

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高等学校教材



电力系统最优规划

DIANLIXITONG ZHUIYOU GUIHUA

侯煦光 等

华中理工大学出版社

165



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

内 容 提 要

电力系统最优规划是应用系统工程思想和近代优化技术及计算机技术的新的电力系统规划方法。和常规规划方法比较,具有较大的优点,现已成为国内外在这方面的一个热门课题。但目前国内外还没有一本系统全面阐述电力系统最优规划的书籍。本书对电力系统最优规划各个领域作了系统的阐述。本书的内容包括,电力系统最优规划的一般问题,系统分析和数学规划简述,电力系统规划的经济分析,负荷预测,电源规划,无功补偿规划,网络规划和联网规划。本书可作为电力系统有关专业的选修课教材、研究生教材,也可供电力系统工作者学习参考。

电力系统最优规划

侯煦光等

责任编辑 李德

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.75 字数: 251 000

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数: 1—1 500

ISBN 7-5609-0573-0/TM·38

定价: 2.86元

著者的话

应用优化技术和计算机技术作电力系统规划,是目前世界上的一个热门课题。在我国也有不少高等学校和研究单位在进行开发研究,电力部门和电力设计单位也表现有兴趣,还从国外引进或派人到国外去学习或参加有关的程序开发与应用。这些事实说明:这种电力系统规划方法,也就是所谓的电力系统最优规划已经引起了人们的兴趣。其原因是它具有很多优点,主要的有:第一,它应用系统工程思想和现代优化技术,能够找出真正的电力系统整体最优的发展方案;第二,它是一种自动规划方法,充分利用了计算机快速计算的特点,能迅速反映实际规划中各种价格、指标、情况的变化,能有效地扭转电力系统规划设计落后于建设要求的被动局面;第三,在最优规划中引入了一些先进的技术和新的概念,如可靠性分析、敏感度分析、资金的时间价值、优化技术和整体优化等等。所有这些使得电力系统最优规划和常规方法比较起来具有较大的优势。在目前,电力系统最优规划仍处于探索和实践改进阶段,而且大多数研究者的主要精力是用于单项规划模型程序的研究,如电源规划、网络规划、无功补偿规划、联网规划和负荷预测等。这其中有一些已进入实用阶段,但都还不能说已经很完善。

面临电力系统规划设计中的这种革命性变化,电力系统工作者应当认真学习和推广应用这种新的概念和新的方法,以使我国的电力系统规划设计工作达到一个新的水平。但是目前国内还缺少对电力系统最优规划作全面系统阐述的书籍。拟写本书的目的,就是为了弥补这个空缺,以满足广大电力系统工作者及有关专业的研究生和高年级大学生在这个领域中学习研究应用的需要,以期能起到在电力系统最优规划领域中引路的作用,并为以后的研究和应用打下良好的基础。

本书的拟写着重于对电力系统最优规划的有关问题作理论上的系统概括和阐述。在拟写中除了参阅和利用国内外有关文献资料外,也比较多地应用了作者们的研究成果和实践。对国内外的优化模型及作者们的研究作了系统的整理和阐述。对于具体的模型程序,由于还没有一个公认的比较完善的模型,加上篇幅的限制,所以只介绍了各种模型的基本思想和基本作法。

本书的第一章、第三章、第六章、第七章由侯煦光教授拟写;第二章及§7-4由熊信良副教授拟写;第四章由张步涵讲师拟写;第五章及第九章由胡能正副教授拟写;第八章及§9-3由周勤慧副教授拟写;吴跃武讲师拟写了§6-9并对全书作了技术性的整理;侯煦光教授任主编,负责全书的内容安排、取舍和协调,并对全书进行审核。

拟写电力系统最优规划是一项新的尝试。由于水平有限,部分地也由于资料不足,不妥之处,敬希读者和专家们指正。

1989年3月

目 录

第一章 绪论

§1-1 电力系统规划的基本任务	(1)
§1-2 电力系统最优规划	(2)
§1-3 电力系统最优规划模型概述	(3)
§1-4 本书内容安排的考虑	(5)
参考文献	(5)

第二章 系统分析和数学规划简述

§2-1 系统分析的基本概念	(6)
§2-2 线性规划	(10)
§2-3 整数规划	(12)
§2-4 非线性规划	(13)
§2-5 动态规划	(20)
§2-6 规划问题的分解与协调解法	(22)
参考文献	(24)

第三章 电力系统规划方案的经济计算和比较

§3-1 概述	(25)
§3-2 资金的时间因素	(26)
§3-3 电力系统规划方案的可比条件	(27)
§3-4 电力系统规划经济比较的基本方法	(29)
§3-5 各种方法的分析评价	(32)
§3-6 重置残值和投资分摊	(33)
参考文献	(36)

第四章 电力系统负荷预测

§4-1 概述	(38)
§4-2 电力负荷的分类与特性指标	(39)
§4-3 电力负荷预测的基本途径	(42)
§4-4 电力负荷预测的基本方法综述	(43)
§4-5 电力负荷的回归预测技术	(45)
§4-6 电力负荷的时间序列预测技术	(52)
参考文献	(60)

第五章 发电系统可靠性及停电损失

§5-1 概述	(61)
§5-2 发电容量概率模型和负荷模型	(61)
§5-3 发电系统可靠性指标估算	(62)
§5-4 发电系统的检修计划	(65)

§5-5 编制发电系统扩展规划·····	(67)
§5-6 有效负荷法·····	(69)
§5-7 停电损失及其估算·····	(72)
参考文献·····	(74)
第六章 电力系统有功电源最优规划	
§6-1 概述·····	(75)
§6-2 电力系统有功电源规划模型的一般形式·····	(76)
§6-3 电源规划模型的费用计算和约束条件·····	(78)
§6-4 确定型电力系统运行模拟·····	(81)
§6-5 电源规划线性模型·····	(88)
§6-6 电源规划线性混合整数规划模型·····	(90)
§6-7 电源规划动态模型·····	(92)
§6-8 逐年优化电源规划模型·····	(96)
§6-9 电源规划的随机模型和随机生产模拟·····	(97)
§6-10 国外电源规划模型评价·····	(102)
参考文献·····	(106)
第七章 电力系统无功补偿最优规划	
§7-1 概述·····	(108)
§7-2 电力系统的无功补偿·····	(108)
§7-3 电力系统无功补偿最优规划模型的一般论述·····	(110)
§7-4 电力系统无功补偿线性规划模型·····	(112)
§7-5 无功补偿最优规划综合模型·····	(118)
参考文献·····	(122)
第八章 输电网络最优扩展规划	
§8-1 输电网络扩展规划的基本知识·····	(124)
§8-2 直流潮流模型·····	(128)
§8-3 输电网络长期扩展规划的可靠性约束·····	(129)
§8-4 利用线性规划作输电网络扩展规划·····	(132)
§8-5 灵敏度分析方法及其在输电规划中的应用·····	(135)
§8-6 混合整数线性规划模型·····	(141)
§8-7 输电网络长期扩展规划模型·····	(144)
参考文献·····	(147)
第九章 电力系统联网规划	
§9-1 概述·····	(150)
§9-2 互联发电系统可靠性分析·····	(151)
§9-3 电力系统间交流联络线的规划模型·····	(154)
§9-4 电力系统联网规划模型·····	(157)
参考文献·····	(165)

第一章 绪 论

§1-1 电力系统规划的基本任务

随着国民经济的增长，电力系统也不断发展。由于电力系统是一个有机的整体，任何较大电厂或高压输电线路的投入，都将在不同程度上影响系统的运行和今后的发展。加上这些项目的施工建设期长，运行寿命长，例如水电站施工期可达10年以上，运行寿命可达50年。因此，对电力系统的发展建设必须要有较长远的考虑、整体的观念和发展的眼光。这就要求有经过深思熟虑的长远规划，即系统今后发展的战略决策。在我国引起电力系统发展的基本因素是电力负荷的增长，因此就需要建设新的电源、线路和其他配套设施以及采取与之相应的技术措施。电力系统规划的任务不是对这些建设项目作具体的设计，而是从国民经济整体、地区和环境整体、电力系统整体出发，在规划期的整个时间系列上来研究为了满足负荷增长需求和适应技术的发展，应该建设哪些项目、规模多大、各项目的参数、它们的建设投入顺序，以及某些重大的技术措施等。它考虑研究的是整个系统在规划期内的战略决策。具体来说电力系统规划的基本任务大致可以归纳为：

- (1) 分析影响系统负荷增长的各种因素，预测规划期内各年的电力负荷和它们的特性；
- (2) 根据系统所在区域的发展情况，地理、政治、经济特点以及某些建设项目的影响和有关部门的指示，确定规划应考虑的范围和规划期限；
- (3) 根据负荷预测结果，考虑燃料供应情况，提出规划期内合理的电源建设方案；
- (4) 根据系统的无功平衡，提出无功补偿规划；
- (5) 根据负荷发展和电源布局，提出系统主网的合理建设方案；
- (6) 根据本系统和相邻系统的电源、负荷、能源等情况，研究系统间互联的效益和联网的必要性，以及联络输电线路的初步规划；
- (7) 根据上面各项计算结果，提出系统燃料需要量和某些必须提出的材料设备需要，以及交通设施的需求；
- (8) 对系统作某些必要的计算，提出保证可靠性和供电质量的重大措施；
- (9) 提出需要进一步研究和解决的问题。

在这些基本任务中，最主要的是负荷预测、电源规划和电网规划。由于各个系统具体情况不同，基本任务和重点也可以有些差别。

过去系统规划是以手工计算为基础的，其基本步骤大致可以归纳如下：

- (1) 明确任务；
- (2) 收集资料、调查研究；
- (3) 确定规划期内各年负荷及其特性；
- (4) 拟定若干个可行的电源和电网建设方案；

- (5) 对各方案进行分析计算和技术经济比较;
- (6) 进行综合分析评价, 选出经济合理方案;
- (7) 根据选定方案最后提出规划期内各年的过渡方案。

当系统不大而且规划期不太长时, 凭规划人员的才智和经验, 采用手工计算作方案比较, 可以找到合理的系统发展方案。当系统较大且规划期较长时, 每年负荷增长可达几十万千瓦, 规划期内待选电源数目可达10几个或者更多一些, 超高压变电所数目可多达几十个。这样, 可能的建设方案组合就非常之多, 加上还要考虑逐年的建设方案, 那么可能的方案数目就太多了。单凭以手工为基础的方案比较方法, 很难找出真正的最优方案, 而且计算工作量也非常之大。所以, 应用传统的电力系统规划方法, 很难适应系统发展的需要。

近年来, 由于优化技术的发展和计算机的广泛应用, 从60年代起人们开始研究如何将它们用于电力系统规划, 现在已引起各国电力工作者的注意, 出现了各种各样的电力系统规划模型和设想。这种采用近代优化技术和计算机的电力系统规划, 我们称之为电力系统最优规划。这些规划模型有的是考虑作系统整体规划的, 但大多数是作局部规划: 如负荷预测、有功电源规划、无功补偿规划、网络规划和系统间联网规划等。其中有些模型已经达到实用阶段, 再加上潮流计算、稳定计算、短路计算等的应用, 使得电力系统规划设计工作正出现革命性的变化。这些新技术在我国的推广应用, 将为改变我国电力系统规划落后于系统发展实际需要的被动局面, 节约电力系统建设资金等方面作出贡献。

§1-2 电力系统最优规划

电力系统最优规划大致可以表述为: 根据系统工程思想, 利用现代优化技术和计算机技术, 寻求符合各种约束条件的系统整体最优方案, 以满足系统负荷增长的需要。这里所讲的整体一方面是指系统整体, 同时也是考虑整个规划期整体。要寻求整体最优发展方案, 由于可行的方案太多, 甚至多达上万个, 用传统的手工计算比较方法是不可能的, 必须应用现代优化技术和计算机快速计算能力。所以最优规划也是一种自动规划。但是这并不是说可以替代规划人员, 它只是一种方法或一种工具, 帮助规划人员寻求最佳的发展方案。

电力系统是一个大规模的复杂系统, 从自动规划的角度看, 有如下一些特点:

(1) 存在大量离散的决策变量: 因系统发展而要新增发电机, 其容量是按一台一台考虑的, 增建的线路是一条一条的, 这些都是离散的整数变量, 这就限制了一些寻优方法的应用;

(2) 存在很多非线性关系: 如负荷曲线、火电输出特性、水电特性、潮流方程等等都是非线性的; 这增加了寻优的难度;

(3) 存在随机变量: 如负荷增长变化、发电机和线路停运率、水电站的来水等, 在规划中应该考虑;

(4) 存在一些不确定因素: 如未来的各种价格、负荷增长率、贴现率等都不是肯定的数值, 可能有变异, 这些都应在发展规划中考虑;

(5) 系统的发展是动态的: 系统各年各月的情况在不断发展变化, 所有可行的方案都应当考虑和满足规划期的这种变化, 这样就急剧地增加了可行方案的数目和计算工作量。因为相同的建设项目但是不同的建设先后顺序和年限, 也会构成了众多的不同方案。这样就增加

了对计算机内存和机时的需要。

(6) 变量太多规模太大：在长期发展规划模型中，待建电厂可多达几十个，待建线路几十条，变量数可达上千个，约束条件也可能成百上千，这样就增加对计算机内存和速度的要求，增加了求解的困难。

这些特点的存在，增加了电力系统最优规划的难度，而最优规划的优越性又使人们产生巨大的兴趣。这些优点中主要的是它可以求得整体上的最优发展方案和计算速度。随着国民经济的发展，电力系统的规模不断增大，每年负荷增长的绝对值可达几十万甚至上百万千瓦。为了保证用电需要，国家需投入大量资金。对这些投资能节约一个较小的百分数，其绝对值都是相当大的。应用最优规划所得出的整体最优方案和用传统方法得出的方案相比较，这种节约是不难得到的。所以从经济的角度看，开发最优规划程序软件是很有价值的。另一方面，国民经济发展计划和市场物价等经常变化，往往使得系统规划和新情况不相适应，需要重新作出规划。用传统方法很难适应这种变化，因为作一次规划要花费好几个月甚至一年的时间，有时甚至是规划刚作好情况又变了，这样往往使得电力系统规划落后于实际工作需要。应用最优规划软件，对于某些数据变化很容易得出新的结果，只要改一些数据由计算机重算一遍就出来了。这对于改变规划工作落后于设计施工的状况是十分有效的，由此而给国民经济带来的益处也十分明显。所以，电力系统最优规划的推广与应用是非常有意义的。

§ 1-3 电力系统最优规划模型概述

近20年来，出现了各式各样的最优规划模型。这里讲的模型是指分析计算的框图和计算机程序。尽管各个模型对问题的考虑、处理以及优化方法等有很大差别，但在总的格局上是相类似的，其原理框图如图1-1。图中最左方是规划所需要的各种资料、数据，其中包括现

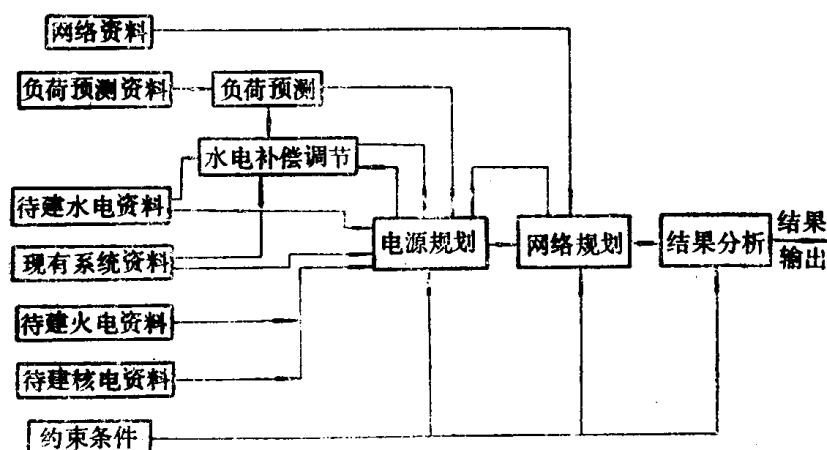


图1-1 电力系统最优规划框图

有系统的各种资料，待建电站的各种资料如厂址、容量、机组单机容量、机组特性、燃料来源及其数量和价格，水文数据，现有和待建网络的有关资料，各种技术经济指标，各种需用的参数，各种经济数据，各种约束条件等等。要得到这些数据需要作很多前期工作：其中包括厂址选择、电站的装机容量和各种参数的论证，水电补偿调节计算，网络规划所需一些参数的论证和路径的大致了解等等。从可能性上来说，其中有些也可由自动规划模型来实现，

但是由于很多具体问题需要考虑,所以实际上还是由各专业人员提供系统规划所需的各种数据资料。

未来负荷的增长是作系统发展规划的基本依据,其大小和特性是由负荷预测子模型来完成的。水电补偿调节子模型是一个水电优化调度模型,它按不同的水电站组合,根据水文情况和系统情况,输出各水电站参与系统运行所需的各种数据。电源规划子模型的功能是寻求系统最优电源发展规划方案,网络规划子模型是寻求与电源规划方案相应的网络最优规划。这两部分是密切相关、互相影响的。得出了上述最优规划后,对结果进行分析。分析内容由规划人员确定,一般包括各种不确定因素分析以及某些约束条件的校验等。最后将规划结果打印输出。

电力系统最优规划模型中的各个子模型都是相当复杂的,这些将在本书的以后章节中加以叙述。由于电力系统规划过于庞大复杂,目前一般都着重致力于单独使用的子模型的研究,取得了较大的进展。也有少数人进行了整体模型的研究,但至今还没有一个可以实用的整体规划模型,甚至能将电源规划与真正的网络最优规划相结合的模型也难以实现。总的说来,不管是总体模型还是单项模型都还处于探索或实践改进阶段。目前已提出了各种各样的模型,它们在方法上或对某些问题的处理上有较大的差别。归纳起来大致有如下几个方面:

(1) 在变量上有的采用连续变量,有的采用离散变量。采用连续变量在数学处理和求解上比较方便,但有些不符合实际情况,因为这个原因有的人采用了离散变量;

(2) 在优化方法上比较多的模型采用线性规划、整数规划和动态规划,极少数人采用非线性规划和其他优化方法。采用线性规划求解比较方便,规模可大一些,但要将实际上的非线性问题线性化,因而带来一些误差,以及将连续变量求解后化归整数带来一些误差,这便是采用线性模型的代价。而采用整数规划和动态规划其解题规模又受到限制。对于它们之间的利弊得失,各个模型有不同的考虑;

(3) 对随机变量的处理方面:一部分模型是确定型的,即对一些随机量的处理和传统规划方法一样用确定型的数据来描述。另一些模型考虑了随机量。但是目前绝大多数模型只考虑了发电机组停运的随机性,少数的也考虑了负荷变化的随机性,极个别的同时考虑了水电的随机性,但其优化方法并不尽如人意;

(4) 在考虑动态优化方面:比较多的发展规划模型采用在规划期整个时间序列上优化的动态规划方法,^C另一部分为了使问题简化采用逐年优化的静态方法;

(5) 在考虑规划期长短方面:一部分模型属于长期规划模型,考虑的年限为10年以上,另一部分模型属于中期规划模型,考虑期限为5—10年。中期模型由于时间短计算量小,一些预测数据也比较准确,所以对一些问题的考虑比较细,计算精度也可要求高些。对于长期规划由于一些预测数据很难说有多大精度,时间长计算量也大,所以一般不宜过分追求很高的精度。

至于各个模型具体如何处理,限于篇幅很难一一叙述,有些资料也不很充分,而且大都不算很成熟。在以后的章节中就将就部分有代表性的模型作简要的介绍和评论。

上面所述情况说明两个问题:一是对各种问题的处理和分析计算还没有一致公认的办法;二是说明大家正在积极探索之中,正处于百花齐放的局面。美国、德国、法国、比利时、意大利、巴西、加拿大、瑞士、南斯拉夫等等一些国家都投入了人力。其中美国研究探索最为广泛,除了美国能源协会、电力系统研究所以外,很多公司也提出了他们自己的模型,如G.E.公司、西屋公司等。在中国从80年代起首先在一些高等学校开始研究,提出了一些规

划模型,有的并作了实用计算。现在一些研究、设计单位也发生了兴趣。这说明对最优规划的探索和实践正在逐步开展。

总观目前世界上包括我国在内所提出的单项或综合电力系统规划模型,没有任何一个模型没有弱点,对电力系统规划中的很多问题,都作了一些简化或理想化的处理。这样,不可避免地要带来一定的误差或失真。但这用不着大惊小怪,传统规划方法也要作简化处理,而且在优化方法上更加简单片面。所以问题不在于是否作了简化,而是这些简化或理想化是否影响优化的结论,是否可以接受。因此,在选择或研究开发最优规划程序时,必须对各个模型中对各种问题是如何处理的要有所了解,结合系统具体情况认真分析研究,看这种模型是否适用于我们所要研究的对象和任务。有的人想到既然是优化模型、既然是用计算机,就希望什么都考虑得很详尽,一些设计阶段的计算校核任务都要求在规划中考虑进去。实际上这是很难办到的。所以规划人员必须根据当前世界技术水平和本部门计算机能力来考虑问题,提出可行的合理要求。要求一个模型能解决所有问题,往往会使人们失望。要解决好这些问题,需要学习、研究。作者希望本书以后的各个章节能对读者有所帮助。

§1-4 本书内容安排的考虑

电力系统最优规划问题在我国已引起了各方面的兴趣。由于这是项新技术,大家了解甚少。目前世界上还没有一本阐述这个领域各方面问题的专著,使得一些想在这个领域进行学习、研究和应用的人缺乏引路的向导。我们写这本书的目的就是想在这方面尽点力,为我国电力系统规划设计工作现代化作一点贡献。最优规划是一个新课题,为了便于学习,对某些与电力系统规划密切相关的基本知识,如系统工程思想、优化技术、可靠性分析、经济分析等,本书结合系统规划问题作了简要介绍。在绪论中对电力系统最优规划问题作了全面的叙述,在以后各章中分别对负荷预测、有功电源规划、无功补偿规划、网络规划、联网规划等作了比较系统的阐述。对各种问题的处理方法及具有代表性的规划模型,其中包括作者们在这些方面进行研究和实践的最新成果,作了简明的介绍并进行了分析评论。

参 考 文 献

- 1 水电部.电力系统设计技术规程.北京:水电出版社,1987.
- 2 华中工学院,华中电管局.电力系统最优规划译文集.武汉:华中电管局,1983.
- 3 沙利文R L.电力系统规划.孙绍先译.北京:水电出版社,1984.
- 4 Jamouille E. Electric Power System Planning — Overview and Economic Notes for Lecture at Arab School on Science and Technology,1980.
- 5 Sasson A M, Merrill H K. Some Applications of Optimization Techniques to Power System Problems. Proc. of the IEEE, 1974, 62(7).
- 6 Sawey M, Ronald G. A Mathematical Model for Long-range Expansion Planning of Generation and Transmission in Electric Utility Systems. IEEE, PAS, 1977(2).
- 7 Maban Munasingphe. A New Approach to Power System Planning. IEEE, PAS, 1980(3).

第二章 系统分析和数学规划简述

§ 2-1 系统分析的基本概念

一、概述

系统分析为应用系统工程研究事物提供了综合系统的科学依据。

系统工程是上世纪后半期出现新的工程技术，在1960年前后开始形成体系。1969年，阿波罗载人登月计划的成功，被认为是在系统工程方面的一个杰出成就。此后，人们对系统工程的兴趣日益浓厚。系统工程的应用已由传统的工程领域扩大到工业、农业、交通运输、能源等部门的规划、布局、管理等以及城市建设、水利资源利用、环境生态系统、国民经济发展规划等社会经济领域。在这些方面，系统工程一般都是用于解决复杂而又困难的问题。

电力系统是一个规模庞大、结构复杂的系统，其规划问题就是一个复杂而又困难的问题。在系统中有水电、火电和核电等多种能源形式。其输变电发展必须协调，发电、供电建设和最佳运行方式也要协调。而这种复杂电力系统的规划设计需要几十种专业相互配合，需要综合考虑各地区的自然地理、工业布局、能源条件、环境保护以及人口的状态和分布等复杂因素，然后作出最合理的规划和设计布局。这样庞大的系统，如果仅从一个专业技术角度去解决最优化，则不一定能使得电力系统总体的技术经济效果达到合理和最优。因此，如何协调解决电力系统规划的最优化？这就要应用系统分析。

当前，在社会主义建设进程中，迫切需要从社会主义建设的整体出发，全面规划，统筹安排，力求用有限的资金和先进的技术，兴建和发展电力系统。毫无疑问，积极开展系统工程在电力系统中的推广应用，具有十分重要的意义。

二、系统和电力系统

1. 系统

系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素构成的集合体，各要素之间存在着一定的联系，能适应环境变化并经常保持其功能。具体地说，系统是由人、设备与过程有秩序地组合起来去实现统一的目标，其功能是接受信息、能量和物质并根据时间程序产生新的信息、能量和物质。

电力系统也是一个系统，而且是一个极其复杂的系统。它是由生产、输送、分配、消耗电能的发电机、变压器、电力线路、各种用电设备联系在一起组成的统一整体。电力系统的每一个组成部分都具有一定的功能，例如发电机生产电能，将机械能转化为电能；变压器和电力线路输送、分配电能；电动机、电炉、电灯等用电设备消耗电能，将电能转化为机械能、热能和光能等。电力系统各个组成部分之间存在着密切联系与相互作用。电力系统的特点是电能不能储存，生产、供给、消耗同时发生。在任何瞬间，电力系统的任一部分的变化与故障都会影响其它部分。例如，发电机出了故障不能发电就影响用户用电，大用户停止生产时电厂有发电能力也不能发电。

电力系统的规划、设计、制造、安装、运行的全过程也是一个整体。因为规划是系统的战略布局,规划的好坏直接影响系统的设计和运行,也影响整个系统的可靠性和经济性。同样,系统的具体设计、安装,也将对系统运行的经济性和可靠性产生重大影响。

综上所述,系统具有如下的特点:(1)集合性。系统是由两个或两个以上的元素按照一定规律组成的整体;(2)相关性。系统的各个元素不仅都为完成某种任务而存在,而且其中任一元素变化也会影响其它元素;(3)目的性。系统都具有一定的目的性,为此,系统都具有一定的功能;(4)适应性。任何一个系统都存在于一定的物质环境中,必须适应外部环境的变化。在分析研究系统的时候,环境往往起着重要的作用,必须予以重视。

2. 系统工程

系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。系统工程是以系统为对象的一门跨学科的边缘学科。它是根据总体协调的需要,把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等从横的方面有效地组织起来应用于人类实践中,是应用现代数学和电子计算机等工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制等功能进行分析研究,而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标,是为更加合理地研制和运用系统而采取的各种组织管理技术的总称。

系统工程是研究系统的跨行业方法性学科,在研究和处理问题时要遵循下述原则:

(1)研究方法上的整体化。把研究对象看作一个系统整体,同时把研究过程也看作一个整体。系统工程要求人们看问题首先从整体着眼,从全局到局部,并从整体与部分的相互依赖、相互结合、相互制约的关系中了解系统的运动规律。例如,若干个发电厂通过输电网络联合成电力系统。电力系统是一个有机的整体,发电、输电和用电任何一个环节的变化都将对系统整体产生影响。因此,必须要有全局观点,局部要服从整体。除了空间上的整体化外,还要考虑时间上的整体化。一方面把系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的整个工作过程作为一个整体,全面地考虑和改善整个工作过程;另一方面也要从时间整体上来研究系统建设方案的优化。

(2)技术应用上的综合化。任何系统都具有多方面的属性,涉及到多方面的因素。所谓综合化就是要把这些属性、因素综合起来加以分析研究,从系统总的目标出发,将各种科学技术协调配合、综合运用。例如电力系统规划不仅要考虑系统建设中的各种问题,而且也要考虑将来的运行、对用户供电可靠性和供电质量的影响,还要考虑电厂、网络建设对国民经济发展、生态环境的影响等等,在专业上不仅要有电方面的专门知识,而且还应综合运用水文、水力、热力、运输、计算机、优化技术等方面的知识。

(3)管理科学化。任何复杂的大规模工程往往有两个并行的过程,一个是工程技术过程,一个是对工程技术的控制过程。后一个过程包括规划、组织、控制工程进度,对各种方案进行分析、比较和决策,评价选定方案的技术经济效果等,统称之为管理。管理工作对促进科学技术的发展,提高效率和合理利用资源等有着十分重要的意义。只有科学的管理,才能充分发挥技术的效能。

三、系统分析

系统分析是系统工程的核心部分,其研究对象是系统。在系统中存在着许多矛盾的和不确定的因素。对于这样的系统要进行规划和设计,对系统的有关重大问题进行决策,其关键步骤就是系统分析。

1. 系统分析的基本概念

系统分析，是一个有目的有步骤的探索和分析过程。也就是说，为了给决策者提供直接判断和决策最优系统方案所需要的信息和资料，使用科学的分析方法和工具，对系统的目的、功能、环境、费用、效益等进行充分的调查研究，并收集、分析和处理有关的资料和数据，据此建立若干替代方案（或可行方案）和必要的模型，进行仿真试验，把试验、分析、计算的各种结果同早先制订的计划进行比较和评价，最后整理成完整、正确与可行的综合资料，作为决策者选择最优系统方案的主要依据。

系统分析不同于一般的技术经济分析，它必须从系统的整体最优出发，采用各种分析方法和工具，对系统进行定性的和定量的分析。它不仅需要分析技术经济方面的有关问题，而且还要分析包括政策方面、组织体制方面、信息方面、物流等各方面的问題。

系统分析的方法主要是最优化方法。系统分析的工具主要借助于电子计算机，通过它来完成系统分析所需要的大量信息的收集、处理、分析、汇总、传递和存储等任务，为系统分析服务。

2. 系统分析的原则

任何系统都是由很多因素组成，既受到外部环境的影响，又受到内部各因素之间的制约，范围广泛，错综复杂。因此，在系统分析时必须处理好各种因素的关系，为此要遵循一定的原则。

（1）外部条件和内部条件相结合。构成一个系统，不仅受到内部因素的影响，而且也受到外部条件的制约。例如设计一个电厂，作为系统，不仅受到电厂本身的各种因素的制约，如生产类型、生产环节、物流和信息等，而且还受到外部自然环境系统、协作系统、运输系统以及职工的生活福利系统等条件的影响。因此，在设计一个系统时必须把内部、外部各种有关因素结合起来综合分析。

（2）当前利益和长远利益相结合。选择一个良好的方案，不但要从目前利益出发，而且还要考虑到将来的利益。如果采用的方案，对目前和将来都有利，这当然是最理想和完美的。但是往往碰到对目前不利而对长远有利的方案，有时是可取的。对那种一时有利、长远不利的方案，最好不要选用。

（3）局部利益和整体利益相结合。一个系统由许多子系统组成。如果每个子系统的效益都是好的，加起来总系统也是好的。这固然好，但在实际上往往难以做到。在许多情况下，一个系统中有些子系统从局部看是经济的，但从全局看是不经济的，显然这种方案是不可取的。在有些情况下，从局部子系统看是不经济的，但从全局整个系统看是较好的，那么这个方案是可取的。因此从系统整体效益最佳进行分析才是合理的。

（4）定量分析和定性分析相结合。定量分析是指用数量指标分析，能用数量表示。定性分析是指那些不能用数量表示的指标，如噪声、环境污染对人体健康的影响等，对这些因素只能根据经验统计分析和主观判断来解决。系统分析要求对系统作定量分析，但是不能完全避免定性分析。因此，需要把定量分析与定性分析很好地结合起来，综合全面考虑与系统有关的定量因素和定性因素。

3. 系统分析的基本要素

系统分析的基本要素是目的、可行方案、模型、费用、效果和评价标准。它们在系统分析中的作用说明如下：

（1）目的。目的是决策的出发点。对系统进行分析时，首先必须明确所要分析的目的

和目标,同时要搞清楚分析对象的构成、范围和功能等,这样才有助于分析问题的本质。确定目的时,还应考虑到达此目的的手段。

(2) 可行方案。一般情况下,为了实现某一目的可采取各种手段,这些手段在系统分析中称为可行方案,又因为它们之间彼此可以替换故又称为替换方案。系统分析要尽量列举各种可行方案,并对它们进行分析和计算。

(3) 费用。所谓费用可以理解成为达到系统目的而必须承担的牺牲。这就是说,为了实现系统的目的,必须运用人力、物力、材料、设备等资源,还有时间因素。

(4) 效果。所谓效果就是系统目的达到程度,也就是实现该目的所取得的成果。衡量效果的尺度有效益和有效性两种指标。效益是用货币尺度来评价达到目的程度,而有效性是用货币尺度以外的指标来评价的。效益有直接效益和间接效益两种。在系统分析时应当考虑间接效益,当然衡量这类效益是比较困难的。

(5) 模型。为了查看系统目的与手段的因果关系,费用与效果的相互关系可以建立模型进行分析。模型是制定良好决策的基础。所谓模型是对系统某一个方面本质属性的描述。它可将复杂的问题简化为易于处理的形式,同时在决策制定出来以前可以用比较方便的形式预测出实现系统目的的程度。

(6) 评价标准。衡量可行方案的优劣指标就是评价标准。通过评价标准对各种方案进行综合评价,确定出各个方案的优劣顺序。费用和效果的比较可作为评价各个方案的基本手段。

4. 系统分析的步骤

(1) 系统的目的分析和确定。在系统分析正式开始前,为模型化收集资料,分析和确定对象系统的目的和目标,分析和定义系统需要的功能,以这些数据作出概略模型,进行仿真,据此研讨系统成功的可能性,借以得到模型化所需要的概略技术条件。

(2) 系统模型化。系统模型化在系统分析过程中比较重要,工作量也较大。所谓模型,就是把实体系统的各个要素,通过适当的筛选,用一定的表现规则所描述出来的简明的映像。也就是说,模型是由实体系统变换而成的映像。所谓模型化,就是用适当的数学方程、图像甚至是物理的形式通过说明系统的构成和行为来表达系统实体的一种科学方法。因为实体很难做试验,或者不可能做试验,即使对实体可以进行试验,使用模型也可比实体更容易理解。模型比实体易于操作,改变模型中的参量而了解实体的本质和规律更为经济与方便,尤其通过敏感度分析更容易掌握那些对系统有影响的参数。

模型具有下述三个特征:1°实体的抽象或模仿;2°由那些与分析问题有关的主要因素所构成;3°集中表明这些主要因素之间的关系。

对系统模型的要求:1°现实性,即在一定程度上能够确切反应和符合系统客观实际情况;2°简洁性,在现实性的基础上尽量使模型简单明了,以节省模型建立时间和运算时间;3°适应性,随着具体条件的变化,要求模型具有一定的适应能力。上述对模型所提出的要求中,存在着一些相互矛盾的因素。如果所建立的模型过于复杂,能满足现实性要求,但是模型的建立和求解相当困难而且费时,同时也影响模型的适应性的要求。为此,必须根据具体情况而定,一般要求是力求达到现实性,在此基础上做到简洁性,最后尽可能满足适应性的要求。

系统模型化的步骤:1°分析系统模型的使用目的和要求,并确定系统的功能;2°根据目的要求,从时间和空间等观点来明确系统和环境等方面边界条件;3°建立粗模型;4°根据模

型的使用目的，将系统分成若干个子系统，并分别建立各子系统模型；5°建立衔接与关联部分模型；6°归纳并建立系统总体的细模型；7°通过仿真等手段进行检验，若发现问题再重复进行上述各步骤，直至满意为止。

(3) 系统最优化。系统最优化是通过模型进行的。最优化的目的是用最优化的理论和方法，对所作的模型进行最优化求解。系统最优化之前，首先必须根据最优化问题的性质，选用最合适的理论和方法，这是非常重要的一个环节。例如对一些确定型的问题（确定型模型），也就是有关数据、相互关系和各种条件都是确定性的问题，可以用线性规划、非线性规划、动态规划等理论和方法来进行最优化。对于一些非确定型的问题（概率模型），也就是有关问题的某些条件不能确定，只掌握其随机规律或者根本不掌握其随机规律的问题，可以应用马尔柯夫过程论、排队论、对策论等方法来进行优化。对于最大流量、最短路径、最小费用等可用图象（网络）模型来求解的有关问题，可以应用图论和网络理论等来进行最优化。有关线性规划、非线性规划、动态规划等最优化方法将在下面叙述，其余内容限于篇幅就不介绍了。

(4) 系统的评价。根据最优化得到系统模型的一些解，利用系统分析方法，考虑前提条件、假定条件和约束条件，在经验和知识的基础上确定最优解。

综上所述，系统分析的步骤如图2-1所示。

由图2-1看出，如果由系统最优化获得解通过评价不合要求，就可检查是否是所采用的最优化理论和方法不合适？是否是系统模型化有问题？是否是系统的目的分析和确定有漏洞？经过修改再次优化和评价，直至获得满意的最优解为止。

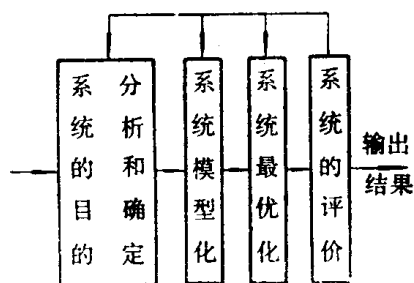


图2-1 系统分析的基本步骤

§ 2-2 线性规划

一、概述

人们在做任何一件事，不论是分析问题，还是解决问题、作出决定，都要用一种标准衡量一下是否满意，或者说是否达到了最优。在这种分析和解决工程问题的过程中，人们总希望采取各种措施，以便在有限的资源或规定的约束条件下得到最满意的效果。做电力系统规划工作更是如此。为此，应用最优化技术可以帮助我们较快地选择最好方法，或找出最佳的电力系统规划方案。

用最优化理论和方法解实际问题，一般可按下述步骤进行：

(1) 建立模型。首先提出问题，明确目标，确定变量是什么？约束条件是什么？从而写出目标函数和约束方程；

(2) 分析模型。根据模型，选择合适的求解方法；

(3) 编制程序。先画出框图，再编制程序，然后用计算机求最优解；

(4) 结果评价。对模型、算法和优化结果进行分析评价。

这里仅就在电力系统规划中常用的一些优化理论和方法加以介绍，例如线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划以及规划问题的分解与协调解法等。

二、线性规划的数学形式

线性规划是数学规划中研究较早、应用较广、比较成熟的一个重要分支。它所研究的问