐枯竭，同时给环境造成的污染日趋严重。如何使经济、社会、环境和谐与可持续发展，是全世界面临的共同挑战。

水资源是基础性的自然资源，又是经济性的战略资源，同时也是维持生态环境的决定性因素。水力发电是一种可再生的清洁能源，在电力生产中具有不可替代的重要作用，日益受到世界各国的重视。水电作为第一大清洁能源，提供了全世界 $1/5$ 的电力，目前有 24 个国家依靠水力发电提供国内 90% 的电力，55 个国家水力发电占全国电力的 50% 以上。

我国河流众多，是世界上水力资源最丰富的国家。全国水能资源的理论蕴藏量为 6.94 亿 kW（不含台湾地区），年理论发电量 6.08 万亿 kW·h，技术可开发装机容量 5.42 亿 kW，技术可开发年发电量 2.47 万亿 kW·h，经济可开发装机容量 4.02 亿 kW，经济可开发年发电量 1.75 万亿 kW·h。经过长期的开发建设，到 2008 年全国水电装机总容量达到 17152 万 kW，约占全国总容量的 21.64%；年发电量 5633 亿 kW·h，约占全部发电量的 16.41%。水电已成为我国仅次于煤炭的第二大常规能源。目前，中国水能资源的开发程度为 31.5%，还有巨大的发展潜力。

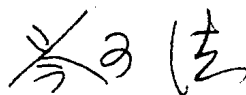
热能与动力工程专业（水利水电动力工程方向）培养我国水电建设与水能开发的高级工程技术人才，现用教材基本上是 20 世纪 80 年代末、90 年代中期由水利部科教司组织编写的统编教材，已使用多年。近年来随着科学技术和国家水电建设的迅速发展，新技术、新方法在水力发电领域广泛应用，该专业的理论与技术已经发生了巨大的变化，急需组织力量编写和出版新的教材。

2008 年 10 月由西安理工大学、武汉大学、河海大学、华北水利水电学院在北京联合召开了热能与动力工程专业（水利水电动力工程方向）教材编写会议，会议决定编写一套适用于专业教学的“高等学校统编精品规划教材”。

新教材的编写，注重继承历届统编教材的经典理论，保证内容的系统性与条理性。新教材将大量吸收新知识、新理论、新技术、新材料在专业领域的应用，努力反映专业与学科前沿的发展趋势，充分体现先进性；新教材强调紧密结合教学实践与需要，合理安排章节次序与内容，改革教材编写方法与版式，具有较强的实用性。希望新教材的出版，对提高热能与动力工程专业（水利水电动力工程方向）人才培养质量、促进专业建设与发展、培养符合时代要求的创新型人才发挥积极的作用。

教育是一个非常复杂的系统工程，教材建设是教育工作关键性的一环，教材编写是一项既清苦又繁重的创造性劳动，好的教材需要编写者广泛的知识 and 长期的实践积累。我们相信通过广大教师的共同努力和不断实践，会不断涌现出新的精品教材，培养出更多更强的高级人才，开拓能源动力学科教育事业新的天地。

教育部能源动力学科教学指导委员会主任委员
中国工程院院士



2009年11月30日

前言

作为经济发展和社会进步的强大动力之源,我国的电力工业从改革开放以来一直保持高速发展的态势,发电量和装机容量已经长时间稳居世界第二位,传统的火力发电、水力发电技术已经有了巨大进步,同时,核能发电、生物质发电、垃圾焚烧发电、风能发电、分布式发电系统等采用新能源、新技术的发电动力形式正在得到广泛的应用和快速发展,为了使工科院校能源动力类专业和其他相关专业的学生学习和了解各类发电动力形式的基本原理和工作过程,我们编写了这本教材,希望对他们拓宽基础、开阔视野或对以后的专业课的学习有所帮助。

本教材全面介绍了各类发电厂中将其他能量转换成电能的动力设备、动力装置、动力系统等。第一章全面介绍了我国电力工业的现状与发展,各类发电动力形式的特点。第二~四章分别介绍了水力发电、火力发电、核能发电的基本原理、生产过程、主要设备的结构以及运行技术等,第五章介绍了风力发电、生物质发电、垃圾焚烧发电等新能源发电动力装置以及燃气—蒸汽联合循环、分布式能源动力系统等新型发电系统。

本教材为能源动力类、电力类专业的通选课程教材,也可作为相应专业的认识实习的教材,还可供相关行业的技术人员和管理人员参考。

参加本教材编写的有胡念苏(第一章、第二章第一节、第四节、第五节)、于波(第二章)、谢诞梅(第三章第三节、第四章)、朱全利(第三章第二节)、熊扬恒(第五章第一节)、余亮英、李培生(第五章第二节、第三节)、杨俊(第五章第四节、第五节)等。全书由胡念苏担任主编,刘梅清担任主审。

本教材的编写得到了教育部高等学校能源动力学科教学指导委员会和武汉大学动力与机械学院的支持和帮助,我们表示衷心的感谢。由于编写融各种发电动力系统于一体的教材是一个新的尝试,加之时间的仓促和水平所限,书中不妥之处和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2011.2.28

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 我国电力工业的现状与发展	1
一、我国电力工业的现状	1
二、我国电力工业发展	3
第二节 各类发电动力形式的特点	6
一、电能生产的特点与基本要求	7
二、水力发电特点	7
三、火力发电的特点	8
四、核能发电的特点	9
五、新能源发电的特点	11
第二章 水力发电动力系统	14
第一节 概述	14
一、水力发电的基本原理	15
二、水能的开发方式和水电站的基本形式	16
三、抽水蓄能电站和潮汐电站	19
四、水力发电的生产过程	21
第二节 水轮机	21
一、水轮机的类型与应用范围	21
二、水轮机的基本构造	26
三、水轮机的工作参数	27
四、水轮机转轮进、出口水流速度三角形	29
五、水轮机基本方程式	29
六、水轮机内的能量平衡与水力效率	31
七、水轮机运行的最优工况	32
八、水轮机的空化与空蚀	33
九、水轮机的相似理论与单位参数	35
十、水轮机的特性曲线	38

第三节 水轮机运行工况调节	43
一、水轮机调节的任务	43
二、水轮机调节原理	44
三、水轮机调节系统的组成	44
四、水轮机调节系统的特性	45
五、水轮机调节的特点	48
六、调节对象的惯性及其对调节的影响	48
第四节 水电站辅助设备	49
一、水轮机进水阀	49
二、油系统	52
三、气系统	54
四、技术供水系统	56
五、排水系统	60
六、机组水力参数监测	61
第五节 水轮机运行	63
一、水轮机的特殊运行过程	63
二、水轮机运行稳定性	66
第六节 抽水蓄能发电	69
一、抽水蓄能发电的基本概念	69
二、抽水蓄能电站的组成	70
三、抽水蓄能电站在电力系统中的作用	71
四、水泵水轮机	72
第三章 火力发电动力系统	76
第一节 火力发电的基本原理	76
一、火力发电厂生产过程概述	76
二、热功转换的基本原理	79
三、水蒸气及其形成过程	84
四、蒸汽动力循环	86
第二节 锅炉设备	90
一、锅炉的工作特性	90
二、锅炉燃料、燃烧及热平衡	91
三、流化床锅炉	94
四、煤粉炉及煤粉的制备	96
五、锅炉受热面	101
六、锅炉的辅助设备	106
七、锅炉运行的基本知识	107
八、电站锅炉烟气脱硫	109

第三节 汽轮机设备	110
一、汽轮机的分类和型号	111
二、蒸汽在级内的流动和能量转换	112
三、级内损失和级的相对内效率	115
四、多级汽轮机	117
五、汽轮机的调节与保护	123
六、汽轮机运行	125
第四节 热力系统及辅助设备	127
一、主蒸汽系统及主蒸汽旁路系统	128
二、凝汽系统及设备	130
三、抽汽回热系统及设备	132
四、给水除氧系统及设备	136
第五节 典型火力发电机组示例	140
一、国产引进型 300MW 亚临界火力发电机组	140
二、国产引进型 1000MW 超超临界火力发电机组	142
第四章 核能发电动力系统	148
第一节 概述	148
一、核能发电的发展概况	148
二、物质元素的原子和原子结构	150
三、核反应堆的类型	152
第二节 核能发电基本原理	153
一、核反应堆的基本概念	153
二、核电站反应堆的类型	155
第三节 核电站核岛设备	157
一、反应堆本体	157
二、蒸汽发生器	158
三、稳压器	159
四、一回路循环泵及其附属设备	160
第四节 核电站常规岛设备	161
一、核电站汽轮机	161
二、核电站二回路热力系统	165
三、核电站三回路冷却水循环系统	168
第五节 核电站的运行	169
一、核电站启动	170
二、核电站正常运行	171
三、核电站停闭	171
四、核电站正常维护和检修的特殊要求	171

五、核电站的三废处理	172
六、核电站乏燃料的处理	173
第五章 新型发电动力系统	175
第一节 风力发电	175
一、风能及其利用	175
二、风力机的种类	179
三、水平轴风力机的结构	181
四、风力机的基本特征系数	185
五、风力发电动力系统	188
第二节 生物质发电	192
一、生物质能资源及其利用	192
二、生物质燃烧发电技术	196
三、生物质气化发电技术	200
第三节 垃圾焚烧发电	205
一、垃圾资源及其利用	205
二、垃圾的来源、组成、性质和分析方法	208
三、垃圾焚烧发电系统	212
四、热解及其新型垃圾能源化技术	217
第四节 燃气—蒸汽联合循环	220
一、燃气—蒸汽联合循环及其特点	220
二、联合循环中的燃气轮机和余热锅炉	223
三、Siemens GUD1. 94. 3A 型联合循环发电机组简介	225
第五节 分布式能源动力系统	227
一、分布式能源动力系统及其特点	227
二、分布式能源动力系统中主要设备	228
三、分布式能源动力系统的组成	233
参考文献	236

绪 论

电力是现代工业、农业、交通运输、人民生活等一切生产活动的主要动力，也是发展国民经济的重要物质技术基础，还是提高人们物质文化生活水平的重要条件。电力工业发展的水平是反映一个国家技术和经济发展程度的重要标志之一。随着社会发展和技术进步，世界上发电能源在一次能源消费中的比重不断提高，工业发达国家已超过于 40% 以上。

目前，能商业化规模发电的动力形式除了常规的火力发电、水力发电、核能发电外，一些采用新能源、新技术的发电动力形式正在得到应用和发展，如生物质发电、垃圾焚烧发电、风能发电、分布式发电系统等。发电动力系统的研究对象是各类发电厂中将其他能量转换成电能的，由各种动力设备、动力装置及其附件、管道组成的动力系统，如何不断提高这些系统在电能转换过程中的经济性、安全性、可靠性、清洁性以及自动化程度，是发电厂动力系统的主要研究内容。

第一节 我国电力工业的现状与发展

一、我国电力工业的现状

1. 电力工业的高速发展

我国电力工业走过了近 130 年的历史，1882 年 7 月 26 日，上海电气公司的发电机第一次点亮了在外滩的 15 盏路灯，标志了我国电力工业的诞生，之后经历了艰难曲折，1949 年之前的 67 年，其发展非常缓慢，发电设备基本依靠进口。1949 年全国发电装机容量和发电量仅为 185 万 kW 和 43 亿 kW·h，分别居世界第 21 位和第 25 位。

新中国成立 60 年来，与国民经济的发展同步，我国（仅含大陆地区，下同）电力工业的发展以改革开放为标志可基本分为两个 30 年。改革开放前的 1978 年，全国发电装机容量达到 5712 万 kW，发电量达到 2566 亿 kW·h，分别跃居世界第 8 位和第 7 位。

改革开放 30 年来，作为国民经济重要的基础产业，我国电力工业走过了一条辉煌的改革发展之路，开创了世界电力发展史上的奇迹。全国的电力装机容量在 1987 年突破 1 亿 kW，1995 年达到 2 亿 kW，2000 年突破 3 亿 kW，自 2004 年突破 4 亿 kW 以来，连续保持每年新增近 1 亿 kW 的迅猛势头，2009 年底已达到 8.74 亿 kW。全国的发电量也以



年均 9.2% 的速度增长,我国发电装机容量和发电量已经连续 14 年位居世界第二位,创造了令全世界瞩目的“中国速度”。目前,全国发电装机容量已大致相当于世界前 10 位电力大国中日本、德国、加拿大、法国和英国 5 个国家发电装机容量的总和。超越世界第一电力大国——美国 9.5 亿 kW 的总装机规模这一目标只是时间问题了。

2. 电力结构不断调整优化

改革开放之前,我国的电力工业主要是火力发电和水力发电,核能、风能和其他新能源发电基本为零。在发电量占主导地位的火力发电中,100~200MW 机组是主力机组,还存在大量的 100MW 以下的小型机组。改革开放以来,除了发电量和装机容量有了快速增长外,整个电力结构得到不断的调整和优化。

首先,火力发电投产了一大批 600MW 以上的大容量、高参数的机组,淘汰了一大批 100MW 以下的小型机组。2007 年,全国共关停小火电机组 553 台,容量达到 1438 万 kW。从而大大改善了火力发电的经济性和生产水平。

同时,水电开发力度加大,2010 年 8 月,我国水电装机达到 2.0 亿 kW,位居世界第一,占全国电力总装机容量的 22.9%。在众多可再生能源当中,水电在电力结构中比例最大,在能源平衡和能源工业的可持续发展中占有重要的战略地位。从 20 世纪 80 年代末,我国启动了大规模的抽水蓄能电站的建设,一批抽水蓄能电站相继建成,对于提高电网安全、稳定和经济运行发挥了重要作用。

我国核电建设经过 20 年的努力,已经建成以秦山、大亚湾/岭澳、田湾为代表的三个核电基地,目前投产机组共 11 台,总装机容量达到了 907 万 kW,比 2002 年增加了一倍。同时,还有 12 台核电机组已获国家批准正在建设,其总容量达到 1224 万 kW。

其他的能源发电,如风力发电、生物质发电、潮汐发电等也从无到有,正在逐步得到发展。其中我国的风力发电装机容量为 605 万 kW,跃居世界第 5 位。2007 年一年的发展规模相当于历年风电装机容量总和,且在近几年呈倍增式发展态势。

3. 电力工业装备和技术跻身世界先进水平

在电力总量快速增长的同时,我国电力工业装备和技术水平已跻身世界大国行列。

改革开放前,我国只有制造 200MW 火电机组和 250MW 水电机组。经过 30 年的快速发展,我国 300MW 及以上大型火电机组比重达到 59%,600MW 及以上清洁高效机组已成为新建项目的主力机型,并逐步向世界最先进水平的吉瓦级超超临界压力机组发展。截至 2010 年 9 月底,全国已有 20 多台吉瓦超超临界压力机组投运。目前,还有一大批 600~1000MW 的超(超)临界机组正在建设和陆续投产,可以说,中国的火力发电已经进入“超临界”时代。与此同时,大型火力发电的空冷技术、循环流化床技术、烟气净化(脱硫、脱硝)技术、海水淡化技术、自动化控制技术都有了极大的发展。

以三峡水电站为代表的一批大型水电站的建成投运,标志着我国大型水电机组的制造能力和水平迅速崛起,水电站控制自动化水平、大坝建设等重大技术取得重要突破,水电建设的技术和能力已全面进入世界先进水平。

在核电等其他领域也同样取得突破,核电已经从最初的完全靠技术引进,到目前已经掌握了 300MW、初步掌握了 1000MW 压水堆核电机组的设计和建造技术,正在建设世界上首台采用 AP1000 技术的核电站。同时,我国目前正在积极参与国际上第四代核电技术



的研究与开发项目。

在新能源发电设备制造领域，改革开放后，特别是“十五”后期以来，取得了一系列突出成就，目前已经开发出一批实用化和商业化的设备，产业建设初具规模。初步具备了设计、制造大型现代化发电设备的能力，新建了一批国家试验基地，培养了一大批科技人才。

4. 电力工业的管理水平取得突破

电力工业实现大跨越，改革开放无疑是最重要的推动力。30年来，电力行业以改革促发展，不断加快电力建设步伐，加大结构调整力度，加强企业经营管理，转变电力发展方式，实现了电力供应的历史性跨越。可以说，每一步改革都是一次生产力的解放，都激发了行业的活力。

改革开放之初，为了消除长期制约国民经济发展的全国大面积缺电的状况，开始了体制上的改革，同时利用外资，开展国际合作，打破了独家投资办电的格局，调动了中央、地区以及外资等多方面的积极性，促进了电力投资主体多元化，有力地推动了电力工业的快速发展，很快在全国范围内实现了电力供需的基本平衡。

随着社会主义市场经济体制的不断建立发展和改革开放的不断深入，按照公司化原则、商业化运营、法制化管理的改革思路，电力行业逐步实现了政企分开，颁布实施了《中华人民共和国电力法》，确立了电力企业的法人主体地位。2002年，按照国务院5号文件，电力行业实施厂网分开，组建了两家电网公司、五家发电集团公司和四家辅业集团公司，出台了电价改革方案和相应的改革措施，改进了电力项目投资审批制度，设立了电力监管机构，出台了《电力监管条例》和相关配套政策，进一步强调了行业协会的自律、协调、监督、服务职能，初步形成了政府宏观调控，监管机构依法监管，企业依法自主经营，行业协会自律管理和服务的电力体制格局，电力行业迎来了又一次快速发展的新机遇。

二、我国电力工业发展

未来20年，是我国经济和社会发展的重大战略机遇期。目前我国人均国内生产总值已超过1000美元，消费结构升级，工业化进程加快，城镇化水平提高，人均用电量超过1400kW·h，进入了重工业化发展阶段。

30年的改革开放使我国电力工业在规模上、技术上均跨入世界电力的先进行列，但我国电力工业的发展同样面临资源和环境两个瓶颈。目前，我国人均装机仅0.6kW，人均用电量仅197kW·h，与工业化国家相比还存在较大差距。从整体看来，全国人均发电装机占有量仍然偏低，由于国民经济持续快速增长对电力的拉动作用巨大，电力供应的高速增长仍难以满足更快增长的电力需求，电力工业仍存在较大发展空间；在电源结构优化、技术升级、环境保护、节能减排、动力设备国产化等方面的任务仍然十分艰巨。同时，我国电力市场化改革任务尚未完成，电价机制需要进一步理顺，电网调度监管体系尚不健全。此外，受当前国际金融危机影响，我国电力市场供需关系也面临很多不确定性因素，无疑为电力工业的结构优化增加了困难。总之，我国电力工业可持续发展，仍然需克服很多困难，解决很多问题，电力工业的发展和建设任重而道远。

1. 电源结构有待优化

我国火电比重很高，近几年又增长较快，所占比重进一步提高，水电开发率较低，清

洁发电装机总容量所占比例较小,同时,100~200MW 及以下机组仍然占有很大的比例,(其中 100MW 及以下机组的装机容量为 6570 万 kW),企业自备燃油机组较多,另外电源调峰能力不足,主要依靠燃煤火电机组降负荷运行,调峰经济性较差。因此电源结构调整力度将会继续加大,其基本方针是大力开发水电,优化发展火电,积极推进核电建设,适度发展天然气发电,鼓励新能源和可再生能源发电。与此同时,采用以大代小、停建结合等有利措施,关停能耗高、效率低小型机组。预计 2020 年全国发电装机容量将可能超过 9.5 亿 kW,其中水电 3.8 亿 kW (含抽水蓄能 5000 万 kW),火电 5.62 亿 kW,核电 4000 万 kW,天然气发电 6000 万 kW,新能源发电 4100 万 kW。

2. 水力发电技术发展的主要方向

水电领域在高坝工程技术、泄洪消能技术、地下工程技术、高边坡工程技术、现代施工技术、大型水电机组制造安装技术、水电站运行管理技术、远距离大容量超高压输电等关键技术方面正在进行创新性研究并获得了一些重大突破,建成和正在建设一批大型和世界级特大型水电站。

通过“技术转让、消化吸收、自主创新”,实现了大型水机电装备制造业的跨越。经历了刘家峡、龙羊峡等一批单机容量 300MW 投运后,400MW 的李家峡、700MW 的三峡,以及正在建设中的溪洛渡、向家坝等电站,单机容量从 700MW 向 800MW 乃至 1000MW 机组发展。

水电开发模式发生了重大转变,水电开发不再“单兵作战”,而开始从单纯注重经济效益到注重经济、社会、生态效益的转变;由注重坝工技术到注重自主创新与生态环保技术的转变;由单一的水电开发到提升全流域整体效益的综合开发。

3. 火力发电技术发展的主要方向

火力发电技术今后将继续沿着大电站、大机组、高参数、低污染、智能化的技术路线发展。

在机组参数提高方面,目前主蒸汽压力为 25~30MPa,温度为 600℃的超超临界机组供电效率可达 44%~45%,在此基础上有望进一步提高主蒸汽的压力和温度。当其达到 40MPa/700℃后,效率可超过 50%。目前,国内外都在积极研制 700℃的合金材料。

在降低排放方面,目前除了进一步完善脱硫、脱硝技术外,正在探索对烟气中重金属排放的控制与处理。另一方面是利用煤化工中已经成熟的煤气化技术,集成燃气轮机联合循环技术实现高效清洁发电,其代表技术为整体煤气化燃气—蒸汽联合循环(IGCC),同时因有可能进行 CO₂ 的捕捉、实现近零排放而更加引人注目。

与此同时,火力发电的空冷技术、循环流化床技术、热电联产(包括热、电、冷、气多联产)技术以及燃气—蒸汽联合循环、分布式能源系统等方面成为当前研究的热点,希望在现有的基础取得进一步的突破。

我国火力发电技术的发展除了以上几个方面外,还面临着消化、吸收国外引进技术,不断进行创新的任务。目前,我国虽然已基本形成了超超临界机组整体设计、制造和运行能力,也拥有了相应的先进制造设备及加工工艺,但是,国内制造企业自主创新的技术瓶颈仍然明显,主要表现技术对外依存度高,超超临界机组设计制造的核心技术尚未掌握,关键零部件和原材料主要依靠进口。根据我国的现实情况,实现超超临界机组设备设计制



造的自主化，要在消化吸收引进技术的同时，加强国内自主创新的力度，重点解决高端材料、关键部件和设计技术等核心技术问题，逐步形成我国自己特色的、具有自主知识产权的超超临界成套设备设计制造技术，具备产品自主优化和自主升级能力，积极应对未来发电设备市场激烈的国际竞争。

4. 核能发电技术发展的主要方向

我国已经颁布了核电中长期发展规划，确定了我国核电发展的目标；明确了我国核电发展的技术路线，决定引进目前世界上最先进的第三代核电 AP1000 技术，走引进、消化、吸收和再创新的发展道路；在国家中长期科技发展规划中列入了大型先进压水堆和高温气新工艺冷核电站重大专项；对核电管理体制进行了改革，将核电业务纳入到国家能源局统一管理；陆续批准并开工建设一批新的核电项目。

与此同时，我国核电建设还将从沿海向内陆地区推进。江西、湖南、湖北核电项目均已获准启动前期准备工作。根据我国核电产业发展规划，到 2020 年核电总装机容量要达到 7500 万~8000 万 kW，占全国电力总装机容量的 5% 左右。在此蓝图下，未来十年中，我国将投资至少 4500 亿~7000 亿元人民币用于核电建设。

2000 年 1 月，在美国倡议下，十个有意发展核能利用的国家约定共同合作研究开发第四代核能系统，其目标是要在 2030 年或更早一些时间创新地开发出新一代核能系统，使其在安全性、经济性、可持续发展性、防核扩散、防恐怖袭击等方面都有显著的先进性和竞争能力；它不仅考虑用于发电或制氢等的核反应堆装置，还将核燃料循环也包括在内，组成完整的核能利用系统。在 2002 年 5 月选定了超临界水冷堆、超高温气冷堆、熔盐堆、带有先进燃料循环的钠冷快堆、铅冷快堆和气冷快堆等 6 种反应堆型的概念设计，作为第四代核能系统的优先研究开发对象。目前，国家核电技术研发中心已经正式成立，将致力于第四代核能系统的技术研究和开发。

5. 新能源发电技术发展的主要方向

风能发电、太阳能发电、生物质发电等新能源发电及新的发电系统也正在兴起并得到大力发展。

风电产业正处于一个技术成熟的阶段，在电力能源市场小已占据了一席之地。为满足全球未来 30 年对于清洁可再生电力的需求，风力发电技术的研发还需要持续不断努力。目前风电应用研究的动力主要来自两个方面：满足外部强制性要求以及降低风电成本。其中，外部强制性要求主要集中在风电建设的环境影响和大规模风电并网对电力系统的冲击上。为了进一步降低风电成本，目前的研究主要集中在机组的总体布局及风轮气动布局的优化、新型复合材料在风机上的应用、控制系统稳定性的提高和并网特性的改善。同时，风电机组的安装方式、海上专用风机的设计以及风资源的评估、风电场发电量预测预报等技术需要继续进行大量研究。通过这些研究，风电成本有可能继续大幅下降，从而使得风电真正成为常规能源的可再生替代能源。

随着化石能源的短缺以及有害气体对环境破坏的日益严重，人们已认识到大力推广利用可再生能源的必要性。其中生物质能用于发电是其中重要的部分，近年来，世界各国高度重视生物质发电项目，并作为发展可再生能源战略的重要部分和具备发展潜力的战略性新兴产业。目前我国掀起了建设生物质发电的热潮。仅国家电网公司就计划在 2020 年将建成

2GW 生物质发电装机容量,截至 2007 年底已并网发电项目 8 个,发电装机容量 200MW。在建项目 11 个,装机容量达 158MW。其他各大电力公司也都在该领域大力推进。

利用生物质发电还可以大量减少氧化硫的排放,如秸秆中硫的含量仅为 0.125%,相当于燃煤含量的 1/10。丹麦、芬兰等国家大量利用生物能发电。如果我国北方和西北 11 个省份每个省份建 30 个 24MW 的秸秆发电站,装机容量可达 800 万 kW,相当于 2020 年规划装机容量的 1/100,每年可减少氧化硫的排放量达 20 万 t。

在垃圾焚烧发电方面,从 20 世纪 70 年代起,一些发达国家便着手运用焚烧垃圾产生的热量进行发电。欧美一些国家陆续建起了垃圾发电站。美国某垃圾发电站的发电能力高达 100MW,每天处理垃圾 60 万 t。现在,德国的垃圾发电厂每年甚至要从国外进口垃圾用于发电。据统计,目前全球已有各种类型的垃圾处理工厂近千家,预计 3 年内,各种垃圾综合利用工厂将增至 3000 家以上。

科学家测算,如果我国能将垃圾充分有效地用于发电,每年将节省煤炭 5000 万~6000 万 t,到 2005 年底时,垃圾发电达 200MW。我国在引进国外垃圾焚烧发电技术和设备的基础上,经过消化吸收,现已基本具备制造垃圾焚烧发电设备的能力,并引进国外设备和技术建设了一些垃圾填埋气发电示范项目。但总体来看,我国在垃圾发电的垃圾收集、净化处理、燃烧设备制造等方面与国际先进水平还有一定差距,是今后努力的方向。

燃气—蒸汽联合循环发电以及分布式能源发电已成在世界范围内推广应用,它们的大规模应用将对能源,尤其是电力系统的产业结构调整和技术产生深刻的影响,同时将改变能源的生产方式、供给方式和消费方式,给能源产业注入新的活力。目前,我国在该领域内的研究方向是突破分布式能源发电核心设备依赖进口的瓶颈,有效缩短分布式能源系统的投资成本,提出全面的符合中国实际的分布式能源解决方案;探索、研究、解决多个分布式能源电站发电的独立组网和并网方面的政策层面和技术层面的问题。

第二节 各类发电动力形式的特点

能源按其存在的形式划分为两大类:一是以现成的形式存在于自然界的能源,称为“一次能源”,如煤、水力、石油等;二是依靠其他能源制成或生产的能源,称为“二次能源”。电能是一种优质的二次能源,与其他二次能源相比,在生产、传输、使用等方面都有其独特的优点。

首先,电能可以大规模地集中生产,目前,世界上最大的火力发电机组、水力发电机组、核能发电机组的单机功率分别达到 1300MW、700MW,1000MW。同时,电能可通过高压输电线在损失很小的情况下远距离传送,并可以方便地分配到电网中各个用户中去。

其次,电能可以通过各种电机及电器设备转变成其他各种形式的能量,例如机械能、光能、热能、化学能等。同时,电能可以实现许多特殊的工艺过程,例如电焊、高频电流表面淬火、金属的电火花加工等。

第三,电能使工业自动化成为可能,它使调节过程简单方便,便于自动控制和远距离操作,大大提高了劳动生产率和改善了劳动生产条件。