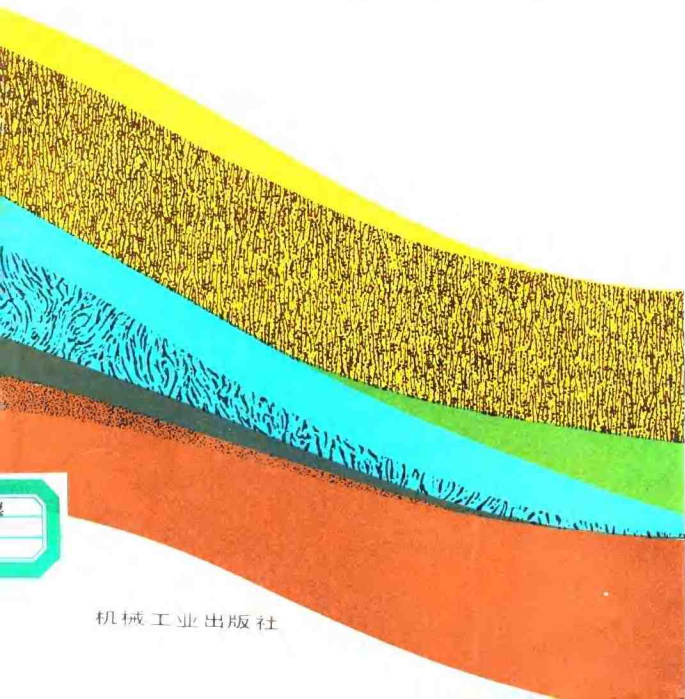


能源系统工程

刘 豹 寇纪淞 著



机械工业出版社

0140731



机工类字第802 2 0013864 1

能源系统工程

刘豹 寇纪淞 著

GF130/24



机械工业出版社

本书综述了能源系统工程的主要内容,包括能源系统工程的基本概念、术语,并分章介绍了能源需求和供应的预测方法,国家、省市、部门中能源生产的规划方法以及计算机在能源系统工程中的应用。本书可供各部委、省市、部门、企业从事与能源有关工作的管理干部和科技人员以及从事与能源工作有关的教学和研究人员学习参考。

能源系统工程

刘豹 寇纪淦 著

*

责任编辑: 黄克勤 责任校对: 孙志筠

封面设计: 方 芬 版式设计: 冉晓华

责任印制: 尹德伦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $8 \frac{3}{4}$ ·插页1·字数206千字
1991年3月北京第一版·1991年3月北京第一次印刷

印数 0,001—1,550·定价: 6.80元

*

ISBN 7-111-02439-7/TK·97

序

从我国开始研究本世纪末到底应达到怎样一个水平的国民经济总貌的时候起,我们就参与丁用系统工程方法研究我国能源供应能否支持国民经济达到小康经济水平的研究。结论是清楚的:在短短的二十年内要在现有的能源生产条件和资源条件下起步,单凭加速投资于能源生产设施来支持设想中的国民经济发展是不可能的,应当开源与节能并举。这之后我们又作了许多地区能源预测和规划并承担了部分国家节能规划的研究工作。同时,也得到欧洲共同体能源司的资助,研究了能源管理信息系统和能源决策支持系统。当年我提出的“能源系统工程”的名称,随着我国能源软科学的发展,居然也逐渐为广大的科学工作者接受,而能源系统工程的工作,在过去五、六年中竟成了一个很活跃的科学技术分支。在这个期间,大量的科技和管理干部,在能源系统工程方面作出了不少贡献,从国家的能源政策分析、能源需求和供应预测、能源生产优化布局、大型能源项目(包括自办的和合资的)可行性分析,直到地区的能源经济规划、城市能源形式的选择、企业的节能管理和部门的能源管理、农村能源规划等等,都作了深入研究和得出有用的结论。是他们充实了我国“能源系统工程”的内容。我国能源系统工程的成果除了体现在我国能源工业的大发展和节能工作的大收获上之外,还显示在我国各层次能源管理工作的进展上。至于文献性的成果,除了各研究项目的专题报告外(其中最著名的有中国能源研究会的“中国能源现状及展望”),主要刊登在“系统工程学报”、“系统工程理论与实践”、中国能源研究会主编和出版的“能源政策参考资料”和中国能源研究会能源工程专业委员会两次年会文集,第一本是“能源系统工程论文集”,能源工程专业委员会,1982在天津编印,第二本是“能源模型和系统分析”,1984年能源出版社出版。

本书和专题报告以及论文集中的研究报告不同,是一本系统性和入门性的读物,专供与能源系统工程有关的科技人员和管理人员在职学习之用,只要他们有一些线性规划矩阵代数和回归分析方面的初步知识,就不难读懂本书全部内容。由于本书篇幅有限,我们只就能源分析、能源预测、能源规划和能源管理信息系统四大部分作扼要介绍。所取内容,有相当部分是来自作者所在单位过去六、七年中研究论文。为了便于有兴趣的读者更进一步了解问题,每章后都列有参考文献。

本书第一章是概论,说明能源对人类生活和社会发展的重要性,指出世界性能源问题和我国能源的状况及问题。应当指出,我国能源问题是严重的:能源资源分布不均,能源产地远离消费地区;能源供应严重不足,缺电特别严重;能源利用效率低、浪费大、单位产值能耗大;人均能耗水平低、能源以煤炭为主,污染大;能源工业装备落后…等等。要解决能源问题就要研究有关能源政策的制定问题。对于象能源这样一种复杂的综合性很强的社会经济大问题,必须用系统工程方法来研究,这样就引出了能源系统工程。本章最后说明了能源系统工程的作用和任务。

第二章介绍能源系统分析方法。首先介绍能量分析方法,这原本是能源工程范畴的事,为全面起见本书列入这部分材料,但仅作简略介绍。其次介绍能源图分析,主要是引入能源

结构网络图,又叫参考能源系统,简称能源网络图。它是描述一个国家、地区或企业的能源系统中各类能源从能源资源的开采、经运输、加工、转换、分配、直到最后送入用能设备供终端使用的实际途径。它是一切能源规划的基础。本章第三节提出了能源投入产出表分析法,并在一般投入产出表的基础上解释该表的意义、构成和计算,以便使以前没有接触过投入产出表的读者可以很容易地掌握这种方法。最后,还以能源投入产出表的实例解释能源投入产出法的应用。第四节则引入了较新的层次分析方法,这种方法便于领导对为解决某一问题而提出的各类方案作评比,并从中优选一种。本节最后以改善某一城市能源供应系统为例,阐明了层次分析法在能源系统工程中的作用。

第三章说明能源系统的预测问题。首先说明一般预测的作用和预测方法的分类,对于能源预测,则按其应用不同而有能源需求预测、能源供应预测、能源新技术发展预测、世界能源宏观发展预测(这里不包括涉及经济较多的如能源价格预测和能源市场预测)。本章主要以弹性系数法、回归分析法、部门分析法和投入产出法为主介绍能源需求预测。本章还以一定篇幅介绍了能源供应预测,这是一种条件预测,即是:若能具备某些条件,则将来的能源供应就能达到何种水平。所以,能源供应预测更近乎是一种政策分析手段。

第四章介绍了能源规划问题。由于篇幅限制,本书主要说明了地区能源规划和能源生产部门规划。这两部分都取自我们自己的研究结果,实践证明是行之有效的,当然,它们也不是唯一的方法。系统工程的规划和传统规划方法是不同的,后者偏重经验和惯例,前者则着重优化计算和数学模型。由于数学模型的不够“精确”,和实际问题常有一定差距,所以,在目前阶段,这类优化规划还只能作为一个规划研究,为常规规划工作人员作为分析参考,在这种参考资料基础上,再加上规划工作人员的经验,按主管者的意图,才能作出更好的实际规划。

第五章是能源管理信息系统(能源MIS)。近年来我们受欧洲共同体的资助,和比利时的系统分析公司等部门合作科研,作了一些能源管理信息方面的工作,在天津市使用一年多行之有效的城市能源管理信息管理系统,得到广大能源管理者的好评,其管理系统软件已被全国许多城市购去应用。提高能源管理水平,第一步就应当用计算机来代替人作日常的能源统计、报表、分析工作。这可以用能源管理信息系统做到。如果要进一步研究能源系统的某些特殊问题,如如何分配城市能源以获得更高效益和推动城市经济发展,如何选择节能重点以进一步降低城市单位产值能耗水平,如何预测近期能源市场波动以更换能源品种,等等,可以研制能源决策支持系统来做。本章扼要地介绍了能源MIS的一般知识。本书第五章是天津大学系统工程研究所副教授寇纪淞博士写的。

应该介绍的能源系统工程基础知识实在太多,例如在第四章原计划的国家能源规划问题和原定第五章的世界能源分析问题、企业能源管理问题、能源环境影响问题、大型能源工程可行性分析问题等等,由于篇幅和时间限制只好忍痛割爱。

世界人口急速发展,我们的世界相对的说是愈来愈小了,而世界上可供人类发展必需的资源,特别是能源,即一类非再生能源,是愈来愈少了。多少年来由于人类发展,大规模生产和能源的不合理应用,已经把世界环境污染得不象样子。从悲观的论点看,人类确实可能在并不太远的将来被自己的发展所毁灭。但我恰恰相反是一个乐观主义者。我的乐观,并不是因为无知,也不是由于自私,而是我坚信只要我们努力,充分发挥人类的智慧,促进科学技术的进步,我们还有机会赶在世界环境污染得不能让人类自由活动之前而解决环境污染

和生态系统彻底被破坏的问题，我们还有机会在非再生能源耗尽用完或非以大到不可能的代价采集和生产能源之前而发明出实际可用的干净的用之不竭的能源，我们还有机会赶在人类被毁灭之前而拯救人类。这样，我们从现在起，就要用科学的，也就是用系统工程的方法来研究能源的一切软问题，这就是能源系统工程的最重要的作用。当然，我这本书仅仅是能源系统工程的一个介绍，能源系统工程本身的工作还有待进一步研究、发展、完善。如果我们的读者中有几个人能从本书得到启发，将来在能源问题上为人类作出一点贡献，那本书作者就将感到极大的宽慰。

“能源系统工程”这本书的原稿的大部分，在我1985学年去联邦德国鲁尔大学作客座教授之前就已完成，但总因当时准备出国太匆忙，这本稿子没有能完全结束，以致一拖就两年

（在这种情况下，有些叙述方面的数据和分析，可能已比较陈旧。但方法部分，经过修正和补充，则仍然是适时的）。请允许我感谢天津大学系统研究所能源系统工程组的所有同志，其中要提到顾培亮教授，寇纪淦和许树柏副教授和博士。最后，我必须感谢我的妻子芬，没有她多年来牺牲了自己的事业而对我的全部关怀和照顾，我将一事无成。

刘 豹 1988年1月
天津大学三村

目 录

序

第一章 概论	1
§1-1 能源是人民生活和社会发展的物质基础	1
§1-2 世界性能源问题	3
§1-3 我国能源概况与存在的问题	4
§1-4 系统工程在解决能源问题中的作用(3)(4)(5)	8
§1-5 能源系统工程的任务	10
参考文献	12
第二章 能源系统分析中的基本方法	13
§2-1 能量分析方法	13
§2-2 能流图分析	21
§2-3 能源投入产出分析	32
§2-4 层次分析法在能源系统分析中的应用	43
参考文献	52
第三章 能源系统预测	53
§3-1 引言	53
§3-2 能源需求预测	56
§3-3 能源供应预测	75
参考文献	82
第四章 能源系统规划	83
§4-1 引言	83
§4-2 地区能源模型	86
§4-3 能源部门生产布局模型	103
参考文献	110
第五章 能源管理信息系统	111
§5-1 能源管理信息系统的概念	111
§5-2 能源管理信息系统的结构	113
§5-3 能源管理信息系统的研制	116
§5-4 能源管理信息系统的实例	125
参考文献	132

第一章 概 论

§ 1-1 能源是人民生活和社会发展的物质基础

一、能源是人民生活的必需品

凡是能够直接或间接经过转换,产生能量的自然资源统称为能源,如采集到的柴薪和秸秆,采出的煤炭、原油和天然气,流水坝的水力,太阳能、核燃料、潮汐能、风能,……等等。能源中凡是自然现有的,即未经加工或转换的能源,叫一次能源,如前述能源中的绝大部分。能够直接用作终端能源(即经用能设备提供人们使用的能源)的是很少的,大部分要经过加工或转换。由一次能源加工或转换而成的能源产品叫二次能源,如木炭、焦炭、液化石油气、氢、石油炼制品、甲醇、乙醇、苯胺、电能、汽、热水、压缩空气,……等等。能源中若按其是否以燃料形式出现,又可以分成燃料能源,如矿物燃料、生物质燃料、化工燃料、核燃料(铀、钍、氚…)等,以及非燃料能源,如风能、潮汐能、地热、工业余热、太阳能、激光、电能、化工原料等。

表 1-1

内 容	能 源 作 用	能 源 种 类
天然原料纺织品 人造原料纺织品 洗涤剂、肥皂 洗衣机	纺、织、染等加工 纺、织、染等加工 原材料制造加工 原材料制造加工、原动力	电力、蒸汽 电力、蒸汽、石油、煤、天然气 电力、蒸汽、石油、煤、天然气 电力
木材 建筑材料	原材料 加工、原料	木材、蒸汽、电力 煤、气、电力、石油、天然气
采暖、通风、空调、电扇 灯具	原动力、所需设备的加工制造 光源能、所需的加工制造	电力、蒸汽、太阳能、地热 电力
炊事炉灶 冰箱、冷库 电气炊具	原动力、热源能、加工制造 原动力、加工制造 原动力、加工制造	煤、气、柴薪、秸秆、沼气 电力 电力
交通运输	燃料、原动力、加工制造	电力、汽油、柴油、煤
电影、电视、收录机	电能、加工制造	电力
电话、电报	电能、加工制造	电力

从上面所举种种能源例子可见,人们的日常生活,处处离不开能源。仅就人们直接接触的很有限的衣、食、住、行、文娱活动等五个方面来说,就可以列出一张长表,见表 1-1。而且,随着生活水平的提高,我们所需的能源量也就愈多。从一个国家人民的能耗量就可以

看出一个国家人民的生活水平。表1-2为1980年按标准煤折算的世界人均能源消耗率。

表 1-2

地 区	kg标准煤 ^① / (年·人)
北美	7891
苏联和东欧	3593
西欧、澳大利亚、以色列、新西兰、南非	2821
拉丁美洲	775
南亚、东南亚	141
中东、北非(产油区)	634
中国及亚洲计划经济国家	352
全世界平均	1409

①1kg标准煤,即1kg标准煤,相当于 $29.3 \times 10^6 \text{ kJ}$ 的热量。

我国1977年以来实际情况很明显地说明了这一点,多数城市居民和部分农民都逐步拥有了收音机、电视机、录音机和家用电器。

所以,能源已是人民生活的必需品,发展科学技术和增加优质能源供应将为我国人民生活增添丰富的内容。

二、从人类社会的发展看能源

回顾人类历史可以更明显地看出能源和人类社会发间的密切关系。

古代,人类以柴薪、秸秆和动物排泄物等生物质燃料来烧饭和取暖,以人力、畜力和一小部分简单的风力和水力机械作动力,从事生产。这个以柴薪等生物质为主要能源的时代延续了很长时间,生产和生活水平极低,社会发展迟缓。

18世纪工业革命开创的工业大发展,煤炭取代了柴薪作为主要能源,蒸汽机成为生产的主要动力,促进了工业发展,社会劳动生产力有了很大增长。

19世纪末,电力开始进入社会各领域,电动机代替了蒸汽机,电灯代替了油灯、煤汽灯和蜡烛,电力成了工矿企业的主要动力和生产与生活照明的主要来源,社会生产力有了大幅度增长,从根本上改变了人类社会的面貌。人民生活极大提高,社会迅速发展。

石油资源的发现,开始了能源利用的新时代。特别是本世纪50年代,在美国,继后是中东和北非等地区,相继发现了巨大油田和气田。西方工业发达国家很快地从以煤作为主要能源转换到以石油和天然气作为主要能源。这是继柴薪向煤炭转换后,能源结构变化上的又一个里程碑。这对促进世界经济繁荣和发展起了巨大作用。近30多年来,世界上许多国家依靠石油和气,创造了人类历史上空前的物质文明。

三、能源与社会生产的关系

能源所以和社会发展的关系密切,首先因为它是现代化生产的主要动力来源。现代化工业和农业都离不开能源动力。

工业方面,各种锅炉、窑炉和生产工业用蒸汽都要用油、气和煤;钢铁冶炼要用焦炭和电力;机加工、起重、物料传送、气动液压机械、各种电机以及生产过程控制和管理,都要电力;交通运输则需动力、油和煤;国防工业也需要大量电力和石油。能源还是珍贵的化工

原料,如从石油中可取得五千多种有机合成原料,其中重要的基本原料有乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘。把它们再加工就可以得到塑料、合成纤维、人造橡胶、化肥、人造革、染料、炸药、医药、农药、香料、糖精等各色工业制品。

四、现代社会能源需求量的水平

现代社会生产和生活,究竟需要多少能源?按目前世界情况,大致有下列三种水平。

1) 维持生存的必要能源消费量(以人体需要和生存可能性为依据),每人每年约400kg标煤。

2) 现代化生产和生活的能源消费量(为保证人们能丰衣足食,满足起码的现代化生活所需的能源消费量)为每人每年1200~1600kg标煤,见表1-3。

表 1-3

单位: kg标煤

项 目	国外提出的现代化最低标准	中国式现代化标准 ^[1]
衣	108	70~80
食	323	340~320
住	323	320~340
行	216	160~120
其它	646	440~460
合计	1616	1230~1320

3) 更高级的现代化生活所需的能源消费量,以工业发达国家已有的水平作参考,使人能够享受更高的物质与精神文明,每人每年至少需2000~3000kg标煤。

§ 1-2 世界性能源问题

一、能源危机

自70年代中期以来,能源和人口、粮食、环境、资源一同被列为国际五大问题。人们要在条件愈来愈恶劣的环境中生存下去,我们的子孙后代要生活得比我们更好,首先就要解决这五大问题。能源危机是70年代世界上的一次经济大危机,它使过去几十年靠廉价石油发家的西方资本主义国家受到极大冲击,严重地影响了那些国家的政治、经济和人民生活。70年代的能源危机,实质上是石油危机。石油是燃烧效率高、污染低、便于携带、使用、储存、又是多种化工产品的重要原料,特别是在交通运输方面几乎是不可替代的燃料,50年代以来长期的低价供应市场,使石油主宰了50年代后的能源市场。由于政治和经济多方面的原因,70年代中石油经两次提价,廉价石油已成为珍贵的石油。由于石油是一种非再生能源,在世界上的储量是有限的,石油生产国家为保持其优价长期销售的优势,采取了限量生产的政策,而工业发达的用油国家,由于受到石油危机的冲击和价格的压力,多方面采取了节油,研究石油代用技术,而且对今后石油供应问题也作了深入的分析。国际能源机构IEA在1979年发表的一项声明中反映:迄今为止,常常预期今后不断增长的能源需求,至少在中期内能够靠石油供应来满足,主要是靠石油输出国组织OPEC国家的供应。但这种情况不会太久,鉴于石油输出国组织扩大生产的可能性有限,其它地方的可能性也有限,以及预料对油价的压力将持续增大,现在比以往任何时候都清楚地看到,继续依靠石油来满足不断增长的能源

需求不会太久了。这种观点已被看作是一种令人信服的选择。”

二、能源问题

而石油的限制，还要继续达到经济增长的目标，就要从扩大石油以外的能源来源，寻找并生产和石油相媲美的高质能源和提高能源利用效率多方面想办法。这就是世界能源问题的实质。

国际应用系统分析研究所IIASA作了今后50年(1981~2030)世界能源问题的研究，在他们的一篇研究报告“有限世界的能源——通向未来持久能源系统的道路”中，令人信服地分析了世界能源问题及其前景，他们的分析是：

1973年石油冲击仅仅是一种暂时的“危机”，但它促使人们进一步想到，世界面临的或许不是暂时的危机，而是影响深远的长期的“能源问题”，要解决能源问题，必须从长计议。在近期，能源要求的增长必须满足不同程度的经济增长，以及促进迅速增长的全球人口的福利的要求。为这一事业而投入的全球人力和自然资源都将是紧张的。同时，从长期看，世界各国必须建立持久的、公平的、有弹性的能源系统，以满足全世界和更遥远的将来全球人口的需要。

所谓持久的能源系统是指能源资源不能单纯地被消耗掉或被烧掉，还要为生产另一种能源而投入这些资源。所谓公平的能源系统是指全球共有的资源，所有人都能得到公平合理的一份。有弹性的能源系统，则意味着能够有力而灵活地承担预料不到，范围很广的全球能源需求的种种困难。

从现在的矿物能源时代，过渡到以耗用不尽的能源为基础的时代，在全世界各国的共同努力下，或许还有可能。

§ 1-3 我国能源概况与存在的问题

一、能源问题在我国四化建设中的重要性

能源是人民生活和社会发展的物质基础。我国正处在社会主义现代化经济建设期间。从1981年到本世纪末的20年，我国经济建设总目标是在不断提高经济效益的前提下，力争使全国工农业的总产值翻两番，即从1980年的7100亿元增加到2000年的28000亿元左右。实现了这个目标，我国国民收入总额和主要工农业产品的产量将居于世界前列，整个国民经济的现代化过程将取得重大进展、城乡人民的收入将成倍增长，人民的物质文化生活可以达到小康水平。到那个时候，我国按人口平均的国民收入还比较低，但同现在相比，经济实力和国际实力将大为增强。只要我们积极奋斗，扎扎实实地做好工作，进一步发挥社会主义制度的优越性，这个宏伟的战略目标是能够达到的。

通观全局，为实现上述经济发展目标，最重要的是要解决好农业问题，能源、交通问题和教育、科学问题…。当前能源和交通紧张是制约我国经济发展的一个重要因素。这几年，我国能源生产的发展放慢了一些，而能源的浪费仍然十分严重，要保证国民经济以一定速度向前发展，必须加强能源开发，大力节约能源消耗…。

在1983年6月6日我国的政府工作报告中也提到：“今后五年，必须大力加强能源、交通等方面的重点建设，积极推进现有企业的技术改造。…我们要从水电、火电和核电三个

方面,加快电力工业的发展。在黄河上游、长江上游支流和红河流域,逐步建设一批大型水电站;在山西、内蒙古、安徽、两淮、贵州六盘水等地的煤矿区,逐步建设一批大型坑口电站。为了扩大煤矿建设规模,一方面要抓紧山西和内蒙古几个大型露天煤矿的开发,另一方面要有计划地加快中小煤矿的建设。石油工业要重点加强陆上和海上的普查勘探,力争尽快探明一批新的油气田。解决能源问题必须继续贯彻开发和节约并重的方针,凡是新建项目都要采用节约能源的新工艺、新技术……”。

在我国,能源问题已成为社会主义经济建设的关键问题之一,国家在能源建设方面的基本政策是开发和节能并重。能源建设的原则政策已定,问题是各部门各地区如何进一步参照实际情况,作能源建设的预测、分析、规划研究,并在此基础上提出各种具体措施。

二、我国的能源资源

从煤、油、气、水力等能源资源总量来看,我国是世界上能源资源丰富的国家之一。见表1-4、1-5、1-6。

地质储量,或称总资源,和探明储量是不同的。后者是指已探明并实测,能够以经济核算的成本开采的储量。地质储量或资源,则只有一般了解,例如,估计这里有油,如作进一步调查,能够发现油矿。在成本方面,资源只有边际经济性,只能在价格很高时才开采。经过勘探,资源可以转变为储量。

据统计,我国煤炭地质储量为 $1.46 \times 10^{15}t$,约占世界总地质储量的11%,1980年底,我国煤炭探明储量为 6425×10^8t ,其中炼焦用煤占36%,化工用无烟煤占17%,动力煤占45%,石煤占2%。煤炭资源遍及全国,但总量的75%集中在山西(大于 2000×10^8t)、内蒙(1900×10^8t)、贵州(大于 460×10^8t)、安徽、陕西(均为 200×10^8t 以上)、江南九省市不到 130×10^8t ,仅占全国的2%。

我国主要油田有大庆、胜利、大港、任丘、辽河、冷湖、克拉玛依、玉门、吉林、南阳、江苏等。1978年以来,原油产量为 1×10^8t 左右。

渤海、黄海、东海、南海的近海大陆架石油地质勘探工作亦已取得初步成果,先后发现了渤海盆地等几个大型含油盆地和广东省海上油气资源前景。当前我国石油工业的后备资源不足,石油探明储量的增加赶不上老油田产量的递减速度,储量比历年下降。

天然气可采储量以西南地区最多,但总的来说,也是后备储量不足。

我国水力资源较丰富,据1980年资料,全国水力资源理论蕴藏量为 $6.8 \times 10^4 kW$,可能开发量约为 $3.78 \times 10^4 kW$,年发电量 $1.92 \times 10^{12} kW \cdot h$ 。它们主要分布在西南地区(68%)其次为中南地区(15%)和西北地区(10%)。

我国大部分地区的铀资源尚未普查,已探明的铀矿储量相当于几十亿吨煤炭量。此外,还有一定数量的潮汐能,油页岩资源,地热和太阳能资源。

我国能源资源地区分布见表1-7^[2]。

我国历年能源生产总量及构成,见表1-8^[2]。

三、我国能源存在的问题

我国能源是紧张的,它已成为制约我国经济发展的重要因素之一。具体分析,这种紧张形势与我国能源系统的特点或存在的问题有关,下面几点是比较突出的。

1. 能源资源分布不均,能源产地远离消费地区

我国能源资源还比较丰富,但分布很不均匀(见表1-7),煤炭资源主要分布在华北,

表 1-4 世界石油探明储量

单位: 10^9 t

国 家	石油探明储量	国 家	石油探明储量
沙特阿拉伯	228.18	美 国	83.84
科威特	125.91	利比亚	29.18
苏 联	80.82	委内瑞拉	34.25
伊 朗	66.85	中 国	25.21
墨西哥	74.87	尼日利亚	21.92
伊拉克	64.52	英 国	12.33
澳大利亚	23.5	印 尼	11.37
阿布扎比	42.47	阿尔及利亚	12.05

资料来源: 1987年1月1日美国“油气杂志”, 译载“国外石油消息”1987年2月25日。

表 1-5 世界煤储量
(实测储量 10^4 t以上国家, 单位: 10^4 t)

国 别	提出时间	经济可采储量		实测储量	总 资 源
		硬 煤	低阶煤		
美国	1974	103183	116076	397657	3599657
苏联	1979	104006	129000	27600	5926000
中国	1979	99000	—	—	1465000
南斯拉夫	1971	70	16500	177680	181477
联邦德国	1979	23991	36150	99000	285300
澳大利亚	1979	25400	33940	22900	779900
波兰	1978	27000	12000	76000	164000
南非	1975	25290	—	68740	82511
英国	1977	45000	—	45000	149500
印度	1974	12610	1588	22679	114014
加拿大	1978	1607	4299	16091	474412
捷克	1978	2700	2860	12950	20090
世界总计		487978	410791	1903887	13609298

资料来源: 美国“世界煤”杂志, 1988年。

表 1-6 世界天然气探明储量
(5000×10^6 m³以上国家, 单位: 10^6 m³)

国 家	天然气探明储量	国 家	天然气探明储量	国 家	天然气探明储量
苏联	438550	委内瑞拉	16697	美 国	9452
伊朗	127350	荷 兰	19923	阿根廷	6509
美国	52468	马来西亚	13992	利比亚	5994
沙特阿拉伯	95089	尼日利亚	13301	阿布扎比	25470
阿尔及利亚	29998	中 国	8748	巴基斯坦	5292
加拿大	28187	科威特	9905	澳大利亚	5285
墨西哥	21650	印 尼	13992	挪威	29200
卡塔尔	43016	伊 拉 克	7924	世界总计	1026155

资料来源: 1987年1月1日美国“油气杂志”, 译载“国外石油消息”1987年2月25日。

水力资源大部分集中在西南、中南和西北，石油产区是东部和沿海。我国主要耗能地区是在沿海，这就造成了北煤南运、西煤东运和西电东送的局面，煤炭调运给交通运输带来了很大压力。

表 1-7^(*)

单位：全国为100%

地 区	煤 炭 1980年探明保有储量	石 油 1978年底剩 余可采储量	天 然 气 1978年底可采储量	电 力 可开发水资源年发电量
西南区	10.7%		67.52%	67.9%
西北区	12.0%	12.30%	4.64%	8.9%
中南区	3.7%	4.64%	3.89%	15.4%
华东区	6.5%	16.21%	3.06%	3.6%
华北区	84.0%	16.0%	8.43%	1.3%
东北区	3.1%	80.82%	12.64%	2.0%

表 1-8^(*)

年	以标煤计的能源生产 总量/10 ⁴ t	以能源生产总量为100			
		原煤	原油	天然气	水力
1952	4871	91.8		1.3	1.9
1957	8880	94.9	2.1	0.1	2.9
1962	17186	91.5	4.7	0.9	2.9
1965	18324	88.2	8.4	0.6	2.6
1970	30990	81.8	13.9	1.2	3.1
1975	48764	70.9	22.2	2.4	4.4
1978	62750	70.3	23.7	2.9	3.1
1979	64696	70.2	23.5	3.0	3.3
1980	63731	69.5	23.8	3.0	3.7

2. 能源供应严重不足，缺电特别突出

全国发电能力缺近千万千瓦，有相当数量的生产能力不能发挥，许多工厂常处于半停工状态，大片农村无电，生活用能贫乏，按最低需要还缺20%，致使柴薪过度砍伐，秸秆不能返田，破坏农田生态平衡。

3. 能源利用效率低浪费大

能源利用效率是衡量一个国家的经济、技术和管理水平的重要标志。我国能源短缺，而且能耗高、浪费大。我国能源综合利用效率只有25%，大大低于苏联，西欧和日本。单位能源产值，日本比我们高四倍多，联邦德国、法国比我们高三倍多，即使印度也比我们高一倍以上。

4. 人均能耗水平低

我国能源生产总量为世界第三位，但人口众多、人均能耗很低，1980年人均能耗只占世界平均的四分之一（表1-2）。城市居民生活用电人均每年12kW·h。

5. 能源以煤炭为主

我国能源构成中始终以煤炭为主, 预计到本世纪末仍将占70%左右, 石油、水电和天然气共占30%。水、电和天然气所占比重与其潜在的资源量不相称。

6. 能源消费结构不合理

在全国能源总消费中, 工业用能比重偏高, 民用比重偏低。锅炉和窑炉烧油过多。能源工业自耗量大, 相当于城市居民用能的三倍。原煤直接燃烧多, 既浪费能源, 又污染环境。

7. 能源建设周期长, 耗能多

能源建设是一种基础设施的建设, 建设时间长, 难度大, 投资多。一个大型煤矿, 一个相当规模的油田, 一个大型水电站, 一座核电站, 从勘探设计到建成投产, 一般都要8年到10年, 甚至10年以上。近年来建设周期有愈拖愈长, 建设难度有愈建愈难, 建设投资有愈搞愈多的趋势。

8. 能源价格太低

因能源价格太低, 能源生产部门, 特别是煤炭部门全行业亏损, 一些该办的事不能办, 影响生产积极性。在一些能源使用部门中, 能源占生产成本的比例很小, 不利于节能和提高能源利用率。

9. 能源生产条件艰苦

煤矿工人要与水、火、瓦斯、地压作斗争; 石油工人身临荒滩戈壁; 水电工人战斗在高山峡谷; 他们的生活艰苦, 工作条件恶劣。目前建设队伍不稳定、科技人员缺乏、能源专业院校招生困难, 影响能源工业的发展。

10. 能源工业装备落后

发电机组多是小型, 煤矿装备落后, 不少技术还停留在50年代水平上, 劳动生产率低, 事故多。

§ 1-4 系统工程在解决能源问题中的作用^{〔8〕〔4〕〔6〕}

一、能源问题必须用系统工程方法来研究

能源问题是一类复杂的综合性的社会经济大系统问题, 必须用系统工程的方法来作分析和研究。

先以我国总的能源问题来说, 目前主要的问题是如何按开发与节能并重的方针, 在有限的资金、装备、技术和人力条件下, 来安排我国有关能源开发、生产和使用部门的工作, 以满足我国经济建设总目标的要求。要研究这个问题, 首先就要以全国宏观经济的观点来分析从1980年到2000年中, 我国宏观经济中各主要变量, 如国民经济生产总值、固定资产、国民收入、总积累、国家总投资额、总就业人数等等将是如何变化发展的。然后再以国家投资总额、总积累、国民收入和总消费额, 通过全国能源动态投入产出模型研究一定投资条件下的经济发展对于各种能源的总需求。以各地区各种能源的总需求量和能源投资总额为基础, 分别就煤炭、石油、天然气、电力、新能源等几部分, 考虑到全国各主要能源基地的勘探、开发、运输、需求等环节, 研究能源工业的合理布局、投资的合理分配、运输方案的合理选择等问题。在研究上述各种合理方案时, 还要利用这些合理方案所能供应的各种能源供应量和由投入产出分析预测到的各种能源需求量, 按全国能源资源开发、运输、加工、转换、使用直到最终用能形式的各个环节, 以多目标优化方法, 找出合理的能源构成。显然, 这是一个

涉及全国国民经济各部门的大系统分析和优化问题。

如果研究一个地区(行政经济区域、省或市)的能源问题,那么也要从地区的宏观经济分析出发,充分研究能源与地区国民经济的关系,即能源系统内部联系与演变受到地区国民经济主要变量的制约,根据全国国民经济发展对地区经济发展的要求,地区宏观经济分析可以得出地区经济变量的变化,其中对地区能源特别有关的是投资总额、地区总消费额,总积累额和总劳动力的变化。用这些数据,通过地区能源动态投入产出分析可以预测中近期地区经济各部门(如煤炭、石油、电力、机械、建材、建筑、轻工、农业、流通等)对能源的总需求。各地区能源的供应和消费关系,可通过反映地区能源消费特点的能源系统网络图来描述。以此网络图为基础可以研究在一定目标下(例如投资—能耗最小,或投资—污染最小等目标)地区的最优能源供应方案。这也是一个相当复杂的大系统分析和优化问题。

对于能源生产部门,他们面临的主要能源问题可能是,在一定的投资、资源、技术和时间限制下,怎样组织能源建设和生产才能满足全国各地区实现经济建设总目标对各种能源的需求。这可以是一个能源部门的生产布局问题,或是它们的发展规划问题。拿煤炭部门的工业生产布局问题来说,要考虑国民经济发展对煤炭的需求,国家对煤炭部门基建的可能投资,煤炭资源和煤炭消费地区的分布及运输等等关系。他们要最合理地确定各地的开发建设方案和各基地到各消费地的合理运输方案。在基地本身发展过程中要确定最经济的运输方案,各基地下属各矿区(甚至矿井)的投建安排方案。同样,这也是一种相当复杂的大系统分析和优化问题。

如果再开扩一下眼界,研究与世界有关的能源问题,那么它更是一类复杂的大系统问题了。如果要研究或评价我国对外能源经济政策,就必须先分析世界能源市场,预测未来能源技术与价格的变化,同时要全面分析我国工业生产、消费和外贸需要,最后再来评价或制定对外能源经济政策,这就涉及国际市场,世界能源技术发展与我国工业和能源情况,是较全国性能源分析还要复杂的一种系统分析。

IIASA所作的“有限世界的能源”是一种典型的复杂综合大系统分析研究报告。因为它收集和分析了许多历史统计数据和技术数据,描述了趋势曲线和图表,利用了数学模型。由于它所分析的是世界今后50年的能源状况,所以用了相当多的定性分析以弥补定量分析方法在长期预测中的不足,又因为它研究了世界能源的历史和地理,各种能源技术的发展,特别是各种新能源技术的发展前景;能源活动的气候影响及其危害问题;能源市场渗透规律等多方面问题。

当然也有规模较小的能源问题,例如一个矿井的投建计划;一个洗煤厂的洗煤工序和分选方案;一个工厂的节能分析,甚至一个生产设备的节能分析。这也是一类需要从系统角度加以分析或优化的问题。

二、系统工程在解决能源问题中的作用

系统工程是从整体的系统的观点出发,分析各类大系统问题的定量化(或定性定量相结合)的方法,在众多可行的方案中选取一些在某种意义上(经济的,社会的或政治的意义上)最优的方案,供决策者参考选用。决策者可以提出方案的目标,可以设定或改变制约条件。因而,系统工程也是帮助决策者分析问题的方法。我国科学工作者从事系统工程研究工作的时间不长,但已获得了丰硕的成果。在解决我国能源问题方面,用系统工程方法初步得到了2000年我国能源需求和供应的预测结果。对某些地区和部门也作了系统分析和开发规

划,得到了初步的结果。

三、对能源系统工程的基本认识

以能源系统为研究对象的系统工程叫能源系统工程。能源系统包括能源勘探、开发、生产、加工、转换、运输、分配、储备、使用、以及环境保护等各个环节,每个环节均由国民经济的若干部门组成。例如能源运输环节涉及铁路、公路、水运等交通运输部门、物资管理部门、电力输送部门等活动。这些环节彼此制约和相互影响而形成一复杂的整体,起着为国民经济发展和人民生活需要提供能量和原料等物质基础的作用。显然,能源系统是社会经济系统中的一个子系统。

能源系统工程是分析现有能源系统,通过(由决策者)对能源系统施行最优设计、最优规划、最优控制和最优管理功能,来创建满足经济发展和提高生活水平所需要的系统,着重于能源系统的组织建立和运行管理的一门工程技术。应该说明,工程这个概念指的是服务于特定目的的各种工作的总体,而系统工程是改造自然系统及(或)创立社会生活各方面人所需要的系统,从而以创造人类社会物质财富为其根本任务的实践活动,理所当然地归为工程技术。它不仅包括改造与自然界的生产实践有关的活动,也可以包括诸如生产组织管理等内容改造社会的实践活动。能源系统工程属于社会—经济系统工程,是它的一个分支。

能源系统工程是解决能源系统问题应用的系统工程方法,具体地说,就是用系统工程方法研究分析能源系统问题,按决策者的意图,在许多可行的解决问题的方案中优选若干方案,提供决策者最后优选采用。或在许多想定的前提下,找出各种对应的后果,帮助决策者作决策分析。由此可见,系统工程技术人员必须与决策者密切联系,通力协作,才能取得预期的效果。系统工程技术人员用系统工程方法分析问题,最后由决策者决定具体措施去创建系统或组织系统,离开了决策者,系统工程技术人员将一事无成。

§ 1-5 能源系统工程的任务

能源系统工程可以为世界、国家、地区、企业等能源系统作预测、分析、规划、管理和评价等工作,具体说,可以解决下列各种问题。

一、能源需求预测

采用系统工程中不同方法,按历史统计数据,人口发展趋势、国民经济发展速度、人民生活水平提高速度,可以对全世界、世界上某一地区、国家、省市作出一定期间内的能源需求预测。预测的期间可以是今后几年(短期)、十几年(中期)、或几十年(长期)。预测的能源需求可以是能源总需求量、需求的年增长率、各种能源的分总需求量及其增长率。预测了一个国家的各种能源分总需求量就等于预测了它的能源需求构成和能源总需求量。能源需求预测是能源生产、开发和规划的基本依据,是能源系统工程的首要任务。

二、能源供应预测

在我国这样一个经济属于发展中国家水平的社会主义计划经济国家,能源供应总是落在能源需求的而后,这时的能源供应预测是指在可能的能源生产建设投资额,现有的资源条件和能源技术条件下,预计在一定期间内可以供应的各种能源总量及其年增长率。在计划经济国家中,能源供应预测与能源生产规划有密切关系,在决策者认可的主要客观因素约束和选定的优化目标下,最后取定的供应预测就是能源开发建设规划的依据。在资本主义国家,预