

142868

TM1713
4431

1983年3月

电力系统规划

蒋本一 编著

中国建材工业出版社

(京)新登字177号

内 容 提 要

本书简明地阐述了有关电力系统规划的基本内容,规划的原则、方法及其在电力系统规划中的应用。该书可作为从事电力系统规划、设计、运行及科研、教学人员或从事工程经济管理人员的参考书,也可作为高等学校有关专业的教学用书。

电力系统规划

蒋本一 编著

中国建材工业出版社出版

(北京百万庄国家建材局内 邮编:100831)

北京市妙峰山印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:10.875 字数:260千字

1993年4月第一版 第一次印刷

ISBN 7-80090-181-5/TK·1 定价:12.00元

序 言

随着我国四化建设的发展,越来越重视对软科学的开发。电力系统规划是软科学重要课题之一。目前,在国内外对此课题的研究十分活跃,不仅在电力系统规划理论上,算法上有了很大的发展,而且越来越多的将有关理论及算法成功地应用到实际电力系统规划工作中,并已经获得了显著的技术经济效益和社会效益。

笔者根据多年来从事电力系统规划方面的教学和科研的实际体会和经验,参阅了有关的资料和文献编写此书。全书共分四章,分别阐述了进行电力系统规划的指导思想及原则,有关的技术经济政策,以及电力系统负荷预测,电源规划,电网规划及技术经济比较的基本方法和实例。

本书在编写过程中,得到了高级工程师周孝信、费建群以及杨以涵教授、戴克健教授周家启教授的关心和指教,并请李士琨教授审阅了全书,在此一并表示衷心地感谢。由于作者水平有限,书中难免有不妥与疏漏之外,望读者不吝批评、指正。

作者

1992.12于

北京动力经济学院

绪 论

1. 我国电力系统规划工作的起源与发展

电力工业是国民经济领域中一个非常重要的部门。它的发展速度快慢与发展水平的高低不仅对其它行业和部门产生巨大的影响,还涉及到大量的一次能源消耗和巨额投资,因此合理地进行电力系统规划可收到很大的经济效益和社会效益,反之,电力系统规划的失误,会给国家建设带来不可弥补的损失,因此电力系统规划工作在国内外受到日益广泛的重视。

我国从1953年开始由我们自己的技术人员从事规划,并逐渐建立了一套电力系统设计与规划方法,主要是进行方案的技术经济比较,决定方案的优劣。取舍方案的判据主要是用“偿还年限” T_H 。这是一种静态比较法。它是以设备、材料和人工等的经济价值固定不变为前提,认为经济价值与时间无关,其表达式为:

$$T_H = \frac{P_1 - P_2}{C_2 - C_1}$$

其中

P_1 ——第一方案的综合投资费用;

P_2 ——第二方案的综合投资费用;

C_1 ——第一方案的年运行费用;

C_2 ——第二方案的年运行费用。

偿还年限 T_H 大小的决定,是根据国民经济情况来决定的。我国规定为5~8年。

当我们在作电力系统设计与规划方案时,利用偿还年限 T_H 分别依据三种情况来取舍方案。

当计算出来的 $T = T_H$ 时,采用方案一或方案二都可以,即认为他们的条件是可视等价的;

当计算出来的 $T < T_H$ 时,说明方案一由运行费用节省下来的资金在不足 T_H 年(即5~8年)的时间内就可以补偿了方案一在综合投资方面多用的那部分资金,因此在这种情况下,则应采用投资大但年运行费用低的方案一。

当计算出来的 $T > T_H$ 时,则应采用投资小而年运行费高的方案二。

这套静态的通过技术经济比较所提供的方案的优劣情况,一般是根据设计或规划人员凭经验提出的,如对方案在技术的可靠性、运行上的灵活性及经济性等方面都只能凭经验定性地进行评价。党的十一届三中全会以后,除继续编制五年计划外,开始大力加强电力系统规划工作,1983年全面恢复了整网的设计。对解决因缺乏战略性长远规划所造成的跨区送电,水火电补偿以及大电网互联方面做了深入的专题研究。从历史来看,我们的电力系统规划工作从一开始便带有局限性,以往的工作尚不足以作为制定电力发展方针、政策的依据,不能适应设备制造、煤炭运输、大耗电行业的战略发展对电力部门提出的要求,更谈不上综合平衡,统一规划。

自80年代以来,国家及电力部门对规划工作,逐渐重视,各科研部门及高等院校与电力系统的有关单位开始开展这方面的工作。可靠性技术、系统工程以及运筹学等理论都开始在电力系统规划中得到应用,特别是电子计算技术的飞跃发展,也为电力系统规划提供了广阔的发展前景。并已陆续取得不少成果。如80年代初期大连理工大学就从系统工程的角度去研究电力系统规划中电源发展规划的一种多级模型;又如电力科学研究所、西安交通大学等单位相继分别研究出了三峡电源优化规划的数学模型及程序。

一些发达国家自70年代以来,将大批的人力物力投入到研究如可靠性技术、优化规划理论及实际在电力系统规划应用方面,在教学模型以及算法等方面都取得了很大的进展,并且开发出相当数量的商业化的规划软件包,其突出的社会效益及经济效益已得到了各国从事电力系统规划人员的极大关注和肯定。

我国也先后请美国、加拿大以及欧洲共同体的电力系统规划方面的专家、学者来我国介绍了他们的电力系统规划的方法及各自的模型,算法以及程序包等,对我国的电力系统规划工作起了一些推动作用,但他们提供的模型都有一个共同的不足之处,就是对水电考虑得十分粗糙,因为在西方,大多数水电开发已趋完善,而我国则不一样,我国相当数量的系统中的水资源比较丰富,且有待开发,水电在系统中的比重将会越来越大,因此在电源规划中,充分考虑水电的特点,发挥水电的效益,就是很重要和突出的课题了。所以在规划工作中,必须结合我国的特点,研究及开发适合我国国情的电力系统规划这一重大课题。

随着电力系统规模的不断地增大,大机组、大电厂不断出现,系统中能源类型日益多样化,输电网的主干电压也越来越高,电网之间互相联络,形成更大的电网,电力系统的结构也日趋复杂。因此在规划建立一个电厂时,就不能简单地看成仅仅是一个电厂的事,它涉及到一次能源的开发,也涉及到输电还是输煤。又如水电站的开发顺序,在系统中各电厂所处的地位也不一样,即系统大了,电厂实行分工,有带基荷的,有带腰荷的,也有带峰荷的,这就涉及到水、火、核电的配合需要通盘考虑。为了加快电力发展速度,简化电力系统结构,有些国家的电厂往往采用标准电厂、标准线号、标准变电站。这样作无论对规划、设计、安装、运行以及生产管理均可以大大简化,有明显的效益。有关电力系统规划的一系列问题,需要全面加以研究,要从整体出发,从长远发展出发来考虑整个电力系统的发展,明确其应采取的发展战略方针,才能更好的确定每一阶段的具体目标。

从全国来看,我们编制了20年的电力发展纲要,总结了我们自己几十年行之有效的经验,也总结了国外的经验,我国著名的老一辈电力专家沈根才同志,精辟地提出了六点有关电力系统规划的战略分析的指导思想、观点及步骤。

(1) 抓住战略条件,进行战略分析,即基本条件分析,它必须要建立在调查研究的基础上。决定电力系统规划及发展的战略条件共有三个,一是国民经济发展的用电需要,也就是负荷问题;二是一次能源平衡与动力资源开发条件;三是发供电设备的制造与技术供应条件。电力系统的基本功能是将一次能源转换为电能供给用户,由此就可以看出一个电力系统应该开发什么动力资源,应该采用什么发供电设备使之供给电力用户。

用电需要,作为一个战略条件是很重要的。电力负荷与国民经济的状况是密切相关的,国民经济发展快,电力负荷就增长快;国民经济发展缓慢或停滞,电力负荷也就增长缓慢或停滞不前,因此电力负荷的发展必须按国民经济发展的规律进行预测。

动力资源条件,对电力发展也起决定性影响,涉及到的领域及问题也比较多,例如石油不够,发电就不能烧油而需烧煤。烧煤又涉及到是将电厂建在用户中心而采用输煤,还是在煤矿建立坑口电站而将电能输送到用户中心,也即涉及到是输煤还是输电。如是烧煤则必须解决排灰等防止环境污染等一系列问题,另外还有水源问题。又如建立火电厂如果采用输煤方案则须考虑是铁道输煤还是水运,还是管道输煤。在确定输煤方式后要相应解决增加铁路的运输能力、港口吞吐量和新建输煤管道等问题。若决定采用管道输煤,很多技术问题又有待解决,管道输煤是属于管道输送固体物料的工程技术,其理论基础是流体力学中的两相流理论,它的技术特点是把煤磨成粒度大小不同颗粒,并按一定比例配合与适量的水配制成可以用泵输送的浆液。为了使浆液的固、液两相在流动中不致分离,必须保持合理的流速。流速过低,固体颗粒就发生沉淀,造成管道堵塞;速度过高,又会多消耗动力和增加管道磨蚀。另外在运输停止后容易堵塞以及管道输煤最后脱水的问题尚待解决。从以上分析可以看出煤的运输问题,直接影响到电源布局的决策,所以资源的开发及利用,直接影响到电力系统规划中的电源规划问题,这就不仅仅只是从减少煤运输量出发,建设大量的坑口电站,而应该综合考虑煤炭、铁路、电力的总投资和运行费用,应该根据总体经济效果作出决策。

在负荷情况、动力资源都调查分析清楚后,要落实规划的内容就决定于设备条件了。目前,我国已形成了哈尔滨、上海、以及东方三大动力机械基地,但在生产大型或超大型机组的制造水平以及一些关键部件的制造上都有待大力改进和提高。另外还应看到一种大型机组的制造及投产到使用、一种新的超高压电压等级的出现都有一个从设计、实验、研制到批量生产用到系统中来是需要一个相当长的时间的。

(2) 基本功能的分析

功能就是指的作用。一个电网的功能就是把动力资源变为电力供给用户,随着电网的扩大,它的功能也会不断变化。就必然要出现电网分工的问题,有全国主力电厂与地区电厂之分;有担任基荷、腰荷以及峰荷电厂之分。主力电厂的功能是担负全网主要供电任务,它应与主干电网联接,一般皆为大机组、大电厂。地区电厂一般应为中小型电厂,应充分利用当地的动力资源,或结合供热来建设。供热电厂效率高应尽量接近用户。在电源建设上可吸取法国、英国和前苏联的经验,对于主力电厂的建设采用3~4台同容量同型号的机组作为标准容量如 4×300 兆瓦 3×600 兆瓦的标准电厂,这样可以大大减少设计工作量,节省投资,简化生产管理,运行水平也易得到提高,另外还可以减少备品配件。除区分主力与地区电厂以外,电厂的功能还有承担基荷、腰荷及峰荷之分,对径流式水电站、核电厂以及大型高温高压中间再热机组是带基荷的;中小型火电厂,年调节或多年调节水库电站带腰荷(洪水时也可带基荷);小型火电厂、燃气轮机、抽水蓄能电站带峰荷,每日开停。明确了机组基本上是以哪种功能为主,则可定下来对这个厂或这台机组应如何联入电网就比较明确了。同样,对线路、复电站也都有各种不同的功能。

(3) 基本形态分析

所谓形态主要是指电网的结构形式,例如在大城市周围往往形成开环或闭环的受电环网,在大电源周围则形成放射形的送电网。电网结构对电网性能起到决定性作用,如果安排得好,不仅在发、送、变、供电工程本身投资省,运行可靠,且运行费用低,而且还可以大大限制短路电流,简化继电保护装置,提高系统稳定。反之,如果电网结构存在问题,

即使采用多种具体技术措施去限制短路电流、加强稳定措施,也不能根本改变,因此在安排分析电网结构时,要全面考虑这些问题。要做到分层分区,主次分明,如主力电厂应接入主干电网,不应支接一些次要供电点。

(4) 动态分析

所谓动态分析也即弹性分析,是指电网规划方案在负荷与电源等前提条件发生变动的情况下,考察方案可能出现的各种情况,也即分析一下我们布局的方案是否有足够的适应能力。做基本条件分析时,往往采用多种计算,多方案进行比较分析;在制定方案时,要应力争具备“争取最好,准备最坏”的弹性。因此要使电网规划方案切合实际,必须考察方案的适应能力。看其是否有足够的弹性,这样才能使规划的方案更切合发展的实际。

(5) 限制性因素分析

所谓限制性因素,就是指我们在实现规划方案中,会碰到一些客观存在不能改变的限制性因素,很可能要影响到规划的实施。这些问题都是对实现方案具有关键的影响,如电厂的建厂条件是否可靠;火电厂的水源问题好不好解决;又如烧煤电厂的除灰问题;在黄河建水电站,有个淤沙和泥沙磨损问题不好解决。又例如规划华东电网需要考虑长江,500千伏输电线路渡江只能有几个有限的渡口,因而北电南送是有定容量限制的。明确了限制性因素,我们可以集中力量加以解决,甚至有的问题也可设法绕过它。

(6) 可靠性与经济分析

在进行了上述五个分析之后,再来进行经济比较。按照国外一些发达国家,按照概率方法总结和制定了进行电力系统规划时的可靠性准则。在制定可靠性准则时已经考虑了经济与技术的统一,既不是一味盲目地追求可靠,也不是只考虑经济。因此在作规划时都应遵循在满足所规定的可靠性指标的前提下,选择投资及年运行费用最低的方案。

综上所述,在进行电力系统规划时,最根本和关键的一步是要深入地进行周密地调查研究,特别是对动力资源和地区工农业生产及城乡人民生活进行调查研究。在调查研究过程中,对收集大量国外种种实例及情况作为参考也很重要。在此基础上,逐步建立相应的数学模型采用相应的计算方法,特别是现在计算机已广泛地应用到规划工作中来,提供了多方案比较的有力工具,绝不能对实际情况不作深入调查研究,对发展不做科学的预测,仅仅依靠某些数学计算方法。

2. 电力系统规划的内容

电力系统规划由负荷预测、电源规划、电网规划以及运行规划等组成。

(1) 负荷预测

负荷预测是进行电力系统规划中很重要的一个环节,也是电力系统发展规划的基础。做好负荷预测的关键,是要通过调查了解,分析研究的方法获取详细的用电负荷的多少及负荷发展及需求的总的趋势或负荷的年增长率。

(2) 电源规划

电源规划是电力系统中很重要的一环。首先要考虑的问题是电力电量平衡,若没有电力电量平衡的基础数据,则规划就无依据。有了电力电量平衡才能决定装机数量。有了负荷性质,才能决定水、火电比例等。在做电源规划时,要考虑发电电源的构成,要从开发条件及需要两方面全面考虑解决。例如水电,火电以及核电分配比例如何;水火电开发次序;输煤还是输电。另外在电源的布局及开发次序上也是规划的一个重要内容。

影响电源布局的因素很多，如动力资源的分布，各地区经济发展水平、用电水平、发电技术、输电技术、交通运输、水资源、环境保护、技术经济政策等，因此电站的合理布局不单是电力部门的事情，而要从整个能源工业、交通运输，各地区经济发展综合地加以考虑。所以，对水电、火电的比较就不能仅从火电站投资相对少，建设周期相对水电站要短，就重火电、轻水电，而应该将火电加上煤矿、铁路等总投资、运行费用与水电站的投资及运行费用进行比较，作出决策。

在决定了系统中发电能源的构成，合理地选择了电厂厂址的同时，要根据系统中负荷的增长速度及负荷大小，决定装机总容量以及选择及决定最适宜的单机容量。以上这些工作都是在电源规划中要切实考虑的。

(3) 电网规划

在完成了电源规划后，即根据系统中负荷增加的大小，决定在系统中的新装机组容量后，输电容量够不够是一个重要问题，决不能因为电网的输电容量不够而使新投入的发电容量送不出去。因为1千瓦的发电容量的投资要比1千瓦的输电容量的投资要昂贵很多，因此需要进行电网规划来决定在什么时候、在什么地方，采用多高的电压等级，新架几回输电线路。同时也要使规划的电网投资及年运行费用最小。

(4) 运行规划

运行规划的目的是既要合理的、更好的利用现有的资源，同时也要使运行费用最小，且要满足安全、可靠方面的要求。规划的时间从几小时到几年。短期运行规划，主要是解决开、停机如何安排，水电如何调度。中期运行规划主要是安排检修计划以及合理调度有季节性调节的水电站。

3. 电力系统规划的目的

首先要保证对用户供电的可靠性及安全性。若电源规划不恰当，则必将不能满足用户的要求，就势必会造成对电力用户拉闸限电。因此，在电力系统规划中，很重要的一个指标就是要满足电力系统可靠性的要求，实际上满足电力系统规定的可靠性指标也即可看为定量评价一个规划方案的好坏的重要判据。在作规划时应在满足电力系统所规定的可靠性指标下，去考虑系统根据电力负荷的发展应增装多少机组，需新建几座电厂，需增设多少条线路，因此可看出规划与可靠性技术是紧密联系在一起的。

另外，在保证供电可靠的前提下，要使新建或扩建的电厂，或新投入的线路总投资及年运行费用最小，同时也要考虑到逐年投资最小，这关系到将有限的资金用在最需要的地方。

与此同时，在电力系统规划中要注意节约能源，要合理安排系统中的水、火电比例，同时还要合理解决调峰的问题。

4. 电力系统规划的方法

概括起来可分为两类，一是用数学规划的方法，即用运筹学中的线性规划、非线性规划混合整数规划、图与网络流问题以及动态规划等。它们所研究的对象是属于最优化范畴，本质上是一个求极值的问题，即求取整个规划期内投资及年运行费最小的方案。

另一类是用概率方法分析电力系统的可靠性。同时将概率可靠性和生产模拟相结合的方法来解决电力系统规划中的问题。这种方法的特点是强调在满足系统供电可靠性指标的前提下，进行电源及电网规划，即决定何时、何地装设多少台机组。在规划中仅仅决定了装

多少台机组是不够的，规划中必须体现系统中能源的合理结构，即要决定在系统中应该装设什么类型的机组，这就要用进行生产模拟这种方法来解决。

5. 电力系统规划的任务

按照规划期的长短，电力系统规划分短期、中期、以及长期规划。若按照规划所包括的范围的大小，则电力系统规划又可分为全国性规划和地区性规划。它们之间又有很密切的关系，这就是应该做到：长期规划指导近期规划，而近期规划要根据更确切的情况去修正和落实长期规划。全国性规划指导地区性规划，而地区规划根据更确切的情况去修正和落实长期规划。

长期规划是指15年以上的规划。它的任务是依照国民经济长期发展的任务和发展趋势，确定电力工业的长期发展水平、技术方向以及发电能源构成。概括地说，长期规划是制定电力工业发展的战略方针，以及实现长期方针，必须安排在10年以上期限内进行，以期按时完成任务。这些任务包括对重大问题的科学研究、重大项目的勘测、设计、制造，基本建设以及对发展新技术必须创造的条件。因此长期规划必须向中期规划提出新的任务。

中期规划的任务是确定10~15年的时间内，负荷增长趋势和分布，并结合长期规划提出战略任务，安排满足需要的最有效办法，确定大型厂、变电所和主要输电线的规模及布局。明确第一期应建项目及其装机容量、输电能力及电压等级，并向近期规划提出必须立即着手进行的科研设计及勘测工作及设备技术引进等工作。

近期规划又称短期规划，一般定为5年，它的任务是使中期规划依照实际情况具体化。由于大型工程项目和建设期已经明确，原始资料也相对详细和可靠，就可编制5年计划内逐年的电力电量平衡及选择、决定电网的具体接线和有关参数。

目 录

序言
绪论

第一章 负荷预测简介

- 一、不同规划期负荷预测的任务..... (1)
- 二、国民经济模型的预测..... (1)
- 三、电力系统负荷预测的方法简介..... (3)

第二章 电源规划

- 一、电力系统中的电源结构..... (11)
- 二、电力系统规划中的电源布局..... (14)
- 三、电源规划的可靠性计算方法..... (22)
- 四、电源规划的动态规划法..... (47)
- 五、多地区互联的LOLP计算..... (54)
- 六、紧急调度..... (64)
- 七、发电生产模拟决定装机的类型..... (66)
- 八、火主系统调峰手段分析..... (83)
- 九、发电规划的计算机计算..... (96)

第三章 电网规划

- 一、概述..... (101)
- 二、电网规划中的电压等级选择..... (102)
- 三、输电方式的选择..... (105)
- 四、电网规划的可靠性计算..... (106)
- 五、电网规划的 $n-1$ 原则..... (111)
- 六、电网规划的计算方法..... (114)

- 七、电网规划的计算机计算..... (127)
- 八、配电系统规划简介..... (129)

第四章 技术经济比较的基本方法

- 一、技术经济比较的基本原则..... (133)
- 二、资金的时间价值..... (136)
- 三、投资方案的经济比较方法..... (143)

参考文献

第一章 负荷预测简介

负荷预测是电力系统规划中一个重要内容。在一定的规划期内,电力系统的负荷水平决定了电力系统发展的规模与速度,因此电力系统规划的首要任务及基础就是负荷预测。由于电力建设周期长,投资大,涉及能源及交通运输、机组制造等,因此负荷预测对于研究许多基本技术经济问题,对于安排勘测设计、制造、基本建设等实际工作都有重大影响。预测的结果越接近实际发展情况,就越能使各项工作安排得当,从而能得到预期的效果,以避免电力发展的盲目性。否则,如果负荷预测过大,将会造成资金积压,负荷预测小了,则将会造成电力供应不足,直接影响工农业的发展。然而,对未来的预测难以得到高度的准确,这是因为人们对未来发展中的许多基本经济因素的变化尚无法准确预测。但是随着规划期的缩短,可以提高预测的准确度。从另一方面来看,由于不同规划期的规划各具有不同的任务及内容,因而它们对负荷预测的准确度也就要求不同。显然,不同规划期的负荷预测只要能满足所要求的规划期的任务就可以了。随着时间的推移,长期的目标逐渐变成短期目标,长期规划也逐渐用短期规划所具体化。长期所预测的负荷也必须随规划期缩短和规划任务的具体化而不断按照新的发展情况进行修正。

一、不同规划期负荷预测的任务

电力系统规划和国家总体国民经济发展规划相适应,分近期、中期和长期三种。近期规划期限为5年左右。中期规划期限为10~15年,即相当两、三个五年计划期限。长期规划期限一般都在15年以上。因为长期规划是战略性的,所以也可称为长期设想。

长期规划是制定电力工业发展的战略方针以及实现长期方针而应完成的重大任务。中期规划是在确定了负荷增长的趋势和分布后,着重结合长期规划所提出的战略任务,安排最有效的具体实施方案及方法。近期规划的任务,是将中期规划的内容更加具体化。

不同长短的规划期限,对负荷预测的准确度要求是不同的。过去沿用的对于短期规划预测误差不应超过 $\pm 10\%$;对中期规划预测误差要求不超过 $\pm 15\%$;对于长期规划预测误差要求不超过 $\pm 30\%$ 。在国外一些工业发达国家负荷预测的误差允许百分数是按每年1%累计,随年限的增加而增加。长期规划负荷预测误差不超过 $\pm 20\%$ 。

二、国民经济模型的预测

电力工业是国民经济的一个组成部分,所以电力工业的发展必须与国民经济的发展相适应,这种适应关系便成为电力工业规划和电力系统负荷预测的基础。因此,对规划期内国民经济发展情况的了解和分析,是需电量预测的基本依据。这种对国民经济发展情况的预测与分析,叫做国民经济模型的预测。电力负荷的需电量预测必须建立在国民经济模型

预测的基础上。尽管国民经济模型预测并不是电力规划中所能完成的，但是电力系统规划的原始资料必须来自国民经济模型预测。电力规划工作可以通过调查了解，分析研究的办法获得详细或概略的有关情况和资料，掌握这些有关国民经济模型资料的精确程度对需电量预测的准确性起决定性作用。对不同规划期的国民经济模型的资料分别介绍如下：

1.制订长期规划应取得的资料

- (1)规划期末国民经济发展目标（如总产值、总收入等数字）；
- (2)规划期内每五年（或规划期）的工业总产值及其年平均增长数（尽可能取得轻重工业分别的年平均增长数或占国民经济总产值的比重）；
- (3)人口预测资料（包括城市及农村人口的分项数字）；
- (4)每人平均收入水平（包括城市与农村的分项数字）；
- (5)国家发展经济的重大意图（如能源基地、重工业基地的布局、重大战略项目情况，对各个部门发展的要求等）。
- (6)国家关于经济管理体制的重大改革方向和政策。

2.制订中期规划应取得的资料

- (1)各类工业区的位置；
- (2)各类工业区的主要产品及产量；
- (3)城市人口及农村人口；
- (4)国民经济总产值，总收入；
- (5)城市和农村每人每年平均收入水平；
- (6)国家关于改革经济管理体制的重大措施与方针。

3.近期规划应取得的资料

- (1)大用户和新用户的用电申请；
- (2)新建企业的布局，产品种类和设计生产能力；
- (3)新建企业和改建企业的生产方式及工艺特点；
- (4)新建企业的开始基建日期、投产时间和逐年产量；
- (5)原有企业扩建及产量的自然增长情况；
- (6)各类人口的平均收入水平；
- (7)农村用电的发展情况

由于规划工作需要的资料种类繁多，往往来自不同的部门，不同的渠道，有时同样的内容要求，由于来源不同，资料会有很大的差别。有时因为提供资料的单位的主观意愿和片面性，会使资料有很大的误差。所以，在规划工作中必须对所取得的资料进行分析，校核。尤其对于近期（即短期）规划资料的分析及校核工作更为重要和繁重。一般情况下，可以从以下几个方面去校核所取得的资料的可靠程度，以便正确指导不同规划期的负荷预测工作。

(1)从农业、轻工业、重工业的比例，各部门产量的比例、投资比例，国民收入分配比例等观察分析国民经济模型是否合理。

(2)从原料来源、运输条件、销路及盈利水平分析新扩建企业的产品是否可靠、布局是否合理。

(3)从人力、物质和财政来源的保证程度，分析新建项目的进度是否可能推迟或提

前。

(4)从农业收入和生产方式上分析农业的电气装备能力,进一步估计农村用电水平是否合理。

(5)生活用电是否与居民的收入水平相适应。

(6)最后要综合分析需电量构成是否符合发展规律,需电量水平是否有动力资源的保证。

以上6种分析校核内容,对各地区的不同条件,有不同的规律,因此,各地区的历史、社会资料的统计和积累是非常重要的,规划工作的水平和经验,首先取决于这些资料的积累情况。有时国外的经济发展情况和用电情况,对我们也有重要的参考价值,尤其对于从事全国性的规划工作,国外资料已成为不可缺少的参考资料,参考国外的资料,绝不能生搬硬套,而是客观分析国外各种数据发生的条件,只有当我国也处于相似的条件时,才可能利用和参考国外相应的数据。

分析校核工作是极其繁重和复杂的,但这是负荷预测工作的关键的一步。这一步对电力系统规划工作有着极其重要的意义,也可以说是搞好电力系统规划的前提,因此这个步骤一般需要由有丰富经验和知识的专家去完成。

三、电力系统负荷预测的方法简介

电力负荷和需电量的预测可分为综合预测和按部门预测两种类型。综合负荷预测是预测全国和地区的总负荷和总需电量。按部门负荷预测是预测全国和地区的按工业、农业、交通、生活等部门的电力负荷和需电量。综合预测是利用电力工业与国民经济两者发展中的一些关系。按部门预测是利用电力工业发展与国民经济各部门发展的关系,综合各部门预测数据,可以得到地区和全国的总负荷和总用电量。

综合预测和按部门的预测,可以用不同的预测方法。在长期规划中主要是用电力弹性系数法、回归分析法、类比法以及专家估计法等。在中、短期规划中主要是用单耗法以及投入产出法。

在做负荷预测时,往往同时使用不同的预测类型和不同的预测方法,将用不同预测方法所得出的不同的预测结果相互核对、修正和补充,以期得到尽可能正确的预测结果。

负荷预测是基于电力工业与国民经济两者发展的一些关系,这样就应首先对过去历史资料进行整理和分析。主要是要对以下几个方面进行整理和分析。

(1)各行业用电量比重。

(2)负荷的增长速度及各行业增长快慢的原因。

(3)主要单位产品消耗定额及影响单位产量耗电定额的因素。

(4)大耗电、耗热用户的扩建和增产潜力是否与本地区动力资源、原料相适应,以此论证出远景耗电企业在本区的发展。

(5)农业、市政、生活等用电的标准及水平。

总的来说,不仅要收集资料 and 进行简单计算和汇总,更主要的是要对一些影响较大的企业或耗电行业进行分析,论证它们的发展与本地区国民经济的关系、动力及矿藏资源、人口等重要因素。合理的发展需要搞清部门的产品、产量的比例关系。搞清农业、轻工

业、以及重工业的比例关系以及运输配套条件等。

此外还应在电力系统内部收集和整理厂用电及线损率、系统历年负荷水平及负荷结构、历年代表日负荷曲线以及系统中主要电力用户的用电方式等。

以下简要的介绍几种电力系统负荷预测方法。

1. 电力弹性系数法

$$\text{电力弹性系数 } b = \frac{a_y}{a_x} \quad (1-1)$$

$$a_x = \sqrt[n]{\frac{G_n}{G_0}} - 1 \quad (1-2)$$

$$a_y = \sqrt[n]{\frac{A_n}{A_0}} - 1 \quad (1-3)$$

其中

a_x ——国民经济总产值；

a_y ——电力年平均增长率；

G_0 ——规划期第一年初（即前一年的年末）国民经济总产值；

G_n ——规划期几年末的国民经济总产值；

A_0 ——规划期第一年初（即前一年的年末）发电量；

A_n ——规划期几年末的需电量。

规划期末的国民经济总产值（或工农业总产值）为国民经济发展规划的目标，一般由国家最高决策部门研究后提出，是各部门规划的依据。如我国工农业总产值在2000年比1980年翻两番。预测几年后的需电量利用电力弹性系数法时，由(1-1)、(1-2)、及(1-3)式可得：

$$A_n = \left[1 + b \left(\sqrt[n]{\frac{G_n}{G_0}} - 1 \right) \right]^n \times A_0 \approx b \frac{G_n}{G_0} A_0 \quad (-4)$$

如果 $b = 1$

则

$$A_n = \frac{G_n}{G_0} A_0$$

即表示同步增长。

利用电力弹性系数法预测规划目标年的需电量，要对国民经济结构、用电构成等情况进行分析才能正确的采用电力弹性系数。我们从国外统计的各类型国家的电力资料中，分析了93个发展中国家和地区以及发达国家70年代初的电力弹性系数。尽管各国的条件不同，但只要是处于类似的经济发展阶段，它们就具有大致相似的弹性系数。例如发展中国家弹性系数大于1，而且国民收入越低的国家弹性系数越大。发达国家的弹性系数大致等于1或略小于1。

弹性系数的大小与一个国家的经济发展阶段有关，这是因为发展中国家的经济处于变动时期的原故。以农业为主的国家经济结构逐步向工业化发展。在这个过程中，单位产值能耗趋向增大。而发达国家经济结构基本稳定，结构变动不大，一些先进工艺的采用使得单位产值能耗不断下降。

在作负荷预测时，不能简单地沿用历史的统计数据，从中得出电力弹性系数。比较合理的作法是先假定电力弹性系统 $b = 1$ 作为起点来分析今后的情况，研究有那些因素影响、

使 $b > 1$ ；又是那些因素影响使 $b < 1$ 。再对这些因素作定量分析，以求得可能的弹性系数。

如果按计算的范围不同或者考虑的具体对象不一样，我们一般还将电力弹性系数分为工业电力弹性系数、农业电力弹性系数以及工农业总产值电力弹性系数。从整体上来看还有国民经济电力弹性系数，也有称之为国民生产总值电力弹性系数。

它们的表达式如下：

$$\text{工业电力弹性系数} = \frac{\text{工业用电量增长速度}}{\text{工业产值增长速度}}$$

$$\text{农业电力弹性系数} = \frac{\text{农业用电量增长速度}}{\text{农业产值增长速度}}$$

$$\text{轻工业电力弹性系数} = \frac{\text{轻工业用电量增长速度}}{\text{轻工业产值增长速度}}$$

$$\text{工农业总产值电力弹性系数} = \frac{\text{工农业用电量增长速度}}{\text{工农业生产总值增长速度}}$$

$$\text{国民经济电力弹性系数} = \frac{\text{国民经济用电量增长速度}}{\text{国民经济总产值增长速度}}$$

无论是用电量的增长速度，还是各种产值的增长速度，一般均取历史上多年平均值或平均变化趋势。只要确定了电力弹性系数数值大小及预测期国民经济或工农业的发展水平和发展速度，就可以推算出电力需要的发展速度和发展水平。一般来说，如果一个国家的生产力水平较低，工业也不够发达，科学技术水平也相对比较落后，或者一个国家正处在工业化过程的初期，则电力需求对国民总产值的弹性，以及电力需求对工业总产值的弹性均大于1。

2. 回归分析法

利用数理统计中的回归分析法进行模拟计算，大致有三种形式。一种是把用电量看成仅与时间有关的预测对象，称为时间序列回归分析，或简称外推法。第二种是利用用电量与国民经济有关指标间的关系，称为经济指标的回归分析。第三种是在模式中同时引进时间和经济指标的回归分析。常用的为时间序列回归分析。

外推技术就是使趋势曲线与历史数据达成拟合选配，并把历史数据进行某些调整，使它反映增长趋势的本身。有了趋势曲线以后，把待求的未来点，代入趋势曲线函数以内，就可算出预测值。在某些情况下，它能够给出合理的结果。因为在预测进程中人们并未企图修正数据里的随机误差，所以这样一种技术可以称为确定性的外推法，这里列出几个标准的解折函数可供人们挑选做为拟合选配用的趋势曲线，它们包括有：

(1) 直线 $Y = a + bx$

(2) 抛物线 $Y = a + bx + cx^2$

(3) S曲线 $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$

(4) 指数曲线 $Y = C \cdot e^{dx}$

在某一给定的预计里，为求得这种函数中的系数和指数，人们常应用的曲线拟合选配技术就是最小二乘法。

发达国家负荷发展按自然增长率估算，它是靠调查、统计和分析研究确定。从工程概率和数理统计的角度来分析，一般认为负荷在一定阶段按某一指数关系增长，只要定出指数增长率，就可以期望在将来的一定时间内，负荷将增长至某一数值，其关系式为：

$$L = e^{mx}$$

其中

- L ——负荷；
 m ——年负荷增长率；
 x ——年数。

m 值按概率统计确定，应根据概率分布计算出某年负荷到达 L 的概率，并根据统计学中的最小二乘法算出负荷变动的上下偏差范围。

如上所述，回归分析法是在负荷发展的历史数据中，求解一个能反应电力需求的未来发展关系式，它要求预测对象本身及相关的发展比较稳定。由于未来发展中经济现象之间的关系复杂，因此，利用回归分析有一定的局限性。对历史数据要做筛选分析，从中找出与电力发展具有稳定关系的规律。

3. 类比法

不同的国家，不同的地区或迟或早地都要经过某些阶段的经济发 展，一些国家未来发展水平相当于工业比较发达的另一些国家已经历的某一阶段水平。在考虑到国与国之间、地区与地区之间的经济体制、经济结构、资源、生产、消费、生活习惯及用电构成等差异，我们就可以借鉴别国或国内经济发达地区的发展情况，进行分析对比，从而预测出本国或本地区的需电量。一般要进行下列几个方面的对比：

- (1) 国内生产总值、工业生产、一次能源消费和电力消费平均年增长率。
- (2) 国民生产总值中各类经济活动的比重。
- (3) 年发电量的构成及每年新增容量。
- (4) 发电容量的构成及每年新增容量。
- (5) 国民平均用电量，用电构成。
- (6) 发电能源占一次能源消费比重，发电能源构成。
- (7) 电力工业投资在国内生产总值和其它门类投资中所占比重。
- (8) 主要工农业产品产量。
- (9) 燃料产量及进出口量。
- (10) 供电煤耗及厂用电率、线损率。

一般是取同等的时间段内，几个国家的情况进行对比，观察演变的过程，找出具有共性的东西。结合我国的实际情况，运用共性规律，就可以对我们目标年的负荷水平有一预测。

4. 专家估算法

这种方法是利用本部门熟练专家提出的预测估计作为基础，经过电子计算机处理判断后得出最终结果。它可以用讨论、填表等多种形式，事先编制一个专门的问题表，然后按问题表提出各预测对象的发展估计。各个问题之间用代表专家们观点的意见作为联系和反馈信息。最后由电子计算机进行协调和判断。得出答案的数学期望值包含了每个专家对规划问题熟练程度的因素。难免有片面性，可信度受到限制，只能作为一种咨询方法。

5. 用电单耗法

工业用电量可以根据各种工业的产品、产量和各种单位产品耗电定额直接计算。用单位产值耗电量或单位产品耗电量来计算工农业部门用电水平。用每人平均生活用电量来计

算城乡居民生活用电。

$$\text{工业用电量 } E = \Sigma A \cdot q \quad (1-5)$$

其中

A ——某种工作产品产量(或产值)；

q ——单位耗电定额。

可对现有产品单耗进行整理、分析，然后加以修正，如下式所示

$$q = \frac{\text{生产某种产品消耗的电量总和}}{\text{合格产品的数量}} \quad (1-6)$$

得出年用电量后就可以根据各类用户最大负荷利用小时数及用户同时率，求出各类用户最大负荷 L ，即

$$L = \frac{\text{年用电量}}{\text{最大负荷年利用小时数}} \times \text{用户同时率} \quad (1-7)$$

各类用户同时率的大小与电力用户的多少、各用户的用电特点等有关，一般应根据实际统计资料确定。当无实际统计资料时，可以参考表 1-1。

表 1-1 各类用户同时率

用 户 种 类	同 时 率	用 户 种 类	同 时 率
一班制生产	0.94~0.95	塑料纤维联合工业	1.00
二班制生产	0.95~0.97	水泥工业	0.98~1.00
三班制生产	0.97~0.98	日常生活用电	0.92~1.00
煤炭工业	0.95	农业用电	0.90~0.97
有色金属工业	0.97~0.98	电力牵引	1.00
化学工业	0.98~1.00		

各类用户的单位耗电定额及年利用小时数可参考各地区编制的电力系统手册。

上述最大负荷是各行业或系统需电的最大负荷，没有包括电网的损失及厂用电的损失，因此，还应选用电力系统厂用电率和线损率，加上这两部分损失才是发电负荷。

线损率包括输电线路上的电力损失和变压器损失两部分，通常以供电负荷的百分数表示，一般占5-10%。线损率的大小，与电源分布、用户类别和接线方式有关。在计算远景线路损失时，一般不详细计算，主要是参照现有系统线路损失资料和经验数据结合远景情况分析确定。

厂用电率以厂用电占本厂发电负荷的百分数表示，一般发电厂厂用率如下：

热电厂 12%；

凝汽式火电厂 8~10%；

水电厂 0.1~0.3%；

小型凝汽式火电厂 5~6%；

影响电力系统厂用电率的主要因素是水火电厂的比重。水电厂的比重越大，则系统的厂用率越小；另外一个因素是设备的电气化、自动化程度，设备的电气化、自动化程度越高，系统厂用电率就越大。系统厂用电率可根据系统具体条件选定，如有资料，也可用加