

基于IO-SDA模型的新疆能源消费 碳排放影响机理分析

王长建¹, 张小雷², 张虹鸥¹, 汪 菲³

(1. 广州地理研究所 广东省地理空间信息技术与应用公共实验室, 广州 510070; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 3. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要: 基于区域视角的能源消费碳排放影响机理分析, 是有效实现节能降耗减排的重要研究议题。本文基于投入产出理论, 通过构建“能源—经济—碳排放”混合型投入产出分析框架, 利用扩展的IO-SDA模型, 对新疆维吾尔自治区(简称新疆)1997-2007年能源消费碳排放的影响因素进行结构分解分析。结果显示: ① 新疆能源消费碳排放从1997年的2070.08万t增长到2007年的4034.33万t, 碳排放的增长主要集中在能源资源生产与加工业和矿产资源开采与加工业。② 碳排放影响因素的直接效应分析, 人均GDP、最终需求结构、人口规模和生产结构的变化是引起碳排放增长的重要影响因素, 碳排放强度的降低是这一时期遏制碳排放增长的重要影响因素, 说明在经济规模和人口数量不断增长的同时, 经济结构未得到有效优化, 生产技术未得到有效的提升, 导致新疆能源消费碳排放的快速增长。③ 碳排放影响因素的间接效应分析, 省域间调出、固定资本形成总额和城镇居民消费对于新疆能源消费碳排放的变化影响显著。④ 碳密集产业部门的固定资产投资增加, 能源资源型产品的省域间调出增长, 使得区域间“隐含碳”转移效应十分显著。

关键词: 碳排放; IO-SDA模型; 影响因素; 新疆

DOI: 10.11821/dlxb201607002

1 引言

以全球变暖为主要特征的气候变化问题被持续广泛地关注, 经济的低碳转型已经成为国际社会的共识。当前, 中国已经成为能源消费大国和温室气体排放大国。国际气候谈判的舆论压力和国内节能减排的资源环境约束, 使得碳排放问题被政策制定者、产业制造者和科研工作者等广泛而又持续地关注^[1-6]。为此, 中国政府在2009年哥本哈根气候大会上承诺2020年单位GDP二氧化碳排放强度比2005年下降40%~45%, 非化石能源消费比重达到15%^[5]; “十二五”规划(2011-2015年)中提出, 2015年非化石能源占一次能源消费比重达到11.4%, 单位GDP能源消耗降低16%, 单位GDP二氧化碳排放降低17%^[7]; 2013年, 国务院划定2015年能源消费红线, 总量控制在40亿吨标准煤^[8]; 2014年, 中美发布应对气候变化的联合声明, 中国承诺到2030年前实现碳排放的峰值^[9]。随着经济的

收稿日期: 2015-09-25; 修订日期: 2016-03-18

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41501144); 广东省科学院引进高层次领军人才专项资金项目(2016GDASRC-0101); 广东省科学院平台环境与能力建设专项资金项目(2016GDASPT-0210) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41501144; The High-level Leading Talent Introduction Program of GDAS, No.2016GDASRC-0101; The Scientific Platform and Innovation Capability Construction Program of GDAS, No.2016GDASPT-0210]

作者简介: 王长建(1986-), 男, 河南南阳人, 博士, 助理研究员, 中国地理学会会员(S110010114M), 主要从事能源地理、区域可持续发展研究。E-mail: wwwangcj@126.com

持续增长,工业化和城镇化进程的不断推进,中国能否兑现极具约束性的碳减排承诺,同时保持社会经济的稳定快速发展,深入探讨能源消费碳排放的影响要素,科学筛选重点节能产业和关键减碳行业,积极促进能源、经济、社会与环境的和谐发展,进一步突显能源消费碳排放研究的重要性与迫切性。

目前关于碳排放的研究大致分为,碳排放总量估算与核算^[10-14]、碳排放影响因素及其作用机理^[15-18]、碳排放情景分析及预测^[19-21]、碳减排技术及政策模拟^[22-25]等几个方面,其中碳排放影响要素及驱动因素解析是制定减排政策和实施情景模拟的关键。大量的研究成果表明,能源消费碳排放的影响因素众多。能源消费的快速增长、社会经济的快速发展对碳排放的增加起着决定性的作用,成为导致碳排放量上升的最主要因素^[26-29]。Usama Al-mulali等^[26]采用面板数据模型对30个撒哈拉以南非洲国家进行研究,结果表明能源消费对CO₂排放和经济增长有较强的推动作用。Usama Al-mulali^[27]利用面板数据模型对12个中东国家的CO₂排放的影响因素进行实证研究,结论表明能源消费、外商直接投资、国内生产总值依次为最重要的影响因素。Li等^[28]利用Path-STIRPAT模型对中国CO₂排放的影响因素进行研究,结果表明人均GDP增长是其最主要影响因素。Zhu等^[29]利用投入产出模型对中国1992-2005年居民能源消费的碳排放研究,表明居民能源消费水平的不断提升是导致居民直接碳排放增长的主要因素。同时,能源结构和产业结构的低碳化优化有助于减缓碳排放的增长^[30-31]。张雷^[30]通过对比发达国家和发展中国家长期发展的对比研究发现,经济结构的多元化发展导致国家能源消费需求增长的减缓,并通过建立产业-能源关联和能源—碳排放关联评价模型,分析产业结构演进和能源结构变化对中国碳排放总量增长和空间格局变化的影响^[31]。Wu等^[32]利用DEA模型研究表明中国能源效率的不断提升主要是靠技术进步的驱动。Li等^[33]利用STIRPAT模型对中国省级层面的能源消费碳排放的影响因素进行实证分析,研究表明在大多数省级区域内提高技术水平都产生了CO₂排放的降低。随着经济全球化进程的不断渗透,国际贸易和区际贸易对于碳排放的影响引起不断的关注,中国等发展中国家除了提高自身的生产技术水平和能源利用效率外,还应加强进出口贸易中隐含碳排放的相关研究^[34-35]。综上所述,碳排放影响因素涉及人口、经济、能源、产业、技术、政策等等。

以往的大量研究都集中在全球、洲际和国家等宏观区域层面,对于省级、城市等小尺度的研究相对缺乏。从地理学的研究视角分析,对于中国来说,东、中、西三大区域以及各个省、市、自治区之间都存在显著的人口增长规模、居民消费水平、社会经济发展模式、能源资源禀赋、技术水平等区域差异^[6]。同时,以往的能源碳排放影响机制研究大多借助计量模型关注各种影响因素的变化对于碳排放的直接影响,较少从最终需求层面关注其对于碳排放的间接影响。国内已经涌现的省级层面和市域层面的碳排放影响要素分析研究,对于揭示隐藏在区域差异中的多要素碳排放影响机理有较强的启示意义,对于各区域制定更具针对性和操作性的碳排放政策有较强的指导意义^[15, 36-42]。Liu等^[37]利用指数分解模型对1995-2009年北京、上海、天津和重庆4个直辖市的碳排放影响因素进行对比研究。Wang^[42]等采用LMDI模型对山东省1990-2009年能源消费碳排放的影响因素进行分解分析,经济增长和人口规模是碳排放增加的最主要影响因素。Wang等^[39]利用STIRPAT模型对广东省1980-2010年碳排放影响因素进行解析,人口规模、城镇化水平、人均GDP和工业化水平是其主要影响因素。Wang等^[38]借助IDA模型对苏州市2005-2010年能源消费碳排放进行分解分析,能源结构和产业结构的调整引致的能源消费强度降低有助于遏制碳排放的增长。Xi等^[43]对于沈阳市碳排放的研究表明,能源生产与加工业、制造业和建筑业是实现城市低碳发展的关键性减碳部门。Liang等^[41]利用SDA模型对东部

沿海制造业中心江苏省的碳排放影响因素分解分析, 江苏省的低碳发展不仅应该关注能源消费强度的降低和能源消费结构的优化, 而且更应该注重国际出口贸易中隐含碳的下降。Geng 等^[15]对于东北地区老工业基地辽宁省的碳排放影响因素分解分析, 省域间调出贸易对于碳排放增长的影响显著。因此, 省级区域甚至城市尺度的碳排放影响因素研究亟待深入而又广泛开展, 以期从省级区域积极应对国家层面的减排承诺。新疆, 作为中国重要的能源综合生产基地、向西开发的重要门户、丝绸之路经济带的核心区, 当前正处于跨越式发展的重要战略机遇期, 如何有效地完成节能降耗减排的约束指标, 同时保障社会经济的持续稳定发展, 将是新疆实现社会—经济—能源—环境和谐发展的重要现实命题。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 IO-SDA 模型构建

如何科学评价与定量分析碳排放的主要影响因素, 指数分解分析 (Index decomposition analysis, IDA) 和结构分解分析 (Structural decomposition analysis, SDA) 是目前最为广泛和常用的研究方法。IDA 模型采用数据聚合的形式分析人口因素、经济因素、结构因素等多种影响因素的变化对于碳排放产生的直接影响^[44]。SDA 模型基于经典的投入产出理论^[45-46], 因其数据更加完备、分析更为细致, 并且弥补了 IDA 模型无法分析最终需求部门变化对碳排放产生间接影响的缺陷^[35, 47-49], 日益成为国内外学者用于分析经济、能源与碳排放问题的常用研究方法。Peters 等^[48]利用 SDA 模型对 1992-2002 年中国碳排放增长的影响因素进行分析, 表明经济结构、技术水平、城镇居民消费对碳排放增长影响显著。Minx 等^[49]拓展早期 Peters 的关于中国碳排放的研究, 进一步揭示 2002-2007 年生产部门的技术进步在很大程度上抵消了最终需求部门所引起的碳排放增长。Guan 等借助 IO-SDA 模型, 从最终需求角度发现城镇居民消费、固定资产投资和出口贸易对于中国 2002-2007 年碳排放增长的作用显著^[50-51]。

以投入产出分析 (Input-output analysis) 为基础, SDA 模型将包含在投入产出表中的部门信息及其相互联系进行深度解析。本文通过构建 IO-SDA 模型分析新疆维吾尔自治区 (以下简称新疆) 能源消费碳排放的影响因素及其作用机理, 其分析框架如下^[15, 48-52]:

将能源与环境要素 (碳排放) 纳入投入产出表 (表 1), 分别构建能源投入产出表和碳排放投入产出表, 投入产出表以价值型为基础, 能源要素和碳排放要素以实物型为基础, 以此构建 “能源—经济—碳排放” 混合型投入产出模型

表 1 能源—经济—碳排放投入产出模型
Tab. 1 Energy-economy-carbon emission input-output model

		中间使用	最终需求		进口	调入	总产出
		1, 2, ..., n	消费	资本形成	出口	调出	
中间投入	1						
	2	X_{ij}					X_i
	...						
	n						
增加值		V_j					
总投入		X_j					
能源投入	1						
	2	E_{ij}					E_k
	...			E_{ky}			
	m						
碳排放	1						
	2	C_{ij}					C_k
	...			C_{ky}			
	k						

(Hybrid Input-output table)。

基于投入产出理论，构建能源消费碳排放影响因素的结构分解分析模型。

$$C=E(I-A)^{-1}y$$
 (1)

式中： C 表示碳排放总量； E 为行业碳排放强度向量； A 为直接消耗系数矩阵； $(I-A)^{-1}$ 为 $n\times n$ 的列昂揭夫逆矩阵； y 表示最终需求部分，包括投入产出表中第Ⅱ象限的最终消费（政府消费、城镇居民消费、农村居民消费）、资本形成总额（固定资本形成总额和存货增加）和进出口总额（进口、出口、调进和调出）。

其中， $n\times 1$ 的最终需求列向量 y 可以进一步分解为最终需求结构 y_s 和最终需求总量，最终需求总量可以进一步分解为人口规模 P 和人均最终需求量 y_v （即人均GDP）^[52-53]。

因此，
$$y=Py_sy_v$$
 (2)

那么，能源消费碳排放的SDA模型推导如下：

$$C=E\times L\times y_s\times y_v\times P$$
 (3)

即：

$$\Delta C=\Delta ELy_sy_vP+E\Delta Ly_sy_vP+EL\Delta y_sy_vP+ELy_s\Delta y_vP+E_sE_iLy_sy_v\Delta P$$
 (4)

进而，

$$\Delta C=f(\Delta E)+f(\Delta L)+f(\Delta y_s)+f(\Delta y_v)+f(\Delta P)$$
 (5)

由此，碳排放量的变化（ ΔC ）被分解为五大影响因素：人口规模（ P ）；碳排放强度（ E ）；生产结构（ L ）， $L=(I-A)^{-1}$ 为 $n\times n$ 的列昂揭夫逆矩阵；最终需求结构（ y_s ）和人均最终需求量（ y_v ）。

IO-SDA模型的优势还在于能够刻画最终需求部门变化对碳排放产生的间接影响^[15, 41, 49, 54]。依据投入产出表中最终需求部门的类别，将 $n\times 1$ 的最终需求列向量 y 进行对角化处理^[15, 48-49, 52]，得到公式如下：

$$C_k=E(I-A)^{-1}y_k$$
 (6)

式中： y_k 为第 k 类别的最终需求； C_k 为第 k 类别的最终需求变化引起的间接碳排放量。

2.2 数据来源与整理

数据资料主要基于1997年、2002年、2007年的新疆投入产出表，人口数据、经济数

表2 新疆28部门投入产出表
Tab. 2 Input-output of 28 industries in Xinjiang

代码	产业	代码	产业
1	农业	15	金属制品业
2	煤炭采选业	16	通用、专用设备制造业
3	石油和天然气开采业	17	交通运输设备制造业
4	金属矿采选业	18	电气、机械及器材制造业
5	非金属矿采选业	19	通信设备、计算机及其它电子设备制造业
6	食品制造及烟草加工业	20	仪器仪表及文化办公用品制造业
7	纺织业	21	其他制造业
8	服装皮革羽绒及其他纤维制品制造业	22	电力热力生产和供应业
9	木材加工及家具制造业	23	燃气生产和供应业
10	造纸印刷及文教用品制造业	24	水的生产和供应业
11	石油加工及炼焦业	25	建筑业
12	化学原料及化学制品制造业	26	交通运输、仓储及邮电通信业
13	非金属矿物制品业	27	批发和零售贸易业、餐饮业
14	金属冶炼及压延加工业	28	其他行业

据和能源数据主要来自于《新疆维吾尔自治区统计年鉴》。为了与统计年鉴中分行业能源消费数据保持一致，特别将 40 部门的新疆 1997 年投入产出表和 42 部门的新疆 2002 年、2007 年投入产出表按照一定的产业合并原则^[15, 41]，将 3 张表格分别合并为 28 部门投入产出表（表 2）。进而采用双重缩减法（Double deflation method）^[15, 41, 48, 52, 55]将新疆 2002 年和 2007 年投入产出表转换为 1997 年不变价，以期增强数据的可比性。

2.3 碳排放量核算

依据 IPCC 碳排放计算指南，参照 IPCC 提供的一般性缺省值和相关能源消费碳排放研究，确定主要的碳排放系数用以碳排放的核算^[15, 40-42]，计算公式如下：

$$C_t = \sum_i E_t^i \times LCV_i \times CF_i^i \times O_i \tag{7}$$

式中： t 表征时间； i 代表不同种类的能源； C_t 表示 t 时间的碳排放总量（万 t）； E_t^i 表示 t 时间第 i 种能源的消费总量（万 t）； LCV_i （Lower calorific value）为第 i 种能源的燃料低热值； CF_i^i 为第 i 种能源的碳排放系数； O_i 为第 i 种能源的燃烧氧化率（表 3）。

表 3 能源消费碳排放转换因子

Tab. 3 Carbon emission conversion factors of energy sources

	碳排放因子 ^a	转换因子 ^b	氧化率 ^a	低热值(LCV) ^c
原煤	25.800	0.7143 tce/t	0.918	20.908
焦炭	29.410	0.9714 tce/t	0.928	28.435
洗煤	25.800	0.2857 tce/t	0.918	8.363
精煤	27.680	0.9000 tce/t	0.918	26.344
原油	20.080	1.4286 tce/t	0.979	41.816
柴油	20.170	1.4571 tce/t	0.982	42.652
煤油	19.600	1.4714 tce/t	0.980	43.070
汽油	18.900	1.4714 tce/t	0.986	43.070
燃料油	21.090	1.4286 tce/t	0.985	41.816
天然气	17.200	1.3300 tce/10 ³ m ³	0.990	38.931
炼油气	18.200	1.5714 tce/t	0.989	46.055
液化石油气	17.200	1.7143 tce/t	0.989	50.179

注：a 来源于[15]；b 来源于[41]；c 来源于[15, 43]。

3 实证分析

3.1 不同影响因素对碳排放增长的结构分解分析

基于 IPCC 能源消费碳排放核算体系，新疆能源消费碳排放从 1997 年的 2070.08 万 t 增长到 2002 年的 2408.06 万 t、2007 年的 4034.33 万 t，11 年间增长了 94.88%，尤其是 2002-2007 年的碳排放增长量占 1997-2007 年碳排放增长总量的 82.79%（图 1）。1997-2007 年，新疆 28 个产业部门碳排放量的增长主要由能源生产与加工业、电力热力生产和供应业和矿产资源开采与加工业引起，碳排放量的增长集中在石油加工及炼焦业（1466.68 万 t）、电力热力生产和供应业（786.54 万 t）、金属冶炼及压延加工业（155.67 万 t）、非金属矿物制品业（100.84 万 t）、化

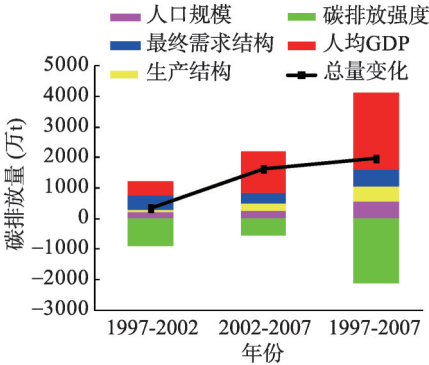


图 1 1997-2007 年新疆碳排放不同影响因素的结构分解分析

Fig. 1 Structure decomposition analysis of various influencing factors in Xinjiang during 1997-2007

学原料及化学制品制造业 (66.39 万 t), 这些能源密集部门以及高碳行业, 将是当前乃至中远期新疆产业发展与产业布局应当特别关注的重点节能产业和关键减碳行业。

依据计算结果 (图 1): 1997-2002 年, 人口规模、人均 GDP、最终需求结构和生产结构的变化分别导致 228.12 万 t、470.62 万 t、471.73 万 t 和 64.28 万 t 的碳排放增长量, 碳排放强度的变化引起 896.77 万 t 的碳排放减少量。2002-2007 年, 人口规模、人均 GDP、最终需求结构和生产结构的变化分别导致 243.33 万 t、1363.13 万 t、317.14 万 t、264.31 万 t 的碳排放增长量, 碳排放强度的变化在这一阶段引起 561.65 万 t 的碳排放减少量。

人均 GDP 的快速增长对碳排放增长的贡献作用在 2002-2007 年这一发展阶段明显高于 1997-2002 年。人均 GDP 由 1997 年的 6052.39 元/人增长到 2002 年的 8464.51 元/人进而增长到 2007 年的 16815.47 元/人, 以可比价计算 1997-2002 年的年均增长速度为 6.87%, 2002-2007 年的年均增长速度高达 12.35%。经济快速增长的规模效应, 使得经济产出效应成为 1997-2007 年新疆碳排放快速增长的最重要影响因素且贡献作用持续增强。碳排放强度的变化对碳排放降低的贡献作用在 2002-2007 年这一发展阶段明显低于 1997-2002 年, 其主要原因是碳排放强度的降低速度有所放缓。新疆碳排放强度由 1997 年的 1.99 t 碳/万元 GDP 下降到 2002 年的 1.49 t 碳/万元 GDP 进而下降到 2007 年的 1.14 t 碳/万元 GDP, 以可比价计算 1997-2002 年的年均下降速度为 5.85%, 2002-2007 年的年均下降速度仅为 3.28%。人口规模的变化对碳排放总量增长的作用程度在 1997-2002 年和 2002-2007 年这两个时期没有显著变化, 均呈现促进碳排放总量增长的正效应。2002-2007 年相比较于 1997-2002 年, 最终需求结构的改变导致碳排放总量增长的变化相对弱化, 生产结构的改变导致碳排放总量增长的变化明显增强, 其主要原因是第二产业比重由 1997 年的 37.1% 增长到 2007 年的 46.8%, 第三产业和第一产业比重均有不同程度下降。1997-2007 年, “九五”时期新疆确立的优势资源转换战略持续推进, 依托能矿资源优势加速新型工业的发展; “西部大开发”战略的全面实施, 固定资产投资水平显著增长, 新疆能矿资源的勘探开发进一步升级, 能源重化工企业规模不断扩大, 造成这一时期新疆产业结构的演进以第二产业的快速增长为主要特征且能矿资源重化工趋势明显。虽然新型工业化的持续推进使得新疆的能源消费强度由 1997 年的 3.01 t 标准煤/万元 GDP 下降到 2002 年的 2.24 t 标准煤/万元 GDP 进而下降到 2007 年的 1.86 t 标准煤/万元 GDP, 但是距离全国平均水平还有一定的差距, 进一步突显了新疆生产技术的低碳化程度亟待提升。

1997-2007 年, 人均 GDP、最终需求结构、人口规模和生产结构的变化引起的碳排放增长量分别占这一时期碳排放总增长量的 127.04%、28.78%、27.63% 和 25.48% (表 4), 说明在经济规模 (人均 GDP) 和人口数量 (人口规模) 不断增长的同时, 经济结构 (最终需求结构) 未得到有效优化, 生产技术 (生产结构) 未得到有效的提升, 导致新疆能源消费碳排放的快速增长。1997-2007 年, 碳排放强度的降低引起的碳排放减少量占这一时期碳排放总量变化的绝对值为 108.92%, 碳排放强度是这一时期唯一的遏制碳排放增长的影响因素。

3.2 不同最终需求类别对碳排放增长的结构分解分析

依据公式 (6) 的计算结果, 分析不同最终需求类别的变化对新疆能源消费碳排放产生的间接影响 (图 2, 表 5)。同时分析不同最终需求类别的变化对新疆产业部门碳排放产生的间接影响 (表 6)。

从最终需求的研究视角, 省域间调进、调出和固定资本形成总额对于新疆能源消费碳排放的变化影响显著。同时, 居民消费对于新疆能源消费碳排放的增长作用逐渐显著, 尤其是城镇居民消费对于碳排放增长的影响更为明显。

1997-2007年，新疆对外贸易中的省域间调进与调出对碳排放的作用程度远远高于国际进口与出口对碳排放的影响，并且出口引起的碳排放增长要高于进口引起的碳排放减少，调出引起的碳排放增长要低于调进引起的碳排放减少。1997-2007年调出（即省域间出口）使新疆的碳排放量增长1596.37万t，占碳排放增长总量的比重为81.27%，使得调出成为这段时间内影响碳排放增长的最重要贡献因子；1997-2007年调进（即省域间进口）使新疆的碳排放量降低1958.81万t，占碳排放总量变化的比重为99.72%（以绝对值表征），使得调进成为这段时间内遏制碳排放增长的最重要贡献因子。1997-2007年调出引起的碳排放增长为1596.37万t，调出引起碳排放的增长量主要集中在石油加工及炼焦业（1028.67万t）、金属冶炼及压延加工业（181.33万t）、化学原料及化学制品制造业（173.26万t）和农业（166.55万t）；调进引起的碳排放降低为1958.81万t，调进引起的碳排放减少量主要来自于通信设备、计算机及其他电子设备制造业（390.85万t）、机械工业（316.38万t）和金属冶炼及压延加工业（313.60万t），调出与调进的平衡差额为-362.44万t。1997-2007年出口引起的碳排放增长为135.50万t，出口引起碳排

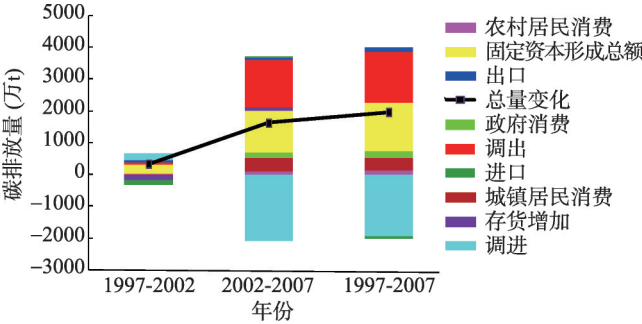


图2 不同类别最终需求对新疆1997-2007年碳排放的结构分解分析

Fig. 2 Increment of carbon emissions from different final demands in Xinjiang

表4 1997-2007年新疆不同影响因素对碳排放增长的贡献率(%)

Tab. 4 Structure decomposition analysis of contributions of various influencing factors in Xinjiang			
影响因素	1997-2002年	2002-2007年	1997-2007年
人口规模(Population size)	67.49	14.96	27.63
人均GDP(GDP per capita)	139.24	83.82	127.04
最终需求结构(Final demand structure)	139.57	19.50	28.78
生产结构(Production structure)	19.02	16.25	25.48
碳排放强度(Carbon emission intensity)	-265.33	-34.54	-108.92
总效应(Total change)	100.00	100.00	100.00

表5 1997年-2007年新疆不同最终需求类别变化对碳排放增长的贡献率(%)

Tab. 5 Contribution to carbon emissions of different final demands in Xinjiang			
最终需求	1997-2002年	2002-2007年	1997-2007年
农村居民消费(Rural household consumption)	9.31	6.72	7.10
城镇居民消费(Urban household consumption)	-10.90	24.59	19.32
政府消费(Government consumption)	-1.36	12.51	10.45
固定资本形成总额(Fixed capital formation)	76.41	78.45	78.15
存货增加(Inventory increase)	-47.64	7.67	-0.54
调出(Inter-provincial export)	28.20	90.52	81.27
出口(International export)	16.55	5.22	6.90
调进(Inter-provincial import)	63.09	-128.10	-99.72
进口(International import)	-33.65	2.42	-2.93
总效应(Total change)	100.00	100.00	100.00

放的增长量主要集中在农业（88.20 万 t）、金属冶炼及压延加工业（19.83 万 t）和食品制造及烟草加工业（13.44 万 t）；进口引起的碳排放降低为 57.61 万 t，进口引起的碳排放减少量主要来自石油和天然气开采业（18.64 万 t）和金属制品业（16.37 万 t），出口与进口的平衡差额为 77.89 万 t，占 1997-2007 年的碳排放增量的 3.97%。1997-2007 年，新疆的进出口贸易方式主要以边境小额贸易为主，2007 年新疆边境小额贸易的进出口总额为 94.17 亿美元，占海关进出口总额的 68.65%，且贸易对象主要是以哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦为主的中亚国家，出口商品主要为机电产品、鞋类、纺织服装、钢铁和农产品，进口商品主要为石油、天然气和矿产资源。

1997-2007 年，固定资本形成总额使新疆的碳排放量增长 1535.04 万 t，占碳排放增长总量的比重为 78.15%，使得固定资产投资成为新疆碳排放增长的又一显著影响因素。固定资本形成总额引起碳排放的增长量主要集中在建筑业（944.13 万 t）、通信设备制造业（206.80 万 t）、机械工业（191.04 万 t）和金属制品业（133.95 万 t）。新疆固定资本形成总

表 6 不同最终需求对 1997-2007 年新疆产业部门碳排放增长的结构分解分析(万 t)
Tab. 6 Carbon emission changes caused by different final demands from different sectors in Xinjiang (10⁴ t)

代码	农村居民 消费	城镇居民 消费	政府 消费	固定资本 形成总额	存货 增加	调出	出口	调进	进口
1	18.73	-6.69	3.13	-8.68	-81.00	166.55	88.20	15.52	3.21
2	5.37	-2.01	0.00	0.00	-3.18	0.38	-0.02	28.69	-0.08
3	-0.19	1.17	0.00	0.00	-22.39	-18.39	2.92	6.23	-18.64
4	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	24.10	-0.07	-0.05	-9.69
5	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13	-3.75	0.52	14.72	0.03
6	-0.58	33.53	0.00	0.00	-8.55	-16.50	13.44	12.63	-0.10
7	2.69	0.97	0.00	0.00	6.80	-46.03	-12.37	-0.93	0.22
8	3.86	10.53	0.00	0.00	0.38	-11.12	-3.01	-4.49	-3.79
9	1.62	1.25	0.00	9.70	2.66	-0.49	9.25	-28.57	-2.61
10	0.14	-4.93	0.00	0.00	0.50	-2.75	-1.01	-34.15	2.99
11	11.11	-1.18	0.00	0.00	16.41	1028.67	-6.80	24.90	-0.58
12	6.26	29.82	0.00	0.00	16.75	173.26	-1.34	-169.70	-5.59
13	19.60	12.56	0.00	0.00	4.77	-2.65	3.85	-84.60	-0.38
14	0.00	-8.64	0.00	0.00	2.45	181.33	19.83	-313.60	32.63
15	0.15	1.33	0.00	133.95	21.81	1.53	-1.83	-194.61	-16.37
16	-0.02	5.45	0.00	191.04	25.53	-13.99	-0.97	-316.38	-12.18
17	5.90	6.14	0.00	-16.49	-0.67	-28.30	5.06	91.86	0.95
18	0.60	1.76	0.00	48.71	6.25	43.47	0.78	-46.61	-4.28
19	12.16	62.17	0.00	206.80	5.99	31.34	4.10	-390.85	-13.27
20	0.28	-1.42	0.00	-1.12	4.66	-0.08	-0.13	-8.19	-4.96
21	0.24	5.64	0.00	0.00	-1.15	-8.74	0.34	-11.43	3.23
22	18.93	104.03	0.00	0.00	-0.22	-8.23	0.00	15.89	0.00
23	0.15	2.55	0.00	0.00	-0.52	-5.96	0.00	0.31	0.00
24	1.20	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00
25	7.00	0.00	0.00	944.13	0.00	0.13	0.00	-235.83	0.00
26	17.19	65.26	25.87	-29.54	-6.05	162.85	1.97	-88.19	-4.28
27	-14.95	-24.58	0.04	0.60	-3.92	-50.82	12.78	-80.33	-4.08
28	22.13	82.68	176.28	55.93	0.06	0.55	0.00	-161.42	0.00
碳排放 增量	139.55	379.52	205.32	1535.04	-10.63	1596.37	135.50	-1958.81	-57.61

额由1997年的461.41亿元增长到2002年的856.70亿元进而快速增长到2007年的2004.99亿元,且固定资本形成总额主要集中在建筑业、设备制造业和金属制品业等高耗能产业部门。那么注重建筑业的低碳节能,提升设备制造业和金属制品业的生产工艺水平对于新疆的产业低碳发展将显得尤为重要。

1997-2007年,居民消费引起的碳排放增长为519.07万t,其中,城镇居民消费引起碳排放量的增长为379.52万t;然而,农村居民消费引起碳排放量的增长为139.55万t。城镇居民消费引起的碳排放增长主要集中在电力热力生产和供应业(104.03万t)、第三产业中的其他行业(82.68万t)和交通运输、仓储及邮电通信业(65.26万t)。农村居民消费引起的碳排放增长主要集中在第三产业中的其他行业(22.13万t)、非金属矿物制品业(19.60万t)和电力热力生产和供应业(18.93万t)。城镇化水平的快速提升,大量农村人口涌入城镇,新疆城镇化水平由1997年的35.20%增长到2002年的35.91%进而快速提升到2007年的39.15%。城镇居民人均消费水平由1997年的3328元/人快速增长到2007年的8986元/人,同期农村居民人均消费水平由1997年的1891元/人增长到2007年的2320元/人。城乡居民人均消费水平差距的不断扩大,进一步解释了城镇居民消费对碳排放增长的作用程度远高于农村居民消费对碳排放增长的作用程度。随着新型城镇化进程的推进和城镇化水平的稳步增长,城镇居民的消费需求和消费水平将会不断提升,将对电力、热力的生产与供应产生持续不断的生长需求,以及以第三产业为主的其他行业,尤其交通运输、仓储及邮电通信业的增长需求,那么改善以火电为主的电力生产结构和以煤为主的冬季供暖系统,注重交通运输业的低碳节能都将显得更为重要。

省域间调出对于新疆碳排放的间接影响显著增强,其对碳排放增长的间接影响远高于出口对于新疆碳排放的间接影响,主要集中在石油加工及炼焦产品、金属冶炼及压延加工制品、化工产品等能源资源密集型行业部门以及农产品的省域间调出贸易。新疆能源资源密集型产业的快速发展是资源优势、成本优势 and 市场需求等共同作用的结果,新疆煤炭资源、油气资源和矿产资源储量丰富,劳动力、土地等要素成本相对较低,资源优势效应和成本驱动效应使得能源资源密集型行业的生产和投资显著增加。新疆全社会固定资产投资总额由1997年的446.81亿元增长到2002年的813.02亿元进而快速增长到2007年的1850.84亿元,并且主要集中在能源密集型的采矿业、制造业以及电力热力生产和供应业。2007年石油和天然气开采业的固定资产投资占全社会固定资产投资总额的19.49%,石油加工及炼焦业占7.63%,电力热力生产和供应业占5.69%。原油加工量由1997年的850.59万t增长到2007年的1705.11万t,汽油产量由1997年的208.43万t增长到2007年的277.34万t,柴油产量由1997年的304.41万t增长到2007年的819.96万t,水泥产量由1997年的628万t增长到2007年的1537万t,钢材产量由1997年的99.89万t增长到2007年的470.94万t。新疆能源资源型产品的调出,使得区域间“隐含碳”转移显著。区域间相互依赖性^[56-58]的存在背景下,新疆作为国家其他省区的能源资源产品供应地在一定程度上强化了新疆对国内市场的依赖,使得省域间调出引致碳排放增长的间接效应十分明显。

除此之外,无论是能源资源型产品调出引致的区域“隐含碳”转移,还是能源资源的直接调出,对于新疆的区域低碳发展都将产生不利的影响。2007年以来,新疆能源消费量迅速增长,尤其是高碳能源—煤炭的增长迅速,相对低碳能源—石油的增长较为平缓(图3a)。从能源的调出分析(图3b),2007年以来,新疆的能源调出快速增长,石油的调出保持持续增长,几乎本区的石油生产量全部用于调出;煤炭的调出量在2007年之后也呈现出迅速增长趋势。“十二五”规划中确定的山西、鄂尔多斯盆地、内蒙古东部地

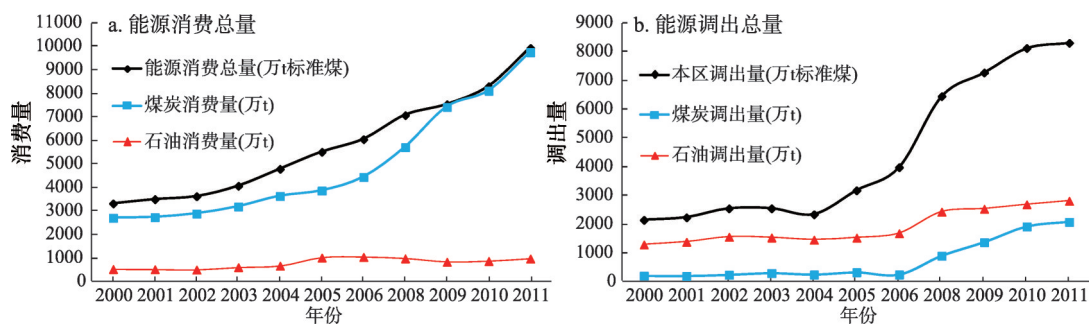


图3 2000-2011年新疆能源消费总量与能源调出总量

Fig. 3 Energy consumption and energy outflow in Xinjiang from 2000 to 2011

区、西南地区 and 新疆等五大国家综合能源基地, 新疆基地是距离中国主要能源消费区运输距离最远的能源综合生产基地。那么考虑到一部分的碳排放增长量由最终消费区域引致, 以及能源资源以及能源资源型产品长距离外运的巨大运输成本, 新疆在当前以及未来的跨越式发展机遇期, 应当争取执行差别化的节能减排降耗指标。

4 结论与讨论

4.1 结论

借鉴经典的投入产出理论, 通过构建“能源—经济—碳排放”的混合型投入产出分析框架, 利用IO-SDA结构分解模型, 对新疆1997-2007年能源消费碳排放的影响因素进行结构分解分析。主要结论如下:

(1) 1997-2007年, 新疆的能源消费碳排放从1997年的2070.08万t增长到2002年的2408.06万t、2007年的4034.33万t, 11年间增长了94.88%, 碳排放的增长主要集中在能源资源生产与加工业和矿产资源开采与加工业。

(2) 碳排放影响因素的直接效应分析, 其中人均GDP、最终需求结构、生产结构和人口规模的变化是引起碳排放增长的重要影响因素; 碳排放强度的降低是这一时期遏制碳排放增长的重要影响因素, 说明在经济规模(人均GDP)和人口数量(人口规模)不断增长的同时, 经济结构(最终需求结构)未得到有效优化, 生产技术(生产结构)未得到有效的提升, 导致新疆能源消费碳排放的快速增长。

(3) 碳排放影响因素的间接效应分析, 从最终需求的研究视角, 省域间调进、调出和固定资本形成总额对于新疆能源消费碳排放的变化影响显著。同时, 居民消费对于新疆能源消费碳排放的增长作用逐渐显著, 尤其是城镇居民消费对于碳排放增长的影响程度。碳密集产业部门的固定资产投资增加, 能源资源型产品的省域间调出增长, 使得区域间“隐含碳”转移效应十分显著。

4.2 讨论

随着新疆新型城镇化和新型工业化进程的推进, 19省市“援疆政策”的实施, “丝绸之路经济带”的全面建设, 新疆的城镇化水平、工业化水平、固定资产投资总量都将得到进一步的增长。在西部大开发和跨越式发展过程中, 综合分析新疆各地州确立的主导产业, 大多是依托能源资源优势 and 成本优势发展煤炭产业、煤化工产业、火电产业、石油化工产业、装备制造业、钢铁产业、水泥产业、电解铝产业、多晶硅产业、轻工纺织业等, 能源矿产资源优势能否转化为产业优势, 以及转化为产业优势的过程中东部及

中部发达地区的技术扩散和知识溢出能否协同促使能源资源密集型产业的技术升级和低碳发展, 将是新疆乃至西部地区优势资源转换战略能否低碳可持续发展的关键问题。同时, 如何发挥产业关联效应, 促使能源资源原材料工业发展带动依托本地市场的更具区域竞争性优势的加工制造业发展, 将对新疆区域经济的结构转型和低碳发展产生深远的影响。大量投资进驻新疆的同时, 应该升级生产工艺和淘汰落后产能, 尤其在国家级工业园区以及新兴工业园区的低碳技术变革与节能降耗改造, 自治区政府和能源资源型企业应更加关注高端人才的引进, 尤其是发电、新能源、新型化工、新材料、高端装备制造等行业的技术研发人才。集约利用化石能源的同时, 应加大可再生能源利用, 统筹规划太阳能和风能在新疆的布局和发展, 尤其是在规模较大的工业园区和人口集中的住宅区域规划建设可再生能源发电系统。

无论是能源资源型产品调出引致的区域“隐含碳”转移, 还是能源资源的直接调出, 对于新疆的区域低碳发展都将产生不利的影响。在技术进步、新能源替代、重点行业节能减排进程缓慢的同时, 新疆碳减排和节能降耗的工作重心应该重点思考: 如何建设能源综合生产基地, 如何协调本地能源消费与区外能源调出, 如何争取更多的相对低碳能源(石油和天然气)。新疆能源综合生产基地是距离中国主要能源消费区距离最远的能源基地, 考虑到能源外运长距离的巨大运输成本, 以及持续增长的能源调出量, 应适当考虑区域间相互依赖性的影响下, 新疆争取执行差别化的节能减排降耗指标。

在西北干旱区, 水资源是制约社会经济发展影响生态安全的关键要素, 对未来经济社会可持续发展起着至关重要的作用。新疆的高碳行业煤炭生产及煤化工、石油加工及炼焦业、金属冶炼及压延加工业等都是高耗水产业, 干旱区能源资源密集型产业的布局与发展应着重关注水资源的支撑作用和约束作用。

参考文献(References)

- [1] Streets D G, Jiang K J, Hu X L, et al. Climate change: Recent reductions in China's greenhouse gas emissions. *Science*, 2001, 294(5548): 1835-1837.
- [2] Cyranoski D. China struggles to square growth and emissions. *Nature*, 2007, 446(7139): 954-955.
- [3] Qiu J. China asks world to step up on climate. *Nature*, 2008, 456(7219): 151.
- [4] Zeng Ning, Ding Yihui, Pan Jiahua, et al. Climate change: The Chinese challenge. *Science*, 2008, 319(5864): 730-731.
- [5] Qiu J. China's climate target: Is it achievable? *Nature*, 2009, 462(7273): 550-551.
- [6] Feng Kuishuang, Davis Steven J, Sun Laixiang, et al. Outsourcing CO₂ within China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(28): 11654-11659.
- [7] Qiu J. China unveils green targets. *Nature*, 2011, 471(7337): 149.
- [8] Liu Zhu, Guan Dabo, Crawford-Brown Douglas, et al. A low-carbon road map for China. *Nature*, 2013, 500(7461): 143-145.
- [9] Malakoff D. China's peak carbon pledge raises pointed questions. *Science*, 2014, 346(6212): 903.
- [10] Guan Dabo, Liu Zhu, Geng Yong, et al. The gigatonne gap in China's carbon dioxide inventories. *Nature Clim. Change*, 2012, 2(9): 672-675.
- [11] Tao Yuguo, Huang Zhenfang, Wu Limin, et al. Measuring carbon dioxide emissions for regional tourism and its factor decomposition: A case study of Jiangsu province. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1438-1448. [陶玉国, 黄震方, 吴丽敏, 等. 江苏省区域旅游业碳排放测度及其因素分解. *地理学报*, 2014, 69(10): 1438-1448.]
- [12] Zhao Rongqin, Zhang Shuai, Huang Xianjin, et al. Spatial variation of carbon budget and carbon balance zoning of Central Plains Economic Region at county-level. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1425-1437. [赵荣钦, 张帅, 黄贤金, 等. 中原经济区县域碳收支空间分异及碳平衡分区. *地理学报*, 2014, 69(10): 1425-1437.]
- [13] Zhao Rongqin, Huang Xianjin, Zhong Taiyang. Research on carbon emission intensity and carbon footprint of different industrial spaces in China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(9): 1048-1057. [赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析. *地理学报*, 2010, 65(9): 1048-1057.]

- [14] Zhao Rongqin, Huang Xianjin, Peng Buzhuo. Research on carbon cycle and carbon balance of Nanjing urban system. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 758-770. [赵荣钦, 黄贤金, 彭补拙. 南京城市系统碳循环与碳平衡分析. *地理学报*, 2012, 67(6): 758-770.]
- [15] Geng Yong, Zhao Hongyan, Liu Zhu, et al. Exploring driving factors of energy-related CO₂ emissions in Chinese provinces: A case of Liaoning. *Energy Policy*, 2013, 60: 820-826.
- [16] Jotzo F, Burke P J, Wood P J, et al. Decomposing the 2010 global carbon dioxide emissions rebound. *Nature Climate Change*, 2012, 2(4): 213-214.
- [17] Cheng Yeqing, Wang Zheyue, Zhang Shouzhi, et al. Spatial econometric analysis of carbon emission intensity and its driving factors from energy consumption in China. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1418-1431. [程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量. *地理学报*, 2013, 68(10): 1418-1431.]
- [18] Su Yongxian, Chen Xiuzhi, Ye Yuyao, et al. The characteristics and mechanisms of carbon emissions from energy consumption in China using DMSP/OLS night light imageries. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(11): 1513-1526. [苏泳娴, 陈修治, 叶玉瑶, 等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理. *地理学报*, 2013, 68(11): 1513-1526.]
- [19] Zhou N, Fridley D, Khanna N Z, et al. China's energy and emissions outlook to 2050: Perspectives from bottom-up energy end-use model. *Energy Policy*, 2013, 53: 51-62.
- [20] Wang Ke, Zhang Xian, Wei Yiming, et al. Regional allocation of CO₂ emissions allowance over provinces in China by 2020. *Energy Policy*, 2013, 54: 214-229.
- [21] Yan Hua, Guo Yungong, Lin Fengchun. Analyzing the developing model of Chinese cities under the control of CO₂ emissions using the STIRPAT model: A case study of Shanghai. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(8): 983-990. [燕华, 郭运功, 林逢春. 基于STIRPAT模型分析CO₂控制下上海城市发展模式. *地理学报*, 2010, 65(8): 983-990.]
- [22] Jin W. Can technological innovation help China take on its climate responsibility? An intertemporal general equilibrium analysis. *Energy Policy*, 2012, 49: 629-641.
- [23] Maisonnave H, Pycroft J, Saveyn B, et al. Does climate policy make the EU economy more resilient to oil price rises? A CGE analysis. *Energy Policy*, 2012, 47: 172-179.
- [24] Wang Changjian, Wang Fei, Zhang Hongou, et al. China's carbon trading scheme is a priority. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(23): 13559-13559.
- [25] Li Na, Shi Minjun, Yuan Yongna. Impacts of carbon tax policy on regional development in China: A dynamic simulation based on a multi-regional CGE model. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1569-1580. [李娜, 石敏俊, 袁永娜. 低碳经济政策对区域发展格局演进的影响: 基于动态多区域CGE模型的模拟分析. *地理学报*, 2010, 65(12): 1569-1580.]
- [26] Al-mulali U, Che N B C S. The impact of energy consumption and CO₂ emission on the economic growth and financial development in the Sub-Saharan African countries. *Energy*, 2012, 39(1): 180-186.
- [27] Al-mulali U. Factors affecting CO₂ emission in the Middle East: A panel data analysis. *Energy*, 2012, 44(1): 564-569.
- [28] Li Huanan, Mu Hailin, Zhang Ming, et al. Analysis on influence factors of China's CO₂ emissions based on Path-STIRPAT model. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 6906-6911.
- [29] Zhu Q, Peng X Z, Wu K Y. Calculation and decomposition of indirect carbon emissions from residential consumption in China based on the input-output model. *Energy Policy*, 2012, 48: 618-626.
- [30] Zhang Lei. Economic development and its bearing on CO₂ emissions. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 629-637. [张雷. 经济发展对碳排放的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 629-637.]
- [31] Zhang Lei, Huang Yuanxi, Li Yanmei, et al. An investigation on spatial changing pattern of CO₂ emissions in China. *Resources Science*, 2010, 32(2): 211-217. [张雷, 黄园浙, 李艳梅, 等. 中国碳排放区域格局变化与减排途径分析. *资源科学*, 2010, 32(2): 211-217.]
- [32] Wu F, Fan L W, Zhou P, et al. Industrial energy efficiency with CO₂ emissions in China: A nonparametric analysis. *Energy Policy*, 2012, 49: 164-172.
- [33] Li H N, Mu H L, Zhang M, et al. Analysis of regional difference on impact factors of China's energy-related CO₂ emissions. *Energy*, 2012, 39(1): 319-326.
- [34] Du Hui bin, Guo Jianghong, Mao Guozhu, et al. CO₂ emissions embodied in China-US trade: Input-output analysis based on the emergy/dollar ratio. *Energy Policy*, 2011, 39(10): 5980-5987.
- [35] Su Bin, Ang B W, Low M. Input-output analysis of CO₂ emissions embodied in trade and the driving forces: Processing and normal exports. *Ecological Economics*, 2013, 88: 119-125.

- [36] Zhao Min, Tan Lirong, Zhang Weiguo, et al. Decomposing the influencing factors of industrial carbon emissions in Shanghai using the LMDI method. *Energy*, 2010, 35(6): 2505-2510.
- [37] Liu Zhu, Liang Sai, Geng Yong, et al. Features, trajectories and driving forces for energy-related GHG emissions from Chinese mega cities: The case of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing. *Energy*, 2012, 37(1): 245-254.
- [38] Wang Hongsheng, Wang Yunxia, Wang Haikun, et al. Mitigating greenhouse gas emissions from China's cities: Case study of Suzhou. *Energy Policy*, 2014, 68: 482-489.
- [39] Wang Ping, Wu Wanshui, Zhu Bangzhu, et al. Examining the impact factors of energy-related CO₂ emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China. *Applied Energy*, 2013, 106: 65-71.
- [40] Wang Changjian, Zhang Xiaolei, Wang Fei, et al. Decomposition of energy-related carbon emissions in Xinjiang and relative mitigation policy recommendations. *Front Earth Science*, 2015, 9(1): 65-76.
- [41] Liang Sai, Zhang Tianzhu. What is driving CO₂ emissions in a typical manufacturing center of South China? The case of Jiangsu Province. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 7078-7083.
- [42] Wang Changjian, Wang Fei, Zhang Hongou, et al. Carbon emissions decomposition and environmental mitigation policy recommendations for sustainable development in Shandong province. *Sustainability*, 2014, 6(11): 8164-8179.
- [43] Xi Fengming, Geng Yong, Chen Xudong, et al. Contributing to local policy making on GHG emission reduction through inventorying and attribution: A case study of Shenyang, China. *Energy Policy*, 2011, 39(10): 5999-6010.
- [44] Ang B W. Decomposition methodology in industrial energy demand analysis. *Energy*, 1995, 20(11): 1081-1095.
- [45] Rose A, Casler S. Input-output structural decomposition analysis: A critical appraisal. *Economic Systems Research*, 1996, 8(1): 33-62.
- [46] Casler S D, Rose A. Carbon dioxide emissions in the U.S. economy: A structural decomposition analysis. *Environ Resource Econ*, 1998, 11(3/4): 349-363.
- [47] Su Bin, Ang B W. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments. *Energy Econ*, 2012, 34(1): 177-188.
- [48] Peters G P, Weber C L, Guan D, et al. China's growing CO₂ emissions: A race between increasing consumption and efficiency gains. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(17): 5939-5944.
- [49] Minx J C, Baiocchi Giovanni, Peters Glen P, et al. A "Carbonizing Dragon": China's fast growing CO₂ emissions revisited. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(21): 9144-9153.
- [50] Guan D, Peters G P, Weber C L, et al. Journey to world top emitter: An analysis of the driving forces of China's recent CO₂ emissions surge. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(4): L04709.
- [51] Guan D, Hubacek K, Weber C L, et al. The drivers of Chinese CO₂ emissions from 1980 to 2030. *Global Environmental Change*, 2008, 18(4): 626-634.
- [52] Liang Sai, Xu Ming, Liu Zhu, et al. Socioeconomic drivers of mercury emissions in China from 1992 to 2007. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(7): 3234-3240.
- [53] Wang Yafei, Zhao Hongyan, Li Liying, et al. Carbon dioxide emission drivers for a typical metropolis using input-output structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 2013, 58: 312-318.
- [54] Peters G P. From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecological Economics*, 2008, 65(1): 13-23.
- [55] Xu Ming, Li Ran, Crittenden John C, et al. CO₂ emissions embodied in China's exports from 2002 to 2008: A structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 7381-7388.
- [56] Li Fangyi, Liu Weidong, Tang Zhipeng. Study on inter-regional transfer of embodied pollution in China. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 791-801. [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.]
- [57] Liu Weidong, Zou Jialing. A direction of regional studies: regional interdependence. *Areal Research and Development*, 2014, 33(1): 1-5, 16. [刘卫东, 邹嘉龄. 区域发展研究方向探讨. *地域研究与开发*, 2014, 33(1): 1-5, 16.]
- [58] Tang Zhipeng, Liu Weidong, Gong Peiping, et al. Measuring of Chinese regional carbon emission spatial effects induced by exports based on Chinese multi-regional input-output table during 1997-2007. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1403-1413. [唐志鹏, 刘卫东, 公丕萍. 出口对中国区域碳排放影响的空间效应测度: 基于1997-2007年区域间投入产出表的实证分析. *地理学报*, 2014, 69(10): 1403-1413.]

Influencing mechanism of energy-related carbon emissions in Xinjiang based on IO-SDA model

WANG Changjian¹, ZHANG Xiaolei², ZHANG Hongou¹, WANG Fei³

(1. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangzhou 510070, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China; 3. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: Global warming and climate change are issues that have aroused widespread attention, and the need for a transition to a low-carbon economy has become the consensus of the international community. China has become one of the world's largest energy consumers, as well as one of the biggest emitters of greenhouse gases. This further highlights the importance and urgency of research on carbon emissions from energy consumption. Based on regional perspectives of the impacts of carbon emissions, the analysis of mechanisms responsible for carbon emissions has become an important research topic. Xinjiang, an important Chinese energy production base, is currently going through a period of strategic opportunities for rapid development. It is critical to ensure stable socioeconomic development as well as to achieve energy savings and meeting emission reductions targets, thus the harmonious development of "society- economy- energy- environment," is the key issue currently facing the region. This study, based on the input-output theory, presents a structural decomposition analysis of the factors affecting energy consumption and carbon emissions in Xinjiang from 1997-2007. This analysis employs a hybrid input- output analysis framework of "energy- economy- carbon emissions," and uses an extended IO- SDA model. The data for this study come from the Xinjiang input-output table for 1997-2002-2007. Population, economic, and energy source data are derived from the Statistical Yearbook of the Xinjiang Uygur Autonomous Region. (1) Xinjiang's carbon emissions from energy consumption increased from 20.70 million tons in 1997 to 40.34 million tons in 2007; carbon emissions growth was mainly concentrated in the production and processing of energy resources, the mining of mineral resources, and the processing industry. (2) The analysis of the direct effects of the influencing factors on carbon emissions shows that the change in per capita GDP, final demand structure, population scale, and production structure were the important factors causing an increase in carbon emissions, while the decrease in carbon emission intensity during this period was an important factor in stopping the growth of carbon emissions. This shows that while Xinjiang's economy and population were growing, the economic structure had not been effectively optimized and production technology had not been improved, which results in a rapid growth of carbon emissions from energy consumption. (3) An analysis of the indirect effects of the factors influencing carbon emissions shows that inter- provincial transfers, gross fixed capital formation, and consumption by urban residents had significant influence on the changes in carbon emissions from energy consumption in Xinjiang. (4) The growth of investments in fixed assets of carbon-intensive industry sectors, as well as the growth of inter-provincial transfers of energy resource products, makes the transfer effect of inter- area "implicit carbon" very significant.

Keywords: carbon emissions; input- output- structural decomposition analysis; influencing factors; Xinjiang