

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

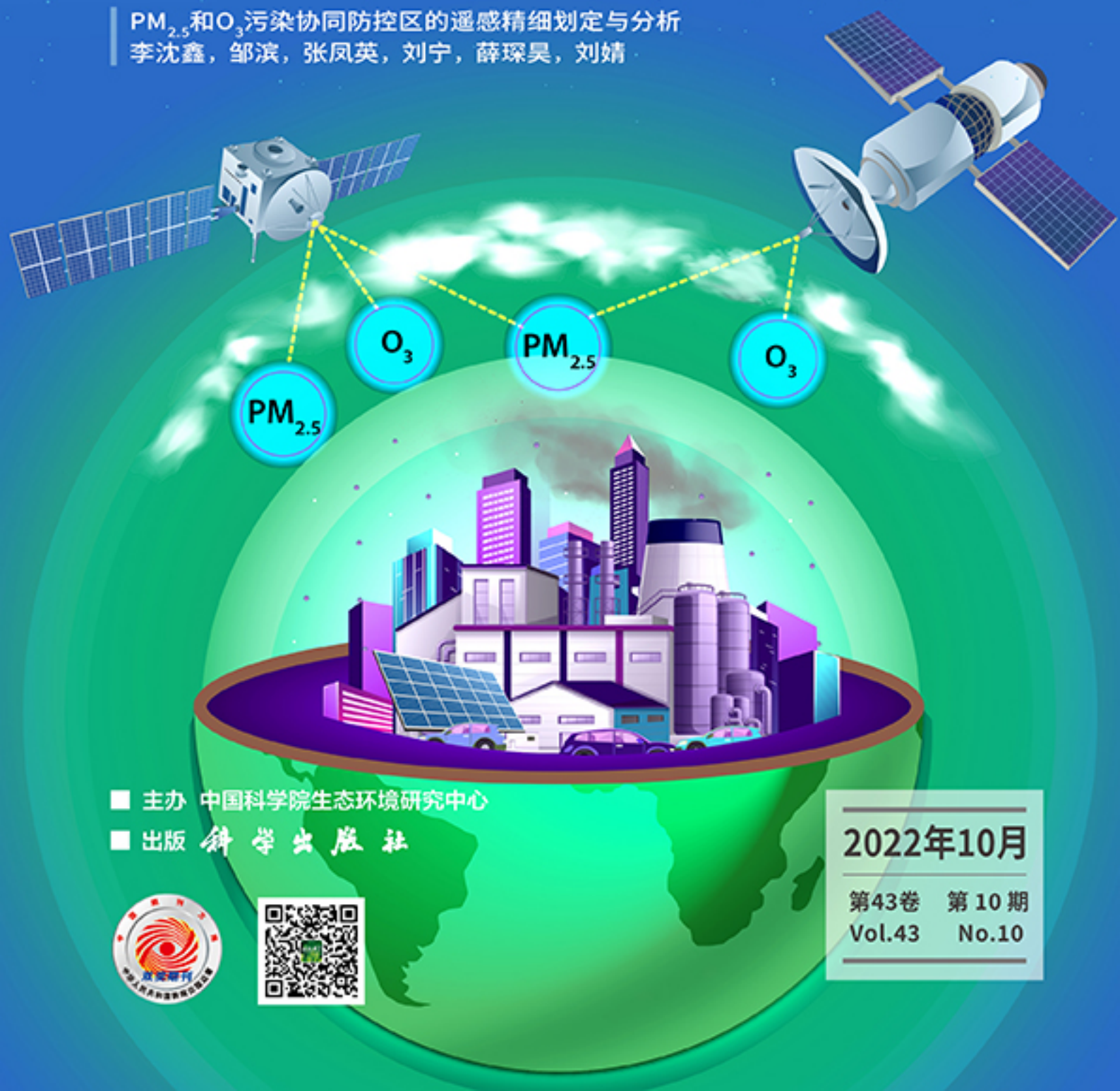
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

PM_{2.5}和O₃污染协同防控区的遥感精细划定与分析
李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年10月

第43卷 第10期
Vol.43 No.10

目次

PM _{2.5} 和O ₃ 污染协同防控区的遥感精细划定与分析	李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧 (4293)
广州市冬季一次典型臭氧污染过程分析	裴成磊, 谢雨彤, 陈希, 张涛, 邱晓暖, 王瑜, 王在华, 李梅 (4305)
佛山臭氧浓度预报方程的建立与应用	陈辰, 洪莹莹, 谭浩波, 司徒淑婷, 程银琳, 步巧利, 吴蒙, 潘巧英 (4316)
乌海市高分辨率大气污染源排放清单构建及其在臭氧污染成因探究中的应用	张瑞欣, 楚波, 尚春林, 曹喜萍, 李光耀, 朱玉凡, 刘晓, 夏佳琦, 陈强 (4327)
结合在线监测和自动识别系统分析东海沿岸船舶排放特征	邱浩, 刘丹彤, 吴杨周, 李思远, 丁朔, 胡康, 张家乐, 陈梅汀 (4338)
机动车制动磨损颗粒物及挥发性有机物的组分特征	门正宇, 刘笃优, 郭全有, 张静, 彭剑飞, 吴琳, 毛洪钧 (4348)
笼养鸡舍冬季挥发性有机物排放特征	曹甜甜, 郑云昊, 张羽, 王悦, 丛群欣, 王源昊, 董红敏 (4357)
上海市生活垃圾房气溶胶中可培养细菌污染状况及种群特征	卢冰洁, 张翔, 王川, 邱俊, 李丹 (4367)
浙江省2008~2018年人为源氨排放清单及分布特征	方利江, 杨一群, 叶观琼 (4380)
“双碳”目标下钢铁行业控煤降碳路线图	薛英岚, 张静, 刘宇, 陈瑜, 孙健, 蒋洪强, 张伟, 曹东 (4392)
空间关联网络结构特征的减排效应: 基于城市群视角	郑航, 叶阿忠 (4401)
中国对外直接投资的减污降碳效应及其实现机制	白梓函, 吕连宏, 赵明轩, 张楠, 罗宏 (4408)
近年全国地表水水质变化特征	嵇晓燕, 侯欢欢, 王姗姗, 杨凯 (4419)
湟水河流域地表水体微塑料分布、风险及影响因素	范梦苑, 黄懿梅, 张海鑫, 李好好, 黄倩 (4430)
汾河流域地表水化学同位素特征及其影响因素	赵春红, 申豪勇, 王志恒, 梁永平, 赵一, 谢浩, 唐春雷 (4440)
城镇化进程中珠江三角洲高锰地下水赋存特征及成因	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 李海军 (4449)
喀什噶尔河下游平原区地下水咸化特征及成因分析	鲁涵, 曾妍妍, 周金龙, 孙英 (4459)
重庆市老龙洞地下河流域硝酸盐来源和生物地球化学过程的识别	王雨畅, 杨平恒, 张洁茹 (4470)
蓝藻水华过程中优势种群演替模式、效应及驱动因子分析	欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李佳欣, 李玉鑫, 施军琼, 吴忠兴 (4480)
珠海市磨刀门水道输水水源水库群浮游植物群落特征及其环境驱动因子	张茉莉, 王思瑞, 昌盛, 王山军, 金德才, 樊月婷, 张坤峰, 谢琼, 付青 (4489)
营养物质对铜绿微囊藻生长和藻际细菌的影响	吕萍, 李慧莉, 徐勇, 郑效旭, 黄振华, 王聪, 徐圣君, 庄绪亮 (4502)
老化作用对微塑料吸附四环素的影响及其机制	王林, 王姝歆, 曾祥英, 何杨, 黄雯, 郑世界, 张建强 (4511)
沉积物和土壤中胶体对氯霉素吸附行为的影响	晏彩霞, 罗燕清, 聂明华, 周旋, 丁明军 (4522)
历史抗生素胁迫改变磺胺甲噁唑和甲氧苄啶对活性污泥的影响: ARGs及其潜在宿主	张忠兴, 樊晓燕, 李星, 高玉玺, 赵君如 (4536)
阳朔典型铅锌矿区流域土壤重金属空间分布特征及来源解析	陈盟, 潘泳兴, 黄奕翔, 王耀耀, 张睿东 (4545)
白洋淀及周边土壤重金属的分布特征及生态风险评估	郑飞, 郭欣, 汤名扬, 朱冬, 董四君, 康乐, 陈兵 (4556)
基于地理探测器的镇域尺度土壤重金属含量空间分异及其影响因素分析	龚仓, 王亮, 王顺祥, 张志翔, 董航, 刘玖芬, 王德伟, 严步青, 陈映 (4566)
燃煤电厂重金属排放与周边土壤中重金属污染特征及健康风险	车凯, 陈崇明, 郑庆宇, 范辉, 魏明磊, 罗蓬, 郁金星 (4578)
海南岛半干旱区农用地土壤重金属富集因素、健康风险及来源识别	杨剑洲, 龚晶晶, 王振亮, 高健翁, 杨建坤, 胡树起, 唐世新 (4590)
九龙江口红树林表层沉积物重金属赋存形态及污染评价	张华兰, 于瑞莲, 王瑞安, 胡恭任, 黄华斌, 吴雅清 (4601)
我国茶叶主产区有机肥重金属含量现状	伊晓云, 方丽, 杨向德, 马立峰, 刘美雅, 张群峰, 倪康, 石元值 (4613)
甘肃省农业土壤邻苯二甲酸酯累积特征及来源分析	陈玉玉, 张光全, 张杨, 李明凯, 郝佳欣, 熊有才, 李崇霄, 曹靖 (4622)
三峡库区澎溪河不同高程消落带土壤磷形态及磷酸酶活性分布特征	高艺伦, 方芳, 唐子超, 张蕊, 蒋艳雪, 郭劲松 (4630)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳组分特征及其与理化因子的相关性	李昕竹, 贡璐, 唐军虎, 罗艳, 丁肇龙, 朱海强, 张涵, 李蕊希 (4639)
黄土丘陵区柠条人工林不同深度土壤呼吸速率对土壤湿度的响应	孙亚荣, 王亚娟, 赵敏, 薛文艳, 梁思琦, 刘乐, 刘超, 陈云明 (4648)
基于Meta-analysis的生物炭对土壤硝态氮淋失和磷酸盐固持影响	姜志翔, 崔爽, 张鑫, 郝敏, 孙德茂 (4658)
低分子有机酸强化植物修复重金属污染土壤的作用与机制	方治国, 谢俊婷, 杨青, 卢烨桢, 黄海, 朱芸娟, 尹思敏, 吴鑫涛, 都韶婷 (4669)
无机钝化剂对镉污染酸性水稻土的修复效果及其机制	张剑, 孔繁艺, 卢升高 (4679)
改良铅锌矿渣对栎树幼苗铅锌富集与耐性机制	谢天志, 陈永华, 苏荣葵, 刘慧, 姚海松 (4687)
CaO ₂ /FA复合材料富集磷效能及其回收物对土壤改良作用	岳薇, 李大鹏, 吴玲予, 王璐, 汤尧禹, 朱企, 黄勇 (4697)
早稻秸秆还田和减钾对晚稻产量和土壤肥力的影响	黄巧义, 黄建凤, 黄旭, 吴永沛, 李苹, 付弘婷, 唐拴虎, 刘一峰, 徐培智 (4706)
秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响	蔡影, 付思伟, 张博睿, 胡宏祥, 刘文雯, 俞金涛, 贾临东, 刘运峰 (4716)
化肥减量配施秸秆对双季稻田固氮微生物群落的影响	陈凯鹏, 韦菊烟, 陈丹, 王聪, 沈健林, 李勇, 吴金水 (4725)
化肥减量与有机物料添加对华北潮土微生物氮循环功能基因丰度和氮转化遗传潜力的影响	李胜君, 胡荷, 李刚, 王蕊, 赵建宁, 张贵龙, 修伟明 (4735)
长期覆膜条件下农田土壤微生物群落的响应特征	胡志娥, 肖谋良, 丁济娜, 李剑虹, 陈剑平, 葛体达, 鲁顺保 (4745)
长期秸秆还田对潮土真菌群落、酶活性和小麦产量的影响	马垒, 李燕, 魏建林, 李子双, 周晓琳, 郑福丽, 吴小宾, 王利, 刘兆辉, 谭德水 (4755)
土壤改良剂对再生水滴灌根际土壤菌群多样性及病原菌和抗生素抗性基因丰度的影响	崔丙健, 崔二革, 刘春成, 胡超, 樊向阳, 李中阳, 高峰 (4765)
氮素对苜蓿植物修复垃圾堆场镉-多环芳烃复合污染土壤及土壤细菌群落结构的影响	李怡佳, 马俊伟, 李玉倩, 肖琛, 沈心怡, 牛云, 陈家军 (4779)
抗生素降解剂对猪粪堆肥腐熟和细菌群落演替的影响	李琳琳, 张昕, 马军伟, 孙万春, 成琪璐, 林辉 (4789)
《环境科学》征订启事 (4337) 《环境科学》征稿简则 (4407) 信息 (4521, 4705, 4800)	

空间关联网络结构特征的减排效应: 基于城市群视角

郑航¹, 叶阿忠^{1,2*}

(1. 福州大学经济与管理学院, 福州 350116; 2. 福建省社科研究基地福州大学福建经济高质量发展研究中心, 福州 350116)

摘要: 基于社会网络分析及回归分析方法, 选取珠三角城市群 2001 ~ 2019 年地级市数据, 考察珠三角城市群碳排放空间关联网络特征的减排效应。结果表明: ①珠三角城市群内各城市间的碳排放联系程度较为疏松, 从属结构变动频繁, 城市间的碳排放交流与合作亟待增强。②碳排放空间关联网络的核心-边缘结构产生一定程度的松动, 中心城市对于整体网络结构的控制能力在减弱, 边缘城市有逐渐由被控制向控制角色转变的趋势。③碳排放空间关联的整体网络紧密程度及稳定性的提升、网络等级结构的破除能显著降低地区碳排放量, 而个体网络中心性的提高对于城市碳减排具有显著的促进作用。以上分析将有助于为协调二氧化碳减排和低碳城市发展政策的提出提供借鉴。

关键词: 碳排放网络; 社会网络分析(SNA); 核心-边缘结构; 碳减排效应; 协同减排

中图分类号: X321 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)10-4401-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.202201108

Carbon Emission Reduction Effect of Spatial Correlation Network Structure Characteristics: From the Perspective of Urban Agglomeration

ZHENG Hang¹, YE A-zhong^{1,2*}

(1. School of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China; 2. Research Center of Fujian Economic High Quality Development Based on Social Science Planning of Fujian Province, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Based on social network and regression analyses, this study conducted research with regard to the spatial correlation and effect of carbon emissions in urban agglomerations of the Pearl River Delta (PRD) with the data of prefecture-level cities in Pearl River Delta urban agglomerations from 2001 to 2019. As the results suggested, ① the carbon emission links among cities in PRD urban agglomerations were relatively loose, the subordinate structure changed frequently, and the carbon emission exchanges and cooperation among cities need to be strengthened. ② The core-periphery structure of the spatial correlation network of carbon emissions was loose to a certain extent, the control ability of the central city to the overall network structure was weakened, and the marginal cities gradually changed from being controlled to adopting a controlling role. ③ The improvement in the overall network tightness and stability and the breaking of the network hierarchical structure significantly reduced regional carbon emissions, whereas the improvement in individual network centrality significantly promoted urban carbon emission reduction. The above analysis will help to provide reference for coordinating carbon dioxide emission reduction and low-carbon city development policies.

Key words: carbon emission network; social network analysis(SNA); core-periphery structure; carbon emission reduction effect; collaborative emission reduction

城市是人类生活和工作的主要空间。随着中国工业化和城市化进程的加快, 城市已成为经济活动的主要区域, 同时也是二氧化碳排放的主要来源^[1]。近年来, 随着中国一系列区域和空间发展战略的实施^[2], 城市群逐渐取代了单一城市, 成为中国经济发展最具活力的地区。城市群作为复杂的城市空间格局, 是城市经济在空间组织和结构上的集聚。同时, 城市空间互动表现为人口、资源、技术等多个区域要素的交换。城市经济集聚不仅影响每个城市单元的能源需求和效率, 还影响与能源相关的二氧化碳排放水平及其空间分布^[3]。在此背景下, 探索城市群层面二氧化碳排放的空间特征及其减排效应, 将有助于为协调二氧化碳减排和低碳城市发展政策的提出提供借鉴。

现有关于城市群碳排放的研究成果较为丰硕, 且主要基于空间相关性和影响因素两类视角展开讨论。在相关性研究方面, 早期, 探索性空间分析方法因其简便、快捷且能够识别空间特征而得到了大多

数学家的青睐^[4~10]。近年来, 随着区域碳排放逐渐呈现出复杂的网络结构形态, 社会网络分析(social network analysis, SNA)方法因其能够实现对于关联数据的刻画脱颖而出, 逐渐被应用于省域层面碳排放空间关联特征的研究^[11~16]。在影响因素研究方面, 大量学者运用 STIRPAT 模型分别基于国家层面^[17,18]、省域层面^[19~21]和城市层面^[22]展开研究。结果表明, 人口、经济、技术、产业结构、能源强度和能源结构等因素对于碳排放的驱动作用得到了大多数学者的认同。进一步地, 考虑到碳排放存在显著的空间集聚效应和溢出效应, 部分学者构建空间 STIRPAT 模型以同时探究碳排放的空间效应及其影响因素^[23~25]。

综上所述, 区域碳排放的空间效应和结构特征

收稿日期: 2022-01-12; 修订日期: 2022-02-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(71571046, 72073030)

作者简介: 郑航(1996~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为区域低碳发展、空间分析与建模, E-mail: zhengh0119@163.com

* 通信作者, E-mail: fzshujing@163.com

已得到了较为深入的探索,但仍存在以下两点不足:首先,目前将 SNA 方法应用于中国城市群碳排放空间关联关系的研究仍十分有限;其次,碳排放空间关联的结构特征对于碳排放属性数据存在何种效应鲜有学者关注.基于此,本文结合社会网络分析方法和经济计量模型,分析中国珠三角城市群碳排放的空间关联特征及其减排效应,以期完善前人的相关工作.本文的边际贡献概括如下:第一,将 SNA 方法应用于城市群碳排放空间关联网络研究.第二,将经济学的思维方式与社会学的经典方法融合,识别珠三角城市群碳排放空间网络结构特征的碳减排效应.通过以上分析将有助于为中国在协同发展过程中根据各地区实际情况制定减排政策提供解决方案,以实现区域协同减排目标.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

珠三角城市群是世界上城市化最密集的地区之一,同时也是中国的经济中心.其包括广州、深圳、珠海、东莞、中山、佛山、惠州、肇庆和江门这 9 座城市,其中,广州是广东省省会和人口最多的城市,珠三角东部(深圳、东莞)是经济最发达的地区,西部(佛山、珠海、中山)是开放发展地区,最外围(肇庆、惠州、江门)是正在开发的地区.珠三角城市群不但是中国最具活力的经济空间之一,也是绿色低碳发展的先行示范区.

1.2 数据来源

本文研究样本涵盖珠三角城市群 9 座城市 2001~2019 年的年度数据.其中,城市碳排放量依据 IPCC 发布的部分能源消耗二氧化碳排放量简化估算方法计算得出^[26],其余变量数据来自于历年中国城市统计年鉴和中国能源统计年鉴.

1.3 研究方法

1.3.1 碳排放空间关联网络的确定

在模型选择方面,现有探索区域碳排放空间相关性特征的研究多采用向量自回归模型或引力模型^[27~30];在影响因素选择方面,已有研究表明,经济、地理和人口因素对于城市碳排放关联的形成具有重要影响.考虑到向量自回归模型受制于滞后阶数的选择^[31~33],本文采用改进的引力模型构建碳排放空间关联网络.具体模型如下:

$$G_{ij} = \frac{C_i}{C_i + C_j} \times \frac{\sqrt[3]{P_i C_i E_i} \sqrt[3]{P_j C_j E_j}}{\left(\frac{D_{ij}}{e_i - e_j}\right)^2} \quad (1)$$

式中, i 和 j 分别表示 i 城市和 j 城市; G_{ij} 为城市间的碳排放关联程度; D_{ij} 为城市间的地理距离; C 、

P 、 E 和 e 分别为各城市的碳排放量、总人口、生产总值和人均生产总值; $D_{ij}/(e_i - e_j)$ 为城市间的经济距离.

1.3.2 网络特征指数概念界定

本文通过碳排放网络的密度、关联度、等级和效率这 4 个维度来衡量整体网络特征^[34,35].其中,网络密度、关联度、等级和效率分别反映了整体网络结构的紧密性、可达性、层次性和连接效率.个体网络特征则通过点度中心度、中介中心度和接近中心度这 3 个维度进行衡量^[34,35].其中,点度中心度、中介中心度和接近中心度分别反映了个体网络结构的中心程度、关联能力和控制能力.

1.3.3 空间网络结构的碳减排效应分析

区域碳排放受到诸多因素的影响,已有大量学者基于不同的视角和方法探寻碳排放的主要驱动因素,具体可分为以下 3 个方面,分别是规模效应、结构效应和技术效应^[36].其中,经济因素、人口因素和开放程度反映了规模效应;产业结构和城市化水平反映了结构效应;技术水平反映了技术效应.然而,碳排放空间关联的结构特征对于碳排放属性数据的影响效应却鲜有学者关注.为了揭示城市群空间关联网络特征的碳减排效应,本文从整体网络结构和个体网络结构这 2 个方面实证考察其对于区域碳排放的影响.相关变量定义如表 1 所示.

表 1 变量定义

Table 1 Variable definition		
变量	含义	定义
CO ₂	碳排放量	城市碳排放量
Density	网络密度	前文计算得出
Efficiency	网络效率	前文计算得出
Hierarchy	网络等级	前文计算得出
Degree	点度中心度	前文计算得出
Betweenness	中介中心度	前文计算得出
Closeness	接近中心度	前文计算得出
Development	经济发展水平	城市人均 GDP
Population	人口规模	城市年末人口
Open	对外开放水平	城市进出口额占 GDP 比重
Structure	产业结构	城市第二产业增加值占 GDP 比重
Technology	技术水平	城市每千名研发人员绿色专利申请量
Urban	城市化水平	城市城镇人口占总人口比重

2 结果与讨论

2.1 碳排放空间关联网络的结构特征

2.1.1 整体网络结构特征

表 2 为珠三角城市群在样本考察期内的整体网络结构特征描述性统计.从中可知,在样本观察期内,珠三角城市群碳排放空间关联关系数最大值为 27,最小值为 18,平均值为 22.316.无论是关联数量的最大值还是平均值均远小于可能的最大关联数

72(8×9),表明城市群内各城市间的碳排放联系程度不够紧密,网络关联度有待进一步提升.同时,关联关系数的标准差达到 2.202,表明关联关系在样本年内的变化幅度较大.网络密度和网络效率的均值分别为 0.310 和 0.784,均处于较低水平,表明城市群整体碳排放网络结构较为松散,城市间的碳排放交流与合作亟待增强^[37,38].网络等级的均值为 0.321,但标准差达到 0.239,说明碳排放空间网络的等级呈现较为剧烈的波动趋势,各城市之间的从属结构变动频繁.

表 2 整体网络结构特征

Table 2 Characteristics of overall network structure

变量	均值	标准差	最大值	最小值
Connectedness	22.316	2.202	27.000	18.000
Density	0.310	0.031	0.375	0.250
Efficiency	0.784	0.042	0.857	0.639
Hierarchy	0.321	0.239	0.821	0.000

2.1.2 个体网络结构特征

表 3 展示了珠三角城市群 9 座城市 2001 年和 2019 年个体网络结构特征的测度结果.在点度中心度方面,2001 年珠三角 9 座城市依据点度中心度数值可划分为 2 个梯队.其中,第一梯队包括广州和深圳这 2 座城市,第二梯队包括佛山、肇庆、东莞、惠州、珠海、中山和江门这 7 座城市.位列第一梯队的城市处于网络的中心地位,与其它城市有较多的碳排放关联,位列第二梯队的城市则更多处于网络的

边缘位置.2019 年,珠三角 9 座城市依据点度中心度数值可划分为 3 个梯队,其中,第一梯队包括广州和深圳这 2 座城市,第二梯队包括江门这座城市,第三梯队包括佛山、肇庆、东莞、惠州、珠海和中山这 6 座城市.可见,珠三角城市群中心-边缘结构在近 20 年发生了一定程度的变化,尽管广州和深圳仍旧牢牢占据网络的中心位置,但有部分城市如江门,逐渐由网络边缘向网络中心发展.

在中介中心度方面,2001 年和 2019 年珠三角 9 座城市依据中介中心度数值可划分为 3 个梯队.其中,第一梯队包括广州和深圳这 2 座城市,第二梯队包括江门这座城市,第三梯队包括佛山、肇庆、东莞、惠州、珠海和中山这 6 座城市.尽管近 20 年来中介中心度的城市梯队结构没有发生明显变化,但城市间的差距却在缩小.深圳的中介中心度有所降低,表明其控制其它城市关联关系的能力有所减弱,边缘城市有逐渐由被控制向控制角色转变的趋势.

在接近中心度方面,2001 年和 2019 年珠三角 9 座城市依据中心度数值可划分为 2 个梯队.其中,第一梯队包括广州、深圳和江门这 3 座城市,第二梯队包括佛山、肇庆、东莞、惠州、珠海和中山这 6 座城市.同样可以发现,近 20 年间 9 座城市的接近中心度数值差距逐渐缩小,表明网络中扮演中心行动者角色的城市越来越受到边缘城市的挑战,其对于整体网络结构的控制能力在减弱.

表 3 个体网络结构特征

Table 3 Characteristics of individual network structure

城市	2001 年		2019 年		2001 年		2019 年		2001 年		2019 年	
	Degree	排序	Degree	排序	Betweenness	排序	Betweenness	排序	Closeness	排序	Closeness	排序
广州	62.500	1	62.500	1	28.571	2	30.357	1	66.667	2	72.727	1
佛山	25.000	5	25.000	6	0.000	9	0.000	8	50.000	7	50.000	8
肇庆	37.500	3	37.500	4	8.750	4	6.250	4	57.143	4	57.143	4
深圳	62.500	1	62.500	1	36.786	1	30.357	1	72.727	1	72.727	1
东莞	25.000	5	25.000	6	1.607	7	0.893	6	53.333	5	53.333	6
惠州	25.000	5	25.000	6	1.607	7	0.893	6	53.333	5	53.333	6
珠海	25.000	5	25.000	6	2.500	6	0.000	8	44.444	9	44.444	9
中山	25.000	5	37.500	4	5.357	5	5.357	5	50.000	7	57.143	4
江门	37.500	3	50.000	3	18.393	3	22.321	3	61.538	3	66.667	3
均值	36.111	—	38.889	—	11.508	—	10.714	—	56.576	—	58.613	—

2.2 空间关联网络结构特征的碳减排效应分析

2.2.1 整体网络结构特征的效应分析

本节以珠三角城市群整体碳排放量作为被解释变量,以整体网络结构特征作为核心解释变量进行回归分析.同时,为减少因为变量遗漏所引致的估计结果的偏差,本文还增加包括经济因素、人口因素、开放程度、产业结构、城市化水平和技

术水平等控制变量.为消除数据可能存在的异方差性,对被解释变量及解释变量均取自然对数.表 4 为整体网络结构效应的 OLS 回归结果.从中可知,网络密度在 1% 的显著性水平上显著为负,网络效率和网络等级在 1% 的显著性水平上显著为正,即碳排放空间关联网络密度的提升、网络等级和网络效率的降低均能够显著降低城市群整体碳

排放量,且网络效率的碳减排效应最大,网络等级次之,网络密度对于碳减排的影响作用最为微弱.这表明珠三角城市群能够通过提高碳排放网络密度来提升整体网络的紧密程度,增强低碳城市的

辐射效应,通过降低网络效率来缩小各城市间的碳排放差异,通过降低网络等级来增强对于其它城市的碳排放约束,进而降低城市群整体碳排放量.

表 4 整体网络结构效应的回归结果¹⁾

Table 4 Regression results of overall network structure effect

变量	模型 1	模型 2	模型 3
Density	-0.015 *** (-4.42)		
Efficiency		0.150 *** (3.39)	
Hierarchy			0.020 *** (5.86)
Development	0.156 *** (8.75)	0.156 *** (8.40)	0.156 *** (8.67)
Population	0.582 *** (7.26)	0.580 *** (7.07)	0.586 *** (7.42)
Open	0.102 *** (3.64)	0.100 *** (3.46)	0.103 *** (3.55)
Structure	1.373 * (2.07)	1.358 * (2.02)	1.379 * (2.07)
Technology	-0.119 *** (-3.00)	-0.116 *** (-3.97)	-0.118 *** (-3.99)
Urban	2.652 *** (9.09)	2.624 *** (9.00)	2.655 *** (9.11)
Constant	-4.307 *** (-4.43)	-4.145 *** (-3.89)	-4.341 *** (-4.52)
adj-R ²	0.843	0.841	0.844

1) 括号外为估计系数,括号内为 *t* 值; *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 水平上显著,下同

2.2.2 个体网络结构特征的效应分析

本节以珠三角城市群各城市碳排放量为被解释变量,以个体网络结构特征为核心解释变量,结合 Hausman 检验结果构建面板数据固定效应模型进行回归分析.表 5 为个体网络结构效应的面板数据回归结果.从中可知,点度中心度、中介中心度和接近中心度均在 5% 水平上显著为负,表明个体中心度

的提高对于当地城市的碳减排具有促进作用.究其原因,中心度的提高意味着该城市加深了与其它城市之间的碳排放关联,与其它城市进行低碳交流的成本降低,如资源能源配置成本和技术成本的降低,这有利于本地的碳减排.就效应大小而言,接近中心度对于碳减排的直接效应最大,中介中心度次之,点度中心度的减排作用最为微弱.

表 5 个体网络结构效应的面板数据回归结果

Table 5 Regression results of individual network structure effect

变量	模型 4	模型 5	模型 6
Degree	-0.000 ** (-2.21)		
Betweenness		-0.001 ** (-2.55)	
Closeness			-0.001 *** (-2.61)
Development	0.243 *** (5.32)	0.209 *** (4.61)	0.254 *** (5.58)
Population	0.155 *** (3.60)	0.170 *** (3.96)	0.163 *** (3.82)
Open	0.054 *** (7.70)	0.051 *** (7.24)	0.055 *** (8.07)
Structure	0.039 *** (3.34)	0.063 *** (3.51)	0.024 *** (3.22)
Technology	-0.025 *** (-3.21)	-0.027 *** (-3.36)	-0.032 *** (-3.53)
Urban	1.677 *** (6.95)	1.820 *** (7.37)	1.751 *** (7.31)
Constant	0.946 ** (1.97)	0.303 * (1.87)	0.131 * (1.68)
adj-R ²	0.834	0.863	0.873
固定效应/随机效应	固定效应	固定效应	固定效应

2.2.3 内生性检验

考虑到碳排放量较低的地区往往发展水平较高,具有较为合理的空间结构,且低碳城市本身往往作为模范城市在地区表现出引领作用,其中心性较高.因此,网络结构特征的碳减排效应可能存在反向因果的内生性问题,本节使用两阶段工具变量估计方法来处理潜在的内生性问题. Lewbel^[39]展示了在没有外部工具可用的情况下,如何使用异方差来构建工具变量.参照该方法,在上述回归模型中应用了

其估计量.工具变量估计结果肯定了整体和个体网络结构特征的碳减排效应.

2.2.4 稳健性检验

(1) 改变核心变量测度方式 为了进一步验证本文所计算出的二氧化碳排放量的准确性,参考 Chen 等^[25]的研究方法,基于校正的 NPP-VIIRS 夜间灯光数据估算珠三角各城市碳排放量,并进行相应分析.结果表明,基于夜间灯光数据反演估算的碳排放量与基于能源消耗数据计算的碳排放量之间平

均相对误差仅为 1.15%,同时核心变量的结构特征及回归结果也与前文保持一致。

(2)改变模型估计方法 考虑到上述模型中自变量间可能存在一定的多重共线性问题,本文采用岭回归^[40,41]和偏最小二乘回归^[42,43]方法重新估计整体和个体网络结构特征的碳减排效应,模型估计结果肯定了前文的相关结论。

(3)改变模型形式 考虑到区域碳排放存在显著的空间溢出效应,本文构建空间计量模型^[44,45],重新估计整体和个体网络结构特征的碳减排效应,估计结果与前文基本一致,表明前文估计结果是稳健的。

3 结论

(1)近 20 年珠三角城市群内各城市间的碳排放联系程度较为疏松,从属结构变动频繁,城市间的碳排放交流与合作亟待增强。

(2)碳排放关联网的中心-边缘结构产生一定程度的松动,中心城市对于整体网络结构的控制能力减弱,边缘城市有逐渐由被控制向控制角色转变的趋势。

(3)网络密度的提升、网络等级和网络效率的降低均能够显著降低城市群整体碳排放量,且网络效率降低带来的碳减排效应最为明显;点度中心度、中介中心度和接近中心度的提高均能显著降低本地城市碳排放量,且接近中心度的提高带来的碳减排效应最为明显。

参考文献:

- [1] Shan Y L, Guan D B, Liu J H, *et al.* Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, **161**: 1215-1225.
- [2] Miao Z, Sheng J C, Webber M, *et al.* Measuring water use performance in the cities along China's South-North water transfer project [J]. *Applied Geography*, 2018, **98**: 184-200.
- [3] 刘华军, 刘传明, 孙亚男. 中国能源消费的空间关联网结构特征及其效应研究[J]. *中国工业经济*, 2015, (5): 83-95.
Liu H J, Liu C M, Sun Y N. Spatial correlation network structure of energy consumption and its effect in China [J]. *China Industrial Economics*, 2015, (5): 83-95.
- [4] Browne D, O'Regan B, Moles R. Comparison of energy flow accounting, energy flow metabolism ratio analysis and ecological footprinting as tools for measuring urban sustainability: a case-study of an Irish city-region [J]. *Ecological Economics*, 2012, **83**: 97-107.
- [5] 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]. *Environmental Science*, 2014, **35**(1): 385-393.
- [6] 陈操操, 蔡博峰, 孙粉, 等. 京津冀与长三角城市群碳排放的空间聚集效应比较[J]. *中国环境科学*, 2017, **37**(11): 4371-4379.
- [7] Chen C C, Cai B F, Sun F, *et al.* Spatial agglomeration effects of carbon dioxide emissions between Beijing-Tianjin-Hebei region and Yangtze River delta region [J]. *China Environmental Science*, 2017, **37**(11): 4371-4379.
- [8] 杨乐, 李贺鹏, 孙滨峰, 等. 新安江水库二氧化碳排放的时空变化特征[J]. *环境科学*, 2017, **38**(12): 5012-5019.
Yang L, Li H P, Sun B F, *et al.* Spatial and temporal variability of CO₂ emissions from the Xin'anjiang reservoir [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(12): 5012-5019.
- [9] 孙秀峰, 施开放, 吴健平. 县级尺度的重庆市碳排放时空格局动态[J]. *环境科学*, 2018, **39**(6): 2971-2981.
Sun X F, Shi K F, Wu J P. Spatiotemporal dynamics of CO₂ emissions in Chongqing: an empirical analysis at the county level [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(6): 2971-2981.
- [10] 于博, 杨旭, 吴相利. 哈长城市群县域碳排放空间溢出效应及影响因素研究——基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的实证[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(2): 697-706.
Yu B, Yang X, Wu X L. Study on spatial spillover effects and influencing factors of carbon emissions in county areas of Ha-Chang city group: evidence from NPP-VIIRS nightlight data [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(2): 697-706.
- [11] 蒋自然, 金环环, 王成金, 等. 长江经济带交通碳排放测度及其效率格局(1985~2016年)[J]. *环境科学*, 2020, **41**(6): 2972-2980.
Jiang Z R, Jin H H, Wang C J, *et al.* Measurement of traffic carbon emissions and pattern of efficiency in the Yangtze river economic belt (1985-2016) [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(6): 2972-2980.
- [12] 杨桂元, 吴齐, 涂洋. 中国省际碳排放的空间关联及其影响因素研究——基于社会网络分析方法[J]. *商业经济与管理*, 2016, (4): 56-68, 78.
Yang G Y, Wu Q, Tu Y. Researchs of China's regional carbon emission spatial correlation and its determinants: based on the method of social network analysis [J]. *Journal of Business Economics*, 2016, (4): 56-68, 78.
- [13] 孙亚男, 刘华军, 刘传明, 等. 中国省际碳排放的空间关联性及其效应研究——基于 SNA 的经验考察[J]. *上海经济研究*, 2016, (2): 82-92.
Sun Y N, Liu H J, Liu C M, *et al.* Research on spatial association of provinces carbon emissions and its effects in China [J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2016, (2): 82-92.
- [14] 张翼. 基于空间关联网结构的中國省域协同碳减排研究[J]. *统计与信息论坛*, 2017, **32**(2): 63-69.
Zhang Y. Study on Chinese provincial collaborative carbon reduction based on spatial correlation network structure [J]. *Statistics & Information Forum*, 2017, **32**(2): 63-69.
- [15] 张德钢, 陆远权. 中国碳排放的空间关联及其解释——基于社会网络分析法[J]. *软科学*, 2017, **31**(4): 15-18.
Zhang D G, Lu Y Q. Study on the spatial correlation and explanation of carbon emission in China——Based on social network analysis [J]. *Soft Science*, 2017, **31**(4): 15-18.
- [16] Wang F, Gao M N, Liu J, *et al.* The spatial network structure of China's regional carbon emissions and its network effect [J]. *Energies*, 2018, **11**(10), doi: 10.3390/en1102706.
- [17] 吴佳勉, 赵巧芝, 孙圣仪. 基于 SNA 方法的区域间碳排放空间关联网特征测度研究[J]. *统计与管理*, 2019, **34**(10): 35-38.
- [18] Hashmi R, Alam K. Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO₂ emissions, population, and economic growth in OECD countries: a panel investigation [J].

- Journal of Cleaner Production, 2019, **231**: 1100-1109.
- [18] Khan A, Muhammad F, Yang C G, *et al.* The impression of technological innovations and natural resources in energy-growth-environment nexus: a new look into BRICS economies [J]. Science of the Total Environment, 2020, **727**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138265.
- [19] Fang K, Tang Y Q, Zhang Q F, *et al.* Will China peak its energy-related carbon emissions by 2030? Lessons from 30 Chinese provinces [J]. Applied Energy, 2019, **255**, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113852.
- [20] Yu Y, Du Y. Impact of technological innovation on CO₂ emissions and emissions trend prediction on 'New Normal' economy in China [J]. Atmospheric Pollution Research, 2019, **10**(1): 152-161.
- [21] Ahmad M, Li H, Anser M K, *et al.* Are the intensity of energy use, land agglomeration, CO₂ emissions, and economic progress dynamically interlinked across development levels? [J]. Energy & Environment, 2021, **32**(4): 690-721.
- [22] Meng M, Zhou J. Has air pollution emission level in the Beijing-Tianjin-Hebei region peaked? A panel data analysis [J]. Ecological Indicators, 2020, **119**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106875.
- [23] Yu X, Wu Z Y, Zheng H R, *et al.* How urban agglomeration improve the emission efficiency? A spatial econometric analysis of the Yangtze River Delta urban agglomeration in China [J]. Journal of Environmental Management, 2020, **260**, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.110061.
- [24] Feng T, Du H B, Lin Z G, *et al.* Spatial spillover effects of environmental regulations on air pollution: evidence from urban agglomerations in China [J]. Journal of Environmental Management, 2020, **272**, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110998.
- [25] Chen H X, Zhang X L, Wu R W, *et al.* Revisiting the environmental Kuznets curve for city-level CO₂ emissions: based on corrected NPP-VIIRS nighttime light data in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, **268**, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121575.
- [26] 孟祥宁, 张林. 中国装备制造业绿色全要素生产率增长的演化轨迹及动力 [J]. 经济与管理研究, 2018, **39**(1): 105-115.
- Meng X N, Zhang L. Evolutionary trail and dynamics of green total factor productivity growth in China's equipment manufacturing industry [J]. Research on Economics and Management, 2018, **39**(1): 105-115.
- [27] 李敬, 陈澍, 万广华, 等. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法 [J]. 经济研究, 2014, **49**(11): 4-16.
- Li J, Chen S, Wan G H, *et al.* Study on the spatial correlation and explanation of regional economic growth in China—Based on analytic network process [J]. Economic Research Journal, 2014, **49**(11): 4-16.
- [28] Rödder W, Brenner D, Kulmann F. Entropy based evaluation of net structures—deployed in social network analysis [J]. Expert Systems with Applications, 2014, **41**(17): 7968-7979.
- [29] Schröter B, Hauck J, Hackenberg I, *et al.* Bringing transparency into the process: social network analysis as a tool to support the participatory design and implementation process of payments for ecosystem services [J]. Ecosystem Services, 2018, **34**: 206-217.
- [30] Zhang G L, Zhang N, Liao W M. How do population and land urbanization affect CO₂ emissions under gravity center change? A spatial econometric analysis [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, **202**: 510-523.
- [31] Maharani W, Gozali A A. Collaborative social network analysis and content-based approach to improve the marketing strategy of SMEs in Indonesia [J]. Procedia Computer Science, 2015, **59**: 373-381.
- [32] Rios V, Gianmoena L. Convergence in CO₂ emissions: a spatial economic analysis with cross-country interactions [J]. Energy Economics, 2018, **75**: 222-238.
- [33] Balado-Naves R, Baños-Pino J F, Mayor M. Do countries influence neighbouring pollution? A spatial analysis of the EKC for CO₂ emissions [J]. Energy Policy, 2018, **123**: 266-279.
- [34] Brooks B, Hogan B, Ellison N, *et al.* Assessing structural correlates to social capital in Facebook ego networks [J]. Social Networks, 2014, **38**: 1-15.
- [35] Badi S, Wang L S, Pryke S. Relationship marketing in Guanxi networks: a social network analysis study of Chinese construction small and medium-sized enterprises [J]. Industrial Marketing Management, 2017, **60**: 204-218.
- [36] Xue L M, Meng S, Wang J X, *et al.* Influential factors regarding carbon emission intensity in China: a spatial econometric analysis from a provincial perspective [J]. Sustainability, 2020, **12**(19), doi: 10.3390/su12198097.
- [37] 郑石明. 政治周期、五年规划与环境污染——以工业二氧化硫排放为例 [J]. 政治学研究, 2016, (2): 80-94.
- Zheng S M. Political cycle, Five-Year plan and environmental pollution—with empirical analysis of industrial sulfur dioxide emissions [J]. CASS Journal of Political Science, 2016, (2): 80-94.
- [38] Cao X, Kostka G, Xu X. Environmental political business cycles: the case of PM_{2.5} air pollution in Chinese prefectures [J]. Environmental Science & Policy, 2019, **93**: 92-100.
- [39] Lewbel A. [J]. Journal of Business & Economic Statistics, 2012, **30**(1): 67-80.
- [40] 孙艳伟, 李加林, 李伟芳, 等. 海岛城市碳排放测度及其影响因素分析——以浙江省舟山市为例 [J]. 地理研究, 2018, **37**(5): 1023-1033.
- Sun Y W, Li J L, Li W F, *et al.* Estimating the carbon emissions and influencing factors of island city: a case study in Zhoushan Islands, Zhejiang province [J]. Geographical Research, 2018, **37**(5): 1023-1033.
- [41] 张庆宇, 张雨龙, 潘斌斌. 改革开放40年中国经济增长与碳排放影响因素分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2019, **33**(10): 9-13.
- Zhang Q Y, Zhang Y L, Pan B B. Analysis of factors affecting China's economic growth and carbon emissions during the 40 years of reform and opening [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, **33**(10): 9-13.
- [42] 张先锋, 韩雪, 张庆彩. 基于偏最小二乘模型的碳排放区域差异及影响因素的实证分析 [J]. 工业技术经济, 2013, **32**(7): 100-109.
- Zhang X F, Han X, Zhang Q C. Regional difference and influence factors of carbon emissions: empirical analysis based on Partial Least Squares method [J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2013, **32**(7): 100-109.
- [43] 邱士雷, 董会忠, 吴宗杰. 基于PLS的区域碳排放驱动因素及减排路径研究——以山东省为例 [J]. 科技管理研究, 2017, **37**(3): 235-242.
- Qiu S L, Dong H Z, Wu Z J. Research on driving factors of regional carbon emissions and reduction path in Shandong [J]. Science and Technology Management Research, 2017, **37**(3):

- 235-242.
- [44] 吕倩. 京津冀地区汽车运输碳排放影响因素研究[J]. 中国环境科学, 2018, **38**(10): 3689-3697.
- Lv Q. Study on the driving factors of vehicle transport carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. China Environmental Science, 2018, **38**(10): 3689-3697.
- [45] 蒯雪芹, 边宇, 王岱. 京津冀地区工业碳排放效率时空演化特征及影响因素[J]. 经济地理, 2021, **41**(6): 187-195.
- Lin X Q, Bian Y, Wang D. Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of industrial carbon emission efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Economic Geography, 2021, **41**(6): 187-195.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjks.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用1, 1.1, 1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1), (2)……表示,后缩2格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102;E-mail:hjks@rcees.ac.cn;网址:www.hjks.ac.cn

CONTENTS

Regionalization and Analysis of PM _{2.5} and O ₃ Synergetic Prevention and Control Areas Based on Remote Sensing Data	LI Shen-xin, ZOU Bin, ZHANG Feng-ying, <i>et al.</i>	(4293)
Analysis of a Typical Ozone Pollution Process in Guangzhou in Winter	PEI Cheng-lei, XIE Yu-tong, CHEN Xi, <i>et al.</i>	(4305)
Establishment and Application of Foshan Ozone Concentration Forecast Equation	CHEN Chen, HONG Ying-ying, TAN Hao-bo, <i>et al.</i>	(4316)
Establishment of High-Resolution Emissions Inventory in Wuhai and Its Application in Exploring the Causes of Ozone Pollution	ZHANG Rui-xin, CHU Bo, SHANG Chun-lin, <i>et al.</i>	(4327)
Investigating the Pollutants of Marine Shipping Emissions Along the East China Sea by Combining in-situ Measurements and Automatic Identification System	QIU Hao, LIU Dan-long, WU Yang-zhou, <i>et al.</i>	(4338)
Chemical Component of Particulate Matters and VOCs Characteristics During Vehicle Brake Processes	MEN Zheng-yu, LIU Du-you, GUO Quan-you, <i>et al.</i>	(4348)
Characterization of VOCs Emissions from Caged Broiler House in Winter	CAO Tian-tian, ZHENG Yun-hao, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(4357)
Concentrations and Community Structures of Culturable Bacteria in Aerosols of Household Garbage Stations in Shanghai	LU Bing-jie, ZHANG Xiang, WANG Chuan, <i>et al.</i>	(4367)
Inventory and Distribution Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emissions in Zhejiang Province from 2008 to 2018	FANG Li-jiang, YANG Yi-qun, YE Guan-qiong	(4380)
Roadmap of Coal Control and Carbon Reduction in the Steel Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target	XUE Ying-lan, ZHANG Jing, LIU Yu, <i>et al.</i>	(4392)
Carbon Emission Reduction Effect of Spatial Correlation Network Structure Characteristics: From the Perspective of Urban Agglomeration	ZHENG Hang, YE A-zhong	(4401)
Pollution and Carbon Reduction Effect of OFDI in China and Its Mechanism	BAI Zi-han, LÜ Lian-hong, ZHAO Ming-xuan, <i>et al.</i>	(4408)
Variation Characteristics of Surface Water Quality in China in Recent Years	JI Xiao-yan, HOU Huan-huan, WANG Shan-shan, <i>et al.</i>	(4419)
Distribution, Risk, and Influencing Factors of Microplastics in Surface Water of Huangshui River Basin	FAN Meng-yuan, HUANG Yi-mei, ZHANG Hai-xin, <i>et al.</i>	(4430)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics in the Surface Water of the Fenhe River Basin and Influence Factors	ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, WANG Zhi-heng, <i>et al.</i>	(4440)
Characteristics and Causes of High-manganese Groundwater in Pearl River Delta During Urbanization	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i>	(4449)
Characteristics and Causes of Groundwater Salinization in the Plain Area of the Lower Kashgar River	LU Han, ZENG Yan-yan, ZHOU Jin-long, <i>et al.</i>	(4459)
Sources and Biogeochemical Processes of Nitrate in the Laolongdong Karst Underground River Basin, Chongqing	WANG Yu-yang, YANG Ping-heng, ZHANG Jie-ru	(4470)
Succession Pattern and Consequences of the Dominant Species During Cyanobacterial Bloom and Its Influencing Factors	OUYANG Tian, ZHAO Lu, JI Lu-lu, <i>et al.</i>	(4480)
Structural Characteristics of Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Group of Drinking Water Reservoirs by Water Transmission from Modaomen Waterway in Zhuhai	ZHANG Mo-li, WANG En-rui, CHANG Sheng, <i>et al.</i>	(4489)
Effects of Nutrients on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and Bacteria in the Phycosphere	LÜ Ping, LI Hui-li, XU Yong, <i>et al.</i>	(4502)
Effect of Aging on Adsorption of Tetracycline by Microplastics and the Mechanisms	WANG Lin, WANG Shu-xin, ZENG Xiang-ying, <i>et al.</i>	(4511)
Effect of Colloids in Sediment and Soil on Their Sorption Behavior of Chloramphenicol	YAN Cai-xia, LUO Yan-qing, NIE Ming-hua, <i>et al.</i>	(4522)
Historical Antibiotic Stress Changed the Effects of Sulfamethoxazole and Trimethoprim on Activated Sludge: ARGs and Potential Hosts	ZHANG Zhong-xing, FAN Xiao-yan, LI Xing, <i>et al.</i>	(4536)
Spatial Distribution and Sources of Heavy Metals in Soil of a Typical Lead-Zinc Mining Area, Yangshuo	CHEN Meng, PAN Yong-xing, HUANG Yi-xiang, <i>et al.</i>	(4545)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Baiyangdian Lake	ZHENG Fei, GUO Xin, TANG Ming-yang, <i>et al.</i>	(4556)
Spatial Differentiation and Influencing Factor Analysis of Soil Heavy Metal Content at Town Level Based on Geographic Detector	GONG Cang, WANG Liang, WANG Shun-xiang, <i>et al.</i>	(4566)
Heavy Metal Emissions from Coal-fired Power Plants and Heavy Metal Pollution Characteristics and Health Risks in Surrounding Soils	CHE Kai, CHEN Chong-ming, ZHENG Qing-yu, <i>et al.</i>	(4578)
Enrichment Factors, Health Risk, and Source Identification of Heavy Metals in Agricultural Soils in Semi-arid Region of Hainan Island	YANG Jian-zhou, GONG Jing-jing, WANG Zhen-liang, <i>et al.</i>	(4590)
Speciation and Pollution Assessment of Heavy Metals in Mangrove Surface Sediments in Jiulong River Estuary	ZHANG Hua-lan, YU Rui-lian, WAN Rui-an, <i>et al.</i>	(4601)
Status of Heavy Metal in Organic Fertilizers in Main Tea Growing Regions of China	YI Xiao-yun, FANG Li, YANG Xiang-de, <i>et al.</i>	(4613)
Accumulation Characteristics and Sources of PAEs in Agricultural Soils in Gansu Province	CHEN Yu-yu, ZHANG Guang-quan, ZHANG Yang, <i>et al.</i>	(4622)
Distribution Characteristics of Soil Phosphorus Forms and Phosphatase Activity at Different Altitudes in the Soil of Water-Level-Fluctuation Zone in Pengxi River, Three Gorges Reservoir	GAO Yi-lun, FANG Fang, TANG Zi-chao, <i>et al.</i>	(4630)
Characteristics of Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Other Soil Physical and Chemical Factors in Cotton Fields with Different Continuous Cropping Years in the Oasis on the Northern Edge of Tarim Basin	LI Xin-zhu, GONG Lu, TANG Jun-hu, <i>et al.</i>	(4639)
Response of Soil Respiration Rates to Soil Temperature and Moisture at Different Soil Depths of <i>Caragana korshinskii</i> Plantation in the Loess-Hilly Region	SUN Ya-rong, WANG Ya-juan, ZHAO Min, <i>et al.</i>	(4648)
Influence of Biochar Application on Soil Nitrate Leaching and Phosphate Retention: A Synthetic Meta-analysis	JIANG Zhi-xiang, CUI Shuang, ZHANG Xin, <i>et al.</i>	(4658)
Role and Mechanism of Low Molecular-Weight-Organic Acids in Enhanced Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil	FANG Zhi-guo, XIE Jun-ting, YANG Qing, <i>et al.</i>	(4669)
Remediation Effect and Mechanism of Inorganic Passivators on Cadmium Contaminated Acidic Paddy Soil	ZHANG Jian, KONG Fan-yi, LU Sheng-gao	(4679)
Mechanism of Lead-zinc Enrichment and Resistance of Spent Mushroom Compost to Lead-Zinc Slag in <i>Koeleria paniculata</i>	XIE Tian-zhi, CHEN Yong-hua, SU Rong-kui, <i>et al.</i>	(4687)
Phosphorus Enrichment Efficiency of CaO ₂ @FA Composites and the Effect of Its Recovered Material on Soil Improvement	YUE Wei, LI Da-peng, WU Ling-yu, <i>et al.</i>	(4697)
Effects of Early Rice Straw Returning with Reducing Potassium Fertilizer on Late Rice Yield and Soil Fertility	HUANG Qiao-yi, HUANG Jian-feng, HUANG Xu, <i>et al.</i>	(4706)
Effects of Continuous Straw Returning with Chemical Fertilizer on the Carbon Pool and Crop Yield of Rice-Rape Rotation Soils	CAI Ying, FU Si-wei, ZHANG Bo-rui, <i>et al.</i>	(4716)
Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Straw Application on Diazotrophic Communities in a Double Rice Cropping System	CHEN Kai-peng, WEI Ju-xian, CHEN Dan, <i>et al.</i>	(4725)
Impacts of Co-application of Chemical Fertilizer Reduction and Organic Material Amendment on Fluvio-aquic Soil Microbial N-cycling Functional Gene Abundances and N-converting Genetic Potentials in Northern China	LI Sheng-jun, HU He, LI Gang, <i>et al.</i>	(4735)
Response Characteristics of Soil Microbial Community Under Long-term Film Mulching	HU Zhi-e, XIAO Mou-liang, DING Ji-na, <i>et al.</i>	(4745)
Effects of Long-term Straw Returning on Fungal Community, Enzyme Activity and Wheat Yield in Fluvio-aquic Soil	MA Lei, LI Yan, WEI Jian-lin, <i>et al.</i>	(4755)
Effects of Soil Amendments on the Bacterial Diversity and Abundances of Pathogens and Antibiotic Resistance Genes in Rhizosphere Soil Under Drip Irrigation with Reclaimed Water	CUI Bing-jian, CUI Er-ping, LIU Chun-cheng, <i>et al.</i>	(4765)
Effect of Nitrogen on the Phytoremediation of Cd-PAHs Co-contaminated Dumpsite Soil by Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) and on the Soil Bacterial Community Structure	LI Yi-jia, MA Jun-wei, LI Yu-qian, <i>et al.</i>	(4779)
Effect of Antibiotic-Degrading Bacteria on Maturity and Bacterial Community Succession During Pig Manure Composting	LI Wei-lin, ZHANG Xin, MA Jun-wei, <i>et al.</i>	(4789)