

引用格式:方叶兵,王礼茂,牟初夫,等. 中国石油终端利用碳排放空间分异及影响因素[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2233-2246. [Fang Y B, Wang L M, Mou C F, et al. Determinants of spatial disparities of petroleum terminal utilization carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2233-2246.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.03

中国石油终端利用碳排放空间分异及影响因素

方叶兵^{1,2,3}, 王礼茂^{1,2}, 牟初夫^{1,2}, 张宏⁴, 屈秋实^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;

3. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241003;

4. 解放军信息工程大学地理空间信息学院, 郑州 450001)

摘要: 中国是世界第二大石油消费国, 而石油消费又是中国第二大碳排放源, 石油终端利用碳排放存在一定的区域差异。本文按中国东、中、西部三大地带划分来探讨石油终端利用碳排放的空间分异及其主导影响因素, 对因地制宜制定和引导区域碳减排政策具有重要意义。论文运用变异系数和地理探测器方法, 分析2015年中国东、中、西部三大地带的空间分异, 并探测了其主导因素和地域类型, 再根据探测因子与碳排放耦合程度判断不同类型下的典型省份。研究表明: ①2015年, 中国石油终端CO₂排放量呈现东多西少的空间格局, 石油终端CO₂排放强度呈现西高东低的空间格局; ②石油终端CO₂排放量在全国层面和三大地带层面的变异系数都要显著高于石油终端CO₂排放强度。在三大地域, 石油终端CO₂排放量和排放强度均表现为东部地带分异性最强、中部地带最小的基本格局; ③全国尺度上, 影响石油终端CO₂排放量区域分异的主导因素为柴油消费比、人口规模和人均GDP; 影响CO₂排放强度区域分异的主导因素为工业占GDP比重、交通运输业石油消费强度和汽油消费比; ④主导碳排放的地域类型可以归纳为能源结构指向型、能源强度指向型、产业结构指向型、经济发展水平指向型和人口规模指向型等5种地域类型; ⑤研究表明, 中国石油终端利用CO₂排放量和排放强度并没有完全按照三大地带呈现明显的地带性特征, 减排政策需要因地制宜, 具有针对性。

关键词: 石油终端利用; 碳排放; 空间分异; 主导因素; 地理探测器; 中国

DOI: 10.18402/resci.2017.12.03

1 引言

中国正处于能源消费增速换挡期、能源结构优化期、能源体制改革攻坚期“三期”叠加的关键期。随着经济进入新常态, 中国的碳排放也将进入中低速增长期, 但面临着国内外能源发展环境的不确定性, 中国以煤炭为主的能源消费结构对碳减排压力依然较大。作为世界第二大石油消费国和第二大经济体, 中国近些年来石油消费和进口依存度逐年攀升。中国2020—2030年将达到人均碳排放峰值(2.01~2.68)t/人, 届时中国碳排放的压力将进一步

增大^[1]。随着中国对煤炭消费的管控, 煤炭消费排放的CO₂将在2018—2019年期间达峰, 而石油和天然气消费排放的CO₂依然呈增长态势^[2]。有研究表明发达国家人均GDP在13 000~15 000美元时达到峰值, 大部分发达国家人均石油消费顶点为(1~2)t油当量^[3]。石油终端利用是石油消费产生碳排放的最重要环节, 其终端消费量是石油作为能源用途的消费总量减去石油加工、转换和储运三个中间环节的损失和石油工业所用能源后的消费量^[4]。石油作为中国化石能源消费的重要油品, 随着煤炭

收稿日期: 2017-09-07; 修订日期: 2017-11-25

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJCZH037)。

作者简介: 方叶兵, 男, 安徽芜湖人, 副教授, 主要研究领域为资源经济和能源地缘政治。E-mail: fyb11@sina.com

通讯作者: 王礼茂, E-mail: lmwang@igsnr.ac.cn

消费的进一步控制,石油终端消费及其CO₂排放的比重将在未来一段时期内在中国占据相当重要的地位。因此,加强对石油终端消费CO₂排放研究,对减排政策能源结构分类指导具有重要意义。

学界对中国碳排放问题的研究已从不同视角展开,如从经济要素,研究城市化对碳排放的影响^[5]、经济发展与碳排放的关系^[6]、居民出行行为对碳排放空间格局的影响^[7]、航运^[8]、能源行业的碳排放^[9]等;从结构要素,包括人口结构^[10]、产业结构^[11]、土地利用结构^[12]、城乡结构等;从不同空间尺度,如全国尺度^[13]、跨省区域^[9]、省域^[14]、县域^[15]等进行了大量研究。在研究方法上,采用LMDI指数^[16]、STIRPAT模型^[17]、IO-SDA模型^[18]等结构分解、CGE模型^[19]等方法都为识别碳排放驱动因素做了大量有益的尝试,还有学者采用探索性空间数据分析ESDA^[20]、时空耦合(Exploratory Time-space Data Analysis, ESTDA)等方法丰富了对碳排放区域差异研究方法^[6]。围绕人均碳排放量、碳排放总量^[21]、碳排放强度^[22]等重要指标在区域分异^[9,16]、影响机理^[18]、驱动因素^[16]、峰值预测^[17,23]取得了丰硕成果。作为减排目标的重要约束型指标,碳排放总量和碳排放强度成为学界研究主题,然而在具体碳排放区域类型方面仍没有确定性的结论。此外,学界将碳排放研究具体深入到农业^[24]、工业^[25]、交通运输^[8]、旅游业^[14]、居民消费、住宿业^[26]、服务业^[27]等具体行业进行研究,并取得了重要成果。

中国的碳排放量的区域研究多集中于产业部门,然而对不同种类能源的碳排放区域差异的关注相对较少,尤其较少从石油终端消费的不同石油种类进行研究。近年来,虽然也有学者注意到石油终端利用碳排放的区域差异^[4],但仅考虑碳排放强度而缺少对碳排放量的考虑,且影响因素也仅考虑到产业结构、人均生产总值、赋存与加工能力,而对区域内部的油品使用结构、能源消费强度、人口规模、城市化水平等影响因素考虑欠缺。实际上,已有研究表明碳排放区域差异需要从人口规模、经济发展、能源强度、能源结构、产业结构等^[16]方面考虑。此外,另有研究表明经济发展水平、城市化水平和能源结构可以解释70%左右地区的CO₂排放强度差异^[13]。进一步通过数据整理发现,不同种类能源在

不同行业的消费量相差较大,即便同一种类能源在不同区域消费更是相差较大。因此,基于不同化石能源消费及其碳排放量存在较大不同,有必要对石油终端利用的不同油品进行考虑,探讨不同行业、不同油品种类及其结构对碳排放量和碳排放强度的影响。

综上所述,碳排放总量与碳排放强度作为碳减排重要约束性指标,需要将上述因素进行全面考虑,并将两项重要约束型指标进行结合,诊断石油终端碳排放分异的主导因素,揭示区域分异特征及其动力机制,划分不同碳排放区域类型,为区域提供不同因素影响下的碳减排政策。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

本文主要采用变异系数、自然断点法和地理探测器等研究方法。利用变异系数测度全国、三大地带终端石油CO₂排放量和CO₂排放强度的区域差异状况(图1);利用自然断点法将(结构、效益、规模等三个维度)能源结构、能源强度、产业结构、经济发展和人口规模等要素划分为3级,对各影响因子进行分层;基于省级数据,地理探测器用于提取全国层面石油终端利用CO₂排放量和排放强度分异的主导因素,并对三大区域的主导因素分析进行进一步区分,阐述其作用机制。根据三大地带的决定力大小将30个省划分五种碳排放地域类型。通过碳排放与主导因素的完全耦合程度,发现三大地带中各主导因素影响下的典型省份。最后根据象限图所划分的区域类型,对不同省份的石油终端CO₂排放量和CO₂排放强度提出优先减排和针对性的区域碳减排政策。

(1)碳排放总量计算。根据各年份柴油、煤油、汽油、燃料油等四种油品的实物消费量与其相对应的单位实物量CO₂排放系数乘积加总求和,得出各地带相应的CO₂排放量。公式如下:

$$C_j = \sum_{i=1}^4 E_{ij} \times \delta_i \quad (i=1,2,3,4) \quad (1)$$

式中 C_j 为第 j 省区的碳排放总量; i 为四种油品的某一类; E_{ij} 为第 j 省区在某个时期对第 i 种油品的实物消费数量; δ_i 为第 i 种油品的单位实物量CO₂

2017年12月

排放系数(表1)。

(2)变异系数分析法。在城镇化、经济、人口等地理数据的时空动态差异的测度研究中得到广泛应用,其优点是可以消除单位和平均数不同对结果的影响。本文运用变异系数 CV 测度各省终端石油 CO_2 排放增长率的区域差异状况及其程度:

$$CV_a = \frac{S_a}{\bar{X}_a} \times 100\% = \frac{1}{\bar{X}_a} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ai} - \bar{X}_a)^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中 CV_a 为 a 区石油终端 CO_2 排放的变异系数; S_a 为 a 区石油终端 CO_2 排放的标准差的无偏估计; \bar{X}_a 为 a 区石油终端 CO_2 排放的均值; X_{ai} 为 a 区第 i 个省域终端石油 CO_2 排放值; n 为 a 区排放省份的个数。

表1 各油品单位实物量 CO_2 排放系数

Table 1 Carbon dioxide emission in unit quantity of different petroleum products carbon dioxide emission factor

石油终端油品	柴油	煤油	汽油	燃料油
单位实物量 CO_2 排放系数/($kgCO_2/kg$)	3.096	3.018	2.925	3.171

注: CO_2 排放系数及其计算过程来源于文献[4]。

(3)自然断点法。根据数据的分布规律,采用统计公式确定数据属性值的自然分组和聚类,该方法可有效增加组间的平均离散方差、减少组内的平均离散方差。

(4)地理探测器方法。由王劲峰等在疾病风险的探测中提出^[28]。近年来,作为一种探测某种要素空间格局成因和机理的重要方法被逐渐广泛应用于社会、经济、自然等相关问题的研究中^[29-31]。其优点是不需要接受同方差性和正态性等较多假设条件的制约,可以用其中的因子探测模块检测某种地理因素是否是形成某个指标值空间分异差异的原因,即比较该指标在不同类别分区上的总方差与该指标在整个研究区域上的总方差^[32]。其方法优点在于可较好表征同一区域内的相似性,不同区域间的差异性,该模型主要基于统计学原理的空间方差分析,通过分析层内方差与层间方差的异同来定量表达研究对象的空间分层一致性^[28]。 q 越大,说明影响因子对区域内的区分影响越大,相同区域内空间同质性越强,不同区域间空间异质性越强^[33]。

$$P_{f,c} = 1 - \frac{1}{n\sigma_c^2} \sum_{i=1}^m n_{f,i} n \sigma_{c_{f,i}}^2 \quad (3)$$

式中 f 为探测因子; C 为终端石油利用 CO_2 排放指标; $P_{f,c}$ 为探测因子 f 对 C 的解释力; m 为次级区域的个数; n 为一级区域内石油终端利用 CO_2 排放的个数; σ_c^2 为一级区域石油终端利用 CO_2 排放的方差; $\sigma_{c_{f,i}}^2$ 为次级区域石油终端利用 CO_2 排放的方差;公式可参照文献[33]。 $P_{f,c}$ 取值范围为[0,1],数值越大则表明该因子对终端石油利用碳排放量的影响程度越大。

2.2 指标选取和数据来源

学界对碳排放的影响因素主要归结为能源结构、能源强度、产业结构、经济产出和人口规模。因此,本文遵照已有文献研究成果和数据可获得性原则,遴选出13个因子,如表2所示,旨在从石油消费结构、石油消费强度、产业结构、经济产出和人口规模因素的共同作用影响下,探测石油终端利用碳排放增长的地域分异机制。进行变异系数和地理探测器分析时,数据均取对数处理。采用自然断点法进行区域量化分级得分,从低分到高分在1~3范围内取值。

本文以30个省域为研究基本地理单元,2个行业和4个终端油类(汽油、煤油、柴油和燃料油)为研究对象。由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾、澳门和西藏。两个行业主要为工业和交通运输业,由于农林牧渔业在石油终端消费量相对较小而未考虑,其中“交通运输业”数据来源为交通运输、仓储和邮政业。由于石脑油、润滑油、溶剂油等其他品种消费量较少,煤焦油和渣油由于数据不详和数量较少,因此石油终端消费量在计算中只包括柴油、煤油、汽油和燃料油消费量。人口、行业产值、GDP等社会经济数据均来源于国家统计局数据(<http://data.stata.gov.cn/>)。4类油品及终端石油消费数据均来源于《中国能源统计年鉴》^[34]。省级行政边界矢量数据下载于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。

3 结果及分析

3.1 石油终端利用碳排放地域差异

整体看,石油终端 CO_2 排放量空间与 CO_2 排放

表2 石油终端利用CO₂排放探测因子体系

Table 2 The spatial influencing factors of carbon emissions of the terminal petroleum use

影响因素	探测因子	指标解释
能源结构	汽油消费比 (f_1)	汽油终端消费量与石油终端消费量的比值/%
	煤油消费比 (f_2)	煤油终端消费量与石油终端消费量的比值/%
	柴油消费比 (f_3)	柴油消费量与油类消费量的比值/%
	燃料油消费比 (f_4)	燃料油消费量与油类消费量的比值/%
能源强度	农业石油消费强度 (f_5)	农林牧渔业油类消费量与产值的比值/(t/万元)
	工业石油消费强度 (f_6)	工业油类消费量与产值的比值/(t/万元)
	交通运输业石油消费强度 (f_7)	交通运输仓储和邮政业油类消费量与产值的比值(t/万元)
产业结构	农业占GDP比重 (f_8)	农林牧渔业产值占GDP比重/%
	工业占GDP比重 (f_9)	工业产值占GDP比重/%
	交通运输业占GDP比重 (f_{10})	交通运输仓储邮政业产值占GDP比重/%
经济产出	人均GDP (f_{11})	人均国内生产总值/(万元/人)
人口规模	人口规模 (f_{12})	人口规模/万人
	城市化率 (f_{13})	城镇人口占总人口比重/%

强度空间分布基本不一致(图1)。

对2015年30省CO₂排放量数据取对数,采用自然断点法将其分为三类。从石油终端CO₂排放量的空间分布看,中国石油终端利用CO₂排放量的空间分异基本呈东高西低、东多西少的分布特征(图1a)。2015年全国石油终端利用高碳排放量的主要省份为:东部地带的辽宁、山东、江苏、浙江和广东等5个省,中部地带的河南和湖北等2个省,西部地带的四川省。

同理,对CO₂排放强度数据取对数后进行自然断点分类。从石油终端CO₂排放强度空间分布看,

总体呈西高东低,西多东少的分布格局(图1b)。2015年全国石油终端利用高碳排放强度的主要省份为西部地带的新疆、甘肃、宁夏、青海、四川、贵州和云南等7个省,东部地带的上海、山东、辽宁和海南等4个省,中部地带的有黑龙江省。总体看,低碳排放强度主要集中于东部省份。

从变异系数分析结果看,2015年,从全国层面看,石油终端CO₂排放量变异系数(0.80)要高于CO₂排放强度变异系数(0.29),这表明CO₂排放量区域差异较大,远高于CO₂排放强度的区域差异(图2)。从区域层面看,东、中、西三大地带的CO₂排放量变

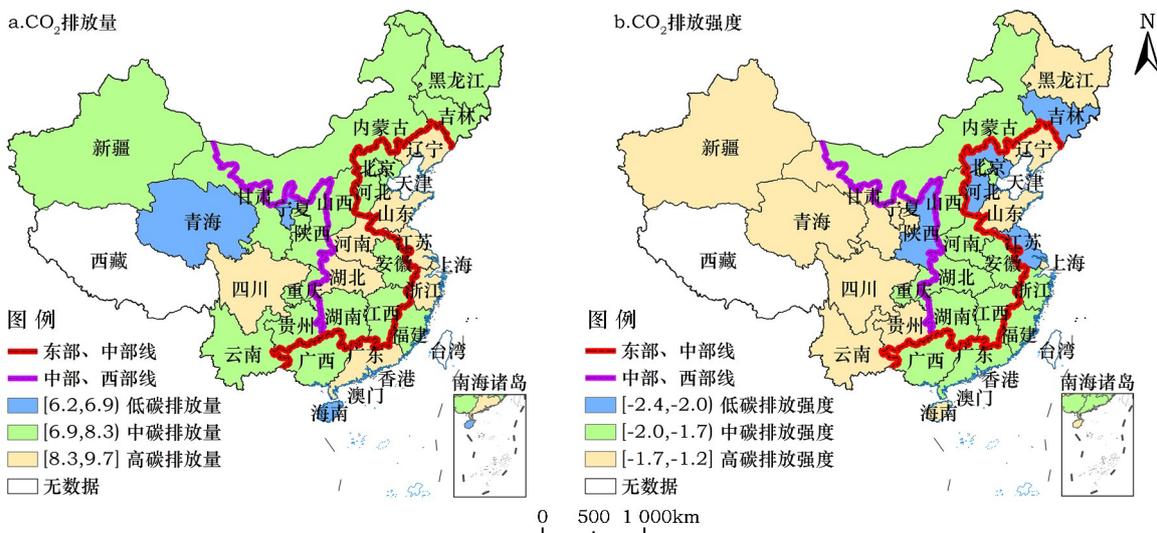


图1 2015年中国石油终端利用CO₂排放量和CO₂排放强度空间分布

Figure 1 The spatial distribution of CO₂ emissions and CO₂ emissions intensity from the terminal petroleum utilization in China in 2015

2017年12月

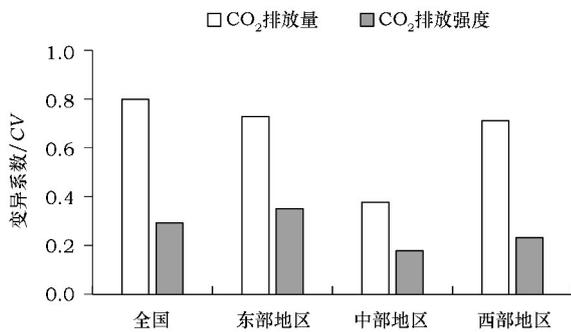


图2 中国石油终端利用CO₂排放量和CO₂排放强度的变异系数

Figure 2 The coefficient of variation of CO₂ emissions and CO₂ emission intensity from petroleum terminal utilization in China

变异系数分别为0.73、0.38和0.71,也均高于同地区的CO₂排放强度变异系数值,分别为0.35、0.18和0.23。从地区横向比较看,东部地带在CO₂排放量和CO₂排放强度的变异系数均最高,其次为西部地带,变异系数最低为中部地带。

3.2 中国碳排放地域分异的主导因素分析

采用自然断点法将所有探测因子值从低到高依次分为1-3三个等级进行量化。利用地理探测器测算方法,分别计算反映各探测因子对影响能力的 $P_{f,c}$ 值。

(1)CO₂排放量地域分异主导因素。石油终端利用碳排放受能源结构、产业结构、能源强度、社会经济发展水平等方面的综合影响,本文选取13项指标(表2),对影响中国石油终端利用碳排放的主导因素进行因子探测(Factor Detector)。将13项指标,分别与石油终端利用碳排放进行空间因子探测

分析,计算得到各因素对石油终端利用碳排放的决定力 $P_{f,c}$ 。

根据地理探测器因子探测分析,将13项因子分别与CO₂排放量进行空间探测,计算得到各因素对碳排放量的决定力 $P_{f,c}$,各因素决定力大小依次为:柴油消费比(f_3)、人口规模(f_{12})、人均GDP(f_{11})、燃料油消费比(f_4)、汽油消费比(f_1)、交通运输业占GDP比重(f_{10})、工业占GDP比重(f_9)、农业占GDP比重(f_8)、工业石油强度(f_6)、交通运输业石油强度(f_7)、城市化率(f_{13})、煤油消费比(f_2)、农业石油强度(f_5)。其值依次分别为0.426、0.356、0.299、0.230、0.161、0.103、0.103、0.086、0.063、0.057、0.055、0.045、0.013。取前50%的因子,它们对全国层面的有重要意义。柴油消费比(f_3)、人口规模(f_{12})和人均GDP(f_{11})的决定力之和占影响石油终端利用CO₂排放量的总决定力之和的54.2%,因此,将柴油消费比、人口规模和人均GDP作为影响全国石油终端CO₂排放量分异的主导因素(图3)。

(2)CO₂排放强度地域分异主导因素。同样采用上述方法将13项探测因子与CO₂排放强度进行空间探测,可得CO₂排放强度 $P_{f,c}$ 大小依次为:工业占GDP比重(f_9)、交通运输业石油强度(f_7)、汽油消费比(f_1)、燃料油消费比(f_4)、工业石油强度(f_6)、人口规模(f_{12})、交通运输业占GDP比重(f_{10})、农业石油强度(f_5)、农业占GDP比重(f_8)、柴油消费比(f_3)、城市化率(f_{13})、人均GDP(f_{11})、煤油消费比(f_2)。其值依次为0.417、0.405、0.221、0.208、0.187、

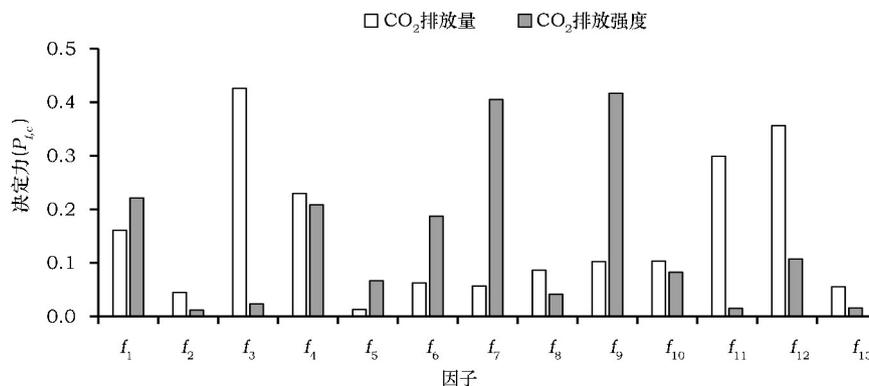


图3 中国石油终端利用CO₂排放量和CO₂排放强度决定力

Figure 3 The power determinant values of CO₂ emissions and CO₂ emission intensity from petroleum terminal utilization in China

0.107、0.082、0.067、0.042、0.023、0.016、0.015、0.012。工业占GDP比重(f_6)、交通运输业石油强度(f_7)和汽油消费比(f_1)的决定力之和占影响石油终端利用CO₂排放强度的总决定力之和的57.9%。因此,将工业占GDP比重、交通运输业石油强度和汽油消费比作为影响全国石油终端利用CO₂排放强度分异的主导因素(图3)。

3.3 碳排放地域分异机制

东、中、西三大地带是国家制定区域政策和学界研究全国尺度区域差异时采用的地理单元。所以本文以省域为基本地理单元,从全国、三大地带不同空间尺度运用变异系数和地理探测分析,借助ArcGIS10.2软件,探测全国层面、三大地带等不同区域尺度的终端石油CO₂排放空间分异格局和影响因素。

通过探测影响全国石油终端CO₂排放分异的主导因素,进一步分析各主导因素对区域石油终端CO₂排放分异的作用机制,为各区域针对性地采取碳减排政策提供参考依据(图4)。

(1)汽油消费比(f_1)。主要影响CO₂排放强

度。汽油主要广泛应用汽车消费,在经济发达地区,人口规模较大且人均汽车保有量较高,因此在这些地区汽油消费比越高,将带来较大的CO₂排放。

(2)柴油消费比(f_3)。主要影响CO₂排放量。柴油消费比主要集中于中西部地带。燃料油是四种单位实物量CO₂排放系数(3.171)最大的,同等实物量的油品,排放系数越大则其CO₂排放越大。燃料油消费比越大,石油消费终端利用碳排放就越大,反之则越小。

(3)交通运输业石油强度(f_7)。主要影响CO₂排放强度。三大地带在交通运输业石油强度的差异性较为明显,西高东低。交通运输业石油强度的区域,石油终端消费CO₂排放强度基本较大,成为三大地带CO₂排放强度发生分异的重要原因。

(4)工业占GDP比重(f_6)。主要影响CO₂排放强度。从全国各省份石油终端消费看,与其他产业相比,工业对柴油和燃料油的消费依赖较大,比重相对较高。因此,工业产值比重越大,则柴油和燃料油的消费比例越大。此外,柴油和燃料油的碳排放系数较高。因此,工业产值比重较大的省份,其

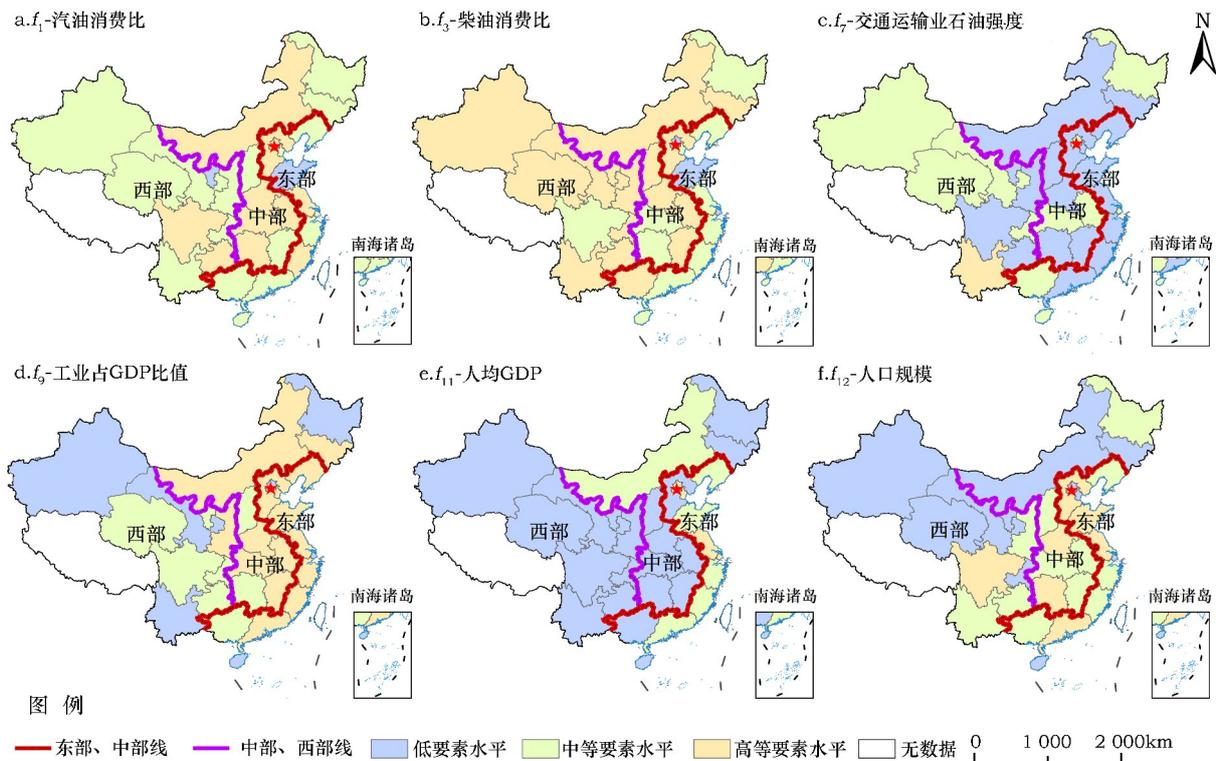


图4 2015年中国石油终端利用CO₂排放主导因素分级

Figure 4 The classification of the dominant factors of CO₂ emissions from petroleum terminal utilization in China in 2015

2017年12月

碳排放强度一般较大。

(5)人均GDP (f_{11})。主要影响CO₂排放量。有研究表明,人均GDP低于1万美元,对石油需求的增长速度较快,相应CO₂排放量也相对增长较快,排放量较大。人均GDP在空间分布呈现自东向西减少,人均GDP所反映的区域的经济发展水平高低。一般而言,经济水平越高,工业越发达,交通需求较大,人口规模较大,相应的石油终端消费也越高,柴油、燃料油、汽油等油品的消费总量都较高,因此基本与自东向西减少石油终端碳排放格局相吻合。

(6)人口规模 (f_{12})。影响CO₂排放量。空间分布呈现自东向西减少,东部地带天津低值,福建和江西中值,西部地带宁夏、青海低值。决定力大小,西部>东部>中部。人口规模越大,对石油终端消费越大,进而推动终端利用CO₂排放量的增加。

3.4 碳排放地域类型

将影响石油终端利用CO₂排放量的柴油消费比、人均GDP和人口规模等三个主导因素在三大地带进行**决定力**对比(图5)。2015年CO₂排放量决定力分别为:东部地带 f_{12} (0.294) > f_3 (0.251) > f_{11} (0.217); 中部地带 f_{12} (0.708) > f_3 (0.273) > f_{11} (0.255); 西部地带 f_{12} (0.946) > f_3 (0.736) > f_{11} (0.004)。

再将影响石油终端利用CO₂排放强度的汽油消费比、交通运输业石油强度和工业占GDP比重等三个主导因素在三大地带进行决定力对比(图6)。碳

排放强度决定力分别为:东部地带 f_7 (0.477) > f_1 (0.469) > f_9 (0.314); 中部地带 f_9 (0.577) > f_7 (0.447) > f_1 (0.088); 西部地带 f_7 (0.683) > f_9 (0.496) > f_1 (0.025)。

按照三大地带分层,利用地理探测器进行多级探测。根据决定力大小将30个省份划分为能源结构指向型、能源强度指向型、产业结构指向型、经济发展水平指向型和人口指向型等5种石油终端利用碳排放地域类型。根据自然断点法所获得13个探测因子的类别值分别与石油终端消费CO₂排放量、石油终端消费CO₂排放强度的类别值进行空间耦合匹配(图7和图8见第2241页),将探测因子分类等级与碳排放分类完全匹配的省份视为典型省份。

(1)能源结构指向型。主要为柴油消费比和汽油消费比,前者对区域的碳排放量决定力较大,后者对区域碳排放强度的决定力较大。从决定力大小和决定力所占比重看,柴油消费比在西部地带(0.736)不仅对石油终端CO₂排放量的决定力较大,且所占份额也较高。典型省份有河南、天津、黑龙江和福建。柴油消费比对东部地带(0.251)石油终端CO₂排放量的决定力虽然较小,但在东部地带的决定力中比重较大(33%)。与中部地带(0.088)和西部地带(0.025)的决定力相比,汽油消费比主要对东部地带(0.469)的碳排放强度产生重要影响,典型省份主要有湖北、四川、广西、天津、山西、浙江、江西、广东、贵州和重庆。

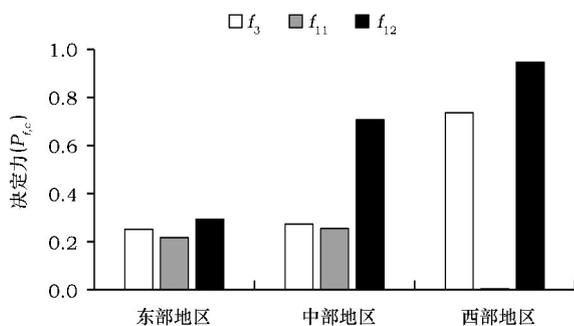


图5 中国三大地带石油终端利用CO₂排放量主导因素的决定力对比

Figure 5 The power determinant value of dominant factors of CO₂ emissions from petroleum terminals utilization in Three Economic Regions of China

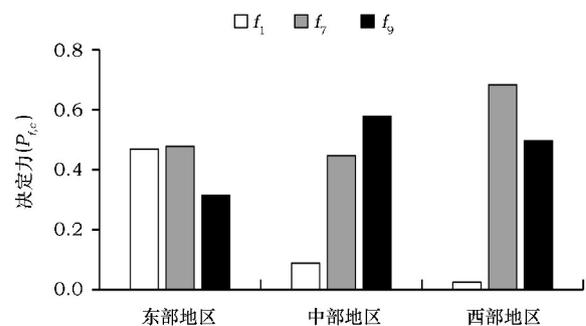


图6 中国三大地带石油终端利用CO₂排放强度主导因素的决定力对比

Figure 6 The power determinant value of dominant factors of CO₂ emissions intensity from petroleum terminals utilization in Three Economic Regions of China

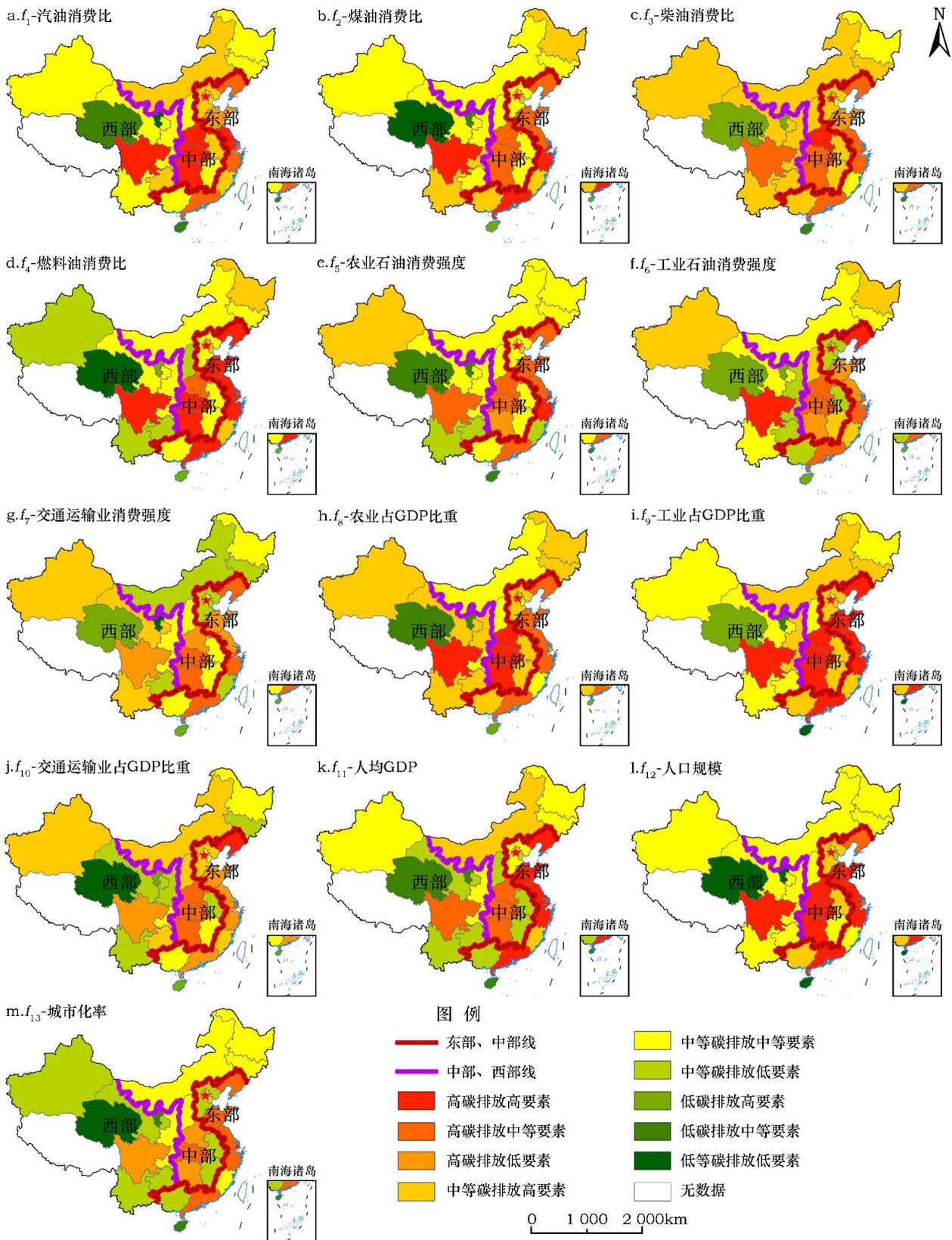


图7 2015年中国石油终端CO₂排放量与影响因素耦合匹配

Figure 7 The coupling map of regional petroleum terminal carbon emissions and influencing factors in China in 2015

2017年12月

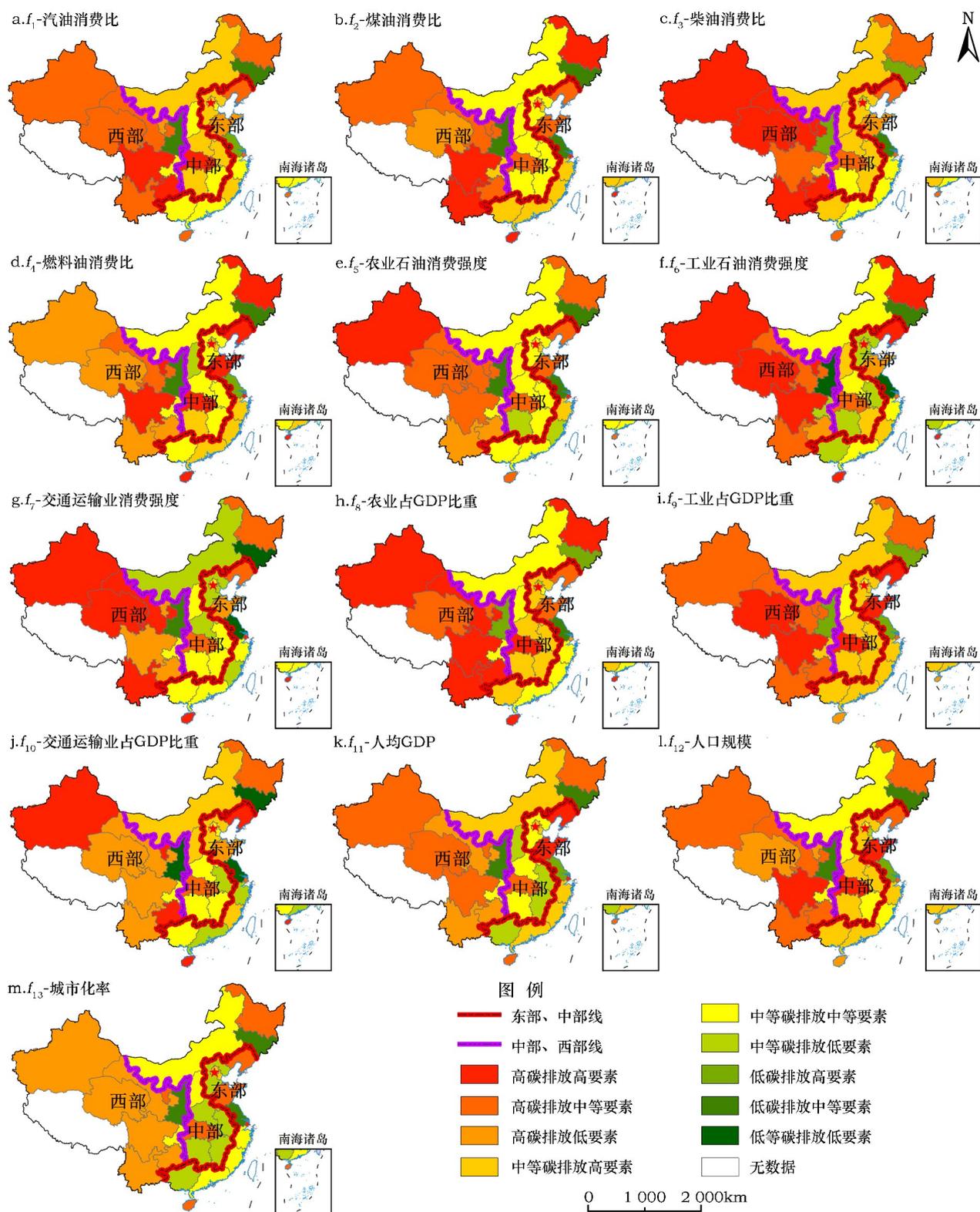


图8 2015年中国石油终端CO₂排放强度与影响因素耦合匹配

Figure 8 The coupling map of regional petroleum terminal CO₂ emissions intensity and influencing factors in China in 2015

(2)能源强度指向型。主要为交通运输业石油消费强度,该探测因子对西部(0.683)、东部(0.477)和中部(0.447)的决定力都较大。根据耦合程度,西部地带的典型省份有云南、甘肃、青海、新疆和重庆等。东部地带典型省份有上海、海南、北京、广东、广西、浙江、江苏等。中部地带典型省份有山西、吉林、安徽、江西、湖南等。

(3)产业结构指向型。主要为工业占GDP比重,对区域的石油终端CO₂排放强度决定力影响较大。按影响程度大小以此为中部地带(0.577)、西部地带(0.496)和东部地带(0.314)。典型省份有辽宁、山东、湖北、四川、青海、北京、山西。

(4)经济发展水平指向型。主要为人均GDP比重,对石油终端CO₂排放量影响较大。主要包括东部地带和中部地带。典型省份有:辽宁、上海、江苏、浙江、山东、广东、河北、吉林、黑龙江、重庆、陕西、新疆。

(5)人口指向型。主要为人口规模,对石油终端CO₂排放量影响较大,主要包括西部(0.946)、中部(0.708)和东部(0.294)。虽然人口规模在东部决定力不大,但在东部地带决定力的比重(38.6%)较高。典型省份有:江苏、浙江、山东、河南、湖北、湖

南、广东、四川、北京、山西、内蒙古、吉林、黑龙江、福建、江西、海南、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

3.5 碳减排政策措施与模式

进一步利用石油终端利用CO₂排放量和石油终端利用CO₂排放强度构建象限图,以平均值作为原点(图9)。

第I象限为排放强度和排放量高值区(HH),代表石油终端CO₂排放强度和排放量削减并重区。既有东部沿海发达省份,也有中西部省份,主要为东部省份山东、上海、辽宁,中部省份湖北,西部省份四川。需要考虑汽油消费比主要为四川、湖北等省,需要重视工业占GDP比重的湖北、辽宁、山东、四川等省,需要考虑交通运输业石油消费强度的是上海,需要考虑人均GDP因素的有辽宁、上海、山东,此外,上述省份都需要考虑人口规模的影响。

第II象限为排放强度高值区和排放量低值区(HL),代表石油终端CO₂排放强度削减优先区,主要省份为西部省份新疆、云南、贵州、甘肃、宁夏、青海,中部省份黑龙江、山西,东部省份海南。青海、山西、海南等省份应对工业GDP比重、交通运输业石油消费强度和汽油消费比等予以减排政策优先

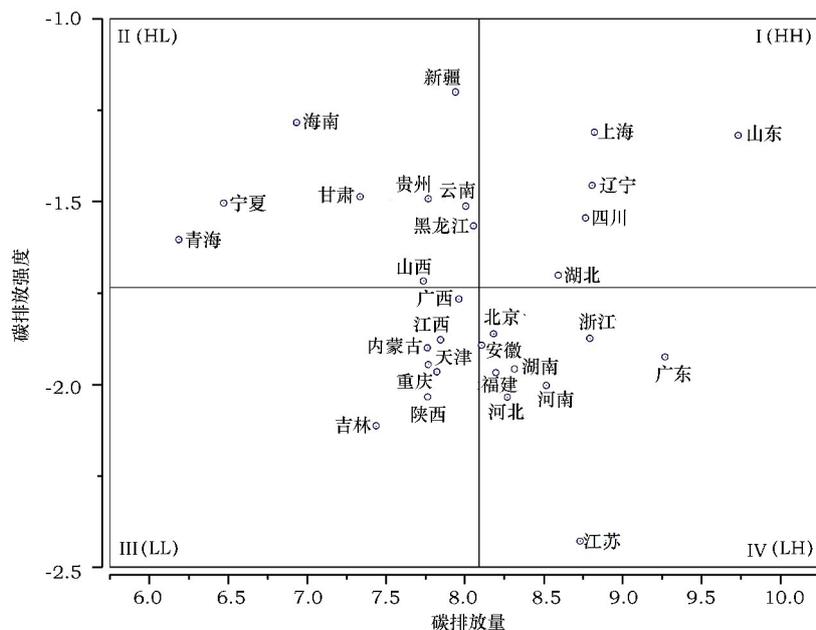


图9 2015年中国各省石油终端利用CO₂排放强度和排放量的象限分析

Figure 9 The quadrant of petroleum terminal utilization of CO₂ emissions and emission intensity in China in 2015

注:图中碳排放量和碳排放强度均为取ln后的数值。

2017年12月

考虑方向。

第Ⅲ象限为排放强度和排放量的低值区(LL),代表石油终端CO₂排放区。主要为东部省份广西、天津,中部省份江西、内蒙古、吉林,西部省份重庆、陕西。这些省份在继续保持现有发展态势,在满足自身需求后,可以考虑将石油终端碳排放权与其他省份进行交易。

第Ⅳ象限为排放强度的低值区和排放量高值区(LH),代表石油终端CO₂排放量削减优先区,即广东、浙江、北京、安徽、湖南、福建、河北、河南、江苏等省份应优先考虑石油终端CO₂排放量的控制。在控制石油终端排放强度的同时,更应从这些因素制定政策削减碳排放总量;其中江苏、浙江、山东、广东等省份可优先考虑经济发展水平和人口规模对石油终端CO₂排放量的影响;河南在减排政策设计时可对柴油消费比和人口规模等进行考虑;北京、安徽、福建、河北等省份需要重视人口规模因素的重要影响。

中国石油终端利用CO₂排放量和排放强度并没有完全按照三大区域呈现明显的地带性特征,因此,深入探测影响石油终端利用碳排放地域分异的主导因素及其分布特征,对各区域制定碳减排政策具有重要的意义。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文借助地理探测器模型、因素叠置等技术方法,按照全国-区域两个尺度进行分层分级地理要素探测,获得了三大地带石油终端利用碳排放地域分异的主导因素,揭示了区域分异的作用机制。依据不同主导因素对碳排放分异的决定力,总结提出了主导碳排放的5种地域类型。基于象限图,利用碳排放地域分异主导因素的诊断结果,对典型省份提出碳减排对策建议。研究结果总结如下:

(1)2015年,中国石油终端CO₂排放量呈现东高西低、东多西少的空间格局,石油终端CO₂排放强度呈现西高东低、西多东少的空间格局。

(2)石油终端CO₂排放量在全国层面和三大地带层面的变异系数都要显著高于石油终端CO₂排放强度。在三大地带,石油终端CO₂排放量和排放强度均表现为东部地带分异性最强,中部地带最小。

(3)全国尺度上,影响石油终端CO₂排放量区域分异的主导因素为柴油消费比、人口规模和人均GDP;影响CO₂排放强度区域分异的主导因素为工业占GDP比重、交通运输业石油消费强度和汽油消费比。

(4)主导碳排放的地域类型可以分为能源结构指向型、能源强度指向型、产业结构指向型、经济发展水平指向型和人口规模指向型。

(5)利用区域分异诊断结果和主导因素地域类型,提出四种减排政策类型区域。研究表明,中国石油终端利用CO₂排放量和排放强度并没有完全按照三大区域呈现明显的地带性特征,制定减排政策需要因地制宜,具有针对性地提出减排政策。

4.2 讨论

由于市级行政单元是碳减排政策的主要执行行政区域和研究碳排放地域分异的主要区域,本研究限于数据,仅以省域为研究单元,对市、县等次一级区域的考虑不够。此外,在计算油类消费量时人为忽视了城镇和乡村的消费差别。地理探测器模型的运用可为典型地区和省份的碳减排方向提供了简便方法,可就典型省份进行多空间层次进行深入研究,用更多样本数据充实到研究中,将城乡差别等因素也纳入到探测因子中,为科学提出减排政策提供正确方向。

参考文献(References):

- [1] Du Q, Wang N, Che L. Forecasting China's per capita carbon emissions under a new three-step economic development strategy [J]. *Journal of Resources & Ecology*, 2015, 6(5): 318-323.
- [2] 国家信息中心. “十三五”时期碳排放控制目标及实现路径[EB/OL]. (2017-05-08)[2017-06-06]. <http://www.sic.gov.cn/News/466/6790.htm>. [National Information Center. Carbon Emission Control Target and Realization Path in the 13th Five-Year Plan Period[EB/OL]. (2017-05-08)[2017-06-06]. <http://www.sic.gov.cn/News/466/6790.htm>.]
- [3] 邹愉,王高尚,于汶加,等. 典型国家部门石油消费轨迹及对中国的启示[J]. *地球学报*, 2010, 31(5): 666-672. [Zou Y, Wang G S, Yu W J, et al. An analysis of sectorial oil consumption track in typical countries and its implications to China's trend[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2010, 31(5): 666-672.]
- [4] 顾梦琛,王礼茂. 中国石油终端利用碳排放的区域差异[J]. 资

- 源科学, 2016, 38(2): 255-264. [Gu M S, Wang L M. Petroleum terminal utilization carbon emissions in China based on regional differences[J]. *Resources Science*, 2016, 38(2): 255-264.]
- [5] 秦耀辰, 荣培君, 杨群涛, 等. 城市化对碳排放影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1526-1534. [Qin Y C, Rong P J, Yang Q T, et al. Research progress of impact of urbanization on carbon emissions[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(11): 1526-1534.]
- [6] Shen L, Sun Y Z. Review on carbon emissions, energy consumption and low-carbon economy in China from a perspective of global climate change[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(7): 855-870.
- [7] 石天戈, 张小雷, 杜宏茹, 等. 乌鲁木齐市居民出行行为的空间特征和碳排放分析[J]. 地理科学进展, 2013, 32(6): 897-905. [Shi T G, Zhang X L, Du H R, et al. Spatial characteristics of residents' outings and carbon emissions in Urumqi City[J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(6): 897-905.]
- [8] 李琳娜, Loo B P. 中国客运交通的碳排放地理特征与展望[J]. 地理研究, 2016, 35(7): 1230-1242. [Li L N, Loo B P Y. Carbon dioxide emissions from passenger transport in China: geographical characteristics and future challenges[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(7): 1230-1242.]
- [9] 陈江龙, 李平星, 高金龙. 1990-2014年泛长三角地区能源利用碳排放时空格局及影响因素[J]. 地理科学进展, 2016, 35(12): 1472-1482. [Chen J L, Li P X, Gao J L. Spatiotemporal patterns and influencing factors of carbon emissions in the Pan-Yangtze River Delta region, 1990-2014[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(12): 1472-1482.]
- [10] 田成诗, 郝艳, 李文静, 等. 中国人口年龄结构对碳排放的影响[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2309-2318. [Tian C S, Hao Y, Li W J, et al. Population age structure effects on carbon emission in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2309-2318.]
- [11] 原嫒, 席强敏, 孙铁山, 等. 产业结构对区域碳排放的影响-基于多国数据的实证分析[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 82-94. [Yuan Y, Xi Q M, Sun T S, et al. The impact of the industrial structure on regional carbon emission: empirical evidence across countries[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(1): 82-94.]
- [12] Zhang L Q, Chen S P, Zhu Y W, et al. The measurement of carbon emission effect of construction land changes in Anhui Province based on the extended LMDI model[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2013, 4(2): 186-192.
- [13] 王佳, 杨俊. 中国地区碳排放强度差异成因研究-基于Shapley值分解方法[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 557-566. [Wang J, Yang J. Regional carbon emission intensity disparities in China based on the decomposition method of shapley value[J]. *Resources Science*, 2014, 36(3): 557-566.]
- [14] 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[J]. 地理学报, 2014, 69(10): 1438-1448. [Tao Y G, Huang Z F, Wu L M, et al. Measuring carbon dioxide emissions for regional tourism and its factor decomposition: a case study of Jiangsu province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1438-1448.]
- [15] 汪浩, 陈操操, 潘涛, 等. 县域尺度的京津冀都市圈CO₂排放时空演变特征[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 385-393. [Wang H, Chen C C, Pan T, et al. County scale characteristics of CO₂ emission's spatial-temporal evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region[J]. *Environment Science*, 2014, 35(1): 385-393.]
- [16] 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[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2): 189-200. [Deng J X, Liu X, Wang Z. Characteristics analysis and factor decomposition based on the regional difference changes in China's CO₂ emission[J]. *Journal of Nature Resources*, 2014, 29(2): 189-200.]
- [17] 渠慎宁, 郭朝先. 基于STIRPAT模型的中国碳排放峰值预测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 10-15. [Qu S N, Guo C X. Forecast of China's carbon emissions based on STIRPAT model[J]. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(12): 10-15.]
- [18] 王长建, 张小雷, 张虹鸥, 等. 基于IO-SDA模型的新疆能源消费碳排放影响机理分析[J]. 地理学报, 2016, 71(7): 1105-1118. [Wang C J, Zhang X L, Zhang H O, et al. Influencing mechanism of energy-related carbon emissions in Xinjiang based on IO-SDA model[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1105-1118.]
- [19] 刘小敏, 付加锋. 基于CGE模型的2020年中国碳排放强度目标分析[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 634-639. [Liu X M, Fu J F. Analysis of the scenarios of China's carbon intensity reduction in 2020 based on the CGE model[J]. *Resources Science*, 2011, 33(4): 634-639.]
- [20] 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[J]. 地理学报, 2014, 24(4): 631-650. [Cheng Y Q, Wang Z Y, Zhang S Z, et al. Spatiotemporal dynamics of carbon intensity from energy consumption in China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(4): 631-650.]
- [21] Zhang W, Shen Y M, Zhou Y Y. Increased CO₂ emissions from energy consumption based on three-level nested I-O structural decomposition analysis for Beijing[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2014, 5(2): 115-122.
- [22] 赵雲泰, 黄贤金, 钟太洋, 等. 1999~2007年中国能源消费碳排放强度空间演变特征[J]. 环境科学, 2011, 32(11): 3145-3152. [Zhao Y T, Huang X J, Zhong T Y, et al. Spatial pattern evolution of carbon emission intensity from energy consumption in

2017年12月

- China[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2011, 32(11): 3145-3152.]
- [23] 王铮, 刘晓, 朱永彬, 等. 京、津、冀地区的碳排放趋势估计[J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28(1): 84-89. [Wang Z, Liu X, Zhu Y B, et al. Prediction on Beijing's, Tianjin's and Hebei's carbon emission[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28(1): 84-89.]
- [24] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究-基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129-138. [Wu X R, Zhang J B, Tian Y, et al. Provincial agricultural carbon emissions in China: calculation, performance change and influencing factors[J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129-138.]
- [25] Guo J, Liu Z X, Sun P. Carbon emissions from industrial sectors in China: driving factors and the potential for emission reduction [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2013, 4(2): 132-140.
- [26] 李旭, 秦耀辰, 张丽君, 等. 住宿业碳排放研究进展[J]. 地理科学进展, 2013, 32(3): 408-415. [Li X, Qin Y C, Zhang L J, et al. Research progress on carbon emissions in accommodation industry[J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(3): 408-415.]
- [27] Li Y M, Zhao J F, Liu G S. Decomposition analysis of carbon emissions growth of tertiary industry in Beijing[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2015, 6(5): 324-330.
- [28] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [29] 刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1011-1020. [Liu Y S, Yang R. The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011-1020.]
- [30] 丁悦, 蔡建明, 任周鹏, 等. 基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J]. 地理科学进展, 2014, 33(5): 657-666. [Ding Y, Cai J M, Ren Z P, et al. Spatial disparities of economic growth rate of China's National-level ETDZs and their determinants based on geographical detector analysis[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(5): 657-666.]
- [31] 朱鹤, 刘家明, 陶慧, 等. 北京城市休闲商务区的时空分布特征与成因[J]. 地理学报, 2015, 70(8): 1215-1228. [Zhu H, Liu J M, Tao H, et al. Temporal-spatial pattern and contributing factors of urban RBDs in Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1215-1228.]
- [32] Hu Y, Wang J, Li X, et al. Geographical detector-based risk assessment of the under-five mortality in the 2008 Wenchuan Earthquake, China[J]. *PLoS ONE*, 2011, 6(6): e21427.
- [33] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang J F, Xu C D. Geodetector: principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [34] 国家统计局能源司. 中国能源统计年鉴(2016)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [Department of Energy Statistics of National Bureau of Statistics of China. China Energy Statistical Yearbook (2016)[M]. Beijing: China statistical Press, 2016.]

Determinants of spatial disparities of petroleum terminal utilization carbon emissions in China

FANG Yebing^{1,2,3}, WANG Limao^{1,2}, MOU Chufu^{1,2}, ZHANG Hong⁴, QU Qiushi^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China

4. School of geospatial information, People's Liberation Army information engineering university, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: It is well known that China is the world's second largest petroleum consumer and petroleum is China's second largest source of CO₂ emissions. Here we diagnose the dominant factors of differentiation of carbon emissions and reveal the dynamic mechanisms of carbon emissions using the coefficient of variation and geographical detector model. We found that the CO₂ emissions in China's petroleum terminal in the east is higher than that in the west, and the number of provinces of eastern China with higher CO₂ emission is much more than that of western China in 2015. However, the CO₂ emission intensity in China's petroleum terminal in the west is higher than that in the east, and the number of provinces in western China with higher CO₂ emission is much more than that of eastern China in 2015. CO₂ emissions from petroleum terminals are significantly higher at the national level and at the three major regional levels than CO₂ emissions from petroleum terminals. In the three regions, the CO₂ emission and emission intensity of the petroleum terminal showed the strongest differentiation in the eastern region and the smallest in the central region. At the national scale, dominant factors influencing regional differences in CO₂ emissions in the petroleum terminal consumption are the diesel consumption ratio, population size and per capita GDP. While dominant factors affecting regional differentiation of CO₂ emission intensity are industry accounted for GDP, petroleum consumption intensity of transportation industry and gasoline Consumption ratio. There are significant differences in the five types of carbon emissions, namely, energy structure oriented region mainly affected by diesel consumption ratio and gasoline consumption ratio, energy intensity oriented region mainly affected by petroleum consumption intensity of transportation industry, industrial structure oriented region mainly affected by industry accounted for GDP, the level of economic development oriented region mainly affected by per capita GDP, and population oriented region mainly affected by population size.

Key words: petroleum terminal utilization; carbon emissions; regional differentiation; leading factors; geographical detector; China