

2000—2020年淮南矿区土地利用变化对 碳源/碳汇时空格局的影响

詹绍奇^{1,4,5}, 张旭阳², 陈孝杨^{2,3}, 周育智^{2,3}, 龙林丽², 徐燕飞^{1,4,5}

(1.平安煤炭开采工程技术研究院有限责任公司, 安徽 淮南 232033; 2.安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001; 3.安徽省高潜水位矿区水土资源综合利用与生态保护工程实验室, 安徽 淮南 232001; 4.安徽省煤矿绿色低碳发展工程研究中心, 安徽 淮南 232000; 5.淮南矿业(集团)有限责任公司, 安徽 淮南 232001)

摘要: [目的] 分析淮南矿区2000—2020年土地利用碳源/碳汇时空格局分布特征,为淮南市国土空间规划及未来低碳调控政策制定提供依据。[方法] 以淮南矿区为研究对象,选取2000,2010,2020年3期土地利用数据,以格网尺度量化不同土地利用变化发展阶段下碳源/碳汇/碳排放的时空格局,基于冷热点分析碳源/碳汇/碳排放的空间格局。[结果] ①2000—2020年,土地利用类型由单一用地为主转换多种土地利用类型同时发生,其中,建设用地面积增大,导致碳源效应增强,碳汇效应相对减弱,碳排放量持续增加,碳源年增加量为 2.76×10^6 t,碳汇年增加量仅为130 t,碳排放年增加量为 2.76×10^6 t; ②碳源和碳排放空间分布特征基本一致,中部建成区和西北矿区是碳源和碳排放的主要集中区,碳汇主要聚集在东部、西部边缘区和西部部分矿区; ③中部建成区是碳源和碳排放的显著热点、热点区域,以显著热点变化特征为主;显著冷点和冷点主要分布在研究区东部、西部边缘区域和西北部分矿区。[结论] 淮南矿区的碳减排和低碳效应需要着重关注北部大面积的平原耕地区域,控制该区域矿区煤炭资源开采和建设用地开发,应加快塌陷水域修复工作;南部城市化进程快速增加的同时需适度增加林地和草地等生产性碳吸收能力区域面积,避免建设用地无限制扩张。

关键词: 土地利用; 碳源/碳汇; 碳排放; 冷热点; 淮南矿区

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2023)03-0310-10 **中图分类号:** X171, X32, S157.4

文献参数: 詹绍奇, 张旭阳, 陈孝杨, 等. 2000—2020年淮南矿区土地利用变化对碳源/碳汇时空格局的影响[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 310-319. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.03.035; Zhan Shaoqi, Zhang Xuyang, Chen Xiaoyang, et al. Effects of landuse change on spatial and temporal patterns of carbon sources/sinks in Huainan mining area from 2000 to 2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 310-319.

Effects of Landuse Change on Spatial and Temporal Patterns of Carbon Sources/Sinks in Huainan Mining Area from 2000 to 2020

Zhan Shaoqi^{1,4,5}, Zhang Xuyang², Chen Xiaoyang^{2,3}, Zhou Yuzhi^{2,3}, Long Linli², Xu Yanfei^{1,4,5}

(1. Ping'an Coal Mining Engineering Technology Research Institute Co., Ltd.,

Huainan, Anhui 232001, China; 2. School of Earth and Environment, Anhui University of

Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China; 3. Anhui Engineering Laboratory for Comprehensive

Utilization of Water and Soil Resources & Ecological Protection in Mining Area With High Groundwater Level,

Huainan, Anhui 232001, China; 4. Anhui Coal Mine Green and Low-Carbon Development Engineering Research

Center, Huainan, Anhui 232001, China; 5. Huainan Mining Industry(Group) Co., Ltd., Huainan, Anhui 232001, China)

Abstract: [Objective] The spatial and temporal distribution characteristics of land use carbon sources/sinks in the Huainan mining area from 2000 to 2020 were analyzed, in order to provide a basis for Huainan City's territorial planning and future low-carbon regulation policy formulation. [Methods] The study was

收稿日期: 2022-12-06

修回日期: 2023-02-06

资助项目: 平安煤炭开采工程技术研究院有限责任公司项目“淮南关闭矿井地质生态环境评价及综合治理技术研究”(HNKY-PG-WT-2021-260); 安徽省高校研究生科学研究项目(YJS20210408)

第一作者: 詹绍奇(1988—), 男(汉族), 安徽省金寨县人, 学士, 高级工程师, 从事煤矿水害防治和煤矿生态环境保护。Email: 250668753@qq.com。

通信作者: 陈孝杨(1976—), 男(汉族), 安徽省合肥市人, 博士, 教授, 从事矿山环境治理与场地污染控制研究。Email: chenxy@aust.edu.cn。

conducted in the Huainan mining area. Grid-scale land use data in 2000, 2010, and 2020 were used to quantify the spatial and temporal patterns of carbon sources/sinks/emissions under different stages of land use change development. The spatial patterns of carbon sources/sinks/emissions were determined based on coldspots and hotspots. [Results] ① From 2000 to 2020, the land use type shifted from a single land use type to multiple land use types at the same time. The area of construction land increased, leading to an enhanced carbon source effect, a relatively weaker carbon sink effect, and a continuous increase in carbon emissions, with an annual increase in carbon sources of 2.76×10^6 t, an annual increase in carbon sinks of only 130 t, and an annual increase in carbon emissions of 2.76×10^6 t. ② The spatial distribution characteristics of carbon sources and emissions were basically the same, with the central built-up area and the northwest mining area being the main concentration areas of carbon sources and emissions. Carbon sinks were mainly concentrated in the eastern and western fringe areas and the western mining area. ③ The central built-up area of the study area was a significant hotspot area for carbon sources and emissions, dominated by significant hotspot change characteristics. Significant coldspots were mainly located in the eastern and western marginal areas of the study area and in the northwest part of the mining area. [Conclusion] Greater attention should be given to the carbon emission reduction and low carbon effect of the Huainan mining area in the large plain area of farm land in the north, as well as to controlling the mining of coal resources, to the development of construction land, and to rapid restoration of subsidized water areas. With the rapid increase of urbanization in Southern China, the area of productive carbon absorption capacity from forest land and grassland should be moderately increased to avoid unlimited expansion of construction land.

Keywords: land use; carbon source/sink; carbon emission; coldspot and hotspot; Huainan mining area

2020年中国中央经济工作会议将“碳达峰、碳中和”列为2021年的重点任务之一^[1]。化石燃料的使用和土地利用方式改变是影响碳排放的主要原因,土地利用变化所引起的直接碳排放已成为全球第二大碳排放来源,极易造成全球气候变暖^[2]。19世纪中叶工业革命以来,随着化石燃料的不断消耗,大气中CO₂浓度大幅增加,全球平均温度增加了1.09℃^[3-4]。面对如此严峻的挑战,开展矿区城市区域土地利用碳排放研究,研究其土地利用方式与碳排放的关系对于推动中国各级政府制定区域碳减排等举措有重要意义。

世界范围内,碳减排、土地利用碳排放效应等方面已成为当前的研究热点^[5-7]。目前,国内外众多学者从不同视角对相关领域进行研究,重点聚焦于土地利用碳排放强度时空演变特征^[8-12]、驱动因素^[13-17]和碳足迹^[18-19]等方面。彭文甫等^[20]通过研究1990—2010年四川省土地利用变化的碳排放,明晰人类活动对生态环境扰动程度的影响;秦岩等^[21]通过土地利用遥感数据,利用GIS技术分析2000—2018年长三角地区中心区的土地利用转移碳排放强度时空演变特征及其规律;牛亚文等^[22]基于夜间灯光遥感数据,利用探索性空间数据和地理探测器对长株潭县域尺度土地利用碳排放空间异质性及影响因素分析,发现碳排放空间上呈现自中部朝四周散弱的态势。国内外的研究主要集中于土地利用变化对碳排放的

影响方面,对不同土地利用变化的格网尺度下的碳源/碳汇效应研究仍需进一步加强。

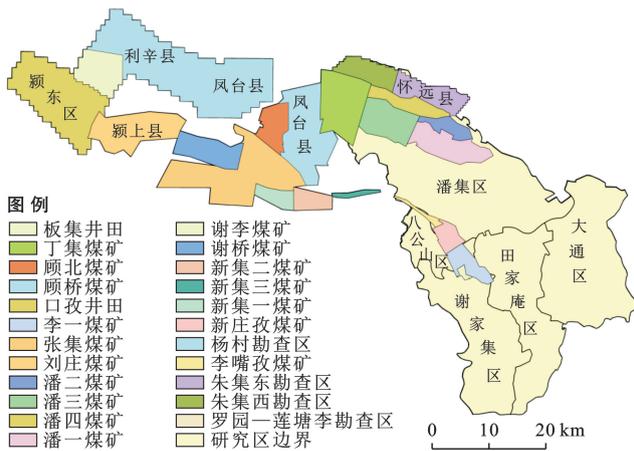
淮南矿区煤炭资源丰富,是国家确定的 1.40×10^9 t级煤炭基地和6大煤电一体化基地之一^[23]。煤炭资源开采对生态环境造成严重破坏:扰动原有的地形地貌结构和改变原有的土地利用方式,使大面积耕地沦为坑洼不平的荒滩、水塘、沼泽地等。据统计,矿山开采压占损毁耕地、林地、草地、其他地类面积高达19 501 hm²,其中,耕地和林地占损毁总面积的99%^[24]。小矿山重复开采,导致部分塌陷区已衔接成片、积水成湖^[24],严重影响淮南矿区的土地利用方式,进而对土地利用变化下的碳源/碳汇产生极大的影响。目前,国内的碳排放研究整体上尚处于探索阶段,主要集中于土地利用/覆盖变化对碳排放的影响方面,多属于某个具体区域,但以矿区城市为对象,构建格网尺度效应量化长时序土地利用碳源/碳汇时空格局研究较为欠缺。

本文通过2000,2010,2020年淮南矿区土地利用变化和矿区城市能源数据相结合,量化格网尺度下碳源/碳汇时空分布,分析20 a内矿区城市土地利用变化碳源/碳汇时空格局。基于土地利用碳排放估算模型、碳排放格网尺度和冷热点空间格局等方法,揭示淮南矿区20 a间土地利用碳源/碳汇时空格局分布特征,旨在为淮南市国土空间规划及未来低碳调控政策制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

淮南矿区位于安徽省北部(116°21'05"—117°12'30"E, 31°54'08"—33°00'26"N), 境内地势平坦, 河网众多, 煤田呈复向斜态, 横跨淮河两岸, 东西长 180 km, 南北宽 15~25 km, 总面积约 3 200 km²[25]。淮南地区属于暖温带半湿润季风气候, 四季分明, 雨量充沛, 年平均气温 16.6 °C, 年降雨量 937 mm, 蒸发量 1 600 mm。煤矿为当地的经济快速发展做出了巨大贡献, 同时也使得淮南市土地利用类型发生巨大变化, 显著影响了淮南矿区碳排放态势(图 1)。



注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统 GS(2019)1822 号标准地图制作。下同。

图 1 淮南矿区概况
Fig.1 Overview of Huainan mine area

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放估算模型 土地利用的碳排放估算主

表 2 各种能源折标准煤及碳排放参考系数

Table 2 Various energy sources converted into standard coal and carbon emission reference factors

能量类型	标准煤系数/ (kg · kg ⁻¹) (以标准煤计)	CF(kJ · kg) 平均低位发热量	CC 单位热值含碳量/ [t · (10 ¹² J) ⁻¹](以 C 计)	碳氧化率/ %	碳排放系数/ (kg · kg ⁻¹ · m ⁻³) (以 CO ₂ 计)
原煤	0.714 3	20 908	26.37	0.94	1.900 3
汽油	1.471 4	43 070	18.9	0.98	2.925 1
煤油	1.471 4	43 070	19.5	0.98	3.017 9
柴油	1.457 1	42 652	20.2	0.98	3.095 9
天然气	1.330 0	38 931	15.3	0.99	2.162 2

1.2.2 碳排放格网尺度 通过 ArcGIS 10.6 软件将土地利用碳排放结果进行格网量化, 基于研究区总面积建立 500 m 为单元的格网进行可视化, 进而探究格网尺度碳排放空间分布特征。

1.2.3 冷热点格局分析 热点分析(Getis-Ord G_i^*)^[29]常用于识别冷点区和热点区空间分布的工

要根据不同土地利用类型进行划分, 主要涉及耕地、林地、草地、水域和建设用地的碳排放和碳吸收。耕地的农作物主要通过光合作用进行碳汇, 但农作物生物量的碳汇效果不明显。因此, 将林地、草地、水域作为碳汇, 产生碳吸收; 耕地、建设用地为主要碳源, 产生碳排放。故土地利用的碳排放估算模型如下表达:

$$C_{ii} = \sum_{i=1}^5 A_i \times \alpha_i \quad (1)$$

式中: C_{ii} 为土地利用变化碳排放量; A_i 为第 i 种土地利用类型(耕地、林地、草地、水域)面积; α_i 为第 i 种土地利用类型的碳排放(吸收)系数。

$$C_b = \sum m_j \times \beta_j \times \gamma_j \quad (2)$$

式中: C_b 为建设用地的碳排放量; m_j 为化石能源消费量; β_j 为标准煤换算系数; γ_j 为碳排放系数。

(1) 耕地、林地、草地、水域的碳排放系数确定(表 1)。

表 1 主要土地利用类型碳排放系数

Table 1 The carbon emission factors of main land use types

土地利用类型	碳排放系数/(kg · m ⁻² · a ⁻¹)	数据来源
耕地	0.049 7	文献[26]
林地	-0.058 6	文献[27]
草地	-0.002 1	文献[20]
水域	-0.025 3	文献[27]

(2) 建设用地碳排放系数确定。建设用地是人类活动的产物, 承载着大量人类所消耗的能源, 不可直接利用建设用地面积计算, 只能通过建设用地此过程中所消耗的能源间接估算碳排放, 需将煤炭、石油和天然气等能源消费量换算成标准煤, 按照各种能源折标准煤及碳排放参考系数^[28](表 2)。

具, 本文用热点分析反映淮南矿区碳源/碳汇是否具有高值集聚(热点)和低值集聚(冷点)的现象, 以确定高值区和低值区在空间上发生聚类的位置。 G_i^* 的统计学意义可用标准化 Z 值来检验, Z 值为正且值越高, 表明高值(热点)的聚类越紧密, Z 值为负且值越低, 表明低值(冷点)的聚类越紧密。

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{ij} x_j}{\sum_{j=1}^n x_j} \quad (2)$$

$$Z(G_i^*) = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{ij}}{\sqrt{[n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n \omega_{ij})^2] / (n-1)}} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n x_j^2 - (\bar{X})^2} \quad (4)$$

式中: G_i^* 为斑块 i 的聚集指数; $\omega_{i,j}$ 是栅格 i 和 j 之间的空间权重; 栅格 i 和栅格 j 距离在规定范围内, $\omega_{ij} = 1$, 否则 $\omega_{ij} = 0$; n 为斑块总个数; \bar{X} 为空间内所有板块的均值; S 为所有斑块属性值的标准差。低值区(冷点)和高值区(热点)的聚类特征, 可通过 Z 值进行判定。参考前人研究^[30], 进行碳源/碳汇分区(表 3)。

表 3 碳源/碳汇冷热点分区

Table 3 Carbon source/sink cold hotspot zoning

类别	$Z(G_i^*)$ 分级				
	极显著热点	显著热点	冷点	显著冷点	极显著冷点
碳汇	≥ 0	(0.0~2]	(-2, -5]	(-5, -10]	≤ -10
碳源	≥ 5.5	(5.5, 3]	(3, 0.7]	(0.7, -0.6]	≤ -0.6
碳排放	≥ 5	(5, 2.5]	(2.5, 0.6]	(0.6, -0.6]	≤ -0.6

1.3 数据来源

土地利用遥感影像数据来源^[31], 数据为 Landsat 5 TM/8 OLI, 分辨率为 30 m, 总体精度为 79.31%; 能源数据来源于淮南市统计年鉴(2000—2020 年); 水泥数据来源于淮南市国民经济和社会发展统计公告; 标准煤转换系数来源于《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2020); 研究区矢量边界为淮南市行政区边界和淮南矿区边界; 各种能源折标准煤及碳排放参考系数

中平均低位发热量[CF(kJ/kg)]和单位热值含碳量(CC(Tc/TJ))来自《中国能源统计年鉴》(2016 年), 碳氧化率(%)和碳排放系数(kg/kg, 以 CO₂ 计)来自《国家温室气体清单指南》(国家发改委[2011]1041 号)(国家发改委, 2011 年); 鉴于 2000 年部分能源数据缺失, 因此 2000 年能源消耗仅考虑煤炭消耗量。

2 结果与分析

2.1 淮南矿区土地利用变化分析

2000—2020 年淮南矿区土地利用空间分布主要以耕地、水体和建设用地为主, 其中, 耕地面积占主导地位; 水体呈聚集分布, 主要分布在研究区东部、西部及西北矿区; 建设用地主要集中在研究区中部建成区, 其他土地利用类型呈斑块状分布特征。耕地、水体和建设用地面积之和超过了研究区总面积的 90%, 其中, 耕地面积占总面积的 70% 以上(图 2e)。2000—2010 年, 耕地和草地面积减少, 林地、水域、建设用地面积增加, 其中水域增加面积最多, 为 45.927 km², 面积变化率为 1.28%; 耕地减少面积最多, 为 163.421 km², 变化率为 4.555%。2010—2020 年, 耕地、林地、草地面积均减少, 减少面积分别为 147.232, 1.346, 1.077 km², 变化率分别为 4.104%, 0.038%, 0.030%; 建设用地增加面积最多, 增加面积为 105.294 km², 变化率为 2.935%, 水体面积增加 44.361 km², 变化率为 1.236%。2000—2020 年, 除建设用地和水体外, 其他用地类型整体呈下降趋势; 耕地面积变化幅度最大, 减少了 310.653 km², 水体面积增加了 90.288 km², 建设用地面积增加了 217.830 km², 林地和草地由于基期面积较小, 转移面积呈小幅变化趋势。

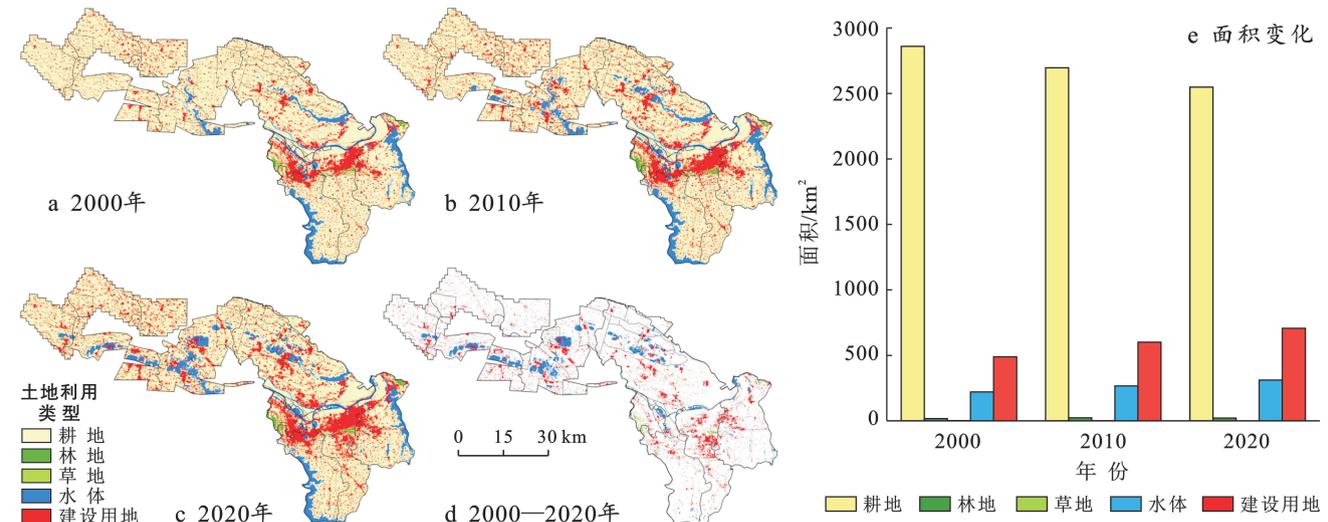


图 2 2000—2020 年淮南矿区土地利用时空格局分布

Fig.2 Spatiotemporal distribution of land use pattern in Huainan mining area from 2000 to 2020

2.2 土地利用碳排放强度核算

通过对 3 个不同年份的耕地和建设用地的碳排放量和林地、草地、水域的碳吸收量进行估算,统计 2000—2020 年研究区土地利用净碳排放量(表 4)。

2000—2020 年碳源/碳汇可以看出,建设用地上的人类活动是形成碳排放的最主要碳源,超过了碳源总量的 98%,且呈持续增长态势;碳汇部分,水域对碳吸收的贡献度最大,超过了碳汇总量的 83%;草地和林地的碳吸收量较小,最高不超过 17%。由

2000—2020 年碳源可知,淮南矿区土地利用碳排放总量呈快速增长阶段,2000—2020 年由 9.38×10^6 t 增长至 6.44×10^6 t,年增长率为 29.39%,其中耕地碳排放量逐渐呈下降趋势,建设用地碳排放快速增长,究其原因,2000 年之后淮南市大力发展煤炭行业,特别是 2002—2012 年煤炭行业“黄金期”煤炭资源开采和消耗都有了质的增加。2000—2020 年,净碳排放量同样持增长态势,由 9.37×10^6 t 增长至 6.45×10^7 t,年增长率为 29.41%。

表 4 2000—2020 年淮南矿区土地利用碳排放

Table 4 Carbon emissions from land use in Huainan mining area, from 2000 to 2020

年份	碳源			碳汇				净碳排放量
	耕地	建设用地	碳排放总量	林地	草地	水域	碳吸收总量	
2000	142.13	9 235.21	9 377.34	-0.98	-0.004 2	-5.59	-6.57	9 370.76
2010	134.01	44 004.84	44 138.84	-1.32	-0.002 4	-6.75	-8.07	44 130.77
2020	126.69	64 373.59	64 500.28	-1.24	-0.000 2	-7.87	-9.11	64 491.16

注:淮南市 2000 年能源数据不全,通过与 2010 年的增长比率计算可得,且仅统计煤炭、电力和水泥能源数据。

2.3 土地利用碳源/碳汇时空格局

2.3.1 土地利用碳源时空格局 通过 ArcGIS 10.6 将土地利用碳源格网化得到 2000—2020 年土地利用碳源时空格局,基于自然断点法将土地利用碳源划分为 5 个等级(图 3)。土地利用碳源时空分布特征显

著,整体分布趋势一致,碳源主要以研究区中部和西部为主,西北部有大面积斑块聚集,南部区域碳源排放量少。2000—2020 年(图 3d),碳源时空变化特征明显,主要以朝西北部和中部区域扩张,其中,中部碳源增加显著,西北和北部区域主要以斑块状聚集。

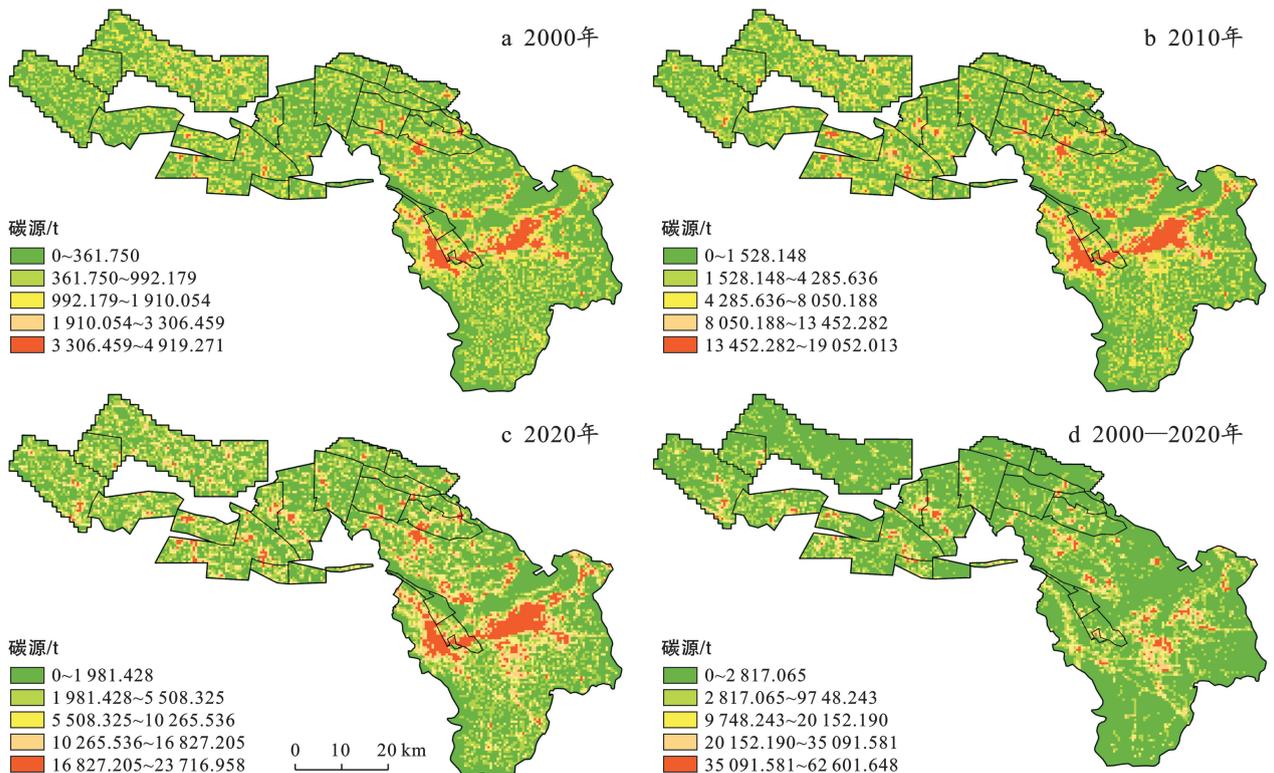


图 3 2000—2020 年淮南矿区土地利用碳源和土地利用转移碳源分布

Fig.3 Distribution of land use carbon sources and land use transfer carbon sources in Huainan mining area from 2000 to 2020

2.3.2 土地利用碳汇时空格局 通过对2000—2020年土地利用碳汇进行格网化发现,研究区碳汇整体分布特征基本保持一致,主要以研究区东部和西部边缘地区和西部矿区分布为主,研究区中部有斑块状聚集成分布,但格网区域相对较小(图4)。2000—

2020年土地利用碳汇变化总体呈增长趋势,呈西北多,东南少,主要以西部矿区增加为主;其中,西北煤矿以顾桥煤矿、潘集煤矿、张集煤矿、谢桥煤矿和刘庄煤矿碳汇面积持续增加,中部有两块大面积碳汇斑块聚集,东部区域有小面积碳汇斑块呈零星分布。

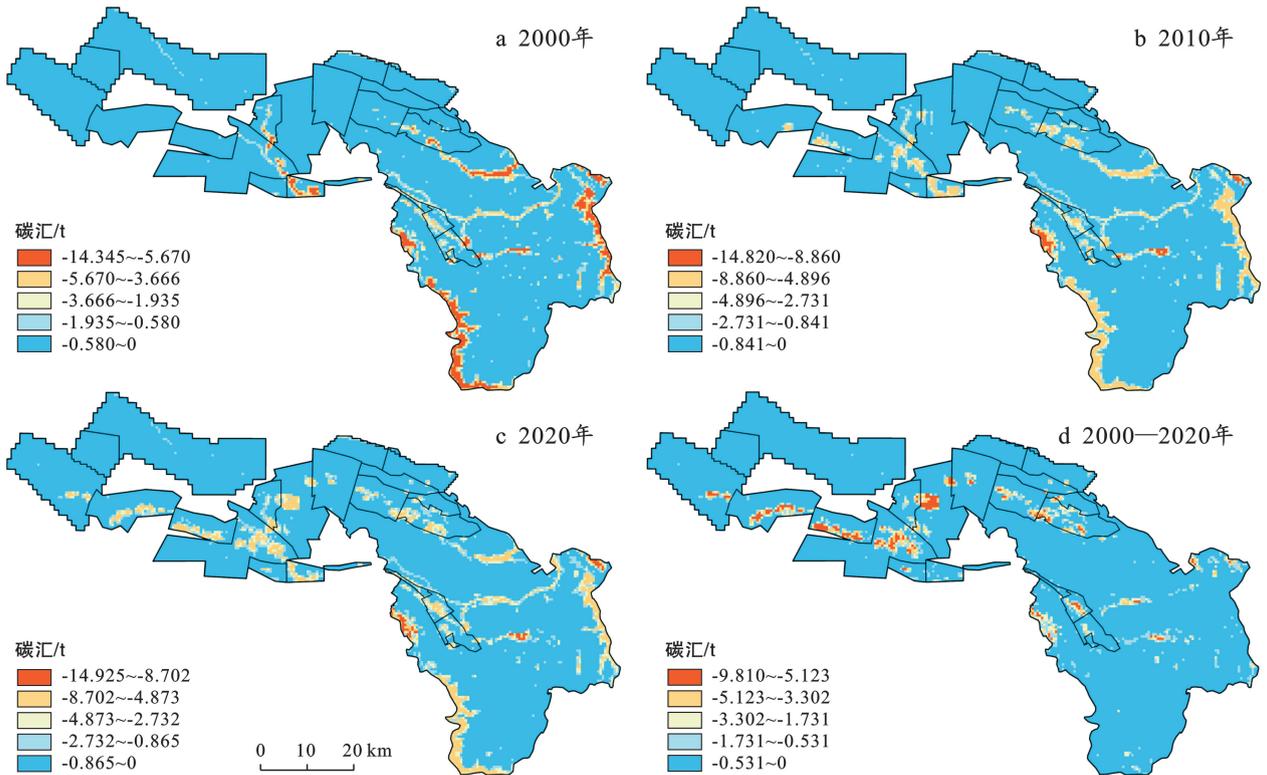


图4 2000—2020年淮南矿区土地利用碳汇和土地利用转移碳汇分布

Fig.4 Distribution of land use carbon sink and land use transfer carbon sink in Huainan mining area from 2000 to 2020

2.3.3 土地利用碳排放时空格局 通过对2000—2020年土地利用碳排放格网化发现,2000—2020年碳排放空间分布特征基本一致,主要以中部和西北部分区域分布为主,东部和南部区域碳排放量相对较少(图5)。2000—2010年,碳排放量大幅增加,主要以研究区中部大面积建成区排放,西北部矿区也有大面积碳排放斑块聚集,且呈不断增加态势。2010—2020年,碳排放量呈持续增长趋势,中部建成区面积不断朝外扩张,碳排放量不断上升,西部矿区土地利用方式改变,导致碳排放量增加,且谢桥煤矿、罗园—连塘李勘查区碳排放大面积聚集。由图5d可知,2000—2020年,西部矿区碳排放量大面积分布,矿区重心不断朝西部迁移,中部区域碳排放量呈骤增,且建设用地不断朝南部扩张。

2.4 冷热点格局分析

2.4.1 碳源冷热点格局分析 利用热点分析工具,通过绘制碳源格网尺度下2000—2020年3期碳源冷热点集聚图(图6),以探究碳源在空间上集聚特征。2000—2020年碳源的冷热点(显著冷点、冷点、不显

著区、热点、显著热点)粒度(图6e)。从空间上可知,碳源冷热点空间分布特征基本保持一致,显著冷点和冷点占研究区的主导地位,且显著冷点呈持续增长趋势,热点和显著热点聚集在研究区中部和西部矿区,热点粒度呈上升趋势。2000—2020年,热点和显著热点变化显著,主要以中部显著热点和西北部矿区显著热点扩张为主,显著冷点面积也大幅增加,且不断扩张。

2.4.2 碳汇冷热点格局分析 通过2000—2020年3期碳汇冷热点空间格局发现,碳汇在空间上呈聚集特征,以显著热点分布为主(图7)。不显著区、冷点、显著冷点相对集中,显著冷点和冷点主要分布在研究区东部、西部边缘区域和西北部分矿区,其中,以顾桥煤矿、潘集煤矿、新集煤矿、张集煤矿、谢桥煤矿和刘庄煤矿等区域扩张为主。2000—2020年,研究区主要以显著冷点和冷点变化为主,特别是西北部分煤矿,显著冷点相对聚集,衔接成面。由图7e可知,碳汇显著热点粒度逐渐减少,不显著区和热点粒度逐渐增加,但显著热点粒度占主导地位。

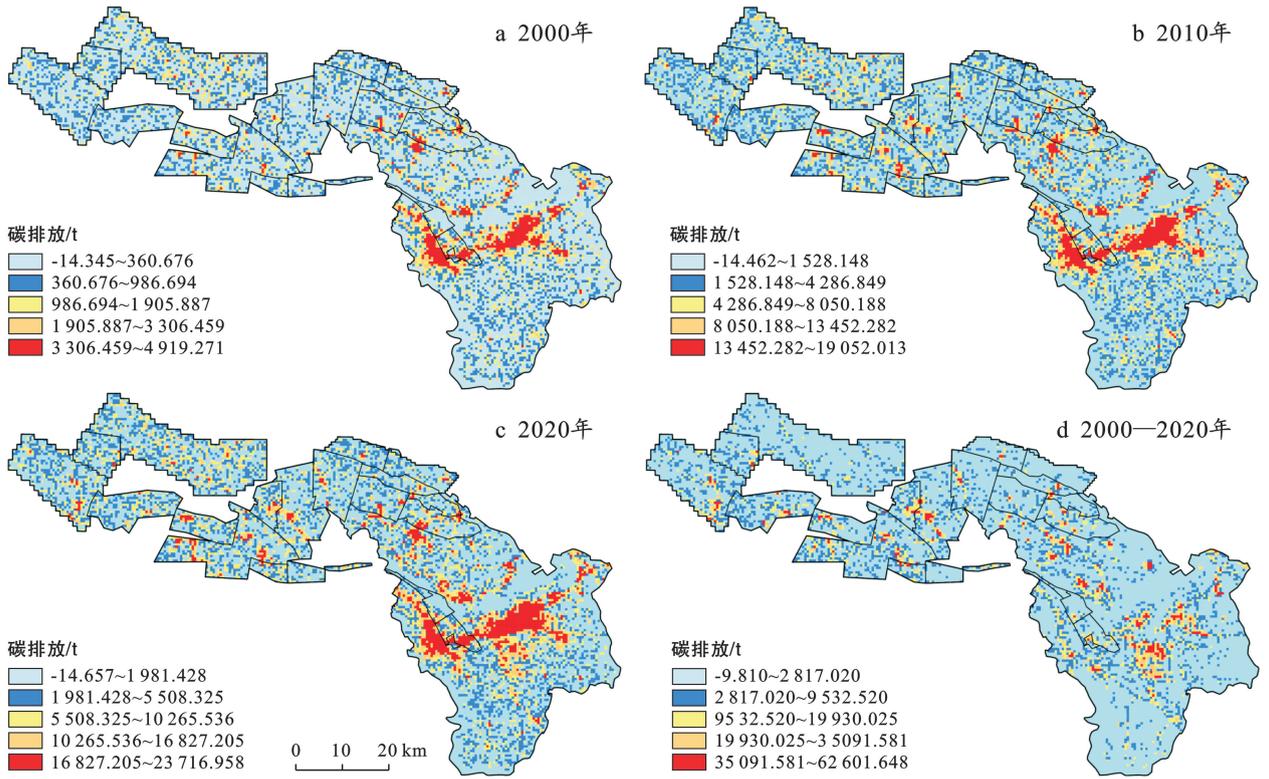


图 5 2000—2020 年淮南矿区土地利用碳排放和土地利用转移碳排放分布

Fig.5 Distribution of land use carbon emissions and land use transfer carbon emissions in Huainan mining area from 2000 to 2020

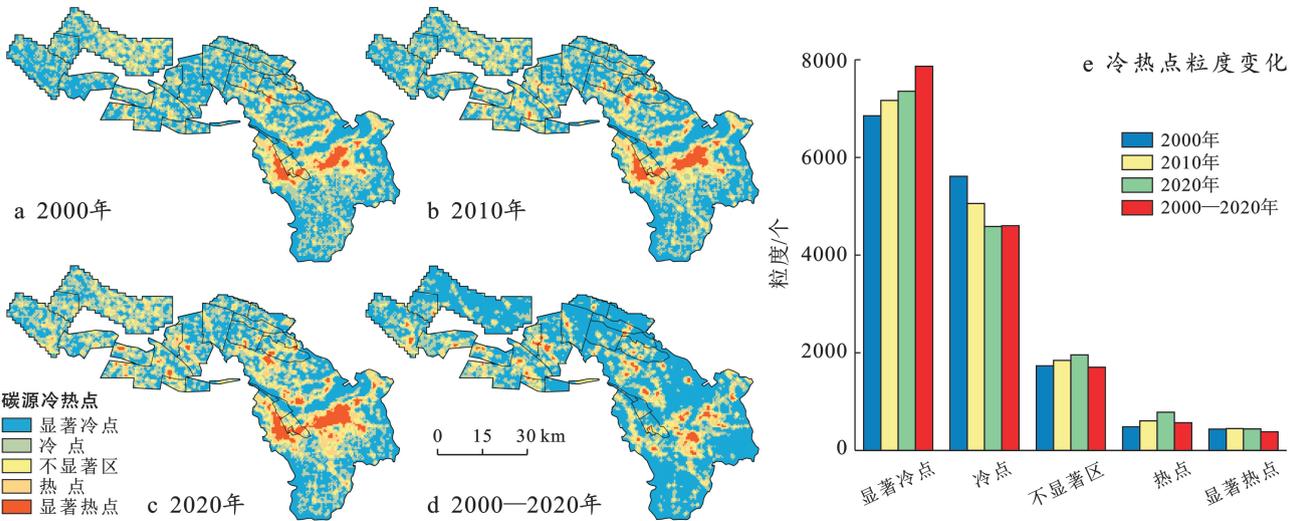


图 6 2000—2020 年淮南矿区碳源和碳源转移冷热点

Fig.6 Carbon source, cold hot and spots of carbon source transfer in Huainan mining area from 2000 to 2020

2.4.3 碳排放冷热点格局分析 通过研究区碳排放冷热点空间格局发现,碳排放空间格局和碳源空间格局基本保持一致,这是因为研究区碳汇量相对较少,对整体碳排放影响不大(图 8)。2000—2020 年,碳排放的显著冷点占主导地位,分布在研究区大部分区域,不显著区、热点和显著热点相对集中,主要分布在

研究区中部和西北煤矿部分区域。其中,显著热点在中部衔接成面,而不断朝南扩张,西北矿区热点和显著热点不断朝西北方向扩张。由图 8e 可知,2000—2020 年,显著冷点、不显著区、热点粒度呈持续增加态势,冷点粒度呈持续减少态势,显著热点粒度呈小幅变化趋势。

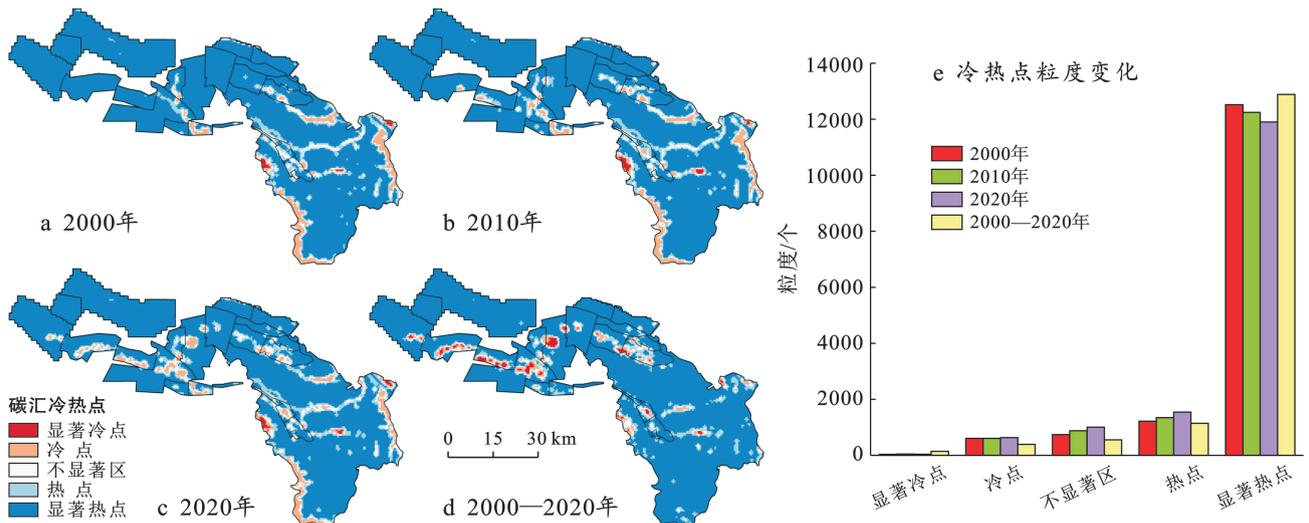


图7 2000—2020年淮南矿区碳汇和碳汇转移冷热点

Fig.7 Carbon sink, cold and hot spots of carbon transfer in Huainan mining area from 2000 to 2020

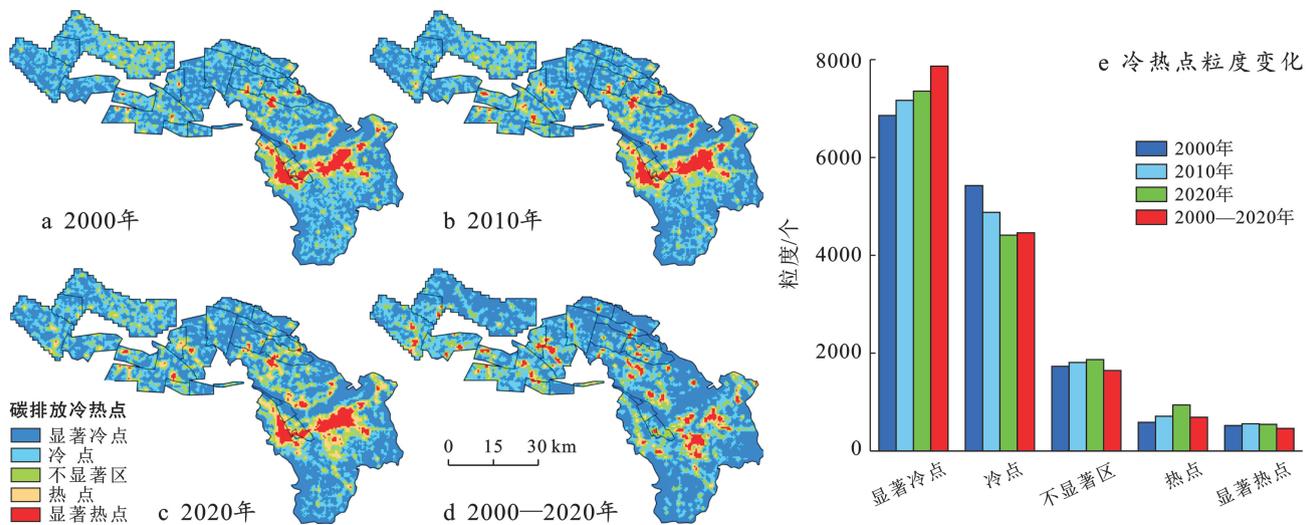


图8 2000—2020年淮南矿区碳排放和碳排放转移冷热点

Fig.8 Carbon emissions, cold spots of carbon emission transfer in Huainan mining district from 2000 to 2020

3 讨论

本研究基于淮南矿区2000, 2010, 2020年土地利用数据, 分析了淮南矿区土地利用碳源/碳汇时空格局特征。基于土地利用和淮南能源数据、碳排放系数量化了研究区碳源/碳汇格网化分布特征。研究表明, 2000—2020年土地利用变化显著, 特别是大量耕地转化成其他用地类型这与平朔矿区土地利用类型转化一致^[32]。淮南矿区地下潜水位高, 极易积水^[23], 地表下沉系数平均为0.9^[33], 当地下沉陷超过1.5 m就会出现积水^[34], 随着长期采煤沉陷, 至2017年淮南市已有的塌陷面积超过300 km², 近一半塌陷坑被水覆盖, 据预测全市超过27%的土地将成为塌陷区^[35], 2000—2020年研究区已有超过

90.288 km²转入为水体, 特别是潘谢矿区、顾桥矿区、顾北矿区、张集矿区、谢桥矿区和刘庄矿区, 由采煤形成的塌陷积水区已经逐渐形成了塌陷水体条带; 随着工业化和城市化进程快速发展, 已有217.830 km²转入为建设用地, 主要集中在城市中心, 且逐渐向四周扩散。建设用地碳排放是研究区最主要的碳源, 对碳排放总量起着决定性作用, 且用于城市建设的能源消耗是碳排放的主要原因, 随着城市化进程不断加剧, 大面积建设用地的形成导致煤炭、水泥等能源的急剧消耗, 这与泉州市等碳排放持续增加结果一致^[36]。煤炭开采和城市化活动是改变区域环境的主要原因: ①建设用地和水域面积增加, 导致区域净碳排放量持续增加; ②减少植被面积, 导致区域总体碳汇能力削弱; 区域生态系统的碳汇功能降低。建

设地上人类活动所形成的碳源多年来呈显著增加态势,对土地利用碳排放量具有至关重要的作用,这与李彦旻等^[37]对安徽省土地利用碳排放结果保持一致。

基于 2000,2010,2020 年碳源、碳汇、碳排放冷热点空间格局分析可知,研究区中部、西部矿区是碳源和碳排放的显著热点和热点区域。究其原因,人口和建设用地区域主要集中在中部区域,西北矿区是由于土地利用类型的转变,大面积的耕地转换为水体,且煤矿和火电产业的快速发展导致大量的碳排放。与之相比,东部、西部边缘区域和西北矿区是碳汇的显著冷点和冷点区域。主要以水体和林地为主,西北矿区大面积的耕地转换成水体,由原本的碳源转变成碳汇,逐渐成为了碳汇显著冷点和冷点区域;除此之外,西部八公山地区林地覆盖率高,逐渐减少了对周围矿业生产的依赖,成为了碳汇的显著冷点区域。

鉴于 2000 年能源消费数据的限制,本文所选取的碳排放系数中化石能源数据仅考虑煤炭消耗。经研究表明研究区的碳减排任务非常严峻,必须降低煤炭资源的消耗量,优化能源配置结构,注重清洁能源,加强低碳节能宣传、倡导低碳生活,加快传统工业转型,将是研究区在未来发展规划中的关注重点。

4 结论

(1) 2000—2020 年淮南矿区土地利用类型变化特征显著,大面积耕地转为水体和建设用地,导致碳源效应增强、碳汇效应减弱。建设用地所形成的碳源是碳排放的主要碳源,超过了碳源总量的 98%,且呈持续增长态势,水体对碳汇贡献度最大,超过了碳汇总量的 83%。

(2) 在空间上,中部建成区和西部矿区是碳源的最主要区域,且中部区域碳源聚集,东部、南部碳源相对较弱;碳汇主要聚集在东部和西部边缘区域和西部矿区,且潘集煤矿、谢桥煤矿、顾桥煤矿和刘庄煤矿碳汇扩张程度剧烈;碳排放和碳源空间分布特征基本保持一致,主要以中部和西北煤矿聚集,且中部区域碳排放扩张特征显著。

(3) 在空间上,研究区中部建成区是碳排放和碳源的显著热点和热点区域,以显著热点变化特征显著;西北煤矿区域是碳汇的显著冷点和冷点区,主要以西北矿区扩张为主。

(4) 淮南矿区的碳减排和低碳效应需要着重关注北部大面积的平原耕地区域,控制该区域矿区煤炭资源开采和建设用地区域,应加快塌陷水域修复工作;南部城市化进程快速增加的同时需适度增加林地

和草地等生产性碳吸收能力区域面积,避免建设用地区域无限制扩张。

[参 考 文 献]

- [1] 刘祥宏,阎永军,刘伟,等.碳中和战略下煤矿区生态碳汇体系构建及功能提升展望[J].环境科学,2022,43(4):2237-2240+2242-2250.
- [2] 韩骥,周翔,象伟宁.土地利用碳排放效应及其低碳管理研究进展[J].生态学报,2016,36(4):1152-1161.
- [3] Churkina G, Organschi A, Reyer C P O, et al. Buildings as a global carbon sink [J]. Nature Sustainability, 2020,3(4):269-276.
- [4] Masson-Delmotte Valérie, Zhai Panmao, Pirani Anna, et al. Climate Change 2021: The physical science basis// Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[C]. IPCC: Geneva, Switzerland, 2021.
- [5] 马远,刘真真,黄河流域土地利用碳排放的时空演变及影响因素研究[J].生态经济,2021,37(7):35-43.
- [6] 马海良,丁元卿,庞庆华.武汉市湖泊水域利用转变及其碳排放影响[J].长江流域资源与环境,2020,29(2):369-375.
- [7] Bryan Brett A, Gao Lei, Ye Yanqiong, et al. China's response to a national land-system sustainability emergency [J]. Nature, 2018,559(7713):193-204.
- [8] Tian Shiqi, Wang Shijie, Bai Xiaoyong, et al. Global patterns and changes of carbon emissions from land use during 1992—2015 [J]. Environmental Science and Ecotechnology, 2021,7:100108.
- [9] Lai Li, Huang Xianjin, Yang Hong, et al. Carbon emissions from land-use change and management in China between 1990 and 2010 [J]. Science Advances, 2016,2(11):e1601063.
- [10] Zhu Enyan, Deng Jingsong, Zhou Mengmeng, et al. Carbon emissions induced by land-use and land-cover change from 1970 to 2010 in Zhejiang, China [J]. Science of the Total Environment, 2019,646:930-939.
- [11] Jin Gui, Guo Baishu, Deng Xiangzheng. Is there a decoupling relationship between CO₂ emission reduction and poverty alleviation in China? [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020,151:119856.
- [12] Chuai Xiaowei, Yuan Ye, Zhang Xiuying, et al. Multi-angle land use-linked carbon balance examination in Nanjing City, China [J]. Land Use Policy, 2019,84:305-315.
- [13] 阿依吐尔逊·沙木西,艾力西尔·亚力坤,刘晓曼,等.乌鲁木齐土地利用碳排放强度时空演变研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(2):139-146.
- [14] Li Jianbao, Huang Xianjin, Yang Hong, et al. Conver-

- gence of carbon intensity in the Yangtze River Delta, China [J]. *Habitat International*, 2017, 60:58-68.
- [15] 李玉玲,李世平,祁静静.陕西省土地利用碳排放影响因素及脱钩效应分析[J].*水土保持研究*, 2018, 25(1):382-390.
- [16] 黄鑫,邢秀为,程文仕.土地利用碳排放与GDP含金量的脱钩关系及驱动因素[J].*地域研究与开发*, 2020, 39(3):156-161.
- [17] Cheng Zhonghua, Li Lianshui, Liu Jun. Industrial structure, technical progress and carbon intensity in China's Provinces [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81:2935-2946.
- [18] 黄雨生,曲建升,刘莉娜.中国各省份碳足迹与碳承载力差异研究[J].*生态经济*, 2016, 32(6):38-43.
- [19] 陈中督,徐春春,纪龙,等.2004—2014年南方稻区双季稻生产碳足迹动态及其构成[J].*应用生态学报*, 2018, 29(11):3669-3676.
- [20] 彭文甫,周介铭,徐新良,等.基于土地利用变化的四川省碳排放与碳足迹效应及时空格局[J].*生态学报*, 2016, 36(22):7244-7259.
- [21] 秦岩,於冉,於忠祥,等.2000—2018年长三角中心区土地利用碳排放强度的时空特征[J].*河南农业大学学报*, 2021, 55(1):132-140.
- [22] 牛亚文,赵先超,胡艺觉.基于NPP-VIIRS夜间灯光的长株潭地区县域土地利用碳排放空间分异研究[J].*环境科学学报*, 2021, 41(9):3847-3856.
- [23] He Tingting, Xiao Wu, Zhao Yanling, et al. Identification of waterlogging in Eastern China induced by mining subsidence: A case study of Google Earth Engine time-series analysis applied to the Huainan coal field [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 242:111742.
- [24] 刘璐.淮南市矿山地质环境问题及防治技术研究[J].*资源环境与工程*, 2021, 35(2):200-205.
- [25] 刘衡秋,刘钦甫,张景飞.淮南煤田开采条件及其综采适应性评价研究[J].*煤炭科学技术*, 2004, 32(4):50-54.
- [26] Cai Zucong, Tsuruta Haruo, Gao Ming, et al. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field [J]. *Global Change Biology*, 2003, 9(1):37-45.
- [27] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算[J].*中国科学(D辑:地球科学)*, 2007, 37(6):804-812.
- [28] Shan Yuli, Guan Dabo, Liu Jianghua, et al. Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161:1215-1225.
- [29] Getis Arthur, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics [J]. *Geographical Analysis*, 1992, 24(3):189-206.
- [30] 赵筱青,石小倩,李取豪,等.滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区[J].*地理学报*, 2022, 77(3):736-756.
- [31] Yang Jie, Huang Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8):3907-3925.
- [32] 程苗苗,王辉,马刚,等.基于遥感影像的平朔矿区碳汇变化及预测研究[J].*中国矿业*, 2020, 29(3):80-87.
- [33] 陈永春,袁亮,徐翀.淮南矿区利用采煤塌陷区建设平原水库研究[J].*煤炭学报*, 2016, 41(11):2830-2835.
- [34] Xiao Wu, Hu Zhenqi, Chugh Yoginder P, et al. Dynamic subsidence simulation and topsoil removal strategy in high groundwater table and underground coal mining area: A case study in Shandong Province [J]. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2014, 28(4):250-263.
- [35] 赵艳玲,丁宝亮,何厅厅,等.基于Google Earth Engine的采煤沉陷水体方向变化自动识别[J].*煤炭学报*, 2022, 47(7):2745-2755.
- [36] 李国煜,王嘉怡,曹宇,等.碳排放约束下的福建省城镇建设土地利用效率动态变化与影响因素[J].*中国土地科学*, 2020, 34(4):69-77.
- [37] 李彦旻,沈育生,王世航.基于土地利用变化的安徽省陆地碳排放时空特征及效应[J].*水土保持学报*, 2022, 36(1):182-188.