

引用格式:陈洁,焦建玲,李方一,等. 行业减排的优先次序与差别对策研究[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1373-1382. [Chen J, Jiao J L, Li F Y, et al. Sector order and different strategies to reduce CO₂ emissions[J]. *Resources Science*, 2016, 38(7): 1373-1382]. DOI: 10.18402/resci.2016.07.17

行业减排的优先次序与差别对策研究

陈洁, 焦建玲, 李方一, 李兰兰

(合肥工业大学, 合肥 230009)

摘要: 确定行业二氧化碳减排的优先次序并实施差别对策对减排目标的实现具有重要意义。本文基于投入产出 Ghosh 模型和敏感性分析, 从结构减排、技术减排两个方面, 提出了国家或区域行业二氧化碳减排优先次序确定的一般方法。将该方法应用到中国行业减排, 采用 2002 年和 2012 年全国投入产出表和行业碳排放数据, 依据各行业的经济增长贡献率、感应度系数、边际增长的完全碳排放量、二氧化碳排放强度年均下降率和二氧化碳排放强度-增加值弹性 5 个代表性指标, 确定行业减排的优先次序, 并提出差别的减排对策建议。结果表明: 在考察的 40 个行业中, 技术减排优先级 I 的行业包括非金属矿物制品业在内共 18 个, 结构性减排优先级 I 的行业包括石油和天然气开采业在内共 13 个, 针对行业技术减排和结构减排的三级优先次序, 可以确定四类减排对策。应用研究一方面证明了本文设计的一般方法的实用性和科学性, 另一方面为中国制定分行业的减排政策提供了参考。

关键词: 行业减排; 投入产出; 结构调整; 技术减排

DOI: 10.18402/resci.2016.07.17

1 引言

自 1990 年以来, 中国基本实现了从以农业经济为主向以工业经济为主的产业转移, 国内生产总值不断增加, 伴随着这些变化, 中国成为了世界能源消费大国, 排放量持续快速增长^[1], 减排压力巨大。2009 年哥本哈根气候大会上, 中国政府提出到 2020 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45% 的目标; 2014 年 APEC 会议期间, 中美双方发布了《中美气候变化联合声明》, 中国拟定 2030 年作为碳排放峰值年。面对日益加剧的节能减排压力, 调整行业结构和发展低碳技术是实现减排目标的关键。

经济部门的能源消费是中国碳排放的主要来源, 对经济部门实施减排具有巨大潜力^[2-5]。比较中国与美日欧发达国家在经济部门能源强度和行业结构上的差距, 中国能源强度降低和行业结构演变能有效缓解碳排放压力^[6]。行业节能减排是实现减排的有效途径, 日本韩国等国家通过扶持重点行

业、调整行业结构, 不仅带动了整个经济迅速增长, 而且提高了资源配置效率^[7], 中国需深度挖掘工业重点行业的减排潜力, 发挥行业减排的作用^[8]。

学者们研究行业减排时, 指标选取的切入点主要集中于碳排放、经济和能源之间的关系, 涉及行业结构减排和技术减排两个方面, 主要采用投入产出表研究经济系统中各部门直接或间接碳排放量之间的关系^[9-12]。G.Q. Chen 等基于 2007 年中国 135 部门的投入产出表详细分析了各行业碳排放和经济的联系^[13]。Z.M. Chen 等构建了 3 地区投入产出模型, 讨论了不同经济行为对碳排放的影响^[14]。单从结构减排这个角度, 学者们一般基于投入产出表衡量行业二氧化碳排放量、碳排放强度(系数)与经济增长之间的关系, 确定结构调整的优先产业^[15, 16]。Ning Chang 基于投入产出模型, 分析了 2007 年中国各个行业投入与产出对碳排放量的影响, 提出了结构减排的重点行业^[17]。从结构减排和技术减排两个角度, 马涛等构建了碳生产力和碳强度竞争力两个

收稿日期: 2015-12-07; 修订日期: 2016-05-08

基金项目: 国家自然科学基金(71271074、71573069、71503065); 教育部人文社会科学基金(14YJC790061、14YJC630061)。

作者简介: 陈洁, 女, 浙江舟山人, 硕士生, 研究方向资源经济与环境管理。E-mail: momochen1215@163.com

低碳指标,模拟了强低碳约束和弱低碳约束两种情景^[7];张晓娣在减排目标、GDP增长率和就业率的多重约束条件下,建立了投入产出框架下的行业结构优化模型^[18]。

行业的减排对策主要有结构减排、技术减排和减排政策。其中,技术进步是影响经济碳排放的重要因素^[19],技术进步改善能源消费结构,提高能源利用效率,降低碳排放强度;减排政策对经济部门起激励或约束的作用,对行业的正外部性进行奖励和对负外部效应进行惩罚^[20]。但就结构减排问题,因在不同的时间段行业结构调整的趋势不同,减排效应也不相同:①认为结构减排为负效应^[21-24];②认为结构减排为正效应^[25,26];③认为结构调整对减排无明显作用^[27-29]。Grossman G M 等认为理论上,结构优化和技术进步产生的环境效应之和是足以超过经济规模增长所产生的负效应^[30]。

分析以上文献可知:①结构减排和技术减排是行业节能减排的重要对策,但学者们减排对策集中于第一、二、三产业宏观层面结构减排^[6,31]或控制高能耗行业发展^[21,25],在行业划分上比较简单,行业类别较少;②指标选取较为局限,一般只考虑碳排放强度和减排潜力等指标,各个行业在经济贡献与边际增长方面的特征很少被考虑;③虽然考虑到碳排放量和行业发展之间的关系,但往往忽略了单个行业在行业体系中的位置和由此产生的联动效应;④很多研究注重全国或某个地区的应用研究,缺乏方法层面的基础性研究,提出的评价方法不一定适用于其他区域。本文在总结已有研究的基础上,基于投入产出 Ghosh 模型和敏感性分析,提出了适用于任意区域的行业节能减排优先次序确定的一般方法,从结构减排和技术减排两个角度,基于行业的规模、需求增长、行业关联性、减排成本、减排潜力、国际差距等多个方面的指标,考察国家(地区)所有行业的减排特征和潜力,以确定行业减排的重要性,并采用2002年和2012年数据,依该方法进行计算,排列得到中国行业减排优先次序,根据研究结果对行业提出具有差异性的减排对策。

2 模型框架与指标选取

2.1 构建模型框架

行业减排的优先次序在本文中指基于行业的

环境影响和经济影响,而确定的行业结构减排的先后次序和技术减排的先后次序,因此在确定减排优先次序时需综合考虑行业规模、需求增长、行业关联性、减排成本、减排潜力、国际差距等多方面问题,根据不同行业的发展规模、发展阶段和技术成熟度,制定不同的减排对策。本文构建了国家(地区)行业节能减排优先次序确定和差别对策制定的一般框架(图1),提出了国家(地区)行业节能减排优先次序确定和差别对策制定的一般方法。

由图1知,该框架主要包括研究对象选取、研究思路确定、指标计算和指标评价、行业减排优先次序和制定减排方案五个步骤,以国家(地区)所有行业为研究对象,从结构调整和技术进步两个方面,评价了所有行业的经济重要度、边际增长碳排放、技术减排潜力和技术减排成本四个一般性指标。经济重要度指标考虑了行业规模、行业需求增长和行业相关性;边际增长碳排放指标考虑行业需求增长和碳排放之间的关系;技术减排潜力指标考虑行业的减排潜力,以及中国与先进发达国家的差距;技术减排成本指标考虑了行业规模、需求增长和行业减排成本。在具体的指标评价时,结构调整方面,根据经济重要度指标和经济碳排放贡献指标的大小与指标平均值的差距,将所有行业划分A、B、C、D四类。技术减排方面,根据技术减排潜力指标和技术减排成本指标的计算结果,并与美国同类行业二氧化碳排放强度进行比较,将所有行业划分1、2、3三个等级。根据划分结果,确定产业的减排优先次序,制定四类减排差别对策。

2.2 指标选择

在前人研究成果的基础上,选取经济重要性指标、边际增长碳排放指标、技术减排潜力指标和技术减排成本指标四个一般性指标。上述四个指标反映各行业经济增长、经济规模、行业关联与碳排放量、二氧化碳排放强度的关系,可以作为结构减排和技术减排合理的评价指标。

(1)结构调整方面。结构调整方面的指标包括经济重要度指标和边际增长碳排放指标,这两个一般指标的代表性指标很多,本文选取了行业经济增长贡献率、感应度系数和边际增长碳排放量这三个具体指标。行业经济增长贡献率指各个行业的增

2016年7月

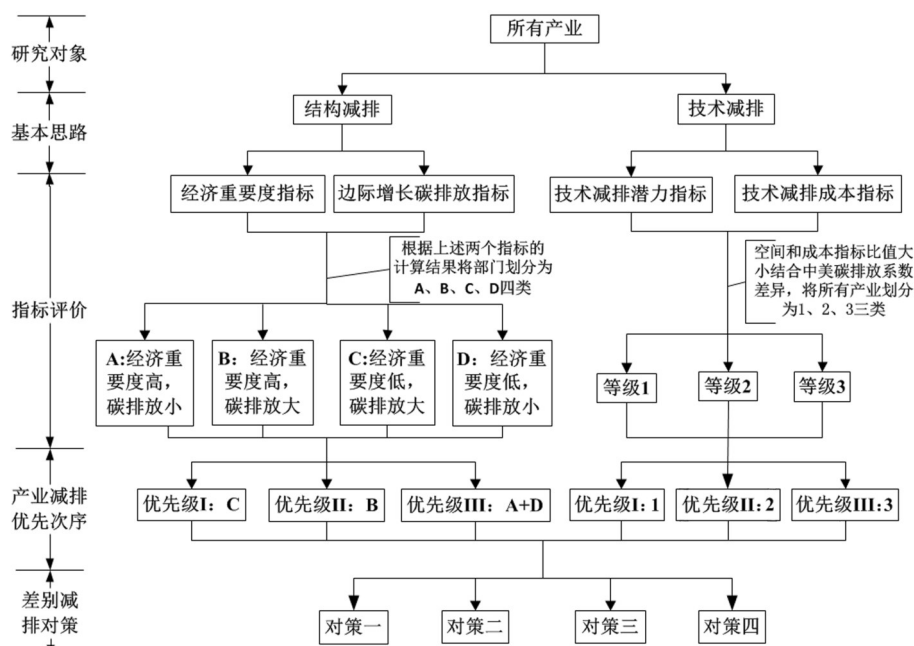


图1 行业减排优先次序和发展对策研究框架

Figure 1 The framework of sector order and different strategies to reduce CO₂ emissions

加值增量占国内生产总值(GDP)增量的比重,反映各个行业对GDP增长的贡献程度;感应度系数是假定生产技术不发生变化时,国民经济中所有行业每增加一个单位最终使用,某一行业由此而受到的需求感应程度,也代表了该行业在行业体系中的重要性。边际增长的碳排放量是当行业的增加值增加一定量时,通过投入产出的乘数效应,经济部门中总碳排放量的增量。上述三个指标帮助决策者从行业的经济影响和环境影响两个方面判断各个行业结构调整的方向。

(2)技术减排方面。技术减排方面的指标包括技术减排潜力和技术减排成本两个一般性指标,本文选取了二氧化碳排放强度年均下降率和技术-经济边际替代率两个代表性指标。二氧化碳排放强度年均下降率指各行业二氧化碳排放强度每年下降的平均速度,描述各行业历史年份技术进步的节能减排效应,也反映未来短期内各个行业技术减排的潜力。技术-经济边际替代率是在其他条件不变时,为弥补单个行业的增加值增加所带来的碳排放量,该行业的二氧化碳排放强度下降,二者变化率的比值定义为技术-经济边际替代率。上述两个指

标从行业技术减排的潜力和技术减排的成本衡量了各个行业技术减排的难易程度。

上述两方面指标的具体说明见表1。

3 模型与指标计算方法

基于投入产出表和行业二氧化碳排放数据,计算行业增加值年均变化率和二氧化碳排放强度的年均变化率;在此基础上结合投入产出 Ghosh 模型和列昂惕夫逆矩阵,计算行业感应度系数、二氧化碳排放强度-增加值弹性,确定各行业结构调整和技术减排的可能性,为制定具体的减排方案提供依据,该方法适用于国家(地区)的行业减排优先次序的确定和差别对策的提出。

3.1 结构减排相关指标的测算

当一个行业的增加值发生变化时,根据投入产出表可知,所有行业的总产出都会随之变化。投入产出 Ghosh 模型可以明确表示行业总产出和增加值之间的关系。

投入产出 Ghosh 模型为:

$$\sum_{i=1}^n h_{ij}x_i + w_j = x_j \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$h_{ij} = x_{ij}/x_i \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

表1 模型指标选取

Table 1 The selection of model index

一般性指标	代表性指标	指标含义	指标意义	参考文献
经济重要度	经济增长贡献率	各个行业增加值增量占国内生产总值增量的比重	各个行业增加值对国民经济的贡献和影响	朱勤等、李斌等、赵敏 ^[32-34]
	感应度系数 (推动系数)	所有行业增加单位最终产品时单个行业的完全投入与所有行业平均完全投入比值	感应系数越大的行业对经济发展的推动作用大	刘瑞翔等、肖皓等 ^[35,36]
边际增长二氧化碳排放	边际增长碳排放量	增加一定量行业增加值,经济系统中碳排放的增量	各个行业的经济增长对碳排放量的影响	国涓等、郭朝先 ^[8]
技术减排潜力	二氧化碳排放强度年均下降率	一定年份里各个行业二氧化碳排放强度平均每年下降百分率	二氧化碳排放强度每年可下降的空间	何建坤、朱靖等 ^[37,38]
技术减排成本	技术-经济边际替代率	行业二氧化碳排放强度变化率和增加值变化率的比值	行业二氧化碳排放强度对经济增长的承受能力	Erin S. Minihan 等、张晓娣 ^[16,18]

$$H = \begin{pmatrix} h_{1,1} & \cdots & h_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n,1} & \cdots & h_{n,n} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中 h_{ij} 为第 i 行业的单位产出中第 j 行业所能分配到的产品份额,也称为产出系数; H 为 n 个行业的直接分配系数矩阵; x_{ij} 为第 j 行业对 i 行业的直接消耗量, x_i 表示第 i 行业的总产出。 w_j 为第 j 行业的增加值。

公式(1)的矩阵形式为:

$$H'X + W = X \quad (4)$$

由公式(4)得:

$$X = (I - H')^{-1}W \quad (5)$$

式中 $X = (x_j)_{n \times 1}$ 为 n 行业的总产出列向量; $W = (w_j)_{n \times 1}$ 为 n 行业增加值列向量; I 为单位矩阵。

(1)经济增长贡献率。 t_1 年到 t_2 年的第 i 行业增加值年均增长率为 s_i , 则:

$$w_{i(t_2)} = (1 + s_i)^{t_2 - t_1} w_{i(t_1)} \quad (6)$$

那么,第 i 行业增加值以 s_i 为增长率增长时,该行业 t_2 年度经济增长贡献率 r_i 表示为:

$$r_i = \Delta w_i / \Delta GDP \times 100\% \\ = \frac{[w_{i(t_2)} - (1 + s_i)^{t_2 - t_1 - 1} w_{i(t_1)}]}{(G_{t_2} - G_{t_1 - 1})} \times 100\% \quad (7)$$

式中 r_i 为第 i 行业的经济贡献率; Δw_i 为 t_2 年第 i 行业增加值的增量; ΔGDP 为 t_2 年 GDP 的增量; G_{t_2} 为 t_2 年的 GDP。

(2)感应度系数。在经济系统中,单个行业生产过程的任何变化,都会通过行业间的关联关系对其他行业产生波及作用,把单个行业受其他行业的波及作用称为感应度。在列昂惕夫逆阵中,行向量的值反映了单个行业受经济系统中其他行业的影响程度。

首先,定义如下变量:

$$a_{ij} = x_{ij} / x_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

式中 a_{ij} 为第 i 行业的单位产出中第 j 行业所投入的产品份额,也称为直接消耗系数。

列昂惕夫逆阵 M 为:

$$M = (I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} m_{1,1} & \cdots & m_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n,1} & \cdots & m_{n,n} \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中 m_{ij} 为第 j 行业生产单位最终产品完全需要第 i 行业的产品量; A 为 n 个行业的直接消耗系数矩阵。

则第 i 行业的感应度系数可表示为:

$$r_i = \sum_j m_{ij} / m_{ij} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

(3)碳排放量。根据投入产出 Ghosh 模型,总碳排放量 E 可以表示为:

$$E = CX = C(I - H')^{-1}W \quad (11)$$

$$\text{令: } B = C(I - H')^{-1} = (b_1, \dots, b_n) \quad (12)$$

$$\text{则: } E = BW = (b_1, \dots, b_n) \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \\ = b_1 w_1 + \cdots + b_n w_n \quad (13)$$

2016年7月

式中 $C=(c_i)_{1 \times n}$ 为 n 行业的二氧化碳排放强度行向量。

当第 i 行业的增加值增加 GDP/1000, 其他行业的增加值不变, 则总碳排放量增加 ΔE_i 为:

$$\Delta E_i = b_i \times (\text{GDP}/1000) \quad (14)$$

各行业的增加值增加 GDP/1000 时, 所增加的碳排放量不同, 增加的碳排放量越大, 则该行业经济增长对环境的影响越大。

3.2 技术减排相关指标的测算

(1) 二氧化碳排放强度年均下降率。首先, 计算二氧化碳排放强度。其计算公式为:

$$c_i = e_i / x_i \quad (15)$$

式中 c_i 为第 i 行业的二氧化碳排放强度; e_i 为第 i 行业的碳排放量; x_i 为第 i 行业的总产出。

计算得到第 i 行业 t_1 年的二氧化碳排放强度 $c_{i(t_1)}$ 和 t_2 年的二氧化碳排放强度 $c_{i(t_2)}$, 则二氧化碳排放强度与二氧化碳排放强度年均下降率之间的关系可以表示为:

$$c_{i(t_2)} = (1 - g_i)^{t_2 - t_1} c_{i(t_1)} \quad (16)$$

式中 g_i 为第 i 行业二氧化碳排放强度的年均下降率。

(2) 二氧化碳排放强度-增加值弹性。当第 i 行业的增加值增加 GDP/1000, 其他行业的二氧化碳排放强度和增加值保持不变, 为维持总碳排放量不变, 该行业的排放系数下降。二氧化碳强度变化量 Δc_i 可以表示为:

$$\Delta c_i = \Delta E_i / x'_i \quad (17)$$

式中 x'_i 为当第 i 行业增加值变化后的行业总产出, 可以通过公式(5)计算得到。则排放系数-增加值弹性可以表示为:

$$\varepsilon_i^c = \frac{\Delta c_i}{\text{GDP}/1000} \times \frac{w_i}{c_i} \quad (18)$$

4 应用研究

基于本文第2章节和第3章节提出的评价体系和计算方法, 采用中国2002年和2012年投入产出表和二氧化碳排放量相关数据应用于模型中, 进行计算。

4.1 数据来源与处理

本文选取了2002年和2012年两个年份的二氧

化碳排放量和经济数据。行业二氧化碳排放量包括行业能源消费中用于燃烧的二氧化碳排放量和产品生产过程中的排放量。本文采用了CEADs中国碳核算数据库^[39]中公布的数据, 数据库中的行业碳排放量基于IPCC公布的碳排放计算公式, 计算了行业20种能耗的二氧化碳排放量和14种工业产品生产过程中的二氧化碳排放量。CEADs数据库由中国国家自然科学基金委员会、中国科学院等多家中外研究机构共同支持, 该数据库被众多学者引用^[40-43]。各个行业的总产出和增加值来自于中国部门投入产出表^[44, 45], 为消除价格因素的影响, 各年投入产出表均以2012年价格为基期。由于投入产出表中部门划分和部门二氧化碳排放量不匹配, 因此将整个产业划分为40个细分行业并编号, 具体行业划分见表2。

4.2 结果分析

4.2.1 行业的结构减排特征分析

根据行业经济增长贡献率、感应度系数和碳排放量的计算结果, 可将40个行业分为A、B、C、D四类行业。

(1) A类行业(编号:1、7、39、40)共4个, 分别属于第一产业、轻工业和第三产业, 这些行业对国民经济发展起着巨大的推动作用, 但是对环境影响小, 不应该限制发展。

(2) B类行业(编号:19、38)共2个, 包括交通运输、仓储和邮政业和化学原料和化学制品制造业, 两个行业都是国民生产、生活的基础性行业, 对经济影响大, 同时对环境也有高负作用, 限制这两个行业的发展环境效应明显, 同时经济损失也大。

(3) C类行业(编号:2、3、4、5、6、15、18、23、24、25、32、33、34)共13个, 是结构减排的重要行业, 主要是采掘业和制造业, 这些行业对经济的影响力相对较小, 但是行业发展对环境的影响力却较大, 限制这些行业发展, 经济代价小, 但是环境正效益明显。

(4) D类行业(编号:8、9、10、11、12、14、17、13、16、20、21、22、26、27、28、29、30、31、35、36、37)共21个, 占了全部行业的一半左右, 主要集中在轻工业和设备制造业, 这些行业对经济和环境的影响相对都较小, 对这些行业实施减排的意义不大。

综合划分结果,考虑到行业的经济效益和环境效应,确定行业减排次序,分为“优先级Ⅰ”(C类行业)、“优先级Ⅱ(B类行业)”和“优先级Ⅲ(A+D类行业)”。具体分类结果见表2。

4.2.2 行业的技术减排特征分析

根据二氧化碳排放强度年均下降率和二氧化碳排放强度-增加值弹性的计算结果和中美二氧化碳排放强度差距,将40个行业划分为三个等级,从等级1到等级3行业技术减排的可行性逐渐减小。

(1)等级1行业(编号:7、8、10、12、14、15、18、19、21、23、24、26、29、34、35、37、38、40)共18个,这些行业年均二氧化碳排放强度下降大,减排空间大,同时这些行业二氧化碳排放强度对增加值的灵敏度低,适合通过技术进步、设备改造降低二氧化碳排放强度。

(2)等级2行业(编号:1、3、5、6、11、13、16、17、20、22、25、27、28、30、31、39)共16个。

(3)等级3行业(编号:2、4、9、32、33、36)共6个,这6个产业的技术减排成本高、减排空间小,相

比于等级1和等级2行业,不适合技术减排。综合划分结果,考虑到行业技术减排成本和减排空间,将行业划分为“优先级Ⅰ(等级1行业)”、“优先级Ⅱ(等级2行业)”和“优先级Ⅲ(等级3行业)”。具体排序结果见表2。

4.2.3 行业减排差别对策

行业结构减排差异分析,确定了行业结构减排的优先次序,提出了需限制发展的行业;行业技术减排差异分析,确定了行业技术减排的优先次序。综合分析结果,对行业进行交叉分类,提出行业减排的差别对策,绘制出图2。

(1)对策一“限制发展和技术减排并重”的行业共11个行业,见图2。这些行业增长对环境负效应大,对经济增长贡献小,且技术减排空间大、成本小,因此既可以控制它们的发展速度又可以通过技术进步实现减排。其中电力、热力生产和供应业、非金属矿物制品业等5个行业应该优先减排。

(2)对策二“限制发展为主”的行业共4个,见图2。分别是煤炭开采和洗选业、黑色金属矿采选业、

表2 经济部门产业细分

Table 2 Classification of sector

编号	行业	技术减排	结构减排	编号	行业	技术减排	结构减排
1	农、林、牧、渔、水利业	Ⅱ(2)	Ⅲ(A)	21	化学纤维制造业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)
2	煤炭开采和洗选业	Ⅲ(3)	Ⅰ(C)	22	橡胶和塑料制品业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)
3	石油和天然气开采业	Ⅱ(2)	Ⅰ(C)	23	非金属矿物制品业	Ⅰ(1)	Ⅰ(C)
4	黑色金属矿采选业	Ⅲ(3)	Ⅰ(C)	24	黑色金属冶炼和压延加工业	Ⅰ(1)	Ⅰ(C)
5	有色金属矿采选业	Ⅱ(2)	Ⅰ(C)	25	有色金属冶炼和压延加工业	Ⅱ(2)	Ⅰ(C)
6	非金属矿采选、其他采矿业	Ⅱ(2)	Ⅰ(C)	26	金属制品业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)
7	食品加工制造业	Ⅰ(1)	Ⅲ(A)	27	通用设备制造业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)
8	酒、饮料和精制茶制造业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)	28	专用设备制造业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)
9	烟草制品业	Ⅲ(3)	Ⅲ(D)	29	交通运输设备制造业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)
10	纺织业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)	30	电气机械和器材制造业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)
11	纺织业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)	31	计算机、通信和其他电子设备制造业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)
12	纺织服装、服饰业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)	32	仪器仪表制造业	Ⅲ(3)	Ⅰ(C)
13	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)	33	其他制造业	Ⅲ(3)	Ⅰ(C)
14	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)	34	电力、热力生产和供应业	Ⅰ(1)	Ⅰ(C)
15	家具制造业	Ⅰ(1)	Ⅰ(C)	35	燃气生产和供应业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)
16	造纸和纸制品业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)	36	水的生产和供应业	Ⅲ(3)	Ⅲ(D)
17	印刷和记录媒介复制业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)	37	建筑业	Ⅰ(1)	Ⅲ(D)
18	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	Ⅰ(1)	Ⅰ(C)	38	交通运输、仓储和邮政业	Ⅰ(1)	Ⅱ(B)
19	石油加工、炼焦和核燃料加工业	Ⅰ(1)	Ⅱ(B)	39	批发、零售和住宿、餐饮业	Ⅱ(2)	Ⅲ(A)
20	化学原料和化学制品制造业	Ⅱ(2)	Ⅲ(D)	40	其他行业	Ⅰ(1)	Ⅲ(A)

2016年7月



注：图中“加粗”行业为对应对策中的优先减排行业。

图2 行业减排差别对策

Figure 2 Different strategies to reduce CO₂ emissions

仪器仪表制造业和其他制造业。这四个行业不易于技术减排,但是通过限制其行业发展能有效实现减排。

(3)对策三“技术减排为主”的行业共23个,见图2。这23个行业一方面,经济增长对环境的影响较小,导致不适合通过限制行业发展实现减排;另一方面,技术减排空间大成本低,相对于结构减排,技术减排是更优的减排对策。这些行业包括了第一产业和第三产业中多数行业(除交通运输、仓储和邮政业),其中有12个行业应优先减排。

(4)对策四“弱减排约束”的行业共2个,见图2。这2个行业是烟草制品业和水的生产和供应业。无论从结构减排还是技术减排的角度,这两个行业都是最后减排。

5 总结

5.1 主要结论

本文从行业微观的角度探讨了行业减排优先次序的确定和行业差别减排对策制定的一般方法。并将中国2002年和2012年投入产出表及行业二氧化碳排放数据应用于该方法,得出以下结论:

(1)同时适合结构减排和技术减排的行业共11个,其中5个行业应优先减排。适合技术减排共23个行业,其中12个是技术减排的优先行业。适合限制行业发展速度实现减排的行业共有4个。

(2)除交通运输、仓储和邮政业外,第一产业和

三产业中的行业均适合通过技术进步,降低碳排放强度实现减排。这些行业对国民经济发展有着重要的影响,尤其是第三产业作为国民经济发展中的主导产业,不适合为减排而限制发展。与欧美发达国家相比,这些行业的碳排放强度还有巨大下降空间,“十三五”规划中明确强调加快农业的现代化步伐、提高农业技术装备和信息化水平。

(3)本研究提出的一般性选择框架具有更广的应用范围,可以应用于中国各个省区市,在全国的应用研究得到了明确的结果,证明该框架具有实用性和可操作性,而指标筛选的开放性也保证了该框架具有一定的适应性。

5.2 展望

中国正处于经济转型的关键期,中国政府明确提出了量化的节能减排约束指标,经济部门需要从高碳经济平稳过渡到低碳经济,优化行业结构、降低碳排放强度、提高能源效率。与美日欧相比,中国行业的能源和碳排放强度明显高于发达国家,行业结构调整和技术进步还有巨大空间和潜力。

本文构建的一般方法充分考虑经济增长、经济规模和碳排放量、二氧化碳排放强度之间的关系,全面衡量了行业规模、需求增长、行业关联性、减排成本、减排潜力、国际差距等多个方面,为之后国家(地区)确定行业减排优先次序、制定行业减排方案提供了参考,具有一定的实际应用价值。但是,本

文也存在一定不足:行业减排优先次序的确定和差别对策提出都是基于历史数据的分析,没有考虑未来经济发展速度、能源消费结构、能源消费量等约束条件,进口产品对国家(地区)内的替代作用也未考虑,在考察行业的经济影响时,没有考虑就业等指标。此后的进一步研究中,可以加入相关约束条件,在更好地预测行业规模、碳排放量和二氧化碳排放强度之间关系的基础上,制定行业减排对策。

参考文献(References):

- [1] Chen G Q, Zhang B. Greenhouse Gas Emissions in China 2007: Inventory and Input - Output Analysis[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(10): 6180-6193.
- [2] 徐盈之, 张贇. 中国区域碳减排责任及碳减排潜力研究[J]. 财贸研究, 2013, 24(02): 50-59. [Xu Y Z, Zhang Y. China's Regional Carbon Reduction Responsibility and Potential[J]. *Finance and Trade Research*, 2013, 24(02): 50-59.]
- [3] 郭朝先. 中国工业碳减排潜力估算[J]. 中国人口、资源与环境, 2014, 24(9): 13-20. [Guo C X. Estimation of Industrial Carbon Emission Reduction Potential in China[J]. *China Population Resources and Environment*, 2014, 24(9): 13-20.]
- [4] 向其凤, 王文举. 中国能源结构调整及其节能减排潜力评估[J]. 经济与管理研究, 2014(07): 13-22. [Xiong Q F, Wang W J. Energy Saving and Emissions Reduction Potential Assessment of China Energy Structure Optimization[J]. *Research on Economics and Management*, 2014(07): 13-22.]
- [5] 张成, 史丹, 王俊杰. 中国碳生产率的潜在改进空间——基于外部环境和内部管理视角[J]. 资源科学, 2015, 37(06): 1218-1229. [Zhang C, Shi D, Wang J J. Estimation and decomposition of the potential improvement of carbon productivity from the angle of outer environment and inner management[J]. *Resources Science*, 2015, 37(06): 1218-1229.]
- [6] 朱永彬, 刘昌新, 王铮, 等. 我国产业结构演变趋势及其减排潜力分析[J]. 中国软科学, 2013(02): 35-42. [Zhu Y B, Liu C X, Wang Z, et al. Projection of Industrial Structure Evolution and Its Carbon Abatement Potential for China[J]. *China Soft Science*. 2013(02): 35-42.]
- [7] 马涛, 东艳, 苏庆义, 等. 工业增长与低碳双重约束下的产业发展及减排路径[J]. 世界经济, 2011(08): 19-43. [Ma T, Dong Y, Su Q Y, et al. The Industry Development Path and Emission Reduction under the Industrial Growth and Double Constraints of Low Carbon[J]. *The Journal of World Economy*, 2011(08): 19-43.]
- [8] 国涓, 刘长信, 孙平. 中国工业部门的碳排放: 影响因素及减排潜力[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1630-1640. [Guo J, Liu C X, Sun P. Carbon Emissions of Industrial Sectors in China: Influencing Factors and Emission Reduction Potential[J]. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1630-1640.]
- [9] Seppälä J, Mäenpää I, Koskela S, et al. An Assessment of Greenhouse Gas Emissions and Material Flows Caused by the Finnish Economy Using the ENVIMAT Model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19(16): 1833-1841.
- [10] Brown L H, Buettner P G, Canyon D V, et al. Estimating the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Australian Ambulance Services[J]. *Journal of Cleaner Production*. 2012, 37: 135-141.
- [11] Vetóné Móznér Z. A Consumption-Based Approach to Carbon Emission Accounting—Sectoral Differences and Environmental Benefits[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 42: 83-95.
- [12] Egilmez G, Kucukvar M, Tatari O. Sustainability Assessment of U. S. Manufacturing Sectors: An Economic Input Output-Based Frontier Approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 53: 91-102.
- [13] Chen G Q, Chen Z M. Carbon Emissions and Resources Use by Chinese Economy 2007: A 135-Sector Inventory and Input - Output Embodiment[J]. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2010, 15(11): 3647-3732.
- [14] Chen Z M, Chen G Q. Embodied Carbon Dioxide Emission at Supra-National Scale: A Coalition Analysis for G7, BRIC, and the Rest of the World[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2899-2909.
- [15] 孙建卫, 陈志刚, 赵荣钦, 等. 基于投入产出分析的中国碳排放足迹研究[J]. 中国人口、资源与环境, 2010, 20(05): 28-34. [Sun W J, Chen Z G, Zhao R Q, et al. Research on Carbon Emission Footprint of China Based on Input output Model[J]. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(05): 28-34.]
- [16] Minihan E S, Wu Z. Economic Structure and Strategies for Greenhouse Gas Mitigation[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(1): 350-357.
- [17] Chang N. Changing Industrial Structure to Reduce Carbon Dioxide Emissions: A Chinese Application[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 40-48.
- [18] 张晓娣. 增长、就业及减排目标约束下的产业结构优化研究[J]. 中国人口、资源与环境, 2014, 24(05): 57-65. [Zhang X D. Optimal Industrial Structure with Carbon Emission, GDP Growth and Employment Targets[J]. *China Population Resources and Environment*, 2014, 24(05): 57-65.]
- [19] 王少剑, 刘艳艳, 方创琳. 能源消费CO₂排放研究综述[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 151-164. [Wang S J, Liu Y Y, Fang C L. Review of energy-related CO₂ emission in response to climate change[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(2): 151-164.]
- [20] 王琳, 肖序, 许家林. “政府—企业”节能减排互动机制研究[J]. 中国人口、资源与环境, 2011, 21(06): 102-109. [Wang L, Xiao

2016年7月

- X, Xu J L. On Interaction Mechanism of Energy Saving and Emission Reduction between Government and Enterprises[J]. *China Population Resources and Environment*, 2011, 21 (06): 102-109.]
- [21] 郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响[J]. 中国人口. 资源与环境, 2012, 22(7): 15-20. [Guo C X. Effect of Industrial Structure Change on Carbon Emission in China[J]. *China Population Resources and Environment*, 2012, 22(7): 15-20.]
- [22] 许士春, 习蓉, 何正霞. 中国能源消耗碳排放的影响因素分析及政策启示[J]. 资源科学, 2012, 34(01): 2-12. [Xu S C, Xi R, He Z X. Influential Factors and Policy Implications of Carbon Emissions for Energy Consumption in China[J]. *Resources Science*, 2012, 34(01): 2-12.]
- [23] 李斌, 赵新华. 经济结构、技术进步与环境污染——基于中国工业行业数据的分析[J]. 财经研究, 2014, 37(4): 112-122. [Li B, Zhao X H. Economic Structure, Technological Progress and Environmental Pollution: Based on the Analysis of Industrial Data in China[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2014, 37(4): 112-122.]
- [24] 邓吉祥, 刘晓, 王铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J]. 自然资源学报, 2014, 29(02): 189-200. [Deng J X, Liu X, Wang Z. Characteristics Analysis and Factor Decomposition Based on the Regional Difference Changes in China's CO₂ Emission[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(02): 189-200.]
- [25] 罗良文, 李珊珊. 技术进步、产业结构与中国工业碳排放[J]. 科研管理, 2014, 35(6): 8-13. [Luo L W, Li S S. Technological progress, industrial structure and China's industrial carbon emissions[J]. *Science Research Management*, 2014, 35(6): 8-13.]
- [26] 左可贵, 包玉泽, 李崇光, 等. 工业碳减排绩效及其影响因素动态分解[J]. 自然资源学报, 2014, 29(09): 1576-1588. [Zuo K G, Bao Y Z, Li C G, et al. Industrial Carbon Emission Reduction Performance and Dynamic Decomposition of Its Influencing Factors[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(09): 1576-1588.]
- [27] 赵志耘, 杨朝峰. 中国碳排放驱动因素分解分析[J]. 中国软科学, 2012(06): 175-183. [Zhao Z Y, Yang C F. The Decomposition Analysis on the Driving Factors of China's Carbon Emission [J]. *China Soft Science*, 2012(06): 175-183.]
- [28] 郝珍珍, 李健. 我国碳排放增长的驱动因素及贡献度分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1664-1673. [Hao Z Z, Li J. Analysis of China's Carbon Emission Growth: Drive Factors and Its Contribution[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(10): 1664-1673.]
- [29] 董锋, 杨庆亮, 龙如银, 等. 中国碳排放分解与动态模拟[J]. 中国人口. 资源与环境, 2015, 25(4): 1-8. [Dong F, Yang P L, Long R Y, et al. Factor Decomposition and Dynamic Simulation of China's Carbon Emissions[J]. *China Population Resources and Environment*, 2015, 25(4): 1-8.]
- [30] Grossman G M, Krueger A B. Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement[R]. NBER Working Paper, 1991.
- [31] 张雷, 李艳梅, 黄园渐, 等. 中国结构节能减排的潜力分析[J]. 中国软科学, 2011(02): 42-51. [Zhang L, Li Y M, Huang Y X, et al. Analysis on Character and Potential of Energy Saving and Carbon Reducing by Structure Evolution in China[J]. *China Soft Science*, 2011(02): 42-51.]
- [32] 朱勤, 彭希哲, 陆志明, 等. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2072-2079. [Zhu Q, Peng X Z, Lu Z M, et al. Factors Decomposition and Empirical Analysis of Variations in Energy Carbon Emission in China [J]. *Resources Science*, 2009, 31(12): 2072-2079.]
- [33] 李斌, 郭庆. 山东省污染密集型产业结构调整对策研究[J]. 中国人口. 资源与环境, 2010, 20(06): 98-102. [Li B, Guo Q. Countermeasures of Structural Adjustment of Pollution-intensive Industries in Shandong Province[J]. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(06): 98-102.]
- [34] 赵敏. 上海市终端能源消费的CO₂排放影响因素定量分析[J]. 中国环境科学, 2012, 32(09): 1583-1590. [Zhao M. Quantitative analysis of the factors influencing CO₂ emissions from final energy consumption in Shanghai[J]. *China Environmental Science*, 2012, 32(09): 1583-1590.]
- [35] 刘瑞翔, 姜彩楼. 经济全球化背景下我国产业关联特征分析——基于1997-2007可比价非竞争型投入产出表的研究[J]. 产业经济研究, 2010(5): 17-26, 35. [Liu R X, Jiang C L. The Characteristics of Industrial Relations in China under the Background of Economic Globalization: An Analysis Based on Non-Competitive Input-Output Data with Comparable Prices between 1997 and 2007[J]. *Industrial Economics Research*, 2010(5): 17-26, 35.]
- [36] 肖皓, 朱俏. 影响力系数与感应度系数的评价与改进——考虑增加值和节能减排效果[J]. 管理评论, 2015, 27(03): 57-66. [Xiao H, Zhu Q. Evaluation and Improvement of the Diffusion Coefficient and Inducing Coefficient——Considering the Effects of Value Added, Energy Saving and Emission Reduction[J]. *Management Review*, 2015, 27(03): 57-66.]
- [37] 何建坤. CO₂排放峰值分析: 中国的减排目标与对策[J]. 中国人口. 资源与环境, 2013, 23(12): 1-9. [He J K. Analysis of CO₂ Emissions Peak: China's Objective and Strategy[J]. *China Population Resources and Environment*, 2013, 23(12): 1-9.]
- [38] 朱婧, 刘学敏, 初钊鹏. 低碳城市能源需求与碳排放情景分析[J]. 中国人口. 资源与环境, 2015, 25(7): 48-55. [Zhu Q, Liu X M, Chu Z P. Scenario Analysis on Energy Demand and CO₂ Emission of Low Carbon City[J]. *China Population Resources and Environment*, 2015, 25(7): 48-55.]

- [39] Guan D D. National- Level CO₂ Emission Inventory[EB/OL]. (2016-04-06)[2016.04.20]. <http://www.ceads.net/data/inventory-by-sectoral-approach/>.
- [40] Liu Z, Guan D D, Crawford-Brown Q. et al. Energy Policy: A Low-Carbon Roadmap for China[J]. *Nature*, 2013, 500 (7461) : 143-145.
- [41] Guan D D, S Klasen, K Hubacek, et al. Determinants of Stagnating Carbon Intensity in China[J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4(11):1017-1023.
- [42] Liu Z, Guan D D, W Wei, et al. Reduced Carbon Emission Estimates From Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China[J]. *Nature*, 2015, 524:335-338.
- [43] Lin J, D Pan, S J Davis, et al. China'S International Trade and Air Pollution in the United States[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 2015, 111(5):1736-1741.
- [44] Xu X C, Input- Output Tables of China[EB/OL]. [2016.04.20]. <http://tongji.cnki.net/kns55/Navi/YearBook.aspx?id=N2007080148&floor=1>.
- [45] Chen Z L, Input- Output Tables of China[EB/OL]. [2016.04.20]. <http://tongji.cnki.net/kns55/Navi/YearBook.aspx?id=N2016030122&floor=1>.

Sector order and different strategies to reduce CO₂ emissions

CHEN Jie, JIAO Jianling, LI Fangyi, LI Lanlan

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Sectors' CO₂ emissions is one of the largest drivers of accelerated global warming and China needs to urgently face this environmental issue. The mitigating order of sector and development countermeasures are significant for mitigating CO₂ emissions. Promoting industrial structural upgrades and environmental technology are two important approaches currently used by China to mitigate greenhouse gas emissions. Here, from the aspects of structural adjustment and technological progress, a general framework for the mitigating order of sector and development countermeasures was innovated to mitigate CO₂ emissions and release environmental pressures. This study was based on the Ghosh input-output model and sensitivity analysis. We analyzed all sectors in China and combined them into 40 sectors, adopted an input-output table for 2002 and 2012, and CO₂ emission data. In order to better control growth in CO₂ emission from sectors we analyzed five typical sector indicators. We found that technological progress should be preferentially carried out in 18 sectors(including nonmetal mineral products) to reduce emissions; 13 sectors (including oil and gas extraction), should limit development speed because this would have a large effect on emissions and low economic impact. We arrived at four countermeasures. On the one hand, further applied research has proven the practicality and scientificity of this general method; and on the other hand it provides a solid foundation for government and reference of emission reduction policies to adjust industrial structure, develop environmental technology and reduce carbon emissions. The method here is applicable to many countries and regions that want to achieve a low carbon economy.

Key words: emission reduction of sector; input-out table; structural adjustment; technical emission reduction