

中国制造业 SO₂ 排放分解效应分析¹

于安琪² 刘冠坤³ 高宇宁⁴

摘 要 环境问题是新时期关乎国计民生的重大议题。党的十九大报告将污染防治列为决胜全面建设小康社会的三大攻坚战之一,然而对于影响中国环境污染排放的机制和效应分析,现有文献还存在较大争议,尤其是基于中国制造业四位数行业甚至微观企业数据考察影响中国环境污染产生的机制效应的文献非常之匮乏。鉴于此,本文将2000—2013年中国环境统计数据库与中国工业企业数据库合并,对中国制造业二氧化硫排放量变化分别在四位数行业层面和企业层面进行分解分析。本文使用总产值作为衡量经济规模的指标,并且依次使用间接分解法和直接分解法对引起二氧化硫排放量变化的各个机制效应进行细致的分解,以此补齐原有文献的不足。通过对四位数行业分解得出,规模效应为正,行业结构和行业技术效应均为负,三个效应综合得到的总效应为正。通过对企业分解得出,规模效应为正,行业结构效应为正,企业结构和企业技术效应均为负,四个效应综合得到的总效应为正。本文的研究结论意味着,中国环境污染排放取决于各种机制效应的总和,技术效应会稳健地减少污染总量,但是中国技术效应依然存在很大的提升空间。基于以上结论,建议中国在四位数行业和企业层面继续降低污染排放强度、注重四位数行业和企业市场结构调整,从而有效地减少污染排放总量。本文结论可为新时期在四位数行业和企业微观层面协调经济和环境的关系,为打赢污染防治攻坚战提供更加切实可行的政策建议。

关键词 中国制造业;四位数行业;微观企业;二氧化硫;分解效应

防治环境污染是新时期党和政府为推动高质量发展提出的战略举措。自

1 国家自然科学基金面上项目“全球价值链视角下中国地区及行业真实增加值与真实生产率核算及其决定因素与政策分析框架研究”(批准号:71873075);国家自然科学基金专项项目“重大突发公共卫生事件对产业供应链的影响及对策”(批准号:72042003)。

2 于安琪,清华大学公共管理学院助理研究员, E-mail: anqiyu@mail. tsinghua. edu. cn。

3 刘冠坤(通讯作者),中国兵器工业规划研究院工程师, E-mail: 13269316655@163. com。

4 高宇宁,清华大学公共管理学院副教授, E-mail: gao_yuning@mail. tsinghua. edu. cn。

2001年中国加入WTO以来,中国贸易快速增长带动了经济腾飞。然而,中国经济增长的同时,环境污染问题日益暴露。面对当前严峻的环境污染问题,党和国家已经将环境治理工作提升至前所未有的高度,承诺在推动经济增长的同时为人民群众提供良好的生态环境。在此背景下,十九大报告进一步将污染防治列为决胜全面建设小康社会的三大攻坚战之一,以此解决经济增长与环境污染之间的矛盾问题。与环境污染相关但尚未得到充分回答的重要问题是:影响中国环境污染的作用机制有哪些?机制效应有多大?总效应是正是负?系统探究这些问题,对于打赢污染防治攻坚战具有重要的政策含义。这些正是本文所要聚焦研究的问题。据2020年中国生态环境统计年报统计,中国SO₂排放量接近80%来源于工业生产排放,而在所有工业生产总值中制造业创造的增加值贡献了一半的比重。因此减少工业污染排放尤其是减少制造业污染排放无疑是中国解决环境污染问题的重中之重。本文将研究对象主要聚焦在工业中的制造业行业,借助详细分类的四位数制造业行业和企业层面的微观数据集,利用污染排放总量的公式分解法研究影响SO₂排放量变化的各种机制的大小和符号。

1 文献综述

总揽国内外研究动态,探究影响环境污染的机制和效应一直是学者研究的重点。对环境影响的机制效应可以分解为规模效应、结构效应和技术效应,环境污染取决于这三种效应的综合(Grossman and Krueger, 1991)。规模效应是指国内总产值变化而引起的污染排放总量变化,结构效应是指不同行业市场份额相对变化而引起的污染排放总量变化,技术效应是指使用清洁生产技术减少生产端的污染排放强度而引起的污染排放总量变化。发展中国家在经济发展的初始阶段,规模效应占主导,因此该阶段污染总量上升;随着经济水平继续提升,技术效应和结构效应逐渐占据主导地位,污染排放总量下降(Grossman and Krueger, 1995)。贸易产生的经济增长对环境的影响在发达国家和发展中国家之间有所差异,当贸易产生的经济增长仅发生在发达国家时,会扩大发达国家和发展中国家的相同要素价格差距,从而进一步影响发达国家与发展中国家之间的结构效应和技术效应,导致污染密集型行业更加集中在低收入欠发达国家,最终增加世界污染水平;但是当贸易促进的经济增长发生在发展中国家时,会缩小相同要素之间的价格差距,通过规模效应和技术效应的变动最终降低世界污染水平(Copeland and Taylor, 1994)。当用实证方法检验贸易对环境影响的三种效应的大小和符号时可以发现,贸易产生的结构效应非常小,贸易对环境的影响主要通过规模效应和技术效应起作用。通过三种效应综合影响,贸易

最终会改善环境污染(Antweiler et al., 2001)。

中国学者使用中国工业行业数据研究了影响中国CO₂排放总量变动的机制效应,研究发现,通过改变中国污染行业和清洁行业的市场构成结构,可以减少工业行业的CO₂排放总量和单位产出的CO₂排放量(李小平和卢现祥, 2010)。通过对38个两位数的中国工业2000—2049年的经济增长和节能减排双赢前景进行预测,研究结果得出,从长期来看,随着技术效应的提升,技术效应会最终占据主导作用,中国工业会实现经济增长与污染减排的双赢目标(陈诗一, 2010)。通过构建可比价格的投入产出表以测算贸易对中国能源消耗和SO₂排放的影响,可以得出,出口规模迅速增长带来的规模效应使得出口隐含的能源消耗总量和SO₂排放总量快速上升,但是贸易带来的技术效应可以有效抑制规模效应,而且研究得出贸易带来的规模效应很小,出口结构变化对能耗和SO₂排放量影响不大(张友国, 2009)。通过采用中国工业两位数行业面板数据,考察对外贸易对能源环境效率的影响及其作用机制可以得出,对外贸易会提升能源环境效率,主要通过进口产品技术外溢和出口干中学两种机制起作用(林伯强和刘泓汛, 2015)。当研究OFDI对母国环境质量问题的影响时,研究得出,OFDI产生的规模效应加剧母国环境污染,而产业结构效应和技术效应会降低母国环境污染,OFDI总体上会降低母国环境污染(朱东波和张月君, 2020)。在中国现阶段经济发展形势下,要注重产业结构调整、创新和使用绿色生产技术促进污染减排,以实现绿色经济(崔鑫生等, 2019)。通过使用多区域投入产出(MRIO)模型和结构分解分析(SDA)方法研究中国外资企业碳足迹的追踪和溯源,研究得出,规模效应促进碳足迹增长,技术效应驱动碳足迹减少,而规模效应影响微乎其微(闫云凤, 2021)。

以上文献均是从国家、地区、两位数行业等宏观层面研究经济增长对环境的影响,并将影响机制进行分解分析。国外学者认为贸易对环境影响的机制效应可以分解到国家-行业-企业-工厂层面,他们研究得出,贸易对环境影响的机制可分解为规模效应、行业结构效应、行业技术效应、企业结构效应、企业技术效应、工厂结构效应、工厂技术效应、企业进入和退出市场、企业外包和企业成本加成等(Cherniwchan et al., 2017),但是该文献仅限于理论层面的研究。目前虽然已有学者正逐渐使用企业微观数据研究经济增长与环境问题,但是他们的研究依然大都聚焦在对污染排放强度的影响(Girma et al., 2008; Cui et al., 2012; Forslid et al., 2018)。

综上所述,一方面,研究环境影响机制效应的文献大都以发达国家作为研究对象,而以发展中国家甚至中国作为研究对象分析环境影响机制的文献非常匮乏;另一方面,已有的研究依然主要基于国家、地区、行业大类等宏观层面分

析环境影响机制,而深入到四位数行业小类甚至企业层面对环境影响机制效应的研究不足。以上研究不足使得目前经济增长与环境政策的协调以及污染治理与减排政策制定与落实缺乏微观层面理论支撑与指导。因此,本文在已有的经典理论研究基础上,利用中国完善的企业微观数据,将环境影响机制细致地分解到四位数行业层面和更为微观的企业层面,并对各种机制效应进行定量分析以得出各种机制效应的符号和大小,从而可以客观定量地衡量不同机制对污染排放总量的影响。基于该研究,既可以为经济增长对污染排放强度影响的实证文献提供充足的理论支撑,又可以扎根于四位数行业小类或者企业微观层面为协调经济增长和环境政策提供参考建议,从而可以更为有效地解决经济增长中的环境污染问题。

2 识别策略与数据说明

2.1 识别策略

据前文所述,影响污染排放总量的因素有可能是生产规模改变、产业结构调整或减排技术的投入使用,若不采用特定的分解方法很难说明每种影响因素的作用大小。尽管有些研究采用结构分解分析方法探讨影响能源环境的各个影响因素作用大小(Su and Ang, 2012; Wang et al., 2014; Löschel et al., 2013),但他们使用的方法需借助投入产出表数据实现。本文借鉴 Levinson (2009)、Shapiro and Walker (2018)的研究思路,采用污染排放总量的公式分解法,使用行业层面和企业层面的中国微观数据,将影响污染排放总量的潜在影响因子进行细致的分解,以确定中国制造业总排放增长的关键决定因素。本文使用的公式分解法的优点在于直接易分解,即通过各个影响因子连乘的方式,可将每一个影响因子对被分解变量的影响客观地分解出来;但由于该方法本身的特点不太可能将被分解变量的所有影响因子全部包含在公式中。因此,本文仅对重点关注的几个影响因子对污染排放量的影响进行分解分析,并深入探讨每一个影响因子背后的影响机理。由于本文未能直接分析环境规制或贸易壁垒等外生政策冲击对中国制造业污染排放的影响,但是本文作者在另一篇计量文章中着重分析了贸易壁垒下降对污染排放的影响(Li et al., 2020)。本文使用的公式分解方法不是对以往任何方法的替代,而是在已有研究方法之外,运用一种新型的结构式的分解方法提出另外一种研究视角。区别于以往学者的研究,本文利用详细的四位数行业和企业层面的污染数据,对污染排放总量的变动分别在四位数行业层面和微观企业层面进行分解。尤其是,本文在对企业层面进行分解时考虑到不同企业在所属行业中的结构组成以及企业所属行业在市场中的

结构组成,按照从行业到企业的维度逐层分解,以此将企业分解与行业分解纳入统一框架下进行分解分析。通过分解可以厘清规模效应、行业结构效应、行业技术效应乃至企业结构效应、企业技术效应对污染排放总量影响的符号和大小,为有效控制污染排放提供有效的政策建议。

2.1.1 四位数行业层面分解

首先假设每年有 N 个行业,每个行业 j 在第 t 年的市场份额是 θ_{jt} ,用每个行业的实际总产值与该年份所有行业的总产值之和之比来表示。每个行业的二氧化硫排放强度为 z_{jt} ,用行业二氧化硫排放量与该行业工业总产值的实际值之比来表示。行业 j 在第 t 年的总产值为 v_{jt} 。第 t 年的工业总产值的实际值为 V_t 。每个行业 j 在第 t 年的二氧化硫排放量为 p_{jt} ,该年份所有行业的二氧化硫排放总量为 P_t 。本文参考 Levinson and Taylor(2008)和 Levinson(Levinson, 2015)的方法,分别用间接法和直接法对国际贸易对二氧化硫排放量的影响效应进行分解。

用间接法将每年的二氧化硫排放总量进行分解的公式如式(1)所示:

$$P_t = \sum_{j=1}^{j=N} p_{jt} = \sum_{j=1}^{j=N} v_{jt} z_{jt} = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \theta_{jt} z_{jt} \quad (1)$$

其中, $p_{jt} = v_{jt} z_{jt}$ 表示行业 j 在第 t 年的二氧化硫排放总量。 $z_{jt} = p_{jt} / v_{jt}$ 表示行业 j 在第 t 年的二氧化硫排放强度,用该行业的二氧化硫排放总量与该行业工业总产值的实际值之比来表示。 $\theta_{jt} = v_{jt} / V_t$ 表示行业 j 在第 t 年的市场份额,用该行业的工业总产值实际值与全年所有行业工业总产值实际值总和之比来表示。

假定每年每个行业的市场份额和每个行业的二氧化硫排放强度固定用 2000 年的值来表示,而每年的企业总产值取当期的实际值,则可得每年所有行业的二氧化硫排放总量,如式(2)所示:

$$\hat{P}_{tz} = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \theta_{j2000} \bar{z}_{j2000} \quad (2)$$

假定每年每个行业的二氧化硫排放强度固定用 2000 年的二氧化硫排放强度来表示,可得每年所有行业的二氧化硫排放总量,如式(3)所示:

$$\hat{P}_{tz} = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \theta_{jt} \bar{z}_{j2000} \quad (3)$$

假定每年每个行业的市场份额固定用 2000 年的市场份额来表示,可得每年所有行业的二氧化硫排放总量,如式(4)所示:

$$\hat{P}_{t\theta} = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \bar{\theta}_{j2000} z_{jt} \quad (4)$$

直接分解方法通过构造拉氏指数(I_L)和帕氏指数(I_P)直接估计技术效应的大小及符号,公式如式(5)和式(6)所示。费雪指数是拉氏指数和帕氏指数

的几何平均数,用公式(7)表示。

$$I_L = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} z_{jt} v_{j2000}}{\sum_{j=1}^{j=N} z_{j2000} v_{j2000}} \quad (5)$$

$$I_P = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} z_{jt} v_{jt}}{\sum_{j=1}^{j=N} z_{j2000} v_{jt}} \quad (6)$$

$$I_F = (I_L \cdot I_P)^{1/2} \quad (7)$$

2.1.2 企业层面分解

本文基于中国企业的实际特征,对二氧化硫排放总量变动从企业层面进行分解分析。假设每年有 N 个行业,每个行业有 n 个企业。假设在第 t 年二氧化硫排放总量为 P_t ,该年份的工业总产值为 V_t ,行业 j 在该年的市场份额为 θ_{jt} 。行业市场份额用该行业总产值与所在年份工业总产值的比值表示。第 t 年行业 j 中的企业 i 的二氧化硫排放强度为 e_{ijt} 。行业 j 中的企业 i 在第 t 年的市场份额为 φ_{ijt} 。根据企业生产与二氧化硫排放的特征, t 年二氧化硫排放总量可以用公式(8)表示:

$$P_t = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \theta_{jt} \sum_{i=1}^{i=n} (\varphi_{ijt} \cdot e_{ijt}) \quad (8)$$

其中, $e_{ijt} = p_{ijt}/v_{ijt}$ 表示行业 j 中的企业 i 在第 t 年的二氧化硫排放强度,用该行业中的企业的二氧化硫排放量与该企业总产值的实际值之比来表示。 $\varphi_{ijt} = v_{ijt}/v_{jt}$ 表示行业 j 中的企业 i 在所在行业的市场份额,用该企业的工业总产值实际值与所在行业工业总产值实际值总和之比来表示。 $\theta_{jt} = v_{jt}/V_t$ 表示行业 j 在第 t 年的市场份额,用该行业的工业总产值实际值与全年所有行业工业总产值实际值总和之比来表示。

假定每年每个行业的市场份额、每个行业中每个企业的市场份额和每个企业的二氧化硫排放强度固定用 2000 年对应的数值来表示,而每年的总产值用当期数值来表示,则可得每年所有行业所有企业的二氧化硫排放总量,如公式(9)所示:

$$P_t = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \bar{\theta}_{j2000} \sum_{i=1}^{i=n} (\bar{\varphi}_{ij2000} \cdot \bar{e}_{ij2000}) \quad (9)$$

假定每年的总产值、每年每个行业的市场份额和每个行业中每个企业的市场份额用每年当期数值来表示,而每个企业的二氧化硫排放强度固定用 2000 年对应的数值来表示,可得每年所有行业所有企业的二氧化硫排放总量,如公式(10)所示:

$$P_t = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \bar{\theta}_{jt} \sum_{i=1}^{i=n} (\bar{\varphi}_{ijt} \cdot \bar{e}_{ijt2000}) \quad (10)$$

假定每年的总产值、每年每个行业的市场份额和每个企业的二氧化硫排放强度用每年当期数值来表示,而每个行业中每个企业的市场份额固定用2000年对应的数值来表示,可得每年所有行业所有企业的二氧化硫排放总量,如公式(11)所示:

$$P_t = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \bar{\theta}_{jt} \sum_{i=1}^{i=n} (\bar{\varphi}_{ijt2000} \cdot \bar{e}_{ijt}) \quad (11)$$

假定每年的总产值、每个行业中每个企业的市场份额和每个企业的二氧化硫排放强度用每年当期数值来表示,而每个行业市场份固定用2000年对应的数值来表示,可得每年所有行业所有企业的二氧化硫排放总量,如公式(12)所示:

$$P_t = V_t \sum_{j=1}^{j=N} \bar{\theta}_{j2000} \sum_{i=1}^{i=n} (\bar{\varphi}_{ijt} \cdot \bar{e}_{ijt}) \quad (12)$$

从上式可以看出,中国制造业二氧化硫排放总量的影响机制效应可以分解为四部分:传统的规模效应(用实际GDP表示)、行业结构效应(每个四位数行业市场份额变动)、企业结构效应(每个四位数行业内部企业市场份额的变动)、企业技术效应(用企业二氧化硫排放强度表示)。同样可用直接法构造拉式指数(I_L)和帕氏指数(I_P)以及计算可得费雪指数直接衡量企业技术效应的大小和符号。

2.2 数据说明

文章主要有两大数据来源:一是中国环境统计数据库;二是中国工业企业数据库。两个数据库使用的数据年份均是2000—2013年。中国环境统计数据库由中国生态环境部公布,该数据库是目前研究环境问题比较权威的企业微观数据库。Pei et al. (2021)、Wang et al. (2018)、Liu et al. (2017)、陈登科(2020),这些文献均基于该数据库研究环境污染问题。该数据库中包含的行业涉及采矿业、制造业、水电燃气生产供应业。该数据库中数据信息包括企业基本信息、生产基本信息、多种污染物排放数据、污染治理设备等。该数据库记录了各县域内所有企业中化学需氧量、氨气、二氧化硫、氮氧化物、空气悬浮颗粒物等任何一种污染物年排放量占该排放物全年排放量85%以上的企业样本,该数据库中所有企业的总产值约占中国工业总产值的90%。该数据库每年更新一次。

中国工业企业数据库(国家统计局和环境保护部,2014)由中国国家统计局公布,该数据库详细记录了企业的基本信息和财务信息。该数据库统计的数据包括“全部国有企业及规模以上(企业每年销售额在500万元以上,2011年起为2000万元以上)的非国有工业企业数据”,数据库中的工业类型包括采矿

业、制造业和水电燃气生产供应业。其统计内容包含企业名称、所属行业、所在省份、登记注册类型、就业人数、工业总产值、固定资产投资、工业增加值等数据。该数据库的数据每年更新一次。

本文按照企业名称匹配以上两个数据库,将 2002 年以前所有年份发布的数据中的行业代码统一按照 2002 年版本的国民行业分类标准进行分类校正。本文还用到 WIOD (World Input-Output Database) 数据提供的总产值的价格指数,对以上数据库中提供的总产值的名义值进行平减得到以基期年份统计的实际值。最终得到 2000—2013 年四位数行业层面和企业层面的平衡面板数据。样本统计描述见表 1。本文构造的企业平衡面板每年包含 1742 个企业,四位数行业平衡面板每年包含 252 个四位数行业^①。

表 1 样本统计性描述

年份	四位数行业数量- 行业平衡面板 (1)	四位数行业平衡 面板观测值数量 (2)	企业数量-企业 平衡面板 (3)	原始工企库数据 观测值数量 (4)	四位数行业平衡 面板匹配率/% (5)=(2)/(4)
2000	252	23351	1742	162872	14.34
2001	252	23535	1742	171254	13.74
2002	252	23895	1742	181542	13.16
2003	252	21146	1742	196206	10.78
2004	252	24451	1742	279011	8.76
2005	252	25009	1742	270023	9.26
2006	252	27141	1742	301930	8.99
2007	252	33774	1742	336732	10.03
2008	252	33925	1742	412212	8.23
2009	252	30089	1742	366130	8.22
2010	252	35484	1742	442539	8.02
2011	252	37482	1742	302593	12.39
2012	252	46303	1742	324604	14.26
2013	252	45803	1742	344875	13.28

本文将制造业增加值与国内生产总值、制造业二氧化硫排放量与全年二氧化硫排放总量进行对比分析,结果如图 1 所示。从该图中可以看出,每年制造业增加值大约占当年国内生产总值的一半,随着制造业生产规模扩大,该行业的二氧化硫排放量基本保持不变。由于 2011—2013 年制造业二氧化硫排放总量未有官方公布的数据,本文仅比较 2000—2010 年间制造业增加值和二氧化

① 本文之所以使用平衡面板数据是因为,在分解分析过程中需要逐年控制与基期年份相同的企业或行业相同的企业份额、行业份额、企业排放强度或行业排放强度,在保证以上因子不变的情况下分析其他因素变动对排放总量的影响。

硫排放总量的变动趋势,制造业增加值增长了 4 倍多,而二氧化硫排放总量减少了 1.84%。由此可见,二氧化硫排放量的变动除受规模效应影响之外,还存在其他能够有效抑制排放总量增加的效应。

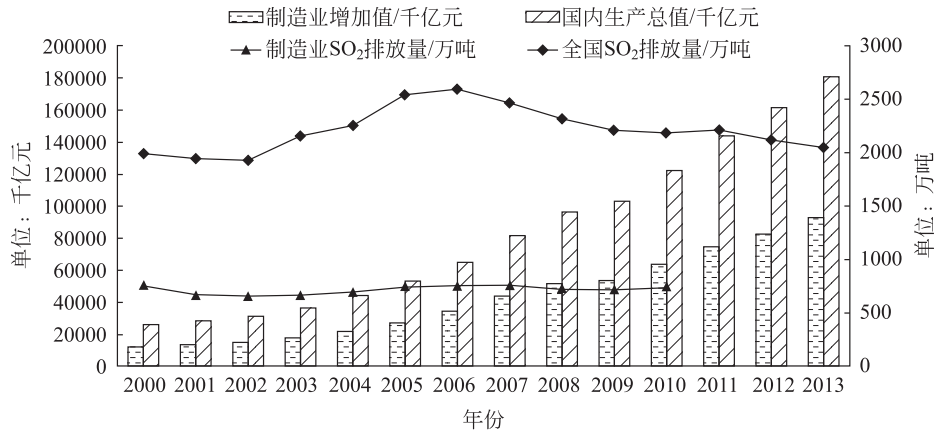


图 1 生产总值和二氧化硫排放量变动趋势

3 结果分析

按照上文所述的将二氧化硫排放总量在四位数行业和企业层面进行公式分解的识别策略,以下展示在四位数行业层面和企业层面基于总产值对二氧化硫排放总量影响的机制效应的直接和间接分解结果。

3.1 四位数行业层面 SO₂ 分解结果

3.1.1 间接分解(公式法分解)

以 2000 年的污染排放总效应作为基期(2000 年=100),可以得到逐年二氧化硫排放总量相较于 2000 年的变动情况,结果如表 2 所示。

表 2 基于总产值的四位数行业 SO₂ 排放量间接分解(2000 年=100)

年份	SO ₂ 变动			
	公式(1)	公式(2)	公式(3)	公式(4)
2000	100.00	100.00	100.00	100.00
2001	107.16	112.49	113.84	110.65
2002	103.75	137.91	133.94	113.57
2003	108.70	147.66	152.28	110.74
2004	137.36	169.61	178.08	168.91

续表					
SO ₂ 变动		公式(1)	公式(2)	公式(3)	公式(4)
年份					
2005		155.96	229.27	238.31	193.68
2006		152.64	276.77	287.24	200.92
2007		162.64	362.28	374.87	257.61
2008		130.85	358.35	377.73	197.27
2009		122.42	381.91	389.52	167.78
2010		144.00	433.66	410.97	259.82
2011		166.81	710.90	708.42	325.12
2012		185.19	898.44	806.37	441.73
2013		180.88	970.44	872.62	445.75

基于表 2 的结果可以得出,与 2000 年相比,基于总产值对四位数行业层面进行间接分解的总效应、规模效应、规模和行业结构效应总和、规模和行业技术效应分别是 80.88、870.44、772.62 和 345.75(这组数据是 2013 年的各项数值与基期 2000 年的各项数值做差得到的。后同此)。按照公式分解法继续拆分得到规模效应、行业结构效应和行业技术效应取值,如表 3 所示。从该表中可以看出,经济规模增长会增加 SO₂ 排放总量,行业结构调整会降低 SO₂ 排放总量,提高生产技术水平采用污染减排技术会降低 SO₂ 排放总量。三种机制效应综合为正值,由此说明,我国的行业结构调整和生产技术水平提高存在很大的进步空间,只有进一步调整行业市场结构和改善技术水平才能有效地实现污染减排目标。

表 3 基于总产值的四位数行业 SO₂ 排放量间接分解(最终分解结果)

效应	取值
规模效应	870.44
行业结构效应	-264.86
行业技术效应	-524.69
加总	80.88

3.1.2 直接分解

基于总产值的四位数行业 SO₂ 排放量的直接分解结果如表 4 所示。由于使用直接分解法可以直接观测到技术效应的符号和大小。因此从该表中可以看出,用拉氏指数、帕氏指数和费雪指数得到的四位数行业的技术效应均是负的。拉氏指数、帕氏指数和费雪指数衡量的四位数行业技术效应分别是-84.49、-82.91 和-83.72。从而进一步证实,通过改善生产技术水平可以非常有效地降低污染排放总量,因此说明,中国在推动经济增长过程中应该持续降低 SO₂ 排放强度才能有效降低其排放总量,从而实现改善环境的目标。

表 4 基于总产值的四位数行业 SO₂ 排放量直接分解(最终分解结果)

年份	技术效应	拉式指数-公式(5)	帕氏指数-公式(6)	费雪指数-公式(7)
2000		100.00	100.00	100.00
2001		99.04	99.05	99.04
2002		78.63	78.76	78.69
2003		70.03	70.04	70.03
2004		69.38	69.57	69.47
2005		61.10	62.19	61.64
2006		50.82	51.86	51.34
2007		38.22	39.50	38.85
2008		30.69	31.18	30.94
2009		26.43	27.28	26.85
2010		27.73	29.76	28.73
2011		15.81	17.53	16.65
2012		16.34	18.17	17.23
2013		15.51	17.09	16.28
行业技术效应		-84.49	-82.91	-83.72

3.2 企业层面 SO₂ 分解结果

3.2.1 间接分解(公式法分解)

以 2000 年的污染排放总效应作为基期(2000 年=100),可以得到逐年二氧化硫排放总量相较于 2000 年的变动情况,结果如表 5 所示。

表 5 基于总产值的企业层面 SO₂ 排放量间接分解(2000 年=100)

年份	SO ₂ 变动	公式(8)	公式(9)	公式(10)	公式(11)	公式(12)
2000		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2001		106.14	111.76	106.84	121.31	105.92
2002		99.51	133.42	106.43	140.39	101.98
2003		120.88	164.92	131.67	178.56	122.28
2004		114.60	181.33	127.87	244.64	118.87
2005		134.92	216.58	148.50	254.51	131.17
2006		138.52	244.16	155.38	280.78	139.93
2007		139.05	282.65	153.46	345.27	142.01
2008		126.40	304.33	143.64	399.75	130.72
2009		126.09	340.66	159.06	439.93	132.14

续表					
SO₂ 变动 年份	公式(8)	公式(9)	公式(10)	公式(11)	公式(12)
2010	116.05	329.58	173.30	386.35	133.74
2011	128.93	434.35	155.85	603.78	129.94
2012	125.55	438.01	151.18	590.25	121.41
2013	115.17	448.46	149.24	557.61	114.83

基于表 5 可以得出,与 2000 年相比,基于总产值对企业层面进行间接分解的总效应、规模效应、规模/行业结构和企业结构效应总和、规模/行业结构和企业技术效应总和、规模/企业结构和企业技术效应分解结果分别是 15.17、348.46、49.24、457.61、14.83。进一步拆分得到 2000—2013 年间,基于企业层面的总产值间接分解得到的规模效应、行业结构效应、企业结构效应以及企业技术效应的取值,结果如表 6 所示。从该表中可以得出,虽然经济规模扩大和四位数行业结构调整都会增加污染排放总量,但是企业结构调整和企业技术进步均会降低污染排放总量。从该结果中可以看出,企业层面的结构调整和生产技术水平的提高依然存在很大的进步空间,只有进一步调整不同企业的市场结构和改善企业生产技术水平才能进一步地改善环境质量。

表 6 基于总产值的企业层面 SO₂ 排放量间接分解(最终分解结果)

效应	取值
规模效应	348.46
行业结构效应	143.22
企业结构效应	-442.44
企业技术效应	-34.07
加总	15.17

3.2.2 直接分解

使用直接分解法可以直接得到企业技术效应的大小和符号,结果如表 7 所示。用拉式指数、帕氏指数和费雪指数得到的企业层面的技术效应均是负的取值分别是-66.66、-79.35 和-73.76。从而进一步证实,只有改进企业生产技术水平,有效降低污染排放强度,才能实现改善环境的目标。

表 7 基于总产值的企业层面 SO₂ 排放量直接分解(最终分解结果)

效应 年份	拉式指数	帕氏指数	费雪指数
2000	100.00	100.00	100.00
2001	95.23	87.50	91.28
2002	81.31	70.88	75.92

续表			
年份 \ 效应	拉式指数	帕氏指数	费雪指数
2003	80.78	67.70	73.95
2004	73.78	46.84	58.79
2005	66.17	53.01	59.22
2006	63.29	49.33	55.88
2007	55.15	40.27	47.13
2008	48.99	31.62	39.36
2009	50.76	28.66	38.14
2010	60.39	30.04	42.59
2011	36.38	21.35	27.87
2012	33.63	21.27	26.74
2013	33.34	20.65	26.24
企业技术效应	-66.66	-79.35	-73.76

4 拓展性讨论

目前,中国 SO₂ 排放本质上与化石能源使用相关联,不同行业化石能源使用程度不同。根据化石能源使用密集程度将行业分为化石能源使用密集型行业和非能源密集型行业(Meng et al. , 2018)。基于此提出疑问,我国 SO₂ 排放量影响的各种机制效应是否会随不同行业化石能源使用程度的不同而产生差异?为回答此问题,本文在进一步分析中剔除非能源密集型行业,只选取样本中的化石能源使用密集型的行业作分析。2000—2013 年化石能源使用密集型行业的间接分解结果见表 8。从该结果中可以看出,用总产值衡量的规模效应是正的,行业结构效应和技术效应均是负的,且规模效应的绝对值大于其他两个效应之和,所以中国制造业 SO₂ 排放总效应为正值。由此说明,在中国使用能源密集型的行业中,通过调整行业结构和提高行业生产技术水平可以更加有效地降低中国污染排放总量。

表 8 四位数能源密集型行业 SO₂ 排放间接分解结果(最终分解结果)

效应	取值
规模效应	773.03
行业结构效应	-241.23
行业技术效应	-441.73
加总	90.08

进一步用直接分解法观察技术效应的大小和符号(表 9)。拉氏指数、帕氏指

数和费雪指数衡量的行业技术效应均是负的,分别是-86.18、-83.69 和-84.99。综上所述,说明技术效应通过降低污染排放强度降低污染排放总量。

表 9 四位数能源密集型行业 SO₂ 排放量直接分解结果

年份 \ 效应	拉式指数	帕氏指数	费雪指数
2000	100.00	100.00	100.00
2001	100.60	100.66	100.63
2002	79.34	79.57	79.45
2003	71.09	71.56	71.33
2004	69.02	69.70	69.36
2005	62.13	63.70	62.91
2006	51.70	53.37	52.53
2007	37.63	39.58	38.59
2008	29.67	30.64	30.15
2009	25.02	26.58	25.79
2010	25.99	28.87	27.39
2011	13.40	16.24	14.75
2012	14.10	16.89	15.43
2013	13.82	16.31	15.01
行业技术效应	-86.18	-83.69	-84.99

若企业排放较多的 SO₂ 污染物时,则该企业向外排放的与 SO₂ 密切相关的其他污染物也应该较多。因此,鉴于环境统计数据库中各个污染物排放量的数据完备性与质量问题,本文在此选用烟尘排放量作为检验 SO₂ 排放量可靠性的代理变量,以此检验本文主要结论的稳健性,结果见表 10。本文对烟尘排放量分别在四位数行业层面和企业层面进行分解分析,由于篇幅所限,本文在此部分仅展示企业层面烟尘排放量的间接分解结果和直接分解结果^①。

表 10 基于总产值的企业层面烟尘排放量间接分解(2000 年=100)

年份 \ SO ₂ 变动	公式(8)	公式(9)	公式(10)	公式(11)	公式(12)
2000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2001	102.50	111.76	104.57	116.34	101.81
2002	103.17	133.42	106.20	137.87	106.05
2003	123.03	164.92	121.92	176.08	124.31
2004	107.96	181.33	126.75	272.95	109.62

① 由于篇幅所限,行业层面烟尘排放量的间接分解结果和直接分解结果备索。

续表

年份 \ SO ₂ 变动	公式(8)	公式(9)	公式(10)	公式(11)	公式(12)
2005	124.20	216.58	133.17	232.02	126.32
2006	102.89	244.16	114.02	266.46	112.69
2007	98.06	282.65	109.87	320.08	106.22
2008	97.94	304.33	115.44	360.34	106.18
2009	79.25	340.66	100.18	370.46	96.57
2010	81.14	329.58	599.11	427.60	102.18
2011	152.69	434.35	224.72	508.32	136.95
2012	145.35	438.01	190.40	518.09	130.50
2013	132.93	448.46	178.34	512.40	127.84

基于表10可以得出,与2000年相比,基于总产值对企业层面进行间接分解的总效应、规模效应、规模/行业结构和企业结构效应总和、规模/行业结构和企业技术效应总和、规模/企业结构和企业技术效应分解结果分别是32.93、348.46、78.34、412.40、27.84。进一步拆分得到2000—2013年间,基于企业层面的总产值间接分解得到的规模效应、行业结构效应、企业结构效应以及企业技术效应的取值,结果如表11所示。从该表中可以得出,虽然经济规模扩大和四位数行业结构调整均会增加污染排放总量,但是企业结构调整和企业技术进步均会降低污染排放总量。从该结果中可以看出,企业层面的结构调整和生产技术水平的提高依然存在很大的进步空间,只有进一步调整不同企业的市场结构和改善企业生产技术水平才能进一步地改善环境质量,用烟尘排放量做企业层面间接分解得到的结论与用SO₂做分解得到的结论相同。

表11 基于总产值的企业层面烟尘排放量间接分解(最终分解结果)

效应	取值
规模效应	348.46
行业结构效应	109.35
企业结构效应	-379.47
企业技术效应	-45.42
加总	32.93

使用拉式指数、帕氏指数和费雪指数得到的基于总产值的企业层面烟尘排放量直接分解结果如表12所示。从该结果中可以看出,企业的技术效应分别为-62.07、-74.06和-68.63。从而进一步证实,只有改进企业生产技术水平,有效降低污染排放强度,才能实现改善环境的目标。

表 12 基于总产值的企业层面烟尘排放量直接分解(最终分解结果)

年份 \ 效应	拉式指数	帕氏指数	费雪指数
2000	100.00	100.00	100.00
2001	92.41	88.10	90.23
2002	81.53	74.83	78.11
2003	74.64	69.87	72.22
2004	70.57	39.55	52.83
2005	63.08	53.53	58.11
2006	50.69	38.61	44.24
2007	41.08	30.64	35.48
2008	39.11	27.18	32.60
2009	36.29	21.39	27.86
2010	196.25	18.98	61.02
2011	44.82	30.04	36.69
2012	39.06	28.05	33.10
2013	37.93	25.94	31.37
企业技术效应	-62.07	-74.06	-68.63

鉴于 SO_2 排放量与能源消耗密切相关,因此本文还对中国制造业的煤炭消费总量变化分别在四位数行业层面和企业层面进行分解分析,间接分解结果见表 13^①。由于受煤炭消耗量数据可得性所限,此部分仅统计分析得出 2001—2010 年的企业层面煤炭消耗量各个效应的分解结果,以 2001 年的煤炭消耗量作为基期,具体分解结果见表 13。

表 13 基于总产值的企业层面煤炭消费总量间接分解(2001=100)

年份 \ SO_2 变动	公式(8)	公式(9)	公式(10)	公式(11)	公式(12)
2001	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00
2002	116.90	119.38	120.32	0.00	116.55
2003	126.61	147.57	134.28	0.00	125.11
2004	136.93	162.25	158.33	0.00	136.89
2005	162.61	193.79	172.37	0.00	151.43
2006	176.34	218.47	189.12	0.00	170.16
2007	191.32	252.91	209.06	0.00	180.48
2008	192.57	272.31	212.75	0.00	172.79
2009	190.92	304.82	212.05	0.00	180.14
2010	208.05	294.91	470.05	0.00	222.29

① 由于篇幅所限,此部分仅展示企业层面煤炭消耗总量的间接分解结果,行业层面煤炭消耗强度的间接分解结果和直接分解结果备索。

基于表13进一步分析得出,2001—2010年间,基于企业层面的总产值间接分解得到的规模效应、行业结构效应、企业结构效应以及企业技术效应的取值分别为194.91、67.09、108.05和-262.00^①。从该结果中可以看出,只有企业技术进步,改进企业生产技术水平,才能有效降低煤炭消耗总量,进而降低污染物排放强度,实现改善环境质量的目标。

本文使用公式分解法将污染排放总量在四位数行业层面和企业层面进行分解,以分析规模效应、结构效应和技术效应对污染排放总量的影响。其中,将污染排放总量在企业层面进行分解时分析了不同企业在行业中所占的市场份额,每一个行业中不同企业污染排放强度对所在行业排放量的影响。因此,行业结构效应和行业技术效应分解到企业层面可以进一步分解出企业结构效应和企业技术效应,见公式(8)。尽管有些文献采用由行业到企业逐层分解的结构式分解方法考察企业异质性因素变动对行业的影响(Baily et al., 1992; Olley and Pakes, 1996; Melitz and Polanec, 2015),换言之,以上文献基于生产函数考察企业进入和退出对生产率变动的影响,但是由于本文的研究问题与以上几篇文献有所不同,因此本文侧重使用的研究方法也与以上几篇文献有所差异。为进一步考察本文结论的稳健性,以及尽可能充分考虑并排除其他因素对本文结论的影响,本文借鉴Ang(2004)关于能源环境分解方法综述文章中提到的对数平均Divisia指数法的加法版本(LMDI),对SO₂排放总量在企业层面进行分解,以此作为稳健性检验,该方法在分解过程中不仅考察主要因子变动对污染总量的影响,还能排除其他因子变动对污染总量的影响。

每个企业SO₂排放量计算公式如公式(13)所示:

$$P_i = V_i \varphi_i e_i \quad (13)$$

其中, V_i 表示企业*i*的总产值, φ_i 表示企业*i*的市场份额, e_i 表示企业*i*的排放强度。上述公式反映了每个企业的SO₂排放量等于总产值乘以每个企业的市场份额再乘以每个企业的排放强度。因此,每个企业的SO₂排放量的变化被分解为3个因素。在所有因素中,总产值的变化对二氧化硫排放量变化的影响被称为规模效应;企业市场份额变动对二氧化硫排放量变化的影响被称为结构效应;二氧化硫排放强度变动对二氧化硫排放量变化的影响被称为技术效应。

LMDI指数分解法的分解方程如公式(14)所示:

$$\begin{aligned} \Delta P_{tot} &= P^{2013} - P^{2000} \\ &= \Delta P_{x_1} + \Delta P_{x_2} + \Delta P_{x_3} + \Delta P_{rsd} \end{aligned} \quad (14)$$

其中, ΔP_{tot} 表示2013年企业二氧化硫排放量与2000年企业二氧化硫排放量之

^①与2001年相比,基于总产值对企业层面进行间接分解的总效应、规模效应、规模/行业结构和企业结构效应总和、规模/行业结构和企业技术效应总和、规模/业结构和企业技术效应分解结果分别是108.05、194.91、370.05、0和122.29,再根据表11的方法进一步分解可以得出四个单个效应的取值。

差。 ΔP_{x_1} 、 ΔP_{x_2} 、 ΔP_{x_3} 分别表示企业总产值变动、市场份额变动和排放强度变动对企业排放总量的影响因子。 ΔP_{rsd} 表示未考虑到的其他因子对企业排放总量的影响。第 k 个影响因子对二氧化硫排放量影响的表达式如公式 (15) 所示,该表达式为分解通式:

$$\Delta P_{x_k} = \sum_i L(P_i^T, P_i^0) \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \quad (15)$$

其中, P_i^T 、 P_i^0 分别表示企业 i 在第 T 年和基期年份二氧化硫排放总量。 $x_{k,i}^T$ 和 $x_{k,i}^0$ 分别表示企业 i 的第 k 个影响因子在第 T 年和基期年份取值的平均值。 $L(P_i^T, P_i^0)$ 是两个正数的对数平均值,具体表达式如式 (16) 所示:

$$\begin{aligned} L(P_i^T, P_i^0) &= \frac{P_i^T - P_i^0}{\ln P_i^T - \ln P_i^0} \quad \text{for } P_i^T \neq P_i^0, \\ &= P_i^T \quad \text{for } P_i^T = P_i^0. \end{aligned} \quad (16)$$

通过以上分解计算过程,最终分解结果见表 14。

表 14 LMDI 方法分解结果 (2000 年 = 100)

效应	取值
规模效应	60.07
企业结构效应	-7.90
企业技术效应	-52.41

从该结果中可以看出,在考虑到其他影响因子的情况下,用 LMDI 分解方法得到的规模效应、企业结构效应和企业技术效应分别为 60.07、-7.90 和 -52.41。从而进一步证实,改进企业生产技术水平,有效降低污染排放强度,才能实现改善环境的目标。

5 结论与政策建议

中国经济社会发展进入新时期,为满足人民日益增长的美好生活需要,党和国家对环境问题的重视程度超过以往任何时期。在此背景下,本文较为系统地探讨了中国环境污染的影响机制,本文从四位数行业小类和微观企业层面切入,基于总产值对污染排放总量影响的各种机制效应使用公式分解法进行直接和间接分解,以此得出环境影响的各种机制的大小和符号。本文在从四位数行业层面进行分解时未考虑企业层面的影响因子,仅分析行业层面的影响因子。而本文在从企业层面进行分解时,考虑了企业在所属行业中所占有的市场份额,即一个行业内部不同企业的结构特征,并同时考虑了所属行业在整个市场中所占有的市场份额,由此将企业层面的影响因子与行业层面的影响因子在一个统一

框架下进行分解分析。通过对四位数行业分解得出,规模效应恒为正,行业结构和行业技术效应均为负,总效应是正值;对微观企业分解得出,规模效应和行业结构效应均为正,企业结构和企业技术效应均为负,总效应为正值。目前经济发展阶段,尽管技术效应会通过降低污染排放强度以减少污染排放总量,但是技术效应在我国现阶段存在明显的不足。从本文结果中可以看出,目前中国的技术效应在影响污染排放总量上并未占据主导地位。

本文研究结论具有重要的政策含义。中国依然要坚定不移地推进生态文明建设,把全方位的污染防治工作落到实处。具体而言,中国应当注重产业结构的优化和升级,着力调整产业结构,通过提高结构效应实现污染减排。中国应该创新和使用绿色生产技术和污染减排设备,减少单位产出的污染排放量,通过提高技术效应实现污染减排。中国应在新时期进一步调整能源使用结构,用清洁能源代替化石能源,从根本上摆脱化石能源过多使用造成的环境污染问题。以上政策建议是基于本文利用四位数行业层面和微观企业层面对SO₂污染排放做分解得出的启示。因此,本文研究为新时期打赢污染防治攻坚战提供新的解决思路,为更好协调经济增长和环境之间的关系在微观层面提供新思路。

参考文献

- 陈登科. 2020. 贸易壁垒下降与环境污染改善——来自中国企业污染数据的新证据[J]. 经济研究, 55(12): 98-114.
- Chen D K. 2020. Trade barrier reduction and environmental pollution improvement: New evidence from firm-level pollution data in China [J]. *Economic Research Journal*, 55(12): 98-114. (in Chinese)
- 陈诗一. 2010. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009—2049[J]. 经济研究, 45(3): 129-143.
- Chen S Y. 2010. Energy-save and emission-abate activity with its impact on industrial win-win development in China: 2009—2049 [J]. *Economic Research Journal*, 45(3): 129-143. (in Chinese)
- 崔鑫生, 韩萌, 方志. 2019. 动态演进的倒“U”型环境库兹涅茨曲线[J]. 中国人口·资源与环境, 29(9): 74-82.
- Cui X S, Han M, Fang Z. 2019. Inverted ‘U’-shape of EKC with dynamic evolution trend[J]. *China Population, Resources and Environment*, 29(9): 74-82. (in Chinese)
- 国家统计局, 环境保护部. 2014. 中国环境统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社.
- 李小平, 卢现祥. 2010. 国际贸易、污染产业转移和中国工业CO₂排放[J]. 经济研

- 究, 45(1): 15-26.
- Li X P, Lu X X. 2010. International trade, pollution industry transfer and Chinese industries' CO₂ emissions [J]. *Economic Research Journal*, 45(1): 15-26. (in Chinese)
- 林伯强, 刘泓汛. 2015. 对外贸易是否有利于提高能源环境效率——以中国工业行业为例[J]. *经济研究*, 50(9): 127-141.
- Lin B Q, Liu H X. 2015. Do energy and environment efficiency benefit from foreign trade? —The case of China's industrial sectors [J]. *Economic Research Journal*, 50(9): 127-141. (in Chinese)
- 闫云凤. 2021. 中国外资企业碳足迹的追踪与溯源[J]. *中国人口·资源与环境*, 31(8): 32-42.
- Yan Y F. 2021. Tracing the carbon footprint of foreign-owned enterprises in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 31(8): 32-42. (in Chinese)
- 张友国. 2009. 中国贸易增长的能源环境代价[J]. *数量经济技术经济研究*, 26(1): 16-30.
- Zhang Y G. 2009. Impact of trade on China's energy consumption and SO₂ emission: 1987—2006[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 26(1): 16-30. (in Chinese)
- 朱东波, 张月君. 2020. 中国对外直接投资影响母国环境的理论机理与实证研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 30(1): 83-90.
- Zhu D B, Zhang Y J. 2020. The home-country environmental effects of China's OFDI: A theoretical mechanism and empirical study [J]. *China Population, Resources and Environment*, 30(1): 83-90. (in Chinese)
- Ang B W. 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? [J]. *Energy Policy*, 32(9): 1131-1139.
- Antweiler W, Copeland B R, Taylor M S. 2001. Is free trade good for the environment? [J]. *American Economic Review*, 91(4): 877-908.
- Baily M N, Hulten C, Campbell D. 1992. Productivity dynamics in manufacturing plants [M]//Baily M N, Winston C. *Brookings Papers on Economic Activity: Microeconomics* 1992. Washington: Brookings Institution: 187-267.
- Cherniwchan J, Copeland B R, Taylor M S. 2017. Trade and the environment: New methods, measurements, and results[J]. *Annual Review of Economics*, 9: 59-85.
- Copeland B R, Taylor M S. 1994. North-south trade and the environment [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 109(3): 755-787.
- Cui J B, Lapan H, Moschini G. 2012. Are exporters more environmentally friendly than non-exporters? Theory and evidence[R]. working paper, 12022. Ames: Iowa State

- University.
- Forslid R, Okubo T, Ulltveit-Moe K H. 2018. Why are firms that export cleaner? International trade, abatement and environmental emissions [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 91: 166-183.
- Girma S, Hanley A, Tintelnot F. 2008. Exporting and the environment: A new look with micro-data[R]. Kiel working paper, 1423. Kiel: Kiel Institute for the World Economy.
- Grossman G M, Krueger A B. 1991. Environmental impacts of a north American free trade agreement[R]. NBER working paper, 3914. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Grossman G M, Krueger A B. 1995. Economic growth and the environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2): 353-377.
- Levinson A, Taylor M S. 2008. Unmasking the pollution haven effect[J]. *International Economic Review*, 49(1): 223-254.
- Levinson A. 2009. Technology, international trade and pollution from US manufacturing [J]. *American Economic Review*, 99: 2177-2192.
- Levinson A. 2015. A direct estimate of the technique effect: Changes in the pollution intensity of US manufacturing, 1990—2008 [J]. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 2(1): 43-56.
- Li L, Löschel A, Pei J S, et al. 2020. Trade liberalization and SO₂ emissions: Firm-level evidence from China's WTO entry [R]. ZEW working paper, 20031. Mannheim: Leibniz Centre for European Economic Research.
- Liu M D, Shadbegian R, Zhang B. 2017. Does environmental regulation affect labor demand in China? Evidence from the textile printing and dyeing industry [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 86: 277-294.
- Löschel A, Rexhäuser S, Schymura M. 2013. Trade and the environment: An application of the WIOD database[J]. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 11(1): 51-61.
- Melitz M J, Polanec S. 2015. Dynamic Olley-Pakes productivity decomposition with entry and exit[J]. *The Rand Journal of Economics*, 46(2): 362-375.
- Meng B, Liu Y, Andrew R, et al. 2018. More than half of China's CO₂ emissions are from Micro, small and medium-sized enterprises [J]. *Applied Energy*, 230: 712-725.
- Olley G S, Pakes A. 1996. The dynamics of productivity in the telecommunications equipment industry[J]. *Econometrica*, 64(6): 1263-1297.
- Pei J S, Sturm B, Yu A Q. 2021. Are exporters more environmentally friendly? A re-

- appraisal that uses China's micro-data [J]. *The World Economy*, 44 (5): 1402-1427.
- Shapiro J S, Walker R. 2018. Why is pollution from US manufacturing declining? The roles of environmental regulation, productivity and trade [J]. *American Economic Review*, 108(12): 3814-3854.
- Su B, Ang B W. 2012. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments [J]. *Energy Economics*, 34(1): 177-188.
- Wang C, Liao H, Pan S Y, et al. 2014. The fluctuations of China's energy intensity: Biased technical change [J]. *Applied Energy*, 135: 407-414.
- Wang C H, Wu J J, Zhang B. 2018. Environmental regulation, emissions and productivity: Evidence from Chinese COD-Emitting manufacturers [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92: 54-73.

Analysis on SO₂ Decomposition Effect from China's Manufacturing Industry

Anqi Yu¹ Guankun Liu² Yuning Gao¹

(1. School of Public Policy and Management, Tsinghua University;

2. North Industries Group Finance Company LTD)

Abstract Environmental issues are major issues related to the national economy and the people's livelihood in the new era. The report to the 19th CPC National Congress lists pollution prevention and control as one of the three key battles to win the decisive victory in building a well-off society in an all-round way. However, there are still great disputes about the mechanism analysis of China's environmental pollution emission, especially the literature to investigate the mechanism and effect of China's environmental pollution based on the data of four-digit industries and even micro enterprises in China's manufacturing industry is very scarce. In view of this, this paper combines China's environmental statistics database and China's industrial enterprise database from 2000 to 2013 to decompose SO₂ emissions of China's manufacturing industry at the four-digit industry level and enterprise level respectively. In this paper, the gross output value is used as the index to measure the economic scale, and the indirect decomposition method and direct decomposition method are used to decompose the mechanism effects which causing the change of SO₂ emission in detail, so as to supplement the shortcomings of the original literature. Through the decomposition of four-digit industries, it is concluded that the

scale effect is positive, the industrial structure and technology effect are both negative, and the total effect obtained from the combination of the three effects is positive. Through the decomposition of enterprises, it is concluded that the scale effect is positive, the industry structure effect is positive, the enterprise structure and technology effect are both negative, and the total effect obtained from the synthesis of the four effects is positive. The conclusion of this paper means that China's environmental pollution emission depends on the sum of various mechanism effects, and the technical effect will steadily reduce the total amount of pollution, but there is still much room for improvement in China's technical effect. Based on the above conclusions, it is suggested that China should continue to reduce the intensity of pollution emission at the level of four-digit industries and enterprises, and pay attention to the adjustment of market structure of four-digit industries and enterprises, so as to effectively reduce the total amount of pollution emission. The conclusion of this paper can provide more practical policy suggestions for coordinating the relationship between economy and environment at the micro level of four-digit industries and enterprises in the new era, and for winning the battle of pollution prevention and control.

JEL Classification D21, Q53, Q56