

交通基础设施发展能促进产业与环境协调发展吗？

张彦彦

中共天津市委党校经济学教研部，天津

收稿日期：2024年11月7日；录用日期：2024年12月10日；发布日期：2024年12月20日

摘 要

本文首先将交通基础设施、产业与环境纳入同一框架，探究我国280个城市交通基础设施对产业与环境协调发展程度的影响机制，然后，在测度280个城市产业与环境协调程度的基础上，运用计量模型实证检验交通基础设施对两系统耦合协调发展程度的影响。研究结果表明：(1) 样本期内，交通基础设施发展水平的提高可显著促进城市产业与环境耦合协调发展程度；(2) 交通基础设施发展水平的提升对东部城市产业与环境协调发展具有显著的抑制效应，对大规模城市、高集聚区、中西部城市具有显著促进效应，但对小规模城市的影响并不显著。

关键词

交通基础设施，产业，环境，协调发展

Can the Development of Transportation Infrastructure Improve the Coordinated Development of Industry and Environment?

Yanyan Zhang

Department of Economics, Party School of the Tianjin Municipal Committee of the Communist Party of China, Tianjin

Received: Nov. 7th, 2024; accepted: Dec. 10th, 2024; published: Dec. 20th, 2024

Abstract

Firstly, this paper incorporates transportation infrastructure, industry and environment into the same framework to explore the impact mechanism of transportation infrastructure on the

coordinated development of industry and environment in 280 cities of China. Then, based on the measurement of the coordination degree between industry and environment of urban agglomeration in 280 cities, this paper empirically tests the impact of transportation infrastructure on the coupling coordinated development of the two systems. The results show that: (1) During the sample period, the improvement of transportation infrastructure development level can promote the coupling coordinated development of industry and environment significantly. (2) The improvement of the development level of transportation infrastructure has a significant inhibitory effect on the coordinated development of industry and environment in eastern cities, and it has a significant promoting effect on large-scale cities, high agglomeration areas and central and western cities, but the impact on small-scale cities is not significant.

Keywords

Transport Infrastructure, Industry, Environment, Coordinated Development

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改革开放以来,经济的快速发展在促进我们生活水平提高的同时,也带来了一系列的环境污染问题。《2020 中国生态环境状况公报》显示,我国 337 个地级及以上城市中,202 个城市环境空气质量达标,占全部城市的 59.9%,相比 2019 年上升了 13.3 个百分点,但超标比例依然达到 40.1%;生态质量方面,2020 年全国生态环境状况指数值为 51.7,生态质量一般,与 2019 年相比并无明显变化,且生态质量较差和差的县域面积占 31.3%。面对环境污染问题的日益凸显,党和国家对环境污染治理工作给予高度重视,“十四五”规划中明确提出要持续改善环境质量,坚持源头防治、综合施策,强化多污染物协同控制和区域协同治理,同时完善包括垃圾、污水等环境基础设施建设,深入推进交通、工业等领域的低碳转型。二十大报告中同样指出加快推动产业结构、能源结构、交通结构等的调整优化,加快发展方式绿色转型。这表明在未来一段时间内,改善和保护生态环境、推进生态文明建设依然是我国经济社会发展的重心。

随着我国经济密度的提升、交通运输系统的完善以及自由贸易程度的逐渐提高,环境污染问题进一步凸显,严重制约了我国城市经济的可持续发展。考虑到交通运输系统是要素流动和产品流动的重要载体,我国城市交通的完善程度将会直接影响生产要素投入和产品贸易的运输成本,从而影响城市产业发展,产业发展过程中也会产生环境污染、资源能耗等环境问题。因此,探究交通基础设施如何影响城市产业与环境的协调发展对我国城市实现经济可持续发展具有重要的理论和现实意义。

通过上述分析可知,我国城市交通基础设施、产业与环境三者之间存在密切的联系,而产业与环境间的协调发展程度,是推动经济高质量发展的重要保障。为此,本文基于我国 280 个城市 2007~2019 年面板数据,在测度产业与环境协调发展程度的基础上,探究交通基础设施发展对两系统间耦合协调发展程度的影响。

2. 文献综述及研究假说

从已有文献看,有关交通基础设施、产业与环境方面的研究,主要集中在交通基础设施与产业发展、交通基础设施与环境以及产业发展与环境三个方面。

近年来,已有较多文献探讨交通基础设施对产业发展的影响。交通基础设施的改善可通过提高资源配置效率,改善企业生产率,进而促进产业发展[1]。刘冲等[2]以上一年县中心到高等级公路的最短距离测度交通基础设施发展,发现交通网络的完善会通过增加城市间互联互通,提高市场整合能力,以较低的运输成本获得生产要素,并以较低的运输成本销售产品,扩大市场规模,获得更多的销售利润,进而促进县域产业发展。一方面,以上市公司异地投资为例,借助交通基础设施的资本跨区流动效应模型,研究发现交通基础设施的发展可通过降低异地子公司间的沟通和信息传递成本,增加企业异地投资和异地投资数量,而资本跨区流动成本和跨区流动障碍的降低可促进投资由中小城市净流向大城市的虹吸效应[3],进而促进资本跨区流动;另一方面,交通基础设施的改善会降低由空间距离导致的高昂运输成本,提高要素资源的配置效率以保障企业持续稳定生产,在便利人力资本流动的同时,促进人力资本形成,提高产业创新的本地效应和跨区溢出效应[4],进而促进产业发展。有的学者得出与之类似的结论,即高铁的开通有利于完善交通网络系统,提高劳动力、中间品、空间溢出和最终产品市场的可达性,降低企业平均成本、优化中间品市场的获得效率等,提高制造业企业出口国内附加值率[5],进而促进制造业发展。

综合来看,交通基础设施的发展主要通过以下两个途径促进产业发展:一是,交通基础设施的发展可通过提高区域可达性,缩短城市间空间距离,增强要素流动性,降低产品运输成本,减弱区间贸易产品因运输成本而导致的成本劣势,加强区间贸易往来,降低市场分割带来的要素进出壁垒,提高生产资源的配置效率;二是,交通基础设施发展水平的提高可通过加强城市间的空间联系,促进区域产业分工,在发挥产业集聚效应的基础上,提高中心城市对周边城市产业发展的辐射带动作用,进而提高产业发展。

在交通基础设施与环境的研究上。近年来国内学者给予广泛关注,但有关交通基础设施的环境效应并未达成一致结论。一是认为交通基础设施有利于改善环境质量。当道路密度指数增加时,可缓解道路拥堵提高燃油率,降低 PM_{10} 浓度[6],以我国 14 个城市新开通的 45 条线路为例,轨道交通可显著降低城市污染物排放[7]。有一部分学者得出与之一致的结论,即交通基础设施改善有利于降低污染物排放,改善空气质量[8]-[10]。二是认为交通基础设施不利于改善环境质量。王晓宁等[11]通过构建分层评价指标体系,研究发现高速公路建设对生态环境具有负向影响。张年和张城[12]采用江西省 2005~2014 年的数据研究表明,江西省旅游经济、交通运输、生态环境三者之间存在相互作用关系,但三者间的协调度发展水平较低。此外,郑兵云和杨冕[13]采用 2007~2016 年我国 30 个城市的面板数据,实证研究发现我国城市交通效率并未达到生态交通的标准,大多数城市在减排上仍有较大的上升空间。三是交通与环境间并非简单的线性关系。以我国 21 个城市 194 个空气质量监测站点的日度数据为例,地铁开通对空气质量的影响存在城市异质性,当常住人口规模为 400 万~700 万的城市时,交通替代效应大于交通创造效应,地铁开通可改善空气质量;当为 700 万~900 万的城市时,地铁开通并未明显改善空气质量;当常住人口规模大于 900 万时,交通替代效应小于交通创造效应,此时地铁开通不利于改善空气质量[14]。

在产业与环境的研究上。一方面,在产业对环境的影响上,相关文献主要从以下两个角度进行探讨:一是产业结构变化对环境质量的影响。大多数学者认为产业升级会显著减少污染排放[15]-[17],改善环境质量[18],不同产业类型对生态环境影响的大小也不同[19]。但也有学者认为产业结构调整对生态环境影响较小,并不会显著提升环境质量[20][21]。二是产业转移对环境质量的影响。国内部分学者支持“污染天堂”假说,认为承接产业转移会加剧我国环境污染[22]。苏振东等[23]采用动态面板数据模型,实证研究发现 FDI 流入对我国环境质量具有显著的负面作用。但也有部分学者并不支持该假说,认为产业转移既包含污染产业的转移,也包含“干净”产业的转移,因而我国并不是发达国家的污染天堂[24]。区际间产业转移方面,豆建民等[25]研究表明,污染密集型产业在向中部地区转移的同时会带来污染的转移;肖

雁飞等[26]根据投入产出原理结合碳排放系数研究发现,我国西北和东北等地区由于承接东部沿海产业转移而加剧了环境污染,其研究结论也支持“污染天堂”假说。另一方面,在生态环境对产业发展的影响上,诸多学者把关注点集中在环境规制对产业发展的影响上。环境规制通过增加企业生产成本[27][28]、迫使企业改变生产过程和工艺[29],从而降低生产率[30];也有少数学者认为环境规制会激励企业进行技术创新[31],导致产业绩效提高[32]。钟茂初等[33]认为环境规制与产业结构升级之间呈现“U”形关系,只有环境规制达到一定强度时才会促进产业结构调整。此外,部分学者还关注于资源环境约束对产业发展的影响。资源环境约束会显著影响现代产业的空间分布[34],水环境损害对工业集聚有较强的约束作用[35]。

基于上述考虑,本文提出以下假说:

假说 1a: 交通基础设施的提升可显著促进产业与环境的协调发展。

假说 1b: 交通基础设施对产业与环境的协调发展具有显著的抑制作用。

综述来看,已有文献虽从多角度、多方法对交通、产业与环境间的关系进行了探究,但普遍集中于两两之间的单向影响上,直接研究交通基础设施如何影响产业与环境间协调关系的研究还尚不多见,但考虑到三者之间包括诸多因素的相互影响和制约,构成了复杂的动态关联系统,单纯研究之间的因果单向关系,往往忽略了其内部因素间的综合影响。与已有文献相比,本文的边际贡献主要体现在以下两个方面:(1) 将交通基础设施、产业与环境三者纳入同一框架,在运用耦合模型测度产业与环境协调发展程度的基础上,探究三者间的关系,弥补了既有研究的不足,拓展了研究视角;(2) 在运用传统熵值法测度产业与环境两系统评价值的同时,采用交叉熵值法进行再测度,使研究结果更为稳健。

3. 模型与数据说明

(一) 计量模型构建

交通基础设施完善意味着各城市间互联互通程度的不断加深,产业资源配置效率的提升,在便利企业向更为广阔要素市场以更低的成本获取中间投入品进行生产的同时,也有利于企业以较低的运输成本进行销售,进而促进产业发展[2]。那么交通基础设施建设如何影响产业-环境的协调发展呢?为检验交通基础对产业-环境耦合协调发展水平的影响,本文构建了如下计量模型:

$$D_{it} = \beta_1 + \beta_2 Trans_{it} + \beta_3 Control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中 D_{it} 为 t 时期 i 城市的产业-环境协调发展水平, $Trans_{it}$ 为 t 时期 i 城市的交通基础设施水平, $Control_{it}$ 为控制变量集合,主要包括教育水平 edu_{it} , edu_{it} = 每万人在校大学生人数;外商投资规模 fdi_{it} , fdi_{it} = 当年实际利用外资金额/GDP; 宏观税负 tax_{it} , tax_{it} = 财政收入/GDP; i 和 t 分别代表城市和时间。

(二) 核心变量说明

1) 产业-环境耦合协调水平 D_{it} 。我国城市产业与环境两系统协调发展是实现经济可持续发展的关键,而两系统的协调发展程度需借助耦合模型加以测度。首先,测度我国 280 个城市“产业-环境”的耦合度,具体计算公式为: $C = 2 \left[\frac{(U_i \cdot U_e)}{(U_i + U_e)^2} \right]^{1/2}$, 式中 C 为耦合度, C 的取值范围为 $[0, 1]$; U_i , U_e 分别为产业与环境的综合评价价值,由熵值法计算而来; U_i 的产业系统指标包括:第二产业就业占比、第三产业就业占比、产业高级化、产业合理化; U_e 的环境系统包括:固体废物综合利用率、污水处理厂集中处理率、生活垃圾无害化处理率和建成区绿化覆盖率;然后,考虑到“产业-环境”的耦合度虽能较好的反映子系统间的相互影响程度,但当子系统发展水平较低时,也可能出现耦合度很高的情况。为避免此类问题的发生,本文通过构造“产业-环境”的耦合协调度模型,以衡量我国 280 个城市“产业-环境”的协调程度,具体计算公式为: $D = \sqrt{C \times T}$, $T = \alpha U_i + \beta U_e$, 式中 T 为产业与环境的综合评价价值; D 为耦合协调度; α 和 β 分别代表子系统对综合评价值的贡献度,假定两个子系统同等重要,即

$\alpha=\beta=1/2$ 。

另一方面，作为比较，借鉴崔彦哲和赵林丹[36]的方法，采用交叉熵权法对上文产业和环境系统进行重新测度，首先，计算每个指标值在整个指标中所占比重 $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$ ；其次，计算 j 指标的交叉熵熵值： $ce_j = -\sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln(p_{ij})$ ；然后，对交叉熵值进行标准化： $std_ce_j = (ce_j - mean(ce)) / std(ce)$ ；最后，计算指标权重 $w_j = (1 - w_e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - w_e_j)$ ，其中 $w_ce_j = \frac{1}{1 + e^{-std_ce_j}}$ 。借助交叉熵值法测度的两系统评价值重新计算“产业 - 环境”耦合协调发展程度。

2) 交通基础设施发展水平 $Trans_{it}$ 。以人均城市道路面积测度交通基础设施发展水平。

本文相关数据主要来源于《中国城市统计年鉴》，主要变量的描述性统计如表 1。

Table 1. Descriptive statistics of main variables
表 1. 主要变量的描述性统计

变量	定义	均值	标准差	最小值	最大值
D1	耦合协调度(熵值法)	0.3758	0.0294	0.2212	0.6362
D2	耦合协调度(交叉熵法)	0.5421	0.0394	0.2860	0.70627
Trans	人均城市道路面积对数化	2.3050	0.5839	-1.1712	4.6856
edu	万人在校大学生人数对数化	4.5543	1.1578	-0.5520	7.1787
fdi	外商投资规模	1.8577	1.9150	0.0000	19.7828
tax	宏观税负	0.0734	0.0288	0.0185	0.2592

4. 实证结果分析

(一) 基本回归结果

在进行面板回归模型分析前，首先运用 Hausman 检验，确定模型选择固定效应还是随机效应，检验结果显示 $\chi^2(16) = 39.64$, $\text{prob} > \chi^2 = 0.0009$ ，故本文选择固定效应模型，具体回归结果如表 2。

列(1)(2)为以熵值法测度的产业 - 环境耦合协调水平的回归结果，无论是否加入控制变量，交通基础设施发展水平的系数均为正，且通过 5%水平下的显著性检验，这意味着我国城市交通基础设施发展水平的提高能显著促进产业与环境耦合协调发展，验证了假说 1a。其原因主要包括以下两方面：一是交通基础设施发展水平的提高可加强我国各城市间的产业联系，为劳动力、资本、知识溢出等提供比较便捷的交通运输通道，促使产业向存在比较优势的区域集聚，形成产业集聚效应，进而提高各城市产业发展；二是高铁的开通可在提高交通基础设施发展水平的基础上，缓解公路交通压力，促进节能减排，正如范小敏和徐盈之[37]的观点，高铁开通可通过集聚和收入效应降低工业污染强度。列(3)(4)在以交叉熵权法重新测算产业 - 环境耦合协调水平进行替换后，其回归结果与(1)(2)的符合和显著性仍然一致，这也说明了本文的结果是稳健的。

从列(2)(4)所展示的回归结果来看，控制变量对我国城市产业与环境的耦合协调度的影响效果基本符合预期。教育水平的系数为正，且通过 10%水平下的显著性检验，这表明教育水平的提升可显著促进产业与环境的耦合协调程度。这是因为教育水平实际可看作对人力资本的投资，一方面，人力资本作为生产要素投入，有利于提高现有生产要素的利用效率，改善劳动生产率，为技术创新注入高素质劳动力，进而提高技术创新水平，从而促进两系统协调发展；另一方面，人力资本投资有利于促进科技发展，既能实现同等产出下的能源要素投入节约，也能通过促进绿色发展实现减排[38]。外商投资规模的系数显著为正，即外商投资规模有利于促进产业与环境的协调发展。其原因在于企业参与国际垂直专业化的过程

中，一方面可通过获得技术外溢，提高环境效率，另一方面在加速技术扩散，扩大清洁技术使用的基础上，考虑到环境管制背景的存在，形成倒逼机制，提升我国环境效率[39]，进而促进我国城市产业与环境的协调发展。序列(4)中宏观税负系数为负，且通过 5%水平下的显著性检验。这可能是由于地方政府在税收政策方面的适当倾斜，对国家不鼓励发展的产业部门采用增税政策加以抑制[40]，由于产业生产方式改变需要经历一定的时间，短期内会降低产业利润，限制高污染、高能耗产业的发展，这在一定程度上会限制产业发展，进而降低产业与环境耦合协调发展程度。

Table 2. Results of the impact of transportation infrastructure development on the coordinated development of industry and environment
表 2. 交通基础设施发展对产业与环境协调发展的影响结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
Trans	0.0030** (2.48)	0.0026** (2.10)	0.0063*** (3.72)	0.0056*** (3.33)
edu		0.0018* (1.71)		0.0025* (1.75)
fdi		0.0007*** (2.95)		0.0012*** (3.50)
tax		-0.0277 (-1.27)		-0.0588** (-1.97)
常数项	0.3404*** (127.70)	0.3336*** (65.83)	0.4879*** (133.10)	0.4791*** (68.80)
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes
N	3640	3640	3640	3640
R-squared	0.503	0.505	0.503	0.506

注：***、**、*分别表示 1%、5%和 10%的显著水平上显著，括号为 t 值。

(二) 稳健性检验

1) 内生性问题。上文已详细阐释了交通基础设施发展与产业 - 环境耦合协调发展间的关系，但考虑到两者间可能存在反向因果关系，而遗漏变量问题也是影响其内生性的另一重要原因。本文综合利用刘冲等[41]和吴群锋等[42]的做法，首先选择两个具有历史特征的变量，即 1985 年各省份铁路里程数和铁路货运量作为工具变量，这是因为铁路里程数和铁路货运量与交通基础设施发展水平有一定的相关性，但与研究期间内城市产业 - 环境协调发展程度并不直接相关，满足工具变量的基本假定；同时为了获得随时间变化的工具变量，将铁路里程数和铁路货运量与样本期内固定资产增长率的交叉项作为最终的工具变量。引入工具变量后的回归模型可表示为：

$$D_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 Trans1_{it} + \alpha_3 Trans2_{it} + \alpha_4 Control_{it} + \varepsilon_{it} \tag{2}$$

其中 $Trans1_{it}$ 和 $Trans2_{it}$ 分别表示交通基础设施发展水平的工具变量，其余变量的解释与公式(1)相同。

本文在利用 2SLS 对上述模型进行回归检验前，需对工具变量进行相关检验，工具变量的 Wald F 检验的值大于 10，即不存在弱工具变量的假设； $\chi^2(1) = 0.562$ ，P 值为 0.4534，不能拒绝“工具变量为外生”的原假设；不可识别检验的 Anderson LM 统计量的 P 值为 0.0000，拒绝原假设，即所选取的工具变量是有效的。同时本文为保证结果的稳健性还引入了有限信息最大似然法(LIML)和广义矩估计法(GMM)。具体结果如表 3。

由回归结果可知 2SLS、LIML 和 GMM 估计的解释变量的显著水平及其符号并未发生变化，仅系数

估计值的大小略有变化，这也意味着即使样本个体存在异方差，其回归结果依然稳健；无论采用何种工具变量法，交通基础设施发展水平的系数为正，且均通过 1%水平下的显著性检验，这表明考虑内生性问题后，其回归结果与基准模型一致。

Table 3. Results of instrumental variable test

表 3. 工具变量检验结果

变量	2SLS		LIML		GMM	
	D	D1	D	D1	D	D1
Trans	0.1289*** (12.78)	0.1718*** (12.90)	0.1291*** (12.77)	0.1723*** (12.88)	0.1293*** (12.31)	0.1726*** (12.36)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	0.1559*** (11.01)	0.2555*** (13.68)	0.1556*** (10.97)	0.2548*** (13.57)	0.1549*** (10.02)	0.2537*** (12.35)
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	3640	3640	3640	3640	3640	3640

注：***、**、*分别表示 1%、5%和 10%的显著水平上显著，括号为 z 值。

2) 删除直辖市样本。考虑到我国经济发展存在明显的区域差异，本文借鉴钱海章等[43]的做法，删除北京、天津、上海和重庆四个直辖市的相关数据，具体结果如表 4 的第(1)(2)列，由回归结果可知，无论是否引入控制变量，核心变量的显著性并未发生改变，仅回归系数略有变动，这意味着前文的结论是稳健的。

3) 替换核心解释变量。表 4 序列(3) (4)为将城市产业与环境协调发展程度变量替换成以交叉熵法核算耦合协调发展程度的回归结果，其回归系数为正，且均通过 1%水平下的显著性检验，与前文回归结果一致，说明本文的结果是稳健的。

Table 4. Results of robustness test for deleted samples from municipalities directly under the central government

表 4. 删除直辖市样本的稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	D	D	D1	D1
Trans	0.0030** (2.55)	0.0026** (2.17)	0.0061*** (3.64)	0.0055*** (3.25)
edu		0.0017* (1.74)		0.0024* (1.70)
fdi		0.0007*** (2.84)		0.0012*** (3.51)
tax		-0.0195 (-0.92)		-0.0506* (-1.68)
常数项	0.3400*** (132.16)	0.3330*** (68.40)	0.4877*** (133.23)	0.4788*** (69.17)
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes
N	3588	3588	3588	3588
R-squared	0.527	0.529	0.510	0.513

(三) 拓展分析

1) 城市异质性。考虑到我国幅员辽阔,在经济发展、资源禀赋等方面存在明显的差异,为探究地区异质性的存在,将 280 个城市划分为东部和中西部地区进行分样本回归;同时借鉴聂长飞等[44]的做法,以 300 万人口规模为界,将城市划分为大规模城市和小规模城市,具体结果如表 5。

由表 5 可知,序列(1)~(2)是以东、中西部为样本的回归结果,对东部城市而言,交通基础设施发展水平的回归系数为-0.0068,且通过 1%水平下的显著性检验,即交通基础设施的发展不利于东部城市产业与环境的协调发展,其原因可能在于:东部城市经济比较发达,具有较强的“虹吸”效应,对周边城市的人力、资本等形成较大的吸引力,但东部城市要素集聚程度超过一定程度后,会产生一定的拥挤效应,制约东部城市产业与环境的协调发展。序列(2)表明交通基础设施发展水平的系数显著为正,这意味着交通基础设施发展水平的提高可显著促进中西部城市产业与环境的协调发展,这是因为交通基础设施发展水平的提高缩短了中西部城市与东部发达城市间的可达性,促进了区间要素流动,为中西部城市产业与环境协调发展提供了便利的交通条件。序列(3)交通基础设施发展水平的系数为正,且通过 1%水平下的显著性检验,即交通基础设施发展水平可显著促进大规模城市产业与环境协调发展水平的提升,其原因在于:一方面,交通基础设施发展水平的提高在一定程度上缓解大规模城市交通拥堵问题,另一方面,交通基础设施发展水平的改善,扩大了劳动力供给范围,压缩劳动力进行跨区域转移的时间,改善劳动力要素的流通效率,提高劳动力供给的时效性,为人口向中心城市集聚提供了便利的交通条件,进而有利于发挥交通基础设施发展水平对大规模城市促进效应。对小规模城市而言,交通基础设施发展水平的系数为负,但未通过显著性检验,这意味着交通基础设施发展对小规模城市的影响并不显著,这是因为:虽然交通基础设施发展水平的提高可为要素流动提供便利的交通条件,但小规模城市劳动力资源相较于大规模城市匮乏,使其对小规模城市产业与环境协调发展程度的影响并不显著。

Table 5. Regression results of urban heterogeneity

表 5. 城市异质性回归结果

变量	地区异质性		规模异质性	
	(1) 东部	(2) 中西部	(3) 大规模城市	(4) 小规模城市
Trans	-0.0068*** (-3.19)	0.0032** (2.11)	0.0055*** (3.25)	-0.0016 (-0.95)
edu	0.0065*** (2.62)	-0.0006 (-0.50)	0.0004 (0.22)	0.0029** (2.20)
fdi	0.0008** (2.44)	-0.0007* (-1.69)	0.0010*** (3.09)	0.0004 (1.10)
tax	-0.1366*** (-3.51)	0.0207 (0.79)	-0.0636** (-2.20)	0.0258 (0.79)
常数项	0.3548*** (27.77)	0.3334*** (59.64)	0.3343*** (44.34)	0.3367*** (50.34)
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes
N	1313	2327	2334	1306
R-squared	0.443	0.551	0.508	0.504

2) 集聚异质性。考虑到我国 280 个城市产业与环境耦合协调发展过程中,集聚效应的存在会使交通基础设施影响效应的发挥产生差异性。本文采用两种方式测度不同城市的集聚程度:一是,借鉴周

国富等[45]等的做法,具体公式为: $agg_{it} = \sum_{j=1}^n |p_{ijt} - \bar{p}_{ijt}|$, 其中 agg_{it} 为 t 时期 i 城市的集聚水平, p_{ijt} 为 t

时期 i 城市 j 产业的就业比重, $\bar{p}_{ijt}$ 为除本城市以外的其他城市的 j 产业的就业比重的均值, 此时以 agg_{it} 的均值为界, 将城市划分为高集聚区 ($Magg_{it} = 1$) 和低集聚区 ($Magg_{it} = 0$)。二是, 采用张雯熹等[46]的做法, 具体计算公式为 $agg'_{it} = \sum_{j=1}^n |p_{ijt} - p'_{jt}|$, 其中 p_{ijt} 为 t 时期 i 城市 j 产业的就业比重, p'_{jt} 为我国 280 个城市 t 时期 j 产业的总就业比重, 此时以 agg'_{it} 的均值为界, 将城市划分为高集聚区 ($Magg'_{it} = 1$) 和低集聚区 ($Magg'_{it} = 0$)。具体回归结果如表 6。

由列(1)和(2)回归结果可知, 交通基础设施发展水平对高集聚区的影响系数为正, 且通过 1%水平下的显著性检验, 对低集聚区产业与环境协调发展的影响系数为负, 但未通过显著性检验, 即高集聚区的交通基础设施发展水平对产业与环境耦合协调发展程度的促进作用更为明显, 这是因为交通基础设施发展水平的提高可改善高集聚区不合理的产业布局, 为产业转移提供交通便利, 有利于形成不同地区的合理分工, 发挥中心城市示范、辐射带动作用, 缓解拥挤效应, 进而实现高集聚区产业与环境的协调发展; 但对低集聚区而言, 资源禀赋、收入水平、产业结构等方面与高集聚区均存在一定的差距, 集聚经济优势并不明显, 使其对低集聚区产业与环境协调发展程度的影响并不显著; 更换集聚测度方法的情况下, 列(3)和(4)中交通基础设施发展水平对高集聚区和低集聚区影响系数的符号和显著性并未发生改变, 仅系数略有变化, 这也进一步揭示了考虑集聚异质性的情况下, 上述结果是稳健的。

Table 6. The impact of transportation infrastructure development on the coordinated development of industry and environment under agglomeration heterogeneity

表 6. 集聚异质性下的交通基础设施发展对产业 - 环境耦合协调发展的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	高集聚区	低集聚区	高集聚区	低集聚区
Trans	0.0091*** (4.73)	-0.0008 (-0.51)	0.0071*** (3.73)	-0.0019 (-1.12)
edu	0.0043*** (2.77)	0.0007 (0.53)	0.0035** (2.14)	0.0009 (0.68)
fdi	0.0008** (2.25)	0.0004 (1.32)	0.0007** (1.97)	0.0004 (1.29)
tax	-0.0709** (-2.35)	0.0240 (0.78)	-0.0953*** (-3.12)	0.0163 (0.53)
常数	0.3142*** (41.86)	0.3432*** (50.52)	0.3201*** (41.89)	0.3473*** (51.86)
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes
N	1546	2094	1578	2062
R-squared	0.492	0.486	0.496	0.474

5. 结论与建议

为系统分析我国 280 个城市交通基础设施与产业 - 环境协调发展间的关系, 首先, 本文将三者纳入统一分析框架, 探究交通基础设施发展对产业 - 环境协调发展的影响效应, 然后, 在利用 2007~2019 年城市面板数据的基础上, 借助计量模型实证探究交通基础设施发展水平对产业 - 环境耦合协调发展程度的影响, 最后, 在考虑城市和集聚异质性的基础上, 探究交通基础设施发展水平对产业 - 环境耦合协调发展程度影响的差异性。主要结论包括以下几方面: 一是, 交通基础设施发展水平的提高可显著促进城市产业与环境的耦合协调发展程度。二是, 交通基础设施发展水平的提升不利于东部城市产业与环境的协调发展, 但对中西部城市具有显著的促进效应。三是, 交通基础设施发展水平的提高对大规模城市具

有显著的促进作用,但对小规模城市的影响并不显著,且对高集聚区的促进效应更为显著。四是,通过替换变量法、工具变量法进行稳健性和内生性检验,其实证结果仍然支持本文的基本结论。

基于上述结论,提出以下政策建议:

一是建立比较完善的区间合作机制。目前我国大部分城市的产业与环境耦合协调发展程度处于轻度失调阶段,为提高两系统的协调发展程度,各城市可通过加强区间空间联系、改善政绩考核机制、统一市场标准和竞争约束底线等方式,建立区间合作机制,鼓励各级地方政府进行区域合作,进而最大化各城市的整体利益,实现我国 280 个城市产业与环境系统的协调发展。

二是进一步优化交通布局,充分发挥高速铁路的溢出效应。考虑到我国 280 个城市交通基础设施发展水平对产业与环境耦合协调发展的影响较大,且公路碳排放远高于铁路的情况下,可根据地区发展需要改善交通运输结构,同时借助高铁网络建设,以“轨道人才”形成人才“蜂聚效应”,提高地区人力资本水平,为地区产业发展提供人才支撑。

参考文献

- [1] Ghani, E., Goswami, A.G. and Kerr, W.R. (2015) Highway to Success: The Impact of the Golden Quadrilateral Project for the Location and Performance of Indian Manufacturing. *The Economic Journal*, **126**, 317-357. <https://doi.org/10.1111/ecoj.12207>
- [2] 刘冲, 刘晨冉, 孙腾. 交通基础设施、金融约束与县域产业发展——基于“国道主干线系统”自然实验的证据[J]. 管理世界, 2019, 35(7): 78-88, 203.
- [3] 马光荣, 程小萌, 杨恩艳. 交通基础设施如何促进资本流动——基于高铁开通和上市公司异地投资的研究[J]. 中国工业经济, 2020(6): 5-23.
- [4] 梁双陆, 梁巧玲. 交通基础设施的产业创新效应研究——基于中国省域空间面板模型的分析[J]. 山西财经大学学报, 2016, 38(7): 60-72.
- [5] 韩峰, 史桐奇. 高铁开通能否助力中国制造业出口价值攀升[J]. 国际贸易问题, 2021(4): 94-109.
- [6] Luo, Z., Wan, G., Wang, C. and Zhang, X. (2018) Urban Pollution and Road Infrastructure: A Case Study of China. *China Economic Review*, **49**, 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2017.04.008>
- [7] 梁若冰, 席鹏辉. 轨道交通对空气污染的异质性影响——基于 RDID 方法的经验研究[J]. 中国工业经济, 2016(3): 83-98.
- [8] Chen, Y. and Whalley, A. (2012) Green Infrastructure: The Effects of Urban Rail Transit on Air Quality. *American Economic Journal: Economic Policy*, **4**, 58-97. <https://doi.org/10.1257/pol.4.1.58>
- [9] Yang, J., Chen, S., Qin, P., Lu, F. and Liu, A.A. (2018) The Effect of Subway Expansions on Vehicle Congestion: Evidence from Beijing. *Journal of Environmental Economics and Management*, **88**, 114-133. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.09.007>
- [10] 冯国强, 李菁. 城市轨道交通减排治污效应评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(10): 143-151.
- [11] 王晓宁, 张宏智, 付亚君. 高速公路环境影响评价指标及标准探讨[J]. 环境工程, 2016, 34(2): 143-146.
- [12] 张年, 张诚. 旅游经济-交通运输-生态环境耦合协调发展研究——以江西省为例[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(11): 1367-1371.
- [13] 郑兵云, 杨冕. 基于生态环境的城市交通效率及其影响因素分析[J]. 华东经济管理, 2018, 32(6): 164-170.
- [14] 王学渊, 李婧薇, 赵连阁. 地铁开通对城市空气质量的影响[J]. 中国人口科学, 2020(3): 89-103, 128.
- [15] Zeng, D. and Zhao, L. (2009) Pollution Havens and Industrial Agglomeration. *Journal of Environmental Economics and Management*, **58**, 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2008.09.003>
- [16] 齐园, 张永安. 产业结构演变与工业二氧化硫排放的关系——以京津冀为例[J]. 城市问题, 2015(6): 54-62.
- [17] 郭子琪, 温湖炜. 产业结构调整背景下的中国环境不平等[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 130-134.
- [18] 李强. 产业升级促进了生态环境优化吗——基于长江经济 108 个城市面板数据的分析[J]. 财贸研究, 2018, 29(12): 39-47.
- [19] 杨建林, 徐君. 经济区产业结构变动对生态环境的动态效应分析——以呼包银榆经济区为例[J]. 经济地理, 2015, 35(10): 179-186.

- [20] Cole, M.A. and Elliott, R.J.R. (2003) Determining the Trade-Environment Composition Effect: The Role of Capital, Labor and Environmental Regulations. *Journal of Environmental Economics and Management*, **46**, 363-383. [https://doi.org/10.1016/s0095-0696\(03\)00021-4](https://doi.org/10.1016/s0095-0696(03)00021-4)
- [21] 逯元堂, 吴舜泽, 马欣. 我国产业结构调整的环境成效实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 69-72.
- [22] 杜运苏, 张为付. 中国出口贸易隐含碳排放增长及其驱动因素研究[J]. 国际贸易问题, 2012(3): 97-107.
- [23] 苏振东, 周玮庆. 外商直接投资对中国环境的影响与区域差异——基于省际面板数据和动态面板数据模型的异质性分析[J]. 世界经济研究, 2010(6): 63-67.
- [24] 李小平, 卢现祥. 国际贸易、污染产业转移和中国工业行业的 CO₂ 排放[J]. 经济研究, 2010, 45(1): 15-26.
- [25] 豆建民, 沈艳兵. 产业转移对中国中部地区的环境影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 96-102.
- [26] 肖雁飞, 万子捷, 刘红光. 我国区域产业转移中“碳排放转移”及“碳泄漏”实证研究: 基于 2002 年、2007 年区域间投入产出模型的分析[J]. 财经研究, 2014, 40(2): 75-84.
- [27] Christainsen, G.B. and Haveman, R.H. (1981) The Contribution of Environmental Regulations to the Slowdown in Productivity Growth. *Journal of Environmental Economics and Management*, **8**, 381-390. [https://doi.org/10.1016/0095-0696\(81\)90048-6](https://doi.org/10.1016/0095-0696(81)90048-6)
- [28] Siegel, P.B. and Johnson, T.G. (1993) Measuring the Economic Impacts of Reducing Environmentally Damaging Production Activities. *Review of Regional Studies*, **23**, 237-254. <https://doi.org/10.52324/001c.9116>
- [29] Rhoades, S.E. (1985) *The Economist's View of the World: Government, Markets, and Public Policy*. Cambridge University Press, 341-350.
- [30] Hernandez-Sancho, F., Picazo-Tadeo, A. and Reig-Martinez, E. (2000) Efficiency and Environmental Regulation. *Environmental and Resource Economics*, **15**, 365-378. <https://doi.org/10.1023/a:1008359714729>
- [31] 王锋正, 郭晓川. 环境规制强度对资源型产业绿色技术创新的影响——基于 2003-2011 年面板数据的实证检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 143-146.
- [32] Berman, E. and Bui, L.T.M. (2001) Environmental Regulation and Productivity: Evidence from Oil Refineries. *Review of Economics and Statistics*, **83**, 498-510. <https://doi.org/10.1162/00346530152480144>
- [33] 钟茂初, 李梦洁, 杜威剑. 环境规制能否倒逼产业结构调整——基于中国省际面板数据的实证检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 107-115.
- [34] 朱英明, 杨连盛, 吕慧君, 等. 资源短缺、环境损害及其产业集聚效果研究——基于 21 世纪我国省级工业集聚的实证分析[J]. 管理世界, 2012(11): 28-44.
- [35] Ramanathan, R. (2001) The Long-Run Behaviour of Transport Performance in India: A Cointegration Approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **35**, 309-320. [https://doi.org/10.1016/s0965-8564\(99\)00060-9](https://doi.org/10.1016/s0965-8564(99)00060-9)
- [36] 崔彦哲, 赵林丹. 基于交叉熵的无偏赋权法[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(3): 181-197.
- [37] 范小敏, 徐盈之. 交通基础设施建设是否具有减排效应——来自中国高铁开通的证据[J]. 山西财经大学学报, 2020, 42(8): 56-70.
- [38] 巫和懋, 冯仕亮. 人力资本投资与跨越“中等收入陷阱”[J]. 当代财经, 2014(8): 5-14.
- [39] 杨杰. 国际垂直专业化对中国环境效率的影响研究[J]. 财经论丛, 2014(1): 10-15.
- [40] 毛军, 刘建民. 财税政策下的产业结构升级非线性效应研究[J]. 产业经济研究, 2014(6): 21-30.
- [41] 刘冲, 吴群锋, 刘青. 交通基础设施、市场可达性与企业生产率——基于竞争和资源配置的视角[J]. 经济研究, 2020, 55(7): 140-158.
- [42] 吴群锋, 刘冲, 祁涵. 交通基础设施建设、市场可达性与企业出口产品质量[J]. 经济科学, 2021(2): 33-46.
- [43] 钱海章, 陶云清, 曹松威, 等. 中国数字金融发展与经济增长的理论与实证 [J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(6): 26-46.
- [44] 聂长飞, 卢建新, 冯苑, 等. 创新型城市建设对绿色全要素生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(3): 117-127.
- [45] 周国富, 白士杰, 王溪. 产业的多样化、专业化与环境污染的相关性研究[J]. 软科学, 2019, 33(1): 81-86.
- [46] 张雯熹, 吴群, 王博, 黄静. 产业专业化、多样化集聚对城市土地利用效率影响的多维研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 100-110.