



中国低碳经济蓝皮书

联合国环境规划署-同济大学环境与可持续发展学院

2012年6月

封面设计：何天昱

执行摘要

当前，中国的工业化处于中后期发展阶段，城市化进程正在加快。依靠资源高投入、高污染及低效率来实现经济快速发展的传统模式是不可持续的，未来发展将会受到能源、资源与环境问题的进一步制约。掌握中国低碳发展的现实状况及问题所在，探索经济、社会与环境协调发展的适宜推进策略，不仅是中国新型工业化和新型城市化发展的必然，同时也是构建和谐社会发展的国际化环境的必要条件。

本报告运用联合国倡导的绿色经济的理论和方法，运用已有的中国低碳经济的研究成果，分析总结中国目前低碳发展的状态和制约因素，提出未来一段时期内中国低碳化道路的目标选择及对策建议。报告内容由十章组成，首先基于 I=PAT 模型，分别对能源效率、能源替代、碳汇吸收等技术要素进行研究（1-3 章）；然后按照低碳发展的主要领域，对低碳城市、低碳产业、低碳消费等发展领域进行分析（4-6 章）；最后基于我们提出的中国低碳发展 C 模式理论，从低碳情景、低碳绩效、低碳创新、政策选择等战略研究层面，讨论中国未来低碳发展的目标与政策取向（7-10 章）。

发展清洁的可再生能源，逐步取代煤炭、石油及天然气等传统能源是解决气候变暖与能源安全问题的有利保障（第一章）。中国目前的水能、太阳能、风能及生物质能具有进一步发展空间。然而也存在保障不力及缺乏协调等政策问题、高投入与低效率同时并存的技术问题以及依托市场机制为主的产业化与规模化发展问题。在中国中长期可再生能源发展所确定可行目标指引下，加大技术投入、依靠三方合作治理，在可再生能源利用的法律与政策体系逐渐完备的情况下，未来中国的能源结构将会发生重大调整。

中国未来中长期能否实现减排目标，关键在于能源发展效率的提高程度。逐步提高效率将是建立能源安全格局的重要举措（第二章）。中国“十一五”规划把单位 GDP 能耗降低 20%列为约束性指标，这就要求实现单位 GDP 与单位福利水平的能源效率的大幅度持续上升。体现在在城市工业、建筑及交通三大高耗能部门中，合理分配与指定定量化节能及碳排放指标，并落实到实处。针对地方政府管理层面控制力度不足及缺乏能效提升的市场机制，各地方政府应制定相应的强制性能效指标，依托市场，建立企业的节能生产的长效机制与激励措施，在强调年绝对目标的同时，并注重发展力度与可持续发展水平。

控制大气中的 CO₂ 浓度的重要措施在于控制源与汇两个方面（第三章）。碳汇通过陆地植被、海洋和土壤对温室气体二氧化碳的吸收、贮存及固化，减少释放到大气中碳。通过管道运输捕获的 CO₂，注入地下、深海及废气的油气田中，提高燃油或天然气的生产率。中国目前森林覆盖率较低，技术上的瓶颈，理论上碳封存及固化技术缺乏实施的可能，加上管理体系的不完善，使碳封存技术缺少法律依据及安全性保障。中国未来在加强技术创新与能源效率的提升中，还要大力发展不同层次的生态系统，保护现有生态湿地，不断增加森林覆盖率。在城市建设空间范围内，尽一切可能增加绿化覆盖率，并制定相关法规对废弃用地及长期荒芜用地进行处罚，不断提高碳汇强度，减小大气中 CO₂ 浓度。

低碳城市内涵包含了宏观层面的经济社会发展与碳排放脱钩发展内涵及微观经济层面的物质流过程（第四章）。低碳城市属于城市可持续发展领域的具体化与专业化，受到人类发展、能源结构、技术进步及城市消费模式的影响与制约。对低碳城市的评价具有碳生产率、人类发展指数及弹性系数等衡量指标。针对中国近几年在低碳城市建设存在过度重视技术、而忽视理念认识与制度导向，造成发展目标缺失等问题。我们提出了在城市空间层面加强紧凑土地利用，城市功能混合；在技术层面切实以提高低碳经济绩效与福利绩效作为发展目标，同时加大政府管制力度、企业创新水平与社会的关注度，提升低碳城市发展的广度与深度等措施。

基于低碳发展的产业升级与技术创新是中国低碳发展的关键和新型工业化的主要内容(第五章)。中国作为发展中国家，面临着产业转型的压力与挑战，由工业生产与火电产业等领域造成的碳排放占大部分比重。低碳产业的内涵包含了传统产业中效率的提升与新型清洁能源产业的发展与普及。在低碳产业发展中，由于核心技术缺乏，行业标准与技术不成熟，企业技术创新能力不足等问题，在市场层面缺乏产业提升所需求的技术创新长效动力机制。在制度层面缺乏保障市场化运作机制以发挥出市场在配置资源中的基础性作用。中国目前已在相关产业领域加强国际合作，推动技术创新，引导市场消费，推动企业产业化、规模化及集聚化的相关措施。在法律与财税方面围绕政策及战略开展系统和深入布局，建设一批低碳科技研发平台和产业化

基地，鼓励高新区、产业集聚区与高校、科研院所共建低碳技术研发平台，实现成果及时转化。

低碳消费不是一个简单的生活方式问题，更重要的是依托于低碳消费生活引导低碳生产的方向(第六章)。消费涉及到经济、社会、环境方面的综合与系统性问题。它与可持续消费、绿色消费的概念关系密切，包含衣、食、住、行四个要素及与之相对应的消费理念与价值观念。从内涵上意味着居民消费增长率高于温室气体排放的增长率或居民消费不断增长而温室气体排放量不断减少的目标。强调人类的发展权和社会公平问题基础上的消费与减排的结合，提高生活质量的同时，通过改善消费方式来减少能源需求和排放。目前随着人们生活水平的提高，在城市消费领域面临着消费意识的转变及消费结构升级迫切要求，终端消费需求的转变对带动关联产业结构的升级起到重要推动。未来加强企业生产的消费产品低碳标签制度，财政与税收补贴制度，推广低碳生活性消费产品与生产性消费产品的需求强度将会引领低碳消费层级的提升。

碳排放情景的应用对未来一定时期内的目标预测及相应措施提供了量化分析工具(第七章)。目前国内低碳情景分析工具来自三大模型方法的实证。国家发展和改革委员会能源研究所开发的对中国能源和环境政策进行综合评价的 IPAC 模型应用；中国人类发展报告首度运用 PECE 模型研究了中国 2005-2050 年的碳排放情景，以及建立在传统的 IPAT 的模型基础上，经过修正后的 STIRPAT 模型。三大模型工具在对中国远期碳排放情景预测方法与参数设定上具有一定的差异，并具有自身内在的缺陷。但碳排放情景分析对于中国未来低碳发展预测进行了科学深入的探讨，对政策的实施及目标的科学定位起到一定的指导作用。

碳排放福利绩效研究顺应了低碳型发展旨在实现减排与生活水平提升的双重目标的本质要求(第八章)。它采用吸收了传统福利计算方法，借鉴了当前碳生产率理念中二氧化碳排放与人文发展指数结合起来的环境福利绩效方法与碳排放指数、经济增长指数和人类发展指数为影响因子的碳排放的经济绩效与经济福利绩效理论，对中国省域的碳排放经济绩效与经济福利绩效进行测算与比较，得出了中国不同省份的碳排放福利绩效的在产业结构、经济增长方式方面所存在的问题，并警示中国碳排放福利绩效的增长有可能受到技术效应和服务效应双重抑制作用的挑战。提出了关注适宜技术的系统创新，促进民生发展，改善投资和分配结构，大力发展服务经济，从而实现福利绩效明显改进与提升的措施。

低碳技术创新体系的建立与完善是应对气候变化，减小 CO₂ 排放的重要手段(第九章)。低碳技术创新体现在能源流及生产的进口环节中的替代技术创新、转化环节的能效创新技术及出口环节的碳捕捉及封存技术。包含了替代传统高碳化石能源、具有重大技术创新性质的突破性技术创新，基于原始技术路线基础上的发展与延伸的持续性技术创新以及适应当前社会经济与环境发展与城市特征的适应性技术创新。中国是世界上煤炭消费大国，煤炭在能源结构的举足轻重的地位长期内不会改变，洁净煤技术、煤多联产技术、整体煤气化循环发电技术及碳封存及捕捉技术是低碳技术创新的中心与关键，在未来的技术发展与合作中，中国应在这些领域担当领导者角色。

低碳发展的重要保障在于通过制度与政策措施的制定及实施，形成明确、稳定和长期的引导机制和激励手段，推动低碳技术的研发与应用(第十章)。调整社会经济发展模式与发展理念，促进社会经济朝高能效、低消耗及低排放模式转变。按照现代治理理论，低碳政策包含了政府、企业与社会三方的共同参形成伙伴关系，运用规制性、市场性及参与性政策手段与工具达到低碳发展的目标。当前在政策的具体实施与操作中，出现地方政府监管不力、政策执行主体的管理不足以及机制欠缺，手段落后等问题。随着政策主体从一元向以政府为主导的多元主体的转变，以及政策类型从单一科层式模式向全方位三维模式发展。低碳政策执行力度及手段将会得以加强。

目 录

执行摘要	III
目 录	V
表目录	I
图目录	I
第一章 能源替代.....	1
1.1 能源替代概述.....	1
1.1.1 能源的分类.....	1
1.1.2 替代性能源.....	1
1.2 替代性能源发展现状.....	1
1.2.1 水能.....	1
1.2.2 风能.....	2
1.2.3 太阳能.....	3
1.2.4 生物质能.....	4
1.2.5 核能.....	6
1.3 替代性能源发展的问题及其原因.....	6
1.3.1 政策体系建构与执行.....	7
1.3.2 核心技术研发与创新.....	7
1.3.3 市场机制与政策整合.....	7
1.4 替代能源未来发展目标及路径选择.....	8
1.4.1 未来发展目标.....	8
1.4.2 发展路径选择.....	10
1.5 案例分析.....	11
1.5.1 案例一：中国远大非电空调.....	11
1.5.2 案例二：上好佳（中国）废油替代节能技术.....	12
第二章 能源效率.....	14
2.1 能源效率概述.....	14
2.1.1 能源效率的定义.....	14
2.1.2 能源效率的分类.....	14
2.2 能源效率现状.....	15
2.2.1 宏观经济能源效率.....	15
2.2.2 物理能源效率.....	16
2.3 能源效率提升中存在的问题及其原因.....	20
2.3.1 能源技术与装备水平.....	20
2.3.2 市场联动与价格机制.....	20
2.3.3 能效管理与标准体系.....	20
2.4 能源效率提升未来发展目标及对策.....	21
2.4.1 未来发展目标.....	21
2.4.2 发展对策.....	21
2.5 案例分析.....	22
2.5.1 案例一：唐山既有建筑改造.....	22
2.5.2 案例二：上海地铁车站空调系统节能改造.....	24
第三章 碳汇	25

3.1	碳汇基本概念.....	25
3.2	碳汇发展现状.....	26
3.2.1	生态系统碳库现状.....	26
3.2.2	碳捕捉与碳封存发展现状.....	28
3.3	碳汇问题及原因分析.....	31
3.3.1	生态碳汇问题及原因分析.....	31
3.3.2	碳捕捉与碳封存问题及原因分析.....	32
3.4	碳汇发展对策分析.....	32
3.4.1	生态碳汇发展对策.....	32
3.4.2	碳汇与碳捕捉发展对策.....	33
3.5	案例分析.....	34
3.5.1	案例一：西南山地森林多重效益项目.....	34
3.5.2	案例二：华能上海石洞第二电厂碳捕集项目.....	35
第四章	低碳城市.....	36
4.1	低碳城市基本理论内涵.....	36
4.1.1	概念及要素.....	36
4.1.2	脱钩发展的内涵.....	37
4.1.3	指标及评价方法.....	38
4.2	城市碳排放的现状总结.....	39
4.2.1	城市类型的视角.....	39
4.2.2	城市领域的视角.....	40
4.3	问题及制约因素分析.....	40
4.3.1	理念认识不足.....	40
4.3.2	技术过度重视.....	41
4.3.3	制度导向不明.....	41
4.3.4	目标定位缺失.....	41
4.4	发展低碳城市的路径选择.....	41
4.4.1	空间路径.....	42
4.4.2	技术路径.....	42
4.4.3	社会路径.....	43
4.5	案例分析.....	44
4.5.1	案例一：崇明东滩低碳城市研究.....	44
4.5.2	案例二：河北保定低碳城市实践.....	45
第五章	低碳产业.....	46
5.1	低碳产业概念界定与理论框架.....	46
5.1.1	低碳产业内涵及特征.....	46
5.1.2	低碳产业研究的理论流派.....	47
5.2	中国低碳产业发展现状.....	48
5.2.1	传统产业通过产业结构调整解决经济发展与环境保护的关系.....	48
5.2.2	选择重点发展新兴产业促进低碳经济的实现.....	49
5.2.3	中国尝试在服务业推广低碳发展模式.....	50
5.3	低碳产业发展中存在的障碍.....	51
5.3.1	技术投入不足.....	51
5.3.2	市场机制缺乏.....	51

5.3.3	制度缺乏约束力.....	52
5.4	促进低碳产业成长的对策.....	52
5.4.1	鼓励低碳产业技术创新.....	52
5.4.2	改进市场消费模式.....	53
5.4.3	推进低碳金融创新.....	53
5.4.4	提供法制保障.....	53
5.5	案例分析：山西省节能降耗.....	54
第六章	低碳消费.....	56
6.1	低碳消费概述.....	56
6.1.1	低碳消费的概念.....	56
6.1.2	低碳消费的要素构成及行为模式.....	56
6.2	低碳消费的现状.....	57
6.2.1	居民的起居与碳排放.....	57
6.2.2	居民的出行与碳排放.....	58
6.2.3	居民的饮食穿着与碳排放.....	59
6.3	低碳消费存在的问题及制约因素.....	60
6.3.1	低碳消费存在的问题.....	60
6.3.2	影响低碳消费的制约因素.....	61
6.4	低碳消费未来发展对策.....	63
6.4.1	培育低碳产品的消费市场.....	63
6.4.2	构建低碳消费的规制环境.....	63
6.4.3	引导和推动公众消费模式转变.....	64
6.5	案例分析.....	65
6.5.1	案例一：杭州公共自行车服务系统.....	65
6.5.2	案例二：上海绿色账户.....	66
6.5.3	案例三：武汉循环消费社区超市.....	66
第七章	碳排放情景.....	68
7.1	碳排放情景分析的模型工具.....	68
7.1.1	IPAC 模型.....	68
7.1.2	PECE 模型.....	69
7.1.2	STIRPAT 模型.....	69
7.2	基于不同模型的碳排放情景分析.....	70
7.2.1	基于 IPAC 模型的碳排放情景.....	70
7.2.2	基于 PECE 模型的碳排放情景.....	73
7.2.3	基于 STIRPAT 模型的碳排放情景.....	76
7.3	碳排放情景分析结论及建议.....	78
7.3.1	碳排放情景分析主要结论.....	78
7.3.2	碳排放情景分析建议.....	79
第八章	碳排放福利绩效及其影响因素.....	80
8.1	碳排放福利绩效的相关研究.....	80
8.1.1	测量福利的主要指标.....	80
8.1.2	碳生产率研究.....	81
8.2	碳排放福利绩效现状.....	83
8.2.1	国家层面碳排放福利绩效.....	83

8.2.2 中国省域层面碳排放福利绩效.....	85
8.3 碳排放福利绩效影响因素的贡献测量.....	87
8.3.1 碳排放福利绩效的影响因素及其贡献测量方法.....	87
8.3.2 影响因素贡献的国别比较.....	88
8.3.3 影响因素贡献的省际比较.....	89
8.4 研究结论及政策启示.....	89
8.4.1 主要结论.....	89
8.4.2 政策启示.....	90
第九章 低碳技术创新.....	91
9.1 低碳技术创新理论框架.....	91
9.1.1 低碳技术创新动力机制.....	91
9.1.2 低碳技术识别与创新路径.....	92
9.2 突破性技术创新.....	94
9.3 持续性技术创新.....	95
9.3.1 成本与核心技术成为阻碍中国利用持续性创新技术实现低碳经济的重点.....	95
9.3.2 政府通过制定财政政策等实施低碳生产模式.....	96
9.4 适宜技术创新.....	96
9.4.1 适宜创新发展现状.....	97
9.4.2 适宜创新存在的问题.....	97
9.4.3 在技术投入、市场和用户等方面引导企业采用适宜创新措施.....	98
9.5 案例分析：新能源汽车技术创新.....	98
第十章 低碳政策.....	101
10.1 低碳政策概述.....	101
10.1.1 低碳政策与可持续发展.....	101
10.1.2 低碳政策的三维目标.....	101
10.1.3 低碳政策与治理理论.....	102
10.2 中国低碳政策的发展脉络.....	102
10.2.1 规制性低碳政策发展.....	102
10.2.2 市场性低碳政策发展.....	105
10.2.3 参与性低碳政策发展.....	106
10.3 现行低碳政策存在的问题及分析.....	107
10.3.1 地方政府节能压力与能力不匹配.....	107
10.3.2 政策主体管理能力不足.....	108
10.3.3 政策机制手段落后.....	108
10.4 未来中国低碳政策走向.....	109
10.4.1 政策主体.....	109
10.4.2 政策机制及政策类型.....	109
参考文献.....	110

表目录

表 1-1	中国替代性能源产业发展阶段分析.....	7
表 1-2	能源替代领域的发展路径分类	11
表 2-1	中国 2007、2008 年能源开采效率	16
表 2-2	中国工业能源消费强度与部分国家差距 (%)	16
表 2-3	中国制造业能源消费强度与部分国家差距 (%)	17
表 3-1	1949-1998 年中国生态治理活动吸附大气碳的计算结果	25
表 3-2	中国林业碳汇项目概况	26
表 3-3	中国已建成及在建的 CCS 项目	30
表 3-4	中国西南山地多重效益项目	34
表 4-1	社会路径选择中各主体层面发挥的作用.....	43
表 6-1	城镇居民家庭平均每百户年底耐用消费品拥有量.....	57
表 6-2	不同出行方式碳排放比较	58
表 6-3	不同出行方式比较	58
表 6-4	城镇居民家庭平均每人全年购买主要商品数量（单位：kg）	59
表 6-5	中国城镇居民衣着类消费量	60
表 6-6	生活能源消费量	61
表 7-1	经济规模、产业结构、人口总量及城市化水平.....	71
表 7-2	各种情景下的具体参数特征	71
表 7-3	基本参数设定	74
表 7-4	碳排放主要驱动因素参数设定	77
表 8-1	1990-2007 年 G20 国家碳排放福利绩效	83
表 8-2	1997-2008 年中国省域碳排放福利绩效	86
表 8-3	分阶段中国 WPCE 影响因素贡献	88
表 9-1	低碳技术特征和种类	93
表 9-2	中国亟待加强培育多项低碳核心技术.....	95
表 9-3	“十城千辆”计划成绩.....	99

图目录

图 1-1	中国水电历年装机容量变化	2
图 1-2	2005-2009 年中国各年安装的风电机组平均功率	3
图 1-3	中国国内光伏发电装机	4
图 1-4	中国历年离网、并网光伏市场分布	4
图 1-5	2000~2010 年农户沼气发展情况	5
图 1-6	2006-2010 年全国核电装机容量增长情况图	6
图 1-7	中间方案中各类替代性能源贡献与发展趋势比较（含水能）	9
图 2-1	中国历年能源消费强度变化	15
图 2-2	各国一次能源强度比较（PPP 和汇率，2005）	15
图 2-4	各种运输方式的能源消费总量增长情况（2000~2005）	17
图 2-5	中国交通运输部门单位换算周转量能耗状况	18
图 2-6	交通运输部门单位增加值能耗（增加值为 2005 年不变价）	18
图 2-7	中国现有建筑能耗分类比例	19
图 2-8	中国公共建筑面积分别占城镇和社会总建筑面积的比例（1996-2006 年）	19
图 2-9	公共建筑能耗占建筑能耗的比例（1996-2006 年）	20
图 2-10	小区改造前后对比	23
图 3-1	中国分省区农田土壤固碳潜力	27
图 3-2	2005 年中国近海大型经济藻类养殖产量与固碳量	28
图 3-3	中国近海碳源/汇强度	28
图 4-1	不同类型城市能源消耗	39
图 4-2	不同类型城市的经济产出	40
图 6-1	低碳消费的要害构成及行为模式	56
图 7-1	IPAC 模型框架	68
图 7-2	PECE 技术优化模型基本框架	69
图 7-3	一次能源需求量（CGE-Emission-AIM 模型）	73
图 7-4	二氧化碳排放总量（CGE-Emission-AIM 模型）	73
图 7-5	一次能源需求量（PECE 模型）	76
图 7-6	二氧化碳排放总量（PECE 模型）	76
图 7-7	不同情景下 2020 年和 2030 年全国二氧化碳排放总量	78
图 8-1	从低碳型经济的分析到低碳型发展的分析	82
图 8-2	中国城市化率、二次产业及煤炭消费比重	84
图 8-3	1990-2007 年 G20 国家碳排放福利绩效增量	85
图 8-4	1997-2008 年中国省域碳排放福利绩效增量	87
图 8-5	1990-2007 年 G20 国家 WPCE 影响因素的贡献	88
图 8-6	1997-2008 年中国省域 WPCE 影响因素贡献	89
图 9-1	低碳技术创新系统环节	91
图 9-2	中国新能源汽车行业战略阶段	99
图 10-1	中国促进低碳经济和社会的政策框架	104
图 10-2	从传统发展到治理理论下的低碳发展政策体系	109

第一章 能源替代

1.1 能源替代概述

1.1.1 能源的分类

能源是指向自然界提供某种形式能量转化的物质，如机械能、热能、化学能、原子能、生物能、光能、声能、磁能、电能等。从人类开发利用角度，可将能源分为一次能源和二次能源。一次能源是从自然界直接获取的，并不改变其基本形态和品位的能源，如煤炭、石油、天然气、核裂（聚）变燃料、水力、风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能、天然气水合物（可燃冰）等。二次能源是指一次能源经过加工或转换成另一种形态和品位的能源，主要包括电力、蒸汽、热水、汽油、煤油、柴油、燃料油、焦炭、煤气、液化天然气、液化石油气、燃料乙醇、生物柴油、沼气等，其中大多是提高了品位和便于利用的优质能源。在生产过程中排放的余热和余能，如高温烟气、可燃气体、高温蒸汽、高温热水以及排放的有压流体等也归属于二次能源。

1.1.2 替代性能源

在全球应气候变迁与环境保护意识的高涨下，发展具有洁净及具有自产特性的再生能源，被视为解决地球暖化与能源耗竭的可行方式之一，从而取代煤炭、石油、天然气等化石性非可再生能源。各国政府也意识到这个状况，据 2005 年 2 月 16 日所订定的京都协议书（全称《联合国气候变化框架公约的京都议定书》），先进工业国家于 2008-2012 年间，应比 1990 年平均削减 6% 的 CO_2 及 CH_4 等温室气体排放量，此后，全球各主要国家均计划在 2010 年以前，将替代性能源占总使用电量目标拉高至 5-6%。根据全球各国对替代性能源的界定，本课题所研究的替代性能源，既包括一次能源中的可再生能源和部分清洁能源，也包括二次能源中的清洁能源，主要是指太阳能、水能、风能、生物质能^①、核能。替代性能源并非全新的概念，它是应解决能源危机及达到各国二氧化碳减排目标而生的。过去 20 年来中国已成功运用替代性能源增加能源供给。对于中国这样一个虽然经济增长迅速，但人口众多、油气资源短缺的发展中国家，积极开发应用替代性能源具有极为重要的意义。

1.2 替代性能源发展现状

1.2.1 水能

水能是通过某种装置，将水力转化为机械能或电能，供人类的各种需要。近十年以来，中国水力发电取得了辉煌成就。2004 年 9 月，中国水电总装机突破了 1 亿 kw 大关，2010 年达到 2 亿 kw，一跃成为世界上最大的水力发电国家（图 1-1）。目前全国已建和在建的 30 米以上的大坝近 5200 座，其中坝高 100 米以上的大坝有 140 多座。

^① 这里的生物质能还包括二次能源中的沼气、燃料乙醇、生物质柴油、生物质固体成型燃料。

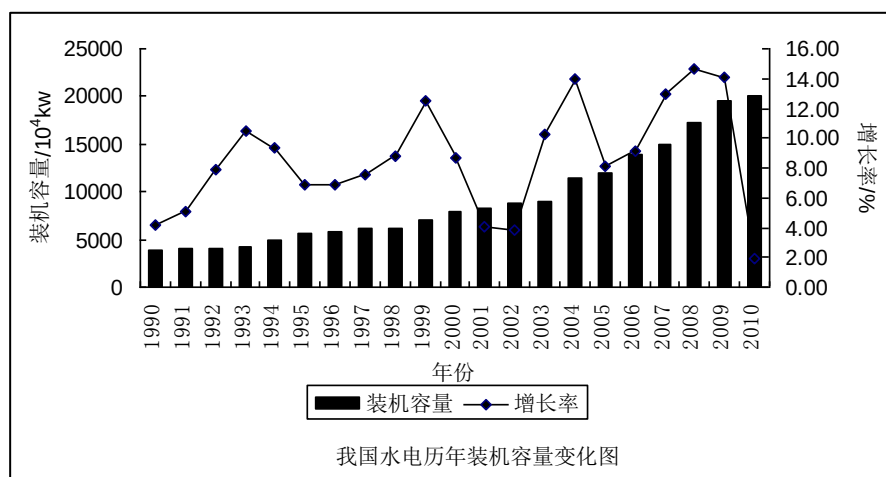


图 1-1 中国水电历年装机容量变化

资料来源：中国能源中长期发展战略研究项目组，2011

总体而言，中国水电一直呈增长趋势，但表现出阶段性的特点，增长率呈现出周期性变化的趋势。然而，目前中国水电装机只占全部电力装机的 20%，与火力发电的差距还很大。和发达国家相比，中国的水电开发利用程度还比较低。

在水电科技创新方面，到目前为止，包括 200 米级特高碾压混凝土重力坝技术、200 米级特高混凝土面板堆石坝技术、300 米级特高拱坝及 100 米级特高碾压混凝土拱坝技术、坝工基础工程技术、高速水流消能工技术创新在内的重大关键技术得到全面突破。在水电装备水平方面，中国已建单机容量 50 万 kw 及以上机组 32 台，在建 109 台，在建已建总装机容量达 9075 万 kw，已建在建数量均居世界前列。在水电综合效益方面，中国水电建设在为经济社会发展提供优质电力的同时，在水资源综合利用，推进节能减排、改善大气环境，促进“西部大开发”，发展区域经济，建设社会主义新农村，以及防洪、航运、灌溉、供水、养殖等方面都发挥了重要作用。小水电是水电建设的重要组成部分，以其点多面广、资源优势，在解决偏远地区用电问题方面发挥了重要作用。

1.2.2 风能

风能可以通过风轮机转换成电力。在地球范围内，风能不仅充足，而且廉价、清洁，是目前最有开发利用前景的一种可再生的替代性能源。发达国家竭力开发风力发电，个别国家风力发电以占总发电量的 25% 以上，发展中国家也在努力用新科技、新思维，开发利用风能。

根据中国气象局提供的数据，中国陆地 10 米高度可供利用的风能资源为 2.53 亿 kw。陆上 50 米高度可利用的风力资源为 5 亿多 kw。现在，大型风机的高度可达 100 米，这个高度可利用的风能更大。根据最新风能资源评价，全国陆地可利用风能 3 亿 kw，加上近岸海域可利用风能，共计约 10 亿 kw。

中国风能主要分布在两大风带：一是“三北地区”（东北、华北北部和西北地区）；二是东部沿海陆地、岛屿及近岸海域。另外，内陆地区还有一些局部风能资源丰富区（国家发展改革委，2007）。因此，具备建设风电场的资源条件。但海洋风能至今被开发利用的不及 1%，存在着巨大的开发潜力。2005 年以后，随着中国《可再生能源法》的制定和颁布实施，以及一系列旨在促进风能发展的政策法规的出台。中国风能事业进入了前所未有的快

速发展阶段。2005-2009 年，中国风电场装机容量累计增长率已连续四年超过 100%，实际装机容量接连超过《可再生能源中长期发展规划》和国家“十一五”规划中提出的 2010 年风电装机目标。据中国可再生能源学会风能专业委员会（CWEA）的统计数据，2009 年，中国（除台湾省）新增风电装机容量 1380 万 kw，累计风电装机容量 2580 万 kw，与前一年相比累计增长率约为 115%。

自 2005 年以后，中国兆瓦级风电机组市场投放量不断增加，尤其是单机功率为 1.5MW 的风电机组已逐渐成为主流产品；此外，功率为 2MW 的风电机组装机数量也在增加，2009 年中国风电场安装的风电机组平均功率为 1.363MW（图 1-2）。预计在未来几年内，中国陆地用的风电机组主流功率将为 1.5-2.5MW。与此同时，促进中国风能发展的零部件供应瓶颈问题已基本解决，其产能随着零部件制造产业链的不断完善逐步提高。

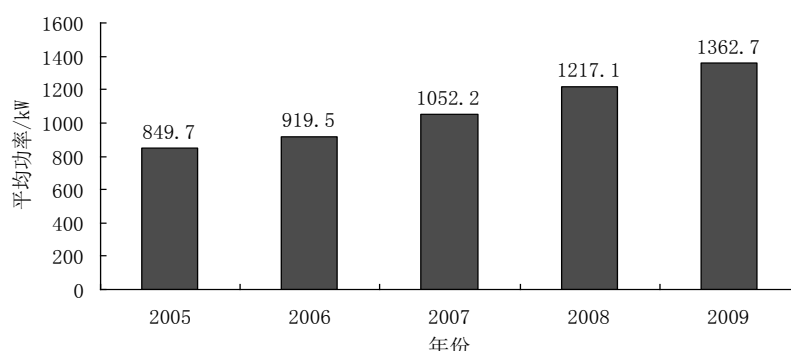


图 1-2 2005-2009 年中国各年安装的风电机组平均功率
资料来源：中国可再生能源学会风能专业委员会，2010

1.2.3 太阳能

太阳能被公认为人类社会可持续发展的重要可再生的、清洁的能源，目前在全世界范围内得到了大力推广和广泛使用，其主要利用方式是太阳能光伏发电，太阳能热发电（太阳能高温利用^①），以及太阳能低温和中温利用（太阳能热水器）、太阳房等太阳能热利用方式。据欧洲联合研究中心（JRC）预测，2020 年，世界太阳能光伏发电的发电量将占全球总能源需求的 1%，2050 年将占 20%，2100 年则将超过 50%，太阳能将成为全球主要替代性能源。中国拥有丰富的太阳能资源。据统计，每年中国陆地接受的太阳辐射总量相当于 24000 亿 tce，约等于 1000 年的能源消费量；全国总面积 2/3 地区年日照时间都超过 2000 小时，属于太阳能利用条件较好的地区。

一、太阳能光伏发电发展现状

太阳能光伏发电由于不受能源资源、原材料和应用环境的限制，具有最广阔的发展前景，是各国最着力发展的可再生能源技术之一。这一技术的核心部件就是太阳电池，现阶段进入民用领域的太阳电池主要晶体硅太阳电池，占目前产量的 90% 以上。薄膜太阳电池^②已被公认为未来太阳电池发展的主要方向之一。降低太阳电池成本和实现太阳电池的薄膜化已成为中国发展太阳电池的主要方向。

^① 太阳能热利用可以分为：生活用热，工作温度 40~80℃，低温；工业用热，工作温度 80~250℃，中温；光热发电，工作温度 250~800℃，高温。

^② 薄膜太阳电池具有省材、低能耗（<200℃）、便于大面积连续生产、原材料丰富、无毒、无污染等优点，生产制造成本低，在建筑光伏一体化（BIPV）、荒漠电站等方面具有广泛的应用前景，因而成为目前国际上研究最多的技术，部分技术已实现大规模生产。

进入 21 世纪，中国的光伏市场在政府的推动下开始有了比较快的发展，2009 年，中国启动了“光电建筑”、“金太阳示范工程”和敦煌大型荒漠光伏电站招标等多个项目，在这些项目的带动下，2009 年当年光伏发电装机达到 160MWp，超过了过去历年装机，累计装机达到 300MWp。并网光伏发电的市场已占据主导地位，2009 年并网发电市场份额超过 85%。（图 1-3 和图 1-4）

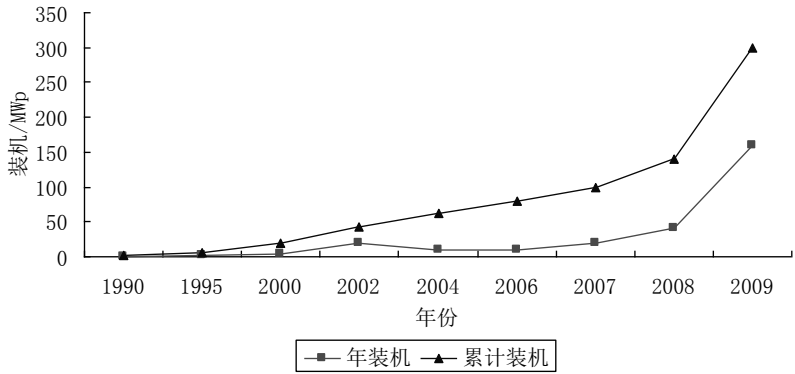


图 1-3 中国国内光伏发电装机

数据来源：中国能源中长期发展战略研究项目组，2011

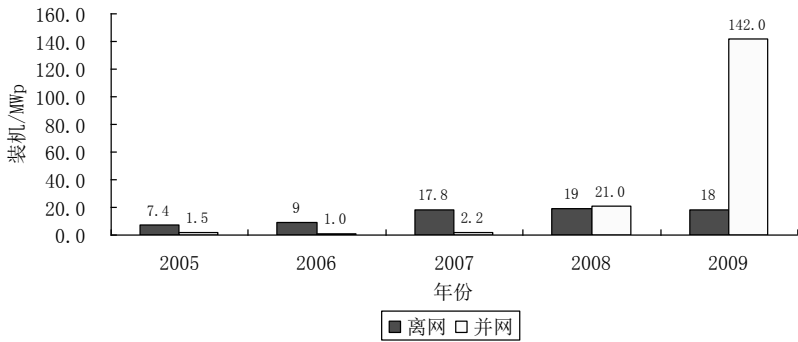


图 1-4 中国历年离网、并网光伏市场分布

资料来源：中国能源中长期发展战略研究项目组，2011

二、太阳能热利用发展现状

太阳能热利用方式主要分为低温和中温热利用、太阳能高温热利用两种方式。其中低温和中温热利用是通过太阳能集热器将太阳能转化为热，供人们生产、生活使用，如太阳能热水器。2010 年中国太阳能集热器保有量 1.5 亿 m^2 ，约占世界 53.7%。2010 年中国生产销售了 4900 万 m^2 太阳能集热器；其中 4600 万 m^2 为真空管太阳能集热器，约占 95% 的市场份额。在科技部“十一五”“863”计划项目、中国科学院和北京市政府的支持下，由中国科学院电工研究所等十家单位联合承担的国内首座 1MW 太阳能热发电实验示范电站（大汉）已于 2010 年 12 月竣工。但是在中国目前还没有实际可操作的商业化示范电站。

1.2.4 生物质能

一、生物质发电

生物质发电主要利用农作物秸秆、树枝、林业加工废弃物、城市和工业有机废弃物、

禽畜粪便等燃烧发电的技术^①。截止到 2010 年，生物质发电装机约 550 万 kw。2010 年 7 月，国家发改委发布《关于完善农林生物质发电价格政策的通知》，明确生物质发电的统一执行标杆上网电价为每千瓦时 0.75 元，价格的确定刺激了生物质发电产业的发展。而在各地，各级政府也正积极推动农村生物质能产业发展。现在中国城市垃圾已经有 2 亿 t 以上，即使仅一半的垃圾通过填埋气发电，也至少能减少 CO₂ 排放 1400 万 t，由此带来的收入将近上亿欧元。

二、沼气

中国沼气的开发利用主要是通过厌氧工艺处理工农业有机废弃物、城市生活垃圾和生活污水的方式。中国沼气发展起步于 70 年代，近几年由于禽畜场的规模化发展，禽畜粪水以及工业有机废弃物利用厌氧发酵工艺开展治理，沼气发电获得新的发展（图 1-5）。截至 2009 年，全国农村户用沼气已达 3500 万户，各类农业废弃物处理沼气工程 3.95 万处^②。中国沼气技术已从单纯的能源利用发展成废弃物处理和生物质多层次综合利用，并广泛地同养殖业、种植业相结合，成为发展绿色生态农业和巩固生态建设成果的一个重要途径。

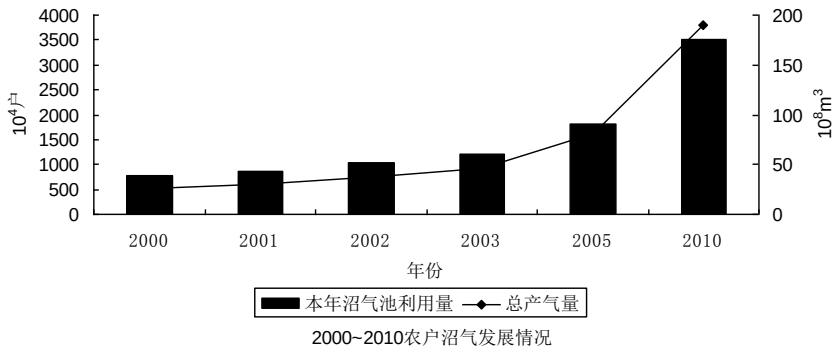


图 1-5 2000~2010 年农户沼气发展情况

资料来源：中国能源中长期发展战略研究项目组，2011

三、生物液体燃料

生物液体燃料主要包括生物乙醇和生物柴油，是重要的石油替代品。“十五”期间中国在重要的商品粮基地——吉林、黑龙江、河南和安徽开展燃料乙醇生产试点和示范，建设了四家定点燃料乙醇生产企业，2005 年四家企业陈化粮燃料乙醇总产能达到 92 万 t，2006 年达到 160 万 t，至此中国燃料乙醇的生产量已排名世界第三，仅次于美国和巴西。2004 年 10 月起，在黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽五省及湖北、山东、河北及江苏的部分地区试点，强制封闭使用添加 10% 酒精的车用乙醇汽油。在试点的九个省，乙醇汽油占汽油消费量的 20%，每年可节省汽油 100 万 t，与使用普通汽油相比，城市空气中的 NO₂ 和 CO 季均值分别下降 8% 和 5%，降低了环境污染指数。

四、生物质固体成型燃料

生物质固体成型燃料是指通过专门设备将生物压缩成型的燃料，储存、运输和使用都

^① 每两吨秸秆的热值相当于一吨煤炭，但平均含硫量只有 3.8%，远低于煤炭的 1%。如果作为农民的生活用能，秸秆燃烧效率只有约 15%，而生物质直燃发电锅炉可以将热效率提高到 90% 以上。不仅如此，生物质燃料还具有零排放的优点。据测算，与同类型火电机组相比，运营一台 2.5 万 kw 的生物质发电机组，每年可减少 CO₂ 排放约 10 万 t，燃烧后产生的约 8000t 灰粉，还可作为高品质的钾肥直接还田。

^② 沼气池工程利用封闭的沼气池处理禽畜粪便及污水产生沼气，可以减少粪便产生的甲烷排放量；同时利用收集的沼气替代农户生活用能或发电从而避免了相应的燃煤所造成的 CO₂ 排放。

很方便，而且清洁环保，燃烧效率高。既可作为农村居民的炊事和取暖燃料，也可作为城市分散供热的燃料。中国生物质固体成型技术的研究开发已有二十多年的历史，进入 2000 年以来，生物固体成型技术取得明显的进展，成型设备的生产和应用已初步形成了一定的规模，大部分为饲料生产厂转型而来，生物质固体成型燃料目前处于试点示范阶段。

1.2.5 核能

核能包括通过原子核裂变反应、聚变反应两种方式所释放出的能量，其能量形式主要以电力形式为主。随着核能利用技术的日益提高，核能发电已经成为一种高效、安全、洁净的能源，成为发达国家的重要替代能源。目前发展核电的基础主要是天然铀资源，中国已探明的天然铀储量，加上铀资源勘察部门计划增加的储量，以及国际合作和国际市场采购，获得的天然铀是可以满足中长期（2010~2020）核电发展的需求。在核能技术方面，中国主要运用第三代、第四代核电技术^①，能量利用效率大幅度的提高。在核电工业建设方面，中国第一座核电站——秦山核电站于 1991 年 12 月 15 日并网发电。经过 20 多年的发展，中国核电工业体系已初步形成，核电设计、建设和运营水平明显提高。截止到 2007 年，中国已经形成了浙江秦山，广东大亚湾、岭澳和江苏田湾三个核电基地、四座核电站、11 台机组在运行的核电体系，总装机容量 1000 万 kw，占发电总装机容量的 2%。2000 年核发电量为 167kw。到 2010 年，全国核电装机容量达 1082 万 kw，在建规模达 26 台 2914 万 kw。（图 1-6）

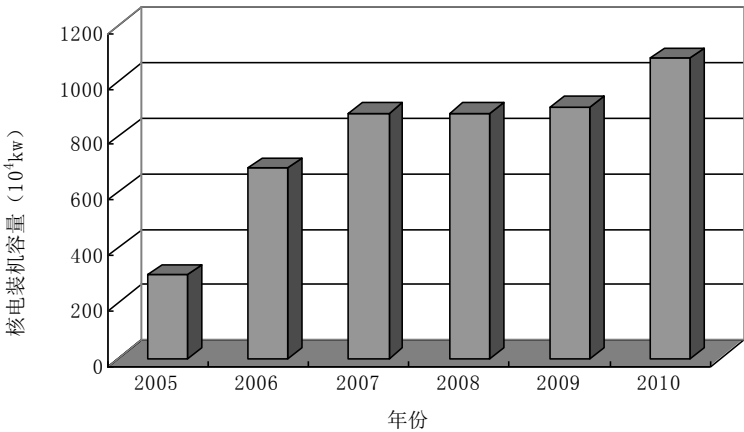


图 1-6 2006-2010 年全国核电装机容量增长情况图

资料来源：中国能源中长期发展战略研究项目组，2011

1.3 替代性能源发展的问题及其原因

中国对替代性能源的开发与利用时间不可谓不长，然而经过这么多年的开发利用，中国对某些替代性能源的利用水平依然很低，在发展速度和水平上不仅远低于大多数发达国家，也落后于印度、巴西等发展中国家。通过分析中国替代性能源的发展现状，不难看出，中国替代性能源的发展中还存在很多问题，面临多种挑战。

^① 第三代核电技术是采用全堆芯载铀钚氧化物混合燃料（MOX 燃料）元件，铀资源利用率可以提高 30% 以上；第四代核电技术多数采用快中子谱堆芯，进一步提高铀资源的利用率。

1.3.1 政策体系建构与执行

中国政府在能源领域已经初步构建了一个政策体系，主要包括：法律、产业政策、能源发展规划、政府规制政策等。政策的实施取得了很大成效，但仍存在不少问题。

（一）政策体系不完善。首先，缺少涵括所有替代性能源的政策法规，如对于清洁能源的立法。其次，虽然《可再生能源法》对电网收购可再生能源发电量、价格有所规定，但力度不够。第三，限制性政策，如《节能法》基本没有得到落实，而减少化石能源使用的政策，如能源价格市场化改革以及资源税、环境税等的征收也没有得到全面推广，致使化石能源价格仍偏离实际价值，排污收费、环境税、能源税等税收项目仍未起到实质性作用。

（二）政策执行不力。这既有法律条文、政策规定过于宽泛，量化指标少，操作性不强，配套措施不完善等原因，也有部门利益、垄断所造成的保护等原因，致使替代性能源推广、发电并网等进程存在重重障碍。

（三）政策稳定性差。目前没有形成支持替代性能源持续发展的长效机制。中国能源政策以专业立法和产业政策为主，缺乏总体能源战略框架以及在此框架下的政策协调，致使立法与政策有时难以整合。

1.3.2 核心技术研发与创新

替代性能源发展初期的高投入、高成本、高价格，以及核心技术和关键设备不得不依赖进口是制约其技术商业化和推广应用的障碍。与同类技术相比，替代性能源的生产成本要比化石能源高的多。如果没有政府的支持与强制，这些可再生能源发电根本无法进入市场，与化石燃料发电进行竞争。只有加强技术研发，不断提高自主创新能力，才能逐渐降低替代性能源开发利用成本，推动产业化进程。国外经济表明，雄厚的技术实力和强大的制造业是替代性能源产业发展的重要支撑。

尽管中国替代性能源技术产业有一定发展，部分技术实现了商业化，但与发达国家相比，无论在技术、规模、水平还是在发展速度上仍然存在较大的差距。从现实状况看，除水电、太阳能热利用和沼气外，中国其他替代性能源开发利用技术仍处于发展初期；技术水平较低，缺乏技术研发能力，设备制造能力较弱，技术和设备生产较多依靠进口，技术水平和生产能力与国外先进水平差距较大，尤其缺乏具有自主知识产权的核心技术。同时，中国大部分替代性能源的生产企业由于长期投入不足，结果是技术起步较晚、自主创新能力薄弱、生产规模小而分散、工艺落后、产品质量不稳定、经济效益低和本地化制造比例较低，从而难以降低工程造价和及时提供备件。

1.3.3 市场机制与政策整合

中国多数替代性能源产业仍处于发展初期，产业化程度不高，尚未形成完整的产业链（表 1-1）。能源产业一般投资周期长、成本高、风险大，其发展通常需要通过较长的产业链以及各个环节的相互衔接才能实现。替代性能源产业链需求包括了从资源评价、开发、设备制造、人才培养到终端需求等一系列环节。

表 1-1 中国替代性能源产业发展阶段分析

替代性能源种类	投入商业运行的程度
水电	产业化程度高，非常成熟，毛利率高，盈利稳定

风电			规模不断增加，设备成本高，依靠国家补贴电价，仅能维持盈亏平衡
太阳能	光伏发电		光伏发电成本高，产业“两头在外”，处于发展初期
	热利用		太阳能热利用成熟，处于世界领先地位
生物质能	生物质发电	秸秆发电	产业发展刚刚起步
		垃圾发电	处于商业投入建设期，但因产业链不成熟，配套跟不上，盈利较差且不稳定
	沼气		未投入商业投入建设期，项目建设由中央及地方财政补贴。在农村属于自己自用，规模小
	生物液体燃料	乙醇	处于试点推广阶段，依靠国家补贴才能盈利
		生物燃油	大多数地区处于研制阶段
	生物固体燃料		尚处于研制阶段
核能			核电技术尚未成熟，处于试验阶段
地热能利用			拥有地热资源的地区已经得到较多开发，需要依靠国家补贴
海洋能利用			处于试验阶段
燃料电池			基本上处于开发与研制阶段

资料来源：魏一鸣，2009

中国替代性能源领域的市场机制尚不健全，主要表现是，政府虽然逐步加大了对替代性能源发展的支持力度，强调供给一方建设，但由于没有建立起强制性的市场保障政策，无法形成稳定的市场需求。加上能源消费具有一定的惰性与“路径依赖”，非强制性政策难以改变这些习惯。结果是，只有供方，而需求不稳定或迟迟不能达到一定规模。由于缺少持续的市场拉动，致使中国替代性能源新技术和产业发展缓慢。同时，市场交易规则的建立、规范与维护更是政府不可推卸的责任。在替代性能源产业竞争力尚不足以与常规化石能源进行直接竞争时，政府对该产业的倾斜与支持是必要的。但是，缺乏竞争又可能会使替代性能源的成本长期得不到应有的降低，反而会伤害到替代性能源的发展。因此，在替代性能源市场适当引入竞争是有益的。只有这三个方面都得到支持与完善，市场机制才能有效发挥其“无形之手”的作用。当然，替代性能源市场机制的建立还要求清晰界定产权以及由此派生出来的支配权、使用权、开发权和收益权。更重要的是，市场机制与政策体系的有机整合。从中国替代性能源发展现状看，政策与市场没有得到很好的衔接，导致某些阶段可能存在政府职能缺失，而某些阶段可能支持政策不明确或力度不够，应该由政府主导的却没有主导，应该市场主导时政府却随意干预。

1.4 替代能源未来发展目标及路径选择

1.4.1 未来发展目标

一、《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》中间方案的发展目标

《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》（可再生能源卷）、（电力·油气·核能·环境卷）为中国替代性能源的中长期（2020年、2030年、2050年）规划进行了预测，在以“十一五”第一年（2006年）作为基准年的基础上，提出了2020年、2030年和2050年各时期替代性能源发展的高、中和低三个方案。它们是综合了热利用、发电和液体燃料等主要的替

代性能源发展的趋势和要求等诸多因素后形成的。本课题截取所研究替代性能源 2020 年、2050 年的方案，并以 2005 年作为基准年对替代性能源进行预测，以便与其他方案进行比较。

《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》中间方案（图 1-7）考虑了中国能源发展的可能和实际需要的折中方案。按照中间方案，2020 年中国替代性能源利用总量达到 625.2 亿 tce，其中水能占 59.4%，生物质能占 17.6%，太阳能和风能各约占 10%，核能占 3.9%；2050 年中国替代性能源利用总量达到 1653.3 亿 tce，其中水能占 29.5%，生物质能占 16%，太阳能和风能各约占 9.7%、16.5%，核能占 9.9%。

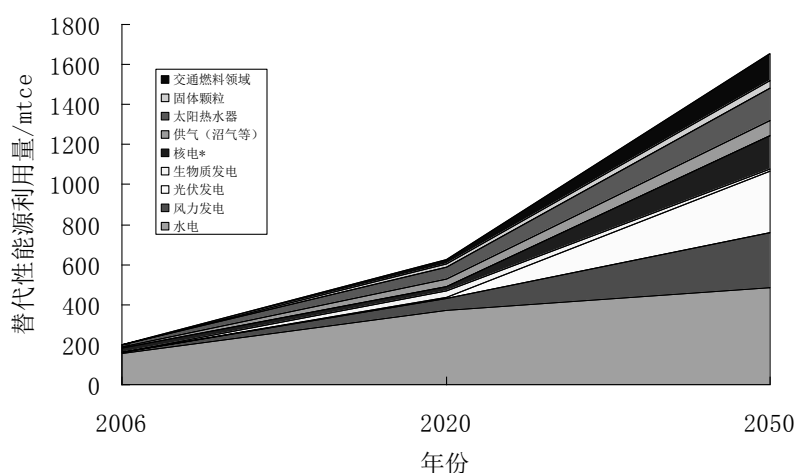


图 1-7 中间方案中各类替代性能源贡献与发展趋势比较（含水能）

资料来源：中国能源中长期发展战略研究项目组，2011

二、《中国可再生能源产业未来发展展望》中的战略定位

（一）近期-2010 年前后：非水能可再生能源的战略定位是补充能源，可以提供 0.6 亿 tce 的能源需求，占总能源需求比例的 2% 左右；含水能则可以提供约 2.9 亿 tce，接近全国能源需求的 10%。

（二）中期-2020 年前后：非水能可再生能源的战略定位是替代能源，可以提供 1.8-3.3 亿 tce 的能源需求，占全国能源需求比例的 5-10% 左右；含水能则可以提供约 5.4-6.9 亿 tce，占全国能源需求的 15.5-19.7%。

（三）远期-2050 年左右：可再生能源的战略定位是主导能源之一，可再生能源可以满足 8.8-17.1 亿 tce 的能源需求，占全国能源需求比例的 17-34% 以上；含水能则可以提供约 13.2-21.5 亿 tce，占全国能源需求的 26-43%。

可再生能源发展中替代性能源的具体发展目标与《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》相似，故不再重复。

三、《可再生能源中长期发展规划》中的发展目标

《可再生能源中长期发展规划》提出，今后十五年中国可再生能源发展的总目标是：提高可再生能源在能源消费中的比重，解决偏远地区无电人口用电问题和农村生活燃料短缺问题，推行有机废弃物的能源化利用，推进可再生能源技术的产业化发展。结合重点发展领域，该规划中替代性能源具体发展目标如下：

（一）水电。到 2010 年，全国水电装机容量达到 1.9 亿 kw，其中大中型水电 1.4 亿 kw，小水电 5000 万 kw；到 2020 年，全国水电装机容量达到 3 亿 kw，其中大中型水电 2.25 亿 kw，小水电 7500 万 kw。

（二）生物质能。到 2010 年，生物质发电总装机容量达到 550 万 kw，生物质固体成型燃料年利用量达到 100 万 t，沼气年利用量达到 190 亿 m³，增加非粮原料燃料乙醇年利用量 200 万 t，生物柴油年利用量达到 20 万 t。到 2020 年，生物质发电总装机容量达到 3000 万 kw，生物质固体成型燃料年利用量达到 5000 万 t，沼气年利用量达到 440 亿 m³，生物燃料乙醇年利用量达到 1000 万 t，生物柴油年利用量达到 200 万 t。

（三）风电。到 2010 年，全国风电总装机容量达到 500 万 kw。重点在东部沿海和“三北”地区，建设 30 个左右 10 万 kw 等级的大型风电项目，形成江苏、河北、内蒙古 3 个 100 万 kw 级的风电基地。建成 1-2 个 10 万 kw 级海上风电试点项目。到 2020 年，全国风电总装机容量达到 3000 万 kw。在广东、福建、江苏、山东、河北、内蒙古、辽宁和吉林等具备规模化开发条件的地区，进行集中连片开发，建成若干个总装机容量 200 万 kw 以上的风电大省。建成新疆达坂城、甘肃玉门、苏沪沿海、内蒙古辉腾锡勒、河北张北和吉林白城等 6 个百万 kw 级大型风电基地，并建成 100 万 kw 海上风电。

（四）太阳能。在太阳能发电方面，到 2010 年，太阳能发电总容量达到 30 万 kw，到 2020 年达到 180 万 kw。在太阳能热利用方面，到 2010 年，全国太阳能热水器总集热面积达到 1.5 亿 m²，加上其它太阳能热利用，年替代能源量达到 3000 万 tce。到 2020 年，全国太阳能热水器总集热面积达到约 3 亿 m²，加上其它太阳能热利用，年替代能源量达到 6000 万 tce。

综合来看，《中国可再生能源产业未来发展展望》中的战略定位过于笼统，《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》中间方案的发展目标与《可再生能源中长期发展规划》中的替代性能源发展目标较符合中国替代性能源实际发展情况。其中，《可再生能源中长期发展规划》以 2005 年为基期，预测的是 2020 年的中期目标，但统计量单位不统一；《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》中间方案的基期为 2006 年，统计量单位保持了统一，易于比较，因此将《中国能源中长期（2030、2050）发展研究》中间方案的发展目标与《可再生能源中长期发展规划》中的替代性能源发展目标结合起来可以对我国替代性能源发展目标作出较为客观的预测。

1.4.2 发展路径选择

一、技术路径

从中国替代性能源现状及目标来看，中国应首先长期重点发展水能，同时需要对太阳能、风能在中期进行突破性的发展，从而使其在长期发展过程中与水能，成为中国替代性能源中三大主力能源。其次，对于核能的开发利用也应在中期获得重大的发展，并保证核能的安全利用。第三是生物质能的发展，应注重实用性与有效性，沼气是生物质能发展的重点，将成为农村替代性能源的主体。因此，从总体来看，中国替代性能源的发展顺序为水能、太阳能、风能、核能、生物质能。

二、政策路径

替代性能源发展的政策路径主要从两个层面着手：一是宏观层面的制度框架；二是微观层面的合作发展机制。需要注意的是，政府与市场分工应随新兴能源产业的发展而转变，即政府应该根据替代性能源发展目标、产业发展的不同阶段采取不同的政策措施（张国宝，2009）。

2010-2020 年，在产业发展的起步阶段，市场不成熟，甚至没有形成，技术不成熟，研发成本高，投资风险大，政府必须对相关项目进行投资、资助和示范推广，对替代性能源的生产实施补贴，对进口设备的购买进行关税减免，对所得税给予优惠等政策。此时，政府是

作为主导力量来推动产业起步的，其政策主要表现为经济激励政策，同时为建立市场机制作准备。因此，政府既要无歧视地给予各个市场供给方在替代能源开发、生产阶段以补贴和优惠，也要对需求侧进行激励，鼓励大规模使用，同时要规范政府项目审批，完善市场交易规则，降低交易成本。

2020-2050 年，随着产业规模的不断扩大，企业自身的发展能力不断提高。然而，在开发市场方面却存在来自传统化石能源产业因垄断衍生的阻力，以及其他产业对能源的高度依赖而产生的“套牢效应”，政府必须采取强制性政策措施加以纠正和引导。

表 1-2 能源替代领域的发展路径分类

工具分类		简要描述
有利于外部性内部化的制度框架		
立法		运用法律界定责任与权力
创建产权		明晰所有权以及随之而来的其他权力
建立社会责任		强化企业与公民的环境意识
三方合作的 发展机制	政府管制	
	规定投入、技术：	最低技术要求，最佳可得技术
	规定产出：	
	对正常产出	配额
	对污染物	排放量、许可证、配额
	规定排放源选址：	区域、规划控制、重新布点
	规定标准：	
	机动车	能耗与排放标准
	建筑物	能耗标准
	机械设备	能耗与排放标准
	行为限制：	强制购买替代性能源电力等
	市场机制	
	排污税	对投入品或排放物
	污染削减补贴	对污染者
	可交易指标	排污权、白色证书、绿色证书、蓝色证书等
	公众参与	
	政策制定：	
	对政府	监督政策实施效果，行政执行效率
	标准制定：	
	对企业	监督企业产品节能效果

资料来源：本课题作者整理得出

1.5 案例分析

1.5.1 案例一：中国远大非电空调

非电空调是不以电为主要驱动能源，而是通过采用天然气、城市煤气、发电废热、工业废热、沼气等任何能产生 80℃ 以上的热能为动力的中央空调主机，可同时或单独提供制冷、采暖、卫生热水。用非电空调来代替电空调不但能缓解电力系统的压力，还可以更好地

平衡冬夏季之间天然气的使用量，实现资源更好的、更充分的均衡利用。

过去 30 多年世界非电空调发展呈逐年上升态势，仅远大非电空调就覆盖 70 多个国家，证明非电空调的经济性及技术成熟性被广泛接受，尤其是冷热电联产技术在分布式能源项目的成功应用。在全球节能减排的推动下，分布式能源的应用将带动区域空调、合同能源管理、系统节能改造等一系列需求侧管理的完善和创新。

分布式能源的技术特征是：（1）保障供电安全。采用 60kW-20000kW 燃气发电机，安装在小区中心地带（或某个建筑内），发电直接供楼宇或小区使用，城市电网也接入该楼宇或小区，确保供电可靠。（2）免费提供空调。发电机的废热如燃气产生的热量一样，供非电空调进行制冷、制热，空调耗电仅为制冷量的 2%-4%。（3）减少污染。由于发电废热得到充分利用，比传统火电站节能一倍以上，减少了 CO₂ 排放；由于现代涡轮发电技术的进步，发电机尾气十分洁净，噪音和震动对周边居民几乎无干扰。

在过去的 10 年时间里，美国能源部、世行、亚行支持用户在美国、欧洲及中国购置了配备不同类型发电机的 CHP 系统，每种类型均取得了预期的节能效果：总热效率 86%-97%，其中发电机效率 30%-36%，废热利用率 80%~96%。

显然，分布式能源对于传统的大电厂、大电网而言，是极为有效的补充。对于改善环境而言，是最佳的途径之一，剩下的问题就是需要政府的政策推动和投资者的细致评估及创新思想。发展非电空调及分布式能源，既可立竿见影地根除夏季缺电，又能促进国民经济可持续发展。可以预见，从“十二五”开始，将是中国迅速发展分布式能源系统的重大转机，一个非电空调及分布式能源时代已经到来。

1.5.2 案例二：上好佳（中国）废油替代节能技术

一、项目概况

上好佳（中国）有限公司是一家生产、销售休闲食品的菲律宾独资企业，拥有 9 台蒸汽锅炉，原先使用是的燃料 0#柴油。近几年来，随着成品油价格的上涨，企业的燃油成本不降反增。另一方面，市、区政府要求企业节能减排，企业在燃油方面一直没有找到切实可行的方案。2009 年初，上好佳公司向上海市合同能源管理指导委员会办公室提出项目申请，上海烨惠新能源技术开发有限公司与上好佳（中国）有限公司通过接触，达成一致意见，并成立项目领导小组，开展项目前期调研，在大量数据的基础上，拟定了生物柴油项目可行性报告，并通过专家组认证，确定对上好佳公司的锅炉燃料系统进行改造，改造分为两个方面：一是对油品进行替换，用“烨惠”牌生物柴油替代 0#柴油；二是对燃烧系统进行技改，对燃烧机的油泵压力、风门等级、电磁阀、喷油嘴等进行适应性改造，满足锅炉燃烧的需要。根据合同能源管理项目的规范要求，烨惠新能源公司于 2009 年 3 月底开始在上好佳锅炉试运行“烨惠”牌生物柴油，试运行锅炉型号为：WNS4-1.25-Y。通过调试，使用了一个月，相关测试数据均符合使用要求。从 2009 年 4 月开始，其他锅炉也相继进行了燃料系统改造，运行情况良好。

二、应用技术

1. 燃烧器工作原理：由油泵、喷油嘴和调风器组成，油泵以一定的压力将燃油雾化，和一定比例地空气充分混合后形成 60° 锥形雾化角送入炉膛，使油气混合物在炉膛内呈雾状燃烧。油品的替换过程需改变风和油的原有比例，重新调节至最佳状态，该生产工艺达到国内领先水平。

2. “烨惠”牌生物柴油：其原料来源于废弃食用油脂，根据《中华人民共和国可再生能源法》第八章第三十二条第一款：“生物质能，是指利用城乡有机废弃物转化的能源”，属于

替代性可再生能源。该产品具有热值与柴油相当，凝点稳定稍低，易使用，闪点稍高，安全性较好等特点，油品的含硫量比柴油低，排放优良，可使 SO₂ 排放减少约 50%。

3.不计入能耗统计：上海市人民政府印发的文件《沪府发（2006）9 号》中的第三项第五条规定：可再生能源利用量可扣减使用单位的能耗总量。因此，企业在使用“烨惠”牌生物柴油时不计入商品能耗统计。

三、项目投资、回收期及社会经济效益

项目总投资 300 万元，从 2009 年 3 月运行至今（2010 年 2 月），共节约柴油 1515t，相当于节约标煤 2208t，共节约能源费用 121 万元，回收期小于 2.48 年。

四、检测效果

节能量由上好佳（中国）有限公司与上海烨惠新能源技术开发有限公司双方共同检测，通过实际使用统计所得节能率为 100%。

五、总结评价

“烨惠”牌生物柴油作为 0#柴油的替代燃料项目，采用了合同能源管理的节能效益分享型方式实施，现工程圆满完成，取得了良好的经济、社会和环保效益，尤其环保效益相当明显，锅炉的烟尘排放经市、区环境检测部门检测，比 0#柴油的排放有大幅减少。该项目得到了市经委、科委、节能办等各单位领导和专家的一致肯定和好评，并作为合同能源办节能示范项目加以宣传和推广。

第二章 能源效率

2.1 能源效率概述

2.1.1 能源效率的定义

能源效率已经成为能源政策研究的热点问题之一，能源效率的内涵在于所消耗的能源量对于维持或促进整个经济、社会与环境系统可持续发展的贡献量。Patterson（1996）指出，能源效率本身是一个一般化的术语，可以有多种数量上的指标来进行测算，一般来说，能源效率是指用较少的能源生产同样数量的服务或者有用的产出，问题是如何准确地定义有用的产出和能源投入。世界能源委员会（WEC）把“能源效率”定义为“减少提供同等能源服务的能源投入”。能源服务是通过能源的使用为消费者提供的服务。如交通、照明、空调、冷藏等，用提供的服务来衡量能源终端利用的水平，例如照明器具的照度（流明/ m^2 ）。之所以用“能源服务”来反映终端能源消费，是因为同一种服务可以选择多种能源、多种技术来提供，可以根据经济、技术、社会、环境等因素，选择成本最低的方案，还能据以分析能源需求的趋势和节能的潜力，优化一次能源结构，取得最大的经济效益。按 WEC 能源效率的指标设置，一个国家或地区的能源效率指标是增加单位 GDP 的能源需求，即单位产值能耗，亦称能源强度（Energy Intensity）；部门能源效率分为经济指标和物理指标，前者为单位产值能耗，后者工业部门为单位产品能耗，服务业和建筑物为单位面积能耗和人均能耗。

2.1.2 能源效率的分类

王庆一教授（2001）把衡量能源效率的指标分为经济能源效率和物理能源效率两类。经济能源效率指标又可分为单位产值能耗和能源成本效率。物理能源效率指标可分为物理能源效率和单位产品或服务能耗。其中，物理能源效率又称技术物理效率，根据联合国欧洲经济委员会的定义：在能源开采、加工、转换、贮运和终端利用的活动中的起作用的能源量与实际消耗的能源量之比。能源加工（选煤、炼油等）、转换（发电、产热、炼焦、制气等）和贮运称为中间环节。终端能源消费等于一次能源消费量扣除能源工业自用能源以及加工、转换、贮运损失后，供终端用户使用的能源量。

魏一鸣、廖华（2010）对能源效率测度指标及其测度方法的做了全面系统的比较，讨论的七类指标包括能源宏观效率、能源实物效率、能源物理效率、能源价值效率、能源要素利用效率、能源要素配置效率、能源经济效率，并得出结论：这七类描述能源效率的指标，具有各自的理论基础或假设条件、相互关系、优缺点或适应范围。任何单一指标都不可能完整地反映能源效率水平。不同的指标，其应用领域不同，具体测度方法和所需要的数据也不同，能源宏观效率和能源实物效率是用得最普遍的。但是，在应用能源效率指标时，应根据实际需要进行遴选，并对所采用的指标或数据可能造成的偏误有较为充分的估计。

魏楚（2009）基于要素生产率框架，将能源效率分为基于单要素生产率框架的能源效率和基于全要素生产率框架的能源效率，并认为基于全要素生产率框架的能源效率指标要优于单要素能源生产率指标，同时实证了中国及省域全要素生产率框架的能源效率。

本课题主要从宏观经济能源效率和物理能源效率的视角来考察能源效率。宏观经济能源效率是指中国单位总产值能耗（能源消耗/GDP）；物理能源效率是指各部门单位产量的能

耗（或称能源系统总效率），工业部门为单位产品能耗，交通运输部门为单位换算周转量能耗，服务业和建筑物为单位面积能耗和人均能耗。

2.2 能源效率现状

2.2.1 宏观经济能源效率

中国“十一五”规划把单位 GDP 能耗^①降低 20%列为约束性指标。这要求平均每年降低 4.4%。2006 年比 2005 年下降 1.33%，2007 年比 2006 年下降 3.66%，2008 年 1-9 月同比下降 3.46%。从总体上看，中国宏观经济能源消费强度经过 10 年的下降，目前趋于平稳状态。不论按购买力平价（PPP）计算还是按汇率计算，中国的单位 GDP 能耗都远高于发达国家和世界平均水平（图 2-2）。

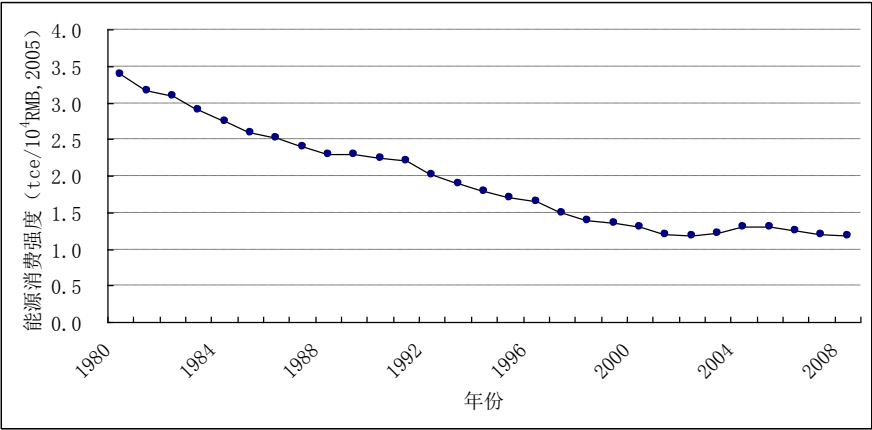


图 2-1 中国历年能源消费强度变化
数据来源：中国统计年鉴（历年）

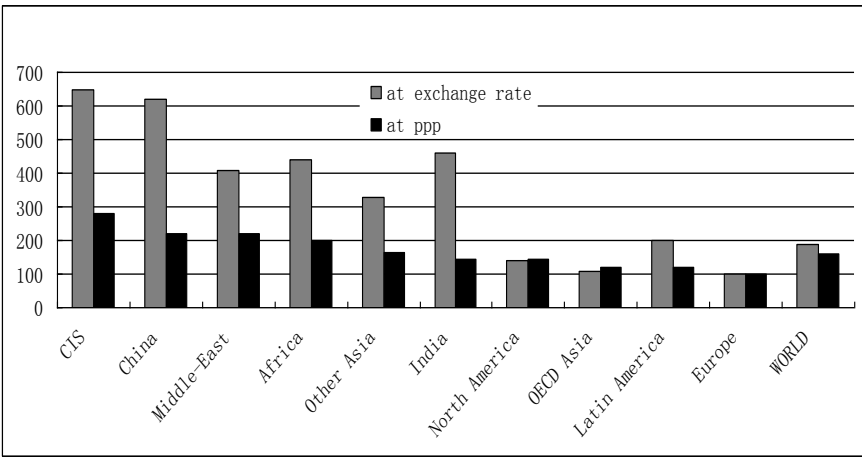


图 2-2 各国一次能源强度比较（PPP 和汇率，2005）
资料来源：EIA，2010

^① 这里能耗主要指煤炭、原油、电力、天然气的使用。水电属于可再生能源与清洁能源，将在能源替代中详细叙述不是本章考察的内容。

2.2.2 物理能源效率

按照联合国欧洲经济委员会的物理能源效率评价和计算方法，能源系统的总效率由三部分组成：开采效率，即能源储量的采收率；中间环节效率，包括加工、转换和储运过程中的损失和能源行业自用能源；终端利用效率，即终端用户得到的有用能与过程开始时输入的能源量之比。中间环节效率与终端利用效率的乘积称为“能源效率”，不能把“终端利用效率”混同于“能源效率”。

一、开采效率

由于技术水平较低，中国历年来能源开采效率保持在 33%左右。

表 2-1 中国 2007、2008 年能源开采效率

	2007	2008
煤炭开采	26.7	28.7
原油开采	3.8	3.4
天然气开采	2.7	2.9
合计	33.2	35

资料来源：王庆一，2007，2008

二、加工、转换和贮运效率

2007 年能源中间环节效率=1-（中间环节损失 639.7.5Mtc.e+能源工业用能源 198.3Mtce/一次能源消费量 2655.8Mtce）=68.4%。中间环节损失中发电损失率最大，约占 84.6%。

2008 年能源中间环节效率=1-（中间环节损失 621.5Mtc.e+能源工业用能源 255.4Mtce/一次能源消费量 3066.5Mtce）=71.4%。中间环节损失中的贮运损失包括电、煤、石油和天然气，煤炭贮运损失率为 3.7%，油、气管道输送损失率为 0.8%。

三、终端利用效率

（一）工业部门

工业是能源消费的主体，2009 年中国工业能源消费占全国能源消费总量的 81%，因此工业部门的能源效率在很大程度上决定着整体能源效率。2007 年，中国工业能源消费强度为 0.1kgoe/\$PPP，比世界平均水平低约 14%，但高于英国 37%，与欧盟平均水平基本持平，中国不同阶段工业能源消费强度与其它国家的差距见表 2-2。在工业部门内部，制造业是最大的能耗部门。2007 年，中国制造业占工业能耗总量的 82.1%，占全国能耗总量的 58.8%。中国不同阶段制造业消费强度与其它国家的差距见表 2-3。2007 年中国制造业能源消费强度为 0.131 kgoe/\$PPP，比全球平均水平低 23.84%，比欧盟平均水平低 5.07%，但较英、法、德、日等国要高，其表现较工业能源消费强度更优。

表 2-2 中国工业能源消费强度与部分国家差距（%）

国 家	1980	1990	2000	2007
全 球	180.70	76.40	-21.05	-13.79
美 国	135.29	91.46	-23.36	-15.97
英 国	428.93	278.31	31.25	36.99
德 国	297.52	170.69	15.38	6.28

欧 盟	247.83	127.54	-5.41	2.04
法 国	276.47	173.04	-0.94	20.48
日 本	392.31	237.63	12.90	13.64
韩 国	229.90	132.59	-28.08	-11.50
印 度	156.00	64.40	-26.57	-9.09

注：表内数值计算公式为：（中国指标-对比国指标）/对比国指标*100；

数据来源：ENERDATA，2010

表 2-3 中国制造业能源消费强度与部分国家差距（%）

国 家	1980	1990	2000	2007
全 球	NA	33.1	31.34	23.84
美 国	85.95	50.39	30.65	25.14
英 国	434.93	235.09	14.05	12.93
德 国	279.13	152.98	17.95	22.43
欧 盟	206.27	96.91	11.54	5.07
法 国	244.05	146.45	4.83	10.08
日 本	319.89	182.96	6.98	9.17
韩 国	130.38	72.85	31.00	12.08
印 度	70.52	15.06	42.50	30.69

注：表内数值计算公式与数据来源同表2-2。

（二）交通运输部门

交通运输部门正逐渐成为一个重要的能源消费部门。近年来，中国交通运输部门能源消费总量^①快速增长，公路运输能源消费占交通运输部门能源消费总量的比例较大，且增长迅速（图2-3）。

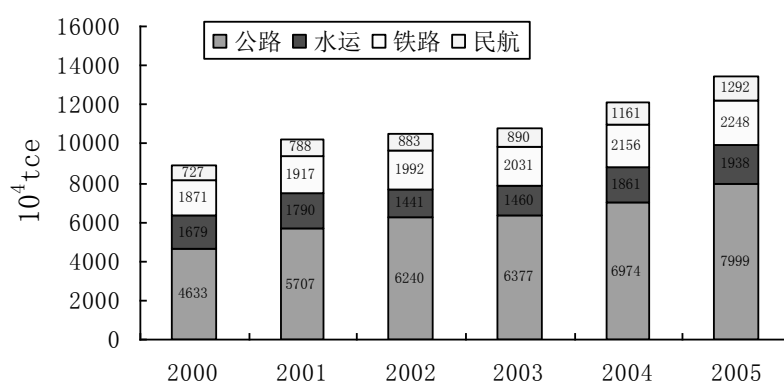


图 2-3 各种运输方式的能源消费总量增长情况（2000~2005）

数据来源：CCYP（2001-2006），MOT-CATS（2009a），MOR（1990；1998；2001），CCAC-DPT（2003）

^① 由于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》等权威统计资料中关于各子行业能源中只有交通运输、仓储和邮政大类的能源消费量，而无法细分交通运输业（道路运输、水路运输、城市交通、铁路运输、航空运输等各种运输方式）、装卸搬运业、仓储业、邮政业等子行业，且考虑到装卸搬运业、仓储业、邮政业的能源消费量及其所占比重小（据国家统计局有关数据，2007 年我国交通邮电业占一次能源消费总量的 7.8%），因此本课题采用交通运输、仓储和邮政业的能源消费量作为交通运输部门能源消费量的近似值。

从能源强度看，交通运输部门的能源效率应将单位换算周转量能耗和单位增加值能耗综合考虑。从单位运输周转量能耗来看，1980~2007 年交通运输业出现了三个不同的阶段性变化特征，但总体呈下降趋势（图 2-4）。交通运输每万吨换算周转量综合能耗由 1980 年的 213.15kgce，降至 2007 年 187.55kgce 的水平。从单位增加值能耗来看，交通运输业类似出现了三个较为明显的阶段特征，特别是 2000 年以来呈现上升趋势（图 2-5）。2007 年交通运输业每万元增加值能耗为 1.78tce，同 1980 年、2000 年相比分别上升了 42.47%、71.00%，年均增幅分别为 1.32%、7.97%。

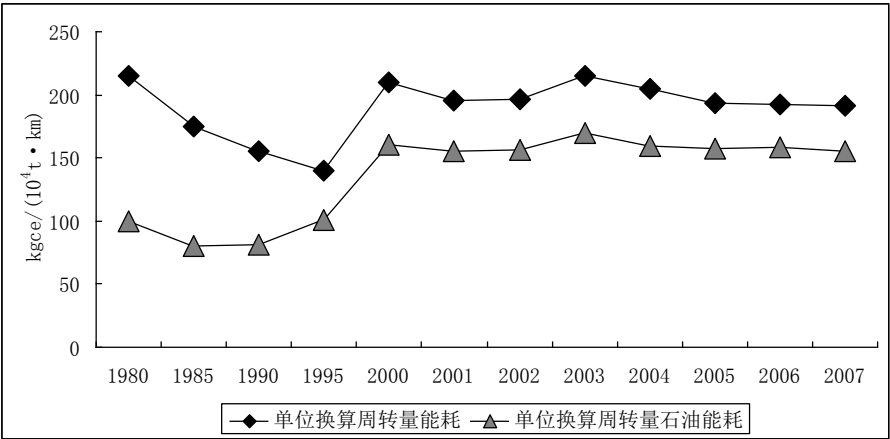


图 2-4 中国交通运输部门单位换算周转量能耗状况

资料来源：魏一鸣、廖华，2010

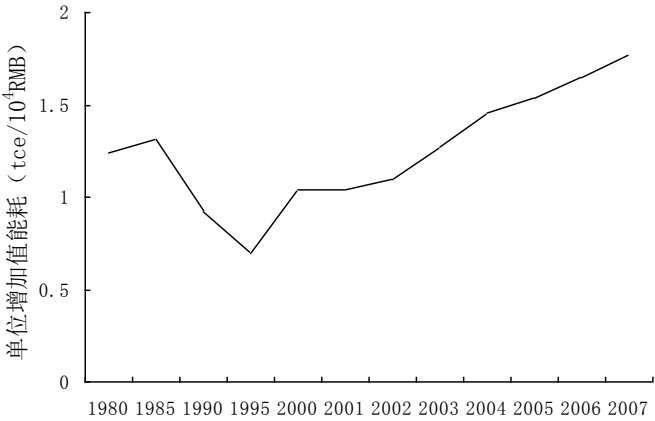


图 2-5 交通运输部门单位增加值能耗（增加值为 2005 年不变价）

资料来源：魏一鸣、廖华，2010

（三）建筑部门

近年来，随着城市化进程的推进，中国迎来了城市建设高峰期，城市规模不断扩大，促使建筑业飞速发展。此外，随着社会进步，公民素质普遍提高，社会意识形态不断调整，人们对于建筑物使用的观念也在悄然发生巨大的变化，对建筑提供的服务业产生了经济、实用、健康、舒适、美观、奢华等多元化的要求，这对建筑能源消耗提出了新的要求。因此，中国建筑运行能耗总量不断攀升。

2006 年，建筑运行能耗达 5.63 亿 tce，占中国总商品能耗的 23%，其中采暖和空调能

耗约占建筑运行能耗的 50%-60%。北方地区的采暖能耗超过了当地社会总能耗的 20%-40%。近年来形成电力尖峰负荷的空调设备快速增长,在许多大城市中,夏季空调负荷占高峰期电力负荷的 30%-40%,是导致中国“十一五”期间电力紧张、部分地区拉闸限电的主要原因之一。此外,冬季采暖和夏季空调制冷,已成为城市大气环境的一个主要污染源。各类建筑的能耗比例如图 2-6 所示。

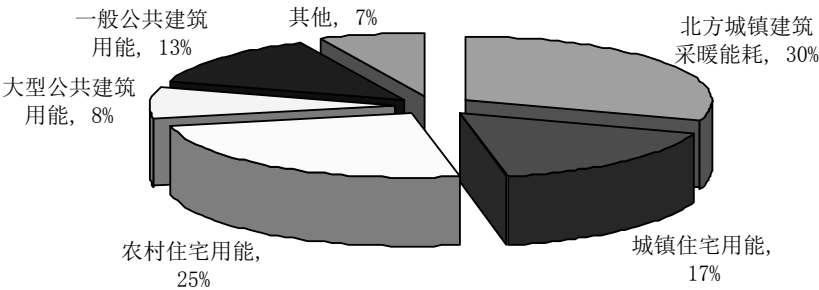


图 2-6 中国现有建筑能耗分类比例

资料来源：运用融资和市场机制促进中国建筑能效发展项目，2009

北方城镇建筑还可划分为居住建筑和公共建筑，其中的公共建筑和大型、一般公共建筑经常被作为一个城市现代化的象征，由于结构和用途的特殊性，公共建筑是中国现有建筑中的耗能大户。据统计，我国 2 万 m^2 以上的大型公共建筑面积约占城镇建筑面积的 4%，但是其运行能耗去占城镇建筑运行能耗的 20%以上，单位面积耗电量更是普通住宅建筑用电量的 10-15 倍。因此，降低公共建筑能耗是我国建筑部门提高能效^①的关键。

1996-2000 年，我国公共建筑面积增长相对缓慢，公共建筑面积占建筑总面积的比例一直维持在 11.0%左右（如图 2-7），但是公共建筑能耗却增长较快，由 1996 年的 0.69 亿 tce，迅速增长到 2000 年的 0.87 亿 tce，其占建筑能耗的比例也由 24.27%增长到 30.65%，约增长了 6.4%（如图 2-8）。2000 年以后，我国加快了城镇化进程，各地方政府纷纷兴建办公建筑和公共服务设施，公共建筑面积开始快速增长（2003 和 2004 年除外），这必然导致公共建筑能耗的快速增加，2006 年公共建筑能耗约为 1.71 亿 tce，10 年时间公共建筑能耗约增加了 1.5 倍。因此，推进建筑节能和绿色建筑的发展，尤其是降低单位面积公共建筑的运行能耗，将对我国实现 2020 年单位 GDP 的 CO_2 排放强度降低 40%-45%目标具有关键性的作用。

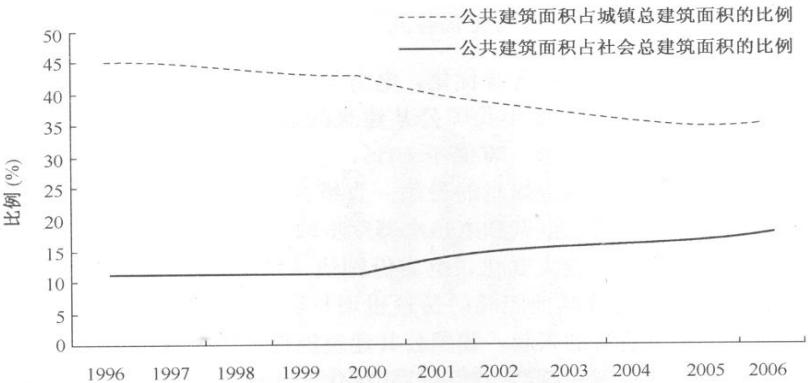


图 2-7 中国公共建筑面积分别占城镇和社会总建筑面积的比例（1996-2006 年）

资料来源：魏一鸣、廖华，2010

^① 建筑部门的能源效率是用单位面积的建筑运行能耗来表示的。

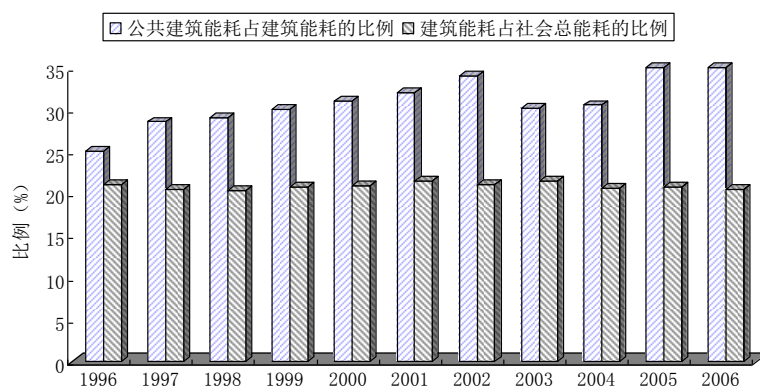


图 2-8 公共建筑能耗占建筑能耗的比例（1996-2006 年）

资料来源：魏一鸣、廖华，2010

2.3 能源效率提升中存在的问题及其原因

2.3.1 能源技术与装备水平

从整体上看，目前中国主流生产和生活能力的能源技术和装备水平仍然较低，多数技术相对落后，能源效率水平与国际先进水平的差距为 10-20 年。中国还没有形成以市场为导向、企业为主体、政策为支持的节能技术创新体系。国家对节能科研的投入不足，2005 年国家财政科技拨款 1270 亿元（预算数），占 GDP 的比重不到 1%，而用于节能科研的部分占 GDP 的份额则更小，促进节能技术进步的财税政策也较少。

2.3.2 市场联动与价格机制

在市场经济条件下，价格是最强烈的市场信号；适当的能源价格可为全社会节能投资提供正确的引导。目前，中国的煤炭和原油价格已经实现完全市场化，原油价格完全与国际市场联动，但中国在上游原油市场价格上基本没有任何定价权。而且中国天然气价格较低，与国际价格差别较大，由于天然气生产领域的高度垄断性，市场化改革进程仍处于起步阶段。

因此，能源价格改革是中国能源问题的重要环节，从国家战略角度看，中国面临的难点是对国际能源定价机制缺乏影响力，在国际能源价格波动时很被动；从民生角度看，在某些情况下，能源价格过度市场化导致了公共利益受损。这一对矛盾的处理对改革的发展速度十分重要。

2.3.3 能效管理与标准体系

能效标准、标识是确定能源节约与浪费的尺度，是政府对节能实行管理和调控的有力措施，也是衡量用能单位是否达到节能的准则。到 2007 年为止，中国已颁布实施的能效标准共计 15 项，涉及 14 类产品。其中一些标准是强制性标准。目前，中国的能效标准还存在很多缺陷。能效标准中所规定的能效限定值和节能评价指标值偏低，编制的能耗限额偏离最优值，不利于能源的合理高效利用。原因主要有：一是能源统计数据不够准确，导致计算结果

出现偏差,造成制定的能效标准与能源状况不符,不利于能源优化调控;二是现行的能效计算方法不科学,主观性、随意性较强,没有充分考虑国际贸易、地方能源状况、环境质量和经济发展水平等差异。能效标准、标识覆盖产品范围较小,目前仅局限于部分家用电器、照明器具及部分工业设备上,还没有形成一整套完整的标准体系。

2.4 能源效率提升未来发展目标及对策

2.4.1 未来发展目标

从宏观经济能源效率的视角来看,目前中国大致处于美国 1960 年左右的水平。处于英、法、德、日、意五国 1970-1980 年左右的水平(廖华, 2008)。《中国能源报告 2010: 能源效率研究》认为,未来中国单位 GDP 能耗存在大幅度下降空间,未来 30 年中国能源需求对 GDP 的弹性系数有望继续保持在 0.6 左右。

《中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究》(节能·煤炭卷)根据十七大报告的经济目标,测算了如果 2020 年单位 GDP 能耗比 2005 年降低 40%左右时 GDP 增速与能耗的关系,得出只有当 2011-2020 年 GDP 平均增速控制在 6.27%以下,单位 GDP 能耗才能比 2005 年下降 40%,总能耗才能控制在 40 亿 tce 以下。

《中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究》(综合卷)主要以 CGE 模型(可计算一般均衡模型),计算和评估未来中国可能达到的能源需求。计算及分析结果说明,经过努力中国 2020 年的能源消费总量可能控制在 40tce 左右,2030 年 45tce 左右,2050 年 50 亿-55 亿 tce。

国务院印发了《“十二五”节能减排综合性工作方案》细化了《“十二五”规划纲要》确定的节能减排目标。在节能方面,提出到 2015 年,全国万元国内生产总值能耗下降到 0.869tce(按 2005 年价格计算),比 2010 年的 1.034tce 下降 16%,比 2005 年的 1.276tce 下降 32%;“十二五”期间,实现节约能源 6.7 亿 tce。

2.4.2 发展对策

一、加大高效技术的研发、示范与推广

首先,要进一步完善促进节能技术进步的财税政策,包括:(1)支持节能技术、特别是那些具有国际先进性的节能前沿技术的研发,促进节能技术实现“蛙跳”式发展;(2)对国外引进先进的节能技术给予财税政策支持;(3)支持重大节能新技术的工程示范;(4)为节能新产品的生产、销售、购买提供财税政策支持;(5)支持基于市场的、权威的、真实可靠的综合性节能信息的开发和有效传播,引导和间接促进各种具有商业应用价值的节能技术的推广应用。

其次,技术进步是节能的基本途径之一。从近期、特别是从长远看,要转变经济发展方式、降低经济发展对能源的依赖、实现重大能源节约,从根本上讲要靠技术进步。因此,节能技术创新和推广应用应列为财税政策的基本和重大支持方向。政府在协调节能科技开发、推广和应用方面要发挥重要作用,近期主要围绕支持实现“十二五”国家节能目标,针对节能技术的研发、工程示范、推广应用诸多环节大力加强财税支持政策,如《关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的意见》;中长期阶段围绕支持实施建设低碳经济社会,加快国家创新体系建设,逐步形成健全的、系统的低碳科技创新和推广应用财税支持政策。

二、加速能源价格市场化，平衡运用市场与行政手段推动节能

在市场经济国家里，能源价格政策一直被政府视为最重要的节能降耗促进政策之一，2008 年底，中国对成品油价格进行了价格形成机制改革，同时，配套推出了成品油价格和税费改革方案、成品油价格、燃油税和交通收费三项重大改革，来协调国际能源定价机制。对此，长远来看能源价格走向市场化，与国际对接是不可避免的。同时，也要运用价格机制来真实反映能源企业成本，限制过度开发带来的高利润，引导企业利润流向。但近期来看，由于中国人均收入水平、消费水平都远远落后与国外发达国家，在能源市场垄断程度高的情况下，为防止能源企业将成本转嫁给消费者，国家对于能源价格的调控是非常有必要的。

三、改进能效管理与能效标准标识制度

节能政策作用的发挥存在多个前提，包括政府制定强制性节能目标、能源领域普遍市场化程度较高、标准标识、税收体系等基础工作比较完善等。这些政策的目标不仅仅包括节能，也包括优化税制、增强竞争力、促进社会公平等方面考虑，需要与产业、贸易、投融资、转移支付等多方面政策加强协调。结合中国国情，中国应进一步建立和完善能效综合政策体系，包括协调激励和约束手段的作用，完善相关配套政策措施，强化统计、标准等节能基础工作能力等。在中国各个层次建立完善能效管理机制，明确各层级责任各部门的分工，形成协调有序、齐抓共管的局面是能效工作开展的有力机制保障。

在能效标准标识制度方面，中国应加快编制能效标准标识，参考发达国家的能效水平，统筹规划节能标准体系，在已实施的家用电冰箱、空调器、洗衣机、电动机、节能灯能效标识基础上，扩大能效标识实施范围，加大实施力度，强化实施效果。加强能效标识的监督执法力度，组织开展针对能效标识实施情况的专项监督检查，打击虚假标注，规范标识行为。做好节能产品认证，扩大认证范围，重点加强对工业耗电产品的节能认证，扩大认证结果采信力度。

2.5 案例分析

2.5.1 案例一：唐山既有建筑改造

一、项目背景

德国技术合作公司（GTZ）是一个在全世界范围内致力可持续发展、进行国际合作的德国联邦政府企业。2005 年 11 月，经过中国和德国政府联合批准，GTZ 发起既有建筑能效（EEEB）项目，这是一个中德技术合作项目。该项目计划实施 5 年，由科技部、住房和城乡建设部代表中国政府，GTZ 代表德国联邦经济合作和发展部（BMZ）共同开展。

建筑能效项目的任务是，结合示范工程，从德国引进先进的能效提高方案和设想，探讨适合中国北方地区既有建筑能效提高的先进理念、先进技术和融资模式，推动国内供热体系改革，促进中德在建筑节能产品和行业方面的合作。

项目位于唐山河北 1 号小区。小区建于 1978 年，是唐山大地震后兴建的第一个成片小区。小区共有 4650 户住，总面积 216152m²，所有建筑均采用内浇外挂结构、4-5 层高。这三栋多家庭住宅综合能效改善项目第一个试点项目于 2006 年完成。采取的改造措施包括 10cm 聚苯乙烯泡沫（EPS）保温外墙、塑钢中空玻璃平开窗（部分采用 low-E 材料）、14cmPU 隔热屋顶和新型自动门。此外，项目引入了一套新型供热计量体系，安装了温度补偿器、平衡阀和热分配表。项目改造之后，街道噪音和屋内进灰情况极大的改善了。热耗降低 40% 的同时，室内平均温度从 12℃ 提高到 22℃。项目改造后减少了供热支出，同时提高了住户

的生活质量，降低了温室气体排放。

2005/2006 供暖季，项目组对这三栋建筑的能耗进行了监测，作为基准线。改造完成后，又对这三栋楼在 2007/2008 供暖季的能耗进行了监测，从而获得能效改善的准确数据（表 2-4）。

表 2-4 改造后能效改善

建筑物 ^①	2005/2006 改造前	2006/2007 改造后	节能量 ^②	实际节能量 ^③	温室气体减排量
509	789.9GJ (107kWh/m ² ·a)	509.7GJ (68kWh/m ² ·a)	37% (39kWh/m ² ·a)	78% (78kWh/m ² ·a)	22kg/m ² ·a
515	797.3GJ (108kWh/m ² ·a)	534.1GJ (71kWh/m ² ·a)	35% (37kWh/m ² ·a)	78% (74kWh/m ² ·a)	21kg/m ² ·a
514 (参照)	761.8GJ (103kWh/m ² ·a)	789.9GJ (104kWh/m ² ·a)			

资料来源: <http://www.anyoee.com/CaseInfo.aspx?catid=22&id=36>



图 2-9 小区改造前后对比

二、融资和市场机制的应用

作为项目的一部分，GTZ 联合清华大学环境科学与工程系国际环境政策研究中心（欧德安教授）、马云清教授及其团队（刘德顺教授、周胜博士）以及建设部，共同开展了中国北方地区建筑节能领域 CDM 项目开发的可能性。2008 年 2 月初，研究工作顺利完成。研究评估了中国北方地区建筑领域 CDM 项目的主要机会和障碍，最终认为，使用被批准的小项目方法学^④，在既有建筑能效领域开展 CDM 项目是可行的，研究同时分析了项目打捆和规划 CDM 项目的机会。

清洁发展机制，能够指导资金投入到一些提高人民生活的节能技术中，潜在的促进中国北方可持续发展。然而，清洁发展机制的这一发展潜力为多种限制所削弱——建筑能效清洁发展机制项目多为基于社区的小规模项目，交易成本高，相对投资而言收益低。

三、总结

基于既有建筑能效项目的积极影响，唐山建筑能效办公室向政府提出一个设想，设计

^① Space area for each building: 2045m²

^② Energy savings without temperature correct

^③ Energy savings with temperature correct

^④ 小型清洁发展机制项目

开展建设大规模既有建筑改造。然而这一示范项目受到供热定价机制的限制。目前,在中国,集中供热体系采用粗泛的检测方式。一方面,由于供热是按供热面积而非实际消耗收费,节能建筑用户不得不支付几乎双倍的价格,这极大的降低了用于节能的积极性。另一方面,现有的以非计量用户为主的定价机制,是在供热企业全部供热成本的基础上确定热价的,供热企业表示,虽然少数建筑安装了热表,但是由这些建筑带来的节能量,相对其全部供热成本来说,是微乎其微的。尽管政府部门反复强调开展热计量和基于消费的定价机制改革的必要性,热价改革需要同一系列其他措施共同开展,如社会救助计划、采用能效提高措施降低供热成本、安装热表和消费者控制装置、实行基于消费的收费。

2.5.2 案例二：上海地铁车站空调系统节能改造

一、项目概况

上海地铁 2 号线静安寺和陆家嘴车站(图 2-19, 图 2-20)采用的是 Dunhambush 螺杆式冷水机组。静安寺和陆家嘴车站运营年数较长,站台内中央空调因运营需要,机组长时间负荷运行,虽然这些机组在精心维护下均能正常工作,但机组的实际效率都已经下降,相应机组的能耗也有很大增加。上海东智屏科贸有限公司是专业从事节能产品研发、推介与技术服务,节能项目策划、实施与管理于一体的现代节能服务公司。公司研发、生产的爱能牌极亲剂(极化冷冻机油节能添加剂)产品,能够改变这种多能耗现象。因此,上海东智屏科贸有限公司通过对 Dunhambush 螺杆式冷水机组充注爱能牌极亲剂进行节能技改,并于 2008 年 7 月至 9 月在陆家嘴和静安寺 2 个车站进行实施。

二、示范项目应用技术

爱能牌极亲剂的核心技术在于其具有独特的活性极化分子,这种携带负电荷的极化分子对金属表面有极强的亲和力,清除原来在系统中沉淀下的油垢,增强热传导效应,增加运动部件的润滑。

三、项目总投资、回收期及社会效益

项目总投资为 36.5 万元,年节约效益为 24 万元,节电率:2008 年监测结果为静安寺站 14.61%、陆家嘴站 12.77%;2009 年复测结果为静安寺 14.95%、陆家嘴 16.87%,年节约标准煤 112.96 吨。投资回收期 1.5 年。

四、检测评价

同济大学机械工程学院对上海地铁车站空调系统节能改造进行检测,其检测依据是上海市节能服务中心、上海市能源标准化技术委员制定的《制冷机组及热泵机组节能效果评价方法》SJB001-2004。测试数据真实有效,机组运行正常。通过几年时间的跟踪检测,证实爱能牌极亲剂一次注入,长期有效,年节电率都能达到预期承诺的 10%以上,可在地铁运营公司推广。

五、总结

上海地铁车站空调系统节能改造项目,是基于合同能源管理机制的节能项目,既解决了用能单位因节能改造所需的资金问题与技术问题,又提高了用能单位能源使用效率。此外,用节能收益来支付节能改造的费用,达到了项目中各主体之间双赢的效果。

第三章 碳汇

3.1 碳汇基本概念

控制大气中的 CO₂ 浓度的持续提高需要从源和汇两个方面着手。首先，从源上减少温室气体排放，通过降低能耗、提高能效以及能源替代等途径实现；其次，从汇上增加 CO₂ 的吸收和固定，有运用生态系统固碳和碳捕捉两种方式（徐荣婷，2010）。

当生态系统碳排放量大于固定的碳量，该系统是大气 CO₂ 的源，简称碳源（Carbon source），反之，就是大气中 CO₂ 的汇，简称碳汇（Carbon sink）。一般来说，生态系统碳汇的体包括水体、土壤、农作物、森林、草地等（傅伯杰，2005）；其中森林作为 CO₂ 的一个重要的碳汇，在维护区域乃至全球气候稳定中起着重要作用。占全球土地面积 27.6% 的森林碳贮量约占全球植被的 77%，森林土壤的碳贮量约占全球土壤碳贮量的 39%。针对国内各种形态的生态系统，中国学者魏殿生进行了以下估算（魏殿生，2003），如表 3-1 所示。

表 3-1 1949-1998 年中国生态治理活动吸附大气碳的计算结果

活动	固碳率(×10 ⁴ tC)	50年固碳量(tC/hm ² ×a)
人工造林	1.4	4795
飞播造林	1	2533
封山育林	1	3407
治理水土流失	0.3	20
修梯田、建坝地、治沙造田	0.3	320
人工种草和改良草地	0.8	1186
合计		12261

资料来源：魏殿生，2003年。

除了生态系统的碳汇功能外，CO₂ 捕捉和封存作为一种通过地质封存实现温室气体减排的方案，能有效促进大气中温室气体稳定目标的实现。CO₂ 捕获和封存（CCS）是指把 CO₂ 从工业或相关能源的源分离出来，输送到一个封存地点，并且长期与大气隔绝的过程。

发电和油气生产是 CCS 应用的两个主要领域。发电领域应用 CCS 的技术途径主要有两种，燃烧前捕集 CO₂ 或者燃烧后捕集 CO₂。对油田而言，目前世界上大部分油田均采用注水开发，但也都面临着需要进一步提高采收率和水资源缺乏的问题。国外近年来大力开展了 CO₂ 驱油提高采收率（EOR）技术的研发和应用。这项技术不仅能满足油田开发的需求，还可以解决 CO₂ 的封存问题，保护大气环境。而天然气需要在其生产过程中分离 CO₂，并且还可以将捕集的 CO₂ 注到地下来提高石油与天然气的产量。

目前 CCS 技术还是一个较新的研究领域。基本处于研发和示范阶段，CCS 的各个环节都存在较大风险。特别是对于 CO₂ 注入地下地质结构后的吸附及迁移机理与规律；CO₂ 在地层中的相态变化及规律、化学反应及固化条件；长距离管道运输 CO₂ 的化学腐蚀机理与规律等的相关研究还刚刚起步。其中封存后的安全问题是关注的焦点，CO₂ 须依靠地层的压力维持超临界状态（类似于石油），否则就会挥发到空气中。根据 IPCC 报告 CO₂ 可以在地下安全地储存上百万年，每 1000 年的泄漏率不到 1%，但各个专家在哥本哈根会议上对碳泄露威胁表示担忧。

3.2 碳汇发展现状

3.2.1 生态系统碳库现状

一、林业碳汇现状

森林是目前中国最大的生态系统碳库，包括植被、土壤和凋落物层 3 个部分（曹吉鑫，2009）。中国森林生态系统可以吸收生物物质、化石燃料燃烧和人口呼吸释放总碳量 $9.87 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 中的 48.7%，它目前平均碳密度是 $258.83 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，基本趋势是随纬度的增加而增加。其中植被的平均碳密度是 $57.07 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，随纬度的增加而减小；土壤碳密度约是植被碳密度的 3.4 倍，其区域特点与植被碳密度呈相反趋势，随纬度升高而增加；凋落物层平均碳密度是 $8.21 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，随水热因子的改善而减小。采用林业部调查规划设计院的中国森林资源清查资料，落叶阔叶林、暖性针叶林、常绿落叶阔叶林、云冷杉林、落叶松林占森林总碳贮量的 87%，是中国森林主要的碳库。中国森林生态系统在与大气的气体交换中表现为碳汇，年通量为 $4.80 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ ，基本规律是从热带向寒带，碳汇功能下降，这取决于系统碳收支的各个通量之间的动态平衡；阔叶林的固碳能力大于针叶林（方静云，1996，2001，2007）。

在森林碳库的建设上，目前中国有“京都模式”林业碳汇项目和“非京都模式”林业碳汇项目两种方式建设森林碳库。由于林业碳汇项目成本远低于减排项目，因此受到多数发达国家的欢迎。同时发展中国家可以借助发达国家提供的资金和先进技术来促进本国经济的发展，因此许多发达国家和发展中国家借此机会迅速开展了相关的林业碳汇项目。借助一批有助于中国可持续发展的先进技术和额外的发展资金，中国林业碳汇项目发展迅速，如表 3-2 所示。

表 3-2 中国林业碳汇项目概况

项目名称	项目主办方	面积/ hm^2	规模(万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	项目起始时 间	投资额/万 美元
中国东北部敖汉防止沙漠化青年造林项目	国家林业局与意大利环境国土资源部	3000.00	--	2005年	153.00
中日防沙治沙试验林项目(沈阳市康平县)	沈阳市林业局与日本庆应大学	538.70	1.124	1999年	28.00
中国广西珠江流域再造林项目	广西林业厅	4000.00	77.000	2006年	300.00
中国四川西北部退化土地的造林再造林项目	四川林业厅	--	--	2005年 (2009年签约)	300.00
中国绿色基金温州碳汇造林项目	中化基金会 国家林业局 气候办和温州市人民政	400.00	9.000	2008年	44.00

	府				
中国绿色碳基金 北京市房山区碳 汇造林项目	中国石油天 然气公司	400.00	4.00	2008年	44.00
中国绿色碳基金 北京八达岭林场 造林项目	--	206.67	2.800	2008年	43.69

资料来源：作者根据相关资料整理而成。

二、农业碳汇现状

不仅森林具有碳汇功能，农业同样具有通过吸收大气中的 CO_2 ，减缓温室效应的作用。不同的是，森林在人类的保护下，呈现生长周期长、光合作用面稳定的特点，即碳汇功能显性化，更容易被人们接受。而农作物由于承担着为人类提供最基本食物、纤维品供应的功能，碳汇被忽视和掩盖了。

据全国多目标区域地球化学调查结果显示，中国平均土壤有机碳储量为 $15339\text{t}/\text{km}^2$ ，土壤平均碳密度为 $48.8\text{t}/\text{hm}^2$ ，低于美国的 $50.3\text{t}/\text{hm}^2$ 、欧盟的 $70.8\text{t}/\text{hm}^2$ 。若在全国耕地中推广秸秆还田、合理施肥和保护性耕作三项措施，农田土壤的固碳速率可达到 1.82 亿吨碳/年，从 2005 年到 2050 年大约可以固定碳 81.9 亿吨碳/年，因此中国的农业碳汇潜力很大(刑燕燕，2011)。

目前国内各省区农田固碳潜力如图 3-1 所示。在 1980-2000 年的农田土壤管理以及气候条件下，中国西南以及东北部固碳潜力在各省市中居于前几位。江苏和山东等东部沿海地区土壤固碳潜力较小，新疆、内蒙、青海、陕西以及山西等西部地区气候环境恶化、加之植被覆盖较少，土壤固碳潜力均为负值，即向大气释放碳素，所以该地区应该改变土壤耕作方式或者种植结构以增加土壤的固碳潜力（梁二，2007）。

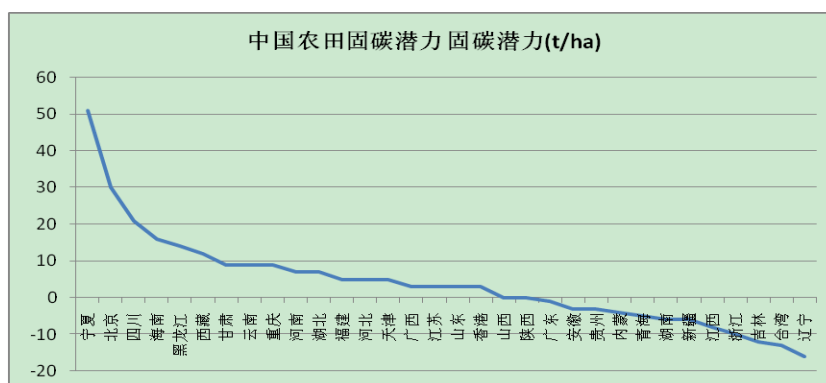


图 3-1 中国分省区农田土壤固碳潜力

资料来源：梁二，2007 年

三、海洋与渔业碳汇现状

中国拥有世界上最宽阔的陆架海域，中国近海（包括渤海、黄海、东海和南海）是海洋生产力较高，对社会、经济活动影响较大的海域。近海海-气界面碳通量过程、生物泵过

程、颗粒物沉降与释放以及捕捞/养殖碳转移过程是中国近海生态系统碳循环的主要控制过程。在前三者的作用下，中国大部分陆架海域是大气 CO₂ 的汇，也有部分海域是大气 CO₂ 的源，但其强度有很大的不确定性。捕捞/养殖碳转移即海洋渔业通过贝类养殖、藻类养殖和浮游植物三种方式固碳。贝壳养殖过程中汇集了海水中的碳，而后将其转移到陆地上，成为较为稳定的碳汇；海藻和浮游植物在养殖过程中进行光合作用，吸收 CO₂ 释放氧气，使大量的碳被固定下来，还能够起到降解水体中的有机质如氮和磷的作用。图 3-2 显示了 2005 年海洋经济藻类的养殖量和固碳量。近几年，中国大型经济藻类养殖产量为每年 120-150 万吨，换算为固碳量为 36-45 万吨，平均每年 40 万吨。如果继续发展近海经济藻类养殖，并且每年以 5% 的速度增长，那么到 2020 年固碳量将达到 90 万吨左右。据统计，中国近海在总体上是大气 CO₂ 的汇，年吸收 3-5 千万吨碳，各个海域的碳汇量如图 3-3 所示。中国近海浮游植物的年固碳量可达 6.39 亿吨，春季和夏季浮游植物固碳占全年的 65.3%。南海浮游植物固碳达 4.16 亿吨，为渤海、黄海和东海的 2 倍（宋金明，2007）。

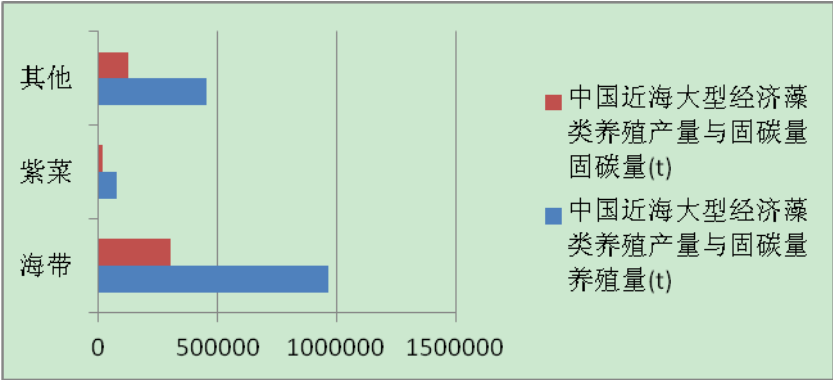


图3-2 2005年中国近海大型经济藻类养殖产量与固碳量
资料来源：宋金明，2011年

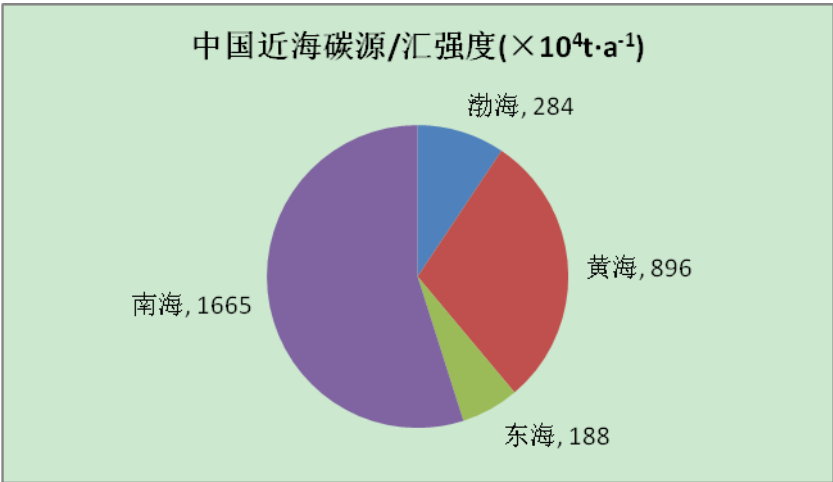


图3-3 中国近海碳源/汇强度
资料来源：宋金明，2011年

3.2.2 碳捕捉与碳封存发展现状

一、碳捕捉发展现状

碳捕捉主要捕捉来自煤电和油气生产过程中产生的 CO₂。目前中国 CO₂ 排放总量的 1/3 来自电力行业，发电的能源结构以煤炭为主，专家预测到 2050 年煤炭仍将占中国煤炭比重的 50% 以上，煤电生产中排放的 CO₂ 将是中国减排的首选方向。同时，中国现已探明的 63.2 亿吨的低渗透油藏原油储量，其中有 50% 左右尚未动用的储量。世界上大部分油田采用注水开发，带来了采收率低和水资源匮乏问题，如果采用 CO₂ 驱油，则比水驱油能大大提高石油采收率，而且将 CO₂ 置换原油而长期储存于油岩中，实现真正意义上的规模减排。

中国能源结构以煤炭为主，适合引进整体 IGCC。虽然 IGCC 成本较高，但是 IGCC 所产生的 CO₂ 浓度已经基本达到 CCS 封存的要求，可以免除 CO₂ 捕捉环节的成本，而捕捉成本占 CCS 总成本的 2/3 以上。因此，IGCC+CCS 将成为未来保障中国电力供应的一条重要技术路线，清洁煤技术的发展必将推动 CCS 的大规模发展。

中国进行 CO₂ 地质驱油的条件良好，沉积盆地是可以封存 CO₂ 的地质构造，国内适宜进行石油勘探的沉积盆地总面积约为 $550 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；并且东部火力发电厂较为集中，油气田为数甚多，这是国内实施 CO₂ 地质封存的有利条件；国内低渗透和稠油资源非常丰富，在这些油藏中利用 CO₂ 提高采收率的潜力巨大（段海燕，2009）。

由于具有上述优势，20 世纪 70 年代开始，国内一直在进行 CO₂ 驱提高石油采收率的研究工作，以期进行实际 CO₂ 驱油提供借鉴。此前新疆、大庆、胜利油田都已进行了一定规模的矿场应用，吉林油田则开展了 CO₂ 清洁泡沫压裂研究；中国石油大学（北京）曾针对辽河稠油进行了注 CO₂ 基础实验，结果表明 CO₂ 可以明显降低原油黏度，使原油体积膨胀、提高驱油效率；国内外室内研究和工业化应用结果表明，注入 CO₂ 是一类很有效的提高采收率方法。但由于国内缺少天然 CO₂ 气源，所以目前 CO₂ 驱油提高石油采收率始终未能成为主导的研究与应用技术（王众，2010）。

二、碳封存发展现状

CO₂ 封存技术可以分为三大类：海洋封存、地质封存和植被封存，其中地质封存技术是将 CO₂ 放在地下地层中的自然孔隙中。该技术相对比较成熟，是目前最经济和最可靠的实用技术。CO₂ 地质封存的场所包括油藏储层和废弃的油气层、煤层（包括煤层气和未开采的煤层）、大的空洞、开采过的大洞穴、盐丘、深部含水层等（韩文科，2009）。中国陆上的大型含油气盆地中大都进行过 CO₂ 驱油（地下封存）试验，可以作为 CO₂ 地下封存的目标区，其中的陆地深部咸水层、油气田、不可采煤田等均为地质封存条件较好的地下空间。

目前尚未在全国开展大规模碳封存项目，研究重点在于如何降低碳捕捉的成本以及探索适合进行碳封存的区域。根据目前的研究成果，中国华北平原大部、四川盆地大部、准葛尔盆地东南部及苏北盆地的储存容量大，CO₂ 集中排放源密集，排放量大，是应该首先考虑进行详细研究的地区。华南和东南沿海地区 CO₂ 排放量大，但无较大规模沉积盆地，在无其他储存措施的情况下，可考虑利用近海的沉积盆地进行储存。

利用圈闭体积法、溶解度法和封存容量法初步估算，中国 CO₂ 地下储存总容量为 $1.4548 \times 10^{12} \text{ t}$ 。其中，24 个主要沉积盆地深部咸水层可封存 CO₂ 约 $1.4350 \times 10^{12} \text{ t}$ ，46 个含油气盆地可封存 CO₂ 约 $7.8 \times 10^9 \text{ t}$ ，68 个主要煤层区可封存 CO₂ 约 $1.20 \times 10^{10} \text{ t}$ 。按 2002 年中国 CO₂ 总排放量为 $3.3 \times 10^9 \sim 4.0 \times 10^9$ 的 1/3 估算，地下空间容量可供中国 CO₂ 地质封存使用 1000 年以上（胡虎，2009）。

从全球范围来看目前碳捕捉和运输环节的技术均可以实现，但是封存过程却存在尚未克服的困难。CCS 中的捕捉与运输技术相对成熟，针对这部分的关注点在于如何降低成本。但是封存涉及到长期封存效果的验证，目前并没有最终解决的方案。

三、实施的碳捕捉与封存项目

国内 CCS 项目处于电力集团的摸索阶段，目前有几座电厂的 CCS 示范项目在进行，如表 3-3 所示。有代表性的有如下几座：2008 年建成的北京市高碑店热电厂碳捕捉项目，2009 年 7 月启动的华能集团上海石洞第二电厂的碳捕捉项目。华能集团于 2009 年 7 月在天津临港工业区开工建设的“整体煤气化联合循环发电技术”，该项目能够在煤炭燃烧前从气化的煤炭中捕获到其中的碳，由于电厂主要燃烧氢气，可以使废气达到零排放。它采用了 IGCC 与 CCS 技术相结合的技术路线，当干煤粉进入气化炉进行不充分燃烧后，产生的混合气体主要含有 CO、H₂、H₂O 及少量的 CO₂ 等。与此前将混合气体直接燃烧发电的做法不同，新的技术路线是使混合气体先进入到水煤气变换装置，其中的一氧化碳与水发生反应，产生 CO₂ 与 H₂（梁大鹏，2009）。根据分子大小不同，再通过气体膜分离装置，将其中的 CO₂ 收集起来。从理论上讲，CO₂ 的收集率将达到 90% 以上。还有一座是神华集团“CO₂ 捕捉封存(CCS)工业化示范项目”，该项目 2010 年开始在鄂尔多斯建设。是国内第一个和亚洲最大规模的把 CO₂ 封存在咸水层的全流程 CCS 项目。该 CCS 示范项目是从煤制油生产线中捕集 CO₂，经液化处理后运送到距捕集地约 8 公里的一个地下 2495 米的地层中封存起来，从而减少 CO₂ 的大气排放。该工程一期总造价 2.1 亿元，工程全部建成后，神华集团在鄂尔多斯的煤制油工厂产生的 CO₂ 将全部采用这项技术封存。一期工程将于 2011 年底开始进行 CO₂ 试注入，工程每年将减少向大气排放 CO₂ 十万吨以上，相当于 4150 亩森林吸收的 CO₂ 量。

表 3-3 中国已建成及在建的 CCS 项目

项目名称	投入运营时间	项目规模(万吨/年)	CO ₂ 来源	捕集或封存技术	附注
华能-CSIRO ^① 燃烧后捕集示范项目	2008年	0.3	热电厂生产线	仅进行碳捕集	澳大利亚联邦科学与工业研究组织、中国华能集团公司以及西安热工研究院(TPRI)联合建设
华能上海石洞口第二电厂 CCS项目	2009年	10	煤电生产线	仅进行碳捕集	华能集团投资项目
华能天津临港工业区CCS项目	2009年	--	--	燃烧前从汽化的煤炭中捕集 CO ₂	华能集团投资项目
中电投重庆合川双槐电项目	2010年	1	--	仅进行碳捕集	中电投资项目
内蒙古鄂尔多斯CCS项目	2011年	10	煤制油生产线	把CO ₂ 封存在咸水层中	神化集团投资项目
黑龙江大庆油田CCS示范项目	2015年	100	大庆的350兆瓦燃煤电厂	富氧燃烧技术	法国阿尔斯通与中国大唐集团合作项目
山东东营胜利油田CCS示范	2015年	100	东营的1000兆瓦燃煤电厂	富氧燃烧技术，冷却氨技术以	法国阿尔斯通与中国大唐集

^① CSIRO: 澳大利亚联邦科学与工业研究组织。

项目				及高级胺技术 中的一种	团合作项目
----	--	--	--	----------------	-------

资料来源：作者根据相关资料整理而成。

3.3 碳汇问题及原因分析

3.3.1 生态碳汇问题及原因分析

一、林业碳汇

中国近 20 年来森林的碳储量虽然存在一定的波动现象，但总体呈增加的趋势。自第一次森林资源清查末期至第四次清查结束的 17 年间，中国的森林起着一个轻微的 CO₂ “汇”的作用。然而，进一步对中国森林的平均碳密度分析发现，它们不仅呈逐渐下降的趋势，而且也远低于世界的平均水平。目前中国的森林质量比较差，幼龄林和残次林较多，需要对现有森林进行更好地抚育和管理（李怒云，2005）。

阻碍中国森林碳汇市场发展的因素主要有以下四个方面：首先，缺乏相关的市场制度和规则。目前国际社会对于减排各国应承担的责任尚未达成共识，因此各国国内相关市场制度和规则不完善。交易双方承担着巨大风险，单纯的碳汇造林可能无利可图并且碳信用买卖往往承担资金风险，影响了投资者的积极性。其次，森林碳汇计量体系尚不完善。目前森林的自然属性更易被承认，它吸收的 CO₂ 却难以得到准确的计量，森林的碳汇功能难以得到准确的认定。第三，市场信息难以获得。由于森林碳汇服务产品独特的自然和经济属性，它的数量和质量信息都难以被市场参与者彻底掌握，往往造成信息的不完全和不对称，价格的非竞争性和可能存在的买方垄断导致目前的森林碳汇交易不能实现经济效率。第四，较高的交易成本。尽管从理论上讲碳汇林业项目与 CDM 工业和能源减排项目相比成本较低，但是在实际操作中交易成本却较高。而较高的交易成本会大幅度降低 CDM 造林、再造林碳汇项目对投资者的吸引力，从而降低交易规模（何英，2007）。

二、农业碳汇

当前中国的农业发展属于严重依赖化肥、农药等化工型农业生产资料的高碳型发展模式，发展碳汇农业刻不容缓。发展碳汇农业的现实目标之一就是使农业生态系统由碳源转化为碳汇，以减缓温室气体的排放。目前中国农业发展与此目标相违背的原因有以下四个方面：第一，过度依赖化肥、农药等高碳型生产资料。化肥、农药、除草剂、杀虫剂、农膜等化工型生产资料的高能耗、高污染特性在生产时消耗大量的化石能源，导致 CO₂ 等温室气体的大量排放同时伴随有环境污染。第二，耕地土壤有机碳含量严重偏低。中国农地数量紧缺，耕作长期以来习惯于只用地而不注重养地，造成农耕地有机碳严重偏低。在土壤中进行耕种使耕地的固碳能力下降、甚至使耕地本身固定的碳向环境中释放。与欧洲同类型土壤相比，目前中国土壤的有机碳含量尚不及欧洲的一半。三是农业生产方式落后，管理水平偏低。中国目前农业生产、管理效率不高，资源要素浪费严重。在推广立体种植模式，节水、节能等技术发展方面还相当落后；农业废弃物的处理、农业机械化的水平等都不高，这不仅造成资源的严重浪费，能源的紧张，而且加重了农业碳减排的压力。

三、海洋和渔业碳汇

中国海洋和渔业碳汇发展至今，存在着比较严重的一个问题就是其应用技术和体系还比较薄弱。某些捕捞和养殖渔业中存在高能耗、高污染、高排放和低效能、低效率、低效益的

现象,使渔业的碳汇功能降低。同时目前碳汇渔业领域法规、政策和领域标准都不健全,不利于规范该行业的开展。第三,目前过我较少与其他国家展开国际合作,不利于寻求国际帮助、利用发达国家的资金和先进技术,进行碳汇渔业体系的开发研究。

3.3.2 碳捕捉与碳封存问题及原因分析

中国碳捕捉与碳封存中存在的问题及其原因分析可以用管理学中的 SWOT 表来进行分析。目前的优势以及机遇是能推动 CCS 进程的有利因素,而劣势以及挑战则代表了中国目前 CCS 进程中面临的问题与困难。目前存在的劣势主要有:第一,CO₂ 捕捉成本高昂,对于一个燃煤电厂,若增加 CCS 将使燃煤发电效率损失 20%-30%,因此要生产同样多的电力,CCS 相对于无 CCS 的条件要多消耗约 25%的煤炭。相应的成本也将增加 40%-80%。第二,资金来源缺乏。目前 CCS 尚不在 CDM 的范畴下,难以通过 CDM 进行融资获得资金支持。并且现行的 CDM 范畴下,CO₂ 的价格约为 30 美元/t,远低于 CCS 的成本 100 美元/t,难以吸引投资者将钱投向 CCS。第三,技术成熟度不高。目前 CO₂ 的在长途运输过程中的化学腐蚀机理与规律、CO₂ 注入地下结构后的吸附以及迁移、CO₂ 在地层中的相态变化及规律、化学反应及固化条件等研究尚未成熟,给 CCS 的大规模推广带来困难(钱伯章,2008a)。目前面临的挑战主要有:第一,政策法律尚不完善。目前国际上只有少数几个国家针对 CCS 进行了立法,由政府承担长期的法律责任。中国尚未针对 CCS 建立法规和运行体系,并且缺乏鼓励 CCS 的政策和措施,让企业承担 CCS 高昂的运行成本和较高的风险,不利于 CCS 项目的推广。第二,公众接受程度不高。有研究人员针对中国民众对 CCS 的理解和接受程度进行了调查,发现中国民众对于 CCS 发展前景存在很多疑虑,对 CCS 技术的欠成熟及 CCS 对环境和人体健康的影响存在一定的担心,这也间接影响了 CCS 项目的推广。

尽管中国有广阔的 CO₂ 填埋地点,但是目前国内 CCS 项目无法大规模开展,最重要的是原因在于 CCS 技术目前尚不成熟,捕集成本过高,CO₂ 运输与封存过程中均存在安全隐患;并且政策制度的支持力度不够,都使 CCS 项目的推广存在难度。

3.4 碳汇发展对策分析

3.4.1 生态碳汇发展对策

一、林业碳汇

虽然目前参与国际间的 CO₂ 减排指标交易的条件不很成熟,但是从各国的经验来看,CO₂ 排放指标交易是控制和降低 CO₂ 排放量的有效方法。林业碳汇在减少 CO₂ 排放中起着重要的作用,这意味着不仅要加强碳汇林的建设,而且要规范林业碳汇交易市场。

为了促进国内“CO₂ 排放权交易市场”的发展,林业碳汇应采取如下措施:第一,规范森林碳汇交易。森林碳汇交易是计划指导下的市场活动,为了规范市场行为、切实发挥森林碳汇交易对林业的补偿作用,应该逐步建立和完善各种资金使用的制度、法律以及监督机制,并调动非政府组织的积极性,促进森林碳汇交易市场的发展。第二,制定森林碳汇计量标准和碳汇交易法规。由国家制定、颁布和实施上述标准与法规,促进国内“CO₂ 排放权”交易。第三,建立完备的森林资源物权法律制度。运用法律机制协调森林资源的权属关系与流转关系建立该制度,能够使森林资源在顺畅流转中实现森林碳汇交易顺利进行。第四,加强林业主管部门要培训。使其能够指导人们通过增加森林生物量、对现有森林导入长轮伐期经营、提高经营强度、减少森林采伐量、扩大速生人工林面积等方法增加森林碳汇,并达到可持续

提供森林碳信用的目的。

二、农业碳汇

农业碳汇最关键的是要解决农业生产中的高碳消耗，遏制农业成为碳源的趋势，使其成为高效率的碳汇。发展碳汇农业的基本路径为：第一，发展资源节约型循环农业，减少对高碳型生产资料的依赖，包括化肥、农药等生产资料。第二，积极推广有机农业，增强农业碳汇功能。通过增强土壤肥力、实施土壤轮作制，可以减少土壤对外部生产要素的依赖。第三，建立长效的碳汇农业机制。对化肥、农药等高碳并且污染农田环境的产品开征环境税，并且将部分税费返还到农业建设中来。第四，构建以利于发展碳汇农业的保障体系和激励机制。如，税费减免、财政扶持、技术支持、土地使用等；通过诱致性制度变迁，把农业生态环境纳入政府公共管理范畴；建立有利于碳汇农业发展的政策和法律体系；在农业建设项目审批、投资等环节，优先考虑碳汇农业项目。第五，设立农业碳基金，鼓励农业碳排放交易。可以设立短期与长期目标，前期主要面对国内能源大企业进行碳排放交易，然后依据 CDM 机制，逐步进入国际碳交易市场。

三、海洋和渔业碳汇

发展渔业碳汇是一项新的事业，需要借鉴中国林业碳汇政策，从提高渔业碳汇技术、建立并规范碳汇市场和开展碳汇项目三个方面着手。渔业不仅能够生产碳汇产品如贝类、藻类等，而且其所需设备如渔船的生产也排放碳。因此，提高渔业碳汇技术包括提高贝、藻类科学养殖和利用技术，以提高其碳汇功能；开发并使用渔船节能技术，以降低其碳源作用；还包括健康养殖和低碳养殖系统技术开发与应用等方面。由于《京都议定书》迄今为止未承认海洋生物的碳汇功能，因此由《京都议定书》所衍生出的碳汇市场和碳汇项目无法安排。所以中国尽快与有关国家交流与合作，积极促进将渔业碳汇功能列入《后京都议定书》，以期规范海洋渔业碳汇市场，此举也能增加海洋渔业碳汇项目数量（李小春，2006）。

3.4.2 碳汇与碳捕捉发展对策

目前除CCS技术尚需要完善之外，能够推动中国CCS项目快速发展的另一项措施是完善相关法律制度。目前中国开展CCS项目的法律风险主要有四个方面：第一，CCS项目申请与核准、环境影响评估、技术标准统一；第二，海洋封存的管辖、被封存CO₂的性质及所有权、安全责任归属、环境和气候破坏责任的界定；第三，信息公开、技术方面知识产权保护、税收；第四，气候变化国际谈判的不确定性等。因此，加强CCS的相关立法是未来需要考虑重要因素。首先，中国要密切追踪CCS在相关的国际法中的法律地位，推动CCS技术纳入CDM或其他类似激励机制；第二，参考先进国家的立法，逐步建立适用的国家法规和标准体系，作为推行 CO₂封存专案商业化的基础架构；第三，参考先进国家目前示范专案中证明有效的规范和奖励机制，积极鼓励发展CCS；第四，加快研究配套政策，以专门法规和激励政策为重点，研究CCS项目申请与核准、环境影响评估、场地关闭条件、事故应急处理等专门程序，设计CCS设备退税补贴、CCS商业保险、CCS信托基金等激励措施，为CCS可能的大规模实施做好铺垫（钱伯章，2008b）。

3.5 案例分析

3.5.1 案例一：西南山地森林多重效益项目

《京都议定书》生效前，由于中国经济发展和技术需求的优先领域是能源领域，所以 CDM 的碳减排项目在中国是普遍受欢迎并列入优先考虑的项目。但随着国际谈判进程的发展以及 2005 年 2 月《京都议定书》的正式生效，林业碳汇项目由于其成本远低于减排项目，因此受到多数发达国家的欢迎。基于此，中国加大了进行森林碳汇建设的力度。自 20 世纪 80 年代以来，特别是自 20 世纪末开始，中国政府在森林恢复和保护上投入了巨额资金，并把政府林业工作的重点从木材生产转移到生态建设上来，因此积累了大量经验，林业碳汇项目开展顺利。

2004 年 12 月开始实施的中国西南山地多重效益项目，即 FCCB 项目^①，是由保护国际（CI）、美国大自然保护协会（TNC）和国家林业局以保护生物多样性、改善人类生存环境为目的发起的。它处在全球生物多样性保护的关键地区之一的中国西南山地。该项目旨在创造“碳汇”来缓解全球气候变化，在恢复森林的同时改善当地社区村民的生产生活，并保护和建立生物多样性廊道，推广森林的综合效益和生态补偿机制。

该项目横跨云南、四川两省，计划在两省内分别进行植树造林，同时拟在云南、四川省内通过信息收集和实地考察对有潜力开展碳汇项目的地点进行开发，将收集到的资料和数据都储存在开发好的数据库和 GIS 中，供未来的项目实施者使用。在项目实施过程中将结合中国国情开发进一步 CCB 标准，创立 CCCB 标准^②；并与国际团体进行交流以熟悉碳交易市场状况。目前该项目已经由相关 NGO 渠道进入了欧洲 VCS 市场^③。在云南、四川两省进行的植树造林活动以及截止目前项目完成情况如表 3-4 所示。

表 3-4 中国西南山地多重效益项目

省份	项目名称	面积(单位:亩)	截止目前项目完成情况
云南省	高黎贡山腾冲段示范项目	林家铺项目点 261.34 亩； 张家坟项目点 500 亩	已完成基线调查，正在做数据分析工作。计划 06 年 6 月完成 EB 申请 ^④
	拉市海吉子水库项目（PES）	从现有耕地 3000 亩，荒地 3000 亩中开垦	完成初步可行性分析
	其它 3 县碳汇项目	近 10 万亩	正在进行初始调查
	省级碳汇项目开发数据库及 GIS 项目		开发合同已签，2006 年中期完成
四川省	王朗植树项目	2800 亩	近期开始进行初始调查，计划 06 年 12 月完成 EB 申请
	川西北碳汇项目试验示范（4 县）	5—8 万亩	工作未开展，计划 07 年 9 月完成 EB 申请

资料来源：作者根据相关资料整理而成。

^① FCCB 项目：森林、气候、社区、生物多样性项目。

^② CCB 标准指《气候、社区和生物多样性项目设计标准》；CCCB 标准指《中国森林多重效益（气候、社区和生物多样性）项目设计标准与指标》。

^③ VCS：资源碳减排交易标准，由国际排放交易协会及世界经济论坛开发，2006 年第一版开始使用。

^④ EB：清洁发展机制执行理事会，是 CDM（清洁发展机制）项目的主要管理机构。

3.5.2 案例二：华能上海石洞口第二电厂碳捕集项目

目前中国 CO₂ 排放总量的 1/3 来自电力（特别是煤电）行业，加之煤电排放的 CO₂ 相对集中，煤电已经成为中国减排的首选方向。中国能源结构以煤炭为主，专家预测到 2050 年煤炭占中国能源比重仍将在 50% 以上。

华能上海石洞口第二电厂 10 万吨 / 年的“碳捕集”项目目前是全球规模最大的燃煤电厂碳捕集项目，能耗指标达到国际先进水平。该电厂脱碳装置于 2009 年 12 月 30 日正式投运，它的建成投产开创了中国燃煤电站实现 CO₂ 捕集规模化生产的先河。

一般而言，电厂有三种碳捕集路线：燃烧前捕集、富氧燃烧、燃烧后捕集。每条路线适用于不同类型的发电厂，而燃烧后捕集技术路线则适合于任何一种火力发电，它是在对烟气进行脱硝、除尘、脱硫的基础上，采用化学吸收法（MEA 法）实现脱碳的技术。华能上海石洞口第二电厂正是采用该技术。

华能上海石洞口二厂的脱碳区位于工程中部，分为两大区域，北侧为 CO₂ 捕集设备区域，南侧为 CO₂ 精制设备区域，电控楼布置在两大区域之间，整个脱碳区域面积有半个足球场那么大，看起来像个小型化工厂。从电厂排放的烟气通过一系列复杂的处理过程分离出来 CO₂，再经浓缩提纯后以液态 CO₂ 的形式储存在一个直径大概 3 米，长 10 米左右的银色大罐子里。通过这样的“抓捕”程序，可以获得纯度大于 99.5% 的 CO₂。再经过精制，最后可以产生达到食品级标准的、纯度为 99.9% 以上的 CO₂ 液体。

华能上海石洞口第二电厂二期工程配套的脱碳装置，包括 CO₂ 捕集和精制系统，工程概算投资约 1 亿元，对于电厂来说，这是一笔不小的投资。在运行过程中的电、蒸汽、水、化工药品等主要消耗品的成本控制也难以调低，使每捕集一吨 CO₂，就要消耗一定数量的低压蒸汽，消耗约 7 5 千瓦时的电量，使该装置的能耗成本大概占总成本的 40%

另外，华能上海石洞口第二电厂二期工程配套的脱碳装置处理烟气体积量 $6.6 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，约占单台机组额定工况总烟气体积量的 4%，设计年运行小时 8000 小时，年生产食品级 CO₂ 10 万吨。设想一下，如果将全部烟气中的 CO₂ 进行捕集，其 CO₂ 的数量和捕捉成本是非常惊人的。

对于捕捉到的 CO₂，目前在捕集总量较少的情况下，首先是考虑使用。CO₂ 的工业用途非常广泛：在机器铸造业，CO₂ 是添加剂；在金属冶炼业，特别是优质钢、不锈钢、有色金属冶炼，CO₂ 是质量稳定剂；在陶瓷搪瓷业，CO₂ 是固定剂；饮料啤酒业 CO₂ 是消食开胃的添加剂；做酵母粉，CO₂ 是促效剂；在消防事业中，CO₂ 是灭火剂。目前上海市每年的 CO₂ 用量大约为 15~18 万吨。华能上海石洞口二厂的碳捕集量就为 10 万吨 / 年，可以满足整个市场需求量的近 2/3。目前华能上海石洞口二厂捕集后的 CO₂ 主要用于食品生产，并未进行碳封存；而未将捕捉后的 CO₂ 用于封存是目前国内碳捕集工程的普遍做法。由于目前碳捕集项目的规模都在 10 万吨以下，封存工作并非势在必行，但是可以预见的是，随着几个百万吨级碳捕集项目的开展，如不封存将会存在大量 CO₂ 的富裕，因此未来的碳封存将是大势所趋。

第四章 低碳城市

4.1 低碳城市基本理论内涵

4.1.1 概念及要素

一、概念梳理

低碳城市研究属于可持续发展领域的具体化、专业化，本质上属于可持续发展方向的具体实践（刘志林，2009）。不同学者从不同的方面对低碳城市进行了定性描述，其中付允、汪云林（2008）认为低碳城市是“通过在城市发展低碳经济，创新低碳技术，改变生活方式，最大限度减少城市的温室气体排放，彻底摆脱以往大量生产、大量消费和大量废弃的社会经济运行模式，形成结构优化、循环利用、节能高效的经济体系，及健康、节约、低碳的生活方式和消费模式，最终实现城市的清洁发展、高效发展、低碳发展和可持续发展”。胡鞍钢（2007）认为，中国从高碳经济为主的发展模式向低碳经济为特征的可持续发展转变过程中，必须加强低碳能源的使用与普及率、提高城市绿化、弃物处理等方面的工作。学术界普遍认为，低碳城市可以界定为基于城市发展或经济增长与减缓气候变暖的双重要求，发展低碳城市最重要的在于减小化石能源消耗。化石燃料消耗与城市发展、人类生活水平的提高取决于城市生产、城市消费、城市交通、城市建筑的发展速度、规模及技术水平。根据当前国内及国际共识，低碳城市从要素上包含四个核心内容：人类发展（经济发展及人的社会福利水平的提高）、资源禀赋（煤炭及可再生能源利用率）、低碳技术（碳汇技术、能源效率技术、生产技术、碳储存及捕捉技术）以及社会消费，概念模型表达为： $LCC=f(E, R, T, C)$ 。其中，E代表经济发展与人类发展，体现在产业结构、人均收入和城市化等方面；R代表资源禀赋，包括传统化石能源与可再生能源使用的比例；T代表技术因素，主要能耗产品和工艺的碳效率水平，但要避免技术进步所带来的碳排放降低却为规模的增长所抵消，造成碳排放的弹性效应。C代表消费模式，指不同消费模式和生活质量提高造成的碳排放量增加。

二、要素组成

（一）人类发展

按照联合国人类发展指数的表述，人类发展表现为经济发展与社会福利的提高，由消费和生产两种因素决定的经济发展明显表现为物质资本存量累积的增加（联合国开发计划署，2010）。发达国家主要是后工业化时代的消费带动碳排放增加，而发展中国家主要是生产投资和基础设施投入造成累积的碳排放。由于发达国家的经济存量比较大，数百年经济增长所带来的物质存量仍然为现在的民众所享用。这些国家能够较低的经济年增长率，维持国民较高的生活消费水平，致使其国民财富的增长中用于存量投资的部分很少，大部分的能源投入都用于服务业和居民消费领域。中国作为发展中国家，正处于经济发展的存量积累阶段，经济持续高增长是为了弥补基础设施等资本存量的不足，只有在实物存量累积到一定程度，人文发展水平才能随之提升，而在此之前，维持经济快速增长的资源 and 能源消耗都难以在短时间内降低。因此中国目前所处的发展阶段决定了城市发展必须兼顾低碳转型和人文发展的双重目标。

（二）能源结构

能源是实现低碳经济的物质基础，能源结构中化石能源与可再生能源所占的比例是发展

低碳经济的重要决定要素（徐汉国，2010）。后哥本哈根时代，对碳基能源的研究随着石油价格的进一步上涨而变得越发重要。在低碳经济时代，发展可再生能源与新能源是国家发展的一个历史性机遇，然而也带来了一定制约与限制，日本福岛核危机给世界未来核能的使用提出了新的挑战与思考，太阳能等其他可再生能源的使用受制于中国资源存量的影响，并存在技术上的不足。鉴于效率及技术问题，无碳基可再生能源或新能源在未来相当时期内不可能作为主要的能源供应。未来 20 年内解决方案的根本点仍然在于如何减小对碳基能源的需求，而非着重能源的替代。

（三）技术进步

技术进步能够从不同角度推动城市实现低碳发展，技术进步带来的能源效率提高及碳捕获能力不断增强。在生产过程的进口、过程及出口环节，加强绿色技术的采用、提高单位能耗的生产效率，尤其在冶金、化工、石化、汽车等高能耗部门中，提高单位能源使用的生产产量，在建筑领域加强节能材料及适度技术的应用，在交通领域加强机动车的轻型化与节能化，对城市总体节能减排发挥作用巨大。

（四）消费模式

一切社会经济活动最终都要体现为现实或未来的消费活动，因而一切能源消耗及其排放体现在终端消费者使用上。由于人类物质生活水平的提高带来消费活动增加，人的消费欲望与需求随着经济发展在不断增加。鉴于发展水平、自然条件、生活方式等多方面的不同，不同国家对高消费及高奢侈生活方式的追求使居民消费产生的能源消耗和碳排放具有较大的差异。中国目前虽然作为发展中国家，但在消费追求上已经超越发达国家的消费水平，汽车销售量持续增长，城市居住建筑面积不断加大，贫富差距问题严重。另一方面，全球化导致的生产与消费活动的分离，使得一国真实的消费排放被国际贸易中的转移排放所掩盖。假定各国碳排放强度相同，则一国消费的对外依赖度越高，消费导致的碳排放也越多。因此，从消费角度而非生产性角度，探讨一国国民实际消费导致的碳排放，有助于采取更加公平的视角从源头上推动低碳发展。

4.1.2 脱钩发展的内涵

一、宏观层面

低碳城市的内涵认识需要从宏观及微观两个层面来论述。从宏观层面来看，低碳城市发展表现为城市发展与碳排放两者之间的脱钩发展。低碳经济所要求的脱钩有两种表现，一种是二氧化碳排放与经济增长的绝对脱钩，即随着经济增长，CO₂ 排放持续下降。这是发达国家当前需要采纳的低碳经济模式。另一种是二氧化碳排放仍然是正增长，但是排放的增长率明显低于经济增长，这是相对脱钩的低碳发展方式。由于发展阶段的差异，中国当前建设低碳城市，重点是要在经济高速增长以及人类持续发展的进程中，降低单位 GDP 的能源强度和二氧化碳强度，减小单位 HDI 水平的 CO₂ 排放量，实现城市发展与碳排放的相对脱钩。

二、微观层面

城市作为复杂的系统，经济活动是城市物质生产及人类发展的的重要支撑，从微观经济活动角度，城市运用与发展的能源随着经济过程出现在输入、转化和污染物输出等环节。具体包括：第一、在经济过程的进口环节，用太阳能、风能、生物能、水能等非碳基可再生能源替代煤、石油、天然气等碳基能源，从能源结构上减少二氧化碳排放。第二、在经济过程的转化环节，提高工业、交通、建筑三大耗能领域内能源利用效率，减少碳基能源的消耗。第三、在经济过程的输出环节，通过森林和发展绿色空间吸收二氧化碳，提高碳汇以及发展碳捕捉能力。

4.1.3 指标及评价方法

一、碳生产率

碳生产率概念的提出虽然基于单位碳排放的经济效率方面界定，但却不同于传统效率研究和新古典经济学出发的研究路径，也不等同于自然资本及生态容量为依托，并作为发展限制条件的资源生产率的研究。在当前气候变化减缓与人类发展双重要求下，碳生产率比较逐渐成为城市低碳与否的衡量因素。英国学者 Common (2007) 提出了以世界幸福指数为测量的碳生产率概念，以福利作为经济发展的替代因素，明确区分了静态经济意义上的低碳型经济和以幸福指数为标志的动态发展意义上低碳经济的内涵。诸大建 (2010)^①从生产率决定竞争力的理论高度，借鉴了戴利的生态绩效理念，引入了动态生产率的概念，并首次提出发展意义上的碳生产率，分为广义碳生产率及狭义碳生产率。并提出了以单位二氧化碳排放的国民经济产出来表示的经济意义上的低碳指标和以碳的福利绩效来表述的福利意义上的低碳指标 (诸大建，刘国平，曹丽萍，2011)。

二、人类发展指数

联合国开发计划署在每年发布人类发展报告中，都会公布各国的人类发展指数 (HDI)，作为衡量和比较不同国家、地区之间人文发展程度的指标。HDI 是建立在经济、社会与资源环境要素三重底线发展基础上，包含了对经济、社会及人的发展，比较能够全面反映社会的发展与进步。HDI 摆脱了单纯经济发展作为人类发展的片面性及经济环境与社会优先层次的模糊性。以量化指标人类健康，人均 GDP 及预期寿命作为经济社会发展的标准，而环境因素可以借用目前的碳排放或能源消耗作为变量因子。评价标准以作为分子的人类发展与作为分母的环境或能源消耗的比值，此比值包含了动态发展因素与静态大小量度双重指标，指标越小，在同样能源消耗或环境压力状况下的人类发展幅度越小，或者一定时期内发展幅度相对于 CO₂ 排放降低较小，城市低碳发展的水平越低；比值越大，同样能源消耗或环境压力状况下的人类发展幅度越大，或者一定时期内发展幅度相对于 CO₂ 排放降低较小，城市低碳发展程度越高。由此，分母 CO₂ 尽可能小，而分子 HDI 尽可能大成为未来发展目标及发展路径的前置因素与因果关系。

三、弹性系数

运用弹性系数作为低碳城市的评价指标基于脱钩理论基础上的现实应用，是表达了一种发展与低碳的相对关系，主要以决定低碳城市发展的重要制约因素经济增长率与碳排放增长率相对关系作为衡量标准。当碳排放增长率与经济发展年增长率保持目前对应性关系时，即为惯性发展模式；当碳排放增长率低于经济发展年增长率时，经济增长与碳排放实现了相对脱钩发展，当经济继续增长，而碳排放不再增长甚至出现负增长时，则说明实现了城市发展与碳排放增长的绝对脱钩发展；与绝对值比较有所不同，弹性系数更多的主要强调动态或者发展意义上的低碳城市标准 (诸大建，陈飞，2010)。

^①诸大建. 2010. 两种意义的低碳竞争力. <http://www.pmpp.cn/bbs/topic.asp?bbsid=19&topicid=1234>.

4.2 城市碳排放的现状总结

4.2.1 城市类型的视角

随着城市的发展，工业化进程加快，以城市扩展为主要发展动力的经济增长在向低碳经济转型中，城市体系与低碳系统建设也在不断走向完善。截止到 2011 年，中国设市城市共计 657 个，不同城市依据自身特点、发展阶段及资源禀赋在碳排放上存在很大的不同。根据中国城市特点及碳排放现状，本文经过梳理及分类，分别按照资源开发型、工业主导型、综合型及旅游型四类城市进行比较。根据中国目前 50 个最具有代表性的四类城市中的经济发展、资源禀赋、环境条件、技术水平及 CO₂ 排放状况进行分析比较发现。工业主导型城市的典型代表性城市包括深圳、苏州、无锡、沈阳等，工业主导型城市中，工业在城市经济中占据主要地位。据统计，2006 年人均 GDP 达到 11.83 万元，远高于其他三类城市。资源开发型城市以唐山、大庆、包头及平顶山等城市为例，这类城市中，人均 GDP 在 2006 年达到 3.97 万元，单位万元 GDP 能耗为 1.3t 标准煤；旅游型城市以昆明、厦门及桂林等城市为例，人均 GDP 达到 4.69 万元，单位 GDP 的能耗及人均工业产值均较资源开发型及工业主导型城市低，每万元 GDP 能耗达到 0.77t 标准煤。通过数据分析，在四类城市中，工业主导型城市的人均 GDP 最高，达到人均 5.11 万元，远超前其他几类城市。综合型城市由于不同产业发展相对比较平衡，相对于资源开发型城市来说，在相同的人均 GDP 条件下，碳排放强度比较低。而旅游型城市单位能耗下的人均 GDP 相对于要高于综合型城市，反应以第三产业为主的城市在经济规模及经济总量相等条件下，具有碳排放量上较低的优势（中国科学院可持续发展研究组，2009）（图 4-1 和图 4-2）。

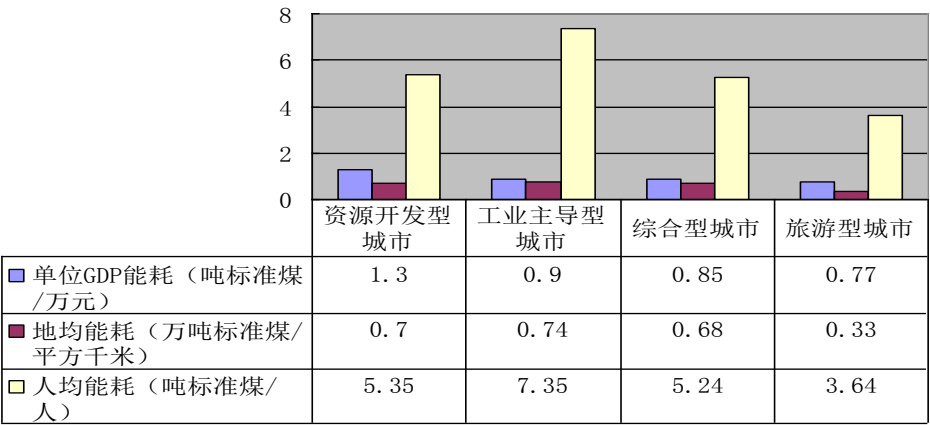


图 4-1 不同类型城市能源消耗

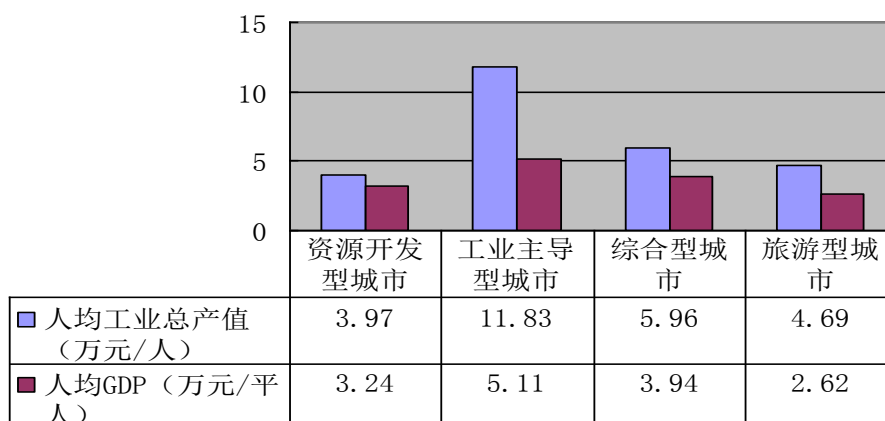


图 4-2 不同类型城市的经济产出

4.2.2 城市领域的视角

从城市不同领域上，碳排放主要集中在建筑、交通及生产方面，不同城市根据产业功能定位，碳排放水平及规模具有很大的差异。工业型城市中，由于生产在城市经济的决定作用，生产性碳排放在城市总碳排放中比例占据绝对优势；对于生活性及交通性城市，生产性碳排放明显小于交通与建筑生活性碳排放的总和。以上海为例，2007 年上海总的碳排放中，生产性碳排放占 58.12%，建筑及生活占总的碳排放比例为 18.77%，而交通性碳排放占 16.88%。2009 年研究进一步生产性碳排放量占城市总的碳排放的比例下降，然而交通与生活性碳排放比重却明显上升（陈飞，诸大建，2009）。

4.3 问题及制约因素分析

4.3.1 理念认识不足

当前，许多学者认为，城市化、工业化及现代化是新时期城市保持可持续发展的关键，这种思想认识存在一定的片面性。首先，当前的城市化呈现人口大量涌入及城乡二元发展格局，城市建设用地不断扩展，空间距离增大带来额外的交通能耗，碳排放量快速上升。所以低碳的城市化应以城乡互补、协调发展为依托，重在城市层级的确定与功能的合理定位，减小城市土地扩展过程摊大饼的可能性。其次，中国的工业化既不同于重工业先发展的苏联模式，也不同于重视轻工业发展的欧美国家道路。中国的新型工业化是以照顾农业为基础的新型产业化，依靠科学技术的进步，实现城乡综合协调发展。第三，现代化是中国未来发展所追求的目标，现代化的重要标志是人们生活水平及社会福利水平的提高，从当前单纯地计算人均 GDP 和人类发展指数衡量发展水平的城市模式，进入到以计算人均二氧化碳排放、人均经济水平和人类发展水平的三位一体的发展模式（衡量碳生产率和单位碳的福利贡献），实现经济增长-人类发展与二氧化碳的脱钩发展（人类发展最大化、经济增长足够化、二氧化碳最低化）。从而实现低碳经济与绿色发展的跨越，国家碳排放与提高碳竞争力、低碳企业与提高社会责任增强（李迅，刘琰，2011）。

4.3.2 技术过度重视

如本文开始强调的，低碳城市发展与实施的制约因素在于人类发展、技术限制、资源使用及消费水平的影响，包含了人类发展的战略思考，资源及消费模式的转变及科学技术发展与企业创新的社会环境。

目前中国低碳城市的建设中过多的强调技术因素，无论从企业的技术创新还是政府提供相应的技术研发投入，把技术作为解决低碳城市问题的关键。从低碳发展的公式 $C=PAT-C'$ 中，按照能源流从输入到转化再到输出的过程，技术上的低碳表现在输入端的能源替代，以及可再生能源利用的技术创新。然而从整个公式中也可以看出，低碳技术的创新与进步要依靠整个系统的整体协同作用而不仅仅依靠单个环节支撑，对技术的强调在一定程度上会造成规模上的反弹效应，带来额外的碳排放，比如节能汽车的应用及城市道路的扩展使小汽车的数量每年以两位数的速度上升（诸大建，2009）^①。

4.3.3 制度导向不明

制度保障体现治理创新与政策上的思考，包括为规制性、市场性、参与性的三类政策的制定与实施。政府在低碳城市发展的政策层面，表现为发展的动机不明，强调政绩过于实效。目前许多城市低碳建设目标制定与发展策略模糊，盲目跟风，任何项目均被套上低碳的概念，而没有从低碳社会、低碳经济发展的内涵及本质出发，来探索低碳城市发展的规制性政策。其次，不顾中国土地资源的紧缺，而一味的关注新城建设，而不顾及旧城改造，任何建设活动都是以大量消耗资源环境为代价的，真正的低碳城市具有一定的城市物质空间及生活方式上的延续性，对城市空间的割裂本质上以事实上的非低碳来掩盖不同集团利益的追求造成的高碳的假象。

4.3.4 目标定位缺失

从战略层面上，不同城市根据本地区实际情况制定的低碳发展的目标、发展路径、发展类型及重点行业等方面的确定与展示。同时根据不同城市消费模式，确定人口及社会因素对低碳城市目标及发展战略的引导。低碳发展的关键指标在于提高碳生产率和降低人均碳足迹。前者是生产性革命，提高单位碳的生产能力，可以用单位碳的 GDP 或者单位碳排放的人类发展指数表示，这是发展中国家当前的重点；后者是消费性革命，这是发达国家当前低碳发展的重点。低碳发展除了技术因素之外最重要的还要强调社会因素。对于发展中国家，需要降低人口增长速度，中国 30 年来的计划生育政策的实施导致今天减少 3 亿额外的二氧化碳排放；

4.4 发展低碳城市的路径选择

城市可持续发展的目标借鉴碳生产率的变化状况与经济福利绩效的中远期具体指标设计。当前，中国加强城市低碳竞争力的关键挑战和战略性问题首先在于如何确定以人均二氧化碳排放、单位 GDP 的人类福利水平（经济发展绩效）及单位 CO₂ 排放的 GDP 指标（碳

^① <http://www.pmpp.cn/bbs/topic.asp?bbsid=19&topicid=1318>.

生产率)为衡量标准的中国强低碳竞争力的目标情景,以及达到稳态发展所需要的速度,研究时根据两者的当前值,并根据 C 模式的发展目标,并调控当前的城市发展方式与发展路径。对低碳城市发展理论、现状内涵及问题的研究发现,中国未来的发展路径选择将集中在经济、社会及资源环境领域,致力于具体的低碳城市发展战略与目标,通过政策保障与治理措施从上之下、从下至上达到人类发展、社会福利提高的低碳城市建设目标(陈飞,诸大建,2011)。

4.4.1 空间路径

一、紧凑的土地利用

据研究,城市土地利用方式与交通的发展是影响城市碳排放的重要因素,紧凑的土地开发及城市空间结构的优化是当前城市低碳竞争力强弱的空间支撑,合理的交通方式引导城市有序开发,城市土地开发方式与交通系统的耦合将优化城市空间结构系统(潘海啸,2011)。城市大力发展公共交通尤其是轨道交通系统是中国大城市未来交通政策发展的主要内容,围绕轨道交通为核心的土地开发模式一直是目前许多城市郊区化运动的动力。比如上海的临港新城、郑州东城等。然而,交通状况恶化、拥堵加剧、基础设施投入产出的不对称及新城人气的长期不足,证明单纯依靠轨道交通发展的郊区土地运动动力缺乏。虽然轨道交通发展加强了城市中心与新城的联系,增加了新城土地附加值。然而,另一方面也加剧了郊区人口的迅速中心化,并作为推力加速城市空间蔓延,增加了城市交通的钟摆效应,从全局层面,单位交通碳排放的降低无法补偿总体交通规模的增长。中国许多城市目前的城市空间结构的定位与土地扩张需求是新城开发遍地开花,无形中加剧城市扩展系数的增高及城市紧凑度的降低。许多成的开发及建设理念存在着严重的乌托邦思想。新城开发运动使城市土地利用更加低效,并在房地产支柱产业的定位动摇后明显出现了后劲不足。所以,城市结构的调整与优化是一项系统性工程,不但要依靠轨道交通的发展,重要的是依靠未来产业定位与整体区域空间结构现状,减小郊区中心与城市中心不必要的便捷性联系,加强郊区的紧凑化发展及混合城市功能土地利用。

二、城市功能混合

当代城市生活品质的追求与住区密度之间存在矛盾,如何创建富有吸引力而又紧凑的住区是一项具有挑战性的任务。日本一项针对居住与就业集中与分散造成的能耗进行比较研究发现,居住集中而就业适当分散的城市结构,城市总能耗低于人口与就业都集中的状况,而居住分散就业集中情况下的能耗最高(陈蔚镇,卢源,2010)。研究首先表明城市能耗与密度之间并不呈完全负相关性,人口与就业集中度高,土地的混合程度高,城市土地的混合程度直接影响居民出行的空间分布,但过高的城市密度反而会带来城市运营成本的上升,造成过高的城市能耗与排放。其次,中国大城市的土地郊区化发展,居住用地开发带来的经济效益远远大于配套设施的综合开发与功能完善所带来的收益。即便商业办公配套建设也仅是体现在物质空间的供给方面,对于就业软环境仍不能在短期到位,短暂的地产投资拉动效应及居住人气的缺乏无法消化郊区化运动带来的建筑规模增加。轨道交通的便利化倾向又使居住与就业出现根本的分离,产业的区位转移及功能定位使原本混合状态下的城市功能单元随产业的地域空间分布而趋于分散。

4.4.2 技术路径

低碳城市发展的技术路径涉及整个城市的系统入口环节以太阳能、风能等可再生能源

使用为标志的替代技术；在建筑、交通及生产过程环节上的循环处理技术以降低城市发展过程中的 CO₂ 排放（GDP/CO₂），提高城市生态绩效；在新技术的应用及建筑控制系统上使产品或建筑的节能效率显著提高，通过交通工具及交通设施的技术改进使未来城市发展体系建立在高能效的基础之上。在企业的生产环中加强新型节能产品、工业产品、混合动力汽车、废弃物的再利用、引导智能型垃圾自动收集机器人技术及各种建筑材料的企业研发，以绿色科技的应用与技术创新实现城市低碳发展。

4.4.3 社会路径

社会性路径的选择通过政府、企业及个人三个方面对象主体的作用，依靠市场性、规制性及参与性手段、制度或社会机制及个人努力实现城市低碳竞争力发展的治理目标，强化经济发展同时大幅提高 HDI 指数（HDI/GDP）。从中国低碳城市的理论研究与实证分析中，可以看出未来发展的政策走向、企业定位及个人的行为准则，决定了未来城市强低碳竞争力发展模式（表 4-1）。

表 4-1 社会路径选择中各主体层面发挥的作用

	政府（政策制定实施主体）	企业（政策落实执行主体）	公众（政策响应监督主体）
行为层面	控制约束 奖励补贴	改善服务	配合执行
制度层面	政策支持 交通管理	完善管理	保障参与
物质层面	紧凑城市 土地开发 环境塑造	技术创新	物质补偿 转变思想

一、政策措施

中国要发展低碳城市，需要从政府层面建立基于 PSR 层面（Pressure、Situation、Response）的政策导向，研究当前低碳城市的压力状态与目标状态差值，找出中国低碳城市发展的阻力及障碍；通过社会结构相关要素的分解分析，研究导致问题产生的原因；确定主要的行动层面以及相应的政策与治理措施，并比较不同的政策对于低碳城市发展的作用。比如在政策法规建设上，引入完善的法案，包括碳税改革法案（樊纲，2010）、可再生能源法案，产品能耗法案、碳捕捉及运输法案、交通排放标准，配合财税政策、激励政策和管理手段等。摆脱制度导向不明的误区，比如，在资源开发型城市中，搞清资源开发与碳排放的关系，实施开发与保护并举，在进行科学规划及开发的同时，按照深度加工、高效利用的原则，采用先进技术、工艺与设备，提高资源生产率、劳动生产率及碳生产率。对于合理利用资源的企业，健全开发与资源利用的环境补偿调节机制，划分责任主体，实施污染及排放收费制度。在工业性主导的城市，根据碳排放强度，实行生产企业的环评制度，设定企业门槛，将 CO₂ 排放量纳入企业的评定指标。对高耗能、排放大，效率低的企业要进行果断关闭。

二、企业创新

城市要实现低碳发展，离不开企业创新。企业创新是城市低碳发展的根本动力，未来的企业竞争是以第三产业为核心的创新企业竞争，体现城市创新精神及城市活力。在创新观念与制度方面，城市低碳发展强度的培育，关键在于能否突破传统的城市发展模式，建立一个面向可持续发展的包括观念与战略创新、体制与管理创新、科学与技术创新在内的城市创

新体系。在创新的内涵与环境上逐渐实现产业化、规模化、集聚化的内涵建设以及经济、空间及文化的外部环境。城市作为空间容器，容纳大量人才，具备企业创新发展的物质条件和空间资源，未来每个城市应根据自身情况制定低碳发展的战略目标，加快创新企业的文化与道德建设。进一步制定完善的企业发展政策和产业发展规划作为保障，减小企业低碳创新发展上的阻力。

三、公众参与

基于 HDI 的社会福利追求首先是要建立公平、公正、包容的社会环境与社会核心价值。公众参与体现社会公平，倡导机会平等，并保障公平合理地分享社会资源及人类发展成果，增强城市经济、社会 and 环境的可持续发展能力。加强低碳城市发展必须使民众在建立低碳型社会基础上摆脱传统价值观念的影响，充分意识经济增长带来的高消费、高排放与福利增长之间不存在必然的因果关系；社会的发展及城市进步的标志在于人们生活质量及福利水平的提高与碳排放之间的脱钩发展。

4.5 案例分析

4.5.1 案例一：崇明东滩低碳城市研究

上海崇明东滩作为全球低碳城市发展的典范对中国其他城市低碳型发展具有一定的借鉴。东滩在低碳化道路选择及主要措施上依据自身优势主要体现在碳汇空间、低碳社区建设、低碳交通方式及能源替代技术的实施与制度保障。

一、低碳城市中的生态碳汇空间

作为上海市 GDP 增加值能耗及人均碳排放最低的区县，崇明的可持续发展具有深层次结构性矛盾，崇明的低碳化发展是要依靠优良的生态资本的潜能，发展中依靠生态效率与低碳特征相结合。东滩在总体发展规划中作为生态资源，根据自身特点，分别包括：湿地公园、农业园区及城镇区。从碳排放角度对应于吸碳空间、中性空间及排碳空间，大片的湿地公园为上海仅存的最后一块生态绿洲，不仅做为野生动物的栖息地，而且对于平衡全市的碳汇空间发挥着重要的作用。

二、开发方式与步行道路系统

无论是上海东滩，还是天津中新生态城，在总体规划上，兼顾土地开发与自然环境保护并存。整个区域在布局上进行合理划分，根据自身特点，整体上既非蔓延式也非完全集中式发展模式，在保持适度密度条件下，进行组团式开发，推动土地利用方式多样化，功能使用综合化。区域间的联系依靠太阳能动力及氢动力汽车，在步行交通系统上建有不受机动车干扰的独立的人行步道和自行车道网络，配合多样性社区建设，最大限度缩短交通距离。步行、自行车、清洁能源公交车、水上出租车，将成为这些区域人们未来的出行方式。

三、能源替代与制度保障

中国可再生能源除水能外，主要包括风能及太阳能，上海崇明具有最佳的风力发电优势，太阳能风能结合的路灯、生态农业区内沼气应用普遍，并已制度化。未来在发展战略上主要依靠可再生能源来满足区域发展对能源不断增长的需求。在崇明近两年的建设中，太阳能及风能混合使用的路灯基本普及化。随着技术的进步及发电效率的提高，相对低效的太阳能热水正逐步向高效的发电模式转化，集中试点正逐步进行推广。

4.5.2 案例二：河北保定低碳城市实践

保定市人口多，资源少，同时产业发展优势不明显，属于中国城市比较普遍存在的现象。以保定作为首批低碳城市的试点，对未来中国城市低碳化发展、推广以及探索符合社会主义经济特点的低碳城市发展路径具有一定的战略意义。保定市根据自身特点，制定了低碳城市发展规划（齐晔，2011），具体的低碳城市建设工作主要包括以下几方面：

一、能源替代与产业发展

能源替代上主要依靠可再生能源，保定市依靠企业的自主创新为抓手，建设保定市的电谷，凝聚光电、风电、节点、储电、输变电及电力自动化等六大产业体系，并给与优惠政策，积聚了一大批的新能源企业。逐步形成可再生能源的产业化发展模式。围绕新能源产业链的不断延伸，企业间的低碳技术创新能力不断加强，以此次为契机，引入太阳能示范基地、新能源产业基地，并在城市范围内进行大量推广。可再生能源在 2007 年对全市工业贡献了 1/5 的用量，极大地减小了对传统能源的依赖。

二、低碳化的产业结构调整

生产部门是保定市创造财富的主要部门，也是碳排放的主要制造者，生产部门的低碳化发展瞄准新型工业化及城镇化相结合的方式，以科技创新为支撑，兼顾企业的经济效益、社会效益与生态效益，把低碳产业的发展建立在产业水平与产业层次提高的基础上。主要措施则围绕产业结构的调整，重点发展低碳产业，并提高其在全市经济总量中的比重，通过技术改造，减小企业生产中对能源的需求量，同时依靠可再生能源的产业化发展优势，加强企业生产中的能源替代。

三、低碳生活与消费政策

居民消费是保定市能源消耗及 CO₂ 排放的重要领域，占城市总能耗的 24.1%。生活领域的低碳消费将对城市未来低碳发展起着重要的作用。保定市在低碳消费目标定位及策略选定上主要集中在建筑领域中的制冷与供暖及家庭交通领域的低碳化建设上。在建筑节能领域，以加强既有建筑的改造与利用为基础，结合农村住宅的建设在全市范围内加大节能家电及灯具的推广力度。建筑中加强太阳能、风能及地热等可再生能源的利用，完善绿色建筑的评估体系。在交通领域改善交通出行结构，优先发展公共交通、加大公共交通网的整合及系统工程，筹备轨道交通的建设，加大公交能源结构的优化与调整，提倡步行及自行车慢行交通出行，控制小汽车出行比例。同时在政策保障上，保定市相聚出台了一系列的政策措施，包括税收及财政扶植政策，企业的主动创新意识等市场机制，并宣传低碳理念，从居民的衣食住行等方面，自觉地从高碳模式向低碳模式进行转变。

四、发展碳汇空间

植树造林、增加绿色植被的面积、森林总量及对 CO₂ 的吸收及固化能力是减少大气中 CO₂ 浓度的重要途径。在具体措施上，提高全市范围内林业的生态效益与经济效益，对生态湿地及林地加大治理力度，依托城市西部山区作为生态屏障，城市内部实行见缝插绿、拆墙透绿、屋顶增绿等实际工程，推进公园、游园、宅旁、路旁、水旁的植树与绿化。

第五章 低碳产业

5.1 低碳产业概念界定与理论框架

5.1.1 低碳产业内涵及特征

一、低碳产业内涵

低碳产业目前尚没有一个准确的概念界定，主要指的是以低碳消耗和低碳排放为基础的产业，边界较为广泛，几乎涵盖了所有能够利用低碳技术进行“低碳化”生产和服务的行业（梁中，2010）。

由此从产业体系的角度来说，低碳产业主要包括以下三个部分：一是低碳节能和减排产业。这一类产业主要是通过对原有技术的改进以提升传统能源的利用效率，并降低生产和消费的碳排放，主要涉及火电减排、工业节能、建筑节能以及资源回收等领域；二是清洁能源产业。主要涉及风能、太阳能、地热能、海洋能、生物质能以及水电、核电等清洁能源产业的开发和利用，此外还包括由于能源传输方式的变化所带来的新兴产业，比如由新能源发电并网而衍生出的智能电网业务等；三是低碳金融服务产业。即指围绕碳减排权交易和碳资本需求，所催生的相关金融服务产业，主要包括碳指标交易、碳期权期货、碳证券、碳基金等一系列金融服务行业。

二、低碳产业特征

低碳产业边界模糊，但是学者们归纳总结了低碳产业具备的主要特征（李健，徐海成，2010）：

首先，符合低碳经济发展的要求。发展低碳经济的关键在于转变经济发展方式，降低经济发展对煤炭、石油、天然气等化石能源的依赖，促进经济体在工业化和城市化进程中对低碳能源的依赖，使经济发展既满足节能减排的要求，又不妨碍经济的可持续发展。因此，低碳产业必须具有低碳或无碳的特征，产业链的分布也要从资源型企业转向低碳技术型企业，不断优化产业链清洁能源的利用，使国民经济逐步达到低碳经济的要求。

其次，具有节能减排的能力。传统产业具有高投入、高消耗、高污染、低效益的特征，节能减排是产业低碳化发展的重要途径，低碳经济要求产业在尽可能减少能源消耗量的前提下获得与原来等效的经济产出，或者以原来同样数量的能源消耗量获得比原来更高的经济产出。因此，低碳产业是能实现低碳发展、清洁发展、低成本发展、低代价发展的产业，这些产业既能最大限度地节约资源、保护环境和减少污染，又能为人们提供健康、高效的生产和生活空间。

再次，具有国家战略性地位。低碳产业是产业转型升级、培育新的经济增长点的突破口，随着国家鼓励低碳产业发展，实施优惠的产业扶持政策，诸如太阳能光伏产业、绿色照明产业、自然生态农业、智能网络、生物技术、新材料和先进制造等产业会快速发展。这些新兴产业不同于传统产业，它们着眼于未来，具有能够成为一个国家未来经济支柱产业的可能性，对社会经济发展和国家安全具有重大和长远影响，在国民经济中具有战略性地位。

最后，低碳技术的突破是关键。在低碳经济发展模式下，能源效率的提高、新能源的开发和利用以及化石能源的低碳化都依赖于技术创新。低碳技术的突破将是低碳产业发展的关键，特别是节能技术、可再生能源技术、核能技术、氢能技术以及传统能源低碳化利用技术的突破，将是低碳产业能否规模化、专业化发展的重要前提。

此外，采用绿色生产方式为主导的生产。低碳产业有利于人类生产和生活环境改善，是低污染或无污染产业，生产过程和所生产的产品对环境 and 人体健康没有负面影响，拥有符合生态条件的生产力和布局以及少污染、低损耗的产业结构，是人类倡导的绿色生产方式。由此可见，低碳产业的内涵，范畴包括一切以“低碳”为导向的产业类别，是一个广义的概念。

5.1.2 低碳产业研究的理论流派

一、低碳经济理论

经济形态和产业密不可分，“新经济体”的诞生必然伴随着新产业的诞生（崔奕，郝寿义，陈妍，2010）。低碳产业发展离不开“低碳经济”。2003 年在能源白皮书中，英国首次提出了“低碳经济”概念，低碳经济是以低碳排放、低消耗、低污染为主要特征的集低碳发展、低碳技术、低碳生活等一类经济形态的总称，是从高能耗、高物耗、高排放的发展模式乃至生活方式转向可持续发展模式的最重要路径。

低碳经济的重要理论基础之一是 Rees 和 Wackernagel（1995）提出的生态足迹理论，生态足迹是生产一定数量的物质和吸纳消费这些物质产生的废弃物所需要的生物生产力的地域空间，它提供了一种判断某国或地区发展生态承载力的方法，后逐渐引申为碳足迹，用于衡量人类活动产生的温室气体排量。Grossman 和 Kureger（1999）利用库兹涅茨曲线研究了人类从高碳经济向低碳经济发展的轨迹，并得出了人类在发展经济的同时会污染环境的结论，认为生态环境会随着经济的增长而持续恶化，只有人均 GDP 达到一定水平时，环境污染才会随人均 GDP 的增长而下降。中国学者冯之浚、周荣等（2009）将低碳经济定义为低碳发展、低碳产业、低碳技术、低碳生活等一类经济形态的总称，并提出中国发展低碳经济应从产业结构调整、发展低碳技术、优化能源结构、扩大碳汇潜力等方面入手。王海霞（2010）对低碳模式下新兴产业发展进行了研究，认为低碳新兴产业将是世界经济发展的主导，只有率先发展低碳产业，才能在世界经济低碳化过程中取得主动权。

二、产业创新系统理论

产业发展与创新系统的研究一直是产业研究的一个重点问题。这方面的研究要追溯到英国经济学家 Freeman 和 Soete（1972）的产业创新理论，1987 年 Freeman 正式提出了国家创新系统概念，并明确了系统因素是产业创新的关键因素。此后，Porter（1990）的创新模型（钻石模型）、Carlsson（1991）的技术系统理论以及 Nelson（1995）等人提出的进化经济学理论均为产业创新系统理论体系的进一步形成和完善提供了坚实的支撑和清晰的理论框架。在系统论、国家创新系统理论和经济进化论的研究基础上，Breschi 和 Malerba（1997）首次提出了产业创新系统的完整概念，他们把产业创新系统定义为“开发、制造产品和产生、利用产业技术的公司活动的系统”。随后，Malerba 又继续深化研究，从知识技术领域和产业边界、参与者和联系网络、制度三个方面对产业创新系统的构成进行了深入分析，并认为产业创新系统具有自己内在的知识技术基础和供给需求机制，能够在各种因素的交互作用下不断进化和演变。产业创新系统理论提出以后，作为一种新兴的创新管理工具，引起了产业界和学界的广泛重视。

针对低碳产业这一领域的研究，中国学者陆小成（2009）基于技术预见存在需求拉动与科技推动两个方面的影响因素，提出区域低碳创新系统构建应选择低碳的关键技术战略、构建低碳创新机制和低碳创新支撑体系等。梁中（2010）根据低碳产业的发展特征，借鉴产业创新系统的相关理论和概念，把低碳产业创新系统定义为以低碳技术创新、低碳制度创新和组织创新为核心，以提升低碳产业创新能力和国际竞争力为导向，相关企业、知识生产机构、政府机构和中介机构通过附加值生产链互相联系所形成的动态网络体系。

5.2 中国低碳产业发展现状

5.2.1 传统产业通过产业结构调整解决经济发展与环境保护的关系

目前世界上最主要的能耗产业主要集中在第二产业，包括水泥、钢铁、化工、建筑等行业。这些基础性传统产业既是中国的高能耗部门又国民经济的支柱产业，经济的发展和人民生活水平的提高，都依赖于这些传统产业的支持。另外，中国正处于工业化中期阶段，工业化本身就意味着对能源的较高依赖程度，以煤炭为主的能源结构仍然是中国工业发展的基础。处理好经济发展与环境保护的关系，既要节能减排又要发展，还要实现合理的产业结构调整，这些都是中国传统产业进行低碳努力的目标。

一、近年来传统产业节能减排出台的重要政策

2004 年 11 月，中国公布了减缓能源高耗的《节能中长期专项规划》。目标是希望通过全社会各方面的共同努力，尽快降低近年来中国大于 1 的能源消费弹性系数，使中国的 GDP 能源强度从 2003 年的 2.68 吨标煤/万元降低到 2010 年的 2.25 吨标煤/万元，同期节能率高达 2.2%

2005 年 2 月 28 日，中国正式颁布了《可再生能源法》。在法规实施中，中国政府大力支持在边远地区和农村开发利用地热能、太阳能、生物质能、风能等可再生能源和新能源；中国政府积极引进先进的风能技术，开展了多项工程示范建设，同时，中国政府还利用市场手段，开展了十万千瓦级风电场特许权的试点工作，全面促进风电的发展。

2006 年 12 月 26 日，中国科学院、科技部、中国气象局等六大部门联合推出了《气候变化国家评估报告》，明确指出中国在减缓气候变化中的总体思路是：在保证基本实现工业化、城市化、现代化，全面建设小康社会的社会主义发展目标的前提下，采取转变社会消费模式和经济增长模式，积极发展先进的核能技术和氢能技术、可再生能源技术，以及洁净、低排放、高效的煤炭利用技术，优化能源结构，大力发展绿色经济，保护生态环境等措施，并逐步减少二氧化碳等温室气体的排放，建立减缓气候恶化的制度和机制，走“低碳经济”的发展道路。

2007 年 12 月 26 日，由中国国务院新闻办公室发表了《中国的能源状况与政策》白皮书，强调可再生能源是解决能源供需矛盾和实现可持续发展的战略选择，可再生能源是中国能源优先发展的领域，通过能源的多元发展来实现保护环境的目标，积极促进能源与环境的协调发展。2008 年 10 月 29 日，国务院新闻办公室发布了《中国应对气候变化的政策与行动》，通过分析气候变化与中国国情及其对中国的影响，提出了应对气候变化的战略和目标及减缓气候变化的政策与行动等。2009 年 8 月，继制订《循环经济促进法》、《可再生能源法》后，“应对气候变化”在十一届人大常委会高票通过了该决议。

2011 年 9 月，国务院印发《“十二五”节能减排综合性工作方案》，细化了“十二五”规划《纲要》确定的节能减排目标。在节能方面，提出到 2015 年，全国万元国内生产总值能耗下降到 0.869 吨标准煤（按 2005 年价格计算）；“十二五”期间，实现节约能源 6.7 亿吨标准煤；在减排方面，提出 2015 年，全国化学需氧量和二氧化硫排放总量分别控制在 2347.6 万吨、2086.4 万吨，比 2010 年的 2551.7 万吨、2267.8 万吨分别下降 8%；全国氨氮和氮氧化物排放总量分别控制在 238.0 万吨、2046.2 万吨，比 2010 年的 264.4 万吨、2273.6 万吨分别下降 10%。

二、传统产业节能减排进展状况

中国近年来万元 GDP 的能源消耗逐渐下降, 1990 年万元 GDP 能耗为 5.29 吨标准煤, 之后几年能耗下降非常快, 到 2000 年下降到 1.49 吨标准煤, 之后下降幅度放缓, 到 2008 年的时候万元 GDP 能耗为 0.95 吨标准煤, 中国的节能减排取得了显著效果^①。“十一五”时期, 全国单位国内生产总值能耗降低 19.1%, 二氧化硫、化学需氧量排放总量分别下降 14.29% 和 12.45%, 实现了“十一五”规划《纲要》确定的约束性目标, 扭转了“十五”后期单位国内生产总值能耗和主要污染物排放总量大幅上升的趋势, 为保持经济平稳较快发展提供了有力支撑。

2010 年 11 月 24 日, 全国人大常委会副委员长周铁农在中国绿色经济和绿色产业高科技高峰论坛上表示, “过去 4 年, 中国已节能 4.9 亿吨标准煤, 减排二氧化碳 11.3 亿吨, 单位国内生产总值能耗已下降了 15.6%; 化学需氧量和二氧化硫两项减排目标已经提前完成。可再生能源利用量在 2008 年达到了 2.5 亿吨标准煤。中国清洁能源投资规模在 2009 年已居世界第一, 超过 2000 亿元。同时中国还解决了不少相关企业转产、职工就业的问题; 中国开展的可再生能源消费占一次能源的比重已经从 7.5% 提高到目前的将近 9%, 森林覆盖率也从 18.2% 提高到了 20.36%。

5.2.2 选择重点发展新兴产业促进低碳经济的实现

只靠传统产业的升级和技术革新很难在短期内达到减排指标, 唯有大力发展低碳新兴产业才能根治目前中国的经济发展模式。低碳技术包括减少碳基能源(煤、石油、天然气)的碳排放技术、碳中和、碳捕获与封存(CCS)技术以及新兴清洁绿色能源技术, 由此衍生出一种以低碳乃至非碳消耗的新兴产业。中国将节能环保、新兴信息产业、生物产业、新能源、新能源汽车、高端装备制造业和新材料等七大新兴产业列为战略性新兴产业, 予以重点规划和扶持。

中国确定重点发展七大新兴产业, 据国际组织政府间气候变化专门委员会(IPCC)估计, 目前全球每年排放大约 550 亿吨二氧化碳当量, 其中电力行业占了最大的份额, 约为 26%, 其余为工业 19%, 森林 17%, 农业 14% 和交通 13%。而中国需要到 2050 年 CO₂ 的排放量要削减至 200 亿吨, 这意味着现有基础上 63% 左右的削减。要达到我们的减排目标, 除了减缓并且最终停止森林的砍伐, 其中电力、交通、建筑、工业 4 大部门的减排量要分别占到 2050 年总减排量 38%、26%、17%、19%^②。

以新能源汽车为例, 近年来中国涉及新能源汽车的政策陆续出台, 其中与新能源汽车直接相关的就包括《关于开展创建“绿色交通示范城市”活动的通知》、《新能源汽车生产准入管理规则》、《汽车产业调整振兴规划》、《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》、《关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知》、《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》等等。此外还有《可再生能源法》、《节约能源法》、《能源发展“十一五”规划》、《可再生能源法》“十一五”规划等。

在新能源产业中, 中国目前核电在建规模和太阳能热水利用、水电装机容量均居世界第一位。中国已经研发并熟练掌握了 MUCE 风光互补系统技术, 太阳能产业规模位居世界第一, 是全球太阳能热水器使用量和生产量最大的国家, 也是重要的太阳能光伏电池生产国家。中国海上风能资源储量远大于陆地风能, 储量 10 米高度可利用的风能资源超过 7 亿千瓦, 而近距离电力负荷中心很近。2010 年底, 上海的风力发电总装机容量已达到 200—300 兆瓦。

中国新能源汽车产业整体发展前景乐观, 新能源汽车技术与国际水平差距不大且电动

^① 根据《中国统计年鉴 2011》整理计算。

^② 国元证券研究中心整理。

自行车和电动摩托车已实现产业化。以上海市为例，2005年至2010年的5年间上海市率先在全国实现汽车能源的转型和新能源汽车的产业化，2010年实现汽车生产200万辆，推动关键零部件和汽车服务贸易发展，汽车服务贸易收入贡献度达到7%；其中自主品牌汽车产量占总量的30%，并具备整车和发动机开发集成能力。

5.2.3 中国尝试在服务业推广低碳发展模式

根据世界贸易组织(WTO)的划分，现代服务业分为商业服务、通行服务、教育服务、金融服务等七大服务体系。另外，节能服务产业是近年来应运而生的一种新型生产服务业，是指由从事此项业务的专业化公司以合同能源管理的模式开展节能改造的活动。作为一个耗能低、污染小的产业，低碳服务业它包括的范围广泛，从金融保险，到广告旅游等。目前，中国在服务业领域的发展远远落后于发达国家的水平，相比世界第三产业产值占GDP比重平均68%左右，2007年中国这一比重低于40%（李士芳，方虹，刘春平，2011），可见在这个领域低碳尝试中国还有很大的空间。

为了响应“生态旅游”的号召，中国各地已经开始了自己的低碳旅游业行动，如2010年的广东省旅游局就开始试行星级酒店取消配送一次性日用消费品。提倡低碳经济环保生活，取消一次性日用消费品纳入到绿色酒店的评定标准。很多景区内部已使用环保电瓶车载客、观光，尤其在以黄山、张家界等高级别的山岳类景区显著。

另一方面，近年来，中国的低碳金融业已经起步，在绿色信贷、低碳产业直接融资和碳减排交易等方面均有不同程度的推进。在低碳金融方面，国内商业银行主要采取两大举措：一是调整授信结构，积极支持节能减排项目，增加对节能减排等环保领域授信投放，控制高耗能高污染行业授信。二是积极寻求国际合作。在碳排放市场方面，中国最早成立了北京环境交易所、上海环境交易所和天津排放权交易所，2009年山西吕梁节能减排项目交易中心、武汉、杭州和昆明等几家交易所也相继成立，大连、贵州、河北、山西的交易所也在筹备中。

节能服务业的低碳实现的最典型案例即是上海世博会。以“城市让生活更美好”为主题又称“低碳世博”的上海世博会在场馆、设施建设上大力融入了先进的低碳理念和技术，宣传并推广低碳环保的理念。以伦敦零碳馆为例，即中国建成的第一栋零碳公共建筑，场馆内的座椅、指示牌、乃至餐具，都是利用晒衣架、T恤等废弃的生活物品制造；核心区域的四大永久性场馆以及世博轴在屋顶进行雨水收集、处理，且循环用于卫生间冲洗、道路冲洗、场馆清洗和绿化浇灌等方面，都充分体现中国开展节能服务的低碳努力。

中国低碳金融业初见成果（闻岳春，2011）：截至2008年6月，兴业银行在全国共支持了69个节能减排项目，融资金额累计达21.53亿元。2008年，兴业银行、上海浦东发展银行和北京银行分别与国际金融公司（IFC）合作签署了《能源效率融资项目合作协议》，成为国内首批推出“能效贷款”的商业银行。2009年7月，浦发银行成功为陕西两个装机容量合计近7万千瓦的水电项目引进清洁发展机制（CDM）开发和交易的专业机构。另外，中国CDM市场潜力巨大，截至2009年10月，中国在联合国成功注册的CDM项目达663个，预计年减排二氧化碳1.9亿吨，约占全球注册减排量总量的58%，注册的计划数量和年减排量均占世界第一。

5.3 低碳产业发展中存在的障碍

5.3.1 技术投入不足

在低碳经济的技术方面，中国现有低碳技术仍以中低端为主，核心技术缺乏，先进技术、先进装备都是向国外购买的。因此，中国低碳产业发展缺乏核心技术，技术一栏严重。以风力发电技术为例，它虽然是中国发展最快的新能源行业，该行业相关产品国产化率达到70%，已具有1.5MW以下风机的整机生产能力，但是一些核心零部件，如轴承、变流器、控制系统、齿轮箱等的生产技术难关却迟迟未能攻克。可再生能源发电并网一直是一大技术难题，其中重要原因是中国没有构建智能电网，没有先进的电网调控和调度技术（丁玉梅，廖良美，2010）。联合国开发计划署发布的《2010年中国人类发展报告——迈向低碳经济和社会的可持续未来》指出，中国实现未来低碳经济的目标，至少需要60多种骨干技术支持，而在这60多种技术里面有42种是中国目前不掌握的核心技术。

当前一些低碳新兴产业还处在产业发展的初级阶段，一方面在全球范围来看存在着行业标准和技术并不成熟的问题，即使现在采用最新的装备和工艺，随着标准的改变和要求的提高，也可能被迅速淘汰；另一方面，这些产业需要持续的、不断的巨大投入，这种投入与产出的不确定性很大。以新能源汽车产业为例，各生产企业采用的技术路线各不相同，无法用传统的标准来进行评价。如电池尺寸标准、电池更换标准、充电桩标准、车载充电机标准等都未颁布（陈柳钦，2011）。没有统一标准和具体鼓励政策，企业投入资金研发新能源会缺乏具体的指导而无法适从，从而降低标准适用的有效性和针对性。

中国目前在低碳技术上主要是引进型技术创新和模仿型技术创新，简单消化吸收，只能简单重复现有技术。企业低碳技术自主创新能力不足，高端技术创新活动大多被跨国公司所垄断，核心技术通常很难从发达国家转移过来，这就加强了中国自主创新的压力，而中国现有自主型技术创新能力不够，尤其是在新能源开发方面，它需要有很大的资源投入，较大的研究与发展资金和研究与发展力量投入。运用这种模式，必须有较雄厚的技术力量，特别是研究与发展力量，并具有较强的技术积累。中国自主创新主体是中小企业，而这些企业面临着资金和技术积累的瓶颈。再者由于激励措施欠缺，知识产权保护不力等诸多政策性因素，以及以企业为主体的技术创新体系建设尚待加强，也一定程度上制约了中国技术创新的实现。

5.3.2 市场机制缺乏

作为技术供给方的企业缺乏激励低碳技术创新的长效动力机制。低碳技术和产品的供给归根到底源于企业的技术创新，而技术创新必须有相应的激励机制，动力不足很难催生技术创新取得重大突破。一方面，企业的盈利目标可能是短期而不是长期，企业的短期盈利目标很难促使其放弃当前的利益而投资长远的发展。目前的经济发展模式与技术之间达成一种低效率均衡，如果发展低碳经济，必须打破原有的产业利益链，投入充裕的资金进行研发，配套相应的设施，改变原有的营销理念和盈利模式等。一系列的变化必然会给当期带来巨大的额外成本，对于短期盈利目标的企业而言不会花费如此巨大的成本投入技术创新。另一方面，技术创新存在着极大的风险，尤其对于一个尚未成熟的新兴产业来说。未来低碳产业发展前景的不确定性，单个企业进行投资将面临巨大的风险，未来收益能否弥补成本并获取可观收益以及创新项目能否成功等不确定性因素将迫使企业放弃技术创新。市场需求是技术创新的内在动力，未成熟的产业重要特征是需求不成熟，即使技术创新项目取得成功，还将面

临市场开拓的艰巨任务，进一步降低了企业低碳技术创新的激励。技术创新的不确定性，投资风险巨大，创新成果知识产权保护难度大等导致企业缺乏激励低碳技术创新的长效动力机制。

在技术需求方面，低碳消费观念的滞后不利于低碳技术的创新。以小排量汽车为例。尽管国家一再强调要鼓励发展小排量汽车，但各省市部门以各种原因为由对小排量汽车进行限制和排斥。有关资料表明，全国有 22 个省市区 的 84 个城市出台了歧视小排量汽车的政策，导致小排量汽车和电动汽车的销售绝对量及增长幅度远远低于大排量燃油汽车。美国环境署的一份报告显示，包括汽车在内的交通工具排放的二氧化碳占人类二氧化碳排放量的 17%。污染少、油耗低的小排量汽车能够节约能源和降低二氧化碳排放量。政府部门带偏见性的政策，大众的面子消费、奢侈消费意识，小排量汽车和电动汽车受到一定程度上的偏见。因此，政府部门必须树立环保意识，做出有利于环保消费的政策导向，创造有利于低碳技术创新的氛围。消费者应该摒弃陈旧的消费观念，以新型的低碳消费观支持低碳技术创新，从而达到改善自身生活质量的目的。

同时，中国缺乏一个成熟的碳交易和低碳金融市场环境。中国目前没有一个像欧美那样的国际碳交易市场，有关碳交易的法律政策框架体系还未建立，真正意义上的、市场化的碳交易还没有发生。另外，新能源产业还处在产业发展的初级阶段，从全球范围内来看都存在着行业标准和 技术并不成熟的问题，需要持续的、不断的巨大的投入，投入产出比有很大的不确定性，对金融机构的信用风险管理带来很大挑战；另外，低碳金融的发展历程较短，国内大多数金融机构包括商业银行对低碳金融业务发展、交易规则、风险管理等缺乏经验，熟悉低碳金融业务的专业机构和人才不足。

5.3.3 制度缺乏约束力

目前，中国低碳产业发展和节能减排的政策制定和执行由政府主导，以行政手段实施为主，主要依靠节能减排指标的层层分解来约束地方政府和企业。这种运作机制没有发挥出市场在配置资源中的基础性作用，以资源性产品为代表的要素价格机制还没有充分形成，目前的资源价格还没有反映出资源稀缺程度与环境损害成本的市场关系。应该摆脱过分依赖行政手段的做法。因此，政策制度的制定应该充分发挥出市场在配置环境资源中的作用，结合经济手段或价格手段反映资源稀缺性与污染排放的市场关系。

5.4 促进低碳产业成长的对策

5.4.1 鼓励低碳产业技术创新

低碳产业技术创新在立足于自主创新的同时要加强国际间的技术交流与合作，要实现低碳技术的发展，必须始终站在国际技术前沿，跟踪和研究技术发展趋势，加强与国际组织、政府、企业、科研机构等在低碳技术领域的交流与合作，学习先进理论与经验，力争在关键技术和工艺上有重大突破。虽然联合国气候变化公约规定发达国家有义务向发展中国家提供技术转让，但实际与预期相差较远。发达国家通过支持有实力的低碳产业和企业进行扩张、重组、转型，实现低碳产业的规模化、专业化、国际化，抢占全球低碳经济市场份额。因此，中国发展低碳经济，要立足自主创新，开发具有自主知识产权的关键能源技术，同时尽可能广泛地开展对外合作与交流，引进、消化、吸收先进适用的低碳技术，使中国重点产业、重点领域的低碳技术、设备和产品达到国际先进水平乃至领先水平。

同时，积极参与推动低碳技术国际标准的制定，也有利于鼓励低碳产业技术的发展。国家应该限制高碳排放产品的进口，对于高碳排放进口产品进行征税或者实行配额制度。对于外商的投资项目也实行碳排放标准，过高的碳排放产业限制其投资，各个地区的招商引资要严格把关，评估其对环境的影响。同时建立国内低碳技术标准，将碳排放标准作为重要的经济衡量指标，贯彻落实绿色 GDP、低碳 GDP。

最后，发挥企业在发展低碳产业中的主体作用，强化企业自主创新意识，从各方面保障科技研发投入，鼓励企业加大科技投入，掌握自主知识产权，研发和转化低碳技术。出台鼓励企业进行低碳创新、节能减排、可再生能源使用的政策法规，采取考虑减免税收、财政补贴、政府采购、绿色信贷等措施，大力发展碳金融，引领企业开发先进的低碳技术，研究和实施低碳生产模式。对新能源、提高能效、生态基础设施等低碳经济产业实行政策倾斜。

5.4.2 改进市场消费模式

需求面必须关注市场消费模式，市场消费模式决定着市场的价值取向，新的经济发展模式必须以市场消费模式为基础。低碳消费需求可以引导低碳生产的方向，从而有助于推动低碳技术创新，反过来低碳技术创新又可以进一步推动良性的低碳消费。从低碳消费层面入手，首先，个人的消费意识必须转变。提倡新型的低碳消费理念，推崇积极、绿色的消费意识，改变不利于低碳经济发展的面子消费、奢侈消费等消费方式。为迎合消费需求，企业根据消费者选择的改变而做出调整，从而促使企业为产品升级换代而进行技术创新。其次。国家消费层面来看，政府部门应率先采购使用节能减排设备和办公用品，租用节能型建筑的办公场所，制定实施公务人员能耗标准等方式推动低碳消费。

5.4.3 推进低碳金融创新

积极研究国际碳交易和定价的规律，借鉴国际上的碳交易机制，研究探索交易制度，建设多元化、多层次的碳交易平台，构建中国碳排放交易市场，积极发展中国的碳排放交易业务。另一方面通过商业银行、保险公司及其他机构投资者和碳基金等金融机构的共同努力，加快开发各类支持低碳经济发展的碳金融衍生工具，实现碳掉期交易、碳证券、碳期货、碳基金等各种碳金融衍生品的金融创新，助力低碳产业迅速成长。

5.4.4 提供法制保障

低碳经济发展模式必须有与之相适应的各种制度条件作为保障。鉴于中国独有的国情，在建立低碳法律保障体系、金融创新与财税制度和建立低碳技术创新体系等制度建设方面政府必须发挥积极有效的作用：（1）制定低碳经济相关的法律框架，如《低碳经济法》，对已有的不利于低碳经济发展的能源、环保等相关法律法规进行修改，为促进采用先进的低碳技术、节能减排提供可靠的法律保障。（2）金融创新与财税制度及时跟进。国家必须积极参与制定国际碳金融市场规模，并发展和完善国内的碳金融市场，为低碳技术创新和低碳经济的发展提供金融支持。（3）建设发展低碳经济的技术支撑体系，加强技术创新平台建设。建立国家级低碳技术研发中心。布局建设一批低碳科技研发平台和产业化基地，鼓励高新区、产业集聚区与高校、科研院所共建低碳技术研发平台、成果转化平台，为低碳技术创新提供强大后盾。

5.5 案例分析：山西省节能降耗

新中国成立之后，山西省依靠其独特的区位优势和丰富的矿产资源成为全国能源原材料基地，60年间山西共生产原煤106.3亿吨，占全国生产总量的四分之一以上。但是，山西经济增长对能源资源的高度依赖和无序开发造成的资源枯竭和生态环境恶化等负面影响日趋严重，阻滞了经济的持续发展。高强度、大面积、低效率开采，造成资源的严重浪费。日益短缺的水、土资源正在被污染、破坏，严重制约经济可持续发展。因此山西省煤炭行业的低碳之路尤为引人关注。

一、山西省煤炭产业 2005-2009 年间取得的成就

从2005年至2009年，五年内山西省采取了一系列措施加快传统煤炭产业的改革，促进低碳经济发展，单位GDP能耗逐年下降，2005年山西省单位GDP能耗（等价值）为标煤2.89 t/104元，2006年为标煤2.83 t/104元，2007年为标煤2.71 t/104元，2008年为标煤2.51 t/104元，2009年为标煤2.36 t/104元，比2008年同比下降5.73%。2006-2009年山西省单位GDP能耗分别下降1.97%，4.52%，7.39%，5.73%^①，传统煤炭产业低碳努力取得显著成效。

二、山西省节能降耗主要措施

（一）行政管理上加强节能降耗监督

为了加强对节能降耗工作的监督，山西省、市、县均成立了由政府主要领导任组长的节约能源工作领导小组，并分别将领导小组办公室设在各级经(贸)委。将山西省“十一五”节能减排的总体目标层层细化分解，强化节能目标责任制考核和督查，实行节能减排目标“一票否决”和严格问责制。节能降耗的任务落实到各县(市、区)、各重点耗能行业及重点企业，对全市GDP能耗、万元工业增加值能耗和万元GDP电耗等指标实行定期公报。进一步完善了节能监督体制，建立了节能监察总队，加大了节能监督检查力度，确保了节能措施的落实。

（二）股份制改革，实行规模化生产

从2009年起，山西省开始推动煤矿企业兼并重组和股份制改革。目前，山西已经形成了以股份制为主要形式，国有、民营并存的办矿格局。国有企业、民营企业和混合所有制股份制企业办矿的比例为2:3:5；3个年生产能力5000万吨级以上的大型煤炭企业集团，分别为阳煤集团、潞安集团、晋煤集团与此同时矿井数由2600座减少到1053座，70%的矿井规模达到年产90万吨以上，年产30万吨以下的小煤矿全部淘汰，平均单井规模由年产30万吨提高到年产100万吨以上，保留矿井将全部实现机械化开采。坚决杜绝小煤窑这样的高消耗低效率的采煤方式。

（三）加大研发力度，开发高新技术

山西省近年逐渐加大科研投资经费支出，扩充科研人员队伍。仅“十一五”期间，省政府多次发布重点领域的先进适用节能技术，引导企业和社会资金投入节能改造，积极推广冶金、电力、化工和建材等高耗能行业先进适用的节能技术和循环经济相关链接技术，召开行业会议，参观典型企业，组织专题培训。并结合实际提出节能重点工程，加大对正在实施的节能技改项目的监控力度，促使其节能成效的尽快实现。2009年、2010年共有56项中央财政奖励资金支持的节能技术改造重点项目全部建成，并且已实现约198万吨标准煤的节能能力。

（四）加强节能低碳宣传

^① 山西统计信息网，www.stats-sx.gov.cn。

山西省政府在重视煤炭产业升级改造的同时没有忽视居民生活中的低碳活动，充分利用媒体的广泛宣传作用，通过多种方式加大节能宣传力度。每年组织山西省能源紧缺体验日活动，各级人民政府、省直各部门、省属大中型企业主要负责人带头参加能源紧缺体验活动，普通市民踊跃参与，停开电梯、关停公共照明灯具等活动。节能宣传周期间，向山西全省手机用户发送节能公益短信，期间还举办论坛，向社会公众发放宣传海报、宣传手册和节能产品等，形成了“节能能源，从我做起”的良好风尚，营造了“节能攻坚，全民行动”的良好社会氛围，有力地推动了社会节能的深入开展。

第六章 低碳消费

6.1 低碳消费概述

6.1.1 低碳消费的概念

低碳消费是指在生活消费领域中，人们购买和消费符合低碳标准的产品或服务，以最大限度地降低能耗、降低污染、减少浪费的一种节约型消费模式。在这种低碳消费模式下，低碳消费品在消费结构中的比重不断提高，低碳消费数量与低碳消费质量的有机结合。

低碳消费不是一个简单的生活方式问题，而是一个涉及到经济、社会、环境系统的综合性问题。它包含了三个层面的涵义：第一，低碳消费意味着居民消费增长率高于温室气体排放的增长率或居民消费增长而温室气体排放量减少；第二，低碳消费所确立的是一种在促进消费发展的前提下，解决气候变化问题，与单纯抑制消费思路不同，它强调消费与减排的结合，聚焦于低碳，目的是提高生活质量，通过改善消费方式来减少能源需求和排放；第三，低碳消费还关系到人类的发展权和社会公平问题。不同的国家发展水平不同，消费结构和消费层级不同，因此必须从社会公平和人类可持续发展角度考虑居民的消费，以实现代内公平和代际公平。

6.1.2 低碳消费的要素构成及行为模式

消费模式指的是在一定的社会经济条件下，消费者同消费资料结合的方法与方式，它是消费者消费生活特征、消费价值观、消费偏好与消费习惯的反映。低碳消费模式作为新型的消费模式，是要将保护气候环境与满足消费所需两者和谐结合，让人们在消费的过程中学会合理消费，减少温室气体排放和对环境的损害，使人们消费行为与消费结构更加科学化，并意识到环境质量是生活质量的重要组成部分。低碳消费的要素及行为模式，如图6-1所示：

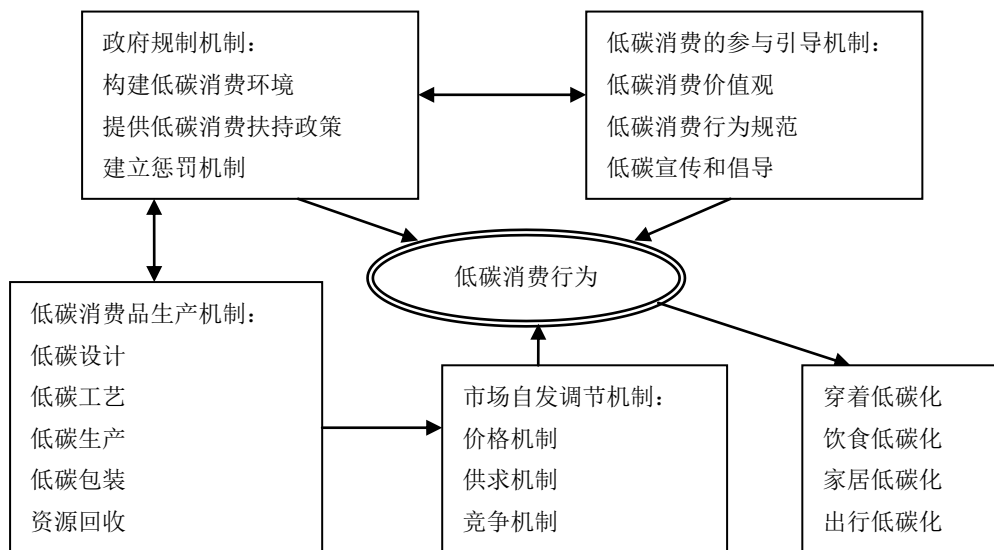


图 6-1 低碳消费的要素构成及行为模式

图6-1显示，消费者行为受四大机制的制约，即市场自发调节机制、政府规制机制、低碳消费品生产机制和低碳消费的参与引导机制，它们直接影响消费者在衣食住行方面的消费行为选择，进而导致消费行为中的碳排放差异。从低碳消费模式构成的要素构成看，居民的低碳消费模式由衣、食、住、行四个要素构成。其中，“衣”包括对衣着的面料与样式、以及衣物洗涤方法的选择，“住”包括住房面积、家用能源的类型及使用量、家用电器种类数量、家庭采暖和制冷等，在“行”的方面，包括出行需求、小汽车拥有量、交通方式结构、交通运输基础设施覆盖密度等。

6.2 低碳消费的现状

6.2.1 居民的起居与碳排放

改革开放以来，中国居民收入水平逐渐提高，到2008年中国人均GDP约为3140美元，处于消费结构升级的标准阶段，生存型基本生活必需品消费（包括食品和衣着类）的比重逐步下降，发展型享受型服务消费（包括居住、交通通讯类、文教、娱乐用品、保健医疗、旅游等）比重不断上升，居民家庭的耗电、耗气量迅速增长。当前住房和汽车已经成为中国居民消费升级的热点。“城镇居民家庭平均每百户年底耐用消费品拥有量”的统计表显示，家用电器的数量在不断增加，家庭耐用消费品的消费出现了电器化、智能化、网络化的趋势，如表6-1。这一趋势的背后伴随着用电量和能源能耗、CO₂排放的大幅增加。

表 6-1 城镇居民家庭平均每百户年底耐用消费品拥有量

项 目	1990	1995	2000	2005	2008	2009
摩托车 (辆)	1.94	6.29	18.80	25.00	21.39	22.40
洗衣机 (台)	78.41	88.97	90.50	95.51	94.65	96.01
电冰箱 (台)	42.33	66.22	80.10	90.72	93.63	95.35
彩色电视机(台)	59.04	89.79	116.60	134.80	132.89	135.65
组合音响 (套)		10.52	22.20	28.79	27.43	28.21
照相机 (架)	19.22	30.56	38.40	46.94	39.11	41.68
空调器 (台)	0.34	8.09	30.80	80.67	100.28	106.84
淋浴热水器(台)		30.05	49.10	72.65	80.65	83.39
家用电脑 (台)			9.70	41.52	59.26	65.74
摄像机 (架)			1.30	4.32	7.12	7.77
微波炉 (台)			17.60	47.61	54.57	57.18
健身器材 (套)			3.50	4.68	3.95	4.13
移动电话 (部)			19.50	137.00	172.02	181.04
固定电话 (部)				94.40	82.01	81.86
家用汽车 (辆)			0.50	3.37	8.83	10.89

资料来源：中国统计年鉴，2010

1999-2002年间，中国城镇居民生活用能大约占能源消费总量的26%，二氧化碳排放的30%是由居民生活行为及满足这些行为的需求造成的（殷耀等，2009）。据国家发展和改革委员会

委员会能源研究所课题组的预计（2009），随着人均收入的增加，到21世纪中叶，中国城乡家庭的人均家电保有量、汽车保有量、人均住宅建筑面积基本达到日本或欧洲目前的水平。这意味着中国居民起居的碳排放在现有产品碳排放水平下还将有大幅度提高。

6.2.2 居民的出行与碳排放

低碳出行是指尽可能少坐飞机、少开私家车，倡导公共交通和混合动力汽车、电动车、自行车等低碳或无碳方式，从而降低CO₂排放量的出行方式。

随着经济的繁荣，无论是出于工作目的还是休闲目的，人们的对外交往增加，出行的频次和出行的距离也呈现增长的趋势。居民出行所使用的交通方式中，一方面汽车尤其是小汽车的快速普及加速了交通的机动化，增加了碳排放，而车辆过多引起的严重的交通拥堵，进一步加重碳排放，而另一方面自行车和步行等交通方式日益萎缩（王光荣，2011；何保红，陈俊，王伟，2005）。居民选择不同的出行方式存在着显著的碳排放差异。如表：

表 6-2 不同出行方式碳排放比较

出行方式	飞机	轨道交通	公共汽车	小轿车	电动车	自行车	步行
单位碳排（Kg/km.人）	0.35	0.075	0.135	0.27	0.017	0	0

资料来源：杨志、刘丹萍，2011；陈飞、诸大建、许琨，2009；陈静、张景秋，2010

从上表可以看出，低碳出行，步行或骑自行车不失为一种理想的出行模式，还应尽可能考虑公汽车或者轨道交通，尽可能减少私家车和飞机出行。但这仅是从碳排放角度考虑的。居民选择哪一种出行方式，除了受其低碳消费认识影响外，还受到出行方式的特点所决定。不同的出行方式在可达性、自主性、私密性、出行距离、速度、舒适性、体力消耗、使用费用等指标方面差异较大，因此居民会根据自身不同的偏好，综合衡量，选择不同的出行方式。

表 6-3 不同出行方式比较

出行方式	飞机	轨道交通	公共汽车	小轿车	电动（助力）车	自行车	步行
人均能耗	高	低	低	高	低	无	无
碳排放量	高	低	低	高	低	无	无
噪音污染	有	有	有	有	轻微	无	无
尾气污染	有	无	有	有	无	无	无
道路通过率	-	高	高	低	中	总	高
可达性	差	差	差	好	好	好	好
自主性	差	差	差	好	好	好	好
私密性	差	差	差	好	差	差	差
出行距离	远	远	远	远	中	中	近
速度	快	快	中	快	中	中	慢
舒适性	中	中	差	好	差	差	差
携带物品	中	少	少	多	少	少	少
驾驶技术要求	无	无	无	高	低	低	无
体力要求	低	低	低	低	低	高	高
使用费用	高	低	低	高	低	无	无
交通工具个人投资	否	否	否	是	是	是	-

道路设施投资	-	高	较高	较高	低	低	低
准点率	较高	高	较低	高	高	高	高
天气影响	高	小	小	小	大	大	大

公共交通的人均碳排放远低于小汽车。目前中国私人小汽车保有量正处于急剧增长状态,到2009年底,中国民用汽车总量达7619万辆,私人小汽车总量4243万辆,民用汽车保有辆近10年年均增长14.2%,私人汽车保有量年均增长22.7%(何建中,2010)。将私人小汽车出行引导到更加低碳的公交出行方式上来,必须提供舒适便捷的公共交通服务。然而中国的公共交通服务水平普遍不高,公交分担率较低,中国城市居民的平均公交出行分担率为15%-20%,北京中心城区公交出行分担率也只有36%,而东京、纽约、伦敦等城市公交出行分担率为60%以上(何建中,2010)^①。

2007年,中国科技部发布了《全面节能减排实用手册》,对中国居民的低碳出行提供了积极有效的出行建议。部分城市开始重视人行道和马路为步行者和骑车者留出足够的空间,市民出行旅游也越来越多地选择徒步或骑车,大力发展公共交通体系,包括地铁、连接市区和郊区的快速公交、城际铁路等(科学技术部社会发展科技司,中国21世纪议程管理中心,2007)。2011年,中国国家运输部决定在“十二五”期间开展国家“公交都市”建设示范工程,应对小汽车高速增长和城市的交通拥堵(交通运输部,2011)^②。

6.2.3 居民的饮食穿着与碳排放

一、饮食消费

中国传统饮食文化鼓励吃五谷杂粮,多吃果蔬、豆腐,辅之肉蛋的饮食结构,这是一种低碳化的饮食结构。然而,随着收入水平的提高,中国居民的饮食结构出现了粗粮越吃越少,动物性蛋白和油的摄入量越来越多的趋势,如表6-4。人们的膳食越来越多地以多耗能源、多排温室气体为代价生产的畜禽肉类、油脂等高热量食物,肥胖发病率也随之升高。而一些减肥群体又喜欢选择耗费电力的人工舒适环境,如空调健身房、电动跑步机等进行瘦身消费,这样又间接增加了CO₂的排放。

表 6-4 城镇居民家庭平均每人全年购买主要商品数量(单位: kg)

项 目	1990	1995	2000	2005	2008	2009
粮 食	130.72	97.00	82.31	76.98		81.33
鲜 菜	138.70	116.47	114.74	118.58	123.15	120.45
食用植物油	6.40	7.11	8.16	9.25	10.27	9.67
猪 肉	18.46	17.24	16.73	20.15	19.26	20.50
牛 羊 肉	3.28	2.44	3.33	3.71	3.44	3.70
家 禽	3.42	3.97	5.44	8.97	8.00	10.47
鲜 蛋	7.25	9.74	11.21	10.40	10.74	10.57
水 产 品	7.69	9.20	11.74	12.55		
鲜 奶	4.63	4.62	9.94	17.92	15.19	14.91
水 果 (瓜果)	41.11	44.96	57.48	56.69	54.48	56.55
酒	9.25	9.93	10.01	8.85		

资料来源: 中国统计年鉴, 2010

^① http://www.zgjt.com/content/2010-06/28/content_164729.htm

^② http://www.moc.gov.cn/zhuzhan/zhengwugonggao/jiaotongbu/daoluyunshu/201111/t20111128_1146718.html

二、穿着消费

改革开放以来，中国居民的生活发生了翻天覆地的变化，在服装消费上也由原来只能满足基本的胜利需求，到消费种类齐全，花式繁多的服装。服装的质量和数量都得到了大大的提高。表6-5显示，随着人均可支配收入的提高，人们穿着的数量和支出逐渐增加。目前中国人均纺织品消费量为17公斤，到2015年将增加到21公斤。这意味着与服装消费相关的碳排放量也将进一步上升。

表 6-5 中国城镇居民衣着类消费量

年份	人均可支配收入（元/年）	人均服装消费支出（元/年）	人均服装消费量（件/年）
1992	2027	133	5.21
1993	2577	174	5.22
1994	3496	236	5.20
1995	4283	288	5.37
1996	4839	324	5.53
1997	5160	328	5.64
1998	5425	311	5.81
1999	5854	320	6.24
2000	6280	55.46	6.24
2001	6860	364	6.59
2002	7703	416	7.32
2003	8472	455	7.22
2004	9422	494	6.98
2005	10493	800.51	7.34
2006	11759		
2007	13786		
2008	15781		
2009	17175	1667.3	

数据来源：历年《中国统计年鉴》

6.3 低碳消费存在的问题及制约因素

6.3.1 低碳消费存在的问题

一、居民消费结构不合理

从20世纪80年代到90年代中期，中国城镇居民经历了以家用电器普及为主的第一次消费结构升级，“冰箱、彩电、洗衣机”成为消费热点；到了90年代后期，消费水平再次升级，住房消费、汽车消费、通信及电子产品消费、文化教育消费、节假日消费及旅游消费成为新的消费热点。其中，居住是最大的能源密集型为，占到城镇居民生活型为能源消费的45.1%，直接的生活用能占26.43%，食品占11.66%；教育文化娱乐服务占8.37%，四者共占能源消费总量的91.56%，同时这些行为也是较大的碳排放密集行为，分别占城镇居民生活型为CO₂排放的43.82%、24.47%、12.85%、9.74%，共占城镇居民生活行为二氧化碳排放总量的90.88%

（中国科学院可持续发展战略研究组，2009）。表6-6和6-7显示中国居民的能源消费结构呈现出“富煤、贫油、少气”的特征。

表 6-6 生活能源消费量

能源品种	2000	2004	2005	2006	2007	2008
合计（10 ⁴ tce）	15614	21281	25305	27765	30814	31898
煤炭（10 ⁴ t）	8457	8173	10039	10036	9761	9148
煤油（10 ⁴ t）	72	27	26	23	20	13
液化石油气（10 ⁴ t）	858	1350	1329	1456	1638	1638
天然气（10 ⁸ m ³ ）	32	67	79	103	143	170
煤气（10 ⁸ m ³ ）	126	138	145	166	186	184
热力（10 ¹³ J）	23234	41395	52044	56948	57689	62765
电力（10 ⁸ kwh）	1452	2465	2885	3252	4063	4396

资料来源：中国统计年鉴，2009 和 2010^①

二、节能低碳产品市场接受度低

节能产品是低碳消费品的主体，而中国低碳消费品尤其是节能产品市场目前还处在初级阶段。从厂商角度来看，低碳消费品的技术要求高，成本高，市场价格高，消费者收回成本的期限长，因此消费者基于经济因素考虑不愿意选择此类商品。从消费者角度来看，可供消费者选择的环保节能产品有限，市场上可供选择的低碳产品数量和质量都存在明显不足。厂商可供消费者选择的环保节能产品也少。

另一方面，部分企业把节能、低碳产品作为企业推销产品、扩大市场的噱头，以子虚乌有的“低碳”概念欺骗消费者，给商品贴上“低碳推介标识”。其中不仅有节能电器，还有各种滋补品、有机食品、进口纯天然奶制品、休闲特色食品、床上用品等。而一旦被贴上“低碳推介标识”，商品的价格都会比同类贵10%-20%。此种做法不仅损害了消费者的利益和消费信心，更使得低碳消费市场混乱，造成了“劣币驱逐良币”的后果（赵敏，2011）。

三、传统消费观和西方现代消费观的共振

中国传统的消费行为中“人情消费”、“仪式消费”的比例较高。婚丧嫁娶、添丁满月、乔迁之喜、升学高就、开张开业都构成了中国人情消费和仪式消费的内容。在这些仪式中，通常会大宴宾客，浪费越多、排场越大、来往的车辆越多主人就越有面子，在这些排场的背后就会消耗大量的肉类和燃料。

大多数居民对现代化生活方式存在片面理解，认为现代化生活方式就是更多地享受电气化、自动化、机械化技术提供的便利和愉悦。西方的“一次性消费”、“快速消费”和“炫耀性消费”正固化为中国居民的消费方式，对消费品的符号价值的追求超过了其本身的使用价值。

6.3.2 影响低碳消费的制约因素

一、消费者层面

（一）对低碳消费的认识存在误区

^① 表中 2000 年、2005 年、2006 年、2007 年和 2008 年数据出自中国统计年鉴（2010），2004 年数据出自中国统计年鉴（2009）。

消费者对低碳的理解需要一个过程,消费者对低碳、低碳生活、低碳生活的认知和行动对低碳消费的实践结果有着重要影响。目前居民对低碳消费存在两大误区(邓国用,刘阳,2011;刘敏,刘焕生,2010):

误区之一:低碳消费与生活质量和生产发展对立。发展低碳消费,就是要减少人们的消费,制约生产发展,以达到低排放、低能耗的目的。

误区之二:低碳消费是个人偏好问题及未来的事情。选择什么样的生活方式是自己的事情,与他人无关;只注重当前的消费,现阶段先满足自己的消费需要,而他人及后代的消费需求与自己无关。

(二) 消费能力提升对低碳消费的支持不足

中国城镇居民家庭收入有了较大幅度提升,1978年只有343.4元,2009年达到17174.7元,但是从消费的特点来看,仍处于以物质性消耗为主。具体表现在消费层次的提升和对生活舒适度要求的提高。当前,中国居民的住房、汽车、家用电器等的消费的增长速度较快。以私人汽车为例,北京市私人汽车拥有量每年以10%以上的速度增加,广东省2009年上半年每百户家用汽车拥有量同比增16.6%(殷耀,2009)。对于北方居民来说,延长采暖时间,保持冬季室内舒适温度,增加夏季空调使用时间将成为基本需求,对于气候过渡地区及南方居民来说,增加冬季采暖、延长夏季空调使用时间等将成为基本需求。

二、企业层面

低碳生产和低碳消费两者之间存在着相互促进、相互制约的关系。首先,低碳产品的生产决定着低碳消费的物质内容;另一方面,当低碳消费需求成为客观现实时,企业低碳产品的生产能力便成为主要的制约因素。

从全球的产业分工来看,中国的企业处于产业链的底端,决定了中国企业走低碳发展道路面临着难度和压力很大。中国在过去30年走的是出口导向型的道路,发展了一大批资源密集型和劳动密集型企业。这类企业大多数是低技术、高投入、重生产、轻管理,能源消耗量和碳排放量都很大。这些企业要走低碳发展的道路,面临着转型的阵痛,需要投入大量的资金、人力和物力进行改造。对这些企业来说,进行低碳生产转型不是一朝一夕的事情,需要走很长的路。

而从企业的生产角度来看,企业对低碳消费品的生产缺乏动力。其原因主要是:第一,低碳产品开发难度大、成本高、风险大,获利不稳定,而且与非低碳产品生产的企业竞争不公平,必然使企业偏重工艺成熟、开发周期短、投入相对较小、获利比较快的传统型产品,而轻视长期前景好、眼前利益低、能长期增加社会受益的低碳产品的生产和开发。第二,低碳产品研发困难。中国低碳产品研发开发技术落后,专业人才缺乏,低碳产品科研与生产结合不紧密,开发低碳产品的投资缺口大,国家金融信贷资金往制造业特别是低碳消费品的研发的资金倾斜不够。因此一些企业更加不愿意为了一个前景不甚明朗的低碳消费市场而大举投入,这也导致了中国市场上低碳产品匮乏。

三、政府层面

(一) 政府的经济增长目标与低碳目标的矛盾

在节能减排工作中,各级政府应当是主要推动者,节能减排指标也是强化政府责任的指标,地方政府应当对本行政区域节能减排负总责,政府主要领导人就是第一责任人。但是,到目前为止,科学的干部政绩考核体系尚未完全建立,许多地方政府对干部的考核仍侧重于经济增长、招商引资等内容,地方政府片面追求经济增长,把GDP增长作为硬任务,把节能减排作为软指标。

另外,在中国的地方政府与地方政府之间也存在GDP增长的竞争,在以速度考核地方发

展状况，以速度为核心考核地方干部的机制下，地方政府发展速度的冲动常常大于节能减排的约束，在经济增长和减少碳排放出现矛盾时，更多地选择经济增长，这不仅是由现有的地方政府考核机制决定的，也是因为经济增长速度下降而引起的失业率上升所导致的维稳的要求所决定的。

（二）对居民的高碳消费行为缺乏直接规制

为了促进节能减排，中国政府出台了一系列法规及政策，促进节能减排和效率高的企业的成长，但这些政策大多集中在产业和能源领域，侧重于经济结构调整，涉及消费领域的很少，即便是涉及到消费领域的更多地是靠刺激消费拉动内需，增长经济，其政策和规制的出发点和最终目的均是促进经济的持续稳步发展，而不是引导居民生活消费方式的合理化、低碳化。中国在《中国应对气候变化的政策与行动》（2008）中提到要转变消费方式，但这只是抽象的呼吁，难以起到实质性的作用。

中国政府在居民消费方面还缺乏必要的强制性标准等技术法规，有关政策的配套体系也不健全，如没有明确要求居民使用节能灯的配套法规，在农贸市场等还提供免费的塑料袋，没有对居民生活垃圾分类出台强制法律及配套措施等。可见，目前中国促进低碳消费的政策主要是间接的、诱导性的，在居民消费领域缺少直接的强制性的政策措施。

6.4 低碳消费未来发展对策

6.4.1 培育低碳产品的消费市场

市场是低碳消费品的交换场所和满足低碳消费需求的媒介。通过市场机制、需求诱导、价格导向竞争来调节低碳消费和低碳产品的生产供给是未来低碳消费发展的必然途径。未来中国就是要通过发展和培育低碳消费市场，在低碳消费市场中，让价格机制、竞争机制和供求机制决定低碳消费品的供给和需求。未来中国在培育低碳消费的市场方面，要做到以下几个方面：第一，推行碳排放交易制度。核算“碳足迹”，建立科学合理的“碳预算”制度，进一步完成“碳交易模式”。第二，建立低碳产品流动市场。打破目前存在的“地区所有制”、“部门所有制”、“地区封锁”和“地区保护”的格局，引导现有工业存量进行低碳改造，建立有利于各企业之间物质转换、能量流动、价值增值、资源和废物综合利用的新的市场格局。第三，完善低碳金融制度。积极参与低碳金融市场以活跃排放交易。建立应对气候变化的信贷模式，加强低碳项目融资、投资，建立低碳信用制度。

6.4.2 构建低碳消费的规制环境

一、建立科学的碳标签制度

针对促进企业低碳消费品的生产机制方面，政府应对企业的低碳消费品的生产全过程包括生产设计、材料的选用、工艺技术与设备维护管理等开展低碳化的规制，从生产源头上减少能源消费和CO₂的排放，促进资源的循环利用。碳标签制度作为规制手段，通过科学地核算产品在生产、运输、消费环节所产生的碳排放量，规定一定的标准，政府加强低碳产品的质量检测和监督，使符合标准的厂商可以对其产品进行低碳标记，培植低碳产品优秀品牌，供消费者选择。

实行碳标签制度，可以满足消费者低碳选择的要求，也可以通过产业链和市场迅速反应到生产环节，在生产环节和消费环节进行双向刺激，既满足消费者低碳选择要求，也对企业进行低碳规制，全面降低了产品的碳排放量。

二、对低碳生产和消费提供税、费和补贴等优惠

通过税、费、补贴等政策手段,抑制消费主体的高碳消费方式,推动低碳消费方式的形成。可以考虑采取绿色税费的方式对高碳消费品和消费行为采取类似“烟税”这样的惩罚性税费,而对低碳消费采用低税费优惠措施来进行鼓励(王永庆,2010)。对低碳产品的生产和消费提供税收、贷款、补贴和政府优先采购等多方面的优惠,在刺激低碳产品生产的同时,鼓励低碳产品的消费,并减少消费者因使用低碳产品而增长的开支。

三、把低碳纳入政府政绩考核体系

政府的考核体系的构成是地方政府贯彻低碳转型的动力所在。因此,在对地方政府以及地方政府官员的考评体系中,增加低碳和低碳经济发展水平的考核指标,将加强各级政府对低碳经济、低碳消费的关注度,从而刺激低碳消费的推广。

四、市场环境规制

政府要完善相应的低碳消费品的市场准入制度,减少能源密集型的产品大量进入市场,创造低碳产品的供应结构。完善市场监管制度,加大对非低碳产品的检查力度,打击假冒伪劣产品,保护低碳消费者的权益。

6.4.3 引导和推动公众消费模式转变

公众是否采取低碳消费直接决定着低碳消费的社会化程度。中国社会要推动低碳经济的发展,必须以公众的消费模式为根基。为此,中国应制定引导低碳生活方式的社会性政策,调动最广泛的力量促进消费理念和消费行为的转变。

一、上下互动,发挥低碳消费的社会性政策的宣传和导向作用

首先,通过政府牵头,企业和个人参与的自上而下的动员作用,充分调动企业和个人在消费过程中进行低碳消费的积极性;其次,形成一股有个体、志愿者组织、社区等力量组成的自下而上的动力,影响和诱导人们的消费方式。这样,通过广告宣传、媒体互动、社会组织参与逐步形成一种双向互动,全民参与的低碳消费文化。

二、发挥社会组织的协调作用

社会组织是低碳消费多元治理结构中的重要主体,对促进低碳消费方式的全民化具有不可替代的作用。其分布广且深入社会各阶层,以其自身的布局优势比政府能更广泛、深入地开展节能减排、低碳经济的宣传教育活动。

社会组织可以根据社区内部不同的消费群体,宣传不同程度的低碳消费方式,同时,在社区规划和城市规划中通过组织化的社区力量影响政府政策,将社区居民的要求与社区规划紧密联系,促进低碳社区的形成。

6.5 案例分析

6.5.1 案例一：杭州公共自行车服务系统^{①②}

2011年9月9日，英国广播公司（BBC）的旅游频道将中国杭州选为全球300个有组织的自行车共享项目中的8个“游客必须了解的城市”之一。其他7个城市分别为巴黎、华盛顿、孟买、伦敦、墨西哥城、墨尔本和都柏林。

杭州公共自行车交通系统^③，是中国浙江省杭州市杭州公交集团下属的公共自行车发展服务有限公司运营的一个公益性公共交通项目。这个项目系统一期工程于2008年5月1日开通。到目前，杭州已建成2431个公共自行车租赁点，投入了6.06万辆自行车。在2011年年底前，杭州还将新增200个租赁点，再投放5000辆公共自行车。根据《杭州市公共自行车交通发展专项规划（修编）》，杭州公共自行车将达到10万辆左右，主城区每隔100多米，就有一个租赁点。杭州的公共自行车交通系统有效缓解行路停车难问题，解决了市民出行的“最后一公里”问题，提供更加便利的公共交通服务，提高公共出行的分担率。

事实上，作为城市公共交通配套，杭州的公共自行车也早已经不单单服务于城中百姓的日常生活，更多时候，它们成为来杭旅游的游客们的代步工具。骑着公共自行车慢游西湖、闲游杭州，也已成为杭州这座休闲旅游城市的特色旅游内容，深受游客好评与喜爱。

2008年，杭州市政府将整个公共自行车系统的建立和运营，划归杭州市公交集团，杭州公交集团专门成立全资控股杭州市公共自行车交通服务发展有限公司，具体负责运营，并与杭州电子科技大学等单位合作，研发科技平台。

杭州的每一辆公共自行车都有自行车身份证，这是籍自行车锁头位置增加的一个圆形自行车识别IC卡和有感应功能的磁性材料。这块IC卡可以记录自行车车牌车号信息，如果有人借车还能识别借车人IC卡里是否有200元的信用保证金。这样每辆车都有自己的“身份证”，既可追踪，存取车也只需要在每辆车旁的锁止器刷卡，不用排长队。这一技术解决了自行车车辆的丢失问题，后台系统只要靠着自行车信号追踪便能获知自行车的位置。基于“身份证”信息，公共自行车服务系统的技术人员还可以及时获得第一手准确数据，统计出各项需求数据，为日后布点，技术升级等奠定了技术基础。

杭州的公共自行车采用的“阶梯性收费”被认为是导致这个系统成功的又一大关键。杭州市民可以凭杭州公交IC卡、市民卡租车，没有市民卡的打工者或外地游客可用300元押金即办公共自行车租用IC卡，在这些相关卡证充值后，在服务点POS机上刷卡、租车，使用后骑车到正在服务中的任何一家服务点归还即可。公共自行车60分钟内免费，租用60分钟至120分钟，收费1元；120分钟至180分钟，收费2元；超过180分钟以上的时间，按每小时3元计费。为了福利公交与公共自行车的无缝衔接，只要在公交车POS机上刷卡乘车起的90分钟内租用公共自行车的，租车者的免费时间就可延长为一个半小时。

“一小时免费”，主要是吸引大家来骑车，提高自行车的使用效率，树立一种低碳出行的理念，而“阶梯式收费”则主要是解决自行车的占有问题，速用速还。根据统一，“一小时免费制”实施后，9成以上的公共自行车租用都是免费的。由于全市范围内都可通租通还，且服务点较密，使用者只要快到1小时就近还车，再重新租车，就可以一直免费使用。

公共自行车系统的建立需要政府巨大的财政支持，杭州市已陆续向公交自行车项目投入近4亿元。自行车租用超时收来的租金只有500多万，杯水车薪。但是杭州市政府却算过一笔

^① <http://city.sina.com.cn/focus/t/2011-10-12/121223526.html>.

^② <http://www.people.com.cn/h/2011/0927/c25408-2088654995.html>.

^③ 杭州自行车网站. 2011. <http://www.hzzxc.com.cn>.

经济账：建1公里主干道，政府要投入2亿元；建1公里快速路投入4亿元；建地铁投入更多，而建立自行车免费租赁系统，1年约投入1000万元，既环保、又健康、方便。另外杭州市也相处开发公共自行车服务点的资源，通过各服务点的服务亭和广告牌的开发出租以及自行车车身广告，获得一定的收益。

杭州的公共自行车服务系统已经吸引了国内外数十个城市来杭州实地考察，纷纷要求到其当地协助建设公共自行车系统。目前，江阴、舟山、东莞、佛山公共自行车系统的建设已经完成，嘉兴、天津、厦门等地的公共自行车系统已经在洽谈过程中。

6.5.2 案例二：上海绿色账户^①

“换出更绿色的上海——垃圾分类新理念推广行动”又称“上海绿色账户”是指市民在上海绿色账户网站（www.tryun.com.cn）注册，通过垃圾回收等获得积分，然后兑换礼品。它是由共青团上海市委、市绿化和市容管理局发起，上海市废弃物管理处组织推进。

为了促进广大市民参与共建“资源节约型、环境友好型”社会，推广垃圾分类、资源循环新理念，号召广大的市民、学生积极加入“绿色账户”，引导大家分类回收各类废弃物，积累个人、集体的“绿色账户”积分，既可以兑换环保生活、学习和办公用品，获得参与行动的价值回报。同时，通过这种活泼、愉快的方式，引导和召唤更多人投身参与到让上海环境更优美的绿色行动中，缓解城市日益严峻的垃圾处理压力。

绿色账户的主要活动形式是深入社区，让居民在固定回收日（每月第二个星期的周六）交投垃圾回收物换得积分和礼品。具体执行社区活动的是居委干部和环保志愿者，由居委指定小区内人流量较为集中的地方作为活动现场，并将准备好的基本道具和礼品等活动物料移至现场，通过楼门告示、海报、横幅等宣传品引导更多的居民参与到绿色账户的活动中，志愿者现场登记积分，发放绿色账户卡与礼品，并在现场拍摄活动照片作为每次活动的依据。每次活动后再把积分录入网站，积分是由居民现场投递垃圾回收物数量所得，根据每件乘以10分，然后算出总积分，并可以累计积分，然后换取绿色小植物盆栽、储药盒、开瓶器等实用的环保礼品。

“上海绿色账户”自开通以来，已经在本市静安、黄浦、宝山、青浦、崇明等13个区县80个街镇 169个居委开展了专项回收活动，活动覆盖约400余个小区，约有11.7万人次市民参加，今后还将推广到全市1000个社区以及部分办公楼宇、机关企事业单位和学校。目前，网站注册用户已达4.32万余人。垃圾分类回收总量达到434吨，参与兑换达14万人次。

6.5.3 案例三：武汉循环消费社区超市^②

与“上海绿色账户”由社团组织与政府部门共同发起运作不同，武汉的循环消费社区连锁超市“则是企业发起的推动低碳消费的行动。

2011年10月，循环消费社区连锁超市在武汉投入使用，超市由此前负责电池回收的格林美公司投资设立。这个特殊超市不仅可以回收废旧家电，市民还能在这里买到低碳商品，将旧物寄放在这里出售。顾客的每一次交易都会被量化为实实在在的“碳积分”，累计到一定额度可获得奖励，凭借碳积分，市民可以兑换超市中的等值低碳商品。

^① http://news.solidwaste.com.cn/view/id_24483. 2011.

^② <http://news.cnhubei.com/hbrb/hbrbsglk/hbrb07/201110/t1859113.shtml>.
<http://www.chinanews.com/df/2011/10-18/3397613.shtml>.
<http://news.hexun.com/2011-10-19/134343310.html>.

和普通超市不同，这个特殊超市里的每一件商品上突出添加了“碳标示”，即物品二氧化碳排放量。商品主要分为节电系列、节水系列、太阳能系列、空气净化系列、环保家居系列等和市民日常生活所需的十多个产品系列。

武汉循环消费社区连锁超市是武汉格林美资源循环有限公司发起打造的新的商业模式。这个循环消费社区连锁超市基于减量化、再使用、再循环的“3R”原则，创造性地将再生资源回收、二手商品寄售、低碳产品销售和社区服务相结合，由低碳销售、拉动低碳消费，从而促进低碳生产；将二手物品回收利用，从而转变消费方式。据报道，这样的循环消费社区连锁超市有望在 1-2 年内，在武汉各大社区建起 100-300 家。

第七章 碳排放情景

7.1 碳排放情景分析的模型工具

由于气候变化是动态的复杂性科学系统，很难对碳排放作出准确的预测，鉴于此，国内外流行的做法是运用情景分析法来进行研究。碳排放情景分析一般按照如下步骤进行：（1）情景描述。包括明确基准年、目标年、目标区域以及情景数量，并简明扼要地概括各种情景下经济社会发展未来的总体状态；（2）参数设定。对不同情景，设定详细的参数指标，并对指标予以量化；（3）核算能源消费和碳排放总量。借助模型工具，代入参数指标数值，得到能源和碳排放量。其中，模型工具的选择具有至关重要的作用。目前在分析中国碳排放情景时，常用的模型主要有：一是 IPAC 中国综合政策评价模型（Integrated Policy Assessment Model of China）；二是 PECE 技术优化模型（Programme of Energy and Climate Economics）；三是 STIRPAT 可拓展的随机性的环境影响评估模型（Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology）。

7.1.1 IPAC 模型

IPAC 是由国家发展和改革委员会能源研究所开发的对中国的能源和环境政策进行综合评价的模型。1992 年以来，能源研究所开始在能源模型开发与应用方面进行研究。1994 年之后与国际上一些知名研究机构就能源与气候变化模型进行长期合作，已经开发完成了一组模型，这些模型各自有不同的特点和政策分析功能。2000 年以来开始有针对性地构建中国的能源环境综合评价模型，到 2002 年为止已经形成一个较为成熟的 IPAC 框架模型，IPAC 考虑社会经济发展、能源资源、用能技术、环境制约和消费行为等多方面因素，综合分析未来中国能源与温室气体排放情景。IPAC 模型系统由 13 个主要模型组成（见图 7-1），包括分部门分地区的能源供需、能源价格与投资、技术发展评价与政策、污染排放及其环境影响等多项内容。IPAC 模型的各个子模型之间，目前采取软连接方法，即一个模型的输出结果作为另一个模型的输入。

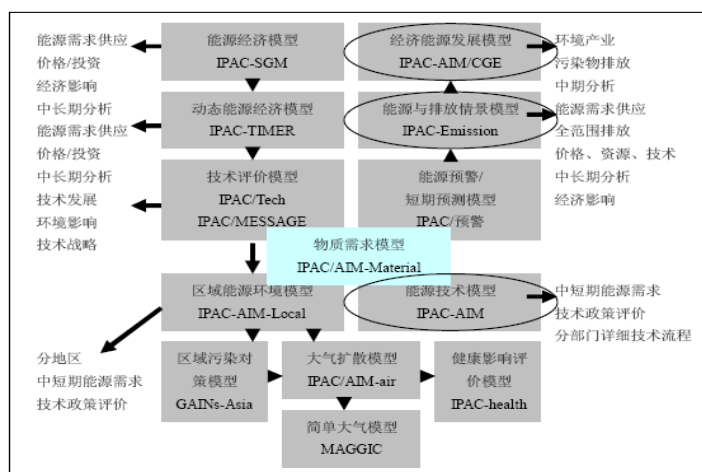


图 7-1 IPAC 模型框架

7.1.2 PECE 模型

2009/2010 中国人类发展报告首度运用 PECE 模型研究了中国 2005-2050 年的碳排放情景。PECE 模型是自底向上的非线性技术选择模型，计算在一系列限定条件（如能源服务需求量、能源供给限制、技术可能性限制等）下的满足成本最小的技术选择，模型的基本框架如图 7-2 所示。模型中计算的成本包括技术固定资产投资、运行成本、能源成本、税费和补贴等。该模型的特点和功能如下：

- ①模型能够反映不同驱动因子假设下的情景研究结果；
- ②模型可以提供优化的减排方案（最小费用法）；
- ③模型可以给出与一定排放量（目标情景）对应的、优化意义上的技术需求、减控排投资、减控排单位与总量成本等。同时可以藉此给出技术路线图；
- ④模型可以从国家层面上扩展到地方层面和地区层面；
- ⑤模型还可以将不同的政策变量综合反映到其中。如模型可以反映不同水平的碳税和能源税对减排成本和投资的影响等。同时，模型给出的减控排成本信息还会为确定碳税或能源税的税率水平提供参考基准，并为评价碳市场价格水平提供了参考。

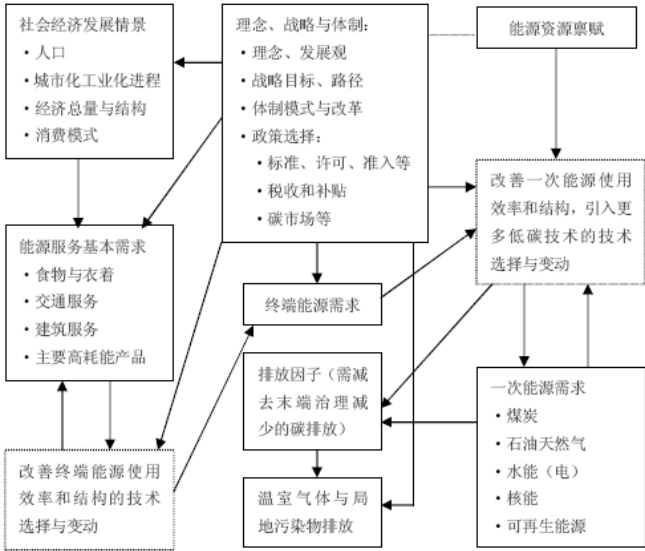


图 7-2 PECE 技术优化模型基本框架

7.1.2 STIRPAT 模型

Ehrlich 和 Holden（1971；1972）首次提出建立“IPAT”方程来反映人口对环境压力的影响，该方程将环境影响（Impact）与人口规模（Population）、人均财富（Affluence）和环境技术水平（Technology）联系起来，即 $I=PAT$ 。该模型是一个被广泛认可的分析人口对环境影响的公式，现在仍被广泛用于分析环境变化的决定因素。但是，IPAT 模型存在一些局限性，即通过改变一个因素，而保持其他因素固定不变来分析问题，这样得到的结果就是对因变量的等比例影响。为了克服 IPAT 的不足，一些学者提出建立随机模型来分析人口对环境的非比例影响。York 等（2003）在 IPAT 的基础上，建立了 STIRPAT 模型，即

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \tag{7-1}$$

该模型保留了 IPAT 模型的乘法结构，把三个主要因素：人口（ P ）、人均财富（ A ）和技术（ T ）作为排放量（ I ）改变的决定因素。在对模型取对数后，式（7-1）变为

$$\ln I_{it} = a + b(\ln P_{it}) + c(\ln A_{it}) + d(\ln T_{it}) + e_{it} \quad (7-2)$$

式中，下标 i 指国家或地区， t 指年份； P 代表人口； A 代表人均财富； T 代表技术；因变量 I 代表二氧化碳排放量。其中 P 、 A 、 T 三个变量还可以根据具体需要进一步分解。

7.2 基于不同模型的碳排放情景分析

7.2.1 基于 IPAC 模型的碳排放情景

IPAC 是研究能源及碳排放情景较为成熟的模型，目前国内通常运用它的三个子模型进行碳排放情景分析，即：经济能源系统模型 IPAC-CGE、全球排放模型 IPAC-Emission 以及技术模型 IPAC-AIM。其中，IPAC-CGE 模型用来分析各种政策对社会经济的冲击和影响；IPAC-Emission 模型主要研究包括社会经济发展、能源活动和土地利用活动的全范围排放过程，它是一个全球模型，包括美国、西欧与加拿大、亚太 OECD 国家、经济转型国家、中国、中东、其他亚洲发展中国家、非洲、拉丁美洲等 9 个国家和地区，借助该模型可以判断中国能源需求在全球能源市场的地位，并分析未来国际市场的能源供应能否满足中国的需求；IPAC-AIM 主要用来模拟不同部门在不同活动水平和能效状况下的终端用能状况，进而考虑加工转换的效率，得出一次能源需求及碳排放。运用 IPAC 研究中国碳排放情景的成果主要见诸于三份报告：《2009 年中国可持续发展战略报告：探索中国特色的低碳道路》、《中国 2050 年低碳发展之路：能源需求暨碳排放情景分析》以及《2050 年中国能源和碳排放报告》，由于三者基本思路 and 结果大同小异，现就 2009 年中国可持续发展战略报告中的碳排放情景分析作具体介绍。

一、情景描述

为了能够比较全面地反映中国未来温室气体可能的排放途径，根据与未来排放密切相关的主要因素，设计了 2005-2050 年基准、低碳以及强化低碳三个碳排放情景。

基准情景是不采取气候变化对策的情景（Business As Usual Scenario, BAU），即以各种可能的发展模式设计的情景，主要驱动因素是经济发展。基本满足中国“三步走”的长期战略目标的要求。人口发展模式按国家人口规划，即在 2030-2040 年达到人口高峰 14.7 亿。同时，已经采取的常规能源政策将持续下去。

低碳情景（Low Carbon Scenario, LC），即考虑中国国家能源安全、国内环境、低碳之路因素，通过国家政策所能够实现的低碳排放情景。这个情景主要考虑国内社会经济、环境发展需求，在强化技术进步、改变经济发展模式、改变消费方式、实现低能耗和低温室气体排放因素下，依据国内自身努力所能够实现的能源与排放情景。

强化低碳情景（Enhanced Low Carbon Scenario, ELC），主要考虑了在全球一致减缓气候变化的共同愿景下，中国可以做出的进一步贡献。在全球共同努力情况下，技术进步得到更加强化，重大技术成本下降更快，发达国家的政策会逐渐扩展到发展中国家。同时考虑到 2030 年之后中国经济规模已经是世界最大，可以进一步加大对低碳经济的投入，更好地利用低碳经济提供的机会促进经济发展。同时中国在一些领域的技术开发方面成为世界领先，

如清洁煤技术以及碳捕捉和封存（Carbon Capture and Storage, CCS）技术，使 CCS 技术在中国得到大规模应用。

二、参数设定

碳排放总量取决于经济、社会、环境三大系统的交互影响，因而必须合理量化各种参数指标。中国的长期发展目标是在 2050 年达到中等发达国家水平。在这种模式下，由于国内、外市场环境的变化，中国产业结构面临调整和重组。2030 年之后，经济增长将以内需为主，国际常规制造业的竞争力由于劳动力成本快速上升而下降。人口方面，基本按照目前的构架向前发展。随着人们生育观念的逐步改变，外加人口高峰到来后面临负增长，政府有意识地放宽对人口增长的限制，实施间隔生育措施，使中国的人口数基本维持在一个较为稳定的水平。各项参数的设定如表 7-1 和表 7-2 所示：

表 7-1 经济规模、产业结构、人口总量及城市化水平

参 数	GDP（亿元）	GDP 增长率	三次产业结构	人口（百万人）	城市化率
2005 年	183132	--	12.4:47.8:39.8	1308	43%
2010 年	290505	9.67%	10.1:49.2:40.8	1360	49%
2020 年	649852	8.38%	6.8:48.7:44.5	1440	63%
2030 年	1291047	7.11%	4.3:45.5:50.2	1470	70%
2040 年	2099744	4.98%	3.1:40.6:56.2	1470	74%
2050 年	2991810	3.60%	2.5:36.4:61.2	1460	79%

表 7-2 各种情景下的具体参数特征

参数	基准情景	低碳情景	强化低碳情景
能源使用技术 进步	2040 年先进用能技术得到普遍应用，中国为世界技术领先者，技术效率比目前提高 40%左右	2030 年先进用能技术得到普遍应用，中国工业和其他用能技术成为当时世界领先技术；同时中国也成为世界制造节能技术领先者，技术效率比目前提高 40%左右	2030 年先进用能技术得到普遍应用，中国工业和其他用能技术成为当时世界领先技术；同时中国也成为世界制造节能技术领先者，技术效率比目前提高 40%左右
非常规 能源资 源利用	2040 年之后需要开采非常规天然气以及非常规石油	2040 年之后需要开采非常规天然气	基本不需要开采非常规天然气、石油
太阳 能、风 能等发 电技术	2050 年太阳能成本为 0.39 元/千瓦时，陆上风力田普及	2050 年太阳能成本为 0.27 元/千瓦时，陆上风力田普及，近海风力田大规模建设	2050 年太阳能成本为 0.27 元/千瓦时，陆上风力田普及，近海风力田大规模建设
核能 发电 技术	2050 年大于 2 亿千瓦，生产成本从 2005 年的 0.33 元/千瓦下降为 2050 年的 0.24 元/千瓦时	2050 年大于 3.3 亿千瓦，生产成本从 2005 年的 0.33 元/千瓦下降为 2050 年的 0.22 元/千瓦时，2030 年之后第四代核电站开始进入大规模建设阶段	2050 年大于 3.8 亿千瓦，生产成本从 2005 年的 0.33 元/千瓦下降为 2050 年的 0.20 元/千瓦时，2030 年之后第四代核电站开始进入大规模建设阶段
新建燃 煤电站	超临界和超超临界为主	2020 年超临界和超超临界为主，之后开始以 IGCC 为主	2010 年开始以 IGCC 为主

CCS	不考虑	2020 年开始示范项目，之后进行一些低成本 CCS，2050 年已经开始与所有新建的 IGCC 电站配套	结合 IGCC 电站，全部使用 CCS，同时钢铁、水泥、电解铝、合成氨、乙烯等行业采用 CCS，2030 年之后基本普及
水电利用	2050 年装机 3.4 亿千瓦，发电量超过 11 万亿千瓦时	2050 年装机 4.3 亿千瓦，发电量超过 13 万亿千瓦时	2050 年装机 4.5 亿千瓦，发电量超过 14 万亿千瓦时
现代生物质能源利用技术	2050 年利用近 7000 万 t 标准煤的生物质能，成本可低于 430 元/t 标准煤	2050 年利用近 9000 万 t 标准煤的生物质能，成本可低于 370 元/t 标准煤	2050 年利用近 9000 万 t 标准煤的生物质能，成本可低于 370 元/t 标准煤
居民生活方式	充分利用清洁能源，节能家用电器普及，农村生活用能转向商品能源	低碳、环境友好住宅广泛利用	低碳、环境友好住宅广泛利用
交通发展	快速发展，公交出行便利，大城市轨道交通完善	快速公共交通网络完善，环保出行，轨道交通完善	100 万以上人口城市以公共交通为主，小城市和农村以非机动车出行为主
交通技术	燃油经济性提高 30%	燃油经济性提高 60%	燃油经济性提高 60%
食物构成	肉制品消费快速增加	肉制品消费增加较慢	节制肉制品消费
林地发展	森林面积逐渐增长	森林面积快速增长	森林面积快速增长
碳税	2020 年开征能源税，较低税率	2020 年开征碳税，较低税率，之后增加	2020 年开征碳税，较低税率，之后增加
碳贸易	以 CDM 或类似方式进行	2020 年后以部门方式或区域方式参与国际碳贸易	2020 年后以部门方式或区域方式参与国际碳贸易
进出口格局	2030 年初级产品开始失去国际竞争力，高耗能产品以满足国内需求为主	2020 年初级产品开始失去国际竞争力，高耗能产品以满足国内需求为主；高附加值行业和服务业出口明显增加	2020 年初级产品开始失去国际竞争力，高耗能产品以满足国内需求为主；高附加值行业和服务业出口明显增加
国内环境问题	2020 年得到较好治理，但是仍然为先污染后治理，体现环境库兹涅茨曲线效果	2020 年得到较好治理，但是仍然为先污染后治理，体现环境库兹涅茨曲线效果	2020 年得到较好治理，但是仍然为先污染后治理，体现环境库兹涅茨曲线效果
减排目标	没有	2030 年开始承诺	2030 年开始承诺

三、能源和碳排放水平

根据参数指标，利用 IPAC-AIM/技术模型，得到中国 2005-2050 年各种情景下的能源需求和碳排放总量，如图 7-3、图 7-4 所示。

低碳情景和基准情景相比，2030 年和 2050 年一次能源需求量分别减少 22% 和 24%。2050 年基准情景一次能源需求量由 2005 年的 21.89 亿 t 标准煤增加到 66.57 亿 t 标准煤，其中煤炭占 44%，石油占 27.6%，天然气占 10%，核电占 9%，水电占 6%，风电、生物质能发电等新能源和可再生能源占 3.4%。2050 年低碳情景的一次能源需求量由 2005 年的 21.89 亿 t

标准煤增加到 50.82 亿 t 标准煤，其中煤炭占 37.4%，石油占 20.2%，天然气占 14.4%，核电占 14.2%，水电占 8.4%，风电、生物质能发电等新能源和可再生能源占 5.4%。

2030 年低碳情景由于核电和水力发电量的增加，与基准情景相比，能源需求结构得到优化。2050 年低碳情景由于石油、核电和天然气需求量的增加致使一次能源需求结构与基准情景相比得到了进一步优化。2050 年低碳情景中，风电、生物质能发电、醇类汽油、生物柴油等能源需求量所占比重达到 5.4%，比基准情景上升了 2 个百分点。

低碳情景一次能源需求量所面临的挑战主要来自石油和天然气需求量的快速增长。在基准情景中，石油需求量从 2005 年的 3.05 亿 t 增加到 2030 年的 6.75 亿 t 和 2050 年的 7.18 亿 t；而在低碳情景中，石油需求量从 2005 年的 3.05 亿 t 迅速增加到 2030 年的 11.08 亿 t 和 2050 年的 12.8 亿 t。

强化低碳情景的二氧化碳排放量和低碳情景相比，2030 年之后开始有明显下降，2050 年和低碳情景相比下降了 48%。与低碳情景相比，在进一步强化节能的基础上，一次能源需求量下降 4.5%，可再生能源发电、核电等发电量所占比例为 58%，增加 7%。

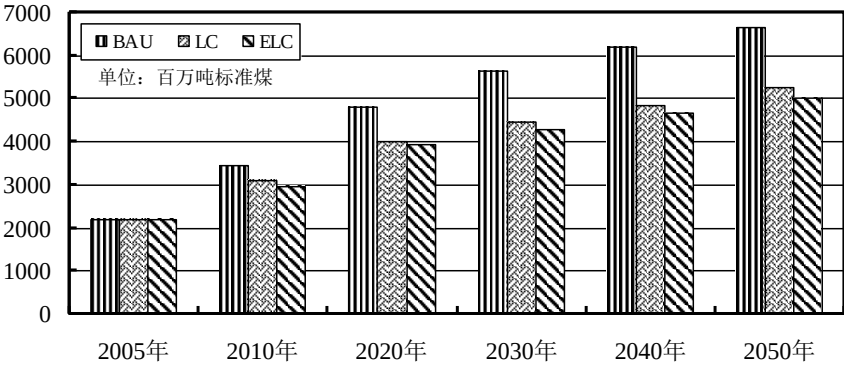


图 7-3 一次能源需求量 (CGE-Emission-AIM 模型)

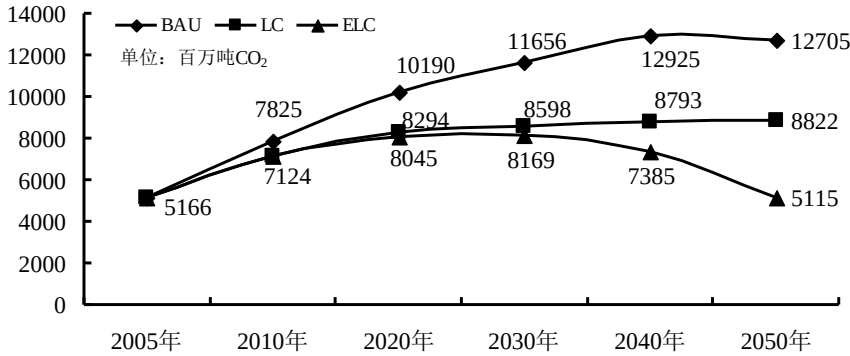


图 7-4 二氧化碳排放总量 (CGE-Emission-AIM 模型)

7.2.2 基于 PECE 模型的碳排放情景

鉴于气候变化问题的重要性，联合国开发计划署驻华代表处提出将 2009/2010 中国人类发展报告的主题确定为《迈向低碳经济和社会的可持续未来》，负责编写报告的中国人民大学能源与气候项目研究团队开发出了 PECE 技术优化模型，对中国 2005-2050 年的碳排放情景进行了全面细致的研究。

一、情景描述

根据对碳排放控制程度的不同，设定了中国 2005-2050 年的基准情景、充分考虑国内减排成本的控排情景和在 2030 年后进行最大限度减排的减排情景。

基准情景（Business As Usual Scenario, BAU）充分考虑国内发展需求，为中国 2005 年以后的政策选择提供了一系列的比较基准点。在情景期内，中国政府将施加一定的额外政策，如淘汰落后产能，调整产业结构等，但不考虑强制性的减排措施，如征收能源税和碳税等。煤炭将仍然是一次能源的支柱，但其比重会略有下降。石油仍然是第二大能源。对天然气、核电和非水电可再生能源的需求会加大，但其总体比重仍然较低。水电在能源需求中的比重基本保持不变。

控排情景（Emission Control Scenario, EC）最大限度地考虑中国在不引起经济衰退下的减排潜力，为中国未来的谈判立场和政策选择提供一系列着眼点。中国将在基准情景基础上进一步采取多种致力于降低能源消耗、实现产业结构和能源结构转变的政策。采用大量的先进技术，如能效技术和部分可再生能源技术等，但不会大规模使用诸如 CCS 技术、太阳能发电、电动汽车等仍处于研发阶段的昂贵技术。在该情景下，中国的一次能源需求在 2050 年前仍将继续增长，但增速会大幅放缓。与此同时，低碳能源、非化石燃料和非水电可再生能源在总能源结构中的比重将有所上升。

减排情景（Emission Abatement Scenario, EA）最大限度地考虑中国在 2030 年达到峰值，到 2050 年在技术上能取得的减排潜力。中国政府将把 2030 年定为排放峰值年，并力争在 2050 年实现最大减排量。在 2030 年后广泛采用大量昂贵的低碳技术，如电动汽车、第四代核电以及 CCS 技术等。可再生能源技术如风能和太阳能发电也将得到最广泛的应用。在该情景下，中国的一次能源需求将在基准情景的基础上大幅下降，而与此同时，低碳能源、非化石燃料和非水电可再生能源在总能源结构中的比重将大幅上升。

二、参数设定

以 2020、2030、2050 年为目标年，为满足既定能源服务供给需求和减排需求的成本最小化，设定了相同的基本参数（表 7-3）。在未来 50 年中，中国 GDP 增长会逐渐从目前的 9.5% 下降到 2020-2030 年的 5.5%，并进一步下降到 2040-2050 年的 3.5% 左右。2030-2040 年中国人口达到峰值，为 15.4 亿左右，2050 年下降到 15 亿。2050 年的城市化率将达到 70%。从三产的结构来看，一次产业的比重将不断下降，第二产业的比重将在 2010-2015 年间达到峰值（50% 左右）并开始下降，第三产业的比重将不断上升，直至在 2050 年达到 60% 左右。

表 7-3 基本参数设定

参 数	单 位	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
GDP	10 ⁸ \$ (2005)	23601	37154	70400	120253	186750	263429
GDP 增长率	--	--	9.5%	6.6%	5.5%	4.5%	3.5%
人口	10 ⁶ 人	1308	1360	1450	1520	1540	1500
城市化率	--	43%	48%	56%	62%	66%	70%
三次产业结构	--	12:48:40	10:49:41	8:48:44	6:46:48	5:42:53	4:38:58
钢铁产量	10 ⁸ t	3.5	5.6	8.6	9.6	9.1	8.0
水泥产量	10 ⁸ t	10.7	14.3	17.9	17.2	15.1	12.9
乙烯产量	10 ⁴ t	756	1,162	1,893	2,196	2,355	2,432
合成氨产量	10 ⁴ t	4596	5075	5717	6222	6639	7013
客运量	10 ⁴ 人-km	3446	5063	8856	14085	20849	28019

货运量	10 ⁹ t-km	9394	14454	24686	38337	55398	72660
机动车拥有量	辆/10 ³ 人	24	70	190	300	356	400
城市住宅面积	m ² /人	19.2	23.0	29.0	31.0	32.5	35.0
农村住宅面积	m ² /人	29.7	32.0	36.0	40.0	43.0	45.0
公共建筑面积	10 ⁸ m ²	57	83	130	161	182	200

三、能源和碳排放水平

能源需求情景如图 7-5 所示。在基准情景下，中国未来的一次能源需求将持续上升。中国一次能源需求量从 2005 年到 2050 年年均增长 2.6%，到 2050 年则达到 71 亿 t 标煤，总增长量达到 220%。年均增速从 2010-2020 年间的 4.3% 下降到 2030—2050 年间的 1%。在该情景下，煤炭将仍然是一次能源的支柱，但其比重会略有下降。石油仍然是第二大能源。对天然气、核电和非水电可再生能源的需求会加大，但其总体比重仍然较低。水电在能源需求中的比重基本保持不变。

在控排情景和减排情景下，中国一次能源需求持续上升的态势没有得到改变，在 2050 年前一次能源需求均未出现拐点，只是其增长速度相对基准情景将大幅度放缓。在控排情景和减排情景下，中国的一次能源需求在 2005-2050 年间的年均增速将分别降为 2.1% 和 2%，并在 2050 年分别达到 57 和 55 亿 t 标准煤，相对基准情景均有大幅下降。从能源结构上看，随着核能、风能、太阳能等低碳能源的大规模应用，煤炭在一次能源结构中的比例将大幅下降，在减排和控排情景下煤炭在 2050 年的比重将分别降为 44% 和 36%。

在基准情景下，总发电量将从 2005 年的 2494 太瓦时 (TWh) 到 2050 年的 12360TWh。煤电和油电占总发电量的比重将减少。煤电发电量在 2005 年至 2050 年间将增长 4.4 倍，需要新增 1243GW 的燃煤发电站。天然气电站的发电量将从 2005 年的 12.3TWh 增加到 2050 年的 358TWh。与此同时，非水电可再生能源、燃气发电和核能的份额将大大增加，其比重将分别增加到 2050 年总发电量的 6%、2.9% 和 8.5%。水电的发电量也会略有上升。在减排和控排情景下，总发电量将从 2005 年的 2494 太瓦时分别增长到 2050 年的 10317TWh 和 9802TWh，相当于节电 17% 和 21%。非水电可再生能源的比重大幅上升，在 2050 年分别占到总发电量的 15% 和 23%。

三个情景下的二氧化碳排放情况如图 7-6 所示。在基准情景下，中国未来与能源相关的 CO₂ 排放将呈现迅猛发展的势头，2020、2030 和 2050 年的 CO₂ 排放量将分别达到 114 亿 t、139 亿 t 和 162 亿 t，2050 年前无法达到峰值。事实上，在基准情景下，中国政府也已经做出了一定程度的减排努力。

在控排情景下，中国采纳了包括提高能效和发展可再生能源在内的一系列措施，实现了可观的减排成果，但并没有大规模应用碳捕获和碳封存、太阳能发电、电动汽车等昂贵技术。与基准情景相比，在控排情景下，2020、2030 和 2050 年分别在基准情景的基础上减排了 32 亿 t、51 亿 t 和 67 亿 t CO₂，单位 GDP 的 CO₂ 排放强度分别在 2020、2030 和 2050 年的基础上降低了 51%、69% 和 85%。2030 年至 2050 年的温室气体排放增量被控制在 7 亿 t 以内，2050 年的人均 CO₂ 排放被控制在 6.3t，分别相当于日本和美国 1990 年人均 CO₂ 排放水平的 74% 和 33%。但是即便如此，考虑到社会经济持续平稳发展的需要、技术支撑体系的制约、清洁能源供给能力的制约，中国在 2050 年前仍然很难出现峰值。

在减排情景下，中国在 2030 年后考虑了能实现最大减排潜力的技术选择。研究发现，如果要使中国在 2030 年出现峰值，在技术上存在可能性，但需要付出巨大社会经济代价。在此情况下，中国 2050 年的 CO₂ 排放量最多可降低到 55 亿 t，排放强度将在 2005 年的基础上降低 91%，人均 CO₂ 排放量将降低为 3.7t/人。

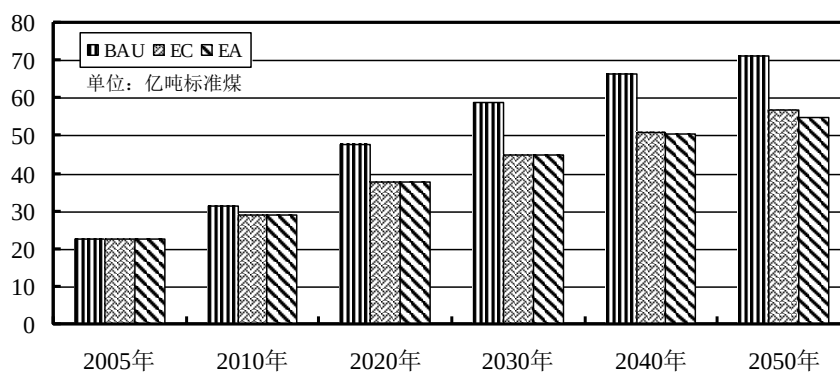


图 7-5 一次能源需求量 (PECE 模型)

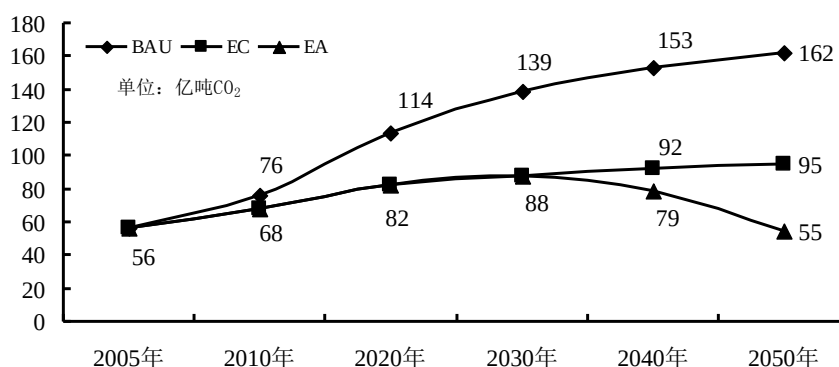


图 7-6 二氧化碳排放总量 (PECE 模型)

7.2.3 基于 STIRPAT 模型的碳排放情景

在深入研究各省、自治区、直辖市碳排放变化和影响因素的基础上，2008 年的中国能源报告将全国分为东北、京津、北部沿海、东部沿海、南部沿海、中部、西北、西南八大经济区域（不包括港澳台和西藏地区）。其中，东北区域包括黑龙江、吉林、辽宁；京津区域包括北京和天津；北部沿海区域包括河北和山东；东部沿海区域包括江苏、浙江、上海；南部沿海区域包括福建、广东、海南；中部区域包括山西、河南、湖北、湖南、江西、安徽；西北区域包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古；西南区域包括云南、贵州、四川、广西、重庆。然后根据不同区域的发展趋势，运用 STIRPAT 模型对中国 2005-2030 年的碳排放情景进行了分析。

一、情景描述

基于 STIRPAT 模型对中国历史数据的分析结果，发现人口、经济、技术、城市化率对二氧化碳排放有较大的影响，因此对 2005-2030 年中国的经济发展、人口增长、城市化率以及技术发展情况设置了五个情景。

第一个是基准情景 (Business As Usual, BAU)，结合近年来的宏观经济走势，假设 2005-2010 的年均经济增速为各地区“十一五”规划的算术平均值。2010-2030 年仍然保持较快增长；技术中速进步，达到了预定的节能目标。

第二个是低经济增长情景 (Low Economic Growth, L)，假设各种风险和挑战导致经济增长速度下降，低于基准情景；同时城市化进程也以较低的速度推进。

第三个是高经济增长情景 (High Economic Growth, H)，在 BAU 情景的基础上强调经济

高速增长。

第四个是经济与人口高增长情景（High Economic Growth and High Population, HP），在 H 情景的基础上强调人口高速增长。

第五个是经济与技术高增长情景（High Economic Growth and High Technology, HT），在 H 情景的基础上假设技术效率取得了比预定的节能规划更大的进步。

二、参数设定

根据中央提出的“在优化结构、提高效益、降低消耗、保护环境的基础上，实现人均国内生产总值到 2020 年比 2000 年翻两番”的奋斗目标，人民生活水平大幅度提高，城市化进程加速推进，家电消费迅速增长，汽车也将越来越多地进入家庭，从而带来家庭用能需求的增加；“到 2020 年中国基本实现工业化”意味着工业生产的规模仍要扩大；同时城市化进程的加快发展还将大大推动服务业、交通运输业加速发展，因而未来 20 年生产用能也会显著增加。因此，与能源利用相关的二氧化碳排放也将不可避免地显著增加。从发达国家的历史经验来看，可以预见中国今后的经济增长速度将逐步放缓。据此，设定了 2010-2030 年的经济增速情景，同时假设各地区的经济增速将逐步趋近相同，体现出一定的收敛性特征。模型参考了《国家人口发展战略研究报告》（国家人口发展战略研究课题组，2007）对未来中国人口变化的预测结果。结合人口情景和国家有关城市化的文件，设定了各经济区域未来城市化进程情景。模型中还设定了两套可能的技术进步方案，并假设各地区采取相同的技术进步速度。

表 7-4 碳排放主要驱动因素参数设定

参数	情景	2005-2010 年		2010-2015 年		2015-2020 年		2020-2030 年	
经济增长率	基 准	10.1%		8.5%		7.5%		6.5%	
	低增长	9.0%		7.5%		6.5%		5.5%	
	高增长	10.5%		9.5%		8.5%		7.5%	
参数	情景	东北区域	京津区域	北部沿海区域	东部沿海区域	南部沿海区域	中部区域	西北区域	西南区域
2020 人口（亿）	中方案	1.20	0.32	1.81	1.63	1.61	3.89	1.38	2.67
	高方案	1.23	0.33	1.84	1.66	1.64	3.97	1.41	2.72
2030 人口（亿）	中方案	1.24	0.33	1.85	1.68	1.67	3.98	1.42	2.73
	高方案	1.27	0.34	1.90	1.72	1.71	4.09	1.46	2.80
2020 城市化率	中方案	55.21%	84.77%	56.54%	66.45%	62.13%	48.55%	45.31%	42.55%
	低方案	56.25%	86.37%	57.61%	67.70%	63.30%	49.47%	46.16%	43.35%
2020 城市化率	中方案	58.19%	90.62%	62.87%	72.15%	66.87%	53.88%	49.40%	47.02%
	低方案	59.69%	92.97%	64.50%	74.02%	68.60%	55.27%	50.67%	48.23%
参数	情景	要 求							
能效进步	中方案	能源利用效率的提高达到了国家既定的节能规划目标，并依据该目标值对 2030 年的效率值做了预期							
	高方案	能源利用效率取得了比预定的节能规划更大的提高，两个情景分析年份各部门能源利用效率改进幅度都在现有节能规划相应目标的基础上再提高 5%							

三、碳排放总量

根据 STIRPAT 模型和相应的参数指标，将各区域的数值加总，得到不同情景下全国的二氧化碳排放总量，如图 7-7 所示。2020 年和 2030 年基准情景下全国的二氧化碳排放量分

别为 92.36 亿 t 和 115.39 亿 t。在基准情景的基础上，如果 2005-2020 年间和 2020-2030 年间 GDP 的年均增长速度分别提高 0.8 个百分点和 1 个百分点（情景 H），则 2020 年和 2030 年全国的二氧化碳排放量将分别增加 10.67 亿 t 和 25.92 亿 t。在经济高速增长时，如果放松对人口增长的控制，使得 2005-2020 年间和 2020-2030 年间人口平均增速分别提高 0.14 个百分点和 0.06 个百分点（情景 HP），则相对于基准情景 2020 年和 2030 年全国的二氧化碳排放量的增加幅度将分别为 12.8 亿 t 和 29.7 亿 t。反之，如果在经济高速增长的同时也能加大推动技术进步的力度，使得各区域各部门的能源利用效率改进幅度都在现有节能规划相应目标的基础上再提高 5%（情景 HT），则相对于基准情景 2020 年和 2030 年全国的二氧化碳排放量的增加幅度将分别降低为 0.62 亿 t 和 8.8 亿 t。

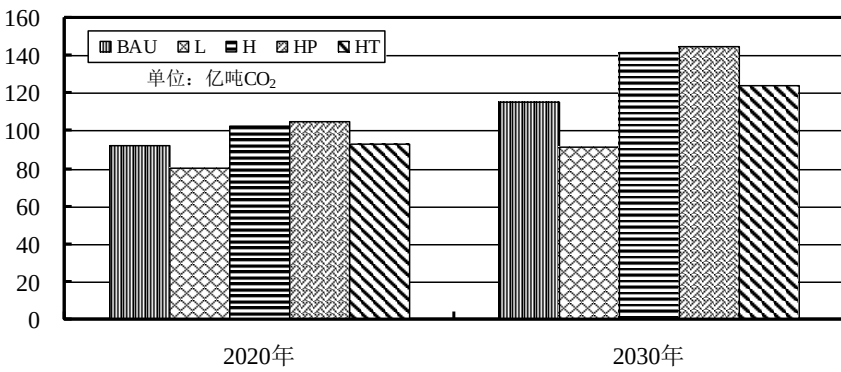


图 7-7 不同情景下 2020 年和 2030 年全国二氧化碳排放总量

7.3 碳排放情景分析结论及建议

7.3.1 碳排放情景分析主要结论

上述三项碳排放情景研究成果分别基于 IPAC 的 CGE-Emission-AIM 子模型、PECE 技术优化模型以及 STIRPAT 随机模型，由不同的机构完成，具有各自的优势和局限。第一、二项研究的参数设定详细周密。第一项研究中的经济增长率参数设置不太合理，中国十二五规划中已经明确 2010-2015 年 GDP 的平均增长速度为 7%，根据经济发展规律，2015-2020 年的增速应该还要在此基础上有所降低，因此将 2010-2020 年 GDP 的平均增长速度定为 8.38% 显著偏高。第二项研究中在计算减排成本时，物质资本的贴现率设置为 12%，大大高于 Nordhaus 在 DICE 模型中所建议的 3% 的贴现率。设置如此高的贴现率过度强调减排的成本，实际上忽略了气候变化的不可替代性。第三项研究富有新意地将中国情景细化到区域层面，但是由于设置了过多的情景，影响到了分析的简洁性和有效性。通常在情景分析过程中设定三种情景，最多不宜超过四种，否则反而会使得在政策选择时无所适从。

各项研究计算出来的结果不尽相同，但是从中能看出中国低碳发展的大致前景。未来三、四十年内，中国能源需求将持续攀升。在所有的场景中，不论 2005-2030 年间，还是 2030-2050 年间，能源需求量都是逐步递增的。中国仍然是一个发展中的大国，目前还有超过 1 亿的贫困人口，要想在 2050 年达到当前中等发达国家的发展水平，没有能源资源作为后盾是不可能的，如此直接给二氧化碳的减排造成了不小困难。在所有的基准情景中，碳排放呈现逐步上升趋势。而在 IPAC 模型的低碳情景中，从 2040 年开始，二氧化碳排放量渐趋平稳（88 亿 t 左右）。只有在理想的情景，即 IPAC 模型的强化低碳情景和 PECE 模型的减排情景中，2030 年才达到了碳排放的峰值。

7.3.2 碳排放情景分析建议

中国能源消费和碳排放总量已列居全球首位，在 2030 年左右使碳排放达到峰值，既是应对国际社会舆论压力的需要，也是国内实现绿色跨越发展的契机。在此，对未来的碳排放情景研究提出两点建议：

一是要将非技术路径与技术路径结合，全面挖掘减排潜力。现在的分析大多数是技术导向的，而不是发展导向的。在现代化方面，虽然强调了生活水平的改善、低碳家用电器和低碳汽车的普及等等，但忽视了消费理念的深刻变革。如果从现在开始考虑人们低碳意识的提高，即日益倾向于采用耐用型的生活用品、选取租赁型的住房模式以及共享型的交通工具，则可以使碳排放大幅度减少；在城市化方面，虽然注重低碳设施的建设以及绿化范围的扩展，但是缺少对城市化模式的深入探讨，如果全国形成以长三角、珠三角、环渤海等 6-7 个大的城市带，容纳 70-80%的总人口，在城市内部建设紧凑型的社区，不仅可以实现规模经济效益、营造社会和谐，而且可以释放大量的自然生态空间。

二是要摒弃 GDP 主义的思想，提高人们总体福利水平。现有的分析大多数是经济导向的，而不是福利导向的。虽然认识到要逐步放缓经济增长速度，但主要是从传统的环境经济学视角来分析问题，运用外部性理论来解释环境对经济系统的影响。本质上仍将生态视为经济的附属系统。虽然强调优化产业结构，但很大原因是基于能源利用效率提高的考虑，即用更少的能源换取更多的经济产出。本质上仍将 GDP 视为福利的同义语。因而需要用生态经济学替代新古典经济学研究范式，不是被动地应对气候变化，而是主动地培育自然资本。不是单纯地追求经济增长，而是全面提高经济社会总体福利水平和生活质量。

第八章 碳排放福利绩效及其影响因素

8.1 碳排放福利绩效的相关研究

8.1.1 测量福利的主要指标

一、基于市场定价的收入指标

1930年代后期，西蒙·库兹涅茨应美国政府商务部要求，领衔研究国民收入核算问题。1937年他提交了名为《国民收入（1929-1935）》的研究报告，标志着第一套实用的国民经济账户的诞生。1941年他发表了重要著作《国民收入及其构成》，把以往对国民收入的研究系统化、理论化，详细阐述了国民收入及其构成的含义及运用现有资料估算国民收入的过程，为西方现代国民收入核算体系奠定了基础。1947年国民经济核算体系问世后，以GNP或GDP为代表的宏观收入和生产指标被广泛地用作福利的替代指标。

1972年美国经济学家托宾和诺德豪斯针对GDP/GNP不能准确反映经济福利的缺陷，提出了经济福利测量指标MEW（Measure of Economic Welfare）。用GNP减去私人工具性支出、耐用品支出、私人健康和教育支出等项，加上耐用品资本服务、闲暇、非市场活动、政府消费和政府资本服务等项，最终得到MEW。MEW的主要局限是没有考虑修正环境的成本以及分配效果的变化。

为了取代MEW，戴利、科布等人相继在1989、1995年开发了可持续经济福利指数ISEW（Index of Sustainable Economic Welfare）和真实进步指标GPI（Genuine Progress Indicator）。ISEW也是基于GNP，从以下方面进行调整：收入不均等、非预防性公共支出、资本增长和国际头寸的净变化、对福利的非货币化贡献（如不付酬的家务劳动）、私人预防性支出、环境降级的成本和环境资本存量折旧。对ISEW在福利测度方面的批评主要有：ISEW在福利指标选择和估值方法方面很大的主观性；此外ISEW忽略了人力资本因素。与ISEW相比，GPI中添加了志愿活动、原始森林资源损耗和闲暇指标。GPI和ISEW在指标构造上非常接近，所以对ISEW的很多批评都适用于GPI。

二、基于可行能力的人类发展指标

诺贝尔经济学奖获得者阿马蒂亚·森认为福利的高低取决于获取福利的能力。在《商品与可行能力》（1985）中，森提出了人的“可行能力”概念，为人类发展理论的形成奠定了基础。可行能力是指人们做自己想做的事情以及实现自己想实现的状态的能力，主要包括健康、教育、体面的生活以及主体性等内容。人类发展理论承认物质财富的增长具有重要的意义，但是其意义仅是工具性的，即它为人的可行能力扩展提供了基本的物质基础和手段。然而，对财富的追求并不是人们的终极目标。在哈克的带领下，联合国开发计划署（United Nations Development Programme, UNDP）开发了人类发展指数HDI（Human Development Index），以反映人类福利或生活质量。从1990年开始每年发表一份全球《人类发展报告》，报告中同时公布各国的HDI。《1990 年人类发展报告》开宗明义地指出“人是一个国家真正的财富”。人类发展是一个不断扩大民众各种选择的过程，包括选择的范围、选择的自由以及选择的能力。

HDI由收入、教育、寿命三个方面的指标组合而成。从理想角度讲，要核算和测定人类发展，应当囊括尽可能多的变量，以了解和反映更全面的情况。但太多的指标有可能会带来

难以辨别、以至无所适从的尴尬图景，导致政策制定者的关注偏离关键的问题。鉴于此，UNDP认为应当选择数量不多的关键性指标，构成与其发展观匹配的发展尺度。

三、基于满意程度的幸福指标

近年来，有关主观福利（Subjective Well-being, SWB）或幸福（Happiness）的研究大量涌现，主要测量的人们对生活的满意度。影响较为广泛的测量方法有卡尼曼的日重现法（Day Reconstruction Method, DRM）和世界价值研究机构（World Value Survey, WVS）的幸福调查方法。DRM是根据一定问题的框架，引导被测试者回忆、再现一天中有关快乐与幸福的状态，并对这种状态进行评估的测量方法。WVS主要通过问两个问题来得到主观福利水平。两个问题分别为：“把所有的事情加在一起，你认为你是：非常幸福、十分幸福、不很幸福，还是不幸？”；“考虑所有的事情，这些天你自己的生活满意度是多少（用1到10衡量）？”幸福研究的不足在于，主观感受因人而异，不同的人对于同样境况的满意度估值不同。即使是同一个人，在不同的时间对同一种境况的满意度估值也会出现偏异，由此统计出来的平均满意分数实际上是不准确的。此外，当前该数据库的数据并不完整，有许多国家不在统计范围之内，而且统计调查间隔期未形成定制。

每一种福利指标和方法都有各自的优缺点。总体而言，采用人类发展指数HDI来作为福利的测量指标较为合适，主要理由如下：HDI集成地反映了人类福利的基本内涵，既包括基于国民所得的经济性福利，又包括了基于社会选择的非经济性福利。其次，HDI是一个综合指数而不是过多的独立指标，只涉及到几个关键变量，便于计算和分析。再者，从1990年开始各国历年的HDI都由联合国开发计划署公布，指标具有横向和纵向可比性。

8.1.2 碳生产率研究

在低碳经济研究中，有多种指标和方法可以用来评价碳排放绩效。Mielnik和Goldemberg（1999）建议用“碳化指数”（单位能源消费的碳排放水平）来考察各国在气候变化大背景下的碳排放演进模式。Ang（1999）认为能源强度（单位GDP的能源消费）是一个测度碳排放绩效的有效指标。Sun（2005）则强调碳排放强度（单位GDP的CO₂排放）在低碳研究中的重要性。著名咨询机构麦肯锡公司（2008）指出，发展低碳经济关键是要大幅度提高碳生产率（单位CO₂排放的经济产出）。Zhou等（2010）主张用DEA方法从全要素生产率的角度研究碳排放绩效。其中有关碳生产率的研究影响较为广泛。

“碳生产率”一词，理论基础在于1990年代以来生态经济学有关资源生产率的研究，直接来源则是麦肯锡咨询公司2008年10月发布的一份题为《碳生产率挑战：遏制全球变化，保持经济增长》的报告，报告明确提出任何成功的气候变化减缓技术必须支持两个目标——既能稳定大气中的温室气体含量，又能同时保持经济的增长，从而实现经济对于二氧化碳的脱钩发展。碳生产率被定义为在一段时期内国内生产总值（GDP）与同期二氧化碳排放量之比，反映了单位二氧化碳排放所产生的经济效益。碳生产率从经济学的角度将碳作为一种隐含在能源和物质产品中的要素投入，衡量一个经济体消耗单位碳资源所带来的相应产出。碳生产率是与劳动生产率、资本生产率一脉相承的概念，目的在于精明、节约地使用稀缺要素。

何建坤、苏明山（2009）从碳生产率增长率的变化、碳生产率的发展趋势、提高碳生产率的因素分解等方面，对中国碳生产率的过去、现在和未来进行了计算与分析。指出提高碳生产率的根本措施在于以下三方面：一是转变发展方式和消费方式，降低经济和社会发展对能源服务的需求；二是提高能源转换和利用效率，节约能源；三是大力发展可再生能源、核能、天然气等无碳或低碳能源。朱守先（2009）认为衡量低碳发展水平的核心在于资源禀赋、技术水平及消费方式，并选取了人均碳排放、碳生产率、碳能源排放系数作为判断城市低碳

发展的三个指标，对中国北京、天津、上海、广州、重庆五个大城市的低碳发展水平进行了实证分析。英国第三代环境主义组织和澳大利亚气候研究机构于2009年联手完成了一项基于碳生产率的国家低碳竞争力的研究成果，他们把国家的低碳竞争力定义为“未来低碳发展方式下，各国为其人民创造繁荣的能力”。他们建立了基于现状指标（静态分析）、改进指标（动态分析）和缺口指标（目标情景分析）等三类指标的低碳竞争力指数，运用这些指标对二十国集团的低碳竞争力进行了初步的评价。

毋庸置疑，碳生产率是发展低碳经济的一个极为重要的指标，其原因就在于它可以清晰地告诉我们，当下的经济面临严峻的自然资本稀缺。碳生产率指标的不足之处在于，其分子GDP表征的是市场性福利，而无法表征非市场性福利，如社会就业、身体状况、教育水平以及社会公平等等。碳生产率指标的一个潜在假设就是，在控制自然资本的情况下，GDP越大社会福利越多，从而人们生活质量越高。但诸多的理论和事实已经证明，经济增长一开始对福利的提高是有很大贡献的，但是逐渐地其贡献会越来越小，当超越某一点时，经济增长非但不能促进福利的提高，反而会使福利遭遇减损，这一转折点也就是生态经济学家所说的“福利门槛”。因此碳生产率指标虽然考虑了自然资本对于经济社会发展的局限，但最终的导向仍然是非可持续性。

潘家华（2002）、胡鞍钢（2008）提出了需要将二氧化碳排放与人文发展指数结合起来进行研究的深刻洞见，对中国的低碳发展提出了富有新意的讨论。在此基础上，谌伟和诸大建（2011）认为需要构建低碳发展型的分析框架（见图8-1），他们将碳排放福利绩效（Wellbeing Performance of Carbon Emissions, WPCE）定义为人类发展水平与人均碳排放（Carbon Emissions Per Capita, CEPC）的比值，对中美英三国的碳排放福利绩效进行了比较，并运用 LMDI 方法测量了碳生产率及经济福利绩效这两个因素对碳排放福利绩效的影响。鉴于 HDI 是无量纲的指数，刘国平和朱远（2011）将碳排放数据进行标准化^①，构建了一个无量纲的碳排放福利绩效指标，其值等于人类发展指数与碳排放指数（Carbon Emission Index, CEI）之比。本章接下来运用该指标对中国国家及省域层面的碳排放福利绩效进行考察，并对碳排放福利绩效的变化进行因素分解，以测量不同因素对总效应的贡献，最后根据所得出的结论提出对策建议。

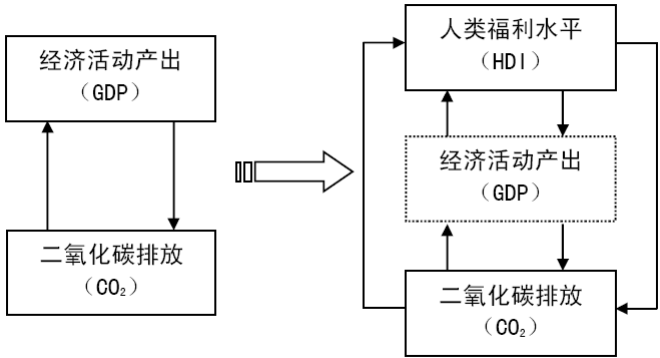


图 8-1 从低碳型经济的分析到低碳型发展的分析

^① $CEI = (\ln(x) - \ln(100)) / (\ln(55100) - \ln(100))$ ，式中， x 为年度人均实际碳排放量，55100 和 100 分别为年度人均碳排放量的最大值与最小值。当前国际上公布碳排放数据的机构主要有世界资源研究所（WRI）、国际能源署（IEA）、美国橡树岭国家实验室二氧化碳信息分析中心（CDIAC）、世界银行（WB）以及美国能源署（EIA）等等，而 WRI 的数据是在其他机构数据的基础上，综合考虑了完整性、准确性、时间跨度以及覆盖国家数四方面的因素整理得出的，因而最为可靠。在 WRI 的 CAIT 数据库中，各国历年人均碳排放最大值为 55.1t（卢森堡，1960 年和 1961 年），最小值为 0t，其次为 0.1t。根据自然对数函数以及碳排放的特性，只有当 $\ln(x)$ 中的 $x \geq 1$ 时，所建立的碳排放指数才有实际意义。合理的方法是在指数化时，将单位由 t 转换为 kg，因此人均碳排放的最大值和最小值分别设定为 55100kg（55.1t）、100kg（0.1t）。

8.2 碳排放福利绩效现状

8.2.1 国家层面碳排放福利绩效

二十国集团（G20）在世界经济发展和控制气候变化中扮演着举足轻重的角色，该集团人口约 40 亿，生产总值及温室气体排放总量分别占世界的 85%和 69%。中国是最大的发展中国家，同时也是 G20 的成员国之，将中国与其他 G20 成员国的碳排放福利绩效一同分析有利于更好地把握世界低碳发展的格局，判断中国目前所面临的机遇和挑战。

各国人类发展指数来源于联合国开发计划署《2009 年全球人类发展报告》。人均国内生产总值数据来源于世界银行的世界发展指标（WDI），碳排放数据可以从世界资源研究所官方网站的 CAIT（Climate Analysis Index Tools）数据库获取。国际上公认 1990 年为承担减排责任的起始时间，CAIT 的温室气体排放最新数据截止于 2007 年。根据无量纲的碳排放福利绩效指标公式，计算得出各国 1990-2007 年的碳排放福利绩效（见表 8-1）。

表 8-1 1990-2007 年 G20 国家碳排放福利绩效

国 家	代 码	1990	1995	2000	2005	2006	2007	均值
阿根廷	ARG	1.451	1.463	1.468	1.495	1.483	1.453	1.469
澳大利亚	AUS	1.129	1.167	1.161	1.161	1.161	1.167	1.158
巴 西	BRA	1.698	1.671	1.693	1.726	1.732	1.713	1.706
加拿大	CAN	1.162	1.164	1.156	1.177	1.189	1.178	1.171
中 国	CHN	1.281	1.258	1.393	1.269	1.251	1.239	1.282
法 国	FRA	1.380	1.412	1.418	1.445	1.459	1.475	1.432
德 国	DEU	1.177	1.236	1.267	1.291	1.290	1.301	1.260
印 度	IND	1.586	1.468	1.524	1.569	1.534	1.506	1.531
印度尼西亚	IDN	1.792	1.732	1.610	1.646	1.660	1.603	1.674
意大利	ITA	1.304	1.324	1.343	1.360	1.368	1.378	1.346
日 本	JPN	1.288	1.287	1.301	1.313	1.319	1.319	1.305
韩 国	KOR	1.252	1.183	1.199	1.262	1.268	1.266	1.238
墨西哥	MEX	1.367	1.398	1.421	1.434	1.434	1.424	1.413
俄罗斯	RUS	1.034	1.047	1.073	1.082	1.083	1.089	1.068
沙特阿拉伯	SAU	1.003	0.997	1.045	1.062	1.060	1.055	1.037
南 非	ZAF	1.027	1.023	1.026	1.001	0.997	1.002	1.013
土耳其	TUR	1.382	1.383	1.368	1.437	1.402	1.379	1.392
英 国	GBR	1.227	1.300	1.304	1.328	1.326	1.338	1.304
美 国	USA	1.103	1.123	1.126	1.140	1.145	1.147	1.131

1990-2007年中国碳排放福利绩效平均值为1.282，在19个G20国家中排名第11，处于中等偏后位置。18年间绩效呈现下滑趋势，1990年为1.281，2007年为1.239。因此无论从静态还是从动态角度，中国目前都不具备低碳竞争优势。造成中国碳排放福利绩效低下的主要原因有：（1）城市化发展快速推进。一般而言，城镇居民的人均碳排放量要高于农村居民，城市化进程的推进会引起大规模的城市基础设施和住房建设，同时也会扩大对其他各项公共服务的需求。中国1990年的城市化率为26.41%，2007年达到44.94%，城市人口增加2.92亿。随

随着生活能源消费的增长以及城市基础设施的投入运行，中国城市碳排放显著上升。根据诺瑟姆曲线理论，城市化率处于30-70%之间时为快速城市化阶段，中国减排压力将日益加大。(2) 产业结构重型化。在三次产业中，第二产业的碳排放强度最高。1990年中国三次产业结构比为27.1: 41.3: 31.6，2007年为10.8: 47.3: 41.9，第二产业比重有所增加，其中又以重工业的发展最为迅速，钢铁、化工原料、建材水泥、电力、采掘、石油加工、有色冶金等高能耗工业产业增加值的比例不断提高，导致整体经济的能源消费和碳排放总量急剧攀升。(3) 能源消费结构以煤炭为主。在各项能源中，煤炭的碳排放系数最高，每使用1t煤大约能排放2.45t二氧化碳。1990年中国能源消费总量为9.87亿t标准煤，其中煤炭消费占76.2%，水能、核能以及风能消费占5.1%，2007年能源消费总量为28.05亿t标准煤，煤炭消费比重为71.1%，水能、核能、风能消费比重为6.8%。近期内中国以煤炭消费为主的格局不会有大的改变。(4) 服务效率低下。从1990-2007年中国经济增速很快，但经济增长的服务水平不高。在构成人类发展指数的三个指数当中，GDP指数从0.410增至0.665，增幅为62.2%，教育指数从0.697增至0.851，增幅为22.09%，寿命指数从0.717增至0.799，增幅仅为11.44%。教育指数与寿命指数的增幅明显小于经济增长幅度，可见经济增长并没有很好地推动教育和医疗卫生领域的改善。

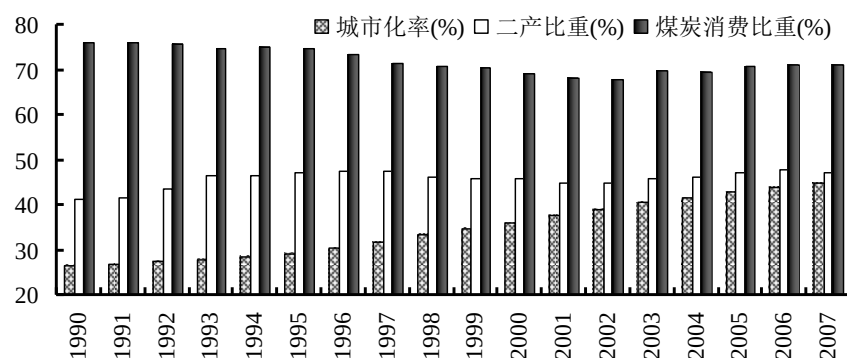


图 8-2 中国城市化率、二次产业及煤炭消费比重

资料来源：中国统计年鉴，2010

以历年的平均值而言，绩效排前五名的国家是巴西、印度尼西亚、印度、阿根廷和法国。其中巴西、印度尼西亚和印度三个国家到2007年的人均碳排放量分别只有2t、1.8t、1.3t，远远低于4.5t的世界平均水平，因而获得了相当高的碳排放福利绩效。特别是巴西，其2007年的人类发展指数达到了0.813，按照联合国开发计划署的划分标准，这已经是属于高福利水平国家的行列了。

各国18年间的碳排放福利绩效增量如图8-3所示。二十国集团中，有14个国家的碳排放福利绩效呈现上升的趋势，以德国的增量最大。德国作为最早实施可持续发展战略的国家，绿色研发机构众多，而且在政府、企业、社会各个层面已形成自觉的生态环境意识，具备良好的循环经济和低碳经济基础。1990年德国的人均碳排放量为12.2t，2007年下降为10.2t，而同期人类发展指数由0.896提高到0.947，在降低碳排放的同时提高了福利，碳排放福利绩效增加0.124。英国从1990年代开始致力于经济增长方式的转型，大力发展创意产业。2003年英国政府基于能源安全及气候变暖的考虑，率先发起低碳经济革命，低碳发展成果显著。1990-2007年，人类发展指数提高了0.056，人均碳排放量减少了1.1t，碳排放福利绩效增加0.112。紧随德国、英国之后，碳排放福利绩效排名第三的是法国。由于能源资源的贫乏，法国从上世纪60年代起就积极实施能源转换政策，大力发展核能及可再生能源，目前其电力供应85%以上依靠核能，因而碳排放量比其他发达国家少。1990年法国人均碳排放量为6.4t，

2007年下降为6.1t, 但福利水平仍然有较大幅度的提高, 人类发展指数由1990年的0.909上升到2007年的0.961。墨西哥的发展模式也很值得效仿, 18年间其人均碳排放量由3.7t增加到4.3t, 人类发展指数由0.782上升到0.854, 以低于世界平均的人均碳排放量取得了较高的福利。

值得注意的是, 从1990-2007年俄罗斯的人均碳排放量由15t减少到11.4t, 人类发展指数由0.821下降到0.817, 最后碳排放福利绩效有较大的提高, 但以降低人类发展水平为代价来减少碳排放量和提高碳排放绩效的做法并不值得推崇, 减排的终极目的是提高总体福利, 并不是为减排而减排, 否则回归原始社会便成为人类最优的选择, 这显然是非常荒谬的。此外, 澳大利亚、美国、加拿大的碳排放福利绩效虽然都有所改善, 但是三个国家历年的人均碳排放远远高于世界平均水平, 2007年它们的人均碳排放水平分别为19t、19.3t、17.7t, 其中美国甚至有部分年份超过20t, 因此必须大幅度削减碳排放量, 这种沿袭传统高消耗高排放的“一切照旧 (Business As Usual)”发展模式应该为其他国家所摒弃。

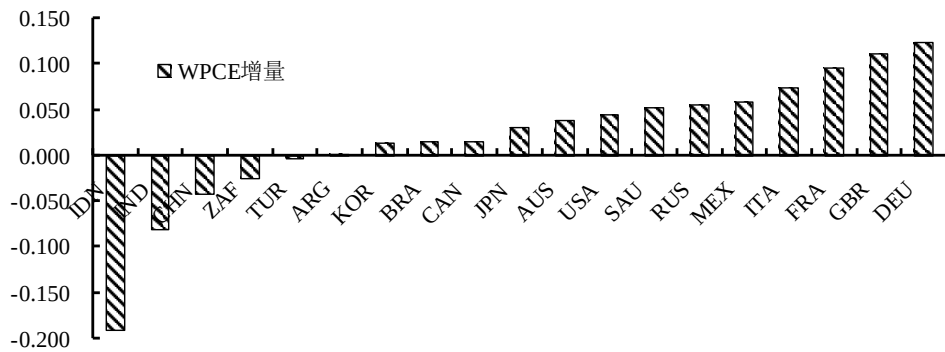


图 8-3 1990-2007 年 G20 国家碳排放福利绩效增量

8.2.2 中国省域层面碳排放福利绩效

中国区域发展不平衡, 因而需要对各省市区的碳排放福利绩效作进一步的研究, 从而制定有针对性的低碳政策。各地区历年的人类发展指数和经济增长指数 (Economic Growth Index, EGI) 数据来源于已经发布的中国人类发展报告^①。碳排放总量根据各种能源消费量与其碳排放系数相乘得到^②, 用碳排放总量除以年初和年末人口的平均数, 得到各省历年的人均碳排放量。

按照碳排放福利绩效指标公式, 计算得到中国省域历年的碳排放福利绩效。表 8-2 显示, 以 5 年的平均值来看, 碳排放福利绩效前五名的省市区依次为海南、广西、四川、江西、福建, 绩效最低的五个省市区分别为宁夏、内蒙古、山西、青海、辽宁。前五个省市区的福利属于中等发展水平, 分别为 0.722、0.698、0.687、0.693、0.745, 但其碳排放水平却非常低, 各年平均为 1.7t、1.7t、1.7t、1.8t、2.5t, 因而取得较高的碳排放福利绩效。后五个省市区的福利水平也同样是中等发展水平, HDI 平均值分别为 0.679、0.710、0.726、0.635、0.772, 而碳排放水平较高, 分别为 7.8t、7.0t、6.9t、3.5t、7.1t, 因此碳排放福利绩效非常低。值得注意的是, 作为经济发达地区代表的北京、上海、天津三个直辖市, 其碳排放福利绩效处

^① 1997 年重庆恢复为直辖市之后, 中国行政区划基本未作变动, 因而收集了 1997 年、1999 年、2003 年、2005 年、2008 年的中国人类发展指数, 分别来自 1999 年、2002 年、2005 年、2007/2008 年和 2009/2010 年的中国人类发展报告。为使分析具有可比性, 文中把历年人均 GDP 折算成 2007 年的购买力平价 (PPP, constant 2007 international \$), 重新核算各省历年的经济长指数和人类发展指数。

^② 历年《中国能源统计年鉴》的地区能源平衡表 (实物量) 公布了各种能源的终端消费量, 平衡表上列出了 20 个能源种类: 原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、天然气、其他石油制品、其他焦化产品、热力、电力、其他能源。

于靠后的位置，虽然它们的福利水平很高，分别为 0.838、0.858、0.816，但人均碳排放也很高，分别为 8.8t、10.0t、9.0t。从中可以看出，中国区域发展很不均衡，碳排放最高的城市为上海（10t），最低的是四川（1.7t），变异系数高达 55.79%。福利水平最高的也是上海（0.858），最低的是贵州（0.612），相差 0.246。如果以碳排放和福利水平对区域进行二维分类，HDI 以 0.8 为界线，碳排放以 2007 年世界平均值（4.5t）为界线，各省市区分属于低福利低排放、低福利高排放、高福利高排放三类，唯独没有出现高福利低排放的绿色类型。

表 8-2 1997-2008 年中国省域碳排放福利绩效

地 区	1997	1999	2003	2005	2008	均值
北 京	1.099	1.177	1.192	1.205	1.233	1.181
天 津	1.130	1.163	1.165	1.157	1.144	1.152
河 北	1.220	1.262	1.203	1.139	1.154	1.196
山 西	1.078	1.147	1.075	1.079	1.099	1.096
内 蒙 古	1.079	1.161	1.128	1.047	1.038	1.091
辽 宁	1.101	1.182	1.197	1.141	1.138	1.152
吉 林	1.150	1.273	1.435	1.221	1.211	1.258
黑 龙 江	1.206	1.278	1.358	1.298	1.302	1.288
上 海	1.135	1.159	1.222	1.190	1.187	1.179
江 苏	1.330	1.392	1.395	1.251	1.239	1.321
浙 江	1.394	1.415	1.354	1.261	1.241	1.333
安 徽	1.393	1.417	1.405	1.358	1.365	1.388
福 建	1.647	1.648	1.520	1.325	1.313	1.491
江 西	1.598	1.674	1.568	1.458	1.416	1.543
山 东	1.339	1.379	1.343	1.185	1.190	1.287
河 南	1.435	1.478	1.465	1.309	1.293	1.396
湖 北	1.324	1.356	1.406	1.333	1.308	1.345
湖 南	1.490	1.658	1.641	1.345	1.314	1.490
广 东	1.456	1.462	1.388	1.350	1.362	1.404
广 西	1.726	1.769	1.641	1.469	1.476	1.616
海 南	1.884	1.846	1.606	1.599	1.481	1.683
重 庆	1.364	1.297	1.537	1.353	1.280	1.366
四 川	1.489	1.679	1.683	1.549	1.472	1.574
贵 州	1.145	1.200	1.165	1.117	1.205	1.166
云 南	1.400	1.562	1.370	1.215	1.287	1.367
陕 西	1.315	1.480	1.445	1.317	1.318	1.375
甘 肃	1.184	1.219	1.242	1.148	1.177	1.194
青 海	1.058	1.178	1.193	1.197	1.116	1.148
宁 夏	1.077	1.118	0.920	0.982	1.015	1.022
新 疆	1.115	1.203	1.214	1.098	1.145	1.155

从碳排放福利绩效的变化量来看（见图 8-4），1997-2008 年只有 11 个省市区的碳排放福利绩效有所增加，增量最多的五个省市区为北京、黑龙江、吉林、贵州、青海。它们的 HDI 增加值分别为 0.124、0.128、0.141、0.135、0.190，相对而言，碳排放指数的增量不大，

分别为 0.025、0.057、0.087、0.088、0.144。其余 19 个省市区的碳排放福利绩效都有所下降，降幅最大的五个省市为海南、福建、广西、江西、湖南，11 年间它们的 HDI 分别增加了 0.117、0.124、0.138、0.126、0.131，而碳排放指数 CEI 的增量更大，分别为 0.175、0.200、0.156、0.140、0.158，导致碳排放福利绩效下降。结果表明，大幅度提高碳排放福利绩效在中国具有很强的现实紧迫性。

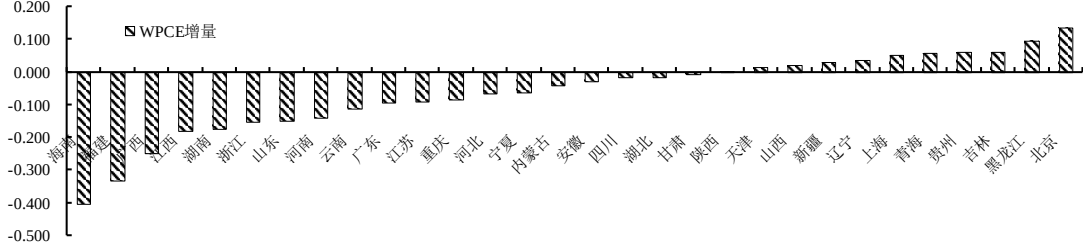


图 8-4 1997-2008 年中国省域碳排放福利绩效增量

8.3 碳排放福利绩效影响因素的贡献测量

8.3.1 碳排放福利绩效的影响因素及其贡献测量方法

著名生态经济学家戴利认为，自然资源是最根本的物质手段，福利是终极目标，经济增长是中间目标，同时也是中间手段。因此可以将碳排放福利绩效（Wellbeing Performance of Carbon Emissions, WPCE）表示为碳排放经济绩效（Economic Performance of Carbon Emissions, EPCE）与经济福利绩效（Wellbeing Performance of Economic Growth, WPEG）的乘积，如公式（8-1）所示。

$$WPCE = \frac{HDI}{CEI} = \frac{EGI}{CEI} \times \frac{HDI}{EGI} = EPCE \times WPEG \quad (8-1)$$

式中，CEI、EGI、HDI分别为碳排放指数、经济增长指数和人类发展指数； $EPCE = EGI/CEI$ ， $WPEG = HDI/EGI$ ，分别代表碳排放经济绩效和经济福利绩效。

对数平均迪氏指数分解模型（Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI）广泛应用于能源消费以及碳排放的影响效应研究。该模型同样可以用来量化碳排放经济绩效和经济福利绩效两个因素对碳排放福利绩效的贡献大小。根据 LMDI 模型，设定从 0 年到 t 年的碳排放福利绩效变化为总效应 $WPCE_{effect}$ ，而 $EPCE$ 变化对总效应的贡献称为技术效应 TEC_{effect} ， $WPEG$ 变化对总效应的贡献称为服务效应 SER_{effect} ，总效应等于技术效应与服务效应之和，各效应值的计算方法为：

$$WPCE_{effect} = WPCE_t - WPCE_0 = TEC_{effect} + SER_{effect} \quad (8-2)$$

$$TEC_{effect} = \frac{WPCE_t - WPCE_0}{Ln(WPCE_t) - Ln(WPCE_0)} \times Ln\left(\frac{EPCE_t}{EPCE_0}\right) \quad (8-3)$$

$$SER_{effect} = \frac{WPCE_t - WPCE_0}{Ln(WPCE_t) - Ln(WPCE_0)} \times Ln\left(\frac{WPEG_t}{WPEG_0}\right) \quad (8-4)$$

8.3.2 影响因素贡献的国别比较

通过 LMDI 因素分解模型将碳排放福利绩效变化总效应分解为技术效应和服务效应。图 8-5 显示 1990-2007 年间 G20 大部分国家的碳排放经济绩效在不断提高,中国的技术效应值最大(0.268),其 2007 的人均碳排放为 5.1t,超过了 1990 年 2t 的 2.5 倍,但是经济增速更快,2007 的人均 GDP 接近 1990 年 1100.7 元(PPP constant 2005 international \$)的 5 倍(5238.7 元)。印度尼西亚、巴西、土耳其、沙特阿拉伯、印度五国的碳排放经济绩效呈现下降趋势,其中印度尼西亚的技术效应最低(-0.200),虽然人均 GDP 由 1990 年的 2087.2 元增加到 2007 年的 3521.4 元,但是同期的人均碳排放由 0.9t 增加到 1.8t,正好翻了一番。12 个国家的经济福利绩效呈现上升趋势,巴西的服务效应值最大(0.143),1990-2007 年巴西的人均 GDP 由 7178.6 元增加到 9180.8 元,同期人类发展指数由 0.710 提高到 0.813,用较小的 GDP 增量取得了较大的福利。巴西具有丰裕的生态资源,非常注重环境保护,实施良好的公共医疗和教育制度,政府决策公开透明,城市规划布局合理,尤其是库里蒂巴的公交系统堪称世界典范,这些都保障了经济增长转换为福利的高效率。从技术效应和服务效应的二维组合来看,同时为正的国家有 8 个,技术效应为正而服务效应为负的国家有 6 个,技术效应为负而服务效应为正的 4 个国家,技术效应和服务效应同时为负的国家为印度。作为拥有 12 亿多人口的发展中大国,印度经济增长和福利提高的速度相对缓慢,面临着提高碳排放经济绩效和经济福利绩效的双重挑战。

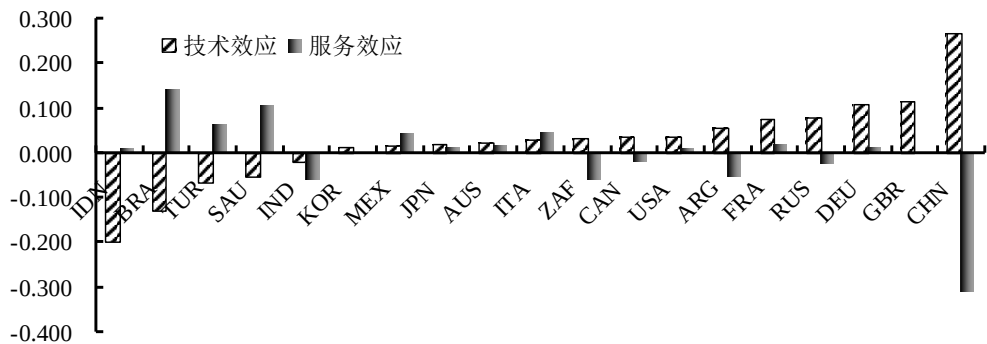


图 8-5 1990-2007 年 G20 国家 WPCE 影响因素的贡献

从图 8-6 中还可以看出,虽然中国的技术效应最高,但服务效应却是最低的,两相抵消之后碳排放福利绩效总效应为负,说明“GDP 主义”发展模式的不可持续性。从表 8-3 的效应分解结果进一步发现,中国各阶段的服务效应都为负值,大部分阶段技术效应为正,但 2000-2005 年的技术效应为负值。总效应值只有在 1995-2000 年大于 0,主要原因在于这一时期受亚洲金融危机的影响,中国的人均碳排放不但没有增加,反而从 2.7t 降到了 2.6t。2006 年中国替代美国成为碳排放第一大国(62 亿 t),占世界总量的 21.78%,2007 年提高到 22.7%,人均碳排量也超过了世界平均水平(4.5t)。中国虽然已成为全球第二大经济体,但人均 GDP 在世界排名 100 多位,人类发展指数依然小于 0.8,处于中等人类发展水平。如果不在理念、制度和技术上进行深刻的系统变革,将难以化解经济、社会、环境协调发展的僵局。

表 8-3 分阶段中国 WPCE 影响因素贡献

时期	总效应	技术效应	服务效应
1990-1995 年	-0.023	0.122	-0.145

1995-2000 年	0.135	0.170	-0.034
2000-2005 年	-0.124	-0.031	-0.093
2005-2006 年	-0.018	0.005	-0.022
2006-2007 年	-0.012	0.011	-0.023

8.3.3 影响因素贡献的省际比较

1997-2008 年中国省域碳排放福利绩效的因素分解结果如图 8-6 所示。在构成总效应的两种效应中，所有省市区的服务效应都为负值，绝大多数省市区的技术效应为正值。表明 11 年间，技术效应是中国省域碳排放福利绩效增加的主要驱动力量，而服务效应对碳排放福利绩效增加起到了抑制性的作用。这样的结果与中国的经济社会发展实际情况是非常相符的，在 1997 年亚洲经济危机之后，中国的经济由复苏开始走向增长的快车道，但福利并没有等比例地增加。其主要原因就是，在经济增长的同时对水、地、能、材等重要资源的粗放使用一方面加剧了资源的紧缺程度，另一方面也增加了污染物和废弃物排放，极大地破坏了城市人居环境。尤其是从 2003 年开始，产业结构再次向重型化方向发展，重复建设现象更加严重，在一定程度上也造成了资源的浪费。此外，经济的高速增长引发了一系列社会问题，具体体现在收入差距逐渐扩大，教育和卫生等领域的资源分配失衡，等等。如果不变革以“GDP 主义”为导向的发展模式，不仅会对福利增长和生态系统造成影响，甚至对经济增长本身也会有阻碍作用，最终导致经济、社会、环境三大系统均不可持续，图中 8 个技术效应和服务效应都为负值的省市区就是这一观点的力证，由于它们的技术指数和服务指数不断下降，从而给碳排放福利绩效的增长施加了双重抑制作用。

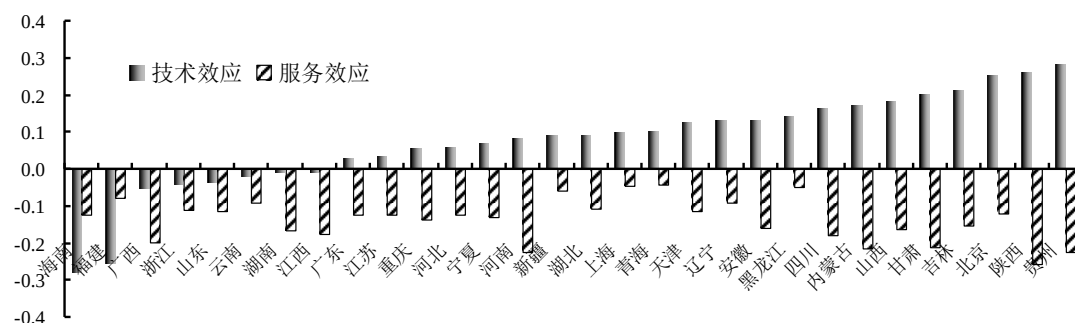


图 8-6 1997-2008 年中国省域 WPCE 影响因素贡献

8.4 研究结论及政策启示

8.4.1 主要结论

从福利视角研究碳排放绩效已成为低碳经济研究中的前沿课题，本章将碳排放与人类发展指数结合起来，构建了一个碳排放福利绩效指标，对 G20 国家 1990-2007 年及中国省域 1997-2008 年的碳排放福利绩效及其影响因素进行了实证分析，得出如下主要结论：

第一，与 G20 其他国家相比，中国的碳排放福利绩效较低，并且呈逐步下降趋势。巴

西、印度尼西亚、印度、阿根廷和法国的碳排放福利绩效均值较高，而德国、英国、法国等欧洲发达国家的绩效增长较快。中国省域发展极不平衡，且没有出现高福利低排放的理想低碳经济类型；

第二，在 G20 中，中国的技术效应最高，但服务效应最低，最终导致碳排放福利绩效总效应仍为负值。推动中国省域碳排放福利绩效的主要力量是技术效应，所有省市区的服务效应都小于 0，表明服务效应对碳排放福利增长有抑制性作用。8 个省市区的福利绩效增长面临着技术效应与服务效应的双重瓶颈。

8.4.2 政策启示

以上结论意味着中国今后的低碳发展需要从以经济增长为导向的粗放增长转向以生活质量为导向的精明发展，在继续提高碳排放经济绩效的同时，更加注重改进经济福利绩效，具体政策建议为：

第一，关注适宜技术和系统创新，促进民生发展。发展中国家习惯于追随发达国家的高精尖技术，这固然是重要的，但是那些本土化、地方化的适宜技术也应该成为自主创新的重要源泉，它们具有因地制宜、成本较低、当前可行等优点，能更方便快捷地用于改善人们的生活。此外，不仅要关注单项技术的优化或改进型创新，更要关注具有综合集成意义的系统型创新。以低碳交通为例，降低燃油车的能源消耗和发展新能源汽车，是在延续以私人汽车为出行方式上的优化和改进型科技创新，容易出现反弹效应，即燃料效率的提高被更多的出行人次和出行距离所抵消，使得总的碳排放不降反升。而发展公共交通系统和汽车共享使用系统、建设紧凑型多功能的城市组团则是系统型科技创新。这种系统型的创新既能显著提高能源和资源的生产率，减少碳排放，又能保证生活的舒适度。

第二，改善投资和分配结构，大力发展服务经济。碳排放福利绩效影响因素的贡献分析表明，国家及省域的服务效应都为负值，即经济增长的福利绩效在逐步下降，并严重制约着碳排放福利绩效的增长。因此需要摒弃一味注重经济增长而忽视提高生活质量的做法，加大对教育、卫生、医疗、社会保障等与民生紧密相关行业的投资，使经济增长更多地转化为福利。大力发展生产性服务业、消费性服务业以及生态服务业，并让服务惠及穷人。

第三，促进文化包容与社会和谐发展。尊重文化多样性是实现人与社会和谐的重要前提。尊重文化差别和加强文化交流可以促进人与人的和谐，提高人们的心灵境界和幸福指数。和谐发展不仅包括人与自然的和谐，而且包括人与社会的和谐。这是经济、社会、环境三个系统平衡发展的思想基石。人与社会的和谐既包括空间上的横向和谐，也包括时间上的纵向和谐。不同国家与地区之间，本土与外来之间，主流文化与亚文化之间，不同文化背景的人都应该彼此尊重、交流交融。同时，现代文化应该从传统中汲取养分，新旧交融，由此迸发出新的发展活力。

第九章 低碳技术创新

9.1 低碳技术创新理论框架

在经济由“高碳”向“低碳”转化的过程中，以低能耗、低排放、低污染为特征的“低碳经济”，一个重要的支撑就是“低碳技术”，低碳技术涉及电力、交通、建筑、冶金、化工、石化等传统部门各方面的节能技术，也涉及可再生能源及新能源、煤的清洁高效利用、油气资源和煤层气的勘探开发、二氧化碳捕获与埋存等众多新领域。可以说，低碳技术几乎涵盖了国民经济发展的所有支柱产业。从某种意义上说，无论是节能、降耗、减排，还是开发利用可再生能源、优化能源消费结构，都必须以低碳技术的研究、开发、普及和推广为基础。

低碳技术创新的核心内容主要是利用低碳能源，研究低碳技术，开发低碳产品，是要在能源流的整个过程中提高能源生产率和降低二氧化碳的排放。一般来说，低碳技术创新主要体现在三个系统环节（中国科学院可持续发展战略研究组，2010）（图 9-1）：

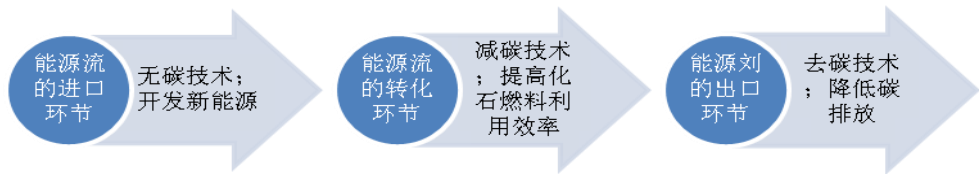


图 9-1 低碳技术创新系统环节

能源流的进口环节：此部分的技术创新是无碳技术，加大无碳技术的研发力度，用太阳能、风能、生物能等可再生能源或其他清洁能源，替代传统的高碳的化石能源。

能源流的转化环节：此部分的技术创新是减碳技术，针对的是能源利用效率，减少能源消耗和二氧化碳排放。

能源流的出口环节：此部分的技术创新是去碳技术，通过开发利用 CCS 技术以及其他方式的碳汇能力，吸收经济过程排放的二氧化碳。

9.1.1 低碳技术创新动力机制

动力问题作为技术创新过程的诱发和启动机制，是技术创新研究的基本问题之一。关于传统技术创新的动力研究主要有五种模式：技术推动、需求拉动、“推-拉”综合作用、技术规范-技术轨道范式和“社会需要-资源”关系模式。

对于特定技术创新的动力分析，主要是在上述传统技术创新动力分析框架上进行的。目前国内未见专门的“低碳”技术创新动力研究，主要是对“绿色技术”或“环境技术”等宽泛意义上的环保类技术创新的动力研究（华锦阳，2011）。国内起步较早的是浙江大学许庆瑞教授带领的研究团队，他们于 20 世纪 90 年代初就对绿色技术创新问题进行了系统的理论和实证研究，就动力源问题上，总结出的动力源包括政府法规要求、突破工艺瓶颈需要、应对社会舆论压力、用户需求、进入国际市场需要五个方面。彭海珍（2007）总结出了企业绿色行为的“三重许可证”思想，即政府管制形成的管制许可证、利润动机形成的经济许可证和社会反响形成的社会许可证，是企业采取绿色行为并获得竞争优势的重要因素。王岑

(2010)认为一种技术的市场份额不只取决于市场偏好和技术可能性,而且还依赖于报酬递增和历史小事件,两者联合作用可能导致次优技术占主导地位,从而产生某种锁定效应。

动力机制的对立面即是障碍分析。低碳技术的发展面临几个方面的障碍:技术障碍、成本障碍以及其他障碍(包括公众接受度低、信息缺乏、激励机制缺乏等)(中国科学院可持续发展战略研究组,2010)。就成本而言,目前与传统能源相比,低碳能源的成本依然偏高,这严重制约低碳能源的发展(付慧,2010)。

此外,“碳锁定”是另一种障碍。“碳锁定”是一种产生于工业国家历史发展路径的状态,这种状态也称为“技术-制度复合体”(Tecno-Institutional Complex, TIC)。它是由技术系统和管理其扩散和应用的公共与私营机构组成的。“碳锁定”会阻碍低碳创新技术的研发及其普及(王岑,2010):首先,现有技术的支撑体系阻碍了低碳技术创新。能源系统和技术的相关基础设施的生命周期很长,而新技术通常依赖不同的基础设施和辅助技术的支撑。即便存在可供选择的更优的替代技术,政府、金融机构、供应商和现有的基础设施之间的正反馈系统仍支持和维护现有技术。其次,相比现有技术,低碳技术创新面临更大的风险性。现有技术经过长期演变发展,逐渐成熟,风险相应较小。而低碳技术大多是比较新的技术,面临较大的技术风险。第三,低碳技术创新研发成本高。低碳技术创新先期开发和能力建设成本较高,并且新技术的运转和维护也会产生高额费用。这使得低碳技术在成本上缺乏竞争力。

9.1.2 低碳技术识别与创新路径

最早的创新理论家熊彼特认为,创新是通过引入“新的组合”来实现“生产函数的变动”,这种新组合可以是:(1)新的产品或新的产品特征,即产品创新;(2)新的生产方法,即工艺创新;(3)新的市场;(4)新的原料来源,即服务创新;(5)新的工业组织,即组织创新。从技术创新带来的生产要素的投入变化又将技术创新区分为节约劳动型创新、节约资本型创新和中性型创新。

Freeman(2003)根据技术变化的强度和重要性将技术创新分为渐进性创新和突破性创新。渐进性创新是对现有技术引起的渐进的、连续的创新,能充分发挥已有技术的潜能,并经常能强化在位企业的技术优势。突破性创新是指重大的技术创新,它常常伴随着一系列渐进性的产品创新和工艺创新,并在一段时间内引起产业结构的变化。

Christensen在《创新者的困境:当新技术导致大企业失败时》(1997)一书中首次正式提出颠覆性创新(disruptive innovation)的概念。Christensen的理论直接溯源于熊彼特的“创造性破坏”,延续了Freeman等人对技术创新类型的划分方式,并加以改进。他将对有主流市场上产品性能改进做出贡献的创新称为持续性创新,由于技术进步的速度总是要大大超过消费者对产品性能利用的速度,随着立足于低端市场的新产品性能的不断改进,新产品会逐渐侵蚀现有的市场。对现有市场而言,这种新产品具有颠覆性,克里斯坦森将此类创新称之为颠覆性创新。

目前国内外研究中,很多学者将突破性创新等同于颠覆性创新。中国学者孙启贵等(2006)对颠覆性创新和突破性创新进行了界定,认为两者分类的标准不同,早期的分类是以特征为基础的,着眼于现象层次,只能解释特征与结果之间的相关性;新分类是以环境为基础的,能够发现现象背后的本质性的因果关系原理;其次,突破性创新的核心视角和维度是技术,主要是指基于科学发现原理具有重大经济意义而言的;而颠覆性创新的核心视角是市场细分和价值体系,并不一定伴随技术突破,主要是指将破坏性商业模式与现有技术进行组合,它以经济效益作为评价尺度,能引起新企业成长和在位企业衰败。此外,新技术在具备竞争力之前,需要经历研发、示范和推广三个主要阶段。将低碳技术按照不同的发展阶段分为战略性/前瞻性技术、创新技术、成熟技术和商业化技术(中国科学院可持续发展战略

研究组，2010)。

结合创新理论、颠覆性创新理论与低碳技术创新的内容特征，低碳技术特征和种类总结如表 9-1 所示。

表 9-1 低碳技术特征和种类

技术种类	内容	目的	技术创新类型		
			按技术发展阶段分	按技术重要性分	按发生环境分
减碳技术	高能耗和高排放领域的节能减排技术、煤的清洁高效利用、油气资源和煤层气的勘探开发技术等。包括：煤炭洁净发电技术和工业、交通、建筑部门节能技术	提高化石燃料利用效率	成熟性技术/商业化技术	持续性创新	渐进性创新
去碳技术	二氧化碳捕获与埋存(CCS)	降低碳排放	前瞻性技术	持续性创新	渐进性创新
无碳技术	核能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术。包括：核电和核聚变技术、氢能利用技术、可再生能源利用技术	颠覆化石能源基础	前瞻性技术/创新性技术	突破性创新	颠覆性创新

对中国发展低碳能源与低碳技术的选择问题上，中国学者以模型情景分析为基础和以技术预见为基础提出了不同的看法。张艳秋(2010)等人通过情景模拟分析后认为新能源在能源构成中的扩大是一个漫长的逐渐加速的过程，未来能源对油气需求量仍然相当大，煤炭清洁化利用任重道远，当前应该把重点放在节能减排上，换言之即强调减优先碳技术的发展，加强持续性创新。

钱祖（2008）以中国技术预测调查数据为基础，列出了节能减排关键技术群清单，每个技术群由若干发展重点组成。同时，按照技术在市场上首次应用时间，综合考虑技术研发基础、与国外先进水平的差距和技术发展路径，绘制了中国节能减排技术路线图。根据不同技术的特点，可以采取引进消化吸收、联合开发和自主研发的路径发展关键技术。

陆小成（2009）基于技术预见和低碳创新系统理论，提出合理化的低碳关键技术战略选择是技术预见的重要推动因素，主要包括：（1）低碳产品创新，即通过技术预见，开发各种能节约原材料和能源、少用昂贵和稀缺资源的产品，并且在使用过程中以及在使用后不危害或少危害人体健康和生态环境的产品，以及易于回收、复用和再生的产品；（2）低碳工艺创新，包括减少生产过程中污染产生的清洁工艺技术和减少已产生污染物排放的末端治理技术两方面。

梁中（2010）从创新系统角度分析，认为由于中国低碳技术总体研发水平落后，自主创新能力弱，而且发达国家基本上还控制着低碳技术的发展方向。因此，低碳产业创新技术系统内要加大低碳技术识别的力度，先选择低碳产业共性技术进行渐进创新，培育共性技术的生产和扩散体系，然后在具备相当技术积累的基础之上，再选择低碳产业关键技术进行突破性创新，以求最终掌握低碳产业的核心技术并使得低碳技术创新系统得以进一步升级和完善。

9.2 突破性技术创新

低碳技术创新领域中的所谓突破性技术创新即无碳技术创新，主要是指核能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术创新，具体技术包括：核电和核聚变技术，氢能利用技术，可再生能源利用技术。这些技术创新的核心作用和后果是替代传统的高碳的化石能源，颠覆能源基础，具有重大的技术创新性质。

无碳技术中，以核电在中国的建与规划居全球之首。与当前主流的风电、太阳能等可再生能源发电相比，替代能源核电以其发电成本较低、可长期稳定运营及易于大规模建设供电等优点，而成为现阶段及未来十年最为“经济与绿色”的低碳发电方式。中国目前的核电装机占比不足 2%，远低于全球平均的 16% 水平（肖世俊，李元，2009）。因此，加快核电建设运营，已成为中国满足电力能源需求与应对过于依赖高碳排放的火电重要战略之一。目前，中国已成为全球核电建设重心，其中在建核电站项目容量达 1644 万千瓦，约占全球在建总容量的 40%；规划拟建核电站项目容量为 3748 万千瓦，约占全球规划总容量的 30%。预计到 2020 年中国核电装机容量将达到 8000 万千瓦。

然而中国在大胆采用重大技术进行低碳生产与消费的同时，还存在诸多困难。首先，现有技术的支撑体系阻碍了低碳技术创新。能源系统和技术的相关基础设施的生命周期很长，而新技术通常依赖不同的基础设施和辅助技术的支撑。基础设施的投入使用年限均在 15 年甚至是 50 年以上，在使用期间不可能轻易放弃。电力、交通等高能耗部门很容易发生“锁定效应”^①。

其次，相比现有技术，低碳技术创新面临更大的风险性。现有技术经过长期演变发展，逐渐成熟，风险相应较小。而低碳技术大多是比较新的技术，面临较大的技术风险。由此产生的创新惰性将严重阻碍低碳技术的进步。

第三，低碳技术创新研发成本高。低碳技术创新先期开发和能力建设成本较高，并且新技术的运转和维护也会产生高额费用。这使得低碳技术在成本上缺乏竞争力。目前，中国正处于积极发展电力的过程中，能源基础设施的建设对长期温室气体排放具有较大的影响。据 IEA 估计，参考情景下，中国在 2006-2030 年间需要在能源部门累计投资 3.7 万亿美元，其中 74% 用于电力投资，约为 2.8 万亿美元。

事实上，截止到 2009 年底，中国的火电装机 6.52 亿千瓦，占据全部电力装机的 74.5%，水电、风电、核电等清洁能源所占比例较小（金乐琴，刘瑞，2009）。在火电当中，又以燃煤机组为主，中国煤炭丰富、电力偏紧的现状使得在很长一段时间内，中国的电力供应都要依赖火力发电。如此大规模的火电投资，在未来中国被要求承担二氧化碳排放责任的时候，将会被这些火电厂限制住。另外，根据电力监督委员会的报告，2009 年中国 6000 千瓦及以上的燃煤机组供电标准煤耗为 340 克/千瓦时。中国的供电标准煤耗已经得到了很大的提高，受到多种因素的影响，中国的整体煤耗水平进一步下降的空间将会越来越小。有关分析结果表明，如果没有及时的技术转让以帮助中国对燃煤火电机组进行技术升级，中国到 2030 年可能多排放将近 60 亿吨二氧化碳，产生巨大的“锁定效应”（王国栋，2010）。

低碳经济转型要求现存社会经济制度的创新，因此有必要设计一个迎合该需求的整体技术创新系统。低碳创新系统主要有技术创新、制度创新。技术创新可以降低不确定性，提供替代方案，提高相关问题的解决速度并创造一系列正外部效应，有助于克服系统中存在的碳锁定或解锁出更加清洁高效的新技术，即技术创新一方面受锁定效应的制约，一方面又有助于锁定效应的解除。制度创新就是建立整体的低碳创新政策体制，积极制定有利于低碳产业发展的产业政策，从源头上控制推动低碳产业优化升级，促进经济发展方式转变和产业结

^① <http://finance.jrj.com.cn/2010/03/0323257047044.html>.

构调整。

9.3 持续性技术创新

以煤炭洁净发电技术和二氧化碳捕获与封存（CCS）技术为核心内容的低碳技术，是以原始能源结构为基础的创新，此类创新是在原始技术路线上的发展和延伸，因此称作“持续性创新”。

煤炭在相当长时间内仍然将是中国的主要能源之一。目前，中国在超超临界发电技术和整体煤气联合循环发电系统（IGCC）方面都已经取得初步尝试和发展。2006 年，华能集团玉环电厂第一批 4 台 100 万 kw 超超临界机组投产运行，发电效率为 43%，已与世界先进水平 50%-55%效率差距不大。另外，中国仍有 1 亿 kw 正在建设之中。另外，中国已有几个在建的 IGCC 电站示范项目，如华能集团在天津启动的 25 万 kw 的 IGCC 示范电站项目，华电集团和东莞市启动的 IGCC 电站项目等。

CCS 技术是一项新兴技术。近年来，在发达国家 FDI 的支持下，中国已经跟许多欧洲国家建立了 CCS 合作项目，CCS 技术取得了前所未有的进步和发展。

挪威发布的《第 3 期国际 CCS 技术调查报告》表明（殷砚，廖翠萍，赵黛青，2010），中国 1995 年启动山东烟台的 IGCC 项目示范工程，并获得了欧盟和日本 8400 万美元的投资，以及美国和世界环境基金会 1500-1800 万美元的投资；中国与欧盟签署的合作项目 COACH，从 2006 年开始计划实施 CCS 工程，获得了包括壳牌、BP、挪威国家石油公司等 12 家欧盟大型企业 160 万欧元的资金支持；2007 年 11 月开始初步实施的 NZEC（Near Zero Emission Coal Project）项目，且在第一阶段获得了英国政府环境部和商业企业规划改革部等部门 350 万英镑的资金支持。另一方面，国内 CCS 相关技术的研究机构已有清华大学热工研究院、国家发改委环境研究所、中国科学院地理地质研究所、能源环境与政策中心、中国石油大学、华北电力大学、热电研究所、浙江大学以及石油勘探与生产研究所等 8 所。

9.3.1 成本与核心技术成为阻碍中国利用持续性创新技术实现低碳经济的重点

核心技术受制于发达国家是制约中国持续性低碳技术创新的一个重要因素。以超超临界发电技术为例，虽然中国的超超临界机组的国产化率已经达到 80%以上，但包括高温材料和锻铸件技术在内的核心技术仍未掌握。另外，风电整机系统设计、齿轮箱、主轴承、逆变器电控系统等关键零部件；太阳能电池生产的关键设备多晶硅铸锭炉、PECVD、磁控溅射；核电核岛、核级主泵、核电阀门等关键设备及组件等，以上新能源设备生产核心技术成为制约中国新能源产业发展的主要瓶颈之一。

表 9-2 中国亟待加强培育多项低碳核心技术

高 效 节 能	工 业 建 筑 节 能	• 能源系统管理、优化与控制技术：工业、建筑领域的能量系统优化设计、能源审计、优化控制、优化运行管理软件技术，特别是能量系统节能综合优化技术；
		• 节能量检测与节能效果确认技术：工业、建筑领域节能改造项目节能量检测与节能效果确认（M&V）软件技术；
		• 钢铁企业低热值煤气发电技术：包括高炉煤气余压能量回收透平发电技术（TRT）、低热值煤气燃气轮机联合循环发电技术（CCPP）

		• 低温余热发电技术：水泥、冶金、石油化工等行业低温余热蒸汽发电关键技术；
		• 蓄热式燃烧技术：工业炉窑和电站、民用锅炉的高效蓄热式燃烧技术等；
		• 废弃燃气发电技术：沼气、煤层气、高炉煤气、焦炉尾气等工业废弃燃气发电关键技术；
		• 蒸汽余压、余热、余能回收利用技术：冷凝水、低参数蒸汽等回收利用新技术；
	电力系统信息化与自动化	• 输配电系统和企业的新型节电装置：包括采用新原理、新技术和新型元器件，能够补偿无功功率、提高功率因数、减少电能损耗、改善电能质量的新型节电装置及其综合管理系统，用于输配电系统的先进无功功率控制以及区域在线动态谐波治理装置等；
		• 电力系统应用软件：包括电力系统优化控制软件；新型输配电在线安全监控及决策软件；电力系统调度自动化软件；电力设备管理及状态检修软件，继电保护信息管理及故障诊断专家系统软件；电力建设工程项目管理软件；节能运行管理专家系统软件；用电管理软件以及电能质量在线评估、仿真分析软件等；

成本问题是制约技术发展的另一重要障碍。据了解，最近建设的超超临界发电机组的投资成本（4000~5200 元/kw）与传统亚临界发电机组（3600~4400 元/kw）相比高出 10%以上。CCS 技术减排 CO₂ 相比其它低碳技术具有直接、高效、快速等优点，但是投入成本和运行成本比较高，再加上技术的前沿性，所以在中国虽然已有几个 CCS 项目，包括 GreenGen，NZEC，COACH，Yantai IGCC，DaiauinOilField project 等，大多数还处于研发阶段。

9.3.2 政府通过制定财政政策等实施低碳生产模式

政策导向必须从这两方面入手，一方面政府可以通过完善创新平台、推动产学研合作等方式夯实创新基础，对企业发展战略进行引导，培养企业创新意识，引导企业在技术创新与传统业务、短期利润与长期发展直接做出合理的战略选择，充分发挥企业在发展低碳产业中的主体作用，并从各方面保障科技研发投入，鼓励企业加大科技投入，掌握自主知识产权，研发和转化低碳技术。

同时，政府可以采取财政补贴和税收政策对企业的研发和创新行为给予直接的资助，也可以通过政策扩大新技术的市场需求，解决成本问题，即平衡创新型企业的风险与回报，有效增强企业创新动力，推动产业快速发展。还可以针对性地出台鼓励企业进行低碳创新、节能减排、可再生能源使用的政策法规，采取考虑政府采购、绿色信贷、政策倾斜等措施，大力发展碳金融，引领企业开发先进的低碳技术，研究和实施低碳生产模式。

9.4 适宜技术创新

适宜技术的开发主要应用于民用领域，对于低碳发展起着重要的作用。随着中国工业化和城市化进程的推进，未来城市不同部门的能源消耗将会逐渐增加，无谓的高技术必然带来高投入，不仅不会降低碳排放，反而会由于采用高技术带来额外的碳排放。所以适宜技术创新将对未来可持续发展，尤其是处于工业化阶段的发展中国家尤为重要。以新能源适宜技术开发与应用分析为例。新能源研发主要采用非常规的无碳新兴燃料作为动力来源（在汽车中使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置），综合生产设备、机械或交通工具的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的特征。

9.4.1 适宜创新发展现状

在汽车生产领域，按发动机动力源的不同，主要有三种：混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车。

目前以混合动力为标志的适宜技术创新的市场主要集中在美国和日本，在民用上主要应用在汽车领域，表现为混合动力汽车的推广与应用。近年来美国和欧洲也逐渐将民用适宜技术的创新重心放到混合动力汽车研发和生产上，并带动相关领域的进步。目前日本和美国的混合动力车销量占汽车总销量的比重均不超过 2.5%，规模仍然较小，但混合动力汽车的产业化已经成熟，未来将有望大批量生产。

在中国，主要汽车公司都已经初步完成了对混合动力汽车的布局。上汽集团 2010 年推出了混合动力，2012 年将推出插电式混合动力车和纯电动汽车。一汽集团已确定以混合动力为主导的新能源发展战略。2008 年已推出混合动力版 B70，2012 年将建成年产 1.1 万台混合动力轿车生产基地。东风集团目前集中于混合动力客车和电动小巴，自主品牌混合动力轿车仍在研发之中。长安汽车新能源发展内外结合、逐步推进。比亚迪作为国内新能源汽车领先者，2008 年已推出插电式混合动力车 F3DM，2009 年推出纯电动轿车 E6，计划以新能源汽车进军国际市场，成为全球领先企业。奇瑞多种新能源技术齐头并进，涉及混合动力、纯电动、生物柴油多个领域。2008 年已推出轻混、中混版 A5，2009 年推出 QQ、S18、瑞虎等多款纯电动轿车。

9.4.2 适宜创新存在的问题

从各种混合动力技术成熟度、经济成本及配套条件来看，预计 2015 年前，新能源汽车将从目前的油电混合动力（节油 20% 以内的微混或轻混），逐步过渡至以镍氢电池为主流技术的（插电式）混合动力车；2015 年起随着锂电池（尤其是磷酸铁锂）技术的日益改进成熟及成本的降低，预计将以插电式混合动力车（PHEV）、纯电动车（EV）为主并共存约 10 年左右；2025 年起预计将以技术更为先进、可真正实现零排放无污染的燃料电池新能源汽车为主（肖世俊，李元，2009）。在资金和资源有限的前提下，当前发展何种技术能在最短的时间内获得收益以及在技术轨道不断推进的情况下是否能及时更新技术路线即选择成本和转化成本是关键问题。

中国适宜技术创新研究与重视起步较早，但政府投入长期不足，企业投入更少，长期处于试验阶段。近年来虽加大投入，有了很大发展，但与国际先进水平相比仍有一定的差距。主要表现为核心技术关键零部件的产业链尚未形成，产业化能力亟待提高。在动力电池性能和成本方面存在低性能高成本问题，与适宜技术发展目标及要求还有很大差距，成为适宜技术产业化的瓶颈。在汽车发动机的生产与研发上，混合动力汽车在工程化开发方面相对薄弱，需要进一步加强。动力电池基础原材料（含隔膜）、电机及电控系统用电力电子元器件（IGBT）等自主化不足。大部分关键原材料和零部件，以及制造装备依赖进口，存在受制于人的重大风险。

仍以汽车为例，市场上关注新能源的消费与日俱增，但实际应用者依然寥寥无几。主要因为新能源汽车相比传统能源汽车购买价格将近翻了一倍，虽然能够享受国家发放的补贴，但前期购车成本相对偏高，给购车者带来了一定压力。现阶段，新能源汽车价格高昂的因素主要有三点：第一是因为新能源汽车的技术上的不成熟；第二，生产批量较小，生产成本无法摊销；第三，新能源汽车作为新进入市场的产品，需要大量的基础设施做铺垫；比如建设大量的加氢站、充电站，同时需要大量的维修人员和服务网点。上述因素导致了新能源

汽车的成本较高，被市场接受的程度相对较低。这是中国发展新能源汽车面临的重大难题，也是中国汽车企业对新能源汽车市场最大的顾虑。

9.4.3 在技术投入、市场和用户等方面引导企业采用适宜创新措施

以新能源汽车为例。中国工程院院士杨裕生表示，纯电动是未来汽车产业的趋势，混合动力是现实的选择，每种技术路线的发展，应当由市场和用户来决定。因此，政策措施可以在路线选择、技术投入、市场和用户等方面起到积极的引导作用。

解决技术路线选择和转化的成本问题，关键是要根据国内进行技术创新的优势和劣势，考虑到市场需求的变化，扬长避短，选择合适的技术创新路径。新能源汽车的未来发展方向有两个：一是节能环保方向，这是社会发展的趋势；第二个是多样化方向，它能充分利用不同能量源的优点实现优势互补，同时还体现了冗余的概念。由于电池技术不成熟、成本偏高等问题，电池无法完全承担动力来源的责任，只能作为辅助动力，伴随着电池成本逐渐下降，成熟度日益提高，对内燃机的替代能力将逐渐增强，因此新能源汽车可能演绎一条从轻混——强混——纯电动——燃料电池的技术发展路径。这就要求在不同时期的不同技术需求情况下，政策要针对当下情况及时调整。

新能源汽车竞争的核心是技术的突破。政府和企业关注的重点必须是掌握核心技术，建立自主知识产权，并在此基础上推进产业化。政府应以更大的力度支持“三纵三横”竞争前的技术开发，加大科研的力度，紧跟世界前沿技术，巩固已有的优势地位，形成国内新能源汽车核心技术，防止产业发展在技术上受制于人。要采取“两条腿走路”的方针，即不仅大力支持和鼓励中国新能源汽车企业自主创新和自主品牌建设，而且利用国际汽车产业整合并购之机，以合适方式引导、鼓励新能源合资企业在中国建立研发机构，实现研发本土化，使合资合作能够真正换来技术，以达到用成功技术迅速启动中国新能源汽车产业化发展的目标。

技术进步和产业发展归根到底是市场推动。推广新能源车亟待培育国内消费市场，促进新能源汽车消费的关键是降低产品价格，因此政府在其间的主导作用不可或缺，这关键在于加大产业补贴的力度。一方面，将补贴直接惠及消费者身上，有效刺激消费。针对消费者的价格政策应侧重于长期可持续性，让消费者充分体会到使用新能源汽车的好处。新能源汽车只有在消费者使用中才能不断得到改进，其社会效益才能不断得到体现。另一方面，积极开展示范工程，以点带面，推动新能源汽车的使用，通过政府采购方式引导消费。

9.5 案例分析：新能源汽车技术创新

中国新能源汽车技术的发展历史可追溯到1990年代初。2001年，中国启动了“863”计划电动汽车重大专项，涉及的电动汽车包括3类：纯电动、混合动力和燃料电池汽车，并以这3类电动汽车为“三纵”，多能源动力总成控制、驱动电机、动力蓄电池为“三横”，建立“三纵三横”的开发布局。基本跟上了全球的步伐，并且在燃气汽车、电动车的专项研究中取得了多项关键技术的突破，与传统的内燃机汽车技术和发达国家相差近20年不同，中国目前的新能源汽车技术与世界先进水平相比并不处于劣势，此外鉴于中国有成本和市场优势，中国有潜力并完全有可能在全球电动汽车市场取得领先地位。

一、中国新能源汽车产业远景规划

中国目前新能源汽车行业主要分为三个战略阶段：如图9-2所示。

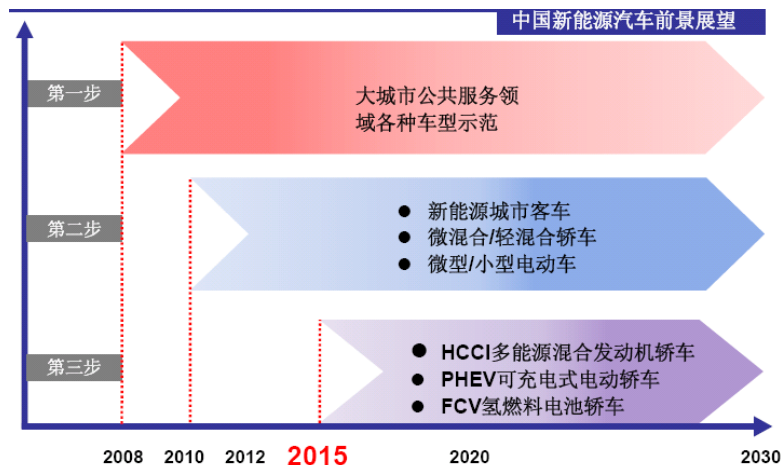


图 9-2 中国新能源汽车行业战略阶段

第一阶段中国已启动了“十城千辆”计划，即在北京、上海、大连等十座基础设施较为完善的城市开展新能源公交服务行业，作为示范带动周边地区，作为试点积累新能源汽车经验。“十城千辆”计划以取得成绩如表 9-3 所示。

表 9-3 “十城千辆”计划成绩

城市	示范项目
北京	2005 年 6 月，北京首支电动公交车队正式投入示范运营，共有 20 余辆电动汽车分 2 批投入 121 线路运行；奥运会、残奥会期间，中国自主研发生产的 50 辆锂电池纯电动公交客车投入使用；奥运会后，奥运期间服务于奥运村的 30 部环保电动车接替临 6 路公交线路进行示范运行
上海	目前已有包括 825 路、11 路、20 路、28 路以及世博园区线路等多条电动公交客车示范线投入运营
大连	2008 年 11 月，大连易威电动汽车有限公司研发的 3 台纯电动公交车投入使用；- 大连市计划在 2012 年以前建设三条电动汽车示范公交线路，投放 150 台零排放的纯电动旅游观光车，更换 100 台混合动力政府公务车和环保旅游租赁车
杭州	2006 年 3 月，5 辆电动公交车开始在杭州市运行，最高时速达 85 公里，充电时间需要 4-6 小时，一次可行驶 280 公里；在西湖周边地区及市中心专门建立了相应的充电站
济南	2008 年 6 月，国家电网赠送给济南的纯电动公交车投入示范运营，最高车速 85km/h，节能 40%
武汉	自 2003 年就率先进行节能与新能源汽车示范运行，截至目前已投入混合动力公交车 50 辆
深圳	2005 年 11 月，龙岗区启动了电动汽车示范项目，首批投放混合动力电动客车 7 辆，总计投放 25 辆，路线单程 36.4 公里，服务近 10 万人

二、中国在新能源汽车产业已取得的成绩及现状

目前中国发展新能源汽车的战略明确：汽车产业整体发展前景乐观；新能源汽车技术与国际水平差距不大；电动自行车和电动摩托车已实现产业化。以下是一些重点规划城市在该领域取得的成绩：

上海市：上海市 2005 年至 2010 年的 5 年间率先在全国实现新能源汽车的产业化，率先实现汽车能源的转型。2010 年实现汽车生产 200 万辆；大力发展自主品牌，2010 年自主品牌汽车产量占总量的 30%，并具备整车和发动机开发集成能力；推动关键零部件和汽车服务贸易发展，2010 年汽车服务贸易收入贡献度达到 7%。

北京市：2005 年至 2010 年，北京市汽车产业以年均 12% 的速度增长，到 2010 年汽车总产值达 1600 亿元；2010 年，北京市产销汽车 130 万辆；形成以北京现代、北京奔驰-戴姆勒·克莱斯勒、北汽福田等主导整车企业为主的产业群。

吉林省：2005 年至 2010 年投入 620 亿元，把吉林省建成国内最强并具有一定国际竞争力的汽车产业基地；到 2010 年底建设完成 100 个重点项目；省内年产整车超过 170 万辆，汽车销售收入 3200 亿元，年均增长 20%；汽车零部件销售收入达到 900 亿元；汽车及汽车零部件出口交货值 50 亿元，汽车物流和服务业形成与汽车发展相适应的规模和效益优势。

三、支持中国新能源汽车产业的主要措施

（一）政府法规

近年来中国涉及新能源汽车的政策陆续出台，其中与新能源汽车直接相关的就包括：2003 年 8 月：《关于开展创建“绿色交通示范城市”活动的通知》；2007 年 11 月：《新能源汽车生产准入管理规则》实施；2009 年 1 月：《汽车产业调整振兴规划》、《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》；2009 年 2 月：《关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知》；2009 年 6 月：《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》等等。此外还有《可再生能源法》、《节约能源法》、《能源发展“十一五”规划》、《可再生能源法》“十一五”规划等。

2009 年 3 月 20 日，《汽车产业调整和振兴规划》的正式发布标志着中国新能源汽车产业全面发展的开始。这项为期 3 年的振兴规划提出了“新能源汽车发展战略”，并强调以此为突破口，加强自主创新，形成中国汽车产业新的竞争优势。具体来说，振兴规划提出要形成产业化的目标，并支持新能源汽车产业链各环节发展，从产销规模、研发、零部件生产、配套设施建设和示范推广等多个方面对新能源汽车发展提出了规划目标和措施。

（二）科学合理的政策

对于新能源汽车产业的政策导向体现了科学性，分别从“节流”和“开源”两部分进行，其中“节流”部分指的是对现行的传统燃料汽车进行技术加工减少碳排放同时发展技术难度相对较低的混合型动力汽车。“开源”指的是发展新型汽车代替原来的传统燃料汽车。从而避免由于一味追求快速减排而忽略了最为根本的科技进步，同时也不会造成由于片面追求一步到位的新技术而造成成长时间内无法降低碳排放量的情况发生。

（三）增强技术研发

目前中国新能源汽车技术方面发展重点是：研发电能使用比例逐步增大的技术路线；以插电式混合动力汽车、纯电动汽车为发展重点；发展高性能动力电池储能装置；推进以高性能动力电池及系统、驱动电机及控制系统为重点的核心部件研发、产业化与技术升级；加强零部件及电力电子应用技术研发和技术改造；同步发展新型动力系统部件回收技术；继续开展燃料电池汽车技术研究。

除此之外，还整合国内科技、资金和人力资源，集中有限的资金和科研人员，利益共享、风险共担；加大知识产权保护力度；在坚持自主创新的前提下，鼓励企业到海外注册专利和购买外围专利；增强产品的技术创新和竞争力培育几家资金雄厚、技术开发能力强的大型汽车企业；开设产业群，出台优惠政策吸引大型企业聚集。

第十章 低碳政策

10.1 低碳政策概述

10.1.1 低碳政策与可持续发展

低碳发展符合中国可持续发展的本质要求。在国家层面，中国应对气候变化的国家意愿正在不断增强，并且多次发出积极应对气候变化和发展低碳经济的明确指示。

中国党政高层指出，应对气候变化，要深入贯彻落实科学发展观，统筹考虑经济发展和生态建设、国内和国际、当前和长远，全面实施应对气候变化国家方案，把应对气候变化与实施可持续发展战略，加快建设资源节约型、环境友好型社会，建设创新型国家结合起来，以保障经济发展为核心，以优化能源结构、加强生态保护和建设为重点，以科技进步为支撑，努力控制和减缓温室气体排放，不断提高适应气候变化能力，不断增加可持续发展能力，促进经济发展与人口资源环境相协调，为改善全球气候做新贡献。面向可持续发展是低碳政策设计的核心价值。

10.1.2 低碳政策的三维目标

一、低碳环境

按照 IPCC 的研究，地球温度上升不超过摄氏 2 度是人类可以适应的极限水平，这相当于要求到 2050 年地球大气中的二氧化碳浓度不超过 450ppm，或要求到 2050 年二氧化碳排放量减少到 1990 年水平的 50%。按照届时全球人口为 90 亿，二氧化碳排放减少到 200 亿吨左右测算，就是人均排放在 2 吨左右，到 2100 年应该减少到人均排放 1 吨左右。为此，以欧盟为主的研究者提出了二氧化碳减排的“收缩-趋同理论”，这个理论要求世界总体到 2020 年达到二氧化碳排放的峰值，然后进入绝对减排状态，最终到 2050 年能够实现比 1990 年减少一半的目标。

中国科学院在《中国可持续发展战略报告 2009》认为，中国在面对日益增加的国际国内压力下，虽然在 2020 年前不会承诺温室气体减排的指标，但作为负责任的发展中大国，中国一方面应该为保护全球气候做出应有的贡献；另一方面，也要考虑自己的长期发展和创造未来的竞争力（中国科学院，2009）。中国正采取积极的应对气候变化措施，这已在中国近年来率先开展的节能减排行动中得到了充分的印证。

二、低碳经济

低碳发展模式是在保障能源安全和应对气候变化方面保持高度统一，在保障经济发展与保护全球环境方面相互结合的战略性发展模式。发展“低碳经济”，实质是通过技术创新和制度安排来提高能源效率并逐步摆脱对化石燃料的依赖，最终实现以更少的能源消耗和温室气体排放支持经济社会可持续发展的目的。通过制定和实施工业生产、建筑和交通等领域的产品和服务的能效标准和相关政策措施，通过一系列制度框架和激励机制促进能源形式、能源来源、运输渠道的多元化，尤其是对替代能源和可再生能源等清洁能源的开发利用，实现低能源消耗、低碳排放以及促进经济产业发展的目标。

三、低碳社会

低碳发展模式还要求改变整个社会的发展理念和价值观念，引导实现全面的低碳转型。《21 世纪议程》指出：“地球所面临的最严重的问题之一，就是不适当的消费和生产模式”。低碳发展就是在应对气候变化的背景之下，从社会和人类发展的角度，对合理的生产消费模式做出重大变革。

低碳发展要求社会的发展理念从单纯依赖资源和环境的外延型粗放型增长，转向更多技术创新、制度构建和人力资本投入的科学发展理念。未来的工业化和城市化进程，必须从能源供需、相应资源环境成本的内部化等方面进行制度和技术创新。人类大量消耗能源、大量排放温室气体所支撑下的所谓现代化的体面生活必须尽早尽快调整，这将对当前人类的过度消费、超前消费和奢侈性消费等消费观念的重大转变，进而转向可持续的社会价值观念。

10.1.3 低碳政策与治理理论

若要建立一个高效、强大的低碳政策体系，必须关注当代治理理论的发展。

“治理”概念在 1989 年被世界银行首次使用以来，因世界银行、经济合作与发展组织（OECD）、联合国开发署（UNDP）、联合国教科文组织（UNESCO）等国际组织的推广而被广泛地用于政治发展研究中。全球治理委员会在 1995 年对治理概念作出了代表性和权威性界定：“治理是各种公共的或私人的个人和机构管理其共同事务的诸多方式的总和。它是使相互冲突的或不同的利益得以调和并且采取联合行动的持续的过程。这既包括有权迫使人们服从的正式制度和规则，也包括各种人们同意或以为符合其利益的非正式的制度安排。”从社会治理结构的角度来看，在现代社会，除了政府、市场、企业三种传统的社会治理结构之外，社会“正式”的和“非正式网络”也是重要的社会治理机制。

按照现代治理理论，低碳发展政策体系主要包括三种政策工具：规制性政策、市场性政策以及参与性政策。

第一，规制性政策。首先制定相关法律法规。其次，以低碳优先节能发展为策略，建立高耗能产业淘汰制度和市场准入制度。再次，建立节能低碳政绩考核机制，将低碳发展纳入各级政府目标责任制和干部考核体系中，彻底改变片面追求 GDP 增长的行为，保证在决策中综合考虑经济效率和低碳建设的协调发展。

第二，市场性政策。分为利用市场性政策和创建市场性政策两类。利用市场政策包括通过补贴和优惠政策推进太阳能和风电的使用；征收碳税。创建市场政策包括创建碳市场，明确产权，建立可交易的碳排放许可证制度。

第三，参与性政策。教育引导公民参与低碳建设，广泛持久地开展低碳宣传，普及碳排放知识，宣传国家有关方针政策、法律法规和标准规范。建立信息公开化制度，逐步形成公众参与的民主法制机制，保护公众参与的权利和积极性，尊重公众的知情权，充分发挥民众和舆论的监督作用。

10.2 中国低碳政策的发展脉络

10.2.1 规制性低碳政策发展

一、回应国际社会的国家公共政策

1992 年 6 月 4 日在巴西里约热内卢举行的联合国环发大会（地球首脑会议）上通过的《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change，简

称《框架公约》，英文缩写 UNFCCC)是世界上第一个为全面控制二氧化碳等温室气体排放，以应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的国际公约，也是国际社会在对付全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架。公约对发达国家和发展中国家规定的义务以及履行义务的程序有所区别。公约要求发达国家作为温室气体的排放大户，采取具体措施限制温室气体的排放，并向发展中国家提供资金以支付他们履行公约义务所需的费用。而发展中国家只承担提供温室气体源与温室气体汇的国家清单的义务，制订并执行含有关于温室气体源与汇方面措施的方案，不承担有法律约束力的限控义务。公约建立了一个向发展中国家提供资金和技术，使其能够履行公约义务的资金机制。

中国政府一直积极遵守《联合国气候变化框架公约》。2011年9月6日国务院新闻办公室发表的《中国的和平发展》白皮书中强调“坚持共同但有区别的责任原则，加强环境保护和应对气候变化的国际合作”的立场。

中国积极加入政府间和区域层次的应对气候变化行动。2003年6月，中国加入包括美国、加拿大、南非等22个成员国组成的“碳封存领导者论坛”。2004年12月，中国加入由美国、英国等14个国家发起的“甲烷市场化伙伴计划”。2005年7月，中国参加由澳大利亚、印度、日本等6个国家发起并成立的“亚太清洁发展与气候新伙伴计划”，并发表了《亚太清洁发展和气候新伙伴计划意向宣言》。2005年9月，中国和欧盟发表了《中国和欧盟气候变化联合宣言》。

此外，中国还积极参与全球环境变化的国际科技合作，如地球科学系统联盟（ESSP）框架下的世界气候研究计划（WCRP）、国际地圈-生物圈计划（IGBP）、国际全球变化人文因素计划（IHDP）和生物多样性计划（DIVERSITAS）等四大国际科研计划以及全球对地观测政府间协调组织（GEO）和全球气候系统观测计划（GCOS）等，开展了具有中国特色又兼具全球意义的全球变化基础研究。

二、国内的法律法规、政策

中国现有促进低碳发展的政策包括三个层面，即国家战略、部门政策和地方实践。战略和政策主要是由中央政府部门负责制定，这些部门主管建立节约能源、提高能效以及推进低碳消费的宽泛原则。而政策的最后落实则主要由地方政府落实，同时地方政府也必须保证当地低碳发展战略与中央政府政策的高度一致性（联合国开发计划署，2010）。

“十一五”期间国家出台了一系列法律、法规、规章、标准，初步形成了低碳发展的政策体系和法律体系。在法律层面，2006年开始实施的《可再生能源法》和2007年修订的《节约能源法》初步奠定了低碳发展的法律基础。《可再生能源法》实施之后，中国风能和太阳能光伏发电领域发展迅速。风能发电的新装机容量年年翻番增长。2009年12月全国人民代表大会常务委员会对《可再生能源法》进行了修订，加强了对风能、太阳能发电上网的支持。新修订的《节约能源法》首次以国家法律的形式明确规定将能源节约作业中国的基本国策。

2006年以来，中国政府针对关键行业部门颁布了一系列节能减排的法规。这其中包括了由国家发改委颁布的《“十一五”十大重点节能工程实施意见》，发改委及科技部于2006年联合颁布的《中国节能技术政策大纲》。2007年6月发布中国政府颁布了《应对气候变化国家方案》，这是发展中国家的第一个国家级气候变化方案。该方案的颁布表明中国政府将应对气候变化问题作为国家发展的优先领域的决心。2008年10月，中国政府颁布了《应对气候变化白皮书》。这一政策的颁布充分展示了中国对气候变化的重视程度。该政策还对中国在国内及国际方面的政策战略进行了详细的阐述。2009年，在第十一届人大常委会上通过的《全国人大常委会关于积极应对气候变化的决议》再一次强调了中国发展低碳经济社会的重要性，并相应地强化法律制度体系。这部分政策法规在降低能源强度，提高能源效率，推动可再生能源以及碳汇造林等方面所取得的成就得到了国际上的广泛认可及高度评价。

(图 10-1)

国家制定、实施了“千家企业节能行动”、“十大重点节能工程”，推动了技术节能。强制性的手段是淘汰落后产能和落后技术，通过“上大压小”用先进技术产能替代落后的技术产能，提高了工业企业高耗能项目的入门门槛。

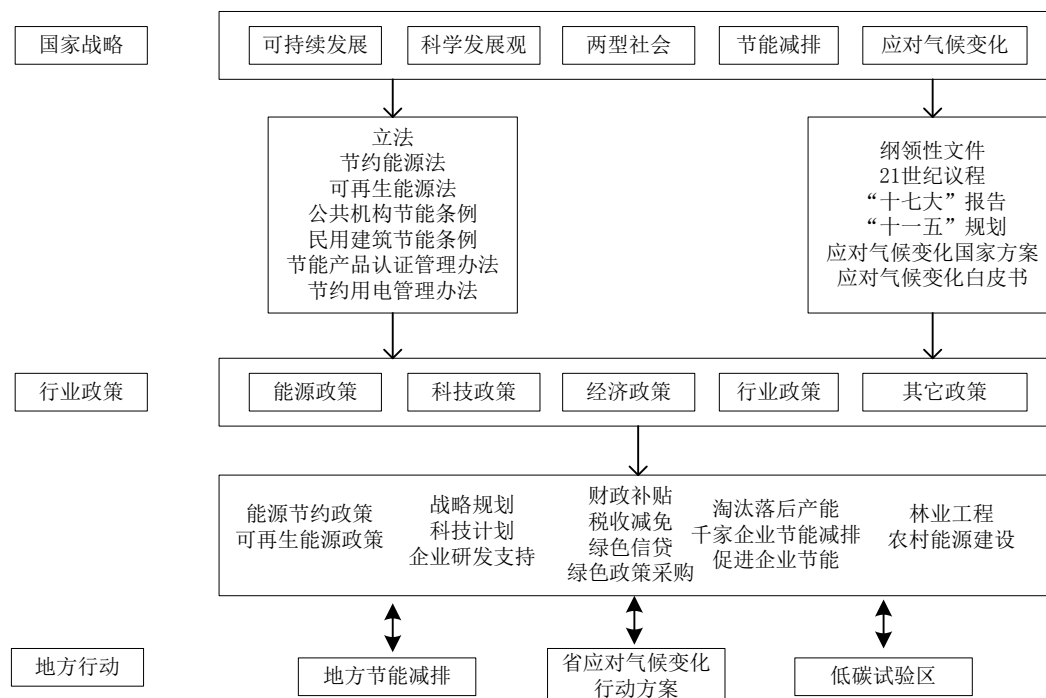


图 10-1 中国促进低碳经济和社会的政策框架

资料来源：联合国开发署，2010

三、低碳节能目标设定

“十一五”规划纲要提出的节能减排目标，要求单位国内生产总值能源消耗要降低 20% 左右，主要污染物排放总量减少 10% 左右。2006 年 3 月 5 日，温家宝总理在政府工作报告中提出，万元 GDP 能耗和主要污染物排放这两个约束性指标“是一个十分严肃的事情，不能改变，必须坚定不移地去实现”。

“十一五”以来，中央政府采取了一系列措施，使得 2006 年全年万元 GDP 能耗实现 2003 年以来的首次下降，主要污染物排放增幅也减缓。但在 2006 年底时，全国没有实现年初确定的节能减排目标，完成“十一五”规划总体目标的难度陡然增大，这使得 2007 年各级政府面临的一大重要任务就是节能减排。

2007 年 4 月 25 日，国务院决定成立“节能减排工作领导小组”，温家宝总理任组长。三天后，国务院就召开全国节能减排工作电视电话会议，并随后印发《节能减排综合性工作方案》，提出 45 条具体工作计划，推进的力度前所未有。

2007 年 10 月 15 日，党的十七大报告提出坚持节约资源和保护环境的基本国策，并落实节能减排工作责任制。到 11 月 23 日，国务院批转《单位 GDP 能耗统计指标体系实施方案》等三个方案，以及《主要污染物总量减排统计办法》等三个办法，节能减排问责制和“一票否决”有了硬杠杆（齐晔，2011）。

省级政府在“十一五”规划期间根据 20% 的能耗目标分别制定了各省市不同的能源节约目标，其范围从最低降低 12%（海南和西藏）到最高降低 25%（吉林），各省级政府为实

现各自目标负责。此外，为降低能源强度，大部分省市都制定了当地的政策法规并成立了各种节能管理机构来促进能源节约。

10.2.2 市场性低碳政策发展

一、CDM 机制下碳交易

清洁发展机制，简称 CDM（Clean Development Mechanism），是《京都议定书》中引入的三个灵活履约机制之一。根据“共同但有区别的责任”原则，已完成工业革命的发达国家应对全球变暖承担更多的历史责任，因此，《京都议定书》只给工业化国家制定了减排任务，但没有对发展中国家作这个要求。按其规定，发达国家缔约方为实现温室气体减排义务，从 2005 年开始至 2012 年间必须将温室气体排放水平在 1990 年的基础上平均减少 5.2%，由于发达国家减排温室气体的成本是发展中国家的几倍甚至几十倍。发达国家通过在发展中国家实施具有温室气体减排效果的项目，把项目所产生的温室气体减少的排放量作为履行京都议定书所规定的一部分义务。一方面，对发达国家而言，给予其一些履约的灵活性，使其得以较低成本履行义务；另一方面，对发展中国家而言，协助发达国家能够利用减排成本低的优势从发达国家获得资金和技术，促进其可持续发展；对世界而言，可以使全球在实现共同减排目标的前提下，减少总的减排成本。因此，CDM 是一种双赢（Win-Win）的选择。

根据联合国气候变化框架公约清洁发展机制（UNFCCC CDM）的相关规则，清洁发展机制（CDM）共划分为 15 个业务领域，分别是：能源工业、能源输配、能源需求、制造业、化学工业、建筑业、运输、采矿及矿产品生产、金属制造、燃料的逃逸性排放、挥发性卤代化合物/六氟化硫生产和消费的逸散排放、溶剂消费、废弃物处置、造林/再造林和农业领域。只有当指定经营实体（DOE）证明其全面具备了相关行业的专业技术能力，并通过清洁发展机制认可委员会（CDM-AP）认可评审后，指定经营实体（DOE）才能被执行理事会（EB）批准授予相关业务领域的资质。

中国国家发展与改革委员会（NDRC）是 CDM 项目的国家主管机构（DNA）。2005 年 10 月 12 日施行的《清洁发展机制项目运行管理办法》，是由国家发改委、科技部、外交部和财政部联合发布的 CDM 项目的指标原则和程序。在过去几年中，中国已经成为京都机制下的灵活机制即清洁发展机制（CDM）的最重要和最大的市场，产生了逾 40% 的联合国碳信用额。

二、合同能源管理（EPC）

应国家发展与改革委员会资源节约与环境保护司要求，2010 年 8 月 9 日国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会联合发布《中华人民共和国国家标准合同能源管理技术通则》，并于 2011 年 1 月 1 日正式实施。根据中华人民共和国国家标准合同能源管理技术通则，合同能源管理（Energy Performance Contracting, EPC）。合同能源管理是以减少的能源费用来支付节能项目成本的一种市场化运作的节能机制。节能服务公司与用户签订能源管理合同、约定节能目标，为用户提供节能诊断、融资、改造等服务，并以节能效益分享方式回收投资和获得合理利润，可以显著降低用能单位节能改造的资金和技术风险，充分调动用能单位节能改造的积极性，是行之有效的节能措施。

1997 年，合同能源管理模式登陆中国。相关部门同世界银行、全球环境基金共同开发和实施了“世行/全球环境基金中国节能促进项目”，在北京、辽宁、山东耀通节能成为了示范性能源管理公司。运行几年来，3 个示范合同能源管理公司项目的内部收益率都在 30% 以上。项目一期示范的节能新机制获得很好的效果，以盈利为目的的 3 家示范 EMCo 运用合同能源管理模式运作节能技改项目很受用能企业的欢迎；所实施的节能技改项目 99% 以上

成功，获得了较大的节能效果、温室气体 CO₂ 减排效果和其它环境效益。鉴于此，国家发改委与世界银行共同决定启动项目二期。2003 年 11 月 13 日，项目二期正式启动。在中国投资担保有限公司设立世行项目部为中小企业解决贷款担保的难题，并专门成立了一个推动节能服务产业发展，促进节能服务公司成长的行业协会——中国节能协会节能服务产业委员会（EMCA）。

三、推进低碳融资的政策措施

为了推动低碳经济的发展，中央和地方政府拨出大量资金支持节能减排项目投资。这些政府投资的主要形式是：中央政府财政投入和项目补助、省级政府建立的节能基金、中央和地方财政支持的信贷激励措施（包括贷款贴息、贷款担保和绿色信贷）以及消费者补贴。

2010 年 4 月出台的《关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的意见》和《中华人民共和国循环经济促进法》，对低碳融资规定了一些可操作的扶持政策，包括：

- （一）给予直接投资、资金补助或奖励。
- （二）提供税收扶持政策。
- （三）鼓励银行等金融机构简化节能服务公司的申请和审批手续。
- （四）采用贷款贴息等方式加大支持力度。
- （五）积极给予包括信用贷款在内的多元化信贷支持，并做好相应的投资咨询、资金清算、现金管理等金融服务。
- （六）积极开发信贷创新产品。拓宽抵押提供范围，创新担保方式，研究推动应收账款、收费权质押以及包括专有知识技术、许可专利及版权在内的无形资产质押等贷款业务。
- （七）支持发行企业（公司）债券、可转换债券和短期融资券、中期票据等直接融资工具。
- （八）鼓励各类担保机构为债权融资产品的发行提供担保服务。

为了加强高碳型工业的节能减排技术改造和低碳经济的发展，近期一些省（自治区、直辖市）也出台了支持节能减排的指导意见。

同时，国内银行等机构已经开始在低碳领域尝试新的融资模式和相关金融产品。如 2011 年 8 月份，由中国节能协会、北京环境交易所、北京银行、交通银行、碳战军团（中介咨询机构）联合推出“碳贷通”、“碳险通”、“碳责通”节能金融产品。“节能服务公司属于轻资产类客户，没有抵押，如果合同方或政府不还钱，银行就可能出现坏账。”该类项目在银行属于高风险领域。而上述三项节能金融产品，试图通过“技术公司”作为担保方，降低银行授信风险，从而找到节能服务公司融资突破口（卢先兵，2011）。

10.2.3 参与性低碳政策发展

中国在积极发挥行业协会、社会组织和中介机构的作用方面有所进步。国际、国内非政府组织（NGO）活跃，积极为国家的低碳发展献计献策。新型的低碳发展治理机制正在不断探索之中，政府、企业、市场、社会的良性互动初步形成。

一、通过法律法规明确节能减排宣传责任主体

按照《中华人民共和国节约能源法》的有关要求，各地纷纷制定《中华人民共和国节约能源法》实施办法，加强节能减排宣传。如 2010 年 5 月北京市制定了《北京市实施《中华人民共和国节约能源法》办法》，其中“第十八条，市发展改革部门建立统一的节能公共服务网站，公布节能政策法规、节能服务机构名录，宣传节能知识，介绍节能技术和产品，披露违反节能法律、法规行为的信息，促进节能信息资源共享。”从法规层面进一步明显责任主

体。

二、教育引导节能减排活动持续深入进行

2010 年 1 月 21 日至 22 日，低碳中国论坛首届年会在京隆重召开。大会发表了宣言并倡议设立全球首个“低碳日”。宣言认为：全球变暖，对于人类既是挑战，也是创造新时代、新经济、新文化的良机，是科技创新、产业创新、价值创新的动力。宣言并在全球首次倡议设立“低碳日”，以多种形式、多种渠道、多个角度加大全民低碳宣传、教育。倡议将 5 月 20 日设立为全球低碳日，并在大会期间获得了积极响应，数百名政府官员、企业家、社会名流、大中学生纷纷签名。

全国节能宣传周活动自 1990 年国务院第六次节能办公会议上确定以来每年举行。全国节能宣传周期间，由国家发展改革委等部门联合其它部门举办，各部门要围绕宣传周活动的主题，举办政府行动、企业行动、社区行动等针对不同群体的宣传活动。

三、通过节能技改财政奖励促进企业参与

企业实施符合“十大节能工程”中部分项目要求的节能技改项目，只要节能超过 1 万吨标煤就可申请财政奖励资金。企业可以在项目开工前，通过提高可行性报告向当地发展和改革委员会申请奖励资金，企业同时需提交改造前用能状况、节能措施、节能量及计量检测方法，省级节能主管部门会同财政部门对企业节能资金申请报告进行严格初审、确定、汇总后，报国家发展和改革委员会和财政部。国家发展和改革委员会会同财政部对地方上报的财政节能奖励多次申请报告组织专家进行评审。国家发展和改革委员会根据奖励标准确定项目奖励额度，财政部根据国家发展和改革委员会下达的节能技术改造项目实施计划，将初审确定的奖励金额的 60%通过财政系统下发给申请企业。项目实施期间，地方节能主管部门会同财政部门采取必要措施督促节能技术改造项目实施，保证项目按时完工并实现节能目标。项目完成后，国家发展和改革委员会会同财政部对节能项目进行复审，根据项目的实际节能量，向企业拨付剩余的奖励资金。

10.3 现行低碳政策存在的问题及分析

传统政策体系基本上是为解决单一环境问题而设计，具有明显的末端治理倾向，政策的主体是政府，通过规制性政策发生作用。低碳发展的政策目标不再是单一的温室气体排放问题，而是通过转变传统经济发展模式，实现经济社会发展与温室气体排放脱钩发展的一体化长效解决方案。这与传统经济发展模式有着本质的区别，必须通过创新政策体系保障向低碳发展模式的成功转型。

10.3.1 地方政府节能压力与能力不匹配

责任制的基本特征，是节能目标从中央到省、从省到市、从市到县的层层分解。在这种分解模式下，省级和市级政府的主要职责在于督促下级地方政府及其辖区内重点耗能企业节能目标的完成，而县级及其以下的地方政府则成为节能压力的主要承担者。

节能工作的组织体系中，从中央到地方均建立了节能减排领导小组，并有相应的专门机构负责节能目标责任制的实施，但越到基层，负责节能目标责任制的人员力量越趋薄弱，其所能提供的节能支持也相应减弱。与中央政府和省级政府相比，县级政府很难有足够的资金来支持企业的节能技术改造。县级政府所直接管辖的企业以中小企业居多，与大型企业相比，

中小企业的节能资金更为缺乏，由于节能量较小，这些企业很难获得各级政府的节能技改资金支持。对于一些大型国有企业，由于其行政级别更高，基层政府很难有能力对其节能行为进行监管；而对于大型的民营、合资、外资企业来说，由于其在地方经济发展中的支柱性地位，基层政府往往在经济发展和节能目标之间难以取舍，导致对这些企业的节能行为监管较为薄弱。同时，县级以下地方政府在节能技术服务方面力量还相当薄弱，难以满足其辖区内企业的节能技术服务需求。因此，尽管目标责任制对县级以下地方政府的节能行为构成了有效约束，但由于其能力有限，在节能目标的完成方面面临着比上级政府更大的节能压力。

10.3.2 政策主体管理能力不足

中国气候变化领导机构始于 1990 年设立，当时的国务院环境保护委员会下的国家气候变化协调小组。1998 年，国家气候变化协调小更名为国家气候变化对策协调小组，小组办公室也转到国家发展计划委员会。2007 年 6 月，中国政府决定成立国家应对气候变化及节能减排工作领导小组，作为国家应对气候变化和节能减排工作的议事协调机构。领导小组组长由国务院总理温家宝担任，领导小组下设国家应对气候变化领导小组办公室、国务院节能减排工作领导小组办公室，国家应对气候变化领导小组办公室在原有国家气候变化对策协调小组办公室的得到完善和加强。直到 2008 年国务院机构改革，才在国家发展和改革委员会设立应对气候变化司，负责组织拟定应对气候变化重点、规划和政策，与有关部门共同牵头组织参加气候变化国际谈判，负责国家履行联合国气候变化框架公约的相关工作。

由于国家应对气候变化的正式管理机构刚刚成立，而气候变化问题极其复杂、涉及面广、责任重大，一方面无论从人员编制还是宏观管理能力都十分薄弱，与其承担的责任和中国的大国地位很不相称；另一方面，中国应对气候变化的法律法规、战略与规划、政策体系等非常不完善，很多领域仍然处于空白状态。且不说是发展低碳经济，即使是应对气候变化等方面都面临着管理的困难和障碍，急需在未来的发展中不断加强和改善。

10.3.3 政策机制手段落后

作为从计划经济向市场经济转型国家，政府为保证基本需求实行能源价格补贴，这在过渡期和存在大量低收入人群的情况下是可以理解的。政府希望以可以接受的价格向公民提供能源普遍服务，体现了社会公平与和谐社会的理念。但是，较低能源价格的负面影响也是显而易见的，它对于节能、技术进步和结构调整等都不能形成正向激励。在近年国际市场煤炭、油价持续上涨的情况下，如果长时间大规模进行能源价格补贴，不仅与国家经济发展的客观要求相背离，而且还鼓励了消费，甚至导致浪费，能源利用效率低下等，对保证中国产业结构调整 and 长远的能源安全不利。特别是在重化工业阶段，较低的能源价格助长了高耗能工业的发展，并在进一步产生“高碳”设备和产品的锁定效应。

此外，中国在产品的强制能效标准、节能产品的标准和标识、行业能源的标杆管理、政策节能 减排产品采购、市场准入与退出机制等方面的政策和实施方面与国外还有明显的差距，严重影响了中国节能减排工作的深开展以及行业、企业低碳转型的实际运作。

10.4 未来中国低碳政策走向

10.4.1 政策主体

按照现代治理理论，低碳发展需要政府、企业、社会三方的共同参与，使政府、企业、社会公众三类主体建立起合作伙伴关系（即 3P 模式。3P-public, private, people），以政府为主导，营利性企业、公益性组织、社会公众等构成的社会多元主体共同参与，形成政府、市场、社会三种机制在治理主体上的有机整合。政府主要进行政策支持和制度约束，在企业和社会无法有效运作的领域发挥作用；生产、制造和销售型企业，应按市场规律和规则运作，履行其排放者责任；事业单位等非营利组织应为政府制定管理目标和运作规则提供技术支撑，非营利组织和社会中介的参与，可以弥补政府失灵和市场失效，同时还可以充分发挥社会公众和舆论媒体的监督作用。

这里需要强调政府在低碳发展中的主导地位。尽管低碳发展管理框架需要从一元化转向多元化，但政府在低碳发展中的核心地位不会因其他主体的参与而有所动摇。政府可通过公营部门改制、放权给非部门性公共机构或非政府组织、和营利性组织建立合作伙伴关系、在制定公共政策时加强公众参与等措施来实现分权和其他管理主体的培养；政府可通过订立契约，以授权-代理的方式决定和影响其他管理主体的活动方式和活动效果。

10.4.2 政策机制及政策类型

现代治理理论要求低碳发展的公共政策具有广泛的参与性，这必须通过三套机制和三种政策工具才能实现。三套机制，即现代政府—城市行政体制，企业—市场机制，非政府组织—社会机制，相应的政策工具包括规制性政策、市场性政策以及参与性政策。行政机制体现着政府自上而下的努力，市场机制则可以发挥出赢利性组织横向的努力，社会机制可以促进非政府组织自下而上的努力。这三套机制和三种政策工具的全方位的政策组合可以激励政府、企业和社会三类主体在低碳发展中发挥出积极性（图 10-2）。

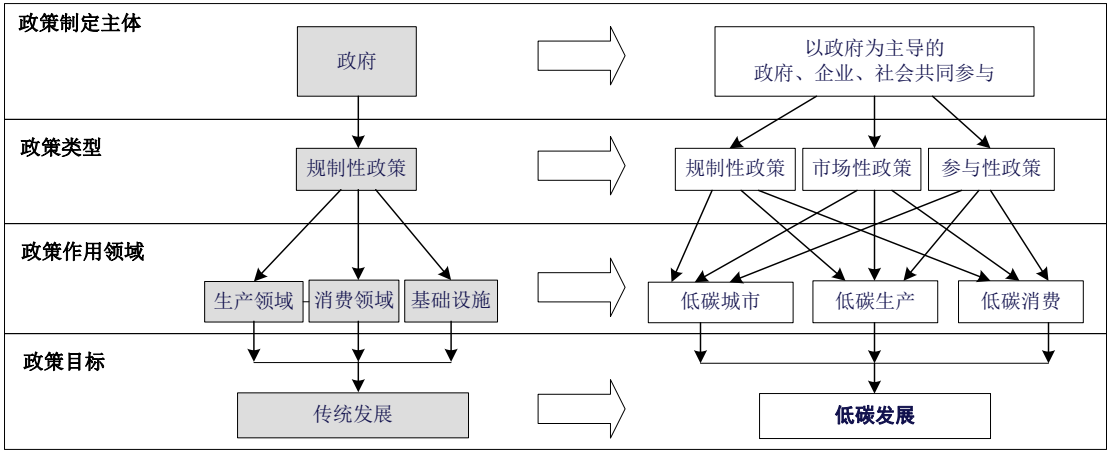


图 10-2 从传统发展到治理理论下的低碳发展政策体系

资料来源：臧漫丹制作

参考文献

- 1 Allan Mazur. 2011. Does increasing energy or electricity consumption improve quality of life in industrial nations?. *Energy Policy*, 39:2568-2572.
- 2 Ang B W. 1999. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? *Energy Policy*, 27:943-946.
- 3 Aumnad Phdungsilp. 2010. Integrated energy and carbon modeling with a decision support system:Policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok. *Energy Policy*, 38:4808-4817.
- 4 B. Sudhakara Reddy, Binay Kumar Ray. 2010. Decomposition of energy consumption and energy intensity in Indian manufacturing industries. *Energy for Sustainable Development*, 14:35-47.
- 5 Bardach E, Robert A, Kagan. 2002. *Going by the book:the problems of regulatory unreasonableness*. Philadelphia:Transaction publishers.
- 6 Becker Gary S. 1968. Crime and punishment:an economic approach. *Journal of Political Economy*, 76:169-217.
- 7 Beinhocker E, et al. 2008. The carbon productivity challenge:Curbing climate change and sustaining economic growth. <http://www.mckinsey.com/mgi>.
- 8 BP. 2007. *Statistical Review of World Energy*, 2007-12-28.
- 9 Breschi S., Malerba F. 1997. Sectoral systems of innovation: technological regimes, schumpeterian dynamics and spatial boundaries//Edquist, systems of innovation:technologies, institutions and organizations. London: Pinter.
- 10 Buchner B, Carraro C. 2005. Modelling climate policy:perspectives on future negotiations. *Journal of Policy Modeling*, (27):711-732.
- 11 Can Wang, Jining Chen, Ji Zou. 2005. Decomposition of energy-related CO₂ emission in China: 1957-2000. *Energy*, 30:73-83.
- 12 Carroll A. B. 1979. A three-dimensional conceptual model of corporate performance. *Academy of Management review*, 4(4).
- 13 Chen Hongmin. 2008. How to promote local government to save energy and reduce pollutant to save energy and reduce pollutant discharges. *Economic Review*, 5:35-37.
- 14 Cherni, J. A. 2007. Renewable energy policy and electricity market reforms in China. *Energy Policy*, 35: 3617-3629.
- 15 Chunbo Ma, David I. Stern. 2008. Biomass and China's carbon emissions: A missing piece of carbon decomposition. *Energy Policy*, 36:2517-2526.
- 16 Chunbo Ma, David I. Stern. 2008. China's changing energy intensity trend: A decomposition analysis. *Energy Economics*, 30:1037-1053.
- 17 Cole M A,Rayner A J,Bates J M.1997.The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics*, 2(4):401-416.
- 18 Common M. 2007. Measuring national economic performance without using prices. *Ecological Economics*, 64:92-102.
- 19 Daniel A. Lachman. 2011. Leapfrog to future: Energy scenarios and strategies for Suriname to 2050. *Energy Policy*, 39:5035-5044.
- 20 DiMaggio P.J., Walter W. Powell. 1991. The new institutionalism in organizational non-compliance with

- environmental law?. *Journal of Social Issues*, 45:109-132.
- 21 Edward L. Glaeser. 2008. The greenness of city. Rappaport institute taubman center, (3):1-11.
 - 22 EIA. 2007. International energy outlook, Washington D.C. [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2007\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2007).pdf).
 - 23 Esteban Fernández, Paula Fernández. 2008. An extension to Sun's decomposition methodology: The path based approach. *Energy Economics*, 30:1020-1036.
 - 24 Freeman C, Soete L. The economics of industrial innovation (third). London: Pinter, 1997.
 - 25 Freeman C. Technology policy and economic performance: Lessons from Japan. London: Pinter, 1987.
 - 26 Grossman G. M. Economic growth and environment. *Quarterly Journal of Economics*. 1995, 10(2):23-24.
 - 27 Grossman G. M., Krueger A. B. 1991. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper.
 - 28 Gürkan Kumbaroglu. 2011. A sectoral decomposition analysis of Turkish CO₂ emissions over 1990-2007. *Energy*, 36:2419-2433.
 - 29 Hong H, et al. 2005. Solar thermal power cycle with integration of methanol decomposition and middle-temperature solar thermal energy. *Solar Energy*, 178: 49-58.
 - 30 Huang Yophy, et al. 2010. The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application. *Energy Policy*, doi:10.1016/j.enpol.10.023.
 - 31 I.J. Lu, Sue J. Lin, Charles Lewis. 2007. Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea. *Energy Policy*, 35:3226-3235.
 - 32 IEA. 2007. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions. Paris: IEA.
 - 33 IEA. 2009. Key World Energy Statistics 2009. <http://www.iea.org>.
 - 34 Jan Christoph Steckel, et al. 2011. From carbonization to decarbonization?—Past trends and future scenarios for China's CO₂ emissions, 39:3443-3455.
 - 35 Jie Fan, et al. 2011. Energy policies for sustainable livelihoods and sustainable development of poor areas in China. *Energy Policy*, 39:1200-1212.
 - 36 Jim Skea, Shuzo Nishioka. 2008. Policies and practices for a low-carbon society, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rome2007/docs/Policies%20and%20practices%20for%20a%20low-carbon%20society.pdf.
 - 37 Katerina Papagiannaki, Danae Diakoulaki. 2009. Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark. *Energy Policy*, 37:3259-3267.
 - 38 Kok R, Benders R M J, Moll H C. 2006. Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input-out energy analysis: a comparison of methods and a discussion of results. *Energy Policy*, 34(17):2744-2761.
 - 39 Lan-Cui Liu, et al. 2007. Using LMDI Method to analyze the change of China's industrial CO₂ emissions from final fuel use: An Empirical Analysis. *Energy Policy*, 35:5892-5900.
 - 40 Li Li, et al. 2010. Energy demand and carbon emissions under different development scenarios for Shanghai, China. *Energy Policy*, 38:4797-4807.
 - 41 Libo Wu, Shinji Kaneko, Shunji Matsuoka. 2006. Dynamics of energy-related CO₂ emissions in China during 1980 to 2002: The relative importance of energy supply-side and demand-side effects. *Energy Policy*, 34:3549-3572.
 - 42 Liu Jia, Chen Wenjing, Liu Deshun. 2010. Scenario analysis of China's future energy demand based on TIMES model system. *Energy Procedia*, 5:1803-1808.
 - 43 Liu L C, et al. 2007. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial emissions from final

- fuel use: an empirical analysis. *Energy Policy*, 35(11):5892-5900.
- 44 Luciano Charlita de Freitas, Shinji Kaneko. 2011. Decomposition of CO₂ emissions change from energy consumption in Brazil: Challenges and policy implications. *Energy Policy*, 39:1495-1504.
 - 45 Malerba F. 2002. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, (32):247-264.
 - 46 Malerba F. 2005. Sectoral systems of innovation//the Oxford Innovation Handbook. New York:Oxford University Press.
 - 47 Manfred Max-Neef. 1995. Economic growth and quality of life: A threshold hypothesis. *Ecological Economics*, 15:115-118.
 - 48 Maria da Graça Carvalho, et al. 2011. Building a low carbon society. *Energy*, 36:1842-1847.
 - 49 McKibbin W, Wilcoxon P. 2002. The role of economics in climate change policy. *Journal of Economic Perspectives*. 16(2):107-129.
 - 50 Mielnik O, Goldeberg J. 1999. The evolution of the “Carbonization Index” in developing countries. *Energy Policy*, 27: 307-308.
 - 51 Min Zhao, et al. 2010. Decomposing the influencing factors of industrial carbon emissions in Shanghai using the LMDI method. *Energy*, 35:2505-2510.
 - 52 Ming Zhang, Hailin Mu, Yadong Ning. 2009. Accounting for energy-related CO₂ emission in China, 1991-2006. *Energy Policy*, 37:767-773.
 - 53 Myrsine Salta, Heracles Polatidis, Dias Haralambopoulos. 2009. Energy use in the Greek manufacturing sector: A methodological framework based on physical indicators with aggregation and decomposition analysis. *Energy*, 34:90-111.
 - 54 OECD. 2002. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth.[http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=sg/sd\(2002\)1/final&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=sg/sd(2002)1/final&doclanguage=en).
 - 55 P. Thomond & F. Lettiee. 2002. Disruptive innovation explored. 9th IPSE International Conference on Concurrent Engineering.
 - 56 Paolo Agnolucci. 2009. Different scenarios for achieving radical reduction in carbon emissions: A decomposition analysis. *Ecological Economics*, 68:1652-1666.
 - 57 Paul A. Steenhof. 2007. Decomposition for emission baseline setting in China’s electricity sector. *Energy Policy*, 35:280-294.
 - 58 Philip Lawn, Matthew Clarke. 2010. The end of economic growth? A contracting threshold hypothesis. *Ecological Economics*, 69:2213-2223.
 - 59 Price, L., et al. 2008. China’s Top-1000 energy – consuming enterprise program: reducing energy consumption of the 1000 largest industrial enterprises in China. Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory, 34.
 - 60 Prometheus Institute. 2007. PV technology. performance and cost-2007 Update.
 - 61 REN21. 2007. Renewables 2007 Global Status Report.
 - 62 Richard S.J. Tol. 2007. Carbon dioxide emission scenarios for the USA. *Energy Policy*, 35:5310-5326.
 - 63 Run Wang, et al. 2011. Path towards achieving of China’s 2020 carbon emission reduction target——A discussion of low-carbon energy policies at province level. *Energy Policy*, 39:2740-2747.
 - 64 Scott W. R. 1995. Institutions and organizations. Sage Publications, Thousand Oaks, California.
 - 65 Shi Minjun, et al. 2010. Can China realize CO₂ mitigation target toward 2020?. *Journal of Resources and Ecology*, 1(2):145-154.
 - 66 Shobhakar Dhakal. 2009. Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. *Energy Policy*, 37:4208-4219.

- 67 Song Kai, 2010. Study on low Carbon Consumption and low carbon life,
<http://www.seiofbluemountain.com/upload/product/201010/2010dthy05a8.pdf>
- 68 Stigler G. J. 1970. The optimum enforcement of laws. *Journal of Political Economy*, 78(3):526-536.
- 69 Subhes C. Bhattacharyya, Wataru Matsumura. 2010. Changes in the GHG emission intensity in EU-15: Lessons from a decomposition analysis. *Energy*, 35:3315-3322.
- 70 Sue J. Lin, I.J. Lu, Charles Lewis. 2006. Identifying key factors and strategies for reducing industrial CO₂ emissions from a Non-Kyoto Protocol Member's (Taiwan) perspective. *Energy Policy*, 34:1499-1507.
- 71 Sun J W. 1998. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. *Energy Economics*, 20: 85-100.
- 72 Sun J W. 2005. The Decrease of CO₂ emissions intensity is decarbonization at national and global levels. *Energy Policy*, 33:975-978.
- 73 Sunil Malla. 2009. CO₂ Emissions from electricity generation in seven Asia-Pacific and North American countries: A decomposition analysis. *Energy Policy*, 37:1-9.
- 74 Tao Wang, Jim Watson. 2010. Scenario analysis of China's emissions pathways in the 21st century for low carbon transition. *Energy Policy*, 38:3537-3546.
- 75 Tapio P. 2005. Towards a theory of decoupling degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Energy Policy*, 12(2):137-151.
- 76 The Climate Institute and E3G.G20 Low Carbon Competitiveness Report. www.climateinstitute.org.au.
- 77 Third Generation Environmentalism. 2009. Measuring low carbon competitiveness. <http://www.e3g.org>.
- 78 UNDP. 1990. Human Development Report 1990. New York: Oxford University Press.
- 79 UNDP. 2008. <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-8/chapters>.
- 80 UNDP. 2010. <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2010/chapters/cn>.
- 81 UNDP. 2011. Human development report 2011:the human development challenges of sustainability and equity, <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2011>.
- 82 V. Mauerhofer. 2008. 3-D Sustainability:an approach for priority setting in situation of conflicting interests towards a sustainable development. *Ecological Economics*, (6): 496-506.
- 83 Valentina Niccolucci, Federico M. Pulselli, Enzo Tiezzi. 2007. Strengthening the threshold hypothesis: Economic and biophysical limits to growth. *Ecological Economics*, 60:667-672.
- 84 Vemuri A W, Costanza R. 2006. The Role of human, social Built, and natural capital in explaining life satisfaction at the country level toward a national well- Being index(NWI). *Ecological Economics*, 58(1):119-133.
- 85 Volker Mauerhofer. 2008. 3-D Sustainability: An approach for priority setting in situation of conflicting interests towards a sustainable development. *Ecological Economics*, 64:496-506.
- 86 W. Weiss, Franz Mauthner. 2010. Solar heat worldwide, solar heating and cooling programme, International Energy Agency.
- 87 Wackernagel M., et al., 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 29:375-390.
- 88 Wang Di, Nie Rui, Shi Haiying. 2010. Scenario analysis of China's primary energy demand and CO₂ emissions based on IPAT model. *Energy Procedia*, 5:365-369.
- 89 Wang Z. 2009. Prospectives for China's solar thermal power technology development. *Energy* (2009), doi:10.1016/j.energy. 2009.04.004.
- 90 Weber C, Perrels A. 2000. Modeling lifestyles effects on energy demand and related emissions. *Energy Policy*, 28(8):549-566.
- 91 Wei Y M, et al. 2007. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: an empirical analysis of

- China's residents. *Energy Policy*, 35(1):247-257.
- 92 Wenjia Cai, et al. 2008. Comparison of CO₂ emission scenarios and mitigation opportunities in China's five sectors in 2020. *Energy Policy*, 36:1181-1194.
 - 93 Wenjing Chen. 2011. The potential role of CCS to mitigate carbon emissions in future China. *Energy Procedia*, 4:6007-6014.
 - 94 Werner Weiss, et al. 2007. Solar heat for industrial process. IEA solar heating & cooling programme.
 - 95 World Bank. 2001. China: Opportunities to Improve Energy Efficiency in Buildings. Washington, DC: World Bank Asia Alternative Energy Programme and Energy & Mining Unit, East Asia and Pacific Region.
 - 96 Wu Q, et al. 2008. Study on the stakeholders of energy system in China. Long Beach, USA: 2008 International Conference on Management Science and Engineering.
 - 97 Yanli Dong, et al. 2010. An analysis of the driving forces of CO₂ emissions embodied in Japan-China trade. *Energy Policy*, 38:6784-6792.
 - 98 Yin Zhiqiang. 2005. Developments of solar thermal systems in China. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 86: 427-442.
 - 99 Yin Zhiqiang. 2007. Status of solar thermal conversion in China. Solar World Congress, Beijing, China. Proceedings of ISES, 19~26.
 - 100 Zha Donglan, Zhou Dequn, Zhou Peng. 2010. Driving forces of residential CO₂ emissions in urban and rural China: An index decomposition analysis. *Energy Policy*, 38:3377-3383.
 - 101 Zhang S Y, et al. 2010. Comparative analysis of energy use in China building sector: current status, existing problems and solutions. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 4(1):2-21.
 - 102 Zhang, X. 2008. Observations on energy technology research, development and deployment in China. Beijing: Tsinghua University Institute of Energy, Environment and Economy.
 - 103 Zhou P, Ang B W, Han J.Y. 2010. Total factor carbon emissions performance: A malmquist index analysis. *Energy Economics*, 31:194-201.
 - 104 Zou Ji. 2002. Tools and Methodologies in Assessing Technology Needs. Working Paper. Seoul, Korea.
 - 105 (美)奥利弗·吉勒姆. 2007. 无边的城市:论战城市蔓延. 叶齐茂, 倪晓晖, 译. 北京:中国建筑工业出版社.
 - 106 (美)赫尔曼·戴利, 约舒亚·弗蕾. 2007. 生态经济学:原理与应用. 徐中民, 等译. 郑州:黄河水利出版社.
 - 107 (美)赫尔曼·E·戴利. 2006. 超越增长:可持续发展的经济学. 诸大建, 等译. 上海:上海译文出版社.
 - 108 (英)阿瑟·C·庇古. 2009. 福利经济学. 朱泱, 张胜纪, 吴良健译. 北京:商务印书馆.
 - 109 (英)约翰·穆勒. 2009. 政治经济学原理:及其在社会哲学上的若干应用. 赵荣潜, 等译. 北京:商务印书馆.
 - 110 2050 中国能源和碳排放研究课题组. 2009. 2050 中国能源和碳排放报告. 北京:科学出版社.
 - 111 白泉, 等. 2009. 中国 2050 年经济社会发展情景//中国可持续能源课题组. 中国可持续能源:中国 2050 年低碳发展之路. 北京:科学出版社.
 - 112 保罗·克留格尔. 2007. 可再生能源开发技术. 朱红, 译. 北京:科学出版社.
 - 113 北京东方环境研究院, 国家发展和改革委员会能源研究所, 可再生能源发展中心. 2009.《可再生能源法》有效实施与产业发展研究——《可再生能源法》实施回顾与评价(二期). 北京:中国可持续能源项目报告.
 - 114 北京东方环境研究院, 国家发展和改革委员会能源研究所, 可再生能源发展中心. 2010.《可再生能源法》实施跟踪评价及相关者环境政策研究. 北京:能源基金会.
 - 115 北京银联信信息咨询中心. 2010. 中国风电产业发展研究报告 2009. 北京:科学出版社.
 - 116 才凤敏. 2010. 引导低碳消费的政策分析及工具选择. *南京工业大学学报(社会科学版)*, (9):15-18.
 - 117 蔡林海. 2009. 低碳经济——绿色革命与全球创新竞争大格局. 北京:经济科学出版社.

- 118 操小娟, 李和中. 2010. 我国城市低碳发展激励政策的决策模型及案例分析. 科技进步与对策, 27(22):121-125.
- 119 曹国华, 孙华灿. 2010. 城市公共交通系统中低碳出行合理路径算法. 交通信息与安全, 28(4):18-22.
- 120 曹吉鑫, 等. 2009. 森林碳汇的估算方法及其发展趋势. 生态环境学报, 18(5): 2001-2005.
- 121 曹军新. 2011. 低碳经济的市场推动者:国外的经验与我国的政策困境. 经济社会体制比较, (1):187-195.
- 122 巢桂芳. 2010. 关于提高低碳经济意识、创导低碳消费行为的调查与研究. 经济研究导刊, (31):215-216.
- 123 陈秉钊. 2008. 城市:紧凑而生态. 城市规划学刊, (3):28.
- 124 陈飞, 诸大建. 2009. 低碳城市研究的内涵、模型及目标策略确定. 城市规划学刊, (4):7-13.
- 125 陈健, 等. 2008. 全国森林碳汇监测和计量体系的初步研究. 生态环境, (5):128-132.
- 126 陈柳钦. 2010. 低碳消费:一种可持续的消费模式. 环境保护与循环经济, (9):18-20.
- 127 陈柳钦. 2011. 我国新能源汽车产业发展及其困境摆脱的探讨. 能源工程, (3):1-8.
- 128 陈蔚镇, 卢源. 2010. 低碳城市发展的框架、路径及愿景:以上海为例. 北京:科学出版社.
- 129 陈文婕, 曾德明. 2010. 我国低碳技术创新中的镇定效应与对策——基于创新系统的视角. 光明日报.
- 130 陈文颖, 高鹏飞, 何建坤. 2004. 二氧化碳减排对中国未来 GDP 增长的影响. 清华大学学报(自然科学版), 44(6):744-747.
- 131 陈晓春, 张喜辉. 2009. 浅谈低碳经济下的消费引导. 消费经济, 25(2):71-74.
- 132 陈亚雯. 2010. 西方国家低碳经济政策与实践创新对中国的启示. 经济问题探索, (8):1-7.
- 133 陈勇. 2007. 中国能源与可持续发展——中国可持续发展总纲:第3卷. 北京:科学出版社.
- 134 谌伟, 诸大建, 白竹岚. 2010. 上海市工业碳排放总量与碳生产率关系. 中国人口·资源与环境, 20(9):24-29.
- 135 谌伟, 诸大建. 2011. 中国二氧化碳排放效率低么?——基于福利视角的国际比较. 经济与管理研究, (1):56-63.
- 136 仇保兴. 2006. 紧凑度和多样性:我国城市可持续发展的核心理念. 城市规划学刊, 30(11):18-24.
- 137 崔明, 等. 2008. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价. 农业工程学报, 24 (12): 291-296.
- 138 崔选民. 2009. 能源蓝皮书:中国能源发展报告. 北京:社会科学文献出版社.
- 139 崔奕, 郝寿义, 陈妍. 2010. 低碳经济背景下看低碳产业发展方向. 生态经济, (6):91-94.
- 140 戴彦德, 等. 2007. 实现单位 GDP 能耗降低 20%目标的途径和措施建议. 中国工业经济, (4):29-37.
- 141 戴彦德, 朱跃中. 2002. 中国可持续能源发展情景及其碳排放分析. 中国能源, (11):31-36.
- 142 单吉堃. 2010. 韩国应对气候变化的政策与行动. 学习与探索, (6):151-153.
- 143 邓国用, 刘阳. 2011. 低碳消费与中国居民消费方式变革. 消费经济, 27(3):59-62.
- 144 丁成日, 等. 2005. 城市规划与城市结构:城市可持续发展战略. 北京:中国建筑工业出版社.
- 145 丁玉梅, 廖良美. 2010. 基于低碳经济的技术创新思考. 生产力研究, (11):131-133.
- 146 段海燕, 王雷. 2009. 我国石油工业二氧化碳地质封存研究. 石油钻采工艺, (1):121-124.
- 147 樊纲. 2010. 走向低碳发展:中国与世界. 北京:中国经济出版社.
- 148 方精云, 陈安平. 2001. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义. 植物学报, 43(9):967-973.
- 149 方精云, 等. 2009. “八国集团”2009 意大利峰会减排目标下的全球碳排放情景分析. 中国科学 D 辑:地球科学, 39(10):1339-1346.
- 150 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 1996. 中国森林植被生物量和净生产力. 生态学报, (4): 497-508.
- 151 方精云, 等. 2007. 1981-2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学, (6):804-812.
- 152 方小林, 高岚. 2011. 中国森林碳汇市场的研究现状及进一步发展的建议. 生态经济, (3):96-99.
- 153 冯之浚, 周荣, 张倩. 2009. 低碳经济的若干思考. 中国软科学, (12):18-23.
- 154 冯周卓, 袁宝龙. 2010. 城市生活方式低碳化的困境与政策引领. 上海城市管理, (3):4-8.

- 155 付慧. 2010. 低碳经济研究现状述评. 安徽农业科学, (8):66-76.
- 156 付加锋, 刘小敏. 2010. 基于情景分析法的中国低碳经济研究框架与问题探索. 资源科学, 32(2):205-210.
- 157 傅伯杰, 牛栋, 赵士洞. 2005. 全球变化与陆地生态系统研究:回顾与展望. 地球科学进展, (5):556-560.
- 158 傅红春, 等. 2008. 满足与幸福的经济学. 上海:格致出版社:上海人民出版社.
- 159 盖红波. 2005. 光伏技术展望. 全球科技经济瞭望.
- 160 高鹏飞, 陈文颖. 2002. 碳税与碳排放. 清华大学学报(自然科学版), 42(10):1335-1338.
- 161 高占义. 2009. 中国水资源. 北京:“中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究”生物能源研讨会.
- 162 古雪. 2011. 低碳出行成主要选择, 各地有特色. 市场研究, (5):16-17.
- 163 郭广涛, 郭菊娥, 柴建. 2010. 西部发展节能服务的低碳效应及其政策研究. 管理评论, 22(6):71-76.
- 164 郭立伟, 饶宝红. 2011. 低碳消费文献综述. 经济论坛, (4):178-181.
- 165 郭茹, 等. 2009. 上海市应对气候变化的碳减排研究. 同济大学学报(自然科学版), 37(4):515-519.
- 166 国际能源署. 2007. 2007 年世界能源发展展望:中国与印度探索.
- 167 国家电力监管委员会发电发展那情况调研组. 2009. 我国风电发展情况调研报告. 北京:国家电力监管委员会风电发展情况调研组.
- 168 国家发改委能源所. 2009. 中国 2050 年低碳发展之路. 北京:科学出版社.
- 169 国家发展和改革委员会, 国家统计局. 2010. 千家企业能源利用状况公报 2010. 北京:国家发展和改革委员会, 国家统计局.
- 170 国家发展和改革委员会. 2006. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年(2006-2010)规划纲要. 北京:国家发改委.
- 171 国家发展和改革委员会能源研究所. 2009. “十二五”节能重大问题研究. 北京:国家发展和改革委员会.
- 172 国家发展和改革委员会能源研究所. 2010. 能效及可再生能源项目:融资指导手册. 北京:中国环境科学出版社.
- 173 国家发展和改革委员会能源研究所课题组. 2009. 中国 2050 年低碳发展之路:能源需求暨碳排放情景分析. 北京:科学出版社.
- 174 国家海洋局. 2009. 2008 年中国海洋经济统计公报.
- 175 国家统计局. 2008. 关于 2006 年 GDP 数据最终核实、2007 年 GDP 数据初步核实结果的公告. http://www.stats.gov.cn/tjdt/zygg/sjxdtzgg/t20080410_402473114.htm.
- 176 国家统计局. 2010. 中国统计年鉴 2010. 北京:中国统计出版社.
- 177 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局. 2005. 中国能源统计年鉴 2004. 北京:中国统计出版社.
- 178 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局. 2006. 中国能源统计年鉴 2005. 北京:中国统计出版社.
- 179 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局. 2007. 中国能源统计年鉴 2006. 北京:中国统计出版社.
- 180 国家统计局工业交通统计司. 1990. 中国能源统计年鉴 1989. 北京:中国统计出版社.
- 181 国家统计局工业交通统计司. 1992. 中国能源统计年鉴 1991. 北京:中国统计出版社.
- 182 国家统计局工业交通统计司. 1998. 中国能源统计年鉴 1991-1996. 北京:中国统计出版社.
- 183 国家统计局工业交通统计司. 2001. 中国能源统计年鉴 1997-1999. 北京:中国统计出版社.
- 184 国家统计局能源统计司. 2010. 中国能源统计年鉴 2009. 北京:中国统计出版社.
- 185 韩文科, 杨玉峰, 苗韧. 2009. 全球碳捕集与封存(CCS)技术的最新进展. 宏观经济研究, (12):5-45.
- 186 何建坤, 苏明山. 2009. 应对全球气候变化下的碳生产率分析. 中国软科学, (10):42-47.

- 187 何强, 吕光明. 2009. 福利测度方法的研究述评. 财经问题研究, (7):31-36.
- 188 何英, 张小全, 刘云仙. 2007. 中国森林碳汇交易市场现状与潜力. 林业科学, (7):106-111.
- 189 胡鞍钢, 管清友. 2009. 中国应对全球气候变化. 北京:清华大学出版社.
- 190 胡鞍钢. 2008. 通向哥本哈根之路的全球减排路线图. 当代亚太, (6):22-38.
- 191 胡德斌. 2009. 中国土地资源. 北京:“中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究”生物能源研讨会.
- 192 胡虎, 李宏军, 昌敦虎. 2009. 关于二氧化碳捕集与封存可接受度的调查分析. 中国煤炭, (8):83-86.
- 193 胡金凤, 等. 2002. 略论消费的可持续性与不可持续性. 北京师范大学学报(人文社会科学版), (6):111-117.
- 194 胡林. 2009. 我国可用于生物燃料的秸秆资源和能源作物的编辑性土地资源. 北京:“中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究”生物能源研讨会.
- 195 胡秀莲, 刘强, 姜克隽. 2007. 中国减缓部门碳排放的技术潜力分析. 中外能源, (8):1-8.
- 196 华红琴, 等. 2010. 低碳城市——从理念到行动. 上海:格致出版社.
- 197 华锦阳. 2011. 制造业低碳技术创新的动力源探究及其政策涵义. 科研管理, (6):42-48.
- 198 江琴. 2010. 基于低碳发展的我国各省碳排放情景分析. 管理现代化, (3):50-52.
- 199 金乐琴, 刘瑞. 2009. 低碳经济与中国经济发展模式转型. 经济问题探索, (1):84-87.
- 200 荆珍, 陈百强. 2010. 关于发展中国家碳减排机制的法律化. 理论探索, (3):142-144.
- 201 卡罗兰、巴克霍尔茨. 2004. 企业与社会:伦理与利益相关和管理. 北京:机械工业出版社.
- 202 克莱顿 克里斯滕森, 迈克尔 雷纳. 2004. 困境与出路. 北京:中信出版社,.
- 203 克莱顿 克里斯滕森. 2001. 创新者的窘境. 南京:江苏人民出版社.
- 204 匡跃辉. 2010. 论低碳消费模式的实现. 消费经济, 26(5):80-92.
- 205 莱斯特 R 布朗. 2010. B 模式 4.0:起来、拯救文明. 林自新, 等译. 上海:上海科技教育出版社.
- 206 李翊. 2006. 土地集约利用的城市空间发展模式. 城市规划学刊, (1):49-55.
- 207 李国志. 2010. 中国发展低碳经济的困难与政策建议. 亚太经济, (4):15-19.
- 208 李慧, 杨娜. 2010. 低碳经济及碳排放评价方法探究. 学术交流, (4):85-88.
- 209 李慧敏, 等. 2010. 地球是烫的——低碳是人类的必然选择. 北京:电子工业出版社.
- 210 李建民, 孙雁冰. 2011. 国际制度、国家自主性与低碳经济——兼论中国的政策选择. 东疆学刊, (2):65-71.
- 211 李健, 徐海成. 2010. 低碳产业发展问题与对策研究. 科技进步与对策, (22):81-84.
- 212 李晶. 2009. 人类发展的测度方法研究:对 HDI 的反思与改进. 北京:中国财政经济出版社.
- 213 李俊峰, 等. 2007. 中国风电发展报告 2007. 北京:中国环境科学出版社.
- 214 李俊峰, 时璟丽, 王仲颖. 2006. 大力推进可再生能源的发展. 中国能源, 28(12):20-23.
- 215 李连成, 吴文化. 2008. 我国交通运输业能源利用效率及发展趋势. 综合运输, (3):16-20.
- 216 李怒云, 宋维明, 章升东. 2005. 中国林业碳汇管理现状与展望. 绿色中国, (6):23-26.
- 217 李士, 方虹, 刘春平. 2011. 中国低碳经济发展研究报告. 北京:科学出版社.
- 218 李士芳, 方虹, 刘春平. 2011. 中国低碳经济发展研究报告. 科学出版社, (3):219-220.
- 219 李玮, 等. 2010. 基于情景分析法的污染物排放趋势研究. 水电能源科学, 28(5):36-39.
- 220 李武军, 黄炳南. 2010. 基于政策链范式的我国低碳经济政策研究. 中州学刊, (5):35-38.
- 221 李忠民, 庆东瑞. 2010. 经济增长与二氧化碳脱钩实证研究——以山西省为例. 福建论坛·人文社会科学版, (2):67-72.
- 222 联合国发展署. 2009. 2009 年人类发展报告. 北京:中国财政经济出版社.
- 223 联合国开发计划署. 2010. 2009/10 中国人类发展报告:迈向低碳经济和社会的可持续未来. 北京:中国对外翻译出版公司.
- 224 梁大鹏. 2009. 基于电力市场的中国 CCS 商业运营模式及仿真研究. 中国软科学, (2):151-163.
- 225 梁巧梅. 2007. 能源复杂系统建模及能源政策分析系统(博士学位论文). 北京:中国科学院科技政策与

管理科学研究所.

- 226 梁中. 2010. 低碳产业创新系统的构建及运行机制分析. 经济问题探索, (7):141-145.
- 227 林伯强. 2011. 中国低碳转型. 北京:科学出版社.
- 228 刘伯雅. 2009. 我国发展绿色消费存在的问题及对策分析. 当代经济科学, 31(1):115-119.
- 229 刘朝, 赵涛. 2011. 中国低碳经济影响因素分析与情景预测. 资源科学, 33(5):844-850.
- 230 刘冬华. 2005. 面向土地低消耗的城市精明增长研究:以上海为例. 上海:同济大学出版社.
- 231 刘国平, 曹莉萍. 2011. 基于福利绩效的碳生产率研究. 软科学, 25(1):71-74.
- 232 刘国平, 朱远. 2011. 碳排放福利绩效研究:基于 G20 数据. 科学学研究, (10):1504-1510.
- 233 刘华容. 2010. 关于中国建设低碳消费模式分析. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2(4):64-67.
- 234 刘慧, 张永亮, 毕军. 2011. 中国区域低碳发展的情景分析——以江苏省为例. 中国人口·资源与环境, 21(4):10-18.
- 235 刘丽娟, 王灵梅, 杨春. 2011. 低碳经济发展对策及建议. 能源环境保护, 25(2):1-3.
- 236 刘明磊, 朱磊, 范英. 2011. 我国省级碳排放绩效评价及边际减排成本估计:基于非参数距离函数方法. 中国软科学, (3):106-114.
- 237 刘时斌. 2005. 地热资源及其开发利用和保护. 北京:化学工业出版社.
- 238 刘卫东, 等. 2010. 我国低碳经济发展框架初步研究. 地理研究, 29(5):778-788.
- 239 刘卫东, 等. 2010. 我国低碳经济发展框架与科学基础. 北京:商务印书馆.
- 240 刘小川, 汪曾涛. 2009. 二氧化碳减排政策比较以及我国的优化选择. 上海财经大学学报(哲学社会科学版), 11(4): 73-80.
- 241 刘振海. 2010. 我国发展低碳经济的政策工具选择. 科学与管理, (4):4-6.
- 242 陆小成. 2009. 技术预见对区域低碳创新系统的作用及其路径选择. 科学学与科学技术管理, (2):61-65.
- 243 马强. 2007. 走向“精明增长”:从“小汽车城市”到“公共交通城市”. 北京:中国建筑工业出版社.
- 244 闵大勤, 周志萍. 2010. 金融支持低碳经济发展的政策建议. 海南金融, (6):19-21.
- 245 莫景成. 2010. 新能源汽车扛起低碳时代经济增长大旗. 东莞证券研究所.低碳经济专题投资系列报告.
- 246 穆月英, 笠原浩三. 2003. 中日食品消费结构及消费需求系统的比较研究. 经济问题, (9):53-56.
- 247 能源界. 2011. 2035 年全球能源消费量将增 53%.
- 248 <http://www.cceec.com.cn/html/Column/xinnengyuan/hangye/77092.html>
- 249 倪维斗, 陈贞, 李政. 2008. 我国能源现状及某些重要战略对策. 中国能源, 30(12):5-9.
- 250 聂锐, 张涛, 王迪. 2010. 基于 IPAT 模型的江苏省能源消费与碳排放情景研究. 自然资源学报, 25(9):1557-1564.
- 251 农业部. 2007. 农业生物质能产业发展规划(2007-2015 年).
- 252 潘海啸, 等. 2008. 中国“低碳经济”的空间规划策略. 城市规划学刊, (6):57-63.
- 253 潘海啸. 2010. 面向低碳的城市空间结构:城市交通与土地使用的新模式.城市发展研究, (1):40-45.
- 254 潘家华, 张丽峰. 2011. 我国碳生产率区域差异性研究. 中国工业经济, (5):47-57.
- 255 潘家华. 2002. 人文发展分析的概念构架与经验数据——对碳排放空间的需求为例[J]. 中国社会科学, (6):15-26.
- 256 潘家华. 2004. 低碳发展的社会经济与技术分析//滕藤, 郑玉歆. 可持续发展的理念、制度与政策. 北京:社会科学文献出版社.
- 257 彭佳雯, 等. 2011. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究. 资源科学, 33(4):626-633.
- 258 彭伟, 李刚. 2011. 低碳消费:一场基于消费端的节能减排革命. 开放导报, (2):61-64.
- 259 彭新万. 2010. 江西发展低碳经济的后发优势、后发劣势与政策安排. 求实, (6):65-68.
- 260 齐晔. 2011. 2010 中国低碳发展报告. 北京:科学出版社.

- 261 钱洁, 张勤. 2011. 低碳经济转型与我国低碳政策规划的系统分析. 中国软科学, (4): 21-28.
- 262 清华大学建筑节能研究中心. 2008. 中国建筑节能年度发展研究报告 2008. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 263 任东明, 等. 2009. 可再生能源政策法规知识读本. 北京: 化学工业出版社.
- 264 任佳. 2010. 基于低碳经济视角下的我国低碳消费探析. 河南商业高等专科学校学报, 23(5):25-27.
- 265 任力, 华李成. 2010. 英国的“低碳转型计划”及其政策启示. 城市观察, (3):44-50.
- 266 申滢. 2011. 一个政策移植框架的研究——以中国发展低碳经济为例. 学术论坛, 34(1): 45-48.
- 267 史丹. 2002. 中国经济增长过程中的能源利用效率的提高. 经济研究, (9):49-56.
- 268 世界银行. 2009. 年世界发展报告: 重塑世界经济地理. 北京: 清华大学出版社.
- 269 世界银行. 2010. 2010 年发展报告: 发展与气候变化. 北京: 清华大学出版社.
- 270 司林胜. 2002. 对我国消费者绿色消费观念和行为的实证研究. 消费经济, (5):39-42.
- 271 宋春华. 2008. 建筑节能任重道远, 降耗减排大有可为. 建设科技, (Z2):14-21.
- 272 宋翠, 赵晓丽. 2010. 基于统计分析及“450 情景”的碳减排策略. 华北电力大学学报(社会科学版), (4):15-20.
- 273 苏方林, 宋帮英. 2010. 省域低碳消费的竞争性与互补性研究. 技术经济与管理研究, (3):122-126.
- 274 孙启贵, 邓欣, 徐飞. 2006. 破坏性创新的概念界定与模型构建. 科技管理研究, (8):175-178.
- 275 孙秀梅, 周敏. 2011. 低碳经济转型研究综述与展望. 经济问题探索, (6):116-121.
- 276 孙延红. 2010. 低碳经济时代对低碳消费模式的新探索. 山西财经大学学报, 32(2):63-70.
- 277 孙月平, 刘俊, 谭军. 2004. 应用福利经济学. 北京: 经济管理出版社.
- 278 汤蕴琳. 2004. 电煤的整体气化联合循环(IGCC)发电技术. 中国电业, (11):74-76.
- 279 唐更克, 等. 2002. 中国参与气候变化国际协议的立场与挑战. 世界经济与政治, (8):34-40.
- 280 田春秀, 李丽平, Nannan Lundin. 2008. CDM 项目中的技术转让: 问题与政策建议. 环境保护, (21):63-65.
- 281 田廷山, 李明朗, 白治. 2006. 中国地热资源及其开发利用. 北京: 中国环境科学出版社.
- 282 汪曾涛. 2009. 试论我国二氧化碳减排政策的实施策略. 经济论坛, (6):31-33.
- 283 王岑. 2010. “碳锁定”与技术创新的“解锁”途径. 中共福建省委党校学报, (11):61-67.
- 284 王大中. 2007. 21 世纪中国能源科技发展展望. 北京: 清华大学出版社.
- 285 王迪, 聂锐. 2011. 中国一次能源需求结构与二氧化碳排放的演变情景. 软科学, 25(4):76-80.
- 286 王革华. 2006. 新能源概论. 北京: 化学工业出版社.
- 287 王光荣. 2011. 城市居民低碳出行研究. 城市观察, (2):174-178.
- 288 王国栋. 2010. 低碳经济——中国用行动告诉哥本哈根. 北京: 石油工业出版社.
- 289 王海霞. 2010. 低碳经济发展模式下新兴产业发展问题研究. 生产力研究, (3):14-16.
- 290 王辉. 2011. 浅议支持我国低碳经济发展的财税政策. 财会研究, (4):6-8.
- 291 王建明, 徐振宇. 2010. 城市年轻人低碳消费意识与行为及其影响因素: 杭州市下沙高教园区的调查. 未来与发展, (12):92-96.
- 292 王庆一, 等. 2004. 能源效率和节能. 经济研究参考, (84):6-11.
- 293 王庆一. 2006. 我国能源密集产品单位能耗的国际比较及启示. 国际石油经济, (2):24-30.
- 294 王庆一. 2009. 中国可持续能源项目参考资料——2009 能源数据. 北京: 能源基金会中国可持续能源项目.
- 295 王群伟, 周德群, 周鹏. 2011. 区域二氧化碳排放绩效及减排潜力研究——以我国主要工业省区为例. 科学学研究, 29(6):868-875.
- 296 王群伟, 周鹏, 周德群. 2010. 我国二氧化碳排放绩效的动态变化、区域差异及影响因素. 中国工业经济, (1):45-54.
- 297 王泰昌, 张媛媛, 迟京东. 2007. 我国钢铁工业节能降耗现状分析. 中国钢铁业, (3):21-24.

- 298 王晰巍, 林明兴, 刘恋. 2011. 低碳经济下产业技术链演进中知识创新螺旋及路径研究. 情报科学, (7):1010-1015.
- 299 王永龙. 2010. 我国低碳经济发展政策创新分析. 经济学家, (11):15-20.
- 300 王永庆. 2010. 运用绿色税费制度建立低碳消费社会. 北京观察, (4):8-10.
- 301 王志峰, 杜凤丽. 2010. 太阳能热发电的技术发展途径. 科技创新促进中国能源可持续发展——首届“中国工程院/国家能源局能源论坛”论文集. 北京:化学工业出版社.
- 302 王志轩, 等. 2003. 我国电力工业节能现状及展望. 中国电力, 36(9):34-42.
- 303 王仲颖, 任东明, 高虎. 2009. 中国可再生能源产业发展报告(2008). 北京:化学工业出版社.
- 304 韦亚平, 赵民. 2008. 紧凑城市发展与土地利用绩效的测度. 城市规划学刊, (3):32.
- 305 魏殿生, 李怒云. 2003. 造林绿化与气候变化—碳汇问题研究. 北京:中国林业出版社.
- 306 魏一鸣, 等. 2006. 中国能源报告 2006:战略与政策研究. 北京:科学出版社.
- 307 魏一鸣, 等. 2008. 中国能源报告(2008):碳排放研究. 北京:科学出版社.
- 308 闻岳春. 2011. 构建我国低碳金融体系. 资本市场, (10):44-47.
- 309 吴国华. 2009. 中国节能减排战略研究. 北京:经济科学出版社.
- 310 吴巧生, 成金华. 2003. 论全球气候变化政策. 中国软科学, (9):14-20.
- 311 吴文化, 等. 2008. 交通运输领域能源利用效率、节能潜力与对策分析. 宏观经济研究, 29(6):28-63.
- 312 吴晓江. 2008. 转向低碳经济的生活方式. 社会观察, (6):19-22.
- 313 武卫政. 2010. 低碳消费小账大帐一起算. 人民日报.
- 314 肖剑科, 赵曙明. 2010. 基于情景分析的未来人力资源经理胜任力研究. 南开管理评论, 13(1):50-58.
- 315 肖世俊, 李元. 2009. 去粗存精, 攻守兼备——低碳板块 2010 年度投资策略. 国都证券研究.
- 316 熊华文, 等. 2005. 美国、日本客运交通系统比较及对能源消费的影响分析. 中国能源, 27(12):34-44.
- 317 徐博. 2011. 论我国低碳经济发展的财政政策机制. 财政研究, (3):6-10.
- 318 徐汉国, 等. 2010. 绿色转身:中国低碳发展. 北京:中国电力出版社.
- 319 徐连兵. 2005. 整体煤气化联合循环发电技术的发展现状和前景. 电力勘测设计, (6):8-11.
- 320 徐容婷, 吴海波, 蔺宗宗. 2010. 减少 CO₂ 排放的各种方法及评价. 科技创新导报, (11):123-123.
- 321 杨俊, 鲍泳宏, 刘芊. 2010. 我国“低碳经济”现状及策略选择. 科技进步与对策, 27(15): 11-14.
- 322 杨志, 等. 2011. 低碳经济与经济社会发展. 北京:中国人事出版社.
- 323 殷耀, 等. 2009. 聚焦城市居民“低碳生活”. 经济参考报.
- 324 殷志强, 高元坤, 等. 2010. 开发中温太阳集热器拓展太阳能热利用. 中国工程院—国家能源局首届能源论坛.
- 325 于小强. 2010. 低碳消费方式实现路径分析. 消费经济, 26(4):80-82.
- 326 原赜, 等. 2009. 全玻璃真空管太阳热水器全生命周期能量环境效益分析. 太阳能学报, 30(2):266.
- 327 岳超, 等. 2010. 2050 年中国碳排放量的情景预测——碳排放与社会发展Ⅳ. 北京大学学报(自然科学版), 46(4):517-524.
- 328 岳珍, 赖茂生. 2006. 国外“情景分析”方法的进展. 情报杂志, (7):59-60.
- 329 咎月梅. 2011. 基于财税政策对低碳经济的作用机理分析我国低碳经济发展状况. 经济论坛, (3):157-160.
- 330 曾长胜. 2010. 支持低碳经济发展的税收政策选择——从促进产业结构优化和经济增长方式转变的视角研究. 经济研究导刊, (28):196-199.
- 331 曾志禄, 张冬梅. 2005. 不确定环境下解读未来的方法:情景分析法. (5):14-16.
- 332 张阿玲, 等. 2002. 适合中国国情的经济、能源、环境 (3E) 模型. 清华大学学报(自然科学版), 42(12):16-20.
- 333 张斌. 2009. 2020 年我国能源电力消费及碳排放强度情景分析. 中国能源, 31(3):28-31.
- 334 张德勇. 2010. 促进低碳经济发展的财政政策. 税务研究, (6):13-16.

- 335 张国宝. 2009. 中国能源发展报告(2009). 北京:经济科学出版社.
- 336 张焕波, 等. 2008. 不同气候保护政策的模拟对比研究. 中国人口 资源与环境. 18(3): 24-30.
- 337 张建民. 2010. 2005-2020 年中国能源需求情景及碳排放国际比较研究. 中国能源, 33(1):33-37.
- 338 张晶. 2010. 2020 年中国人粮关系情景分. 经济地理, 30(12):1950-1954.
- 339 张可云, 张理芃. 2011. 国外低碳经济理论争议和政策选择比较. 经济学动态, (1):126-132.
- 340 张梦霞. 2010. 中国消费者购买行为的文化价值观动因研究. 北京:科学出版社.
- 341 张文磊, 胡欢. 2010. 碳减排的国家驱动力分析及对中国的应对政策的探讨. 复旦学报(自然科学版), 49(1): 121-125.
- 342 张向龙, 等. 2008. 情景分析及其在生态系统研究中的应用. 生态学杂志. 27(10):1763-1770.
- 343 张孝德. 2010. 低碳消费减排潜力更大. 消费日报.
- 344 张学才, 郭瑞雪. 2005. 情景分析方法综述. 探索与争鸣, (8):125-126.
- 345 张艳秋, 张抗. 2010. 对中国未来低碳能源约束下的能源构成和油气需求分析. 中外能源, 15(1):15-22.
- 346 张正敏. 2002. 中国风力发电经济激励政策研究. 北京:中国环境科学出版社.
- 347 张志强, 曲建平, 曾静静. 2008. 温室气体排放评价指标及其定量分析研究. 地理学报, 63(7):693-702.
- 348 赵敏. 2011. 低碳消费方式实现途径探讨. 经济问题探索, (2):33-37.
- 349 赵杨. 2010. 低碳营销——低碳经济时代下的企业营销新模式. 物流工程与管理, 32(7):100-102.
- 350 中国半导体行业协会. 2010. 中国太阳能光伏产业发展现状及未来发展趋势. <http://info.ec.hc360.com/2010/07/230855294501-3.shtml>.
- 351 中国半导体行业协会. 2010. 太阳能光伏产业现状及发展趋势. 半导体 光伏产业, (8):16-17.
- 352 中国工程院. 2011. 中国能源中长期发展战略研究. 北京:科学出版社.
- 353 中国科学院. 2009. 2009 中国可持续发展战略报告:探索中国特色的低碳道路. 北京:科学出版社.
- 354 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009. 2009 中国可持续发展战略报告:探索中国特色的低碳道路. 北京:科学出版社.
- 355 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009. 2009 中国可持续发展战略报告:探索中国特色的低碳道路. 北京:科学出版社.
- 356 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009. 2009 中国可持续发展战略报告:探索中国特色的低碳道路. 北京:科学出版社.
- 357 中国科学院可持续发展战略研究组. 2010. 2010 中国可持续发展战略报告:绿色发展与创新. 北京:科学出版社.
- 358 中国可再生能源学会风能专业委员会. 2010. 2009 年风电装机容量统计. 风能, (1):29.
- 359 中国能源中长期发展战略研究项目组. 2011. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究:电力 油气 核能 环境卷. 北京:科学出版社.
- 360 中国能源中长期发展战略研究项目组. 2011. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究:节能 煤炭 卷. 北京:科学出版社.
- 361 中国能源中长期发展战略研究项目组. 2011. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究:可再生能源卷. 北京:科学出版社.
- 362 中国气象局风能太阳能资源评估中心. 2010. 中国风能资源评估(2009). 北京:气象出版社.
- 363 中国人民大学气候变化与低碳经济研究所. 2011. 中国低碳经济年度发展报告 2011. 北京:石油工业出版社.
- 364 中国新能源与可再生能源网. 2010. 2007 年各省风力发电项目上网电价表. <http://www.crein.org.cn/view/viewnews.aspx?id=20080410111224038>.
- 365 中国证券报. 2009 年 6 月. 世界能源储采比、自给率.

- 366 周大地, 等. 2003. 2020 中国可持续能源情景. 北京:中国环境科学出版社.
- 367 周凤起, 王庆一. 2001. 中国能源五十年. 北京:中国电力出版社.
- 368 周厚威, 刘争波. 2010. 低碳方式下的消费模式与引导策略研究. 宏观管理, (1):11-13.
- 369 周伟, 米红. 2010. 中国能源消费排放的 CO₂ 测算. 中国环境科学, 30(8):1142-1148.
- 370 朱勤, 彭希哲, 傅雪. 2011. 我国未来人口发展碳排放变动的模拟分析. 人口与发展, 17(1):2-15.
- 371 朱守先. 2009. 城市低碳发展水平及潜力比较分析. 开放导报, (4):10-47.
- 372 朱永彬, 等. 2009. 基于经济模拟的中国能源消费和与碳排放高峰预测. 地理学报, 64(8):935-944.
- 373 朱跃中. 2001. 未来中国交通运输部门能源发展与碳排放情景分析. 中国工业经济, (12):30-35.
- 374 诸大建, 刘国平. 2011. 碳排放的人文发展绩效指标与实证分析. 中国人口 资源与环境, (5):73-79.
- 375 诸大建, 徐萍. 2010. 福利提高的三个“门槛”及政策意义. 社会科学, (3):32-41.
- 376 诸大建, 臧漫丹, 朱远. 2005. C 模式:中国发展循环经济的战略选择. 中国人口 资源与环境, 15(6):8-12.
- 377 诸大建. 2007. 中国循环经济与可持续发展. 北京:科学出版社.
- 378 宗蓓华. 1994. 战略预测中的情景分析法. 预测, (2):51-52.