



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

DIANLIXITONG GUIHUA

电力系统规划

程浩忠 主 编

张 焰 严 正 编 写

刘 东 顾 洁

熊信银 陈章潮 主 审



中国电力出版社

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



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

DIANLIXITONG GUIHUA

电力系统规划

主 编	程浩忠		
编 写	张 焰	严 正	
	刘 东	顾 洁	
主 审	熊信银	陈章潮	



中国电力出版社

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

Electrical Engineering

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书共分 12 章, 主要内容包括电力负荷预测的理论与方法、电力系统规划的经济评价方法、电源规划的理论与方法、电力系统规划的可靠性评价方法、电网规划方法、不确定性电网规划方法、电网柔性规划、多目标多阶段电网规划、配电网规划、电力系统无功规划、电力系统自动化规划。

本书可作为普通高等院校电气工程及其自动化专业的本科和研究生教材, 也可作为电力系统及相关领域从事电力系统规划、计划工作的工程技术人员与管理人员的参考用书和培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统规划/程浩忠主编. —北京: 中国电力出版社, 2008. 4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6813 - 9

I. 电… II. 程… III. 电力系统规划—高等学校—教材
IV. TM715

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 029352 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>)
汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售

*

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 422 千字
定价 28.00 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

科学合理的电力系统规划是电力系统安全、可靠、经济运行的前提。在当前国家经济和社会背景下,要实现科学合理的电力系统规划,迫切需要解决包括电力负荷预测、电源规划、电网规划及调度自动化规划等多个领域的众多实际课题。

本书从电力系统规划的基本内容、目的、意义出发,比较系统地阐述了有关电力系统规划的基础理论和方法。首先,介绍了电力负荷预测的理论与方法、电力系统规划的经济评价方法、电源规划的理论与方法、电力系统规划的可靠性评价方法等基础性的内容,后面进一步讲述了电网规划的方法和理论及其相关的不确定性规划、柔性规划、多目标多阶段规划、配电网规划、无功规划和自动化规划。本书注重理论与实用方法的结合,书中内容经过多届本科生、研究生的教学试用,能使读者对电力系统规划问题有一个全面的了解并可较快地进入这一领域的前沿。

编著者在电力系统规划方面有着相当丰富的研究经历和扎实的研究基础,有一支具备相当实力的科研团队(该书的全部编者都是该团队的成员),该团队从事电力系统规划研究工作20余年,完成了50多项来自国家自然科学基金、上海市重点科技攻关、曙光计划、启明星计划和上海市重点学科、国家电网公司、华东电网公司、上海市电力公司、上海市区、市东、市南供电公司等单位的有关电力系统规划方面的课题。本书依托以上项目的报告和论文,结合相关理论和基础工作,对编著者在电力系统规划方面的工作和成果进行整理。随着电力系统的发展和电力工业体制改革和市场化的不断深入,对电力系统规划提出了更高的要求,因此电力系统规划工作必须要有超前的眼光和先进的理论方法作指导。本课程的开设和教材的编写正顺应了这一潮流。

本书由程浩忠主编,张焰、严正、刘东、顾洁参编。本书第2章由顾洁副教授编写,第4章由严正教授编写,第5、7章由张焰教授编写,第12章由刘东研究员编写,其余章节由程浩忠教授编写,最后由程浩忠教授统稿。本书承蒙熊信银教授、陈章潮教授主审,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

本书参阅和引用了不少前辈和同行的工作成果,是他们的一些工作成果使得本书能够比较系统、全面地反映一些有关电力系统规划的最新研究成果。本书在编写的过程中,范宏、张节潭、孔涛、武鹏、唐陇军博士以及朱坚强、姜翠珍等同志做了大量辅助工作;同时,上海交通大学的许多领导、专家和编者的许多同事、朋友、家人为本书的编写创造了条件并给予关心,在此一并向他们致以衷心的感谢。

鉴于目前国内外有关电力系统规划方面内容全面且深入的书籍较少,涉及应用需要的更少,同时电力系统规划领域又有许多问题尚在研究和探讨之中,且作者水平有限,因此,不完善、不正确的地方在所难免,恳望读者见谅,并请予以批评指正为盼!

编者

2008年1月于上海交通大学

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 我国电力系统的发展历程及发展趋势	1
1.2 电力系统规划的重要性及基本要求	5
1.3 电力系统规划的任务及分类	9
第2章 电力负荷预测的理论与方法	13
2.1 概述	13
2.2 电力负荷预测的数据处理技术	18
2.3 确定性负荷预测方法	23
2.4 不确定性负荷预测方法	31
2.5 空间负荷预测	44
2.6 电力负荷预测的综合评价	48
第3章 电力系统规划的经济评价方法	52
3.1 概述	52
3.2 资金的时间价值	54
3.3 最小费用法	57
3.4 净现值法	59
3.5 内部收益率法和差额投资内部收益率法	59
3.6 折返年限法及相关算法	60
3.7 财务评价方法	61
3.8 国民经济评价方法	62
3.9 不确定性的评价方法	63
3.10 各类方案比较宜考虑的因素	63
第4章 电源规划的理论与方法	65
4.1 概述	65
4.2 电源规划数学模型	65
4.3 电源规划的数学优化方法	72
4.4 电源规划应用软件介绍	80
4.5 电力市场环境下的电源规划	82
第5章 电力系统规划的可靠性评价方法	86
5.1 概述	86
5.2 电气设备可靠性分析方法	88
5.3 发电系统规划的可靠性评价方法	91
5.4 电网规划的可靠性评价方法	96

5.5	变电站电气主接线的可靠性评价方法	108
第6章	电网规划方法	111
6.1	概述	111
6.2	电网的电压等级选择	115
6.3	电力电量平衡	116
6.4	变电站的站址及容量选择	120
6.5	网络结构规划的常规方法	121
6.6	架空送电线路导线截面及输电能力	124
6.7	逐步扩展法	127
6.8	逐步倒推法	130
6.9	满足确定性安全准则的启发式网络规划	132
6.10	满足概率性安全准则的启发式网络规划	134
6.11	电网规划的线性规划方法	139
6.12	水平年电网规划的数学模型	141
第7章	不确定性电网规划方法	144
7.1	电网规划中的不确定性影响因素及处理方法	144
7.2	考虑模糊性不确定影响因素的电网规划方法	150
第8章	电网柔性规划	160
8.1	电网柔性规划、不确定性信息、柔性约束规划	160
8.2	电网规划中不确定性信息盲数模型的建立方法	162
8.3	电网规划中的盲数潮流计算方法	165
8.4	基于盲数模型的电网柔性规划	167
8.5	基于等微增率准则的电网柔性规划	172
8.6	考虑线路被选概率的电网柔性规划	178
8.7	电网柔性约束规划	182
第9章	多目标多阶段电网规划	190
9.1	多目标电网规划的数学描述	190
9.2	多目标电网规划的一般最优化模型	191
9.3	多目标电网规划的分层最优化模型	194
9.4	多阶段电网规划的数学模型	195
9.5	多阶段电网规划数学模型的求解方法	196
9.6	算例及分析	199
第10章	配电网规划	205
10.1	配电网规划的特点与模型	205
10.2	变电站站址确定	208
10.3	配电网的接线模式	211
10.4	配电网规划的主要内容	215
10.5	配电网规划的具体步骤	219

第 11 章 电力系统无功规划 221

11.1 概述..... 221

11.2 电网电压标准..... 221

11.3 无功补偿规划原则..... 222

11.4 无功补偿优化模型及解算方法..... 223

11.5 无功补偿容量的配置..... 232

11.6 配电网无功补偿容量的确定..... 234

第 12 章 电力系统自动化规划 239

12.1 概述..... 239

12.2 电力通信系统规划..... 241

12.3 电网调度自动化系统规划..... 246

12.4 变电站自动化系统规划..... 250

12.5 配电自动化系统规划..... 252

12.6 电力系统信息一体化规划..... 255

附录 A 18 节点系统图及其参数 259

附录 B 19 节点系统图及其参数 261

参考文献..... 264

第 1 章 绪 论

本章主要介绍我国电力系统发展的简要历程、发展趋势，进行电力系统规划的重要性及电力系统规划的任务、基本要求及分类。

1.1 我国电力系统的发展历程及发展趋势

1.1.1 基本概况

我国的电力工业起步很早，但在 1949 年以前发展缓慢。早在 1882 年德波列茨进行第一次高压输电试验时，英国商人 C. M. Dyce, G. E. Low, W. S. Wetmore 便在上海投资 5 万两白银，创办了上海电气公司 (SEC)，并在上海乍浦路老同孚洋行建起了装机容量为 12kW 的发电厂，在上海外滩亮起了五盏明灯，初步形成了具有生产、输送、分配、消费电能的由发电机、变压器、电力线路、用电设备联系在一起组成的统一整体的电网雏形。其后，1911 年英美在上海开办了杨树浦发电厂，1913 年投入运行；至 1924 年该厂装机 12 台，总容量 121MW，成为当时远东第一大电厂。我国的发电装机容量、发电量、世界排名 (装机) 见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 我国电力系统初期的装机容量、发电量、世界排名 (装机)

年 份	装机容量	发电量 (亿 kW·h)	世界排名 (装机)
1882	12kW		
1936	1285MW	38	14
1949	1849MW	43	25

表 1-2 1949 年以后我国电力系统的装机容量、发电量、世界排名 (装机)

年 份	装机容量 (MW)	发电量 (亿 kW·h)	世界排名 (装机)
1949	1849	43	25
1978	57120	2566	7
1980	60500	3006	8
1987	100000	4960	5~6
1993	170000	8364	4
1995	200000	10069	4 (前三名分别为美、日、俄)
1998	270000	11670	2
2000	319320.9	13685	2
2005	517184.8	24975	2

注 美国为世界第一，2005 年总装机容量约为 1067GW。

1949年,当时除东北有一条220kV和几条154kV线路,京津唐和台湾省建有规模不大的地区高压电网和上海市建有33kV电压等级的电网外,其他地区只有以城市供电区为中心的发电厂,全国没有一个超高压电网。到1978年,我国建成了330kV输电线路535km和220kV输电线路2267km,相应变电设备容量为490MV·A和24790MV·A。1998年,220kV及以上线路14.37万km,变电容量3.29亿kV·A,是1978年的6.2倍和13倍,年均递增9.5%和13.7%。截至2005年底,国家电网公司共有500kV及以上跨区输电线路达11097km,分布在全国18个省市,变电(换流)容量达3412万kV·A;220kV及以上输电线路252000km,变电容量867GV·A。中国已经形成一个比较完善并具有相当规模的电力工业体系。

1.1.2 电源的发展

中国电源建设在“大力发展水电,优化发展火电,适当发展核电,因地制宜发展新能源发电,开发与节约并重”方针的指导下,得到了迅速发展。从1988年开始全国每年新投产发电机组都超过10000MW,1990年后每年新投产大中型发电机组都超过10000MW,到1998年全国装机容量到2.7亿kW,发电量达到11600亿kW·h。到2005年全国装机容量达5.1718亿kW,发电量达到24975.26亿kW·h,发电装机超过10000MW的有河北、山西、内蒙古、山东、上海、江苏、浙江、安徽、福建、河南、湖北、四川、重庆、陕西、宁夏、广东、贵州及广西共18个省市自治区直辖市,其中广东省发电装机容量达到48081.8MW。各种容量发电机组首台投产时间、地点见表1-3。

表1-3 各种第一台不同容量发电机组投产时间、地点

时 间	地 点	容 量 (MW)	时 间	地 点	容 量 (MW)
1956年4月	淮南田家庵电厂	6	1969年9月	上海吴泾电厂	125
1958年8月	重庆电厂	12	1973年4月	辽宁朝阳电厂	200
1958年12月	闸北电厂	25	1974年11月	上海望亭电厂	300
1959年11月	辽宁电厂	50	1989年	安徽平圩电厂	600
1967年2月	北京高井电厂	100	1994年	广东大亚湾核电厂	900

到2005年全国200MW及以上机组达到789台总容量252539.3MW,占全部装机容量的48.8%,其中600MW及以上机组达到84台总容量55491MW。已运行的机组中,最大的核电机组达到1060MW,最大火电机组达到900MW,最大水电机组达到700MW。中国已经形成了具有自己特色并适合国情的电力设备制造体系,能生产制造900MW及以下容量的系列发电机组,并建成成套发电设备的生产基地:上海闵行、哈尔滨、四川德阳。

百万千瓦大厂到1978年时全国只有2座,合计装机容量2325MW,占全国装机容量的4.1%;2005年全国达到128座,总装机容量191934MW,占全国装机容量的37.11%。1986年以前,中国每年投产水电机组都在1000MW左右徘徊,20世纪80年代中后期,水电建设高潮迭起。水电机组1987年投产2530MW,1993年投产3680MW,1994年投产4030MW,连续跨上年投产2000、3000、4000MW的台阶。这期间水电建设的“五朵金花”:广州抽水蓄能、岩滩、漫湾、水口、隔河岩5个百万千瓦级水电站相继开工建设或投产,装机容量3300MW的二滩水电站已于1998年投产第一台550MW机组。1994年中国自行设计、制造、施工的浙江秦山核电站和中外合作引进法国机组建设的广东大亚湾核电厂相

继建成投入商业化运行,结束了中国内地长期无核电的历史。1993年中国开始投产大型抽水蓄能机组。1994年12月14日中国开工建设举世瞩目的长江三峡工程,2003年如期实现发电,截至2005年底,三峡已经投运的发电装机总容量达9800MW,年发电量490.90亿kW·h。

在开发新能源和可再生能源发电方面,我国从20世纪50年代开始研制风力发电机,80年代以来相继研制成功50~200W的微型风力发电机组并安装在内蒙、甘肃、新疆、青海、西藏等省区牧区草原和沿海电网延伸不到的地区;1986年山东省荣成市组成了中国第一个风电场;截至2005年底,风力发电总装机容量1055.9MW。1970年前后,全国兴建了十几座潮汐电站,包括江夏潮汐试验电站和白沙口潮汐电站,装机容量分别为3200kW和960kW,1989年5月又投产了福建平潭岛的幸福洋潮汐电站。到2005年,全国已建成8座潮汐电站和1座潮洪电站,总装机容量为10650kW。1977年在西藏羊八井建成的地热电站,1998年底装机容量已达到25.18MW,截至2005年底,累计发电量18.8亿kW·h。同时建设了3座10kW的光伏发电站,目前,我国光伏发电装机容量累计超过100MW。

1.1.3 电网的发展

一、输变电发展

建国后,中国电网由小变大,由低压、高压到超高压,由弱联系逐步过渡到强联系,其发展过程大体是:首先发展了城市孤立电网,然后形成地区电网,再发展成省内电网,并进一步发展为大区电网,今后要加快大区电网互联。从20世纪50年代开始,随着大型水、火电站的相继建成,各地区开始建设110kV和220kV线路。1970~1980年期间,先后形成了17个220kV的跨省地区电网或省电网。1972年,中国第一条330kV超高压输变电工程——刘家峡经天水到陕西关中的全长534km的刘天关线路投运,1981年又建成从河南平顶山到湖北武汉的中国第一条全长595km的500kV线路。此后,在普遍建设220kV地区电网的基础上,500kV(包括330kV)电网工程在许多省份和大区内的省际迅速发展,逐步形成了东北、华北、华中、华东、西北、南方6个跨省区电网;1989年中国建成了第一条跨大区远距离±500kV直流输电线路——葛沪线。其中华东电网和南方联营电网装机容量分别达到44750MW和44970MW;独立省电网有海南、新疆、西藏3个。大电网已覆盖全国的所有城市和大部分乡村。1978年全国输电线路总长为22762km,变电容量24790MV·A,1998年分别达到117447km和24951MV·A,比1978年增长了5.1倍和10.1倍;1978年全国330kV输电线路535km,变电容量490MV·A,1998年分别达到7126km和10320MV·A;1978年中国还没有500kV输电线路和变电设备,到1998年500kV交流输电线路和变电设备却已达到18104km和66410MV·A,±500kV直流输电线路1044.5km,换流站容量为2400MW。华东、华北、东北、华中已形成500kV跨省市主干电网,西北电网已形成结构紧密的330kV网络。截至2005年末,我国220~500kV、35~110kV、10kV电压等级的变压器容量分别达到86680、92830万kV·A和126873万kV·A,220~500kV、35~110kV、10kV、0.4kV电压等级的线路长度分别达到25.19、74.62、507.44万km和1282.28万km。2005年9月,我国第一个750kV输变电工程正式投入运行。华中与西北联网的灵宝直流工程、三峡电站及相应的输变电工程、山东青州输变电工程、江苏电网第三回500kV过江输变电工程等一批重点工程陆续投产,全国六大区域电网已实现互连。

三峡输变电工程的第一个单项工程四川长寿至万县的500kV输变电工程已于1998年5

月建成投产。三峡输变电工程将在华中、华东、川渝电网内建设 500kV 交流线路 6900km, 变电设备容量 24750MV·A, ± 500 kV 直流输电线路 2200km、换流站(两端) 12000MW, 以及其他二次系统设施。三峡工程 2009 年全部竣工后, 将形成中国坚强的中部电网, 成为全国联合电网的核心。

二、城乡电网建设与改造

1998 年开始, 国家决定加快基础建设, 投入 3000 亿元人民币进行为期三年左右的城乡电网大规模建设改造, 并将其列入国债建设管理。截至 2000 年底, 全国城网项目工程形象进度已完成 760 多亿元(约占城网总投资 1200 亿元规模的 60%), 农网完成约 1100 亿元(约占农网总投资 1800 亿元规模的 61%)。1998~2000 年, 电力工业发、输、配投资比例约为 1:0.37:0.69, 这种投资结构比以往有了很大改善, 趋同国际发达国家发、输、配投资比例。建设和改造全国 2400 多个县级农村电网, 通过改革农电管理体制、建设和改造农村电网, 进而实现城乡用电同网同价, 大幅度降低农村电价, 减轻农民负担。对全国 280 个地级以上城市电网进行改造, 以开拓电力市场, 增加用电量。

1998~2000 年城网规模平均增长率高于“八五”增长率, 城网供电能力有了较大提高。部分竣工城网经初步评估或估测, 2000 年, 35~220kV 城网网架初步建成, 网络结构得到加强, 基本满足 $N-1$ 安全供电准则要求。高压配电网变压器容载比由 1.5~1.7 上升到 1.8~2.0, 供电能力比 1995 年增长近 50%, 中压配电网容量增长约 25%。1999~2000 年, 北京、上海、山东、广东、江苏等省市城网经历连年夏季高峰负荷两位数的快速增长, 基本没有发生过负荷、烧设备问题, 没有限电。

三、农村电气化

在农村电气化方面, 到 1997 年底, 中国在广大农村和边远地区建起了 45047 座小型水电站、1057 座小型火电厂、86084 万座柴油机发电站和 67278 台风力发电机组, 总装机容量达到 43830MW, 建成 274.5 万 km 高压线路、613.4 万 km 低压线路和配电设备 263210MV·A。到 1997 年底, 全国农村地区乡、村和农户通电率达到 99.03%、97.66% 和 95.86%, 全国已有 14 个省(直辖市、自治区)实现了村村通电, 同时建成农村电气化县 832 个。

2005 年, 农村水电新增装机突破 500 万 kW, 达到 530 万 kW, 一年投产超过“八五”期间 5 年投产总量, 超过改革开放前 30 年投产总量, 超过投产 7 台三峡机组; 年发电量 1380 亿 kW·h, 在建规模 2000 万 kW。“十五”期间, 累计完成投资 1500 亿元, 新增装机 1600 万 kW, 发电量 5600 亿 kW·h, 实现工业增加值 2800 亿元, 利税 350 多亿元, 解决了 1200 万无电人口的用电问题。

到 2010 年计划全面建成 400 个小康水电农村电气化县, 人均年用电量达到 800kW·h, 户均年生活用电量达到 600kW·h, 乡、村通电率达到 100%, 户通电率达到 99.5%, 促进区域协调发展、城乡协调发展和经济社会生态环境协调发展。

四、信息化发展

中国电网五级调度体系已经在分阶段实现计算机化。与此同时, 电网的规划、设计、设备制造、施工、运行、管理、科研试验等方面都取得了长足的进步, 对中国电网的发展和现代化起到了重要的推动和促进作用。在统一规划下, 具有坚强的网架结构、先进的技术装备和调控手段, 担负着电力输送和各类发电厂联合运行、互相调剂, 发挥综合效益的现代化大

电网正在不断形成。中国的电网建设已经进入跨大区联网送电、逐步实现全国统一联合电网的新阶段。

1.1.4 科技进步与电力体制改革及法制建设

中国已经掌握了先进的 300、500MW 和超临界 600MW 火电机组、1000MW 级核电机组和 500kV 交直流输变电工程的设计、施工、调试和运行技术,掌握了高 180m 级的各类大坝的筑坝,掌握了大型抽水蓄能电站的设计、施工技术,有能力建设像二滩、三峡水电站那样的大型水电工程,开发了先进的大型水、火电厂分散控制系统。各大电网的计算机监控调度系统进入实用化阶段,使电网运行和调度开始走上了自动化。目前正在开展 1000kV 的特高压试验示范工程。

电力工业贯彻国务院提出的“政企分开、省为实体、联合电网、统一调度、集资办电”和“因省、因网制宜”的方针,以集资办电为突破口开始了不断深化的电力体制改革,打破了长期以来形成的依靠中央政府一家办电的格局,形成了多渠道、多层次、多形式集资办电的局面,开拓出了一条符合中国国情的有利于加速电力工业发展从而满足国民经济发展和人民生活水平日益提高对电力旺盛需求的新路。

《电网调度管理制度》已于 1993 年 11 月 1 日开始实施,《电力法》也于 1996 年 4 月 1 日在全国范围实施,它们为电力工业进一步深化体制改革,实行公司制改组、商业化运行、法制化管理奠定了法律基础。同时,《供用电管理条例》也于 1996 年施行。

2002 年 3 月,国务院批准了《电力体制改革方案》,并成立了电力体制改革工作小组,负责组织电力体制改革方案实施工作,进行资产重组。根据改革方案,为在发电环节引入市场竞争机制,首先要实现“厂网分开”,将国家电力公司管理的电力资产按照发电和电网两类业务进行划分。发电环节按照现代企业制度要求,将国家电力公司管理的发电资产直接改组或重组为规模大致相当的 5 个全国性的独立发电公司,逐步实行“竞价上网”,开展公平竞争。电网环节分别设立国家电网公司和中国南方电网有限责任公司。国家电网公司下设华北、东北、华东、华中和西北 5 个区域电网公司。另外,还设立国家电力监管委员会,对电力产业实施必要的监管。2002 年 12 月 29 日,中国电力新组建(改组)的 11 家公司宣告成立。通过产业重组,我国电力产业内实现了厂网分开,初步引入了竞争机制。

2006 年 11 月 1 日,国务院常务会议审议并原则通过《关于“十一五”深化电力体制改革的实施意见》。“十五”期间,我国电力体制改革取得重大进展,政企分开、厂网分开基本实现,发电领域竞争态势已经形成,新型电力监管体制初步建立。“十一五”期间,深化电力体制改革的基本原则是:坚持以改革促发展,坚持市场化改革方向,坚持整体规划、分步实施、重点突破。主要任务是:一,抓紧处理厂网分开遗留问题,逐步推进电网企业主辅分离改革;二,加快电力市场建设,着力构建符合国情的统一开放的电力市场体系,形成与市场经济相适应的电价机制,实行有利于节能环保的电价政策;三,进一步转变政府职能,坚持政企分开,健全电力市场监管体制。

1.2 电力系统规划的重要性及基本要求

1.2.1 电力系统规划的重要性

用户对电能需求的不断增长,只有通过电力工业本身的基本建设,不断扩大电力系统的

规模才能满足。要满足国民经济发展的需要,电力工业必须先行,因此做好电力工程建设的前期工作,落实发、送、变电本体工程的建设条件,协调其建设进度,优化其设计方案,意义尤为重大。电力系统规划正是电力工程前期工作的重要组成部分,是关于单项本体工程设计的总体规划,是具体建设项目实施的方针和原则,是一项具有战略意义的工作。电力系统规划工作应在国家产业和能源政策指导下,在国民经济综合平衡的基础上进行,首先应该进行长期电力规划,经审议后在此基础上从电力系统整体出发进一步研究并提出电力系统具体的发展方案及电源和电网建设的主要技术原则。

电力工业的发展速度及其经济合理性不仅关系到电力工业本身能源利用和投资使用的经济效益和社会效益,同时也将对国民经济其他行业的发展产生巨大的影响。正确、合理的电力系统规划实施后可以最大限度地节约国家基建投资,促进国民经济其他行业的健康发展,提高其他行业的经济效益和社会效益,因而其重要性是不可低估的。

电网由输电、变电、配电等环节组成,电网规划是电力规划的重要组成部分,它和电源规划有着密切联系。往往只有在全盘考虑电源与电网的条件下,才能找到最合理的供电方案。例如在离负荷点远处有较经济廉价的电源,近处则有较不经济的电源,若它们之间进行比较和选择时,就必须全盘考虑电源与电网,才能作出合理的方案。

1.2.2 电网规划的基本要求

电网规划的目的是力求在规划期末使电网达到一个较理想的结构。一个理想的网架结构应满足以下基本要求:

(1) 输、变、配电比例适当,容量充裕。要求电网在各种运行方式下都能满足将电力安全经济地输送到用户,并有适当的裕度。在电网上既没有薄弱环节,造成发电能力不能充分利用的现象,也不存在设备闲置、积压资金现象。

(2) 电压支撑点多。电压支撑点的设置数量要能保证在正常及事故情况下电力系统的安全及电能质量。电网规划必须考虑全系统的安全,在绝大多数可能出现的故障情况下仍能持续供电,不引起系统不稳定及电网解列,也不导致不允许的电压及频率降低或甩负荷。在某些罕见的复合故障下可限制其后果,例如允许系统分块解列运行,以保障重要供电不中断并能较快地恢复正常运行;对停电的时间及范围有所限制,但不允许出现全系统失步、电压崩溃等导致系统瓦解的重大后果。为此,在电网规划中要考虑各种措施。如单回线的送电容量不得超过受端容量的35%~50%。又如对大容量、远距离输电应采用双回线或多回线,同路径或同杆塔线路在中途分段并互相连接,设置中间开关站。这样,如一点发生故障时可以分段切除,只失去一回路中的一段,其他部分仍可继续运行,可以显著提高运行安全性。

(3) 保证用户供电的可靠性。对于供电中断将会造成国民经济或人民的生命财产重大损失的一级负荷及重要供电地区,必须设置两个及以上彼此独立的供电电源;对于无重要用户的三级负荷及地区,规划中一般不考虑备用电源;介于以上二者之间的二级负荷及地区,是否设置备用电源,应视系统情况权衡停电损失及装设备用电源增加的供电费用后确定。

(4) 系统运行的灵活性。电网结构应能适合多种可能的运行方式,包括正常及事故情况下、高峰及低谷负荷时的运行方式。有大水电站或水电比重大的系统应分别考虑丰、平、枯水时的运行方式。

(5) 系统运行的经济性。电网中潮流分布合理,无迂回倒流或送电距离过长等现象,线路损失小,投资及运行费用低。

提高线路的输送容量是降低单位容量造价、提高输电线路效益的重要措施。超高压线路输送容量应按照超过自然功率设计，各种电压线路的自然功率见表 1-4。

表 1-4 各种电压线路的自然功率

线路电压 (kV)	自然功率 (万 kW)				
	单导线	双分裂导线	三分裂导线	四分裂导线	八分裂导线
220	12	16			
330	27	36			
500			90		
750				200	
1000					500

提高输送容量主要采用串联感性补偿或并联电容补偿，或两者并用。串联补偿对提高输送容量效果显著，但需注意避免发生次同步谐振；并联补偿可以控制线路波阻抗，提高输送容量并控制过电压。为了维持线路电压恒定，要求其在轻载时阻抗为感性，重载时为容性。

(6) 便于运行，在变动运行方式或检修时操作简便、安全，对通信线路影响小等。一般在电力系统规划中先进行系统中最高一级电压网络的规划。当系统中新采用高一级电压，其电网尚未充分发展时，要同时考虑原系统中最高一级电压与新出现的电压网络的规划，在地区供电规划中再考虑较低电压等级的网络规划。

确定一个较理想的电网结构方案是涉及多方面因素的复杂问题，应在考虑各种因素下制定出若干可行方案，经过充分地系统分析及比较后选定。

1.2.3 电力系统规划中的重大举措

一、实现全国联网

大电网互联是世界电力发展的共同经验，是我国适应“西电东送”格局的重要措施。

2003 年，以三峡电站建设为中心，首先形成了我国的中部电网。2010 年，基本形成北、中、南 3 个跨区互联网络，其中北部电网由华北、东北、西北电网和山东电网组成，中部电网由华中、华东、川渝电网和福建电网组成，南部电网由广东、广西、云南、贵州、香港、澳门电网组成。2010~2020 年期间，将形成基本覆盖全国的统一联合电网。

二、加快城市电网和农村电网的建设改造

(1) 城市电网采用现代化技术。

1) 利用现代化技术促进城网装备现代化，提高供电可靠性，提高新建住宅内配线供电能力。

2) 中心城区大力推广变、配电所与建筑物相结合和地下变电所，以减少占地面积和接近电力负荷中心，推进电缆供电。

(2) 深化农电体制改革，加快农村电网改造。

1) 全国实现一县一公司。

2) 全国推行“五统一”（统一电价、统一发票、统一抄表、统一核算、统一考核）和“三公开”（电量公开、电价公开、电费公开），逐步实现电力销售到户、抄表到户、收费到户、服务到户。

3) 规范电网投资管理, 努力控制工程造价, 降低建设成本, 减轻农民负担。

三、树立优良的社会形象, 全心全意为用户服务, 严格执行《电力法》

1) 电力事业应当根据国民经济和社会发展的需要适当超前发展。

2) 国家鼓励国内外经济组织和个人依法投资开发电源, 兴办电力生产企业, 实行谁投资谁受益。

3) 电力设施和电能受国家保护。

4) 电力建设和电力生产要依法保护环防治公害。

5) 国家鼓励和支持利用再生能源和清洁能源发电。

6) 电力企业依法实行自主经营, 自负盈亏并接受监督。

7) 国家帮助和扶持少数民族地区、边远地区和贫困地区发展电力事业。

8) 国家鼓励采用先进的科技技术和管理方法发展电力事业。

四、建立科学合理的电价形成机制

建立科学合理的电价形成机制可实现:

1) 促进电力企业改善自身的经营状况, 使电力企业获得应有的利润, 从而积累资金, 走向良性循环。

2) 约束电力工程造价、降低建设成本, 消除盲目投资, 减少资金积压和浪费。

3) 约束电力生产成本, 降低发电能源进价。

4) 投资者获得较高的回报, 从而也确保了电力建设和改造资金的来源。

5) 用户公平负担。

6) 推动电力企业经营者、生产者的素质提高, 促进人才流动。

五、特高压试验示范工程

2006年8月19日, 特高压试验示范工程 1000kV 晋东南—南阳—荆门工程正式奠基, 这是我国首个特高压交流试验示范工程。该试验示范工程包括三站两线, 起于山西省长治市境内的晋东南变电站, 经河南省南阳市境内的南阳开关站, 止于湖北省荆门市境内的荆门变电站, 线路全长约 653.8km。工程可行性研究报告估算静态投资约为 58 亿元 (2004 年价格水平), 动态总投资约为 60 亿元。系统额定电压为 1000kV, 最高运行电压 1100kV, 自然输送容量约 500 万 $\text{kV} \cdot \text{A}$ 。

晋东南变电站 1000kV 配电装置采用气体绝缘金属全封闭开关设备 (Gas Insulated Switch, GIS), 南阳开关站 1000kV 配电装置采用 (Hypid Gas Insulated Switch, HGIS) 紧凑型六氟化硫全封闭组合电器设备, 荆门变电站 1000kV 配电装置采用 HGIS 设备。

晋东南—南阳线路途经山西、河南两省, 在河南省孟州市境内跨越黄河, 线路长度约 363km, 其中一般线路约 359.5km, 黄河大跨越约 3.5km。山西省境内线路长度约 115.2km, 河南省境内约 247.8km。

南阳—荆门线路途经河南、湖北两省, 在湖北省钟祥市境内跨越汉江。线路全长 290.8km, 其中一般线路约 288km, 汉江大跨越约 2.8km。河南省境内线路长度约 104km, 湖北省境内约 186.8km。

全线采用单回路, 导线截面为 $8 \times 500\text{mm}^2$, 分裂间距 400mm, 一根地线采用 OPGW-150, 另一根采用 LBGJ-150-20AC 铝包钢绞线。

当前, 国家电网公司正按照建设“安全可靠、先进适用、经济合理、环境友好、世界一

流”精品工程的目标,认真做好特高压交流试验示范工程实施工作,该工程计划于2009年建成投产。试验示范工程的启动,拉开了我国特高压电网建设的序幕,标志着中国电网发展进入了一个新阶段。

1.3 电力系统规划的任务及分类

1.3.1 电力系统负荷预测

电力系统负荷一般可以分为城市民用负荷、商业负荷、工业负荷、农村负荷以及其他负荷等,不同类型的负荷具有不同的特点和规律。

(1) 城市民用负荷。城市民用负荷主要是指城市居民家用电器用电,具有年年增长的趋势和明显的季节性波动特点,而且还与居民的日常生活和工作的规律紧密相关。

(2) 商业负荷。商业负荷主要是指商业部门的照明、空调、动力等用电,覆盖面积大,且用电增长平稳,同样具有季节性波动的特性。

(3) 工业负荷。工业负荷是指用于工业生产的用电。一般工业负荷的比重在用电构成中居于首位,它不仅取决于工业用户的工作方式(包括设备利用情况、企业的工作班制等),而且与各行业的行业特点、季节因素都有紧密的联系,一般工业负荷是比较恒定的。

(4) 农村负荷。农村负荷是指农村居民用电和农业生产用电。此类负荷与工业负荷相比,受气候、季节等自然条件的影响很大,这是由农业生产的特点所决定的。

电力系统负荷预测包括最大负荷功率、负荷电量及负荷曲线的预测。最大负荷功率预测对于确定电力系统发电设备及输变电设备的容量是非常重要的。为了选择适当的机组类型和合理的电源结构以及确定燃料计划等,还必须预测负荷及电量。负荷曲线的预测可为研究电力系统的峰值、抽水蓄能电站的容量以及发输电设备的协调运行提供数据支持。

电力系统负荷预测可以分为调度电力负荷预测和规划电力负荷预测。调度电力负荷预测又可以分为超短期、短期、中期和长期四种,规划的电力负荷预测又可以分为短期电力负荷预测、中期电力负荷预测和长期电力负荷预测,详见第2.1节。

与一般的经济预测或需求预测相比,电力负荷预测有以下几个特点:

- 1) 不仅要作短期预测,更要作长期预测。
- 2) 既要作电力预测,也要作电量预测。
- 3) 既要有全国的负荷预测,也要有分地区的负荷预测。
- 4) 电力负荷预测是“被动型”预测。
- 5) 负荷预测受不确定性因素影响较大。

负荷预测工作的关键在于收集大量的历史数据,建立科学有效的预测模型,采用有效的算法,以历史数据为基础,进行大量试验性研究,总结经验,不断修正模型和算法,以真正反映负荷变化规律。其基本过程如下:

- 1) 确定预测内容。
- 2) 收集相关资料。
- 3) 分析基础资料。
- 4) 预测经济发展。
- 5) 选择预测模型。

- 6) 应用预测模型。
- 7) 评价预测结果。
- 8) 评价预测精度。

当然在实际的预测应用中,并不是严格地按以上步骤进行按部就班地预测,可以根据预测时的实际情况灵活地进行处理。

1.3.2 电源规划

电源规划是电力系统电源布局的战略决策,在电力系统规划中处于十分重要的地位,规划的合理与否,将直接影响系统今后运行的可靠性、经济性、电能质量、网络结构及其将来的发展。电源规划作为电力系统规划的一个主要组成部分,近年来已成为电力系统规划研究的一个重要课题。电源规划分为短期电源规划和中长期电源规划两类。

(1) 短期电源规划。短期电源规划考虑未来 1~5 年的发展情况,规划的具体内容包括:

- 1) 制定发电设备的维修计划。
- 2) 分析推迟或提前新发电机组投产计划的效益。
- 3) 分析与相邻电力系统互联的效益及互连方案。
- 4) 确定燃料需求量及购买、运输、储存计划。

(2) 中长期电源规划。中长期电源规划应考虑 10~30 年的发展情况,应解决以下问题:

- 1) 何时、何地扩建新发电机组。
- 2) 扩建什么类型及多大容量的发电机组。
- 3) 现有发电机组的退役及更新计划。
- 4) 燃料的需求量及解决燃料问题的策略。
- 5) 采用新发电技术(如太阳能发电)的可能性。
- 6) 采用负荷管理对系统电力、电量平衡的影响。
- 7) 与相邻电力系统进行电力交换的可能性。

当电力系统规划涉及大型水电建设项目或一个水系的水电站开发时,其建设周期较长,一般需 10 年以上。在这种情况下,为了充分体现其经济效益,规划周期往往要考虑 50 年或更长。

进入 21 世纪以来,环保的呼声越来越高,在进行电源规划工作时,还必须考虑电厂建设对环境保护的影响,分析各种类型机组所排放的污染物对环境危害程度的不同,建立追求方案总费用现值最小、CO₂ 排放量最小和核废料排放量最小等多目标电源规划模型。

1.3.3 电网规划

电网规划是根据电力系统的负荷及电源发展规划对输电系统的主要网架做出的发展规划,又称输电系统规划,是电力系统规划的一个重要组成部分。

电网规划的基本要求是确保供电所要求的输送容量、电压质量和供电可靠性等,把电力系统各部分组合起来使其整体结构的运行效率最高、经济上最合理,并能充分适应系统日后发展的需要。可靠性分析除了满足电力不足概率(LOLP)法和电力不足期望值(EENC)的要求外,还应进行安全性检查,满足 $N-1$ 原则。

电网规划可按照时间长短分类,也可按照问题不同划分。按照时间划分,电网规划可分为短期规划(1~5 年)、中长期规划(5~15 年)、远景规划(15~30 年)。

- 1) 短期规划用于制定网络扩展决策,确定详细的网络方案。它一般针对一个较短的水