

亚太价值链嵌入如何影响中国的 空气污染

张志明 耿景珠 黄微

摘要：本文基于增加值贸易数据库、世界投入产出数据库和《中国工业经济统计年鉴》提供的基础数据，深入考察亚太价值链嵌入对中国空气污染的影响及其作用机制。研究表明：总体而言，亚太价值链嵌入加剧了中国的空气污染，且后向嵌入的加剧作用强于前向嵌入；从动态视角看，亚太价值链嵌入与空气污染呈现出显著的倒“U”型关系，且总体和后向嵌入仍处于亚太价值链嵌入的空气污染恶化区间，而前向嵌入处于空气污染恶化区间与改善区间的交界地带。需特别说明的是，以上结论存在显著的行业和嵌入对象异质性。进一步的作用机制检验表明，产出规模扩大和空气污染排放强度提高是亚太价值链嵌入加剧空气污染的两个重要渠道，且产出规模扩大的中介效应更为凸显。

关键词：亚太价值链嵌入；空气污染；嵌入模式；作用机制

[中图分类号] F742 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2020) 02-0044-15

引言

自21世纪90年代以来，凭借良好的基础设施、先进的加工技术及相对低廉的劳动成本，中国成功嵌入亚太价值链分工网络，并已成为亚太价值链的重要参与者，在亚太价值链分工网络中扮演着“中转站”角色。然而随着中国嵌入亚太价值链的程度不断深化，中国的空气污染问题日趋严重，且已引起学术界和实践部门的高度关注。近年来，越来越多的学者开始从对外开放视角探究中国环境污染的原因与机制，且鉴于中国的对外贸易和引进外资主要围绕嵌入全球价值链分工展开，从嵌入全球价值链分工视角考察中国环境污染的动因就显得尤为重要。在亚太价值链分工过程中，为降低实施较高环保标准所带来的成本和费用，亚太发达经济体的企业先将产品的生产过程分割成不同生产环节，然后将污染密集生产环节外包给环

[收稿日期] 2019-01-21

[基金项目] 广东省软科学面上项目“中美贸易摩擦对广东先进制造业攀升全球价值链的影响机制与应对策略研究”；国家社会科学基金青年项目“中国嵌入亚太价值链的模式演进、绩效评估与升级策略研究”(16CJY058)。

[作者信息] 张志明：广东外语外贸大学经济贸易学院副教授、硕士生导师；耿景珠（通讯作者）：辽宁大学经济学院硕士研究生 110036 电子信箱 lnugeng@163.com；黄微：辽宁大学经济学院硕士研究生。

境管制标准相对较低的中国等发展中经济体。显然,这种分工模式很可能会使中国的环境污染问题恶化。据此,本文将着重考察嵌入亚太价值链究竟对中国空气污染产生怎样的影响?不同嵌入模式的影响是否有所差异?以及内在的作用机制又是如何?对以上问题的回答有助于我们深入了解中国空气污染的内在动因,并为治理空气污染提供政策参考。

与本文研究主题最为相关的文献是全球价值链嵌入与环境污染的相关研究。国内外学者关于全球价值链嵌入与环境污染之间关系的研究得出了基本一致的结论,即全球价值链嵌入加剧了中国的环境污染。Zhang等(2017)^[1]基于多区域投入产出模型(MRIO)从国家层面分解了全球价值链对环境污染的影响,结果表明同最终品贸易相比,中间品贸易对环境的破坏更为凸显,中国在以加工贸易方式嵌入全球价值链的同时,环境污染问题随之恶化。Duan和Yan(2019)^[2]同样基于MRIO模型的研究表明在嵌入全球价值链的过程中,每一美元的增加值创造对中国造成的环境损失远高于我国贸易伙伴。李斌和彭星(2011)^[3]的研究认为,全球价值链对中国碳排放产生较大的促进作用,但中国并不存在类似于环境库兹涅茨曲线(EKC)的现象。杨飞等(2017)^[4]从行业层面的实证研究结果表明,全球价值链参与对中国污染排放的影响存在门槛效应,当全球价值链嵌入度小于门槛值时,其会加剧污染排放,反之会降低污染排放。余娟娟(2017)^[5]从微观企业层面考察了全球价值链嵌入与企业污染排放的关系,发现全球价值链嵌入总体上加剧了环境污染,具体到影响途径,投入产出结构的偏污性加剧了企业的污染排放,而企业要素生产率的提高降低了企业污染排放。

与已有研究文献相比,本文的主要贡献体现在以下三个方面:第一,采用熵权法构建空气污染综合指数,从整体上衡量各个行业的空气污染程度,以往有关经济全球化与空气污染的研究大都采用二氧化碳、二氧化硫或其他某种污染气体来度量空气污染程度,事实上,空气污染是由众多污染气体排放所引致,故本文采用熵权法构建起由二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、一氧化二氮(N_2O)及氮氧化物(NO_x)等8种污染气体构成的空气污染综合指数,借此可更全面客观地衡量空气污染程度;第二,将亚太价值链的总体、前向和后向嵌入度纳入到统一的计量框架内,既有助于全面考察中国嵌入亚太价值链分工的内在特征,也有助于更深入地了解亚太价值链嵌入对空气污染的影响效应;第三,为得到更丰富的研究结论,本文还考察了亚太价值链嵌入影响中国空气污染的行业和嵌入对象异质性;第四,通过构建中介效应模型深入考察了亚太价值链嵌入影响空气污染的作用机制,进而深化了对全球价值链嵌入与空气污染之间关系的认识。

一、实证模型设定与变量说明

(一) 实证模型设定

为检验嵌入亚太价值链对中国空气污染的平均影响效应,本文借鉴许和连和邓玉萍(2012)^[6]、余长林等(2015)^[7]构建空气污染影响因素计量方程的思路,结合本文的研究问题,构建了如下基准计量模型:

$$p_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 \ln rgdp_{it} + \beta_2 \ln^2 rgdp_{it} + \beta_3 \ln cy_{it} + \beta_4 z + \eta_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 和 t 分别表示行业和年份, p 为空气污染综合指数, $rgdp$ 为人均国内生产总值, cy 为总体亚太价值链嵌入度 (zcy)、前向亚太价值链嵌入度 ($qxcy$) 和后向亚太价值链嵌入度 ($hxcy$) 的总称, 其中, 总体亚太价值链嵌入度和后向亚太价值链嵌入度两部分构成, 即 $zcy = qxcy + hxcy$ 。 z 为影响空气污染的其他控制变量, η_i 为行业固定效应, λ_t 为时期固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。

(二) 变量与数据说明

1. 被解释变量

空气污染综合指数 (p), 借鉴许和连和邓玉萍 (2012) 的测算方法, 本文选取二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4)、一氧化二氮 (N_2O)、氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x)、一氧化碳 (CO)、非甲烷挥发性有机物 ($NM VOC$) 以及氨气 (NH_3) 8 种气体的排放量作为空气污染度量指标, 采用熵权法测算 15 个行业的空气污染综合指数 (p_i), p_i 的值越大, 表示该行业的空气污染程度越高^①。其中, 8 种气体排放量数据均来源于 WIOD 数据库的环境账户。

2. 核心解释变量

借鉴 Koopman 等 (2014)^[8] 构建全球价值链嵌入度的思路, 本文将亚太价值链总体嵌入度 (zcy) 划分为亚太价值链前向嵌入度 ($qxcy$) 与后向嵌入度 ($hxcy$) 两部分, 其中, 亚太价值链前向嵌入度为由中国创造并通过中间品形式出口到其他亚太经济体经再加工后又出口的增加值占中国向其他亚太经济体总出口额之比, 亚太价值链后向嵌入度为中国总出口中包含的其他亚太经济体增加值占中国向其他亚太经济体总出口额之比, 亚太价值链总体嵌入度为亚太价值链前向与后向嵌入度的加总。需特别说明的是, 由于各亚太价值链嵌入度指标的测度数据均来源于 WTO/OECD-TIVA 数据库, 因此, 本文将在 WTO/OECD-TIVA 数据库所提供的相关数据指标基础上构建指标体系, 具体的测算公式如下:

$$zcy_{it} = qxcy_{it} + hxcy_{it} \quad (2)$$

$$qxcy_{it} = \frac{\sum_{N=1}^K (VAIE_{it}^{CN} - GT_{it}^{CN} \times VAIFES_{it}^C) \times REIS_{it}^N}{\sum_{N=1}^K GT_{it}^{CN}} \times 100\%, \quad N = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$hxcy_{it} = \frac{APAV_{it}^C}{\sum_{N=1}^K GT_{it}^N} \times 100\%, \quad N = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

在式 (2)、式 (3)、式 (4) 中, 下标 i 为行业, t 为年份。 $VAIE^{CN}$ 为中国对经济体 N 总出口中包含的中国增加值, N 为除中国和巴布亚新几内亚外的其他亚太经济体, GT^{CN} 为中国对经济体 N 的总出口额, $VAIFES^C$ 为中国最终品增加值出口额占其总出口额之比, $REIS^N$ 为经济体 N 的中间品进口加工再出口额占中间品进口额之

^①限于篇幅, 具体测算方式没有具体给出, 如读者想要, 可向作者索要。

比, $APAV^C$ 为中国总出口中包含的其他亚太经济体增加值之和。

为进一步考察亚太价值链嵌入度的国别异质性, 本文将亚太价值链嵌入度划分为亚太发达与发展中经济体价值链嵌入度, 前、后向亚太价值链嵌入度也按此方法进行划分。以亚太发达经济体价值链嵌入度为例, 具体的测算公式如下:

$$zcy_u^{FD} = qxcy_u^{FD} + hxcy_u^{FD} \quad (5)$$

$$qxcy_u^{FD} = \frac{\sum_{N=1}^K (VAIE_u^{CN} - GT_u^{CN} \times VAIFES_u^C) \times REHS_u^N}{\sum_{N=1}^K GT_u^{CN}} \times 100\%$$

$$N \in \{APEC \text{ 经济体中的发达经济体}\} \quad (6)$$

$$hxcy_u^{FD} = \frac{APAV_u^C}{\sum_{N=1}^K GT_u^{CN}} \times 100\%, \quad N \in \{APEC \text{ 经济体中的发达经济体}\} \quad (7)$$

与式 (2)、式 (3)、式 (4) 不同, 在式 (5)、式 (6)、式 (7) 中, 上标 N 为除中国和巴布亚新几内亚外的其他亚太经济体, GT^{CN} 为中国对经济体 N 的总出口额, $VAIFES^C$ 为中国最终品增加值出口额占其总出口额之比, $REHS^N$ 为经济体 N 的中间品进口加工再出口额占中间品进口额之比, $APAV^C$ 为中国总出口中包含的其他亚太经济体增加值之和。亚太发展中经济体价值链嵌入度的指标构建思路与亚太发达经济体价值链嵌入度完全相似, 因而不赘述。

3. 控制变量

除核心解释变量外, 本文还控制了如下变量: 一是人均实际 GDP (\lnrgdp), 为验证人均收入与空气污染之间是否存在环境库兹涅茨曲线关系, 本文采用人均实际 GDP 表示人均收入水平, 在模型中加入人均实际 GDP (\lnrgdp) 及其平方项 (\ln^2rgdp), 其中, 人均实际 GDP 利用各行业实际 GDP 与总就业人数之比衡量, 各行业实际 GDP 和总就业人数数据均来源于 WIOD 数据库的社会经济账户; 二是能源效率 (\lnnyxl), 能源效率越高, 意味着能源使用越有效率, 在给定的生产水平下, 改善能源效率将会降低空气污染, 本文采用各行业的总能源使用量与实际 GDP 的比值来表示能源效率, 该比值越低, 表示能源效率越高, 因此本文预期能源效率的回归系数为正, 总能源使用量数据来源于 WIOD 数据库的环境账户; 三是研发强度 (\lnrd), 通常而言, 研发能力越强, 行业的技术水平和生产效率就越高, 单位产出的能耗和污染物排放也就越少, 故研发强度对因变量的预期符号为负, 本文采用各行业的研发经费内部支出占 GDP 的比重来表示研发强度, 研发经费数据来源于《中国科技统计年鉴》; 四是外商直接投资 (\lnfdi), FDI 一方面会将高污染、高耗能的污染产业带入中国, 显著加剧中国的空气污染, 即产生“污染天堂效应”, 另一方面 FDI 通过将其国内先进的环保战略、清洁技术和管理理念引入中国, 可以缓解中国的空气污染压力, 因此 FDI 对空气污染的影响符号难以确定, 借鉴盛斌和吕越 (2012)^[9] 的做法, 采用外资企业的增加值占总增加值的比重来表示行业外商直接投资利用程度, 其数据来自《中国工业经济统计年鉴》; 五是劳均

资本 ($lnlc$)，许和连和邓玉萍 (2012) 认为，劳均资本越高，意味着该行业有足够资本引进或研发更先进的生产技术，进而其单位产出的排污强度就会相应降低，因此，劳均资本的增加会抑制空气污染，预期其估计系数符号为负，本文利用各行业实际固定资本存量与总就业人数之比来表示劳均资本，其中各行业实际固定资本存量和总就业人数数据均来源于 WIOD 数据库的社会经济账户。最终对以上所有变量都进行取自然对数处理。

需特别说明的是，本文选取 1995—2009 年中国 15 个工业行业为样本，相关原始数据主要来源于 WTO 和 OECD 最新发布的增加值贸易数据库 (WTO/OECD-TIVA)、世界投入产出数据库 (WIOD) 和《中国工业经济统计年鉴》。由于 WIOD 数据库和 WTO/OECD-TIVA 数据库均采用 NACE 产业分类法进行行业划分，而《中国工业经济统计年鉴》是按照国民经济行业分类标准 (GB/T4754-2011) 来分类。故为实现行业统计口径的一致性，本文将《中国工业经济统计年鉴》的行业数据与 WIOD 数据库和 WTO/OECD-TIVA 数据库进行匹配，并最终匹配出 15 个工业行业^①。为了从分行业视角考察中国嵌入亚太价值链的模式升级特征，借鉴 Foster-McGregor 等 (2013)^[10] 的分类方法，按照技术密集度水平高低，本文进一步将 15 个行业划分为低、中和高技术行业三个类别。

二、实证结果及分析

(一) 实证方法选择

为保证本文实证结果的可靠性和准确性，需要考虑由本文的核心解释变量 (亚太价值链嵌入度) 与空气污染之间可能存在的相互因果关系以及遗漏变量问题所引致的内生性问题。

为验证内生性问题是否真实存在，本文采用 Davidson 和 MacKinnon (1993)^[11] 提出的方法来检验核心解释变量的内生性问题。由检验结果可知^②，对于所有核心解释变量而言，Davidson-MacKinnon 检验结果对应的 p 值均大于 0.3，说明各核心解释变量并不存在内生性问题，据此，本文可以使用普通最小二乘法进行估计分析。然而，由于本文采用的是行业面板数据，在利用行业面板数据进行估计分析时，会面临组间异方差、组内自相关及组间同期相关三大问题的困扰，进而引致估计结果出现偏误。为此，本文分别采用 LR 异方差检验统计量、Wooldridge 自相关检验统计量和 LM 组间同期相关检验统计量来进行检测，结果显示，各计量方程均存在组间异方差、组内自相关和组间同期相关问题^③。故本文利用可同时修正组间异方差、组内自相关和组间同期相关问题的面板 FGLS 方法进行有效估计。为了控制行业间的个体效应和时期效应，本文通过加入行业虚拟变量和时期虚拟变量，实现 FGLS 的行业与时期双向固定效应模型估计。

①限于篇幅，具体匹配结果并未给出，有需要者可向作者索取。

②限于篇幅，具体检验结果并未列出，有需要者可向作者索取。

③限于篇幅，具体检验结果并未列出，有需要者可向作者索取。

(二) 基准回归结果分析

表1的第(1)、(3)和(5)列分别给出了亚太价值链总体嵌入度($\ln zcy$)、前向嵌入度($\ln qxcy$)和后向嵌入度($\ln hxcy$)对空气污染影响的估计结果。结果表明,无论是亚太价值链总体嵌入(后文简称为总体嵌入)还是亚太价值链前向、后向嵌入(后文简称为前向嵌入、后向嵌入),其估计系数均为正,且总体嵌入与后向嵌入在1%的水平上通过了显著性检验。这意味着平均来看亚太价值链嵌入加剧了中国空气污染。可能的原因是,目前中国在亚太价值链中主要承担“亚洲工厂”和“加工贸易中心”的职能,价值链上游的美国、日本和韩国等将低技术中间品的生产和最终组装环节外包给中国,并将中国打造成塑料、橡胶和钢铁零件的生产集聚地。这意味着,随着中国嵌入亚太价值链程度的深化,中国的资源消耗和排污量将随之大幅增加(Baldwin and Lopez-Gonzalez, 2015)^[12],空气污染程度也将日趋严峻。与此同时,与美国、日本和韩国等亚太价值链上游国家相比,中国的污染密集型产业国际竞争力相对较强,且中国的环境标准仍相对较低(Antweiler et al., 2001^[13];李玉楠和李廷,2012^[14])。因此,亚太价值链上游国家通过将污染密集型生产环节转移到中国,使中国成为空气污染型产品的出口国(谢建国和姜珮珊,2014)^[15],进而加剧了中国的空气污染程度。

比较各变量回归系数的大小发现,后向嵌入的回归系数明显大于前向嵌入,前者是后者的4倍有余,这说明相比前向嵌入,后向嵌入对中国空气污染的加剧作用更强,这也在一定程度上表明,亚太价值链嵌入对空气污染的加剧作用主要通过后向嵌入来实现。可能的原因是,一方面,中国在亚太价值链中的地位决定了后向嵌入对空气污染的影响效应更容易产生,在亚太价值链分工体系中,中国主要承担低附加值、低技术含量的生产工序,这意味着中国从后向嵌入亚太价值链更为容易,相应地,后向嵌入亚太价值链对中国空气污染的影响也就更容易实现;另一方面,根据测算结果可知,在1995-2009年间,中国的亚太价值链后向嵌入度均值为36.4%,而前向嵌入度仅为10.2%,故较高水平的后向嵌入度决定了其对空气污染的加剧效应更强。

对于各控制变量而言,人均实际GDP($\ln rgdp$)的一次项的回归系数显著为正,在总体嵌入和前向嵌入的情况下,二次项回归系数显著为负,这说明人均实际GDP与空气污染之间存在显著的倒“U”型关系,这与Pal和Mittra(2017)^[16]的研究结论相符;能源效率($\ln nyxl$)的回归系数显著为正,即能源效率的提升会遏制我国的空气污染,可能原因是能源效率的提升抑制了我国化石能源需求的增长,激励了新能源及可再生能源的推广,进而降低了空气污染物的排放(林伯强和李江龙,2015)^[17];研发强度($\ln rd$)的回归系数显著为负,说明高研发强度有助于缓解我国空气污染;外商直接投资的回归系数($\ln fdi$)显著为正,这再次印证了“污染天堂”假说,也与Ren等(2014)^[18]的研究相一致,也就是说,与我国相比,发达国家具有更为严苛的环境规制,因此跨国公司以FDI的形式将污染密集型产业转移至我国,引致我国空气污染的恶化;劳均资本($\ln lc$)的回归系数显著为负,说明产品的资本和技术含量增加有助于缓解我国空气污染。

前文实证模型主要检验了嵌入亚太价值链对空气污染的平均影响效应,然而已有相关研究表明,亚太价值链嵌入与中国空气污染之间可能存在倒“U”型的非线性关系,为验证非线性关系是否存在,本文在基准计量模型的基础上加入 $\ln cy$ 的二次项进行再估计。具体估计结果见表1的第(2)、(4)、(6)列,其中第(2)、(4)和(6)列分别给出了总体嵌入、前向嵌入和后向嵌入加入二次项后的估计结果。估计结果显示,无论从总体嵌入还是从前、后向嵌入来看,亚太价值链嵌入与空气污染之间都存在显著的倒“U”型关系,即当亚太价值链嵌入度小于某临界值时,亚太价值链嵌入对空气污染具有正向影响,一旦亚太价值链嵌入度超越该临界值,亚太价值链嵌入对空气污染的影响就会由正转负,这无疑类似于环境库兹涅茨曲线(EKC)。可能的解释是:在嵌入亚太价值链的初期阶段,中国为了更深入嵌入亚太价值链,吸引更多的外资流入,往往会放宽引入标准,加速自然资源的开发和利用并生产更多的污染密集型产品,其出口产品也往往是污染密集型和资源消耗型产品,从而沦为发达国家的“污染天堂”(List and Catherine, 2000)^[19]。因此,

表1 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln rgdp$	0.0103*** (7.32)	0.0085*** (6.85)	0.0122*** (8.35)	0.0108*** (7.42)	0.0117*** (8.81)	0.0116*** (9.52)
$\ln^2 rgdp$	-0.0008** (-2.27)	-0.0006** (-2.05)	-0.0005* (-1.70)	-0.0001 (-0.34)	-0.0006 (-1.60)	-0.0002 (-0.70)
$\ln nyxl$	0.0079*** (10.30)	0.0066*** (11.84)	0.0076*** (11.55)	0.0061*** (8.76)	0.0087*** (12.83)	0.0082*** (12.78)
$\ln rd$	-0.0002* (-1.73)	-0.0002*** (-4.27)	-0.0001 (-1.19)	-0.0001 (-1.18)	-0.0002** (-2.46)	-0.0002*** (-2.69)
$\ln fdi$	0.0018*** (5.07)	0.0013*** (4.09)	0.0019*** (5.71)	0.0014*** (4.38)	0.0019*** (5.86)	0.0015*** (5.69)
$\ln lc$	-0.0143*** (-11.01)	-0.0117*** (-11.68)	-0.0149*** (-13.15)	-0.0117*** (-9.42)	-0.0148*** (-12.79)	-0.0129*** (-16.61)
$\ln zcy$	0.0011*** (3.10)	0.0035*** (8.55)				
$\ln^2 zcy$		-0.0005*** (-5.73)				
$\ln qxcy$			0.0003 (1.12)	0.0007*** (2.76)		
$\ln^2 qxcy$				-0.0003*** (-4.14)		
$\ln hxcy$					0.0013*** (5.01)	0.0027*** (6.31)
$\ln_2 hxcy$						-0.0004*** (-3.81)
_cons	0.1800*** (14.20)	0.1618*** (14.97)	0.1934*** (16.62)	0.1741*** (14.65)	0.1772*** (15.27)	0.1585*** (29.08)
时期效应	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
N	225	225	225	225	225	225

注:系数下方括号内的数字为估计值的Z统计值;*、**和***分别表示10%、5%和1%的显著性水平;下表同。

持续下降的环保标准将会出现“向（环境标准）底线竞赛”现象，进而引致初始嵌入亚太价值链会加剧中国的空气污染（Esty and Dua, 1997）^[20]。然而随着亚太价值链嵌入程度的深化，中国企业会学习亚太价值链上、下游企业的先进清洁生产技术和严格的统一环境标准，由此会产生污染晕轮效应（Eskeland and Harrison, 2003）^[21]和环保标准的外溢效应，即清洁的生产技术和严格的统一环境标准可以抑制中国的空气污染，因此“污染天堂”只是一个短暂的现象。

根据第（2）、（4）和（6）列的回归结果，本文计算了总体嵌入度（ $\ln zcy$ ）、前向嵌入度（ $\ln qxcy$ ）和后向嵌入度（ $\ln hxcy$ ）的临界值，分别为3.5、1.1和3.2，对比 $\ln zcy$ 、 $\ln qxcy$ 和 $\ln hxcy$ 的样本均值（分别为2.3、1.0和1.9）发现，总体而言，总体和后向嵌入度并未跨越临界值，仍处于空气污染的加剧区间内，而前向嵌入度已处于临界值附近，由空气污染的加剧区间向抑制区间过渡，该结论显然与表1第（1）、（3）和（5）列的实证结果相吻合。

（三）考虑内生性问题的稳健性检验

尽管前文的内生性检验结果显示本文的核心解释变量并不存在内生性问题，但考虑到内生性问题的复杂性，仍需要在考虑内生性问题的情形下进行稳健性检验。为避免亚太价值链嵌入可能存在的内生性问题，借鉴吕越等（2018）^[22]的做法，本文以核心解释变量的滞后一、二期值作为工具变量，采用系统2SLS（两阶段最小二乘法）进行再估计。由估计结果可知^①，Sargan检验不能拒绝工具变量有效的原假设，这说明系统2SLS估计结果是有效的。此外，对比2SLS估计结果与基准估计结果发现，在控制了可能存在的内生性问题后，各核心解释变量的估计结果与基准估计结果基本一致，说明上文所得结论是稳健的。

（四）异质性分析

前文以不同行业 and 不同亚太价值链合作经济体为总样本综合考察了嵌入亚太价值链对我国空气污染的平均影响效应，而未对不同特征行业及不同特征亚太价值链合作经济体的影响加以区别。本文将从行业层面的异质性以及亚太价值链合作经济体的异质性深入考察亚太价值链嵌入对空气污染的异质性影响。

1. 区分发达与发展中经济体

考虑到嵌入对象在要素禀赋、产业结构及经济发展水平等方面存在显著差异，故中国嵌入亚太不同类型经济体价值链可能对空气污染造成不同影响。本文按照通行做法，根据是否属于OECD成员，将各亚太经济体划分为亚太发达经济体（即OECD成员）与亚太发展中经济体（即非OECD成员）两类。对亚太发达经济体与发展中经济体的具体估计结果见表2和表3。

由表2和表3的第（1）、（3）和（5）列可知，总体嵌入发达经济体价值链对空气污染的影响不显著，而总体嵌入发展中经济体价值链对空气污染的影响显著为正。这说明与发达经济体相比，嵌入发展中经济体价值链分工网络对中国空气污染产生了较强的加剧作用。引致这一差异的可能原因为，前向嵌入发达经济体价值链

^①限于篇幅，具体估计结果未给出，如读者需要，可向作者索要。

对空气污染的缓解作用与后向嵌入的加剧作用势均力敌，互相抵消，因此总体嵌入发达经济体价值链难以显著影响空气污染。与此不同，前向嵌入发展中经济体价值链的负向影响小于后向嵌入的正向影响，故总体嵌入发展中经济体价值链加剧了空气污染。此外，无论对于发展中经济体还是发达经济体而言，后向嵌入均显著加剧了空气污染，而前向嵌入均抑制了空气污染。不同之处在于，与发展中经济体相比，后向嵌入发达经济体价值链对空气污染的加剧作用相对较弱，而前向嵌入的抑制作用相对较强。

表2 发达经济体回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln zcy$	-0.0001 (-0.60)	-0.0005 ** (-2.07)				
$\ln^2 zcy$		0.0001 ** (2.56)				
$\ln qxcy$			-0.0011 *** (-10.80)	-0.0011 *** (-10.48)		
$\ln^2 qxcy$				0.0001 * (1.68)		
$\ln hxcy$					0.0005 *** (4.27)	0.0002 (0.85)
$\ln^2 hxcy$						0.0001 (1.54)
_cons	0.1896 *** (24.29)	0.1990 *** (19.96)	0.1760 *** (26.85)	0.1733 *** (25.47)	0.1999 *** (22.25)	0.1790 *** (14.54)
Controls	是	是	是	是	是	是
时期效应	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
N	225	225	225	225	225	225

注：限于篇幅，本文省略对控制变量估计结果的汇报（备索），下表同。

进一步由表2和表3的第(2)、(4)和(6)列可知，总体及前、后向嵌入发展中经济体价值链与空气污染之间均存在显著的倒“U”型关系；而总体与前向嵌入发达经济体价值链与空气污染之间存在显著的“U”型关系。其原因可能是，与中国相比，亚太发达经济体的环境标准和技术标准均相对较高，因此，中国嵌入亚太发达经济体价值链就需要按照发达经济体的环境标准和技术标准开展生产活动，这就会迫使中国企业在嵌入亚太发达经济体价值链时不断提高能源使用技术和降低空气污染排放强度，进而减弱了空气污染。然而，一旦成功嵌入发达经济体价值链，出于节约成本和提高利润的考虑，中国企业就会降低环境标准，增加空气污染排放强度，即随着嵌入程度深化，空气污染逐步加剧。

表3 发展中经济体回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnzcy	0.0013*** (7.21)	0.0017*** (7.32)				
ln ² zcy		-0.0002*** (-2.86)				
lnqxcy			-0.0003* (-1.79)	-0.0004** (-2.29)		
ln ² qxcy				-0.0003*** (-4.53)		
lnhxcy					0.0013*** (9.68)	0.0013*** (8.55)
ln ² hxcy						-0.0001*** (-2.59)
_cons	0.1567*** (12.12)	0.1670*** (12.16)	0.1975*** (23.30)	0.1841*** (16.75)	0.1673*** (19.64)	0.1726*** (18.16)
Controls	是	是	是	是	是	是
时期效应	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
N	225	225	225	225	225	225

2. 区分低技术与中高技术行业

为进一步考察嵌入亚太价值链对空气污染的异质性，本文分别实证分析了低技术和中高技术行业嵌入亚太价值链对空气污染的影响。结果如表4和表5所示。

表4 低技术行业回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnzcy	0.0009** (2.17)	0.0077*** (3.16)				
ln ² zcy		-0.0014*** (-3.21)				
lnqxcy			0.0004* (1.95)	0.0018** (2.11)		
ln ² qxcy				-0.0010*** (-3.32)		
lnhxcy					0.0012*** (3.33)	0.0047*** (3.27)
ln ² hxcy						-0.0009*** (-3.11)
_cons	0.1655*** (7.34)	0.1046*** (3.28)	0.1985*** (8.77)	0.1906*** (6.95)	0.1546*** (6.11)	0.1418*** (5.41)
Controls	是	是	是	是	是	是
N	75	75	75	75	75	75

表5 中高技术行业回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnzcy	0.0001 (0.56)	0.0003 (0.52)				
ln ² zcy		-0.0001** (-2.57)				
lnqxcy			0.0008*** (5.77)	0.0004* (1.50)		
ln ² qxcy				-0.0001** (-2.05)		
lnhxcy					-0.0003*** (-3.17)	-0.0002 (-0.38)
ln ₂ hxcy						-0.0001** (-2.15)
_cons	0.0523*** (8.32)	0.0374*** (5.73)	0.0541*** (8.52)	0.0398*** (4.81)	0.0534*** (10.53)	0.0459*** (9.06)
Controls	是	是	是	是	是	是
N	150	150	150	150	150	150

由表4和表5的第(1)、(3)和(5)列可知,总体而言,低技术行业的总体、前向和后向嵌入的估计系数均显著为正,说明低技术行业无论以怎样的方式嵌入亚太价值链,都会造成空气污染的恶化。与低技术行业不同,中高技术行业总体嵌入的估计系数不显著,前向嵌入的估计系数显著为正,而后向嵌入的估计系数显著为负,说明中高技术行业前向嵌入加剧了空气污染,而后向嵌入抑制了空气污染。比较以上分析不难发现,中高技术行业嵌入亚太价值链对中国空气污染的加剧作用明显小于低技术行业,尤其值得注意的是,中高技术行业的后向嵌入还对空气质量产生改善效应。可能的解释是:其一,中高技术行业的中间品进口程度较高,是中国实现高技术产品的引进、消化、吸收和再创新的主要阵地(王俊,2013^[23];张杰,2015^[24]),因此,该类行业后向嵌入有助于提升其生产技术水平,降低空气污染排放强度;其二,中高技术行业嵌入亚太价值链主要从事资本技术密集型零部件的生产,而将污染密集型生产环节外包给下游的经济体,从而提升了该类行业的产品质量,降低了产品的污染排放。与中高技术行业嵌入相比,中国的低技术行业主要凭借低廉的劳动成本和较低的环境标准嵌入亚太价值链,所承接的多为劳动密集型和资源密集型生产环节,因此低技术行业嵌入亚太价值链所带来的空气污染要远大于中高技术行业。

表4和表5的第(2)、(4)和(6)列分别给出了低技术行业和中高技术行业总体、前向和后向嵌入对中国空气污染影响的二次项估计结果。无论是中高技术还是低技术行业,总体、前向和后向嵌入的二次项系数均在5%水平下显著为负,说明无论从总体、前向还是从后向嵌入,两类行业嵌入亚太价值链与中国空气污染之间均呈现出显著的倒“U”型关系。

此外,通过对比各类行业亚太价值链嵌入度的样本均值与临界值,本文发现中高技术行业的后向嵌入已处于空气污染的抑制区间,但其前向和总体嵌入仍旧处于空气污染的加剧区间。就低技术行业而言,其前向、后向和总体嵌入均处于空气污

染的加剧区间。

三、亚太价值链嵌入影响空气污染的作用机制检验

(一) 中介效应模型与指标度量

前文研究表明, 总体而言, 亚太价值链嵌入对中国的空气污染具有加剧作用。那么这种加剧效应是通过何种渠道来实现? 为更深入地考察亚太价值链嵌入与空气污染之间的内在关系, 本文通过构建中介效应模型对其中可能的作用机制进行实证分析。借鉴相关研究成果, 选择产出规模和空气污染排放强度作为中介变量。其中, 产出规模和空气污染排放强度分别由人均 GDP (\lnrgdp) 和能源效率^①(\lnnyxl) 来度量。借鉴毛其淋等 (2017)^[25] 构建中介效应模型的思路, 本文构建了待估中介效应模型^②。需特别说明的是, 能源投入 ($nytr$) 用各行业总能源投入量与行业总产出之比来表示, 总能源投入量数据来源于 WIOD 数据库的环境账户。

(二) 作用机制检验

表 6 给出了中介效应模型的估计结果。结果显示, 总体而言, 总体和后向嵌入通过扩大产出规模和提高空气污染排放强度显著加剧了空气污染, 但前向嵌入没能通过这两种渠道对空气污染产生影响, 这表明生产规模和空气污染排放强度是亚太价值链嵌入加剧空气污染的两个可能渠道。

表 6 中介效应分析

因变量	\lnzcy		\lnqx		\lnhx	
	\lnrgdp	\lnnyxl	\lnrgdp	\lnnyxl	\lnrgdp	\lnnyxl
中介效应	0.0011*** (2.75)	0.0006* (1.95)	0.0005 (1.12)	0.0003 (1.20)	0.0010*** (2.73)	0.0006** (2.02)
直接效应	0.0021*** (2.60)	0.0026** (3.05)	0.0015* (1.76)	0.0017* (1.80)	0.0015** (2.14)	0.0019** (2.52)
总效应	0.0032*** (3.82)		0.0020** (2.10)		0.0025*** (3.37)	
中介效应占比	34.4%	18.8%	25%	15%	40%	24%
总中介效应占比	53.2%		40%		64%	

注: 系数下方括号内的数字为估计值的 Z 统计值; 显著性水平由 Sobel 检验所得; 中介效应占比指中介效应占总效应之比, 总中介效应占比指总中介效应占总效应之比。

具体而言, 总体嵌入经由产出规模扩大和空气污染强度提高两个渠道所产生的中介效应分别为 0.0011 和 0.0006, 均在 10% 的显著性水平上显著, 总中介效应占比为 53.2%, 说明总体嵌入对空气污染加剧效应的 53.2% 是通过两个中介渠道来实现的, 其中 34.4% 通过产出规模扩大来实现。前向嵌入的总中介效应占比为

①利用能源效率来代表空气污染排放强度的理由是, 能源利用效率主要从投入视角来描述污染排放情况, 而空气污染排放强度则从产出视角来描述, 二者具有较强的相关性。

②限于篇幅, 具体中介效应模型并未给出, 如读者需要, 可向作者索要。

40%，其中产出规模中介效应和能源效率中介效应均为正，但均不显著。后向嵌入的总中介效应占比为64%，其中产出规模中介效应在1%显著水平下为正，中介效应占比为40%，能源效率中介效应在5%显著水平下为正，中介效应占比为24%，说明后向嵌入对空气污染加剧效应的64%是通过两个中介渠道来实现的，其中40%是通过产出规模扩大来实现的。由此可见，无论是总体还是后向嵌入，产出规模扩大都是嵌入亚太价值链加剧空气污染的主要中介渠道，这说明嵌入亚太价值链加剧空气污染主要是由规模效应所引致的。需特别说明的是，就总体、前向和后向嵌入而言，空气污染排放强度中介效应均为正，这说明亚太价值链嵌入降低了能源效率，其中后向嵌入的降低效果更为明显。可能的解释是，在亚太价值链分工中，中国主要承接由发达经济体发包的高耗能、高污染的加工组装和生产制造环节，且同亚太价值链中其他发展中经济体相比，中国的市场规模更大，更容易出现“监管冷却”的现象，因此亚太价值链嵌入使中国企业生产活动的能耗更高、污染排放程度更严重（Baldwin and Lopez-Gonzalez, 2015）。这与“污染天堂”假说的相关观点相契合，也印证了谢建国和姜珮珊（2014）的观点。

四、主要结论与政策启示

本文通过将亚太价值链的总体、前向和后向嵌入度纳入到统一的计量框架内，深入考察嵌入亚太价值链对中国空气污染的影响，得出以下结论：第一，总体而言，亚太价值链嵌入加剧了中国的空气污染，且后向嵌入的加剧作用强于前向嵌入。此外，嵌入亚太价值链与空气污染之间存在倒“U”型非线性关系。第二，亚太价值链嵌入对空气污染的影响存在显著的行业和嵌入对象异质性。分行业而言，中高技术行业总体嵌入亚太价值链对空气污染产生了不显著的减缓作用，但区分嵌入方式后发现，前向嵌入对空气污染具有显著的减缓作用，后向嵌入对空气污染则有显著的加剧作用；对于低技术行业来说，无论是总体、前向还是后向嵌入，均对空气污染产生显著的加剧作用；就嵌入对象而言，总体嵌入发达经济体价值链对空气污染具有不显著的减缓作用，而总体嵌入发展中经济体价值链显著加剧了空气污染；但从嵌入方式来看，无论对于发达经济体还是发展中经济体而言，前向嵌入均对空气污染有显著的减缓效果，后向嵌入的影响作用恰好相反。第三，亚太价值链嵌入通过扩大产出规模和提高空气污染排放强度两种渠道对空气污染产生加剧作用，且产出规模中介效应更为明显。

根据本文结论，得出如下政策启示：一是亚太价值链嵌入对中国空气污染的加剧作用主要是由后向嵌入引致，也就是进口中间品加工再出口的加工贸易模式加剧了中国空气污染。鉴于此，中国应该积极推进加工贸易产业转型升级。为此，要加快加工贸易增值环节向“微笑曲线”的两端（即研发、核心零部件生产及下游服务环节）延伸，提升加工贸易的附加值和技术含量，降低其污染排放强度。二是鉴于低技术行业嵌入亚太价值链在加剧中国空气污染过程中扮演了主要角色，一方面，中国应对参与亚太价值链合作的低技术行业严格执行环境标准，加强环境保护法律法规的实施力度；另一方面，要通过学习、引进、消化和创新来促进低技术行

业的绿色环保技术升级,以便从根源上消除空气污染隐患。三是嵌入亚太价值链与空气污染之间并非是“零和博弈”,中高技术行业前向嵌入亚太价值链就显著遏制了空气污染。为此,政府部门要重点支持中高技术行业加快技术创新步伐,增强核心零部件生产能力和核心技术研发能力,鼓励企业借助于中间品出口前向嵌入亚太价值链分工网络,充分发挥前向嵌入通过技术溢出效应和倒逼效应来改善环境质量的作用。

[参考文献]

- [1] ZHANG Z, ZHU K, HEWINGS G J D. A Multi-Regional Input-Output Analysis of the Pollution Haven Hypothesis from the Perspective of Global Production Fragmentation [J]. *Energy Economics*, 2017 (64): 13-23.
- [2] DUAN Y, YAN B. Economic Gains and Environmental Losses from International Trade: A Decomposition of Pollution Intensity in China's Value-added Trade [J]. *Energy Economics*, 2019 (83): 540-554.
- [3] 李斌,彭星. 中国对外贸易影响环境的碳排放效应研究——引入全球价值链视角的实证分析 [J]. *经济与管理研究*, 2011 (7): 40-48.
- [4] 杨飞,孙文远,张松林. 全球价值链嵌入、技术进步与污染排放——基于中国分行业数据的实证研究 [J]. *世界经济研究*, 2017 (2): 126-134+137.
- [5] 余娟娟. 全球价值链嵌入影响了企业排污强度吗——基于PSM匹配及倍差法的微观分析 [J]. *国际贸易问题*, 2017 (12): 59-69.
- [6] 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 [J]. *管理世界*, 2012 (2): 30-43.
- [7] 余长林,高宏建. 环境管制对中国空气污染的影响——基于隐性经济的视角 [J]. *中国工业经济*, 2015 (7): 21-36.
- [8] KOOPMAN R, WANG Z, WEI S J. Tracing Value-added Double Counting in Gross Exports [J]. *American Economic Review*, 2014, 104 (2): 459-494.
- [9] 盛斌,吕越. 外国直接投资对中国环境的影响——来自工业行业面板数据的实证研究 [J]. *中国社会科学*, 2012 (5): 54-75.
- [10] FOSTER-MCGREGOR N, STEHRER R, DE VRIES G J. Offshoring and the Skill Structure of Labour Demand [J]. *Review of World Economics*, 2013, 149 (4): 631-662.
- [11] DAVIDSON R, MACKINNON J G. Estimation and Inference in Econometrics [J]. *Econometric Theory*, 1995, 11 (3): 631-635.
- [12] BALDWIN R, LOPEZ-GONZALEZ J. Supply-Chain Trade: A Portrait of Global Patterns and Several Testable Hypotheses [J]. *The World Economy*, 2015, 38 (11): 1682-1721.
- [13] ANTWEILER W, COPELAND B R, TAYLOR M S. Is Free Trade Good for the Environment? [J]. *American Economic Review*, 2001, 91 (4): 877-908.
- [14] 李玉楠,李廷. 环境规制、要素禀赋与出口贸易的动态关系——基于我国污染密集产业的动态面板数据 [J]. *国际经贸探索*, 2012, 28 (1): 34-42.
- [15] 谢建国,姜珮珊. 中国进出口贸易隐含能源消耗的测算与分解——基于投入产出模型的分析 [J]. *经济学(季刊)*, 2014, 13 (4): 1365-1392.
- [16] PAL D, MITRA S K. The Environmental Kuznets Curve for Carbon Dioxide in India and China: Growth and Pollution at Crossroad [J]. *Journal of Policy Modeling*, 2017, 39 (2): 371-385.
- [17] 林伯强,李江龙. 环境治理约束下的中国能源结构转变——基于煤炭和二氧化碳峰值的分析 [J]. *中国社会科学*, 2015 (9): 84-107+205.
- [18] REN S, YUAN B, MA X, CHEN X. The Impact of International Trade on China's Industrial Carbon Emissions

- Since Its Entry into WTO [J]. *Energy Policy*, 2014 (69): 624-634.
- [19] LIST J A, CO C Y. The Effects of Environmental Regulations on Foreign Direct Investment [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2000, 40 (1): 1-20.
- [20] ESTY D C, DUA A. Sustaining the Asia Pacific Miracle: Environmental Protection and Economic Integration [R]. Peterson Institute for International Economics, 1997.
- [21] ESKELAND G S, HARRISON A E. Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis [J]. *Journal of Development Economics*, 2003, 70 (1): 1-23.
- [22] 吕越, 陈帅, 盛斌. 嵌入全球价值链会导致中国制造的“低端锁定”吗 [J]. *管理世界*, 2018, 34 (8): 11-29.
- [23] 王俊. 跨国外包体系中的技术溢出与承接国技术创新 [J]. *中国社会科学*, 2013 (9): 108-125+206-207.
- [24] 张杰. 进口对中国制造业企业专利活动的抑制效应研究 [J]. *中国工业经济*, 2015 (7): 68-83.
- [25] 毛其淋, 许家云. 中间品贸易自由化提高了企业加成率吗——来自中国的证据 [J]. *经济学(季刊)*, 2017, 16 (2): 485-524.

(责任编辑 蒋荣兵)

How Embedding in the Asia-Pacific Value Chain Affects China's Air Pollution

ZHANG Zhiming GENG Jingzhu HUANG Wei

Abstract: Based on the basic data presented in the WTO/OECD-TIVA database, the WIOD database and the China Industrial Economic Statistical Yearbook, this paper invested deeply into the impact of embedding Asia-Pacific value chain on China's air pollution and its mechanism. The study finds that embedding Asia-Pacific value chain has aggravated China's air pollution, and the backward embedding is stronger than the forward embedding. From a dynamic perspective, embedding Asia-Pacific value chain and air pollution show a significant inverted U-shape relationship. The overall embedding and the backward embedding are still in the air pollution deterioration zone, while the forward embedding is in the boundary zone between the air pollution deterioration zone and the improvement zone. It should be noted that the above conclusions have significant industry heterogeneity and embedded object heterogeneity. Further tests of the mechanism reveal that the expansion of output scale and the enhancement of air pollution emission intensity are two important channels for embedding Asia-Pacific value chain to intensify air pollution. And the intermediary effect of the expansion of output scale is more prominent.

Keywords: Asia-Pacific Value Chain Embedded; Air Pollution; Embedding Model; Mechanism of Action