



中国贸易 隐含大气污染转移 与环境不公平

Virtual Air Pollution Transfer and
Environmental Inequalities in China

张 伟 / 著

CHINA
中国环境出版集团

中国贸易隐含大气污染转移 与环境不公平

Virtual Air Pollution Transfer and Environmental
Inequalities in China



张伟 著

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国贸易隐含大气污染转移与环境不公平/张伟著.
—北京: 中国环境出版集团, 2018.10

ISBN 978-7-5111-3728-9

I. ①中… II. ①张… III. ①大气污染物—排污
量—研究—中国 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 159825 号

出 版 人 武德凯
责任编辑 葛 莉 张维平
责任校对 任 丽
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 10 月第 1 版
印 次 2018 年 10 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 14
字 数 190 千字
定 价 65.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

缩写词与符号

符号 缩写词	英文全名	中文说明
MRIO	multi-regional input-output	多区域投入产出模型
APE	atmospheric pollutant equivalents	大气污染排放当量
GDP	gross domestic product	地区生产总值
SO ₂	sulfur dioxide	二氧化硫
NO _x	nitrogen oxides	氮氧化物
PM	particulate matter	颗粒物
PM ₁₀	inhalable particles	可吸入颗粒物
PM _{2.5}	fine particular matters	细颗粒物
TSP	total suspended particulates	总悬浮物
VOCs	volatile organic compounds	挥发性有机污染物
GHG	greenhouse gas	温室气体
EUE	ecologically unequal exchange	生态不平等交换
FCPSC	first China pollution source census	第一次污染源普查数据库
CES	China environmental statistics	中国环境统计数据库
REI	regional environmental inequalities	区域不公平指数
m ³	stere	立方米
μg	microgram	微克
g	gram	克
kg	Kilogram	千克
Mg	Megagram	兆克（等于吨）
Gg	Gigagram	十亿克（等于千吨）
Tg	Teragram	兆兆克（等于百万吨）

前 言

跨区域贸易不仅是交换商品，同样也隐含着跨区域的污染转移。在中国区域经济发展差异和区域性大气污染特征的背景下，量化评估区域间分工协作和贸易过程存在的环境成本与经济收益不对等关系，是构建区域大气环境治理责任分担机制的重要内容。本书基于生态不平等交换理论和多区域投入产出模型，在编制中国 2012 年大气污染物（ SO_2 、 NO_x 和颗粒物）排放清单的基础上，分别从生产端和消费端测算了我国各省份出口和跨省贸易导致的大气污染排放当量（APE）和经济收益（GDP），进而构建多种环境不公平指数表征上述不对等关系。

首先，本书针对省际间贸易，分别从生产端和消费端测算由于各省份在消费本地和其他省份的最终产品过程中承担的大气污染排放和经济收益，并针对净转移构建环境公平性指数（REI）表征大气污染物净转移和 GDP 净转移的不对称关系。研究结果显示，在由京津、东部沿海、南部沿海等发达区域消费驱动的大气污染排放中，有 62%~76% 是实际排放在其他欠发达区域；然而，上述发达省份消费带动的增加值中有 70% 留在了发达地区。从净转移角度来看，

部分东部发达地区（如北京、天津、江苏、上海）将大气污染通过省际贸易间接转移到欠发达区域，但由于其自身具备的产业梯度优势，在将大气污染转移出去的同时反而在贸易中获得了经济净收益。而位于西部偏远省份（如贵州、云南、宁夏等）在承接发达地区的大气污染转移过程中，由于产业劣势，在贸易过程中本地获得的经济收益要小于带动其他地区的经济收益，也就是说经济净收益为负。

其次，本书估算了各省份通过全国跨区域产业链在生产本地出口产品和为外地出口商品提供中间产品过程中获得的大气污染排放和 GDP，并构建环境不公平指数（AG）评估了各地区和省份获得的大气污染排放和增加值在份额上的不对等。结果显示，中国沿海发达区域（东部沿海、南部沿海和京津区域）在中国及各省份出口过程中获得了 56% 左右的 GDP 收益，然而上述区域仅承担了 28% 的全国出口导致的大气污染排放。从单位成本来看，上述发达区域每获得 1 元出口隐含的 GDP 收益仅需要本地承担 0.4 ~ 0.6 g 的大气污染排放，而中部和西部欠发达区域则需要本地承担 1.7 ~ 3.2 g 的大气污染排放，为发达区域的 4 ~ 8 倍。沿海发达地区获得的经济收益份额要明显大于其最终承担的大气污染排放份额，而其他欠发达地区获得的经济收益份额则要明显小于其最终承担的大气污染排放份额。

再次，针对大气污染最严重的京津冀及周边 7 省份，本书从治理所需的经济成本角度测算京津冀及周边省份的大气污染完全治理成本和 GDP 收益，并构建不公平指数（CG），表征区域内各省份承担的成本与获得收益在份额上的不对等。研究结果显示，北京、天

津及山东等发达省市通过购买山西、内蒙古、河北、河南的污染密集型产品，将本该属于自己的大气污染完全治理成本转嫁到能源富集的落后省份。然而，由于自身产业优势，北京、天津两个发达城市在将高附加值的电子、汽车、信息技术等产品销售到其他省份的过程中，获得了整个区域 53% 的 GDP 净收益。山西和内蒙古虽然承担了约 70% 的大气污染完全治理成本，但只获得了不到 20% 的 GDP 收益。可以发现，北京、天津在区域内贸易过程中占据了优势地位，河北、山西、内蒙古则处于劣势，遭受了环境不公平对待。

总体来说，本书结论认为：中国各区域和省份在开展区域分工协作和贸易过程中，存在显著的环境不公平现象。发达区域和省份由于更多致力于生产高附加值和低污染密集产品，在获得更多的经济收益的同时承担了更少的大气污染负担和治理责任；而重化工等产业密集的省份以及欠发达省份由于处于产业梯度的中端和低端，因此在为发达省份和地区提供高污染密集型产品的同时，承担了更多的大气污染负担和治理责任，却获得不匹配的、相对较少的经济收益。上述研究结论可以为我国区域大气污染治理中的责任划分提供思路借鉴，为探索中国跨省大气污染治理补偿和污染转移支付提供决策依据。

全书共分为 7 章，第 1 章主要介绍本书的写作背景、目的、意义和技术路线等内容；第 2 章主要围绕生产端和消费端排放核算与责任分配、全球或国内贸易隐含的碳排放核算与虚拟转移、贸易隐含的大气污染物及相关的环境质量和健康损失、环境不公平相关理论和进展等方面的研究进展进行梳理；第 3 章介绍了本书的方法框架和数据来源；第 4 章开展了中国省际大气污染转移及公平性实证

分析；第 5 章针对出口导致的省际大气污染转移及公平性开展实证分析；第 6 章针对京津冀及周边区域大气污染治理成本转嫁开展实证研究；第 7 章总结了本书的主要结论、政策建议、主要创新及展望。

本书可以为环境规划、环境管理、环境经济等相关专业的师生和研究人员提供参考。本书撰写过程中得到了王金南院士、毕军教授、蒋洪强研究员的专业指导，中科院科技战略咨询研究院的刘宇研究员为本书提供了 2012 年多区域投入产出表。南京大学的汪峰博士、刘苗苗博士，马里兰大学的 Klaus Hubacek 教授、冯奎双教授，中央财经大学的姜玲教授等同仁在书稿写作中给予了帮助，生态环境部环境规划院陆军书记等领导给予了大力支持。在此，对以上所有人员表示衷心的感谢。本书研究成果得到了自然科学基金委的项目资助（项目号：71433007，71603097）。由于作者水平有限，书中不足与错误难免，恳请读者批评指正。

作者

2018 年 5 月 28 日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 科学问题	8
1.3 研究目的与意义	8
1.4 研究框架和内容	10
1.5 技术路线	12
第 2 章 文献综述	15
2.1 生产端、消费端排放核算与责任分配研究	15
2.2 贸易隐含排放视角下的全球气候问题研究	20
2.3 贸易隐含的大气污染及健康损失研究	24
2.4 环境不公平相关理论及实证研究	29
2.5 本章小结	34
第 3 章 方法框架和数据来源	36
3.1 环境投入产出理论与方法	36
3.2 多区域投入产出表和模型	41
3.3 中国 2012 年大气污染物排放清单	53
3.4 本章小结	63

第4章 中国省际大气污染转移及公平性分析.....	65
4.1 研究背景	65
4.2 模型构建	66
4.3 结果分析	70
4.4 本章小结	105
第5章 出口导致的省际大气污染转移及公平性分析.....	108
5.1 研究背景	108
5.2 模型构建	111
5.3 结果分析	116
5.4 本章小结	145
第6章 京津冀及周边区域大气污染治理成本转嫁.....	149
6.1 研究背景	149
6.2 模型构建	153
6.3 结果分析	157
6.4 本章小结	164
第7章 结论与展望	168
7.1 主要结论	168
7.2 主要创新点	170
7.3 研究不足与展望	171
参考文献	174
附 录	204

第1章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 中国存在显著的区域发展差异与污染排放集聚特征

自改革开放以来,中国经济呈现快速增长趋势,从 1978 年的 3 678 亿元增长到了 2016 年的 74 万亿元,年均 GDP 增长率达到 9%左右,取得了令世界瞩目的高速增长。尤其是 2001 年加入世界贸易组织(World Trade Organization, WTO)以来,中国逐渐成为世界工厂。在 2010 年,中国名义 GDP 总量超过日本,成为仅次于美国的世界第二大经济体以及世界上最大的出口国和制造国。然而,中国不同地区的经济发展水平仍然存在显著差距(附图 1)。为了应对中国区域发展不均衡问题,中国政府在 2001 年以后相继部署了西部大开发、振兴东北老工业基地以及促进中部地区崛起等重大区域发展战略,一定程度上促进了中西部地区的经济发展。但是,中国区域经济发展不均衡问题并没有得到显著改善,甚至在局部地区出现进一步加剧的趋势(国家统计局课题组,2007;李莉等,2008;彭鑫,2015)。数据显示,长三角、珠三角和京津冀三大都市经济圈的生产总值已经占全

国的 35%，成为拉动经济社会发展的三大引擎。2016 年，北京、天津、上海、山东、江苏、浙江、广东、福建等发达省份^①GDP 总量占全国 GDP 的 48%，东部人均 GDP 是中部和西部省份的 2 倍。

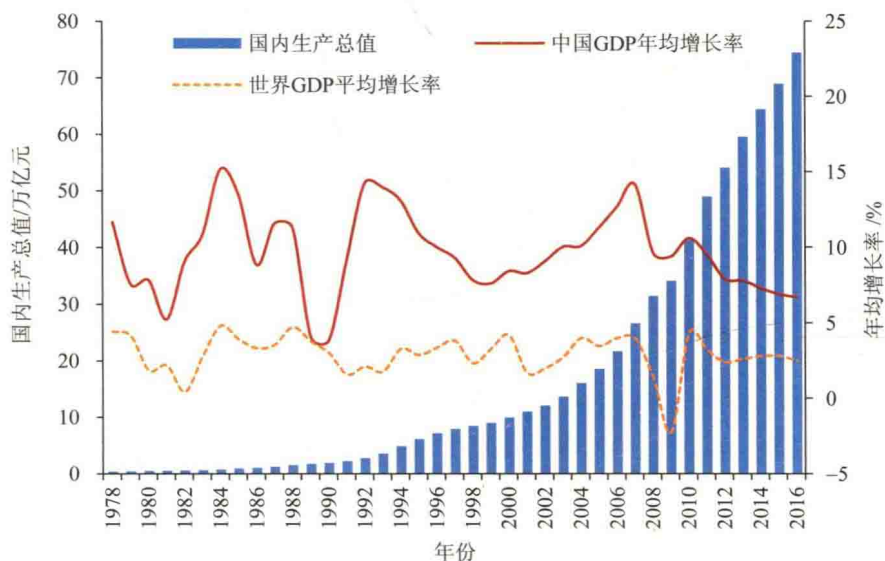
另外，随着西部大开发以及中部崛起等战略，一方面我国东部通过对西部的产业梯度转移促进了西部地区的资本形成、就业促进、结构调整、制度创新和经济增长，形成了我国地区经济协调发展的大国雁阵模式（林麟，2006；杨昌举等，2006）。但另一方面发达地区为了改善本地环境质量，以区域经济一体化名义，通过投资或者厂址迁移将落后的技术设备转移到资源和能源丰富的欠发达地区，并通过省际贸易形式消耗上述产品生产发达地区高附加值、高利润产品，最终导致污染排放与经济发展在空间分布上的不均衡与脱钩，呈现“工业产值东迁而工业污染西移”现象（李杨，2006；杨英，2008）。数据显示，我国中西部地区承担了更多份额的环境负担。例如，2016 年中西部省份地区 SO_2 和 NO_x 排放占全国总量的 75% 和 70%，而东部发达省份上述污染物排放仅占 25% 和 30%。

1.1.2 中国正面临严重的区域性大气污染问题

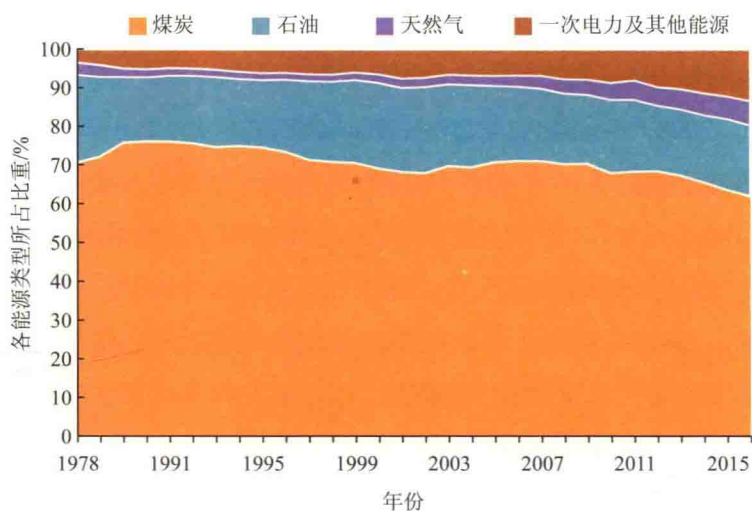
中国用了 30 多年的时间取得了发达国家 100 多年的经济增长成就，同时发达国家 100 多年（甚至 200 多年）的环境问题在中国也开始集中爆发。中国工业化和城市化进程突飞猛进的同时，依赖的是高投入、高消耗、高污染、低效率的粗放型增长方式。近些年来，中国每年消耗全球约 50% 的煤炭（BP company, 2015），生产 48% 的钢铁和 59% 的水泥（World Steel Association, 2014），排放了全球约 30% 的二氧化硫（ SO_2 ）和 20% 的氮氧

① 在本研究中，省份、自治区、直辖市统一称为“省份”，下同。另外，研究内容不涉及港、澳、台地区，下同。

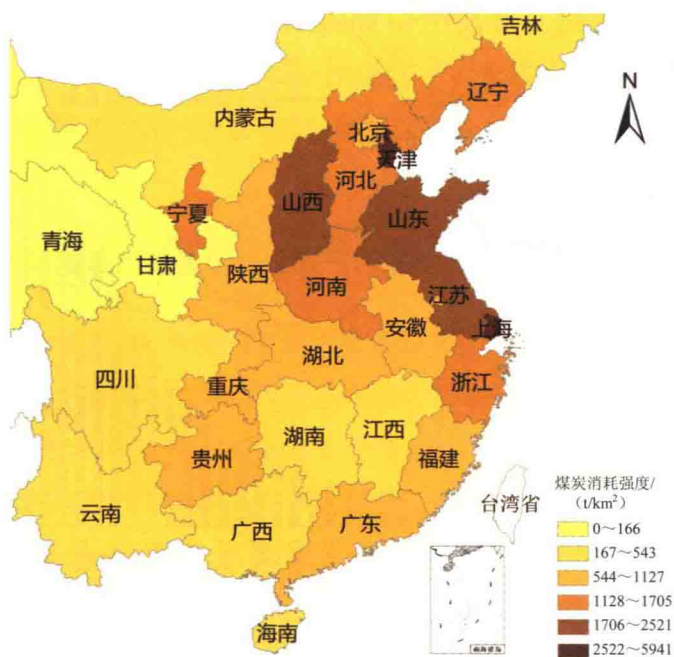
化物 (NO_x) (Klimont et al., 2013; World Bank, 2014), 其带来的显著后果就是当前以 $\text{PM}_{2.5}$ 为特征的复合型大气污染 (Chan and Yao, 2008; Liu and Diamond, 2008; Guan et al., 2014; Pui et al., 2014)。2016 年, 在中国开展空气质量监测的 338 个城市中, 75.1% 的城市没有达到空气质量二级标准 ($\text{PM}_{2.5} \leq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。所有开展监测的城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度为 $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 约为空气质量二级标准的 1.3 倍, 是世界卫生组织 (WHO) 指导值的 4.7 倍 (MEP, 2016)。另外, 根据监测数据以及遥感卫星反演结果, 中国灰霾污染逐渐呈现大范围、区域性特征, 集中在京津冀、长三角、珠三角、成渝地区、中部地区 (Ma et al., 2010; van Donkelaar et al., 2010; China National Environmental Monitoring Centre, 2015)。自 2013 年以来, 中国已经发生多次区域性大面积严重灰霾污染事件, 成为中国公众关注度最高的环境污染问题 (Wang et al., 2014; Wang et al., 2014; Xinhua New, 2015)。



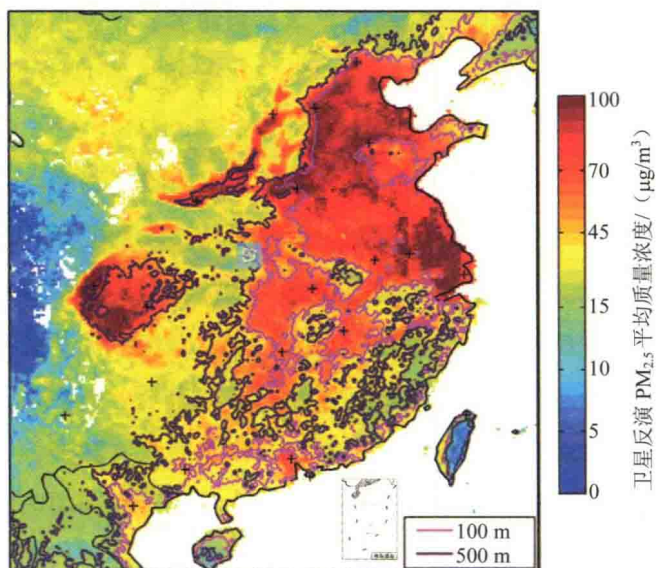
(a) 中国历年 GDP 变化及年均增长率



(b) 中国历年能源结构变化



(c) 中国 2015 年各省份煤炭消耗强度



(d) 中国基于卫星反演的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均质量浓度

注：(a)、(b)、(c) 中所使用中国数据来源于《2017 年中国统计年鉴》，世界 GDP 年均增长率数据来源于世界银行数据库 (<http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>)；(d) 来源于文献 (van Donkelaar et al., 2010)。

图 1-1 中国改革开放以来经济发展及能源结构

1.1.3 中国大气污染跨界传输需要区域联防联控机制

中国区域性大气污染的主要特征是存在显著跨界传输现象。研究显示，在京津冀、长三角和珠三角等空气污染严重区域，空气质量很大程度上受到周边区域的影响。例如，北京市环保局 2014 年发布的大气污染源解析研究报告^①显示，北京市全年 $\text{PM}_{2.5}$ 来源中，区域传输贡献为 28%~36%。环境保护部环境规划院基于颗粒物来源追踪技术 (PSAT) 对全国 31

^① 由北京市环境保护监测中心、清华大学、中国环境科学研究院共同完成的“北京市大气环境 $\text{PM}_{2.5}$ 来源解析技术研究与应用”项目。

个省市间的 $PM_{2.5}$ 传输贡献模拟结果显示,京津冀、长三角、珠三角及成渝城市群的 $PM_{2.5}$ 年均浓度中分别有 22%、37%、28%、14% 受区域外影响,其中北京、天津、石家庄外部来源比例高达 37%、42%、33% (薛文博等, 2014)。在大气污染最为严重的京津冀地区,相关研究表明,北京和天津以及河北东部城市 $PM_{2.5}$ 受外省影响较大,区域传输对北京和天津的贡献接近 50% (刘旭艳, 2015; 陈云波, 2016)。通过模拟发现京津冀 13 个城市 O_3 污染受传输贡献显著 ($>80\%$) (王燕丽等, 2017)。其他类似研究结果也与上述结论基本吻合 (Li et al., 2015; 张大伟等, 2015; 王晓琦等, 2016; 王惠文等, 2017; 王燕丽等, 2017; 张晗宇等, 2017)。可以看出,当前各行政区“属地化”环境管理模式已经无法应对我国面临的区域性复合型大气污染,建立横向跨区域大气治理的联防联控协调机制是解决区域性大气污染的重要手段 (宁淼等, 2012; 王金南等, 2012; 雷宇等, 2014; 李云燕等, 2017)。

为此,环保部在 2012 年制定的《重点区域大气污染防治“十二五”规划》中^①,针对大气污染严重的“三区九群”^②,明确提出了区域大气污染联防联控机制,包括统一协调的区域联防联控工作机制、大气环境联合执法监管机制、重大项目环境影响评价会商机制、环境信息共享机制、区域大气污染预警应急机制。随后,2013 年国务院发布的《大气污染防治行动计划(2012—2017)》(以下简称“大气十条”)中也同样提出了大气污染区域联防联控的要求 (柴发合等, 2013; 国务院, 2013)。并且在北京奥运会、广州亚运会、上海世博会、北京 APEC 会议期间的空气质量保障中得到了成功实践,取得了显著的改善效果 (曾静等, 2010; 陈焕盛等, 2010; 黄嫣旻等, 2013)。然而这种成功案例虽具有重要的标本意义,但

① http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201212/t20121205_243271.htm.

② “三区九群”: 京津冀、长三角、珠三角三大地区及辽宁中部城市群、山东半岛、武汉及其周边、长株潭、成渝、海峡西岸、陕西关中、山西中北部和乌鲁木齐城市群。

过分依赖限产、限行等临时性措施，对周边省份经济活动影响较大，不能替代长效联防联控机制。

1.1.4 理顺区域大气污染物减排责任与义务对建立长效机制至关重要

现有的大气联防联控政策主要依据各地区产生的污染排放量来分配减排责任，如中国污染物总量减排政策（Ge et al., 2009），即本地区生产过程中直接排放的污染物越多，则需要减少的污染物排放越多。但由于各区域资源禀赋和产业分工不同，区域间存在密切的商品贸易交换。一些拥有污染密集产业的省份在生产过程中排放了大量污染物，但是这些污染密集型产品（如火电、钢铁、水泥等）很大部分通过区域间贸易提供给其他省份，存在隐含于省际贸易中的大气污染物转移现象（Wiedmann, 2009; Liang et al., 2014; Zhao et al., 2015）。因此，理顺区域间贸易隐含的大气污染转移关系，是建立区域大气污染的责任分担机制、解决区域性大气问题的关键和基础。

然而，将贸易商品的污染排放完全归于产品消费区域也并不合理，因为忽视了商品贸易过程中同样隐含的经济以及福利的转移，即生产污染密集型产品虽然造成了本地污染加重，但是同样在商品交易过程中获得经济效益与社会福利。开展区域间贸易本身就是拉动本地区经济增长的重要驱动因素，获得经济利益和承担污染转移是跨区域商品贸易相生相伴的两个结果。例如，北京将污染企业迁入河北（如首钢），河北的污染密集型产品（如钢材）又主要是供应北京城市建设，如此看来河北貌似承接了北京的大气污染转移。然而河北在承接北京污染产业的同时也带动了本地经济增长和就业，获得了经济收益与社会福利。因此，综合评价省际间贸易过程中的经济收益和污染转移，揭示在国内产业分工过程中的环境不公平问题是区域内平衡大气污染协同治理过程中的利益关系、建立责任共担、权