

目次

中国省域差异化碳达峰评价方法与应用	刘润璞, 彭栓, 陈玉烁, 陈民, 张楠, Nihed Benani, 吕连宏, 阳平坚 (1233)
全生命周期视角下中国建筑碳排放空间关联网络演化及影响因素分析	任晓松, 李昭睿 (1243)
京津冀地区城市三生空间碳代谢效率特征及演进模式	田超, 程琳琳, 邵盈钊 (1254)
太原市“十四五”规划大气污染防治政策的 CO ₂ 协同效益评估	肖婷玉, 束赕, 李慧, 王涵, 李俊宏, 严沁, 张文杰, 姜华 (1265)
湖南省工业领域碳减排与空气质量改善协同	李楠, 刘弯弯, 朱书涵, 邢晓雯, 汤克勤, 王松伟, 白露 (1274)
“双碳”背景下河南省电力行业中长期控煤降碳路径	张静, 杨萌, 张伟, 曹东, 赵静, 李勃, 薛英岚, 蒋洪强 (1285)
郑州市公交车队电动化减排降碳环境效益	邹超, 汪亚男, 吴琳, 何敬, 倪经纬, 毛洪钧 (1293)
长江中游城市群城市化对 PM _{2.5} 浓度的多尺度驱动机制	张政, 周廷刚, 周志衡, 昌悦 (1304)
天山北坡城市群 PM _{2.5} 浓度时空分布特征及影响因素分析	王相男, 张喆, 刘方青 (1315)
天津市 PM _{2.5} 碳组分空间差异性来源解析	武甫亮, 吴建会, 戴启立, 肖致美, 冯银厂 (1328)
贵阳市花溪城区大气 PM _{2.5} 中碳质气溶胶的变化特征及来源解析	桂佳群, 杨员, 王显钦, 李云武, 闫广轩, 徐鹏 (1337)
新乡市大气 PM _{2.5} 中水溶性离子的污染特征、来源解析及气象影响分析	刘恒嘉, 李岚清, 李焕莉, 任言, 许梦源, 贾梦珂, 刘恒志, 杨莹, 宋天颂, 洪启航 (1349)
2017~2018 年冬季菏泽大气 PM _{2.5} 中金属元素特征及健康风险评估	杜虹萱, 任丽红, 赵明升, 韩慧霞, 徐义生 (1361)
北京市臭氧污染跳变型特征及影响因素分析	潘锦秀, 安欣欣, 刘保献, 李云婷, 李倩, 孙峰, 张章, 邱启鸿, 陈阳 (1371)
南京夏季大气臭氧光化学特征与敏感性分析	罗丽彤, 章炎麟, 林煜棋, Ahsan Mozaffar, 曹梦瑶 (1382)
苏州市初夏臭氧污染成因及年际变化	吴也正, 张鑫, 顾钧, 缪青, 魏恒, 熊宇, 杨倩, 吴斌, 沈文渊, 马强 (1392)
长江中游典型湖泊沉积物重金属分布特征、生态风险评估及溯源	卢洪斌, 卢少勇, 李响, 张森霖, 黄张根 (1402)
基于 PCA-APCS-MLR 模型的乌梁素海表层沉积物重金属时空分布及来源解析	崔志谋, 史小红, 赵胜男, 卢俊平, 张昊, 刘莹慧, 郭鑫, 王彦隽 (1415)
重庆市长寿湖水表层水体重金属时空分布及风险评价	张瑞溪, 刘娅君, 罗泳楠, 李杰芹, 李彩霞, 李佳佳, 张成 (1428)
长江流域微塑料污染特征及生态风险评估	李思琼, 王华, 储林佑, 曾一川, 闫雨婷 (1439)
宜昌市东山运河微塑料污染评估及年排放量估算	丁爽, 李卫明, 张续同, 刘子健, 高雅坤, 李映成, 王芳炜 (1448)
汜水河(荥阳段)入河排污口水体微塑料赋存特征及风险评估	赵长民, 和兵, 李和通, 张瑞琪, 李银月, 张发文, 桂新, 马丽 (1457)
宁夏入黄排水沟中药物和个人护理品的污染特征与生态风险评价	高礼, 李凌云, 郑兰香, 吴海娟, 陶红, 刘邓超 (1468)
浙南瓯江流域水体抗生素污染特征及风险评价	钟奕昕, 李立湘, 吴鑫, 周施阳, 姚飞延, 董好刚 (1480)
鄱阳湖沉积物中多环芳烃的时空分布及源解析	马妍, 孙晨, 毕茹乐, 张波涛, 刘艳, 邵鹏, 刘统, 王圣瑞, 钟文军 (1492)
杭州湾南岸 20 a 水质净化功能变化及预测	王珊珊, 曹公平, 徐明伟, 黄君宝, 曾剑 (1502)
不同缓冲区的土地利用方式对地表水水质的影响:以海河流域天津段为例	代孟均, 张兵, 杜倩倩, 孙季琰, 田蕾, 王义东 (1512)
长江流域安庆段浅层地下水水化学特征及控制因素	刘海, 宋阳, 李迎春, 魏伟, 赵国红, 王旭东, 黄健敏 (1525)
富营养化湖泊藻华降解产生的溶解性有机质动态变化及其环境效应	张瑾, 陈明滢, 郝智能, 钟寰, 何欢, 雷沛杰 (1539)
紫外光活化亚硫酸盐降解水中卡马西平	林涛, 苑宇杰 (1553)
再生水消毒副产物的检测、生成与控制	廖雨枫, 王正, 潘旸, 李爱民 (1561)
3 种人工湿地基质材料对氨氮的吸附特性	何强, 陈博文, 杨雨静, 周全, 刘彦君, 王志刚, 程呈 (1577)
基于改进遥感生态指数的青藏公路那(曲)安(多)段生态环境评估及驱动机制分析	傅楷翔, 贾国栋, 余新晓, 王旭 (1586)
基于 AWRSEI 的岱海流域生态环境质量时空演变及驱动因子分析	赵嘉丽, 李兴, 孙冰 (1598)
定量评估气候变化对长江中下游地区植被 GPP _{GS} 变化的影响	徐勇, 盘钰春, 邹滨, 郑志成, 郭振东 (1615)
基于 Meta 分析的煤矿区植被恢复对土壤有机碳储量的影响	李健明, 康雨欣, 蒋福祯, 宋明丹, 祁凯斌, 卢素锦, 李正鹏 (1629)
连续周年轮作休耕对土壤团聚体稳定性及有机碳的影响	鲁泽让, 李永梅, 杨春怀, 夏梓泰, 程伟威, 王自林, 赵吉霞, 范茂攀 (1644)
4 种改良剂对酸性紫色土肥力及活性有机碳组分的影响	丁馨茹, 严宁珍, 王子芳, 李志琦, 黄容, 王洋, 代文才, 高明 (1655)
不同植茶年限土壤氮素组分变化及其与环境因子关系	邵奇, 吴涛, 解雪峰, 徐梓晴, 李文琦, 蒋国俊, 张建珍, 徐飞 (1665)
黄河下游典型湿地土壤养分及其生态化学计量特征	王传盈, 王凯月, 王浩然, 张梦迪, 周云凯 (1674)
覆膜年限和有机肥施用对花生田耕层土壤微塑料赋存特征的影响	宋宁宁, 李梦佳, 王学霞, 刘君, 王芳丽, 宗海英, 黄小丽, 王斌, 梁丽娜 (1684)
秸秆还田和添加生物炭对热带地区稻菜轮作体系中淹水后土壤温室气体排放的影响	胡天怡, 车佳玥, 胡煜杰, 陈琦琦, 张冬明, 雷菲, 曾建华, 汤水荣, 伍延正, 孟磊 (1692)
耕作深度调控秸秆还田对农田土壤呼吸的影响	陈曦, 张彦军, 邹俊亮, 李天姿, 于媛, 李晶 (1702)
基于遥感时-空-谱特征及随机森林模型的土壤重金属空间分布预测	王泽强, 张冬有, 徐夕博, 王兆鹏, 杨东宇, 宋晓宁 (1713)
黄河流域农田土壤重金属污染特征及其优先控制源分析	李军, 李旭, 李开明, 焦亮, 台喜生, 臧飞, 曹素珍 (1724)
广西贺州市典型矿区周边耕层土壤 Cd 通量特征	杨烨宇, 李程, 杨忠芳, 张起钻, 邹胜章, 宋淑娥, 蔡贺清 (1739)
基于信息扩散模型的沔东地区土壤重金属潜在生态风险评估	杨楠楠, 韩玲, 刘明 (1749)
湘西地区土壤重金属污染溯源分析及环境质量评价	肖凯琦, 徐宏根, 甘杰, 戴亮亮, 李毅, 李凯, 许青阳, 张俊, 邓世民, 李颖 (1760)
典型行业再利用土壤重金属含量分布、来源解析及生态风险评估	沈城, 王文娟, 沙晨燕, 谢雨晴, 王敏, 吴健 (1769)
省级尺度土壤 As 迁移转化与水稻安全种植区划:以贵州省为例	董心月, 吴勇, 周子寒, 王佛鹏, 张云霞, 宋波 (1781)
谷壳灰硅肥改善土壤质量降低水稻镉砷累积的效应	易轩韬, 欧阳坤, 辜娇峰, 李倩, 游萍, 周航, 廖柏寒 (1793)
EDDS 对土壤铜镉有效性及蓖麻吸收转运的影响	刘文英, 吴刚, 胡红青 (1803)
叶面调理剂对复合污染农田小麦籽粒 Cd、As 和 Pb 累积的阻控效应	肖冰, 王秋实, 高培培, 赵全利, 杨威, 王钊, 刘文菊, 薛培英 (1812)
民勤绿洲退耕地土壤微生物群落结构与功能多样性特征	李常乐, 张富, 王理德, 赵赫然, 赵学成, 张恒平 (1821)
宏基因组揭示紫色土中邻苯二甲酸酯去除的微生物学机制	李雨桐, 余海, 刘坤, 柏宏成, 汪军, 朱正杰 (1830)
养鸡场空气微生物污染及工人呼吸暴露风险	白渔樵, 孙兴滨, 仇天雷, 郭雅杰, 高敏, 王旭明 (1840)
玛瑙河多环境介质和铜锈环螺体内微塑料的赋存特征	高雅坤, 李卫明, 张续同, 刘子健, 李映成, 丁爽, 王芳炜, 刘流 (1849)
不同官能团微塑料对斑马鱼胚胎菌群和代谢功能的胁迫效应	闫振华, 张燕, 包旭辉, 朱培元, 陈玉芳 (1859)

全生命周期视角下中国建筑碳排放空间关联网络演化及影响因素分析

任晓松^{1,2,3}, 李昭睿¹

(1. 山西财经大学管理科学与工程学院, 太原 030031; 2. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081; 3. 北京理工大学能源与环境政策研究中心, 北京 100081)

摘要: 基于全生命周期视角核算2011~2019年中国省际建筑碳排放量,采用社会网络分析方法,探究碳排放空间关联网络演化及其影响因素。结果表明:①中国建筑碳排放空间关联网络形态明显存在,网络密度和网络关联数逐渐上升,网络紧密性和稳定性逐渐提高。②上海、浙江、天津、北京和江苏处于碳排放空间关联网络的核心和支配地位。③北京、天津、江苏、内蒙古、上海和山东属于“净受益”板块,接收其他地区的建筑碳排放;广东、重庆、福建和浙江属于“经纪人”板块,实现了建筑碳排放生产端和消费端的动态平衡;其余省份均扮演“净溢出”角色,主动向外省发出建筑碳排放量。板块间的关联关系远大于板块内部的关联关系。④经济发展、空间邻接关系、城镇化、建筑业过程结构和产业结构差异对建筑碳排放空间关联产生显著影响。研究结果可为建筑业区域协同减排提供参考。

关键词: 建筑碳排放; 引力模型; 空间关联; 社会网络分析; 二次指派程序

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)03-1243-11 DOI: 10.13227/j.hjks.202303043

Evolution and Influencing Factors of Spatial Correlation Network of Construction Carbon Emission in China from the Perspective of Whole Life Cycle

REN Xiao-song^{1,2,3}, LI Zhao-rui¹

(1. School of Management Science and Engineering, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030031, China; 2. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 3. Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the whole life cycle perspective, the carbon emissions of the provincial construction industry in China from 2011 to 2019 were calculated from the production, construction, operation, and demolition stages of building materials. A spatial correlation network matrix of the carbon emissions in the construction industry was constructed by using the modified gravity model, and the structural characteristics of the correlation network were described by introducing social network analysis. Through the quadratic assignment program, the spatial correlation matrix of carbon emissions in the construction industry and its influencing factors were regressed and analyzed. The conclusions were as follows: ① the spatial correlation network of carbon emissions in China's construction industry clearly existed. The network density and network correlation numbers were gradually rising, and the network tightness and stability were gradually improving. ② Shanghai, Tianjin, Beijing, and Jiangsu had a higher degree centrality and closeness centrality, which are the core and dominant positions of the spatial correlation network of carbon emissions in the construction industry. Zhejiang replaced Shanghai in the top four from 2013 to 2018, and the betweenness centrality of each province had unbalanced characteristics. ③ Beijing, Tianjin, Jiangsu, Inner Mongolia, Shanghai, and Shandong were “net beneficiaries” blocks, receiving the carbon emissions from other regions. Four provinces, Guangdong, Chongqing, Fujian, and Shandong, belonged to the “broker” sector, achieving a dynamic balance between the production and consumption sides of building carbon emissions. The remaining 20 provinces played a “net spillovers” role, actively sending carbon emissions from the construction industry to other provinces. The correlation between blocks was much greater than the correlation relationship within the blocks. ④ Industrial structure, urban population, spatial adjacency, consumption level, and construction industry process structure had a significant influence on the spatial correlation of carbon emissions in the construction industry. The greater the inter-provincial differences in industrial structure, urban population, spatial adjacency, and consumption level, the greater the similarity of inter-provincial construction industry process structure, and the stronger the spatial correlation and spatial spillover of the construction industry carbon emissions. Finally, according to the evolution characteristics and influencing factors of the spatial correlation network of building carbon emissions, relevant countermeasures and suggestions were provided for the collaborative carbon reduction development of the construction industry region.

Key words: construction industry carbon emissions; the gravity model; spatial correlation; social network analysis; quadratic assignment program

建筑业产生的高能耗以及高排放引发了一系列环境和生态问题,建筑碳排放能否得到有效控制对中国乃至全球能源转型和后疫情时代绿色复苏起到关键作用。2020年我国建筑业增加值占国内生产总值的7.0%^[1],但建筑碳排放占全国碳排放总量的51.3%,严重制约我国“双碳”目标的实现^[2]。由于建筑业发展空间异质性特征明显^[3],区域间交流与合作形成了空间关联,对碳排放的产生和流动造成了不可忽视的影响,对国家区域协同减排目标造成了巨

大挑战。因此,从全生命周期视角探究中国建筑业碳排放的空间关联网络结构及其影响因素,对于中国建筑业区域协同减排和绿色网络化治理具有重要的理论价值和现实意义。

收稿日期: 2023-03-06; 修订日期: 2023-06-06

基金项目: 国家社会科学基金后期资助项目(22FGLB051); 山西省回国留学人员科研教研项目(2022-131); 山西省社科联重点研究项目(SSKLZDKT2023086)

作者简介: 任晓松(1986~),男,博士,副教授,主要研究方向为低碳经济与能源政策, E-mail: renxs@sxufe.edu.cn

现有建筑碳排放的研究主要从碳排放测算、峰值预测、影响因素分析和时空效应等角度展开。IPCC 碳排放因子估算法^[4]、数据包络分析^[5,6]、物质流分析法^[7]和能值分析^[8]被广泛应用于建筑碳排放总量或碳效率测算。通过设置多种情景目标,应用系统动力学^[3]和 LEAP 模型^[9]预测建筑碳排放的峰值及时间趋势。基于对数平均迪氏指数分解法^[10]和结构生产层级分解法^[11]对建筑碳排放进行因素分解,从社会经济、建筑体特征和区域气候等视角剖析建筑碳排放的驱动机制^[12]。从影响因素来看,城镇化^[13]、技术创新^[14]、碳价^[15]和绿色金融^[16]对建筑碳排放产生了显著影响。现有关于碳排放空间关联网络的研究从全球^[17]、中国^[18,19]、城市群^[20,21]、典型城市^[22,23]、县域^[24]和土地利用碳排放^[25,26]等多个尺度展开,而建筑碳排放的时空效应研究集中于时空特征^[27]和空间聚类模式^[7],多采用莫兰指数、核密度和冷热点分析等空间计量和地统计等方法实现。现有研究对探究中国建筑业碳排放影响因素提供了有益参考,但仍存在以下不足:一是未考虑建筑业生产、施工、运行和拆除的全生命周期碳排放核算视角;二是基于社会网络分析的省际尺度建筑碳排放及影响因素的空间关联研究相对不足。

本文的边际贡献如下:第一,基于全生命周期视角测算中国 2011~2019 年省际建筑碳排放量。第二,通过改进的引力模型构造建筑碳排放空间关联矩阵,采用社会网络分析挖掘建筑碳排放空间网络及其影响因素矩阵间的影响关系。通过上述研究,有助于为中国建筑碳排放空间协同治理提供数据支撑和政策建议。

1 材料与方法

1.1 全生命周期建筑碳排放量核算

为了厘清建筑全生命周期碳排放的特征和规律,将建材生产阶段、施工阶段、运行阶段和拆除阶段全过程纳入核算边界,对中国建筑碳排放进行较为全面系统的核算,具体计算见式(1):

$$EB = EB_p + (EB_c + EB_d) + EB_f \\ = \sum m_i f_{mi} + \sum (e_{ci} + e_{fi})(f_{fi} + f_{ce} + f_{eh}) \quad (1)$$

式中,EB 为全生命周期建筑碳排放总量($\times 10^4$ t,以 CO_2 计,下同), EB_p 、 EB_c 、 EB_f 和 EB_d 分别为建材生产、施工、运行和拆除这 4 个阶段的碳排放量。 m_i 为第 i 类建材的消耗量, f_{mi} 为钢材、木材、水泥、玻璃和铝材等建材对应的碳排放折算因子^[28],基于能源平衡表建筑能耗拆分方法^[2], e_{ci} 为建筑业施工阶段和拆除阶段能耗, e_{fi} 为运行阶段能耗, e_{ci} 和 e_{fi} 均为能源消耗

实物量,包括以煤和石油为代表的固态和液态能源($\times 10^4$ t)及以天然气和焦炉煤气为代表的气态能源($\times 10^8$ m³); f_{fi} 、 f_{ce} 和 f_{eh} 分别为化石能源碳排放因子(10^4 t· 10^4 t⁻¹,以 CO_2 计)或(10^4 t· 10^8 m⁻³,以 CO_2 计)^[29]、电力碳排放因子 [$kg \cdot (kW \cdot h)^{-1}$]^[30]和热力碳排放因子 [10^4 t·(10^{10} kJ)⁻¹,以 CO_2 计]^[30]。

1.2 建筑碳排放空间关联网络构建

现有研究主要通过向量自回归模型^[31]和引力模型^[32]两种方法量化空间关联关系,由于向量自回归模型既无法反映空间关联网络的演化形态又受到变量滞后阶数的限制,本文采用改进的引力模型来刻画省际建筑碳排放空间关联矩阵^[33,34],模型如式(2)所示。

$$y_{ij} = \frac{T_i}{T_i + T_j} \cdot \frac{\sqrt[3]{P_i T_i G_i} \sqrt[3]{P_j T_j G_j}}{\left(\frac{D_{ij}}{g_i - g_j} \right)^2} \quad (2)$$

式中, i 和 j 为不同省份; y_{ij} 为建筑碳排放的空间关联程度; P 为年末总人口数; T 为建筑碳排放量; G 和 g 分别为地区生产总值和人均生产总值; D 为省会城市间的距离。根据式(2)计算出省际建筑碳排放空间关联初始矩阵,并取矩阵的行平均值作为阈值将矩阵进行二值化处理,大于等于阈值的赋值为 1,表示碳排放存在空间关联;小于阈值的赋值为 0,表示碳排放不存在空间关联。

1.3 网络特征指标

基于社会网络分析理论,采用网络密度、网络关联度、网络等级度和网络效率来刻画建筑碳排放空间关联整体网络特征^[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;选取点度中心度、中介中心度和接近中心度指标凸显碳排放空间关联个体网络特征。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;借助块模型挖掘碳排放空间关联网络的聚类形态^[36]。

1.4 二次指派程序(quadratic assignment procedure, QAP)模型构建

由于建筑碳排放空间关联数据是矩阵数据而非属性数据,因此无法采用常规计量方法进行关系检验。同时,为了避免多重共线性导致的回归偏差问题,采用 QAP 模型^[37]对省际建筑碳排放及影响因素的空间关联矩阵进行分析。基于随机性的环境影响评估模型(stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology, STIRPAT)分析框架进行扩展,选择空间位置^[18]、产业结构^[21]、城镇

化^[38]、能源消耗强度^[39]、经济发展水平^[40]和建筑过程结构^[2]作为建筑碳排放关联格局的影响因素,对应的衡量指标分别为建筑业产值占GDP比重、城镇人口比重、单位GDP耗能、人均GDP以及建筑材料生产阶段碳排放量占建筑全生命周期碳排放的比重。中国建筑碳排放空间关联(Y)的影响因素分别为空间邻接关系(D),产业结构差异(S),能源消耗强度差异(E),城镇化差异(U),经济发展水平差异(C),建筑过程结构差异(P),建立模型如式(3):

$$Y = f(D, S, U, E, C, P) \quad (3)$$

式中, Y 、 D 、 S 、 U 、 E 、 C 和 P 为关系矩阵; Y 为省际建筑碳排放的空间关联矩阵; D 为空间邻接矩阵,两省相邻取值为1,否则为0;产业结构差异(S)、城镇化差异(U)、能源消耗强度差异(E)、消费水平差异(C)和建筑过程结构差异(P)分别为各省份对应指标样本期内平均值的绝对差值建立的空间差异矩阵^[41]。

1.5 数据来源及处理

以中国2011~2019年30个省份(因数据缺失,不包含西藏及中国港澳台地区)的年度数据为研究样本。建筑业能源消费数据来源于2012~2020年《中国能源统计年鉴》和《中国建筑业统计年鉴》;实际地区

生产总值、建筑业产值和年末总人口数来源于2012~2020年《中国统计年鉴》,为了避免价格因素带来的通胀影响,地区生产总值做了GDP平减处理;省际地理距离由省会城市间的球面距离表示^[42]。

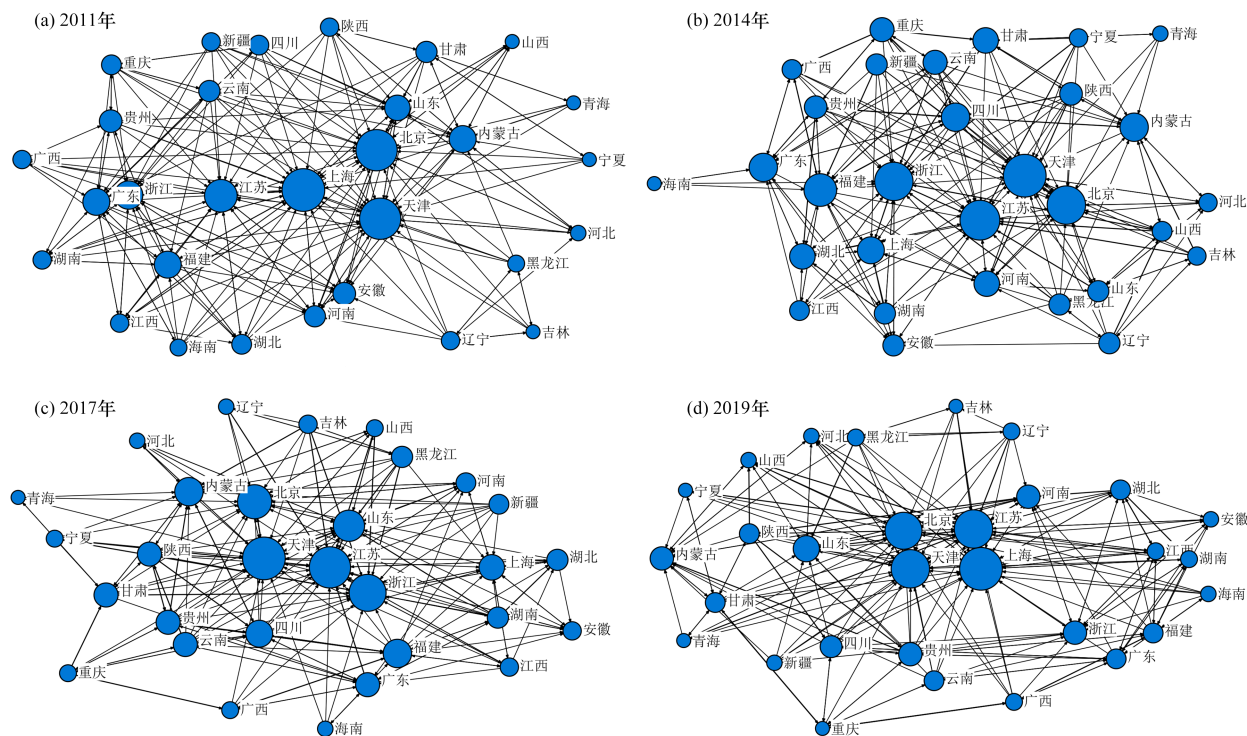
2 结果与分析

2.1 建筑碳排放空间关联网络演化特征

2.1.1 整体网络结构特征

建筑碳排放空间关联网络的演化特征如图1所示。建筑碳排放已经突破了传统的空间地理邻近溢出属性,网络的中心接收关系远高于网络边缘,整个网络中没有孤立点,建筑碳排放网络存在明显的有向性空间关联关系。

样本期间内中国建筑碳排放关联网络的时空演化特征如图2所示。中国省际建筑碳排放关联网络呈现出“东密西疏”的特征,集中在京津冀地区和长江三角洲地区。空间关联已经突破了传统的地理空间限制,不仅对邻近省份建筑碳排放产生溢出效应,也与非临近省份发生复杂且多向的空间关联关系,总体上呈现东北-西南的格局。随着时间的发展,省际建筑碳排放关联网络的空间分布更加偏向于东北-西南方向,空间格局总体上相对稳定。



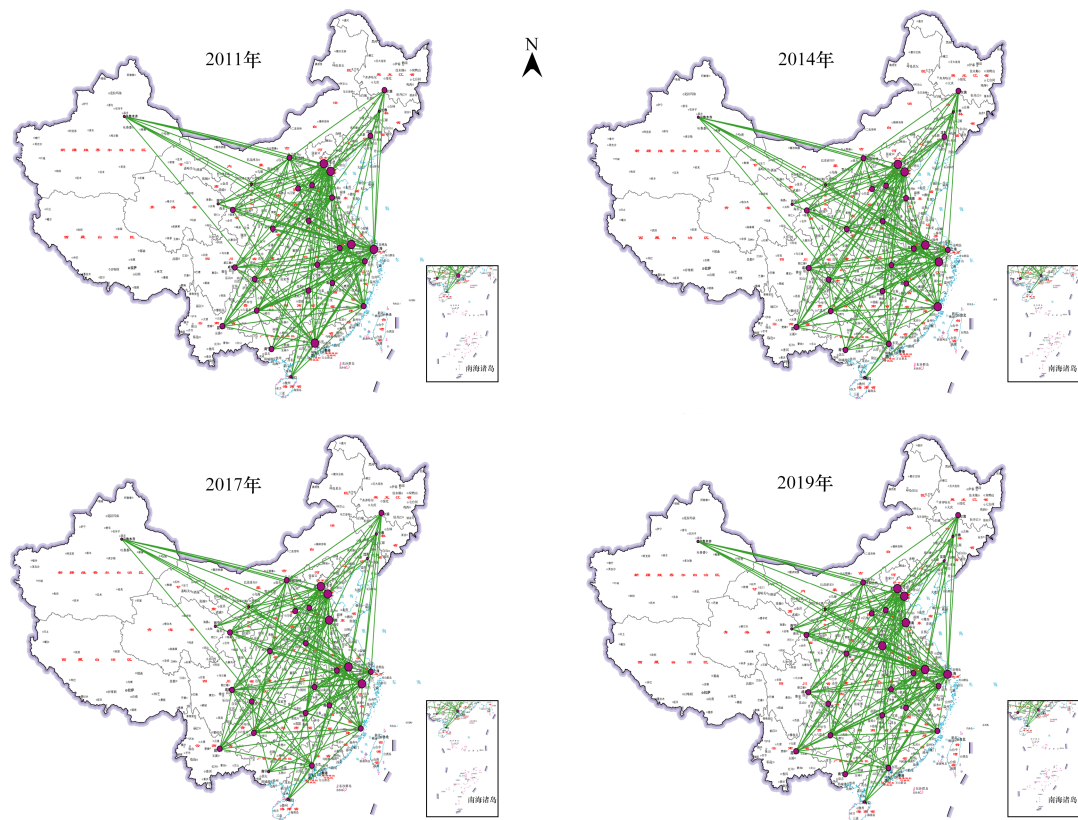
蓝色圆点越大,表示对应节点的点度中心度越大,上海、北京、天津和江苏处于碳排放网络的中心位置

图1 建筑碳排放拓扑结构

Fig. 1 Carbon emission topology of the construction industry

表1为2011~2019年中国省际建筑碳排放空间关联的整体网络特征的描述性统计结果。建筑碳排

放空间总关联数最大值为219.000,最小值为205.000,平均值为210.222,远远小于碳排放网络最



基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2020)4619号的标准地图制作,底图无修改
图2 2011~2019年建筑碳排放空间关联网络

Fig. 2 Spatial correlation network of carbon emission in the construction industry from 2011 to 2019

大可能关联数 870.000[30×29(总共 30 个省,每个省都可以和其他 29 个省关联)],表明省际建筑碳排放空间联系程度不够紧密,网络关联度有待进一步提升.同时,关联数的标准差达到 4.491,表明关联关系在样本期内变化幅度较大.

(1)网络关联度 样本期内网络关联度始终为 1,说明建筑碳排放空间关联网络结构具有较好的联通性和稳健性,所有省份均处于碳排放空间关联网络当中,不存在脱离网络的省份,网络空间溢出效应明显.

(2)网络等级度 网络等级度的均值为 0.280,标准差达到 0.032,说明碳排放空间关联的网络等级呈现较为剧烈的波动趋势,省际从属结构变动频繁,空间关联网络存在一定的等级梯度特征,网络结构有待进一步优化.

(3)网络效率 网络效率的均值为 0.675,说明其关联网络中具有较多冗余关系数,存在多重叠加的溢出渠道.

(4)网络密度 网络密度均值为 0.243,说明碳排放空间关联关系的紧密程度处于较低水平,空间网络结构较为松散,省际碳减排交流与合作有待增强.

表1 建筑碳排放空间关联整体网络特征
Table 1 Network characteristics of carbon emission in the construction industry

变量	均值	标准差	最大值	最小值
总关联数	210.222	4.491	219.000	205.000
网络密度	0.243	0.005	0.253	0.236
网络等级度	0.280	0.032	0.340	0.241
网络效率	0.675	0.008	0.687	0.660

2.1.2 个体网络结构特征

从全生命周期角度看(表2),上海、天津、北京和江苏处于核心主导地位并扮演中心行动者角色,上海、广东、内蒙古、甘肃和江西的中介中心度之和占比 50%,起着极强的“中介”和“桥梁”作用.新疆、宁夏、青海和吉林处于边缘位置,黑龙江、辽宁、新疆和吉林扮演边缘行动者角色,安徽、辽宁、海南、新疆、宁夏、青海和吉林处于被支配的边缘地位.①建材生产阶段,各省碳排放中心度排名与全生命周期各省碳排放总量中心度排名结果基本一致.建材生产阶段产生的碳排放占比最高,对全生命周期建筑碳排放空间关联网络的影响最大^[2].其中,广东省建材行业发展处于中国最前列,建筑材料产业布局覆盖全省,高端建筑陶瓷、卫生陶瓷和低碳水泥等现代建筑材料领域在全国具有领先优势,对碳排

放的流动有较强的支配力和掌控力。②施工与拆除阶段，碳排放在全生命周期中占比最低，对全生命周期的结构影响最小。其中，内蒙古取代江苏处于核心主导地位并扮演中心行动者角色。内蒙古从加快装配式建筑推广应用、推动 BIM 技术和智能建造深度融合和加强施工扬尘治理等多种政策举措推进建筑业高质量发展，全区机械化清扫率达到 76.6%，竣工绿色建筑占比达到 64.5%。③运行阶段，上海在绿色建筑运营领域发挥了模范引领作用。上海市积极推行绿色运营，全面推进公共建筑能耗监测平台建设和运行管理，落实既有公共建筑节能改造 1 000 万 m²。

从点度中心度大小来看(图 3)，上海、天津、北京和江苏排名靠前，说明以上省份在碳排放空间关联网络中与其他省份空间关联关系较多，处于建筑

碳排放空间关联网络的核心主导地位。吉林、青海、宁夏和新疆的点度中心度较低，说明以上省份与其他省份间建筑碳排放空间关联关系相对较少，处于关联网络的边缘位置。原因在于，点度中心度大的省份多为东部经济发达地区，城镇化和基础设施建设水平居全国前列，建筑生产、设计、施工和运营网络相对较为完善，与其他省份进行低碳建筑发展交流的阻碍较少，在建筑碳排放空间关联网络中能够发挥资本、人才和技术等要素流动，充分发挥其空间溢出效应。相反，点度中心度小的省份多为西北和东北经济欠发达地区，承接了建筑生产所需的建材生产、构配件加工和工程机械制造等基础配套产业，属于建筑产业链条的上游，需进一步加强与其他省份的建筑减排合作，强化建筑碳排放的网络韧性。

从中介中心度大小来看(图 4)，2019 年碳排放

表 2 2019 年全生命周期建筑碳排放空间关联网络中心性结果
Table 2 Results of spatial correlation network centrality of life-cycle building carbon emissions in 2019

省份	建材生产阶段碳排放			施工与拆除阶段碳排放			运行阶段碳排放			全生命周期碳排放		
	点度中心度	中介中心度	接近中心度	点度中心度	中介中心度	接近中心度	点度中心度	中介中心度	接近中心度	点度中心度	中介中心度	接近中心度
上海	0.5	0.186	48.424	0.5	0.336	46.35	0.534	0.344	47.523	0.534	0.249	47.475
天津	0.483	0.081	48.032	0.517	0.076	51.338	0.517	0.06	51.338	0.466	0.057	46.587
北京	0.483	0.156	46.35	0.448	0.05	46.587	0.448	0.038	46.587	0.448	0.048	45.556
江苏	0.448	0.11	48.289	0.345	0.136	41.645	0.362	0.124	42.405	0.448	0.164	48.245
河南	0.328	0.17	39.668	0.276	0.101	37.693	0.293	0.109	38.952	0.328	0.163	39.622
山东	0.293	0.029	36.967	0.241	0.032	36.474	0.293	0.035	38.325	0.328	0.039	39.36
浙江	0.31	0.061	38.952	0.207	0.031	33.949	0.241	0.04	35.044	0.31	0.068	38.952
广东	0.276	0.212	30.55	0.207	0.154	27.919	0.259	0.15	28.619	0.293	0.245	29.646
内蒙古	0.259	0.224	33.539	0.397	0.294	42.58	0.362	0.268	40.966	0.276	0.257	36.443
甘肃	0.259	0.239	29.264	0.31	0.306	32.612	0.293	0.339	32.229	0.259	0.304	28.981
贵州	0.224	0.034	26.636	0.19	0.027	25.596	0.259	0.065	29.211	0.241	0.051	25.955
湖北	0.241	0.019	34.227	0.224	0.01	31.626	0.224	0.011	32.104	0.241	0.017	33.724
江西	0.259	0.237	35.692	0.224	0.252	32.453	0.207	0.203	32.696	0.241	0.203	34.179
福建	0.259	0.095	30.172	0.245	0.081	25.412	0.224	0.067	25.54	0.241	0.072	28.804
云南	0.207	0.018	26.258	0.224	0.04	25.702	0.19	0.018	24.899	0.207	0.022	25.188
四川	0.241	0.036	26.525	0.19	0.006	22.432	0.172	0.006	22.893	0.207	0.026	25.455
湖南	0.207	0.086	33.286	0.207	0.081	32.747	0.224	0.122	32.849	0.207	0.097	32.815
陕西	0.19	0.015	23.597	0.155	0.001	24.822	0.172	0.007	24.846	0.19	0.018	23.396
广西	0.207	0.034	26.205	0.172	0.027	25.402	0.19	0.022	25.213	0.19	0.029	25.402
重庆	0.19	0.115	26.481	0.19	0.157	26.605	0.19	0.144	27.559	0.19	0.108	26.263
山西	0.19	0.029	32.267	0.19	0.068	33.994	0.241	0.082	36.532	0.19	0.047	33.056
河北	0.172	0.03	32.134	0.155	0.026	33.762	0.172	0.03	34.719	0.19	0.048	35.239
黑龙江	0.155	0.022	17.211	0.155	0.016	17.211	0.172	0.008	17.377	0.172	0.023	17.211
安徽	0.244	0.007	35.682	0.172	0.025	33.838	0.19	0.027	34.911	0.172	0.007	34.719
辽宁	0.172	0.002	16.732	0.103	0	15.999	0.138	0.001	16.284	0.155	0.001	16.43
海南	0.155	0.002	23.955	0.138	0.008	23.176	0.138	0.004	23.276	0.138	0.002	23.187
新疆	0.121	0	11.333	0.103	0	11.736	0.103	0	11.269	0.121	0	11.269
宁夏	0.138	0.004	26.785	0.138	0.008	30.072	0.121	0	24.541	0.121	0	22.93
青海	0.121	0	23.077	0.103	0	24.674	0.103	0	24.493	0.121	0	22.93
吉林	0.121	0	16.142	0.121	0.009	16.89	0.138	0.005	17.049	0.121	0	16.001

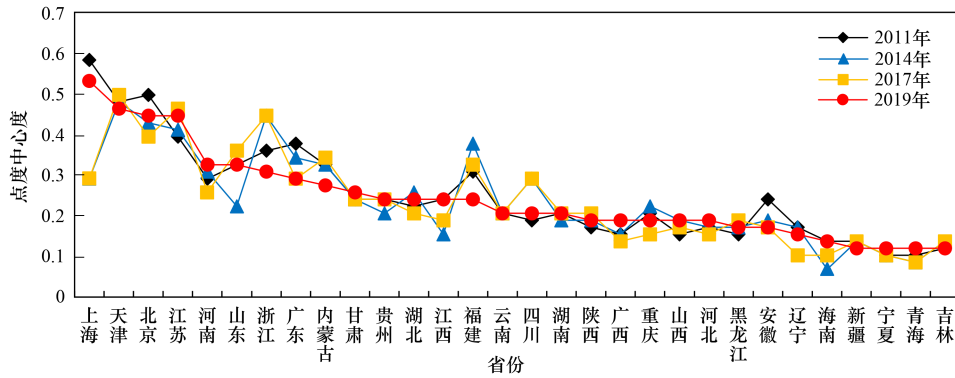


图3 2011~2019年建筑碳排放空间关联网络点度中心度分布

Fig. 3 Distribution of betweenness centrality of carbon emission spatial correlation network from 2011 to 2019

空间关联网络中介中心度总和为 2.365, 上海、江苏、河南、广东、内蒙古、甘肃、江西、湖南和重庆这 9 省的中介中心度总和为 1.790, 占比高达 75.7%, 并且大多为东部经济发达省份和中部联通位置省份, 以上省份在建筑碳排放空间网络中起着较强的“中介”和“桥梁”作用, 在碳排放关联网络中处于枢纽地位。相反, 辽宁、海南、新疆、宁夏、青海和吉林这 6 省的中介中心度排名靠后, 以上省份大多为边远地区和西

部欠发达地区。由于地理位置较为偏僻, 存在基础设施建设落后和经济发展缓慢等诸多原因, 在建筑碳排放空间关联网络中处于被支配的边缘地位, 对其他省份碳排放产生的控制和传导作用有限, 对网络关联关系的控制和影响能力较弱。可见, 中国建筑碳排放空间关联网络各省中介中心度差别较大, 存在着非均衡特征, 说明中国建筑碳排放的空间网络关联主要通过经济发达省份以及中部交通枢纽省份来完成。

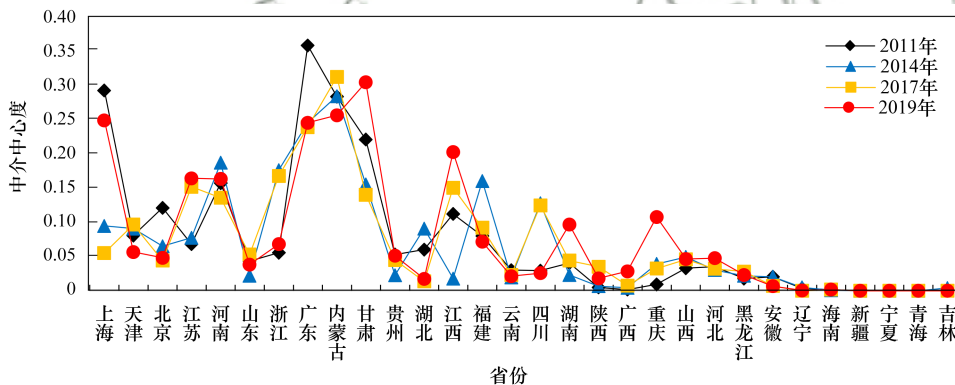


图4 2011~2019年建筑碳排放空间关联网络中介中心度分布

Fig. 4 Distribution of betweenness centrality of carbon emission spatial correlation network from 2011 to 2019

从接近中心度大小来看(图5), 2019年全国30个省份的接近中心度均值为 30.500, 高于均值的 14 个省份在建筑碳排放空间关联网络中能够更快地与其他省份产生内部联系, 说明以上省份的建筑碳排放不易受到其他省份的控制, 在省际建筑碳排放空间关联网络中起到引领作用, 扮演着中心行动者的角色。江苏、上海、天津和北京的排名靠前, 均为经济发达省份, 与其他省份之间的建筑碳排放流动效率高, 容易接收来自其他省的建筑碳排放。黑龙江、辽宁、吉林和新疆的接近中心度较低, 表明以上省份在网络中获得低碳建筑发展技术和资源的能力较弱, 同时受其他省份建筑碳排放的带动作用不明显, 在建筑碳排放空间关联网络中扮演边缘行动者的角色。原因在于, 以上省份多分布于西部和东北地区,

受经济发展水平的影响和地理位置的阻碍^[43], 与其他省份间的建筑碳排放空间关联相对薄弱, 难以对其他省份的建筑碳排放产生影响。

2.1.3 空间关联聚类分析

采用块模型^[44]将中国碳排放空间关联格局划分为 4 个板块, 揭示中国建筑碳排放空间聚类特征。

表 3 揭示了 4 个板块在网络中的位置及其对应的属性。2019 年建筑碳排放空间关联网络共存在 213 个关联关系, 其中板块内部的关联关系为 27 个, 板块间的关联关系为 186 个。板块 I 内部关系比例的期望值为 17.24%, 小于实际值 26.47%, 外部省份建筑碳排放流入强度远大于板块内省份向外流出强度, 属于“净受益”板块; 板块 II 内部关系比例的期望值为 10.34%, 实际值为 0%, 板块内部没有关联数, 板块

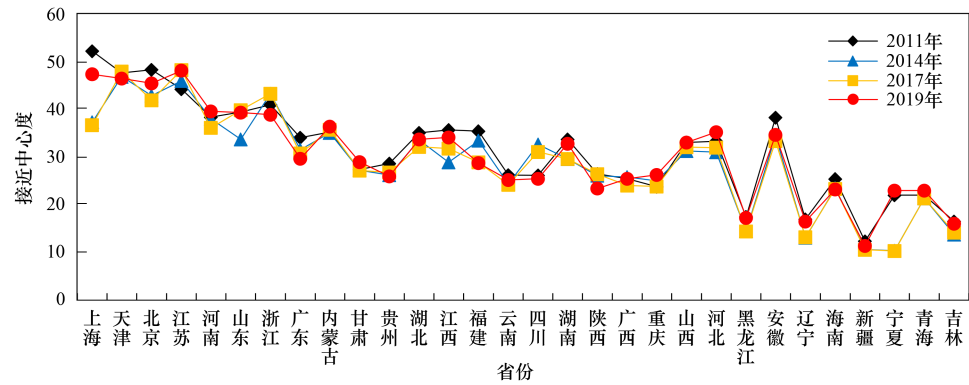


图5 2011~2019年建筑碳排放空间关联网络接近中心度分布

Fig. 5 Distribution of closeness centrality of carbon emission spatial correlation network from 2011 to 2019

内省份与外部省份碳排放流入与流出强度相同,属于“经纪人”板块;板块Ⅲ内部关系比例的期望值为31.03%,大于实际值18.31%,板块Ⅳ内部关系比例

的期望值为31.03%,大于实际值6.41%,板块内省份建筑碳排放向外部省份的流出强度远大于外部省份的流入强度,因此均为“净溢出”板块。

表3 建筑碳排放空间关联板块的溢出效应

Table 3 Spillover effect of spatial correlation plate of carbon emission in the construction industry

板块编号	接收关系数		发出关系数		成员数	期望内部 关系比例/%	实际内部 关系比例/%
	板块内部	板块外部	板块内部	板块外部			
I	9	102	9	25	6	17.24	26.47
II	0	30	0	30	4	10.34	0.00
III	13	11	13	58	10	31.03	18.31
IV	5	43	5	73	10	31.03	6.41

图6显示,板块Ⅰ主要位于环渤海地区和长江三角洲地区。板块Ⅰ内部省份不仅存在建筑碳排放空间关联关系,还广泛接收来自板块Ⅲ和板块Ⅳ溢出的建筑碳排放,说明经济发展水平高的京津冀和长江三角洲地区建筑全生命周期所需资源自给能力不足,需要来自其他省份的资源输入,在消费端产生了大量建筑碳排放;板块Ⅱ主要分布在长江经济带和珠江三角洲地区,具备中国最发达的交通网络和信息通路,承接建筑材料和能源流通的关键任务,发挥了国际国内双循环的重要作用,实现了建筑碳排放生产端和消费端的动态平衡;板块Ⅲ主要分布在黄河经济带中上游地区和东北地区,以上省份能源和矿产资源储量较为丰富,资源诅咒现象明显,产生了碳锁定效应,并且建筑碳排放向经济活跃的板块Ⅰ溢出。板块Ⅳ主要位于中部和西南地区。中国建筑材料生产和加工产业中心逐渐向中部和西南方向转移,该板块省份在生产端产生了大量碳排放,并随着建筑全生命周期产业链条的延伸不断向板块Ⅰ和板块Ⅱ溢出。

2.2 建筑碳排放空间关联影响因素分析

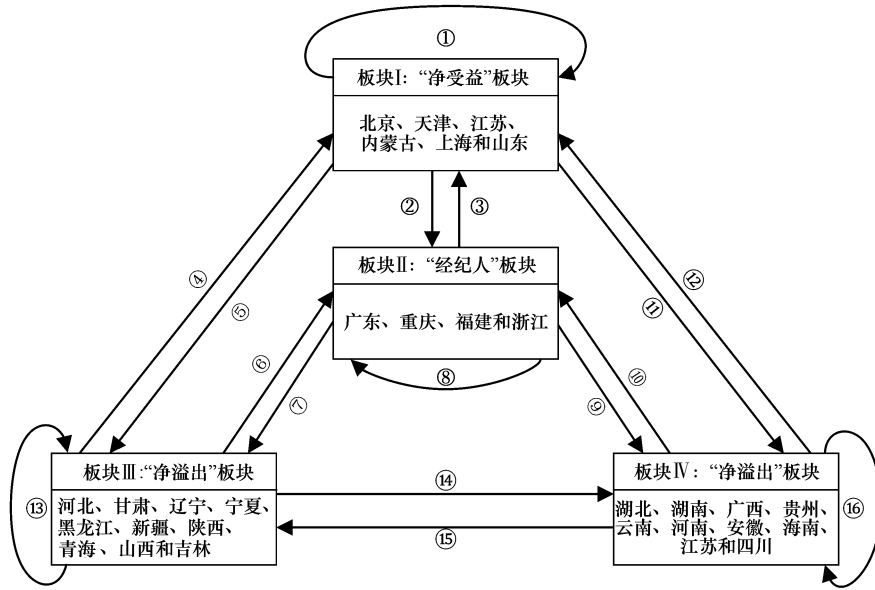
2.2.1 QAP相关性分析

表4反映了建筑碳排放空间关联网络矩阵与空间邻接关系矩阵(D)、产业结构差异矩阵(S)、城镇

化差异矩阵(U)、能源消费强度差异矩阵(E)、经济发展水平差异矩阵(C)和建筑过程结构差异矩阵(P)间的QAP相关关系。空间邻接关系、产业结构差异、城镇化差异、经济发展水平差异和建筑过程结构差异的相关系数均通过1%的显著水平检验,说明这5种因素均显著影响中国省际建筑碳排放空间关联网络结构的形成。其中,空间邻接关系、产业结构差异、城镇化差异和经济发展水平差异的相关系数为正,表明它们与中国省际建筑碳排放空间关联之间呈正相关关系。建筑过程结构差异的相关系数为负,说明建筑材料生产阶段碳排放量的省际差异与建筑碳排放空间关联之间呈负相关关系。能源消费强度差异的相关系数不显著,说明能源消费强度省际差异与建筑碳排放空间关联不存在明显相关关系。

2.2.2 QAP回归分析

选取10 000次随机置换,最终得到建筑碳排放空间关联关系矩阵与影响因素关系矩阵的QAP回归分析结果。由表4可知,调整后的可决系数(R^2)为0.307,说明空间邻接关系、产业结构差异、城镇化差异、经济发展水平差异和建筑过程结构差异可以有效解释中国建筑碳排放空间关联关系变化的30.7%。5个影响因素的显著性概率值均小于0.1,说明均在10%的水平下显著。回归系数的绝对值大小



①内部关系:9,②溢出关系:1,③溢出关系:4,④溢出关系:52,⑤溢出关系:10,⑥溢出关系:2,⑦溢出关系:1,⑧内部关系:0,⑨溢出关系:25,⑩溢出关系:27,⑪溢出关系:14,⑫溢出关系:46,⑬内部关系:13,⑭溢出关系:4,⑮溢出关系:0,⑯内部关系:5,溢出关系表示*i*板块省份指向*j*板块省份的箭头个数,内部关系表示板块内部省份间的溢出关系,其数值均由 UCINET 软件块模型计算得出

图 6 中国建筑碳排放板块关联关系

Fig. 6 Correlation between the four sectors of carbon emission of the construction industry in China

表 4 建筑碳排放空间关联影响因素分析¹⁾

Table 4 Analysis of factors influencing the spatial correlation of carbon emission in the construction industry

变量名称	相关系数	<i>P</i> 值	回归系数	<i>P</i> 值
空间邻接关系(<i>D</i>)	0.184	0.026**	0.298	0.000***
产业结构差异(<i>S</i>)	0.087	0.091*	0.048	0.027**
城镇化差异(<i>U</i>)	0.359	0.000***	0.078	0.085*
能源消费强度差异(<i>E</i>)	0.021	0.336	0.005	0.400
经济发展水平差异(<i>C</i>)	0.364	0.000***	0.432	0.000***
建筑过程结构差异(<i>P</i>)	-0.064	0.069*	-0.065	0.015**

1)*表示 $P < 0.1$, **表示 $P < 0.05$, ***表示 $P < 0.01$; $R^2 = 0.311$, 调整后 $R^2 = 0.307$, 显著性水平为 0.000

反映了影响因素差异矩阵对建筑碳排放空间关联的影响程度.按照对建筑碳排放空间关联影响力大小由高到低排名依次为:经济发展水平差异、空间邻接关系、城镇化差异、建筑过程结构差异和产业结构差异.

具体来看,经济发展水平差异系数显著为正,说明区域经济发展不平衡一定程度促成了建筑碳排放空间关联网络的形成.原因在于,资源禀赋和区位因素等诸多因素造成了经济发展的省际差异^[45].区域经济发展不平衡进一步造成了建筑业全产业链条的劳动分工与价值链形成,最终奠定了建筑碳排放空间关联网络的“核心-边缘”结构特征.随着经济高质量战略的不断推进,碳排放空间关联极化特征会得到缓解,省际碳排放特征将会逐渐趋同.空间邻接关系的回归系数显著为正,表明地理位置越近,越有利于中国省际建筑碳排放空间关联关系的形成.地理位置越近,越有利于资源要素的流动和配置,建筑碳

排放溢出效应越明显,低碳建筑技术合作交流越通畅,从而强化了建筑碳排放的空间关联程度^[46].城镇化差异化系数显著为正,说明城镇化差异越大的省份之间越易发生建筑碳排放空间关联.原因在于,城镇化进程造成了二元经济和低碳建筑相关劳动力分工模式和人力资本的质量层次,导致低碳建筑所需人力资本的跨区域流动和交流,同时也在低碳建筑发展中逐步实现由劳动密集型向资本和技术密集型的过渡.建筑过程结构差异的回归系数显著为负,说明建筑过程结构差异越相似,越促进建筑碳排放的空间关联.建筑材料生产阶段碳排放量占全生命周期碳排放的比重省际差异较小,反映了建筑发展所需的生产资料和资源要素具有相似性,从建筑生命周期的初始阶段促成了建筑碳排放空间关联关系的形成.产业结构差异系数显著为正,说明建筑业产值占 GDP 比重差异越大的省份越易产生建筑碳排放空间关联.隐含的逻辑是,产业结构差异体现了各省在

建筑产业链和价值链的贡献和地位有所不同,有利于实现人力、资本和技术的弹性替代,推动跨区域低碳建筑脱钩效应的实现。能源消费强度差异的回归系数不显著,说明其省际差异尚不能显著影响中国建筑碳排放空间关联网络的形成。原因在于,建筑业发展所需的煤、油、气和电等能源供应稳定,能源结构在较长的一段时间不会发生改变。

3 讨论

完善建筑碳排放全生命周期核算标准和边界,优化碳排放网络空间。建筑碳排放全生命周期核算涉及到建筑建材生产、运行、施工和拆除等全过程的材料和能源消耗,其完整性和精确性直接影响到碳排放关联网络特征的时空格局和演化趋势。建筑碳排放空间网络密度和网络关联不断增强,意味着建筑碳排放空间锁定和固化现象已经显现。在制定建筑碳减排政策时,要同时兼顾碳排放总量特征和碳排放空间关联数据的差异性,从碳排放空间关联演化角度优化网络空间,为建筑碳排放协同治理提供新思路。

充分发挥上海、北京、天津和江苏的中心位置和辐射能力,建立省际协同减碳机制。目前中国建筑碳排放呈现出以北京和天津为代表的京津冀和以上海和江苏为代表的长三角两大增长极,因此未来要充分发挥北京、天津、上海和江苏经济、技术、人才和管理等综合优势,优化重点区域建筑全生命周期能源效率提升和碳减排方案设计,形成以点带面、双轮驱动的碳减排时空格局和跨区域建筑减排联动体系,通过重点区域建筑碳减排方案的有效实施,通过空间溢出效应不断扩大辐射范围,带动周围区域的协同减排效果。

充分考虑建筑碳排放关联网络空间聚类特征,制定实施差别化建筑碳减排政策。建筑碳减排政策制定要充分发挥建筑碳排放空间关联板块结构特性,发挥碳排放空间关联板块角色作用。对于“净受益”板块省份,基础设施建设和建筑能源需求量大,应该重点发挥经济和技术优势,加速发展绿色建筑和建筑节能管理,率先推进建筑新能源和新材料,改善板块内部建筑碳排放占比。对于“净溢出”板块省份,在保障对外能源供给的基础上,要加快实施建筑节能降耗技术,做好建筑碳排放源头控制,积极推进碳交易工作实施方案,争取双碳目标战略下的有利地位。对于“经纪人”板块省份,做好建筑碳减排供应链管理工作,从技术和管理等角度力争实现净零排放。

剖析建筑碳排放空间关联关键影响因素,发挥

区位优势资源配置优势不断缩小省际发展差距。消费水平、城镇化和产业结构的空间均衡发展有利于建筑碳排放空间关联网络的重构和优化。合理控制建筑材料生产阶段的碳排放对于建筑碳排放全生命周期管理起到至关重要的作用,也是推动建筑碳排放空间关联网络绿色治理的关键环节。加强省际间经济、城镇化、技术和产业等全方位合作交流,提高具有特色的建筑碳排放全生命周期管理策略,最终实现完善建筑碳排放空间关联网络优化和协同治理的目标。

4 结论

(1)从建筑碳排放整体网络结构特征看,网络密度和网络关联数呈现上升趋势,表明省际建筑碳排放联系变得逐渐紧密;网络等级度和网络效率整体呈现下降趋势,说明建筑碳排放量省际绝对差异在逐步减小,建筑碳排放呈现省际趋同现象。从全生命周期视角来看,建材生产阶段碳排放量占比最大,其省际差异对碳排放空间关联网络产生显著正向影响。

(2)从建筑碳排放个体网络结构特征来看,上海、北京、天津和江苏处在建筑碳排放空间关联网络的中心地位,而吉林、青海、宁夏和新疆处于关联网络的边缘位置。建筑碳排放的空间联系主要通过经济发达省份以及中部交通枢纽省份完成,存在非均衡特征。

(3)从建筑碳排放空间聚类特征来看,根据各省在碳排放空间关联网络中扮演的角色可以分为4大板块,板块间的关联关系远大于板块内部的关联关系。北京、天津、江苏、内蒙古、上海和山东组成的板块Ⅰ在建筑碳排放空间关联网络中扮演着“净受益”角色,广东、重庆、福建和浙江组成的板块Ⅱ扮演“经纪人”角色,其他省份组成的板块Ⅲ和板块Ⅳ均扮演“净溢出”角色。

(4)从建筑碳排放空间关联及其影响因素矩阵回归结果来看,影响程度由大到小依次为:经济发展水平差异、空间邻接关系、城镇化差异、建筑过程结构差异和产业结构差异。其中,经济发展水平差异、空间邻接关系、城镇化差异和产业结构差异对建筑碳排放空间关联网络结构产生显著的正向影响。建筑过程结构差异对建筑碳排放空间关联形成起到明显的负向作用。

参考文献:

- [1] Huang L Z, Krigsvoll G, Johansen F, et al. Carbon emission of global construction sector[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 81: 1906-1916.
- [2] 中国建筑节能协会能耗统计专委会. 中国建筑能耗研究报告

- 2020[J]. 建筑节能(中英文), 2021, **49**(2): 1-6.
- [3] Li D Z, Huang G Y, Zhu S Y, *et al.* How to peak carbon emissions of provincial construction industry? Scenario analysis of Jiangsu Province[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, **144**, doi: 10.1016/j.rser.2021.110953.
- [4] 冯博, 王雪青. 中国各省建筑业碳排放脱钩及影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, **25**(4): 28-34.
- Feng B, Wang X Q. Research on carbon decoupling effect and influence factors of provincial construction industry in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, **25**(4): 28-34.
- [5] 申立银, 朱梦成, 吴雅, 等. 中国居住建筑碳排放效率测度[J]. *城市问题*, 2019, (10): 53-62.
- Shen L Y, Zhu M C, Wu Y, *et al.* Measurement on carbon emissions efficiency of residential building[J]. *Urban Problems*, 2019, (10): 53-62.
- [6] Zhou Y X, Liu W L, Lv X Y, *et al.* Investigating interior driving factors and cross-industrial linkages of carbon emission efficiency in China's construction industry: based on Super-SBM DEA and GVAR model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, **241**, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118322.
- [7] Bai J, Qu J S. Investigating the spatiotemporal variability and driving factors of China's building embodied carbon emissions[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**(15): 19186-19201.
- [8] Zhao Y, Liu L, Yu M. Comparison and analysis of carbon emissions of traditional, prefabricated, and green material buildings in materialization stage[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, **406**, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137152.
- [9] Huo T F, Ma Y L, Xu L B, *et al.* Carbon emissions in China's urban residential building sector through 2060: a dynamic scenario simulation[J]. *Energy*, 2022, **254**, doi: 10.1016/j.energy.2022.124395.
- [10] 胡颖, 诸大建. 中国建筑业 CO₂ 排放与产值、能耗的脱钩分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, **25**(8): 50-57.
- Hu Y, Zhu D J. Disconnect analysis between CO₂ emission output value and energy consumption of China construction[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, **25**(8): 50-57.
- [11] Su Y Q, Zou Z J, Ma X M, *et al.* Understanding the relationships between the development of the construction sector, carbon emissions, and economic growth in China: supply-chain level analysis based on the structural production layer difference approach[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, **29**: 730-743.
- [12] 叶红, 严寒, 张芮铭, 等. 面向低碳城市建设的建筑运行能耗驱动机理研究进展[J]. *应用生态学报*, 2021, **32**(7): 2644-2652.
- Ye H, Yan H, Zhang R M, *et al.* Mechanisms underlying operational energy consumption of buildings for low carbon city construction: a review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, **32**(7): 2644-2652.
- [13] Huo T F, Cao R J, Du H Y, *et al.* Nonlinear influence of urbanization on China's urban residential building carbon emissions: new evidence from panel threshold model[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **772**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145058.
- [14] Erdogan S. Dynamic nexus between technological innovation and building sector carbon emissions in the BRICS countries[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, **293**, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112780.
- [15] Xu Y Y, Xu Z L, Zhou Y L, *et al.* Interactions between carbon prices and the construction industry in China: evidence based on Network-SVAR[J]. *Building and Environment*, 2022, **215**, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.108936.
- [16] He W H, Liu P, Lin B R, *et al.* Green finance support for development of green buildings in China: effect, mechanism, and policy implications[J]. *Energy Policy*, 2022, **165**, doi: 10.1016/j.enpol.2022.112973.
- [17] 李晖, 刘卫东, 唐志鹏. 全球贸易隐含碳净转移的空间关联网络特征[J]. *资源科学*, 2021, **43**(4): 682-692.
- Li H, Liu W D, Tang Z P. Spatial correlation network of net carbon transfer in global trade[J]. *Resources Science*, 2021, **43**(4): 682-692.
- [18] 刘佳骏, 史丹, 汪川. 中国碳排放空间相关与空间溢出效应研究[J]. *自然资源学报*, 2015, **30**(8): 1289-1303.
- Liu J J, Shi D, Wang C. A study on spatial spillover and correlation effect of carbon emissions across 30 provinces in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, **30**(8): 1289-1303.
- [19] 甘畅, 王凯. 中国省际服务业碳排放空间网络结构及其驱动因素[J]. *环境科学研究*, 2022, **35**(10): 2264-2272.
- Gan C, Wang K. Provincial spatial network structure of carbon emissions from service industry and driving factors in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, **35**(10): 2264-2272.
- [20] 王晓平, 冯庆, 宋金昭. 成渝城市群碳排放空间关联结构演化及影响因素[J]. *中国环境科学*, 2020, **40**(9): 4123-4134.
- Wang X P, Feng Q, Song J Z. The spatial association structure evolution of carbon emissions in Chengdu-Chongqing urban agglomeration and its influence mechanism[J]. *China Environmental Science*, 2020, **40**(9): 4123-4134.
- [21] 郑航, 叶阿忠. 空间关联网络结构特征的减排效应: 基于城市群视角[J]. *环境科学*, 2022, **43**(10): 4401-4407.
- Zheng H, Ye A Z. Carbon emission reduction effect of spatial correlation network structure characteristics: from the perspective of Urban Agglomeration[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(10): 4401-4407.
- [22] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素[J]. *地理学报*, 2018, **73**(3): 414-428.
- Wang S J, Su Y X, Zhao Y B. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, **73**(3): 414-428.
- [23] 向书江, 杨春梅, 谢雨琦, 等. 近 20 年重庆市主城区碳排放的时空动态演进及其重心迁移[J]. *环境科学*, 2023, **44**(1): 560-571.
- Xiang S J, Yang C M, Xie Y Q, *et al.* Spatiotemporal dynamic evolution and gravity center migration of carbon emissions in the main urban area of Chongqing over the past 20 years[J]. *Environmental Science*, 2023, **44**(1): 560-571.
- [24] 宋苑震, 曾坚, 王森, 等. 中国县域碳排放时空演变与异质性[J]. *环境科学*, 2023, **44**(1): 549-559.
- Song Y Z, Zeng J, Wang S, *et al.* Spatial-temporal evolution and heterogeneity of carbon emissions at county-level in China[J]. *Environmental Science*, 2023, **44**(1): 549-559.
- [25] 李璐, 董捷, 徐磊, 等. 功能区土地利用碳收支空间分异及碳补偿分区——以武汉城市圈为例[J]. *自然资源学报*, 2019, **34**(5): 1003-1015.
- Li L, Dong J, Xu L, *et al.* Spatial variation of land use carbon budget and carbon compensation zoning in functional areas: a case study of Wuhan Urban Agglomeration[J]. *Journal of Natural*

- Resources, 2019, **34**(5): 1003-1015.
- [26] 范建双, 虞晓芬, 周琳. 南京市土地利用结构碳排放效率增长及其空间相关性[J]. 地理研究, 2018, **37**(11): 2177-2192.
- Fan J S, Yu X F, Zhou L. Carbon emission efficiency growth of land use structure and its spatial correlation: A case study of Nanjing city[J]. Geographical Research, 2018, **37**(11): 2177-2192.
- [27] 范建双, 周琳. 中国建筑业碳排放时空特征及分省贡献[J]. 资源科学, 2019, **41**(5): 897-907.
- Fan J S, Zhou L. Spatiotemporal distribution and provincial contribution decomposition of carbon emissions for the construction industry in China [J]. Resources Science, 2019, **41**(5): 897-907.
- [28] 张涛, 姜裕华, 黄有亮, 等. 建筑中常用的能源与材料的碳排放因子[J]. 中国建设信息, 2010, (23): 58-59.
- [29] 景侨楠, 侯慧敏, 白宏涛, 等. 自上而下的城市能源消耗碳排放估算方法[J]. 中国环境科学, 2019, **39**(1): 420-427.
- Jing Q N, Hou H M, Bai H T, et al. A top-bottom estimation method for city-level energy-related CO₂ emissions [J]. China Environmental Science, 2019, **39**(1): 420-427.
- [30] 刘依明, 刘念雄, 许沛琪. 寒冷地区住宅建材生产阶段碳排放预测模型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, **63**(1): 15-23.
- Liu Y M, Liu N X, Ren P Q. Carbon emission prediction model during the material production stage for cold zone residential buildings [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2023, **63**(1): 15-23.
- [31] 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.
- [32] 路小静, 时朋飞, 邓志伟, 等. 长江经济带旅游业绿色生产率测算与时空演变分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, **29**(7): 19-30.
- Lu X J, Shi P F, Deng Z W, et al. Calculation of green production efficiency of tourism in the Yangtze River Economic Belt and analysis of its spatial and temporal evolution [J]. China Population, Resources and Environment, 2019, **29**(7): 19-30.
- [33] 刘华军, 刘传明, 孙亚男. 中国能源消费的空间关联网络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.
- [34] Bu Y, Wang E D, Bai J H, et al. Spatial pattern and driving factors for interprovincial natural gas consumption in China: based on SNA and LMDI[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, **263**, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121392.
- [35] 刘华军, 刘传明, 陈明华. 中国工业 CO₂ 排放的行业间传导网络及协同减排[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, **26**(4): 90-99.
- Liu H J, Liu C M, Chen M H. The conduction network and collaborative reduction among different industries of carbon dioxide emission in China's industries [J]. China Population, Resources and Environment, 2016, **26**(4): 90-99.
- [36] Wasserman S, Faust K. Social network analysis: methods and applications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [37] 张涛, 武金爽. 中国文化产业绿色发展效率的空间网络结构及影响机理研究[J]. 地理科学, 2021, **41**(4): 580-587.
- Zhang T, Wu J S. Spatial network structure and influence mechanism of green development efficiency of Chinese cultural industry [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, **41**(4): 580-587.
- [38] 赵领娣, 吴栋. 中国能源供给侧碳排放核算与空间分异格局[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, **28**(2): 48-58.
- Zhao L D, Wu D. Carbon emission accounting and spatial heterogeneity pattern of China's energy supply side [J]. China Population, Resources and Environment, 2018, **28**(2): 48-58.
- [39] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, **25**(1): 67-77.
- Ma D L, Chen Z C, Wang L. Spatial econometrics research on inter-provincial carbon emissions efficiency in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, **25**(1): 67-77.
- [40] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 等. 中国省域碳强度空间依赖格局及其影响因素的空间异质性研究[J]. 地理科学, 2018, **38**(5): 681-690.
- Liu X Z, Gao C C, Zhang Y, et al. Spatial dependence pattern of carbon emission intensity in China's provinces and spatial heterogeneity of its influencing factors [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, **38**(5): 681-690.
- [41] 安勇, 赵丽霞. 土地财政竞争的空间网络结构及其机理[J]. 中国土地科学, 2020, **34**(7): 97-105.
- An Y, Zhao L X. Spatial network structure of land finance competition and its mechanism [J]. China Land Science, 2020, **34**(7): 97-105.
- [42] 蔡海亚, 赵永亮, 南永清. 中国“互联网+”发展的空间关联网络及其影响因素——基于社会网络分析视角的实证研究[J]. 地理科学, 2021, **41**(6): 933-940.
- Cai H Y, Zhao Y L, Nan Y Q. The spatial correlation network of China's 'internet plus' development and its influencing factors: an empirical study based on the perspective of social network analysis [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, **41**(6): 933-940.
- [43] Wang Z S, Zhou Y X, Zhao N, et al. Spatial correlation network and driving effect of carbon emission intensity in China's construction industry [J]. Buildings, 2022, **12**(2), doi: 10.3390/buildings12020201.
- [44] 刘华军, 贾文星. 中国区域经济增长的空间网络关联及收敛性检验[J]. 地理科学, 2019, **39**(5): 726-733.
- Liu H J, Jia W X. Spatial network correlation and convergence test of regional economic growth in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, **39**(5): 726-733.
- [45] Huo T F, Cao R J, Xia N N, et al. Spatial correlation network structure of China's building carbon emissions and its driving factors: a social network analysis method [J]. Journal of Environmental Management, 2022, **320**, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115808.
- [46] Dong J, Li C B. Structure characteristics and influencing factors of China's carbon emission spatial correlation network: a study based on the dimension of urban agglomerations [J]. Science of the Total Environment, 2022, **853**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158613.

CONTENTS

Research on the Evaluation Method and Application of Provincial Differentiated Carbon Peaking in China	LIU Run-pu, PENG Shuan, CHEN Yu-shuo, <i>et al.</i> (1233)
Evolution and Influencing Factors of Spatial Correlation Network of Construction Carbon Emission in China from the Perspective of Whole Life Cycle	REN Xiao-song, LI Zhao-rui (1243)
Efficiency Characteristics and Evolution Patterns of Urban Carbon Metabolism of Production-Living-Ecological Space in Beijing-Tianjin-Hebei Region	TIAN Chao, CHENG Lin-lin, SHAO Ying-chao (1254)
Assessment of CO ₂ Co-benefits of Air Pollution Control Policies in Taiyuan's 14th Five-Year Plan	XIAO Ting-yu, SHU Yun, LI hui, <i>et al.</i> (1265)
Coordinated Control of Carbon Emission Reduction and Air Quality Improvement in the Industrial Sector in Hunan Province	LI Nan, LIU Wan-wan, ZHU Shu-han, <i>et al.</i> (1274)
Coal Control and Carbon Reduction Path in Henan Province's Power Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target: A Medium- and Long-term Study	ZHANG Jing, YANG Meng, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (1285)
Environmental Benefits of Pollution and Carbon Reduction by Bus Fleet Electrification in Zhengzhou	ZOU Chao, WANG Ya-nan, WU Lin, <i>et al.</i> (1293)
Multi-scale Driving Mechanism of Urbanization on PM _{2.5} Concentration in Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River	ZHANG Zheng, ZHOU Ting-gang, ZHOU Zhi-heng, <i>et al.</i> (1304)
Analysis of Spatio-temporal Distribution Characteristics and Influencing Factors of PM _{2.5} Concentration in Urban Agglomerations on the Northern Slope of Tianshan Mountains	WANG Xiang-nan, ZHANG Zhe, LIU Fang-qing (1315)
Spatial Variability and Source Apportionment of PM _{2.5} Carbon Components in Tianjin	WU Fu-liang, WU Jian-hui, DAI Qi-li, <i>et al.</i> (1328)
Characteristics and Source Analysis of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} in Huaxi District, Guiyang	GUI Jia-qun, YANG Yuan, WANG Xian-qin, <i>et al.</i> (1337)
Pollution Characteristics, Source Apportionment, and Meteorological Response of Water-soluble Ions in PM _{2.5} in Xinxiang, North China	LIU Huan-jia, LI Lan-qing, LI Huan-li, <i>et al.</i> (1349)
Characterization of Metal Elements in Atmospheric PM _{2.5} and Health Risk Assessment in Heze in Winter from 2017 to 2018	DU Hong-xuan, REN Li-hong, ZHAO Ming-sheng, <i>et al.</i> (1361)
Analysis of the Jumping Characteristics and Influencing Factors of Ozone Pollution in Beijing	PAN Jin-xin, AN Xin-xin, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (1371)
Analysis of Photochemical Characteristics and Sensitivity of Atmospheric Ozone in Nanjing in Summer	LUO Li-tong, ZHANG Yan-lin, LIN Yu-qi, <i>et al.</i> (1382)
Ozone Pollution in Suzhou During Early Summertime: Formation Mechanism and Interannual Variation	WU Ye-zheng, ZHANG Xin, GU Jun, <i>et al.</i> (1392)
Distribution Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Tracing of Heavy Metals in the Sediments of Typical Lakes in the Middle Reaches of the Yangtze River	LU Hong-bin, LU Shao-yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (1402)
Spatiotemporal Distribution and Source Analysis of Heavy Metals in Surface Sediments in Lake Ulansuhai Based on PCA-APCS-MLR Model	CUI Zhi-mou, SHI Xiao-hong, ZHAO Sheng-nan, <i>et al.</i> (1415)
Spatial and Temporal Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Changshou Lake Reservoir, Chongqing	ZHANG Rui-xi, LIU Ya-jun, LUO Yong-nan, <i>et al.</i> (1428)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Microplastics in the Yangtze River Basin	LI Si-qiong, WANG Hua, CHU Lin-you, <i>et al.</i> (1439)
Assessment of Microplastic Pollution and Estimation of Annual Emission Volume in the Dongshan Canal of Yichang City	DING Shuang, LI Wei-ming, ZHANG Xu-tong, <i>et al.</i> (1448)
Occurrence Characteristic and Risk Assessment of Microplastics in Sishui River (Xingyang Section)	ZHAO Chang-min, HE Bing, LI He-tong, <i>et al.</i> (1457)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Drains Flowing into the Yellow River of Ningxia	GAO Li, LI Ling-yun, ZHENG Lan-xiang, <i>et al.</i> (1468)
Characteristics and Risk Assessment of Antibiotic Contamination in Oujiang River Basin in Southern Zhejiang Province	ZHONG Yi-xin, LI Li-xiang, WU Xin, <i>et al.</i> (1480)
Spatial-temporal Distribution and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Poyang Lake	MA Yan, SUN Chen, BI Jia-le, <i>et al.</i> (1492)
Change and Prediction of Water Purification Function in the South Bank of Hangzhou Bay in the Past 20 Years	WANG Shan-shan, CAO Gong-ping, XU Ming-wei, <i>et al.</i> (1502)
Effects of Land Use Types on Water Quality at Different Buffer Scales: Tianjin Section of the Haihe River Basin as an Example	DAI Meng-jun, ZHANG Bing, DU Qian-qian, <i>et al.</i> (1512)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Shallow Groundwater in Anqing Section of the Yangtze River Basin	LIU Hai, SONG Yang, LI Ying-chun, <i>et al.</i> (1525)
Dynamic Changes of Dissolved Organic Matter Derived from Algal Decomposition and the Environmental Effects in Eutrophic Lakes	ZHANG Jin, CHEN Ming-ying, HAO Zhi-neng, <i>et al.</i> (1539)
Degradation of Carbamazepine in Water by UV-activated Sulfite Process	LIN Tao, YUAN Yu-jie (1553)
Detection, Generation, and Control of Disinfection By-products of Reclaimed Water	LIAO Yu-feng, WANG Zheng, PAN Yang, <i>et al.</i> (1561)
Absorption of Ammonium by Three Substrates Materials in Constructed Wetland System	HE Qiang, CHEN Bo-wen, YANG Yu-jing, <i>et al.</i> (1577)
Ecological Environment Assessment and Driving Mechanism Analysis of Nagqu and Amdo Sections of Qinghai-Xizang Highway Based on Improved Remote Sensing Ecological Index	FU Kai-xiang, JIA Guo-dong, YU Xin-xiao, <i>et al.</i> (1586)
Spatial-temporal Evolution and Driving Factors Analysis of Ecological Environment Quality in Daihai Basin based on AWRSEI	ZHAO Jia-li, LI Xing, SUN Bing (1598)
Quantitative Assessment of the Impact of Climate Change on the Growing Season of Vegetation Gross Primary Productivity in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River	XU Yong, PAN Yu-chun, ZOU Bin, <i>et al.</i> (1615)
Effect of Vegetation Restoration on Soil Organic Carbon Storage in Coal Mining Areas Based on Meta-analysis	LI Jian-ming, KANG Yu-xin, JIANG Fu-zhen, <i>et al.</i> (1629)
Effects of Continuous Annual Crop Rotation and Fallow on Soil Aggregate Stability and Organic Carbon	LU Ze-rang, LI Yong-mei, YANG Chun-huai, <i>et al.</i> (1644)
Effects of Four Amendments on Fertility and Labile Organic Carbon Fractions of Acid Purple Soil	DING Xin-ru, YAN Ning-zhen, WANG Zi-fang, <i>et al.</i> (1655)
Changes in Soil Nitrogen Components and Their Relationship with Environmental Factors with Different Tea Plantation Ages	SHAO Qi, WU Tao, XIE Xue-feng, <i>et al.</i> (1665)
Nutrients and Ecological Stoichiometry Characteristics of Typical Wetland Soils in the Lower Yellow River	WANG Chuan-ying, WANG Kai-yue, WANG Hao-ran, <i>et al.</i> (1674)
Effect of Film Mulching Age and Organic Fertilizer Application on the Distribution Characteristics of Microplastics in the Soil of a Peanut Field	SONG Ning-ning, LI Meng-jia, WANG Xue-xia, <i>et al.</i> (1684)
Effects of Straw Returning and Biochar Addition on Greenhouse Gas Emissions from High Nitrate Nitrogen Soil After Flooding in Rice-vegetable Rotation System in Tropical China	HU Tian-yi, CHE Jia-yue, HU Yu-jie, <i>et al.</i> (1692)
Tillage Depth Regulation and the Effect of Straw Return on Soil Respiration in Farmland	CHEN Xi, ZHANG Yan-jun, ZOU Jun-lie, <i>et al.</i> (1702)
Distribution Prediction of Soil Heavy Metals Based on Remote Sensing Temporal-Spatial-Spectral Features and Random Forest Model	WANG Ze-qiang, ZHANG Dong-you, XU Xi-bo, <i>et al.</i> (1713)
Characteristics and Identification Priority Source of Heavy Metals Pollution in Farmland Soils in the Yellow River Basin	LI Jun, LI Xu, LI Kai-ming, <i>et al.</i> (1724)
Characteristics of Cd Flux in Topsoil Around Typical Mining Area in Hezhou, Guangxi	YANG Ye-yu, LI Cheng, YANG Zhong-fang, <i>et al.</i> (1739)
Potential Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Fengdong New District Based on Information Diffusion Model	YANG Nan-nan, HAN Ling, LIU Ming (1749)
Traceability Analysis and Environmental Quality Assessment of Soil Heavy Metal Pollution in West Hunan Province	XIAO Kai-qi, XU Hong-gen, GAN Jie, <i>et al.</i> (1760)
Distribution Characteristics, Source Analysis and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Typical Industry Reclaimed Soil	SHEN Cheng, WANG Wen-juan, SHA Chen-yan, <i>et al.</i> (1769)
Provincial-scale Soil As Migration and Transformation and Rice Safe Planting Zoning: A Case Study of Guizhou Province	DONG Xin-yue, WU Yong, ZHOU Zi-han, <i>et al.</i> (1781)
Effect of Silica Fertilizer(Husk Ash) to Improve Soil Quality and Reduce Cd and As Accumulation in Rice	YI Xuan-tao, OUYANG Kun, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (1793)
Effect of EDDS Application on Soil Cu/Cd Availability and Uptake/transport by Castor	LIU Wen-ying, WU Gang, HU Hong-qing (1803)
Blocking Effects of Foliar Conditioners on Cadmium, Arsenic, and Lead Accumulation in Wheat Grain in Compound-contaminated Farmland	XIAO Bing, WANG Qiu-shi, GAO Pei-pe, <i>et al.</i> (1812)
Soil Microbial Community Structure and Functional Diversity Character of Abandoned Farmland in Minqin Oasis	LI Chang-le, ZHANG Fu, WANG Li-de, <i>et al.</i> (1821)
Microbial Mechanisms of Removal of Phthalic Acid Esters in Purple Soils Revealed Using Metagenomic Analysis	LI Yu-tong, YU Hai, LIU Kun, <i>et al.</i> (1830)
Air Microbial Contamination and Risk of Respiratory Exposure of Workers in Chicken Farms	BAI Yu-qiao, SUN Xing-bin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (1840)
Occurrence Characteristics of Microplastics in Multi-environmental Media and <i>Bellamyia aeruginosa</i> of Manao River	GAO Ya-kun, LI Wei-ming, ZHANG Xu-tong, <i>et al.</i> (1849)
Biological Effect of Microplastics with Different Functional Groups on the Bacterial Communities and Metabolic Functions of Zebrafish (<i>Danio rerio</i>) Embryos	YAN Zhen-hua, ZHANG Yan, BAO Xu-hui, <i>et al.</i> (1859)