

运筹学应用案例集

胡运权 主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本案例集汇集了 16 个案例的实际研究成果而编写成的。本书比较详细地叙述了如何分析实际问题及构造运筹学中线性规划、整数规划、目标规划、动态规划、排队论、存储论、预测、投入产出和层次分析等模型的技巧。

本书可作高等院校经济类、管理类专业及应用数学专业本科生和研究生的教学参考书，也可作各类管理干部学院以及厂矿企业、经济管理干部的干部及工程技术人员学习运筹学的辅助教材。

运 筹 学 应 用 案 例 集

胡运权 主编

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本：787×1092 1/16 印张：10 1/4 字数：260 千字

1988 年 7 月第 1 版 1988 年 7 月第 1 次印刷

印数：00001—15000 定价：2.55 元

ISBN 7-302-00201-0/F·11

July 26/26

前 言

运筹学是经济和管理工作的重要决策工具。一般认为，应用运筹学来解决实际问题，要经历以下六个步骤：（1）提出和构造问题；（2）建立数学模型；（3）对模型求解；（4）检验模型及导出的解；（5）确立对解的控制；（6）组织实施。但现有的运筹学书籍中，往往局限于对各类模型的简单介绍及算法和原理的叙述，对如何应用运筹学来解决实际问题，对如何透过复杂的现象来提出和构造问题，建立数学模型等很少讲述。从教学和科研实践中，我们感到，要真正掌握运筹学的方法来解决实际问题，除了掌握基本的原理和方法外，需要一定的经验和技巧。而通过阅读和消化案例，正是获得这种经验和技巧的一条重要途径。因此，我们决定编写这本案例集，并以此作为运筹学教学内容的重要补充。

本案集的内容涉及了线性规划、整数规划、目标规划、动态规划、排队论、存储论、预测、投入产出、层次分析等模型的应用，主要是哈尔滨工业大学管理学院师生近年来从事运筹学应用研究的成果论文。这些论文都是结合实际研究工作写成的，其中有的成果曾通过国家级的鉴定，不少成果得到了实际部门的较高评价。案例中还包括一篇哈尔滨工业大学应用数学系师生的论文，及选译的四篇国外文献。编入本案集的文章（包括一部分公开发表过的）都重新作了加工修改，并由胡运权主编、审阅。

限于编者水平，加上时间紧迫，对本案例集中存在的缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

编 者

1987.4.

目 录

我国 1986—2005 年能源系统结构的优化与展望	孙旭飞 杨正国	(1)
线性规划方法在制定炼油厂最优生产计划中的应用	王默航 胡运权	(20)
北方林区汽车修理网的布局规划	姚德民 敖文仲	(30)
黑龙江省饲料加工工业系统布局的优化模型	石永清 胡运权 张庆普	(44)
食用油厂合理布局的优化模型	姚德民 王中贤	(51)
哈尔滨市城建系统投资优化模型的探讨	胡运权	(57)
铁路装车地始发直达列车取送车法数学模型的研究	庄智宜	(63)
东北地区两种煤矿发展重点的战略决策问题	李为群 叶元煦	(70)
项目选优排序问题的探讨	孙旭飞	(79)
黑龙江省交通运输客运量、客运周转量预测	胡运权 王秀强	(90)
投入产出法在纺织品市场预测中的应用	王振国	(98)
目标规划在石油钻井优化中的应用	高寿亭 冯英俊等	(109)
应用于一类质量管理问题的目标规划方法	[印度] SUKALYAN SENGUPTA 著 胡运权译	(116)
一种肉牛圈养最佳化的数学规划方法	[英] John J. Glen 著 于向伟译	(122)
独立通道同联合服务相互对比的一个案例	[美] H. A. Taha 著 胡运权译	(134)
血液库存管理的理论与实践概述	[希腊] GREGORY P. PRASTACOS 著 王秀强译	(141)

我国 1986—2005 年能源系统结构的优化与展望

孙旭飞 杨正国

能源在现代社会经济中起着举足轻重的作用，在我国尤其突出。由于能源从勘探到使用，要经过很多生产环节，周期很长。因此，对于中长期能源系统宏观规划问题的研究，既重要又很复杂。从我国实际情况出发，对我国能源系统结构进行科学地分析抽象，建立我国中长期能源系统结构规划模型体系，不仅必要，而且具有重要实用价值。这里仅介绍已经建立的中长期能源系统结构的优化模型。

一、能源系统的分析、抽象

能源系统包括能源的勘探、开采、加工、转换、运输、分配、消费、利用（环境）等结构层次。这是一个覆盖空间和时间十分广阔的社会、经济、技术大系统。对于如此庞大的系统进行详尽的模型描述，即使在今天看来是有可能，但也十分困难。对于庞大的系统进行科学地分析、简化和抽象，往往是系统分析首要而且极为关键的工作。

从我国的实际情况来看，能源资源是很丰富的，但地域分布很不均衡。现有的能源生产能力布局与现有的生产力布局很不适应，从而造成远距离的能源运输，北煤南运、西电东输已成为我国能源运输的长期格局。加之我国交通运输长期就很紧张，能源消费结构也很不合理，在能源的生产与运输、运输与消费、消费与生产之间产生了极为尖锐的矛盾。这些矛盾不仅是我国能源系统的核心问题，也构成了我国国民经济发展中的突出问题，甚至成为限制国民经济发展的“瓶颈”。

从能源的生产（转换）来看，随着煤炭生产基地北移，水电生产基地西移，开发的难度不断增加。国民经济系统创造的巨大财富，需要更多地投入用于发展能源的生产。从我国的能源投资看，其基建投资占全国基建投资和全民固定资产投资的比重呈不断上升的趋势，见表 1。同时，由于能源资源开发的自然条件和技术条件的难度不断加大，

表 1 能源基建投资占全国基建、固定资产的投资比重 (%)

时期 (年)	1953 ~1957	1958 ~1962	1963 ~1965	1963 ~1970	1971 ~1975	1976 ~1980	1981 ~1985
占基建投资	12.1	16.7	15.1	15.8	17.5	20.8	20.4
占全民固定 资产投资	11.6	15.4	12.8	12.8	13.6	15.3	13.1

能源投资的经济效益降低，吨煤投资不断上升。“六五”时期的吨煤投资约为“一五”时期的4倍，电站千瓦投资，“六五”是“四五”的2.4倍。

从能源的运输来看，可调出能源的省（市、区）数逐步减少，运距不断增加。据估计到2000年省（市、区）之间煤炭平均调运距离将超过1000公里，输电线将超过500公里。到2000年煤炭可调出省份，将由现在的黑龙江、内蒙古、河北、山西、山东、安徽、河南、贵州、陕西、新疆等十多个减为山西、内蒙古、贵州、陕西、河南等五、六个省、区。长距离的能源运输加剧了交通运输的紧张局面，能源运输量占总货运量的比重一直高达45%左右，这个比重还有上升的趋势。

从能源的消费来看，长时期内我国以煤为主，煤炭消费量占能源总消费量的70%以上，这个比例还会提高。以煤为主的能源消费特点，不仅在很大程度上决定了我国能源的生产结构、运输结构和消费结构，而且严重地制约了我国的经济结构。加之我国技术水平和管理水平都比较低，能源浪费十分严重，有效利用率低，燃料热能有效利用率仅为30%左右，而日本则为50%。从近几年的节能情况来看，我国在结构节能方面（指通过调整产业和行业结构进行节能）取得了比较显著的成绩，但在技术节能和管理节能方面还有很大潜力。据计算，“六五”时期，我国结构节能量约占总节能量的70%以上，技术节能和管理节能占不到30%。因此，今后除了继续调整结构外，应加速技术节能和管理节能，这是提高我国经济效益的一条关键途径。

综上所述，我国能源系统结构的突出环节是能源的生产、运输和消费。能源系统在国民经济系统中的运行关系可用图1-1表示

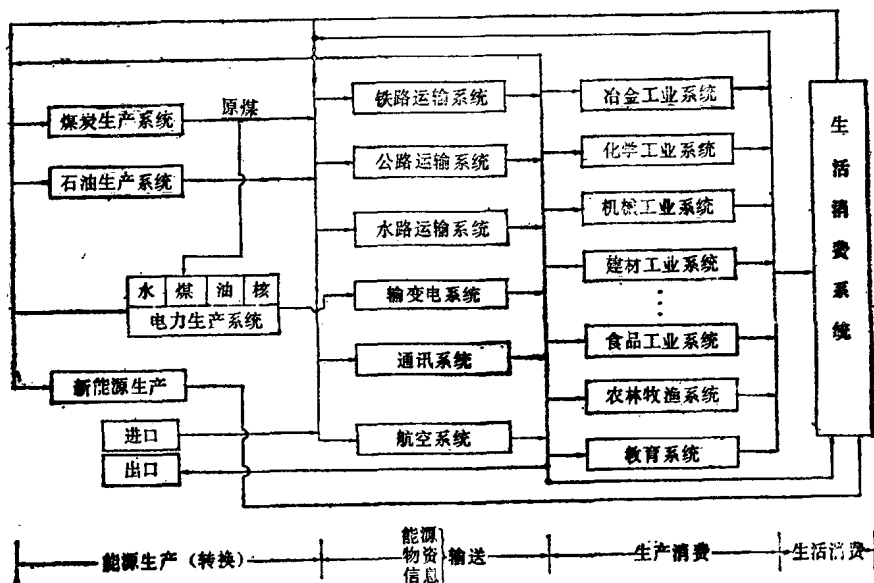


图 1-1 能源系统在国民经济系统中的运行关系简图

二、模型的建立

1. 能源的生产结构

煤炭作为我国能源的主体,其生产、运输和消费应在系统结构模型中作详细描述。根据煤炭资源的分布和我国的行政区划及地理位置来拟定煤炭的生产基地和运输起点,如把山西拟为晋北、晋中、晋南、晋东南四个点,内蒙拟为蒙东(东三盟)、蒙中、蒙西宁夏三个点。这样全国共拟为32个煤炭生产基地。我国水电资源十分丰富,在系统结构中对2005年以前,我国最大可能(技术允许)开发的每个水电站作了一一描述。关于核电站问题,根据2000年前后我国核电发展的规划方案,作为外生变量考虑。至于油的问题,基于两点分析,一是根据“油改煤”的原则,拟在1990年以前基本完成油改煤电的任务;二是油作为重要的化工原料和各种运输设备的动力燃料及重要的出口物资,所以应该用煤尽可能合理地代替油。鉴于油在我国能源系统结构中具有相当的独立性,可用另外的模型给予描述。关于农村能源及其它新能源,在系统结构模型中没有作专门描述,原因是考虑到2000年前,我国还不可能拿出过多的商品煤满足农村生活用能。农村生活用能应主要立足于农村能源的开发和有效利用,对于十分困难的地区,国家应给予尽可能地优先照顾,供给一定的商品煤。

煤炭、水电、火电、核电的生产参数,是根据有关部门的规划、设计、计划和统计资料等加工整理后确定的,其投资和生产费用等参数是经济选优的基础。

2. 能源的运输结构

能源运输考虑了输煤和输电。煤的运输方式有铁路、水路、铁水联运和干线公路。水路包括海路、江路、运河。能源运输结构的确定,是以我国现有的运输设施,输煤、输电的流向为基础,并参照有关部门的规划、设计、计划及设想方案和统计资料等多方面的原始资料,经过分析整理,拟设输煤、输电多发点到多收点的多种可能的运输路径。模型中拟设了运煤路径350多条,省级输电线路70多条,并拟设了相应的铁路、港口、水运干线、公路干线和输变电路的多种建设方案,作为运输流向、路径和建设方案优化选择的基础。在建立数学模型之前,首先必须弄清上述参数和关系,绘制能源传输网络。

3. 消费结构的确定

能源消费结构受多种因素的影响,这些因素大体可分为两类:一类是历史的惯性因素,即历史和现实经济结构、技术工艺结构、经营管理水平的延续作用;另一类是未来的可变因素,即未来经济政策、经济结构、技术工艺结构、经营管理水平的变动作用。这种变动作用主要来自两个方面:一是资源导向与制约,如地区能源资源的开发(或衰竭)、运输线路的架设(或运输困难),从而促使该地区对能源消费结构进行调整;二是市场导向与制约,由于市场的需求量或需求结构发生了变化,促使能源消费量增加或减少。

为了尽可能地反映这些因素对于能源消费结构的影响,在建立能源系统结构优化模型之前,采取了如下处理方法:

(1) 收集并整理各省(市、区)历年来农业、轻工业、重工业(不包括电力工业)、城市及农村生活用煤、用电以及相应的产值增长资料等。

(2) 选用多种数学模型,用“动态递推”的方法预测各省市区在 1985、1990、1995、2000 包括 2005 年的产值单耗指标,以及小康水平生活的用能量。

采用历史数据进行预测,是为了考虑历史惯性对未来的影响。选取不同的数学模型进行预测,是为了验证历史数据的有效性和提高预测的精度,并考虑节能因素进行筛选。采用“动态递推”的方法,是为了弥补历史(1953~1984)时间与预测时间相比还不足够长的缺陷。预测产值单耗而不是直接预测能耗总量,是为了给优化模型考虑消费结构的影响留有余地。资源导向与制约因素将通过系统结构模型的优化机制过程,影响能源消费结构。因为优化模型较详细地考虑了能源的生产、运输和消费各个环节,各个地区能源的生产条件和调入(调出)能源的可能途径以及生产和运输的经济代价等因素,通过模型的约束条件和目标函数已给予综合描述。在追求经济代价最小的目标下,显然能源生产条件好、调运方便、生产和运输建设投资少的省市区能源消费量趋于上升(即资源导向),否则,能源消费量趋于下降。对于市场导向与制约的因素,将通过国民经济的发展目标,各个省(市、区)农、轻、重工业亿元产值占用固定资产和产值成本等参数,以及宏观经济结构协调比例指标加以反映。显然,轻型结构、产值单耗低、亿元产值占用固定资产少的地区和产业,对于能源的生产和从外区调入有导向作用,消费量有上升趋势,否则,消费量就有下降倾向。这些因素的影响作用和各个省市区能源消费量在系统结构优化模型中确定的机制原理,见图 1-2 所示。

4. 系统时段的设定

由于能源、运输工程、工业布局建设周期长,工程竣工后享用年限长,工程之间在建设时间、建设规模上都有一个互相衔接配套的问题。因此,只有立足于全局和长远,才能把握我国能源系统结构的动态变化规律。在设定系统结构优化模型的时间范围时,时间间隔定为 20 年,即从 1986 年到 2005 年,其中又以每五年(同我国五年计划时期相对应)划为一个时段,分为“七五”、“八五”、“九五”、“十五”计划四个时段。在建设过程中,以前三个五年为重点,进行详细描述,对“十五”计划较粗,仅勾画出一个轮廓。关于“十五”计划的情况,由于所需资料受限,还需今后进一步深入研究。

5. 系统空间的设定

如前所述,我国的生产力布局与能源布局是很不平衡的,省(市、区)之间的能源调出(调入)量将持续增加,可调出的省、区个数不断减少,调入省、区个数在增加。

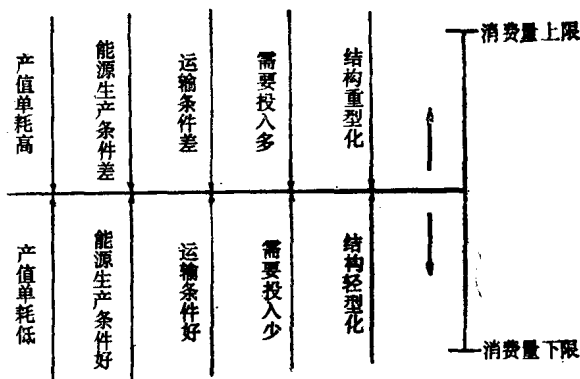


图 1-2 各种因素(参数)对能源消费结构(量)确定的影响

运输线路的大跨度架设，进一步打破了区域自产自销的格局。随着有计划商品经济的进一步发展，一方面区域内部向专业化方向发展，另一方面区域之间的横向联系不断加强。能源作为最基本的生产资料和生活资料，必然受到计划和市场的作用在全国范围内进行最优调配。因此，该模型是一个除台湾、西藏以外的全国性模型。

6. 系统模型的建立

该模型是一个涉及全国 28 个省(市、区)，研究今后 20 年(四个五年计划时期)我国能源系统结构的动态优化网络和数学模型。模型是在上述工作的基础上进行的，其建立和求解程序见图 1-3

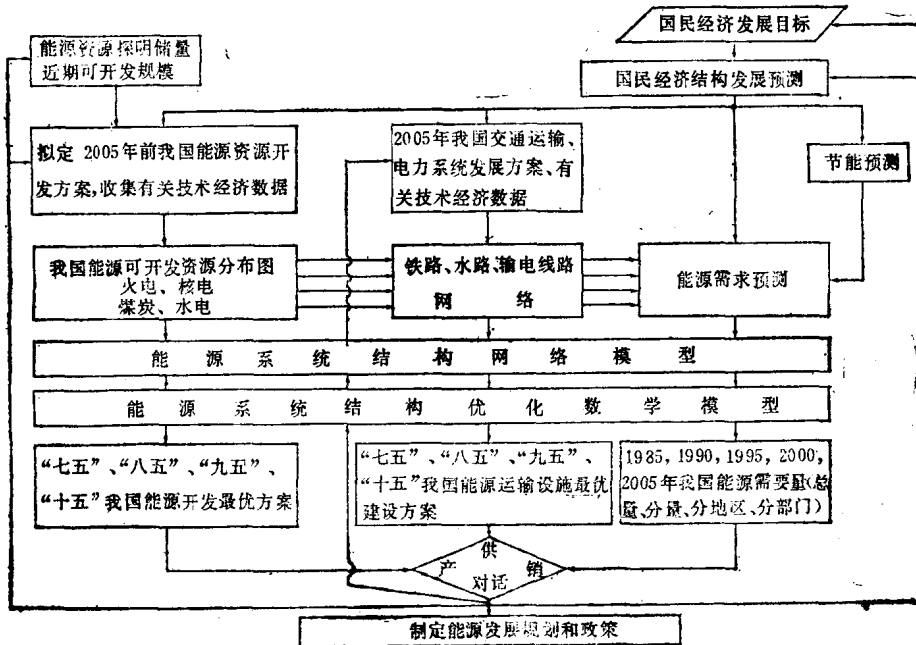


图 1-3 能源系统结构模型建立及优化求解的框图

三、系统的网络描述

资源的空间分布图、能源传输网络、能源需求参数，是绘制能源系统结构网络模型的基本的“零部件”。将这些“零部件”组装之后，得到系统结构网络模型，再根据系统网络模型，来建立系统结构优化数学模型。

限于篇幅，文中不可能把能源系统结构整个网络模型展开介绍。图 1-4 中仅画出了模型网络的结构示意图。图中对能源在省际区际间的复杂的输送关系无法详细反映出来，例如已知从河南往湖北、湖南、广东、上海、四川等省市共有 13 条调出路径；湖北有 16 条调入路径；湖南有 11 条调入路径和 1 条调出路径；江西有 16 条调入路径等。为了说明煤炭运输的网络结构，图 1-5 中列举河南省平顶山煤炭基地的煤炭调出路径图。在画出系统网络模型后，就可以比较容易地来建立数学模型。

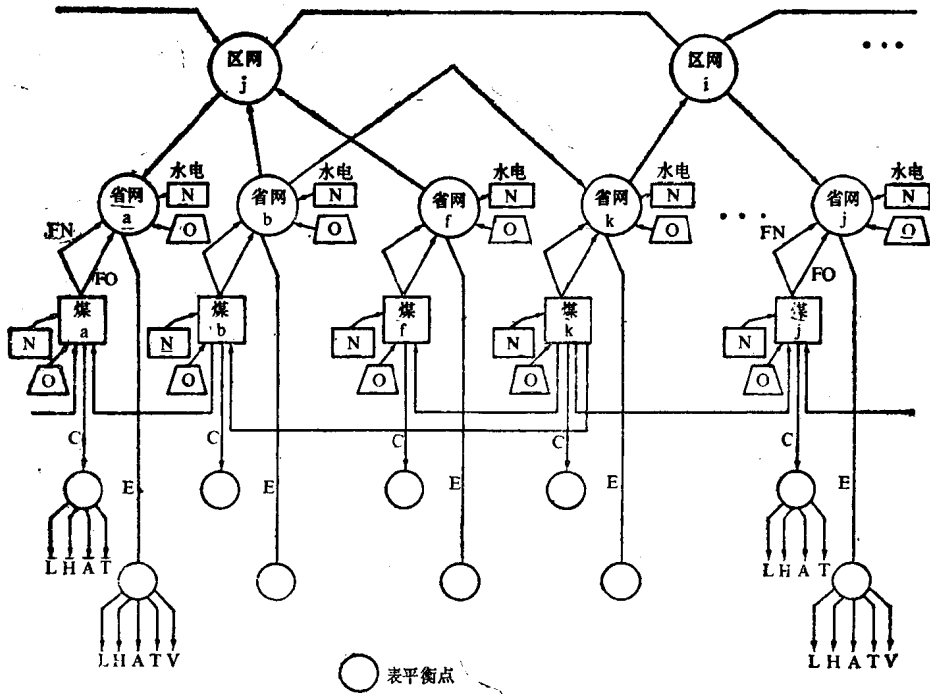


图 1-4 模型网络结构示意图

L—轻工；H—重工；A—农业；T—城镇；V—农村；C—煤炭；E—电量
 O—原有；N—新增；FN—新增煤电；FO—原有煤电

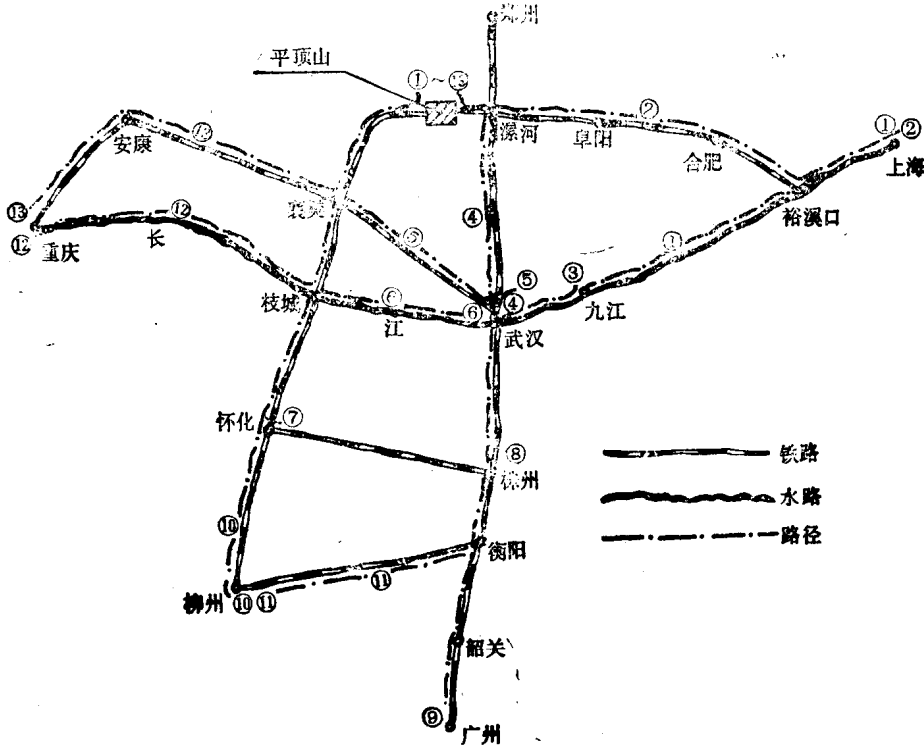


图 1-5 河南平顶山煤炭的 13 条调出路径

四、系统的数学模型

(一) 数学模型的变量设置

1. 生产变量

(1) 煤炭生产：用 $C(ij)H_\tau$ 表示各省（市、区）及主要生产基地各时期末具有的煤炭生产能力（万吨）； $C(ij)N_\tau$ 表示各省（市、区）及主要生产基地同期中新增的煤炭生产能力（万吨）。 $\tau=1,2,3,4$ 分别代表“七五”、“八五”、“九五”、“十五”时期（下同）。 $\tau=0$ 代表“六五”时期。

(2) 火电生产：用 $F(ij)H_\tau$ 、 $F(ij)N_\tau$ 分别表示各省（市、区）及火电主要生产基地“七五、八五、九五、十五”期末具有的火电发电能力和同期新增投产装机的容量（万千瓦）。

(3) 水电生产：用 $W(ijmn)H_\tau$ 、 $W(ijmn)N_\tau$ 分别表示各省（市、区）及主要水电站（5万千瓦以上）“七五、八五、九五、十五”计划期末具有的水电发电能力和同期中第 mn 号水电站实现投产的装机容量（万千瓦）。

(4) 核电生产：用 $N(ij)N_\tau$ 表示 ij 省（市、区）“七五、八五、九五、十五”计划新增核电投产的装机容量（万千瓦）。

2. 运输变量

(1) 煤炭运量：用 $C(ijmnk)T_\tau$ 表示 1990、1995、2000、2005 年由 ij 省（市、区）或煤炭基地调出煤炭，采取 T 种运输方式、经由第 k 条路径，调入 mn 省（市、区）的收点（消费重心）的量。运输方式 T 包括：铁路（ R ），海运（ S ），长江（ Y ），运河（ B ），西江（ W ），公路（ K ）。

(2) 煤炭运力：

铁路：用 $R(ij)H_\tau$ 、 $R(ij)N_{p\tau}$ 分别表示铁路 ij 区段“七五、八五、九五、十五”计划期末具有的煤炭运输能力和同期中采用 p 建设方案新增的运煤能力（万吨）。 p 为拟建方案，包括新建单、复线，单、复线电气化，单线改复线，重载列车等。

水路：用 $U(ij)SN_\tau$ 、 $D(ij)SN_\tau$ 分别表示煤码头 ij “七五、八五、九五、十五”计划各期中新增装煤和卸煤能力（万吨）；用 $H(ij)H_\tau$ 、 $H(ij)N_\tau$ 分别表示“七五、八五、九五、十五”计划期末航道可供运煤能力和同期中新增运煤能力；用 $S(ijmn)H_\tau$ 、 $S(ijmn)N_\tau$ 分别表示“七五、八五、九五、十五”计划期末船舶（驳）运煤能力和同期中新增运煤能力（万吨）。

(3) 电力输送：

功率输送：用 $E(ijmn)P_\tau$ 表示 1990、1995、2000、2005 年 ij 省（市、区）电网或大区电网向 mn 省（市、区）或大网输送的电功率（万千瓦）。

输变电：用 $E(ijmn)H_\tau$ 、 $E(ijmn)N_\tau$ 分别表示“七五、八五、九五、十五”计划期末 ij 电网向 mn 电网输变电能力和同期中新增输变电能力（万千瓦）。

大区电网互联：用 $E(ij)H_\tau$ 、 $Y(ij)NL_\tau$ ($L=1,2,3,\dots$ 回路数) 分别表示大区电网 i 到大区电网 j 在“七五、八五、九五、十五”计划期末的输变电能力和同期中新建线

路回数；

其中 $Y(ij)NL_{\tau} = \begin{cases} 1 & (1 \text{ 为架设, } 0 \text{ 为不架设}) \\ 0 \end{cases}$

3. 消费变量

(1) 煤炭需求：用 $A(ij)C_{\tau}$ 、 $L(ij)C_{\tau}$ 、 $H(ij)C_{\tau}$ 、 $C(ij)C_{\tau}$ 分别表示 ij 省(市、区)农、轻、重、城镇生活 1990、1995、2000、2005 年煤炭需求量(万吨)；用 $S(ij)C_{\tau}$ 表示除电力用煤外煤炭需求总量。

(2) 电量需求：用 $A(ij)E_{\tau}$ 、 $L(ij)E_{\tau}$ 、 $H(ij)E_{\tau}$ 、 $C(ij)E_{\tau}$ 、 $V(ij)E_{\tau}$ 分别表示农、轻、重、城镇生活、农村生活 1990、1995、2000、2005 年电量需求量(亿度)；用 $S(ij)E_{\tau}$ 表示需求总量。

(3) 消费能力：

农业：用 $A(ij)N_{\tau}$ 表示 ij 省(市、区) 1990、1995、2000、2005 年农业生产创造的产值(亿元)；

轻工：用 $L(ij)H_{\tau}$ 、 $L(ij)N_{\tau}$ 分别表示“七五、八五、九五、十五”计划期末轻工既有固定资产能力创造的产值和同期中新增轻工固定资产能力创造的产值(亿元)；

重工：用 $H(ij)H_{\tau}$ 、 $H(ij)N_{\tau}$ 分别表示“七五、八五、九五、十五”计划期末重工业既有固定资产能力创造的产值和同期中新增重工业固定资产能力创造的产值(亿元)。

(二) 数学模型的约束方程

1. 生产约束

(1) 煤炭生产：各省(市、区)及主要煤炭生产基地“七五、八五、九五、十五”计划期末生产能力 $C(ij)H_{\tau}$ 不大于上期期末生产能力 $C(ij)H_{\tau-1}$ 与同期新增生产能力 $C(ij)N_{\tau}$ 之和；各期新增煤炭生产能力不超过其相应时期内的资源探明储量、施工技术、环境等条件所允许的建井规模 $C_{ijm\tau}$ (万吨)；用方程分别表示为：

$$C(ij)H_{\tau} \leq \alpha \cdot C(ij)H_{\tau-1} + C(ij)N_{\tau}$$

$$\sum_{\tau} C(ij)N_{\tau} \leq C_{ijm\tau} \\ \tau = 1, 2, 3, 4$$

式中： $C(ij)H_{\tau-1}$ (当 $\tau=1$) 为“六五”计划期末既有生产能力

α 为生产能力利用率 = 1 - 报废率

以下 τ 、 H_0 、 α 同上

(2) 煤电转换：各省(市、区)及主要煤电基地“七五、八五、九五、十五”计划期末发电能力 $F(ij)H_{\tau}$ 不大于上期期末火电装机容量 $F(ij)H_{\tau-1}$ 与同期新增投产装机容量 $F(ij)N_{\tau}$ 之和；各期新增火电装机容量不超过水源、施工、环境等条件所允许的最大可能装机容量 $F_{ijm\tau}$ (万千瓦)；有

$$F(ij)H_{\tau} \leq \alpha \cdot F(ij)H_{\tau-1} + F(ij)N_{\tau}$$

$$\sum_{\tau} F(ij)N_{\tau} \leq F_{ijm\tau}$$

(3) 水电装机：各省(市、区)及主要水电站“七五、八五、九五、十五”计划期

未发电能力 $W(ijmn)H_{\tau}$, 不大于上期期末水电装机容量 $W(ijmn)H_{\tau-1}$ 与同期新增水电投产装机容量之和; 各期新增水电装机容量不超过相应时期内的资源、施工、移民、航运等条件所允许的装机规模 W_{ijmnr} ; 可写为

$$W(ijmn)H_{\tau} \leq a \cdot W(ijmn)H_{\tau-1} + \sum_{mn} W(ijmn)N_{\tau}$$

$$\sum_{\tau} W(ijmn)N_{\tau} \leq W_{ijmnr}$$

2. 运输约束

(1) 铁路运煤: 1990、1995、2000、2005 年通过铁路各个区段的运煤分量之和不超过各区段所具有的运煤能力 $R(ij)H_{\tau}$; 本区段的运煤能力 $R(ij)H_{\tau}$, 不大于上一个五年计划期末已有的运煤能力 $R(ij)H_{\tau-1}$ 与本五年计划时期新增运煤能力 $R(ij)N_{p\tau}$ 之和; 有

$$\sum_{ij} \sum_{mn} \sum_k \sum_{T \in (R, S, Y, B, W, K)} C(ijmnk)T_{\tau} \leq R(ij)H_{\tau}$$

$$R(ij)H_{\tau} \leq \rho_{2\tau} [R(ij)H_{\tau-1} + \sum_p R(ij)N_{p\tau}]$$

$\rho_{2\tau}$ 为运力系数, 下同。

(2) 水路运煤

装煤码头: 1990、1995、2000、2005 年装运煤炭量 $C(ijmnk)T_{\tau}$ 之和不超过装煤码头本年所具有的装煤能力 $U(ij)SH_{\tau}$; 装煤能力不大于上期期末已有装煤能力与本期新增装煤能力 $U(ij)SN_{\tau}$ 之和; 有:

$$\sum_{ij} \sum_{mn} \sum_k \sum_T C(ijmnk)T_{\tau} \leq U(ij)SH_{\tau}$$

$$U(ij)SH_{\tau} \leq U(ij)SH_{\tau-1} + U(ij)SN_{\tau}$$

同理, 对卸煤码头有:

$$\sum_{ij} \sum_{mn} \sum_k \sum_T C(ijmnk)T_{\tau} \leq D(ij)SH_{\tau}$$

$$D(ij)SH_{\tau} \leq D(ij)SH_{\tau-1} + D(ij)SN_{\tau}$$

对船舶(驳)能力应满足:

$$\sum_{ij} \sum_{mn} \sum_k \sum_T C(ijmnk)T_{\tau} \leq S(ijmn)H_{\tau}$$

$$S(ijmn)H_{\tau} \leq S(ijmn)H_{\tau-1} + S(ijmn)N_{\tau}$$

对水运航道有:

$$\sum_{ij} \sum_{mn} \sum_k \sum_T C(ijmnk)T_{\tau} \leq H(ij)H_{\tau}$$

$$H(ij)H_{\tau} \leq \rho_{\tau} [H(ij)H_{\tau-1} + H(ij)N_{\tau}]$$

(3) 输变电路

省级电网间输变电: 1990、1995、2000、2005 年由 ij 省(市、区)向 mn 省(市、区)输送功率 $E(ijmn)P_{\tau}$ 不得超过现有输变电设备安全输变电额定功率 $E(ijmn)H_{\tau}$; 输变电能力不大于上期期末已有输变电能力与本期新增输变电能力 $E(ijmn)N_{\tau}$ 之和; 可写为:

$$\pm E(ijmn)P_{\tau} \leq \rho_{1\tau} \cdot E(ijmn)H_{\tau}$$

$$E(ijmn)H_{\tau} \leq E(ijmn)H_{\tau-1} + E(ijmn)N_{\tau}$$

$\rho_{1\tau}$ 为安全输变电系数,

\pm 表示反方向, + 表示由 ij 向 mn 输电, - 表示由 mn 向 ij 输电
大区电网间的输变电同上, 可写为:

$$E(ij)P_{\tau} \leq \rho_{1\tau} \cdot E(ij)H_{\tau}$$

$$E(ij)H_{\tau} \leq E(ij)H_{\tau-1} + \sum_{L=1}^{2,3,\dots} E(ij)NL_{\tau} \cdot Y(ij)NL_{\tau}$$

$E(ij)NL_{\tau}$ 表示第 L 条线路架设之后可供的输电能力

3. 需求约束

(1) 煤炭需求

农业: 农业生产用煤等于农业产值单耗与农业产值乘积, 有:

$$A(ij)C_{\tau} = U(ij)_{oa\tau} \cdot A(ij)N_{\tau}$$

$U(ij)_{oa\tau}$ 为 ij 省(市, 区)第 τ 年农业亿元产值耗煤

轻工: 轻工生产用煤 $L(ij)C_{\tau}$ 等于轻工产值单耗 $U(ij)_{ol\tau}$ 与轻工产值 $L(ij)H_{\tau}$ 乘积, 轻工产值等于上期既有轻工固定资产能力创造产值与本期新增轻工固定资产能力创造的产值;

$$L(ij)C_{\tau} = U(ij)_{ol\tau} \cdot L(ij)H_{\tau}$$

$$L(ij)H_{\tau} = \rho_l [L(ij)H_{\tau-1} + L(ij)N_{\tau}]$$

式中: $U(ij)_{ol\tau}$ 为轻工亿元产值煤耗

重工: 同理有

$$H(ij)C_{\tau} = U(ij)_{oh\tau} \cdot H(ij)H_{\tau}$$

$$H(ij)H_{\tau} = \rho_h [H(ij)H_{\tau-1} + H(ij)N_{\tau}]$$

式中: $U(ij)_{oh\tau}$ 为重工业亿元产值煤耗

城镇生活: 城镇生活用煤等于上期生活用煤量与本期用煤增长量之和;

$$\begin{aligned} C(ij)C_{\tau} &= Q(ij)_{o\tau-1} + \Delta Q(ij)_{o\tau} \\ &= Q(ij)_{o\tau-1} [1 + \rho_{1j\tau}]^{n\tau} \end{aligned}$$

式中: $\rho_{1j\tau}$ 为 ij 省(市, 区)用煤年平均增长速度, 参照历史数据确定;

$n\tau$ 为每期年份数 (=5);

基期用煤量 $Q(ij)_{o\tau-1}$ 根据历史数据具体确定。

用煤总量:

$$S(ij)C_{\tau} = A(ij)C_{\tau} + L(ij)C_{\tau} + H(ij)C_{\tau} + C(ij)C_{\tau}$$

(2) 电量需求 同理有

农业: $A(ij)E_{\tau} = U(ij)_{ea\tau} \cdot A(ij)N_{\tau}$

轻工: $L(ij)E_{\tau} = U(ij)_{el\tau} \cdot L(ij)H_{\tau}$

重工: $H(ij)E_{\tau} = U(ij)_{eh\tau} \cdot H(ij)H_{\tau}$

城镇生活:

$$C(ij)E_{\tau} = Q(ij)_{e\tau-1} (1 + \rho_{1j\tau})^{n\tau}$$

农村生活:

$$V(ij)E_{\tau} = M(ij)_{a\tau-1}(1+r_{ij\sigma\tau})^{n\tau}$$

用电总量:

$$S(ij)E_{\tau} = A(ij)E_{\tau} + L(ij)E_{\tau} + H(ij)E_{\tau} + C(ij)E_{\tau} + V(ij)E_{\tau}$$

(3) 农、轻、重产值约束

农业:

$$N(ij)_{a\tau-1}(1+\alpha'_{ij\sigma\tau})^{n\tau} \leq A(ij)N_{\tau} \leq N(ij)_{a\tau-1}(1+\alpha''_{ij\sigma\tau})^{n\tau}$$

轻工:

$$N(ij)_{l\tau-1}(1+\alpha'_{ijl\tau})^{n\tau} \leq L(ij)H_{\tau} \leq N(ij)_{l\tau-1}(1+\alpha''_{ijl\tau})^{n\tau}$$

重工:

$$N(ij)_{h\tau-1}(1+\alpha'_{ijh\tau})^{n\tau} \leq H(ij)H_{\tau} \leq N(ij)_{h\tau-1}(1+\alpha''_{ijh\tau})^{n\tau}$$

式中:

$N(ij)_{a\tau-1}$, $N(ij)_{l\tau-1}$, $N(ij)_{h\tau-1}$ 分别为农、轻、重上期期末产值 (亿元)
 α' , α'' 为年均增长速度上、下限。

(4) 农轻重总产值约束

为实现 2000 年国民经济总产值翻两番的目标, 有:

$$N_{al\tau-1}(1+\alpha_1)^{n\tau} \leq \sum_{ij} A(ij)N_{\tau} + \sum_{ij} L(ij)H_{\tau} + \sum_{ij} H(ij)H_{\tau} \\ \leq N_{al\tau-1}(1+\alpha_2)^{n\tau}$$

$N_{al\tau-1}$ 为基期期末 (1980 年) 工农业总产值; α_1 , α_2 为全国工农业年总产值平均增长速度的上、下限。

(5) 农、轻、重比例约束

$$P_{a\tau}': P'_{l\tau}: P'_{h\tau} \leq \sum A(ij)N_{\tau}: \sum L(ij)H_{\tau}: \sum H(ij)H_{\tau} \\ \leq P''_{a\tau}: P''_{l\tau}: P''_{h\tau} \\ \sum P = P_{a\tau}'' + P_{l\tau}'' + P_{h\tau}'' = 1$$

4. 结点平衡约束

(1) 煤炭供需平衡: 各省 (市, 区) 的煤炭总供给量 (自产, 调入调出的代数和, 其中调入为+, 调出为-) 等于煤炭的总需要量; 有

$$f_{ij\sigma\tau} \cdot C(ij)H_{\tau} + \sum_{mn} \sum_{ij} \sum_k \sum_{\tau} f_{mnh\tau} \cdot (1-f_{h\tau}) \cdot C(mnij)T_{\tau} \\ - \sum_{ij} \sum_{mn} \sum_k \sum_{\tau} f_{ij\sigma\tau} \cdot C(ijmnk)T_{\tau} = G_{fhs\tau} \cdot \bar{T}_{ijsh\tau} \cdot F(ij)H_{\tau} + S(ij)C_{\tau}$$

式中: $f_{ij\sigma\tau}$, $f_{mnh\tau}$ 为煤炭换算系数, 均折合为 5000 大卡/公斤原煤;

$f_{h\tau}$ 为运输损耗率 (%);

$G_{fhs\tau}$ 为煤电站发电煤耗 (万吨/亿度), 按新旧电站分别考虑;

$\bar{T}_{ijsh\tau}$ 为煤电站年平均利用小时。

(2) 省网电量平衡: 各省 (市, 区) 的总供给电量不小于总需求电量 (包括网损)

$$\bar{T}_{ijsh\tau} \cdot F(ij)H_{\tau} + \sum_{mn} \bar{T}_{ijmnh\tau} \cdot W(ijmn)H_{\tau} + \bar{T}_{ijsh\tau} \sum_{\tau=1}^{\tau} N(ij)N_{\tau}$$

$$+ \sum_{mn} (1 - e_{mni\tau}) \cdot \bar{T}_{mni\tau} \cdot E(mnij) P_{\tau} - \sum_{ij} \bar{T}_{ijm\tau} \cdot E(ijmn) P_{\tau} \\ \geq S(ij) E_{\tau} / (1 - e_{j\tau\tau})$$

式中： $N(ij)N_{\tau}$ 为第 τ 期核电站投产装机容量； $\bar{T}_{ijm\tau}$ 、 \bar{T}_{ijnh} 为水电站、核电站年平均利用小时；

$\bar{T}_{mni\tau}$ 、 $\bar{T}_{ijm\tau}$ 为省级电网之间年平均输送电力小时；

$e_{mni\tau}$ 、 $e_{j\tau\tau}$ 为分别线损率和网损率。

(3) 大区电网负荷平衡

夏季 (S) 负荷平衡：大区电力系统在夏季所提供保证的出力，应满足夏季最大负荷要求：

$$\sum_{ij} F(ij) H_{\tau} + \sum_{ij} \sum_{mn} \rho_{ijm\tau} \cdot W(ijmn) H_{\tau} + \sum_{\tau=1}^{\tau} N(ij) N_{\tau} \\ + \sum_{mn} (1 - e_{mni\tau}) E(mnij) P_{s\tau} - \sum_{ij} E(ijmn) P_{s\tau} \\ \geq K_j \cdot \sum S(ij) E_{\tau} / (1 - e_{j\tau\tau}) T_{jmh\tau}$$

式中： $\rho_{ijm\tau}$ 为 mn 水电站在夏季的保证出力系数；

K_j 为区网 j 装机备用 (事故、检修、旋转备用) 系数； $K_j = P_{\text{总装机}} / P_{\text{max}}$ ，

$K_j = 1.15 \sim 1.25$ ；

$e_{j\tau\tau}$ 为网损率；

$T_{jmh\tau}$ 为区网 j 第 τ 年最高负荷利用小时数，此系数呈下降趋势；

$T_{jmh\tau} = 8760 r \sigma \rho$ ， r 为日负荷率， σ 为月用电均衡率， ρ 为季用电均衡率；

冬季 (W) 负荷平衡的原理同上。根据具体情况，有的电网应进行春季负荷平衡。

(4) 电网结点平衡：区域电网输入的电量 (电力) 等于区域电网输出的电量 (电力)；
电量平衡

$$\sum_{mn} (1 - e_{mni\tau}) \cdot \bar{T}_{mni\tau} \cdot E(mnij) P_{\tau} \\ - \sum_{ij} \bar{T}_{ijm\tau} \cdot E(ijmn) P_{\tau} = 0$$

电力平衡

$$\sum_{mn} (1 - e_{mni\tau}) \cdot E(mnij) P_{\tau} - \sum_{ij} E(ijmn) P_{\tau} = 0$$

(三) 数学模型的目标函数

能源系统结构数学优化模型的目标函数，是以能源的生产 (转换)、运输和消费三个环节的投资和运营成本年换算费用最小拟设的。

目标函数参数的确定考虑了下述因素：

(1) 工程投资和运营成本。工程投资是指各个省 (市、区、基地) 煤炭、煤电、水电及其相应的运输建设 (如港口、船舶、航道、铁路、输变电等) 投资，和各省 (市、区) 耗能工业的固定资产投资。运营成本包括吨煤生产成本、每度电生产成本、各条路径运煤成本、输变电成本等。注意在成本中扣除了折旧；煤电成本中不包括燃料费，燃

料费在生产和运输成本中考虑。

(2) 建设工期和服务年限。采用合理的建设工期和经济合理的服务年限，计算年换算费用，以上有关参数参照相应的工程技术经济指标。

(3) 资金的时间价值。即考虑资金的社会平均利润率，并对不同时刻截面上的年换算费用进行“贴现”或“延迟”。

此外，还根据工程的建设特点，分别设计年换算费用计算公式。

1. 煤矿、煤电、轻、重工业投资和成本年换算费用计算

对于一个省（市、区）来说，在计划建设期内，煤炭生产能力（产量），煤电投产装机，轻、重工业固定资产形成可按均衡递增考虑，如图 1-6 和图 1-7 所示。

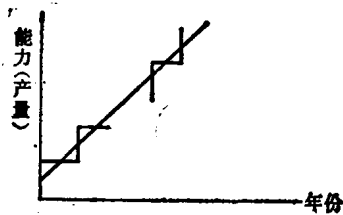


图 1-6 生产能力递增示意图

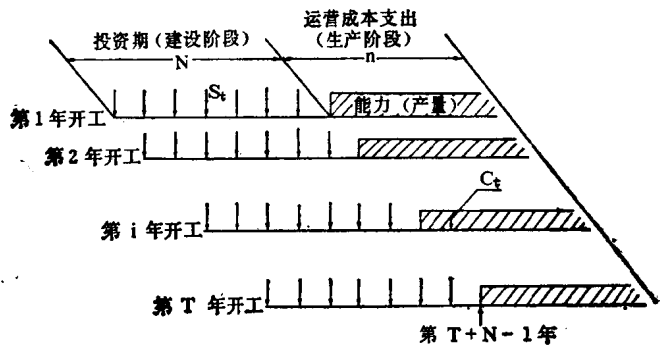


图 1-7 投资示意图

设新建工程在计划建设期 T 年中新增生产规模为 X ，则每年新增生产能力为 X/T ，用 q 表示，有 $q = X/T$ 。已知新增单位生产能力的投资为 I ，则每年开工建设的工程项目总投资为 S ， $S = q \cdot I = \frac{X}{T} \cdot I$ 。又知工程项目的合理建设工期为 N 年，则每年开工建设的工程项目在建设工期各年中的平均投资为 S_i ， $S_i = \frac{S}{N} = \frac{X \cdot I}{T \cdot N}$ 。考虑到资金的时间价值，将投资 S_i 分别折算到计划建设期的最后一年，即第 $T + N - 1$ 年。

第 1 年开工建设的项目，在建设期 N 年中的投资折算到第 $T + N - 1$ 年，其和计为 S_1

$$S_1 = S_i [(1+r_0)^{T+N-1} + (1+r_0)^{T+N-2} + \dots + (1+r_0)^T]$$

同理，第 2 年为：

$$S_2 = S_i [(1+r_0)^{T+N-2} + (1+r_0)^{T+N-3} + \dots + (1+r_0)^{T-1}]$$

.....

第 T 年为：

$$S_T = S_i [(1+r_0)^N + (1+r_0)^{N-1} + \dots + (1+r_0)]$$

求和整理，计为 F

$$F = \sum_{i=1}^T S_i \cdot \frac{(1+r_0)^{T+N-1} - 1}{r_0} \cdot \frac{(1+r_0)^T - 1}{r_0} \cdot (1+r_0)$$

将折算值 F 按照工程经济合理的服务年限进行分摊。设经济服务年限为 n 年，分摊到 n 年内各年的投资为 K_i ，将 K_i “贴现”到第 $T + N - 1$ 年，即“现值”计为