

21世纪 高等学校本科系列教材

电力系统

DIANLI XITONG

主 编 华智明
副主编 杨期余

重庆大学出版社

电力系统

主 编 华智明
副主编 杨期余

重庆大学出版社

内 容 提 要

全书内容分发电、输电、配电三大部分,共3篇,12章。第1章介绍电力系统基本概念;我国电力工业(电源建设和电网建设)的发展和现状,为适应现代电力系统发展所要求的、并将促进电力系统工程学科更新更大发展的几项电力系统新技术。

第1篇——发电系统(第2~4章)。内容为:各类发电厂的动力结构;发电厂的电气部分;发电厂发电机的正常操作;异步化同步发电技术简介等。

第2篇——输电系统(第5~9章)。内容为:输电系统各元件(含输电网络)的数学模型和基本运行特性;输电系统的潮流分析和计算;输电系统稳态运行时的潮流、频率、电压的调整控制;输电系统三相短路和不对称短路的分析和计算;简单输电系统的静态稳定性和暂态稳定性分析。

第3篇——配电系统(第10~12章)。内容为:配电系统的特点和基本要求;配电系统的规划设计;配电系统的运行管理等。

本书系“电气工程及其自动化”专业的专业课教材。也可供从事电力系统工程的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统/华智明主编. —重庆:重庆大学出版社,
2005.8

(电气工程及其自动化专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-3407-7

I 电 II 华 III 电力系统—高等学校—教材 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 052644 号

电 力 系 统

主 编 华智明

副主编 杨期余

责任编辑 彭 宁 何建云 版式设计 彭 宁

责任校对 李定群 责任印制 秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鸽盛

社址 重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编 400030

电话 (023) 65102378 65105781

传真 (023) 65103686 65105565

网址 <http://www.cqup.com.cn>

邮箱 fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 28 75 字数 717 千

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—4 000

ISBN 7-5624-3407-7

定价 32.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前言

时至 21 世纪,在高校中进行了多年的教学改革已有了“突变”性的进展,即专业设置和相应的教学计划有很大的变动。长期以来设有多个专业的电气工程学院(或称电力系、电机系)变成只有一个专业,即电气工程及其自动化专业。本教材就是遵循该专业教学计划中设置的专业课程“电力系统”来编写的。

顾名思义,“电气工程”即是以电能的生产、传输和使用为主体的工程。因此,本教材不同于 50 多年来原电力专业开设的、内容仅限于电能传输环节的“电力系统”课程所使用的教材。既然专业口径扩大,相应课程的教材内容必然更加系统和完整。为使电气专业学生对电力系统有一个完整的认识,系统地掌握电力系统最基本的理论知识,本教材按电力系统中电能的产生、输送和使用这一连续而不可分割的生产过程,将内容分为发电系统、输电系统、配(用)电系统 3 篇。“发电系统”不仅包括发电厂的电气部分,而且包括过去电气课程从未涉及的发电厂动力部分,目的在于让学生对发电厂的整体结构和电能生产全过程及相关主要设备有一个完整的了解。“输电系统”与原电力专业开设的电力系统稳态分析和暂态分析课程基本相同。但其内容的选材和组织上有所创新和提高;内容的取舍也更适合“电气”专业的要求,譬如,应属电力系统方向(或专门化)加深的选修课相关内容(如电力系统优化理论和经济运行等)未引入编写大纲。这部分(输电系统)内容是“电力系统”课程的重点,当教学计划所排课时数有限时,该部分也是必讲授的内容。“配电系统”也是过去电力专业的专业课程从未涉及的内容。它不仅是电力系统中不可分割的一部分,而且由于其直接关联着电力系统服务的对象——电能用户,因此,随着现代电力系统的发展,对配电系统的研究越来越引起人们的关注。国内外的专家学者更是不断将新理论、新技术引入配电系统,使之得到前所未有的发展。所以,作为 21 世纪的新教材,不可不将它列入编写大纲。这 3 篇内容既有着密切联系,

也可独立成课,可根据讲授需要选用。

随着现代电力系统的发展和一些新兴学科的渗透和应用,传统电力产业将迅速走向科技化,电力系统工程学科必然面临一个大发展趋势。本教材中引入的“异步化同步发电技术”、“柔性交流输电技术”、“用户电力技术”等均属电力系统工程学科前沿课题的内容,同时也是我国电力系统在这大发展的关键时期必须开发、研究和应用的新技术。这些内容可使学生明确电力系统课程与电力系统工程学科是“基础”与“发展”的关系;明确先进的自动化技术、计算机技术、电力电子技术、现代控制技术等与电力系统工程学科发展的密切关系。

面对庞大而复杂的电力系统,用一本书来完整地、系统地、重点地阐述,并非易事。制订编写大纲时,所幸的是“配电系统”部分有湖南大学杨期余教授主编的《配电网》可借鉴、参考。杨期余教授作为副主编编写第10章、第11章、第12章(第5节除外),这无疑对本教材能完整地出版起了重要作用。重庆大学朱恂副教授编写第2章;长沙电力学院陈元新副教授编写第3章、第4章(第3节除外);新疆大学加玛力汗·库马什副教授编写第8章、第9章;重庆大学华智明教授编写第1章、第5章、第6章、第7章及第4章第3节和第12章第5节。由于编者水平有限,书中难免存在不妥乃至错误之处,恳请读者提出批评、指正。

华智明

2004年9月于重庆大学

目 录

绪 论

第1章 电力系统的基本概念	1
1.1 电力系统概述	1
1.2 电力系统运行应满足的基本要求	13
1.3 电力系统的电压等级	15
1.4 电力系统工程学科和电力系统课程	19
小 结	25
参考书及参考文献	25

第1篇 发电系统

第2章 发电厂的动力结构	26
2.1 火力发电厂	27
2.2 水力发电厂	50
2.3 核能发电厂	60
2.4 新能源发电	69
小 结	73
第3章 发电厂的电气系统	76
3.1 发电厂的电气一次设备	76
3.2 发电厂的电气主结线	91
3.3 发电厂的厂用电结线	100
3.4 电气设备的选择	103
3.5 发电厂的电气二次结线	106
* 3.6 发电厂的计算机监控系统	116
小 结	121
第4章 发电机的正常操作和异步化同步发电技术	123
4.1 同步发电机的同期系统与并列操作	123
4.2 同步发电机的解列与停机操作	128
* 4.3 异步化同步发电技术	129
小 结	134
参考书及参考文献	135

第2篇 输电系统

第5章 输电系统分析基础	137
5.1 同步发电机的数学模型和基本运行特性	138
5.2 变压器的数学模型和基本运行特性	142
5.3 输电线路的数学模型和基本运行特性	151
5.4 电力负荷的数学模型和基本运行特性	168
5.5 输电网络的数学模型和基本运行特性	174
小 结	189
第6章 输电系统的潮流分析	191
6.1 简单输电系统的潮流分析	191
6.2 复杂输电系统潮流计算的数学模型	209
6.3 非线性代数方程求解的迭代法	217
6.4 牛顿-拉夫逊法潮流计算	221
6.5 分解法潮流计算	228
小 结	234
第7章 输电系统稳态运行的调整控制	237
7.1 输电系统潮流的调整控制	237
7.2 输电系统有功功率及频率的调整控制	246
7.3 输电系统无功功率及电压的调整控制	261
小 结	281
第8章 输电系统的故障分析	283
8.1 概述	283
8.2 三相对称短路	285
8.3 对称分量法	305
8.4 输电网络的序参数及序网络	308
8.5 不对称短路计算	322
小 结	338
第9章 输电系统的稳定性	340
9.1 输电系统稳定概念	340
9.2 旋转电机转子运动方程	341
9.3 同步发电机电磁功率特性	343
9.4 简单输电系统的静态稳定性	346
9.5 简单输电系统的暂态稳定性	352
9.6 提高交流输电系统稳定性的措施	359
小 结	363
附录 I 网络变换的基本公式	364
附录 II 短路电流运算曲线	365

参考书及参考文献	370
----------------	-----

第3篇 配电系统

第10章 配电系统概述	371
10.1 配电系统	371
10.2 配电系统运行特点和基本要求	373
10.3 配电系统的计算特点	373
10.4 配电系统发展概况	376
小 结	378
第11章 配电系统的规划设计	379
11.1 配电系统规划的技术原则和主要内容	379
11.2 电力负荷预测	381
11.3 配电系统的电压等级和网络结线方式	393
11.4 配电系统的可靠性和经济指标简介	403
11.5 优化技术在配电系统变电所布点中的应用	407
11.6 配电系统中网架结构优化的线性规划法	412
11.7 遗传算法在配电系统网架结构优化中的应用	416
11.8 配电系统中的接地方式	422
小 结	425
第12章 配电系统的运行管理	426
12.1 配电系统供电可靠性分析	426
12.2 配电系统的电压质量管理	432
12.3 配电系统的谐波危害及其抑制措施	436
12.4 需方管理与负荷监控系统	439
* 12.5 用户电力技术	444
小 结	448
参考书及参考文献	448
致 谢	449

绪 论

第 **I** 章 电力系统的基本概念

本章介绍电力系统的基本知识及其发展概况。

1.1 电力系统概述

1.1.1 电力系统

电力系统即为生产电能、变换和输送电能、分配电能、消费电能这一连续过程中各种设备连接组成的统一整体。这统一整体除图 1.1^① 所示各主要一次设备外,还包括未示于图中的其他一次设备和各环节的测量、保护、控制装置以及微机化能量管理系统等二次设备,可见它

① 该图借用参考书[2]的图 1-3。

是一个十分庞大而复杂的研究对象。组成这统一整体的各部分,按其功能分为发电系统、输电系统和配(用)电系统。

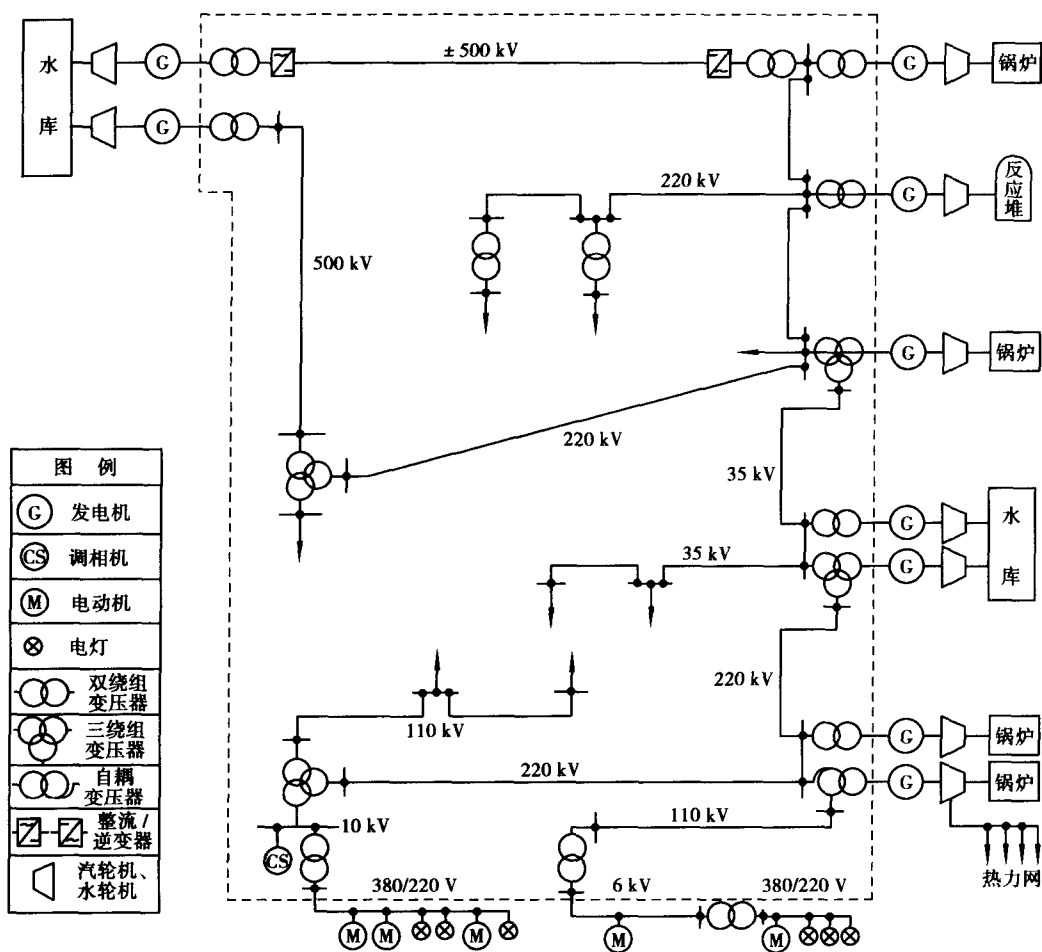


图 1.1 电力系统和电力网络示意图

发电系统的功能是将自然界中的一次能源(如煤、石油、水力等天然能源)转换为电能,即生产电能的系统,又称发电厂。由于利用的一次能源不同,则有火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂及其他类型(风能、太阳能、地热能等等)发电厂之分。火力发电厂使用的一次能源是煤、石油、天然气等,它的主要设备是锅炉和汽轮机;水力发电厂利用的一次能源即是江河的水,其主要动力设备是水工构筑物和水利轮机;核能发电厂使用的一次能源是天然核原料中能产生核裂变的铀同位素——铀-235,以及可产生核聚变的氢同位素——氘(又称重氢),其主要动力设备则是原子能反应堆和汽轮机。各类发电厂的主要电气设备皆是发电机、变压器和开关设备等。

输电系统的功能是将发电机产生的电能变压,输送至负荷中心。它由发电机、变压器、输电线路及综合电力负荷组成。其中仅含变压器和输电线路(即变换和输送电能设备)的部分,称输电网络。

配(用)电系统的功能是将送至负荷中心的电能经过配电变压器和配电线路再变压,分配

年发电量 电力系统的年发电量是指该系统中所有发电机全年实际发出电能的总和,以 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·时)、 $\text{MW} \cdot \text{h}$ (兆瓦·时)、 $\text{GW} \cdot \text{h}$ (吉瓦·时)、 $\text{TW} \cdot \text{h}$ (太瓦·时) 计。如东北电力系统 2002 年年发电量 $166.5 \text{ TW} \cdot \text{h}$ ^① (1 665 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$)。

最大负荷 电力系统最大负荷是指某时段(如 1 天或 1 年)内,系统总负荷的有功功率最大值。以 kW (千瓦)、 MW (兆瓦) 计。

额定频率 交流电力系统的标准频率称电力系统额定频率。我国电力系统按国家标准规定的额定频率为 50 Hz (赫兹),国外电力系统也有 60 Hz 的额定频率。

最高电压等级 在一个电力系统中,通常有几个电压等级的电力线路进行电能的传输和分配,其中最高电压等级电力线路的额定电压称电力系统最高电压等级,以 kV (千伏) 表示。目前国内电力系统的最高电压等级基本上是 500 kV ,国外电力系统已有 750 kV 、1 150 kV 为系统最高电压等级。

1.1.3 我国电力工业的概况

(1) 电源建设

在 1882 年 7 月 26 日 19 时,我国上海外滩自虹口的 6.4 km 电线杆上亮起了 15 盏电灯,这使上海继法国巴黎、英国伦敦之后,成为世界上第 3 个使用电灯的城市;这标志着中国电力工业从这里起步。但此后发展十分缓慢,历经 67 年,直至 1949 年,全国总装机容量仅达 1.85 GW,年发电量仅达 $4.3 \text{ TW} \cdot \text{h}$,电力工业居世界第 25 位。新中国成立后,经过 30 年的建设,至 1980 年底,装机容量增至 65.87 GW,年发电量增至 $300.6 \text{ TW} \cdot \text{h}$,分别居世界第 8 位、第 6 位。改革开放以来,自 1981 年至 2000 年的 20 年间,装机容量已达 319.22 GW,年发电量达 $1\,368.48 \text{ TW} \cdot \text{h}$,其间的 1987 年我国装机容量就突破 100 GW,1995 年突破 200 GW,1996 年底达 236.5 GW 已跃居世界第 2 位,年发电量也居世界第 2 位,二者仅次于美国。表 1.1 示出了我国(不包括香港、澳门和台湾)总装机容量和年发电量的发展概况。

从表 1.1 可见,近 50 年来,我国在电源的建设中,火电一直占有较大的比例,这是适应国民经济发展对电力需求的必然结果,因为火电相对于水电其建设投资小、工期短。我国不丰富的石油和天然气很少用来发电,所以火电又是以煤电为主。我国煤矿资源较为丰富,储量约有 2 万多亿吨。但是,目前已存在煤炭开采过度的隐忧,而且,按照“中等发达国家人均发电装机容量应达 1 kW ”的要求,21 世纪中叶我国发电装机容量应该达到 1 500 GW,届时,即使我国技术可开发的水电资源全部被开发,若核电和其他替代能源还不能占比较显著的比例,煤电的比例仍占 70% 左右,则以现有的发电效率计算,全国发电用煤每年需 2 100 Mt,预计 2050 年我国煤炭供应能力的极限是 1 930 Mt^[6],全部用来发电还不够,况且这是不可能的,所以,火力发电的根本出路只能是大幅度提高发电效率或大幅度增加替代能源比例。另外,火力发电对环境的严重污染已成为制约火力发电的重要因素。全球性的环境污染主要有温室效应和酸雨。温室效应是地球气候异变的元凶,致使全球暖化、两极融冰、海水增温、洋流改变,带给人类的是冰雹、洪水、热浪、干旱、龙卷风、沙尘暴,甚至疾病和死亡,据世界卫生组织表示每年将有 16 万人因温室效应外围影响而丧生,2020 年死亡人数更会加倍;酸雨引起森林和农作物破坏、水变质、土壤退化等严重后果。火力发电过程中的循环水和一些排放物会产生温室效应,烟尘中的

① 该量未计入 6 000 kW 以下的小机组——编者注。

SO₂则造成酸雨。当前,酸雨已成为我国许多城市关注的焦点,我国大气 SO₂的平均浓度为 0.03 ppm(个别地区已达 15 ppm)^[6],比日本高 3 倍,其中 $\frac{1}{3}$ 是燃煤发电产生的,而且,我国火力发电厂 SO₂的排放又基本处于失控状态。因此,大力治理燃煤发电产生的环境污染是我国电力工业面临的重要任务。

表 1.1 1949—2000 年全国总装机容量和年发电量的发展概况

年份	总装机容量/GW				年发电量/TW·h			
	总量	水电	火电	核电	总量	水电	火电	核电
1949	1.85	0.16	1.69		4.3	0.7	3.6	
		8.65%	91.35%			16.28%	83.72%	
1980	65.87	20.32	45.55		300.63	58.21	242.42	
		30.85%	69.15%			19.36%	80.64%	
1985	87.05	26.41	60.64		410.694	92.374	318.32	
		30.34%	69.66%			22.49%	77.51%	
1990	137.89	36.05	101.84		621.32	126.35	494.97	
		26.14%	73.86%			20.34%	79.66%	
1995	217.22	52.18	162.94	2.10	1 006.95	186.77	807.34	12.833
		24%	75%	1%		18.55%	80.18%	1.27%
2000 ^①	319.32	79.35	237.54	2.10	1 368.48	243.13	1 107.94	16.737
		24.85%	74.39%	0.6%		17.77%	80.96%	1.22%

我国水力资源十分丰富,蕴藏量约 680 GW,居世界第一位,其中技术可开发容量约 370 GW。但至 20 世纪末,仅开发约高于 20% 的容量,即使我国最大水力发电厂——三峡电厂的 26 台 700 MW 机组全部建成发电,我国水电装机容量也低于可开发容量的 30%。很多国家一直重视开发水电,平均开发水力资源达 60% ~ 80%,有的国家高达 95% 及以上。面临全球能源日趋紧张、中国缺电不断加剧的现实,况且,水能又是一种廉价、洁净的再生能源,实应加速开发利用,大力建设水电厂。我国水力资源集中于西部地区,数条河系均可建设多级、十多级或几十级上百万、几百万千瓦的大型水电厂,如四川金沙江的向家坝(6 GW),溪洛渡(12.6 GW)等;雅砻江的二滩(3.3 GW),锦屏 I, II 级(8 GW)等;大渡河的瀑布沟(3.3 GW)等;云南澜沧江的小湾(4.2 GW),漫湾(1.955 GW),糯扎渡(5.4 GW)等;流经云南、贵州、广西的南盘江—红水河的天生桥 I, II 级(2.52 GW),龙滩(5.4 GW)等;以及流经西北地区的黄河中上游河段的刘家峡(1.32 GW),拉西瓦(4.2 GW),小浪底(1.8 GW)等等水力发电厂。开发西部,西电东送,确实是发展我国电力工业,保证国民经济可持续发展的重要战略方针。水力资源的开发,除发电还往往兼有通航、供水、灌溉、防洪、旅游等综合效益。但是,水力发电厂拦河

① 2000 年的装机容量和发电量的总量都稍大于水电、火电、核电之和,可能是包含其他形式发电(如地热、风力发电)之故——编者注。

大坝的修建,毕竟会有大面积、甚至很大面积的陆地被淹没(三峡大坝的修建,淹没面积达 $1\,084\text{ km}^2$,移民人口100多万),这可能造成不可估量的社会性灾祸——繁多品种的原生物种、濒危珍稀动植物、千万年遗留文物的灭绝;诱发山体滑坡、泥石流、甚至地震等地质灾害;河沙淤积、水灾搬家(将下游水灾引到上游)等等。因此,开发一条河流(现今,我国仅有怒江和雅鲁藏布江两条没有修建大型水坝的河流),修建一座水电厂(特别是巨型水电厂),必须考虑对自然环境和生态系统这两个环保方面的潜在性影响。河南小浪底水利水电工程,同时也是环境保护和生态建设的示范工程,树立了水电建设的榜样。

我国核能发电起步较晚,始于1983年筹备广东大亚湾核电厂。第一台核电机组投运是在1991年底浙江秦山核电厂的一台300 MW机组,相继有大亚湾两台900 MW机组分别于1993年9月和1994年4月并网发电。本世纪初,将有秦山核电厂二期($2\times 600\text{ MW}$)、三期($2\times 700\text{ MW}$)、广东岭澳核电厂($2\times 1\,000\text{ MW}$)的机组投运。计划2005年江苏田湾核电厂两台1 000 MW机组建成发电,届时,我国核电装机容量达8.7 GW。规划2015年核电装机容量为30 GW。世界上30多个国家拥有核电厂,从1954年至1991年已有420座,发电量占世界总发电量的16%。装机容量最多的是美国,1990年已达99.58 GW,其发电量占总发电量的20.6%。日本在1989年已有13座核电厂,共装机26.5 GW,占总装机容量的18.7%。核电是一种效率极高的一次能源,1 kg 铀-235 裂变能量相当于2 500 t 优质煤的能量;1 L 海水中所含的氘全部聚变所放出的能量相当于300 L 汽油的能量。当前,我国仅一个400 MW 的中型火电厂,每年耗煤约106 万 t,全国每年产煤的1/2 或更多都供发电烧掉,可见,发展核电是节省煤炭资源极为有利的途径。更何况核电是一种清洁的发电方式,因为它不排放类似火电厂的污染物,反应堆排放的剂量又严格按照规定标准控制。所以,核能发电在我国电力工业发展中占有重要地位。为提高核能发电的安全性,我国开展了先进反应堆的研制工作,提出了类似美国西屋公司研制的AP-600 的中国先进压水堆AC-600 的研究开发计划,并自主开发了一些关键技术,取得了相当的进展,为实现核电的国产化、产业化创造了条件。

火电、水电、核电是现今世界上主要的三种发电形式。目前,国内最大火力发电厂是浙江北仑港电厂,装机容量3 000 MW;最大火电机组容量600 MW,筹建中的浙江玉环电厂规划单机容量为1 000 MW 的火电机组。最大水力发电厂和最大水电机组均是三峡水力发电厂,其总装机容量和单机容量分别是18.2 GW 和700 MW。核电则如上所述。

近年来,对新能源的研究和开发也有一定进展。值得特别关注的是风能发电,因为风能是一种重要的再生清洁能源,其量又颇为充足,若能将全球风能资源的10% 用来发电,就可满足全世界对电力的需求。我国风能资源也十分丰富,在内蒙、新疆和沿海地区已建成一批风能发电示范工程,截至2002 年,装机容量已有468 MW,总发电量约 $0.9\text{ TW}\cdot\text{h}$,可望到2050 年风能发电占全国总装机容量的10%。对于太阳能的利用,在转换为热能方面已获得成功并得到较为普遍的应用,大功率太阳能电池的研制也取得了突破性的进展,但将太阳能直接转换为电能方面还有待于加倍努力才可能有所进展。世界上一些国家致力于通过太阳能聚焦将水加热使之汽化以推动汽轮机发电,并取得显著效果,我国仅有少数研究机构从事这方面的研究工作。此外,地热能(西藏羊八井电厂为地热发电厂,装机容量25 MW),海洋能(潮汐发电)、沼气和垃圾燃烧能发电,随着技术进步可望得到发展。

(2) 电网建设及电力系统的发展

电网建设和电源建设是电力工业发展相得益彰缺一不可的两个方面。如果输电、变电、配

电工程不能与电源建设相适应,将使电力呈“瓶颈”现象,电力用户得不到充足的电能,发电设备也不能充分发挥效益;且我国能源分布状况(2/3 煤炭资源分布在山西、内蒙、陕西等华北地带;而90%以上的水力资源又集中在西部地区)确定了要提高我国电力工业水平,保证电能供应以实现经济和社会的可持续发展,必然要求大规模的电网建设和大电网的互联,即发展现代电网。当前,我国除海南、新疆、西藏、台湾仍为独立省属电力系统以外,均形成了几个大的跨省地区电力系统,且地区系统之间已经或逐步进行互联,以达到形成全国联网的大系统。

各地区系统覆盖的范围及各地区、省系统2002年的装机容量和用电量示于表1.2(表中火电容量含核电容量)。

表1.2 2002年国内各系统装机容量和用电量

系统名称	总装机容量/GW	水电装机容量/GW	火电装机容量/GW	水电装机容量比重/%	用电量/TW·h	系统名称	总装机容量/GW	水电装机容量/GW	火电装机容量/GW	水电装机容量比重/%	用电量/TW·h
全国总计	356.26	86.14	270.12	24.2	1 651.7	华东地区	76.02	13.17	62.85	17.3	382.8
东北地区	40.77	5.64	35.13	13.8	167.3	上海	11.37	0	11.37	0.0	64.6
内蒙(东)	4.48	0	4.48	0.0	7.9	江苏	20.74	0.14	20.60	0.7	125.6
辽宁	15.73	1.26	14.47	8.0	81.2	浙江	20.68	5.87	14.81	28.4	101.9
吉林	8.94	3.57	5.37	39.9	31.1	安徽	9.71	0.65	9.06	6.7	39.1
黑龙江	11.62	0.81	10.81	7.0	47.0	福建	13.52	6.51	7.01	48.2	51.6
华北地区	74.32	3.19	71.13	4.3	374.1	南方电网	63.54	23.53	40.01	37.0	287.4
京津唐	18.72	1.67	17.05	8.9	105.6	广东	35.88	7.85	28.03	21.9	173.0
河北南网	9.24	0.14	9.10	1.5	62.4	广西	7.52	4.36	3.16	58.0	34.0
山西	15.06	0.79	14.27	5.2	61.5	贵州	7.06	2.42	4.64	31.3	36.4
内蒙(西)	6.15	0.54	5.61	8.8	23.5	云南	8.77	5.84	2.93	66.6	39.0
山东	25.15	0.05	25.10	0.2	121.1	·海南	1.79	0.54	1.25	30.2	5.0
华中地区	74.29	31.02	43.27	41.8	316.2	区内跨省(天生桥水电)	2.52	2.52		100.0	
河南	18.34	2.43	15.91	13.2	92.0	西北地区	26.94	9.30	17.64	34.5	123.2
湖北	15.33	7.21	8.12	46.9	55.5	陕西	8.20	1.46	6.74	17.8	35.9
湖南	11.10	6.14	4.96	55.3	47.0	甘肃	7.13	3.24	3.89	45.4	35.6
江西	7.32	2.19	5.13	29.9	25.2	青海	4.01	3.20	0.81	79.8	11.7
重庆	4.20	1.20	3.00	28.6	24.6	宁夏	2.56	0.31	2.25	12.1	17.6
四川	18.00	11.85	6.15	65.8	71.9	·新疆	5.04	1.09	3.95	21.5	22.4
						·西藏	0.36	0.30	0.06	83.3	0.4

注:表中符号·表示独立省属电力系统

现代电网的首要特征应该是一个坚强的超高电压等级构成主网架的大电网。当前,我国地区系统的主网架均是500 kV,330 kV的超高电压等级的网络结构。随着巨型水电、火电、核电等电源基地的不断开发和建设,以及紧迫的供电需求,在20世纪末及本世纪初的几年中,各地区系统的主网架结构有了很大的发展。

东北地区系统的500 kV电网,原仅是贯穿东北三省联结大城市、工业基地和火力发电基地的一条南北通道。现在不仅建成辽、吉、黑三省第二条北电南送的输电通道,并延伸至内蒙古东部地带的煤电基地;且已形成多个500 kV环网,使各大城市(沈阳、辽阳、鞍山、长春、吉林和哈尔滨等)成为较坚强的受端网络。如图1.3所示。

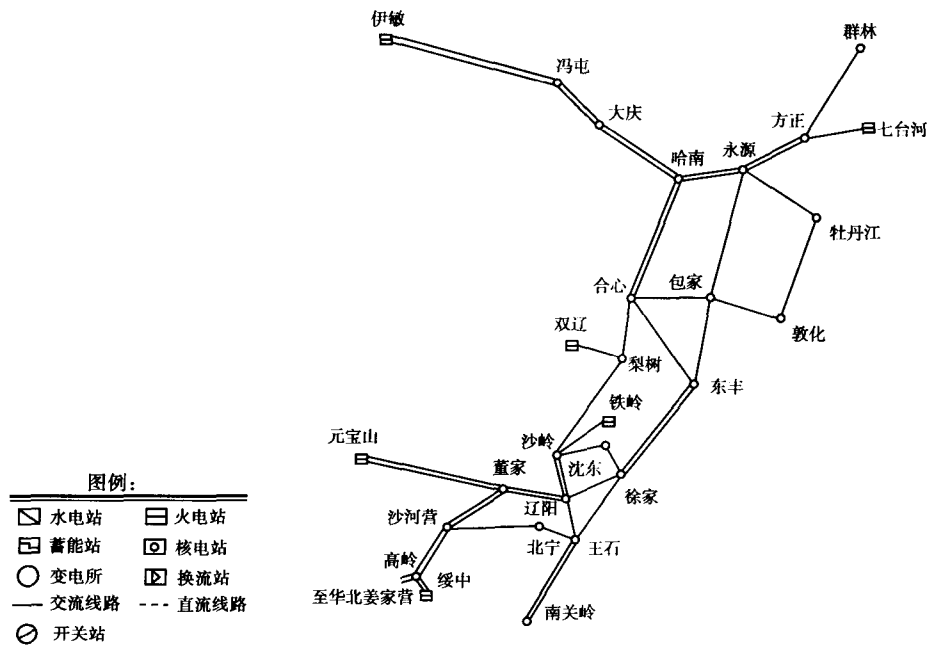


图 1.3 东北地区 500 kV 电网示意图(2005 年)

华北地区系统的 500 kV 电网,近年来也有较大发展,不仅加强了山西煤电基地与京津唐负荷中心之间紧密的联系,还将 500 kV 网络延伸至内蒙西部的煤电基地,加大了西电东送的力度;北京 500 kV 外环电网工程已建成,地区内 500 kV 主网形成多环的紧密结构;实现了山东省系统与华北系统的联网。如图 1.4 所示。

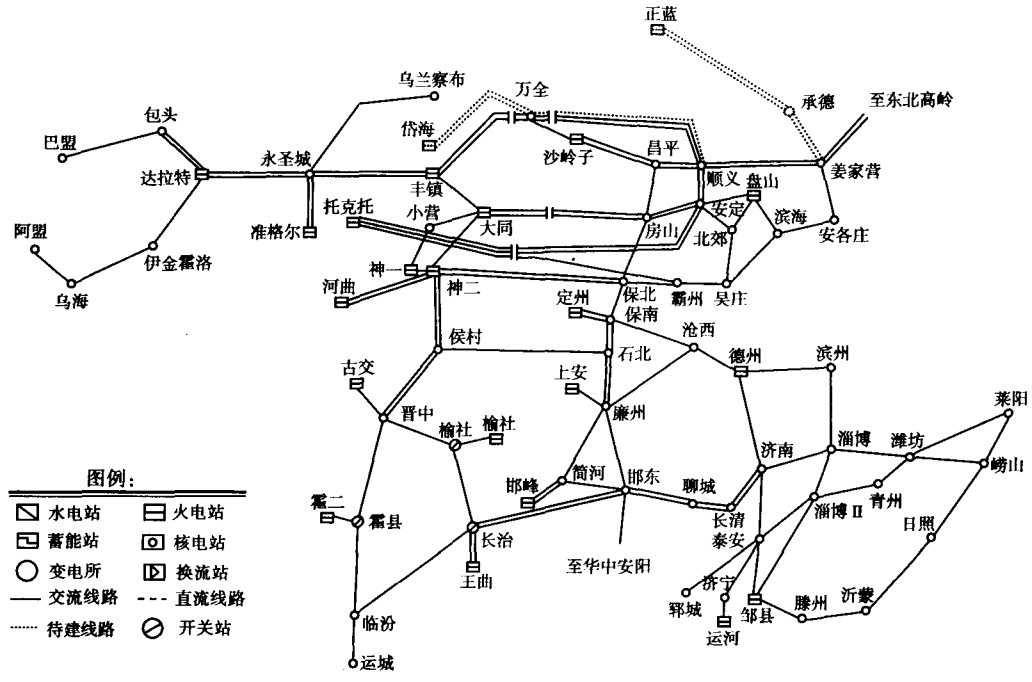


图 1.4 华北地区 500 kV 电网示意图(2005 年)

华中地区系统是我国第一项 500 kV 交流输变电工程的诞生地,即平武 500 kV 输变电工程(其中,1982 年 1 月投运的平武输电线路长 595 km,由河南平顶山姚孟电厂至武汉凤凰山变电站),也是我国第一项 ± 500 kV 直流输变电工程的所在地。1990 年建成、长 1 040 km 的葛沪线(湖北葛州坝电厂至上海南桥变电站),现成为三峡电厂向华东系统送电的第一条线路。为配合三峡电力外送任务的不断增加, ± 500 kV 直流输变电工程的建设也不断发展。同时,已将川—渝地带 500 kV 交流电网与华中电网联成一体。原川—渝地带 500 kV 线路仅为一条“西电东送”的通道,现将逐步形成环网,如图 1.5 所示。随着四川境内巨型水电厂的建设,“西电东送”电力的增加,该地区西部地带 500 kV 电网将有更大的发展和加强。

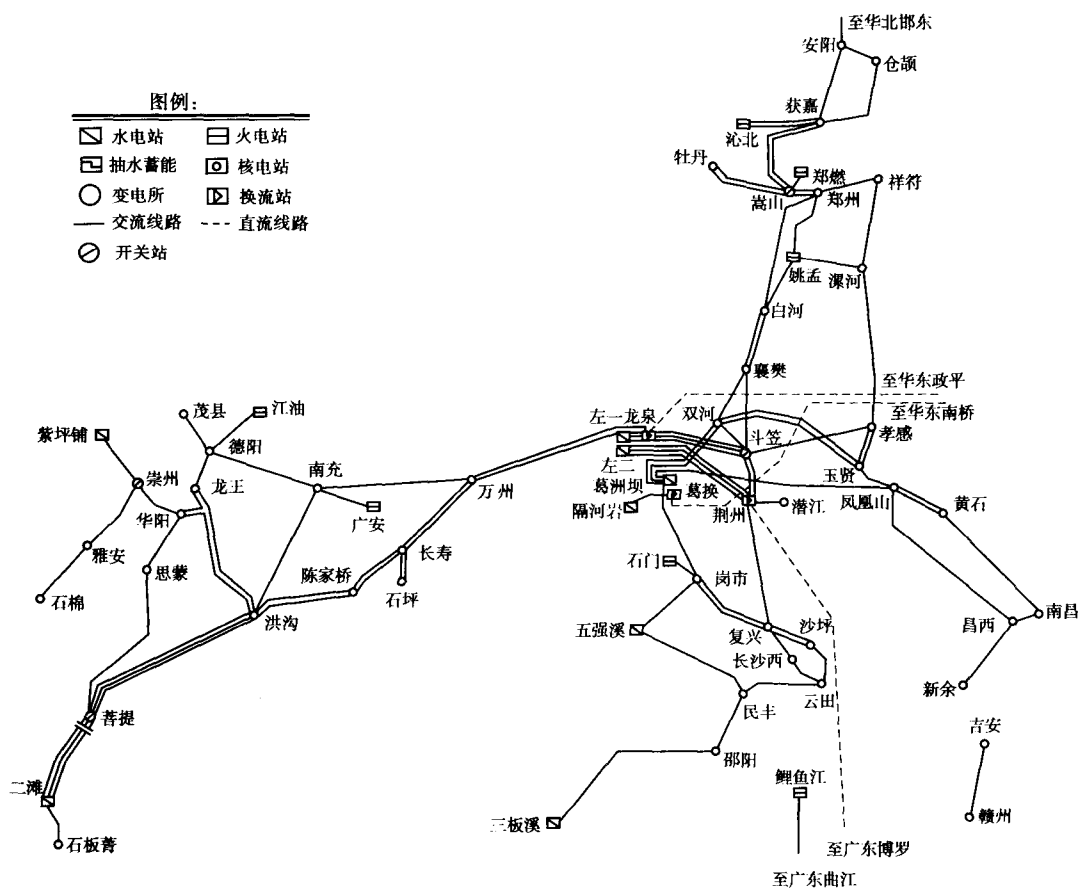


图 1.5 华中地区 500 kV 电网示意图(2005 年)

华东地区系统 500 kV 电网的规模居全国之首。近几年来发展较快,三省一市(上海、江、浙、皖)的 500 kV 交流网络已形成坚强的骨干网架。上海建成 500 kV 双外环电网,以上海为龙头的长江三角洲的重大负荷中心已成坚强的受端网络;核电厂、蓄能电厂和大型火电厂联系紧密,系统调节灵活方便;两回双福线(金华双龙—福州)将福建省网与华东电网联结,形成了华东地区整体的 500 kV 电网;为接受更多外来电力的支撑,发展了并将继续发展 ± 500 kV 直流输变电工程的建设。