

# 基于投入产出模型的工业源氨氮行业转移研究\*

和夏冰<sup>1</sup> 殷培红<sup>1#</sup> 王媛<sup>2</sup>

(1.环境保护部环境与经济政策研究中心,北京 100029;2.天津大学环境科学与工程学院,天津 300072)

**摘要** 以2010年中国24个涉工业源氨氮排放的行业为基础,运用投入产出模型,分析了工业源氨氮排放的行业转移情况。研究发现,金属冶炼及压延加工业,化学工业,纺织业,造纸印刷及文教体育用品制造业等节能减排重点监管行业替电气、机械及器材制造业,通用、专用设备制造业,交通运输设备制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业等高端制造业承担了较多的排放责任。氨氮排放表现出从下游行业群向上游行业群转移的趋势。建议“十三五”期间,要统筹考虑全国总量控制目标和各行业减排目标以及区域产业发展规划。

**关键词** 氨氮转移排放 投入产出模型 结构性减排 高端制造业

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2017.04.019

**Ammonia nitrogen transfer embodied in industrial sources based on input-output model** HE Xiabing<sup>1</sup>, YIN Peihong<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>2</sup>. (1. Policy Research Center for Environment and Economy, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100029; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

**Abstract:** Input-output model was employed in this study for the quantitative calculation of the ammonia nitrogen transfer emissions among 24 industrial sectors in China. Results showed that metal smelting and rolling processing, chemical, textile, and paper making and printing beared responsibilities for electrical machinery, general or dedicated equipment, transportation equipment, and communication equipment industries. The roadmap showed ammonia nitrogen transferred from downward industries to upward ones. It was proposed that, during the 13th Five Year Plan, industrial reduction plan, regional industry development plan and national total emission reduction plan should be taken into account together.

**Keywords:** ammonia nitrogen transfer emissions; input-output model; structural pollution reduction; the high-end manufacturing sector

电力、热力的生产和供应业,金属冶炼及压延加工业,化学工业,纺织业,造纸印刷及文教体育用品制造业等基础原材料行业一直是我国节能减排的重点监管行业。“十二五”期间,这些行业的环境绩效水平有了很大提高,大型企业的单位产品污染物排放量已经接近或达到世界先进水平,技术减排潜力进入了瓶颈期。加快经济转型和产业结构升级、推进结构性减排将是“十三五”期间的工作重点。目前,各地级市以及国家级新区有关产业发展规划中,普遍将电气、机械及器材制造业,通用、专用设备制造业,交通运输设备制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业等高端制造业列为重点发展产业,期望通过调控产业结构,鼓励低排放产业发展,来实现结构性节能减排。未来的污染物减排需要变换管理思路,依据行业关联性,从产业链的全过程进行分析,最大限度地实现污染物全过程防控。

投入产出模型是一种研究经济体系中各个部分

之间投入与产出相互依存关系的数量分析模型。随着环境问题逐渐成为日益严重的社会问题,学者们将投入产出模型应用于经济行为与环境、资源的相关性研究<sup>[1]</sup>,探索经济体系最终需求变化引起的直接和间接环境影响<sup>[2]</sup>。目前,该模型已经广泛用于水资源利用<sup>[3-9]</sup>、碳排放<sup>[10-15]</sup>、污染物减排<sup>[16-18]</sup>等方面的研究。

本研究利用中国《2010年投入产出表》,选取了涉工业源氨氮排放的24个行业大类,测算其工业源氨氮的转移排放情况,尝试从产业链的角度提出“十三五”氨氮总量减排的相关政策建议。

## 1 研究方法和数据来源

### 1.1 研究方法

由各个行业大类组成的经济系统可以表示为:

$$X = BY \quad (1)$$

第一作者:和夏冰,女,1986年生,硕士,助理研究员,主要从事环境管理研究。#通讯作者。

\*国家自然科学基金资助项目(No.41201591);环境保护部部门预算项目。

式中： $X$  为各个行业大类的总产出值向量； $B$  为 Leontief 逆矩阵； $Y$  为各个行业大类的最终需求产出值向量。其中， $X$  和  $Y$  的各元素单位为万元。

式(1)两边同时乘各个行业大类的氨氮排放强度向量(见式(2))，得到该经济系统的氨氮排放总量矩阵。

$$QX = QBY \quad (2)$$

式中： $Q$  为各个行业大类的氨氮排放强度向量，其元素单位为 t/万元。

氨氮排放总量矩阵可以分解出氨氮直接排放量向量、氨氮转入排放量向量和氨氮转出排放量向量。氨氮直接排放量为某个行业大类为满足本行业最终需求产出值，在生产产品过程中的氨氮排放量， $t_1$ ；氨氮转入排放量为某个行业大类为满足其他行业最终需求产出值，在生产产品过程中的氨氮排放量，反映了该行业大类的氨氮净输入量， $t_2$ ；氨氮转出排放量为为满足某个行业大类最终需求产出值，其他行业在生产产品过程中的氨氮排放量，反映了该行业大类的氨氮净输出量， $t_3$ 。由此可以计算出各个行业大类的氨氮排放转移量：

$$\text{排污口排放量} = \text{直接排放量} + \text{转入排放量} \quad (3)$$

$$\text{间接排放量(即净转移量)} = \text{转出排放量} - \text{转入排放量} \quad (4)$$

$$\text{完全排放量} = \text{直接排放量} + \text{间接排放量} \quad (5)$$

### 1.2 数据来源

投入产出的相关数据来自国家统计局公布的《2010 年投入产出表》，选取了涉工业源氨氮排放的 24 个行业大类。氨氮排放相关数据来自环境保护部的《中国环境统计年报(2010)》。由于《中国环境统计年报(2010)》的行业划分比《2010 年投入产出表》详细，因此对《中国环境统计年报(2010)》的行业划分进行了合并，使得氨氮排放相关数据与投入产出相关数据一致，合并后的行业对照见表 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 氨氮排放情况总体分析

2010 年，化学工业、食品制造及烟草加工业、造纸印刷及文教体育用品制造业、纺织业、金属冶炼及压延加工业等 5 个行业大类的氨氮排污口排放量占工业源氨氮排放总量的 80.8%。其中，除了金属冶炼及压延加工业(占排放总量的 6.7%)的氨氮排放强度略低于 24 个行业大类平均值外，化学工业(占

表 1 行业合并对照表

Table 1 List of industry merging

《2010 年投入产出表》行业	《中国环境统计年报(2010)》行业
石油和天然气开采业	石油和天然气开采业
煤炭开采和洗选业	煤炭开采和洗选业
工艺品及其他制造业	工艺品及其他制造业
仪器仪表及文化办公用机械制造业	仪器仪表及文化办公用机械制造业
石油加工、炼焦及核燃料加工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业
非金属矿物制品业	非金属矿物制品业
纺织业	纺织业
非金属矿及其他矿采选业	非金属矿采选业 其他采矿业
金属矿采选业	黑色金属矿采选业 有色金属矿采选业
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	纺织服装、鞋、帽制造业 皮毛羽毛(绒)及其制品业
造纸印刷及文教体育用品制造业	造纸及纸制品业 印刷业和记录媒介的复制 文教体育用品制造业
食品制造及烟草加工业	农副食品加工业 食品制造业 饮料制造业 烟草制品业
金属制品业	金属制品业
交通运输设备制造业	交通运输设备制造业
电气、机械及器材制造业	电气、机械及器材制造业
废品废料	废弃资源和废旧材料回收加工业
电力、热力的生产和供应业	电力、热力的生产和供应业
水的生产和供应业	水的生产和供应业
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
金属冶炼及压延加工业	黑色金属冶炼及压延加工业 有色金属冶炼及压延加工业
通用、专用设备制造业	通用设备制造业 专用设备制造业
木材加工及家具制造业	木材加工及木竹藤棕草制品业 家具制造业
化学工业	化学原料及化学制品制造业 医药制造业 化学纤维制造业 橡胶制品业 塑料制品业
燃气生产和供应业	燃气生产和供应业

排放总量的 38.6%)、食品制造及烟草加工业(占排放总量的 16.7%)、造纸印刷及文教体育用品制造业(占排放总量的 11.1%)、纺织业(占排放总量的 7.7%)4 个行业大类是氨氮排污口排放量和排放强度“双高”行业。

4 大氨氮排放“双高”行业中，化学工业、纺织业、造纸印刷及文教体育用品制造业替其他行业承

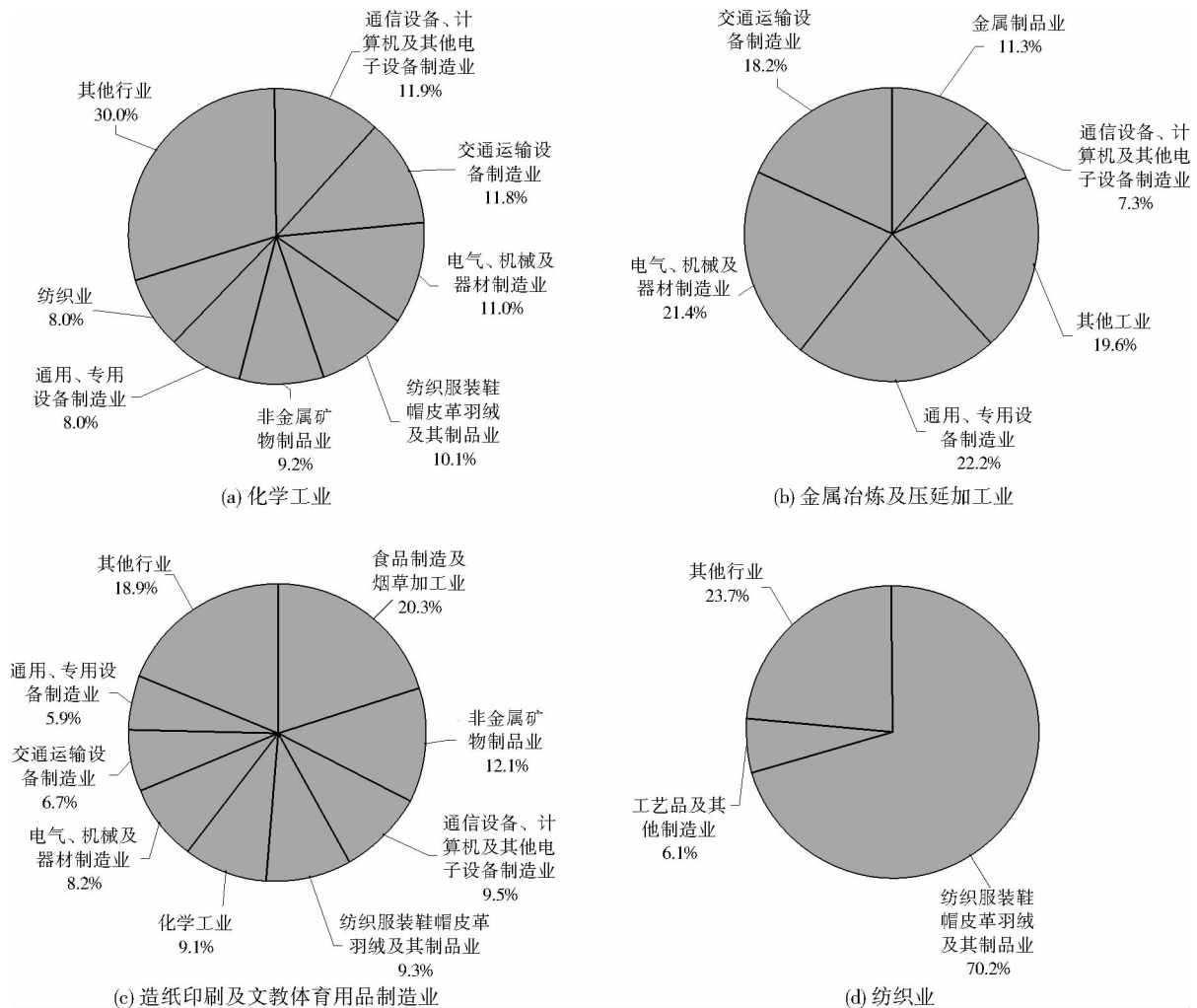


图1 氨氮转入排放量分析

Fig.1 Analysis of the transferred-in ammonia nitrogen emissions

表2 高端制造业氨氮排放情况

Table 2 Ammonia nitrogen emission of the high-end manufacturing sectors

行业	直接排放量	间接排放量	完全排放量
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	2 117	9 511	11 628
交通运输设备制造业	2 299	12 267	14 566
电气、机械及器材制造业	493	12 175	12 668
通用、专用设备制造业	1 191	10 144	11 336

担了较多的氨氮排放责任,其转入排放量分别占其排污口排放量的 60.5%、48.1%、39.7%,食品制造及烟草加工业替其他行业承担的氨氮排放责任较小,其转入排放量仅占其排污口排放量的 9.4%。另外,金属冶炼及压延加工业的转入排放量占其排污口排放量的比例达到 74.6%,也替其他行业承担了较多的氨氮排放责任。

## 2.2 氨氮转入排放量分析

对替其他行业承担了较多氨氮排放责任的化学工业、金属冶炼及压延加工业、造纸印刷及文教体育用品制造业、纺织业进行氨氮转入排放量分析。

由图 1 可见,除了纺织业,金属冶炼及压延加工

业、化学工业、造纸印刷及文教体育用品制造业的氨氮转入排放量中有很很大一部分来自高端制造业(包括通信设备、计算机及其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,电气、机械及器材制造业,通用、专用设备制造业)。替高端制造业排放的氨氮分别占化学工业、金属冶炼及压延加工业、造纸印刷及文教体育用品制造业的转入排放量的 42.7%、69.1%、30.3%。

## 2.3 高端制造业的氨氮转出排放量分析

通信设备、计算机及其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,电气、机械及器材制造业,通用、专用设备制造业等高端制造业的氨氮排污口排放量较小,2010年这4个行业的氨氮排污口排放量仅占工

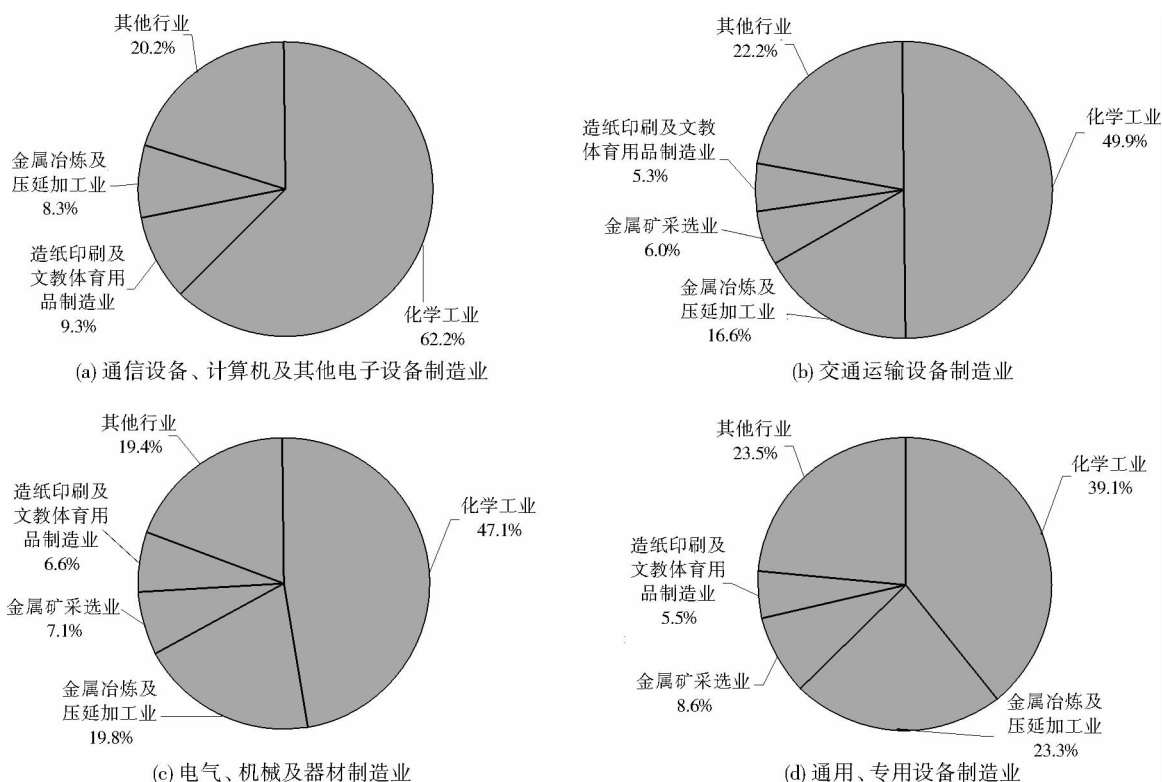


图 2 高端制造业的氨氮转出排放量分析

Fig.2 Analysis of the transferred-out ammonia nitrogen emissions of high-end manufacturing sectors

业源氨氮排放总量的 3.5%。但由表 2 可见,这 4 个行业大类的氨氮间接排放量总和是直接排放量的 7.2 倍,完全排放量总和是排污口排放量的 6.3 倍。

由图 2 可见,通信设备、计算机及其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,电气、机械及器材制造业,通用、专用设备制造业的氨氮转出排放量中,向化学工业转移的氨氮所占比例最高,均超过了 39%。其次,除了通信设备、计算机及其他电子设备制造业,其他 3 个高端制造业向金属冶炼及压延加工业转移的氨氮所占比例排第二,皆超过了 16%。

#### 2.4 氨氮排放净转移量分析

将 24 个涉工业源氨氮排放的行业划分为 7 个行业群,从上游到下游依次记为行业群 A、行业群 B、行业群 C、行业群 D、行业群 E、行业群 F 和行业群 G,其中行业群 A 由煤炭开采和洗选业,石油和天然气开采业,金属矿采选业,非金属矿及其他矿采选业组成;行业群 B 由废品废料,电力、热力的生产和供应业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业组成;行业群 C 由化学工业,造纸印刷及文教体育用品制造业,金属冶炼及压延加工业,纺织业组成;行业群 D 由石油加工、炼焦及核燃料加工业,非金属矿制品业,金属矿制品业组成;行业群 E 由食品制造及烟草加工业,纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品

业,木材加工及家具制造业组成;行业群 F 由通信设备、计算机及其他设备制造业,通用、专用设备制造业,电气、机械及器材制造业,交通运输设备制造业组成;行业群 G 由仪器仪表及文化办公用机械制造业,工艺品及其他制造业组成。

氨氮从下游行业群向上游行业群转移,与产业链上的物质流方向相反。图 3 重点分析了高端制造业的氨氮净转移路径。

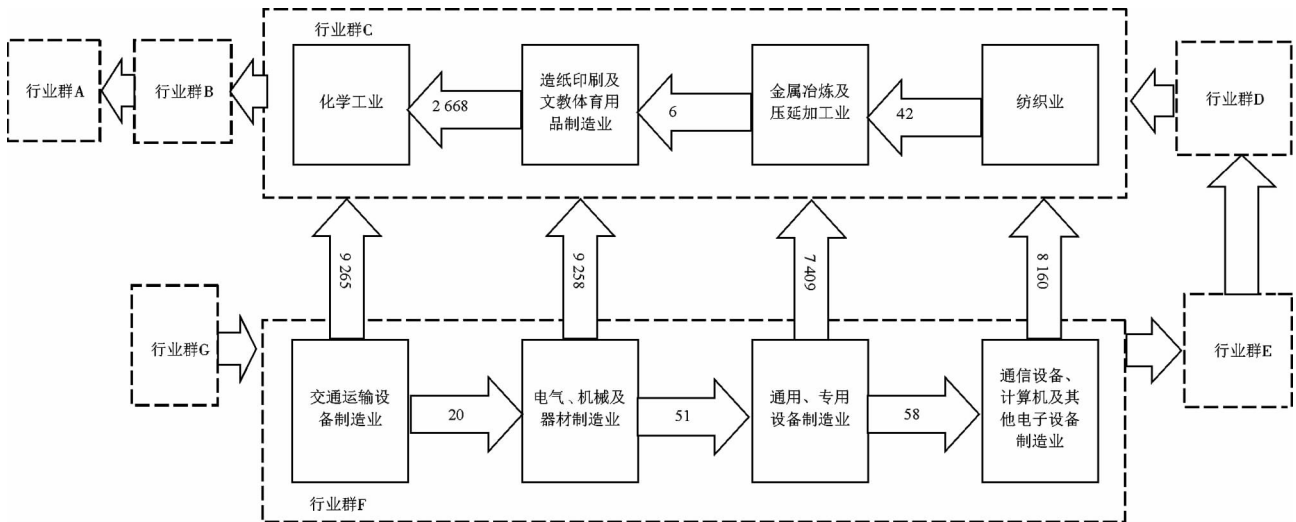
#### 2.5 高端制造业规模扩张情景下的氨氮排放分析

以 2010 年规模为基准,假定短期内技术条件及行业间投入产出关系基本不变,若通信设备、计算机及其他电子设备制造业的规模(以排放强度计)扩张 10%,其氨氮直接增排量达 274 t,间接增排量的是直接增排量的 11.3 倍(见表 3)。若这 4 类高端制造业规模都扩张 10%,对化学工业的氨氮转出排放量将增加 4 767 t,对造纸印刷及文教体育用品制造业的氨氮转出排放量增加 650 t,对金属冶炼及压延加工业的氨氮转出排放量增加 1 571 t。

### 3 关于“十三五”期间总量减排的启示

(1) 要针对所有行业设定全国总量控制目标,考虑行业关联设定各行业的减排目标

建议制定“十三五”总量减排目标时,不能只关



注:图中箭头方向表示氨氮净转移方向;数字表示氨氮净转移量,t。

图3 工业源氨氮排放净转移路径

Fig.3 Roadmap of ammonia nitrogen emission net transfer of industrial sources

表3 高端制造业业规模扩张10%对工业源氨氮增排量的影响

Table 3 The effect of ammonia nitrogen extra emission when the high-end manufacturing sector expands by 10% t

项目	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	交通运输设备制造业	通用、专用设备制造业	电气、机械及器材制造业
直接增排量	274	261	192	73
间接增排量	3 100	2 286	2 416	2 217
转出排放量				
化学工业	1 737	1 073	919	1 038
造纸印刷及文教体育用品制造业	261	115	128	146
金属冶炼及压延加工业	230	357	549	435

注高直接排放量的基础原材料行业,也要关注与之关联紧密的下游行业,必须针对所有行业设定全国总量控制目标和各行业的减排目标,在充分考虑污染物随行业转移路径的基础上,合理分配各行业的减排目标,这样才有助于深入推进总量减排工作。否则,污染物会通过行业转移进行排放,不能达到总量控制的目的。

(2) 制定结构减排政策要将区域产业发展规划与全国总量减排统筹考虑

通常认为,高端制造业是低污染、低排放的,但是从2.4节氨氮排放净转移量分析发现,高端制造业恰恰是隐藏在基础原材料行业背后的间接排放源。如果全国各地均以发展高端制造业作为结构减排目标,将会对全国完成总量减排目标带来较大影响,局部区域的产业结构升级实现的结构减排未必会带来全国整体减排目标的实现。片面发展高端制造业,过度抑制其上游基础原材料行业发展,势必引发经济结构的失衡,最终也难以实现总量减排。因此,要将区域产业发展规划与全国总量减排进行统筹考虑,形成总量减排最优化的产业链。

## 4 结论

(1) 金属冶炼及压延加工业、化学工业、纺织业、造纸印刷及文教体育用品制造业替其他行业承担了较多的氨氮排放责任,其氨氮转入排放量分别占排污口排放量的74.6%、60.5%、48.1%、39.7%,主要是替电气、机械及器材制造业,通用、专用设备制造业,交通运输设备制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业等高端制造业承担了排放责任。

(2) 氨氮排放从下游行业群向上游行业群转移,与产业链上的物质流方向相反。高端制造业扩张将明显带动氨氮排放量增加。

## 参考文献:

- [1] 唐建荣,马娜.国内外环境经济投入产出研究综述[J].统计与决策,2007(6):132-134.
- [2] SUH S, HUPPES G. Methods for life cycle inventory of a product[J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(7): 687-697.
- [3] LENZEN M. Understanding virtual water flows: a multiregion input-output case study of Victoria[J]. Water Resources Research, 2009, 45(9): 318-326.

(下转第450页)

- [J].Ecological Economics,2009,68(5):1385-1397.
- [4] 洪大用.环境公平:环境问题的社会学观点[J].浙江学刊,2001(4):67-73.
- [5] BURKE L M.Race and environmental equity:a geographic analysis in Los Angeles[J].Geographical Information Systems,1993,3(9):44-50.
- [6] DANIELS G,FRIEDMAN S.Spatial Inequality and the distribution of industrial toxic releases:evidence from the 1990 TRI[J].Social Science Quarterly,1999,80(2):244-262.
- [7] BROOKS N,SETHI R.The distribution of pollution:community characteristics and exposure to air toxics[J].Journal of Environmental Economics & Management,1997,32(2):233-250.
- [8] CROUSE D L,ROSS N A,GOLDBERG M S.Double burden of deprivation and high concentrations of ambient air pollution at the neighbourhood scale in Montreal,Canada[J].Social Science & Medicine,2009,69(6).
- [9] GILBERT A,CHAKRABORTY J.Using geographically weighted regression for environmental justice analysis:cumulative cancer risks from air toxics in Florida[J].Social Science Research,2011,40(1):273-286.
- [10] MOHAI P,SAHA R.Reassessing racial and socioeconomic disparities in environmental justice research[J].Demography,2006,43(2).
- [11] CHAKRABORTY J.Evaluating the environmental justice impacts of transportation improvement projects in the US[J].Transportation Research Part D: Transport and Environment,2006,11(5):315-323.
- [12] OU Chunquan, HEDLEY A J, CHUNG R Y, et al. Socioeconomic disparities in air pollution-associated mortality[J]. Environmental Research, 2008, 107(2): 237-244.
- [13] 聂伟.社会经济地位与环境风险分配——基于厦门垃圾处理的实证研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2013,13(4):45-52.
- [14] 龚文娟.社会经济地位差异与风险暴露——基于环境公正的视角[J].社会学评论,2013(4):16-28.
- [15] SUN Cong,KAHN M E,ZHENG Siqi.Self-protection investment exacerbates air pollution exposure inequality in urban China[J].Ecological Economics,2017,131:468-474.
- [16] 王弟海,龚六堂,李宏毅.健康人力资本、健康投资和经济增长——以中国跨省数据为例[J].管理世界,2008(3):27-39.
- [17] BECKER G M,DEGROOT M H,MARSCHAK J.Measuring utility by a single-response sequential method[J].Behavioral Science,1964,9(3):226-232.
- [18] VEISTEN K,HOEN H F,NAVRUD S,et al.Scope insensitivity in contingent valuation of complex environmental amenities[J].Journal of Environmental Management,2004,73(4):317-331.
- [19] 徐淑一,王宁宇.经济地位、主观社会地位与居民自感健康[J].统计研究,2015,32(3):62-68.
- [20] 穆怀申,范洪敏.收入不平等认可影响机制:社会结构地位与流动性预期[J].广东商学院学报,2015,30(1):12-22.
- [21] 李路路.制度转型与分层结构的变迁——阶层相对关系模式的“双重再生产”[J].中国社会科学,2002(6):105-118.
- [22] SCHOOLMAN E D,MA Chunbo.Migration, class and environmental inequality:exposure to pollution in China's Jiangsu Province[J].Ecological Economics,2012,75(2):140-151.
- [23] 李颖晖.教育程度与分配公平感:结构地位与相对剥夺视角下的双重考察[J].社会,2015(1):143-160.
- [24] 冯贺霞,韦轲.经济增长、收入分配与再分配对居民主观幸福感影响的实证研究[J].统计与决策,2016(22):113-117.
- [25] BUEHN A,FARZANEGAN M R.Hold your breath:a new index of air pollution[J].Energy Economics,2013,37(1):104-113.
- [26] 杜雯翠.要“温饱”还是要“环保”——污染排放与劳动者收入的双向关系研究[J].当代经济科学,2013,35(3):87-94.

编辑:胡翠娟 (收稿日期:2017-01-11)

(上接第443页)

- [4] CAZCARRO I, ROSA D, SÁNCHEZ CHÓLIZ J. Economic growth and the evolution of water consumption in Spain: a structural decomposition analysis[J]. Ecological Economics, 2013, 96(8): 51-61.
- [5] 马忠,张继良.张掖市虚拟水投入产出分析[J].统计研究,2008,25(5):65-70.
- [6] 张宏伟,和夏冰,王媛.基于投入产出法的中国行业水资源消耗分析[J].资源科学,2011,33(7):1218-1224.
- [7] ANTONELLI M, ROSON R, SARTORI M. Systemic input-output computation of green and blue virtual water 'flows' with an illustration for the Mediterranean region[J]. Water Resources Management, 2012, 26(14): 4133-4146.
- [8] ZHANG Chao, ANADON L D. A multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China[J]. Ecological Economics, 2014, 100: 159-172.
- [9] MUBAKO S, LAHIRI S, LANT C. Input-output analysis of virtual water transfers: case study of California and Illinois[J]. Ecological Economics, 2013, 93(6): 230-238.
- [10] 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(5):28-34.
- [11] 许盈之,邹芳.基于投入产出分析法的我国各产业部门碳减排责任研究[J].产业经济研究,2010(5):27-35.
- [12] 曹俊文.江西省产业部门碳排放特征及减排途径——基于1992—2007年投入产出分析[J].经济地理,2011,31(12):2111-2115.
- [13] ZHU Qin, PENG Xizhe, WU Kaiya. Calculation and decomposition of indirect carbon emissions from residential consumption in China based on the input-output model[J]. Energy Policy, 2012, 48(12): 618-626.
- [14] BAIOCCHI G, MINX J, HUBACEK K. The impact of social factors and consumer behavior on carbon dioxide emissions in the United Kingdom[J]. Journal of Industrial Ecology, 2010, 14(1): 50-72.
- [15] TARANCON M A, RÍO P D. Assessing energy-related CO<sub>2</sub> emission with sensitivity analysis and input-output techniques[J]. Energy, 2012, 37(1): 161-170.
- [16] 蒋洪强,牛坤玉,曹东.污染减排影响经济发展的投入产出模型及实证分析[J].中国环境科学,2009,29(12):1327-1332.
- [17] 张有国.基于经济利益的产业间环境责任分配[J].中国工业经济,2012(7):57-69.
- [18] ROCA J, SERRANO M. Income growth and atmospheric pollution in Spain: an input-output approach[J]. Ecological Economics, 2007, 63(1): 230-242.

编辑:陈锡超 (收稿日期:2016-07-04)