



北京大学新结构经济学研究院
Institute of New Structural Economics

新结构经济学工作论文

Working Paper Series of New Structural Economics

No.C2018008

2018-3-28

发展战略与环境污染

—— 一个新结构环境经济学的理论假说与实证分析

付才辉^① 郑洁^② 林毅夫^③

摘要

基于新结构经济学的分析框架,本文提出了一个新结构环境经济学的理论假说:处于不同发展阶段的国家或地区,对应其禀赋结构的最优产业结构不同,不同产业结构的能耗强度与排污密度不同,因此环境污染程度也不同;如果采取违背比较优势的重工业赶超战略,不但产业的污染强度过大,而且资源环境和能源价格还会被扭曲以保护没有自生能力的企业,环境保护的法律法规也得不到有效执行而出现环境软约束,还会导致环境治理的公共财政支出短缺,从而导致更加严重的环境污染;反之,如果采取遵循比较优势的发展战略,尽管也会出现对应发展阶段不可避免的环境污染问题,但是不会出现上述扭曲而导致的更加严重的环境污染。此外,政府再发挥积极有为的因势利导作用促进清洁能源技术与环境治理技术的采纳还会降低环境污染。因此,比较优势发展战略是最有利于环境的发展方式。来自全球跨国和中国省级与市级详实的经验实证分析支持上述新结构环境经济学的理论假说。在政策建议上,本文主张要理性认识环境问题的阶段性,解决环境污染釜底抽薪的办法是遵循比较优势比较快地进入到以绿色制造和服务业为主的高收入阶段,同时政府要在深化环境改革的基础上积极发挥有为作用促进环保技术的采纳以及主动协调解决环境问题。

关键词: 发展战略; 环境污染; 环境治理; 新结构环境经济学

本文系国家自然科学基金委主任项目(713500002),国家社会科学基金青年项目(15CJL025)的阶段性成果。作者感谢北京大学新结构经济学研究院同仁的建设性建议以及若干学术研讨会上的有益建议。

说明: 本文系尚未定稿的工作论文,任何反馈建议请发至邮箱 fucaihui@nsd.pku.edu.cn

^①付才辉 (北京大学新结构经济学研究院)

^②郑洁 (北京林业大学经济管理学院)

^③林毅夫 (北京大学新结构经济学研究院)

一、引言

中国从 1978 年以来实现了年均近 10% 的增长速度，在短短近四十年间，从贫穷落后的状态一跃成为仅次于美国的全球第二大经济体。如果按照购买力评价来计算，今天中国是世界第一大经济体。如果这种态势能够持续，则到 2030 年左右，中国将步入高收入社会。^①中国在如此短时间内史无前例地完成这一历程，堪称人类历史上的发展奇迹（林毅夫等，1994）。但是，由于中国的发展也存在诸多问题，更准确地说，它还是一个未完成的奇迹（世界银行和国务院发展研究中心，2013）。习近平总书记在十九大报告中强调指出：“中国特色社会主义进入新时代，我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。”收入不平等和环境污染就是不平衡不充分的两个典型。为解决矛盾，“共享”与“绿色”已是“十三五”期间五大发展理念的重要组成部分。无独有偶，按照库茨涅茨曲线的基本法则，收入不平等和环境污染都会随经济发展先恶化而后逐步改善（Kuznets, 1955; Grossman & Krueger, 1995）。然而，事实并不完全如此，而且不平等和环境污染并不是由库茨涅茨曲线自动解决的。因此，如何理性认识以及化解这些问题不仅仅关乎理论创新，更关乎急迫的现实发展。

中国现阶段日益恶化的环境问题，这是大家有目共睹的事实。以碳排放为例，^②中国尽管人均二氧化碳排放量较低，但是排放总量从 1990 年的 24.61 亿吨上升到 2013 年的 100 亿吨，从 2008 年起超过美国成为世界上第一大二氧化碳排放国，每年排放的二氧化碳占全球的四分之一，如图 1 所示。尽管中国的环境污染非常严重，但是要解决这个问题，还是要弄清根本原因并对症下药。一种流行的看法认为环境恶化是由于我们发展太快了，但是这种看法不见得正确。^③其原因是，我们现在是在以制造业为主的阶段，能耗强度跟排放密度必然都很高。如果按照这种看法，假如我们放慢经济增长速度，其实是将我们停留在这种制造业阶段的时间拖得更长，进入绿色制造与服务业的阶段可能更慢，而这只会让环境污染更加严重。以印度为例，在 1978 年的时候我国人均收入是 155 美元，印度是 209 美元，1979 年的时候印度的人均国内生产总值比我国高 35%，我国是其三分之二；经过这 30 多年的发展，我国现在的人均收入超过 7500 美元，而印度只有 1600 美元，它连我国的四分之一都不到。这就意味着在过去这 36 年，我国平均每年的增长是 9.7%，印度的增长正好比我国低 4 个百分点，只有 5.7%。但是，从 2012 年联合国世界卫生组织所公布的数字，印度雾霾跟环境污染问题比我们还严重。这一点也可以从图 1 中观察到，印度在过去一个世纪以来的累积碳排放量和中国旗鼓相当。从这个比较来看，确实在我国高速发展的过程当中，加重了环境的问题，但不能说是跟我国发展快速有关。事实上，中国和印度这样严重的环境污染可能更多是所处发展阶段所造成的。低收入阶段主要是发展农业，高收入阶段是发展服务业，而中等收入国家是以制造业为主。制造业跟服务业、农业相比，最大的差异就是能源使用强度和排放密度高，造成的环境压力也一定比农业和服务业要大。因此，任何一个国家，当它的经济结构以制造业为主时，环境问题都比较严重。老工业化国家，像英国、德国、美国，在我们这

^① “十三五”规划提出的在 2016 年到 2020 年间，每年平均增长 6.5% 以上。那 6.5% 以上的增长对中国来讲非常重要，这是关系到十八大提出的到 2020 年的时候，国内生产总值能不能在 2010 年的基础上翻一番，城乡居民收入到 2020 年的时候能不能在 2010 年的基础上翻一番。中国 2015 年 GDP 增速为 6.9%，今年经济从 6.9% 降到 6.7%，是自 1990 年以来最低的增长速度，也是改革开放以来第一次连续 6 年下滑。各界非常关心中国能否实现持续的经济增长以实现两个百年目标。与各种较为悲观的观点相反，林毅夫较为乐观和客观地认为中国近期经济增长下滑有相当大的因素是外部性、周期性的因素引起的（Lin *et al.*, 2016）。

^② 二氧化碳作为主要的温室气体也受到了诸多环境污染研究的关注（盛鹏飞，2014），美国最高法院早在 2007 年根据《清洁空气法》裁定 CO₂ 是一种污染物，《低碳经济蓝皮书：中国低碳经济发展报告（2015）》也指出“二氧化碳已被一些国家列为‘大气污染物’”，因此本文将二氧化碳作为环境污染纳入分析。

^③ 甚至最近有一些极端的网络观点认为“雾霾宣告了‘中国模式’的破产”。

个发展阶段的时候，它们也是比较严重的。新工业化国家中，日本也是，韩国在 20 世纪 80 年代的时候也是这样，这跟发展阶段有关系，如图 2 所示。总的来说，环境问题会伴随我们很久，解决环境污染问题，除了执法的问题，以及多使用清洁能源的问题，釜底抽薪的办法，是要保持比较快速的的增长，比较快地进入到以绿色制造业和服务业为主的高收入阶段。^①

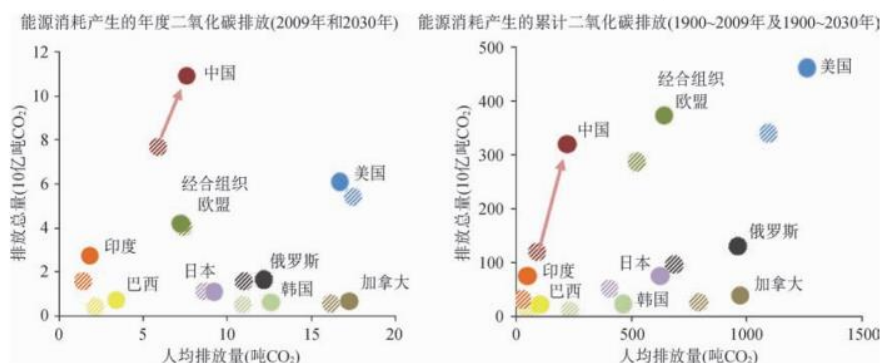


图 1 世界主要经济体能源消耗的二氧化碳排放：年排放和累计排放

资料来源：世界银行和国务院发展研究中心（2013，第 242 页）。

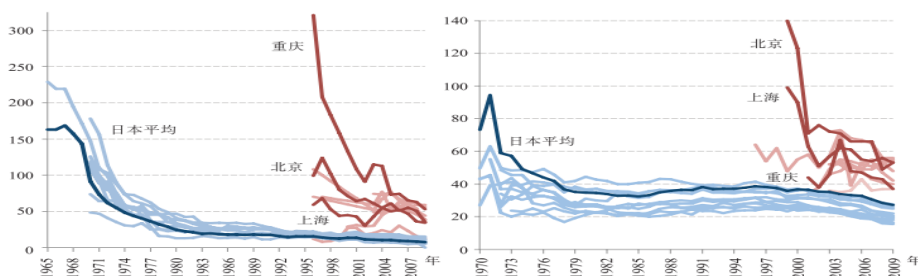


图 2 日本和中国 10 个最大城市 1970-2009 年期间观测到的年平均 SO₂ (左) NO₂ (右) 浓度(μg/m³)

资料来源：世界银行和国务院发展研究中心（2013，第 260 页）。

作为中国本土颇具代表性的经济发展学说，新结构经济学在研究中国奇迹方面已经取得了大量的研究成果（林毅夫等，1994，1999，2012，2014，2016），如何解释诸如收入不平等和环境污染等中国和发展中国家面临的严峻现实问题并提出解决思路，也是其作为一个完整的理论体系无法回避的研究内容。目前，与新结构经济学在研究收入分配问题上有较多进展形成鲜明对比（林毅夫和刘培林，2003；Lin，2003，2009；陈斌开和林毅夫，2012，2013；林毅夫和陈斌开，2013；付才辉，2016），其在环境污染问题上的着墨还非常欠缺（林毅夫、付才辉和王勇，2016；王坤宇，2017）。因此，基于林毅夫关于经济发展与环境问题的上述初步论述，本文旨在推进新结构经济学在环境污染问题上的理论与实证以及政策研究。本文的贡献除了有助于理性认识和解决目前严峻的环境问题之外，还为后续新结构经济学在环境问题上的研究提供一定的理论和实证研究参考。

本文接下来的内容安排如下：第二部分以回顾全球雾霾简史为例说明环境污染的发展阶段性，以环境库茨涅茨曲线为线索回顾环境污染研究脉络，从而指出从新结构经济学视角理解环境问题的重要性；第三部分在概述新结构经济学基本原理的基础上，运用其基本原理推演新结构环境经济学的主要理论假说；第四部分构建检验理论假说的基本计量模型，并讨论关键指标与模型的动态性与内生性；第五部分基于全球跨国数据展开经验实证分析；第六部分基于全国省级数据展开经验实证分析；第七部分基于全国地级市数据展开经验实证分析；最后总结全文并提出政策建议。

^① 林毅夫，“解决雾霾的根本途径是成为‘发达国家’”，《北京日报》，2015 年 05 月 05 日。

二、环境污染的经验事实与文献回顾

（一）从全球雾霾简史看环境污染的经验特征事实^①

今天的中国被称为“世界工厂”，但在十九世纪末，英国才是全球工业的中心。英国首都伦敦汇聚了纺织、煤炭、钢铁、化工等各类产业，生产出大量商品，再由港口的蒸汽船运往世界。大量乡下人口涌入伦敦，成为当时最庞大的都市，人口超过了 500 万。正如索尔谢姆（2016）所言，毫不夸张地说，英国之所以崛起成为世界有史以来最强大的制造、贸易、帝国列强，都是化石燃料烧出来的。作为工业革命的发源地，大量的工业和生活煤炭的燃烧，当时伦敦周边大型的火力发电站每天都排放超 1000 吨的烟雾颗粒，2000 吨二氧化碳，140 吨盐酸，370 吨二氧化硫等。1800 年，伦敦人烧了 100 万吨煤炭，相当于一人烧一吨。^②不列颠岛受海洋性气候影响，本来就水汽充沛，容易起雾。而在伦敦城，工厂排放废气，家庭燃烧煤炭，更是加重了伦敦的雾霾。因此，雾都就成了伦敦的别名。如此大规模的环境污染在人类历史上还是头一次，所以人们的环境意识尚未如此强烈。就像一些经典作品描述的：维多利亚时代的人还在为机器和烟囱骄傲，甚至把雾霾当作进步的象征。狄更斯的《雾都孤儿》批判的是资本家，柯南道尔在《福尔摩斯》中也没有太多谈论雾霾。在各种版本的都市传说中，开膛手杰克神出鬼没于伦敦的雾，让伦敦的雾变得神秘而刺激。游历伦敦的印象派画家莫奈也迷恋这里的雾霾，用画笔为它添加上迷幻的色彩。至到 1952 年 12 月 5 日开始的一星期内，伦敦市民开始感到呼吸困难、眼睛刺痛，发生哮喘、咳嗽的症状，伦敦医院由于呼吸道疾病患者剧增而一时爆满，伦敦城内到处都可以听到咳嗽声。短短几天时间，英国 4000 人突然离世，超过 10 万人感染呼吸道疾病，波及儿童老人，很多逝者都因为支气管和肺部重度感染。当时因为严重大雾，救护车都没法正常工作，数周后又有一千多人死亡，共计死亡 1 万 2 千多人。这是英国历史上著名的“毒雾事件”，也成为了 20 世纪十大环境公害事件之一。随着公众的关注，丘吉尔政府压力增大，相关提案也不时出现在国会，经过四年的讨论，空气治理法案在 1956 年出台。这也是世界上第一部大气污染防治法案，强制伦敦市区的工业电厂等全部关闭，只能挪到郊区，城市里设立无烟区，无烟区里禁止使用产生污染的燃料。然而，1957 年到 1962 年，伦敦又发生了 12 次严重的雾霾事件。英国 1968 年又扩充了《清洁空气法案》，并最后于 1974 年颁布了《污染控制法》。到了 1975 年伦敦的雾日已由每年几十天减少到了 15 天，1980 年则进一步降到 5 天。至此，英国成功治理雾霾花了二十多年。

与雾都伦敦的遭遇一样，随后大多发达国家在经历工业化过程中，都出现了严峻的环境污染问题。在美国，从 1943 年开始，雾霾就开始袭击洛杉矶。空气中飘着烟雾，泛着棕色和浅蓝色，能把眼睛刺激得流眼泪。学校因此停课，运动员转移到室内训练，而庄园的农民们只能惋惜的看着农作物烂在地里。市民对空气质量抱怨越来越强烈，一些好莱坞明星也加入到抗议的行列。洛杉矶从 1943 年第一次雾霾的出现到 1970 年《清洁空气法》的出台经历了整整 27 年。在这过程中遇到各种各样的阻力，来自汽车公司，来自石油公司，此外还有

^① 可以进一步参考一些媒体的简要报道：“北京又一次十面霾伏，美国和日本如何彻底驱散这个恶魔？”，《瞭望智库》，2016.11.05；“40 年前日本是如何战雾霾的”，《瞭望智库》，2017.01.06；“60 年前的‘伦敦毒雾’可不是被风吹走的”，公号“Ecomo 科技新生活”，2016 年；杨佩昌，“德国雾霾为何神奇消失？”，《羊城晚报》，2016.12.17。关于更多洛杉矶和伦敦等发达国家工业城市污染的详细史料可参考一些历史学家的新近著述：Chip Jacobs, William J. Kelly, *Smog town: The Lung-Burning History of Pollution in Los Angeles*, Overlook Press, 2008；彼得·布林布尔科姆，《大雾霾——中世纪以来的伦敦空气污染史》，启蒙编译所/译，上海社会科学院出版社，2016 年。本节的内容主要根据这些相关资料整理而成。

^② 彼得·索尔谢姆，《发明污染：工业革命以来的煤、烟与文化》，上海社会科学院出版社，2016 年。

政府和立法者的不作为。在德国，上个世纪五、六十年代，其创造了举世瞩目的“经济奇迹”，而鲁尔区就是德国机械制造及重化工业中心，煤炭、钢铁、化学、机械制造等行业高速发展，让该区雾霾不断肆虐，成了空气和河床污染的重灾之地。除了鲁尔区之外，西德多数地区也未能幸免。著名的莱茵河曾经一度是条鱼类无法生存的“死河”，慕尼黑、斯图加特、法兰克福、科隆等城市上空也一直笼罩雾霾。1971年，大气污染治理首次纳入联邦政府的环保计划。1974年，德国第一部《联邦污染防治法》颁布，对SO₂、H₂S和NO₂开始执行严格的污染限值。该法经过多次修改和补充，已成为德国最重要的法律之一。20年之后，自1991年之后，德国再也没有响起雾霾警报。在日本，虽然传统中自然其实很神圣，在神道教中破坏自然要受到天谴，但与欧美一样，在经历过快速工业化的阶段也逃脱不了雾霾。在高速工业化时代，一些重工业城市，如东京和大阪，成为“东方雾都”。愤怒的市民对公害提起了诉讼，这迫使日本在20世纪60年代至70年代密集出台了一系列环境保护立法，80年代公害教育出现在日本小学生的教材上。再如引言所述中国和印度，即便在能源结构和环保技术日新月异今天，这些新兴工业经济体也无一幸免于雾霾等环境污染，如图3所示。

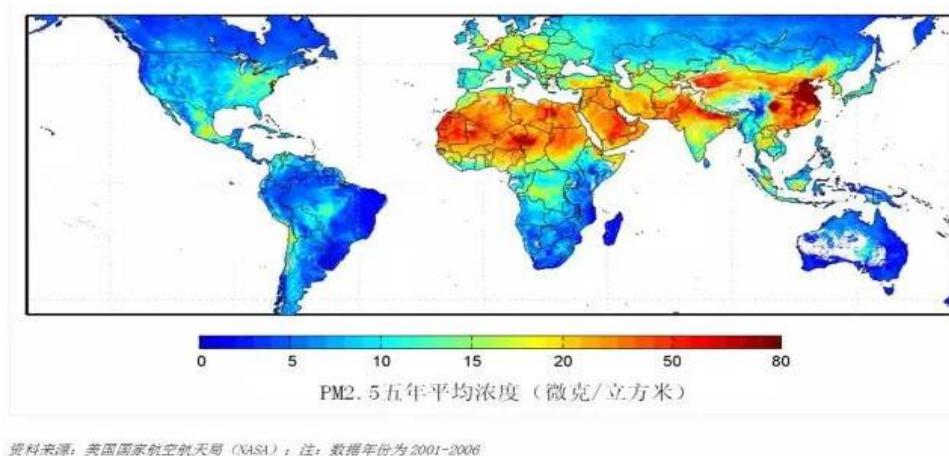


图3 PM2.5全球地图（2001-2006年的五年平均水平）

总之，回顾以雾霾为代表的全球环境污染的历史，可以看到几个基本的经验特征事实：但凡历经过工业化的主要经济体，雾霾围城无一幸免，环境污染是一个绕不过去的发展阶段性问题；只是程度和快慢的问题，鲜有成为高收入经济体之后雾霾还不被治理的——背后的原因可能包括：收入水平的提高后人们对环境质量的需求以及环境意识等需求侧方面的原因，产业结构的转型升级、能源结构的改变与环境技术的改善等供给侧方面的原因，环保立法与环保政策等政策面的原因。

（二）环境污染研究主要脉络的简要回顾

相比较于环境污染的悠久历史，经济学界开始对经济发展过程中的环境问题的学术研究也仅仅是20世纪90年代初期以来的事。世界银行1992年发布的旗舰报告 *Development and Environment* 以及 Grossman 和 Krueger(1995)的开创性研究发现了环境库茨涅茨曲线，即环境污染和人均收入之间存在倒U形曲线的关系：在经济发展初期，环境污染会随着人均收入的增加而增加；但是到了一定发展阶段，环境污染会随着人均收入的提高而下降。其后二十多年，关于环境问题的研究汗牛充栋，但围绕环境库茨涅茨曲线的理论和实证研究却争论不休。在经验实证上，绝大多数回归结果支持 Grossman 和 Krueger(1995)的环境库茨涅茨曲线假说，但是样本选择、控制变量、污染指标类别和计量方法的不同都有可能动摇环境库茨涅茨曲线结论的稳健性 (Stern & Common, 2001; Harbaugh *et al.*, 2002; 王敏和黄滢, 2015)。

①相比之下，在理论层面，环境库茨涅茨曲线的机制则明确得多，大致可以归纳为与前述回顾环境污染历史归纳出的几个特征事实相对应的几个方面：需求侧、供给侧与政策侧的环境库茨涅茨机制。②从需求侧来解释环境库茨涅茨曲线，不论基于何种模型设定，基本的原理都是相通的，即由消费品和环境质量之间的权衡取舍随收入水平变化而变化产生的。在发展早期，收入水平低，可消费的产品数量少，污染排放也比较少，环境质量比较高。因此，消费品的边际效用较高，而环境质量的边际效用较低，最优的选择便是降低环境质量增加消费品，这就导致随着收入的增长环境质量下降。但是，发展到一定程度，随着收入水平的增长，消费品的增多，环境质量的下降。此时，消费品的边际效用会逐渐下降，而环境质量的边际效用则逐渐上升，最优的选择是减少消费改善环境质量，这就导致在经济发展的后期随着收入的增长环境污染会出现下降趋势。从供给侧与政策侧对环境库茨涅茨曲线的解释则零散得多：有从资本配置角度来实现环境污染的“倒 U 形”转变的(John & Pecchenino, 1994; Selden & Song, 1995)，有从技术进步包括污染减排技术角度来实现环境污染的“倒 U 形”转变的(Stocky, 1998; Andreoni and Levinson, 2001; Brock & Taylor, 2010)，有从通过政府和私人部门之间的讨价还价博弈角度来生成环境库兹涅茨曲线的(Lopez & Mitra, 2000)，有从环境税收或管制的角度生成环境库兹涅茨曲线的(Jones & Manuelli, 2001)，等等。

(三) 从新结构经济学视角理解环境问题的重要性

从需求侧的角度能够很好地解释人们对环境的偏好以及环保意识的兴起，甚至环保运动和环保教育与对环境法律政策的敦促，但是影响这些变化的收入水平在其理论中则是外生的。然而，收入水平的提高取决于经济增长，而且环境污染的主要来源，不仅仅来自于生活消费性排放，更多来源于工厂等固定源和交通运输等移动源产生的生产性排放^③。因此，从供给侧角度解释环境问题更为根本。从供给侧角度，Brock 和 Taylor (2005) 在 *Handbook of Economic Growth* 中关于经济增长与环境的系统综述将环境污染归纳为三个因素：经济总量、产业结构和技术水平。即一个经济体的污染总排放 E 为

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \gamma_i s_i Y \quad (1)$$

其中， E_i 是产业 i 的排放， s_i 产业 i 占 GDP 的比重（反映产业结构）， γ_i 是产业 i 的单位 GDP 污染排放量（反映了能源效率或技术进步）， Y 是 GDP 总产出。对上式关于时间求导可以将污染排放增长率分解为三种效应

$$\frac{\dot{E}}{E} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E} \left(\frac{\dot{\gamma}_i}{\gamma_i} + \frac{\dot{s}_i}{s_i} \right) + \frac{\dot{Y}}{Y} \quad (2)$$

其中， $\frac{\dot{\gamma}_i}{\gamma_i}$ 代表技术进步效应、 $\frac{\dot{s}_i}{s_i}$ 代表产业结构效应和 $\frac{\dot{Y}}{Y}$ 代表经济增长效应。

因此，分别给定其他因素不变，促使单位 GDP 污染下降的技术进步会降低污染、低污染产业比例增加会减少污染、经济增长会增加污染。所以，政府可以通过影响绿色技术进步或环境管制、产业结构以及经济增长等方式增加或降低污染。因此，Grossman 和 Krueger(1995) 在最早发现环境库兹涅茨倒 U 形曲线证据的时候，就特别强调经济发展本身不会自动改善

① 可以参见 Dinda(2004)和 Stern(2004)的综述。

② 这里仅简要回顾主要的理论机制，具体的影响环境污染的具体因素的文献在后面实证部分介绍控制变量时再予以评述。

③ 根据环保部的研究指出，中国环境污染物的来源主要包括生产性污染、生活污染以及交通运输性污染，而生产性污染是最主要的来源(http://www.zhb.gov.cn/hjjc09/xcd/200604/t20060421_76042.htm)。

环境，环境污染的倒 U 形曲线的出现是因为经济发展过程中的产业结构变迁、技术进步或者环境管制所致。也如前所述，简单地将经济增长与环境污染对立起来的观点不正确，对于以高排放的制造业为主的经济体而言要釜底抽薪地解决环境污染，就需要产业转型升级到以绿色制造和服务业为主的低排放型产业，更多绿色低碳排放技术的采纳以及严格环境管制。

然而，在新结构经济学看来，如果一个经济体由其禀赋结构决定的比较优势恰好是高排放的制造业，那么对应的污染是无法避免的；但是按照比较优势选择产业和技术创造的经济剩余是最多的，促进禀赋结构升级的速度也是最快的，进而促进产业和技术升级的速度也是最快的，收入水平提升的速度也是最快的；再进一步，收入水平的提高也会提高人们对环境质量的需求以及环保意识，甚至引发环保运动促使政府出台严格的环境政策。因此，采取比较优势的发展战略是冲出雾霾等环境污染的最快方式。反之，认识不到这一规律，如果采取违背比较优势的战略或者抑制经济发展反而无助于环境的改善，停留在雾霾中的时间会更长。所以，既然雾霾等环境污染无可避免，与其长期停留，还不如快速发展冲出困境。

三、新结构环境经济学的理论假说

这一部分，我先简要地新结构经济学的基本原理，并将其应用于分析环境污染问题，揭示新结构环境经济学的理论机制，提出待检验的理论假说。

（一）新结构经济学的基本原理概述^①

新结构经济学是关于经济结构及其变迁的新古典分析框架（林毅夫，2012）。具体而言，新结构经济学用新古典的分析方法以禀赋结构作为切入点来研究经济结构及其变迁，主要的理论要点可以概括为旨在揭示发展与转型（改革）以及市场和政府关系的三条基本规律——结构变迁的规律、结构转型的规律、结构变迁与转型中政府作用的规律的十大原理（林毅夫和付才辉，2017）。

解释经济结构及其变迁规律的结构变迁原理包括：（1）禀赋结构的供给原理——在给定时间，任何分析单位的禀赋要素及其结构是给定的，但会随时间而变化。（2）禀赋结构的需求原理——不同生产结构（产业结构与技术结构）会产生不同的禀赋要素及其结构需求。（3）禀赋结构的相对价格原理——禀赋结构的供求均衡决定了禀赋结构的相对价格，其是禀赋结构与生产结构的函数。禀赋结构水平越低、生产结构越是资本相对劳动越密集，禀赋结构的相对价格就越高。（4）最优生产结构原理——生产结构水平越高，边际产出越高，但是边际成本也越高，最优生产结构的条件是生产结构选择的边际价值等于其边际成本。最优生产结构（产业结构与技术结构）原理实际上在新结构经济学中也就是常说的比较优势原理。（5）生产结构的供求原理——除了不同生产结构对禀赋结构的需求不同之外，由于不同生产结构的金融需求特征（例如风险特征、资金规模、投资期限等）、人力资本需求特征（如教育、经验、技能等）、空间布局需求特征（如城市化、集群、区域布局等）、开放需求特征（如国际贸易结构、国际资本流动等）、周期需求特征（如不同产业的波动特征不同、模仿创新与发明创新的随机冲击不同）、制度需求特征（如不同产业或技术的资产专用特征或契约密度不同）、人口资源环境需求特征（如劳动与闲暇、生育、能耗与污染排放等）等等不同生产结构性质维度是不同的，从而对应的结构安排的需求也是不同的，在给定这些供给面的结构安排，其相对价格也就随生产结构的不同而不同。在供求均衡时，便产生了最优

^① 更详细的内容可参见林毅夫（2012），这里参照了付才辉（2017a，2017b）的概述。

金融结构、最优人力资本结构、最优区域结构、最优开放结构、最优周期结构、最优制度结构、最优人口资源环境结构等等最优的结构安排。(6) 结构变迁循环累积因果原理——禀赋结构与生产结构互为循环累积关系, 禀赋结构升级促进生产结构升级, 生产结构升级促进禀赋结构升级; 经济发展的本质便是禀赋结构与生产结构相互相成的结构变迁所推动的劳动生产率的不断提高的过程。在快速的结构变迁阶段, 即生产结构对禀赋结构富有弹性时, 禀赋结构的回报率不会随禀赋结构积累而降低, 从而出现高储蓄高投资高速推进禀赋结构升级, 进一步推进生产结构升级, 快速的循环累积实现高速增长。随着生产结构的改变, 其他对应的最优结构安排也需要随之变动, 即所谓的“经济基础决定上层建筑”。

然而, 实际上, 任何经济体在任何时点在结构变迁过程中不可能严格遵循最优结构变迁轨迹, 违背比较优势的结构变迁情景是普遍存在的。过去最优的结构安排在新的禀赋结构条件下已经不是最优安排了, 也均需要转型调整。结构变迁违背比较优势就不可避免产生扭曲, 结构扭曲阻碍结构升级成为发展的根本障碍。这就延伸出一条至关重要的结构转型原理:(7) 自生能力原理——能够在开放、自由的完全竞争市场上获得正常利润的生产者具备自生能力。违背比较优势(或偏离最优生产结构)的生产结构中的生产者不具备自生能力。生产结构中缺乏自生能力的生产者多寡是结构转型最重要的约束条件。这也延伸出转型(或改革)规律最基本的一条原理:(8) 最优转型速度原理——消除结构扭曲便是转型的收益, 然而由于扭曲的生产结构中的生产者是没有自生能力的, 消除扭曲会迫使其破产并引发相关代价, 这便是转型的成本。最优的转型速度是转型的边际成本等于其边际收益。任何违背比较优势的政府干预均会对结构变迁的产生扭曲。然而, 在存在具有外部性的公共禀赋结构、具有溢出效应和协调困难的生产结构的变迁过程中, 市场自身难以处理这些问题。这些问题不加以有效解决, 就会成为结构变迁的障碍。因此, 这便得到:(9) 结构变迁与转型中政府作用的定位原理。与前述结构变迁不可能至始至终按照最优结构变迁轨迹行事一样, 由于市场自生不能够在每一阶段都充分利用连续但不一定平滑的结构变迁的后发优势的状况下, 现实中的政府往往需要越过在结构变迁与转型过程中的理想定位, 激励市场充分利用后发机会, 但也可能引起不良后果。因此, 这便得到:(10) 结构变迁与转型中政府作用的最优干预原理——最优的政府干预程度和最优干预结构是其边际收益与边际成本权衡取舍的结果。

(二) 新结构经济学基本原理在环境问题上的应用: 理论假说的提出

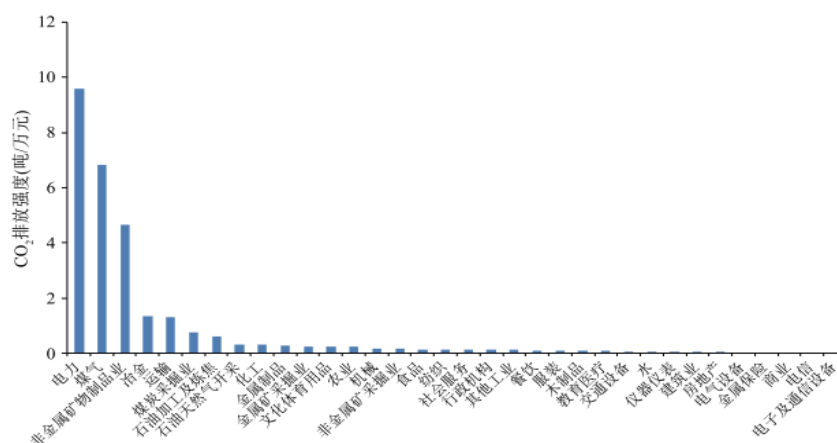
运用上述新结构经济学的基本原理对环境问题进行系统研究可以形成逻辑自洽的新结构环境经济学(付才辉, 2015^①)。本文则重于应用新结构经济学基本原理分析具体的环境污染问题。新结构经济学推导出环境库兹涅茨曲线的基本逻辑如下: 由上述第 1 条到第 4 条基本原理可知每个国家或地区由于禀赋结构的不同对应的最优产业结构也不同; 再按照第 5 条最优生产结构的供求原理可知, 不同的产业结构由于有不同的能耗强度与污染排放密度特征, 那么对应于最优的产业结构就会有一个最优的环境污染程度; 然后, 再根据第 6 条动态的结构变迁循环累积因果原理可知最优产业结构存在一条最优的结构变迁轨迹, 那么对应地也存在一条最优的环境污染曲线。

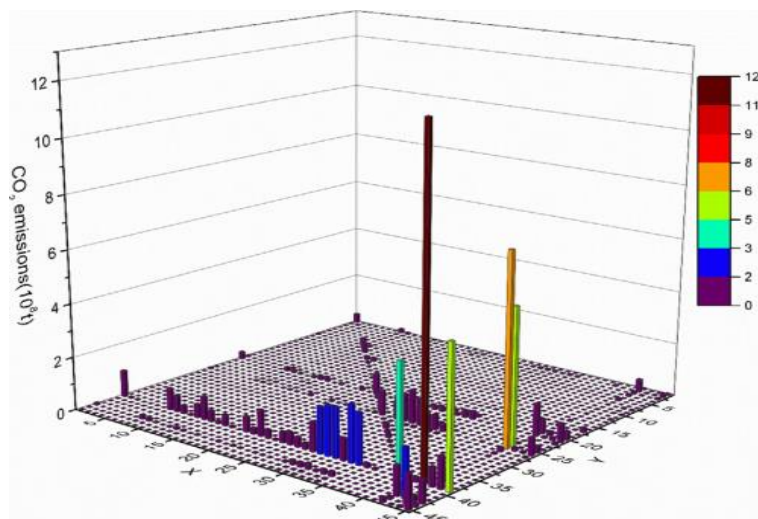
处于不同发展阶段的国家或地区, 由于禀赋结构不同, 相应也会有不同的经济结构(林毅夫, 2012)。处于初级发展阶段的国家, 其要素禀赋结构一般会呈现出劳动力或自然资源相对丰富, 同时资本相对稀缺的特点, 因而生产也多集中于劳动力或资源密集型产业(主要有维持生存的农业、畜牧业渔业和采矿业), 采用传统的、成熟的技术, 生产“成熟的”产品。除了矿业和种植业, 这些生产活动很少有规模经济。这些国家的企业规模一般而言相对

^① 付才辉(2015)较早提出了“新结构环境经济学”这一名称。新结构环境经济学除了对环境污染的研究, 还包括资源管理以及资源型地区的转型升级等等问题。

较小，市场交换往往也不正规，通常仅限于在当地市场上跟熟人进行交易。这种生产和交易对硬件和软件基础设施的要求不高，只需要相对来说比较简单、初级的基础设施就可以了。位于发展阶段谱线另一端的高收入国家，则呈现出一幅完全不同的禀赋结构图景。这些国家相对丰裕的要素不是劳动力，也不是自然资源，而是资本；因而在资本密集型产业中具有比较优势，这些产业具有规模经济的特征。各种硬件（电力、通信、道路、港口等）和软件（法律法规体系、文化价值系统等）等基础设施也必须与全国性乃至全球性的市场活动相适应，这种情形下的市场交易是远距离、大容量、高价值的。

具体到三次产业结构变迁而言，农业的比重会持续下降，工业的比重会呈现倒 U 型变化，服务业的比重会持续上升。由于传统农业的能源使用强度低，除了用化肥和农药以外，其排放密度是低的；进入制造业阶段，其能源强度和排放密度是高的；然后进入到服务业的发展阶段，其能源强度和排放密度又是低的。在更加细分的行业层面上也是如此，如图 4 利用投入产出数据测算的结果所示，电力、煤气、非金属矿物制品、冶金、运输、石油化工等重工业相对于轻工业和服务业而言二氧化碳的排放强度要大得多。Chen 等(2017)也使用改进的环境投入产出模型测算了 2012 年中国所有经济部门（45 个行业）的最新排放情况（图 5）：“建筑”行业贡献了最多的消费性排放，分别占其供应链上“电力和热力生产和供应”，“黑色金属冶炼和压延”和“非金属矿产品制造”这三个部门生产性排放的 27.9%、46.9% 和 72.1%。“电力，热力生产和供应”行业贡献最多的生产性排放，分别占其需求链上“建筑”，“其他”和“制造”这三个部门消费性排放的 27.9%、11.6% 和 44.2%。根据杨帆等（2016）的研究，污染排放水平与产业行为和特征之间存在直接相关性，不同产业部门的污染排放水平不同，不同产业的污染排放物种类也存在差异。例如，制造业废气污染中，SO₂ 排放强度最高的产业为非金属矿物制品业、造纸及纸制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品业及化学纤维制造业；工业烟尘排放强度排在前十位的产业包括非金属矿物制品业、造纸及纸制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、石油加工炼焦及核燃料加工业；制造业废水污染中，排放强度最高的为造纸及纸制品业，其次包括饮料制造业、纺织业、化学原料与化学制品制造业、化学纤维制造业，排放强度均已超过 5 万吨/亿元。因此，对应于产业结构变迁，尤其是工业的倒 U 形变迁轨迹，就有环境库茨涅茨倒 U 形曲线。这是基本的新结构环境经济学假说。





资料来源：Chen et al(2017)。

图 5 中国 45 个经济部门的需求链和供应链间基于生产和消费的 CO₂ 排放量分布情况

更进一步，如果产业结构变迁违背比较优势，每一个时点上的产业结构就会偏离最优产业结构，进而偏离最优污染程度；由于违背比较优势的产业结构中的企业是没有自生能力的，无法创造剩余积累禀赋促进产业升级，从而延缓环境库茨涅茨曲线，阻碍环境收敛，加剧环境污染。与此同时，按照前述第 7 条自生能力原理可知违背比较优势的产业中的企业是没有自生能力的，除了劳动和资本等要素价格会被扭曲之外，资源环境和能源价格也会被扭曲以保护没有自生能力的企业。图 4 也很明确地意味着，由于重化工业的能耗强度和排污密度较大，如果政府采取违背比较优势的重工业赶超战略，产业的污染强度会直接被加大。例如，根据黄益平等（2010）的研究，中国的能源和环境存在价格低估，如 2009 年能源价格低估相当于对生产者补贴额达到全年 GDP 的 0.7%。根据李虹（2011）的研究，2007 年中国化石能源补贴规模为 3864 亿元，取消这部分补贴会减少 6214.98 万吨二氧化碳排放。不仅中国如此，能源价格扭曲在全球也是普遍存在的。据国际能源署的估计，2008 年全球化石燃料相关的补贴高达 5570 亿美元。据其分析，同补贴率不变的情况相比，在 2020 年前如果这些补贴能够逐步取消，那么全球范围内主要能源需求将会减少 5.8%，能源相关的二氧化碳排放将会降低 6.9%。此外，化石燃料生产商所获得的补贴每年大约为 1000 亿美元。而消费者和生产商补贴总额约为每年 7000 亿美元，几乎相当于世界 GDP 总量的 1%（冯飞等，2011）。除了重工业赶超战略下重工业本身的超高排放特征以及环境能源价格扭曲导致的过度污染之外，对于这些不具备自生能力的企业，即便政府出台了严格的环境保护法律法规也不会得到有效执行而出现环境软约束。事实上，以中国为例，从 20 世纪 90 年代初开始在地方层面就陆续颁布了大量的环境立法，1996—2004 年这九年期内的地方环境立法平均数高达 6 件，特别是 2002 年立法通过数高达 11 件。然而，包群等（2013）的研究发现几乎没有证据支持地方环保立法能够有效地改善当地环境质量，其原因是地方环保执法力度不够，使得环保立法成为一纸空文。此外，这些没有自生能力的企业不但不能够贡献税收，反而还需要大量的政府保护补贴，因此还会导致环境治理的公共财政支出短缺，从而导致环境污染得不到有效防范和治理。根据傅勇等（2007）的研究，地方政府缺少合适的激励和约束来增加公共财政支出，导致环境治理的供给不足。席鹏飞等（2017）也发现地方财政压力的增加显著地提高了工业污染的水平。目前我国部分省域的环保投入占 GDP 比重不到 0.03%，最高的只有 0.83%，甚少的环保资金投入无法遏制环境污染的加剧（许和连等，2012）。这些便是违背比较优势的发展战略导致更加严重的环境污染的中间扭曲机制。王坤宇（2017）对 1980—2007 年间 59 个国家(或地区)的国家发展战略与能源效率差异进行了实证分析，为重工业赶

超战略加剧环境污染的中间机制提供了支持：能源效率的跨国差异在文献中被广泛的关注，但是现有的实证研究并没有提供较有说服力的经验证据指出能源效率差异的决定要素，其研究发现国家间能源效率的巨大差异主要归因于各个国家在不同发展阶段实施的不同发展战略。如果一国追求重工业优先发展的赶超战略，那么该国生产要素存量配置结构必将违背由本国的要素禀赋结构决定的比较优势，从而导致国内的赶超企业缺乏自生能力，因此政府必须以扭曲市场最优配置的方式保护补贴缺乏自生能力的企业。在违背比较优势的发展战略下，扭曲的能源价格体系使得能源价格不能充分反映本国的要素禀赋结构特征，从而导致能源效率的低下。因此，违背比较优势的发展战略会导致更严重的环境污染。

（三）发展战略影响环境污染的理论机制刻画

下面我们简要地在前述 Brock 和 Taylor（2005）对环境污染因素分解（式（1））的基础上纳入发展战略变量，来刻画其对环境污染的影响机制。

首先，按照经济学的惯例，假设一个经济体或地区的总量生产函数为标准的科布-道格拉斯（C-D）生产函数（为了节约符号略去时间标识）：

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (3)$$

其中， Y 、 K 、 L 、 A 、分别表示产出、资本、劳动和技术水平， α 和 $1-\alpha$ 分别表示资本和劳动力的产出份额。同样，我们构建如下产业层面标准的科布-道格拉斯（C-D）生产函数：

$$Y_i = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i} \quad (4)$$

其中 Y_i 、 K_i 、 L_i 、 A_i 、分别表示产业 i 的产出、资本、劳动和技术水平， α_i 和 $1-\alpha_i$ 分别表示产业 i 的资本和劳动力的产出份额。然后，以人均形式表示式（3）和式(4)

$$\frac{Y}{L} = A \left(\frac{K}{L}\right)^\alpha \quad (5)$$

$$\frac{Y_i}{L_i} = A_i \left(\frac{K_i}{L_i}\right)^{\alpha_i} \quad (6)$$

其次，遵循新结构经济学的研究传统，利用技术选择指数（ TCI ）来度量发展战略，其基本思想是：一个经济体或地区的要素禀赋结构决定了该国的最优产业结构，而违背比较优势的发展战略是对最优产业结构的一种扭曲，产业结构的这种扭曲程度就可以作为发展战略的一个合理度量指标（Lin, 2009, 2012）。^①违背比较优势的重工业赶超战略可以用如下的 TCI 指数来表示：

$$TCI_i = \frac{K_i/L_i}{K/L} \quad (7)$$

该 TCI 指数越大，表明重工业赶超战略违背比较优势的程度就越大。再将式（5）和式（6）稍作变形带入式(7)可得：

$$TCI_i = \frac{K_i/L_i}{K/L} = \left(\frac{Y_i}{L_i}\right)^{\frac{1}{\alpha_i}} \left(\frac{Y}{L}\right)^{-\frac{1}{\alpha}} \frac{A_i^{\frac{1}{\alpha_i}}}{A^{\frac{1}{\alpha}}} \quad (8)$$

因此，将上式变形整理可得：

$$Y_i = (TCI_i)^{\alpha_i} \left(\frac{Y}{L}\right)^{\frac{\alpha_i}{\alpha}} \frac{A_i L_i}{A^{\frac{\alpha_i}{\alpha}}} \quad (9)$$

然后，将式(9)带入式（1）可得：

^① 关于 TCI 指数的详细介绍可参见《新结构经济学文集》附录（林毅夫等，《新结构经济学文集》，上海世纪出版集团，2012年）。

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \gamma_i Y_i = \sum_{i=1}^n (TCI_i)^{\alpha_i} \left(\frac{Y}{L}\right)^{\frac{\alpha_i}{\alpha}} \frac{\gamma_i A_i L_i}{A^{\frac{\alpha_i}{\alpha}}} \quad (10)$$

因此，其他条件不变的情况下，发展战略违背比较优势的程度越大，即 TCI 指数越大，那么环境污染程度也就越大。

图 7 是发展战略（TCI）与二氧化碳排放的散点图，不论是全球的情况（左边）还是全国的情况（右边），均表现出显著的正相关，与上述影响机制是非常吻合的。这背后的理论机制便是，在违背比较优势的重工业赶超战略之下，就会导致超乎发展阶段客观存在的环境污染；反之，如果采取比较优势的战略，尽管也会出现对应发展阶段的环境污染问题——这是由对应于每个阶段的最优产业结构客观存在的污染，但是不会出现资源环境和能源价格扭曲以及环境软约束，政府也有公共支出治理环境，政府再发挥积极有为的作用促进具有后发优势的清洁能源和环境保护技术的采纳还会使得污染程度更低。因此，只要我们承认由于发展阶段而无法回避的环境问题，采取比较优势的发展战略实际上是发展和环境兼得的最佳方式。因此，上述新结构环境经济学的基本理论假说的机制可以简要概括到图 6 中：（1）环境问题是发展阶段所无法回避的客观事实；（2）如果采取比较优势发展战略，因势利导型政府再加强环境约束和环境治理，每个阶段的环境污染程度相对是最低的；（3）如果采取违背比较优势的赶超战略，重工业的排放过高，没有自生能力的企业也会导致环境能源价格扭曲、环境软约束以及环境治理的缺乏，导致超过每个阶段客观存在的环境问题的严重污染。

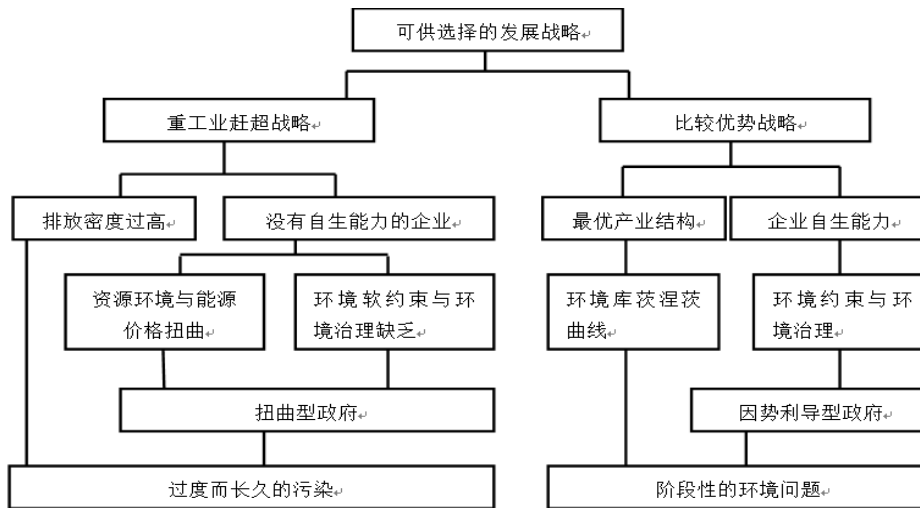


图 6 发展战略与环境污染的逻辑分析框架

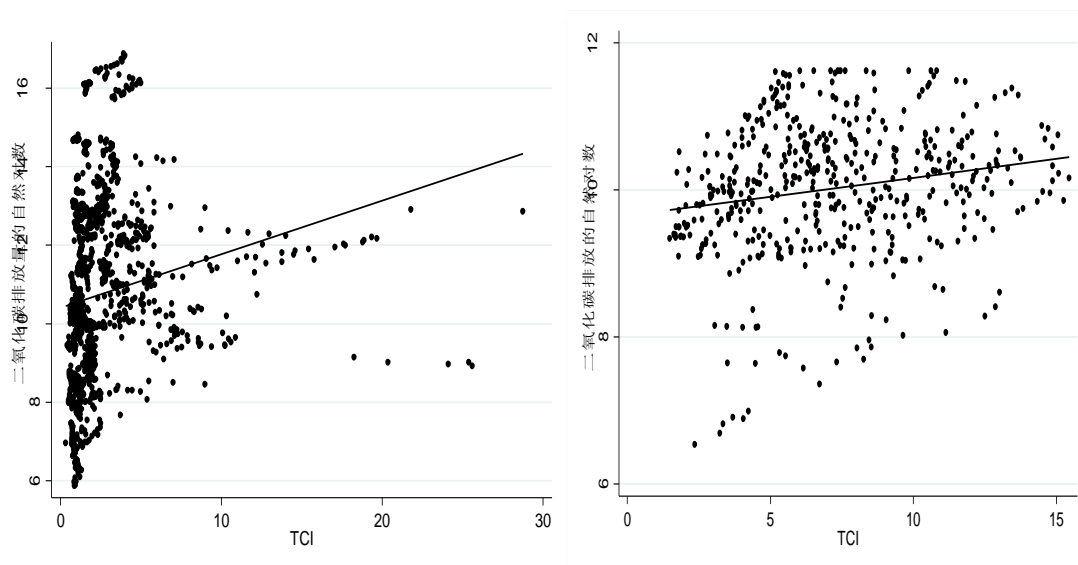


图 7 发展战略 (TCI) 与二氧化碳排放的散点图 (左边为全球样本, 右边为全国样本)

四、基本计量模型设定与核心变量度量说明

(一) 基本计量模型设定

首先, 需要检验上述新结构环境经济学**最基本**的理论假说: 环境问题是发展阶段所无法回避的客观事实, 即由结构变迁决定的环境库次涅茨曲线“倒 U 型”假说。参考 Grossman & Krueger (1991) 的环境库茨涅茨曲线, 设定基准回归模型为:

$$POL_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 PGDP_{it} + \alpha_2 PGDP_{it}^2 + X_{it}'\beta + \delta_t + \gamma_i + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

其中, POL_{it} 表示 i 经济体或地区 t 时期环境污染变量; $PGDP_{it}$ 表示 i 经济体或地区 t 时期的人均 GDP; α 是待估计系数; X_{it} 是一系列控制变量; γ_i 表示地区固定效应, 用来控制持续存在的个体差异; δ_t 表示时间非观测效应, 用来控制随时间变化的因素所发生的影响; ε_{it} 是随机误差项。如果该假说成立, 那么估计系数 α_1 理论预期为正、估计系数 α_2 理论预期为负。

其次, 在此基础上再来检验上述新结构环境经济学**最主要**的理论假说: 违背比较优势的赶超战略会导致超过发展阶段更严重的环境污染。因此, 在上述回归方程式 (11) 的基础上再通过以下两种方式识别发展战略对环境污染的影响:

$$POL_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 PGDP_{it} + \alpha_2 PGDP_{it}^2 + \alpha_3 TCI_{it} + X_{it}'\beta + \delta_t + \gamma_i + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

$$POL_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 PGDP_{it} + \alpha_2 PGDP_{it}^2 + \alpha_3 TCI_{it} \times PGDP_{it} + X_{it}'\beta + \delta_t + \gamma_i + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

其中 TCI_{it} 表示 i 经济体或地区 t 时期的技术选择指数, 作为发展战略的度量指标。

回归方程 (12) 将发展战略与发展阶段作为平行的影响来识别, 如果发展战略违背比较优势程度越大, 那么环境污染程度也越大, 即估计系数 α_3 理论预期为正。

回归方程 (13) 将发展战略与发展阶段作为交互的影响来识别, 如果发展战略违背比较优势程度越大, 那么环境污染将难以随发展阶段出现环境库次涅茨倒 U 型曲线变化, 即将阻碍环境收敛, 估计系数 α_3 理论预期就为负。

最后, 需要再进一步识别上述新结构环境经济学理论假说两个重要的**中间机制**: 企业的环境软约束与政府的环境治理:

$$POL_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 PGDP_{it} + \alpha_2 PGDP_{it}^2 + \alpha_3 SOE_{it} + \alpha_4 GOV_{it} + X_{it}'\beta + \delta_t + \gamma_i + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

其中 SOE_{it} 表示 i 经济体或地区 t 时期的企业环境约束变量，企业面临的软约束越严重，环境污染也越严重，因此估计系数 α_3 理论预期为正； GOV_{it} 表示 i 经济体或地区 t 时期的环境治理变量，政府环境治理越积极，环境污染程度越低，因此估计系数 α_4 理论预期为负。发展战略对环境污染的中间机制识别，在一个经济体内部更容易准确识别，以及鉴于数据的可得性，我们也主要在全国跨区域样本中展开分析。

(三) 计量模型的动态性与内生性

考虑到环境因素变化在很大程度上具有惯性，前期结果往往对后期有影响（杜立民，2010），同时为缓解反向因果的可能性，因此在上述三个基本模型中引入滞后项控制滞后因素，动态面板数据模型设定为：

$$POL_{it} = \alpha_0 + \tau POL_{it-j} + \alpha_1 PGDP_{it} + \alpha_2 PGDP_{it}^2 + \alpha_3 TCI_{it} + X_{it}'\beta + \delta_t + \gamma_i + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

$$POL_{it} = \alpha_0 + \tau POL_{it-j} + \alpha_1 PGDP_{it} + \alpha_2 PGDP_{it}^2 + \alpha_3 TCI_{it} \times PGDP_{it}^2 + X_{it}'\beta + \delta_t + \gamma_i + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

其中 POL_{it-j} 表示被解释变量的 j 阶滞后项，具体的滞后阶数依据实证部分而定，其他变量的含义与静态模型一致。

另外，在没有考虑内生性的情况下，对上述方程进行估计的结果可能是有偏的。由于以下原因模型可能存在内生性问题：（1）技术选择指数作为发展战略的一个度量指标，其本身是发展战略的结果，很大程度上具有内生性；（2）由于影响环境污染的因素众多，可能存在某些同时影响发展战略和环境污染且难以观测的因素，存在遗漏变量问题。为了克服内生性问题，本文尝试对选取一些发展战略（ TCI ）的工具变量（ IV ）来缓解模型的内生性问题，例如在全球样本中选取一个经济体的国土面积以及在全国的样本中选取本地老工业基地的数目作为发展战略的工具变量。

(四) 核心变量度量说明

（1）环境污染排放。除了二氧化碳之外，目前在我国的统计体系中存在污染物排放和污染物浓度两套数据，两套数据的统计方法是完全不同的：污染物排放数据是由工业企业自报统计而成的，而 $PM_{2.5}$ 等大气或水污染物浓度数据是由各地方环保监测站直接测量形成的（王敏等，2015）。两套数据均被不同的研究者所使用，各有利弊。由于监测数据是生产、生活和交通运输性活动共同作用的结果，而从新结构经济学角度看，主要涉及与产业结构相关的环境污染。因此，选取污染物排放数据更加符合本文的研究需要。

另外，污染物排放数据中包含多个指标，如，二氧化碳、氮氧化物、工业烟尘和工业废气等气体污染物，工业化学需氧量和工业废水等液体污染物以及工业固体废弃物等，统称为工业“三废”。众多学者采用其中的一个或几个具体污染排放物来表示整体的环境污染水平（Jie He, 2006; 包群等，2006; 张少华等，2009; 朱平辉等，2010），也有通过熵权法（Ma Jianqin et al., 2010; 许和连等，2012）或其他方法（朱平芳等，2011; 沈坤荣等，2017）构造环境污染综合性指标反映环境污染的整体情况。考虑到本文基于跨国、省级和地级市层面进行实证检验，每个层面所拥有的污染物指标不同，若构建综合性指标缺乏可比性，并且不同的环境污染指标在过往的实证研究中结论都存在一定的稳健性问题。鉴于此，本文选取多个污染物的单一指标进行后续的实证检验。

（2）发展战略。为检验新结构环境经济学的主要理论假说，最关键的是要构建发展战略的度量指标。Lin & Liu(2004)构造了一个被广为采用的技术选择指数（ TCI ）来度量发展

战略的特征。由于全球各个经济体以及全国各个地方行业层面的资本存量数据难以全面获取，在过往的新结构经济学实证研究中一般选取如下的代理变量作为 TCI 指数的度量（例如，Lin, 2009, 2012; 陈斌开和林毅夫, 2013）：

$$TCI_{it} = \frac{AVM_{it}/LM_{it}}{GDP_{it}/L_{it}} \quad (17)$$

其中， AVM_{it} 是 i 经济体或地区 t 年的工业增加值； GDP_{it} 是 i 经济体或地区 t 年的国内生产总值； LM_{it} 是 i 经济体或地区 t 年的工业就业人数； L_{it} 是 i 经济体或地区 t 年的总就业人数。该 TCI 指数越大，表示 i 经济体或地区违背其比较优势的重工业赶超程度越高。

五、基于全球跨国数据的经验实证分析

（一）主要控制变量与数据来源说明

自从 Grossman 和 Krueger(1995)的开创性研究以来，引发了大量关于全球层面的环境库兹涅兹曲线的经验实证研究，但是各种结论都或多或少存在一定的稳健性问题。因此，在“环境库兹涅兹曲线”假说的分析框架下，过往的研究引入了更多的变量来控制其他因素的影响，以期达到更加稳健的结果，其中主要包括：城市化程度、贸易开放度、金融发展、能源消费等。在全球样本的经验分析中，我们也主要考虑这些控制变量。

（1）城市化程度（URBAN）。大部分文献的研究结果表明城市化程度对 CO_2 排放起到显著的增加效果(Sharma, 2011; Farhani et al., 2015)。如 Cole et al.(2004)利用跨国数据实证得出城市化水平越高将增加碳排放。Martínez-Zarzoso (2011)的研究认为发展中国家城市人口的增加导致更高的工业输出及碳排放。Barido et al.(2014)利用 80 国 1983-2005 年的跨国数据得出城镇化与碳排放的弹性系数为 0.95，即城镇化率增加 1%，导致碳排放增加 0.95%。Dogan et al.(2016)利用美国数据实证得出，城市化加重了环境恶化。借鉴 Dogan et al.(2016)等的研究，采用城镇人口占总人口作为其度量指标。

（2）贸易开放度（TRADE）。国际贸易对环境污染传导机制的研究已较为成熟，对环境污染的影响分为正负两类。其中，对环境污染产生负向影响的传导机制有：污染替代论（Displacement Hypothesis）（Rock, 1996; Cole et al, 2001）、污染天堂假说（Pollution Haven Hypothesis）（Cole, 2004）和底线赛跑（Race to bottom）（Mani et al., 1998）等；对环境污染有正向影响的传导机制有：外国直接投资（Foreign direct investment）（Dasgupta et al., 2001; Dean, 2004）、技术扩散（Diffusion of technology）（Reppelin-Hill, 1999）和国际协助（International assistance）（Dasgupta et al, 2002）等。贸易开放度对环境的净效应取决于哪类机制占主导地位（Dogan et al., 2016）。借鉴 Dogan et al.(2016)等的研究，选用贸易额占 GDP 比重作为其度量指标。

（3）金融发展（FIN）。金融发展作为获得现代环境友好型技术的一条重要渠道(Birdsall and Wheeler, 1993; Frankel and Rose, 2002)，对环境污染起到正向减排作用。一个发达健全的金融部门通过降低借贷成本，促进投资，从而有利于能源部门的技术创新，提高能源利用效率，降低污染排放（Shahbaz et al., 2010; Tamazian et al., 2008）；另外，低的借贷成本有利于政府部门从事环境友好型工程，加大环境治理力度（Dasgupta et al., 2006）。借鉴 Farhani et al. (2015) 等学者以私营部门的国内信贷占 GDP 的百分比作为金融发展的度量指标。

（4）能源消费（EP）。大量文献考虑了能源消费与环境污染之间的关系（Wolde-Rufael, 2005; Ozturk, 2010; Smyth and Narayan, 2014; Shahbaz et al., 2015）。Hossain (2011) 利用时

间序列实证得出能源消费无论在长期还是短期都显著影响 CO₂ 排放。Sharma (2011) 基于 67 个跨国样本利用动态面板模型, 实证得出能源消费显著正向影响 CO₂ 排放。Dogan et al. (2016) 利用美国 1960 - 2010 的数据实证得出, 能源消费加重了环境恶化。参考大多文献, 能源消费采用人均千克石油当量作为其度量指标。

(5) 能源结构 (ESTRU)。仅考虑能源消费量对环境污染的影响, 则无法识别出能源消费的结构效应 (Dogan et al., 2016)。Bülük et al. (2014) 将最终能源消费分为可再生能源消费和化石能源消费, 实证得出在欧盟国家中, 每单位可再生能源消耗所产生的温室气体排放是每单位化石能源的 1/2, 这意味着能源消耗向可再生能源转变可能实现温室气体的减排。Dogan et al. (2016) 利用欧美 1980-2012 年的面板数据实证得出可再生能源消费增加 1%, 则碳排放减少 0.03%; 若不可再生能源消费增加 1%, 则导致环境恶化 0.44%。考虑到能源的异质性, 不同类型能源的使用结构对环境污染的影响的不同。采用可再生能源占能源使用总量作为能源结构的度量指标, 以识别出能源消费对环境污染的结构效应。

(6) 人口规模 (POP)。基于 Ehrlich & Holdren (1971) 提出的 IPAT 模型, 及由此演化出的 STIRPAT 模型, 将人口规模、技术水平以及产业结构纳入环境污染的分析框架中, 以此分别反映规模效应、技术效应和结构效应对环境污染的影响。Shi (2003) 利用 93 国 1975-1996 年的数据, 实证得出人口对碳排放的影响在低收入国家比在高收入国家的影响更显著。Martínez et al. (2011) 基于 STIRPAT 模型, 利用 88 个国家 1975-2005 年的跨国样本实证分析人口规模、人均 GDP、产业结构和能源效率对 CO₂ 排放的影响。借鉴这些文献的做法, 采用人口总数作为反映规模效应的度量指标。

(7) 技术进步 (EG)。基于 IPAT 模型, 技术进步大多学者采用能源强度进行度量, 即 GDP 单位能源消耗。Bruvoll et al. (2003) 利用 10 种污染物的实证得出技术进步是 1970 年后能源强度降低的主要因素, 技术效应对环境污染的减排作用抵消了规模效应对环境污染的增加作用。Stern (2002) 利用 64 个国家 1973-1990 年的样本数据实证得出技术变革大大减少了 SO₂ 排放量的增加。

本文跨国样本为 198 个经济体 1960-2013 年的面板数据, 跨国数据全部来源于世界银行的 WDI 数据库。各变量的描述性统计结果如表 1 所示。

(二) 回归结果分析

表 2 报告了以人均 CO₂ 排放量作为环境污染指标的实证结果。模型 1 在控制其他变量的基础上, 检验发展阶段假说, 即环境问题是发展阶段所无法回避的客观事实。从回归结果来看, 人均 GDP 的一次项系数为正, 二次项系数为负, 均通过 1% 水平的显著性检验, 符合理论预期, 支持基本的环境库兹涅茨倒 U 型曲线假说。同时, 在模型 2-10 中, 引入发展战略变量的不同模型设定, 尽管人均 GDP 的一次项和二次项的估计系数大小存在一定差异, 但其显著性水平和系数符号均没有发生本质改变, 说明以人均 CO₂ 排放量作为环境污染指标时, 即便在不同的情景设定下, 基本的环境库兹涅茨倒 U 型曲线假说也依然是稳健成立的。基于模型 1 的估计系数估算环境库兹涅茨曲线的拐点可得, 平均而言, 当人均 GDP 约为 11178 美元 (2010 年不变价美元) 时, 将达到碳排放环境库兹涅茨曲线的理论拐点。该估计结果与 Galeotti & Lanza (2009) 得出的拐点处所对应的人均收入 13260 美元相近。

模型 2-4 在模型 1 的基础上, 平行引入发展战略因素。在模型 2 中, TCI 指数的估计系数为正, 但未通过显著性检验; 模型 3 和模型 4 分别引入 TCI 指数的滞后一期和滞后二期, 其估计结果均显著为正, 说明发展战略对环境污染的影响存在滞后效应, 具有持续性的影响。模型 5 进一步引入 TCI 指数和人均 GDP 二次项的交互项, 该项的估计系数显著为负, 符合理论预期。基于模型 2-5 的回归结果, 能够有效支持本文最主要的理论假说, 发展战略是影

响环境污染的重要因素,若采用违背比较优势的赶超战略会导致超过发展阶段的更严重的环境污染问题。此外,考虑到环境污染本身存在的滞后效应,模型 6-8 引入被解释变量的滞后一期进行估计,结果显示人均 CO₂ 排放量的滞后一期均在 1%水平上显著为正,说明环境污染是一个连续、累积的动态调整过程(李锴等, 2011)。

在控制变量中,城市化对环境污染的影响显著为正,说明城市化程度越高,随着城市人口的增加,对工业产品、交通运输等方面的需求增加,导致环境污染的境况加重;能源消费的系数显著为正,说明人均能源消费量的增加直接导致 CO₂ 排放量的增加。而与此相反的是,能源结构的系数显著为负,说明可替代能源在能源消费中的比例增加,能够有效地降低 CO₂ 排放;同时,贸易开放度的估计结果不显著,表明国际贸易对环境污染所产生的正向效应与负向影响机制对环境污染的作用大抵相等。另外,金融发展和人口规模对环境污染的影响为正,说明金融发展对环境污染没有显现出 Shahbaz et al.(2010)和 Dasgupta et al.(2006)等学者所言的正向机制,金融发展程度越深,对全球总体的环境污染程度加重,而人口因素作为规模效应的代表,规模越大对环境污染的程度越深。技术进步对环境污染的影响系数显著为负,说明研究期间内全球清洁能源技术对环境问题的改善具有显著作用。

表 3 报告了以人均氮氧化物排放量作为环境污染指标的实证结果。在相同的模型设定下,该结果与人均 CO₂ 排放量的估计结果基本相似。其中人均 GDP 及其二次项的系数符号与理论预期基本一致,但是显著性水平与人均 CO₂ 排放量相比较弱;TCI 指数对氮氧化物排放量至当期起就具有显著影响,说明违背比较优势的发展战略所造成的污染扭曲对氮氧化物影响更大更及时;同时,发展战略的交互项也显著为负,且系数大于人均 CO₂ 排放量的估计结果,说明不同污染物在发展战略的影响下,收敛的程度也存在不同。这种发展战略对不同污染物的影响程度不同则说明不同产业的不同污染属性是不同的,这也符合经验直觉。其他控制变量的估计结果均在理论预期范围内。

(三) 内生性与全球跨国层面的发展战略的工具变量

TCI 指数作为发展战略的度量指标,其本身也是政府发展战略的结果,可能是具有内生性的变量。因此,在全球跨国层面上,需要寻找一个比较贴切的发展战略的工具变量。众所周知,采取比较优势发展战略的典型代表就是亚洲四小龙,因此可以从影响亚洲四小龙发展战略选择的相对外生的因素着手选择发展战略的工具变量。

与其他发展中经济体类似,中国台湾、中国香港、韩国和新加坡在二战后十分贫穷。在上个世纪 50 年代初,它们的工业化水平很低,资本和外汇极端匮乏,人均收入低下。与其他发展中经济类似,它们也面临选择合适路径以发展经济的问题。中国台湾、韩国和新加坡一开始选择的是进口替代型违背比较优势的发展战略,但是不久就放弃了在初始阶段发展重工业的尝试。取而代之的是,根据它们的要素禀赋,积极地发展劳动密集型产业,鼓励出口,扩大外向型经济,以充分利用它们的比较优势。然而,50 年代的大多数发展中经济选择了违背比较优势的重工业赶超战略,并且在相当长的时间里维持了这一战略,尤其是苏联和中国等国家采取了数十年之久的重工业赶超战略。为什么中国香港从来没有尝试实行违背比较优势的战略,且中国台湾、韩国和新加坡也很快就从违背比较优势的发展战略转向遵循比较优势的发展战略。这些国家和地区仅仅是因为运气好,还是它们的政治领导人通过智慧选择了遵循比较优势的战略? Ranis & Syed (1992)认为成功应该归因于这些经济自然资源贫乏。此外,林毅夫(2012)认为人口规模小也是原因所在。违背比较优势的发展战略十分无效率,且成本很高。欠发达经济实行的这个战略能够维持多久,取决于政府能够动员多少资源来支持它。人均自然资源越多,或者人口规模越大,政府为了支持这一低效率战略所能够动员的资源也就越多。对于自然资源贫乏、人口规模小的经济来说,选择违背比较优势的战略很快

就会引发经济危机。那时，政府将没有其他选择，只能被迫执行改革和战略转变（Edwards,1995）。事实上，受到战后 50 年代流行的经济思想的影响和民族复兴梦想的激励，中国台湾和韩国的许多政治领导人和知识精英从未放弃加速发展资本密集型重工业的渴望。然而，它们的人均自然资源极端贫乏，人口规模也太小。例如，台湾一开始实施违背比较优势的发展战略，马上导致巨大的财政赤字和很高的通货膨胀，不久台湾政府就被迫放弃了这一战略（Tsiang, 1984）。在上个世纪 70 年代韩国选择重机、重化工业推进战略时，类似的结果也出现了，推进战略被推迟。新加坡和中国香港人口规模都太小，自然资源极度贫乏，违背比较优势的战略难以实施。与此相反，苏联、中国以及印度等大国家，地广人多，自然资源富裕，足以长期支撑起赶超战略。

因此，本文选取各国国土面积这一相对外生但对发展战略有重要影响的变量作为其工具变量，以尽量缓解内生性问题对回归结果的影响。通过 Hausman 检验和 Sargan 检验结果分别表明，TCI 指数的内生性问题是显著存在的，且回归模型不存在过度识别问题，即工具变量是有效的。从模型 9-10 的结果来看，考虑 TCI 指数的内生性问题之后并不改变前述基本结论。模型 9 采用两阶段最小二乘法的估计结果可以看出，发展战略对环境污染依然存在显著正向影响，即越是违背该国比较优势的发展战略，则可能导致其环境污染程度偏离发展阶段对应的水平，产生扭曲的过高污染。进一步检验模型设定对估计结果的影响，模型 10 采用 GMM 进行估计，其估计系数与模型 9 基本一致，则说明该估计结果是稳成立的。

六、基于全国省级数据的经验实证分析

（一）变量说明与数据来源

（1）环境污染指标。除了工业 SO₂、工业烟尘、工业废气、工业固体废弃物、工业化学需氧量、工业废水排放量等工业“三废”有直接的数据之外，国内省级层面的二氧化碳排放量尚没有官方统计数据，已有文献是对各省 CO₂ 排放量进行估算。其中具有代表性的是杜立民（2010）对 CO₂ 排放的估算方法，将化石能源消费细分为煤炭、焦炭、石油（细分为汽油、煤油、柴油、燃料油四类）和天然气，同时考虑水泥生产过程中产生的 CO₂ 排放。本文借鉴其估算方法进行各省二氧化碳排放量的估算，最终 CO₂ 排放量的计算结果与申萌（2012）、张华（2014）等基本一致。

（2）人均 GDP（PGDP）。同前一样，根据“环境库兹涅兹曲线”假说，引入人均 GDP 及其二次项检验国内的环境质量与收入水平的“倒 U 型”关系。预期人均 GDP 系数的符号显著为正，而二次项的符号显著为负。

（3）环境软约束（SOE）。由于没有更好的刻画环境软约束的指标数据，本文以国有企业作为其代理变量。理由是，国有企业通常是区域经济发展的支柱，且国有企业所在产业大多为工业部门，工业部门的排污密度高，因此，对国有企业的环境约束情况能够在较大程度上反映出地区的环境软约束水平。但是，国有企业对环境污染的影响比较复杂，可能存在正反两种效应。一方面，国有企业作为中国发展战略最为重要的载体，长期承担着政策性负担和社会性负担（林毅夫等，2000），在很大程度上可能是缺乏自生能力的。而在面临日益趋紧的环境约束时，国有企业可以凭借其承担的政策性负担和社会性负担作为与政府环保部门谈判的砝码，加上其对企业信息上的优势，具有很大的讨价还价能力；或者国有企业可以依靠其与政府部门密切的关系，通过寻租活动等机制以规避环境规制；加之甚至一些国有企业的高层管理人员在行政级别上比当地环境规制机构的行政级别还要高，从而使得环境约束

软化，国有企业最终沦为排污的主体（杨帆等，2016）。另一方面，随着十八大报告把生态文明建设放在突出地位，环境保护逐渐纳入地方政府的发展目标。地方政府为了实现生态保护，最直接的方式就是让国有企业承担起节能减排的任务，国有企业很大程度上又承担着环境保护的负担。国有企业在污染排放和清洁技术的使用上可能更加严格，从而对环境的污染减少。这也意味着国有企业承担了过多的环境负担。基于此，选取国有企业比重作为度量指标，其测度方法是国有及国有控股企业工业总产值除以地区工业总产值。

（4）环境治理（GOV）。已有文献研究发现污染治理投资对环境污染治理存在规模递增效应（Andreoni *et al.*, 2001；Managi *et al.*, 2005；郑义等，2012）。因此，借鉴这些文献的做法，本文以工业污染治理投资额及其二次项作为环境治理的度量指标，其一次项系数预期为正，二次项系数预期为负。

（5）其他控制变量。根据前文跨国分析中引入的控制变量，并结合国内分析环境污染的文献，引入以下控制变量：能源强度（EINT）（林伯强等，2014）、能源结构（ESTRU）（林伯强等，2009；李锴等，2011）、城市化程度（URBAN）（李锴等，2011；林基等，2013）、贸易开放度（TRADE）（许和连等，2012；彭水军等，2013）、人口规模（POP）（朱勤等，2010；曲如晓等，2012）。

全国省级层面的样本包括 30 个省级行政区 1997 年-2014 年的面板数据^①。各变量原始数据来源于：CCER 经济金融数据库、历年《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》以及各省统计年鉴。具体变量的描述性统计见表 4。

（二）回归结果分析

表 5-11 分别显示以人均 CO₂、工业 SO₂、工业烟尘、工业废气、工业固体废弃物、工业化学需氧量、工业废水排放量 7 类指标作为环境污染指标的回归结果，主要以人均 CO₂ 排放量的实证结果进行分析。

从表 5 以人均 CO₂ 排放量作为环境污染指标的回归结果来看，模型 1-8 在不同的模型设定下，除模型 7 外，人均 GDP 的一次项和二次项均高度显著，且一次项系数为正，二次项系数为负，支持基本的环境库次涅茨倒 U 型曲线假说。模型 2-4 检验本文的发展战略假说：模型 2 列出发展战略对环境污染的平行影响，其估计系数在 1% 的水平上高度显著为正；考虑到发展战略的长期影响，模型 3 检验发展战略滞后一期对环境污染的影响，其估计系数仍显著为正；模型 4 进一步引入发展战略与发展阶段的交互项，其估计结果显著为负，说明模型 2-4 的估计结果支持本文的关键理论假说，即违背比较优势的赶超战略会导致超过发展阶段更严重的环境污染。

模型 5 检验环境软约束与环境治理两个中间机制。从国企比重的估计结果来看，其估计系数为正，说明国有企业比重越大的地区，倾向于环境污染更严重；而估计系数未通过显著性检验，可能原因是自从 1978 年改革开放以来，我国逐渐由违背比较优势的发展战略转变为遵循比较优势的发展战略。随着改革开放和市场化改革的深化，产品市场和要素市场的扭曲逐渐消除，禀赋结构和产业结构也得到快速升级。原本不具备比较优势的资本密集型产业逐渐成为我国比较优势的产业。国有企业作为违背比较优势发展战略的产物，也由原本不具有自生能力渐渐转变为具有自生能力。在环境约束趋紧的情况下，国有企业有能力采用更为绿色环保的技术和加大环境治理投资，使得环境软约束问题得到弱化。而限于数据的可获得性，本文的样本时期选择在 1997-2014 年，这段时期国有企业在很大程度上遵循比较优势发展战略。因此，估计系数为正但不显著说明了这一点。另外，政府环境治理的度量指标工业污染治理投资额一次项系数显著为正，二次项系数显著为负，呈现出“倒 U 型”，说明在

^① 限于数据获取度，不包括西藏自治区以及港澳台地区。

一段时期内随着污染投资额增加，环境污染也是增加的，只有当环境污染投资额达到一定规模，才对环境污染治理产生显著影响，环境治理的规模效应才得以显现。进一步地，考虑到环境污染滞后效应的影响，模型 6-7 引入人均 CO₂ 的滞后一期，其估计结果均显著为正，说明环境污染问题存在惯性，对于环境治理需要一个长期的过程。较少的环境污染治理投资无助于环境污染治理。

表 6-11 分别报告工业 SO₂、工业烟尘、工业废气、工业固体废弃物、工业化学需氧量、工业废水排放量作为环境污染指标的回归结果。由于不同产业的不同污染属性和程度不同，必然导致回归结果存在一定的差异，但从各污染物的回归结果可以看出，本文的理论假说基本是得到支持的。具体而言，工业 SO₂、工业废气、工业固体废弃物与工业废水排放量的回归结果与人均 CO₂ 排放量的回归结果基本一致，其中估计结果中人均 GDP 一次项系数均为正，二次项系数均为负，大部分均通过显著性水平检验；TCI 指数的系数在上述 4 类污染物中均为正，多数通过显著性水平检验；国企比重对各环境污染物的估计系数基本都是不显著为正，说明环境软约束的中间机制稳健成立；环境污染治理投资的规模递增效应在对各污染物中均表现显著。另外，表 7 的工业烟尘排放量和表 10 工业化学需氧量排放量的回归结果中，人均 GDP 的一次项系数为负，而二次项为正，呈现为“U 型”发展，且 TCI 指数与其滞后项系数的显著性较弱。

进一步地，以二氧化碳排放为例，我们拟合三种情景来定量估算发展战略的环境效应：情景一是未考虑发展战略因素对环境污染影响时，环境库兹涅兹曲线的发展趋势；情景二是将发展战略与发展阶段作为平行的影响来识别；情景三是将发展战略与发展阶段作为交互项来识别。从图 8 中可以发现，在未考虑发展战略因素时，人均 GDP 到 80000 元时，环境库兹涅兹曲线还未出现明显的拐点；而将发展战略因素纳入分析框架后，无论是将发展战略与发展阶段作为平行或交互项来识别，环境库兹涅兹曲线均明显低于未考虑发展战略时的环境库兹涅兹曲线。特别是作为交互影响因素时，人均 GDP 达到 50000 元左右，人均 CO₂ 排放量开始下滑，污染减少，说明发展战略对于环境污染的收敛具有至关重要的作用。通过对比情景一与情景三的环境库兹涅兹曲线拐点，若人均 GDP 年均增长率按照 8.98%^① 估算，违背比较优势的发展战略会延缓环境库兹涅兹曲线大约 6 年的收敛时间。因此，如果采取比较优势发展战略，因势利导型政府再加强环境约束和环境治理，每个阶段的环境污染程度将会更低，并能够更快地冲出高污染的发展阶段。

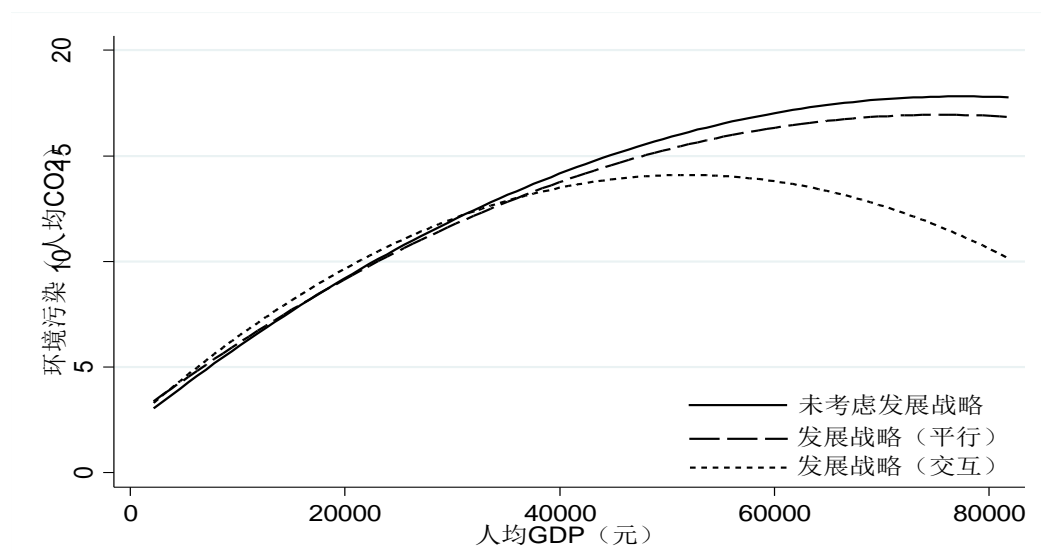


图 8 发展战略与环境库兹涅兹曲线的关系图

^① 根据世界银行 1997-2014 年间中国人均 GDP 年均增长率计算所得。

与此同时，基于发展战略与发展阶段交互项的回归结果，根据污染物库兹涅茨曲线拐点公式 $TP=\exp(-\alpha_1/\alpha_2)$ ，本文再对各类环境污染物的库兹涅茨曲线拐点进行点估计，并与已有文献的结果做对比，如表 12 所示。可以发现，平均而言，本文估算的各类环境污染物拐点相比已有研究普遍偏小。这说明考虑发展战略因素，可以降低倒 U 型曲线的弧度，遵循比较优势战略的发展路径可以让污染拐点提前到来(Munasinghe, 2005)，加速解决环境问题。

表 12 各类环境污染物环境库兹涅茨曲线拐点

污染物	已有研究估算的人均 GDP 拐点	本文估算的拐点
二氧化碳	13260 美元, Galeotti &Lanza(2006); 25100 美元, Cole(1997); 21276~28696 美元, 韩玉军等 (2009); 35428~80000 美元, Holtz-Eakin & Selden(1995); 44049 元, 刘华军 (2011); 37170 元, 林伯强 (2009); 59874 元, 许广月等 (2010); 63576 元, 魏下海 (2011);	51612 元
工业废水排放	7800 美元, Grossman &Krueger (1995); 17500 元, 司昱 (2010); 18997 元, 符淼(2008); 29581 元, 郑义等 (2014);	25308 元
工业固废	15560~34743 元, 刘华军 (2014)	18682 元
工业废气	57497.34 元, 朱平辉 (2010); 10288~45675 元, 刘华军 (2014)	15683 元
工业二氧化硫	3137 美元, Panayotou (1993); 19780 元, 郑义等(2014); 24475 元, 王勇等(2016)	18086 元
氮氧化物	23346 元, 王勇等 (2016)	12214 元

资料来源：本文整理所得。

考虑到我国地域广阔，地区间差异较大，进一步将我国各地区划分为东部、中部和西部地区，划分方式参照《中国统计年鉴》中的规定，即东部地区：北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南 11 个省（市）；中部地区：山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南 8 个省；西部地区：内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 12 个省市自治区。从表 13 的回归结果可以看出，人均 GDP 及其二次项的估计系数，除了模型 6 中不显著外（此结果与高静（2012）相似），在东部、中部和西部的回归结果均显著且符合理论预期，说明分区域样本不影响环境库兹涅茨曲线假说的成立；TCI 指数的估计系数在东部、中部和西部的实证结果显著为正，而其交互项显著为负，说明发展战略假说在不同地区仍然成立；国企比重的估计系数在东部、中部和西部地区均为正，且在西部地区通过了显著性检验，说明环境软约束在不同地区的程度有所不同，在西部地区环境软约束问题要比东部和中部地区更加严重，西部地区的国有企业受到违背比较优势发展战略的影响更大；同样，环境治理的一次项和二次项系数均符合理论预期，说明环境治理的规模效应具有普遍规律性，对环境投资要求较高。

（三）环境空间外溢效应与空间计量分析

另外，尤其是在分析国内区域间环境问题，环境污染物具有的空间外溢效应，已基本达成共识（Mirshojaeian et al., 2011; 许和连等, 2012）。考虑到环境污染物外溢性特征，进一步地，利用空间计量模型对理论假说进行实证检验。运用空间计量经济学研究空间溢出效应时，空间权重矩阵的确定是至关重要的一步（Richard et al., 2009）。已有研究文献中空间关系的设定方式主要分为地理空间权重矩阵和经济空间权重矩阵两种（Anselin, 2001; 林关平等, 2005）。为此，本文基于基本的 0-1 空间权重矩阵，结合我国各省的铁路网密度以及禀赋结构特征，分别构建以下三种空间权重矩阵：（1）0-1 空间权重矩阵，记为 W^{ad} 。该

空间权重矩阵是依据地理是否相邻来设定，地理相邻的地区被赋予“1”，其他的地区被赋予“0”，并对矩阵做行标准化处理。（2）铁路网密度空间权重矩阵，记为 W^r 。公式为：

$$W^r = W^{ad} * E^r, E^r = \frac{1}{|RD_i - RD_j|}, i \neq j \quad (18)$$

其中 E^r 表示地区铁路网密度差异矩阵，两地区的铁路网密度差异越大，表示其空间关系越弱； RD_i 表示地区 i 的铁路网密度，铁路网密度=各省市的铁路营业线路里程/各省市的国土面积。（3）禀赋结构空间权重矩阵，记为 W^{re} 。从新结构经济学视角出发，禀赋结构是分析地区经济发展的逻辑起点，而其他一系列经济因素均内生于禀赋结构。因此，采用各地区的禀赋结构来设定空间权重矩阵，而禀赋结构可以选取人均资本存量作为计量指标，具体的矩阵设定如下：

$$W^{re} = W^r * E^e, E^e = \frac{1}{|K_i - K_j|}, i \neq j \quad (19)$$

其中 W^{re} 综合反映了地区间在地理、交通和经济上的空间关系； E^e 表示地区间人均资本存量的差异矩阵。省际资本存量数据根据张军等（2004）进行补充和调整。

利用 Moran'I 指数对环境污染物和发展战略的空间相关性进行检验，环境污染物选取 CO_2 、工业废水和 SO_2 等作为代表指标，发展战略依然是 TCI 指数。结果见表 14。从表 14 的结果可以看出，在三种空间关联模式下， CO_2 排放量、工业废水和 TCI 指数均具有显著的空间正相关关系， SO_2 也均呈现空间正相关，但显著性水平较弱。通过对比在三种空间关联模式下各变量的 Moran'I 指数可以发现，总体上，以 W^{re} 空间权重矩阵测算出的 Moran'I 指数最大，其次是 W^r 矩阵，最后为 W^{ad} 矩阵，说明空间权重矩阵作为反映空间关系的代表，所含的信息越多，越能反映出区域间的空间关系。基于此，下一步利用空间滞后模型做实证检验。

由于空间模型的特征导致 OLS 估计有偏，则采用 MLE (Anselin, 1988; Case et al, 1993; Besley and Case, 1995) 进行模型的估计，估计结果如表 15。从表中来看，环境污染物的空间滞后项基本显著为正，充分验证了其外溢性特征。人均 GDP 及其二次项均通过显著性检验，估计系数符合理论预期，说明在考虑空间因素的情景下，环境库兹涅兹曲线假说仍然成立；更为重要的是，TCI 指数的估计系数在三种空间关联模式下也仍然显著为正，且与人均 GDP 的交互项显著为负，说明发展战略是影响发展阶段中环境污染不可忽视的重要因素。进一步地，从两个中间机制的估计结果来看，也均符合本文的理论预期。

（四）内生性与国内省级层面的发展战略的工具变量

在全国省级层面上，本文选取老工业基地数目作为 TCI 指数的工具变量。理由是我国各地区的技術选择指数与该地区历史上的重工业优先发展程度有关，历史上的重工业布局是当期技术选择指数的一个潜在工具变量（陈斌开和林毅夫，2013）。我国“一五”、“二五”和“三线”建设时期国家布局建设、以重工业骨干企业为依托聚集形成工业基地，其基本单元是老工业城市。根据上述历史时期国家重工业布局情况，可以确定出全国共有老工业城市 120 个，分布在 27 个省（区、市），其中地级城市 95 个，直辖市、计划单列市、省会城市 25 个。我们归纳整理出各个省所有的老工业城市数量，并绘制其与技术选择指数的散点图。从图 9 可以看出，技术选择指数与老工业基地数目存在正相关关系，老工业基地数目越多的地区，其技术选择指数将会更大。基于以上分析，利用两阶段最小二乘法进行估计，结果见表 5 和表 7-12 中的模型 8。从各污染物的结果来看，技术选择指数仍然高度显著为正，符合理论预期，说明克服内生性之后也不会从本质上影响理论假说的成立。另外人均 GDP 及其二次项的系数在预期内显著，基本的发展阶段假说仍然成立。

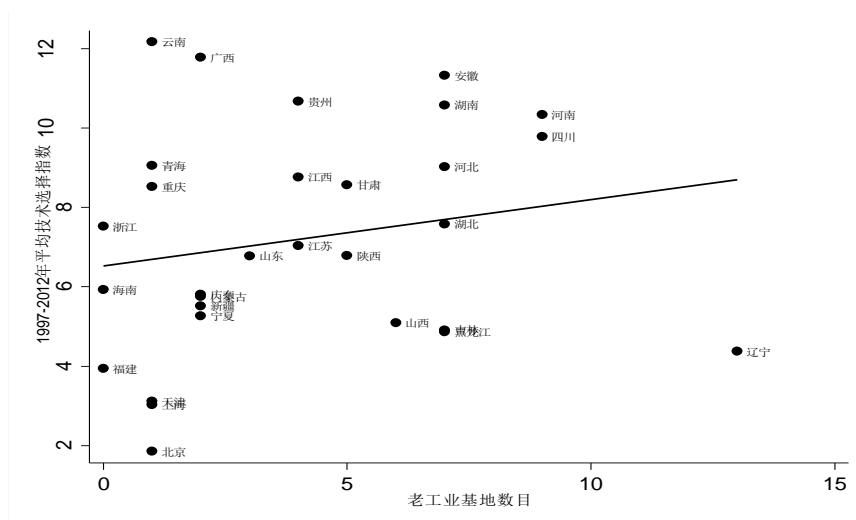


图 9 老工业基地数目与技术选择指数

(五) 安慰剂检验

为了进一步检验发展战略与环境污染之间的因果关系,本文采用生活污染排放物进行安慰剂检验。基本思路是,从新结构经济学角度看,可供选择的发展战略主要是通过影响产业结构与禀赋结构的匹配程度来影响环境污染,所涉及的主要是生产性污染。而如果采用生活污染排放物作为被解释变量,理论上发展战略的各种影响机制对其不会产生明显的影响。因此,可以预期当被解释变量换成生活污染排放物时,发展战略的估计系数应该不显著为正。具体地,选取生活污水排放量(s_water)、生活污水中化学需氧量排放量(s_cod)、生活二氧化硫排放量(s_so2)和生活烟尘排放量(s_smog)作为被解释变量,数据来源于1999-2011年的《中国统计年鉴》,估计结果见表16。从表16来看,在四种生活污染排放物的实证结果下,TCI指数及其与人均GDP二次项的估计系数均未通过显著性检验,说明安慰剂检验有效地支持本文关于发展战略与环境污染的基本理论假说。

七、基于全国地级市数据的经验实证分析

(一) 变量说明与数据来源

全球跨国和全国跨省的地区都比较宏观,为了进一步在更加微观的地区层面检验本文的理论假说,该部分实证通过国内地级市层面的样本数据进行回归分析。样本数据以全国285个地级市作为研究对象,以2003-2014年作为时间跨度,形成3420个样本数据,数据源于2004-2015年《中国城市统计年鉴》。为保持样本的连续性,去掉巢湖市、毕节市、铜仁市、海东市、三沙市以及拉萨市等数据质量欠佳的地方。其中,环境污染物指标主要有工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟尘排放量,发展战略的度量指标依然是技术选择指数。限于数据的可获得性,控制变量选取人口密度、金融开放度、地方政府支出以及利用外资程度,具体的变量统计特征见表17。图10-12分别描绘了上述3种污染物和技术选择指数之间的关系。从图示的趋势来看,三种污染物与发展战略呈现明显的正相关关系。

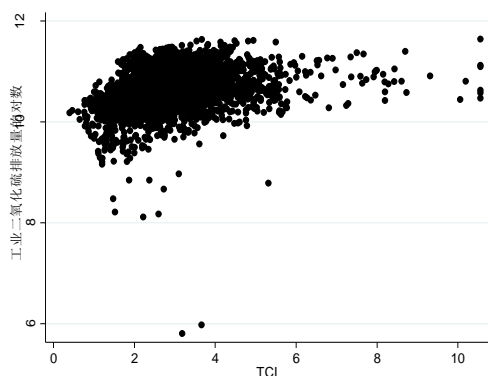


图 10 工业 SO₂ 排放量与 TCI 的散点图

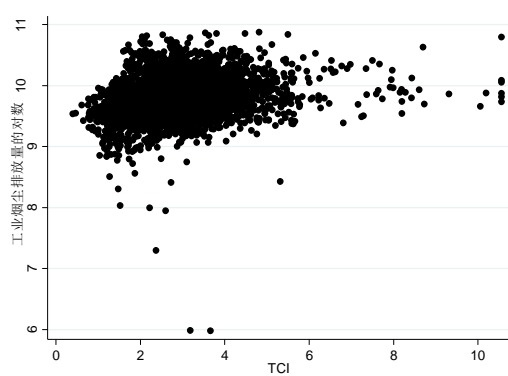


图 11 工业烟尘排放量与 TCI 的散点图

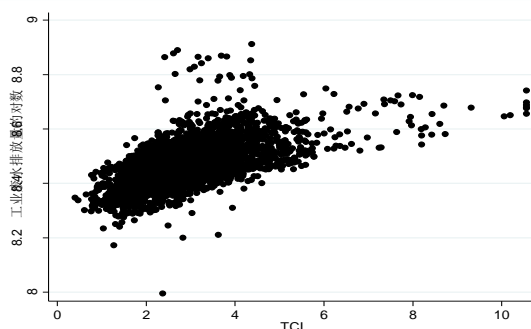


图 12 工业废水排放量与 TCI 的散点图

(二) 回归结果分析

首先，以工业 SO₂ 排放量作为环境污染指标的回归结果见表 18。限于变量数据的可获取性，主要检验本文的两个基本假说，即由结构变迁内生的环境库茨涅茨曲线假说和发展战略与环境污染假说，而未对中间机制进行检验，后续研究可以设法弥补。从模型 1-6 的结果可见，人均 GDP 一次项及其二次项的系数符合假说的预期，呈现典型的倒 U 型特征。模型 3 的技术选择指数在 1% 水平下显著为正，说明在以地级市作为研究样本的情况下，本文的理论假说仍然是成立的，即违背比较优势的赶超战略会导致超过发展阶段的更严重的环境污染。模型 4 以交互项的形式引入发展战略因素，其系数为负且显著性较弱，说明以工业 SO₂ 排放量作为环境污染指标时，发展战略主要是通过平行方式对环境污染产生影响；模型 5-6 考虑环境污染滞后效应的影响，被解释变量滞后一阶的结果显著为正，说明工业 SO₂ 排放量的环境污染存在长期持续性的过程。在控制变量中，人口规模的影响不显著；金融开放度对环境污染具有正向效应，能够有助于减少环境污染；而地方财政支出对于环境污染的影响系数为正，可能的原因是地方财政支出中用于环境支出的比例不足缺乏规模效应，导致对环境污染的影响较小；实际利用外资情况对工业 SO₂ 排放量影响不明显。

其次，以工业烟尘排放量和工业废水排放量作为环境污染指标的回归结果见表 19 和表 20，其结果大体一致。即，人均 GDP 及其二次项系数与理论预期一致，技术选择指数无论是以平行方式还是交互项的方式引入模型，其结果均匀显著地与理论预期一致。在考虑环境污染的滞后效应的情况下，其他各变量的显著性及系数均有不同程度的降低，可能的原因是各解释变量也存在一定的滞后效应，并通过因变量的滞后一期变量表现出来；在控制变量中，值得一提的是，实际利用外资变量的系数高度显著为负，说明 FDI 表现出“污染光环”效

应,即外资企业在国内通过技术外溢和知识扩散等方式促进了环保技术水平的提升,减少了国内环境污染。

(三) 安慰剂检验

在地级市层面,延续省级安慰剂检验的思路,选取生活污染排放物作为被解释变量进行安慰剂检验。限于数据可得性,仅选取 30 个省会城市 2010-2014 年城镇生活污水排放量 (swater)、生活化学需氧量排放量 (scod)、生活氨氮排放量 (snn)、生活二氧化硫 (sso2)、生活氮氧化物 (sno) 和生活烟尘 (ssmog) 作为安慰剂指标,数据来源于《中国统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。实证结果见表 21-22,可以发现安慰剂检验均有效地支持本文的理论假说,说明不存在其他未观察因素或人为控制因素导致发展战略对环境污染的影响。

八、理性认识环境污染与有为政府的治理之策

纵观全球的发展历程,环境污染是发展阶段绕不过去的问题,而且也是可以成功地治理的,需要理性认识,无须恐惧与情绪化。在给定能源结构和环境技术的情况下,不同产业的排放密度是不同的。例如,相对于农业和服务业而言制造业的排放密度较大。而不同的产业结构又是由一个经济体或地区的禀赋结构所决定的。因此,处于不同发展阶段的国家或地区,对应其禀赋结构的最优产业结构不同,因而环境污染程度也不同,例如以农业和服务业为主导的经济其环境污染程度要较工业占主导的经济高。所以说,对于像中国这样的发展中大国,要想完全避免环境污染而获得发展大抵是不可能的。尽管人们老生常谈要吸取发达工业国家的经验教训避免“先污染后治理”的老路,然而这顶多是一厢情愿罢了。与此同时,社会上也津津乐道“APEC 蓝”和“阅兵蓝”以及“政治蓝”,期待这种铁腕治污。然而,这种中断产业发展的做法虽然可以迅速换回蓝天白云,但毕竟只能是临时性的政治措施,不可能长期执行,除非顺应产业结构本身的变迁趋势。^①

尽管基本的环境污染问题是发展阶段客观存在的,但不同的发展战略却对环境污染程度

^① 据《中国经济周刊》(2015年9月7日)一篇题为“七省份联动北京全力保障‘阅兵蓝’——仅北京市就有1927家企业限停产”的文章报道:2015年9月3日,抗战胜利70周年纪念日的阅兵式令人印象深刻。为保障阅兵式完美呈现,让北京保持蓝天白云和秋高气爽,北京的空气质量成为北京和周边各省份政府的重要任务。8月25日,北京市环保局公布了《抗战胜利70周年纪念活动空气质量保障第一阶段工作情况》。情况显示,自8月20日起,北京启动了包括机动车单双号限行、工业企业停限产、土石方施工工地停工等空气质量保障措施。北京市8月20日至24日的5天PM2.5平均浓度,仅为19.5微克/立方米,创下有监测记录以来的史上最低浓度。全力保障“阅兵蓝”已成为包括北京市、天津市、河北省、河南省、山东省、山西省、内蒙古自治区在内的七省份近期空气质量治理首要方向,北京周边的部分省市,在一个月前便已启动了保障措施。今年8月,为保障中国人民抗日战争暨世界反法西斯战争胜利70周年纪念活动的空气质量,北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、山东省、河南省政府和环保部共同制定行动方案,决定从8月28日零时至9月4日24时,统一实施临时强化减排措施,确保期间区域主要污染物排放同比减排30%以上,其中北京市减排量达到40%以上。同时,七省区市共计将有12255家燃煤锅炉、工业企业及混凝土搅拌站停产限产。北京市环保局透露,全市共有1927家工业企业在抗战胜利70周年纪念活动期间采取了停限产措施,与APEC会议相比增加了15倍左右。有关纪念活动期间各地的具体减产停产情况,也陆续公布。8月5日,河北邯郸和武安地区部分钢厂收到有关阅兵期间限产的通知,通知要求8月下旬及9月初炼铁炼钢轧材整体限产30%。保定市及所辖22个县(市、区)均已拟定了各县(市、区)的空气质量保障方案,并在原有停、限产449家工业企业的基础上,再将2512家规模以上工业企业、477家建筑工地纳入了停产、停工范围。从8月28日至9月4日(共8天),山东省2381个各类产生扬尘污染的建筑工地停止作业。根据方案,在8月25日之前,山东省各市要完成淘汰燃烧小锅炉3183台的目标任务。

有根本性的影响。如果每个发展阶段都按照比较优势发展,即便存在对应的产业产生的环境污染,但却是最有利于环境的发展方式;反之,如果采取了违背比较优势的重工业赶超战略,环境污染最严重而且也难以治理。违背比较优势的重工业赶超战略较之比较优势发展战略导致的环境污染更严重的原因有以下几个方面:产业结构的污染强度过大;违背比较优势的产业中的企业是没有自生能力的,政府会扭曲资源环境和能源价格来保护这些没有自生能力的企业,而资源环境和能源价格的扭曲则会放大环境破坏或排污程度;尽管出于各种压力,政府也会出台各种环境保护法律或政策,但是如果严格执法,这些没有自生能力的企业必然无法生存,因此就会导致环保法律法规得不到有效执行,即出现环境软约束;没有自生能力的企业不但无法获得正常的利润,而且还需要政府的保护补贴,因此就无法贡献公共财政,从而也会导致政府环境治理的公共财政支出短缺,环境污染治理投资不到位达不到规模效应就难以取得治污效果。综上,由于这些原因,违背比较优势的赶超战略就会导致更加严重的环境污染。相反,如果采取比较优势的发展战略,尽管也会出现对应发展阶段的环境污染问题,但是不会出现资源环境和能源价格扭曲,以及避免出现环境软约束和环境治理公共支出不足的问题,使得政府有能力和条件治理环境,更重要的是比较优势发展战略是积累禀赋促进产业升级最快的方式,也即是冲出雾霾等环境污染最快的方式。因此,比较优势发展战略是最有利于环境的发展方式,而违背比较优势的赶超战略则是政府乱为导致严重环境污染问题以及迟迟无法解决污染问题的根源。不论来自全球跨国还是中国省级以及更微观的市级的面板数据实证分析都支持上述新结构环境经济学的主要理论假说。因此,在发展上,解决中国等发展中国家的环境污染釜底抽薪的办法是按照比较优势的发展方法比较快地从高污染的制造业进入到以绿色制造业进和服务业为主的高收入阶段。与此同时,在深化改革上,消除资源环境和能源价格扭曲以及矫正环境法律法规的软约束也有助于改善过度的环境污染。正如2015年中央全面深化改革领导小组第十六次会议审议通过了《关于推进价格机制改革的若干意见》所提出的,要健全生产领域节能环保价格。建立有利于节能减排的价格体系,逐步使能源价格充分反映环境治理成本,鼓励各地根据产业发展实际和结构调整需要,结合电力、水等领域体制改革进程,完善对“两高一剩”(高耗能、高污染、产能过剩)行业落后工艺、设备和产品生产的差别电价、水价等价格措施,对电解铝、水泥等行业实行基于单位能耗超定额加价的电价政策,加快淘汰落后产能,促进产业结构转型升级。

除了每一阶段都要按照比较优势发展之外,政府再发挥积极有为的作用促进具有后发优势的清洁能源技术的采纳还会使得污染程度更低。发达工业国家在过去经历的环境污染都是首次,缺乏成熟现成有效的清洁能源技术以及环保措施,而发展中国家则不同,可以从发达国家引进相关的技术和措施,即在清洁能源和环保技术上有后发优势。正如我们在前面的国内市级实证研究中所发现 *FDI* 表现出的“污染光环”效应。如图 13 所示,在 1997 年《京都议定书》签署之后,全球绿色技术的发明专利数量开始呈现爆发式增长。这意味着有大量现成的绿色技术可供世界各国采纳,事实上许多发展中国家也得益于绿色技术的后发优势。如图 14 所示,在过去 10 年,由于大范围推广规模更大、效率更高、排放更少的超临界、超超临界电力机组,中国燃煤电厂的总体效率取得质的飞跃。从 2005 年开始,中国煤电行业的效率水平已经高于美国的煤电行业(世界银行和国务院发展研究中心,2013,第 269 页)。尽管如此,中国依然在能源效率和绿色技术上具有充足的后发优势可供利用。例如图 15 所示,尽管过中国的单位 GDP 能源强度急剧下降,能源效率得到巨大的提高,但是离发达国家的能源效率还要很大的差距,还有很大后发优势可之利用。图 16 和图 17 罗列了诸多利用现有绿色技术所能够带来的绿色收益。然而,众所周知,即便绿色技术能够降低企业的成本或提高其市场竞争力使得企业有自发采纳的意愿,但是环境问题有非常强的外部性以及空间外溢效应,各级政府有促进绿色技术的引进与推广上责无旁贷。然而,在制定产业政策扶持低碳绿色型产业发展时,也应遵循各区域的比较优势,因地制宜、因势利导(杨洲木等,2017)。

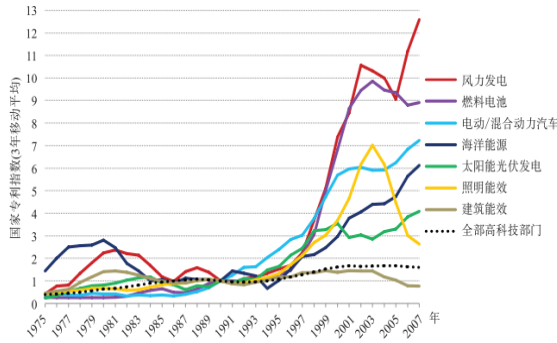


图 13 全球绿色技术专利数量增幅 (1990 为 1)

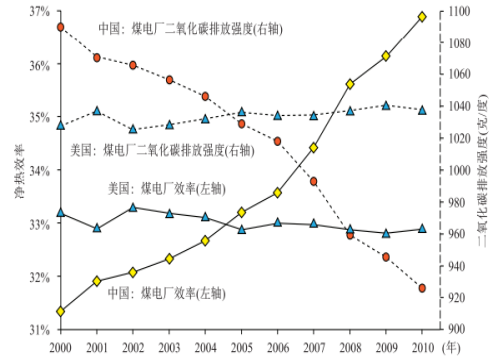


图 14 中美煤电厂的效率和碳排放比较

资料来源: 世界银行和国务院发展研究中心 (2013, 第 246 页和 267 页)。

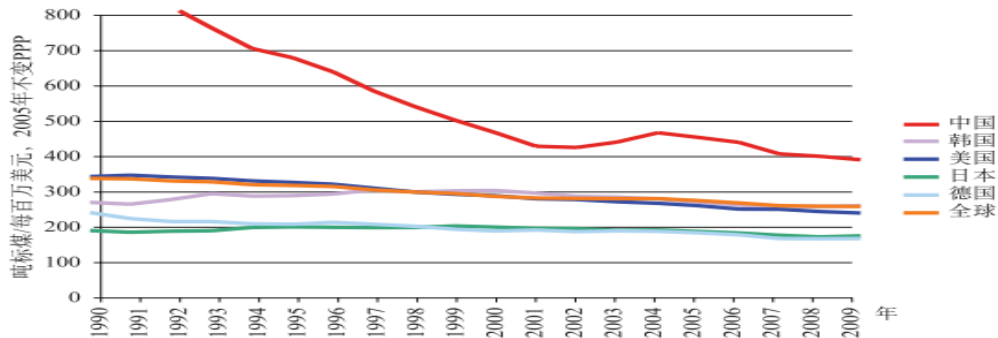


图 15 单位 GDP 能源强度:1990-2009 (单位: GDP 能源使用量)

数据来源: IEA(2011)。

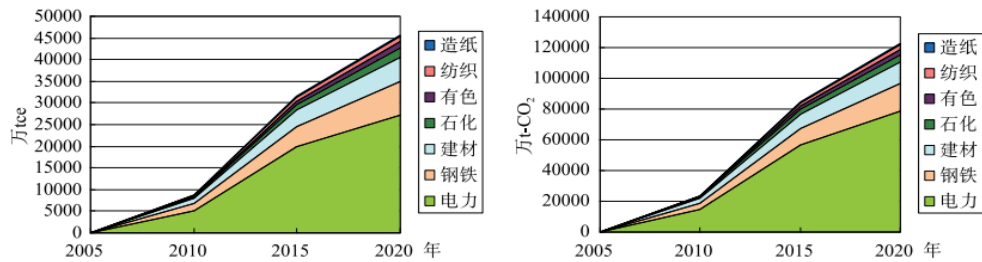


图 16 79 项重大工业节能技术在中国的推广应用的节能 (左) 和减排 (右) 潜力 (2006-2020 年)

资料来源: 冯飞等 (2011)。

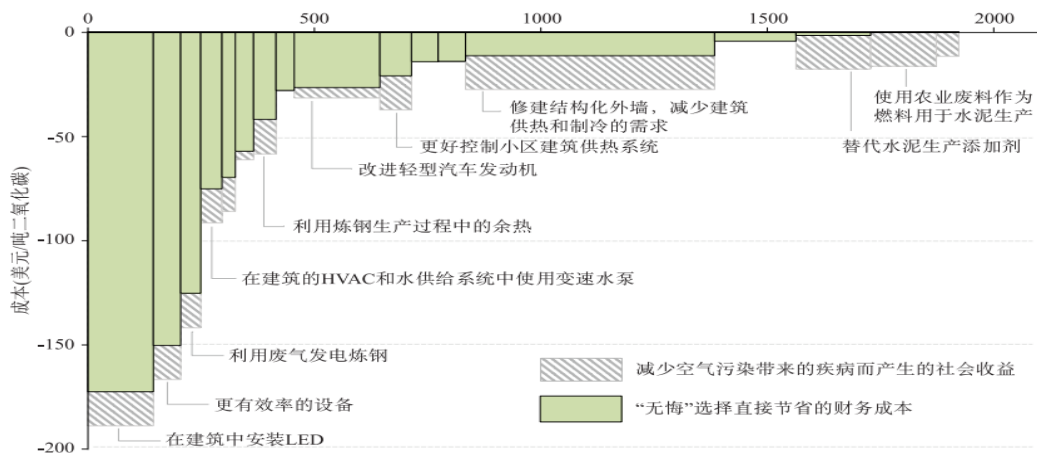


图 17 已有适用减排技术在中国应用可以节省的成本

资料来源: 世界银行和国务院发展研究中心 (2013, 第 249 页)。

参考文献

- (1) 包群、邵敏、杨大利：《环境管制抑制了污染排放吗?》，《经济研究》，2013年第12期。
- (2) 彼得·索尔谢姆：《发明污染:工业革命以来的煤、烟与文化》，上海社会科学院出版社，2016年。
- (3) 陈斌开、林毅夫：《发展战略、城市化与城乡收入差距》，《中国社会科学》，2013年第4期。
- (4) 陈斌开、林毅夫：《金融抑制、产业结构与收入分配》，《世界经济》，2012年第1期。
- (5) 杜立民：《我国二氧化碳排放的影响因素:基于省级面板数据的研究》，《南方经济》，2010年第11期。
- (6) 冯飞等：《中国低碳工业化发展战略》，中国国际环境发展合作委员会课题研究报告，2011年。
- (7) 付才辉：《构建我国自主创新的新结构经济学学科体系：综述、架构与展望》，《制度经济学研究》，2015年第4期。
- (8) 付才辉：《市场、政府与两极分化——一个新结构经济学视角下的不平等理论》，《经济学（季刊）》，2017年第1期。
- (9) 付才辉：《新结构经济学理论及其在转型升级中的应用》，《学习与探索》，2017年第5期。
- (10) 付才辉：《新结构经济学：一场经济学的结构革命——一种（偏）微分方程思路下内生（总量）生产函数的解读》，《经济评论》，2017年第3期。
- (11) 高静：《中国SO₂与CO₂排放路径与环境治理研究——基于30个省市环境库兹涅茨曲线面板数据分析》，《现代财经-天津财经大学学报》，2012年第8期。
- (12) 黄益平、王勋、华秀萍：《中国通货膨胀的决定因素》，《金融研究》，2010年第6期。
- (13) 李虹：《中国化石能源补贴与碳减排——衡量能源补贴规模的理论方法综述与实证分析》，《经济学动态》，2011年第3期。
- (14) 李锴、齐绍洲：《贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放》，《经济研究》，2011年第11期。
- (15) 林伯强、杜克锐：《理解中国能源强度的变化:一个综合的分解框架》，《世界经济》，2014年第4期。
- (16) 林伯强、蒋竺均：《中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析》，《管理世界》，2009年第4期。
- (17) 林基、杨来科：《城市化、经济增长对区域二氧化碳排放的影响——中国省域面板数据的经验研究》，《现代财经-天津财经大学学报》，2013年第8期。
- (18) 林毅夫：《解决雾霾的根本途径是成为‘发达国家’》，《北京日报》，2015年05月05日。
- (19) 林毅夫：《新结构经济学：反思发展与政策的一个理论框架》，北京大学出版社，2012年。
- (20) 林毅夫、蔡昉、李周：《中国的奇迹：发展战略与经济改革》，上海人民出版社，1994年。
- (21) 林毅夫、蔡昉、李周：《中国的奇迹：发展战略与经济改革（增订本）》，上海人民出版社，1999年。
- (22) 林毅夫、蔡昉、李周：《中国的奇迹》，上海人民出版社，2014年。
- (23) 林毅夫、陈斌开：《发展战略、产业结构与收入分配》，《经济学（季刊）》，2013年第4期。
- (24) 林毅夫、付才辉：《新结构经济学导论》，北京大学新结构经济学研究中心讲义，2016年。
- (25) 林毅夫、付才辉、王勇：《新结构经济学新在何处》，北京大学出版社，2016年。
- (26) 林毅夫、刘培林：《国企改革下一步:剥离政策性负担、提高企业的自生能力》，《中国国情国力》，2001年第11期。
- (27) 林毅夫、刘培林：《中国的经济发展战略与地区收入差距》，《经济研究》，2003年第3期。
- (28) 彭水军、张文城、曹毅：《贸易开放的结构效应是否加剧了中国的环境污染——基于地级城市动态面板数据的经验证据》，《国际贸易问题》，2013年第8期。

- (29) 曲如晓、江铨:《人口规模、结构对区域碳排放的影响研究——基于中国省级面板数据的经验分析》,《人口与经济》,2012年第2期。
- (30) 申萌、李凯杰、曲如晓:《技术进步、经济增长与二氧化碳排放:理论和经验研究》,《世界经济》,2012年第7期。
- (31) 沈坤荣、金刚、方娴:《环境规制引起了污染就近转移吗?》,《经济研究》,2017年第5期。
- (32) 世界银行和国务院发展研究中心联合课题组:《2030年的中国》,中国财政经济出版社,2013年。
- (33) 王敏、黄滢:《中国的环境污染与经济增长》,《经济学(季刊)》,2015年第1期。
- (34) 王坤宇:《国家发展战略与能源效率》,《经济评论》,2017年第5期。
- (35) 许和连、邓玉萍:《外商直接投资导致了中国的环境污染吗?——基于中国省际面板数据的空间计量研究》,《管理世界》,2012年第2期。
- (36) 席鹏辉、梁若冰、谢贞发:《税收分成调整、财政压力与工业污染》,《世界经济》,2017年第10期。
- (37) 杨帆、周沂、贺灿飞:《产业组织、产业集聚与中国制造业产业污染》,《北京大学学报(自然科学版)》,2016年第3期。
- (38) 杨木州、王文平、张斌:《低碳绿色型产业升级进程中的政策干预机理——基于新结构经济学理论框架》,《经济评论》,2017年第3期。
- (39) 张华、魏晓平:《绿色悖论抑或倒逼减排——环境规制对碳排放影响的双重效应》,《中国人口资源与环境》,2014年第9期。
- (40) 张少华、陈浪南:《经济全球化对我国环境污染影响的实证研究——基于行业面板数据》,《国际贸易问题》,2009年第11期。
- (41) 郑义、赵晓霞:《环境技术效率、污染治理与环境绩效——基于1998—2012年中国省级面板数据分析》,《中国管理科学》,2014年第s1期。
- (42) 朱勤、彭希哲、陆志明等:《人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证》,《中国人口:资源与环境》,2010年第2期。
- (43) 朱平辉、袁加军、曾五一:《中国工业环境库兹涅茨曲线分析——基于空间面板模型的经验研究》,《中国工业经济》,2010年第6期。
- (44) 朱平芳、张征宇、姜国麟:《FDI与环境规制:基于地方分权视角的实证研究》,《经济研究》,2011年第6期。
- (45) Akbostancı, Elif, S. Türüt-Aşık, and G. İ. Tunç, 2009, "The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve?." *Energy Policy*, Vol.37(3), pp.861~867.
- (46) Al-Mulali, Usama, and L. Sheau-Ting, 2014, "Econometric analysis of trade, exports, imports, energy consumption and CO₂ emission in six regions." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol.33(2), pp.484~498.
- (47) Al-Mulali, Usama, et al., 2015, "Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation." *Ecological Indicators*, Vol.48, pp.315~323.
- (48) Andreoni, James, and A. Levinson, 1998, "The simple analytics of the environmental Kuznets curve." *Journal of Public Economics*, Vol.80(2), pp.269~286.
- (49) Barido, Diego Ponce De Leon, and J. D. Marshall, 2014, "Relationship between Urbanization and CO₂ Emissions Depends on Income Level and Policy." *Environmental Science & Technology*, Vol.48 (7), pp.3632~9.
- (50) Birdsall, Nancy, and D. Wheeler, 1993, "Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where Are the Pollution Havens?." *The Journal of Environment & Development: A Review of International Policy*, Vol.2(1), pp.137~149.

- (51) Bölük, Gülden, and M. Mert, 2014, "Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries." *Energy*, Vol.74, pp.439~446.
- (52) Bruvold, Annegrete, and H. Medin, 2003, "Factors Behind the Environmental Kuznets Curve. A Decomposition of the Changes in Air Pollution." *Environmental and Resource Economics*, Vol.24(1), pp.27-48.
- (53) Brock, W., and M. Taylor, 2005, "Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics", *Handbook of Economic Growth*, pp.1749~1821.
- (54) Chen W, Wu F, Geng W, et al., 2016, "Carbon emissions in China's industrial sectors", *Resources Conservation & Recycling*, Vol.117, pp. 264~273.
- (55) Cole, Ma, R. Elliot, and A. Ashar, 2001, "The Determinants of Trade in Pollution Intensive Industries: North-South Evidence." *Department of Economics Discussion Paper*.
- (56) Cole, Matthew A, 2004, "Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages." *Ecological Economics*, Vol.48 (1), pp.71~81.
- (57) Cole, Matthew A., and E. Neumayer, 2004, "Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution." *Population & Environment*, Vol.26 (1), pp.5~21.
- (58) Dasgupta, Susmita, and D. Wheeler, 2002, "Confronting the Environmental Kuznets Curve." *Journal of Economic Perspectives*, Vol.16(1), pp.147~168.
- (59) Dasgupta, Susmita, B. Laplante, and N. Mamingi, 2001, "Pollution and Capital Markets in Developing Countries." *Journal of Environmental Economics & Management*, Vol.42 (3), pp.310~335.
- (60) Dasgupta, Susmita, et al, 2006, "Disclosure of environmental violations and stock market in the Republic of Korea ." *Ecological Economics*, Vol.58(4), pp.759~777.
- (61) Dean, Judith M, 2004, "Foreign Direct Investment and Pollution Havens: Evaluating the Evidence from China." *Access & Download Statistics*.
- (62) Dogan, E, and B. Turkekul, 2016, "CO₂ emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA. " *Environmental Science and Pollution Research*, Vol.23(2), pp.1203~1213.
- (63) Dogan, Eyup, and F. Seker, 2016, "Determinants of CO₂, emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy." *Renewable Energy*, Vol.94, pp.429~439.
- (64) Edwards, S., 1995, *Crisis and Reform in Latin America: From Despair to Hope*. New York: Oxford University Press.
- (65) Ehrlich P R, Holdren J P, 1971, "Impact of population growth", *Science*, Vol.171 (3977), pp.1212~7.
- (66) Farhani, Sahbi, and I. Ozturk, 2015, "Causal relationship between CO₂, emissions, real GDP, energy consumption, financial development, trade openness, and urbanization in Tunisia." *Environmental Science and Pollution Research*, Vol.22(20), pp.15663~15676.
- (67) Fodha, M., and O. Zaghoud, 2010, "Economic growth and pollutant emissions in Tunisia: An empirical analysis of the environmental Kuznets curve." *Energy Policy*, Vol.38(2), pp.1150~1156.
- (68) Frankel, Jeffrey, and A. Rose, 2002, "An Estimate Of The Effect Of Common Currencies On Trade And Income." *Quarterly Journal of Economics*, Vol.117 (2), pp.437~466.
- (69) Grossman, Gene M., and A. B. Krueger, 1992, "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement." *Social Science Electronic Publishing*, Vol.8 (2), pp.223~250.
- (70) Grossman, Gene M., and A. B. Krueger, 1995, "Economic Growth and the Environment", *Quarterly Journal of Economics*, Vol.110(2), pp.353~377.
- (71) Hao, Yu, et al, 2015, "Is there convergence in per capita SO₂, emissions in China? An empirical study using city-level panel data." *Journal of Cleaner Production*, Vol.108, pp.944~954.

- (72) Hossain, Md. Sharif, 2011, "Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries." *Energy Policy*, Vol.39(11), pp.6991~6999.
- (73) Huang, Y., 2010, "Dissecting the china puzzle: asymmetric liberalization and cost distortion". *Asian Economic Policy Review*, Vol.5(2), pp.281~295.
- (74) IEA (International Energy Agency), 2011, *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Paris: OECD.
- (75) Islam, Faridul, et al., 2013, "Financial development and energy consumption nexus in Malaysia: A multivariate time series analysis." *Economic Modelling*, Vol.30(1), pp.435~441.
- (76) Jalil, Abdul, and M. Feridun, 2011, "The impact of growth, energy and financial development on the environment in China: A cointegration analysis." *Danish Medical Bulletin*, Vol.33(2), pp.284~291.
- (77) John, A., and R. Pecchenino, 1994, "An Over Lapping Generations Model of Growth and the Environment", *Economic Journal*, Vol.104(427), pp.1393~1410.
- (78) Kaya, Yoichi, 1989, "Global Environmental Problem and Simulation Technology." *Journal of the Japan Society for Simulation Technology*, Vol.8.
- (79) Lee, Chien Chiang, and J. D. Lee, 2009, "Income and CO₂, emissions: Evidence from panel unit root and cointegration tests." *Energy Policy*, Vol.37(2), pp.413~423.
- (80) Lin J.Y. and M. Li u "Development Strategy: Transition and Challenges of Development in Lagging Regions, "in F. Bourguignon and B. Pleskovic, eds., *Annual World Bank Conference on Development Economics 2004: Accelerating Development*, Bangalore Conference Proceedings, Washington D. C.: World Bank.
- (81) Managi, Shunsuke, et al., 2005, "Stochastic frontier analysis of total factor productivity in the offshore oil and gas industry." *Ecological Economics*, Vol.60(1), pp.204~215.
- (82) Mani, Muthukumara, and D. Wheeler, 1998, "In Search of Pollution Havens? Dirty Industry in the World Economy, 1960 - 1995." *The Journal of Environment & Development: A Review of International Policy*, Vol.7(3), pp.215~247.
- (83) Martínez-Zarzoso, Inmaculada, and A. Maruotti, 2011, "The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries." *Ecological Economics*, Vol.70(7), pp.1344~1353.
- (84) Ma, Jianqin, J. Guo, and X. Liu, 2010, "Water Quality Evaluation Model Based on Principal Component Analysis and Information Entropy: Application in Jinshui River." *Journal of Resources and Ecology*, Vol.1, pp.248~251.
- (85) Ozturk, Ilhan, and A. Acaravci, 2010, "CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol.14(9), pp.3220~3225.
- (86) Ozturk, Ilhan, and A. Acaravci, 2013, "The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey." *Energy Economics*, Vol.36 (s 1-2), pp.262~267.
- (87) Ranis, Gustav, and Mahmood Syed, 1992, *The Political Economy of Development Policy Change*. Cambridge, Mass: Blackwell.
- (88) Reppelin-Hill, Val érie, 1999, "Trade and Environment: An Empirical Analysis of the Technology Effect in the Steel Industry." *Journal of Environmental Economics & Management*, Vol.38(3), pp.283~301.
- (89) Rock, Michael T, 1996, "Pollution intensity of GDP and trade policy: Can the World Bank be wrong?." *World Development*, Vol.24 (3), pp.471~479.
- (90) Saidi, Kais, and M. B. Mbarek, 2016, "The impact of income, trade, urbanization, and financial development on CO₂ emissions in 19 emerging economies." *Environmental Science & Pollution Research*, pp.1~10.
- (91) Selden, Thomas M., and D. Song, 1994, "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?." *Journal of Environmental Economics & Management*, Vol.27 (2) ,

pp.147~162.

(92) Shahbaz, Muhammad, et al, 2015, "Does renewable energy consumption add in economic growth? An application of auto-regressive distributed lag model in Pakistan." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol.44, pp.576~585.

(93) Shahbaz, Muhammad, S. M. A. Shamim, and N. Aamir, 2010, "Macroeconomic Environment and Financial Sector's Performance:Econometric Evidence from Three Traditional Approaches." *Iup Journal of Financial Economics*, Vol.viii, pp.103~123.

(94) Sharma, Susan Sunila, 2011, "Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries." *Applied Energy*, Vol.88(1), pp.376~382.

(95) Shi, Anqing, 2003, "The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975 - 1996: evidence from pooled cross-country data." *Ecological Economics*, Vol.44(1), pp.29~42.

(96) Smyth, Russell, and P. K. Narayan, 2014, "Applied econometrics and implications for energy economics research." *Energy Economics*, Vol.13(2), pp.2325~2330.

(97) Stern, David I, 2002, "Explaining changes in global sulfur emissions: an econometric decomposition approach." *Ecological Economics*, Vol.42(1-2), pp.201~220.

(98) Stern, David I, 2004, "The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve." *World Development*, Vol.32(8), pp.1419~1439.

(99) Stokey, Nancy L, 1998, "Are There Limits to Growth?." *International Economic Review*, Vol.39(1), pp.1~31.

(100) Tamazian, Artur, J. P. Chousa, and K. C. Vadlamannati, 2009, "Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: Evidence from BRIC countries." *Energy Policy*, Vol.37(1), pp.246~253.

(101) Tsiang, Sho-Chieh, 1984, "Taiwan's Economic Miracle: Lessons in Economic Development." *In World Economic Growth: Case Studies of Developed and Developing Nations*, ed. Arnol C. Harberger. San Francisco: ICS.

(102) Wolde-Rufael, Yemane, 2005, "Energy demand and economic growth: An African experience." *Journal of Policy Modeling*, Vol.27(8), pp.891~903.

Development Strategy and Environmental Pollution

——A Theoretical and Empirical Analysis of New Structural Environmental Economics

Abstract

Based on the analysis framework of new structural economics (NSE), this paper proposes a theoretical hypothesis of a new structural environmental economics. That is, the countries or regions in different stages of development, corresponding to the optimal industrial structure of its endowment structure, the emission density of different industrial structure is different, therefore, the degree of environmental pollution is also different. If the government chooses the catching-up strategy, results in excessive industrial pollution intensity, distorting the resource environment and energy prices to protect enterprises without viability. Moreover, environmental laws and regulations are not effectively implemented and the emergence of environmental soft constraints, shortage of environmental governance in public finances, resulting in more serious environmental pollution. On the other hand, if it adopts the strategy of comparative advantage, although there will be environmental pollution problems at the corresponding development stage, the resource environment and energy price distortions will not appear, and the government has the ability to govern the environment. In addition, the government plays a positive role to promote the use of clean energy technologies with advantage of backwardness, results in lower levels of pollution. The empirical analysis of panel data from global cross-border and Chinese provincial and city level supports the main theoretical hypothesis of the new structural environmental economics. In terms of recommendations, the paper argues that the solution to the problem of environmental pollution that is a development stage problem is to enter the high-income-based service sector and green manufacturing by comparative-follow development strategy.

Key words: development strategy; environmental pollution; new structure environmental economics

表 1 跨国各变量的统计特征

变量	含义	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
COP	人均 CO2	9380	4.045	6.199	0.001	99.840
NOP	人均氮氧化物	8607	38737.170	223555.900	0.000	3260053.000
TCI	技术选择指数	3185	2.717	4.143	0.144	50.289
PGDP	人均 GDP	3844	13829.820	16717.400	142.019	115747.600
PGDP2	人均 GDP 平方项	3844	4.710E+08	1.250E+09	20169.340	1.340E+10
URBAN	城市化程度	11332	49.150	25.316	2.077	100.000
EP	能源消费	5846	2210.121	2761.861	9.715	40710.110
TRADE	贸易开放度	7841	76.961	51.192	0.000	531.737
EG	技术进步	3310	8.404	7.123	0.835	219.686
ESTRU	能源结构	6356	28.989	13.209	2.531	98.220
FIN	金融发展	7372	37.151	34.782	0.000	312.154
POP	人口规模	10906	310.413	1563.240	0.099	21595.350

表 2 跨国人均 CO2 排放量 (COP) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8	模型 9	模型 10
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 滞后二期	发展战略 (交互)	动态性 (发展战 略当期)	动态性 (发展战略滞 后一期)	动态性 (发展战 略交互项)	工具变量 2SLS	工具变量 GMM
TCI		0.001 (0.445)				0.003 (0.814)			0.117*** (6.567)	0.120*** (6.627)
L.TCI			0.007** (2.259)				0.008*** (2.699)			
L2.TCI				0.007** (2.046)						
TCL_PGDP2					-0.014** (-2.165)			-0.011** (-2.280)		
L.COP						0.052*** (11.160)	0.053*** (11.686)	0.568*** (27.878)		
PGDP	0.047*** (2.605)	0.041*** (9.042)	0.043*** (9.707)	0.043*** (9.757)	0.150*** (6.104)	0.035*** (8.243)	0.037*** (8.741)	0.090*** (4.742)	0.095*** (12.971)	0.089*** (12.086)
PGDP2	-0.211*** (-9.385)	-0.063*** (-12.117)	-0.065*** (-12.681)	-0.066*** (-12.894)	-0.311*** (-10.590)	-0.049*** (-9.624)	-0.050*** (-9.967)	-0.158*** (-6.832)	-0.144*** (-13.714)	-0.136*** (-13.410)
URBAN	0.033*** (5.273)	0.018*** (10.630)	0.018*** (11.126)	0.020*** (12.570)	0.039*** (4.209)	0.016*** (9.800)	0.016*** (10.164)	0.015** (2.153)	0.011*** (9.675)	0.011*** (9.742)
EP	1.987*** (36.936)	0.083*** (5.539)	0.067*** (4.853)	0.059*** (4.591)	1.670*** (20.342)	0.008 (0.496)	-0.006 (-0.411)	0.842*** (12.095)	0.107*** (3.650)	0.133*** (4.500)
TRADE	-0.003**	0.001*	0.001	0.001	-0.002	0.001	0.001	-0.001	0.001***	0.001**

新结构经济学工作论文

	(-2.273)	(1.671)	(1.580)	(0.323)	(-0.215)	(1.546)	(1.634)	(-0.793)	(2.867)	(2.171)
EG	-0.051**	-0.049***	-0.052***	-0.048***	-0.183***	-0.042***	-0.043***	-0.098***	-0.051***	-0.049***
	(-2.512)	(-8.641)	(-9.486)	(-8.940)	(-5.896)	(-7.642)	(-8.338)	(-4.071)	(-6.553)	(-6.194)
ESTRU	-0.034***	-0.011***	-0.011***	-0.012***	-0.043***	-0.010***	-0.010***	-0.033***	-0.012***	-0.012***
	(-5.411)	(-6.675)	(-7.190)	(-7.399)	(-4.865)	(-6.437)	(-6.898)	(-4.916)	(-8.846)	(-9.472)
FIN	0.003***	0.001***	0.001**	0.001***	0.004***	0.001	0.001	0.001	0.002***	0.002***
	(2.779)	(2.697)	(2.478)	(2.791)	(3.585)	(1.130)	(0.972)	(0.465)	(6.096)	(5.776)
POP	0.001	0.004***	0.004***	0.004***	0.003	0.004***	0.004***	0.001	0.001**	0.001*
	(1.008)	(11.348)	(11.709)	(11.749)	(1.433)	(11.283)	(11.682)	(0.233)	(2.018)	(1.657)
_cons	-0.990***	-0.946***	-0.919***	-1.014***	-1.509***	-0.859***	-0.831***	-0.533	-0.859***	-0.773***
	(-2.984)	(-9.265)	(-9.279)	(-10.341)	(-2.710)	(-8.836)	(-8.854)	(-1.244)	(-4.867)	(-4.315)
N	2195	1216	1250	1265	1216	1216	1250	1216	1129	1129
r2	0.610	0.537	0.541	0.542	0.603	0.584	0.590	0.767	0.851	0.850
F	321.654	117.183	122.519	124.754	153.273	129.753	136.985	303.518		

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 3 跨国人均氮氧化物 (NO) 排放量的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8	模型 9
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 滞后三期	发展战略 (交互)	动态性 (发展战 略当期)	动态性 (发展战 略交互项)	工具变量 2SLS	工具变量 GMM
TCI		0.041** (2.051)				0.103 (1.393)		0.070* (1.648)	0.184*** (3.330)
L.TCI			0.043** (2.206)						
L2.TCI				0.045** (2.267)					
TCI_PGDP2					-0.398*** (-3.242)		-0.180* (-1.482)		
L.NO						0.993*** (347.724)	0.994*** (355.365)		
PGDP	0.144*** (2.758)	0.011 (0.607)	0.026 (1.517)	0.041** (2.490)	0.028** (2.133)	0.015 (0.848)	0.007 (0.404)	0.066*** (6.660)	0.103*** (5.387)
PGDP2	-0.308*** (-4.643)	0.064** (2.573)	0.047* (1.934)	0.031 (1.309)	-0.070 (-0.952)	-0.005 (-0.183)	-0.012 (-0.418)	-0.141 (-1.469)	-0.047 (-1.589)
URBAN	-0.074*** (-4.696)	0.014*** (4.714)	0.013*** (4.651)	0.012*** (4.407)	0.013*** (4.164)	0.003 (1.015)	0.003 (0.934)	0.016*** (4.291)	0.014*** (4.168)
EP	-0.085 (-0.538)	-0.328*** (-5.627)	-0.376*** (-6.830)	-0.436*** (-8.443)	-0.350*** (-5.971)	-0.125** (-2.172)	-0.128** (-2.220)	-0.377*** (-5.603)	-0.480*** (-7.893)
TRADE	-0.007** (-2.099)	-0.022*** (-22.307)	-0.021*** (-22.865)	-0.021*** (-23.369)	-0.022*** (-22.806)	-0.001 (-1.275)	-0.002 (-1.478)	-0.022*** (-19.056)	-0.022*** (-18.344)

新结构经济学工作论文

EG	-0.107*	-0.167***	-0.175***	-0.185***	-0.167***	-0.026	-0.025	-0.176***	-0.205***
	(-1.847)	(-8.511)	(-9.230)	(-10.133)	(-8.015)	(-1.338)	(-1.281)	(-8.571)	(-10.647)
ESTRU	-0.032*	-0.010***	-0.009***	-0.009**	-0.007**	0.001	0.002	-0.007*	-0.006
	(-1.885)	(-2.769)	(-2.594)	(-2.424)	(-1.998)	(0.402)	(0.544)	(-1.933)	(-1.551)
FIN	-0.007**	0.005***	0.005***	0.004***	0.005***	-0.001	-0.001	0.004**	0.000
	(-2.477)	(4.595)	(4.312)	(4.028)	(4.672)	(-0.627)	(-0.475)	(2.470)	(0.230)
POP	-0.003	0.001***	0.001***	0.001***	0.001***	0.000	0.000	0.001***	0.002***
	(-1.518)	(3.248)	(3.826)	(4.065)	(3.137)	(1.033)	(1.080)	(3.070)	(5.549)
_cons	12.590***	10.213***	10.198***	10.239***	11.519***	0.419	0.551	12.116***	9.551***
	(12.690)	(38.762)	(39.519)	(40.774)	(11.503)	(1.117)	(1.452)	(8.309)	(23.471)
N	2189	1216	1250	1265	1216	1216	1216	1074	1074
r ²	0.410	0.400	0.405	0.418	0.403	0.991	0.994	0.426	0.396
F	71.239	73.093	76.737	81.644	73.836	180.236	180.784		

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 4 省级各变量的统计特征

变量	含义	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
COP	二氧化碳	480	8.34	6.22	0.92	45.19
SO2	二氧化硫	480	601529.10	388425.40	16891	1760057
SMOG	工业烟尘	480	288302.70	222762.70	6520	1432735
GAS	工业废气	480	10269.08	10366.54	313	77185
SOLID	工业固体废弃物	480	5119.43	5501.34	69	45576
COD	工业化学需氧量	480	207127.40	216088.60	1097	1570790
WATER	工业废水	480	84828.44	104107.60	2067	938114
PGDP2	人均 GDP	480	19002.47	16480.10	2199.06	91242.12
PGDP2	人均 GDP 平方项	480	6.32E+08	1.17E+09	4835853	8.33E+09
TCI	技术选择指数	480	7.19	3.32	1.49	15.44
SOE	国企比重	480	0.48	0.21	0.09	0.90
GOV	环境治理	480	112794.20	122397.90	804	894746
EINT	能源强度	480	2.42	4.25	0.40	40.41
ESTRU	能源结构	480	0.56	0.14	0.13	0.84
TRADE	对外贸易	480	0.34	0.70	0.03	12.81
URBAN	城市化程度	480	0.46	0.16	0.22	0.89
POP	人口规模	480	3.80	4.38	0.07	28.89
COUNTS	老工业基础数目	480	4.00	3.24	0	13

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 5 省级人均 CO2 排放量 (COP) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性 (发展战略 当期)	动态性 (发展战略 交互项)	以老工业基地数目 为工具变量
PGDP	0.453*** (10.784)	0.444*** (10.630)	0.437*** (9.847)	0.279*** (5.078)	0.365*** (8.496)	0.043** (2.284)	-0.012 (-0.530)	0.439*** (9.963)
PGDP2	-0.280*** (-6.111)	-0.255*** (-5.511)	-0.249*** (-4.851)	-0.085** (-2.325)	-0.189*** (-4.064)	-0.057*** (-2.855)	-0.012 (-0.510)	-0.252*** (-4.950)
TCI		0.196*** (2.856)				0.062** (2.161)		0.194** (2.241)
L.TCI			0.168** (2.232)					
TCI_PGDP2				-1.238*** (-4.774)			-0.450*** (-3.972)	
SOE					-1.148 (-1.078)			
GOV					0.067*** (6.203)			
GOV2					-0.022*** (-3.772)			
L.COP						0.982*** (48.558)	0.973*** (48.434)	
EINT	-0.315** (-1.971)	-0.253 (-1.583)	-0.349* (-1.933)	-0.095 (-0.584)	-0.223 (-1.461)	-0.037 (-0.534)	0.018 (0.249)	-0.351* (-1.954)

新结构经济学工作论文

ESTRU	0.153*** (4.788)	0.173*** (5.330)	0.164*** (4.788)	0.185*** (5.806)	0.142*** (4.707)	0.037*** (2.809)	0.042*** (3.176)	0.163*** (4.781)
URBAN	0.705 (1.506)	0.358 (0.746)	0.337 (0.643)	-0.376 (-0.738)	0.291 (0.645)	0.287 (1.454)	-0.011 (-0.052)	0.370 (0.715)
TRADE	-0.341*** (-4.292)	-0.322*** (-4.073)	-0.326*** (-3.878)	-0.271*** (-3.427)	-0.278*** (-3.667)	-0.027 (-0.819)	-0.013 (-0.392)	-0.317*** (-3.777)
POP	0.912*** (4.479)	0.972*** (4.788)	0.958*** (3.786)	1.048*** (5.222)	0.997*** (5.168)	0.157 (1.585)	0.102 (1.024)	-0.950*** (-3.776)
_cons	-5.328* (-1.716)	-6.236** (-2.014)	-5.079 (-1.548)	-25.902*** (-4.916)	-2.835 (-0.927)	-4.020*** (-3.184)	-11.020*** (-5.003)	-5.450* (-1.662)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.715	0.720	0.719	0.729	0.747	0.959	0.960	
F	138.666	126.160	116.967	131.868	117.817	953.318	979.937	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 6 省级人均 SO2 排放量 (SO) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性 (发展战略 当期)	动态性 (发展战略 交互项)	以老工业基地数目 为工具变量
PGDP	0.048** (2.117)	0.038* (1.725)	0.035 (1.508)	0.096*** (3.425)	0.016 (0.676)	-0.015 (-0.592)	0.056* (1.954)	0.038 (1.642)
PGDP2	-0.081*** (-3.246)	-0.051** (-2.104)	-0.032 (-1.188)	-0.081*** (-3.267)	-0.045* (-1.746)	-0.009 (-0.356)	-0.025 (-0.952)	-0.035 (-1.325)
TCI		0.235*** (6.528)				0.207*** (5.484)		0.224*** (4.958)
L.TCI			0.194*** (4.897)					
TCI_PGDP2				-0.136*** (-2.891)			-0.226*** (-4.808)	
SOE					-0.315 (-0.538)			
GOV					0.039*** (6.521)			
GOV2					-0.018*** (-5.688)			
L.SO						0.130*** (4.874)	0.179*** (6.491)	
EINT	-0.266*** (-3.064)	-0.192** (-2.292)	-0.183* (-1.928)	-0.230*** (-2.637)	-0.231*** (-2.746)	-0.144 (-1.573)	-0.115 (-1.239)	-0.185** (-1.979)

新结构经济学工作论文

ESTRU	0.044** (2.561)	0.068*** (4.029)	0.079*** (4.377)	0.045*** (2.613)	0.040** (2.426)	0.061*** (3.455)	0.040** (2.307)	0.077*** (4.347)
URBAN	0.879*** (3.455)	0.463* (1.843)	0.250 (0.908)	0.786*** (3.092)	0.599** (2.412)	0.277 (1.065)	0.420 (1.624)	0.289 (1.070)
TRADE	-0.330*** (-3.093)	-0.321*** (-3.147)	1.302** (2.109)	-0.329*** (-3.112)	-0.332*** (-3.239)	1.270** (2.141)	1.105* (1.851)	1.281** (2.102)
POP	0.131 (1.185)	0.059 (0.553)	-0.084 (-0.631)	0.004 (0.034)	0.089 (0.840)	0.072 (0.553)	-0.022 (-0.164)	-0.074 (-0.563)
_cons	-0.644 (-0.382)	-1.731 (-1.067)	-0.970 (-0.562)	-0.361 (-0.215)	0.587 (0.349)	-1.211 (-0.728)	0.184 (0.110)	-1.399 (-0.817)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.290	0.353	0.290	0.303	0.353	0.346	0.335	
F	22.600	26.715	18.697	21.352	21.798	21.662	20.671	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 7 省级人均工业烟尘排放量 (SMOG) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性 (发展战略 当期)	动态性 (发展战略 交互项)	以老工业基地数目 为工具变量
PGDP	-0.005 (-0.738)	-0.002 (-0.363)	-0.003 (-0.586)	-0.018*** (-2.596)	-0.002 (-0.348)	-0.002 (-0.321)	-0.022** (-2.234)	-0.024 (-1.462)
PGDP2	0.019** (2.212)	0.014* (1.756)	0.017** (2.566)	0.021*** (3.411)	0.014** (2.203)	0.008 (1.376)	0.057** (2.535)	0.071* (1.712)
TCI		0.012 (1.274)				0.030*** (3.516)		0.027* (1.806)
L.TCI			0.024** (2.538)					
TCI_PGDP2				-0.025** (-2.155)			-0.012 (-1.162)	
SOE					-0.567*** (-3.890)			
GOV					0.003* (1.828)			
GOV2					-0.002*** (-2.847)			
L.SMOG						0.451*** (10.300)	0.434*** (9.810)	
EINT	-0.051** (-2.399)	-0.053** (-2.486)	-0.064*** (-2.756)	-0.063*** (-2.965)	-0.049** (-2.339)	-0.046** (-2.242)	-0.052** (-2.460)	0.016** (2.375)

新结构经济学工作论文

ESTRU	0.010** (2.447)	0.009** (2.139)	0.013*** (2.973)	0.012*** (2.778)	0.011*** (2.730)	0.008** (2.132)	0.010*** (2.661)	0.031*** (11.795)
URBAN	-0.007 (-0.120)	0.004 (0.060)	-0.011 (-0.169)	0.070 (1.130)	0.041 (0.667)	-0.025 (-0.418)	0.011 (0.162)	-0.099 (-1.614)
TRADE	-0.053** (-2.039)	-0.054** (-2.042)	0.112 (0.744)	-0.054** (-2.067)	-0.046* (-1.808)	0.087 (0.647)	0.073 (0.538)	-0.640*** (-4.436)
POP	0.087*** (3.509)	0.089*** (3.575)	0.141*** (4.338)	0.109*** (3.780)	0.131*** (4.974)	0.081*** (2.744)	0.072** (2.306)	0.011 (1.224)
_cons	12.221*** (29.445)	12.314*** (29.796)	12.442*** (29.577)	12.060*** (29.377)	11.762*** (28.100)	6.974*** (10.661)	6.878*** (10.428)	10.827*** (35.384)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.113	0.116	0.159	0.135	0.173	0.334	0.326	0.506
F	7.044	6.415	8.628	7.680	8.357	20.553	17.978	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 8 省级人均工业废气排放量 (GAS) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性 (发展战略 当期)	动态性 (发展战略 交互项)	以老工业基地数 目为工具变量
PGDP	0.044*** (11.964)	0.042*** (11.887)	0.041*** (11.421)	0.018*** (3.968)	0.038*** (9.856)	0.018*** (5.024)	0.004 (0.968)	0.084*** (12.176)
PGDP2	-0.042*** (-10.658)	-0.039*** (-9.798)	-0.039*** (-9.354)	-0.020*** (-4.360)	-0.036*** (-8.736)	-0.020*** (-5.107)	-0.009** (-2.083)	-0.081*** (-10.714)
TCI		0.030*** (5.104)				0.018*** (3.460)		0.057*** (5.299)
L.TCI			0.033*** (5.390)					
TCI_PGDP2				-0.182*** (-8.506)			-0.121*** (-5.906)	
SOE					-0.130 (-1.362)			
GOV					0.004*** (4.546)			
GOV2					-0.002*** (-3.296)			
L.GAS						0.550*** (13.297)	0.506*** (12.242)	
EINT	-0.059*** (-4.227)	-0.049*** (-3.615)	-0.050*** (-3.390)	-0.026* (-1.942)	-0.055*** (-3.995)	-0.028** (-2.210)	-0.014 (-1.165)	0.013*** (2.771)

新结构经济学工作论文

ESTRU	-0.003 (-1.125)	-0.001 (-0.024)	-0.001 (-0.076)	0.002 (0.646)	-0.004 (-1.337)	-0.001 (-0.119)	0.001 (0.210)	0.028*** (10.981)
URBAN	0.600*** (14.758)	0.547*** (13.383)	0.555*** (13.094)	0.440*** (10.454)	0.569*** (14.070)	0.297*** (7.249)	0.242*** (5.826)	-0.073 (-1.611)
TRADE	-0.023 (-1.352)	-0.022 (-1.321)	-0.206** (-2.172)	-0.022 (-1.390)	-0.025 (-1.489)	-0.121 (-1.509)	-0.102 (-1.295)	-0.272** (-2.244)
POP	0.069*** (3.898)	0.060*** (3.454)	0.085*** (4.160)	0.048*** (2.877)	0.063*** (3.659)	0.056*** (3.208)	0.046*** (2.688)	0.031*** (4.215)
_cons	5.626*** (20.868)	5.488*** (20.814)	5.427*** (20.428)	6.375*** (24.038)	5.834*** (21.275)	2.254*** (6.916)	3.138*** (8.842)	5.772*** (21.595)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.901	0.906	0.909	0.914	0.905	0.935	0.938	0.681
F	547.165	516.830	502.415	572.924	419.952	650.466	688.005	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 9 省级人均工业固体废物排放量 (SOLID) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性(发展战略 当期)	动态性(发展战略 交互项)	以老工业基地数 目为工具变量
PGDP	0.057*** (12.507)	0.056*** (12.374)	0.058*** (12.726)	0.035*** (5.979)	0.054*** (11.138)	0.021*** (5.646)	0.013*** (2.843)	0.076*** (8.576)
PGDP2	-0.047*** (-9.547)	-0.044*** (-8.821)	-0.048*** (-8.975)	-0.028*** (-4.790)	-0.044*** (-8.421)	-0.020*** (-4.856)	-0.013*** (-2.830)	-0.070*** (-7.697)
TCI		0.027*** (3.617)				0.011** (1.994)		0.053*** (3.911)
L.TCI			0.029*** (3.661)					
TCI_PGDP2				-0.154*** (-5.506)			-0.069*** (-3.131)	
SOE					0.130 (1.084)			
GOV					0.005*** (4.012)			
GOV2					-0.002*** (-2.944)			
L.SOLID						0.750*** (20.216)	0.735*** (19.713)	
EINT	-0.070*** (-4.006)	-0.061*** (-3.534)	-0.059*** (-3.151)	-0.042** (-2.396)	-0.061*** (-3.533)	-0.013 (-0.942)	-0.005 (-0.379)	0.022*** (3.053)

新结构经济学工作论文

ESTRU	-0.005 (-1.480)	-0.002 (-0.681)	-0.002 (-0.475)	-0.001 (-0.308)	-0.006* (-1.758)	-0.001 (-0.341)	-0.000 (-0.184)	0.038*** (9.474)
URBAN	0.213*** (4.198)	0.166*** (3.201)	0.119** (2.205)	0.079 (1.430)	0.186*** (3.663)	0.003 (0.088)	-0.038 (-0.903)	-0.146** (-2.359)
TRADE	-0.018 (-0.861)	-0.017 (-0.824)	-0.249** (-2.049)	-0.017 (-0.845)	-0.018 (-0.843)	-0.057 (-0.659)	-0.046 (-0.532)	-0.410** (-2.541)
POP	-0.007 (-0.310)	-0.015 (-0.689)	0.013 (0.499)	-0.025 (-1.143)	-0.012 (-0.532)	0.012 (0.628)	0.005 (0.254)	0.017** (2.155)
_cons	6.838*** (20.273)	6.714*** (20.068)	6.810*** (20.062)	7.471*** (21.575)	6.861*** (19.898)	1.785*** (5.148)	2.245*** (5.981)	4.954*** (12.376)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.819	0.824	0.827	0.830	0.827	0.912	0.913	0.563
F	249.291	229.104	218.326	239.658	190.193	425.995	432.571	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 10 省级人均工业化学需氧量排放量 (COD) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性 (发展战略 当期)	动态性 (发展战略 交互项)	以老工业基地数 目为工具变量
PGDP	-0.042** (-2.461)	-0.043** (-2.494)	-0.019 (-1.117)	-0.053** (-2.311)	-0.043** (-2.341)	-0.002 (-0.160)	-0.013 (-0.628)	-0.044** (-2.149)
PGDP2	0.046** (2.506)	0.048** (2.564)	0.021 (1.047)	0.056** (2.450)	0.048** (2.412)	0.001 (0.053)	0.013 (0.617)	0.005 (0.229)
TCI		0.016 (0.560)				0.018 (0.721)		0.031* (1.695)
L.TCI			0.019* (1.655)					
TCL_PGDP2				-0.077 (-0.714)			-0.115 (-1.171)	
SOE					-0.638 (-1.404)			
GOV					0.008* (1.812)			
GOV2					-0.003 (-1.251)			
L.COD						0.536*** (11.995)	0.536*** (12.009)	
EINT	-0.089 (-1.378)	-0.084 (-1.289)	-0.097 (-1.397)	-0.076 (-1.117)	-0.067 (-1.025)	-0.035 (-0.587)	-0.021 (-0.338)	-0.052*** (-4.220)

新结构经济学工作论文

ESTRU	0.005 (0.392)	0.007 (0.503)	0.018 (1.374)	0.007 (0.536)	0.003 (0.235)	0.020* (1.808)	0.021* (1.879)	0.013** (2.322)
URBAN	0.328* (1.729)	0.356* (1.813)	0.584*** (2.892)	0.395* (1.866)	0.361* (1.878)	0.547*** (3.196)	0.621*** (3.305)	0.140 (0.816)
TRADE	-0.048 (-0.605)	-0.048 (-0.597)	-0.527 (-1.166)	-0.048 (-0.599)	-0.043 (-0.547)	-0.340 (-0.874)	-0.314 (-0.805)	-0.944*** (-2.864)
POP	0.033 (0.399)	-0.038 (-0.455)	0.038 (0.392)	0.042 (0.501)	-0.039 (-0.472)	0.046 (0.553)	0.034 (0.404)	0.110*** (4.465)
_cons	4.284*** (3.405)	4.212*** (3.327)	4.424*** (3.499)	4.601*** (3.447)	4.008*** (3.069)	2.121* (1.916)	2.724** (2.280)	2.108** (2.228)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.214	0.214	0.250	0.214	0.225	0.444	0.446	0.157
F	15.002	13.349	15.195	13.377	11.578	32.799	32.952	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 11 省级人均工业废水排放量（WATER）的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 滞后一期	发展战略 (交互)	中间机制	动态性 (发展战略 当期)	动态性 (发展战略 交互项)	以老工业基地数目 为工具变量
PGDP	0.031*** (4.316)	0.041*** (5.487)	0.047*** (6.181)	0.026*** (2.697)	0.030*** (3.799)	0.023*** (3.738)	0.017** (2.027)	0.068*** (6.431)
PGDP2	-0.018** (-2.331)	-0.031*** (-3.663)	-0.041*** (-4.685)	-0.014 (-1.432)	-0.016* (-1.926)	-0.024*** (-3.312)	-0.018** (-2.128)	-0.088*** (-7.656)
TCI		0.075 (0.925)				0.004 (0.406)		0.054*** (2.814)
L.TCI			0.012* (1.995)					
TCI_PGDP2				-0.036 (-0.787)			-0.047 (-1.138)	
SOE					-0.220 (-1.133)			
GOV					0.002 (0.932)			
GOV2					-0.002* (-1.637)			
L.WATER						0.626*** (14.985)	0.626*** (15.053)	
EINT	-0.035 (-1.277)	-0.040* (-1.663)	-0.052** (-2.050)	-0.029 (-0.999)	-0.041 (-1.461)	-0.039 (-1.562)	-0.033 (-1.263)	-0.016** (-2.101)

新结构经济学工作论文

ESTRU	0.007 (1.324)	0.012** (2.250)	0.010* (1.871)	0.008 (1.462)	0.008 (1.402)	-0.002 (-0.423)	-0.001 (-0.310)	0.016*** (3.791)
URBAN	0.481*** (5.943)	0.307*** (4.228)	0.247*** (3.258)	0.450*** (4.969)	0.455*** (5.526)	0.111 (1.463)	0.076 (0.923)	-0.102 (-1.633)
TRADE	-0.061* (-1.802)	-0.062* (-1.722)	-0.694*** (-3.467)	-0.061* (-1.795)	-0.062* (-1.813)	-0.440*** (-2.672)	-0.427*** (-2.590)	-0.805*** (-4.283)
POP	0.091** (2.579)	0.055** (2.145)	0.007 (0.228)	0.095*** (2.666)	0.093*** (2.644)	0.038 (1.056)	0.031 (0.872)	0.093*** (7.407)
_cons	8.212*** (15.284)	8.315*** (15.629)	8.643*** (17.168)	8.361*** (14.673)	8.434*** (15.111)	3.474*** (6.181)	3.713*** (6.316)	8.648*** (23.229)
N	480	480	450	480	480	450	450	450
r2	0.594	0.595	0.594	0.595	0.599	0.732	0.733	0.534
F	80.829	80.821	80.822	71.855	59.674	112.088	112.510	

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 13 省级分区域人均 CO2 排放量的回归结果

	东部			中部			西部		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8	模型 9
PGDP	0.325*** (7.64)	0.230*** (6.38)	0.242*** (5.53)	0.251*** (2.66)	0.259*** (2.77)	0.127 (1.49)	0.790*** (9.22)	0.917*** (9.71)	0.753*** (7.42)
PGDP2	-0.244*** (-5.29)	-0.398*** (-9.92)	-0.202*** (-4.29)	-0.366** (-2.11)	-0.0216 (-0.12)	-0.0683 (-0.44)	-0.719*** (-6.48)	0.253 (1.14)	-0.662*** (-5.12)
TCI	0.204*** (4.01)			0.095** (2.31)			0.532*** (7.76)		
TCI_PGDP2		-0.054*** (-9.68)			-0.045** (-2.62)			-0.129*** (-5.26)	
SOE			0.523 (0.63)			1.112 (0.74)			3.874*** (3.01)
GOV			0.019*** (4.20)			0.034*** (5.59)			0.019*** (3.06)
GOV2			-0.006* (-2.79)			-0.003* (-2.39)			-0.002*** (-3.09)
EINT	1.151* (1.73)	-0.379 (-0.75)	0.0591 (0.10)	-3.282*** (-9.03)	-2.643*** (-6.07)	-2.337*** (-5.71)	0.510*** (3.89)	0.431*** (3.03)	0.234 (1.59)
ESTUR	8.736*** (2.73)	4.115 (1.61)	6.159* (1.95)	13.93*** (3.73)	10.82*** (2.74)	14.14*** (4.18)	35.77*** (8.40)	14.11*** (3.23)	20.24*** (4.61)
TRADE	1.239* (1.86)	1.150** (2.08)	0.422 (0.62)	0.0708 (0.02)	-3.739 (-0.96)	-1.189 (-0.34)	-16.88*** (-4.31)	-11.47*** (-2.69)	-12.95*** (-2.88)
URBAN	12.06***	8.553**	15.13***	7.103	13.03***	6.999*	-17.07**	-18.72**	-13.81

	(2.65)	(2.26)	(3.44)	(1.53)	(2.66)	(1.67)	(-2.30)	(-2.32)	(-1.63)
POP	0.860***	0.475***	0.695***	1.400	3.424*	0.920	3.407	3.576	8.067***
	(6.02)	(3.86)	(4.92)	(0.81)	(1.80)	(0.58)	(1.33)	(1.27)	(2.77)
_cons	-8.224**	-0.143	-2.609	4.525	7.525	0.235	-31.50***	-8.413	-17.13***
	(-2.43)	(-0.05)	(-0.82)	(0.74)	(1.19)	(0.04)	(-6.52)	(-1.63)	(-3.30)
N	176	176	176	128	128	128	176	176	176
r2	0.827	0.881	0.836	0.903	0.905	0.922	0.883	0.863	0.848
F	94.11	145.2	88.11	130.9	132.8	144.8	148.7	123.5	96.94

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 14 省级环境污染物与发展战略指标的空间相关性检验

	CO2			工业废水			SO2			TCI		
	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}
1997	0.232	0.272	0.318	0.237	0.270	0.265	0.234	0.238	0.273	0.332	0.322	0.251
1998	0.218	0.247	0.320	0.295	0.292	0.277	0.208	0.171	0.230	0.358	0.312	0.271
1999	0.247	0.317	0.327	0.343	0.427	0.458	0.198	0.263	0.253	0.295	0.285	0.322
2000	0.225	0.293	0.287	0.283	0.390	0.417	0.106 ^a	0.153 ^a	0.171 ^a	0.311	0.259	0.236
2001	0.258	0.389	0.415	0.256	0.330	0.393	0.084 ^a	0.133 ^a	0.165 ^a	0.344	0.324	0.332
2002	0.248	0.374	0.422	0.203	0.302	0.351	0.072 ^a	0.125 ^a	0.164 ^a	0.347	0.336	0.355
2003	0.229	0.324	0.368	0.213	0.335	0.342	0.026 ^a	0.083 ^a	0.118 ^a	0.369	0.333	0.361
2004	0.264	0.368	0.425	0.199	0.328	0.303	0.038 ^a	0.132 ^a	0.173 ^a	0.377	0.359	0.317
2005	0.294	0.424	0.451	0.162	0.237	0.229	0.058 ^a	0.181 ^a	0.219	0.372	0.449	0.403
2006	0.286	0.418	0.459	0.181	0.235	0.223	0.057 ^a	0.198 ^a	0.239	0.355	0.390	0.371
2007	0.287	0.398	0.443	0.194	0.216	0.201	0.067 ^a	0.177	0.226	0.309	0.386	0.372
2008	0.292	0.414	0.472	0.198	0.307	0.263	0.050 ^a	0.198	0.237	0.279	0.355	0.382
2009	0.275	0.447	0.456	0.238	0.419	0.318	0.056 ^a	0.241	0.276	0.252	0.212	0.272
2010	0.265	0.432	0.480	0.089	0.270	0.279	0.053	0.218	0.280	0.232	0.231	0.236
2011	0.258	0.461	0.498	0.042	0.358	0.335	0.148	0.375	0.442	0.178	0.159	0.173
2012	0.248	0.345	0.426	0.045	0.188	0.212	0.132	0.270	0.384	0.175	0.223	0.240
2013	0.255	0.347	0.435	0.049	0.190	0.216	0.135	0.275	0.387	0.179	0.226	0.245
2014	0.252	0.349	0.441	0.052	0.214	0.225	0.141	0.282	0.393	0.186	0.232	0.253

注：本表结果利用软件 MATLAB R2014a 计算所得；上标 a 表示未通过显著性检验，未注明上标 a 的表示均通过了 10% 以内的显著性检验。

表 15 省级各类环境污染物空间滞后模型的回归结果

变量	人均 CO2			人均 SO2			人均工业废水		
	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}	W ^{ad}	W ^r	W ^{re}
Wy	0.061*** (5.008)	0.007** (1.992)	0.099* (1.767)	0.028** (1.652)	0.005** (1.652)	0.099* (1.626)	0.015** (1.999)	0.008 (1.064)	0.099 (1.026)
PGDP	0.044*** (10.151)	0.050*** (11.217)	0.049*** (11.086)	0.008* (1.491)	0.008* (1.491)	0.008* (1.445)	0.006** (1.848)	0.008 (1.005)	0.006** (1.750)
PGDP2	-0.003*** (-9.511)	-0.004*** (-10.493)	-0.004*** (-10.443)	-0.002*** (-4.029)	-0.002*** (-4.029)	-0.002*** (-4.014)	-0.002*** (-3.039)	-0.003*** (-2.930)	-0.003*** (-2.866)
TCI	0.052** (1.860)	0.167*** (2.606)	0.163*** (2.542)	0.028*** (3.914)	0.030*** (3.914)	0.030*** (3.964)	0.001 (1.072)	0.002 (1.189)	0.003* (1.293)
TCI_PGDP2	-0.104 (-0.714)	-0.092 (-0.600)	-0.092 (-0.602)	-0.042*** (-2.540)	-0.047*** (-2.540)	-0.047*** (-2.547)	-0.056*** (-2.156)	-0.054** (-2.059)	-0.054** (-2.052)
SOE	0.118 (1.193)	0.105 (1.018)	0.106 (1.021)	0.126 (0.639)	0.115 (0.578)	0.095 (0.571)	0.020 (1.109)	0.017 (0.912)	0.016 (0.910)
GOV	0.048*** (3.113)	0.051*** (3.003)	0.042*** (3.003)	0.133*** (2.521)	0.121*** (2.557)	0.125*** (2.574)	0.014 (1.138)	0.011 (1.012)	0.010 (1.065)
GOV2	-0.110*** (-2.721)	-0.078*** (-2.652)	-0.076*** (-2.633)	-0.176*** (-2.618)	-0.168*** (-2.481)	-0.160*** (-2.391)	-0.102* (-1.937)	-0.091* (-1.845)	-0.093* (-1.843)
EINT	-0.009 (-1.142)	-0.117** (-1.771)	-0.114** (-1.732)	-0.002* (-1.539)	-0.004* (-1.539)	-0.004* (-1.522)	-0.004* (-1.336)	-0.003 (-1.289)	-0.002 (-1.202)
ESTRU	13.074*** (5.438)	15.387*** (6.108)	15.131*** (6.022)	0.928*** (3.324)	1.000*** (3.324)	0.983*** (3.274)	1.315*** (3.074)	1.402*** (3.282)	1.277*** (2.980)
TRADE	-0.019***	-0.021***	-0.021***	-0.001*	-0.001*	-0.001*	-0.002*	-0.002**	-0.002*

	(-3.230)	(-3.365)	(-3.308)	(-1.348)	(-1.348)	(-1.304)	(-1.466)	(-1.741)	(-1.519)
URBAN	4.645	10.337***	10.446***	-1.245***	-1.236***	-1.233***	2.790***	2.571***	2.564***
	(1.152)	(2.443)	(2.475)	(-2.443)	(-2.443)	(-2.441)	(3.880)	(3.578)	(3.559)
POP	0.942***	0.915***	0.916***	0.156	0.134	0.123	0.097**	0.055**	0.057
	(3.473)	(3.131)	(3.125)	(0.435)	(0.467)	(0.347)	(2.156)	(2.216)	(2.228)
N	480	480	480	480	480	480	480	480	480
R2	0.916	0.908	0.908	0.955	0.954	0.954	0.939	0.939	0.939

注：该表结果的估计采用 MATLAB R2014a 软件估计所得。*** 1% ** 5% * 10%，， 括号内为 t 值

表 16 省级安慰剂检验结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
	s_water	s_cod	s_so2	s_smog	s_water	s_cod	s_so2	s_smog
PGDP	0.077** (2.177)	0.088** (2.144)	-0.080 (-0.627)	0.188 (1.351)	0.086** (2.075)	0.166*** (3.441)	-0.207 (-1.361)	0.153 (0.941)
PGDP2	-0.663 (-1.41)	-0.048 (-0.093)	-0.265 (-0.155)	-5.032*** (-2.752)	-0.744 (-1.594)	-0.297 (-0.556)	-0.564 (-0.336)	-5.183*** (-2.856)
TCI	0.670 (1.451)	2.000 (1.534)	1.305 (0.776)	0.864 (0.486)	- -	- -	- -	- -
TCI_PGDP2	- -	- -	- -	- -	-0.019 (-0.295)	0.264*** (3.432)	0.403* (1.647)	0.119 (0.446)
SOE	0.047 (0.571)	0.058 (0.681)	0.140 (0.464)	0.900 (0.748)	0.079 (0.909)	0.048 (0.538)	0.219 (0.735)	0.947 (0.404)
GOV	0.012* (1.864)	0.020*** (2.632)	0.010 (0.422)	0.051** (2.009)	0.013** (1.971)	0.022*** (2.903)	0.011 (0.489)	0.051** (1.970)
GOV2	-0.466 (-1.306)	-0.779** (-1.908)	-0.683 (-0.505)	-2.363* (-1.789)	-0.512 (-1.590)	-0.847** (-2.159)	-0.676 (-0.585)	-2.335* (-1.786)
EINT	0.041 (0.432)	-0.078 (-0.717)	0.103*** (2.92)	0.116*** (3.098)	0.028 (0.307)	-0.016 (-1.447)	0.094*** (2.689)	0.112*** (2.989)
ESTRU	-0.162 (-0.821)	-0.503** (-2.127)	-0.105 (-0.134)	-0.060 (-0.083)	-0.220 (-1.12)	-0.640*** (-2.802)	-0.167 (-0.223)	-0.119 (-0.125)
TRADE	-0.080 (-1.367)	-0.010 (-0.169)	-0.244 (-1.133)	-0.529** (-2.239)	-0.083 (-1.402)	0.002 (0.039)	-0.251 (-1.137)	-0.533** (-2.313)
URBAN	3.224***	1.973***	1.305	1.778	3.296***	2.264***	1.549	1.904

新结构经济学工作论文

	(10.243)	(5.422)	(1.133)	(1.445)	(10.536)	(6.27)	(1.337)	(1.587)
POP	0.979***	0.168	1.168	2.837***	0.963***	0.474**	1.620**	2.974***
	(5.074)	(0.775)	(1.685)	(3.749)	(4.629)	(1.907)	(2.184)	(3.697)
_cons	1.649	10.283***	1.069	-12.882**	1.843	7.998***	-2.400	-13.883**
	(1.03)	(5.51)	(0.18)	(-2.05)	(1.08)	(4.04)	(-0.39)	(-2.08)
N	390	390	390	390	390	390	390	390
r2_a	0.821	0.348	0.048	0.180	0.820	0.344	0.053	0.180
F	145.9	16.90	11.591	16.963	144.9	16.61	11.798	16.960

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 17 地级市各变量的统计特征

变量	含义	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
WATER	工业废水排放量	3420	7678.33	9948.87	17	91260
SO2	工业二氧化硫排放量	3396	61682.18	61585.12	2	683162
SMOG	工业烟尘排放量	3347	32519.84	124494.4	34	5168812
PGDP	人均 GDP	3420	29274.35	27195.28	99	467749
PGDP2	人均 GDP 二次项	3420	1.60E+09	5.26E+09	9801	2.19E+11
TCI	技术选择指数	3420	2.90	1.38	0.32	33.55
FDI	利用外资程度	3290	60536.41	149461.80	0	1886676
POP	人口规模	3420	420.29	322.61	4.70	2661.54
FIN	金融开放度	3420	1.31E+07	3.17E+07	281453	4.79E+08
EXP	地方政府支出	3420	1737888	3225392	33050	4.92E+07

表 18 地级市工业二氧化硫排放量 (SO₂) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
	发展阶段	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 (交互)	动态性	动态性
PGDP	0.321*** (3.125)	0.205* (1.845)	0.106 (0.876)	0.196* (1.741)	0.251** (2.186)	0.193* (1.789)
PGDP2	-0.427*** (-6.217)	-0.382*** (-5.414)	-0.237*** (-3.207)	-0.425*** (-3.832)	-0.147** (-2.114)	-0.150 (-1.481)
TCI			0.082*** (6.223)		0.016 (1.236)	
TCI_PGDP				-0.016 (-0.502)		-0.008 (-0.280)
L.SO2					0.441*** (26.135)	0.444*** (26.493)
POP		0.001 (0.531)	0.001 (0.719)	0.001 (0.510)	0.001 (0.904)	0.001 (0.888)
FIN		-0.160*** (-4.294)	-0.134*** (-3.614)	-0.159*** (-4.285)	-0.036 (-1.046)	-0.039 (-1.132)
EXP		0.326* (1.733)	0.079 (0.413)	0.327* (1.739)	0.047 (0.273)	0.085 (0.501)
FDI		1.372 (0.269)	-0.968 (-0.191)	1.359 (0.267)	-7.500 (-1.378)	-6.959 (-1.282)
_cons	10.539*** (446.177)	10.699*** (146.401)	10.566*** (139.562)	10.699*** (146.373)	6.094*** (32.211)	6.093*** (32.196)
N	3396	3268	3268	3268	2969	2969

新结构经济学工作论文

r2	0.017	0.027	0.040	0.027	0.235	0.234
F	26.393	13.793	17.505	11.855	102.471	102.234

注：***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 19 地级市工业烟尘排放量 (SMOG) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
	发展阶段	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 (交互)	动态性	动态性
PGDP	1.124*** (9.137)	1.125*** (8.283)	1.962*** (10.287)	1.122*** (8.170)	0.643*** (5.908)	0.663*** (6.296)
PGDP2	-0.392*** (-4.750)	-0.441*** (-5.085)	-0.872*** (-6.467)	-0.455*** (-3.320)	-0.297*** (-3.953)	-0.262*** (-2.799)
TCI			0.038** (2.108)		0.011 (1.106)	
TCI_PGDP				-0.005 (-0.135)		-0.011 (-0.925)
L.SMOG					0.831*** (85.973)	0.831*** (85.881)
POP		0.006** (2.036)	0.006*** (4.735)	0.005** (2.029)	0.006** (1.989)	0.006* (1.790)
FIN		0.254*** (5.663)	0.149*** (3.438)	0.255*** (5.663)	0.037 (1.529)	0.033 (1.376)
EXP		-0.019 (-0.084)	-2.663*** (-10.451)	-0.019 (-0.083)	-0.308** (-2.182)	-0.287** (-2.049)
FDI		-29.125*** (-4.744)	-54.873*** (-8.526)	-29.128*** (-4.744)	-12.627*** (-3.205)	-12.594*** (-3.196)
_cons	9.503*** (339.090)	9.586*** (108.684)	9.817*** (134.094)	9.586*** (108.662)	1.607*** (15.408)	1.632*** (15.852)
N	3347	3219	3219	3219	2872	2872

新结构经济学工作论文

r ²	0.035	0.052	0.095	0.052	0.747	0.747
F	55.224	26.729	48.251	22.905	1057.878	1057.696

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 20 地级市工业废水排放量 (WATER) 的回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
	发展阶段	发展阶段	发展战略 (平行)	发展战略 (交互)	动态性	动态性
PGDP	0.362*** (4.753)	0.344*** (4.121)	0.221** (2.411)	0.369*** (4.352)	0.012 (0.165)	0.063 (0.901)
PGDP2	-0.149*** (-2.934)	-0.153*** (-2.880)	-0.095* (-1.706)	-0.223*** (-3.307)	-0.006 (-0.131)	-0.010 (0.196)
TCI			0.032*** (3.270)		0.010 (1.240)	
TCI_PGDP				-0.015* (-1.686)		-0.002 (-0.258)
L.WATER					0.617*** (41.637)	0.634*** (42.311)
POP		0.001* (1.780)	0.001* (1.697)	0.001* (1.681)	0.001 (0.189)	0.001 (0.094)
FIN		-0.053* (-1.886)	-0.043 (-1.524)	-0.052* (-1.857)	-0.052** (-2.283)	-0.049** (-2.169)
EXP		0.006 (0.043)	-0.090 (-0.631)	-0.006 (-0.041)	0.009 (0.079)	-0.042 (-0.377)
FDI		-8.062** (-2.148)	-8.994** (-2.393)	-8.153** (-2.172)	-1.756 (-0.504)	-0.383 (-0.111)
_cons	8.333*** (475.226)	8.372*** (154.949)	8.319*** (147.572)	8.374*** (155.002)	3.331*** (25.664)	3.173*** (24.169)
N	3420	3290	3290	3290	3007	3007

新结构经济学工作论文

r ²	0.008	0.012	0.015	0.013	0.393	0.401
F	13.068	16.062	16.740	15.605	219.983	226.866

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 21 地级市安慰剂检验结果：发展战略平行项

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
	swater	scod	snn	Sso2	sno	ssmog
PGDP	0.122*** (4.060)	0.078 (1.140)	0.046* (1.705)	0.118 (1.424)	0.100 (0.792)	0.504** (2.108)
PGDP2	-0.005*** (-3.792)	-0.003 (-1.042)	-0.002 (1.489)	-0.007* (-1.934)	-0.007 (-1.384)	-0.021** (-2.108)
TCI	0.022 (0.549)	0.079 (0.884)	0.020 (0.558)	0.136 (1.249)	0.210 (1.262)	0.586 (1.156)
POP	0.001 (1.068)	0.005*** (3.538)	0.001** (2.501)	0.001 (0.561)	0.001 (0.037)	0.001 (0.159)
FIN	0.021* (1.992)	-0.034 (-1.396)	-0.016* (-1.703)	0.005 (0.156)	-0.018 (-0.403)	-0.044 (-0.521)
EXP	-0.021 (-0.035)	0.362 (0.267)	0.073 (0.138)	0.266 (0.162)	1.645 (0.658)	4.907 (1.033)
FDI	-0.334 (-0.235)	6.160* (1.915)	1.164 (0.916)	5.327 (1.366)	8.688 (1.462)	-2.410 (-0.214)
_cons	9.998*** (26.640)	13.703*** (16.163)	10.104*** (30.190)	8.189*** (7.966)	6.063*** (3.871)	6.880** (2.313)
N	150	150	150	150	150	150
r2_a	0.542	0.336	0.385	0.183	0.156	0.174
F	18.952	23.826	24.744	21.701	21.399	21.597

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。

表 22 地级市安慰剂检验结果：发展战略交互项

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
	swater	scod	snn	sso2	sno	ssmog
PGDP	0.112*** (3.781)	0.085 (1.236)	0.046* (1.694)	0.121 (1.472)	0.126 (1.039)	0.567** (2.298)
PGDP2	-0.002 (-1.090)	0.002 (0.478)	-0.001 (-0.431)	-0.013** (-2.232)	-0.024*** (-2.781)	-0.020 (-1.122)
TCL_PGDP2	-0.068 (-1.404)	-0.028 (-0.253)	-0.027 (-0.610)	-0.196 (-1.464)	-0.493 (-1.512)	-0.116 (-0.289)
POP	0.001 (0.924)	0.005*** (3.451)	0.001** (2.497)	0.001 (0.545)	0.001 (0.014)	0.001 (0.010)
FIN	0.021** (2.026)	-0.031 (-1.278)	-0.015 (-1.616)	0.011 (0.381)	-0.006 (-0.137)	-0.064 (-0.735)
EXP	0.072 (0.121)	0.299 (0.218)	0.029 (0.054)	-0.058 (-0.035)	0.866 (0.359)	5.237 (1.062)
FDI	-0.071 (-0.050)	6.085* (1.864)	1.072 (0.837)	4.647 (1.188)	6.918 (1.203)	-2.211 (-0.188)
_cons	10.024*** (27.861)	13.886*** (16.711)	10.156*** (31.187)	8.550*** (8.588)	6.680*** (4.565)	5.562* (1.863)
N	150	150	150	150	150	150
r2_a	0.556	0.327	0.386	0.192	0.223	0.122
F	19.470	23.674	24.758	21.800	22.173	21.051

注：***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验，括号内为稳健标准误。