
中国能源承载力研究

ENERGY INDUSTRY IN CHINA

AN ASSESSMENT OF ITS SUPPLY CAPACITY

郭云涛

GUO Yuntao

PhD

悉尼科技大学

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, SYDNEY

2005

Students are required to make a declaration when they submit the thesis for examination. Here is a recommended form of words.

CERTIFICATE OF AUTHORSHIP / ORIGINALITY

I certify that this thesis has not previously been submitted for a degree nor has it been submitted as part of requirements for a degree except as fully acknowledged within the text.

I also certify that the thesis has been written by me. Any help that I have received in my research work and the preparation of the thesis itself has been acknowledged. In addition, I certify that all information sources and literature used are indicated in the thesis.

Signature of Candidate

Production Note:
Signature removed prior to publication.

目 录

摘要	1
第一章 导论	2
第一节 研究的背景和目的	3
一、研究的背景	3
二、研究的目的	4
第二节 国内外的研究状况	5
一、关于承载力评价理论	5
二、关于可持续发展研究	6
三、关于能源发展战略	7
四、关于能源政策	8
五、关于能源系统研究	9
六、关于能源经济	9
七、关于项目评价	10
第三节 研究的主要内容和方法	10
一、研究内容	10
二、研究方法	11
三、研究的基本框架	11

第二章 中国能源发展概况	13
第一节 中国的能源资源	13
一、一次能源资源.....	13
二、能源资源总体评价.....	14
第二节 中国能源供应现状	16
一、能源生产总量及其增长.....	16
二、能源生产结构及其变化.....	18
三、中国能源供应评价.....	19
第三节 中国能源供应面临的形势与任务	22
一、存在的问题.....	22
二、面临的形势.....	24
三、面临的任务.....	29
第三章 能源承载力系统研究	32
第一节 能源承载力概念、内涵	32
一、能源承载力的概念.....	32
二、能源承载力的内涵.....	33
第二节 能源承载力影响因素分析	34
一、能源承载力的政治影响因素.....	35
二、能源承载力的经济影响因素.....	35
三、能源承载力的社会影响因素.....	36
四、能源承载力的社会影响因素.....	36

第三节 能源承载力系统的构成	37
一、承载力系统的提出	37
二、系统划分	38
三、能源承载力系统的特征	39
四、能源承载力概念模型	41
第四节 能源承载力系统规律分析	42
一、稳定系统的规律分析	42
二、复杂系统的规律分析	43
第四章 能源承载力评价指标体系	46
第一节 能源承载力指标体系构建的基本原理和准则	46
一、指标、指标体系及其功能	46
二、能源承载力指标体系构建的基本原则	48
三、指标体系建立方法	49
第二节 中国能源承载力评价的指标设计	51
一、供给力系统指标设计	51
二、协调力系统指标设计	54
第五章 能源承载力评价方法	59
第一节 评价的基本思路	59
第二节 承载力评价的主成分分析模型	60
第三节 评价权重的确定	62
一、确立权重的方法	62

二、能源承载力指标权重的确定	64
第四节 中国能源承载力和谐性评价	70
第六章 中国能源承载力评价	74
第一节 能源承载力评价的原始数据	74
第二节 中国能源承载力水平	74
一、指标数据的标准化	74
二、计算子系统相关系数矩阵	80
三、计算矩阵特征根、特征向量及方差贡献率	80
四、主成分选择及能源承载力水平计算	80
五、供给力系统要素水平计算	85
六、协调力系统各要素水平计算	86
第三节 中国能源承载力评价	87
一、中国能源承载力总体水平评价	87
二、各子系统影响因素水平评价	89
三、中国能源承载力的和谐性评价	93
第四节 提高中国能源承载力的几点建议	96
第七章 结论	99
一、开展的工作	99
二、得出的结论	104

三、主要创新点·····	106
四、问题和展望·····	107
参考文献·····	109

摘 要

Abstract

能源问题是中国乃至全世界所共同关注的问题，处理好能源问题关系到经济和社会的发展，关系到国家的安全，关系到人民生活水平的提高，关系到全人类的进步。本文通过对中国能源资源、中国能源供应以及中国能源消费的现状的分析，总结了能源发展的成就和经验，提出了中国能源面临的形势和任务。在此基础上，提出了能源承载力的概念，阐述了能源承载力评价理论，形成了中国能源承载力的评价体系；经过调查比选确立了能源承载力评价的指标，形成了以供给力与协调力为主要框架，资源赋存、经济影响、保障条件、能源利用、国民经济、社会发展、环境保护、智力等为次级框架的能源承载力指标体系；根据统计学与模糊数学的有关理论与原理，运用主成分分析模型建立了能源承载力评价指标选择方法和能源承载力水平计算的模型；通过 1991—2002 年中国有关能源数据的研究，利用建立的评价方法，对中国能源承载力总体水平、有关要素水平及能源承载力的和谐性进行了分析评价，得出了中国能源承载力的基本判断。

第一章 导 论

能源是国家经济的命脉，能源问题历来是各国政府关心的主要问题，能源的赋存量、质量决定了经济发展、社会进步和人民生活水平的提高，是影响一个国家经济增长潜力和可持续发展能力的重要因素。

进入新世纪以来，中国经济建设进入新的历史阶段，能源消费持续高速增长，化石能源供给出现了相对紧张的局面，煤炭生产总量不断攀升，石油进口量不断加大，天然气一度出现供应短缺，煤、电、油、运等之间的不协调问题此消彼长，因能源开发而造成的环境问题日益突出。种种现象表明，加强对能源的宏观调控，建立和谐、有序的能源开发秩序，走资源节约型道路，实现能源的可持续开发和利用是摆在中国政府面前紧迫而重要的任务。

在当前及今后相当长的时间内，化石能源仍然是我们开发和利用的重点，在能源消费结构中将继续长期占据主导地位。化石能源具有不可再生性、稀缺性和有限性，从长远来看难以持续利用，如何实现能源消费和供给结构从化石能源为主向新能源和可再生能源为主的平稳过渡，实现能源的可持续发展，提升能源对经济和社会的承载能力，是我们共同关注的问题。掌握能源发展的状态及其潜在的规律，对以化石能源为主的能源实施可持续性发展战略，对能源供给的水平 and 能力实施即时控制，减小能源供给失调对国民经济和社会发展带来的冲击和影响，是从事能源工作的每一个人需要深入研究和探讨的课题。

第一节 研究的背景和目的

一、研究的背景

当前，中国处于走新型工业化道路，全面建设小康社会的关键时期，能源作为经济发展的重要保障越来越得到全社会的关注。能源的保障能力如何，关系到中国社会主义现代化建设的进程，关系到中国综合国力和国际竞争力的提升，关系到广大国民生活水平和生活质量的改变。能源建设是一切建设的基础，搞好规划、优化结构、提高效率，增强能源对国民经济和社会发展的支承力是能源建设的重要内容。纵观中国能源生产和消费的过程，中国能源面临着严峻的形势^①，中国能源承载能力受到众多因素的影响，突出表现在三个方面：

1. 供需矛盾不断加大

一般来说，能源需求随着 GDP 的增长而增加。当前，中国 GDP 处于一个快速增长时期，对能源的需求日益加大，然而，中国能源总量的增长却跟不上步伐，不能满足 GDP 增长的需要。根据经验，人均 GNP 跨入 1000 美元行列，中国经济逐步进入中期工业化阶段，经济增长对能源的依赖性不断增强，能源消费进入一个快速增长期，供求矛盾日益突出。2003—2005 年，中国能源全面告急，煤炭企业普遍超能力生产、电力供应紧张、石油储备降低、天然气供应出现短缺、能源供给结构失衡等问题不断出现，并由此带动了其它一系列问题的出现。

中国能源供需矛盾的形成有着多方面的原因，初步归纳起来，有以下几方面：一是国民经济快速增长的客观要求与能源供应相对滞后之间存在一定的矛盾。能源产业投入相对于 GDP 总量相对偏低，造成能源总量增长幅度较小。二是各能源产业间的投资比例以及产业内部发展不协调，长期形成的能源结构单一，过度依赖煤炭、石油等化石能源，煤炭在一次能源结构中所占比重过高，特别是煤炭直接用于终端消费的比例过大；石油受资源条件限制，近年来产量徘徊不前，国内供需缺口越来越大；天然气在能源结构中所占比重过低；水电开发程度低，西部丰富的水能资源

^① 国家发展和改革委员会，国民经济和社会发展第十个五年计划能源发展重点专项规划，www.sdpc.gov.cn

尚未得到充分利用；煤层气、风能和太阳能发电等清洁能源刚刚起步，其地位和作用尚未得到应有的重视。三是全社会科技和文化素质不高，能源使用效率极其低下，无形地浪费了许多能源，高耗能产品能源单耗比发达国家平均水平高 40%左右，单位产值能耗是世界平均水平的 2.3 倍。四是产业结构不合理，第二产业相对偏高，第二产业中，行业结构不合理，高能耗行业在工业总产值中占有相当大的比重，形成能源的高消费低产出的局面。五是持续增长的人口数量，庞大的住房需求，以及城市化水平不断提高的需要，对生活用能、建筑用能、交通用能等持续加压。六是能源及其配套产业投入结构不合理，造成能源产出率低下，铁路网建设、电网建设制约能源产业的发展。

2. 环境问题日益突出

中国是少数以煤为主要能源的国家，也是世界上最大的煤炭消费国，煤烟型污染已相当严重。随着机动车的快速增长，大城市大气污染已由煤烟型污染向煤烟、机动车尾气混合型污染发展。粗放型使用能源，对环境造成了严重破坏。目前，中国年排放二氧化硫 2000 多万吨，酸雨面积已占国土面积的 30%，大大超过环境容量。虽然到 2020 年中国能源结构将继续改善，煤炭消费比重将有所下降，但煤炭消费总量仍将大幅度增加，经济发展面临巨大的环境压力。

3. 不确定性增加

表现在四个方面：一是资源勘探和开采的不确定性增加，赋存条件好的化石能源已基本勘探完毕，剩余资源的勘探不仅取决于地质条件，还与勘探和开采技术的先进程度有着密切的关系；二是可再生能源有着极大的不稳定性，水资源分配、风能、太阳能等受大气环境影响较大；三是世界范围内的资源争夺日趋激烈，对进口能源的依赖受到各种情况的挑战，国际突发事件和国际石油市场的剧烈波动对中国石油的安全供应将产生重大影响；四是产业结构调整惯性，使能源供应的匹配难度加大。

能源供给的严峻形势，要求我们加强对能源政策、能源生产、能源消费、环境保护等的研究，为形成与现代化建设相适应的中国能源发展战略提供决策参考。

二、研究的目的

如何最大限度的实现能源的可持续利用，不仅关系到中国经济的发展，同时也

关系到国家安全以及人类社会可持续性生存与发展。因此，在可持续发展的前提下研究中国能源的承载能力具有重大的战略意义和深远的历史意义。

以中国能源承载力评价作为选题，其主旨在于针对中国能源的实际，以总体效益最优及可持续发展的基本理论为指导，通过深入的理论研究和实证分析，揭示中国能源供给对中国经济支撑能力变化的规律和影响中国能源承载力要素的演化规律，从而提出能源战略实施的政策框架，促进中国能源的可持续发展。

具体讲，希望在三个方面作出探索：一是建立中国能源运行的评价理论，找到中国能源运行评价的切入点；二是确定中国能源评价的方法，使理论与实践得到结合；三是对中国能源运行现状作出评价，形成中国当前能源运行状况的基本判断。本文希望通过这三方面的探索，努力找到一种途径为能源决策提供参考。为中国能源发展贡献绵薄之力。

第二节 国内外的研究状况

与本选题相关的研究内容或方向主要包括：承载力评价理论，可持续发展理论，能源发展战略，能源政策研究，系统理论、能源经济、项目评价等。

一、关于承载力评价理论

承载力最早出现于生态学，其特定含义是指在某一环境条件下，某种生物个体可存活的最大数量，目前关于承载力的研究大都是针对资源环境等单项主体的。张晓东根据经济与环境的协调度对中国省级区域进行了划分，开展了区域环境承载力的综合评价，并进行了预测，得出随着经济水平的不断提高，西部地区承载力持续下降的判断，对西部大开发有指导意义^①。马爱锄认为承载力研究是可持续发展研究的核心内容，并运用加拿大经济学家 William Rees 提出、Wackernage 进一步完善的生态足迹理论与方法，进行了中国西北资源环境承载力研究^②。徐琳瑜针对城市生态

^① 张晓东：中国区域经济与环境协调度判别分析（博士论文），中国科学院，2000

^② 马爱锄：西北开发资源环境承载力研究（博士论文），西北农林科技大学，2003

系统提出了复合承载力研究的观点，采用双向寻优的方法对城市生态承载力进行了研究^①。

上述研究的共性在于都是对各种系统总体能力的探索和认知，并且都建立了承载力评价的指标体系，不同的是侧重点不一样，而且有一点需要指出，即研究对象的基本属性决定了上述评价是处于静态的、相对单一状态的评价。

二、关于可持续发展研究

1. 对于可持续发展理论

可持续发展观产生的背景是世界范围内越来越严峻的人口、资源与环境形势，世界环境与发展委员会（WCED）给其定义为“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。^②国际社会公认建立和完善可持续发展理论要沿着经济学方向、社会学方向、生态学方向^③。牛文元等中国学者独立开创了可持续发展的系统学研究方向，确认了可持续发展的五大扶持系统（生态、发展、环境、社会、智力），提出实施可持续发展战略，应遵循发展性、公平性、持续性和共同性四原则^④。

2. 对于可持续发展研究

由开始的概念化逐步向定量化发展。叶文虎认为可持续发展研究应集中在两个方面，一是可持续发展的理论和概念，二是可持续发展的实现途径和手段，这两方面是紧密联系在一起，其联系的纽带便是可持续发展的衡量或测度和指标体系的确立。^⑤关于指标体系，国内外已开发构建的指标体系有三种应用取向，一种是应用于全球的评价与预测，如联合国开发计划署创立的人文发展指数（HDI），第二种是国家使用的测量指标，如中国科学院创立的中科院指标体系，另一种是区域评价的指标体系，如耿殿明提出的矿区可持续发展的 SEER 体系^⑥。

3. 对于能源可持续发展

^① 徐琳瑜：城市生态系统复合承载力研究（博士论文），北京师范大学，2003

^② WCED. *Our Common Future*. Oxford and New York: Oxford university press, 1987

^③ 牛文元等：2000 中国可持续发展战略报告，科学出版社，2000 年第 1 版

^④ 牛文元：持续发展导论，科学出版社，1994 年第 1 版

^⑤ 叶文虎：关于可持续发展的理论思考。中国环境科学出版社，1996 年第 1 版

^⑥ 耿殿明：矿区可持续发展研究，中国经济出版社，2004 年第 1 版

Euan Baird 认为能源可持续发展的关键在于煤、石油等化石能源的可持续发展^①。戴彦德等提出全面建设小康社会要调整能源结构，提高优质能源比重，转变经济增长方式，增加高能耗产品的进口，减少高能耗产品的出口，节约能源，以实现能源可持续发展。^②

从能源供给的基本要求来讲，可持续发展是能源保障必须考虑的重要因素，但在众多关于能源可持续发展论断中，定性论述较多，且多停留在某一种能源形态；定量研究，尤其是综合性能源可持续发展评价相对较少。

三、关于能源发展战略

朱跃中在对西方国家 GDP 人均进入 1 万美元的经济能源社会的状况和中国率行进入小康社会地区的经济能源社会的状况分别进行描述比较后认为，2020 年中国能源需求量将达到 40 亿 toe 以上，中国能源供应形势严峻。^③刘小丽认为“能源优质化将成为中国能源战略的重要组成部分”，应该实施多种能源并举、促进中国能源结构优质化。^④康艳兵等对国外节能模式研究后提出，要通过立法来讲加中国的节能工作，并积极运用市场的手段调动节能各方的积极性，高度重视交通、建筑等的节能^⑤。

2004 年 6 月国家发展和改革委员会向中国国务院提交的《中国能源中长期规划（2004—2020 年）》草案指出，要坚持从中国国情出发，尊重自然规律和经济规律，借鉴国际经验，走中国特色的能源发展之路，必须切实抓好八个方面。随后中国国务院出台的《节能中长期专项规划》提出了节能宏观指标及主要产品（工作量）单位能源指标。

在许多文献中，关于中国能源终端需求的预测较多，而对能源供给的过程控制，对能源供给即时评价的研究相对偏少。在中国能源消费不断扩大，资源形势趋于严峻的今天，仅仅讨论能源供给应该怎么样是远远不够的，更多的应该考虑如何去做的问题。

^① Euan Baird, *Fossil Fuels: The Key to Sustainable Development*, World Energy, USA, Vol. 6 No. 1, 2003

^② 戴彦德、朱跃中：加强节能和提高能源效率 保证社会经济可持续发展，2003 中国能源问题研究，中国环境出版社，2005 年第 1 版

^③ 《2020 中国能源需求情景分析》课题组：全面建设小康社会对中国能源发展的要求与挑战，2003 中国能源问题研究，中国环境出版社，2005 年第 1 版

^④ 刘小丽：中国全面建设小康社会的能源优质化战略，2003 中国能源问题研究，中国环境出版社，2005 年第 1 版

^⑤ 郁聪、康艳兵：国内外节能政策的回顾及强化中国节能的政策建议，美国的节能管理模式及对中国的启示，2003 中国能源问题研究，中国环境出版社，2005 年第 1 版

四、关于能源政策

1. 《中国能源中长期规划（2004——2020年）》把能源结构调整作为今后一段时间能源发展规划的重点内容，提出把煤炭定为一段时期内的主要能源的同时，要努力发展石油、电力和可再生能源。陈滩提出，中国当前新的石油战略重点应该是研究国际市场。^①周大地认为在不影响经济发展和人民生活质量的前提下应尽量减少国民经济对石油的依赖，实现多元化战略，积极实施石油储备战略。^②对能源结构的变化，齐中英认为一个国家的主导能源存在变更的可能，中国应该适时调整中国能源结构。^③史丹运用统计指数分析法分析了中国过去20年产业结构调整对能源消费强度的影响，提出中国当前及今后一段时间应积极实施煤炭替代石油战略，最终以电力替代石油^④。

2. 世界各国能源政策不一样，能源产业管理模式也不一样。美国今后20年将实施“增加国内供给，多途径使用资源，提高能源技术，完善能源结构，加强财政杠杆作用，开展专项建设”等能源政策^⑤。俄罗斯在其《2020年前俄罗斯能源发展战略》中提出，要使俄从单纯的原料供应者转变为可在国际能源市场执行独立政策的重要参与者，并积极实施俄能源国有化运动^⑥。与俄罗斯能源国有化相对的是墨西哥^⑦等积极吸引私营企业进入国有能源行业，而欧盟则在2001年3月宣布了全面开放电力和燃气市场的计划^⑧。

解决能源供给和消费的结构性矛盾是中国能源政策的重点，虽然西方国家能源政策对中国能源政策具有重要的借鉴意义，但处于工业化初期、经济总量较大但人均水平较低的中国国情告诉我们，不能照搬西方国家的能源政策，必须与中国的国

^① 石油战略研讨会：多视角审视中国石油战略，经济参考报，2003年11月19日

^② 周大地：在改革开放中保障石油供应安全，2002中国能源问题研究，中国环境出版社，2004年第1版

^③ 齐中英：中国能源科技发展战略形势与对策分析，能源发展战略研究，化学工业出版社，2004年第1版

^④ 史丹：中国能源供需的演变趋势与能源发展的战略重点，能源发展战略研究，化学工业出版社，2004年第1版

^⑤ Spencer Abraham: The National Energy Plan: Forging New Approaches, World Energy, USA, Vol. 6 No. 3, 2003

^⑥ 陈挺：俄罗斯能源国资目标：通过一系列手法从7%到50%，21世纪经济报道，<http://finance.sina.com.cn>, 2004年12月25日

^⑦ Stephen L. Baum: Energy Reform in Mexico: Frontier of Opportunity, World Energy, USA, Vol. 2 No. 2, 2003

^⑧ 欧洲电力市场攻坚战 能源自由化进展缓慢，中国经济时报，2004年7月5日

情相结合，以结构调整为突破口，以提高效率为着眼点。寻找有中国特色的能源发展道路。

五、关于能源系统研究

迟春洁对影响能源安全的因素进行分析，归纳出影响能源安全的六方面要素。建立了能源安全测度指标体系的基本框架。^①邱世明在分析能源系统演变规律的基础上，基于复杂适应系统理论及其实现工具 SWARM 平台建立能源复杂系统的模型。^②孙文秀运用大能源系统观分析了系统内能源、经济、环境的相互联系，建立了经济、环境对能源发展影响的动力学模型。^③张明慧建立了江苏省能源消费需求的系统动力学模型，并进行能源需求仿真模拟。^④

上述研究从不同角度论述了系统研究的优点和作用，能源承载力涉及许多因素，也必须运用系统理论，把相关因素都放到一个系统中进行研究，才能保证研究的客观性、全面性。

六、关于能源经济

能源与经济密不可分，能源只有与经济紧密相联，其价值属性才发生变化。关于能源经济面的研究很多在能源与经济增长方面，张宗成通过能源消费弹性系数和节能率方面的研究，指出中国经济高速增长、能源消费低增长的必然性。^⑤杨宏林等提出现代经济增长的源动力是技术进步，只有提高生产技术水平，才能提高能源利用效率，实现经济的可持续增长。^⑥

Philip Aiken 认为经济增长、人口增长、工业化、城市化、人均收入增加是能源需求增长的五个主要驱动力量，而其中经济增长是最主要的力量。^⑦至于能源的替代效应、互补效应、能源供给的扩张效应、边际供给等问题，许多学者给予了研究。这些对本文的研究都是重要的借鉴。

^① 迟春洁、黎永亮：能源安全影响因素及测度指标体系的初步研究，哈尔滨工业大学学报（社会科学版），2004年7月第4期

^② 邱世明：基于 SWARM 的中国能源复杂系统研究，中国系统工程学会第十二届年会论文集

^③ 孙文秀，赵媛：能源系统可持续发展动力学分析，能源研究与利用，2004年第1期

^④ 张明慧，宋学锋：基于系统动力学的江苏省能源消费需求预测分析，能源研究与利用，2004年增刊

^⑤ 张宗成，周猛：中国经济增长与能源消费的异常关系分析，上海经济研究，2004年第4期

^⑥ 杨宏林等，能源约束下的经济可持续增长，系统工程，2004年第3期

^⑦ Philip Aiken: Energy Outlook Modest on Growth, Massive on Impact, World Energy, USA, Vol. 7 No. 3, 2003

七、关于项目评价

积极开展项目评价,对于掌握项目的本质规律,积极利用项目规律创造价值具有重要意义。近年来,在能源工程领域,许多学者开展了资源价值、资源经济评价法等的研究,取得了一批重要成果。王立杰^①分别建立了勘察阶段和生产阶段煤炭资源经济评价模型,从而为煤炭资源优劣评定和煤炭资源开采的净收益评价提供了定量分析依据。汪云甲利用模糊数学、神经元网络、层次分析等多种理论工具,得出了煤炭资源评价的一揽子方法、模型及政策建议。^②魏晓平研究了矿产资源价值最大化跨期配置模型,为可持续发展意义下的矿产资源最佳配置和矿产资源定价提供了理论依据。^③余敬在吸取国内外可持续发展量化评价研究成果的基础上,建立了矿产资源可持续力评价指标体系与评价模型,丰富并发展了可持续评价理论与方法^④。董春游等提出了包括资源系统研究、最优利用理论、环境评价与污染控制理论、经济评价理论、社会效益评价理论在内的评价煤炭建设项目可持续发展的模型^⑤。

第三节 研究的主要内容和方法

本文所关注的是能源承载能力的评价研究。此前,人们较多地提到要实现能源的可持续利用,但对能源可持续发展评价性的研究尚未有成型的案例。已有的与能源有关的量化评价多为能源利用的趋势预测,指标体系存在着数量、增长和静态指标较多,而体现质量,发展和动态的指标较少等不足,未能较好的实现数量与质量、时间与空间、增长与发展等多维度上的有机结合,尤其理论创新方面存在空白,亟待填补。

一、研究内容

^① 王立杰:《煤炭资源经济评价的理论与方法研究》,煤炭工业出版社,1996年第1版

^② 汪云甲:《矿井煤炭资源评价及管理的理论与方法研究》(博士论文),中国矿业大学,2000

^③ 魏晓平:《可持续发展战略中矿产资源最适耗竭理论的研究》,中国矿业大学出版社,1999年第1版

^④ 余敬:《矿产资源可持续力评估》,中国地质大学出版社,2004年第1版

^⑤ 董春游、马云东:《可持续发展煤炭建设项目 REES^P 系统研究》,煤炭工业出版社,2002年12月第1版

本文的研究思路是：首先探讨能源承载力评价的理论基础——承载力理论和系统理论，为后续研究奠定方法论基础，然后结合中国能源发展和研究的现状，分析能源消费与供给的相关因素，能源可持续力评价指标体系的建立开拓思路，在此基础上，建立能源承载力的支撑体系，形成体系能源承载力系统及其概念模型，依据概念模型建立中国能源承载力评价指标体系和评价模型，进行能源承载力评价，并对能源承载力评价的理论体系，评价模型和指标体系等予以印证和校正。

重点研究内容在以下几个方面：

1. 能源承载力评价理论

提出能源承载力的概念，找出能源承载力分析研究的着眼点。建立评价理论对全文的基本指导框架。

2. 建立能源承载力评价模型

确立影响中国能源承载力的控制因素、关键因素、主要因素、分支因素及其相互间的关系和作用，以及演变替代规律，依据能源承载力的概念模型运用数学工具建立系统分析评价方法和评价模型。

3. 对中国当前能源承载力状况进行分析和评价

借助建立的模型，以 1991 至 2002 年的中国能源的基础数据为依托，开展中国能源运行态势分析。得到中国能源承载力状况的基本判断。

二、研究方法

由于能源承载力评价体系是一个开放的复杂的巨系统，因此，对它的评价应该采用从定性到定量综合集成的办法。在本文中，拟采用如下研究方法：

1. 对有关概念、原则及系统特征的讨论，主要采用逻辑推理和建立模型相结合的定性分析方法。

2. 在承载力评价系统建模分析中，拟运用系统理论、自组织理论、及系统控制论中的分析方法，进行目标系统的建模、推演和分析。

3. 在评价研究中，考虑综合运用分层分析法、模糊优选理论、计量经济学理论等，进行指标构造、权重划分及评价模型建立。并通过文献资料与调研统计分析相结合的方法进行实证评价分析。

三、研究的基本框架

研究的基本框架如图 1-1 所示。

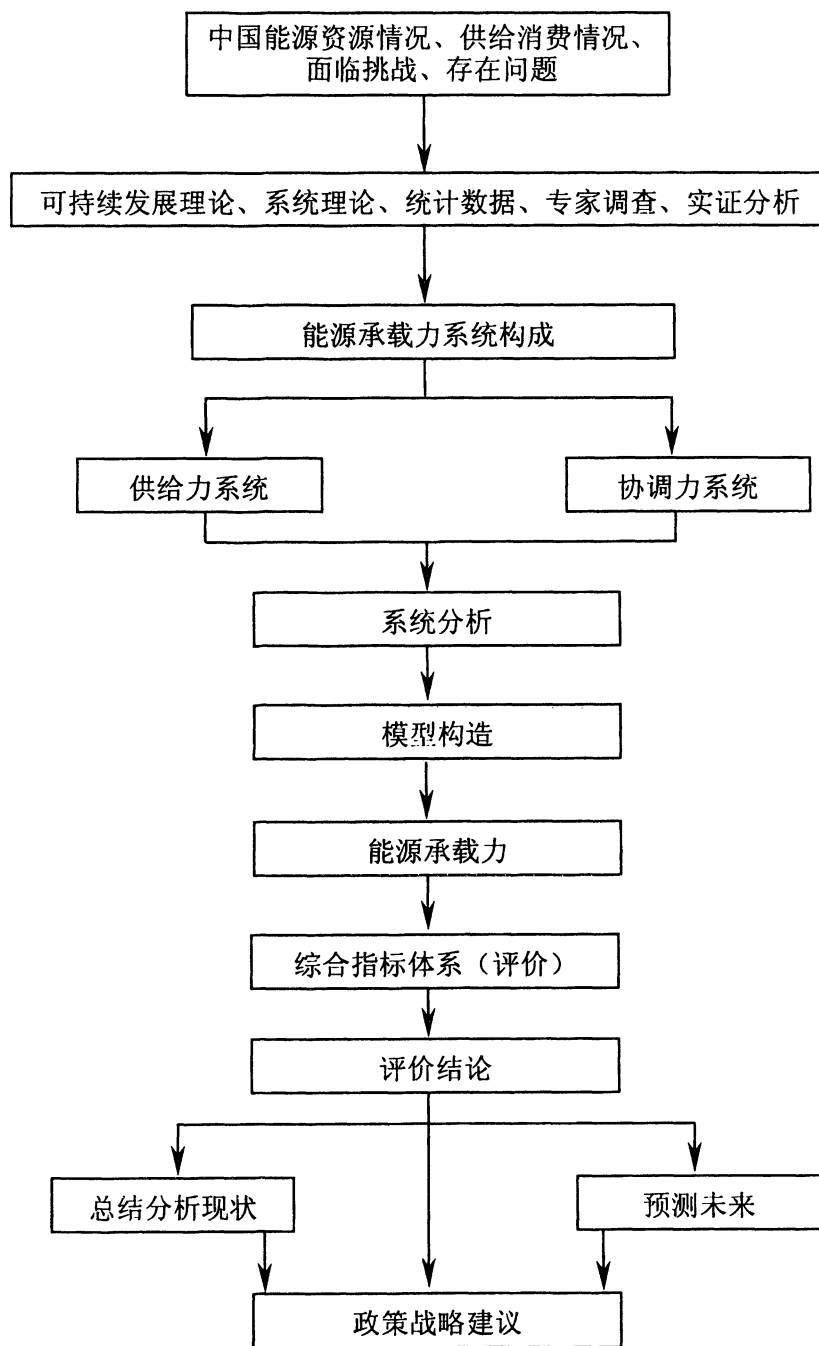


图 1-1 中国能源承载力研究基本框架

第二章 中国能源发展概况

第一节 中国的能源资源

一、一次能源资源

中国一次能源资源丰富，在世界上占有重要地位。根据多年地质勘探工作的成果，中国常规能源（包括煤、油、气和水能，水能为可再生能源，按使用 100 年计算）探明（技术可开发）总资源量超过 8230 亿吨标准煤，探明（经济可开发）剩余可采总储量 1392 亿吨标准煤，约占世界总量的 10.1%。能源探明总储量的结构为：原煤 87.4%，原油 2.8%，天然气 0.3%，水能 9.5%。能源剩余可采总储量的结构为：原煤 58.8%，原油 3.4%，天然气 1.3%，水能 36.5%（见表 2-1 和图 2-1）^①。煤炭在中国能源资源中占绝对优势地位。

表 2-1 中国常规能源资源储量及结构

能源	能源总量 (亿 tce)	原煤 (亿吨)	原油 (亿吨)	天然气 (亿 m ³)	水能 (亿千瓦时)
总资源量	40466.4	50592.2	1000.0	381400.0	59221.8
结构(%)	100.0	89.3	3.5	1.3	5.9
世界总量	1048809.7	1195748.4	51172.8	79330827.1	413095.0
中国所占比例(%)	3.9	4.2	2.0	0.5	14.3
探明总储量(技术可开发)	8231.0	10077.0	160.0	20606.0	19233.0
结构(%)	100.0	87.4	2.8	0.3	9.5
世界总量	329697.5	352749.6	25674.6	26630075.2	117549.0
中国所占比例(%)	2.5	2.9	0.6	0.1	16.4

^① 王家诚主编：中国能源发展报告 2001，2001 年第 1 版

资源探明率(%)	20.3	19.9	16.0	5.4	
资源保证年限	769.3	1007.7	98.2	74.3	
2000年产量	10.7	10.0	1.6	272.0	2224.0
剩余可采储量(经济可开发)	1391.9	1145.0	32.7	13668.9	12600.0
结构(%)	100.0	58.8	3.4	1.3	36.5
世界总量	13832.9	9842.1	1402.8	1493811.0	73053.0
中国所占比例(%)	10.1	11.6	2.3	0.9	17.2
资源保证年限	130.1	114.5	20.1	49.3	

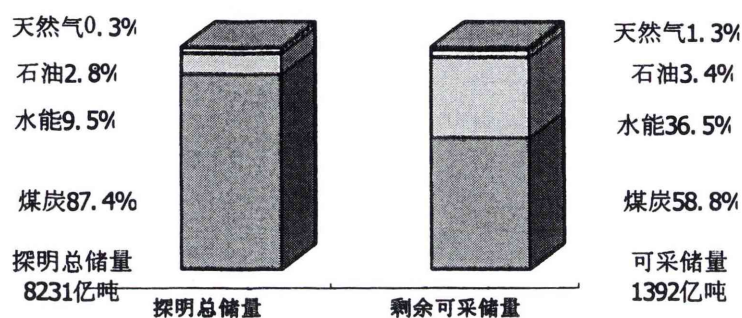


图2-1 中国能源资源探明储量及结构 (%)

二、能源资源总体评价

中国常规一次能源（包括煤、油、气和水能）资源，从总体来说，储量丰富，分布广泛，质量较好，勘探开发条件较优，是执行“立足国内，走向世界”能源可持续发展战略的重要物质基础保证。中国已探明能源资源总量约有8231亿吨标准煤，占世界同类资源总量的2.5%，按2000年能源产量计算的能源资源保证程度超过760年。同时，还有核能、太阳能、风能、地热能、潮汐能、波浪能、以及生物质能等新能源和可再生能源，可供开发利用。因此，从能源资源总量来评价，中国可以称得上世界上能源资源丰富的国家之一。但是，从能源品种、地区分布、以及人口等因素分析，中国能源资源的勘探和开发利用存在着几个先天的矛盾或问题，需要采取有效战略及措施加以妥善解决。

1. 人均能源资源占有量低，能源节约是长期的任务

中国是一个能源资源大国，更是一个人口大国。中国能源资源总量列于世界前列，水能资源居世界第一，煤炭资源可采储量居世界第三。但是，按人口平均的能源资源占有量分析，中国2000年人均煤炭可采储量90吨，人均石油剩余可采储量3吨，人均天然气剩余可采储量1080立方米，分别是世界平均水平（165吨、23吨和

24988 立方米) 的 54.9%、11.0%和 4.3%; 是美国(903 吨、13 吨和 17025 立方米) 的 9.7%、23.1%和 6.3%; 是 OECD 国家(404 吨、10 吨和 12048 立方米) 的 22.3%、30.0%和 9.0%。^①从这个角度来说, 中国又是一个能源资源贫国, 要提倡节约能源, 把节能视为煤、油、气和水能之后的“第五能源”, 同时, 要讲究能源利用效率和经济效益, 坚持能源和经济社会可持续发展。

2. 能源资源结构以煤为主, 应多途径优化能源消费结构

中国常规能源资源以煤炭为主的结构, 决定了能源生产结构、能源消费结构、以及电源结构以煤炭为主的特点。煤炭是中国能源的支柱, 但煤炭与其他能源相比, 效率低, 污染大。因此, 煤炭的清洁利用必须引起高度重视, 这是提高中国能源效率, 优化能源结构的根本出路。

为了解决环境保护问题, 从能源资源开发来分析, 中国调整和优化能源消费结构的途径就是适当增加清洁能源如油、气和水能的比例。水能是可再生资源的清洁能源, 中国能源资源中水能是仅次于煤炭的第二能源, 水能在能源剩余可采储量中的比例高达 36.5%, 2000 年经济可开发水能资源的利用程度仅 17.6%, 远远低于水能资源丰富的发达国家水平, 并且水能在能源总构成中的比重极低。因此, 中国水能资源的进一步勘察与开发应放在优先位置。

从石油地质储量来分析, 中国油气资源的探明程度尚低, 勘探及开发潜力很大。但是, 从能源整体发展来看, 中国油气资源在能源总资源结构中所占比例很低(石油 3.5%, 天然气 1.3%), 过度开采油气资源将会影响经济社会的可持续发展。当前, 中国能源生产结构中石油的比例(21%~15%) 远远高于能源资源结构中石油的比例, 增加国内石油生产和供应的潜力是有限的。与石油相比, 天然气资源的探明程度尚低, 勘探及开发潜力较大。因此, 中国石油工业的发展战略思路和方针——加强勘探, 油气并举, 扩大开放, 建立石油储备体系, 充分利用国际资源, 满足国内需求——是符合国情的。

中国新能源和可再生能源资源也是很丰富的, 应该把开发利用新能源和可再生能源列为能源可持续发展战略的重要组成部分, 这对环境保护和优化能源结构将有积极和深远的意义。

^① 王庆一, 中国与世界能源数据, 煤炭经济研究, 2004 年 2-5 期。

3. 能源资源地区分布不均衡，要妥善解决能源长距离输送

中国能源资源总体的地区分布是北多南少、西富东贫，能源品种的地区分布是北煤、南水和西油气，而中国经济发达、能源需求量大的地区是东部和东南沿海地区。能源资源分布和经济布局的矛盾，决定了中国能源的流向是由西向东和由北向南，“北煤南运”等能源大量输送的格局是不可避免的。研究制订和贯彻落实能源运输战略，是实施中国能源可持续发展战略的重要组成部分。当前，要把“西电东送”和“西气东输”等工程抓紧抓好，保质保量按时完成。

第二节 中国能源供应现状

新中国成立以来，特别是改革开放以来，中国能源工业取得了巨大成就。能源供应能力增强，能源结构不断优化，技术水平快速提高。

一、能源生产总量及其增长

中国能源生产总量由 1949 年 2374 万吨标准煤增加到 2003 年 160300 万吨标准煤（见表 2-2），54 年间的年均增长率为 8.11%，年均增加量 2925 万吨标准煤。其中，1979-2003 年 25 年间的年均增长率为 3.82%，年均增加量 3901 万吨标准煤；能源生产弹性系数 0.408。其中，2001-2003 年，能源生产总量年均增长率高达 14.43%，年均增加量 17771 万吨标准煤，能源生产弹性系数为 1.739。

表 2-2 中国历年一次能源生产总量及构成^{①②}

年份	能源生产总量 (万吨标准煤)	构成（以能源生产总量为 100）			
		原煤	原油	天然气	水电
1949 年	2374	96.25	0.72	0.04	2.99
1950 年	3174	96.72	0.91	0.03	2.33
1951 年	3903	96.95	1.13		1.92
1952 年	4871	96.74	1.29	0.02	1.95
1953 年	5192	96.26	1.71	0.02	2.00

^① 国家统计局编：中国统计年鉴 2004，中国统计出版社，2004 年第 1 版

^② 林贤郁编：中国能源统计年鉴 2000—2002，中国统计出版社，2003 年第 1 版

1954年	6262	95.78	1.80	0.03	2.38
1955年	7295	95.92	1.91	0.03	2.15
1956年	8242	95.29	2.01	0.04	2.66
1957年	9861	94.85	2.12	0.09	2.94
1958年	19845	97.14	1.63	0.08	1.15
1959年	27161	97.00	1.96	0.14	0.89
1960年	29637	95.64	2.51	0.47	1.38
1961年	21224	93.52	3.58	0.92	1.98
1962年	17185	92.41	4.78	0.94	2.87
1963年	17009	91.09	5.45	0.80	2.66
1964年	17232	89.08	7.04	0.82	3.06
1965年	18824	88.00	8.59	0.78	2.63
1966年	20833	86.37	9.99	0.85	2.79
1967年	17494	84.07	11.35	1.11	3.47
1968年	18715	83.93	12.22	0.99	2.85
1969年	23104	82.20	13.46	1.13	3.21
1970年	30990	81.56	14.14	1.23	3.06
1971年	35289	79.31	15.97	1.41	3.31
1972年	37785	77.48	17.28	1.70	3.54
1973年	40013	74.41	19.16	1.99	4.44
1974年	41626	70.84	22.28	2.40	4.48
1975年	48754	70.59	22.60	2.41	4.39
1976年	50340	68.51	24.76	2.67	4.07
1977年	56396	69.63	23.74	2.86	3.76
1978年	62770	70.30	23.70	2.91	3.09
1979年	64562	70.23	23.51	2.99	3.27
1980年	63735	69.50	23.75	2.98	3.77
1981年	63227	70.23	22.87	2.68	4.22
1982年	66778	71.27	21.85	2.38	4.50
1983年	71270	71.61	21.26	2.28	4.85
1984年	77855	72.41	21.03	2.12	4.44
1985年	85546	72.83	20.86	2.01	4.30
1986年	88124	72.47	21.19	2.08	4.27
1987年	91266	72.63	21.00	2.02	4.35
1988年	95801	73.06	20.44	1.98	4.52
1989年	101639	74.08	19.35	1.97	4.60
1990年	103922	74.23	19.01	1.96	4.80
1991年	104844	74.10	19.20	2.00	4.70
1992年	107256	74.30	18.90	2.00	4.80
1993年	111059	74.00	18.70	2.00	5.30
1994年	118729	74.60	17.60	1.90	5.90
1995年	129034	75.30	16.60	1.90	6.20

1996年	132616	75.20	17.00	2.00	5.80
1997年	132410	74.10	17.30	2.10	6.50
1998年	124250	71.90	18.50	2.50	7.10
1999年	109126	68.30	21.00	3.10	7.60
2000年	106988	66.60	21.80	3.40	8.20
2001年	120900	68.60	19.40	3.30	8.70
2002年	138369	71.20	17.30	3.10	8.40
2003年	160300	74.20	15.20	2.90	7.70

注：各能源折标准煤系数：煤炭 0.7143，石油 1.4286，天然气 13.3，水电按当年发电标准煤耗。

二、能源生产结构及其变化

表 2-2 数据显示，中国能源生产结构发生很大变化，由 20 世纪 50 年代单一的煤炭结构发展到 21 世纪初的煤、油、气、一次电力均有的多元能源结构。2003 年中国包括核电在内的一次能源生产总量构成为，原煤 74.65%，原油 15.19%，天然气 2.92%，水电 6.20%，核电 1.04%（见表 2-3 和图 2-2）。

表 2-3 中国一次能源生产结构（包括核电）

年份	能源生产总量 (万吨标准煤)	能源结构（以能源生产总量为 100）				
		煤炭	石油	天然气	水电	核电
1995年	129034	75.62	16.68	1.86	5.47	0.37
1996年	132616	75.27	16.96	2.02	5.35	0.41
1997年	132410	74.33	17.40	2.29	5.57	0.41
1998年	124250	72.40	18.65	2.51	6.02	0.43
1999年	109126	68.70	21.04	3.08	6.68	0.51
2000年	106988	66.70	21.79	3.38	7.55	0.57
2001年	120900	68.55	19.38	3.34	8.22	0.52
2002年	138369	71.47	17.30	3.15	7.43	0.65
2003年	160300	74.65	15.19	2.92	6.20	1.04

注：本表能源构成数据系根据国家统计局和有关部门提供数据计算而得。

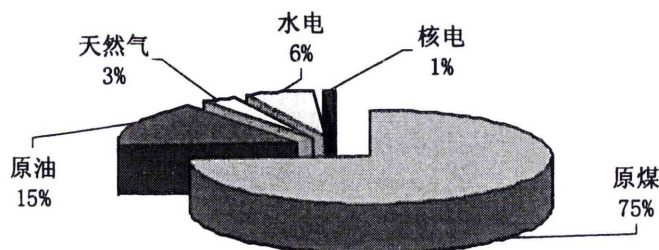


图 2-2 中国 2003 年能源生产结构

表 2-2 以及表 2-3 数据同时显示, 中国能源生产结构中煤炭的比例始终在 67% 及以上, 煤炭是中国能源的主体。中国以煤炭为主的能源生产结构特点, 如前所述, 是由以煤炭为主的能源资源结构所决定的。

虽然煤炭占据了能源的主要部分, 但从几十年变化趋势来看, 总的煤炭比重呈下降趋势, 石油、天然气、水电、核能及各种新能源日渐在中国能源体系中扮演重要的角色。石油工业从无到有, 一度向国际市场输出; 天然气蓬勃发展, 西气东输工程取得重大进展 2004 年已开始向上海供气; 水电开发取得突出成就, 以三峡工程为首的一批水电项目相继投产, 在国民经济和社会发展中发挥了重要经济效益和社会效益; 核能、风能、海洋能甚至氢能等新型能源稳步发展。从总体上看, 中国能源结构朝着优质化方向发展。各种能源的比重变化如图 2-3。

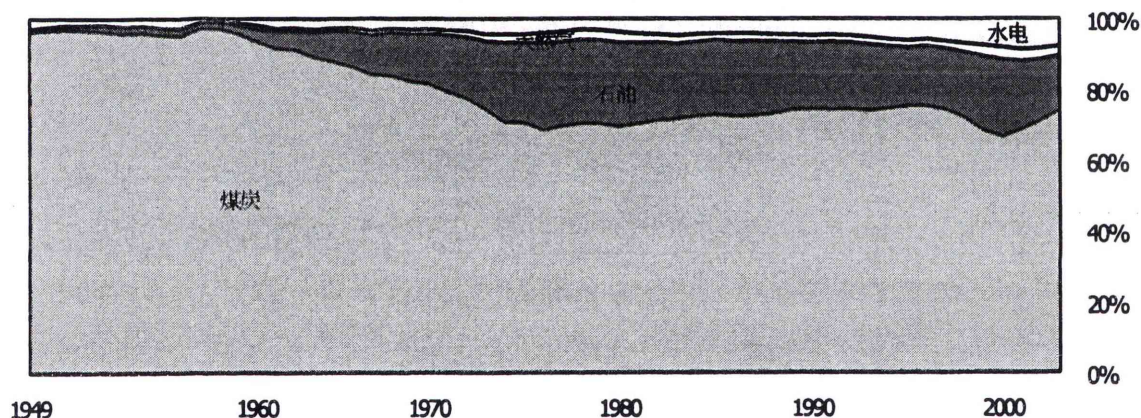


图 2-3 各种能源比重变化

三、中国能源供应评价

1. 中国能源发展取得了不小成绩

过去的 20 年, 中国在能源领域取得的成就主要体现在如下三个方面:

一是实现了 GDP 翻两番而能源消费仅翻一番的成就。2002 年, 中国一次能源消费量为 14.8 亿吨标准煤, 居世界第二位。1980 年-2000 年期间中国 GDP 年均增长率高达 9.7%; 而相应的能源消费量年均仅增长 4.6%, 远低于同期经济增长速度, 能源消费弹性系数仅为 0.47 (见表 2-4), 按环比节能量计算, 1981-2002 年累计节约和少用能源近 12.6 亿吨标准煤, 实现了中国经济增长所需能源一半靠开发, 一半靠节约的目标。如此低的能源消费弹性系数, 不仅在发展中国家罕见, 即便在发达国

表 2-4 不同阶段中国经济增长与能源消费之间的关系

年度	1980-1985 年	1986-1990 年	1991-1995 年	1996-2000 年	2000-2002
GDP 增长率	10.7%	7.9%	12.0%	8.3%	7.7%
能源消费增长率	4.9%	5.2%	5.9%	-0.1%	6.6%
能源消费弹性系数	0.46	0.66	0.49	-0.02	0.85

家也很低。^①

二是能源利用效率大幅度提高。一方面是单位 GDP 能耗不断下降，按 2000 年不变价计算，中国每万元 GDP 的能耗从 1980 年的 4.28 吨标准煤下降到了 2000 年的 1.45 吨标准煤；相应地，每吨标准煤所创造的 GDP，也由 1980 年的 2335 元（2000 年价）提高到 2000 年的 6880 元。20 年时间单位产值能耗下降 64%，年均节能率达 4.6%。同期全世界单位产值能耗平均下降 19%，经合组织国家平均下降 20%。另一方面，主要高耗能部门（如冶金、化工、建材、石化、电力等行业）的产品单耗有了较大幅度的下降，其中吨钢综合能耗、铜冶炼综合能耗、小合成氨综合能耗、内燃机车耗油等单耗指标下降幅度达到 30% 以上，主要耗能产品的能耗与国际先进水平的差距明显缩小，如火电供电煤耗差距由 1980 年的 32.5% 缩小到了目前的 21% 左右，吨钢可比能耗也由 70.4% 缩小到 20% 左右。

三是取得了相当大的环境效益。1981 年-2002 年期间，中国由于能源节约和少用能源累计减少二氧化碳排放 7.7 亿吨碳左右，减少二氧化硫排放 1900 万吨以上。并且自 20 世纪 80 年代开始，在广大农村地区推广适宜当地特点能源项目（沼气、小水电等）和节能技术；在城镇地区实施建筑节能；开发和利用多种形式的新能源（太阳能、风能、地热能等）。近十多年来这些措施所带来的效益是每年节约和少用常规商品能源 3000 多万吨标准煤，相当于每年减少二氧化碳排放 2000 万吨碳。从而，在走可持续发展之路方面取得了一定的进展。

2. 中国能源发展积累了一定的经验

中国能源之所以取得重要成就，主要得益于三方面的效应，这三种效应是中国能源建设的宝贵经验和财富：

一是产业结构演进产生的结构效应。20 年来，中国的产业结构变动显著，尤其是占一次能源消费最大的工业部门（90 年代工业部门能源消费占全国能源消费总量

^① 韩智勇等，中国能源强度与经济结构变化特征研究，数理统计与管理，2004 年 11 月。

的比重一直保持在 70%左右)，其结构性变化产生了明显的节能效果。一方面是附加值低、能源密度高的行业比重下降，而附加值高、低能耗的行业比重提高，如冶金业比重下降，电子及通讯设备制造业比重上升；另一方面是产品结构和技术结构出现较明显的升级。据测算，1980 年-2000 年期间，全国每年节约或少用的能源中有 70%以上来自因产业结构和产品结构的调整带来的节能效果，相当于每年减少二氧化碳排放 4 亿多吨碳。^①

二是经济体制改革产生的制度效应。经济体制的深层次变革改变了计划经济时期的资源配置方式，市场机制配置资源的基础性作用已经初步形成，粗放型经济增长方式正在逐步改变。源于市场的经济激励，提高了能源生产和利用效率，加速了高物耗、高能耗企业、产品和技术的淘汰。能源价格体制改革的效果尤为明显，能源价格体制的改革经历了从指令性价格-计划内与计划外价格-逐步放开价格，由市场供求关系形成价格的转变过程，逐步发挥价格机制对能源产品供求关系的调节作用。1980 年中国能源效率为 25.9%，1992 年为 29%，12 年期间能源效率提高 3.1 个百分点；实施金融、税收、价格以及投融资改革后的 1995 年，中国能源效率就达到 34.1%，短短三年提高了 5.1 个百分点。从节能率看，1981 年-1990 年十年间中国年均节能率为 3.6%，九十年代以来，随着能源价格的逐步理顺和市场机制的完善，“八五”期间，年均节能率达到了 5.6%，“九五”期间，年均节能率进一步提高到 7.1%。

三是实施有针对性的能源政策产生的政策效应。中国政府综合运用法律、政策、标准、经济及行政等手段促进节能与优化能源结构。1980 年，确立了“开发与节约并重，近期把节能放在优先地位”的能源方针，并且把节能工作纳入到国民经济和社会发展规划中，建立了比较完整的节能管理体制，1997 年颁布了《节约能源法》，迄今已制定实施的能源和节能国家标准达 164 项。90 年代以来，政府又将改善生态环境、实现可持续发展和走新型工业化道路作为新的发展目标，通过实施产业政策限制和强制淘汰高物耗、高耗能、高污染的产品、技术和企业，建立起旨在改善环境质量的排污收费制度和酸雨“双控区”的划分及控制目标，组织实施了一系列发展绿色能源、推广节能产品和技术的计划和示范项目。近期，探索适应市场经济条

^①李金柱，合理能源结构与煤炭清洁利用，煤炭工业出版社，2002 年 1 月

件下的节能新机制和新办法，逐步引入了“综合资源规划（IRP）”、“需求侧管理（DSM）”以及“能源服务公司（ESCO）”等方法与理念，并在逐步示范推广。

在能源供应方面，实行“集资办电”，“群众办矿”的政策，使能源供应大幅增加，能源严重短缺的局面逐步得到缓解。推行以小水电为主的农村电气化，使农村无电人口由 1978 年的 4.5 亿人减少到 2000 年的 2800 万人，而目前世界上仍有 20 亿人没有用上电。^①

第三节 中国能源供应面临的形势与任务

一、存在的问题^{②③}

1. 能源消费总量大、人均能源消费水平低，能源供应相对不足

次级能源是联系初级能源和能源用户的中间纽带，目前主要的次级能源是电能和液体燃料，因此，可以从电力能源和液体燃料来了解中国的能源消费状况。为保证电力供应，中国持续增加电厂开工建设，即使这样，中国电力供应仍不能满足消费需求。2004 年中国总体上电力供应缺口超过 2000MW。另外，中国对石油的进口依赖程度从 1995 年的 7.6% 增加到 32%，预计到 2020 年，中国石油对外依赖程度可能接近 60%。一方面是消费总量的持续快速增加，另一方面是国内能源资源的相对贫乏和供应不足，同时，由于中国巨大的人口基数，中国的人均能源消费水平远低于世界平均水平，这种供需的矛盾将持续地成为制约经济发展的瓶颈。

2. 地区间能源消费和生产水平不平衡，农村和偏远地区能源结构有待调整

中国西部和北部地区拥有 80% 的能源资源，而东部地区的能源消费占 60%，西气东输、北煤南运的格局给运输带来了巨大的压力，降低了能源利用的安全性和费效比。因此，在能源资源匮乏地区合理开发可利用能源，如可再生能源和核能，是有

^① 严陆光. 可再生能源发电与中国电力的持续发展[M], 中国科学院第九次院士大会学术报告论文集, 1998;

^② 张世坤、许晓光, 我国当前的能源问题及未来能源发展战略, 能源研究与信息, 2004 年第 4 期。

^③ 范维唐, 21 世纪中国能源, 21 世纪中国煤炭工业学术研讨会;

必要的，既可减少生产和消费的不平衡，又可增加能源的总量供应。在农村和偏远地区由于经济和技术的落后，仍然大量使用低质燃料，如秸秆、薪柴和煤炭（2000年三者在农村的消费比例分别为35%、22%、31%），这种状况既不利于提高农村人口的生活水平，也造成较为严重的生态环境破坏。因此，在农村和偏远地区因地制宜地开发利用生物质能、太阳能等可再生能源是解决农村地区和偏远地区能源的有效途径。

3. 以煤为主的能源结构不利于经济与环境的可持续发展

由于对环境的日益关注，发达国家的初级能源中煤炭比例逐渐降低，而且化石能源的消费经历“固体燃料——液体燃料——气体燃料”的转化。OECD国家的油气消费比例在60%以上，而中国的能源消费却仍然以煤炭为主，1999年世界初级能源消费构成是煤炭25.9%、石油38.6%、天然气22.9%、水电2.5%、核电7.5%，而同期中国则为煤炭68%、石油23.2%、天然气2.2%、水电和核电共占6.6%，以煤炭为主的低质能源结构带来一系列的问题：空气污染严重，C、S排量大，酸雨污染严重，煤矸石排放、地下水资源的破坏也将随着煤炭开发规模的扩大而加剧。中国煤炭资源主要分布在生态环境脆弱的西部地区，煤炭资源的开发已造成严重的生态环境损失。目前，中国95%的煤炭产自井工开采，据不完全统计，中国因煤炭开采引起的地表塌陷面积达40万公顷，平均每开发万吨煤地表塌陷0.2公顷。到2003年，中国累计堆放煤矸石约35亿吨左右，占地2.5万公顷。另外，煤炭开采对地下水资源破坏十分严重，在1981-2000年间，仅山西省煤炭开采对水资源的破坏造成的经济损失累计为348亿元。因此以煤炭为主的能源结构发展成本巨大。据估计，中国每年由于大气污染造成的经济损失高达950亿美元，以煤为主的中国能源结构使中国经济和社会发展的可持续能力大大降低。

4. 能源安全

中国的能源安全问题实际上是能源供需矛盾，尤其是除煤以外优质能源供需矛盾的延伸。石油短缺是能源安全中最为突出的方面。目前中国石油增长缓慢，需求增加迅速，国内供应严重不足，1/3石油来自进口，进口量的3/4来自中东，受地区局势不稳定及运输安全的影响，石油安全堪忧。能源安全系数与对外依存度成反比，与本国的自给能力和军事外交能力成正比，未来20年，中国石油对外依存度将达到

2/3, 自给能力逐渐降低, 同时军事和外交能力很难在短期内有较大提高, 难以对国际石油资源进行有力的争夺, 并充分保护海外石油供应链, 石油供给的安全问题十分严峻。

5. 能源效率偏低

中国包括能源加工、转换、储运和终端利用各个环节在内的能源效率, 近年在 33%~34% 左右, 与发达国家相比, 仍约低 7~10 个百分点。例如中国火电机组平均效率为 33.8%, 而国际先进水平为 40.6%。单位产值能耗的差距较大, 中国按当年汇率计算的每百万美元国内生产总值能耗, 已由 1990 年 2417 吨标准煤降低到 2000 年 1274 吨标准煤, 但仍是美国 (364 吨标准煤) 的 3.5 倍, 是欧盟国家 (214 吨标准煤) 的 5.9 倍, 是日本 (131 吨标准煤) 的 9.7 倍^①。

中国钢铁、有色金属、石化、化工、建材和电力等高能耗工业的能源消费量大约占工业能源消费量的 3/4, 占能源消费总量的 1/2 以上。尽管中国主要耗能工业产品单位能耗与国际先进水平相比, 平均要高出 40%。中国能源效率较低、单位产值能耗和主要产品单位能耗较高, 正是能源综合利用水平的反映。以煤炭为例, 中国小煤矿的大量存在, 导致煤炭资源开采效率不足 30%, 其中小煤矿的回采率只有 15%, 资源浪费大; 原煤采出后的洗选率只有 35%, 大量原煤直接燃烧, 既增加能耗, 又污染环境; 煤炭用于发电的比例仍在 50% 以下; 工业锅炉的运行效率 (60%~65%) 低于国外 20 个百分点; 城市民用能源燃气普及率还不到 2/3, 农村居民生活用煤数量较大; 燃煤发电机组的热效率还停留在 33%~35% 左右, 厂用电率 (15%) 和线损率 (7~8%) 合计超过了 20%; 中小电动机的运行效率 (约 87%) 又低于国外 5 个百分点。这样, 中国煤炭从开采、加工、转换到终端消费的总效率还不足 10%。

二、面临的形势

在中国全面建设小康社会的过程中, 需要多少能源支撑经济社会的发展目标, 面临何种挑战和压力, 既取决于经济社会发展的客观规律, 也取决于采取何种经济、能源、环境等方面的政策。中国能源综合发展战略与政策研究课题小组的研究者们通过设定三种情景, 给出了今后二十年的能源需求^②, 如表 2-5、2-6。

^① 王庆一, 中国的能源效率及国际比较, 节能与环保, 2003 年第 9 期;

^② 陈清泰等, 国家能源战略的基本构想, 中国发展高层论坛 (国务院发展研究中心), 2003 年 11 月 17 日。

表 2-5 一次能源需求总量及其构成比较

情景	品种	能源需求总量 (Mtce)			年均增长率	构成 (%)		
		2000	2010	2020	2000-2020	2000	2010	2020
A 情景	煤炭	907	1425	2074	4.22%	69.9%	66.7%	63.2%
	石油	324	538	877	5.10%	25.0%	25.2%	26.7%
	天然气	36	112	220	9.44%	2.8%	5.2%	6.7%
	一次电力	29	63	109	6.77%	2.3%	2.9%	3.3%
	合计	1297	2137	3280	4.75%	100.0%	100.0%	100.0%
B 情景	煤炭	907	1365	1788	3.45%	69.9%	66.0%	61.7%
	石油	324	524	795	4.58%	25.0%	25.3%	27.5%
	天然气	36	108	193	8.74%	2.8%	5.2%	6.7%
	一次电力	29	70	120	7.28%	2.3%	3.4%	4.1%
	合计	1297	2068	2896	4.10%	100%	100%	100%
C 情景	煤炭	907	1205	1466	2.43%	69.9%	64.8%	59.4%
	石油	324	460	638	3.44%	25.0%	24.7%	25.9%
	天然气	36	115	219	9.41%	2.8%	6.2%	8.9%
	一次电力	29	79	144	8.26%	2.3%	4.3%	5.8%
	合计	1297	1859	2466	3.26%	100%	100%	100%

注：电力按电热当量折算，Mtce 表示百万吨标准煤。

表 2-6 三种情景下煤炭、石油、天然气需求量

	情景	2000	2005	2010	2020
煤炭 (亿吨)	A 情景	12.7	16.2	20.0	29.0
	B 情景	12.7	16.2	19.1	25.0
	C 情景	12.7	15.2	16.9	20.5
石油 (亿吨)	A 情景	2.3	2.9	3.8	6.1
	B 情景	2.3	2.9	3.7	5.6
	C 情景	2.3	2.7	3.2	4.5
天然气 (亿立方米)	A 情景	272	399	840	1654
	B 情景	272	406	811	1453
	C 情景	272	445	863	1645

从上述情景分析，结合中国能源现状，我们不难看出，在全面建设小康社会的过程中，中国在能源领域将面临着一系列挑战：

1. 国内资源供应不足^①

^① 《2020 中国能源需求情景分析》课题组：全面建设小康社会对中国能源发展的要求与挑战，2003 中国能源问题研究，中国环境出版社，2005 年第 1 版

中国煤炭资源储量丰富，但可供建矿的精查储量不足。2010年前拟开工建设的煤矿项目缺精查储量500多亿吨，2011-2020年煤矿开工项目缺精查储量高达1200亿吨。煤炭铁路运输能力的制约也已成为煤炭供应的制约因素，近2年来，煤炭的铁路运输基本处于饱和状态，而华东和华南地区严重的缺电形势又刺激了当地的火电项目建设，从而加剧了动力煤的紧张供应局面。

中国石油资源接替形势日益严峻，石油储采比从1990年的15.8下降到2003年的14.3。根据2004年的最新评价结果，中国石油可采储量资源量150亿吨，探明可采储量65亿吨。未来20年，中国石油产量将稳定在2亿吨以内。但与快速增长的消费相比，中国石油缺口将不断扩大，预计到2010年和2020年分别需要进口1.6亿吨和2.5亿吨。

中国天然气可采资源量约14万亿 m^3 ，到2003年底，探明天然气储量为2.84万亿 m^3 。目前，中国天然气工业处于快速发展期。据有关部门预测，到2010年和2020年国内天然气产量有望达到750亿 m^3 和1200亿 m^3 ，2020年的供应缺口达500亿 m^3 。

目前，中国水电资源在东部的开发程度为61%，中部为35.7%，西部为12.6%。尽管中国还有近80%的水电资源没有开发，但剩余资源主要集中在西部和中部地区，远离用电负荷，开发难度越来越大。另一方面，由于生态环境和地质遗产保护的需要，一些大型水电项目的开发将受到限制。

2. 能源开发建设任务繁重^①

由于国家对能源建设项目的宏观调控，2000年、2001年、2002年中国煤矿基本建设投资分别只有94亿元、96亿元、108亿元，2003年煤炭行业的固定资产投资仅414亿元，远远小于煤炭新增能力投资需求。2003年中国原煤产量16.67亿吨，假定2020年的煤炭需求为24亿吨，2004年-2020年17年间需要增加原煤产量7.33亿吨，而同期因资源枯竭减少的生产能力为2.55亿吨。因此，到2020年需要提高原煤生产能力9.88亿吨。2004-2020年期间，矿业权转让和煤炭资源勘探投资需要2500亿元。为了确保煤炭外运，还需配套建设相应的铁路运输能力及其它相应的通道建设。

^① 陈清泰等，国家能源战略的基本构想，中国发展高层论坛（国务院发展研究中心），2003年11月17日；

石油、天然气项目建设包括勘探、开发项目和长距离管道输送项目。为了确保石油的稳产，中国需要新增石油地质储量 136 亿吨。为了实现天然气产量的目标，到 2020 年需新增探明天然气地质储量 3.4 万亿 m^3 。到 2020 年，需新建石油管道 2.4 万公里、天然气管道 2.7 万公里，新增 1 亿吨炼油能力，新增 5000 万吨国家石油储备设施和 3770 万吨液化石油气接受能力等。

在电力项目建设方面，煤电项目仍将占主导地位，同时大力开发水电、积极推进核电建设、适度发展天然气电站。到 2020 年，需要新建燃煤电站 3.23 亿 kW、水电 1 亿 kW，核电 3000 万 kW、新能源发电 2000 万 kW。

根据初步测算，2004-2020 年，中国能源行业投资需求总量接近 10 万亿元，其中煤炭 1 万亿元、石油天然气 3 万亿元、电力 5 万亿元和新能源 8000 亿元。

3. 能源供应隐患呈加大趋势^{①②③④⑤}

中国石油对外依存度将不断提高，2003 年中国石油对外依存度为 32.5%，到 2020 年将超过 55%。目前，世界石油资源控制权争夺十分激烈，地缘政治日益加强。在未来较长时期内，国际霸权主义势力、产油地区的动荡和石油价格的上涨等都可能构成中国石油供应的安全，进而威胁中国的经济安全。

中国天然气消费一般集中在经济发达的地区，而中国天然气生产则主要集中在西部地区和近海地区。随着天然气运输能力的大幅度增加，长距离输气管道的安全供应问题将更加突出。中国除四川外，天然气供应基本是长距离，单一干线直供用户，天然气供应系统比较脆弱。

2001 年美国加州供电危机和 2003 年“8.14”美加大停电给中国敲响了警钟。中国电力快速发展的同时也形成的巨大的安全隐患。电网是维系电力供需的纽带，只有保证电网安全才能保证电力系统的安全。2004 年全国有 24 个省市出现了用电紧张的局面，电力供需矛盾突出，有些电网出现零备用运行，一些输电通道不得不在稳定极限边缘运行，以缓解供需矛盾，电网安全运行受到极大的威胁。目前，中国电

^① 宋红旭等，美国的能源安全战略，宏观经济管理，2002 年第 2 期；

^② 夏义善，中国能源安全问题及解决前景[J]，和平与发展，2003 年第 4 期；

^③ 韩志斌等，能源安全、地缘战略和全球霸权，美国在伊拉克战争中的石油战略利益考察[J]，长安大学学报(社会科学版)，2003.6，第 5 卷第 2 期；

^④ 陈如泉，丰富的石油资源，动荡的社会环境[J]，国际石油经济，2004 年，第 12 卷第 3 期；

^⑤ 张学刚，东南亚各国能源安全战略[J]，国际资料信息，2004 年第 2 期；

网的特点和突出的问题，主要有：一是规模大、增长快、供需矛盾突出。中国电力系统的规模，发电量和装机容量分布为世界第二，2003年全社会用电量为18910亿千瓦，装机容量为3.845亿千瓦，预计到2020年中国电力系统总装机容量将达到9.5亿千瓦左右。二是电网运行环境恶劣，安全隐患多。目前电网设备故障有70%是由外力破坏，由于环境污染问题，每年都会发生电网大面积污闪事故。三是电网发展不平衡，电网技术越加复杂。四是外送规模大、形式多样、电网稳定特性复杂。

煤炭是中国最可靠和最丰富的一次能源，是中国能源供应安全的基石，因此煤炭安全观念需要进一步加强。煤炭安全主要包括煤炭生产安全和运输安全。由于生产力发展水平的限制和产业集中度低的现实，中国煤矿安全水平仍然十分严峻，频频发生的煤矿事故不仅造成了巨大的生命财产损失，而且还影响煤炭的正常生产。据中国国家安全生产监督管理局的报告，目前有安全生产保证的矿井产量只有12亿吨，约7亿吨左右的煤炭产量得不到安全保证，中国煤矿安全投资缺口约500亿元。此外，煤炭运输距离较长，涉及铁路、公路和水路运输，自然灾害和意外事故都可能造成煤炭运输的中断。运输资源的不足也会导致煤炭供应的缺口。

4. 环境保护对能源发展的制约作用更加明显^{①②③}

长期以来，以煤为主的能源消费结构和粗放型的增长方式对环境造成了很大的破坏。作为世界上最大的煤炭消费国，中国目前的煤烟型污染已经十分严重。研究表明，中国基本消除酸雨污染所允许的最大二氧化硫排放量为1200万吨至1400万吨。2003年中国二氧化硫排放量达到1200万吨。按照目前污染控制方式和力度，预计2020年全国二氧化硫排放量将达到2800万吨左右，远远超过大气环境容量1600万吨，将对生态环境和人体健康造成严重影响。随着机动车辆的快速增长，城市大气污染正向煤烟和机动车尾气混合型污染的方向发展。另外，2020年，中国能源消费总量将达到30亿吨标准煤，其中煤炭约24亿吨，到那时，中国有可能超过美国成为世界上最大的二氧化碳排放国。随着世界各国越来越清楚地认识到温室气体大量排放的危害性和京都议定书的生效，中国在温室气体减排方面必将面临更大的国际压力。

^① 周大地等编，《2020中国可持续能源情景》，中国环境科学出版社，2003年8月；

^② 中国社会科学院环境与发展研究中心，《中国环境与发展评论》，2004年5月；

^③ 国家发展和改革委员会能源研究所，碳排放情景与中国能源可持续发展研究，《能源政策研究》，2003年3月；

三、面临的任务

面对严峻的能源供应形势，中国能源任务艰巨。纵观中国能源的内外环境，中国能源需要在以下方面开展工作。^{①②③④}

1. 提高能源效率

解读中国能源发展战略，提高能源的开发和利用效率应摆在首位。各种统计数据表明，中国极为有限的能源并没有得到有效利用。中国综合能源利用效率为 33%，比发达国家低 10 个百分点；单位产值能耗是世界平均水平的两倍多；主要产品单位能耗平均比国外先进水平高 40%。这说明中国在技术水平、管理水平和经济结构方面还比较粗放，存在着巨大的节能潜力。不节约能源、提高能效，单纯依靠加大能源建设力度的办法无法从根本上解决中国能源问题。

因此，从根本上解决中国能源问题，必须转变经济增长方式，走新型工业化道路，选择资源节约型、质量效益型、科技先导型的发展方式。要大力调整产业结构、产品结构、技术结构和企业组织结构，依靠技术创新、体制创新和管理创新，在全国形成有利于节约能源的生产模式和消费模式，发展节能型经济，建设节能型社会。

2. 促进环境协调发展

中国面临的能源环境问题主要有 3 个方面：一是燃煤过程中排放的二氧化硫造成严重的酸雨污染；二是化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放引起的全球气候变化；三是全面建设小康社会对环境质量的要求大大提高。目前，能源生产和利用技术落后仍是环境污染的重要因素。以二氧化硫排放为例，2002 年全国二氧化硫排放 1927 万吨，90% 是燃煤造成的。由于二氧化硫排放大大超过环境自净能力，中国已有约 1/3 的国土受到酸雨污染。随着人民生活水平不断提高，社会对环境保护的要求越来越高。中国未来能源发展如何与环境保护协调，兼顾经济性和清洁性的双重要求，是摆在我们面前的重点课题。

3. 拓宽开发渠道

中国能源发展战略，在思想和观念上要有一个比较明确和开放的方针，不应当

^① 周大地等编，《2020 中国可持续能源情景》，中国环境科学出版社，2003 年 8 月；

^② 范维唐，21 世纪中国能源，21 世纪中国煤炭工业学术研讨会；

^③ 中央党校《中国能源可持续发展战略》课题组，中国能源可持续发展战略构想，经济参考报，2004 年 12 月 28 日；

^④ 郭云涛，应加快我国能源管理体制改革的改革，中国煤炭，2004 年第 11 期。

以国内资源条件约束能源需求。应借鉴西方发达国家的经验，充分利用国际优质能源资源，充分发挥国际国内两个市场和两种资源的积极作用，保证中国能源的可持续发展。

4. 强化煤炭主体地位

从总体上，21 世纪，世界能源的需求量仍将继续增长，但能源开发结构无疑会由石油主导型向多元共进型转变，可再生能源将迅速发展。据有关资料显示，到 2020 年，煤炭占世界一次能源的比重达 28.1%，将超过石油（26.9%），重新成为第一能源。

煤多油少是中国能源赋存结构的基本特点，确立中国能源安全战略，必须从这一基本条件出发。中国煤炭储量丰富，在常规化石能源中，煤炭资源占 90% 以上。目前已标明的煤炭保有出量储量超过 1 万亿吨，可采储量在 1100 亿吨以上。解决石油储量不足和燃料油供给问题，要立足于从煤炭液化技术找出路。根据目前国际石油价格暴涨和中国石油进口剧增的新形势，应当进一步抓紧发展煤制油产业的有关工作，从而使中国油品供应和价格稳定建立在主要依靠国内生产的基础之上。此外，对煤炭加工、煤炭高效燃烧及先进发电、煤炭燃烧污染控制与废气物处理等洁净煤技术领域，也要给予高度重视，加快推广。

5. 完善能源消费结构

2004 年中国缺电高达 3000 万千瓦，是近几年电力缺口最大的一年。大面积电荒再一次触及国人的能源短缺之痛。继续加快中国电力的发展仍是当务之急。一次电力（核电、水电、风电）的开发在一次能源的供需平衡，减少大气污染和二氧化碳排放，以及提高能源系统效率等方面都有重要作用，是改善中国能源结构，增强能源供应安全性的重要战略措施之一。中国应争取在这方面有较大作为，积极推动核电、水电、风电以及太阳能等多种发电方式的发展，使其在未来 16 年中，占据中国能源发展的中心位置。

考虑到进口石油可能造成经济波动和过度依赖石油进口会带来能源安全问题，中国应当降低对石油进口的依赖，降低石油消费，加快天然气和新能源的发展。

如果将能源优质化作为中国能源发展战略的主攻方向，那么天然气开发应作为中国一次能源开发的重点。应强调将煤气层的开发利用作为天然气发展战略的有机组成部分；把国内天然气输配管线网系统的建设作为国家支持的一项重要基础设施

内容，尽快形成全国的天然气供应体系，这是中国未来一二十年中能否大规模利用天然气的关键前提。

在各种新能源和可再生能源开发利用中，水电、太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能等可再生能源在全世界能源消费中，已占 22%左右。当今欧洲、日本等国家都已将可再生能源作为可持续发展的基本选择。中国要学习借鉴发达国家的技术和经验，积极大力推进水、风、太阳能等多种发电形式，把利用生物能源作为能源安全战略的重要组成部分，积极予以发展，逐渐降低对石油的依赖程度。

6. 加快能源管理体制变革

中国能源管理体制与中国能源供应存在一定程度上的不协调，针对建设新型工业化的要求，中国需要建立高级别、统一、高效、有权威的能源管理机构，需要组建专业化的能源监管机构，改进政府管理能源的方式，优化能源产业组织结构，加快能源行业市场化改革。

7. 实施能源的可持续发展

可持续发展是全世界面临的重大课题，能源开发是一个双刃剑，如何实现能源的可持续利用，减少环境污染、实现能源使用的代际均衡等问题是中国需要处理好的一项工作。在 1993 年中国成为石油净进口国家后，新的替代能源没有大规模开发，传统能源的使用手段没有突破，使得能源的可持续利用这一任务显得尤为艰巨和迫切。

第三章 能源承载力系统研究

第一节 能源承载力概念、内涵

一、能源承载力的概念

以往的研究者们对承载力的定义给出了一定的定义。最早的承载力概念出现于生态学，指的是在一定环境下生物个体的最大容纳量，随后，人们结合各种生产实践活动，不断拓展承载力的概念，给承载力增加新的内涵，衍生出资源承载力、环境承载力、城市生态承载力等等概念，如中国国土资源经济研究院的学者提出“矿产资源承载力是指在一个可以预见的时期内，在当时的科学技术水平和自然条件允许的条件下，矿产资源可采储量对社会经济发展的支持能力”^①。

资料显示的承载力概念有一个共同之处，就是都强调了承载力的自然属性，着眼点在资源、环境等的客观情况，落脚点在人口、经济等的总量上面。对于能源，从可持续发展的角度来讲，既不能仅仅停留在自然属性方面，也不能停留在总量的水平层面，因为人类对能源的获得不完全受制于自然条件，与人类的主观努力有着极大的关联，同时，能源的作用体现在人类生产活动的具体过程当中，从总量考察，缺乏一定的针对性。所以，我们在考虑能源承载力的时候，不仅应该考虑其基本赋存条件，还应把基本条件与社会需求的协调匹配能力考虑进来，与经济发展、利用情况、社会、人口、环境、智力等因素结合起来，只有有用的资源，才是能源承载力的影响主体。

^① 王玉平、卜善祥，中国矿产资源经济承载力研究，煤炭经济研究，1998年第12期。

从物理学上讲，物体与物体相互作用产生力。孤立地看能源，它只是一种资源，是一种客观存在的物质，没有外界对它施加影响时，谈不上力。当它与经济和社会发展相结合后，因其对经济和社会发展发生了作用，能源的价值得以体现，于是便产生了力。同时，由于力的作用是相互的，能源对经济和社会产生作用，经济和社会对能源产生反作用力。无论是作用还是反作用，其效果均有正有负，最终表现出来的是一种均衡。本文关注的是能源与经济和社会发展之间均衡的效果评价。

由上，本文对能源承载力（Energy carrying capacity）定义如下：遵循可持续发展要求，满足一定的科学技术和自然条件，与经济和社会发展相互影响、相互制约，最终要求相匹配的能源和谐保障能力。

二、能源承载力的内涵

能源承载力概念中的几个关键词是本文立论的基础，有必要对其作进一步的解释。

1. 可持续发展

因为能源是经济和社会发展的关键元素，同时能源资源的分布存在相对稀缺性，所以能源承载力必须考虑能源资源的时空因素，计入后代能源需求的承载力不是准确、完全的承载力。因此本文论证的承载力强调代际均衡、空间均衡，是能源的即时保障能力，它是时间和空间的函数。

2. 满足一定的科学技术和自然条件

研究力的作用，必须先研究产生力的物质的属性，一定的科学技术和自然条件是能源承载力的物质基础，对能源存在的自然条件的研究是研究能源承载力必然要求，在以相对稀缺的化石能源为主的今天，我们尤其应该关注能源资源的赋存规律、演化特性。

3. 与经济和社会发展相互影响、相互制约

能源与经济和社会发展之间的关系是不能割裂的。能源对社会与经济既有促进作用，也有制约作用，能源状态的好坏决定社会发展的进程；反过来，社会不断调整、整合能源，社会经济的价值取向影响能源系统的演化。人们的生产活动对能源的影响有的是耗竭型的，有的是循环可持续型的，耗竭型的损坏能源系统，循环可持续型的能够促进能源系统的优化。

4. 与经济和社会发展要求相匹配

能源的价值最终体现在对经济和社会发展产生的效用方面。我们研究能源的承载力最希望看到的是能源对经济和社会作用的效用最大化，如果能源供给过程中产生了对经济和社会起负面影响的因素，必然削弱了能源对经济和社会的效用，由此，能源承载力必然打折扣。能源对经济和社会的效用是通过诸多系统因素体现出来的，这要求我们在推进能源建设的过程中，准确把握各种因素的客观规律，努力使能源的生产、转化、储备，以及与之相关的环境保护等与所处的时间、空间要素相吻合。

5. 和谐

一般来说，当系统包含若干相互矛盾或相互制约的子系统时，都需要进行协调。这种协调是复杂系统内部的协调，称之为系统协调。系统协调的目的在于减少系统的负效应，提高系统的整体输出功能和效用，使系统达到协同或和谐的状态。

能源承载力涉及到资源、经济、社会、环境、智力等各个方面。它是能源消费与供给、经济发展、社会进步、生态环境、智力水平和有序程度的总体反映。能源承载力系统协调是能源承载力系统内各子系统内部与各子系统之间的协调，是其在时间与空间、数量与质量等多维度上使系统达到协同或和谐状态的协调。这种协调是时间过程和空间分布的耦合，是发展数量和发展质量的综合。

第二节 能源承载力影响因素分析

本文对能源承载力的概念表述中已提出了资源、经济、社会、环境、智力是能源承载力的主要方面，为便于把握能源承载力研究评价的主体架构，这里对能源承载力影响因素作进一步的分析。

能源承载力的基本属性包括自然属性和社会属性，因此，对能源承载力进行影响因素分析可从这两方面分别进行分析。对于自然属性方面，本文在前面的中国能源基本情况里已作了简要介绍，不再叙述，这里着重从社会层面对能源承载力的影响展开研究分析。

一、能源承载力的政治影响因素

这里主要指能源政策和能源管理体制。科学合理的能源政策和能源管理体制是能源承载力提升的重要保障。中国目前采取的能源政策包括^①：大力优化能源结构，积极推进多元化、清洁化为主要目标的能源结构调整政策；不断提高能源效率，提出了“坚持开发与节约并举，把节约放在首位”的能源发展方针；高度重视环境保护，采取多种措施降低能源开发利用对环境的负面影响；切实保障能源安全，坚持立足国内的方针，把煤炭作为主体能源，逐步建立和完善石油储备制度；积极开发西部能源，采取优惠政策实施西气东输、西电东送等具有战略意义的重点工程，缓解东部能源紧张状况。从能源政策中可以看出，能源政策中含概了能源承载力的各个方面，明确了中国能源的主要发展方向，能源供给的结构，能源发展的战略举措。毫无疑问，能源政策的合理性直接影响到能源承载力的大小。

与能源政策紧密联系的是能源管理体制，它是使能源政策得以贯彻落实的先决条件，是能源发展决策的主要载体。采取什么样的能源管理体制，对于能否有效控制资源的使用，能否合理调整能源供给结构，能否发挥政府在能源产业发展中主导力量，促进能源与经济、社会等的协调发展通常具有极其重要的意义。能源管理体制对能源承载力的影响主要体现在两个方面：一是能源管理体制决定了能源产业发展的运行机制是以政府管理为主，还是以市场作用为主，从建设社会主义市场经济的角度出发，实行以市场作用为主的能源管理模式，更加有利于增强能源承载力。二是能源管理体制影响能源发展的秩序，实现化石能源、可再生能源、新能源的协调发展，提高能源总体供给能力是能源管理体制的重要使命，规范的能源秩序更能够提升能源的承载能力。

二、能源承载力的经济影响因素

能源承载力的最终体现是经济总量的提高，能源承载力与经济之间的密切关系在经济增长对能源需求有较高依赖性的情况下尤为突出。经济对能源承载力的影响既有投资领域的，也有需求领域的。能源产业的发展是以高投入为前提的，需要强大的经济基础，中国目前的能源产业有数万亿元的固定资产，这充分说明了能源产

^① 徐锭明，我国能源工业现状和能源政策，中国电力企业管理，2004年9月

业的效用的资金密集性质。在这样的情况下，政府或团体对能源产业的投入力度大小通常对能源产业的产出具有决定作用，以煤炭为例，1998年以后的几年中，中国煤炭领域的投资额急剧下降，导致了近两年煤炭产出的严重不足。这种不足常常还被关联因素进行放大，导致数倍于投资不足影响力的不良后果。在消费领域，经济的发展对能源的发展也有拉动效应。能源是国民经济增长的重要因子，能源对经济增长促动的同时，经济增长对能源的消费也产生内在动力，二者互为因果，有学者总结出了能源与国民经济之间成指数关系^①。所以，能源承载力与经济之间有着超出一般意义上的关系。能源承载力的经济影响因素中，主要有经济发展能力、经济结构、经济运行状态等等。

三、能源承载力的社会影响因素

能源承载力中的社会影响因素缘自能源最终为社会发展服务，能源与社会之间存在着极为广泛的联系。这其中包括能源与人口、能源与环境、能源与社会发展状态、社会对能源的利用状况等的关系。对于人口，其对能源的影响力实际上是与经济紧密联系在一起的，因为一定的人口状况提出了相应的经济要求，这一要求直接导致了对能源承载能力的要求，其与经济的影响力的区别在于经济影响具有动态性，而人口影响具有相对静止性。对于环境，这是当今时代的主题，环境是能源发展中迫切需要解决的问题，而能源的环境问题又是所有环境问题中最难解决的问题，环境问题处理好了，将对能源的发展提供有力的支持，发挥能源在社会服务中的最大效用，反之，将抑制能源的发展，糟糕的能源环境将极大地降低能源开发的综合社会和经济效益，从而降低能源的承载力。对于能源的利用状况，其最核心的问题就是能源的利用效率，能源利用效率高意味着同样的能源创造更多的价值，相应的能源承载力水平也就提高。对于能源与社会发展状态，主要应该针对社会基本属性如城市化水平、消费水平、消费观念趋向等对能源的要求，实践表明，当社会发展到一定程度其对能源的利用水平和利用结构将发生质的变化，如清洁能源、优质能源的使用比例将快速上升，这种变化必然对能源承载力产生重要影响。

四、能源承载力的科技影响因素

^① 马驰等：关于中国能源投入的研究，国际石油经济，2003年第4期。

科技因素贯穿于能源开发使用的全过程。从开发角度讲，能源生产技术的贡献率高高低直接影响着能源的产出率，直接影响着能源产业的接替。其中，主导能源的科技水平是影响能源承载能力的关键。目前，中国与世界先进能源技术水平存在较大差距，表现为：煤炭企业普遍技术装备水平差，采煤机械化程度低；清洁煤发电、核电、大型超临界机组、大型燃气轮机、大型抽水蓄能电站、高压直流输电等技术相对落后；石油勘探技术不适应复杂地区、南方海相地层和深海勘探的需要；新能源与可再生能源中，风电机组的单机容量远低于世界主力机型，氢能技术、天然气水合物开发、核聚变发电等研发步伐相对迟缓。这些情况说明科技在能源承载力中占有重要分量，开发领域的能源科技水平提高，将有效提升能源承载能力。从使用角度讲，社会普遍能源利用技术水平的高低是能源承载能力的另一方面体现，其中也包括两方面，一方面是能源产品的直接利用技术，如煤炭从劣质能源向优质能源的转化技术，另一方面是能源利用的间接技术因素，如能源利用社会平均技术水平，中国目前能耗大的一个重要因素是社会平均技术水平低。这些无疑也是影响能源承载力水平的因素。

上述能源承载力的影响因素涉及许多方面，有些可以直接度量，有些只能作定性分析。为了比较准确地反映中国能源的承载能力，有必要将其进行分类梳理，在可以度量的因素中，选出主要因素，对定性分析的因素进行进一步的分解，找出可度量因素来进行代替。基于这一思想，本文对中国能源体系中的主导能源、主要的关联因素进行了分析，建立了承载力评价的基本框架。

第三节 能源承载力系统的构成

一、承载力系统的提出

前面说了，能源与经济和社会之间存在各种影响制约关系，就这种关系而言，就是系统存在的基本条件。能源承载力是能源在经济和社会活动中作用的结果，基于这种结果，承载力与经济社会之间必然存在各种联系，对于这种联系，必须用系

系统的观点来看待，本文因此提出承载力系统的概念。

本文把能源承载力系统定义为：所有与能源供给和使用相关的，对能源供应产生影响的，包括能源生产、经济发展、社会进步、环境保护和智力促进在内的各种因素所构成的反映能源供给状态、水平、能力和动态趋势的复杂系统。从这一定义可以看出，能源承载力系统不仅仅针对某一孤立的要素。它是由整体与局部、局部与局部之间关系组成的统一体，它反映关系的变化及其结果和转化。

系统的存在必然产生系统的功能，能源承载力系统的功能就是形成能源供给保障的合力。根据系统结构决定系统功能的原理，能源承载力系统的功能由系统内能源、经济、社会、环境和智力各子系统间的网络结构决定。

二、系统划分

由能源承载力的概念，我们可以得出能源承载力是自然属性和社会属性共同作用的结果，因此，我们可以把承载力划分为两个组成部分，其一是我们通常所说的直接从事能源生产和供应者所具有的对能源开发和使用的支持能力，其二是由于人们在经济和社会发展过程中通过各种手段使能源利用得到节约而形成的对能源总体供应能力的支持能力。前者属于自然属性的范畴，因为它受自然条件的约束较大；后者属于社会属性的范畴，人们的生产实践是后者发挥作用的前提。为便于描述，本文将这两部分分别称为供给力和协调力。供给力、协调力与能源总体承载力共同构成承载力的总体系统，本文的最终目的就是通过对供给力与协调力的分析，形成中国能源承载力的评价。

无论是供给力，还是协调力，也都是一个系统，是能源承载力系统的子系统，在其下又可划分为若干个二级子系统，以此类推，形成一个庞大的复杂的系统结构。

1. 供给力子系统

供给力子系统包含了许多因素，其中最主要的有资源赋存及开发、经济影响、基本保障等二级子系统。

资源赋存及开发子系统反映了能源资源的构成状况、资源的价值、开发状况，是能源承载力的基础条件。一定意义上讲，原始资源决定了能源承载力，因而，对资源赋存及开发子系统进行分析，可基本掌握中国能源承载平台，初步确立中国能源的承载水平。

经济影响子系统反映了能源供给的动力支撑系统，运用经济的手段促进、调节资源的开发，经济影响子系统的运行状态往往直接关系能源的供给力。

保障条件子系统反映了能源供给的协调机制，是供给力提升的保证性因素。这三个子系统共同作用，实现了资源向能源的价值转变。

2. 协调力子系统

相对于供给力子系统而言，协调力子系统要复杂得多。我们既然称之为协调力，必然要涉及到方方面面。借鉴前人的经验，本文将协调力子系统分解为能源利用、国民经济、社会发展、环境保护、智力等五个子系统。

能源利用子系统反映能源及其资源的利用水平，它对能源承载力有着较大的影响力。

国民经济子系统反映国民经济运行体系中影响能源需求的各类要素，这些要素对能源的消费起到了引导作用，对能源承载力的演化起了催化作用。研究表明，能源是生产过程中的一个重要元素，能源对经济的影响程度非常明显^①，因此，国民经济子系统是影响能源承载能力的决定性因素。

社会发展子系统反映了社会结构的变化对能源承载水平的影响能力。

环境保护子系统反映了能源发展的限制性因素，是能源可持续发展的重要体现指标，在中国日趋恶化的环境问题面前，对这一子系统进行分析，更能够体现能源承载力的真实水平。

智力子系统反映由智力因素促进社会进步、产业升级、资源节约所引起的能源当量承载力水平，它是能源承载力水平的间接影响指标。

能源承载力系统构成如图 3-2。

三、能源承载力系统的特征

(1) 动态性

能源既包括当前的技术经济条件下经济社会发展主要依靠的化石能源，又包括人们在大力寻找和开发的可再生能源，还包括人们努力探求的新能源。能源结构的变更必然导致能源承载力的变化，所以能源承载力具有动态性。

从能源承载力系统来看，能源承载力是一个十分复杂的时空交互影响的多层巨

^① 唐子焯，马宪国：能源供应对经济的影响分析，上海理工大学学报，2004年第1期

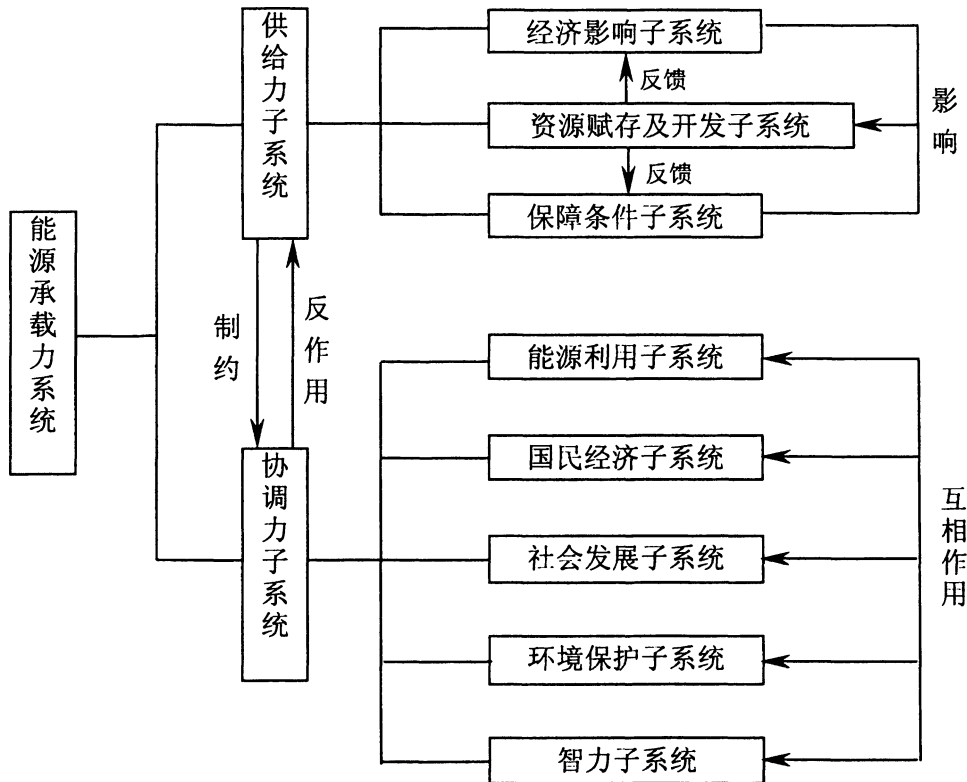


图 3-2 承载力系统构成及运行

系统，能源、经济、社会环境和智力等各个子系统间的网络结构，决定了系统的整体功能。在系统内，影响能源承载力的因素众多且错综复杂，使得相同的能源资源禀赋在不同的区域和不同的社会经济发展阶段上有着不同的供给能力，加之替代效应的存在，使能源承载力具有动态发展性。

(2) 替代性

从资源本身来看，能源承载力取决于一个国家或地域资源潜力的大小。而从经济角度来看，对于不可再生的化石能源，其承载力的实质实际上是最优耗竭问题。它包括合理配置和替代两方面内容。也就是在不同时期（代内与代际）、不同空间（区际）上合理配置有限的资源，以及使用可替代的能源替代化石能源源。可替代能源是指除化石能源以外的能源，如可再生能源、新能源、其他生产因素（如资金、劳动力、技术）等。事实上，能源承载力是各种因素替代均衡的产物。

(3) 时滞性

每一个系统的演化都有着固有的规律。大量研究表明，系统自组织的发展过程一般服从 logistic 变化规律，呈现早期增长缓慢，中间阶段增长加快，后期增长区域

停滞的特征，对应于这些特征，通常把一个系统发展周期划分为起步期、成长期、成熟期和饱和期四个阶段，如图 3-3 所示。

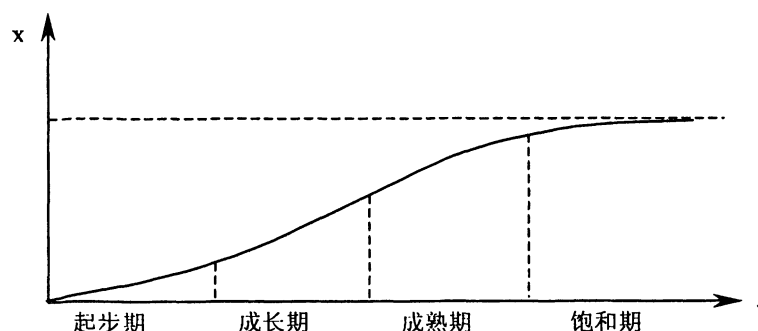


图 3-3 系统周期图

每一个系统从发生变化到形成均衡都要经过一定的时间，当系统由多种因素组成时，由于因素变化的不确定性，必然导致系统均衡的时滞性。能源承载力系统中经济子系统、资源子系统、环境子系统、智力子系统均衡时间相对较长，对承载力作用的时间效应将尤其突出。因此，我们在评价承载力并根据它作决策时，必须考虑时滞性。

(4) 整体综合性

实践证明，任何社会都不能单纯依赖某一种能源，经济和社会发展需要多种能源的组合作用，因此，能源承载力是一种合力，这种合力必须放在整体环境中进行考察，必须综合多方面因素。

四、 能源承载力概念模型

能源承载力作为一个系统，对内表现为系统内部的状态和结构，对外则表现为一定的功能，结构决定功能，功能反作用于结构。因此，能源承载力的大小取决于能源承载力系统的功能，这种功能由资源赋存及开发、经济影响、保障条件、能源利用、国民经济、社会发展、环境保护和智力所构成的复杂系统内部各个组成部分的状态和结构以及各组成部分相互联系相互作用状况决定。其概念模型可表示为：

$$F_c = f(F_g, F_x, \omega)$$

其中， F_g 表示供给力，用以反映能源承载力系统内部与能源供给相关的资源赋

存 (ER)、经济影响 (EE)、保障条件 (PC) 等要素的结构和状态; F_x 表示协调力, 用以反映能源承载力系统内能源利用 (EU)、国民经济 (CE)、社会发展 (SD)、环境保护 (EP) 和智力 (SI) 等对能源供给产生影响的各要素自身的协调以及各要素之间相互联系、相互作用的效用; ω 表示供给力系统与协调力系统的结构参数, 反映系统的和谐度。

供给力与协调力用函数形式分别表示如下:

$$F_g = f(ER, EE, PC)$$

$$F_c = f(EU, CE, SD, EP, SI)$$

从而, 能源承载力概念模型可用下式表示:

$$F_c = f(F_g, F_x, \omega) = f(ER, EE, PC, EU, CE, SD, EP, SI, \omega')$$

其中, ω' 是一个结构参数, 用以表示 ER, EE, PC, EU, CE, SD, EP, SI 之间的和谐度。

第四节 能源承载力系统规律分析

一、稳定系统的规律分析

当系统不受任何条件限制时, 系统呈指数增长状态。然而, 在既定的能源承载力系统中, 因有限的社会、经济、技术和自然条件约束, 系统不可能无限增长, 而是存在一个阈值, 并且在一定的历史时期系统阈值相对稳定, 图 3-3 说明了这一特性, 这可以用下式进行表达

$$dx/dt = r \cdot x(1 - x/k) \quad (3-1)$$

其中, x 为系统发展状态变量, r 为系统发展增长率, t 为时间因子, k 为阈值, 超过这一阈值, 系统将日益恶化。

将式 (3-1) 变换为 $dx/x(k-x) = r/k \cdot dt$ ，两边求导，则

$$x = \frac{k}{1 + c \cdot e^{-rt}} \quad (3-2)$$

其中， c 为积分常数

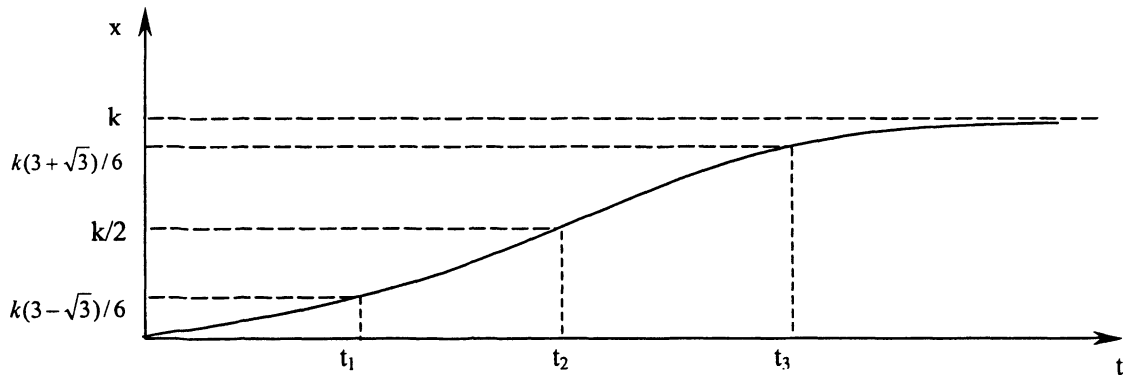


图 3-4 稳定系统发展曲线

由式 (3-2) 可见，当 $t \rightarrow \infty$ 时， x 以指数率收敛于阈值 k ，如图 3-4。这是能源承载力变化的范围，但这个范围很是粗泛，很难说明研究能源承载力的真正意义。我们研究能源承载力的目的应该是如何把能源承载力水平控制在一个合理的范围内，在这个范围内，能源承载力系统既能够发挥最大效用，又不致于冒系统恶化甚至崩溃的风险。从系统发展周期图来看，成熟期的承载力水平是我们所期望的。结合系统发展曲线，运用数学求导法则，我们通过运算 $d^2 x / dt^2 = 0$ 和 $d^3 x / dt^3 = 0$ 不难求出成熟期的阈值为

$$k/2 \leq x \leq k(3 + \sqrt{3})/6 \quad (3-3)$$

式 (3-3) 可作为我们对稳定系统内能源承载力的评价依据。

二、复杂系统的规律分析

式 (3-2) 反映了稳定系统发展的状态方程，把它扩大到组合系统，并对系统轨迹适当放大，可以得出分段连续的 logistic 能源承载力复杂系统发展轨迹(如图 3-5)，其发展状态方程表达式表示如下。

$$X = \begin{cases} k_1 / (1 + c_1 \cdot e^{-r_1 t}), & 0 < t \leq t_1 \\ k_1 + k_2 / (1 + c_2 \cdot e^{-r_2(t-t_1)}) & t_1 < t \leq t_2 \\ k_1 + k_2 + k_3 / (1 + c_3 \cdot e^{-r_3(t-t_2)}) & t_2 < t \leq t_3 \\ \dots\dots\dots & \dots \\ k_1 + k_2 + \dots + k_{i-1} + k_i / (1 + c_i \cdot e^{-r_i(t-t_{i-1})}) & t_{i-1} < t \leq t_i \end{cases} \quad (3-4)$$

式中, $c_i = (k_i - x^{(i)}) / x^{(i)}$, $x^{(i)}$ 为第 i 个发展阶段的初始值

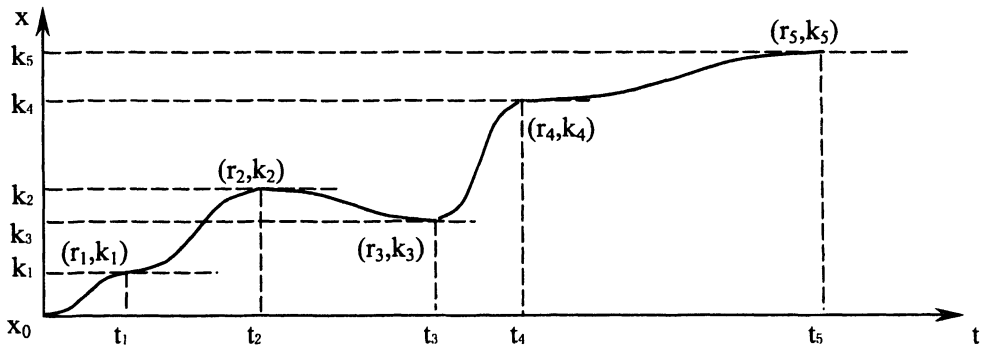


图 3-5 复杂系统发展曲线

图 3-5 显示的系统发展曲线说明, 能源承载力系统受到诸多因素的影响, 系统的发展曲线出现阈值振荡和频率振荡, 能源承载力系统呈现不稳定发展态势, 每一个周期可能出现能源承载力的正增长, 也可能出现负增长。这种情况是不符合经济和社会发展要求的, 与可持续发展不相吻合, 对能源承载力系统自身发展也会产生不利影响。

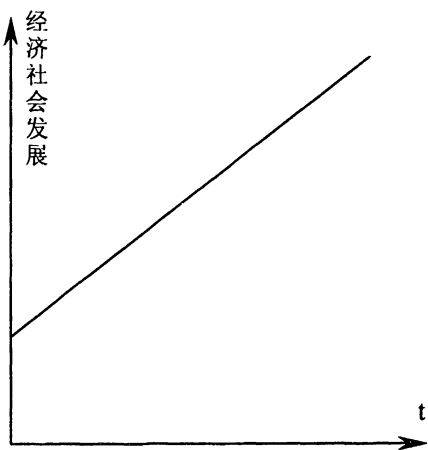


图 3-6 经济社会发展增长理想曲线

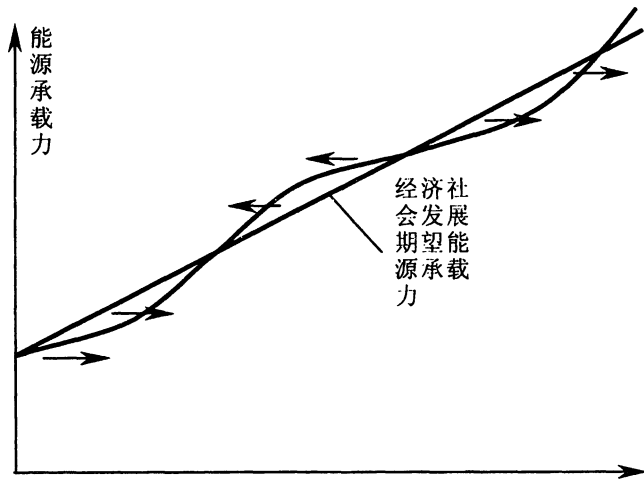


图 3-7 承载力增长理想曲线

根据可持续发展的要求，国民经济和社会发展应该是一种稳步持续增长态势（如图 3-6），对应这种增长态势，按照周期理论，承载力曲线应该是一围绕增长曲线上左右摆动的曲线（如图 3-7），由此我们可以得出可持续发展要求下的能源承载力曲线（如图 3-8）。其状态方程如下：

$$X=(i-1)k_0+k_0/(1+c \cdot \exp(-r_0(t-(i-1)t_0))) \quad (3-5)$$

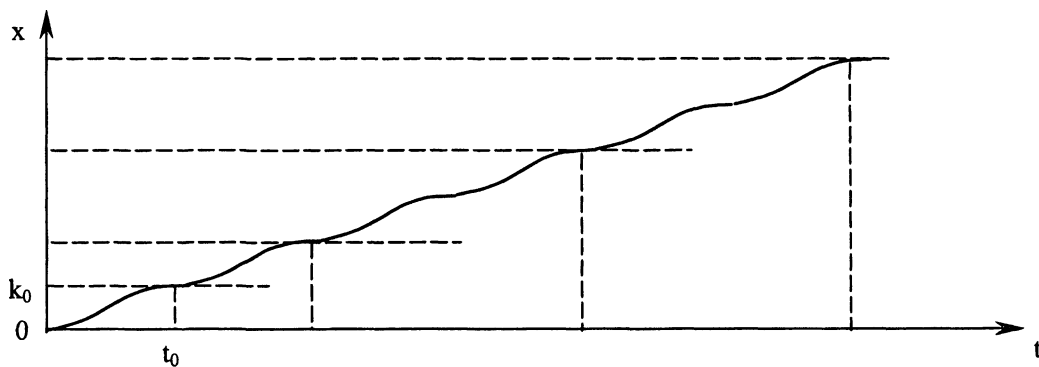


图 3-8 基于可持续发展的能源承载力系统曲线

上面描述的是理想状态下的能源承载力变化规律，这种理想状态的假设是能源资源在不断消耗的同时能够源源不断地得到补充，并且随着新型能源的开发和新型能源利用技术的应用，能源总量甚至还未适量增加。事实上这种假设在以化石能源为主的当今时代是不成立的，人类社会因使用能源使能源耗尽的速度远大于新的能源的开发速度，这就意味着，在相当长的时间内，人类社会的能源承载力是不断下降的，人们所能做的是在努力寻找新能源的同时，努力降低能源承载力的下降幅度。

第四章 能源承载力评价指标体系

前面我们分析了能源承载力的系统构成，梳理了能源承载力系统的功能结构。对于能源承载力的研究，最终我们希望的是对生产实践提出指导性意见，但这种指导性意见不能停留在口头的主观臆测上，况且，系统功能是通过若干的要素来实现的，所以必须形成一套有效的衡量和测度方法，建立一个完整的、科学的、有代表性的指标体系。本文通过对上世纪 90 年代以来中国能源发展的实践分析，归纳出影响能源承载力的各类指标，按照能源承载力系统的要求建立起能源承载力的指标体系。

第一节 能源承载力指标体系构建的基本原理和准则

一、指标、指标体系及其功能

指标是用以刻画或反映系统行为、状态和功能的一种统计标识。传统的统计指标为分总量指标、相对指标和平均指标。对能源承载力评价，指标可划分为两大类，一类是描述性指标，另一类是评估性指标。描述性指标反映能源承载力系统及其供给力、协调力子系统的总体态势和关系结构，是评价指标体系的顶层；评估性指标是用来度量同一系统实际状态与期望状态的差异，或不同系统之间状态值的横向对比，以及系统与系统之间联系与协调程度的指标，评估指标大都可测且有量纲，在

指标体系中处于底层。

指标可分为客观指标和主观指标、描述性指标和评价性指标、正指标和逆指标、投入指标和产出指标。客观指标是反映客观社会现象的指标，如人均 GDP、城市化水平、人口数、人均能耗水平等，主观指标是指反映人们对客观社会经济现象的主观感受、愿望、评价等的心理状态的指标，对资源开发程度、资源聚集度、能源利用效率等；描述性指标通常含概在客观指标中，就是说明某一方面情况的指标，如煤炭储量、优质能源比重等，评价性指标属于主观指标的范畴，通常以某种理论为指导，对两种或两种以上现象进行比较得到，如万人在校大学生数、万元 GDP 环保投入率等；正指标是指反映能源承载力增强的指标，如 GDP 增长率、城市化水平、节能率，逆指标是指反映阻碍能源承载力的指标，如高能耗行业比重、C 排放量等；投入指标指对能源产业进行投入的指标，如固定资产、R&D 投入比率，产出指标是反映能源生产结果的指标，如吨煤 GDP 等。

结合能源承载力系统的结构和功能，能源承载力指标应该具有以下基本功能：一是信息功能，能够描述和反映任何一个时点或时期内能源资源、经济、环境、社会、政策、科技等各影响要素的现实状况，并提供各要素质与量的变化情况，为系统的评价形成最原始的数据基础。二是监测功能，能够反映和要素的变化趋势和速率，通过对系统组成部分相互关系的分析，揭示和监测能源承载力的变化趋势和规律。三是综合功能，能够比较全面地反映能源承载力系统内各组成部分之间的关联性，使组成部分之间相互关联，互为协调，从而从整体上反映能源承载力水平。四是诊断功能，能够在信息功能、监测功能、综合功能的基础上进行延伸，对反映、监测和综合的结果作出诊断评价，揭示能源供给存在的问题，并指明解决问题的方向。五是预测功能，能够对能源承载力的未来发展趋势进行预测，包括发展预测和问题预测，发展预测如进行能源承载水平的走向预测，问题预测如能源承载力提高过程中可能遇到的环境问题预测等。

能源承载力系统是复杂系统，涉及多方面因素，目前的研究大多选择几个传统的统计指标，研究结果难免存在一定的片面性，甚至出现自相矛盾的情况，因此，需要建立起一套符合能源承载力规律，反映能源承载力演化轨迹，有助于系统调控和功能优化的指标集，这种指标集就是指标体系。一定意义上讲，能源承载力指标

体系是能源建设管理的信息体系，建立指标体系就是搭建起能源建设的信息平台。透过指标体系，可以掌握能源供给的基本参数，对能源在国民经济运行和社会发展中的支持能力作出一个比较客观的评价，并能够及时把握能源供给中的关键因素，实施有效控制。作为指标体系应该具有目的性、理论性、科学性、系统性，具体到能源承载力指标体系，应该是由与能源供给相关的一系列相互联系、相互制约的指标，以反映能源承载力水平为目的，按照一定的逻辑关系和系统原理组成的集合。指标体系使指标的功能得以传递，使系统的价值得以体现。

二、能源承载力指标体系构建的基本原则

科学合理的指标体系是系统评价准确的基础和保证，也是正确引导系统发展方向的重要手段，因此在确立能源承载力指标体系中，必须遵循一定的原则，以保证指标的科学性、合理性。本文认为应按照下列原则确立承载力指标。

1. 系统科学性原则

指标体系应该能够反映能源承载力系统的各个方面，并使评价指标和评价目标有机的联系起来。指标体系的建立应当符合系统演化的规律，能够反映能源承载力的科学内涵，力求不成熟研究基础上的主观臆造。指标统计应符合统计规范，数据来源稳定。指标大小适宜，既能够反映系统目标的主体本质特征，又能满足建模和实施的要求。指标要目标明确、逻辑清楚、选取合理。

2. 简明可行性原则

从资料获取和数据处理角度看，评价指标体系应力求简单、明了。要选取那些概括性强、所代表的信息量大、容易获取的指标。在强调指标间有机联系的同时，应避免要素之间的交叉和重复。要充分考虑数据取得和指标量化的难易程度，尽量利用和开发统计部门现有的公开资料，以利于指标体系的运用和掌握。

3. 动态引导性原则

能源承载力反映不同时期的能源供给状况，因此能源承载力指标体系应该反映其动态变化的特点，既能够反映承载力要素的空间布局，又能反映各要素的大小强弱，这就要求指标体系的建立具有信息、监测、综合、论断、预测等功能，从而引导系统向预定目标发展。

4. 标准通用性原则

指标体系的建立, 应努力追求实现标准统一, 以克服由于指标体系混乱所带来的无法在统一基础上进行对比分析的混乱局面。指标选取的统一不仅有利于数据的收集和加工处理, 也便于实际使用。

5. 灵活适应性原则

能源承载力是不断发展演化的, 因此指标体系也应该随系统的发展演化作出相应的调整, 不断提高指标体系与系统的匹配能力增强适应性, 从而提高评价结果的可信度。

三、指标体系建立方法

1. 指标筛选

在按照上述方法选择指标后, 由于能源承载力涉及指标极其复杂, 要做到准确反映承载力的性征, 需要对初选的指标进行筛选整合, 删除对测度目标影响不大的指标, 周德群提出了运用保序性准则^①进行筛选。

设被评对象集 $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_j)$

初步预选指标集 $H = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_j)$

搜集被评对象的各指标值, 构成指数数据矩阵

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & \cdots & h_{1j} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & \cdots & h_{2j} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ h_{i1} & h_{i2} & h_{i3} & \cdots & h_{ij} \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

式(4-1)中, h_{ij} 为 W_j 的第 j 个指标的指标值。

设立指标值变异系数

$$V_j = S_j / \overline{H_j} \quad (4-2)$$

式(4-2)中, $\overline{H_j}$ 为指标均值, S_j 为标准差。

当 $V_j = 0$, 或很小时, 删除 h_j 可以保持指标排序不变, 这需要进行保序性检验。进行保序性检验的做法如下:

设指标权向量 $a = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \text{且 } a_1 > a_2 > a_3 > \dots > a_j)$, 指标变量矩阵 H 标准化后的矩阵为 $Z = (z_{ij})$, 则综合测度值为 $A = a \cdot Z$, 根据测度值大小进行排

^① 周德群, 可持续发展研究: 理论与模型, 中国矿业大学出版社, 1998年第1版。

序，得 T；删除权向量最小的指标后，得 H'，同时重新分配权重得 a'，同样计算综合测度值，进行大小排序，得 T'，如果 T 和 T' 相同，则权向量最小指标可以删除，否则就予以保留。

2. 指标体系框架

根据能源承载力系统的研究，本文认为，能源承载力指标体系可以从四个层次来建立：

目标层，反映能源承载力的总体水平，是能源承载力系统的最终效果体现。

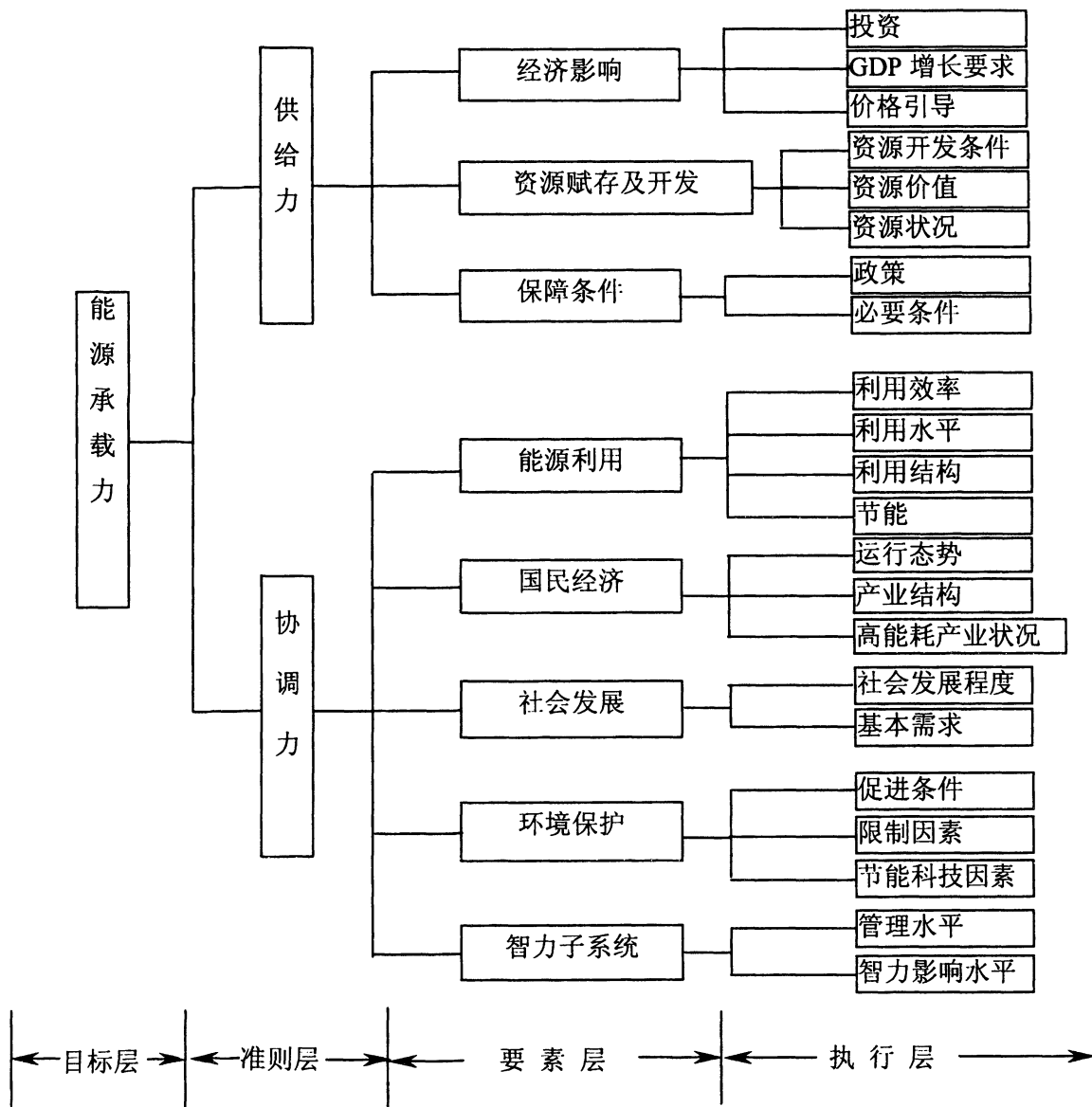


图 4-1 能源承载力指标体系框架

准则层，是能源承载力的基本分解和判断依据，在本文就是指能源系统的供给能力和协调能力。

要素层，说明能源承载力是由资源赋存和开发、经济影响、保障条件、能源利用、国民经济、社会发展、环境保护、智力等要素共同作用耦合而成的。

执行层，是子系统的要素层，代表各运行子系统的主要行为状态和功能结构，是能源承载力影响因素的直接反映。

能源承载力评价指标体系框架如图 4-1。

第二节 中国能源承载力评价的指标设计

前面，我们讨论了能源承载力的主要系统框架，提出了能源承载力的主要指标体系。结合前人的研究成果，本文提出了能源承载力评价的 25 项指标，这里对能源承载力评价指标设计作进一步阐述。

一、供给力系统指标设计

根据承载力系统分析，供给力主要由以下几个要素来表征：

1. 资源赋存和开发能力

这一要素主要反映能源资源的数量、质量、结构、动态趋势和潜力等在能源供给方面的基础性作用，可以用设计能源生产能力、人均资源保有量、资源压力指数、资源聚集度、能源集中度等指标来表示。选择这几个指标的出发点是：资源是能源供应的基础，资源的多少决定了能源生产空间的大小；资源必须经过开发才能成为能源，资源的开发情况决定了能源生产能力；能源生产能力受到多方面的约束，一是生产条件，二是供求关系，三是生产规模；能源承载力是多种能源的组合贡献能力，在单项能源价值一定的前提下，供给结构决定了能源的总承载力。几个指标的含义分述如下：

(1) 设计能源生产能力。反映正常技术装备条件下，能源生产厂商提供能源产

品的能力，本文这里主要指初级能源产品。根据中国能源的组成，煤炭、石油占了总能源的85%以上，因此，本文主要选取煤炭与石油的设计生产能力作为考察对象，因实际数据不易掌握且能源产量受技术装备约束较大，所以本文以实际生产能力代表之。

(2) 人均资源保有量。反映资源在能源生产中的保障能力，当资源保障效率递减的时候，必然冲击能源供给。伴随着中国人口的不断增长，相应的能源资源却增长有限甚至逐步减少，将给能源承载带来较大影响。

(3) 资源压力指数。反映资源的供求压差，当需求大于供给，必然促进供给，反之供给缺乏动力。

(4) 资源聚集度。一般情况，资源密集的地方，开采条件好，开采成本低，效果好，供给能力强，但由于相关数据不好处理，本文用规模以上国有重点煤矿产量与总产量的比值来表示，其中暗含了一个假设，即矿井规模大，资源就相对集中。

(5) 能源集中度。这反映能源的供给结构和替代应变能力。按照世界平均能源供给结构来看，一种能源占总能源的比重过大，带来的将是能源体系的应变能力较差，抗风险能力也较差，整体承载能力将相对脆弱。从中国能源供给曲线来看，煤炭的供给曲线与能源总体供给曲线存在高度的趋势拟合（如图4-2），因此本文选择煤炭在能源供给总量中的比重来表示这一指标。

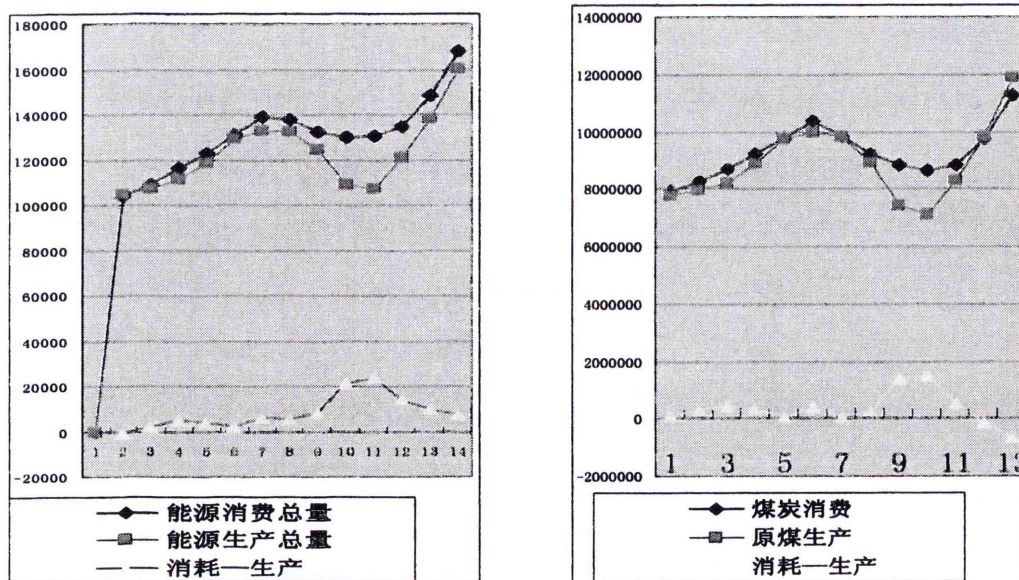


图 4-2 煤炭供给与总能源供给的曲线比较

2. 经济影响能力

在一个系统中经济因素往往起决定作用，在供给力系统中也不例外。经济影响能力这一要素在供给力系统中主要反映经济活动对能源供给的控制能力和反馈能力。可以用投入比率、当年新增固定资产、GDP 增长率等指标来表示。选择这几个指标的出发点是：投入是产出的前提，资金的投入多少决定了能源生产量；资金的投入相当一部分反映在资产上，在资产的报酬率一定的情况下，能源的供应与资产的数量紧密相关；能源是 GDP 增长函数的重要参数，要保证一定的 GDP 增长率，就必须保证必要的能源供应。几个指标的含义分述如下：

(1) 投入比率。指当年 GDP 中用于能源建设投资的比例，用以反映资金对能源供应的贡献率。从中发现投入与产出的对应关系。

(2) 固定资产变化率。固定资产是能源生产的必要条件，固定资产的变化率折射出能源供给的变化率。煤炭是中国的主要能源，本文以每年的建井投入表示。

(3) GDP 增长率。随着市场经济体制的完善，能源效率的提高速度会逐渐降低，在中国能源供应质量没有改善之前，保持经济持续稳定增长必将回归到以不断扩大的能源供应作保障的前提下来^①，GDP 增长必然对能源供应提出更多的要求，并对其施加很大的影响。

3. 保障条件能力

这一要素主要反映除却资源情况和经济因素之外的对能源供应有较大影响的软性因素，主要体现在从业人员、科技人员比例、R&D 投入、运输压力等指标上。选取这些指标的出发点是：中国能源生产相对世界平均水平仍处于劳动密集型阶段，能源工业从业人员的多少在能源生产上也有较大影响；科技对能源工业的贡献率的高低也很大程度上影响了能源的产出水平，2000 年中国能源 R&D 投入比率只有 0.068%^②；由于中国铁路建设相对滞后，且能源资源分布不平衡，煤炭生产的装车申请满足率不足 60%，高峰时期只有 30%，^③以运定产在相当长的时间内将是能源供应的假设条件。几个指标的含义及表示分述如下：

^① 韩智勇，魏一鸣等，中国能源消费与经济增长的协整性与因果关系分析，系统工程，2004 年第 12 期。

^② 马驰等：关于中国能源投入的研究，国际石油经济，2003 年 4 月

^③ 中国能源网能源周讯，中国铁路煤运运力全面紧张，总第 5 期

(1) 从业人员。反映人力资源对能源工业的贡献率。

(2) 科技人员比例。反映能源行业的科技因素对产出的贡献率，在从业人员中科技人员的比例体现了平均科技水平，它是促进能源发展的重要因素。

(3) 运输压力。反映运输条件对能源供给的支持力度。由于煤炭和石油目前是中国的主要能源，其运输大部分是通过铁路来实现，为简化起见，本文以每平方公里能源需求与铁路长度的比值表示。

供给力系统的指标应该还有一些，本文借助前人的研究成果和对客观事实的分析，列举上述指标，最终哪些指标起关键作用，还有待于随后的分析来进行辨别。

二、协调力系统指标设计

根据能源承载力系统分析，协调力系统不直接反映能源的供给，主要从消费方面反映各种要素的和谐性对能源供给的影响力，以下几个要素来进行表征：

1. 能源利用

这一要素反映能源利用的协调性对能源的影响力，凡是与能源利用相关的指标都应纳入这一范畴。可以用消费优质能源比率、能源利用效率、进口能源依赖性、平均能源储备、节能率、人均能耗压力等指标来表述。选取这些指标的出发点是：能源的消费结构、消费水平很大程度上影响能源的产出；能源进口的依赖程度决定了中国能源的战略方向；有限资源条件下，必须把节能放在重要的地位；中国能源消费在考虑消费总量和消费效率的同时必须与中国的人口国情结合起来。几个指标的含义及表达分述如下：

(1) 消费优质能源比率。反映了能源的消费结构，优质能源消费比重增大不仅减少了能源供给的总量要求，也减少了对社会、环境等要素的影响。结合中国目前的消费结构，这一指标采用石油消费在能源消费总量中的比例进行表示。

(2) 能源利用效率。众多的文献资料表明，中国能源利用效率极低，提高能源利用效率将大大提升中国能源的承载能力。这一指标反映能源承载力的提升空间，反映能源利用与供给的协调性。

(3) 进口能源依赖性。反映中国能源的调节补充能力，现阶段主要是石油的进口，用进口石油量与消费石油量的比值来表示

(4) 节能率。反映能源供给的内部协调能力，中国有节能潜力很大^①，提高节能率相当于增加能源的产出率。

2. 国民经济影响

这一要素反映国民经济在能源供应中的影响力，或者说由于国民经济调控而产生的能源供给的衍生量。可以用经济发展水平、产业结构水平、高能耗行业比重等指标来表示。选取这些指标的出发点是：经济是能源供给的催化剂，经济发展水平提高，必然加大对能源的投入；产业结构决定了在同等经济规模下能源消耗的配置效率。合理的产业结构水平对于产值能源供给能起到削峰填谷的作用；高能耗行业产值增加是近两年中国能源供应紧张的重要原因几个指标的含义及表述如下：

(1) 经济发展水平，反映经济水平提高或停止不前对能源供给影响，一般来说，一个国家的国民生产总值和它的能源消费量大致是成正比的。能源消费量越大，产品产量越多，经济发展水平越高^②。这里用人均 GDP 进行表征。其逻辑是：GDP 增加，对能源的投入就增加，能源供给就增加，承载力就会增强。

(2) 产业结构水平，反映产业结构变化对能源供给的影响。中国能源依赖型城市中，第三产业比例高的城市单位 GDP 能耗低^③，这里用第三产业占 GDP 比重来表征。其逻辑是：第三产业比重增加，相应能耗降低，等于增加了能源的供给承载能力。

(3) 高能耗行业的比重，反映高能耗行业对能源承载系统的冲击力。用冶金、石化等产业占工业总产值的比重来表示。其逻辑是：同样的工业总产值下，高能耗行业比重下降，必然减少能源消耗。从而增加能源的供给能力。

3. 社会发展影响力

这一要素反映社会因素对能源承载力的作用。能源的价值不仅体现在经济方面，也体现在社会方面。可用人口、城市化水平、居民消费水平等指标来表示。选取这些指标的出发点是：中国是人口大国，因人口而引起的能源消费在能源构成中是庞大的基数；随着中国经济和说话的发展，城市化是一个必然趋势。城市人均能耗是农村人均能耗的 3 倍。说明城市化必然导致中国能源消费的增长；居民生活水平的提高对生活用能的提出新的要求。几个指标的含义和表征叙述如下：

^① 渠时远：“能源转型”意味着什么，中国能源，2004 年 8 月，第 8 期

^② 陈学俊：能源工程的发展与展望，世界科技研究与发展，2004 年 2 月

^③ 宋金波、陈利顺：中国能源依赖型城市的能源供应分析，能源研究与信息，2004 年 1 月，第 1 期

(1) 人口, 反映人口变化对能源供给的影响力。其逻辑是: 人口增加, 能源消费增加, 能源承载压力增大。

(2) 城市化水平, 反映城市化对能源供给的影响力。其逻辑是: 城市化水平提高, 能源消费需求增大, 能源承载压力增大, 相对承载力降低。

(3) 居民消费水平, 反映居民消费水平变化对能源供给影响, 其逻辑是: 居民消费水平提高, 增加居民生活用能的比重。影响整个能源供给能力。

4. 环境保护影响

这一要素反映能源供给受环境的因素的影响。可选取废气排放量、万元 GDP 环保投入等指标表示。选取这些指标的出发点是: 能源供给伴随着产生污染环境的副产品, 人类社会追求可持续发展, 不能无节制地使用各类能源, 中国以煤炭为主要能源, 煤炭消费量对工业废水和工业废渣、工业废气排放量影响最大^①, 90 年代中国 GDP 中至少有 3-7% 的部分是以牺牲环境为代价的^②, 故考虑能源承载力必须考虑环境的制约作用。几个指标的含义和表征叙述如下:

(1) 废气排放量。反映废气排放与能源承载力的负相关关系。其逻辑是: 废气排放量增加, 必然增加治理的费用, 冲减 GDP 增长率, 降低能源的承载力。

(2) 万元 GDP 环保投入。反映环保投入对增强能源承载力的促进作用。粗略环保投入增加, 必然影响在能源领域的投入, 削弱能源承载力。实际上, 环保投入所产生 GDP 效益远大于对能源投入的影响。必然产生能源投入实质上的增加, 提高承载力。

5. 智力影响

这一要素反映科技文化教育等智力因素的影响。与前述供给力中科技水平不同的是这里的科教水平反映的是全社会的水平, 是指由于全社会技术进步影响能消费结构。从而影响能源供给能力。可选取万人在校大学生数、教育科研经费数等指标来表征。二指标含义如下:

(1) 万人在校大学生数。反映全社会文化素质, 提高对能源消费水平的影响力。其逻辑是: 全社会文化素质提高, 必然减少能源浪费, 提高能源利用效率。从而减

^① 刘会玉等: 工业企业能源消费结构调整与环境质量的灰色关联分析——以江苏省为例, 商业研究, 2004 年第 7 期;

^② 雷明: 绿色 GDP 与可持续能源, 建设科技, 2004 年 5 月。

少能源承载力的压力。

(2) 教育科研经费数。这一指标反映重大科教投入所带来的科技进步,对能源供给能力的影响。其逻辑是:科技进步减小能源消耗或单位 GDP 能耗降低,能源承载能力增加。

以上论述了能源承载力的主要评价指标,其分析汇总于表 4-1,这些指标是能源承载力模型建立的基础。

表 4-1 中国能源承载力评价指标分析表

序号	评价准则	指标	功能及目标	数据及表达	数据来源
1	供 给 力	设计能源生产能力	反映正常技术装备条件能源生产厂商的提供能力。	以实际生产量表示	各类年鉴、情报、资料及数据演算
2		人均资源保有量	反映资源接续能力	用煤炭资源保有量表示,当年煤炭资源保有量 \div 当年人口	
3		资源压力指数	反映市场对能源开发的引导力	用供求压差表示,消费量-生产量	
4		资源聚集度	反映能源供给规范效应的影响力	用煤炭国有重点煤矿产量与总产量的比值表示	
5		能源集中度	反映能源供给结构及替代效应	以煤炭在能源总量中的比率表示投入量	
6		投入比率	反映资金投入对能源生产的促进作用	用单位 GDP 表示,当年能源投入资金 \div GDP 产值	
7		固定资产	反映资产对能源生产的贡献率	用矿井建设投资表示	
8		GDP 增长率	反映 GDP 增长对能源生产的拉动效用		
9		从业人员	反映人员对能源生产的影响	以采掘业从业人员数表示	
10		运输压力	反映运输条件对能源供给的支持度	以每平方公里能源需求与铁路线路长度的比值来表示	

11		科技人员比率	反映能源生产的科技含量	用煤炭企业工程技术人员与采掘业人员比值表示
12	协 调 力	消费优质能源比率	反映高效能源的利用水平	以石油总消耗占总量比例
13		能源利用效率	反映能源消耗水平	能耗 ÷ GDP
14		进口能源依赖性	反映能源消耗的调节补充能力	进口数 ÷ 消费数 石油数 × 当年石油产量比重
15		节能率	反映节能水平对能源消费的影响	
16		经济发展指数	反映经济水平对能源消费的影响	人均 GDP
17		产业结构水平	反映产业结构对能源消费的贡献率	第三产业比重表示
18		高能耗行业比重	反映高能耗行业的影响力	以冶金、石化等与工业总产值的比值表
19		人口	反映能源供应的必要条件	
20		城市化水平	反映城市对能源消费的引导能力	
21		居民消费水平	反映家庭收入水平对能源供应的影响力	
22		废气排放量	反映环境要素对能源生产的影响力	
23		万元 GDP 环保投入	反映环保投入在能源供应中的协调能力	
24		万人在校大学生	反映教育水平在能源消费中的协调作用	
25		教育科研经费投入	反映整体科教水平对能源供给的影响	

第五章 能源承载力评价方法

第一节 评价的基本思路

能源承载力评价应在三个方面作出基本的判断：一是中国能源承载力水平、走向及各阶段的特征；二是承载力子系统的水平、走向及干扰因素，主要决定要素的发展趋势，承载力要素的状态判定；三是系统的和谐性研究，决定系统和谐度的依据。

本文希望得到的是：决策者根据原始数据能够知道，中国能源在某个时间段内承载力水平如何，对国民经济和社会发展的主要影响在哪里，哪些因素是关键因素。在多因素综合评价中，由于信息的不完全性、不可知性以及模糊性，多采用模糊方法进行评判。针对能源承载力系统比较庞大，涉及因素众多，且信息不能完全掌握的情况，本文沿用模糊评判的思想，尝试把统计学理论与模糊数学理论相结合，利用统计学中多元统计分析的有关原理和方法分析解决能源承载力的评价问题。鉴于影响能源承载力因素很多，本文主要运用了主成分分析法探讨中国能源的承载力评价问题。

主要的评价思路分为以下几步：

首先，针对众多的指标运用主成分分析的方法把众多要素指标变换为少数几个变量进行分析计算。

第二，利用变换得的主成分计算能源承载力各子系统水平。

第三，确立各指标的权重，采用定量推演的层次分析法计算系统指标的权重，并利用信息熵技术进行修正。

第四,运用模糊评判思想,确立能源承载力水平,并对能源承载力进行评价判断。

第五,建立和谐度评价模型,对能源承载力各系统的和谐性作出评价判断。

在评价中,本文注意方法和手段的运用,尽量采用定量表达的方式,尽可能保持针对性和不失一般性,尽量运用先进的计算工具,保证计算的准确性,尽量运用数据、图表说明问题。

第二节 承载力评价的主成分分析模型

主成分分析是把各变量之间互相关联的复杂关系进行简化分析的方法。在社会经济的研究中为了全面系统的分析和研究问题,必须考虑许多指标,这些指标在某种程度上存在信息的重叠。主成分分析就是在力保数据信息丢失最少的前提下,把数据进行最佳综合简化^①。运用主成分分析法,对能源承载力分析具有极大的帮助。有关主成分分析的计算表达分述如下:

第一,对原始数据进行标准化处理,按下式计算:

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \quad (5-1)$$

式中: x_{ij} 为标准化后数据; X_{ij} 为原始数据; \bar{X}_j 为第 j 个指标的平均数,

$$\bar{X}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{ij}; S_j \text{ 为第 } j \text{ 个指标的标准差, } S_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}, j=1,2,\dots,p^2$$

第二,计算标准化后的 p_2 个指标的两两相关矩阵

$$(R_{ij})_{p_2 \times p_2} = \begin{bmatrix} 1 & R_{12} & \cdots & R_{1p_2} \\ R_{21} & 1 & \cdots & R_{2p_2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ R_{p_21} & R_{p_22} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \text{ 其中, } R_{ij} = R_{ji}$$

^①于秀林、任雪松:多元统计分析,中国统计出版社,1999年8月第1版

第三，计算相关矩阵 R 的特征根 λ_j 和特征向量 h_j

通常采用雅可比方法计算， R 的特征根为： $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{p_2} \geq 0$ ，相应的标准正交特征向量为 $h_j = (h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jp_2})(j = 1, 2, \dots, P_2)$

第四，计算各主分量的方差贡献率 a_j 及累计贡献率 $\sum_{j=1}^K a_j$

主分量 F_j^2 的方差贡献率 a_j 表示 F_j^2 的方差在总方差 $\sum \text{var}(F_j^2)$ 中的比重，即第 j 个主分量所取得的原 P_2 个变量的信息在全部信息中的比重；累计贡献率 $\sum a_j$ 则是前 K 个主分量提取信息累计量在信息总量中的比重。

第五，选取主分量个数

$\sum a_j$ 表示前 K 个主分量从原 P_2 个变量中提取的信息量，若该信息量已达到全部信息量的 85% 以上，表明前 K 个主分量已基本反映了原变量的主要信息，此时可以舍弃后 $P_2 - K$ 个主分量。于是，所得主分量为：

$$\begin{aligned} F_1^2 &= h_{11}X_1 + h_{12}X_2 + \dots + h_{1p_2}X_{p_2} \\ F_2^2 &= h_{21}X_1 + h_{22}X_2 + \dots + h_{2p_2}X_{p_2} \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ F_k^2 &= h_{k1}X_1 + h_{k2}X_2 + \dots + h_{kp_2}X_{p_2} \end{aligned} \quad (5-2)$$

简写成： F^2

第六，计算主分量的得分并计算综合得分，以表明子系统的承载力水平

将标准化的数据 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip_2} (i = 1, 2, \dots, m)$ ，分别代入式 (5-2)，可得各评价对象的各主分量分值，然后在此基础上，按下式计算综合得分：

$$F^2 = \sum_{j=1}^k a_j F_j^2 \quad (5-3)$$

式 (5-3) 表明， F^2 是以各主分量的方差贡献率为权数 p_2 个主分量得分的加权平均数。该综合得分越高，说明该子系统的承载力水平越高，反之则越低。特别地，

当 F^2 为正, 说明高于平均水平; F^2 为负, 说明低于平均水平; F^2 为零为平均水平。

以上是主成分分析的主要步骤。实际上在现代数学计算工具的支持下, 主成分分析的实际操作没有这么复杂。在计算得到各子系统水平后便可以计算承载力的总水平。

其表达式为:

$$F = W_1 F_1^2 + W_2 F_2^2 \quad (5-4)$$

式(5-4)中, F 为总的能源承载力; W_1 、 W_2 分别为供给力、协调力子系统的评估权重, F_1^2 、 F_2^2 分别为供给力、协调力子系统的承载力水平值。子系统的权重确立在下一节予以介绍。

第三节 评价权重的确定

一、确立权重的方法

指标权重的确立, 通常分为主观赋权法和客观赋权法两大类, 主观赋权法如专家调查法^①、环比评分法^②、层次分析法^③等, 客观赋权法有主成分分析法^④、因子分析法^⑤、熵值法^⑥等。本文采用层次分析法(AHP)进行计算。层次分析法是按照各因素间的隶属关系把它们排列成从高到低的若干层次, 建立不同层次之间的相互关系, 根据同一层次指标对能源承载力的相对影响力进行比较的结果, 决定层次各指标对能源承载力影响力的先后次序。其主要步骤如下:

^①镇常青: 多目标决策中的权重调查确定方法。系统工程理论与实践, 1987(2)

^②陆明生: 多目标决策中的权系数。系统工程理论与实践, 1986(4)

^③王良健: 区域可持续发展指标体系及其评估模型。中国管理科学, 2000(2)

^④严鸿和等: 专家评分机理与最优评价模型。系统工程理论与实践, 1989(2)

^⑤吴玉鸣: 中国31个省市第三产业发展水平的最新评估。中国软科学, 2000(10)

^⑥朱顺泉: 基于加权平方与熵权模糊综合评判法的公司债券财务质量评级研究。统计与信息论坛, 2002(3)

(1) 确立目标 A 和评价因素集 U

(2) 构造判断矩阵

以 A 表示目标, u_i 表示评价因素, $u_i \in U$ ($i=1, 2, 3, \dots, n$)。 u_{ij} 表示 u_i 对 u_j 相对影响力数值 ($j=1, 2, 3, \dots, n$), 的取值以表 5-1 进行

根据上这各符号的意义得到判断矩阵 P

$$P = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

称之为 A-U 判断矩阵

表 5-1 判断矩阵标度及其含义

标 度	含 义
1	表示 u_i 与 u_j 比较, 具有同等影响力;
3	表示 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 影响力稍微大一些;
5	表示 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 影响力明显大一些;
7	表示 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 影响力明显大得多;
9	表示 u_i 与 u_j 比较, u_i 比 u_j 影响力绝对大得多;
2, 4, 6, 8	分别表示相邻判断的中值
倒数	表示因素 u_i 与 u_j 比较得判断 u_{ij} , u_j 与 u_i 比较得判断 $u_{ji}=1/u_{ij}$

(3) 计算影响力排序

根据 A-U 矩阵, 求出最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量就是各评价因素影响力排序, 即权重分配。

特征向量的具体求法为:

① 计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n u_{ij}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5-5)$$

② 计算 M_i 的 n 次方根 \bar{w}_i

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (5-6)$$

③ 对向量 $\bar{W} = [\bar{w}_1 \ \bar{w}_2 \ \cdots \ \bar{w}_n]^T$ 作归一化处理, 即

$$W_i = \overline{W}_i / \sum_{j=1}^n \overline{W}_j, \quad (5-7)$$

则 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 即为所求的特征向量

④ 计算判断矩阵的最大特征根 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(PW)_i}{W_i}, \quad (5-8)$$

式中, $(PW)_i$ 表示向量 PW 的第 i 个元素。

$$PW = \begin{bmatrix} (PW)_1 \\ (PW)_2 \\ \vdots \\ (PW)_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

(4) 一次性检验

以上得到的特征向量即为所求权重, 权重分配合理与否, 需要对判断矩阵进行一致性检验, 检验公式为

$$CR = CI / RI, \quad (5-9)$$

其中, CR 为判断矩阵的随机一致性比率; CI 为判断矩阵的一般一致性指标, $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$; RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标, 对于 1-9 阶判断矩阵, RI 值如表 5-2。

表 5-2 1-9 阶判断矩阵 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $CR < 0.10$, 或者 $CI = 0.00$ 时, 即认为判断矩阵具有满意的一致性, 说明权重分配是合理的; 否则, 就要调整判断矩阵, 直到取得满意的一致性为止。

二、能源承载力指标权重的确定

1. 判断矩阵的建立

根据表 4-1 所列的指标体系, 通过反复的专家调查和计算修正, 建立能源承载力评价指标关系表, 如表 5-3

根据表 5-3 分别建立如下判断矩阵

表 5-3 能源承载力评价指标关系表

指标体系	两两对比评价意见	影响力对比标度				
		同样	稍微大一些	明显大一些	明显大得多	绝对大得多
		(1, 2)	(2,4)	(4,6)	(6,8)	(8,10)
A	供给力(B1)[=]协调力(B2)	√				
B1	资源赋存与开发(C11) [=]经济影响(C12)	√				
	资源赋存与开发(C12) [>]保障条件(C13)		√			
	经济影响(C12) [>]保障条件(C13)		√			
B2	能源利用(C21) [=]国民经济(D22)	√				
	能源利用(C21) [>]社会发展(C23)		√			
	能源利用(C21) [>]环境保护(C24)		√			
	能源利用(C21) [>]智力(C25)			√		
	国民经济(C22) [>]社会发展(C23)		√			
	国民经济(C22) [>]环境保护(C24)		√			
	国民经济(C22) [>]智力(C25)			√		
	社会发展(C23) [>]环境保护(C24)	√				
	社会发展(C23) [<]智力(C25)	√				
	环境保护(C24) [=]智力(C25)	√				
C11	设计能源生产能力(D11) [>]人均资源保有量(D12)		√			
	设计能源生产能力(D11) [>]资源压力指数(D13)		√			
	设计能源生产能力(D11) [<]资源聚集度(D14)		√			
	设计能源生产能力(D11) [<]能源集中度(D15)		√			
	人均资源保有量(D12) [>]资源压力指数(D13)		√			
	人均资源保有量(D12) [<]资源聚集度(D14)		√			
	人均资源保有量(D12) [<]能源集中度(D15)		√			
	资源压力指数(D13) [<]资源聚集度(D14)		√			
	资源压力指数(D13) [<]能源集中度(D15)		√			
	资源聚集度(D14) [>]能源集中度(D15)		√			
C12	投入比率(D21) [>]固定资产变化率(D22)			√		
	投入比率(D21) [=]GDP 增长率(D23)	√				
	固定资产变化率(D22) [<]GDP 增长率(D23)			√		
C13	从业人员(D31) [<]运输压力(D32)		√			
	从业人员(D31) [<]科技人员比率(D33)	√				
	运输压力(D32) [>]科技人员比率(D33)	√				
C21	消费优质能源比率(D41) [<]能源利用效率(D42)		√			
	消费优质能源比率(D41) [>]进口能源依赖性(D43)		√			

	消费优质能源比率(D41) [<]节能率(D44)		√			
	能源利用效率(D42) [>]进口能源依赖性(D43)		√			
	能源利用效率(D42) [=]节能率(D44)	√				
	进口能源依赖性(D43) [<]节能率(D44)		√			
C22	经济发展指数(D51) [>]产业结构水平(D52)		√			
	经济发展指数(D51) [>]高能耗行业比重(D53)		√			
	产业结构水平(D52) [=]高能耗行业比重(D53)	√				
C23	人口(D61) [<]城市化水平(D62)		√			
	人口(D61) [>]户均家庭收入(D63)		√			
	城市化水平(D62) [>]户均家庭收入(D63)		√			
C24	C 排放压力(D71) [=]万元 GDP 环保投入(D72)	√				
C25	万人在校大学生(D81) [<]教育研究经费投入比例(D82)	√				

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$B2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 3/2 & 2/3 \\ 1/3 & 1/3 & 2/3 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1/4 & 3/2 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C11 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C12 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1/5 \\ 1 & 5 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C13 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C21 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 & 1/2 \\ 2 & 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 2 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C22 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C23 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C24 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C25 = \begin{bmatrix} 1 & 2/3 \\ 3/2 & 1 \end{bmatrix}.$$

2. 权重的确定

根据式(5-11)至(5-13)分别对上述矩阵求解,得各特征根 W_i ,再根据式(5-8)、(5-9)分别对特征根进行检验,最后确定各指标权重。计算过程列入表5-4。

表5-4 指标权重计算及检验

指标体系	矩阵	W_i	λ_{\max}	C R	一致性检验
目标层	A	(0.5,0.5)	2	0.00	满意
准则层	B 1	(0.428,0.429,0.143)	3	0.00	满意
	B 2	(0.328,0.328,0.132,0.104,0.108)	5.132	0.03	满意
要素层	C 1 1	(0.165,0.125,0.095,0.338,0.277)	5.265	0.06	满意
	C 1 2	(0.454,0.091,0.455)	3	0.00	满意
	C 1 3	(0.26,0.328,0.413)	3.054	0.05	满意
	C 2 1	(0.207,0.348,0.097,0.348)	4.06	0.02	满意
	C 2 2	(0.55,0.21,0.24)	3.018	0.01	满意
	C 2 3	(0.297,0.540,0.163)	3.009	0.01	满意
	C 2 4	(0.5,0.5)	2	0.00	满意
	C 2 5	(0.4,0.6)	2	0.00	满意

由表5-4计算相对于目标层A的总指标权重,即得能源承载力各指标的贡献率,将其排序,列于表5-5

表5-5 能源承载力评价指标权重

目标层	准则层	要素层	执行层	总排序
A	B 1 (0.5)	C 1 1 (0.214)	D 1 1 (0.0353)	10
			D 1 2 (0.0268)	15
			D 1 3 (0.0203)	20
			D 1 4 (0.0723)	4
			D 1 5 (0.0594)	5
		C 1 2 (0.214)	D 2 1 (0.0972)	2
			D 2 2 (0.0195)	22

			D 2 3 (0.0974)	1
		C 1 3 (0.072)	D 3 1 (0.0187)	23
			D 3 2 (0.0236)	18
			D 3 3 (0.0297)	14
	B 2 (0.5)	C 2 1 (0.164)	D 4 1 (0.0339)	12
			D 4 2 (0.0571)	6
			D 4 3 (0.0159)	24
			D 4 4 (0.0571)	7
		C 2 2 (0.164)	D 5 1 (0.0902)	3
			D 5 2 (0.0344)	11
			D 5 3 (0.0394)	8
		C 2 3 (0.066)	D 6 1 (0.0196)	21
			D 6 2 (0.0356)	9
			D 6 3 (0.0108)	25
		C 2 4 (0.052)	D 7 1 (0.026)	16
			D 7 2 (0.026)	17
		C 2 5 (0.054)	D 8 1 (0.0216)	19
			D 8 2 (0.0324)	13

3. 权重修正。

虽然运用层次分析法识别问题有很强的系统性, 可靠性相对较高, 但当采用专家咨询方式时, 容易产生循环而不满足传递性公理, 导致标度把握不准并丢失部分信息, 尤其在准则层和要素层, 当信息不准确时对执行层将产生放大效应, 从而对整个体系的权重根本产生影响。解决这些问题的有效途径是用信息熵技术对权系数进行修正^①, 具体方法如下:

(1) 对已构造的判断矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 按公式 $\bar{r}_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij}$ 进行归一化处理, 得

到标准矩阵 $\bar{R} = (\bar{r}_{ij})_{n \times n}$, 则第 j 项指标 f_j 输出的熵值 e_j 为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \bar{r}_{ij} \ln \bar{r}_{ij} \quad (5-10)$$

其中, \ln 为自然对数, $0 \leq e_j \leq 1$ 。

(2) 计算指标 f_j 的偏差度 d_j

^① 耿海青等: 基于信息熵的城市居民家庭能源消费结构演变分析——以无锡市为例, 自然资源学报, 2004 年第 2 期

对于给定的 j , \bar{r}_{ij} 的差异性越小, 则 e_j 越大; 当 r_{ij} 全部相当时, $e_j = e_{\max} = 1$, 此时, 对于方案的比较, 指标 f_j 毫无作用; 当 r_{ij} 相差越大时, e_j 越小, 该项指标对于方案比较所起的作用越大, 权重也应越大。定义偏差度:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5-11)$$

(3) 确定指标的信息权重

$$\varepsilon_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5-12)$$

(4) 利用信息权重 ε_j 修正由 AHP 法得出的指标权重 $W_{\text{总}} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, 得到修正后的指标权系数: λ_j

$$\lambda_j = \frac{\varepsilon_j w_j}{\sum_{j=1}^n \varepsilon_j w_j} \quad (5-13)$$

从而得到各指标较合理的权系数向量 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ 。修正后的权重信息量增大, 可信度较修正前有所提高, 且更符合实际情况。

经信息熵技术修正过的权重如表 5-6

表 5-6 修正后的总评价指标权系数表

指标层次	指标代号	e	d	ε	λ	$W_{\text{总}}$ (相对于 A)	排序
A	B1	1.0000	0.0000			0.5	—
	B2	1.0000	0.0000			0.5	—
B1	C11	0.6240	0.3760	0.3333	0.4286	0.2143	—
	C12	0.6240	0.3760	0.3333	0.4286	0.2143	—
	C13	0.6240	0.3760	0.3333	0.1429	0.0714	—
B2	C21	0.9131	0.0869	0.1925	0.3248	0.1624	—
	C22	0.9131	0.0869	0.1925	0.3248	0.1624	—
	C23	0.9540	0.0460	0.1019	0.0690	0.0345	—
	C24	0.9279	0.0721	0.1597	0.0848	0.0424	—
	C25	0.8405	0.1595	0.3534	0.1966	0.0983	—
C11	D11	0.8550	0.1450	0.3087	0.2458	0.0527	7
	D12	0.9114	0.0886	0.1885	0.1138	0.0244	16

	D13	0.9675	0.0325	0.0692	0.0317	0.0068	24
	D14	0.9554	0.0446	0.0949	0.1548	0.0332	13
	D15	0.8409	0.1591	0.3387	0.4539	0.0973	3
C12	D21	0.5808	0.4192	0.3333	0.4545	0.0974	1
	D22	0.5808	0.4192	0.3333	0.0909	0.0195	18
	D23	0.5808	0.4192	0.3333	0.4545	0.0974	2
C13	D31	0.6460	0.3540	0.3484	0.2721	0.0194	19
	D32	0.6826	0.3174	0.3124	0.3074	0.0219	17
	D13	0.6555	0.3445	0.3391	0.4205	0.0300	14
C21	D41	0.7598	0.2402	0.2940	0.2431	0.0395	10
	D42	0.8034	0.1966	0.2406	0.3346	0.0543	5
	D43	0.8163	0.1837	0.2248	0.0876	0.0142	22
	D44	0.8034	0.1966	0.2406	0.3346	0.0543	6
C22	D51	0.6182	0.3818	0.3334	0.5512	0.0895	4
	D52	0.5904	0.4096	0.3576	0.2256	0.0366	11
	D53	0.6460	0.3540	0.3091	0.2232	0.0362	12
C23	D61	0.5938	0.4062	0.3503	0.3114	0.0107	23
	D62	0.6182	0.3818	0.3293	0.5319	0.0184	20
	D63	0.6284	0.3716	0.3204	0.1568	0.0054	25
C24	D71	0.4182	0.5818	0.5	0.4	0.0170	21
	D72	0.4182	0.5818	0.5	0.6	0.0254	15
C25	D81	0.4307	0.5693	0.5	0.5	0.0492	8
	D82	0.4307	0.5693	0.5	0.5	0.0492	9

第四节 中国能源承载力和谐性评价

和谐性评价的基本思想是：两个系统之间服从一定的相关回归关系，利用回归技术确立系统间相互的理想值，分别用理想值与实际值进行比较，得出系统之间的和谐度，对和谐度表现出的性状作出合理的评判。其基本方法如下：

依据各系统综合发展水平，利用回归分析方法，确定系统间和谐发展的比例关系。其原理为：

假定变量 A、B1、B2 之间的关系可表示为回归方程： $A = mB1 + nB2 + c$ 即表明要做到 A、B1、B2 之间的和谐，就要在 B2 不变的情况下，A 每变化一个单位要求

B1 相应变化 m 个单位。由此，可推出承载力系统各层次系统的各种比例关系。而系统间和谐发展的比例关系，可能呈现出线性拟合等状态。

在上述原理指导下建立起各子系统间的拟合方程，将各子系统的实测值代入，即可得到相应系统间的和谐值。和谐值计算公式如下：

$$\omega = \exp\left\{-\frac{(x-x')^2}{s^2}\right\} \quad (5-14)$$

式中 ω 表示系统状态和谐度， x 为实际值， x' 为和谐值， s^2 为方差。

从上述公式中可以看出，系统状态实际发生值越接近和谐值，状态和谐度 ω 越大，说明系统和谐度越高。实际值与和谐值离差越大，状态和谐度越小，说明系统和谐度越低。当实际值等于和谐值时， ω 为 1，说明系统完全和谐，此时能源承载力为最优；当实际值与和谐值离差趋于无穷大时， ω 趋于零，说明系统完全不和谐，此时能源承载力为最差。

虽然能源承载力系统的发展状态仅仅涉及为供给力与协调力两个方面，但对和谐性的判别并不局限于两系统间，事实上本文在供给力子系统中设定了三个子系统，在协调力子系统中设定了五个子系统，为了不失一般性，本文以五个子系统的状态进行说明。

设系统涉及五个子系统，分别用变量坐标 i,j,k,l,m 共同标注这五方面（要求不同时出现同一方面），于是通过以下步骤即可确定衡量系统状态和谐程度的指数值。

(1) 系统对系统的状态和谐指数

应用公式 (5-14)，可获得：

1) 系统 i 对系统 j 的状态和谐度 $\omega(i/j)$ 。 $\omega(i/j)$ 刻画系统 i 的实际发生值与 j 系统对 i 系统要求的和谐值接近的程度。

2) 系统 i 对系统 j 和系统 k 的状态和谐度 $\omega(i/j,k)$ 。 $\omega(i/j,k)$ 刻画 i 系统的实际发生值与 j, k 两系统 i 系统要求的和谐值的接近程度。

3) $\omega(i/j,k,l)$ ：刻画 i 系统的实际发生值与 j,k,l 三系统共同对 i 系统要求的和谐值的接近程度。

4) $\omega(i/j, k, l, m)$: 刻画 i 系统的实际发生值与 j, k, l, m 四系统共同对系统要求的和谐值的接近程度。

(2) 各子系统间相互和谐的状态和谐指数

1) 用 $\omega(i, j)$ 刻画两子系统间的相互和谐程度

$$\omega(i, j) = \frac{\min[\omega(i/j), \omega(j/i)]}{\max[\omega(i/j), \omega(j/i)]} \quad 0 < \omega(i, j) \leq 1 \quad (5-15)$$

(5-15) 式表明, $\omega(i/j)$ 与 $\omega(j/i)$ 的数值越接近, $\omega(i, j)$ 的值就越大, 两系统间的和谐发展程度就越高; 反之两系统间的和谐发展程度则低。当 $\omega(i/j)$ 与 $\omega(j/i)$ 相等时, $\omega(i, j)$ 为 1, 说明两系统间完全和谐。

2) 用 $\omega(i, j, k)$ 刻画三系统间的相互和谐程度

$$\omega(i, j, k) = \frac{\sum \omega(i/j, k) \times \omega(j, k)}{\sum \omega(j, k)} \quad (5-16)$$

即 $\omega(i, j, k)$ 是以 $\omega(j, k)$ 为权重对 $\omega(i/j, k)$ 进行加权的平均数。

3) 同理, 反映四系统间相互和谐发展程度的 $\omega(i, j, k, l)$ 是以 $\omega(j, k, l)$ 为权重对 $\omega(i/j, k, l)$ 进行加权的平均数。

不失一般性, 设评价系统由 P 个子系统构成, 则各子系统间相互和谐的程度由下式确定:

$$\omega(1, 2, \dots, P) = \frac{\sum_{P=1}^P \omega(t/\tilde{t}_{P-1}) \times \omega(\tilde{t}_{P-1})}{\sum_{t=1}^P \omega(\tilde{t}_{P-1})} \quad (P \geq 3) \quad (5-17)$$

式 (5-17) 中, P 为子系统的个数; \tilde{t}_{P-1} 表示除第 t 个子系统外的其他任意 p-1 个子系统集合; $\omega(t/\tilde{t}_{P-1})$ 代表第 t 个子系统对于另外 p-1 个子系统的和谐程度; $\omega(\tilde{t}_{P-1})$ 代表 p-1 个子系统间的状态和谐程度; 显然, 式 (5-17) 是递推公式, 当 p=2 时, 由式 (5-15) 确定。

在给出系统间相互和谐度的评价方法后，本文给出时段内，系统和谐度趋势的评价方法。其表达式为

$$\omega_p(t) = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m \omega_p(t)} \quad (5-18)$$

其中 $\omega_p(t)$ 为各个时段系统和谐度。

总之，能源承载力的和谐性评价在能源承载力体系分析中相当重要，决策者当然希望在了解系统总体状态的情况下更加详细的掌握产生总体效果的详细原因，本文给出这一方法，出发点也在这里。

第六章 中国能源承载力评价

第一节 能源承载力评价的原始数据

根据承载力系统分析的要求,本文从有关方面搜集整理了一部分原始数据,作为中国能源承载力评价的依据。数据的来源主要是《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国经济年鉴》、《中国矿业年鉴》、《中国煤炭年鉴》以及“中国能源网”等资料库。鉴于中国经济的快速发展和中国能源运用发生较大变化从上世纪90年代以后开始的,本文选取数据的时间段在1991至2002期间,其中有部分数据因信息的原因,时段稍有变化。在搜集数据过程中,由于部分数据不易掌握,本文在不失代表性的前提下作了一些处理。

中国能源承载力评价的原始数据分列如表6-1。

第二节 中国能源承载力水平

本文按照前述运用主成分法建立的评价模型,对中国能源承载力各子系统的承载力水平进行计算、分析、评价,具体过程如下:

一、指标数据的标准化

针对搜集到的原始数据,根据系统分析的有关要求进行计算变换后,分为供给力数据和协调力数据,分列于表6-2、6-3。

表 6-1 能源承载力评价原始数据

指标	单位	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
GDP 增长速度	%	9.2	14.2	13.5	12.6	10.5	9.6	8.8	7.8	7.1	8	7.3	8
能源生产增长速度	%	0.9	2.3	3.6	6.9	8.7	2.8	-0.2	-6.2	-12.2	-2	13	14.4
能源消费增长速度	%	5.1	5.2	6.3	5.8	6.9	5.8	-0.8	-4.1	-1.6	0.1	3.5	9.9
人口	10 ⁴ 人	115823	117171	118517	119850	121121	122389	123629	124810	125909	126743	127627	128453
国内生产总值	亿元	21618	26638	34634	46759	58478	68594	74463	78345	81911	89468	97315	104791
工业总产值	亿元	8087	10285	14144	19360	24718	29083	32412	33388	34975	39047	42375	46536
第三产业	亿元	7227	9139	11324	14930	17947	21097	23029	25174	27036	29905	33153	35133
能源工业投资额	亿元	957	1164	1498	1754	2025	2419	2914	2862	2963	2840	2622	2626
煤炭保有量	10 ⁸ tn	9668	9833	10019	10019	10087	10009	10025	10077	10071	10084	10202	
万元 GDP 能耗	tce	5.12	4.72	4.42	4.18	4.01	3.88	3.53	3.15	2.89	2.68	2.59	2.63
第三产业比重	%	33.4	34.3	32.7	31.9	30.7	30.1	30.9	32.1	33	33.4	34.1	34.3
增长率	%	8.8	12.4	10.7	9.6	8.4	7.9	9.1	8.3	7.7	8.1	8.4	8.7
工业增长率	%	14.4	21.2	20.1	18.9	14	12.5	11.3	8.9	8.5	9.8	8.7	10
居民消费水平	元	803	935	1331	1737	2236	2641	2834	2972	3138	3397	3609	3818
增长率	%	8.3	12.9	8.1	4.3	7.5	9.1	4.2	5.5	7.9	8.3	5.3	6.2

续表 6-1

能源承载力评价原始数据

能源转换效率	%	65.9	66	67.32	65.2	71.05	71.5	69.23	69.44	70.45	70.96	70.41	69.78
人均生活用能标准煤	kgce	138.1	133.4	130.6	129.3	130.8	145.5	133.1	115.9	116.1	118.3	121.3	133
工业废气	10 ⁸ 标准 m ³	40291	51038	69697	97643	107478	111196	113375	121203	126807	138145	160863	175257
煤炭井巷工程	10 ⁸ 元	47.1	53.7	63.5	76.3	85.7	92	105.1	104.9	104.1	104.3	103.7	108.8
采掘业人数	人	905	898	932	915	932	902	868	721	667	597	561	558
国有重点煤矿产量	万吨	48060	48254	45803	46867	48228	53725	52916	50349	51271	53574		71458
机械化程度	%	68.69	72.26	72.14	71.02	71.58	71.96	71.43	73.63	73.41	74.43	75.43	77.78
主要高能耗 行业能耗 (10 ⁴ tce)	煤炭采选业	2100	2218	2115	2423	2469	2700	2360	2466	2224	2002	2062	2121
	纺织业	2381	2548	2371	2585	2564	2441	2038	1856	1681	1588	1672	1816
	造酒业	1376	1505	1551	1591	1649	1725	1426	1359	1220	1241	1281	1441
	化学原料及化学品	9314	9612	11588	13546	12738	16527	11903	10762	9932	9710	9639	10795
	非金属矿物制品业	9219	9799		11063	11412	12204	10548	9901	9253	8278	7976	8403
	黑色金属	9275	9956	11820	12800	15427	15241	15218	14232	13899	13724	14092	16132
	石油、燃气开采	1228	1351	1749	1944	1946	1720	2315	2193	2390	2563	2729	2825
	石油加工、炼焦	1621	1808	2185	2176	4291	2925	5692	6153	6187	6461	6584	7045
有色金属	1260	1446	1503	1577	1657	1832	1794	1870	1947	1925	1994	2208	

续表 6-1

能源承载力评价原始数据

煤矿工程技术人员	人	76988	77636	74521	80174	77115	75366	73253	69909	68903			
工业合计能耗	10 ⁴ tce	53317	56987	59958	65151	69930	74726	69823	66700	64012	61700	62488	68161
能量消费	10 ⁴ tce	100413	105602	111490	118071	123471	129919	131971	126285	124759	124646	128452	140654
世界总人口	10 ⁴ 人	538500	548000	557200	562980	571606	573598	581719	589713	597773	605412	613010	
世界能源生产总量	10 ⁶ tce	8810.92	8833.58	8842.125	9148.802	9306.82	9563.27	9699.63	9741.06	9802.52	10049.6	10209.14	
世界 GDP	10 ¹⁰ \$	2185.2	2317.6	2361.2	2522.3	2866.8	2934.4	2907	2964.8	3070.1	3149.9	3112.1	
城市化率	%	26.94	27.46	27.99	28.51	29.01	30.48	31.91	33.35	34.78	36.22	37.66	39.09
高校在校生数	万人	204.4	218.4	253.6	279.9	290.6	302.1	317.4	340.9	413.4	556.1	719.1	903.4
环保投入	亿元	59.7	64.7	69.3	83.4	98.7	95.6	116.4	122	152.7	239.4	274.5	316.8
万人在校大学生数	人	17.6	18.6	21.4	23.4	24	24.7	25.7	27.3	32.8	43.9	56.3	70.3
教育经费	亿元	731.5	867	1059.9	1488.8	1877.9	2262.3	2531.7	2949.1	3349	3849.1	4637.7	5480
研究与试验支出	亿元	142.3	169	196	222	349	404.7	481.9	551.1	678.9	895.7	1042.5	1287.6
铁路运输线路	万公里	5.78	5.81	5.86	5.9	5.97	6.49	6.6	6.64	6.74	6.87	7.01	7.19
节能率	%	3.71	7.92	6.38	6.08	3.28	3.34	8.88	11.01	8.14	7.28	3.68	

表 6-2

能源承载力供给力子系统指标数据

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
设计能源生产能力	104844	107256	111059	118729	129034	132616	132410	124250	109126	106988	120900	138369
人均资源保有量	834.72	839.2	845.36	835.96	832.8	817.8	810.89	807.39	799.86	795.63	799.36	797.96
资源压力指数	-1061	1914	4934	4008	2142	6332	5388	7964	20993	23309	14014	9853
资源聚集度	0.44	0.43	0.4	0.38	0.35	0.38	0.38	0.4	0.49	0.54	0.54	0.52
能源集中度	74.1	74.3	74	74.6	75.62	75.27	74.33	72.4	68.7	66.7	68.55	71.47
投入比率	4.43	4.37	4.33	3.75	3.46	3.53	3.91	3.65	3.62	3.17	2.69	2.51
固定资产变化率	47.1	53.7	63.5	76.3	85.7	92	105.1	104.9	104.1	104.3	103.7	108.8
GDP 增长率	9.2	14.2	13.5	12.6	10.5	9.6	8.8	7.8	7.1	8	7.3	8
从业人员	905	898	932	915	932	902	868	721	667	597	561	558
运输压力	18139.1	18460.6	18952.1	20123.6	21613.7	20433.9	20062.1	18712.4	16190.8	15573.2	17246.8	19244.7
科技人员比率	170.14	172.91	159.92	175.24	165.48	167.11	168.79	193.92	206.61	228.66	240.95	244.05

表 6-3 能源承载力协调力子系统指标数据

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
消费优质能源比率	19.2	18.9	18.7	17.6	16.6	17	17.3	18.5	21	21.8	19.4	17.3
能源利用效率	4.8	4.1	3.35	2.62	2.24	2.03	1.85	1.69	1.59	1.46	1.39	1.41
进口能源依赖性	-0.12	-0.04	0.07	0.02	0.06	0.08	0.17	0.15	0.21	0.31	0.28	0.3
节能率	3.71	7.92	6.38	6.08	3.28	3.34	8.88	11.01	8.14	7.28	3.68	
经济发展指数	1866.47	2273.43	2922.28	3901.46	4828.06	5604.59	6023.1	6277.14	6505.57	7059.01	7624.95	8157.93
产业结构水平	0.33	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33	0.34	0.34
高能耗行业比重	0.71	0.71	0.58	0.76	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77	0.77
人口	115823	117171	118517	119850	121121	122389	123629	124810	125909	126743	127627	128453
城市化水平	26.94	27.46	27.99	28.51	29.01	30.48	31.91	33.35	34.78	36.22	37.66	39.09
户均家庭收入	803	935	1331	1737	2236	2641	2834	2972	3138	3397	3609	3818
C 排放压力	40291	51038	69697	97643	107478	111196	113375	121203	126807	138145	160863	175257
万元 GDP 环保投入	27.62	24.29	20.01	17.84	16.88	13.94	15.63	15.57	18.64	26.76	28.21	30.23
万人在校大学生	17.6	18.6	21.4	23.4	24	24.7	25.7	27.3	32.8	43.9	56.3	70.3
教育研究经费投入比例	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06

根据式(5-1), 分别对供给力子系统和协调力子系统的原始数据进行标准化处理, 得到标准化数据如表 6-4、6-5。

二、计算子系统相关系数矩阵

由表 6-4、6-5 分别计算供给力子系统与协调力子系统数据标准化后指标间的两两相关矩阵, 如表 6-6、6-7 所示。

三、计算矩阵特征根、特征向量及方差贡献率

根据标准化的数据矩阵, 运用 MATLAB 软件^①, 分别计算矩阵的特征根、特征向量以及方差贡献率如表 6-8、6-9。

对于计算结果, 本文又运用 SPSS 软件进行校验^②, 结果吻合。

四、主成分选择及能源承载力水平计算

根据累计贡献率大于 85%的原则, 由表 6-8、6-9 所显示的计算结果, 供给力系统的主成分有两个, 协调力系统主成分有三个, 其评价函数分别如下:

1. 供给力主成分评价函数

$$G_1 = -0.0249 x_1^* + 0.3454 x_2^* - 0.3243 x_3^* - 0.3167 x_4^* + 0.3390 x_5^* + 0.2888 x_6^* - 0.2812 x_7^* + 0.2941 x_8^* + 0.3585 x_9^* + 0.2515 x_{10}^* - 0.3449 x_{11}^*$$

$$G_2 = -0.6324 x_1^* + 0.1503 x_2^* + 0.1317 x_3^* + 0.2277 x_4^* - 0.2312 x_5^* + 0.3116 x_6^* - 0.3477 x_7^* + 0.1628 x_8^* + 0.0054 x_9^* - 0.4585 x_{10}^* - 0.0095 x_{11}^*$$

2. 协调力主成分评价函数

$$X_1 = -0.1030 x_1^* + 0.2845 x_2^* - 0.3066 x_3^* + 0.0352 x_4^* - 0.3107 x_5^* - 0.1078 x_6^* - 0.1888 x_7^* - 0.3144 x_8^* - 0.3188 x_9^* - 0.3088 x_{10}^* - 0.3258 x_{11}^* - 0.2979 x_{12}^* - 0.2990 x_{13}^* - 0.2989 x_{14}^*$$

$$X_2 = -0.3372 x_1^* - 0.2480 x_2^* + 0.0844 x_3^* + 0.0982 x_4^* + 0.2078 x_5^* - 0.6767 x_6^* + 0.3019 x_7^* + 0.1515 x_8^* + 0.0133 x_9^* + 0.2106 x_{10}^* - 0.1865 x_{11}^* - 0.2722 x_{12}^* - 0.1061 x_{13}^* - 0.1681 x_{14}^*$$

^① 张志涌, 徐彦琴: MATLAB 教程, 北京航空航天大学出版社, 2001 年

^② 李志辉等: 统计分析教程(第 2 版), 电子工业出版社, 2005 年 2 月, 第 1 版

$$X_3=0.5600x_1^*-0.2372x_2^*+0.1263x_3^*+0.7098x_4^*+0.0119x_5^*+0.0403x_6^*-0.1311x_7^*+0.0719x_8^*+0.0375x_9^*+0.0322x_{10}^*-0.1011x_{11}^*-0.1422x_{12}^*-0.2103x_{13}^*-0.0954x_{14}^*$$

式中， x_i^* 为标准化变量。

根据上述评价函数，将表 6-4、6-5 数据代入，分别计算对应的子系统分量水平，并按表 6-8、6-9 所列的对应的方差贡献率根据式 5-3 进行加权计算得供给力、协调力水平。计算结果列入表 6-10。

表 6-10 1991—2002 年能源承载力各子系统水平值

年份	供给力	协调力
1991	1.8560	2.3041
1992	2.2003	1.9174
1993	2.1963	1.7107
1994	1.4853	1.3887
1995	1.1928	1.0454
1996	0.4880	0.8110
1997	0.2123	0.5770
1998	-0.6230	0.1502
1999	-1.6432	-0.7355
2000	-2.3763	-1.8234
2001	-2.5212	-2.6635
2002	-2.4674	-3.2803

3. 中国能源承载力水平计算

根据表 5-6 利用信息熵技术修正后的指标权数，按式 5-4 计算中国能源承载力总水平如表 6-11。

表 6-11 1991—2002 年中国能源总体承载力水平

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996
承载力水平	2.0801	2.0589	1.9535	1.4370	1.1191	0.6495
年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002
承载力水平	0.3947	-0.2364	-1.1894	-2.0998	-2.5924	-2.8738

表 6-4

供给力子系统标准化数据

-1.2619	0.9	-1.239	0.0643	0.535	1.3171	-1.8228	-0.2098	0.7569	-0.3344	-0.6745
-1.056	1.1423	-0.8459	-0.0772	0.602	1.2239	-1.5245	1.8205	0.7116	-0.1523	-0.5856
-0.7315	1.4755	-0.4469	-0.5974	0.5015	1.1515	-1.0816	1.5362	0.9316	0.1261	-1.0027
-0.077	0.9671	-0.5692	-0.9016	0.7026	0.2163	-0.5031	1.1708	0.8216	0.7897	-0.5106
0.8023	0.7963	-0.8158	-1.2781	1.0443	-0.2534	-0.0783	0.3181	0.9316	1.6338	-0.824
1.108	-0.015	-0.2621	-0.8036	0.9271	-0.1496	0.2064	-0.0474	0.7375	0.9655	-0.7718
1.0904	-0.3885	-0.3869	-0.8097	0.6121	0.4805	0.7984	-0.3722	0.5175	0.7549	-0.7179
0.3941	-0.5782	-0.0465	-0.5717	-0.0346	0.0565	0.7894	-0.7783	-0.4334	-0.0097	0.0891
-0.8965	-0.9851	1.6751	0.7688	-1.2744	-0.0017	0.7532	-1.0625	-0.7828	-1.4379	0.4963
-1.0789	-1.2142	1.9812	1.4905	-1.9446	-0.7234	0.7622	-0.6971	-1.2357	-1.7878	1.2045
0.1082	-1.0123	0.7529	1.5291	-1.3247	-1.5054	0.7351	-0.9813	-1.4685	-0.8398	1.5988
1.5989	-1.088	0.2031	1.1865	-0.3463	-1.8123	0.9656	-0.6971	-1.488	0.2918	1.6985

表 6-5

协调力子系统标准化数据

0.3705	2.1396	-1.7655	-0.8847	-1.614	0.6693	-0.597	-1.6246	-1.1888	-1.5906	-1.7006	-1.0995	-0.8893	-0.4863
0.1827	1.5194	-1.2155	0.7013	-1.4201	1.3557	-0.6384	-1.3048	-1.0654	-1.4634	-1.4362	-0.5183	-0.8282	-0.6503
0.0574	0.858	-0.4149	0.1212	-1.1109	0.095	-2.8786	-0.9854	-0.9396	-1.082	-0.9772	-0.2240	-0.6573	-0.9325
-0.6315	0.2187	-0.764	0.0082	-0.6443	-0.5045	0.3833	-0.6691	-0.8163	-0.6909	-1.179	-0.415	-0.5352	-0.8975
-1.2577	-0.1183	-0.4482	-1.0467	-0.2028	-1.4739	0.5898	-0.3676	-0.6976	-0.2102	-0.797	-0.5694	-0.4986	-0.7373
-1.0072	-0.3103	-0.3205	-1.0241	0.1672	-1.4222	0.4568	-0.0667	-0.3488	0.1799	-0.6526	-1.0434	-0.4558	-0.6515
-0.8193	-0.4649	0.3514	1.063	0.3666	-1.2889	0.3897	0.2275	-0.0095	0.3658	-0.5679	-0.7702	-0.3948	-0.4808
-0.0678	-0.6087	0.1695	1.8654	0.4877	-0.3461	0.3577	0.5077	0.3322	0.4987	-0.2639	-0.7799	-0.2971	-0.0296
1.4977	-0.6962	0.6152	0.7842	0.5965	0.3378	0.3543	0.7685	0.6715	0.6586	-0.0462	-0.285	0.0387	0.453
1.9987	-0.8129	1.3681	0.4602	0.8602	0.6653	0.5059	0.9664	1.0132	0.9081	0.3942	1.0231	0.7163	0.8671
0.4958	-0.8747	1.1624	-0.896	1.1299	1.1677	0.4858	1.1761	1.3549	1.1123	1.2766	1.2567	1.4733	1.4396
-0.8193	-0.8499	1.262	-1.1521	1.3839	0.7446	0.5906	1.3721	1.6942	1.3136	1.8357	1.583	2.3279	2.1062

表 6-6

供给力子系统指标相关矩阵

1	-0.289	-0.163	-0.25	0.303	-0.538	0.565	-0.263	-0.091	0.657	0.102
-0.289	1	-0.8	-0.686	0.775	0.768	-0.887	0.889	0.893	0.508	-0.826
-0.163	-0.8	1	0.727	-0.926	-0.562	0.682	-0.613	-0.793	-0.76	0.726
-0.25	-0.686	0.727	1	-0.892	-0.582	0.357	-0.539	-0.883	-0.816	0.9
0.303	0.775	-0.926	-0.892	1	0.554	-0.543	0.629	0.884	0.885	-0.843
-0.538	0.768	-0.562	-0.582	0.554	1	-0.783	0.629	0.8	0.139	-0.84
0.565	-0.887	0.682	0.357	-0.543	-0.783	1	-0.756	-0.708	-0.164	0.634
-0.263	0.889	-0.613	-0.539	0.629	0.629	-0.756	1	0.737	0.41	-0.655
-0.091	0.893	-0.793	-0.883	0.884	0.8	-0.708	0.737	1	0.652	-0.98
0.657	0.508	-0.76	-0.816	0.885	0.139	-0.164	0.41	0.652	1	-0.597
0.102	-0.826	0.726	0.9	-0.843	-0.84	0.634	-0.655	-0.98	-0.597	1

表 6-7

协调力子系统指标相关矩阵

1	-0.49	0.306	0.341	0.116	0.635	-0.09	0.216	0.305	0.14	0.294	0.394	0.142	0.327
-0.49	1	-0.899	-0.097	-0.953	0.223	-0.621	-0.938	-0.825	-0.954	-0.839	-0.652	-0.65	-0.597
0.306	-0.899	1	0.069	0.944	0.14	0.431	0.965	0.945	0.947	0.879	0.824	0.827	0.808
0.341	-0.097	0.069	1	-0.01	0.002	-0.079	0.041	-0.027	0.002	-0.308	-0.376	-0.319	-0.203
0.116	-0.953	0.944	-0.01	1	-0.022	0.646	0.992	0.945	0.999	0.938	0.76	0.813	0.794
0.635	0.223	0.14	0.002	-0.022	1	-0.219	0.078	0.291	-0.026	0.818	0.867	0.413	0.525
-0.09	-0.621	0.431	-0.079	0.646	-0.219	1	0.595	0.521	0.638	0.473	0.553	0.405	0.423
0.216	-0.938	0.965	0.041	0.992	0.078	0.595	1	0.968	0.993	0.926	0.78	0.832	0.829
0.305	-0.825	0.945	-0.027	0.945	0.291	0.521	0.968	1	0.943	0.958	0.847	0.918	0.938
0.14	-0.954	0.947	0.002	0.999	-0.026	0.638	0.993	0.943	1	0.918	0.738	0.801	0.787
0.294	-0.839	0.879	-0.308	0.938	0.818	0.473	0.926	0.958	0.918	1	0.899	0.98	0.987
0.394	-0.652	0.824	-0.376	0.76	0.867	0.553	0.78	0.847	0.738	0.899	1	0.945	0.916
0.142	-0.65	0.827	-0.319	0.813	0.413	0.405	0.832	0.918	0.801	0.98	0.945	1	0.963
0.327	-0.597	0.808	-0.203	0.794	0.525	0.423	0.829	0.938	0.787	0.987	0.916	0.963	1

表 6-8 供给力子系统指标相关矩阵的特征向量、特征根与方差贡献率

h_{i1}	h_{i2}	h_{i3}	h_{i4}	h_{i5}	h_{i6}	h_{i7}	h_{i8}	h_{i9}	h_{i10}	h_{i11}	特征根	方差贡献率
-0.0249	-0.6324	0.1052	-0.0028	0.3278	0.3127	-0.3246	-0.1801	-0.2631	-0.2951	-0.2983	7.4043	67.3119
0.3454	0.1503	0.2367	-0.1278	-0.3306	-0.2064	-0.6894	-0.2639	0.0265	-0.188	0.2299	2.4254	22.0489
-0.3243	0.1317	-0.3134	-0.5424	-0.2066	0.3569	0.0187	-0.4864	0.2499	-0.0399	-0.1182	0.6352	5.7745
-0.3167	0.2277	0.389	0.1903	0.1406	0.5925	-0.2973	0.2153	0.2316	0.1929	0.2529	0.3504	3.1855
0.339	-0.2312	0.0567	0.1597	0.1481	0.1906	0.362	-0.4934	0.1292	0.04	0.5932	0.1008	0.9166
0.2888	0.3116	-0.3935	0.1797	0.5939	-0.0393	-0.2254	-0.0747	0.4165	-0.0927	-0.1991	0.054	0.4905
-0.2812	-0.3477	-0.3483	-0.3128	0.2098	-0.2567	-0.236	0.3128	0.1299	0.0075	0.5482	0.0136	0.1235
0.2941	0.1628	0.4116	-0.6965	0.409	0.0047	0.1663	0.145	-0.0974	0.0799	-0.0252	0.0105	0.095
0.3585	0.0054	-0.2051	-0.0724	-0.2667	0.4213	0.1358	0.4683	0.0813	-0.5676	0.0948	0.0045	0.0413
0.2515	-0.4585	0.1388	-0.0697	-0.2397	-0.0171	-0.021	0.1484	0.6354	0.3751	-0.279	0.0011	0.0098

表 6-9 协调力子系统指标相关矩阵的特征向量、特征根与方差贡献率

h_{i1}	h_{i2}	h_{i3}	h_{i4}	h_{i5}	h_{i6}	h_{i7}	h_{i8}	h_{i9}	h_{i10}	h_{i11}	h_{i12}	h_{i13}	h_{i14}	特征根	方差贡献率
-0.103	-0.3372	0.56	0.3272	0.1415	-0.4617	0.2087	0.399	-0.1176	0.0689	0.02	0.0059	-0.0025	-0.0033	9.4539	60.9021
0.2845	-0.248	-0.2372	-0.1685	0.3096	0.4252	0.1672	0.6135	0.0674	0.1331	0.2634	-0.019	-0.0027	-0.0024	2.2391	14.4243
-0.3066	0.0844	0.1263	-0.2382	-0.0878	-0.0754	0.0462	0.1827	0.6121	-0.5144	0.2644	0.2524	0.0652	0.0145	1.5721	10.1273
0.0352	0.0982	0.7098	-0.1389	0.1819	0.5956	0.0249	-0.1639	0.0237	0.0116	0.0624	-0.2119	0.0232	-0.0245	0.621	4.0005
-0.3107	0.2078	0.0119	-0.0826	-0.1147	0.0328	-0.2314	0.2579	-0.0491	0.4292	-0.0569	0.3813	-0.2537	0.5651	0.5717	3.6831
-0.1078	-0.6767	0.0403	0.0767	-0.5917	0.286	-0.295	-0.0123	0.0286	-0.0227	0.0156	-0.0336	-0.028	-0.0205	0.5185	3.3404
-0.1888	0.3019	-0.1311	0.7716	-0.0931	0.3739	0.1128	0.1917	-0.0501	-0.2435	-0.0113	0.0221	-0.0017	-0.0175	0.1883	1.2129
-0.3144	0.1515	0.0719	-0.1129	-0.0671	0.0426	-0.0696	0.1407	0.0051	0.1125	0.1	-0.7045	0.4901	0.265	0.146	0.9403
-0.3188	0.0133	0.0375	-0.1507	-0.0122	0.0761	0.2743	-0.1012	-0.1627	-0.0689	0.2888	-0.3685	-0.7269	-0.0617	0.1337	0.8611
-0.3088	0.2106	0.0322	-0.0865	-0.0954	0.0108	-0.1933	0.1703	-0.0687	0.3793	0.1557	0.1321	0.1037	-0.7584	0.0439	0.2827
-0.3258	-0.1865	-0.1011	-0.0473	0.533	0.0258	-0.5356	0.0265	-0.3463	-0.3877	-0.0473	0.0426	0.0064	-0.0062	0.0305	0.1966
-0.2979	-0.2722	-0.1422	0.2768	0.4142	0.0504	0.0447	-0.3578	0.5305	0.3918	0.0154	-0.0309	-0.009	0.0094	0.0028	0.0183
-0.299	-0.1061	-0.2103	-0.2112	-0.0374	0.0137	0.3323	0.2203	0.0471	-0.061	-0.7898	0.0488	-0.0237	-0.1315	0.0014	0.0088
-0.2989	-0.1681	-0.0954	-0.1184	-0.0252	0.1087	0.5056	-0.2538	-0.4074	0.0042	0.2606	0.361	0.3874	0.1117	0.0002	0.0016

五、供给力系统要素水平计算

由按照上述计算方法和步骤，分别计算供给力系统资源赋存和开发、经济影响、保障条件三个要素水平值。

各要素主成分特征向量、方差贡献率如表 6-12 所示

表 6-12 供给力系统各要素主成分特征向量、方差贡献率

子系统	主成分向量	方差贡献率(%)
资源赋存和开发	$M_1 = (0.0954, 0.4626, -0.5070, -0.4872, 0.5315)$	68.5994
	$M_2 = (-0.8861, 0.4315, -0.0132, 0.1167, -0.1221)$	24.2600
经济影响	$M_3 = (-0.5690, 0.6010, -0.5612)$	81.5778
	$M_4 = (-0.6678, 0.0605, 0.7419)$	12.4053
保障条件	$M_5 = (-0.6149, -0.5075, 0.6036)$	83.3386
	$M_6 = (0.3072, -0.8591, -0.4093)$	16.0809

各要素水平计算如表 6-13

表 6-13 供给力各要素水平计算

资源赋存与开发			经济影响			保障条件		
M1	M2	Z	M3	M4	J	M5	M6	B
1.1772	1.4650	1.1630	-1.7272	-1.1455	-1.5511	-0.7029	0.7958	-0.4578
1.2141	1.3573	1.1622	-2.6343	0.4410	-2.0943	-0.7138	0.5891	-0.5001
1.3969	1.1599	1.2397	-2.1674	0.3053	-1.7302	-1.2421	0.5882	-0.9405
1.5413	0.3021	1.1306	-1.0825	0.6937	-0.7970	-1.2142	-0.2170	-1.0468
2.0363	-0.6332	1.2432	-0.0814	0.4005	-0.0167	-1.8993	-0.7801	-1.7083
1.1159	-1.1917	0.4764	0.2358	0.0773	0.2019	-1.4093	-0.2870	-1.2207
0.8402	-1.2980	0.2615	0.4153	-0.5487	0.2707	-1.1347	-0.1957	-0.9771
0.0538	-0.6606	-0.1233	0.8790	-0.5674	0.6467	0.3252	-0.1613	0.2451
-2.4424	0.5925	-1.5318	1.0499	-0.7416	0.7645	1.5106	0.7917	1.3863
-3.4288	0.8173	-2.1539	1.2609	0.0121	1.0301	2.3941	0.6633	2.1019
-2.2887	-0.2024	-1.6192	1.8491	0.3217	1.5483	2.2942	-0.3840	1.8502
-1.2159	-1.7082	-1.2485	2.0027	0.7515	1.7270	1.7921	-1.4030	1.2679

六、协调力系统各要素水平计算

各要素主成分特征向量、方差贡献率如表 6-14 所示

表 6-14 协调力系统各要素主成分特征向量、方差贡献率

子系统	主成分向量	方差贡献率(%)
能源利用	$M_1 = (-0.4579, 0.6316, -0.5892, -0.2105)$	55.6555
	$M_2 = (-0.4141, -0.2473, 0.3445, -0.8054)$	27.9011
	$M_3 = (-0.7641, -0.0655, 0.3263, 0.5526)$	14.5180
国民经济	$M_4 = (-0.6673, 0.2449, -0.7034)$	56.3018
	$M_5 = (0.3205, 0.9469, 0.0256)$	32.8877
社会发展	$M_6 = (-0.5823, -0.5723, -0.5774)$	97.8714
环境保护	$M_7 = (-0.7071, 0.7071)$	94.95
智力	$M_8 = (-0.7071, 0.7071)$	98.15

协调力各要素水平计算如表 6-15

表 6-15 协调力各要素水平计算

能源利用				国民经济			社会发展		环境保护		智力	
N1	N2	N3	L	N4	N5	G	N6	S	N7	H	N8	I
2.408	-0.578	-1.488	0.963	1.661	0.101	0.968	2.545	2.491	1.980	1.880	0.973	0.955
1.445	-1.435	-0.248	0.368	1.729	0.812	1.240	2.214	2.167	1.382	1.312	1.045	1.026
0.735	-0.476	-0.168	0.251	2.789	-0.340	1.459	1.736	1.699	0.849	0.806	1.124	1.103
0.876	-0.062	0.223	0.502	0.037	-0.674	-0.201	1.256	1.229	1.127	1.070	1.013	0.994
0.986	1.239	0.244	0.930	-0.641	-1.446	-0.836	0.735	0.719	0.966	0.917	0.874	0.858
0.670	1.208	0.119	0.727	-0.781	-1.281	-0.861	0.135	0.132	1.199	1.139	0.783	0.768
-0.349	-0.281	1.359	-0.075	-0.834	-1.093	-0.829	-0.338	-0.331	0.946	0.898	0.619	0.608
-0.846	-1.265	1.178	-0.653	-0.662	-0.162	-0.426	-0.774	-0.757	0.738	0.701	0.231	0.227
-1.653	-0.868	-0.465	-1.230	-0.565	0.520	-0.147	-1.212	-1.186	0.234	0.222	-0.348	-0.341
-2.332	-0.526	-0.773	-1.557	-0.767	0.919	-0.130	-1.667	-1.631	-1.002	-0.952	-1.120	-1.099
-1.276	1.133	-0.437	-0.457	-0.810	1.480	0.031	-2.103	-2.058	-1.791	-1.701	-2.060	-2.022
-0.663	1.912	0.457	0.231	-1.157	1.164	-0.268	-2.527	-2.473	-2.417	-2.295	-3.135	-3.077

第三节 中国能源承载力评价

一、中国能源承载力总体水平评价

根据表 6-10、6-11 分别绘制子系统曲线、能源承载力水平曲线，如图 6-1、6-2，同时根据表 6-10、6-11 分别计算供给力、协调力及能源承载力水平变化率如表 6-16，分别作出变化率曲线，如图 6-3、6-4。

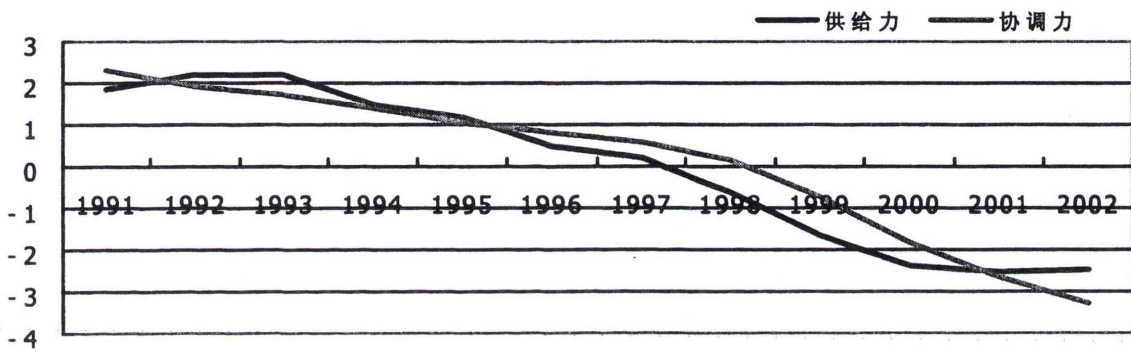


图 6-1 能源承载力系统水平曲线

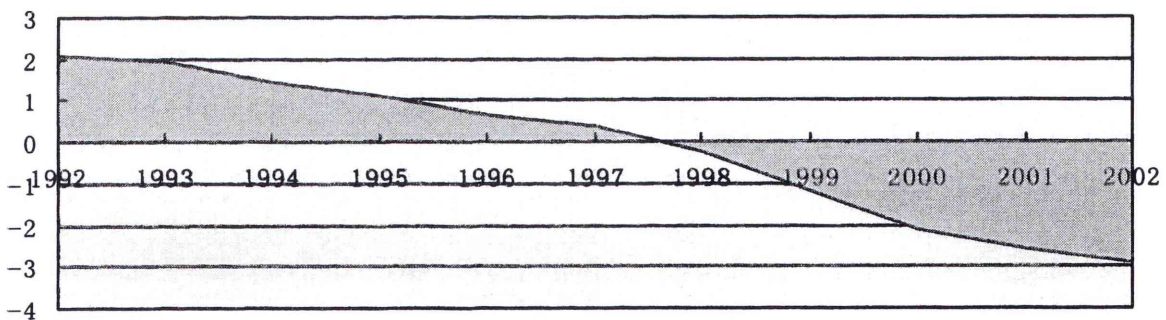


图 6-2 中国能源承载力水平曲线

表 6-16 供给力、协调力、总承载力变化率

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
供给力	0.344	-0.004	-0.711	-0.293	-0.705	-0.276	-0.835	-1.020	-0.733	-0.145	0.054
协调力	-0.387	-0.207	-0.322	-0.343	-0.234	-0.234	-0.427	-0.886	-1.088	-0.840	-0.617
总承载力	-0.021	-0.105	-0.517	-0.318	-0.470	-0.255	-0.631	-0.953	-0.910	-0.493	-0.281

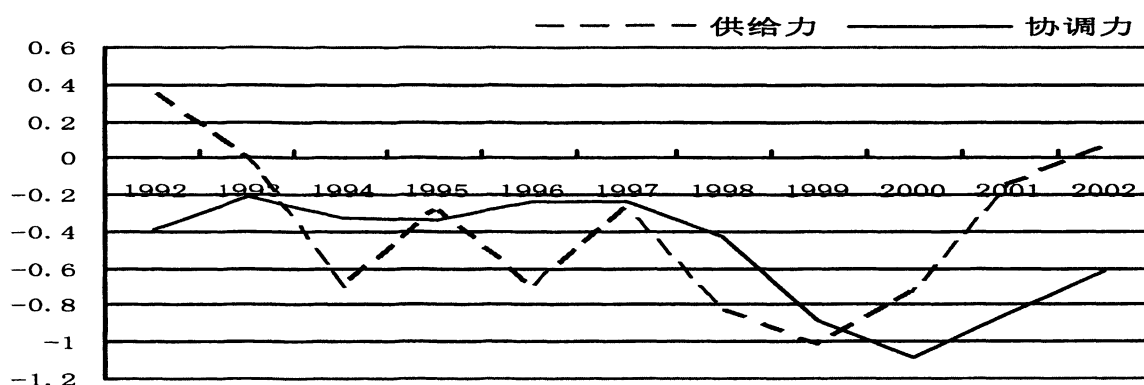


图 6-3 供给力、协调力水平变化率曲线

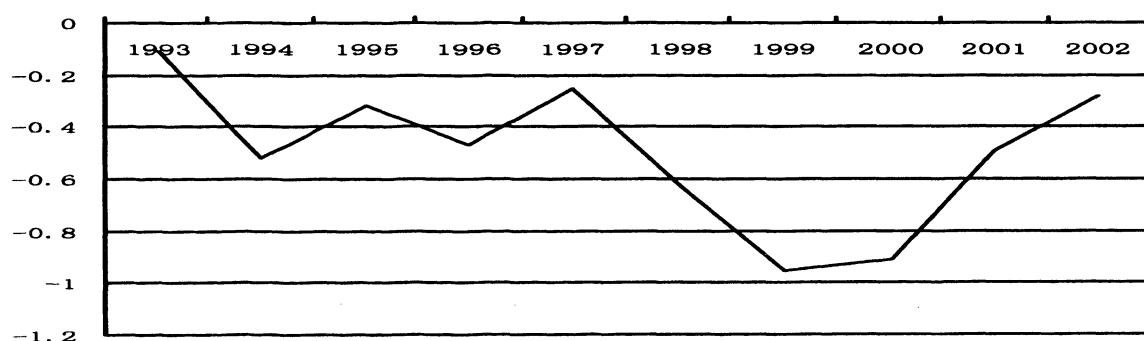


图 6-4 承载力水平变化率曲线

由图 6-1、6-2、6-3、6-4 本文作如下判断：

(1) 自 1991 年以来，中国能源总体承载能力呈下降趋势，尤其是近几年，中国能源承载力一直处于低位徘徊，能源越来越成为中国面临的严峻问题。在 1998 年以前，中国能源承载力水平为正值，说明能源供应使用情况良好，能够满足国民经济和社会发展的需要；1998 年后，各年承载力水平呈负值，能源供给和利用不能满足国民经济和社会发展的需要。如果不采取有效措施，尽快提升中国能源承载力，必将对中国经济产生瓶颈效应，制约中国经济发展。

(2) 供给力、协调力分别在 1998 年、1999 年不能满足需要，说明 1998 年以前，中国能源供给相对于中国经济和社会状况而言，支持力大，1998 年后小；而在 1999 年以前，中国能源利用状态相对于中国经济和社会状况而言，有利于促进中国经济和社会发展，1999 年以后，中国能源利用状态则滞后于中国经济和社会发展，这与中国进入工业化阶段，能源使用水平的调整和提高速度落后于能耗水平的提高速度

有关，同时也与中国普遍的能源开发与利用的科技水平不高有关。

(3) 1997 年以后，中国能源承载力水平急剧恶化，1999 年跌幅最大，这一现象，总体上与国民经济增长乏力，能源消费不旺，能源供给过剩，能源浪费严重，技术投入有限有关；2000 年跌幅有所降低，能源承载力变化率趋缓，但仍很大，直至 2002 年，跌幅才趋向于 0，但总体上仍然小于零，这与政府推行宏观调控政策，加大投入，拉动内需，调整能源供给，促进能源有效利用，倡导节约型经济，建设循环经济有关。

(4) 能源供给与能源利用协调基本同步，但 1999 年以后，协调力水平下降速度比供给力水平下降速度更快，说明能源的利用不良对中国能源承载力水平下降造成的影响更大。中国提出全面建设小康社会目标需要迫切解决的是走新型工业化道路，提高能源的利用水平；不仅要加大各类能源的开发力度，更重要的是提高能源利用的效用，实现能源工业的可持续发展。

(5) 由变化率曲线可以看出，供给力变化幅度相对较大，协调力变化幅度相对较小，由此可以得出，中国能源承载力的振荡很大程度上与供给力的不均衡有关。同时从另一个侧面反映，协调力对中国能源承载力的影响有一定的惯性，某一能源利用措施的出台在相当长的时间内都会产生相应的效用。

二、各子系统影响因素水平评价

根据表 6-13、6-15 计算供给力、协调力要素水平变化率如表 6-17、6-18，同时，作出各子系统影响因素发展水平曲线如图 6-5、6-6，影响因素变化率曲线如图 6-7、6-8。

表 6-17 供给力要素水平变化率

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
资源赋存与开发	—	0.00	0.08	-0.11	0.11	-0.77	-0.21	-0.38	-1.41	-0.62	0.53	0.37
经济影响	—	-0.54	0.36	0.93	0.78	0.22	0.07	0.38	0.12	0.27	0.52	0.18
保障条件	—	-0.04	-0.44	-0.11	-0.66	0.49	0.24	1.22	1.14	0.72	-0.25	-0.58

表 6-18 协调力要素水平变化率

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
能源利用	—	-0.60	-0.12	0.25	0.43	-0.20	-0.80	-0.58	-0.58	-0.33	1.10	0.69
国民经济	—	0.27	0.22	-1.66	-0.64	-0.03	0.03	0.40	0.28	0.02	0.16	-0.30
社会发展	—	-0.32	-0.47	-0.47	-0.51	-0.59	-0.46	-0.43	-0.43	-0.45	-0.43	-0.42
环境保护	—	-0.57	-0.51	0.26	-0.15	0.22	-0.24	-0.20	-0.48	-1.17	-0.75	-0.59
智力	—	0.07	0.08	-0.11	-0.14	-0.09	-0.16	-0.38	-0.57	-0.76	-0.92	-1.06

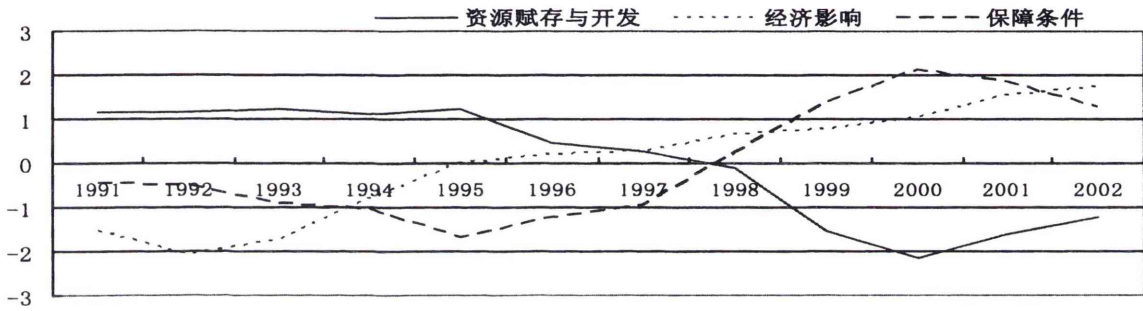


图 6-5 供给力子系统各要素水平曲线

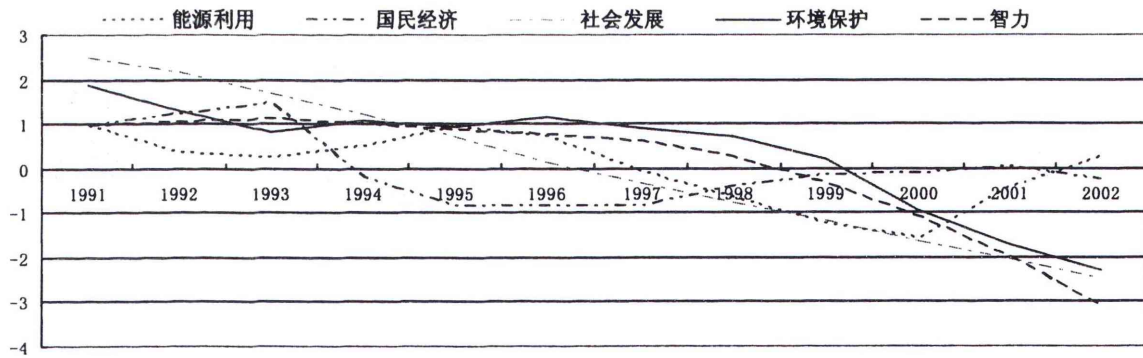


图 6-6 协调力子系统各要素水平曲线

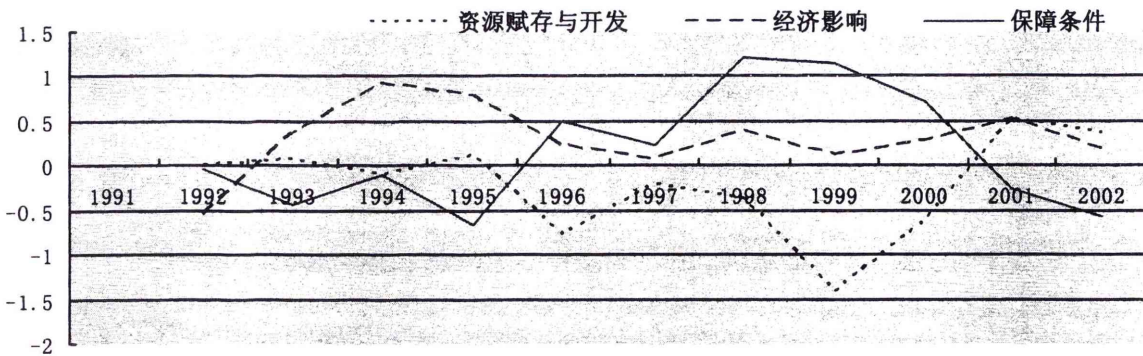


图 6-7 供给力子系统各要素水平变化率曲线

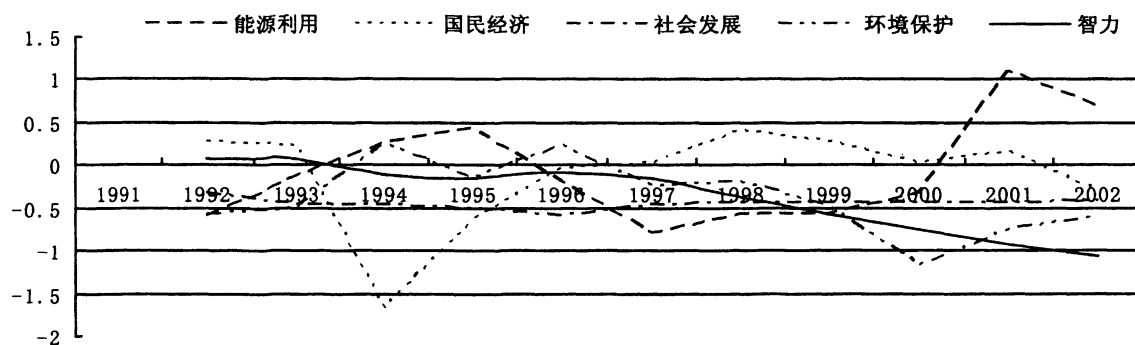


图 6-8 协调力子系统各要素水平变化率曲线

从图 6-5、6-6、6-7、6-8 可以对供给力、协调力各要素作出如下判断：

1. 在供给力方面

从总体上看，经济影响要素水平不断提高，说明中国对能源建设的投入持续增加，中国现行的经济运形态势有助于增加能源供给能力；资源赋存开发要素水平在经历了 1998-2000 的持续下滑后开始逐步回升，说明随着能源需求增加，中国的能源资源开发虽然总的还不能满足国民经济和社会发展需要，但大规模的开发开始逐步增强承载力；保障条件要素水平在经历了 1995 至 2000 年的攀升后，呈现下滑趋势，说明保障条件总体上还是符合能源供给要求的，但近几年出现了不好的迹象。具体分析如下：

(1) 虽然经济影响要素水平和保障条件要素水平不断提高，但整体供给力水平仍然呈不断下降的趋势，说明中国能源资源的赋存与开发对供给力影响大，目前的能源资源越来越不适应中国经济和社会发展的要求。要提高能源的供给力重要的一条就是提高资源赋存与开发水平，在中国庞大的人口压力面前，必须加快资源的勘探与开发，必须保持能源生产与消费的同步，增强能源生产的规模效应，提高能源的产出率。

(2) 根据本文的调查，经济影响要素与资源赋存与开发要素在供给力中占有几乎同等的重要性。虽然经济影响要素有所增长，但其增长幅度远不能够适应能源开发的需要，资源开发水平下降的一个重要原因就是投入不够，由表 6-2 看出，能源的投入在 GDP 中的比重不断下降，2002 年比 1991 年下降约 43%，投入的不够直接导致了近几年的能源产出能力不足。根据近几年的投入增长速度来看，经济影响要素对供给力的制约在相当长的时间内还会存在，削弱这一制约，当务之急的是提高能

源投入在 GDP 的比重，大规模加大能源的投入，努力缩短投入周期，否则供给力水平还将在低水平徘徊。

(3) 保障条件虽然对供给力影响相对弱一些，但与其它两个要素之间存在相互制约的关系，并且在一定时候还会通过其它两个要素产生放大效应。近十年来，中国能源供给的保障水平不断提高，对中国能源承载力作出了一定的贡献，但必须清醒的看到，1999 年以来，保障条件增长率呈下降趋势，并且于 2001 年变为负值，主要原因在于：前些年能源供应形势低糜，能源生产的技术投入、人才储备、配套设施建设出现了严重的短缺，运输通道建设发展缓慢。这一下降趋势如果得不到遏制，后果将是严重的。

2. 在协调力方面

从总体看，除了能源利用要素和国民经济要素水平出现震荡外，其它要素均呈现下滑态势，说明协调力面临着比较严峻的形势。具体分析判断如下：

(1) 虽然能源利用量加大，但随着国民经济持续发展，生产力水平不断提高，产业结构和调整，通过种手段提高能源的利用效率，能源利用、国民经济要素对能源承载力水平并没有产生大的影响，一方面说明了中国能源利用水平虽然出现波动，但总体上与中国经济和社会现状的要求相一致；但另一方面也说明了，能源利用及国民经济发展要素对能源承载力的贡献率很小，甚至没有，基本上是有多少能源消耗多少能源，能源消费是比较粗放的，离节约型、循环型经济的要求还有很大距离。

(2) 能源利用要素变化率在 1996 年至 2001 年间为增长态势，说明能源利用要素水平降低的势头得到遏制，从表 6-3 可以看出，节能率不断提高起了重要作用。2002 年变化率下降，初步判断与能源利用效率下降、进口能源依赖性增加、节能率较前几年回落有关。这虽然没有影响到能源利用要素整体水平的提高，但对能源使用的决策来说，应该引起足够重视。

(3) 国民经济要素水平在 1993 年后出现了一次大幅下滑，从表 6-3 可以归纳出主要原因是，1993 年后中国经济快速增长，第二产业结构水平稍微上扬，高能耗行业比重高位运行，从而导致能源承载力国民经济要素水平下跌。1998 后，国民经济增速放缓，第二产业结构水平相对降低，能源承载力国民经济要素水平略有回升。2002 年，随着增加投资所带动的新一轮经济增长，能源承载力国民经济要素水平又

开始下降。由此可以得出，在工业占据主导地位，而高能源产业在工业中又占有重要地位的现行经济运行状态下，中国能源承载力水平与中国经济增长率成负相关性，这充分说明，目前中国的经济增长很大程度上是以消耗能源为代价的粗放型增长，改变经济增长模式是提高中国能源承载力的重要途径。

(4) 社会要素的基本属性决定了它只能增加能源承载的负担，随着人民生活水平不断提高，城市化进程加快，以及不断膨胀的人口，这种压力只会越来越大，社会发展要素曲线还会进一步下滑，政府所能做的是进一步控制人口增长率，适当调整城市化速度。

(5) 智力要素变化曲线表明，中国现有的生产科学和技术进步与能源使用和供给要求并不匹配，从图 6-8 可以看出，1997 年后能源承载力智力要素水平变化化率绝对值持续增大，说明全社会科技进步对能源承载力的贡献率不断下降，且下降程度降大，由此可以得出，目前中国经济发展水平很大程度上是数量的累加，并非质量效益的积聚，进一步说明了中国经济发展是靠能源的高消耗来换取的。改变这种局面的重要一点就是加大科技投入，促使产品技术的更新换代，开展技术创新，改劳动密集型为技术密集型，提高全民族的科技文化素质，增加在能源利用方面的科技含量。

(6) 环境保护要素水平说明环境保护是提高中国能源承载力的一项艰巨的工作。近年来，中国的环境保护政策远远不能满足日益增长的能源开发利用需要。2002 年能源承载力环境保护要素水平变为负值的重要原因是工业增长加快，废气排放加大，国民经济的增长中的环境牺牲代价增大。曲线表明，不加强技术创新，不提高能源开发和利用中的环保水平，中国能源承载力将日益恶化，这是决不是控制通过其它要素水平所能弥补的。

三、中国能源承载力的和谐性评价

本文在前面介绍了能源承载力和谐性的评价方法。由于能源承载力由一级子系统、二级子系统甚至三级子系统构成，每一个子系统间都存在和谐问题，系统与系统之间和谐性增加必将增强能源的整体承载能力。从能源承载力的整体架构出发，本文只对供给力与协调力水平的和谐性作出评价。

1. 建立供给力水平与协调力水平曲线的拟合方程

利用 SPSS 软件对供给力水平与协调力水平曲线进行回归分析,得如下回归方程:

$$F_g = -0.113 + 0.969F_x$$

$$F_x = 0.117 + 0.951 F_g \quad (6-1)$$

根据式 (6-1) 计算供给力 F_g , 将 F_g 与表 6-10 所示供给力、协调力水平分别进行比较, 根据式 (5-14) 分别计算得供给力与协调力系统状态和谐值, 如表 6-16。

表 6-16 中国能源承载力系统和谐度

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
供给力	0.963	0.895	0.796	0.966	0.955	0.982	0.971	0.794	0.699	0.876	0.984	0.695
协调力	0.908	0.955	0.876	0.989	0.977	0.972	0.965	0.809	0.761	0.946	0.924	0.55

由表 6-16 得供给力与协调力的和谐度为

$$\omega(i, j) = \frac{\min[\omega(i/j), \omega(j/i)]}{\max[\omega(i/j), \omega(j/i)]} = \frac{0.550}{0.989} = 0.556$$

由式 5-18, 以三年为计算期, 得中国能源承载力系统的和谐度趋势如表 6-17

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0.929	0.827	0.805	0.805	0.966	0.973	0.809	0.720	0.739	0.710	0.559	0.559

根据表 6-16 作出供给力、协调力的和谐度曲线如图 6-6, 根据表 6-17 作出中国能源承载力总体和谐度走势曲线如图 6-7。

按照前文论述的和谐度评价标准, 从图 6-6, 6-7 可以看出, 中国能源承载力除了 1995 年、1996 年以外普遍和谐性不高, 其中尤以 2001 年以来为低, 如果不加以有效控制, 这种情况将有可能恶化。中国能源承载力出现和谐曲线较大幅度起落的情

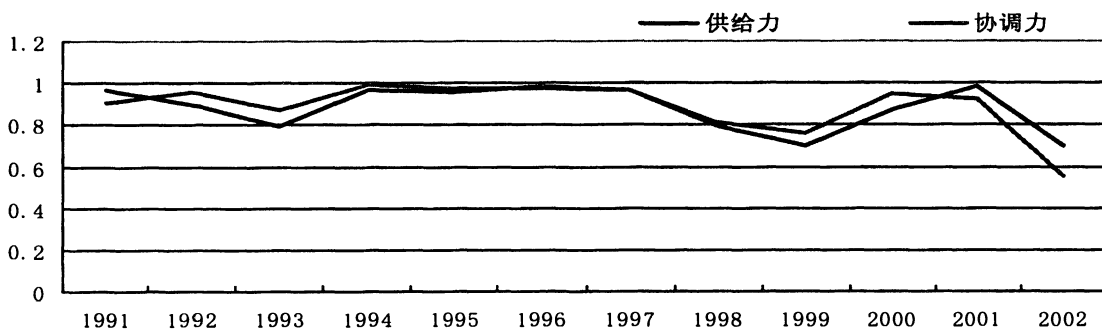


图 6-6 供给力、协调力和谐度曲线

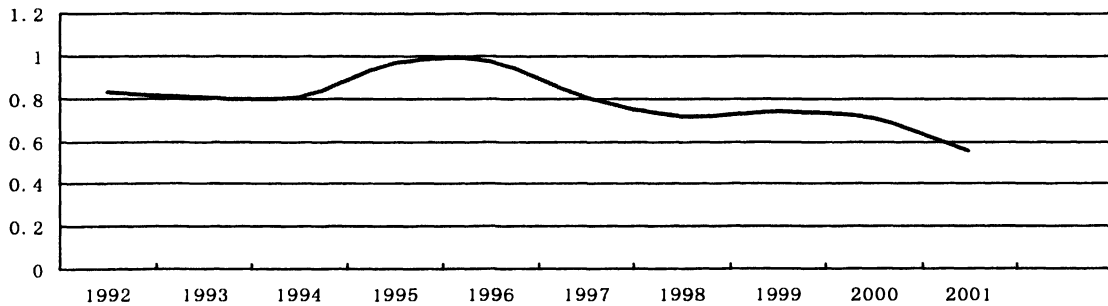


图 6-7 中国能源承载力总体和谐度走势曲线

况，这种情况的出现有两种可能：一种是供给力大于协调力，一种是供给力小于协调力。这两种可能对中国能源承载力都是有害的：供给力大于协调力，容易造成对资源的浪费，对能源的可持续利用产生不利影响；供给力小于协调力，容易被能源供给的假象所迷惑，但协调力系统某一子系统出现不和谐因素，就有可能造成能源供应紧张局面的出现。从 1997 年到 2002 年的和谐曲线可以看出供给力与协调力和谐度都在大幅振荡，必然导致能源承载力水平下降，这与图 6-2 所示的承载力曲线相吻合。

本文提出对中国承载力进行和谐度评价的出发点在于：加强供给和有效利用是提高中国能源承载力的不可缺少的两个方面。没有有效的供给，显然中国经济和社会发展便成了无源之水，无本之木，中国经济将会因此而停滞不前；但有供给如果不加以有效利用，肆意地浪费甚至浪费增长速度大于供给增长速度，将会使供给持续能力降低，同样影响到中国经济的前进速度，不仅对中国经济是灾难性的，对整个个人类社会的持续发展更是毁灭性的。要提高中国能源的承载力必须坚持两条腿走路，这两条腿迈的步子大小一致与否对中国经济和社会运行态势的平稳具有重要意义。从中国的国情来看，短期内能源供给还是有保证的，所需要做的是合理调配能源供给的强度，但要在短期内提高能源的利用水平还有大量的工作要做，而这项工作

第四节 提高中国能源承载力的几点建议

表 5-6 计算了中国能源承载力评价指标体系中各指标的权重，从权重大小来看，投入比率、GDP 增长率、能源集中度、经济发展指数、能源利用效率、节能率、设计生产能力、万人在校大学生数、科研投入、优质能源比率、产业结构水平、高能耗行业比重等指标在能源承载力中的贡献率达 75%，根据前面的图表分析，结合各指标的重要性程度，本文对提高中国能源承载力提出如下建议：

1. 加大能源产业的投入力度。十年来，中国 GDP 翻了两翻，能源工业投入却增加一倍多一点，能源工业投入占 GDP 的比重由 1991 年的 4.43% 降为 2002 年的 2.51%。如果保持 1991 年的投入比率，2002 年中国能源投入应达到 4506 亿元，实际上 2002 年中国能源投入只有 2626 亿元，少投入 1880 亿元。能源投入不足的后果是，能源工业应变能力不强，能源产业经营粗放，优质能源开发缓慢，必要的保障设施跟不上，产出效率增长乏力，安全欠帐增加。近两年，中国能源形势紧张的局面说明了这一点。

2. 保持稳定的、适当的 GDP 增长率。前面提到能源是 GDP 增长的重要元素，适当的 GDP 增长是能源工业发展的必要条件。从前面的分析可以看出在 GDP 增长放缓的 1999 至 2000 年，中国能源承载力下降速度明显加快。事实上，适当的 GDP 增长率有助于能源工业的科学产出，合理消费。过高的 GDP 增长率，可能导致能源供给跟不上，能源生产在低水平重复，只重数量不重质量，超能力生产，破坏生态环境等现象的发生；过低的 GDP 增长率，可能导致能源消费乏力，能源生产投入降低，并容易滋生能源浪费的现象。这些都有可能降低中国能源的承载力。

3. 形成合理的能源供给结构。中国能源结构中煤炭占据了主导地位，比重一度高达 75.62%。过分依赖煤炭这一主要的化石能源，对于提高能源的综合利用效率，降低能源使用的风险、优化环境都具有不良影响。在石油资源相对贫乏的情况下，中国应当大力发展水电、核电、太阳能等大规模开发的能源，因地制宜地发展海洋能、氢能、风能等可再生能源和新型能源，从而形成多元的能源供给结构，为中国

能源的可持续发展构筑良好的基础。

4. 进一步提高能源利用效率。由表 6-1 的数据可以得出, 中国近十年来单位 GDP 的能耗已下降了 70%, 但与世界平均水平相比, 仍然比世界平均单位 GDP 的能耗高近 2.5 倍。较高的能耗水平是能源承载力持续下降的主要原因, 以粗放的能源消费方式来推进国民经济的增长是不可取的, 应该切实转变经济增长形式, 走节约型、循环型可持续发展道路。

5. 大力推进节约能源措施, 努力提高节能水平, 鼓励消费优质能源。应该把节约作为立国的根本大计加以大力倡导, 建立健全节约机制, 加强节约立法, 实施鼓励节约的优惠政策, 对重大项目实施强制节能措施。在倡导节约的同时, 鼓励开发各类新能源, 在农村倡导消费生物能源, 努力实现煤炭等劣质能源转化为电力等优质能源, 结合实际, 积极开发水电、风能、太阳能。对使用新型优质能源的行为实行适当补贴。

6. 保证能源的有效供给, 提高资源开发水平。在中国庞大的人口压力面前, 必须加快资源的勘探与开发。要努力做到统筹开发, 保持能源生产与消费的同步, 保持能源开发体系的均衡, 明确分地区、分种类的能源开发方针, 加强开发的宏观调控; 要做到适度开发, 坚持可持续发展原则和节约原则, 在保证正常需要的前提下实施适度偏紧的开发策略; 要做到保护性开发, 在提高能源的产出率上下功夫, 在能源资源的深度开发上下功夫, 确保开发的同时保持良好的自然生态环境和资源赋存环境; 要进行规模性开发, 增强能源生产的规模效应, 积极实施大能源战略, 鼓励开发的横向联合和纵向延伸; 要增强开发的前瞻性、可预见性, 加强能源需求的预测, 保证预测的准确性和客观性, 科学实施开发计划; 努力寻找接替能源, 保证能源开发的延续性。

7. 推进技术创新, 加强 R&D, 提高全社会科技文化水平。大力实施科教兴国战略。加大科技投入, 促使产品技术的更新换代, 开展技术创新, 改劳动密集型为技术密集型, 提高全民族的科技文化素质, 增加在能源利用方面的科技含量。重点加强高能耗产业的技术创新, 建立技术创新的激励机制, 提高高能耗产业的技术装备水平。

8. 调整产业结构, 适当降低高能耗行业比重。大力发展第三产业, 努力使国民

经济增长由数量型增长向效益型增长转变，拓展产业发展内涵。严格控制高能耗产业的发展，实施能耗高、综合效益低的产业的强制性退出。

第七章 结论与展望

一、开展的工作

能源问题是中国乃至全世界所共同关注的问题,处理好能源问题关系到经济和社会的发展,关系到国家的安全,关系到人民生活水平的提高,关系到全人类的进步。鉴于这样的原因,许许多多的研究者投入到能源研究的领域。近年来,中国能源问题日益突出,能源与经济和社会发展的矛盾不断扩大,其中暴露出若干的问题,针对这些问题,本人通过对有关资料的阅读,结合中国的实际,萌生了研究中国能源承载力的想法。

总结起来,本文主要做了以下几方面的工作:

1. 进行文章的立论

分析了文章论述的背景,提出了在中国能源供需矛盾不断加大、环境问题日益突出、能源供应不确定性增加的情况下,加强能源问题研究的必要性和紧迫性,指出本文研究的目的是:建立适当的中国能源运行的评价理论,找到中国能源运行评价的切入点;确定中国能源评价的方法,使理论与实践得到结合,在此基础上对中国能源运行现状作出评价,形成中国当前能源运行状况的基本判断。通过深入的理论研究和实证分析,揭示中国能源供给对中国经济支承能力变化的规律和影响中国能源支承力要素的演化规律,从而提出能源战略实施的政策框架,促进中国能源的可持续发展。

通过对国内外在承载力评价理论、可持续发展研究、能源发展战略、能源政策、能源系统研究、能源经济、项目评价等相关领域研究的资料分析,本文提出了研究

的基本思路，即，首先分析中国能源问题的现状，在此基础上提出能源承载力评价的理论基础——承载力理论和系统理论，然后结合中国能源发展和研究的现状，分析能源消费与供给的相关因素，建立能源承载力的支撑体系，形成体系能源承载力系统及其概念模型，依据概念模型建立中国能源承载力评价指标体系和评价模型，进行能源承载力评价，并对能源承载力评价的理论体系，评价模型和指标体系等予以印证和校正。明确了三方面的重点研究内容：一是能源承载力评价理论研究，二是能源承载力评价模型的建立，三是对中国当前能源承载力状况进行分析和评价。阐述了本文研究采用的基本方法：对有关概念、原则及系统特征的讨论，主要采用逻辑推理和建立模型相结合的定性分析方法；在承载力评价系统建模分析中，运用系统理论、自组织理论、及系统控制论中的分析方法，进行目标系统的建模、推演和分析；在评价研究中，综合运用分层分析法、模糊优选理论、计量经济学理论等，进行指标构造、权重划分及建立评价模型。形成了中国能源承载力研究的基本框架。

2. 对中国能源资源、中国能源供应以及中国能源消费的现状进行了分析，总结了我国能源发展的成就和经验，提出了中国能源面临的形势和任务。

通过中国一次能源资源的数据分析，得出了中国能源资源的总体评价：从总体上来说，储量丰富，分布广泛，质量较好，勘探开发条件较优，是执行“立足国内，走向世界”能源可持续发展战略的重要物质基础保证；从能源品种、地区分布、以及人口等因素分析，中国能源资源的勘探和开发利用存在着几个先天的矛盾或问题，需要采取有效战略及措施加以妥善解决。

通过对建国以来中国能源生产总量及其增长、生产结构及其变化等资料的分析，形成了中国能源供应的基本评价：中国能源取得了不小的成就，实现了 GDP 翻两番而能源消费仅翻一番，能源利用效率大幅度提高，取得了相当大的环境效益；中国能源发展取得重大成就得益于产业结构演进产生的结构效应，经济体制改革产生的制度效应和实施有针对性的能源政策产生的政策效应。

通过对中国能源需求及供给的分析比较，本文阐述了中国能源面临的形势：国内资源供应不足，能源开发建设任务繁重，能源供应隐患呈加大趋势，环境保护对能源发展的制约作用更加明显，能源效率偏低影响国民经济的可持续发展；提出了中国能源面临的任务：提高能源效率，促进环境协调发展，拓宽开发渠道，强化煤

炭主体地位，完善能源消费结构，实施能源可持续发展策略。

3. 建立了能源承载力系统，对能源承载力系统进行了研究

本文在分析以往人们对承载力研究的成果的基础上，指出在考虑能源承载力的时候，不仅应该考虑其基本赋存条件，还应把基本条件与社会需求的协调匹配能力考虑进来，与经济发展、利用情况、社会、人口、环境、智力等因素结合起来。并借助力学的有关观点，给出了能源承载力的基本定义，即，遵循可持续发展要求，满足一定的科学技术和自然条件，与经济和社会发展相互影响、相互制约，最终要求相匹配的能源和谐保障能力。对这一定义，本文分别就可持续发展、满足一定的科学技术和自然条件、与经济和社会发展相互影响相互制约、与经济和社会发展要求相匹配、和谐等关键词作了具体的含义阐述。

针对能源与经济和社会之间存在各种影响制约关系，本文认为必须用系统的观点来看待，从而提出承载力系统的概念。本文认为能源承载力系统是所有与能源供给和使用相关的，对能源供应产生影响的，包括能源生产、经济发展、社会进步、环境保护和智力促进在内的各种因素所构成的反映能源供给状态、水平、能力和动态趋势的复杂系统。

由能源承载力的概念，本文根据能源承载力的自然属性和社会属性把承载力划分为两个组成部分，其一是指直接从事能源生产和供应者所具有的对能源开发和使用的支持能力，其二是指由于人们在经济和社会发展过程中通过各种手段使能源利用得到节约而形成的对能源总体供应能力的支持能力，并将这两个组成部分分别概括为供给力子系统与协调力子系统。结合供给力子系统与协调力子系统的构成特征，本文分别对二者进行了进一步的细分，指出供给力子系统由资源赋存与开发要素、经济影响要素、保障条件要素等二级子系统构成，协调力子系统由能源利用要素、国民经济要素、社会发展要素、环境保护要素、智力要素等子系统构成。指出了能源承载力系统的动态性、替代性、时滞性和整体综合性等特点。

按照构建的承载力系统，本文提出了能源承载力的概念模型：

$$F_c = f(F_g, F_x, \omega) = f(ER, EE, PC, EU, CE, SD, EP, SI, \omega')$$

其中， F_g 表示供给力，用以反映能源承载力系统内部与能源供给相关的资源赋

存 (ER)、经济影响 (EE)、保障条件 (PC) 等要素的结构和状态; F_x 表示协调力, 用以反映能源承载力系统内能源利用 (EU)、国民经济 (CE)、社会发展 (SD)、环境保护 (EP) 和智力 (SI) 等对能源供给产生影响的各要素自身的协调以及各要素之间相互联系、相互作用的效用; ω 表示供给力系统与协调力系统的结构参数, 反映系统的和谐度。 ω' 表示 ER, EE, PC, EU, CE, SD, EP, SI 等子系统间的结构参数。

在能源承载力概念模型的指导下, 本文分稳定系统和复杂系统分别对承载力系统的规律进行了阐述, 分别论述了相应的特征和有关特征数值, 并结合能源变化的特点指出: 稳定状态和理想的可持续发展的能源状态都不太可能实现, 在化石能源为主要能源的今天, 人类社会因使用能源使能源耗竭的速度远大于新的能源的开发速度, 在相当长的时间内, 人类社会的能源承载力是不断下降的, 人们所做的是在努力寻找新能源的同时, 努力降低能源承载力的下降幅度。

4. 建立了中国能源承载力评价的指标体系

结合能源承载力的特点, 本文对指标、指标体系、指标体系的功能等进行了论述, 提出能源承载力指标应该具有信息功能、监测功能、综合功能、诊断功能、预测功能, 根据目前的研究大多选择几个传统的统计指标, 研究结果存在一定的片面性, 甚至出现自相矛盾的情况, 本文提出应该建立符合能源承载力规律, 反映能源承载力演化轨迹, 有助于系统调控和功能优化的指标体系。

在确立能源承载力指标体系中, 必须遵循一定的原则, 以保证指标的科学性、合理性。本文确立了选取能源承载力指标应遵循的原则, 包括: 系统科学性原则、简明可行性原则、动态引导性原则、标准通用性原则、灵活适应性原则。然后阐述了指体系建立的基本方法, 形成了包含目标层、准则层、要素层、执行层在内的能源承载力评价指标体系框架。

根据评价指标体系框架, 本文分别确立了供给力子系统、协调力子系统的 8 大要素 25 个指标的选取。其中, 资源赋存和开发能力要素主要反映能源资源的数量、质量、结构、动态趋势和潜力等在能源供给方面的基础性作用, 用设计能源生产能力、人均资源保有量、资源压力指数、资源聚集度、能源集中度等指标来表示; 经

济影响能力要素主要反映经济活动对能源供给的控制能力和反馈能力,用投入比率、当年新增固定资产、GDP 增长率等指标来表示;保障条件能力要素主要反映除却资源情况和经济因素之外的对能源供应有较大影响的软性因素,主要体现在从业人员、科技人员比例、R&D 投入、运输压力等指标上;能源利用要素反映能源利用的协调性对能源的影响力,用消费优质能源比率、能源利用效率、进口能源依赖性、节能率等指标来表述;国民经济影响要素反映国民经济在能源供应中的影响力用经济发展水平、产业结构水平、高能耗行业比重等指标来表示;社会发展影响力要素反映社会因素对能源承载力的作用,用人口、城市化水平、居民消费水平等指标来表示;环境保护影响要素反映能源供给受环境的因素的影响,用废气排放量、万元 GDP 环保投入等指标表示;智力影响要素反映科技文化教育等智力因素的影响用万人在校大学生数、教育科研经费数等指标来表征。对每一个要素,本文给出了选取指标的出发点和相应指标的具体含义。

5. 根据能源承载力概念模型,建立了能源承载力评价的方法。

本文认为,对中国能源承载力的评价应在三个方面作出基本的判断:一是中国能源承载力水平、走向及各阶段的特征;二是承载力子系统的水平、走向及干扰因素,主要决定要素的发展趋势,承载力要素的状态判定;三是系统的和谐性研究,决定系统和谐度的依据。

本文确立的主要评价思路分为五步:首先,运用主成分分析的方法把众多要素指标变换为少数几个变量进行分析计算;第二,利用变换得的主成分计算能源承载力各子系统水平;第三,采用层次分析法确立各指标的权重;第四,运用模糊评判思想,确立能源承载力水平,并对能源承载力进行评价判断;第五,建立和谐度评价模型,对能源承载力各系统的和谐性作出评价判断。

在评价中,本文注意方法和手段的运用,尽量采用定量表达的方式,尽可能保持针对性和不失一般性,尽量运用先进的计算工具,保证计算的准确性,尽量运用数据、图表说明问题。

在上述评价思路指导下,本文介绍了评价的主成分分析方法的基本方法,介绍了运用层次分析法确立评价指标权重的步骤,通过计算分析,确立了能源承载力评价指标的权重及排序,并按相关规则进行检验。针对指标权重分析过程中的主观性

和信息的片面性，本文运用信息熵技术对指标权重进行了修正。

确立指标权重后，本文给出了承载力和谐性评价的基本方法，即按照两个系统之间服从一定的相关回归关系，利用回归技术确立系统间相互的理想值，分别用理想值与实际值进行比较，得出系统之间的和谐度，对和谐度表现出的性状作出合理的评判。

6. 按照上述思路和方法，对中国能源承载力进行评价。

本文选取 1991 至 2002 年的中国能源的基础数据，根据指标体系确立的要求，对数据进行演化换算。得到了中国能源承载力评价的主成分函数，由此得到中国能源承载力水平（如表），并进一步计算各要素的水平，形成中国能源承载力评价的基

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996
承载力水平	2.0801	2.0589	1.9535	1.4370	1.1191	0.6495
年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002
承载力水平	0.3947	-0.2364	-1.1894	-2.0998	-2.5924	-2.8738

础数据。根据得到的数据，本文对中国能源承载力的基本特征和性状进行了评价。

二、主要结论

1. 在中国能源承载力总体水平方面

(1) 自 1991 年以来，中国能源总体承载能力呈下降趋势，尤其是近几年，中国能源承载力一直处于低位徘徊，能源越来越成为中国面临的严峻问题。如果不采取有效措施，尽快提升中国能源承载力，必将对中国经济产生瓶颈效应，制约中国经济发展。

(2) 1999 年以后，中国能源利用状态则滞后于中国经济和社会发展，这与中国进入工业化阶段，能源使用水平的调整和提高速度落后于能耗水平的提高速度有关，同时也与中国普遍的能源开发与利用的科技水平不高有关。

(3) 政府在能源宏观调控中具有重要作用，倡导节约型经济，推行宏观调控政策，加大投入，拉动内需，调整能源供给，对促进能源有效利用，建设循环经济有重大影响。

(4) 中国能源供给与能源利用协调基本同步，但 1999 年以后，协调力水平下

降速度比供给力水平下降速度更快，说明能源的利用不良对中国能源承载力水平下降造成的影响更大。

(5) 供给力的不均衡很大程度上决定了中国能源承载力的振荡。

2. 在各子系统影响因素水平方面

(1) 虽然经济影响要素水平和保障条件要素水平不断提高，但整体供给力水平仍然呈不断下降的趋势，中国能源资源的赋存与开发对供给力影响大，目前的能源资源越来越不适应中国经济和社会发展的要求。要提高能源的供给力重要的一条就是提高资源赋存与开发水平，在中国庞大的人口压力面前，必须加快资源的勘探与开发，必须保持能源生产与消费的同步，增强能源生产的规模效应，提高能源的产出率。

(2) 经济影响要素与资源赋存与开发要素在供给力中占有几乎同等的重要性。虽然经济影响要素有所增长，但其增长幅度远不能够适应能源开发的需要，资源开发水平下降的一个重要原因就是投入不够，投入的不够直接导致了近几年的能源产出能力不足。

(3) 前些年能源供应形势低糜，能源生产的技术投入、人才储备、配套设施建设出现了严重的短缺，运输通道建设发展缓慢。这一下降趋势如果得不到遏制，后果将是严重的。

(4) 能源利用及国民经济发展要素对能源承载力的贡献率很小，甚至没有，中国能源消费停留在有多少能源消耗多少能源的状态，能源消费比较粗放，离节约型、循环型经济的要求还有很大距离。

(5) 国民经济要素水平受国民经济的影响相当大，在 1993 年后出现了一次大幅下滑，1998 后略有回升，2002 年后又开始下降，都与中国经济快速发展、适度调整、强劲回升有着密切的关系。在工业占据主导地位，而高能源产业在工业中又占有重要地位的现行经济运行状态下，中国能源承载力水平与中国经济增长率成负相关性，目前中国的经济增长很大程度上是以消耗能源为代价的粗放型增长，改变经济增长模式是提高中国能源承载力的重要途径。

(6) 社会要素的基本属性决定了它只能增加能源承载的负担，随着人民生活水平不断提高，城市化进程加快，以及不断膨胀的人口，这种压力只会越来越大，社

会发展要素曲线还会进一步下滑。

(7) 全社会科技进步对能源承载力的贡献率不断下降,且下降程度加大,目前中国经济发展水平很大程度上是数量的累加,并非质量效益的积聚,中国经济发展是靠能源的高消耗来换取的。

(8) 环境保护要素水平说明环境保护是提高中国能源承载力的一项艰巨的工作。不加强技术创新,不提高能源开发和利用中的环保水平,中国能源承载力将日益恶化,这是决不是控制通过其它要素水平所能弥补的。

3. 在中国能源承载力的和谐性方面

(1) 中国能源承载力除了 1995 年、1996 年以外普遍和谐性不高,其中尤以 2001 年以来为低,如果不加以有效控制,这种情况将有可能恶化。

(2) 中国能源的供给力与协调力和谐度都在大幅振荡,必然导致能源承载力水平下降。

(3) 加强供给和有效利用是提高中国能源承载力的不可缺少的两个方面。要提高中国能源的承载力必须坚持两条腿走路,这两条腿迈的步子大小一致与否对中国经济和社会运行态势的平稳具有重要意义。从中国的国情来看,短期内能源供给还是有保证的,所需要做的是合理调配能源供给的强度,但要在短期内提高能源的利用水平还有大量的工作要做,而这项工作在中国能源承载力体系科学构建过程中却是刻不容缓的。

4. 政策建议方面

要提高中国能源的承载力应该在以下几方面下大力气:加大能源产业的投入力度;保持稳定的、适当的 GDP 增长率;形成合理的能源供给结构;进一步提高能源利用效率;大力推进节约能源措施,努力提高节能水平,鼓励消费优质能源;保证能源的有效供给,提高资源开发水平;推进技术创新,加强 R&D,提高全社会科技文化水平;调整产业结构,适当降低高能耗行业比重。

三、主要创新点

本文重点在以下几方面进行了研究,取得一定的突破:

1. 建立了能源承载力评价的理论体系。其中,创造性地提出了能源承载力的概念,指出能源承载力是“遵循可持续发展要求,满足一定的科学技术和自然条件,

与经济社会发展相互影响、相互制约，最终要求相匹配的能源和谐保障能力”。并根据能源承载力的属性，把能源承载力划分为供给力和协调力来进行研究。提出了运用主成分分析法对能源承载力进行分析评价的方法。

2. 开辟了能源状态研究的新领域，克服以往研究更多侧重于状态、忽视过程的缺陷，提出了能源承载力评价的系统性理论，通过对中国能源承载力的综合性评价，指出中国能源承载力不仅与能源供给有关，更与能源消费有关。由此建立了由供给力与协调力构成的能源承载力评价体系。

3. 建立了中国能源承载力状态的评价方法，即以中国能源承载力水平与中国能源承载力和谐度为主要指标来反映中国能源供给状况。

4. 对中国能源承载力进行了较为深入的评价，对存在的问题提出了独到的见解，形成了新的结论。

四、问题和展望

1. 关于研究对象

本文研究的主要对象是以煤炭、石油为主的化石能源，所采集的信息主要集中于这两类能源资源，这对于目前化石能源占据绝对主导地位的中国能源来说，具有一定的指导意义。然而，随着人类对新能源使用的不断深入，随着核能、海洋能、太阳能、氢能、可燃冰等新能源和可再生能源的作用，以及人类利用能源技术的不断提高，中国能源结构必将发生根本性的变化，根据有关资料的研究，20年后，中国煤炭在能源结构中的比重将有较大幅度的下降，核能等能源将占据重要地位，显然仍然用这一指标体系来反映能源承载力，就会产生信息的缺失，对实践的指导就会产生偏差。因此，就研究对象而言，本文还存在一定的局限性。

2. 关于研究的深度

本文虽然给出了中国能源承载力评价的理论与方法，但总的来说，由于资料掌握的程度和调研的深度有限，并且研究主要还是建立在传统能源消费的基础上，结论还比较粗泛。对于中国正处于全面建设小康社会的新型工业化阶段的特殊时期，某些指标的选取还值得进一步商榷。同时，得出的部分结论是定性的判断，距离可操作性还有相当的工作要做，比如，中国能源需要投入，但投入多少为宜；中国能源需要增加科技贡献率，但根据中国的国情，这一科技贡献率应为多少合适，等等，

诸如此类的问题，都应该属于本文的研究范畴。

虽然研究存在一定的缺憾，但本文还是开辟了能源问题研究的新天地，为下一步的研究构筑了一个较为宽阔的平台，结合中国能源的实际，还可以在以下方面进一步开展工作：

一是从中国能源开发的结构演变特征出发，对包括已经大规模开发的传统能源、正在进行探索性开发的可再生能源和可能产生重大效益的新型能源在内的中国能源进行全类别、多层次的综合评价。从而对中国能源承载力有一个更科学、更客观的认知，并对中国能源供给的决策，提供更准确的信息。

二是对中国能源利用状态进行更深入、更细致的探索研究，寻找在中国经济由规模扩大型向效益提高型转换的过程中能源利用的新型关系，研究提高中国能源利用效率、缓解中国能源承载力压力的新途径。

三是从中国能源地理的研究出发，探索中国能源承载力的区域性特征，从而对政府开展决策提供更进一步的技术支持。

四是中国工业化时期能源消耗能力的评价，找出与中国工业发展情况相一致的包含新型能源开发在内的能源消费规律。

参考文献

- 阿马蒂亚·森, 以自由看待发展, 中国人民大学出版社, 2002年7月;
- 安尼瓦尔·阿木提等编, 石油与国家安全[M], 新疆人民出版社, 2003年12月第一版;
- (英) 安格斯·麦迪森著, 世界经济千年史, 北京大学出版社, 2003年11月;
- 陈清泰等, 国家能源战略的基本构想, 中国发展高层论坛(国务院发展研究中心), 2003年11月17日;
- 陈学俊: 能源工程的发展与展望, 世界科技研究与发展, 2004年2月, 第1期;
- 陈挺: 俄罗斯能源国资目标: 通过一系列手法从7%到50%, 21世纪经济报道, <http://finance.sina.com.cn>, 2004年12月25日;
- 陈如泉, 丰富的石油资源, 动荡的社会环境[J], 国际石油经济, 2004年, 第12卷第3期;
- 丹尼尔·耶金著, 石宝明等摘译, 关于全球能源安全供问题, 国际石油经济, 2003年第11卷第7期;
- (美) 德布拉吉·瑞, 发展经济学, 北京大学出版社, 2002年10月;
- 董春游、马云东: 可持续发展煤炭建设项目 REESP 系统研究, 煤炭工业出版社, 2002年12月第1版;
- 戴彦德、朱跃中: 加强节能和提高能源效率 保证社会经济可持续发展, 2003中国能源问题研究, 中国环境出版社, 2005年第1版;
- Euan Baird, Fossil Fuels: The Key to Sustainable Development, World Energy, USA, Vol. 6 No. 1, 2003;
- 范维唐, 21世纪中国能源, 21世纪中国煤炭工业学术研讨会;
- 国家发展和改革委员会, 国民经济和社会发展第十个五年计划能源发展重点专项规划, www.sdpc.gov.cn;
- 国家环境保护总局, 2002年中国环境状况公报, 2003年6月;

国务院发展研究中心, 2004 中国产业发展报告[M], 华夏出版社, 2004 年 4 月第一版;

国土资源网, 美国人看中国如何寻求能源安全, <http://www.chinaexplore.com.cn/nnews/h52.htm>;

国家发展和改革委员会能源研究所课题组, 碳排放情景与中国能源可持续发展研究, 能源政策研究, 2003 年 3 月;

国家环境保护总局, 2003 年中国环境统计年报, 2004 年 8 月;

国家经济贸易委员会行业规划司, 中国走新型工业化道路研究, 机械工业出版社, 2003 年 6 月;

耿殿明: 矿区可持续发展研究, 中国经济出版社, 2004 年第 1 版;

郭云涛, 应加快我国能源管理体制改革的, 中国煤炭, 2004 年第 11 期;

胡鞍钢/王亚华, 从生态赤字到生态建设: 全球化条件下中国的资源和环境政策, <http://www.csdn618.com.c010115200/0101152026.htm>;

胡鞍钢, 中国新的发展观[M], 浙江人民出版社, 2004 年 1 月第一版;

胡鞍钢, 中国: 新的发展观, 浙江人民出版社, 2004 年 1 月;

韩志斌等, 能源安全、地缘战略和全球霸权, 美国在伊拉克战争中的石油战略利益考察[J], 长安大学学报(社会科学版), 2003. 6, 第 5 卷第 2 期;

韩智勇等, 中国能源强度与经济结构变化特征研究, 数理统计与管理, 2004 年 11 月;

洪银兴主编, 可持续发展经济学, 商务印书馆, 2000 年 10 月;

江红, 为石油而战[M], 东方出版社, 2004 年 1 月第一版, 2002 年 2 月第一版;

季昆生, 循环经济原理与应用[M], 安徽科技出版社, 2004 年 1 月第一版;

(美) 杰瑞米·里夫金, 氢经济, 海南出版社, 2003 年 10 月;

刘小丽: 中国全面建设小康社会的能源优质化战略, 2003 中国能源问题研究, 中国环境出版社, 2005 年第 1 版;

刘山, 中国的能源结构调整与能源安全[J], 国际技术经济研究, 2002 年 4 月, 第 5 卷第 2 期;

刘燕华, 周宏春. 中国资源环境形势与可持续发展[M], 北京: 经济科学出版社, 2001;

刘巧莲等, 能源利用与大气污染[J]; 山西能源与节能, 2003年3月, 2003年第1期;

刘彩英, 面向可持续发展的煤炭价值与价格理论和实践, 2004年中国煤炭市场高峰论坛论文集, 福建福州, 2003年12月;

陆明生: 多目标决策中的权系数. 系统工程理论与实践, 1986(4);

雷明: 绿色GDP与可持续能源, 建设科技, 2004年第5期;

李志辉等: 统计分析教程(第2版), 电子工业出版社, 2005年2月, 第1版;

李金柱主编, 合理能源结构与煤炭清洁利用, 煤炭工业出版社, 2002年1月;

林善炜, 中国经济结构调整战略, 中国社会科学出版社, 2003年11月;

马驰等: 关于中国能源投入的研究, 国际石油经济, 2003年第4期;

马爱锄: 西北开发资源环境承载力研究(博士论文), 西北农林科技大学, 2003;

马重芳, 中国能源消费的环境效应评述,

http://www.cas.ac.cn/html/Books/O61BG/a1/2002/5/5.2_1.htm;

米红. 区域可持续发展模式评估及其实证研究[M], 北京: 经济科学出版社, 2002.
石油战略研讨会: 多视角审视中国石油战略, 经济参考报, 2003年11月19日;

牛文元等: 2000中国可持续发展战略报告, 科学出版社, 2000年第1版;

牛文元: 持续发展导论, 科学出版社, 1994年第1版;

潘克西: 国家能源战略与煤炭产业组织, 上海经济研究, 2003年第2期;

能源中长期规划(2004—2020)草案, <http://finance.sina.com.cn>, 2004年6月30日;

Philip Aiken: Energy Outlook Modest on Growth, Massive on Impact, World Energy, USA, Vol. 7 No. 3, 2003;

齐中英: 中国能源科技发展战略形势与对策分析, 能源发展战略研究, 化学工业出版社, 2004年第1版;

齐良书, 发展经济学, 中国发展出版社, 2002年10月;

- 钱易, 唐孝炎, 环境保护与可持续发展, 高等教育出版社, 2000年7月;
- 史丹: 中国能源供需的演变趋势与能源发展的战略重点, 能源发展战略研究, 化学工业出版社, 2004年第1版;
- Spencer Abraham: The National Energy Plan: Forging New Approaches, World Energy, USA, Vol. 6 No. 3, 2003;
- Stephen L. Baum: Energy Reform in Mexico: Frontier of Opportunity, World Energy, USA, Vol. 2 No. 2, 2003;
- 能源政策研究, 能源和经济主要指标的中国与国际比较, 2003年, 第6期;
- 宋金波、陈利顺: 中国能源依赖型城市的能源供应分析, 能源研究与信息, 2004年1月, 第1期;
- 宋红旭等, 美国的能源安全战略, 宏观经济管理, 2002年第2期;
- 舒基元、姜学民: 对“持续发展”的数学模型解释。农业环境与发展, 1997(3);
- 《2020中国能源需求情景分析》课题组: 全面建设小康社会对中国能源发展的要求与挑战, 2003中国能源问题研究, 中国环境出版社, 2005年第1版;
- 滕藤等, 可持续发展的理念、制度与政策, 社会科学文献出版社, 2004年4月;
- WCED. Our Common Future. Oxford and New York: Oxford university press, 1987;
- 王立杰: 煤炭资源经济评价的理论与方法研究, 煤炭工业出版社, 1996年第1版;
- 王良健: 区域可持续发展指标体系及其评估模型。中国管理科学, 2000(2);
- 《王家诚研究成果集》(电子版), 中国计量出版社, 2003年2月;
- 王家诚, 论能源产业战略管理, 中国计量出版社, 2003年2月;
- 王东海, 论中国的石油资源安全战略[J], 北京理工大学学报(社会科学版), 2003年10月, 第5卷第5期;
- 王庆一, 中国的能源效率及国际比较, 节能与环保, 2003年第9期;
- 汪云甲: 矿井煤炭资源评价及管理的理论与方法研究(博士论文), 中国矿业大学, 2000;

魏晓平：可持续发展战略中矿产资源最适耗竭理论的研究，中国矿业大学出版社，1999年第1版；

吴玉鸣：中国31个省市第三产业综合发展水平的最新评估。中国软科学，2000（10）；

徐琳瑜：城市生态系统复合承载力研究（博士论文），北京师范大学，2003；

夏义善，中国能源安全问题及解决前景[J]，和平与发展，2003年第4期；

严鸿和等：专家评分机理与最优评价模型。系统工程理论与实践，1989（2）；

严陆光. 可再生能源发电与中国电力的持续发展[M]，中国科学院第九次院士大会学术报告论文集，1998；

杨伦标、高英仪：模糊数学，华南理工大学出版社，1998年7月，第2版；

杨建平，煤炭在中国能源安全战略中的作用[J]，煤炭经济研究，2002.12；

叶文虎：关于可持续发展的理论思考。中国环境科学出版社，1996年第1版；

郁聪、康艳兵：国内外节能政策的回顾及强化中国节能的政策建议，美国的节能管理模式及对中国的启示，2003中国能源问题研究，中国环境出版社，2005年第1版

余敬：矿产资源可持续力评估，中国地质大学出版社，2004年第1版；

于秀林、任雪松：多元统计分析，中国统计出版社，1999年8月，第1版；

张晓东：中国区域经济与环境协调度判别分析（博士论文），中国科学院，2000；

张志涌，徐彦琴：MATLAB教程，北京航空航天大学出版社，2001年，第1版；

张正敏等，中国可再生能源开发利用：潜力与挑战，煤炭工业出版社，2002年11月；

张学刚，东南亚各国能源安全战略[J]，国际资料信息，2004年第2期；

张坤主，循环经济理论与实践，中国环境科学出版社，2003年5月；

张雷著，矿产资源开发与国家工业化，商务引书馆，2004年4月；

张世坤、许晓光，我国当前的能源问题及未来能源发展战略，能源研究与信息，2004年第4期；

中国科学院可持续发展研究小组，中国科学院可持续发展战略报告[M]，科学技术出版社，2002年2月第一版；

- 中国电力百科全书（第二版）综合卷，2001年3月，中国电力出版社出版；
- 中国工程院研究报告，“竞争性电力市场环境中核电发展战略研究”，2004年4月；
- 中国能源发展报告（2001、2003），中国计量出版社；
- 中国的电力与煤炭，中国煤炭出版社，2004年8月；
- 中国能源网，www.china5e.com；
- 中国经济时报，欧洲电力市场攻坚战 能源自由化进展缓慢，2004年7月5月；
- 中国社会科学院环境与发展研究中心，中国环境与发展评论（第一卷）[M]，北京：社朱光俊等，浅析中国能源与环境污染问题，重庆工业高等专科学校学报，2002年11月，第17卷第4期；
- 中国社会科学院环境与发展研究中心，中国环境与发展评论，2004年5月；
- 中国科学院可持续发展战略研究组，2004年中国可持续发展战略报告，科学出版社，2004年3月；
- 中国环境与发展国际合作委员会能源战略与技术工作组著，能源与可持续发展，中国环境科学出版社，2003年8月；
- 中华人民共和国国家统计局编，2003年中国发展报告，中国统计出版社，2003年6月；
- 中央党校《中国能源可持续发展战略》课题组，中国能源可持续发展战略构想，经济参考报，2004年12月28日。
- 周凤起，周大地主编，中国中长期能源战略，中国计划出版社，1999年2月；
- 周大地：在改革开放中保障石油供应安全，2002中国能源问题研究，中国环境出版社，2004年第1版；
- 周大地等编，2020中国可持续能源情景，中国环境科学出版社，2003年8月；
- 朱跃中等：当前中国能源消费形势分析，中国能源，2004年7月，第7期；
- 朱顺泉：基于加权平方与熵权模糊综合评判法的公司债券财务质量评级研究。统计与信息论坛，2002（3）；
- 曾珍香、顾培亮：可持续发展的系统分析与评价。科学出版社，2000年第1版；
- 镇常青：多目标决策中的权重调查确定方法。系统工程理论与实践，1987（2）。