



Natural Gas and China's Energy Strategy
Towards Low Carbon

天然气与 中国能源低碳转型战略

华 贵 著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

Natural Gas and China's Energy Strategy
Towards Low Carbon

天然气与 中国能源低碳转型战略

华 贲 著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气与中国能源低碳转型战略/华贵著. —广州: 华南理工大学出版社, 2015. 2
(2015. 5 重印)

ISBN 978 - 7 - 5623 - 4520 - 6

I. ①天… II. ①华… III. ①天然气工业 - 研究 - 中国 ②节能 - 研究 - 中国
IV. ①F426. 22 ②TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 311384 号

天然气与中国能源低碳转型战略

华 贵 著

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scute13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 胡 元

责任编辑: 胡 元

技术编辑: 杨小丽

印 刷 者: 广州市新怡印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 17.5 字数: 448 千

版 次: 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 5 月第 2 次印刷

印 数: 1001 ~ 2000 册

定 价: 48.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

序

天然气是化石能源中较为清洁的低碳燃料。我国多种类型的天然气资源较为丰富并正在陆续查明。但是，在煤炭仍占一次能源 60% 以上、碳排放已占世界 28%，而经济增长仍需增加能源消耗的今天，中国如何向低碳转型？天然气在未来几十年向低碳能源转型的过渡时期中占有什么地位？迄今业界少有人潜下心来做深入系统的研究。

本书作者华贲教授在 20 世纪 60 年代早期讲授“物理化学”课时打下了热力学理论基础，1975—1986 年在中石化洛阳石化工程公司工作时积累了节能工程设计研究的经验，到大学任教后结合上百项企业和地区节能工程、能源规划等实际项目开展能源系统工程研究，成果颇丰。进入 21 世纪他先后主持 973 项目和天然气中心工作后，研究领域扩展到建筑和区域能源及天然气利用。近年来更专注于宏观领域能源低碳转型，发表了不少有一定影响的文章。

本书是他继 2012 年出版《天然气分布式供能与“十二五”区域能源规划》后的又一力作。与一般的宏观经济学论述不同，本书从研究能源科技和生产力发展及环境影响的历史进程立论，用翔实、准确的工程数据支撑，揭示了经济—能源—环境互相影响的客观规律；在这方面有独到见解。

以长远和全球的时空视野，运用历史唯物主义观点和政治经济学理论，不拘于具体的政策、事件、结果就事论事，而是上升到生产力和生产关系、经济基础和上层建筑的高度来分析，是本书的另一特色。包括对 OECD 国家引领的几次能源转型历史进程的阐述，以及对中国当前能源—经济—环境问题的体制、机制根源的剖析。对于天然气在能源战略中的地位，不仅针对现实需要，而且论及未来智慧能源网络的架构和交通能源低碳转型的战略路线。

作为一位远离决策中心、在基层工作的教授和工程师，并不了解高层决策过程，对体制和机制影响能源领域生产力发展的分析也不一定准确。但作者从技术和工程角度对国家能源大局的观察与思考，由此提出制订战略规划的意见，应对决策层及能源工作者有一定的参考价值。

中国科学院院士



序

在当前阶段，尤其是在未来以可再生能源为主导的能源系统中，电力都占有核心的位置。然而电既不是一次能源，也不是终端用能形式的全部。只有从一次能源到终端利用的全过程及其现在和未来走势的高度，才能全面认知电力系统与一次能源转型和终端用能革命之间的关系。在当前严峻的碳减排形势下，煤耗占全世界一半、占全国总能耗 67%，煤发电量占总发电量 75% 的中国，能源如何向低碳转型，是一个关系到中国可持续发展的重大战略问题。

华贲教授及其带领的团队多年来从事高效节能和天然气利用理论研究、开发和工程实践，为中国能源系统科学理论和工程实践的基础奠定做出重要贡献。2009 年哥本哈根会议以来，又在使命感的驱动下从历史和全局的大视野审视中国能源战略问题，他发表了一系列具有独到见解的文章。

2011 年和 2012 年他两次受中国电机工程学会委派，在德国和日本召开的国际会议上演讲，围绕天然气冷热电联供与电力系统协同保障供应和调峰问题，提出了结合中国工业化和城镇化国情的集成创新方案，并进一步研究未来以可再生能源为主题的智慧能源网络架构下智能电网与分布式供能和储能的协同互补关系，其观点在国内外能源电力工程界产生了一定影响。

《天然气与中国能源低碳转型战略》一书是基于独立思考和科学态度，以大量历史和工程数据为支撑写出的一本严谨的著作。该书从分析两次工业革命与能源转型密切关联的历史进程，揭示了能源—经济—环境相互制约的客观规律，并从中国当前经济和能源形势及其在世界能源转型过渡中的地位和责任出发，指出中国应采取有所补足、有所跨越、有所创新的能源战略，提出了针对不同一次能源开发和利用的战略途径。

华贲教授将天然气分布式冷热电联能源系统 (DES/CCHP)，以及利用 LNGV 替代大型客货运输工具，提高到中国能源低碳转型重要过渡途径的战略高度，提出了具体策略，论证了其对提高能效、碳减排、消除雾霾、经济转型增长和就业的贡献。

作为一名电力科学工作者，我想特别指出的是，本书从科学用能理论和能源系统全局的视角，对中国电力系统调峰、供应安全问题和天然气应用提出了独到的见解。本书所提出的天然气 DES/CCHP 协同电网调峰的创新模式不仅可使电网企业和分布式电源企业双方在当前国情下合作共赢，解决电网运行的症结问题，而且可成为中国未来智慧能源网络的基本架构之一。

中国科学院院士

周孝信

2015 年 1 月

本书主要内容导读

1. 200 年来两次工业革命历史的研究分析证明：能源是生产力的物质基础 and 环境污染的根源。蒸汽机推动的第一次工业革命促使煤替代薪柴，内燃机推动的第二次工业革命促使石油的使用超过煤，20 世纪 70 年代环境污染的整治促使天然气逐步替代终端燃煤。不同资源禀赋的各发达国家都在相应的发展阶段经历过上述能源转型。自身缺乏相应资源可通过国际贸易获取。“富煤、缺油、少气的能源禀赋决定中国能源必须以煤为主”的不符合历史唯物主义的观点，是小农经济意识的思维定势，使中国错失 30 年前与世界同步发展天然气的良机，付出了巨大的环境代价，并导致目前的低能效、高碳排放局面。
2. 气候变化促使能源转向低碳，是又一次环境约束迫使能源转型的历史变局；将促使可再生能源利用技术和智慧能源网络技术取得新的突破，推动人类生产力和社会形态向新的、更高的发展阶段迈进。后发的、能源构成和技术还处于第一次工业革命后期的中国，只要跳出上述思维定势，按照历史唯物主义的方法总结世界两次工业革命以来经济—能源—环境协同互促的历史进程、内在规律和未来走向，分析和判断中国的发展阶段、国情和处境，制订正确的能源战略，就能够变被动应付为主动运筹，有所补足、有所跨越、有所创新，用 30 年左右的时间走到世界低碳发展的前列。
3. 分布式供能是第三次工业革命能源终端利用模式的萌芽，其要义是以经济、高效、低碳为准则，在用户端联产，就地直供冷、热、电、蒸汽等各种形式用能。未来的智慧能源网络（IEN）是以智能电网（SG）为核心，由多个以非碳能源为主体、辅以储能设施的分布式供能系统（DES）所构成。大型工业区 DES 采用冷热电联供 CCHP 模式，一次能源将以太阳能热发电和小型核电为主，天然气（包括生物质气）为辅；小型、商住 DES 的一次能源将以光伏为主。处于城镇化和工业化历史时期的中国，与增量经济所在的上千个新开发区和新城镇同步规划、建设能效 70% 的百 MW 级区域型天然气 DES/CCHP，是把中国能效提高到 50% 的世均水平，拓展天然气市场、替代终端燃煤、加快消除雾霾的重大战略举措，具有突破能源困局、开拓新的低碳经济增长点、消化过剩产能、拉动就业等多重作用。总装机容量 400GW 的上千个建在电力负荷中心的大型天然气 DES/CCHP 不仅保障供电安全，而且按照昼开夜停模式运行，是与抽水蓄能一起协同电网调峰并提高接纳光伏发电、风电能力的战略性举措，是中国对能源系统技术的集成创新。
4. 能源向低碳转型是一个长达几十年的历史进程。从化石能源最终转向核能和可再生能源的情景包括：①主要由核能和可再生能源发出的电力将占终端用能的大部分；②工业、建筑物的高、中温热能由核能、太阳能（热发电）辅以天然气的 CCHP 联供；③交通运输能源领域插电式和氢燃料电池车替代汽油，生物质直接或通过 LNG 替代柴油和航煤；④有机化工原料由带 CCS 的生物质、部分煤炭和石油替代单一的石油化工。

未来 30 年 LNGV 替代柴油运输车船是交通能源低碳转型的重要过渡途径，应提高到国家战略高度予以规划和推进，可把中国石油对外依存度控制在 60% 以下，引领世界中间馏分油交通燃料低碳替代的潮流，并开辟一个新的低碳产业群，扩大出口和就业。

目 录

第一章 经济、社会发展与能源和环境的关系	1
第一节 第一次工业革命与社会转型	2
一、欧洲的商业革命与第一次工业革命的前奏	2
二、第一次工业革命和第一次能源转型	3
三、第一次工业革命和生产关系、上层建筑的转型	5
第二节 能源——财富与价值的物质基础	6
一、什么是能源？能源与自然资源的关系	6
二、从能源科学看大自然的生态循环	8
三、人类文明的能源基础与进化本质	9
四、第一次工业革命：财富增长与能源的关系	11
五、二次能源、交通运输以及信息传播——非物质的社会财富	13
第三节 第二次工业革命与经济、社会的快速发展	14
一、社会发展对交通运输的需求推动科技突破和新生产力的诞生	14
二、交通运输业的飞速发展促成世界一次能源第二次大转型	15
三、一次能源由煤向石油的转型促成石油化工对煤化工的替代	16
四、能源转型促进的生产力第二次大飞跃和生产关系的变化	17
五、经济基础与上层建筑的相互作用推动社会进步	19
六、后工业化文明：能源技术和信息传播的新进展	21
第四节 环境、能源对经济、社会发展的支撑和制约	23
一、基于化石能源利用的工业化对环境的影响和破坏	23
二、人类社会的繁衍和发展对自然生态的影响和破坏	25
三、环境污染的治理：从末端治理到源头防范	26
四、环境保护制约的一次能源向天然气的新一次亚转型	27
五、人类社会的可持续发展	29
第五节 第三次工业革命：人类社会发展的新阶段	33
一、能源与信息新科技的汇合——“第三次工业革命”的图景	35
二、低碳的新能源生产和利用模式情景分析	41
三、时间表——需要一个相当长的过渡时期	45
四、空间、地域特征的制约——没有一个万灵的模式	46

小结	47
参考文献	47

第二章 中国如何应对新一轮能源和产业革命的机遇和挑战 49

第一节 历史规律，发展不平衡与“殊途同归” 49

- 一、历史的规律是客观存在并起作用的 49
- 二、发展的不平衡与抓住机遇做好自己国家的事情 53
- 三、“殊途同归”与“共同但有区别的责任” 55

第二节 古老大国复兴历史进程中对能源与环境的反思和举措 60

- 一、中国近几十年人口、经济发展与能耗变化 60
- 二、中国能否“不走西方国家先污染后治理的老路”？ 61
- 三、总结历史教训，开拓跨越式发展之路 66

第三节 能源碳强度——向低碳转型的指标体系 68

- 一、从统计数据计算能源碳强度 68
- 二、从各种一次能源的 CO_2 排放量估算“高排碳能源分率” γ 69
- 三、能源碳强度 ω 与高排碳能源分率 γ 的关联 70
- 四、一次能源构成与能源碳强度关联式的应用 71

第四节 21 世纪中叶世界化石能源向低碳转型的情景分析 72

- 一、世界能源向低碳转型的必然趋势和主要途径 72
- 二、世界能源向低碳转型趋势和情景判断的思路与分析方法 74
- 三、对到 2050 年世界能源向低碳转型趋势的估算 76
- 四、哥本哈根会议后的进展和修正预估 79

第五节 到 21 世纪中叶中国能源低碳转型目标约束和情景分析 79

- 一、在人类可持续发展大局中中国的定位、作用和责任 80
- 二、中国在人类第三次能源转型中的地位的指标体现 80
- 三、向低碳过渡的历史时期一次能源构成演变分析 82
- 四、到 2050 年中国能源向低碳转型趋势的估算 85
- 五、迎接中国低碳、绿色、可持续发展的历史性战略机遇期 88

第六节 中国能源低碳转型的战略思维和顶层设计 89

- 一、制订中国能源低碳转型战略和顶层设计的必要性与立足点 89
- 二、遵循市场经济规律，全局规划，洁净用好煤炭资源 90
- 三、立足发动机燃料和化学品产业多元化低碳转型的石油战略 92
- 四、提高能效、保障能源供应的症结——加速发展和高效利用天然气 93
- 五、制订非化石能源开发利用战略和顶层设计 95
- 六、配合智慧能源网络构建，改革壮大电力系统和网络 97
- 七、由目标导向综合协调的过渡历史时期 98

参考文献 99

第三章 中国天然气产业链发展战略	100
第一节 对中国天然气资源状况认识的演变和现状	100
一、中国发展天然气比世界晚了 30 年	100
二、中国非常规天然气资源和生产的发展	102
三、未来 10 年中国国内天然气生产能力预估	106
第二节 世界天然气资源、国际贸易价格及与中国市场的关系	107
一、世界天然气资源和消耗量的状况	107
二、世界天然气贸易市场及中国进口贸易的发展趋势	108
三、国际天然气贸易市场价格走势	111
四、国际天然气贸易价格对中国国内天然气消费价格的影响	113
第三节 2020—2030 年中国天然气发展战略探讨	114
一、2020—2030 年中国向低碳能源转型的关键是快速发展和高效利用天然气	114
二、中国可以主要依赖进口天然气实现能源转型吗?	115
三、中国利用国内外两种天然气资源的比较分析	117
四、改革市场和价格机制是中国天然气发展战略转型的契机	118
五、中国天然气国内市场价格与石油价格、电价、煤价的关联分析	120
六、中国要不要大规模发展煤制气?	120
第四节 中国天然气产业链中游环节的特色、发展和机制改革	125
一、按市场机制建设和规范运营顺畅、高效的全国天然气主干管网	125
二、LNG 在中国天然气中下游市场的重要地位	128
第五节 天然气下游市场的规范, 价格机制与市场开拓的关系	135
一、终端消费价格是天然气市场拓展的症结	135
二、如何掌控中国天然气下游市场大用户的用气价格?	136
三、2012 年 12 月天然气价改试点方案开了个好头, 但不彻底	137
四、中国天然气下游市场和价格机制规范建议	138
五、下游价改带动天然气全产业链的改革	140
参考文献	141
第四章 中国工业和建筑物能源革命的主战场——分布式冷热电联供	143
第一节 分布式供能的沿革、现实发展和未来走势	146
一、从热电联产到冷热电联供的历史进程	146
二、能源生产和供应的集中与分散两种途径的辨析	147
三、区域型分布式供能系统是分散发电与集中供冷热蒸汽的结合	148
四、小型分布式供能系统的适用条件和发展策略	150
五、未来的分布式供能——智慧能源网络的用户终端	151
第二节 分布式冷热电联供能源系统经济性分析	154
一、DES/CCHP 系统经济性的本源	154

二、影响 DES/CCHP 系统经济性的负荷及时间分布因素	155
三、影响 DES/CCHP 系统经济性的规模及集成优化因素	156
四、影响 DES/CCHP 系统经济性的气、电价格和比价因素	156
五、政府的协调、规划与政策扶持因素	158
第三节 中国城市建筑能源系统的集成创新	158
一、现状和问题	158
二、热力学分析指出的创新方向	159
三、实现创新的技术集成系统	161
第四节 如何解决大城市区域集中供暖难题	165
一、大城市集中供暖面临高污染、低能效的严峻挑战	165
二、目前的天然气替代燃煤供暖模式面临的能效和经济性问题	166
三、其他替代方案和先进供暖模式的探索与分析评价	166
四、供暖能源利用方式革命：大城市科学用能、系统优化的供暖方案	167
五、评价供暖方案能效、经济性和碳排放的指标	169
六、不同供暖方案的能效比较	170
七、小结	171
第五节 城镇化和中国 DES/CCHP 集成创新的历史机遇	171
一、现有大、中城市周边的新开发区是城镇化的主力	171
二、以农业为主的地区建设新的中心城镇	172
三、沿袭传统的能源生产和利用模式无法实现可持续发展	173
第六节 区域型分布式冷热电联供能源系统的规划设计	173
一、在中国国情下“十二五”期间发展分布式能源的战略选择	173
二、区域能源终端需求的内涵和集成优化潜力	174
三、中国特色的区域型 DES/CCHP 的基本模式	175
四、电力终端负荷估算和配置原则：从“以热定电”到“保障供电和昼夜调峰”	177
五、冷、暖、热水、蒸汽需求及负荷的估算	178
六、区域型 DES/CCHP 的方案制订	179
七、近年来规划的区域型冷热电联供能源系统简介	183
第七节 冷热电联供促进经济发展及能源转型的宏观战略和顶层设计	188
一、中国经济和能源转型历史时期全面推广能源革命的历史机遇	188
二、分布式冷热电联供产业发展的战略目标和宏观布局	190
三、呼唤推动 DES/CCHP 发展的机制创新	193
四、DES/CCHP 是在市场机制下极具活力的新兴低碳产业	193
五、政府：健全机制，制订规划，税收调控，价格监管，信息公开，技术研发	195
参考文献	197

第五章 天然气分布式发电与中国电力系统低碳转型的协同 199

第一节 世界电力系统发展和低碳转型中的天然气发电 200

一、世界电力系统发展和一次能源构成的变化及趋势 200

二、大电网的安全保障和减少输变电损失催生天然气分布式发电 201

三、气候变化和碳减排促进天然气清洁发电 202

四、可再生能源发电的波动性和随机性要求天然气发电保障供需平衡 203

第二节 中国能源和电力系统的历史与地缘特点的挑战 204

一、一次能源构成所决定的中国发电来源构成 204

二、体制和机制障碍制约中国天然气 DES/CCHP 的发展 205

三、电力资源地缘条件呼唤在负荷中心建设天然气 DES 保障供应 208

四、电力供需格局变化加重昼夜调峰的紧迫性 209

五、中国电力系统面临的低碳转型压力和挑战 211

第三节 区域天然气 DES/CCHP 协同电力系统保障供应和昼夜调峰 212

一、百 MW 级天然气 DES/CCHP 机组协同电力调峰的可行性 213

二、新建区域型 DES 增强供电可靠性 215

三、天然气 DES/CCHP 协同大大增强了电力系统的调峰能力 216

第四节 中国能源电力产业和天然气 DES/CCHP 的互利多赢 217

一、新建区域型 DES 改变中国电力建设格局 217

二、在现行机制和法律框架下 DES 调峰能否实现? 219

三、智能电网架构下天然气 DES/CCHP 调峰运行的必然性 221

四、呼唤政府作为——宏观规划和顶层设计 222

第五节 智慧能源网络时代的天然气发电 224

一、向低碳可再生能源转型，推动智能电网和智慧能源网络时代的到来 224

二、IEN 架构下工业/区域 DES 对天然气 CCHP 长期需求 225

三、未来可再生能源为主时代小型天然气 DES/CCHP 的竞争力分析 226

四、天然气发电在未来可再生能源为主的电力系统中的作用 227

参考文献 229

第六章 天然气在中国交通运输燃料低碳转型中的历史性作用 230

第一节 交通运输耗能向低碳转型的大趋势、历史进程和情景分析 230

一、世界交通运输史和当前燃料消耗领域分布 230

二、向低碳能源转型历史进程中不同交通运输燃料的转型路线 232

三、配合第三次能源转型的交通运输燃料转型的内涵和进程分析 235

第二节 LNGV 替代是中国控制石油对外依存度的关键途径 237

一、正值第三次工业革命时代崛起的中国交通运输能源战略 237

二、石油战略：来源与去向分析及替代策略 239

三、交通运输能源低碳、多元化替代在中国的跨越式发展 240

第三节 LNGV 运输燃料价值链构成分析、推进策略和前景 241

一、中国 LNGV 价值链发展现状、问题和发展潜力 241

二、LNGV 产业链的四个组成部分及其相互制约关系 246

三、LNGV 产业链各环节协同发展的关键和策略 247

四、中国 LNGV 发展进程分析预估 249

五、政府作为——战略、规划、市场支持和导向 250

第四节 LNGV/CNGV 是新型低碳产业的重要组成部分 254

一、“转变经济增长方式”与 GDP 增长和就业驱动的思维定势 254

二、LNGV/CNGV 各个环节对就业和 GDP 增长的贡献分析 255

三、LNGV/CNGV 对中国制造业和出口贸易的贡献分析 256

参考文献 256

小 结 258

补记：油价变局与中国经济、能源转型 259

一、油价变局的中国因素 259

二、对中国能源格局和低碳转型的影响 260

三、如何利用低油价给中国带来的利好机遇？ 261

致 谢 263

第一章 经济、社会发展与能源和环境的关系

有文字记载的人类社会经历了几千年缓慢发展、演化的进程。近 200 年来，进入一个崭新的阶段。图 1 - 1 是笔者基于表 1 - 1 的数据画出的近 500 年来世界人口增长与 GDP 增长曲线。由图可见，自 19 世纪前期开始，以人口和 GDP 为标志的人类的生存状态进入前所未有的加速变化的新时期。大动荡、大变化不断产生各种新的矛盾和问题，人类在认识 and 解决这些矛盾和问题中加速进步和发展。在 19 世纪的大部分时间里，在众多思想家和经济学家探索研究的基础上，由空前壮阔的社会变革实践产生和发展的马克思主义历史唯物论和政治经济学，带给人们认识、剖析社会历史内在关系和规律的思想武器。它揭示了生产力与生产关系、经济基础和上层建筑之间相互作用的辩证关系，指出人类社会发展内在的矛盾、规律和方向。

表 1 - 1 世界人口、GDP 及人均值变迁的历史数据

公元/年	人口/亿人	GDP/亿美元	人均 GDP/美元
1500	4. 62	2405. 5	520. 6
1700	6. 78	3751. 5	533. 3
1825	10. 9	6948. 1	637. 4
1900	16. 5	19736. 8	1196
1940	22. 85	45026	1970. 5
1960	30. 207	87276	2890
2012	70	500000	7000

到了 20 世纪，随着科学技术的加速进步，生产力水平几乎以几何级数般的发展速度提高，随之而产生的生产关系、上层建筑的变革也快得令人眼花缭乱。新的矛盾和问题层出不穷，似乎进步越快面临的挑战越多。以至于步入 21 世纪，人类不得不考虑：这样下去将会走向何方？未来的社会生产力和生产关系是什么样子？人类社会怎样才能可持续发展？这种状况和这些新问题，是马克思和恩格斯生活的时代难以预料的。以研究能源与经济、社会发展关系的规律为宗旨的本书，不可避免地要涉及这些。本章试图运用他们所建树的理论和思想武器，通过历史事实、数据的分析探索，阐明这些新的矛盾和问题。

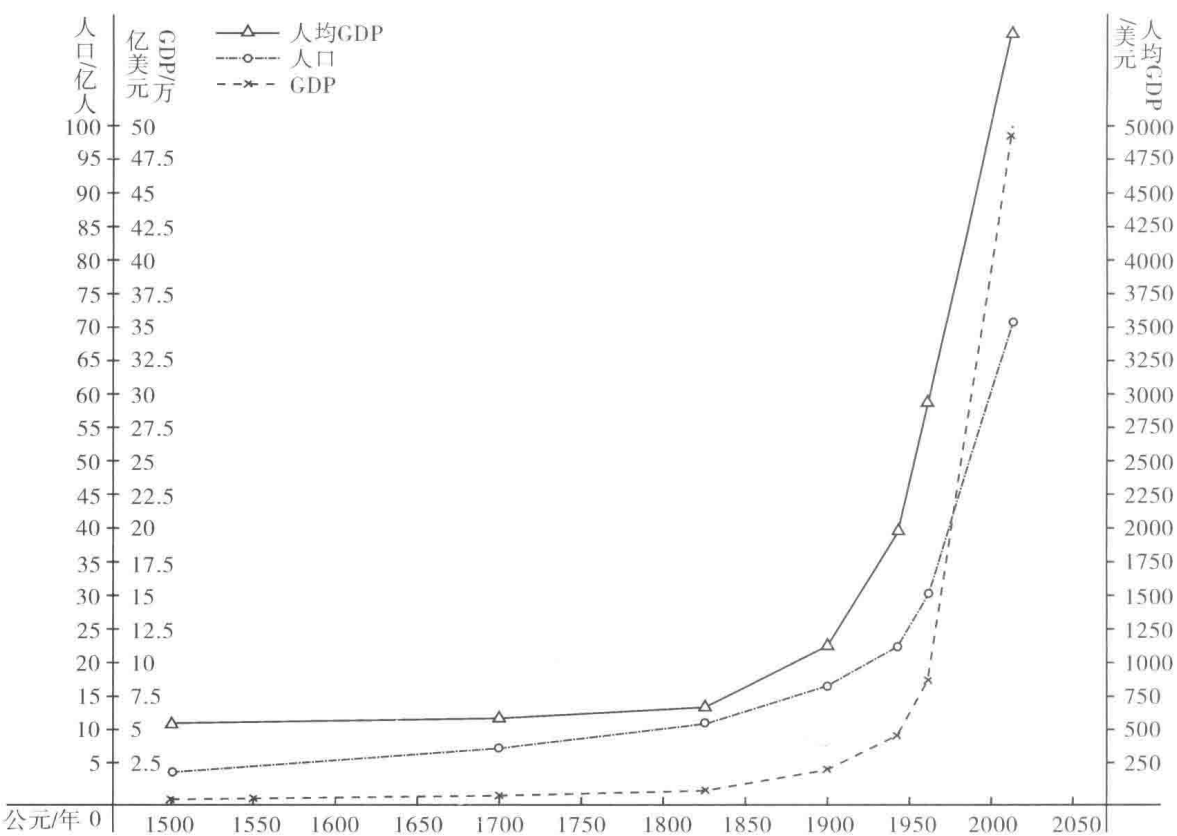


图 1-1 世界人口与 GDP 增长的历史数据（1500—2012）

第一节 第一次工业革命与社会转型

一、欧洲的商业革命与第一次工业革命的前奏

从 16 世纪开始持续到 18 世纪初期，由于新航线的发现，欧洲与东方建立了直接联系，并且发现了美洲。欧洲一些国家殖民于海外，使商品交换的规模扩大，进而引发金融、保险、投资方面的变革；出现了新的经济理论，商品经济逐步取代自然经济成为社会经济的主导。此时的农业生产状况变化不大，但以英国的毛纺织业为代表的手工业生产规模却有了较大的发展。商业活动因“地理大发现”和随之而来的遍及全球的金银、珠宝、瓷器、茶叶、丝绸、香料等的贸易而极大地发展起来，历史学家称之为“商业革命”（也称“前工业化时代”），构成了欧洲工业革命的前奏。与此同时，在 17 世纪初的 1600 年，东方的明朝帝国虽然 GDP 居世界第一位，占全球的 24.0%，并且商品生产和国际贸易也已相当发达，但由于根深蒂固的传统文化所决定，以农业为经济之本，后期还采取闭关锁国的政策，因而并没有与欧洲同步脱离自然经济而发生商业革命。

手工业技艺和规模的发展催生了英国的圈地运动，新航线促进了荷兰、西班牙、葡萄牙以及英法等国的海外殖民扩张、财富掠夺和奴隶贸易，积累了一批原始资本；一个新兴的商业资产阶级开始产生。在思想文化上，相应地发生了意大利的文艺复兴和法国的启蒙

运动。这种由生产力的发展所推动的生产关系和上层建筑的变革，导致从 16 世纪开始先后发生的荷兰尼德兰革命、英国资产阶级革命、美国独立战争，直到 1789 年的法国大革命，新兴的资产阶级走上政治舞台。从图 1-1 的曲线图中可以看到，一直到 19 世纪初，世界人口逐渐缓慢增加，GDP 总量和人均 GDP 的增长则与数千年来的变化趋势没有太大的区别。这说明商业革命虽然产生了商业资产阶级，但并未对生产力发展产生多大的影响。

二、第一次工业革命和第一次能源转型

对世界产业革命或工业革命的历史分期有不同的说法。一种分类是从一种新技术和新生产力的出现开始作为分野点，分成三段：

- (1) 1760 年到 1870 年的“蒸汽时代”（自由资本主义阶段）；
- (2) 1870 年到 1940 年的“电气化时代”（垄断资本主义阶段）；
- (3) 1940 年至今的“信息时代”（后工业化时代）。

另一种分类则是从一种新技术和新生产力趋于成熟并大规模应用，导致生产力的显著提高（也就是新能源的大规模应用）作为分野点，分成第一次工业革命（以煤为主要能源基础的新生产力）和第二次工业革命（以石油为主要能源基础的新生产力）。其实两种分类并不矛盾，因为这两次变革都是与新技术和新生产力的要求、促进下的能源转型同时发生的。本书取后者为主线进行分析。

人区别于动物首先在于使用工具。人类智慧是在不断改进工具以减轻体力劳动和提高劳动生产率的需求驱使下发展的。工具改进基于技术的进步，而技术进步又促使或者呼唤科学发明和创新；反过来，每一项新的科学发明都会推动技术的大踏步改进，进而推动生产力的跨越式提高。人类社会就是在这样的往复循环中不断发展进步的。

第一次工业革命是 18 世纪末从英国开始的。在如何把蒸汽的热能转变为强有力的、能够替代人力的机械能的“热变功”技术与热力学科学研究的相互促进下，1783 年拉瓦锡揭示了燃烧作用的本质。接着 1824 年卡诺提出了卡诺原理，19 世纪 40—50 年代人类先后揭示了热力学第一、第二定律。与学术进展相互促进，1769 年瓦特获得了蒸汽机的发明专利，开始用于提水；通过增加汽缸套和曲轴连杆，逐步应用于纺织机械以及其他机械的动力，使纺织等机械的生产力比人力有了极大的提高，由此开始了大工业生产。机械制造业带动了钢铁工业的大发展。机械的本体和零部件对金属材料的要求越来越高，生铁已经不能满足，于是炼钢工业应运而生。也是从英国开始，1856 年发明贝氏麦转炉，1864 年发明平炉。当时，英国是世界上最发达的钢铁工业国，1880 年英国产钢量达到 131.6 万吨；生铁和钢的产量均占世界产量的一半。炼铁的辅助原料焦炭的炼制需要大量的优质焦煤，这进一步推动煤炭工业的快速发展和消耗量的快速增长。同时，炼焦工业副产品煤焦油又成为有机化学工业的主要原料，推动了现代化学工业的发展。

到了 1829 年史蒂文森把蒸汽机用于交通运输，于是产生了火车，随后用于轮船，由此开始了快速的大规模运输。正是蒸汽机的推广应用，使得几千年来一直作为人类主要燃料的木柴不再能够满足需要。于是，才开始大规模开采和使用埋存于地下的，能量密度更高，成本更低，更易于快速、大批量获取的煤炭。其实，人类在上千年前就发现并利用过煤炭；我国晋朝时期就已有用煤炼焦和炼铁的记载，欧洲到 18 世纪才开始用煤炼焦。英

国煤矿暴露于地表，因燃烧发出的气味而一度被禁止利用。煤一直没有大规模应用的根本原因，是没有新科技促成的新生产力对它的大规模需求。我们把第一次工业革命的标志时间点取在 1850 年左右，是因为从这时起英国开世界煤炭工业之先河，煤炭消耗占到世界总能耗量的 30%（其余 70% 仍为木柴等可再生能源）。经过 60 多年的发展，到了 1913 年，英国煤产量达到历史最高的 2.92 亿 t/a，占世界煤炭总产量（13.2 亿 t/a）的 23%。当年世界煤炭也占到一次能源消耗总量 92.2% 的历史最高比率。此后，虽然伴随着电力工业的兴起和壮大，世界煤炭总产量继续增长，1950 年达到 18.2 亿 t/a，2012 年达到 70 亿 t/a，但煤炭占总能耗的比率却一直逐步走低，直到 2000 年的 23% 和近年来的 30% 左右，见图 1-2。图 1-2 是一个三角坐标图，右下角是 100% 的可再生能源/核能，左下角是 100% 的煤炭，顶角则代表 100% 的石油和天然气。该图的缺点是没有把石油和天然气分开。自底边有“1850 年”字样处开始的那条曲线记录了人类利用一次能源的历史变化。图上曲线急转弯之点正是 1913 年，当年煤占一次能源消耗总量的 92.2%。虽然此后煤炭总产量持续增长，但在一次能源中的比重却因石油的快速增加而逐步降低。

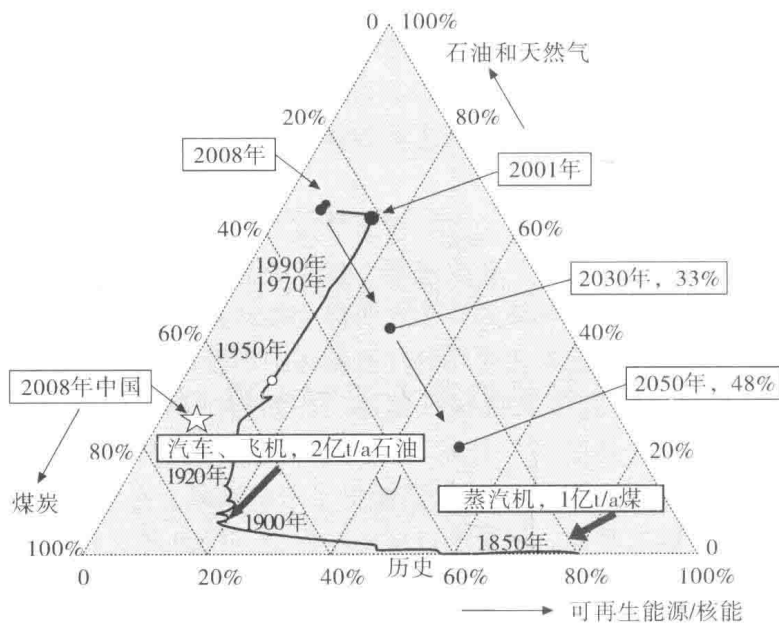


图 1-2 世界一次能源结构的变化轨迹以及发展趋势

19 世纪成为煤炭的世纪。在煤炭这种化石能源的支撑下，才有蒸汽机和电力的快速发展与大规模应用，诞生了现代化大工业，使生产力前所未有地快速发展。世界 GDP 在 1825 年为 6948.1 亿美元，到了 1913 年达到 21331 亿美元。在不到 100 年的时间里增至 3 倍，远远超过此前几千年增长的总和。这就是第一次工业革命，是近代工业化的实际开端，是传统农业社会向近代工业社会过渡的转折点。工业革命是人类历史的伟大飞跃，工业革命所建立起来的工业文明，终结了延续几千年的传统农业文明，创造出巨量的社会财富，从根本上完成了农业社会在各个方面的重大转型。它使得人类社会在经济、政治、文化、精神层面，以及社会结构和人的生存方式等，无不发生了翻天覆地的变革。

三、第一次工业革命和生产关系、上层建筑的转型

马克思主义政治经济学揭示了生产力与生产关系、经济基础与上层建筑之间的辩证关系。产业革命是与社会革命和文化革命相互关联、互动互促的。在自然经济的封建社会里孕育、成长的商品经济和工业经济，只有经过社会革命打破旧的生产关系和社会结构，才能长足发展。一方面，资产阶级革命建立起的现代民族国家，构建起关联度极高、分工极为严密的产业体系，产生了大批的“自由劳动者”——产业工人（包括蓝领和白领），同时工业化要求从业者有较高的受教育程度，因此国家建立起完整而系统的国民教育体系，使得教育和职业训练社会化。另一方面，整个国家和社会高度组织化，就像一台巨大的机器，日夜不停地运转，产生令人生畏的能量。杰米里·里夫金在《第三次工业革命》一书中，这样描述美国19世纪与20世纪之交第一次工业革命时期飞速发展的生产力如何改变了生产关系和整个社会形态：

铁路被认为是以煤炭为能源、蒸汽驱动为标志的第一次工业革命的杰出成果。铁路系统也成为主导第一次和第二次工业革命的集中型商业巨头的原型。在其发展初期，修建铁路所需要的基础建设投资远远超过纺织厂、造船业、运河等其他同期的高价投资项目，即使是最富有的家族也难以独自完成一条铁路的投资。……正是对大规模资金的需求催生了纽约证券交易所这一庞然大物，并使华尔街成为现代资本主义的集中地。……1891年宾夕法尼亚铁路公司拥有11万雇员，而同期的美国军队服役人数不过39 492人。1893年，宾夕法尼亚铁路公司的预算为9550万美元，相当于同期美国政府公共预算的25%；当年该公司的收入是1.351亿美元，是联邦政府年总收入3.858亿美元的35%。而宾夕法尼亚铁路公司不过是当时总计占美国市场份额三分之二的铁路七巨头中的一个。

现代合理商业运营结构本身是金字塔形的，拥有自上而下的权威。所有的运营活动、每个岗位的具体职责和每一层级之上工作的具体开展都有早已制定好的规则进行约束和指导。为了实现收益的最大化，每一项工作都进行了具体分工，并确定了固定的工作流程。……高度集中的大型铁路工业对与其有业务往来的工业部门产生了巨大的、立竿见影的影响。铁路基础设施的建设这一大型的经济活动推动了巨型承包商的产生。承包商负责监督数百个次级承包商的具体施工。铁路系统同时也发展了自己的辅助产业。宾夕法尼亚铁路公司同其他的铁路公司一样也购买了煤矿以确保蒸汽机车所需的煤炭；甚至向宾夕法尼亚钢铁集团投资，以确保制造车头所需要的钢铁供应。铁路同时也催生了电报行业。最初，机车通常是在单轨上进行双向运行，经常发生事故，损失惨重。很快，经营者意识到了电报的价值，将其作为监测和协调铁路运输的主要通信工具。……铁路工业所采用的合理的集中化管理体制十分适用于煤炭和蒸汽为动力催生的更加复杂的商业关系。以煤炭和蒸汽为动力的现代科技同现代通信方式的结合，大大缩短了时空的距离，加速了处于供应链每一环节的产业的发展，无论是煤炭或其他原料的开采与运输，还是工业制成品由制造商到批发商再到零售商、消费者的运输。……巨型、高度集中的工厂所生产出来的大批量产品降低了生产的平均成本，并通过供应链将这一变化所产生的利益传递到最终消费者手中。廉价商品的大规模生产带动了消费的增长，需求的增加又驱使更多的企业生产更多物美价廉的产品。规模经济成了第一次工业革命初始阶段最明显的特征，巨型的商业机构也