

中国工程院重大咨询项目

中国能源中长期发展战略研究项目组

中国能源中长期 (2030、2050) 发展战略研究

节能·煤炭卷



科学出版社

中国工程院重大咨询项目

中国能源中长期发展战略研究项目组

-21

中国能源中长期 (2030、2050) 发展战略研究

节能·煤炭卷

科学出版社

北京

F426.2

2660-2

内 容 简 介

本书是《中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究》丛书之一。

节能战略的主要内容分为节能综合报告、建筑节能、照明节能、交通节能、工业节能、社会节能和系统节能七个部分，在剖析整体能源系统和重要终端用能领域面临的节能挑战和问题的基础上，提出了从制度、系统和技术三个层次着眼的系统性节能战略和对策措施。

煤炭战略的主要内容包括煤炭综合报告和煤炭高效洁净化利用专题报告两部分，在科学分析的基础上，做出了我国煤炭资源量、保障度等六方面的基本判断，提出了煤炭开采向科学产能发展的战略部署和政策措施建议；建立了煤炭高效洁净化利用的指标体系，给出了评价煤炭高效洁净化利用程度的相关概念及其定量判据，提出了我国煤炭高效洁净化利用的中长期发展战略。

本书适合政府、能源领域企业和研究机构中高层管理人员和研究人員，大专院校能源相关专业师生，以及其他对我国能源问题感兴趣的社会公众阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究：节能·煤炭卷 / 中国能源中长期发展战略研究项目组. —北京：科学出版社，2011

ISBN 978-7-03-029935-2

I. ①中… II. ①中… III. ①能源经济—经济发展战略—研究—中国
IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 003236 号

责任编辑：李 锋 张 震 / 责任校对：林青梅

责任印制：钱玉芬 / 封面设计：王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 2 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2011 年 2 月第一次印刷 印张：21 插页：4

印数：1—5 000 字数：500 000

定价：85.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

节能课题组主要成员

组 长	倪维斗	院士	清华大学热能工程系
副组长	江 亿	院士	清华大学建筑节能研究中心
	汪燮卿	院士	中国石油化工集团公司石油化工科学研究院
	陈良惠	院士	中国科学院半导体研究所
主要成员	李 政	教授	清华大学热能工程系
	麻林巍	助理研究员	清华大学热能工程系
	林波荣	副教授	清华大学建筑节能研究中心
	刘 虹	副研究员	国家发展和改革委员会能源研究所
	蒋福康	教授级高级工程师	中国石油化工集团公司石油化工科学研究院
	段占庭	教授	清华大学化工系
	李 强	教授	清华大学人文学院
	郭烈锦	教授	西安交通大学
	张希良	博士后	清华大学 3E 学院
	刘佳燕	讲师	清华大学建筑学院
	房莉杰	博士后	清华大学人文学院
	付 峰	博士后	哈佛大学 Belfer 中心

煤炭课题综合组主要成员

组 长	谢和平	院士	四川大学
副组长	钱鸣高	院士	中国矿业大学
	胡省三	研究员	中国煤炭学会
主要成员	彭苏萍	院士	中国矿业大学（北京）
	成玉琪	研究员	中国煤炭学会
	贺佑国	研究员	中国煤炭工业发展研究中心
	刘修源	研究员	煤炭科学研究总院
	俞珠峰	研究员	煤炭工业洁净煤工程技术研究中心
	吴立新	研究员	煤炭科学研究总院
	齐庆新	研究员	煤炭科学研究总院
	程爱国	教授级高级工程师	煤炭地质总局
	周宏伟	教授	中国矿业大学（北京）
	李德波	高级工程师	中国煤炭工业发展研究中心
	叶旭东	高级工程师	中国煤炭工业发展研究中心

煤炭高效洁净化利用专题组主要成员

组 长	徐旭常	院士	清华大学
主要成员	王淑娟	副教授	清华大学
	陈吟颖	高级工程师	清华大学
	陈昌和	教授	清华大学

前 言

能源可持续发展是我国社会经济可持续发展的基础，随着我国社会经济的快速发展，能源供需矛盾和环境压力日益突出。根据党中央、国务院提出的“加快转变发展方式”的要求，中国工程院在充分酝酿的基础上，于2008年1月启动了“中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究”重大咨询项目。项目下设节能、煤炭、油气、核能、电力、可再生能源六个课题组和项目综合组，同时在研究过程中根据需要又增设了能源“天花板”、环境、洁净煤、氢能等相关专题研究组，40多位院士、200多位专家参加了项目的研究工作。国家能源局给予了大力支持，有关领导多次参加项目组会议，并提出了相关意见与建议。经过两年多的工作，项目组完成了项目综合报告和各课题研究报告，取得了一系列重要研究成果。本丛书来自对各报告的整理与提炼，共包括四卷：综合卷，节能·煤炭卷，电力·油气·核能·环境卷，可再生能源卷。

在科学发展观的指导下，本丛书从我国中长期能源发展面临的形势与主要制约条件分析入手，系统地研究了各种主要能源的供应能力与发展潜力、科学合理的能源需求，提出了我国中长期能源发展的战略思路、目标、重点、路线图和科技支撑，以及多项政策措施和体制保障建议。

本丛书认为，我国能源超快增长的发展势头难以持续，必须进行重大调整，必须对化石能源消费进行总量控制。为实现我国能源可持续发展，为经济、环境双赢和应对全球气候变化，我国必须坚定不移地走绿色、低碳能源发展道路；必须把能源、资源节约和环境保护作为经济发展的基本目标和制约条件，统筹发展速度、产业结构和消费模式。

本丛书提出了2050年前我国能源发展阶段的战略定位。2050年前是我国能源体系的转型期；2030年前是实现能源体系转型的攻坚期；2020年前特别是“十二五”时期是实现能源体系转型攻坚的关键期。

本丛书提出了我国能源中长期发展的“科学、绿色、低碳”总体战略，由六个子战略构成：第一，强化节能优先、总量控制战略；第二，煤炭的科学开发、洁净高效利用和地位调整战略；第三，确保石油、天然气的战略地位，把

天然气作为能源结构调整的重点之一；第四，积极、加快、有序发展水电，大力发展非水可再生能源，使之成为我国绿色能源支柱之一；第五，积极发展核电是我国能源的长期重大战略选择，核电可以成为我国能源的一个绿色支柱；第六，发展中国特色的高效安全（智能）电力系统，适应新能源大规模集中和分布式开发、用电方式转变和储能技术规模化应用。

为保障科学、绿色、低碳能源发展战略的实施，本丛书提出了若干政策措施与对策建议。如设立国家能源统一主管部门，强化科学管理；健全能源法规政策体系，促进节能减排；大力推进科学、绿色、低碳能源战略的实施；建设国家级的能源科技研发机构和平台，加快能源重大科技攻关；大力提倡绿色消费和生态文明理念等。

项目组的院士、专家和参加咨询研究与编撰工作的全体人员，虽然做出了极大努力，但由于各种原因，书中仍可能有疏漏或不妥之处，请读者批评指正。

作 者

2011年1月

目 录

前言

第一篇 节能战略

第一章 综合报告	3
第一节 节能的基本概念	4
第二节 节能的发展形势	5
第三节 节能潜力的估计	9
第四节 节能的战略措施	15
第二章 建筑节能	18
第一节 建筑节能概论	18
第二节 中国建筑能耗现状	22
第三节 中外建筑能耗对比	40
第四节 2030 年中国建筑能耗预测	54
第五节 一些重点问题的分析与讨论	68
第三章 照明节能	99
引言	99
第一节 我国照明用电基本现状	100
第二节 照明技术及照明需求发展趋势分析	114
第三节 照明节电潜力情景分析	126
第四节 主要研究结果和政策措施建议	134
第四章 交通节能	137
第一节 交通运输能源消费现状	137
第二节 交通运输节能潜力	142
第三节 交通运输中长期（2030、2050）节能战略和目标	148
第四节 交通运输中长期（2030、2050）节能措施	158
第五节 总体目标（结语）	160
第五章 工业节能	161
第一节 工业节能的重大意义和节能的新思路	161
第二节 造成高能耗的主要原因	163
第三节 某些重要产业工业节能的现状和进展	164
第四节 工业节能的发展方向	167

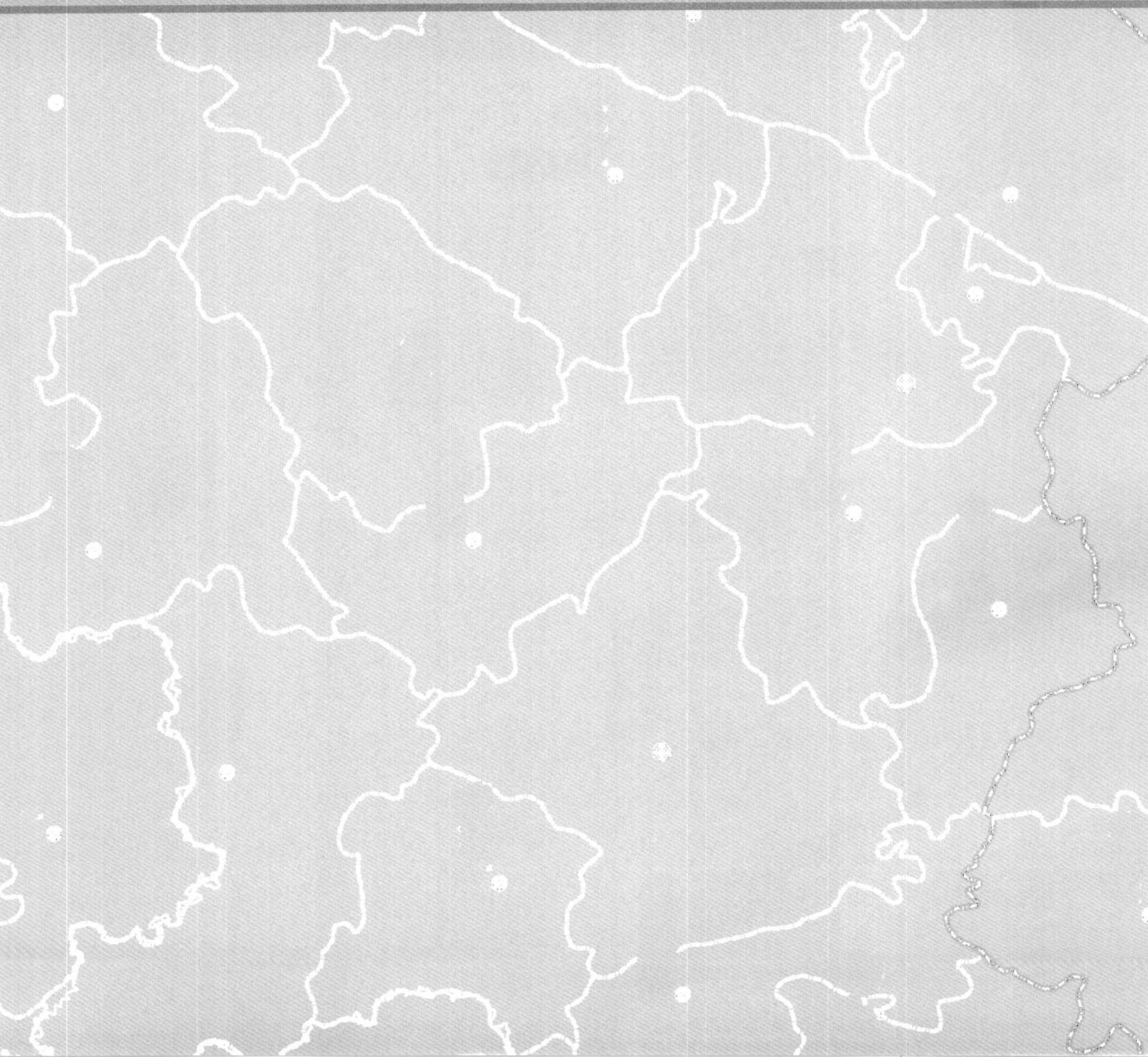
第五节 对工业节能的有关建议	170
第六章 社会节能	171
第一节 能源消费态度的社会学分析	171
第二节 节能的利益相关者分析	178
第七章 系统节能	204
引言	204
第一节 我国节能的内涵剖析	205
第二节 我国节能的实现途径分析	210
第三节 结论和政策建议	218

第二篇 煤炭战略

第八章 综合报告	223
第一节 课题要求与指导思想	223
第二节 主要研究结论——煤炭发展形势的基本判断	224
第三节 煤炭中长期（2030、2050）发展战略	242
第九章 煤炭高效洁净化利用专题报告	252
引言	252
第一节 目前煤炭利用的主要方式及存在的问题	253
第二节 煤炭高效洁净化利用技术	259
第三节 煤炭高效洁净化利用技术对环境贡献的评估	290
第四节 实现煤炭高效洁净化利用的技术路线	296
第五节 煤炭的高效洁净化利用评价指标研究	304
第六节 煤炭高效洁净化利用发展战略	323
参考文献	325

彩图

第一篇
节能战略





第一章 综合报告

执行摘要

鉴于节能问题对我国能源、经济发展的重要影响，中国工程院“中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究”咨询项目专门设立了节能专题，并由倪维斗院士任专题组组长，江亿院士、陈良惠院士和汪燮卿院士任专题组副组长。在倪维斗院士的领衔下，经过一系列认真的研究和讨论，节能专题组共设计和形成了如下6个子专题和研究队伍：

- （1）建筑节能子专题（负责人：江亿院士）
- （2）照明节能子专题（负责人：陈良惠院士）
- （3）交通节能子专题（负责人：汪燮卿院士）
- （4）工业节能子专题（负责人：段占庭教授）
- （5）社会节能子专题（负责人：李强教授）
- （6）系统节能子专题（负责人：李政教授）
- （7）综合报告执笔人：李政、麻林巍、郭烈锦、张希良

在节能专题研究中，试图体现的特色主要包括如下几个方面：

（1）深入研究和揭示节能问题的全景图像以及其中蕴涵的内在联系和规律，以科学性求得研究结果的认同和接受。

（2）以我国能源系统可持续发展为目的，在外部约束和能源系统演变的大背景下，对中国国情进行充分、深入的现场调研，远近结合，探讨中远期重点行业、部门、技术和社会的节能。

（3）多维度认识和研究问题，注重技术在节能中重要性的同时，也从人的行为和社会文化时尚角度看问题，力争获得全方位的认识。

（4）从全生命周期的角度审视我国的能源系统，着眼于“把合适的能源放在合适的地方”，提出中国特有的可持续能源系统的基本原则；强调终端节能在整个能源系统节能中的重要地位；阐释控制能源消费总量及其动态发展，为我国的长期可持续发展建模、塑基。

（5）追求政策建议的实用性和可实施性，引入利益相关者分析方法对我国节能机制和体制进行解析。

经过历时两年半的专题研究、探讨和交流，节能专题研究取得了一系列重要成果，最终形成了一份综合报告和6份分报告。本报告暨节能专题研究综合报告，是在6个子专题研究的基础上进一步提炼总结的对我国中长期节能发展战略的一些重要认识，包括节能的基本概念、节能的发展形势、节能潜力的估计以及节能的战略措施等。

第一节 节能的基本概念

节能的一般定义是：“节能是减少能源使用数量的实践，实现的途径包括两种，一种是通过提高能源利用效率实现，即在达到近似相同的产出条件下，少用能量；另一种是通过减少能源服务的消费，减少能量使用”。

上述定义对发达国家和发展中国家是普遍适用的，但必须意识到，对发达国家和以中国为代表的发展中国家而言，其具体内涵有较大差别。

在已经实现工业化的发达国家，由于能源开发和利用设施的数量基本饱和，能源服务需求缓慢增长，其节能问题相对简单，可称其为静态节能。节能主要是通过发展和采用新技术，提高现有能源设施的能源利用效率；以及通过政策引导，减少能源服务的消费来实现。

我国正处在工业化、城镇化和机动化并举的经济高速发展时期，基础设施远未饱和，能源服务需求动态增长，节能问题具有强烈的动态性和不确定性，表现在以下两个方面。

(1) 除现有能源设施的运行能耗外，新的能源需求接踵而来。不仅包括新增能源设施（固定资产）的运行能耗，而且包括建设这些能源设施的（脉冲性或一次性）基本建设能耗。而种种原因导致能源设施寿命或功用不足又带来建设能耗的大量浪费（废弃能源设施残余能耗），如图 1-1 所示。

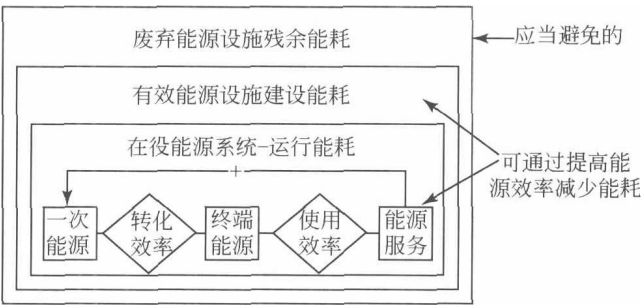


图 1-1 我国动态发展过程中建设能耗和运行能耗的示意图

(2) 尽管对节能有理想的憧憬，但由于未来经济发展、产业结构和技术发展的巨大不确定性，导致未来节能水平的不确定性很大。

全生命周期视角是观察和分析动态问题的有效视角。在全生命周期视角下，若以未来我国经济基础建设基本完成、能源服务需求基本稳定之前的较长一段时期内（至少 2030 年前），累计的集总能源消耗为观察对象，我国节能的途径主要在于以下三个方面，如图 1-2 所示。

(1) 制度节能：通过社会制度安排和宣传教育，对未来能源服务的基本水平，包括产业结构和生活水平等，进行正确的定位和主动引导，倡导节能优先的生产、生活方式，避免产能的盲目扩张和奢侈、浪费的消费。本质上是通过减少运行型能源服务的消费，减少能源使用数量。

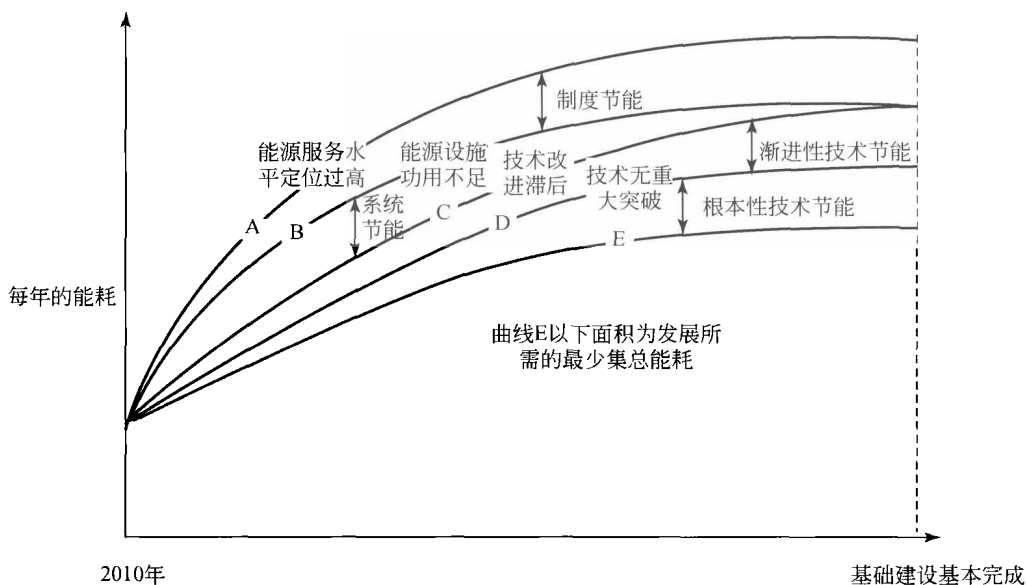


图 1-2 我国动态节能的三种实现途径示意图

曲线 A 为按目前趋势的能耗参考水平；B 为通过制度节能减少运行型能源服务需求后的能耗曲线；C 为在 B 基础上进一步通过系统节能减少建设型能源服务需求后的能耗曲线；D 为在 C 基础上进一步通过渐进性技术节能提高能源效率后的能耗曲线；E 为在 D 基础上进一步通过根本性技术节能提高能源效率后的能耗曲线，为理论上的最少能耗

（2）系统节能：通过规划引导和系统协调，避免发展过程中，由于重复建设、过度建设和缺乏协调导致能源设施寿命不足或使用不足，所导致的建设型能耗的浪费。本质上是减少建设型能源服务的需求，减少能源使用数量。

（3）技术节能：持续提高现役和新建能源设施的能源效率，尤其是需求侧的效率，减少单位能源服务产出的能源消耗，又可以分为渐进性技术节能和根本性技术节能。除通过在役主力技术的渐进性技术创新，逐步提高能源效率外，还应加强对根本性技术创新的探索，谋求能源效率的跨越式发展。

第二节 节能的发展形势

一、总能耗很可能长期持续增长

目前我国人均能耗和人均 GDP 尚处于较低水平（图 1-3），根据人均能耗伴随人均 GDP 增长而增加（人均 GDP 在 2 万美元以下时）的国际一般规律，随着经济的持续发展，2050 年前我国人均能耗还有较大的增长空间。由于 2030 年之后，我国的人口将趋于稳定，对今后人均 GDP、人均能耗水平的定位、引导和控制，将基本决定我国未来的总能耗水平。

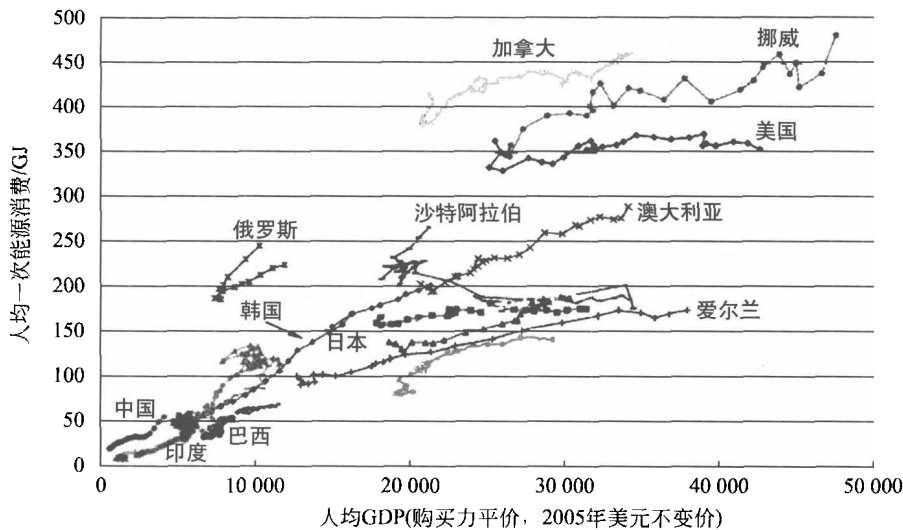


图 1-3 世界各国的人均 GDP 与人均一次能源消费（1980 ~ 2005 年）

资料来源：DOE，EIA，世界银行 WDI 数据库（2008），俄罗斯 1992 ~ 2005 数据，德国 1991 ~ 2005 数据

二、建设型和出口型耗能比重迅速增加

从全社会的最终能耗构成看，根据基于投入产出法的全社会能耗分解，1997 ~ 2007 年，我国出口型能耗（净出口商品的嵌含能耗）和建设型能耗（固定资产形成的嵌含能耗）的比重不断上升，消费型能耗的比重不断下降（图 1-4）。截止到 2007 年，出口型、建设型和消费型能耗大约各占 1/3。如何抑制出口型和建设型能耗的过快增长，将是近期，尤其是 2020 年前的节能重点。而消费型能耗的节约将是长期的节能重点。

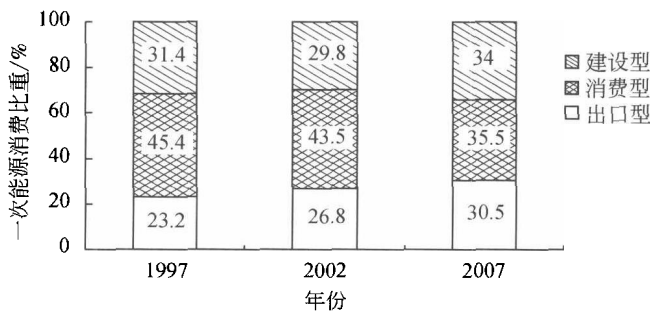


图 1-4 基于投入产出法的我国全社会能耗分解

而在建设型能耗中，最主要是建筑业的能耗消费，2007 年其占建设型能耗的 2/3 以上（图 1-5）；在出口型能耗中，占比高于 5% 的主要包括金属冶炼及压延加工业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业等（图 1-6），其中金属冶炼及压延加工业（钢铁、有色等）的能耗占 11.2%，而附加值仅占 5.4%；在消费型能耗中，城市居民和政府的能耗比重迅速提高（图 1-7）。对消费型能耗而言，适当的舒适程度定位和人的行为引导将是节能的关键所在。

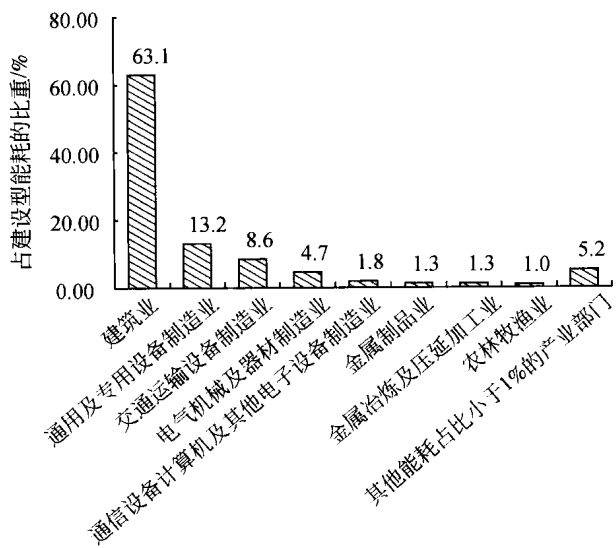


图 1-5 2007 年建设型能耗的构成

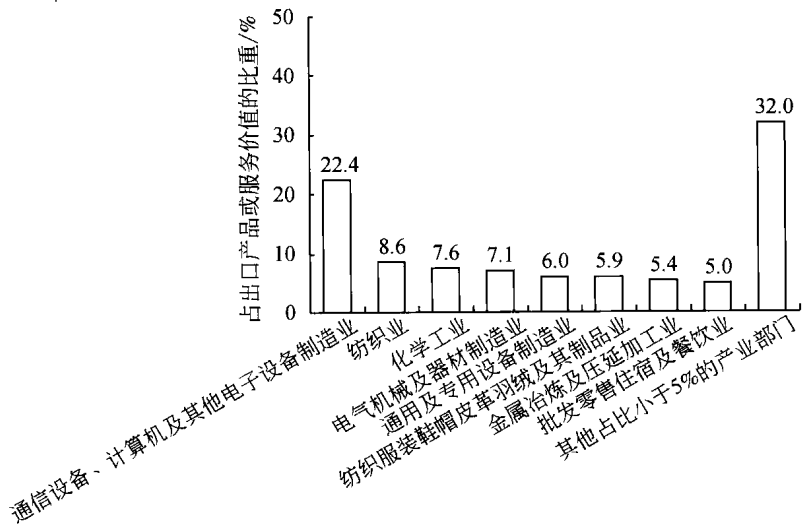
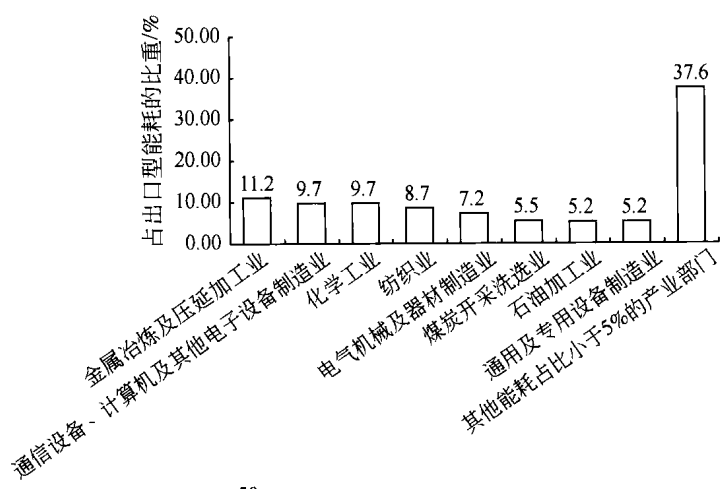


图 1-6 2007 年出口商品的能耗和附加值构成（按产业部门分类）

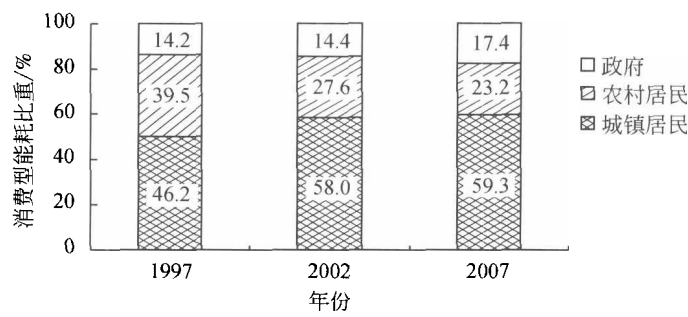


图 1-7 2007 年我国消费型能耗的构成

三、单个技术的效率迅速提高，但系统性问题日益突出

经过多年的努力，我国的能源技术效率已经得到了大幅改善。以主要工业产品的能效为例（表 1-1），虽然产品单耗水平仍落后于国际先进水平，但相比而言，差距已经不太明显。某些行业的能源效率，如火电工业，甚至已经达到国际先进水平。因此，今后通过渐进性技术创新进一步提高能源效率节能的潜力相对有限。

表 1-1 我国主要工业产品的能源效率

分类	中国				国际先进	2007 年差距		中国 2009 年
	1990 年	2000 年	2005 年	2007 年		绝对 差距	相对差 距/%	
火电发电煤耗 /[克标准煤/(kW·h)]	392	363	343	333	299	34	11.4	320
火电供电煤耗 /[克标准煤/(kW·h)]	427	392	370	356	312	44	14.1	339
钢可比能耗/(千克标准煤/t) (大中型企业)	997	784	714	668	610	58	9.5	595.38
电解铝交流电耗 /[kW·h/t]	16 223	15 480	14 680	14 488	14 100	388	2.8	14 171
水泥综合能耗/(千克标准煤/t)	201.1	181.0	167.0	158.0	127	31	24.4	124.15

但与此同时，系统性问题导致的能源浪费却日益突出。由于各部门各自盲目扩张，能源设施过度建设、重复建设等问题越演越烈，能源设施寿命和功用不足的问题日益严重，带来大量建设型能耗浪费。例如，钢铁、水泥、煤化工、多晶硅等高耗能工业的产能过剩问题日益严重，设备利用率迅速下降；在火电装机容量迅速增长的同时，火电发电小时数迅速下降，大量高效的超临界、超超临界机组不能满负荷运行，导致效率优势难以发挥（图 1-8）；建筑的实际寿命仅为 25 ~ 30 年，而这些建筑的设计寿命至少为 50 ~ 60 年，导致无形中增加了大量钢铁、水泥等高耗能产品的消耗。