

DOI: 10.5846/stxb201906041192

宋旭, 贾俊松, 陈春谛, 陈皆红. 江西省能耗碳排放时空特征、脱钩关系及其驱动因素. 生态学报, 2020, 40(20): 7451-7463.

Song X, Jia J S, Chen C D, Chen J H. Spatio-temporal characteristics, decoupling relation and its driving factors of the carbon emission from energy consumption in underdeveloped Jiangxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7451-7463.

江西省能耗碳排放时空特征、脱钩关系及其驱动因素

宋旭¹, 贾俊松^{1,*}, 陈春谛², 陈皆红¹

1 江西师范大学地理与环境学院/鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022

2 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092

摘要: 查明碳排放时空演变成因、经济发展脱钩情形及其影响因素, 对协调区域经济发展同时更好进行碳减排具有指导意义。以欠发达江西省为例, 基于 2002—2016 年规模以上工业主要能源消费数据, 用 IPCC 碳核算方法、Tapio 脱钩模型及对数平均迪氏指数分解法 (Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI) 对该域能耗碳排放时空演变特征、与经济发展脱钩关系及其驱动因素进行了分析。结果表明: (1) 江西省碳排放量前期快速增长、中后期增长减缓, 由 2002 年的 6248.57×10^4 t 增加到 2016 年的 18680.47×10^4 t, 增长率高达 198.96%。碳排放强度处于前中期快速下降, 后期缓慢下降的趋势, 由 5.604 t/万元降为 0.552 t/万元。碳排放量和碳排放强度大体呈现着西北高东南低的空间分布特征。(2) 2002—2009 年和 2009—2016 年江西省经济增长与碳排放总体上呈现弱脱钩, 脱钩弹性分别为 0.177 和 0.105。2002—2009 年江西省南部和北部地区脱钩情况不够理想; 2009—2016 年江西省除上饶市以外的东北部地区脱钩状况较差。(3) 2002—2009 年, 能源结构对江西省碳排放脱钩有微弱的抑制作用, 2009—2016 年转变为微弱的促进作用, 其对各地市碳排放脱钩的驱动方向有所不同。能源强度对碳排放脱钩起主导性作用, 其在两个阶段的脱钩弹性分别为 -0.329 和 -0.481。经济水平对碳排放脱钩有主要的抑制作用, 在两个阶段的脱钩弹性分别为 0.377 和 0.475。人口对碳排放脱钩具有较小的抑制作用。因此, 江西省碳减排的重点在于改善能源结构与提高能效, 推动新余、九江和萍乡等城市的传统工业转型升级, 促进江西西北地区与东南地区城市的绿色协同发展。

关键词: 时空演变特征; 脱钩; LMDI; 碳排放

Spatio-temporal characteristics, decoupling relation and its driving factors of the carbon emission from energy consumption in underdeveloped Jiangxi Province

SONG Xu¹, JIA Junsong^{1,*}, CHEN Chundi², CHEN Jiehong¹

1 School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University/Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Nanchang 330022, China

2 College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: It is significant for coordinating regional economic development and carbon emissions' reduction to find the causes of spatio-temporal evolution of carbon emissions, the decoupling status of economic development and corresponding influencing factors. Thus, taking underdeveloped Jiangxi Province as an example, we analyzed the spatio-temporal evolution characteristics of carbon emissions, the decoupling status from economic development and corresponding influencing factors in the region, by using the IPCC carbon accounting method, Tapio decoupling model and Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI), based on the industrial energy consumption data from 2002 to 2016. The results show that: (1) carbon emissions in Jiangxi Province increased rapidly in the early stage and slowed in the middle and late stages. Overall they increased from 6248.57×10^4 t in 2002 to 18680.47×10^4 t in 2016, with a growth rate of 198.96%. Carbon emission intensity showed a

基金项目: 江西省教育厅人文社科一般项目 (GL19225); 国家自然科学基金 (71473113, 41001383)

收稿日期: 2019-06-04; 网络出版日期: 2020-08-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaaniu@126.com

trend of rapid decline in the early and middle periods and slow decline in the later period, from 5.604 t per 10,000 yuan to 0.552 t per 10,000 yuan. The spatial distribution of carbon emissions and carbon emissions' intensity was generally high in the northwest and low in the southeast. (2) From 2002 to 2009 and from 2009 to 2016, decoupling was weak between economic growth and carbon emissions in Jiangxi, with the decoupling elasticity of 0.177 and 0.105, respectively. From 2002 to 2009, all cities presented a weak decoupling state; the decoupling elasticity in Ganzhou and Shangrao was relatively large, 0.504 and 0.440, respectively. The decoupling state of the southern and northern regions in Jiangxi was not ideal. From 2009 to 2016, the decoupling state in Pingxiang and Shangrao transformed to strong decoupling; their decoupling state was most ideal. The decoupling state transformed from weak decoupling to expansive negative decoupling in Fuzhou. Decoupling elasticity in Jingdezhen increased from 0.179 previously to 0.741. The decoupling state was poor in the northeastern region of Jiangxi except Shangrao. (3) From 2002 to 2009, the energy structure had a weak inhibiting effect on carbon emission decoupling in Jiangxi, which was, inversely, transformed into a tiny promoting effect from 2009 to 2016; the driving direction was different in different cities. Energy intensity played a leading role in carbon emission decoupling. The decoupling elasticity of the two stages was -0.329 and -0.481 , respectively. Except for Fuzhou from 2009 to 2016, energy intensity played a major role in promoting carbon emission decoupling in cities. Economic level had a major inhibiting effect on carbon emission decoupling in Jiangxi; decoupling elasticity in the two stages was 0.377 and 0.475, respectively, which had a major inhibiting effect on carbon emission decoupling in various cities. Population level had a small inhibiting effect on carbon emission decoupling. Therefore, the focus of carbon emission reduction in Jiangxi is to improve energy structure and energy efficiency, promote the transformation and upgrading of traditional industries in Xinyu, Jiujiang, Pingxiang and other cities, and promote coordinated green development between the northwest and southeast regions of the province.

Key Words: spatio-temporal evolution characteristics; decoupling; LMDI; carbon emission

能源消费引起的大气污染和温室效应等环境问题已经引起了全球各国的广泛关注^[1-2]。联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次评估报告认为,过去多年来全球平均气温的升高在 95% 左右的可能性程度上与人类活动产生的温室气体有关,而传统化石能源消费产生的二氧化碳等温室气体是造成全球温室效应的主要原因^[3]。作为一个负责任的大国,我国政府已经承诺到 2030 年碳排放强度要比 2005 年下降 60%—65%,这必将使中国面临巨大的国际减排压力^[4]。因此,深入全面地研究能源消费碳排放的时空演变特征、与经济发展的关系及其影响因素,对于各区域制定相应政策实现碳减排目标具有重要意义。

在研究经济增长与环境的关系中,脱钩理论已经被广泛应用^[5-8]。脱钩理论是由经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)提出的形容阻断经济增长与资源消耗或环境污染之间联系的基本理论,被分为绝对脱钩和相对脱钩^[9]。Zhang^[10]于 2000 年在能源与环境研究方面引入了脱钩指数,Freitas 等^[11]使用此方法探索了巴西 2004—2009 年经济活动和能源消费碳排放之间的脱钩情况,并在 2009 年发现了绝对脱钩。此外,在 2005 年,Tapio^[12]提出了脱钩的理论框架,定义了“脱钩”、“连接”和“负脱钩”的区别,之后又将其分为“弱”、“强”、“扩张”和“衰退”脱钩。近年来,诸多学者围绕我国能源消费碳排放的时空差异及其与经济发展的脱钩关系等方面展开了一系列研究^[13-19]。例如,Wang 等^[20]采用 Tapio 脱钩分析了 2000—2014 年中国经济和 CO₂ 排放之间的脱钩弹性,结果显示脱钩弹性在整个时期内呈下降趋势,脱钩状态具有两种类型:扩张型负脱钩(2002—2005 年)和弱脱钩(2000—2002 年和 2005—2014 年)。彭佳雯等^[21]通过构建经济与能源碳排放脱钩分析模型,在时间和空间上探讨了我国经济增长与能源碳排放的脱钩关系及程度。孙耀华等^[22]对 1999—2008 年各省区碳排放与经济增长之间的脱钩关系进行测度,结果显示近十年来我国绝大部分省区经济增长与碳排放之间呈现弱脱钩状态。冯博等^[23]利用 Tapio 脱钩模

型分析了各省建筑业碳排放的脱钩状态,并运用 LMDI 方法对碳排放的影响因素进行了分解分析。Zhou 等^[24]利用 Tapio 脱钩研究了 1996—2012 年中国八大区域经济发展与碳排放之间的关系,结果显示中国大部分地区表现为弱脱钩。同时,李健等^[25]、宁亚东等^[26]和曹广喜等^[27]分别分析了长三角、京津冀和四大不同经济区的脱钩状况,也有武红等^[28]、盖美等^[29]和张新林等^[30]对不同省域碳排放与经济的关系进行了深入研究,等。此外,许多学者结合指数分解方法对我国碳排放与经济脱钩指数进行分解分析^[31-32]。例如,Zhang 等^[33]使用 LMDI 方法分解了中国 1991—2012 年经济增长与能源消耗之间的脱钩指数,结果表明经济活动对研究期间的脱钩产生了负面影响。除 2003 年、2004 年和 2008 年外,能源强度对脱钩产生了积极作用。Zhao 等^[34]研究了 1992—2012 年中国五个主要经济部门经济增长与碳排放的脱钩效应,并使用 LMDI 方法计算了不同因素对中国整体经济与碳排放脱钩的贡献。结果表明,能源强度和经济活动水平是影响中国碳排放脱钩的主要因素。马晓君等^[35]采用广义迪氏指数分解法(GDIM)分析了 2000—2016 年中国工业碳排放的驱动因素,并结合 DPSIR 框架构建脱钩努力模型测度工业碳排放的脱钩效应。结果表明,产出碳强度效应与技术进步碳强度效应是工业碳排放实现强脱钩的决定性因素。Wang 等^[36]使用扩展的 LMDI 方法定量分析了 1996—2010 年京津冀工业增长和环境压力的脱钩指数。结果表明,经济的快速增长是工业脱钩的主要抑制因素,能源结构和能源强度对工业脱钩有重要贡献。

近年来,关于江西省能源消费碳排放的研究较少,且主要集中在碳排放现状分析^[37-38]和影响因素分析^[39-41]等方面。例如,杨锦琦^[37]对江西 2001—2015 年碳排放量进行了估算分析。结果表明,江西能源消费结构以煤炭为主,能源消费总量呈快速增长的趋势,碳排放总量呈上升趋势,碳排放强度、人均碳排放量呈下降趋势,且低于全国平均水平。Jia 等^[42]采用扩展的 LMDI 方法从宏观经济尺度和微观经济尺度对江西省 1998—2015 年的能源相关产业碳排放进行了分解,结果表明产量、研发强度和投资强度是碳排放增长的主要原因,研发效率、能源强度和产业结构对碳排放有明显的缓解作用。目前,欠发达地区对于发展经济的需求是急迫的,在大力发展经济的同时也需保证经济的绿色低碳发展。然而,仅有个别学者针对江西经济发展与碳排放的关系进行研究。例如,刘堂发等^[43]通过构建能源碳排放与经济增长的脱钩指数模型分析了江西省 1995—2012 年能源碳排放与经济增长之间的脱钩关系。结果表明,江西省能源碳排放与经济增长存在不稳定的脱钩状态,强脱钩、弱脱钩和扩张型负脱钩等状态交替出现。

综上所述,大多数学者对能源消费碳排放与经济脱钩关系研究主要集中在国家、区域和省域 3 个尺度,针对欠发达省域(如江西省)碳排放与经济发展关系的深入研究较少。同时,在探讨单个省份的能源消耗碳排放与经济发展关系的研究中,也未能具体考虑到不同市域之间的碳排放差异与联系。然而,省域内各地市的能源消费结构、产业结构、经济发展水平和人口等都存在明显的空间差异,这导致不同地区的碳排放状况及其与经济脱钩关系也各有差异。因此,深入到市域尺度系统分析碳排放时空特征、脱钩关系及其驱动因素对于区域内因地制宜、因时制宜的碳减排政策制定具有重要的实用价值,并且,当前看来,这些内容显得十分必要、重要与紧迫。

江西省位于我国中部地区,2016 年人均 GDP 约为 6084 美元,低于全国平均的 8087 美元。根据世界银行 2016 年发布的标准,高收入国家人均收入高于 12235 美元^[44]。因此,江西省仍处于欠发达阶段,提升经济发展水平刻不容缓。近年来,江西省经济发展势头迅猛,工业化与城镇化进程不断加快导致对能源的需求增加,碳排放形势不容乐观。然而,欠发达地区在大力发展经济时也需注重生态环境建设,探索其经济增长与环境的关系是十分紧要的。目前,江西省碳排放与经济发展的关系尚未深入探讨,未能具体反映某个市域的碳排放特征及其与经济的关系。因此,揭示江西省及其各地市能耗碳排放的时空特征及其与经济脱钩关系,之后进一步探讨导致其脱钩状况发生的背后驱动因素是十分必要的,这不仅有利于江西省及其各地市因地制宜地提出碳减排措施,而且对其他欠发达地区制定有关的绿色、低碳与可持续发展战略均具有重要的参考意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

江西省及其各地市数据来源于《江西统计年鉴》,包括 2002—2016 年江西省各地市的规模以上工业主要能源消耗量、工业总产值和第二产业就业人口数等。其中,吉安市 2004 年工业总产值来自吉安市 2004 年国民经济和社会发展统计公报。

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放模型

基于《IPCC 国家温室气体清单指南》中提供的参考方法^[45],碳排放量计算公式如下:

$$C = \sum_i E_i \times e_i \times p_i \times 44/12 \quad (1)$$

式中, C 为各类化石能源产生的 CO_2 排放量(文中述及的碳排放均指 CO_2 排放); E_i 为第 i 种化石能源的消耗量; e_i 和 p_i 分别为第 i 类化石能源的标准煤折算系数(取自《中国能源统计年鉴》)和碳排放系数(取自 IPCC 参考值); $44/12$ 表示二氧化碳与碳的分子量之比。9 种化石能源的碳排放计算参数^[45]见表 1。

表 1 碳排放计算参数

Table 1 Calculation parameters of carbon emissions

能源类型 Energy types	原煤 Raw coal	洗煤 Washed coal	其他洗煤 Other washing coal	焦炭 Hard coke	原油 Crude oil	汽油 Gasoline	煤油 Kerosene	柴油 Diesel oil	燃料油 Natural gas
折标准煤系数 Standard coal coefficient/($10^4 \text{ tce}/10^4 \text{ t}$)	0.7143	0.9	0.2857	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286
碳排放系数 Carbon emission coefficient/($10^4 \text{ t}/10^4 \text{ tce}$)	0.7559	0.7559	0.7559	0.8550	0.5857	0.5538	0.5714	0.5921	0.6185

1.2.2 脱钩分析

碳排放脱钩是经济增长与温室气体排放之间关系不断弱化直至消失的理想化过程^[8],即在实现经济增长的基础上,逐渐降低碳排放量。碳排放的经济增长弹性就是碳排放脱钩情况,因此弹性成为衡量各地区低碳状况的主要工具。为了探究更加精确的脱钩关系,本文选用 Tapio 脱钩作为分析模型。在 Tapio 的基础上将脱钩弹性划分为 8 种类型,分别为弱脱钩、强脱钩、衰退型脱钩、弱负脱钩、强负脱钩、扩张型负脱钩、增长连结和衰退连结,如表 2 所示^[24]。能源消费碳排放与工业总产值的脱钩弹性为 D ,计算方法如下所示:

$$D = \frac{\Delta C/C_{t1}}{\Delta \text{GIO}/\text{GIO}_{t1}} = \frac{\text{GIO}_{t1}}{C_{t1} \times \Delta \text{GIO}} \times (C_{t2} - C_{t1}) \quad (2)$$

式中, ΔC 和 ΔGIO 分别表示碳排放和工业总产值在末期相对于基期的变化量; $t1$ 与 $t2$ 分别表示基期与末期。

1.2.3 Kaya 恒等式

将能源结构、能源强度、人均工业总产值和人口纳入到影响因素分析体系中,构建江西省能源消费碳排放的 Kaya 恒等式为:

$$C = \sum_i \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{\text{GIO}} \times \frac{\text{GIO}}{P} \times P = \sum_i (EF \times ES \times EI \times EL \times P) \quad (3)$$

式中, C 为能源碳排放总量; C_i 为第 i 种能源碳排放量; E_i 为第 i 种能源消耗量; E 为能源消耗总量; GIO 为工业总产值; P 为人口,采用第二产业人口表示; EF 为能源碳排放系数; ES 为能源结构; EI 为能源强度; EL 为人均工业总产值。

表 2 脱钩弹性与脱钩状态

Table 2 Decoupling elasticity and decoupling state

状态 States	环境压力增长率 Environment pressure growth rate	经济驱动增长率 Economic growth rate	脱钩弹性(D) Decoupling elasticity
脱钩 Decoupling	弱脱钩	>0	$0 \leq D < 0.8$
	强脱钩	<0	$D < 0$
	衰退型脱钩	<0	$D > 1.2$
连结 Coupling	增长连结	>0	$0.8 \leq D \leq 1.2$
	衰退连结	<0	$0.8 \leq D \leq 1.2$
负脱钩 Negative decoupling	弱负脱钩	<0	$0 \leq D < 0.8$
	强负脱钩	>0	$D < 0$
	扩张型负脱钩	>0	$D > 1.2$

1.2.4 LMDI 对数分解方法

LMDI 方法是由 Ang 等在 20 世纪 90 年代提出的一种因素分解方法^[46],其先进的指数因素分解技术在低碳经济研究领域得到广泛应用^[47-49]。采用加和分解对公式(3)所示模型进行分解,结果如下:

$$\Delta C = C_{t_2} - C_{t_1} = \Delta C_{EF} + \Delta C_{ES} + \Delta C_{EI} + \Delta C_{EL} + \Delta C_P \quad (4)$$

式中, ΔC_{EF} 为碳排放系数效应; ΔC_{ES} 为能源结构效应; ΔC_{EI} 为能源强度效应; ΔC_{EL} 为经济水平效应; ΔC_P 为人口效应。通常各种能源的碳排放系数被认为保持不变^[36],所以, $\Delta C_{EF} = 0$ 。

结合脱钩公式(2),得到能源消费碳排放与经济增长的脱钩效应分解量化模型:

$$D = \frac{GIO_{t_1}}{C_{t_1} \times \Delta GIO} \times (C_{t_2} - C_{t_1}) = \frac{GIO_{t_1}}{C_{t_1} \times \Delta GIO} \times (\Delta C_{ES} + \Delta C_{EI} + \Delta C_{EL} + \Delta C_P) \quad (5)$$

式中, D 为能源消费碳排放与经济增长的脱钩弹性。各因素的脱钩效应计算如下:

$$DES = \frac{GIO_{t_1}}{C_{t_1} \times \Delta GIO} \sum_i \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{\ln C_{t_2} - \ln C_{t_1}} \times \ln \frac{ES_{t_2}}{ES_{t_1}} \quad (6)$$

$$DEI = \frac{GIO_{t_1}}{C_{t_1} \times \Delta GIO} \sum_i \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{\ln C_{t_2} - \ln C_{t_1}} \times \ln \frac{EI_{t_2}}{EI_{t_1}} \quad (7)$$

$$DEL = \frac{GIO_{t_1}}{C_{t_1} \times \Delta GIO} \sum_i \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{\ln C_{t_2} - \ln C_{t_1}} \times \ln \frac{EL_{t_2}}{EL_{t_1}} \quad (8)$$

$$DP = \frac{GIO_{t_1}}{C_{t_1} \times \Delta GIO} \sum_i \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{\ln C_{t_2} - \ln C_{t_1}} \times \ln \frac{P_{t_2}}{P_{t_1}} \quad (9)$$

式中,DES 为能源结构的脱钩弹性;DEI 为能源强度的脱钩弹性;DEL 为经济水平的脱钩弹性;DP 为人口的脱钩弹性。

2 结果与分析

2.1 碳排放变化趋势

由图 1 可知,江西省碳排放量由 2002 年的 6248.57×10^4 t 增长到 2016 年的 18680.47×10^4 t,年均增长率为 8.14%。碳排放量基本处于前期快速增长、中后期增长减缓的趋势,具体变化如下:2003—2004 年碳排放增速最快,增长率高达 49.72%;2004—2011 年碳排放量稳步增长,由 10060.30×10^4 t 增长到 17911.33×10^4 t,年均增长率为 8.59%;2011—2012 年碳排放量减少了 381.99×10^4 t,增长率实现负增长,这主要是因为近几年来江西省注重能源结构调整,积极推进新能源开发利用,清洁能源占比呈增长趋势,煤炭占比呈下降趋势^[37];2012—2013 年碳排放量有较大幅度增长,增长量达到 1335.82×10^4 t,增长率为 7.62%;2013—2016 年碳排放量逐年微弱减少。除 2003 年外,碳排放强度呈现前中期快速下降、后期缓慢下降的趋势,由 2002 年的

5.604 t/万元降为 2016 年的 0.552 t/万元。同时,2013 年以来碳排放总量与碳排放强度同步出现下降趋势,这也说明江西省节能减排取得一定成效,但仍需继续加强监管以实现其经济低碳发展。

2.2 碳排放时空分布特征

如图 2,3 所示,江西省能源消费碳排放存在显著的时空差异,总体呈现为西北高东南低的碳排放空间分布特征。2002 年,碳排放量最高的是九江市和新余市,碳排放类型为中型。其他 9 个城市属于轻型碳排放,其中,萍乡市、南昌市、宜春市和景德镇市等 4 个城市碳排放量较大,处于 $500\text{--}800 \times 10^4 \text{ t}$ 之间。然而,如图 3 所示,除南昌市外,这些城市的碳排放强度明显高于其他城市。鹰潭市和吉安市碳排放量较低,但其碳排放强度仍处于较高值。这是因为碳排放强度的空间特征与产

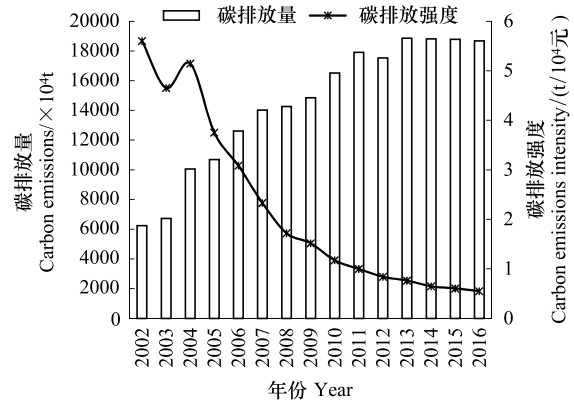


图 1 2002—2016 年江西省能源碳排放状况
Fig.1 Energy carbon emissions in Jiangxi Province from 2002 to 2016

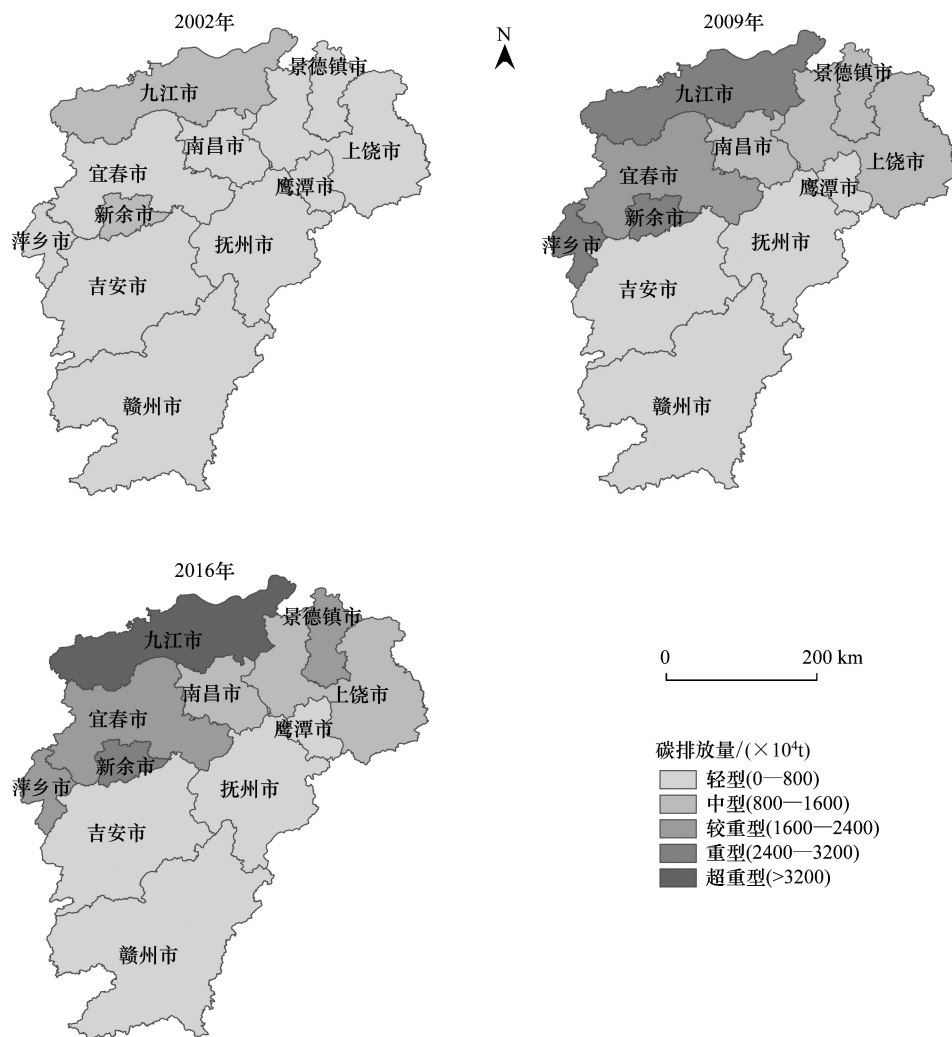


图 2 江西省碳排放量空间特征演变
Fig.2 Spatial evolution characteristics of carbon emissions in Jiangxi Province

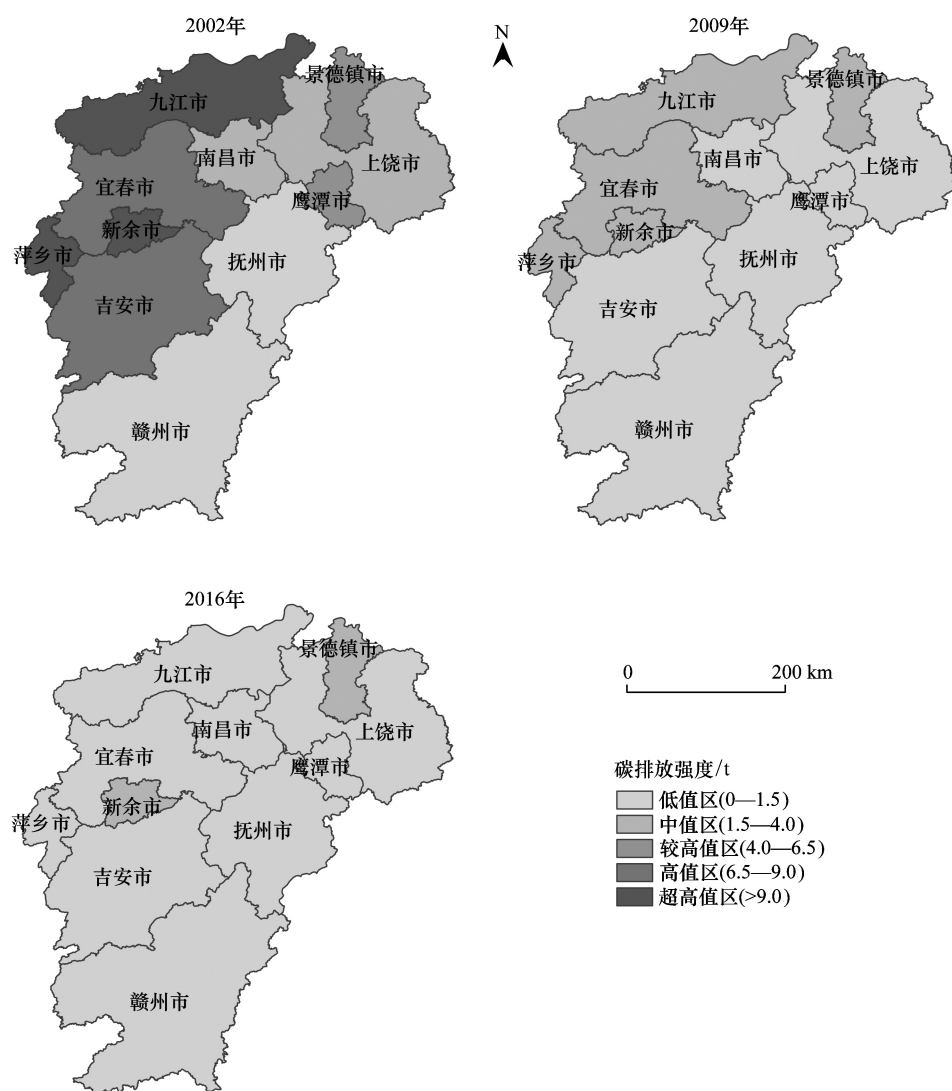


图3 江西省碳排放强度空间特征演变

Fig.3 Spatial evolution characteristics of carbon emissions intensity in Jiangxi Province

业类型分布相关,如新余市、萍乡市、九江市、鹰潭市和景德镇市为传统工业城市,经济发展依赖石油化工、煤炭和有色冶金等高耗能产业,碳排放强度相对较高。到2009年,所有城市碳排放量均有不同程度增加,九江市、新余市和萍乡市的碳排放量转变为重型,宜春市由轻型转变为较重型,这一时期碳排放量类型属于较重型及以上的城市数量由0增长到4。同时,这四个城市的碳排放强度均有大幅降低,但仍高于其他城市。这一时期江西省碳排放总量的增加与江西省各地市大力发展传统工业,过于追求GDP增长导致经济粗放发展有关,碳排放强度虽有一定下降,但碳增量与碳总量大幅增长趋势不容乐观。2016年,萍乡市碳排放量有所下降,碳排放量类型由重型转变为较重型,其他城市碳排放量均有不同程度增加。九江市碳排放量增值达到 1455.98×10^4 t,碳排放量类型由重型转为超重型,景德镇市由中型转变为较重型,其他城市碳排放量类型均没有发生改变。抚州市碳排放由2009年的 69.72×10^4 t增长到2016年的 701.15×10^4 t,增长率达到900.06%,碳排放强度也有所增长,这与其传统工业发展迅速、能源消费量增长加快有关。同时,各地市碳排放强度继续大幅下降,除景德镇市和新余市碳排放强度处于中值区外,其他城市均处于低值区,这表明江西省近年来所推动的工业供给侧改革与生产工艺改进等措施正不断推动江西经济向低碳化与高质化方向迈进。然而,各地市碳排放量的不断增长也表明江西省碳减排形势不容乐观,仍需继续降低碳排放强度(尤其景德镇市、新余市)以

进一步削减碳排放增量、控制碳排放总量。

2.3 碳排放与经济增长之间的脱钩分析

根据江西省各地市碳排放量的变化特点,将 2002—2016 年划分为 2002—2009 年和 2009—2016 年两个时段。计算江西省及其各地市两个时段的碳排放量和工业总产值的变化量,然后通过公式(2)和表 2,得到其两个时段的脱钩关系表 3。

表 3 2002—2016 年江西省碳排放与工业总产值的脱钩状况

Table 3 Decoupling situation between carbon emissions and GIO in Jiangxi Province from 2002 to 2016

地区 Region	2002—2009 年		2009—2016 年	
	脱钩弹性 Decoupling elasticity	状态 State	脱钩弹性 Decoupling elasticity	状态 State
全省	0.177	弱脱钩	0.105	弱脱钩
南昌市	0.052	弱脱钩	0.274	弱脱钩
景德镇	0.179	弱脱钩	0.741	弱脱钩
萍乡市	0.239	弱脱钩	-0.107	强脱钩
九江市	0.136	弱脱钩	0.121	弱脱钩
新余市	0.155	弱脱钩	0.075	弱脱钩
鹰潭市	0.018	弱脱钩	0.295	弱脱钩
赣州市	0.504	弱脱钩	0.018	弱脱钩
吉安市	0.047	弱脱钩	0.138	弱脱钩
宜春市	0.263	弱脱钩	0.006	弱脱钩
抚州市	0.151	弱脱钩	4.091	扩张型负脱钩
上饶市	0.440	弱脱钩	-0.001	弱脱钩

从表 3 可知,2002—2009 年和 2009—2016 年江西省经济增长与碳排放均呈现出弱脱钩状态,这说明经济增长的同时碳排放量也在增加,但是其碳排放量增长幅度小于经济增长幅度。2002—2009 年,江西省碳排放脱钩弹性为 0.177,整体脱钩弹性高于 2009—2016 年。这期间,江西省紧跟国家扩大内需和增加投资的宏观调控政策,部分高耗能企业上位,碳排放量增长较快。2009—2016 年的碳排放脱钩弹性下降到 0.105,这是因为近年来江西省响应国家号召,对一批高消耗高污染企业进行关停,同时产业结构升级、能源利用效率提升所导致的。目前,江西省碳排放总量出现停滞趋势(图 1),考虑到其仍处于欠发达阶段,工业化与城市化进程还将进一步加快,因此,江西省经济增长与能耗碳排放在长期时间将继续表现为弱脱钩,或呈现强脱钩与弱脱钩交替的脱钩状态。

在各地市中,2002—2009 年江西省所有城市均呈现弱脱钩状态。碳排放与经济增长的脱钩弹性最小的是鹰潭市(0.018),脱钩状态最为理想。脱钩弹性最大的是赣州市(0.504),脱钩状况较差。脱钩弹性在 0.4—0.8 的有赣州市和上饶市等 2 个城市,位于 0.2—0.4 的有萍乡市和宜春市等 2 个城市,位于 0.1—0.2 的有九江市、抚州市、新余市和景德镇市等 4 个城市,位于 0—0.1 的有南昌市、吉安市和鹰潭市等 3 个城市。江西省南部和北部地区脱钩状况不够理想(图 4)。

2009—2016 年,萍乡市碳排放与经济增长的脱钩状态由 2002—2009 年的弱脱钩转变为强脱钩,脱钩弹性达到-0.107,脱钩状态最为理想。这是由于萍乡市贯彻落实江西省委提出的“发展升级,小康提速,绿色崛起,实干兴赣”十六字方针,利用传统工业基础进行工业转型,逐步向产业的低碳化和现代化发展。上饶市脱钩弹性由 0.440 下降到-0.001,这是因为上饶市近年来大力发展“两光一车”等高精尖产业,同时大力发展旅游业,产业结构不断升级。景德镇市的脱钩状态虽未变化,但是其脱钩弹性由 2002—2009 年的 0.179 增加到 2009—2016 年的 0.741。这是由于景德镇市近年来大力发展例如陶瓷等传统高耗能产业,能源消耗量较大。赣州市脱钩弹性由 0.504 下降到 0.018,这是由于赣州市工业基础薄弱,近年来大力引进高新特色产业的结果。抚州市由弱脱钩转变为扩张型负脱钩,在此期间抚州市碳排放增长率达到 905.6%,工业总产值增长率达

到 221.4%, 脱钩状态极不理想。其他城市的脱钩弹性变化程度相对较小。脱钩弹性大于 1.2 的有抚州市 1 个城市, 脱钩弹性位于 0.4—0.8 的有景德镇市 1 个城市, 位于 0.2—0.4 的有南昌市和鹰潭市等 2 个城市, 位于 0.1—0.2 的有九江市和吉安市等 2 个城市, 位于 0—0.1 的有宜春市、赣州市和新余市等 3 个城市, 小于 0 的有萍乡市和上饶市等 2 个城市。由表 3 可知, 2009—2016 年, 萍乡市、上饶市、九江市、赣州市、新余市和宜春市等 6 个城市碳排放与经济脱钩关系得到不同程度改善, 南昌市、景德镇市、鹰潭市、吉安市和抚州市等 5 个城市碳排放与经济脱钩关系出现不同程度恶化。由图 4 可知, 2009—2016 年除上饶市外的东北部地区脱钩状况较差。从弹性区间的城市数量可以看出, 江西省碳排放脱钩状态在 2009—2016 年优于 2002—2009 年。

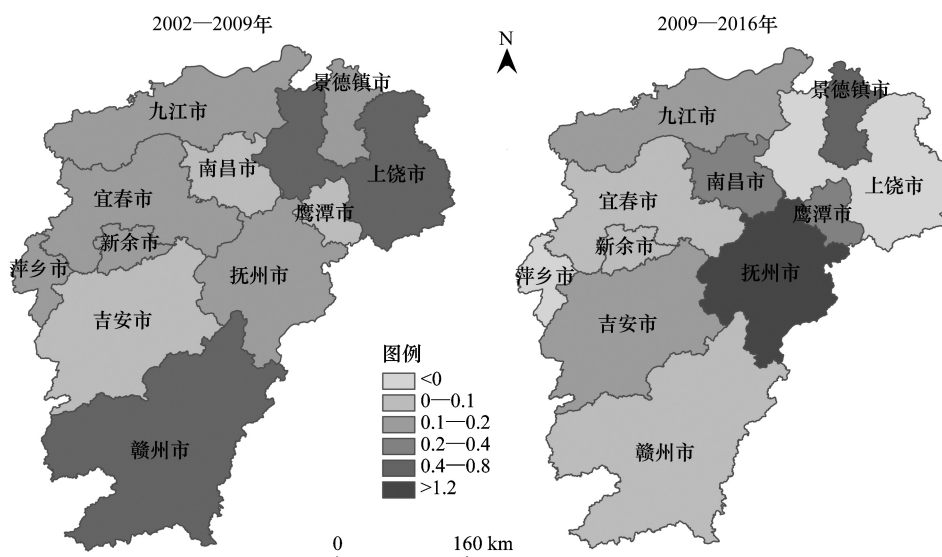


图 4 江西碳排放与工业总产值脱钩的时空特征

Fig.4 Spatial evolution characteristics of decoupling between carbon emissions and GIO in Jiangxi Province

2.4 碳排放脱钩影响因素的分解分析

利用公式(6—9)对江西省及其各地市碳排放脱钩弹性进行分解, 得到 ES 、 EI 、 EL 和 P 四个因素的碳排放脱钩弹性, 结果如表 4 所示。

表 4 2002—2016 年江西省碳排放与经济脱钩弹性因素分解

Table 4 Factors decomposition of decoupling elasticity between carbon emissions and economic development in Jiangxi Province during 2002—2016

地区 Region	2002—2009				2009—2016			
	D_{ES}	D_{EI}	D_{EL}	D_P	D_{ES}	D_{EI}	D_{EL}	D_P
江西省	0.005	-0.329	0.377	0.125	-0.004	-0.481	0.475	0.115
南昌市	-0.012	-0.494	0.520	0.038	-0.007	-0.560	0.311	0.529
景德镇	-0.004	-0.500	0.597	0.086	0.009	-0.147	0.747	0.133
萍乡市	0.005	-0.321	0.495	0.060	0.004	-0.758	0.545	0.102
九江市	0.010	-0.328	0.345	0.109	-0.002	-0.308	0.348	0.083
新余市	0.002	-0.223	0.322	0.055	-0.003	-0.705	0.878	-0.094
鹰潭市	-0.001	-0.304	0.234	0.088	0.015	-0.408	0.523	0.164
赣州市	0.001	-0.013	0.343	0.172	-0.002	-0.440	0.376	0.084
吉安市	0.001	-0.238	0.209	0.075	0.0003	-0.571	0.562	0.146
宜春市	0.002	-0.382	0.521	0.122	-0.001	-0.465	0.396	0.076
抚州市	0.002	-0.507	0.619	0.038	0.014	3.268	0.753	0.057
上饶市	-0.0003	-0.201	0.349	0.292	-0.002	-0.484	0.459	0.025

D_{ES} : 能源结构的脱钩弹性, Decoupling elasticity of energy structure; D_{EI} : 能源强度的脱钩弹性, Decoupling elasticity of energy intensity; D_{EL} : 经济水平的脱钩弹性, Decoupling elasticity of economic level; D_P : 人口的脱钩弹性, Decoupling elasticity of population

2.4.1 能源结构对碳排放脱钩的影响

由表 4 可知,能源结构对江西省碳排放脱钩在两个阶段有着相反的驱动作用。2002—2009 年,江西省能源结构脱钩弹性为 0.005,不利于碳排放的脱钩。在各地市中,南昌市、景德镇市、鹰潭市和上饶市的能源结构对经济增长与碳排放脱钩有着微弱的促进作用,其他城市为抑制作用。这是因为这一时期大多数城市产业结构尚未得到明显改善,传统高耗能产业仍是地区经济发展的主力军,对于煤炭等高碳能源的使用比例较大^[43]。2009—2016 年,江西省能源结构脱钩弹性为-0.004,有利于碳排放的脱钩。景德镇市、吉安市、抚州市、鹰潭市和萍乡市的能源结构对经济增长与碳排放脱钩有抑制作用,其余城市均为促进作用。其中九江市、新余市、赣州市和宜春市由抑制作用转变为促进作用,这是因为这些地区致力于产业供给侧改革,对于碳排放系数大的例如焦炭等高碳能源的使用比例减少。景德镇市和鹰潭市的能源结构对碳排放脱钩由促进作用转变为抑制作用,吉安市和抚州市在两个时段均为抑制作用,南昌市均为促进作用且程度减弱。当前,能源结构对碳排放脱钩贡献较小,这也间接说明能源结构对促进江西省碳排放脱钩具有很大的潜力。但是,由于中国以煤为主的能源禀赋,现阶段很难大幅度减少高碳能源的利用和增加低碳能源的使用^[50]。因此,各地区应继续优化能源利用结构,大力发展清洁能源。

2.4.2 能源强度对碳排放脱钩的影响

能源强度是促进江西省碳排放脱钩的最主要因素(表 4),脱钩弹性由 2002—2009 年的-0.329 降低到 2009—2016 年的-0.481,对各地市的碳排放脱钩也均为促进作用。这也说明近年来江西省传统工业逐渐转型,不断向低耗能、高水平迈进,能源消费逐渐走向高效集约化^[38]。2002—2009 年,能源强度碳排放脱钩弹性绝对值最大的是抚州市(-0.507),其次是景德镇市(-0.500)、南昌市(-0.494)、宜春市(-0.382)和鹰潭市(-0.304),接下来依次为九江市、萍乡市、吉安市、新余市和上饶市。这是由于上述城市积极响应政府的号召,关停了生产设备不符合标准的高污染高耗能企业,同时加强能源利用效率,实施了一系列工业转型措施的有利结果^[40]。赣州市能源强度脱钩弹性仅为-0.013,对碳排放脱钩影响作用较小。2009—2016 年,抚州市能源强度对碳排放脱钩由 2002—2009 年的促进作用转为此阶段的抑制作用,这是由于其逐步发展传统工业,第三产业及新兴产业比例较低,忽视了能源利用的高效化与集约化。其余城市均为促进作用。能源强度脱钩弹性绝对值最大的是萍乡市(-0.758),其对萍乡市碳排放脱钩具有极大的促进作用,这是因为其工业产业布局不断优化,产业推进机制进一步完善,全市工业经济质量和效益有效提升,能源强度从而明显下降。其次为新余市(-0.705)、吉安市(-0.571)、南昌市(-0.560)和上饶市(-0.484),能源强度对碳排放脱钩有着较大的促进作用。之后依次为宜春市、赣州市、九江市和鹰潭市。作为江西省的老工业基地,能源强度对景德镇市的碳排放脱钩抑制作用较为微弱,仍需加快工业经济结构调整与转型升级,降低其能源强度以促进碳排放脱钩。

2.4.3 经济水平对碳排放脱钩的影响

经济水平对江西省及其各地市碳排放脱钩具有主要抑制作用(表 4)。2002—2009 年,江西省经济水平脱钩弹性为 0.377,其对各地市碳排放脱钩也均为主要抑制作用。其中,抚州市(0.619)脱钩弹性最大,经济水平对其碳排放脱钩有着最大的抑制作用,这是因为其大力发展工业以及推动重大基础设施项目建设,工业经济迅速增长的同时忽视了产业的绿色发展^[42]。景德镇市(0.597)、宜春市(0.521)、南昌市(0.520)和萍乡市(0.495)经济水平的脱钩弹性较大,对碳排放脱钩有着较为明显的抑制作用。经济水平在上饶市、九江市、赣州市和新余市的脱钩弹性位于 0.3—0.4,在鹰潭市和吉安市的脱钩弹性位于 0.2—0.3,对碳排放脱钩的抑制作用较小。在这一阶段,江西省追求经济高速发展,部分地区成为了沿海城市产业转移的承接地,外延式和粗放式经济发展模式消耗了大量的化石能源,从而对碳排放脱钩具有较大的抑制作用^[43]。2009—2016 年,江西省经济水平的脱钩弹性达到 0.475,高于 2002—2009 年。这是由于这一阶段江西省工业发展依旧迅猛,工业总产值的增量远大于 2002—2009 年,工业规模的不断扩大带来了大量的能源消费,促使能源消费碳排放量的增长呈加速态势。同时,各地市经济水平对碳排放脱钩均为抑制作用。其中新余市(0.878)经济水平的脱钩弹性最大,这是因为钢铁等高耗能产业一直是新余市经济的主导产业,工业经济发展的同时也产生了大量碳

排放。抚州市(0.753)和景德镇市(0.747)经济水平的脱钩弹性较大,对其碳排放脱钩的抑制作用较强,接着依次为吉安市、萍乡市、上饶市、宜春市、九江市和南昌市。2002—2016年江西省工业总产值一直处于高速增长阶段,其工业的快速发展导致能源消耗量持续增长,从而对其碳排放脱钩产生主要的抑制作用。

2.4.4 人口对碳排放脱钩的影响

人口对江西省碳排放脱钩具有较小的抑制作用(表4),这是由于其工业规模扩大、城市化进程加快导致第二产业就业人口增长。2002—2009年,江西省人口的脱钩弹性为0.125。人口对各地市碳排放脱钩均有微弱的抑制作用。上饶市(0.292)人口的脱钩弹性最大,其次为赣州市(0.172)、宜春市(0.122)和九江市(0.109),其余城市的脱钩弹性均小于0.1。2009—2016年,江西省人口的脱钩弹性为0.115。新余市人口对碳排放脱钩由2002—2009年的抑制作用转变为2009—2016年的促进作用,这也与近年来新余市第二产业转型升级导致的就业人口增长乏力有关。南昌市(0.529)是人口脱钩弹性最大的城市,其次为鹰潭市(0.164)、景德镇市(0.133)、吉安市(0.146)和萍乡市(0.102),其他城市人口的脱钩弹性均小于0.01。

3 结论与讨论

目前关于能源消费碳排放与经济发展关系的研究主要集中在国家、区域和省域3个尺度,深入到市域尺度探讨碳排放与经济增长关系的研究较少。因此,本文从省域和市域两种尺度出发,通过IPCC碳核算方法、Tapio脱钩模型及LMDI分解方法,实证分析了江西省能源消耗碳排放时空特征、与经济发展之间的脱钩关系及其影响因素。本文主要结论如下:

(1)江西省碳排放总量基本处于前期快速增长、中后期增长减缓的趋势。碳排放总量由2002年的 6248.57×10^4 t增加到2016年的 18680.47×10^4 t,年均增长率为8.14%。江西省能源消费碳排放量与碳排放强度存在显著的时空差异,碳排放量在九江市、新余市、宜春市和萍乡市较大,碳排放强度在新余市、景德镇市和萍乡市较大,总体呈现为西北高东南低的碳排放空间分布特征。随着能源消费碳排放量的不断增长,碳排放强度不断由5.604 t/万元降低为0.552 t/万元。

(2)2002—2009年,江西省碳排放脱钩弹性为0.177。各地市脱钩状态均为弱脱钩,赣州市和上饶市脱钩弹性较大,分别为0.504和0.440。其他城市脱钩弹性均处于0—0.3之间。江西省南部和北部地区脱钩状态不够理想。2009—2016年,江西省碳排放脱钩弹性下降到0.105,萍乡市和上饶市脱钩状态转变为强脱钩,脱钩状态最为理想。抚州市由弱脱钩转变为扩张型负脱钩。景德镇市脱钩弹性由上一阶段的0.179增长到0.741。这一阶段除上饶市以外的东北部地区脱钩状况较差。

(3)能源强度在江西省两个阶段的脱钩弹性分别为-0.329和-0.481,是影响江西省及其各地市碳排放脱钩的最主要促进因素。除2009—2016年的抚州市外,能源强度对其他城市的碳排放脱钩均为主要的促进作用。经济水平在江西省两个阶段的脱钩弹性分别为0.377和0.475,对江西省及其各地市的碳排放脱钩具有主要的抑制作用。人口对江西省碳排放脱钩具有微弱的抑制作用。能源结构在2002—2009年对江西省碳排放脱钩有微弱的抑制作用,在2009—2016年有微弱的促进作用,其对各地市的驱动方向有所不同,对促进江西省及其各地市的碳排放脱钩具有较大的潜力。

基于以上结论并结合江西省现阶段社会经济发展状况和资源禀赋状况提出以下几点建议:①加强区域交流合作,实现绿色协同发展。重视碳排放的空间相互作用,加强江西省西北地区与东南地区城市低碳发展的交流合作,构建统一规划、产业协作和技术共享的共同治理模式。②改善能源结构,减少煤炭等高碳能源的使用比例。江西省能源消费依然以煤炭为主,鹰潭、景德镇和萍乡等传统工业城市的能源结构有恶化趋势。应大力发展清洁能源与清洁技术,提高风、电、核能等清洁能源的使用比例,从源头上抑制碳排放增长过快。③关注产业技术升级,提高能源利用效率。优先提高九江、景德镇和鹰潭等工业城市高耗能产业的能源利用效率,加强与发达地区的技术交流与合作,引进、吸收先进的高能效技术、节能技术与可再生能源技术以降低能源强度,促进江西省低碳技术的发展。④实施产业转型升级战略,尤其推动新余、九江和萍乡等传统工业城市

转型升级。江西要实现经济增长与碳排放脱钩,关键在于实现产业结构的低碳化发展。要以高端化、集约化和特色化为导向,以掌握核心技术为关键,加快战略性新兴产业和先进制造业发展,着力构建科技含量高、资源消耗低、环境污染少的绿色产业体系。

不足与展望:由于江西省各地市的某些社会经济数据以及分产业分部门的能源数据缺乏,本文不能更深入探讨其他因素及分部门经济发展与碳排放的脱钩关系等内容。因此,将来可通过更广泛的调查或利用大数据的机器学习及深度挖掘等技术,来获取更多、更细致的数据完善本研究,进而可从微观经济方面或城市土地利用变化等多方面探讨影响各地市碳排放脱钩的驱动因素,更深入探讨省内各地市之间碳排放的内在联系等,提出更科学合理且因地制宜的碳减排政策。

参考文献 (References):

- [1] 刘玉珂, 金声甜. 中部六省能源消费碳排放时空演变特征及影响因素. *经济地理*, 2019, 39(1): 182-191.
- [2] 刘博文, 张贤, 杨琳. 基于 LMDI 的区域产业碳排放脱钩努力研究. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(4): 78-86.
- [3] IPCC. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. [2019-05-26]. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- [4] 强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献. 新华社. (2015-06-30) [2019-06-23]. http://www.gov.cn/xinwen/2015-06/30/content_2887330.htm.
- [5] Wang W W, Li M, Zhang M. Study on the changes of the decoupling indicator between energy-related CO₂ emission and GDP in China. *Energy*, 2017, 128: 11-18.
- [6] Lin B Q, Liu K. Using LMDI to analyze the decoupling of carbon dioxide emissions from china's heavy industry. *Sustainability*, 2017, 9(7): 1198.
- [7] Ren S G, Yin H Y, Chen X H. Using LMDI to analyze the decoupling of carbon dioxide emissions by China's manufacturing industry. *Environmental Development*, 2014, 9: 61-75.
- [8] Song Y, Sun J J, Zhang M, Su B. Using the Tapio-Z decoupling model to evaluate the decoupling status of China's CO₂ emissions at provincial level and its dynamic trend. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2020, 52: 120-129.
- [9] OECD. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressures from Economic Growth. Paris: OECD, 2002.
- [10] Zhang Z X. Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: an economic analysis and policy implications. *World Development*, 2000, 28(4): 739-752.
- [11] de Freitas L C, Kaneko S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*, 2011, 70(8): 1459-1469.
- [12] Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 2005, 12(2): 137-151.
- [13] 刘汉初, 樊杰, 曾瑜哲, 郭锐. 中国高耗能产业碳排放强度的时空差异及其影响因素. *生态学报*, 2019, 39(22): 8357-8369.
- [14] 万文玉, 赵雪雁, 王伟军, 薛冰. 我国农村居民生活能源碳排放的时空特征分析. *生态学报*, 2017, 37(19): 6390-6401.
- [15] Zhang W, Li K, Zhou D Q, Zhang W R, Gao H. Decomposition of intensity of energy-related CO₂ emission in Chinese provinces using the LMDI method. *Energy Policy*, 2016, 92: 369-381.
- [16] Zhang Y J, Da Y B. The decomposition of energy-related carbon emission and its decoupling with economic growth in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 41: 1255-1266.
- [17] 邓吉祥, 刘晓, 王铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解. *自然资源学报*, 2014, 29(2): 189-200.
- [18] 仲云云, 仲伟周. 我国碳排放的区域差异及驱动因素分析——基于脱钩和三层完全分解模型的实证研究. *财经研究*, 2012, 38(2): 123-133.
- [19] Song Y, Zhang M. Using a new decoupling indicator (ZM decoupling indicator) to study the relationship between the economic growth and energy consumption in China. *Natural Hazards*, 2017, 88(2): 1013-1022.
- [20] Wang Q, Jiang R. Is China's economic growth decoupled from carbon emissions? *Journal of Cleaner Production*, 2019, 225: 1194-1208.
- [21] 彭佳雯, 黄贤金, 钟太洋, 赵雲泰. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究. *资源科学*, 2011, 33(4): 626-633.
- [22] 孙耀华, 李忠民. 中国各省区经济发展与碳排放脱钩关系研究. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(5): 87-92.
- [23] 冯博, 王雪青. 中国各省建筑业碳排放脱钩及影响因素研究. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(4): 28-34.
- [24] Zhou X, Zhang M, Zhou M H, Zhou M. A comparative study on decoupling relationship and influence factors between China's regional economic development and industrial energy-related carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 783-800.
- [25] 李健, 王尧, 王颖. 京津冀区域经济发展与资源环境的脱钩状态及驱动因素. *经济地理*, 2019, 39(4): 43-49.

- [26] 宁亚东, 章博雅, 丁涛. 长江经济带碳排放脱钩状态及其驱动因素研究. 大连理工大学学报, 2017, 57(5): 459-466.
- [27] 曹广喜, 刘禹乔, 周洋, 周静宜. 中国制造业发展与碳排放脱钩的空间计量研究——四大经济区分析. 科技管理研究, 2015, 35(21): 224-228.
- [28] 武红, 谷树忠, 周洪, 王兴杰, 董德坤, 胡咏君. 河北省能源消费、碳排放与经济增长的关系. 资源科学, 2011, 33(10): 1897-1905.
- [29] 盖美, 曹桂艳, 田成诗, 柯丽娜. 辽宁沿海经济带能源消费碳排放与区域经济增长脱钩分析. 资源科学, 2014, 36(6): 1267-1277.
- [30] 张新林, 王强, 王长建, 鲁建荣. 新疆 1990-2010 年能源消费碳排放脱钩及其驱动因素分析. 资源与产业, 2014, 16(2): 76-82.
- [31] Zhang M, Bai C Y, Zhou M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling relationship between coal consumption and economic growth in China. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 129: 454-462.
- [32] Song Y, Zhang M, Zhou M. Study on the decoupling relationship between CO₂ emissions and economic development based on two-dimensional decoupling theory: a case between China and the United States. Ecological Indicators, 2019, 102: 230-236.
- [33] Zhang M, Song Y, Su B, Sun X M. Decomposing the decoupling indicator between the economic growth and energy consumption in China. Energy Efficiency, 2015, 8(6): 1231-1239.
- [34] Zhao X R, Zhang X, Li N, Shao S, Geng Y. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: a sectoral factor decomposition analysis. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 3500-3516.
- [35] 马晓君, 陈瑞敏, 董碧滢, 牛雪琪. 中国工业碳排放的因素分解与脱钩效应. 中国环境科学, 2019, 39(8): 3549-3557.
- [36] Wang Z H, Yang L. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case. Ecological Indicators, 2015, 48: 41-48.
- [37] 杨锦琦. 江西低碳经济发展水平分析及提升策略. 企业经济, 2017, 36(10): 141-145.
- [38] 杨锦琦. 江西能源消费、碳排放与低碳经济发展研究. 企业经济, 2014, 33(10): 36-39.
- [39] Jia J S, Gong Z H, Xie D M, Chen J H, Chen C D. Analysis of drivers and policy implications of carbon dioxide emissions of industrial energy consumption in an underdeveloped city: the case of Nanchang, China. Journal of Cleaner Production, 2018, 183: 843-857.
- [40] 殷乾亮. 江西能源消费碳排放分解研究. 江西社会科学, 2012, 32(6): 71-74.
- [41] 门丹, 黄雄. 江西省碳排放影响因素研究——基于 LMDI 分解法. 生态经济, 2019, 35(5): 31-35.
- [42] Jia J S, Jian H Y, Xie D M, Gu Z Y, Chen C D. Multi-scale decomposition of energy-related industrial carbon emission by an extended logarithmic mean Divisia index: a case study of Jiangxi, China. Energy Efficiency, 2019, 12(8): 2161-2186.
- [43] 刘堂发, 郭炳南. 江西省经济增长与能源碳排放脱钩关系的实证分析. 科技管理研究, 2015, 35(13): 225-228, 233-233.
- [44] The World Bank. World Bank Analytical Classifications. [2019-05-26]. <https://databank.worldbank.org/data/download/site-content/OGHIST.xls>.
- [45] 刘贤赵, 高长春, 宋炎, 张勇, 宿庆, 田艳林. 湖南省域化石能源消费碳排放时空格局及驱动因素. 生态学报, 2017, 37(7): 2476-2487.
- [46] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.
- [47] Ma M D, Cai W G. Do commercial building sector-derived carbon emissions decouple from the economic growth in Tertiary Industry? A case study of four municipalities in China. Science of the Total Environment, 2019, 650: 822-834.
- [48] Xu S C, He X Z, Long R Y. Factors that influence carbon emissions due to energy consumption in China: decomposition analysis using LMDI. Applied Energy, 2014, 127: 182-193.
- [49] 苏王新, 孙然好. 中国典型城市群城镇化碳排放驱动因子. 生态学报, 2018, 38(6): 1975-1983.
- [50] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究. 经济研究, 2010, 45(2): 123-136.