

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.01.022.

邓彤, 罗志军, 曾建玲. 基于适宜性和空间功能值的德兴市矿粮复合区“三生”空间优化研究[J]. 水土保持研究, 2024, 31(1): 395-407.

Deng Tong, Luo Zhijun, Zeng Jianling. Study on the Spatial Optimization of ‘Production-Living-Ecology’ in mine-Grain Complex Area of Dexing City Based on Suitability and Spatial Function Value[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(1): 395-407.

基于适宜性和空间功能值的德兴市矿粮复合区“三生”空间优化研究

邓彤, 罗志军, 曾建玲

(江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘要: [目的] 深入开展“三生”功能评价与空间调控优化, 协调重构不合理的空间布局与结构, 缓解矿粮空间冲突, 为国土空间治理和区域高质量发展提供参考。[方法] 以德兴市矿粮复合区为例, 结合空间适宜性评价、功能值测算与空间自相关分析, 基于 AVC“三力”理论对研究区进行“三生”空间优化研究。[结果] (1) 农业、工业生产空间分别集中于西南部和北部, 生活空间集中度自西北向东南递减, 而生态空间分布广泛且整体均衡; (2) 生产、生态空间多呈现聚集态势, 而生活空间功能聚集性较弱, 呈零星分布, 且矿区对其空间适宜性、功能值及聚集度有负面影响; (3) 空间重构后, 生活、生态空间功能值分别从 1.948 6 亿元、90.755 0 亿元提升至 1.951 8 亿元、90.778 9 亿元。[结论] 综合考虑适宜性、空间功能值与集中度进行空间优化与重构, 研究区生活与生态空间功能值有所提高, 各类空间分布趋于聚集态势, 缓解了矿区对于人们生活与粮食生产的负面影响。未来应针对各类空间进行系统治理与管控, 并严格控制矿区开发, 以保障生产、生活与生态功能。

关键词: “三生”空间; 适宜性; 空间自相关; 空间优化; 矿粮复合区

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)01-0395-13

Study on the Spatial Optimization of ‘Production-Living-Ecology’ in Mine-Grain Complex Area of Dexing City Based on Suitability and Spatial Function Value

Deng Tong, Luo Zhijun, Zeng Jianling

(College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to carry out in-depth functional evaluation and spatial regulation optimization of ‘production-living-ecological’, to coordinate and reconstruct unreasonable spatial layout and structure, to alleviate spatial conflicts between mine and grain, and to provide reference for land space governance and regional high-quality development. [Methods] The mine-grain mixed zone of Dexing City was taken as an example. Spatial suitability evaluation, functional value calculation and spatial autocorrelation analysis were used to study the ‘production-living-ecological’ space optimization of the study area based on AVC ‘three forces’ theory. [Results] (1) The agricultural and industrial production space concentrated in the southwest and north, respectively. The concentration of living space decreased from northwest to southeast, while the ecological space widely distributed and balanced. (2) The production and ecological space mostly clustered, while the functional aggregation of living space was weak and scattered, and the mining area had a negative impact on its spatial suitability, functional value and aggregation degree. (3) After spatial

收稿日期: 2023-01-19

修回日期: 2023-03-04

资助项目: 国家自然科学基金项目(41961042); 教育部人文社会科学研究规划资助项目(19YJAZH061); 国家高分辨率对地观测系统重大专项(82-Y50G22-9001-22/23)

第一作者: 邓彤(1999—), 女, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事国土空间优化方面研究。E-mail: dt1999zy@163.com

通信作者: 罗志军(1976—), 男, 江西新余人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地管理和 3S 应用方面研究。E-mail: luozy10@163.com

<http://stbcj.paperonce.org>

reconstruction, the functional value of living space and ecological space increased from 194.86 million yuan and 9.075 5 billion yuan to 195.18 million yuan and 9.077 89 billion yuan, respectively. [Conclusion] After comprehensive consideration of suitability, spatial function value and concentration degree for spatial optimization and reconstruction, the living and ecological spatial function values of the study area was improved. The spatial distribution of various types tended to concentrate, which alleviated the negative impact of the mining area on people's life and grain production. In the future, systematic governance and control should be carried out for all kinds of spaces, and the development of mining areas should be strictly controlled to ensure production, life and ecological functions.

Keywords: ‘production-living-ecology’ space; suitability; spatial autocorrelation; space optimization; mine-grain mixed zone

矿产资源是人类社会、经济活动的重要物质载体。近年来,我国人口与经济不断增长,对于矿产资源的需求也不断增加。对矿产资源的大规模开采,带来了巨大的经济利益,但也加剧了对生态环境的破坏与对粮食安全的威胁^[1]。近几年的新冠疫情导致了经济市场与粮食市场的不稳定性的加剧,更凸显了耕地保护的重要战略性意义。矿粮复合区是指由矿产资源主产区与粮食主产区构成的复合体^[2]。与非复合区相比,其土地利用结构与布局更具多样性和复杂性,更易造成生产、生活和生态空间的相互作用与相互制约。因此,对于矿粮复合区,如何实现“三生”空间协同优化,实现资源环境的可持续利用,进行“三生”空间重构,已成为国土空间各类规划进程中重要也是必要的一环。

改革开放后,我国城镇化、现代化以及绿色化进程不断加快,“三生”空间功能、结构与布局发生剧烈变动,资源可持续开发和利用面临着严峻的危机及挑战^[3]。国内学者对“三生”空间进行了大量研究,主要涉及其概念与内涵^[4-5]、识别与分类^[6-7]、评价与优化^[8]、冲突与重构等^[2,9-10]。研究方法主要包括 GIS 空间分析方法^[11]、综合加权模型^[12]、统计和测量分析方法等^[13]。当前我国对于“三生”空间重构的研究多为对优化及重构理念^[14]的研究。方创琳^[15]在识别、划定“三生”空间的基础上,计算其承载力,理顺空间开发秩序,以实现空间优化。黄金川等^[4]基于“三生”空间的数量配比及配置理念,突出其功能分类、空间识别与优化等内容,构建“三生”空间研究的框架体系。杨俊等^[1]通过对矿粮复合区“三生”空间的分析,基于 AVC“三力”理论,构建“三生”空间的重构体系,以达到提高研究区的空间功能值的目的。国外学者所提出的“带形城市”理论^[16]、“田园城市”理论^[16]、“绿带圈”规划等^[17]理论,对“三生”空间分类与优化研究具有较强的借鉴意义。同时学术界对空间功能^[1-3,13]、适宜性等^[18-20]单一视角的空间优化也有所关注^[21],进一步探讨空间功能与集中度所反映

的区域内部功能差异与空间粘连度,研究特定用途在区域内的适宜程度,但各单变量在一定程度上仍存在横向影响与制约关系。对此,基于多视角集成分析的“三生”空间优化仍然需要被进一步研究。

综上,“三生”空间相关研究仍存在一定的提升和创新空间:(1) 相关研究以市县尺度等为主,特殊地域也多为山地草地或流域,对于典型矿粮复合区研究的较少;(2) “三生”空间的重构及其影响因素相关研究与其基础性研究相比数量较少;(3) 空间适宜性评价体系尚未统一,其综合性有待提升,且基于适宜性、空间功能值与空间自相关分析的多视角综合评价分析有待加强。

因此,本文以江西省德兴市为例,对其生产、生活、生态空间进行划分,利用 GIS 空间分析以及多因素综合叠加评价分析法对各类空间的适宜性进行评价,并以每个乡镇所表现出的常住户数系数,计算生活空间功能值,并采用地区修正后的单位面积价值当量因子法,测算出生态空间功能值和生产空间功能值,结合矿区缓冲区分析与空间自相关分析,基于 AVC“三力”理论,进行“三生”空间布局优化。以期协调重构不合理的空间布局与结构,实现效益最大化,为各空间类规划提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

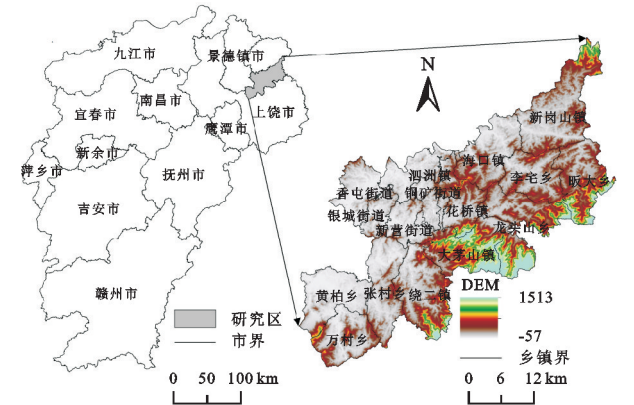
德兴市地处江西省东北部、乐安河中上游,位于 28°38′—29°17′N,117°22′—118°06′E,总面积 2 102 km², 2021 年户籍人口 33.32 万人,辖 6 个镇、6 个乡和 4 个街道,见图 1。境内群山连绵,岗陵延展,东南高峻、西北低平,属中亚热带湿润气候,水热与光照充足,适宜常绿阔叶林和水稻等农作物的生长。矿产资源丰富,探明金属矿藏有铜、金、银等 19 种,铜资源尤丰,德兴铜矿是中国最大的在产铜矿,也是亚洲最大的露天铜矿。近年来,德兴铜矿的持续开采导致了矿区周边的

植被破坏、地表裸露、农作物生长受影响以及水源污染等问题,严重影响了周边居民的正常生产生活。由于存在矿粮交错、生态环境破坏、受损地修复难等诸多情况,德兴市已经成为生态环境保护 and 国土空间优化研究的典型区域。因此,深入开展德兴市矿粮复合区“三生”空间优化研究,对区域生态文明建设、粮食安全和可持续发展具有重要的理论和现实意义。

1.2 数据来源

本文数据主要包括栅格数据、矢量化数据等,各数据来源如表 1 所示。所有数据均采用统一坐标投影,为 2000 国家大地坐标系和 Gauss_Kruger 投影,并按照 30 m×30 m 的格网进行重采样和空间分析。根据“三调”数据提取水系、交通、居民点及距各类用地距离等数据,进行叠加分析、多环缓冲区分析、自相关分析以及地图代数等空间分析。利用 ArcGIS 的 3D analyst 以及 Spatial analyst 等工具,提取 DEM 的

坡度、坡向以及高程数据,并以此求算地形位指数。处理各栅格数据后进行重分类,利用栅格计算器进行各类综合指数计算。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号赣 S(2023)24 号、赣 S(2023)33 号的标准地图制作。

图 1 德兴市地理位置示意图

Fig. 1 Geographical location map of Dexing City

表 1 数据来源
Table 1 Data sources

数据类型	数据名称	数据来源	备注
栅格数据	DEM、多年平均气温、多年平均降雨量、土地覆被数据、NDVI	地理空间数据云、国家地球系统科学数据共享平台、地理国情监测云平台	数据空间分辨率为 30 m×30 m,利用 ArcGIS 进行预处理
	土地利用数据、江西省行政区划界限、矿区数据、交通便捷度、距水体等距离	自然资源局、地理国情监测云平台	进行多环缓冲区分析
地形数据	坡度、坡向、高程、地形位指数	地理空间数据云	利用 ArcGIS 从 DEM 数据中提取
社会经济数据	常住人口及户数、粮食作物种植面积及单位面积粮食产量、全国主要粮食作物单价	《2020 年德兴市统计年鉴》《2020 年上饶市统计年鉴》《德兴市 2020 年国民经济和社会发展统计公报》、中国农业农村部官网	根据具体公式计算

2 研究方法

2.1 研究思路

本文以江西省德兴市为研究区,根据研究区矿粮复合区特性及其社会经济状况,基于土地主导功能进行“三生”空间划定,采取 GIS 空间分析法和多因素综合叠加法^[18]进行适宜性评价,并利用当量因子法^[4,22-26]进行功能值测算,再进行矿区缓冲区分析与空间自相关分析^[27-33]。将研究区按路网、河流及山脉阻隔分区后,基于 AVC(吸引力、生命力和承载力)理论^[2,32],考虑矿粮复合区需同时保障矿产资源开发与粮食生产安全,二者与居民活动紧密相关,因此围绕居民点布局,重点考虑居民生产生活活动影响因素,进行空间重构与优化^[33-34]并提出建议。以期对不合理的空间组合模式与格局进行优化与调整,实现效益最大化,为各空间类规划提供参考。具体研究技术路线图见图 2。

2.2 “三生”空间分类体系构建

基于土地主导功能的识别划分“三生”空间。生产空间是指以一二三产业产品生产为主导功能的区域,结合德兴市的实际条件与特征,将耕地、采矿用地以及农村道路定义为生产空间^[4]。生活空间是指以居民居住、娱乐、文体为主导功能的区域,结合德兴市的实际条件与特征,将城镇村即居民点定义为生活空间^[22]。生态空间是指以提供生态服务与产品为主导功能的区域,结合德兴市的实际条件与特征,将耕地、林地以及坑塘水面定义为生态空间^[4]。以此构建“三生”空间分类体系,如表 2 所示。

2.3 “三生”空间适宜性评价体系构建

2.3.1 评价指标选择与评价单元划分 考虑德兴市的矿粮复合区特性,以及自然、社会经济属性,遵循指向性因素与综合因素相结合原则,构建生产、生活、生态空间的适宜性评价指标体系^[18-20],并借助 ArcGIS 软件中空间分析等工具,进行多因素综合叠加分析。

基于此,生产空间适宜性的评价指标主要考虑开发便利度、地块适宜性以及自然气候要素三方面。生产活动主要受自然气候如温度、降水等影响,故自然气候要素选取多年平均降雨量、多年平均气温两项指标;道路交通便利程度与距居民点距离都会影响人们进

行生产、生活活动的便利度及效率,故开发便利度要素选取与道路的距离、与居民点的距离两项指标;而生产活动很大程度上受到地形、坡度与灌溉条件的影响,坡度越高生产活动越困难,故地块适宜性要素选取灌溉条件、坡度以及坡向三项指标。

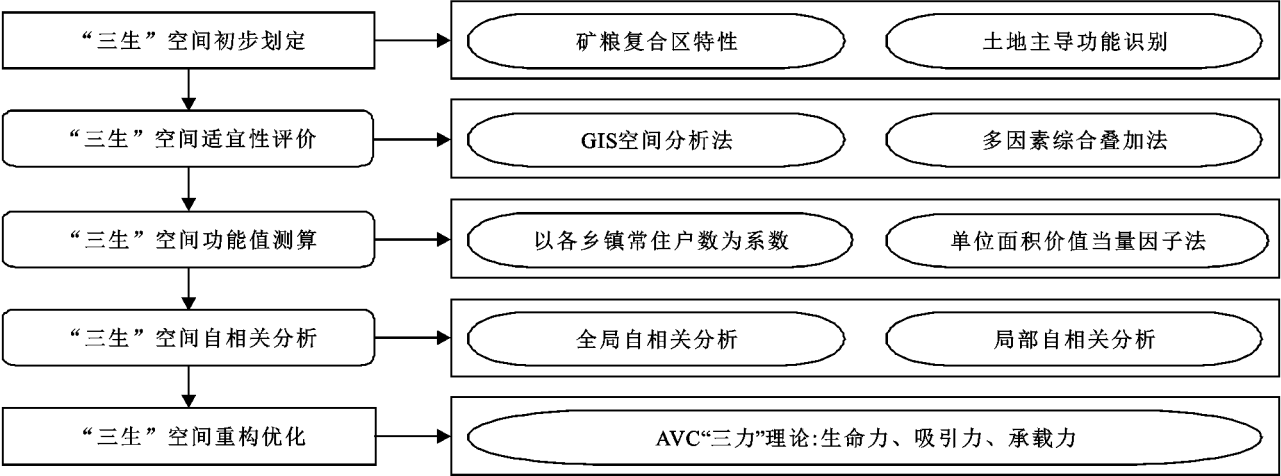


图 2 研究技术路线

Fig. 2 Technical roadmap

表 2 “三生”空间分类体系
Table 2 Classification System of
‘Production-Living-Ecological’ space

空间类型	用地类型
生产空间	耕地、采矿用地、农村道路
生活空间	城镇村
生态空间	耕地、林地、坑塘水面

生活空间适宜性的评价指标主要考虑自然要素和社会因素两方面。自然要素中,地貌条件及高程影响居民居住与房屋建设,故选取地形位指数、高程两项指标;社会因素中,居民生活舒适度与满意度主要受基础设施与公共服务设施完备度影响,故选取距城镇中心的距离、距科教文卫用地的距离、距商业服务业用地的距离、交通便捷度四项指标。其中,地形位指数 T 反映区域地貌条件,其计算公式^[35]为:

$$T = \lg(\frac{e}{E} + 1) \times (\frac{s}{S} + 1) \tag{1}$$

式中: e, E 分别表示该区位的高程及研究区平均值(m); s, S 分别表示该区位的坡度及研究区平均值(°)。

生态空间适宜性的评价指标主要考虑自然因素、环境质量、区位因素三方面。自然因素主要考虑用地类型这一指标,不同地类对生态功能影响不同,如工矿开采极易破坏生态系统结构与稳定性;生态环境质量的好坏一定程度上决定了生态适宜性的高低,故选取植被指数、生物丰度两项指标;区位因素包括距建设用地距离、距水体距离两项指标,距建设用地越近,其生态稳定性越弱,生态适宜性也越弱,而

距水体距离越近,其生态敏感性越高,则生态适宜性越弱。其中,生物丰度指数反映生物多样性程度,其计算公式^[36]为:

$$\text{生物丰度指数} = A_{\text{bio}} (0.35S_{\text{林地}} + 0.21S_{\text{草地}} + 0.28S_{\text{水域湿地}} + 0.11S_{\text{耕地}} + 0.04S_{\text{建设用地}} + 0.01S_{\text{未利用地}}) / \text{区域面积} \tag{2}$$

$$A_{\text{bio}} = 100 / A_{\text{max}} \tag{3}$$

式中: S 为网格内各类用地面积; A_{bio} 表示生物丰度归一化指数; A_{max} 表示生物丰度指数归一化处理前的最大值。

评价单元为划分的 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 栅格,并对各评价单元进行统一的量化处理。具体评价指标体系见表 3。

2.3.2 评价指标权重确定与评价等级划分 评价指标权重的确定采用层次分析法。根据评价指标,判断每个评价单元对“三生”功能的适宜程度,分别赋值为 5,4,3,2,1。对定量指标因子的评价结果进行重分类并赋值,并对定性指标基于各功能适宜程度进行赋值。根据相关数据,在 ArcGIS 软件中利用栅格计算器工具,分别对德兴市的“三生”空间的各指标因子图层加权处理,进行叠加分析,并对分析结果利用自然断点法进行重分类,可分为最适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜、不适宜 5 个等级,并利用下列公式^[23]计算评价单元的综合适宜性分值。即可得到“三生”空间适宜性评价结果。

$$W_i = \sum_{j=1}^n S_j \times A_{ij} \tag{4}$$

式中: W_i 为第 i 个网格的适宜性评价综合值; S_j 为第

j 个指标的权重值; A_{ij} 为第 i 个网格第 j 个指标的标 准化值。

表 3 “三生”空间适宜性评价指标体系

Table 3 Space Land use suitability evaluation index system ‘Production-Living-Ecological’ space

目标层	因素层	指标层	因子分级及分值					权重
			5	4	3	2	1	
	自然气候	多年平均气温/℃	≥193	185~193	175~185	160~175	≤160	0.1504
		多年平均降雨量/mm	≥24700	24500~24700	24300~24500	24000~24300	≤24000	0.0752
		灌溉条件/m	≤100	100~250	250~400	400~550	≥550	0.2695
生产适宜性	地块适宜性	坡度/(°)	≤3	3~8	8~15	15~22	≥22	0.2695
		坡向	阳坡	半阳坡	半阴坡	阴坡	—	0.1348
		距道路距离/m	≤500	500~1500	1500~3000	3000~5000	≥5000	0.0336
	开发便利度	距居民点距离/m	≤500	500~1500	1500~3000	3000~5000	≥5000	0.0671
		地形指数	≤0.23	0.23~0.36	0.36~0.5	0.5~0.65	≥0.65	0.0900
		高程/m	≤547	547~645	645~723	723~798	≥798	0.0100
生活适宜性	自然要素	距城镇中心的距离/m	≤500	500~1500	1500~3000	3000~5000	≥5000	0.1832
		距科教文卫用地的距离/m	≤500	500~1500	1500~3000	3000~5000	≥5000	0.1832
		距商业服务业用地的距离/m	≤500	500~1500	1500~3000	3000~5000	≥5000	0.2216
	社会因素	交通便捷度/m	≤500	500~1500	1500~3000	3000~5000	≥5000	0.3119
	自然因素	用地类型	03,04,除 1202 外的 12,除 1109 外的 11	02	01,1202	05,06,07,08,09,1109	10	0.2222
		植被指数	≥0.86	0.79~0.86	0.66~0.79	0.48~0.66	≤0.48	0.1667
生态适宜性	环境质量	生物丰度	≥0.46	0.38~0.46	0.27~0.38	0.15~0.27	≤0.15	0.1667
	区位因素	距建设用地距离/m	≥5000	3000~5000	1500~3000	500~1500	≤500	0.2222
		距水体距离/m	≥5000	3000~5000	1500~3000	500~1500	≤500	0.2222

2.4 “三生”空间功能值测算

本文以每个乡镇斑块所表现出的常住户数为系数来计算研究区的生活空间功能值,并参考谢高地、王万茂等的测算方法,采用地区修正后的单位面积价值当量因子法测算研究区的生态空间功能值和生产空间功能值。研究区原始价值当量主要基于谢高地修改后的中国生态系统单位面积生态服务当量表^[24],结合德兴市实际自然、社会经济状况求算;粮食产量的经济价值即生产空间功能值则按“1/7 公式”^[24]进行修正。具体公式如下:

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M}$$
 (5)

$$ESV_{\text{系数}} = \sum_{i=1} E_a \times F_{ij}$$
 (6)

$$ESV_i = \sum_{i=1} M_{ij} \times ESV_{\text{系数}}$$
 (7)

式中: E_a 为单位面积粮食产量的经济价值; i 为粮食作物种类; m_i 为第 i 种作物在研究年份的播种(种植)面积; p_i 为第 i 种作物在研究年份的均价; q_i 为第 i 种作物在研究年份的单产; M 为所有粮食作物在研究年份的播种(种植)总面积; F_{ij} 为研究区第 i 种地类第 j 种功能的生态系统服务价值当量; ESV_i 为每个网格总 ESV 值; M_{ij} 为第 i 块网格内第 i 种用地面积; $ESV_{\text{系数}}$ 为对应地类的 ESV 系数。

2.5 空间自相关分析

全局空间自相关是对整个研究区域中的不同空

间位置的相关联性的描述,分析研究区全局性的空间相关及差异程度^[27]。本文采用 Moran’s I 指数作为度量指标,来测度各空间功能的空间自相关程度。Moran’s I 指数的显著性水平则采用标准化 Z 值进行检验,当 Z 值大于或小于 1.96 时,表明各空间单元功能高低在空间上存在显著的自相关性。若 Moran’s $I > 0$,表明存在正的空间自相关,即在空间上显著聚集;若 Moran’s $I < 0$,则相反。其计算公式如下^[28-29]:

$$\text{Moran's } I = n \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
 (8)

$$Z_{\text{score}} = \frac{1 - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}}$$
 (9)

式中: n 为空间单元总量; x_i, x_j 分别为在单元 i 和 j 上的观测值; \bar{x} 为研究区均值; W_{ij} 为空间权重矩阵; $E(I), \text{var}(I)$ 分别为 Moran’s I 的期望值和方差。

局部空间自相关则是研究区域内各空间单元在位置上与其邻近空间单元之间的相关性^[27],反映了局部空间单元间的聚集性与差异性。本文选取局部 Moran’s I 指数进行测度,并绘制 Moran 散点图和 LISA 分布图^[31]。若局部 Moran’s $I > 0$,则表示功能分布空间差异小,说明存在空间集聚现象;若局部 Moran’s $I < 0$,则说明功能分布存在空间显著性差

异。其计算模型如下^[27]：

$$\text{Moran's } I = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \quad (10)$$

2.6 “三生”空间重构体系构建

本文基于 AVC“三力”理论,构建空间重构理论体系。生活空间主要以居民居住生活和休闲娱乐为主,是人们生活活动的主要场所和载体,与吸引力同居民点联系的关系衔接。生产空间则决定了区域的经济发展前景与可持续发展水平,与该地区生命力直接挂钩。生态空间主要用于提供生态服务和产品,关系生态环境保护与生态治理修复,一定层面上影响了该地区的资源与人口承载能力。因此,吸引力、生命力、承载力这“三力”分别对应该地区的生活、生产、生态适宜程度与功能高低。

考虑德兴市当地的实际居民点分布、水系、交通路网以及山脉阻隔,将研究区划分为 6 个区域,并进行空间综合功能值测算^[1]。计算公式如下：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (11)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (12)$$

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (13)$$

$$Q_i = \sum_j x'_{ij} \quad (14)$$

式中： x'_{ij} 为标准化值； x_{ij} 为第*i*块区域第*j*类空间功能值； \bar{x}_j 为第*j*类空间功能值的平均值； S_j 为第*j*类空间功能值的标准差； Q_i 为第*i*块区域的功能综合值；*n*为划分的区域数量；*m*为空间类数量。

3 结果与分析

3.1 “三生”空间现状及划分结果与分析

基于“三生”空间分类体系,根据 2020 年三调国土调查数据,进行德兴市“三生”空间划分。研究区生产空间面积为 26 694.80 hm²,占德兴市国土面积的 12.83%；生活空间面积为 16 358.40 hm²,占德兴市国土面积的 7.87%；生态空间面积为 164 917.39 hm²,占德兴市国土面积的 79.30%。详见表 4。

表 4 “三生”空间面积统计

Table 4 Area Statistics of ‘Production-Living-Ecological’ space		
空间类型	面积/hm ²	比例/%
生产空间	26694.80	12.83
生活空间	16358.40	7.87
生态空间	164917.39	79.30
总计	207970.58	100.00

同时,在“三生”空间分布可视化时,由于耕地同时具备生产与生态功能,因此单独可视化为生产—生态空间,如图 3 所示。由图可知,德兴市“三生”空间分布镶嵌交叉,主要分布于偏西方向,其次是东北方向,主要沿水系及道路呈带状分布,且重点矿区附近生产、生活空间分布密度较低。其中,农业生产空间多坐落在研究区的西南部,工业生产空间主要分布在北部,生活空间多分布于西偏北方向且相对密集,生态空间分布广泛,主要集中分布于东南方向。

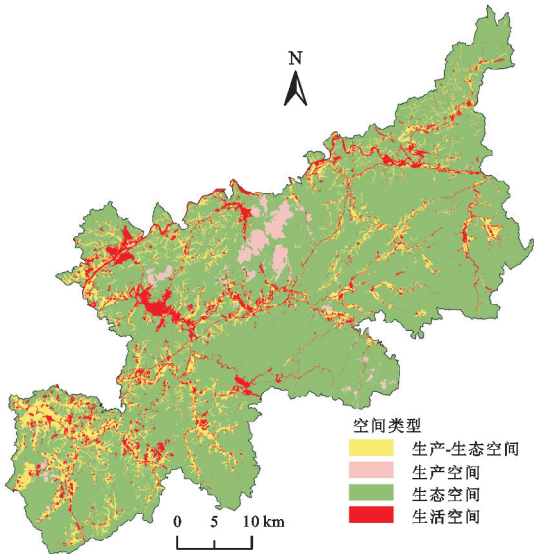


图 3 “三生”空间初步划定结果

Fig. 3 Preliminary division result map of ‘Production-Living-Ecological’ space

3.2 “三生”空间适宜性评价结果与分析

3.2.1 单项适宜性评价结果与分析 根据生产空间适宜性评价结果数据及图 4,将适宜性程度按照从高到低次序排列分为五级(即最适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜、不适宜五级,下同),得出各级面积分别为 72.20 hm², 17 010.86 hm², 71 363.66 hm², 102 108.16 hm², 17 415.70 hm², 分别占总面积的 0.03%, 8.18%, 34.31%, 49.10%, 8.37%。整体上,研究区内生产空间较不适宜区和不适宜区的面积之和相比一般适宜及以上适宜区的面积多 31 077.16 hm²,生产空间适宜度偏低。具体来说,适宜性较低的区域主要包括大茅山镇、龙头山乡、畈大乡、绕二镇等,主要是由于这些地区多年平均气温和年降水量较低,坡度较大且海拔偏高,交通条件较差,导致生产条件较差;适宜性较高的区域主要包括黄柏乡、香屯街道、泗州镇、新岗山镇等,主要是由于这些地区多年平均气温和年降水量较高,坡度较平缓且海拔较低,适宜动植物生长与人类生产活动。

根据生活空间适宜性评价结果数据,将适宜性程度按照从高到低次序排列分为五级,得出各级面积分

别为 24 614.74 hm², 104 508.55 hm², 69 839.08 hm², 8 929.87 hm², 78.33 hm², 分别占总面积的 11.84%, 50.25%, 33.58%, 4.29%, 0.04%。整体上,研究区内生活空间较不适宜区和不适宜区的面积之和比一般适宜及以上适宜区的面积少 189 954.18 hm²,生活空间适宜度偏高。具体来说,适宜性较低的区域主要包括大茅山镇、龙头山乡、海口镇、绕二镇等,主要由于这些区域交通便利度相对较低,公共服务设施较不完备,生活便利度较低;适宜性较高的区域主要包括黄柏乡、香屯街道、银城街道、新营街道等,分布于德兴市中心区,其基础及公服设施相对完善,道路通达度较高,适宜居民生活。

根据生态空间适宜性评价结果数据,将适宜性程

度按照从高到低次序排列分为五级,得出各级面积分别为 20 905.31 hm², 173 278.37 hm², 12 610.90 hm², 1 173.88 hm², 2.13 hm², 分别占总面积的 10.05%, 83.32%, 6.06%, 0.56%, 0.001%。整体上,研究区内生态空间较不适宜区和不适宜区的面积之和比一般适宜及以上适宜区的面积少 205 618.57 hm²,生态空间适宜度偏高。具体来说,适宜性较低的区域主要包括铜矿街道、花桥镇、海口镇、银城街道等,该区域有较多矿区分布,且植被指数与生物丰度都较低,其生态稳定性偏低;适宜性较高的区域主要包括大茅山镇、李宅乡、万村乡等,以上区域植被指数与生物丰度都较高,距建设用地与水体距离较远,生态敏感性较低,适宜性较高。

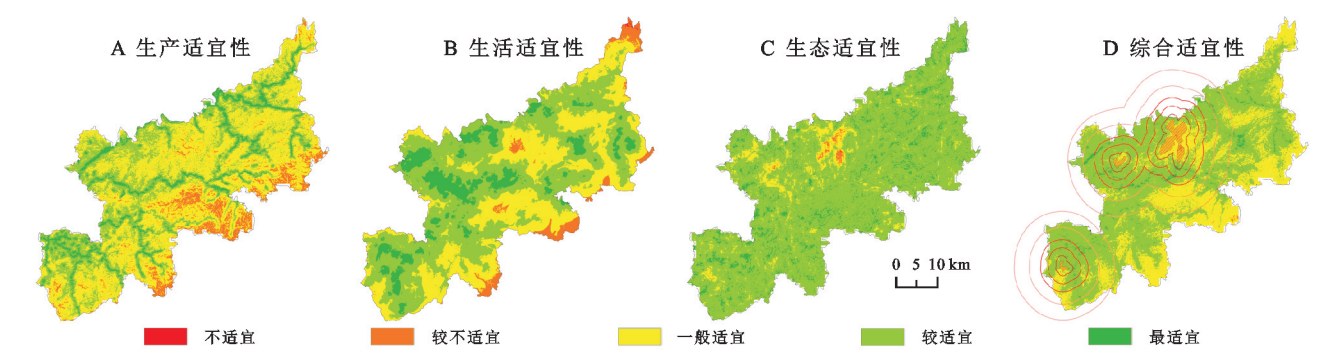


图 4 “三生”空间单项及综合适宜性评价

Fig. 4 Individual and comprehensive suitability evaluation map of ‘Production-Living-Ecological’ space

3.2.2 综合适宜性评价结果与分析 根据“三生”空间综合适宜性评价结果数据及图 4,将适宜性程度按照从高到低次序排列分为五级,得出各级面积分别为 4 626.63 hm², 139 204.36 hm², 63 617.98 hm², 325.20 hm², 196.41 hm², 分别占总面积的 2.22%, 66.93%, 30.59%, 0.16%, 0.09%。整体上,研究区内综合较不适宜区和不适宜区的面积之和比一般适宜及以上适宜区的面积少 206 927.36 hm²,综合适宜度偏高。具体来说,适宜性较低的区域主要包括铜矿街道、花桥镇、海口镇、大茅山镇等,以上区域在气候、环境、地质、区位条件等方面存在一定不足,导致综合适宜性偏低;适宜性较高的区域主要包括黄柏乡、香屯街道、新营街道等,以上区域多靠近德兴市中心区,区位条件及自然条件较好,适宜人类生产生活及生态发展。

根据“三生”空间适宜性单项评价及综合评价结果可知,德兴市生产适宜性较低,生活、生态及综合适宜性较高,应遵循耕地保护、生态修复等原则,强化矿粮复合区的矿产资源与粮食资源的协同开发与供应,缓解矿粮冲突,实现可持续发展。在此基础上,对德兴市重点矿区进行缓冲区分析,可知在不同缓冲区内,“三生”空间综合适宜程度存在一定程度的不同,且与矿区

距离越远其适宜程度越高。在 1 000, 3 000, 5 000 m 缓冲区范围内,其适宜程度差异显著,可见矿区开发对于较近距离区域的空间适宜性程度存在一定负面影响。各面积及占比数据如表 5 所示。

3.3 “三生”空间功能值测算结果与分析

通过上述功能值测算公式计算得到“三生”空间功能值并汇总到表 6。

从表 6 可知,生产空间功能值为 0.513 3 亿元,生活空间功能值为 1.948 6 亿元,生态空间功能值为 90.755 0 亿元。三类空间功能值差异较大,其中生产功能值较低,生态功能值较高。

在此基础上,利用 ArcGIS 软件进行可视化,同时对德兴市重点矿区分别以 1 000, 3 000, 5 000, 8 000, 12 000 m 进行多环缓冲区分析,得到功能值分布结果及与矿区距离关系,如图 5 所示。图中数据表示各 30×30 m 分辨率单元格的空间功能值(万元),并利用自然断点法进行划分,分为图中五级。

生产、生活、生态空间的空间功能值分布因区位因素而大相径庭。从生产空间功能值来看,主要分布于研究区西南及西北方向,且西南方向功能值整体上略高于西北方向,其农业生产功能偏高,工业生产功

能偏低;从生活空间功能值来看,主要分布于中部和西北方向,由西北方向向东南方向递减,且沿水系与道路网其功能值更高,主要是由于其附近交通便利,

水源充足,居民点分布集中;从生态空间功能值来看,东南方向空间功能值显著高于西北方向,主要是由于矿区附近生态稳定性较差,生态功能较低。

表 5 “三生”空间适宜性评价结果

Table 5 Area statistics of ‘Production-Living-Ecological’ space

适宜性	参数	最适宜	较适宜	一般适宜	较不适宜	不适宜
生产适宜性	面积/hm ²	72.20	17010.86	71363.66	102108.16	17415.70
	比例/%	0.03	8.18	34.31	49.10	8.37
生活适宜性	面积/hm ²	24614.74	104508.55	69839.08	8929.87	78.33
	比例/%	11.84	50.25	33.58	4.29	0.04
生态适宜性	面积/hm ²	20905.31	173278.37	12610.90	1173.88	2.13
	比例/%	10.05	83.32	6.06	0.56	0.001
综合适宜性	面积/hm ²	4626.63	139204.36	63617.98	325.20	196.41
	比例/%	2.22	66.93	30.59	0.16	0.09

表 6 “三生”空间功能值测算结果

Table 6 Functional value calculation results of ‘Production-Living-Ecological’ space

空间类型	面积/hm ²	空间功能值/10 ⁸ 元
生产空间	26694.80	0.5133
生活空间	16358.40	1.9486
生态空间	164917.39	90.7550

结合重点矿区缓冲区分析可知,不同缓冲区内“三生”空间功能值存在一定程度的差异,且大体上呈

现出与矿区距离越远其空间功能值越高的特点。尤其在 1 000,3 000,5 000 m 缓冲区内差异显著,对 5 000 m外的区域影响差异较小,与“三生”空间适宜性评价结果近似。

整体上,单位面积适宜性程度以及空间功能值与矿区距离一定程度上呈反比例关系,其距离越近,适宜性程度和空间功能值越低,可见距矿区距离对于“三生”空间适宜性与空间功能值具有较大负面影响。

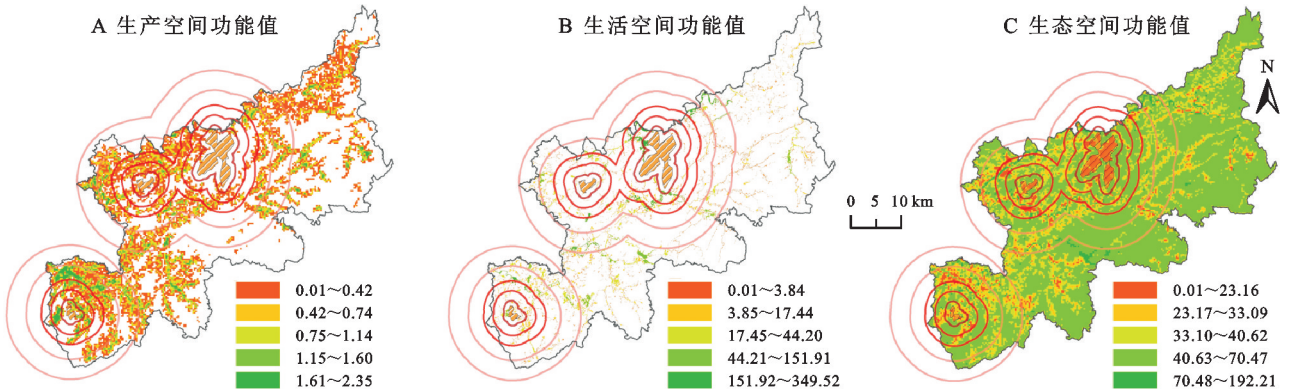


图 5 “三生”空间功能值分布

Fig. 5 Functional value distribution map of ‘Production-Living-Ecological’ space

3.4 “三生”空间功能自相关分析

3.4.1 全局空间自相关 测算结果表 7 显示,德兴市生产空间功能 Moran’s I 指数为 0.638 7,生活空间功能 Moran’s I 指数为 0.000 2,生态空间功能 Moran’s I 指数为 0.446 1。

表 7 “三生”空间功能全局自相关分析结果

Table 7 The global autocorrelation analysis results of ‘Production-Living-Ecological’ spatial functions

空间类型	Moran’s I 指数	Z 得分	p 值
生产空间	0.6387	137.83	0.00
生活空间	0.0002	0.22	0.83
生态空间	0.4461	96.90	0.00

德兴市生产、生活、生态空间功能 Moran’s I 指数均大于 0,但生产、生态空间功能 p 值小于 0.001,而生活空间功能 p 值大于 0.001,则研究区内生产、生态空间功能整体呈显著的正向自相关关系,且自相关性较强,具有明显的聚集性,在空间分布上并非完全随机;生活空间功能区全局自相关分析未通过显著性检验,其 Moran’s I 指数较低,不具有较高的聚集性,空间分布较为分散。

3.4.2 局部空间自相关 测算结果显示,德兴市生产空间功能 Moran’s I 指数为 0.639,生活空间功能 Moran’s I 指数为 0.292,生态空间功能 Moran’s I 指数为 0.445。

(1) 局部空间自相关。各空间功能 Moran 散点图中斜率均为大于 0,即为正相关关系。对于生产、生态空间功能,Moran 散点主要分布在第一象限(HH),第二象限(LH)、第三象限(LL)和第四象限(HL)中散点分布较少,说明生产、生态空间功能具有较强的空间正相关性;对于生活空间功能,Moran 散点分布在第一象限(HH)且数量较少,并由于删除无邻居的对象,第二象限(LH)、第三象限(LL)和第四象限(HL)无散点分布,说明生活空间功能相关性较弱,不具有明显的聚集性。

(2) 局部空间自相关 LISA 分布。为更直观地表达局部空间自相关性差异程度及其具体位置,绘制

LISA 分布图,如图 6 所示。从 LISA 分布图来看,生产空间中主要出现 HH 聚集区,即单元内生产功能与邻近单元差异较小,其功能值均较高,属于局部性均质分布,且多分布于西南部,东北部分布较少;生活空间中 HH 聚集区主要分布在西北部,位于集中居住区,东北部有较少分布,其空间聚集性较弱,主要由于该研究区居民点分布分散,宜进行生活空间布局调整;生态空间中 LL 聚集区与 HH 聚集区分布较广,多位于研究区西部,LL 聚集区主要分布于矿区附近,即单元内生态功能与邻近单元空间差异较小,生态功能均较弱。研究区内 HL 异常区、LH 异常区呈零星分布,面积较少。

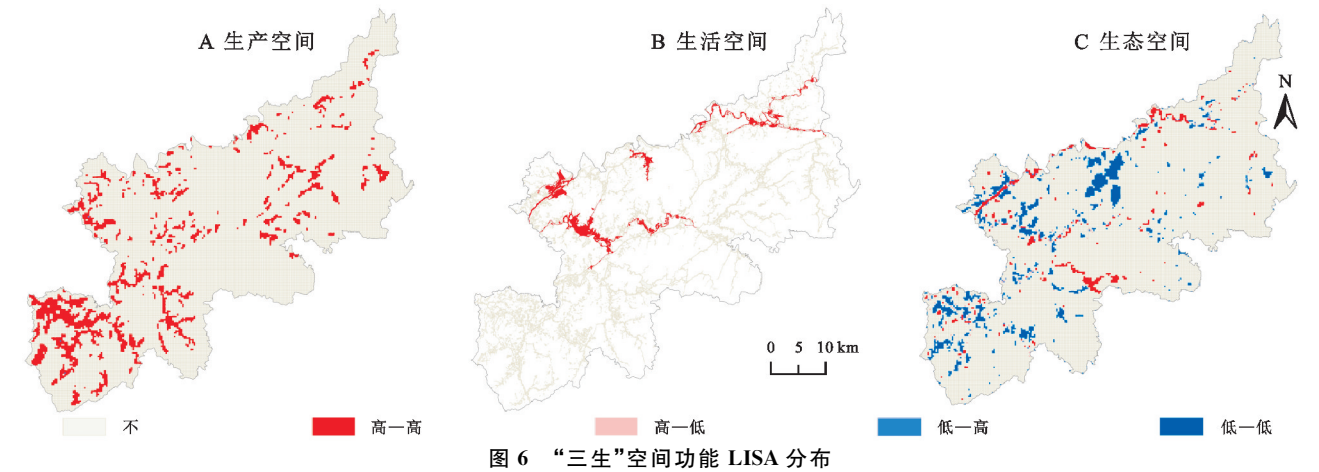


图 6 “三生”空间功能 LISA 分布

Fig. 6 LISA distribution map of ‘Production-Living-Ecological’ spatial functions

3.5 “三生”空间优化与重构分析

3.5.1 基于 AVC 理论的三力分析 根据“三生”空间功能值测算结果,得到“三力”分布表与综合值分布图,如表 8 与图 7 所示。

根据统计结果,对以上 6 个区域的吸引力、生命力、承载力值从高到低进行排序。各区域吸引力从高到低依次排列为:C,B,D,A,F,E;生命力依次排列为:A,C,B,F,E,D;承载力依次排列为:F,C,B,D,A,E;“三力”综合值依次排列为:C,B,F,A,E,D。根据“三生”空间功能值与“三力”对应的关系可知,区域 A 的主导功能为生产功能;区域 B 的主导功能为生活功能;区域 C 同时具备生产、生活、生态功能;区域 D 的主导功能为生活功能,但其功能值属于中等水平;区域 E 生产、生活和生态功能都较弱,仅生产功能略高于其他功能;区域 F 的主导功能为生态功能。整体上,区域 C,B 和 F 的“三力”综合值偏高,适宜进行居民点调入;区域 D,A,E 的“三力”综合值属于中等偏低水平,在一定程度上需要进行进一步优化与重构。

表 8 吸引力、生命力、承载力分布

Table 8 Distribution table of attraction, validity and capacity

区域	吸引力(生活 功能值)/10 ⁸ 元	生命力(生产 功能值)/10 ⁸ 元	承载力(生态 功能值)/10 ⁸ 元
A	0.18	0.15	12.28
B	0.55	0.10	15.58
C	0.69	0.10	16.05
D	0.30	0.02	12.29
E	0.09	0.07	12.16
F	0.14	0.08	22.41
总计	1.95	0.51	90.76

3.5.2 基于适宜性、功能值与自相关分析的“三生”空间重构 从“三生”空间功能值测算结果来看,基于上述对于各区域主导功能的分析可知,区域 E“三生”空间功能值都偏低,宜进行居民点调出;区域 D 整体生活空间功能值居中,但南部零散区域功能值偏低,应进行居民点调出,而保留北部集中居民点;区域 A 生活、生态功能都偏低,且生产空间集中连片,不适宜居民点调入,且存在重点矿区,因此应将矿区附近居民点调出;区域 F 具有较强的生态功能,且综合值较高,宜进行居民点调入;区域 B 各功能值属于中等偏

上水平,且矿区缓冲区对其影响较小,不作调整;区域 C 空间功能值都偏高,且由于存在矿区,不进行大规模调入调出。

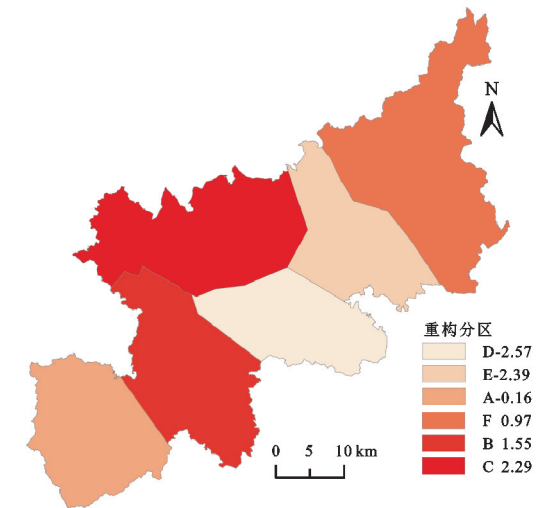


图 7 吸引力、生命力和承载力综合值分布
Fig. 7 Distribution of AVC integrated value

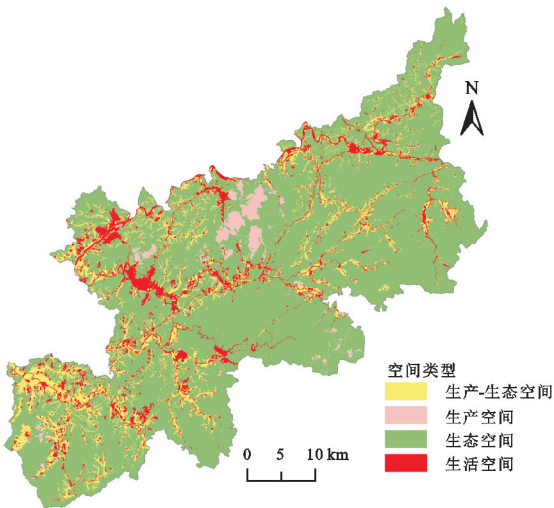


图 8 “三生”空间重构后结果
Fig. 8 Result map after reconstruction of
‘Production-Living-Ecological’ space

从“三生”空间适宜性评价结果来看,对于生活适宜性,区域 D,C,E 的适宜程度偏低,区域 B,F,A 适宜程度较高,但区域 A 包含重点矿区,不宜作为居民点调入区域;对于生产适宜性,区域 D,E,F 适宜程度偏低,区域 A,B 适宜程度偏高;对于生态适宜性,区域 C 的东部由于存在大面积重点矿区,适宜程度偏低,其他 5 个区域适宜程度相近且都处于较高水平;对于综合适宜性,区域 D,C 适宜程度较低,区域 B,A 适宜程度较高,区域 F 东北方向适宜程度较低,但整体适宜程度处于中上水平。整体上,区域 B,F 宜进行居民点调入,区域 D,E 及 A 中重点矿区附近居民点可选择调出。

从“三生”空间功能自相关分析结果来看,区域 A,D,E 生产空间聚集性较高,生活空间聚集性较低,生态功能多为低值,宜进行居民点调出;区域 B,F 生活空间分布密度呈集聚形式,宜进行居民点挑入,进一步增强生活空间聚集性;其他区域无明显特征。

综上所述,将区域 D 南部的低密度分布居民点调入区域 B,区域 D 北部集中居住区则被保留,区域 E 中南部零散居民点调入区域 F,区域 A 矿区附近居民点出于人居环境因素考虑将调入区域 B。而区域 C 综合值处于偏高水平,但由于德兴市中心城区以及现状居民点多集中于区域 C 西部,且重点矿区主要位于区域 C 东部,因此不对区域 C 居民点进行大规模变动。

通过调整各区域的生产、生活、生态空间格局,得到重构后的“三生”空间,如图 8 所示。相比于“三生”空间初步划定的布局结构,重构后的空间布局更为规整、有序,零散居民点统一调入集中生活区域,便于各乡镇居民生活以及生产、生态建设活动。

通过同样的空间功能值测算方法,得到德兴市“三生”空间重构前面积及空间功能值汇总结果即表 9。从表 9 可知,与重构前相比,生活、生态空间功能值分别增加了 0.003 2 亿元、0.023 9 亿元,生产空间功能值则没有发生明显变化。

表 9 “三生”空间重构前面积及空间功能值

Table 9 Area and Spatial functional value before and after reconstruction of ‘Production-Living-Ecological’ space

空间类型		面积/hm ²	空间功能值/10 ⁸ 元
生产空间	重构前	26694.80	0.5133
	重构后	26694.80	0.5133
生活空间	重构前	16358.40	1.9486
	重构后	16358.38	1.9518
生态空间	重构前	164917.39	90.7550
	重构后	164917.40	90.7789

3.6 “三生”空间优化建议

基于对德兴市的适宜性评价与功能值测算的结果与分析,结合其矿粮复合区特性及社会经济发展状况,提出以下开发与保护建议:

(1) 对于生产空间,德兴市矿粮交错,铜矿开发对于土地的破坏已经影响到周边农业生产活动,应进行集中系统治理,严格控制矿区开发,减少工业污染;同时农业生产空间整体上疏密不均,可进行高标准农田建设与耕地质量提升工程建设,实现农业生产规模化。

(2) 对于生活空间,德兴市居民点主要分布于西北部,东南部较多为零散分布,可将零散居民点进行

集中改造统一布局,盘活利用低效及闲置用地,实现城乡一体化发展;同时推进人居环境整治工作,不断完善公共服务和基础设施,提升道路通达度,提高居民生活品质。此外,对于矿区附近居民,如由于受到土地污染、耕地占用、饮用水污染等负面影响,政府应予以相应补偿。

(3) 对于生态空间,德兴铜矿开采及城镇建设导致周围水资源、生态环境受到影响,应大力推进生态修复与河道整治工程建设,减少水污染等导致的农田污染和居民生活安全隐患;同时严格划定管控分区,健全生态保护监督机制,优先保障生态功能,构建生态安全格局。

4 结 论

(1) 德兴市原生产空间疏密不均,农业生产空间主要集中于西南部,沿水系呈带状分布,而工业生产空间则主要分布在北部;生活空间的集中度由西北向东南递减,主要集中于水系与交通路网附近;生态空间分布广泛,整体疏密较为均衡,东南部略多于西北部,整体面积占总国土空间的 3/4 以上。

(2) 德兴市综合适宜性较高,“三生”空间功能值差异较大,生产、生态空间多呈现聚集态势,而生活空间功能聚集性较弱,呈零星分布。且距矿区距离对于“三生”空间适宜性与空间功能值及自相关性具有较大负面影响,其在一定程度上呈反比例关系。

(3) 德兴市“三生”空间重构前,生产空间功能值为 0.513 3 亿元,生活空间功能值为 1.948 6 亿元,生态空间功能值为 90.755 0 亿元;重构后,研究区生产空间功能值保持为 0.513 3 亿元,生活、生态空间功能值分别提高至 1.951 8 亿元、90.778 9 亿元。经过优化与重构,研究区生活与生态空间功能值有所提高,缓解了矿区对于人们生产生活活动的负面影响,改善了人居环境,有利于实现德兴市自然、经济与社会的协调与可持续发展。

参考文献:

[1] 杨俊,郭丽兰,李争.基于空间功能值的矿粮复合区三生空间重构[J].农业工程学报,2018,34(24):247-255.
Yang J, Guo L L, Li Z. Reconstruction of living, production and ecological space based on spatial functional value in mine-grain mixed zone[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34 (24):247-255.

[2] 冯玮.矿粮复合区土地利用冲突识别与诊断研究[D].南昌:东华理工大学,2017.

Feng W. Study on the land use conflict identification and diagnosis in the mine-grain mixed zone: A case study in Dexing copper, Jiangxi Province [D]. Nanchang: East China University of Technology, 2017.

[3] 冀正欣,刘超,许月卿,等.基于土地利用功能测度的“三生”空间识别与优化调控[J].农业工程学报,2020,36(18):222-231.
Ji Z X, Liu C, Xu Y Q, et al. Identification and optimal regulation of the production-living-ecological space based on quantitative land use functions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(18):222-231.

[4] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.
Huang J C, Lin H X, Qi X X. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space[J]. Progress in Geography, 2017, 36(3):378-391.

[5] 刘燕.论“三生空间”的逻辑结构、制衡机制和发展原则[J].湖北社会科学,2016,351(3):5-9.
Liu Y. On the logical structure, balance mechanism and development principle of production-living-ecological space[J]. Hubei Social Sciences, 2016, 351(3):5-9.

[6] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(7):1332-1338.
Zhang H Q, Xu E Q, Zhu H Y. An ecological-living-industrial land classification system and its spatial distribution in China[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1332-1338.

[7] 李广东,方创琳.城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J].地理学报,2016,71(1):49-65.
Li G D, Fang C L. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(1):49-65.

[8] 张红娟,李玉曼.北方平原地区“三生空间”评价及优化策略研究[J].规划师,2019,35(10):18-24.
Zhang H J, Li Y M. The evaluation and improvement of “Three Spaces” in plain cities in northern China [J]. Planners, 2019, 35(10):18-24.

[9] 赵旭,汤峰,张蓬涛,等.基于 CLUE-S 模型的县域生产—生活—生态空间冲突动态模拟及特征分析[J].生态学报,2019,39(16):5897-5908.
Zhao X, Tang F, Zhang P T. Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living-ecological spatial conflicts based on CLUE-S model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16):5897-5908.

[10] 于正松,程叶青,李小建,等.工业镇“生产—生活—生

- 态”空间演化过程、动因与重构:以河南省曲沟镇为例[J].地理科学,2020,40(4):646-656.
- Yu Z S, Cheng Y Q, Li X J, et al. Spatial evolution process, motivation and restructuring of “production-living-ecology” in industrial town: A case study on Qugou Town in Henan Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020,40(4):646-656.
- [11] 金星星,陆玉麒,林金煌,等.闽三角城市群生产—生活—生态时空格局演化与功能测度[J].生态学报,2018,38(12):4286-4295.
- Jin X X, Lu Y Q, Lin J H, et al. Research on the evolution of spatiotemporal patterns of production-living-ecological space in an urban agglomeration in the Fujian Delta region, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(12):4286-4295.
- [12] 支小军,李宗阳,张雪唱,等.三生空间视角下宁夏—内蒙古干旱区城市综合承载力研究[J].地域研究与开发,2019,38(1):65-70.
- Zhi X J, Li Z Y, Zhang X C, et al. City comprehensive bearing capacity of Ningxia-Inner Mongolia arid area based on the perspective of production-living-ecological space theory[J]. Areal Research and Development, 2019,38(1):65-70.
- [13] 戴文远,江方奇,黄万里,等.基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究:以福州新区为例[J].自然资源学报,2018,33(12):2098-2109.
- Dai W Y, Jiang F Q, Huang W L, et al. Study on transition of land use function and ecosystem service value based on the conception of production, living and ecological space: A case study of the Fuzhou New Area[J]. Journal of Natural Resources, 2018,33(12):2098-2109.
- [14] 黄安,许月卿,卢龙辉,等.“生产—生活—生态”空间识别与优化研究进展[J].地理科学进展,2020,39(3):503-518.
- Huang A, Xu Y Q, Lu L H, et al. Research progress of the identification and optimization of production-living-ecological spaces [J]. Progress in Geography, 2020,39(3):503-518.
- [15] 方创琳.中国城市发展格局优化的科学基础与框架体系[J].经济地理,2013,33(12):1-9.
- Fang C L. The scientific basis and systematic framework of the optimization of chinese urban development pattern[J]. Economic Geography, 2013,33(12):1-9.
- [16] 刘亦师.带形城市规划思想及其全球传播、实践与影响[J].城市规划学刊,2020,259(5):109-118.
- Liu Y S. The formation, evolution and global dissemination of the Linear City idea [J]. Urban Planning Forum, 2020,259(5):109-118.
- [17] 黄明华,田晓晴.关于新版《城市规划编制办法》中城市增长边界的思考[J].规划师,2008,150(6):13-15.
- Huang M H, Tian X Q. Reflection on urban growth boundary in the new urban planning formulation means [J]. Planners, 2008,150(6):13-15.
- [18] 王检萍,余敦,卢一乾,等.基于“三生”适宜性的县域土地利用冲突识别与分析[J].自然资源学报,2021,36(5):1238-1251.
- Wang J P, Yu D, Lu Y Q, et al. Recognition and analysis of land use conflicts at county level based on “Production-Living-Ecological” suitability [J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(5):1238-1251.
- [19] 夏敏,冯新惠,夏俊林,等.综合土地多功能与适宜性的南京市溧水区“三生”空间划定[J].农业工程学报,2021,37(16):242-250.
- Xia M, Feng X H, Xia J L, et al. Delineation of production-living-ecological space in Lishui District of Nanjing based on land multi-functions and suitability [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(16):242-250.
- [20] 张鹏,李世峰,刘瑶瑶.基于生态适宜性分析的平原煤矿县生态空间优化[J].农业工程学报,2019,35(19):274-282.
- Zhang P, Li S F, Liu Y Y. Ecological space optimization of plain coal mine county based on ecological suitability analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(19):274-282.
- [21] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
- Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3):534-546.
- [22] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
- Liu J L, Liu Y S, Li Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(7):1290-1304.
- [23] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- Xie G D, Zhen L, Lu C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008,23(5):911-919.

- [24] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area [J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(8):1243-1254.
- [25] Tan Z, Guan Q, Lin J, et al. The response and simulation of ecosystem services value to land use/land cover in an oasis, Northwest China[J]. Ecological Indicators, 2020,118:106711.
- [26] 赵琪琛,余敦,王检萍,等.低山丘陵县域生态系统服务价值的时空分异及影响因素分析:以江西德兴市为例[J].环境工程技术学报,2023,13(2):704-714.
- Zhao Q C, Yu D, Wang J P, et al. Spatial and temporal variation and impact factors analysis of ecosystem service value in low-mountain counties: taking Dexing City in Jiangxi Province as an example[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2023,13(2):704-714.
- [27] 任平,吴涛,周介铭.基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析:以成都市龙泉驿区为例[J].中国生态农业学报,2016,24(3):325-334.
- Ren P, Wu T, Zhou J M. Analysis of spatial distribution pattern and evolutionary characteristics of cultivated lands based on spatial autocorrelation model and GIS platform—A case study of Longquanyi District, Chengdu, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016,24(3):325-334.
- [28] 谢花林,李秀彬,张燕婷,等.基于 ESDA 的京津冀地区草地变化空间分异[J].自然资源学报,2012,27(7):1224-1232.
- Xie H L, Li X B, Zhang Y T, et al. Spatial difference of regional grass changes based on ESDA at county level in Beijing-Tianjin-Hebei Area[J]. Journal of Natural Resources, 2012,27(7):1224-1232.
- [29] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,等.海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J].生态学报,2019,39(7):2366-2377.
- Lei J R, Chen Z Z, Wu T T, et al. Spatial autocorrelation pattern analysis of land use and the value of ecosystem services in northeast Hainan island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(7):2366-2377.
- [30] 茹克亚·萨吾提,阿斯娅·曼力克,李虎,等.乌鲁木齐山地草地生态系统服务价值变化评估:基于遥感与 GIS[J].生态学报,2020,40(2):522-539.
- Rukeya Sawut, Asiya Manlike, Li H, et al. Spatio-temporal changes of grassland ecosystem service values in Urumqi City based on the RS and GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020,40(2):522-539.
- [31] 付金霞,郑粉莉,李媛媛.小理河流域土地利用空间自相关格局与影响因素分析[J].农业机械学报,2017,48(1):128-138.
- Fu J X, Zheng F L, Li Y Y. Analysis of land use spatial autocorrelation patterns and influence factors of Xiaolihe watershed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(1):128-138.
- [32] 刘滨谊,杨铭祺.景观与旅游区 AVC 评价量化模型:以玄武湖景观区总体规划为例[J].中国园林,2003(6):63-64,69-70.
- Liu B Y, Yang M Q. The evaluation quantization model of landscape area and tourism destination: Taking the overall planning of Xuanwu Lake scenic area as example[J]. Chinese Landscape Architecture, 2003(6):63-64,69-70.
- [33] 苟嘉辉.河底村三生空间适宜性评价与优化[D].西安:西北大学,2020.
- Gou J H. Suitability Evaluation and Optimization of “Production-Living-Ecological” Space in Hedi Village [D]. Xian: Northwest University, 2020.
- [34] 焦庚英,杨效忠,黄志强,等.县域“三生空间”格局与功能演变特征及可能影响因素分析:以江西婺源县为例[J].自然资源学报,2021,36(5):1252-1267.
- Jiao G Y, Yang X Z, Huang Z Q, et al. Evolution characteristics and possible impact factors for the changing pattern and function of “Production-Living-Ecological” space in Wuyuan county[J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(5):1252-1267.
- [35] 周娜娜.无棣县“三生”空间演变特征与优化研究[D].山东泰安:山东农业大学,2019.
- Zhou N N. Evolution characteristics and optimization of “Production-Living-Ecology” space in Wudi county [D]. Taian, Shandong: Shandong Agricultural University, 2019.
- [36] 郭春霞,诸云强,孙伟,等.中国 1 km 生物丰度指数数据集[J].全球变化数据学报:中英文,2017,1(1):60-65.
- Guo C X, Zhu Y Q, Sun W, et al. Dataset of Biological Abundance Index of China in 1985 and 2005 at 1 km Resolution[J]. Journal of Global Change Data & Discovery, 2017,1(1):60-65.