

外需引致中国工业废水排放的关键路径

陈传龙 韩盼星*

摘要:为实现我国水污染减排目标和践行开放、绿色的新发展理念,有必要对外需引致的中国工业废水污染物排放进行研究。本文基于世界环境-经济多区域投入产出模型,对外需引致中国工业化学需氧量排放情况进行了分析,并使用结构路径分析方法从供应链角度研究了“国外需求消费,中国生产排放”的污染转移路径。研究发现:美日欧等主要发达国家和金砖国家是引致中国工业化学需氧量排放的主要来源地;“纺织品、服装和皮革制品的制造→非中国国家或地区”和“食品、饮料和烟草制品的制造→非中国国家或地区”等是引致中国工业化学需氧量排放的关键路径类型;各国引致中国工业化学需氧量排放的关键路径的贡献率也存在明显差异。最后,本文提出以下政策建议:加强与美日欧等发达国家和金砖国家在环境治理方面的合作;推进生产服务绿色化,实现贸易转型;参照关键产业路径对工业废水污染物排放实施全方位监管。

关键词:工业 COD;污染转移;结构路径分析;投入产出模型

一、引言

伴随着商品贸易流产生的隐含污染流的国际转移现象一直备受学界关注。中国作为世界工厂,每年生产了大量工业品用于出口以满足各国需求,但国内却承担了工业生产所排放的废水污染物,对本国水体环境造成了较大的威胁。目前,中国地表水仍有近十分之一的断面水质为劣Ⅴ类,约五分之一的湖泊呈现不同程度的富营养化,约2000条城市水体存在黑臭现象^①。2015年,国务院发布《水污染防治计划》,明确提出要“狠抓工业污染防治”,并计划到2020年实现长江、黄河等七大重点流域水质优良(达到或优于Ⅲ类)比例总体达到70%以

*陈传龙(通讯作者),中共湖南省委党校,邮政编码:410006,电子信箱:1824122511@qq.com;韩盼星,中共湖南省委党校,邮政编码:410006,电子信箱:370780871@qq.com。

感谢匿名审稿专家的宝贵修改建议,文责自负。

①来自生态环境部、国家发展改革委、水利部2017年发布的《重点流域水污染防治规划(2016-2020年)》。

上,到2030年要达到75%以上。2016年,国务院发布的《“十三五”节能减排综合工作方案》中提出计划到2020年全国化学需氧量(COD)控制在2001万吨以内,相比2015年要下降10%以上的约束性目标。同年商务部制定了《对外贸易发展“十三五”规划》,提出要抑制高污染、高耗能和资源类产品出口,努力打造绿色贸易。2020年3月,《关于构建现代环境治理体系的指导意见》指出要推进生产服务绿色化,加强环境治理监管,提升现代环境治理能力。因此,有必要对这种“国外需求消费,中国生产排放”的工业废水污染物转移现象进行分析,并深入研究其排放关键路径,为实现减排目标和践行开放、绿色的新发展理念提供建议。

从目前的研究进展看,投入产出技术作为分析贸易与环境的主要工具之一(Leontief, 1970),已经被大量用于贸易引起二氧化碳、二氧化硫等污染物排放的相关研究。学者们分别使用单区域竞争型投入产出表(Xu et al., 2011)、单区域非竞争型(进口)投入产出表(Su & Ang, 2013)、地区多区域投入产出表(Su & Ang, 2014)和全球多区域投入产出表(Xu & Dietzenbacher, 2014;谢锐、赵果梅,2016)对贸易隐含污染物及污染转移问题进行分析。其中,多区域投入产出表由于考虑到了各国污染排放系数和中间投入结构系数的差异,因此在分析贸易隐含污染时更加精确(Veiga et al., 2018),从而被更广泛使用。

近年来,依托投入产出模型研究贸易对工业废水污染物排放影响的文献也较多。一是使用单区域投入产出表对贸易隐含工业废水污染量进行测算,如朱启荣等(2018)利用2002年和2012年中国投入产出表及行业数据测算了工业贸易对工业废水等污染物的减排量的影响。二是结合结构分解技术(SDA)对工业废水污染物排放变化的影响因素进行了分析。如Zhang等(2015)基于2005年、2010年非竞争型投入产出表及相关数据,使用SDA分析了工业化学需氧量等四种污染物的驱动因素的贡献度及减排潜力。Liu和Wang(2017)基于2005年、2007年、2010年中国竞争型投入产出表及相关数据,结合SDA对工业SO₂及工业化学需氧量排放变化的驱动因素进行了研究。以上分析皆使用的是单区域竞争型投入产出表或非竞争型(进口)投入产出表,未考虑到进口中间品和国产中间品的异质性或进口来源区域的中间投入结构系数的异质性,对结果存在一定的偏误。

与本文相关的研究是学者们基于多区域投入产出表分析了COD在地区间的转移现象。如李方一等(2013)使用2007年中国区域间投入产出表,选取COD在内的四种典型污染物,对中国各区域本地最终需求中的隐含污染及区域间隐含污染转移量进行了研究。庞军等(2017)基于2007年中国区域间投入产出表,选取COD和氨氮等六类污染物,测算了京津冀三地的贸易隐含污染转移量。Wang等(2017)基于2010年中国多区域投入产出表研究了本国各地区COD足迹的特征及相互作用。以上研究皆止于对贸易隐含COD污染排放量的测算并分析导致其变化的影响因素,或者对污染转移现象的分析,但对污染转移的具体产业路径或贸易隐含COD污染排放的产业路径来源仍缺乏足够的认识。

结合投入产出表,结构路径分解方法(SPA)能够识别污染物排放的产业路径来源。SPA由Defourny和Thorbecke(1984)首先提出。Lenzen(2007)阐述了SPA在测量生态系统和生态经济联系网络流动中投入产出技术的应用。Shao等(2018)使用中国-全球多区域投入产出模型,在基于生产侧和消费侧对碳排放量进行测算的基础上,运用SPA分析了北京等地区碳排放的上下游产业路径;Zhang等(2019)基于需求和供应驱动的投入产出分析框架,使用SPA沿着生产链考察了空间生产碎片化对碳分配责任的影响。其他学者们也依托投入产出表,将SPA方法广泛应用到能源(Kaya,2017)、水资源(Feng et al.,2019;Zhao et al.,2019)、大气污染(Nagashima,2018)和其他领域(Castaño et al.,2019)的研究。

综上所述,既有文献对外需引致中国工业废水污染物排放的关键路径研究较为缺乏,本文将工业废水污染物中的工业化学需氧量(以下简称“工业COD”)作为研究对象,并对其产业路径来源进行分析。工业COD能够反映水体有机物污染程度,是衡量水污染的重要指标。本文的主要贡献在于:(1)使用考虑中间投入结构系数差异的多区域投入产出表和相关工业COD数据,构建世界环境-经济多区域投入产出模型,在此基础上从中国生产侧对工业COD排放进行测算,并明确外需引致中国工业COD排放的国别分布和部门分布。(2)使用结构路径分析方法(SPA),深入探讨外需引致中国工业COD排放的关键产业路径,从供应链的角度对“国外需求消费,中国生产排放”的工业COD污染转移现象进行回答。

二、模型构建及数据说明

(一)模型构建

表1 世界环境-经济多区域投入产出表

| | | | 中间需求 | | | 最终需求 | | | 总产出 |
|--------|----|---------------|-----------------|-----|-----------------|-----------------|-----|-----------------|----------------|
| | | | C1 | ... | Cn | C1 | ... | Cn | |
| | | | S1...Sm | ... | S1...Sm | Y ¹ | ... | Y ⁿ | |
| 中间投入 | C1 | S1 ⋮ Sm | Z ¹¹ | ... | Z ¹ⁿ | Y ¹¹ | ... | Y ¹ⁿ | X ¹ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋱ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | Cn | S1 ⋮ Sm | Z ⁿ¹ | ... | Z ⁿⁿ | Y ⁿ¹ | ... | Y ⁿⁿ | X ⁿ |
| 增加值 | | | V ¹ | ... | V ⁿ | | | | |
| 总投入 | | | X ¹ | ... | X ⁿ | | | | |
| 污染物排放量 | | | W ¹ | ... | W ⁿ | | | | |

注:表中C字母表示国家或地区,S字母表示部门(Sector);n表示国家或地区个数,m表示各国家或地区包含的部门个数,上标'表示向量或矩阵的转置,下同。

表1展示了本文构建的世界环境-经济多区域投入产出表, Z^{ij} 为 j 国家或地区各部门对 i 国家或地区各部门中间产品的需求矩阵, 维度是 $m \times m$; Y^{ij} 表示为 j 国家或地区对 i 国家或地区分部门的最终产品总需求量, 是居民消费需求(由于非营利组织满足家庭消费普遍较小, 因此将该项合并到居民消费中)、政府消费需求、固定资本形成需求量和存货变动之和, 维度为 $m \times 1$ 。 X^i 为 i 国家或地区 m 个部门的总产出, 维度均为 $m \times 1$; V^i 和 W^i 为 i 国家或地区 m 个部门的增加值和工业废水污染物排放量, 维度均为 $1 \times m$ 。本文研究的废水污染物是工业 COD。

根据表1的行平衡关系可以得出:

$$X^i = \sum_j^n Z^{ij} u + \sum_j^n Y^{ij} = \sum_j^n Z^{ij} u + Y^i \quad (1)$$

其中, u 为 $m \times 1$ 的单位列向量, Y^i 为所有国家或地区对 i 国家或地区 m 个部门的最终产品需求量, 满足 $Y^i = \sum_j^n Y^{ij}$ 。若令 j 国家或地区各部门对 i 国家或地区各部门中间需求的直接消耗系数矩阵为 A^{ij} , 则式(1)可表示为:

$$X^i = \sum_j^n A^{ij} X^j + Y^i \quad (2)$$

进一步将式(2)由矩阵表示:

$$X = AX + Y \quad (3)$$

其中, X 、 Y 为各国家或地区的分部门的总产出、最终需求产品消费量, A 为各国家或地区分部门中间投入品和该国家或地区间中间投入品的直接消耗系数矩阵, 它们可分别表示为以下

式子: $X = \begin{bmatrix} X^1 \\ \vdots \\ X^n \end{bmatrix}_{mn \times 1}$, $Y = \begin{bmatrix} Y^1 \\ \vdots \\ Y^n \end{bmatrix}_{mn \times 1}$, $A = \begin{pmatrix} A^{11} & \dots & A^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{n1} & \dots & A^{nn} \end{pmatrix}_{mn \times mn}$ 。公式(3)可进一步表示为:

$$X = (I - A)^{-1} Y = LY \quad (4)$$

其中, L 为列昂惕夫逆矩阵, 即完全需要系数矩阵, I 为 $m \times 1$ 阶的单位矩阵, 表示为:

$$L = \begin{pmatrix} I - A^{11} & \dots & -A^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -A^{n1} & \dots & I - A^{nn} \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} L^{11} & \dots & L^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L^{n1} & \dots & L^{nn} \end{pmatrix}_{mn \times mn} \quad \circ$$

根据式(4), 若将 C1 代表中国, 则中国的工业废水污染物排放总量表示为:

$$W^{c1} = w^{c1} X^1 = w^{c1} L^1 (Y^1 + \sum_{i=2}^n Y^i) \quad (5)$$

$$= w^{c1} L^1 Y^1 + w^{c1} L^1 \sum_{i=2}^n Y^i \quad (6)$$

其中, w^{c1} 是中国分部门工业废水污染物排放的强度, 表示单位产出的工业废水污染物排放量, 除中国工业部门外其余部门为 0, 维度为 $1 \times m$; L^1 是列昂惕夫逆矩阵 L 的一部分, 其中

$L^1=(L^{11}, L^{12}, \dots, L^{1n})$, 维度为 $m \times mn$; X 是中国总产出, 维度为 $m \times 1$; 中国总需求 $Y^1=(Y^{11}, Y^{12}, \dots, Y^{1n})'$, 维度为 $mn \times 1$; Y^i 为第 i 个 ($i \geq 2$) 国家或地区的最终产品总需求, 维度为 $mn \times 1$ 。式(6)中的第一项表示中国对本国最终产品的需求所引起的中国工业废水污染物的排放量, 第二项表示其他国家或地区对最终产品的需求所引起的中国工业生产的废水污染物的排放量。

根据 Defourny 和 Thorbecke(1984)提出的结构路径分析方法, 进一步识别本国需求和外国需求引起的中国工业废水污染物排放的具体产业路径。首先列昂惕夫逆矩阵 L 可进一步分解为直接消耗和经过多个部门的间接消耗:

$$L=(I-A)^{-1}=I+A+A^2+A^3+\dots \quad (7)$$

将式(7)带进式(6)的第二项得:

$$\begin{aligned} W^{c1} &= w^{c1}L^1(Y^1 + \sum_{i=2}^n Y^i) \\ &= w^{c1}(I+A+A^2+A^3+\dots)(Y^1 + \sum_{i=2}^n Y^i) \\ &= \underbrace{w^{c1}IY^1}_{1st-order} + \underbrace{w^{c1}I\sum_{i=2}^n Y^i}_{2nd-order} + \underbrace{w^{c1}AY^1 + w^{c1}A\sum_{i=2}^n Y^i}_{2nd-order} + \underbrace{w^{c1}A^2Y^1 + w^{c1}A^2\sum_{i=2}^n Y^i}_{3rd-order} + \dots \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)右边的三个式子分别表示工业废水污染物排放的三个阶数效应, 其中第一个式子为一阶效应(1st-order), 即表示中国的某个部门没有经过中间部门直接流向某个国家或地区(包括中国)的最终需求的工业废水污染物排放, 如美国的最终需求对中国的纺织品部门的直接需求排放的工业废水污染量。第二个式子为二阶效应(2nd-order), 可以解释为某个国家或地区的最终需求对某个国家或地区的某一部门直接需求所引致的对中国某个部门的间接需求所要排放的工业废水污染量, 如日本的最终需求对中国纺织品的直接需求所引致的对中国专用设备间接需求所要排放的工业废水污染物排放量。第三个式子为三阶效应(3rd-order), 可作类似解释。三阶及以上路径涉及更多的中间需求(公式中省略号部分)。

(二)数据说明及处理

本文数据来源包括2014年世界投入产出表和2014年工业分部门COD排放量。2014年的世界投入产出表由2016年世界投入产出数据库(WIOD)项目发布, 表中包含中国在内43个国家和一个其他地区(ROW), 每个国家或地区又包括56个部门。考虑到ROW部分主要是由其他众多发展中国家或地区构成, 且在经济行为上有一定的相似性, 因此ROW作为一个整体用来代表其他发展中国家或地区。2014年工业分部门COD排放量来自于2015年的《中国环境统计年鉴》。可以发现工业分部门COD排放量加总与同期发布的工业化学需氧量排放总量存在差异, 原因是《中国环境统计年鉴》发布的中国工业分部门化学需氧量排放量数据是重点调查工业企业排放数据, 同期发布的工业化学需氧量排放总量数据中有一部分是估算而

来。因此,本文根据发布的工业COD排放总量对重点调查工业企业分部门COD排放量进行同比例调整,进而得到全行业的2014年中国工业分部门化学需氧量排放量。

同时,为了使工业COD的排放部门与2014年的世界投入产出表中的工业部门相匹配,依据世界投入产出表中的部门进行了相应的部门调整,见表2。具体过程为:首先根据中国国家统计局发布的2017年中国国民经济行业分类(GB/T 4754-2017)中附录提供的国民经济行业分类新旧类目对照表(与GB/T 4754-2011对照)进行调整,然后根据《国民经济行业分类》与《所有经济活动的国际标准行业分类》(ISIC Rev. 4)对照表与世界投入产出表产业进行匹配。由于世界投入产出表中机械设备修理安装(S23)部门投入产出数据为0,因此本文将此部门按照零排放处理。

表2 调整后的工业部门

| 编号 | 部门 | 编号 | 部门 |
|-----|------------------|-----|----------------|
| S4 | 采矿和采石业 | S16 | 金属制品业(机械设备除外) |
| S5 | 食品、饮料和烟草制品的制造 | S17 | 电脑、电子及光学产品制造业 |
| S6 | 纺织品、服装和皮革制品的制造 | S18 | 电气设备的制造 |
| S7 | 木材和软木产品的制造(家具除外) | S19 | 机械及设备制造 |
| S8 | 纸和纸制品的制造 | S20 | 汽车、挂车、半挂车制造 |
| S9 | 记录媒介的印刷和复制 | S21 | 其他运输设备制造 |
| S10 | 焦炭和精炼石油产品的制造 | S22 | 家具制造及其他制造 |
| S11 | 化学品和化学产品的制造 | S23 | 机械设备修理安装 |
| S12 | 基础医药产品和医药制剂的制造 | S24 | 电力、燃气、蒸汽和空调供应 |
| S13 | 橡胶和塑料制品的制造 | S25 | 水的收集、处理和供应 |
| S14 | 其他非金属矿产品的制造 | S26 | 废弃资源和废旧材料回收加工业 |
| S15 | 基本金属的制造 | | |

注:调整后的部门共有56个,后文出现的非工业部门为S27表示建筑业、S53表示人类健康和社会工作活动。

三、外需引致中国工业COD排放的国别及部门分析

(一)外需引致中国工业COD排放的国别分布

国外需求引致中国工业COD排放量较大的国家主要集中于美欧等主要发达国家和金砖国家。表3展示了世界主要的42个国家或地区的最终需求所引起的中国工业COD排放量的占比,美国和日本是中国工业COD排放的最大的两个来源国,占到了外需引致工业COD排放总量的18.39%和8.36%。在欧盟中,德国、英国和法国的最终需求引起的中国工业COD排放量最大,占比皆超过了2%,其余欧盟国家除意大利、荷兰和西班牙外,占比均低于1%。在东亚地区中,韩国是仅次于日本的造成中国工业COD排放较大的国家,但要高于中国台湾,占比达到3.23%。澳大利亚和加拿大也是中国工业COD排放的两个重要来源国,占比皆超过了2%。俄罗斯、印度和巴西属于金砖国家,国内经济的快速发展增强了对中国工业品的需求,

也因此成为引起中国工业 COD 排放的重要来源地,其中俄罗斯的最终需求引致中国工业 COD 排放占比达到 4.86%。此外,印度尼西亚、墨西哥和土耳其的最终需求引致的中国工业 COD 排放占比也超过了 1%。另外,ROW 代表了其他发展中国家或地区的情况,可以发现这些发展中国家外需引致中国工业 COD 排放达到了 33.43%,除了国家众多,可能还与这些国家对 中国纺织品、服装等“密集 COD 排放”型产品有较高需求有关。

表 3 2014 年各国(地区)外需引致中国工业 COD 排放量占比 (单位:%)

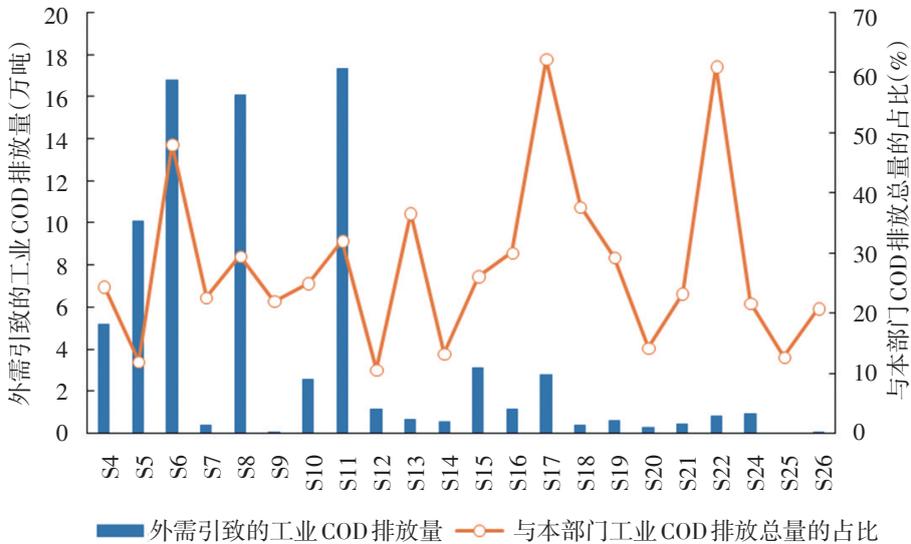
| 国别(地区) | 英文缩写 | 占比 | 国别(地区) | 英文缩写 | 占比 |
|--------|------|-------|--------|------|-------|
| 美国 | USA | 18.39 | 挪威 | NOR | 0.29 |
| 日本 | JPN | 8.36 | 丹麦 | DNK | 0.26 |
| 俄罗斯 | RUS | 4.86 | 奥地利 | AUT | 0.25 |
| 德国 | DEU | 3.75 | 芬兰 | FIN | 0.24 |
| 韩国 | KOR | 3.23 | 希腊 | GRC | 0.24 |
| 英国 | GBR | 2.88 | 捷克 | CZE | 0.22 |
| 澳大利亚 | AUS | 2.55 | 爱尔兰 | IRL | 0.16 |
| 加拿大 | CAN | 2.36 | 葡萄牙 | PRT | 0.15 |
| 印度 | IND | 2.25 | 罗马尼亚 | ROU | 0.14 |
| 巴西 | BRA | 2.14 | 匈牙利 | HUN | 0.11 |
| 法国 | FRA | 2.03 | 斯洛伐克 | SVK | 0.09 |
| 印度尼西亚 | IDN | 1.61 | 斯洛文尼亚 | SVN | 0.07 |
| 意大利 | ITA | 1.46 | 保加利亚 | BGR | 0.06 |
| 墨西哥 | MEX | 1.39 | 立陶宛 | LTU | 0.06 |
| 荷兰 | NLD | 1.33 | 克罗地亚 | HRV | 0.05 |
| 西班牙 | ESP | 1.20 | 卢森堡 | LUX | 0.04 |
| 中国台湾 | TWN | 1.17 | 拉脱维亚 | LVA | 0.04 |
| 土耳其 | TUR | 1.07 | 爱沙尼亚 | EST | 0.03 |
| 波兰 | POL | 0.63 | 塞浦路斯 | CYP | 0.03 |
| 比利时 | BEL | 0.50 | 马耳他 | MLT | 0.02 |
| 瑞典 | SWE | 0.45 | 其他国家 | ROW | 33.43 |
| 瑞士 | CHE | 0.39 | 总计 | TOL | 100 |

(二)外需引致中国工业 COD 排放的部门分布

从部门的角度看(见图 1),外需引起的中国 COD 排放的工业部门主要集中于化学品和化学产品的制造,纺织品、服装和皮革制品的制造,纸和纸制品的制造,食品、饮料和烟草制品的制造,共引起了 60.31 万吨的 COD 排放,占到外需引起中国工业 COD 排放总量的 74.12%。可以发现这些部门在生产中排放的大量的废水中有机物含量较高,属于工业 COD 排放强度较高的部门,因此 COD 的排放量较大。其中化学品和化学产品的制造是外需引起的中国 COD

排放量最大的工业部门,达到了17.36万吨。此外,采矿和采石业以及基本金属的制造部门由外需引致的中国COD排放量也较大。

从与本部门工业COD排放总量的占比来看,电脑、电子及光学产品制造业,家具制造及其他制造是占比最大的两个部门,这两个部门的出口引起的在中国国内生产该产品排放的COD皆占到了本部门排放总量的60%以上,印证了典型的“国外消费,国内污染”现象。但可以发现这两个部门的本身COD排放量较少,外需在引致中国工业COD排放中所起的影响如何,还需要对具体排放路径进行分析。值得注意的是化学品和化学产品的制造,纺织品、服装和皮革制品的制造与本部门工业COD排放总量的占比也较大,分别为32.03%和48.04%,其本身的COD排放量也较高,这可能是排放路径中的关键部门,需要重点关注。



注:部门编码具体见表2。

图1 2014年外需引致中国工业COD排放的部门分布

四、外需引致中国工业COD排放的关键路径分析

(一)各阶数分析

上文分析了主要国家的最终需求引致的中国工业COD排放量,并深入到部门层面进行了分析,但对具体排放路径还不清晰,本小节重点对国内外最终需求引致中国工业COD排放量的重要阶数路径进行分析。

根据式(8)对每阶分别测算求和,可得到2014年中国国内和国外最终需求引致中国工业COD排放的各阶数大小(见表4)。无论是国内最终需求还是国外最终需求,前六阶路径皆是引起中国工业COD排放的主要贡献路径。在前六阶路径中,国外需求引起了中国工业COD排放67.34万吨,占到了外需引起排放总量的82.75%;国内需求引起了中国工业COD排放

207.71万吨,占比为90.37%。具体来看,前三阶路径是引致的中国工业COD排放的主要路径,国外需求在前三阶路径中的贡献率总和要接近50%,二阶路径是最主要的工业COD来源,占比为17.24%;国内需求引起的工业COD排放情况与国外需求类似,二阶路径也是最主要的排放来源,但占比要比国外需求大6.73%。这也说明国内需求和国外需求的作用虽然总体趋势相同,但在各阶的具体作用大小有所差异,需要对国外需求的引致作用进行更细致的分析。

此外,随着阶数增加,前六阶路径占比呈现先上升后下降的趋势。国内外需求引致工业COD排放量皆在二阶路径达到最大值,这可能与中间品生产排放较多的COD有关,一阶路径仅是对工业产品的直接需求不涉及间接需求,因此要小于二阶。但从三阶路径开始,各阶层占比逐渐降低,直接需求引发的间接需求作用在减弱,因此国外需求引致中国工业COD排放占比从三阶的17.10%下降到六阶的7.94%,降幅超过一半,国内需求也超过了一半。这也表明低阶路径是控制工业COD排放的重要对象,在制定减排计划时要优先考虑低阶路径的情况。同时,从四阶路径开始国外需求引致的中国工业COD排放占比要大于国内需求,说明相对于国内需求,国外需求的引致作用也更具有隐蔽性。

表4 2014年国内和国外需求引致中国工业COD排放的各阶数及占比

| 阶数 | 国外需求引致工业COD排放(万吨) | 各阶层占比(%) | 国内需求引致工业COD排放(万吨) | 各阶层占比(%) |
|-----|-------------------|----------|-------------------|----------|
| 1 | 12.24 | 15.04 | 43.34 | 18.86 |
| 2 | 14.06 | 17.27 | 55.16 | 24.00 |
| 3 | 13.92 | 17.10 | 45.54 | 19.81 |
| 4 | 11.73 | 14.41 | 31.06 | 13.52 |
| 5 | 8.94 | 10.99 | 19.97 | 8.69 |
| 6 | 6.46 | 7.94 | 12.65 | 5.50 |
| 其他阶 | 14.03 | 17.24 | 22.11 | 9.62 |
| 总和 | 81.37 | 100.00 | 229.82 | 100.00 |

(二)关键路径分析

由以上小节可知,三阶以上路径对引致的中国工业COD排放的影响较小,而且涉及中间部门过多又复杂。因此,本文对外需引致的中国工业COD排放关键路径分析集中于前三阶路径(Zhao et al., 2019)。以三阶路径为例,产业路径“部门3→部门2→部门1→国家或地区”,表示该国家或地区的最终需求对部门1的直接需求而对部门2的间接需求所引发的对部门3的进一步间接需求而导致的中国工业COD排放量。

“纺织品、服装和皮革制品的制造→非中国国家或地区”是第一大关键的产业路径类型,表示各个国家对中国的纺织品、服装和皮革制品的制造直接需求导致了中国的工业COD的大量排放。表5展示了筛选出的42个主要国家或地区外需引致中国工业COD排放前60条关键

表5 42个主要国家或地区外需引致中国工业COD排放前60条关键路径

| 序号 | 产业路径 | 占比(%) | 序号 | 产业路径 | 占比(%) |
|----|--------------|-------|----|------------------|-------|
| 1 | S6→USA | 1.70 | 31 | S8→S17→USA | 0.10 |
| 2 | S6→RUS | 1.21 | 32 | S17→S17→USA | 0.10 |
| 3 | S6→JPN | 0.86 | 33 | S6→S6→KOR | 0.10 |
| 4 | S6→S6→USA | 0.75 | 34 | S6→S6→CAN | 0.09 |
| 5 | S5→JPN | 0.57 | 35 | S6→BRA | 0.09 |
| 6 | S6→S6→RUS | 0.53 | 36 | S11→S6→RUS | 0.09 |
| 7 | S6→S6→JPN | 0.38 | 37 | S6→NLD | 0.09 |
| 8 | S6→S6→S6→USA | 0.33 | 38 | S5→TWN | 0.08 |
| 9 | S6→GBR | 0.31 | 39 | S8→JPN | 0.08 |
| 10 | S6→DEU | 0.27 | 40 | S6→S6→AUS | 0.08 |
| 11 | S17→USA | 0.26 | 41 | S11→S17→USA | 0.07 |
| 12 | S5→USA | 0.25 | 42 | S12→USA | 0.07 |
| 13 | S6→S6→S6→RUS | 0.23 | 43 | S11→S11(USA)→USA | 0.07 |
| 14 | S8→USA | 0.22 | 44 | S6→S6(ROW)→USA | 0.07 |
| 15 | S6→KOR | 0.22 | 45 | S5→S6→USA | 0.07 |
| 16 | S6→CAN | 0.21 | 46 | S5→CAN | 0.07 |
| 17 | S22→RUS | 0.20 | 47 | S5→RUS | 0.07 |
| 18 | S6→AUS | 0.18 | 48 | S6→S6→FRA | 0.06 |
| 19 | S6→S6→S6→JPN | 0.17 | 49 | S11→S6→JPN | 0.06 |
| 20 | S6→FRA | 0.14 | 50 | S5→DEU | 0.06 |
| 21 | S6→ITA | 0.14 | 51 | S6→S6→ITA | 0.06 |
| 22 | S5→S5→JPN | 0.14 | 52 | S6→MEX | 0.06 |
| 23 | S6→S6→GBR | 0.14 | 53 | S6→S6→S6→GBR | 0.06 |
| 24 | S5→KOR | 0.14 | 54 | S5→S5→USA | 0.06 |
| 25 | S17→JPN | 0.13 | 55 | S8→S8→USA | 0.06 |
| 26 | S8→S22→USA | 0.13 | 56 | S5→AUS | 0.06 |
| 27 | S11→S6→USA | 0.13 | 57 | S6→S10→S6→USA | 0.05 |
| 28 | S11→USA | 0.12 | 58 | S8→S6→USA | 0.05 |
| 29 | S6→S6→DEU | 0.12 | 59 | S11→S13→USA | 0.05 |
| 30 | S6→ESP | 0.11 | 60 | S11→S53(USA)→USA | 0.05 |

注:43、44和60路径中括号内容表示该部门产品由本国家或地区提供,其余未有括号的表示皆由中国提供。部门代码见表2。

路径及其占外需引致中国工业COD排放总量的比例。排名前三的产业路径皆属于该产业路径类型,表示中国纺织品、服装和皮革制品的制造部门为满足美国、俄罗斯和日本的直接需求所排放的COD,占比分别为1.70%、1.21%和0.86%。同时,各个国家对中国的直接需求进而对该部门的一系列间接需求所引致的COD排放(包括二阶和三阶路径)也是关键的排放路径,其中二阶路径是第二大关键产业路径类型,即路径4、6、7、23、29、33、34、40、48和51,占到总量的2.31%,表示各国的最终需求对中国纺织品、服装和皮革制品的制造部门的直接需求而对

该部门的间接需求所引致的COD排放;三阶路径有8、13、19和53,占到外需引致中国工业COD排放总量的0.79%。此外,“食品、饮料和烟草制品的制造(S5)→非中国国家或地区”是第三大关键产业路径类型,参照路径5、12、24、38、46、47、50和56,共占到外需引致中国工业COD排放总量的1.28%。上述分析所涉及到的纺织品、服装和皮革制品的制造部门和食品、饮料和烟草制品的制造都是COD排放密集的部门,且两部门属于轻工业、劳动密集型产业,中国一直存在着比较优势,是重要的出口部门,应该成为控制COD排放的重点部门。此外,在前文分析中显示电脑、电子及光学产品制造业和家具制造及其他制造两个部门COD排放主要由出口引起,也在关键排放路径中得到证实,参照路径11、17、25、26、31、32、41,前一个部门COD来源国主要是美国和日本,后一个部门为俄罗斯。

同时,各国最终需求引致中国工业COD排放的关键路径的贡献率(占比)也存在明显差异,这不仅表现为相同产业路径引起的COD排放不同,还体现在关键产业路径的差异。具体来看,在前60条关键路径中,产业路径“S6→非中国国家或地区”中美国,加拿大,东亚国家的日本和韩国等,欧盟的德国、英国、法国和意大利等,金砖国家的俄罗斯和巴西、墨西哥等国家或地区皆是第一大产业路径,其中美国的占比最大,且要比墨西哥高出1.64%。中国台湾的第一大产业路径与以上国家或地区表现不同,路径为“S5→TWN”(0.08%)。此外,美国、俄罗斯、德国和加拿大第二大关键路径“S6→S6→国家或地区”,占比分别为0.75%、0.53%、0.12%和0.09%,而日本和韩国却是“S5→国家或地区”,占比分别为0.57%和0.14%。因此,控制工业COD的排放必须考虑出口目的国的具体情况。

另外,在前60条关键路径中,各国主要是对中国的需求而引致工业COD排放,但在路径43和60中也出现了美国对本国产品的直接需求而引起对中国产品的间接需求带来的COD排放。如路径“S11→S11(USA)→USA”,表示美国对本国化学品和化学产品的制造的直接需求而引起对中国化学品和化学产品的制造的间接需求导致的COD排放,占比为0.07%。这也表明随着全球贸易日益密切,国际分工的展开,中间品的出口也伴随着污染的转移。此外,产业路径中也涉及到第三方国家,要引起必要的重视,路径“S6→S6(ROW)→USA”表明美国对其他国家纺织品、服装和皮革制品的制造部门的直接需求而对其他国家的纺织品、服装和皮革制品的制造部门的间接需求导致的COD排放,占比为0.07%。这也说明中国出口的目的国和最终消费国的不一致,最终消费国通过对其他国家产品的需求引起了中国工业的COD排放,使污染转移具有了隐蔽性。

ROW部分代表其他发展中国家或地区,也对中国的工业COD排放产生了重要影响。表6展示了其他国家或地区(ROW)外需引致的中国工业COD排放前30条关键路径。与前文的结论类似,其他国家或地区对中国纺织品、服装和皮革制品的制造的直接需求所引致的中国工业COD排放是第一关键的产业路径,占到了外需引致的中国工业COD排放总量的1.91%。但

“S5→ROW”是它的第二大关键路径,占比为0.90%。同时对中国电脑、电子及光学产品制造业(S17)的直接需求或其对其他部门的间接需求所引致中国工业 COD 排放也是重要的路径,参照路径4、12、13、16。另外,通过对非工业部门直接需求所引致的对中国工业部门的间接需求所排放的 COD 路径也要予以关注,参照路径24、25、30,如路径“S15→S27→ROW”表示其他国家或地区对中国建筑业的直接需求而对中国基本金属的制造的间接需求所引致的中国工业 COD 排放。此外,其他国家或地区对本地区产品的直接需求所引致的中国工业 COD 排放路径也有出现,参照路径8、19、30,说明随着国际分工的细化,中国在某些中间产品(如S6)的出口具有优势,也使得污染伴随着产业链的延长更具有隐蔽性。

表6 其他国家或地区外需引致中国工业 COD 排放的前30条关键路径

| 序号 | 路径 | 占比(%) | 序号 | 路径 | 占比(%) |
|----|----------------|-------|----|-------------------|-------|
| 1 | S6→ROW | 1.91 | 16 | S11→S17→ROW | 0.11 |
| 2 | S5→ROW | 0.90 | 17 | S19→ROW | 0.11 |
| 3 | S6→S6→ROW | 0.84 | 18 | S11→ROW | 0.09 |
| 4 | S17→ROW | 0.40 | 19 | S6→S5→S6(ROW)→ROW | 0.09 |
| 5 | S6→S5→S6→ROW | 0.37 | 20 | S11→S18→ROW | 0.08 |
| 6 | S5→S5→ROW | 0.22 | 21 | S8→S18→ROW | 0.08 |
| 7 | S8→ROW | 0.21 | 22 | S11→S13→ROW | 0.08 |
| 8 | S6→S6(ROW)→ROW | 0.20 | 23 | S5→S6→ROW | 0.07 |
| 9 | S22→ROW | 0.20 | 24 | S15→S27→ROW | 0.07 |
| 10 | S21→ROW | 0.17 | 25 | S11→S27→ROW | 0.07 |
| 11 | S12→ROW | 0.16 | 26 | S16→ROW | 0.07 |
| 12 | S8→S17→ROW | 0.15 | 27 | S15→S18→ROW | 0.06 |
| 13 | S17→S17→ROW | 0.15 | 28 | S6→S10→S6→ROW | 0.06 |
| 14 | S11→S6→ROW | 0.14 | 29 | S8→S6→ROW | 0.06 |
| 15 | S8→S22→ROW | 0.13 | 30 | S12→S53(ROW)→ROW | 0.06 |

注:路径8、19和30中括号内容表示该部门产品由本国家或地区提供,其余未有括号的表示皆由中国提供。部门代码见表2。

五、结论及政策建议

本文首先构建世界环境-经济投入产出表,从中国生产侧对工业 COD 排放进行了测算,明确了外需引致中国工业 COD 排放的国别分布和部门分布,进而使用了结构路径分析方法,深入研究了外需引致中国工业 COD 排放的关键产业路径,从供应链的角度解释了“国外需求消费,中国生产排放”的污染转移现象,得出了如下的结论:

(1)国外需求引致的中国工业 COD 排放量较大的国家主要集中于美欧等主要发达国家和金砖国家。美国和日本是中国工业 COD 排放的最大的两个来源国;在欧盟中德国、英国和法国的最终需求引起的中国工业 COD 排放量最大;在金砖国家中俄罗斯是最大的引致中国

工业COD排放国。

(2)外需引起的中国COD排放的工业部门主要集中于化学品和化学产品的制造,纺织品、服装和皮革制品的制造,纸和纸制品的制造,食品、饮料和烟草制品的制造。电脑、电子及光学产品制造业,家具制造及其他制造的出口引起的在中国国内生产该产品排放的COD占到了本部门排放总量的60%以上。

(3)各个国家对中国的纺织品、服装和皮革制品的制造部门的直接需求所引致的中国工业COD排放是第一关键的产业路径。其次是对食品、饮料和烟草制品的制造的直接需求,上述两个部门是控制工业COD减排的关键部门。此外,各国最终需求引致中国工业COD排放的关键路径的贡献率(占比)存在明显差异,也出现了涉及第三方国家的转移特征,使污染转移更具隐蔽性。

以上结论有着重要的政策含义:

第一,强化环境治理领导责任,推进环境治理方面的国际合作。在国际贸易谈判和与环境问题有关的高层对话中,应对这种“国外需求消费,中国生产排放”现象引起足够的重视,加强在环境规制方面的国际合作。一方面要加强与美日欧等发达国家的合作,积极借鉴其环保技术标准和污染减排治理经验,完善本国的环保标准和制度,并引进其先进绿色环保设备和生产工艺,实现绿色生产。另一方面要加强与金砖国家在内的发展中国家的交流,维护共同的发展权益。同时与其在环境基础设施、污染减排与绿色技术创新等领域积极开展对话与合作,共同推动绿色“一带一路”建设。

第二,发挥涉外贸易企业在环境治理中的积极作用,推进生产服务绿色化。一是要鼓励涉外贸易企业在制革、印染、染料等高污染物排放领域淘汰落后产能,使用清洁技术生产工艺,生产绿色出口产品。二是鼓励各类企业强化科技攻关和技术创新,提升中间产品利用效率。在关键产业路径中出现了国外对中间产品的需求而引致大量工业COD排放的现象,例如路径“S11→S11(USA)→USA”和“S6→S5→S6(ROW)→ROW”等,中国化学品和化学产品的制造和食品、饮料和烟草制品的制造等部门的产品被用作中间品投入产生了大量的COD排放,对这些部门要攻克关键的清洁技术难题,提高产品质量,降低排放强度。

第三,调整出口结构,实现贸易转型。一是要控制污染物排放高的部门出口,尤其在纺织品、服装和皮革制品的制造及食品、饮料和烟草制品的制造等工业部门,还有建筑业等非工业部门,这些部门产品的出口都引起了COD的大量排放。二是通过调整关税和补贴等政策和破除各种贸易壁垒,规范出口市场秩序,鼓励清洁产品出口,向绿色贸易转型。

第四,加强环境治理监管。要充分考虑到相关产业间的紧密联系,健全政府、社会、民众多方监管机制,强化全覆盖的监测能力,参照关键排放路径从上游到下游产业实现全方位的监管,同时鼓励中国各地区积极探索和完善排污许可证、“红黄牌”警示等制度,控制工业COD排放。

参考文献:

- [1] 李方一,刘卫东,唐志鹏. 中国区域间隐含污染转移研究[J]. 地理学报, 2013, 68(06):791-801.
- [2] 庞军,石媛昌,李梓瑄,张浚哲. 基于 MRIO 模型的京津冀地区贸易隐含污染转移[J]. 中国环境科学, 2017, 37(08):3190-3200.
- [3] 谢锐,赵果梅. GMRIO 模型视角下中国对外贸易环境效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(05):84-102.
- [4] 朱启荣,王玉平,刘璇. 工业品进口贸易的环保效益与提升途径——基于减少我国工业废气与废水排放的分析[J]. 国际经贸探索, 2018, 34(08):34-48.
- [5] Castaño, A., M. Lufin, and M. Atienza. A Structural Path Analysis of Chilean Mining Linkages Between 1995 and 2011. What are the Channels Through Which Extractive Activity Affects the Economy?[J]. Resources Policy, 2019, 60: 106-117.
- [6] Defourny, J. and E. Thorbecke. Structural Path Analysis and Multiplier Decomposition within a Social Accounting Matrix Framework[J]. Economic Journal, 1984, 94(373): 111-136.
- [7] Feng, C., X. Tang, Y. Jin, Y. Guo, and X. Zhang. Regional Energy-Water Nexus Based on Structural Path Betweenness: A Case Study of Shanxi Province China[J]. Energy Policy, 2019, 127: 102-112.
- [8] Kaya, T. Unraveling the Energy Use Network of Construction Sector in Turkey Using Structural Path Analysis [J]. International Journal of Energy Economics & Policy, 2017, 7: 31-43.
- [9] Leontief, W. Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach: A Reply [J]. The Review of Economics and Statistics, 1970, 56(1): 109-110.
- [10] Lenzen, M. Structural Path Analysis of Ecosystem Networks[J]. Ecological Modelling, 2007, 200(3): 334-342.
- [11] Liu, Q. and Q. Wang. How China Achieved Its 11th Five-Year Plan Emissions Reduction Target: A Structural Decomposition Analysis of Industrial SO₂ and Chemical Oxygen Demand[J]. Science of the Total Environment, 2017, 574: 1104-1116.
- [12] Nagashima, F. Critical Structural Paths of Residential PM_{2.5} Emissions within the Chinese Provinces[J]. Energy Economics, 2018, 70: 465-471.
- [13] Shao, L., Y. Li, K. Feng, J. Meng, Y. Shan, and D. B. Guan. Carbon Emission Imbalances and the Structural Paths of Chinese Regions[J]. Applied Energy, 2018, 215: 396-404.
- [14] Su, B. and B. W. Ang. Input-Output Analysis of CO₂ Emissions Embodied in Trade: Competitive Versus Non-Competitive Imports[J]. Energy Policy, 2013, 56: 83-87.
- [15] Su, B. and B. W. Ang. Input-Output Analysis of CO₂ Emissions Embodied in Trade: A Multi-Region Model for China[J]. Applied Energy, 2014, 114: 377-384.
- [16] Veiga, J. P. S., A. Malik, M. Lenzen, et al. Triple-Bottom-Line Assessment of São Paulo State's Sugarcane Production Based on a Brazilian Multi-regional Input-output Matrix[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 82: 666-680.
- [17] Wang, J., L. L. Li, F. Y. Li, A. Kharrazi, and Y. Bai. Regional Footprints and Interregional Interactions of Chemical Oxygen Demand Discharges in China[J]. Resources Conservation and Recycling, 2017, 132: 386-397.
- [18] Xu, M., R. Li, J. C. Crittenden, and Y. S. Chen. CO₂ Emissions Embodied in China's Exports from 2002 to 2008: A Structural Decomposition Analysis[J]. Energy Policy, 2011, 39(11): 7381-7388.
- [19] Xu, Y. and E. Dietzenbacher. A Structural Decomposition Analysis of the Emissions Embodied in Trade[J]. Ecological Economics, 2014, 101: 10-20.

[20] Zhang, W., J. N. Wang, B. Zhang, J. Bi, and H. Q. Jiang. Can China Comply with Its 12th Five-Year Plan on Industrial Emissions Control: A Structural Decomposition Analysis[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49 (8): 4816–4824.

[21] Zhang, Z. K., Z. X. Zhang., and K. F. Zhu. Allocating Carbon Responsibility: The Role of Spatial Production Fragmentation[J]. *Energy Economics*, 2019, 104491.

[22] Zhao, G. M. , C. Gao, R. Xie, M. Y. Lai, and L. G. Yang. Provincial Water Footprint in China and Its Critical Path[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 105: 634–644.

Critical Paths of China's Industrial Wastewater Discharge Caused by External Demand

Chen Chuanlong and Han Panxing

(Party School of the Hunan Provincial Committee of CPC)

Abstract: In order to achieve China's water pollution discharge reduction targets and implement the new concept of open and green development, it is necessary to study the pollutant discharge of China's industrial wastewater caused by external demand. This paper analyzes China's industrial COD emissions caused by final demand based on the world environment–economy multi–regional input and output model. This paper also researches the pollution transfer path of “consumption caused by foreign countries' demand, emissions from Chinese production” from the perspective of supply chain using the structural path analysis method. This research found that United States, Japan, Europe and other major developed countries and BRICS countries are main sources of China's industrial COD emissions. “Manufacturing of textiles, apparels and leather goods to non–Chinese countries or regions” and “manufacturing of food, drink and tobacco products to non–Chinese countries or regions” are main path types of China's industrial COD emissions. There are also significant differences in the contribution rate of the key path leading to industrial COD emissions in China. This paper puts forward the policy suggestions include strengthening cooperation with developed countries such as the United States, Japan, Europe and BRICS countries in environmental governance, promoting green production and service to realize trade transformation and comprehensively supervising the pollutant discharge of China's industrial wastewater referring to the critical path.

Keywords: Industrial COD; Pollution Transfer; Structural Path Analysis; Input and Output Model

JEL Classification: Q56, R15, O50

(责任编辑:朱静静)