

能源富集区贸易隐含碳及隐含SO₂排放转移 ——以山西省为例

吴景辉¹, 张戈^{1,2}, 王耕¹

(1. 辽宁师范大学地理科学学院, 大连 116029; 2. 黑龙江科技大学矿业工程学院, 哈尔滨 150022)

摘要: 通过量化地区间碳排放和SO₂排放转移特征, 可以较好地了解地区间的碳排放和SO₂排放的来源与去向, 从而合理地制定各地区的减排与治理方案。采用多区域投入产出模型, 计算2007年和2012年山西省输出和输入的隐含碳和隐含SO₂排放情况。结果表明: 山西省为隐含碳和隐含SO₂排放输出区, 输出的地区主要是江苏、河北、浙江和山东等地, 输入的地区主要是河北、山东、内蒙古和河南等地。山西省向其他地区转移的隐含碳和隐含SO₂排放主要汇聚于金属冶炼及制品业、建筑业和化学工业等。其他地区向山西省转移的隐含碳和隐含SO₂排放主要集中于建筑业、采选业、金属冶炼及制品业等。基于上述研究结论, 提出了一些关键性整改建议与措施。

关键词: 能源富集区; 隐含碳排放; 隐含SO₂排放; 多区域投入产出模型; 山西省

2015年, 中国政府在“国家自主减排贡献”文件中承诺, 到2030年中国不再增加碳排放。同时, 相比于2005年, 单位GDP的碳排放强度需下降60%~65%。为尽早完成碳减排的目标, 中国正在进行产业结构调整, 但能源结构仍以煤炭为主^[1]。然而, 以煤炭为主的能源结构已经导致了我国许多地区产生严重的雾霾, 危及人体健康, 雾霾治理话题已经成为了当下的热点问题。而雾霾的成分之一主要来源于能源燃烧产生的SO₂。中国是世界上碳排放和SO₂排放最大的国家之一^[2,3], 在对应的联合减排治理方面, 我国一直面临并承受着巨大的国际压力。为此, 如何联合研究并量化表征地区间隐含碳和隐含SO₂排放转移特征, 为政府在碳减排和雾霾联合治理方面制定更为合理的综合措施, 进而达到碳排放降低及雾霾有效治理的协同效果^[4-6], 是当前亟需解决的重大科学问题。

目前, 国内外学者采用投入产出模型对贸易间产生的碳排放和SO₂排放转移问题进行了相关研究。Liu等^[7]研究了国际贸易隐含碳排放情况, 计算了中国与美国、欧盟、日本等国家双边贸易中二氧化碳排放量, 最终得出了中国净进口碳排放转移量主要来自于美国、欧盟和日本的结论。Yang等^[8]分析了2002—2012年中国供应链中SO₂排放量在时间尺度上的演变特征, 得出了中国SO₂总排放量随时间呈现出先升高后降低的变化规律; 同时, Yang等^[8]基于生产与消费两角度, 得出了电气与热气生产、建筑业分别是导致硫排放不断增加的主导力量与主要驱动力。黄永明等^[9]选取了CO₂、SO_x和CH₄等8种污染物为指标, 深入研究了国际贸易隐含污染物转移问题, 较好地表征了中国贸易隐含污染物逐年递增的演变特征, 最终获得了中国贸易隐含碳净进口量随时间的递进呈现出先升后降的规律。李方一等^[10]对中国区域间贸易隐含的SO₂、COD、固体废弃物和重金属

收稿日期: 2019-05-24; 修订日期: 2019-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771132); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(15JJD790039)

作者简介: 吴景辉(1994-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 研究方向为资源环境与区域可持续发展。

E-mail: jinghuiwu009@163.com

通讯作者: 张戈(1959-), 男, 山东济南人, 博士, 教授, 研究方向为水资源与环境。E-mail: zhangge_dl@163.com

污染转移规律进行了研究, 得出了国内隐含污染物转移方向主要是从中西部流向东部沿海地区的规律。此外, 还有学者对以京津冀、江浙沪、北京等省市间的贸易隐含碳和污染物进行了计算和分析, 并获得了较多有战略意义的研究结论与规律^[11-16]。

国内外学者对于能源富集区在贸易中碳排放和SO₂转移问题研究较少, 难以精确地反映出该类城市的碳排放和SO₂转移情况与分布特征。能源富集区是我国重要的能源保障基地, 是保证国民经济持续健康发展的重要支撑, 对于区域可持续发展具有重要的作用^[17]。能源富集区作为能源输出区, 通常是与其他地区贸易往来实现向其他地区输出资源, 从而资源输入区便会随之新增出相应的隐含碳和隐含SO₂排放。量化能源富集区跨地区输出隐含碳和隐含SO₂排放的情况与分布特征, 有利于制定更加合理、有效的省级碳排放和SO₂控制方案^[18]。山西省作为我国重要的能源富集区, 煤炭资源极其丰富, 产出的煤炭主要供应河北、山东、河南、湖北、天津和北京等地区^[19], 是我国最重要的煤炭输出省之一。此外, 近年来山西省煤炭资源开采力度加大, 其在贸易中隐含的碳排放和隐含的SO₂排放转移频率便随之变得越来越高。为此, 本文选择以能源富集区山西省作为研究区, 采用多区域投入产出模型研究其2007年和2012年在贸易往来中隐含碳排放和隐含SO₂排放转移情况与分布特征, 从而为政府公平合理地制定各地区的减排和治理方案提供一定的参考与借鉴。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

投入产出方法是应用投入产出表中的数据, 计算经济变化对环境产生的直接和间接影响, 是研究经济体系各部门间投入与产出关系的数量分析方法^[20]。该方法可以反映区域内部各产业之间以及不同区域之间的经济联系, 是分析贸易隐含碳和隐含SO₂排放转移主要的研究方法之一^[21,22]。

投入产出方法中, 某一区域的总产出与最终需求的关系如下:

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

式中: X 表示总产出(万元); Y 表示国内最终需求(万元); $(I - A)^{-1}$ 表示列昂惕夫逆矩阵。

运用投入产出方法来量化碳(硫)排放量, 首先需要计算直接碳(硫)排放量。直接硫排放量计算过程见参考文献[14], 直接碳排放量计算公式如下:

$$C_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times EF_j \times NCV_j \times O_j \quad (2)$$

式中: C_i 为地区*i*部门产生的直接碳排放量(t CO₂); C_{ij} 为地区*i*部门消耗*j*能源产生的碳排放量(t CO₂); D_{ij} 为地区*i*部门对*j*能源消耗量(万t或亿m³); EF_j 表示*j*能源CO₂排放因子(t CO₂/TJ); NCV_j 表示*j*能源净发热值(kJ/kg); O_j 表示*j*能源氧化率。

基于直接碳(硫)排放量的计算, 单位直接碳(硫)排放量计算公式如下^[23]:

$$F = (f_i), f_i = C_i / X_i \quad (3)$$

式中: F 为单位直接碳(硫)排放量矩阵; f_i 为*i*部门的单位直接碳(硫)排放量(t CO₂/元或t/元); C_i 为*i*部门的直接碳(硫)排放量(t CO₂或t); X_i 为*i*部门的总产出(万元)。

国内地区间隐含碳(硫)排放量, 计算公式如下:

$$T = \text{diag}(F)(I - A)^{-1}(X + Y) \quad (4)$$

式中: T 为国内区域间隐含碳(硫)排放量矩阵; $\text{diag}(F)$ 表示单位直接碳(硫)排放量

对角矩阵。

国内地区生产供给国外产生的碳(硫)排放量,计算公式如下:

$$T_x = \text{diag}(F)(I - A)^{-1}E_x \quad (5)$$

式中: T_x 为国内地区生产供给国外产生的碳(硫)排放量矩阵; E_x 国内地区出口量(万元)。

1.2 数据来源及处理

本文采用的投入产出数据来源于2007年和2012年中国区域间投入产出表。《中国2007年30省区市区域间投入产出表》(中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室编制)包括了除西藏、香港、澳门和台湾之外的30个省市区投入产出数据和出口数据,每个地区分为30个行业。《中国2012年31省区市区域间投入产出表》^[24]包括了除香港、澳门和台湾之外的31个省市区投入产出数据和出口数据,每个地区分为42个行业。结合2007年和2012年中国区域间投入产出表所包括地区及产业,在计算时剔除2012年西藏自治区的数据,将2007年和2012年中国区域间投入产出表中行业按照行业划分标准合并为17个行业,具体划分结果见表1。计算直接碳排放量所需的能源消耗量数据来源于《2008年中国能源统计年鉴》^[25]、《2013年中国能源统计年鉴》^[26]。计算直接硫排放量所需SO₂数据来源于《2008年中国环境统计年鉴》^[27]和《2013年中国环境统计年鉴》^[28]。

表1 行业划分

Table 1 Division of trade

代码	行业	代码	行业
N1	农业	N10	机械工业
N2	采选业	N11	交通运输设备制造业
N3	食品制造及烟草加工业	N12	电气机械及电子通信设备制造业
N4	纺织服务业	N13	其他制造业
N5	木材加工及家具制造业	N14	电气、燃气及水的生产与供应业
N6	造纸印刷及文教用品制造业	N15	建筑业
N7	化学工业	N16	商业、运输业
N8	非金属矿物制品业	N17	其他服务业
N9	金属冶炼及制品业		

2 结果分析

2.1 山西省与其他地区隐含碳和隐含SO₂排放转移

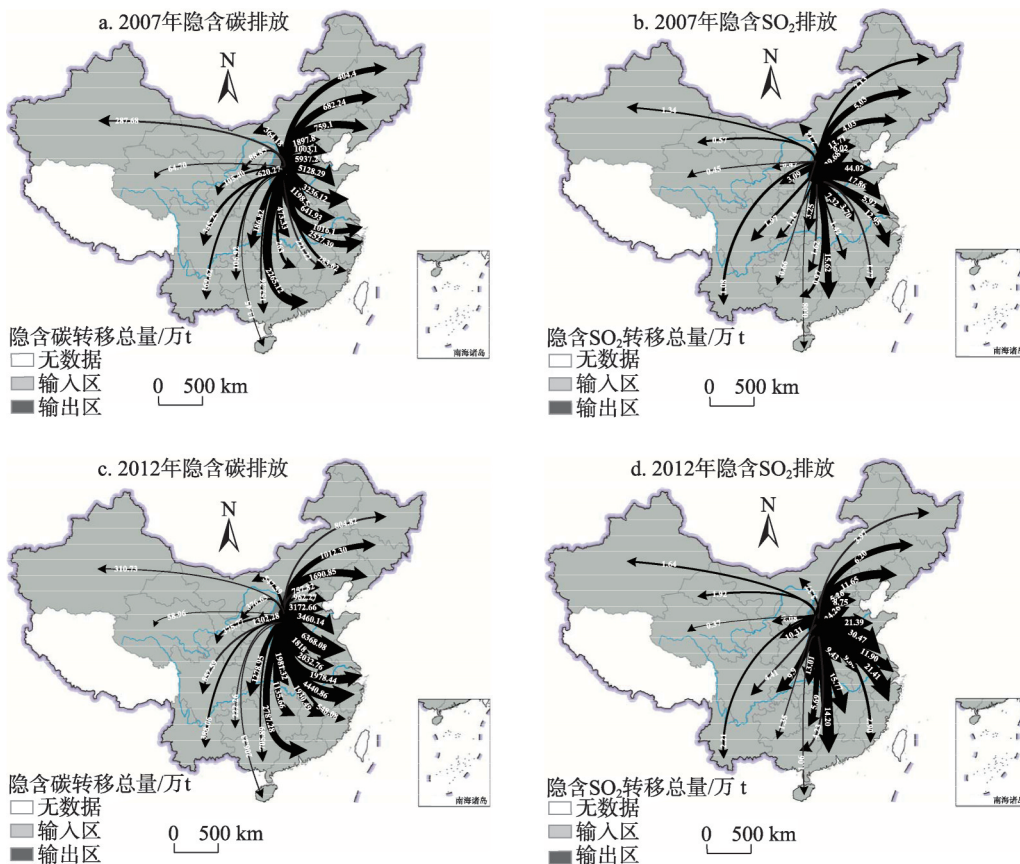
2.1.1 山西省向他地区隐含碳和隐含SO₂排放转移

2007年和2012年山西省向其他地区转移的隐含碳和隐含SO₂排放主要体现在中间需求部分。2007年山西省转移的隐含碳排放总量为34541.17万t,隐含碳的中间需求和最终需求排放量分别是24414.66万t和6029.1万t,出口国外转移的隐含碳排放量为4097.45万t;隐含SO₂排放输出总量为222.8万t,中间需求和最终需求排放量分别是162.09万t和37.89万t,转移到国外的隐含SO₂排放量为22.82万t。2012年山西省输出的隐含碳排放总量为46795.64万t,隐含碳的中间需求和最终需求排放量分别是34427.5万t和9080.31万t,出口国外的隐含碳排放量为3287.84万t;隐含SO₂排放转移总量为276.42万t,中间需求和最终需求排放量分别是204.45万t和54.5万t,转移到国外的隐含SO₂排放量为17.46万t。

如图1所示,2007年和2012年山西省输出隐含碳排放的主要地区为:河北

(17.19%、7.29%)、山东 (14.85%、7.95%)、江苏 (9.37%、14.64%)、浙江 (7.32%、10.21%) 和广东 (6.56%、6.41%)。2007年和2012年山西省输出的隐含SO₂主要向山东 (19.76%、8.26%)、河北 (17.81%、9.37%)、江苏 (8.02%、11.77%)、广东 (7.01%、5.48%) 和浙江 (5.81%、8.27%) 等地区进行排放。2007年山西省输出的隐含碳和隐含SO₂排放主要集中于河北、山东两省。形成此转移特征的原因可能是河北、山东两省的人口规模大，其产业结构以重工业为主，与山西省具有显著的地理临近效应，通过近距离运输便可为其经济发展和居民能源消费笼获丰富的资源。随着运输距离及运输成本的增加，山西省向江苏、浙江和广东三省输送的资源在逐渐减少。在2012年，随着江苏省和浙江省的经济迅速发展，能源需求量大，消费水平较高，致使其成为山西省供给能源的主要地区；尽管广东省人口规模大，能源消费高，但远距离、高成本运输已成为山西省向广东省输送能源的限制因素。山西省供给资源依赖型城市发展所需能源的同时也伴随着隐含碳和隐含SO₂排放的大量流入，加重了减排和治理任务。因此资源依赖型城市在通过贸易获取资源的同时需提高能源利用率，引进低碳技术和脱硫设备，增加可再生能源消费比例，减少能源消耗量，从而降低隐含碳和隐含SO₂的输入。

基于对2007年和2012年山西省输出隐含碳和隐含SO₂排放主要转移地区进行分析，



注：本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载审图号GS(2016)1599标准地图制作，底图无修改，下同。

图1 2007年和2012年山西省输出隐含碳及隐含SO₂排放的流动格局

Fig. 1 The flow pattern of embodied carbon and embodied SO₂ emissions from Shanxi province in 2007 and 2012

本文将进一步对输出隐含碳和隐含SO₂排放构成情况进行深入研究。

如图2所示，河北（20.90%、7.56%）、山东（17.70%、8.43%）、江苏（11.37%、15.79%）、浙江（8.32%、10.60%）和广东（7.71%、6.66%）五省是2007年和2012年山西省转移隐含碳排放的中间需求主要地区。2007年和2012年山西省输出隐含SO₂排放的中间需求主要分布于山东（23.02%、8.78%）、河北（21.12%、9.72%）、江苏（9.46%、12.68%）、广东（8.06%、5.67%）和浙江（6.44%、8.57%）五省。在经济一体化过程中，2007年和2012年山西省主要是通过贸易往来参与到山东、河北、江苏、浙江和广东等地的生产及加工初级产品过程中。

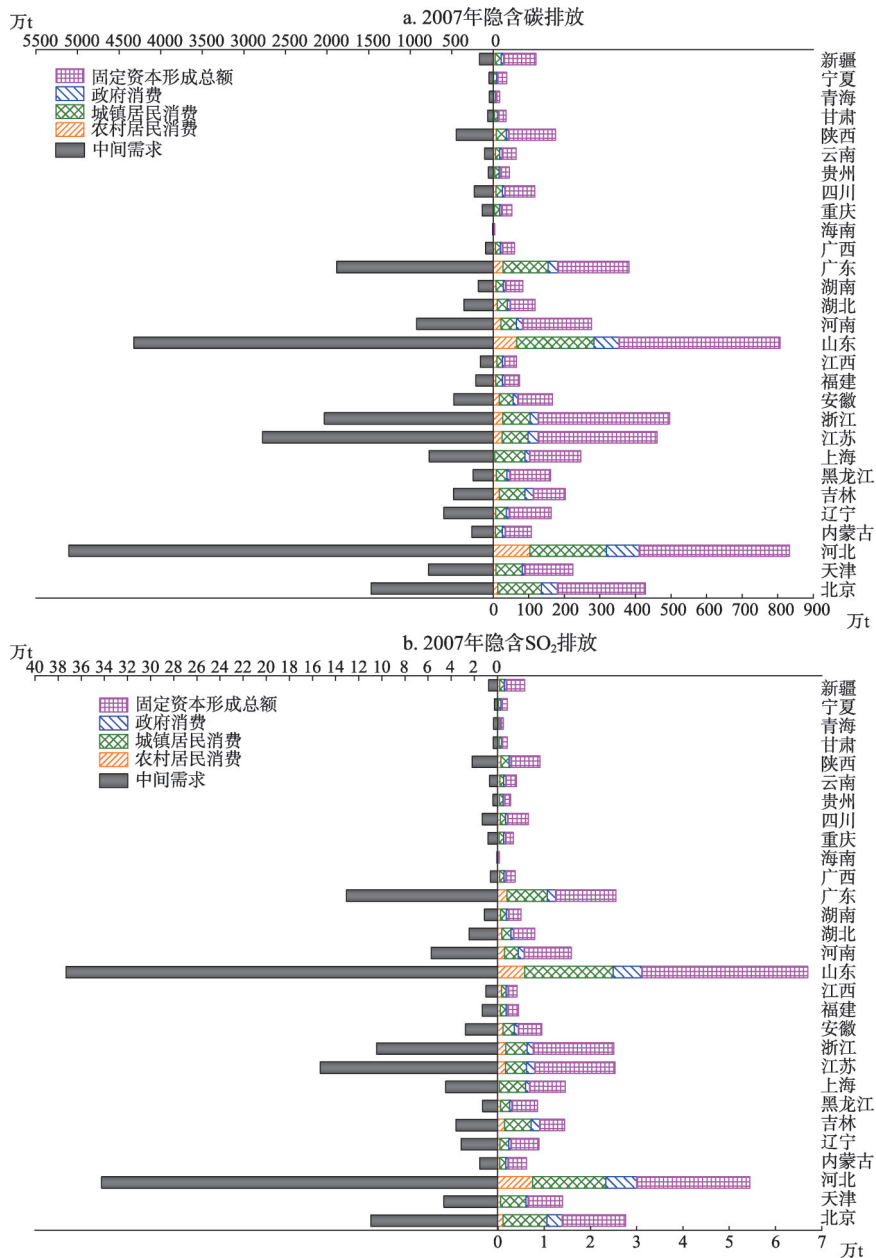


图2

续图2

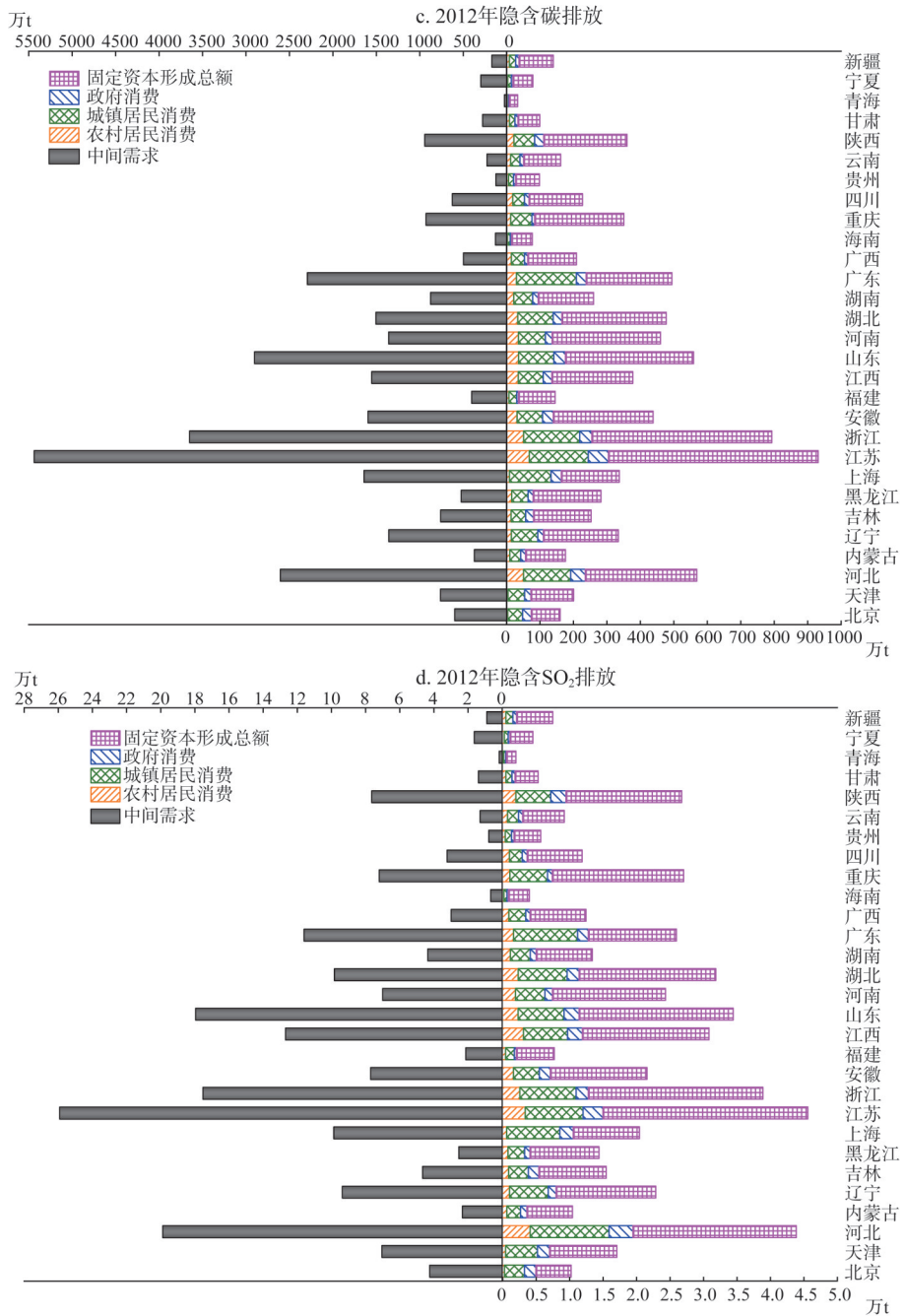


图2 2007年和2012年山西省向其他地区转移的隐含碳及隐含SO₂排放结构图

Fig. 2 The structure maps of embodied carbon and embodied SO₂ emissions transferred from Shanxi province to other regions in 2007 and 2012

2007年和2012年山西省输出隐含碳的最终需求主要聚集于河北(13.82%、6.26%)、山东(13.37%、6.16%)、浙江(8.22%、8.73%)、江苏(7.64%、10.26%)和广东(6.33%、5.44%)五省; 2007年和2012年山西省输出隐含SO₂最终需求的主要地区是山

东(17.68%、6.32%)、河北(14.38%、8.05%)、江苏(6.69%、8.36%)、广东(6.73%、4.76%)和浙江(6.60%、7.13%)五省。山西省生产的最终产品主要供应于江苏、浙江、河北、山东和广东等地使用。由此可知,2007年和2012年山西省输出的资源主要用于江苏、浙江、河北、山东和广东等地区的中间需求及最终需求。2007年和2012年山西省流入江苏、浙江、河北、山东和广东隐含碳和隐含SO₂排放最终需求构成多数为固定资本形成总额最多,城镇居民消费和农村居民消费次之,政府消费最少;仅2007年流入江苏和山东隐含碳和隐含SO₂排放最终需求构成是固定资本形成总额最多,城镇居民消费和政府消费次之,农村居民消费最少。由此可见,2007年和2012年山西省产出的最终产品主要用于河北、山东、江苏、浙江和广东的固定资本形成总额和城镇居民消费。

2.1.2 其他地区向山西省隐含碳和隐含SO₂排放转移

2007年和2012年其他地区向山西省转移的隐含碳和隐含SO₂排放总体特征是中间需求量大于最终需求量。2007年输入山西省的隐含碳排放总量是5288.11万t,中间需求和最终需求排放量分别为3318.81万t和1969.3万t。转移的隐含SO₂排放总量是24.93万t,中间需求和最终需求排放量各为15.93万t和9.00万t。2012年其他地区向山西省输入隐含碳排放总量是10060万t,中间需求和最终需求排放量分别为5652.45万t和4407.55万t。转移的隐含SO₂排放总量是42.14万t,中间需求和最终需求排放量各为24.05万t和18.09万t。山西省隐含碳和隐含SO₂排放输出量大于输入量,为隐含碳和隐含SO₂排放输出区。

如图3所示,2007年和2012年输入山西省隐含碳排放的主要地区是河北(18.83%、13.77%)、吉林(7.77%、3.47%)、山东(7.59%、10.16%)、河南(6.46%、4.68%)、辽宁(5.93%、4.72%)和内蒙古(5.28%、6.07%)等地区。2007年和2012年山西省隐含SO₂排放主要来源于河北(17.35%、9.17%)、内蒙古(9.88%、9.70%)、山东(7.70%、9.06%)、辽宁(6.87%、4.68%)、河南(6.56%、7.93%)和江苏(4.66%、5.34%)等地区。内蒙古自治区、河北省及河南省均临近山西省,交通便捷,通过低运输成本便可实现向山西省运输能源与物质,从而支持、带动山西省的经济发展;与此同时,山东和江苏两省人口密集,能源消费高,重工业型产业结构,贸易输出量大,因而山东和江苏两省成为山西省资源的来源地;本身自然资源丰富的辽宁省和吉林省也成为能源富集区山西省的资源供应源。山西省与其他地区发生贸易的过程中,在给山西省带来了能源和资本等资源的同时,亦会伴随着贸易隐含碳和隐含SO₂的大量流入,这对山西省的减排和治理会产生一定的负影响。山西省在今后发展本地资源优势的同时应寻求低碳的开采及资源消费方式,调整产业结构,注重可再生能源的使用和低碳产业的建设,降低因低效使用能源造成的隐含碳和隐含SO₂排放。

基于对2007年和2012年输入山西省隐含碳和隐含SO₂排放来源地的分析,本文将对各来源地向山西省转移隐含碳和隐含SO₂排放的中间需求和最终需求构成情况进行分析。

从图4可知,2007年和2012年山西省中间需求隐含碳排放主要来自于河北(19.40%、14.04%)、山东(7.86%、9.96%)、吉林(7.10%、3.14%)、河南(6.37%、4.68%)、辽宁(5.78%、4.34%)和内蒙古(5.37%、6.55%)六省区。河北(17.97%、9.27%)、内蒙古(9.92%、10.36%)、山东(7.97%、8.77%)、辽宁(6.87%、4.37%)和河南(6.41%、7.73%)五省区为2007年和2012年山西省中间需求隐含SO₂排放的来源地。这说明山西省在2007年与2012年的生产和加工初级产品过程中,主要是与山东、河北、内蒙古、辽宁和河南等地区进行贸易联系。河北(17.88%、13.43%)、吉林(8.88%、3.90%)、山东(7.15%、10.43%)、河南(6.60%、4.67%)、辽宁(6.19%、5.20%)和内蒙古(5.13%、

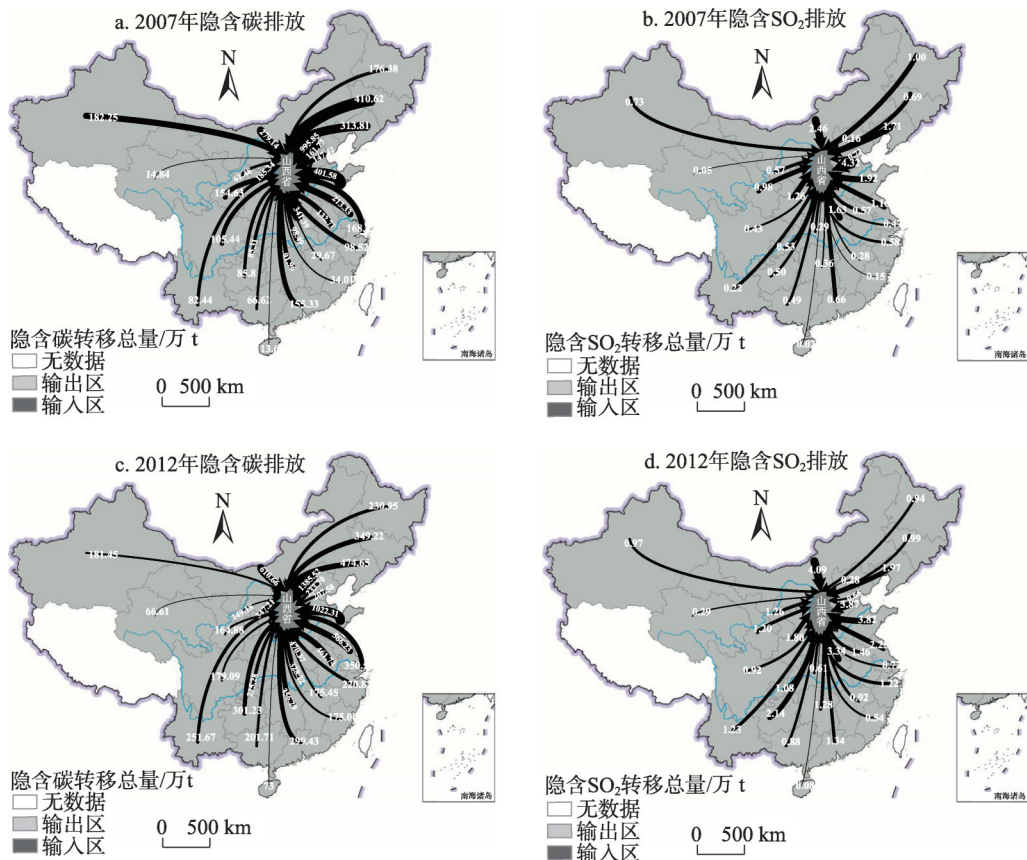


图3 2007年和2012年输入山西省的隐含碳及隐含SO₂排放的流动格局

Fig. 3 The flow pattern of embodied carbon and embodied SO₂ emissions into Shanxi province in 2007 and 2012

5.46%) 六省区是2007年与2012年山西省最终需求隐含碳排放输入源。2007年和2012年山西省最终需求隐含SO₂排放主要是来源于河北(16.25%、9.05%)、内蒙古(9.81%、8.81%)、山东(7.21%、9.45%)、辽宁(6.87%、5.09%)、河南(6.82%、8.20%)和江苏(5.24%、5.78%)六省区。2007年和2012年山西省消费中使用的最终产品主要由山东、河北、辽宁、内蒙古和河南等地区供应,即山东、河北、辽宁、内蒙古和河南等地区是山西省中间需求及最终需求主要供应地。2007年和2012年河北、山东、河南、内蒙古四省区输入山西省隐含碳排放与隐含SO₂排放的最终需求构成情况均为固定资本形成总额最多,城镇居民消费和农村居民消费次之,政府消费最少。这表明山西省的最终需求主要用于固定资源形成总额和城镇居民消费。其中,山西省最终需求中固定资本形成总额最多可能与本地区开采资源需要购买开采设备、建筑工程及勘探矿藏等资金投入有着密切的关系。此外,人口城镇化是城镇人口数量增多及城镇居民能源消费量增大的主要原因。

2.2 山西省与其他地区各行业隐含碳和隐含SO₂排放转移

2.2.1 山西省向其他地区各行业隐含碳和隐含SO₂排放转移

如图5所示,2007年和2012年山西省向其他地区各行业转移的隐含碳和隐含SO₂排放主要集中于中间需求部分。

2007年和2012年山西省向其他地区隐含碳排放转移主要聚集于金属冶炼及制品业(19.57%、14.95%)、建筑业(14.00%、15.61%)、电气、燃气及水的生产与供应业

(11.08%、12.53%)、化学工业(9.71%、9.48%)及其他服务业(7.73%、7.31%);输出的隐含SO₂排放主要集中于电气、燃气及水的生产与供应业(14.48%、14.52%)、金属冶炼及制品业(14.12%、13.31%)、建筑业(12.44%、15.44%)、化学工业(11.42%、9.51%)及其他服务业(8.51%、7.92%)。2007年和2012年山西省转移隐含碳、隐含SO₂较多的行业均为高耗能行业,相对其他转移隐含碳、隐含SO₂较少的行业而言,其对煤炭资源的需求量较大。山西省则充分发挥了本地的资源优势,为这些行业的发展提供了充足的煤

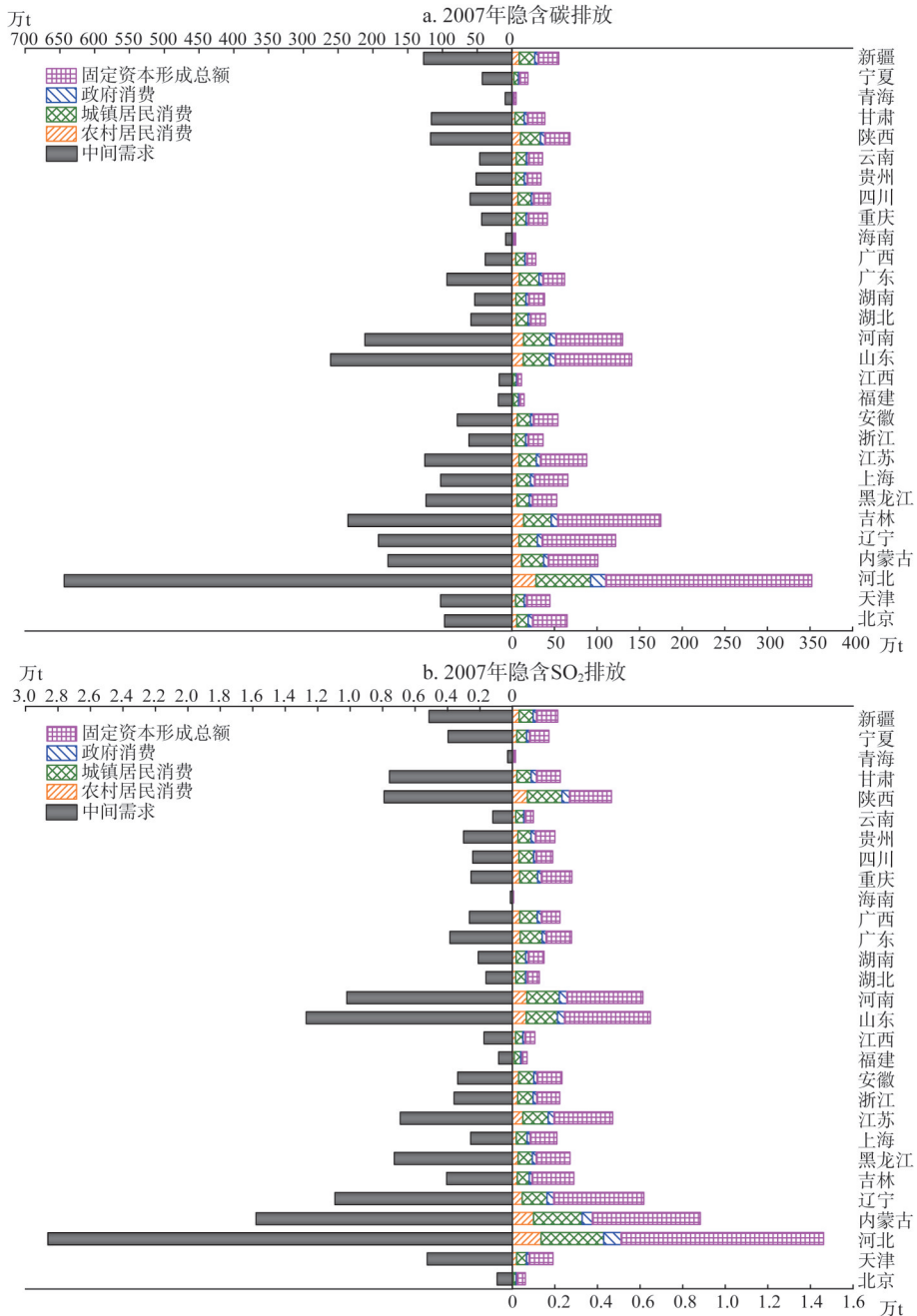


图4

续图4

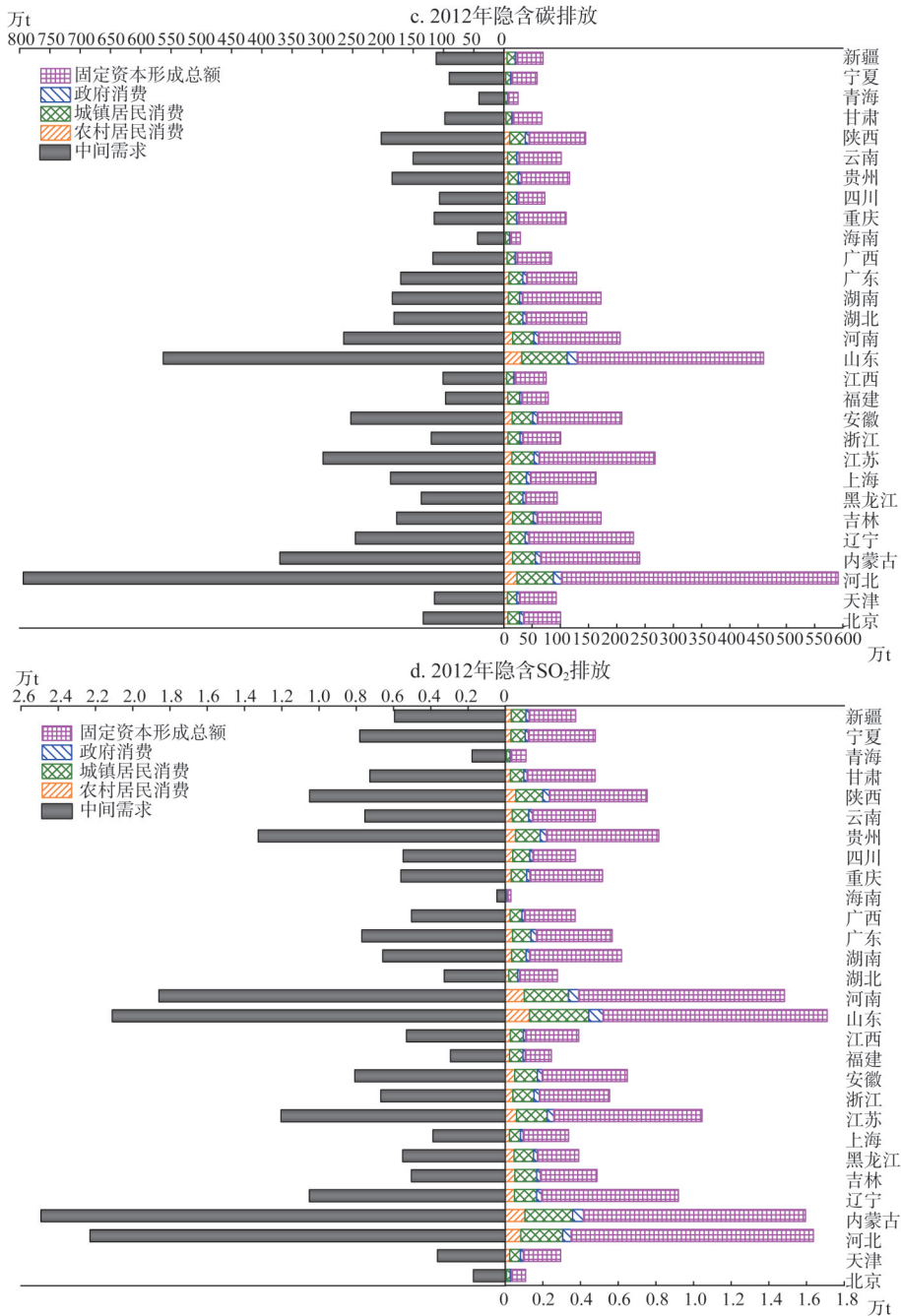


图4 2007年和2012年其他地区向山西省转移的隐含碳及隐含SO₂排放结构图

Fig. 4 The structure maps of embodied carbon and embodied SO₂ emissions transferred from other regions to Shanxi province in 2007 and 2012

炭资源。同时反映出随着生活质量的提高，居民对于电气、燃气及水的生产与供应业需求量在不断加大，对第三产业中的其他服务业的需求在急剧增加。在隐含碳转移过程中，2007年化学工业、金属冶炼及制品业、电气、燃气及水的生产与供应业的最终需求

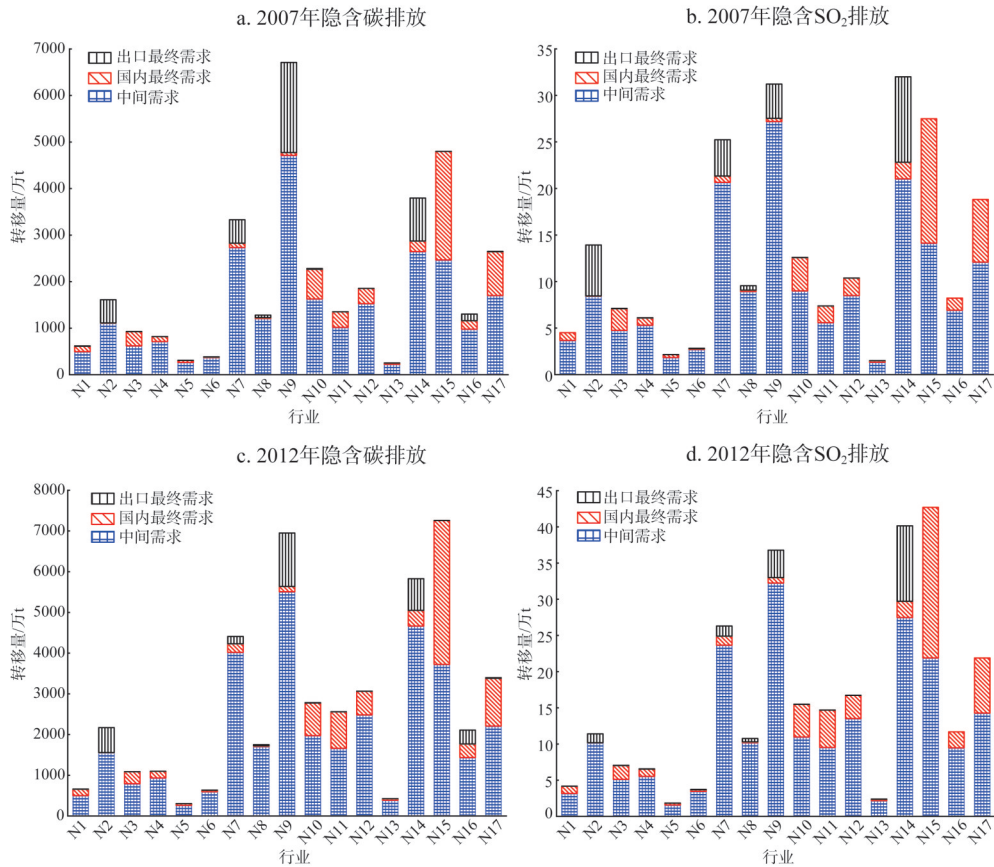


图5 2007年和2012年山西省向其他地区各行业转移的隐含碳及隐含SO₂排放结构图

Fig. 5 The structure maps of embodied carbon and embodied SO₂ emissions transferred from Shanxi province to other industries in 2007 and 2012

为出口转移量大于国内转移量，建筑业及其他服务业则为国内转移量大于出口转移量；2012年建筑业、化学工业及其他服务业为国内转移量大于出口转移量，金属冶炼及制品业、电气、燃气及水的生产与供应业则是出口转移量大于国内转移量。在隐含SO₂输出过程中，2007年和2012年建筑业和其他服务业的最终需求均是国内转移量大于出口转移量，而金属冶炼及制品业、化学工业及电气、燃气及水的生产与供应业则是出口转移量大于国内转移量表明2007年和2012年山西省生产的最终产品在国内其他地区建筑业和其他服务业使用量高于对外贸易出口量，而在金属冶炼及制品业及电气、燃气及水的生产与供应业的使用中则为国内消耗量小于出口量。

2.2.2 其他地区向山西省各行业隐含碳和隐含SO₂排放转移

如图6所示，2007年和2012年其他地区向山西省各行业隐含碳和隐含SO₂转移总体特征为中间需求量大于最终需求量。

2007年和2012年建筑业（23.86%、20.64%）、金属冶炼及制品业（14.45%、12.23%）、其他服务业（11.93%、8.35%）、采选业（10.62%、13.72%）及化学工业（10.29%、7.68%）是其他地区向山西省转移贸易隐含碳的主要行业。2007年和2012年其他地区向山西输入的隐含SO₂排放主要集中于建筑业（24.65%、22.68%）、金属冶炼及制品业（14.94%、12.07%）、其他服务业（12.01%、9.07%）、化学工业（10.55%、7.35%）

及采选业(9.60%、12.23%)等行业。输入山西省隐含碳和隐含SO₂排放较多的行业多与资源开采及其使用过程相联系,这与本地区发展以煤炭为主导产业相关。山西省通过与其他地区行业间的联系,增强了山西省与其他地区之间的贸易往来频率,在发展优势行业的同时充分地利用了本地资源供应本地发展,使山西省更好地带动了本省的经济的发展。这也表明输入山西省的隐含碳和隐含SO₂排放主要是来源于建筑业、采选业、金属冶炼及制品业、其他服务业及化学工业。2007年和2012年转入山西省隐含碳和隐含SO₂排放的建筑业、采选业、金属冶炼及制品业、其他服务业及化学工业均为中间需求流入量大于最终需求流入量,主要是因为这五个行业产生的隐含碳和隐含SO₂排放量来源于各个行业产品的生产及其加工。

3 结论与讨论

运用投入产出模型,计算2007年和2012年山西省输出、输入隐含碳和隐含SO₂排放量,分别从地区和行业的角度进行系统研究,得到如下结论:

(1) 2007年山西省输出的隐含碳和隐含SO₂排放总量为34541.17万t和222.8万t,2012年山西省输出的隐含碳、隐含SO₂排放总量为46795.64万t和276.42万t,且均为中间需求量大于最终需求。2007年和2012年隐含碳和隐含SO₂排放主要流向河北、山东、

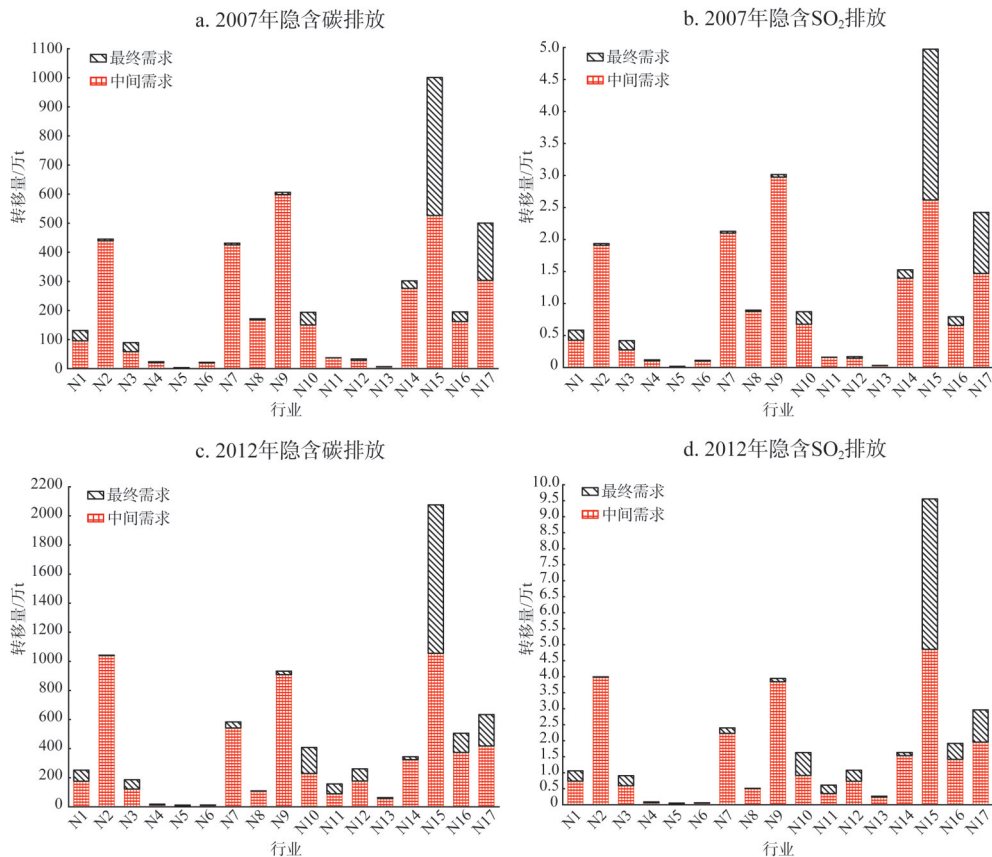


图6 2007年和2012年其他地区向山西省各行业转移的隐含碳及隐含SO₂排放结构图

Fig. 6 The structure chart of embodied carbon and embodied SO₂ emissions transferred from other regions to various industries in Shanxi province in 2007 and 2012

江苏、浙江和广东等地，主要是受经济发展、消费水平、能源结构、人口规模、产业结构及地理邻近效应的影响。2007年和2012年山西省转移隐含碳、隐含SO₂排放的中间需求和最终需求主要在江苏、河北、浙江、山东和广东等地，转移隐含碳、隐含SO₂排放的最终需求构成情况多数均为固定资本形成总额最多，城镇居民消费和农村居民消费次之，政府消费最少。

(2) 2007年其他地区向山西省输入的隐含碳和隐含SO₂排放总量为5288.11万t和24.93万t，2012年其他地区向山西省输入的隐含碳和隐含SO₂排放总量为10060万t和42.14万t，且均为中间需求输入量大于最终需求输入量，山西省属于隐含碳和隐含SO₂排放输出区。2007年和2012年输入山西省的隐含碳和隐含SO₂排放主要来源于河北、山东、内蒙古、河南、辽宁、吉林和江苏等地区，形成此分布特征的主要影响因素是交通因素、人口规模、能源消费、产业结构。2007年和2012年输入山西省中间需求和最终需求隐含碳和隐含SO₂排放主要来自于河北、山东、内蒙古、辽宁和河南等地区，最终需求隐含碳和隐含SO₂排放的构成情况均为固定资本形成总额最多，城镇居民消费和农村居民消费次之，政府消费最少。

(3) 2007年和2012年山西省向其他地区各行业转移的隐含碳和隐含SO₂排放主要集中在中间需求。流向其他地区隐含碳和隐含SO₂排放主要汇聚于金属冶炼及制品业、建筑业、电气、燃气及水的生产与供应业、化学工业及其他服务业，这些行业均属于高耗能行业，对能源需求量大。输入隐含碳和隐含SO₂的主要行业的最终需求中建筑业和他服务业的最终需求均是国内转移量大于出口转移量，金属冶炼及制品业及电气、燃气及水的生产与供应业则是出口转移量大于国内转移量。

(4) 2007年和2012年其他地区向山西省各行业隐含碳和隐含SO₂转移总体特征是中间需求量大于最终需求量。隐含碳和隐含SO₂转移主要集中于建筑业、金属冶炼及制品业、其他服务业、采选业及化学工业，这与本地区以煤炭为主导发展产业紧密相关。转入的隐含碳和隐含SO₂中，建筑业、采选业、金属冶炼及制品业、其他服务业及化学工业均为中间需求流入量大于最终需求流入量。

能源富集区山西省在2007年和2012年均均为隐含碳和隐含SO₂排放输出区，且隐含碳和隐含SO₂排放年均增长率高达5.24%和3.88%。山西省在今后发展本地资源优势的同时应寻求低碳的开采及资源消费方式，应用脱硫设备等技术手段，提高能源的利用效率，调整产业结构，注重可再生能源的使用和低碳产业的建设，降低因低效使用能源造成的隐含碳和隐含SO₂排放。其他地区向山西省转移较多隐含碳和隐含SO₂排放的建筑业、采选业、金属冶炼及制品业、其他服务业及化学工业等耗能高的行业，应构建资源循环利用体系，应用节能技术改进传统生产方式，增加清洁能源使用强度，减少耗能行业的能源使用量，从而减少向山西省输入隐含碳和隐含SO₂排放量。

控制一个地区的碳排放和污染物的转移仅靠本地区的努力是远远不够的，需要其他地区的共同制约与调控。对于河北、山东、内蒙古、河南、辽宁、吉林和江苏等输入山西省隐含碳和隐含SO₂排放较多的地区，应调整其重工业结构，引进新型低碳技术，提高能源利用率和可再生能源消费比例，减少能源消耗量，从而降低隐含碳和隐含SO₂的输出。其他地区的建筑业、金属冶炼及制品业、电气、燃气及水的生产与供应业、化学工业及其他服务业等民居需求量增多的行业，应注重能源利用率及可再生能源的使用，降低能源消耗强度，进而减少对能源的需求量。

参考文献(References):

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2017. 北京: 中国统计出版社, 2018. [National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook of 2017. Beijing: China Statistics Press, 2018.]
- [2] LIU F, ZHANG Q, VAN D A R J, et al. Recent reduction in NO_x emissions over China: Synthesis of satellite observations and emission inventories. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(11): 1-9.
- [3] MENG B, XUE J, FENG K, et al. China's inter-regional spillover of carbon emissions and domestic supply chains. *Energy Policy*, 2013, 61(11): 1305-1321.
- [4] PUPPIM D O J A, DOLL C N H, KURNIAWAN T A, et al. Promoting win-win situations in climate change mitigation, local environmental quality and development in Asian cities through co-benefits. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 58(s1): 1-6.
- [5] HUBACEK K, FENG K. Efficiency targets fall short of achieving a low-carbon future in China. *Carbon Management*, 2014, 5(3): 247-249.
- [6] DENG H M, LIANG Q M, LIU L J, et al. Co-benefits of greenhouse gas mitigation: A review and classification by type, mitigation sector, and geography. *Environmental Research Letters*, 2017, 12(12): 1-26.
- [7] LIU Y, CHEN S Y, CHEN B, et al. Analysis of CO₂ emissions embodied in China's bilateral trade: A non-competitive import input-output approach. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 163(s): S410-S419.
- [8] YANG X, ZHANG W Z, FAN J, et al. The temporal variation of SO₂ emissions embodied in Chinese supply chains, 2002-2012. *Environmental Pollution*, 2018, 241(11): 172-181.
- [9] 黄永明, 陈小飞. 中国贸易隐含污染转移研究. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(10): 112-120. [HUANG Y M, CHEN X F. Transfer of embodied pollution of China's trade. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(10): 112-120.]
- [10] 李方一, 刘卫东, 唐志鹏. 中国区域间隐含污染转移研究. *地理学报*, 2013, 68(6): 791-801. [LI F Y, LIU W D, TANG Z P. Study on inter-regional transfer of embodied pollution in China. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 791-801.]
- [11] 张红丽, 沈镭, 李艳梅. 京津冀经济活动隐含的碳排放转移: 基于多区域投入产出模型的分析. *资源科学*, 2017, 39(12): 2287-2298. [ZHANG H L, SHEN L, LI Y M. Carbon dioxide emission transfers embodied in interregional economic activities in Beijing-Tianjin-Hebei according to multiregional input-output model. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2287-2298.]
- [12] 唐建荣, 李焯. 基于EIO-LCA的隐性碳排放估算及地区差异化研究: 江浙沪地区隐含碳排放构成与差异. *工业技术经济*, 2013, 32(4): 125-135. [TANG J R, LI Y X. Study on the differentiation of regional implicit carbon emissions based on EIO-LCA: Composition and differences of implicit carbon emission in Yangtze River Delta. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2013, 32(4): 125-135.]
- [13] 黄蕊, 钟章奇, 孙翊, 等. 区域分部门贸易的隐含碳排放: 以北京为例. *地理研究*, 2015, 34(5): 933-943. [HUANG R, ZHONG Z Q, SUN Y, et al. Measurements of regional sectoral embodied CO₂ emissions: A case study of Beijing. *Geographical Research*, 2015, 34(5): 933-943.]
- [14] 黄蕊, 王铮, 钟章奇, 等. 区域贸易隐含碳排放和SO₂排放的投入产出分析: 以江苏为例. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 854-863. [HUANG R, WANG Z, ZHONG Z Q, et al. Input-output analysis of embodied carbon emissions and SO₂ emissions in regional trade: A case study of Jiangsu. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 854-863.]
- [15] 黄敏, 沈月琴, 黄水灵. 浙江省进出口产品隐含碳的计算及其影响因素. *自然资源学报*, 2011, 26(11): 1850-1857. [HUANG M, SHEN Y Q, HUANG S L. Calculation and impact factors of embodied carbon in Zhejiang province's foreign trade. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(11): 1850-1857.]
- [16] 钟章奇, 孙翊, 刘晓等. 城市贸易隐含碳排放的计算: 以上海市为例. *热带地理*, 2015, 35(6): 785-796. [ZHONG Z Q, SUN Y, LIU X, et al. Calculation of CO₂ emission embodied in city trade: A case study of Shanghai. *Tropical Geography*, 2015, 35(6): 785-796.]
- [17] 国务院印发《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》. *城市规划通讯*, 2013, (23): 1-3. [The State Council issues the National Sustainable Development Plan for Resource-Based Cities (2013-2020). *Urban Planning News Report*, 2013, (23): 1-3.]
- [18] 周迪, 郑楚鹏, 华诗润, 等. 公平与效率协调视角下的中国碳减排潜力与路径. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 80-91. [ZHOU D, ZHENG C P, HUA S R, et al. The potentialities and paths of China's carbon emission reduction based on the coordination of fairness and efficiency. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 80-91.]
- [19] 铁道部统计中心. 2012年全国铁路统计摘要. 北京: 中国铁路出版社, 2014. [Statistics Center of National Railway Administration of the People's Republic of China. Summary of National Railway Statistics in 2012. Beijing: China Railway Publishing House, 2014.]
- [20] 路正南, 李晓洁. 基于区域间贸易矩阵的中国各省区碳排放转移研究. *统计与决策*, 2015, (1): 126-129. [LU Z N, LI X J. Study on carbon emission transfer in China's provinces based on interregional trade matrix. *Statistics & Decision*, 2015, (1): 126-129.]
- [21] 赵玉焕, 白佳. 基于MRIO模型的中国区域间贸易隐含碳研究. *中国能源*, 2015, 37(9): 32-38. [ZHAO Y H, BAI J.

- Embodied carbon research of interregional trade in China based on MRIO model. *Energy of China*, 2015, 37(9): 32-38.]
- [22] 崔盼盼, 张艳平, 张丽君, 等. 中国省域隐含碳排放及其驱动机理时空演变分析. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 879-892. [CUI P P, ZHANG Y P, ZHANG L Q, et al. Analysis on the spatial and temporal evolution of indirect carbon emissions and its driving mechanism in China. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 879-892.]
- [23] 杨文娟, 赵荣钦, 张战平, 等. 河南省不同产业碳水足迹效率研究. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 92-103. [YANG W J, ZHAO R Q, ZHANG Z P, et al. Industrial carbon and water footprint efficiency of Henan province based on input-output analysis. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 92-103.]
- [24] 刘卫东, 唐志鹏, 韩梦瑶, 等. 2012年中国31省市区区域间投入产出表. 北京: 中国统计出版社, 2018. [LIU W D, TANG Z P, HAN M Y, et al. The 2012 China Multi-Regional Input-Output Table of 31 Provincial Units. Beijing: China Statistics Press, 2018.]
- [25] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2008. 北京: 中国统计出版社, 2008. [Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Energy Statistical Yearbook of 2008*. Beijing: China Statistics Press, 2008.]
- [26] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2013. 北京: 中国统计出版社, 2013. [Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Energy Statistical Yearbook of 2013*. Beijing: China Statistics Press, 2013.]
- [27] 国家环境保护部. 中国环境年鉴. 北京: 中国环境出版社, 2008. [Department Ministry of Environmental Protection. *China's Environmental Yearbook*. Beijing: China Environment Press, 2008.]
- [28] 国家环境保护部. 中国环境年鉴. 北京: 中国环境出版社, 2013. [Department Ministry of Environmental Protection. *China's Environmental Yearbook*. Beijing: China Environment Press, 2013.]

Study on trade embodied carbon and embodied SO₂ emission transfer in energy enrichment areas: A case study of Shanxi province

WU Jing-hui¹, ZHANG Ge^{1,2}, WANG Geng¹

(1. School of Geographical Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China; 2. School of Mining Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150022, China)

Abstract: The source and direction of the embodied carbon emissions and the embodied SO₂ emissions between regions can be better understood by quantifying their transfer characteristics between regions, so as to make up the emission reduction and control plan for each region in a rational way. In this paper, a multi-regional input-output model is used to calculate the embodied carbon and SO₂ emissions from Shanxi province in 2007 and 2012. The results show that Shanxi was the export area of the embodied carbon and the embodied SO₂. The export areas were mainly located in Jiangsu, Hebei, Zhejiang, Shandong, and the input areas were mainly found in Hebei, Shandong, Inner Mongolia and Henan. The embodied carbon and the embodied SO₂ emissions transferred from Shanxi to other regions were mainly concentrated in the metal smelting and products industry, construction industry and chemical industry. The embodied carbon and the embodied SO₂ emissions transferred from other regions to Shanxi were mainly concentrated in the construction industry, mining and separation industry, metal smelting and products industry. Based on the above conclusions, some key suggestions and measures are put forward.

Keywords: resource-rich area; embodied carbon emissions; embodied SO₂ emissions; multi-regional input-output model; Shanxi province