

天然气分布式供能与 “十二五”区域能源规划

TIANRANQI FENBUSHIGONGNENG YU SHIERWU QUYU NENGYUAN GUIHUA

华 贲 著



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

天然气分布式供能与 “十二五”区域能源规划

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

天然气分布式供能与“十二五”区域能源规划 / 华贵著. —广州: 华南理工大学出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 5623 - 3666 - 2

I. ①天… II. ①华… III. ①天然气-区域规划-能源规划-中国-2011 ~ 2015
IV. ①F426. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 106079 号

天然气分布式供能与“十二五”区域能源规划

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: scutc13@scut. edu. cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 胡 元

责任编辑: 方 琅 吴兆强

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 16.5 字数: 396 千

版 次: 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

序

天然气是一种宝贵的一次能源。在化石能源中，天然气属于清洁的低碳燃料。我国已探明的化石能源储量中煤炭虽居首位，但多种类型的天然气资源通过勘探工作陆续被查明，从而在未来几十年内奠定天然气在能源消费中的重要地位。

尽管天然气具有很多优点，但如何合理高效地应用这一能源却容易被忽视。简单替代煤炭作为锅炉燃料并不可取，通过燃气轮机发电兼供热则前进了一步，而采用分布式冷热电联供就更上一层楼。我国正处在大规模城市化进程中，在区域能源规划中纳入以天然气为能源的冷热电联供系统，可谓恰逢其时。

华贲教授及其团队长期从事过程工业能量系统优化的研究和实施，在炼油化工企业应用成果显著。近年来他们的工作扩展到建筑物节能乃至第二代城市能源供应系统，在若干项目实施中已经得到验证。作者在本书进一步提出区域型分布式供能系统与中国电力产业的协同互补问题，在能源宏观决策方面上升到新的高度。书中探讨了2020—2030年我国天然气发展战略和天然气产业政策，提出了有益的建议。

本书对从事天然气利用和建筑节能的科技人员、从事城市能源规划的政府官员和专业人员等具有很高的参考价值。

中国科学院资深院士
陈俊武

目 录

第一章 能源约束下世界和中国能源格局的走势	1
第一节 低碳发展时代的世界与中国能源格局	1
第二节 低碳时代的世界与中国能源结构	13
第三节 产业结构、能效及一次能源构成对能源强度的影响分析	22
第四节 碳排放与能源消耗的关联：低碳目标可实现性分析	30
第五节 中国低碳能源中期目标解读	35
第六节 中国能源战略转型的历史机遇	39
第二章 中国工业和建筑物高效用能之路：分布式冷热电联供	51
第一节 从热电联产到分布式供能的沿革、现实发展和未来趋势	51
第二节 分布式供能系统：联产和联供	56
第三节 中国城市建筑能源系统的集成创新	63
第四节 从燃煤热电联产到天然气冷热电联供	71
第五节 低碳能源时代中国热电联产的发展趋势	78
第六节 天然气发电与分布式供能系统	84
第七节 分布式冷热电联供能源系统经济性分析	93
第八节 广州大学城和中国 DES/CCHP 集成创新的历史机遇	97
第三章 区域型分布式供能系统与中国电力产业的协同互补	103
第一节 2008 年雪灾思考：分布式供能与大电网的安全保障	103
第二节 区域分布式供能改变中国电力低碳发展格局	107
第三节 中国分布式冷热电联供能源系统发展机制创新的历史机遇	114
第四节 区域分布式供能与智能电网安保调峰的战略协同	119
第五节 天然气发电项目分类与审批办法建议	127
第六节 分布式供能与电网优化配置和供电可靠性	133
第七节 智能电网时代广东能源电力产业的低碳发展	137
第八节 从战略高度看待分布式供能	145
第四章 “十二五”开始向低碳转型时期区域能源规划如何制订	153
第一节 区域分布式冷热电联供与经济发展和节能减排	153
第二节 区域型分布式冷热电联供能源系统的规划设计	160

第三节	区域能源利用效率计算方法及影响因素分析	168
第四节	区域冷热电联供与“十二五”能源和电力规划目标	175
第五节	低碳时代中国的城市能源规划	184
第六节	小城镇建设须重视能源规划	190
第七节	城市的科学发展与能源规划	193
第五章	“十二五”中国天然气市场开拓、供应保障和价格	197
第一节	天然气在中国向低碳能源过渡时期的关键作用	197
第二节	中国低碳能源格局中的天然气	204
第三节	2010—2030 年中国天然气发展战略探讨	212
第四节	中国的天然气产业政策	222
第五节	尽快改革天然气各类用户价格和发电上网价格机制	228
第六节	中国天然气定价机制改革建议	235
第七节	中国天然气资源、价格及上游市场刍议	243
第八节	从战略高度认识和推进天然气作交通运输燃料替代	249
后记		257

第一章 能源约束下世界和中国能源格局的走势

第一节 低碳发展时代的世界与中国能源格局

一、哥本哈根会议揭开了世界低碳发展的序幕

2009 年 12 月 7 ~ 18 日，为期 12 天的哥本哈根会议尽管争吵不断，甚至在会议结束后的一段时间内西方国家还在发泄失望、牢骚、指责和不满，但是，站在人类历史的高度，应该给这次会议以高度评价。因为它以世界 192 个国家的声音，在《哥本哈根协议》中肯定了会议前夕国际能源署提出的“450 情景方案”三个具体目标中的两个：第一，“承认这一科学观点”，即全球平均气温不应比工业化开始前高出 2℃。第二，对减排的远期目标达成了共识，重申了“共同但有区别的责任”，即在 2050 年前全球排放量减到 1990 年（209 亿 tCO₂）的一半。发达国家应在这个时间内减少至少 80% 的排放量；发展中国家的温室气体排放量应比“通常情况下”低 15% ~ 30%，即要考虑能源消耗与经济产出的比例^[1]。

会议对“450 情景方案”的第三个具体目标，即减排中期目标的排放数额和时间点以及减排指标和进度在不同国家间的分配和资金援助问题发生了尖锐的争论。“丹麦方案”把排放峰值时间点定为 2025 年，遭到中国、印度等国反对。中国科技部部长万钢指出，中国的排放峰值应在 2030—2040 年间，低于“450 情景方案”的“到 2020 年将达到最高峰（307 亿 tCO₂），2030 年降到 240 亿 ~ 260 亿 tCO₂”的中期目标。

之所以出现这种局面，是因为从现在到 2050 年是大部分发展中国家实现工业化的关键时期。总人口约 10 亿、占世界人口仅 15% 的经合组织（OECD）国家在此前的 150 年间，在无节制地使用低价能源和原材料条件下陆续完成工业化的同时，排放了导致目前气候危机的 80% 的二氧化碳。而当占人口 85% 的发展中国家经济起飞时，气候变化却迫使世界进入低碳发展约限能源消耗的时代。《哥本哈根协议》中提到“考虑（发展中国家）能源消耗与经济产出的比例”，就是捍卫发展中国家“发展权”的努力成果。

会议做出在 2010 年 11 月之前达成有约束力的协定的决定，留下一年的时间给所有人认识和厘清这些具体的、牵涉每一个国家利益的、有争议的问题，以期在达成深度共识的基础上再做决定。这种“求同存异”的做法，也体现了中国式的政治智慧。中国代表团的表现可圈可点，对会议达成历史性协议做出了重大贡献，这包括在会议前夕发布的“到 2020 年，单位 GDP 的二氧化碳排放比 2005 年降低 40% ~ 45%”的主动、无条件的二氧化碳减排目标，协调发展中国家的立场，以及在最后关头为达成《哥本哈根协议》而做出的努力。

无论在中期目标时间点、减排份额以及资金分配上存在多少争议，只要 192 个国家都共同认定了“2℃”和“在 2050 年前全球排放量减到 1990 年的一半”的远期目标

时间点，哥本哈根会议就足以载入史册。因为这是影响人类命运和今后发展模式的重大抉择，是世界能源和环境历史发展的里程碑。

二、低碳发展时代碳排放与能源消耗之间的关系

1. 气候变化推动世界能源构成第三次大转型

“在 2050 年前全球排放量减到 1990 年的一半，即 100 亿~110 亿 tCO₂”这句话决定性地影响着今后 40 年的世界能源格局、发展模式和整个面貌。笔者曾在《中国低碳能源战略探讨》一文中，从历史的角度展示了气候变化将如何推动世界一次能源消费结构大转型的图景。指出 2050 年将是世界依靠低碳能源运转的时代，“非碳”的核能和可再生能源将占总能耗的半壁江山，油气和煤（大部分还必须带 CO₂ 捕集和封存（Carbon capture and storage, CCS））都将低于总能耗的三成。不这样就不能保证实现“2℃”的目标。

然而，一次能源构成只能定性地反映碳减排的要求，不能保证 2050 年全球温室气体排放量 100 亿~110 亿 tCO₂ 的总量约限。而为了进一步展示低碳发展的量化图景，就必须揭示碳排放与能源消耗总量和构成之间的规律性关系。

2. 能源消耗和碳排放之间的关系

温室气体排放和动态平衡的模型极其复杂，尽管还有能源开采、动植物代谢等其他各种因素，但毕竟近 150 年来化石能源使用造成的排放增加是最主要因素。本书基于下列假设：①由化石能源使用所排放的二氧化碳占温室气体排放的绝大多数；②由其他各种原因所致净排放（排放量与碳汇吸收量之差）的各种温室气体量并非常数，也随人类发展而动态变化，在难以建立严格模型的条件下，暂按与用能排放的二氧化碳同步变化处理。

表 1.1.1 给出了美国能源情报署（EIA）发布的 2004 年主要国家 GDP、能耗、能源强度 ε 和碳强度 κ 的数据。表 1.1.1 中最右边一栏“能源碳强度”（ $\omega = \kappa/\varepsilon$ ）数据，是本书提出并计算的一个反映碳排放与能源结构关系的新指标。

表 1.1.1 2004 年世界各国 GDP、能源强度和碳强度比较

国家	GDP/亿美元	能耗/亿 tce	能源强度 ε / [tce · (1 000 美元) ⁻¹]	碳强度 κ / [tCO ₂ · (1 000 美元) ⁻¹]	能源碳强度 ω / (tCO ₂ · tce ⁻¹)
美 国	132 018	33.24	0.337	0.55	1.63
英 国	23 450	3.24	0.223	0.36	1.61
法 国	22 307	3.75	0.260	0.26	1.00
德 国	29 067	4.69	0.258	0.42	1.63
日 本	43 401	7.43	0.235	0.36	1.53
俄罗斯	9 869	10.07	0.567	0.88	1.55
中 国	26 681	23.99	0.326	0.72	2.21
印 度	9 063	6.05	0.151	0.30	2.00
韩 国	8 880	3.23	0.452	0.69	1.53

注：表中 GDP 及其他相应数据均按照购买力平价（Purchasing Power Parity, PPP）法计算。

ε 和 κ 值取决于一个国家的发展程度 (GDP); 而 $\omega = \kappa / \varepsilon$ 排除了 GDP 的影响, 是只与一次能源消费结构有关的参量。从这 3 个指标的因次可以看出, 当以 GDP 代表一个国家的经济发展程度时, ε 反映其能效, κ 反映其二氧化碳排放强度, 而 ω 是一次能源消费中生成并排放二氧化碳的各种形式能源所占比率 γ 的函数。显然, γ 与可再生能源 (除生物质能以外) 的数量无关, 与生成二氧化碳较少的天然气弱相关。若一次能源中煤、石油、天然气和生物质能的比率分别表示为 C 、 O 、 G 和 B , 且定义 $\beta = \text{CCS 利用的煤和生物质能} / \text{煤和生物质能的总耗量}$, 则可把生成并排放二氧化碳的能源在总能耗中的比率定义为参数 γ :

$$\gamma = (C + B)(1 - \beta) + O + 0.33G \quad (1.1.1)$$

天然气由于其分子中氢原子多, 燃烧产生的二氧化碳少, 且能源利用效率高, 估算天然气能源利用的二氧化碳生成率为煤和石油的 1/3。必须说明的是, 当未来 CCS 利用大发展时, 式 (1.1.1) 还需进一步严格定义和修改完善。

图 1.1.1 是在迄今基本尚无 CCS 利用, 即 $\beta = 0$ 的条件下, 采用根据 BP 公司发布的 2005 年不同国家一次能源构成数据推算出的 γ 值 (见表 1.1.2) 和表 1.1.1 中 2004 年的 ω 数据, 回归出来的一次能源中化石能源所占的比率 γ 与能源碳强度 ω 之间的线性关系, 关联式见式 (1.1.2)。

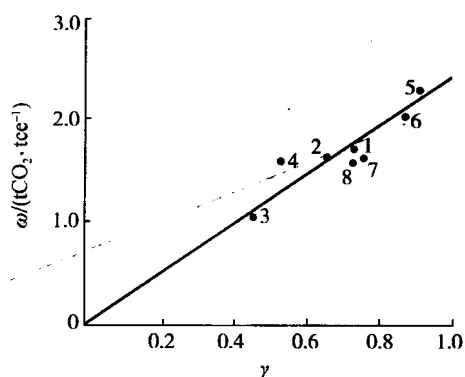


图 1.1.1 不同国家高排碳一次能源比率与能源碳强度的关系

$$\omega = 2.4\gamma \quad (1.1.2)$$

表 1.1.2 2005 年主要国家一次能源消费结构及 γ 值

单位: %

国 家	美国 1	英国 2	法国 3	俄罗斯 4	中国 5	印度 6	韩国 7	日本 8
O	40.4	36.5	35.5	19.1	21.1	29.9	47.0	45.2
C	24.6	17.2	5.1	16.4	69.6	55.0	24.4	22.9
G	24.4	37.4	15.5	53.6	2.7	8.5	13.4	14.6
$0.33G$	8.05	12.3	5.1	17.7	0.9	2.8	4.4	4.9
γ	73.1	66.0	45.7	53.2	91.6	87.7	75.8	73

之所以把关联式设为通过原点的直线, 是基于前述假设做出的推论。由于目前所能掌握的数据有限, 这种关联和回归还是比较宏观和粗略的。但沿着这样的思路, 是有可能建立比较严格的 γ 与能耗构成以及 $\omega = f(\gamma)$ 关联式的。

表 1.1.1 中的数据可以反映不同国家的能源结构和能效状况。例如, 法国的能效不是最高的, 但法国的 κ 和 ω 值都最低, 这是因为法国电力的 80% 依靠核能, 二氧化

碳排放最少；俄罗斯和韩国的 ε 和 κ 值都很高，但它们的 ω 值却与美国和欧洲国家水平相同，这是因为它们一次能源中天然气所占比较高的缘故；印度和中国这两个发展中国家产业结构完全不同， ε 和 κ 值相差 1 倍以上，但 ω 值居然非常接近，这说明两国的一次能源构成是相近的。

利用这个关联式所给出的 ω 和 γ 关联，便可以利用世界或某个国家的碳排放量、总能耗、一次能源构成等数据进行相互推算。

三、按照“450 情景方案”2020—2050 年世界低碳发展新格局

按照“450 情景方案”，2020—2030—2050 年间，二氧化碳排放必须按 307 亿～250 亿～108 亿 t 的程度降低，即 2030 年减少到 2020 年的 81%，2050 年减少到 2020 年的 35%。按照《哥本哈根协议》对于发展中国家“能源消耗与经济产出的比例”的考虑，发展中国家在一定时期内还要增加能耗总量。因此，气候变化制约碳排放的峰值在 2020 年，但随着一次能源中可再生能源比率的提高以及煤 CCS 利用的发展， ω 和 γ 值会有显著降低，世界能耗峰值不在 2020 年，而在 2030 年左右。

根据国际能源机构（IEA）对世界能源需求的预测以及对 CCS 技术进展的估计^[2]，在 2020 年、2030 年、2050 年 3 个关键年份二氧化碳排放量的绝对约束下，对能耗构成、 γ 和 ω 值、总能耗进行迭代估算，获得了以 2005 年为基点，到 2020 年、2030 年、2050 年的世界能源消耗、碳排放和一次能源构成，数据见表 1.1.3。

表 1.1.3 2005—2050 年世界能源碳强度、一次能源构成、总能耗的变化预计（按照“450 情景方案”）

项 目		2005 年	2020 年	2030 年	2050 年
二氧化碳排放量/亿 tCO ₂		270	307	250	108
总人口/亿人		67	77	83	90
人均二氧化碳排放量/(tCO ₂ ·a ⁻¹)		4.0	4.0	3.0	1.2
能源碳强度 ω /(tCO ₂ ·tce ⁻¹)		1.78	1.4	1.0	0.48
高排碳一次能源比率 γ		0.64	0.58	0.42	0.20
煤 CCS 利用比例 β		0	0.1*	0.4*	0.8
煤	消耗量/(亿 t·a ⁻¹)	59.2	86	102	95
	占一次能源构成比例/%	27.8	28	29	30
石 油	消耗量/(亿 t·a ⁻¹)	48.5	39	32	16
	占一次能源构成比例/%	36.3	25	18	10
天然气	消耗量/(万亿 m ³ ·a ⁻¹)	2.79	3.8	3.9	2.1
	占一次能源构成比例/%	23.6	22	20	12
核能和可再生能源占一次能源构成比例/%		12.2	25	33*	48
总能耗/(亿 tce·a ⁻¹)		151.77	220	250	225
人均能耗/(tce·a ⁻¹)		2.3	2.9	3.0	2.5

注：* 参见文献 [2] 和文献 [3]。

许多研究者和机构认为世界对能源的需求将是一直增加的。而上述结果显示,到2050年,碳减排要求世界总能耗必须回落。除非到2050年人类能够使90%的煤(包括生物质能)通过CCS利用($\beta=0.9$),并把石油消耗量控制在10亿t/a以下。换句话说,届时人类所消耗能源的90%以上都应是不排二氧化碳的,那样才可以在二氧化碳排放不超过100亿t的条件下,继续增加总能耗。这种可能性固然存在,但需权衡这样做与进一步提高能效之间在经济效益上的得失。同时也必须意识到,通过不断的科技进步和能效提高,在人均2.5tce/a能耗下人类也能够享受舒适的生活。

四、按照“丹麦方案”中期目标世界碳排放和能源格局

按照“丹麦方案”,二氧化碳排放峰值在2025年。将IEA对世界能源需求的预测做适当调整,并考虑到世界核能及可再生能源比率增加、美国奥巴马政府的能源新政策实施等因素,在2025年二氧化碳排放峰值为320亿t的约束下,对能耗构成、 γ 和 ω 值、总能耗进行迭代推算,获得了2025年和2030年世界能源消耗、碳排放和一次能源构成的数据,见表1.1.4(表1.1.3中基准年份2005年和远期目标2050年数据不变)。

表 1.1.4 2005—2050 年世界能源碳强度、一次能源构成、总能耗的变化预计(按照“丹麦方案”)

项 目		2005 年	2020 年	2025 年	2030 年	2050 年
二氧化碳排放量/亿 tCO ₂		270	307	320	300	108
总人口/亿人		67	77	80	83	90
人均二氧化碳排放量/(tCO ₂ ·a ⁻¹)		4.0	4.0	4.0	3.6	1.2
能源碳强度 ω /(tCO ₂ ·tce ⁻¹)		1.78	1.4	1.24	1.09	0.48
高排碳一次能源比率 γ		0.64	0.58	0.517	0.45	0.20
煤 CCS 利用比例 β		0	0.1*	0.2	0.3	0.8
煤	消耗量/(亿 t·a ⁻¹)	59.2	86	98	107	95
	占一次能源构成比例/%	27.8	28	29	28	30
石 油	消耗量/(亿 t·a ⁻¹)	48.5	39	37.5	36.3	16
	占一次能源构成比例/%	36.3	25	21.4	19	10
天然气	消耗量/(万亿 m ³ ·a ⁻¹)	2.79	3.8	4.2	4.25	2.1
	占一次能源构成比例/%	23.6	22	21.6	20	12
核能和可再生能源占一次能源构成比例/%		12.2	25	28	33*	48
总能耗/(亿 tce·a ⁻¹)		151.77	220	258	273	225
人均能耗/(tce·a ⁻¹)		2.3	2.9	3.2	3.0	2.5

注: * 参见文献 [2] 和文献 [3]。

由表 1.1.4 数据可见,世界二氧化碳排放峰值推迟 5 年并增加了 13 亿 t,到 2025 年相应的碳排放情景是:总排放比 2008 年(289 亿 tCO₂/a)增加了 31 亿 tCO₂/a,达到世界人均排放 4tCO₂/a。图 1.1.2 给出了 2005 年各国二氧化碳排放量和人均排放量

的比较。人均排放的大致情景是：美国 $19.5\text{tCO}_2/\text{a}$ ，其余 OECD 国家均为 $10\text{tCO}_2/\text{a}$ 左右；而发展中国家除中国外，普遍在 $2\text{tCO}_2/\text{a}$ 左右。若发达国家到 2025 年能够如约减排到 1990 年的 40%，即 67 亿 tCO_2/a ，相当于人均减排 $6.7\text{tCO}_2/\text{a}$ ，除美国外均已大致达到世界均值 $4\text{tCO}_2/\text{a}$ 的水平。而发展中国家可比 2008 年增加排放 98 亿 tCO_2/a 。按 70 亿人口计，人均多排 $1.4\text{tCO}_2/\text{a}$ ，也已大致接近世界均值 $4\text{tCO}_2/\text{a}$ 的水平（中国除外）。

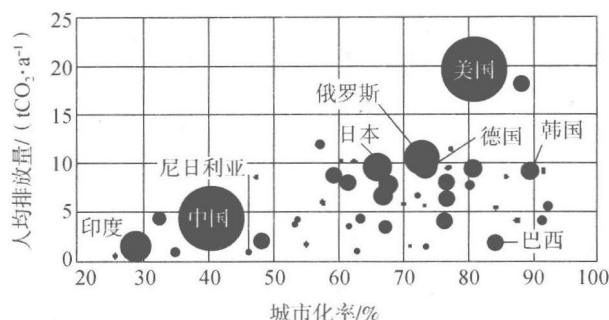


图 1.1.2 2005 年世界各国二氧化碳排放总量和人均排放量比较

注：圆形大小反映的是各国二氧化碳排放总量。

资料来源：World Development Indicators data files。

能耗峰值（大约在 2030 年）也相应增加了 33 亿 t，达到 273 亿 tce/a，人均 $3.3\text{tce}/\text{a}$ 。而伴随着 OECD 国家的减排，人均能耗和总能耗也会减少。表 1.1.5 给出了随着科技进步和能源涨价，历史上有关国家人均 GDP 达到 1 万美元时的人均能耗。

表 1.1.5 有关国家人均 GDP 达到 1 万美元的时间和人均能耗

国 家	时 间	人均能耗/ $(\text{tce} \cdot \text{a}^{-1})$
美 国	20 世纪 60 年代	8
英 国	20 世纪 70 年代	6
日 本	20 世纪 80 年代	4.1
韩 国	20 世纪 90 年代	3.9

如果承认科技进步是改变世界的最强大力量，就必须意识到，在 2030—2050 年的历史时期，目前占世界人口 85% 的发展中国家实现“人均 GDP 达到 1 万美元”为标志的现代化时，人均能耗决不能超过 $3\text{tce}/\text{a}$ 。表 1.1.4 给出的人均能耗约限是 2030 年 $3.3\text{tce}/\text{a}$ ，2050 年 $2.5\text{tce}/\text{a}$ 。也就是说，在发达国家提供技术，发展中国家采用跨越式发展、发挥后发优势的情况下，发展中国家是能够在世界低碳发展的大格局下实现自己的经济发展的。问题在于，一方面，不能采用历史上发达国家的发展模式来外推今后发展中国家发展对能源和排放的需求；另一方面，发达国家必须在尽到自身减排义务的同时，在资金和科学技术成果援助方面履行承诺，这就是中国有责任向世界推销的“和谐”价值观。

还必须指出,发展永远是不均衡的,2004年人口10.65亿的印度人均能耗只有0.57tce/a,而中国已达1.56tce/a,是印度的近3倍。今后20~40年中,总人口70亿的100多个发展中国家将各有自己的发展之路,其中,中国是最独特的。

五、不同中期目标对2030—2050年减排任务的影响

图1.1.3分别给出了代表“巴厘岛”路线图、“450情景方案”和“丹麦方案”所描绘的到2050年碳减排三种路径的三条曲线。

从图1.1.3可以看出,碳排放峰值年越推迟,达到2050年远期目标的减排曲线越陡,即完成每年减排任务的难度越大。按照峰值在2025年的“丹麦方案”,2030—2050年的20年间,需平均每年减排10亿tCO₂。人类必须采取哪些措施才能完成这项任务,还有待推敲。

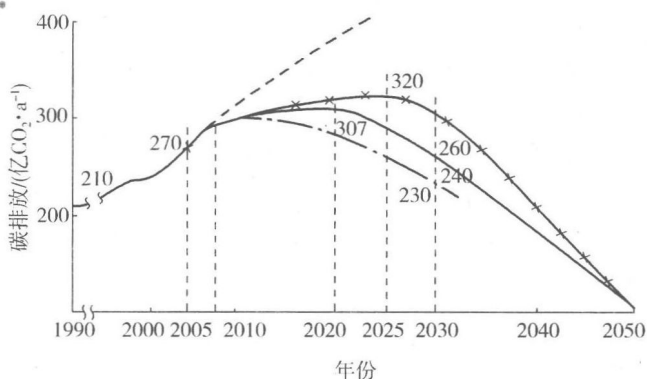


图1.1.3 不同中期目标对2030—2050年碳减排的影响

--- 沿原有模式发展趋势; — “巴厘岛”路线图目标;
— “450情景方案”目标; × “丹麦方案”目标

另外,比较代表“丹麦方案”和“450情景方案”的两条曲线可以看出,在2020—2040年的20年间,前者比后者

每年会多排20亿~40亿tCO₂。换言之,20年里大气中二氧化碳总量将增加400亿t以上,相当于把控制升温不超过2℃的启动时间推迟了一年半。这又会不会,或者在多大程度上,影响到“450mL/m³”和“2℃”目标的实现呢?还有待于气候学家们去论证。

综合这两点考虑,如果碳排放峰值年份再往2030年之后进一步推迟,那么,能不能在2050年实现“450mL/m³”和“2℃”的远期目标?或者说能不能控制住地球表面不走向恶性升温?便值得考虑了。(本书纯粹是采用科学方法针对客观数据的分析、归纳和推论,不涉及任何政治方面的考虑)

六、中国2020年主动减排中期目标的可实现性

前已述及,在目前世界能源转型和低碳发展格局中,中国处于最特殊的地位。这是由下列因素决定的:中国是人口第一大国,事实上的第二大经济体,但由于煤占一次能源近70%的能源禀赋,二氧化碳排放不仅总量最多,人均也已超过世界均值。然而,中国人均GDP还远远落在后面,属于发展中国家之列。这就决定中国在今后10~20年里,第一要发展,第二必须是低碳发展,中国政府也正这样坚持和实践着。下面运用上文提出的能源碳强度分析方法,对中国政府已宣布的和今后能够采用的低碳发展途径做一个概要分析。

1. 基准年份 2005 年的能源消耗、二氧化碳排放情景和指标

根据国家公布的数据,将 2005 年相关主要指标核算并列举如下:人口 13.07 亿, GDP 18.35 万亿元,人均 GDP 1.4 万元/a;总能耗 22.2 亿 tce,人均能耗 1.7tce/a,能源强度 ε 1.21tce/万元;二氧化碳净排放 51 亿,人均排放 3.9tCO₂/a,碳强度 κ 2.78tCO₂/万元;单位能耗排放二氧化碳,即能源碳强度 ω 2.3tCO₂/tce。

然而,按照关联式(1.1.2)计算,中国 2005 年的 γ 值约为 0.93, ω 值应为 2.23tCO₂/tce。实际上,在拟合关联式(1.1.2)时,同中国的数据点相比曲线值也是有负偏差的。

2. 2020 年中国主动减排目标详解

文献[4]披露了中国政府 2010—2020 年间减排措施的“六大目标”,将其中前四个涉及节能和减排的目标摘录如下:第一个是节能目标:从“十一五”规划算起,每一个五年规划期间单位 GDP 能耗减少 20%,2005—2020 年期间累计减少 50%左右;第二个是清洁能源目标:2005—2020 年可再生能源和核能比例从 7.7% 提高到 17.7%;第三个是清洁煤炭使用目标:2010—2020 年清洁煤使用比例累计提高 15 个百分点;第四个是二氧化碳排放减缓目标:从“十二五”规划算起,每一个五年规划期间单位 GDP 二氧化碳排放量下降 20%,在 2010—2020 年期间累计下降 36%,比 2005 年下降 40%~45%。

按照前三个目标,可以推算出 2020 年中国的 ε 值将降低到 0.62tce/万元,若该年 GDP 达到 66 万亿元,则总能耗为 41 亿 tce。根据对中国石油、天然气供需双方走势的研究,预计 2020 年中国天然气消耗量约为 4 000 亿 m³/a,石油消耗应不超过 5 亿 t/a,加上“可再生能源和核能比例提高到 17.7%”的预计^[4],便可推算出 2020 年中国的一次能源构成,见表 1.1.6。

表 1.1.6 2020 年中国能源消耗及一次能源构成预测

项 目	实物量	能耗/(亿 tce · a ⁻¹)	所占比例/%
煤 碳	30.1 亿 t	21.5	52.4
石 油	5.0 亿 t	7.2	17.5
天然气	4 000 亿 m ³	5.1	12.4
非化石能源	—	7.23	17.7
合 计	—	41.0	100.0

按照 2008 年公布的煤化工发展规划和 CCS 技术可能的进展,估计 2020 年中国的 β 值与世界均值相同,约为 0.1。但天然气冷热电联产(Combined Cooling Heating and Power, CCHP)系统利用还难以达到发达国家的规模,式(1.1.1)中 G 的系数只能达到 0.5,故推算的 γ 值为 0.71, ω 值为 1.7tCO₂/tce。考虑到上述偏差修正为 1.8tCO₂/tce,则推算出二氧化碳排放量约为 74 亿 t。

3. 按照第四个目标,即碳强度减少 40%~45% 的情景核算与分析

把宣布的以 2005 年碳强度 2.78tCO₂/万元为基础降低 40%~45% 的结果,乘以

2020 年的 GDP, 便可计算出 2020 年的数据。又可以按照“比 2010 年降低 36%”反算出目标所预计的 2010 年的碳强度是 $2.39 \sim 2.61 \text{ tCO}_2/\text{万元}$ 。也就是说, 估计“十一五”期间的 2010 年比 2005 年能够降低 6%~14%。而从“十二五”起, 强化减排措施, 每 5 年降低 20%。按宣布的指标推算, 从 $\kappa = 2.78 \text{ tCO}_2/\text{万元}$ 开始: 降 45% 时, $\kappa = 1.53 \text{ tCO}_2/\text{万元}$, 二氧化碳排放 101 亿 tCO_2/a , 人均 $7.2 \text{ tCO}_2/\text{a}$ (中国 2020 年总人口按 14 亿计); 降 40% 时, $\kappa = 1.67 \text{ tCO}_2/\text{万元}$, 二氧化碳排放 110 亿 tCO_2/a , 人均 $7.9 \text{ tCO}_2/\text{a}$ 。而按照“450 情景方案”, 2020 年世界排放 307 亿 tCO_2 , 人均排放 $4.0 \text{ tCO}_2/\text{a}$ 。中国人口占世界人口的 18%, 排放份额占世界的 33%~36%。这就不难理解, 为何美国和欧盟在哥本哈根会议上强调中国减排不够了。

4. 两种估算结果的差异分析和走势判断

为什么按照文献 [4] 中披露的中国政府 2010—2020 年间减排措施“六大目标”中的前三个 (能源强度 ε) 算出来的结果, 与按照第四个目标计算出来的不一样呢? 原因在于, 二氧化碳排放量的降低与能耗的降低并非线性关系。中国在保持能源强度 ε 每 5 年降低 20% 的同时, 大力发展天然气, 提高可再生能源比率, 并发展煤的 CCS 利用以降低 β 值, 从而可降低 γ 值和能源碳强度 ω 。根据上述分析, γ 值从 2005 年的 0.93 降低到 2020 年的 0.71。因此, 只要能源强度 ε 每 5 年降低 20% 的目标能够实现, 2020 年中国碳排放不高于 74 亿 tCO_2 的目标就完全能够实现。

七、中国如何实现能源强度 ε 每 5 年降低 20% 的目标

能源强度 ε 是单位经济发展的能效指标。从表 1.1.1 中数据可见, 按照购买力平价 (PPP) 法计算, 中国的 ε 值与美国相近, 低于俄罗斯和韩国, 但高于欧洲各国和日本。然而, 如果按照现行汇率计算, 则远高于任何国家。原因何在?

1. 产业结构对 ε 的影响

从能源经济学角度来看, ε 值取决于产业结构和能效两方面因素。根据中国 2006 年的统计数据, 三大产业的 ε 值以及在 GDP 中的比率见表 1.1.7^[5]。

表 1.1.7 中国三大产业的 ε 值及占 GDP 的比率

项 目 \ 产业类别	第一产业	第二产业	第三产业
ε 值/($\text{tce} \cdot \text{万元}^{-1}$)	0.34	1.73	0.41
1978 年占 GDP 比率/%	28.2	47.9	23.9
2006 年占 GDP 比率/%	11.7	48.9	39.4
1978—2006 年变化/%	-16.5	+1.0	+15.5

由表 1.1.7 可见, 我国第二产业的 ε 值是第三产业的 4.22 倍。众所周知, 发达国家第三产业在 GDP 中的比率均达到 70% 以上, 而中国第三产业比率的增加与第一产业比率的降低同步, 第二产业比率保持五成基本未变。这是 30 年来中国外向型经济发展模式及其导致的产业结构所决定的。中国选择的“世界工厂”的定位, 使它消耗着世

界 42% 的煤、50% 的水泥、39% 的钢铁，工业在 GDP 中一直保持半壁江山，由此 ε 值怎么能不高居世界榜首呢？

中国的资源、环境都不可能继续支持这种“三高一低”的经济发展模式，产业转型已经提到日程。按照表 1.5.6 2006 年的数据推算，若 10 个百分点的 GDP 由第三产业变为第二产业， ε 值将降低 13%。

2. 能效对 ε 值的影响

按通常算法，总能效 = 一次能源转换效率 $\times$ 终端利用效率。2002 年世界平均能效为 50.32%，中国则为 36.81%，相差 13.51 个百分点。中国能效低的原因在于，一方面，一次能源转换效率低。中国核电加水电约占 17%，煤、油电约占 83%，气电比率极小。2007 年中国 6MW 以上大煤电转换效率仅 42%，而发达国家天然气联合循环效率可达 55%~60%。另一方面，中国工业燃料和城市供热均以煤为主，近 70 万台锅炉中小于 10t/h 的占 92%，燃煤的占 80%，相应的热效率 70% 都不到，而天然气锅炉热效率可接近 90%。天然气冷热电联供分布式供能系统的总能效高达 70%~80%。由于中国发展天然气晚了 30 年，到 2008 年还只占一次能源的 3.6%，加上产业结构因素，能效低于世界均值是很自然的。当然，工业规模、技术等其他因素也有影响。

3. 提高能效、降低能源强度的前景

中国政府已经表明了产业转型的决心以及加速发展天然气的战略决策。论及在中国发展天然气的作用和重要意义，提高能效远大于减少二氧化碳排放^[5]。如果中国能抓住产业转型和能源结构转型同时发生的历史机遇，运用强势的政府规划和支撑作用，使天然气在一次能源中占到 15%~20%，同时，在工业和建筑物用能系统大力推进能量系统优化技术的基础上，尽可能推广应用发达国家 30 年来已发展成熟但还未能全面推广的天然气分布式冷热电联供系统技术，那么中国就能够以“后发优势”实现“跨越式发展”，在 10~20 年间把能效提高十几个百分点，赶上发达国家的水平。这是胜利完成节能减排目标的根本保证。在人类能源转型的低碳发展之路上，中国现在和将来都能够表现出“负责任的大国”的风范，为自己和全人类的可持续发展作出重大的贡献。

八、气候变化、低碳发展大局下的中国长期能源走势

1. 2030 年后，与世界同行的中国减排目标

文献 [4] 在详述中国 2005—2020 年“减排路线图”之后有一段话：“从长远来看，中国减排意味着中国选择绿色现代化，这需要分三步走：第一步就是实现上述目标，即使得我国在 2020 年前后二氧化碳排放达到峰值；第二步是在 2020 年之后二氧化碳排放开始下降，到 2030 年降至 2005 年的水平；第三步是到 2050 年使我国的二氧化碳排放降至 1990 年水平的一半，与世界减排同行。”

作为世界最大的、处于工业化中后期的发展中国家，中国选择这样的目标是极不容易的，充分体现了“负责任的大国”的风范。因为这意味着从现在到 2050 年的 40 年里，中国要与实力强大的美国完成同样数量（约 40 亿 tCO₂/a）的碳减排任务，并且要在以煤炭为主的自身能源禀赋下完成低碳发展的工业化，其艰巨性可谓空前绝后。

同样, 可以按照前述关联模型与 2030 年、2050 年两个年份的二氧化碳排放指标的约束条件和完成工业化的能源需求, 估算出相应的总能耗、 ω 和 γ 值, 进而得出一次能源构成数据, 见表 1.1.8。

表 1.1.8 2005—2050 年中国二氧化碳排放总量、能源碳强度和总能耗的变化预计

项 目		2005 年	2020 年	2030 年 (1)	2030 年 (2)	2050 年
二氧化碳排放量/亿 tCO ₂		51	74	60	54	18
总人口/亿人		13.07	14	14.7	14.7	15
人均二氧化碳排放量/(tCO ₂ · a ⁻¹)		3.9	5.3	4.1	3.7	1.2
能源碳强度 ω /(tCO ₂ · tce ⁻¹)		2.3	1.8	1.25	1.2	0.5
高排碳一次能源比率 γ		0.93	0.75	0.52	0.36	0.2
煤 CCS 利用比例 β		0	0.1	0.3	0.5	0.8
总能耗/亿 tce		22.2	41	48	45	36
人均能耗/(tce · a ⁻¹)		1.7	2.93	3.3	3.1	2.4
煤	消耗量/(亿 t · a ⁻¹)	15.15	30.5	29	25.2	15.1
	占一次能源构成比例/%	69.7	52.5	43	40	30
石 油	消耗量/(亿 t · a ⁻¹)	4.68	5.0	5.7	5.0	2.5
	占一次能源构成比例/%	21.0	17.4	17	16	10
天然气	消耗量/(万亿 m ³ · a ⁻¹)	0.06	0.4	0.56	0.59	0.34
	占一次能源构成比例/%	2.7	12.4	15	17	12
核能和可再生 能源	消耗量/(亿 tce · a ⁻¹)	1.47	7.3	12	12.2	17.3
	占一次能源构成比例/%	6.6	17.7	25	27	48

由于世界的中期目标尚在争论中, 因此中国 2030 年的减排目标至少有两种约束条件。按照“丹麦方案”, 中国的碳排放和能耗约束都将较为宽松 (见表 1.1.8 中“2030 年 (1)”栏); 而按照“450 情景方案”则较为严格 (见表 1.1.8 中“2030 年 (2)”栏)。但是, “2℃”所约限的 2050 年目标, 是与全世界一样极为严苛的。

关于总能耗在 2030 年之后是否会降低, 与表 1.1.3 之后对世界能耗走势的分析是相同的。但可以看出, 2020—2030 年间, 中国的人均碳排放量、能源碳强度 ω 和人均能耗都略高于世界均值。这是因为中国必须在这段时间完成工业化, 达到中等发达国家的水平, 而中国自身的能源资源禀赋又使中国一次能源构成与世界有所区别的缘故。

中国应对由“丹麦方案”和“450 情景方案”所决定的 2030 年两种外部情景的措施是有差别的, 一是发展可再生能源的力度 (25% 和 27%), 二是天然气的发展速度 (15% 和 17%), 三是煤 CCS 利用的程度 (β 为 0.3 和 0.5)。这 3 个方面 20 年后的实际情况现在很难确切预测, 但两种情况都有实现的可能。