

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

综合报告

国家发展和改革委员会能源研究所

“中国可持续发展能源暨碳排放情景分析”课题组

二〇〇三年五月

前 言

在“中国可持续发展能源暨碳排放情景分析”经过近三年的努力，进入总报告撰写阶段时，喜逢中国共产党第十六次全国代表大会召开。这次代表大会对我国经济社会发展具有重大意义，它系统总结了党的十四届五中全会以来的经验，确定了全面建设小康社会的宏伟目标，全面部署了经济、政治、文化建设和体制改革的战略规划，制定了实现各项任务的政策措施。“十六大”具体地提出了到 2020 年在优化结构和提高效益的基础上，力争实现国内生产总值比 2000 年翻两番的目标。我们高兴地看到，在本情景分析项目中设定的未来 20 年的宏观经济发展情景基本符合“十六大”提出的目标。十六大把可持续发展作为实现全面小康的重要内容，并把“走新型工业化道路，大力实施科教兴国战略和可持续发展战略”作为经济建设的首要任务，使我们的情景分析对未来 20 年能源可持续发展道路的制定和选择更能满足现实的应用需求。

经过建国 50 多年，尤其是改革开放 20 年来的发展，中国社会经济取得了长足进步，经济总量已位居世界六强之列。中国经济将在未来 20 年里仍然保持快速增长态势，原来粗放型的增长方式已难以保证中国经济的可持续发展。实现可持续发展已成为中国社会经济发展的一个重要基本方针。对于中国这样一个人口众多的发展中国家来说，可持续发展既要解决人口高度密集，人均资源相对匮乏，自然生态环境比较脆弱的问题，又要实现经济的持续稳定发展，这是一个史无前例的社会实践问题。

随着全球经济、资源的一体化进程的加快，技术进步在经济发展中地位的加强，特别是随着中国加入世界贸易组织（WTO），中国未来经济发展模式将会有多种选择，这将对中国未来的能源需求与环境排放产生不同的影响。中国有可能选择有显著差别的能源发展道路。本项目正是在此背景下，试图在回顾与分析中国社会经济发展及能源环境现状的基础上，采用情景分析的方法，使用相应的模型工具，从可持续发展的角度，研究探讨中国要实现“十五”计划制定的目标，实现中国经济三步走的宏伟目标可供选择的发展空间，以及政府需要或可能制定什么样的能源、环境政策，以保证可持续发展战略的实施。

在三年来的研究过程中，我们课题组得到了来自国内外许多机构和专家的大力支持，在我们的研究成果中渗透了他们的贡献，他们的投入是情景分析项目成功的重要基础。1998 年在“九五”计划执行的后期中央政府已着手酝酿“十五”国民经济发展规划。随着全球对可持续发展问题的关注，国家计委在制订新的五年计划和后十年发展规划中，力图从可持续发展角度对中国经济发展描绘一张蓝图，并制定相应的政策。“十五”能源发展计划正是在这样的背景下开始着手起草的。1999 年国家计委基础产业司委托国家计委能源研究所对“十五”能源计划和后十年规划的思路进行研究，恰逢美国 Packard 基金会与美国能源基金会建立合作伙伴关系，在中国成立了“中国可

持续发展能源项目”。“中国可持续发展能源暨碳排放情景分析”项目就成为了“中国可持续发展项目”的首选支持项目之一。同时壳牌基金会也成为本情景分析项目的主要支持单位之一，除了研究经费以外，壳牌研究中心还以其在全球气候变化对策研究方面的实力和成果，支持了本项目的研究工作。为了使本项研究与国际上关于可持续发展和碳排放情景分析的研究接轨，美国劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL）能源与环境研究室成为中方课题组的合作伙伴，在模型方法论的选择、国外先进能效技术的选择和发展方向等方面，特别是建筑节能领域，积极参与了情景分析研究；美国橡树岭国家实验室和美国可再生能源国家实验室也在 LBNL 国家实验室的协调下，在交通节能和可再生能源领域向本项研究提供了信息和技术帮助。我们的研究工作还得到了国家计委、国家经贸委、科技部、建设部等部委相关司局的大力支持，课题组还专门聘请了来自中国冶金工业协会、建材协会、化工协会、有色协会、轻工业协会、造纸工业协会、建设部、国家计委综合运输研究所等单位的数位专家，在工业、交通、建筑物等主要用能领域的节能政策、法规、标准、技术的现状和行业发展规划等方面给予了具体的指导。

课题组在设计未来中国可持续能源需求情景暨碳排放时，力图有别于一般能源需求预测研究，不局限于眼前条件的外推，还要充分考虑未来二、三十年里可能出现的重大（能源）技术演变，产业结构的调整，以及社会、经济、环境等多种可能性和不确定性因素对能源需求带来的影响。过去的一个多世纪，全球在社会、经济、技术等等领域发生了巨大的变化，是传统经济预测方法难以把握的。因此，课题组采用了情景分析方法，利用了自下而上的部门分析模型，以定量的方式诠释“十五”规划与后 10 年的政府设定的发展目标。同时考虑种种不确定性因素，以勾画和分析实现中国可持续经济发展条件下的能源需求及其带来的温室气体排放状况。

本项研究工作划分了四个阶段。第一阶段从 1999 年 4 月到 2000 年 3 月，主要围绕“十五”能源规划的编制工作，为国家计委基础产业司制订“十五”及后十年节能规划提供背景资料。首先成立了《“十五”及后十年节能规划》工作组，由国家计委基础产业司和能源研究所组成。国家计委基础产业司向各省市区计委、主要工业部门、建设部、铁道部等下发了“关于开展《“十五”及后十年节能规划》工作的通知”，组织开展了节能规划的汇总、编报工作。根据各地区和部门上报的资料，工作组分析评价了各省市区、各部门（行业）的节能现状和能源效率水平，结合各主要耗能行业及高新技术产业的发展规划，分析行业结构（原料、产品）调整和优化、工艺路线改造以及技术进步对能源效率的影响，为制订中国中长期节能目标和相应的行动计划提供重要依据。工作组还通过问卷调查和到代表性省市直接调查，对现有节能政策、法规、标准、规划的执行效果、存在问题和原因的分析，各省市区现有的节能重点领域和举措，近 10 年各省市区的节能投入及效果，推动节能的主要障碍，今后加强节能工作的主要设想等进行了了解分析。还访问了一些钢铁、造纸、锅炉生产企业及电机研究单

位，对高耗能企业的用能现状、问题、挑战、未来发展趋势进行了深入了解。课题组分别组织召开了钢铁、化工、石油化工、建材行业，以及部分省市的能源效率现状及节能潜力分析的座谈会。1999 年底向国家计委基础产业司提交了主要工业部门、交通、建筑行业“十五”及后十年节能规划的背景报告，为《“十五”及后十年节能规划》的编制提供了详实的技术信息，并直接参与了《“十五”及后十年节能规划》的撰写。

第二阶段工作是从 2000 年 4 月到 2000 年 12 月，主要围绕方法论研究，确定情景分析模型，并分部门、行业初步建立了模型。2000 年 4 月底到 7 月底，课题组主要成员和主要部门（建筑、交通、冶金、化工）的专家分批赴美国 LBNL 国家实验室、美国 ORNL 国家实验室接受了 LEAP 模型的培训，并与美国国家实验室的研究人员就情景分析工作进行了深入的交流。在这一阶段，课题组召开了数次内部交流研讨会，并初步确定了各部门、行业的模型框架。随后，课题组根据需要调整了各部门、行业基年（1998 年）能源消费总量、能源消费构成，以期与国家统计局发布的全国能源平衡表的数据相一致。

第三阶段工作从 2001 年 1 月开始，结束于 2001 年 12 月。第三阶段工作围绕主要宏观情景因素的确定，设计宏观经济发展对碳排放情景的影响。2001 年 5 月，在北京与壳牌基金会召开了影响中国碳排放情景的宏观经济情景分析研讨会。2001 年 8 月，邀请了 LBNL、NREL、美国波士顿 SEI 研究所的模型专家，在北京召开了各主要行业模型建立的研讨会。2001 年 10 月，课题组主要成员赴英国壳牌中心与壳牌中心的研究人员就宏观经济情景主要因素、指标的确定及不同宏观情景的设置进行了深入的交流和研讨，完成了分部门碳排放情景分析的初稿及参考方案总模型的初次集约。

第四阶段工作从 2002 年 1 月到 2003 年 1 月，主要围绕模型三个情景的集约、调试及总报告的撰写开展工作。2002 年 1-4 月，课题组回顾了 1980 年以来中国经济增长与能源消费的关系，从上至下的分析和总结了各部门和行业发展、能源消费、提高能源效率的历程，为全国的宏观经济情景、碳排放情景的设置提供了参考。2002 年 4-5 月，课题组集中汇报了各部门、行业三个情景的设置及初步结果，从宏观角度，调整了部门、行业情景设置的部分指标，以使部门、行业间协调、统一。2002 年 6 月，课题组确定了总报告提纲，并进行了具体分工。直到 2003 年 1 月，在模型结果和部门报告的基础上，终于完成了总报告（初稿）的撰写工作。2003 年 1 月-5 月，课题组将研究成果向国家有关部门做了汇报，在听取有关方面意见的基础上，又对总报告进行了进一步的修订。

经过三年多的情景分析研究，课题组对中国未来的能源可持续发展道路，对如何提高能源系统效率，优化调整能源结构，加快清洁能源的开发利用，以最经济、安全、高效、清洁的可持续能源供应，以清洁高效的能源转换和利用，保证中国 21 世纪中叶达到中等发达国家水平的社会经济目标，满足届时人民对高质量能源服务的需求，进

行了系统的分析，得到了一系列很有价值的分析结论。并提出了相应的政策建议。这些重要结论和建议将为政府制订可持续发展的政策提供科学的依据，无疑地将成为指导产业结构调整、能源开发和利用、能源结构优化等主要宏观经济手段的重要参考。

最后，谨在此对所有支持过本项研究的政府官员、国内外专家（名单见附表 2）和课题组成员（名单见附表 1）表示衷心的感谢。感谢他们对本项研究给予的自始至终的关注，感谢他们给予本项研究的鼎力支持，感谢他们为本项研究付出的辛勤劳动。

附表 1

《中国可持续发展能源暨碳排放情景分析》课题组成员名单

项目协调人	周大地 研究员 Mark Levine	国家发展和改革委员会能源研究所 所长 美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
课题组组长	周大地 研究员 戴彦德 研究员	国家发展和改革委员会能源研究所 所长 国家发展和改革委员会能源研究所 副所长
课题组副组长	郁聪 副研究员 郭元 研究员	北京能源效率中心 主任 能源研究所能源环境中心
课题组成员	朱跃中 副研究员 刘志平 副研究员 刘虹 副研究员 戴林 副研究员 康艳兵 博士 熊华文 研究实习员 白泉 博士 周伏秋 副研究员 刘静茹 助理研究员	北京能源效率中心 副主任 北京能源效率中心 北京能源效率中心 北京能源效率中心 北京能源效率中心 北京能源效率中心 北京能源效率中心 北京能源效率中心 副主任 北京能源效率中心

主报告执笔人：周大地、戴彦德、郁聪、郭元、朱跃中、康艳兵、熊华文等

专题报告执笔人：

《中国钢铁工业中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》	刘志平
《中国有色金属工业中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》	刘志平
《中国造纸行业中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》	刘志平
《中国化学工业中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》	熊华文、戴彦德等

前言

《中国炼油及石油化工行业中长期提高能源利用效率及碳排放情景分析研究》 戴林等

《电力部门可持续发展情景研究》 郭元

《中国建材工业中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》 熊华文等

《中国民用能源消费中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》 刘虹等

《中国公用建筑及居民采暖用能中长期可持续能源发展情景与碳排放研究》 郁聪等

《中国交通运输系统中长期能源可持续发展与碳排放情景分析》 朱跃中等

附表 2

中外专家名单

国内专家	陈和平	中国华能集团公司战略部
	吴文化	国家发展计划委员会综合运输所
	李宏范	交通部体改司经济协调处
	刘志峰	中交企协交通能源管理委员会
	蒋汉华	鞍山热能研究院
	徐志强	国家经贸委资源司
	周平	国家经贸委经济运行局
	宋善明	中国有色金属工业协会
	苏锦	中国轻工业联合会
	张友良	家用电器协会
	胡晓红	中国轻工业协会信息中心
	余伯炎	中国石油天然气集团总公司
	赖向军	中国石油股份有限公司
	张振	中国石油股份有限公司
	孙德刚	中国石油天然气集团总公司
	张觐桐	中国化工节能协会
	徐飞	中国化工节能协会
	陈敏	中国建材协会
	曾学敏	中国水泥协会
	林琰	中国建材院生产力促进中心
韩爱兴	建设部科技司	
高沛俊	建设部科技司	
涂逢祥	建筑节能专业委员会	
焦庆余	辽宁省能源研究所	
国际专家	Bart Davis	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
	Andrea Denver	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
	David Fridley	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
	Bill Golove	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
	Etan Gumerman	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
	Jon Koomey	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室

Jean Ku	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Mark Levine	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Joanna Lewis	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Lin Jiang	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Lin Jieming	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Jim McMahon	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Chris Marnay	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Mithra Moezzi	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Julie Osborn	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Lynn Price	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Alan Sanstad	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Jonathan Sinton	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Carrie Webber	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Tom Wenzel	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Ryan Wiser	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Ernst Worrell	美国 Lawrence Berkeley 国家实验室
Alan Lamont	美国 Lawrence Livermore 国家实验室
Ged Davis	英荷壳牌研究中心
Doug McKay	英荷壳牌研究中心
Henry Wang	英荷壳牌石油公司 (中国)
Qiu Jicheng	英荷壳牌石油公司 (中国)
Charlie Heaps	斯得哥尔摩环境研究院 - 波士顿分院
Michael Lazarus	斯得哥尔摩环境研究院 - 波士顿分院
Chin Shih-Miao	美国橡树岭国家实验室
David Greene	美国橡树岭国家实验室
Janet Hopson	美国橡树岭国家实验室
Paul Leiby	美国橡树岭国家实验室
Walter Short	美国国家可再生能源实验室
Jorn Aabakken	美国国家可再生能源实验室

目 录

第一章 中国可持续能源发展面临的问题和挑战.....	1
1.1 满足长期需求的挑战	2
1.2 国内优质能源资源不足/开发困难.....	3
1.3 国内能源环境问题	3
1.4 能源供应安全的挑战	4
1.5 温室气体排放的挑战	5
第二章 全球气候变化与中国能源可持续发展.....	6
第三章 本项研究的目的与意义	9
第四章 中国可持续能源发展情景分析方法论概述	11
4.1 情景分析方法	11
4.2 情景设定的步骤	12
4.3 能源消费部门和行业划分	15
4.4 情景计算的模型选择	19
4.5 模型结构及各部门的描述特点.....	19
4.6 能源消费和二氧化碳排放计算.....	23
4.6.1 能源需求和二氧化碳排放计算的基本过程	23
4.6.2 行业活动水平	23
4.6.3 能源需求计算	24
4.6.4 二氧化碳排放计算	24
4.7 模型参数标定	26
第五章 影响未来中国能源需求的主要因素分析.....	28
5.1 主要影响因素分析	28
5.2 可持续能源需求情景的设置及情景定义.....	39
第六章 情景设置	41

6.1 主要宏观情景的设置	41
6.1.1 人口增长与城市化	41
6.1.2 经济发展	41
6.1.3 产业结构演变	43
6.2 分部门情景的设置	50
6.2.1 工业（产业）部分主要情景设置	50
6.2.2 交通部分主要情景设置	67
6.2.3 建筑物部分主要情景设置	82
6.2.4 能源转换部门的情景设定	103
第七章 主要结论	108
7.1 基本结论	108
7.2 主要部门结论	122
7.2.1 工业（产业）用能领域情景分析的主要结论	122
7.2.2 交通用能领域情景分析的主要结论	134
7.2.3 建筑物用能领域的主要结论	138
7.2.4 能源转换部门的主要结论	148
第八章 思考和探索	175
附录 A1 情景计算结果综述	180
A1.1 能源消费总量	180
A1.1.1 终端能源消费	180
A1.1.2 能源消费总量	180
A1.2 能源消费品种构成	181
A1.2.1 终端能源消费品种	181
A1.2.2 能源消费总量及品种构成	181
A1.2.3 能源品种消费的部门构成	182
A1.3 能源消费部门构成	185

目录

A1.3.1 能源消费部门构成.....	185
A1.3.2 三大产业部门的能源消费品种	186
A1.4 能源效率水平	190
A1.4.1 GDP 单耗	190
A1.4.2 主要高耗能产品单耗.....	191
A1.5 碳排放	191
A1.6 电源结构及发电效率	192
附件：分部门情景分析报告	195

第一章 中国可持续能源发展面临的问题和挑战

经过建国 50 多年，尤其是改革开放 20 年来的发展，中国社会经济取得了长足进步，经济总量已位居世界六强之列，取得了令世人瞩目的成就。钢铁、煤炭、水泥产量、移动电话用户等工业产品产量已跃居世界第一位；发电装机容量、高速公路里程和外汇储备均居世界第二位。1978~2000 年间，中国的国民经济一直保持持续的高速增长，国内生产总值（GDP）年均增长率达 9.5%，远高于同期世界平均水平。截止到 2000 年底，中国国内生产总值（GDP）已经达到 8.9 万亿元。按 2000 年可比价计算，1978 年中国人均 GDP 仅为 1257 元，2000 年则增加到 7054 元，人均 GDP 比 1978 年翻了两番以上。

在 2002 年 11 月召开的中国共产党第十六次代表大会上，江泽民主席的报告明确提出了“全面建设小康社会，在优化结构和提高效益的基础上，国内生产总值到 2020 年力争比 2000 年翻两番”的奋斗目标。同时指出，二十一世纪头 20 年，对于中国来说，是一个必须紧紧抓住、并且可以大有作为的重要战略时期。在这二十年里，要集中力量全面建设惠及十几亿人口的更高水平的小康社会，使经济更加发展、民主更加健全、科技更加进步、文化更加繁荣、社会更加和谐、人民生活更加殷实。要实现这一奋斗目标，在未来 20 年内经济增长速度必须要达到年均 7.2%。可以肯定，原来粗放型的增长方式已难以保证中国经济的可持续发展。实现可持续发展¹必须作为中国社会发展的重要基本方针。

传统的经济发展和消费模式只着重于把自然资源转化成产品和货物以满足人们提高生活质量的需求，在生产和消费过程中产生的各种废物则被丢弃或排放到大自然中。随着消费水平的不断提高，不仅对自然资源的消费日益增加，污染排放和废物也在增多，就造成了资源的消耗和环境的退化。《21世纪议程》指出，“全球环境不断恶化的主要原因是不可持续的生产和消费模式，尤其是工业化国家的这类模式”。从 20 世纪中叶以来处理环境问题的实践中，人们认识到单靠科学技术手段去修补环境是不可能从根本上解决问题的，必须在各个层次上去调控人类的社会行为和改变支配人类社会行为的思想。

我国人口基数过大，发展起点低，70%的人口还生活在农村地区，面临着继续完成工业化和城市化的长期发展任务。人均资源短缺将是我国经济发展的长期制约条件。与此同时，我国自然生态环境问题已经十分严重。在各种条件制约着下，我国不可能

¹ “可持续发展”也与“城市化”、“西部大开发”、“人才战略”以及“科技创新”战略一起成为“十五”计划纲要中提出的五大发展战略。

继续重复发达国家经历过的发展模式，可持续发展是我国摆脱人口、资源和环境困境的一种正确选择。1996年3月，江泽民同志在中央计划生育工作座谈会上指出：“所谓可持续发展，就是既要考虑当前发展的需要，又要考虑未来发展的需要，不要以牺牲后代人的利益为代价来满足当代人的利益”。

可持续发展首先要满足的是人的基本需要。这不仅包括人的衣食住行等生存的基本条件和达到一定水平的卫生保健与教育等服务，而且还要有良好的适于人类生存的生态环境。使所有人都摆脱贫困是可持续发展的重要内容。同时，可持续发展要求建立可持续的生态结构与消费结构，实现增长模式的转变，新的增长模式应具有对资源与能源的低消耗和高效率的使用，开发和利用有利于环境的、尽可能不造成污染的技术，以可持续的方式去使用各种资源。

对于中国这样一个人口众多的发展中国家来说，可持续发展有着多种内涵。可持续发展要解决人口高度密集，人均资源相对匮乏，自然生态环境比较脆弱的条件下的经济长期高速发展的问题，同时又要解决保护和改善环境的问题，这将是一个史无前例的社会实践。深刻认识和把握可持续发展问题，把中国可持续发展问题置于世界经济格局中加以考虑，着眼全局、着眼长期对未来发展可能遇到的挑战提出战略应对措施，是一个非常迫切的任务。从能源发展的角度来看，可持续发展所面临的挑战可以归结为以下几个方面。

1.1 满足长期需求的挑战

尽管中国总体经济实力已经进入世界六强之列，但是由于经济基础起点低、人口多，贫困问题还没有得到根本解决。2000年中国的人均GDP为840美元，仅是世界平均水平的16.25%或高收入国家的3%。城市化率虽然由八十年代初期的25%提高到目前的38%，但农业人口仍占全国总人口的大多数。中国的东西部地区、城市与农村地区的经济发展不平衡。西部地区的人均GDP只是东南沿海地区的三分之一，目前农村尚有3000万人口的年均收入低于72美元。目前中国每百人汽车拥有量不到世界平均水平十分之一，是OECD国家的2.7%。中国人均住房面积也只有世界平均水平的40%，发达国家的25%。

中国目前能源消费总量已超过13亿吨标准煤，占世界能源消费总量的近10%，居世界第二位。但是，由于中国人口基数巨大，中国的人均能源消费水平很低，人均商品能源消费量仅为世界平均水平的42%，不到OECD国家平均水平的五分之一和北美国家的十分之一。目前中国农村生活能源消费中，传统的生物质能源占60%以上，城市和农村的居民人均生活用电量仅为132千瓦时，在边远贫困地区仍有1500万人口没有用上电力。

全面建设小康社会意味着全面提高全国人民的生活水平，缩小城乡差别，要让大多数人民享受到现代物质文明和精神文明。在未来一段时期内，中国的经济将会保持以较高的速度增长，城市化进程也会加快，中国的能源消费的继续增长将不可避免。如果中国重复发达国家在历史上所经历过的发展道路，2050年中国达到中等发达水平时，人均能源消费3.5吨标油当量，届时中国的能源总消费量将达到52.5亿吨标准油，相当于目前世界能源消费总量的60%，如何满足中国的能源需求，不仅对中国自己的能源供应、对世界能源供应也将是一个巨大挑战。

1.2 国内优质能源资源不足/开发困难

20世纪初期，随着廉价的石油和天然气资源的开发，世界石油和天然气消费迅速增长，到20世纪中叶，发达国家就已逐步完成了能源消费由煤炭向石油和天然气的过渡。2000年，石油和天然气的消费在欧盟国家中占一次能源总消费量的63.6%，在日本占62.8%，在美国占64.7%。石油和天然气消费在世界一次能源消费结构中也达到了62.4%。

中国能源资源探明储量中，96%是煤炭，油气资源仅占总量的4%左右。中国石油可采资源量人均值为9.40吨/人，只相当于世界的1/5左右。剩余探明可采储量仅为2.68吨/人。中国天然气可采资源量估计为7~10万亿立方米，但截至2000年，探明储量仅为2.3万亿立方米，其中经济可采储量仅1万亿立方米。从人均的角度看，中国的天然气资源也是十分有限的。中国在过去几十年发展了一套基于利用本国煤炭资源的能源供应体系，目前中国则是世界上为数不多的几个尚未完成这种过渡的国家之一。2000年中国煤炭消费占一次能源总消费的61.4%。煤炭不仅在一次能源消费中占最主要的地位，在终端能源消费中也占居非常重要的地位。在中国工业部门中，终端用能设备直接消费的煤炭和使用的焦炭占终端能源消费总量的52%。相比之下，美国只占12.1%，OCED国家仅占5%左右。改变中国现存的能源结构不仅需要巨大的投入，需要时日，也将受到一些国际因素的影响和制约。

中国有比较丰富的水电资源。但中国水电资源的分布极不均匀，70%水能资源集中在远离负荷中心的西南地区。近几年，中国政府已经把开发西部水电资源和“西电东送”作为中国西部开发的重要组成部分。然而中国水电开发也存在限制性因素，包括：交通不便，施工困难；长距离输电的经济性问题；水电开发的生态问题；投资回收期长，融资困难等等。

1.3 国内能源环境问题

由于中国对于煤炭的依赖比其它任何大国都严重，导致严重的与煤炭开发与使用相关的环境问题，包括地面沉陷、地下水系破坏、酸雨、颗粒物排放、固体废物排放等地区 and 区域的生态环境破坏问题。

农村地区由于大量使用传统的生物质能源，造成了许多地方的土壤退化、水土流失和生态破坏。

大量燃烧煤炭是我国大气污染严重的最主要原因。2000年，我国（未计香港，澳门和台湾地区，下同）二氧化硫总排放量为1995万吨，烟尘排放总量为1165万吨，其中90%的二氧化硫排放和70%的烟尘排放是燃烧煤炭造成的。我国有一半以上的北方城市及三分之一以上的南方城市受到了二氧化硫超标（国家二级标准- $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的威胁。长江以南、青藏高原以东的占全国面积30%的地区受到了酸雨的危害。煤炭的环境污染已经成为了我国可持续发展中必须考虑的重大环境问题之一。

未来能源消费需求将持续增长，如果不断增加煤炭使用来满足对能源的需求，将使我国的环境问题更加严峻。

另外，我国煤炭资源和能源需求的地区分布基本是逆向的，煤炭长距离运输也是我国能源系统的一个显著特点。增加煤炭的开采和使用，将不仅增加对交通运输的压力，也将进一步增加交通运输的能源消费和污染排放。

1.4 能源供应安全的挑战

如果依靠国内资源，不仅要面对环境、运输等方面的挑战。同时也要面对能源效率方面的挑战。为了满足未来终端能源消费优质化的需求，就需要把越来越多煤炭转化成电力、气体和液体燃料，将会限制中国整个能源系统效率的提高。

中国已经把进口优质能源作为满足国内优质能源供应不足的重要措施。自从1993年中国成为石油净进口国以来，中国的石油进口量迅速增长。未来交通运输需求的迅速增长和汽车在中国家庭中逐步普及，石油进口将保持增长的趋势。2000年，中国净进口石油5996万吨，占中国石油消费量和26.7%。中国也正在考虑从周边国家通过管道进口天然气和在沿海地区进口液化天然气。

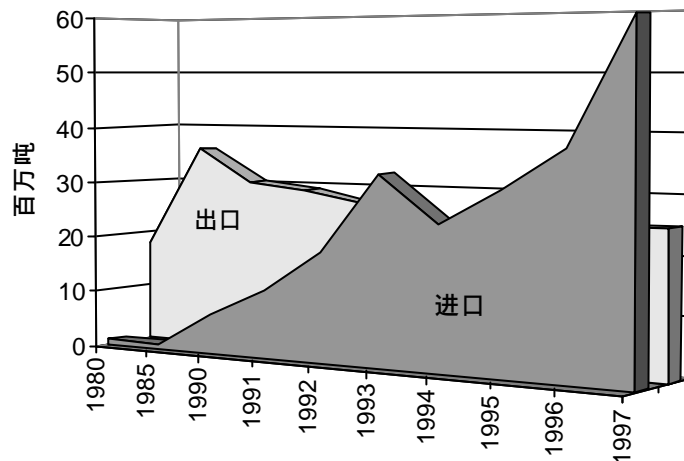


图 1.1 中国石油的进、出口情况

(数据来源：中国统计年鉴 1999；中国能源统计年鉴 1990，1991-1996。)

然而，随着进口能源的增加，能源进口的供应安全性问题在中国也日益受到关注。除了平稳和充足的国际能源生产以外，和平的国际环境也是进口能源安全保障的不可或缺的重要条件。但不幸的是，目前国际上还存在许多影响能源市场的不稳定因素，在中东和亚洲的其他地区还有发生冲突的可能，因此中国增加能源进口也不得不持比较审慎的态度。

1.5 温室气体排放的挑战

中国每年的温室排放量占全部发展中国家排放量的近一半，接近全世界总排放量的15%（发展指标，世界银行，2000）。在中国所有人为活动引起的温室气体排放中，CO₂的排放量最大。全部CO₂排放量中，能源活动引起的排放占96%。据估计1996年中国能源活动产生的二氧化碳排放为3363.5百万吨，仅少于美国的5301百万吨而位居第二。

随着能源消费的不断增长，中国的温室气体总排放量预计在今后将不可避免仍会有较大幅度的增长。从可持续发展的要求出发，制定适当的政策，采取有效措施，坚持和加强节能，提高能效，改善能源结构，及可持续发展的各种其他举措，在未来能够继续以较低能源消费增长支持较高的经济增长，从而尽量减小温室气体排放的增量，对全球减缓气候变化的努力作出贡献，是中国在面对全球气候变化问题方面的新的挑战。

第二章 全球气候变化与中国能源可持续发展

人为活动造成的全球气候变化问题，是世界各国高度关注的最重大的全球性环境问题。由于气候变化的影响和应对气候变化的行动，与世界各国的社会经济发展密切相关，气候变化问题已经成了国际政治经济外交的一个重大议题。1992年6月联合国环境与发展大会签署了《联合国气候变化框架公约》，要求最终将大气中温室气体的浓度稳定在可保证全球可持续发展的水平，即将大气中的温室气体浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上，以使生态系统能够自然地适应气候变化，确保粮食生产免受威胁，并使经济发展能够可持续地进行。

鉴于历史上和当前全球温室气体排放的最大部分源自发达国家，《气候变化框架公约》确认，对全球气候变化问题发达国家和发展中国家具有共同但有区别的责任，规定发达国家应率先减少温室气体的排放；公约确认发展中国家的首要任务是发展经济和消除贫困，但要求发展中国家通过可持续发展的途径对全球气候变化问题做出反应。1997年通过的《京都议定书》进一步为发达国家规定了在减少温室气体排放起始阶段的具体减排目标。

但是由于减少温室气体排放要求相应减少能源消费，或进行能源结构的大规模转变，涉及社会经济生活的方方面面，涉及到人们的生产和消费方式，直接影响到各国的经济利益。各国对温室气体减排问题采取了不同的政治态度，《京都议定书》迄今尚未生效。世界上最大的温室气体排放国——美国退出了《京都议定书》。

美国退出《京都议定书》的原因很多，其公开提出的理由强调了美国难以承担在今后10年内减排7%的任务，认为这样会对美国的经济的发展带来不可承受的负面影响；认为目前的减排技术方案还难以实现长期减排的目标等等。另一方面，美国仍然坚持认为，《京都议定书》只规定了发达国家的减排目标，而没有包括发展中国家的内容，是美国不能接受《京都议定书》的原因之一。美国在气候变化问题上的态度，是其长期坚持维护全球性霸权、实行单边主义的结果。但是也说明，真正实现温室气体的限制和减排，不但要有充分的技术手段，还需要相应的经济政治体制的条件。可持续发展的道路，不仅对发展中国家是重大的机遇和挑战，对发达国家也是一种重大的挑战。

气候变化公约涉及的全球气候变化指自工业革命以来的人为活动——主要是大量燃烧化石燃料——向大气中排放了大量的二氧化碳等温室气体所引起的全球气温超常上升。到1999年，大气中的二氧化碳浓度比1750年（工业化开始时期）增长了33%，甲烷浓度增长了一倍。联合国政府间气候变化专业委员会（IPCC）的科学评估报告估计：20世纪末全球地表平均温度比前一世纪升高了0.4~0.8℃；到2100年，全球化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放可能达到50~350亿吨碳，大气中的二氧化碳浓度则可能由现在的365ppm上升到550~1000ppm，全球平均地表温度可能升高1.5~

6。全球气温如此幅度的变化，将可能对全球气候系统和生态系统造成重大影响，也可能对人类的生存和发展产生不利影响。IPCC 科学评估报告还指出，如果要使 2100 年大气中二氧化碳的浓度不超过 550ppm 的水平，全球的二氧化碳排放就必须在 2040 年前后开始大幅度削减；即使更高的温室气体浓度目标，也要求全球的温室气体排放在以后的某个时间总体下降；如果要使二氧化碳的浓度降低到 450ppm 的水平，从现在起全球二氧化碳的排放就不能有显著增长，并且在 2020 左右就要开始削减全球排放总量。

全球温室气体浓度的控制目标目前还难以确定。但有相当多的科学家认为 550ppm 的温室气体浓度带来的气候变化已经具有相当的严重后果。假如进一步的科学研究能够说明将温室气体浓度控制在这样的范围内是必要的，那么不仅发达国家需要大量减少温室气体排放，发展中国家也可能面临对温室气体排放增长的限制。对于发展中国家来说，能否通过走可持续发展的道路，以比目前发达国家人均排放低的多的温室气体排放，实现社会经济发展的目标，不仅是中国这样的发展中国家必须探索的重大问题，也是人类社会必须共同回答的问题。

国际社会越来越多地认识到探索可持续发展道路的重要性。在整个气候变化问题的国际谈判中，如何看待发展中国家在应对气候变化中的责任和义务，一直是各方争论的焦点问题之一。经过十余年的探讨，尽管还有一些势力不愿放弃让发展中国家尽快承担减排或减排义务的努力，但更多的有识之士已经认识到发展中国家决不可能放弃自己的发展权力，解决问题的唯一可能就是通过可持续发展找到应对气候变化和经济发展的双赢的出路。探索可持续发展的具体道路，开发必要的技术手段，创建推动可持续发展的社会经济和制度条件，对于减缓气候变化已具有全球性的重大意义。

从 20 世纪 80 年代初起，为了缓和国内经济高速增长而出现的能源供应短缺，中国对节约能源给以了高度重视，政府采用了种种措施来引导、支持和强化节能工作。在 20 世纪的后 20 年里，中国维持了世界上绝无仅有的低能源弹性系数，做到了以较低的能源增长满足了经济的高速增长，实际上已经为减少全球的温室气体排放做出了重要的贡献。

然而，中国的能源消费和温室气体排放量的增长仍然引起世人关注。中国自从 1978 年中国开始进行经济体制的改革开放以后，经济进入了空前高速增长的时期。1978 年到 2000 年中国的国内生产总值年平均增长率为 9.5%。中国的能源消费相应也有显著增加。中国的能源总消费在 1978 年为 5.71 亿吨标准煤，2000 年达到了 13.03 亿吨标准煤，年平均增长率为 3.8%，比全球同期能源增长率 1.5%¹。目前中国的能源总消费占世界能源消费总量的近 10%，是世界上能源消费的第二大国家；温室气体排放量占全国总排放量的 10% 以上，也在世界上居于第二位。

中国经济还将保持较高速度的增长，很有可能在今后的 20 年间继续保持 7% 以上的年增长率，能源消费也将继续增长。在发达国家/OECD 国家的工业化阶段或后工业化初期阶段，它们的能源消费弹性系数都保持在 1 左右或以上。一些在上世纪后半叶经济起飞的发展中国家，能源消费弹性系数也都在 1 以上。如果未来中国的经济也重复发达国家或发展中国家走过的道路，能源消费弹性系数保持为 1，2020 年中国的能源总需求将会达到 40 亿吨标准煤以上，比现在增加 3 倍，二氧化碳排放也将会随之大幅度增加。即使中国能够保持较低的能源消费弹性系数，由于中国现在的能源消费和温室气体排放基数已经很高，其增加的数量也是举足轻重的。中国能否探索出一条高经济增长和低排放增长的道路，具有世界性的意义。

在全球范围内还没有任何一个发展中国家已经实践了持续高速的经济发展，又能大幅度限制温室气体排放的发展道路。在已经经历了工业化过程的能源消费高速增长过程以后，发达国家的人均一次能源消费已经达到了很高的水平，甚至可以说基本进入了饱和或低增长阶段。2000 年欧盟的人均一次能源消费为 4.8 吨标准油当量，日本为 4.06 吨标准油当量，美国和加拿大则分别为 8.12 和 9.26 吨标准油当量，发达国家人均排放是发展中国家平均水平的几倍到十几倍。

实现低排放高发达水平的可持续发展，没有现成的模式可以照搬。发达国家也未能凭借其经济和技术优势，显著地削减其人均能源消费和人均温室气体排放，使其成倍下降。中国能够实现什么样的可持续发展道路，需要从中国的国情出发。一方面要认真考虑其现实可行性，考虑现有的基础和具备的各种发展条件；另一方面，也要大胆解放思想，考虑有别于现有发展模式的发展可能，探索新的可持续发展道路。

第三章 本项研究的目的与意义

中国未来的发展面临着诸多严峻的挑战，如何应对挑战，探索可持续发展的道路，已经成为中国政府在制订宏观发展战略、中长期发展规划、五年计划以及各种政策措施时非常关注的问题。经济翻两番的目标使能源供应保障问题和如何实现可持续能源发展问题的迫切性更加突出。本项研究最初是为了协助政府部门制订“十五”能源发展计划而开展的。希望为“十五”计划及后十年远景展望经济/能源/环境发展目标构建定量的能效指标体系。并探索中国在未来相当长的一段时期内以较低的能源消费支持较高的经济发展的可能性和途径，中国提高能源效率的潜力，什么样的社会和经济发展趋势才能满足可持续能源发展的要求等。

开展此项研究，具有如下目的和意义：

1、是对“十五”计划纲要提出的社会经济目标进行系统全面的诠释

2001年3月中国政府公布了“中国国民经济和社会发展第十个五年计划的纲要草案”，以后又相继公布了能源、交通、高新产业等10个行业/部门的“十五”计划及后十年展望。与以往制定的“五年计划”相比，《“十五”计划纲要》更突出其战略性和指导性，没有规定具体的行业经济的定量指标。本项研究根据“十五”计划纲要以及分行业的规划所提出的社会、经济、能源、环境发展目标，将其分解到不同的产业部门中去，通过情景分析方法并结合模型工具，从社会、经济、环境出发，系统地诠释了《“十五”计划纲要》的具体指标，提出了为实现预期的社会经济目标应制订的政策法规，以及应出台哪些促进能源结构调整、提高能源效率、推动技术进步的措施。

2、为中国可持续能源发展道路构建标志性的定量能效指标体系

在对中国可持续能源需求情景进行设计的过程中，为了充分反映产业部门、交通、建筑物等不同部门的能源需求演变特点，以及各自的相互联系，课题组借助模型工具，将三大领域的定性分析的进行量化，课题组在专家访谈与实地调研的基础上，针对不同部门和行业的发展水平、规模结构、工艺过程和设备种类，对能源效率指标进行了标志性量化，标定了各部门、行业的能源效率指标体系在当时的先进性，以及与国际先进水平的关系等。这些反映能源效率的标志性指标体系，可以用来指导各部门、行业实施技术更新换代、能源品种优化以及提高能源利用效率。

3、分析和探寻实现减缓温室气体增速和增量双重目标的可持续能源道路

目前中国的人均二氧化碳排放还不到世界人均水平的三分之二（参见表 3-1）。作为世界上人口最多的发展中国家，消除贫困、发展经济仍将是未来中国的首要任务。面对着国内国外的各种挑战，中国正在努力探索新的能源可持续发展的道路，并将结合国内可持续发展的要求来尽量减少温室气体排放增长。本项研究针对中国能源发展

的实际问题，利用国内和国际现有的技术和资源条件，力图探求可持续发展与减少温室气体排放的契合点，在可能的条件下把减少温室气体的挑战转变成促进中国可持续发展的动力，使得减少温室气体排放的努力能够与中国长远的社会经济协调发展、特别是能源发展的目标相一致，即探索既能减少温室气体排放，又能促进中国能源可持续发展的双赢的对策。这样的研究成果不仅对中国的发展有重要意义，对其它发展中国家的发展也会是很好的借鉴。

表 3-1 2000 年世界人均二氧化碳排放情况（吨二氧化碳）

世界平均	3.89
OECD 国家平均	11.09
欧洲非 OECD 国家平均	4.13
中国	2.40

4、情景设定宽泛，研究成果可作为政府应对多种不确定因素时的参考

本研究在设计未来中国可持续能源需求情景时，跳出了一般能源需求预测研究的框架，不局限于眼前的技术条件，或对一般问题的认知约束，充分考虑了未来二三十年可能出现的重大（能源）技术演变，产业结构调整的力度，以及社会、经济、环境等种种不确定性因素对能源需求带来的影响。这是传统经济预测方法难以把握的。本研究使用情景分析方法，利用模型工具（有关方法论的内容详见第四章内容）对“十五”规划与后 10 年政府设定的发展目标，并考虑种种不确定性因素，研究分析了实现中国可持续经济发展条件下的能源需求、政策考虑及其带来的温室气体排放状况，为政府制订相应的政策提供了参考依据。

第四章 中国可持续能源发展情景分析方法论概述

未来的发展总是存在着多种可能性。情景分析可以对影响未来发展的各种不确定因素的相互作用进行综合和系统的分析，研究不同的政策/措施对未来的发展趋势产生的影响和效果。情景分析被认为是探讨和制定未来发展战略、对策、规划计划、政策措施的比较有效的方法，在国际上被广泛地应用于经济、能源、环境、社会、军事等领域。

情景分析方法是我们在进行本项研究过程中应用的最主要的研究方法。在进行情景分析的过程中采用了定性分析与定量分析相结合，对影响能源供求的宏观社会经济因素和政策因素及未来可能的演变趋势着重进行了定性分析；并在定性分析的基础上对产业结构、部门生产结构和规模、消费需求进行了量化。对于设定的情景，借助于模型工具对能源可持续发展的政策措施实施力度不同时，各部门生产结构调整、能源消费结构调整、技术进步的可能的发展情况进行了模拟计算，力图对现有技术条件下中国能源可持续发展的途径和能够达到的程度进行客观和深入的分析。

4.1 情景分析方法

能源是支持现代社会发展的重要物质基础，确保能源供应关系到国家的经济安全。能源供应能力的扩大不仅需要大量的投资，也需要相当长的建设周期。为了使能源供应能力能够满足国民经济发展的要求，需要提早制定能源发展战略和能源投资决策。因此，各国都非常重视对未来能源需求的预测和供需平衡的研究。在过去几十年，我国在国家、地区、企业等层面都进行过大量的能源预测研究。能源预测研究的核心是根据历史的发展趋势和目前的发展状态，推测未来最可能出现的能源需求和能源供应方式。

近十年来，随着国际上对全球气候变化和温室气体排放问题关注的增加，情景分析方法在研究未来能源问题时得到了越来越多的应用。能源活动是产生人为温室气体排放的最主要原因，对气候变化的影响涉及较长时间尺度且具有很大不确定性。研究能源领域的减缓气候变化对策时，不仅要考虑未来最可能的能源发展趋势，更要研究改变这种趋势的各种可能性及实现不同的可能性所需要的前提条件。在进行这方面的研究时，人们比较熟悉的预测研究方法因其所存在的局限性而很难胜任，需要借助于情景分析的方法。

情景分析和预测研究的差别在于：预测是力图勾绘被研究对象未来最可能发生的情况；而情景分析所研究的是在一定假设条件下，被研究对象未来可能出现什么样的情况。可以说，预测是情景分析的一种特例。在情景分析中设定的假设条件不一定会自然产生，也就是说，所描述的情景并不一定在将来就会出现。这时，通过情景分析

就可以帮助人们了解被研究对象如果要达到某种结果，需要什么样的前提条件。

为了使情景研究能够客观地反映现实中各种因素相互作用的因果关系，在进行情景研究时，人们通常也要对过去已经发生的事件进行回顾和评价，分析其中的内在关系和规律性，并根据各种因素的内在关系及相互作用的规律，对影响发展趋势的不确定性因素进行合理的假设，得出未来的发展趋势。这些假设要能够互相匹配、能够自圆其说，具有技术，经济，社会等多方面的合理性。情景分析的过程，是一个拓宽人们思路来考虑不同的可能性的过程。通过深入分析和比较实现不同假设条件需要采取的技术性、经济型、体制性的政策和措施及不同假设条件下将出现的结果，人们就可以在面对未来的各种不确定因素时，选择自己需要采取的措施，通过技术、经济政策的调整和创新，使未来朝着所选择的方向发展。

如前所述，自 1978 年开始进行经济体制的改革开放以来，中国经济进入了空前高速增长时期。随着经济增长和人民生活水平的提高，中国的能源消费需求也开始迅速增加。未来相当长一段时期，中国经济还将保持较高速度的增长，能源消费也将继续增长。如果中国的能源消费重复发达国家以往走过的道路，将在资源获得和环境保护方面面临许多难以克服的困难。中国需要研究和探索适合中国国情的可持续发展能源道路。而这种可持续发展的道路并没有现成的样板，在现有市场经济条件下也不会自然产生。可持续发展能源道路的描述和分析是一般预测方法难以完成的。因此，我们应用了情景分析的方法，探讨在所期望的社会经济发展条件下，采用已经成熟或短期内可以成熟并可能实际应用的能源技术，中国可能在能源发展领域作哪些事情来推进可持续发展。研究的重点是中期内中国社会经济和能源在可持续发展道路上有可能实现的前景，以及要实现这些情景的前提条件和需要采取的政策措施。

4.2 情景设定的步骤

从宏观到微观，有许许多多的社会经济因素会对能源消费产生影响。构筑能源情景要根据所研究问题的主题，鉴别和确定出影响未来能源需求和能效水平的重要驱动因素，这些因素的变化将会构成不同的能源情景。通过对这些重要的驱动因素的定性讨论和描述，明确和区分不同情景所代表的政策和发展方向，使能源情景形象化。进行能源情景分析时，需要分析和设定出与所要研究的能源情景相协调的社会经济发展状况，能源情景应该是这种社会经济发展状况下能源发展的相应结果。

本课题进行的能源情景研究包括若干情景构筑分析过程，这些过程可以分为两个阶段，即情景条件设定阶段和能源需求情景综合计算和结果分析阶段（参见图 4-1）。比较详细的情景构建和分析过程如图所示（见情景构建流程图 4-2）

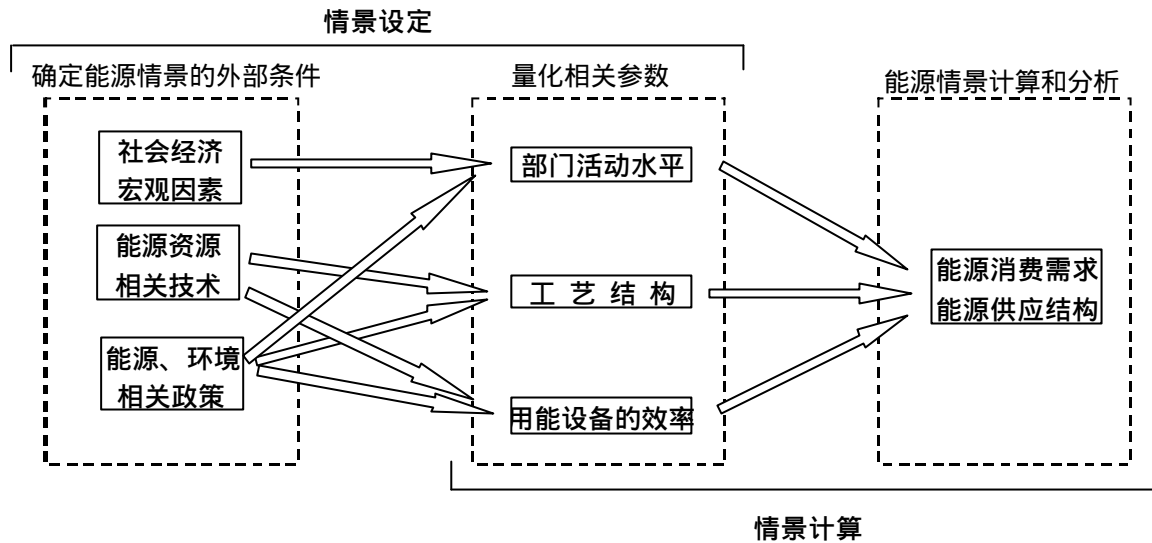


图 4-1 能源情景分析的过程

情景条件设定是得到定量的综合情景计算结果的必要前提。情景设定需要首先明确所关心和所要进行研究的情景具有什么样的特点，并对这些特点进行完整的定性描述。描述的内容包括：宏观社会经济发展状况，各经济部门的发展情况和技术水平，拟推行的能源政策及目标，希望达到的环境目标，获得能源资源的途径和限制条件等等。然后按照定性描述所构筑起来的框架，对一些关键因素设定量化目标。在本研究中，需要量化的参数包括：对能源消费有重要影响的宏观经济参数，如人口、城市化率、GDP、GDP 的部门分布和部门产出或消费水平等；及影响能源消费的物理过程的工艺结构和设备效率等。

在国际上，常常用一般均衡模型来模拟和约束宏观经济发展和部门活动水平之间的量化关系。由于我国的经济结构迅速变化，体制性的因素变化对经济增长的数量和质量都有重要的影响，可计算一般均衡模型对体制性的变化难以适用。一般均衡模型对非市场性的经济因素处理起来也有困难，同时，在处理具体的技术进步方面也难以详尽。在政府间气候变化专门委员会（IPCC）进行世界温室气体排放情景构想的研究中，由于各模型组对今后社会发展的途径以及对资源和技术进步等条件的认识不一，即使都采用一般均衡模型，得到的结果仍大相径庭。因此在构建我国到 2020 年的可持续社会经济发展情景时，我们采取了依靠国内现有的研究成果，根据各方专家的经验估计，进行今后 20 年的社会经济发展情景设定。同时，将国家和部门的计划和规划作为设定宏观经济发展和部门活动水平的重要依据。各经济部门之间的协调主要依靠行业专家的经验判断，同时也充分考虑了现有经济部门结构及历史变化趋势，是一种在设定情景政策取向基础上，由专家协调各经济部门结构关系的宏观经济情景设定方法。

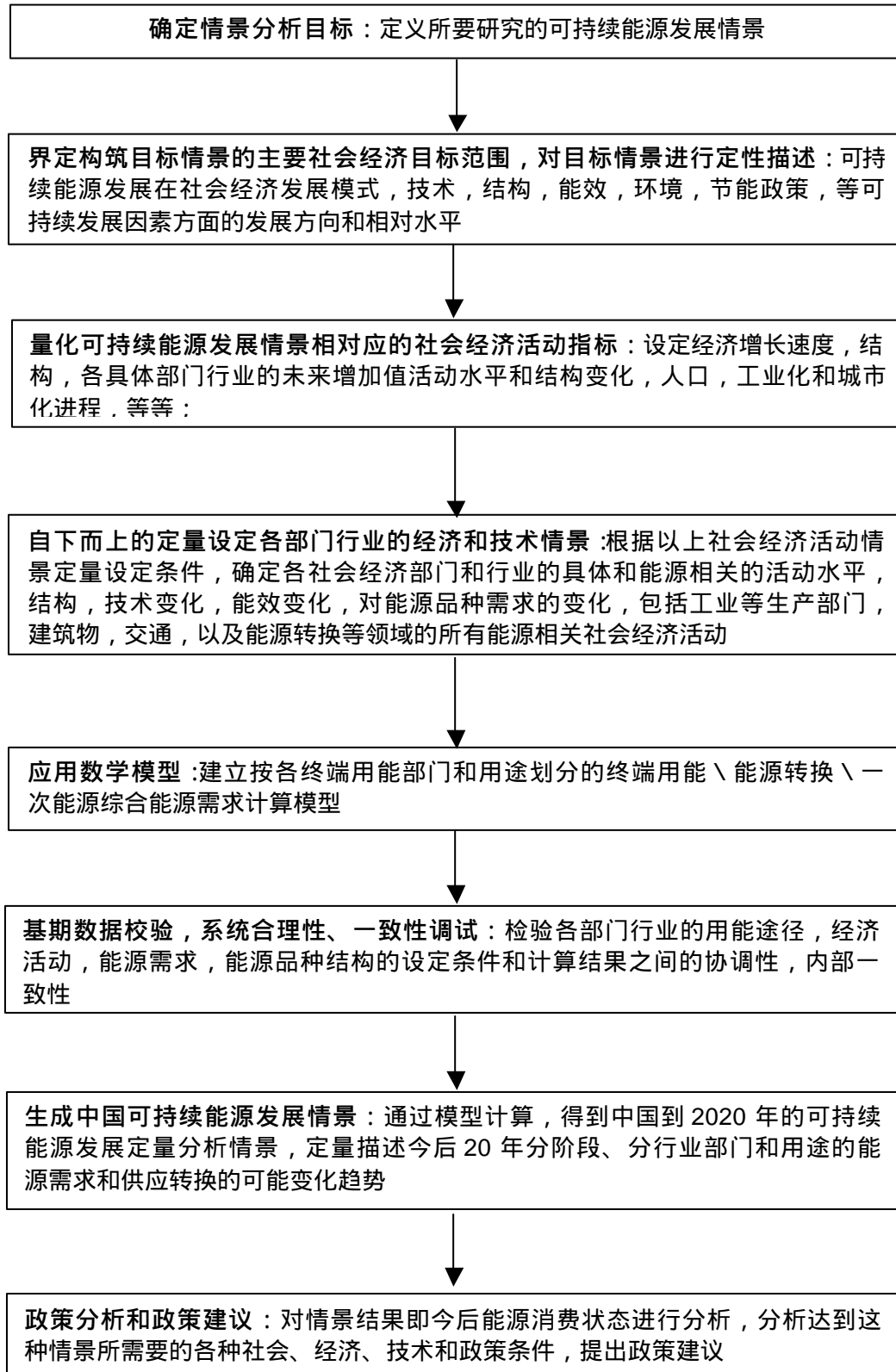


图 4-2 情景构建流程示意图

对各行业部门经济发展的定量化是由宏观到微观自上而下进行的。各用能行业和领域的具体经济活动和能源技术变化则分具体用能部门和领域自下而上地进行设定和汇总。对具体参数进行量化主要采用了专家估计的方法，聘请了各有关部门有经验的专家直接参与，并利用不同渠道收集的各种资料和数据对量化的参数进行了校核。在情景设定和参数量化过程中，还举行过许多次不同规模、有不同部门和不同层次的国内外专家参加的研讨会，以进行更为广泛的讨论。图 4-3 给出了本研究在情景设定时对关键因素量化的过程。

为了着重于比较不同的政策执行力度对能源消费的影响，我们为所研究的不同能源情景设定了相同的经济产出和消费需求。三个情景的经济总量相同，第一、二、三产业的比例相同，能源部门以外的各部门或行业的产出量相同。

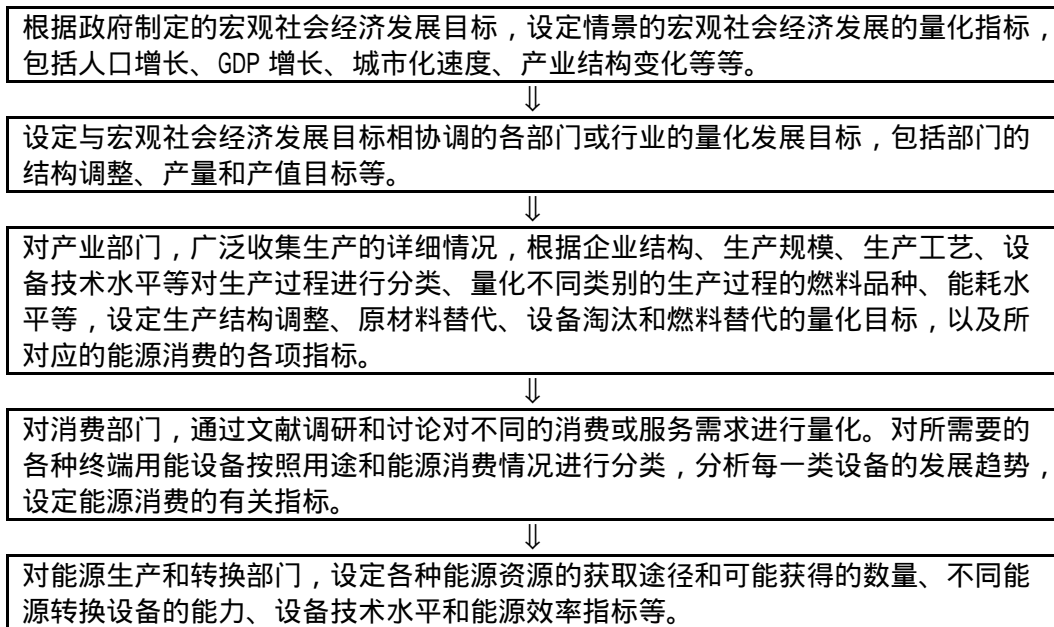


图 4-3 情景参数设定过程

4.3 能源消费部门和行业划分

目前中国的能源统计系统中的部门划分与国际通用的能源消费部门划分不完全相同，对社会专业的划分正在改进和调整。中国的统计系统一般采用一、二、三产加民用的分类方法（见图 4-4），工业部门的统计相对比较系统和详细，其它部门的统计则相对比较粗。产业部门的能源统计中除了生产和生产辅助部门的产值和用能外，有时也包括企（事）业所属的非生产部门的产值和用能。为了使能源情景分析更能反映不同能源用途的特性，也考虑到相关能源消费技术参数的可获得性，我们在国家统计年鉴的部门分类基础上，进行了能源消费部门的必要调整。

工业部门一直是我国最主要的耗能部门。为了对工业部门的耗能情况进行深入的

研究，我们对工业部门中的高耗能行业，如钢铁、有色金属、建材、化工、石化、炼焦、造纸等给予了特别的关注，对能耗不高的其它行业则进行了合并，组成了新的加工业和制造业。新的加工业涵盖了以初级原料加工为主的行业；制造业则包括以电子机械产品制造为主的工业行业。

由于按行业统计的能源消费量一般包括本行业的生产全过程能耗，需要对工业中的采掘业进行较大的调整。黑色金属矿采选，有色金属矿采选，非金属矿采选，其他矿采选分别与黑色金属冶炼及压延，有色金属冶炼及压延，非金属矿物制品，化学原料及制品制造合并，形成了包括从采矿到最终产品的完整生产过程的钢铁，有色金属，建筑材料和基础化工部门。这种调整带来的一个重要好处是增加了与这些行业的独立统计体系的一致性，可以利用行业的更为详细的资料和统计数据对模型的数据进行核实和检验。

调整以后的采掘业仅包含了煤炭采选和石油天然气开采两个行业，形成了情景研究中的能源开采部门。

在国家统计体系中，电力蒸汽热水生产供应、煤气的生产和供应和自来水生产和供应属于同一个统计分类。由于电力蒸汽热水生产供应和煤气的生产和供应这两个行业都是进行能源转换的行业，在情景研究中将它们特别归入能源转换部门。自来水生产和供应不涉及能源转换过程，被归并到普通的工业部门内。

在国家统计体系中，交通运输业仅包括对从事运营的交通运输企业的统计，相应的能源消费统计量也只包括其运输工具的燃料消费，而不包括非运营的企事业单位和私人所拥有的交通工具能源消费统计。这部分交通工具的能源消费包含在这些企事业单位所属其它生产部门和民用部门中，这与国外能源消费统计中对交通运输用能部门的定义差别比较大。在许多国家经济发展过程中，交通用能已远远超出专业运输行业的范围，除了生产部门的自有交通工具外，非生产民用车辆的用能已成为主要的能源用途。为了便于分析今后我国在广义交通用能方面的发展和能源需求，我们在情景研究中，对交通部门的界定采用了国外大交通的概念，既交通部门包括所有的交通运输工具。据此在情景研究中对所采用的国家统计局年鉴中交通运输能源消费数字进行了修正。根据各产业部门的具体情况，将该产业部门的汽油、柴油消费的一部分或大部分，将商业和民用的绝大部分汽油和柴油消费划入了交通运输部门的能源消费。

由于中国城镇和农村发展存在比较大的差别，目前城镇和农村的居民能源消费水平和消费方式都有很大的不同，未来城镇和农村的居民能源消费的选择和发展趋势还会有所差别，为了反映出这种情况，在情景研究中将民用部门分为城镇居民和农村居民两个子部门。

经过上述调整以后，模型的部门划分如图 4-5。在大的产业结构划分上基本与国外

在进行能源研究时常用的部门划分一致，为进行研究结果的国际比较提供了方便。表 4-1 给出了情景研究的详细部门划分与国家统计部门划分的对应关系。

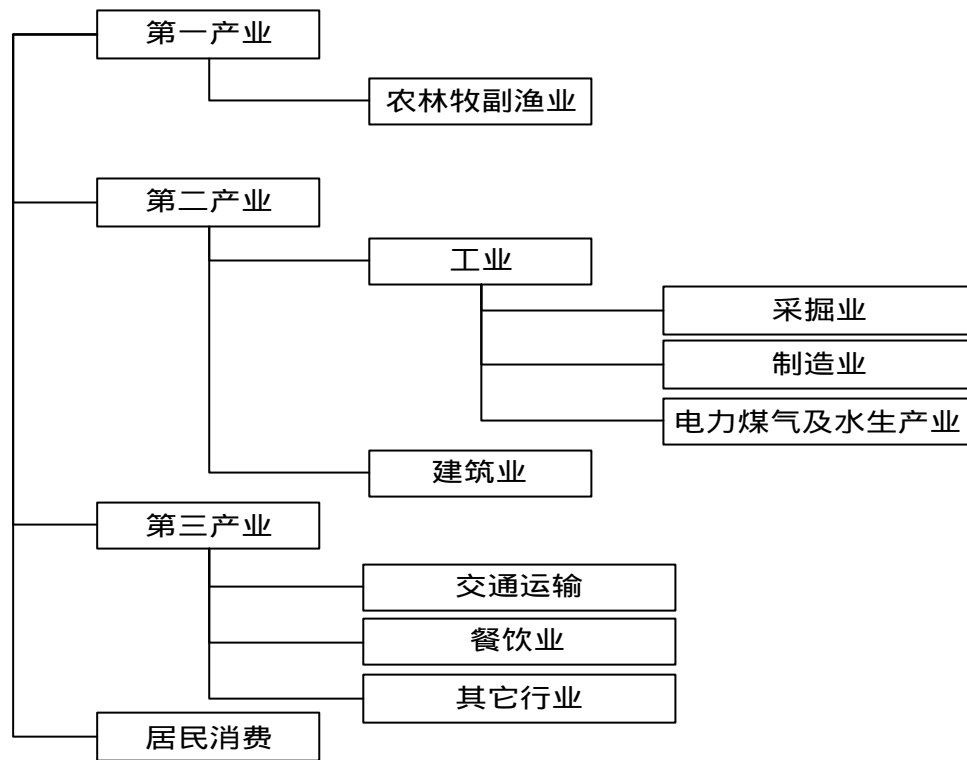


图 4-4 中国统计系统部门划分

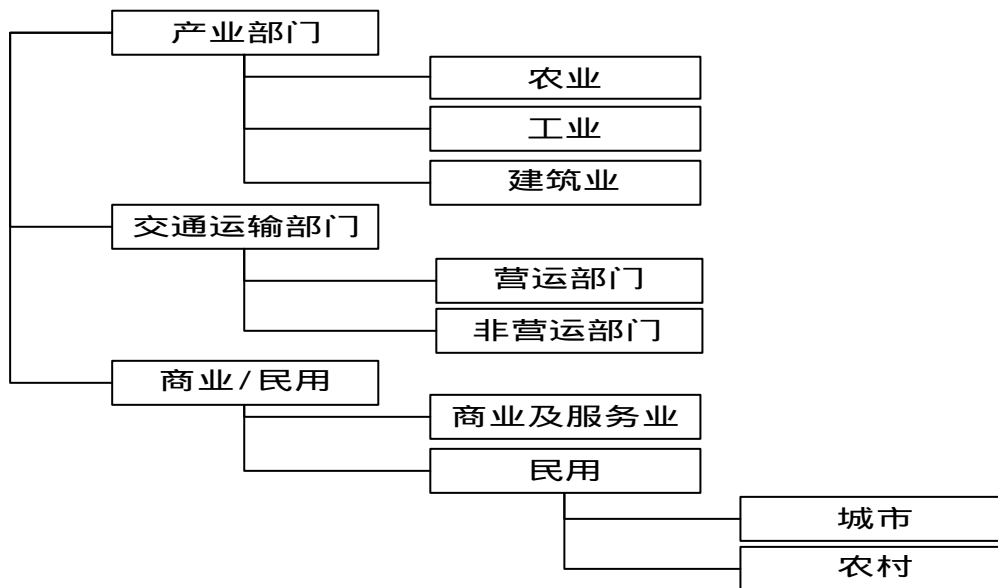


图 4-5 情景研究的部门划分

表 4-1 情景分析的部门划分与国家统计年鉴部门划分的对应关系

国家统计局的行业划分			情景研究和模型计算时对行业划分的调整		
农、林、牧、渔业			农、林、牧、渔业		
工业	采掘业	煤炭采选	工业	能源开采	煤炭采选
		石油和天然气开采			石油和天然气开采
		黑色金属矿采选		加工业	食品加工
		有色金属矿采选			食品制造
		非金属矿采选			饮料制造
		其他矿采选			烟草加工
		木材及竹材采运			纺织
	制造业	食品加工	服装及其他纤维制品制造		
		食品制造	皮革毛皮羽绒及其制品		
		饮料制造	木材及竹材采运		
		烟草加工	木材加工及竹藤棕草制品		
		纺织	家具制造		
		服装及其他纤维制品制造	印刷业记录媒介的复制		
		皮革毛皮羽绒及其制品	文教体育用品制造		
		木材加工及竹藤棕草制品	医药制造		
		家具制造	橡胶制品		
		造纸及纸制品	塑料制品		
		印刷业记录媒介的复制	制造业	金属制品	
		文教体育用品制造		普通机械制造	
		石油加工及炼焦		专用设备制造	
		化学原料及制品制造		交通运输设备制造	
		医药制造		电气机械及器材制造	
		化学纤维制造		电子及通信设备制造	
		橡胶制品		仪器仪表文化办公用机械	
		塑料制品		其他制造业	
		非金属矿物制品		石油加工及炼焦业	
		黑色金属冶炼及压延		基础化工	其他矿采选
		有色金属冶炼及压延	化学原料及制品制造		
		金属制品	石油化工	化学纤维制造	
		普通机械制造		建材	非金属矿采选
		专用设备制造	非金属矿物制品		
		交通运输设备制造	造纸及纸制品		
		电气机械及器材制造	钢铁	黑色金属矿采选	
电子及通信设备制造		黑色金属冶炼及压延			
仪器仪表文化办公用机械	有色金属	有色金属矿采选			
其他制造业		有色金属冶炼及压延			
电力煤气及水生产供应	电力蒸汽热水生产供应	自来水生产和供应			
	煤气的生产和供应	能源转换部门	电力蒸汽热水生产供应		
	自来水生产和供应		煤气的生产和供应		
建筑业			建筑业		
交通运输、仓储及邮电通信			交通运输、仓储及邮电通信		
批发和零售贸易餐饮			商业和服务业	批发和零售贸易餐饮	
其他行业				其他行业	
生活消费			生活消费	城市	
				农村	

4.4 情景计算的模型选择

在本研究中，我们采用了 LEAP2000 作为主要的定量分析工具。LEAP 是长期能源选择计划系统(Long-range Energy Alternatives Planning system)的英文缩写。LEAP 模型是由斯得哥尔摩环境研究院(SEI)波士顿/达拉斯分院开发的一个能源 - 环境模型。该模型为“自下而上”的模拟模型，可以用于计算能源消费需求和引起的污染排放。在过去二十年里，有六十多个国家应用 LEAP 模型进行了地区、国家和区域的能源战略研究和温室气体减排评价。

LEAP 模型包括两个模块，一个是终端能源需求分析模块，另一个是能源转换分析模块。能源需求模块根据给定需求部门的水平（如产品产量或服务量）和各种活动所对应的能源消费品种和能耗强度，计算出该部门对各种能源的需求量。在 LEAP 模型中，能源需求模块具有比较完备的功能，即可以通过输入具体用能设备的技术数据来对终端用能技术进行详细分析，也可以根据所输入的宏观经济参数来分析部门能源消费的变化趋势。能源需求模块可以单独运行，对能源需求进行计算。能源转换模块通常需要和能源需求模块一起运行，计算为了平衡能源需求模块产生的二次能源需求（如电力、热力等等）而消费的一次能源的数量。

LEAP 模型的一个较为突出的优点是数据比较透明和对输入数据的要求非常灵活。用户可以根据所研究问题的特点和数据的可获得情况，选择输入数据的形式和数量，而不像一些模型具有严格的数据输入要求，缺少一些数据（如价格或成本数据）就不能运算。而在对未来进行研究时，许多部门的价格或成本数据常常很难获得和界定。

LEAP2000 是 LEAP 模型 1997 年以后的更新版本。LEAP2000 在 Windows 下运行，输入数据采用了树形结构，输出不仅提供了图和表两种形式，而且输出数据的种类和时序也可以灵活选择。在 LEAP2000 中，技术和环境数据库得到了扩充，包含了大量的 IPCC 和其他一些国家和地区的排放因子。在 LEAP2000 中，还增加了许多其他功能，使用起来比较方便。

当然 LEAP 模型也有一定的局限性。LEAP 模型很难反映不同的经济增长速度、能源结构、技术构成条件下，各经济部门之间的相互影响和相互作用，以及微观因素对宏观因素的反馈影响。在进行我国的能源需求情景分析过程中，我们根据中国能源消费的特点对 LEAP 模型进行了必要的改进，并建立了中国社会经济情景及能源消费情景专用数据库。

4.5 模型结构及各部门的描述特点

根据表 4-1 所给出的部门划分，我们在 LEAP 模型框架内建立了涵盖所有能源消费和生产/转换部门的、封闭的中国能源系统模型，该模型的总体结构见图 4-6。

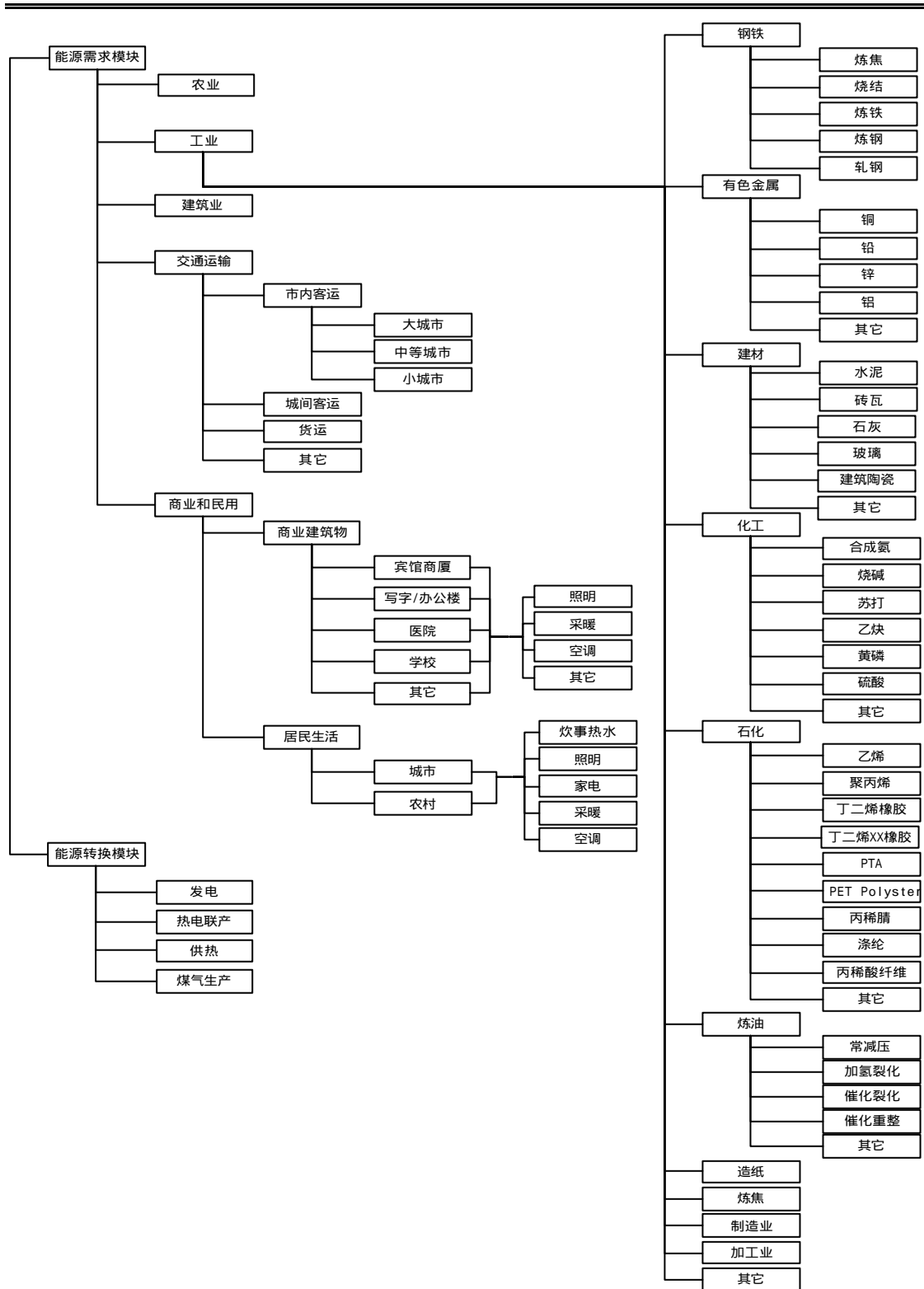


图 4-6 模型结构

模型对各部门的能源消费需求的计算主要是根据各部门能源活动的物理过程进行的。在不同的行业里，影响能耗的主要原因不同。我们针对各行业的特点，充分利用 LEAP 模型的灵活性，对影响不同行业耗能的主要因素用不同方式给予了比较详细的描述，对高耗能行业则按照产品或工艺过程进行了十分详细的描述。

由于工业部门是我国最重要的能源消费部门，在模型中对工业部门进行了非常详细的子部门划分和技术描述。按照表 4-1 的部门划分，将工业部门分成了钢铁、有色金属、建材、化工、石化、炼焦、造纸、加工工业、制造业、能源开采、自来水生产和供应等 11 个行业或子部门。

在钢铁行业，生产规模对能耗的影响很大。在模型中，我们除了对钢铁生产各个工序的不同工艺给予了描述以外，还对各个工艺的设备规模进行了大中小分类和描述（参见图 4-7）。

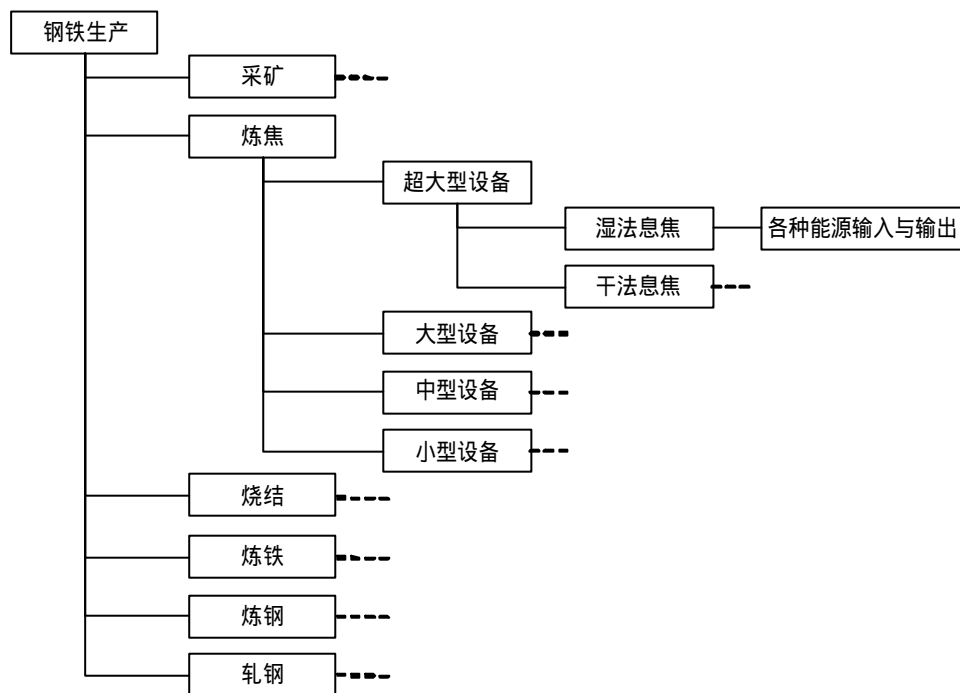


图 4-7 钢铁行业模型结构示意图

对于化肥生产，不同的生产原料要求生产工艺有所差别，对产品能耗起着决定性的作用。同时生产规模对产品能耗也有重要影响。模型对化肥生产的原料路线和设备规模都给予了详细的描述。窑型对于水泥生产能耗的影响十分关键，在模型中也得到了充分的反映。在水泥生产行业，不仅对窑型而且对窑的规模都进行了区分和描述。对其它工业子部门，在模型中也采用了能够比较好地反映它们各自特点的描述方式。

交通运输是能源消费增长最快的部门之一。针对交通运输部门的服务和能源消费特点，在表 4-1 的部门划分的基础上，进行了进一步的子部门划分。模型中交通运输部门被分解为城市客运、城间客运、和货运三个部分。在城间客运部分和货运部分，对公路、铁路、民航、和水运等几种交通方式分别进行了描述。对城市客运给予了特别关注，模型按大中小对城市进行了分类，对每类城市运输模式和每种运输模式下的

交通工具给予了详细的考虑。(见图 4-8)

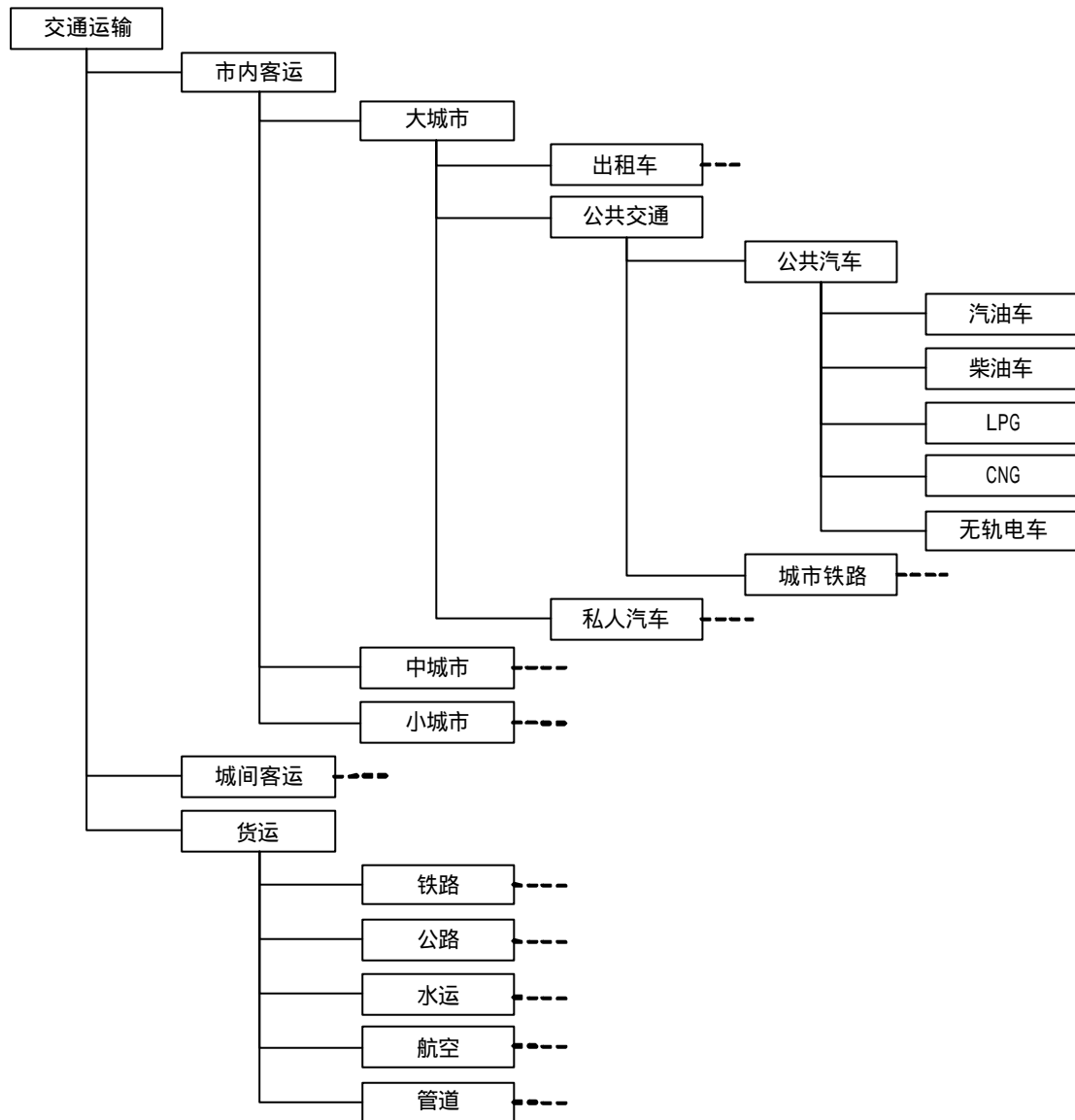


图 4-8 交通部门模型结构示意图

公用建筑的能源消费是以商业和服务业为最主要的能源消费。公用建筑的用能主要包括采暖、空调、照明、办公设备等的能源消费。由于不同用途的建筑物用能水平差别很大，在模型中把商业建筑物又分成了五大类，分别为宾馆和商厦、办公/写字楼、学校、医院和其他，在其他中包括各种公用建筑如机场、火车站等。

居民生活用能包括居民日常家庭生活的各种能源消费，主要部分有炊事热水、采暖、空调、照明、主要家用电器等的能源消费。为了充分反映我国城市居民和农村居民在能源品种和能源消费水平上存在的显著差别，在模型中把居民生活能源消费分为城市和农村两个部分分别加以描述和计算。另外，为了反映地区气候造成的采暖和空调用能差异，对居民的采暖和空调用能，模型是按北方、过渡地区和南方分区进行计

算的。

在能源转换模块中有四个子模块。一个是煤气生产模块，反映我国目前城市燃气供应中，煤制气仍然是不可忽视的一部分的现实情况。一个是发电子模块，该模块包括了发电系统的各种技术选择。一个是热电联产子模块，另一个是集中供热子模块，这两个模块包括了对集中供热系统的各种技术选择。

在一般能源系统分析中，炼油部门也应该包括在能源转换部分之内。然而 LEAP2000 模型中能源转换模块有结构限制，不能够象能源消费模块一样在生成树形结构时不受限制。为了比较准确和容易地详细描述炼油部门各种工艺的能源消费过程，加之在本研究中我们更关注的是炼油部门的能源消费情况而不是炼油部门的各种产品的产出情况，因此在模型中把炼油部门也作为能源消费部门而放在能源消费模块中计算处理。所得到的结果只是炼油部门的作为燃料的能源消费量，并不包括炼油过程的作为原料的能源（原油）消费量。炼油部门的全部能源消费需要由炼油部门的能源消耗量加上该部门的能源和非能源产品产出量而得到。

4.6 能源消费和二氧化碳排放计算

4.6.1 能源需求和二氧化碳排放计算的基本过程

利用 LEAP 模型进行能源需求模拟和二氧化碳排放计算的基本过程如图 4-9。

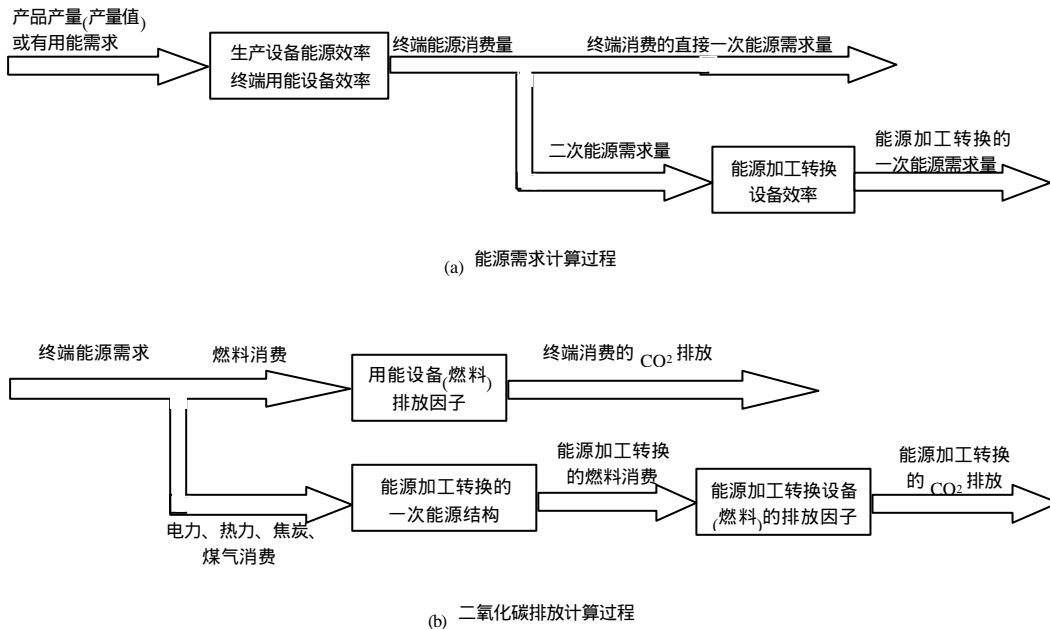


图 4-9 能源需求和二氧化碳排放计算

4.6.2 行业活动水平

每个具体行业的活动水平通常可以用若干种主要产品 (P) 或服务 (S) 来代表。在本研究所建立的模型中，每个行业的生产或服务的活动水平用下面两个关系式表示。

$$PO_l = \sum_i po_{i,l} \quad (1)$$

$$SD_l = \sum_i sd_{i,l} \quad (2)$$

式中，

PO_l 为产业部门对产品 l 的产出量——产量或产值；

SD_l 为终端消费部门对种类为 l 的有用能需求量或能源转换部门对品种为 l 的二次能源的产出量；

$po_{i,l}$ 为由第 i 种类形的工艺或设备生产的产品 l 的产量；

$sd_{i,l}$ 为由第 i 种类形的设备提供的种类为 l 的有用能需求量或由第 i 种类形的工艺或设备产生的品种为 l 的二次能源。

4.6.3 能源需求计算

产品 l 的能源消费量 EC_l 用公式 (3) 计算：

$$EC_l = \sum_i \sum_n ec_{n,i,l} \times po_{i,l} \quad (3)$$

式中， $ec_{n,i,l}$ 为用类型为 i 的工艺或设备生产产品 l 所需要能源品种 n 的单耗。

提供类型为 l 的有用能服务或能源加工转换过程的能源消费量 EC_l 为：

$$EC_l = \sum_i \sum_n \frac{sd_{i,l}}{ecf_{n,i,l}} \quad (4)$$

式中， $ecf_{n,i,l}$ 为用类型为 i 的设备和能源品种 n 提供有用能服务或进行能源加工转换时的能源效率。

一个行业对能源品种 n 的需求量 SEC_n 为：

$$SEC_n = \sum_l \sum_i ec_{n,i,l} \times po_{i,l} \quad (5)$$

或

$$SEC_n = \sum_l \sum_i \frac{sd_{i,l}}{ecf_{n,i,l}} \quad (6)$$

4.6.4 二氧化碳排放计算

根据各行业的特点和模型对各行业的具体描述方式，在计算二氧化碳排放时对不同行业选择了不同的计算公式。对产业部门，选用了公式（7）或（9），对终端能源服务和能源加工转换行业，则选用了公式（8）或（9）。

$$CEM = \sum_l \sum_i \sum_n emf_{n,i,l} \times ec_{n,i,l} \times po_{i,l} \quad (7)$$

$$CEM = \sum_l \sum_i \sum_n emf_{n,i,l} \times \frac{sd_{i,l}}{ecf_{n,i,l}} \quad (8)$$

$$CEM = \sum fem_n \times SEC_n \quad (9)$$

式中，

CEM 为某个具体行业的二氧化碳排放量；

$emf_{n,i,l}$ 为基于设备的二氧化碳排放因子，表示利用 i 种类型的工艺或设备及 n 品种的能源生产产品 l 时，每单位能源消费的二氧化碳排放量；

fem_n 为基于燃料的二氧化碳排放因子，表示消费 n 品种的燃料时，每单位能源消费的二氧化碳排放量。

在本研究中，所有的排放因子都取自于 LEAP 模型所配备的排放数据库中的 IPCC 排放因子缺省值。

焦炭、煤气的生产和消费过程均会产生二氧化碳排放。在焦炭和煤气生产环节，投入的能源一部分在该环节被消耗掉，生产了二氧化碳排放；另一部分则转换成焦炭或煤气，被输送到终端消费部门消费，在终端消费部门产生二氧化碳排放。如果按照能源消费过程进行计算，就应该把焦炭和煤气生产的二氧化碳排放和焦炭和煤气消费的二氧化碳排放分开进行计算。模型对焦炭、煤气生产的能源消费和焦炭、煤气的消费是按照部门或设备进行计算的。但在二氧化碳排放计算时进行了简化。焦炭、煤气的二氧化碳排放是按照投入焦炭、煤气生产环节的全部能源计算的，为了避免重复计算，对终端消费部门的焦炭和煤气产生的二氧化碳就不再进行了。

炼油过程和油品消费则采用了不同于焦炭和煤气的生产和消费的处理。由于油品消费的一部分将由进口油品得到，不在炼油环节产生二氧化碳排放。模型对炼油的能源消费和终端油品消费的二氧化碳排放是完全按照炼油和终端部门的消费过程进行计算的。

化工生产部门的一些生产过程，投入的煤炭、油品或天然气不仅是用作燃料，而且用作产品生产的原料。作为原料的煤炭、油品和天然气最后被固化在产品中，在生

产过程中并不产生二氧化碳排放。对这些生产过程，二氧化碳排放也是按照投入的全部能源进行计算的，没有扣除作为原料的部分，因此计算得到的二氧化碳排放量将大于实际的排放量。

4.7 模型参数标定

中国可持续能源发展情景研究由研究产生能源消费的经济活动开始，通过分析这些活动的发展水平，得到由这些活动提出的终端能源服务需求，再结合相应的能源技术变化，计算得出相应的终端能源需求。未来经济活动的发展以及能源技术的变化，都是在现有条件的基础上演变发展的。对描述现有情况的各种参数和数据进行核实和标定是情景研究的一个重要工作。

各种技术参数的确定一般需要从两方面进行考虑。其一是建立在技术过程上的能源消耗参数分析，主要指对具体的用能过程进行技术分析。这些参数主要取决于相应的技术过程，例如发电设备的能源技术效率，汽车的燃料效率，不同建筑物单位采暖或空调的有用能需求，锅炉效率，如此等等。其二是建立在现有经济和能源统计数据基础上的参数分析。行业部门的综合经济活动及相关的能源消耗的现实统计记录，是各种具体的经济活动和相关技术过程的集约效果的客观反映。不管具体技术过程如何变化，这些技术过程和相应经济活动的共同效果应该和经济活动和能源统计的客观记录相符。利用数学模型进行未来能源需求的情景计算，需要用现有的经济和能源统计数据对模型中采用的各种技术和经济参数进行校验。这种校验也称为模型参数标定。

在能源情景分析中，为了能够比较详细地分析各种能源活动和相应能源技术变化对能源消费的影响，对许多行业的能源活动的分析比现有国家能源统计中的行业活动划分和能源品种划分要详细得多。例如，在高耗能产业中，对代表性耗能产品的产量和技术变化要进行具体分析和发展设想，包括钢、水泥、乙烯等等；对建筑物用能则要具体分析采暖、空调、照明、其他电器等等；交通则要有城间市内货运客运等等。这些用能活动在现有的能源统计中都没有区分，只能根据领域专家的调查和行业部门的独立统计资料进行分析。有一些重要的用能活动行业的统计资料和国家能源统计有较大的差别，导致对基期（1998年）部分行业或部门的能源表观消费量无法用全国能源平衡表的数据进行校核和校验。在出现行业或一些重要用能领域基期能源消费和能源平衡表有明显差别时，我们一般从两个方面进行调整。一是认真考虑相关经济活动量的可能误差，特别是防止由于统计口径的不同，引起的重复计算或漏算；二是认真检查相关技术经济参数，在技术合理性的基础上，对实际产生的活动水平和能效水平进行调整，以求尽量和能源平衡表数据拟合和接近。然而，在对各用能领域的基期活动和能耗参数进行调整以后，模型的基期能源消费总量，特别是煤炭的消费量仍然高于能源平衡表的统计数据。

对 1997 年到 2000 年煤炭生产和消费统计量持续下降各方有较多不同看法，大多数专家认为由于种种原因，这几年的煤炭消费和生产统计量很可能低于实际发生量。特别是在一些非国有中小企业占总生产能力较大比重的行业，能源平衡表中消费统计的不确定性较大，准确性低。在这次情景分析中，对于部分用能部门的行业能源消费统计数据 and 能源平衡表的差别，我们在考虑到行业数据来源可信度的基础上，采用了和行业数据较为接近的数值。这是情景分析基期能源（煤炭）消费量高于中国能源平衡表数值的原因。这样做，可以使情景分析的结论更接近实际经济活动水平，更符合各用能行业部门和领域的技术变化状况。

第五章 影响未来中国能源需求的主要因素分析

5.1 主要影响因素分析

对中国未来的能源需求以及可能的碳排放进行分析研究，构建未来 20 年中国可持续能源需求情景，需要回答以下几个问题：

- 📁 中国能源需求的基本因素有哪些？人口增长，经济发展速度与增长方式，城市化和工业化进程？它们如何影响未来的能源需求？
- 📁 影响能源效率的驱动因素是什么？市场本身和政策干预对能源效率提高的作用如何？
- 📁 未来能源需求水平和能源消费结构如何变化？工业、交通以及建筑物部门的能源需求将按照何种趋势发展？
- 📁 技术创新如何影响能源系统的发展？如，各终端用能部门或行业的技术进步如何体现在其产品能效提高上？技术进步是否有可能促进天然气等清洁能源的开发利用，如何促进？
- 📁 优质能源资源的可获得性如何？如何解决能源安全问题？优质油气资源的进口依存度如何？它会对中国未来的能源供求产生什么影响？
- 📁 环境约束（包括气候变化问题），环境政策及其实施状况会对中国未来的能源发展及其相关的碳排放产生什么影响？
- 📁 国家/地方政府在能源政策中所起的作用？等等

总结上述问题，可以概括出以下几方面中国未来能源需求与碳排放所要考虑的关键因素：人口、经济增长、城市化进程、经济结构变化、国际贸易（市场化和全球化）、技术进步、能源资源与能源安全考虑，环境改善的需求以及环境保护政策等等。

一般而言，能源需求的高低与人口的增长和经济发展密切相关，能源需求的分析是在一定的人口增长与经济发​​展的假定条件下形成。从投入产出分析的角度看，能源需求的高低，取决于终端需求与满足终端需求的中间过程。经济结构的变化，经济增长模式的选择，技术进步，优质能源的可获得性，环境保护的要求等因素会对最终需求的形成及其中间过程产生影响。例如，实现同样 GDP 增长速度的方式有很多种，如果仍然采用粗放型的经济增长方式，其能源需求就要比内涵型经济增长方式要高得多。再以交通为例，满足同样出行需求的模式也有很多种，可以选择公共交通优先，也可选择优先发展出租车或私家车，其能源需求也有较大不同。

对上述可能影响中国未来能源需求及其相应的温室气体排放因素的认识和设定，

是在充分分析中国政府制定的社会经济发展规划，充分利用国内已有研究成果的基础上提出的，文中对这些因素的发展趋势进行了分析，并以此指导各具体用能部门的情景设定和分析。简述如下：

(1) 人口的缓慢增长与老龄化社会的逐渐凸现将给未来中国能源需求与能源服务质量提出更高的要求

按照中国政府 2000 年发布的《中国人口白皮书》和国内相关机构的研究成果，未来 20 年，中国的人口将保持低速增长，增长速度将不断趋于缓慢。总的趋势是，预计“十五”期间中国每年还将增加 1200 万人左右，2005 年将达到 13.2 亿人，2010 年中国人口将力争控制在 13.8 亿。2010 年以后，人口增长速度将进一步降低，估计到 2020 年达到 14.8 亿左右。

人口的缓慢增长以及死亡率的下降，将使中国将在 2020 年前后迈入老龄化²社会。进入老龄化社会后，消费结构、社会发展都将发生较大变化。但总体来看，2020 年前中国人口增长及其结构变化不会影响未来劳动力的供给，能够为经济增长提供充足的劳动力；问题在于随着城市化进程的加快，越来越多的农村人口转入城市，会给就业造成压力³。

按照国外学者⁴的研究成果，在工业化国家，老龄化社会的重要特征之一是家庭数量增加，家庭规模缩小。按照以往的实证分析，家庭规模大的家庭，其人均生活用能量要明显低于家庭规模小的家庭。另一方面，人口老龄化对能源服务质量的要求更高。中国虽然没有实现工业化，但已经遇到老龄化社会所带来的问题，这从另外一个侧面反映，与相同经济水平下的非老龄化社会相比，未来中国民用生活能源的消费总量将进一步增加，能源清洁化和优质化的进程需要加快。

(2) 城市化进程的加快意味着巨大的城市基础设施和住宅投资需求，势必将对中国能源总需求产生影响；也将导致民用商品能源需求快速增加，民用能源消费结构逐步优化；

总体来看，中国目前的城市化水平（36%）比较低。《1999/2000 世界发展报告》显示，中国的城市化水平略高于低收入国家，而远远低于发达国家和较发达国家。按照中国城市化进程的趋势，并参照世界银行数据以及西方发达国家在不同经济发展阶段的城市化水平，预计中国 2010 年和 2020 年的城市化率将分别达到 44%和 55%。按

² 注：国际通用的老龄化指 65 岁人口占总人口比重。

³ 按照国内学者的研究成果，随着城市化进程和产业结构的演变，2020 年之前每年将有 800 万农村人口转移到二、三产业，加上每年城市需安排 1000 多万劳动力，将会给就业造成巨大压力。

⁴ Ironmonger, D., C., Aitkane, and B. Erbas, 1995: Economies of scale in energy use in adult-only households. Energy Economics, 17 (4), 301-310

照国内有关机构的研究成果，在未来一个相当长的时期内，城市化是保持中国国民经济持续快速增长的主要动力之一⁵。城市化水平提高意味着城市规模的扩大和一批新城市的建设，从而创造巨大的城市基础设施和住宅投资需求。相应地，建材、钢铁等高耗能行业将需要保持一定的增长势头，也势必对未来中国的能源需求产生一定的影响。

从另外一个方面看，城市化进程的加快将会导致中国民用商品能源需求总量的增加，会对能源消费结构提出新的要求，同时小城镇建设会对可再生能源发展提出挑战和要求。从表 5-1 中可以看出，在中国，由于受“二元经济”模式的影响，城镇和乡村之间的人均生活能源消费水平无论是总量还是品种，其差距非常大：城镇居民人均生活能源消费是乡村居民的三倍多；城市居民的生活用能主要以气体燃料、电力和商品煤（型煤）为主；农村居民生活用能地区差异比较大，相对富裕地区（如东南沿海地区）的商品能源（如电力，LPG）的消费量较多，而广大西北地区的农民仍以非商品能源为主要消费品种。

表 5-1 城乡人均生活能源消费（公斤）及人均收入比较

	1980	1990	1995	1999
人均生活能源消费（千克标煤）	97.7	139.2	130.8	115.3
城镇居民人均能源消费（千克标煤）	-	294.6	183.1	221.0
农村居民人均能源消费（千克标煤）	-	82.06	90.8	68.5
城镇居民人均可支配收入（元）	478	1510	4283	5854
农村居民人均纯收入（元）	191	686	1578	2210

注：人均收入均为当年价

资料来源：《中国能源统计年鉴》

城市化过程的加快使得越来越多的农村居民转移到城镇，意味着原来消费的非商品能源（如薪材、秸秆）将被其他的商品能源所替代，预计在未来二十年内，这部分生活用能需求增长很快。而且随着城乡居民收入水平的提高，中国生活用能的总量和品种构成将会有新的变化。目前国内消费市场已出现多元化的局面，除了吃、穿、用的基本消费外，居室消费、交通通讯消费、游乐消费、保健消费和文化消费也愈来愈受到居民（尤其是城市居民）的青睐；居民的生活质量也有了很大提高，表现在：家庭生活电气化率越来越高，生活用能越来越趋向电力、天然气等优质能源。环境保护的要求已迫使煤炭逐步退出居民生活用能（见图 5-1）。

⁵若从 2001 年到 2015 年期间，中国城市化每年提高 1 个百分点，将有 2.5 亿农村人口转为城镇人口。如果这些新增城镇人口的消费支出水平能够达到目前城镇人口的平均消费水平，则可增加 6000 亿的消费需求。而转移出 2.5 亿的农村人口，对留在农村的人口而言，意味着增加 30%左右的总收入。如全部用来消费，也可增加支出 5000 亿。两项合计，可带动最终消费支出 1 万亿以上，平均每年 700 多亿元，可在目前 7~8% 的增长速度上提高 0.85 个百分点。

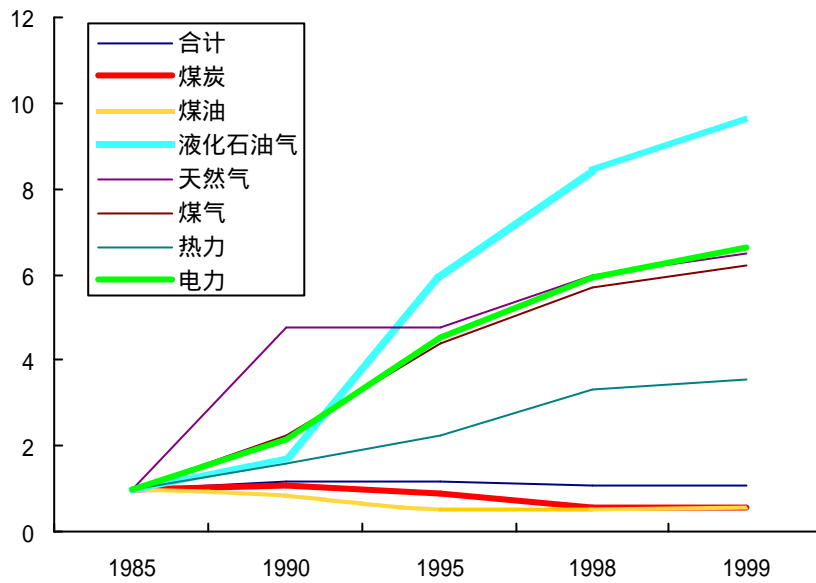


图 5-1 分品种生活能源年消费量增长指数示意图 (1985~1999)

在可再生能源资源较为丰富的地区，随着技术水平的进一步提高，小城镇能源建设可以更多利用风能、太阳能发电，生物质气化等能源资源，满足能源结构清洁化、多元化以及资源利用的最优化要求。与现有的居民生活用能结构相比，城市化进程将使未来的能源消费结构发生相当大的改变，民用能源将逐渐向优质化、清洁化、多元化和可持续发展的方向发展。

专栏 5-1：优质能源消费对居民生活用能的影响

按照中国统计年鉴公布的数据，改革开放 20 年来，中国人均生活用能量年均增长 0.88%，从品种来看，电力、液化石油气、天然气等洁净高效的用能品种增长非常迅速，同期年均增长速度分别达到 15.3%、16.3%和 12.9%；而人均生活用煤炭总体上呈现下降态势，“九五”期间，表现更为明显，1995 年，中国人均生活用煤炭 112.3 千克，1998 年降至 71.5 千克，1999 年进一步降至 66.6 千克，1980~1999 年间，中国人均生活煤炭消费量年均下降 3 个百分点。

与西方发达国家相比，中国人均生活用能水平还很低，之所以 20 年来中国人均生活用能经历了一个先升后降的过程，在于中国民用能源消费结构的改善与提高，能源结构的优化使得能源利用效率的提高，从而使得在提供同样的能源服务，能源消费量。按照国内有关机构的测算，天然气民用灶具的热效率高达 60%，比民用散烧燃煤的灶具高 40~45 个百分点；集中供热燃煤锅炉的热效率又比分散燃煤取暖的方式高 10%左右⁶。考虑到这些因素，如果居民生活的能源消费结构没有改善，中国民用生活能源消费量不仅不会下降，而是处于持续上升的态势。

从发展的角度来看，随着煤炭等低效能源品种的逐步淡出民用能源消费，生活用能源结构的优化作用将逐步弱化。可以预见，随着今后中国城乡居民生活水平的提高，居民电力、液化石油气、天然气等能源消费会进一步提高。

（3）经济增长方式的转变与结构调整仍然具有巨大潜力，结构性调整有利于提高能源效率

多种分析表明，“十五”期间，乃至下世纪前十年内，中国经济仍然能够保持稳定的发展态势，也完全有可能实现 2000~2010 年 GDP 翻一番的目标；后十年仍有可能保持 6.6%以上的增长速度。

从以往的历史看，经济增长方式对能源需求及其相关的碳排放有很大的影响。内涵型的经济增长模式更注重经济增长的质量，行业的发展建立在提高技术和工艺水平，降低能（物）耗的基础上，要求能源的清洁、高效利用，能源结构的优质化进程也会大大加快。外延型的经济增长模式主要靠数量扩张，这种经济增长方式以粗放型的生产为主，要以增加物质投入为基础，其能源消费量将明显高于内涵型的经济增长模式。

⁶ 按照清华大学建筑技术科学系的一份调研报告，中型燃煤供热锅炉的热效率一般在 60%~70%，如果考虑到输配损失，其效率大约为 55%以上；居民分散供热锅炉在 50%以下。

结构变化对能源需求的影响可以表现在三个方面，资源配置的优化（包括能源消费结构的优化），产业结构的调整以及行业结构、企业结构与产品结构的调整。有关能源消费结构优化对能源需求的影响将在以下内容阐述，此处着重探讨产业结构、行业结构与产品结构变化可能会对能源需求产生的影响。

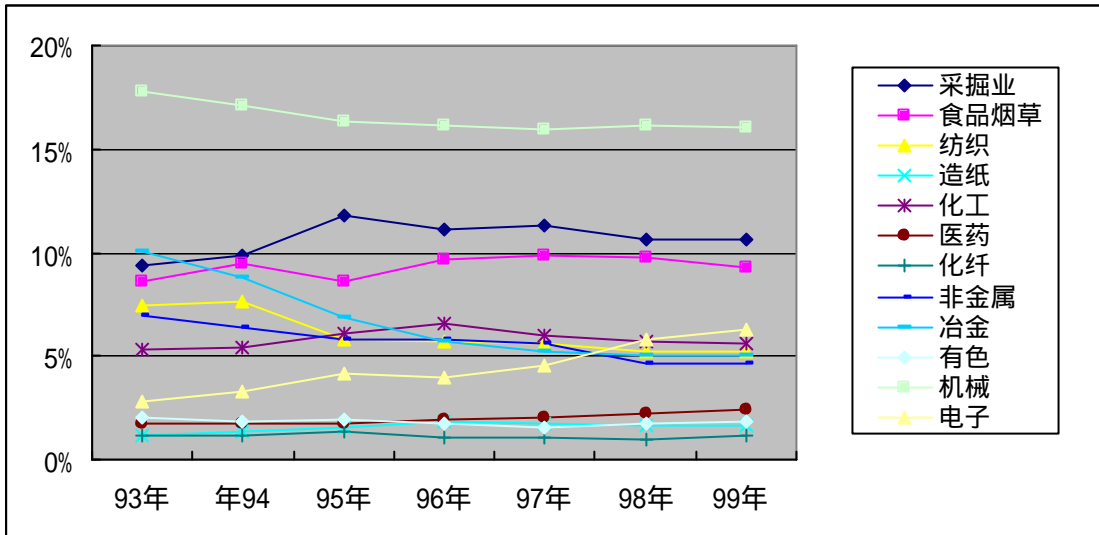


图 5-2 制造业内部分行业 GDP 增加值构成变化

过去 20 年中国产业结构变化趋势表明，其对中国能源消费的影响大体上可分为两个阶段：1990 年以前，三大产业比例关系的调整对节能发挥了积极作用，1980 年~1993 年，第一产业的比重由 30.1% 下降到 19.9%，第三产业的比重由 21.4% 上升到 32.7%，第二产业的份额在经过较长时间的徘徊之后开始呈上升趋势。90 年以后，中国的经济结构中，第一产业比重继续下降，第三产业的发展逐渐平缓，而第二产业由低缓变得渐强，从 1995 年起，第二产业的发展速度较快，总体上产业结构变化不利于节能。但实际上自 1993 年以来，中国能源消费弹性系数仍然保持在 0.5 以下，90 年代末的个别年份能源消费甚至出现负增长，主要原因在于工业内部的行业结构调整。如前所述，1993 年中国政府推行的财政、金融、价格、税收、投融资体制的改革使得市场配置资源的作用进一步加强，企业节能降耗的动力逐步从过去政府的行政命令转向市场驱动。与之相适应，工业内部的行业结构不断优化，制造业内部高附加值、低能耗的行业（如电子、机械等行业）发展加快，其比重不断增加（见图 5-1-2）。课题组对“九五”期间工业部门内部节能贡献程度的分析表明，工业部门对近几年的部门节能发挥了巨大作用。虽然单位 GDP 能耗较大的工业比重上升较快，形成总体单位 GDP 能耗上升的不利因素，但由于工业部门内部行业结构的变化，技术进步和管理水平的提高，其本身 GDP 能耗下降幅度较大，抵消了比重上升的不利影响，还拉动了总 GDP 能耗的下降。上述分析结果还表明，工业部门比重上升并不意味着总体 GDP 能耗必然上升。这不仅取决于部门的 GDP 比重的大小及其上升或下降幅度的大小，还取决于部

门的单耗变化。比重较小的部门即使单位 GDP 能耗较低，对总 GDP 能耗下降拉动作用不大。

中国是一个地区经济发展不平衡的国家，东南沿海等相对发达的地区已经进入工业化中期阶段，有些城市，如上海、北京、深圳的经济增长已经由信息产业、服务业等第三产业来推动，未来 10 多年里，这些地区的产业结构调整仍将朝着高精尖新的方向发展。而广大中西部地区刚进入工业化的初中期阶段，基础设施的建设尚未完成，随着西部开发进程的加快，该地区的产业结构调整方向仍然会是“二三一”的模式⁷。总体来看，中国的能源需求总量仍将持续增长，但并不意味着中国总体 GDP 能耗一定上升。如前分析表明，只要加大技术创新的力度，优化工业内部结构，万元产值单耗较高的第二产业也完全可以保持较高的节能率。也就是说，中国未来经济结构的升级换代，以及高耗能行业通过技术进步、行业组织结构和产品结构的调整，中国 GDP 能源强度具备继续下降的可能，中国仍然可以继续以较低的能源弹性系数支持经济的翻两番的目标。

（4）全球资源/经济/市场一体化进程的加快给中国未来经济的可持续发展提供了“跨越式发展”的可能性

改革开放以来，中国对外贸易的发展快于国民经济的增长，已成为推动中国经济稳定持续增长的重要要素，据统计，到 2000 年底，中国的对外贸易进出口总额已突破 4700 亿美元，对外贸易在世界上的位次也进入到世界八强之列。国际贸易对中国的经济增长也发挥着越来越重要的作用，按照有关机构的研究成果，1981~2000 年间，外贸出口额年均增长 13.6%，高于同期 GDP 的增长速度，外贸出口对 GDP 增长的贡献度已达到 27.9%⁸。国际贸易不仅对中国的经济增长有促进作用，也影响了 90 年代以来中国的能源消费和能源效率水平。相信，在未来相当长的时间内，国际贸易所起的作用，在某种程度上，将会越来越大。具体表现在以下三个方面：

📁 进出口贸易结构的差异有利于能源节约：近几年来，中国的出口产品中机电产品的比例上升，技术含量高的高新技术产品和附加值高的产品比例虽不高，2000 年只达到 15%，但与 90 年代初期的 4%相比，出口结构已有了相当改善。进口产品则多以机电产品、自动数据处理设备等高附加值产品，化肥、钢材、纸板、合成树脂、合成橡胶、合成纤维类等高耗能载体为主，其进口大于出口，这样的贸易结构对中国能源的节约起到了相当重要的作用，而且随着国内市场与国际市场的逐步融合，将在未来的能源发展中发挥更加重要的作用。

📁 进出口贸易对 GDP 增长和能源效率提高起到促进作用：商品出口一方面扩大国内

⁷即大力发展第二产业，适当发展第三产业，深化第一产业发展内涵，体现高新农业的特色。

⁸ 《中国产业结构调整与升级》

市场，增加国内产品的产值量，另一方面获得较高的利润，同时可以带动国内相关产业的发展，推动经济的增长。进口国外先进的设备，主要目的是引进技术，填补国内空白，因而具备较高的技术水平，形成生产能力后，可以大大提高能效水平，较低能源消耗，间接推动了中国节能工作。如近几年来，中国引进的水煤浆气化技术和加压气化技术可大大提高碳转化率，降低了化肥产品的单耗。上海宝钢 80 年代初期引进了先进设备加之 20 多年来的持续引进消化吸收和开发，吨钢综合能耗一直处于国际先进水平。加入世贸组织（WTO）对中国产业结构调整，提高产品的技术含量是一个挑战，更是一次契机，关键在于中国企业能否在引进国外先进的技术、管理经验的基础上，提高其能源效率和经济效益，增强产品的竞争能力。

能源载体的进出口对中国能源供需平衡发挥着不可缺少的作用：高耗能载体的进出口是影响中国能源需求不可忽视的重要因素之一，对能源总量的供需平衡有着相当重要的作用。近年来通过高耗能产品净进口带来的节约量对降低中国能源消费弹性系数起了一定作用。从未来对外贸易的发展趋势看，矿石等基础原材料的进口会在进口结构仍然占有相当比例，可以预见，高耗能能源载体的进口仍然会对中国能源供需平衡具有作用。

（5） 科技创新对未来能源生产与消费技术的影响越来越大，可以为中国经济的“跨越式发展”提供条件

科技进步对经济发展的推动力毋庸置疑，科技进步也对能源消费乃至生产供应都产生了影响。人类的每一次能源时代的变换都伴随着科学技术的发展而发展，无论是从手工作坊时代到蒸汽时代，到电气化时代，还是到现在的信息时代。

在未来中国的能源发展中科技进步将会发挥越来越重要的作用。在能源的生产、加工和转换等供应部门，科学技术进步将大大提高优质能源的可获得性，由此将会对中国的能源消费结构产生巨大的影响。如石油、天然气、煤层气资源勘探开发技术的进一步发展，将极大推动中国能源结构优质化的进程；IGCC、流化床锅炉等洁净煤技术的发展可能为中国煤的高效、清洁利用开辟新路等。

在能源消费部门，科学技术的发展可以促进产业部门效率的提高，一方面，可以提高设备的工作效率，直接降低单位产品的能耗；另一方面，通过信息产业、电子商务、通讯设备等产业的迅猛发展，缩短了交易过程，降低了中间环节的成本，使得能源强度下降，进而降低了能源消费量。在未来的工业化和城市化过程中，中国也完全可以利用技术进步和科技革新降低经济发展与能源消费之间的弹性关系，继续保持较高的节能率。

虽然中国未来的能源需求仍将继续增长，但新能源技术的发展将有可能使能源消费对全球气候变化及区域环境的压力降到最低。在民用能源领域，太阳能、风能、地热及生物质能等能源供应技术的发展，有可能大大缓解由于人均生活能源消费量大大

增加所带来的对化石能源的供应压力。一旦燃料电池和电动汽车技术出现突破，能够大规模商业化，中国交通运输业对油品的依赖程度将大大减轻。可以预见，新能源技术将在未来中国的能源发展中特别是二氧化碳的减排过程中发挥不可忽视的作用。

除了能源领域的技术进步将会对中国未来能源的发展产生巨大影响外，其他领域的科技进步同样也会对未来中国的经济生活及能源消费产生深远的影响。作为一个后发型的工业化国家，中国与现有工业化国家在过去近百年的工业化过程中的内、外部环境相比，具有明显的后发优势，尤其是技术创新为其提供了很大的可能。只要中国政府加强科技投入，加快科技进步和创新，大力发展高技术、高附加值产业，逐步调整现有的经济结构和产业结构；中国的可持续能源发展大有可为。

(6) 能源结构优质化可以促进未来中国能源效率水平不断提高，减缓能源相关的温室气体排放速度；但要解决优质能源稳定安全供应问题

中国如果仅仅依靠国内能源资源条件来满足未来的能源供应，则只能维持以煤为主的能源结构。原地矿部和煤炭部在大量普查勘探的基础上，曾对全国的煤炭、石油、天然气和水资源进行了预测和评价，认为中国能源资源总量可达 40017 亿吨标煤，其中煤炭占 90%以上。但事实上，随着市场配置资源作用的加强，以及环境保护要求的不断提高，居民生活用能和发达地区的能源消费结构的优质化程度越来越明显。1997 年以来的能源消费负增长主要是煤炭消费的负增长，而石油要靠大量进口才能满足需求。

探究 90 年代中国能源消费增长不快的原因，能源结构优质化也是其中之一。根据调查和专家估算⁹，中国天然气的平均利用效率比煤炭高 30%，石油的利用效率比煤炭高 23%。和 1990 年的能源消费结构相比（见表 5-2），2000 年由于石油、天然气消费比重的提高，能源消费结构的优化，大约节能 1.9%（表 5-3）。

表 5-2 1990 和 2000 年中国能源消费状况

	1990 年		2000 年	
	数量 (万吨标煤)	比重 (%)	数量 (万吨标煤)	比重 (%)
能源消费总量	98703	100	130297	100
煤炭	75212	76.2	86126	66.1
石油	16385	16.6	32053	24.6
天然气	2073	2.1	3257	2.5
水、核电 ¹⁰	5034	5.1	8860	6.8

⁹ NIRA 资助研究项目《东北亚地区能源与安全保障的研究 II：中国的能源环境问题与东北亚地区国际合作的必要性》，执行总结

¹⁰ 由于中国的水核电在转换成实际发电煤耗时，是按当年的平均发电煤耗折算，而不是按照等价热值进行折算。因此，此处的水核电比例提高没有带来节能效益，特此说明。

表 5-3 石油、天然气利用对煤炭消费的影响（单位：万吨标煤）

	石油替代 煤炭量 (1)	石油节约 煤炭量 (2)	天然气 替代煤炭量 (3)	天然气 节约煤炭量 (4)	煤炭增加总量 (5) =SUM(1:4)
2000 年	10424	2397	521	156	13500

提高石油、天然气的消费比例，不仅可以提高能源效率，还带来显著的环境效益，表 5-4 估算了 2000 年由于中国能源消费结构的优化所带来的环境效益。从中可以发现，2000 年中国能源结构改善，每年分别减少 198 万吨二氧化硫的排放，3789 万吨-C 的二氧化碳排放。

表 5-4 能源结构优化带来的环境效益估算

		二氧化硫排放量 (吨-SO ₂)	二氧化碳排放量 (吨-碳)
石油代煤	石油排放系数	0.014	0.5825
	煤炭排放系数	0.0255	0.7476
	代煤量	10424	10424
	小计	120	1721
石油节煤	煤炭排放系数	0.0255	0.7476
	节煤量	2397	2397
	小计	61	1792
天然气代煤	天然气排放系数	0.0002	0.4435
	煤炭排放系数	0.0255	0.7476
	代煤量	521	521
	小计	13	158
天然气节煤	煤炭排放系数	0.0255	0.7476
	节煤量	156	156
	小计	4	117
总计(万吨)		198	3789

从长远来看，石油需求仍将迅速增长，国内供应缺口越来越大，中国将成为亚太地区重要的石油进口国。由于中国天然气资源主要分布在西部和中部地区，而需求主要在东部，要大规模开发利用，只有修建长距离输气管线。受供气距离、供气效率以及终端用户承受力的限制，未来 10 年内，中国管道气供气范围主要是长江三角洲及其以北地区以及四川盆地及其周边地区。从俄罗斯引进天然气可推动东北以及部分华北地区的天然气利用，而南方地区则可能进口 LNG 和开发近海天然气为主。有关方面对未来 20 年内中国优质能源的供应缺口进行过多种预测，其中比较有代表性的一个预测如表 5-5 所示。

表 5-5 油气供求预测

	2010 年	2020 年
原油需求量 (Mt)	296	380
供求缺口 (Mt)	96~116	180
天然气需求量 (10 ⁸ m ³)	1100	1500~2200
净进口量 (10 ⁸ m ³)	300~400	500~1000

单纯依靠国内资源很难保证中国国民经济和社会发展对石油天然气的需要。目前可供中国选择的国外优质能源供应渠道主要集中在俄罗斯、中东、中亚、拉丁美洲和东南亚地区。一些分析认为，与中国毗邻的东南亚地区油气供应增长潜力有限，很难成为未来中国优质能源供应的主要基地。而俄罗斯、中东、中亚和拉丁美洲对中国的石油和天然气供应将受多因素的影响。如何大规模进口石油和天然气，保证供应安全，将是中国 21 世纪能源战略面临的重要挑战。能否保证油气资源的可获得性，实现能源结构的重大调整，是构建未来中国能源需求和温室气体排放情景必须考虑的主要不确定性因素之一。

(7) 环境政策的制定、实施将会对中国的能源效率政策、能源战略乃至经济增长模式产生重要影响

在世界各国经济社会发展的过程中，环境问题对能源供求技术与能源战略的影响十分显著。随着经济发展水平的提高，人们对环境质量的价值越来越重视。环境外部性的内部化，使能源消费的费用明显上升，也改变了各种能源之间的比价。在不少情况下，对环境因素的考虑，比能源资源条件的因素更起作用。

环境因素可能通过两种方式对能源供需起作用。一种是制定越来越严格的环境排放标准，使得不清洁能源的使用成本升高，通过市场调节，推动能源替代，如目前某些国家实施严格的二氧化硫排放标准以及“碳税”，中国的一些特大城市以及重点省会城市现在出台的具体的大气污染治理指标。另一种方式是政府对某些污染比较严重的能源品种实行强制性替代，如北京出于环境考虑，对市区实行天然气代煤。

全球环境问题对各国的能源结构和效率具有越来越大的影响，作为《京都议定书》的核准国，中国如果未来的经济增长仿照现在发达国家的模式，仍然建立在高能源强度的消费基础上，不采取有效的节能措施减少能源消耗，不改善以煤为主的能源消费结构，以降低或延缓 CO₂ 排放增长速度，将是难以接受的。中国需要承担全球环境的相应国际责任，这些方面也会对能源效率的提高产生积极影响。

为了保证社会经济、能源和环境之间的协调发展，可以预见会采取以下几方面的对策措施。

- ☞ 由于近期内煤炭在能源结构占主导地位，要加强对煤炭燃烧利用过程产生的各种污染物的防治。要加快高效除尘装置和烟气脱硫的推广使用，采用先进的发电技术，大幅度提高电力和其它优质能源在终端能源消费中的比重，减少终端能源消费中煤炭所占比重。
- ☞ 努力调整能源结构，特别是城市的能源结构。加快天然气的开发及输气管网的建设，积极筹划进口天然气，较大幅度地增加天然气的消费量。
- ☞ 积极开发洁净煤技术和可再生能源技术。加快新能源和各种可再生能源的开发利

用，发展新型的农村能源体系。

- ☞ 吸取国外成功经验，对量大面广的用能产品广泛实行能源效率标准，以法规手段要求企业生产高效节能的产品；同时推广能源效率标识，引导消费者购买高效节能产品，以市场作用促使企业生产高效节能产品。
- ☞ 制定逐步严格的地区环境排放标准，并以大城市为中心，逐步向中小城市扩散。

上述政策措施如能实施推广，将对中国能源结构的改善，能源效率的提高，包括环境质量的改善与提高产生积极作用。

5.2 可持续能源需求情景的设置及情景定义¹¹

经过多次专家研讨，特别是通过与壳牌（国际）战略研究小组以及美国劳伦斯伯克利实验室专家组的深入交流，课题组最后选择、开发了我国中长期可持续能源需求的 3 个情景，即情景 2、情景 3 和情景 1。这三个情景的相同部分都设想，未来中国社会经济在人口和经济增长方面都有共同的发展目标，各情景也都考虑了可持续发展，包括能源系统的可持续发展目标。但不同情景的可持续发展进程不尽相同，因而相应的能源系统也有所差别。

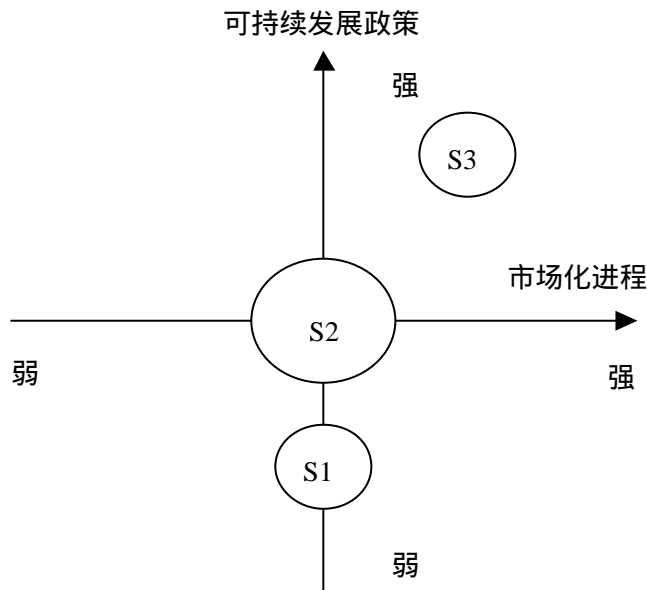


图 5-2. 三个情景的异同示意

课题组还特别选择了“可持续发展政策”执行的强弱和“市场开放程度以及对加入 WTO 和全球化进程的适应程度（简称市场化进程）”强弱这两个主要因素，作为 3

¹¹ 该部分内容引自“伦敦研讨会的讨论结果”及以后的多次研讨成果（研讨会参加人员来自壳牌国际公司的 Ged Davis, Doug Makay，中方人员有周大地、戴彦德、郁聪、郭元、朱跃中等），

个情景差别的主要驱动变量加以说明：情景 2 相应于可持续发展政策执行效果已经相当成功，市场经济建设和开放程度也取得很大成绩。与情景 2 相比，情景 3 无论可持续发展政策的执行力度，还是市场建设和适应全球化的开放程度都更理想。而情景 1 则设想市场建设和开发程度与情景 2 处于相同水平，但某些可持续发展政策执行效果欠佳或由于外部条件影响了可持续发展的相应进程。图 5-2 示意性的说明了 3 个情景在可持续发展和市场化进程方面的相对位置。

3 个情景都是根据各经济部门和行业活动水平，结构变化，技术进步，以及涉及能源消费的诸多设定自下而上地构建起来，对各情景的描述有助于了解情景的设计方向：

(1) 情景 1

情景 1 设想经济发展促进能源效率的提高，但市场竞争压力又在某种程度上限制了企业在提高能源效率方面的投入。清洁燃料受成本、资源等因素的限制，推广和应用不够广泛。由于在推动可持续发展方面存在的市场失灵和缺少在资源利用和环境保护方面的市场杠杆，能源结构调整和能效提高不能完全达到政府的预期目标。

(2) 情景 2

情景 2 是一个比较乐观的可持续经济和能源发展的设想情景，这种情景经过认真努力有可能发生。其中 2005 年以前的社会经济发展目标是以中国的“十五”计划为依据，假定政府所规定的主要社会经济目标届时能够顺利实现；2006~2020 年则是以“十五”以后的社会发展规划和趋势为依据，对今后中国的宏观经济、社会发展、技术进步及应用等作出合理的判断与解释，设想也朝着可持续的方向发展。可以说，情景 2 是各部门专家对政府的“十五”计划和后十年规划目标下可持续经济发展和相应可持续能源发展前景的诠释。

(3) 情景 3

情景 3 是一个非常乐观的，更为理想的情景，该情景设想各种可持续发展的相关政策能得到进一步的加强，并且能够非常顺利地得到执行，同时外部环境也比较理想，如中国可以充分利用国外的优质能源资源，能够从国外引入先进的技术、设备与人才等等。该情景还设想：能源的可持续发展能够很好地支撑中国政府所期望的经济快速增长。社会主义市场经济充分发育，政府进行合理宏观调控和推动可持续发展的政策效果十分显著，使得中国的市场朝着可持续的方向发展，到 2020 年中国的能源效率水平在世界上处于比较领先的地位。中国可以充分利用国际能源市场，使能源结构的调整取得实质性的进展。这个情景的实现要求在提高能效，调整经济和能源结构，以及环保政策和经济技术措施方面有重大举措。

第六章 情景设置

6.1 主要宏观情景的设置

6.1.1 人口增长与城市化

从发达国家的经验看，生活水平的显著提高将会导致人口的低增长或不增长，中国收入水平比较高的特大城市如上海，近几年人口自然增长率很低，个别年份甚至出现负增长。考虑到“计划生育”这项基本国策仍将在未来 20 多年里起作用，国内相关机构或专家¹²也认为，未来 20 年里中国的人口保持年均 7‰左右的增长率。

如前所述，在今后相当长的时间内，城市化将是保持中国经济稳定持续增长的主要动力之一，“十五”计划提出：要有重点地发展小城镇，积极发展中小城市，完善区域性中心城市功能，发挥大城市的辐射带动作用，引导城市密集区有序发展，防止盲目扩大城市规模¹³。有关中国城市化发展进程的研究，国内外机构均做了很多研究，不同的机构预测结果不尽相同，但趋势比较一致，即中国城市化进程将进入快速发展阶段。

综合国内研究结果，课题组设计了未来 20 年中国人口增长和城市化率演变的 3 个情景（见表 6-1）。城镇人口比重将从现在的 36.1%提高到 2020 年的 53~58%，同时乡村地区的用能方式较现在有了较大改善。

表 6-1 未来 20 年中国人口和城市化

情景	内容	1998	2000	2005	2010	2020
情景 1	人口(亿人)	12.48	12.66	13.27	13.85	14.85
	城市化率(%)	30.9	36.1	38.89	42.94	52.86
情景 2	人口(亿人)	12.48	12.66	13.21	13.78	14.7
	城市化率(%)	30.9	36.1	39.86	44.01	55.78
情景 3	人口(亿人)	12.48	12.66	13.21	13.68	14.45
	城市化率(%)	30.9	36.1	40.45	45.32	58.29

6.1.2 经济发展

从经济发展阶段看，中国虽已初步完成小平同志提出的“现代化建设三步走”战略部署的第二步，但离“到下个世纪中叶（2050 年）中国经济发展要达到届时中等发

¹²按照他们的研究成果，中国人口发展将经历的 3 个区间：从高增长到零增长，需要 40 年时间；从零增长到负增长将在 2030 年左右实现；从负增长恢复到零增长或低增长，将在 2100 年左右出现。

¹³ 16 大报告指出：加快城市化进程是中国现代化建设进入新阶段而提出的任务。为了实现这一目标，必须要消除不利于城镇化发展的体制和政策障碍，进行户籍制度改革，引导农村劳动力合理有序流动，逐步提

达国家水平”的宏伟目标还有相当差距。要实现上述目标意味着在未来 20 年中国的 GDP 仍然要保持比较高的增长速度，在情景设定中，课题组假定 3 个情景在未来 20 年里均保持年均 7% 的增长率¹⁴（见图 6-1），其中 2010 年之前中国的 GDP 年均增长率在 7.2% 以上，后十年仍然保持 6.7% 左右的高增长率。

与西方发达国家相比，中国的经济增长速度明显较快，按目前汇率计算，到 2020 年中国的 GDP 将达到 42680 亿美元，已接近目前日本水平¹⁵，预计中国将成为世界上第三大经济大国。但由于中国众多的人口，届时中国的人均 GDP 为 2900 美元左右（见表 5-2-3：3 个情景的人均 GDP 变化）。根据世界银行 1999 年的划分：低收入国家为 760 美元以下，下中等收入国家为 761-3030 美元，上中等收入国家为 3031-9360 美元，高收入国家为 9361 美元以上。以此标准衡量，到 2020 年中国接近目前上中等收入国家的下限水平。

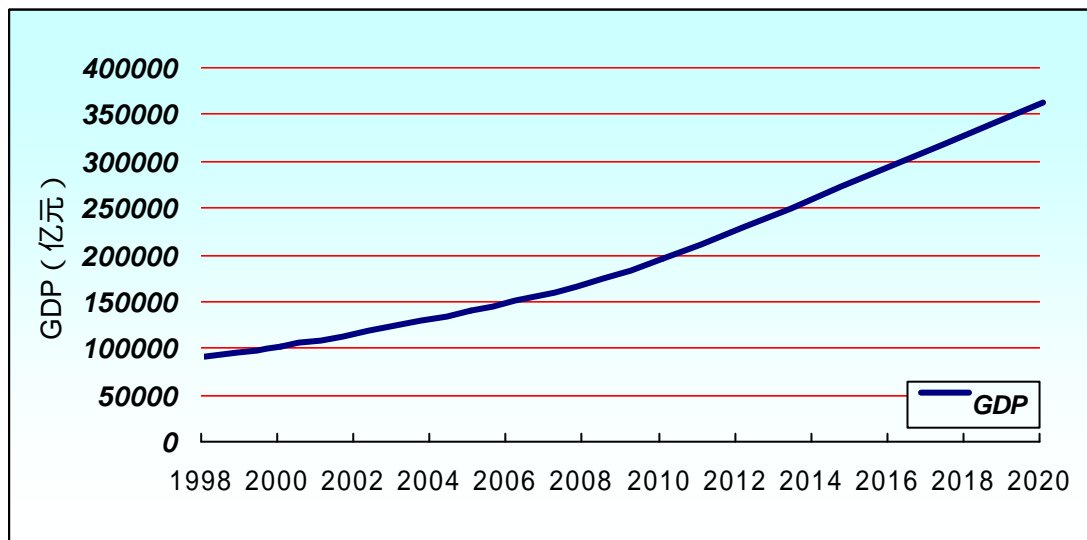


图 6-1 未来中国经济发展趋势

表 6-2 三个情景的人均 GDP 变化比较 单位：元（1998 年价）

	1998	2000	2005	2010	2020
情景 1	6278	7161	9739	13210	23566
情景 2	6278	7161	9783	13277	23806
情景 3	6278	7161	9783	13374	24218

高城镇化水平。

¹⁴最近召开的十六大明确提出了全面建设小康社会，其中一个重要指标就是在 2020 年 GDP 再翻两番。

¹⁵资料来源：《日本能源经济手册》（2002）

6.1.3 产业结构演变

表 6-3 未来 GDP 产业构成及行业构成设定

	1998	2000	2005	2010	2020	1998~2020
全国 (亿元)	78345.2	90652.2	129238	182963	349951	7.0%
第一产业	18.6%	15.9%	13.0%	11.0%	9.0%	3.6%
第二产业	49.3%	50.9%	51.0%	52.0%	48.0%	6.9%
第三产业	32.1%	33.2%	36.0%	37.0%	43.0%	8.5%
第二产业 (亿元)	38619.3	46142	65911.1	95140.6	167976	6.9%
工业	86.5%	86.4%	86.2%	86.0%	88.0%	7.00%
建筑业	13.5%	13.6%	13.8%	14.0%	12.0%	6.3%
工业 (亿元)	33387.9	39866.7	56815.4	81820.9	147819	7.0%
高耗能行业	38.51%	38.00%	35.00%	31.00%	23.00%	4.5%
轻工业	33.69%	33.80%	33.00%	33.50%	34.00%	7.0%
制造业	27.81%	28.20%	32.00%	35.50%	43.00%	9.1%
高耗能行业 (亿元)	12856.6	15149.3	19885.4	25364.5	33998.4	4.5%
采掘业	26.25%	26.00%	25.00%	24.00%	22.00%	3.7%
钢铁行业	9.67%	9.50%	9.30%	8.70%	8.00%	3.6%
建材行业	12.20%	12.00%	10.50%	11.00%	10.00%	3.6%
有色行业	3.45%	3.50%	3.80%	4.00%	4.50%	5.8%
石油化工	4.84%	5.00%	5.80%	6.30%	7.50%	6.6%
化工	11.03%	11.00%	10.80%	10.50%	10.00%	4.1%
造纸	3.10%	3.20%	3.50%	3.70%	4.20%	6.0%
电力及水供应	29.46%	29.80%	31.30%	31.80%	33.80%	5.2%
轻工业 (亿元)	11246.7	13474.9	18749.1	27410	50258.5	7.04%
制造业 (亿元)	9284.51	11242.4	18180.9	29046.4	63562.2	9.14%
交通设备	21.89%	22.00%	23.00%	23.50%	25.00%	9.80%
电子通讯	22.71%	24.00%	27.50%	30.00%	35.00%	11.30%
其他制造	55.40%	54.00%	49.50%	46.50%	40.00%	7.53%
第三产业 (亿元)	25173.5	30096.5	46525.5	67696.2	150479	8.47%
交通运输	16.37%	16.40%	17.20%	18.20%	20.50%	9.58%
商业	26.14%	26.10%	26.10%	26.00%	26.00%	8.44%
其他	57.49%	57.50%	56.70%	55.80%	53.50%	8.11%

注:(1) GDP 采用 1998 年可比价;(2) 轻工业包括食品饮料业、纺织服装皮革业、木材加工制造业、文教印刷业以及医药化工业;(3) 在工业部门内部,除了在制造业和轻工业部门考虑了高附加值行业对经济发展的贡献外,在传统高耗能行业中也考虑了由于深加工而带来的附加值。

到 2020 年,3 个情景基本上完成了工业化,产业结构的调整取得很大进展。服务业等第三产业的比重将由目前的 32.1%增长到 43%(见表 6-3),第一产业增加值由现在的 18.6%降到 9%左右。该结构基本上与目前世界中等偏下国家的结构接近。

到 2020 年中国的产品结构和服务结构也发生了很大的变化，资金密集型、技术密集型的产品和服务的发展要快于高耗能行业、轻工业的增长速度。钢铁、建材、化工等高耗能行业的发展将主要依靠结构调整，通过深加工和生产高附加值产品来完成而不是产量扩张。如：化工行业通过发展精细化工和高效化肥；钢铁行业主要发展高品质钢材如冷轧钢；建材通过新型建筑材料等。相应的产品产量增长不快，如 1998~2020 年钢铁总产量仅增长 0.83 倍（见图 6-2），同期钢铁行业 GDP 增加值增长了 1.18 倍；水泥产量仅增长 0.6 倍，GDP 增加值则增长 1.36 倍。

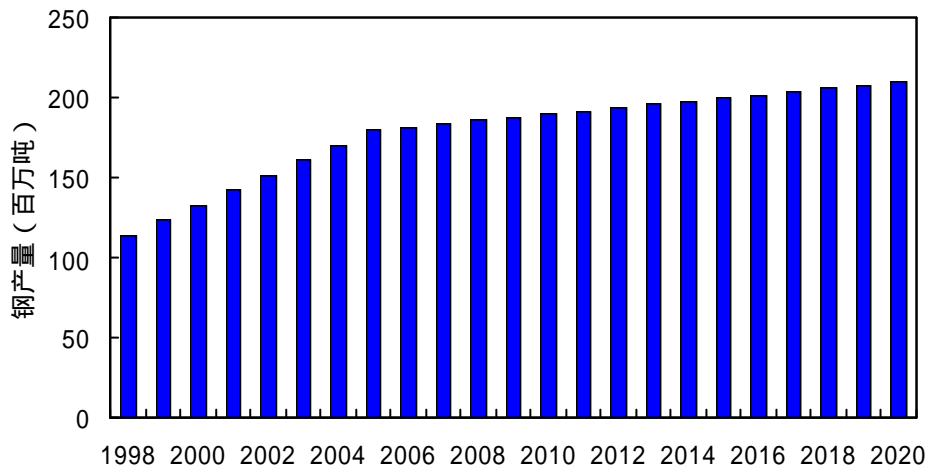


图 6-2 钢铁产量设定

目前中国建筑面积总计 347 亿平方米，其中居民住宅建筑面积占 79%，达 274 亿平方米。近年来每年新增的房屋竣工面积 13 - 14 亿平方米，1990 - 2000 年年均新增建筑面积的增长率为 3.7%，其中居民住宅面积占 80%左右。随着我国经济持续、快速、稳定的发展，特别是第三产业的发展，商用建筑将呈现出高速增长的趋势（见表 6-4）。

表 6-4 未来中国建筑面积和人均住宅面积增长趋势

		1998	2000	2005	2010	2020
总建筑面积 (亿平方米)	商业	73.0	87.0	122.0	157.0	268.0
	住宅	274.5	295.3	352.7	414.9	520.8
人均住宅面积 (平方米)	城镇	18.1	19.9	24.5	29	35
	农村	23.7	24.9	28	31	36

从城乡居民的人均居住面积看，与目前西方发达国家的差距比较大（见图 6-3），如美国人均居住面积 57 平方米，加拿大为 40 平方米。今后一个时期，中国城镇居民消费结构正处于向满足“住”和“行”需求为主的大的转变时期，预计到 2020 年中国城镇居民人均居住面积将达到 35 平方米，基本上接近 90 年代初期英、法、德、意等四国的平均水平。农村居民的人均住房面积也将从 1998 年的 23 平方米增长到 2020 年的 36 平方米，且居住质量也有了很大改善。

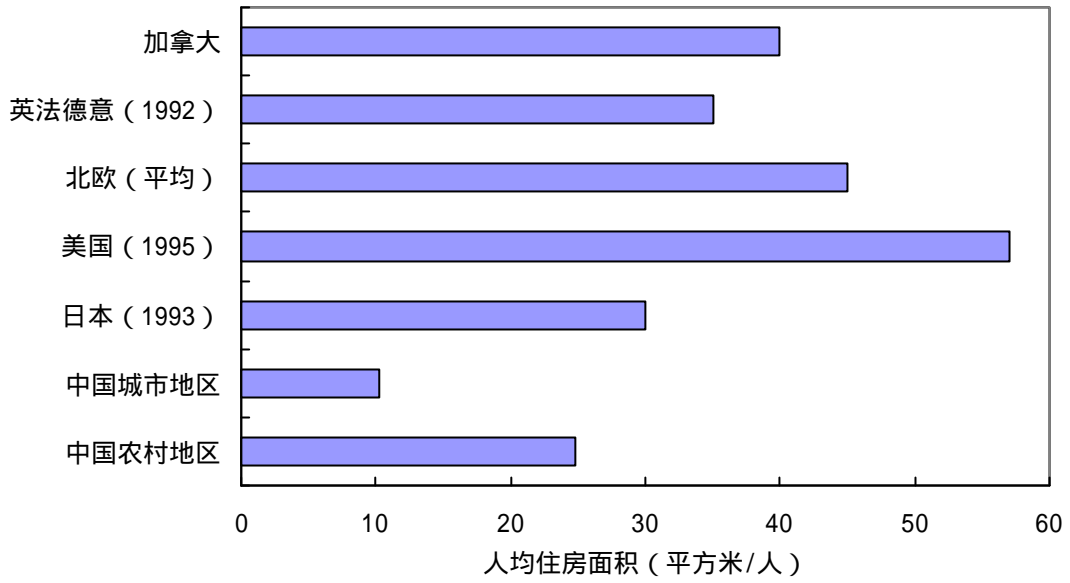


图 6-3 人均住房面积国际比较

表 6-5 列出了情景 3 各主要部门采取的主要政策措施,同类政策在情景 2 和情景 1 中也均有体现,但实施的强弱、推行的时间进程均有所不同。除了三大用能部门实施的主要政策外,有关技术进步、优质能源(特别是天然气)的可获性以及环境等方面在 3 个情景中因不同政策的实施也有所不同(见表 6-6)。

表 6-5 在情景分析中设想未来中国将要采取的政策措施

交通	建筑物	工业	能源转换部门
(4) 制定车辆的燃油税收	● 建筑物节能标准的制定 ● 实施热价改革, 促进节能	● 进行自愿节能协议的示范推广 ● 修订行业节能设计规范 ● 建立工业产品标识和能耗等级体系	● 继续推行电力体制改革 ● 国电公司全面淘汰 10 万千瓦以下机组
(5) 发展公共交通模式, 大中城市内建立了智能交通系统 (ITS)	● 家用电器最低效率标准、标识的制定实施 ● 新型建筑节能墙体的推行	● 制定节能法的配套法规体系, 并进行试点推广 ● 等等	● 新建燃煤电站普遍安装脱硫装置 ● 大力发展水电等低碳、无碳能源
(6) 制定促进清洁燃料汽车发展的措施	● 诸如绿色照明等大型工程的示范推广		● 鼓励燃料电池、太阳能光伏电池等技术的引进和应用
(7) 制定相关政策, 鼓励国外节能环保型的国际大汽车制造厂家进入中国市场	● 等等		● 等等
(8) 推进燃料效率标准的制定			
(9) 等等			

表 6-6 情景设定的因素考虑及三个情景的主要区别

	情景 1	情景 2	情景 3
人口	计划生育政策稍有放松，人口自然增长率较高，2020 年全国人口达 14.85 亿。	继续执行计划生育国策，人口自然增长率保持较低水平，2020 年全国人口达 14.7 亿。	严格执行计划生育政策，出生率呈逐年下降趋势，2020 年全国人口 14.45 亿。
城市化	城镇化的进展受到户籍政策、资源、经济发展水平的限制，2020 年城市化率 52.86%。	重点发展小城镇、兼顾不同类型城市协调发展的模式。2020 年城市化率 55.78%。	适合西部开发的需要，中小城市相应发展，大城市也有较快发展。2020 年城市化率 58.29%。
消费趋势	<ul style="list-style-type: none"> ● 城市建房速度快，但能效水平提高不够迅速。 ● 农村住房建设将增长较快。 ● 农村居民普通家用电器的普及率将有较大幅度的提高。 ● 农村汽车升级换代、摩托车、汽车增加较多。 ● 在引导老百姓选择高效、环保的消费方式方面，政府的影响较弱。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 住房和汽车消费有较大增长。 ● 大城市的能源消费主要是电力和气体燃料，小城镇居民生活用能以电力、煤炭、LPG 为主。 ● 小城镇对家用电器的需求潜力较大，普通家电的销售量将增长显著。 ● 东部地区天然气得到大量应用。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 住房、汽车的购买力将增长较快。 ● 居民生活用能趋向气体燃料和电力等优质能源。城市里天然气消费大幅度增加。 ● 城市居民的家电产品更新换代加快，家电产品使用能效提高。 ● 农村电力和 LPG 使用比例提高，可再生能源商品化有一定的发展。
对全球经济的适应程度	中国难以适应全球经济变化的影响。	全球经济变化对中国经济发展的影响不大。	全球经济的不利影响被完全消化掉。
工业部门	<ul style="list-style-type: none"> ● 小企业的关、停、并、转难以落实，竞争力较弱。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 企业规模结构转向经济型，趋于合理。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 企业向大型化发展，国际竞争力增强。
交通	<ul style="list-style-type: none"> ● 中小城市缺乏合理规划的公共交通模式。出行方式以个体交通为主，城市公交跟不上要求。 ● 汽车大发展，但拥堵增加，汽车效率提高较慢。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 公共交通和摩托车是发展重点。 ● 2005-2010 年，大城市和一些沿海地区执行“欧洲 2 号”汽车排放标准。2010-2020 年，中小城市执行“欧洲 2 号”。2005-2010 年城市公交部分出租车逐步推广 LPG。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 人们普遍选择环保的交通方式。大中城市居民出行方式以公共交通为主，大中城市内建立了智能交通系统（ITS） ● 汽车行业的技术进步显著。清洁燃料替代技术不仅在公共交通和私人汽车中普遍采用。在重点城市执行欧洲 III

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

			号标准。
发电	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃煤火电厂逐步采用脱硫装置，2020年不脱硫的燃煤电厂仍然占有相当大的比例。 ● 水电、核电、天然气联合循环发电和风力发电的发展相对比较平稳。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 在新建燃煤电厂中，脱硫电厂的比例尽快增加。2020年脱硫普及。2010年后开始采用清洁煤发电技术。 ● 水电、核电、天然气联合循环发电和风力发电的发展加快 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃煤火电厂普遍采用脱硫装置，超临界高效发电机组、IGCC等清洁能源技术的较多的应用。 ● 水电发展顺利，核电和天然气联合循环发电得到较大发展，风力发电增长迅速。
节能政策	<ul style="list-style-type: none"> ● 完善“节能法”的配套法规。 ● 但缺少有效的政策手段来引导市场。落实节能目标受阻。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 完善“节能法”的配套法规。 ● 节能政策、措施得以比较顺利实施。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 完善能源价格机制和激励节能的财税制度。 ● 节能政策、措施富有成效。
环保政策	<ul style="list-style-type: none"> ● 沿用现行的环境保护标准 ● 2005年以前，实施“双控区”和重点城市大气污染控制。 ● 2010年前，现有“双控区”内实施SO₂排放总量和浓度双达标。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 沿用现行的环境保护标准 ● PM10、PM2.5为控制重点。 ● 大城市以增加燃气供应来改善空气质量。 ● 2005年以前，实施“双控区”和重点城市大气污染控制。 ● 2010年前，“双控区”内实施SO₂排放总量和浓度双达标。 ● 2020年前，“双控区”政策将得到有效执行，酸雨和SO₂面积将得到控制。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 加强大城市排放标准的实施力度 ● 制订NO_x排放的更严格标准 ● 煤炭的替代不仅发生在大城市，而且也将发生在富裕起来的中型城市 ● 建立更严格地环境执法体系 ● 采用更为严格的发电厂SO₂排放标准，强制发电厂采用脱硫技术
能源资源	<ul style="list-style-type: none"> ● 国际石油资源在未来20-30年内不会成为的限制因素。 ● 中国石油产量增产能力有限，但进口石油可以满足石油需求增长。 ● 用户难以承受天然气价格，天然气资源的勘探、开发和管网建设进展缓慢，LNG和管道天然气进口受到限制。 ● 2020年国内天然气产量800亿立方米，进口400亿立方米。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国际石油资源在未来20-30年内不会成为的限制因素。 ● 中国石油产量增产能力有限，但进口石油可以满足石油需求增长。 ● 国内天然气开发和基础设施建设比较顺利，天然气市场的发育良好。 ● 2020年国内天然气产量1200亿立方米，进口500亿立方米。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国际石油资源在未来20-30年内不会成为的限制因素。 ● 中国石油产量增产能力有限，但进口石油可以满足石油需求增长。 ● 天然气价格机制得到完善，天然气需求增长迅速，天然气进口量增加。 ● 2020年国内天然气产量1200亿立方米，进口800亿立方米。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

能源安全	<ul style="list-style-type: none"> 立足国内能源资源。 	<ul style="list-style-type: none"> 利用国外优质能源，建立多元化的能源进口体系。 	<ul style="list-style-type: none"> 能源进口多元化，重视能源安全问题。
能源部门改革	改革的进展滞后于其它部门，在某些方面垄断继续存在。	进行能源企业重组，垄断被打破。	改革进展较快，提高了能源企业的国际竞争力。
能效水平	<ul style="list-style-type: none"> 由于客观条件使一些技术的发展受阻，在一些政策取向上有争议而选择了其他方案使行业的技术装备和设备运行效率水平达到届时国际平均水平的目标难以实现。 	<ul style="list-style-type: none"> 假定中国在 2030 年各部门、行业的技术和单位产品的能源效率、设备能效水平达到届时的国际平均水平。 	<ul style="list-style-type: none"> 假定中国在 2030 年以前各部门、行业的技术装备和设备运行效率水平达到届时国际先进水平。
公众节能环保意识	<ul style="list-style-type: none"> 较好 	<ul style="list-style-type: none"> 较好 	<ul style="list-style-type: none"> 好

6.2 分部门情景的设置

6.2.1 工业（产业）部分主要情景设置

6.2.1.1 工业部门现状描述

工业部门是国民经济的支柱产业，在整个经济中占有重要地位，工业的稳定增长是实现城市化、现代化的必要前提。建国五十多年，特别是改革开放二十多年来，中国工业部门取得了长足进步和发展，既提供了国家基础设施建设所必须的原材料，也满足了人民群众日益增长的物质文化需要。按 1998 年可比价计算，中国工业部门的 GDP 增加值已从 1990 年的 12407 亿元增加到 1999 年的 36233 亿元（资料来源：中国统计年鉴）；1990~1999 年期间，工业部门 GDP 增加值的年均增长率高达 13.9%，而同期全国 GDP 增长率为 9.6%；包括工业的第二产业也是三次产业中增长最为迅速的产业。与此同时，工业部门也成为改革开放 20 多年来中国经济增长的主要源泉，在全国 GDP 中的构成中占有主导地位。据统计，1980 年中国三次产业的产值比例为 30.1 : 48.5 : 21.4；2000 年变为 15.5 : 55.9 : 33.2。20 年的产业结构变化趋势说明，以工业部门为主的第二产业是中国经济增长的重要推动力；随着 90 年代中国工业化进程的加快，其在国民经济中的地位有逐步上升态势。

工业部门一直是我国的能源消费大户，90 年代工业部门能源消费占全国能源消费总量的比重一直保持在 70% 左右。图 6-5 显示，进入 90 年代，工业部门的能源消费状况也经历了一个先升后降的趋势，基本与全国的能源消费变化状况保持一致。

具体而言，在中国逐步推进工业化和城市化进程的背景下，1990~1996 年期间传统高耗能行业和原材料工业发展较为迅速，主要耗能产品的产量年均增长率在 8% 以上。与此相适应，中国工业部门的能源消费也从 1990 年的 67578 万吨标煤增长到 1996 年 100322 万吨标煤，年均增长率达到 6.8%，基本延续了 80 年代以来的趋势；1996 年以来，工业部门的能源消费量处于负增长态势，1996~1999 年 3 年间年均下降 3.27%，而同期全国能源消费总量年均下降 2.16%，从中也可发现，无论是 1996 年之前我国能源消费的正增长，还是 1996 年以后我国能源消费出现的滑坡，均源于工业部门能源消费的起伏。上述状况也折现这么一种趋势，在工业化尚未完成的中国，无论交通部门，商用/民用部门的能源需求增长多么迅速，今后 5~10 年里，工业部门依然会是中国能源需求的重要部门，一定程度上会依然影响中国能源供求的进程。

就工业部门的内部结构来说，90 年代以来，传统高耗能行业和原材料工业的 GDP 比重逐年下降，比较明显的有钢铁、有色、化工和建材行业；而由于信息化和知识经济浪潮的影响以及人民生活水平的不断提高，电子、电力、加工制造等行业 GDP 比重有所上升，中国经济正向新型工业化阶段发展。可以预见在未来一段时间内，随着工业化和城市化的逐步推进和人民生活水平和消费水平的进一步提高，在高耗能行业经过十几年的快速发展，同人民生活紧密相关的电子、通讯、汽车制造等低耗能行业仍

将保持一定的增长速度，其比重将进一步增加；而传统高耗能行业增长速度将有所减缓，GDP 比重还将有一定程度下降。这种趋势将从某种程度上影响未来工业部门的能源消费。

表 6-7 工业部门内部各行业的 GDP 结构

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
钢铁	6.42	6.6	7.93	10.29	9.05	7.08	5.85	5.47	5.34	5.26	5.36
有色	2.66	2.49	2.51	2.65	2.40	2.69	2.37	2.24	2.28	2.4	2.57
石油	2.55	2.85	2.93	2.69	2.95	3.63	3.10	3.04	2.72	2.74	3.10
化工	7.76	7.07	6.72	5.3	5.40	6.11	6.61	6.01	5.68	5.64	5.58
建材	6.04	6.35	7.04	8.04	7.33	6.69	6.77	6.48	5.25	5.21	4.92
造纸	1.83	1.67	1.48	1.18	1.30	1.50	1.83	1.71	1.64	1.65	1.62
采掘	7.10	6.89	8.44	7.41	8.09	9.90	9.31	9.4	9.21	9.29	10.99
电力	5.07	5.44	6.99	5.38	6.03	8.47	7.86	8.83	10.37	10.87	9.90
机械	20.86	21.25	21.2	23.30	22.35	20.79	21.05	20.57	19.64	19.37	18.90
轻工	35.26	34.84	33.96	30.66	31.43	28.54	31.35	31.45	30.79	32.75	28.66
电子	2.87	3.11	2.68	2.77	3.29	4.11	3.68	4.55	5.77	6.25	7.18

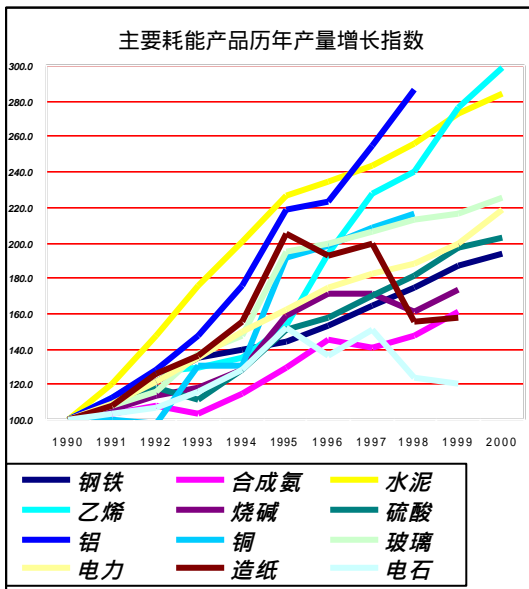


图 6-4 主要耗能产品历年产量增长指数

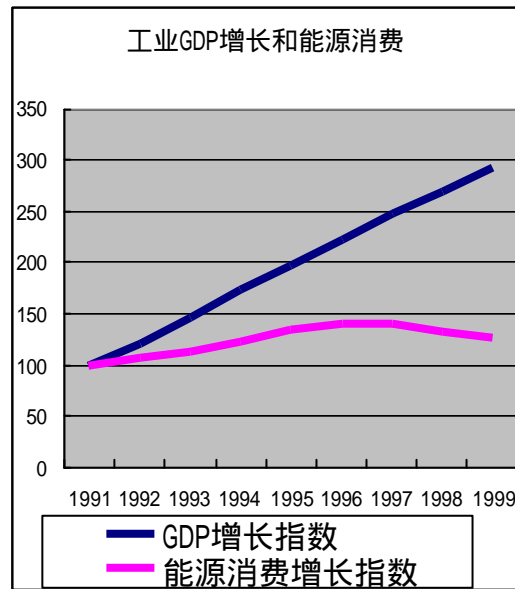


图 6-5 历年工业 GDP 及能源消费增长指数

从工业部门经济增长和能源消费的关系来看，利用柯布-道格拉斯生产函数进行测算显示¹⁶，1978-1999 年间，资源和资本投入、生产率提高和劳动力扩张对中国经济增长的贡献率分别为 55%、30%和 15%。这说明过去 20 年中国经济的高速度增长主要得益于实物资本的快速积累，而生产率的提高和劳动力增长的贡献相对较小。八九十年代工业部门的高速增长伴随着资源低效消费的特征，粗放型的增长方式耗费了大量宝贵的能源资源。从某种意义上说，工业部门的生长是以资源浪费和环境破坏为

¹⁶ 王万兴，2020 年的中国经济

代价的。在可持续发展成为主题的今天，如果工业的经济增长方式仍像以往那样以数量的外延式增加为主，那么对资源、环境所产生的影响和压力将是不可想象的。有关研究表明，如果中国的经济增长方式特别是高耗能工业的增长方式及能源消费方式仍维持 90 年代以来的态势，那么到 2010 年中国的能源消费总量将达到 2100Mtce，到 2025 年中国排放的二氧化碳将比目前美国、日本和加拿大的总排放量还要多。¹⁷

同西方发达国家相比，中国主要工业产品的人均累计量远远低于世界平均水平，工业化还未完成，城市化水平还比较低，未来一段时间工业部门仍需保持一定的增长速度。但从目前工业部门的基数和规模来看，主要工业产品年产量已经很高。以钢铁和水泥产量为例，2000 年中国钢产量达到 1.6 亿吨，水泥产量达到 6 亿吨，分别是美国钢铁和水泥年产量的 1.3 倍和 5.7 倍，是日本钢铁和水泥产量的 1.5 倍和 7.1 倍。未来 20 年，如果高耗能行业的主导产品产量仍保持 5~8% 的年均增长率，这将明显超出资源和环境所能承受的容量，并可能为此付出高额代价。在这方面西方发达国家在工业化进程中所走的弯路已经给了我们深刻而充分的教训，中国过去的若干实践也证明了这一点。因此，未来中国工业的可持续发展之路应是保持目前传统高耗能行业和原材料工业的基本规模，以相对较低的主导产品增长速度，通过较长一段时间的发展和积累，来满足工业化和城市化进程中工业基础产品总量和人均累积量的双重要求。同时改变现有的单纯以产量增长为重点的粗放型的增长模式，转向以提高产品质量，改善产品结构，提升技术装备和工艺水平，提高资源和能源使用效率为重点的集约型经济增长新模式。

6.2.1.2 中国工业部门能源发展的影响因素分析

影响未来工业部门能源需求的关键因素可归结为经济活动水平、经济结构、技术发展和技术进步、能源结构和原料路线、市场化进程以及环境政策，现分析如下：

(1) 经济活动水平与增长方式

工业部门的经济活动水平是影响未来工业部门能源需求的基础性因素。未来 20 年，中国仍处于工业化和城市化进程中，基础产业和基础设施建设增长仍保持较快速度，工业部门经济活动水平仍将保持一定的增长速度，相应的，工业部门的能源需求仍将持续增长。

在同样的经济活动水平下，经济增长的不同方式将会对未来能源需求产生较大影响。粗放型的增长注重单纯的数量增长，也必然导致能源利用效率低下；集约型增长以提高经济内涵为基础，注重经济增长质量的提高和经济结构的优化，由此必将带来能源浪费现象的减少和能源利用效率的提高。经济增长方式对能源需求的影响主

¹⁷ 来源：1994 年，中国工业部门能源效率研究报告集

要体现于在满足经济总量增长的条件下，不同的经济增长方式相应带来能源消费方式的不同，以及能源利用效率的高低差异，能源需求总量也将由此产生较大差异。

（2）经济结构

在工业部门内部，行业结构对未来能源需求也将产生较大影响。同传统高耗能行业相比，轻工业和加工制造业的能源强度相对较低，对能源的依赖程度不高。在一定的经济增长速度下，如果传统高耗能行业仍保持较快增长速度，其比重仍保持较高水平，工业部门能源需求总量的增长速度也必然会保持一定水平；但如果加强工业部门产业结构调整，走新型工业化道路，大力振兴装备制造业，控制高耗能行业的数量型增长，提高经济增长质量，未来工业部门的单位产值能耗将下降较快，能源经济性不断提高，能源消费总量的增长速度将进一步减缓，并能够实现以较低的能源增长支持经济的持续稳定增长。

（3）技术进步

工业部门的技术进步对提高能源利用效率，降低能源消耗具有比较明显的效果。改革开放以来，现代化的生产技术不断引进和开发，但从整体上看，先进的工业装备仍只占很小的比重。近 10 年来的情况是：原属于 30 - 40 年代技术水平的生产力在稍加改造后仍在发挥重要作用，其能源效率水平明显低于国际水平；八九十年代迅速增加的生产能力，除部分属于九十年代初的国际水平外，其多数仍采用较为陈旧的技术工艺和装备，能源效率水平低于国际水平。未来 20 年，生产工艺和技术的不断发展，先进工艺和技术不断更新和改造落后技术，特别是新增生产能力均以目前国际先进水平为基础进行设计，工业部门的技术水平包括能源利用效率水平将有较大幅度的提升。例如先进的机械石灰窑其能源效率比一般土法土窑高出 50%以上，能源消费降低 40%以上；目前正在进行工业化试验的沸腾式预热分解水泥窑其能源效率比目前被发达国家广泛应用的预热分解窑还要高出 10%以上，每吨水泥熟料煤耗还可降低 15 克左右。

（4）能源结构和原料路线

终端能源消费结构对未来能源消费及能源效率的影响很大。发达国家终端用能以油、气、电等优质能源为主，而中国终端用能以煤为主。中国目前的能源消费结构中煤的比重为 62%，油气比重为 24%；而美国 1990 年的终端能源消费结构中，煤的比重为 12%，油气比重为 73%。从整体上说中国能源效率比工业发达国家低的多，一个重要原因就是能源结构和原料路线以煤炭为主。

60 年代以来，石油天然气化学工业已成为现代化学工业的主体，世界发达国家，包括发展中国家都已完成了以石油化工为主的原料结构调整。石油天然气化工的迅速发展，使化学工业的原料构成发生了根本性的变化；同时，也使化学工业的生产技术

面貌发生了重大变化，产品品种成倍增加，经济效益大幅度增长。就合成氨行业而言，以煤为原料生产一吨合成氨平均需 1.2 吨标准煤，同时耗电 1000 度左右，而以天然气为原料生产一吨合成氨仅需天然气 1000 立方米，耗电 40 度，两种原料路线的能耗相差 60%以上；到 1998 年中国以天然气为原料的合成氨产量比重不到 20%，其余大部分为煤化工，而国外合成氨工艺绝大部分为大型天然气化工，90 年美国天然气制合成氨的比重为 98%以上。

提高天然气等优质洁净能源的运用比重不仅可以提高能源效率，降低能源需求总量，而且在相同的能源需求状况下能显著减少碳排放总量。优化工业部门的能源消费结构，改善原料路线将会对未来工业部门能源发展和碳排放产生巨大影响。

（5） 市场化进程

市场化发展的程度将不同程度地影响产业结构、产品结构、企业规模结构、技术发展及其应用等因素，这些综合因素将对未来工业部门的能源需求产生巨大影响。市场化意味着以市场为基础来配置资源，意味着市场竞争机制的不断完善和健全。日益激烈和规范的市场竞争将促进企业规模结构和产品结构的不断调整。具体说来，市场竞争的最终结果是生产的专业化、规模化和集团化，技术水平低、污染浪费严重、达不到经济规模的企业将不复存在，行业集中度和能效水平不断提高；与此同时，企业作为市场的主体，以市场为导向组织生产，产品结构不断优化，经济效益高、环境污染少的高附加值产品比重不断提高，单位产值能耗不断下降。市场竞争也不断推动技术创新和技术改造，特别是传统高耗能行业将充分利用先进能效技术，加强能源管理，减少能源浪费，加强节能技改，努力降低能源成本，提升企业市场竞争力。市场竞争也可促进工业企业采用高效燃料，提高能源利用效率，加速能源结构优化和升级。

中国面临世界经济一体化的机遇和挑战，国内市场机制不断完善和健全，以及加入 WTO，都将形成具有活力的、发达的高效技术贸易市场和产品贸易市场。技术贸易市场的形成将有助国内工业企业对国外先进技术和工艺设备的引进、消化和吸收，促进传统企业的升级换代，促进整个行业技术水平和能源效率水平的提高，缩小工业部门能效水平同发达国家的差距，逐步发挥发展中国家的后发优势。产品贸易市场的形成可使中国充分利用世界市场分工，利用高耗能载体贸易，逐步调整和优化国内产业结构。鉴于中国国内工业生产的实际情况和资源状况，未来完全可以利用高耗能载体的进口弥补国内基础性工业产品和原材料生产的不足，参与世界分工，并以此逐步摆脱产品结构不合理，高附加值、低能耗产品比重低，经济增长以数量型增长为主的局面，大力发展通讯、电子制造业，振兴装备制造业，走新型工业化道路。

（6） 环境政策

日益严格的环境排放标准和环境执法监测体系将对工业部门的能源结构、能源需

求总量产生巨大影响。首先，严格的环境排放政策将促使企业采用清洁、高效的燃料，如以油品、天然气代替煤燃料；其次，可能实行的环境税、碳税将有力推动清洁高效燃料技术的开发与应用，有力推动先进生产技术包括先进能效技术的广泛应用，促进企业节能改造和落后生产工艺设备的更新换代，其直接结果将是整个行业能效水平的不断提高。从另一方面看，严格的环境政策也将有效促进和推动产业结构、产品结构的优化和升级，并以此对能源消费产生明显影响。

6.2.1.3 未来中国工业部门发展趋势描述及情景设定

(1) 工业部门未来发展趋势描述

如前所述，中国是一个地区经济发展不平衡的国家，东南沿海等相对发达地区已经进入工业化中期阶段，而广大中西部地区刚进入工业化的初中期阶段，总体而言，中国离全面实现工业化仍有相当距离。此外，中国的城市化程度还很低，尚有 8 亿多农民还未充分享受到现代文明生活，中国的基础设施建设尚有非常巨大的需求。这一切都意味着在未来相当长的时间内，中国的工业和建筑业仍然有较大的发展空间。根据一些经济学家对中国未来经济发展形势的判断，同时和西方主要发达国家的工业化过程相比较，并充分考虑未来中国市场需求和消费潜力，未来一段时期中国第二产业的发展速度将基本与全国 GDP 的增长速度保持一致，建筑业的发展速度将略低于工业的发展速度，工业部门未来 20 年的平均增长速度将在 7% 左右。

未来中国要完成工业化、城市化，加上西部大开发以及基础设施建设，传统的高耗能行业和基础原材料产业将有相应的持续增长。但由于中国工业经济经过几十年的快速发展和产量的不断扩张，目前主要高耗能行业的产业规模已经较为庞大，总量已趋于饱和，由此对资源和环境所造成的压力也越来越大。因此，未来主要高耗能行业仍保持过去若干年的增长速度是不现实的；其可持续发展之路只能是在现有规模的基础上控制总量，加快结构的升级和换代，提高高附加值产品的比重，以长期的、持续的稳定增长来满足工业化、城市化以及基础设施建设的需求。

未来工业部门的经济增长的重点放在行业结构的调整和优化上，新型工业化是我国工业发展的趋势。国际上工业结构高度加工化的一般趋势是随着加工工业的迅速发展，技术进步加快，工艺水平不断更新，专业化程度上升，加工深度或层次提高，物耗下降，对原料工业的依存度逐渐减弱。在这种情况下，加工工业比重不断上升，但对原料工业的需求压力并不相应增加。在未来的工业化进程中，加工制造业将保持较快的增长速度；同时随着人民生活水平和对衣食住行需求的不断提高，以及城市化进程的不断推进，生活消费市场需求的不断扩大，轻工业将保持较高的增长速度，其比重也将有所上升。

就具体行业来说，传统高耗能行业中石油化工、造纸和有色金属工业仍将保持年

均 7% 以上的 GDP 增长速度。这是由这些行业目前的市场发展现状和需求所决定的。未来由于交通运输业和私人小汽车的发展，对油品的需求量将越来越大；特别是严格的环境排放政策将促进油品加工深度和质量的不断提高，由此未来 20 年炼油行业的年均增长速度将在 7% 以上。如前所述¹⁸，为了比较准确地描述炼油部门各种工艺的能源消费过程，课题组对炼油部门的终端能源消费情景进行了详细的系统设计。在情景设计过程中，课题组假定在国民经济增长速度一定的情况下，3 个情景国内原油的加工量均保持一致，到 2020 年国内炼厂的原油加工量将达到 3.80 亿吨，1998~2020 年期间原油加工量年均递增 3.84% (见图 6-6)。目前中国的轻油收率和原油收率分别为 70%、90% 以上，随着工艺路线的改进与技术革新，未来中国炼油部门的收率将有所提高，预计到 2020 年，中国通过国内生产加工的汽、煤、柴、润等油品的产量大约为 3 亿吨左右。90 年代以来国内原油生产已远不能满足石油消费的需求，随着国民经济的快速增长以及居民生活水平的进一步提高，特别是小汽车进入家庭，国内石油供不应求的局面仍将进一步加剧。在情景设定过程中，3 个情景的油品需求主要根据各行业、部门经济发展的要求而定，供不应求的油品将由国际贸易（进口）解决。这也意味着 3 个情景的石油对外依存度不尽相同。

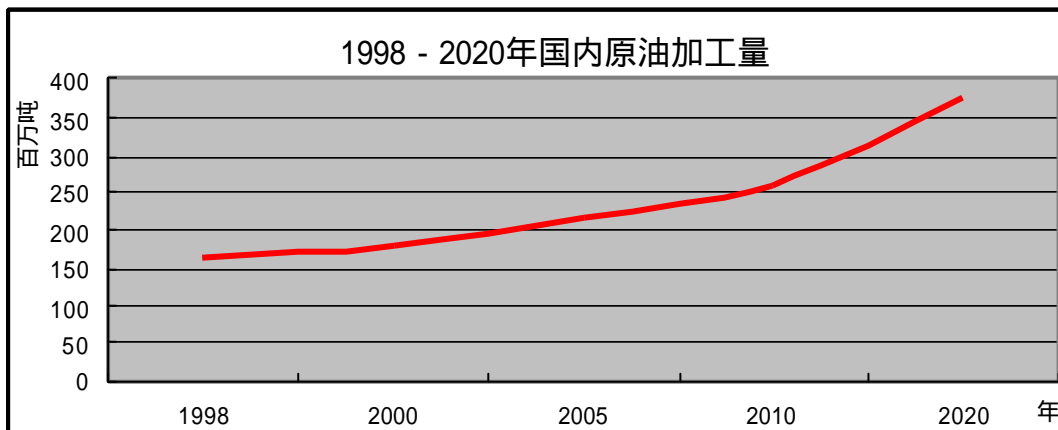


图 6-6 1998~2020 年中国原油加工量

目前主要石化产品专用料和通用料的市场缺口较大，国内石化产品的市场份额不到 50%，一半以上需要进口。未来一段时期，提高国内石化企业的市场竞争力、增加产品产量和核心竞争力，提高石化产品的市场份额将是石化行业适应加入 WTO 的当务之急。目前有色金属行业的基础较为薄弱，产量还达不到市场需求容量，有一定缺口，特别是未来由于加工制造业和电力工业的快速发展，对铜、铝、铅、锌等金属的需求量将进一步扩大，有色金属行业将保持较快的发展速度。对于钢铁、建材、化工等传统高耗能行业来说，目前的规模和市场容量已经足够，快速发展的潜力和空间有限。2000 年，我国的钢铁和水泥产量已经分别达到 1.7 亿吨和 6 亿吨。这些行业未来 20

¹⁸ 见第四章方法论部分的内容。

年的年均增长速度在3%左右。随着人民生活水平的提高,以及工业部门机械化、自动化程度的提高,能源结构的不断优化,电力行业仍将保持一定的增长速度。未来20年,是中国不断进行信息化和发展知识经济的重要时期,也是全面迈向小康社会和不断提高人民生活品质的关键时期,通讯、电子以及汽车制造等行业将保持快速增长,其年均增长率将在10%左右。下表是有关行业具体的发展规模和增长速度。

表 6-8 未来 20 年中国工业部门经济发展及其活动水平的设定

实物(亿元)	1998	2000	2005	2010	2020	1998~2020 增长率
工业	33387.9	39866.7	56815.4	81820.9	147819.1	7.00%
其中:						
高耗能行业	1998	2000	2005	2010	2020	4.5%
其中:						
采掘业	3375	3939	4971	6087	7480	3.7%
钢铁行业	1244	1439	1849	2207	2720	3.6%
建材行业	1568	1818	2088	2790	3400	3.6%
有色行业	443	530	756	1015	1530	5.8%
石油化工	622	757	1153	1598	2550	6.6%
化工	1419	1666	2148	2663	3400	4.1%
造纸	399	485	696	938	1428	6.0%
电力与水	3787	4515	6224	8066	11491	5.2%
轻工业	11247	13475	18749	27410	50259	7.04%
其它制造业	9284.5	11242.4	18180.9	29046.4	63562.2	9.14%
其中:						
交通设备	2032.02	2473.33	4181.61	6825.91	15890.56	9.80%
电子通讯	2108.54	2698.18	4999.75	8713.93	22246.78	11.30%
其他制造	5143.95	6070.90	8999.56	13506.59	25424.89	7.53%

未来工业部门发展的一大特征是高附加值产品的比重不断上升,企业经济效益不断扩大,万元产值能耗显著降低。也就是说,在行业主导产品产量增加有限的情况下,行业的工业增加值仍能保持一定的增长水平。不论是在过去,还是在未来的发展中,这种特征在传统高耗能行业表现最为明显。以化学工业为例,过去10年中,占整个化工行业能源消费一半以上的合成氨生产其产量仅从1990年的2129万吨上升到1998年的2997万吨,年均增长率为4.4%;而化工行业的工业增加值从562亿元上升到1418亿元,年均增长率为12%,是产品产量增长率的3倍左右。下表是钢铁、建材等行业历年主导产品的产量和行业工业增加值的变化情况。

表 6-9 主要耗能行业历年主导产品及工业增加值(99年工业可比价)变化情况

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
钢铁产量(万吨)	7099.9	8093.5	8953.9	9261.3	9536	10124	10891	11459
年均增长率(%)				7.1%				
钢铁增加值(亿元)	545.2	740.1	937.4	983.6	1219.3	1199.1	1230.7	1244.2
年均增长率(%)				12.9%				
高附加值比重(%)	33.06	34.78	35.99	36.97	41.17	38.67	42.04	47.18
水泥产量(万吨)	25261	30821	36240	42119	47591	49212	51276	53600

年均增长率 (%)					12.4%			
水泥增加值 (亿元)	91.57	196.58	256	347.88	314.84	346.36	351.04	373
年均增长率 (%)					22.2%			

从以上数据的分析中可以看出,过去十年来,主要高耗能行业的高附加值比重不断提升,产品结构不断优化,行业增加值的增长速度均不同程度快于相关主导产品的产量增长速度。这也是未来工业部门尤其是传统高耗能行业发展的一个显著特征。在满足以上对各行业宏观增长速度设定的基础上,主要高耗能行业产品产量的增长变化趋势如下表所示。

表 6-10 主要高耗能行业主导产品的变化情况

	1998	2005	2010	2020	产量年均增长率 (%)	增加值年均增长率 (%)
钢铁行业 (万吨)	11459	18000	19000	21000	2.8	3.6
水泥行业 (万吨)	53600	61000	79066	94825	2.6	4.0
合成氨行业 (万吨)	3100	3485	3670	4000	1.2	4.0
乙烯工业 (万吨)	377	770	1000	1800	7.4	8.0
造纸行业 (万吨)	2733	4000	5000	7500	4.7	6.0

(2) 工业部门主要情景设置

情景设计的基本考虑

如前所述,在 LEAP 模型结构设计中,课题组将产业部门分成三部分,即第一产业(农业)、工业和建筑业。从未来的发展趋势看,随着工业化进程的加快,工业部门和建筑业发展较为迅速,相应的能源需求总量也比较大,特别是工业部门。选择何种政策、措施对工业部门的能源需求与碳排放将有较大影响。为了便于考察不同的政策假设如何影响未来工业部门能源需求与碳排放的走势,下边从产业结构调整、技术进步、能源结构优化、节能政策和环境政策的制定与实施方面对情景 2 设定作概述性描述。

📁 工业规模在现有基础上稍有增加,工业部门内部行业结构逐步优化,内涵型经济增长模式初步形成,高附加值产业有一定发展。

“十五”规划中提出的可持续发展战略和结构调整的方针在工业部门具体说来,就是在满足城市化进程和城市基础设施建设以及西部大开发需求的基础上,基础性的原材料工业继续保持一定的速度发展,产值年增长率在 4.5%左右;随着人民生活水平的不断提高,以及对交通、通讯、信息化越来越高的需求,轻工业、交通通讯电子设备制造业将保持较快的速度增长,据专家估计,这些行业的产值年均增长率在 7%左右。就工业内部结构来看,传统高耗能产业的增长速度和比重同 90 年代水平相比有所下降,加工制造业和轻工业的比重逐年上升,工业部门的产值能耗随着内部行业结构的调整

而逐年下降。在高耗能行业内部，90年代以来在中国经济高速增长时期所出现的产量急剧上升的情况也不复存在，经济增长方式向内涵型集约式经济模式发展。在主导产品产量有所增加的情况下，扩大产品的深加工，提高高附加值产品的比重。情景假设中，未来20年间，诸如建材、化工、钢铁等传统高耗能行业的主导产品产量在目前的基础上仅增加0.5倍，并以此支撑传统高耗能行业4%的产值年均增长率，完成中国的工业化和城市化进程。据估算，在高耗能行业内部由于产品结构的调整，行业的单位产值能耗将保持3.5%左右的下降率。

就具体行业来说，石化行业应增加合成材料专用料的生产，如聚酯、丙烯腈、PTA等产品，并逐步替代进口；炼油行业应根据市场需求适当提高炼油深度，提高油品的深加工率；钢铁行业增加高档钢材的比重，如汽车用材、石油管等高附加值产品；玻璃行业在压缩总量的同时，增加高附加值、多功能玻璃的研制和生产，如中空玻璃，隔音保温玻璃，特种玻璃等。在对高附加值产业发展现状进行分析的基础上，情景2设定到2020年高附加值产品的产值比重将达到70%。

📁 新增生产能力在技术工艺上达到届时国际水平，先进能效技术应用较为广泛，到2030年总体能效水平达到届时国际平均水平。

从源头上加强节能设计规范的制定和实施，努力控制新增生产能力的耗能水平，未来几十年时间内，所有传统高耗能行业的新增生产能力均达到届时的国际平均水平，一部分有可能达到或超过国际先进水平，从现在到2020年，新增生产能力的比重将达到40%以上。钢铁行业、合成氨行业、石化行业 and 水泥行业更具有这样的显著特征。由于市场竞争压力、提高经济效益、严格环境标准以及加入WTO后技术贸易发展等因素的影响，先进能效技术在高耗能行业的研发和应用较为广泛。例如，钢铁行业中连铸连轧工艺的比重将达到95%以上，转炉煤气回收达到100%，水泥行业中预热分解窑由于余热回收技术、生料熟料研磨技术和配料掺入技术的应用，其能耗进一步降低，2020年达到92kgce/t熟料。同时，由于高效融资机制的建立，企业的节能技术改造进展比较顺利，诸如电机拖动系统、锅炉、热力系统的改造和优化将对企业能耗产生比较大的影响，据估算，这些设备在改造后其能效水平将提高20-30%以上。

📁 能源结构进一步优化，原料路线替代进展顺利。

能源结构的优化和原料路线替代的前提是国内天然气资源开发和管网建设顺利，下游市场发育成熟；国际油气资源多元化进口和开发体系基本形成且较为稳定。在情景2下这些条件均已具备，2020年的天然气供应量可达到2000亿方。工业部门的能源结构优化主要体现在合成氨、陶瓷以及通用热力设备。化工部门，到2020年，大中型合成氨生产企业的产量比重达到100%，小型合成氨被完全淘汰，天然气原料路线的产量比重达到60%，其余绝大部分为石油原料，以煤出发的合成氨仅占5%。届时合成

氨行业的天然气消耗量为 200 亿方。由于受环境排放标准的影响，未来几年企业内部的通用热力设备如烧煤锅炉将逐渐转为烧气锅炉，其效率将提高 30%以上，同时污染物及二氧化碳排放将减少 50%以上。到 2020 年，情景 2 中以天然气为燃料的通用热力设备比重将达到 85%以上。

📁 节能政策和环境政策的制定和实施进一步强化，对优化能源结构、提高能效的效果较为明显。

有关节能政策和环境政策情景设定的主要内容包括节能法及其配套法规的完善和落实；有关工业耗能设备最低能效标准和最高能效限额的制定和实施；高耗能行业节能设计规范的修订和颁布，项目审批中进一步强化节能指标的审核；制定相关的经济政策对节能和技术改造进行有效刺激；能源价格的改革较为顺利，引入能源税和碳税；环境保护和环境排放政策进一步加强，有效推动节能、技术进步和能源结构优化。在情景 2 中，节能和环境政策的执行和监测机制有一定程度的转变，政策执行力度加强，实施效果比较明显。节能和环境政策已成为推动中国未来能源可持续发展的重要驱动力，主要体现在推动节能和技术进步，全面提升中国工业部门的整体能效水平，促进企业规模化和集团化，提高企业的市场竞争力，促进行业结构、部门结构和能源结构的调整和优化，其效果是长期的、持续的、宏观的、全面的。节能与环境政策是未来政策选择的一项重点。

三种情景设计比较

三个情景中对工业部门若干关键因素和指标的设计及假定见表 6-11。

表 6-11 工业部门的情景设计比较

	情景 1	情景 2	情景 3
经济结构	<p>小企业的关、停、并、转难以落实，竞争力较弱；</p> <p>对建材行业来说，小水泥、小玻璃由于受地方保护主义等多种因素的影响，仍在全国各地不同程度地存在着；大型新型干法水泥的比重有所上升，但程度有限，到 2020 年其产量占回转窑水泥产量的 85%；墙体材料的改革进展不太顺利，粘土砖的产量下降缓慢；由于受成本和市场规模的影响，电气化技术在石灰和砖瓦行业中推广和应用困难重重，电气化水平提高较慢；新型建材的发展速度不快；整个建材行业总量仍然有所过剩，市场结构不太合理；</p> <p>化工行业中小化工、小合成氨仍大量存在，工艺技术水平先进的大型合成氨比重提高有限，到 2020 年其比重为 45%；由于资金、市场和技术方面的因素，精细化工产业的发展速度不如情景 2，其在化工行业工业总产值中的比重有所下降；</p>	<p>建材行业的结构调整以淘汰小水泥、小玻璃为重点，加快大型新型干法水泥和浮法玻璃的发展并逐步提高其比重，加快墙体材料的改革，提高石灰、砖瓦的机械化水平，加快新型建筑材料的发展；</p> <p>化工行业的结构调整以提高大型合成氨的比重，淘汰小合成氨为重点，加快精细化工等高附加值产业的发展；</p> <p>石化行业结构调整的重点是通过兼并和淘汰小的炼厂，提高炼油行业的生产规模，加速设备大型化的进程，乙烯行业的结构调整以原料路线的调整为主，主要是提高石脑油生产乙烯的比重；</p> <p>钢铁行业结构调整的重点是提高现有企业的技术装备水平和扩大生产能力的建设，大中型企业内的小设备迅速淘汰，到 2020 年大型钢铁企业集团的发展模式将逐步形成；</p> <p>有色金属工业的结构调整主要是发展</p>	<p>建材行业的结构调整进展顺利，2005 年以前小水泥、小玻璃基本被完全淘汰，大型干法水泥、浮法玻璃的比重上升很快，墙体材料改革进展顺利，粘土砖的产量下降很快，石灰、砖瓦行业的机械化水平高于情景 2，但电耗水平上升不快，新型建材发展迅速，在整个建材行业中的比重显著上升；</p> <p>化工行业大型合成氨的比重进一步上升，企业规模进一步扩大，由于天然气资源的充足，以天然气为原料的工艺路线所占的产量比重达到了相当的程度，精细化工的发展速度进一步加快，在整个化工行业工业总产值中的比重进一步上升；</p> <p>石化行业中企业规模水平进一步提高，大型炼油企业的比重进一步上升，同情景 2 相比，乙烯原料中石脑油的比重基本保持不变，其主要原因是国内汽油市场过剩，用于乙烯的石脑油不</p>

	<p>石化行业中全国范围内的小炼厂仍大量存在，企业规模和设备装备水平上升幅度有限；乙烯行业中石脑油原料的比重有所上升，但相对于情景2仍然较低，到2020年只有70%；</p> <p>钢铁行业中情景1假定特大型和大型设备对应的产量结构调整力度比情景2弱，相应中小型设备将比情景2的中小型设备淘汰的慢，其对应的产量下降幅度也小；</p> <p>有色金属工业在该情景中设定的先进工艺对应的产量结构调整力度比情景2弱，相应的由于改造和淘汰落后工艺的速度慢于情景2，其对应的产量比重也高于情景2；对于铜金属来说，发展先进的闪速熔炼工艺的速度比情景2慢，2005年、2010年、2015年和2020年其对应的铜产量的比重分别为20%、25%、30%和35%；</p> <p>在造纸行业中，情景1是在情景2的基础上减弱发展现代化大型企业的力度，到2020年现代化大型企业的纸产量占全国纸产量的比重有目前的10%增长到20%，现有浆纸综合企业的纸产量占全国总量的比重有目前的49%缓慢下降到2020年35%。</p>	<p>先进的冶炼工艺，淘汰落后的工艺路线，提高规模水平。如对于铜金属，发展国际上先进的闪速熔炼工艺，淘汰落后的鼓风炉熔炼工艺，积极发展大型氧化铝生产工艺，电解铝工艺要发展大型预培电解槽，淘汰落后的小电解槽；</p> <p>造纸工业的结构调整主要是通过政策的引导，建设大型现代化的造纸企业，对现有企业通过调整企业规模，提高企业的技术装备水平和扩大生产能力，同时加速关停一批排放为达到环保标准及不符合经济规模的小纸浆厂。</p>	<p>内汽油市场过剩，用于乙烯的石脑油不会增长太快；</p> <p>钢铁工业同情景2相比，情景3中假定特大型和大型设备对应的产量结构调整力度比情景2强，相应地中小型设备将比情景2的中小型设备淘汰得更快，其对应的产量下降幅度也较大；</p> <p>有色金属工业加快了改造和淘汰落后工艺的速度，其产量占总产量的比重下降程度较情景2快，而大型企业和先进工艺的比重高于情景2中的设定；</p> <p>造纸工业在情景3中由于产业结构调整政策执行的效果较为显著，现代化大型企业的产量比重上升更快，同时现有浆纸综合企业由于加快淘汰落后企业，其产量占总产量的比重下降程度也较情景2快。</p>
--	--	--	--

<p>技术变化</p>	<p>一些客观条件使技术的发展受阻,或对一些政策取向上有争议而选择了其他方案,情景2的目标难以实现;</p> <p>在水泥技术进步方面,由于科技的发展水平和落后工艺的改造淘汰速度的限制,其产品单耗下降速度要慢于情景2,到2020年,水泥熟料能耗下降到120公斤标准煤左右;</p> <p>在炼油和石化行业中单耗下降率的假定同情景2相差不大,本情景下降速度略低;</p> <p>在钢铁行业中,技术进步和能效水平的设定情景1和情景2是一致的,因为能效水平的高低主要取决于工艺技术和装备规模水平,一旦确定了不同类型的工艺技术和设备规模后,其能效水平将同不同类型的设备相对应。</p> <p>对于铜冶炼工业来说,本情景发展先进的闪速熔炼工艺的速度比情景2慢,经过调整工艺技术装备和提高能效水平,最终铜冶炼单耗将由1998年的1.357tce/t下降到2020年的0.943tce/t,年下降率为1.64%;</p> <p>对于造纸行业,由于在本情景中现有浆纸综合企业的技术改造力度减弱,其能效水平要低于情景2。现代化大企业的产品单耗由1998</p>	<p>从总体上说,中国工业各部门、各行业的技术水平和单位产品的能源效率、设备的能效水平在2030年左右达到届时国际平均水平;</p> <p>水泥技术水平的变化在2005年以前主要对落后窑型进行以节能为目标的技术改造,同时对无改造前途的窑型厉行淘汰,到2005年全国水泥熟料的平均单耗将下降23%,熟料能耗降到145公斤标煤以下;2005年后主要依靠大型干法水泥的投产对立窑的产量进行替代,到2015年,水泥熟料能耗达到103公斤标准煤,相当日本目前的水平;</p> <p>在炼油和石化行业,通过加强能源管理和节能技术改造,以及关键性技术的突破,国外先进技术的引进,炼油装置的单耗年下降率为0.3%-0.5%,考虑的主要节能措施有调整大小型装置的加工量,采用节水措施以及采用新的机电节能技术;主要石化产品单位能耗下降趋势变化不大,是由于石化行业生产技术和目前国际上的平均水平相当,节能的潜力有限;</p>	<p>假定中国在2030年以前各部门、行业的技术装备水平和设备运行效率水平达到届时的国际平均水平。</p> <p>在水泥技术进步方面,假定在未来20年间有三项技术获得突破,即沸腾煅烧新型工艺,窑外分解窑的低温余热发电和工业废渣生产水泥工艺。届时中国水泥综合能耗将下降40%左右,70%以上的水泥企业都将采用处于国际领先水平的工艺和装备;</p> <p>在炼油和石化行业中,单耗下降率的假定同情景2相差不大;</p> <p>在钢铁行业中,技术进步和能效水平的设定情景3和情景2是一致的,因为能效水平的高低主要取决于工艺技术和装备规模水平,一旦确定了不同类型的工艺技术和设备规模后,其能效水平将同不同类型的设备相对应。</p> <p>铜冶炼工艺通过加快发展先进的闪速熔炼工艺,同时加快传统熔炼工艺改造和淘汰的速度,其单耗水平由1.357tce/t下降到0.65tce/t,年均下</p>
-------------	---	---	---

	<p>低于情景 2，现代化大企业的产品单耗由 1998 年的 0.7tce/t 下降到了 2020 年的 0.6tce/t，浆纸综合企业的产品单耗由 1998 年的 1.50tce/t 下降到了 2020 年的 1.30tce/t，其他企业的产品单耗由 1998 年的 0.7tce/t 下降到了 2020 年的 0.58tce/t。</p> <p>轻工业和加工制造业的产值单耗年均下降率分别为 1.2%和 1.5%左右。</p>	<p>钢铁行业技术水平的进步有以下几点：假定拥有大型以上焦炉的钢铁联合企业逐步采用干熄焦工艺，设想加快大中型企业实施烧结余热回收项目，未来大型高炉将继续加大喷煤量，未来大型高炉全部投入 TRT 项目，2005 年连铸比将达到 95%以上，设想现有大中型设备逐步加大煤气回收和蒸汽回收水平，未来炼钢企业均采用炉外精炼技术，电炉炼钢采用废钢预热技术；钢铁工业设定大中型企业到 2005 年达到 20 世纪 90 年代末发达国家的平均能效水平，到 2020 年时中国钢铁工业将跟上发达国家届时的发展水平和能效水平；</p> <p>有色金属工业新建的大型生产工艺设备，其能效水平能达到国际有色金属产品的能效水平，经过改造的现有的工艺设备，未来的能效水平也应能达到目前的国内先进水平；1998 年铜冶炼工艺平均单耗指标为 1.357tce/t，通过逐步改进先进的闪速熔炼工艺，其单耗下降到 0.6tce/t，同时传统熔炼工艺经过改造和淘汰后，其单耗下降到 1.0tce/t，最终铜冶炼单耗下降到 0.8tce/t，年均下降率为 2.37%。</p>	<p>降率为 3.29%。</p> <p>对于造纸行业，由于在情景 3 中现有浆纸综合企业加快了技术改造的力度，其能效水平要好于情景 2，现代化大企业的产品单耗由 1998 年的 0.7tce/t 下降到了 2020 年的 0.6tce/t，浆纸综合企业的产品单耗由 1998 年的 1.50tce/t 下降到了 2020 年的 0.80tce/t，其他企业的产品单耗由 1998 年 0.7tce/t 下降到了 2020 年的 0.58tce/t。</p> <p>轻工业和加工制造业的产值单耗年均下降率为 4%。</p>
--	---	---	---

		<p>造纸行业新建的现代化大型企业，技术先进且回收热能效率高，因此能效水平与国际大型造纸企业的水平同步，现有浆纸综合企业，随着生产规模的扩大和工艺水平的提高，能效水平将不断提高，预计到2010年时将达到目前国内先进能效水平；</p> <p>轻工业和加工制造业的单耗下降率平均为2.5%。</p>	
能源结构	<p>建材行业中，新建的浮法玻璃工艺中天然气的比重将有所上升，但将低于情景2中的设定，2020年其比重仅为9%，同样由于资源受限的原因，卫生陶瓷中天然气的比重将只有32%；</p> <p>在上述客观条件下，未来天然气化工在大型合成氨生产的比重仅有60%，在中型合成氨中的比重也只有25%。</p>	<p>在建材行业中，新建的浮法玻璃工艺均以燃料油和天然气为燃料，天然气所占的比重应有所上升，2020年达到13%；陶瓷行业将大量以天然气为燃料，煤和燃料的比重将有所下降，在卫生陶瓷生产中天然气的比重将达到40%；</p> <p>在未来20年将重点发展以天然气为原料的大型合成氨工艺，天然气化工的比重将有所上升，大中型合成氨生产工艺中天然气的比重将上升到60%左右；</p>	<p>建材行业中，新建的浮法玻璃工艺中天然气的比重将进一步上升，2020年达到16%，卫生陶瓷中天然气的比重将达到55%；</p> <p>未来天然气化工在大型合成氨生产的比重将达到70%，在中型合成氨中的比重也将达到60%。</p>
节能政策	<p>在本情景中节能政策、措施同情景2一致，但由于受各种客观条件的限制，执行力度和实施效果较差。</p>	<p>制定了节能法的配套政策法规，建立节能投资和改造新机制，通过产业政策淘汰低效设备，建立能效标准和标识制度，建立最高能耗限额和最低能效标准制度，逐步建立</p>	<p>能源价格机制得到进一步完善，新的财税制度将激励节能；</p> <p>各项政策措施能够得到较好的实施，效果显著。</p>

		重点耗能企业能源监测和报告制度，修订节能设计规范； 节能政策部分得以实施，效果中等；	施，效果显著。
环境政策	在情景 1 中，环境标准、政策和目标同情景 2 一致，但由于多方面因素的限制，其执行力度和效果较差，情景 2 中设定的目标难以实现，其对提高能源效率的作用也就十分有限。	未来环境政策对工业部门的主要影响在于进一步促进了工业部门结构的优化和升级，以及能源结构的清洁化进程，当然也将促进节能环保新技术的推广和应用。具体说来，如小玻璃、小水泥在严格的环境政策下很难生存，天然气化工将从很大程度上代替煤化工，有色金属的回收和再利用也将十分必要和紧迫，高炉煤气和焦炉煤气的回收利用技术也将易于推广和应用，等等。 情景 2 中认为环境政策执行的效果为中等程度。	环境政策执行的效果良好，进一步促进了产业结构的优化升级，以及节能环保新技术的应用。

6.2.2 交通部分主要情景设置

6.2.2.1 中国交通部门发展与能源消费现状趋势展望

(1) 现状回顾

改革开放以来，中国交通运输行业走上了正常发展的轨道，九十年代以来，中国客货运量、客货周转量更是进入高速增长阶段，以客货周转量为例，2000 年底中国旅客周转量和货运周转量分别为 12261 亿人公里和 44452 亿吨公里，1990~2000 年期间年均增长率分别达到 8.1%和 5.4%（见图 6-7）。与之相适应，交通运输邮电业的能源消费量也逐年增长，1990~1999 年期间，其能源消费量以年均 8.2%的速度增长。即便在 1996 年以后中国能源消费总量出现负增长时，其年均增长率仍高达 15.5%（见图 6-8）。

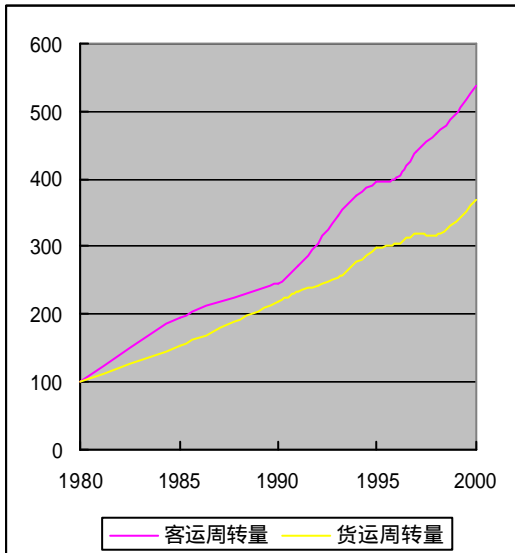


图 6-7 客、货运周转量增长指数

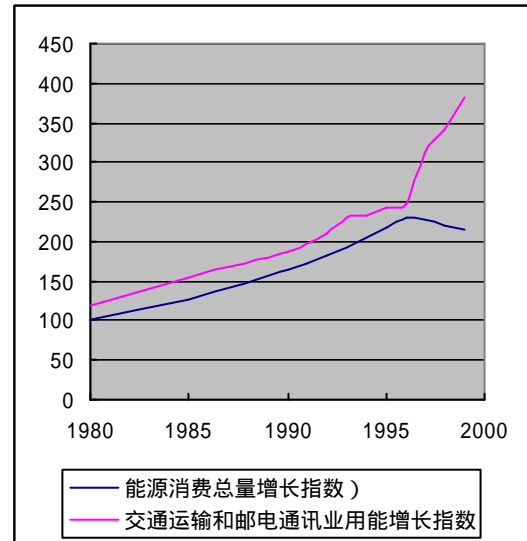


图 6-8 交通邮电部门和全国能源消费指数

从交通营运部门提供的交通运输服务量（客、货运周转量）与能源消费之间的增长关系看，1980~1996 年期间，客货运周转量的年均增长速度要快于同期能源消费的增长速度；1996 年以后，能源消费的增长速度显然快于客、货运周转量的增速（见表 6-12）。这从另外一个角度反映出：随着经济的快速发展与居民收入水平的提高，交通运输已不再是仅仅满足提供服务，而是朝着方便、快捷、舒适的方向发展，也意味着同样提供 1 吨公里或 1 个人公里的运输服务，其能源消耗有逐步上升的势头。

与此同时，中国私人汽车保有量从 1990 年的 81.62 万辆增加到 2000 年的 625.33 万辆，年均增长率高达 22.58%；表现在居民油品消费上，1990 年其汽油消费量仅为 18 万吨，1999 年就增长到 121 万吨，1990~1999 年间的汽油年均消费增长率达到 23.58%（见图 6-9）。

表 6-12 1980~1999 年客货运周转量与其能源消费年均增长率比较

	能源消费	客运周转量	货运周转量
1980~1985 年	5.1%	14.2%	8.8%
1985~1990 年	4.1%	4.9%	7.4%
1990~1995 年	5.2%	9.8%	6.4%
1980~1996 年	4.5%	9.0%	7.0%
1996~1999 年	15.5%	7.2%	3.5%

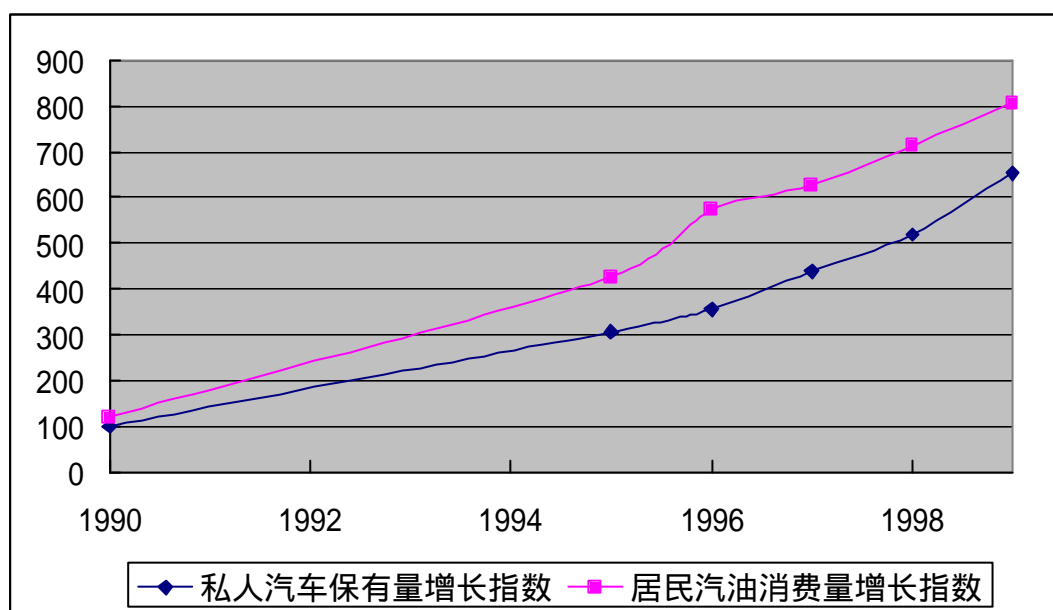


图6-9 私人汽车保有量与居民用汽油增长关系比较

中国目前尚处于工业化初中期阶段，能源消费主要集中在工业部门，交通运输行业所消耗的能源比重不大。根据中国统计年鉴的资料显示，1998 年中国交通运输邮电业的能源消费量为 8245 万吨标煤，约占同期能源消费总量的 6.2%。如果涵盖交通营运部门、城市客运、企事业单位自备车辆与私人交通的能源消费量，1998 年中国交通运输系统能源消费总量约为 1.126 亿吨标煤¹⁹（比统计局公布的数据高 36.6%）。

（2）发展趋势

随着中国经济的持续增长及人民生活水平的提高，预计今后几十年内，中国交通运输也将朝着高效、舒适、快捷方向发展，家庭轿车的保有量将成倍增长，未来中国交通运输部门的能源需求将会以较高的速度增长。具体而言，未来中国交通部门的发展具有以下趋势特点：

¹⁹由于中国交通运输部门没有像西方发达国家一样实行严格分工，而是受过去“工厂办社会”和“企业办社会”的影响，中国很多工厂、单位都自备运输车辆(主要是汽车)，承运自己的运输任务，这部分能源消费也没有进入交通运输部门总的能源消费量中，加之近几年由于私车增加，民用交通用能增加迅速。如果考虑这些因素，中国以国际通用口径计算的交通用能将高于国家统计局所公布的数据。

📁 经济的稳定持续发展和工业化、城市化进程的加快将促使中国交通运输继续以较高的速度增长

世界各国经济发展的经验表明，一个国家的经济发展离不开该国交通运输业的支持，国民经济的发展与运输之间存在着正相关关系（见表 6-13）。从中国客货运量、客货周转量与国民经济的增长关系看，它们之间也保持了极强的正相关关系，“九五”期间，客货周转量与 GDP 的弹性关系分别为 0.77 和 0.54，近几年来，随着西部开发战略的实施，基础设施建设的加快以及假日经济的快速发展，中国的客、货运弹性系数有回升态势。

按照“十五”规划中提出的经济发展目标以及经济“三步走”的长远目标，中国未来 20 年里 GDP 仍将保持 7% 左右的增长率。由此要求中国客货运也要保持较高的增长率。从经济发展阶段看，目前中国总体经济发展水平已处于工业化的初中期阶段，有些较发达地区开始进入工业化成熟时期，不同地区的运输需求会有所不同。经济活跃的辐射地带（珠江三角洲、长江三角洲、渤海湾地区、成渝走廊）的商流、人流、物流、信息流随着经济的持续发展也将迅速增长，这些地区的交通基础设施仍有待加强；而广大中西部地区的经济发展潜能还未释放，因此长远来看中国运输需求潜力还很大。按照国内有关机构的研究结果并结合发达国家在不同发展过程中交通运输的增长状况，要满足未来经济发展目标的需求，到 2020 年，中国客、货运周转量将分别比现在水平增加 3.16 倍和 1.84 倍（见图 6-10）。

表 6-13 选定国家客货运周转量与 GDP 之间的增长关系比较

国家	年份	客运周转量与 GDP 之间的弹性系数	货运周转量与 GDP 之间的弹性系数
美国	1950~1967	1.1	0.8
德国	1960~1972	0.6	0.6
日本	1966~1974	0.8	0.9
中国	1980~1996	0.9	0.6
	1997-2000	0.9	0.7

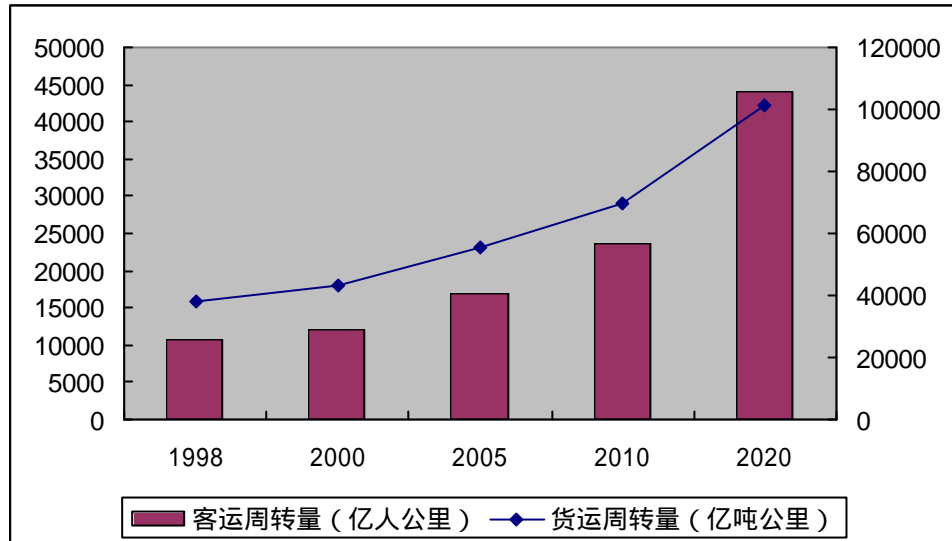


图 6-10 未来 20 年中国客货运周转量发展趋势展望

居民生活水平的提高与生活节奏的加快使得方便、舒适、快捷的运输方式发展非常快

从九十年代以来中国铁路、公路、水运、民航和管道等五种运输方式承担的客货运运输量及其增长状况看，随着人们生活水平的提高及生活节奏的加快，舒适方便的运输方式其运输量增长速度比较快，如公路、航空运输的旅客发送量及旅客周转量都有较大幅度的提高；而一些传统的运输部门，如铁路、水路等运输方式的运量增长势头明显放缓，表现在旅客发送量上尤为明显，有的年份甚至出现了负增长。近两三年来，铁路运输部门开始切实面向市场，通过提速、增开旅客专列、提高服务质量等等适应消费需求的措施，客运增长势头又所加快。但从目前的发展趋势看，中国运输市场结构已经从铁路为主的阶段转变到公路为主、其它运输方式各展所长的阶段。近年来民航客运的迅速发展预示着，随着居民收入水平的提高，航空运输在长途客流的竞争中越来越有吸引力。上述变化短期内会给交通运输部门能源效率提高带来严峻挑战，也将对未来中国交通运输用能产生重大影响。

城市化进程的加快与居民生活水平的提高使得城市居民出行人次增长、出行距离拉长，且城市居民的出行有依赖于个体交通的趋势

总体而言，目前公共交通占城市总出行量比重不高，各城市公共交通差别较大，一般而言，大城市公共交通较发达，中小城市相对落后。北京、上海等大城市公共交通客运量占城市总出行量 30% 左右，大多数大城市约占 10~20%，中等城市约 5%，小城市普遍不足 1%，总体水平约占 9%。在满足中国城市居民的出行需求中，自行车仍然占着相当大的比例，中小城市尤为明显。近年来，随着收入水平的提高，私人交通（小汽车和摩托车）发展比较快，但所占比重还不高。除此以外，各单位还有相当数

量的客运车辆，包括大客车、面包车等，其数量远比公交系统拥有的数量多，但利用率低，主要作为职工上下班或办事用。随着企业公车制度的改革，这一部分需求将逐渐被其它交通方式所替代。

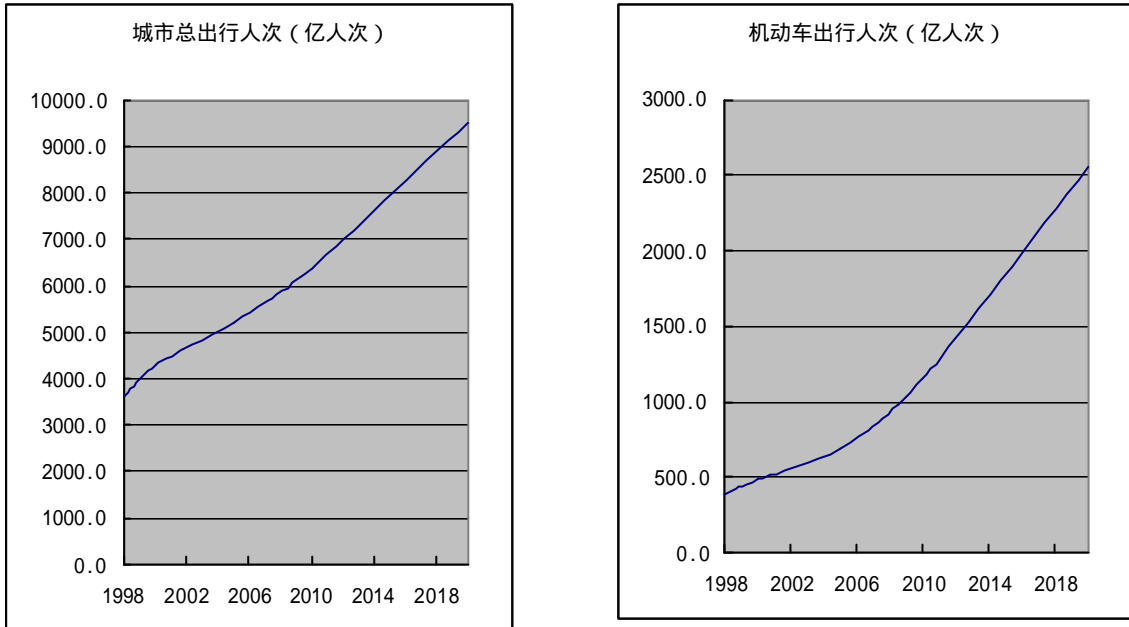


图 6-11 未来中国城镇居民出行趋势展望

虽然未来通讯业的发展会削弱部分出行需求，但从目前发达国家经验看，由于休闲而出行（文化、运动、室外）的比重有增加态势；随着生活水平的提高，城镇居民的日均出行次数将会逐渐增加，出行距离也将不断增长，并且会越来越的依靠机动车出行。据测算，按照宏观社会经济的情景设定，到 2020 年，中国未来城市总出行人次将达到 9517 亿人次，其中依靠公共交通、小汽车等机动车出行的总人次将达到 2557 亿人次，1998~2020 年期间年均增长率达到 9.0%（见图 6-11）。

如果城市公共交通基础设施不完善，或者没有合理的激励政策，居民出行有越来越多地依赖个体交通（如小汽车、摩托车）的趋势。从上海、北京、广州等城市的交通出行方式调查表明，虽然它们的公共交通体系相对齐全，但受服务质量、车况、交通堵塞等等因素的制约，城市居民依然选择了自行车和出租车作为出行的主要方式。近两、三年来私车保有量与居民用汽油的同步增长从另一个侧面反映，如果不完善公共交通体系，不提高公共交通的服务质量，随着收入水平的提高，人们将会选择更灵活方便的个人交通模式，甚至是私车出行。

国外发展经验预示，随着居民收入水平的提高，中国小汽车保有量将有大的发展

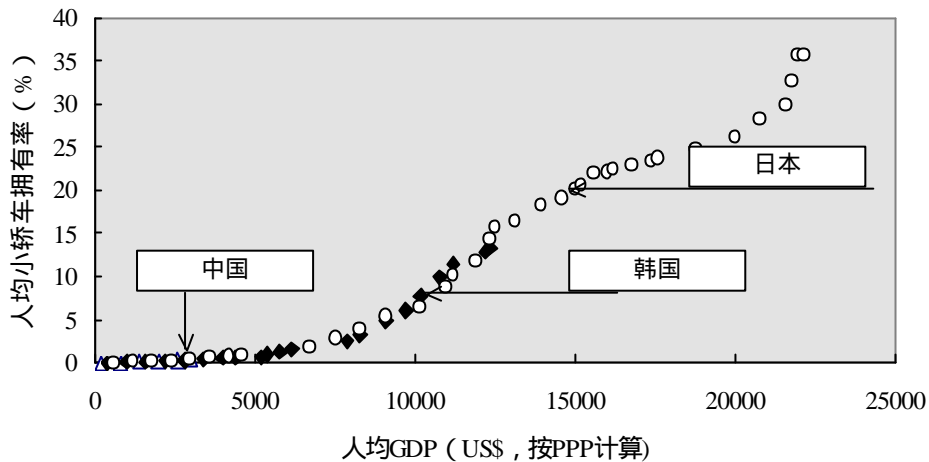


图 6-12 中国、韩国与日本在不同收入水平下的人均小轿车拥有率的变化状况

图 6-12 显示了中国、韩国和日本三国在不同经济发展阶段时人均小轿车拥有率的变化状况。从三个国家目前所处的经济发展阶段看，日本现已进入后工业化时代，韩国属于新兴工业化国家，而中国目前正处于工业化的初中期阶段；从收入水平看，日本人均 GDP 已经超过 22000 美元，韩国也已达 12500 美元左右，中国的人均 GDP 水平还很低。这三个国家是在不同阶段达到相应的人均 GDP 水平，按照正常理解，这三个国家人均汽车与小轿车拥有率应该不具关联性，但从上图看出，三国人均小汽车拥有率的变化曲线图却可以很好地连在一起，就好象一个国家的人均轿车拥有率的历史变化曲线。

美国经济学家曾经对美国 100 多年来经济增长与汽车保有量增长之间关系作过研究。他们发现美国的 GDP 每增长 1 个百分点，汽车保有量则增长 1.7 个百分点。对于出行者个人而言，驾车出行给出行者带来的方便、舒适（交通堵塞除外）是其他出行方式所无法企及的。在某种程度上，拥有小汽车是财富与身份的象征；是人们收入水平达到一定程度后的必然选择。

这从另一个方面告诉我们，经济发展和人均轿车拥有量之间有其内在的规律性。总的看来，影响小汽车进入中国家庭的直接因素有：居民消费水平、消费倾向、轿车品种价格、国家的消费政策等等。目前中国总体收入水平不高，2002 年人均 GDP 不到 1000 美元（按当年汇率计算），若参照日、韩等国汽车进入家庭的水平，到“十五”期末轿车很难进入家庭。但若按购买力平价（PPP）计算，中国人均 GDP 将超过 3000 美元，考虑到中国目前的地区差异，在经济相对发达的东南沿海地区以及大城市，轿车进入家庭完全有条件。根据国家统计局最新调查报告显示，到 1999 年 6 月份为止，中国年均收入 5 万元的家庭已超过 1000 万户，有关机构曾对这一收入群的消费意向作

过调查，约有 34% 的家庭具有购车意向，这也意味着目前我国起码具有 340 万辆小汽车潜在购买能力，根据他们的分析，到 2000 年，中国沿海地区私人轿车普及率将达到 5%，2005 年有可能达到 8%。

在中国进入 WTO 的 2002 年 1~7 月，中国小汽车的购买率比同期增长 40%，如果轿车进入居民家庭的障碍逐步消除，包括尽快开发适合我国居民家庭的经济适用型轿车、取消不合理的汽车消费制度、加快费改税等方面的改革，未来中国轿车需求量将很大。预计“十五”期间我国轿车年需求将保持 20~25% 的增长速度，其中私车的年需求增速将为 33% 左右；届时轿车的需求量在总汽车需求量中的比例将从 2000 年的 22% 上升到 2005 年的 60%。综合国内外机构的预测结果，有关未来中国汽车保有量的演变趋势²⁰展望见表 6-14。当然，小轿车拥有量的激增并不一定会带来私车能源消费增长的激增，如果城市交通体系比较完善，政策制定比较合理，居民也可以选择公共交通运输方式。

表 6-14 未来中国汽车及小轿车保有量预测

	1998	2000	2005	2010	2020
汽车(万辆)	1319.3	1610	2550	4010	7700
私人小汽车(万辆)	230.65	370	810	1580	4150
人口(亿人)	12.48	12.66	13.21	13.78	14.7
人均小汽车拥有率(%)	0.2	0.3	0.6	1.1	2.8

☞ 为了满足消费者对交通运输方便、快捷、舒适的要求，营运部门的能源效率改进不显著，短期内甚至有上升态势


最近几年交通营运部门的能源强度演变表明，随着中国人们趋向于选择高效、快捷的运输方式，诸如航空、高速铁路、高速公路等方式，90 年代以来中国交通营运部门的综合能耗不断上升，由 1990 年的 2.71 千克标煤/百吨公里，增加到了 1998 年的 3.28 千克标煤/百吨公里。

对公路运输部门而言，由于近几年公路客运不断提高运输质量（舒适、快速，拥挤程度大为减缓），虽然客车的百公里油耗在下降，但折算到人公里油耗，无论是汽油客车还是柴油客车，其油耗均为上升态势。特别是近几年来，中高档客车比重不断增加，这在一定程度上会增加客车的总体油耗水平。另外，“十五”期间，汽车专用路线建设进展不会很明显，导致公路运输的燃料效率 2010 前不会有大的改进，甚至有上升势头。

²⁰ 本研究选择了相对较高的预测结果。

对铁路运输部门而言，近年来通过淘汰蒸汽机车，增加电力机车与内燃机车的比例，使整个系统的能耗下降，今后随着淘汰潜力的枯竭，列车提速，设备舒适化等变化，铁路部门的系统效率继续提高有相当难度。水运部门受市场竞争压力，市场份额逐步削减，若投入到水运能效改进的技术开发力度不大，单耗改进不甚乐观。民航运输则在未来交通客货运发展中有大的发展，特别随着“十五”计划中的航空港与航线增加，其能源强度会有所改善。

预计中国交通运输营运部门朝着高能耗方向发展的趋势，还将在今后相当长的一段时间内继续发展下去，这也是该部门有别于其它行业的能源发展趋势。

 **中国小汽车燃料经济性有一定程度提高，但幅度不大；公共汽（电）车燃料效率短期内有所下降**

随着汽车产业被作为地区经济发展的主导产业，越来越多的跨国汽车公司到中国投资。由于多方面的原因，小汽车的燃料经济性并没有给予充分重视，能效高的绿色环保汽车还只是作为宣传促销手段。如果没有特殊的激励政策，未来中国小汽车的燃料效率随着技术进步有一定程度的提高，但幅度不大。

对公共汽、电车而言，由于中国过去的城市公共交通只是满足出行的基本需求，而没有过多考虑运营的舒适性和快捷性，绝大多数的公共汽（电）车没有配备空调，舒适性还很差。随着城镇居民收入水平的提高以及不同收入阶层的出现，公交公司以及小公共必将适应这一市场需求，提高公共汽（电）车的舒适程度，换算成人公里的燃料消费“十五”期间将会不断增加。2010年以后，城市公交的服务质量相对较高，公交车辆的百公里油耗明显下降，使得换算成人公里的能源强度开始下降。

6.2.2.3 交通部门的情景设定

(1) 主要影响因素

一般而言，交通用能本身会受到多种因素的影响，如交通需求的高低、交通运输模式的选择、交通工具的能源效率水平等等。交通需求的高低取决于经济发展水平、经济发展模式包括信息产业的发展状况、人口和城市化进程等。交通模式的选择则取决于交通设施状况、居民的收入水平、消费行为与观念等因素。交通工具的能源效率水平高低则与技术进步有关系，实际运行效率又受到路况、驾驶者习惯等其它因素的影响。图 6-13 显示了各种因素之间的联系。

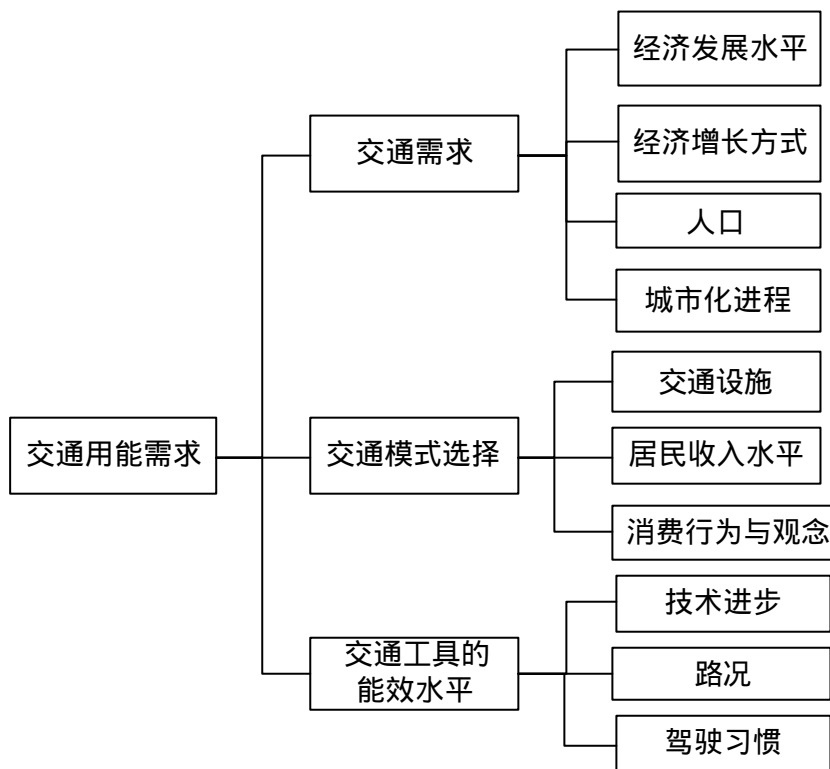


图 6-13 影响交通能源需求的主要因素

上述不确定性因素的变化又与政府制定的社会/经济政策措施、法规条例密切相关（见示意图 6-14）。概括而言，影响交通系统燃料消费的政策因素有：国家能源发展战略（影响大宗能源商品的运输），区域规划与城市交通规划，交通模式选择政策（城市内部选择公共交通还是私人小汽车；城间长途交通运输高速铁路与航空方式的选择；城间中、短途选择高速公路还是铁路方式等），环境保护重视程度如何（如是否制定较为严格的污染物排放标准，排放标准的范围扩大到何种程度，是否引入类似欧洲-II 或者欧洲-III 的排放标准，推行范围如何等等；这些政策将对未来中国小汽车发展的燃料效率、替代燃料汽车的发展将产生重大影响），燃料效率标准的制定（选择何种类型的

交通工具作为燃料效率标准推行的突破口，实施强制性的标准还是自愿性的标准），是否有相应的财政政策（如燃油税等）。

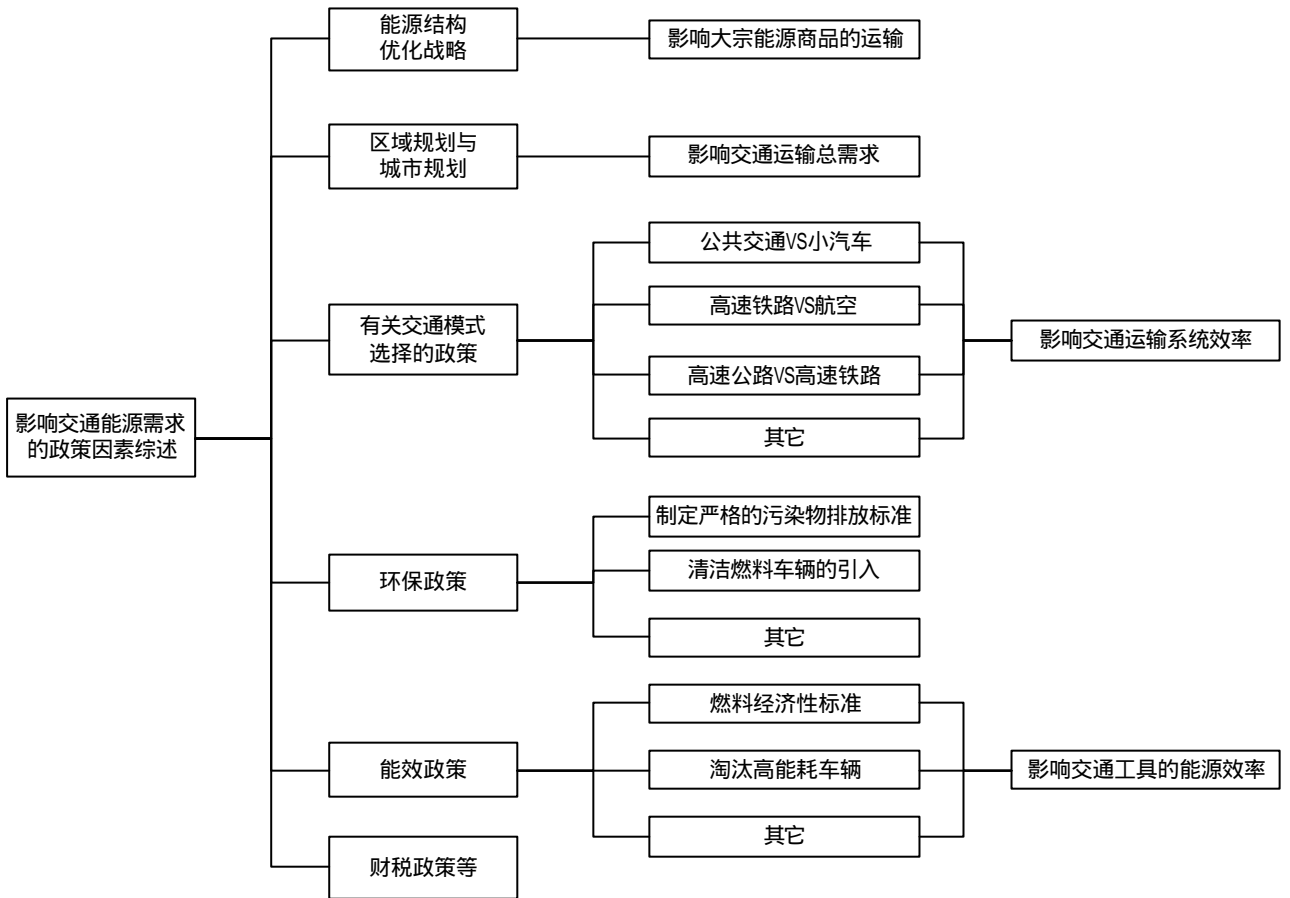


图 6-14 影响交通能源需求的政策因素综述

(2) 情景设计

为了更科学地反映未来中国交通运输系统的能源（燃料）需求以及碳排放趋势，课题组根据未来 20 多年里中国社会经济发展趋势，结合中国交通运输系统的发展现状以及政府可能制定的能源环境政策，并参考国外发达国家交通用能演变状况，设置了以下几种情景：第一种是情景 2，也可称为中等目标方案：该情景假定，政府“十五”规划与其它中长期发展纲要中确立的社会经济发展目标能够基本实现，对中国未来交通用能所产生的影响符合预期。第二种和第三种情景则是以情景 2 为参照，针对宏观社会经济指标的变化、交通模式的选择、交通工具能效水平以及环保要求的力度等敏感性因素而设定的，即情景 3 与情景 1，表 6-15 列出了 3 个情景可能选择的政策措施与目标。表 6-16 列出了 3 个情景设定的主要异同点。

表 6-15. 交通部门可能采取的政策措施

目标	措施途径
提高交通运输系统效率	合理配置资源，发展单耗低的交通模式，优化交通运输结构 合理规划城市交通，居民出行以公共交通为主 加强交通运输（路网）信息系统建设
提高交通运输工具的燃料效率，降低交通总需求	继续加强老旧汽车的淘汰进程 制定相关车辆的燃油经济性标准 制定相关政策，鼓励国外节能环保型的国际大汽车制造厂家进入中国市场 制定相关财税政策（如燃油税）的推进
提高城市环境质量	制定严格的环境排放标准（因地制宜） 在城市继续推进公共交通车辆的清洁行动计划（如 CNG 汽车推广） 加大替代燃料汽车（如燃料电池、电动）的研发与示范
其它	鉴于民航运输的交通用油在未来 20 多年里会有较大幅度增加，一方面要加强技术研制开发，提高民航交通工具的燃料效率；另一方面在石化行业的发展中考虑到航空煤油、交通用柴油等油品的潜在巨大需求，优化生产链。

表 6-16 交通部门可持续能源需求情景设计比较及其异同

	情景 1	情景 2	情景 3
社会经济发展目标 对交通需求的影响	课题组根据改革开放 20 多年来中国 GDP 与客货周转量之间的演变关系,参照西方发达国家在不同经济发展阶段时 GDP 与客货周转量的弹性关系,并结合未来技术进步、国际贸易等等因素对中国交通运输部门的影响,着重考虑了中国交通运输发展对能源需求产生显著影响的重要指标,如:客、货周转量,城市出行需求等。		
	情景 1 货运周转量高于情景 2 与情景 3。 客运周转量增长与情景 2 一致。	考虑到 3 个情景的 GDP 增速保持一致,课题组假定客运周转量也没有差别。	情景 3 假定:产业结构调整力度很强,高附加值产业发展比较快,货运周转量低于情景 2。 客运周转量增长与情景 2 一致。
能源发展战略对交通运输部门的影响	中国资源生产地与消费地分布的不平衡产生了巨大的运输需求,中国目前的货运周转量中有相当一部分来自能源运输,特别是煤炭运输。是否制定能源优质化的发展战略,对货运需求的影响很大。由于石油、天然气的利用效率比煤炭高,即便是同等标煤的煤炭、石油、天然气,完成同样热值的做功量,油气运输需求将大大低于煤炭。能源结构优质化本身会带来总体能源效率水平的提高,也会降低能源需求总量,减少货运需求。		
	能源结构优化不太明显,终端能源消费结构的优化主要表现在煤炭的洗选与洁净利用上,导致货运周转量增长势头快于另两个情景。	能源结构逐步优化,石油对国外市场依赖程度加大;天然气在能源消费结构的比重逐步增加。	情景 3 中假定能源结构优化较为显著,中国货物周转量的运输需求略低于情景 2 的增长。2020 年其货物总周转量为 10.12 万亿吨公里。

城市客运模式选择	<p>城市客运模式有多种选择，要根据中国的实际情况因地制宜。一般而言，大城市或超大城市宜公共交通为主，特别在超大城市要发展轨道交通体系、智能交通系统（ITS）。轨道交通体系可以解决交通堵塞问题，更重要的是可以减少能源需求。目前，西方发达国家大城市有轨交通网基本上承担了城市 60%左右的公共交通客运量。但存在投资规模大的问题。若达不到一定的客流规模，盲目建设轨道交通体系，其经济性必然不佳。</p> <p>在公共交通与私人交通的发展关系上，一方面制定财税政策，鼓励公共交通的发展，在市中心限制私人交通方式；另一方面建立完善的公共交通体系，并加强消费者意识宣传，鼓励其选择公共交通方式。</p>		
	<p>与情景 2 相比，情景 1 总出行次数要略低于情景 2²¹，但以个体交通为主。</p>	<p>特大城市发展公共交通，轨道交通进展一般；</p> <p>小汽车交通发展较快。</p>	<p>情景 3 的公共交通模式发展较快；</p> <p>小汽车出行主要在节假日，平时多为公共交通。</p>
货运和客运模式选择	<p>“十五”期间，中国总体经济水平仍将处于工业化初中期阶段，该时期仍将是“货运为主”的时代，这一状况可维持到 2010 年前后。由于该阶段第二产业增长速度取决于产业结构升级换代的进程以及“九五”末国有大企业的改革进展状况，因而该阶段的货运总体增长势头减缓。中国幅员辽阔、资源生产地与消费地分布不平衡的国情决定了“十五”期间，中国货物运输仍将由铁路主干线承担。但铁路运输的快捷程度需要提高，尤其对客运而言。随着“十五”和“十一五”期间支线航空、高速公路里程建设的扩大，民航客运、公路客货运在未来将会起着越来越大的作用。</p>		

²¹主要是情景 1 的城市化进程较慢，导致城市总人口要低于情景 2

	<p>从货物运输模式看，公路、民航等快速运输方式发展较快。在运输结构中的比重均假定要高于情景 2 与情景 3。</p> <p>对客运而言，随着民航与高速公路设施建设，其在运输结构中的地位越来越重要，呈现上升势头。</p>	<p>公路运输比重不断增加，但国情决定中国的交通运输不会完全依赖于公路运输；</p> <p>“十五”以后，民航客、货运输会进一步发展；WTO 与对外贸易的发展，会促进远洋运输；受客观原因限制²²，内河运输发展不快；</p> <p>“十五”期内，管道运输发展受能源战略影响较大。</p>	<p>情景 3 假定较为省能的铁路运输模式依然保持相当的地位；</p> <p>情景 3 假定：航空客运与公路货运依然保持较快增长势头，只不过与情景 2 相比，其增长势头相对较慢而已。</p> <p>预期天然气开发利用力度²³较快，天然气管道运输初具规模，因此货运中管道运输的比重也高于情景 2。</p>
不同交通模式的燃料效率水平考虑	受多种因素影响，不同交通模式的能效水平改进不大。	服务质量的提高导致交通工具效率水平提高改进不明显。	与情景 2 相比，其燃料效率水平的改进幅度均要高于情景 2。
节能政策和实施	<p>已有车辆淘汰标准执行不力；</p> <p>燃油税政策受多方阻力，推行难度较大；</p> <p>没有考虑燃油经济性标准的制定；</p>	<p>情景 2 假定 2005 年以后，燃油税政策才有可能推行；</p> <p>加强营运部门的车辆管理，严格执行老旧车辆（达不到最低能效标准）的淘汰标准；</p>	<p>“十五”期末，推行了燃油税的政策；</p> <p>严格执行已有的汽车淘汰标准，并定期作出修订；</p>

²²由于我国目前内河运输存在速度慢、船只老化、管理手段过时等难题，“十五”期内，内河运输将面临严峻考验

²³随着 2005 年中亚、俄罗斯以及国内西气东输工程的运量扩大，预计 2005 年以后，发展势头要快于全国货运平均水平。

	<p>“十五”期间，没有考虑其它有关交通节能政策的制定。</p>	<p>淘汰标准；</p> <p>针对小汽车与其它交通工具的燃料效率标准很难在 2005 年前后列入政府的议事日程。</p>	<p>制定政策鼓励高效清洁汽车技术研发，推广燃料效率高的车辆的使用；</p> <p>“车辆燃油经济性标准”进入议事日程，并在 2005-2010 年期间制定实施；</p> <p>特大城市进行智能交通管理体系（ITS）的示范，并在“十一五”以后推广。</p>
<p>环境政策</p>	<p>情景 1 对环境控制的目标不太乐观，对交通运输部门而言，无论是燃料替代，还是燃料效率提高，特别是交通工具的排放标准制定进展均不大。即便制定了相应的法规标准，但受执法力度的限制，其实施效果也不尽如人意。</p>	<p>情景 2 中假定“十五”期间无铅汽油、柴油标准在全国得到全部推广，但没有制定更为严格的硫含量、烯烃、芳烃标准；</p> <p>假定 2010 年前后大城市和一些沿海地区执行“欧洲 2 号”汽车排放标准，2015 年以后推广到中小城市；</p> <p>2005-2010 年城市公交逐步推广天然气等清洁燃料车辆，部分出租车也考虑以清洁的能源品种替代；</p>	<p>情景 3 中假定，“十五”期间政府考虑制定更为严格的汽柴油标准，一些特大城市已率先执行；</p> <p>2005 年前后大城市以及 200~300 万左右的省会城市陆续制定了较为严格的“环境排放标准”；2010 年~2020 年其它中小城市的排放标准均接近欧洲 III 号；</p> <p>“十五”期间，“清洁汽车计划”逐步推广到全国其它城市</p>

6.2.3 建筑物部分主要情景设置

6.2.3.1 建筑物用能情景设定考虑的主要因素

中国自二十世纪八十年代起，就大规模地开展了以工业领域为主的节约能源和提高能源利用效率的工作，并取得了伟大的成就。通过二十多年的节能工作，中国少用能源 3 亿吨标准煤，为世界所瞩目。随着经济的发展和社会的不断进步，无论国外还是国内都把提高能源效率的注意力逐渐从以工业部门为主的节能，转移到建筑、交通领域的节能上。建筑节能被视为具有巨大节能和减排温室气体潜力的重要领域之一。中国正处在工业化、城市化进程不断加快的经济发展阶段，建筑用能作为重要的能源消费领域，与工业、农业、交通运输业的能源消费方式和趋势有着明显的不同。中国是发展中国家，人民的生活水平与发达国家存在相当大的差距；建筑用能又与人民的生活息息相关，随着经济的发展，生活水平的提高，人民对生活舒适度的追求将在未来相当长的一段时期内影响建筑物的能源消费，有可能使建筑用能的增长速度快于全国能源消费的增长速度，成为我国未来能源消费的主要增长点。

影响建筑物能源消费的宏观经济因素主要有人口数量、城市化率及经济发展水平、产业结构等间接影响因素。它们通过影响建筑物能源服务水平，进而影响建筑能源消费量。节能和环保政策、技术进步、能源发展战略等政策、措施因素通过作用于能源利用效率的改善、技术结构的调整、能源结构优质化，影响建筑物的能源消费量。各因素间的关系及因素的指标体现见图 6-15。

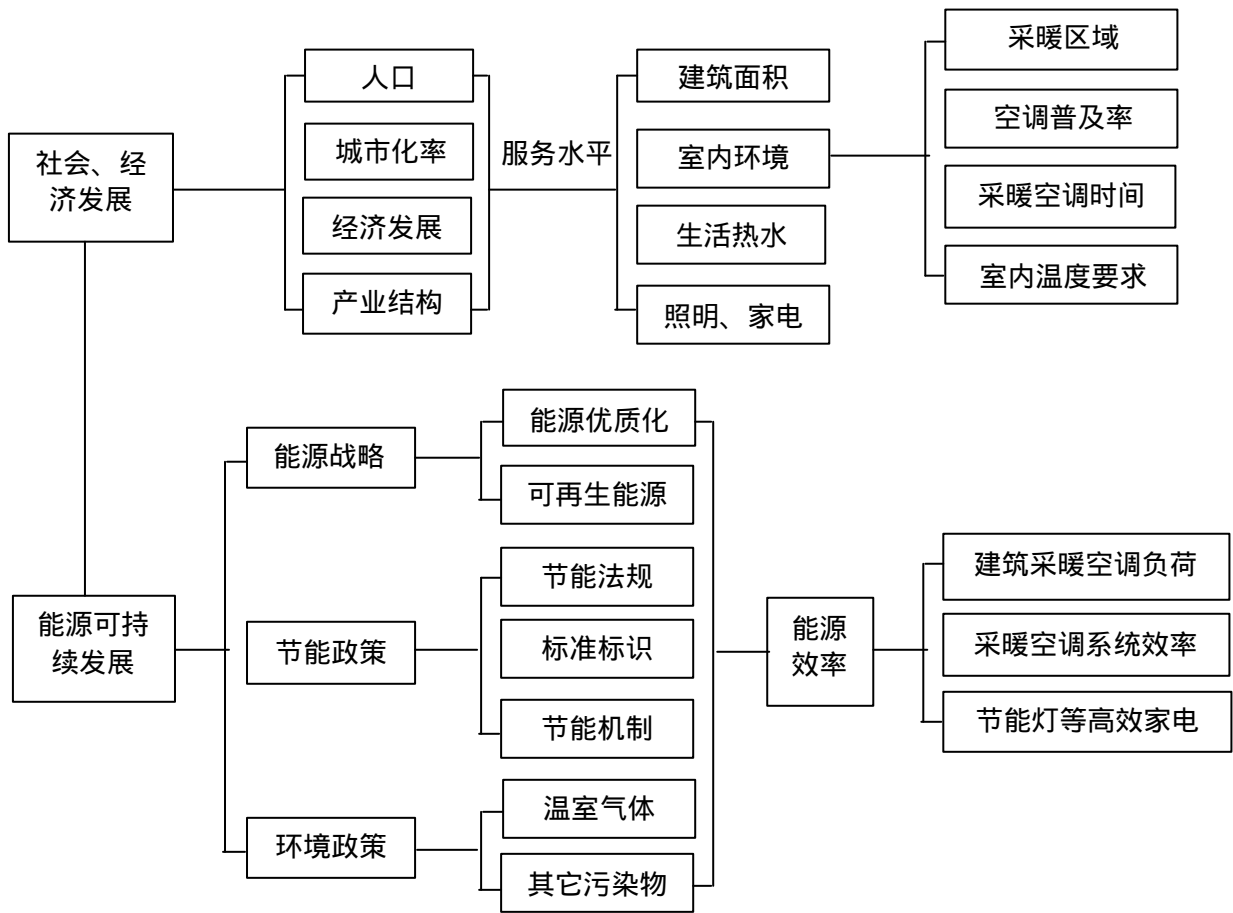


图 6-15 建筑物能耗部门因素分析框图

中国是一个人口大国，目前人口占世界总人口的五分之一；中国又是一个发展中国家，人口的增长是中国可持续发展面临的一个重要问题。建筑物是人类赖以遮风避雨的场所，是人类文明的表现。根据专家的预测，中国人口的高峰将发生在 2030 年到 2040 年之间。因此，中国在未来二十年里，人口的自然增长将带来对住房和公共服务设施需求的增长。建筑面积的绝对增加，必然带来建筑物用能的增长。

人口的增长必然带来建筑用能需求的上升，人口的地域分布和消费水平也将影响建筑物能耗的质与量。从目前的统计数字看，城镇居民的人均能源消费量是农村居民的 1~2 倍，随着生活水平的提高，城镇住房面积的扩大，小汽车进入家庭，城镇和农村的人均能源消费水平呈上升和差距拉大的趋势。城镇和乡村在能源消费品种构成上也存在较大的差异，城镇居民以天然气、液化石油气、电力、煤炭等商品能源为主，农村除少部分已经富裕起来的居民与城镇的能源消费接近外，大部分农村居民仍以秸秆、薪柴等非商品的生物质能源为主。大城市和中小城市间在能源品种消费上也有很

大不同。随着环境保护要求的加强，越来越多的大城市的能源消费转向以气体燃料、电力等优质、清洁的能源为主，并且这种趋势不可遏止和逆转；中小城镇由于经济实力和能源资源供应的限制，能源消费以液化石油气、电力、煤炭为主。因此，城市化进程和城市发展模式的选择，将成为影响能源需求和能源结构的重要因素。

党的“十六大”提出了全面建设小康社会的奋斗目标，届时人均国内生产总值超过 3000 美元，城镇居民人均可支配收入由 2000 年的 6280 元增加到 18000 元，农村居民家庭人均纯收入由 2000 年的 2253 元增加到 8000 元。无论城镇还是农村人均收入水平的提高，都将对生活条件和水平提出更高要求。主要表现在老百姓对居住面积、人均服务设施的占有量、居住舒适度的要求越来越高，人均住房建筑面积、采暖和空调时间、采暖和空调普及率、采暖室内温度、空调室内温度等指标将随着生活水平的提高而提高或降低。概言之，生活水平提高带来的房屋建筑面积的迅速增长和环境舒适度的改善，都将导致建筑物能源消费量的大幅度增长，而这一增长是社会发展的必然趋势。

建筑物服务水平的不断提高，主要体现在增加住宅和提供服务的建筑面积、提高建筑室内环境的舒适性、增加生活热水供应及提高照明舒适度等方面。提高建筑物服务水平是拉动我国经济发展的重要内需市场，是促进国民经济在未来 20 年翻两番的重要经济增长点。从经济发展的需要来看，积极培育这一重要的内需市场是必要的，但拉动市场同时带来的建筑物能源消费的迅速增长，又对我国能源可持续发展形成了挑战。

关于人口、城市化水平、经济发展和产业结构等宏观因素的在本项研究中的设定前文已经做了介绍，因此，我们将从建筑物服务水平、能源效率水平、技术进步、政策执行力度等方面阐述建筑物用能的假设条件，以便于更好地理解本项研究的主要结论。

6.2.3.2 建筑物服务水平

(1) 建筑面积

建筑面积作为影响能源需求的主要驱动因素，在本项研究中给予了重视。从城镇、乡村居民的住宅面积，北方、南方和过渡地区的采暖面积，公用建筑（宾馆、商厦、办公楼、医院、学校等）面积等不同角度，对建筑面积的现状和发展趋势进行了设定

和假设。我们假设全国建筑面积由 1998 年的 348 亿平方米，增长到 2020 年的 790 亿平方米。其中，住宅建筑面积占全社会建筑总面积的比重，由 1998 年的 79%，下降到 2020 年的 66%，公用建筑所占比重显著上升。主要原因是随着我国产业结构调整、第三产业的发展 and 居民对服务水平要求的提高，公用建筑发展速度将快于居民住宅建筑，公用建筑和住宅建筑面积年均增长幅度分别为 6.1% 和 3%。根据世界银行的研究报告和相关专家意见，我们假设新建建筑将在未来 10~15 年完成，公用建筑在 1998~2010 年间增长速度为 6.6%，在 2010~2020 年间下降到 5.5%；而住宅建筑在 1998~2010 年间增长速度为 4.2%，2010~2020 年间下降到 2.3%。

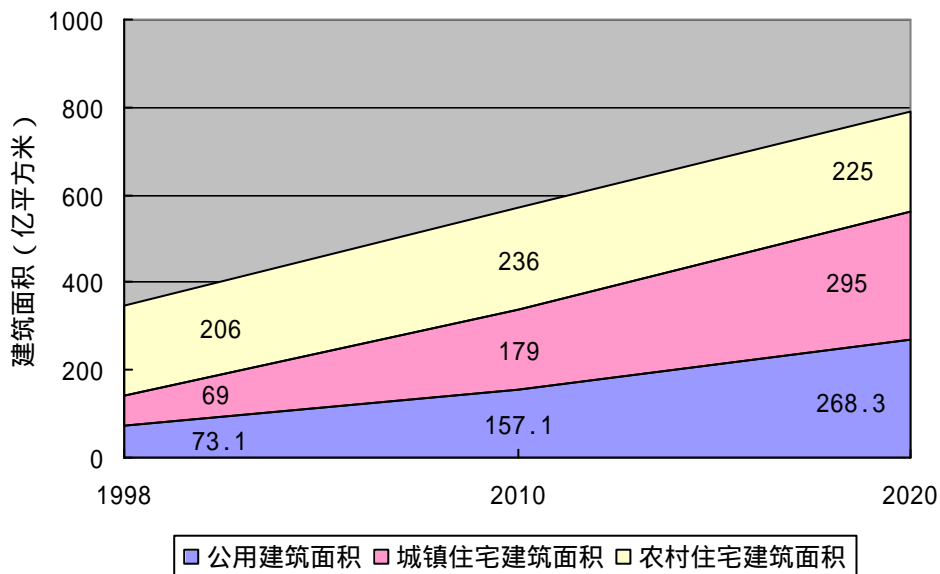


图 6-16 全社会建筑面积增长情景

人均住房建筑面积指标反映了一个国家的经济发展水平。根据世界银行预测：当一个国家的人均 GDP 达到 800 美元时，住宅产业将可能进入一个快速增长期。我国目前人均 GDP 已达 800 美元。世界各国的经验表明，在人均住宅面积达到 30 至 35 平方米之前，会保持较旺盛的住房需求。另据专家分析，当恩格尔系数在 0.4 时，各国居民的住房消费在消费结构中所占的比重会达到 15% 到 20%。目前，我国城市恩格尔系数已降到 0.4 以下，而住房消费比重尚不足 10%，比国际平均水平要低 5 到 10 个百分点，住宅消费还有较大的空间。同时，我国住宅正在从生存型向舒适性转变，并且住房体制改革正在进一步深化之中。又据一份不同收入国家居住水平的资料分析显示，低收入国家人均住房建筑面积 8 平方米；中低收入国家人均 18 平方米；中等收入国家人均 20 平方米；中高收入国家人均 30 平方米；高收入国家人均 45 平方米。

根据以上资料，我们设置了 2020 年我国人均住房建筑面积约为 35 平方米的情景。在这一情景中，人均住房建筑面积的变化在城镇和农村是有差别的。由于当前农村的人均住房面积比城镇人均住房水平高，所以未来城镇居民人均建筑面积水平发展速度高于农村居民，到 2020 年城镇和乡村居民人均住宅建筑面积几乎达到相同水平（见表 6-17）。

表 6-17 城乡人均居住面积

	1998	2010	2020
城镇人均住房建筑面积 (m ²)	18.1	29	35
农村人均住房建筑面积 (m ²)	23.7	31	36

中国即将步入老龄化社会，对医疗保健的需求将增长迅速。1980 年中国每千人拥有病床数 2 个，1997 年 2.9 个，中等收入国家 1997 年 4.3 个。中国 1990-1998 年住院率 4%，中等收入国家 10%。1980 年中国高等学校入学率 2%，1997 年 6%；中等收入国家分别为 20% 和 25%。以上数字说明了未来社会发展对学校设施的需求潜力是很大的。随着“科教兴国”战略的实施，在公用建筑中，学校的比重将增加；随着医疗体制改革的完善和老龄化社会的逐步形成，医院在公用建筑中的比例也将提高；而政府机构的调整和精简，使办公用房相对减少；仓储、机场等其它服务设施的比重也将相对减少，宾馆、商厦比例基本保持不变。公用建筑不同类型建筑构成在未来 20 年变化趋势的假设见表 6-18。

表 6-18 不同类型的公用建筑构成 (%)

	1998	2010	2020
办公	33.3	33.2	32.6
医院	3.8	4.8	6.5
学校	17	19.2	21.2
宾馆	28.2	28	27.8
其它 (机场、仓储等)	17.7	14.8	12.1

(2) 建筑能源服务水平

在本项研究中，为了加强可持续发展政策影响力度的分析，我们将反映室内环境舒适度等生活能源服务水平的指标选定在采暖、空调普及率，采暖、空调时间，主要家用电器的普及率，生活卫生热水需求等若干项指标上。

☞ 采暖普及率和采暖时间

● 民用建筑

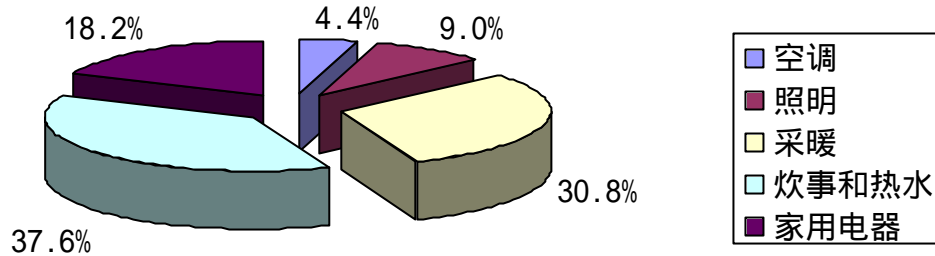


图 6-17 1998 年居民生活用能构成 (常规能源)

1998 年全国居民采暖能源消费量 1.5 亿 tce，其中农村用生物质能采暖占 62%，居民采暖用常规能源为 5650 万 tce。居民采暖用常规能源消费占居民生活常规能源消费总量的 31%，是居炊事及生活热水用能之后的第二位（见图 6-17）。由于中国正处在快速发展阶段，当收入水平达到一定程度时，人民对改善和提高建筑物室内舒适度的要求高于其它要求。原来没有采暖设施的地区，逐渐选择了合适的采暖方式；原来采暖期不能满足需要的地区，延长了采暖时间；目前采暖水平较低的建筑，提高了采暖质量。在本项研究中，以“采暖天数”、“采暖普及率”两个指标反映随生活水平提高带来的对采暖热需求的增长趋势。同时我们假设，由于生活水平和环境条件的差异，农村采暖天数的增加大于城镇，过渡地区采暖天数的增加大于北方地区。北方地区农村居民和过渡地区居民的采暖普及率将随着收入水平的提高而增长（见表 6-19）。

表 6-19 采暖普及率和采暖时间

		1998	2010	2020
北方地区采暖天数 (天/年)	城镇	152	160	165
	农村	90	110	130
过渡地区采暖天数 (天/年)	城镇	40	50	60
	农村	20	30	40
北方地区采暖普及率 (%)	城镇	100	100	100
	农村	80	90	100
过渡地区采暖普及率 (%)	城镇	20	30	40
	农村	5	10	20

● 公用建筑

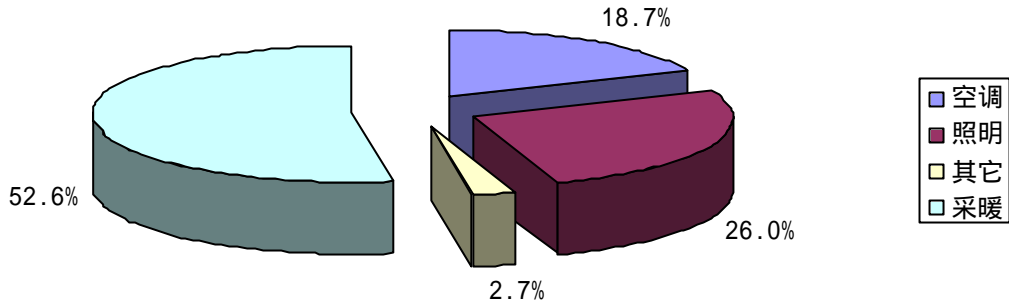


图 6-18 1998 年公用建筑终端消费构成

采暖用能在公用建筑的终端能源消费中占据重要地位,1998 年采暖用能占公用建筑终端能源消费总量的 53%，消耗能源 4350 万 tce，是用能第一大户（见图 6-18）。尽管如此，1998 年有采暖设施的公用建筑，仅占公用建筑总面积的 35%。我们假设，人民对环境舒适度要求的提高，必然要求公用建筑提高其能源服务水平。因此，我们假定公用建筑的采暖面积比重，到 2010 年提高到 40%，2020 年达到 45%。考虑到不同类型的公用建筑现有的能源服务水平，在采暖天数这一指标的情景设置中，对不同类型的公用建筑做了区别考虑。例如：在有采暖设施的公用建筑中，目前学校和医院的采暖服务水平相对较低，而办公楼、宾馆、商厦提供的采暖服务已基本满足需求，有些甚至已出现能源浪费的现象。因此，在情景假设中，反映采暖服务水平的学校、医院的采暖天数指标，有较大幅度增长，意味着它们的采暖舒适度水平能够得到较快的提高；而宾馆的采暖天数基本保持不变，说明其采暖舒适度水平已经达到相当水平。采暖天数指标在 1998-2010 年间增加幅度较大，2010 年之后认为已基本满足需求，所以采暖天数基本保持不变（见表 6-20）。

表 6-20 不同类型公用建筑的采暖天数

	1998	2010	2020
办公	135	140	140
医院	120	130	140
学校	110	125	140
宾馆	150	150	150
其它（机场、车站等）	135	140	140

空调普及率和空调时间

● 公用建筑

空调用能是公用建筑能源消费中居采暖和照明用能之后的重要用能方式（见图 2）。1998 年公用建筑空调用能占能源消费总量的近 19%，耗电 388 亿 kWh。从需求的角度看，公用建筑空调用能的增长将快于采暖、照明等用能方式。其中的主要原因是用户提高了对公用建筑能源服务水平的要求，无论是使用空调的面积还是空调使用时间，都会有较大幅度的增长。为此，我们在设置公用建筑舒适度提高的情景时，充分考虑了不同类型公用建筑目前空调的服务水平。因此，在假设中除宾馆、商厦的空调天数保持不变外，其它公用建筑的空调天数均增加。使用空调的公用建筑面积也从南方、过渡地区扩大到北方地区，从大城市扩展到中小城市。具体假设见表 6-21。

表 6-21 不同类型公用建筑的空调天数和普及率

	1998	2010	2020
		空调天数（天）	
办公	100	120	120
医院	100	120	130
学校	90	110	130
宾馆	120	120	120
其它（机场、仓储等）	100	120	120
		空调面积覆盖率（%）	
办公	20	40	55
医院	20	35	50
学校	7	20	40
宾馆	30	45	55
其它（机场、仓储等）	20	40	55

● 住宅建筑

居民家庭空调的发展速度是非常惊人的。1995 年我国城镇居民每百户拥有空调器 11.6 台，2000 年已到达 30.8 台。在一些特大城市和大型城市，家用空调的拥有率更高，北京市已超过 80%。但房间空调器在农村地区的使用几乎为空白。随着人们收入水平的提高和对居住环境舒适度要求的提高，房间空调器将更多地进入家庭，甚至将逐渐进入农村家庭。使用范围也将从南方和过渡地区向北方地区延伸。居民分地区房间空调器普及率的具体假设见表 6-22。模型中，将未来家用空调使用时间的变化，考

虑在空调日耗电量指标中。

表 6-22 居民用房间空调器普及率

房间空调普及率 (台/户)		1998	2005	2010	2020
城镇	北方地区	0.1	0.2	0.3	0.4
	过渡地区	0.2	0.6	0.9	1.5
	南方地区	0.5	1.0	1.3	2.0
农村	北方地区	0.01	0.02	0.1	0.2
	过渡地区	0.01	0.06	0.1	0.3
	南方地区	0.01	0.09	0.2	0.5

居民生活热水供应

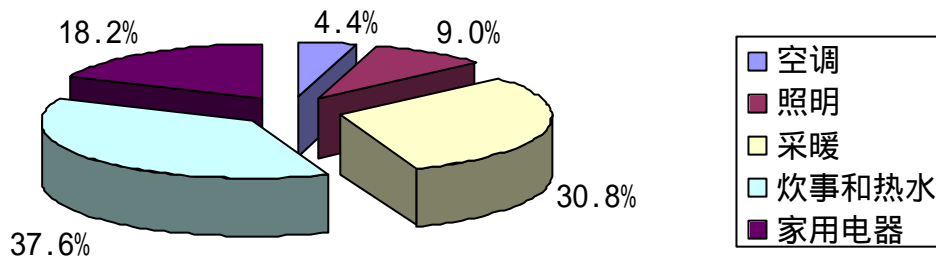


图 6-19 1998 年居民生活用能构成 (常规能源)

1998 年我国炊事及生活热水消耗的常规能源达 5420 万 tce，居生活用能的第一位，占 38%(见图 6-19)。目前我国城市居民在炊事和生活热水上的能源消费量估计平均为 900 大卡每人每天左右 (有用能)，农村为 750 大卡。随着人民生活水平的日益提高，人们对室内热环境舒适性提高的同时，对炊事和生活热水的要求也越来越高，尤其是生活热水。1995 年城镇每百户居民淋浴热水器的拥有量为 34 台，2000 年已增加到 49 台，说明了城镇居民对生活热水需求的增长。在对未来我国居民生活炊事热水能源消费做情景预测时，我们认为未来一段时间内，城市居民随着住房条件的改善和卫生要求的提高，生活热水用量会有很大提高。而人们饮食习惯不可能出现大的变化，炊事用能增加不会太大，因此城市居民中生活炊事热水用能总量会有一定提高。2020 年人均炊事热水用能有可能成倍增长，即增加到 1500 大卡每人每天左右。农村生活热水的消费和供应情况比较落后，但随着生活条件的改善，农村居民对生活热水的需求也将逐渐增加。根据农业部关于《农村能源建设发展“九五”计划和 2010 年规划》的规划目标，农民人均生活有用能到 2000 年实现 8360 千焦每人每天 (2000 大卡每人每天)，2010 年提高到 12550 千焦每人每天 (3000 大卡每人每天)。炊事及热水和

采暖用能是农村生活用能的主要去向，假设有 50% 的热用在炊事及生活热水上。从发展趋势看，农村居民的炊事用能负荷也不会有大的增加，只是能源结构将从传统生物质能向常规能源和沼气等新型生物质能转变。

在模型中，由于统计资料的匮乏，我们将炊事和生活热水用能统一设定，用炊事及生活热水热负荷指标来反映其水平的变化。随着城市化进程的发展和人们生活水平提高，居民对生活热水的需求将进一步增加，但同时与此相反的是，人们生活水平提高后，城镇居民将有更多的人经常到饭店、餐馆用餐，减少了居民炊事用能，增加了服务业的能源消费。城镇和农村人均炊事及热水负荷的具体设置见表 7。

表 6-22 城乡人均炊事及热水负荷

	1998	2005	2010	2020
城镇人均炊事热水有用能(Kcal/日)	940	1100	1200	1500
农村人均炊事热水有用能(Kcal/日)	750	850	900	1050

 照明

1998 年公用建筑的照明用电约 870 亿 kWh，占公用建筑能源消费总量的 26%，是仅次于采暖用能的第二大户。根据专家的调研资料，我国公用建筑的照明水平除学校较低外，其余基本上达到发达国家水平。因此，反映照明舒适度水平的指标——每天照明器具的燃点时间，除学校由每天燃点 4 小时增加到每天燃点 6 小时外，其余保持不变。

1998 年家庭照明用电近 330 亿 kWh，占生活用能的 9%。居民家庭照明用电将随收入水平的提高和居住条件的改善而显著增加。近几年，城市住房条件得到明显改善，从提高照明舒适性到美化居室，提高家居装璜水平，使家庭照明电器的安装数量大大增加，由原来每户几盏灯发展到每户几十盏灯，甚至上百盏灯。我们在进行情景设置时，既考虑了照明舒适性要求，也按照我国住宅照明设计标准，对居民单位面积照明负荷、同时燃点率等指标进行了假设（见表 6-23）。

表 6-23 居民住宅建筑照明负荷情景设置

	1998	2005	2010	2020
城市住宅单位面积负荷 (W/m ²)	2	2.6	3.1	4.0
农村住宅单位面积负荷 (W/m ²)	1.5	2.0	2.3	3
住宅同时照明比例 (%)	25	26.5	27.7	30.0
每天照明时间 (小时)	4	4	4	4

其它主要家用电器

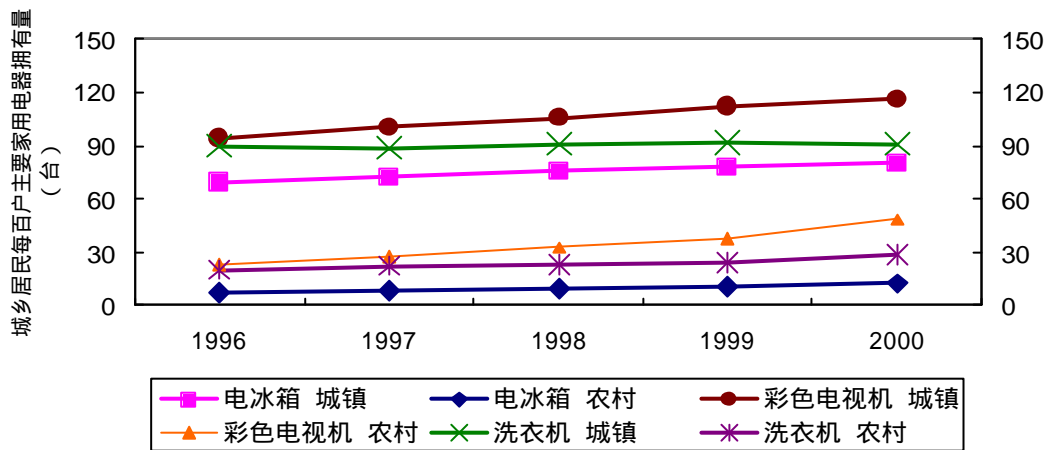


图 6-20 历年城乡居民每百户家电拥有量

表 6-24 城镇、农村每百户主要家用电器拥有量 (台) 情景设置

		1998	2005	2010	2020
城镇	电冰箱	77	80	90	100
	洗衣机	91	93	95	100
	电视机	100	100	100	110
农村	电冰箱	10	21	28	45
	洗衣机	24	30	35	45
	电视机	50	60	80	100

家用电器的拥有率在一定程度上反映了能源服务水平和生活舒适性。1998 年我国城镇和农村居民主要家用电器的用电量约 660 亿 kWh，占生活常规能源消费的 18%。近年来，城镇和农村家用电器拥有量一直在不断上升（见图 6-20）。随着全国人民朝着党的“十六大”提出的全面建设小康社会的目标而努力，特别是解决“三农”问题，

将必然拉动家用电器市场，使家用电器的普及率保持增长趋势。城镇、农村主要家用电器拥有量的情景设置见表 6-24。

6.2.3.3 可持续发展能源政策执行力度

为了减缓建筑物能源消费的增长速度，降低建筑物能源消费量，可持续发展能源政策及其贯彻执行起着相当重要的作用。对于促进建筑领域的可持续发展来说，政策主要针对鼓励能源消费结构优化、推动终端消费提高能源利用效率、制订和颁布家用电器最低能效标准和建筑节能设计标准等。在本项研究中，我们设置的情景 2、政策执行力度较强情景（情景 3）和政策执行力度较弱情景（情景 1）三个主要情景，并根据建筑物能源消费的特点，选择了能源服务水平（舒适度）、城市化、能源结构优化、供热体制改革等主要影响建筑物能源消费的因素，做了初步的敏感性分析。

在政策、措施选择的设置上，我们主要考虑了燃料替代，特别是天然气、电力等优质能源替代政策的执行力度，包括了可再生能源特别是太阳能在采暖和生活热水领域的使用。也考虑了一些重要的节能政策，如采暖补贴政策 and 采暖收费体制改革、建筑物用能设备能耗标准等政策的执行力度和效果。关于政策执行力度，我们假设在三个情景中，鼓励政策的力度和执行效果有差异，但无论如何，政府的政策、法规都是朝着进一步建立、规范和完善高效建筑节能技术和产品市场的方向努力，让市场向用户提供更广阔的终端能源技术选择的空间。政策执行的结果是增加了高效建筑节能技术的应用比例，减少了建筑物终端能源需求量。

(1) 能源消费结构优质化政策

由于建筑物能源消费与居民生活需求密切相关，就决定了其受收入水平、消费水平、购买力水平直接影响的特点，也决定了建筑物能源消费最易随着生活水平和购买力水平的提高向优质能源转变。如果政府在政策导向上能够引导用户的能源消费选择趋向于优质、高效、清洁的能源，并且这些政策能够得到较好的执行，那么建筑物能源消费构成向优质化转变的趋势将非常明显。我们假设在生活用能中，天然气、电力和 LPG 等能源由于其方便、清洁、高效的特点，越来越广泛地为用户所接受，在居民炊事、热水、采暖的终端能源消费中占据重要地位；在公用建筑的能源消费中，由于天然气等优质能源在价格上难以与煤炭竞争，因此政策导向和执行力度的意义就变得非常重要了。无论在居民生活消费还是在公用建筑的能源消费中，优质能源和新生物质能的替代是通过高效能源技术选择和结构的变化实现的。反映能源消费结构调整的

主要指标有居民气化率、采暖和空调技术选择、被动式太阳房比重、太阳能热水器比重等。

居民气化率

在有关居民气化率的假设中，主要考虑了天然气等相关优质能源的可获得性和用户对天然气价格的承受力等方面的因素。我们认为天然气管道等基础设施在农村建设的可能性比较小，在农村中不会得到普及，假设天然气在未来 20 年中在城镇能够得到不同程度的应用。农村沼气的利用状况也早已改成一家一户的状况，不少农村已将沼气利用与农村生态建设、多种经营结合起来，形成了集养殖、种植、用气为一体的成熟模式。沼气不仅可以用于农村居民的生活消费，还可替代部分农村生产用能，发展前景广阔。表 6-25 列出了居民气化程度在三个情景中的不同设置。

表 6-25 居民炊事热水气化率

		情景 1			情景 2			情景 3		
		2005	2010	2020	2005	2010	2020	2005	2010	2020
城镇	LPG 气化率	44.2	44.2	20	44	44	22	43.2	43	24
	NG 气化率	17.7	19.1	46	18.9	20.9	47	20.9	24.1	49
农村	沼气比例	5.5	8.6	15	1	3.9	5.9	7.7	12.5	22
	LPG 气化率	6.5	8.4	12	4	10.7	15.5	7.5	10	15

采暖空调系统中优质能源的利用

表 6-26 居民采暖方式构成

	采暖技术选择	1998	2010	2020
北方城镇居民	集中供热	22.2	30	35
	小型热电联产	2	4	8
	分散锅炉供热	25.4	14	3
	小火炉取暖	50.3	30	10
	天然气供热	0	20	40
	电采暖	0.1	2	4
	小计	100.0	100.0	100.0
北方农村居民	分散锅炉供热	0	5	10
	小火炉取暖	15	35	55
	电采暖	0	10	20
	生物质能采暖	85	50	15
	小计	100.0	100.0	100.0
过渡地区城镇	小型热电联产	10	10	10

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

居民	分散锅炉供热	30	15	0
	天然气供热	0	20	40
	电采暖	60	55	50
	小计	100.0	100.0	100.0
过渡地区农村 居民	分散锅炉供热	0	5	10
	小火炉取暖	30	20	10
	天然气供热	0	0	0
	电采暖	70	75	80
	小计	100.0	100.0	100.0

在采暖和空调终端用能系统中进行能源结构的优质化设置，是建筑物能源情景设置中的重点。在建模过程中，我们将能源消费结构的调整通过技术结构的变化来实现。表 6-26 清楚地反映了未来 20 年北方和过渡地区城镇、农村在采暖技术选择上的可能变化。如果这样的情景发生，就会带来能源消费品种构成的较大变化，城镇采暖终端用能构成将在不同程度上向天然气、电力、热力等方便、清洁的能源转变，农村的采暖用能则逐渐摆脱传统的生物质能，向煤炭、电力等商品能源转变。

☞ 太阳能的利用

我国太阳能资源丰富，利用潜力很大。1998 年三北地区农村太阳房建筑面积为 700 万平方米，2000 年太阳能热水器的生产量已居世界第一位，是太阳能热水器应用的世界第一大国，使用已达 3600 万平方米。在模型设置中，除沼气利用以外，我们重点考虑了太阳能热水器和太阳房采暖这两种最为可能的可再生能源利用方式。

我国当前太阳能热水器的技术比较成熟，并已经开始得到较大规模的应用。所以，我们假设太阳能热水器将在未来保持较快速度发展。太阳房采暖在我国利用还较少，随着相关节能政策的实施和居民节能意识的增强，太阳房不仅在农村发展，北方城镇也将有一定发展。图 6-21 分别给出了北方城镇居民炊事热水中太阳能热水器的应用比重的设置及北方农村太阳房建筑面积占农村采暖面积比重的设置情况。

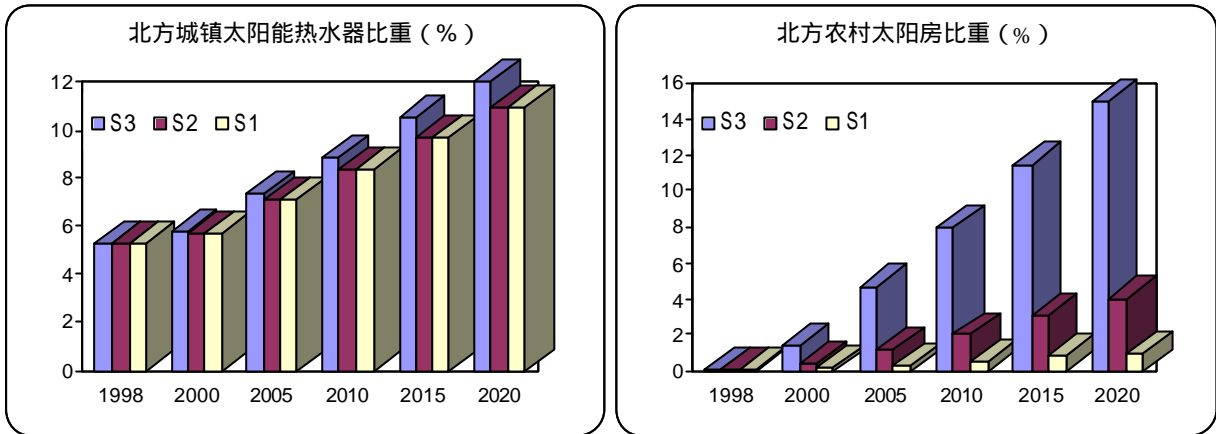


图 6-21 太阳能利用情况

(2) 节能政策与标准

对建筑节能的重视是从二十世纪八十年代末开始的，要比工业节能晚十年左右。主要原因是八十年代初，中国正处在改革开放的初期，百废待兴，工业能耗占全国终端能源消费的 70%；当时中国的工业生产技术和工艺过程与发达国家差距甚大。在工业生产中，能源浪费严重，能源利用水平也很低。因此，政府首先把节能的重点放在了工业领域。经过十几年的努力，中国的节能工作取得了巨大的成就。在二十年里，中国以能源消费弹性系数低于 0.5 的成绩，实现了国民经济年均增长 9.8%，令世人瞩目。随着社会经济的发展，人民生活用能不断增长，第三产业的发展也使公用建筑的能源消费增长很快。从发达国家的经验看，建筑物用能可一般占到全社会能源消费的 30%~40%。因此，从九十年代中期开始，政府把节能工作的注意力不仅放在工业领域，而且也逐渐转向建筑物领域。

产品能效标准和标识

国家技术监督局从八十年代后期开始，致力于产品能效标准的制订工作，先后对锅炉、电机、水泵等通用用能设备制订了产品最低能效限定值标准，随后这一工作逐步扩展到电冰箱、空调及照明电器等建筑物用能设备上。随后，为了加强产品的用能管理，在 1994 年 12 月 17 日国家质量技术监督局发布的《节能产品的评价导则》(GB/T15320 - 94) 基础上，于 1998 年 3 月，国家经贸委联合国家质量技术监督局共同组织节能产品认证工作，并于同年 4 月正式下达了《节能产品认证管理办法》，启动了节能产品认证工作。首期开展节能认证的产品正是建筑物的主要终端用电设备，

如电冰箱、房间空调器、照明产品，以及水泵、风机类产品。目前，电冰箱、空调的节能认证工作已经完成，正在开展照明产品的节能认证和建筑节能产品，如节能门窗、保温隔热建筑材料的节能认证，将逐步开展。在节能认证的基础上，政府还将实施在主要家用电器产品上开展节能标识工作，进一步引导消费行为，提高建筑物能源使用效率。

1996年10月，国家经贸委牵头，会同国家十多个部委在全国启动了“中国绿色照明工程”。目的是通过制定照明电器产品的标准，开展技术交流和示范工程，提高高效照明电器产品的质量，规范市场，达到节约终端照明用电，减少温室气体排放的目的。在“中国绿色照明工程”的带动下，全国许多省市开展了绿色照明宣传教育活动，并采取了各种有效措施，积极鼓励用户使用优质高效照明电器产品。到2000年已实现节约照明用电约200亿kWh。

表 6-27 居民家庭主要家用电器的能源强度（单位：kWh/台）

		1998	2005	2010	2020
电冰箱	旧	438	438	438	438
	高效	394.2	383.7	376.3	361.4
	超高效	328.5	328.5	328.5	328.5
家用空调器	旧	300	309.5	316.4	330
	高效	270	278.6	284.7	297
	超高效	240	247.6	253.1	264
洗衣机	涡轮式	93.6	99.4	103.1	109.2
	滚筒式	36.4	38.4	39.7	41.6

在设置居民住宅主要用电设备能源强度指标时，我们充分考虑了目前产品能效标准的执行状况和未来发展趋势，以及国家级节能工程的实施前景。表 6-27 反映了居民家庭主要家用电器的能源强度的假设。

📁 建筑节能政策和规范

自1986年开始，城建部就颁布执行了《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》，要求省市、自治区因地制宜地编制实施细则；在有条件的地区，应积极推广空心砖和以岩棉等高效保温材料与承重结构相结合的负荷墙体及屋面，抓好供热管理，制定相应的政策。1991年国务院发布了《中华人民共和国固定资产投资方向调节税暂行条例》，对北方节能住宅（即满足《民用建筑节能设计标准》规定的住宅）实行零税率，鼓励节能住宅的发展。尽管有关主管部门在1998年和1999年先后出台文件，决

定从 2000 年 1 月 1 日起暂停征收固定资产投资方向调节税，但这一政策在推动建筑节能上是起到了积极作用的。1992 年政府主管机构印发了《关于基本建设和技术改造工程可行性研究报告增列节能篇（章）的暂行规定》。2000 年建设部以部长令的形式颁布《民用建筑节能管理规定》，要求自 2000 年 10 月 1 日起施行建筑节能的监督管理。《民用建筑节能管理规定》是建筑节能管理工作具有法律效力的部门规章，为各行业和地方各级管理部门加强建筑节能的管理工作提供了法律依据。

供热收费体制改革是针对计划经济体制下，供热收费采取的“包烧制”实施的，改革提出的分户计量收费制度是供热收费体制改革的核心，分户计量收费方式也被认为是推动建筑节能的最重要措施。1995 年建设部在《建筑节能“九五”计划和 2010 年规划》中，提出的基本目标之一就是“对集中供暖的民用建筑安设热表及有关调节设备按表计量收费的工作，1998 年通过试点取得成效，开始推广，2000 年在重点城市成片推行，2010 年基本完成。”在《建筑节能“十五”计划和 2015 年规划》中，同样把采暖收费体制的改革作为基本目标之一，同时将采暖计量收费技术作为研究开发的重点。2000 年建设部起草了《按热量收费的实施意见》，同年底完成了财政部、社会劳动保障部、国家税务总局、国家物价局（国家计委物价司）、国家计委、国家经贸委、建设部等七个部委局的会签，上报国务院批准。但至今该文件尚未发布执行。主要原因有：1）采暖收费体系尚未建立起来，没有形成象电费收费的基础网络；2）改革引起的利益冲突难以协调；3）影响热量计量的因素太多，可操作的实施细则难以出台；4）分户计量的技术、设施要求还难以得到保证；5）取暖费“暗补”改“明补”的资金难以落实。这些因素使采暖收费制度改革的步伐变慢。为此，我们在情景设置上，分别在情景 2、情景 3 和情景 1 中作了以下三种假设：

（1）采暖收费制度的改革还有较长的路要走，无论在政策上、技术上还是产品上，都还需要较大的投入，才能使收费体制的改革能够全面推开。假设采暖收费制度的改革在全国重点城市开始实施。

（2）影响建筑节能最主要的政策——采暖收费体制的改革获得较大成功，在全国大城市普遍实行了分户计量和采暖费用的“明补”。

（3）采暖收费体制的改革和分户计量的节能措施，由于体制、经济、技术等条件的限制，仅能在部分试点城市执行，难以广泛推广。

建筑节能标准

1986 年城乡建设环境保护部颁布了《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》（JGJ26 - 86），是在原有民用建筑热工设计标准的基础上，作出了节约 30% 的规定。1995 年建设部组织修改了 1986 年部发《民用建筑节能设计标准（采暖居住建筑部分）》（JGJ26 - 95），在原有基础上规定再节能 50%，并将新修改的标准批准为行业标准。1993 年建设部批准《旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准》为强制性国家标准，自 1994 年 7 月 1 日起施行。这是我国第一个有关节能的强制性国家标准。1996 年以来还编制了《民用建筑热工设计规范》和《采暖通风和空气调节设计规范》。在规范中提出过渡区暖通和空调设计的技术要求，引导和推动过渡区建筑节能工作的开展。2001 年 7 月颁布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》，2001 年 10 月 1 日起实施。该标准以节能 50% 为目标，并控制采用节能措施后增加的工程造价在 10% 左右，规定了长江流域 17 个省市区居住建筑围护结构传热系数限值和采暖空调设备最低能效比值，或使用性能性指标，规定了居住建筑面积每平方米地板面积允许的采暖空调设备能耗指标，对夏热冬冷地区的建筑节能工作起到了很大的指导作用。

尽管政府部门颁布了不少促进建筑节能的政策、法规和标准，特别是建设部在 1996 年颁布了北方地区采暖住宅节能设计标准，在 1985 年节能 30% 设计标准的基础上，要求北方地区采暖住宅采用节能 50% 的设计标准。在节能 50% 中，60% 依靠墙体材料的改革，40% 依靠供热系统提高能源效率，减少热损失。一些特大型城市如北京市、天津市新建建筑的达标率已接近 100%，并打算近期颁布、执行节能 65% 的设计标准。但从目前全国范围对标准的执行情况来看，效果并不理想。2000 年新建建筑面积中，只有不到 7% 的面积达到节能 50% 的设计标准，公用建筑的节能设计标准也不尽完善。因此，尽管节能 30% 的北方采暖地区居民住宅的建筑节能标准已不再使用，已由节能 50% 的标准替代，但考虑到不少地区新建建筑连 30% 的节能标准都尚未达到。因此，综合考虑上述相关的建筑节能政策因素，我们在情景假设中设置了“能够较好执行节能 30% 目标”、“较好地执行节能 50% 目标”、“节能 30% 目标未能得到较好实施”的不同情景，分别为情景 2、情景 3 和情景 1。情景中按照 60% 依靠围护结构的改善，40% 依靠供热（空调）系统提高能源效率水平，分别反映在单位建筑面积采暖（空调）负荷指标和终端能源技术（系统设备）的能源效率指标中。

6.2.3.4 能源效率水平

能源效率水平与技术进步、政策执行力度等因素有着密切的联系。无论在理论上

还是实践中，技术进步将带来单位面积能源消费的减少及能源利用效率的提高。对于建筑物用能来说，技术进步带来的好处是采暖、空调、照明及其它用能设备的能源利用效率得到提高。例如，无论是集中供热、热电联产，还是户用燃煤、燃气炉具，都将随着科学技术的发展，不断更新换代，提高燃烧效率，减少传输过程中的热量损失。其效果主要反映在采暖空调负荷和系统及设备能源效率这两个指标上。

(1) 采暖空调负荷

节能政策的推动和技术措施的实施将使单位面积能耗量降低。例如墙体材料的更新换代、围护结构节能、建筑优化设计等各种措施，将在保持一定的室温要求的前提下，使单位面积采暖和空调负荷减少。

在本文中的采暖空调负荷概念中，我们一方面考虑了由于采用新型建材及良好的建筑设计后导致单位面积的采暖空调负荷降低；另一方面，我们也综合考虑了室内温度的热舒适性水平将不断提高（夏季要求的房间温度进一步降低，冬季要求的房间温度进一步升高，从而使室内温度更加舒适），这将导致单位面积的采暖空调负荷需求增加。

由于城镇居民对室温要求比较高，并且从经济条件以及资源可获得性角度看更容易采用新型建材及经过良好建筑设计的“节能型”建筑，即围护结构的节能在未来20年将更容易对城镇建筑物产生较大的影响，所以其采暖负荷不断降低。对于农村居民，一方面因为经济条件制约及新型节能建材可获得性较差，导致同样室温要求的情况下，农村住宅的采暖能耗需求大，当采用新型节能建材后节能效果将更加明显；另一方面，随着农村收入水平的提高，大部分农村居民对室内温度要求将呈现逐渐提高的趋势，从而将提高采暖能耗需求。其综合效果是在北方农村采暖负荷不断降低；而过渡地区农村采暖负荷略有上升。

表 6-28 情景 2 居民采暖单位面积负荷

		1998	2010	2020
北方地区采暖单耗 (W/m ²)	城镇	46	30	25
	农村	65	33	23
过渡地区采暖单耗 (W/m ²)	城镇	26	22	19
	农村	12	14	16

公用建筑终端用能单位负荷也必然随着技术进步和政策推动，获益于围护结构的

改善和标准的执行，使单位能源强度下降。表 6-29 以情景 2 下公用建筑空调终端负荷指标为例，说明模型中的指标设定。

表 6-29 情景 2 公用建筑空调终端负荷 (W/m²) 的变化趋势

	1998 年	2010 年	2020 年
宾馆、商厦	22.9	17.6	15.4
办公楼	19.1	14.6	12.9
医院	19.2	15.6	13.7
学校	20.3	16.5	14.5
其它	19.1	14.6	12.9

(2) 建筑能耗系统（设备）能源效率

随着科学技术的发展，原来一些价格性能比难以让市场接受的技术，大幅度降低了进入市场的成本，逐渐被推广应用。随着供热（供冷）计量收费制度的出台和实施，居民将按照自己的能源消费量支出采暖和空调费用，所以居民将会给予“节能型”建筑关注的同时，也必将给予高效的采暖空调系统和设备以更多的关注，并出于自身利益去选择高效的采暖空调系统，从而进一步带动采暖空调新技术的发展和运用，其结果是采暖空调系统能源利用效率的不断提高。表 6-30 以北方地区居民不同采暖技术效率水平为例，描述了未来北方城镇居民采暖系统效率的变化情况，并给出了不同情景下能源效率水平的差异。

表 6-30 北方城镇居民采暖系统效率

	采暖方式	1998	2000	2005	2010	2015	2020
情景 3	锅炉房供热	55	56.8	61.4	66	70	74
	区域供热	65	67.2	72.6	78	82.5	87
	电暖气	90	90	90	90	90	90
	燃气锅炉	70	72.3	78.2	84	89	94
	小型热电（冷）联供	60	62	67	72	76.5	81
	小火炉采暖	70	72.3	78.2	84	89	94
情景 2	锅炉房供热	55	56.2	59.1	62	64.5	67
	区域供热	65	66.3	69.7	73	76	79
	电暖气	90	90	90	90	90	90
	燃气锅炉	70	71.3	74.7	78	81.5	85
	小型热电（冷）联供	60	61.2	64.1	67	70	73
	小火炉采暖	70	71.3	74.7	78	81.5	85

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

情景 1	锅炉房供热	55	55.5	56.8	58	59.5	61
	区域供热	65	65.7	67.3	69	70.5	72
	电暖气	90	90	90	90	90	90
	燃气锅炉	70	70.7	72.3	74	75.5	77
	小型热电(冷)联供	60	60.7	62.3	64	65	66
	小火炉采暖	70	70.7	72.3	74	75.5	77

6.2.4 能源转换部门的情景设定

如方法论中所述，本课题的能源转换部门主要包括发电、热电联产、城市集中供热及城市煤气生产等部门。1998年，发电、热电联产、集中供热和煤气生产分别占能源转换部门能源总消费的67%、18.5%、11.3%和3.2%。未来随着发电、热电联产、集中供热的增长和城市燃气更多地使用天然气和石油液化气，煤气生产在能源转换部门的地位将进一步降低。因此，下面对能源转换部门的叙述将针对发电、热电联产、集中供热三个部门，主要是发电部门。

6.2.4.1 情景 1(S1)

情景 1 要求全国所有单机容量 5 万千瓦以下的凝汽式机组 2010 年前全部退役或改造为热电联产机组。2005 年以后考虑逐步安排能耗高的单机容量 5~10 万千瓦凝汽式机组退役。新投产的燃煤电厂主要采用 30 万千瓦及以上的高参数机组。

考虑到中国进入 WTO 以后，市场的力量将对企业和投资者起到更大的作用，政府通过行政干预来贯彻经济计划的能力将逐步弱化。在电力部门，政府只能通过环境保护的法律和与 WTO 规则不相冲突的有限的经济调控手段来引导投资。在这种情况下，成本比较高的发电技术的应用将受到其经济竞争能力的限制。投资回收期长的水电、投资较大的核电、发电成本较高的可再生能源发电、洁净煤发电和天然气发电的发展也将会受到影响。

情景 1 继续沿用现行的环境排放标准，新建火电机组中脱硫机组的比例逐步增加，2020 年脱硫机组将占新增燃煤火电机组的 40%。对没有配备脱硫措施的机组，则必须使用低硫煤来控制二氧化硫的排放。

热电联产发电装机增长基本保持目前的发展趋势，与燃煤火电装机增长同步，2020 年热电联产的比例与目前大致相同。热电联产机组采用与情景 2 相同的环境保护标准。

水电装机占电力总装机的比重自 1985 年以来一直呈下降趋势。由 30% 下降到 23.6%。近期内，“西电东送”对我国水电开发提供了一定的动力。但由于大中型水电资源集中于远离负荷中心的偏僻地区，远距离输电不仅使供电成本增加，也使水电项目筹资的难度增加。如果政府不能采取强有力的政策和措施提供持续支持，大规模的

水电开发可能在较长的期间内难以维持，水电的开发速度将低于政府的计划。另外，由于小水电开发在融资等方面也存在着一些困难，情景 1 假定每年新增的小水电装机将在 70 万千瓦左右，低于规划的每年 100 万千瓦。在情景 1 中，2020 年水电的开发程度将由目前的 20%左右增加到 40%左右，达到世界平均水平。

即使政府在政策上给予一定的支持，新能源发电由于在成本上难以和燃煤火电竞争，在发电竞价上网方面仍然相当困难，只能在资源条件比较好的地区得到发展。风力发电装机容量 2005 年达到 120 万千瓦，2010 年达到 300 万千瓦，2020 年达到 1000 万千瓦。

在情景 1 中，较多地考虑了在扩大天然气市场方面存在的障碍，包括天然气资源集中在西北和北部地区，远离经济发达的东部及南方沿海地区，建设天然气输配和进口的基础设施可能面临的融资困难；天然气运配基础设施建设的高投资对天然气价格和市场开发的影响；及中期天然气探明储量不足和进口天然气方面存在着许多不确定因素等。情景 1 设定 2010 年天然气可供量为 710 亿立方米，其中国内天然气产量为 600 亿立方米，进口天然气 110 亿立方米。2020 年天然气可供量为 1200 亿立方米，其中国内天然气产量为 800 亿立方米，进口天然气 400 亿立方米。在优先满足其他部门的终端需求以后，可用于发电的天然气将大大少于情景 2。

6.2.4.2 情景 2(S2)

情景 2 以国家“十五”及后十年电力发展规划为基本依据，其主要内容包括：

火电：2005 年前国家电力公司所属单机容量 5 万千瓦以下的凝汽式机组退役，2010 年前全国单机容量 5 万千瓦以下的凝汽式机组全部退役。2005 年以后考虑逐步安排能耗高的单机容量 10 万千瓦凝汽式机组退役，2010 年停运供电煤耗在 400gce/kWh 以上的火电机组。

新投产的燃煤电厂主要采用 30 万千瓦及以上的高参数机组，2020 年达到新建火电机组供电效率 39%，脱硫机组效率 38%。对已有的国产 20 万千瓦和 30 万千瓦级火电机组进行更新改造，使平均供电煤耗降低 10-15 克/千瓦时。2010 年左右高效洁净煤发电技术投入示范运行，2015 年 IGCC 开始进入商业应用，发电效率为 45%。

热电联产：基本保持目前的发展趋势，与燃煤火电装机增长同步，2020 年热电联产的比例与目前大致相同。

水电：2001 年到 2002 年，年投产规模在 100 万千瓦左右，2003 年三峡投产后，年投产规模可上升到 400 万千瓦。2005 年水电装机容量将达到 9500 万千瓦。“十五”期间及以后，重点开发的河段包括红水河、长江中上游、黄河上游、澜沧江中下游、乌江等，加上小水电每年装机 100 万千瓦以上，2010 年全国水电装机容量可达到 1.1 亿千瓦。2020 年前大中型水电装机容量达到 1.7 亿千瓦左右，小型和微型水电仍维持每年 100 万千瓦的开发速度。2020 年全国水电开发率达到 45%以上。

天然气发电：根据国内天然气资源开发、西气东输工程的进展，以及国际天然气市场的情况，因地制宜地适量发展燃气蒸汽联合循环机组。近期通过新建天然气发电机组，改建原有燃油机组，2005 年天然气发电机组容量将达到 900 万千瓦左右。

2005 年以后，天然气输配网络不足对天然气市场开发的限制将逐步缓解，天然气的使用将考虑优先满足终端消费部门的需求，剩余部分用于发电和供热。根据目前天然气生产部门所作的预测，情景 2 设定 2010 年天然气可供量为 840 亿立方米，其中国内天然气产量为 700 亿立方米，进口天然气 140 亿立方米。2020 年天然气可供量为 1700 亿立方米，其中国内天然气产量为 1200 亿立方米，进口天然气 500 亿立方米。

核电：2005 年左右，正在建设的 660 万千瓦核电站可投入运行。2005 年核电装机 870 万千瓦，核电比例增加到 2.4%。“十五”期间，将新开工建设 400 万千瓦核电机组。如果已经规划的核电站近期也能陆续开工目标，到 2010 年核电装机将可能超过 1000 万千瓦，到 2020 年核电装机可能达到 3200 万千瓦的。

新能源发电：加大风电开发力度，因地制宜开发太阳能、地热能、海洋能。风力发电占新能源发电的最主要部分。可再生能源发展“十五计划”的目标是：2005 年风力发电装机的目标是 118 万千瓦，2010 年风力发电装机可超过 250 万千瓦。目前风力发电不仅技术上已经相当成熟，成本也有一定的下降空间，如果采用的政策得当，风力发电的进展就可能进一步加快。在设定情景 2 时，对风力发电的发展采用了比较积极的假设：风力发电装机在 2005 年达到 120 万千瓦，2010 年达到 450 万千瓦，2020 年达到 1500 万千瓦。

环保：“十五”期间各项污染排放全部达到现行国家标准。国产化的 30 万千瓦及以上湿法脱硫机组投入运行。位于“两控区”范围内的新建、改建或在建燃煤含硫量大于 1%的火电厂，安装脱硫设施；位于“两控区”范围内已建燃煤含硫量大于 1%的火电

厂，分期分批建成脱硫设施或采取其它有相应效果的减排二氧化硫的措施；除以热发电的热电厂外，在大中城市的城区及近郊区不再新建燃煤电厂。2005 年脱硫火电机组的容量达到 2600 万千瓦。

随着国产的脱硫设备制造进入成熟阶段，2010 年以后配备脱硫措施的火电机组将有较快的发展。配备脱硫措施的火电机组将从占新增装机容量的 25% 上升到 2020 年的 50%。

大型区域热电联产集中供热机组将在城市周边得到发展，应优先配备脱硫装置。中小型热电联产将结合工业锅炉改造在小城市、城镇和工业企业得到发展，脱硫要求相对宽松。2015 年和 2020 年，大型热电联产机组的脱硫率达到 50% 和 70%，中小型热电联产机组的脱硫率达到 20% 和 40%。

6.2.4.3 情景 3(S3)

情景 3 是在情景 2 的基础上，电力部门节能和环境保护得到进一步促进的情景。

在火力发电部分，情景 3 不仅要求在 2010 年前全国单机容量 5 万千瓦以下的凝汽式机组全部退役，而且进一步要求 2020 年前全部淘汰或更新现有的 20 万千瓦以下的火电凝汽式机组。

对燃煤火电厂采用更为严格的排放标准。从 2005 年至 2020 年，新建火电厂要求逐步过渡到全部建设脱硫设施，同时要逐步对一半以上的现有大型火电机组进行改造，加装脱硫设备。

2010 年高效洁净煤发电技术达到商业化应用的程度，2010 年以后高效洁净煤发电技术的市场份额逐步增加。

情景 3 假设随着电力体制改革，现存的阻碍热电联产发展的障碍得到克服，大、中、小规模的热电联产都能够因地制宜得到加速发展。为了促进热电联产的加速发展，不仅要积极推动大型区域热电厂的发展，也要重视发展联片热电联产电厂替代分散的工业锅炉和小锅炉；不仅要加速建设新的热电联产电厂，也要加速对工业锅炉进行热电联产改造；在有条件的地区，还要适当发展适用于厂矿企业，写字楼、宾馆、商场、医院、银行、学校等建筑物的小型燃气热电联产系统。

情景 3 假设全国热电联产发电的年均增长率达到 5.3%。由于大型燃煤火电厂安

装脱硫设备的经济性要好于中小型机组，情景 3 假设大型区域热电厂的燃料仍然主要用煤。大型热电联产也采用更为严格的排放标准，大型热电联产机组的脱硫率在 2015 年将达到 70%，在 2020 年达到 90%，比情景 2 提高了 20 个百分点。中小型热电联产机组的燃料则考虑更多地使用天然气。在情景 3 中，以天然气为燃料的热电联产的年均增长率为 39.8%，以天然气为燃料的联合循环机组占到了中小型热电联产机组的四分之一。

加快水电发展。以西部开发、“西电东送”为契机，采取有效的激励措施，使水电的开发建设在长期内保持较高的速度。在 2010 年水电装机达到 1.5 亿千瓦以上，2020 年大中型水电装机容量达到 2 亿千瓦以上，小型和微型水电保持每年 100 万千瓦的开发速度。2020 年全国水电资源的开发率超过 60%。

情景 3 假定现存的国家间先进技术转让的障碍能够得到较好地克服，国内进一步采取激励政策，加快水电以外的其他可再生能源发电技术的发展，使得可再生能源发电的装机容量比情景 2 有较大幅度的增加。其中风力发电装机在 2005 年为 120 万千瓦，2010 年达到 500 万千瓦，在 2020 年达到 3000 万千瓦。

适当增加核电的比例，2010 年核电装机将达到 1400 万千瓦，2020 年能有 4000 万千瓦的核电，2020 年核电装机将比情景 2 增加 800 万千瓦。

情景 3 假设：2010 年天然气可供量为 1000 亿立方米，包括国内生产的天然气 800 亿立方米，进口天然气 200 亿立方米。2020 年天然气可供量为 2000 亿立方米，国内生产的天然气 1200 亿立方米，进口天然气 800 亿立方米。天然气供应在满足化工原料、民用和部分工业锅炉的燃料需求后，仍有相当大的一部分可用于发电和热电联产。

第七章 主要结论

7.1 基本结论

(1) 实现以提高能效、优化能源结构、增强环保实施力度为特征的可持续能源发展战略，中国有可能在今后 20 年继续实现“能源翻一番支持经济翻两番”。

情景分析的结果显示，如果中国的经济发展能够建立在依靠技术进步优化调整经济结构，同时在能源领域采取各种可持续发展对策措施的前提下，未来 20 年中国的能源需求可以保持相对较低的增长速度，中国有可能继续实现能源翻一番保障经济翻两番。根据三个情景计算结果，在 20 年年均 GDP 增长率 7% 的经济增长条件下，2020 年中国能源总需求将在 23.2~31.0 亿吨标煤之间；1998 年到 2020 年期间中国的能源消费弹性系数在 0.35 到 0.55 之间，能源需求年均增长 2.4%~3.8%，低于 1978~1998 年期间中国能源消费年均 4.28% 的增长率。

表 7-1 3 个情景能源需求总量比较 (Mtce)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020	1998~2010	2010~2020
S1	1368.0	1474.5	1807.6	2169.1	2641.4	3100.2	3.79%	3.92%	3.64%
S2	1368.0	1462.2	1741.2	2033.5	2408.3	2761.8	3.24%	3.36%	3.11%
S3	1368.0	1448.1	1671.0	1860.3	2126.4	2318.7	2.43%	2.59%	2.23%

表 7-2 能源消费弹性系数

	1998~2020	1998~2010	2010~2020
S1	0.541	0.535	0.543
S2	0.464	0.459	0.464
S3	0.347	0.354	0.332

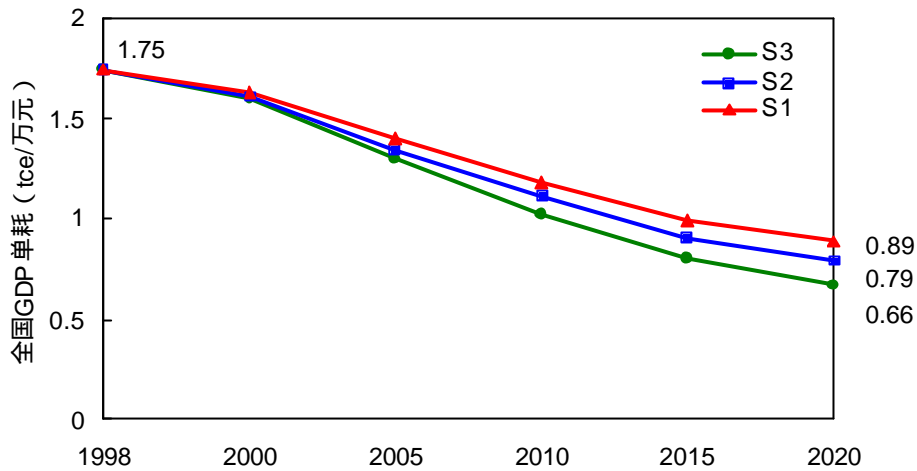


图 7-1 全国 GDP 单耗 (按照能源消费量)

能否继续以较低的能源消费增长实现经济的长期高速增长,是我国开创中国特色可持续发展道路的一个重要标志。我国改革开放以来,已经实现了连续 20 年平均能源消费弹性系数 0.5 左右,在经济高速发展的大国中已经是绝无仅有。近十年来由计划经济过渡到市场经济,给经济结构和体制性的调整提供了巨大的空间,也是实现低能源消费弹性系数的重要客观条件。在市场经济基本建立,又加入了 WTO 的条件下,如果我国能继续实现 20 年能源消费弹性系数保持在 0.5 左右甚至更低,则是世界上一个新的重大创举,也是在探索发展中人口大国实现可持续发展道路进程中的重大成就,是对全人类的重大贡献。

情景分析结果显示,在 2020 年我国达到人均 GDP3000 美元²⁴时,人均能源消费量仍可能控制在 1.6 到 2.1 吨标煤之间。人均能源消费控制在相对较低的水平,对我们这样一个人口大国,具有特别重要的意义。中国要达到本世纪中叶实现现代化的目标,必须在人均资源消费,包括能源消费方面,开创出明显低于现有发达国家人均消费量的具体实现途径。今后 20 年是一个十分关键的时期。

表 7-3 人均能源消费水平 (tce/人)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
S1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.97%
S2	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.48%
S3	1.1	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.75%

²⁴ 按官方汇率 1 美元=8.2 元人民币计算

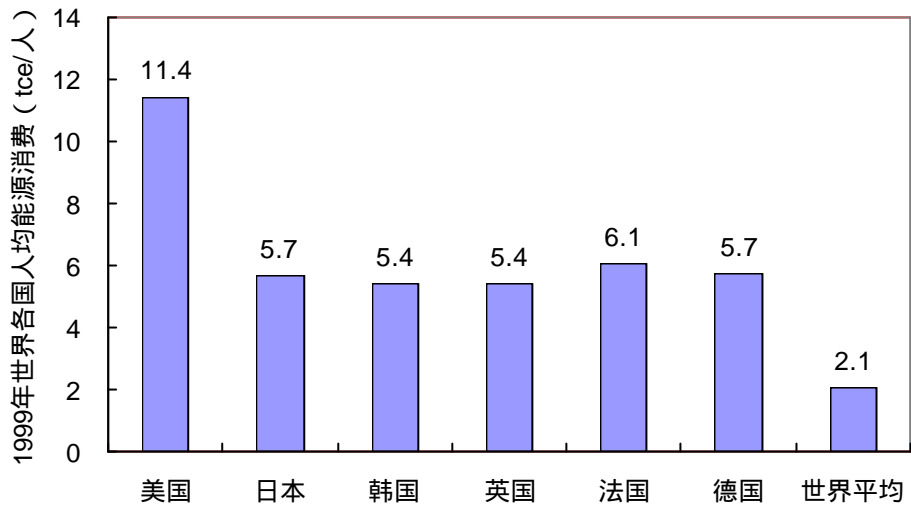


图 7-2 1999 年世界各国人均能源消费水平

(数据来源：Handbook of energy & economic statistics in Japan 2002)

(2) 在相同或相近的社会经济发展目标下，强化可持续能源发展政策，仍可以引起能源消费需求的重大变化。

比较情景分析中 3 个情景的一次能源需求结果表明，在达到相同或相近的社会经济发展目标前提下，能源的可持续发展仍然可能具有很多不同的选择。情景分析的情景 1 (S1 情景) 中 20 年的能源消费弹性系数可达到 0.55 以内,已经是相当不错的结果。但是在进一步强化能源、环境和消费政策可持续性的选择和执行效果条件下，情景 3 (S3 情景) 中 2020 年中国的能源需求较情景 1 仍可降低将近 8 亿吨标煤，占届时能源消费总量的 30%左右。情景 3 的 20 年能源消费弹性系数仅有 0.35。说明在能源技术、能源品种结构、以及相关的节能和环保政策的采纳和执行效果方面，有很大的潜力可挖，且效果显著。

(3) 社会经济发展道路的选择，是决定未来能源需求趋势的基础性因素

情景分析设立的三个情景对未来能源需求增长的预计尽管有显著差别，但和同期经济增长相比，都属于低增长的能源情景。其重要的原因在于情景设定的社会经济发展道路本身反映了可持续发展的趋势。在设定的社会经济发展情景中，我国经济结构有重大调整。在三大产业的变化中，第三产业增长速度最快，第二产业保持较快增长。

在第二产业中，高附加值的信息、电子、高新技术等行业超速发展，包括轻工业和高新技术产业在内的加工制造业在工业增加值中的比例大幅度上升，而高耗能行业的比例明显下降。更重要的是，在每一个工业行业中，内部的产品结构调整也十分显著。特别是在高耗能原材料工业，经济增长主要来自高附加值产品的比例上升和基础产品质量的不断提高，提高了行业的经济产出。代表性的基础性原材料产品如钢材、水泥、化肥等的产量增长都比较有限，改变了外延扩大的增长模式。三个情景在直接反映人民生活水平提高的建筑物用能和交通用能方面，也反映了加强引导，促进可持续的合理消费方式的政策取向。这些结构性的调整显著地降低了对于各用能领域的终端用能需求，使三个情景都因结构性调整导致了明显的能效提高。

许多国家的专家们从人类可持续发展的角度出发，都看到发达国家目前建立在大量消费自然资源（包括能源资源）基础上的“繁荣”和“发达”是不可持续的。解决可持续发展问题，需要从解决发展模式出发。在近来发表的联合国政府间气候变化专门委员会的科学报告中，专家们明确指出，未来社会经济发展道路的选择比具体技术的选择对全球温室气体排放的影响更为重要。中国可持续能源发展情景分析强调社会经济发展道路的选择，印证了国际上许多关心可持续发展前途的专家们的研究成果。

（4） 工业部门的能源需求有可能做到明显低于其它部门的增长速度，某些高耗能行业在一段时期后可以做到“增产不增能”。

中国总体上仍然处于工业化初中期阶段。目前中国工业部门的能源消费占整个能源消费总量的70%左右，其中钢铁、有色金属、化工、建材等高耗能行业的能源消费又占整个工业终端消费的70%以上。工业部门的能源消耗变化对未来中国的能源总需求的变化仍起着支配性的作用。情景分析认为，通过工业部门内部结构的多层次调整，和在工业部门充分挖掘节能潜力，今后工业部门的能源需求增长率有可能明显低于全社会能源需求增长率。3个情景的模型计算结果表明：1998~2020年，工业部门的终端能源需求年均增长率可能低到仅为1.2%~2.5%，钢铁、化工、建材等一些高耗能行业不但可以做到“增产少增能”，在一定时段后还可能实现“增产不增能”。

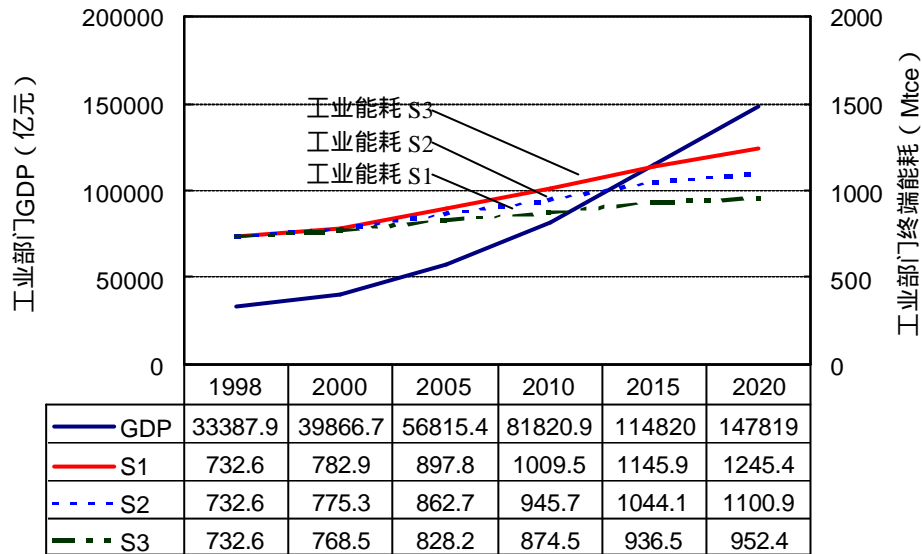


图 7-3 工业部门能耗与工业 GDP

实现工业部门增产少增能的一个重要前提是工业部门内部多层次的结构调整，高耗能产业在工业增加值中所占的比重进一步下降，而高新技术，电子通讯信息等高附加值产业加速发展。同时在各高耗能产业中，代表性高耗能产品的产量没有成倍的增长，高耗能产业内部，也要靠产品质量的提高，产品的深加工，高附加值新品种的大量增加来提高产值和附加值。

大力挖掘和实现节能潜力，也是工业部门实现能源低增长的重要前提。情景分析认为，钢铁行业通过淘汰落后工艺，加强余热余能的回收利用，拓展产品加工链，提高高附加值产品的比重，通过调整行业内部结构，设备大型化等措施，“十五”期间可以做到“产量增加、产值增加、能源消费微增”，2010年以后，基本上能够做到“增产不增能”。化工行业通过优化原料路线，提高天然气化工的比例，到2020年化工行业在产品产量增加0.3倍、产值增加1.4倍的情况下，终端能源需求量增加1000~2100万吨标煤，即仅比目前水平增长9.6%~20.9%。同时，由于电子通讯、医药化工等非高耗能工业产业在工业部门增加值中所占比例不断上升，其能耗总量在工业部门能源消费总量中的比例也逐渐升高，非高耗能工业产业的能效提高对于整个工业部门的能源消费变化所起的作用也渐趋明显。通过提高一般通用能源设备能效将显著提高整个工业部门的能效水平。如情景3中，和情景1相比，非高耗能工业产业的能效变化就使整个工业能源消费量下降达1.98亿吨。

(5) 建筑物和交通用能将逐渐成为能源需求增长的主要因素，必须重视建筑物和交通用能的供应和提高能效问题。

情景分析的结果表明：1998~2020年期间，交通部门、建筑物用能的终端能源需求的年均增长率分别为4.6%~6.3%和4.4%~5.9%，均高于同期全社会（2.4%~3.7%）和工业部门（1.2%~2.5%）终端能源需求的增长速度。情景分析显示，建筑物和交通用能的增长在全部新增能源消费中的比例将从目前不到55%上升到2020年时占当年新增能源消费的68%~80%（见表7-4）。

表 7-4 三大部门对未来中国新增能源需求的贡献率

		2000	2005	2010	2015	2020
S1	产业	53.4%	48.6%	42.5%	42.5%	32.2%
	交通	12.7%	17.8%	24.2%	23.8%	31.5%
	建筑	33.9%	33.7%	33.3%	33.8%	36.2%
S2	产业	51.5%	45.9%	40.8%	39.1%	26.6%
	交通	13.8%	19.1%	27.0%	26.0%	35.7%
	建筑	34.7%	35.0%	32.2%	34.8%	37.7%
S3	产业	50.8%	42.6%	35.4%	37.7%	19.4%
	交通	14.0%	20.2%	30.9%	24.3%	35.1%
	建筑	35.3%	37.2%	33.7%	37.9%	45.5%

注：表中新增能源在2000年是和1998年相比较，2005年是和2000年相比较，2020年是和2015年相比较。

长期以来，我国能源消费主要以工业部门的生产用能为主，交通和建筑物用能占的比例远低于发达国家的水平。今后，工业生产用能仍将占主要地位，但更直接体现人民生活水平高低的建筑物用能和交通运输用能的比例将不断提高。建筑物用能的高速增加，一方面是由于城乡居民住房水平提高，相应采暖空调及各种家用设备的普及提高；另一方面，是由于第三产业的发展，使非住宅建筑物的数量和用能水平不断提高。交通运输用能的快速增长，原因在于包括旅游业在内的各种运输行业迅速发展，同时也反映了家庭用非营运交通工具的加速发展。这种趋势符合我国实现全面小康的社会经济发展要求，也是进一步扩大内需的必然结果。

3个情景的分析计算结果还显示，建筑物和交通用能未来能源需求有可能出现不同的发展前景，各种节能政策和技术措施对交通和建筑物用能需求有重大影响。以交通用能为例，在情景3中设定进一步借鉴发达国家的成功经验，优化交通运输结构，

制定小汽车最低能效标准以及相应的财政经济手段，因而情景 3 的交通能源需求比情景 1 少消费 9100 万吨油品²⁵。目前中国既有的城乡房屋建筑中，仅有 0.5% 的建筑达到了建筑节能设计标准，新建房屋达标率也不到 7%，与同纬度气候相近的国家相比，中国单位建筑面积采暖和空调能耗约高出 2 倍左右。情景 3 中是指较好地执行节能 50% 目标，而情景 1 中设定的是节能 30% 目标未能得到较好实施，结果是 2020 年，情景 3 比情景 1 的建筑物能源消费总量减少了 1.75 亿吨标煤。充分显示了在建筑物和交通用能领域提高能效的重要性。

表 7-5 三个情景之间建筑物和交通用能的变化

		1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
S1	交通	112.6	125.4	170.3	237.3	320.9	433	6.31%
	建筑	181.7	215.8	300.8	392.9	511.6	640.3	5.89%
S2	交通	112.6	125	164.6	223.6	297.7	394.4	5.86%
	建筑	181.7	212.8	285.2	355.6	454.8	557	5.22%
S3	交通	112.6	123.4	155.4	201.1	249.5	305.6	4.64%
	建筑	181.7	209	267.8	317.6	393	465.6	4.37%

(6) 实现全面小康的社会经济发展目标，必须尽快推进能源消费结构，特别是终端能源消费结构的优质化进程。能源结构的优质化可以有效减少中国的能源需求增长量。

从世界各国工业化历程看，无论是终端能源消费结构，还是一次能源消费结构，优质能源的比重上升是一个必然趋势。改革开放以来，特别是随着 1992 年以来中国政府推行的金融、财税、价格和流通体制方面改革的逐步深入，市场配置资源的作用也在不断加强，中国能源消费结构中优质能源比重上升的趋势在“八五”初、中期就开始明显显现²⁶。这次情景分析 3 个情景中的终端能源需求结构和一次能源需求结构的变化也不同程度地证明了能源需求优质化的需要。能源优质化的驱动力，一是产业结构升级对能源品质的要求越来越高，低热值能源已经难以满足化工、机械制造等行业技术工艺不断进步的需要。情景分析结果显示，随着市场竞争的需要以及工艺进步的要求，天然气化工发展非常迅速，在情景分析期内（1998~2020 年），天然气成为化工行业中增长最快的能源品种，其中情景 3 的年均增长速度高达 11%。二是交通运输

²⁵ 如果考虑轻油的收率，相当于少消费原油 1.16 亿吨。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

业的迅速发展导致对油品需求不断增长，3 个情景的油品需求年均增长速度为 4.9%~6.6%。三是人民生活水平提高要求提供更方便、清洁的能源。情景分析预测期内，民用能源消费增长最快的能源品种为天然气（气体燃料）、电力和热力，其中情景 3 中天然气、电力和热力的年均增长率分别高达 17.6%、9.1%和 5.2%。

上世纪 90 年代中国能源消费结构的演变表明能源结构的优质化对中国总体能源效率水平的提高、能源消费总量的下降以及环境状况的改善均已起到积极的促进作用²⁷。如果情景 1 中不考虑能源结构优化，仍然保持 1998 年的能源消费结构，其能源需求将在目前 31 亿吨标煤的基础上还增加 1.53 亿吨标煤，即 2020 年情景 1 的能源需求至少达到 32.5 亿吨标煤，其中煤炭需求量将高达 35.4 亿吨。无论从能源供应的角度，还是环境容量的角度，推进能源结构优质化的进程迫在眉睫。

表 7-6 终端能源品种构成

情景	品种	终端能源品种消费量 (Mtce)			年均增长率	终端能源品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤	634.7	832.3	958	1.9%	58.9%	48.8%	39.7%
	油	245.8	447.5	722.9	5.0%	22.8%	26.2%	29.9%
	气	19	59.1	133.4	9.3%	1.8%	3.5%	5.5%
	热	52.5	113	194.7	6.1%	4.9%	6.6%	8.1%
	电	125.2	255.3	405.2	5.5%	11.6%	15.0%	16.8%
	总计	1077.2	1707.2	2414.2	3.7%	1077.2	1707.2	2414.2
S2	煤	634.7	730.7	730.8	0.6%	58.9%	45.9%	34.0%
	油	245.8	427.1	664.1	4.6%	22.8%	26.8%	30.9%
	气	19	77.4	184.3	10.9%	1.8%	4.9%	8.6%
	热	52.5	102.3	169.9	5.5%	4.9%	6.4%	7.9%
	电	125.2	254.8	398.5	5.4%	11.6%	16.0%	18.6%
	总计	1077.2	1592.3	2147.6	3.2%	1077.2	1592.3	2147.6
S3	煤	634.7	649.2	592.1	-0.3%	58.9%	44.4%	32.6%
	油	245.8	399.6	550.9	3.7%	22.8%	27.4%	30.3%
	气	19.0	78.5	187.7	11.0%	1.8%	5.4%	10.3%
	热	52.5	86.6	116.0	3.7%	4.9%	5.9%	6.4%
	电	125.2	246.7	372.3	5.1%	11.6%	16.9%	20.5%
	总计	1077.2	1460.6	1819.0	2.4%	1077.2	1460.6	1819

²⁶ 参见中国能源供需现状回顾评价有关内容。

²⁷ 参见第五章有关内容。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

表 7-7 能源消费品种构成

情景	品种	能源消费量(Mtce)			年均增长率	品种构成		
		1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	煤	1030.9	1509.4	2007.9	3.1%	75.4%	69.6%	64.8%
	油	281.4	471.5	752.4	4.6%	20.6%	21.7%	24.3%
	气	19	80.4	155.4	10.0%	1.4%	3.7%	5.0%
	一次电力	36.6	107.8	184.6	7.6%	2.7%	5.0%	6.0%
	总计	1367.9	2169.1	3100.3	3.8%	1367.9	2169.1	3100.3
S2	煤	1030.9	1367.6	1648.3	2.2%	75.4%	67.3%	59.7%
	油	281.4	449.7	690.2	4.2%	20.6%	22.1%	25.0%
	气	19	106.7	225.1	11.9%	1.4%	5.2%	8.2%
	一次电力	36.6	109.5	198.2	8.0%	2.7%	5.4%	7.2%
	总计	1367.9	2033.5	2761.8	3.2%	1367.9	2033.5	2761.8
S3	煤	1030.9	1193.3	1261	0.9%	75.4%	64.1%	54.4%
	油	281.4	420	573.3	3.3%	20.6%	22.6%	24.7%
	气	19	129.6	248.5	12.4%	1.4%	7.0%	10.7%
	一次电力	36.6	117.4	235.8	8.8%	2.7%	6.3%	10.2%
	总计	1367.9	1860.3	2318.6	2.4%	1367.9	1860.3	2318.6

(7) 实现能源结构优质化可能面临重大困难，应尽快调整能源中长期发展战略，以解决天然气、石油、水电等等优质能源的稳定供应问题。

情景分析中，最强调可持续发展的情景 3 比较充分地考虑了油气资源、水力资源等优质能源的开发利用，对风能、核能等可再生能源也作了比较乐观的设想。例如，到 2020 年中国的石油需求量将达到 4 亿吨，其中需要进口 2 亿吨以上；天然气 2000 亿立方米，届时也需进口 500~800 亿立方米；水电²⁸装机达到 2.43 亿千瓦，占了可开发利用的 70%左右；风电、核电装机分别达到 3000 万千瓦和 4000 万千瓦，分别是目前水平的 125 和 19 倍。即便如此，煤炭在能源消费结构中的比重仍达到 55.5%左右，需求总量在 18 亿吨左右。其它两个情景的煤炭比重更高。

能源结构的优化主要取决于终端需求的变化。按照情景假定的结果，到 2020 年中国 GDP 要翻近两番，基本上实现全面小康的目标。居民的住房面积、家用电器、小汽车的保有率、人均非居住建筑物面积等等，均要有很大的改善。城市化率及环保要求的提高也促使建筑物用能更多地选择高效、清洁的能源品种。模型计算的结果显示，情景 3 和情景 2 的建筑物用能直接燃煤量逐年下降，其中情景 3 的煤炭在终端能

²⁸ 包括 4300 万千瓦的小水电

源消费构成中的比重已从目前的 60% 降到 2020 年的 33%。交通部门的燃料需求主要以油品为主，2020 年交通部门已不再消费煤炭。上述两个部门的终端能源消费结构优质化目标基本可以实现。

居民生活水平提高的显著标志之一是电气化率不断提高。3 个情景中的人均生活用电量将从 1998 年的 111kWh 分别增长到 2020 年的 653kWh。在各行业终端能源需求中，电力所占比例上升。从发电的电源构成看，尽管各情景，特别是情景 3，已经充分考虑了水电、核电、风电等一次能源结构中的优化程度，但煤炭仍然是主要的发电能源，2020 年其加工转换部门用煤分别在 6.7~10.5 亿吨标煤（原煤 9.2 亿吨~14.5 亿吨）左右，占中国能源消费量比重的 29%~34%，这是煤炭在能源消费总量构成中难以大幅下降的重要原因之一。

由于我国石油天然气等能源价格较高，情景分析中各情景对工业部门都设定了比较保守的能源结构变化。设想在工业部门煤炭仍将保持很高的比例。按照情景分析模型计算的结果，2020 年工业部门的终端能源需求总量为 9.5~12.5 亿吨标煤，其中煤炭需求量大约为 5.1~7.35 亿吨标煤，占工业部门终端能源消费量的 55%~60%，占全社会整个终端能源消费总量的 28.5%~31%。相对而言，发达国家的终端能源中，包括工业用能，煤炭已被基本淘汰。如美国终端能源消费构成中煤炭仅占 2% 左右。目前中国经济相对发达的东南沿海地区如广东、上海等地的工业锅炉中燃油锅炉已有相当比例，但我们在情景分析中仍然设想今后直接用于工业生产的工业锅炉和窑炉将保持以煤为主。即便如此，情景分析中 2020 年对石油天然气和水核风电等一次清洁能源的需求已经达到了目前人们可以想象和接受的高限。

2020 年供应天然气 2000 亿方，石油 4 亿多吨，开发水电 2 亿 4 千万千瓦，核电 4000 万千瓦，风电 3000 万千瓦，可以说已经远远超出目前人们所能想象的能源建设的能力。2000 亿方天然气，意味着 2020 年前，目前的西气东输规模的天然气项目要搞十余个。国内的天然气产量要比 2002 年增加 4 倍以上，年输 200 亿方气的进口管线要一到二条，另加 500 万吨级的 LNG 进口项目 6 到 8 个。水电搞到 2 亿 4 千万千瓦，要求今后平均每年水电要投产 800 万千瓦左右；核电 4000 万千瓦，要求今后平均每年要有 GW 级的核电站 1.5 至 2 个投产，风电 3000 万千瓦，要求 2010 年以前每年风电投产 100 万千瓦，2010 年后，每年投产 200 万千瓦；如此等等。与此同时，煤炭生产还要从现在起年增约 2000 万吨。如果按情景 2 或情景 1 的设想，虽然对天然气和水电核电等的压力有所下降，但煤炭的生产则平均要每年增加约 6000 万到 1

亿吨，这样的情景是更加难以想象的。

对天然气，水、核、风电的发展，以及进口石油天然气的方案要尽早列入议事日程，尽早规划实施，否则，将难以保证全面小康目标的胜利实现。

(8) 加强节能和提高能源效率的力度，是实现可持续能源发展的重要前提

发达国家和新兴工业化国家，在没有完成工业化之前，其能源消费弹性系数均比较高。如韩国、马来西亚在 1971~1999 年期间的能源消费弹性系数均高于 1。发达国家在经济进入后工业化阶段以后，能源消费弹性系数一般小于 1，但在经济增长相对较快时，弹性系数也相应较高。(见表 7-8)。

中国未来的经济增长将愈来愈多地源于国内需求拉动，除了生产性能源需求增长以外，住房与汽车以及相关的消费将成为国内需求的主要增长点，从而带动能源消费。若中国的经济增长与能源消费弹性关系保持 1，2020 年中国一次能源需求总量将达到 60 亿吨标煤；若中国今后只按照过去 30 年世界年均节能率 1.1%的水平提高能效，则能源需求年均增长速度仍将达到 6.0%以上，2020 年一次能源需求总量将达到 48.7 亿吨标煤，而按照情景分析中构建的可持续能源发展道路，中国则可能在满足国民经济稳定、持续增长的情况下，大大减缓能源需求的增长速度，使 2020 年以前的年均能源增长率只有 2.45%到 3.8%。

表 7-8 部分国家不同发展阶段能源消费与 GDP 增长之间的关系比较

		1971~1980	1980~1997	1997~1999	1971~1999	1971~1997
美国	GDP	3.2%	3.0%	4.0%	3.2%	3.1%
	能源消费	1.4%	1.1%	2.1%	1.3%	1.2%
	弹性系数	0.45	0.36	0.53	0.40	0.391
日本	GDP	4.4%	3.2%	-1.2%	3.3%	3.6%
	能源消费	2.8%	2.4%	-0.3%	2.3%	2.5%
	弹性系数	0.64	0.76	0.25	0.72	0.71
韩国	GDP	7.5%	8.2%	1.6%	7.5%	8.0%
	能源消费	10.7%	9.0%	0.8%	8.9%	9.6%
	弹性系数	1.42	1.10	0.52	1.19	1.20
马来西亚	GDP	8.1%	7.3%	-1.0%	6.9%	7.6%
	能源消费	9.2%	8.7%	-3.9%	7.9%	8.9%
	弹性系数	1.14	1.18	4.04	1.14	1.17

资料来源：《日本能源经济手册》(2002)

实现可持续社会经济和能源发展，除了对引起终端能源服务需求的社会经济活动

的合理引导，以及通过产业结构、行业结构和产品结构的调整，使对终端能源服务需求有限增长以外，强化节能、全面提高能效水平，对引导未来中国的能源需求的可持续增长有极其重要的作用。情景分析表明，交通部门与建筑物部门的能源消费增长均要快于工业部门。对交通、建筑物等潜在能源需求比较大的领域，及早制定切实可行的能效政策会产生很大的节能、减排作用。工业部门能耗基数较大，加之中国仍处于工业化过程中，工业部门仍将是能源消费大户，制定严格的能效政策，也会产生明显的效果。

能效政策应针对以下两个方面采取切实行动。一是对新增生产和生活用能的能效政策。工业新增生产能力、建筑物（包括家电）用能、交通用能，是未来能源需求增长最快的领域，也是能效技术变革最活跃的领域。情景分析说明，能效政策的实施及其效果的强弱，对上述领域的能源需求产生至关重要的影响，特别是在建筑物和交通领域，情景分析结果说明，强化节能政策可使其能源消费增长减少 15%到 27%。二是节能政策对现有生产能力能效改进仍可以产生巨大的影响。各种分析测算表明，目前中国技术上可行、经济上合理的节能潜力仍高达 1.5~2 亿吨吨标准煤。情景分析表明，若节能政策得到落实，使相应节能潜力得到实现，可使钢铁、建材、化工等高耗能行业 2020 年实现产量和增加值增长目标，而能源需求增长十分有限。

表 7-9 三大产业部门的不同情景结果

情景	部门	终端能源消费量 (Mtce)			年均增长率 1998~2020	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	产业	782.9	1077	1341	2.48%	72.7%	63.1%	55.5%
	交通	112.6	237.3	433	6.31%	10.5%	13.9%	17.9%
	建筑	181.7	392.9	640.3	5.89%	16.9%	23.0%	26.5%
	总计	1077.2	1707.2	2414.3	3.74%	1077.2	1707.2	2414.3
S2	产业	782.9	1013.2	1196.5	1.95%	72.7%	63.6%	55.7%
	交通	112.6	223.6	394.4	5.86%	10.5%	14.0%	18.4%
	建筑	181.7	355.6	557	5.22%	16.9%	22.3%	25.9%
	总计	1077.2	1592.4	2147.9	3.19%	1077.2	1592.4	2147.9
S3	产业	782.9	942	1048	1.33%	72.7%	64.5%	57.6%
	交通	112.6	201.1	305.6	4.64%	10.5%	13.8%	16.8%
	建筑	181.7	317.6	465.6	4.37%	16.9%	21.7%	25.6%
	总计	1077.2	1460.7	1819.2	2.41%	1077.2	1460.7	1819.2

- (9) 实施可持续能源发展战略，可以有效地减缓中国温室气体排放的增速和增量。强化提高能效和能源优质化，可以使 2020 年能源生产消费过程中的碳排放在

情景 1 的基础上减少 6.4 亿吨-碳以上。

可持续能源发展情景分析中 2020 年情景 3、情景 2 与情景 1 的碳排放量分别为 12.7 亿吨碳、16.6 亿吨碳和 19 亿吨碳，1998~2020 年期间年均碳排放增长幅度分别仅为 1.7%、3.0%和 3.6%。实施可持续能源发展，中国的碳排放在 20 年内只增加了 49%到 120%。其中，2020 年情景 3 比情景 1 的碳排放量减少 6.3 亿吨碳。如果情景 3 构筑的社会经济和能源可持续发展情景能够实现，中国在 2020 年人均碳排放将仅有 0.9 吨，仍将明显低于届时世界人均水平，大大低于许多国际机构和研究团体的估计。中国在实现经济继续高速增长的同时，极其有效地控制了碳排放的增长，是对国际应对气候变化共同行动的巨大贡献，也给中国和发展中国家的持续发展开拓了一条新的道路。

达到情景 3 中的能源需求量和碳排放水平，必须强化节能和优化能源结构，特别是要优化电源结构。情景分析中各情景除了能源需求总量有较大差别外，单位能源的碳排放强度也有明显差别。情景 3、情景 2 和情景 1 的碳排放增长与能源需求增长之比分别为 0.7、0.92 和 0.95（见表 7-10），情景 3 的温室气体的排放速度在目标期内大大低于其能源消费的增长速度，其它两个情景的温室气体排放速度略低于能源需求增速。这主要是由于情景 3 的能源结构优化程度较高，特别是发电结构中一次电力的比重比较高。2020 年情景 3 的发电构成中，水电占总发电量的 31%，核电占 5.1%，其它可再生电力占 3.9%；而情景 1 中，水电、核电和其它可再生电力仅分别占 22.8%、3.9%和 1.3%。

表 7-10 能源需求与碳排放的年均增长率

	能源需求年均增长率	碳排放年均增长率
S1	3.79%	3.60%
S2	3.24%	2.97%
S3	2.43%	1.71%

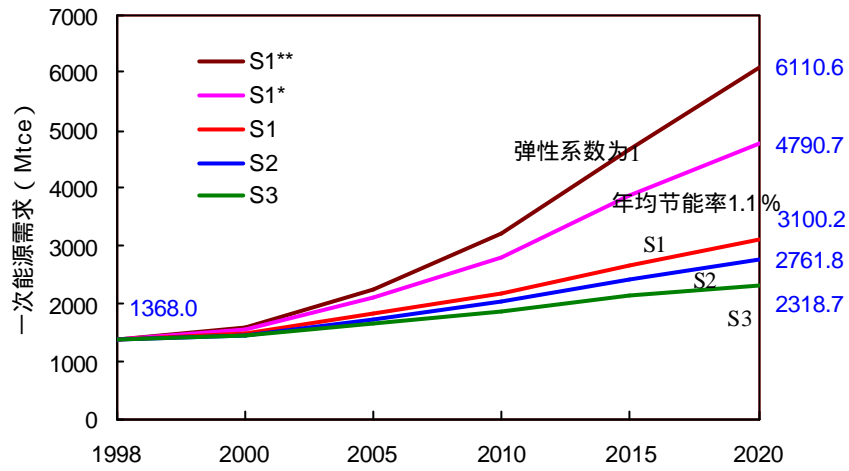


图 7-4 能源消费增长情景

图示中 S1** 曲线为如果经济结构和技术水平保持不变情况下的能源需求；S1* 为如果中国能效提高只达到世界平均水平条件下的能源需求；S1、S2、S3 曲线则是实现不同程度可持续能源发展道路时可能的能源需求

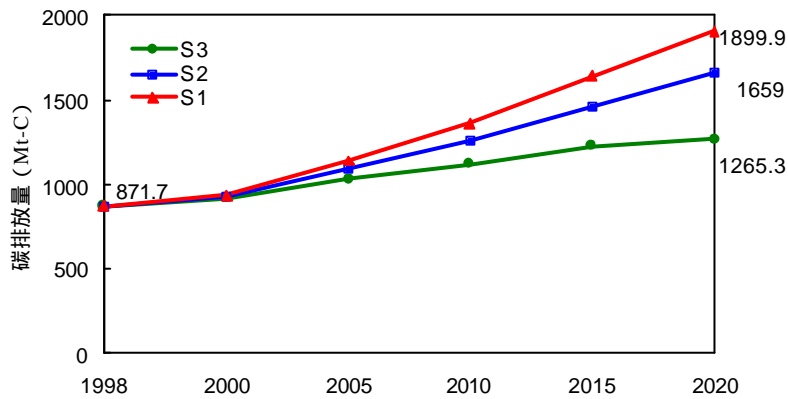


图 7-5 碳排放情景

7.2 主要部门结论

7.2.1 工业（产业）用能领域情景分析的主要结论

7.2.1.1 情景结果分析

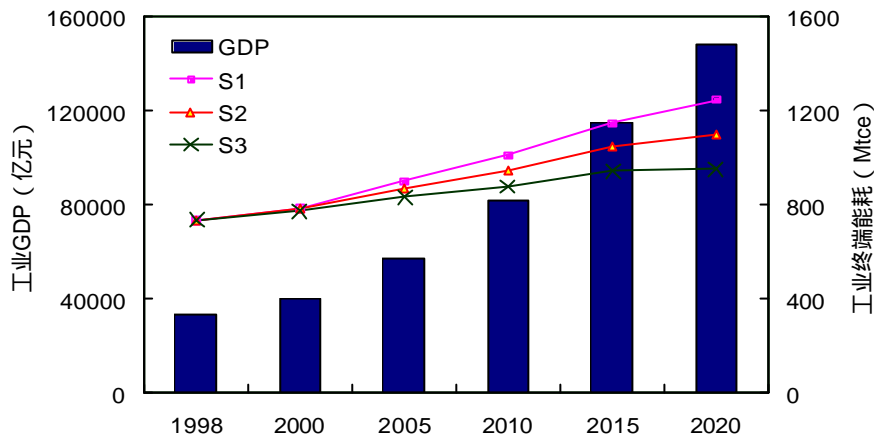


图 7-6 工业部门的经济增长和能源需求增长

(1) 工业部门的终端能源需求量

总体看，未来 20 年中国工业部门的终端能源需求增速趋缓。情景分析的结果表明，1998~2020 年期间，三个情景的能源需求年均增长率在 1.71%~2.85%之间（按发电煤耗折算），同 90 年代以来工业部门能源消费年均增长 6.8%的速度相比已经显著降低；同未来 20 年中国能源需求总量及交通部门和建筑物部门的能源需求增长速度相比也处于较低水平。

从经济增长速度看，随着工业化和城市化进程不断推进，工业部门在未来 20 年里将保持相对较高的增长速度。在宏观情景设定中，课题组假定未来 20 年，中国 GDP 的年均增速将达到 7%（略低于 16 大提出全面实现小康水平所需经济增长水平），其中，工业部门将保持年均 7%的增长速度。工业部门经济的持续快速增长与能源需求的低增长，将使得同期能源消费弹性系数保持在 0.24~0.41。

从经济增长的能源依存度来，未来工业部门的能源依存度不断下降。以情景 2 的计算结果为例：1990~2000 年，工业部门 GDP 从 6856 亿元增长到 39570 亿元，相应的终端能源消费量从 6.32 亿吨标煤上升到 9.64 亿吨标煤，经济增长的能源依存度为 1.01 吨标煤/万元。未来 20 年，工业部门 GDP 增长到 147819 亿元，终端能源消

费增长到 15.1 亿吨标煤，经济增长的能源依存度为 0.505 吨标煤/万元。随着工业部门经济增长模式和能源消费方式的变化，经济增长的能源依存度不断下降。

工业部门未来 20 年保持较低能源需求增长率的主要原因可归结为以下几个方面。一是由于经济增长模式的变化，传统高耗能行业在保持目前产量水平的基础上，改变以往粗放型的数量增长模式，依靠结构调整，发展高附加值产品，提高产品加工深度，促进整个行业技术水平和市场竞争力的不断提升；与此同时，由于信息化和知识经济的快速发展，以及人民生活水平的不断提高，能源强度较低的加工制造业仍将保持很快的发展速度，其 GDP 比重不断提升，由此带来整个工业部门能源弹性系数逐年下降。二是由于我国现有传统高耗能行业能源利用效率较低，能源浪费较为严重，未来依靠技术进步、结构调整和加强管理可挖掘的节能潜力较大，单位产值能耗将保持较快的下降速度。三是由于能源品种结构不断优化，油、气、电等清洁优质能源的比重不断上升，工业部门能源效率不断提高，能源需求总量的增长速度有所减缓。

在三种情景设定下，由于节能政策的贯彻实施力度及技术进步的引进开发力度不同，以及市场化进程的速度和水平的差异，重要能耗产品的能耗强度的下降程度不同，工业部门三种情景终端能源需求量有较大的差异。到 2020 年，情景 3 与情景 1 的终端能耗相差 3.62 亿吨标煤，为当年情景 3 终端能耗的 27.7%。在未来的 20 年中，能源战略及节能政策的制定和实施，行业结构和产品结构的调整，技术开发和引进的速度与水平，以及市场化的进程将会对我国的能源需求产生巨大影响。

（2）分行业终端能源需求量

未来经济发展状况和产业结构的调整方向决定了能源消费的行业结构。随着工业化进程的逐步推进，传统高耗能行业的比重将进一步降低，钢铁、建材等行业的增长速度减缓，而随着人民生活水平的提高，轻工业、加工制造业等行业的增长速度将逐渐加快，其比重将显著上升。就高耗能行业内部来说，原有的经济增长方式也将有根本性的改变，高附加值产品的比重将进一步提高，产值单耗进一步降低，产业结构进一步优化，其能源消费方式和结构也将出现根本性的改变。建材、钢铁和合成氨行业主导产品的产量增长十分有限。而随着工业化进程的不断推进，人民生活水平的不断提高，以及信息产业的迅速发展，轻工业将保持目前的增长速度并持续较长一段时间，机械加工制造业如汽车制造业、电子通讯设备制造业将快速增长。同传统高耗能行业的能耗水平相比，这些行业的能源密度相对较低，未来经济发展趋势将从很大程度上

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

影响工业部门的能源需求状况。和过去 20 年传统高耗能产业的快速发展相对，轻工业和加工制造业将是未来工业部门能源消费新的增长点。

表 7-11 工业部门分行业终端能源需求量及其部门构成（按电热当量折算）

情景	部门	终端能源消费量 (Mtce)			年均增长率 1998~2020	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	建材	201.7	186.2	174.1	-0.67%	27.5%	18.4%	14.0%
	化工	100.7	111	121.7	0.86%	13.7%	11.0%	9.8%
	焦炭	4.1	2.9	2.7	-1.88%	0.6%	0.3%	0.2%
	采掘业	69.2	98.4	125.1	2.73%	9.4%	9.7%	10.0%
	钢铁	132.4	170.6	165.1	1.01%	18.1%	16.9%	13.3%
	轻工业	84	168.8	253.8	5.15%	11.5%	16.7%	20.4%
	制造业	43.6	108.9	180.5	6.67%	6.0%	10.8%	14.5%
	炼油	46.1	71.3	103.4	3.74%	6.3%	7.1%	8.3%
	造纸	21.8	35	46.8	3.53%	3.0%	3.5%	3.8%
	石化	6.7	14.2	20.8	5.28%	0.9%	1.4%	1.7%
	水、电供应	2	2.8	2.8	1.54%	0.3%	0.3%	0.2%
有色	20.3	39.4	48.4	4.03%	2.8%	3.9%	3.9%	
	总计	732.6	1009.5	1245.4	2.44%	100%	100%	100%
S2	建材	201.7	177	160.8	-1.02%	27.5%	18.7%	14.6%
	化工	100.7	108.3	115.8	0.64%	13.7%	11.5%	10.5%
	焦炭	4.1	2.9	2.7	-1.88%	0.6%	0.3%	0.2%
	采掘业	69.2	93	113.1	2.26%	9.4%	9.8%	10.3%
	钢铁	132.4	166.4	159.8	0.86%	18.1%	17.6%	14.5%
	轻工业	84	145.3	191.5	3.82%	11.5%	15.4%	17.4%
	制造业	43.6	95.9	146.2	5.65%	6.0%	10.1%	13.3%
	炼油	46.1	71.2	103.2	3.73%	6.3%	7.5%	9.4%
	造纸	21.8	32.3	40.3	2.83%	3.0%	3.4%	3.7%
	石化	6.7	13	19.6	5.00%	0.9%	1.4%	1.8%
	水、电供应	2	2.8	2.8	1.54%	0.3%	0.3%	0.3%
有色	20.3	37.7	45.2	3.71%	2.8%	4.0%	4.1%	
	总计	732.6	945.7	1100.9	1.87%	100%	100%	100%
S3	建材	201.7	166	148.2	-1.39%	27.5%	19.0%	15.6%
	化工	100.7	105.5	110.5	0.42%	13.7%	12.1%	11.6%
	焦炭	4.1	2.9	2.7	-1.88%	0.6%	0.3%	0.3%
	采掘业	69.2	85.8	93.7	1.39%	9.4%	9.8%	9.8%
	钢铁	132.4	165.4	157.5	0.79%	18.1%	18.9%	16.5%
	轻工业	84	121.7	139.2	2.32%	11.5%	13.9%	14.6%
	制造业	43.6	76.7	97.2	3.71%	6.0%	8.8%	10.2%
	炼油	46.1	71.1	103.2	3.73%	6.3%	8.1%	10.8%
	造纸	21.8	28.3	36.9	2.42%	3.0%	3.2%	3.9%
	石化	6.7	12.4	18.1	4.62%	0.9%	1.4%	1.9%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

水、电供应	2	2.8	2.8	1.54%	0.3%	0.3%	0.3%
有色	20.3	35.9	42.4	3.40%	2.8%	4.1%	4.5%
总计	732.6	874.5	952.4	1.20%	100%	100%	100%

1998年，包括建材、化工、钢铁等行业在内的传统高耗能行业其终端能源消费量为43480万吨标煤，所占比重为59.4%，是工业部门能源消费的主导部门；轻工业及加工制造业的终端能源消费比重仅为17.5%，同传统高耗能行业的能源消费有较大差距。2020年，传统高耗能行业在保持一定经济增长速度的基础上，其终端能源需求量为43640万吨标煤，同1998年的水平相比基本保持不变，但其能源需求比重下降较快，二十年间下降了20个百分点；相反，轻工业和加工制造业的能源需求增长较快，年均增长率为4.5%，其能源需求比重也上升了14个百分点。2020年，轻工业和加工制造业的终端能源需求超过传统高耗能行业，成为工业部门的第一耗能大户。

(3) 未来工业部门终端能源消费的品种结构

表 7-12 工业部门终端能源消费品种结构（按电热当量折算）

情景	品种	能源品种消费量 (Mtce)			年均增长率	能源品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤	502.4	633.4	724.4	1.7%	68.6%	62.7%	58.2%
	油	103	154.1	206.9	3.2%	14.1%	15.3%	16.6%
	气	15.6	26.2	37.2	4.0%	2.1%	2.6%	3.0%
	热	28.8	47.5	67.9	4.0%	3.9%	4.7%	5.5%
	电	82.7	148.3	209	4.3%	11.3%	14.7%	16.8%
	总计	732.5	1009.5	1245.4	2.4%	100%	100%	100%
S2	煤	502.4	574.2	597	0.8%	68.6%	60.7%	54.2%
	油	103	146.7	189.4	2.8%	14.1%	15.5%	17.2%
	气	15.6	31.9	50.3	5.5%	2.1%	3.4%	4.6%
	热	28.8	45.4	62.5	3.6%	3.9%	4.8%	5.7%
	电	82.7	147.4	201.6	4.1%	11.3%	15.6%	18.3%
	总计	732.5	945.6	1100.8	1.9%	100%	100%	100%
S3	煤	502.4	523.1	499.7	0.0%	68.6%	59.8%	52.5%
	油	103	136.8	167.4	2.2%	14.1%	15.6%	17.6%
	气	15.6	37.1	60.4	6.3%	2.1%	4.2%	6.3%
	热	28.8	40.6	50	2.5%	3.9%	4.6%	5.2%
	电	82.7	136.9	175	3.5%	11.3%	15.7%	18.4%
	总计	732.5	874.5	952.5	1.2%	100%	100%	100%

未来20年，工业部门的终端能源需求结构不断优化，煤的绝对量增加十分有限，

其比例逐年下降；电力、天然气等优质能源的消费量增长很快，其比重不断提高。从各情景的比较来看，情景 3 中能源结构优质化的进程更为迅速，其天然气和电力消费的比重上升更快。

未来 20 年，工业部门的终端煤炭消耗基本不增加。情景 2 中煤的终端消费量从 1998 年的 50240 万吨上升到 2020 年的 59700 万吨，年均增长率为 0.8%，但其在终端能源消费量中的比例由 1998 年的 68.6% 下降到 2020 年的 54.2%，下降将近十五个百分点。从发达国家的终端能源消费结构来看，由于受到本国资源条件的限制，中国的能源消费结构仍然不太合理；但应该看到，到 2020 年，工业部门终端能源消费结构已经大大改善。

电力消费在工业部门的终端能源消费中增长很快，其比重也有大的提高，到 2020 年已成为仅次于煤的第二大终端能源需求品种。情景 2、情景 3 和情景 1 中，其消费量从 1998 年的 6734 亿度分别上升到 2020 年的 16412 亿度、14243 亿度和 17014 亿度，年均增长率分别为 4.1%、3.5% 和 4.3%，工业终端电力消费弹性系数在 0.6 左右，略低于全国电力消费的弹性系数；电力在能源消费结构中的比重由 1998 年的 11.3% 分别上升到 2020 年的 18.3%、18.4% 和 16.8%。相对其他能源品种，工业部门终端电力消费增长较快的原因一方面是因为机械化、电气化水平的不断提高，另一方面随着产品深加工程度的提高，高附加值产品比重增大，单位产值电耗将有一定程度提高，如新型建材和精细化工产品的巨大发展，都将带来电力消费的快速增长。这是未来产业结构调整的结果，反映了工业部门经济增长方式和能源消费方式的变化。

下表是各情景下工业部门各行业的电力消费情况。

表 7-13 主要行业的电力消费状况

单位：亿度

		1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
S1	建材	902	998	1127	1490	1805	1946	3.6%
	化工	1032	1069	1174	1294	1438	1611	2.0%
	炼焦	10	12	17	27	32	33	5.6%
	采掘	600	642	756	888	1052	1176	3.1%
	冶金	1002	1119	1416	1503	1582	1651	2.3%
	轻工业	1268	1488	1959	2666	3499	4153	5.5%
	制造业	944	1115	1681	2455	3496	4203	7.0%
	炼油	111	111	127	145	172	204	2.8%
	造纸	116	123	158	186	218	249	3.5%
	石化	97	129	197	270	340	408	6.7%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

	水、电供应	130	139	161	185	187	184	1.6%
	有色	522	619	856	965	1075	1196	3.8%
	总计	6734	7564	9628	12075	14896	17014	4.3%
S2	建材	902	1014	1177	1565	1841	1986	3.7%
	化工	1032	1066	1160	1275	1396	1545	1.9%
	炼焦	10	12	17	27	32	33	5.6%
	采掘	600	638	732	854	1004	1098	2.8%
	冶金	1002	1130	1466	1565	1636	1691	2.4%
	轻工业	1268	1499	1993	2752	3634	4240	5.6%
	制造业	944	1094	1579	2254	3150	3666	6.4%
	炼油	111	111	123	141	167	198	2.7%
	造纸	116	123	149	172	196	214	2.8%
	石化	97	127	192	267	335	401	6.7%
	水、电供应	130	139	161	185	187	184	1.6%
	有色	522	616	841	945	1046	1155	3.7%
	总计	6734	7568	9590	12001	14625	16412	4.1%
S3	建材	902	1030	1151	1467	1737	1881	3.4%
	化工	1032	1051	1099	1148	1204	1268	0.9%
	炼焦	10	12	17	27	32	33	5.6%
	采掘	600	634	714	800	908	940	2.1%
	冶金	1002	1134	1484	1574	1637	1702	2.4%
	轻工业	1268	1478	1880	2456	3122	3400	4.6%
	制造业	944	1082	1508	2021	2734	2945	5.3%
	炼油	111	111	123	139	165	196	2.6%
	造纸	116	123	139	150	174	196	2.4%
	石化	97	127	190	264	331	393	6.6%
	水、电供应	130	139	161	185	187	184	1.6%
	有色	522	611	819	912	1004	1104	3.5%
	总计	6734	7532	9285	11145	13235	14243	3.5%

从上表中可以看出，建材、化工、钢铁、加工制造业及有色金属工业是工业部门中电力消费的大户，占到 85%以上；未来 20 年电力的增长也主要集中这几个行业，其增长量占到工业部门电力消费总增长量的 90%以上。从各行业的增长幅度来看，轻工业和加工制造业是未来电耗增长的重点，三种情景中两行业年均增长率分别为 6.0%、4.9%和 6.23%，超过了整个工业部门电力需求的增长速度。到 2020 年，轻工业和加工制造业已成为工业部门的第一耗电大户。加工制造业的电力节约将是未来需要重点研究的课题。

工业部门中天然气的需求量增长也相当快。在情景 2 中，工业部门天然气的需求量由 1998 年的 117.3 亿立方米上升到 2020 年的 378.2 亿立方米，年均增长率为 5.5%；

在工业部门终端能源需求结构的比重也由 1998 年的 2.1% 上升到 2020 年的 4.6%。到 2020 年，工业部门的天然气需求量占到全国的 27%，成为仅次于民用的第二大消费部门。在工业部门内部，合成氨行业是天然气的主要消费部门；到 2020 年，化工行业的天然气需求量占工业部门天然气需求总量的比重为 53.1%。

(4) 未来工业部门的能源强度变化情况

下图是未来 20 年工业部门万元 GDP 增加值能耗和主要耗能产品综合能耗的变化情况。

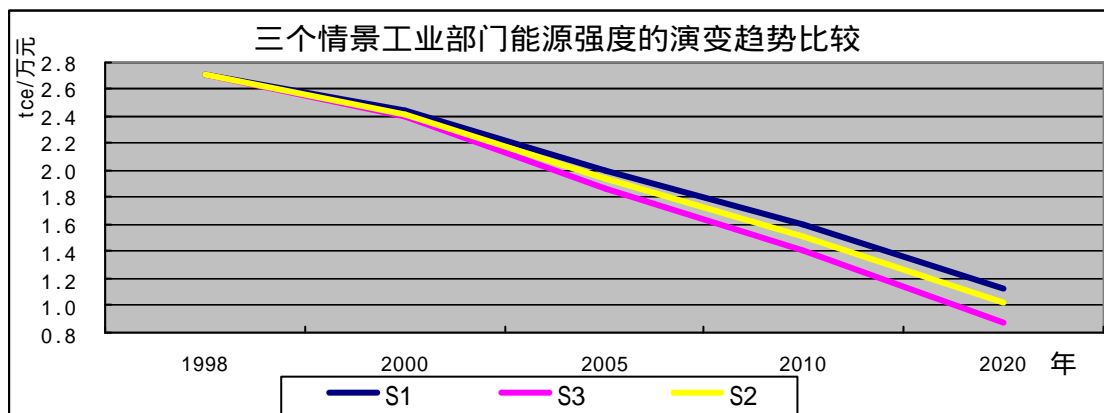


图 7-7 三个情景的工业部门能源强度演变趋势比较

1998~2020 年期间，情景 1、情景 2 和情景 3 的工业部门能源强度年均下降率分别为 3.88%、4.33% 和 4.97%；同过去 20 年工业部门的万元产值能耗下降率相比略有下降。未来 20 年工业部门的能源增长和工业增加值增长的比例在三种情景中分别为 0.33、0.24 和 0.41，同未来 20 年中国经济增长的能源弹性相比，工业部门将显著降低。

表 7-14 主要耗能产品综合能耗

项目	1998	2000	2010	2020	平均单耗年降低率
水泥 (kgce/t)	177	172	145	126	1.6%
钢铁 (kgce/t)	1117	1090	866	757	1.8%
合成氨 (kgce/t)	1761	1720	1556	1455	0.9%
乙烯 (kgce/t)	606	485	295	279	3.6%
铜 (kgce/t)	3419	3363	2964	2747	1.1%
铝 (kgce/t)	8859	8543	8752	8320	0.3%
纸和纸板 (kgce/t)	1222	1195	1070	927	1.3%

工业部门主要耗能产品的综合单耗也均有不同程度的下降。其中，情景 2 中，钢

铁的吨钢综合能耗从 1998 年的 1.117tce/t 下降到 2020 年的 0.757tce/t，年均下降率为 1.8%；水泥的综合能耗从 1998 年的 177kgce/t 下降到 2020 年的 126kgce/t，年均下降率为 1.6%；合成氨的生产能耗从 1998 年的 1.76tce/t 下降到 2020 年的 1.45tce/t，年均下降率为 0.86%。未来 20 年由于技术进步而导致的高耗能行业的能源效率的提高还是比较明显的；由于市场竞争的压力，高耗能产品的能源单耗不断下降，企业竞争力不断增强，由此整个行业的能源效率水平和技术水平不断提升。但同万元产值能耗下降率相比可以看出，未来工业部门节能的重点仍然是行业结构、产品结构的调整和优化等间接节能，其对节能的贡献率达到 65%以上。

7.2.1.1 工业部门主要结论分析

(1) 未来工业部门终端能源需求量增长速度减缓。

情景 2 中，到 2020 年中国能源需求总量达到 27.61 亿吨标煤，年均增长率为 3.24%；2020 年交通部门终端能源需求量达到 3.94 亿吨标煤，年均增长率为 5.9%；2020 年建筑物部门的终端能源需求量达到 5.57 亿吨标煤，年均增长率为 5.2%；而工业部门的终端能源需求增长率为 2.4%，明显低于交通部门和建筑物部门的终端能源需求增长速度。未来全国能源需求的增长量主要集中于交通和建筑物部门，工业部门的能源需求份额将进一步下降。

从能源需求的弹性来看，经过过去几十年工业部门的快速发展，主要基础工业产品累积产量不断增加，未来经济发展模式将产生根本性的变化，同时经济发展阶段也向工业化后期和新型工业化推进，工业部门在保持较高 GDP 增长率的同时，将以提高质量、优化结构、深化内涵为重点，单纯的数量型增长非常有限。在这样的背景下，工业部门通过深化改革、提高能效可以保持较低的能源需求增长。三种情景中工业部门的能源需求增长同经济增长的比例系数基本保持在 0.34 左右，同期社会 GDP 的能源弹性系数保持在 0.45 左右，这是未来中国经济发展尤其是能源发展的一个显著特征，也是具有中国特色的新型工业化的显著特征。

(2) 传统高耗能行业能够在一定时期后实现增产不增能。

下表反映了主要高耗能行业能源增长同产值增长之间的比例关系。

表 7-15 情景 2 未来主要高耗能行业的能源需求增长同产值增长

		1998	2020	增长率%	能源增长/产值增长
建材行业	能源消费(万吨)	22420	21030	-0.3	-0.083
	GDP(亿元)	1568	3400	3.6	

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

化工行业	能源消费(万吨)	12640	15440	0.9	0.22
	GDP(亿元)	1419	3400	4.1	
钢铁行业	能源消费(万吨)	15740	20190	1.1	0.31
	GDP(亿元)	1244	2720	3.6	
工业部门	能源消费(万吨)	90050	151020	2.4	0.34
	GDP(亿元)	33387.9	147819.1	7.0	

从上表可以看出,在工业部门能源需求增长已经保持较低水平的情况下,现有高耗能行业在未来一段时期由于经济阶段的演变和经济模式的转变,通过加强提高能效,可以保持更低的能源需求增长水平。某些代表性产品,如水泥,合成氨可以做到增产不增能或少增能。在情景3中,水泥行业由于加快新型干法水泥的发展,大力淘汰工艺落后、能耗较高、污染严重的窑型,在总量控制的同时加强工艺结构、产品结构的优化,以具有国际先进水平的预热分解窑促进水泥行业整体的更新换代,2020年水泥产量达到了9.5亿吨,相比1998年水泥产量增加3.5亿吨,而能源需求量在2020年达到10960万吨标煤,在1998年9510万吨标煤的基础上仅增加1450万吨标煤。合成氨行业由于加快原料路线的调整,加快大型天然气化工的发展,不断提高大型合成氨装置和以天然气为原料的工艺路线的份额,2020年合成氨产量从1998年3100万吨增长到4000万吨,而其能源需求从1998年的5460万吨标煤下降到5360万吨。

分析高耗能行业能源经济增长比例系数保持较低水平的原因,主要有如下几点。一是随着高耗能行业结构调整和优化的进一步深入,结构节能的潜力仍然非常巨大,结构节能量仍将保持一定的水平;二是中国目前传统高耗能行业的技术装备水平还很低,和国际先进水平还有相当的差距,整个行业的技术节能潜力巨大,而随着融资机制、技术引进、开发与创新机制的建立和完善,这部分节能量对未来高耗能行业能源需求的低速增长将有不可忽视的意义;三是随着中国加入WTO,市场化进程进一步推进,市场竞争加剧,企业通过引进和开发新技术,加强能源管理等方式主动降低在产品成本中占很大比例的能源成本,以此从微观到宏观也形成了巨大的节能效果;四是随着政府职能的逐步转变,中国的节能机制将变为政府通过行政的、法律的和经济的手段来引导企业的节能行为,同时为企业节能积极创造各种机会,从某种意义上说,这种节能机制将更加有效;五是能源结构的逐步优化促进了能源效率的提高,这是能源需求弹性保持较低水平一个重要的客观条件。

(3) 工业部门终端能源需求结构大大改善,电力、天然气等优质能源品种比重上升较快。

情景2中,到2020年工业部门终端能源需求结构中,煤的比重为54.2%,电力

的比重为 18.3%，天然气的比重为 4.6%，油品比重为 17.2%。同 1998 年的能源消费结构相比，煤的消费比重下降较快，降低将近 15 个百分点，而电力和天然气分别上升 7 和 2.5 个百分点，油品消费比重上升 3 个百分点。未来 20 年，加入 WTO 后随着市场竞争激烈程度的不断加强，对企业降低成本、提高能效的要求也越来越高，这种宏观背景要求企业在经济合理的条件下必须采用优质、高效能源品种以提高能源利用效率；日益严格的环境排放标准和环境政策对工业部门的能源结构优化起到了强有力的推动作用，包括环境成本内部化在内的能源价格改革也为能源结构的优化提供了必要条件；能源市场的不断规范和能源基础设施建设的不断完善为优质能源的经济合理利用奠定了基础；随着科学技术的不断进步，设备的机械化和自动化水平不断提高，电力消费比重不断提高成为必然趋势。在这些因素的影响下，中国工业部门的终端能源需求结构不断优化，煤的绝对需求量增加有限，年均增长率为 0.8%；而电力和天然气需求量上升很快，其增长率分别为 4.1%、5.5%。

(4) 工业部门某些行业关键性的技术进步、结构调整将从很大程度上影响该部门的能源消费和环境排放。

📁 水泥行业的废渣综合利用技术

水泥行业中矿渣利用技术是指将高炉矿渣等工业废渣经过一定的处理和加工后作为水泥配料掺入熟料中，这样不仅可以显著降低水泥熟料的配比，提高水泥质量，降低能源消费量，同时也将促进废渣的合理利用，带来巨大的环境效益。以下的敏感性分析结果是在情景 2 下仅改变由于矿渣充分利用的程度的不同而带来的水泥熟料配比的变化而得出的。下表是各方案中水泥熟料配比的变化情况。

表 7-16 各方案中水泥熟料的配比

年份	1998	2000	2005	2010	2015	2020
情景 2	0.720	0.722	0.715	0.709	0.702	0.698
矿渣利用顺利方案	0.720	0.722	0.712	0.702	0.70	0.692
矿渣利用有较大障碍	0.720	0.721	0.725	0.731	0.735	0.739

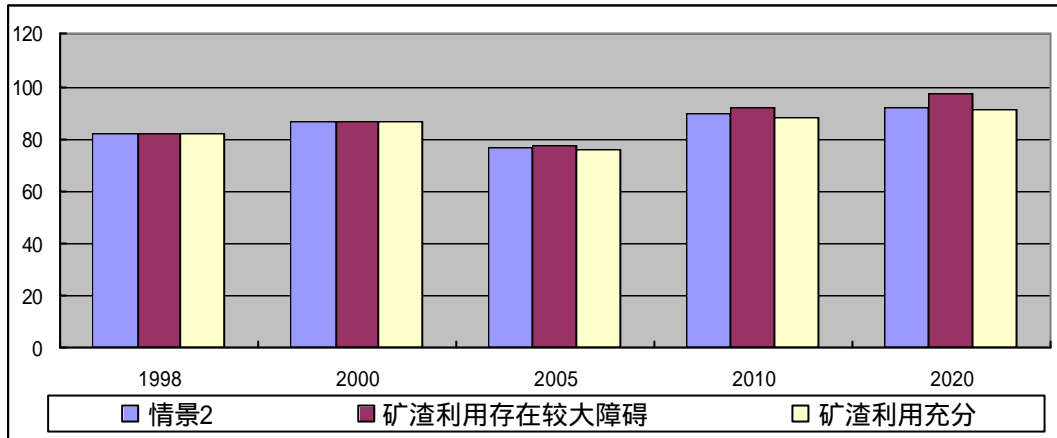


图 7-8 水泥行业的敏感性因素分析

从上图中可以看出由于矿渣利用的充分程度不同所带来的能源需求量的差异是相当大的，尤其是矿渣利用存在较大障碍方案和其他两种方案，这在今后的政策制定中非常值得关注。矿渣利用不顺利方案到 2020 年的能源需求量比情景 2 高出 600 万吨标准煤，接近水泥行业能源需求量的 10%，而情景 2 和矿渣利用顺利方案的差别不是很大。当然，上图仅仅说明了三种方案在能源需求方面的差异，其在经济效益和环境效益方面的差异和效果可能更为明显，在此由于数据缺乏的原因不予详述。

水泥行业中对矿渣进行充分合理利用的程度主要取决于以下几方面的因素：国家相关政策的制定、执行情况，以及其对水泥行业的引导效果；相关废渣综合利用技术的进步和突破，如加大掺入量的同时提高水泥质量和标号应用技术的突破；相关行业的发展状况，如钢铁行业；国家环境标准的制定和执行情况，以及对矿渣综合利用的推动作用；矿渣的可获得性以及经济合理性因素，包括矿渣运输方式以及交通运输行业的发展。以上因素在各方案中不同的政策假设带来矿渣利用状况的差异，从而对水泥行业的能源消费和环境状况产生了巨大的影响。

化工行业原料路线的优化

从化工行业的发展长远来看，应加快大型天然气合成氨的发展，提高大型装置在整个合成氨生产中的比重。其意义不仅在于能促进化工行业能源效率的提高和能源结构的优化，而且对化工行业优化产业结构、提高国际竞争力、改善环境排放具有重要作用。

在敏感性分析中，课题组在情景 2 的基准下设定了三种方案，即大型合成氨快速发展方案、情景 2、大型合成氨发展缓慢方案。在各方案中大中小型装置的结构如下表。

表 7-17 合成氨行业中大中小型装置的比例及结构

	1998 年			2020 年		
	大型比例	中型比例	小型比例	大型比例	中型比例	小型比例
情景 2	25	20	55	60	40	0
大型装置发展迅速	25	20	55	75	25	0
大型装置发展缓慢	25	20	55	45	35	20

从敏感性的比较结果来看，各方案在能源需求总量上的差距不大，而由于能源结构优化程度的不同而带来的碳排放结果差异很大。下图是三种方案的碳排放结果比较。

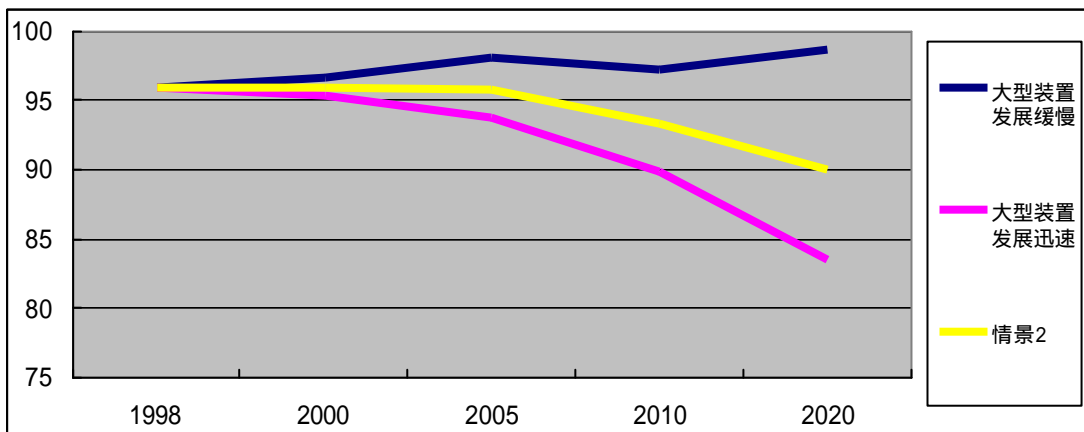


图 7-9 化工行业不同方案的碳排放结果比较

三种方案在碳排放结果上的差距相当明显，其中，2020 年大型装置快速发展方案的碳排放量比情景 2 低 650 万吨二氧化碳当量，占情景 2 排放量的 7.2%；比大型装置发展缓慢方案的碳排放量低 1520 万吨二氧化碳当量，占低方案的 15.4%。

由敏感性因素分析可以知道，加快大型天然气合成氨装置的发展，将极大促进能源结构的优化和温室气体的减排。当然，除了国家产业政策制定、引导和推动的因素外，还有客观条件的限制，如天然气资源的可获得性及经济合理性，技术开发、引进的进展状况，市场竞争机制和投资机制的建立和完善等。这些因素都将从某种程度上决定和影响大型天然气合成氨装置的发展。

7.2.2 交通用能领域情景分析的主要结论

7.2.2.1 结果分析与基本结论

为了便于结果比较，一些基本假定需要再次着重指出：

- ✎ 在国民经济增长率一定的情况下，3 个情景的客运量、客运周转量基本一致；对货运量、货物周转量而言，不同情景中的取值略有差异。
- ✎ 对城市客运而言，3 个情景中，大中小城市的比例关系，不同时间段的机动车化率，不同交通模式的出行距离均假定不变²⁹。
- ✎ 与发达国家相比，中国的社会服务体系还不完全，行政事业机构大多拥有不同数量的小汽车，为上下班、正常行政事务提供辅助；但随着中国用车制度方面的改革，一部分需求也必然真正转移到个体交通上。因此，课题组假定城市客运中个体交通（私人交通）的小汽车出行包括机构所提供的出行服务。
- ✎ 情景 1 则充分考虑中国的实际情况，有助于环境的高效清洁替代燃料发展受到科技投入、技术创新等等方面的制约，不一定发展很快；地方保护主义一定程度上依然存在，制约了先进技术的市场进入；能源结构优化战略受到其它因素的阻碍等等，替代进程不如预期的快等等。
- ✎ 情景 3 假定在宏观政策引导下，在市场推动下，无论是城市客运、货运和城间客运均朝着省能型、低排放的方向发展。

7.2.2.2 结果比较

根据 LEAP 模型计算的结果，三种情景的中国交通能源需求在目标期内保持了年均 4.6%~6.3% 的高增长率，这也反映出，未来中国交通运输部门随着西部开发基础设施投入的增多以及人民生活水平提高后对出行需求的提高（包括出行质量的提高，即需要更方便、快捷、舒适的运输方式），其能源需求必然要以较快的速度增长。只要政策合适，措施得当，内外环境比较好，中国的交通运输部门也可以在经济快速稳定增长、居民生活水平稳步提高、城市化进程迅速的情况下，能源需求保持较低的增长势头，如情景 3 中 2020 年的能源需求量为 2.14 亿吨标油，分别比情景 2 和情景 1 低

²⁹ 事实上，不同情景下的城市机动车化进展程度不尽一致，为了便于结果比较，此处假定一致，下同。

22.5 和 29.4 个百分点。

从分部门（货运、城间客运和城市客运）的能源需求结果看，货运由于基数较大，且与届时的经济增长模式与工业化进程有很大关系，在情景 1 与情景 3 中，能源需求差别在 5307 万吨标油左右。单从分部门的能源需求变动趋势看，城市客运的能源需求变动趋势最不稳定，情景 2 中由于城市化进程要高于情景 1，在没有特别对交通模式重视以及提高燃料效率水平的情况下，城市客运的能源需求略低于情景 1，2020 年其燃料需求达到 6289 万吨标油，同期情景 1 燃料需求达到 6433 万吨标油。情景 3 的城市客运能源需求为 3400 万吨标油，仅相当于其它两个情景的一半左右。

从分品种的能源需求看，油品仍将是未来中国交通运输部门的主要消费品种，无论是在情景 1，还是在情景 2 和情景 3，均是如此，在情景 1 中汽油、煤油、柴油等交通用油占整个交通用能的 90%以上，2020 年更是达到 96.8%这反映出中国在现有技术经济条件下，如果依靠国内技术力量加上部分引进技术，交通用能的替代不太可能有大的进展，中国也将与现在的发达国家一样，交通用能将主要依赖石油。

航空煤油随着民航运输的发展，需求量越来越大，在情景 1 中，航空煤油的年需求量将从 1998 年的近 397 万吨增加到 2020 年的 6029 万吨，增长速度非常惊人。即便在情景 2 与情景 3 中，航空用煤油的总量在 4000~5000 万吨之间，航空煤油也成为中国交通继汽油和柴油以外的第三大交通用油品，这也是值得注意的现象。

7.2.2.3 敏感性因素分析

交通运输部门的 3 个能源需求情景假设条件不尽相同，使得 3 个情景的交通能源需求结果存在一定的不可比性。从中国未来交通用能的发展看，交通模式变化、燃料效率水平的高低无疑会对中国交通能源需求产生非常大的影响。为了便于分析交通模式变化、能源效率提高对未来交通运输部门的能源需求和碳排放的影响，课题组在情景 2 基础上，设定了交通模式变化方案、高效清洁方案以及燃料效率标准方案，以期增加可比性。

上述三种方案的模型输入基本参数：城市机动车出行需求量、货物周转量以及城间客运周转量，均与情景 2 保持一致。交通模式方案主要假定，省能型的交通运输方式能够比较快的发展，在城市客运中，公共交通（包括轨道交通体系）承担了越来越多的出行需求；在客、货运输需求中，铁路、水运也能够占有一席之地。而有关技术

进步对交通运输工具或交通运输模式的影响考虑则与情景 2 一致。高效清洁方案则重点考虑环境排放标准以及技术进步因素对燃料效率影响后，中国交通运输用能的演变趋势；而交通运输结构的变化则与情景 2 一致。此外，燃料效率标准方案主要针对中国制定小汽车的燃料经济性标准后，对城市交通能源需求的影响，其它假设条件与情景 2 一致。

从中可以看出，如果情景 2 中充分考虑发展省能型的交通模式，或者对交通工具的燃料效率进行改进，未来交通运输系统的能源需求均有不同程度的下降，其中，又以交通模式方案表现最为明显。在交通模式变化方案，即便不对交通工具的能效进行改进，依然按照情景 2 的发展趋势，其能源需求将降到 2.35 亿吨标油，约比情景 2 低 15.4 个百分点。考虑到发展省能型的交通模式，特别是在城市发展公共交通存在巨大的融资压力，课题组还对能效改进和发展相对清洁的车辆进行了敏感性分析发现，此方案的能源需求将为 2.54 亿吨标油，约比情景 2 低 8.6 个百分点。

如果“十五”期末，针对小汽车最低燃料效率标准能够执行，并且在 2005 年以后发挥越来越大的作用。燃料效率标准方案显示，即便不改变城市交通模式，到 2020 年小汽车年燃料需求量将比情景 2 少 230 多万吨标油，比情景 1 少 330 多万吨。如果届时能够针对客货运的燃料效率制定标准，则整个交通运输的节能量则更高，预计可占届时交通油品的 20%左右。如果制定小汽车的燃料效率标准，城市客运的燃料需求量将为 6240 万吨标油，约比情景 2 低 3.7%。

7.2.2.4 主要结论

- (1) 随着未来中国经济的稳定持续增长和人民生活水平的提高，中国交通运输部门的能源需求增长非常迅速，将明显快于全国能源需求增长速度。其中，城市客运的能源需求增长速度表现更为显著，主要原因在于私人交通能源需求的迅猛发展。
- (2) 通过合理配置资源，发展单耗低的交通模式，优化交通运输结构；提高交通工具的燃料效率，可以在满足交通运输需求的基础上，取得较好的节能效果。
- (3) 从节能的角度看，优化交通模式对减缓未来中国交通运输系统，特别是城市客运的能源需求增长速度起着非常积极的作用。在特大城市构建轨道交通体系，开辟交通专用道，不仅可以解决城市交通堵塞的弊端，还可以降低燃料需求。在中小城市合理交通规划，鼓励公共交通和小汽车合乘制，也是未雨绸缪，可以解决未来城市发展后带来的种种问题。
- (4) 鉴于公路交通的燃料消耗在未来中国交通运输能源需求的比重相当高，抓住重点

领域、重点部门，促进其能效提高对减缓未来交通运输用能作用显著。比较不同方案的预测结果，制定重点交通用能工具（特别是针对未来可能迅猛增长的小汽车）的最低能效标准，对降低中国交通运输系统的燃料需求也有一定作用。

- (5) 无论是在情景 1，还是在情景 2 及其交通模式变化方案、高效清洁方案，情景 3，未来中国交通运输部门主要能源消费品种仍然是汽、柴、煤油，但不同方案的汽、柴、煤油比例不一样。情景 3 由于届时预期制定的较为严格的能效和排放标准，柴油、LPG 和天然气燃料的替代进程要明显快于其它方案。
- (6) 随着民航客货运输的发展，民航部门将成为是中国客货运营部门的用能潜在重点增长大户。航空煤油需求增长迅速，总量也越来越大，它将成为中国交通继汽油和柴油以外的第三大交通用油品，这种格局也必然会对中国未来石化产业提出新的需求和挑战。

需要说明的是，上述结论还存在一些不确定性。如：

- ✎ 发展公共交通，特别是轨道交通体系，虽然对交通能源需求增长减缓有很大作用，但资金需求非常大，加大项目融资的风险与难度。能否在一般性大城市推行有相当的不确定性。
- ✎ 车辆燃料经济性标准的制定涉及面比较广，在现阶段，能否顺利推行还受国家宏观决策及其各方利益协调的结果影响。
- ✎ 燃料电池、电动汽车在中国相当长的一段时间内，只能作为技术研发或储备之用，大规模推广尚不成熟。
- ✎ 快速交通体系的发展还受到高速公路与高速铁路的综合经济性之争的影响；特别先进的磁悬浮列车各方尚有不同看法，所有的一切将直接影响交通运输结构优化能否成行。
- ✎ 能源发展战略对交通运输总需求有很大影响，如果能源结构优质化进程比较顺利，天然气、石油发展较为迅速，货运总需求增长将会减缓，能源需求增长也会减缓，但其中的不确定性更大。
- ✎ 如何将鼓励小汽车进入家庭与城市发展公共交通相协调，尚有大量工作要做。采取何种消费观念、消费方式对交通方式的选择，交通工具的选择均会产生很大影响，而人的消费行为与观念受多方面因素影响，也将加大其不确定性。

此外，财税政策的出台受到不同利益群体的影响，在何种阶段实施，能否实施也有很大的不确定性。

7.2.3 建筑物用能领域的主要结论

(1) 未来 20 年间，建筑物用能将以高于全国能源平均增长速度 1.6~1.8 倍的速度增长，是社会能源消费的主要增长点

2020 年建筑物耗能部门的总终端能耗量将达到 4.6~6.4 亿吨标煤（见图 7-10），其年均增长速度在 4.4%~5.9% 之间，比全国终端能耗年均增长速度高出 1.6~1.8 倍（见表 7-18）。

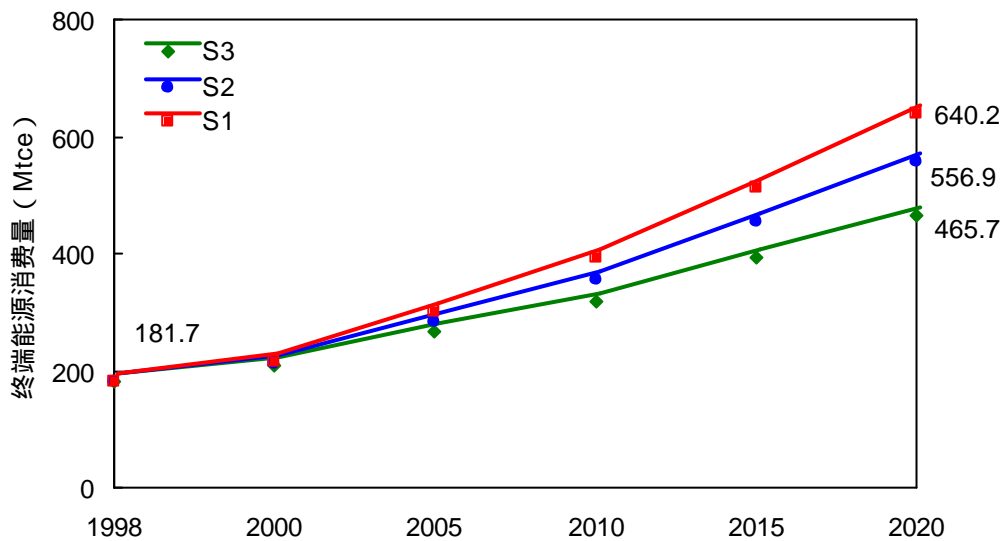


图 7-10 建筑物部门终端能源消费量

表 7-18 建筑物用能及全国能源消费的年均增长速度比较

	情景 3	情景 2	情景 1
建筑物用能年均增长速度 (%)	4.37	5.22	5.89
全国能源消费量年均增长速度 (%)	2.41	3.19	3.79

从能源消费绝对量看，2020 年建筑物能源消费量是 1998 年的 2.6~3.6 倍。建筑物用能占全国能源消费量的比重由 1998 年的 17% 增长到 2020 年的 26%~27%。从全国能源消费量每年的增量看，建筑物能耗增量占全国能耗增量的比重呈增长趋势。到 2020 年，建筑物能耗增量占全国终端能耗增量的比重由 2005 年的 34%~37%，增长到 36%~46%³⁰。说明了建筑物能源消费将成为全国能源消费的主要增长点。并且由于建筑物能源需求与生活需求之间的关系，这种趋势将延续相当长的一段时间。

(2) 政策执行力度对建筑物能源消费的影响很大，可形成近 1.8 亿 tce 能源消费量的差异

根据在政策执行力度上有差异的三个主要情景的假设，建筑物能源需求量到 2020 年三个情景结果在 4.6~6.4 亿 tce 之间。由于在能源结构优化、技术进步、能源效率标准等方面政策执行好坏上的差异，到 2020 年可以出现多用或少用 1.8 亿 tce 的差异（见图 7-11），占建筑物能源消费的 28%~39%。说明建筑物能源需求受政策执行力度的影响很大。

3个情景中能源消费的差别（Mtce）

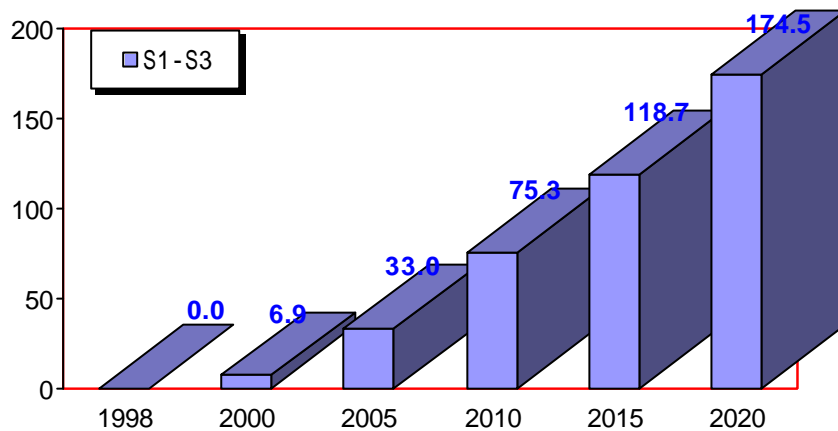


图 7-11 建筑物部门不同情景下的能源消费差别

在公用建筑和居民采暖部分三个情景设置中，我们将能源服务水平做了统一设置，因此三个情景计算结果的差异，就是政策执行效果的差异。更深层次分析差异的来源，主要来自建筑物采暖和空调两个主要用能终端（见表 7-19）。说明了采暖和空调领域通过强化政策提高能源效率的潜力较大，是未来建筑节能的重点领域。

表 7-19 建筑物采暖和空调用能情景 1 和情景 3 的差别（单位：万吨标煤）

	1998	2000	2005	2010	2015	2020
采暖	0	6.8	31.9	69.4	109.6	159.9
空调	0	0.3	1.4	3	6.1	10.3

(3) 建筑物能源服务水平的改善是能源消费增长的主要因素

³⁰如果按照一次能源消费，2020 年建筑能耗占全国总能耗增量的比重高达 41%~56%。

在建筑物能源需求情景假设中，已经对影响建筑物能源服务水平的主要因素进行了分析和设定，主要包括建筑面积、采暖和空调覆盖率、采暖和空调使用时间、主要家用电器普及率等。党的“十六大”提出的全面建设小康社会的奋斗目标，就是要在未来二十年间全面提高人民的生活水平，无论是人均住宅建筑面积水平，还是生活环境的舒适性，都将有明显的改善。与环境舒适度有着必然联系的建筑物能源服务水平也将随之提高。由于能源服务水平提高造成的建筑物能源需求的增长，将伴随社会经济发展的始终。

在研究过程中，我们认为非常有必要分析能源服务水平对建筑物能耗的影响程度，特别是对于中国这样的发展中国家来说。弄清生活需求对经济和能源需求的拉动作用，可以帮助政策制定者认识面临的挑战，确定政策导向。为此，我们在模型中以公用建筑和居民采暖为例，对能源服务水平进行了敏感性分析。具体做法是：在情景 2 的基础上，进行了冻结能源服务水平的假设。所谓冻结能源服务水平，就是将反映该水平的主要指标如采暖、空调时间，采暖面积和空调普及率等，在未来 20 年的发展情景中保持基年水平，即仅考虑建筑节能措施对公用建筑和居民采暖用能的影响，从而分析能源服务水平因素对能源需求的影响程度。结果发现，如果能源服务水平维持 1998 年水平，2020 年公用建筑和居民采暖的能源需求不仅低于情景 2、情景 1，甚至还低于情景 3（见图 7-12）。可见能源服务水平对建筑物能源需求的影响作用。与情景 2 比较，能源服务水平对公用建筑和居民采暖能源需求的贡献率在 2020 年达 28%，2020 年仅公用建筑和居民采暖部分就将可少用约 1.6 亿 tce 的能源，占建筑物能源消费总量的 25%~35%。

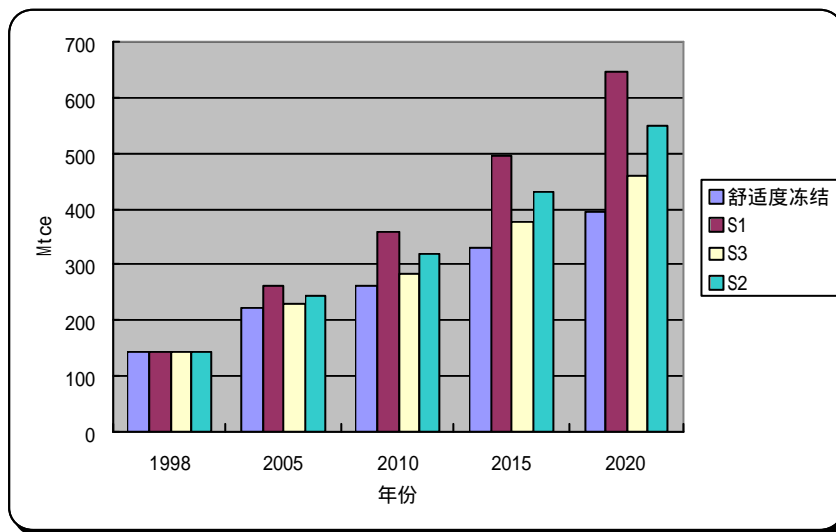


图 7-12 舒适度对公用建筑及居民采暖用能的影响 (不含可再生能源)

(4) 建筑物终端能源消费结构优质化趋势非常明显, 电力、天然气、热力消费占建筑物终端能源消费总量的比重显著提高

1998 年到 2020 年间, 建筑物能源消费总量的年均增长速度在 4.4%~6%, 同期建筑物用气体燃料的年均增长速度达 9.1%~10.4%, 电力的年均增长速度达 8% 左右, 石油消费的年均增长速度在 6%~7.2% 之间。气体燃料、电力等优质能源的快速增长, 使优质能源在建筑物终端用能结构中的比例大幅度上升 (见表)。气体燃料在终端能源消费中的比重可以由 1998 年的 10.9% 增长到 2020 年的 19.3%~35.4%, 电力由 16.2% 增长到 25.2%~34.9%, 同期煤炭在终端能源消费中的比重明显下降, 在不同情景下由 57.3% 下降至 12%~31%。

表 7-20 建筑能源消费品种构成

情景	品种	终端消费量 (Mtce)			年均增长率 1998~2020	品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤炭	103.9	171.4	196.5	2.9%	57.3%	43.7%	30.8%
	石油	4.7	11.2	21.6	7.2%	2.6%	2.9%	3.4%
	气体燃料	19.7	59.5	132.7	9.1%	10.9%	15.2%	20.8%
	热力	23.7	65.4	126.5	7.9%	13.1%	16.7%	19.8%
	电力	29.4	84.7	161.2	8.0%	16.2%	21.6%	25.2%
	总计	181.4	392.2	638.5	5.9%	181.4	392.2	638.5
S2	煤炭	103.9	129.1	96.7	-0.3%	57.3%	36.4%	17.4%
	石油	4.7	9.8	16.6	5.9%	2.6%	2.8%	3.0%
	气体燃料	19.7	74.4	173.8	10.4%	10.9%	21.0%	31.3%
	热力	23.7	56.7	107.2	7.1%	13.1%	16.0%	19.3%
	电力	29.4	85	161.5	8.1%	16.2%	23.9%	29.1%
	总计	181.4	355	555.8	5.2%	181.4	355.0	555.8
S3	煤炭	103.9	98.6	55.3	-2.8%	57.3%	31.1%	11.9%
	石油	4.7	9.6	16.8	6.0%	2.6%	3.0%	3.6%
	气体燃料	19.7	75.4	164.4	10.1%	10.9%	23.8%	35.4%
	热力	23.7	45.9	65.9	4.8%	13.1%	14.5%	14.2%
	电力	29.4	87.5	162.1	8.1%	16.2%	27.6%	34.9%
	总计	181.4	317	464.5	4.4%	181.4	317.0	464.5

分析建筑物终端能源消费结构可能优质化较快的原因主要有以下几点：

- ☞ 在环境保护的约束下，能源结构优质化政策将起决定性作用。例如：北京市政府为了达到环境控制目标，政府下令三环路以内不得烧煤。西气东输管线和进口 LNG 站线建成后，上海市、深圳市、广州市等沿线大城市将有条件促进能源消费结构的优质化。
- ☞ 生活水平提高以后，人民对能源品种的选择将取决于哪种能源能提供更加方便、清洁、高效的服务。满足这种需求，煤炭是难以与天然气、液化石油气、电力、石油等优质能源竞争的。市场经济体制又提供了人们可以在市场上自由选择能源消费品种的可能。发达国家的经验证明，当生活水平达到一定程度时，能源价格已经不能成为限制人们使用清洁、方便的能源的手段了。
- ☞ 能源利用技术的发展，终端用能设备的升级换代，也推动能源消费结构向优质化转变。目前几乎所有先进的建筑能源利用技术的发展是基于电力、天然气等能源品种的。
- ☞ 天然气系统的能源效率明显高于燃煤及燃油系统，因此以高效率为发展取向的现代社会中，天然气在市场中占据了有利位置。

到 2020 年建筑物对天然气的需求量为 700~1000 亿立方米，占全国天然气消费总量的一半左右。在建筑物终端能源消费中，天然气使用的大户是采暖、空调和炊事及热水。采暖和空调用天然气约 530~760 亿立方米，炊事及热水消费的天然气约 170~230 亿立方米。建筑物电力消费将从 1998 年的 2393 亿 kWh，增长到 2020 年的 13145 亿 kWh 左右，电力消费翻了四番。在建筑物的电力消费构成中，改变了 1998 年照明是建筑物第一用户的状况，2020 年空调、采暖用电将是建筑物电力消费的主角。表 7-21 以情景 2 为例，说明建筑物电力消费构成的变化。

表 7-21 情景 2 建筑物终端电力消费构成的变化

	1998	2000	2010	2020	年均增长率
空调	24.3%	26.7%	31.0%	33.2%	9.6%
照明	38.3%	35.9%	28.1%	23.4%	5.7%
采暖	3.2%	6.1%	15.5%	22.4%	18.0%
炊事	5.8%	5.8%	7.1%	8.1%	9.7%
家电	28.3%	25.7%	19.5%	14.8%	4.9%
合计 (TWh)	239.3	306.4	692	1314.5	8.1%

生物质能源主要用于农村居民采暖和炊事热水供应。随着经济发展，越来越多的生物质能源将被其它能源代替，其代替程度与能源优质化进程有关。从模型结果看到，到 2020 年，仍将有 4500~11800 万 tce 的生物质能源用于居民采暖和炊事热水供应。沼气在农村生活用生物质能的比重由 1998 年的 0.3%，增加到 2020 年的 5.5%。

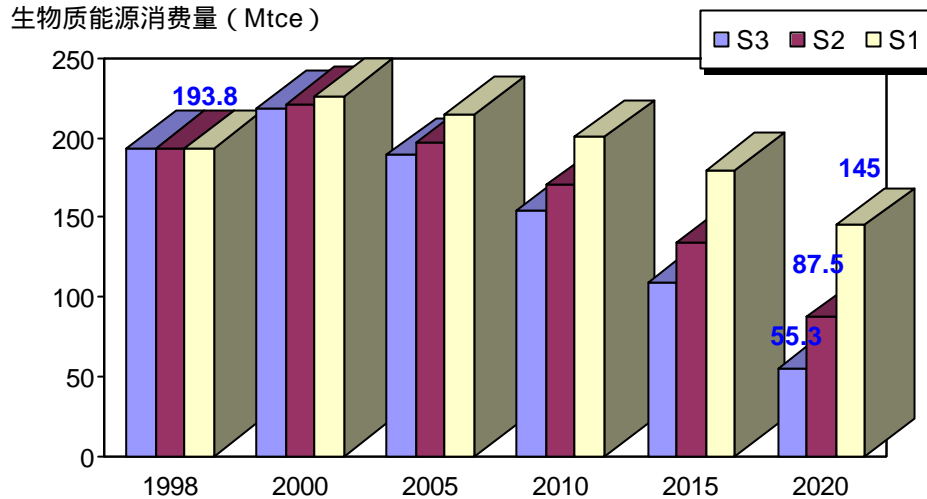


图 7-13 生物质能源消费量

(5) 采暖和炊事热水能耗仍然将是建筑物终端用能的最主要方式，空调、照明用能逐渐增加，反映了中国小康社会的基本特征

从建筑物的终端能源消费方式看，1998 年采暖用能占建筑物终端能源消费量的 53.9%；炊事及生活热水居第二位，占 27.9%；照明用能占 6.4%，家用电器和空调分别占 4%~5% 左右。随着对环境舒适度要求的提高，空调、照明和建筑物其它用能设备绝对量和单位面积拥有量的增加，2020 年空调、照明和其它用能终端的能源消费量及比重显著上升（见表 7-22）。尽管如此，采暖用能仍是建筑物终端能源消费的最大用户，在不同情景下占建筑物终端能耗需求总量的 48%~60%，炊事热水能耗也还占建筑物终端能耗需求的 17%~24%，空调能耗比重上升到 9%~10.2%。说明了在中国建筑物能源消费中，满足生活必需的能源消费在未来 20 年内仍然是建筑用能的主体，充分反映了中国小康社会的基本特点。

表 7-22 建筑物终端用能构成

用能方式	终端能耗 (Mtce)			年均增长率	用能方式构成			
	1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010	2020
S1	采暖	98	230.7	384.9	6.4%	53.9%	58.7%	60.1%
	空调	7.3	27.8	57.8	9.9%	4.0%	7.1%	9.0%
	照明	11.7	25.8	40	5.7%	6.4%	6.6%	6.2%
	炊事热水	50.7	82.2	111.9	3.7%	27.9%	20.9%	17.5%
	其它	8.3	16.2	22.8	4.7%	4.6%	4.1%	3.6%
	空调	5.7	10.2	23	6.5%	3.1%	2.6%	3.6%
	总计	181.7	392.9	640.4	5.9%	181.7	392.9	640.4
S2	采暖	98	196.9	308.2	5.3%	53.9%	55.3%	55.3%
	空调	7.3	25.7	52.7	9.4%	4.0%	7.2%	9.5%
	照明	11.7	24.6	38.4	5.6%	6.4%	6.9%	6.9%
	炊事热水	50.7	82.4	113.1	3.7%	27.9%	23.2%	20.3%
	家电	8.3	16.6	23.9	4.9%	4.6%	4.7%	4.3%
	其它	5.7	9.7	21.2	6.2%	3.1%	2.7%	3.8%
	总计	181.7	355.9	557.5	5.2%	181.7	355.9	557.5
S3	采暖	98	161.3	225	3.9%	53.9%	50.8%	48.3%
	空调	7.3	24.8	47.5	8.9%	4.0%	7.8%	10.2%
	照明	11.7	24.1	36.8	5.3%	6.4%	7.6%	7.9%
	炊事热水	50.7	81.7	111.1	3.6%	27.9%	25.7%	23.9%
	家电	8.3	16.2	23.7	4.9%	4.6%	5.1%	5.1%
	其它	5.7	9.6	21.6	6.2%	3.1%	3.0%	4.6%
	总计	181.7	317.7	465.7	4.4%	181.7	317.7	465.7

(6) 公用建筑用能增长较快，其消费构成仍将以宾馆、商厦和办公楼为主，但学校、医院用能比重明显提高，从能源消费角度反映了公共事业快速发展的趋势

在三个主要情景中，公用建筑能源消费量的增长速度与居民生活用能相近。以情景 1 为例，20 年间公用建筑能源消费的年均增长率为 6.1%，居民生活用能为 5.8%。这说明了两个问题：第一，公用建筑发展迅速，同时能源服务水平得到了较好的改善；

第二,将公用建筑用能在三个情景中的差别同居民生活用能在三情景中的差异相比较,显示了公用建筑节能的潜力和可能性均大于居民生活用能。

公用建筑的能源消费构成取决于不同类型建筑面积构成和单位面积能源强度。1998年公用建筑的能源消费以办公楼、宾馆和商厦为主,分别占公用建筑能源消费量的34%和32%。随着科教兴国战略的实施,社会福利的改善,对老龄化问题的重视和解决,使学校、医院建筑面积增长较快,能源服务水平明显改善;与此同时,在办公楼、宾馆和商厦等建筑中强化节能措施,就出现了学校、医院的能源消费量及比重显著上升。但由于宾馆、办公楼和商厦的建筑面积一直占公用建筑总面积的60%左右,所以其能耗仍是公用建筑能耗的主体,占公用建筑总能耗的65%左右。

表 7-23 商用建筑能源消费部门构成 (按照建筑类型)

情景	建筑类型	终端能耗 (Mtce)			年均增长率 1998~2020	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	学校	7.7	18.5	37.5	7.46%	12.5%	14.4%	16.4%
	医院	1.9	5.2	12.3	8.86%	3.1%	4.0%	5.4%
	宾馆商场	19.7	41.9	72.4	6.09%	32.0%	32.5%	31.7%
	办公楼	21	44.9	78.5	6.18%	34.1%	34.9%	34.4%
	其它	11.2	18.3	27.4	4.15%	18.2%	14.2%	12.0%
	总计	61.5	128.8	228.1	6.14%	61.5	128.8	228.1
S2	学校	7.7	16.1	30.6	6.47%	12.5%	14.9%	17.1%
	医院	1.9	4.4	9.9	7.79%	3.1%	4.1%	5.5%
	宾馆商场	19.7	35.4	57.6	5.00%	32.0%	32.7%	32.1%
	办公楼	21	37.1	60.1	4.90%	34.1%	34.3%	33.5%
	其它	11.2	15.2	21	2.90%	18.2%	14.0%	11.7%
	总计	61.5	108.2	179.2	4.98%	61.5	108.2	179.2
S3	学校	7.7	12.5	22.7	5.04%	12.5%	13.7%	16.3%
	医院	1.9	3.5	7	6.11%	3.1%	3.8%	5.0%
	宾馆商场	19.7	31.5	47.5	4.08%	32.0%	34.5%	34.1%
	办公楼	21	31	45.9	3.62%	34.1%	34.0%	33.0%
	其它	11.2	12.7	16.2	1.69%	18.2%	13.9%	11.6%
	总计	61.5	91.3	139.3	3.79%	61.5	91.3	139.3

(7) 居民生活用能增长较快,且农村居民人均生活用能*增长速度远快于城镇居民,反映了农村生活用能在未来20年间以绝对需求的增长为主要特征,提高农村生活用能的使用效率任重而道远

* 不包括生物质能源。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

1998 年城镇和农村居民生活用常规能源消费量为 1.2 亿 tce。未来 20 年，生活用能以年均 4.6~5.8% 的速度增长，2020 年将达 3.3~4.1 亿 tce，是 1998 年水平的 2.8~3.4 倍。其中农村生活用能的增长速度快于城镇，年均增长速度达 5~6.3%。农村生活能源消费的较快增长，使农村生活能源消费在全国生活能源消费总量中的比例略有上升（见表 7-24）。

表 7-24 城乡居民用能构成

情景	终端能耗量 (Mtce)			年均增长率(%)	城乡用能构成 (%)			
	1998	2010	2020		1998	2010	2020	
S1	城镇	92.9	202.6	307	5.6	77.3	76.7	74.5
	农村	27.3	61.6	105.3	6.3	22.7	23.3	25.5
	总计	120.2	264.2	412.3	5.8	120.2	264.2	412.3
S2	城镇	92.9	188.8	288.6	5.3	77.3	76.4	76.7
	农村	27.3	58.2	87.6	5.4	22.7	23.6	23.3
	总计	120.2	247	376.2	5.3	120.2	247	376.2
S3	城镇	92.9	171	246.4	4.5	77.3	75.5	75.5
	农村	27.3	55.4	79.8	5.0	22.7	24.5	24.5
	总计	120.2	226.4	326.2	4.6	120.2	226.4	326.2

农村居民生活用能水平的提高，主要来源于农村能源服务水平的提高和建筑节能技术和产品在农村的推广较在城镇难。农村收入水平得到改善以后，农村居民对住宅采暖的要求提高，无论是室内温度还是采暖时间，都将提高或延长；家用电器的农村市场也将进一步扩大，农村家庭主要家用电器的普及率逐渐上升。同时，假设条件中提到的农村居民在建筑节能知识的普及、节能产品的可获性等方面，由于教育、信息、市场等因素的限制，与城镇居民相比存在差距。这些因素致使农村人均能源消费强度的增长速度明显高于城镇（见表 7-25）。农村人均用能量水平增长速度是城镇居民的 3~7 倍，城乡居民用能水平的差距正在缩小。1998 年农村居民人均用能水平是城市居民用能水平的 13%，到 2020 年，这一比例将增加到 38%~45%。

表 7-25 城乡居民年人均终端用能量 (kgce/年·人)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
城镇	240.9	232.8	263.1	275.8	286.1	292.8	0.9%
农村	31.7	40.1	54.9	74.1	99.4	132.4	6.7%
总计	96.3	109.6	139.1	165.5	195.6	225.9	4.0%
城镇	240.9	235.9	280.9	311.2	333.8	352.0	1.7%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

农村	31.7	40.4	55.6	75.4	101.1	134.8	6.8%
总计	96.3	111.0	145.4	179.2	216.4	255.9	4.5%
城镇	240.9	237.6	296.3	340.7	369.3	391.2	2.2%
农村	31.7	40.5	55.7	77.9	108.4	150.4	7.3%
总计	96.3	111.7	149.3	190.8	232.1	277.7	4.9%

7.2.4 能源转换部门的主要结论

如前方法论所述，本次情景分析中石油加工转换部门主要考虑其终端能源消费，即在炼油过程中自身消耗的电力、热力、水及蒸汽等能源品种，这部分能源消费计入工业部门的终端能源消费量；对于原油的加工转换和成品油的产出情况，在工业部门的设定及炼油部门的分报告中均有提及，在以下加工转换部门中不再考虑石油的加工和转换，仅包括电力转换和热力转换。

7.2.4.1 计算结果分析

(1) 终端电力和热力需求

由于三个情景假设终端消费部门采用的技术选择 and 政策措施执行的力度不同，使得在三个情景产生了不同的电力和热力负荷需求。三个情景所反映的一个共同的趋势是，未来在终端能源消费部门，对优质能源需求的增长将高于对能源总需求的增长，从表 7-26 和表 7-27 中都能够看出这一趋势。

表 7-26 1998 年到 2020 年终端部门能源需求年均增长率 (%)

	电力	热力	商品能源总需求
情景 1	5.48	6.13	3.74
情景 2	5.40	5.48	3.19
情景 3	5.08	3.67	2.41

表 7-27 电力和集中供热占终端部门能源消费的比例 (%)

		1998	2010	2020
情景 1	电力	11.62	14.95	16.79
	集中供热	4.88	6.62	8.06
情景 2	电力	11.62	16.00	18.55
	集中供热	4.88	6.42	7.91
情景 3	电力	11.62	16.89	20.46
	集中供热	4.88	5.93	6.38

与其它两个情景相比，情景 3 情景中由于设定了终端用能部门将实施更有效的节能和节电措施，因而得到了比较低的电力和热力需求。与 1998 年相比，情景 3 情景 2020 年的电力需求增加了 2 倍，对集中供热需求增加了 1.2 倍。情景 1 情景具有最高的电力和热力需求，2020 年的电力需求和对集中供热的需求比 1998 年分别增加了 2.36 倍和 2.7 倍，(见表 7-28 和表 7-29)。

表 7-28 三个情景的终端电力需求 (TWh)

	1998	2010	2020
情景 1	1,019.20	2,078.40	3,299.10
情景 2	1,019.20	2,074.00	3,244.00
情景 3	1,019.20	2,008.60	3,030.70

表 7-29 三个情景的终端热力需求 (百万 GJ)

	1998	2010	2020
情景 1	1,539.7	3,313.2	5,705.4
情景 2	1,539.7	2,997.4	4,978.5
情景 3	1,539.7	2,539.2	3,401.0

工业、商业和居民生活是电力和热力消费最主要的部门。1998 年这三个部门的电力消费分别占终端能源消费部门电力总消费的 66.07%，9.76%和 13.71%，热力消费分别占终端能源消费部门热力总消费的 54.84%，22.06%和 22.98%。未来商业和居民生活是电力需求增长最快的部门，虽然工业部门的电力需求增长相对较慢，但工业部门仍然是 2020 年电力消费最多的部门。在工业部门，通过加强对工艺废热的回收利用，工业部门的热力需求增长与能源总需求的基本保持同步。商业和居民生活采暖的热力需求增长是造成对集中供热需求增长的最主要原因。在情景 2 和情景 1 中 2020 年居民生活对集中供热的热力消费将达到或超过工业部门对集中供热的需求。在情景 3 中，一部分居民采暖的热力需求将由电力和户用天然气锅炉来提供，2020 年民用部门对集中供热的需求有所下降，而电力需求则有明显上升。表 7-30 给出 2020 年三个情景终端部门对电力和集中供热的需求结构。

表 7-30 终端部门对电力和集中供热的需求结构(%)

	终端电力消费结构				终端热力消费结构			
	1998	2020			1998	2020		
		情景 1	情景 2	情景 3		情景 1	情景 2	情景 3
农业	6.11	4.05	4.12	4.40				
工业	66.07	51.57	50.59	47.00	54.84	34.90	36.79	43.05
建筑	1.85	1.74	1.77	1.89	0.12	0.11	0.12	0.18
交通	2.50	2.84	3.00	3.18				
商业	9.76	16.64	14.86	12.35	22.06	28.90	26.55	25.17
居民生活	13.71	23.16	25.67	31.17	22.98	36.09	36.53	31.60

(2) 发电和供热结构

表 7-31 给出了按发电能源区分的三个情景的发电量及其构成。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

表 7-31 三个情景的发电量及其构成

情景	发电方式		发电量 (TWh)			年均增长率	发电构成		
			1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	火电	燃煤	848.05	1639.29	2711.89	5.43%	70.7%	69.8%	72.4%
		燃油	75.98	11.81	11.81	-8.11%	6.3%	0.5%	0.3%
		燃气	0.03	86.85	84	43.45%	0.0%	3.7%	2.2%
	一次电力	水电	261.95	518.85	696.76	4.55%	21.8%	22.1%	18.6%
		核电	11.39	83.44	210.24	14.17%	0.9%	3.6%	5.6%
		其它	1.7	9.53	28.56	13.68%	0.1%	0.4%	0.8%
	总计			1199.1	2349.77	3743.26	5.31%	1199.1	2349.77
S2	火电	燃煤	848.05	1602.76	2465.4	4.97%	70.7%	68.3%	67.0%
		燃油	75.98	11.81	11.81	-8.11%	6.3%	0.5%	0.3%
		燃气	0.03	104.5	154.98	47.50%	0.0%	4.5%	4.2%
	一次电力	水电	261.95	529.25	794.68	5.17%	21.8%	22.6%	21.6%
		核电	11.39	83.44	210.24	14.17%	0.9%	3.6%	5.7%
		其它	1.7	13.48	41.7	15.66%	0.1%	0.6%	1.1%
	总计			1199.1	2345.24	3678.81	5.23%	1199.1	2345.24
S3	火电	燃煤	848.05	1416.49	1962.66	3.89%	70.7%	62.4%	57.1%
		燃油	75.98	11.81	11.81	-8.11%	6.3%	0.5%	0.3%
		燃气	0.03	165.6	205.67	49.41%	0.0%	7.3%	6.0%
	一次电力	水电	261.95	568.67	912.94	5.84%	21.8%	25.1%	26.6%
		核电	11.39	91.98	262.8	15.33%	0.9%	4.1%	7.6%
		其它	1.7	14.79	81.29	19.22%	0.1%	0.7%	2.4%
	总计			1199.1	2269.34	3437.17	4.90%	1199.1	2269.34

在三个情景中，燃油机组发电量下降的趋势是相同的。由于我国国内石油资源不足，从上世纪八十年代就开始在电力部门实施压缩烧油和以煤代油的政策。然而在上世纪八十年代后期到九十年代中由于经济高速增长而出现了电力需求激增的情况，为了缓解的电力供应紧张，在东南沿海缺电严重的地区，许多工业企业和地方政府投资建设了一批燃油发电机组。现有的燃油机组大部分都是这一时期建设的。随着电力供应状况的根本改善，部分燃油的小机组在九十年代后期已经陆续退出了运行。

未来我国对进口石油的依赖将不断增加，减缓石油消费增长将是我国能源发展战略的重要内容之一。电力部门将继续实施压缩烧油的政策，基本不再建设新的燃油发电机组。随着国内原油加工能力的扩大，燃料油的产量将相应增加，增加的燃料油产出将优先用作工业锅炉和窑炉等终端设备的燃料。对已经建成的燃油发电机组，小机

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

组将全部退役；大中型机组将作为调峰和备用机组，其中一部分将改烧天然气，与“西气东输”项目配套。到2020年，燃油机组的发电量将仅占全国发电量的约0.3%。

除了燃油发电以外，其它发电能源在三个情景中的电量输出结构各异。这三个情景的发电结构的变化说明了未来中国电力供应可能采取的不同选择。三个情景中非化石燃料发电的比例都有所上升，但上升幅度有明显的差别。

(3) 装机容量及电源结构

表7-32给出了按发电能源区分的三个情景的发电装机容量及其构成。表7-33给出了三个情景在2020年非化石燃料发电和天然气发电装机容量的差别。

表7-32 三个情景的发电装机容量及其构成

情景	发电方式		装机容量 (GW)			年均增长率	电源结构		
			1998	2010	2020	1998~2020	1998	2010	2020
S1	化石燃料发电	燃煤	181.95	302.63	529.13	4.97%	64.7%	59.6%	64.7%
		燃油	10.51	5.9	5.9	-2.59%	3.7%	1.2%	0.7%
		燃气	0.01	43.9	53.89	47.78%	0.0%	8.6%	6.6%
	非化石燃料发电	水电	86.14	139.48	186.48	3.57%	30.6%	27.5%	22.8%
		核电	2.1	12.7	32	13.18%	0.7%	2.5%	3.9%
		其它	0.65	3.49	10.7	13.58%	0.2%	0.7%	1.3%
	总计		281.36	508.1	818.1	4.97%	281.36	508.1	818.1
S2	火电	燃煤	181.95	296.47	473.7	4.45%	64.7%	57.9%	57.8%
		燃油	10.51	5.9	5.9	-2.59%	3.7%	1.2%	0.7%
		燃气	0.01	48.55	79.49	50.41%	0.0%	9.5%	9.7%
	一次电力	水电	86.14	143.08	213.08	4.20%	30.6%	28.0%	26.0%
		核电	2.1	12.7	32	13.18%	0.7%	2.5%	3.9%
		其它	0.65	4.99	15.7	15.57%	0.2%	1.0%	1.9%
	总计		281.36	511.69	819.87	4.98%	281.36	511.69	819.87
S3	火电	燃煤	181.95	255.78	372.96	3.32%	64.7%	51.3%	47.5%
		燃油	10.51	5.9	5.9	-2.59%	3.7%	1.2%	0.8%
		燃气	0.01	64.5	91.7	51.39%	0.0%	12.9%	11.7%
	一次电力	水电	86.14	153.08	243.08	4.83%	30.6%	30.7%	31.0%
		核电	2.1	14	40	14.33%	0.7%	2.8%	5.1%
		其它	0.65	5.49	30.8	19.17%	0.2%	1.1%	3.9%
	总计		281.36	498.75	784.44	4.77%	281.36	498.75	784.44

表 7-33 2020 年非化石燃料发电和天然气发电装机容量 (万千瓦)

	情景 1	情景 2	情景 3
大中型水电	15000	17000	20000
小型和微型水电	3650	4300	4300
核电	3200	3200	4000
风力发电	1000	1500	3000
天然气发电	5000	7000	7300
天然气热电联产	500	1000	2000

三个情景中，情景 1 的非化石燃料发电装机和天然气发电装机最少，总容量在 2020 年为 2.83 亿千瓦，占当时情景 1 总装机容量的 34.60%；情景 3 的非化石燃料发电装机和天然气发电装机最多，2020 年达到了总装机容量的二分之一以上；情景 2 的非化石燃料发电装机和天然气发电装机则介于前二者之间，占 2020 年总装机容量的 41.5%。

情景 1

在情景 1 中，2020 年水电、核电、风电分别占全国总装机的 22.79%、3.91% 和 1.22%。

2020 年水电发电量比 1998 年增加了 1.64 倍，落后于增加了 2.24 倍的总发电量增长。水电发电量在总发电量中的份额由 1998 年 21.85% 下降到 2020 年的 18.61%。

2020 年核电装机比 1998 年增加了 14.24 倍，核电发电量增加了 17.36 倍。2020 年核电发电量达到了 210TWh，占全国总发电量的 5.62%。在情景 1 中，对火电需求的降低主要是因为核电比重不断增加。核电增加是降低对火电的需求的最主要原因。

在情景 1 中可再生能源发电量（主要是风力发电）增长速度最快。2020 年风力发电装机和发电量都是 1998 年的 50 倍。然而即使如此，相对于巨大的全国总发电量，可再生能源发电因起点太低，所能起到的作用还是非常有限，2020 年可再生能源发电量占全国总发电量的比例仅为 1.07%。

在情景 1 中，虽然非化石燃料发电的比例有所上升，但由于燃油发电减少和天然气发电受到天然气可供量的限制而增长有限，使得燃煤发电的比例不仅没有下降，反而也有所上升。2020 年燃煤发电占全国总发电量的比例比 1998 年增加了 1.72 个百分点。这种结果说明，按照情景 1 的水电、核电、可再生能源发电等的发展速度，未来 20 年将不能使发电能源结构得到改善。

情景 2

在情景 2 中,2020 年水电、核电、风电分别占全国总装机的 26%、3.9%和 1.83%。

2020 年情景 2 的水电发电量达到了近 800TWh,比 1998 年增加了两倍。水电增长基本维持与电力需求增长同步。2010 年水电发电量在全国总发电量中所占的份额增加了近 1 个百分点,2020 年又降回到与 1998 年基本持平。

2020 年风力发电约 40TWh,是 1998 年的 75 倍,使得可再生能源的发电量在全国总发电量中的份额仍然不到 2%。

核电的装机和发电量在情景 2 中与情景 1 完全相同。核电的比例在情景 2 中略微有所增加是源于这两个情景在电力需求和总发电量上的差别。

2020 年天然气发电的装机为 8000 万千瓦,占全国总装机的 9.7%。根据设定的全国天然气可供应量,在满足其它部门的终端用能需求以后,2020 年可用于发电的天然气并不是很多。天然气发电将主要作为调峰电源,2020 年天然气发电的发电量为 154.98TWh,占全国总发电量的 4.21%。

在情景 2 中,2020 年燃煤火电在全国总发电量中的份额比 1998 年下降了 3.7 个百分点,燃煤火电仍占全国总发电量的三分之二。

透过情景 2 的计算结果,可以看到未来 20 年不仅需要继续维持目前水电的发电比例,同时还要使天然气和核电的发电总量份额 10%左右,才能使发电能源结构比目前略有改善。

情景 3

一方面由于情景 3 的总发电量比情景 1 和情景 2 分别减少了 8.14%和 6.58%,另一方面由于在情景 3 中水电、核电和风力发电的装机都有相当幅度的增加,使得情景 3 的水电、核电、风电在 2020 年分别占到了全国总装机的 31%、5.1%和 3.8%,非化石燃料发电量在全国总发电量中的比例达到了 36.57%。

2020 年情景 3 的水电发电量达到了近 913TWh,比 1998 年增加了 2.5 倍。2020 年水电超过了全国总发电量的四分之一。核电装机比 1998 年增加了 18 倍,核电发电量增加了 21 倍。2020 年核电发电量为 263TWh,占全国总发电量的 7.65%。风力发

电达到 78.84TWh，比 1998 年增加了 150 倍，使得可再生能源的发电量在全国总发电量中的份额接近 4%。

在情景 3 中，2020 年可用于发电的天然气供应量比情景 2 增加了约 300 亿立方米，天然气发电的装机达到 9300 万千瓦，占全国总装机的 11.7%。2020 年天然气发电的发电量为 205TWh，占全国总发电量的 5.98%。

在情景 3 中，通过上述各种因素的共同作用，大大减缓了燃煤火电的增长。2020 年全国燃煤火电总装机比 1998 年仅增加了 1 倍，远低于电力需求的增长，2020 年燃煤火电发电量在全国总发电量中的比例比 1998 年减少了 13.6 个百分点，降到了 60% 以下。全国发电能源结构比目前有了明显的改善。

要达到这样的目标，需要在今后二十年里平均每年保持新投产 700 万千瓦大中型水电机组和 100 万千瓦小型和微型水电机组；2005 年以后每年投产一台、2010 年后每年投产两台百万千瓦的核电机组；2005 年后平均每年投产 100 万千瓦风电机组，2010 年后平均每年投产 200 万千瓦以上的风电机组。另外还需要在 2010 年前具备向发电部门供应 400 亿立方米（相当于 1 个全部建成后的西气东输项目和 5 个全部建成后的广东 LNG 进口项目）的能力，2020 年具备向发电部门供应 500 亿立方米的能力。此外，还要求在终端用能部门大幅度提高用电效率，减缓电力需求的增长速度也是不可或缺的。

(4) 发电和供热的技术结构

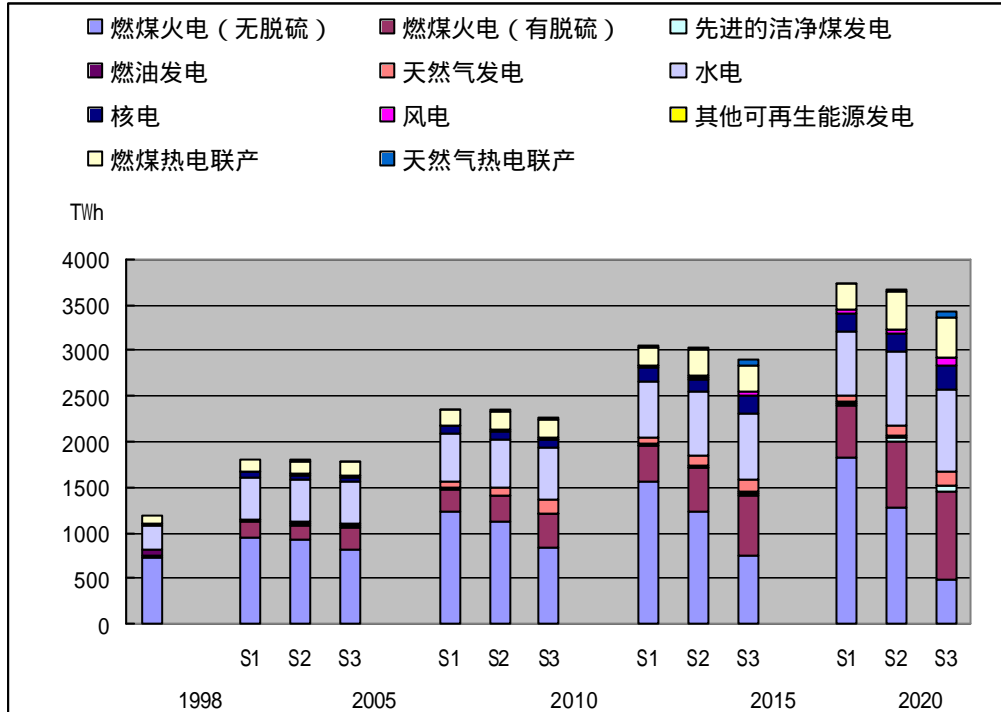


图 7-14 三个情景的发电结构

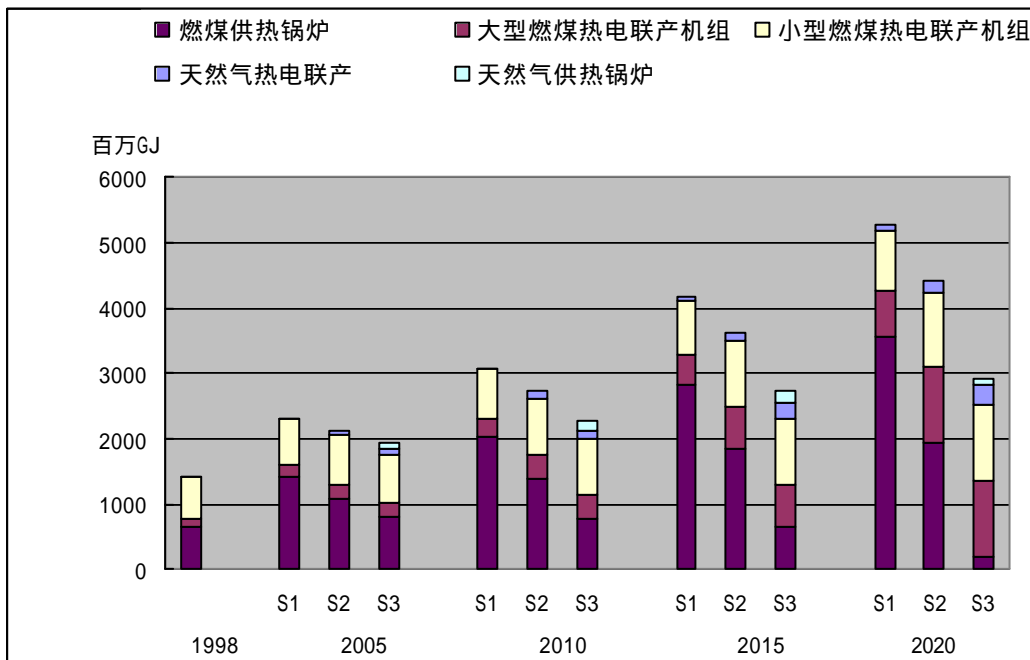


图 7-15 三个情景的集中供热结构

三个情景不仅在发电能源构成上有较大的差别，在火电和供热技术构成上也有很大的差别，这些差别将影响未来火电和供热效率。图 7-14 和图 7-15 给出了按技术区分的发电量和集中供热的结构。

情景 1

2020 年,情景 1 的常规燃煤发电机组和洁净煤发电机组占火电总装机的 73.43%。新建的大型常规燃煤发电机组和洁净煤机组占燃煤火电装机的 84.46%。2020 年燃煤发电机组的平均效率为 38.89%，比 1998 年提高了 8.2 个百分点。(见表 7-34)

表 7-34 三个情景的发电和集中供热效率比较 (%)

情景	效率		1998	2010	2020
情景 1	煤炭	发电*	30.70	36.47	38.89
		锅炉供热*	61.07	66.20	76.45
		发电供热综合**	38.02	44.27	47.55
	化石燃料平均	发电*	30.90	36.80	39.04
		锅炉供热*	61.07	66.20	76.45
		发电供热综合**	37.69	44.30	47.63
情景 2	煤炭	发电*	30.70	36.45	38.86
		锅炉供热*	61.07	66.21	76.38
		发电供热综合**	38.02	44.06	47.76
	化石燃料平均	发电*	30.90	36.81	39.27
		锅炉供热*	61.07	66.21	76.38
		发电供热综合**	37.69	44.35	48.07
情景 3	煤炭	发电*	30.70	36.16	39.19
		锅炉供热*	61.07	66.44	77.61
		发电供热综合**	38.02	43.56	47.62
	化石燃料平均	发电*	30.90	36.99	39.80
		锅炉供热*	61.07	68.84	79.69
		发电供热综合**	37.69	44.61	48.68

*不包括热电联产。 **包括热电联产。

2020 年燃煤热电联产装机容量比 1998 年增加了 1.84 倍，燃煤热电联产的发电量分别占燃煤火电总发电量的 11.68%和火电总发电量的 10.1%。

从 1998 年到 2020 年，情景 1 的集中供热负荷增加了 2.7 倍，远高于热电联产的增长，为满足对集中供热的负荷需求，需要新增大量的集中供热锅炉。2020 年锅炉供

热量占集中供热总量的 67%。通过加强供热锅炉的节能，2020 年供热锅炉的效率达到 76%以上，比 1998 年提高了 15 个百分点。

在情景 1 中，电力需求和热力需求增长都比较快，需要新建较多的燃煤机组和供热锅炉。由于新增容量的效率高于老设备的效率，情景 1 因新增容量比例较大，平均的发电效率和锅炉供热效率都比情景 2 有所提高。

情景 2

在情景 2 中，天然气发电装机在 2020 年占火电总装机的 12.85%，天然气发电量占火电总发电量的 5.89%。天然气发电的增加使情景 2 化石容量发电的平均效率比情景 1 提高了 0.25 个百分点。

2020 年燃煤热电联产装机容量比 1998 年增加了 3 倍，燃煤热电联产的发电量分别占燃煤火电总发电量的 20.4%和火电总发电量的 15.9%。

在情景 2 中，终端部门对集中供热的需求增长明显减缓，大大降低了对锅炉供热的需求。2020 年锅炉供热量占集中供热总量的比例下降到了 43%。

热电联产比例增加和供热锅炉减少，使情景 2 的发电和供热综合效率得到了改善。

情景 3

在情景 3 中，洁净煤发电技术的增加比前两个情景增加了 1 倍。由于 10 万千瓦以下的燃煤凝汽机组的退役，2020 年新建大型燃煤机组在常规燃煤发电机组中的比例上升到 72.6%，进一步促进了燃煤发电效率的改善。2020 年情景 3 的平均燃煤发电效率为 39.19%。

由于终端用能部门的热力需求增长进一步减缓，和在供热部门采用天然气热电联产和天然气锅炉来替代燃煤锅炉，情景 3 的全部供热量中，燃煤锅炉的供热比例仅占了 7.2%。热电联产比例的增加和天然气使用量的增加，使集中供热锅炉的平均效率提高到接近 80%，使发电和供热的综合效率提高到 48.68%。

(5) 能源消费

一次能源消费量

与终端能源消费部门对电力和集中供热的需求高于对能源总需求的生长的情况相

对应，发电和集中供热的能源消费增长也高于全国一次能源总需求的增长。1998 年到 2020 年，以发电煤耗计算或以电热当量计算，情景 1、情景 2 和情景 3 的发电和集中供热一次能源需求的年均增长率分别为 4.65%、4.24%、3.39%或 4.46%、4.17%和 3.54%，发电和集中供热的一次能源消费量见表 7-35。

表 7-35 发电和集中供热的一次能源投入量 (Mtce)

	1998	2010	2020	1998	2010	2020
情景 1	475.48	837.23	1292.82	548.2244	949.9301	1432.261
情景 2	475.48	804.03	1186.1	548.2244	919.8781	1347.327
情景 3	475.48	736.86	989.23	548.2244	862.9871	1178.265
备注	非化石燃料发电按电热当量折算			非化石燃料发电按发电煤耗折算		

表 7-36 发电和集中供热的能源消费占全国一次能源消费的比例 (%)

		1998	2010	2020	1998	2010	2020
S1	一次能源投入量	34.76	38.60	41.70	38.04	41.31	44.00
	转换过程的自身消费	21.61	21.68	22.64	25.55	25.35	25.85
S2	一次能源投入量	34.76	39.54	42.95	38.04	42.45	45.85
	转换过程的自身消费	21.61	22.19	22.99	25.55	26.16	27.09
S3	一次能源投入量	34.76	39.61	42.66	38.04	43.06	46.81
	转换过程的自身消费	21.61	21.98	22.30	25.55	26.69	28.05
备注		非化石燃料发电 按电热当量折算			非化石燃料发电 按发电煤耗折算		

情景 2 和情景 3 中，2020 年发电和集中供热的一次能源需求占全国一次能源总需求的比例比 1998 年上升了 8 个百分点左右，情景 1 的上升幅度略小，约为 5 个百分点。三个情景的结果均显示出，随着终端用能部门对优质能源的需求的增长，能源转换部门的一次能源消费占全国一次能源消费的比例将稳步上升。2020 年能源转换部门的一次能源消费将向全国一次能源总消费量的二分之一趋近。

随着能源转换部门能源消费的不断增长，能源转换部门、特别是发电和集中供热的效率对全国能源总消费的影响也将越发重要。从三个情景的计算结果可以发现，与发电和集中供热的一次能源投入上升了近 10 个百分点相比，发电和集中供热过程自身的能源消费比例仅上升了 2 个百分点左右。这主要得益于能源转换部门的效率提高。2020 年火电平均发电煤耗比 1998 年降低了 20% 以上，在一定程度上抵消了发电量增加所需要的能源消费增加。这种结果说明加强电力等能源加工转换部门节能工作、提高能源转换效率对降低一次能源需求的重要作用。

一次能源消费结构

对于一次能源消费结构，按照发电煤耗折算的结果和按照电热当量折算的结果有比较明显的差别。然而无论采用那种方法，结果都表明：与发电构成相对应，未来化石燃料，特别使煤炭仍将是中國最主要的发电能源。

表 7-37 三个情景发电的一次能源消费结构（%）

		1998	情景 1		情景 2		情景 3	
			2010	2020	2010	2020	2010	2020
化石燃料发电	燃煤	83.88	82.09	81.82	81.03	78.01	76.36	69.49
	燃油	6.99	0.54	0.35	0.54	0.36	0.58	0.41
	燃气	0.00	3.05	1.79	3.70	3.46	6.20	5.19
	总计	90.87	85.67	83.96	85.28	81.83	83.13	75.09
非化石燃料发电	水电	7.95	9.47	8.18	9.75	9.77	11.08	12.67
	核电	1.05	4.62	7.48	4.66	7.83	5.43	11.05
	其它	0.13	0.24	0.39	0.32	0.57	0.36	1.20
	总计	9.13	14.33	16.04	14.72	18.17	16.87	24.91
总计(百万吨标煤)		404.65	673.00	1047.06	666.93	999.80	630.53	885.46
备注		以上非化石燃料发电按电热当量折算						
化石燃料发电	燃煤	71.03	70.47	72.22	69.22	67.34	64.06	57.59
	燃油	5.92	0.46	0.31	0.46	0.31	0.48	0.34
	燃气	0.00	2.61	1.58	3.16	2.99	5.20	4.30
	总计	76.95	73.55	74.11	72.84	70.65	69.74	62.22
非化石燃料发电	水电	21.80	21.93	18.41	22.45	21.34	24.89	26.15
	核电	0.89	3.96	6.60	3.98	6.76	4.56	9.16
	其它	0.37	0.56	0.88	0.73	1.25	0.81	2.47
	总计	23.05	26.45	25.89	27.16	29.35	30.26	37.78
总计(百万吨标煤)		477.84	783.95	1186.15	780.77	1158.14	751.56	1068.50
备注		以上非化石燃料发电按发电煤耗折算						

在目前的技术发展水平下，在世界范围内也只有水电和核电是能够大规模替代化石燃料消费的一次能源。增加水电、核电等非化石燃料发电不仅对改善发电能源结构、而且对全国一次能源结构都有非常重要的作用。

在情景 1 中，水电和核电发电量的年均增长率为 5.6%。按发电煤耗计算，情景 1 中水电和核电的增加对改善发电一次能源结构中并没有起到明显的作用。2020 年化石燃料发电的

比例比 1998 年上升了 1.2 个百分点。即便如此，由于水电和核电的增加，还是使 2020 年化石燃料占全国一次能源消费消费的比例下降了 2.8 个百分点。水电和核电的增加对改善全国一次能源结构起到了一点作用。

在情景 2 中，水电和核电的年均增长率达到了 6.1%，无论对改善发电一次能源结构、还是对改善全国一次能源结构的都起到了比较明显的作用。由于水电和核电的增加，2020 年化石燃料在发电一次能源结构中的比例下降了约 4~5 个百分点，在全国一次能源结构中的比例下降了约 5 个百分点。

表 7-38 三个情景的全国一次能源结构(%)

		1988	情景 1		情景 2		情景 3	
			2010	2020	2010	2020	2010	2020
一次能源总量 (Mtce)		1367.98	2169.07	3100.17	2033.48	2761.78	1860.27	2318.67
一次能源消费结构 (%)	化石燃料总计	97.33	95.03	94.05	94.62	92.82	93.69	89.83
	一次电力总计	2.67	4.97	5.95	5.38	7.18	6.31	10.17
	水电	2.36	3.49	3.32	3.78	4.16	4.39	5.53
	核电	0.31	1.43	2.52	1.53	2.83	1.84	4.22
	可再生能源发电	0.01	0.05	0.11	0.07	0.18	0.09	0.43
备注		以上非燃料发电按电热当量折算						
一次能源总量 (Mtce)		1441.31	2299.64	3255.05	2167.09	2938.60	2004.10	2517.35
一次能源消费结构 (%)	化石燃料总计	92.37	89.64	89.57	88.79	87.24	86.96	82.74
	一次电力总计	7.63	10.36	10.43	11.21	12.76	13.04	17.26
	水电	7.29	9.02	8.12	9.73	10.05	11.25	12.99
	核电	0.32	1.22	2.04	1.30	2.26	1.56	3.27
	可再生能源发电	0.02	0.12	0.27	0.18	0.45	0.22	1.00
备注		以上非燃料发电按发电煤耗折算						

在情景 3 中，水电和核电的年均增长速度为 6.8%，而全国电力需求和全国一次能源需求的增长则相对比较缓慢。水电和核电增加对改善能源结构的作用更加明显。以电热当量计和以发电煤耗计，2020 年水电和核电合计发电一次能源消费的比例都比 1998 年上升了 15 个百分点左右，发电一次能源结构得到了较大幅度的改善。在全国一次能源结构中，水电和核电的比例合计增加到了 7.~9 个百分点，使 2020 年化石能源的消费比例与 1998 年相比减少了 8 个百分点左右。

从中期来看，加快发展水电对改善我国能源结构是十分必要的。近几年，全国水电机组的新增容量都在 700 万千瓦上下，农村小水电和微水电的装机增长在 100 万千瓦左右。在未来 20 年如果能够使水电发展保持这样的投产速度，就能够达到 2020 年

水电装机 2.4 亿千瓦的水电开发目标，即除西藏等边远地区以外的全国的可开发水电资源基本上都得到了开发。从长期来看，进一步改善能源结构就需要考虑别的替代能源。

三个情景中设定核电的装机燃料在 2020 年为 3200 万千瓦或 4000 万千瓦，计算结果表明，从改善全国一次能源结构的角度来看，如此数量的核电所能起到的作用将很有限。如果要进一步发挥核电在改善能源结构方面的作用，需要加快核电的建设速度。从中期来看，核电和可再生能源发电在我国一次能源结构中所占的比例还不会很大。但从长远来看，发展核电和可再生能源发电将会成为减少化石燃料消费、改善我国一次能源结构的日益重要的途径。

📁 化石燃料消费

从图 7-16 中可以看到，随着发电和集中供热量的增加，三个情景的燃料消费都在不断增长。2020 年情景 1、情景 2 和情景 3 的化石燃料消费将分别比 1998 年增加 1.7 倍、1.48 倍和 1.07 倍，其中煤炭消费将分别增加 1.66 倍，1.32 倍和 0.7 倍。

煤炭将继续作为发电和供热的最主要一次能源，未来发电和供热的煤炭消费占全国煤炭总消费的比例将不断上升，情景 1、情景 2、情景 3 发电和供热的煤炭消费将达到在 2020 年全国煤炭总消费的一半或一般以上。为了提高煤炭的使用效率和抑制燃煤发电对环境造成的损害，迫切需要发展高效洁净煤发电技术。目前在国际上，由于需求不旺，高效洁净煤发电技术的发展进展不是很快。根据我国的电力需求增长和对燃煤发电需求增长趋势，我国有必要增加对高效洁净煤发电技术研发方面的投入，加速我国高效洁净煤发电技术的发展。

中国的天然气发电是近几年国内外能源界广为关注的问题之一。与燃煤发电相比，天然气发电投资少，效率高，运行灵活，更具有非常好的环境特性。尽管在目前的天然气价格水平下，天然气发电还难以在发电成本上与燃煤发电相竞争，但是由于天然气发电所具有的环境效益，在经济相对发达的地区发展天然气发电的呼声在不断增高。

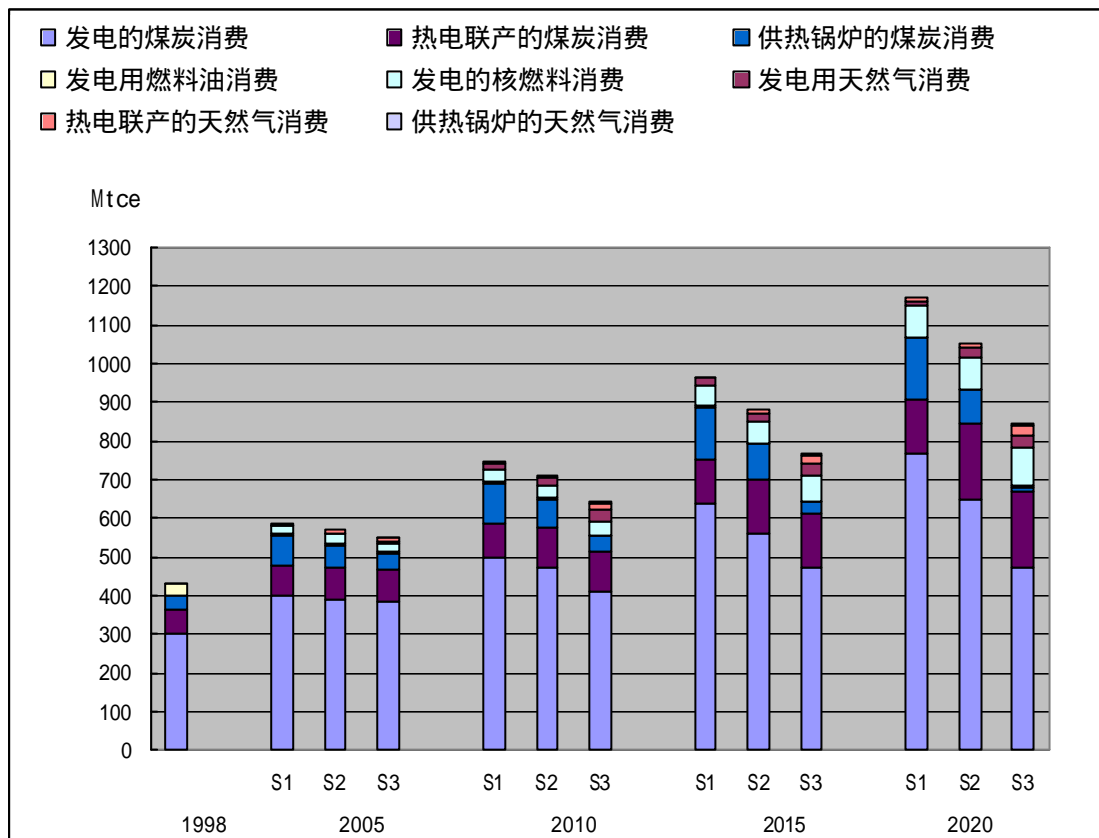


图 7-16 转换部门的燃料消费结构

目前我国天然气基础设施的建设还非常落后，天然气输配管网只能覆盖天然气产地和少数几个大城市等有限的地区。天然气基础设施不足极大地限制着天然气下游市场的发展。这种局面将随着“西气东输”工程的建设而逐步改善，2010年前还不可能有根本的改变。在2010年前，电力部门将是支撑天然气上游开发和输气管网建设的最重要的下游用户。在三个情景中，电力部门的天然气消费都将占2010年全国天然气总消费的四分之一以上，在情景3中，电力部门天然气消费占到了三分之一以上。天然气发电量在2010年达到了比较高的比例，在情景1、情景2和情景3中分别占全部火电发电量的5%，6.08%和10.38%。

2010年以后，随着天然气输配管网的扩大和基础设施建设不断完善，终端各部门的天然气消费将较快地增长。在满足终端用能部门的需求后，2020年能够用于发电的天然气与2010年相比增加的并不多，2010年后天然气发电的进一步发展将受到天然气供应的限制。2020年电力部门的天然气消费占全国天然气总消费的比例将由2010年在情景1、情景2和情景3中占四分之一到三分之一下降到14.4%，18.1%和23%，

天然气发电占火电发电的比例也将从 2010 年的水平上回落至 3%，5.89%？ 9.43%？

三个情景的计算结果揭示，尽管天然气发电高效和清洁的优点，由于受资源和供应方面的限制，中国在未来 20 年还不太可能大规模用天然气替代煤炭发电。除了在某些局部地区以外，天然气发电作为缓解燃煤火电环境污染的措施，在长期和在全国范围内所能起到的作用将是有限的。在电力部门，为了提高天然气的利用效率和降低天然气的发电成本，除了必要的调峰机组以外，天然气应优先用于热电联产和热电冷联产。

随着经济发展和终端能源优质化，未来煤炭将从目前的一些终端消费用途中逐步退出。然而三个情景的计算结果揭示出，由于我国在石油和天然气供应方面所面临的资源不足问题和在开发非化石能源发电方面存在的种种限制，未来 20 年我国还不可能达到较高程度上的能源优质化。煤炭将不仅是我国发电的最主要的一次能源，也将继续作为我国工业部门的主要燃料，要减少煤炭消费将是相当困难的。

解决煤炭使用造成的环境污染问题将是我国能源发展的长期挑战。因此无论是在能源转换部门还是在终端用能部门，清洁高效地使用煤炭都必须得到足够的重视。在能源转换部门，特别是发电部门，一方面是煤炭消费将越来越多，另一方面是煤炭消费集中、较之其它部门更便于以相对低的成本进行污染物排放控制，为了在全国范围内有效地控制煤炭使用产生的环境污染问题，有必要在能源转换部门率先采用比较严格污染排放标准。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

表 7-39 转换部门的煤炭和天然气消费

		1998	2010	2020	
情景 1	全国煤炭消费总量 (Mtce)	1042.79	1528.01	2024.3	
	其中：	煤气生产消费比例 (%)	0.04%	0.07%	0.07%
		发电消费比例 (%)	28.74%	32.46%	37.89%
		热电联产消费比例 (%)	6.07%	5.81%	6.89%
		集中供热锅炉消费比例 (%)	3.60%	6.82%	7.83%
		转换部门消费总计 (%)	38.45%	45.16%	52.68%
	天然气消费 (亿立方米)	149.75	632.12	1222.25	
	其中：	发电消费比例 (%)	0.11%	1.92%	4.33%
		热电联产消费比例 (%)	0.00%	24.56%	9.84%
		集中供热锅炉消费比例 (%)	0.00%	0.00%	0.00%
转换部门消费总计 (%)		0.11%	26.48%	14.16%	
情景 2	全国煤炭消费总量 (Mtce)	1042.79	1387.85	1666.8	
其中：	煤气生产消费比例 (%)	0.04%	0.07%	0.07%	
	发电消费比例 (%)	28.74%	34.00%	38.86%	
	热电联产消费比例 (%)	6.07%	7.51%	11.80%	
	集中供热锅炉消费比例 (%)	3.60%	5.18%	5.16%	
	转换部门消费总计 (%)	38.45%	46.76%	55.90%	
天然气消费 (亿立方米)	149.75	839.21	1770.76		
其中：	发电消费比例 (%)	0.11%	8.64%	5.97%	
	热电联产消费比例 (%)	0.00%	18.77%	12.18%	
	集中供热锅炉消费比例 (%)	0.00%	0.00%	0.00%	
	转换部门消费总计 (%)	0.11%	27.42%	18.16%	
情景 3	全国煤炭消费总量 (Mtce)	1042.79	1214.37	1280.94	
	其中：	煤气生产消费比例 (%)	0.04%	0.07%	0.08%
		发电消费比例 (%)	28.74%	33.77%	37.03%
		热电联产消费比例 (%)	6.07%	8.58%	15.36%
		集中供热锅炉消费比例 (%)	3.60%	3.25%	0.69%
		转换部门消费总计 (%)	38.45%	45.68%	53.15%
	天然气消费 (亿立方米)	149.75	1018.93	1954.57	
	其中：	发电消费比例 (%)	0.11%	9.49%	10.82%
		热电联产消费比例 (%)	0.00%	25.25%	12.26%
		集中供热锅炉消费比例 (%)	0.00%	4.66%	1.38%
转换部门消费总计 (%)		0.11%	39.40%	24.46%	

(6) 发电和供热的二氧化硫和二氧化碳排放

二氧化硫排放

三个情景的二氧化硫排放见图 7-17 (a)。

在情景 1 中，控制二氧化硫的主要措施是严格控制燃煤的含硫量不超过 1%。同时在新增燃煤火电机组中，脱硫机组的比例也在不断增长。到 2020 年，有脱硫措施的燃煤机组和洁净煤发电机组在燃煤火电装机中所占的比例将从 1998 年占 1.5% 上升到 25%。然而即使如此，由于发电的燃煤总量比 1998 年增加了 1.56 倍，燃煤发电的二氧化硫排放还是比 1998 年增加了 1.03 倍。随着供热量的大幅增加，未来锅炉供热的二氧化硫排放将成倍增长，在使用低硫煤（含硫量不超过 0.7%）的条件下，2020 年供热锅炉的二氧化硫排放还将增加 3.22 倍。2020 年转换部门的煤炭总消费是 1998 年的 2.66 倍，二氧化硫排放是 1998 年的 2.07 倍。2020 年情景 1 能源转换部门的二氧化硫总排放将达到 2138 万吨，其中发电、热电联产和供热锅炉的二氧化硫排放分别占 78.73%，6.73% 和 14.53%。情景 1 的计算结果说明，未来随着煤炭消费的不断增长，靠控制燃煤的含硫量对控制煤炭燃烧产生的二氧化硫排放所能起到的作用将是非常有限的。

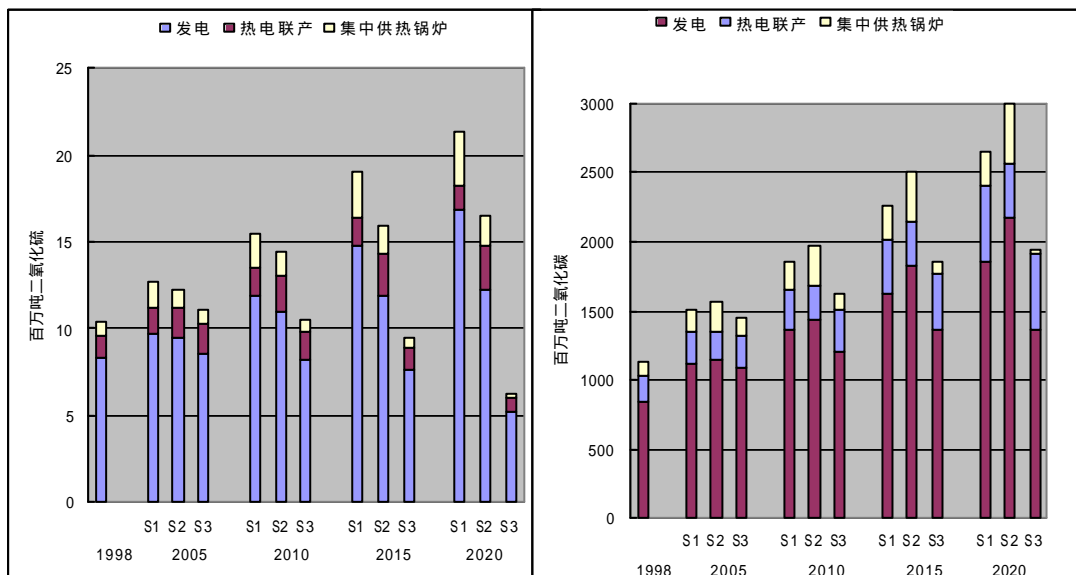


图 7-17 (a) 发电和供热的二氧化硫排放 (b) 发电和供热的二氧化碳排放

情景 2 则以更多地建设脱硫机组来控制二氧化硫排放。在新建的燃煤火电机组中，

有脱硫措施的机组的比例将逐步在 2010 年达到 40%，2015 年达到 60，2020 年达到 65%。然而，由于历年所建设的无脱硫机组的累积容量仍然相对较大，2020 年脱硫机组和洁净煤发电机组的装机只能占到燃煤火电总装机容量的 37.2%。2020 年，情景 2 的发电燃煤比 1998 年增加了 1.16 倍，发电产生的二氧化硫排放比 1998 年增加 0.48 倍。

情景 2 中热电联产的供热比例上升了，集中供热锅炉的供热比例下降了，使得热电联产的二氧化硫排放有所增加，而锅炉供热的二氧化硫排放有所减少。

2020 年转换部门的煤炭总消费是 1998 年的 2.32 倍，二氧化硫排放是 1998 年的 1.59 倍，总的二氧化硫排放量将达到 1647 万吨。能源转换部门的二氧化硫排放接近目前全国的二氧化硫的排放总量。

情景 1 和情景 2 的计算结果表明，随着燃煤发电的增加，现行的火电厂二氧化硫控制措施和排放标准虽能够减缓二氧化硫排放的增长，但不足以在长期内把燃煤发电的二氧化硫排放降低或稳定到比较低的水平。

情景 3 中，由于总的电力需求下降和非化石燃料及天然气发电增加，对燃煤机组的装机容量需求大幅度下降，2020 年情景 3 的燃煤机组总装机比情景 1 和情景 2 分别少 2.54 亿千瓦和 1.7 亿千瓦。2020 年燃煤火电的发电量为全国总发电量的 57.1%，相对于情景 1 和情景 2 分别减少了 15.4 个百分点和 9.9 个百分点。

在情景 3 中，转换部门 2020 年的煤炭总消费比 1998 年增加了 0.7 倍，其中发电、热电联产的煤炭总消费分别比 1998 年增加了 0.58 倍和 2.11 倍。由于增加了天然气热电联产和天然气锅炉供热，2020 年供热锅炉的煤炭消费比 1998 年减少了 77%。

2020 年全部燃煤火电装机中，热电联产机组占四分之一，热电联产机组的脱硫率在 70%以上。

2020 年情景 3 的燃煤发电机组中，脱硫机组和先进的洁净煤发电机组占到了三分之二以上，不脱硫机组的容量占不到三分之一。脱硫机组比例大幅度增加对减少二氧化硫排放起到了至关重要的作用。

在情景 3 中，二氧化硫排放在 2005 年以后便逐渐下降，2020 年转换部门的二氧化硫总排放为 620 万吨，比 1998 年转换部门的二氧化硫排放量下降了 40%。发电和

热电联产的二氧化硫排放分别为 1998 年排放量的 62.5%和 65%，集中供热锅炉的二氧化硫排放仅为 1998 年排放量的 23.5%。

情景 3 的结果表明，通过降低煤炭消费增长，更重要的是通过提高脱硫机组在燃煤机组中的比例，在未来的二十年里将能够大幅度削减发电部门的二氧化硫排放。通过解决电力部门的二氧化硫排放问题，将可能在未来二十年内避免加剧目前全国已经比较严重的二氧化硫污染和酸雨问题。

📁 二氧化碳排放

图 7-15 (b) 给出了转换部门的二氧化碳排放。

煤炭是转换部门最主要的一次能源，转换部门的二氧化碳排放与煤炭消费量成正比。要减少发电的二氧化碳排放，就只能是减少煤炭的消费。

在情景 1、情景 2 和情景 3 中，2020 年转换部门的化石燃料总消费分别为 11.18 亿吨标准煤，9.99 亿吨标准煤和 7.64 亿吨标准煤，其中煤炭消费分别为 10.66 亿吨标准煤，9.31 亿吨标准煤和 6.81 亿吨标准煤，化石燃料的二氧化碳总排放则分别为 29.98 亿吨，26.45 亿吨和 19.47 亿吨。情景 1 和情景 3 的二氧化碳排放相差了 10.51 亿吨，接近 1998 年能源转换部门的全部二氧化碳排放量。

造成二氧化碳排放的差别的原因有三个：一是电力需求，二是发电能源结构，三是燃煤发电的效率。从图中能够比较容易地观察到电力需求和发电能源结构对三个情景二氧化碳排放产生的影响，对于火电效率提高所产生的影响，则因三个情景有相似的趋势而难以在图中得到直观地显现。情景 1 的电力需求最大，燃煤发电的比例最高，因而二氧化碳排放最多；而情景 3 的电力需求最小，燃煤发电的比例最低，因此二氧化碳的排放也最少。

(7) 降低终端电力和热力需求的影响

在情景 3 中，终端对电力和热力需求的减少使能源转换部门的能源消费也相应下降。与情景 1 相比，2020 年情景 3 的发电量减少了 306TWh，减少的幅度为 8%；供热量减少了 2304 百万 GJ，减少的幅度为 45%。如果按情景 3 的发电煤耗和供热效率计算，2020 年由电力需求减少而减少的发电煤炭消费为 0.97 亿吨标准煤，相当于 1998 年全国发电煤炭消费的三分之一；由热力需求减少而减少的供热煤炭消费在

2020 年为 1.05 亿吨标准煤，相当于计算得到的 1998 年集中供热锅炉煤炭消费的两倍。

与情景 1 相比,终端电力和热力需求减少导致的能源转换部门煤炭消费减少占情景 3 能源转换部门煤炭总消费减少量 3.86 亿吨标准煤的 52.37% ,占情景 3 全国煤炭消费减少量 7.43 亿吨标准煤的 27.17%。

2020 年，按情景 3 的脱硫率计算，能源转换部门因终端电力和热力需求减少而少排放的二氧化硫为 418 万吨，相当于 1998 年能源转换部门二氧化硫总排放的 40.1%，占情景 3 比情景 1 能源转换部门 2020 年二氧化硫总排放减少量 1517 万吨的 27.17%。

与情景 1 相比，由于电力需求和热力需求减少，2020 年能源转换部门可以减少二氧化碳排放 5.51 亿吨，相当于 1998 年能源转换部门二氧化碳排放 11.26 亿吨的 49%，占情景 3 能源转换部门二氧化碳排放减少量 10.51 亿吨的 52.4%。

（8） 增加非化石燃料和天然气消费的影响

2020 年，情景 3 比情景 1 增加了共 5400 万千瓦的非化石燃料发电装机和天然气发电装机，非化石燃料发电和天然气发电在 2020 年达到了全国发电总量的 40.5%，非化石燃料发电装机和天然气发电的增加对减少燃煤发电起到了重要作用。与情景 1 相比，2020 年情景 3 的水电发电量增加了 216.18TWh，核电发电量增加了 52.56TWh，天然气发电增加了 119.23TWh，风力发电 52.73TWh。非化石燃料和天然气发电的增加，减少了 1.23 亿吨标准煤的煤炭消费，占能源转换部门在情景 3 中煤炭总消费减少量 3.85 亿吨标准煤的 32%，占情景 3 全部煤炭消费减少量 7.43 亿吨标准煤的 16.6%。

通过增加非化石燃料和天然气发电，将能够减少二氧化硫排放 336 万吨，相当于 1998 年能源转换部门二氧化硫总排放的三分之一，占情景 3 比情景 1 能源转换部门 2020 年二氧化硫总排放减少量 1517 万吨的 22.12%。2020 年，情景 3 的天然气热电联产装机为 2000 万千瓦，比情景 1 增加了 2 倍，天然气热电联产装机占全部热电联产装机的六分之一。天然气集中供热锅炉占全部供热锅炉的三分之一。增加天然气热电联产和锅炉供热，将可以分别替代 1796 万吨标准煤的发电煤炭消费和 1456 万吨标准煤的供热煤炭消费，占情景 3 比情景 1 能源转换部门煤炭总消费减少量 3.86 亿吨

标准煤的 8.17%。增加天然气供热可以使二氧化硫排放降低 66 万吨，占情景 3 比情景 1 能源转换部门 2020 年二氧化硫总排放减少量的 4.33%。

非化石燃料发电和用天然气替代煤炭，2020 年情景 3 的能源转换部门可以比情景 1 减少二氧化碳排放共 3.94 亿吨，相当于 1998 年能源转换部门二氧化碳总排放的 35%，占情景 3 能源转换部门二氧化碳排放减少量 10.51 亿吨的 37%。

(9) 提高煤炭利用效率的作用

随着电力需求的增加，新建大型火电占火电总装机的比例不断增加，同时通过淘汰小机组和对已建成的机组进行节能技术改造，火电的平均发电效率在未来 20 年内将可以不断提高，2020 年发电煤耗要求比 1998 年降低 20%。在情景 1，情景 2 中，2020 年燃煤火电机组的平均煤耗为 315.7gce/kWh 和 316.12gce/kWh。情景 3 要求在 2020 年前对全部现存的 20 万千瓦以下的燃煤机组进行更新或改造为热电联产机组，并加快先进的洁净煤发电技术建设速度。2020 年情景 3 的燃煤火电机组的平均煤耗可比前两个情景减少 2gce/kWh 以上。通过采取各种节能措施，2020 年集中供热效率将比 1998 年提高 15 个百分点以上（参见表 7-40）。

表 7-40 三个情景的燃煤发电机组平均发电煤耗 (gce/kWh)

	1998	2010	2020
情景 1	400.14	336.77	315.70
情景 2	400.14	336.96	316.12
情景 3	400.14	339.66	313.45

如果与 1998 年的燃煤机组平均发电煤耗相比，2020 年情景 1、情景 2 和情景 3 可以分别减少发电煤炭消费 2.05 亿吨标准煤、1.72 亿吨标准煤和 1.05 亿吨标准煤，相当于 1998 年发电煤炭总消费量的 68.3%、57.3%和 43.8%。

与 1998 年的供热锅炉效率相比，2020 年情景 1、情景 2 和情景 3 可以分别减少发电煤炭消费 7755 万吨标准煤，4727 万吨标准煤和 455 万吨标准煤，相当于 1998 年供热煤炭总消费量的 2 倍多，1.13 倍和 12%。

由于情景 3 的火电平均发电煤耗在 2020 比情景 1 低 2.24gce/kWh，与情景 1 相比，2020 年情景 3 则可以减少发电煤炭消费 364 万吨，减少二氧化硫排放 7.98 万吨和减少二氧化碳排放 992 万吨，分别占情景 3 能源转换部门二氧化硫排放总减少量的 0.53%和二氧化碳排放总减少量的 0.94%。

热电联产是提高发电部门煤炭使用效率的非常有效的途径。在情景 3 中，2020 年燃煤热电联产的装机容量为 1 亿千瓦，比情景 1 增加了 3000 万千瓦。增加燃煤热电联产将能够减少煤炭消费 2512 万吨标准煤，减少燃煤的二氧化硫排放 114.6 万吨，分别占情景 3 中能源转换部门煤炭总消费减少量的 7.47% 和二氧化硫排放总减少量的 8.09%。通过增加热电联产，可以使情景 3 比情景 1 减少二氧化碳排放 7858 万吨，占情景 3 能源转换部门二氧化碳排放减少量的 7.47%。

7.2.4.2 主要发现和结论

(1) (1) 终端用户的节能将对降低能源转换部门的能源消费起着决定性的作用。

目前中国电力消费水平还很低。随着经济的高速发展和人民生活水平的迅速改善，未来对优质能源需求的增长将高于能源总需求的增长，电力供应将会成为满足对优质能源需求的主要选择之一。

未来电力需求将会保持较高速增长的趋势，电力在终端能源消费结构中的比例将不断增加。为了满足终端消费部门对电力需求的增长，发电部门的能源消费不可避免地要大量增加。在终端部门采用先进的工艺过程和推广高效节能设备，降低终端电力需求和热力需求的增长速度，将会对减少发电和供热部门的能源消费乃至全国一次能源总消费起到非常重要的作用。

2020 年情景 3 比情景 1 的电力消费降低了 8%，集中供热负荷降低了 45%，使情景 3 的比情景 1 能源转换部门减少了 2 亿多吨标准煤的一次能源消费，占情景 3 能源转换部门一次能源消费减少总量的近 3.88 亿吨标准煤的能源消费的一半以上。因终端电力需求和热力需求降低而产生的节能量占情景 3 比情景 1 全国能源总消费减少量的四分之一。

(2) 中国电力部门的可持续发展应以减少煤炭燃烧的环境污染为核心，发展非化石燃料发电是能源可持续发展战略的重要组成部分。

从发电能源的可获得性来看，煤炭将是我国发电的最主要的一次能源。大量使用煤炭将对生态环境造成严重的威胁。电力部门的可持续发展应以减少发电煤炭消费和降低燃煤火电的环境污染为核心。

优化发电能源结构，对推动电力部门可持续发展具有重要作用。通过增加非化石燃料发电替代燃煤发电是减少二氧化硫排放的非常有效的措施，更是减少二氧化碳排

放最为有效的措施。

然而由于非化石燃料发电所存在的资源和其他条件的限制，在中国不能靠某种最有效的技术来解决电力部门的可持续发展问题，中国电力部门的可持续发展必须包括多种技术选择。

水电是可再生的清洁能源。加快水电资源开发，符合为电力可持续发展的努力目标。中国水力发电资源丰富，目前开发利用比较低，未来发展潜力比较大。西部开发和“西电东送”，为加快开发水电提供了机遇。未来 20 年如果水电能够稳定地快速发展，将可能使水电开发率由目前的 20% 增加到 2020 年达到 40%~60%，使水电在全国发电总量中所占比例维持或高于目前的水平。为保障水电稳定快速的发展，需要消除水电开发中现存的各种体制障碍，改善水电的投融资机制和跨地区管理，调动水电送受两端的地方参与的积极性。

加强电网建设是加速水电开发的必要条件。为了克服水电资源丰富地区当地电力负荷不足和我国水电资源季节性变化较大等不利条件的限制，不仅要建设较强的水电输电线路，还需要建设比较强的全国联网，实行水电的跨流域补偿和跨地区的水火电补偿。

核能是世界范围内可用于大规模替代化石燃料发电的主要能源。目前国际上对发展核电的看法不同，欧美一些国家正在逐步关闭核电站，而亚洲一些国家还在建设核电站。从技术上说，核电是一种可靠的清洁的能源，核电的安全性已经达到很高的水平，核废料的处理也可以得到比较妥善的解决。从我国的国情出发，适当发展核电将有助于能源的可持续发展。在我国发展核电是减少对燃煤火电的依赖、缓解某些地区发电能源短缺、减少二氧化硫和二氧化碳排放的重要措施，也是保障中国能源长期安全供应的重要措施。

如果要使在 2020 年核电的装机容量能够达到 3200 万千瓦以上，核电发电量占全国发电量的比例达到 4% 以上，将需要在 2010 年前后开始每年投产 2 台以上的 100 万千瓦的核电机组。从目前核电发展的情况来看，国内核电设计制造的技术水平和能力与核电发展的潜在需求相差甚远。为了使核电对我国电力可持续发展发挥出应有的作用，迫切需要尽快根据经济性和安全性的选择，确定核电发展的技术方向及长期稳定的发展战略和规划，通过引进技术和国产化尽快使核电制造产业达到经济规模，提

高核电的成本竞争能力。

因地制宜地促进可再生能源发电，将有助于减轻我国对燃煤发电的依赖。可再生能源中，风力发电技术比较成熟，将得到很快的发展。但目前风力发电的基点非常低，即使能以很高的速度发展，在全国总发电量中所占的比例仍然很小。

其它可再生能源，如太阳能、生物质发电等等受能源密度小、转换效率低、发电成本高等因素限制，中期内仍将处于改进和技术完善中，并将首先在电网难以供电的有限地区优先得到应用，还难以与常规发电方式竞争并得到大规模的商业应用。

未来二十年，可再生能源发电将在一些地区起到重要的作用，但对于满足全国巨大的电力需求来说，可再生能源发电所能起的作用将非常有限。

(3) 发展天然气发电需要充分考虑资源不足/不确定的问题，对天然气发电作出合理的安排。

用天然气替代煤炭发电，能够大幅度减少发电的污染物排放，同时能够明显地提高发电燃料的转换效率。然而由于中国天然气资源相对不足，在中国发展天然气发电，不仅要考虑发电的环境和效率，还要必须考虑全国环境保护和能源资源合理利用的问题。目前中国的天然气基础比较薄弱，为了推动上中游天然气开发和天然气基础管网的建设，为天然气发展提供必须的下游用户，发展一定量的天然气发电是十分必要的。

从能源利用效率的角度来看，天然气作为优质能源，应尽可能多地直接用于终端消费，而不是进行能源转换。从环境保护的角度来看，与控制中小型燃煤锅炉或窑炉的污染排放相比，控制燃煤火电厂的污染排放不仅技术容易实现，而且成本相对较低。如果用天然气替代煤炭来作为大量中小型工业锅炉和窑炉的燃料，将更有利于在全国范围内以相对较低的成本达到较高水平的污染排放控制。

从电力系统中各种发电资源和技术合理配置的角度看，天然气发电具有投资成本低而燃料成本高、起停时间短和起停费用低等特点，天然气发电比较适合于作为调峰电站。但从提高效率和降低成本的角度，更能充分利用好有限的天然气资源的方式是利用天然气联合循环机组进行热电联产和热电冷多联产。目前小型燃气轮机联合循环发电和大型燃气轮机联合循环发电的效率已经比较接近，小型燃气轮机联合循环发电和热电联产可以更少受到厂址选择的限制，可以建设在离负荷很近的地点，降低供热管网的建设投资和供热损耗。因此，在利用天然气发电时，不仅要考虑大中型天然气联

合循环热电联产，更应高度重视分散的小型天然气联合循环热电联产或热电冷联产，促进天然气联合循环热电联产的更普遍应用。

从中期来看，天然气供应和终端部门对天然气的需求都存在着很大的不确定性，使得未来天然气发电也有很大的不确定性。即使根据目前对天然气可供量的比较乐观的估计，天然气发电对于改善发电的能源结构和污染排放，所能起的作用也比较有限。

(4) 来煤炭仍将是中国最主要的发电能源，必须加强各种措施来提高发电的煤炭利用效率和减少燃煤的污染排放，迫切需要采取有效措施来克服目前在高耗能机组退役、发展燃煤电厂脱硫和热电联产方面存在的障碍。

在世界范围内，发电仍然将是未来煤炭利用的最主要途径。今后随着逐步煤炭退出一些目前的使用领域，发电使用的煤炭在煤炭总消费中的比例将会越来越高。未来二十年，即使在其它各种替代能源发电基本达到上限的情况下，煤炭也仍将是中国最重要的发电能源。燃煤发电（包括热电联产）的发电量将基本保持占全国总发电量的70%。高效清洁地利用煤炭应是电力部门可持续发展的最重要的组成部分。

近几年，小火电机组退役对于提高全国的火电发电效率起到了重要的作用。目前还有相当数量的属于地方和乡镇的小火电机组在运行。应该在充分考虑发电成本、环境、兼顾小火电投资者和电力用户利益的前提下，制定妥善的政策促进小火电机组和能耗高的火电机组逐步退役。

由于体制方面的原因，过去电力部门一直比较重视大型热电联产的发展，对发展中小型热电联产重视不够。尽管政府已经出台了一系列的政策，把优先发展热电联产集中供热作为产业政策确定了下来。但在实际中，非发电企业的自建的热电联产或供热锅炉改造的小型热电联产在上网等方面仍存在一些障碍。

今后应结合电力体制改革，从全社会的节能效益和环境保护效益着眼，在积极发展大中型热电联产机组同时，还应采取切实有效的措施大力支持工业企业的废气和余热发电和鼓励具有一定规模的供热锅炉改造为上网的热电联产机组，加快热电联产的发展。并在条件允许时，应鼓励分散的热电联产适度集中，以达到规模效益。

在中期内，要解决燃煤发电的二氧化硫排放，必须解决燃煤电厂的脱硫问题。最近十年，我国燃煤电厂脱硫取得了一定的进展，但进展比较缓慢。目前，燃煤电厂脱硫的主要障碍已不是在技术上，而是缺少有效的推动机制。为了避免二氧化硫排放随

着火电装机和发电增加而增加，必须制定和采用更为严格的火电厂二氧化硫排放标准和实施有效的管理机制，在中期和远期逐步过渡到广泛地强制采用脱硫技术。

鉴于燃煤火电在中国未来电力发展中的重要地位，发展高效燃煤发电技术和洁净煤发电技术是迫切需要的。需要研究开发的技术包括：大容量循环流化床发电锅炉；超临界及超超临界的汽轮发电机组；增压流化床联合循环发电技术；整体煤气化联合循环发电技术。尽管 2010 年前这些技术也许不会产生出显著的节能效益，但从长远着眼，必须尽可能加快这些技术的研究开发工作。

第八章 思考和探索

“中国可持续发展能源暨碳排放情景分析”通过分析 2020 年前社会经济的发展，各产业和人民生活对终端能源提出的需求，进而分析满足这些终端需求的能源相关技术，同时分析一次能源的结构变化，从而得到今后 20 年的能源需求和供应情景。在整个分析过程中，可持续发展是构建社会经济和能源发展情景的主线。在这次情景分析报告一段落时，课题组越发感到我们对可持续发展问题的探讨，包括对可持续发展能源问题的探讨，仍处于十分初级的阶段。

可持续的能源发展包含着两个不同层次的可持续发展问题。第一个层次是能源系统本身的可持续发展问题。这个层次讨论的是在给定的能源终端需求条件下如何以可持续的方式提供能源服务的问题。其中主要包括对各种能源资源的高效、合理、综合的开发和利用，以使能源资源系统能永续地提供所需的能源供应；同时还包括对能源供应和消费过程中的相关环境影响的防治和处理问题，以保持相关环境的可持续性。第二个层次的可持续发展能源问题则涉及对能源终端需求合理性的讨论。在资源稀缺，而现有市场经济和国际经济秩序又不能解决贫富间资源的公平分配问题，同时许多资源环境的外部性难以反映到市场价格系统中来的时候，能源终端需求合理性的讨论逐渐吸引了越来越多的注意力。在这个层次上，能源发展涉及到了社会经济发展本身的可持续性问题。

传统的能源经济学侧重于能源供应的经济性问题。以最小的成本，提供最可靠的能源供应和方便舒适的能源服务，仍是目前能源战略考虑的核心目标。追求供应成本最小化，可以推动在市场价格基础上的能源资源最优化和提高能效。能源供应的可靠性已经把能源安全考虑在内。方便舒适的能源服务则考虑了不同能源品种的质量差别。有人认为在市场经济条件下，似乎完全不用考虑能源需求的合理性。供需平衡将由价格进行调整。资源稀缺意味着资源性能源价格不断提高，使需求减少，或推动不同的能源品种替代。技术的进步往往可以大大地增加稀缺资源的可供性，缓解资源的稀缺性，或使新的能源资源品种成为可以利用的现实能源。另一方面，技术发展也提供了解决和能源相关的本地和区域环境问题的手段。酸雨和城市大气污染在发达国家已经得到了有效控制。发展中国家的环境问题好像只是时间和发达水平的问题，只要发展到了一定的水平，环境问题自然有人关注，也有了经济实力对环境投入。人们似乎用不着为能源的可持续问题担忧。

然而，当我们环顾世界，对发展中国家和发达国家的能源消费进行比较时，问题就变得复杂多了。世界上占人口总数不到 20% 的发达国家，使用了世界上 70% 的能源。发达国家人均能源消费是大多数发展中国家人均能源消费的十几倍甚至是几十倍。世界的能源供需平衡，是建立在大多数人没有经济能力消费能源的基础之上的。

对发达国家来讲，不存在能源资源稀缺或供应短缺问题。美国人均能源消费是中国人均消费的十倍，但其人均 GDP 是中国的二十好几倍。能源成本在发达国家的经济总量中所占的比例比发展中国家要低得多。市场竞争使发达国家的工业能耗已经降到较低的水平，而用于直接消费的能源则持续上升。发达国家的交通和建筑物用能已经占全部用能的三分之二。其中，家庭轿车用能的比例仍在上升。国际上研究汽车能耗的著名专家发现，小汽车单位里程油耗的下降，并没有带来发达国家交通用油总量的下降。效率提高的节油效果，被人们追求更大更快更舒适的汽车和更多的出行所抵消。经济全球化首先是资源的全球化，也就是说，资源将向富国进一步流淌。以美国为代表的能源经济效率学派，强调的是单位能源消费得到的经济增加值最大化，而并不关心能源消费内容本身。发达国家力图维持的国际经济秩序，就是强国富国可以买到各种资源的秩序。为了这种秩序，不惜动用武力。

对于发展中国家，情况就不一样了。绝大多数发展中国家还在贫困中挣扎。由于种种原因，经济起飞对这些国家可能还是很遥远的事情。少数后发国家取得了发展经济的显著成绩，进入了富国行列，但多是人口少的小国，没有改变世界能源平衡的大局。真正的人口大国中，印度还在工业化的起点，基础工业还没有规模。商品能源消费还停留在很低的水平，总量有限。只有中国已经到了选择能源前景的关键时刻。中国已经建立起来了强大的基础工业，许多基础原材料产量已经位于世界前列，有些重要的基础产品，如钢铁，水泥，产量已远远超过任何发达国家的水平。中国的能源消费总量已是世界第二，几乎相当于目前其他所有发展中国家能源消费的总和，而在 20 年里可能达到世界第一。中国能源发展的态势，对世界能源供需平衡已经有重大影响，今后这种影响将进一步扩大。如果中国照搬发达国家已有的经济发展和能源消费的道路，那怕是发达国家中能源效率最高或人均能耗最低的国家的能源消费道路，都将彻底改变世界能源资源分配的格局。中国一国消费的能源，将可能比其他所有发达国家的总和还多。

我们期望实现中等发达的时间离今天只有 50 年左右。回顾历史，就能源资源和

技术发展过程来看，50 年并不是一个很长的时间。从世界能源资源利用看来，过去 50 年内，唯一从无到有并在能源结构中起到相当作用的只有核电。许多人们今天称为新能源的能源资源如风能太阳能等，实际上已经有了几十年以上的历史，但仍然没有形成有效的规模。因此今后 50 年能源能否可以产生奇迹性的变化，并不容乐观。在这个意义上讲，如果中国真的想要走发达国家已经走过的能源道路，就必须考虑到打破世界能源平衡格局，重新分配能源资源的问题，否则就必须解决能源资源的成倍扩张问题。而这种重新分配和资源的巨大扩张将引起的地缘政治问题，将大大突破能源经济问题的界线。

在我们已经完成的能源情景分析中，只分析了 2020 年以前中国的能源需求问题。尽管这些情景都已经属于可持续发展的范围，不同的情景仍然具有较大的差别。情景分析结果中，2020 年一次能源需求在 23.2 到 31 亿吨标煤当量左右。我们也已了解到，即使能够实现其中低限的能源情景，对石油，天然气，水电，核电，风电要求达到的增长量都已经是目前可以想象的上限或超出上限。煤炭也需要十分显著的增加。如果按 31 亿吨标煤当量的情景，则煤炭的增加将要大大超出人们现有的认识界线。然而，真正的挑战并不是 2020 年的问题。2020 年只是我们建设现代化中国的一个中间站。到了 2020 年以后，我国的经济增长尽管可能难以继续维持每十年增长一倍的速度，但比较高的增长速度仍然是达到中等发达水平之必须。2020 年我国人均 GDP 将达到 3000 美元以上，但离当今发达国家平均 20000 美元还有很大的差距。在 2020 年基本实现工业化的同时，仍有 40% 以上人口生活在农村并以农业为基本生计。进一步的经济增长仍将是事实。然而令人担忧的是，在已经进行的情景分析中，我们并没有看到 2020 年时能源增长的趋势将出现显著的变化。目前我们还不能回答 2020 年以后能源将怎么办的问题。在 2020 年以后的能源增长几乎将完全超出我们现在可以想见的技术和资源界线。而我们并没有为 2020 年以后怎么办设想出什么好的选择。

除了能源资源问题以外，全球性的环境问题也将愈发严峻。我们今天可以理直气壮地坚持对减少全球温室气体的排放不承担任何具体的减排或限排义务。但是，十年，二十年以后情况必然有显著的变化。一种可能是全球变暖的现象和不良后果逐渐凸现，对全球温室气体排放的限制要求进一步强化，中国将有必要提前做出反应。另一种可能是，由于未来中国的能源消费总量和温室气体排放都成为世界之最，受到的国际压力也将与时俱增，国际环境问题直接成为我国政治经济外交的重大不利因素，直接影

响到我国的对外贸易和经济交往。全球环境问题将不可避免地成为我国能源可持续发展的重要制约因素，必须认真考虑。

能源仅仅是社会经济生活的一个有机构成。能源生产和消费一方面是 GDP 增长的组成成分，另一方面也是其他社会经济活动的重要物质基础。有什么样的社会经济生活结构和水平，就有相应的能源消费结构和水平。在一个崇尚消费的社会里，很难形成对能源资源的忧患意识。如果社会给人们树立的目标是带家庭泳池的花园豪宅，是私人飞机和游艇，是周游世界甚至出游外空，那么未来相应的能源消费将不会和目前发达国家的格局相差太远。如果中国以美国富人式的消费方式为目标，则很难实现最大多数人共同富裕的目标。实际世界上，也包括在美国内部，贫富差距仍在不断扩大。这种豪华消费，只可能维持在少数人享有的基础之上。然而对什么样的消费才是符合我国国情的消费，人们还缺乏必要的分析和共识。尽管我国的人均 GDP 只有 1000 美元，但 888 万元一辆的小汽车，占地数千平米的泳池豪宅已经成为媒体和商业广告炒作的宠儿。高关税曾经保护了国内落后的汽车生产业，也起到了限制家庭小汽车发展的作用。但汽车的高价位同时有力地刺激了各地生产汽车的积极性，汽车已经成为几乎所有重要地区的经济增长热点。巨大的投入形成了不断扩张的生产能力，汽车降价又成为业内持久的话题，中国家庭小汽车的快速增长已经具有了自我推动的能力。人们在认真讨论生产结构调整和可持续发展问题的时候，对我国社会消费今后发展趋势的合理化方向却少有涉及，不能不算是一种遗憾。

我们在进行可持续发展能源情景分析时，对工业用能和能源转换部门提高效率，调整能源结构，改善环境影响，有比较明确的取向。力图体现符合中国国情的可持续发展方向。对交通用能的考虑，也尽可能地设想了鼓励公共交通和轨道交通的情景。建筑物用能的需求假设，还是在小康的范围而不是奢华。但是，这些假设并不是目前发展趋势的自然外推。情景的实现，首先要求社会，政府，方方面面对中国可持续发展的必要性和目标前景有共识。否则这些情景哪个都不会自然而然地实现。

若各方能在中国实现可持续社会经济发展，包括能源发展的方向和具体目标上取得基本一致的看法，在政策的具体取向方面才有可能取得共识。需要继续探讨的问题应该包括：

1. 中国社会经济可持续发展道路在产业结构，增长方式，消费目标模式等方面如何具体体现？新型工业化道路和可持续发展的之间的一致性如何体现？市场驱

动的力量和人们通过主观认识的选择如何协调？

2. 中国的清洁高效能源出路究竟是什么？能源结构调整的最优模式如何确定？能源成本最小化和能源环境影响最小化的有机结合如何体现？

3. 国内外历史经验已经说明，能源效率的提高不能仅仅依靠市场力量的效果，加强节能必须加强政府和全社会的定向干预。中国在进一步完善市场经济体制的同时，如何加强节能组织管理，加强对全社会节能工作的领导？

附录 A1 情景计算结果综述

A1.1 能源消费总量

A1.1.1 终端能源消费

表 A1-1 终端能源消费量 (Mtce)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020	1998~2010	2010~2020
S1	1077.2	1177.9	1430.3	1707.2	2059.0	2414.2	3.74%	3.91%	3.53%
S2	1077.2	1166.9	1374.0	1592.3	1877.2	2147.8	3.19%	3.31%	3.04%
S3	1077.2	1154.7	1312.8	1460.8	1659.5	1819.3	2.41%	2.57%	2.22%

A1.1.2 能源消费总量

(1) 能源消费总量

表 A1-2 能源消费总量 (Mtce)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020	1998~2010	2010~2020
S1	1368.0	1474.5	1807.6	2169.1	2641.4	3100.2	3.79%	3.92%	3.64%
S2	1368.0	1462.2	1741.2	2033.5	2408.3	2761.8	3.24%	3.36%	3.11%
S3	1368.0	1448.1	1671.0	1860.3	2126.4	2318.7	2.43%	2.59%	2.23%

(8) 能源消费弹性系数

表 A1-3 能源消费弹性系数

	1998~2020	1998~2010	2010~2020
S1	0.541	0.535	0.543
S2	0.464	0.459	0.464
S3	0.347	0.354	0.332

(9) 人均能源消费水平

表 A1-4 人均能源消费水平 (tce/人)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
S1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.97%
S2	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.48%
S3	1.1	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.75%

A1.2 能源消费品种构成

A1.2.1 终端能源消费品种

表 A1-5 终端能源品种构成

情景	品种	终端能源品种消费量 (Mtce)			年均增长率	终端能源品种构成		
		1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	煤	634.7	832.3	958	1.9%	58.9%	48.8%	39.7%
	油	245.8	447.5	722.9	5.0%	22.8%	26.2%	29.9%
	气	19	59.1	133.4	9.3%	1.8%	3.5%	5.5%
	热	52.5	113	194.7	6.1%	4.9%	6.6%	8.1%
	电	125.2	255.3	405.2	5.5%	11.6%	15.0%	16.8%
	总计	1077.2	1707.2	2414.2	3.7%	1077.2	1707.2	2414.2
S2	煤	634.7	730.7	730.8	0.6%	58.9%	45.9%	34.0%
	油	245.8	427.1	664.1	4.6%	22.8%	26.8%	30.9%
	气	19	77.4	184.3	10.9%	1.8%	4.9%	8.6%
	热	52.5	102.3	169.9	5.5%	4.9%	6.4%	7.9%
	电	125.2	254.8	398.5	5.4%	11.6%	16.0%	18.6%
	总计	1077.2	1592.3	2147.6	3.2%	1077.2	1592.3	2147.6
S3	煤	634.7	649.2	592.1	-0.3%	58.9%	44.4%	32.6%
	油	245.8	399.6	550.9	3.7%	22.8%	27.4%	30.3%
	气	19.0	78.5	187.7	11.0%	1.8%	5.4%	10.3%
	热	52.5	86.6	116.0	3.7%	4.9%	5.9%	6.4%
	电	125.2	246.7	372.3	5.1%	11.6%	16.9%	20.5%
	总计	1077.2	1460.6	1819.0	2.4%	1077.2	1460.6	1819

A1.2.2 能源消费总量及品种构成

表 A1-6 能源消费总量和品种构成

情景	品种	能源消费量(Mtce)			年均增长率	品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤	1030.9	1509.4	2007.9	3.1%	75.4%	69.6%	64.8%
	油	281.4	471.5	752.4	4.6%	20.6%	21.7%	24.3%
	气	19	80.4	155.4	10.0%	1.4%	3.7%	5.0%
	一次电力	36.6	107.8	184.6	7.6%	2.7%	5.0%	6.0%
	总计	1367.9	2169.1	3100.3	3.8%	1367.9	2169.1	3100.3
S2	煤	1030.9	1367.6	1648.3	2.2%	75.4%	67.3%	59.7%
	油	281.4	449.7	690.2	4.2%	20.6%	22.1%	25.0%
	气	19	106.7	225.1	11.9%	1.4%	5.2%	8.2%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

一次电力	36.6	109.5	198.2	8.0%	2.7%	5.4%	7.2%
总计	1367.9	2033.5	2761.8	3.2%	1367.9	2033.5	2761.8
S3 煤	1030.9	1193.3	1261	0.9%	75.4%	64.1%	54.4%
油	281.4	420	573.3	3.3%	20.6%	22.6%	24.7%
气	19	129.6	248.5	12.4%	1.4%	7.0%	10.7%
一次电力	36.6	117.4	235.8	8.8%	2.7%	6.3%	10.2%
总计	1367.9	1860.3	2318.6	2.4%	1367.9	1860.3	2318.6

A1.2.3 能源品种消费的部门构成

(1) 天然气*

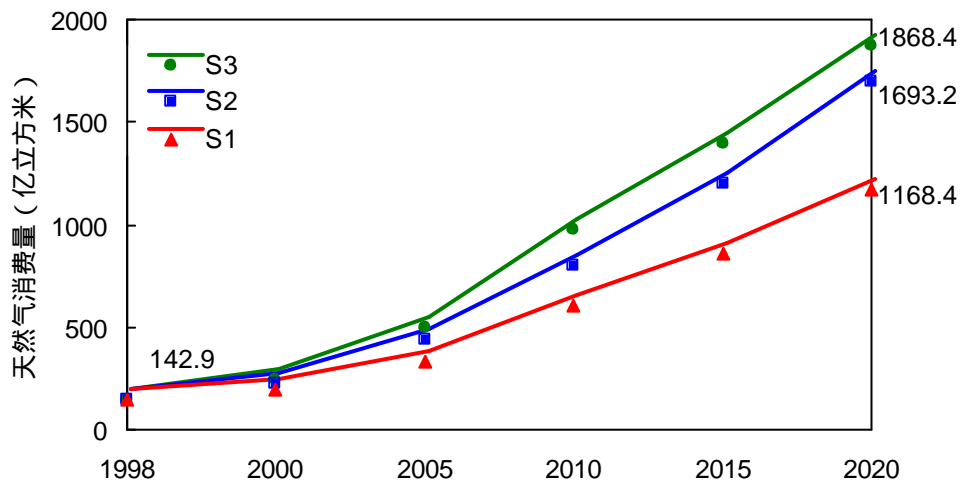


图 A1-1 天然气消费量

表 A1-7 天然气消费部门构成

情景	部门	天然气消费量 (亿 m ³)			年均增长率 1998~2020	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	农业	0.0	0.0	0.0	-	0.0%	0.0%	0.0%
	建筑业	0.0	0.0	0.8	-	0.0%	0.0%	0.1%
	工业	117.3	197.0	279.7	4.0%	82.1%	44.4%	27.9%
	交通	0.8	4.5	16.5	15.1%	0.5%	1.0%	1.6%
	商用	7.5	76.7	276.7	17.8%	5.3%	17.3%	27.6%
	民用	17.3	165.4	430.1	15.7%	12.1%	37.3%	42.8%
终端部门总计		142.9	443.6	1003.8	9.3%	142.9	443.6	1003.8

* 按照 1 立方米天然气=9310 kcal 计算。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

	热电联产	0.0	11.3	50.4	-	-	7.1%	30.5%
	发电	0.0	148.1	115.0	-	-	92.9%	69.5%
	供热	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0%	0.0%
	加工转换部门总计	0.0	159.4	165.4	-	0.0	159.4	165.4
S2	农业	0.0	0.0	0.0	-	0.0%	0.0%	0.0%
	建筑业	0.0	0.0	0.8	-	0.0%	0.0%	0.1%
	工业	117.3	239.8	378.2	5.5%	82.1%	41.3%	27.3%
	交通	0.8	4.5	19.5	16.0%	0.5%	0.8%	1.4%
	商用	7.5	96.2	330.1	18.8%	5.3%	16.6%	23.8%
	民用	17.3	240.6	657.1	18.0%	12.1%	41.4%	47.4%
	终端部门总计	142.9	581.2	1385.7	10.9%	142.9	581.2	1385.7
	热电联产	0.0	69.2	101.5	-	-	31.5%	33.0%
	发电	0.0	150.4	206.0	-	-	68.5%	67.0%
	供热	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0%	0.0%
	加工转换部门总计	0.0	219.5	307.5	-	0.0	219.5	307.5
S3	农业	0.0	0.0	0.0	-	0.0%	0.0%	0.0%
	建筑业	0.0	0.0	0.8	-	0.0%	0.0%	0.1%
	工业	117.3	278.9	454.1	6.3%	82.1%	47.3%	32.2%
	交通	0.8	6.0	14.3	14.3%	0.5%	1.0%	1.0%
	商用	7.5	107.5	328.6	18.7%	5.3%	18.2%	23.3%
	民用	17.3	197.7	614.3	17.6%	12.1%	33.5%	43.5%
	终端部门总计	142.9	590.2	1412.0	11.0%	142.9	590.2	1412.0
	热电联产	0.0	92.5	202.3	-	-	24.1%	44.2%
	发电	0.0	245.9	229.3	-	-	64.1%	50.2%
	供热	0.0	45.1	25.6	-	-	11.8%	5.6%
	加工转换部门总计	0.0	383.5	457.1	-	0.0	383.5	457.1

(10) 电力

表 A1-8 电力消费部门构成

情景	部门	电力消费量 (TWh)			年均增长率	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	农业	62.3	86.1	133.5	3.5%	6.1%	4.1%	4.0%
	建筑业	18.9	36.6	57.4	5.2%	1.9%	1.8%	1.7%
	工业	673.4	1207.5	1701.4	4.3%	66.1%	58.1%	51.6%
	交通	25.5	58.8	93.7	6.1%	2.5%	2.8%	2.8%
	商用	99.5	277.3	549.1	8.1%	9.8%	13.3%	16.6%
	民用	139.7	412	764	8.0%	13.7%	19.8%	23.2%
	总计	1019.3	2078.3	3299.1	5.5%	1019.3	2078.3	3299.1
S2	农业	62.3	86.1	133.5	3.5%	6.1%	4.2%	4.1%
	建筑业	18.9	36.6	57.4	5.2%	1.9%	1.8%	1.8%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

	工业	673.4	1200.1	1641.2	4.1%	66.1%	57.9%	50.6%
	交通	25.5	59.1	97.2	6.3%	2.5%	2.8%	3.0%
	商用	99.5	251.4	482	7.4%	9.8%	12.1%	14.9%
	民用	139.7	440.7	832.7	8.5%	13.7%	21.2%	25.7%
	总计	1019.3	2074	3244	5.4%	1019.3	2074	3244
S3	农业	62.3	86.1	133.5	3.5%	6.1%	4.3%	4.4%
	建筑业	18.9	36.6	57.4	5.2%	1.9%	1.8%	1.9%
	工业	673.4	1114.5	1424.3	3.5%	66.1%	55.5%	47.0%
	交通	25.5	58.8	96.5	6.2%	2.5%	2.9%	3.2%
	商用	99.5	228.7	374.2	6.2%	9.8%	11.4%	12.3%
	民用	139.7	483.9	944.8	9.1%	13.7%	24.1%	31.2%
	总计	1019.3	2008.6	3030.7	5.1%	1019.3	2008.6	3030.7

表 A1-9 居民年人均电力消费量 (kWh/人.年)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
S1	111.9	145.5	244.8	353.7	494.3	653.8	8.35%
S2	111.9	140.9	225.4	319.8	433.8	566.5	7.65%
S3	111.9	145.5	244.8	353.7	494.3	653.8	8.35%

(11) 煤炭

表 A1-10 煤炭消费部门构成

情景	部门	煤炭消费量 (Mtce)			年均增长率	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	终端部门	634.7	832.3	958	1.9%	61.6%	55.1%	47.7%
	加工转换部门	396.2	677.1	1049.9	4.5%	38.4%	44.9%	52.3%
	总计	1030.9	1509.4	2007.9	3.1%	1030.9	1509.4	2007.9
S2	终端部门	634.7	730.7	730.8	0.6%	61.6%	53.4%	44.3%
	加工转换部门	396.2	636.9	917.5	3.9%	38.4%	46.6%	55.7%
	总计	1030.9	1367.6	1648.3	2.2%	1030.9	1367.6	1648.3
S3	终端部门	634.7	649.2	592.1	-0.3%	61.6%	54.4%	47.0%
	加工转换部门	396.2	544.1	668.9	2.4%	38.4%	45.6%	53.0%
	总计	1030.9	1193.3	1261	0.9%	1030.9	1193.3	1261

(12) 石油

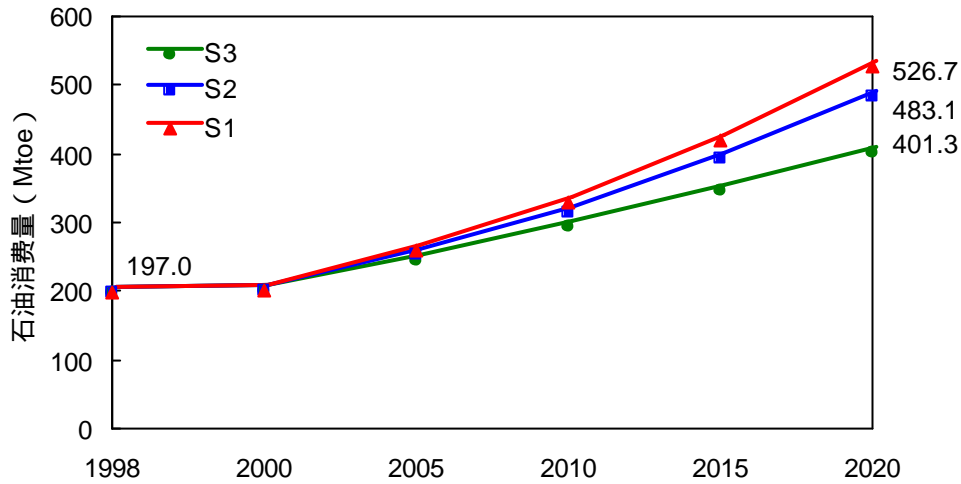


图 A1-2 石油消费量

A1.3 能源消费部门构成

A1.3.1 能源消费部门构成*

(1) 按照终端能源 (等热值计算)

表 A1-11 终端能源消费部门构成

情景	部门	终端能源消费量 (Mtce)			年均增长率	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	产业	782.9	1077	1341	2.48%	72.7%	63.1%	55.5%
	交通	112.6	237.3	433	6.31%	10.5%	13.9%	17.9%
	建筑	181.7	392.9	640.3	5.89%	16.9%	23.0%	26.5%
	总计	1077.2	1707.2	2414.3	3.74%	1077.2	1707.2	2414.3
S2	产业	782.9	1013.2	1196.5	1.95%	72.7%	63.6%	55.7%
	交通	112.6	223.6	394.4	5.86%	10.5%	14.0%	18.4%
	建筑	181.7	355.6	557	5.22%	16.9%	22.3%	25.9%
	总计	1077.2	1592.4	2147.9	3.19%	1077.2	1592.4	2147.9
S3	产业	782.9	942	1048	1.33%	72.7%	64.5%	57.6%
	交通	112.6	201.1	305.6	4.64%	10.5%	13.8%	16.8%

* 本章中与交通部门和建筑部门并列的产业部门是指工业、农业和建筑业部门。

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

建筑	181.7	317.6	465.6	4.37%	16.9%	21.7%	25.6%
总计	1077.2	1460.7	1819.2	2.41%	1077.2	1460.7	1819.2

(13) 按照能源消费量

表 A1-12 能源消费部门构成

情景	部门	能源消费量 (Mtce)			年均增长率	部门构成		
		1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	产业	1003.2	1380.3	1746.3	2.55%	72.5%	62.7%	55.5%
	交通	119.4	249.5	451.9	6.24%	8.6%	11.3%	14.4%
	建筑	260.9	570.7	945.5	6.03%	18.9%	25.9%	30.1%
	总计	1383.5	2200.4	3143.7	3.80%	1383.5	2200.4	3143.7
S2	产业	1003.2	1309.4	1565.2	2.04%	72.5%	63.2%	55.5%
	交通	119.4	235.8	412.6	5.80%	8.6%	11.4%	14.6%
	建筑	260.9	527.2	840.7	5.46%	18.9%	25.4%	29.8%
	总计	1383.5	2072.3	2818.4	3.29%	1383.5	2072.3	2818.4
S3	产业	1003.2	1204.2	1336.9	1.31%	72.5%	63.5%	56.5%
	交通	119.4	212.7	321.9	4.61%	8.6%	11.2%	13.6%
	建筑	260.9	478.5	708.4	4.64%	18.9%	25.2%	29.9%
	总计	1383.5	1895.4	2367.2	2.47%	1383.5	1895.4	2367.2

注：在从终端能源消费部门构成到能源消费部门构成的折算过程中，电力和热力消费仅考虑了供电效率和供热效率，而没有考虑热电联产的影响。所以，能源消费量与实际情况相比有微小的偏差（低于2%）。

A1.3.2 三大产业部门的能源消费品种*

(1) 工业

表 A1-13 工业部门终端能源消费构成

情景	部门	终端能源消费量 (Mtce)			年均增长率	部门构成		
		1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	建材	201.7	186.2	174.1	-0.67%	27.5%	18.4%	14.0%
	化工	100.7	111	121.7	0.86%	13.7%	11.0%	9.8%
	焦炭	4.1	2.9	2.7	-1.88%	0.6%	0.3%	0.2%
	采掘业	69.2	98.4	125.1	2.73%	9.4%	9.7%	10.0%
	钢铁	132.4	170.6	165.1	1.01%	18.1%	16.9%	13.3%

*按照等热值计算的终端能源消费

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

	轻工业	84	168.8	253.8	5.15%	11.5%	16.7%	20.4%
	制造业	43.6	108.9	180.5	6.67%	6.0%	10.8%	14.5%
	炼油	46.1	71.3	103.4	3.74%	6.3%	7.1%	8.3%
	造纸	21.8	35	46.8	3.53%	3.0%	3.5%	3.8%
	石化	6.7	14.2	20.8	5.28%	0.9%	1.4%	1.7%
	水、电供应	2	2.8	2.8	1.54%	0.3%	0.3%	0.2%
	有色	20.3	39.4	48.4	4.03%	2.8%	3.9%	3.9%
	总计	732.6	1009.5	1245.4	2.44%	732.6	1009.5	1245.4
S2	建材	201.7	177	160.8	-1.02%	27.5%	18.7%	14.6%
	化工	100.7	108.3	115.8	0.64%	13.7%	11.5%	10.5%
	焦炭	4.1	2.9	2.7	-1.88%	0.6%	0.3%	0.2%
	采掘业	69.2	93	113.1	2.26%	9.4%	9.8%	10.3%
	钢铁	132.4	166.4	159.8	0.86%	18.1%	17.6%	14.5%
	轻工业	84	145.3	191.5	3.82%	11.5%	15.4%	17.4%
	制造业	43.6	95.9	146.2	5.65%	6.0%	10.1%	13.3%
	炼油	46.1	71.2	103.2	3.73%	6.3%	7.5%	9.4%
	造纸	21.8	32.3	40.3	2.83%	3.0%	3.4%	3.7%
	石化	6.7	13	19.6	5.00%	0.9%	1.4%	1.8%
	水、电供应	2	2.8	2.8	1.54%	0.3%	0.3%	0.3%
	有色	20.3	37.7	45.2	3.71%	2.8%	4.0%	4.1%
	总计	732.6	945.7	1100.9	1.87%	732.6	945.7	1100.9
S3	建材	201.7	166	148.2	-1.39%	27.5%	19.0%	15.6%
	化工	100.7	105.5	110.5	0.42%	13.7%	12.1%	11.6%
	焦炭	4.1	2.9	2.7	-1.88%	0.6%	0.3%	0.3%
	采掘业	69.2	85.8	93.7	1.39%	9.4%	9.8%	9.8%
	钢铁	132.4	165.4	157.5	0.79%	18.1%	18.9%	16.5%
	轻工业	84	121.7	139.2	2.32%	11.5%	13.9%	14.6%
	制造业	43.6	76.7	97.2	3.71%	6.0%	8.8%	10.2%
	炼油	46.1	71.1	103.2	3.73%	6.3%	8.1%	10.8%
	造纸	21.8	28.3	36.9	2.42%	3.0%	3.2%	3.9%
	石化	6.7	12.4	18.1	4.62%	0.9%	1.4%	1.9%
	水、电供应	2	2.8	2.8	1.54%	0.3%	0.3%	0.3%
	有色	20.3	35.9	42.4	3.40%	2.8%	4.1%	4.5%
	总计	732.6	874.5	952.4	1.20%	732.6	874.5	952.4

表 A1-14 工业部门能源消费品种

情景	品种	能源品种消费量 (Mtce)			年均增长率	能源品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤	502.4	633.4	724.4	1.7%	68.6%	62.7%	58.2%
	油	103	154.1	206.9	3.2%	14.1%	15.3%	16.6%
	气	15.6	26.2	37.2	4.0%	2.1%	2.6%	3.0%
	热	28.8	47.5	67.9	4.0%	3.9%	4.7%	5.5%
	电	82.7	148.3	209	4.3%	11.3%	14.7%	16.8%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

	总计	732.5	1009.5	1245.4	2.4%	732.5	1009.5	1245.4
S2	煤	502.4	574.2	597	0.8%	68.6%	60.7%	54.2%
	油	103	146.7	189.4	2.8%	14.1%	15.5%	17.2%
	气	15.6	31.9	50.3	5.5%	2.1%	3.4%	4.6%
	热	28.8	45.4	62.5	3.6%	3.9%	4.8%	5.7%
	电	82.7	147.4	201.6	4.1%	11.3%	15.6%	18.3%
	总计	732.5	945.6	1100.8	1.9%	732.5	945.6	1100.8
S3	煤	502.4	523.1	499.7	0.0%	68.6%	59.8%	52.5%
	油	103	136.8	167.4	2.2%	14.1%	15.6%	17.6%
	气	15.6	37.1	60.4	6.3%	2.1%	4.2%	6.3%
	热	28.8	40.6	50	2.5%	3.9%	4.6%	5.2%
	电	82.7	136.9	175	3.5%	11.3%	15.7%	18.4%
	总计	732.5	874.5	952.5	1.2%	732.5	874.5	952.5

(14) 交通

表 A1-15 交通运输部门终端能源消费构成

情景	部门	终端能源消费量 (Mtce)			年均增长率 1998~2020	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	货运	72.2	133.3	194.2	4.60%	64.1%	66.3%	63.5%
	城间客运	16.2	35.6	62.9	6.36%	14.4%	17.7%	20.6%
	市内客运	11.4	31.4	48.6	6.81%	10.1%	15.6%	15.9%
	其它	12.8	0.8	0	-100.00%	11.4%	0.4%	0.0%
	总计	112.6	201.1	305.6	4.64%	112.6	201.1	305.6
S2	货运	72.2	146.2	236.1	5.53%	64.1%	65.4%	59.9%
	城间客运	16.2	36.9	68.5	6.77%	14.4%	16.5%	17.4%
	市内客运	11.4	38.8	89.8	9.84%	10.1%	17.4%	22.8%
	其它	12.8	1.6	0	-100.00%	11.4%	0.7%	0.0%
	总计	112.6	223.6	394.4	5.86%	112.6	223.6	394.4
S3	货运	72.2	157.9	270	6.18%	64.1%	66.5%	62.4%
	城间客运	16.2	37.3	71.1	6.95%	14.4%	15.7%	16.4%
	市内客运	11.4	39.7	91.9	9.95%	10.1%	16.7%	21.2%
	其它	12.8	2.5	0	-100.00%	11.4%	1.1%	0.0%
	总计	112.6	237.3	433	6.31%	112.6	237.3	433

表 A1-16 交通运输部门能源消费品种

情景	品种	能源品种消费量 (Mtce)			年均增长率 1998~2020	能源品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤	7.3	0	0	-100.0%	6.5%	0.0%	0.0%
	油	102.1	229.4	419.2	6.6%	90.7%	96.7%	96.8%
	气	0.1	0.6	2.2	15.1%	0.1%	0.3%	0.5%
	电	3.1	7.2	11.5	6.1%	2.8%	3.0%	2.7%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

	总计	112.6	237.2	432.9	6.3%	112.6	237.2	432.9
S2	煤	7.3	0	0	-100.0%	6.5%	0.0%	0.0%
	油	102.1	215.6	379.6	6.2%	90.7%	96.5%	96.3%
	气	0.1	0.6	2.6	16.0%	0.1%	0.3%	0.7%
	电	3.1	7.3	11.9	6.3%	2.8%	3.3%	3.0%
	总计	112.6	223.5	394.1	5.9%	112.6	223.5	394.1
S3	煤	7.3	0	0	-100.0%	6.5%	0.0%	0.0%
	油	102.1	193.1	291.8	4.9%	90.7%	96.0%	95.5%
	气	0.1	0.8	1.9	14.3%	0.1%	0.4%	0.6%
	电	3.1	7.2	11.8	6.3%	2.8%	3.6%	3.9%
	总计	112.6	201.1	305.5	4.6%	112.6	201.1	305.5

(15) 建筑

表 A1-17 建筑物能耗部门终端能源消费构成

情景	部门	终端能源消费量 (Mtce)			年均增长率	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	商用	61.5	128.8	228.1	6.14%	33.8%	32.8%	35.6%
	民用	120.2	264.1	412.2	5.76%	66.2%	67.2%	64.4%
	总计	181.7	392.9	640.2	5.89%	181.7	392.9	640.2
S2	商用	61.5	108.2	179.2	4.98%	33.8%	30.4%	32.2%
	民用	120.2	247.4	377.8	5.34%	66.2%	69.6%	67.8%
	总计	181.7	355.6	556.9	5.22%	181.7	355.6	556.9
S3	商用	61.5	91.3	139.3	3.79%	33.8%	28.7%	29.9%
	民用	120.2	226.3	326.3	4.64%	66.2%	71.3%	70.1%
	总计	181.7	317.6	465.7	4.37%	181.7	317.6	465.7

表 A1-18 建筑物能耗部门能源消费品种

情景	品种	能源品种消费量 (Mtce)			年均增长率	能源品种构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	煤	103.8	171.4	196.5	2.9%	57.1%	43.6%	30.7%
	油	21.5	39.1	62	4.9%	11.8%	10.0%	9.7%
	气	3.3	32.2	94	16.4%	1.8%	8.2%	14.7%
	热	23.7	65.4	126.5	7.9%	13.0%	16.6%	19.8%
	电	29.4	84.7	161.2	8.0%	16.2%	21.6%	25.2%
	总计	181.7	392.8	640.2	5.9%	181.7	392.8	640.2
S2	煤	103.8	129.1	96.7	-0.3%	57.1%	36.3%	17.4%
	油	21.5	39.9	60.3	4.8%	11.8%	11.2%	10.8%
	气	3.3	44.8	131.3	18.2%	1.8%	12.6%	23.6%
	热	23.7	56.7	107.2	7.1%	13.0%	15.9%	19.2%
	电	29.4	85	161.5	8.1%	16.2%	23.9%	29.0%
	总计	181.7	355.5	557	5.2%	181.7	355.5	557

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

S3	煤	103.8	98.6	55.3	-2.8%	57.1%	31.1%	11.9%
	油	21.5	44.9	57	4.5%	11.8%	14.1%	12.2%
	气	3.3	40.6	125.4	18.0%	1.8%	12.8%	26.9%
	热	23.7	45.9	65.9	4.8%	13.0%	14.5%	14.2%
	电	29.4	87.5	162.1	8.1%	16.2%	27.6%	34.8%
	总计	181.7	317.5	465.7	4.4%	181.7	317.5	465.7

A1.4 能源效率水平

A1.4.1 GDP 单耗

(1) 全国 GDP 单耗



图 A1-3 全国 GDP 单耗 (按照能源消费量)

(16) 工业 GDP 单耗

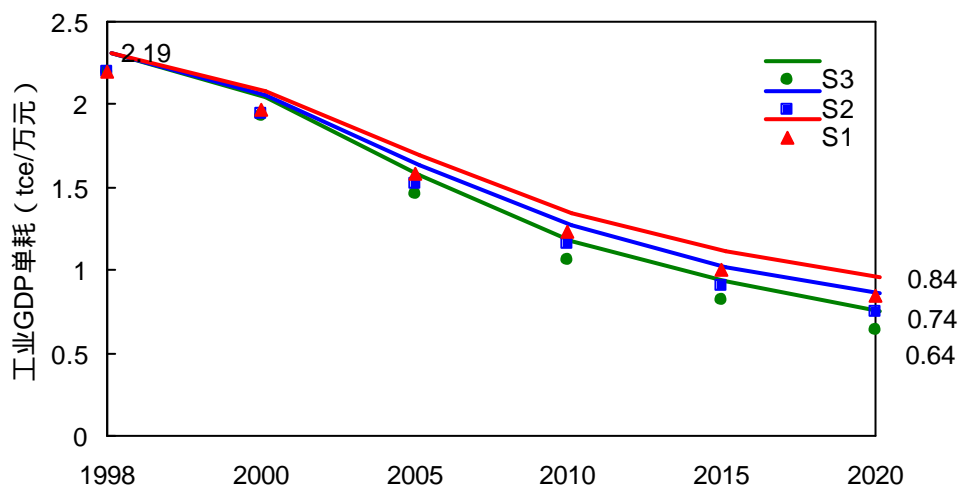


图 A1-4 工业 GDP 单耗 (按照等热值计算的终端能耗)

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

表 A1-19 GDP 单耗年均下降幅度

	全国	工业
S1	3.04%	4.26%
S2	3.55%	4.79%
S3	4.31%	5.42%

A1.4.2 主要高耗能产品单耗

表 A1-20 主要高耗能产品单耗 (tce/t)

项目	情景	1998	2000	2005	2010	2015	2020	年均下降幅度
吨钢综合能耗	S3	1.37	1.29	1.15	1.08	1.01	0.95	1.65%
	S2	1.37	1.29	1.16	1.08	1.02	0.96	1.61%
	S1	1.37	1.30	1.18	1.10	1.03	0.98	1.51%
水泥综合能耗	S3	0.18	0.18	0.15	0.13	0.13	0.12	1.93%
	S2	0.18	0.18	0.15	0.14	0.14	0.13	1.54%
	S1	0.18	0.18	0.16	0.15	0.16	0.14	1.12%
合成氨综合能耗	S3	1.76	1.71	1.60	1.50	1.42	1.34	1.23%
	S2	1.76	1.72	1.63	1.56	1.51	1.46	0.86%
	S1	1.76	1.73	1.65	1.58	1.54	1.50	0.73%

A1.5 碳排放

(1) 碳排放总量

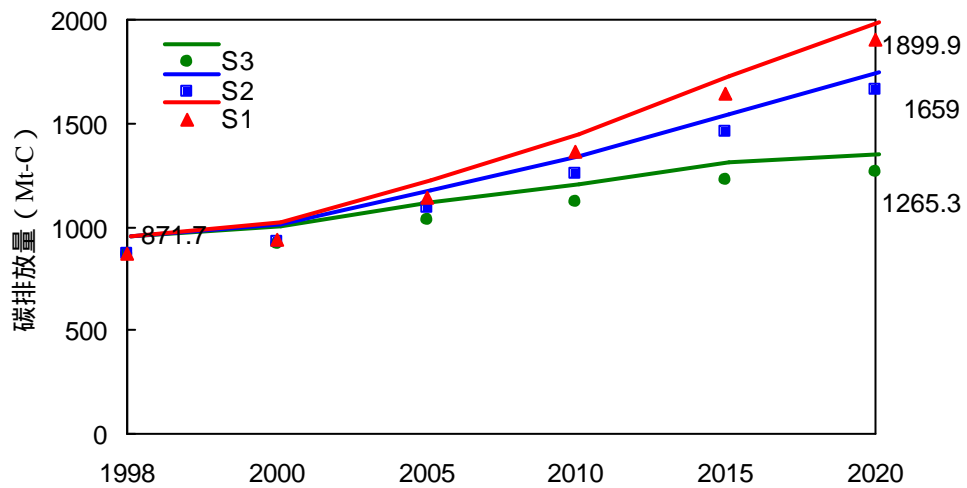


图 A1-5 能源活动引起的碳排放量

(17) 碳排放弹性系数

表 A1-21 碳排放弹性系数

	1998~2020	1998~2010	2010~2020
S1	0.51	0.52	0.51
S2	0.42	0.42	0.42
S3	0.24	0.29	0.19

(18) 人均碳排放水平

表 A1-22 人均碳排放水平 (t-C/人)

	1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
S1	0.70	0.74	0.86	0.98	1.14	1.28	2.79%
S2	0.70	0.73	0.82	0.91	1.03	1.13	2.20%
S3	0.70	0.73	0.78	0.82	0.87	0.88	1.03%

(19) 碳排放部门构成

表 A1-23 碳排放部门构成

情景	部门	碳排放量 (Mt-C)			年均增长率 1998~2020	部门构成		
		1998	2010	2020		1998	2010	2020
S1	终端部门	564.3	823.9	1081.6	3.00%	64.7%	60.6%	56.9%
	加工转换部门	307.4	536.6	818.2	4.55%	35.3%	39.4%	43.1%
	总计	871.7	1360.5	1899.9	3.60%	871.7	1360.5	1899.9
S2	终端部门	564.3	753	937.2	2.33%	64.7%	59.8%	56.5%
	加工转换部门	307.4	505.9	721.8	3.96%	35.3%	40.2%	43.5%
	总计	871.7	1259	1659	2.97%	871.7	1259	1659
S3	终端部门	564.3	675.3	734	1.20%	64.7%	60.4%	58.0%
	加工转换部门	307.4	442.6	531.3	2.52%	35.3%	39.6%	42.0%
	总计	871.7	1117.9	1265.3	1.71%	871.7	1117.9	1265.3

A1.6 电源结构及发电效率

(1) 电源结构³¹³¹ 综合考虑了火电和热电联产的装机容量和发电量

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

按照装机容量的电源结构

表 A1-24 电源结构 (按照装机容量)

情景	发电方式		装机容量 (GW)			年均增长率	电源结构		
			1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	火电	燃煤	181.93	302.62	529.12	4.97%	64.7%	59.6%	64.7%
		燃油	10.5	5.9	5.9	-2.59%	3.7%	1.2%	0.7%
		燃气	0.01	43.9	53.9	47.78%	0.0%	8.6%	6.6%
	一次电力	水电	86.2	139.5	186.5	3.57%	30.6%	27.5%	22.8%
		核电	2.1	12.7	32	13.18%	0.7%	2.5%	3.9%
		其它	0.6	3.5	10.7	13.99%	0.2%	0.7%	1.3%
总计		281.34	508.12	818.12	4.97%	281.34	508.12	818.12	
S2	火电	燃煤	181.93	296.45	473.71	4.45%	64.7%	57.9%	57.8%
		燃油	10.5	5.9	5.9	-2.59%	3.7%	1.2%	0.7%
		燃气	0.01	48.5	79.5	50.41%	0.0%	9.5%	9.7%
	一次电力	水电	86.2	143.1	213.1	4.20%	30.6%	28.0%	26.0%
		核电	2.1	12.7	32	13.18%	0.7%	2.5%	3.9%
		其它	0.6	5	15.7	16.00%	0.2%	1.0%	1.9%
总计		281.34	511.65	819.91	4.98%	281.34	511.65	819.91	
S3	火电	燃煤	181.93	255.75	372.91	3.32%	64.7%	51.3%	47.5%
		燃油	10.5	5.9	5.9	-2.59%	3.7%	1.2%	0.8%
		燃气	0.01	64.5	91.7	51.39%	0.0%	12.9%	11.7%
	一次电力	水电	86.2	153.1	243.1	4.83%	30.6%	30.7%	31.0%
		核电	2.1	14	40	14.33%	0.7%	2.8%	5.1%
		其它	0.6	5.5	30.8	19.60%	0.2%	1.1%	3.9%
总计		281.34	498.75	784.41	4.77%	281.34	498.75	784.41	

按照发电量的电源结构

表 A1-25 电源结构 (按照发电量)

	发电方式		发电量 (TWh)			年均增长率	发电构成		
			1998	2010	2020		1998~2020	1998	2010
S1	火电	燃煤	848	1639.3	2711.9	5.43%	70.7%	69.8%	72.4%
		燃油	76	11.8	11.8	-8.12%	6.3%	0.5%	0.3%
		燃气	0	86.9	84	-	0.0%	3.7%	2.2%
	一次电力	水电	262	518.8	696.8	4.55%	21.8%	22.1%	18.6%
		核电	11.4	83.4	210.2	14.17%	1.0%	3.5%	5.6%
		其它	1.7	9.6	28.6	13.69%	0.1%	0.4%	0.8%
总计		1199.1	2349.8	3743.3	5.31%	1199.1	2349.8	3743.3	
S2	火电	燃煤	848	1602.9	2465.5	4.97%	70.7%	68.3%	67.0%
		燃油	76	11.8	11.8	-8.12%	6.3%	0.5%	0.3%
		燃气	0	104.5	155	-	0.0%	4.5%	4.2%

中国可持续发展能源暨碳排放情景分析

一次电力	水电	262	529.2	794.6	5.17%	21.8%	22.6%	21.6%
	核电	11.4	83.4	210.2	14.17%	1.0%	3.6%	5.7%
	其它	1.7	13.5	41.7	15.66%	0.1%	0.6%	1.1%
总计		1199.1	2345.3	3678.8	5.23%	1199.1	2345.3	3678.8
S3 火电	燃煤	848	1416.5	1962.7	3.89%	70.7%	62.4%	57.1%
	燃油	76	11.8	11.8	-8.12%	6.3%	0.5%	0.3%
	燃气	0	165.6	205.7	-	0.0%	7.3%	6.0%
一次电力	水电	262	568.6	912.9	5.84%	21.8%	25.1%	26.6%
	核电	11.4	92	262.8	15.33%	1.0%	4.1%	7.6%
	其它	1.7	14.8	81.3	19.22%	0.1%	0.7%	2.4%
总计		1199.1	2269.3	3437.2	4.90%	1199.1	2269.3	3437.2

(20) 发电效率³²

表 A1-26 火电发电效率

			1998	2000	2005	2010	2015	2020	1998~2020
PF 火电	燃煤	30.7%	32.0%	34.1%	36.5%	37.7%	38.9%	1.08%	
	燃油	33.0%	34.2%	37.0%	40.0%	40.0%	40.0%	0.88%	
	燃气	-	46.0%	49.2%	52.1%	55.0%	54.9%	-	
一次电力	水电	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.00%	
	核电	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	0.00%	
	其它	38.6%	45.2%	57.3%	72.2%	82.6%	85.4%	3.67%	
综合效率		37.0%	40.0%	41.8%	43.5%	43.8%	44.4%	0.82%	
RF 火电	燃煤	30.7%	32.0%	34.2%	36.4%	37.6%	38.8%	1.08%	
	燃油	33.0%	34.2%	37.0%	40.0%	40.0%	40.0%	0.88%	
	燃气	-	47.1%	49.0%	52.1%	55.0%	55.0%	-	
一次电力	水电	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.00%	
	核电	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	0.00%	
	其它	38.6%	45.2%	57.3%	78.5%	87.3%	89.5%	3.89%	
综合效率		37.0%	40.0%	42.1%	43.9%	45.4%	46.1%	1.00%	
PS 火电	燃煤	30.7%	31.9%	34.0%	36.1%	37.5%	39.2%	1.12%	
	燃油	33.0%	34.1%	37.0%	40.0%	40.0%	40.0%	0.88%	
	燃气	-	46.0%	49.4%	52.0%	55.0%	55.0%	-	
一次电力	水电	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.00%	
	核电	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	0.00%	
	其它	38.6%	45.2%	57.3%	80.0%	92.3%	94.3%	4.14%	
综合效率		37.0%	40.1%	42.0%	45.2%	46.9%	49.2%	1.30%	

³² 只考虑了火电发电效率和一次电力效率，未考虑热电联产。

附件：分部门情景分析报告

分部门情景分析报告包括：

- a) 钢铁工业
- b) 有色金属工业
- c) 造纸工业
- d) 化学工业
- e) 建筑材料工业
- f) 石油化学工业
- g) 电力和相关转换部门
- h) 公用建筑与居民采暖
- i) 民用
- j) 交通运输