

中国的碳减排路径与战略选择*

——基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析

涂正革

摘要：在中国现实国情下，如何实现低碳发展事关国家的长远发展战略。研究结果发现：经济规模每增长1个百分点，碳排放量平均增加15百万吨（MT），但是不同行业间经济增长的边际碳排放量差异很大；经济结构重型化加剧碳排放的增加，制造业比重每增加1个百分点，碳排放量平均增加56MT；技术进步推动能源强度下降，是减少碳排放的核心动力，能源强度每下降1个百分点，碳排放量平均减少33MT；以煤炭为主的能源结构导致碳排放密度居高不下，能源结构变化的减排效应并不显著，但是，综合碳排放密度下降是一个积极的信号，显现出能源结构优化的迹象。推动产业结构调整、能源结构优化，促进节能技术与工艺创新、走新型工业化道路，是实现中国低碳发展的必经之路。

关键词：低碳发展 指数分解分析 碳密度 能源强度

作者涂正革，华中师范大学经济管理学院教授（武汉 430079）。

一、引言

工业革命以来，人类的物质财富以史无前例的速度扩张。但是，由于这种发展模式以使用化石燃料为基础，所排放的大量温室气体导致全球气候变化，引发了气候变暖、极端天气频发、气象灾难、海平面上升，危及整个人类的生存和发展。

根据国际能源署（IEA）最新报告，1990年中国碳排放量为22.44亿吨，相当于全球1890年以来二氧化碳累计排放量的5.0%；2007年上升至60.71亿吨，相当

* 本文是国家社科基金重点项目“两型社会建设与中部地区工业增长模式研究”（08AJY032）、“我国减排与城乡经济问题研究”（项目编号：07AJY010）、教育部新世纪优秀人才支持计划“低碳经济”与节能减排研究（NCET-10-0409）的阶段性研究成果。感谢匿名审稿人的意见与建议，文责自负。

于全球 1890 年以来二氧化碳累计排放量的 9.0%，比 1990 年增长了 171%，1990—2007 年中国碳排放增量相当于同期全球新增二氧化碳排放量（78.85 亿吨）的 48.5%。^①如果无视资源环境的约束，仍然按照传统模式发展，据国际能源署（IEA）预测，2030 年中国与能源相关的二氧化碳排放量将上升到 116.15 亿吨，比 2007 年增长 91.3%，其增量占这一时期（2007—2030）全球新增量（114 亿吨）的 48.6%。^②这样的结果不但严重威胁到我国社会、经济的可持续发展，也是对整个人类可持续发展的挑战。特别是，在 2011 年 11 月 28 日于南非德班召开联合国气候会议前，《京都议定书》中承担减排指标义务的发达国家已表明，不支持第二承诺期的强制减排义务，要求中国、印度等快速发展国家承担同样的减排责任。国内外环境形势严峻，研究、分析我国与化石能源燃烧相关的碳排放量的趋势特征、影响因素，探寻低碳发展的中国路径，成为亟待解决的重大现实问题。

本文将基于优化的 Laspeyres 指数分解方法，探讨我国低碳发展的现实路径与政策选择问题。低碳发展的核心因素是什么？中国经济增长的环境代价到底有多大？不同行业部门的环境代价差异如何？技术进步对各行业碳减排的贡献有多大？经济结构如何调整？能源结构变化怎样影响碳减排的空间与潜力？这些问题的解答，对于探寻我国低碳发展之路至关重要。

二、文献综述

近年来，国内外学者对中国二氧化碳排放的实证研究不断涌现。从对碳排放总量的宏观分析看，林伯强和刘希颖用“城市化水平”变量替代了人口总数变量，采用修正后的 Kaya 恒等式分析了中国城市化阶段碳排放的影响因素。^③ Wang, Chen 和 Zou 采用时间序列的 LMDI（对数平均迪氏指数）方法，研究了中国二氧化碳排放增量的变化。^④宋德勇等分析了我国碳排放周期性波动的特征。^⑤ 上述研究采用的数据主要是宏观加总时间序列数据，没有考虑国民经济的结构因素对碳排放变化的影响，而且计算碳排放总量的终端能源消费中包括生活部门的消费量。而生活部门

① 国家气候变化对策协调小组办公室、中国 21 世纪议程管理中心：《全球气候变化——人类面临的挑战》，北京：商务印书馆，2004 年。

② IEA, *Key World Energy Statistics 2010*, Paris: International Energy Agency, 2010.

③ 林伯强、刘希颖：《中国城市化阶段的碳排放：影响因素和减排策略》，《经济研究》2010 年第 8 期。

④ C. Wang, J. Chen and J. Zou, “Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission in China: 1957-2000,” *Energy*, vol. 30, 2005, pp. 73-83.

⑤ 宋德勇、卢忠宝：《中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究》，《中国人口·资源与环境》2009 年第 3 期。

的能源消费量增加很快,且其结构变化很大,用GDP与能源消费总量或碳排放总量的比例所计算的能源强度或碳排放强度,并不能真实地反映能源的利用效率或能源结构的变化。

从分部门(主要是工业)研究看,王峰等采用LMDI指数分解方法,分阶段研究了中国1995—2007年六大部门碳排放增长的驱动因素。^① Zhang等人基于优化指数分解方法,分析中国1991—2006年第一产业、工业、交通运输业及其他产业四大部门碳排放量变化的背后因素。^② 上述研究表明,规模增长是碳排放增长的重要因素,能源强度下降是减排的核心力量,而经济结构的变化没有起到减排的作用。采用其他方法对部门碳排放的研究包括,陈诗一基于中国工业38个二位数行业的能源消耗、二氧化碳排放及投入产出面板数据库,利用超越对数分行业生产函数,估算中国工业全要素生产率变化并进行绿色增长核算,研究中国工业经济增长的可持续性。^③ 他还从二氧化碳边际减排成本视角,探讨不同行业征收不同环境税的政策,以减少总体碳排放。^④ 林伯强、姚昕和刘希颖采用CGE模型研究碳减排如何倒逼能源结构调整,探讨能源结构变化导致的能源成本增加对宏观经济的影响。^⑤ 林伯强、孙传旺基于我国经济增长率、人口总量、城市化率、能效水平、产业结构以及能源结构的情景预测,采用LMDI方法分析了我国2020年碳排放量的影响因素。^⑥ 陈文颖等人构造了六种减排情景,并基于Markal与Macro的模型,分析不同减排情景对GDP增长影响的时间模式。^⑦ 总之,目前对我国碳排放的研究不管是研究方法、还是研究视角,都日趋丰富,得出了许多有现实与政策意义的结论。

但是,对中国碳减排的研究仍存在以下几点不足。首先,行业碳排放量的核算中没有考虑二氧化碳的转移排放。碳排放集中在公用事业部门(如火电行业),而使用电能的行业不直接排放碳。采用综合能源碳排放系数(碳排放总量与能源消费总量的比率)计算电能的碳排放量,会产生误差。其次,行业碳排放量的计算仅仅根据行业

-
- ① 王峰等:《中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究》,《经济研究》2010年第2期。
- ② M. Zhang, H. Mu, Y. Ning and Y. Song, "Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission over 1991-2006 in China," *Ecological Economics*, vol. 68, 2009, pp. 2122-2128.
- ③ 陈诗一:《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》2009年第4期。
- ④ 陈诗一:《边际减排成本与中国环境税改革》,《中国社会科学》2011年第3期。
- ⑤ 林伯强、姚昕、刘希颖:《节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整》,《中国社会科学》2010年第1期。
- ⑥ 林伯强、孙传旺:《如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标》,《中国社会科学》2011年第1期。
- ⑦ 陈文颖、高鹏飞、何建坤:《二氧化碳减排对中国未来GDP增长的影响》,《清华大学学报(自然科学版)》2004年第6期。

能源消费总量计算, 过于粗略。不同行业能源消费种类差异很大, 不同能源的碳排放因子也有差别。最后, 采用 Kaya 恒等式分解能源或碳排放总量的研究中, 没有区分碳排放量或能源消耗量中生产部门的消耗 (排放) 与非生产部门的消耗 (排放)。

与现有文献相比, 本文的创新与研究特色体现在三个方面。第一是对现有模型方法的拓展。基于优化的 Laspeyres 指数法分析, 将碳排放量的变化分解成各个因素效应之和, 本文进一步将每个因素的碳排放效应分解出各个部门 (行业) 的贡献。第二是数据处理的创新。本文采用国民经济的八大部门的能源消费与产出数据, 根据 16 种能源的碳排放因子, 计算出各行业的碳排放数据, 计算的结果更精确。另外, 工业三大部门 (采掘、制造与公用业) 不变价格的产出数据是根据 39 个行业工业增加值及其相应的工业品价格指数计算加总得到的, 相比采用工业总体的价格指数计算不变价格的工业增加值, 这样的计算结果更精确。第三是对行业部门碳排放量计算方法的创新。本文采用“电 (热) 分摊”原则, 将火力发电 (热) 企业所排放的碳分摊到使用电 (热) 的八大行业, 更科学地核算各行业的碳排放量。

三、模型与数据

(一) 优化的 Laspeyres 指数分解分析

指数分解方法在能源经济学与环境经济学中被广泛用来分解能源强度、能源消耗量、碳排放量的背后因素。以基期作为参照基准的 Laspeyres 指数方法在实践中被大量使用。但是, 传统的 Laspeyres 指数分解方法, 存在一些不能完全分解的残余项, 而且随着因素的增多, 残余项的数值逐渐变大。Sun 在 Laspeyres 指数分解基础上, 利用“共同创造、均等分摊”原则, 首次提出完全指数分解方法。^①

Laspeyres 方法假设在 N 维空间中, 事件 A 可被分解为 N 项要素共同作用的结果, 即 $A = \prod_{n=1}^N X_n$ 。在 $[0, t]$ 内, A 的变化范围为从 A^0 到 A^t , 即:

$$\Delta A = A^t - A^0 = \prod_{n=1}^N X_n^t - \prod_{n=1}^N X_n^0 = \sum_{n=1}^N X_{n-\text{effect}} \quad (1)$$

这里, $X_n^t = X_n^0 + \Delta X_n$, ΔX_n 是要素 n 在 $[0, t]$ 期间的变化量。根据 Laspeyres 分解方法的定义, 要素 X_n 对 A 总变化的贡献为:

$$X_{n-\text{effect}} = \left(\prod_{k=1}^N X_k / X_n \right) \times \Delta X_n \quad (2)$$

显然, Laspeyres 方法给出的是不完全的分解。因为等式 (1) 左边为 $2^N - 1$ 项, 而等式右边仅有 N 项, 其中 $2^N - 1 - N$ 个具有两阶或两阶以上的 Δ 项被忽略了。按“共同创造, 平等分配”原则, Sun 改进了 Laspeyres 分解方法, 将残差项完全分摊

① J. W. Sun, "Accounting for Energy Use in China, 1980-94," *Energy*, vol. 23, 1998, pp. 835-849.

到各个要素中去。因此,该方法相对于传统的 Laspeyres 指数分解方法,是一大扩展与优化。要素 X_n 对 A 总的变化的贡献为:

$$X_{n\text{-effect}} = \frac{\prod_{k=1}^N X_k}{X_n} \Delta X_n + \frac{1}{2} \sum_{n \neq p} \frac{\prod_{k=1}^N X_k}{X_n X_p} \Delta X_n \Delta X_p + \frac{1}{3} \sum_{n \neq p \neq q} \frac{\prod_{k=1}^N X_k}{X_n X_p X_q} \Delta X_n \Delta X_p \Delta X_q + \dots + \frac{\prod_{k=1}^N \Delta X_k}{N} \quad (3)$$

这种优化的 Laspeyres 分解方法便于计算和理解,因而被广泛应用。碳排放量的指数分解实质上明确了碳排放量与碳密度、能源强度、经济结构、经济规模之间的一一对应关系。经济增长的碳排放效应,就是在控制其他条件不变的情况下,经济每增长一个单位所对应的碳排放的净变化量。这种类似函数形式的边际关系有利于进一步研究经济增长、经济结构、能源结构等对碳排放量变化的单独净影响。

(二) 部门(行业)碳排放量的计算

对于工业行业,二氧化碳的排放包括两个环节:中间能源转换环节与终端能源消费环节。中间能源转换环节包括火力发电与供热两个部门。核算工业行业二氧化碳的排放量,首先计算中间环节和终端环节的碳排量,再根据终端能源消费中各行业电力与热能消费的比例,将火力发电(制热)所排放的二氧化碳分摊到各个行业。本文称之为“电(热)碳分摊”原则。^①

因此,各部门二氧化碳排放量的计算分为直接排放量($CE_{i\text{-direct}}^t$)和间接排放量($CE_{i\text{-indirect}}^t$)。直接排放量为该经济部门消耗化石能源(不包括电力与热能)所直接排放的二氧化碳,间接排放量是该部门因为使用其他部门提供的电力与热能所分担的碳排放量。时期 t 部门(行业) i 的二氧化碳排放量为:

$$\begin{aligned} CE_i^t &= CE_{i\text{-indirect}}^t + CE_{i\text{-direct}}^t \\ &= CE_{i\text{-indirect}}^t + \sum_j CE_{ij\text{-direct}}^t \\ &= CE_{i\text{-indirect}}^t + \sum_j E_{ij}^t \times EF_j \times (1 - CS_j) \times O_j \times M \end{aligned} \quad (4)$$

这里, $i=1, \dots, 8$, 表示国民经济八大经济部门类别, $j=1, \dots, 16$, 表示十六种燃料; CE^t 表示第 t 年度二氧化碳总排放量(以吨计, t); CE_i^t 表示第 t 年第 i 部门的二氧化碳排放总量(以吨计, t); $CE_{ij\text{-direct}}^t$ 表示第 t 年度产业部门 i 基于燃料 j

① M. Zhang, H. Mu, Y. Ning and Y. Song, "Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission over 1991-2006 in China," pp.2122-2128. 该文采用电能分摊碳排放,即使用电能的部门要承担发电过程中排放的二氧化碳。本文同时考虑热能企业所排放二氧化碳的分摊。

直接产生的二氧化碳总排放量（吨，t）； E_{ij}^t 表示第 t 年度部门 i 基于燃料类型 j 的年度能源消费总量（太焦， 10^{12} J）； EF_j 表示第 j 类型燃料的碳排放因子（t-c/TJ）； CS_j 是第 j 类型燃料未被氧化而作为原材料所占比重； O_j 是第 j 型燃料被氧化的比率（燃烧率）；M 是二氧化碳对碳的分子重量比（44/12）；碳排放因子（EFs）和碳氧化率（O）列于表 1。本文已将作为生产原料的燃料从能源终端消费量中排除，CS 为零。本文所涉及到的燃料种类参见（四）节的数据说明。

表 1 不同化石能源的碳排放因子（EF）与碳氧化比率（O）

能源种类	煤	焦炭	焦炉 煤气	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化 石油气	炼厂 干气	其他 石油产品	天然气
碳排放因子 $EF(t-c/TJ)$	25.8	29.2	12.1	20	19.1	19.6	20.2	21.1	17.2	15.7	20	15.3
碳氧化率(O)	0.9	0.9	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99

资料来源：氧化率参考 Zhang 等人的数据，M. Zhang, H. Mu, Y. Ning and Y. Song, "Decomposition of Energy-Related CO₂ Emission over 1991-2006 in China," pp. 2122-2128. 其他项参考 IPCC (IPCC, *Greenhouse Gas Inventory: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Bracknell, England: United Kingdom Meteorological Office, 1995).

（三）碳排放的指数分解模型

二氧化碳排放总量是各个部门排放量的总和，进而借助 kaya 恒等式，将其分解为碳密度、能源强度、经济结构和经济规模四大因素的乘积：

$$CE^t = \sum_i \frac{CE_i^t}{E_i^t} \times \frac{E_i^t}{GDP_i^t} \times \frac{GDP_i^t}{GDP^t} \times GDP^t = \sum_i CI_i^t \times EI_i^t \times ES_i^t \times G^t \quad (5)$$

这里，i 表示经济部门； CE^t 是 t 时期碳排放总量， CE_i^t 是部门 i 在 t 时期的排放量； E_i^t 是部门 i 在 t 时期消耗的能源总量； GDP^t 表示第 t 年度的国内生产总值（工业部门按照工业增加值计算）； GDP_i^t 是第 t 年度第 i 个部门的产出； $CI_i^t = CE_i^t / E_i^t$ ，衡量年度 t 在第 i 个部门的碳排放密度； $EI_i^t = E_i^t / GDP_i^t$ 反映年度 t 在第 i 个部门的能源强度； $ES_i^t = GDP_i^t / GDP^t$ 表示年度 t 在第 i 个部门的经济份额。

二氧化碳的排放在基准年（0）和目标年（t）之间的变化，记为 ΔCE ，根据优化的 Laspeyres 指数分解方法，碳排放总量的变化可以分解为：

$$\Delta CE = CE^t - CE^0 = CI_effect + EI_effect + ES_effect + G_effect \quad (6)$$

这里， CI_effect 表示碳排放密度变化对二氧化碳排放总量的净效应。如果能源消费总量中清洁能源（风能、水能、核电等）的使用比例提高，或者是相同热量下，碳排放少的能源消费（如天然气，高炉煤气等）比例提高，都可以降低碳排放密度。碳排放密度是衡量能源消费结构的重要指标。 ES_effect 表示经济结构变化对碳排放量的效应，主要表现为：如果高能耗、高排放行业（如重工业）相对于低能耗、低排放行业（轻工业、第三产业）发展快，即使经济总量保持不变，碳排放量也会增加；反之，碳排放量减少。 EI_effect 表示能源强度或能源利用效率对碳排放的效应。

G_effect 表示经济规模变化对碳排放量的净效应。

根据 (3) 式的完全指数分解方法, 式 (6) 中的碳密度效应的计算公式为:

$$\begin{aligned} CI_effect &= \sum_i \Delta CI_i \times EI_i^0 \times ES_i^0 \times G^0 + \frac{1}{4} \sum_i \Delta CI_i \times \Delta EI_i \times \Delta ES_i \times \Delta G \\ &\quad + \frac{1}{2} \sum_i \Delta CI_i (\Delta EI_i \times ES_i^0 \times G^0 + EI_i^0 \times \Delta ES_i \times G^0 + EI_i^0 \times ES_i^0 \times \Delta G) \\ &\quad + \frac{1}{3} \sum_i \Delta CI_i (\Delta EI_i \times \Delta ES_i \times G^0 + \Delta EI_i \times ES_i^0 \times \Delta G + EI_i^0 \times \Delta ES_i \times \Delta G) \\ &= \sum_{i=1}^8 CI_effect_i \quad (i=1, \dots, 8) \end{aligned} \quad (7)$$

这里, CI_effect 是八大行业部门的碳密度总效应, CI_effect_i 是行业部门 i 的碳密度变化对碳排放量的影响。因此, 基于式 (7), 本文不仅可以分析整体能源结构变化对碳排放量的边际净效应, 而且可以测度不同部门能源结构效应的行业差异。类似地, 可以得到方程 (6) 右边的其他三个因素效应的计算公式。

将 (6) 式两边同时除以基期的碳排放量 CE^0 , (6) 式左边变成碳排放量的变化率, 右边四项分别表示碳密度、能源强度、经济结构和经济规模对碳排放变化率的贡献:

$$\begin{aligned} \dot{CE} &= \frac{CE^t - CE^0}{CE^0} = \frac{CI_effect}{CE^0} + \frac{EI_effect}{CE^0} + \frac{ES_effect}{CE^0} + \frac{G_effect}{CE^0} \\ &= \dot{CI_effect} + \dot{EI_effect} + \dot{ES_effect} + \dot{G_effect} \end{aligned} \quad (8)$$

中国的低碳发展之路是在经济增长的前提下提倡低碳, 没有经济的发展谈不上低碳。基于此, 本文将经济增长规模的碳排放效应界定为碳排放的理论增长量(率), 或经济增长的环境代价。进一步, 本文根据行业经济规模增长的碳排放效应与行业的经济增长量, 计算各行业在现有经济规模下, 额外增长一个单位经济量(如万元或亿元)的平均碳排放量(吨, 或万吨), 以此衡量该行业扩张的环境代价。各行业规模扩张的环境代价及其随时间变化的特征, 无疑能够为碳税的征收及产业结构调整的方向提供科学的依据。

低碳发展是在发展的前提下, 通过调整结构(能源结构与经济结构)、提高技术(节能技术、捕碳技术等)手段减少碳排放量。基于此, 本文将碳密度(反映能源结构)、能源强度(反映技术水平)以及经济结构对碳排放量的效应之和界定为二氧化碳的理论减排量(率)。二氧化碳的理论减排量(率)反映了经济增长的质量。通过比较我国当前的能源结构、能源强度以及经济结构与国际先进水平的差距, 探寻我国低碳发展的空间与潜力。

(四) 变量及数据说明

本研究中 GDP 与能源消耗所使用的统计数据, 分别来自中国统计年鉴(1995—2009)和中国能源统计年鉴(1991—1996、1997—1999、2000—2002、2003、2004、

2005、2006、2007、2008 和 2009) 收录的 1994—2008 年数据, 1998 年以前的工业行业产品价格数据来源于《中国城市(镇)生活与价格年鉴 2008》。本文对二氧化碳排放量的分解分析是基于八大行业部门: 第一产业(农林牧渔业)、采掘业、制造业、公用业、建筑业、运输业(交通运输、仓储及邮电通讯业的简称)、商业(批发、零售业和住宿、餐饮业的简称)及第三产业其他部门。1994—2008 年期间工业行业的分类标准有变化, 2003 年以后都是按照 2002 年的新行业标准, 1994—2002 年是按照 1994 年行业标准, 主要差别是木材采运业调整到农业部门, 制造业增加了废旧回收加工业等新行业。本文以 2002 年新的行业标准, 对之前的行业做了相应的调整。

2009 年《中国能源统计年鉴》对 1996—2007 年的能源数据做了较大的调整和校正, 本文研究以 2009 年调整后的能源数据为准。工业行业能源消费中用于原料、材料的数据从行业能源消费中剔除。在终端能源消费与中间能源消费环节, 能源的种类包括: 原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气(LPG)、炼厂干气、其他石油制品、天然气、热力、电力与其他能源共 20 种能源类别, 用来计算中间环节和终端环节的二氧化碳排放量。

五大行业部门(第一产业、建筑业、餐饮业、商业和第三产业其他部门)GDP 的数据直接根据不变价格的 GDP 的增长速度推算出来, 2003 年后的数据根据 2004 年经济普查结果做了一些调整。工业内部三大部门——采掘、制造和公用事业的实际 GDP, 采用工业内部 39 个行业的产出价格指数剔除各行业产出的价格因素, 然后加总获得。关键是工业 39 个行业的工业增加值数据的处理。1994—1997 年只有全国工业增加值的总量数据, 缺乏分行业的数据, 但是统计年鉴中有独立核算工业企业分行业的增加值数据。根据全国工业与独立核算工业企业工业增加值总量之间的比例, 以及独立核算企业分行业增加值, 推算 1994—1997 年工业分行业的增加值数据。1998—2007 年统计年鉴上只有全部国有及规模以上工业企业(简称规模工业企业)分行业工业增加值数据, 同样, 根据全国工业增加值总数, 推算 39 个行业工业增加值的数据。本文的产出指标都是以 1994 年为基准的不变价格。39 大工业行业的价格数据, 摘编自《中国城市(镇)生活与价格年鉴 2008》。其中, 其他采矿业价格指数缺失, 通用设备 1985—2001 年价格指数参照专用设备价格指数; 印刷媒体 1994—2001 年价格指数参照 14 大部类工业产品出厂价格指数中的文体教育艺术用品价格指数; 农副产品加工业 1994—2001 年价格指数参照 14 大部类中的食品工业价格指数。

四、实证分析结果

(一) 二氧化碳排放量: 趋势、行业与环节

考察我国与能源相关的碳排放量, 不仅要考察碳排放量的总体变化趋势, 还要

考察各部门碳排放特点以及碳排放的重点环节。

八大行业部门能源消费总量从1994年的10.7亿吨标准煤增长到2008年的26亿吨,翻了1.5倍多。能源消费年均增幅为1—2亿吨标准煤,特别是2003年后,年增幅2—3亿吨标准煤。相应地,碳排放大幅增长。据本文的计算,不包括生活部门,我国八大产业部门二氧化碳排放量从1994年的21亿吨,增加到2008年的50.5亿吨,15年翻了一番多,年均增长约6.5%。加上生活部门与能源相关的碳排放量6.7亿吨,2008年二氧化碳排放总量接近60亿吨。中国碳排放量占世界总排放量的比例,从1973年的5.7%,上升到2008年的22.3%。^①分阶段看,1994—2000年碳排放增长总量为4.8亿吨,年均增长0.8亿吨,但是2000—2008年碳排放量增加24.6亿吨,年均增长约3亿吨。2003—2005年碳排放量以两位数的速度大幅度增加,特别是2003年碳排放量增幅高达16.5%。

对此,本文认为有三方面的原因。其一,2001年加入WTO后,中国经济高速增长,特别是2003—2005年GDP增长率都在10%以上。其二,我国正处于工业化加速发展的关键时期,重工业发展速度加快,伴随的碳排放量加大。其三,我国目前的经济增长方式还较为粗放。工业生产没有大规模采取节能减排的先进技术。因此这个阶段的碳排放必然呈现快速增长的态势。各种因素对碳排放量的影响到底有多大,下文将基于指数分解模型的结果分别阐述。

从行业部门看,制造业的碳排放量占总排放量的三分之二。1994年占69%,2008年占67%。运输业碳排放量从1994年的116.5MT,增加到2007年的441.3MT,增幅高达三倍,运输业碳排放占总排放量的比重由1994年的5.5%上升到2008年的9.6%。采掘业的碳排放量在总排放量中的比重逐年递减,由1994年的7.3%下降到2007年的6%。其他5个行业部门的碳排放的比重较平稳。

从能源角度,二氧化碳排放分为两个环节:能源的转换阶段与能源的最终使用阶段(不包括用作原料的能源)。能源转换阶段包括火力发电和供热所排放的二氧化碳。近年来,中间环节二氧化碳的排放量占整个碳排放量的四成,且呈上升趋势。1994年中间环节排放的比例为34%,2000年中间环节排放比例为41%,2008年中间环节排放的比例上升到43%。中间环节的碳排放中,火力发电过程中的碳排放所占比例高达90%以上,碳排放的重点环节是火力发电行业。

(二) 经济增长、规模效应及其环境代价

按1994年价格计算,我国GDP从1994年的4.8万亿元,增长到2008年的20.3万亿元,年均增长10.9%。其中农业年均增长率为4%,采掘业年均增长率为

^① 按照IEA的*Key World Energy Statistics 2010*报告,2008年中国二氧化碳排放量为65亿吨。IEA, *Key World Energy Statistics 2010*.

7.4%，制造业年均增长率为14%，公用事业年均增长率为12.8%，建筑业为8.9%，运输业为10.1%，商业为9.8%，其他第三产业为10.6%。

经济规模效应衡量在其他条件不变情况下，因经济规模扩大导致二氧化碳排放增加的数量。经济增长对碳排放的效应，本文称之为碳排放的理论增长规模。按本文的计算，1994—2008年我国GDP的年均增长率约11%，相应地，经济规模的碳排放效应为48.3亿吨。这意味着，如果经济结构、技术水平、能源结构保持不变，按照现有经济增长速度，二氧化碳排放量在1994年基础上，理论增幅为48亿吨。即经济规模增长1个百分点，平均而言，碳排放量增加15MT。值得注意的是，制造业规模扩张所增加的碳排放量为31.7亿吨，占总增量的60%以上。可见，制造业规模的扩大是我国碳排放量剧增的主要原因。

分阶段考察，1994—2000年碳排放的理论增长规模约11.9亿吨，年均约2亿吨；2000—2008年碳排放的理论增长规模为36.4亿吨，年均约4.5亿吨。经济增长规模扩张对碳排放增幅的贡献逐渐加大。

经济规模效应衡量GDP的变化对碳排放量的影响，基于此，计算经济规模的碳排放效应与该部门GDP变化的比率，可以衡量该行业部门单位GDP增长的碳排放量。表2给出了八大行业部门万元GDP增长的边际碳排放量，在各阶段的变化趋势及行业部门的差异。

总体上，1994—2008年我国GDP增加了1550百亿元，经济增长规模导致的碳排放效应为4831MT，万元GDP增长的碳排放量平均为3.1吨。分行业看，采掘业万元GDP增长的碳排放量最高，为10.2吨，其次是公用事业为6.4吨，运输业为5.5吨，农业、制造业分别为2.3吨和3.7吨，建筑、商业和第三产业其他部门为1吨左右。

分阶段考察，1994—2000年经济增长313.7百亿元，导致二氧化碳排放增加12亿吨，万元GDP的边际碳排放量平均为3.8吨。其中，采掘业万元GDP的边际碳排放量为20.8吨，其次是制造业5.8吨，公用事业为5.4吨，运输业4.2吨，农业为2吨，建筑和商业分别为1.3吨和1吨，第三产业其他部门最低，仅为0.8吨。我国采掘业消耗能源多，创造不变价格的增加值少，因此，采掘业规模增长的边际碳排放量较高。2000—2008年，由于技术进步等因素，全国总体万元GDP的边际碳排放量下降为3.1吨，其中，采掘业下降为8.6吨、制造业下降到3.5吨，商业没有变化，运输业上升为6.5吨、农业上升为2.6吨，其他部门变化不大（见下页表2）。

无疑，比较行业间经济增长的环境代价差异，可以作为征收碳税的依据，从理论上指导产业结构调整。^①基于对八大行业部门经济规模增长所带来的碳排放效应的

① 陈诗一：《边际减排成本与中国环境税改革》，《中国社会科学》2011年第3期。该文中，计算了碳排放减少所带来的产出边际减少量，以此作为征收该行业环境税的依据。

分析,发现采掘业、公用事业和运输业万元 GDP 增长的边际碳排放量平均为 5—10 吨,而商业、建筑以及第三产业其他部门经济增长的边际碳排放量仅有 1 吨左右。因此,采取适度工业化政策,对不同行业征收不同的碳税,对边际碳排放量较高的行业适当控制,是低碳发展的长远战略。

表 2 我国八大行业部门万元 GDP 增长的边际碳排放量

时 期	项 目	农 业	采 掘	制 造	公 用	建 筑	运 输	商 业	其 他	平 均
1994—2000 年	经济规模效应 (MT)	46.9	84.9	784.3	71.7	19.8	95.9	28.9	58.2	1190.6
	GDP 增长量 (百亿元)	23.4	4.1	136.4	13.2	14.9	22.7	30.0	69.1	313.7
	万元 GDP 增长的边际碳排放量 (吨)	2.0	20.8	5.8	5.4	1.3	4.2	1.0	0.8	3.8
2000—2008 年	经济规模效应 (MT)	113.3	232.1	2389.1	226.2	66.0	342.0	93.7	178.1	3640.6
	GDP 增长量 (百亿元)	43.6	26.9	679.4	30.6	49.5	52.5	91.2	186.8	1160.5
	万元 GDP 增长的边际碳排放量 (吨)	2.6	8.6	3.5	7.4	1.3	6.5	1.0	1.0	3.1
1994—2008 年	经济规模效应 (MT)	160.2	317.0	3173.4	298.0	85.8	437.9	122.6	236.3	4831.2
	GDP 增长量 (百亿元)	70.3	31.1	852.1	46.4	67.4	79.6	128.0	275.1	1550.0
	万元 GDP 增长的边际碳排放量 (吨)	2.3	10.2	3.7	6.4	1.3	5.5	1.0	0.9	3.1

数据来源:作者根据《中国统计年鉴》相关数据计算得到。

(三) 碳密度、能源结构及其碳减排空间

综合能源的碳密度大小反映能源结构特征。清洁能源,如核动力发电、水力发电、风力发电不排放二氧化碳,而依赖煤炭的火力发电却会产生高强度的碳排放。另外,同样是化石能源,释放相同的热量,天然气所排放的二氧化碳仅有焦炭的一半。因此,综合能源的碳排放密度大小,不仅反映清洁能源与化石能源的比例,还反映化石能源的结构。

1994—2008 年我国的综合碳排放密度在 2.0 左右徘徊,意味着能源消耗总量增加 1 亿吨标煤,二氧化碳排放将增加 2 亿吨。但是,碳密度也呈现出阶段性的变化特征。1999 年前,综合碳排放密度从 1994 年的 1.97 上升到 1999 年的 2.01,2002 年下降到 1.97,2003 年上升到 1.99,此后,2004—2007 年碳密度基本保持在 1.98,2008 年下降到 1.95。

但是,中国综合能源的碳排放密度与国际水平相差很大。按照 IEA2010 年报

告,主要能源供应总量(TPES,单位:标准油)与二氧化碳排放量之比,2008年中国为3.07,而世界平均水平为2.4,OECD国家为2.33、中东地区为2.51、亚洲平均为2.14。^①可见,中国能源的碳排放密度远远高于世界其他地区的平均水平。为什么我国能源的综合碳排放密度居高不下?本文认为有三方面因素。

首先是终端能源的消费结构。我国终端能源消费中,电能所占比例逐年上升。1996年电力消费占终端能源消费总量(电热当量计算)的12.3%,而2008年该比例上升为19.2%。比如,现在绝大部分火车都改用了电力机头牵引,在一定程度上反映了电力消费的增加。另外,农村家电普及也使农村使用电力的比例提高。

其次是电能的主要来源。表面上,使用电能不排放二氧化碳。事实上,目前我国火力发电是电能的主要来源。自改革开放以来,我国的能源消费结构一直都是以煤炭为主,水电与核电所占的比例小。1996年火力发电量占总电力的88%,2008年为86%。显然,不断增长的电力需求主要依靠煤电满足。

再次是煤电的转化效率。目前我国火电转换效率最高只有36%,这是对大火电机组而言,小火电机组甚至不到30%的转换效率。按目前的火电技术水平,三吨标准煤才能转化一吨标准煤的电力。这就意味着,消耗一吨标准煤的电力能源所排放的二氧化碳,是直接消耗一吨标准煤炭所排放二氧化碳的三倍。因此,电力消耗所排放的二氧化碳远远高于其他能源。

根据本文的计算,一吨标准煤电能的碳排放为6吨以上,折合为一度电排放二氧化碳0.72千克,这是综合能源碳排放密度的三倍。如果电能完全由火力发电,按照我国当前火力发电的效率,一度电所排放的二氧化碳为0.9千克。因此,终端能源消费中电力能源比例的提高以及火电比例高,是碳排放密度居高不下的主要原因。高碳排放密度也说明我国在能源结构上的改进还有很大的空间。

基于电碳分摊原则,行业碳密度的高低取决于该行业的能源消费结构,特别是电能所占比例。如果电能比例高,则该行业的碳排放密度高,反之,碳排放密度低。1994—2008年八大行业中,采掘业的碳排放密度最低,为1.44。而其他七个行业部门的碳排放密度变化的幅度都不大,除公用事业^②外的行业部门,碳排放密度基本都稳定在2.2。^③从变化幅度看,只有采掘业的碳排放密度在2004年后有较大幅度提高,由2004年前的平均1.66提高到2003年之后的平均1.88。

碳密度效应衡量能源结构变化对碳排放总量的影响。如果碳密度下降(上升),

① IEA的定义仅仅只用于燃烧的能源,这与本文采用的能源消费总量(不仅包括燃烧的能源,还包括损失的能源,如运输、炼油等环节的损失)的定义不同。参阅IEA, *Key World Energy Statistics 2010*, pp.48-57.

② 公用事业部门能源消费总量很大,但是,其所排放的二氧化碳被分摊到使用电力、热力的部门。因此,碳排放系数相对较低。

③ 建筑业1995年综合能源的碳排放系数1.45,可能由于年鉴上的数据统计口径有变化。

消耗相同的能量,排放的二氧化碳减少(增加)。1994—2008年,八大部门因碳排放密度变化减少碳排放量共计69.7MT,仅相当于1994年实际碳排放量的3.3%。其中,1994—2000年碳排放密度提高而增加碳排放54MT,相当于1994年实际碳排放量的2.6%;2000—2008年碳排放密度下降导致碳排放减少124MT,相当于2000年实际碳排放量的4.8%。这与我国能源的综合碳排放密度的变化趋势一致:1999年前碳排放密度基本呈上升趋势,1999年后基本呈下降趋势。尽管总体减排效应不是非常显著,碳排放密度下降是一个积极的信号,显现出我国能源结构正朝着以清洁能源为主导方向转化的迹象。

从行业贡献来源看,由于制造业所占比重大,制造业碳排放密度变化对碳排放总量变化起到关键作用。1994—2000年因能源的碳排放密度上升增加碳排放54MT,其中,制造业和公用事业就占了46MT,同样2000—2008年碳排放密度下降导致碳排放量减少124MT,而制造业与公用事业的减排量就占122MT。

按照标准油(等于1.5吨标准煤)计算,如果我国能源的综合碳排放密度从目前的3.07(吨CO₂/吨标油),下降到世界平均水平2.4(吨CO₂/吨标油),^①那么,2008年的碳排放将从60亿吨下降到48亿吨。碳密度下降主要依靠调整能源结构,特别是提高清洁能源的比重。例如,2007年日本能源消费结构中,核能占12.2%,法国核能比例高达39%。如果我国将核能比例从现在的0.8%提高到日本目前的水平,我国能源的综合碳排放密度将会大幅度下降。尽管林伯强等人从节能和开发清洁能源对GDP的影响角度考察,认为我国改善能源结构,特别是提高清洁能源的比例,总体上会对当前GDP的增长具有负效应,^②但是,从长远看,强大的环境压力必将逼迫中国逐渐调整能源结构,开发清洁能源技术,以减少温室气体排放。

(四) 能源强度、技术水平及其碳减排潜力

能源强度反映能源利用效率的高低。能源强度下降反映生产技术的提高。本文能源强度的计算采用1994年不变价格GDP,单位是吨标煤/万元。根据能源强度的高低,八大部门可以分为三类:农业、建筑业、商业和第三产业其他部门的能源强度相对较低,基本稳定在0.4左右;采掘业和公用事业的能源强度相对较高,采掘业为4.22,公用事业平均为4.48;制造业和运输业属于中等能源强度部门,能源强度分别平均为2.44和2.26。

我国八大行业部门万元GDP的综合能源强度,从1994年的2.22吨标准煤,下降到2008年的1.28吨标准煤。其中,制造业的能源强度有较大幅度的下降,由

① IEA, *Key World Energy Statistics 2010*.

② 林伯强、姚昕、刘希颖:《节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整》,《中国社会科学》2010年第1期。

1994 年的 4.38 降低到 2008 年的 1.69, 下降 57%, 而其他七大行业部门的能源强度并无太大变化。由于制造业的碳排放量占 67% 的比重, 该部门碳排放密度的变化将对整个生产部门碳排放密度起到决定性影响。因此, 制造业技术水平的提高是我国综合能源强度下降的核心动力。

碳排放的理论增长规模是指因经济规模增长所增加的碳排放量。能源强度效应衡量在其他条件不变前提下, 因能源强度下降(上升)所减少(增加)的二氧化碳碳排放量。在理论上, 技术水平提高, 能源强度下降, 碳排放将会减少。^①

我国生产部门的能源强度大幅度下降。1994 年为 2.22 吨标准煤, 2008 年下降到 1.28 吨标准煤。能源强度下降导致碳排放量减少 24.33 亿吨。平均而言, 1994—2008 年能源强度每下降 1 个百分点, 二氧化碳减少排放量 33MT。1994—2008 年经济规模扩张导致的理论排放量为 48 亿吨, 能源强度下降的减排效应降低了碳排放理论增长规模的一半, 相对于 1994 年的实际碳排放量 21.11 亿吨, 减少了 110%。

分阶段考察, 1994—2000 年综合能源强度从 2.22 下降到 1.63, 减少碳排放接近 9 亿吨, 其中, 制造业减排 7.7 亿吨。2000—2008 年综合能源强度从 1.54 下降到 1.28, 减少碳排放量 15.4 亿吨。其中, 制造业减排 12.8 亿吨。

从行业贡献率考察, 工业三大部门(采掘、制造和公用)能源强度效应最显著。1994—2008 年因能源强度下降, 采掘业的二氧化碳减排 97MT、制造业减排 2048MT、公用事业减排 102MT。可见, 以制造业为主导的技术进步推动能源强度下降, 是二氧化碳减排的核心动力。

显然, 能源强度不可能无限下降。但是, 目前我国的能源强度究竟还有没有下降潜能呢? 根据 2008 年 IEA 数据, 按照 2000 年美元价格和当期汇率计算, 中国目前的能源强度仍处于一个相当高的水平。2006 年中国单位 GDP 能耗为 0.9 吨标油/千美元, 是世界平均水平的 3 倍、巴西的 3 倍、美国的 4.5 倍, 日本的 9 倍, 在世界主要 30 个国家和地区中排名倒数第 4。^② 若按照购买力平价计算, 我国单位 GDP 能耗与国际先进水平仍有较大的差异。因此, 提高技术水平降低能源强度, 作为当前实现低碳发展的主要途径, 仍有较大的空间与潜力。

(五) 经济结构及其碳减排空间

本文采用不变价格的 GDP 占全国总 GDP 的比重衡量八大行业部门的经济结构。

① 这一点最明显地体现在机器设备和制造工艺当中, 比如: 中小型发电机组的耗煤量为 500gtce/kwh, 而大型火电机组的耗煤量为 310gtce/kwh, 后者 190gtce/kwh 耗煤量的节约是由设备的技术进步带来的。

② 中华人民共和国国家统计局能源司编:《中国能源统计年鉴 2010》, 北京: 中国统计出版社, 2010 年。

由于不同部门的碳排放强度不同,重工业消耗大量能源带来大量的碳排放,而第三产业碳排放相对较少。因而在经济总量保持不变的情况下,优先发展重工业的结果是碳排放量的增加。这就是经济结构变化对碳排放量的净效应。

改革开放以来,我国经济规模迅猛扩大,经济结构也不断调整。从八大产业的结构及其变化来看,由于经济总量及发展速度的差异,农业的比重从1994年的19.8%下降到2008年的8.2%,降幅超过50%;制造业的比重从1994年的33.9%逐渐上升到2008年的50%;而其他六个行业部门的比重的变化幅度都不大。^①

究其原因,一方面,2000年以来,中国从工业化初期阶段进入工业化加速发展阶段,而且,由于消费结构升级、基础设施投资加大以及城市化进程的加快,高能耗行业发展明显快于低能耗行业的发展,这是我国工业化发展的必经阶段。另一方面,由于这段时期,作为制造业核心的高耗能源产品(钢铁、水泥、建材等)的价格增长,显著高于工业产品平均价格和能源产品价格的增长,这也促进了制造业整体的较快发展。

八大行业部门的经济结构及其变化表明我国目前仍处于工业化快速发展阶段。而且,随着工业化、城镇化进程的加快,制造业比重仍将在相当长的一段时期处于主导地位。经济结构效应衡量了经济结构对碳排放的影响。1994—2008年我国经济结构变化突出表现为制造业比重逐渐加大,农业比重不断下降,第三产业比重稳步不前。经济结构变化导致碳排放量增加6.13亿吨,相当于1994年实际碳排放总量(21亿吨)的30%。其中,农业、采掘业、运输业比重下降分别导致碳排放减少0.99亿吨、0.87亿吨和0.51亿吨。制造业的比重从1994年的33.9%增长到2008年的50%,碳排放量增加8.95亿吨,平均而言,制造业比重每增加1个百分点,碳排放量增加56MT。

分阶段考察,1994—2000年期间经济结构变化导致碳排放增加1.3亿吨。其中,制造业的比重从1994年的33.9%增长到2000年的37.7%,碳排放量增加167MT,制造业比重每增加1个百分点,碳排放量增加44MT。2000—2008年经济结构变化的碳效应为4.8亿吨,其中,制造业的比重从37.7%增加到2008年的50%,碳排放量增加726MT。因此,经济结构的重型化加剧了能源消耗和二氧化碳排放的增长。

根据世界银行的数据,采用三次产业就业人数衡量产业结构的特征。2007年中

① 本文基于1994年不变价格计算八大行业GDP占全国GDP的比重,发现与采用现价GDP计算的比重相差明显。关于我国三次产业结构的变化,按照《中国统计年鉴2010》的数据,中国工业的比重占45%,但是,本文根据39个小行业计算出工业的不变价格GDP比重为55.7%,更重要的是,年鉴上的工业比重有下降趋势,而本文通过不变价格计算的结果是上升趋势。由于篇幅限制,本文的详细数据表格可以向作者索取。

国、日本、美国和德国，第二产业的人口比例相差不大，分别为 26.8%、27.9%、20.6% 和 29.8%，但是中国与其他三国在第三产业的就业人数比例相差悬殊。中国第三产业就业人口比例最低，仅为 32.4%；美国最高，为 78%；日本与德国相差不大，约为 67%。^①与中国相似，日本与德国都是以工业产品出口为导向的国家，但是这两个国家的碳排放量却非常低。因此，假如中国第三产业的比重上升 1 倍而达到 67%，其他条件保持不变，碳排放量将会大幅度减少。

基于此，调整经济结构，采取适度工业化政策，提高第三产业的比重，将是保持经济快速增长且减少温室气体排放的重大战略。

五、主要结论及政策含义

我国经济已经进入工业化快速发展阶段，城市化进程加快，交通运输的能源消费需求日益增加，碳排放量迅猛增长。特别是，近几年碳排放的年增加量达 4—6 亿吨，其中，制造业占增幅总量的三分之二，火力发电环节的碳排放约占碳排放总量的四成。巨大的碳排放量是我国所面临的严峻挑战。通过考察 1994—2008 年我国八大行业部门碳排放量的总体趋势及特征，并基于指数分解方法，将二氧化碳排放量的变化分解为碳密度、能源强度、经济结构和经济规模四大效应，从能源结构、节能技术、经济结构和经济增长速度四个方面，探讨我国低碳发展的现实路径，本文得出以下结论。

第一，适度控制工业增长速度，转变工业增长模式，是低碳发展的重大战略选择。经济规模高速增长是碳排放量剧增的第一大推手，行业之间经济规模扩张的边际环境代价差异显著。1994—2008 年我国 GDP 规模增长 15.5 万亿，推动碳排放量理论上增长 48 亿吨。平均而言，经济规模每增长一个百分点，碳排放量增加 15MT（百万吨）。近年来碳排放的理论增长规模年均高达 4.5 亿吨。同时，不同行业万元 GDP 增长的碳排放效应差异显著。采掘业、公用事业和运输业万元 GDP 增长所额外增加的碳排放量在 5 吨以上，制造业、第一产业相应分别为 2.3 吨和 3.7 吨，商业、建筑业和第三产业其他部门万元 GDP 增长的碳排放在 1 吨左右。

第二，逐渐调整能源结构、开发清洁能源技术，将是我国温室气体减排的重要渠道。以煤炭为主的能源消费结构导致碳密度居高不下，是我国低碳发展的最大障碍。1994—2008 年我国综合能源的碳排放密度在 2.0 左右徘徊，意味着能源消耗 1 亿吨标准煤，将排放 2 亿吨二氧化碳。1994—2000 年碳排放密度基本呈上升趋势，碳密度上升导致碳排放增加 54MT；2000—2008 年碳排放密度基本呈下降趋势，碳密度下降导致碳排放减少 124MT。尽管总体碳密度下降不是非常显著，其减排效应

^① 中华人民共和国国家统计局编：《中国统计年鉴 2010》，北京：中国统计出版社，2010 年。

相对于巨大的排放量而言还很微弱,但是,总体碳排放密度下降还是显现出我国能源结构正朝着以清洁能源为主导方向转化的迹象。碳密度下降主要依靠调整能源结构,特别是提高清洁能源的比重。

第三,通过国际合作,利用发达国家先进的节能技术,提高能源利用效率,是低碳发展的重要途径。技术进步推动能源强度下降,是减排的核心动力。近年来,在技术进步推动下我国总体能源强度大幅度下降。1994 年万元 GDP 的综合能耗为 2.22 吨标准煤,2008 年下降到 1.28 吨标准煤。相应的,能源强度下降导致碳排在理论上减少 24.33 亿吨。平均而言,能源强度每下降 1 个百分点,碳排在理论上减少 33MT。我国目前的能源强度仍与国外先进水平相差甚远,2006 年是世界平均水平的 3 倍。

第四,调整经济结构,适度控制重工业增长速度,是我国低碳发展过程中痛苦而必然的选择。经济结构的重型化,特别是制造业比重提高所加剧的碳排放增长,导致碳排放总量增加。1994—2008 年间,经济结构的重型化和过度工业化导致碳排放量增加 6.13 亿吨,占实际碳排放增长量的 20%。特别是,制造业的比重从 1994 年的 33.9% 增长到 2008 年的 50%,制造业比重上升导致碳排放量增加 8.95 亿吨,平均而言,制造业比重每增加 1 个百分点,碳排放量增加 56MT。

基于本文的分析与国际经验,我国低碳发展的着力点与政策选择应该从以下几个方面展开。低碳发展要从制造业入手减少能耗,从火电环节提高煤电的转换效率。通过碳税、金融等政策手段,调整和优化行业结构,大力发展现代农业与服务业,优先发展低碳行业。技术进步是减排的核心动力,依靠清洁能源技术,加大节能技术、工艺的投入,降低行业终端能源强度。发展可再生资源,利用河流和海洋等自然资源,发展太阳能、水能、潮汐能等清洁能源,改善我国能源结构,降低综合能源的碳排放密度。适度控制高能耗工业发展速度,对于高耗、高污染、低附加值产品的出口实施限制政策,走新型工业化的道路。

〔责任编辑:梁 华 责任编辑:许建康〕