

THE **NEW** CLIMATE **ECONOMY**

The Global Commission on the Economy and Climate

清华大学能源环境经济研究所
能科楼C座

Institute of Energy, Environment and Economy
Tsinghua University
Energy Science Building, Tower C

网址

<http://3e.tsinghua.edu.cn>

Tel

+86 10 6278 4805

Fax

+86 10 6277 1150

中国与气候经济 | China and New Climate Economy



China and New Climate Economy 中国与 气候经济

THE **NEW** CLIMATE **ECONOMY**

The Global Commission on the Economy and Climate



01

未来 20 年的中国与世界
重塑未来 05

02

新气候经济 25

03

可持续的经济增长 37

04

安全的能源与气候系统 55

05

清洁的空气与环境 86

06

经济、能源与环境的
协同治理 118

07

战略与政策 133

中国与新气候经济 执行摘要



经济增长的最终目的是扩展人类的自由并为当代及未来提供一个更好、更安全以及更清洁的地球。因此经济增长仅是通向发展的路径，而不是发展的同义词。

世界正处在一个充满机遇和挑战的时代，虽然在未来的十五年，全球经济有继续增长 50% 的潜力，但不可持续的经济增长方式带来的环境和气候变化风险正在显现，为经济增长的长期前景投下了阴影。在未来的十五年，中国有成为世界第一大经济体的潜力，因而中国面临的机遇和挑战也更甚于其他的国家。



经济

中国经济增速将在 2030 年回落至

5%

增长前景取决于能否通过技术进步及生产率的提高部分抵消资源约束的负面作用；

中国经济更易受到能源价格变动的冲击，受影响的产业部门占 GDP 的约

20%

是发达国家经济体的数倍；

如不进一步加强节能减排力度，接近

50%

的中国城市到 2030 年仍存在空气质量不达标风险，能源和经济的结构性问题是不达标的主要原因。

在长达 30 年的高速发展后，中国的经济发展速度正在放缓，最近 2012 和 2013 年 GDP 增长速度在 7.7% 左右，是 1997 年亚洲金融危机以来最低的增速。对中国经济发展前景的争论从未停止并且将继续持续。我们的分析表明过去三十年中国经济的增长主要动力来源于资本投入与固定资产投资。未来由于投资回报率的降低，投资拉动的高经济增长趋势将不可持续，而资源约束对经济增长的负面影响将逐步显现。中国经济增长的前景很大一部分取决于能否通过技术进步及生产率的提高，部分抵消资源约束对经济增长的负面作用。在乐观的情景下，中国经济虽然仍将回落，但可在近期维持 7-8% 的增速，并在 2030 年回落至 5%。如果中国不能通过技术进步和提高生产率有效应对资源约束的负面影响，则中国也有可能进入低速增长的“中等收入陷阱”。

能源

中国正处于工业化的末期和城镇化的中期，能源仍然是经济发展的基础。近年来中国通过提高能效和发展可再生能源努力提高能源生产率，但由于经济的高速增长，目前中国的能源供应仍高度依赖化石能源。中国是世界上最大的可再生能源生产国，但也是世界上最大的化石能源进口国。即使中国保持目前的节能政策力度，在可持续减排情景下，中国的一次能源需求也将全面超过供应能力，到 2030 年石油的对外依存度将达到 75%，天然气将超过 40%，煤炭也将大幅超出安全高效的科学产能，对能源供应和能源安全形成巨大压力。与其他发达国家经济体相比，以化石能源为主的能源结构及居高不下的第二产业比重也使得中国的经济更易受到能源价格变动的冲击，大约构成中国 20%GDP 的经济部门极易受国际能源市场的影响，这一比例是发达国家经济体的数倍。

环境

伴随着经济快速发展和城镇化建设，大气污染在中国东部地区日益加剧，已成为中国经济和社会可持续发展的制约瓶颈。中国大气污染的突出特点是高浓度颗粒物污染，导致大气灰霾事件在许多地区频繁出现。其中又以京津冀、长三角、珠三角大气污染最为严重。我们的研究显示，煤炭是中国 PM_{2.5} 的重要排放源，在京津冀、长三角、珠三角等重污染区域，煤炭的贡献在 50~70% 之间。我们的研究表明，如果中国保持目前节能减排和环保政策的力度，到 2030 年，除珠三角能基本能够实现空气质量全面达标外，长三角和京津冀地区的主要城市依然难以达标。而即便采取最为严格的末端处理措施，在不进一步加强节能减排力度的情况下，到 2030 年仍然有接近半数的城市存在空气质量不达标风险。能源和经济的结构性问题是这些地区空气质量难以达标的主要原因。

在加速减排情景下，中国的能源二氧化碳排放将在 2030 年左右停止增长并尽快开始下降，2030 年的单位 GDP 二氧化碳排放强度比 2010 年降低约 58%。

为实现能源结构低碳化，应首先控制煤炭消费总量，煤炭消费总量应在 2020 年后停止增长并尽快实现绝对下降。

加速减排情景下，结合更加严格的环境治理措施，中国可以实现空气质量的全面提升，实现经济发展、能源安全 and 环境质量多个政策目标的同步改善。

中国的领导人和决策者在经济发展、环境治理和应对气候变化三个领域同时面临世界上最严峻的挑战。在未来的十五年，中国面临着一系列重要的选择，而这些选择不仅将塑造中国的未来，也将塑造世界的未来。中国有机会在 2030 年前跻身高收入国家的行列，并成为全球 GDP 总量最大的经济体，但需要在未来 20 年实现可持续的经济增长，避免落入“中等收入陷阱”；中国有机会主导世界新能源与可再生能源的发展，引领世界能源的未来，但需要实现能源体系的重大变革，建立安全、高效、清洁、低碳的能源供应与消费体系；中国有机会在全球低碳发展中扮演重要角色，在国际分工体系中向产业链上游移动，但需要进一步限制温室气体排放，管控气候变化带来的风险；中国有机会以环境改善优化经济增长，但需要进一步加强环境管理，提高环境质量。

意识到经济、能源及环境之间相互影响的紧密关系，本报告就未来十五年中国如何综合和集成这些领域的政策目标，通过清晰、一致和渐进提高的政策工具，实现向绿色低碳的发展路径转型提出如下政策建议。

我们建议中国应尽早制定中长期的 CO₂ 减排目标，并以此为导向，构建促进经济社会发展方式转变和加速节能减碳的“倒逼”机制。报告着重分析了如下情景，其中中国的能源二氧化碳排放将在 2030 年左右停止增长并尽快开始下降，2030 年单位 GDP 的排放强度将比 2010 年降低约 58%。实现该情景需要中国采取进一步的结构调整、节能、提高能效和发展可再生能源的政策。在这一加速努力情景下，中国可以有效的平衡经济发展、能源安全 and 环境质量的多重目标，实现多个政策目标的同步改善。报告的分析表明，在这一情景下，中国将可以极大减少对化石能源和进口能源的依赖，在不增加能源成本的前提下改善能源结构，增强经济对能源价格变动的韧性。同时结合更加严格的环境治理政策，中国绝大多

数城市的空气质量可以达标，实现空气质量的全面提升。通过适当的政策设计，这一低碳目标对中国宏观经济的负面冲击可以控制在 GDP 的 1% 之内。并且如果考虑到降低空气污染的协同效益，相当一部分的经济成本可以被抵消。

向低碳经济的转型并不会一蹴而就，我们建议以渐进增强的方式引入这一目标，实现向绿色低碳发展路径的平稳过渡。为促进结构调整和经济转型，我们建议在产能过剩的高耗能行业和经济相对发达的东部地区首先引入总量减排目标，并逐步扩展成覆盖所有行业 and 所有地区的全经济范围的总量减排目标。为实现能源结构的低碳化，我们建议首先引入煤炭消费总量限制，煤炭消费总量应在 2020 年之后停止增长，并尽快实现绝对下降。这一渐进增强的建议也适用于碳价政策。通过价格改革使化石燃料价格体现隐藏的外部环境成本，逐步建立起有利于清洁能源和可再生能源发展的市场环境，引导投资向低碳基础设施倾斜，通过竞争性的市场鼓励企业投资于低碳技术，激发低碳技术领域的创新与发展。

中国的政策实践表明只有在可持续发展的框架下应对气候变化才是世界可持续发展的出路。未来国际合作应对气候变化的机制必须为世界各国，尤其是发展中国家创造公平获得可持续发展的机遇，在各国之间分享可持续发展的机遇，促进国际合作和国际技术转移，实现世界可持续发展、应对全球气候变化与提高区域环境质量的共赢。未来中国可以证明提升人民生活水平、改善生态环境质量和降低气候变化风险的目标可以同步实现。我们可以期待越来越多的人民在繁荣的城市中享受一流的教育、充分的就业机会、更好的空气质量和人体健康。这不仅是中国梦。也将成为世界梦，中国将带领着世界一同展开新气候经济的蓝图。

未来 20 年的中国与世界 重塑未来



经过近四十年的高速发展，中国已经成为世界上最大的经济体之一。2010 年，中国的经济总量超过日本，预计 2030 年左右经济总规模将超越美国，成为世界最大的经济体。与此同时，经济增长也伴随着温室气体排放与大气污染的日益增加，环境资源状况不断恶化的态势仍在持续。经济增长和社会发展的不平衡，成为中国未来长期可持续发展的严峻挑战，并将对全世界的经济增长、能源消费、以及应对气候变化产生巨大影响。

1.1 变化中的中国： 发展与成就

在过去的近四十年中，中国经济经历了世界瞩目的高速增长，中国的发展取得举世公认的成就，不仅提升了中国人民的生活水平，同时为世界发展做出了贡献。但与此同时，中国的发展也造成了很多严重的问题，最具代表性的就是经济发展的资源和环境代价过大，经济增长所面临的资源和环境约束越来越明显，这些问题对中国的未来发展构成了严峻的挑战。

中国经济高速增长，经济结构逐渐优化。中国的 GDP 总量从 1980 年不足 1900 亿美元（美元现价，下同）增长到 2012 年超过 82000 亿美元，以不

变价计算增长了 20 倍，成为世界第二大经济实体。人均 GDP 1980 年仅为 193 美元，2012 年突破 6000 美元，以不变价计算增长 15 倍。中国为世界经济增长做出了重要贡献。经济总量方面，2012 年中国 GDP 已占世界 GDP 总额的 11.3%；2001-2010 年，中国经济新增量达到 4.6 万亿美元，对世界经济增长的贡献率为 14.7%。同时中国是一个成长迅速、积极参与全球分工的贸易伙伴，2010 年，中国货物进出口总额达到 29740 亿美元，是 1978 年水平的 143 倍。其中，进口总额占世界货物进口比重 9.1%，为其他国家提供了广阔的市场，创造了超过 1400 万个就业岗位。

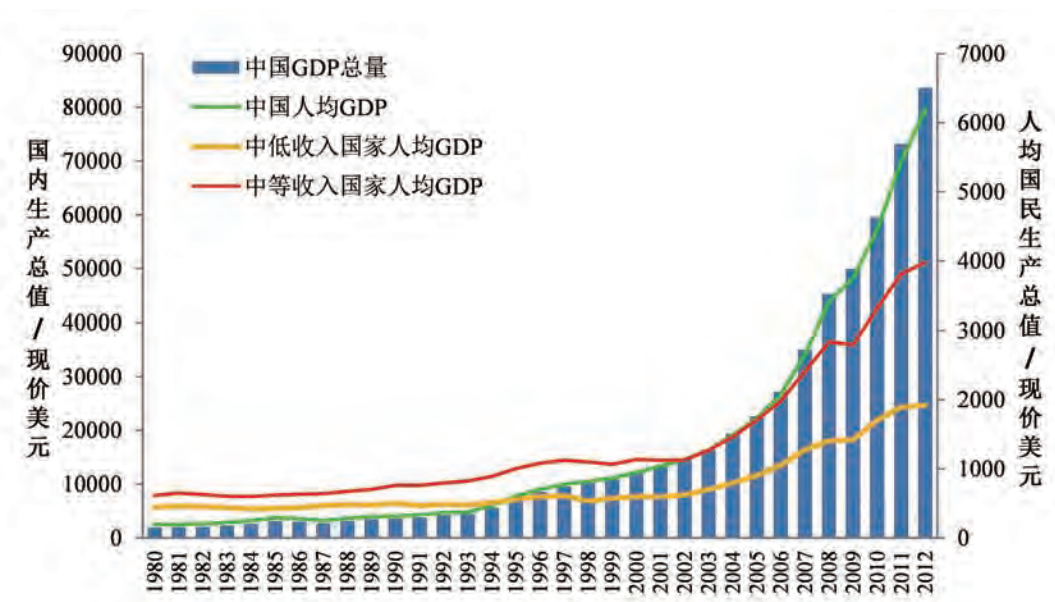


图 1-1 中国的经济发展

数据来源：世界银行公开数据库

注：以人均 GDP 衡量，中国在 1995 年之前属低收入国家，1995 年 - 2001 年属中低收入国家，2002 年开始迈入中等收入国家时期。据国家发改委公开表示，中国有望在“十三五”时期迈入高收入国家行列。

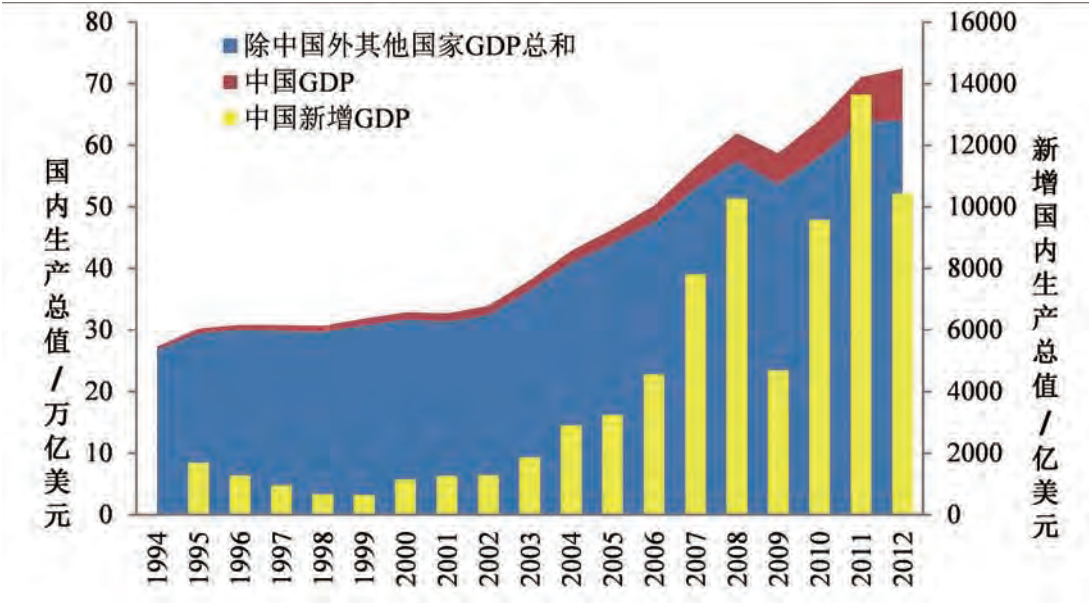


图 1-2 中国发展对世界的贡献

数据来源：世界银行公开数据库

中国的经济发展提升了国民生活质量。改革开放以来，中国人民的经济收入水平快速提升，数以亿计的人口摆脱了贫困。人民生活幸福感显著提升，越来越多的人享受到了现代化生活。1980年至2012年，中国城镇人均可支配收入从477.6元上升到24564.7元，以不变价计算增加了9倍以上；在消费结构上，恩格尔系数从56.9%降至36.2%；农村人均纯收入从191.3元上升到7916.6元，以不变价计算增加了近8.5倍；在消费结构上，恩格尔系数从61.8%降至31.3%。根据联合国标准，中国城、乡家庭消费的恩格尔系数均降至40%以下，已基本解决人民温饱问题（参见图1-3）。以世界银行的绝对

贫困标准（以PPP法计算每日生活费低于1.25美元）来衡量，中国的经济发展在消除贫困上取得了惊人的成绩。1980年，中国有84%的人口生活在贫困线以下。2009年这一比例已降低至11.8%。以绝对人口数量来看，中国在三十年间消除了6.67亿贫困人口（参见图1-4、图1-5）。

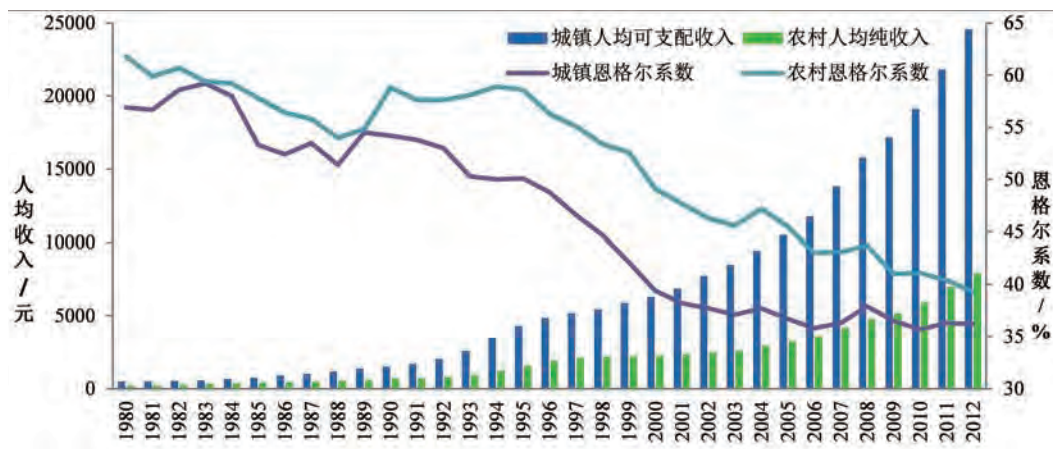


图 1-3 中国人均收入与消费结构变化

数据来源：中国国家统计局

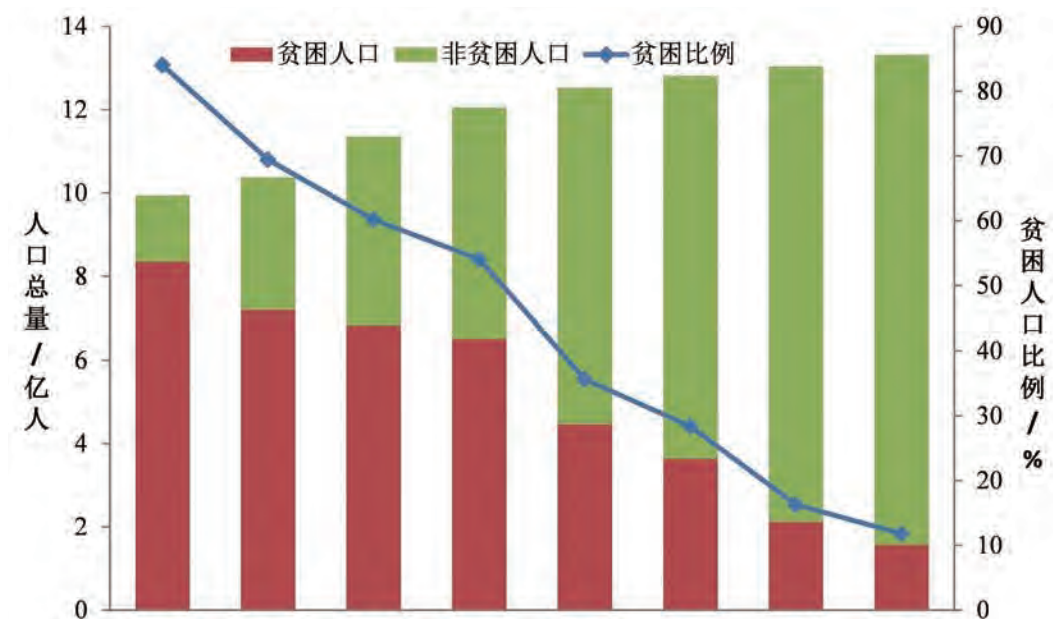
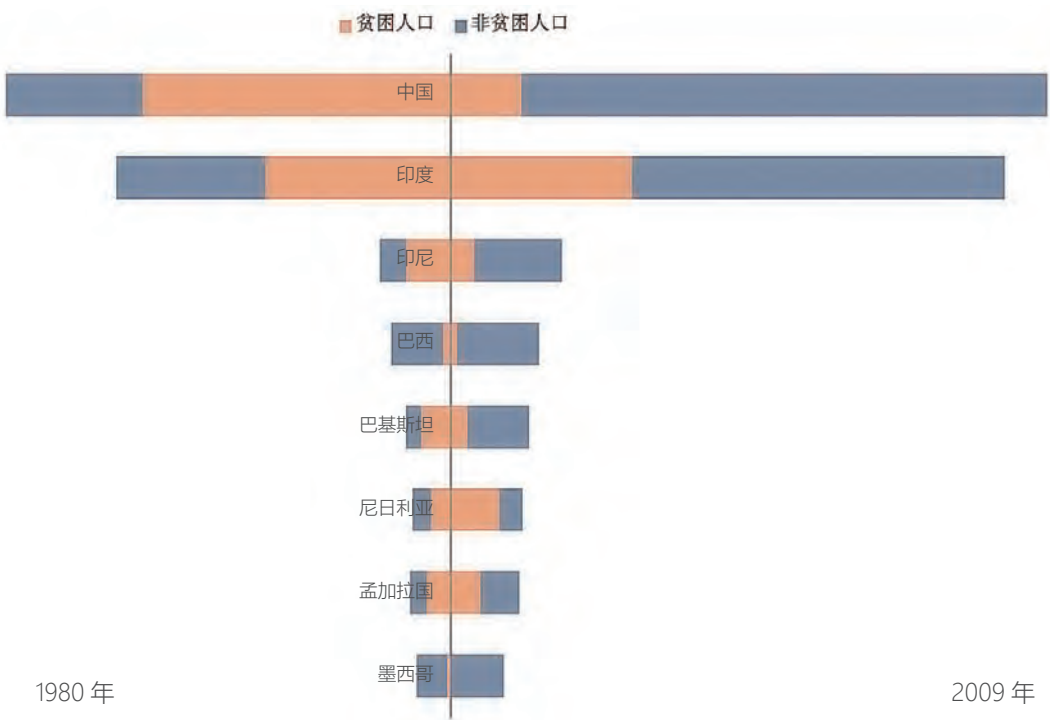


图 1-4 中国消除绝对贫困人口

数据来源：世界银行公开数据库



绝对贫困人口标准：以 PPP 方法计算，每日收入 1.25 美元以下

图 1-5 中国消除贫困的国际比对 数据来源：世界银行公开数据库

2011年,中国人均预期寿命(出生时)已达75岁,超过同时期的世界平均水平(71岁),较1980年水平提升8岁。现在的中国,拥有规模上世界第三的庞大铁路系统和世界第一的高速公路系统,每100人中有超过42个互联网用户,81个手机用户,各种耐用家电的使用量与1980年相比增加了几十甚至几百倍。据IEA统计,中国的无电人口仅占总人口数的0.3%,中国官方宣布到2015年实现全国人口100%通电率。

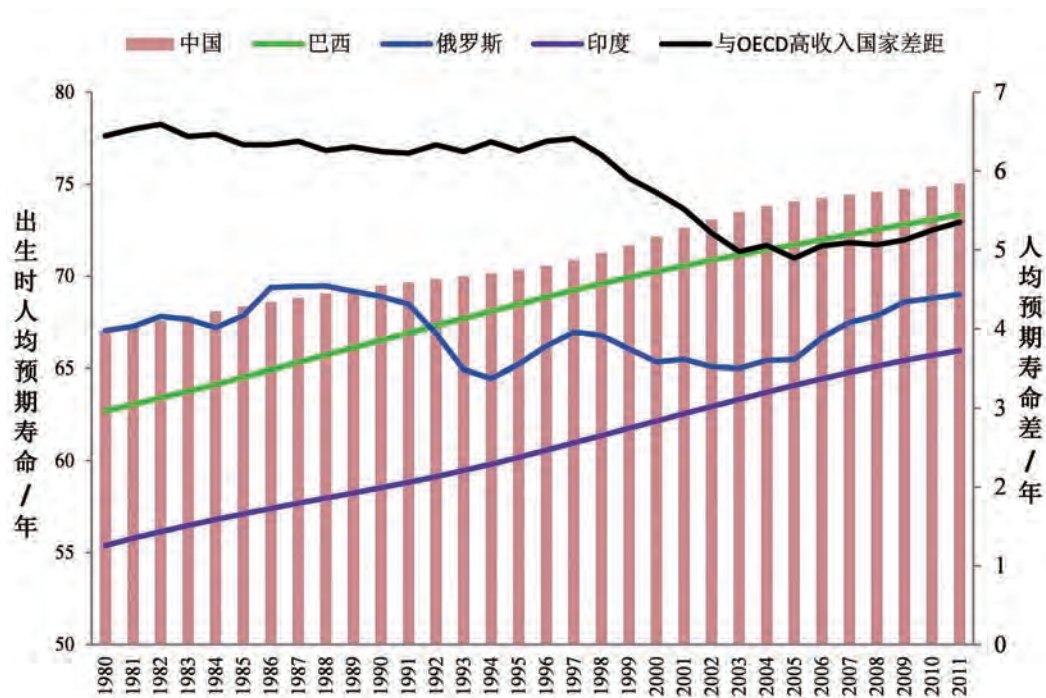


图 1-6 中国人均预期寿命变化与国际比较

数据来源：世界银行公开数据库



图 1-7 中国城镇家庭耐用消费品量（每百户）

数据来源：国家统计局

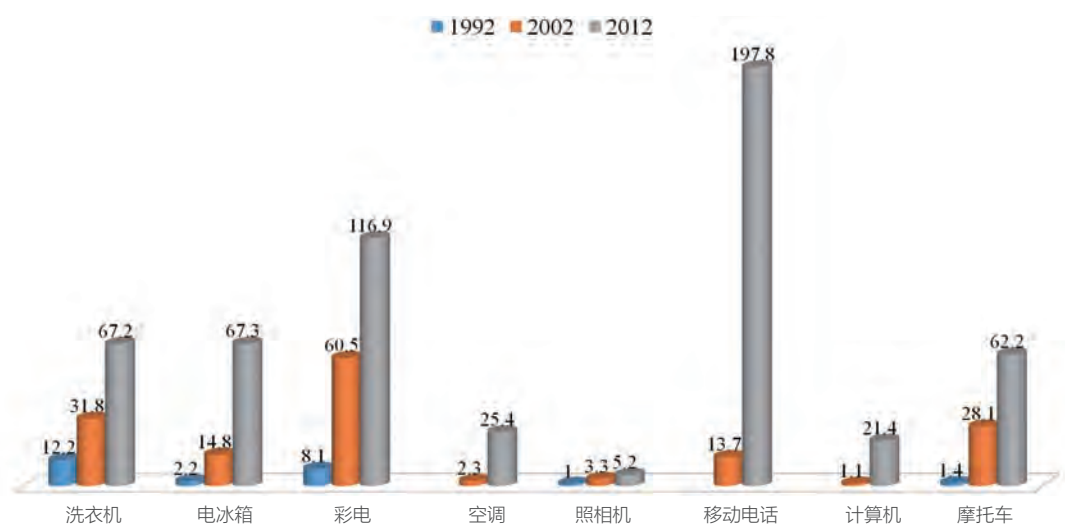


图 1-8 中国农村家庭耐用消费品量（每百户） 数据来源：国家统计局

1.2 2030 年的中国与世界

从当前到 2030 年，预计全球人口将增长 15%~30%，中国占世界人口的比重不断下降，2030 年降低为 17.2% 左右，中国社会老龄化问题日趋严重，60 岁以上的老龄人口比重将持续增加。未来全球城镇化率的年均增速为 0.4%，发展中国家城镇化水平加快，2030 年中国城市化率将从目前的 52.6% 提高到 68.7%，城镇化率及增速均高于世界平均水平。中长期内中国依然会保持较快的增长潜力，2030 年中国将成为世界第一大经济体。随着中国能源需求总量的成倍增长，二氧化碳排

放将进一步增加。中国面临着日益增大的资源环境压力，当前的环境治理措施难以遏制大气污染恶化的趋势。

在中等水平下，世界总人口将在 2030 年达到约 85 亿，2050 年达到 95 亿。印度将成为世界第一人口大国，非洲迎来持续的人口增长。我国人口将 2020-2030 年达到峰值，人口老龄化趋势加快。

根据联合国社会和经济事务部人口司发布的 2012 世界人口展望，在中等生育率水平下，全球人口到 2030 年将达到 84.2 亿，2050 年将达到 95.5 亿。随着未来中国人口总量减少、增速减缓，中国占世界人口的比重将持续下降。预计到 2020 年，中国人口占世界总人口的比重为 18.6%，到 2030 年该比重降低为 17% 左右，到 2050 年进一步降低为 14.5%。印度人口将继续保持较快增长，并在 2030 年超过中国，成为世界第一人口大国。未来世界人口的增长将主要集中在非洲地区。从当前到 2050 年，非洲人口占全球人口的比重将不断上升，到 2030 年非洲人口占世界总人口的比重约为 20%，2050 年该比重将超过 25%。欧洲地区人口总量占全球人口比重将稳定下降，从 2020 年 9.6% 逐步降低为 2030 年的 8.7%，2050 年 7.4%。拉丁美洲人口比重在未来 30 多年时间内将维持相对稳定，约占世界人口的 8%。

而按本研究的预测，如果中国保持独生子女政策不变，我国总人口将在 2025 年左右达到峰值，约 13.8-14.1 亿人，随后人口总数将逐步回落，并在 2050 年达到 12.4-12.8 亿人。而如果中国放松单独二胎政策，中国的总人口将在 2020 年增长到 14.33 亿，2050 年回落到 13.85 亿。而如果假设中国在 2015 年完全放开二胎政策，2020 年中国人口将达到 14.52 亿，2050 年达到 15.18 亿。

按中等生育率水平计算，2020 年、2030 年和 2050 年世界老龄人口比重将分别达到 13.4%、16.3% 和 21.2%。中国 60 岁以上的老龄人口比重将持续增加，按中等生育率水平计算，2020 年中国老龄人口比重将达到 16.9%，2030 年上升到 23.8%，到 2050 年进一步增长到 32.8%。

未来全球城镇化率的年均增加 0.4 个百分点，发展中国家城镇化水平加快，中国城镇化率及增速高于世界平均水平。

未来 20 年全球的城镇化速度将进一步加快，到 2020 年、2030 年和 2050 年世界城镇化水平将分别达到 56%、60% 和 67%，年均增长约 0.4 个百分点。中国未来的城镇化水平将持续增长，2020 年将达到 61%，2030 年增长到 69%，到 2050 年进一步提高到 77% 以上。印度和非洲将进入快速城镇化阶段，城镇化速度将快于中国。而发达国家的城镇化水平将进一步提高，欧洲、美国和拉美地区的城镇化水平将接近 90%。

与此同时，未来中国城市的数目将不断增加，且分布密集。其中 1000 万以上的特大城市将从 2010 年的 4 个增长到 2025 年的 7 个，500-1000 万人口的城市将从 2010 年的 10 个增长到 2025 年的 17 个。未来城镇人口将每年增长约 1700 万，其中绝大部分的人口增长来自 100 万人口以上的大城市。

预计未来全球经济年均增长 2-4%，发展中国家增速将超过发达国家经济增速，2030 年左右发展中国家经济总量将超过全球的一半，中国 2030 年或将成为世界第一大经济体。

根据 OECD 和世界贸易组织的预测，未来全球经济的年均增长率将在 2%-4% 左右，其中发展中国家的增速将远高于发达国家。新兴经济体的经济增速在 2010-2020、2020-2030 和 2030-2050 年分别达到 6.4%、4.5% 和 3.5%，高于世界同期的平均增速，也远高于 OECD 国家在三个时期的经济增速。到 2030 年左右，发展中国家经济总量将超过全球的一半，对全球经济增长的贡献超过 2/3，确立起在全球经济中的主导地位。

而中国虽然经济增长速度将比过去十年明显放缓，但在我们的中等情景下仍然具有保持较快增长的潜力。未来中国经济增速将在 2010-2020 年为 7.3%，2020-2030 年缓慢降到 4.8%，而在 2030-2050 年平均为 3.1%。如果中国可以通过技术的

进步抵消资源约束对经济增长的负面左右，并将生产率维持在高位，则中国能保持更好的增长速度，2010-2020 年达到 7.9%，2020-2030 年达到 6%，2030-2050 达到 4.6%。到 2030 年中国的经济规模将超过美国，成为世界第一大经济体，并贡献世界经济增长的约 1/4。

全球正在掀起以能源变革为特征的“第三次工业革命”，节能和提高能效超过能源开发成为“第一大能源”，世界范围内以新能源和可再生能源替代化石能源的变革趋势明显加速。

节能和提高能效是当前能源变革的首要选择，把能源节约放在比开发更优先地位。这不仅因为能源的节约比开发具有显著的节约资源、改善环境的效果，也具有明显的成本优势和经济效益，而且节能潜力巨大，对未来满足新增能源服务需求可比增加能源开发有更大作用，因此视节能为“第一大能源”。发达国家大都制定了先进能效标准的节能目标。例如，欧盟提出到 2020 年能效比 1990 年提高 20% 的目标，德国进一步提出一次能源总消费到 2020 年和 2050 年分别比 1990 年减少 20% 和 50% 的目标，而经济社会仍将持续发展。美国也提出轻型乘用车燃油经济性到 2020 年左右将比目前提高 80%，减排 CO₂ 达 40% 以上的技术标准，同期商业和工业建筑能效也将提高 20%。

全球风能、太阳能、生物质能和地热能等非水可再生能源供应量 2013 年比 2005 年增长到 3.3 倍，年均增速 16%，远高于全球能源总消费量 2.2% 的增速。2013 年与 2005 年相比，OECD 国家能源总消费量减少 2.6%，煤炭和石油消费量分别减少 9.6% 和 9.0%，而天然气和可再生能源则分别增长 11.6% 和 180%。欧盟提出 2030 年可再生能源比例达 27% 目标，德国进一步提出 2030 年达 30%，2050 年达 60%，其中发电比例达 80% 的目标。全球已出现以新能源和可再生能源为主体

的新型低碳能源体系逐渐取代以化石能源为支柱传统高碳能源体系的变革潮流，可再生能源技术和产业将面临快速发展的新局面。在化石能源中，天然气是比煤炭、石油更为清洁、高效的低碳能源，其产生单位热量的 CO₂ 排放比煤炭低 40% 以上，用天然气替代煤炭也是促进能源结构低碳化的重要选项。特别是美国页岩气开发技术的突破，2012 年与 2007 年比较，天然气产量增长 25%，在一次能源消费中的比重也由 25% 上升到 30%。相应其煤炭消费量下降 23.6%，煤炭在一次能源消费中比重也由 24.3% 下降到 19.8%，单位能耗的 CO₂ 排放强度下降 11.2%，能源消费总量下降 6.9%，而 CO₂ 排放总量下降 11.2%。世界范围内新能源和可再生能源替代化石能源的变革趋势日益明显和加速，到本世纪末全球必须实现新能源和可再生能源为主体的可持续能源体系，完成能源体系的根本性转型，使 CO₂ 排放趋近于零，从而实现控制温升不超过 2℃ 的全球应对气候变化的目标。

“十八大”提出要推动能源生产和消费革命，并将其作为建设生态文明、推动经济发展方式转型的重要内容和关键着力点，是顺应世界潮流的战略选择。中国当前以大幅度降低单位 GDP 能源强度和 CO₂ 强度作为推动节能和能源结构低碳化的主要目标，并制定非化石能源发展目标。从 2005 年到 2013 年，单位 GDP 的 CO₂ 强度下降 28.5%，远超同期发达国家下降的幅度。新能源和可再生能源发展速度和新增规模也位居世界前列。从目前到 2030 年，单位 GDP 能源强度年下降率仍可维持在 3% 左右，新能源和可再生能源供应量仍可年均增长约 8%，在全球能源变革中占据显著地位。

1.3

未来发展面临的 四大挑战

伴随中国经济高速发展，一系列社会问题、环境挑战也日益凸显，如避免落入“中等收入陷阱”，“经济发展的资源和环境代价过大”。中国发展的资源代价集中体现为能源消耗水平过高、能源利用效率低、以及由此产生的能源安全隐患，而环境代价则可以从各种污染物的大量排放中得以体现。这些挑战也同时蕴含着新的发展机遇。中国有机会通过建立安全、高效、清洁和低碳的能源供应与消费体系引领世界能源体系的变革；有机会通过积极地参与应对气候变化的适应和减缓行动在全球低碳发展中扮演更加重要的角色；有机会以环境改善为契机优化经济结构，实现经济的健康、可持续发展。

挑战一：中国有机会在 2030 年前跻身高收入国家的行列，并成为全球 GDP 总量最大的经济体，避免落入“中等收入陷阱”；

中国经济过去 30 年成功地保持年均 10% 左右的快速增长，今后 20 年乃至本世界中叶是否还能保持？这方面学术界已经有很多激烈的争论，有的学者对中国未来经济增长充满信心，认为中国可以保持很多年高达 8% 的经济增长奇迹，而悲观的学者则认为中国可能会和其他大部分发展中国家一样落入“中等收入陷阱”，甚至可能由于中国巨大的经济体量的萧条带来新一轮的全球经济危机。类似其他新兴国家（比如拉美地区和东南亚地区）在突破人均 GDP3000 美元后，由于经济发展自身矛盾集中爆发，难以克服自身矛盾，经济增长回落或者长期停滞。中国未来的经济表现，在很大程度上取决于全球经济环境的变化与中国经济改革的情况，而这一改变对全球的能源系统与温室气体排放、环境质量变化意义深远。

挑战二：中国有机会主导世界新能源与可再生能源的发展，引领世界能源的未来，但需要实现能源体系的重大变革，建立安全、高效、清洁、低碳的能源供应与消费体系；

在过去的三十多年中，中国的能源消耗量快速增加，逐渐成为世界上最大的能源消费国，而能源利用效率则仍低于发达国家水平，单位能源利用的产出效益低于世界平均水平（参见图 1-10、图 1-11）。大量能源供应越来越多的依赖于进口，国家能源安全形势不容乐观。2011 年，中国能源消耗总量已超过 27 亿吨石油当量，与 1980 年水平相比增加了 4.5 倍以上，比金砖五国中的其他四国（印度、巴西、俄罗斯、南非）能源消费量总和还要多（参见图 1-9）。以人均水平看来，中国在 2007 年人均能源消耗量超过 1500 千克石油当量，在 2011 年突破 2000 千克石油当量，明显高于其他发展中国家，与希腊、葡萄牙等欧洲国家相当。中国能源消费构成以煤炭为主，长期在 70% 左右。随着能源消费总量的增加，煤炭、石油和天然气等化石燃料消费量也呈现增长趋势。近年来，由于可再生能源的快速发展，化石能源的比例已经呈现下降趋势。

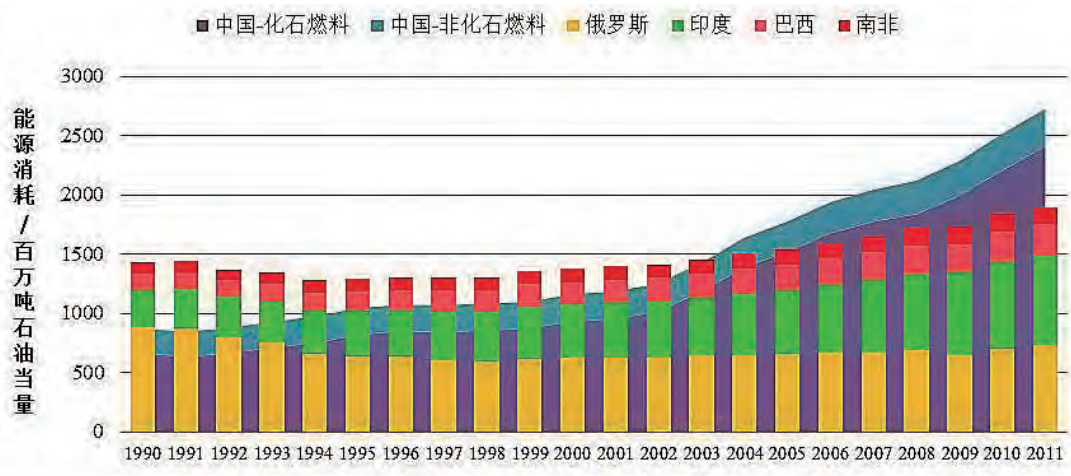


图 1-9 中国能源消耗及国际对比 数据来源：世界银行公开数据库

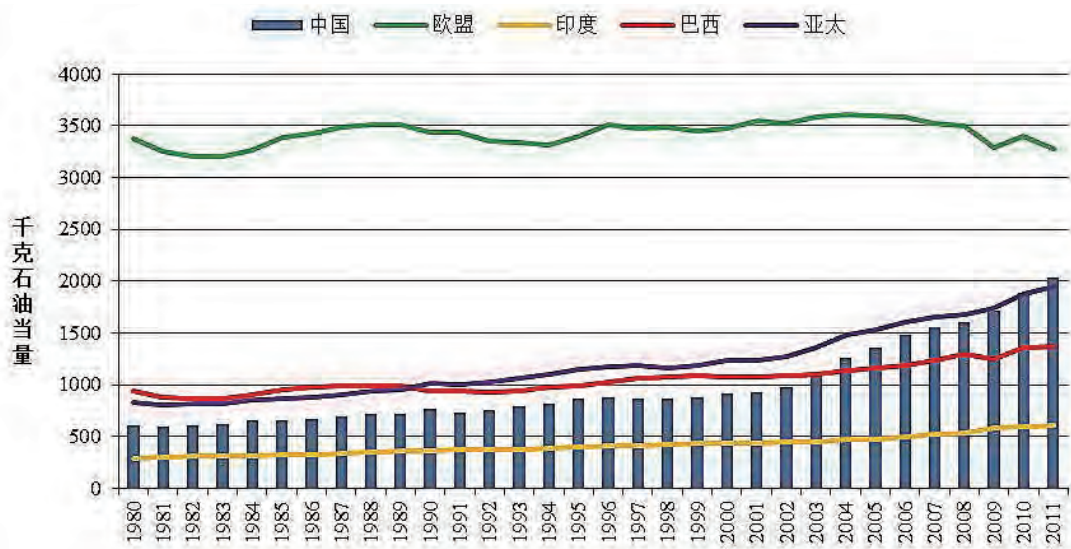


图 1-10 中国人均能耗量变化与国际对比 数据来源：世界银行公开数据库

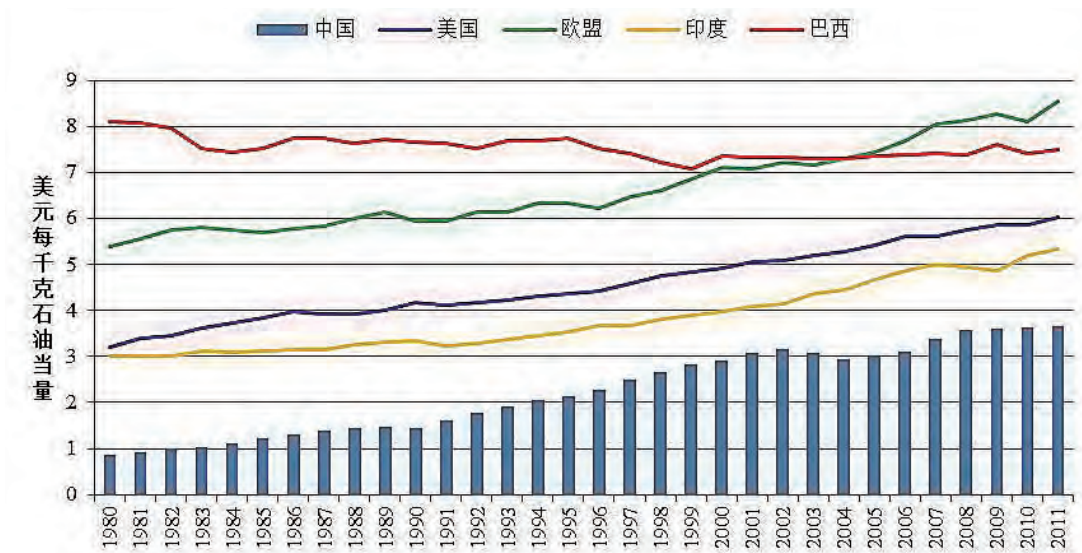


图 1-11 中国能源生产率与国际对比

数据来源：世界银行公开数据库

中国日益增长的巨大能源需求，越来越依赖于国际市场。长久以来，中国一直是能源净出口国，而 2000 年起则成为能源净进口国，且进口量逐年增长。以原油为例，2000 年中国原油净进口量不足 6000 万吨，2005 年这一数字就增加为这一数值的 2 倍，2008 年增为 3 倍，2012 年石油净进口量已超过 2.6 亿吨。中国一向是煤炭生产大国，长期出口大量煤炭，而 2000 年以来，煤炭的净出口量快速降低，2007 年滑入净出口 200 万吨的低谷，2009 年开始成为煤炭净进口国，净进口量超过 1 亿吨；两年之后的 2011 年，这一数字翻了一番，而 2012 年煤炭净进口量近 2.8 亿吨，约占全中国煤炭消费总量的 8%¹（参见图 1-12、图 1-13）。虽然中国能源对外依存度整体上还不高，但急剧增加的石油和天然气进口对中国的能源安全带来了新的挑战，在中国政府的官方表述里（能源发展“十二五”规划），能源

安全既受到国际市场的价格不稳定威胁，又涉及错综复杂的政治乃至军事博弈。

中国能源消费总量的过快增长、能源利用效率偏低以及日益严峻的能源安全形势，建立安全、绿色、高效的能源供应与消费体系是中国未来应对气候变化问题的必由之路。中国能源体系的绿色低碳转型既是重大挑战，同时也蕴含着巨大的机遇。新能源和可再生能源技术将成为未来经济新的增长点，对综合国力、社会经济结构和人民生活产生深远影响，给我国带来不可多得的机遇。倘若抓住这次机遇，中国就有机会主导世界新能源与可再生能源的发展，引领世界能源的未来。



图 1-12 中国煤炭进出口量变化 数据来源：世界银行公开数据库



图 1-13 中国石油进出口量变化 数据来源：2000-2012 年数据来自中国国家统计局，2013 年进口数据来自海关总署《2013 年 12 月出口重点商品量值》

挑战三：中国有机会在全球低碳发展中扮演重要角色，在国际分工体系中向产业链上游移动，但需要进一步限制温室气体排放，管控气候变化带来的风险；

当前国际社会应对气候变化的适应和减缓行动，是各国应对气候变化国际制度的演变以及各国间责任和义务的分担的体现。这会引起国际政治关系、科技和贸易竞争力、国家经济发展和社会稳定等格局的深刻变动。这是重树我国大国形象的关键时刻。化石能源的大量消耗带来一系列的生态环境问题，其中最受关注的就是以二氧化碳为主的温室气体的排放量持续增长。中国自八十年代以来，二氧化碳排放量就一直增长，2010 年

已超过 70 亿吨，是 1990 年水平的 3 倍以上。尽管中国的人均碳排放水平低于发达国家水平，但却因为其世界最大碳排放国的地位而在气候变化的合作行动中面临严峻挑战（二氧化碳排放情况参见图 1-14、图 1-15）。2012 年底，多哈气候大会、巴厘路线图的谈判结束，德班平台谈判正式开启，2013 年华沙气候大会又提出“所有缔约方在 2015 年前通报国内准备实现的减排贡献”。而与此同时，IPCC 最新评估报告则进一步强化了人类活动影响气候变化的认知，提出为了控制全球变暖，全球碳排放需要在 2030 年与 2010 年持平到减排 40%。根据现有研究，中国在未来很可能在碳排放水平还未达到峰值的情况下面临减排约束和压力。

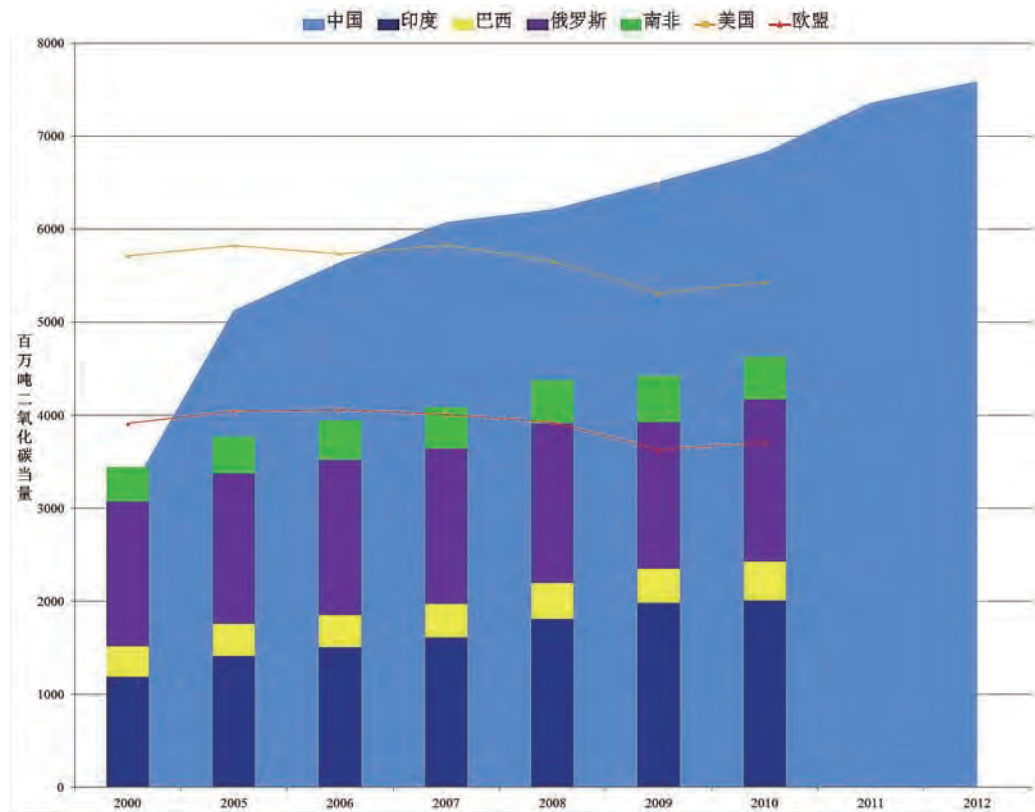


图 1-14 中国二氧化碳排放量与国际比较

数据来源：中国碳排放数据来自《中国低碳发展报告 2014》，其他国家碳排放数据来自世界银行公开数据库

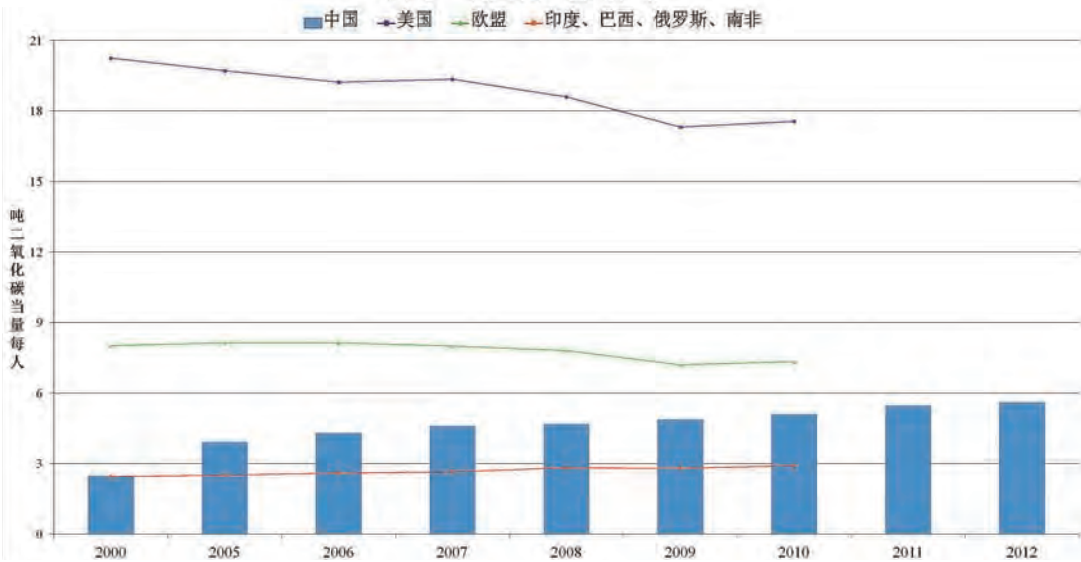


图 1-15 中国人均碳排放与国际对比

数据来源：中国碳排放数据来自《中国低碳发展报告 2014》，其他国家碳排放数据来自世界银行公开数据库

挑战四：中国有机会以环境改善为契机优化经济结构，但需要进一步加强环境管理，提高环境质量；

除了温室气体之外，中国经济的高速发展还带来了其他污染物的大量排放。以 2005 年为例，中国的生物需氧量（BOD，表征水体有机污染程度）和一氧化二氮（ N_2O ，大气污染物，光化学烟雾的成因之一，对人体有严重危害）排放总量均居世界第 1 位，BOD 排放量甚至超过其余 4 个排放大国的总和， N_2O 排放量是印度和巴西两个排放大国的 2 倍，比第 2 大排放国美国高约三分之一；从单位国土面积排放强度来看，BOD 排放强度在在 5 个排放大国之中名列第 2， N_2O 排放强度在在 8 个排放大国之中名列第 4。国内自然环境承载着巨大的污染排放负荷。截至到 2006 年前，中国还是世界上最大的二氧化硫排放国，其排放总量在波动中不断增长，至 2006 年达到高峰。

特别是近几年来，以雾霾天气为表征的大气污染危机在全国大部分地区频频爆发，严重影响了人民群众的生产生活和生命健康。雾霾治理成为了政府高度关注的热点问题，相关的治理措施也对碳排放的控制产生了深远的影响。雾霾治理作为外部力量，推动了能源消费总量控制政策的议定和执行力度，改变了我国能源消费总量控制长期存在的政策执行阻碍的局面。在京津冀地区，产业结构调整已经成为当前北京、天津和河北改善大气环境的重要应对措施。

在可预见的未来，中国宏观经济的总体趋势持续增长，新一届的政府也明确了中国仍将秉持以发展为主的国家战略。国内外对于中国经济未来趋势的研究中，比较一致地认同中国经济将在增速下降的情况下持续增长，经济总量仍将不断扩大。最保守的估计也认为经济总量 2010-2020 年这十年间将翻一倍。在经济结构方面，虽然第二产业的比例会不断缩减，但仍然在国民经济中占有

相当大的份额（40% 以上），其产值也会不断增加；第三产业比例会继续上升，最终 GDP 占比将超过 50%。此类研究大多数没有探讨中国经济发展所面临的环境和资源约束，既往的发展模式所带来的能源安全问题和环境承载力问题在当下的中国已然十分明显，这种发展模式对中国未来的发展带来了巨大的挑战。

-1.4

重塑未来需要的 五个转变

为了迎接未来发展的挑战和机遇，中国亟需转变经济发展方式，把推动发展的立足点由提高增长速度转到提高质量和效益；转变能源供应模式，由“以粗放的供给满足过快增长的需求”转向“以科学的供给满足合理的需求”，从供给侧和需求侧双向制约能源消耗；转变环境管理模式，由“过程控制”的总量控制走向“结果控制”的环境质量改善；转变应对气候变化的姿态，由被动承受转向主动管理气候风险，实现“减少风险”与“减少贫困”的双赢；转变国际事务中的角色，抓住基于能源和资源效率提高的第六次经济周期的宝贵机遇，由经济、能源和气候事物的被动接受者转向主动革新者和规则制定者。

转变一：从注重经济发展的速度向注重经济发展的质量转变

1978 年以来，中国连续 35 年来接近两位数的经济增长速度被世人誉为中国的奇迹。然而，这种高投入、高排放、高污染、高增长”的发展方式总体效率不高，资源与环境代价过高过大，发展的不平衡、不协调、不可持续矛盾愈加突出。2009 年，中国环境退化成本和生态破坏损失成本合计 13916.2 亿元，约占当年 GDP 的 3.8%。而在污染严重地区，污染损失占 GDP 的比例更是高达 7% 以上。近年来，中国各地爆发的众多环境污染造成的伤亡损失已经诱发多起群体性事件，成为影响社会稳定的诱因。因此，资源环境问题已经成为制约中国经济发展的首要瓶颈，加快中国经济发展方式的转型刻不容缓。2012 年，党的十八大明确提出，“要适应国内外形势新变化，加快形成新的发展方式，把推动发展的立足点转到提高质量和效益上来”。这意味着未来中国的发展理念必须由“为增长而增长”转向“提升社会福祉”，经济发展方式由“以牺牲环境与社会效益为代价换取

短期经济效益”的高碳模式转向以“实现经济、社会与环境的共赢”为目标的低碳模式。低碳经济发展方式的内涵就是经济发展的质量与速度并重，福祉提升与经济增长齐步，在统筹考虑环境利益与社会进步程度的前提下稳步发展经济。

与高碳经济发展方式相比，低碳经济发展方式在经济、社会、环境三个维度都体现出明显的优越性。在经济维度，高碳发展方式以自然资源的投入与资本积累作为主要驱动因素，依靠政府主导，投资拉动，以出口为导向，大力发展资源和资本密集型的重工业，服务业严重滞后。在这种以投资与出口拉动经济增长的发展模式下，人均收入的增长速度远不及人均 GDP 的增速，因此社会产出的增加没有完全转换成为生活水平的提升。在低碳发展方式下，经济增长方式转向以提高效率为手段的内涵式发展以及劳动力投入为主的增长方式。高科技、环保与新能源、生物科技、服务业等成为经济增长的主导产业，价值链不断加长，传统的制造业也由过去集中在价值链的中段转向附加值、利润率更高的两端发展。低碳发展方式在就业方面也体现出明显的优越性。中国的要素禀赋决定了适宜中国未来发展的经济增长方式应当是充分利用劳动力优势的增长方式。由于服务业劳动密集程度高于工业，而重工业的劳动密集程度又是工业中较差的，因此经济结构由重工业向服务业倾斜可以创造更多的就业岗位。生产性服务业还有助于提高整体国民经济的效率，并且将服务引入生产过程，从而促进社会分工，影响技术创新的方向。在社会维度，尽管高碳发展方式下的经济增长迅速，但是财富分配不均问题突出，城乡差异与地区性差异明显。而低碳发展模式通过投资反哺自然资本，缓解生态敏感地区的贫困问题，也改善国民环境质量，健康水平，从而提升社会福祉。在环境维度，高碳发展方式始终把经济增长作为压倒一切的优先发展目标而没有在经济增长之初就统筹考虑环境影响与社会效益，采取的措施多是“先发展，后治理；先高碳，

后低碳”，使得生态系统不可抗拒地走向崩溃。而在低碳模式下，由于注重人口控制，经济增长方式向“低投入、低消耗、低排放、低污染”转变，生态环境得以持续而长久地支撑社会 and 经济发展。

转变二：从保障能源供应安全向供应安全与需求管理并举转变

改革开放以来，中国能源供应的基本特征是以粗放的供给满足过快增长的需求。当需求大于供给时，我国政府的策略往往是单纯增加供应，而不考虑需求是否合理，因此也没有对需求进行控制。进入 21 世纪后，中国的能源需求每年都增加 2 亿吨标准煤。为了尽快增加能源供给，不得不迅速扩大国内煤炭资源开采规模，同时增加石油、天然气的进口量，而水能、核能等非化石能源则由于需要较长的筹备和建设周期、难以应对这种超常规增长而被忽视。中国日益枯竭的能源供应能力以及全球的能源天花板、能源安全隐患、能源成本攀升以及煤炭的开发利用所导致的资源环境危机与巨大健康危害都决定了当前这种粗放式的“按需定供”的能源供应方式将难以为继。中国未来发展的出路是引导合理的能源需求，从而达到科学供应与合理需求的平衡。

2014 年 6 月 13 日，国家主席习近平主持召开中央财经领导小组会议，强调积极推动我国能源生产和消费革命。这是中国国家领导人首次提出从供给侧和需求侧双向制约，保障国家能源安全，而不单单是从供给侧出发，满足全部能源需求。当今，中国部分领域的能源需求已经不再处于合理增长的阶段，而是进入了过快增长的阶段。受西方文化影响，越来越多的中国城镇居民向往往美国式的生活方式，希望拥有大面积的住房和大排量的汽车，这必将导致居民建筑交通等生活领域的用能需求的快速增长。美国与日本人均能耗的差异很大程度上就反应了生活方式对能源需求的巨大影响（表 1-1）。此外，高强度的投资以及高

能耗、高污染、低附加值产品的出口也导致了能源需求的急速增长。例如，“大拆大建”的做法使得基础设施的能源需求成倍增加。以科学的供给满足合理的需求，需要倡导节约文化，压制奢侈性消费、重复投资、高能耗产品出口，在此基础上明确限制化石能源、尤其是煤炭的科学产能，调整能源供应结构。

	人均能耗 (t 标煤)	人均用电 (万 kWh)	每个家庭平均 汽车拥有量	人均年行使距离 (万公里)	人均住房面积 (m2)
美国	9.7	1.4	2.4	3.0	62
日本	5.1	0.7	1.2	1.1	34

表 1-1 美日人均能耗与生活方式比较

数据来源：人均能耗数据来自世界银行在线数据库 <http://data.worldbank.org.cn/indicator>；其他数据来自杜祥琬，气候变化的深度：应对气候变化与转型发展，《中国人口资源与环境》，2013, (9)：1-5

转变三：从污染物总量控制向环境质量改善转变

我国环境管理自上世纪 70 年代初起步以来，经历了三个阶段：从初期的污染物达标排放阶段；到中期的总量控制阶段；再到“十二五”时期的环境质量改善转型升级阶段。“十一五”时期，我国环境管理模式以主要污染物总量减排为核心，采用目标责任制方式，通过减排目标自上而下的层层分解，定期的统计、监测和考核，取得了积极进展。然而，受复合型污染、区域性污染、气象条件等因素的影响，随着公众对污染问题敏感度的提高，污染物总量控制这种“过程控制”管理模式已经越来越无法满足民众对环境质量的需求，传统的环境监测评价结果与公众主观感受之间的差异就逐渐显现。因此，环境管理重心从“过程控制的总量控制走向结果控制”的环境质量改善已成为必然趋势。

自“十二五”起，中国计划用 20 年左右的时间完成总量控制向质量改善的战略转型。2011 年，国务院印发了《国家环境保护“十二五”规划》。《规划》作为国家“十二五”规划的重要组成部分，首次在五年规划中提出了定量的环境质量指标，其中之一是地级以上城市（333 个）达到国家二级空气质量标准的比例要大于 80%，较 2010 年的 78.4% 的目标提高 1.6 个百分点，到 2015 年比 2010 年增长 8 个百分点。考虑到当前大气污染的复合型特点，《规划》提出在大气污染控制方式上由“十一五”期间以实现二氧化硫减排为主要目标转向“实施多种大气污染物综合控制”¹³。通过协同控制多种污染物，不但可以减少一次污染物的浓度，还可以有效控制二次污染物的形成。而针对大气污染的区域性特征，《规划》也构建了区域联防联控的工作机制。《规划》的发布，标志着中国大气污

染防治工作的目标导向正逐步由污染物总量控制向改善环境质量转变。

转变四：从被动应对气候变化向主动管理气候变化风险转变

应对气候变化绝不仅是国内化石能源供应约束、能源安全约束、资源环境约束以及国际碳排放空间压力下的被动选择。事实上，管理气候变化风险是保障国家经济社会平稳健康发展的必然需求。中国是世界上气候灾害发生最为频繁的国家之一。20 世纪 90 年代以来，中国平均每年因极端天气气候事件造成的直接经济损失超过 2000 多亿元，死亡 2000 多人。中国广阔的国土都处于气候变化敏感区域，70% 以上的城市、50% 以上的人口分布在气象、地震和海洋等自然灾害严重的地区，因此中国有充分的理由积极主动地管理气候变化风险。此外，考虑到贫困人口对气候变化的高度敏感性，管理气候风险对改善贫困人口的福祉至关重要。尽管管理气候变化风险在短期内需要大量资金投入，却会带来长远的经济和社会效益，消除贫困，改善社会公平。在中国，贫困人口分布与生态环境脆弱区地理空间分布高度一致，在生态敏感地带人口中，74% 生活在贫困县内，约占贫困县总人口的 81%。管理气候变化风险可以使贫困人口直接获益，实现“减少气候风险”与“减少贫困人口”的双赢。

与发达国家相比，中国的气候变化风险管理水平还相对落后。例如，美国气象灾害造成损失占 GDP 仅为 0.2% 至 0.3%，而中国每年由于气象灾害所造成的直接经济损失约占当年全国 GDP 总量的 1% 至 3%。由于气候变化减缓行动难以快速奏效，采取具有针对性的适应战略已经成为世界各国、尤其是中国等对气候变化高度敏感的发展中国家更为紧迫的选择。在继“十一五”时期着重关注气候变化的减缓行动之后，中国政府自“十二五”时期明确将气候变化适应也纳入五年规划中。“国

民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要”特别强调，“在生产布局、基础设施、重大项目规划设计和建设中，充分考虑气候变化因素。要加强适应气候变化特别是应对极端气候事件能力建设”。2011 年的国务院政府工作报告也特别强调了“应该加强适应气候变化特别是应对极端气候事件能力建设”。

转变五：从国际经济、能源和气候事务的被动接受者向主动革新者转变

上世纪 90 年代以来，世界经济逐步迈入继信息技术和通讯技术引领的第五次康德拉季耶夫经济周期之后的又一次经济周期，这就是基于能源和资源效率提高的第六次经济周期。这一新的经济周期与以往五次周期最大的区别是，自然资本约束取代了劳动力资本成为 21 世纪制约世界经济发展的稀缺因素，因此世界经济发展方向需要从提高劳动生产率转向提高资源生产率，而低碳能源、绿色科技的兴起无疑是第六次经济周期的核心标志。无论是欧盟等先行工业化国家，还是韩国等新兴工业化国家，甚至巴西等与中国一样处于工业化上升期的发展中国家，都跃跃欲试，渴望在这一轮新的创新周期中抢占先机，从而引导世界秩序。在之前的五轮创新周期中，中国都落后于发达国家，不得不甘当国际事务的被动接受者。这一轮刚刚兴起的低碳工业革命无疑为中国提供了一个难得的契机。如果中国高瞻远瞩，积极主动地转变经济发展方式，大力发展代表未来竞争力的低碳产业，中国就有望在历史上首次占领未来国际经济、能源和气候的战略制高点，成为制定国际规则、领导世界发展新格局的先驱。

-1.5

结论

综上所述，虽然在过去的三十多年里，中国经济发展取得了巨大成就，解决了国民温饱、提升了国民生活质量，并且为世界发展和繁荣做出了杰出的贡献，但也带来巨大的资源和环境方面的问题。我们认为，在未来的二十到三十年里，中国经济发展必须实现低碳转型。这既是应对气候变化的外在压力，也是中国未来发展的内在需求。

从国际环境来看，经济的低碳转型可以赢得更多的发展空间和国际政治的主动权。根据现有研究，中国在未来很可能在碳排放水平还未达到峰值的情况下面临减排约束和压力。现阶段国内经济低碳转型越及时、越主动，就能够为将来赢得更宽松的发展空间和更主动的国际政治姿态。从国内发展来看，经济持续增长面临着资源和环境双重约束，经济低碳转型可以确保中国的能源安全和生态安全，抓住新经济增长周期的先机。工业化和城镇化在未来仍将持续，到 2030 年前后，甚至更早一些，我国将基本完成工业化城镇化的快速发展，GDP 增速放缓，大规模基础设施建设基本完成，经济发展趋于内涵式增长。

新气候经济



全球应对气候变化国际合作进程面临新的转折，德班平台谈判将于 2015 年底最终就 2020 年后加强减排力度的国际制度框架达成协议。IPCC 最新评估报告也进一步强化了人为活动的温室气体排放是当前气候变化主要原因的科学结论，并进一步明确实现控制全球温升不超过 2°C 目标的减排路径。世界各国都必须加大减排力度，也都面临排放空间不足的严峻挑战。应对气候变化的国际合作进程将在世界范围内引发经济社会发展方式和社会形态的根本性变革，也将引起世界科技创新和经济、贸易竞争格局的深刻变动，需要创新的理论和研究方法学进行引导，当前国际学术界出现“新气候经济学”的研究热点。应对气候变化研究的理论和方法学创新将对全球经济社会发展的低碳转型和应对气候变化国际合作进程产生重要影响和积极推动作用。

2.1 新气候经济视角下的 发展经济学

以生态文明为核心的新气候经济发展经济学：全球应对气候变化将引发经济社会发展理念和发展方式的根本性变革，要发展促进经济社会由工业文明向生态文明转变的经济学理论和分析方法学；

积极应对气候变化的核心是减少人为活动的温室气体排放，其中主要是化石能源消费的 CO₂ 排放，这将引起世界范围内能源体系的革命性变革。一方面大力节能，提高能源效率，减少化石能源消费，另一方面是大力发展水电、风电、太阳能发电和热利用、生物质能以及核能等非化石能源，降低化石能源在一次能源构成中的比重。新型能源体系的变革将由当前以化石能源为支柱的传统能源体系向未来以新能源和可再生能源为主体的可持续能源体系过渡。伴随这一过程，人类社会形态也将由当前工业文明向未来生态文明过渡。

自工业革命以来，发达国家以无节制和廉价消耗全球有限的化石能源等矿产资源，支撑其完成工业化和现代化进程，在创造了当今经济社会高度发达的“工业文明”的同时，也使全球付出了严重的资源和环境代价。不仅造成世界范围内化石能源和金属矿产资源日趋紧缺，而且造成了以气候变化为代表的全球环境危机。发达国家所创造的工业文明是不可持续的文明形态。当前数倍于发达国家人口的新兴发展中国家在工业化和现代化进程中，已不可能再沿袭发达国家以无节制消费资源和破坏生态环境为代价的发展方式，必须探索新的发展道路和新型社会文明形态。生态文明将是继工业革命后一个新型的人类社会文明形态，人类发展将遵循地球生物圈的规律，实现人与自然的和谐，经济社会与资源环境相协调和可持续发展。生态文明建设是人类对传统工业化发展模式的觉醒和革命，也是人类社会实现可持续发展

的必然选择，将引领未来世界经济技术变革的潮流和趋势。而能源体系的革命性变革将是推动生态文明建设的核心内容和重要途径。

应对以气候变化为代表的全球生态危机，建设生态文明，需要发展理念和消费观念的创新。它将由片面追求经济产出和生产效率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念，它将不再片面地追求 GDP 增长的数量、个人财富的积累和物质享受，而是全面权衡协调经济发展、社会进步和环境保护，注重经济和社会的效益和质量。经济发展过程不再盲目向自然界摄取资源、排放废物，而是寻求人与自然和谐相处的舒适的生活环境。高水平的生活质量需要大家共同拥有和共同体验，这将促进社会公共财富的积累和共享，促进世界各国和社会各阶层的合作与共赢。因此，传统支撑工业文明的发展理论和评价方法学已不能适应生态文明建设的发展理念和目标，因此需要有理论和方法学的创新。

随着全球应对气候变化的进程，气候变化经济学也相应产生和发展。在传统经济学理论上，研究和分析气候变化影响的损失以及适应和减缓气候变化的成本和效果，并从中进行权衡和选择。著名的斯特恩报告中关于减排行动越迟缓，未来成本和代价越大的结论，对促进英国等发达国家采取积极的减缓行动起了重要作用。当前各国减排承诺与实现全球控制温升不超过 2℃ 目标的减排路径尚有很大缺口，按目前趋势到 2100 年全球温升将达 3.7 ~ 4.8℃。应对气候变化的紧迫形势对气候变化经济学的研究又提出新的任务和方向，

需要进一步探讨经济社会持续发展与减排 CO₂ 双赢的发展方式和路径，探索支撑生态文明建设的发展理念和相应经济学理论与评价方法，这也是当前所谓新气候经济学研讨的热点。如果说以斯特恩报告为标志的气候变化经济学强调了行动越迟缓成本越高，那么新气候经济学则强调，应对行动越积极、迅速，经济社会发展的机会和收获就越大。经济发展、社会进步、环境保护是可持续发展的三大支柱，相互依存，相辅相成。应对气候变化，保护全球生态环境，目标是保证人类社会发展的可持续性。另一方面，应对气候变化也要在可持续发展的框架下进行，实现人类社会持续发展与保护地球生态环境的双赢，从而使人类社会形态由工业文明过渡到生态文明。因此，新气候经济学的核心是要探索减缓碳排放与经济社会可持续发展的双赢路径，探索把应对气候变化成为促进各国实现可持续发展重要机遇的国际机制，探索和发展支撑从工业文明向生态文明过渡的理论和分析方法学。

应对气候变化是对人类社会进程中的风险管理。气候变化导致自然生态、粮食生产、水资源和人类社会的安全风险的发生概率和后果以及适应和减缓行为的效果都具有很大不确定性，国际社会对减排目标的确立和相应国际制度建设是在科学不确定下的政治决策，很大程度上将取决于人们对风险控制的认识、把握和偏好。特别是对发生概率小但后果严重的或不可逆转的灾难性事件，更需要认真防范和应对，而宁可付出较大的代价。但是不同国家、不同群体间伦理观和价值取向的差异，往往会导致对全球应对气候变化行动目标和政策的分歧。因此，新气候经济学需要系统研究当前减缓气候变化成本与其长期效益之间的权衡和分析方法，研究气候变化影响、适

应与减缓的损失、投入与效果之间的评价方法和模型手段，研究不同发展阶段国家碳排放的规律及减缓的途径、潜力与成本。当前各国研究机构所采用的分析模型结构上大体类似，但各自的主观理念和对不同类型国家发展现状和规律的理解、判断和把握的差异，对模型运转的机理、参数的选择和计算结果影响很大。比对先进技术扩散规律、贴现率的选取、成本的估计等方面，当前仍以发达国家研究机构为主导的研究结论中，往往会忽略发展中国家发展需求，高估了发展中国家减排潜力而低估了其减排障碍和成本，从而过多地向发展中国家转移减排责任和义务。因此，我国必须发展和形成自主的模型体系，从全球的视野研究主要国家和集团的减排路径以及碳排放空间的公平分配，研究各国实现合作共赢的途径和机制。

2.2 新气候经济视角下的 政治经济学

以合作共赢为核心的新气候经济政治经济学：应对气候变化国际制度面临新的转折，需要发展促进各国公平发展和合作共赢的新气候政治经济学。

德班平台谈判旨在建立 2020 年后适用于所有国家的减排制度框架，世界各国都需要采取大力度减排行动。《联合国气候变化框架公约》奠定了世界各国合作应对气候变化的原则和制度基础。但在当前国际谈判中，不同国家责任和义务的分担仍然是矛盾的焦点，反映了发达国家和发展中国家不同的利益关切。气候变化危及全人类生存发展，任何国家都不能幸免，应对气候变化也必须各国共同努力，少数国家也难以独挡大任，只有合作才能共赢。所以，气候变化谈判不应是“零和博弈”，更不是“囚徒困境”，而是共同目标和共同利益下的合作博弈，合作对彼此都可以创造更大的利益。当前国际谈判中的核心问题其一是如何体现“公平”的原则，其二是如何实现合作共赢。新国际减排制度的建设不应局限于各国减排责任义务的分担，而是突显各国共同行动目标下合作共赢的空间和机会，探索各国合作共赢的国际机制和合作方式，这正是需要新气候经济学研究和解决的迫切问题。

在实现全球可持续发展的理念和行动中，既要关注代际间的公平性和可持续性问题，使当代的发展不能牺牲后代的发展和福祉，必须为后代的发展留有充足的资源和环境空间。另一方面，更要强调对当前发展中国家经济发展和消除贫困的迫切需求，要注重全球可持续发展的国别公平和人际公平。因此，应对气候变化的国际制度建设一方面要促进经济社会与资源环境的协调和可持续，为后代留有充分的发展空间，保证“代际公平”。另一方面，要加强统筹协调全球范围内经济发展、

社会进步和环境保护这三大支柱间的关系，使世界不同国情和处于不同发展阶段的国家都有公平获得可持续发展的机会，促进“国别公平”和“人际公平”。要探讨世界范围内实现可持续发展、向生态文明过渡的途径和发展方式。工业文明可以在少数国家率先实现，而使全球付出巨大资源和环境代价。生态文明则是全人类可持续发展的社会形态，必须各国共同努力，必须使大多数国家走上可持续发展的途径，才能从根本上应对气候变化等全球生态危机。因此，新气候经济学不再只注重当代与后代以及国别之间减排责任义务分担的公平性及分配方法学，更重要的是寻求各国合作共赢的方式，共同创造和分享实现绿色低碳转型和可持续发展的经验、技术和机会，促进世界各国共同走上可持续发展的路径，促进全球向生态文明迈进。

全球合作应对气候变化的目标是世界范围内的可持续发展，国际气候制度的核心也应是促进各国形成经济社会发展向绿色低碳转型的体制和机制。全球应对气候变化将引发新的经济技术竞争，先进能源技术将成为国际技术竞争的前沿和热点领域，作为世界大国战略必争的高新科技产业，也将带来新的经济增长点、新的市场和新的就业机会。低碳技术和低碳发展能力越来越成为一个国家的核心竞争力。一个国家抓住了机遇，顺应了潮流，就会顺势发展强大，否则会被边缘化甚至落后。新国际制度要着眼于推动世界低碳发展的潮流，形成新的竞争机制和规则，使低碳发展不仅是实现国际气候协议规定的减排目标，而是提升自身可持续发展竞争力驱动下的主动行为，不是“要我减”，而是“我要减”。这种机制下包括建立国内或区域性碳市场，在工业、交通、建筑等领域和行业制定严格的能效标准，征收碳税等政策

和措施以有效的制度、政策手段和市场机制，促进企业和全社会的自觉行动，而不仅仅着眼于各国减排目标的确立和各自责任和义务的分担。

在公平国际制度和合理分配碳排放空间的前提下，各国也存在合作共赢的空间和机会。虽然向发展中国家提供资金和技术，对发展中国家因气候变化蒙受的损失和损害给予补偿，是发达国家因其历史责任应尽的义务。但在实现机制上，也必须寻求共赢的途径和互惠的局面。如何发挥碳生产要素的价值和减排 CO₂ 的协同效应，促进国际技术合作和技术转让，是实现应对气候变化合作共赢的关键。全球实现控制温升 2°C 目标下碳减排路径的成本越来越高，标志着碳排放额度的影子价格也将呈较快上升趋势，有研究估计 2030 年每吨 CO₂ 的价格将达 50 ~ 100 美元，这将使减排技术有更大效益和推广空间。要充分利用碳减排信用的价值，发达国家无偿或优惠向发展中国家转让技术，该技术在发展中国家推广后产出的减排信用，可部分归技术提供方所有，用来抵偿其在本国的减排指标或在相关碳市场出售，使其知识产权的转让以碳信用方式得到回报。这是一种基于技术转让的类似于 CDM 的合作机制，可称为 T-CDM。通过这种机制，发达国家企业扩充了市场，得到应有经济回报，而发展中国家也得到技术，促进发展中国家减排和可持续发展。同

时减排技术推广也促进了全球应对气候变化的进程。发挥碳减排信用的价值和碳市场作用，也缓解了发达国家直接出资支持技术转让的困难。打造这种双赢和多赢局面，关键在于国际制度的设计和各国政府的推动，使碳生产要素价值的作用得以充分发挥，T-CDM 机制可在双边或多边推进和试行。另一方面，各国都可以发挥碳价和碳市场的作用，碳减排信用量的价值货币化，增加了减排措施的经济回报，引导社会投资和减排技术的推广。新国际制度应以全球实现控制温升 2°C 为目标，研究不同地区有区别的碳价政策，发挥市场机制作用，促进全社会减排。

2.3 新气候经济视角下的 资源经济学

**以提高碳生产率为核心的新气候经济资源经济学：
碳排放空间越来越成为紧缺资源和生产要素，要研究
和发展大力提升碳生产率的途径和评价方法学。**

自工业革命以来化石能源消费中 CO₂ 排放的累积，导致大气中温室效应增强，全球气候变暖，对人类生存和发展形成长期严峻挑战。当前人类社会必须探索在有限碳排放空间范围内，促进经济发展方式的转型，最终实现经济社会发展与资源环境相协调和可持续发展。所以要把有限的碳排放空间作为紧缺资源和生产要素，大幅度提高单位碳排放的产出效益。如同工业革命中大幅度提高了劳动生产率一样，在向生态文明转型过程中，也必须大幅度提升碳生产率，因此要发展提升碳生产率的理论和方法学。

碳生产率定义为一段时期内国内生产总值 (GDP) 数量与同期二氧化碳排放量 (Q_c) 之比，与单位 GDP 二氧化碳排放强度互为倒数，反映了单位二氧化碳排放所产出的经济效益。碳生产率提高的速度可以用来衡量一个国家或地区应对气候变化的努力和成效。碳生产率的概念于 1993 年由 Kaya 和 Yokobori 提出。近几年，很多研究者关注二氧化碳排放总量控制与提高碳生产率的关系。英国前首相 Blair 及其领导的气候组织基于碳生产率和其他方面分析的基础上提出了解决全球应对气候变化走出困境的建议 [8]。在全球应对气候变化越来越紧迫的形势下，碳排放空间将成为比劳动力、资本以及土地等自然资源更为稀缺的生产要素，大幅度提高碳生产率已成为在可持续发展框架下应对气候变化的关键对策，这也是低碳经济的核心内涵。全球实现控制温升不超过 2℃ 目标，到 2030 年碳排放量要比 2010 年减少 15 ~ 40%，相应碳生产率需提高到 2 ~ 3 倍，平

均年提高率要达 3.5 ~ 5.0%，远高于工业革命以来劳动生产率提高的速度。而从 1990 ~ 2010 年，全球碳生产率年提高率仅为 0.7%，附件 I 国家也只有 2.0%。未来 10 ~ 20 年是大幅度提高碳生产率的关键时期，否则 2030 年后全球应对气候变化会付出更大代价。

碳生产率的年增长率可作为衡量一个国家或地区在应对气候变化方面所作出的努力和所取得的成效的一个重要指标。根据碳生产率定义和相关数学关系，有：

碳生产率年提高率 ≈ GDP 年增长率 + CO₂ 年减排率

碳生产率的年增长率可近似表示为 GDP 年增长率和二氧化碳年减排率之代数和。其经济学含义即为，以提高碳生产率的途径减少二氧化碳排放，碳生产率的提高首先要抵消 GDP 增长所引起的二氧化碳排放量的增长，然后才能降低现有的二氧化碳排放水平。

发展中国家和发达国家由于所处发展阶段不同，在应对气候变化中所遇到的问题、难点、重点和措施也不同。新兴发展中国家处于工业化、城市化高速发展阶段，GDP 以较快速度增长，提高碳生产率主要是抵消或减缓经济快速增长中新增能源需求的 CO₂ 排放，其措施主要是转变经济发展方式，加强技术创新，走低碳经济发展道路；发达国家在目前高经济发展水平和高人均能源消费水平下，GDP 增长缓慢，提高碳生产率主要是降低当前过高的 CO₂ 排放水平，其措施主要是改变奢侈型消费模式，在保障高经济和社会发展水平下，大幅度降低 CO₂ 排放。

从 2005 年 ~ 2010 年，气候公约附件 II 发达国家碳生产率的年提高率平均为 2.36%，其 GDP 年均增长率仅为 1.05%，所以碳生产率的提高抵销 GDP 增长新增 CO₂ 排放外，尚能使 CO₂ 排放总量总体下降，其年下降率亦达 1.28%。而同期中国碳生产率年增长率水平为 4.9%，远高于发达国家的水平，但由于 GDP 快速增长，年增长率达 11.2%，碳生产率的提高尚不能抵销新增 GDP 引起的 CO₂ 排放，所以 CO₂ 排放总量还要上升，年增长率达 6.0%。所以，发展中国家在 GDP 快速增长的工业化阶段，尽管大幅度节能和改善能源结构，碳生产率提高幅度远大于发达国家，但 GDP 快速增长仍会使 CO₂ 排放量有所上升。所以发展中国家在工业化阶段特有的国情和特征，在减排 CO₂ 方面面临更为艰巨的任务。

与发达国家相比，中国当前碳生产率绝对水平仍然很低，2010 年中国 GDP 约占世界总量的 11.5%，而 CO₂ 排放量占世界 23.8%，碳生产率约为世界平均水平 1/2。2010 年我国与日本 GDP 总量相当，而 CO₂ 排放则约为日本的 6.4 倍，也就是碳生产率水平不及日本的 1/6。所以，提高碳生产率仍有较大空间和余地，这也是中国在可持续发展框架下应对气候变化的关键对策和重要着力点。

提高碳生产率的途径，其一是节约能源，提高能源效率，降低单位 GDP 的能源强度，其二是发展新能源和可再生能源，促进能源结构的低碳化，降低单位能耗的 CO₂ 强度。两个因素迭加，可降低单位 GDP 的 CO₂ 排放强度。即提高碳生产率。根据定义和相关数学推导，有如下关系：

碳生产率年提高率 $\approx$ GDP 能源强度年下降率 + 单位能耗 CO₂ 强度年下降率

据此可分析节能和能源替代各自对 CO₂ 减排的贡献率。从 1990 ~ 2010 年，附件 I 国家 GDP 能源

强度年下降率为 1.72%，单位能耗 CO₂ 强度年下降率为 0.35%，对碳生产率年提高 2.07% 的贡献率分别为 83% 和 17%，节能和提高能效发挥了主导性作用。未来随着新能源和可再生能源的快速发展及其在一些能源构成中比重的增加，能源替代将发挥越来越重要的作用。

当前全球和国别的 CO₂ 排放峰值问题备受关注，全球和主要国家的 CO₂ 排放必须尽快达到峰值，才能实现控制温升不超过 2℃ 目标。CO₂ 排放达到峰值，即其年增长率为零，根据上述关系，碳生产率的年提高率需大于 GDP 年增长率，即成为 CO₂ 排放达峰值的必要条件，即：

碳生产率年提高率 > GDP 年增长率

发展中国家在工业化、城市化快速发展阶段，GDP 年均增速都较高，单位 GDP 的 CO₂ 强度年下降速度尽管较大，但也难以超过 GDP 的增速，所以在经济快速发展阶段，CO₂ 排放仍需有所增长而难以达到峰值。

根据这个必要条件，可分析 CO₂ 排放达峰值的规律。首先，CO₂ 排放峰值均出现在一个国家完成工业化、城市化发展阶段之后，其 GDP 年均增速放缓（一般不高于 3%），经济趋于内涵式增长，能源消费弹性处于较低水平（不高于 0.4），GDP 能源强度呈持续下降趋势。例如欧盟（15 国）1980 年 CO₂ 排放达峰值时，人均 GDP（2000 不变价）达 14200 美元。从 1973 到 1990 年，GDP 年增长率为 2.43%，能源消费弹性为 0.32；从 1990 ~ 2010 年，GDP 增长率为 1.77%，能源消费弹性为 0.30，均处于较低水平。能源消费平均增长率也相对很低，分别为 0.77% 和 0.53%。期间再加上能源结构的调整，单位 GDP 的 CO₂ 强度年下降率分别达 2.75% 和 2.02%，高于同时段 GDP 增长速度，所以 CO₂ 排放量可实现峰值并持续下降。美国从 1973 年 ~ 1990 年，尽管单位

GDP 的 CO₂ 强度年下降率达 2.69%，但由于其间 GDP 年均增速高达 2.93%，所以其 CO₂ 排放仍持续上升，到 2007 年才达到峰值。处于工业化、城市化的新兴发展中国家，由于潜在 GDP 增速较高，尽管单位 GDP 的 CO₂ 排放强度下降较快，但 CO₂ 排放仍会呈较快增长趋势。

发达国家 CO₂ 排放峰值后，GDP 年均增长率一般不高于 3%，能源消费年增长率一般不高于 1%。其碳生产率年提高率不足 3%，仍可使 CO₂ 排放总量呈缓慢下降趋势。中国加大节能和能源替代

力度，2030 年前后 CO₂ 排放有可能达到峰值，峰值时 GDP 增速仍可维持 4 ~ 5% 左右的水平，并支持能源总需求量 1.5 ~ 2.0% 的速度增长，所实现的碳生产率提高率应达约 4.5%，实现 CO₂ 排放达峰值后，仍可比发达国家保持更大的发展空间和余地。因此，寻求比发达国家更大幅度提高碳生产率的途径，是新兴发展中国家在工业化快速发展阶段减缓 CO₂ 排放的根本战略选择，也是实现经济增长与减排 CO₂ 两个目标的协调统一的根本对策。

2.4 新气候经济视角下的 能源经济学

以能源体系变革为核心的新气候经济能源经济学：能源体系变革是应对气候变化的根本途径，要研究推动新能源变革和技术创新的理论方法与实施机制。

全球减排 CO₂ 的紧迫形势，推动了能源体系的革命性变革，大国能源战略也出现新的动向。其一是更加注重节能和提高能效。20 世纪 70 年代初的石油危机后，发达国家把节能视为与煤炭、石油、天然气和核能并列的“第五大能源”，当前又进一步把节能放在比开发更为优先的地位，将其视为“第一大能源”。在工业、交通、建筑等领域实施越来越高的能效标准，确立节能目标。例如欧盟制定了到 2020 年能效提高 20% 的目标。当前世界主

要发达国家的能源消费量大都呈现不断下降趋势，而其经济仍在持续增长。

其二是加速发展新能源和可再生能源，促进能源结构的低碳化。全球风能、太阳能、生物质能和地热能等非水可再生能源供应量 2012 年比 2007 年翻了一番，年均增速 19%，远高于全球能源总消费量 2.0% 的增速。2012 年与 2007 年相比，OECD 国家能源总消费量减少 4.1%，煤炭和石油消费量分别减少 12.5% 和 9.0%，而天然气和可再生能源则分别增长 2.8% 和 92%。英、法、德等欧盟主要成员国都制定了 2050 年电力 80% 以上来自可再生能源的发展目标，可再生能源技术和产业将面临快速发展的新局面。在化石能源

中，天然气是比煤炭、石油更为清洁、高效的低碳能源，其产生单位热量的 CO₂ 排放比煤炭低 40% 以上，用天然气替代煤炭也是促进能源结构低碳化的重要选项。特别是美国页岩气开发技术的突破，2012 年与 2007 年比较，天然气产量增长 25%，在一次能源消费中的比重也由 25% 上升到 30%。相应的美国煤炭消费量下降 23.6%，煤炭在一次能源消费中比重也由 24.3% 下降到 19.8%，单位能耗的 CO₂ 排放强度下降 11.2%，能源消费总量下降 6.9%，而 CO₂ 排放总量下降 11.2%。世界范围内以新能源和可再生能源替代化石能源的变革趋势日益明显和加速，到本世纪末全球必须实现新能源和可再生能源为主体的可持续能源体系，完成能源体系的根本性转型，使 CO₂ 排放趋近于零，才能实现控制温升不超过 2°C 的全球应对气候变化目标。

作为发展中大国，中国新能源和可再生能源发展也取得显著成效，其在一次能源中比重已由 2005 年 6.8% 增加到目前的 10%。到 2020 年将实现 15% 的目标，其年供应量将超过 7 亿 tce，相当于日本或德国加英国目前的能源总消费量水平，届时水电总装机将达 3.5 亿千瓦，风电装机将达 2 亿千瓦，太阳能发电装机也将上亿千瓦。可再生能源发展规模和新增投资均将位于世界前列。2030 年其比重可超过 20%，2050 年可超过 1/3，煤炭的比重也将下降到 1/3 以下，为本世纪末实现全球 CO₂ 趋于近零排放的目标奠定基础。当前世界范围内已出现由以化石能源为支撑的高碳能源体系逐步向以新能源和可再生能源为主体的新型低碳能源体系过渡的趋向，并将引发新的经济技术的重大变革。

大力促进能源转型，也是发展中国家在满足随经济社会发展不断增长的能源需求前提下，减缓 CO₂ 排放增长，使 CO₂ 排放量尽快达到峰值并开始下降的主要途径。新能源和可再生能源发展可

降低单位能耗的 CO₂ 排放强度，并可逐渐使新增能源需求逐渐由非化石能源供应量增长满足，使 CO₂ 排放达到峰值。与上节中碳生产率定义推导类似，可得到 CO₂ 排放达峰值的第二个必要条件：

单位能耗 CO₂ 强度年下降率 > 能源消费年增长率

由该式可见，在单位能耗的 CO₂ 强度年下降率大于能源消费年增长率情况下，CO₂ 可达到峰值。也就是说，在随经济社会发展对能源需求增长速度较高情况下，实现 CO₂ 排放峰值需要更大的能源替代力度。

由于能源结构向低碳化变革，可使 CO₂ 排放总量达峰值时间一般早于能源消费总量达峰值时间。自上世纪 70 年代初以来，发达国家由于核电、水电等新能源和可再生能源的发展，能源结构的改变使单位能耗的 CO₂ 排放强度降低，所以在 CO₂ 排放达峰值后，能源总需求量的上升由非化石能源的增长来满足，使能源消费总量的峰值时间滞后于 CO₂ 排放的峰值时间。欧盟（15 国）1980 年 CO₂ 即达到峰值，1980 ~ 2005 年，其能源消费的 CO₂ 排放强度年下降率为 1.0%，略高于能源消费年均增长 0.9% 的水平，所以 CO₂ 排放量呈缓慢下降趋势而能源消费量则持续上升，直到 2005 年其能源消费量才达到峰值，滞后 25 年。发展中国家凭借后发优势，加快新能源和可再生能源的开发利用，在非化石能源比重较高且持续快速增长情况下，可尽快使非化石能源供应量满足总能源需求，从而使 CO₂ 排放峰值时间较大地早于能源总需求峰值时间，且早于发达国家峰值时发展阶段出现。

大力发展新能源和可再生能源，促进能源体系转型，在减排 CO₂ 同时，也是各国突破国内资源环境制约、保障能源供应安全的内在需要，是各国

实现可持续发展共同的战略选择。具有节约资源、减少环境污染、保护生态环境的多重功效。据测算，中国每减少一吨煤炭的生产和消费，其间接环境与健康效益可达约 40 美元。因此要充分发挥 CO₂ 减排的协同效应，分摊 CO₂ 减排成本，促进减排技术的推广。要充分发挥和挖掘各国节约能源、促进能源替代的内在驱动因素，调动其内在积极性促进减排。例如欧盟大力发展可再生能源，减少对石油、天然气的依赖，很大程度上是出于提高能源自给率、保障能源安全的考虑，美国制定电站 CO₂ 排放标准，也有支持页岩气开发和利用的政策考量。中国东部地区限制煤炭消费总量，首先是出于对雾霾的治理。突出和加强各国在可持续发展优先领域政策和措施对减排 CO₂ 的协同效应，更容易被广泛接受和取得成效。应该密切结合，不宜过多强调各国的减排措施和行动的额外性。应对全球气候变化与国内可持续发展在政策措施上有高度一致性，要全面统筹，加大政策支持力度，打造应对全球气候变化与国内可持续发展的双赢局面。

要研究和发展依靠市场机制促进 CO₂ 减排的理论和机制，要发挥碳价和碳市场的激励作用。碳市场机制的建立，使碳减排信用的价值得到体现，先进能源技术的减排效果获得进一步的经济回报，提高其市场竞争力。而且碳市场的机制也向企业和金融机构展现出未来低碳发展趋势和潮流，先进减排技术将有更好的发展前景和市场需求，激励企业低碳技术创新，金融投资向低碳技术倾斜。同时碳市场建立也促进了对企业碳排放 MRV 体制的建立，促进企业和公众承担社会责任。对碳市场不宜过多强调其价格和交易量，而更要看重其减排效果和对减排机制的促进作用。

在全球能源体系变革大趋势下，能源战略要改变单纯保障供给的传统思路，在当前推进建设生态文明的形势下，不能再单纯把资源环境作为一种约束条件来考虑，而要把节约资源、保护环境作为与经济发展、社会进步同等重要的目标来权衡。所以中长期能源战略在保障供给的同时，也必须调控和引导需求，强化节能和提高能源利用的产出效益。同时大力推进新能源技术创新，促进能源结构的低碳化，全球能源变革的趋向，使未来新能源和可再生能源的技术创新和发展速度可能会超出今天的预估和想象，将呈加速发展的态势。到本世纪中叶，全球可实现大比例可再生能源的目标，使其成为在役主力能源，到本世纪末，全球将最终形成以新能源和可再生能源为主体的可持续能源体系，能源供给将不再依赖地球有限的矿物质资源，而其 CO₂ 排放也趋近于零，从而最终实现保护全球气候、实现经济社会与资源环境协调和可持续发展的目标。

2.5 新气候经济视角下的 消费行为经济学

**以消费方式转变为核心的新气候经济行为经济学：
消费方式的转变是向低碳社会转型的关键，要发
展和倡导生态文明下新的消费观念和生活方式**

观念转变对一个国家在新型能源体系革命中能否成功实现转型起着关键性作用，而各国发展方式和消费方式的转变速度和程度也可能成为重塑世界经济和政治格局的重要因素。美国的高科技发展引领了上世纪后半叶世界经济的发展和繁荣，但其以高能源消费为支撑的社会消费方式也给当前向新能源体系过渡带来了困难。当前，美国和欧盟、日本的人均 GDP 差别不大，但美国人均能耗高达 10.2tce，是欧盟的 2.1 倍，是日本的 1.8 倍。尤其是美国人追求大面积住房、大排量汽车和过分物质享受的奢侈浪费的消费方式，不仅使国家和大多数民众入不敷出，经济发展缺乏持续投入，而且成为人均能源消费和人均 CO₂ 排放最高的少数几个国家之一。然而更为糟糕的是，包括中国在内的经济快速发展的新兴发展中国家少数先富裕的人群大都以美国人的消费方式为榜样，对大面积豪华住房、大排量高档汽车和奢侈型物质消费品的追求也在引领这些国家的时尚，使其沿袭美国高碳排放消费方式。加强对消费观念和消费方式的引导，是促进低碳社会建设的关键。

全球应对气候变化，建设生态文明，也必将伴随社会对财富观、福利观和生活方式的转变。传统鼓励获取物质财富并独占排他的财富观和追求物质享受的生活质量观念将越来越受到质疑。环境和生物圈意识的觉醒使人们越来越重视生态保护和环境质量，发展了社会财富和集体观念的思维方式。全球气候变暖将带来暴雨、干旱、台风等极端气候事件和水资源短缺、疾病传播、海平面上升等灾难和负面影响，任何国家都无法幸免。

大气环境质量恶化和水资源的污染，任何个人都不能独善其身。每个人的消费方式也都会直接影响他人的福祉，私人汽车排出的 CO₂ 也将累积在大气中发挥温室效应，尾气排放形成的 PM_{2.5} 也会成为都市雾霾天气的一个根源。在满足基本物质生活需要的前提下，清洁的空气、干净的饮水、宜居的环境已变得比个人物质享受更为重要。高水平的生活质量是大家的共同体验和共同利益，孤立排他的生活方式不可能得到真正高质量的生活。所以，要倡导合作意识，要把低碳消费作为社会公德，规范和制约公众的社会行为，要引导全社会形成由片面追求经济产出和生产率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念。以观念的创新引导经济社会发展方式的转型。

当前世界仍处于城市化进程当中，全球城市人口刚刚过半，要全面引导城市化进程中低碳基础设施和社会消费方式。在城市化进程中，城市的布局、居住和交通方式等相应的基础设施一旦建成，几十年甚至几百年都难以改变，具有技术上的锁定效应。当前大多数既有的城市，在其发展过程中已经形成了一个宏观高碳的格局，再向低碳转型，就会付出很大的代价和比较长的时间。发展中国家城市化建设的进程中，一定要避免这种技术锁定效应，要进行前瞻性部署和超前规划。城市化过程中基础设施建设和农村人口转入城市后生产和生活方式的转变，能源消费势必增加。因此城市化进程中要努力构建低碳型的城市布局、基础设施、生活方式和消费导向，引导社会公众消费观念和消费方式的转变。在注重提高建筑物节能

2.6 结论

标准、提高家用电器能效、提高汽车燃油经济性等技术节能措施的同时，也必须更加重视低碳城市建设的总体布局和规划，避免盲目大拆大建，延长既有建筑物使用寿命。优化建筑格局和户型结构，建筑设计因地制宜，与自然和环境相和谐，避免过分依赖人工调节的高耗能运行模式。优化出行方式，减少私人机动车出行比例。城市化进程中要统筹城乡基础设施建设的低碳化布局，新农村社区建设要重视节能环保，要尽量为农村提供优质能源服务，避免盲目扩张无污染防治措施的分散低效的煤炭燃烧和利用方式。这种系统性统筹的节能环保效益将远大于技术效率提高的效果。要改变过度追求物质享受的奢侈型消费理念和追求超大面积豪华住房、大排量高档汽车等高碳消费方式，必须避免沿袭发达国家城市建设的高碳基础设施和高碳奢侈性消费的传统发展模式，避免形成只能在宏观高能耗和高碳格局下寻求具体设施和单项技术低能耗和低碳排放的被动局面。要以建设生态文明和低碳社会的理念为指导，探索新型的以低碳为特征的生态城市的发展模式和绿色人居的生活方式，走出新型的生态低碳城市化道路。

消费观念和消费方式的转变，可有效降低最终能源需求服务水平，并引导经济社会发展方式转变，是促进全社会节约能源、降低 CO₂ 排放的关键对策，需要积极引导和全社会广泛参与和自觉行动，这也是新气候经济学发展的思想基础和理论的出发点。

建设生态文明，实现低碳发展，需要发展理念和消费观念的创新，传统支撑工业文明的发展理论和评价方法学已不能适应生态文明建设的发展理念和目标，也需要有理论和方法学的创新。新气候经济强调经济发展与保护气候和环境的协调与统一，经济的发展使得中国等发展中国家更有能力保护气候与环境，而积极应对气候变化也会带来更有质量、更可持续的长期经济繁荣。它将由片面追求经济产出和生产效率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念，它将不再片面地追求 GDP 增长的数量、个人财富的积累和物质享受，而是全面权衡协调经济发展、社会进步和环境保护，注重经济和社会发展的效益和质量，不再盲目向地球摄取资源，排放废物。在满足基本物质生活需要的前提下，清洁的空气、干净的饮水、宜居的环境已变得比个人物质享受更为重要。高水平的生活质量是大家的共同体验和共同利益，这将促进社会公共财富的积累和共享，促进世界各国和社会各阶层的合作与共赢。因此，要引导全社会形成由片面追求经济产出和生产率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念。以观念的创新引导经济社会发展方式的转型。

可持续的经济增长



中国未来的发展路径有很大的不确定性，这些因素既包括经济增长当中本国发展的内因，也包括国外的影响因素。这方面学术界已经有很多激烈的争论，有的学者对中国未来经济增长充满信心，认为中国可以保持很多年高达 8% 的经济增长奇迹，而有些悲观的学者认为中国可能会和其他大部分发展中国家一样落入“中等收入陷阱”，甚至可能由于中国巨大的经济体量的萧条带来新一轮的全球经济危机。本报告中，我们首先对中国未来的经济发展与经济增长结构变化进行展望，然后根据不同的经济增长情景考察 2012 – 2050 年间不同情景的经济增长以及产业结构变化的情况。由于缺乏一致的共识，报告里我们首先分析了中国过去 30 年经济增长的动力，根据生产率的分析对中国经济增长未来可能的情景进行分析。

3.1 绿色增长与低碳发展

一个社会的能源消费由三个主要因素决定：a) 生产总量 (GDP) 的增长；b) 产业结构变化；以及 c) 生产技术。产业结构的相对变化指的是不同产业如农业、食品加工业、钢铁、通讯等产出在总产出中的比重发生变化。“技术”则涉及生产方式的各个方面，例如资本的使用强度、能源种类的选择、生产规模以及外包生产等等。这三个要素既影响总的能源使用又影响能源的使用结构，当然国内经济或能源政策、贸易政策，或世界石油价格等外部冲击也会产生影响。而能源的消费与能源结构的差异也会带来污染的排放的不同，后者也受到国内环境政策等因素的影响。

经济发展的表现与碳排放与空气质量紧密相关，对很多国家也包括中国而言，当前经济发展是否具有可持续性具有重要的意义。例如，地球是否会最终消耗掉所有的矿产资源例如铁矿石与化石能源？或者自然资源如水、耕地、森林和渔业资源的耗竭，环境质量是否恶化到影响人们的生存？因此这些问题也得到了众多政府部门与国际组织的关注，例如联合国和世界银行，也开始把目光投向了“绿色增长”。

虽然绿色增长没有一个统一的定义，一般认为指的是经济增长具有环境可持续性，后者是可持续发展的重要组成部分。例如，世界银行定义“绿色增长”为“经济增长上具有环境可持续性，...，能够有效地使用自然资源，降低污染与环境影响，加强环境管理、积累自然资本来避免自然灾害，提高环境恢复能力”。UNEP 指出“绿色经济具有低碳、资源节约型、社会包容性的特点”。世界银行也认识到低碳发展是绿色增长的一个有机组成部分。

低碳发展与绿色经济之间的密切的关系可以反映

在以下两个方面。一方面，化石燃料的燃烧释放出颗粒物、二氧化硫、氮氧化物以及其他造成公众健康的污染物、以及温室气体二氧化碳。这些如何影响经济表现呢？Ho and Wang (2014) 解释说，可以将经济产出看成是物质资本、劳动力、自然资本与“技术”的函数方程。自然资本包括各种矿产资源、森林、渔业、清洁空气等等。绿色增长的战略会影响这四方面的投入。

低碳发展路径降低空气污染，从而减少了生病或因污染过早死亡的工人，也减少了因酸雨等污染对建筑物等实体资本设备的损害，同时还减少了酸雨对渔业的负面影响。因此，低污染使得修理成本得以降低，从而提高了经济产出。能源效率标准等政策往往通过改变生产方式、设备类型或者燃油种类影响“技术”。环境政策带来的这些技术创新究竟是否成本有效，在学术界有很大的争议。波特假说认为，政府的能源政策可以引发能源消费与总生产成本的下降，而另一些人则持反对意见。虽然是否这些政策一定带来“双赢”的结果还不是很明确，但一点可以肯定的是，这些政策影响了技术的选择，从而影响了二氧化碳与局地大气污染物的排放。

绿色增长文献中讨论了很多政策手段，例如碳定价、能效标准、可更新能源配额、R&D 研发补贴等等来减少市场失灵。这里我们不具体讨论政策，但需要注意的是这些环境保护政策与温室气体减排目标是统一的，减少煤炭使用的政策通常既减少了二氧化碳也减少了大气污染物的排放。然而其他等针对大气污染物的减排技术，如脱硫 (flue-gas desulfurization, FGD) 技术则往往需要消耗电力，排放出更多的二氧化碳。因此，一个完善的绿色增长战略需要将这些能源使用与排放的各种复杂因素考虑在内。

3.2

增长的源泉：理解中国过去 30 年经济增长的动力

在讨论未来中国的经济展望之前，需要分析中国经济过去 30 年的特点，什么因素带来了中国的经济腾飞？虽然中国 78 年以后开启的经济体制改革与改革开放、加入 WTO 等因素被认为对中国的经济腾飞起到了关键的左右，但其中的细节仍需要深入地研究。一个简单的问题就是，“过去三十年，经济增长的驱动力有哪些？”

我们从最简单的经济增长模型出发，可以将总产出（或 GDP）写成资本、劳动、以及“全要素生产率（TFP）”的函数，即 $Y = F(K, L, TFP)$ 。这里的资本既包括物质资本如建筑物、设备、土地等，也包括虚拟资本例如专利与软件等。TFP 通常指除了资本与劳动力投入的贡献外，其他所有影响产出的要素，如技术进步、资本劳动行业间的重新分配、网络外部性、未计入的公共资本影响，以及市场失灵等的减弱等等，是一个衡量经济效率提升和技术进步的指标。这种计算全要素生产率的方法，即将产出分解成资本投入增长、劳动力投入的增长、TFP 以及其他因素的测算，又称为“增长核算（Growth Accounting）”，有些 TFP 研究还区分劳动力是简单基于工人人数，还是基于劳动力质量即人力资本。

经济增长的核算仅仅是第一步，这里忽略了很多重要的因素。现代经济生产过程中制造出很多不同的商品与服务，而每一个产品又可以通过各种技术来实现。GDP 通常由最终需求商品进行加权的总和得出，或者通过不同行业增加值加权总和得出。最终商品消费的结构变化（例如更多的消费、更少的投资），或者商品价格的变化，即使工人与机器等要素投入相同，也会引起 GDP 数值的差异。同样，产业结构的变化，例如不同行业工人与资本要素配置的不同也会影响到 GDP 的大小。

因此，GDP 核算中需要测量这些要素投入的变化，才能得出较准确的生产率测算的数值。劳动力要素投入的测量既包括工人人数的变化，也包括其质量的变化，例如人力资本。同样的，有一些研究仅简单地用资本存量来测算资本要素的投入，而其他一些研究则认识到资本的生命周期不同，需要区分对待。忽略到要素质量变化往往得到更高的生产率估计，这是因为这些人力资本（劳动力质量的提高）会保留在最后的生产函数的残余里。

资本、劳动与 TFP 仅仅是对经济增长来源解释的近似，要理解经济增长的真实源泉需要更完整的发展理论来诠释资本和劳动力为什么遵循这样的轨迹变化，经济增长核算方面有大量的文献致力于分解增长的驱动力，对 TFP 等要素进行核算统计，以下我们从行业的角度对中国经济的增长进行更加细致的驱动力研究。

a) 总量增长核算法 (Aggregate growth accounting)

表 3.1 中总结了四篇运用总量增长核算法分析中国经济增长来源的代表性研究，其中 Chow 和 Li (2002) 采用柯比 - 道格拉斯 (Cobb-Douglas) 生产函数回归的方法，发现改革后 TFP 增长了 3.03%，资本投入增长了 5.1%，劳动力投入增长了 1.2%，从而可以解释 1978-1998 年间 9.4% 的总体 GDP 增长率，全要素生产率对经济增长的贡献是 32%，资本的贡献是 55%。

在一篇世行报告里，Wang 和 Yao (2001) 纳入劳动力教育年限的考虑，认为 1978-99 年间 GDP 的增速约为 9.7%，其中 TFP 约为 2.3%，资本贡

献率为 4.7%，经劳动力质量因素调整后的劳动力贡献率为 2.7%。基于关于劳动力收入份额的不同假设，他们认为 TFP 的范围在 1.92 到 2.98 之间。Islam, Dai 和 Sakamoto (2006) 调整了劳动力质量估计 1978-2002 年间中国全要素生产率约为 2.95%，分区间的结果差异较大，分别是 5.7% (1978-84), 1.2% (1984-91) 以及 3.0% (1991-2002)。Lee 和 Hong (2010) 使用跨国数据对人力资本进行简单调整，得出 1981-2007 年间 9.4% 的 GDP 增长，可以分解为资本 (4.4%)，劳动力 (0.9%) 以及 TFP (4.1%)。

中国官方的国民经济核算的质量引起了很多学者的关注，并提供了真实 GDP 增长的其他估算。Perkins 和 Rawski (2008) 认为 1995 年之后的官方 GDP 数据比较可信，但对之前的数据进行了修改，在对劳动力质量进行调整之后，得出 1978-2005 年的平均 TFP 增长率为 3.8%，在过去 30

年可以解释 40% 的经济增长。Cao et al. (2009) 也对 1982-2000 年 GDP 增长进行了微调，8.9% 的 GDP 增速中，资本投入 (含资本质量调整) 贡献了其中的 4.6 个百分点，劳动投入贡献了 1.8 个百分点，TFP 贡献了 2.5 个百分点。

世界银行和国务院发展研究中心 (2013) 年的《中国 2030》报告虽然没有提供全要素生产率的测算，但对 1995-2010 年间的劳动生产率进行了测算，每年平均以 8.9% 的速度增长，并据此作为中国未来经济展望的基础。

	Chow & Li (2002)	WB: Wang & Yao (2001)	Cao et al. (2009)	Islam et al. (2006)	Perkins & Rawski (2008)	ADB: Lee & Hong (2010)
研究时间段	1978-1998	1978-1999	1982-2000	1991-2002	1978-2005	1981-2007
产出变量	GDP	GDP	Adj. GDP	GDP	Adj. GDP	GDP
产出增长 (%)	9.35	9.72	8.91	9.37	9.5	9.35
资本贡献	5.10	4.69	4.57	4.27	4.2	4.42
劳动力贡献	1.23	2.70	1.83	2.15	1.5	0.85
全要素生产率 (%)	3.03	2.32	2.51	2.95	3.8	4.07

表 3.1. 中国经济增长的源泉(总量增长核算法)

b) 中国行业 TFP 的测算

大部分的生产率的研究都是使用宏观 GDP 数据以及总量资本、劳动力等数据，这些研究无法测算生产要素从一个行业转移到另一个行业带来的效率提高，也无法在行业层面上诠释技术进步与其他影响增长的因素。需要注意的是，不同行业经济活动与效率的表现不同，经济总量的效率有些情况下往往由几个重点产业决定。例如在美国，Jorgenson, Ho and Samuels (2011) 发现虽然 1995-2007 年间美国的信息产业只占到 GDP 的 3%，但占据了 TFP 的一半以上，1995-2000 年间信息产业的快速发展对 GDP 增长的贡献为 18%。因此，一些研究开始对行业层面的 TFP 进行估计，定量测算行业层面资本、劳动、中间投入以及 TFP 的贡献，Cao et al. (2009) 对这类测算进

行了详细的描述，对中国 1982-2000 年间 33 个行业的生产率进行了估算。总产出是由各个行业的增加值加总而成，总量 TFP 增长速度可以分成三个部分：(a) 行业 TFP 增速的加总 (b) 行业间资本的重新分配，以及 (c) 行业间劳动的重新分配。表 3.2 表示，1982-2000 年每年的增加值平均增长了 8.9%，TFP 贡献了 2.5%，这 2.5% 的 TFP 构成中，包括工业 TFP 的加总（2.7%），资本与劳动重新配置（-0.19）。如果对行业进行细分，工业 TFP 的 2.7% 增速中，大部分来自于制造业的贡献，具体而言，第一产业生产率贡献了 0.9%，第二产业生产率贡献了 2.1%，然而服务业却是负值（-0.31%）。其中农业、机械制造、电气与贸易等行业的 TFP 较高，而石油冶炼及加工行业、金融等服务业则呈现负的 TFP 增长。

	1982-2000
总增加值 (% 每年)	8.91
资本投入的贡献 (% 每年)	4.57
劳动投入的贡献 (% 每年)	1.83
总量 TFP	2.51
对总量 TFP 的贡献	
行业 TFP 的加总	2.70
第一产业	0.91
第二产业	2.10
第三产业	-0.31
资本投入的重新配置	-0.17
劳动投入的重新配置	-0.02

表 3.2. 资本、劳动力、增加值等要素对经济增长的影响 (% 每年) 数据来源：Cao et al. (2009)

行业 TFP 估计需要行业更细的核算账户等数据，因此这方面的研究较少，Wu (2007) 主要考察了工业部门 22 个行业（采矿业、制造业与电力部门）1980-2005 年的行业 TFP，发现行业 TFP 的差距往往很大，1993-2005 年间从正的 14.9%（金属采矿业），到 5.2%（纺织业）、到负的 6.7%（石油加工及炼焦业），整个制造业的 TFP 增长在 1980-1993 年平均只有 0.1%，而 1993-2005 年有 7.2%。

Chen, Jefferson 和 Zhang (2011) 的文献调查发现大部分研究都集中在制造业，即第二产业的 TFP 测算，也有一些研究根据企业层面的微观数据进行估算，有些研究仅仅用增加值数据忽视中间投入，他们的文献综述分析结果表明，制造业的 TFP 跨度很大，从 -1.1% (1992-96) 到 17% (2000-05)。Chen et al. (2011) 根据企业层面制造业增加值数据对 1981-2008 年工业 TFP 测算得出，工业增加值增长的 12.5% 中有 6.7% 是来自于 TFP 的贡献，包括技术领先企业的技术进步带来的产出增长，也包括落后企业 TFP 负值的贡献，以及生产效率更高的公司扩张通过投入重新配置带来的正效益。

这些生产率测算的研究可以总结以下几个结论：首先，1978 年之后中国的经济增长主要来源于资本投入与固定资产投资；其次，全要素生产率在过去 9% 的 GDP 增速中占重要的贡献，约 2-4%，但每年的总 TFP 水平波动很大，劳动力投入的贡献即使考虑人力资本的提高也仅仅解释贡献 1-2%，另外不同行业的 TFP 差异很大，一些工业行业的 TFP 增速很快而一些服务性行业多为负的

TFP。最后，资本劳动的重新配置的效果是模棱两可的，有些资本或劳动投入配置到更有效率的行业对 TFP 起到促进作用，但行业间的资本或劳动的流动带来的效果很小，有些情况下配置无效率可能甚至带来负面影响。

上面的分析揭示了中国过去 30 年经济增长的根源，然而更重要的是什么样的政策会带来这些变化，资本如何配置才是最有效率的？政策是否能够刺激技术进步？这些问题和 TFP、要素增长等紧密相关，中国未来 20 到 30 年经济如何发展，资本、劳动、产出会沿着什么样的轨迹？以下我们将详细阐述我们的情景分析，什么样的经济改革与低碳政策会如何影响 GDP 的增长及其能源使用等，如何影响？

3.3 跨越中等收入陷阱：中国 未来经济增长趋势的争论

过去三十年，中国经济的快速增长是举世瞩目的，虽然经历了 90 年代后期的亚洲金融危机、以及 2008-2009 年的全球金融危机，中国 GDP 的年增长率在 1992-2013 年间基本保持在 7.6% - 14.2% 之间。从 1995 年到 2007 年全球金融危机之前，中国的平均 GDP 增速保持在 9.4% 左右，然后降低到 2007-2013 年间的 8.6%，最近 2012 和 2013 年 GDP 增长速度仅仅 7.7% 左右，是 1997 年亚洲金融危机以来最低的增速。

中国近期经济增速的放缓引起了学术界的激烈讨论，这一现象是由于全球经济萧条之后带来的暂时周期性的自然回落呢，还是由于经济增长到了一定瓶颈之后逐渐减缓的长期趋势？中国经济趋势的研究与讨论其实可以延续到更为广泛的经济学命题，及包括中国在内的一些发展中国家的经济增长速度呈什么样的趋势发展？1960 年以来，全球 101 个经济体进入中等收入国家行列，然后直到 2008 年只有 13 个经济体成功迈入高收入国家行列，例如日本、韩国、中国台湾、中国香港、新加坡、以色列等国家，然而绝大多数国家在追赶的中途因为种种原因导致经济增长的停滞，陷入“中等收入陷阱”。

随着资本边际生产率的自然下降，虽然持续的资本积累与投资可能规模庞大，对经济增长的贡献度将不可避免地降低。也就是说，当一个国家还处于穷国的时候，资本存量较低时，一个单位的资本对 GDP 的边际贡献较高，而过了二十到三十年的资本积累，新增一个单位的资本仅仅带来很低的回报率。拉美国家和中东就是“中等收入”国家没有逃离这一“中等收入陷阱”的典型例子，而一些东亚国家，包括韩国、中国台湾、中国香港和新加坡，则得益于经济增长的规模效益，例如

电器、计算机与通讯领域的规模效应，更快地从美国、日本新技术革新大潮中学习新的技术，从而最终逃离“中等收入陷阱”，成功地转移到发展的中等收入阶段。

世界银行与国务院发展研究中心联合发表了《中国 2030》报告，对中国过去经济起飞的驱动力、未来经济增长的挑战进行了非常详尽的分析，认为大部分国家在达到中等收入和接近高收入水平时，曾经推动经济高速增长的因素和优势，例如低劳动力成本和容易采纳的技术不复存在，在无法找到新的经济增长源的情况下就会落入“中等收入陷阱”（世行与国务院发展研究中心《中国 2030》，第 12 页）。图 3.1 中纵坐标是各国 2008 年经过 PPP 调整的以美国为基准的相对收入水平的对数，横坐标为 1960 年时的相对收入水平的对数，因此美国是 $\ln(100\%)=4.6$ ，中国（蓝色钻石表示）在 1960 年是 5.84% ($\ln(5.84)=1.8$)，2008 年为 21.5% ($\ln(21.5)=3.1$)。除了少数几个国家，如新加坡、西班牙、毛里求斯、中国台湾、中国香港等，大部分国家都在中间象限，落入“中等收入陷阱”，当然要注意的是，“中等收入陷阱”并非没有经济增长，如果在中间象限框中画一条 45° 的线，线上的国家表示在 1960-2008 年间与美国的相对收入差距逐渐减少，接近与加入高收入国家行列，而 45° 线之下的国家则呈现逐渐远离美国收入的趋势，最下面的象限代表低收入“陷阱”，这些穷国或者一直保持低收入水平，或从中等收入国家倒退回低收入国家。

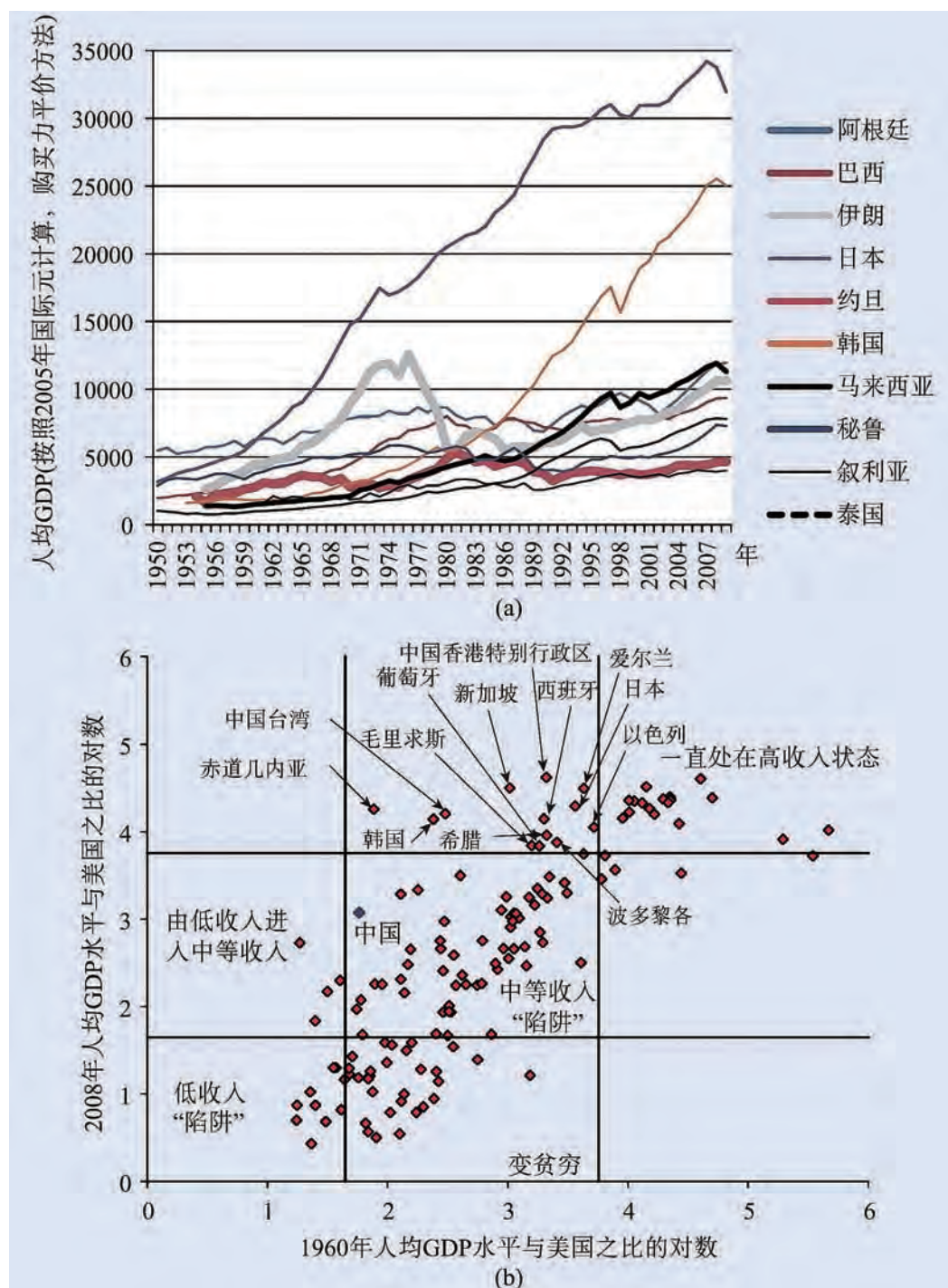


图 3.1. 大部分发展中国家在经济赶超过程中陷入“中等收入陷阱” 数据来源:世界银行、国务院发展研究中心 (2013)

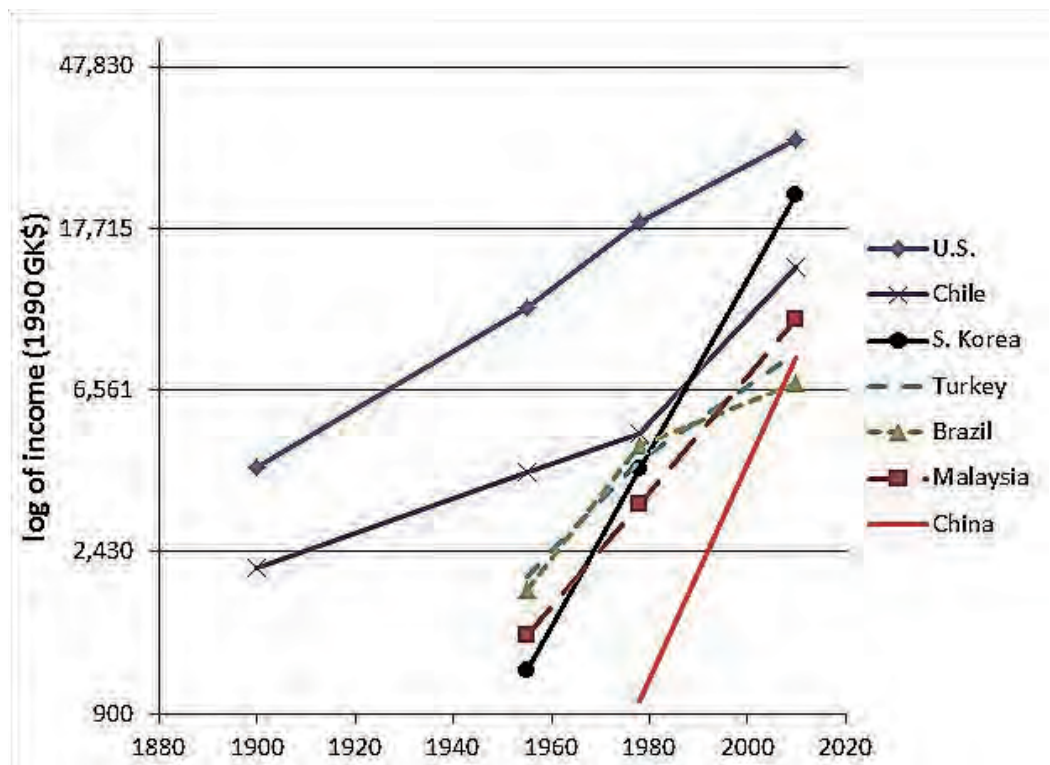


图 3.2. 各国人均收入的增长路径

图 3.2 比较了包括中国在内（红色线条）的 6 个主要经济体的人均收入的增长路径，数据来源于麦迪逊（Maddison）数据库（1900, 1955, 1978 和 2010 年）。智利和南韩成功地在 2013 年前迈入高收入国家行列，而土耳其、巴西和马来西亚则没有避开“中等收入陷阱”，事实上这些国家的人均收入在 1955 年比南韩还高，而 1978 年后土耳其和巴西则出现了明显的经济下滑，图上可以看到这两个国家在 70 年代后期经济增长都出现了拐点。世行《中国 2030》分析这些国家主要是没有成功地实现结构转型，通过宏观调控措施刺激经济，往往带来通胀和不稳定，进而削弱投资者的信心导致增长长期放缓。世行报告认为，中国要避开中等收入陷阱需要寻找新的经济增长点，

例如“生产投入效率的提高、高储蓄率、规模较大且不断增长的熟练劳动力、技术进步、第三产业壮大、城市化进一步提升、积极融入全球化进程等”，这样在未来的 20 年左右还可以保持每年 6 到 7% 的增长速度，然而，世行报告也指出，同时中国还需要应对众多艰巨挑战和风险，例如收入分配差距加大、老龄化、过低的消费结构、人口流动的障碍、日益恶化的环境污染和生态破坏等，这些都可能成为未来经济发展的瓶颈，需要中国对其政策和体制框架进行调整。

目前探讨经济增长的源泉主要通过对跨国数据进行实证研究，很多实证研究常常得出相反的结论（例如，Durlauf, Johnson and Temple（2004）

的评论文章)。这些实证研究发现的普适规律为,较高的经济增长往往同人力资本积累、高投资率、对外开放等有较强的关联。然而经济增长率的变化方面的研究,为什么一些国家能避开“中等收入陷阱”保持较高的增长速度,而另一些国家则陷入陷阱。Hausmann, Pritchett and Rodrik (2005) 的一篇文章指出,经济快速增长主要取决于投资与贸易的增长、真实汇率贬值以及经济改革。Eichengreen et al. (2011, 2013) 更进一步研究不同国家是在人均收入达到什么水平陷入长期缓慢增长,即“中等收入陷阱”开始的时间点。Eichengreen et al. (2013) 中对经济迟缓的定义是一个经济体连续 7 年人均 GDP 的增长率都在 2% 以下,他们的实证研究发现,不同的国家经济迟缓发生的时间差异很大,图 3 中可以看到基本上有两个模式,一类是在人均 GDP (2005 年 PPP 调整后) 在 15,000-16,000 美元左右,另一类国家则更早一点,在大约人均 GDP 10,000-11,000 范围的时候陷入“中等收入陷阱”。根据这一分布的中

值情况,经济停滞或缓慢增长平均大约发生在从年均增长率 5.6% 降到 2.1% 的时候,而在这一转折点某些国家由于第二、第三产业发展势头较好,高科技行业发展较快并主要靠出口为主等优势,往往可以持续高速增长,进入高收入国家行列,而相反如果发生金融危机或者政治体制出现问题等等都可能进一步带来增长的减缓,在这一国际比较中,可以看到中国 2010 年的人均 GDP 约为 7129 美元 (经 2005 PPP 调整后数值)。

Eichengreen et al. (2011) 虽使用更早的数据但专门对中国经济增长进行了分析与评价,指出中国经济增长过程中既有促进增长的驱动力,也有阻碍经济增长的障碍。“中国的经济开放程度的提高以及高投资率使得经济增长还会保持一定的增长惯性,然而,中国的老龄化问题、国企垄断的独特结构、以及消费疲软都使得经济回落的可能性增大,这些因素综合起来,Eichengreen 等总结认为中国经济增长速度放缓的机率会大于 70%。

频度

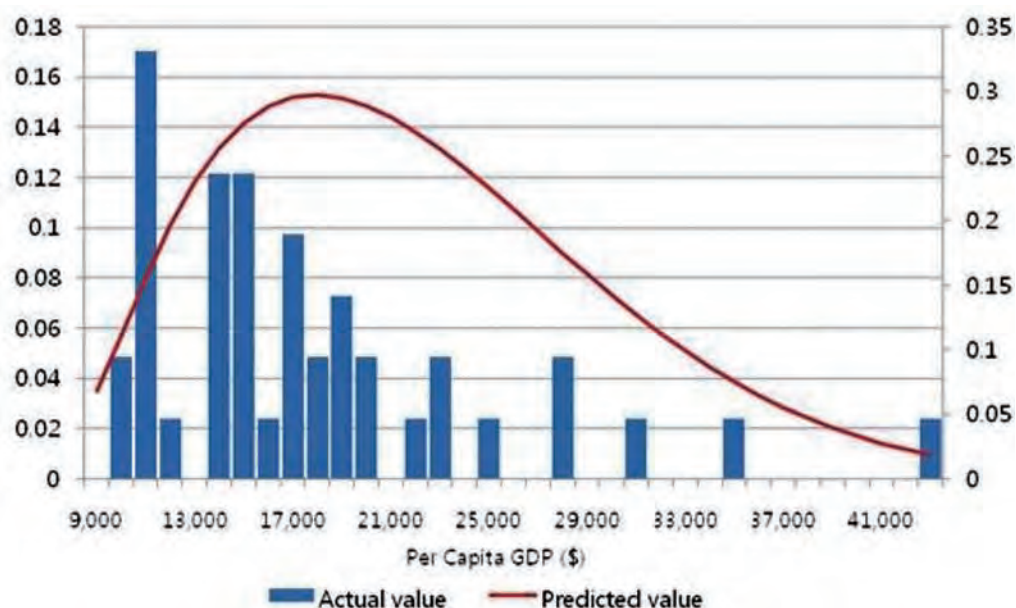


图 3.3. 各国进入缓慢增长期的时间点分布

数据来源: Eichengreen et al. (2013)

可以看到，虽然跨国数据的研究在长期经济发展方面已经有一些历史经验，但对于如何正确的调整发展战略和经济政策，保持经济增长的活力、技术进步的创造力和持续力，成功的国际经验还是很缺乏。另外，也并非所有的国家发展到中等收入水平左右都会陷入“中等收入陷阱”，二战之后 101 个中等国家中有 13 个国家成功地越过这一阶段，成为高收入国家，目前也有一些国家很接近，很快也将进入到高收入国家阵营。需要注意的是，

“中等收入陷阱”并非严格字面意义上的“陷阱”，经济增长只是增长速度较慢而不是长期停滞，如果说这 13 个成功的国家只用了 40 年左右迈入高收入国家行列，那对其他国家而言就需要 50 到 60 年左右，因此主要是不同的国家在发展路径上经济减缓的时间点不尽相同，大部分在人均收入大约 1 万美元附近开始经济增速变缓（2005 PPP 调整），而另一些国家则在人均收入超过 2 万美元以后才开始发生这一现象。

3.4 中国经济的三种情景

考虑到中国未来的经济前景的预测有巨大不确定性，我们采用动态一般均衡 CGE 模型，构建了 2013-2050 期间的三种情景：高增长情景、中等增长情景和低增长情景，和一般基于总量生产函数的宏观模型不同，CGE 模型可以更好地模拟资本、劳动力等要素的结构变化，以及各生产要素在不同行业的配置以及生产率的情况，不仅能够更好地模拟供给面因素，也可以更准确地模拟需求面因素，并将二者统一在一个完整的一般均衡框架之下。

我们的中等增长情景体现了一种保守乐观的估计，即从世界经济的角度来说并没有发生大的经济危机或动荡，但从中国本身而言，过去由于投资拉动的两位数高增长趋势将不可持续，投资回报率会进一步下降，经济增长速度将比过去十年明显放缓，到 2020 年附近降到 6.2% 左右，然后降到

2030 年的 4%。我们最乐观的情景——高增长情景——假设中国的技术进步以及生产率还将保持在高位，技术的进步可以部分抵消资源约束对经济增长的负面作用（例如达到同样的 GDP 水平需要更少的煤炭和水等资源），这样中国经济可以保持 7-8% 的增长速度，然后降到 2030 年的 5.4% 左右。我们最悲观的情景——低增长情景——则假设技术进步、生产率增长空间有限，导致 GDP 在 2020 年降到 4.5%，2030 年降到 2.7%。

我们的多行业动态一般均衡 CGE 模型在附录中给出了详细的模型说明，需要注意的是过去中国三十年快速经济增长的主要驱动力是资本的积累，因此我们模型中投资与资本模块是非常重要的模块，总投资主要来自于住户储蓄、企业自留利润、政府投资以及外国投资，每年投资积累经折旧后

形成资本存量，模型中我们既考虑投资的数量也考虑质量，资本在各行业间按市场规律流动。

劳动力投入反映了劳动力市场工人总数以及未来劳动力市场参与度与教育水平。每个行业 TFP 的增长外生决定，目前为简化起见我们假设各行业的 TFP 增长速度相同，对外贸易方面我们假设 Armington 条件，即国产商品与进口品位不完全替代品的假设，EIA 预测的国际石油价格作为外生冲击，在我们的模型中起着很重要的影响。我们还借鉴了世界银行和联合国对中国未来各年龄段人口的预测数据，加入 2014 年中国开始实行的“单独二胎”（低、中等增长情景）和假设未来继续放开到“全面二胎”政策（高增长情景），预测了未来的劳动力供给及组成以此比较准确地估计

未来的劳动力质和量两方面的供给。另外，我们还根据现有的数据预测了未来的储蓄率、企业利润率、资本质量的提高、劳动力质量提高的速度、生产率的增长和进口价格、政府赤字等等。通过这些外生参数的假设，我们的三种情景中主要因素、外生参数在表 3.3 中给出。

	储蓄率	企业利润率	人 口 (百万)	劳动力人 数(百万)	劳动力投入 (经质量调 整后)	生产率指数
基年 2010	41.2%	38.9%	1360	938	100.0	100.0
中等增长情景 (2020)	22.3%	57.9%	1440	930	108.5	111.5
高增长情景 (2020)	24.3%	55.9%	1452	930	111.3	112.2
低增长情景 (2020)	18.3%	61.9%	1440	930	108.5	110.0
中等增长情景 (2050)	14.6%	65.5%	1434	758	97.6	144.6
高增长情景 (2050)	16.6%	63.5%	1518	797	117.2	157.7
低增长情景 (2050)	10.6%	69.5%	1434	758	85.3	137.0

表 3.3 三种情景的重要参数

数据来源：Cao et al. (2009)

人口与劳动力投入预测

2013 年 11 月 25 日，十八届三中全会通过的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》对外发布，其中提到“坚持计划生育的基本国策，启动实施一方是独生子女的夫妇可生育两个孩子的政策”，这标志着“单独二胎”政策的正式合法化，也为未来全面放开二胎迈出了第一步。根据中国社科院王广州、胡耀岭、张丽萍的社科院重大项目出版的《中国生育政策调整》一书的预测，如果继续保持独生子女政策不变，我国总人口将在 2023-2025 年达到峰值，约 13.8-14.06 亿人口，2050 年人口回落到 12.38-12.8 亿人。如果 2013 年实行“单独二胎”，那么人口高峰在 2026-2029 年出现，和独生子女政策相比 2020 年仅仅增加 400 万人口，2050 年增加 4200 万；如果 2013 年实行“全面二胎”，人口高峰将在 2029-2031 年出现，和独生子女政策相比 2020 年增加 1200 万，2050 年人口讲多出 1.27 亿人左右。

在我们的预测中，由于中国“单独二胎”政策的实施晚于王广州等人的预期时间 2013 年，另外他们的预测与联合国等机构预测有一定细微差距，

2010 年也比官方数据少了 2000 万人口，本研究中我们仅仅参考了他们对“单独二胎”、“全面二胎”政策的影响，即相对“独生子女”政策不同人口政策下每年新增婴儿数，并据此预测对联合国人口预测数据进行修正，并修正了政策时间点差异的影响（2014 年实行单独二胎），然后假设联合国人口预测原数据和新数据每年的各年龄段的死亡率不变，对将来的人口各年龄段结构进行外推得到总人口数，并计算出 2010-2050 每年的劳动力市场劳动力的总数，我们的低增长与中等增长情景假设人口政策保持“单独”二胎，我们的高增长情景假设中国 2015 年全面推行二胎，在这个情景我们也采用了王广州等人的新增婴儿数，对联合国的人口预测和我们的劳动力数量预测进行相应的调整。

我们的人口预测（表 3.3 第 3、4 列，图 3.4）表示，中国如果仅仅放松“单独二胎”中国总人口从 2010 年的 13.6 亿增长到 2020 年的 14.33 亿，然后达到逐渐回落到 2050 年的 13.85 亿。如果假设人口政策 2015 年完全放开二胎，2020 年中国人口将达到 14.52 亿，2050 年达到 15.18 亿。

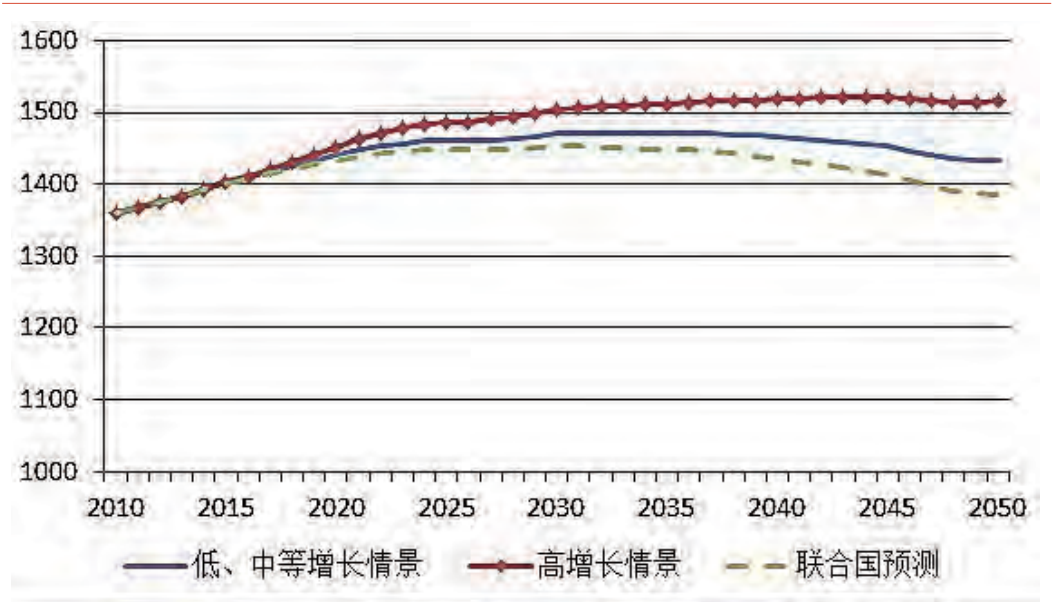


图 3.4 中国未来的人口预测

数据来源：Eichengreen et al. (2013)

图 3.5 给出了中国未来劳动力投入的预测，劳动力市场上处于劳动年龄的人口在 2020 年讲没有变化，仍然为 9.3 亿，劳动力的影响要延后二十

2050 年劳动力人口约为 7.97 亿，而中、低增长情景下只实行“单独二胎”，2050 年劳动力人口约为 7.58 亿。

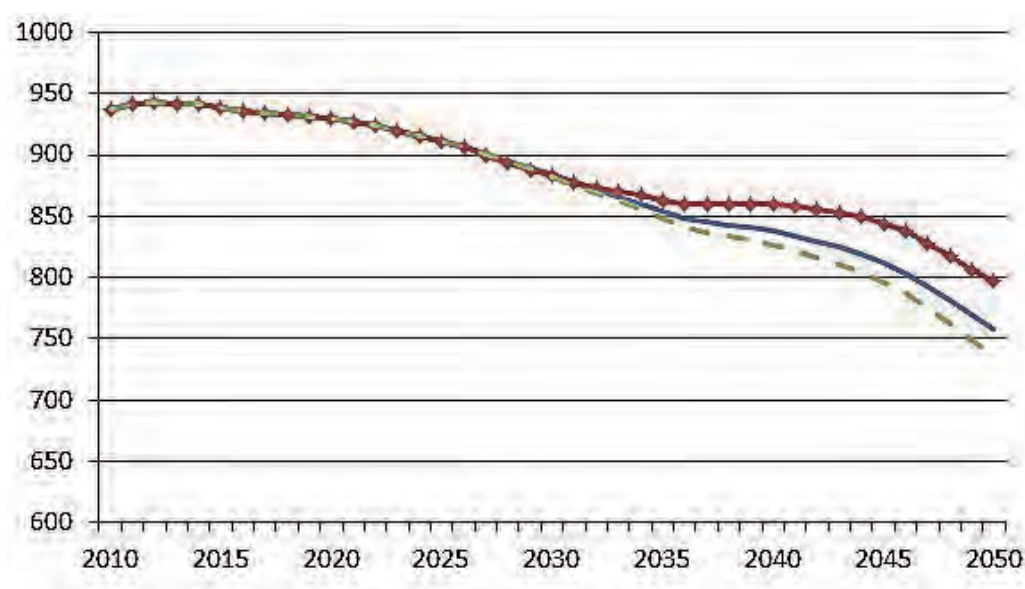


图 3.5 中国未来劳动力投入的预测

我们的 CGE 模型中还考虑到有效劳动力投入，即将劳动力的质量因素考虑在内，工人在劳动力市场的参与程度可以将适龄工人人数乘以劳动力市场参与度，我们假设劳动力市场参与度会逐渐升高，这主要是考虑到未来中国退休年龄会逐渐提高，此外由于大学扩招，2000 到 2013 年工人的教育水平普遍提高很快，因此预计以后人力资本改善的速度将有所缓和，这些因素都考虑在内，有效劳动力投入在近期将以 0.9% 的速度增长（表 3.3 第 5 列），该指数从 2010 年的 100 增长到 2020 年的 108.5，2050 年降到 102.7。在高增

长情景中，人力资本增长速度较快，因此有效劳动力指数在 2020 年增长到 111.3，2050 年增长到 117.2，也就是说人力资本的增长速度比劳动力人数下降的速度要稍快些。

生产率预测

根据我们前面第二节的测算，中国过去 30 年的全要素生产率增长的估计平均在 2-4% 左右，但大部分行业的 TFP 都低于 2%，而有一些制造业的 TFP 要明显高些，服务业一般最低（见表 3.2）。在 CGE 模型中，我们对未来生产率的估计列在了表 3.3 的最后一列，在测算中资本和劳动力质量的改善已经分离出去，体现的是剩下的技术进步等提高效率的部分。在三种情景中，我们假设资本的质量在 2010 到 2030 年间增长了 11%，也就是同样的资本存量下资本的投入将增加 11%。在我们的中等增长情景中，TFP 增速从 2010 年的 1.3% 逐渐走低，2020 年的生产率比 2010 年多 11.5%，2050 年比 2010 年多 44.6%，在高增长情景中，2020 年的生产率比 2010 年多 12.2%，2050 年多 57.7%。

中国未来经济增长情景的预测

根据上述重要参数的设定，我们采用中国 CGE 模型对中国 2050 年前的经济情况进行模拟，中等增长情景的重要经济结果由表 3.4 给出，此外表 3.5 和表 3.5a 则对三种基准情景 2020、2030 两个代表年份进行比较。图 3.5 则给出了三种情景下的 GDP 的增长路径。

我们的模型预测在中等增长情景下，2010-2020 年的 GDP 的平均增速为 7.3%，然后逐渐降到 2020-2030 年的平均 4.8%，2030-2050 年的平均 3.1%。我们的预测与世界银行、国务院发展研究中心在《中国 2030》中的预测相近（7.0% 2016-20, 5.4% 2020-30）。十八届三中全会提出未来改革的重点是逐渐增加居民收入，从投资拉动的经济增长模式转向拉动国内消费和提高生产率的更均衡分布模式。根据我们前面讨论的居民

储蓄率以及企业利润率等因素，考虑到中国未来发展的趋势，我们模型中模拟的资本：GDP 比值将从 2010 年的 48% 下降到 2020 年的 37%，最后到 2030 年进一步降到 31% 左右，相应的消费的比重逐渐上升（表 3.4）。另外，居民收入占 GDP 的比值将从 2010 年的 59% 逐渐升高到 2030 年的 67%，投资比重逐渐下降（以新加入发达国家行列的韩国为例，韩国的投资比重从 1991 年峰值 40% 降到 2007 年全球金融危机之前的 29%；而美国投资峰值发生在 2000 年左右，当时的投资比重也仅有 18%。

2010 年，按照世界银行数据库按照购买力平价（PPP）估计的中国总收入为 8228 美元（2005 年价格），在中等增长情景假设下，中国 2030 年将达到 25,200 美元（2005 PPP 调整后），基本跨入高收入国家行列。以 2010 年价格算，假设中国成功地实现了结构转型与一系列改革，中国的人均收入将从 2010 年的 29,500 元增长到 2030 年的 91,500 元（RMB），增长约 3 倍。

变量	2010	2015	2020	2030	2010-20 增长率
人口 (百万)	1,360	1,404	1,440	1,470	0.57%
有效劳动力投入值 (十亿 2010 元)	16,687	17,529	18,100	18,098	0.81%
GDP (十亿 2010 元)	40,154	59,580	83,424	134,482	7.3%
消费占 GDP 的比重	0.35	0.45	0.51	0.55	

表 3.4. 中国在中等增长情景下的主要经济变量

	中等增长情景		高增长情景		低增长情景	
变量	2020	2030	2020	2030	2020	2030
人口 (百万)	1440	1470	1452	1504	1440	1470
有效劳动力投入值 (十亿 2010 元)	18100	18098	18566	19596	17407	16578
消费占 GDP 的比重	0.523	0.572	0.523	0.572	0.524	0.573

表 3.5. 高、中、低三种基准情景的比较 (2020、2030)

时间	中等增长情景	低增长情景	高增长情景
2010-2020	7.31%	6.11%	7.87%
2020-2030	4.77%	3.28%	6.02%
2030-2050	3.15%	2.33%	4.60%
2010-2050	4.60%	3.51%	5.78%

表 3.5a. 三种经济增长情景的 GDP 增速比较 (%)

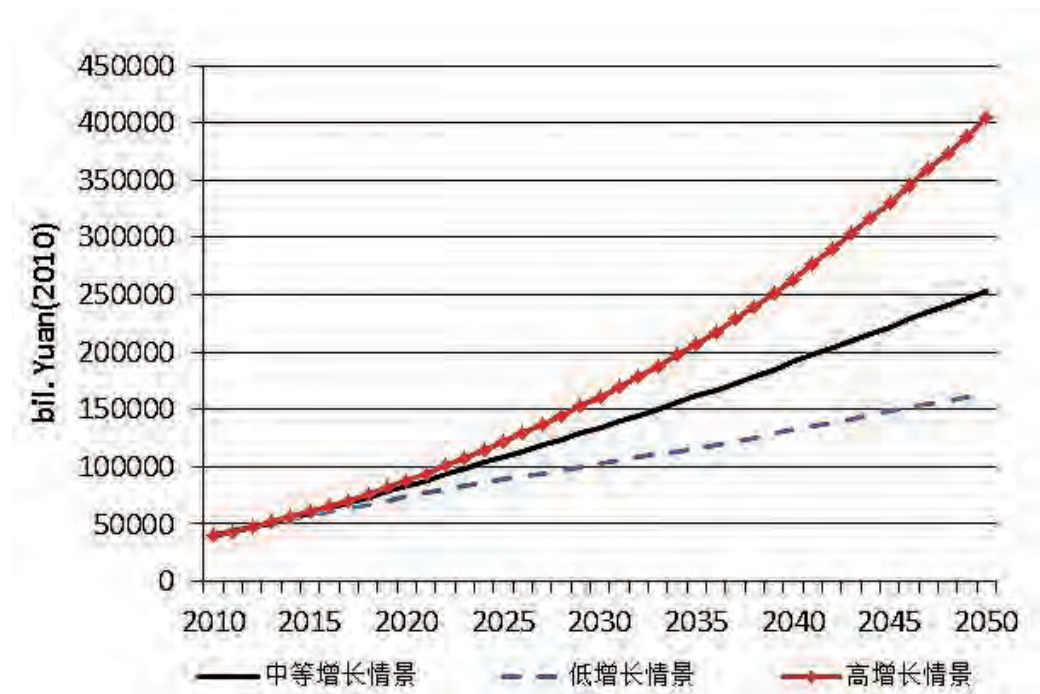


图 3.5. 高、中、低增长各情景下的 GDP 模拟

在高增长情景下，我们假设更快的生产率与劳动力质量（人力资本）的增长速度，可以实现 GDP 的增长在 2020 年前仍然可以保持年均 7.9% 的增长速度（2013-2020），然后逐渐降到 6.0%（2020-30），GDP 增速在 2020-2030 年比中等增长情景每年要低一个百分点，人均收入在 2030 年达到 107,000 元，比中等增长情景的同期人均收入要高 17 个百分点。

在低增长情景下，GDP 增速在 2020-2030 年间会降到平均 3.3% 左右，2030-2050 仅有 2.3%，人均收入在 2020 年约 51,000 元，2030 年约 70,000 元，如果经过 PPP 调整则再 2030 年人均 19,500 美元（2005 年水平）。按照目前世界银行对高收入国家的定义，中国即使在低增长情景在 2035 年左右还是可以进入了高收入国家的

行列。与中等增长情景相比，投资占 GDP 的比例进一步下降，使得建筑业与水泥等行业的增长速度放慢，这个情景下能源增长速度也随之较慢，相关的影响有：(i) 由于收入下降，消费也随之下降，(ii) 考虑到汽车的收入弹性，汽车消费增长速度会逐渐降低，(iii) 能源密集行业如水泥、钢铁等行业的产出进一步萎缩。这些因素都说明在这种低增长情景下，虽然污染物与温室气体排放的增长速度较低，然而生产率也较低，这样作为分母的 GDP 水平也较低，碳强度却可能反而较高。

3.5 结论

中国经济未来的发展有很大的不确定性，是成功迈入高收入国家行列，还是濒临“中等收入陷阱”，不同情景之下的低碳化道路也具有一定的差异，例如 7% 和 4% 的 GDP 增长速度带来化石能源消费与碳排放迥然不同。气候变化问题主要是由空气中温室气体的绝对量浓度，而非每单位 GDP 的碳排放量决定的，这意味着较快的经济增长使得碳排放绝对量的减排任务变得更加艰巨。但从另一个角度而言，当经济得到发展，新的知识、想法与技术创新也由于经济发展而带动起来，人们的适应性与创造力加强，则对解决气候变化等环境问题有正反馈作用，也就是说经济增长带来的其他作用如人力资本与技术经济的进步，新能源技术的创新等等，可能与环境问题的改善方向一致，实现高增长的同时带来环境质量的改善，这也是绿色增长与低碳发展的真谛。也就是说，当一个国家的经济繁荣了，可以付出更多的资源用于环境保护，如果中国经济还可以以 7% 的增长速度保持较长一段时间，从中拿出 1% 的 GDP 用于节能改造、发展新能源技术，将比只有 3% 的经济增长情景要容易的多。

安全的能源与气候系统

4.1

中国节能与减缓温室气体排放的成效

中国政府高度重视气候变化，将积极应对气候变化作为关系经济社会发展全局的重大议题，纳入经济社会发展中长期规划。2006年，中国提出了2010年单位国内生产总值能耗比2005年下降20%左右的约束性指标，2007年在发展中国家中第一个制定并实施了应对气候变化国家方案，2009年确定了到2020年单位国内生产总值温室气体排放比2005年下降40%—45%的行动目标。自“十一五”以来，中国加快转变经济发展方式，通过调整产业结构和能源结构、节约能源提高效率、增加碳汇等多种途径控制温室气体排放，取得了显著成效。十一五期间，中国完成了“十一五”规划提出的节能目标，2010年单位国内生产总值能耗比2005年累计下降19.1%，相当于少排放二氧化碳14.6亿吨以上。“十二五”前三年单位国内生产总值能耗累计下降9.03%，碳强度累计下降10.68%。截至2013年底，中国碳强度比2005年累计下降28.5%，水电装机容量、风电装机容量、太阳能热水器集热面积、农村沼气用户量、人工造林面积均居世界第一位，为应对全球气候变化做出了重要贡献。

4.1.1 优化产业结构

改造提升传统产业

“十一五”期间，中国政府将大力培育和发展战略性新兴产业作为优化产业结构的突破口，不断加大对战略性新兴产业技术研发和产业化的支持力度。国务院发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，提出根据战略性新兴产业的特征，立足国情和科技、产业基础，现阶段重点培育和发展节能环保、新一代信息技术等新兴产业，并明确了今后一个时期的发展目标和政策导向。选择部分城市建立低碳新能源产业园区，推

广使用节能和新能源产品。制定和发布汽车、钢铁等十大重点产业调整和振兴规划，修订《产业结构调整指导目录》，出台《关于抑制部分行业产能过剩和重复建设引导产业健康发展的若干意见》。制定新开工项目管理政策规定，提高高耗能行业准入门槛，对固定资产投资项目进行节能评估和审查，加强传统产业的技术改造和升级，促进企业兼并重组，调整出口退税政策，对煤炭、部分有色金属、钢坯和化肥等产品征收出口关税，抑制高耗能、高排放和资源性产品出口。

“十二五”至今，又陆续发布了钢铁、有色、建材等行业的“十二五”规划，发布并修订了《产业结构调整指导目录（2011年本）》，实施了《工业转型升级规划（2011-2015年）》，印发了《全国老工业基地调整改造规划（2013-2022年）》。强化通过结构优化升级实现节能减排的战略导向，加强节能评估审查、环境影响评价和建设用地预审，提高行业准入门槛，控制高耗能、高排放和产能过剩行业新上项目，着力推动工业绿色低碳发展，推动工业转型升级。启动了“国家低碳技术创新及产业化示范工程”，在煤炭、电力、建筑、建材等4个行业实施了34个示范工程，共安排工业专项技改资金135亿元，带动投资2791亿元。

培育和壮大战略性新兴产业

“十一五”期间，中国政府制定并发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，明确了培育和发展战略性新兴产业的总体思路、重点任务和政策措施。推出高技术产业、电子商务和信息产业等领域的“十一五”规划，做强做大高技术产业。加快建设国家创新体系，实施知识创新工程和技术创新工程，加强重大技术攻关。启动新兴产业创投计划，发起设立了20只创业投资基金，

支持节能环保、新能源等战略性新兴产业领域的创新企业成长。2010 年中国高技术制造业的产值达到 7.6 万亿元，位居世界第二，比 2005 年增长了一倍多。

“十二五”至今，中国政府落实《“十二五”战略性新兴产业发展规划》，制定并发布了《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》、《战略性新兴产业分类（2012）》、《关于加强战略性新兴产业知识产权工作的若干意见》等相关政策措施，明确了我国节能环保、新一代信息技术等 7 个战略性新兴产业重点领域，加大对重大项目建设的支持力度，组织实施了一批重大产业工程和重点专项，设立了战略性新兴产业发展专项资金，积极推动新兴产业创投计划，新兴产业创投计划支持设立创业投资基金已达 138 只，资金规模达 380 亿元。

加快发展服务业

“十一五”期间，中国政府制定实施了《关于加快发展服务业的若干意见》、《关于加快发展服务

业若干政策措施的实施意见》和《加快发展高技术服务业的指导意见》等重要文件，大力推动服务业的全面发展。“十一五”期间，我国服务业增加值年均增长 11.9%，比国内生产总值年均增速高 0.7 个百分点，服务业增加值占国内生产总值比重由 40.3%提高到 43%。

“十二五”至今，中国政府继续贯彻落实《关于加快发展服务业的若干意见》、《关于加快发展服务业若干政策措施的实施意见》等文件精神，印发了《服务业发展“十二五”规划》，制定了《关于加快培育国际合作和竞争新优势的指导意见》，修订《产业结构调整指导目录（2011 年本）》。加强和改进市场准入、人才服务、品牌培育等方面工作，在全国范围积极开展服务业综合改革试点，并在一些领域建立了跨部门的工作协调机制，积极推进生产性服务业集聚区建设，加快促进重大服务业项目建设。2012 年，服务业增加值占比较 2010 年提升了 1.5 个百分点。

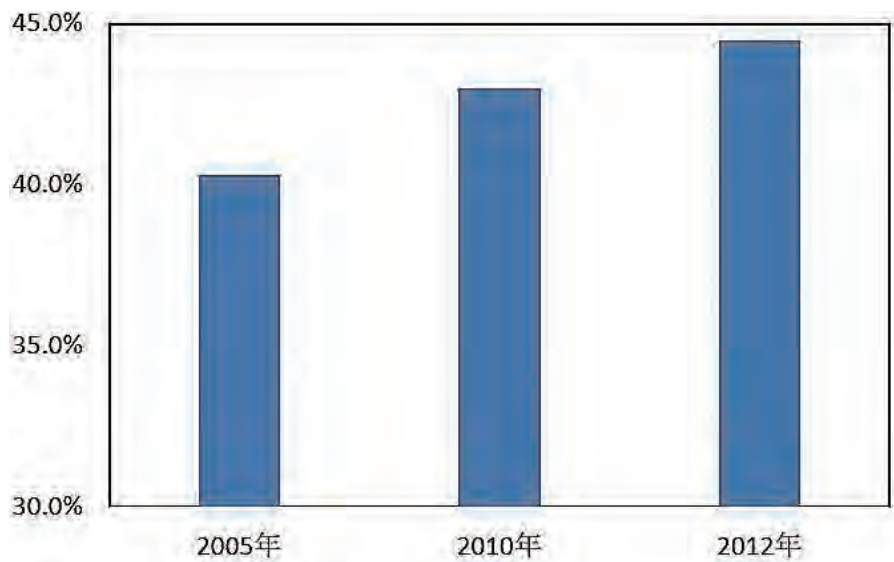


图 4.1 服务业占国内生产总值比重变化图

加快淘汰落后产能

“十一五”期间，中国通过“上大压小”和制定 13 个行业“十一五”淘汰落后产能分地区、分年度计划，累计关停小火电机组 7682 万千瓦，淘汰落后炼钢产能 7200 万吨、炼铁产能 1.2 亿吨、水泥产能 3.7 亿吨、焦炭产能 1.07 亿吨、造纸产能 1130 万吨、玻璃产能 4500 万重量箱。电力行业 30 万千瓦以上火电机组占火电装机容量比重由 2005 年 47% 上升到 2010 年的 71%，钢铁行业 1000 立方米以上大型高炉炼铁产能比重由 48% 上升到 61%，电解铝行业大型预焙槽产量比重由 80% 提升到 90% 以上。2005 年到 2010 年，火电供电煤耗由 370 克 / 千瓦时降到 333 克 / 千瓦时，下降 10%；吨钢综合能耗由 694 千克标准煤降到 605 千克标准煤，下降 12.8%；水泥综合能耗下降 24.6%；乙烯综合能耗下降 11.6%；合成氨综合能耗下降 14.3%。

“十二五”至今，中国政府继续贯彻落实《关于抑制部分行业产能过剩和重复建设引导产业健康发展的若干意见》和《关于进一步加强淘汰落后产能工作的通知》，印发了《淘汰落后产能工作考核实施方案的通知》、《关于做好淘汰落后产能和兼并重组企业职工安置工作的意见》等文件。完善落后产能退出机制，鼓励各地区制定更严格的能耗和排放标准，加大淘汰落后产能力度，加强对淘汰落后产能工作的检查考核，督促指导各地切实做好企业职工安置工作。在“十二五”迄今为止，全国共关停小火电机组 800 万千瓦左右，淘汰落后炼铁产能 4270 万吨、炼钢产能 3783 万吨、水泥（熟料及磨机）产能 4.13 亿吨、焦炭产能 4499 万吨、平板玻璃 8897 万重量箱、造纸产能 1887 万吨、电解铝产能 63.9 万吨、铜冶炼产能 42.5 万吨、铅冶炼产能 66.1 万吨、煤产能 4870 万吨、印染 32.6 亿米、铅蓄电池 2971 万伏安时。

项目	单位	“十一五” 期间	“十二五” 至今
小火电机组	百万千瓦	7682	800
炼钢	亿吨	0.72	0.38
炼铁		1.20	0.43
水泥		3.70	4.13
焦炭		1.07	0.45
造纸	万重量箱	0.11	0.19
玻璃		4500	8897

表 4.1 各行业产能淘汰情况汇总

4.1.2 节约能源

加强目标责任考核

“十一五”期间，国务院先后印发了《关于进一步加大工作力度确保实现“十一五”节能减排目标的通知》、《节能减排综合性工作方案》和《节能减排统计监测及考核实施方案和方法》，明确了103项节能减排任务的承担部门，分解落实节能减排目标责任。建立了统计监测考核体系，成立了节能减排工作领导小组，对全国31个省级政府和千家重点企业节能目标完成情况和节能措施落实情况定期进行定期评价考核。同时，发布了《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，加速调整产业结构步伐。财政部与国家发展改革委联合印发了《合同能源管理财政奖励资金管理暂行办法》。国家发展改革委等部门制定下发了《节能产品惠民工程高效电机推广实施细则》、《高效节能产品推广财政补助资金管理暂行办法》等文件，扩大公共服务领域节能和新能源汽车示范推广，对私人购买新能源汽车进行补贴，鼓励新能源汽车的消费，倡导使用小排量汽车。

“十二五”至今，中国政府又陆续印发了《“十二五”节能减排综合性工作方案》、《节能减排“十二五”规划》、《节能环保产业发展规划》、《交通运输行业“十二五”控制温室气体排放工作方案》等规划类文件，发布了《工业节能“十二五”规划》、《关于落实〈国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的实施方案〉的实施方案》等指导性文件。进一步明确了各地区、各领域节能目标任务，细化了政策措施，并定期发布各地区节能目标完成情况晴雨表。组织对省级人民政府进行节能目标责任评价考核，将考核结果作为对地方领导班子和领导干部综合考核评价的参考内容，纳入政府绩效管理。

推动重点领域节能

“十一五”期间，中国政府实施十大重点节能工程，开展千家企业节能行动，加强重点耗能企业节能管理，加大对工业企业能源管理中心示范项目的支持力度，推动能源审计和能效对标活动。开展零售业节能行动，限制生产、销售、使用塑料购物袋，抑制商品过度包装。国务院公布了《民用建筑节能条例》、《公共机构节能条例》，提高新建建筑强制性节能标准执行率，进一步明确了民用建筑节能经济激励政策，加快既有建筑节能改造，推动可再生能源在建筑中的应用，对政府机构办公用房进行节能改造。全国城镇新建建筑设计阶段执行节能强制性标准的比例为99.5%，施工阶段执行节能强制性标准的比例为95.4%。“十一五”期间，累计建成节能建筑面积48.57亿平方米，共形成4600万吨标准煤的节能能力。

“十二五”至今，中国政府继续组织实施重点节能改造工程，加大对合同能源管理的支持力度。通过实施节能项目，累计形成2679万吨标准煤的节能能力。新增节能建筑面积13.9亿平方米，完成北方15个省（区、市）既有居住建筑供热计量及建筑节能改造面积1.4亿平方米；天津等10个低碳交通运输体系建设第一批城市试点继续推进，启动了北京等16个低碳交通运输体系建设第二批城市试点。在建筑领域，编制《绿色建筑行动方案》，发布了《“十二五”建筑节能专项规划》。截至2012年底，北方地区既有居住建筑供热计量及节能改造5.9亿平方米，形成年节能能力约400万吨标准煤，相当于少排放二氧化碳约1000万吨。全国城镇新建建筑执行节能强制性标准基本达到100%，累计建成节能建筑面积69亿平方米，形成年节能能力约6500万吨标准煤，相当于少排放二氧化碳约1.5亿吨。

推广节能技术与节能产品

“十一五”期间，中国政府发布三批共 115 项国家重点节能技术推广目录，在钢铁、建材、化工等行业重点推广 7 项节能技术。实施节能产品惠民工程，通过财政补贴推广高效照明产品、高效空调、节能电机等节能产品，通过中央财政补贴支持推广了 3.6 亿只高效照明产品、3000 万台高效节能空调、100 万辆节能汽车，实现年节能能力 200 亿千瓦时。出台《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》，建立节能产品优先采购制度，制定了节能产品政府采购清单，对空调、计算机、照明等 9 类节能产品实行强制采购。调整部分矿产品资源税，适时调整成品油、天然气价格，实行节能发电调度的政策，下调小火电上网电价，加大差别电价实施的力度，出台支持企业节能技术改造、高效照明产品推广、建筑供热计量及节能改造等资金管理办法。出台鼓励节能环保小排量汽车、限制塑料购物袋等政策。“十一五”期间，高效照明产品市场占有率达 67%，高效节能空调市场占有率达 70%。

“十二五”至今，中国政府又陆续发布第四、五批《国家重点节能技术推广目录》，共计公布煤炭、电力、钢铁等 25 个行业的 71 项节能技术。发布了《关于开展重点用能行业能效水平对标达标活动的通知》、《关于加强工业节能减排先进适用技术遴选评估与推广工作的通知》等文件，编制钢铁、石化、有色、建材等 11 个重点行业节能减排先进适用技术目录、应用案例和技术指南，涉及 600 多项节能技术。“十二五”至今，推广节能家电近 1.08 多亿台（套）、节能汽车 750 余万辆、高效电机 1600 多万千瓦，绿色照明产品 3.1 亿只，累计形成年节能能力 1200 多万吨标准煤。

发展循环经济

“十一五”期间，中国政府推出《清洁生产促进法》、《固体废物污染环境防治法》、《循环经济促进法》、《城市生活垃圾管理办法》等法律法规，发布《关于开展汽车零部件再制造试点工作的通知》、《关于加快发展循环经济的若干意见》、《废弃电子电器回收处理管理条例》和重点行业循环经济支撑技术，实施两批共 178 家国家循环经济示范试点，确定青岛市和浙江省为国家电子废弃物回收处理试点省市，完善废弃物综合利用和可再生资源回收利用的税收优惠政策。开展国家“城市矿产”示范基地建设，推进重点城市报废机电设备、废旧家电、废塑料、废橡胶等废弃资源的规模利用、循环利用和高值利用。

“十二五”至今，中国政府又陆续编制《循环经济发展“十二五”规划》，继续贯彻实施《废弃电气电子产品回收利用管理办法》，总结凝练了 60 个国家循环经济发展典型模式案例，选择了 22 个园区继续实施园区循环化改造示范试点工程、7 个园区开展第三批国家“城市矿产”示范基地建设，16 个城市继续开展第二批餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点，在 12 个地区开展了工业固体废物综合利用基地建设，确定了两批 18 个国家循环经济教育示范基地。

完善相关标准

“十一五”期间，中国政府陆续完善了严寒和寒冷、夏热冬冷和夏热冬暖三个不同气候区居住建筑节能工程设计标准、公共建筑节能设计标准和建筑节能工程施工质量验收规范，发布 27 项高耗能产品能耗限额强制性国家标准、19 项主要终端用能产品强制性国家能效标准，制定 15 项主要污染物排放国家标准，颁布 71 项环境标志标准。

“十二五”至今，又发布了《建筑能效标识技术标准》等 10 个行业标准和包括高耗能行业单位产品能耗限额、终端用能产品能效、节能基础类标准在内的 80 多项节能标准，实施了“百项能效标准推进工程”；开展重点行业、重点产品强制性能耗限额标准以及内燃机等工业通用设备能效标准制定和修订工作；组织 22 项行业标准立项，复审 209 项节能标准。

实行激励政策

“十一五”期间，中国政府加快推进能源价格形成机制改革，实施成品油税费改革，对高耗能行业实施差别电价，对超能耗产品实行惩罚性电价，推动供热计量收费。设立节能减排专项资金，中央财政累计投入 2250 亿元人民币，重点支持节能技术改造和节能产品推广，形成节能能力 3.4

亿吨标准煤。稳妥推进资源税制改革，不断完善出口退税制度，调整车辆购置税政策，改革车船税。出台了节能节水、资源综合利用等方面的税收优惠政策，对高效、节能、低碳产品实施进口税收优惠政策。我国 2010 年单位国内生产总值能耗比 2005 年累计下降 19.1%，相当于少排放二氧化碳 14.6 亿吨以上，同时以能源消费年均 6.6% 的增长支撑了国民经济年均 11.2% 的增速，能源消费弹性系数由“十五”时期的 1.04 下降到 0.59。“十二五”至今，2012 年全国万元国内生产总值能耗为 0.76 吨标准煤（按 2010 年价格），比 2010 年降低 6.2%。主要工业单位产品综合能耗有不同程度降低。

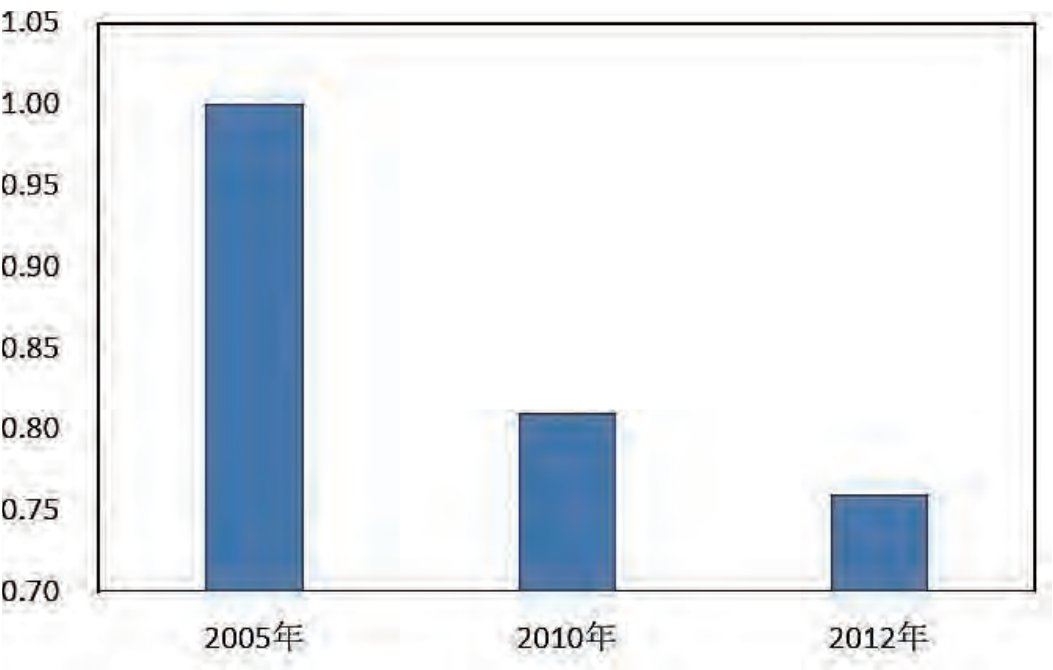


图 4.2 不同阶段单位国内生产总值的能源消费量（单位：吨标准煤 / 万元）

4.1.3 发展低碳能源

加快发展清洁能源

“十一五”期间，中国政府大力开发天然气，推进煤层气、页岩气等非常规油气资源开发利用，出台财政补贴、税收优惠、发电上网、电价补贴等政策，完成《风力发电设备产业化专项资金管理暂行办法》、《金太阳示范工程财政补助资金管理暂行办法》等财税激励政策的制定。《能源法》立法进程加快，《石油天然气管道保护法》已经在全国人大审议通过，并于2010年10月施行，对优化能源结构将产生积极影响。进一步完善支持可再生能源发展的经济政策，对风力发电、垃圾发电、部分水力发电（包括小水电）、燃料乙醇实行增值税、消费税优惠政策。天然气产量由2005年的493亿立方米增加到2010年的948亿立方米，年均增长14%，天然气在中国能源消费

结构中所占比重达到4.3%。煤层气累计抽采量305.5亿立方米，利用量114.5亿立方米，相当于减排二氧化碳1.7亿吨。

“十二五”至今，发布并实施《天然气发展“十二五”规划》、《关于发展天然气分布式能源的指导意见》、《煤炭工业发展“十二五”规划》，制定《页岩气发展规划（2011-2015年）》和《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十二五”规划》，发布《关于出台页岩气开发利用补贴政策的通知》和《大气污染防治行动计划》，进一步强化控制煤炭消费总量、加快清洁能源替代利用的目标和要求，大幅提升控制化石燃料消耗、发展清洁能源的工作力度。2012年我国天然气产量为1071.5亿立方米，其在能源消费结构中所占比重达到5.6%。截至2012年底，全国30万千瓦及以上火电机组比例达到75.6%，比上年增加近1.2个百分点；在运百万千瓦超超临界燃煤机组达到54台，数量居世界第一。

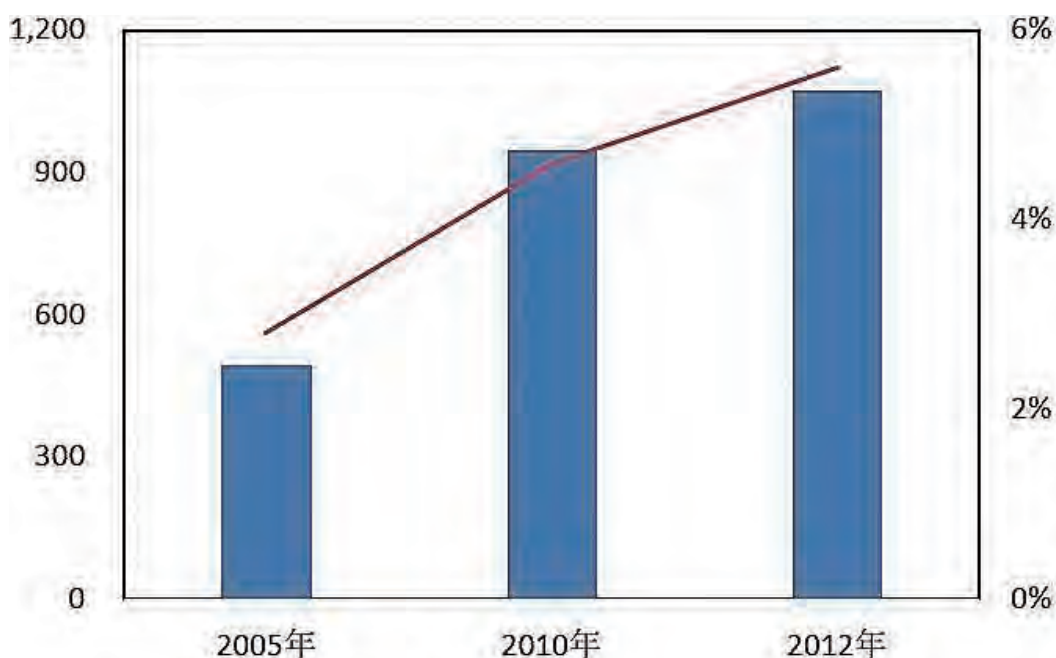


图 4.3 不同阶段的天然气产量（单位：亿立方米）及其在能源消费结构中所占比重

积极开发利用低碳能源

“十一五”期间，按照我国《可再生能源中长期发展规划》和《核电中长期发展规划》，通过国家政策引导和资金投入，出台《可再生能源建筑应用城市示范实施方案》、《加快农村地区可再生能源建筑应用的实施方案》、《关于完善风力发电上网电价政策的通知》，加强了低碳能源开发利用。截至 2010 年底，水电装机容量达到 2.13 亿千瓦，比 2005 年翻了一番；核电装机容量 1082 万千瓦，在建规模达到 3097 万千瓦；风电装机容量从 2005 年的 126 万千瓦增长到 3107 万千瓦，光伏发电装机规模由 2005 年的不到 10 万千瓦增加到 60 万千瓦，太阳能热水器安装使用总量达到 1.68 亿平方米，生物质发电装机约 500 万千瓦，沼气年利用量约 140 亿立方米，全国户用沼气达到 4000 万户左右，生物燃料乙醇利用量 180 万吨，各类生物质能源总贡献量合计约 1500 万吨标准煤。

“十二五”以来，我国制定了《可再生能源发展“十二五”规划》和水电、风电、太阳能、生物质能四个专题规划，印发了《关于促进光伏产业健康发展的

若干意见》、《太阳能发电发展“十二五”规划》、《生物质能发展“十二五”规划》、《关于促进地热能开发利用的指导意见》、《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》、《分布式发电管理暂行办法》等文件。截至 2012 年底，全国全口径发电装机容量 11.47 亿千瓦，其中，水电 2.49 亿千瓦，核电 1257 万千瓦，并网风电容量 6142 万千瓦，并网太阳能发电 341 万千瓦。全国水电、核电、风电和太阳能发电等非化石能源发电装机占全部发电装机的 28.5%，比 2005 年提高 4.2 个百分点，发电量占全部上网电量的 21.4%。

类型	单位	2005 年	2010 年	2012 年
水电	亿千瓦	1.06	2.13	2.49
核电		870	1082	1257
风电	万千瓦	126	3107	6142
太阳能发电		10	60	341

表 4.2 非化石能源发电装机情况

4.1.4 控制非能源活动温室气体排放

“十一五”期间，中国政府强化了对工业生产过程、农业活动、废弃物处理等领域的温室气体排放控制。开展了测土配方施肥行动，推广以秸秆覆盖、免耕等保护性耕作，建立了草原生态补偿机制。大力发展农村沼气，推广太阳能、省柴节煤炉灶等农村可再生能源技术。加快畜牧业生产方式转变，减少农田种植和畜禽养殖中甲烷和氧化亚氮排放。推广低排放的高产水稻品种和水稻间歇灌溉技术，减少水稻田甲烷排放，推广秸秆青贮氨化技术，减少反刍动物甲烷排放。启动实施土壤有机质提升补贴项目，累计推广秸秆还田、绿肥种植、增施有机肥等技术措施面积近 3000 万亩。完善城市废弃物标准，实施生活垃圾处理收费制度，推广利用先进的垃圾焚烧技术，制定促进填埋气体回收利用的激励政策。积极开展碳捕集、利用和封存技术研究示范。

“十二五”至今，启动实施“百县千乡万村”测土配方施肥整建制推进行动，开展农企合作推广配方肥试点。安排专项资金 0.3 亿元及保护性耕作工程投资 3 亿元，在 204 个县（市）推广保护性耕作技术，全国新增保护性耕作面积 164 万公顷。中央投入 30 亿元资金继续实施生猪、奶牛标准化规模养殖场（小区）建设项目，重点支持规模养殖场对畜禽圈舍进行标准化改造，建设贮粪池、排粪污管网等粪污处理配套设施。在农垦区，实施生物质发电、生物质气化、沼气工程、固体成型燃料及生物质能源替代化石能源区域供热等示范项目。加强非二氧化碳温室气体管理，印发了《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》、《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》，制订《蒙特利尔议定书》下加速淘汰含氢氯氟烃（HCFCs）的管理计划。积极控制城市污水、垃圾处理过程中的甲烷排放，截至 2012 年底，全国生活垃圾无害化处理率达

76%，绝大部分垃圾填埋场对填埋气体进行了收集、导排和处理。

4.1.5 增加碳汇

增加森林碳汇

“十一五”期间，继续实施“三北”重点防护林工程、长江中下游地区重点防护林工程、退耕还林工程、天然林保护工程、京津风沙源治理工程等生态建设项目，开展碳汇造林试点，加强林业经营及可持续管理，提高森林蓄积量。实行征占用林地定额管理制度，国家林业局加强林业用地规范，完善征占用林地审核审批制度，进一步完善征占用林地审核审批管理方式、提高审批效率，做到科学发展和合理利用林地。2010 年 7 月，国务院颁布了《全国林地保护利用规划纲要（2010-2020 年）》，提出今后十年要保证全国森林保有量的稳步增长，实行林地分级管理，建立林地保护管理新机制。国家林业局开展碳汇造林试点，引导企业自愿捐资造林增汇。制定了《碳汇造林技术规定（试行）》与《碳汇造林检查验收办法（试行）》以指导各地规范开展碳汇造林试点。目前，中国人工林保存面积 6200 万公顷，全国森林面积达到 1.95 亿公顷，森林覆盖率由 2005 年的 18.21% 提高到 2010 年的 20.36%，森林蓄积量达到 137.21 亿立方米，全国森林植被碳储量达 78.11 亿吨。

“十二五”至今，制定《林业应对气候变化“十二五”行动要点》，发布了《全国造林绿化规划纲要（2011-2020 年）》和《林业发展“十二五”规划》，印发了《森林抚育作业设计规定》、《中央财政森林抚育补贴政策成效监测办法》等文件。批准京津风沙源治理二期工程规划，建设范围扩大到 6 省（自治区、直辖市）138 个县，启动编制“三北”防护林五期工程规划，发布实施长江、珠江

防护林体系和平原绿化、太行山绿化工程三期规划。进一步推进森林经营，中央财政森林抚育补贴从试点转向覆盖全国，全国森林经营中长期规划编制工作启动，确定并推进首批 15 个全国森林经营样板基地建设，在全国 200 个县（林场）深入开展以森林采伐管理为核心的森林资源可持续经营管理试点。“十二五”迄今为止，全国完成造林面积 1625 万公顷、义务植树 74.8 亿株，完成森林抚育经营面积 1800 多万公顷，城市绿地面积达 224.29 万公顷。

提高农田和草地碳汇

“十一五”期间，草原牧区落实草畜平衡和禁牧、休牧、划区轮牧等草原保护制度，控制草原载畜量，遏止草原退化。扩大退牧还草工程范围，加强人工饲草地和灌溉草场的建设。加强草原灾害防治，提高草原覆盖度，增加草原碳汇。至 2010 年，全国保护性耕作技术实施面积 6475 万亩，机械化免耕播种面积 1.67 亿亩，秸秆机械化粉碎还田面积 4.28 亿亩。

“十二五”至今，2011 年，国务院安排 136 亿元财政资金在内蒙古、西藏、新疆、甘肃等 9 个省和自治区实施了草原生态保护补助奖励机制政策，享受到补奖政策的农牧民达到 1056.7 万户。2012 年目前已完成在 9 个省、自治区推进退牧还草工程，草原围栏建设 440.4 万公顷，严重退化草原补播 140.1 万公顷，人工饲草地建植 5.5 万公顷，京津风沙源草地治理 3.4 万公顷。农业碳汇方面，中央财政安排保护性耕作推广资金 3000 万元、工程建设投资 3 亿元，2011 年新增保护性耕作 1900 多万亩，全国保护性耕作面积累计达到 8500 万亩。保护性耕作与传统耕作相比，农田土壤含碳量可增加 20%，每年减少农田二氧化碳等温室气体排放量达 0.61-1.27 吨/公顷。按全国保护性耕作实施面积计算，相当于减少 CO₂ 排放 300 万吨以上。湿地碳汇方面，2011 年全国新增湿地保护面积 33 万公顷，恢复湿地 2.3 万公顷，湿地储碳功能进一步增强。

**4.2
中国节能减排的
综合评价**

**我国过去 30 年单位 GDP 碳排放强度年均下降率
达到 3.71%，下降的速度和持续的时间均超过主
要发达国家历史最好水平。进一步的因素分解表
明，十一五期间我国碳强度大幅下降的主要驱动
因素是技术进步产生的能源强度下降，而产业结
构调整和能源结构优化的贡献对碳强度下降的贡
献并不显著。**

在过去的 30 年中，我国碳排放强度年均下降率达到了 3.71%（2005 年不变价），下降速度与发达国家的最快下降速度接近甚至超出了一些国家最快的下降速度，说明我国近些年来的节能减排成效较为显著。

国家	碳排放强度峰值年	碳排放强度峰值 (kgCO ₂ /US\$)	碳排放强度下降最 快的 10 年	碳排放强度下降最 快 10 年的年均降幅 (%)
英国	1883	2.00	1916-1926	4.20
美国	1917	3.00	1934-1944	3.58
德国	1917	2.20	1990-2000	3.37
日本	1914	0.60	1977-1987	3.20

表 4.3 各国单位 GDP 碳排放强度峰值与下降速度

从“六五”时期到“十一五”时期，能源强度一直是促进碳排放强度降低的主导因素，“十一五”期间，传统轻、重工业的技术改造和升级得到不断加强，钢铁、有色金属、石化和化工、建材等重点用能行业增加值能源消耗分别下降 23.4%、15.1%、35.8%、52%，吨钢、水泥熟料、乙烯、合成氨综合能源消耗分别下降了 12.8%、12%、11.6%、14.3%，部分产品单位能耗达到国际先进水平，重点行业先进产能比重明显提高。但在“十五”期间能源强度效应比较小，这是由我国入世后高耗能行业比例先大幅上升又趋缓从而使得能源强度效应互相抵消决定的。

改革开放 30 年来，我国三次产业变动趋势符合一般规律，产业结构的发展方向日趋合理化。我国已进入了工业化中期的后半阶段，这就意味着第二产业在经济增长中的比重即将达到峰值，由第二产业逐渐向第三产业转移的结构调整是大势所趋，完全符合经济发展的内在规律。1978 年以来，我国第一产业增加值比重持续降低，第三产业增加值比重持续上升（如图 4.5），但与已实现工业化的发达国家相比，我国第三产业比重仍然不够高，反之第二产业增加值比重却较高，这表明除了依靠技术进步和能源效率提高，进一步加快产业结构调整将是我国未来实现 CO₂ 减排的重要途径之一。

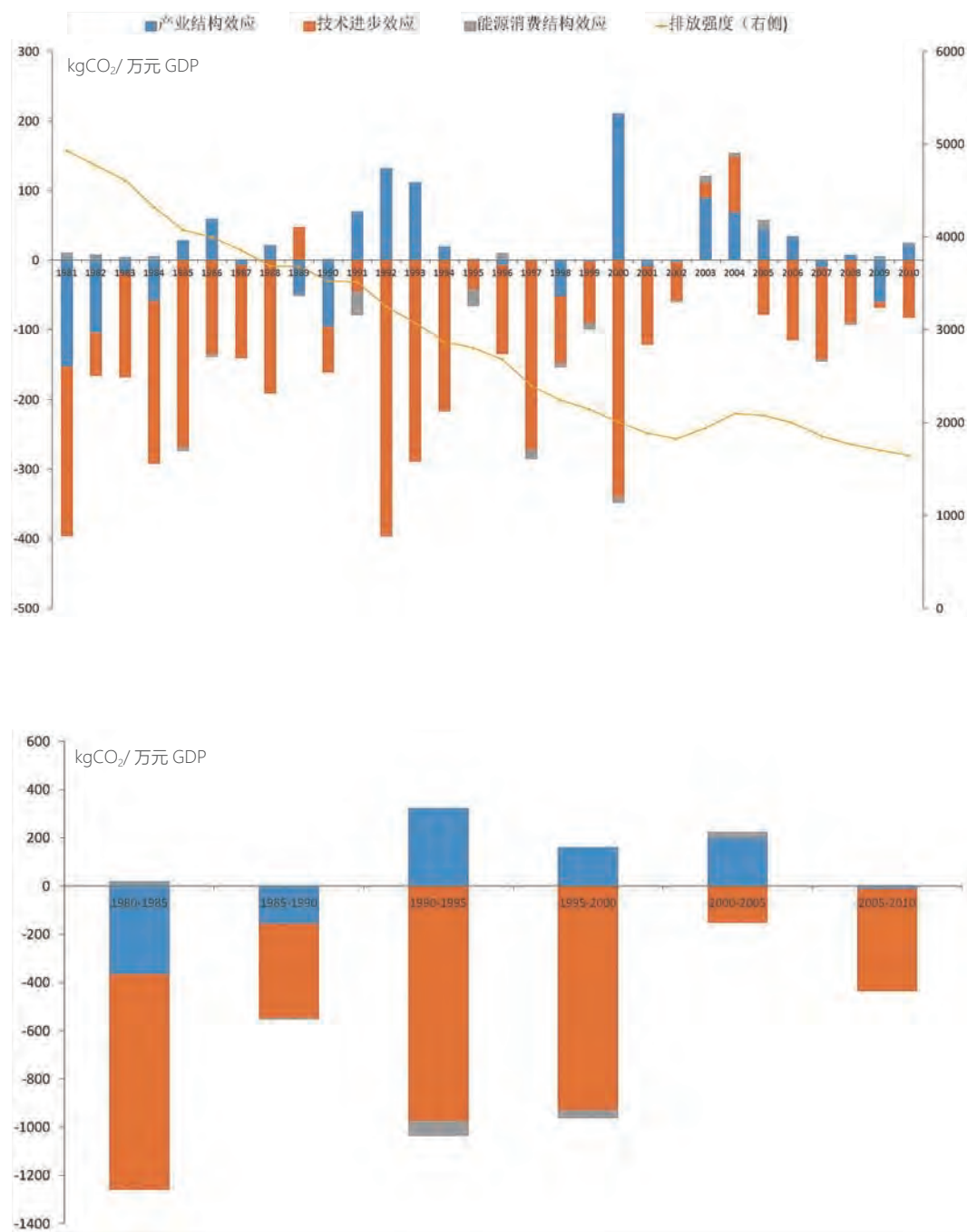


图 4.4 “六五”至“十一五”我国碳排放强度变化因素分解

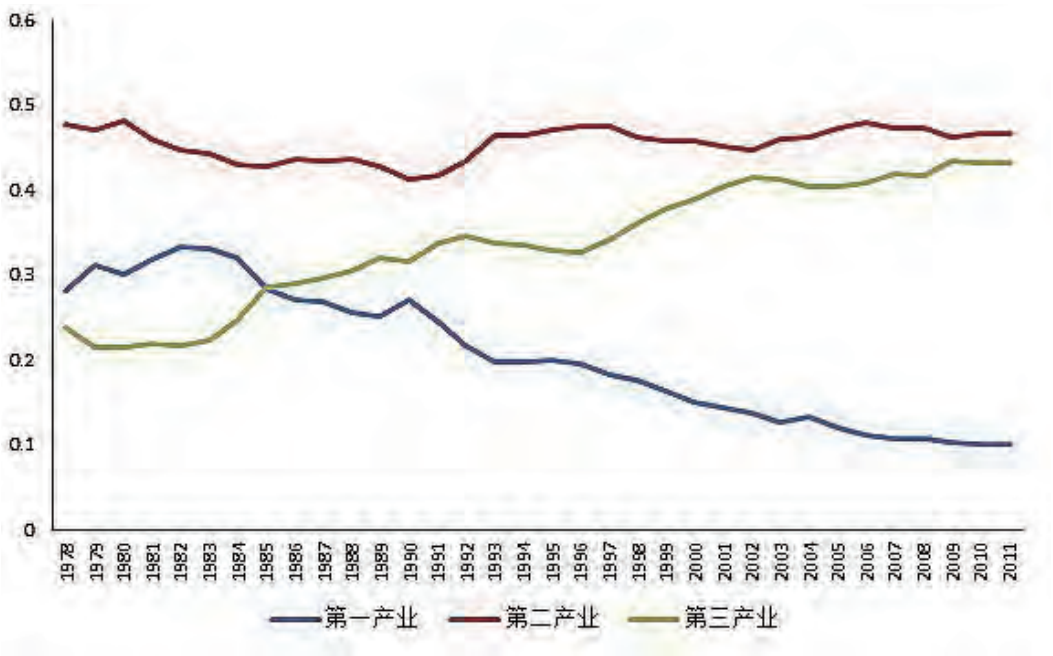


图 4.5 我国历年三次产业结构变化

“十一五”期间我国第二产业结构从 47.4% 调整到 46.7%，第三产业结构从 40.5% 调整到 43.2%，第二产业结构的调整对碳排放变化的贡献影响逐步缩小，显示当前粗放式增长的趋势得到了初步的抑制。“十五”和“十一五”以来，高新技术制造业规模不断扩大，高耗能行业增速减缓，服务业比重在三次产业中的比重得到了增加，产业结构得到了一定的优化。根据分解结果的分析显示：“十五”和“十一五”期间，我国 CO₂ 排放量增长了 28.53 亿吨，其中经济总量效应、产业结构效应、技术进步效应和能源结构效应分别为 34.97 亿吨、4.10 亿吨、-10.91 亿吨、0.36 亿吨，贡献度分别为 122.56%、14.37%、-38.25%、1.25%，

经济总量对能源消耗和碳排放的正面拉动作用一直是影响碳排放的最主要因素，如 4.6 所示，而相比于经济总量效应的作用，产业结构效应的贡献程度虽然影响较小，但显示当前粗放式增长的趋势得到了初步的抑制。

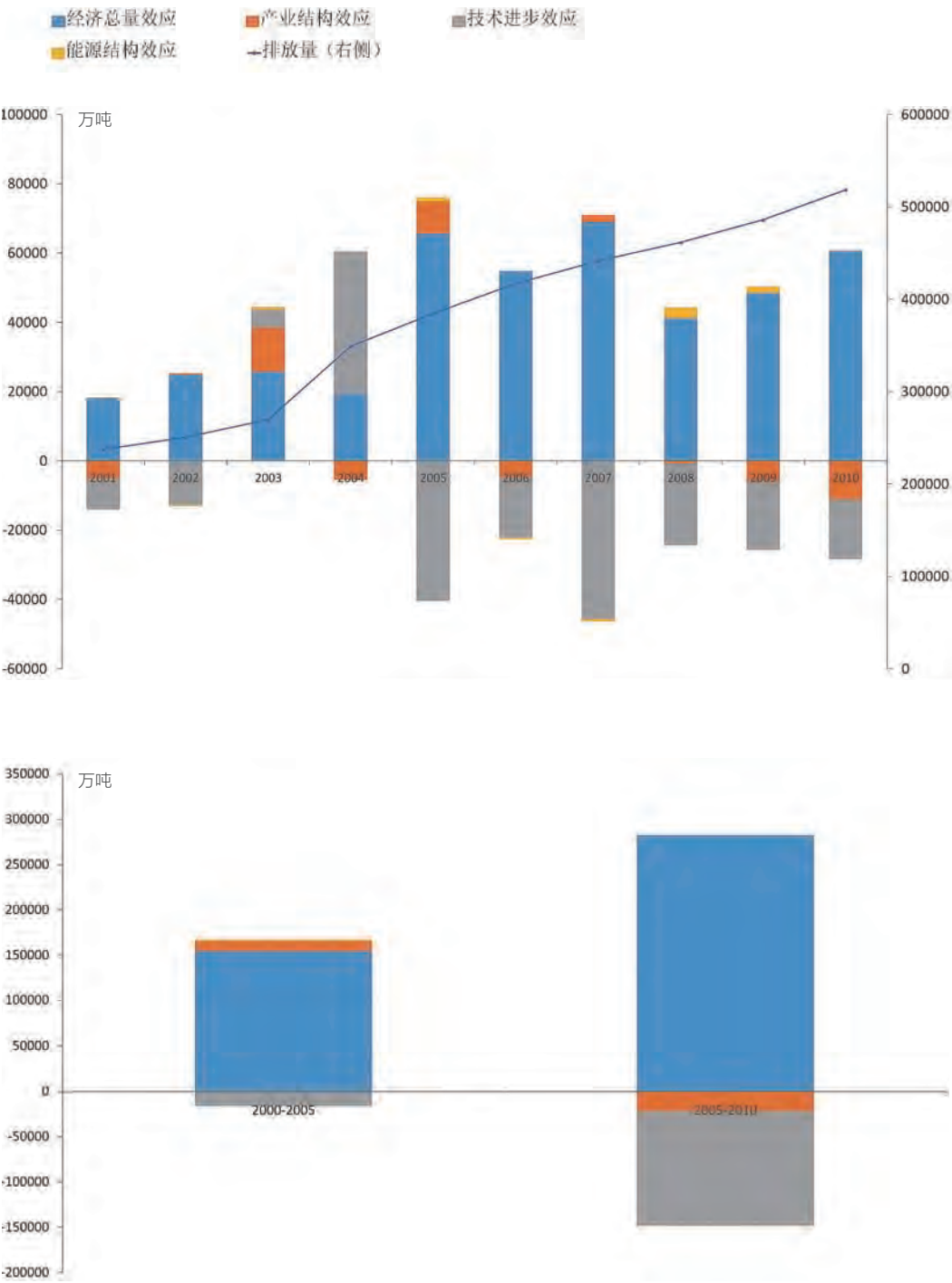


图 4.6 我国碳排放增长的因素分解 (2000-2010)

“十一五”期间产业结构内部的行业结构和产品结构的调整和优化显示出较大的节能减排效益，全国规模以上企业实现节能量 6.3 亿吨标煤，实现减排 14.6 亿吨二氧化碳，其中产品结构减排贡献最大，行业结构优化也对节能做出了显著贡献，但由于城市化及工业化进程持续导致产业结构调整缓慢，产业结构变化对节能的贡献为负。

产业结构即包括传统的三次产业，也包括各个产业内部的行业结构，同时也包括随着产业升级改造的产品结构。产业结构合理，单位产值所消耗的能源和碳排放则减少；产业结构不合理，单位产值所消耗的能源和碳排放则增多。

“十一五”期间，尽管二次产业的结构调整缓慢，但是高新技术制造业规模不断扩大，高耗能行业

增速减缓，行业结构得到了一定的优化，初步测算，六大高耗能行业累计节省近 4 亿吨标准煤，对全社会贡献超过 60%。而全国规模以上万元工业增加值能源消耗累计下降超过了 26%，实现节能量 6.3 亿吨标准煤，减少二氧化碳排放 14.6 亿吨，其中产业结构节能贡献为 -0.51 亿 tce，对“十一五”总节能量的贡献为 -8.0%。其中 2007-2009 年，产业结构对全国总节能量的贡献有所明显减缓趋势，而且由于“四万亿经济刺激计划”的实施，“十一五”末期产业结构变化使得能源消耗量增加了 0.3 亿 tce，是“十一五”前 4 年增量的近 2 倍，抵消了“十一五”前 4 年结构调整的成果，而且也加大了“十二五”节能降碳的难度，如图 4.7 所示。行业结构贡献率为 53.8%；产品结构节能贡献最为突出，占结构节能量的 81.8%，实现节能量 1.17 亿 tce。如图 4.8 所示。



图 4.7 “十一五”期间我国三次产业结构变化的节能效果

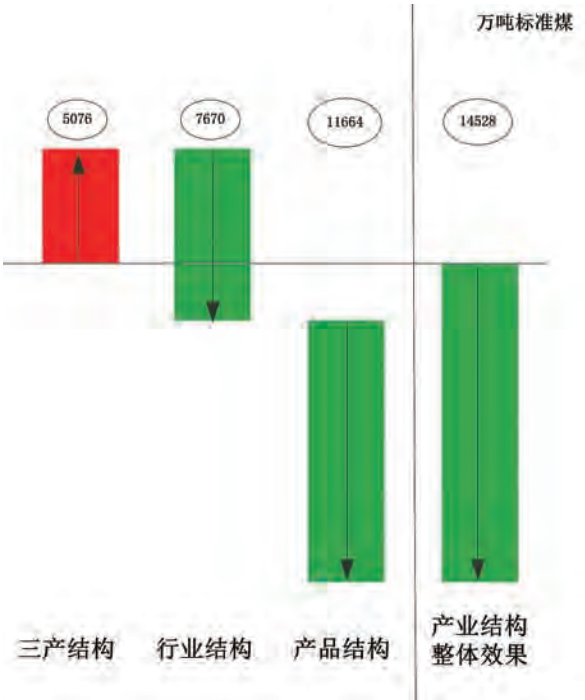


图 4.8 “十一五”期间我国产业结构变化整体节能效果

随着全球经济一体化的进程，我国对外贸易总量不断增长，出口商品的内涵能源和二氧化碳排放不断增加。2005 年以来，我国约 1/4 的能源消耗和排放是为了生产满足其他国家消费产品而导致的，近年来这一比例有所下降但仍维持在 18% 左右。出口商品的内涵排放主要流向亚洲（约 40%），欧洲（约 27%）及美国（约 20%）。

产业结构通常是作为国内问题来研究，但是随着全球经济一体化的发展，我国外贸依存度的提高，国内市场对于国际市场的依赖程度不断加深，越来越多的劳动密集型和加工环节被转移到我国，这种由于国际产业转移所带来的国际贸易量及贸易产品结构的变化不仅影响到我国产业结构的变迁，并且通过产业结构和最终需求的变化对我国

碳排放产生了一定的影响。因此，我国进出口贸易格局与产业结构息息相关，进而影响到我国的能源消耗和碳排放。

作为发展中贸易大国，我国的碳排放问题显得尤为突出。我国每年的能源消耗总量中，除了满足国内的一般消费和投资需求之外，同时还服务于出口产品的生产，满足了其他国家或地区对于产品的消费需求，使这些国家或地区不必增加其国内的温室气体排放的同时却同样享受到价格低廉的能源密集型产品。以 2012 年为例，我国基于生产的排放约为 79 亿吨二氧化碳，若扣除出口产品的内涵排放，再加上进口产品的内涵排放，则满足国内生产生活消费需求的二氧化碳排放约为 69 亿吨二氧化碳，如图 4.9 所示。

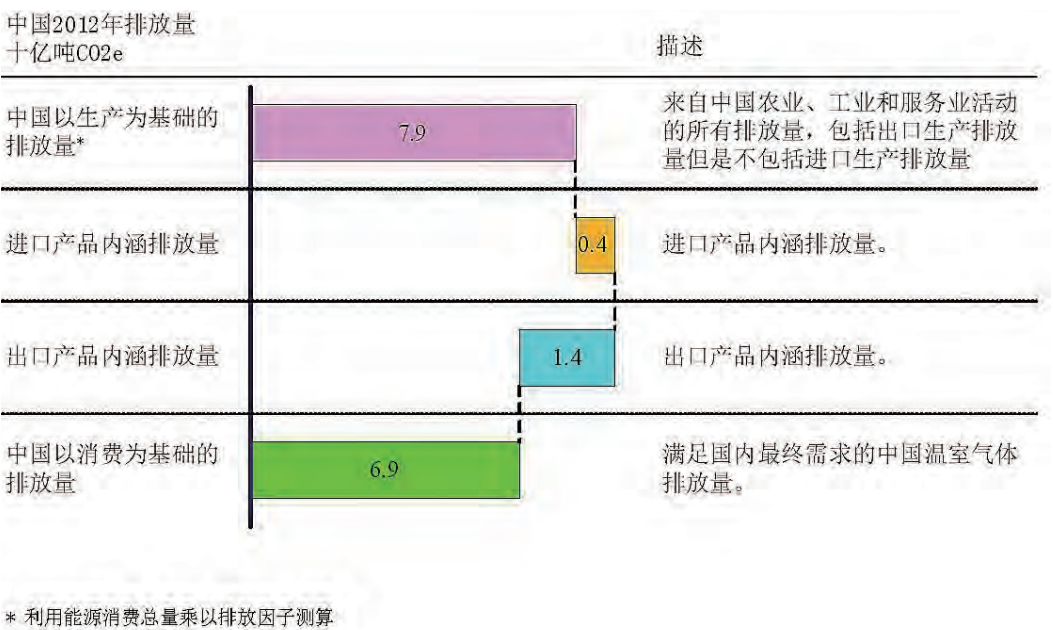


图 4.9 我国基于生产与消费的 CO₂ 排放 (2012 年)

自加入 WTO 以来，随着我国出口产品贸易额的迅猛增长，使得我国出口产品的内涵排放迅猛增加，而进口产品贸易也有一定的增加，但是其增幅略低，使得我国是贸易产品内涵排放的净输出国。近年来，我国出口贸易额迅猛增长，由 2000 年的 2492 亿美元，增加到 2005 年的 7619 亿美元，而 2012 年这一数值达到 20487 亿美元，十二年来年均增长接近 20%。随着我国对外贸易总量的不断增长，每年出口商品的数量也在不断增加，出口商品的内涵能源和排放不断增加。2005 年以来，我国能源消耗和排放总量中接近 25% 是为了生产出口产品所消耗的，即我国 1/4 的能源消耗和排放是为了满足其他国家消费而消耗的所导致的。2007 年，我国出口内涵能源为 7 亿 tce，相当于当年日本能源消耗总量，是英国、德国能耗总量之和。而 2009 年受到全球金融危机的影响，我国进出口额均受到影响，

导致出口内涵能源总量有所下降。2010 ~ 2012 年，我国出口内涵排放占排放总量的比例保持在 18% 左右。同时我国进口产品的贸易额近些年来也不断增加，使得进口产品的内涵能源和排放也在不断增加，如 2007 年我国进口产品内涵排放约为 3.53 亿 tCO₂，约占总排放量的 7.45%。

从 2007 年到 2012 年我国进口内涵能源和内涵排放总量增长较快，年均增长 16.7%。但是，同期我国出口内涵能源和内涵排放涨幅略低，导致了净出口内涵能源和排放呈现了一定的下降趋势，但是由于较大的国际贸易顺差，使得我国一直是进出口贸易产品内涵排放的净输出国，2008 年以来我国净出口商品内涵排放保持在 7 ~ 10 亿 tce，约占我国年排放总量 10% ~ 15%，如图 4.10 所示。

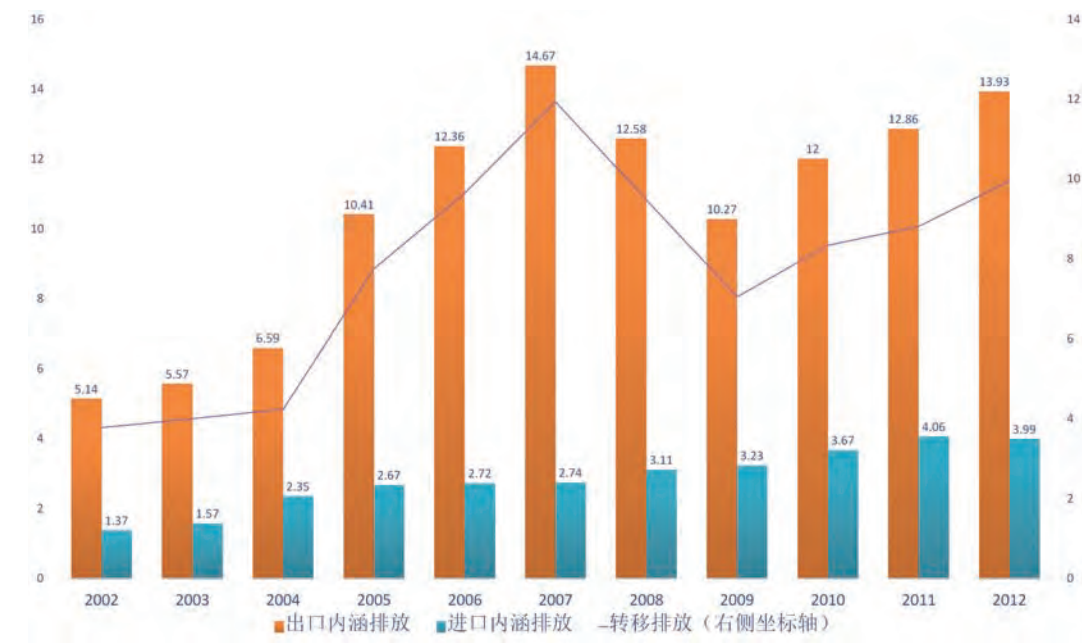


图 4.10 我国近年进出口内涵排放与净出口排放（亿 tCO₂）

我国进出口产品内涵排放伴随着产品的进出口贸易国有所不同，出口内涵排放量最多流向亚洲国家与地区，占出口产品内涵排放总量的近 40%，主要包括日本、韩国、印度、中国台湾、马来西亚以及泰国。其次为欧洲，占内涵排放总量的 27%，主要包括德国、俄罗斯等国。流向北美洲的出口内涵排放绝大部分出口到美国，美国也是我国出口内涵排放去向中最大的国家，占我国出口内涵排放总量的 20%。而 2007 年我国进口内涵排放总量为 3.28 亿 t-CO₂，其中主要来源于亚洲国家和地区，主要包括日本、韩国、印度等国家。

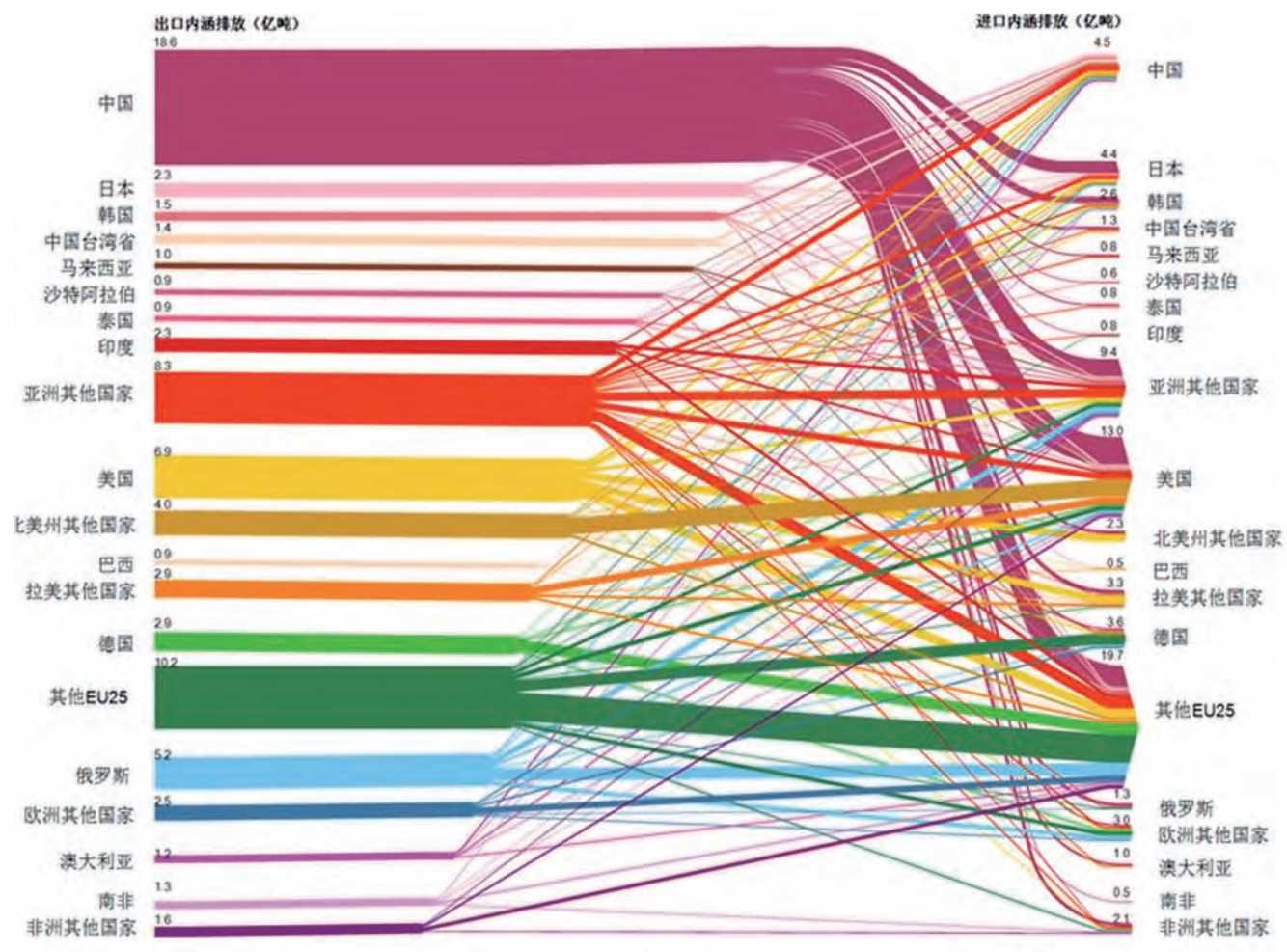


图 4.11 我国出口产品内涵排放的全球主要国家与地区

我国出口内涵排放总量大，行业相对集中，而且行业出口额排放强度与行业总体出口额都对行业出口内涵排放均有一定的影响。由于我国特定的经济发展阶段，使得我国进出口贸易得到迅猛发展，能源密集型产品的出口一方面带来的资金和技术，有利于国内经济的发展，但是另一方面也加剧了国内能源的需求，带来了严重的环境问题。由于我国出口产品结构和贸易形式的不同，在各

个部门出口内涵排放也呈现出不同的影响。出口内涵排放最大的六个部门依次为化学工业、计算机及其他电子设备制造业、金属冶炼及压延加工业、纺织业、交通运输及仓储业、石油加工以及通信设备。2012 年出口内涵能源前 20 个部门累计出口额约占当年出口总额的 96%，其累计的内涵排放占出口内涵排放总量的 96%。

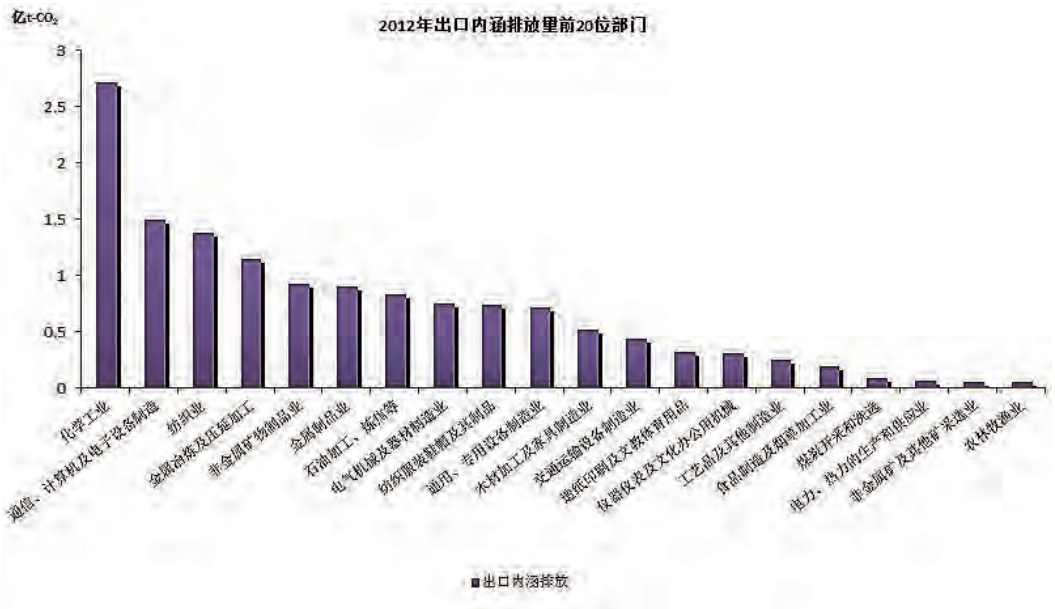


图 4.12 2012 年我国出口产品内涵排放较高的部门

我国分行业出口内涵排放相对比较集中，而且行业出口额排放强度与行业总体出口额都对行业出口内涵排放均有一定的影响。纺织业并非传统的高耗能产业，但是由于其出口额非常大，导致其整个行业内涵排放量高；而石油加工和炼焦业、非金属矿物制品以及金属冶炼及压延加工业属于排放强度较高的部门，制定行业相关政策时需要进行充分的考虑。对于排放强度过高的行业部门，

应严格控制产品出口，降低出口内涵排放；而对于排放强度不高的部门，如化工、交通运输及金属制品业等，这些产业部门对于拉动经济的正面作用比内涵排放的负面作用更大，不需要对其进行过多的政策干预和限制，但是应该鼓励该行业不断进行产业升级，提高出口产品附加值，通过进一步降低部门能源强度来降低其总的内涵排放量，鉴于这些行业出口产品较高的内涵排放量，

采取相应的能效措施的效果可能比限制高耗能产业发展的政策效果会更好。

由于高耗能行业是受能源价格变动及碳价格影响最大的部门，而我国目前产业结构中工业及高耗能行业的比重仍然偏高。因此与发达国家相比，我国的产业更易受能源价格变动的冲击。在欧美日等主要发达国家，20 欧元 / 吨 CO₂ 的碳价格可能引起的显著成本增加的行业（增加 4% 以上）增加值比重约占 GDP 的比重为 1-2% 之间。而在同样碳价格水平下，导致中国成本显著增加的行业累计占比 GDP 比重接近 20%。同样碳价水平下，我国产业竞争力受影响的部门占 GDP 的比重是发达国家的十倍以上。导致这一问题的主

要原因有两点：一是中国的产业结构中高耗能工业仍然占较大份额，如钢铁、水泥和化工行业等。而一般发达国家的高耗能工业增加值占 GDP 的比值非常小，在德国、美国和英国，这个比值都在 1% 以内，而在我国，则高达 10%；二是煤炭为主的电力结构使得部分非高耗能行业由于电力需求过高而生产成本受到严重影响。例如有色金属冶炼及压延加工业和化学纤维制造业等。这些行业的间接 CO₂ 成本明显高于其它行业。

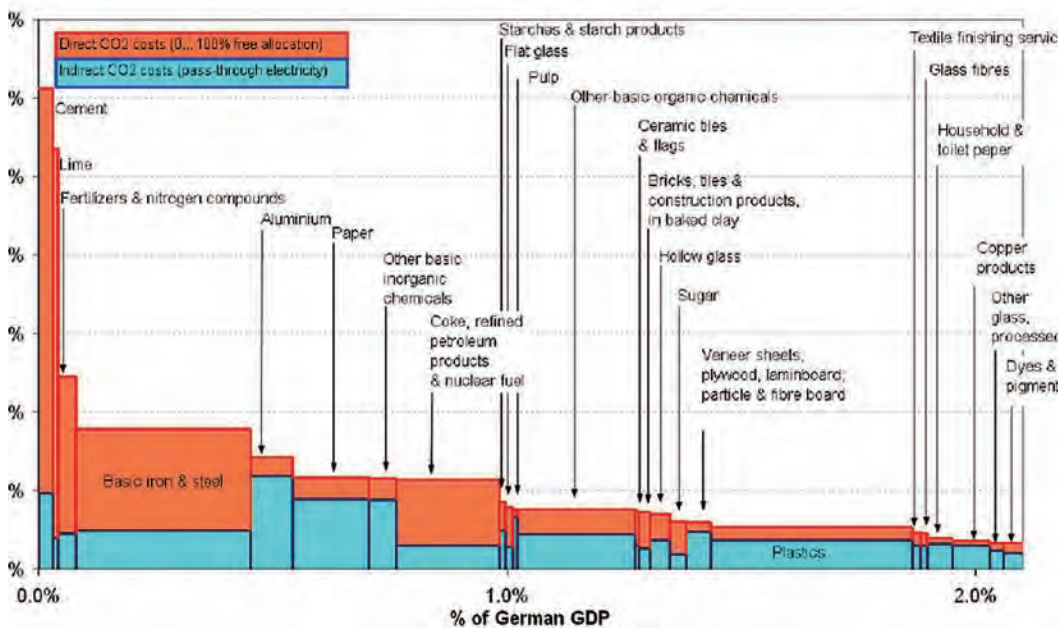
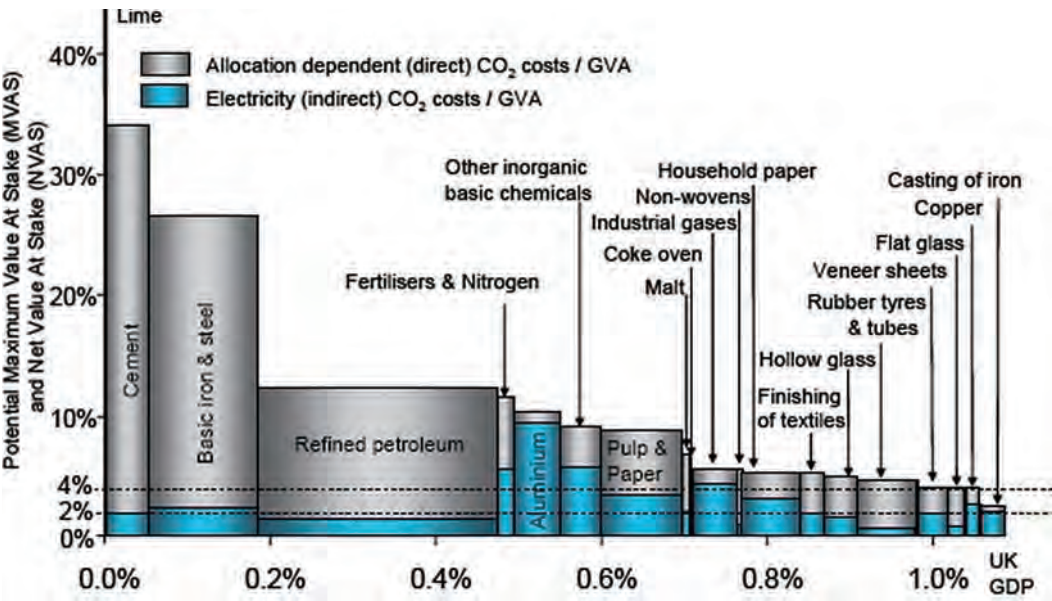
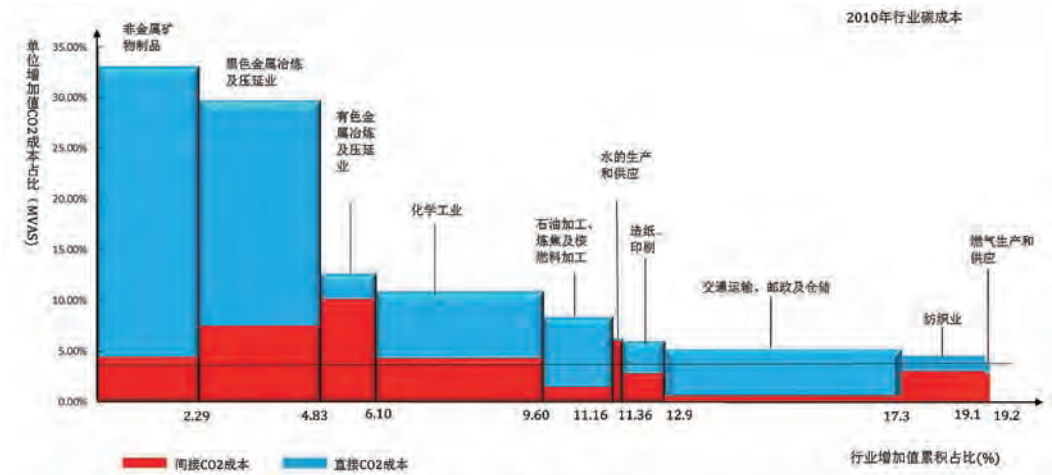


图 4.13 相同碳价水平下对中国及主要发达国家产业部门的影响（德国）



英国



中国

图 4.13 相同碳价水平下对中国及主要发达国家产业部门的影响

由于工业化、城镇化的快速推进，我国能源消费快速增长，传统能源粗放发展的模式并未根本改变，产能过剩问题日益突出，能源生态环境愈发严峻

近年来，伴随工业化、城镇化的快速推进，我国经济高速增长，特别是重化工业占经济比重长期居高不下导致我国能源消费量快速增长。我国能源消费由 2000 年的 15 亿吨标准煤快速增长到 2013 年的 37.6 亿吨标准煤，年均能源消费增量为 1.9 亿吨标准煤，年均增速 8%，远超 2.5% 的世界平均水平。我国一次能源消费量占全球能源消费的比例不断增加，由本世纪初不到 11% 增加到目前的 22%，每年增加近 1 个百分点。能源消费占比也已超过人口占比，人均能源消费量高于世界平均水平。目前我国已经超过美国成为世界第一大能源消费国，同时也是 CO₂ 的第一排放大国。“十一五”期间，我国实行了严格能源强度控制目标，虽然单位 GDP 的能耗强度下降了 19.1%，但年均用能仍增长 1.8 亿吨。“十二五”以来，我国进一步实施更为严格的“双控”制度，试图强化能源对转变经济发展方式的倒逼作用。然而，我国能源消费总量仍然保持较快增长，2011 年增量高达 2.3 亿吨，2012、2013 年，尽管经受经济增速下滑影响，能源消费年增量依然高达 1.4 亿吨。

由于我国能源消费快速增长，远超各种预测和规划。而为了满足不断快速增加的能源需求，我国不得不依赖国内资源相对丰富，建设周期短的煤炭资源。从 2000 年至 2010 年，能源行业投资规模增长近 5 倍，同期煤炭行业投资增长达 17 倍之多。“十二五”期间，我国依然延续了过去的惯性思维，加大了大型煤炭基地的建设力度。而随着投资力度的持续加大，导致国内能源生产能力不断提高，煤炭行业产能过剩问题日益突出。全国煤炭建成及在建产能已近 50 亿吨，远远超过煤炭需求量。而为了消化这一部分过剩的煤炭

产能，全国各地又积极争取上马煤制油、煤制天然气、煤制烯烃等煤化工项目。据不完全统计，各省区上报的煤化工项目产能规模已达 2 亿吨，如果这些项目均建成投产，需增加煤炭消费 6~8 亿吨。此外，为了推进风能、太阳能等可再生能源基地建设，提高电网消纳可再生能源电力水平，部分地区还要求相应配套发展一定规模煤电。除煤炭外，其他能源领域也存在严重的产能过剩问题。截止到 2013 年底，我国发电装机容量 12.47 亿千瓦，发电设备利用率普遍偏低。2013 年，全国发电设备利用小时数为 4511 小时，较电力供应较为紧张的 2005 年减少约 914 小时。2013 年，我国炼油能力达 7.1 亿吨，实际原油加工量约为 4.84 亿吨，全国炼厂平均开工率连续两年下滑，下降至 83%，国内成品油进口量连续两年下降，出口量大幅增加。

我国能源发展方式依然粗放。我国煤炭资源综合回采率仅为 30%，特别是数量众多的乡镇煤矿，其回采率仅为 10% 左右；我国煤矸石利用率仅为 66% 左右，远低于发达国家 90% 的水平；煤炭洗选率不到 50%，采空区复垦率较低。我国能源加工转换、储运和终端利用的综合效率仅为 38%，比发达国家约低 10%。主要产品单耗仍比世界先进水平高 20%~40%，其中，发电煤耗仍高于国际先进水平 40 克标准煤/千瓦时；工业锅炉和窑炉的热效率比国际先进水平低 20 多个百分点；近年来我国电厂厂用电率和输电线损耗率持续下降，但到 2012 年仍分别高达 5.43% 和 6.53%，仍明显高于发达国家电力生产、输送损耗水平。石油加工行业整体技术水平与石油化工强国相比还有十几到二十几年的差距。

粗放式、高强度的能源开发利用严重破坏了我国生态环境。我国煤矿每年新增采空区超过 4 万公顷，累计已达 100 万公顷左右，70% 的大型矿区均是土地塌陷严重区；煤炭开发已造成大量水土流失，加剧了当地生态环境脆弱、水资源严重

匮乏局面。我国二氧化硫、氮氧化物、烟（粉）尘以及可吸入颗粒物长期高居世界第一位，超过80%来自化石能源燃烧，特别是煤炭燃烧。据统计，2012年我国SO₂排放量高达2118万吨，远高于环境容量上限，约为美国的2倍、欧盟的3倍；氮氧化物排放量2338万吨，与美国相当、是欧盟的1.5倍；人为源大气汞排放量占世界的30%以上，酸雨面积继续呈扩大态势。近年来，雾霾问题更成为举国之痛，雾霾已影响到全国

25个省份，受影响人口达6亿。多数城市超过70%的可吸入颗粒物和细颗粒物排放源于煤炭、石油燃烧，煤炭消费密度过高是形成严重雾霾的最重要原因。2012年我国单位国土面积的煤炭消费量为367吨/平方千米，是美国的4倍，其中京津冀、长三角、广东省单位国土面积的煤炭消费量更是分别高达1794、2267、981吨/平方千米。

4.3 中国未来能源及排放的关键因素

在过去的30年间，确保获得促进经济增长所需的能源供应是中国能源战略及能源系统发展的主要出发点。而目前中国经济处于阶段转换期，经济增长的动力和经济结构与之前的20年发生了明显变化。未来中国能源面临的挑战将不仅仅是保障经济增长，而是必须在保障经济发展、降低能源供应风险和减少环境影响等多个政策目标中实现平衡发展。中国未来的能源系统需要考虑三个主要的政策目标：一是为经济发展提供必要的能源供应；二是维持一定的能源自给率，保障能源安全；三是减少能源使用过程中的环境和健康问题，减少局地污染物和温室气体的排放。上述政策目标的转变将对未来的能源系统产生深远的影响。

能源安全

随着我国经济社会快速发展，能源消费总量大、增长快的趋势明显，面临资源紧缺、环境污染、生态破坏的严峻形势。我国在节能和减缓CO₂排放方面已做出了巨大努力，并取得显著成效。从2005～2013年，关闭能耗高效率低的小火电机组9400万千瓦，淘汰能效低的炼铁、炼钢落后产能分别达1.5和1.2亿吨，小水泥产能8.7亿吨，能源利用效率有很大提高。同期单位GDP能源强度下降了26%，CO₂强度下降了28.5%，下降幅度远高于发达国家下降约15%的水平，而世界能源强度和CO₂强度平均水平则基本未变。但由于我国经济快速增长，同期GDP增长到2.2倍，年均增速10%以上，相应能源消费也增长59%，而世界GDP增速仅约为2.5%，同期能源消费增长则不到20%。我国当前能源消费

量占世界约 20%，2007 ~ 2012 年期间的增长量则占世界同期增长量的 47.8%，其中煤炭消费增长量占世界增量的 57%，石油消费增长量占世界增长量的 63%。石油和天然气进口的对外依存度增加，2013 年分别达 58% 和 31%，到 2020 年预计将达 70% 和 50%，煤炭也已成为世界最大的净进口国。美国由于非常规油气开发技术的突破，石油净进口 5 年内下降 35.2%，对外依存度下降到 45% 以下。我国不仅石油进口比例已远远高于美国，而且净进口数量上也即将超过美国，并成为中东地区最大石油进口国。能源供应安全保障也面临新的挑战。

环境约束

我国当前煤炭等化石能源消费较快增长的趋势，已使国内资源保障和环境容量几近极限。2013 年煤炭产量达 36.8 亿吨，超过科学产能供应能力的将近一倍，累计造成采空区土地塌陷面积已达 100 万公顷，也带来越来越严重的地下水资源破坏、大气和土壤污染等生态环境问题。煤炭等化石能源消费也是 SO_2 、 NO_x 、烟尘等常规污染物排放的主要来源。京津冀地区严重雾霾天气，煤炭燃烧和汽车尾气排放也是其首要成因。 $\text{PM}_{2.5}$ 中重金属含量，40%—70% 来自化石能源燃烧。我国能源构成以煤炭为主，其比重长期达 70% 左右，世界能源构成中煤炭比重不到 20%，从而造成我国单位能耗的 CO_2 排放因子比世界平均水平高 20% 以上。当前我国 CO_2 排放量已占世界的 1/4，2005 ~ 2013 年排放增长量占世界增量的约 60%，2013 年人均年排放量已达 6.0 吨，接近部分欧洲国家的水平。在全球应对气候变化减缓 CO_2 排放日趋紧迫形势下，也面临日益严峻的挑战。

能源系统转型

我国可再生能源、核能发展迅速，比重持续增

加。从 2005 年到 2013 年，新能源和可再生能源供应量增加到 2.3 倍，占一次能源的比重由 6.8% 上升到 9.8%，可再生能源年均增长速度和增长量均居世界前列。我国当前可再生能源电力投资规模和新增容量均已超出煤电，并呈持续快速增长的趋势，但由于能源消费总量仍呈较快增长趋势，新能源和可再生能源发展在相当长时间内仍不能满足新增能源需求，煤炭消费量从 2005 ~ 2013 年仍增长了 48.1%。我国调整能源结构，控制煤炭消费量的增长仍面临艰巨任务。

推动能源结构的低碳转型，我国比发达国家面临更为艰巨的任务。处于后工业化发展阶段的发达国家，其能源需求已趋于稳定，发展新能源和可再生能源是替代和降低当前煤炭等化石能源的消费，使其 CO_2 排放呈持续下降趋势。而我国仍处于工业化发展阶段，随 GDP 较快增长，能源需求仍处于持续增长阶段，发展新能源和可再生能源，首先要满足能源消费增量的需求，然后才有可能替代存量。在当前新能源和可再生能源比例较低、基数较小的情况下，尽管其发展迅速，近年来我国可再生能源投资规模、新投产供应量和增长速度均居世界前列，但仍不能满足能源消费增量的需求，在相当长时期内，化石能源的消费仍还会有所增长，所以 CO_2 排放量还会不断增加。我国当前所处发展阶段特征，使我国在全球能源变革中面临更大挑战。美国环保署 2014 年 6 月份公布“清洁电力计划”，提出 2030 年全国电力部门的 CO_2 排放比 2005 年减少 30%。到 2011 年底，其已减排 10.7%，从 2011 ~ 2030 年需再减排 21.6%。美国 2011 年燃煤发电 1.875 万亿千瓦时，占其电力的 43.1%。美国未来的电力需求基本稳定，如实现其 2030 年减排目标，将由新增天然气和非化石能源装机替代现有煤电机组，天然气和非化石能源装机将需分别增加 0.5 ~ 1.0 亿千瓦。减少煤电装机约 1.5 亿千瓦，相应煤电比例将下降到 28%。我国从 2011 ~ 2030 年，新增水电、风电、太阳能

发电和核电等非化石能源装机将达 10 亿千瓦以上，新增装机规模将是美国的 5 ~ 10 倍，新能源和可再生能源发展速度和规模均大于美国。从 2011 ~ 2030 年，美国每千瓦时的 CO₂ 排放强度将下降约 20%，而我国将下降约 35%，能源替代速度也远大于美国。但由于我国 2030 年电力总需求将比 2011 年大约翻一番，总需求量增长速度大于能源替代的速度，所以届时电力部门的 CO₂ 排放仍将增加 30% 左右，而美国电力需求不再增长，所以其 CO₂ 排放则可下降 30%。因此，在我国能源消费总量还在持续增长的阶段，更需要加大能源变革的力度，尽

量多地发展新能源和可再生能源来满足新增长的能源需求，减少化石能源供应量的增长，防止未来化石能源供应的技术锁定效应，从而实现新能源技术的跨越式发展。到 2030 年左右，我国基本完成工业化和城镇化发展阶段，人口规模稳定，经济增速放缓，产业结构调整加速，能源需求增长则趋于缓慢，新能源和可再生能源技术成熟，规模化产业体系趋于完善且发展迅速，届时新增能源总需求可依靠发展新能源和可再生能源满足，从而使 CO₂ 排放不再增长。这应是我国中近期能源变革的战略目标。

4.4 中国未来能源及排放的趋势分析

为了理解中国在经济发展、能源安全和环境保护三个目标之间平衡发展的重要性，我们构建了两个未来能源与排放的情景：持续减排情景（CERS）与加速减排情景（AERS）。我们的持续减排情景体现了政策制定的部分惯性，保障经济发展仍然被作为能源系统的首要保障目标而优先于能源安全和环境保护，中国持续推进节能减排战略，能源效率水平稳步提高，非化石能源稳步发展。但需要注意的持续持续减排情景并非所谓的一切照旧（BAU）情景，在没有进一步政策干预的情况下，由于低成本减排机会的耗尽和技术水平的提升空间逐渐缩小，中国的 GDP 能耗强度下降率将难以维持在年均下降 3% 的范围内。因而我们的持续减排情景实际上假设了中等程度的进一步

政策干预。加速减排情景则反映了政策目标的根本性转变，保障经济发展不再是能源系统的压倒性考虑要素。能源系统同时要平衡的考虑能源安全、环境与温室气体排放。未来保障能源安全需要进一步对能源需求进行管理，促进居民和工业更有效的使用能源。同时要大力推动节能减排的新型能源技术的使用，快速提升能源效率水平。在能源结构上要推动非化石能源的跨越式发展，实现煤炭的总量控制，推动核电的快速发展。相对持续减排情景而言，加速减排情景体现了对经济增长、能源安全、空气质量和温室气体减排等多个目标的平衡考虑。

变量	持续减排情景			加速减排情景	
	2010	2020	2030	2020	2030
能源消费总量 (亿 tce)	32.5	49.2	62.5	47.5	59.0
GDP 能源强度 (2010 年为 100)	100	73.4	54.6	70.6	51.6
CO ₂ 排放量 (亿吨 CO ₂)	72.5	104	127	96.8	106
GDP 的 CO ₂ 强度 (2010 年为 100)	100	69.6	51.1	64.8	41.5
非化石能源比重 (%)	8.6%	14.5%	20%	15%	23%

表 4.4 持续减排情景与加速减排情景的主要变量比较

在持续减排情景下，我国能源消费将持续增长，能源结构也有所改善，二氧化碳排放将在 2040 年左右达到峰值，人均排放将在目前水平上增长约 80%，与欧盟和日本峰值时的人均排放水平相当，但仍低于美国同阶段的人均排放。

在持续减排情景下我国一次能源消费仍将持续增长，2020 年一次能源消费达到 49.7 亿吨标煤，相当于 2010 年的 1.5 倍，年均增长 4.3%。2020 年之后一次能源消费增长逐渐放缓，2020-2030 年间年均增长 2.6%，2050 年时一次能源消费总量达到约 77 亿吨 tce。在持续减排情景下，一次能源结构有所优化。2010 年煤炭消费总量为 22 亿吨 tce，约占一次能源消费总量的 68%，随着产业结构调整煤炭消费总量增速逐步放缓，在 2040-2050 年间达到 38-39 亿吨标煤，占一次能源比重也将降低到 50% 以下，但消费量相比 2010 年仍然增加了 70%。由于城市化和居民

可支配收入的增加，在持续减排情景下交通部门的石油消费量增速明显，2020 年达到约 7 亿吨，2050 年达到 10 亿吨，在一次能源消费中的比例大约在 20% 左右。在持续减排情景下天然气将进一步发展，在一次能源中的占比从 2010 年的 4.4% 逐步增加到 2020 年的 8.2% 和 2050 年的 12.9%，一次能源消费量分别为 3100 亿立方米和 7500 亿立方米。

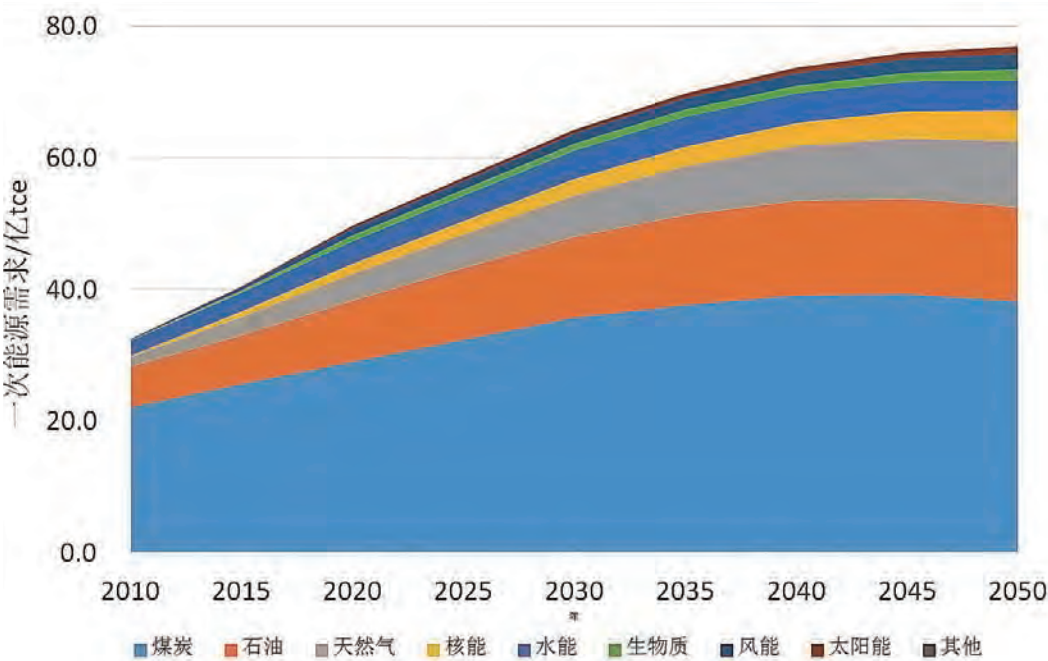


图 4.14 持续减排情景下的一次能源需求

在持续减排情景下，煤炭仍然是发电的主要燃料，2010 年煤电发电量占总发电量的 76.4%，这一比例虽然逐年降低但在 2050 年仍占发电量的主要份额。在 2020 年前，水电仍然是非化石能源发电量的主要来源，2010 年占非化石能源发电量的比重为 82.6%，随着水电经济可开发容量的逐渐耗尽，2020 年和 2050 年降低到 51.7% 和 32.7%。核电和其他可再生能源发电技术增长明显，核电发电量在 2020 年将达到 20%，2050 年进一步提高到约 35%，而风电、太阳能发电等其他可再生能源发电的比例将在 2020 和 2050 年达到 28% 及 32.6%。

在持续减排情景下，2020 年我国能源相关的 CO₂ 排放将在 100 亿吨左右，比 2010 年的 72.4

亿吨增加约 38%。2020 年后由于终端消费结构的转变和非化石能源的快速发展，CO₂ 的排放增速趋缓，并在 2040 年稳定在 142-144 亿吨左右不再增长。在持续减排情景下，2020 年单位 GDP 的排放强度比 2005 年降低约 44%，可以达到中国政府在 2009 年提出的 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放相对于 2005 年降低 40-45% 的目标。在持续减排情景下，中国人均 CO₂ 排放将从 2010 年的人均 5.4 吨增加到 2050 年的 9.8 吨，低于目前美国（人均 19.2 吨）的排放水平，与欧盟（9.0 吨）和日本（8.3 吨）峰值时的人均排放水平相当。

持续减排情景下，我国的一次能源需求将全面超过供应能力，到 2030 年石油的对外依存度将超

过 75%，天然气将超过 40%，煤炭也将大幅超出安全高效的科学产能，对我国能源供应和能源安全形成巨大压力；

国能源资源相对不足，化石能源的可采资源量仅为世界的 2%-7%。我国煤炭资源丰富，埋深 2000 米以内的煤炭资源量为 55697.49 亿吨，其中探明的保有资源量为 10176.45 亿吨。同时中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，2012 年煤炭产量达 32.5 亿吨，煤炭消费量达到 34.3 亿吨，占世界总量的 48% 左右。前十大煤炭生产国中，中国年煤炭产量相当于其他 9 个国家之和。但我国煤炭资源区域分布不均衡，与区域经济发展水平和水资源呈逆向分布，大部分煤炭资源富集于经济欠发达、环境承载力低以及水资源短缺的地区。因此我国煤炭开发受到诸如地质开采条件、自然灾害、生态环境和水资源等多重因素的制约。对多重制约煤炭生产开发规模约束因素的综合研究表明，我国有效的煤炭供应能力在 2030 和 2050 年仅能维持在 30-35 亿吨左右。在持续减排情景下，大约有 20 亿吨煤炭需要通过进口或者通过安全高效矿井之外的生产胜利生产，对能源安全和生态环境形成严峻挑战。

我国石油地质资源量约为 881 亿吨，可采资源量为 233 亿吨，占世界可采资源量的 2%。2012

年中国石油产量 2.03 亿吨，占全年石油消费量的 45%，对外依存度达到 55%。十五以来我国石油产量已经进入稳步增长阶段，预计我国未来 20 年的石油产量可以维持在 2 亿吨左右，峰值产量在 2.2 亿吨，到 2050 年石油产量进一步下降到 1.7 亿吨左右。在基准情景下我国的石油年消费量将在 2030 和 2050 年超过 8 亿吨和 10 亿吨，对外依存度将超过 80%。

《全国油气资源动态评价 2010》显示，我国天然气地质资源量为 52 万亿立方米，可采资源量为 32 万亿立方米。近年来随着勘探程度和上游开采投资的增加，我国天然气的年产量已经由 1995 年的 174 亿立方米快速增加到 2011 年的 1011 亿立方米，但由于天然气消费增长更快，我国的天然气进口量也逐年增加，2011 年达到 280 亿立方米，对外依存度也接近 30%。预计我国天然气产量在 2020 年达到 2000 亿立方米，2030 年达到 2500 亿立方米，2040 年达到 2700 亿立方米的峰值水平并维持到 2050 年左右。考虑到煤层气的利用量在 2020、2030 和 2050 可以分别达到 300、500 和 740 亿立方，页岩气 2020 年产量达到 600-1000 亿立方米。我国天然气 2030 及 2050 年的对外依存度估计在 40%-50% 之间。

2030 年			2050 年	
	持续减排情景	供应能力	持续减排情景	供应能力
煤炭（亿吨）	42	30-35	56	30-35
石油（亿吨）	8.2	2	10	1.7
天然气（亿 m ³ ）	5000	3000（不含页岩气）	7500	3440（不含页岩气）

表 4.4 持续减排情景下的一次能源消费与供应能力

4.4 结论

持续减排情景下，除珠三角外我国大部分地区的主要城市难以全面达到细颗粒物浓度的国家二级标准，即便采取最先进的末端控制技术，仍有约半数的城市空气质量难以达标；

在持续减排情景下，进一步考虑 2010 年以来主要工业行业（如火电、锅炉、水泥、钢铁、炼焦、砖瓦等）的大气污染物排放标准及国务院 2013 年通过的大气污染治理行动计划。通过现有的末端治理措施可在 2030 年将 SO_2 、 NO_x 和 $\text{PM}_{2.5}$ 排在 2010 年基础上削减 1/3 左右， $\text{PM}_{2.5}$ 浓度显著下降。但我们利用空气质量模型的模拟结果表明（详见第五章），在持续减排情景下，源头治理和末端治理的力度无法满足空气质量达标的要求，在 2030 年无法全面达到细颗粒物浓度 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的国家二级标准。在京津冀、长三角及珠三角等几个重点区域，除珠三角基本能够实现全面达标，但长三角和京津冀地区的主要城市依然难以达标。即便采用先进的末端控制技术，仍只有半数以上城市达标。

虽然持续减排情景假设了中等程度的进一步政策干预，但延续原来以能源保障增长的分散治理思路无法应对国内能源资源制约和环境容量制约的严峻局面，温室气体排放也不能得到有效的控制。只有综合考虑经济增长、能源安全和环境质量等多个政策目标，以协同治理为核心才能实现能源、环境和经济及气候变化的多重目标。本报告将在第六章重点分析这一体现协同治理思想的强化减排情景。

长期以来，保障经济增长必须的能源供应一直是中国能源战略的出发点，这一指导思想在过去 30 年的经济快速发展期保证了持续增长的能源需求。但这一以保障供应为出发点的能源战略在近年来也带来了产能过剩、环境资源压力日益严重等一系列的问题。未来 20 年我国将处在经济由高速增长向中速增长调整的阶段，经济增速逐步放缓，保障供应的压力逐步减小，但由于能源消费基数较大、单位国土面积能源消费强度较高等多种原因，能源安全和空气质量问题将日益突出。尤其是近年来雾霾频发、我国大气污染形势日益严峻，空气质量已经成为迫在眉睫的威胁。由于经济、能源和环境的密切关系，未来我国的能源战略和政策将必须综合考虑经济增长、能源安全和环境治理等多个政策目标，并在多目标之间实现均衡发展。本章的分析表明，仅从单政策目标出发的持续减排情景无法满足这一多政策目标均衡发展的要求。虽然在持续减排情景下仍需相当的政策干预与努力才能维持能源强度和碳强度的持续下降，但环境和空气质量等其他政策目标对能源系统转型和变革提出了更为严格和紧迫的要求。第五章的分析将表明环境与空气质量是比节能和保障供应更为严格的硬约束。我们将在第六章进一步解释加速减排情景是如何在经济增长、能源安全和空气质量等多个政策目标间取得平衡的。

清洁的空气与环境

5.1 中国大气污染现状、国家行动及成效

当前，我国大气污染形势严峻，以可吸入颗粒物（PM₁₀）、细颗粒物（PM_{2.5}）为特征污染物的区域性大气环境问题日益突出。近年来，大气雾霾事件在我国东部地区频发，京津冀、长三角、珠三角等重点区域的城市环境空气质量不容乐观。

2013 年，京津冀、长三角、珠三角等重点区域及直辖市、省会城市和计划单列市共 74 个城市按照新标准开展监测，依据《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）对二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO₂）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、细颗粒物（PM_{2.5}）年均值，一氧化碳（CO）日均值和臭氧（O₃）日最大 8 小时均值进行评价，74 个城市中仅海口、舟山和拉萨 3 个城市空气质量达标，占 4.1%；超标

城市比例为 95.9%。京津冀和珠三角区域所有城市均未达标，长三角区域仅舟山六项污染物全部达标。74 个城市平均达标天数比例为 60.5%，平均超标天数比例为 39.5%。从六项污染物来看（参见图 5-1），SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO 和 O₃ 的达标城市比例分别为 86.5%、39.2%、14.9%、4.1%、77.0%、85.1%，以可吸入颗粒物（PM₁₀）、细颗粒物（PM_{2.5}）为特征污染物的区域性大气环境问题日益突出。

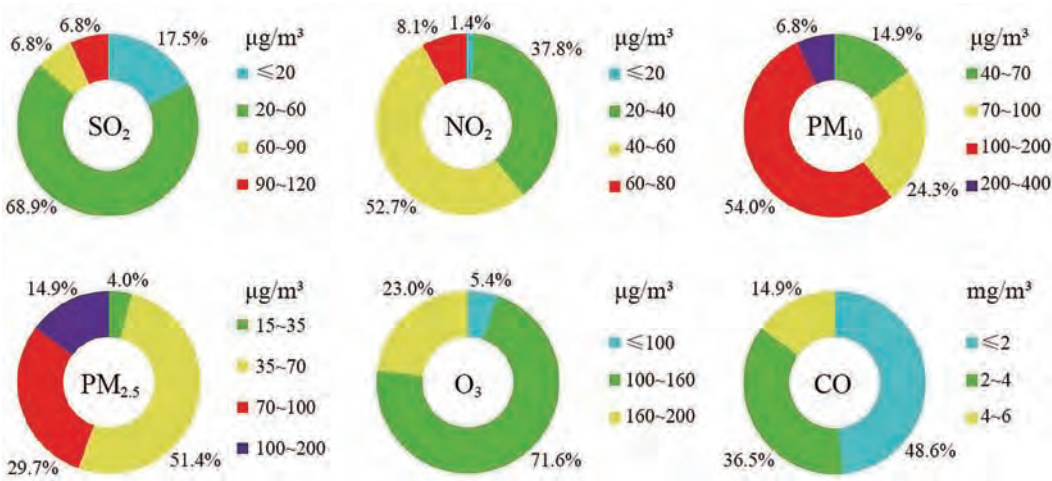


图 5-1 2013 年新标准第一阶段监测实施城市 数据来源：2013 年中国环境状况公报
各指标不同浓度区间城市比例

我国大气污染的一个突出特点是高浓度颗粒物污染,导致大气灰霾事件在我国许多地区频繁出现。其中,又以京津冀、长三角、珠三角大气污染最为严重。造成灰霾的原因是大气 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度过高,在适宜气象条件下,累积导致大气能见度下降。2013 年全国平均霾日数为 35.9 天,比上年增加 18.3 天,为 1961 年以来最多。2013 年 1 月和 12 月,中国中东部地区发生了 2 次较大范围区域性灰霾污染。两次灰霾污染过程均呈现出污染范围广、持续时间长、污染程度严重、污染物浓度累积迅速等特点,且污染过程中首要污染物均以 $\text{PM}_{2.5}$ 为主。中国环境监测总站发布的 74 个重点城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度监测结果显示,2013 年京津冀、长三角、珠三角、成渝地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别超标 2.84 倍、1.84 倍、1.30 倍和 2.11 倍,我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度距达标差距较大。

面对严峻的大气污染形势,中国政策采取了一系列的措施与行动,在“十一五”和“十二五”期间实施大气污染物总量控制,取得了显著的成效。二氧化硫和烟粉尘总量

出现下降,氮氧化物排放总量得到控制,全国单位 GDP 大气污染物排放强度呈持续下降的趋势。

“十一五”以来,我国首次将二氧化硫作为约束性指标,实行全国排放总量控制,要求“十一五”期间二氧化硫总量减排 10%。通过大量建设电厂烟气脱硫设施、淘汰落后产能等一系列举措,我国二氧化硫排放总量明显下降,从 2005 年的 2549.3 万吨下降至 2012 年的 2117.6 万吨,下降幅度达到 17%。与二氧化硫不同,我国氮氧化物排放控制起步较晚,2006 年才纳入环境统计指标体系,2010 年纳入主要污染物总量控制指标,氮氧化物排放总量在 2011 年以前持续上升,从 2006 年的 1523.8 万吨增长至 2011 年的 2404.3 万吨;2012 年由于大量火电机组烟气脱硝设施陆续投运并发挥效果,全国氮氧化物排放总量下降为 2337.8 万吨,比 2006 年降低 2.8%。近年来,全国烟粉尘排放控制效果明显,排放总量逐年下降,从 2005 年的 2093.7 万吨下降至 2012 年的 1234.3 万吨,下降幅度高达 41% (参见图 5-2)。

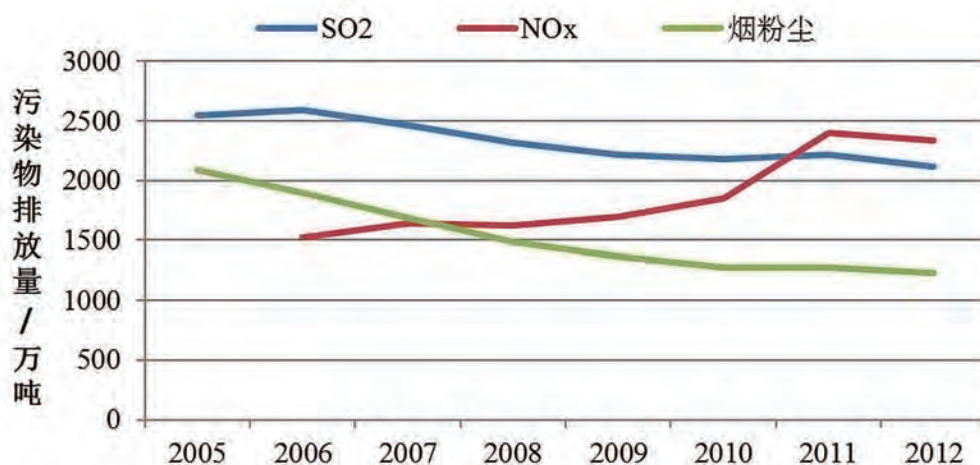


图 5-2 2005-2012 年我国大气污染物排放变化趋势 数据来源: 环境保护部环境统计年报

由于排放控制的加严以及技术进步，2005 年以来，全国单位 GDP 大气污染物排放强度（2005 年价格）呈持续下降的趋势。2012 年，我国单位 GDP 二氧化硫、烟粉尘排放强度分别比 2005 年下降 57.0%、69.5%；氮氧化物的排放强度

表现为先上升后下降的情况，比 2006 年下降 11.0%（参见图 5-3）。从单位煤炭消费量的污染物排放强度来看，2012 年全国单位煤炭消费的二氧化硫、烟粉尘排放强度分别比 2005 年下降 42.4%、59.1%。

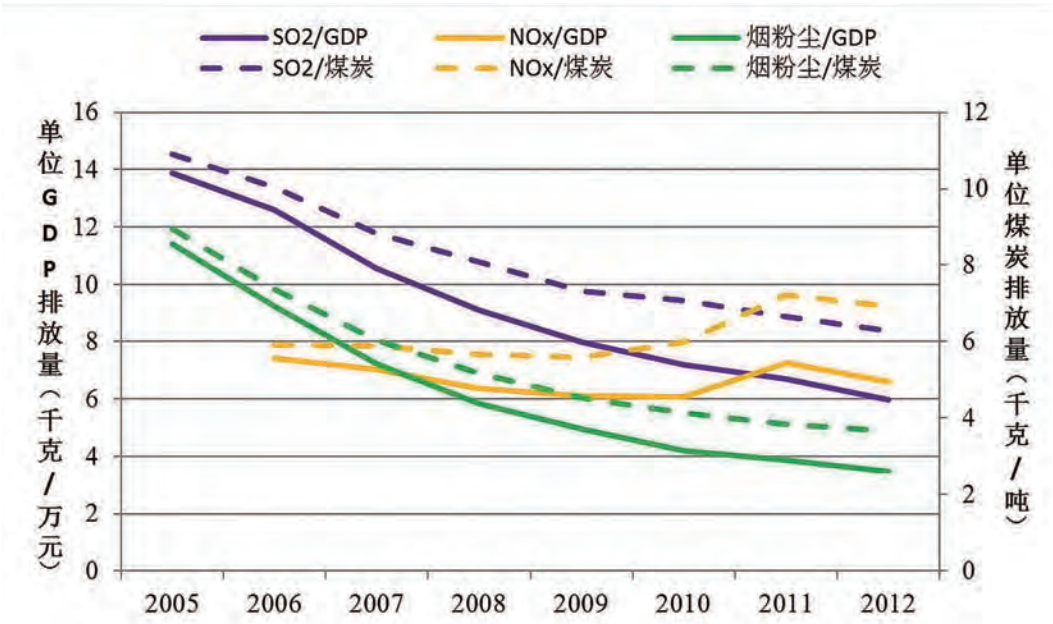


图 5-3 2005-2012 年我国大气污染物排放强度变化趋势

我国在电力、钢铁、水泥、机动车等重点行业采取了一系列措施和行动，主要大气污染物排放控制成效显著。

电力行业

电力行业作为我国大气污染物排放第一大户，大气污染物排放贡献一直居高不下，2012 年电力行业二氧化硫、氮氧化物和烟粉尘排放分别占全国排放总量的 22%、32% 和 5%。自上世纪九十

年代电力成为国家大气污染防治的重点以来，经过近二十年的努力，尤其是“十一五”电力行业在烟气脱硫设施建设、关停小火电机组等方面取得了突破性进展，“十二五”烟气脱硝设施建设的跨越式发展，电力行业污染物排放总量和排放绩效显著降低。

“十一五”国家强化了对二氧化硫总量控制的管理与考核，极大地推动了电力行业二氧化硫减排工作进展，电厂烟气脱硫设施建设在“十一五”期间取得了跨越式发展，要求新建燃煤电厂安装烟气

脱硫装置。截至 2012 年底，脱硫机装机容量由 2005 年 0.46 亿千瓦上升到 2012 年的 7.18 亿千瓦，占火电机组容量的比例由 2005 年的 12% 提高到 90%，火电行业二氧化硫治理水平大幅提升。2012 年 289 台、1.27 亿千瓦现役机组拆

除烟气旁路，综合脱硫效率提高到 90% 以上。虽然 2005 年到 2012 年电力行业煤炭消费量增长了 74%，电力行业二氧化硫排放量反而降低了 60%（参见图 5-4）。

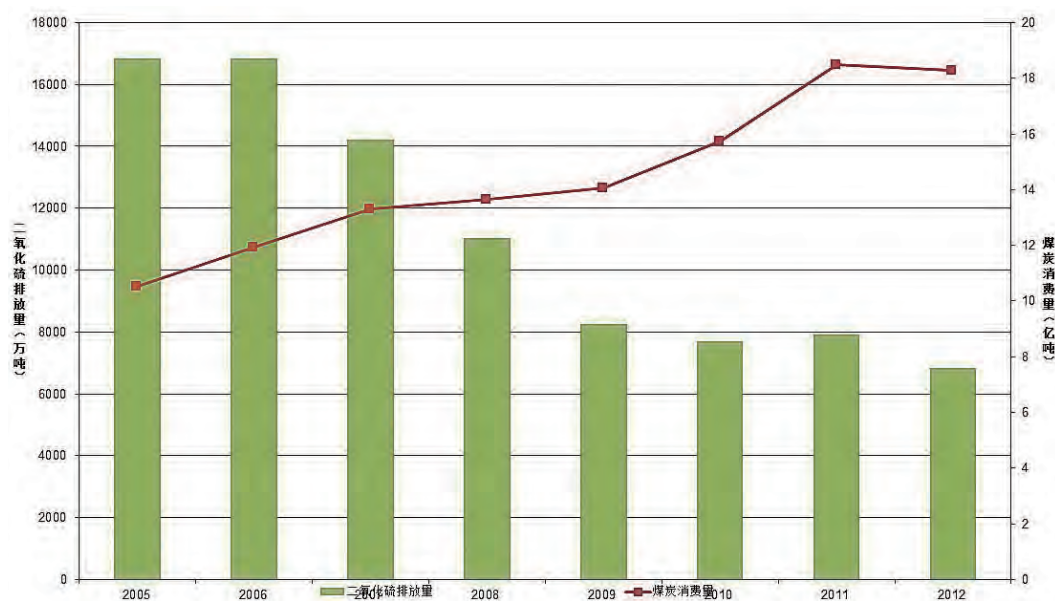


图 5-4 2005-2012 年电力行业煤炭消费量及二氧化硫排放量

“十二五”以来，电力行业烟气脱硝工程建设取得了突破性进展。2012 年 250 台、9670 万千瓦火电机组建设脱硝设施，脱硝机组总装机容量达到 2.26 亿千瓦，占火电装机容量的比例从 2011 年的 16.9% 提高到 27.6%。2012 年全国脱硝机组平均脱硝效率 48%，同比提高 18 个百分点。2012 年全国电力行业氮氧化物排放量为 1082 万吨，分别较 2010 年、2011 年下降了 1.5%、7.1%，带动了我国氮氧化物排放总量在 2012 年首次出现下降。

钢铁行业

近年来，我国钢铁行业一直保持着快速增长的态势，粗钢产量从 2005 年的 3.56 亿吨快速增长至 2012 年的 7.17 亿吨。“十一五”以来，国家采取淘汰落后产能、烧结机烟气脱硫等一系列措施，加强了对钢铁企业二氧化硫排放的控制，钢铁行业二氧化硫排放扭转了“十一五”期间快速增加的趋势，2012 年我国钢铁行业二氧化硫排放量为 230 万吨，相比 2010 年下降 7%。

钢铁行业淘汰落后产能取得重大进展。“十一五”期间，国家加大了对钢铁行业的产业结构调整力度，提高了行业准入门槛，发布了《钢铁产业发展政策》、《产业结构调整指导目录》等，淘汰落后炼铁能力 1.2 亿吨，炼钢能力 7200 万吨。淘汰关停生产工艺设备落后、高耗能、高排放高污染的小钢铁企业，有效控制了钢铁行业的排放增长态势。

烧结机烟气脱硫快速推进。截至 2007 年底，全国建成并投运的烧结机烟气脱硫装置仅为两台，而且由于设备处于调试期，基本未正常运行。随着二氧化硫减排压力增大，各地积极建设烧结机烟气脱硫工程。截至 2012 年底，我国建成烟气脱硫装置的烧结机共 973 台，烧结机面积 6.8 万平方米，占烧结机总面积的 54%；建成脱硫装置的球团设备共 54 台，产能 1632 万吨，占全国球团总产能的 8%。2012 年钢铁烧结机二氧化硫平均排放水平相比 2005 年降低 28.7%。

水泥行业

我国是水泥生产与消费大国，2011 年我国水泥产量达到 20.9 亿吨，占世界水泥产量的一半以上。水泥行业是氮氧化物排放的主要工业源，仅次于电力行业和机动车，约占全国氮氧化物排放总量的 13%。“十二五”规划要求到 2015 年将水泥行业氮氧化物排放量控制在 150 万吨，削减比例 12%。水泥行业作为“十二五”期间 NO_x 减排的重点行业之一，要求日产 2000 吨以上的水泥生产线实施低氮燃烧，日产 4000 吨以上生产线实施低氮燃烧和烟气脱硝并举，新建、改扩建水泥生产线综合脱硝效率不低于 60%。

目前水泥行业的减排进展较慢。2012 年全国水泥熟料产量为 12.79 亿吨，较 2010 年增长了近 11%；随着水泥产量的持续增长以及新型干法窑的推进，水泥行业氮氧化物排放量不降反升，

2012 年增至 198.7 万吨，与 2010 年的 170.0 万吨相比，增长 17.5%。截至 2012 年底，我国已建脱硝的新型干法水泥熟料生产线规模达 43.7 万吨熟料/日，占新型干法熟料产能的 10%。随着“十二五”水泥脱硝的进一步推进，水泥行业氮氧化物排放增长态势有望得到遏制。

机动车

近年来我国汽车保有量保持高速增长的态势，产销量已连续四年居世界首位，机动车污染问题日益突出。2010-2012 年机动车保有量分别为 1.90 亿辆、2.07 亿辆、2.24 亿辆，污染物排放总量为 4451.1 万吨、4607.9 万吨、4612.1 万吨，2011-2012 年机动车保有量年增长率分别为 9.2% 和 7.8%，污染物排放总量年增长率分别为 3.5% 和 0.1%（参见图 5-5）。这说明“十二五”前两年针对机动车的污染物总量减排措施成效有所显现，有效遏制了机动车污染物排放量快速增长的态势。

2011-2012 年间，全国各地纷纷推进机动车氮氧化物总量减排工作，通过加速淘汰“黄标车”、强化机动车环保监管、提升车用燃油品质、鼓励低排放汽车的推广使用等措施，机动车氮氧化物排放总量增长率由 2011 年的 6.4% 降低至 2012 年的 0.4%。仅占汽车保有量 13.4% 的“黄标车”排放了 58.2% 的 NO_x、56.8% 的 HC、52.5% 的 CO 和 81.9% 的 PM，因此对“黄标车”排放控制是我国机动车减排的重点。通过加速淘汰黄标车，全国“黄标车”保有量由 2010 年 1558.3 万辆降低到 2012 年 1451.4 万辆，年均削减 3.5%。全国“黄标车”CO、HC、NO_x 和 PM 排放量分别由 2010 年的 1584.1、207.9、378.1、51.5 万吨降低到 2012 年的 1503.1、196.1、339.0、48.5 万吨，年均削减 2.6%、2.9%、5.3%、3.0%（参见图 5-6）。

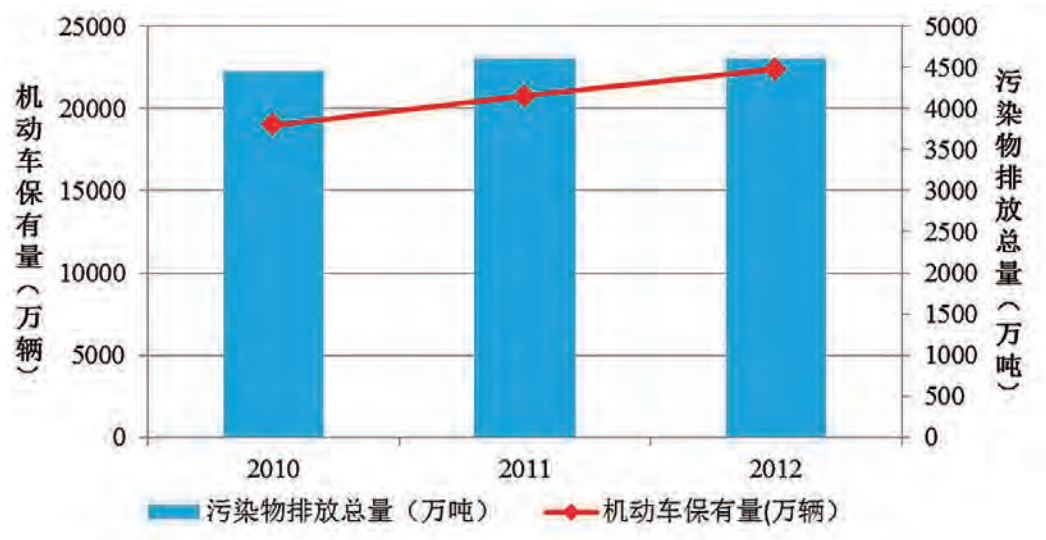


图 5-5 2010-2012 年机动车保有量及污染物排放总量的变化情况 数据来源：中国机动车污染防治年报

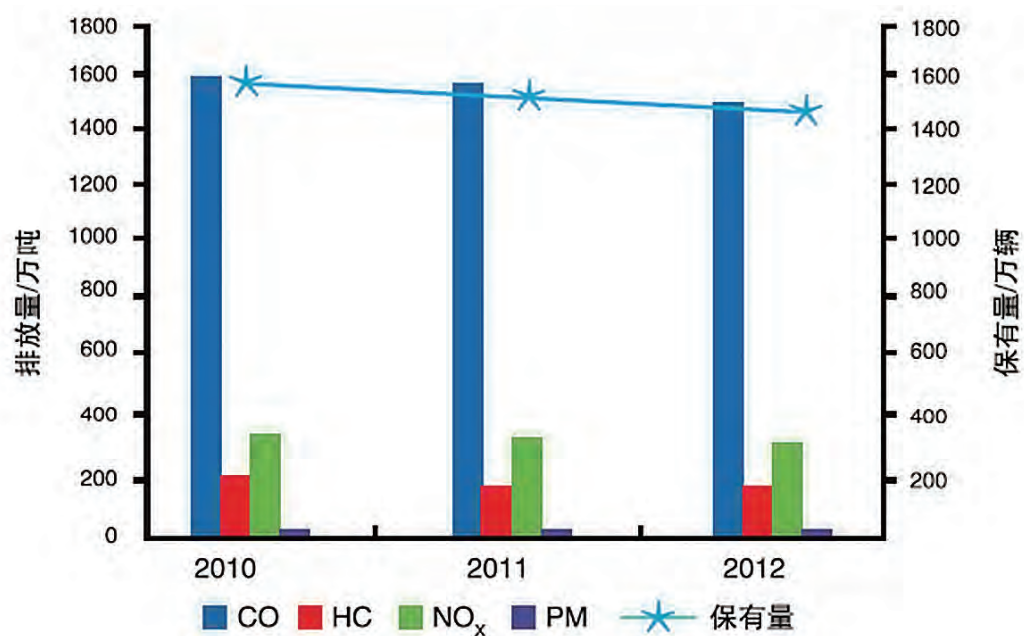


图 5-6 全国“黄标车”污染物排放量变化趋势图 数据来源：2013 年中国机动车污染防治年报

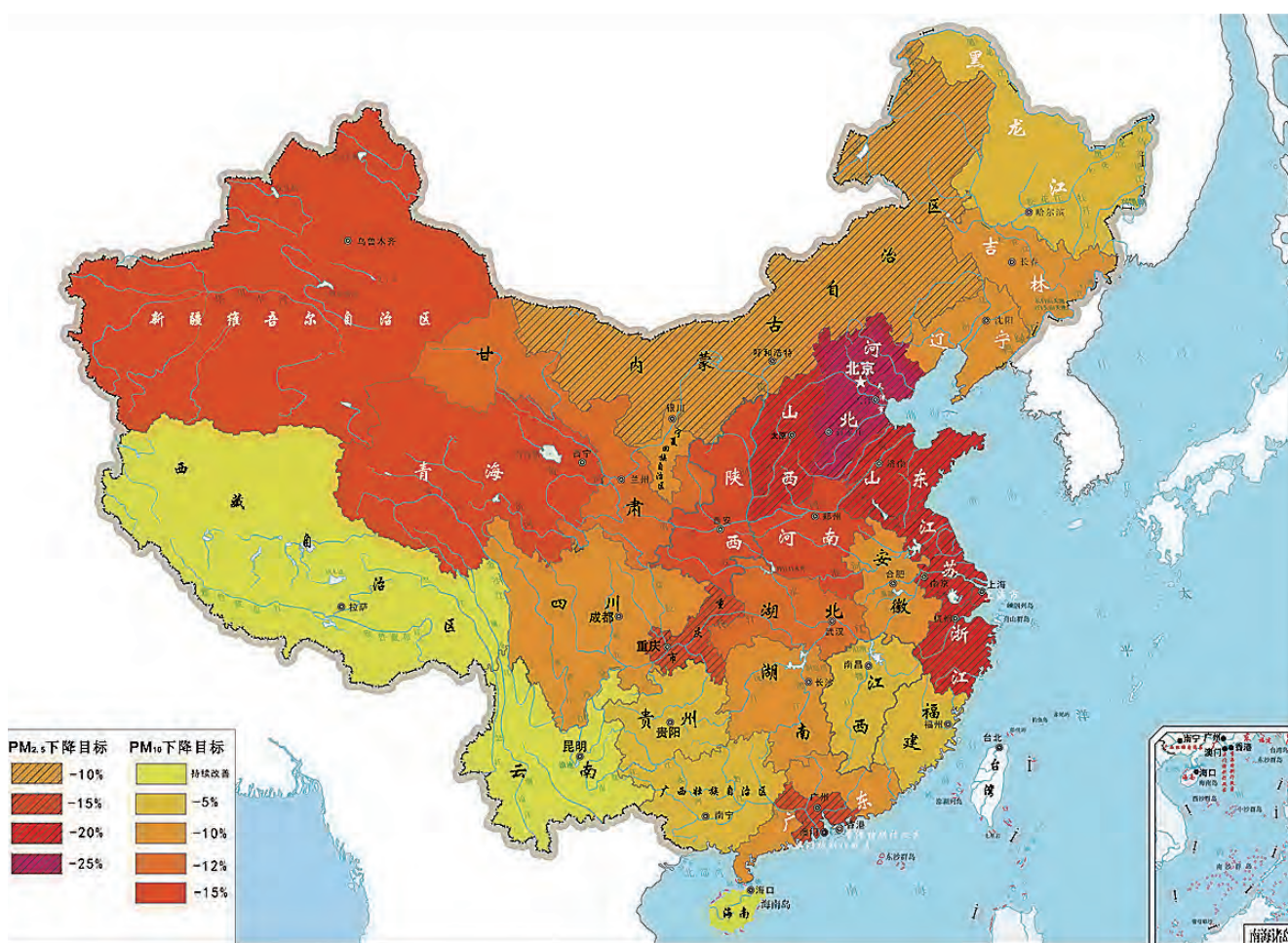
近些年来，中国大气污染防治工作逐步由污染物总量控制为目标导向向以改善环境质量为目标导向转变，提出要制定中长期达标计划，力争到 2030 年全国所有城市达到空气质量二级标准。

2012 年 9 月，国务院正式批复《重点区域大气污染防治“十二五”规划》（以下简称《规划》），规划范围为京津冀、长三角、珠三角等 13 个重点区域，涉及 19 个省的 117 个地级及以上城市，明确提出“到 2015 年，空气中 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 $PM_{2.5}$ 年均浓度分别下降 10%、10%、7%、5%”的目标；明确了防治 $PM_{2.5}$ 的工作思路和重点任务，增强了区域大气环境管理合力。这是中国第一部综合性大气污染防治规划，标志着中国大气污染防治工作逐步由污染物总量控制为目标导向向以改善环境质量为目标导向转变。

2013 年 9 月，经过近一年的酝酿，国家大气污染防治行动计划由国务院正式发布，提出了十条大气污染防治措施（简称“大气十条”）。“大气十条”根据各地社会经济发展现状，结合当地空气质量现状，以签订目标责任书的形式确定了 2017 年 31 个省空气质量改善目标，将全国省份划分为重点区域和非重点区域，并制定了分档的改善目标。“大气十条”要求到 2017 年全国地级及以上城市 PM_{10} 浓度比 2012 年下降 10% 以上，京津冀、长三角、珠三角等区域 $PM_{2.5}$ 浓度分别下降 25%、20%、15% 左右，其中北京市 $PM_{2.5}$ 年均浓度控制在 $60\ \mu g/m^3$ 左右（参见图 5-7）。在能源和产业结构方面，“大气十条”提出要控制煤炭消费总量、加快清洁能源替代利用、严控“两高”行业新增产能、加快淘汰落后产能、压缩过剩产能。“大气十条”提出了一系列强有力的末端控制

措施，加快重点行业脱硫、脱硝、除尘改造工程建设。所有燃煤电厂、钢铁企业的烧结机和球团生产设备、石油炼制企业的催化裂化装置、有色金属冶炼企业都要安装脱硫设施，每小时 20 蒸吨及以上的燃煤锅炉要实施脱硫。除循环流化床锅炉以外的燃煤机组均应安装脱硝设施，新型干法水泥窑要实施低氮燃烧技术改造并安装脱硝设施。燃煤锅炉和工业窑炉现有除尘设施要实施升级改造。机动车排放控制标准进一步推进。

环保部在 2013 年提出了全国城市空气质量达标的时间表：首要大气污染物超标不超过 15% 的城市，力争 2015 年达标；首要大气污染物超标 15% 以上、30% 以下的城市，力争 2020 年达标；首要大气污染物超标 30% 以上的城市，要制定中长期达标计划，力争到 2030 年全国所有城市达到空气质量二级标准。

图 5-7 “大气十条” PM_{2.5} 空气质量改善目标

数据来源：大气十条考核办法

5.2 中国面临的主要问题

虽然我国污染减排已取得了一定成效，但从世界范围来看，我国主要大气污染物排放总量均居世界前列。长期以来大气污染物排放强度居高不下，这是我国大气污染严重的重要原因。

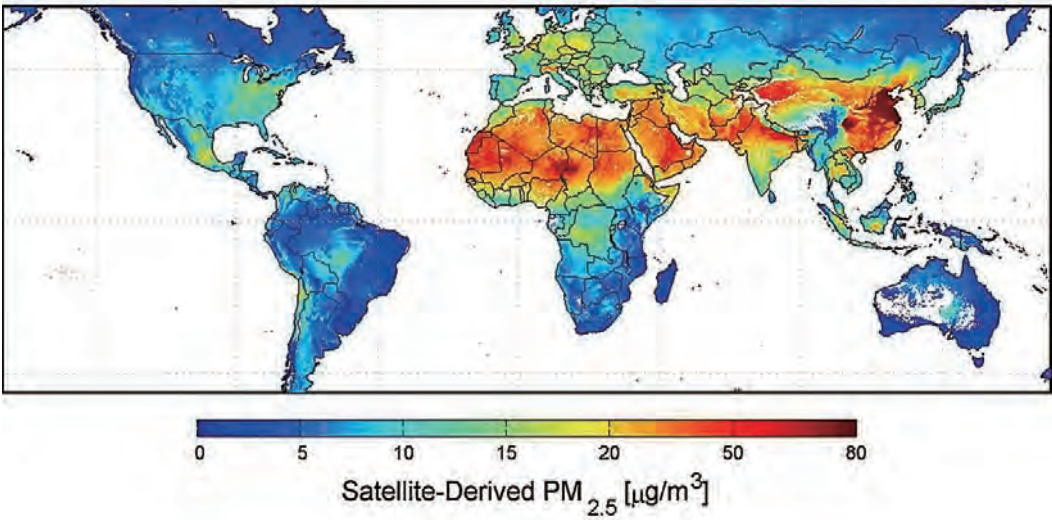


图 5-8 全球 PM_{2.5} 浓度分布：2001-2006

数据来源：van Donkelaar et al., Environmental Health Perspectives 2010

我国排放强度远高于欧美发达国家。

从全世界范围来看，我国是全球 PM_{2.5} 污染的重灾区。美国宇航局公布的全球 PM_{2.5} 浓度分布图显示，我国东部地区的 PM_{2.5} 年均浓度在 60-80µg/m³，与欧美发达国家目前的 PM_{2.5} 浓度水平（5-20µg/m³）相差甚远（参见图 5-8）。我国大气污染物排放强度远高于发达国家排放水平，这是我国大气污染严重的重要原因。通过对

比 2010 年国内外排放强度（参见图 5-9），可以发现我国 PM_{2.5} 及其主要前体物的排放强度均远高于欧洲国家。参考欧洲国家的排放水平，发现 PM_{2.5} 浓度达到欧洲现有水平时，SO₂、NO_x、PM_{2.5} 和 VOC 的排放强度需控制在 3 吨/平方公里、3 吨/平方公里、1 吨/平方公里和 4 吨/平方公里左右，这一水平远低于我国大部分地区的排放强度。

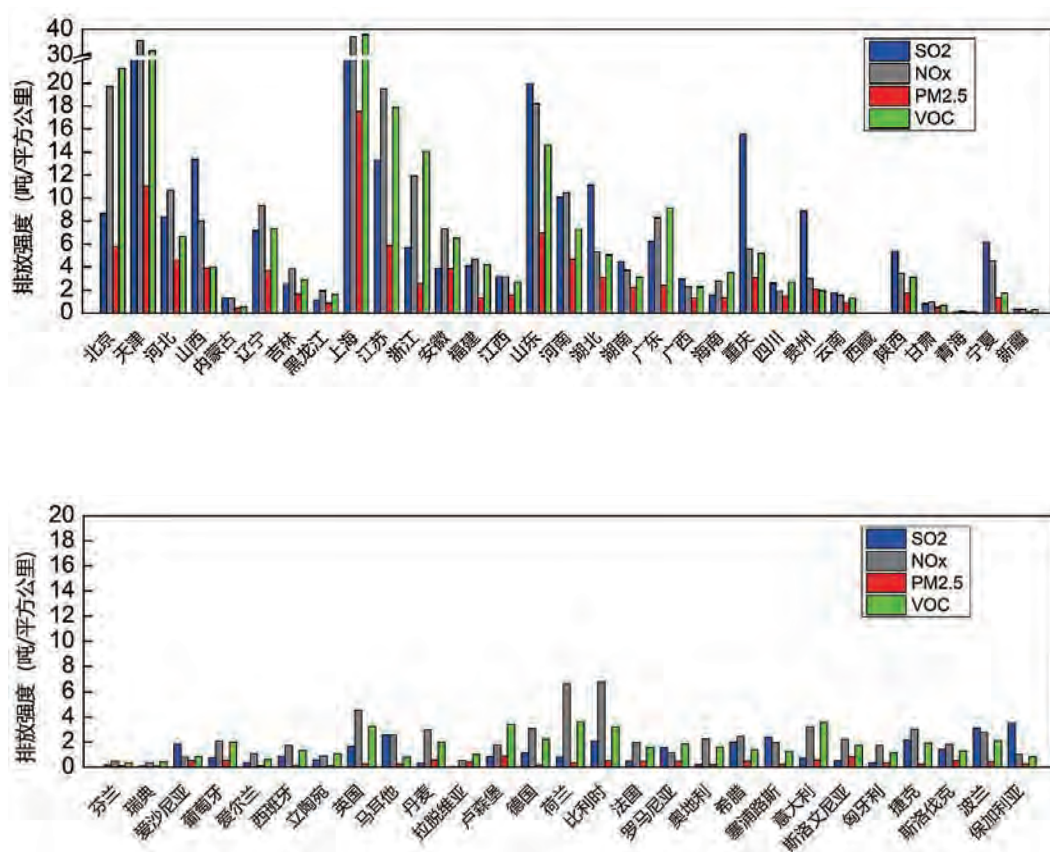


图 5-9 2010 年中外排放强度对比（上图为中国省份，下图为欧洲国家）

从单位面积排放强度看（参见图 5-9），我国一次 PM_{2.5} 高排放强度省份集中分布在京津冀与长三角地区，排放强度从高到低排名前五的省份依次为上海、天津、山东、江苏和北京，这五个省份在 3% 的国土面积上贡献了 17% 的一次 PM_{2.5} 排放，平均排放强度达到 6.7 吨每平方公里，远高于发达国家排放水平。从单位 GDP 排放强度来看，中西部省份为 30 吨 / 亿元 GDP，远高于

东部省份的 14 吨 / 亿元 GDP，说明中西部省份的经济结构中高耗能、高 PM_{2.5} 排放行业所占比重远大于东部省份（参见图 5-10）。

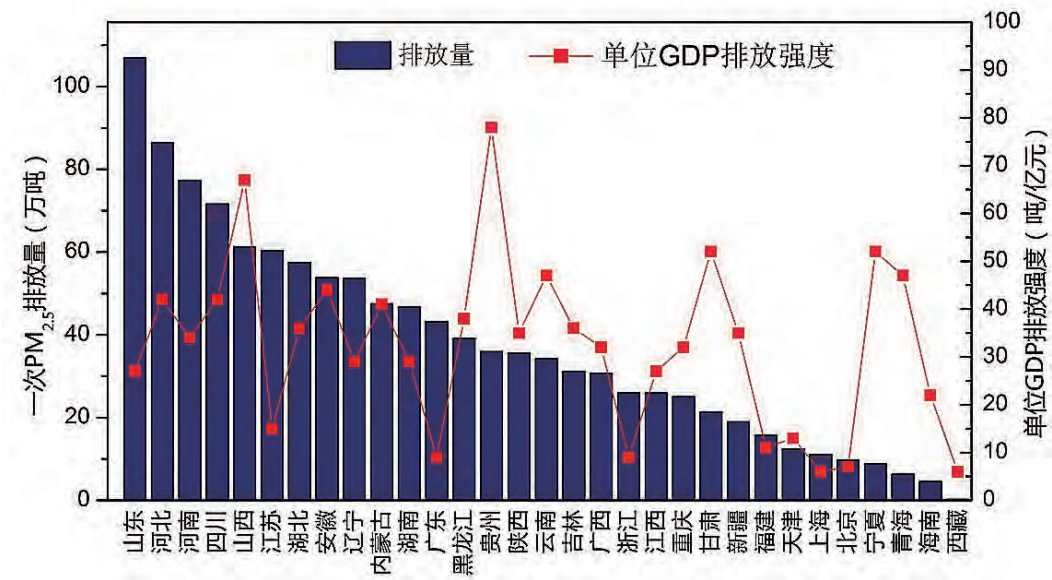


图 5-10 2010 年各省市一次 PM_{2.5} 排放量及排放强度

我国人为源 PM_{2.5} 排放地区分布严重不均衡，排放量最高的五个省份分别为山东、河北、河南、四川和山西，上述五省的排放量占全国排放总量的 34%，而排放量最低的五省份为西藏、海南、青海、北京和宁夏，排放量总和仅占全国排放总量的 2%。各省 PM_{2.5} 排放量主要由工业和民用源贡献，电力、供热、交通等排放源贡献率最高不超过 30%。由于各省市在经济结构、产业结构以及能源消费品种方面差异较大，不同地区 PM_{2.5} 排放的部门构成具有很大差别。全国 31 个省、市、自治区中 21 个地区以工业源为主要排放源，主要分布在中东部等工业发达地区；其余 10 个地区以民用源为主要排放源，主要分布在四川、贵州、黑龙江等民用生物质燃料大量使用的地区。京津冀地区工业部门 PM_{2.5} 排放占其排放总量 58%，高于全国平均水平，这与该地区

的钢铁、水泥等行业十分发达有关。而长三角地区民用部门对 PM_{2.5} 排放的贡献比例只有 20%，远低于全国平均水平，这与长三角地区经济发达，秸秆和薪柴作为民用燃料使用较少有关。

20 年来主要大气污染物排放增长迅猛。过去 20 年，中国经济快速发展，中国的大气污染物排放量在此期间也显著增加。2005 年之前，中国 SO₂ 排放总量呈现增长趋势，之后出现了很明显的下降趋势；NO_x 和 NMVOC 排在 20 年间持续快速增长；一次 PM_{2.5} 呈现波动变化。与 1990 年各类污染物排放总量相比，2010 年中国一次 PM_{2.5}、SO₂、NO_x 和 NMVOC 排放总量分别增长 23%、124%、291% 和 140%（参见图 5-11）。

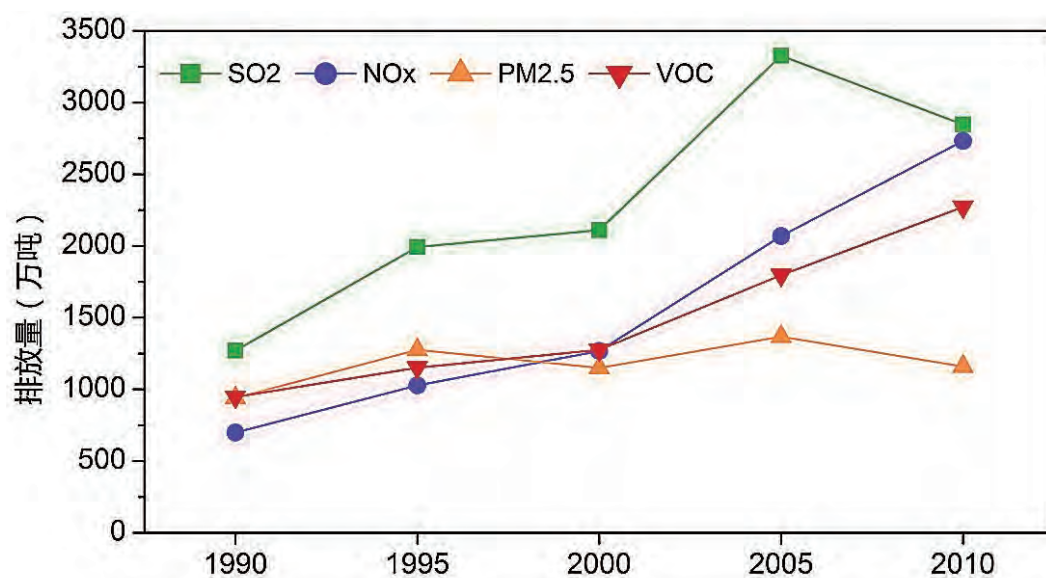
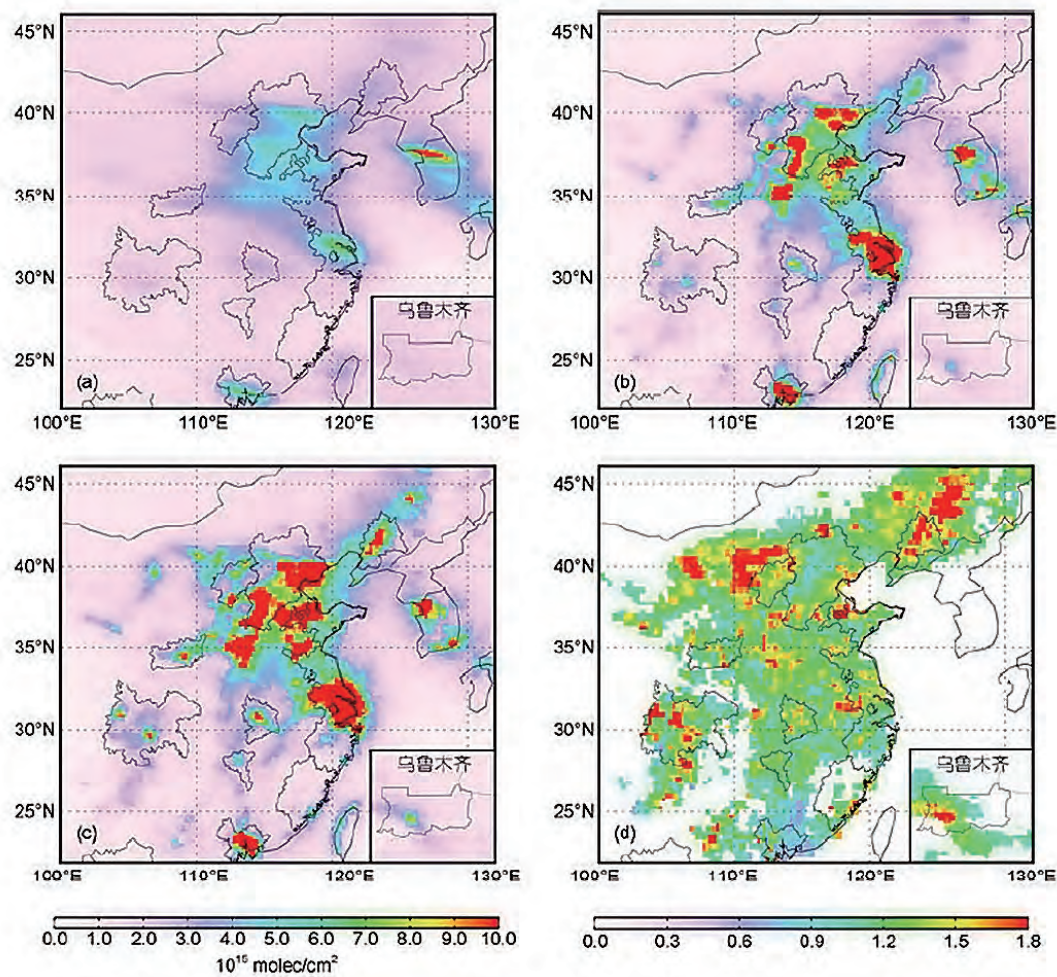


图 5-11 中国大气污染物排放量变化趋势
(1990-2010 年)

数据来源：中国多尺度污染物排放清单 (Multi-resolution Emission Inventory for China , MEIC ; <http://www.meicmodel.org/>

同时，卫星观测也证实了中国 NO_x 排放的快速增长。我们基于 GOME 和 SCIAMACHY 的 NO₂ 对流层柱浓度数据对 1996~2010 年间中国氮氧化物排放的时空格局变化进行了分析。结果表明，我国氮氧化物排放的区域性特征日益显著，呈明显的空间扩张态势，原有排放高值区的范围不断扩大，新的高值区不断出现，受人为源排放影响的范围在从东部向中西部扩张（参见图 5-12）。1996~2010 年间，华东、华北地区的人为源氮氧化物排放量增加了 133%，而同期卫星观测到 NO₂ 浓度增长了 184%。



(a) 1996~1998 年夏季平均值; (b) 2003~2005 年夏季平均值; (c) 2008~2010 年夏季平均值; (d) 为 (c) 和 (b) 的比值。

图 5-12 1996~2010 年间卫星观测中国 NO_2 柱浓度的空间格局变化趋势 数据来源：张强等，科学通报，2012

中国面临的严峻大气污染形势与中国长期以来大量依赖煤炭等化石能源、粗放型的发展模式密切相关。随着我国工业化、城镇化的深入推进，能源资源消耗持续增加，大气污染防治压力继续加大。

作为世界上人口最多的国家和最大的发展中国家，中国工业化和城市化进程消费大量能源和工业产品并造成严重的环境污染。我国政府在空气污染控制方面已经付出了巨大的努力，但这些控制措施仍不足以抵消经济和化石燃料消耗快速增长的影响。与 1990 年相比，我国 2010 年单位

GDP 的 $\text{PM}_{2.5}$ 排放强度降低了 80%，但 $\text{PM}_{2.5}$ 排放总量没有降低反而有所增加。“十一五”期间全国燃煤消耗量增长了 44%，生铁和水泥产量分别增长了 74% 和 76%。尽管电力部门脱硫 2010 年削减的 SO_2 排放达到 1750 万吨，相当于 2005 年全国 SO_2 排放总量的 54%。然而，由于其它部门的 SO_2 排放迅速增长，2010 年全国 SO_2 排放总量比 2005 年只下降了 11%（参见图 5-13）。

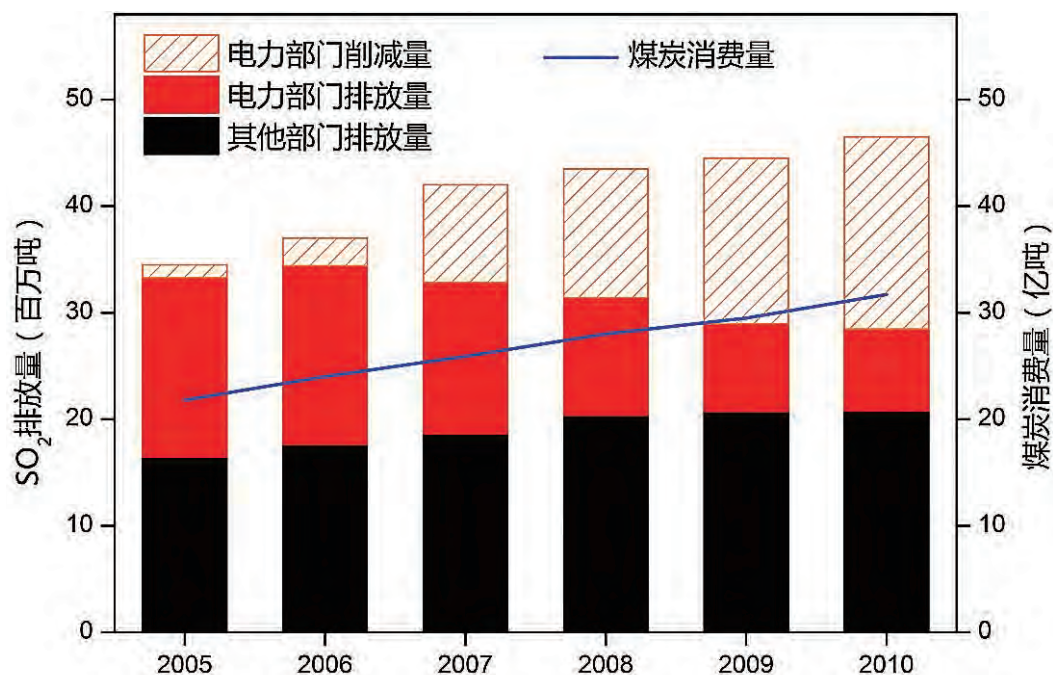


图 5-13 中国煤炭消费及 SO_2 排放

中国一次能源中煤炭消费比重高达 66.6%，以煤为主的能源消费结构给中国带来了严重的大气污染问题。对于我国重点区域的细颗粒物污染，燃煤的贡献率高达 50~70%。

中国是世界上最大的一次能源消费国，其消费量占全球 24%。目前发达国家一次能源消费中煤炭比重都控制在较低水平，欧洲主要使用洁净的天然气，而亚洲地区煤炭消费比重仍高达 50%。中国一次能源中煤炭消费比重高达 66.6%，以煤为主的能源消费结构给中国带来了严重的大气污染问题。中国消费了世界上 48% 的煤炭，未来 20 年还将持续依赖化石能源消费。大量依赖化石能源是我国大气污染严重的重要成因。

电力等重点耗煤行业污染物排放量较大

从煤炭消费的行业分布来看，电力、工业锅炉、煤化工（炼焦等）以及建材窑炉消费了我国超过 90% 的煤炭量。我国 2012 年主要煤炭消费部门的煤炭消费比例如图 5-14 所示。2012 年全国煤炭消耗量 35.3 亿吨，其中电力部门是第一用煤大户，占全国煤炭消费总量的 51%。其次为工业锅炉、煤化工（炼焦等）以及建材窑炉等，占全国煤炭消费总量的比例依次为 23%、15% 和 9%。我国 2012 年煤炭消费量中，加工转换（包括发电、供热、炼焦等）、工业终端消费、其他终端消费（如生活消费等）的消费量分别为 26.6 亿吨、7 亿吨和 1.7 亿吨。

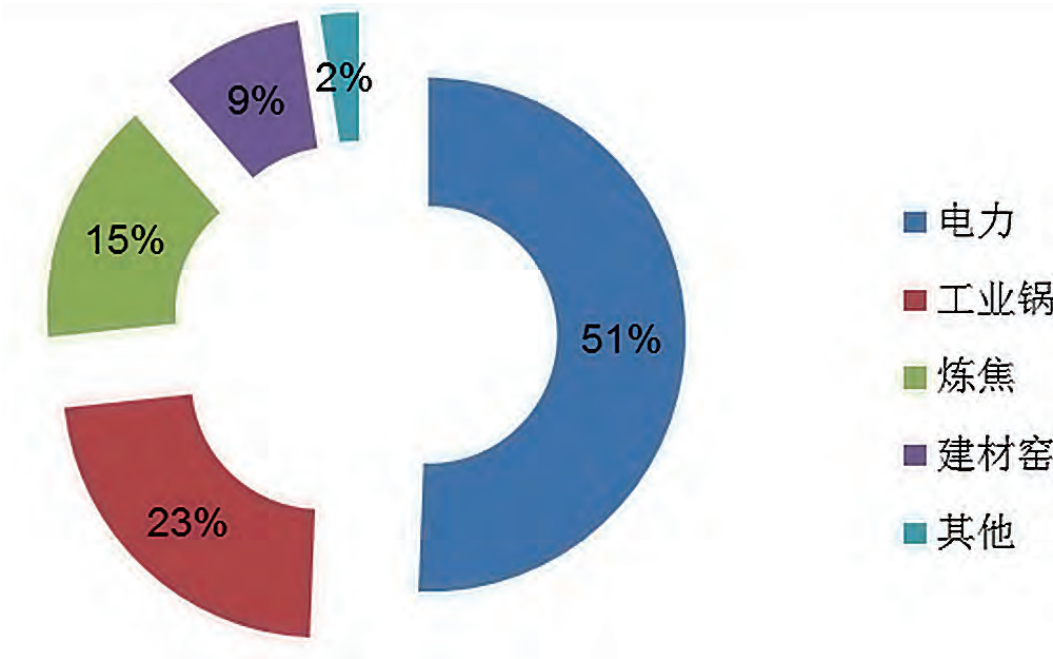


图 5-14 2012 年我国煤炭消费行业分布

上述重点耗煤工业行业同时也是我国大气污染物排放大户。从污染物排放部门来看，2012 年二氧化硫排放主要集中在电力热力生产、燃煤锅炉、黑色金属冶炼业，分别占全国排放总量的 38%、23%、11%；氮氧化物排放主要集中在电力热力生产、机动车、非金属矿物制品业、燃煤锅炉，分别占全国排放总量的 48%、30%、13%、11%；烟粉尘排放主要集中在燃煤锅炉、电力热力生产、非金属矿物制品业，分别占全国排放总量的 27%、11%、12%。可见，我国煤炭消费及大气污染物排放大量集中于电力热力生产、燃煤锅炉、非金属矿物制品业和黑色金属冶炼业等。与电力行业相比，工业锅炉除尘、脱硫、

脱硝等烟气治理设施同步配套率较低，运行管理水平落后，是造成我国煤烟型大气污染较为严重的主要原因之一。电力行业和工业锅炉单位煤炭消费二氧化硫、细颗粒物排放强度见图 5-15。

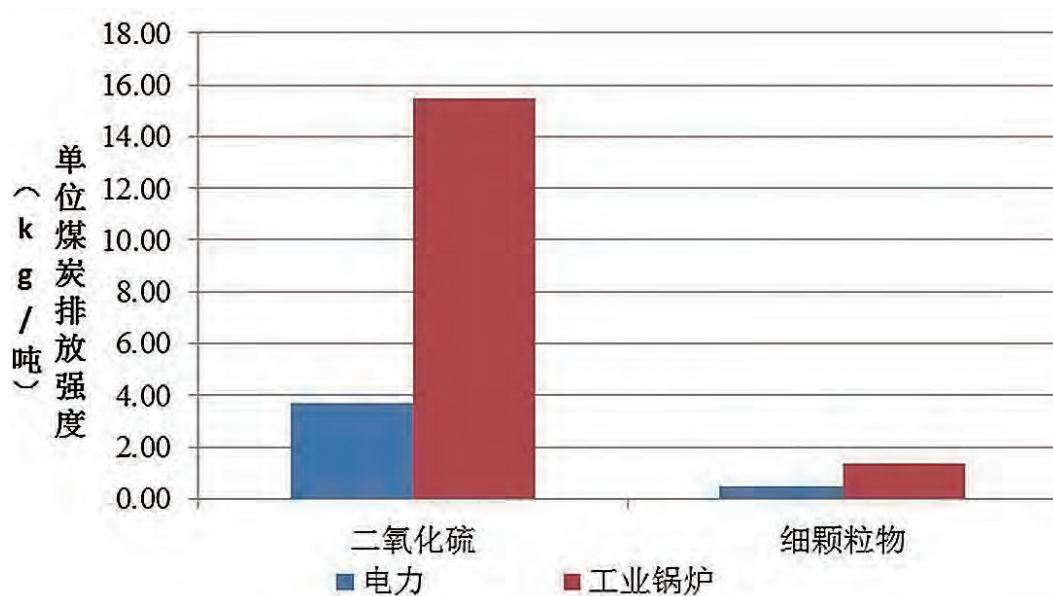


图 5-15 重点行业单位煤炭消费污染物排放强度

污染物排放集中于中东部耗煤大省

我国污染物排放主要集中于中东部耗煤大省，京津冀地区、山东、河南、安徽以及长三角区域的煤炭消费量与污染物排放量均较大。2010 年，九省市以占全国 9.2% 的区域面积，消费了全国 40.5% 的煤炭，排放了全国 33.9% 的二氧化硫、44.1% 的氮氧化物和 38.3 的一次 PM_{2.5}。重点地区单位面积煤炭消费量为全国平均水平的 4 倍，其中上海市单位面积煤炭消费量最大，为 9kg/m²（参见图 5-16）。重点地区单位面积大气污染物排放量为全国平均水平的 2 倍左右，其中上海单位面积二氧化硫、氮氧化物、一次 PM_{2.5} 排

放强度分别为全国平均水平的 23 倍、30 倍和 15 倍（参见图 5-17）。重点地区单位煤炭消费量的二氧化硫、烟粉尘排放强度一般低于全国平均水平，表明重点地区脱硫、除尘的控制成效较为明显（参见图 5-18）。

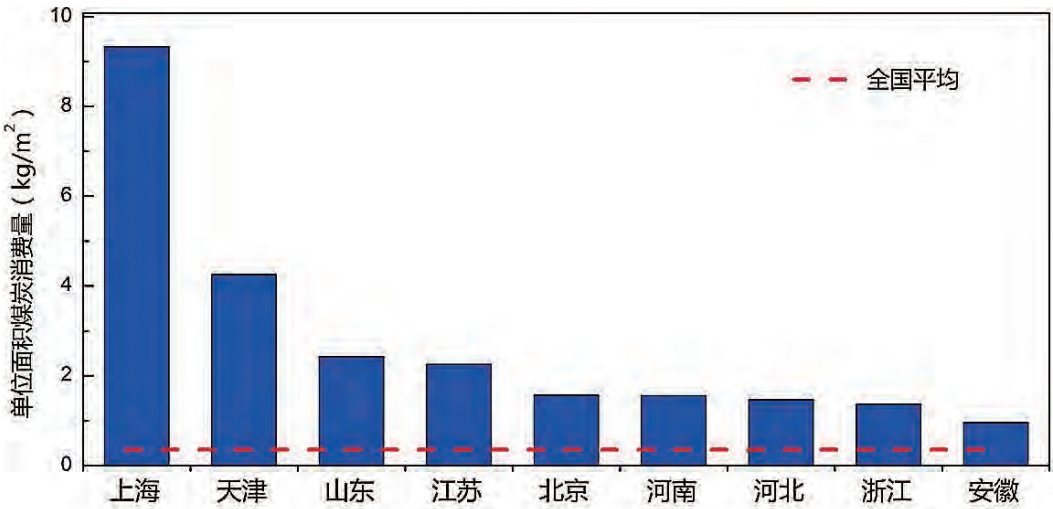


图 5-16 2010 年重点地区单位面积煤炭消费情况

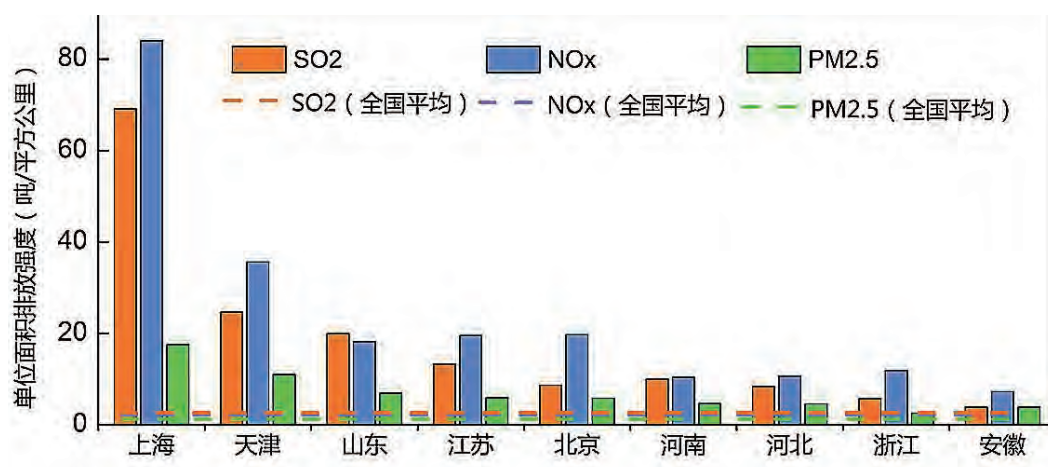


图 5-17 2010 年重点地区单位面积污染物排放情况

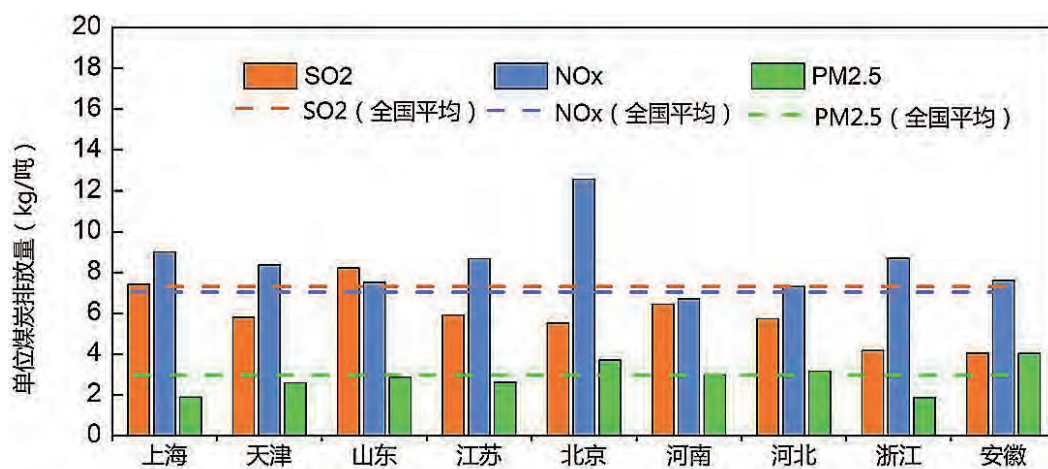


图 5-18 2010 年重点地区单位煤炭污染物排放强度

煤炭对我国细颗粒物污染的贡献

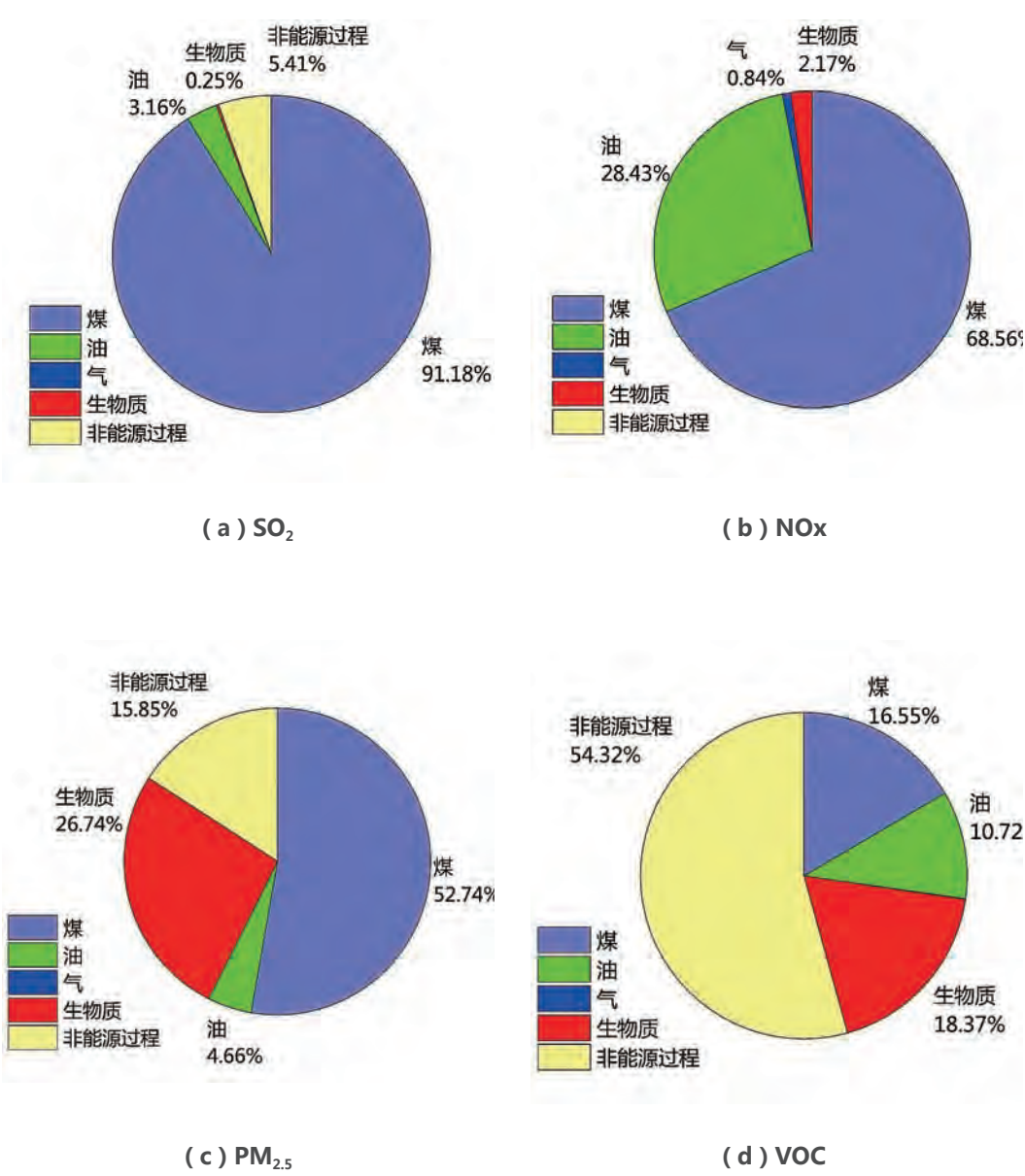


图 5-19 主要大气污染物排放来源

以 $\text{PM}_{2.5}$ 为代表的各类空气污染物，其主要来源是煤炭、石油等化石燃料燃烧排放的一次和二次产物。我们借助清华大学开发的中国多尺度排放清单模型 (Multi-resolution Emission Inventory for China, MEIC, 数据库访问地址: <http://www.meicmodel.org>) 来分析我国大气污染物排放结构特征。我们的排放清单显示，煤炭是我国一次 $\text{PM}_{2.5}$ 及其二次前体物的重要排放源，占一次 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物 53% 的排放，对我国 SO_2 、 NO_x 、VOC 总排放量的贡献分别为 91%、68% 和 16% (图 5-19)。 SO_2 的排放主要来自以原煤为主的煤炭燃烧，而以燃料油为主的油品燃烧占 3%。此外，非能源使用排放的贡献 5%，该部分的 SO_2 排放来自非金属的烧结、焦炭的制造、硫酸和纸浆的制造等工业过程。 NO_x 的排放也主要来自以原

煤为主的煤炭燃烧 (占 69%)，而以柴油和汽油为主的油品燃烧占 NO_x 排放总量的 28%，以薪柴和秸秆为主的生物质燃烧 2%。 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放中煤炭消费贡献 53%，以薪柴和秸秆为主的生物质燃烧贡献了 27%，此外，钢铁、水泥、炼焦等非能源使用过程贡献 16%。 VOC 的排放主要来自非能源使用过程，占 VOC 排放总量的 54%，这部分的排放主要包括溶剂的使用、油品冶炼和聚苯乙烯等化工品的制造。此外，生物质燃烧占总排放量的 18%，煤炭燃烧贡献 17%，以汽油和柴油为主的油品燃烧贡献了 11%。

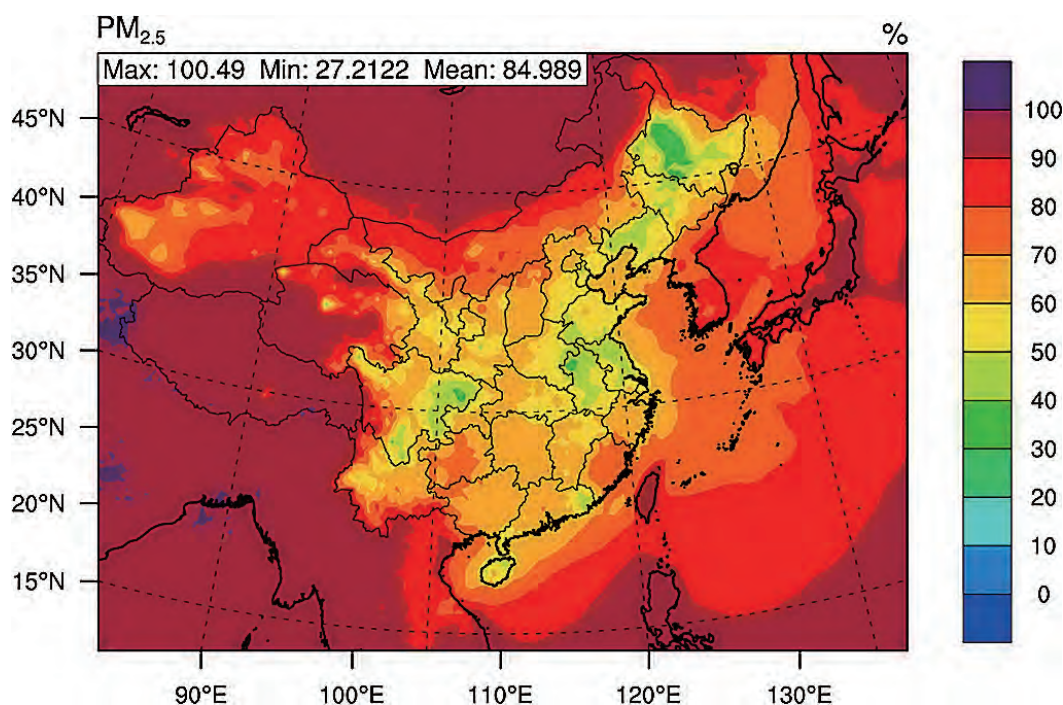


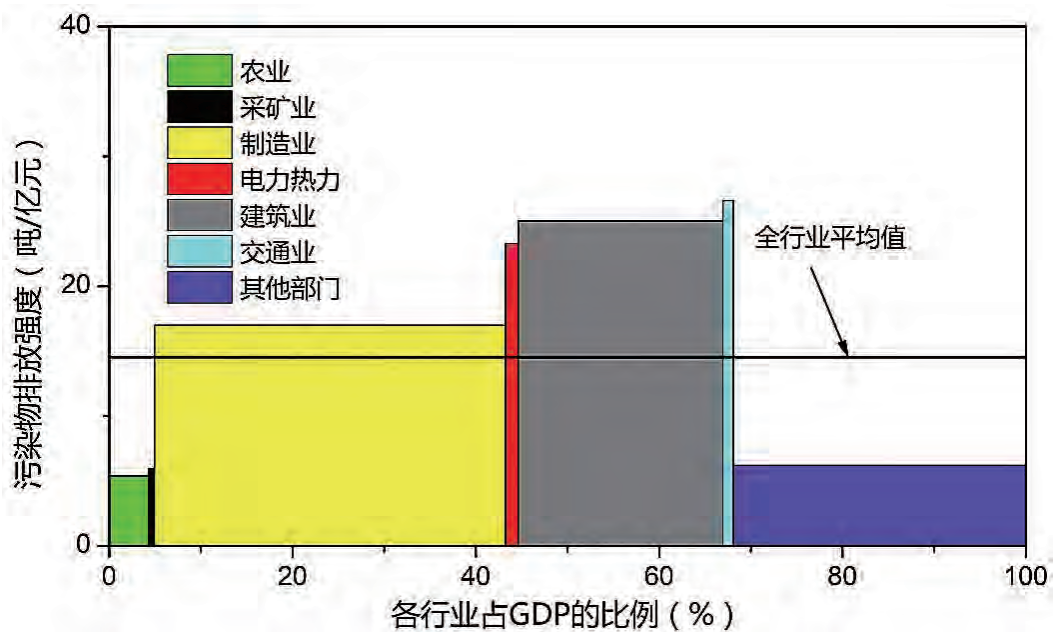
图 5-20 煤炭消费对各地 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的贡献

通过多尺度空气质量模型 (Community Multiscale Air Quality, CMAQ) 模拟只有煤炭排放的情景, 并与基准模拟作对比, 可以反映出煤炭消费对我国 $PM_{2.5}$ 污染的贡献。结果表明, 京津冀、长三角、珠三角区域, 煤炭的贡献在 50~70%。安徽、江苏、黑龙江等省份煤炭的贡献相对较低, 但仍高于 30% (参见图 5-20)。

粗放型的发展模式也是我国大气污染严重的重要原因。建筑业和部分制造业是造成中国较高排放强度的主要因素, 我国国民生产总值中服务业的占比远低于发达国家。转变经济发展方式、调整产业结构, 对于治理我国的大气污染具有重要的意义。

粗放型的发展模式也是我国大气污染严重的重要原因。钢铁、水泥等高能耗、高污染行业在

我国经济中占据很大的比重, 中国水泥、钢铁、玻璃等主要工业产品产量占全球总产量的一半以上。目前我国的 GDP 构成中, 制造业和建筑业占有很大的比重。我们的研究表明, 建筑业和部分制造业是造成中国较高排放强度的主要因素。建筑业对 GDP 的贡献为 19%, 其 SO_2 、 NO_x 、 $PM_{2.5}$ 和 VOC 的排放强度分别为 117、100、56 和 57 吨 / 亿元, 均高于全行业的平均值 (特别是一次 $PM_{2.5}$)。制造业对 GDP 的贡献为 39%, 其 SO_2 、 NO_x 、 $PM_{2.5}$ 和 VOC 的排放强度分别为 107、73、26 和 52 吨 / 亿元, 略高于全行业的平均值 (参见图 5-21)。而排放强度较低的服务业对我国 GDP 的贡献只有 34%。而发达国家的第三产业在国民生产总值中所占的比重一般都在 2/3, 美国高达 70%。因此, 转变经济发展方式、调整产业结构, 对于治理我国的大气污染具有重要的意义。



(1) $PM_{2.5}$
图 5-21 各行业产值占 GDP 的比例及相应行业的污染物排放强度 (2010 年)

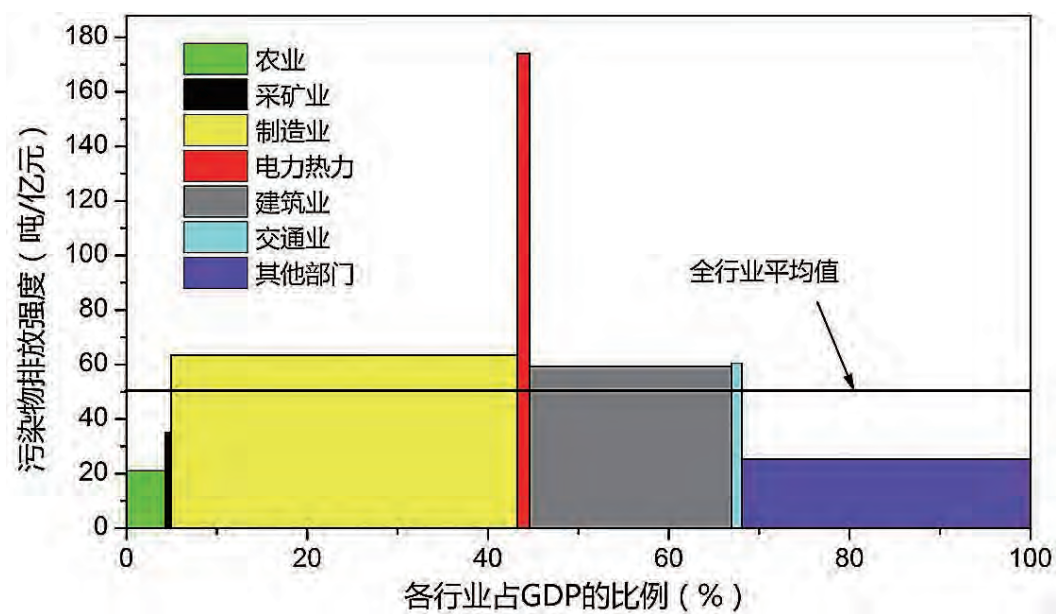
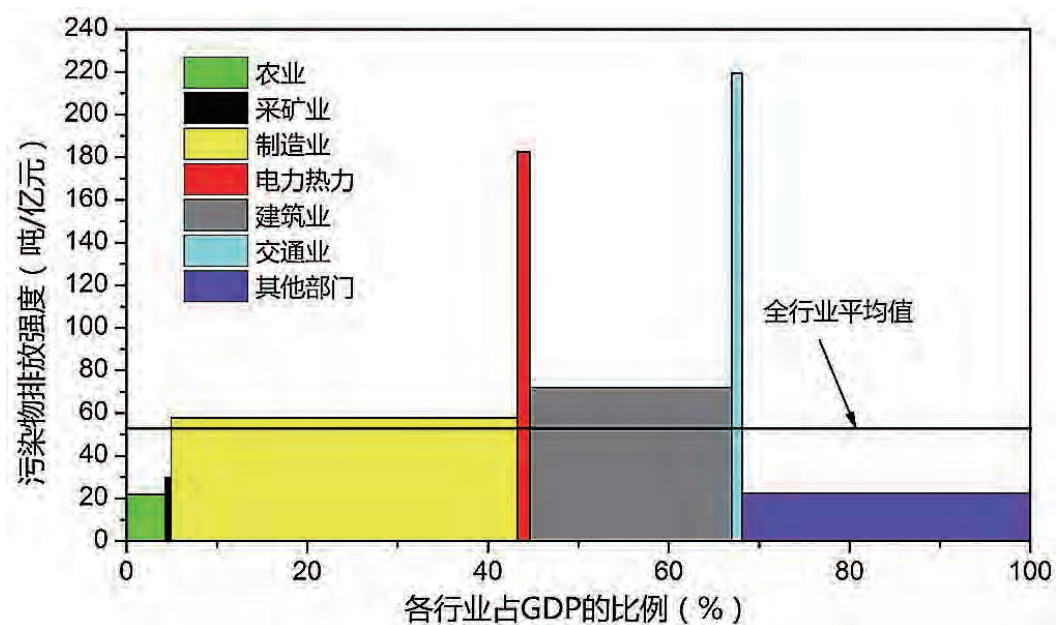
(2) SO₂(3) NO_x

图 5-21 各行业产值占 GDP 的比例及相应行业的污染物排放强度 (2010 年)

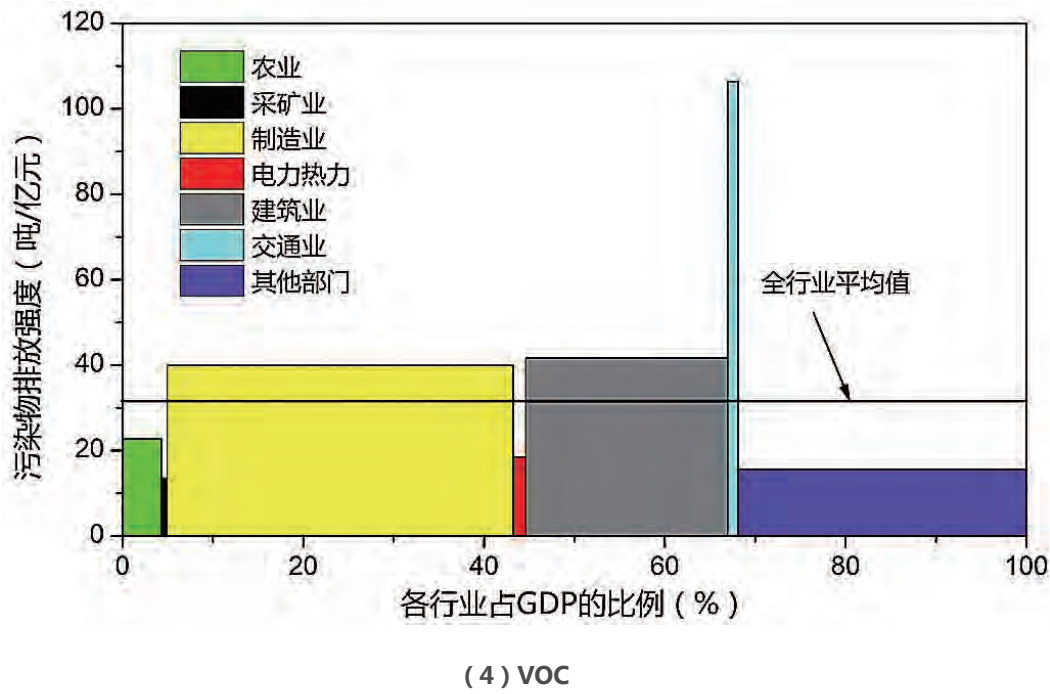


图 5-21 各行业产值占 GDP 的比例及相应行业的污染物排放强度 (2010 年)

5.3 中国未来空气质量达标分析

中国环保部在 2013 年提出了全国城市空气质量达标的时间表：首要大气污染物超标不超过 15% 的城市，力争 2015 年达标；首要大气污染物超标 15% 以上、30% 以下的城市，力争 2020 年达标；首要大气污染物超标 30% 以上的城市，要制定

中长期达标计划，力争到 2030 年全国所有城市达到空气质量二级标准。中央层面已经明确了国家在未来空气质量治理方面的行动目标，但实现这一目标还面临诸多问题：“现有政策能否实现达标？”、“仅依靠末端治理措施能否达标，还是

需要结构调整？“不同地区达标路径有何区别？”

围绕到 2030 年我国主要城市实现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度达到国家二级标准 ($35\mu\text{g}/\text{m}^3$) 及其达标路径这一核心问题，我们构建了三个 2030 年排放情景，并进行空气质量模型模拟，并分析在不同情景下空气质量达标的情况，研究全国主要城市空气质量达标的技术路径及所需的末端治理和结构调整措施保障。情景的设置如下：

持续减排情景：用于研究现有政策下未来大气污染物排放及空气质量变化。未来能源结构和末端控制水平延续目前发展趋势，不施加进一步政策干预（采用持续减排的能源情景和基准末端控制情景）；

末端控制情景：用于测算环保技术的减排潜力，主要利用末端控制技术实现污染物减排（采用持续减排的能源情景和强化末端控制情景）；

强化减排情景：在末端控制情景基础上，进一步强化结构调整，强化技术进步、改变经济发展模式、改变消费方式，利用低碳和末端控制技术实现减排（采用强化减排的能源情景和强化末端控制情景）。

本研究中未来排放情景是在本课题组开发的中国多尺度排放清单模型 MEIC (Multi-resolution Emission Inventory for China) 框架基础上进一步拓展构建的。

基准末端情景考虑了我国近些年来推行的一系列排放控制措施，以更准确地对未来几十年的排放进行预测，包括：国家大气污染防治行动计划以及我国针对各行业新近颁布或即将颁布的排放标准等。强化末端控制情景参照国际上先进的末端治理水平设计，代表国际先进水平，如欧盟 BAT 参考文件 (BREF)、发达国家各行业的排放标准及排放水平等。

空气质量模拟基于多尺度空气质量模型 (Community Multiscale Air Quality, CMAQ)。CMAQ 模型目前已较为成熟，被广泛应用于我国国家及地方层面大气污染防治政策的评估。网格空间分辨率为 36km，包括中国绝大部分地区和东亚的部分地区。气相化学反应采用 CB05 机理，气溶胶反应采用 AERO5 机理。CMAQ 模型所需气象数据由 WRF (Weather Research Forecast) 模式提供，统一采用 2010 年气象场。以城市中心所在网格的模拟 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度代表 74 城市的浓度水平。

持续减排情景下，依据现有环保政策，2030 年全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度显著下降，但在 2030 年无法全面达到细颗粒物浓度 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的国家二级标准；在几个重点区域，珠三角基本能够实现全面达标，但长三角和京津冀地区的主要城市依然难以达标。

为应对我国日益严峻的大气污染形势，近年来国家推出了一系列政策法规：国务院在 2013 年颁布了大气污染防治行动计划，开展了新一轮大气污染整治工作；2010 年以来主要工业行业（如火电、锅炉、水泥、钢铁、炼焦、砖瓦等）的大气污染物排放标准也相继推出或更新。在现有政策法规下，主要行业将发生明显的变化。

电力部门：所有燃煤电厂都要安装脱硫设施，烟气脱硫设施要按照规定取消烟气旁路，确保燃煤电厂综合脱硫效率达到 90% 以上。除循环流化床锅炉以外的燃煤机组均应安装脱硝设施。燃煤电厂颗粒物排放浓度限值将从现阶段的 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 提升到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，将推广静电除尘和湿法脱硫联用、袋式除尘等。

工业锅炉：全面整治燃煤小锅炉。每小时 20 蒸吨及以上的燃煤锅炉要实施脱硫。新建锅炉采用低氮燃烧技术。燃煤锅炉现有除尘设施升级改造，新建锅炉执行 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 的颗粒物排放限值，将

以布袋除尘、电除尘、电袋除尘等高效除尘技术为主。

钢铁行业：钢铁企业的烧结机和球团生产设备要安装脱硫设施；新的钢铁行业排放标准（GB 28664 - 2012）要求转炉二次烟气和电炉烟气均执行 20mg/m³ 的颗粒物浓度限值，相比旧标准（100~200mg/m³）有大幅提升，钢铁行业将全面推广高效布袋除尘器；淘汰落后产能。

水泥行业：新型干法水泥窑要实施低氮燃烧技术改造并安装脱硝设施；新的水泥排放标准（GB 4915-2013）要求均执行 20~30mg/m³ 的烟气颗粒物浓度限值，相比旧标准（30~50mg/m³）进一步提升，水泥行业将进一步推广高效静电和布袋除尘器；淘汰落后产能。

工业窑炉：工业窑炉现有除尘设施要实施升级改造。

机动车：机动车排放控制标准进一步推进，全面实施“国 5”标准；加快淘汰黄标车和老旧车辆；加快推进低速汽车升级换代；大力推广新能源汽车。

VOC 相关行业：在石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等行业实施挥发性有机物综合整治，在石化行业开展“泄漏检测与修复”技术改造。限时完成加油站、储油库、油罐车的油气回收治理，在原油成品油码头积极开展油气回收治理。完善涂料、胶粘剂等产品挥发性有机物限值标准，推广使用水性涂料，鼓励生产、销售和使用低毒、低挥发性有机溶剂。

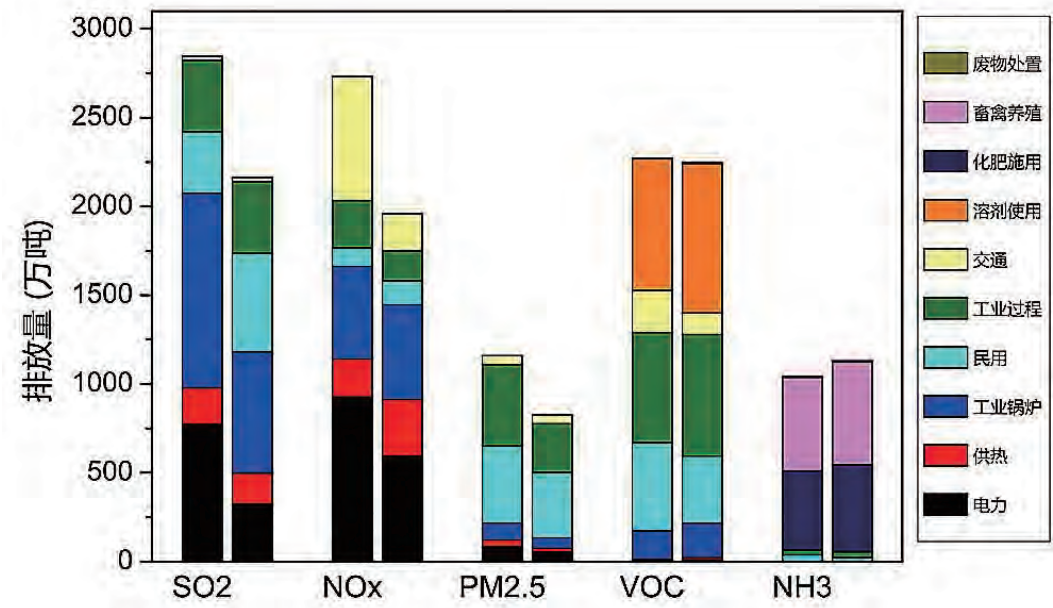


图 5-22 2030 年排放变化（基准情景）

如果上述政策目标得以实现，2030 年的 SO_2 、 NO_x 和 $\text{PM}_{2.5}$ 排放在 2010 年基础上削减 1/3 左右（参见图 5-22）。 SO_2 的减排量主要来自于电力部门和工业锅炉。2030 年电力部门、工业锅炉的 SO_2 排放相比 2010 年分别削减 58%、47%，得益于电厂综合脱硫效率的提高和工业锅炉实施脱硫。 NO_x 的减排量主要来自于电力部门、交通部门和工业过程。2030 年电力部门、交通部门和工业过程的 NO_x 排放相比 2010 年分别削减 40%、32%、37%，得益于电厂烟气脱硝和道路机动车实施“国 5”标准、水泥行业脱

硝。 $\text{PM}_{2.5}$ 的减排量主要来自于工业过程、电力部门和工业锅炉。2030 年工业过程的排放量相比 2010 年削减 32%，主要来自于水泥、钢铁、炼焦、砖瓦等行业排放标准的加严带来相应的除尘升级改造。

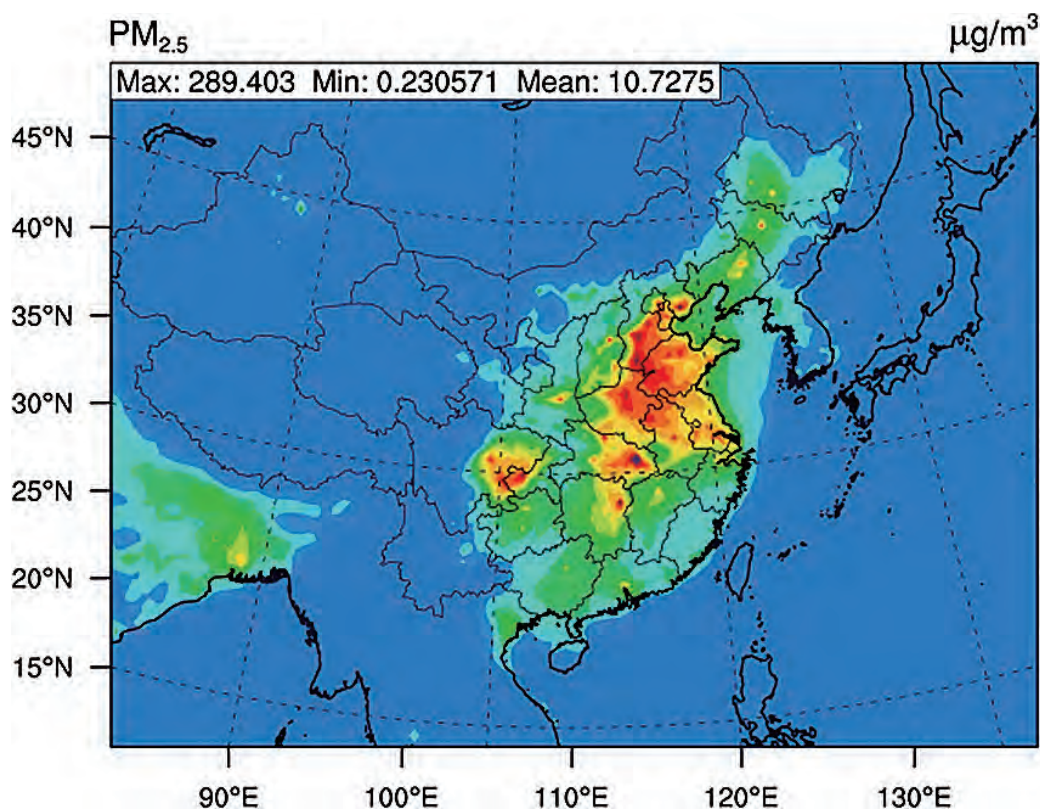


图 5-23 中国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分布（模型模拟结果）(2010)

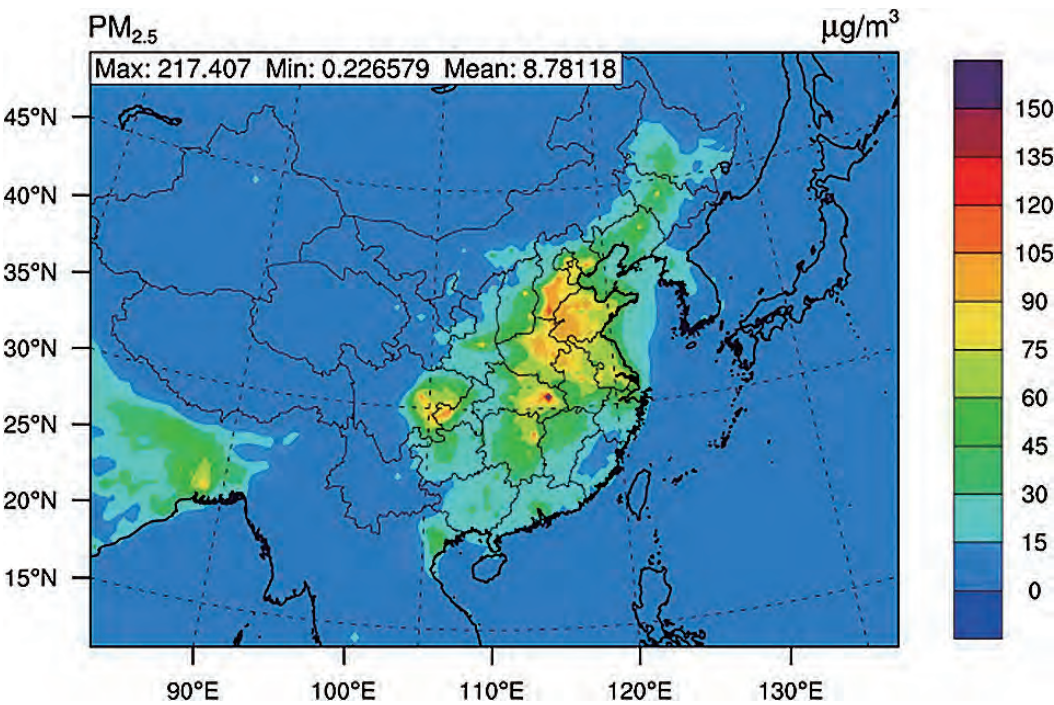


图 5-23 中国 PM_{2.5} 浓度分布（模型模拟结果）(2030)

我们通过空气质量模型模拟在基准情景排放下 2030 年的空气质量，模拟结果如图 5-23 所示。我们发现在现有政策下，2030 年全国 PM_{2.5} 浓度显著下降，但在 2030 年无法全面达到细颗粒物浓度 35µg/m³ 的国家二级标准；在几个重点区域，珠三角基本能够实现全面达标，但长三角和京津冀地区的主要城市依然难以达标。

末端控制情景下，最大可能利用末端控制技术可大幅改善我国空气质量，可使半数以上城市达标，但京津冀及成渝地区的部分城市、武汉等地仍存不能达标的风险，结构性问题是这些地区空气质量难以达标的要因。一些重点城市需进行结构调整才能达标。

如前所述，我们发现现有环保政策难以使重点区域 PM_{2.5} 达标。我们进一步研究仅依靠先进的末端治理技术能否实现这一目标。我们借鉴国际先进水平，对未来各行业可能推行的先进末端控制技术及其减排潜力进行测算。先进末端控制水平主要参照发达国家最佳可行技术 (best available technology, BAT)、排放标准和相应的控制水平，如欧盟 BAT 参考文件 (BREF)、美国排放标准、德国排放标准等，以及我国新近颁布的 BAT 技术指南等。主要行业末端减排技术及减排潜力如下：

电力部门：燃煤电厂“近零排放”，通过先进的烟气综合治理技术，使燃煤发电的污染物排放达

到甚至低于燃气发电的排放水平。烟尘、 SO_2 、 NO_x 排放分别低于 5、35、50 mg/m^3 。参照欧盟 BAT 参考文件 (BREF)，燃煤电厂脱硫 BAT 技术为湿法烟气脱硫技术 (去除效率 92-98%) 和喷雾干式烟气脱硫 (去除效率 85-92%)；燃煤电厂脱硝 BAT 技术为 SCR (去除效率 80-95%)；燃煤电厂除尘 BAT 技术为 ESP 或布袋，布袋排放水平可控制在 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下，BAT 技术去除效率 99.7%。

工业锅炉：工业锅炉除尘 BAT 技术为袋式除尘，参照美国标准，可控制在 $25\text{mg}/\text{m}^3$ ， $\text{PM}_{2.5}$ 去除效率为 99%。脱硫技术可将 SO_2 烟气浓度采用 $170\text{mg}/\text{m}^3$ (美国标准)，脱硫 BAT 技术去除效率 90%。

民用部门：农村大气污染防治技术主要包括：民用型煤、低污染燃煤炉、节柴灶、节能炕连灶，以及沼气、太阳能等新能源的使用。鼓励推广的技术为户用低排放生物质能技术和生物质成型燃料技术。民用煤炉的 BAT 技术设计主要基于民用型煤和低污染燃煤炉技术，可减排 60% 的 SO_2 和 70% 的 $\text{PM}_{2.5}$ 。生物质炉灶的 BAT 技术参照节柴低排放生物质灶技术，可减排 70% 的 $\text{PM}_{2.5}$ 。

钢铁行业：钢铁烧结机脱硫 BAT 技术为湿法脱硫，BAT 技术按照 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 设计。欧盟利用湿法废气脱硫，可使废气的排放量降低 98% 以上，以及 SO_2 的排放浓度小于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，日本采用湿式脱硫，脱硫率 95%，可达 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。钢铁烧结除尘采用袋式除尘，欧盟钢铁行业能达到 $10\text{-}20\text{mg}/\text{m}^3$ ，排放水平 $0.155\text{-}0.255\text{kg}/\text{t}$ 产品。炼钢工业除尘 BAT 技术为袋式除尘，参照美国、日本、英国标准和欧盟控制水平，排放水平可达 $0.05\text{kg}/\text{t}$ 钢。

水泥行业：水泥脱硝 BAT 技术为 SNCR，参照欧盟 BAT 参考文件 (BREF)，预分解窑 BAT 排放水平 $200\text{-}450\text{mg}/\text{m}^3$ ，一般在 $350\text{mg}/\text{m}^3$ ，脱硝效率为 65%。水泥除尘 BAT 技术为袋式除尘，去除效率 99%，排放水平在 $0.13\text{-}0.29\text{g}/\text{kg}$ 水泥。水泥脱硫采用窑磨一体化技术，排放水平为 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，脱硫效率为 72.2%。

炼焦行业：国外焦炉大气污染治理经历了无控、不完善、完善到先进的四个阶段，对应污染物总排放分别为 $10\text{ kg}/\text{t}$ 焦、 $3.5\text{ kg}/\text{t}$ 焦、 $1.5\text{ kg}/\text{t}$ 焦、 $1\text{ kg}/\text{t}$ 焦。第三阶段 TSP 和 SO_2 排放水平可达 $0.4\text{ kg}/\text{t}$ 焦和 $0.4\text{ kg}/\text{t}$ 焦。BAT 技术的 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 去除效率分别为 85%、93%。

机动车：“欧六”标准的技术已经成熟，该标准已在部分欧洲国家推行。从“欧五”升级到“欧六”排放标准，机动车尾气中的氮氧化物和颗粒物含量将分别降低 80% 和 66%。

末端控制情景中，我们采用了在电力部门全部实现近零排放高效末端控制、实施机动车欧六标准、同时在工业行业推广袋式除尘强化末端控制等一系列措施。由于末端控制的加严，主要污染物 SO_2 、 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、VOC、 NH_3 排放 2010 年基础上分别削减 68%、67%、65%、42%、39% (参见图 5-24)。末端控制情景下，各污染物均有大幅削减，表明末端控制措施可以发挥较大的作用，这是因为当前中国的末端控制水平还相对较落后。

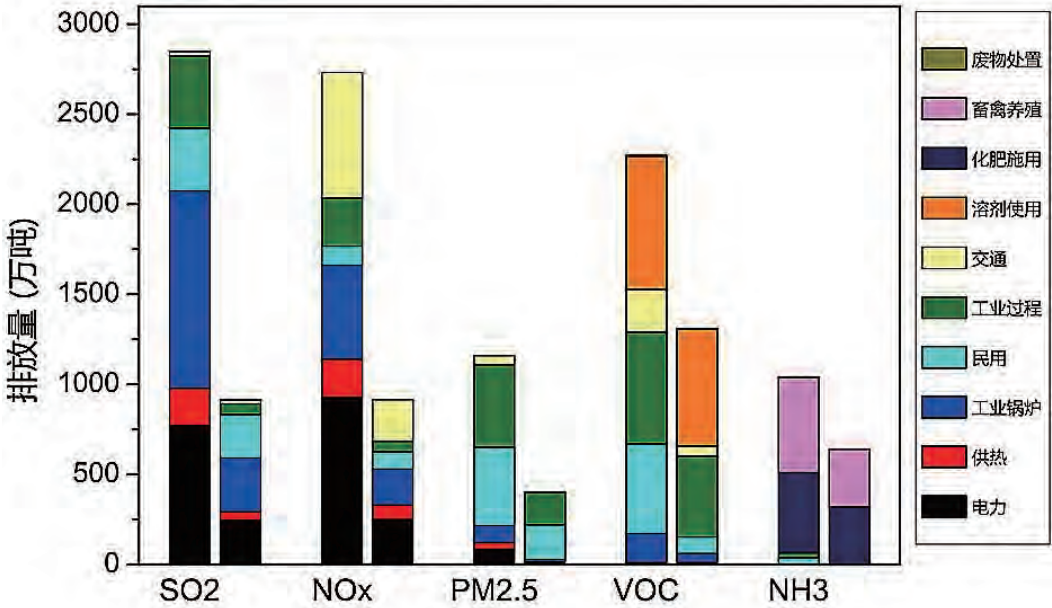
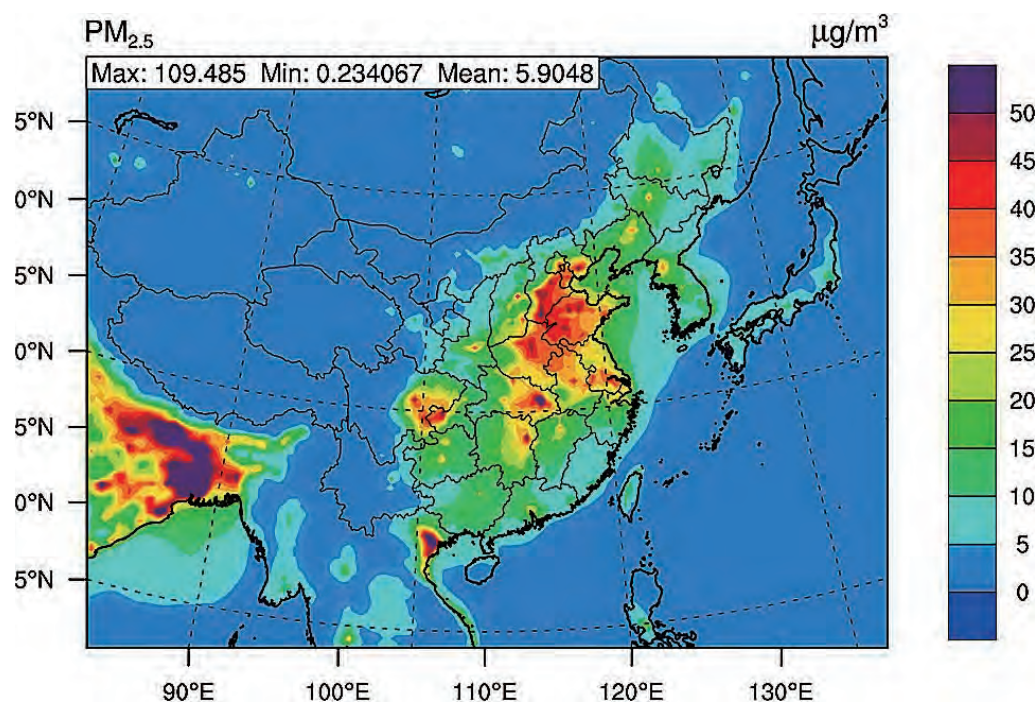
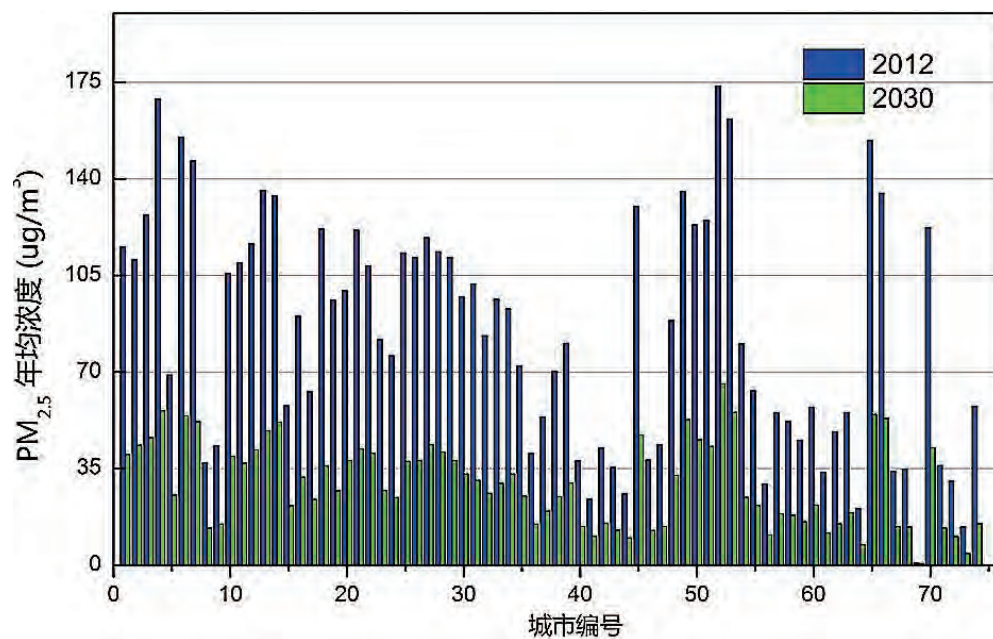


图 5-24 2030 年排放变化（末端控制情景）

末端控制情景中，我们采用了在电力部门全部实现近零排放高效末端控制、实施机动车欧六标准、同时在工业行业推广袋式除尘强化末端控制等一系列措施。由于末端控制的加严，主要污染物SO₂、NO_x、PM_{2.5}、VOC、NH₃排放在2010年基础上分别削减68%、67%、65%、42%、39%（参见图5-24）。末端控制情景下，各污染物均有大幅削减，表明末端控制措施可以发挥较大的作用，这是因为当前中国的末端控制水平还相对较落后。

模拟结果表明，珠三角城市能够全面达标，长三角城市基本达标（参见图5-25）。最大可能利用末端控制技术可大幅改善我国空气质量，可使半数以上城市达标。74个城市中仍有29个城市不能达标（35ug/m³），超标率39%；34个城市PM_{2.5}浓度在30ug/m³以上（参见图5-26）。模拟结果表明，珠三角城市能够全面达标，长三角城市基本达标。但京津冀及成渝地区的部分城市、武汉等地仍存不能达标的风险，结构性问题是这些地区空气质量难以达标的要因。一些重点城市需进行结构调整才能达标。

图 5-25 2030 年 $PM_{2.5}$ 浓度 (末端控制情景)图 5-25 2030 年 $PM_{2.5}$ 浓度 (末端控制情景)

5.4 结论

综上所述，我国经济社会快速发展的同时，也产生了严峻的环境污染问题。虽然中国政府采取了一系列的措施与行动来应对，也取得了显著的成效，但现有控制措施仍不足以抵消经济和化石燃料消费快速增长的影响。我们认为，我国长期以来大量依赖煤炭等化石能源、经济发展模式粗放，造成大气污染物排放强度居高不下，是我国大气污染严重的重要原因。随着我国工业化、城镇化的深入推进，能源资源消耗持续增加，大气污染防治压力将继续加大。得益于近年来控制政策的深入加严，2030 年全国空气质量将比 2010 年有所改善，但京津冀和长三角等地区仍难以达到国家二级标准；最大可能利用末端控制技术可大幅改善我国空气质量，但部分地区尚需进一步结构调整才能达标。因此，产业结构和能源结构调整对于我国城市达到空气质量二级标准、进一步深入改善空气质量具有重要的意义。

经济、能源与环境的 协同治理



前述几章的分析表明，中国正处于经济增长速度换挡的转换期。过去 20 年以投资拉动的高经济增长趋势已经不可持续，经济增长速度将比过去十年明显放缓。而在经济增长放缓的背景下，能源需求增速也将明显放缓，但能源需求部门结构将发生明显变化，建筑和交通将是未来能源消耗增长的主要领域。虽然我国能源自给率总体较高，但由于未来建筑和交通部门石油、天然气消费的快速增长，石油和天然气对外依存度快速上升，能源安全将面临严峻挑战。而我国以第二产业和重化工业为主的产业结构也使得经济极易受能源价格波动的影响，对我国经济的长期稳定发展构成威胁。此外雾霾问题已经成为制约我国社会经济发展的瓶颈，煤炭是我国一次 $PM_{2.5}$ 及其二次前体物的重要排放源，占一次 $PM_{2.5}$ 颗粒物 53% 的排放，考虑二次颗粒物后则贡献进一步达到 50-70%。传统的政策制定是分散和序贯式的，也即以经济发展为核心，能源战略与政策的主要目的是保障经济发展所需的能源供应，而能源使用过程中产生的污染物则主要通过末端治理来解决，三者之间并没有统一的协调与协同。持续减排情景的设计主要体现了这种序贯性的治理思路，但这种分散治理思路已无法适应经济、能源与环境多目标平衡发展的需要。加速减排情景的要点即是打破经济、能源和环境分散治理的传统思路，从协同治理的角度出发进行综合协调规划。

6.1
以煤炭和碳排放总量控制为核心实现低碳发展

表 6.1 总结了加速减排情景下的主要变量，到 2030 年，GDP 总量可约为 2010 年的 3.5 倍，在单位 GDP 能耗下降约 50% 的情景下，能源消费总量仍将增长约 80%，可控制在 60 亿 tce 以内。在单位 GDP 的 CO₂ 强度下降约 60% 情景下，2030 年排放总量可控制在 110 亿吨之内，人均不超 8 吨，仍低于欧盟和日本人均 CO₂ 排放峰值时约 9.5 吨的水平，更远低于美国人均峰值时 22.2 吨的水平。2030 年前后 CO₂ 排放达峰值后，能源总需求量仍需一定时期的缓慢增长，而随着 GDP 增速进一步放缓，当 GDP 能源强度年下降率大于 GDP 年增长率之后，能源总需求量即达到峰值并开始呈缓慢下降趋势。届时进一步加大节能和提高能效的力度，可使能源消费峰值与 CO₂ 排放峰值间隔时间缩短。我国经努力

可争取 2040 年前后能源总需求量达到峰值，峰值能源总需求量争取控制在 65 ~ 70 亿 tce 左右，约为 2010 年的 2 倍，人均能耗不超过 5tce，仍低于日本、欧盟人均能耗峰值时 5.5tce 以上的水平。而 CO₂ 峰值排放量则可控制在比 2010 年高出 50% 范围内。能源消费总量达峰值后，经济社会发展将与能源消费完全脱钩，并实现大幅度 CO₂ 排放的绝对减排。

加速减排情景的主要目标是能源相关二氧化碳排放在 2030 年左右达到峰值，并开始逐步下降，峰值水平下单位 GDP 排放强度比 2010 年降低 58.6%，比 2005 年降低约 66%。2020 年前煤炭消费达到峰值，以煤炭和碳排放总量控制为核心指标实现低碳发展。

项目	年份			2030 年比 2010 年变化 (%)
	2010	2020	2030	
GDP (万亿元，2010 年价)	36.09	74.38	120.0	252.0
能源消费 (亿 tce)	32.49	47.5	59.0	83.0
CO ₂ 排放 (亿吨)	72.5	96.8	106.0	46.1
GDP 能源强度 (tce/ 万元)	0.96	0.68	0.49	-48.4
单位能耗 CO ₂ 排放强度	2.23	2.04	1.79	-19.7
GDP 的 CO ₂ 强度 (tCO ₂ / 万元)	2.13	1.38	0.88	-58.6

图 5-24 加速减排情景下的主要低碳指标

6.2 加速减排情景的经济影响

虽然目前很多研究讨论中国的低碳路径，然而学术界还没有形成共识，包括减排的时间点与强度，以及应该实施什么政策达到何种低碳目标等等，这些目标本身十分重要，既可以是基于总量的减排，也可以是基于碳强度（即每单位 GDP 排放的二氧化碳量），也可以是人均排放量等等。本研究中，我们考虑了中国经济方式转变的速度和力度，根据当前中国的战略和长期温室气体减排战略，我们模拟了一种可能中国的低碳政策情景，即通过碳税政策实现加速减排情景的总量控制目标。在我们的模拟中，中国从 2015 年开始实施碳税政策，税率逐年提高，税收收入用来对其他扭曲的税种进行减税，保持“税收中性”，这样可以实现化石燃料排放的二氧化碳在 2030 年左右达到峰值。在加速减排情景下可以在有限的经济损失范围内带来显著的二氧化碳减排。

考虑到中国经济的不确定性，我们分别对第三章中三种不同的经济发展情景进行了政策模拟。表 6.2 中给出了不同经济增长情景下的模拟结果，表 6.3 则给出了各个行业的价格与产量的变化情况。

	中等增长情景			低增长情景			高增长情景		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050
GDP (% change)	-.02%	-.06%	-.48%	-.02%	-.03%	-.28%	-.03%	-.07%	-.72%
碳价 (元 / 吨 CO ₂)	11.2	22.7	67.5	11.2	22.9	68.6	11.2	22.5	66.3
碳税收入占 GDP 比值	0.25%	0.54%	1.1%	0.24%	0.49%	1.0%	0.25%	0.57%	1.1%

表 6.2 低碳政策情景模拟结果 (%，与经济增长的基准情景相比)

	中等增长情景		低增长情景		高增长情景	
	价格变化	产量变化	价格变化	产量变化	价格变化	产量变化
农业	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
煤炭开采和洗选业	5.5%	-6.1%	5.2%	-5.8%	5.6%	-6.2%
石油开采业	0.4%	-0.6%	0.4%	-0.5%	0.4%	-0.6%
天然气开采业	1.3%	-1.4%	1.3%	-1.3%	1.3%	-1.4%
金属、非金属与其他采选业	0.1%	-0.4%	0.1%	-0.4%	0.1%	-0.4%
食品制造及烟草加工业	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
纺织业	0.1%	-0.2%	0.1%	-0.2%	0.1%	-0.2%
服装皮革羽绒及其制品业	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.1%
木材加工及家具制造业	0.1%	-0.1%	0.1%	-0.1%	0.1%	-0.1%
造纸印刷及文教用品制造业	0.1%	-0.1%	0.1%	-0.1%	0.1%	-0.1%
石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.5%	-0.6%	0.4%	-0.6%	0.5%	-0.6%
化学工业	0.3%	-0.3%	0.3%	-0.3%	0.3%	-0.3%
非金属矿物制品业	0.5%	-0.5%	0.4%	-0.4%	0.5%	-0.5%
金属冶炼及压延加工业	0.3%	-0.4%	0.2%	-0.4%	0.3%	-0.4%
金属制品业	0.1%	-0.3%	0.1%	-0.3%	0.2%	-0.3%
通用、专用设备制造业	0.1%	-0.2%	0.1%	-0.2%	0.1%	-0.2%
交通运输设备制造业	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

电气、机械及器材制造业	0.0%	-0.2%	0.0%	-0.2%	0.0%	-0.2%
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%
仪器仪表及文化办公用机械制造业	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.2%
其他制造业	0.1%	-0.2%	0.1%	-0.2%	0.1%	-0.2%
电力、热力的生产与供应业	1.1%	-1.3%	1.1%	-1.3%	1.1%	-1.4%
燃气生产和供应业	0.7%	-0.8%	0.7%	-0.7%	0.7%	-0.8%
建筑业	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
交通运输及仓储业	0.0%	-0.2%	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.2%
邮政通信业	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
批发和零售贸易业	-0.1%	0.1%	-0.1%	0.1%	-0.1%	0.1%
住宿和餐饮业	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
金融保险业	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%
房地产业	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
社会服务业	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%
健康教育和其他服务业	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
公共管理和社会组织	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

表 6.3. 碳税政策下各行业的影响（2020 年）

由于碳税政策带来的能源密集型产品价格的上升,也改变了整个经济系统的产业结构(表 6.3)。煤炭与电力的产出明显下降,而较清洁的服务业比重上升(如批发和零售贸易业、金融保险业等),能源价格提高也使得能源密集行业的投资下降,长期的结果会使这些行业的资本存量减少。GDP 的总体水平也会下降,以中等增长情景为例,2020 年 GDP 的增速与持续减排情景相比会减少 0.02%,2030 年会减少 0.06%。

低增长情景二氧化碳减排的绝对量较小,碳强度的下降程度与中等情景类似。2020 年二氧化碳的价格为 11.2 元/吨,基于我们的假设和中等情景一样。2030 年碳税收入占 GDP 的比重为 0.49%,中等增长情景则为 0.54%。低增长情景下由于化石能源价格上升带来的能源类商品或能源密集产品产出的下降也比中等增长情景要略低些。

高增长情景下生产率增长速度较快,同样碳价上升带来更多的碳强度下降。2030 年,碳价为 22.5 元/吨(相比之下中等增长情景为 22.7 元/吨)。然而,这些变化在高增长情景下也对 GDP 造成更大的冲击,2050 年 GDP 与 BAU 情景相比为 -0.72%(中等增长情景为 -0.48%)。

虽然加速减排情景对经济可能产生负面影响,带来消费水平的下降,但要考虑的是,采用碳税等经济手段可以在宏观经济损失可容忍范围内,带来二氧化碳排放较为显著的减排效果,虽然对一些高耗能行业的冲击会较大,但总的 GDP 损失可以控制在 1% 以内,主要的原因在于碳税的收入用来对财税系统中其他的税收进行减免,当这些原有系统中的税收扭曲性越大,碳税的福利损失越小,而其他方式如将碳税收入一次性返还给企业等,则会造成更大的福利损害(Cao, Ho and Jorgenson, 2013)。

-6.3 加速减排情景的 环境效益

在加速减排情景下,煤炭消费和二氧化碳排放将分别在 2020 和 2030 年达到峰值,综合结构调整结合严格的末端处理措施可以使 2030 年全国主要城市的空气质量达到二级标准;

在加速减排情景中,我们采用了限制“两高”行业发展、煤炭消费总量控制的策略,同时实施煤炭消费结构调整、天然气使用方式优化等措施,将煤炭向大气污染控制水平相对较高的电力

和供热部门转移,控制中小燃煤设施的煤炭消费量。新增天然气应优先保障居民生活以及用于替代中小燃煤设施。在末端控制的基础上,进一步优化能源产业结构,可使全国城市全面达标。加速减排情景下,SO₂、NO_x、PM_{2.5}、VOC、NH₃ 排放在 2010 年基础上分别削减 78%、77%、79%、52%、42%。模拟结果显示大部分城市达标,11 个城市未达标。

在加速减排情景中，我们采取了各种政策改变经济发展模式、改变消费方式、调整能源结构、强化技术进步以实现进一步节能减排。由于优化经济结构，新兴工业和第三产业发展快速，先进用能技术得到普遍应用，一次能源需求量低于持续减排情景。2030 年能源结构得到进一步优化，煤炭消费总量得以控制，煤炭消费比重进一步下降，可再生能源和核能在国家计划和财税政策支持下得到快速发展，天然气和非化石能源的比例增加。高耗能行业得到遏制，主要满足国内需求。能源密集型产品产量在 2020 年前达到峰值。到 2030 年，主要高耗能工业达到先进国家水平，总体上工业基本实现高效、清洁生产。新建建筑普遍达到节能标准，大众消费以低能耗为主。在

限制“两高”行业发展、煤炭消费总量控制的同时，实施煤炭消费结构调整、天然气使用方式优化等措施，将煤炭向大气污染控制水平相对较高的电力和供热部门转移，控制中小燃煤设施的煤炭消费量。新增天然气优先保障居民生活以及用于替代中小燃煤设施。

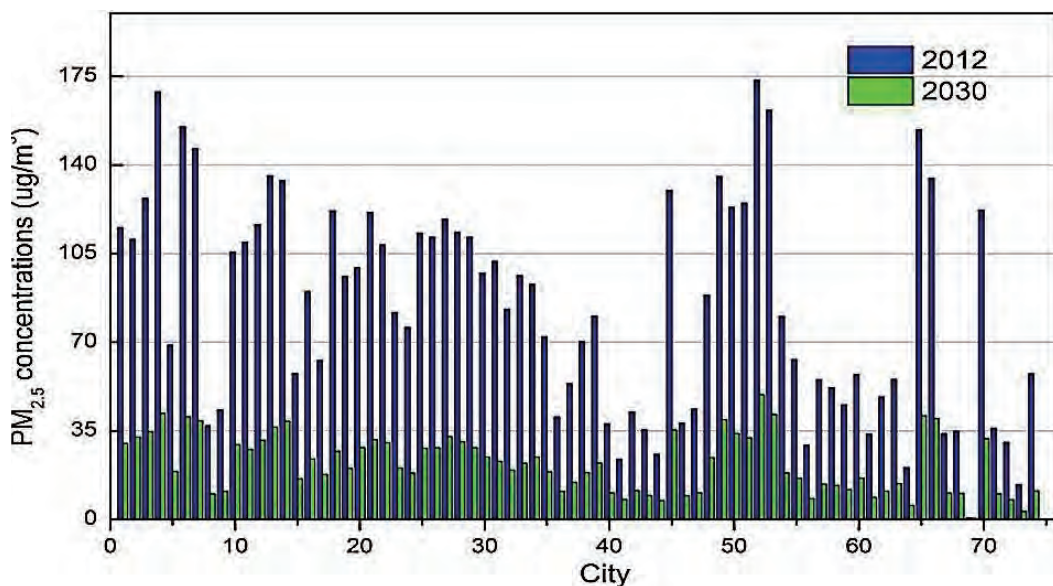


图 6.1 74 个重点城市 PM_{2.5} 浓度

健康及环境效益

除空气质量的全面提升外，加速努力情景通过控制燃煤消费总量，还可以产生其他环节和健康效益。中国煤炭先行的生产和利用方式导致了环境资源的破坏和浪费，产生了一系列的环境问题，如矿区所在环境的持续恶化、土地和制备的大面积破坏、煤炭开采排放废水对地下水资源的污染、采空区的塌陷、固体废弃物污染和煤炭燃烧导致的大区污染物排放。

对煤炭生产利用外部成本的分析表明，在考虑空气污染、水污染、生态系统退化及健康损失的情

况下，煤炭生产和利用的外部成本在 200-260 元人民币 / 吨。与持续减排情景相比，加速减排情景在 2020 约减少煤炭消费 2.6 亿 tce，其中转变发展方式 0.6 亿 tce, 占 24%；天然气替代 0.3 亿 tce，占 10%；非化石电力替代 0.5 亿 tce，占 18%；提高能效节煤 1.3 亿 tce，占 48%。由于节煤产生的年效益（避免的外部成本）约在 728 亿 -950 亿元之间，基本可以补偿由于加速减排对经济产生的负面冲击。

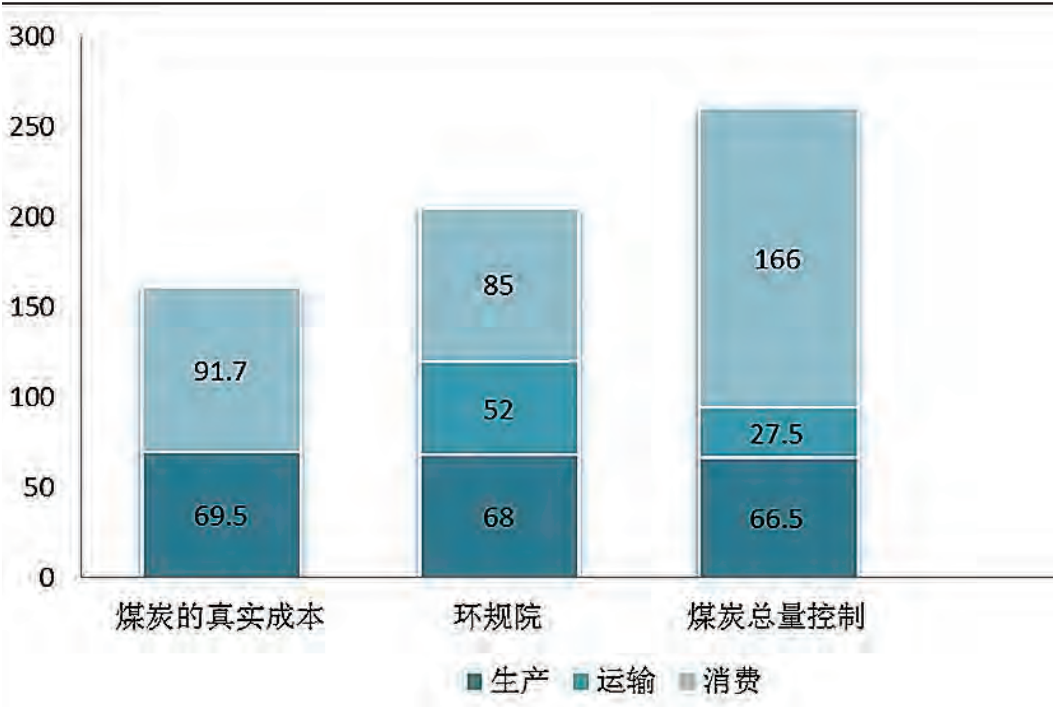


图 6.2 煤炭的环境外部成本及其比较

6.4 加速减排情景对能源系统转型的影响

对中国不同煤炭替代技术经济成本的分析表明，与 2010 年相比，各类技术的均一化成本均有很大幅度的下降。到 2030 年，绝大多数发电技术的均一化成本均可下降到 0.5 元 /kWh 以下，尤其是太阳能光伏发电技术的成本可由 2010 年的 2.00 元 /kWh 下降到 2030 年的 0.63 元 /kWh。油电、气电和太阳能光伏发电技术的成本相比其他发电技术的成本要略高，其次为生物质发电和核电技术成本。由此可见，可再生能源及核电技术的高成本障碍在 2030 年将得到基本解决。

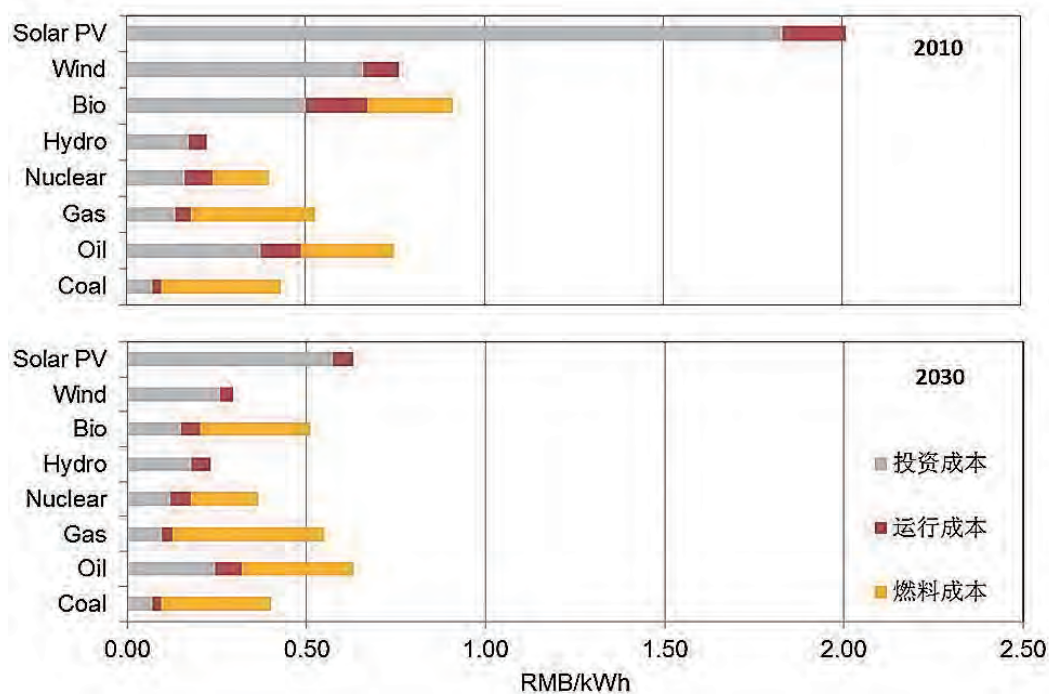


图 6.3 各类技术均一化成本下降趋势研究

本研究比较了加速减排情景和持续减排情景下不同技术的均一化成本，研究结果表明加速减排情景下，由于清洁能源和可再生能源发电技术的装机规模大于当前政策情景，因此各类技术的均一化成本比持续减排情景也有不同程度的降幅。其中，太阳能光伏发电技术的成本降幅最大，达到26%，其次为风电为8%，而水电则由于技术成熟度高，已经不存在进一步的成本下降空间。由此可见，当前设定较高的可再生能源发展目标对于技术进步和成本下降具有一定的促进作用。

从系统成本出发，2010年中国电力的系统发电成本为0.403元/kWh，到2020年可能降到0.386~0.390元/kWh，比2010年下降3.1%~4.2%，到2030年有望进一步下降到0.367~0.382元/kWh，比2010年下降5.2%~8.8%。从中长期角度出发，核电和可再生能源电力的大规模发展有利于降低电力系统的总

体成本。2020年和2030年，加速减排情景下电力供应的均一化成本与持续减排情景相差不大，其主要原因是成本结构发生了重要变化。从成本的构成结构分析，持续减排情景下，2010年固定投资成本占发电成本的比例为25.1%、运行维护成本占8.0%、燃料费用占66.9%；到2020年，三者的比例变化为27.2%：8.5%：64.3%；到2030年进一步变化为26.5%：8.1%：65.3%，燃料成本占能源成本的比例仍然偏高，经济受能源价格波动影响的脆弱性没有显著提升。而在加速减排情景下，2030年发电成本中固定投资、运行成本和燃料费用的比例为40.7%：10.8%：48.5%，燃料成本的比例远低于持续减排情景。由此可见，随着清洁电力技术和可再生能源电力技术装机规模及发电量的增加，燃料成本的份额逐渐下降，而固定投资及运行维护成本的份额上升，这种成本构成对于电力系统抵御化石能源危机及燃料价格的波动更为有利。

6.5 实现加速减排情景的 可行性分析

国内相关研究表明，如果加快经济发展方式转变，加快新能源技术研发和产业化速度，加强各项低碳发展政策和措施的力度，我国在2030年前后有可能实现CO₂排放的峰值。到2030年前后，我国将基本完成工业化和城镇化快速发展阶段，人均GDP可进入高收入国家行列，经济发展趋于内涵式增长，大规模基础设施建设和工业产能扩张已经基本完成，GDP增速趋缓，能源消费

弹性下降，能源需求增长缓慢。届时新能源和可再生能源已形成完备的产业体系，新增供应能力持续增加，届时能源总需求的增长基本依靠非化石能源供应量的增加来满足，而化石能源消费不再增长，使CO₂排放达到峰值。

我国当前处于工业化和城镇化快速发展阶段，以不断扩大投资和增加制造业产品出口作为GDP

快速增长的主要驱动力，带动了对水泥、钢铁等高耗能产品的需求，从而使高耗能原材料产业比重增加，促使能源消费较快增长。未来随工业化和城市化发展阶段逐渐完成，大规模基础设施建设已趋于完成，钢铁、水泥等高耗能原材料产品需求下降，产业结构调整和产业升级所带来的节能效果，可使 GDP 能源强度保持较高的下降速度。“十二五”规划 GDP 能源强度下降 16%，年均 3.4%，2010 ~ 2030 年期间年下降率仍可保持在 3.0 ~ 3.5% 的水平。20 年间其下降幅度可达 50% 左右，远高于 1990 ~ 2010 年 20 年间附件 II 发达国家下降 22% 和世界平均下降 14% 的水平。到 2030 年，我国单位 GDP 能源强度将与美国当前的水平相当，届时外延式的发展已基本结束，高耗能产业的比重仍将持续下降，产业结构调整加速，仍存在以年均不低于 3% 的速度持续较快下降的潜力。

我国当前能源构成以煤炭为主，长期占 70% 左右，单位能源消费的 CO₂ 排放强度比世界平均水平高 20% 以上，比发达国家平均高出 1/3 左右。加速能源构成的低碳化是促进 CO₂ 排放达峰的重要措施。当前我国新能源和可再生能源发展迅速，每年的投资额、新增容量和增长速度均居世界前列。国家已制定非化石能源比重到 2020 年将由 2005 年的 6.8% 上升到 15% 的目标，届时其供应量将超过 7 亿 tce，相当于当前日本或德国加英国的能源总消费量。到 2030 年，非化石能源比重可达 20 ~ 25%，单位能耗的 CO₂ 排放强度可比 2010 年下降约 20%。2030 年后其供应量仍可以年均 6 ~ 8% 的速度增长，再加上天然气比重的增加，单位能源消费的 CO₂ 排放强度年下降率将不低于 1.5% 的水平。与 GDP 能源强度下降因素迭加，到 2030 年单位 GDP 的 CO₂ 强度可比 2010 年下降 58% 左右。

中国工业化阶段 GDP 增速很高，1990 ~ 2010 年均达 10.5%。未来随工业化城镇化的逐渐实

现，GDP 增速会放缓。党的“十八大”制定 2020 年 GDP 比 2010 年翻一番的目标，年均增速约 7.2%。2020 ~ 2030 年间增速可能放缓到 5 ~ 6% 的水平，2030 年前后将下降到 4 ~ 5% 的水平，与发达国家相同发展阶段比较，仍保持较高的 GDP 增长水平。到 2030 年前后，在 GDP 增速放缓，GDP 能源强度较大幅度下降，新能源和可再生能源发展使能源结构不断改善，单位能耗 CO₂ 强度较快下降的情况下，具备了 CO₂ 排放达到峰值的条件。

如前所述，我国到 2030 年 GDP 能源强度年下降率可维持不低于 3.0% 的水平，单位能耗 CO₂ 排放强度年下降率可不低于 1.5%，由此可使单位 GDP 的 CO₂ 强度年下降率将不低于 4.5%。可支持 GDP 年均 4.5% 左右的增速，而 CO₂ 排放不再增长，这与届时潜在的 GDP 增长率相适应。确立届时 CO₂ 排放达峰的目标将不至于对经济社会发展形成刚性制约，而是将促进经济发展方式加快转型。欧盟及英、德、法主要成员国均提出温室气体排放到 2020 年比 1990 年减排 20 ~ 30% 基础上，到 2030 年减排 40 ~ 50%，到 2050 年减排 80%。则其 CO₂ 排在 2030 年前后的年减排率要达到 3% 左右，若届时 GDP 年均增长率仍维持约 1.5 ~ 2.0% 的水平，则其 GDP 的 CO₂ 强度年下降率也要达 4.5 ~ 5.0% 的水平。我国到 2030 年前后 CO₂ 排放达到峰值，GDP 的 CO₂ 强度年下降率可与欧盟届时的年下降率水平大体相当。欧盟及主要成员国到 2030 年前后 GDP 能源强度的年下降率可达 2.0 ~ 2.5% 的水平。我国 CO₂ 排放达到峰值，在节能和提高单位能耗的产出效益方面，需要比欧盟取得更大成效。

根据 CO₂ 排放达峰的另一必要条件，即单位能耗 CO₂ 排放强度下降率需大于能源消费的年增长率。我国到 2030 年前后单位能耗的 CO₂ 排放强度年下降率将不低于 1.5%，在 GDP 增

速 4.5% 的情况下，能源消费弹性则约为 0.3，与 1990 ~ 2010 年期间美国 0.29，欧盟 0.31 的能源消费弹性水平相当。届时能源消费年增长率即可控制在 1.5% 之内，新能源和可再生能源发展新增供应量即可满足能源总需求量的增长，从而使 CO₂ 排放达到峰值。如进一步实现 CO₂ 的绝对减排，单位能耗的 CO₂ 强度年下降率还要进一步提高。欧盟及主要成员国如实现其中长期减排目标，实现能源结构的根本性转变，大幅度降低单位能耗 CO₂ 强度是其最主要的措施。2030 年前后其单位能耗 CO₂ 强度年下降率需达约 2.5% 的水平。英、德、法等欧盟主要成员国都制定了未来大比例可再生能源的规划目标，到 2050 年其电力系统将基本完全依赖可再生能源和核能，以支持其中长期 CO₂ 减排目标的实现。

由于我国 2030 年之后能源总需求量还会持续缓慢增长，新增非化石能源应主要满足增量需求，对化石能源供应存量的替代还需一定过程，所以单位能耗的 CO₂ 强度下降率还达不到届时欧盟的下降率水平。从更长时期看，我国随着能源总需求量趋于稳定，单位能耗 CO₂ 强度下降率还将逐步提高，从而实现 CO₂ 排放总量的较大幅度下降。

在努力争取 CO₂ 排放尽早达到峰值的同时，还要努力控制峰值时 CO₂ 排放水平，为实现积极的 CO₂ 排放量的绝对减排目标创造条件。所以，当前尽快向低碳发展转型，采取大力度减排措施，在促使 CO₂ 排放峰值尽早实现的同时，也有利于控制峰值时的排放量。

6.6 实现加速减排情景的不确定性分析

2030 年前后中国 CO₂ 排放达到峰值，只能作为一个积极部署和努力争取的目标，未来实际情况会有很大不确定性。根据 KAYA 公式中影响 CO₂ 排放的各种因素，未来只有人口增长的因素比较确定，到 2030 年左右人口规模将达到稳定，趋于零增长甚至负增长，CO₂ 排放总量峰值和人均峰值时间大体上可同步实现。其它如 GDP 增长、GDP 能源强度下降速度以及单位能耗 CO₂ 强度下降速度等因素都有较大不确定性，需认真分析和对待。

GDP 增长的不确定性

从 1990 ~ 2010 年，中国 GDP 年均增长率高达 10.5%，当前虽有所放缓，仍将维持在 7 ~ 8% 的水平。在经济快速发展的同时，也付出越来越大的资源环境代价。当前资源依赖型、以重化工业产能扩张为驱动的粗放发展方式已难以为继，必须向创新驱动型、内涵提高的绿色低碳发展方式转变。因此要统筹权衡 GDP 增长的经济收益与相应付出的资源环境代价和损失，把 GDP 增速控制在适当范围之内，更加注重经济增长的质

量和效益。从 2010 ~ 2020 年, 如 GDP 增速控制在年均 7.5% 水平, 2020 年能源消费总量可控制在 48 亿 tce 左右, 相应 CO₂ 排放量不超过 100 亿吨。如果 GDP 年均增速在此基础上再提高 1 个百分点, 在相同 GDP 能源强度下降幅度下, 2020 年的能源需求量将增加 4.3 亿 tce, 相应 CO₂ 排放总量也将增加 7.5 亿吨左右。能源总需求量增加对实现非化石能源比重达 15% 的目标也带来更大困难。发达国家当前 GDP 年均增速一般在 2 ~ 3% 左右, 未来不确定性变化较小, 中国未来 GDP 增速波动的可能范围也在 3 个百分点上下。如果到 2030 年 GDP 增长与 2010 年比较从加速减排情景的 3.5 倍增加到 4 倍, 在相同的 GDP 能源强度下降幅度下, 2030 年能源消费量即将达约 66.5 亿 tce, 在与加速减排情景相同的非化石能源发展力度情况下, 相应 CO₂ 排放也将达约 125 亿吨。而煤炭消费量也将增加约 6 亿吨, 带来更大的资源和环境问题。如到 2030 年 GDP 仍保持 5% 左右甚至更高的增速, 则 CO₂ 排放的峰值时间也将向后推迟, 峰值排放量还将增加。从发达国家发展规律来看, 后工业化社会的 GDP 增速一般都不会超过 3%, 2030 年后更长时期来看, 中国 GDP 增长速度也将继续回落到 4% 甚至更低的水平, 这将为远期 CO₂ 排放量持续较快下降创造条件。

GDP 能源强度下降的不确定性

从 1990 ~ 2012 年, 中国单位 GDP 能源强度下降 57%, 节能降耗取得显著成效。但当前 GDP 能源强度仍然很高, 2010 年约为世界平均水平的 2 倍, 美国的 2.5 倍, 日本的 4.3 倍。GDP 能源强度高的主要原因并不在于能源技术和效率上的差距, 我国近年来大力推广节能技术, 能效水平和发达国家已较为接近, 燃煤发电效率已达世界先进水平, 高能耗工业产品的能源单耗与世界先进水平的差距也仅有 10 ~ 20% 左右。至于单位能耗经济产出效益上几倍的差距, 主要在于产

业结构和产品价值链分工的差异。中国工业部门占 GDP 比重长期占 40% 以上, 终端能耗占全国总能耗约 70%, 其中高耗能原材料产业的能耗即占全国总能耗的 50%, 高耗能产业结构特征明显。而发达国家工业部门占 GDP 的比重一般小于 30%, 高新科技产业和现代服务业比重大, 单位增加值能耗低。中国工业产品也处于国际价值链的中低端, 能耗高, 增加值率低。结构性因素是形成中国单位 GDP 能耗高的主要原因, 同时也使我国存在较大幅度降低 GDP 能源强度的空间和潜力。“十一五”以来, 工业节能技术改造, 淘汰落后产能, 提高能效的技术节能发挥了主要作用, 今后随技术节能潜力减小, 难度加大, 工业化后期产业结构调整 and 升级所导致的结构性节能将发挥更大作用。从 2010 ~ 2030 年 GDP 能源强度经努力仍可维持年均 3.0 ~ 3.5% 的下降幅度, 从 2030 年后更长期看, 随产业结构调整 and 产业升级的完善, GDP 能源强度长期维持 3.0% 左右的下降速度也需付出极大的努力, 较大幅度的 CO₂ 绝对量减排更要依赖于能源结构的调整和改善。从后工业化国家发展历程看, GDP 能源强度年下降率一般均不超过 2%, 从 1990 ~ 2010 年, 美国为 1.75%, 欧盟为 1.55%, 附件 II 发达国家平均为 1.25%。但其 GDP 增速一般也不高于 3%, 同期美国为 2.49%, 欧盟为 1.81%, 附件 II 国家平均为 1.97%[4]。发达国家由于 GDP 增速较低, 再加上能源结构的调整, 期间 CO₂ 排放仍可实现峰值或持续下降。如果中国 2010 ~ 2030 年 GDP 能源强度下降率从加速减排情景中年均 3.25% 的水平下降到 2.25%, 降低 1 个百分点, 那么 2030 年的能源需求量即将超过 70 亿 tce, 比加速减排情景增加 13.4 亿 tce, 相应 CO₂ 排放亦将超过 130 亿吨, 而且达峰值时间还将会推迟到 2035 年之后。保持较高 GDP 能源强度下降率是 CO₂ 排放尽早达到峰值的必要条件。

单位能耗 CO₂ 排放强度下降的不确定性

大力发展水电、风电、太阳能发电和核电等新能源和可再生能源，以及发展天然气取代煤炭，促进能源结构的低碳化，可使单位能耗的 CO₂ 排放强度持续下降。中国非化石能源和天然气虽然发展迅速，当前由于基数小，新增供应能力不能满足能源需求的增长，煤炭等化石能源消费量仍呈上升趋势。到 2030 年非化石能源的比重可超过 20%，相当于 12 ~ 15 亿 tce，届时水电装机可达约 4.5 亿千瓦，风电和太阳能发电装机也均将达过亿甚至数十亿千瓦，核电装机也将达约 1.5 亿千瓦规模，单位能源消费的 CO₂ 排放因子可比 2010 年下降约 20%。其后仍需以年均 6 ~ 8% 的速度增长，每年新增供应能力接近 1 亿 tce，再加上天然气比重上升，才能支持年均 1.5% 以上的总能源需求增加，而 CO₂ 排放达到峰值。到 2030 年前后，由于可利用的水电资源基本开发完毕，新增非化石能源供应主要依靠太阳能、风能、生物质能等非水可再生能源和核能。太阳能发电和风电虽有较大潜力，但也面临远距离输送、储能、电网稳定与分布式开发利用等方面的困难，每年新增数千万规模装机容量也非易事。特别是核能发展有更大不确定性，我国当前核能在建机组约 3000 万千瓦，约占世界在建机组的 40%，有较好的发展势头。日本福岛核事故后加强安全检查，提高新建核电站安全标准，发展势头趋缓。预计到 2020 年运行装机可达 6000 万千瓦左右，2030 年争取达约 1.5 亿千瓦，2030 年前后，每年要有 10 个以上百万千瓦级电站投产，年新增装机要超过 1000 万千瓦，满足届时能源需求增长量的 20 ~ 30%，到 2050 年核电总装机可达 3.5 ~ 4.0 亿千瓦。在促进能源结构低碳化过程中核能将发挥重要的不可替代的作用。但未来核电发展速度和规模很大程度上取决于各级政府和民众的理解和共识，在保障安全的基础上，中国必须稳步高效发展核能。如果核能发展受阻，可再生能源快速发展不能满足新增

能源需求，而天然气和石油因资源制约和进口安全影响也不能大幅度增长情况下，只能进一步增加煤炭供应规模。2030 年如果核电装机容量比加速减排情景减少 0.5 亿千瓦，那么相应将增加 1.6 亿多吨煤炭消费，增加 CO₂ 排放 3 亿多吨。2030 年后如果没有较大规模新增核电装机的支撑，能源结构调整速度下降，使化石能源消费仍将持续增长，而 CO₂ 排放达峰值时间也会相应延后 5 ~ 10 年。从 2030 年后更长期看，大幅度 CO₂ 绝对减排更需要能源结构调整作为支撑。我国 CO₂ 排放达到峰值后，能源结构的调整还需要进一步加速，其单位能耗的 CO₂ 强度年下降率应争取进一步提高。

国际能源供需形势的不确定性

中国石油、天然气供应越来越依赖国际市场。2012 年石油对外依存度已达 58%，天然气进口比例也达 29%，预计 2020 年将分别达 70% 和 50%，2030 年前后还可能进一步增加。这不仅使国家能源安全面临挑战，而且对能源结构的调整也带来较大不确定因素。如果未来世界油气供应形势变化，迫使中国更多地依赖国内煤炭资源，大力发展煤化工、煤制油、煤制气等技术，那么亦将较大幅度地增加煤炭消费量和 CO₂ 排放量。尽管我国页岩气、煤层气等非常规天然气有较大储量和开发前景，但技术成本和环境影响等方面因素都存在较大不确定性，未来国际能源供需格局变化将对 CO₂ 减排趋势及峰值时间都将产生直接影响。

6.7 结论

持续减排情景反映了传统的分散治理思路，因而无法实现经济、能源和环境的协同治理。由于经济增长、能源安全和环境保护之间密切的相互关系和平衡发展的复杂性，需要政府统筹一切可以利用的资源和力量予以综合规划、协调运行。加速减排情景即体现了这一应对逻辑。在综合平衡考虑各政策目标后，加速减排情景要求以煤炭和温室气体总量控制为核心实现经济的低碳发展。这一情景要求煤炭和能源相关 CO₂ 排放分别在 2020 和 2030 年左右达到峰值，峰值水平下 2030 年 GDP 碳强度比 2010 年降低约 58%。在这一目标下结合严格的末端处理措施和结构调整政策，可以在 2030 年实现我国主要城市空气质量的全面达标。在这一目标下，能源系统向安全、高效、清洁、低碳加速转型，减少能源价格波对经济造成影响的风险，有利于经济的长期稳定持续发展。并且这一减排目标对经济的影响在可控范围之内，为达到这一目标所实施的碳价水平应在 2020-2030 年间达到 10-25 元 /tCO₂，并大致以年均 8% 左右的速度递增。碳价的引入有可能对经济造成负面的冲击，尤其对某些行业和群体的冲击可能较高，但通过合理的政策设计可以减少这种过渡性的冲击，并且在考虑了减排带来的环境和健康效益之后，这部分负面冲击可以大部分被环境和健康效益抵消。

战略与政策

中共十八大以来，新一届中央领导的执政思路逐步明朗，尤其是十八届三中全会以来，围绕“生态文明”这一核心理念，中共中央明确表达了对于生态环境和经济发展可持续性的高度重视，在很多重要的政策领域指出了清晰的改革方向，这都为在新时期，中国经济往绿色、低碳方向的转型提供了宝贵的政治契机。

在新时期，中国政府将沿袭既往理念，更加重视生态环境和经济发展的可持续性。中共中央早在十六大时期就开始重视中国的可持续发展问题，2003年和2005年先后提出“科学发展观”和“生态文明”的理念，在十七大报告中，明确将建设生态文明列为到2020年实现全面建成小康社会的奋斗目标之一，其根本目的在于节约资源能源和保护生态环境。中共中央的十八大报告认为，建设生态文明是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计，并且要将之融入“经济建设、政治建设、文化建设、社会建设的各个方面和全过程”，建设生态文明从国家战略目标升华为具有重大意义的政治表述。

十八届三中全会将建设生态文明的理念落实到了具体的政策领域，新时期中国经济发展所面临的制度环境将发生显著的改变，宏观经济的低碳转型是顺应制度变革的潮流。《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》中将生态文明体制与政治体制、经济体制等并列，明确提出要加快生态文明制度建设，以制度变革和制度创新来推动生态文明目标的实现，这种制度变革和创新是系统化、全面化的。从自然资源宏观管理层面来说，《决定》明确指出要健全自然资源资产产权制度和用途管制制度、划定生态保护红线，未来的经济活动将处于完善的自然资源监管下，在国家主体功能区规划范围内实施，依赖大量生产要素投入驱动的粗放增长模式会面临越来越严重的瓶颈，甚至得不到中央的合法性支持。从自然资源的开发、利用层面来说，《决定》提出要实行资源有偿使用制度和生态补偿制度，在“谁受益、

谁补偿”的原则上，将通过节能量、碳排放权、排污权、水权交易等具体的市场制度，真正将自然资源和环境容量的价值以内部化成本的形式体现在经济活动当中，这种内部成本约束正是经济活动主体向绿色低碳方向转型的经济激励因素。从政府管理的层面来说，《决定》明确提出对限制开发区域和生态脆弱的国家扶贫开发工作重点县取消地区生产总值考核，对领导干部实行自然资源资产离任审计，建立生态环境损害责任终身追究制，同时建立和完善污染物排放管理制度，独立进行环境监管和行政执法，地方政府及党政领导单以GDP论成败的时代已成过去，地方经济发展的资源和环境约束将表现为中央或上级党政部门的政治约束，各地方政府必须谋求绿色低碳的发展途径。

从应对气候变化本身来说，中国政府虽然一直坚持“共同但有区别的责任”这一国际谈判立场，但是中国自身从来都将应对气候变化作为一种内在需求。《中国应对气候变化国家方案》中非常明确地指出，气候变化对中国的发展模式、能源结构和技术、农业、水资源等诸多领域都是非常严峻的挑战，应对气候变化要与中国的可持续发展以及经济社会整体发展相结合。《全国人大常委会关于积极应对气候变化的决议》强调，积极应对气候变化是实现中国可持续发展，解决经济结构不合理、发展方式粗放、资源利用率低等问题的历史机遇。

7.1 低碳城镇化

城镇化的过程与方式具有明显的锁定效应，城镇化成为今后影响我国碳排放的最主要因素，低碳城镇化发展也成为应对气候变化的主要措施和抓手。

改革开放以来，伴随着工业化进程加速，我国城镇化经历了一个起点低、速度快的发展过程。从1978到2013年，城镇常住人口从1.7亿人增加到7.3亿人，城镇化率从17.9%提升到53.7%，年均提高1.02个百分点；城市数量从193个增加到658个，建制镇数量从2173个增加到20113个。城镇化对我国的经济社会起到了双重作用。一方面，城镇化极大的促进了中国经济和社会的发展，一方面，城镇化也造成了能源和资源的过度消耗，对环境带来了不良影响，引发了大量的温室气体排放。

首先，在过去的30多年里，我国的经济保持平均速度10%左右的增长率，GDP从1977年的3645.2亿元增加到2013年的568845.2亿元；城镇居民可支配收入从1978年的343.4元增加到2013年的26955元，成功地使5亿人脱贫。从公共服务角度，城市水、电、路、气、信息网络等基础设施得到明显改善，教育、医疗、文化体育、社会保障等公共服务水平明显提高，人均住宅、公园绿地面积大幅增加。同时，我国避免了其他国家城镇化过程中常见的大规模的城市贫困、失业和贫民窟等。

但在城镇化快速发展过程中，也存在一些必须高度重视并着力解决的突出矛盾和问题。首先是城镇化引发了严重的能源过度消耗，城市和区域性污染严重，区域性符合大气污染贫乏，城市固体废物生产量巨大，综合利用率低，使得区域生态格局遭到破坏，城市生态系统严重受损。

2013年中国煤炭消费量从1978年的5.7亿吨增长到36.1亿吨。其次城镇化对环境带来了不良影响。城市生活用水总量从2000年的200亿立方米逐年增加到2012年的257.2亿立方米，而城市人均生活用水从2000年的95.5吨却逐年递减到2012年的62.7吨。根据《全国环境公报2012》，2012年325个地级及以上城市环境空气质量达标城市比例仅为40.9%，113个环境保护重点城市环境空气质量达标城市比例仅23.9%。

与此同时，城镇化也引发了温室气体的大量排放，增加了气候变化的风险。1978年后，经济高速发展的同时，碳排放总量和人均二氧化碳排放量都显著上升（如图3-1和3-2）能源相关的碳排放每年上升6%；城镇化率每提高1个百分点，全国碳排放增加2.16亿吨，人均碳排放增加0.04吨。特别2002年以来，我国碳排放随城镇化率升高呈高速度直线上升的模式，城镇化率每增加1个百分点的同时，碳排放增加4.14亿吨。我国现在是世界上最大的二氧化碳排放国。根据《国家新型城镇化规划（2014-2020年）》，到2020年我国常住人口城镇化率达到60%左右，户籍人口城镇化率达到45%左右，将有1亿左右农民进城。2030-2040年进入城镇化成熟期，届时城镇化水平在70%左右。

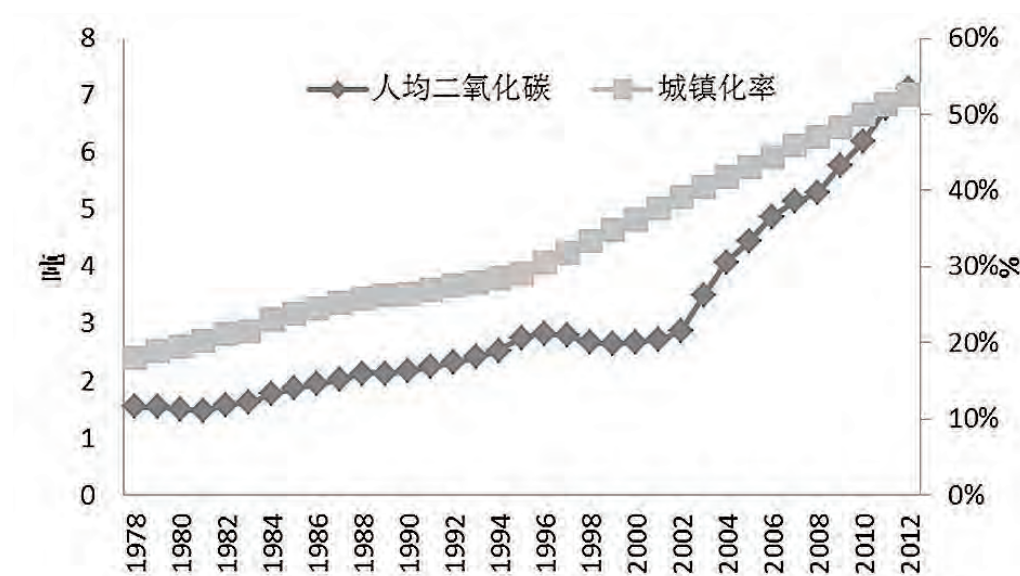


图 7-1 1978-2012 年我国人均二氧化碳排放和 城镇化率的关系 数据来源：CDIAC，国家统计年鉴

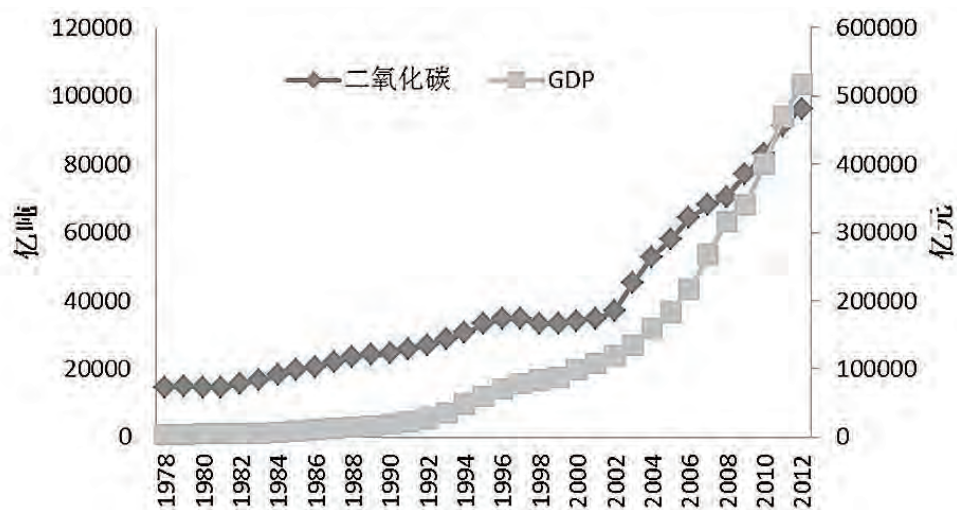


图 7-2 1978-2012 年我国二氧化碳排放和 GDP 的关系 数据来源：CDIAC，国家统计年鉴

伴随城镇化进程的除了二氧化碳排放量的上升，在二氧化碳排放结构上也有所变化，从之前的工业排放占主体，逐渐过渡到交通和建筑行业占比增大，特别是今后一段时间建筑和交通的碳排放会继续增加。1995 年到 2011 年，我国能源消耗中建筑能耗占总能耗的比例从 10.1% 上升到 19.74%，建筑业直接 CO₂ 排放量随着城镇化率上升而上升。截止到 2011 年底，我国城镇节能建筑仅占既有建筑总面积的 23%，全年建筑总面积 469 亿平方米，约有 361 亿平方米的建筑为高耗能建筑。我国目前平均每年新增建筑 20 亿平方米。以如此增速，预计到 2020 年，全国高耗能建筑面积将达到 2157.4 亿平方米。交通行业随着城市物流流转速度加快，城镇的货运能力逐步加强。单中心的城市扩张使得居民出行的距离也会变大，城市机动化水平迅速提高。由于我国综合交通能耗效率低下，二氧化碳排放形势更加严峻。小汽车的出行比例逐年增加导致了交通能耗的急剧上升。如果不加以控制，交通部门能耗很快就会占到全国总能耗的 30%。未来一段时间，机动车增加带来的能源需求会不断的增加。

城镇化的低碳发展对经济和社会带来协同作用

低碳城镇化过程会直接和间接的促进能源转化和设备利用率的提高，改变能源结构，增加清洁能源的比重。一旦气候变化的成本纳入经济体内，就会带来围绕“碳”产生的经济效益，形成全新的能源、农业、工业、建筑、交通等社会经济体系。

中国政府在城镇化过程中探讨了一系列的低碳发展措施，为经济和社会带来了正面的协同作用。首先 2010 年后，发改委在全国各地陆续展开了低碳城市试点行动，自下而上开展低碳行动。一方面促进了地方政府对低碳工作的认识，促进了不同部门和行业之间在二氧化碳减排方面的沟通协作，一方面促进了对先进技术的推广和不同企业的能源管理水平的提高。“十二五”规划将新能源、

节能环保、动力汽车类如国家战略性新兴产业重点扶持和发展的行列，产生了其在低碳发展方面获益的可能。同时，我国的碳排放交易市场正在迅速扩大，来自于煤炭、钢铁、有色金属等行业的企业，正通过清洁发展机制，从发达国家引入先进的技术，实现减少二氧化碳排放的目的。将减排取得的排放信用，出售给碳交易商或者世界银行等国际组织，从而获利。2011 年 10 月至今，我国已经有北京、天津等 7 个城市形成碳排放交易试点，自 2013 年后，这七个城市碳交易已经累计成交 1260 万吨碳，累计成交额近 5 亿。

同时，围绕能源消费总量为核心的城市的低碳发展，也促进了雾霾的治理和大气环境的改善。在节能减碳和污染防治之间，绿色发展和低碳发展之间解决问题和应对全球挑战具有密切的协同关系。特别是近年来京津冀地区为治理雾霾而采取的一系列的煤炭消费总量的控制手段，与地方城市低碳发展协同，有效的改善了环境污染。

低碳城镇化，需要依托于城市自身特点，用碳排放作为指标，去控制城镇化发展的规模、速度、形式，最终达到经济发展的低碳和可持续性以及市民生活和行为的低碳化。

城镇化水平进一步提高的前提下，实现其低碳发展是保证能源安全和缓解气候风险的最有效措施。其中有必要依托于城市自身特色，通过设定控制温室气体排放的严格目标，适宜的方式达到低碳城镇化。低碳城镇化的实现主要通过以下几个方面实现：

合理的城镇规划

城镇化的空间规划在城镇化的发展过程中重要性在于系统科学地对于活动总量的控制，从空间路径上实现城市的低碳发展。合理的城镇规划，需要在全国统一市场的前提下，根据土地、水资源、

大气环流特征和生态环境承载能力，特别是考虑能源的分布情况，从城镇群间，城镇群内部，城市内部，优化全国城镇化空间格局，建立区域层面的空间规划体系，规定生产、生活、生态空间开发界限。特别是不同的城市群之间，在《全国主体功能区规划》的基础上，需要把综合交通枢纽和城镇体系与城市的主要功能区布局统筹协调，发挥综合交通枢纽对城镇化发展过程的引导作用，发挥交通和土地利用的耦合互动作用，使其引导城市发展，促进枢纽与城市综合开发的一体化，引领城市空间结构调整。城市群内部则需要注意产业分工的分配，增强中心城市的辐射带动功能。城市内部要公交引导城市发展，推进交通和土地利用一体化规划建设，优先发展公共交通，注重绿色交通，改善自行车和行人出行环境 [14]。城镇化规划中需要把能源规划考虑其中，需要设定同碳排放控制相关的指标约束，比如碳排放总量排放限制和人均碳排放限制等，以碳作为指标来约束城市群和特大城市的无序增长 [15]。

城市角度碳排放管理

经济发展过程中，作为国民经济的基础载体，城市的建设和发展直接影响了我国社会经济发展的速度和质量。因此需要从城市角度探讨如何低碳发展。地方政府需要对城市的碳排放情况进行详细调查的基础上结合城市自身的特点，基于社会经济发展情况和资源禀赋，提出适合自己的低碳城市自身特点、基本社会经济发展情况的解决方案，在满足经济发展、就业等社会目标的前提下，设定城市低碳发展目标，探讨城市经济发展模式的初步框架并作为未来政策实施的主要依据。城市排放清单的编制有利于城市对自身的碳排放进行了解，包括城市碳排放的综合情况、重点碳排放源和对城市建设和社会发展的重点领域调查，从而使得本地区内碳排放可测量、可报告和可核查，确定排放基准，进行有效的碳管理。

城市的碳管理主要集中在工业企业、建筑、交通和居民生活四个方面。对于工业企业可以又第三方承担能源审计和碳排放情况，建筑则主要体现在大型公共建筑上，同样又第三方出具能源审计报告，而城市交通，则可有城市政府独立完成。居民生活则依靠社区力量实现居民生活模式的低碳化，最后根据评估结果，设计减排方案。

低碳技术和政策工具的选择

技术的发展是影响能源使用效率的核心要素，对减少二氧化碳排放具有重要意义，也决定了中国是否可以在工业化进程中利用后发优势实现低碳经济发展。需要充分利用包括太阳能、风能、生物燃料等技术在低碳城市建设中的作用。建筑领域主要侧重绿色监护体系为代表的建筑节能技术的标准和评价体系，主要包括材料的应用和能源的替代。而交通系统中，侧重交通工具和交通设施的节能减排 [12, 16]。需要逐步从对生产领域的减排措施逐步转化为从消费端的控制。未来发展趋势是利用现代计算机网络手段，面向不同的排放部门，采集、处理、分析、储存和发布城市温室气体排放的社会、经济、能源和环境数据的信息平台，将智慧城市中信息化在城市碳排放管理的延伸，是互联网、物联网、云计算等技术以及大数据、社交网络等工具和方法在减排领域的应用。

当前城镇化的路径的碳效率不高，原因在于碳排放的直接和间接经济成本在上升，而这些成本往往不反映在市场交易中。因此在政策的执行过程中，要避免当前过多行政命令型政策的实施，而需要充分发挥市场的作用，量化碳的成本，充分发挥市场性和自愿性政策。与此同时，低碳技术和项目的发展的一个关键在于是否能获得相应的金融支持，因此需要创新的商业模式和融资机制的推动，包括国际能效融资项目、合同能源管理、区域节能减排措施、清洁发展机制和保险投资等。

7.2 农业现代化

农业问题是中国全面建设小康社会进程中最艰巨的工作任务，农业现代化是必由之路。气候变化背景下，中国的农业现代化进程既面临严峻挑战，也充满机遇。农业既是受气候变化影响最显著的领域，也是具有重要减排潜力的部门。中国应给予农业特别的关注，尽可能地降低气候变化对农业造成的冲击，并充分挖掘农业领域的减排机会。

农业是受气候变化影响最大的领域，而且未来的影响仍将以负面为主。气候变化使中国高纬度地区作物生育期延长，喜温作物界限北移，与 20 世纪 60 年代相比，中国东北大多数地区的生长期增加了 10 天左右。气候变化造成近 30 年中国的小麦和玉米的产量下降 5% 左右。气候变化导致洪涝及干旱等极端事件增多，从 1950 年 ~ 2000 年，中国农田因洪涝灾害受灾面积平均为 937 万公顷，因洪涝灾害减产粮食约占同期全国平均粮食产量的 3% 左右。如果不采取任何适应性措施，未来气候变化将导致中国水稻、玉米和小麦等主要粮食作物的减产。气候变化背景下，中国应给予农业特别的关注，尽可能地降低气候变化对农业造成的冲击。

在充满挑战的同时，农业领域也充满了各种各样的机会。农业是温室气体重要的排放源。根据《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》，2005 年中国农业活动所产生的温室气体达到 8.12 亿吨二氧化碳当量，占到中国温室气体排放总量的 10.97%。考虑到农业生产过程中的各种物质投入所产生的隐含碳排放，农业所引起的温室气体排放将占到更大的比例。在农业领域实施低碳发展具有极大的减排潜力。根据麦肯锡公司的研究结果，2030 年，农林部门技术上可行的减排潜力达 $6.4 \times 10^8 \text{tCO}_2\text{-eq}$ ，占中国总减排潜

力的近十分之一。在农林部门 $6.4 \times 10^8 \text{t}$ 减排潜力中，农业部门的减排潜力达 $2.9 \times 10^8 \text{t}$ 。其中，保护性耕作、肥料管理、沼气利用、水稻田肥料管理等措施的减排成本为负，这些措施可以对农业生产起到积极的促进作用。

以农业现代化为核心，在农业领域展开适应与减缓气候变化的活动，加快生态农业以及增加碳汇收入的林业发展，既能满足经济可持续发展的要求，也能促进农民增收和新农村建设，同时能显著改善生态环境，具有明显的经济 - 社会 - 环境协同收益。

应对气候变化行动有利于农林业发展。加快发展农林业，既能满足农民增收的要求，又能够显著改善生态环境。农业作为传统的低碳产业，有望在未来 20 年得到发展和升级，高产、优质、高效、低耗型生态农业和林业将得到大力推广。高附加值农产品需求的增长将推动农业内部的升级，此外，开发无公害、绿色、有机农产品将成为农业升级的调整方向。推着节水灌溉的推广普及和低排放的高产栽培技术的发展，土地产出效率将会提高，促使粗放农业向精细农业转变，并最终形成绿色化、生态化的农业发展之路。未来的农业将向着资源节约、循环利用、生态保护和农产品质量提高的方向发展，有机种养业和与之相配套的加工企业也将得到迅速的发展。绿色低碳农业可以在保证产量与质量的情况下更好地维护生态环境，减少环境污染与碳排放。

为了减缓气候变化，将未来的增温幅度控制在一定范围内已经成为国际共识。无论增温幅度控制在何种程度，碳排放空间无疑将成为一种重要的稀缺资源，并成为与劳动力、土地、资本同等重

要甚至更为关键的生产要素。农业具有较低的化石能源消耗和较高的碳生产率，碳排放空间的约束为农业的发展提供了重要的战略机遇。农业生产的本质，是利用光合作用，将 CO_2 转化为有机碳的过程。这一过程包含了温室气体减排中的两大关键技术，即可再生能源和碳捕获、利用与封存 (CCUS) 技术。在温室气体减排的语境下， CO_2 是一种重要的污染气体；但对农业生产来说， CO_2 则是重要的营养物质， CO_2 浓度的提高能显著提高农作物的产量。农业生产的这一特征使农业在全球的温室气体减排中具有极其重要的战略地位。在碳排放空间高度约束的情况下，如果能突破传统农业的发展思维，现代化的农业有机会发展成为重要的可再生能源产业、重要的 CCUS 产业，并成为国民经济低碳发展中的战略性产业，进而推动国民经济的长远发展。

应对气候变化行动有利于农业现代化，但发展现代农业，必须实现工业反哺农业，建立农业投入稳定增长机制。作为 2008 年做出的历史性决议，政府应尽快在法律上赋予农民对自己耕地的无限使用权。社会主义新农村建设的实现全体公民机会均等的重要途径，新农村建设必须随着城镇化进程统一推进，实现城乡一体化。

农业现代化之路

新中国成立之后，农业被确立为国民经济的基础。在 20 世纪 70 年代更强调“以粮为纲”。改革开放之初，农业的快速发展，不仅支撑国民经济的稳定和社会的发展，更为进一步改革提供了政治上的支持。然而，20 世纪 90 年代之后，中国工业化加速，工业真正成为国民经济的主导。大规模高速度的工业化，不仅吸聚了大量的资本投入，而且把大量的农村劳动力从农业部门吸引到工业之中。国家的工业化大大提高了农业的现代化水平，但在相当长的时间内，工业对农业的反哺作用并不明显。相反，工业的发展吸走大量私人资

本、公共投资以及劳动力。与此同时大规模、高速度的工业化和城市化挤占了农业赖以继的土地资源，影响了农村的环境和资源，动摇了农业在国民经济中的基础地位，并加剧了“三农”问题。

“三农”问题的出现表明农业不是一个单纯的产业部门的发展问题，而且也是关乎公平、正义和稳定的社会问题和政治问题。中共中央在 1982 年至 1986 年连续五年发布以农业、农村和农民为主题的中央一号文件。2004 年至 2014 年又连续十一年发布以“三农”为主题的中央一号文件，强调了“三农”问题在中国的社会主义现代化时期“重中之重”的地位。

当今中国正迈向新型工业化和城镇化之路。城镇化是重要问题，但三农问题也是中国全面建设小康进程中最艰巨的工作任务。处理好工业化、城镇化进程中的三农问题，对中国的改革发展、实现全面小康、推进现代化，乃至实现中国梦，都具有十分关键的作用。中国经济社会发展正处在转型期，城镇化的快速推进使建设社会主义新农村的需求日益紧迫；工业化信息化的快速发展对同步推进农业现代化的要求更为紧迫，保障粮食等重要农产品供给与资源环境承载能力的矛盾日益尖锐，经济社会结构深刻变化对创新农村社会管理提出了亟待破解的课题，而日益加剧的全球气候变化，使中国农业发展所面临的问题更加严峻。新型城镇化要和农业现代化相辅相成，城镇化进程中要保住耕地红线，保障粮食安全，保证人民利益。

与工业化、城镇化的快速发展相比，农业现代化明显滞后，面临着一系列严峻挑战。自然灾害多发重发，农业基础设施薄弱，抗灾减灾能力低的问题更加凸显；农业生产成本不断上升，产业化水平低，比较效益偏低的矛盾较为突出；农产品市场需求刚性增长，资源环境约束加剧，保障主要农产品供求平衡难度加大；农业劳动力素质有

待提高，科技创新和推广应用能力不强，转变农业发展方式的任务极为艰巨；农户生产经营规模小，农业社会化服务体系不健全，组织化程度较低，小生产与大市场的矛盾依然明显；全球粮食能源化、金融化趋势明显，国际农产品市场投机炒作及传导影响加深，中国现代农业发展面临更多的外部不确定性。发展现代农业，是中国未来20年所需要解决的战略性问题。

针对现代农业，中国政府已经发布了一系列政策措施，包括《全国现代农业发展规划（2011—2015年）》、《关于全面深化农村改革加快推进农业现代化的若干意见》等，对农业的政策支持更加强化。中国现代农业的基本目标是：“到2015年，现代农业建设取得明显进展。粮食等主要农产品供给得到有效保障，农业结构更加合理，物质装备水平明显提高，科技支撑能力显著增强，生产经营方式不断优化，农业产业体系更趋完善，土地产出率、劳动生产率、资源利用率显著提高，东部沿海、大城市郊区和大型垦区等条件较好区域率先基本实现农业现代化”；“展望2020年，现代农业建设取得突破性进展，基本形成技术装备先进、组织方式优化、产业体系完善、供给保障有力、综合效益明显的新格局，主要农产品优势区基本实现农业现代化”。

发展现代农业，必须实现工业反哺农业，建立农业投入稳定增长机制。同时在战略上对农业进行重新定位。过去几十年，尽管中国经常在“1号文件”中体现农业的重要性，但农业更多地被赋予了“粮食安全”等方面的内涵，农业作为一项产业的地位大大下降了。发展现代农业，中国应该重新定义农业的发展战略。将农业定位于推动国家低碳发展的战略性新兴产业，其重要性应与“节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等七大战略性新兴产业相当。通过国家的政策扶持，使现代农业得以发展，并延伸为一条新型的产业链。

通过农业现代化发展，实现农民增收

尽管实施了取消农业税、种地补贴等农民增收政策，农民的收入也呈现出逐年增长趋势，但中国的收入不平等问题在过去20年内一直在加剧。农业现代化有望带来显著的农民收入增长，并使城乡收入差距逐渐缩小。

未来20年，即使中国按照其理想实现70%左右的城镇化水平，农民依然是不可忽视的巨大群体，依然有4亿左右的人口需要以农业为生，农业现代化所带来的红利很难使农民持续性增收。未来20年内，土地会越来越稀缺，土地的有效利用是中国长期发展的重要目标之一。过去几十年，农村土地支撑了中国的城镇化进程，并在很大程度上支撑了地方政府财政收入的增长，然而土地并没有成为农民增收的持久性财产。《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确指出，要“建立城乡统一的建设用地市场。在符合规划和用途管制前提下，允许农村集体经营性建设土地出让、租赁、入股，实行与国有土地同等入市、同权同价”，“维护农民生产要素权益，保障农民工同工同酬，保障农民公平分享土地增值收益”。作为农民最重要的财产，政府应该赋予农民对自己耕地的无限使用权。这是2008年做出的历史性决议，应尽快以法律形式落实。完善农村集体土地所有权，对于提高农民收入，缩小城乡差距具有至关重要的意义。

通过农业现代化，建设社会主义新农村

未来20年，农业现代化将有效促进新农村建设。过去几十年的工业化和城镇化，使农村发展极为滞后，与城市形成了鲜明的对比。建设社会主义新农村，并不是一个新的概念，自上世纪50年代以来曾多次使用过类似提法。“生产发展、生活宽裕、乡风文明、村容整洁、管理民主”是新时代中国新农村建设的基本要求。未来20年，

社会主义新农村建设将不断加速。与城市相比，农村将建成生活设施完备、生态环境优美、人与自然和谐相处的田园式居住环境。在能源领域，农村将形成与农村风貌相适应的用能方式，成为沼气、太阳能光伏、光热、生物质能、风电、小水电等清洁能源在中国推广利用的主要领域。

新农村建设将随着城镇化进程统一推进，实现城乡一体化。社会主义新农村建设是实现全体公民的机会均等的重要途径。未来 20 年，中国将基本实现人人平等享有高质量、可负担的教育和医疗服务。

7.3 经济结构调整

工业是我国二氧化碳主要排放源。21 世纪以来，工业二氧化碳排放占全国排放的比例约 70% 左右。经济结构调整是我国加快转变经济发展方式的主要方向，直接关系到我国是否能实现经济发展低碳转型。

从二氧化碳排放的产业构成来看，工业部门是二氧化碳主要排放源，其中包括化石燃料燃烧和水泥、石灰、钢铁等工业生产过程的排放。改革开放以来，平均来看只占全国 40% 左右的工业 GDP 的取得却伴随着全国约 70% 的二氧化碳排放。中国正处在工业化过程之中，能源和污染排放密集型产业在可以预见的将来仍然会在经济中发挥不可替代的基础作用。

急剧增加的二氧化碳排放已经给全国经济转型带来了极大压力，给未来二氧化碳减排带来了极大的难度。从结果上来看，近几年经济结构调整成果显著，但是仍然不足以使得整个经济体系向着

低碳化的方向发展。2012 年，中国第三产业已占 GDP 的 45.6%，比 2000 年上升了 10.8 个百分点，但是在短、中期内，工业在中国经济中仍占有主导地位，而在工业内部，高能耗、高排放产业的比重近十年来一直居高不下。如图 7-3 所示，2011 年全国工业总产值，高能耗行业仍占 41%，既有的产业结构调整在未来还能继续起到多大作用仍是未知数。根据国内权威机构相关研究，工业结构中高耗能产业的比例直接关系到我国能否在 2020 年实现碳排放强度下降 45% 的既定目标（参见图 7-4）。

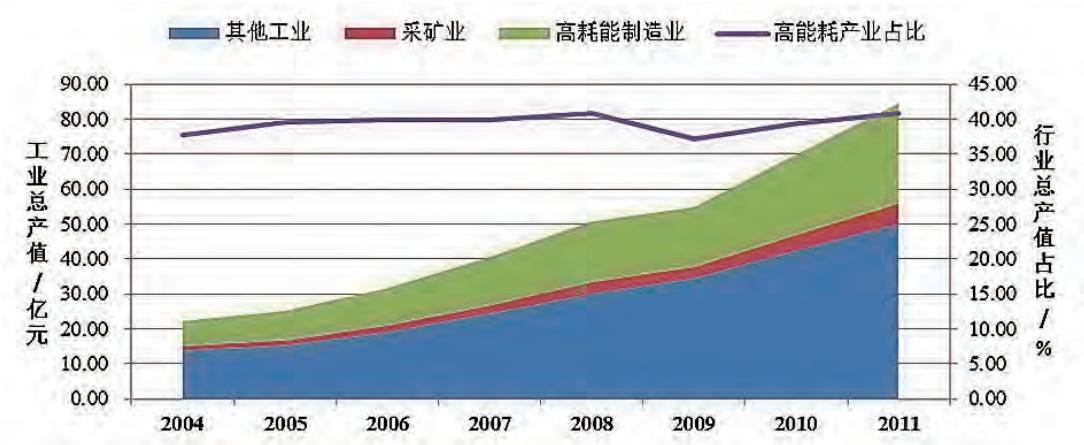


图 7-3 近年来中国工业结构变化 数据来源：中国国家统计局

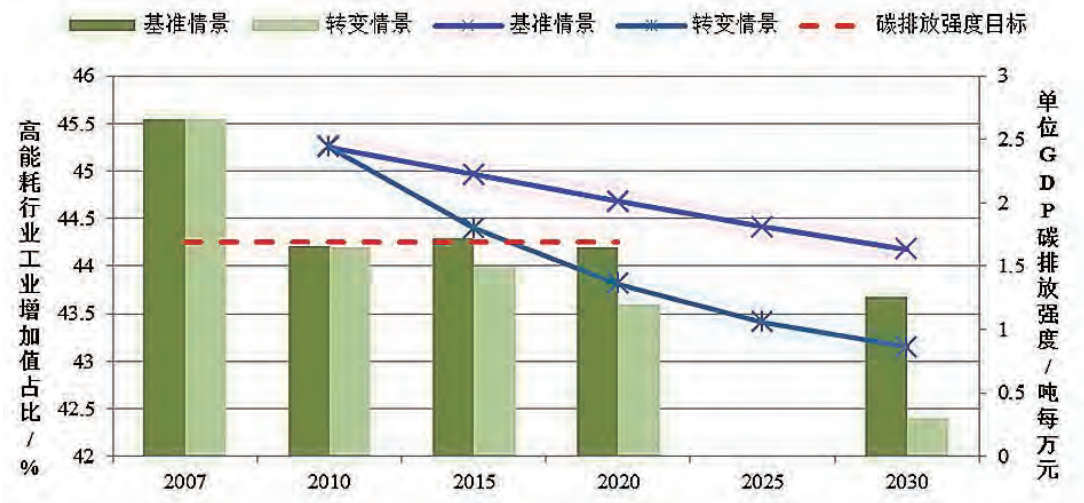


图 7-4 工业结构与碳排放强度变化预测

说明：国家统计局对为业分行业经济数据现在只统计工业总产值，本图所示工业结构基于工业增加值计算，数值本身没有比对意义，本图表意在阐释高能耗产业在工业结构中所占比例对于削减碳排放、降低经济活动碳强度的重要意义。

经济结构调整不仅能够产生显著的节能效果，还对提高中国的资源生产效率、改变经济发展方式，以及长期的可持续发展产生深远的影响。

经济结构调整能够产生显著的节能效果。根据清华大学气候政策研究中心的计算，“十一五”期间，中国经济结构变化实现节能 1.43 亿 tce，占总节能量的 23%。其中产业结构、行业结构和产品结构的变化贡献不同。虽经大力调整，产业结构仍趋重型化，节能贡献为负（-0.51 亿 tce）。第三产业比重有所提升，但同时工业比重也逐年增长；行业结构节能 0.77 亿 tce，其中工业内部行业结构调整成效显著。具体表现在高耗能行业增加值比重下降，低能耗、高附加值的行业持续快速增长；产品结构调整节能贡献最为突出，节能 1.17 亿 tce，表现在产品加工链延长、加工深度增加、高附加值产品份额增加。

中国当前的经济发展方式是不协调、不健康和不可持续的。经济增长长期靠出口和投资拉动，但目前商品在国际市场已呈现饱和状态，缺乏增长空间；而国内基础建设已经超前，基本上没有继续投资的余地。中国政府也已认识到这一点，已经将应对气候变化作为中国发展的内在需求，希望通过积极应对，改变经济增长方式并改善国内生态环境。低碳试点城市则纷纷以低碳发展为契机，积极探索转变经济结构的方式方法。例如在《杭州市“十二五”低碳城市发展规划》中，杭州市清晰地提出要在十二五期间“基本形成以低碳产业体系为核心的低碳经济基础”。2012 年杭州市单位 GDP 能耗为 0.546tce/万元，比 2010 年下降 9.25%。2013 年该市文化创意、旅游休闲、节能环保等十大产业实现增加值 3511 亿元，同年服务业占 GDP 增加值比重已达到 52.9%。

经济低碳转型需要将行业发展所带来的环境、生态和福利损失内化为行业成本。可以通过包括碳税在内的资源环境税收手段来支付。

从经济低碳转型的视角来看，高能耗、高排放行业的结构调整之所以成效有限，其中一个重要的原因在于行业发展所带来的环境和生态损失没有内化为行业成本。2005 年以来，高能耗行业创造了全国近一半的工业利税总额，大量投资不断被投入，很多地方政府也乐于促进这样的高利税行业发展，结构调整难度可想而知。能源开采生产和使用消费，本身会产生大量的环境和生态问题，给全社会的整体福祉带来了巨大损失，但是高能耗行业却没有为这种损失支付成本，在实质上等同于全社会以生态环境福利来补贴高能耗行业。十八届三中全会通过的《关于全面深化改革若干重大问题的决定》中提出“划定生态红线”、“健全生态补偿机制”、“资源税、环保费改税”等一系列重要改革举措，将成为抑制高能耗行业发展、调节工业结构、深化经济结构调整的重要政策抓手。

在能源生产环节，以煤炭为例，煤炭开采会造成矸石堆积、土地塌陷、水域污染、植被破坏等环境问题，因煤矿开采而被迫迁出的居民则同样有福利损失。据国家煤矿安全监察局统计，我国国有煤矿约有 1500 座矸石山，煤炭洗选每年排放 4000 万吨有害废水；每开采一万吨煤，平均有 0.01-0.29 公顷土地塌陷。对于矿业开采所带来的生态环境破坏，我国虽然早在 1994 年就开征矿产资源补偿费，但金额十分有限，且仅有一小部分用于矿产资源保护，虽然各级地方政府对于土地复垦、矿山修复有各自的规定，但是从全国范围来看，煤炭开采所带来的生态环境破坏并没有任何强制性的修复或补偿措施。有研究估算，煤矸石堆积、水质污染、土地塌陷的平均成本分别为 4.9、22.1、4.67 元/吨煤，而全国煤炭开采造成的各类生态环境损失折合成经济价格约为 70 元/吨煤。另一个问题在于对受煤炭开采居民的补偿，国内煤矿企业对于因开采而受影响的居民，各地补偿标准不一，但总体上说，与煤炭行业的行业规模和利润水平不成比例。以闻名全

国的淮南矿业集团为例，其 2005-2010 年对受采矿影响的居民所做补偿的整体水平是 12.52 元 / 吨煤，在全国已属于较高的补偿水平（人均补偿标准逐年下降），但是这一时期煤炭的利润水平是 87 元 / 吨煤。补偿内容仅限于田地地表附着物（青苗费）、征地和搬迁，大多数居民在失去农耕地后生活质量和家庭收入大大下降，这些福利损失都没有内化为能源生产行业的成本。

我们需要通过行之有效的制度改革，将能源生产造成的环境损害和福利损失内化为行业成本，对于以煤炭为代表的采掘业实施生态修复和生态补偿制度，“谁破坏，谁修复，谁受益，谁补偿”，强制开采企业履行义务。截至 2008 年，全国有 21 个省份开始实行矿山环境治理保证金制度（保证金标准各地不同），产煤大省山西的保证金标准为 10 元 / 吨煤，最高征收水平为 20 元 / 吨煤，相对于煤炭行业的整体利润水平以及其所造成的环境成本来说，保证金仍处于较低水平。

能源消费过程中，同样会产生环境损害，以化石能源来说，最突出的问题就是各类大气污染物以及温室气体的排放，而排放所带来的损失也没有体现在行业内部成本当中。中国虽然很早就开始实行排污收费制度，但是收费标准极低，完全无法反映出环境资源的真正价值。以二氧化硫为例，排污收费标准是 0.57 元 / 千克当量，合 570 元 / 吨；而各主要高耗能行业的脱硫治理成本则在 1500-3500 元 / 吨，而中国火力发电设施的脱硫率不足 75%（2011 年），而如果考虑到大气污染所带来的健康风险，能源消费造成的外部性成本要更高，可见大量的大气污染所带来的环境损害并没有人为其买单。而温室气体在国内则是零

成本排放。相比之下，很多发达国家早在上世纪 90 年代就开始征收碳税，让能源消费者（企业和个人）为化石燃料所产生的负面效应买单。

能源消费的环境成本，可以通过包括碳税在内的资源环境税收手段来支付。碳税在很多发达国家已经实践得非常成熟，在降低温室气体排放方面有显著作用。中国一直在谋求环境和资源类税制的改革，实施碳税可以增加能源消费成本，激励企业提高能源利用效率，使得高耗能行业的快速扩张得到抑制。国内权威机构的模型研究显示，征收碳税虽然在短期内会带来经济水平下降，但是完全可以控制在可接受范围内，而与此同时会减少二氧化碳排放，高能耗、高排放行业在国民经济中所占份额也将因此下降。此外，还可以给新能源提供更为宽松的市场空间。

7.4 能源革命

习近平主席在 2014 年 6 月份的财经领导小组会上再次强调,积极推动我国能源生产和消费革命是长期战略,加快实施重点任务和重大举措。这是我国顺应世界能源变革大势的战略选择。在全球应对气候变化形势下,世界范围内正在经历新型能源体系变革,强化节能和能源结构的低碳化是大国能源战略的共同选择。我国当前经济社会发展既面临日趋强化的资源环境制约,也面临全球应对气候变化的挑战。节约能源,提高能源效率,发展新能源和可再生能源,优化能源结构,从而减少化石能源消费,既是国内治理环境污染、建设两型社会的重要对策,也是应对气候变化、减缓 CO₂ 排放的战略选择,是促进经济社会发展与资源环境协调和可持续发展的根本途径。当前以推动能源生产和消费革命作为关键着力点和突破口,充分发挥其多方面和全方位的协同效应,可进一步促进国内经济发展方式向绿色低碳转型,促进减排 CO₂ 战略的实施,适应国际合作应对气候变化的进程。

面对国内资源环境制约和全球应对气候变化的形势,大力节约能源,提高能源效率,改善能源结构,推进能源体系的革命性变革,既是我国突破资源环境制约、建设生态文明、实现永续发展的内在需求,也是积极推进全球应对气候变化进程的战略选择。因此,中长期能源战略要有创新的思路和超前的部署,顺应世界能源变革的趋势,走出中国特色的绿色低碳发展路径。

党的“十八大”提出推动能源生产和消费革命,今年 6 月份习近平主席又就推动能源生产和消费革命提出 5 点要求,即推动能源消费革命、推动能源生产革命,推动能源技术革命,推动能源体制革命以及全方位加强国际合作,并部署制定

2030 年能源生产和消费革命的战略。因此,推动能源生产和消费革命,已成为我国促进经济发展方式转变,建设生态文明的根本途径和关键着力点,也是我国应对气候变化根本性的战略选择。当前需要全面统筹,发挥能源生产和消费革命多方面和全方位的协同效应,整合各项政策措施,加大实施力度,开创国内生态文明建设和应对全球气候变化的双赢局面。

转变发展观和消费观,节约能源,提高能源利用技术效率和经济产出效益是能源消费革命的核心内容和关键对策

因此能源发展战略需要有创新的思路,要改变传统能源战略以保障能源供应为中心的思维模式,要从建设生态文明的高度引导和调控能源需求。习近平主席把推动能源消费革命放在优先地位,提出控制不合理能源消费,坚决控制能源消费总量,从而形成促进经济发展方式根本性转变的“倒逼”机制,以低能源消费、高产出效益支持经济社会的持续发展。我国“十二五”能源规划中已提出到 2015 年控制能源消费总量不超过 40 亿 tce 的指导性目标,从当前状态看有望实现。到 2020 年在超额实现 GDP 比 2010 年翻一番、单位 GDP 的 CO₂ 强度比 2005 年下降 40-45% 的目标情况下,能源消费总量亦可控制在 48 亿 tce。2020 年后,我国基本实现工业化阶段,经济趋于内涵式增长,在 GDP 仍保持较高增速情况下,能源消费弹性可下降到 0.5 以内,到 2030 年能源消费总量可控制在约 60 亿 tce。届时 GDP 将约为 2010 年的 3.5 倍,而能源消费总量将不超过 2010 年的 2 倍。相对于 1990 ~ 2010 年 20 年间能源消费增长 3.3 倍,未来能源消费的增长趋势将大为减缓。

我国当前能源利用的产出效益仍然较低，单位 GDP 的能源强度约为世界平均水平的 2 倍，发达国家的 3 ~ 4 倍。其中能源转换和利用的技术效率和发达国家的差距并不大，近年来快速接近，如燃煤发电效率已超过美国，达世界先进水平。能源利用产出效益低的主要原因是我国工业化阶段的产业结构特征，工业占 GDP 比重接近 50%，远高于发达国家约 30% 的水平，我国工业部门能耗占全国终端总能耗的 70%，而发达国家一般不高于 1/3。同时我国制造业产品处于国际价值链中低端，能耗高、增加值低，上述产业和产品的结构性因素是导致 GDP 能耗高的主要原因。我国当前第二产业占 GDP 中的比重已达到或超过发达国家工业化阶段的峰值水平，钢铁、水泥、家电等产品的产量均达世界产量的半数左右，存在调整产业结构、较大幅度降低 GDP 能源强度的空间和潜力。据测算，工业在 GDP 中比重下降一个百分点，而服务业的比重上升一个百分点，单位 GDP 能耗也将下降约一个百分点。因此，在继续大力度推广节能技术，淘汰落后产能，推进产业技术升级，不断提高能源利用效率的同时，要着力发展战略性新兴产业和现代服务业，限制高耗能、高污染和资源密集型产品的出口，加快产业技术升级。我国制造业产品出口多为中低端产品，能耗高，增加值低。当前为生产出口产品的能耗约占全国总能耗的 1/4，进出口产品所隐含的能耗抵销后净出口的隐含能耗也占全国总能耗的 10% 以上。因此，要改变当前以不断增加投资、扩充重化工业产能、扩大制造业产品出口为驱动的粗放扩张型的经济增长方式，扩大最终消费的拉动作用，这将有利于降低对钢铁、水泥等高耗能投资品需求的增长，有利于降低高耗能产业的比重，促进产业结构的调整，形成低碳产业体系，从而促进单位 GDP 能耗的下降。所以习主席强调“坚定调整产业结构”，以充分发挥结构性节能的效益，促进经济发展方式向绿色低碳转型。

推动能源消费革命，习近平主席特别强调“高度重视城镇化节能，树立勤俭节约的消费观，加快形成能源节约型社会”。当前我国仍处于快速城镇化进程中，城镇基础设施建设和农村人口转入城市后生产和生活方式的转变，能源消费势必增加。因此城市化进程中要努力构建低碳型的城市布局、基础设施、生活方式和消费导向，引导社会公众消费观念和消费方式的转变。在注重提高建筑物节能标准、提高家用电器能效、提高汽车燃油经济性等技术节能措施的同时，也必须更加重视低碳城市建设的总体布局和规划，要改变过度追求物质享受的奢侈型消费理念和追求超大面积豪华住房、大排量高档汽车等高碳消费方式。消费观念和消费方式的转变，可有效降低最终能源需求服务水平，并引导经济社会发展方式转变。必须避免沿袭发达国家城市建设的高碳基础设施和高碳奢侈性消费的传统发展模式，避免形成只能在宏观高能耗和高碳格局下寻求具体设施和单项技术低能耗和低碳排放的被动局面。要以建设生态文明和低碳社会的理念为指导，探索新型的以低碳为特征的生态城市的发展模式和绿色宜居的生活方式，走出新型的生态低碳城市化道路。

推动能源体系的清洁化和低碳化，以多元化能源结构保障能源供应安全是我国能源生产革命的战略目标和根本途径。

当前我国能源结构以煤为主，煤炭在一次能源构成中比重长期维持在 70% 左右，煤炭比例过高不仅使能源系统效率低，而且带来严重的环境污染。我国单位能源消费的 CO₂ 排放强度比世界平均水平高 20% 以上，约比欧盟高 35%。加速能源结构向清洁化和低碳化转型，就要大力发展新能源和可再生能源以及天然气等低碳能源，最终目标将是到本世纪下半叶逐渐形成以新能源和可再生能源为主体的新型可持续能源体系，实现 CO₂ 的近零排放，以顺应全球能源变革和应对气候变化的趋势和潮流。我国已制定 2020 年新能

源和可再生能源比重达 15% 的目标，届时其年供应量将达 7 亿 tce 左右，超过英国和德国并相当于日本 2010 年能源消费总量，成为有效抵消化石能源增长的替代能源，而煤炭的比重将下降到 60% 以下。到 2030 年，可再生能源和核能在一次能源中的比重将达到或超过 20%，年供应量将超过 10 亿 tce，届时水电、风电、太阳能发电装机规模都将达数亿千瓦，非化石能源发电占电力总供应量的 40% 以上，而煤炭在一次能源中比重也将下降到 50% 以内，新能源和可再生能源将成为与煤炭、石油和天然气等化石能源相并列的在役主力能源。到 2050 年，新能源和可再生能源的比重争取达到 1/3 ~ 1/2 左右，煤炭的比重下降到 1/3 以下，为本世纪下半叶建成以新能源和可再生能源为主体的可持续能源体系奠定坚实的基础。

中国地域广大，经济发展不平衡，自然条件和能源资源禀赋差别巨大，中国能源供应在总体上向低碳转型过程中，不同地区因地制宜开发利用多种能源资源，特别是可再生能源资源，对多种先进能源技术进行技术与经济上的优优配置，发展分布式能源网络，以多元化能源结构体系，保障能源供应安全。在大力发展可再生能源的同时，核能在向可持续能源体系过渡过程中，以及实现 CO₂ 减排目标，都将发挥不可替代的作用。2030 年核电装机达 1.5 ~ 2.0 亿千瓦，将替代煤炭 3.75 ~ 5.0 亿吨，减少 CO₂ 排放 10 ~ 13 亿吨，同时对于减少 SO₂，NOX，PM_{2.5} 等常规污染物排放也将发挥重要作用。因此，在确保安全的基础上，我国仍应持续、规模化高效发展核电。在化石能源中，天然气是比煤炭更为清洁、高效和低碳的能源，我国也要加强常规和非常规天然气的勘探开发，不断增加天然气在一次能源中的比重，减缓煤炭的增长，到十四五期间（2020 ~ 2025 年），天然气比例可由目前 5% 提高到 10% 以上，可使煤炭消费量早于 CO₂ 排放达到峰值。虽然今后煤炭比重会持续下降，但在相当长时期内仍

会起主导性作用，因此要加强发展煤炭清洁、高效利用技术，这仍是节约能源、减少环境污染的重要措施。同时也要研发和示范燃煤发电和煤化工过程中的 CO₂ 捕集和封存技术，为将来全球减排 CO₂ 更为紧迫、“碳价”较高情况下储备可选择的降碳技术。

技术创新是推动能源生产和消费革命的重要支撑

综上所述，推动能源生产和消费革命的战略目标，总体上可概括为高效、安全、清洁、低碳。实现上述目标必须推动能源技术的革命，以先进技术创新支撑能源体系的革命。全球能源变革的发展趋势将引发世界范围内经济社会发展方式的重大变革，从而影响国际经济技术竞争格局的变动。夺取先进能源技术的竞争优势和制高点，也是大国参与气候变化领域博弈的重要动因和战略目标。发达国家也旨在凭借自身在能效和新能源领域的技术优势，向发展中国家扩展市场，扩充新的经济增长点，增强其经济活力。在先进能源技术研发的诸多领域，我国和发达国家同步开展，有自己的特点和优势。当前要进一步加强先进能源技术的研发和产业化的力度，利用我国市场需求大的优势，打造能源企业先进技术的竞争优势。以技术创新支撑产业升级和能源体系的变革，在世界能源体系变革的技术竞争中争取先机，实现跨越式发展。

加强先进能源技术的研发和产业化，除大力发展太阳能、风能等可再生能源技术，氢能技术、储能技术和智能电网技术，CO₂ 捕集和封存（CCS）技术等先进技术外，我国应特别重视核能技术的发展和占据竞争优势。核能运行稳定，成本具有竞争力，在确保安全的基础上，核能还要规模化高效发展，在我国能源体系低碳化变革中将发挥不可替代的作用。核能工业科技含量高，系统复杂，研发周期长，投资巨大，只有少数大国可参与并主导全世界核能的发展和产业化，是低碳

技术领域最尖端和最具垄断性的高科技产业。自主掌握先进核能技术也是一个国家具备核心竞争力的体现。未来人口数倍于发达国家的广大发展中国家，在其现代化过程走低碳发展路径，核能将是其推进能源变革的重要技术选项，有广阔的发展前景。天然铀原料在核电成本中比例不到10%，且重量和体积小，易于以较低成本建立储备体系，国际上通常把全球性铀资源视为“准国内资源”，把发展核能作为提高能源供应自给率、保障能源供给安全的重要战略选择。福岛核事故后一些国家采取了弃核政策，但美国、俄国等更具有核能技术优势的国家仍坚持继续发展核能的方针，不仅重视核能在能源变革中的重要作用，更注重保持和发展期技术竞争优势，积极开拓国外市场并保持和扩大其影响力。奥巴马在解释其核能战略是突出两点，其一是应对气候变化减排CO₂的需求，其二强调美国不能失去其核能技术在全球的领先优势。美、俄等国既重视中国潜在的市场，更警惕中国先进核能技术在全球竞争力的提升。我国未来核能需求市场潜力大，并已有较好的技术基础和较完善的核工业体系，要把核能作为我国在世界范围内战略必争的高科技领域，加强技术创新，提升综合研发和产业化能力，拥有与大国相适应的核科技力量，保持军民结合、寓军于民的核工业实力。当前在先进能源技术研发的诸多领域，我国和发达国家同步开展，有自己的特点和优势。当前要进一步加强先进能源技术的研发和产业化的力度，利用我国市场需求大的优势，打造能源企业先进技术的竞争优势。以技术创新支撑产业技术升级和能源体系的变革，在世界能源体系变革的技术竞争中争取先机，实现跨越式发展。

深化改革，推动能源体制革命是实现能源生产和消费革命的根本保障

要进一步完善促进低碳发展的财税金融等政策体系，改革和完善能源产品价格形成机制和资源、

环境税费制度。加强能源市场机制改革，还原能源商品属性，建立公正公平有效竞争的市场结构和市场体系，既要破除某些领域的市场垄断，也要纠正和避免市场的无序竞争。当前我国化石能源定价机制尚无全面反映其社会成本。比如煤炭燃烧所造成大气和水资源污染、公众健康损害等社会损失并未在其价格中体现，国家也没有完善的税费制度对其收益进行相应转移支付，而燃煤消费造成环境和健康损失成本则相当于当前煤炭价格的50%以上。通过资源、环境税费制度改革和碳市场的建设，使资源环境损失的社会成本内部化，则有利于促进化石能源的节约，激励新能源和可再生能源发展，促进能源结构转型。另一方面，通过分时电价、阶梯电价等能源价格改革，在促进节能的同时，保障低收入家庭公平获得优质能源服务，促进社会和谐发展。

当前在能源体制改革中，要特别关注碳市场的建设。在全球应对气候变化紧迫形势下，碳排放空间的紧缺资源和生产要素的属性越来越明显，需要通过市场机制，明确碳排放空间和配额的价值，促进企业减排，提高单位碳排放的经济产出率。我国已在“五市二省”开展了碳交易试点，在总结经验基础上，要尽快推进全国统一碳市场的建设，这也是在全球低碳发展趋势下的基础能力和基本制度的建设，可以促进地区和企业碳排放统计，监测和核算体系的建设，为应对国际社会减碳机制的发展做好自身的能力建设。未来碳市场的发展可能成为世界主要国家应对气候变化的制度选择和发展潮流。第一次工业革命蒸汽机的出现使生产方式由小作坊向工厂化集中生产转变，以提高劳动生产率为核心，促进了劳动力市场的发展；第二次工业革命中电力的广泛使用形成了大规模自动化生产方式，大规模生产能力和基础设施建设需要大量资金，资本成为更为紧缺的生产要素，由此发展了资本和金融市场，提高资本的产出率也成为企业管理者的首要经营目标。当前全球生态危机和环境容量空间制约使碳排放空

间越来越成为比劳动力和资本更为紧缺的资源和生产要素，需要大幅度提高单位碳排放的经济产出率（即碳生产率）。实现全球温升不超过 2℃ 目标，到 2050 年全球碳排放需比 2010 年下降 40 ~ 70%，而届时 GDP 将约为 2010 年的 3 ~ 4 倍，因此碳生产率需要提高 5 ~ 10 倍，年增长率需达 4 ~ 6% 左右，远高于发达国家工业革命进程中劳动生产率提高的速度 [14]。因此，提高有限碳排放空间的经济产出率就成为突破资源环境制约，实现人与自然和谐与可持续发展的根本途径。碳市场将把碳排放额度的价值显性化和货币化，各类碳金融产品也会相继产生和发展，类似国际金融市场的发展，碳市场和碳金融也可能发展成为国际低碳发展竞争中的重要环节。

全方位加强国际能源合作是对新形势下企业走出去战略的综合部署

当前全球应对气候变化的合作进程以及全球能源变革的趋势，为我国推动能源生产和消费革命提供了较好的国际合作环境和共赢的机遇。全方位加强国际合作，实施新形势下全方位走出去战略，加强对国际资源的获取和掌控能力，同时打造世界范围内有竞争力的国际化能源企业，扩大对国际能源市场的影响力和定价的话语权，积极参与国际能源安全体系的建设。因此，需要对企业实施走出去战略进行全面统筹，相互协调配合，加强与资源产出国的全面战略合作，在获取资源的同时促进当地的可持续发展，打造互利双赢局面。加强能源国际合作，不仅是获取和利用国际资源，保障能源供应安全，同时要加强国际技术合作和技术转让，掌握先进技术的知识产权，提升核心技术竞争能力，在全球能源变革趋势中占据主动地位，同时这也是我国发挥大国作用，推进南南合作，增强发展中国家应对气候变化能力的重要领域。因此，我国要以能源领域的国际技术合作，在推动全球应对气候变化的合作进程中发挥重要的引领性作用。

推动能源生产和消费革命，实现绿色低碳发展转型，关键在于各级政府和领导发展观和政绩观的转变

党的“十八大”突出生态文明建设，提出绿色发展、循环发展、低碳发展的理念，是我国经济社会转型时期的重大战略抉择和关键举措。要改变以不断增加投资、扩充重化工业产能、扩大中低端制造业产品出口为驱动力的经济增长方式，从而促进产业结构调整，使单位 GDP 能源强度较大幅度地下降。要重视发展观念的转变，切实从片面追求 GDP 增长的数量和速度转变到更加注重经济增长的质量和效益，制定并实施各项节约资源、环境保护和减排 CO₂ 的约束性指标和政策“红线”。当前各级政府要统筹经济发展、增加就业、改善民生与资源节约、环境保护的关系，权衡 GDP 增长的收益与相应资源环境的损失，从“两难”变“双赢”。要切实建设生态文明，实现绿色低碳转型的可持续发展战略目标置于各项经济发展目标的前位，要改变各级领导政绩观的导向和考核衡量标准，强化节能减碳和生态环境保护的目标责任制。

建设生态文明，实现低碳发展，需要发展理念和消费观念的创新，传统支撑工业文明的发展理论和评价方法学已不能适应生态文明建设的发展理念和目标，也需要有理论和方法学的创新。它将由片面追求经济产出和生产效率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念，它将不再片面地追求 GDP 增长的数量、个人财富的积累和物质享受，而是全面权衡协调经济发展、社会进步和环境保护，注重经济和社会发展的效益和质量，不再盲目向地球摄取资源，排放废物。在满足基本物质生活需要的前提下，清洁的空气、干净的饮水、宜居的环境已

变得比个人物质享受更为重要。高水平的生活质量是大家的共同体验和共同利益，这将促进社会公共财富的积累和共享，促进世界各国和社会各阶层的合作与共赢 [5][6]。因此，要引导全社会形成由片面追求经济产出和生产率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人

与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念。以观念的创新引导经济社会发展方式的转型。

7.5 科技创新

应对气候变化已经成为经济增长和技术创新背后最大的驱动力。作为发展中国家，应对气候变化是中国转变经济发展方式的重要契机，是促进科技创新的新的力量。

从 19 世纪后半叶开始，发达国家经济增长的主要源泉始终是与科学相关的技术。现代经济学家对技术发展史的研究则表明，与科学相关的技术之所以兴起，最具决定作用的因素，是科学研究和技术创新活动的制度化，即建立起有利于科学繁荣和技术创新的整套制度。吴敬琏对先行工业化早期发展阶段和现代增长阶段各自具有的代表性通用技术 -- 蒸汽机、铁路和电力对经济增长的贡献做了比较分析，发现代表性通用技术创新在不同的国家对经济增长的贡献达到了 21%-98%[33]。

伴随着第三次工业革命的来临，气候变化已经成为经济增长和技术创新背后最大的驱动力。发达国家纷纷将技术创新当作应对气候变化和抢占新一轮世界经济增长的至高点的主要措施进行布

局。即使是美国这样的发达国家，也将新能源和低碳技术作为催生经济增长模式转变的重点领域来投入，全力打造具有全新基础的经济增长“岩上之屋”。作为发展中国家，气候变化是中国转变经济发展方式的重要契机，是促进科技创新的新的力量。中国政府积极谋划，进行战略性新兴产业的布局，在“十二五”规划中明确提出“坚持把科技进步和创新作为加快转变经济发展方式的重要支撑...，推动发展向主要依靠科技进步、劳动者素质提高、管理创新转变，加快建设创新型国家”。

在应对气候变化的同时，中国也从新气候经济发展中获益。以低碳技术和新兴战略性新兴产业为核心，将实现经济由投资驱动、资源驱动向创新驱动的战略转变。仅光伏制造业、风能制造业和节能服务业就为中国创造了超过一百万的工作机会，并创造了数千亿的产值。

中国政府的科技创新政策以低碳技术和战略性新兴产业为核心，希望通过一系列的布局，实现经济由

投资驱动、资源驱动向创新驱动的战略转变。低碳技术在中国受到了高度的重视,发展非常迅速。在“十一五”期间,中国的低碳技术应用主要集中在化石能源清洁利用技术、节能技术(主要应用在工业部门和建筑部门)、可再生能源技术领域。2011年中国在能效领域和可再生能源应用领域的投资共计8429亿元(1305亿美元),是当年全球投资最多的国家。能效领域投资为4162亿元(644亿美元),可再生能源领域的投资为4267亿元(661亿美元),两者的比例接近1:1[6]。

2010年中国政府发布《关于加快培育战略性新兴产业的决定》,同年新兴产业占GDP的比重仅为3%。在2012年发布的《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》明确提出2015年战略性新兴产业增加值占国内生产总值比重达到8%左右、2020年战略性新兴产业增加值占国内生产总值比重达到15%左右的目标。这将对中国的经济发展方式产生深远影响。

在应对气候变化的同时,中国也从新气候经济发展中获益。以应对气候变化为契机,中国已全面建立起具有竞争力的新能源制造产业。从光伏制造业来看,经过十多年的发展,已成为我国为数不多的、可以同步参与国际竞争、并有望达到国际先进水平的产业,并且已培育出一批国际知

名企业。2010年光伏制造业出口额达到202亿美元,约占我国货物出口总额的1.9%。受欧美贸易战的影响,2013年我国光伏制造业销售下滑,但全行业销售收入仍达到3230亿元(制造业2090亿元,系统集成1140亿元)[34]。据不完全统计,光伏制造业全行业从业人员人数超过40万人,仅江苏省内从业人员就超过10万人。自2005年以来依托于国内市场拉动,我国逐步建立了完备的风机制造业,2012年世界排名前10位的制造商中有4家中国企业(李俊峰等,2013)。据不完全统计,2012年我国风电行业直接从业人数达到了30万[35]。按照每千瓦3500元的售价估算,2013年全国风机制造业销售收入为478亿元。

2006年以来,随着节能政策的落实和推进,也带动了节能服务业的迅速发展,并创造了大量的工作机会。从产值来看,2006年节能服务业产值仅为47.3亿元,而2013年该行业产值已达2155.6亿元。与此同时,节能服务业的发展也产生了大量的工作机会,2006年该行业的从业人员为1.6万人,而2013年从业人员已达50.8万人(见表7-1)。粗略计算,仅光伏制造业、风能制造业和节能服务业就为中国创造了超过一百万的工作机会,并创造了数千亿的产值。

	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013
节能服务业产值(亿元)	47.3	NA	NA	836.3	1250.3	1653.4	2155.6
从业人员(万人)	1.6	6.5	11.3	17.5	37.8	43	50.8

表 7-1 2006-2012 年节能服务业产值与从业人员数变化

要实现创新驱动型增长，需要建立支持科技创新的金融体系，强化企业在技术创新中的主体地位，建立独立的第三方科技评估体系，健全科技创新激励体系和完善国家创新体系。

实现经济增长由投资驱动改为创新驱动，主要由以下途径：（1）建立支持科技创新的金融体系，满足企业尤其是私有企业尤其是中小企业的融资需求。（2）强化企业在技术创新中的主体地位。李克强总理在第十二届全国人民代表大会第二次会议指出：要强化企业在技术创新中的主体地位，鼓励企业设立研发机构，牵头构建产学研协同创新联盟。全面落实企业研发费用加计扣除等普惠性措施。把国家自主创新示范区股权激励、科技成果处置权收益权改革等试点政策，扩大到更多科技园区和科教单位。（3）建立独立的第三方科技评估机制，改变目前决策、立项、组织和评价不分家的做法。完善评价办法和指标体系，改

变对计划、项目、机构、人员和成果等的评价过于频繁或简单量化的倾向。通过立法规范科技评价制度，明确评价机构的权利和责任，以及评价委员会的任期、评价报告的公布等等；完善评价的信息公开和举报制度。（4）健全科技创新激励机制，调动创新主体的积极性。通过政策引导改善研究的主力—青年研究工作者的待遇，使科学研究成为有吸引力的工作机会。在企业技术创新方面，需要完善新技术、新成果交易服务体系，为创新成果提供资本化、商品化、产业化机会；积极开展知识产权金融服务，健全新技术转化应用风险投资机制，降低科技创新成本，分摊企业科技创新风险；加强知识产权保护和运用；鼓励企业建立研发人员报酬与市场业绩挂钩机制。（5）完善国家创新体系，整合资源，通过建立统一的国家创新知识成果共享网络平台，实现资源的开发和共享，将创新成果、文化和工具延伸区域、科技园区之外，应该成为未来的重要目标。

7.6 制度变革与社会治理

“十一五”以来，中国政府在气候变化领域不断健全顶层设计、健全体制机制、完善政策体系、实施制度创新、并引导全社会参与。国家应对气候变化制度逐步呈现出政策定位战略化、管理网络化等特点。未来需尽快建立与低碳发展相适应的法律体系、加强适应气候变化领域的制度建设、加快能源定价机制改革并在更大范围内推进碳排放权交易试点工作。

制度变化

制度建设的思路主要分为顶层设计、完善体制机制、减缓气候变化、适应气候变化、全社会参与及国际合作等几方面。其中，减缓气候变化主要是采取一系列手段遏制发展过程中碳排放的过快增长。适应气候变化则强调调整气候变化相关领域的工作方式和内容，降低气候变化对这些领域的损害。全社会参与是指通过政府引导、社会各

渠道参与，提高全社会应对气候变化的意识，鼓励全民共同行动。我国至今为止应对气候变化的制度变迁可以总结为以下五个方面：

（一）加强顶层设计

我国应对气候变化领域的制度建设始于 2006-2007 年，相继发布《气候变化国家评估报告》（2006），成立“国家应对气候变化领导小组”（2007），并制定和实施了《中国应对气候变化国家方案》（2007）。虽然《国家方案》的出台是中国首次在国家战略层面正式提出应对气候变化的议题，但在此之前我国就已经在应对气候变化方面开展了许多工作，如产业优化升级，提升服务行业占比；大力发展高技术、新兴产业；加快淘汰落后产能；高度重视工业节能减排和能效提高，对单位 GDP 能耗下降设定约束性指标；长期进行能源结构优化，提高非化石能源比重；在建立节约型社会的总体部署下发展循环经济；植树造林工作更是自上世纪 80 年代就开始进行，2007 年前就已取得显著成果。尽管这些早期行动在我国的话语体系上很少与应对气候变化联系在一起，但的确对应对气候变化产生了积极的协同效应。

《国家方案》发布后，应对气候变化正式上升为我国的宏观战略。“十一五”期间，国家逐步出台或修订政策法规，将应对气候变化列为主要目标之一。2009 年，我国在哥本哈根气候变化大会上正式提出 2020 年单位 GDP 碳排放比 2005 年下降 40%-45% 的目标。2011 年开始，应对气候变化正式写入国家“十二五”规划，首次将单位 GDP 碳排放下降作为约束性指标，规定 2015 年我国单位 GDP 碳排放比 2010 年下降 17%。国家还出台了包括《“十二五”控制温室气体排放工作方案》在内的一系列纲领性文件，加强战略研究和规划编制，开展了中国低碳发展宏观战略研究，系统分析和研究中国 2020、2030 和 2050 年低

碳发展的目标和方针，绘制路径图。

除此之外，2012 年召开的党的十八大着重阐述了“大力推进生态文明建设”的战略决策，将生态文明建设上升到与经济、政治、文化、社会建设并列的“五位一体”的总布局，其中低碳发展被列为生态文明建设的途径方式之一，再次加强了应对气候变化的顶层设计。

（二）健全体制机制

《国家方案》方案发布之前，我国从中央到地方并未形成应对气候变化的管理体制和机制。1990 年仅在国务院环境保护委员会下设立国家气候变化协调小组，由国务委员宋健担任组长，1998 年机构改革后更名为国家气候变化对策协调小组，组长由当时国家发展计划委员会主任曾培炎担任。当时的协调小组主要工作是编制国家信息通报工作，编制国家温室气体排放清单等，并未对应对气候变化的具体工作展开部署。

2007 年起，国家应对气候变化的中央机构的地位显著提高。国家正式成立国家应对气候变化及节能减排工作领导小组，由国务院总理担任组长，国家发改委承担具体工作。2008 年，国家发改委设置应对气候变化司，中央各部委也相继建立了应对气候变化的职能机构和工作机制。2010 年，在国家应对气候变化领导小组框架内设立协调联络办公室。中国各省级政府均建立了以政府行政首长为例的应对气候变化领导机构。建立了部门分工协调机制。一些副省级城市和地级市也建立了应对气候变化或低碳发展办公室。国务院成立了国家应对气候变化战略研究和国际合作中心、应对气候变化研究中心等工作支持机构，一些高等院校、科研院所成立了气候变化研究机构。建立了节能减排目标责任制和政府强制采购节能产品制度等机制。

到“十二五”期间，我国已经初步建立了由国家应对气候变化领导小组统一领导、国家发展改革委具体管理、各部委、省级、市级地方政府分工负责、全社会参与的应对气候变化管理体制和工作机制。建立了碳强度下降目标责任制，明确了各省（自治区、直辖市）单位国内生产总值二氧化碳排放下降指标，建立了目标责任评价考核制度。

（三）完善政策体系

2007 年前，国家与减缓气候变化相关的政策主要包括调整经济结构，转变发展方式，大力节约能源、提高能源利用效率、优化能源结构，增加碳汇等方面。适应气候变化的政策主要集中在农业、森林等自然生态系统、水资源、海岸带及沿海地区及预警系统。在“十一五”及“十二五”期间，国家进一步完善了气候变化领域的政策体系，并有所创新（参见表 7.2）。

在减缓气候变化领域，国家加大了对节能产品的推广力度。利用市场机制推动节能，采用了合同能源管理、电力需求侧管理等政策工具。实行激励政策，推进能源价格形成机制改革。“十二五”期间国家加大了对新能源汽车的政策支持与补贴。推行能源消费总量控制，明确总量控制目标和分解落实机制。2013 年，随着《大气污染防治行动计划》的出台，煤炭消费总量控制也被提上议事日程。在低碳能源发展领域，将推进煤层气、页岩气等非常规油气的开发利用提升到重要层面。《页岩气“十二五”规划》中提出 2015 年页岩气产量达到 65 亿立方米，2020 年达到 1000 亿立方米的目标。2020 年的目标与我国 2013 年天然气年产量 1210 亿立方米基本持平。另外，我国还开展了低碳产品认证试点、碳社区和低碳园区试点、低碳交通试点等工作。在适应气候变化方面，“十二五”时期水资源管理上升到更重要的地位，国家提出实行“最严格的水资源管理”。并正式提出应对由气候变化引起的人群

健康问题 [40]。在这段时期，国家还提出了应对气候变化基础能力建设概念，要求加强能源及碳排放统计核算能力建设，并将气候变化内容纳入国家教育体系。

（四）实施制度创新

我国在应对气候变化领域实施了三大制度创新：能源消费总量控制、低碳试点城市、碳排放权交易。

《能源发展“十二五”规划》明确提出要实行能源消费总量控制，2015 年将全国能源消费控制在 40 亿吨标煤左右。这是我国节能领域的一个重大制度转变与创新。在此之前，我国对与能源消费的控制目标一直为强度目标，即单位 GDP 能耗下降率。但是能源消费总量的控制对节能提出了更加严格的要求，即从相对节能转变为绝对节能。这一转变将使碳排放量得到有效控制。

2010 年我国提出建立低碳试点城市，第一批确定了五省八市作为低碳试点，2012 年确定了第二批 29 个省市。除了西藏、青海等几个省外，全国几乎每个省都至少有一个试点城市或者省份。低碳试点项目要求省市编制低碳发展规划、制定支持低碳绿色发展的配套政策、建立以低碳排放为特征的产业体系、建立温室气体排放数据统计和管理体系、倡导低碳绿色生活方式和消费模式。低碳试点省市将应对气候变化、减少碳排放作为工业化、城镇化发展的指导思想，并以此为契机实现城市经济发展低碳化、建筑交通低碳化、生活消费低碳化，推进绿色发展。这也是我国在新气候经济理念上的进一步实践。

碳排放权交易试点开展于 2011 年，是我国运用市场化工具应对气候变化的重大制度创新，受到了全世界的关注。我国是世界上最大的排放权供应国之一，但是由于国内没有碳市场，在清洁发

类别			名称
综合	《全国生态保护“十二五”规划》环发〔2013〕13号 《“十二五”国家应对气候变化科技发展专项规划》国科发计〔2012〕700号 《关于加强应对气候变化统计工作的意见》发改气候〔2013〕937号		《国家应对气候变化规划（2013-2020）》-编制中
	综合		《国家适应气候变化战略》发改气候〔2013〕2252号
适应	防灾减灾	《民政部关于加强自然灾害救助评估工作的指导意见》 《中央救灾物资储备库管理暂行办法》 《国家综合防灾减灾规划（2011-2015年）》 《国家森林火灾应急预案》	《民政部救灾应急工作规程》
	监测预警		《中国气候变化监测公报 2011》
	农业		《国家农业节水纲要（2012-2020年）》国办发〔2012〕55号
	水资源	《落实〈国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见〉实施方案》水资源〔2012〕356号 《深入推进节水型企业建设工作的通知》工信部联节〔2012〕431号 《全国城镇供水设施改造与建设“十二五”规划及2020年远景目标》 《国家节水型城市考核标准和考核办法》	《关于实行最严格水资源管理制度的意见》国发〔2012〕3号
	海洋	《“十二五”国家应对气候变化科技发展专项规划（海洋领域）》-编制中 《国家“十二五”海洋科学和技术发展规划纲要》-编制中 《国家海洋事业发展“十二五”规划》	《海洋领域应对气候变化中长期发展规划（2011-2020年）》-编制中
	生态系统	《国务院办公厅关于做好自然保护区管理有关工作的通知》 《湿地保护管理规定》	《中国生物多样性保护战略与行动计划（2011-2030）》
	人群健康	《全国农村饮水安全工程“十二五”规划》 《全国城市饮用水卫生安全保障规划（2011-2020年）》	《国家环境与健康行动计划（2007-2015）》
	综合	《2014-2015年节能减排低碳发展行动方案》国办发〔2014〕23号 《低碳产品认证管理办法（暂行）》	《“十二五”控制温室气体排放工作方案》国发〔2011〕41号
	产业结构调整	传统产业改造升级	《产业结构调整指导目录》（2011年本）（2013年修正） 《全国老工业基地调整改造规划（2013-2022年）》 《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》 《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》 《战略性新兴产业分类（2012）》 《关于加强战略性新兴产业知识产权工作的若干意见》 《国务院关于加强发展服务业的若干意见》 《国务院办公厅关于加快发展服务业若干政策措施的实施意见》 《服务业发展“十二五”规划》
		战略性新兴产业	
		发展服务业	
		淘汰落后产能	《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》国发〔2013〕41号 《关于印发淘汰落后产能工作考核实施方案的通知》
减缓	能源	综合	《能源发展“十二五”规划》国发〔2013〕2号 《国家能源科技“十二五”规划》国能科技〔2011〕395号 《“十二五”节能减排综合性工作方案》国发〔2011〕26号 《节能减排“十二五”规划》国发〔2012〕40号 《“十二五”节能环保产业发展规划》国发〔2012〕19号 《关于加快发展节能环保产业的意见》国发〔2013〕30号 《国家重点节能技术推广目录》 《工业领域应对气候变化行动方案（2012-2020年）》工信部联节〔2012〕621号 《工业节能“十二五”规划》 《2013年工业节能与绿色发展专项行动实施方案》工信部节〔2013〕95号 《关于加强工业节能减排先进适用技术遴选评估与推广工作的通知》 《节能机电设备（产品）推荐目录（第三批）》 《高耗能落后机电设备及（产品）淘汰目录（第二批）》 《关于组织实施电机能效提升计划（2013-2015年）的通知》 《关于加强内燃机工业节能减排的意见》 《万家企业节能低碳行动方案》发改环资〔2011〕2873号 《“十二五”建筑节能专项规划》建科〔2012〕72号 《绿色建筑行动方案》国办发〔2013〕1号 《建筑能效标识技术标准》 《城镇供热系统节能技术规范》 《公共机构节能“十二五”规划》国管节能〔2011〕433号 《“十二五”城市绿色照明规划纲要》建城〔2011〕178号 《交通运输行业“十二五”控制温室气体排放工作方案》交政法发〔2012〕419号 《公路水路交通运输节能减排“十二五”规划》交政法发〔2011〕315号 《关于公路水路交通运输行业落实国务院“十二五”节能减排综合性工作方案的实施意见》交政法发〔2011〕636号 《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》国科发计〔2012〕195号 《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》国发〔2012〕22号 《关于加强城市步行和自行车交通系统建设的指导意见》 《天然气发展“十二五”规划》 《页岩气发展规划（2011-2015年）》 《关于出台页岩气开发利用补贴政策的通知》 《可再生能源发展“十二五”规划》 《分布式发电管理暂行办法》发改能源〔2013〕1381号 《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》财建〔2012〕102号 《太阳能光伏产业“十二五”发展规划》 《太阳能发电发展“十二五”规划》国能新能〔2012〕194号 《太阳能发电科技发展“十二五”专项规划》国科发计〔2012〕198号 《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》国发〔2013〕24号 《风力发电科技发展“十二五”专项规划》国科发计〔2012〕197号 《生物质能发展“十二五”规划》国能新能〔2012〕216号 《关于促进地热能开发利用的指导意见》国能新能〔2013〕48号
		能效	
		能源	
		清洁能源	
		非化石能源	
		碳汇	《林业应对气候变化“十二五”行动要点》办造字〔2011〕241号
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》发改气候〔2012〕1668号
		碳捕集、利用和封存	《关于推动碳捕集、利用和封存试验示范的通知》发改气候〔2013〕849号
		控制非二氧化碳温室气体排放	《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》
		循环经济	《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》
		碳交易	《循环经济发展“十二五”规划》
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	
		碳捕集、利用和封存	
		控制非二氧化碳温室气体排放	
		循环经济	
		碳交易	</

展机制(CDM)中缺少话语权,难以参与国际碳交易标准制定,一直处于国际碳交易产业链的低端,不利于争夺碳排放定价权。为实现更大减排力度并提升在国际碳交易中的地位,我国加快了国内碳市场的建设。我国碳排放权交易借鉴了欧盟的排放交易体系(EU ETS),采用总量控制与交易(cap-and-trade)模式。目前我国碳交易试点已在北京市、天津市、上海市、重庆市、广东省、湖北省、深圳市7个省市展开,试点省市先后发布了工作实施方案,建立了碳交易平台,开展了碳交易活动。截至2014年8月中旬,7省市累计成交量超过1100万吨二氧化碳当量,累计成交额超过4.5亿元。

(五) 引导全社会参与

在2007年前,全社会参与气候变化和低碳发展相关活动有限,且主要集中在节能方面,重在倡导资源节约。2007年后,降低温室气体排放、应对全球气候变化逐渐成为了全社会关注的热点。这一理念的转变带动了低碳社会行动的实践。首先,国家在低碳行动方面做出了许多引导,例如加强公益宣传短片的制作播放、从2013年开始设立全国低碳日、住建部开展“中国城市无车日”活动等。其次,媒体传播更加广泛,传统媒体及社交网络等新媒体都积极参与到宣传低碳生活的活动中。再次,包括非营利组织在内的各种官方、企业、民间机构低碳行动的参与度也不断增加,组织开展了“酷中国—全民低碳行动计划”、成立了“中国低碳联盟”、开展“中华家庭低碳环保行”公益活动等。公众对低碳行动的参与也越来越广泛。例如公众积极参与的地球一小时倡议。低碳出行、低碳饮食、低碳居住、低碳生活、低碳消费都是日常生活中公众较为熟悉的名词。低碳逐渐成为了公众对于一种生活态度和理念的描述。

总体而言,我国应对气候变化制度变迁主要有以下特点:1)应对气候变化的政策定位由节能减

排的协同效应转向国家宏观战略;2)管理工作由中央全权承担转为各部门、各级政府分解职责,形成网络化管理体系;3)政策对象由工业生产领域扩展到城镇消费领域;4)政策制定过程由“自上而下”转变为“自上而下”和“自下而上”的地方试点建设相结合;5)政策工具的选择从强制型工具向市场化、自愿型工具转变;6)参与主体从政府主导向全社会共同参与转变。截至“十二五”时期,我国在应对气候变化方面已经建立了一个较为完整的制度体系,但同时也面临着一些不足。因此,在今后的工作中应进一步在相对欠缺的制度方面进行发展和完善。

未来方向

(1) 加快制度设计

完善气候变化制度建设,当务之急是尽快建立与低碳发展相适应的法律体系。中国现有的法律并不能很好地解决应对气候变化的问题。例如,由于二氧化碳不是现有法律定义的污染物,因此并不属于《大气污染防治法》调控的对象。中国应对气候变化的很多工作,如制定控制温室气体排放的目标、开展碳排放交易试点等,由于缺乏法律依据而遇到了多种障碍。倘若建立了国内气候变化法律,并与国际相关法规相衔接,必将有利于为中国在全球气候变化谈判中掌握主动创造条件。自2009年8月全国人大常委会发布《关于积极应对气候变化的决议》以来,中国就已经开始了气候变化立法的准备工作。国家发展改革委、全国人大环资委、全国人大法工委、国务院法制办和有关部门联合成立了应对气候变化法律起草工作领导小组,目前已形成《气候变化应对法》草案。该草案编制过程中综合了中科院、社科院和中国政法大学各自起草的专家建议稿。2014年7月21日,起草部门国家发改委就该法律草案主持召开论证会,环保部、水利部、国家气象

局、国家能源局等部委的相关人士以及相关学者与会。草案有望在 2014 年下半年公布意见稿。

相对于减缓气候变化领域，中国在适应气候变化领域的制度建设相对起步较晚。适应工作的保障体系尚未形成，基础设施建设不能满足适应要求，敏感脆弱领域的适应能力有待提升，生态系统保护措施亟待加强。考虑到适应气候变化的现实紧迫性，各地方和部门要调整完善现行政策和制度安排，建立健全保障适应行动的协调机制、资金来源、技术支撑和交流平台 [44]。由于气候变化适应工作的区域特殊性和部门联动性，可以参考美国、丹麦等国家，采取“顶层协调 + 地方部门自主”的适应工作组织协调机制。将适应气候变化纳入各层面和各地区的规划体系。在资金方面，以公共资金为主，通过设立专项资金、向地方转移支付等方式支持各地方和各部门开展形式多样的能力建设和适应行动。建立系统性的气候变化科学评估机制，为适应气候变化领域科学决策机制的形成奠定基础。在各地方和有关部门试点适应气候变化信息交流平台，为建立国家层面的信息交流平台做准备。

（2）深化改革进程

从能源低碳发展需求出发，加快能源定价机制改革步伐。目前中国煤炭、天然气及原油价格机制尚未完全理顺，能源价格不能完全反映资源稀缺程度、对环境的影响程度和市场供需关系。以煤炭为例，主要问题是煤炭铁路运输瓶颈没有解决和煤电价格体系没有理顺。目前全国已建成 8 个区域性煤炭交易中心，交易的品种是煤炭的远期现货。倘若全国性煤炭交易市场得以建立，就有望理顺煤炭供需及价格关系。

中国碳交易市场建设才刚刚起步，未来需要加快推进北京、上海、天津、重庆、湖北、广东及深圳等七个省市的碳排放权交易试点工作，并逐步

扩大试点范围，鼓励更多具备条件的地区先行先试碳排放权交易，在总结各地试点经验的基础上探索建立全国性的碳市场。截至 2014 年 9 月，由发改委牵头的《中国碳排放权交易管理办法》草案已经制定完成，该草案明确了全国碳排放交易的顶层设计，制定出了排放配额总量、分配制度、交易登记注册系统、市场监管和调节机制等。国家发改委正在对重点企业进行碳排放情况摸底，后续将在全国范围内出台重点行业企业温室气体企业核算与报告指南，为全国市场在配额总量统计进行铺路。

参考文献

- BP: Statistical Review of World Energy. June 2014. London.
- Baeumler, A.I.-V., Ede; Mehndiratta, Shomik, Sustainable low-carbon city development in China, 2012, World Bank: Washington.
- Blair T, the Climate Group. Breaking the Climate Deadlock: A Global Deal for Our Low-carbon Future[EB/OL.], <http://www.Cop15.dk/NR/rdonlyres/64eb28cf-9665-4345-AB53-46BC63BA1E02/0/AGlobalDealforOurLowcarbonFuture.pdf>, Nov. 2008.
- Blair T., & the Climate Group. Breaking the Climate Deadlock: A Global Deal for Our Low - Carbon Future, Report Submitted to the G8 Hokkaido Toyako Summit, June 2008 [EB]. <http://www.cop15.dk/NR/rdonlyres/64EB28CF-9665-4345-AB53-46BC63BA1E02/0/AGlobalDealfo2rOurLowCarbonFuture.pdf>, Nov. 2008.
- Brandt, Loren and Xiaodong Zhu. 2010. Accounting for China's Growth. Institute for the Study of Labor (IZA) Bonn, Discussion Paper 4764.
- Cai, Fang. 2010. "Demographic transition, demographic dividend, and Lewis turning point in China", China Economic Journal, 3:2, 107-119.
- Cao, Jing, Mun Ho, Dale Jorgenson, Ruoen Ren, Linlin Sun, Ximing Yue. 2009. "Industrial and Aggregate Measures of Productivity Growth in China, 1982-2000," The Review of Income and Wealth, 55(s1):485-513, July.
- Cao, Jing, Mun S. Ho and Dale Jorgenson. 2013. "The Economics of Environmental Policy in China" in Chris Nielsen and Mun Ho (eds.) Clearer Skies over China: Reconciling Air Quality, Climate and Economic Goals, MIT Press, Cambridge, MA.
- Chen, Changsheng and Jianwu He, 2014, "A 10 year Outlook: Drop in Potential Growth Rate & New Start of Economic Success", in Liu Shijin et al. (ed.), "China's Next Decade: Rebuilding Economic Momentum & Balance," CLSA BOOKS, 2014.
- Chen, Shiyi, Gary Jefferson and Jun Zhang. 2011. "Structural change, productivity growth and industrial transformation in China," China Economic Review, 22:133-150.
- Chow, Gregory and Kui-Wai Li, "China's economic growth: 1952-2010," Economic Development and Cultural Change, Vol. 51, 247-256, 2002.
- Conference Board. 2014. Global Economic Outlook 2014. May. Available at
- Core Writing Team, R. K. Pachauri and A. Reisinger, eds. , Climate Change 2007: Synthesis Report, Geneva, Switzerland: IPCC.
- Durlauf, Steven, Paul Johnson, Jonathan Temple. 2005. "Growth Econometrics" in Handbook of Economic Growth, P. Aghion and S. Durlauf (eds.), Volume 1A, North-Holland, 555-677.
- EDMC Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan 2013. Tokyo.
- EDMC Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan 2013. Tokyo.
- Eichengreen, Barry, Donghyun Park and Kwanho Shin. 2011. "When Fast Growing Economies Slowdown: International and Implications for China," National Bureau of Economic Research, Working Paper 16919, Cambridge, MA.
- Eichengreen, Barry, Donghyun Park and Kwanho Shin. 2013. "Growth Slowdowns

- Redux: New Evidence on the Middle-Income Trap," National Bureau of Economic Research, Working Paper 18673, Cambridge, MA.
- Elson, Anthony. 2006. "The Economic Growth of East Asia and Latin America in Comparative Perspective," *World Economics*, 7(2), 97-114.
 - Financial Times. 2013. "Justin Lin criticizes China growth pessimists," July 29, on the web at <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/3e62c9de-f83e-11e2-b4c4-0144feabdc0.html#axzz38pDAYDGc>
 - Gill, Indermit and Homi Kharas. 2007. *An East Asian Renaissance: Ideas for Economic Growth*. The World Bank, Washington, DC.
 - Goulder, Lawrence and Ian Parry. 2008. "Instrument Choice in Environmental Policy," *Resources for the Future Discussion Paper* 08-07.
 - Hausmann, Ricardo, Lant Pritchett and Dani Rodrik. 2005. "Growth Accelerations," *Journal of Economic Growth* 10, pp.303-329.
 - He, J. K. , Deng, J. , & Su, M. S. CO2 Emission from China Energy Sector and Its Control Strategy [J]. *Energy*, 2009, Special Issue on Sustainable Energy Development in China, 1 - 5.
 - Ho, Mun and Zhongmin Wang. 2014. *Green Growth (in China): A Literature Review*. *Resources for the Future Discussion Paper* 14-22, Washington, DC.
 - IEA: CO2 Emissions From Fuel Combustion [R], IEA Statistics 2012. Paris.
 - IEA: CO2 Emissions From Fuel Combustion, IEA Statistics 2012. Paris.
 - IEA: CO2 Emissions From Fuel Combustion. 2012, IEA publications, Rue de La Federation, Paris.
 - International Energy Agency (IEA) 2013. *Redrawing the Energy-Climate Map*. *World Energy Outlook Special Report*. IEA, Paris.
 - Islam, Nazrul, Erbiao Dai and Hiroshi Sakamoto. 2006. "Role of TFP in China's Growth", *Asian Economic Journal*, 20(2):127-159.
 - Jiankun He, Jing Deng, Mingshan Su. CO2 emission from China's energy sector and strategy for its control. *Energy(J)*, Vol. 35, P4494-4495, 2010.
 - Jorgenson, Dale, Mun Ho and Jon Samuels. 2011. "Information Technology and U.S. Productivity Growth: Evidence from a Prototype Industry Production Account," *Journal of Productivity Analysis*, 36(2):159-175.
 - Jorgenson, Dale, Richard Goettle, Mun Ho and Peter Wilcoxon. 2013. *Double Dividend: Environmental Taxes and Fiscal Reform in the US*, MIT Press.
 - Kaya Y. 1990. Impacts of carbon dioxide emission control on GDP growth: Interpretation of proposed scenarios [R]. Paper presented at IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, France.
 - Kaya, Y. & Yokobori, K. *Environment, Energy and Economy: Strategies for Sustainability* [M]. Delhi: Bookwell Publications, 1999.
 - Lee, Jong-Wha and Kiseok Hong. 2010. "Economic Growth in Asia: Determinants and Prospects," *Asian Development Bank, Economics Working Paper* No. 220.
 - Lin, Justin Yifu. 2011. "China and the Global

- Economy." Remarks at the 20th Anniversary of the University of Science and Technology, Hong Kong.
- Maddison, Angus and Harry Wu. 2008. "Measuring China's Economic Performance," *World Economics*, 9(2):1-32.
 - Mas, Matilde, and Robert Stehrer, eds. 2012. *Industrial Productivity in Europe*. Northampton, MA, Edward Elgar.
 - Nordhaus, William. 2010. "Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment," *Proceedings of the National Academy of Sciences, Economic Sciences*, 107(26), 11721-11726.
 - Paltsev, Sergey, John Reilly, Henry Jacoby, Angelo Gurgel, Gilbert Metcalf, Andrei Sokolov and Jennifer Holak. 2007. "Assessment of U.S. Cap-and-Trade Proposals," MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report No. 146.
 - Perkins, Dwight and Thomas Rawski. 2008. "Forecasting China's Economic Growth to 2025," in Loren Brandt and Thomas G. Rawski (eds), *China's Great Economic Transformation*, Cambridge University Press.
 - Pettis, Michael. 2013. *Avoiding the Fall: China's Economic Restructuring*. Carnegie Endowment, Washington.
 - Ren, Ruoen. 1997. "China's Economic Performance in an International Perspective," *OECD Development Centre Studies*.
 - Solarzoom 新闻 . 新能源产业的升级之路 . 2013 2013-07-11]; Available from: <http://www.solarzoom.com/article-32482-1.html>.
 - Teng, Fei, Wenying Chen, and Jiankun He. "Possible Development of a Technology Clean Development Mechanism in a Post-2012 Regime." Discussion Paper 08-24, Harvard Project on International Climate Agreements, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, December 2008.
 - UNEP (United Nations Environment Programme). 2011. *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. New York: UNEP.
 - UNFCCC: Decision-/CP. 18 Doha [R]. 2012.
 - UNFCCC: Decision-/CP.18 Doha, 7 Dec. 2012.
 - United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2014. *World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables*.
 - Wang, Yan and Yudong Yao, "Sources of China's Economic Growth, 1952-99: Incorporating Human Capital Accumulation," World Bank working paper, 2001.
 - World Bank and Development Research Center (DRC). 2013. *China 2030. The World Bank, Washington DC and Development Research Center of the State Council, People's Republic of China*.
 - World Bank. 2012. *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*. Washington, DC: World Bank.
 - World Bank. *China 2030: Building a Modern, Harmonious, and Creative Society*[R]. Washington: World Bank, 2013.
 - Young, Alwyn. 2003. "Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period," *Journal of Political Economy*, Vol. 111, 1221-1261.
 - Zhu, Xiaodong. 2012. "Understanding China's Growth: Past, Present and Future," *Journal of Economic Perspectives*, 26(4), 103-124.
 - <https://www.conference-board.org/data/globaloutlook/>
 - 刘彩英, 严国荣, 面向可持续发展的煤炭价值与价格理论和实践 . 煤炭经济研究, 2004(2).

- 吴敬琏, 中国增长模式抉择. 2006, 上海: 上海远东出版社.
- 张晓华, 陈济, 制定适应规划 创建适应气候变化长效机制——专家学者解读《国家适应气候变化战略》之六, in 中国改革报.
- 张其仔, 我国煤、电工业结构调整透析, in 经济参考报 2005: 新浪财经.
- 环保部环境规划院. 2009 年中国环境经济核算报告 [R]. 北京: 环保部环境规划院, 2009.
- 经济日报. 中国碳交易试点初见成效, 研究建立全国碳排放权交易市场. 2014-09-13
- 联合国可持续发展大会: 我们希望的未來, 里约热内卢. 2012.6
- 苏明, 傅志华, 王志刚等, 我国开征碳税问题研究. 经济研究参考, 2009(72): p. 2-16.
- 赵景柱, 低碳城市发展途径及其环境综合管理模式. 2013: 科学出版社.
- 锦葵, 我国为什么要做碳交易市场的原因作用和意义, 能源参考, Editor 2012-09-27: 碳排放交易.
- 陈诗一, 节能减排、结构调整与工业发展方式转变研究. 2011, 北京: 北京大学出版社.
- 陈蔚镇 and 卢源, 低碳城市发展的框架、路径与愿景 - 以上海为例. 2010: 科学出版社.
- 韩文科, 康艳兵, 刘强等. 中国 2020 年温室气体控制目标的实现路径与对策 (M). 中国发展出版社. 2012.10. 北京.
- 顾阿伦, 何建坤, 周玲玲. 中国进出口贸易中的内涵能源及转移排放分析 [J]. 北京: 清华大学学报, 2010(9): 1460-1463.
- 顾朝林, 于涛方, and 李王鸣, 中国城市化 - 格局过程机理. 2008: 科学出版社.
- 齐晔, 中国低碳发展报告 2010. 2011, 北京: 科学出版社.
- 齐晔, 中国低碳发展报告 2013- 政策执行与制度创新. 2013, 北京: 社会科学文献出版社.
- 齐晔. 中国低碳发展报告 (2014) [M]. 北京: 社科文献出版社, 2014.
- 安彤. 浅论大气环境管理重心由总量控制向质量改善转型 [J]. 环境与可持续发展, 2013(01):40-3.
- 何建坤, 新型能源体系变革是通向生态文明的必由之路. 中国地质大学学报 (社会科学版), 2014 年第二期, 北京.
- 何建坤, 全球绿色低碳发展与公平国际制度建设. 中国人口、资源与环境, Vol.22, No.5, 2012.5, 济南.
- 何建坤. CO₂ 排放峰值分析: 中国的排放目标与对策 [J]. 济南: 中国人口、资源与环境. Vol.23, No.12, P1-9, 2013 年 12 月.
- 何建坤. 我国 CO₂ 减排目标的经济学分析与效果评价. 科学学研究 P4-17, 2011.1. 北京.
- 何建坤. 我国应对气候变化的战略思考. 科学与社会 (J), Vol.3. No.2. 2013. 北京.
- 何建坤. 我国能源发展与应对气候变化的形势与对策 [J]. 长春: 经济纵横. 2014 年第 5 期, P16-20. 2014 年 5 月.
- 何建坤. 新型能源体系革命是通向生态文明的必由之路 [J]. 武汉: 中国地质大学学报 (社会科学版), Vol. 14, No. 2, P1-10, 2014.3.
- 何建坤. 中国能源发展与应对气候变化, 中国人口、资源与环境 (J), Vol 21, No.10, P40-45, 2011.10, 济南.
- 葛凯, 中国消费的崛起 2011: 中信出版社.

- 茅于軾, 盛洪, 杨富强等, 煤炭的真实成本. 2008, 北京: 煤炭工业出版社.
- 仇保兴, 应对基于与挑战 - 中国城镇化战略研究主要问题与对策 (第二版). 2009: 中国建筑工业出版社.
- 祁神军, 张云波, and 王晓璇, 我国建筑业直接能耗碳排放结构特征研究. 建筑经济, 2012. 12.
- 胡锦涛, 坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进 为全面建成小康社会而奋斗
- 胡锦涛, 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为夺取全面建设小康社会新胜利而奋斗
- 光明网科技. 李克强: 强化企业在技术创新中的主体地位. 2014; Available from: http://tech.gmw.cn/2014-03/05/content_10580558.htm.
- 工信部电子产业司, 2013 年我国光伏产业运行情况. 2014-4-23.
- 国务院发展研究中心, 壳牌国际有限公司: 中国中长期能源发展战略研究 [M]. 北京: 中国发展出版社, 2013.
- 国务院研究中心, 壳牌国际有限公司: 中国中长期能源发展战略研究, 中国发展出版社, 2013 年 12 月, 北京.
- 国务院新闻办公室. 中国的对外贸易白皮书 [Z]. 2011.
- 国家发展和改革委员会, 国家适应气候变化战略, 国家发展和改革委员会, Editor 2013: 北京.
- 国家发展和改革委员会, 中国应对气候变化的政策与行动 2008 年度报告, 2008.
- 国家发展和改革委员会, 中国应对气候变化的政策与行动 2013 年度报告. 2013.
- 国家发展和改革委员会. 国家适应气候变化战略 [Z]. 2013.
- 国土资源部, 矿产资源补偿费征收管理规定, 国土资源部, Editor 2004, 国土资源部: 国土资源部网站.
- 山东省物价局课题组, 山东省火电烟气脱硫成本典型案例. 中国物价, 2005(08): p. 50-53.
- 柴发合, 段菁春, 云雅茹, 胡京南. 深化总量减排 改善空气质量 全面推进环境保护历史性转变 [J]. 环境保护, 2012(06):47-9.
- 徐影, 强化适应理念 完善灾害应急响应体系——专家学者解读《国家适应气候变化战略》之二, in 中国改革报 2014-02-28: 国家发改委网站.
- 徐匡迪, 中国特色新型城镇化发展战略研究. 2013: 中国建筑工业出版社.
- 徐文彬. 了解气候变化风险 推动灾害风险管理——解读 IPCC 第五次评估第二工作组报告 [N]. 中国气象报, 2014-5-22.
- 新华网, 国家新型城镇化规划 (2014-2020 年), 2014.
- 世界银行公开数据库. <http://data.worldbank.org.cn/indicator>.
- 石敏俊, 李娜, 袁永娜等, 低碳发展的政策选择与区域响应. 绿色经济与区域发展丛书. 2012, 北京: 科学出版社.
- 曹静, 走低碳发展之路: 中国碳税政策的设计及 CGE 模型分析. 金融研究, 2009(12).
- 戴彦德, 白泉. 中国“十一五”节能进展报告 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2012 年 9 月.
- 中华人民共和国环境保护部, 中国环境统计年报 2011. 2012, 北京: 中国环境出版社.

- 中华人民共和国环境保护部. 中国环境统计年报 2011[M]. 北京: 中国环境出版社, 2012.
- 中共中央文献研究室, 十六大以来重要文献选编, ed. 中共中央文献研究室. 2006, 北京: 中央文献出版社.
- 中国电力网. 能源局表示 3 年内解决无电人口用电. [2014-01-08]. <http://www.chinapower.com.cn/newsarticle/1202/new1202378.asp>.
- 中国统计局: 中国统计摘要 2014. 北京: 中国统计出版社. 2014.5.
- 中国统计局: 中国统计摘要 2013. 中国统计出版社. 2013.5. 北京
- 中国统计局编. 中国统计年鉴 2013[M]. 北京, 中国统计出版社, 2013. 9.
- 中国统计出版社, 中国城市统计年鉴 2013. 2014.
- 中国节能产业网, 近五年来我国节能服务产业发展情况及趋势分析. 2014-4-22.
- 中国国家统计局, 中华人民共和国 2012 年国民经济和社会发展统计公报 2013, 中国国家统计局.
- 中国国家统计局. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/#>.
- 中国能源中长期发展战略研究项目组. 中国能源中长期发展战略研究 [M]. 科学出版社, 2011.
- 杜祥琬. 能源革命: 为了可持续发展的未来 [J], 济南: 中国人口、资源与环境. Vol.24, No.7, P1-4, 2014 年 7 月.
- 李周, 孙若梅, 高岭, 等. 中国贫困山区开发方式和生态变化关系的研究 [M]. 太原: 山西经济出版社, 1997.
- 李善同, 刘云中等, 2030 年的中国经济, 2011, 经济科学出版社: 北京.
- 李忠峰, 建立独立的第三方科技评价机制, in 中国财经报 2012: 搜狐.
- 林毅夫, 苏剑. 论我国经济增长方式的转换 [J]. 管理世界, 2007(11):5-13.
- 林伯强 and 黄晓光, 城市碳管理工具包. 2011: 科学出版社.
- 姜克隽, 胡秀莲, 邓义祥等, 实施碳税效果和相关因素分析, in 2050 中国能源和碳排放报告, 2050 中国能源和碳排放研究课题组, Editor. 2009, 科学出版社: 北京.
- 彭澎. 人均 GDP 不等同于人均收入水平 [J]. 中国招标, 2007(18):56-7.
- 杰里米·里夫金著. 张体伟, 孙豫宁译. 第三次工业革命 [M]. 北京: 中信出版社, 2009.
- 杰里米·里夫金著, 张体伟、孙豫宁译: 第三次工业革命. 中信出版社, 2009, 北京.
- 气候变化与贫困: 中国案例研究 (摘选) [J]. 世界环境, 2009(04):50-3.
- 潘家华, 庄., 朱守先, 低碳城市: 经济学方法、应用与案例研究. 中国社会科学院文库·经济研究系列. 2012, 北京: 社会科学文献出版社.
- 魏伯乐 (著), 程一恒 (译) 五倍级 [M]. 上海: 格致出版社, 上海人民出版社, 2010.

项目团队

本项目报告由清华大学能源环境经济研究所、清华大学公共管理学院、清华大学环境学院、清华大学地学中心和清华大学经济管理学院的研究人员联合撰写

主要作者	何建坤	滕 飞	齐 晔
	贺克斌	曹 静	

项目团队	曹 静	董文娟	顾阿伦
按拼音顺序	何建坤	贺克斌	洪朝鹏
	江旭佳	李惠民	Mun Ho
	齐 晔	宋修霖	滕 飞
	王 鑫	王 宇	王宇飞
	杨 曦	张 强	赵小凡
	郑 博	周 胜	朱梦曳