

MARKAL

能源供应模型的应用

广东省中、西德合作能源调研办公室 编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是中、西德合作广东能源调研技术总结第二册,介绍用能源模型方法编制广东省1981~2000年能源发展规划的概况、方法和经验。在编制能源供应模型时,使用了国际能源组织(IEA)推荐的 MARKAL 模型,这是我国能源规划工作中首次引用的国外能源模型。本书主要内容包括:广东能源规划的模型体系;MARKAL 能源供应模型的构模、能源平衡表、全省能源系统和各分部门(煤炭、油页岩、石油、水能、电力、农村生物能)的规划概况、模型构成、数据加工和成果分析等。

本书可以作为各级经济管理和能源管理部门、能源规划设计部门和有关科学研究单位进行能源规划和能源政策分析参考,也可作为高等院校有关专业的教学参考资料。

中、西德合作广东能源调研技术总结(Ⅰ) MARKAL 能源供应模型的应用

袁明一 叶焕庭 李为正 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: 12.75 字数: 302 千字

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数: 0001—1500

ISBN 7-302-00422-6/F·23

定价: 5.00 元

前 言

根据中华人民共和国政府和德意志联邦共和国政府科学技术合作协定,中国国家科学技术委员会主任方毅和西德研究技术部长福尔凯·豪夫,于1979年11月20日在北京签订《关于联合进行能源调研议定书》,决定应用现代科学技术在中国一个地区联合进行能源建设的调研。

经国务院批准,这项能源调研在广东省进行,并列入国家重点科研项目。这项能源调研的主要内容是:系统地调研广东省宏观经济、社会发展、特别是能源经济的历史和现状;预测广东省1981~2000年各个时期宏观经济(即地区经济,下同)、社会发展及其能源需求;提出能源供应方案和能源资源开发中、长期规划的建议。通过这次合作,要为制定正确的能源政策提供科学依据,同时努力掌握现代科学技术在能源规划工作中的应用。

在能源调研开始之前,西德研究技术部派出专家,于1980年10月23日~11月22日在广州举办了能源调研培训班,并开始收集和整理有关资料。西德研究技术部委托拉玛亚国际咨询公司为这项合作的执行单位,中方在国家科学技术委员会和广东省人民政府领导下,成立以广东省副省长李建安、叶选平为首的能源调研领导小组,由省科委具体负责日常工作,并成立中、西德合作能源调研办公室,作为这项合作的执行单位。办公室由省的有关委、厅(局)、大专院校、科研、设计等单位和清华大学经济管理学院、中国社会科学院数量技术经济研究所、水利电力部电力科学研究院动能经济研究所人员参加组成。能源调研工作于1981年9月正式开始:第一阶段,主要是全面进行宏观经济、社会发展、能源生产和消耗、能源资源和工艺等方面的调查研究,进行宏观经济、社会发展及其能源需求预测;第二阶段,主要是建立马卡尔(MARKAL)能源供应模型,制订能源供应战略规划;第三阶段,主要是对调研结果进行评价,提出有关结论。整个能源调研工作历时一年半,于1983年2月基本结束。

1983年4月,国家科委邀请国内有关专家50余人,在广州召开中、西德合作广东能源模型评议会。会议认为:这项合作在我国首次比较全面地运用现代科学方法开展能源调研和模型工作,为广东省制定今后的能源供应战略和进行能源政策分析提供了有力的手段,并有向全国推广的价值。西德方面提供的MARKAL能源供应模型,是国际上比较先进的模型之一,功能较强,所用OMNI语言也比较先进。宏观经济模型成功地采用了联合国统计局推荐的“推导法”编制广东省投入产出表,并采用计量经济的回归模型与传统计划方法进行比较的办法,取得能源供应模型所需的需求数据,形成了一个能源-经济模型体系的雏形。同时,中方人员对于能源调研的程序、方法和组织管理工作,经过了全过程的实践锻炼,掌握和运用了MARKAL能源供应模型,并编制了广东省宏观经济模型,培训了一支能源调研队伍。两国政府间的这项合作是成功的。

为了向国内介绍这次中、西德合作能源调研的方法和模型技术,现将技术总结的基本内容分为三册陆续出版,内部发行:

第一册:《宏观经济及其能源需求预测》,主要介绍用投入产出法、回归分析法、传统计划法相结合,以投入产出法为主预测 1981~2000 年各个时期、各个部门的经济和社会发展水平,以及各种能源的需求量。

第二册:《MARKAL 能源供应模型的应用》,主要介绍这种能源供应模型的原理、结构、方法及其特点,各种常规能源经济的分析,计算结果的分析和评价。

第三册:《MARKAL 能源供应模型导论与用户指南》(译文)。

本技术总结所用统计资料,有些是估算数,未经有关部门核实,1981~2000 年宏观经济、社会发展、能源需求和能源供应方案,也只是中、西德双方初步预测的结果,请勿引用。

由于时间和水平有限,编写工作存在许多缺点,也难免有错误,敬请各方面批评指正。

编写第二册各章分工如下:第一章,叶焕庭和姜彦福;第二章,滕国政;第三章,李为正;第四章,刘三章和唐公正;第五章,杨小杨;第六章,陈顺灵;第七章,袁明一;第八章,张德广和李文令;第九章,邱荣盛;第十章,杨小杨;第十一章,郑则经。

主持和参加广东省中、西德合作能源调研工作的西德方面的单位有:

- 拉马亚国际咨询有限公司(法兰克福),项目负责人 贡姆(O.GOMM)
- 联邦地球科学和原材料研究所(汉诺威)
- 玉利希核研究中心(玉利希)
- 鲁尔煤炭股分公司企业集团蒙坦咨询有限公司(埃森)
- 莱茵褐煤咨询有限公司(科隆)
- 斯丹米勒锅炉制造有限公司(古梅斯巴赫)
- 联合锅炉股份公司(杜塞尔多夫)
- 鲁奇煤炭与矿物油技术有限公司(法兰克福)
- 电站联盟股份公司(耳朗恩)

主持和参加广东省中、西德合作能源调研工作的中国方面的单位有:

- 广东省科学技术委员会,项目负责人 伍卓富 王毓林
- 广东省能源委员会
- 广东省计划委员会
- 广东省电力工业局
- 广东省煤炭设计院
- 广东省水利电力设计院
- 广东省电力设计院
- 广东省石油化工设计院

——广东省煤田地质勘探公司
——广东省地质局
——广东省农业厅
——广东省林业厅
——广东省计算中心
——华南工学院
——暨南大学
——中国科学院广州能源研究所
——广东省机械研究所
——广东省科学技术情报研究所
——茂名石油工业公司
——清华大学经济管理学院
——中国社会科学院数量经济及技术经济研究所
——广东省农业委员会
——广东省煤炭工业厅
——广东省石油化学工业厅
——广东省水利电力厅
——广东省统计局
——广州市建设局
——中山大学
——广州石油化工总厂
——水利电力部电力科学研究院动能经济研究所，等

在广东省中、西德合作能源调研办公室工作结束后，成立了广东省能源技术经济研究中心，继续进行能源战略研究及模型技术的消化、吸收和实用化研究等工作。

目 录

第一章 概述	1
第一节 广东省能源基本情况和能源规划的任务	1
第二节 能源模型发展概况	2
一、能源部门模型	
二、能源系统模型	
三、能源-经济模型	
第三节 广东省能源规划的模型体系	8
一、宏观经济及能源需求模型	
二、能源供应模型	
第四节 模型数据的收集和处理	13
第五节 MARKAL 模型的特点	15
第二章 能源平衡表	21
第一节 能源平衡表的作用和与 MARKAL 模型的关系	21
第二节 能源平衡表的结构	21
第三节 编制方法和步骤	24
第三章 广东能源供应模型的构模	29
第一节 MARKAL 模型概述	29
一、MARKAL 模型的模拟对象与变量	
二、模型性质与输入的外生变量	
三、用途	
第二节 MARKAL 模型的结构、目标函数和约束方程	30
一、MARKAL 模型的数学结构	
二、MARKAL 模型的目标函数	
三、MARKAL 模型的约束方程	
第三节 构模步骤	35
第四节 广东能源战略设想方案	36
一、能源战略设想方案的性质	
二、战略设想方案的制定	
第五节 广东能源供应模型的结构分析	39
一、广东能源规划标准模型的结构	
二、广东能源模型中的类与成员	
三、广东能源模型的数据表	
四、广东能源规划标准模型结构的评价	

第四章 能源需求	53
第一节 预测方法	53
第二节 预测结果	53
第三节 能源供应模型输入数据	55
第五章 煤和油页岩	60
第一节 现状和任务	60
一、现状	
二、任务	
第二节 规划设想方案	62
一、规划设想	
二、能流图	
第三节 模型结构和输入数据	69
一、成员	
二、类的划分	
三、数据表	
第四节 模型计算结果分析	79
一、煤炭部分	
二、油页岩部分	
第六章 石油加工	83
第一节 概况和任务	83
一、炼油工业概况	
二、油品的需求预测和供应任务	
第二节 规划设想方案	85
一、原油加工规划设想方案	
二、油母页岩加工规划设想方案	
第三节 炼油工艺构模和输入数据	94
一、类和表的确定	
二、输入数据表的内容和要求	
三、输入数据表的有关参数计算及其说明	
第四节 模型计算结果评述	106
一、炼油模型的结构	
二、对计算结果的分析	
三、油母页岩炼油和发电的优化结果	
第七章 水力发电	109
第一节 水力资源	109
第二节 水电开发设想	111
第三节 模型结构和输入数据	114
一、成员和类	

二、技术经济指标	
三、数据表	
第四节 模型计算结果分析	121
一、水电是广东省的主要一次能源	
二、水电在全省电力系统中占有重要位置	
三、广东省水电站的地区分布基本上能适应用电的要求	
四、通过多方案计算与敏感性分析, 水电发展趋势较为稳定	
第八章 电力	126
第一节 电力系统概况	126
第二节 规划设想方案	127
第三节 模型结构和输入数据	129
一、“类”和“成员”	
二、数据指标和输入表	
第四节 模型计算结果分析	141
一、全省的电力供应结构将会有较大变化	
二、本省 2000 年前电力系统中的水电比重很大, 要重视系统运行可靠性的研究	
三、电力在最终能源供应中具有较大的竞争力	
四、发电工艺的选择问题	
第九章 农村生物能	144
第一节 生物能资源和消费	144
一、生物能资源	
二、农村生物能的消费现状	
第二节 农村炊事能源规划设想	146
一、农村炊事能源需求预测	
二、农村炊事能源供应规划设想	
第三节 模型结构和输入数据	147
第四节 模型计算结果分析	150
第十章 广东能源模型计算结果综合分析	151
第一节 基本方案计算结果的综合分析	151
第二节 多方案计算结果的综合分析	156
第三节 对广东省能源发展的初步建议	173
第十一章 MARKAL 模型软件	175
第一节 软件概况	175
一、系统结构	
二、基础数据组织	
三、应用程序	
四、线性规划软件包 HS/LP	

第二节 OMNI 语言	181
第三节 运行情况初步分析	183
附图 广东省 MARKAL 能源供应模型结构图	

第一章 概 述

第一节 广东省能源基本情况 和能源规划的任务

广东省是我国东南沿海经济比较发达的省份。近年来,实行改革开放政策,社会经济发展迅速,但能源供应十分紧张。为了保证社会主义经济建设的顺利发展和人民生活的不不断提高,必须首先解决能源问题。

广东是全国能源资源贫乏的省份,主要资源有油页岩、水能和煤炭。油页岩矿藏主要集中在茂名和海南岛长坡,1980年保有储量达70多亿吨,热质较低,折合标煤11.5亿吨,可供炼油或直接燃烧发电。广东全省可开发的水能资源(包含小型水电)装机容量738万千瓦,年电能270亿度,按50年计,约合5亿吨标煤,除少数可建大型水电站外,大多为中、小型水电站。全省煤炭1980年保有储量约8.0亿吨,折合标煤5.1亿吨,均为分散的小型矿区,大多为无烟煤。以上三种主要能源储量,合计21.6亿吨标煤,人均拥有能源为37吨标煤,远低于全国平均水平。农村当前用能主要是薪柴、山草和农作物秸秆等,每年所耗约合标煤1000万吨。地热、风能、太阳能的利用,目前还处于研究阶段。

据1980年能源供应和消耗情况分析,全省主要耗用的初级能源为煤炭、水力和柴草、农作物秸秆。1980年产原煤803万吨,仅能满足生产需要的60%,从外省调入原煤近500万吨,广东今后每年只能维持700万吨左右产量,还需大量调进和进口。1980年省内发电量为113亿度,其中火电约占60%,水电约占40%,缺电情况严重,许多部门都开工不足,该年还从香港进口电3.2亿度。广东现有茂名和广州两大炼油厂,年加工能力合计为750万吨,但由于原油供应不足,仅能加工600多万吨,设备能力不能充分发挥。1980年全省平均每人消耗能源不到半吨标煤,远低于全国平均水平(0.9吨)。

如按1980年的经济结构和耗能水平为基础进行测算,到本世纪末为实现工农业总产值翻两番,对各类能源的需求约为煤炭五千多万吨,原油两千多万吨,电力五百多亿度,而本省的能源供应能力不足,完全依靠国家调拨也很困难,仅铁路港口等交通设施的建设就难以满足要求,因此能源问题已成为广东省加快经济发展的主要制约条件,亟待解决。

广东省的能源规划必须进行多方面的技术经济比较,研究下列重大能源发展战略和能源政策问题:

1. 广东省应该具有什么样的一次能源结构,现在的一次能源结构是否合理,今后应当如何逐渐演变?

2. 如何充分开发利用本省能源资源, 正确处理本地资源的开发和进口、调入之间的关系? 主要内容有:

① 油页岩是本省的主要矿物能源资源, 保有储量达 70 多亿吨, 应以何种规模和速度发展, 利用方向如何, 是直接燃烧发电还是炼油, 各占多大比重?

② 水能是广东省的重要资源, 可开发利用装机容量 738 万千瓦, 而且是电力系统的重要调峰手段, 在今后应以何种速度开发, 在未来电力供应中应居何种地位?

③ 广东省的煤炭资源不多, 据有关部门分析, 今后省内原煤年产量只能维持 650~700 万吨, 还要作很大努力, 而现有交通运输能力有限, 到 2000 年最多只能运进 1500~1700 万吨原煤。今后本省煤矿是否应按目前设想的规模开采, 如何从外省增加调入和进口, 调入和进口量以多少为宜?

④ 国务院已批准在广东合资兴建装机容量 180 万千瓦的核电站, 今后是否应该继续发展核电, 其经济性如何?

⑤ 广西红水河的水电资源十分丰富, 可装机 1000 多万千瓦, 是全国十大水电基地之一, 今后是否应以红水河水电调供广东, 输入多少为宜?

⑥ 近年来, 在珠江口、莺歌海和北部湾等南海领域内发现了大量的储油和天然气构造, 前景乐观, 对广东省的能源供应有多大影响?

3. 广东省应发展什么样的电源结构, 其中煤电站、重油电站、核电站、水电站、抽水蓄能电站是否均应发展, 应以何种速度和规模建设?

4. 包括南海石油在内的原油应如何加工炼制, 加工深度应如何掌握, 是提供更多的重油用于发电, 还是深度加工提供出口油品?

5. 城市炊事用能是发展煤气化、石油液化汽, 还是电气化, 蜂窝煤炉是否还应发展; 农村能源又应如何解决, 小水电、沼气应以何种速度来发展, 柴草应占何种比重?

6. 节能潜力多大, 应从何处着手, 如何引进国内外的先进能源技术, 改造广东省的能源系统?

针对上述问题, 科学地制订广东省的能源发展战略和能源供应的技术经济政策, 是广东省能源规划的主要任务。为此, 在这次能源调研工作中, 由中、西德双方合作, 建立了一套以 MARKAL 模型为核心的能源-经济模型, 对这些问题进行了全面系统的分析研究。

第二节 能源模型发展概况

从国际范围看, 能源模型的历史可追溯到二十余年前的六十年代, 而真正比较集中而大量的研究是从七十年代初期的石油危机开始的。可以说, 在能源分析和构模的演变过程中, 其主要特征是系统的概念变得日益突出而成为普遍接受的原则。

一、能源部门模型

六十年代所研制的模型大多属于单一燃料的供应模型。法国、美国在六十年代初期就曾致力于研究电力模型, 其中电力规划模型用以选择评价电力系统在满足日益增加的

电力需求条件下的最优发展战略，电力运行模型则模拟电力系统的最优运行调度。规划模型给出各种电站最佳组合的装机序列、装机规模、投入时间以及包括投资、燃料和运行的最小总贴现费用；运行模型则给出全年各季节每日的最优运行工况。六十年代所进行的能源模型工作的另一典型例子是石油公司所研制的大型分配模型和石油炼制过程模型，以优化原油和各种油产品在资料来源、运输和需求之间的分配问题和炼制问题。

这种单一燃料或单一能源形式的部门供应模型是建立在对油、气、煤、电的单独分析的基础上，把部门的发展同整个能源系统 and 经济系统分离开，因而难以考虑能源系统在各种价格水平和各种供应、技术条件下，各种能载体和各种工艺之间在一定程度上具有的相互替代关系。

二、能源系统模型

由于研究总的能源供应系统的迫切需要，且鉴于单一燃料或能源形式的部门模型难以避免片面性，从而推动了对整个能源系统的分析和构模研究，由此便有描述各种初级能源通过运输、加工、转换，最后分配到终端使用工艺或装置上的能源系统模型的出现。

能源系统模型是在七十年代初期开始研制的，而七十年代的石油危机又大大地促进了这项工作的进展。大部分能源系统模型都是基于能源平衡的原理，利用网络的方法或能源投入产出表进行描述。图 1.1 所示的国家或地区的能源平衡流程图是一个简化的能源系统静态模型，它描述了某一时点的全部能流，即从初级能源开始，通过运输、转换、分配诸环节直至最终使用。利用这种网络模拟计算满足一定最终需求的备选方案，可对能源供应来源和能源工艺的发展作出评价和选择。

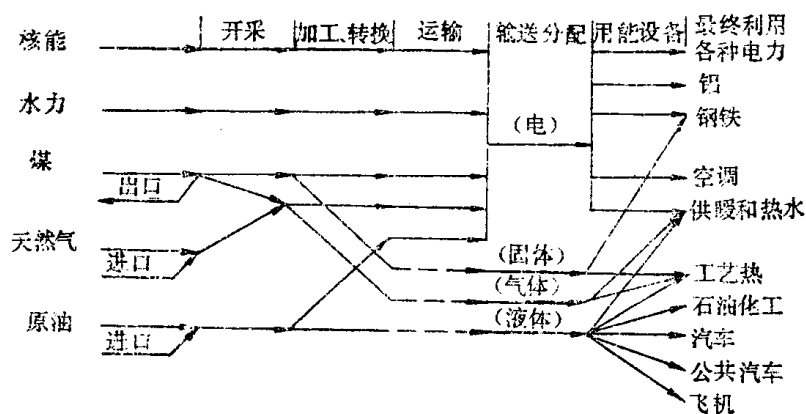


图 1.1 国家或地区的能源平衡流程

第一个用协调一致的方式系统地描述能流的是 Barnett 方法。该方法包括国家一级的各类能源需求和能源供应的平衡，强调用共同的物理单位 BTU（英热单位）来表示能流量。能源平衡系统着重考虑能源从初级供应来源，通过转换过程到最终使用的全部计算。这种方法考虑了能源在转换过程中的中间消费和能源供应系统各节点上的效率。

在能源需求预测研究中，也采用了能源平衡方法。通过对各个主要最终用能部门进行能源需求的独立估算，并将其同供应估算比较，一般用某种调整方式，假设某种能源能

够弥补供需之间可能存在的缺口。这种方法在实践上的发展,就是利用经济计量技术预测能源需求,利用工程和判断模型预测能源供应,并将各种信息结合起来对模型的预测进行修正。

美国布鲁克海文国家试验室(BNL)研制了用于能源系统分析的能源参照系统(见图 1.1),这是能源系统的一种网络描述。在此网络里,对从能源供应到使用的全部过程的技术、经济和环境属性给以详细说明。使用这个系统,可以评价新工艺的作用和燃料替代的可能性,并可用来研究节能措施。

这种基于能源平衡原理的网络模型,可以分为统计核算和优化两类模型,前者采用模拟计算,后者采用数学规划技术。优化模型是在七十年代初期开始大量发展的。这类模型为了确定能源资源和转换工艺到最终使用的最优分配,或者是寻求最小年费用的静态模型,或者是动态的并使整个计算期的费用现值极小化的模型,都要满足一定的能源需求,以及反映资源可用程度和环境保护等一系列约束。

美国布鲁克海文国家试验室(BNL)研制了第一个比较完整的能源系统静态优化模型 BESOM (*Brookhaven Energy System Optimization Model*)。该模型按照能源参照系统的格式,用以确定从资源到转换工艺以及最终使用的最优配置,汇集了整个能源系统的各种技术结构,包括能源供应和所用工艺的转换效率和环境影响,也可以表述电力需求的负荷特性,可以优化处理范围广泛的各种燃料的相互替代,该模型可供国家及地区一级使用。

由 BESOM 演变出来的较重要的模型有 DESOM、TESOM 和 MARKAL 等模型。

MARKAL 模型是在国际能源组织(IEA)赞助下,由美国布鲁克海文国家试验室(BNL)和联邦德国玉利希核研究中心(KFA)共同研制的能源系统模型。MARKAL 是 *Market Allocation* 的缩写,指能源市场的分配布局,是一种能源供应模型。

至今已用于能源系统的较重要的模型还有 LEAP 模型 (*Long Range Energy Analyses Package*), FOSSIL II 系统动力学模型和国际应用系统分析研究所(IIASA)采用的能源供应 MESSAGE 模型和能源需求 MEDEE 模型等。

三、能源-经济模型

不论是能源部门模型,还是能源系统模型,通常都是把能源需求作为外生变量输入能源供应模型进行计算的。由于将需求作为固定的输入,这些模型的本身也就不可能考虑由于能源进口价格或国内开发成本的提高等因素而自动地调整需求。为了分析能源对经济发展的推动和制约作用,需要进一步考虑把能源系统和国民经济联系起来,作为一个有机的整体来描述。这就是近年来大量研究的能源-经济模型。

从模型结构的角度来看,能源-经济模型可分为整体模型和由相对独立的子模型组成的模型体系两种。前者有 PILOT 模型、PIES 模型、ETA-MACRO 等模型。后者有 DRI-BROOKHAVEN 模型、IIASA(国际应用系统分析研究所)模型等。

较早的研究能源利用和经济增长关系的模型是赫德生-乔金生(Hudson-Jorgenson)模型。该模型将计量经济学和投入产出分析结合起来,以探索能源增长对未来经

济的影响。该模型是动态模型，考虑了能源、原材料、资本和劳力之间的替代，计算结果的分析揭示了降低能源增长率对经济发展的影响。

以后，又有把 BESOM 能源模型和赫德生-乔金生经济模型联结起来的 DRI-BROOKHAVEN 模型。这个模型系统包括了经济增长和能源供应与需求之间的关系，反映了能源价格的提高及其他能源政策对经济增长的反馈作用。

着重利用投入产出技术的能源经济模型，为能源计算提供了基础。投入产出矩阵提供了一个很方便的手段，它把各个经济部门工艺技术上的和经济上的相互联系结合到一个数学模型中，提供一个内部协调和非常综合的数据汇集。但是投入产出表中采用不变的直接消耗系数使得运用这种方法研究未来能源时产生了问题：计算所得的未来能源需要量不一定与未来时期某种能源可用的量相对应，由于将会发生燃料之间的某些替代以克服供应方面的限制，因此必须修正直接消耗系数。为此，布鲁克海文国家实验室和伊利诺斯的高级计算中心合作研制了能源系统/投入产出模型，即将伊利诺斯大学的投入产出模型和 BESOM 能源系统模型结合起来。在 BESOM 内可以附加燃料和资源的可用性约束，确定所需的燃料替代，修正投入产出模型中的直接消耗系数以反映燃料结构的变化。修正了燃料结构之后再次求解投入产出模型。在两个模型之间进行多次迭代以便获得一个能源需求和燃料结构相一致的解。

能源-经济模型的整体模型可以 PIES 模型为代表，由美国联邦能源署 (FEDA) 研制的自给计划评价系统 (PIES) 是建立在市场均衡基础上的一组模型，以供分析能源战略。PIES 有四个基本的子模型，包括一个宏观经济模型，一个工业生产模型，一个年度需求模型和一个油、气、煤资源供应模型。宏观经济模型和工业生产模型给出经济产出水平的估计值，并将这估计值作为能源需求模型输入，该需求模型是个动态的经济计量模型。

PIES 的核心是一个线性规划的综合模型。它包括从资源到交付产品整个流程各个环节的转换和输送。在对本地区的需求、价格和弹性、地区供应安排和需要输入的资源做出估值以后，它可以计算能源市场的均衡。需求模型可以计算系统内各种初级能源和衍生能源产品的需求曲线（价格与需求量关系），可以计算需求量对价格微小变化的敏感性（自价格弹性和交互价格弹性）。综合模型的第一次迭代（即求解一个 LP 问题）计算满足给定需求的能源系统的生产、分配、运输所需的最小费用，同被计算的供应量相应的是影子价格（对偶问题的解）。如果这些影子价格与原先设定的需求价格不一致，那么该解是不稳定的，因而必须构成一个新的 LP 问题，即调整新的需求价格，计算新的需求量。这个过程连续进行直至供应价格等于需求价格为止，并假定在这种条件下能源市场处于均衡状态。然后，再把综合模型的输出作为某些描述性模型的输入，包括宏观经济模型、环境评价模型和国际评价模型。此外，还对综合模型的输出进行分析以判断在资源需要方面是否存在可能性限制。

自给计划评价系统 (PIES)：PIES 模型的结构示于图 1.2。显然，这类模型并不适合于我国实行有计划商品经济的模式。

IIASA（国际应用系统分析研究所）的构模方法是能源-经济模型的别开生面的例子。它把能源部门作为整个经济的一部分。但是它与整体模型不同，整体模型研究单

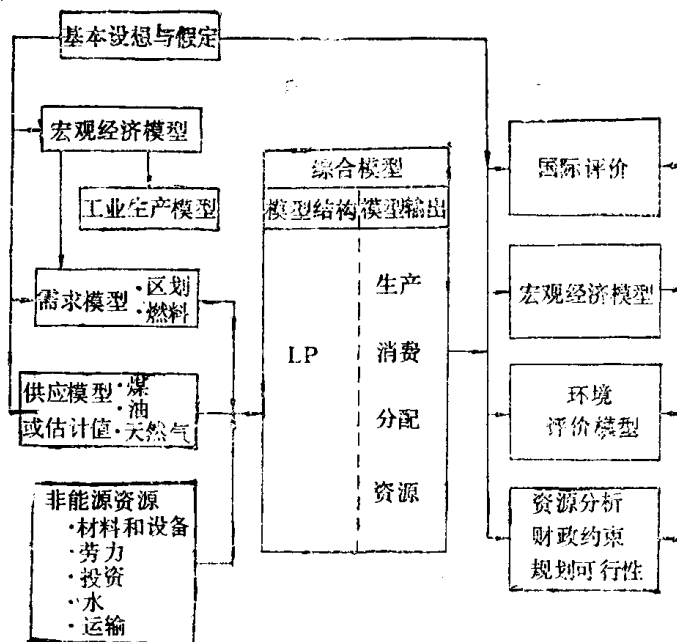


图 1.2 自给计划评价系统(PIES)

系统方程网络内的能源和经济之间的相互影响、相互作用，而 IIASA 模型包纳了采用各种不同技术特点的一套模型。IIASA 的构模基于这样一种认识：把若干独立和简单的模型连接起来要比包含复杂函数关系的大模型优越。这种连接不需要自动进行，而是包括了许多人为判断和干预。前面提到的 DRI-BROOKHAVEN 模型也遵循集合简单模型的方法，将能源模型和经济模型连接起来。

IIASA 使用了 4 个独立模型：MEDEE-2, MESSAGE, IMPACT 和 MACRO。图 1.3 示出了 IIASA 模型组合及连接的一套模型结构。这些模型分别采用不同的构模方法，具有不同的用途。每个模型的计算结果，或者直接作为其他模型的输入，或者由人工对其进行判断、计算或做某些假设后再输入给其他模型。

由图 1.3 顶部所示的情景设想，开始整个环路计算流程。有关经济和人口增长的假设是区分 IIASA 各情景设想的主要参数。有关经济和人口的信息及生活方式的变化、能源利用装置效率的提高以及新的和改进了的能源利用设备的信息反馈到子模型 MEDEE-2 中去，该模型根据主要最终用能部门的二次能源消费确定能源需求。

MEDEE-2 的技术是简单的，这是一个以生活方式参数为基础的计算网络。得到的能源需求同最大增长率、新能源的供应和转换设备费用、资源约束一起送入 MESSAGE 模型中去。

MESSAGE 是个多周期、动态的能源供应和转换及一般环境影响的线性规划模型，用于比较现有能源与新能源技术在供应、转换与分配各方面满足未来能源需求的能力。它提供满足给定需求的最优燃料分配，包括进行燃料之间的替代，并能计算未来能源战略对环境影响的各种参数。该模型是 IIASA 全套模型的核心。

经济影响模型 IMPACT 是一个动态投入产出模型。它根据 MESSAGE 给出

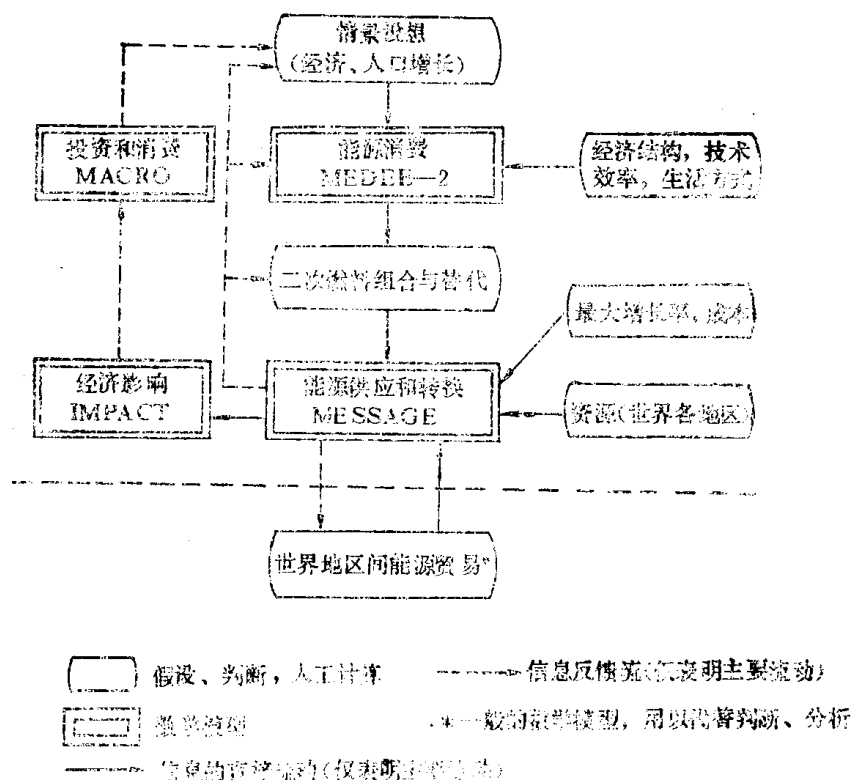


图 1.3 IIASA 模型组合及连接

的能源发展战略数据，计算确定某个战略对经济的影响。这些影响包括能源系统的投资，与能源有关的工业部门的增长及相应投资的增长，以及能源系统与有关工业部门对资金、材料、装备和人力的直接或间接需要。用 IMPACT 计算费用，可以检查一个战略的经济可行性。

最后，宏观经济模型 MACRO，是根据 IMPACT 提供的费用数据，计算总的投资和消费方式。这又导致重新计算经济增长率，并将其和原先假设的经济增长率进行比较检验，检验结果往往又导致新一轮计算。

这是一个非常广义的计算程序的迭代概念。如果在各次迭代中使用了所有模型，那么就提供了一个协调一致的情景设想。

IIASA 这套能源模型不是用于能源规划目的，而是为了研究世界范围能源应用系统的演变远景。这项研究指出，对于发达和发展中国家来说，需要发展可供选择的能源以解决液体燃料可能发生的供应困难。

欧洲共同体也建立了一套完整的能源模型。这套模型把类似于参照能源系统 (RES) 的能源系统，估算能源需求的 MEDEE 模型和多国能流优化模型 (EFOM) 合起来，又将它和宏观经济模型 (EURECA) 及一套国家投入产出模型 (EXPLOR) 连接起来，从而把能源需求跟计算各经济部门的增长直接联系起来。这套标准模型可由欧洲共同体各成员国单独使用，采用了标准化的数据集。这对多国（多地区）多周期的能源分析是一种有价值的方法。

上面我们对能源模型的发展和应用做了简要的综述，而且仅限于国际范围，其目的不在于穷举所有模型，这不但是不可能的，也是不必要的。我们希望这种回顾有助于揭示模型发展的内在逻辑和当前的研究方向，这些回顾也不意味着文中所提到的模型较其他模型有更好的功能，我们只是试图说明：系统的概念和系统分析方法在能源分析、预测、规划和政策制订中得到了日益广泛的理解和应用，近年来能源系统分析和模型研究工作在我国已开始有了一定进展，并在能源规划和政策制订中开始发挥作用。

第三节 广东省能源规划的模型体系

能源系统与整个社会经济之间的关系非常紧密，进行能源规划时，必须把能源系统和整个经济作为统一的实体来考虑，因此，在广东省能源规划中采用了一个能源-经济模型体系。全套模型由三个独立的模型所组成，可分为两大部分，其中，宏观经济及其能源需求预测使用了计量经济回归模型和投入产出模型，能源供应采用了 MARKAL 模型，广东能源模型体系结构如图 1.4 所示。

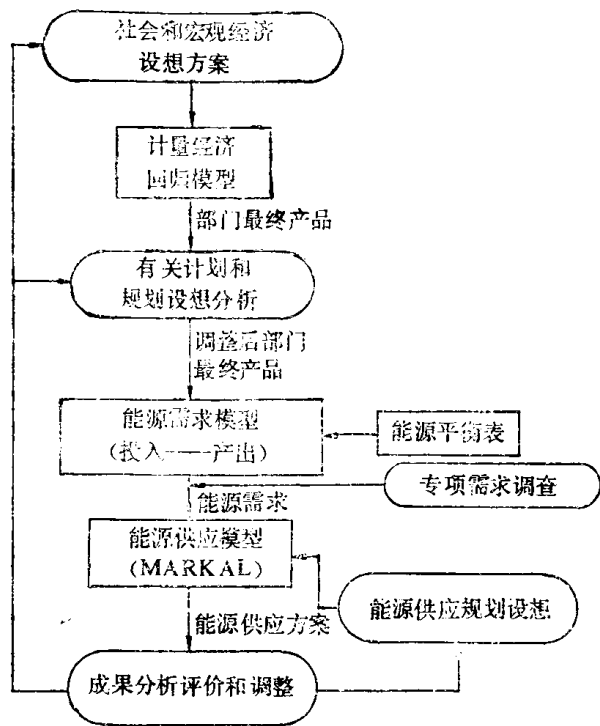


图 1.4 广东能源模型体系结构

图 1.4 顶部的社会和宏观经济设想方案，主要是在对广东未来经济结构进行设想的基础上，结合广东的历史和现状，对其今后的投资增长做了高、中、低三种设想，并根据国家和广东省的人口政策，利用人口增长计量模型，给出了未来广东人口增长设想，这些设想同其它设想一道，均作为外生变量输入到经济计量回归模型中，预测出规划期内各部门的最终产品。

广东能源-经济模型的主要内容分述如下：

一、宏观经济及能源需求模型

社会经济发展采用设想方案，是考虑到未来的经济发展和能源系统发展

虽然是从现有的基础出发，但未来的情况与现状将有很大的不同，不能仅仅根据历史和现状来推测未来。整个社会经济包括能源系统在内，其经济、技术、资源、财政、外贸、消费等各个方面将发生巨大的变化，不可能准确地预测，作为能源规划也不应该把这么多的不确定因素作为确定性问题来对待。在能源规划阶段，重要的不是计算的绝对数字，而是对各种可供选择的方案所作的相对结果的分析 and 比较。基于这种认识，设想方案不应是预言未来发展的确定图景，而是经过周密分析和研究，指出未来发展的可能范围。因此，对能源需求做了高、中两个预测方案。