

电力发展战略与规划

沈根才 著

清华大学出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了电力发展战略规划的目的、内容以及编制方法。从负荷预测到动力资源开发、电源开发、电网开发、城市电网发展与农村电气化,自始至终运用系统工程的观点和战略分析的方法。

本书可供从事电力规划、设计、生产、科研等工作的技术人员、管理干部、领导干部等学习,也可供大专院校电力系统专业的师生作为教材。

(京)新登字 158 号

电力发展战略与规划
沈根才 著

清华大学出版社出版
北京 清华园

通县宏飞印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行

开本: 850× 1168 1/32 印张: 4 字数: 104 千字

1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷

印数: 0001—2500

ISBN 7-302-01104-4/TM · 14

定价: 5.20 元

目 录

前言

第一章 电力发展战略与规划概论	1
第一节 电力工业的基本任务	1
第二节 电力工业的主要形态——电力系统	2
第三节 电力系统——一个不断发展的有机整体	3
第四节 三种计划(战略、战役、战斗)	4
第五节 电力规划与计划的实际情况	4
第六节 电力发展战略规划的内容	6
第七节 电力系统设计的内容	11
第八节 电力长期发展战略规划与电力系统设计 之间的关系	16
第二章 负荷预测	18
第一节 电力负荷预测的意义	18
第二节 电力负荷预测的内容	18
第三节 现行预测方法的效果	18
第四节 电力负荷预测的条件	20
第五节 电力负荷预测的基本理论	20
第六节 国民经济的发展规律	21
第七节 按比例发展规律的运用	22
第八节 中、近期电力负荷预测	22
第九节 远景电力负荷预测	25
第十节 预测电力负荷应注意之点	31
第十一节 电力负荷预测中的规律性现象	33
第三章 动力资源开发	35
第一节 世界各国的主要能源	35

第二节	能源与电力弹性系数	37
第三节	动力资源的开发	40
第四节	我国动力资源的开发	42
第四章	电源开发	44
第一节	电源开发的前提条件	44
第二节	发电总容量安排	44
第三节	电厂分工	46
第四节	水电开发	50
第五节	火电开发	59
第六节	核电开发	68
第五章	电网开发	71
第一节	电网的意义	71
第二节	电网发展的历史过程	71
第三节	电网发展的一般规律	72
第四节	基本条件(战略条件)分析 ——调查研究法	75
第五节	基本功能分析——屏围法	80
第六节	基本形态分析——点线平衡法	81
第七节	弹性分析(动态分析)	100
第八节	限制性因素分析	100
第九节	经济计算与可靠性分析	101
第六章	城市电网发展与农村电气化	102
第一节	城乡电网概说	102
第二节	负荷密度与负荷分布图	102
第三节	城市环网	106
第四节	高负荷密度与占地问题	108
第五节	城市电厂	109
第六节	中性点接地方式	109
第七节	农电的发展	110
第八节	农电独立小网	110
	主要参考文献	112

前 言

本书是根据作者在清华大学电机系及西安交通大学为研究生、本科生讲授《电力发展战略与规划》的提纲整理修改而成。因为是提纲,所以只简要地将所要讲的内容标示出来,具体详解和举例则在讲课时另行补充。如要全部详述,需要很长时日,而且必然篇幅庞大,其主要脉络反而看不清楚,倒不如刊出提纲,供广大电力系统工作者参阅,以取得更广泛的批评和指教,然后再加以修改充实,更为妥当。

40年来,我国的电力工业有了很大的发展,发电设备从1949年全国只有185万kW,增加到目前的1.3亿kW,从居全世界电业的第25位上升到第4位;我国的主要电力系统装机容量从十几万或几十万千瓦发展到2000万kW左右。这期间,我们做了很多工作,碰了很多钉子,也遇到了很多问题,有过很多争论。总结起来,其中一个较大的问题,是对“电力系统”的认识问题,一是看得不远,二是看得不全面。很多具体建设工程项目中出现的问题和争论,深入分析一下,都可以看出其原因还在于对“电力系统”的认识不同。全国曾经普遍出现的建电厂而不相应地建设足够的送、变电设施,建送、变电设施而不考虑相应的无功补偿设备和调压设备以及通信和自动控制设备,其原因就在于胸无全网。当电力系统发展到一个新的阶段,需要作出一些重大决策时,如果不从长远和全面加以考虑,就不可避免地会出现众说纷纭,举棋不定。如核电站的建设,抽水蓄能电站的建设,500kV送电电压的采用,都曾经出现长期争论。至于黑山峡水电站、三峡水电站的建设,争论了三十多年,长期未能决策。至于文化大革命期间,由于各省220kV电网普

遍发仍展,却又得不到全面规划,以致形成系统薄弱,结构紊乱,十年间出现 200 多次稳定破坏和电压崩溃事故,造成巨大损失,则更是对电力系统缺乏完整认识的结果。

一般来说,电力系统的发展需要长远规划或系统设计。1952 年底,面临第一个五年计划建设的开始,为了解决京津唐电网面临的一些系统问题(包括电网电压等级的确定和中性点接地方式的确定),我们开始了电网的总体计划,并于 1954 年聘请了苏联专家贝可夫,给我们讲授了电力系统设计的方法,在 1954~1955 两年间,全面开展了电力系统设计和动力系统设计工作。当时系统设计的内容包括电力系统潮流计算,各种系统接线方案的技术经济比较(最后据以确定最优方案),继电保护原则的订定,等等。经过三年实践,我们深深感到系统设计方法尽管算得很细,但不能正确解决电力系统发展中的一些重大问题。它不仅内容上没有对电压等级选择和中性点接地方式的选择进行充分的论证,而且在它所采用的方法上也存在严重的缺点。它所作的计算不仅看得不远,并且看得很死。它只以五年计划的第五年(当时为 1957 年)作为水平年,以水平年的最优方案作为推荐方案,水平年前的几年只是勉强凑合,水平年后的情况又不予考虑。事实上,每项发、送、变电工程投产后,都要使用二三十年,只考虑它投产当时的或二、三年内的经济合理,而不考虑它以后十多年或二十多年是否合理,则未必是真正的经济合理。计算电力潮流时,其决定因素是电源与负荷,前者受动力资源开发条件的影响,后者受国民经济发展的影响,在进行系统设计时,对动力资源开发条件与国民经济发展规律及其趋势都不作深入的调查研究,只凭上级计委或电业管理局提供数字,便据以进行潮流和技术经济比较的计算,结果,往往因为这两个大前提的变化,以致所作的计算和所提的方案面目全非。例如:预计京津唐在 1957 年出现的负荷突然提前在 1956 年 9 月出现,不仅使当时大缺电,并且由于过多地安排了现有电厂扩建,不开建新

点,因而缺乏备用厂址,临时想增装机组都无处可装。又如:对电力系统的新建送电线,虽然逐条经过潮流计算和电压降计算,但只是作为一条一条的线段参与到电力系统接线方案中去计算,而不是先从电源的总布局 and 用电的总趋势来分析出电力系统结构的基本形态,区分出各线段的主次地位,结果,在负荷和电源出现变化时,原来所作的种种计算完全与后来的实际情况不符。比如,在计算京津唐 110kV 系统接线时,下官京线是按下花园电厂到官厅送 1 万 kW,官厅水电站到北京送 4 万 kW,电压降保持 10% 计算线号的,下官段用 LGJ-90,官京段用 LGJ-120。但是,在线路建成后不久,便发现有时电力送到北京,还需继续送到天津转唐山到承德,因而使承德地区电压降低至 85kV;有时又需由北京反送电力至下花园转张家口,下官段线号又显得太细。

为了改正系统设计方法这种看得太近、太死的毛病,从 1956 年开始,决心寻找一种能从战略上规划电力系统发展的方法。我们一方面继续注意研究国外关于电力系统规划和电力系统设计方面的实际经验,一方面则从实际出发,本着实事求是的原则,从不断总结电力系统发展规律中寻求系统规划和系统设计的方法。

60 年代以后,电子计算机的广泛使用,使国外电力系统设计的方法有所改进:第一,他们延长了设计年限,由 5 年延长到 10 年、15 年;第二,为了及时考虑未来负荷预测的变化,他们采用了滚动计划,即每一年或两年重做一次系统设计,不断进行修改;第三,考虑了大量不同的方案,并按折现原理计算逐年的投入和产出,按照数理经济的原理建立数学模型,采用优化排序的方法求出最优方案;第四,有些系统设计最后还作可靠性计算,要求推荐方案必须满足可靠性准则的要求。这些方法比之 50 年代的电力系统设计方法有很大的进步,在负荷及电源比较确定的条件下,这样的方法还是有效的。

但是,这些优化排序的方法,仍然是制订战役性计划的方法。

其考虑问题的思路仍然是从元件到系统,从局部到整体,未能考虑深入调查动力资源开发条件和国民经济发展规律及其大的趋向这两个带有战略性的最基本的因素,因而仍然未能解决由于这些大前提变化带来的影响,仍然不能进行战略分析。有的系统设计(有时国外也称之为发展规划)或者不进行可靠性计算,或者在可靠性计算时只算了计划建设的发电容量所能达到的 LOLP(电力不足概率),却没有进行整个电力系统的调相调压计算和稳定计算,因而所推荐的电力系统接线方案往往存在着明显的结构不合理问题。在优化排序计算中,有时也进行敏感性分析,考察某些可变因素对计划方案的影响(敏感度),但终究不能提供明确的战略方针和战略布局原则。

70年代以后,特别是石油危机之后,石油大大涨价,使资本主义世界的经济发展速度大幅度下降,更暴露出上述方法所存在的问题。美国西屋公司系统部的工程师在1978年就曾经介绍过,他们的计算方法算不了政治(指石油危机)。由于石油危机,美国的电力负荷停止上涨几年,致使上千万千瓦的核电设备退货。他们还有一条经验是:由于经济条件变化,往往次佳方案变成最佳。这期间,系统工程学的应用正在普及,很多人着手采用系统工程的方法来处理电力系统规划或系统设计问题,普遍认为电力系统是个复杂的大系统。1978年召开的国际电网计算会议(PSCC)上,在电源规划小组讨论中,认为电源规划是个复杂的系统问题,运用分解法(decomposition technique)和线性多目标的规划方法较有前途,并提出今后研究目标是综合考虑送电系统与电源规划的规划方法。当年召开的国际大电网会议(CIGRE)上,系统规划专题组(31组)的专题报告也提出:“在研究系统规划中有一个论题变得重要起来。……很明显要得到高度的准确是不现实的,这是因为不可能预测高度准确的负荷增长,甚至发电的可能数字也不能可靠地预计。在这样的情况下,似乎宜于采用一种大概的估计进行规划,允许将

来的某些变化。在这方面,对现在实际的做法的一般讨论和对这个实际做法的可能的修改,表明是有益的”。他们将《对整个输电系统的战略规划以保证在未来不定局面下相适应的灵活性》作为一个选择题目,认为“这个题目是第31组文件中登载的最中心的著作,大量的论文都接触到这个题目。讨论这一点一般地涉及到规划并且希望不要使这个问题局限于纯技术性的内容。规划经常是在现有知识范围内编制出来的,但是大的发输电设计发展的时间范围是如此之长以致存在很大的不肯定性。在这些情况下应规定和采用宽广的发展目标。在规定这个目标的时候,要尽可能多地考虑一些因素,甚至要保持一种灵活性以适应必然会发生的某些变化。概括地说,完全满意地去满足这些需要似乎是不可能的。但是有许多技术因素特别在某些方面要强行决定。这些必须认识而且要全部纳入方案”。他们也提出了:“当进行系统规划时,努力识别那些很容易被看出来的不同系统类型的特征是有用的”。总之,我们在1956年已经体察到的问题,他们这时也察觉了。但是,从上述引文很费解并且思路不清可以看出,对这个问题的实质他们还不很清楚,还分不清战略计划与战役计划二者的区别。由于大系统工程至今还只是一个正在开发的学科,还不很成熟,当时所设想的用分解法和线性多目标规划方法来解决电力系统发展战略规划问题,至今又经十几年了,也一直未能真正解决,未能在理论上提供一套对整个电力系统进行长远规划的办法。不过,在现实生活中,各国对电力系统的发展都做过一些规划,有的且取得了显著的成绩,如20年代苏联的《全俄电气化计划》,50年代日本的四次《电力现代化计划》,60年代英国的《275千伏系统升压400千伏规划》,但是,他们都没有从理论上加以提炼,总结出一套方法,写出一本教科书。我国也进行过长远规划,也是在1954年,贝可夫专家在教给我们电力系统设计方法的同时,组织了以燃料工业部为主的五个部,编写了《1953~1967年十五年全国电气化规划》。只可惜当时未曾

公开,参与的人很少,事后也未曾注意吸收他的编制方法加以总结并继续进行下去。

没有现成的书本可以学习,只有从总结电力系统发展的宏观规律入手,从学习毛泽东同志在处理革命战争问题所运用的战略分析方法入手,来探求解决电力系统发展战略规划问题的战略分析方法。我们一面运用,一面总结。三十多年来,我们运用战略分析方法处理过一些电力系统的规划,也处理过 1986~2015 年全国电力发展规划,认为是有效的。过去处理过的一些方案,经过 20 年后回头检查,大体上还是正确的。这里所谓的战略分析,就是分析战略条件,探求战略规律,据以提出战略方案。毛泽东同志说,这种战略问题,“是要用心去想一想才行的。因为这种全局性的东西,眼睛看不见,只能用心思去想一想才能懂得,不用心思去想,就不会懂得。”

在进行战略分析时,我们认为应该首先明确五个观点(也是系统论常说的五个观点),即:

1. 电力系统是一个整体

电力系统包括发、送、变、配、用电以及相应的调相、调压、调度通信、自动控制、保护等等设备,是一个整体。研究系统发展,应从整体到局部,从系统的要求到元件的规划。

2. 电力系统是有机体,不断发展生长

研究系统发展,要看到它是不断发展中的一个阶段,不同阶段有不同的问题;随着系统的发展,各个元件的地位、作用将不断变化。

3. 电力系统是国民经济大系统中的子系统

电力系统是国民经济大系统或能源大系统中的一个子系统,它应该具备的基本功能取决于上一级系统对它的要求。研究电力系统发展的战略,取决于三个环境条件(即战略条件)的分析,即国民经济发展的要求,动力资源开发条件,设备和技术供应条件。

4. 电力系统构成分层分区

研究系统发展,要观察它各层、各区的结构特性。哪些电厂、哪些用户应安排在哪层电网是有一定的规律可循的。

5. 电力系统的最大效益表现在整个生命周期的效益

要研究电力系统的发展,必须以能保证向所在地区的用户供给充足、可靠、合格、廉价的电力为目标。

在具体战略分析的方法方面,我们概括为六个分析、三个方法,即:

1. 基本条件分析

即战略条件分析:用调查研究法。

2. 基本功能分析

基本功能分析可用屏围法。

3. 基本形态分析

对基本形态的分析可用点线平衡法。

4. 动态分析(即弹性分析)

5. 限制性因素分析(包括环保分析)

6. 经济计算与可靠性分析

经过上述分析之后,按照“多种计算、全面分析、争取最好、准备最坏”的原则,拟订出种种规划方案,大体上都可以提出明确的战略方针和战略原则。

虽然在实际工作中我们已成功地运用上述理论与方法多年,但并未为广大的电力系统工作者所了解和掌握。为了使我国电力工业和电力系统更顺利地实现现代化的进程,为了使更多的电力工作者能够掌握这一理论和方法,并共同来探索电力系统整体的发展规律;特别是为了使在学的学生和研究生,从在校学习期间开始,就能理解电力系统这一客观存在的整体,以便在今后的工作和研究中少走弯路,在1988年下半年和1989年上半年,承清华大学电机系的邀请,特地进行了这个专题的讲座,并写出讲座提

纲。目的在于在 24 个小时内,能够大致讲明电力发展战略与规划问题。提纲大部分内容是针对在实际工作中经常存在的一些模糊认识,介绍一些理论性的意见。同时,为了帮助学生们理解,对一些基本概念和关于规划的一些基础工作也作了一些说明。现在整理成书予以出版,以供从事电力规划、设计、生产、科研等工作的技术人员、管理干部、领导干部参考,也可供大专院校电力系统专业的师生作为教材。

尽管探索这一问题已有三十余年之久,但编写成书予以出版尚属首次,限于作者水平,必然有错误和疏漏之处,希望读者批评指正。

沈根才

1990 年 4 月

第一章 电力发展战略与规划概论

第一节 电力工业的基本任务

电力工业是公用事业,其基本任务是为国民经济和人民生活提供“充足、可靠、合格、廉价”的电力。

这个基本任务也是电力发展战略与规划的战略目的。

作为公用事业,各国的电力工业都是实行以电养电的方针,不允许谋取超额利润,也不允许破产。一般资金利润率维持 8 ~ 13%,过低时调高电价,过高时调低电价。电力企业均受当地政府或有关代表人士组成的委员会的监督,调整电价也需经其批准。在第二次世界大战结束时,英、法的私营电力企业无力恢复,则由国家收归国有,由政府财政补助一个时期,然后使之自立。

我国电业,过去长期实行由国家统收统支制度,全部电费收入上交国库,电业发展建设,均由国家计委核拨基建投资。当电力供应充足时,将电力盈余用以发展其他用电行业是可以的,但如果长期缺电影响了其他用电行业的设备不能充分生产时,就不应该将电力盈余移作他用,相反,应集中其他长线的盈余来补电力这条短线,或者,仿照国外一般办法,适当调整电价。现在,广东省电力改革中,确定将电费收入全部留作电力发展基金,并适当调整电价,初步使电力发展可以“以电养电”,这是应该予以推广的。

在国民经济发展中,电力是基础之一,是不可缺少的能源,是先行工业。近几年在建设开放区时,一般投资者都要求保证充足的电力供应。电力所产生的社会效益远远大于其自身效益,一千瓦小时的电力所能产生的用户的产值,在我国,一般 30 倍于一千瓦小

时电力本身的产值,在法国电力公司,为20~80倍。因此,从整个社会来看,保证电力充足,是发展经济的一个先决条件。同时,突然停电会给用户和社会造成极大的损失和灾害,因此,电力供应必须保留一定的备用能力,以保证电力供应的可靠。

我国已经缺电20年,在议论中,有人认为已经保证了全国每年工农业总产值完成了计划任务,可以说不缺电,也就是说,国家计划数值就等于充足。这种说法是不符合实际的。事实是多年来城乡大量缺电,城郊以外的农村,夜间照明难以保证,乡镇企业用电也难以保证,不能说,这种状态是正常的。一般来说,国民经济的发展有它自身的规律,我们所定的国家计划有时能体现这一规律,有时则不能完全体现这一规律。何况,制定计划往往要留有余地,让执行者可以完成并允许有的可以超额完成,不保证某一定程度的超计划用电是不对的。

第二节 电力工业的主要形态——电力系统

公用电力企业是1882年首先在纽约和伦敦出现的。起初,用的是直流发电机以低压线向附近用户供电。1886年变压器发明后,普遍采用交流电。先是由发电厂以低压配电线向电厂附近地区供电,然后以高压线远送至城区的较远的变电站,降压后向整个城区供电。在第二个电厂、第三个电厂陆续出现之后,于是共同联接到高压电力系统。之后几十年间,渐渐地,几个大城市联接成一个地区电力系统,一个全省的电力系统,一个全国的电力系统,现在已经大量出现国与国之间的电力系统联接。

现在,西欧各国大都建成380kV国内电力系统,并互相联接。东欧与原苏联则以500kV及750kV电力系统相互联接。原苏联国内已形成一个总容量达到2.6亿kW以上的统一电力系统。美国全国也建成了500、750kV电力系统20多个,并相互联接,总容

量达 7 亿 kW。日本建成一个相互联接的 500kV 系统,英国建成一个 400kV 系统。我国也建设了七个大区电力系统。华北、东北、华中、华东四个 500kV 系统,容量为各 2000 多万千瓦,西北 330kV 系统,广东、广西 500kV 系统,云、贵、川 220kV 系统。此外,山东也建设了 500kV 系统。

总之,百年来,电力系统已成为电力工业的主要形态。发展电力工业实际上是发展电力系统,管理电力工业实际是管理电力系统。

然而,这个认识却是经过了一段较长时间才认识的。起初,人们是将发电厂和送、变电分开看,分开研究,分开管理的。在国外,有的电力企业是既管发电厂,也管送变配电(供电)和售电。但有的电力企业自己没有电厂,转售别的公司所发的电力,自己只管供电和售电,因此,他们无从研究和管理整个电力系统,当然也无法规划整个电力系统。我国电力部门也长期存在“重发轻供不管用”的毛病,也是对电力系统缺乏认识的反映。

然而电力系统越发展越大,发电机组容量越来越大,送电电压越来越高,发、送、变、配电各个环节相互影响越来越深,不对整个电力系统有所认识,有所研究,有所规划,不仅在运行中达不到最大效益,而且也难以保证安全可靠地供电。因此,60 年代以来,各国电力工作者越来越认识到发电和送、变电需要综合考虑。

第三节 电力系统——一个不断发展的有机整体

电力系统(Electric Power System or Power System)包括发电、送电、变电、配电、用电等主体设备和一系列辅助设备,它形成一个整体。辅助设备包括调相调压、继电保护、远动自动、调度通信信息等等设施。它象一个有机体一样,有骨有肉,且有神经,并在不

断成长着。

国民经济在不断发展,其所需能源也在不断发展。由于电力是经济的能源、方便的能源(便于集中,便于分散,便于输送,便于转换)、清洁的能源,因而所需的能源越来越多地以电能形式供给使用。电力工业的发展,至今还看不到它达到饱和的境界(美国有人估计,到 2250 年,全世界每人每年占有发电量 12 万 kWh 则可达饱和)。电力系统的发展,在地理疆域上有一定限制,但其容量规模也未见其止境。别的行业就不一定是这样的,如钢铁工业,一个国家(如美国、日本)的钢产量达到年产 1 亿 t 以上时,则渐趋饱和,每年多用废钢回炉。

第四节 三种计划(战略、战役、战斗)

三种计划性质不同、作用不同、编制方法也不同。

战略计划(规划)——长期(远期)——一般 15 年以上,明确发展方向与趋势,确定战略方针。

战役计划——中期——一般 5 ~ 15 年,确定一段时期中的具体布局及其实施步骤。

战斗计划——短期——年、季、月、日计划,根据当前实施条件,确定当前的生产、建设计划的具体安排,或一个工程的实施计划。

三个计划之间的关系不是几个近期相加等于远期,而是以远期指导近期,以近期落实远期并调节远期。

第五节 电力规划与计划的实际状况

在各国电力工业发展的实际过程中,有过种种发展战略规划,但理论上缺乏系统论述。也有过种种中期、短期计划的编制,讲解

其编制方法和理论方面的著作较多。

各国编制过的电力工业的远期发展战略规划有下列各例：

(1) 20 年代原苏联的《列宁全俄电气化计划》。

(2) 50 年代我国的《1953 ~ 1967 年电气化计划》；日本的四次《电力现代化计划》。

(3) 六七十年代英国的《275kV 系统升压 400kV 规划》；美国 1964 年和 1970 年两次《国家动力规划 (National Power Survey)》，意大利的《1978 ~ 1987 年电力发展规划》(这个规划时间虽短，但内容是战略性布局)。

(4) 80 年代日本于 1984 年编的《日本能源及电力供求的长期展望——向 21 世纪迈进的战略探讨》，研究了 2000 年和 2030 年日本能源和电力的发展战略问题；泰国发电局编的《1985 ~ 2001 年电力发展规划》以及我国在 1985 ~ 1987 年编的《1986 ~ 2015 年电力发展纲要》，等等。

几十年来，虽然苏、日、英、美、意等国的电力部门编制过电力长远发展战略规划，有的也取得很好的成就，但从未见到过有关电力发展战略规划的理论书籍。1976 年，美国 R. L. 沙利文著作《电力系统规划(Power System Planning)》一书，其序言中即讲到：“调查研究一下电力系统方面已经出版的教材，即可发现没有一本专门研究电力系统规划的教材”。此即说明，直到 1976 年，美国没有一本电力系统规划的教科书。沙利文的这本著作(清华大学孙绍先先生译)，共有七章，内容为：(1) 绪论，(2) 负荷预计，(3) 发电系统的可靠性分析，(4) 发电系统的成本分析，(5) 潮流分析，(6) 输电系统的可靠性分析，(7) 自动化的输电系统扩建计划。所讲的也只是系统设计(战役性计划)的几项具体的技术经济计算方法，也未讲发展战略规划问题。

电力工业的中期战役计划，有过去各国、各电力系统的五年计划，十年计划，或五年到十年的电力系统设计(注：Power System