

引用格式:赵玉焕,李浩,刘娅,等.京津冀CO₂排放的时空差异及影响因素研究[J].资源科学,2018,40(1):207-215. [Zhao Y H, Li H, Liu Y, et al. Identifying driving forces of CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region from temporal and spatial angles[J]. Resources Science, 2018, 40(1): 207-215.] DOI :10.18402/resci.2018.01.19

京津冀CO₂排放的时空差异及影响因素研究

赵玉焕,李浩,刘娅,曹叶,张中华,王淞

(北京理工大学管理与经济学院,北京 100081)

摘要:研究京津冀CO₂排放的时空特性及影响因素,对实现京津冀生态环境协同治理具有重要的理论及实践意义。本文首先对2000—2014年京津冀CO₂排放的时空特性进行了分析,然后利用LMDI分解方法对京津冀CO₂排放的影响因素进行总体分析。并在此基础上,结合LMDI分解方法和M-R空间分解方法,本文具体分析了京津冀CO₂排放时空差异的影响因素。研究发现:①研究期内京津冀CO₂排放增长迅速,从2000年的3.67亿t增长到2014年的10.02亿t。其中,河北对京津冀CO₂排放贡献最大,达到72.02%。②经济总量(贡献度:152.17%)是导致京津冀CO₂排放增长的主要因素。能源利用效率(贡献度:-56.29%)和能源结构调整(贡献度:-34.39%)是抑制京津冀CO₂排放增长的主要因素。此外,产业结构调整、收入提高和城镇化也是导致京津冀CO₂排放增长的重要因素。③京津冀各地区CO₂排放差异不断扩大。经济总量大和能源利用效率低是河北CO₂排放高于京津冀平均水平的主要原因,以优质能源为主的能源结构是北京CO₂排放低于京津冀平均水平的主要原因。

关键词: CO₂排放;时空特性;时间分解;空间分解;京津冀

DOI :10.18402/resci.2018.01.19

1 引言

《京津冀协同发展规划纲要》明确提出:到2030年,京津冀区域一体化格局基本形成,区域经济结构更加合理,生态环境质量总体良好,公共服务水平趋于均衡,成为具有较强国际竞争力、影响力的重要区域^[1]。2015年,京津冀GDP总量为6.94万亿元,占全国的9.56%。然而,以煤为主的能源结构和以高耗能行业为主的产业结构导致京津冀大量的能源消费和CO₂排放^[2]。2015年,京津冀化石能源消费4.78亿tec,CO₂排放11.66亿t,分别占全国的12.50%和9.75%。此外,京津冀区域间经济、社会发展不平衡,能源消费和CO₂排放也存在较大差异。因此,精确掌握京津冀CO₂排放的时空分布特征,找出CO₂排放时空差异的影响因素,有助于为政策制

定者科学、合理地设定减排目标,分解减排指标以及采取有针对性的减排措施提供参考。

目前,国内外学者对京津冀CO₂排放的研究主要从四个方面展开:

(1)京津冀能源消费、碳排放和经济增长的关系研究。京津冀碳排放、能源消费与经济增长呈弱脱钩关系^[3,4]。其中,河北碳排放量较高且增速明显,经济增长高度依赖能源消费^[5]。

(2)京津冀碳排放影响因素研究。经济增长和能源利用效率分别是京津冀碳排放增长的主要正向和负向驱动因素^[6]。人均GDP、人口因素、产业结构和能源结构也是京津冀碳排放的重要影响因素^[7,8]。

(3)京津冀碳足迹研究。学者们主要研究了京津冀碳足迹的演变趋势与驱动机制,空间、产业分

收稿日期:2017-06-12,修订日期:2017-08-22

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71273026);北京市自然科学基金面上项目(9172015);北京市社会科学基金项目(17JDYJB010);北京理工大学研究生科技创新活动专项计划项目(2017CX10060)。

作者简介:赵玉焕,女,山东菏泽人,博士,副教授,博士生导师,主要研究方向为能源经济与环境政策、国际贸易与气候变化。E-mail: zhaoyuhuan@bit.edu.cn

通讯作者:李浩,E-mail:ncepulh@126.com

布情况^[9-10],北京市碳足迹^[11],居民食物消费碳足迹^[12],住宅建筑生命周期碳足迹^[13]。

(4)京津冀碳排放时空差异研究。汪浩等基于投入产出-生命周期分析模型从消费和生产两个角度分析了京津冀CO₂排放的时空特征^[14]。武义青等评估了2000—2011年京津冀低碳经济发展水平,并分析了京津冀碳排放的地区异质性^[15]。然而,现存文献对京津冀CO₂排放时空差异影响因素的研究较少。

因此,本文首先分析了京津冀CO₂排放的时空特性,然后基于LMDI(Logarithmic Mean Divisia Index Method)方法和M-R空间分解方法(Multi-regional Spatial Decomposition Method)分别从时间和空间两个维度分析了京津冀CO₂排放差异的影响因素,以期为京津冀协同减排提供数据支持和政策参考。本文的主要贡献如下:

(1)首次使用改进的M-R空间分解方法分析了京津冀CO₂排放的空间差异并量化各影响因素。

(2)从生产和消费两个角度分析了京津冀CO₂排放的时空差异。

2 研究方法与数据来源

2.1 京津冀CO₂排放时空分解模型

2.1.1 LMDI时间分解方法

根据Ang B.W.提出的LMDI加法分解形式^[16],本文将某一区域在基准年和目标年的CO₂变化分解为九种影响因素:

$$\begin{aligned}\Delta C_{i,tot}^{(T-0)} &= C_i^T - C_i^0 \\ &= \Delta C_{i,CI}^{(T-0)} + \Delta C_{i,EGI}^{(T-0)} + \Delta C_{i,EYI}^{(T-0)} + \Delta C_{i,ES}^{(T-0)} + \Delta C_{i,S}^{(T-0)} \\ &\quad + \Delta C_{i,U}^{(T-0)} + \Delta C_{i,A}^{(T-0)} + \Delta C_{i,P}^{(T-0)} + \Delta C_{i,Y}^{(T-0)}\end{aligned}\quad (1)$$

式中0和T分别表示研究基准年和目标年; $i=1,2,3$, $j=1,2,\dots,6$ 和 $k=1,2,\dots,12$ 分别表示研究的区域,部门和能源品种; C_i^0 和 C_i^T 分别表示区域*i*在基准年0和目标年T的CO₂排放; $\Delta C_{i,tot}^{(T-0)}$ 表示区域*i*从基年0到目标年T的CO₂排放变化; CI 、 EGI 、 EYI 、 ES 、 S 、 U 、 A 、 P 和 Y 分别表示某一区域的碳强度、生产部门能源强度、生活部门能源强度、能源结构、产业结构、城镇化、经济总

量、人口和收入水平; $\Delta C_{i,CI}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,EGI}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,EYI}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,ES}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,S}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,U}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,A}^{(T-0)}$ 、 $\Delta C_{i,P}^{(T-0)}$ 和 $\Delta C_{i,Y}^{(T-0)}$ 分别表示碳强度、生产部门能源利用效率提高、生活部门能源利用效率提高、能源结构调整、产业结构调整、城镇化、经济增长、人口增长和收入提高对区域*i*的CO₂变化的贡献程度。

其中,各影响因素贡献的计算公式如下:

$$\Delta C_{i,CI}^{(T-0)} = \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{CI_{ijk}^T}{CI_{ijk}^0} \right) \quad (2)$$

$$\Delta C_{i,EGI}^{(T-0)} = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{EGI_{ij}^T}{EGI_{ij}^0} \right) \quad (3)$$

$$\Delta C_{i,EYI}^{(T-0)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{EYI_{ij}^T}{EYI_{ij}^0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta C_{i,ES}^{(T-0)} = \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{ES_{ij}^T}{ES_{ij}^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{i,S}^{(T-0)} = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{S_{ij}^T}{S_{ij}^0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{i,U}^{(T-0)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_{i,A}^{(T-0)} = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{A_i^T}{A_i^0} \right) \quad (8)$$

$$\Delta C_{i,P}^{(T-0)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{P_i^T}{P_i^0} \right) \quad (9)$$

$$\Delta C_{i,Y}^{(T-0)} = \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) \cdot \ln \left(\frac{Y_{ij}^T}{Y_{ij}^0} \right) \quad (10)$$

其中, $L(C_{ijk}^T, C_{ijk}^0) = \frac{C_{ijk}^T - C_{ijk}^0}{\ln C_{ijk}^T - \ln C_{ijk}^0}$,表示对数均值权重。

2.1.2 M-R空间分解方法

本文使用Ang等提出的M-R空间分解方法将区域间的CO₂排放差异分解为九种影响因素^[17]:

$$\begin{aligned}\Delta C_{t,tot}^{(R_i-R_u)} &= C_t^{R_i} - C_t^{R_u} \\ &= \Delta C_{t,CI}^{(R_i-R_u)} + \Delta C_{t,EGI}^{(R_i-R_u)} + \Delta C_{t,EYI}^{(R_i-R_u)} + \Delta C_{t,ES}^{(R_i-R_u)} + \\ &\quad \Delta C_{t,S}^{(R_i-R_u)} + \Delta C_{t,U}^{(R_i-R_u)} + \Delta C_{t,A}^{(R_i-R_u)} + \Delta C_{t,P}^{(R_i-R_u)} + \\ &\quad \Delta C_{t,Y}^{(R_i-R_u)}\end{aligned}\quad (11)$$

式中*u*表示各区域的平均CO₂排放; $C_t^{R_i}$ 和 $C_t^{R_u}$ 分别

2018年1月

表示在 t 年区域 i 和平均水平 u 的 CO₂ 排放; $\Delta C_{t,tot}^{(R_i-R_u)}$ 表示在 t 年区域 i 和平均水平 u 的 CO₂ 排放差异; $\Delta C_{t,CI}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,EGI}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,EYI}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,ES}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,S}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,U}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,A}^{(R_i-R_u)}$ 、 $\Delta C_{t,P}^{(R_i-R_u)}$ 和 $\Delta C_{t,Y}^{(R_i-R_u)}$ 分别表示在 t 年碳强度、生产部门能源利用效率、居民部门能源利用效率、能源结构、产业结构、城镇化、经济总量、人口以及收入水平的不同造成区域 i 和平均水平 u 之间 CO₂ 排放差异的贡献程度。各影响因素贡献的计算公式如下:

$$\Delta C_{t,CI}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{CI_{ij}^{R_i}}{CI_{uj}^{R_u}} \right) \quad (12)$$

$$\Delta C_{t,EGI}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{EGI_{ij}^{R_i}}{EGI_{uj}^{R_u}} \right) \quad (13)$$

$$\Delta C_{t,EYI}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{EYI_{ij}^{R_i}}{EYI_{uj}^{R_u}} \right) \quad (14)$$

$$\Delta C_{t,ES}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{ES_{ij}^{R_i}}{ES_{uj}^{R_u}} \right) \quad (15)$$

$$\Delta C_{t,S}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{S_{ij}^{R_i}}{S_{uj}^{R_u}} \right) \quad (16)$$

$$\Delta C_{t,U}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{U_{ij}^{R_i}}{U_{uj}^{R_u}} \right) \quad (17)$$

$$\Delta C_{t,A}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{A_{ij}^{R_i}}{A_{uj}^{R_u}} \right) \quad (18)$$

$$\Delta C_{t,P}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{P_{ij}^{R_i}}{P_{uj}^{R_u}} \right) \quad (19)$$

$$\Delta C_{t,AVY}^{(R_i-R_u)} = \sum_{j=5}^6 \sum_{k=1}^{12} L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) \cdot \ln \left(\frac{AVY_{ij}^{R_i}}{AVY_{uj}^{R_u}} \right) \quad (20)$$

其中, $L(C_{ijk}^{R_i}, C_{ujk}^{R_u}) = \frac{C_{ijk}^{R_i} - C_{ujk}^{R_u}}{\ln C_{ijk}^{R_i} - \ln C_{ujk}^{R_u}}$, 表示对数均值权重。

2.2 数据来源

本文中所用2000—2014年京津冀各省(市)CO₂排放、能源消费数据来自 China Emission Accounts and Datasets (CEADs)^[18]。CEADs数据库由国家自然科学基金委员会、中国科学院等多家研究机构共

同开发,展示中国多尺度能源、碳排放及社会经济核算清单。CEADs数据库数据来自于经过同行评价发表的学术研究,所有数据完全开放获取^[19]。CEADs数据库公布的CO₂排放数据与国家温室气体排放清单及以往研究结果相符^[20,21]。

京津冀及各省(市)GDP(以2000年为基准价格折算)、产业增加值、可支配收入以及人口数据来自2000—2014年《中国统计年鉴》^[22]。其中,京津冀各年人口数据取上年和当年年末总人口的算数平均值。

3 京津冀CO₂排放影响因素分析

3.1 京津冀CO₂排放的时空特征

从时间维度看,2000—2014年京津冀CO₂排放增长迅速,从3.67亿t增长到10.02亿t,年均增长率7.44%(如图1)。京津冀CO₂排放变化大致经历了四个阶段:高速增长阶段(2000—2005年),稳定增长阶段(2005—2008年),经济复苏期(2008—2012年)和新常态时期(2012—2014年)。2000—2005年京津冀CO₂排放高速增长。其中,2005年增长率达到最大值18.08%。2012年后,京津冀经济发展进入新常态,经济增长放缓,产业结构优化升级步伐加快,京津冀CO₂排放出现下降趋势。具体到部门,京津冀CO₂排放主要来自工业活动,占比达80.00%以上,而服务业CO₂排放占比基本保持在8.00%左右。居民部门CO₂排放比重不断下降,从2000年的9.92%下降到2014年的5.87%。具体到能源品种,京津冀CO₂排放主要来自于煤炭消费,比重保持在85.00%左右。油品消费的CO₂排放占比呈下降趋

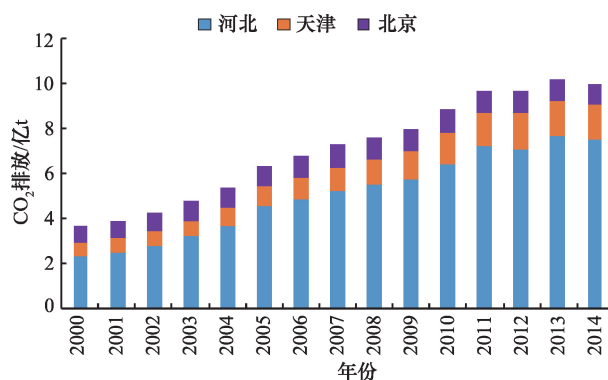


图1 2000—2014年京津冀CO₂排放变化

Figure 1 CO₂ emissions of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2014

势,而天然气消费的CO₂排放占比不断上升,但比重较小。

从空间维度看,河北对京津冀CO₂排放贡献最大。河北CO₂排放量大且增速快。2000—2014年,河北累计CO₂排放76.90亿t,占京津冀总CO₂排放量的72.02%,北京和天津分别占12.84%和15.14%。河北CO₂排放年均增长率8.59%,而北京和天津分别为1.93%和7.31%。同样,工业部门是京津冀各地区CO₂排放的主要来源。河北、天津工业部门CO₂排放占比较大,2014年分别达到90.27%和83.50%。然而,2000—2014年北京工业部门CO₂排放占比不断下降,服务业CO₂排放占比不断上升。2014年,北京工业部门和服务业CO₂排放贡献度分别为42.02%和37.35%。显然,北京产业结构不断优化,而河北和天津经济增长过度依赖工业发展。此外,北京居民能源消费和CO₂排放占比远高于天津和河北。2000年以来,北京在能源结构优化方面取得了很大成就,到2014年北京优质能源占比达到80.00%以上。因而,2014年北京煤炭消费的CO₂排放占比下降为31.36%,而油品和天然气消费占比分别为42.81%和25.83%。

3.2 京津冀CO₂排放影响因素总体分析

为探究京津冀CO₂排放增长的主要原因,本文量化了八种因素对京津冀CO₂排放的影响程度,包括各影响因素的大小(如图2)和贡献度(如图3)¹⁾。主要分析结果如下:

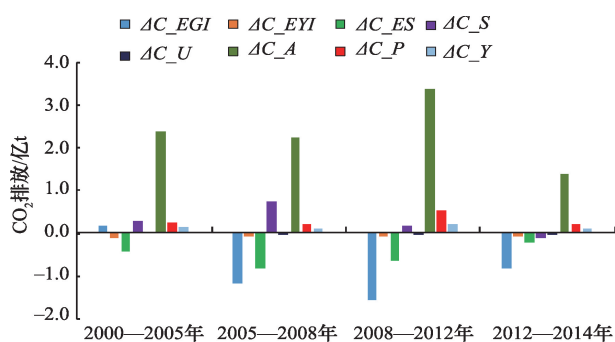


图2 2000—2014年京津冀CO₂排放时间分解结果

Figure 2 Temporal decomposition results of CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2014

1) 本文将图2—图5中使用AC_EGI, AC_EYI, AC_ES, AC_S, AC_U, AC_A, AC_P, AC_Y分别表示时间分解分析和空间分解分析中生产部门能源利用效率、居民部门能源利用效率、能源结构、产业结构、城镇化、经济总量、人口和收入水平等因素对各区域CO₂排放时间变化以及区域间CO₂排放差异的贡献。

(1)经济总量增加是京津冀CO₂排放增长的主要因素。2000—2014年,京津冀AC_A为6.15亿t CO₂排放,即经济总量扩张导致CO₂排放增加6.15亿t CO₂排放,累计贡献度152.17%。进入21世纪,京津冀地区经济发展迅速,经济总量不断增加,经济增长对CO₂排放的贡献大幅度上升,从2000—2005年的年均0.48亿t增加到2008—2012年的0.84亿t。2012年后,京津冀经济发展进入新常态,经济增速放缓,经济增长对CO₂排放促进作用下降,但仍然远高于其他影响因素的贡献。

(2)能源利用效率和能源结构优化是抑制京津冀CO₂排放增长的主要因素。从能源利用效率的角度看,2000—2014年京津冀AC_EGI为-3.46亿t CO₂排放,累计贡献度-56.29%。2006年后,京津冀地区采取了强有力的节能减排措施,如引入新的生产工艺和设备,提高能效标准,关停小火电,淘汰落后产能等,京津冀能源利用技术水平和利用效率不断提高。因此,京津冀AC_EGI不断上升,到2014年京津冀AC_EGI达到-0.69亿t CO₂排放。2000—2005年,京津冀工业的快速发展和监督、审核机制不完善导致京津冀能源强度上升,AC_EGI为正,但相对较小。此外,京津冀AC_EYI较小,贡献度为-5.40%,主要原因是能源为居民生活必需品,随着居民收入的提高,能源消费支出占居民生活支出中的比重不断降低。

从能源结构调整的角度看,2000—2014年京津冀AC_ES为-2.12亿t CO₂排放,累计贡献度达-34.39%。2000年后,京津冀积极开发利用可再生能源以及实施“煤改电”等能源政策,能源结构不断优化。其中,煤炭消费占比由2000年的58.65%下降到2014年的48.16%,而天然气和电力消费占比不断上升。2005—2008年,京津冀AC_ES达到-0.81亿t CO₂排放,贡献度-67.26%。

(3)人口增长、产业结构调整以及收入提高是导致京津冀CO₂排放增长的重要因素。从人口增长的角度看,2000—2014年京津冀AC_P为1.18亿t CO₂排放,累计贡献度19.19%。由于大量的劳动力由中西部等欠发达的地区转移到经济发达的北京、

2018年1月

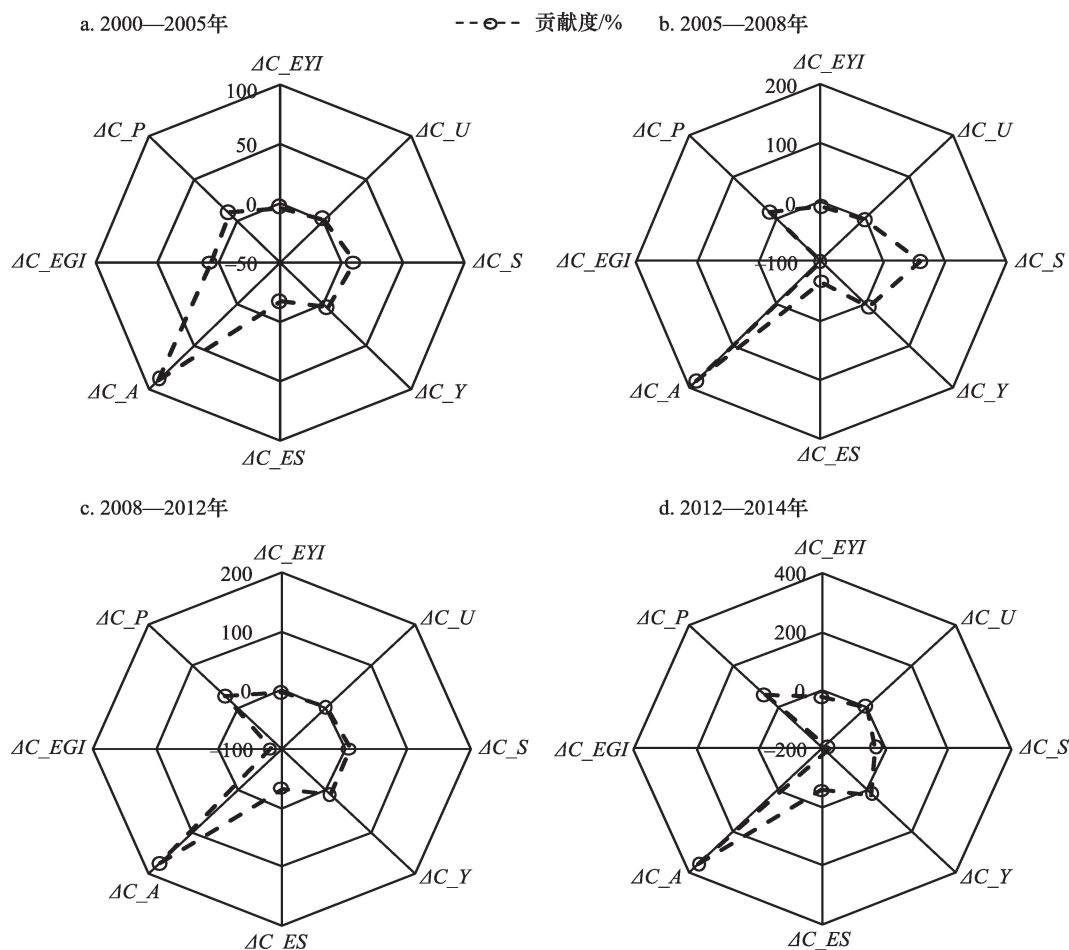


图3 2000—2014年京津冀各影响因素贡献度

Figure 3 Contribution of various driving forces of the changes of CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2014

天津以及河北较大的人口总量和较快的人口增长率,研究期内京津冀人口增长24.08%。京津冀人口规模的扩张导致能源消费和CO₂排放的快速增长。

从产业结构优化的角度看,京津冀 ΔC_S 在四个研究阶段变化较大,分别为0.27亿t、0.73亿t、0.150亿t和-0.12亿t。2000—2012年, ΔC_S 为正值,表明京津冀工业化进程不断推进,工业增加值占比不断上升。2012后, ΔC_S 变为负值,表明京津冀工业增加值比重下降,服务业比重不断上升,而服务业单位增加值的能源消耗和CO₂排放较工业部门低,因而减少了京津冀CO₂排放。

从收入水平的角度看,2000—2014年京津冀 ΔC_Y 呈“倒U”型演变趋势。能源作为居民生活必需品,当收入水平较低时,随着收入的增加,居民用于能源消费的支出增加,且增长幅度不断降低,因

此,能源消费和CO₂排放随收入增加不断增加,但增幅不断降低;2012年后,随着收入不断提高,居民用于能源消费的支出增幅不断降低,总支出比例下降,因此,能源消费和CO₂排放随收入增加不断减少。

(4)城镇化对京津冀CO₂排放影响较小。研究期内京津冀 ΔC_U 为正,但贡献度较小,为0.24%。北京、天津城镇化水平已经很高,2000年北京和天津城镇化率已达77.54%和69.44%,完善的基础设施建设和能源使用规模化使得城镇化的能源利用效率不断提高,因对CO₂排放的贡献不断降低。河北城镇化水平较低,但是基础设施建设落后,且居民收入水平较低,因此城镇化的CO₂排放贡献也较低。

3.3 京津冀CO₂排放时空差异影响因素分析

北京、天津和河北经济、社会发展以及能源资源禀赋等的巨大差异导致CO₂排放及各影响因素的

贡献差别较大。为探究其原因,本节从时间和空间两个维度对京津冀各地区CO₂排放进行分解并量化分析(图4和图5),从而找出京津冀CO₂排放时空差异的主要影响因素。主要研究结果如下:

(1)京津冀各地区CO₂排放差距不断扩大。2000年,河北CO₂排放高于京津冀平均水平1.07亿t,2014年增加到3.59亿t,增幅达到235.50%。相反,北京和天津CO₂排放低于京津冀平均水平,排放差距由2000年的-0.48亿t和-0.59亿t增加到2014年的-2.11亿t和-1.47亿t,增幅分别达到338.69%和150.76%。

经济、社会发展差距的扩大导致京津冀各地区CO₂排放差距扩大。2000年,河北GDP高于京津冀各地区平均水平2019.93亿元,到2014年达到7121.44亿元。经济总量差距的不断增加导致京津冀各地区CO₂排放差距扩大。因此,河北 ΔC_A 由2000年的0.60亿t CO₂排放增加到2014年的1.42亿t CO₂排放。2000年,河北工业能源强度较京津冀平均水平高0.50t标准煤/万元GDP,到2014年扩大到0.66t标准煤/万元GDP,表明河北工业部门能源利用效率较北京、天津偏低,且差距不断扩大。此外,2000—2014年河北与京津冀平均的 ΔC_{EYI} , ΔC_{ES} , ΔC_S 和 ΔC_P 也呈现不断增大的趋势,表明河北居民部门能源利用效率、产业结构、能源结构和人口总量与京津冀平均水平的差距不断扩大。

其中,河北 ΔC_{ES} 和 ΔC_S 的增幅较大,这说明河北偏向于以煤为主的能源结构和以工业为主的产业

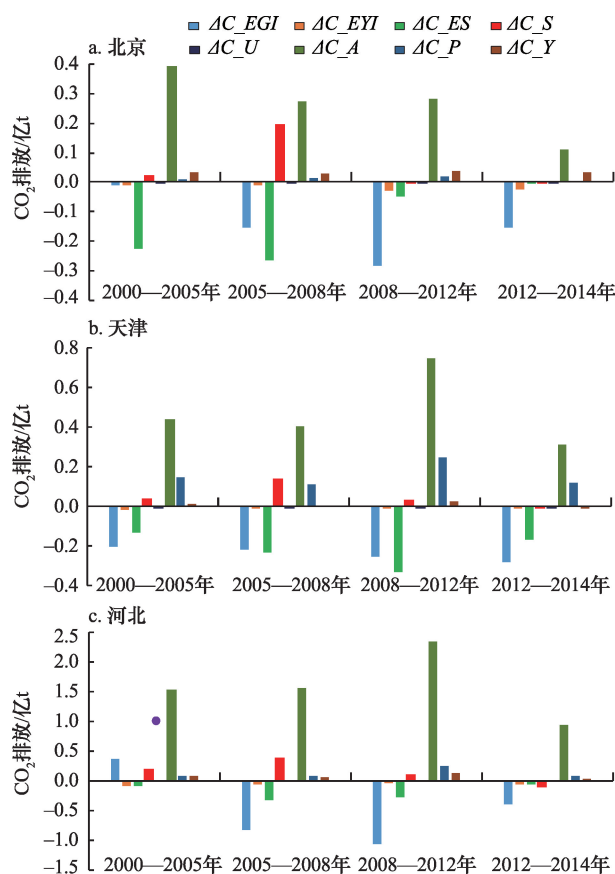


图4 2000—2014年京津冀分地区CO₂排放时间分解结果

Figure 4 Temporal decomposition results of CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2014

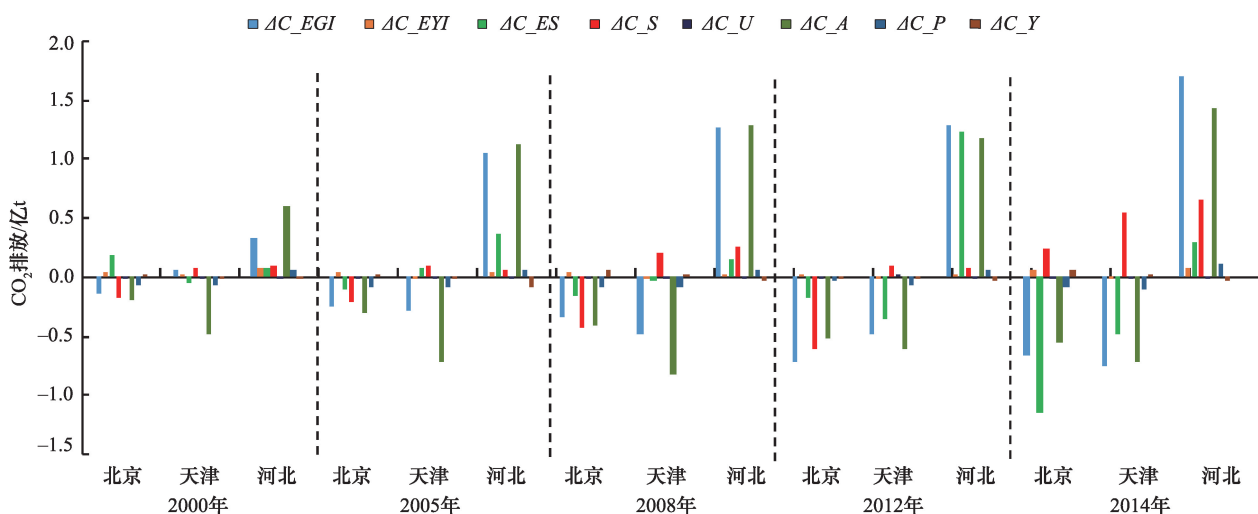


图5 2000—2014年京津冀CO₂排放空间分解结果

Figure 5 Spatial decomposition results of CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2014

2018年1月

结构。 ΔC_{ES} 是北京CO₂排放较低的主要原因,且贡献不断提高,说明北京“减煤、引电、增气、利用新能源”的能源政策取得长足进展。天津和北京的情况相似,但各影响因素对CO₂排放的贡献较小。然而,2000—2014年天津的 ΔC_S 为正,且有增大的趋势,表明天津产业结构偏重发展的趋势明显。

(2)经济总量、技术水平以及能源结构差距较大是导致京津冀各地区CO₂排放差异的主要原因。从时间维度看,京津冀各地区经济增长、能源利用效率和能源结构调整对CO₂排放贡献不同,因而CO₂排放增速差异较大。2000—2014年北京经济增长、能源利用效率以及能源结构优化对CO₂排放的贡献度(ΔC_A : 477.69%, ΔC_{EGI} : -276.00%, ΔC_{ES} : -246.90%)远高于天津(ΔC_A : 198.73%, ΔC_{EGI} : -98.54%, ΔC_{ES} : -88.29%)和河北(ΔC_A : 128.68%, ΔC_{EGI} : -38.34%, ΔC_{ES} : -14.51%),这是河北和天津CO₂排放增长幅度高于北京的主要原因。就北京而言,经济增长引起的CO₂排放增长大部分由能源效率提高和能源结构优化的减排作用抵消,因此CO₂排放增幅较小。

从空间维度看,京津冀各地区 ΔC_A 、 ΔC_{EGI} 和 ΔC_{ES} 贡献不同,因而CO₂排放规模差异较大。其中,河北GDP和能源强度高于京津冀平均水平,较大的 ΔC_A 和 ΔC_{EGI} 导致其CO₂排放较高。北京 ΔC_{ES} 是其CO₂排放较低的主要因素,这与北京不断推行的“煤改电”政策,大力推广使用天然气等清洁能源有关。

(3)与北京、天津相比,河北能源利用效率偏低,但减排潜力巨大。在四个研究阶段,北京、天津 ΔC_{EGI} 均为负,而2000—2005年河北 ΔC_{EGI} 为正。北京、天津一直致力于淘汰“三高”企业、落后产能,推广、使用节能减排技术,因而能源利用效率不断提高,2000—2014年累计减少CO₂排放0.61亿t和0.95亿t。河北 ΔC_{EGI} 贡献度较低,但绝对量很大。从空间分解结果看,2014年河北 ΔC_{EGI} 为1.69亿t CO₂排放,换句话说,如果河北的能源利用效率提高到京津冀平均水平,2014年河北就能够减少1.69亿t CO₂排放。因此,河北可以通过引进新技术、新工艺提高能源利用效率,其CO₂减排潜力巨大。

(4)北京 ΔC_Y 、 ΔC_{EYI} 远高于河北、天津。

2000—2014年北京 ΔC_Y 的累计贡献度为60.05%,而天津和河北为5.29%和5.79%。研究期内北京 ΔC_Y 变化较小。随着能源结构的优化和生产部门减排力度加大,北京CO₂排放增长不断降低并转为负值,因而收入提高的CO₂排放贡献度增大,这与北京居民较高的生活水平、电气化程度等有关,也表明北京居民CO₂减排的空间较大。从空间分解结果看,2014年北京居民人均 ΔC_Y 、 ΔC_{EYI} 分别为0.28 t CO₂排放和0.25 t CO₂排放。换句话说,由于较高的收入水平和能源需求,北京居民人均CO₂排放分别高于京津冀平均水平0.28 t和0.25 t。

(5)北京、天津城镇化“效率”因素占主导,而河北“规模”因素和“收入”因素占主导。2000—2014年北京、天津城镇化对CO₂排放的贡献为负,表明其城镇化的“效率”因素占主导,减少了CO₂排放。天津的 ΔC_U 较小,累计贡献度为-0.02%。而河北 ΔC_U 呈下降趋势,2000—2012年为正,2012年后转为负值,表明:2000—2012年河北城镇化的“规模”因素和“收入”因素占主导,增加了CO₂排放;2012年后,“效率”因素占主导,减少了CO₂排放。此外,由于河北 ΔC_U 的绝对量较大,京津冀总的 ΔC_U 作用方向与河北保持一致。

4 结论及政策建议

4.1 主要结论

本文分析了京津冀CO₂排放的时空特性及差异,从时间和空间两个维度对京津冀CO₂排放进行分解分析,从而找出导致京津冀CO₂排放时空差异的主要影响因素。本文的主要结论如下:

(1)京津冀CO₂排放增长迅速,从2000年的3.67亿t增长到2014年的10.02亿t,年均增长率7.44%。京津冀CO₂排放变化大致分为高速增长阶段、稳定增长阶段、经济复苏期和新常态时期。其中,河北对京津冀主CO₂排放贡献最大,达到72.02%;北京和天津贡献较小,分别为12.84%和15.14%。

(2)经济总量增加是促进京津冀CO₂排放增加的主要因素,累计贡献度152.17%;能源利用效率和能源结构优化是抑制京津冀CO₂排放增加的主要因素,累计贡献度分别为-56.29%和-34.39%。人口增长、产业结构调整以及收入提高也是京津冀CO₂排

放增长的重要因素。城镇化对京津冀CO₂排放的促进作用较小。

(3)京津冀各地区CO₂排放差异不断扩大,主要原因是经济总量、能源利用效率和能源结构差距不断增加。河北的CO₂排放一直高于京津冀平均水平,经济总量大和能源效率低是河北CO₂排放高于京津冀平均水平的主要原因。北京和天津的CO₂排放低于京津冀平均。其中,以优质能源为主的能源结构是北京CO₂排放较低的主要原因,而能源利用效率高和经济总量小使得天津CO₂排放较低。

4.2 政策建议

在本文研究结论的基础上,提出政策建议如下:

(1)京津冀地区应加强节能减排合作。首先,根据京津冀各城市的功能定位,加强各城市之间的减排合作,尽快建立区域减排责任分摊机制及减排补偿制度,通过区域协同发展实现碳减排目标。其次,鼓励具有技术和资金优势的企业到河北进行节能、减排项目投资。最后,在未来建立的碳市场实行企事业单位之间的碳交易“双边”模式,既可以实现区域减排目标,又平衡了区域间经济收入,而且还降低了减排总成本,实现“一石三鸟”功效。

(2)京津冀地区应实行差异化的减排政策。河北应当更加注重生产端的节能减排,引进先进的生产技术和生产工艺,淘汰落后产能,调整和优化产业结构。北京和天津应当充分利用自身先进的科研设施和大量的科研单位、高校和企业资源,进行节能、低碳技术的研发和推广。此外,加大京津冀地区节能减排宣传力度,提高全民节能意识,合理引导居民出行方式、用能方式等,使得居民生活更加低碳化。

参考文献(References):

- [1] 秦皇岛市国土资源局. 京津冀协同规划纲要[EB/OL]. (2015-11) [2017-06-12]. <http://www.hebqhdsjt.gov.cn/gtzyj/front/6048.htm>.
- [2] 武义青, 赵亚南. 京津冀能源消费、碳排放与经济增长[J]. 经济与管理, 2014, (2): 5-12. [Wu Y Q, Zhao Y N. Beijing-Tianjin-Hebei energy consumption, carbon emissions and economic growth [J]. *Economy and Management*, 2014, (2): 5-12.]
- [3] Wang Z, Yang L. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 41-48.
- [4] 陈欢, 朱清源, 辛路. 京津冀地区经济增长与能源碳排放关系研

- 究-基于脱钩理论的应用分析[J]. 价格理论与实践, 2016, (12): 180-183. [Chen H, Zhu Q Y, Xing L. Study on the relationship between economic growth, energy and carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region: Based on decoupling theory[J]. *Price: Theory & Practice*, 2016, (12): 180-183.]
- [5] 武红, 谷树忠, 周洪, 等. 河北省能源消费、碳排放与经济增长的关系[J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1897-1905. [Wu H, Gu S Z, Zhou H, et al. Relationships between energy consumption-carbon emissions and economic growth in Hebei Province[J]. *Resources Science*, 2011, 33(10): 1897-1905.]
- [6] 李百吉, 张倩倩. 京津冀地区碳排放因素分解-兼论“新常态”下的变动趋势[J]. 生态经济, 2017, 33(4): 19-24. [Li B J, Zhang Q Q. Decomposition of carbon emission influence factors in Beijing-Tianjin-Hebei region and its trend in the new normal situation[J]. *Ecological Economics*, 2017, 33(4): 19-24.]
- [7] 李洁. 河北省碳排放驱动因素研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014. [Li J. Research on Influence Factors of Carbon Emissions in Hebei Province[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.]
- [8] 周维维. 京津冀能源消费碳排放影响因素分析及情景预测研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2016. [Zhou W W. Research on Factor Decomposition and Scenario Prediction of Beijing-Tianjin-Hebei Regional Energy Consumption Carbon Emission[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2016.]
- [9] 闫云凤. 京津冀碳足迹演变趋势与空间、产业分布[J]. 经济与管理研究, 2016, 37(11): 75-81. [Yang Y F. Carbon footprints trends, space, industrial distribution in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Research of Economics and Management*, 2016, 37(11): 75-81.]
- [10] 闫云凤. 京津冀碳足迹演变趋势与驱动机制研究[J]. 软科学, 2016, 30(8): 10-14. [Yang Y F. The carbon footprint's trends and its drivers in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Soft Science*, 2016, 30(8): 10-14.]
- [11] 陈操操, 刘春兰, 汪浩, 等. 北京市能源消费碳足迹影响因素分析-基于STIRPAT模型和偏小二乘模型[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1622-1632. [Chen C C, Liu C L, Wang H, et al. Examining the impact factors of energy consumption related carbon footprints using the STIRPAT model and PLS model in Beijing[J]. *China Soft Science*, 2014, 34(6): 1622-1632.]
- [12] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消费碳足迹[J]. 生态学报, 2012, 32(5): 1570-1577. [Wu Y, Wang X K, Lu F. The carbon footprint of food consumption in Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1570-1577.]
- [13] 肖雅心, 杨建新. 北京市住宅建筑生命周期碳足迹[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5949-5955. [Xiao Y X, Yang J X. Life cycle carbon footprint of residential buildings in Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(18): 5949-5955.]
- [14] 汪浩, 陈操操, 潘涛, 等. 京津冀区域生产和消费CO₂排放的时空特点分析[J]. 环境科学, 2014, (9): 3619-3631. [Wang H, Chen C C, Liu C L, et al. Spatial temporal differentiation of product-based and consumption-based CO₂ emissions and balance in the

- Beijing-Tianjin-Hebei region: An economic input-output analysis [J]. *Environmental Science*, 2014, (9): 3619-3631.]
- [15] 武义青, 赵亚南. 京津冀碳排放的地区异质性及减排对策[J]. 经济与管理, 2014, (5): 13-16. [Wu Y Q, Zhao Y N. Beijing-Tianjin-Hebei regional heterogeneity for carbon emissions and mitigation counter measures[J]. *Economy and Management*, 2014, (5): 13-16.]
- [16] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide[J]. *Energy policy*, 2005, 33(7): 867-871.
- [17] Ang B W, Xu X Y, Su B. Multi-country comparisons of energy performance: The index decomposition analysis approach[J]. *Energy Economics*, 2015, 47: 68-76.
- [18] Research Council UK. China Emission Accounts and Datasets[EB/OL]. (2016-11)[2017-06-12]. <http://www.ceads.net/>.
- [19] Liu Z, Guan D, Wei W, *et al.* Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China[J]. *Nature*, 2015, 524(7565): 335-338.
- [20] Guan D, Liu Z, Geng Y, *et al.* The gigatonne gap in China's carbon dioxide inventories[J]. *Nature Climate Change*, 2012, 2(9): 672-675.
- [21] Shan Y, Liu J, Liu Z, *et al.* New provincial CO₂ emission inventories in China based on apparent energy consumption data and updated emission factors[J]. *Applied Energy*, 2016, 184: 742-750.
- [22] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]

Identifying driving forces of CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region from temporal and spatial angles

ZHAO Yuhuan, LI Hao, LIU Ya, CAO Ye, ZHANG Zhonghua, WANG Song

(School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Exploring temporal and spatial pattern evolution and driving forces for the Beijing-Tianjin-Hebei region has important theoretical and practical significance in achieving collaborative governance of the ecological environment. This study analyzed CO₂ emissions of the Beijing-Tianjin-Hebei region over 2000-2014 from temporal and spatial angles. Using the LMDI method, we generally explored driving forces of CO₂ emissions. Then, combining LMDI method and M-R spatial decomposition method, this study identifies the key driving forces of the changes and the differences of CO₂ emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region. We found that there has been a significant increase in CO₂ emissions of Beijing-Tianjin-Hebei region, from 0.37 billion tons in 2000 to 1.00 billion tons in 2014. Accumulatively, Hebei province contributes most of 72.02% to CO₂ emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region during 2000-2014. Increase in economic output plays a significant role in increasing the CO₂ emissions, with contribution of 152.17%. Both energy efficiency improvement (contribution degree: -56.29%) and energy structure adjustment (contribution degree: -34.39%) are important factors to reduce CO₂ emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region. In addition, industrial structure adjustment, income improvement and urbanization are significant factors affecting CO₂ emissions. Gaps in CO₂ emissions between Beijing, Tianjin and Hebei regions and the average level expanded during 2000-2014. High economic output and low energy efficiency resulted in the higher CO₂ emissions in Hebei than the average. However, clean-energy-dominated energy structure plays a dominant role in lowering CO₂ emissions of Beijing.

Key words: CO₂ emissions; spatio-temporal features; temporal decomposition analysis; spatial decomposition analysis; Beijing-Tianjin-Hebei