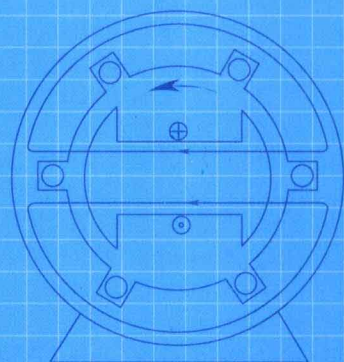
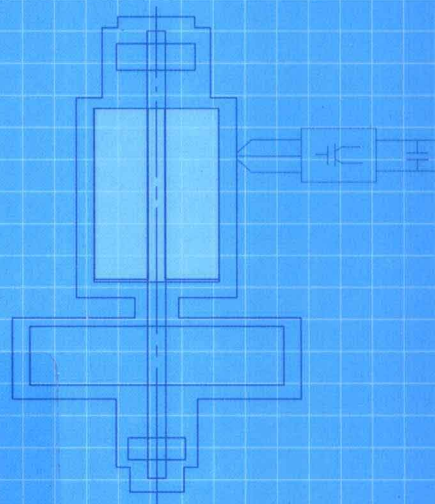




高职高专热能动力类专业规划教材

发电概论

张 蕾 主编 冯 飞 李永玲 副主编



化学工业出版社

高职高专热能动力类专业规划教材

发电概论

张 蕾 主 编

冯 飞 李永玲 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分为六个部分：第1部分绪论，主要介绍了电力生产的基本概念和电力工业的发展概况，重点分析了我国的电力发展规划；第2部分火力发电，主要介绍了三大主机（锅炉、汽轮机、发电机）和辅助生产系统的基本知识，反映了火力发电的新技术；第3部分水力发电，介绍了水电厂的基本原理和主辅设备，对小水电的发展进行了一定的展望；第4部分核能发电，介绍了核电站的基本知识，对核安全问题进行了一定的探讨；第5部分新能源发电，包括了太阳能发电、风力发电、生物质能发电、地热发电、海洋能发电和氢能发电等；第6部分分布式发电，介绍了分布式电源、储能装置和微电网的基本知识。

本书较为全面地介绍了各种发电方式的基本工作原理、主辅设备和发展应用情况，内容丰富，系统完整。

本书可作为高等院校、高职高专院校热能动力设备及应用、电厂集控运行、动力机械、热工自动化、化工过程机械、能源环境工程、供热工程等专业及相关专业的教材，也可供能源、动力、化工和石化等领域的工程技术人员、研究人员参考和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电概论/张蕾主编. —北京：化学工业出版社，
2013.1

高职高专热能动力类专业规划教材
ISBN 978-7-122-16077-5

I. ①发… II. ①张… III. ①发电-高等职业教育-
教材 IV. ①TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 304328 号

责任编辑：高 钰

文字编辑：吴开亮

责任校对：边 涛

装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印 装：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 字数455千字 2013年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：34.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着我国经济的飞速发展、科技实力的不断增长和人民生活水平的持续提高，对电力的需求也越来越大。目前，发电的方式多种多样，有传统的火力发电、水力发电和已经发展起来的核电，也有近几年兴起的新能源发电和分布式发电。我国电力工业发展迅猛，截至2011年年底，全国发电设备容量达105576万千瓦，发电量累计达到4.6万亿千瓦·时。其中，火力发电量达3.8万亿千瓦·时，占总发电量的82.84%；水力发电量为6107.8亿千瓦·时，占总发电量的13.27%；核能发电量为863.5亿千瓦·时，占总发电量的1.88%；其他（风电、太阳能等）发电量占2%左右。

本书全面介绍了各种发电方式的基本工作原理、主辅设备和应用发展情况，包括了火力发电、水力发电、核能发电、新能源发电和分布式发电等。

火力发电部分介绍了锅炉、汽轮机和发电机三大主机的基本知识；介绍了火力发电厂的辅助生产系统，包括燃料输送设备及系统、除灰除渣设备及系统、供水设备及系统、水处理设备及系统等；介绍了已获得大量工程应用的现代洁净发电技术，如火力发电中的超（超）临界发电技术、循环流化床锅炉技术、燃气-蒸汽联合循环发电（CCPP）技术、增压流化床联合循环发电（PFBC-CC）技术、整体煤气化联合循环发电（IGCC）技术等。水力发电部分介绍了各种类型水电站的基本工作原理；介绍了水电站的水工建筑物、水轮发电机组和辅助设备；还对小水电的发展进行了一定的展望。核能发电部分介绍了国内外核电的发展概况；介绍了核反应堆基础知识和典型的核电站系统；还对核安全问题进行了一定的探讨。新能源发电部分的介绍包括了太阳能发电、风能发电、生物质能发电、海洋能发电、地热能发电和氢能发电等；其中，太阳能发电部分介绍了太阳能光伏发电和太阳能热发电的基本知识；风力发电部分介绍了风能的基本知识，风力发电技术的原理、主要设备和应用情况，并探讨了国内外风电的发展现状和未来风电的发展方向；生物质能发电部分主要介绍了生物质直接燃烧发电、生物质气化发电、沼气发电、城市生活垃圾发电等内容；地热发电部分介绍了地热资源和各种地热发电技术的基本工作流程；海洋能发电部分主要介绍了潮汐能发电、波浪能发电、海（潮）流能发电、海水温差能发电和盐差能发电等方式；氢能发电部分介绍了氢的特点和制备方法，重点介绍了燃料电池在发电领域的发展应用。分布式发电部分重点介绍了分布式电源和储能装置（包括飞轮储能、超导磁储能、超级电容器储能、蓄电池储能、抽水蓄能、压缩空气储能、蓄热和蓄冷储能等）；还对微电网的基本知识进行了简单的介绍。

在本书的编写过程中，力求文字简洁、通俗易懂，采用丰富的实例、图表、图片和数据进行介绍。

本书由张蕾主编，共分为六个部分：第1部分绪论；第2部分火力发电；第3部分水力发电；第4部分核能发电；第5部分新能源发电；第6部分分布式发电。其中第1部分、第2部分及第6部分由张蕾编写；第3部分由狄藤藤编写；第4部分由叶亚兰编写；第5部分中的5.1节和5.2节由冯飞编写；第5部分中的5.3~5.6节由李永玲编写。全书由张蕾统稿。

本书在编写过程中，得到了乔宗良、张慧萍、唐益梅、魏龙、戴路玲、张国东、张鹏高、蒋李斌、金良和陶洁等的大力帮助，在此一并表示感谢。

限于编者的水平，书中遗漏之处恳切希望使用本书的广大读者批评指正。

编者

2012年11月

目 录

第 1 部分	绪论	1
1.1	电力生产	1
1.1.1	电力生产的任务及特点	1
1.1.2	电力生产过程	1
1.2	电力工业发展	3
1.2.1	电力工业发展简史	3
1.2.2	我国电力工业发展概况	4
第 2 部分	火力发电	9
2.1	火力发电基础知识	9
2.1.1	火力发电厂的分类	9
2.1.2	火力发电厂的生产过程	10
2.1.3	火力发电厂的热经济性	11
2.2	锅炉设备	14
2.2.1	概述	14
2.2.2	锅炉的燃烧系统	16
2.2.3	锅炉的汽水系统	28
2.2.4	锅炉辅机和附件	35
2.3	汽轮机设备	40
2.3.1	概述	40
2.3.2	汽轮机的工作原理	42
2.3.3	汽轮机结构	44
2.3.4	汽轮机调节、保护、监测及供油系统	51
2.3.5	汽轮机的附属设备	54
2.4	发电机设备	59
2.4.1	概述	59
2.4.2	发电机结构	61
2.4.3	发电机励磁系统	63
2.4.4	发电机冷却方式	64
2.5	辅助生产系统	65
2.5.1	燃料输送设备及系统	65
2.5.2	除灰除渣设备及系统	67
2.5.3	供水设备及系统	71
2.5.4	水处理设备及系统	73
2.6	火力发电新技术	77

2.6.1 超(超)临界发电技术	77
2.6.2 循环流化床(CFB)锅炉技术	80
2.6.3 燃气-蒸汽联合循环(CCPP)发电技术	86
2.6.4 增压流化床燃气-蒸汽联合循环(PFBC-CC)发电技术	89
2.6.5 整体煤气化联合循环(IGCC)发电技术	90
复习思考题	94

第3部分 水力发电 96

3.1 概述	96
3.1.1 我国水力发电的发展概况	96
3.1.2 水力发电的基本原理	97
3.1.3 水电站的功率	97
3.1.4 水电站的类型	100
3.2 水工建筑物	104
3.2.1 拦水建筑物——坝	104
3.2.2 引水建筑物	107
3.2.3 厂房	108
3.3 水轮发电机组	112
3.3.1 水轮机	112
3.3.2 水轮发电机	126
3.3.3 水电站的主要辅助系统及设备	135
3.4 小水电	137
3.4.1 我国小水电资源现状	137
3.4.2 技术发展状况	138
3.4.3 小水电行业的发展目标及技术发展展望	139
3.4.4 制约技术发展的主要障碍与对策建议	140
复习思考题	140

第4部分 核能发电 142

4.1 概述	142
4.1.1 核电的优越性	142
4.1.2 世界核电的发展概况	144
4.1.3 中国核电的发展概况	146
4.2 核反应堆基础	148
4.2.1 核物理基本知识	148
4.2.2 核反应堆分类	151
4.3 典型核电站系统	153
4.3.1 压水堆核电站	153
4.3.2 沸水堆核电站	160
4.3.3 CANDU 核电站	162
4.3.4 高温气冷堆核电站	163

4.3.5 快中子增殖堆核电站	164
4.4 核电站的安全性	165
4.4.1 核辐射的危害	165
4.4.2 核电站的放射性来源	167
4.4.3 核电站的安全保障措施	167
4.4.4 核电站的三废处理	170
复习思考题	171
第5部分 新能源发电	172
5.1 太阳能发电	172
5.1.1 太阳能光伏发电	173
5.1.2 太阳能热发电	185
5.2 风力发电	194
5.2.1 风能概述	194
5.2.2 风力发电技术及利用	195
5.2.3 风电的现状及其未来发展方向	205
5.3 生物质能发电	207
5.3.1 概述	207
5.3.2 生物质直接燃烧发电	210
5.3.3 生物质气化发电	214
5.3.4 沼气发电	220
5.3.5 城市生活垃圾发电	223
5.4 地热发电	232
5.4.1 地热资源	232
5.4.2 地热能的利用概况	232
5.4.3 地热发电技术及应用	233
5.5 海洋能发电	241
5.5.1 概述	241
5.5.2 潮汐能发电	242
5.5.3 波浪能发电	246
5.5.4 海(潮)流能发电	248
5.5.5 海水温差能发电	249
5.5.6 盐差能发电	251
5.6 氢能发电	252
5.6.1 氢的特点	252
5.6.2 氢的制备	252
5.6.3 燃料电池	255
复习思考题	261
第6部分 分布式发电	263
6.1 概述	263

6.2 分布式发电系统	265
6.2.1 分布式电源	265
6.2.2 储能装置	267
6.3 微电网	273
6.3.1 微电网的概念	273
6.3.2 微电网的典型结构	274
6.3.3 微电网的研究与发展	275
6.4 分布式发电的应用与发展	280
复习思考题	281

参考文献	282
------------	-----

第1部分

绪论

1.1 电力生产

1.1.1 电力生产的任务及特点

电力生产是指把各种一次能源，包括化石燃料（煤、石油和天然气等）、可再生能源（水能、风能、太阳能、海洋能、地热能和生物质能等）以及核能等转换成电能，并输送和分配到电力用户。

电力生产是建立在现代科学技术基础上的高度集中的社会化大生产。电力生产及其产品——电能具有如下特点。

① 电力生产可以把各种一次能源转换为便于输送和分配的电能，没有这种转换，许多一次能源，如水能、核能和风能等，甚至不能直接而广泛地加以利用。

② 电能便于集中、传输和分配，便于转换成机械能、光能、热能和化学能等多种其他形式的能；电能在使用时没有污染，有利于改善劳动条件。

③ 电能是一种无形的、不能储存的特殊商品。电能的生产、传输、分配和使用是同时进行、同时完成的，必须严格保持平衡。这不仅指数量上的平衡，而且还含有确定的时间概念，即在某一确定的时间里，生产和消费的电能必须保持平衡。这一特征要求电力企业充分利用各种经济手段（如实行峰谷分时电价）和技术手段（应用各种电力负荷监控装置）来实现计划用电。

④ 电力生产是通过一系列极为复杂的生产环节来进行的，这些生产环节构成一个整体——电力系统。电力生产必须接受电力系统的统一调度，实行统一的质量标准（频率、电压和供电可靠性）；电能产品必须统一管理，由电网统一分配和销售。

1.1.2 电力生产过程

电力生产过程包括电能的生产、输送和分配，因此严格地讲，电力生产应包括发电、输电和配电三个主要环节。然而，在很多情况下，人们把变电和用电也作为电力生产的主要环节。

从发电到输电和配电，电力需要经过多次的电压变化，变电就成为了电力生产过程中必不可少的环节，但变电环节是存在于发电、输电和配电三个主要环节之中的。用电本应是电

能使用和消费的过程，但电力的特点是产、供、销瞬时完成的，因此用电需求的变化和对用电需求的控制会实时影响着电力生产的过程。这样，电力生产可以概括为电能的生产（发电）、电能的传输（输电）、电压的变换（变电）、电能的分配（配电）和电能的使用（用电）五个环节，它们构成了完整的电力生产过程。

（1）发电

电力生产的发电环节是利用电能生产设备将各种一次能源或其他形式的能源转换成电能。生产电能的主要方式有：火力发电、水力发电、核能发电、太阳能发电、风力发电、生物质能发电、地热发电、海洋能发电和氢能发电等。目前世界各国广泛采用的发电方式是火力发电、水力发电和核能发电，其中火力发电包括燃煤发电、燃油发电和天然气发电。

在各种发电方式中，火力发电存在着污染物排放问题，近年来，随着人们环保意识的不断增强，在一定程度上制约了火电发展。随着科学技术的发展创新，超临界和超超临界发电技术、循环流化床发电技术、燃气-蒸汽联合循环发电技术、增压流化床联合循环发电（PF-BC-CC）技术和整体煤气化联合循环发电（IGCC）技术又为火力发电带来了新的活力。

除此之外，一些新能源发电技术发展迅速，如太阳能发电、风力发电、生物质能发电等已开始走向商业化，分布式发电技术也越来越受到人们的重视，这对提高能源利用效率、保护地球生态环境意义重大。本书着重介绍各种发电方式的基本原理、主要设备和它们的发展应用情况。

（2）输电

电力生产的输电环节是把电能从其生产之处传输到其使用和消费处，即从发电厂或发电中心把电能输送到电力用户或电力负荷中心。输电是电力系统整体功能的重要组成环节。发电厂与电力负荷中心通常都位于不同地区。在水力、煤炭等一次能源资源条件适宜的地点建立发电厂，通过输电可以将电能输送到远离发电厂的负荷中心，使电能的开发和利用超越地域的限制。和其他能源的传输（如输煤、输油等）相比，输电的损耗小、效益高、灵活方便、易于调控、环境污染少；输电还可以将不同地点的发电厂连接起来，实行峰谷输电调节。输电是电能利用优越性的重要体现，在现代化社会中，它是重要的能源动脉。

按结构形式，输电线路分为架空输电线路和地下线路。架空输电线路由线路杆塔、导线、绝缘子等构成，架设在地面之上。地下线路主要是使用电缆，敷设在地下（或水域下）。架空线路架设及维修比较方便，成本也较低，但容易受到天气和环境（如大风、雷击、污秽等）的影响而引起故障，同时还有占用土地、造成电磁干扰等缺点。地下线路没有上述架空线路的缺点，但造价高，发现故障及检修维护等均不方便。用架空线路输电是最主要的方式。地下线路多用于架空线路架设困难的地区，如城市或特殊跨越地段的输电。

按照输送电流的性质，输电分为交流输电和直流输电。19世纪80年代首先成功地实现了直流输电。但由于直流输电的电压在当时技术条件下难于继续提高，以致输电能力和效益受到限制。19世纪末，直流输电逐步为交流输电所代替。交流输电的成功，迎来了20世纪电气化社会的新时代。目前广泛应用三相交流输电，频率为50Hz（或60Hz）。20世纪60年代以来，由于电力电子技术的发展，直流输电又有新发展，与交流输电相配合，形成交流混合的电力系统。

输电电压的高低是输电技术发展水平的主要标志。通常将220kV及以下的输电电压称为高压输电，330~765kV等级的输电电压称为超高压输电，1000kV及以上的输电电压称为特高压输电。提高输电电压，不仅可以增大输送容量，还会降低输电成本、减少金属材料

消耗和增加线路走廊利用率。

(3) 变电

变电是电力生产的重要组成部分。在发电环节中,发电设备发出的电力具有较低的电压(6.3~20kV),需要通过变电部分将其提升到输电电压后送入输电环节,因此发电厂设有升压站(也称升压变电所)。在输电环节中,不同电压的输电网之间和输电线路的交汇处,变电所起变化电压、控制电力流向和电压调节的作用。为了将电力送至配电环节,输电环节中的变电部分需要把电压降至配电网的电压。在配电环节中,电压需经多次变换才能降至电力用户所采用的用电电压,这里变电不仅起变换电压的作用,同时还起控制电力流向、分配电力和保证电压质量的作用。变电所一般由电力变压器、配电装置、二次系统及必要的附属设备组成。

(4) 配电

电力生产的配电环节是从输电环节接收电能,并根据各类用户的不同需求,将电能分配到各行各业的用户,以最少的消耗向用户提供连续可靠、质量合格且价格合理的电能。

配电环节必须要有可靠的配电网络,采用先进的配电自动化技术、电能质量控制技术和现代电能计量技术,应根据用户的重要性和对电力的依赖程度分门别类加以对待。

(5) 用电

使用电能的单位称为用户。用户的类型很多,主要分为工业用电、农业用电与生活用电等。工业用电集中,用电量大,设备利用率高,对供电可靠性要求高;农业用电分散,用电量小,平时对供电可靠性要求较低;生活用电面广,形式多样,随着生产的发展和生活水平的提高,用电量越来越大,对供电可靠性的要求越来越高。

从发电厂生产出电能,然后经过变电、输电、配电,最后销售给用户使用,这就是电力生产的全过程。

1.2 电力工业发展

从事电能生产、传输和销售的行业称为电力工业,简称电业。电业是能源工业的重要组成部分,是发展国民经济的基础产业,是现代社会必不可少的公用事业。电力工业的根本任务是向各种电力用户提供充足、可靠、合格、价格合理的电能和优质服务。

1.2.1 电力工业发展简史

电力工业的建立从1882年至今已有100余年的历史。

1752年7月,美国印刷工人杰明·富兰克林,冒着生命危险,在一个雷雨交加的荒野上,利用风筝将闪电引到地面,点燃了酒精,破除了人们对“天火”的迷信,打开了近代电学研究的大门。此后,经库仑、法拉第、麦克斯韦尔、爱迪生等许多科学家的努力,终于使“若神若鬼”的电成为人类驯服的动力。

1831年,法拉第发现电磁感应原理,奠定了发电机的理论基础。

1866年,维·西门子发明了励磁电机。

1875年,世界上第一台火力发电机组问世,是建于巴黎北火车站的直流发电机,用于照明供电。

1876年,贝尔发明了电话。

1879 年,爱迪生发明了电灯。

1882 年,爱迪生建成世界上第一座较正规的发电厂,装有 6 台直流发电机,共 900 马力 (1 马力=0.735 千瓦),通过 110V 电缆供电,最大送电距离为 1.6km,供 6200 盏白炽灯照明用,完成了电力工业技术体系的雏形。

1885 年,美国发明家乔治·威斯汀豪斯制成交流发电机和变压器。

1886 年,美国发明家建成第一个单相交流送电系统。1888 年又成功地制造了交流感应式电动机。

1890 年,美国的第一条单相输电线投入运行,把水力发电厂的电力送到 20 km 以外的城镇用户。

1891 年,在德国劳芬电厂安装了世界上第一台三相交流发电机。

电力工业的发展改变了人们的生活和生产面貌,促进了经济的高速发展。电力的广泛应用,电力需求量的增大促进了电力工业和电力技术进一步向高电压、大机组、大电网方面迅速发展。

1960 年,美国制成 500MW 汽轮发电机。1963 年,美国制成 1000MW 双轴汽轮发电机。1973 年,美国将 BBC 公司制造的 1300MW 双轴汽轮发电机投入运行。

1980 年,原苏联科斯特罗姆火电厂单轴 1200MW 机组投入运行。

在高压输电方面,1954 年,瑞典首先建成了第一条 380kV 交流输电线路。1964 年在美国建成了第一条 500kV 交流输电线路。1965 年,加拿大建成了 765kV 输电线路。1989 年,原苏联建成了一条世界上最高电压为 1150kV、长 1900km 的交流输电线路。

随着电子技术、电子计算机技术和自动化技术的迅速发展,以高参数、高电压、高度自动化、大机组、大电网为特点的现代化电力工业在世界各国已经形成或正在形成。

1.2.2 我国电力工业发展概况

(1) 发展简介

中国电力工业从 1882 年上海创建第一家 12kW 发电厂开始发展,早在 20 世纪 50 年代初就确立了电力工业先行的地位。改革开放以前,我国电力工业主力机组以 100MW 为主,少数电厂建设了一批苏制 200MW 机组。

改革开放 30 多年来,我国电力工业装备水平和技术水平发生了根本性变化。从 2003 年开始,我国电力行业进入高速发展期,年装机容量从过去十多年里每年 1000 多万千瓦急速攀升到 5000~6000 万千瓦,2006 和 2007 两年达到 1 亿千瓦左右。到 2007 年底,300MW、600MW 及以上大型发电机组已分别占我国总装机容量的 50.15% 和 21.53%,并逐步向百万千瓦级超超临界压力机组发展。到 2010 年底,我国投产的百万千瓦超超临界机组已占全世界的一半以上。

我国电力工业快速发展的历程由许多第一构成:1979 年,我国首条 500kV 输电线路——平顶山-武昌线路开工建设,1981 年建成;1985 年,我国第一条±500kV 直流输电工程——葛洲坝至上海南桥输变电工程开工建设;1986 年,我国山东荣成首批 55kW 风电机组并网发电,随后福建平潭 4 台 200kW 机组并网发电,新疆达坂城建设 10MW 规模的示范风电场,启动了我国大型风电发展的历程;1988 年,我国第一台引进国外技术、国内制造的 600MW 机组在安徽平圩发电厂投产;1991 年 12 月,中国第一座自主建设的核电站(秦山)并网发电成功;1996 年 4 月,我国第一座循环流化床发电示范电站在四川内江并网发电

电；2000年，全国瞩目的“西电东送”首批工程——贵州洪家渡水电站、引子渡水电站等7项发输电工程全面开工；2006年年初，世界首条800kV云南-广东特高压直流输电示范工程开工，同年，我国首个百万伏级特高压交流试验示范工程——晋东南-南阳-荆门交流特高压试验示范工程启动并于2009年1月投产正式试运行；2006年底，标志我国发电技术装备水平进入新阶段的百万千瓦超超临界机组分别在浙江玉环和山东邹县电厂投运；2012年7月，世界最大水电站三峡电站全面建成投产，中国水电装机容量稳居世界第一位。

截至2011年底，全国发电设备容量达105576万千瓦。其中，水电23051万千瓦（含抽水蓄能1836万千瓦），占全部装机容量的21.83%；火电76546万千瓦（含煤电70667万千瓦、常规气电3265万千瓦），占全部装机容量的72.5%；并网太阳能发电214万千瓦。截至2011年底，我国发电量累计达到4.6万亿千瓦·时，其中，火力发电量达3.8万亿千瓦·时，占总发电量的82.84%；水力发电量为6107.8亿千瓦·时，占总发电量的13.27%；核能发电量为863.5亿千瓦·时，占总发电量的1.88%；其他（风电、太阳能等）发电量占2%左右。

我国大陆已形成六大电网，包括东北电网、华北电网、华中电网、华东电网、西北电网和南方电网。截至2011年底，全国电网220kV及以上输电线路回路长度、公用变设备容量分别为48.03万千米、21.99亿千伏·安。

（2）发展规划

1) 优先开发水电

水电是供应安全、成本经济的可再生绿色能源，替代燃煤发电的安全性、经济性和灵活性都很高，需要放在优先开发的战略位置。其基本发展思路如下。

- ① 实行大中小开发相结合，推进水电路域梯级综合开发。
- ② 促进绿色和谐开发。
- ③ 扩大资源配置范围。
- ④ 加快抽水蓄能电站发展。

水电开发重点及目标如下。

继续加快开发、尽早开发完毕开发程度较高的长江上游、乌江、南盘江红水河、黄河中上游及其北干流、湘西、闽浙赣和东北等7个水电基地，重点布局开发金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、怒江、黄河上游干流等6个规划装机容量合计超过2亿千瓦、开发率仅为11%的水电基地。

在“十二五”期间，全国水电投产规模8750万千瓦左右。到2015年，全国常规水电装机预计达到2.84亿千瓦左右，水电开发程度达到71%左右（按经济可开发容量计算，下同），其中东部和中部水电基本开发完毕，西部水电开发程度在54%左右。

在“十三五”期间，全国水电投产规模达到4600万千瓦左右。到2020年，全国水电装机预计达到3.3亿千瓦左右，全国水电开发程度为82%，其中西部水电开发程度达到67%。

此外，要重视境外水电资源开发利用。重点开发缅甸伊江上游水电基地，在“十二五”开工1460万千瓦，在“十三五”开工680万千瓦、投产1460万千瓦左右，全部送入国内，主要在南方电网消纳。

预计2030年，全国水电装机容量4.5亿千瓦，超过经济可开发容量，除西藏外，全国水电基本开发完毕。

2) 优化发展煤电

我国煤炭资源特征决定了煤电具有较好的供应安全性和经济性。考虑大规模发展煤电带来生态环境影响等因素,必须坚持优化发展煤电的方针。其基本发展思路如下。

① 推行煤电一体化开发,加快建设大型煤电基地。

② 鼓励发展热电联产。

③ 推进煤电绿色开发,大力推行洁净煤发电技术。

煤电开发重点和发展目标如下。

以开发煤电基地为中心,重点建设 16 个大型煤电基地,包括:山西(晋东南、晋中、晋北)、陕北、宁东、准格尔、鄂尔多斯、锡盟、呼盟、霍林河、宝清、哈密、准东、伊犁、淮南、彬长、陇东、贵州。综合考虑煤炭和水资源等外部条件,上述煤电基地可开发总规模超过 6 亿千瓦,正在开展前期工作的装机规模 4 亿千瓦左右。

“十二五”期间,全国规划煤电开工规模 3 亿千瓦,其中煤电基地开工 1.97 亿千瓦,占 66%;投产规模 2.9 亿千瓦,其中煤电基地投产 1.5 亿千瓦,占 52%,中东部地区投产 8500 万千瓦,占 28%。2015 年,我国煤电装机预计达到 9.33 亿千瓦。

“十三五”期间,全国煤电规划开工规模 2.6 亿千瓦,其中煤电基地开工 1.63 亿千瓦,占 62.7%;投产规模 2.5 亿千瓦,其中煤电基地投产 1.36 亿千瓦,占 54.6%,中东部地区投产 6200 万千瓦,占 24.6%。2020 年,我国煤电装机预计达到 11.6 亿千瓦。

3) 大力发展核电

核电是经济性好、可规模化发展的重要绿色能源之一,在负荷中心规划建设核电机组,有利于减少环境污染,减轻煤炭运输压力,对满足地区电力需求增长、保障能源供应安全具有重要意义,必须坚持大力发展核电方针。其基本发展思路如下。

① 高度重视核电安全,强化核安全文化理念。

② 坚持以我为主,明晰技术发展路线。

③ 统一技术标准体系,加快实现核电设备制造国产化。

④ 理顺核电发展体制,加快推进市场化、专业化进程。

⑤ 建立立足国内、面向国际的核燃料循环体系。

核电发展的重点和目标如下。

在辽宁、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西、海南等沿海省区加快发展核电;积极推进江西、湖南、湖北、安徽、吉林、重庆、河南等中部省份内陆核电项目,形成“东中部核电带”。

规划 2015 年我国核电装机 4294 万千瓦,主要布局在沿海地区,2011 年开工建设我国首个内陆核电项目,力争 2015 年投产首台机组。2020 年,规划核电装机规模达到 9000 万千瓦,力争达到 1 亿千瓦。

4) 积极发展风电等可再生能源发电

① 积极发展风电。

风电开发要实现大中小、分散与集中、陆地与海上开发相结合,通过风电开发和建设,促进风电技术进步和产业发展,实现风电设备制造自主化,尽快使风电具有市场竞争力。在“三北”(西北、华北北部和东北)地区发挥其资源优势,建设大型和特大型风电场,要同步开展开发、外送、消纳研究,统一规划。

规划 2015 年和 2020 年风电规划容量分别为 1 亿千瓦和 1.8 亿千瓦。在 2020 年前,结合大规模开发,着力构建较为完善的风电产业化体系,全面掌握风力资源详查与评估技术、

风电整体设计技术、变流器及控制系统、叶片设计制造技术、风电并网技术、风电与其他发电方式互补技术、分布式开发利用技术等,力争使风电产业真正处于世界先进水平,开发成本得到大幅度降低,为2020年后大发展创造良好基础。到2030年,风电规划装机容量达到3亿千瓦以上。

② 促进发展太阳能发电。

发挥太阳能光伏发电适宜分散供电的优势,在偏远地区推广使用户用光伏发电系统或建设小型光伏电站,解决无电人口的供电问题,重点地区是西藏、青海、内蒙古、新疆、宁夏、甘肃、云南等省(区)。在城市的建筑物和公共设施上配套安装太阳能光伏发电装置,扩大城市可再生能源的利用量,并为太阳能光伏发电提供必要的市场规模,重点在北京、上海、江苏、广东、山东等地区开展城市建筑屋顶光伏发电。为促进我国太阳能发电技术的发展,做好太阳能技术的战略储备,在甘肃敦煌、青海柴达木盆地和西藏拉萨(或阿里)建设大型并网型太阳能光伏电站示范项目,在内蒙古、甘肃、青海、新疆等地选择荒漠、戈壁、荒滩等空闲土地,建设太阳能热发电示范项目。

太阳能发电具有出力不稳定和间歇性的特点,与风电类似,在发展中需要重视研究大型太阳能发电并网问题。

“十二五”期间,重点在经济发达和西北太阳能资源丰富地区发展太阳能电站,2015年太阳能发电规划容量达到200万千瓦左右。2020年,太阳能发电规划容量达到2000万千瓦左右。

③ 因地制宜发展生物质能及其他可再生能源发电。

生物质发电包括农林生物质发电、垃圾发电和沼气发电。我国每年农作物秸秆产量约7亿吨,薪材年产量约2亿吨,相当于5亿吨标煤,据初步测算,约有1亿多吨秸秆和薪材可用于生物质能发电。在粮食主产区建设以秸秆为燃料的生物质发电厂,或将已有燃煤小火电机组改造为燃用秸秆的生物质发电机组。在大中型农产品加工企业、部分林区和灌木集中分布区、木材加工厂,建设以稻壳、灌木林和木材加工剩余物为原料的生物质发电厂。在规模化畜禽养殖场、工业有机废水处理和城市污水处理厂建设沼气工程,合理配套安装沼气发电设施。2015年和2020年,生物质发电规划容量分别达到300万千瓦和500万千瓦。

合理利用地热资源,在具有高温地热资源的地区发展地热发电,研究开发深层地热发电技术。积极推进海洋能的开发利用。2015年和2020年,地热和海洋能发电规划容量分别达到1万千瓦和5万千瓦。

生物质能及其他可再生能源发电竞争力较低,需要国家给予投资及税收方面的补贴。

④ 适度发展天然气集中发电。

天然气是清洁的化石能源,未来主要依靠进口增加供应,同时天然气价格较高,电成本远高于水电、核电和燃煤发电。综合分析,天然气应主要满足民用、交通、工业用气等城乡居民生活和非电行业快速增长的需要,可供发电用电量较为有限。天然气发电机组运行灵活,启动快且启停方便,在电网中主要承担调峰任务。

天然气(包括煤层气等)发电要实行大中小相结合。结合引进国外管道天然气和液化天然气在接受地区规划建设大型燃气机组,主要解决核电、风电、水电季节性电能对电网的调峰压力。在气源地规划建设燃气机组解决当地用电问题。

2015年和2020年,大型天然气发电规划容量分别为3000万千瓦和4000万千瓦。天然气发电规模取决于天然气价格的竞争力,按照目前气价水平,需要国家出台相应支持政策,

才能够规划布局更大规模的大中型天然气发电机组。

⑤ 因地制宜发展分布式发电。

结合城乡天然气管道布局规划建设分布式冷热电多联供机组，提高能源利用效率。2015年和2020年，天然气分布式发电规划容量分别达到100万千瓦左右和300万千瓦左右。

在电网延伸供电不经济的地区，发挥当地资源优势，在小水电资源丰富地区，优先开发建设小水电站，根据风、光和地热资源发展小型风力发电、太阳能发电和地热发电等，解决广大农村居民生活用能问题，改善农村生产和生活条件。推动分布式发电和储能设施结合的分布式能源供应系统发展。

此外，还要建设大型电源基地外送通道，构建坚强网架，建设大型水电基地外送通道；加强省级500（750/330）kV电网建设；促进城乡电网协调发展；推进电网智能化等。