

基于 SLEUTH 模型的鄂尔多斯城市扩张模拟分析

米媛 姜博* 陈颜 崔顺利

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要 为准确获取城市扩张信息, 预测城市扩张趋势以指导城市规划, 优化城市空间结构, 以鄂尔多斯市为研究区, 通过解译 2000、2005、2010 和 2015 年遥感影像, 获取研究区土地利用分类信息, 进而采用面积数量、扩张强度指数分析城镇用地历史变化特征及扩张模式, 在此基础上利用 SLEUTH 模型开展城市空间扩张的长时间序列模拟预测。结果表明: 研究时段内城镇用地持续增长, 其扩张态势大致经历了“平稳-快速急剧-低速”的发展阶段, 在平稳阶段, 扩张强度适中, 城市呈现出显著的外延式扩张模式; 在快速急剧阶段, 扩张强度最大, 城市在南北方向上呈星状蔓延式扩张模式, 并出现了新的增长中心; 低速发展阶段, 扩张强度最小, 以外延-内部填充式的模式进行扩张; 模型预测结果发现 2020—2030 年城市扩张态势将呈现出各功能片区平稳对接、条带状发展的空间格局, 以内部填充为主。

关键词 城市扩张; 遥感影像; 土地利用; SLEUTH 模型

中图分类号 F301.23

文章编号 1007-4333(2019)02-0183-08

文献标志码 A

Simulation analysis of urban expansion in Ordos based on SLEUTH model

MI Yuan, JIANG Bo*, CHEN Yan, CUI Shunli

(College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract In order to obtain urban expansion information accurately, predict urban expansion trend to guide urban planning and optimize urban spatial structure, taken Ordos as study area, and obtain land use classification information by interpreting four years' remote sensing images, including 2000, 2005, 2010 and 2015. And then used area quantity index, expansion strength index to analyze the historical change characteristics and expansion model of urban land use. Finally, based on SLEUTH model to carry out the long time series simulation prediction of urban space expansion. The results show that the growth of urban land in the study period has undergone the development stage of steady-fast and rapid-low speed. In the steady stage, the expansion intensity was moderate, and the city showed a significant extension pattern. In the fast and rapid stage, the expansion intensity was the largest, the city in the north and south direction of the star-like spread pattern, and a new growth center appeared. In the low-speed development stage, the expansion intensity was the smallest, expanded with the extension-internal filling pattern. The model prediction results show that the urban expansion trend in 2020 to 2030 will present the spatial pattern of the smooth docking and strip development of each functional zone, which is based on the internal filling.

Keywords urban sprawl; remote sensing images; land use; SLEUTH model

快速城市化背景下城市空间扩张一直是地理学研究的核心问题。城市扩张侵占大量农业土地资源, 带来诸如环境污染、交通拥挤、居住环境恶化等的一系列城市病问题, 城市发展陷入恶性循环, 从而

影响到区域和城市的可持续发展^[1]。近年来学者对城市扩张的研究日益深化, 研究范式不断丰富, 呈现多尺度、多视角, 理论与实证、定性与定量相结合的研究体系。在研究区域尺度上, 不仅着眼于对单个

收稿日期: 2018-05-10

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(G20180003); 教育部人文社会科学基金(16YJCZH034); 国家自然科学基金(41101153);

东北农业大学土地资源管理学科团队资助项目

第一作者: 米媛, 硕士研究生, E-mail: 754659008@qq.com

通讯作者: 姜博, 副教授, 主要研究方向为城市与区域发展, E-mail: jiangbo_1979@163.com

城市的空间扩展特征分析^[2-5],对于区域内各个城市的扩张及其联系^[6-7]也有较多涉及;在研究内容上,对于城市扩张的研究主要分为四类:时空特征及空间结构分析^[8-9]、扩张的动力机制研究^[3,10]、扩张后的影响^[11]、建立模型模拟未来城市扩张的趋势^[12-14],此外在已有的研究中,有部分学者开始关注城市内部功能的演化,认为不同的城市用地功能主导着扩张模式的转变,且这种转变进行与城市的发展阶段相适应^[6,15];研究方法上,主要以定量研究为主、结合定性分析^[7-9]总结城市扩张的发展规律,并且随着遥感技术的发展与普及应用,逐渐成为城市扩张动态监测的应用手段之一^[2,4],结合GIS分析技术,能够及时掌握城市用地变化信息,使得城市扩张的量化研究更加完善。进入快速城市化阶段以来,国内学者对于城市扩张的研究多集中于对大中型城市扩张的模拟预测^[14],对小尺度的城市发展核心区的预测较少^[16]。

2009年,鄂尔多斯确定了“建设百年鄂尔多斯,打造百万人口城市”的发展要求,加快了城市的大面积建设与扩张的速度。康巴什新区成为全国城市规划的典范。但是,2010年美国《时代周刊》中一篇文章认为康巴什新区是中国房地产泡沫的最佳展示品,更将其称之为“鬼城”。一时间,康巴什成为众矢之的,其发展状况成为人们最关心的话题^[17]。2014年我国出台《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》,提出新型城镇化是以“人”为核心的城镇化,造城运动及空间无序蔓延等过度城市化不属于新型城镇化的本质特征。在新型城镇化发展理念的指导下,鄂尔多斯的城市扩张是否得到有效遏制,是否遵

循城市发展的客观规律,目前城市扩张的主要模式和未来扩张趋势如何?这些问题亟待解决,因此,本研究以东胜区、康巴什新区、伊旗阿镇及其周边城镇组成的鄂尔多斯市多组团中心城区作为研究区,在遥感解译2000—2015年以来该区域土地利用信息的基础上,定量描述城镇用地的历史变化特征及其扩张模式,再利用SLEUTH模型开展城市空间扩张的长时间序列模拟预测,以期探究中心城区未来用地扩张特征与趋势,及其在现行规划的引导下的发展路径。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

以《鄂尔多斯市土地利用总体规划》划定的东胜区、康巴什新区、阿勒腾席热镇组成的鄂尔多斯市中心城区为研究区(图1)。该区域位于鄂尔多斯市东北部,地貌总体上北高南低,地势起伏较大,中部乌兰木伦河谷地区地势较为平缓,属于典型的丘陵沟壑区。中心城区属于干旱半干旱温带高原大陆性季风气候,四季分明。土地资源类型多样,包括工矿业用地、林地、天然牧草地、沙地、盐碱地和裸岩等。

鄂尔多斯市中心城区总规模为571.82 km²,中心城区城市建设现状用地138.59 km²,现状人口80万,人均城市建设用地173.24 m²。中心城区发展通过合理的功能分工形成东胜片区和康阿片区,两大片区间交通便利,包茂高速公路贯穿南北,东胜区与康巴什新区以东康快速路相连。为了加快推进新型城镇化建设的进程,规划将东胜片区定位于市级经济中心,康阿片区定位于市级政治文化中心。



图1 鄂尔多斯中心城区位置图

Fig. 1 Location of Ordos central district

1.2 数据来源及处理

本研究采用的遥感数据源自于 USGS, 其中 2000、2005 和 2010 年数据所采用的是空间分辨率为 30 m 的 Landsat5 的遥感影像, 2015 年采用的是 landsat8-OIL 遥感影像; 还包括鄂尔多斯市的数字高程影像 (DEM)。在 ArcGIS 软件平台的支持下, 对鄂尔多斯市城市总体规划图进行了地理配准, 确定研究区范围并进行矢量化。

根据中国《土地利用现状调查技术规程》, 考虑土地利用方式等因素, 将研究区土地利用类型分为城镇建设用地、林地、耕地、水域、牧草地、裸地 6 个一级类型, 其中研究区内有一些工矿用地, 以及通过道路划分拟作为建设用地的一些用地情况, 但本研究中不作为建设用地考虑, 所以将其统一划分到裸地一类中。基于 ENVI5.3 对遥感数据依次进行几何校正、数据融合、根据矢量边界进行裁剪等预处理, 采用人工目视结合最大似然法解译出四期土地利用类型空间分布数据, 借助 Google earth 影像对分类结果进行修正, 获取鄂尔多斯市中心城区土地利用信息。

1.3 研究方法

1.3.1 扩张强度指数

扩张强度指数是反映城镇用地扩张的重要指标, 用于描述在不同时段内研究区域内城镇用地面积扩张的强弱与快慢^[2-5]。为了更好地反映城市扩张的时空分异特征, 根据已获得的城镇信息进行面积统计, 并以单一土地利用动态度公式来计算城镇用地扩张强度指数, 公式如下所示:

$$K = \frac{U_r - U_i}{U_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 表示 2000—2015 年研究区内的城镇用地类型的动态度; U_i 为研究初期的城镇用地类型的数量; U_r 为研究末期的城镇用地类型的数量; T 为研究时段, 年。

1.3.2 SLEUTH 模型及参数设置

SLEUTH 模型是一种成熟的 CA 模型, 在预测城市增长方面具有典型的代表性。SLEUTH 最早由 Clarke 等^[18]提出, 并且运用该模型对美国旧金山和华盛顿都市区进行了成功模拟和长期预测, 而后进行推广运用^[19], 近年来我国学者也开始应用该模型进行城市扩张模拟, 尤其是针对较为发达的大城市, 如广州、阜新、上海和武汉等城市, 而对于西部城市的时空动态的模拟尚未深入。考虑到 SLEUTH

模型本身的普适性, 是对鄂尔多斯中心城区用地扩张进行模拟预测的最佳选择, 并且能够更加丰富西部城市扩张的研究。

SLEUTH 模型的设计思路是在地形、交通等条件的约束之下, 在环境适合情况下, 以已城市化的元胞为基础, 预测每个未城市化的元胞改变自身状态成为城市用地的情况, 计算其发展为城市的可能性^[19]。其中, 每个元胞状态的变化由相邻元胞的状态来决定, 离种子点越近的元胞越容易被城市化, 通过种子点扩散带动整个区域的发展。SLEUTH 模型执行的基本单位是一个增长环, 其模拟过程就是由一系列的从初始日期开始并在终止日期完成运算的增长环组成的增长周期。SLEUTH 模型通过扩散系数、传播系数、繁衍系数、坡度阻碍系数、道路引力系数控制元胞增长, 从而产生 4 种增长规则, 即自发增长、边缘增长、新扩散点增长和道路影响增长。扩散系数决定一个元胞被随机选择成为可能的城市化元胞的次数; 繁衍系数决定一个自发增长形成的城市化元胞成为一个新的扩展中心的概率; 蔓延系数决定一个扩展中心周围任一元胞在其邻域产生另外一个城市元胞的可能性; 坡度系数决定了坡度对于元胞可城市化概率的限制程度; 道路重力系数控制着道路影响元胞增长, 吸引向着或沿着道路分布的元胞进行城市化。

SLEUTH 模型的运行总体上分为 2 个板块: 校准板块和预测板块。其中校准是为了得到最优的系数组合, 采用强制蒙特卡洛迭代算法分三步进行: 粗校准、精校准和终校准, 每一步校准得出的系数范围不断缩小, 本文选择 OSM 指数 (Optional SLEUTH Metric) 确定下一步校准所使用的参数范围, 最后利用校准模块最终得出的参数进行城市用地扩张的模拟预测。

SLEUTH 模型要求输入六种图层: 坡度图层 (Slope)、土地利用图层 (Land use)、排除层 (Excluded)、城市范围图层 (Urban)、道路图层 (Transportation)、山体阴影图层 (Hillshade)。因本研究旨在利用 SLEUTH 模型模拟预测中心城区的城镇用地变化, 故未激活使用土地利用数据预测模块。图层具体的制作过程如下: 1) 城市范围图层: 在土地利用分类图的基础上, 提取 2000、2005、2010 和 2015 年中心城区城镇用地范围, 重分类生成二进制分类的城市/非城市 (用 1、0 表示) 栅格图; 2) 道路图层: 参照 Google earth, 对各时期的遥感影

像进行道路矢量化,以此作为赋值的基础,道路统一赋值为1,非道路赋值为0;3)坡度和山体阴影图层:在ArcGIS中对DEM数据以百分比的形式计算坡度,并在此基础之上生成山体阴影图,但只作为输出背景,不参与计算;4)排除层:排除层的作用是为了设置城市增长的限制因素,校准阶段的排除层只将河流域设置为限制因素。最后生成的输入图层数据集均需通用横轴墨卡托投影设定,并且按照SLEUTH模型要求的8 bit-unsigned数据格式进行转换。

2 结果与分析

2.1 鄂尔多斯市中心城区城镇用地扩张分析

为了更好地反映城镇用地扩张的时空分异特征,根据《鄂尔多斯市城市总体规划》,以G18荣乌高速为界,将鄂尔多斯市中心城区划分为东胜片区和康阿片区,在土地类用分类的基础上进行斑块边界整合,分别统计2个片区的城镇用地面积,以式(1)计算城镇扩展动态度,来表征城市扩张强度(表1),为了直观分析城镇用地扩张的模式,运用GIS技术将四期中心城区城镇用地范围、研究区主要道路、研究区边界进行叠加(图2),分析城市扩张模式。

就中心城区整体的城镇用地扩张强度而言,可进行3个阶段的划分:2000—2005年城市扩张强度

为17.82%,为平稳发展阶段;2005—2010年城市扩张强度为70.95%,为快速急剧扩张阶段;2010—2015年城市扩张强度为9.17%,则为低速扩张阶段。总体来说,鄂尔多斯市中心城区扩张大体经历了“平稳-快速急剧-低速”的发展过程,这与其经济发展水平以及城市发展规划的引导密切相关。

研究时段内中心城区城镇用地面积持续增加,但各片区增加的程度有所不同。2000—2005年东胜片区面积从20.24增加到35.18 km²,扩张强度指数为14.76%,康阿片区面积从3.52增加到9.75 km²,扩张强度指数为35.40%,增加速度高于东胜片区;2005—2010年变化剧烈,东胜片区面积增加了89.03 km²,扩张强度指数达到了50%以上,康阿片区更是急速增加了70.35 km²,扩张强度指数则高达144.31%,扩展速度远高于东胜片区,产生这一现象的主要原因是康阿片区内乌兰木伦湖两侧区域,开发建设康巴什行政文化商务中心,用地需求量大;2010—2015年,由于前期城镇用地急剧扩张带来用地结构比例失调、大量土地闲置等诸多负面影响,鄂尔多斯市积极推进东胜区和阿镇旧城棚户区改造工程,东胜片区和康阿片区扩展速度均大幅度下降,扩张强度指数达到了研究时段内的最低值,分别为9.27%及9.02%,且康阿片区的扩张强度指数低于东胜片区。

表1 城镇用地面积与扩展动态度统计表

Table 1 The statistics of urban land area and extended dynamic degree

指数 Index	年份 Year							
	2000		2005		2010		2015	
	面积/km ² Area	动态度/% Dynamic Degree						
东胜片区	20.24	—	35.18	14.76	124.21	50.61	181.77	9.27
康阿片区	3.52	—	9.75	35.40	80.10	144.31	116.24	9.02
合计	23.76	—	44.93	17.82	204.31	70.95	298.01	9.17

如图2所示,平稳发展阶段的扩张模式比较单一,各片区均以外延式扩张为主,在此阶段,鄂尔多斯市市级行政中心位于东胜片区,城市服务职能较完善,城市面积有序增加。快速急剧扩张阶段各片区扩张模式发生了显著变化,东胜片区以星状蔓延式为主、内部填充式为辅进行扩张,这主要是由于东

胜片区为提升居住环境,配套建设公共服务设施、增加公共绿地所导致;康巴什新区升级成为新的城市增长中心,位于乌兰木伦河两岸的区域发展尤为迅猛,康阿片区则呈现出团状蔓延式为主、飞地式为辅的扩张模式;此时位于东胜片区和康阿片区之间的装备制造产业初步形成规模,并且呈星状式进行扩

张。低速扩张阶段各片区城市功能逐渐发展成熟、定位清晰,随着市级行政单位逐渐搬迁至康巴什新区,东胜片区扩张强度减弱,发展速度开始下降,以

外延式为主、填充式为辅助的模式扩张;康阿片区主要以内部填充的方式进行扩张,同时通过特别零散的斑块扩大用地范围。

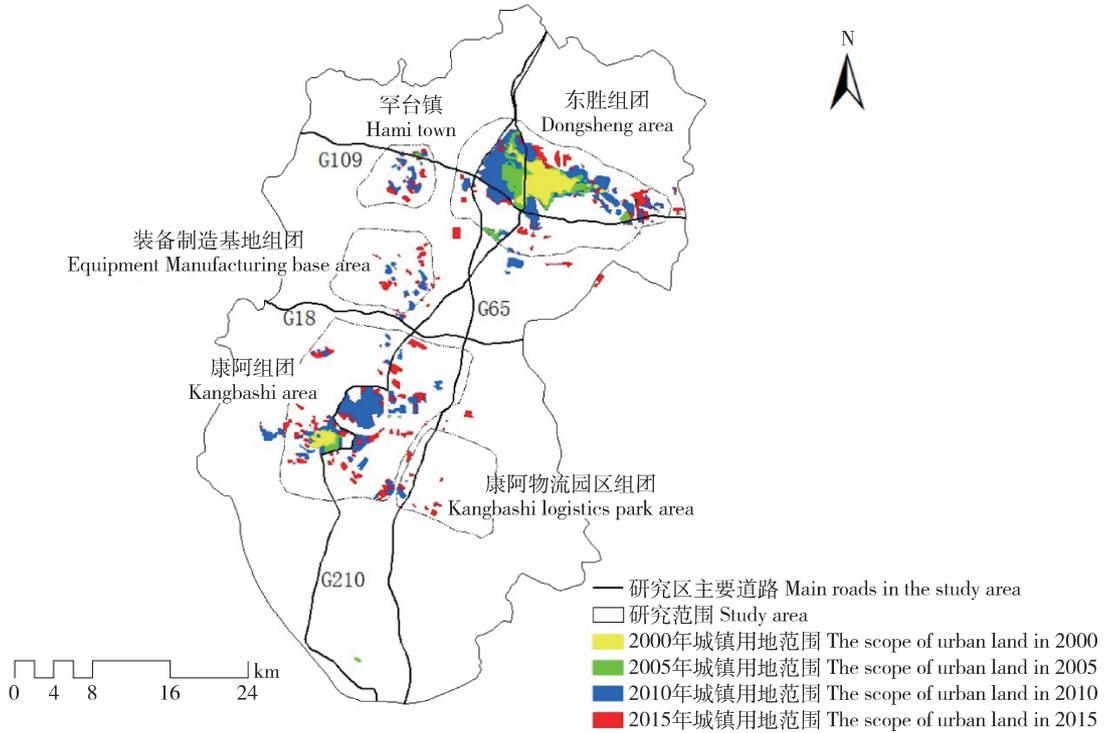


图 2 鄂尔多斯中心城区城镇用地扩张分析图

Fig. 2 Analysis of urban land expansion in Ordos central district

2.2 中心城区扩张模拟预测

SLEUTH 模型校准后获取的模拟参数如表 2 所示,3 个校准阶段的 OSM 指数值分别为 0.627 7、0.601 4 和 0.588 9,总结前人的研究经验^[12-14,19],OSM 指数在 0.5~0.8 说明其模拟效果较好。模拟的最优参数组合分别为扩散系数 78、繁衍系数

100、蔓延系数 31、坡度抗阻系数 63、道路引力系数 68。从获取的最优系数组合来看,扩散系数、蔓延系数及道路引力系数均比较高,则说明中心城区城镇用地的历史扩张趋势是沿扩张中心城市的边界向外扩展,结合沿道路新增建设用地自发增长模式。

表 2 SLEUTH 模型校准与模拟参数设置

Table 2 Calibration and settings of coefficients in SLEUTH model

系数 Coefficient	粗校准 Coarse		精校准 Fine		终校准 Final		最优系数 Optimal coefficient
	5*		7*		9*		
	范围 Range	步长 Step	范围 Range	步长 Step	范围 Range	步长 Step	
扩散	0~100	25	25~100	15	75~100	3	78
繁衍	0~100	25	75~100	5	80~100	2	100
蔓延	0~100	25	25~75	10	25~45	2	31
坡度抗阻	0~100	25	20~80	6	60~75	3	63
道路引力	0~100	25	50~100	10	50~80	3	68

注：* 为蒙特卡洛迭代次数。

Note: * for Monte Carlo iterative times.

为了更准确的预测在现行城市规划下中心城区城镇用地扩张的范围,对模拟的2005、2010和2015年的中心城区进行了模拟及历史重建。利用Kappa指数来验证实际图与模拟图的一致性,通过计算实际城市范围图和城市范围模拟图的Kappa指数来定量评价模拟效果^[19]。当 $Kappa \geq 0.75$,说明两者的一致性很高,差异很小,即模拟效果较好,具有较高的可信度;当 $0.4 \leq Kappa \leq 0.75$ 说明两者的一致性一般,差异明显,即模拟效果一般;当 $Kappa \leq 0.4$,说明两者的一致性低,差异较大,即模拟效果较差。模拟的

3期中心城区城镇用地的Kappa指数为0.6576、0.6793和0.7376,说明模拟效果较好。

根据《鄂尔多斯市城市总体(2011—2030)》中划定的“四区”(禁建区、限建区、适建区、已建区)设置排除层,其中,河流水源、生态绿地、基本农田等为禁建区,赋值为100;林地植被、煤矿开采区等为限建区,赋值为85;其他地势条件较好的、适宜作为城市建设用地的为适建区,各片区的城镇用地、工业用地等为已建区,均赋值为0。预测结果输出如图3所示。

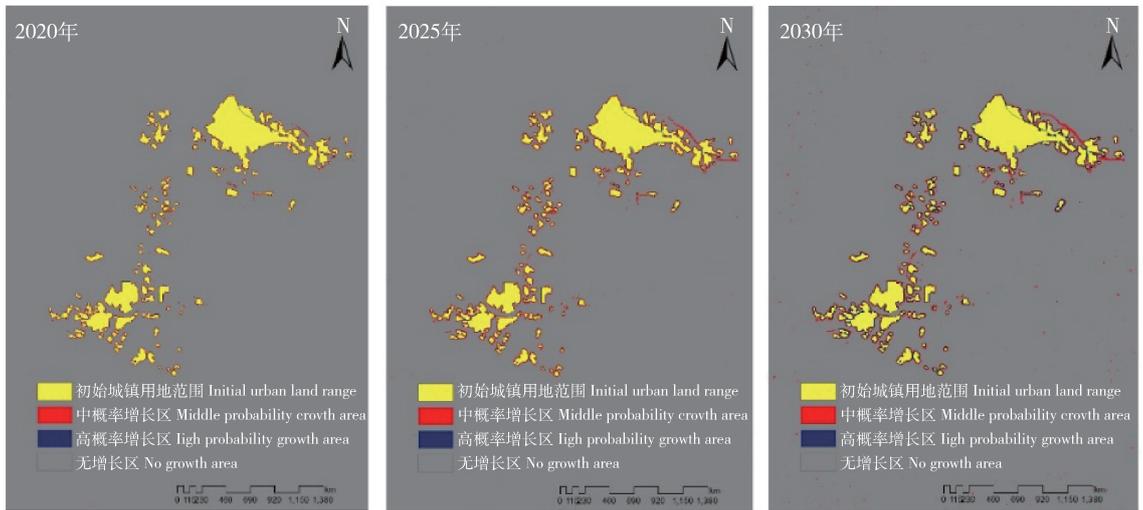


图3 基于SLEUTH模型的2020—2030年鄂尔多斯中心城区扩张预测结果

Fig. 3 Prediction results of 2020-2030 Ordos central district expansion based on sleuth model

通过对2020—2030年中心城区城镇用地扩张的预测结果进行像元统计,以高概率增长区为指标,计算得至2030年该区域城镇用地面积将增加至350.28 km²,年平均增长3.49 km²。其中,2025—2030年的增长相对较大,为25.84 km²,年平均增长5.17 km²。从城镇用地扩张的空间格局上看,以中概率增长区为标识,未来15年鄂尔多斯市中心城区的发展,是一个逐步完成东胜片区和康阿片区对接的过程,其中,东胜片区的扩张主要有两大特征,东北部呈外延—填充式发展,西南部呈外延—扩散式发展;康阿片区以外延式趋于北向发展,中部产业组团区不断扩大规模,架起东胜片区与康阿片区衔接的桥梁,未来可能成为鄂尔多斯市新的经济增长中心。

3 结论与讨论

1)城市扩张是一个长期而复杂的演变过程,受经济与人口、自然与交通、规划与政策等诸多因素的

影响和制约,是多种因素综合作用和博弈的结果。2000—2015年,鄂尔多斯市城市扩张呈现出显著的三阶段特征:①平稳扩张阶段(2000—2005)。城市扩张强度适中,扩张模式较为单一,呈现出明显的外延式扩张模式;②快速急剧扩张阶段(2005—2010)。城市扩张强度大,扩张模式多元化,东胜片区以星状蔓延式扩张为主、内部填充式为辅,康阿片区则呈现团状式增长,与东胜片区对接的趋势明显,且二者之间发展产业组团区,形成了新的增长区域;③低速扩张阶段(2010—2015)。城市扩张强度小,东胜片区的扩张以外延式为主、内部填充式为辅,康阿片区则以内部填充的模式扩张。

2)地理学上将“鬼城”定义为资源枯竭并被废弃的城市,而康巴什新区是鄂尔多斯市为寻求更大的发展空间,解决“大工业、小城镇”的发展矛盾,顺应城市形态由“单一中心”向“组团式”演变的发展趋势而规划建设^[20]。但是,康巴什新区建设扩张迅

速,虽有装备制造业的布局,但尚未形成完整的产业体系,2012年以后经济发展停滞,对于人口的吸收能力不足,人口增加与产业集聚的速度远远落后于建设的速度,从而导致其成为了一座“空城”。国内新区建设与康巴什新区发展情形相似的有河南郑东新区、广东惠州大亚湾新城、上海松江新城等,然而这些新城以房地产开发为主,大量兴建住宅楼,住房空置率高,而康巴什新区基础设施建设相应配套,并承担市级行政办公、文化会展、教育研发等城市服务职能,与东胜城区、伊旗阿镇共同组成鄂尔多斯市“一核、一圈、一带”中心城区。

3)利用 SLEUTH 模型可以较好地模拟预测未来 15 年鄂尔多斯市中心城区城镇用地扩张的趋势,获取的模拟的最优参数组合分别为扩散系数 78、繁衍系数 100、蔓延系数 31、坡度抗阻系数 63 及道路引力系数 68。其中扩散系数、繁衍系数和蔓延系数表面研究对象在未来 15 年主要表现为沿扩张中心城市的边界向外扩展,结合沿道路新增建设用地自发增长模式。鄂尔多斯市作为资源型城市,中心城区周边煤炭资源丰富,煤炭开采所带来的滑坡、塌陷等自然灾害影响,导致城市在扩张建设的过程中受到的坡度阻抗也相对较大。随着能源产业的发展,中心城区的道路条件较好,尤其康巴什新区处于航空、铁路、高速公路纵横交汇的立体交通枢纽位置,因此受道路引力也很大。从预测结果来看,未来 15 年内,中心城区用地面积增长幅度较小,年平均增长 3.49 km^2 ,且主要的增长区域在康阿片区。就扩张的趋势而言,东胜片区、康阿片区及产业组团区的发展逐渐形成空间对接的发展态势,东胜片区以外延-扩散式向西南方向发展,康阿片区则以蔓延式向四周发展,产业组团区以飞地-蔓延式逐渐将 2 个功能片区相连接,使得中心城区的空间结构形成条带状。其中,产业组团区的发展态势较好,且与东胜片区、康阿片区联系紧密,可能会形成新的城市增长中心。

4)按照现行发展趋势,鄂尔多斯市未来的发展将以康阿片区为主,其中康巴什新区为重点发展区域。康巴什新区要摆脱“空城”的现状,一方面要避免无序扩大规模,更加注重城市功能与服务的提升,实现质量统一,在较高的城市化水平上,突出城市特色、塑造城市形象;另一方面要激发城市发展活力,转变传统的发展方式,推进产城融合的发展进程,发展相应的配套产业,吸引人口集聚,尤其是高精尖技术人才,发展高新技术产业,孵化新的增长点,作为

康巴什新区发展的支撑点。

参考文献 References

- [1] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,罗娅,周旭,赵海根. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63
Wu L N, Yang S T, Liu X Y, Luo Y, Zhou X, Zhao H G. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River basin since 1976[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 54-63 (in Chinese)
- [2] 谭雪兰,欧阳巧玲,江喆,刘卓,谭洁,周国华. 基于 RS/GIS 的长沙市城市空间扩展及影响因素[J]. 经济地理, 2017, 37(3): 81-85
Tan X L, Ouyang Q L, Jiang Z, Liu Z, Tan J, Zhou G H. Urban spatial expansion and its influence factors based on RS/GIS: a case study in Changsha[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 81-85 (in Chinese)
- [3] 王婷婷,王运动,杨强,张洁. 1988—2014 年莆田市城市扩展及其驱动力分析[J]. 遥感信息, 2015, 30(6): 111-115
Wang T T, Wang Y D, Yang Q, Zhang J. Urban expansion and its driving force for Putian city from 1988 to 2014[J]. *Remote Sensing Information*, 2015, 30(6): 111-115 (in Chinese)
- [4] 李松,罗绪强. 基于 RS 的多数据源的 700 多年来贵阳城市扩张时空特征研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1734-1745
Li S, Luo X Q. Study on spatiotemporal expansion feature of urban based on multisource data using remote sensing technique in Guiyang city in the latest 700 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(10): 1734-1745 (in Chinese)
- [5] 王灿,王继富,任春颖,王宗明,姚云长. 1970s—2015 年长春市城市扩张过程时空动态分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(3): 21-25
Wang C, Wang J F, Ren C Y, Wang Z M, Yao Y C. Spatial-temporal dynamics of urban expansion in Changchun city during 1970s—2015[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(3): 21-25 (in Chinese)
- [6] 姚尧,李江风,童陆亿,杨媛媛. 中部 3 省城市建设用地功能时空演化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1564-1574
Yao Y, Li J F, Tong L Y, Yang Y Y. Spatiotemporal conversions of urban built-up land function in three provinces from central China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(10): 1564-1574 (in Chinese)
- [7] 曾馨漫,刘慧,刘卫东. 京津冀城市群城市用地扩张的空间特征及俱乐部收敛分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(12): 2045-2056
Zeng X M, Liu H, Liu W D. Spatial pattern and club convergence analysis of urban expansion in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Journal of Natural*

- Resources, 2015, 30(12): 2045-2056 (in Chinese)
- [8] 童陆亿, 胡守庚. 中国主要城市建设用地扩张特征[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 50-61
Tong L Y, Hu S G. Characterizations of urban sprawl in major Chinese cities[J]. *Resources Science*, 2016, 38(1): 50-61 (in Chinese)
- [9] 罗瑾, 刘勇, 岳文泽, 黄经南. 山地城市空间结构演变特征: 从沿河谷扩展到多中心组团式扩散[J]. 经济地理, 2013, 33(2): 61-67
Luo J, Liu Y, Yue W Z, Huang J N. Evolution of urban spatial structure in a mountainous city: transforming from linear expansion along valleys to polycentric urban development[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(2): 61-67 (in Chinese)
- [10] 冯浩城, 杨青山. 基于遥感数据的建三江垦区城镇用地扩张时空特征及驱动力分析[J]. 地理科学, 2017, 37(8): 1178-1185
Feng H C, Yang Q S. Spatio-temporal characteristics of urban expansion and its driving forces based remote sensing data in Jiansanjiang reclamation area[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(8): 1178-1185 (in Chinese)
- [11] 程旭, 杨海娟. 城市扩张对大城市周边基本农田的影响: 以西安市长安区为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 25-34
Cheng X, Yang H J. Analysis of the effects of urban expansion on the basic farmland around the big city: A case study of Chang'an in Xi'an [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(8): 25-34 (in Chinese)
- [12] 蒋海波, 石培基, 李骞国, 陈芸芬. 基于 SLEUTH 模型的酒嘉一体化城市扩展预测[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 25-31
Jiang H B, Shi P J, Li Q G, Chen Y F. Integral urban spatial forecast of Jiuquan city and Jiayuguan city based on SLEUTH model[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 31(1): 25-31 (in Chinese)
- [13] 詹云军, 朱捷缘, 严岩. 基于元胞自动机的城市空间动态模拟[J]. 生态学报, 2017, 37(14): 4864-4872
Zhan Y J, Zhu J Y, Yan Y. Dynamic simulation of urban space based on the cellular automata model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(14): 4864-4872 (in Chinese)
- [14] 朱飞鸽, 胡瀚文, 沈兴华, 李俊祥. 基于 SLEUTH 模型的上海城市增长预测[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 2107-2114
Zhu F G, Hu H W, Shen X H, Li J X. SLEUTH model-based prediction of urban growth of Shanghai[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(9): 2107-2114 (in Chinese)
- [15] 高金龙, 陈江龙, 袁丰, 魏也华, 陈雯. 南京市建设用地区域扩张模式、功能演化与机理[J]. 地理研究, 2014, 33(10): 1892-1907
Gao J L, Chen J L, Yuan F, Wei Y H, Chen W. Patterns, functions and underlying mechanisms of urban land expansion in Nanjing[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(10): 1892-1907 (in Chinese)
- [16] 李明杰, 钱乐祥, 吴志峰, 崔海山, 侯西勇. 广州市海珠区高密度城区扩展 SLEUTH 模型模拟[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1163-1172
Li M J, Qian L X, Wu Z F, Cui H S, Hou X Y. The SLEUTH model simulation of high density urban sprawl in Haizhu district of Guangzhou city [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(10): 1163-1172 (in Chinese)
- [17] 阿娜力斯, 王敏, 张裕凤. 康巴什新区城市产业发展现状与对策研究[J]. 中国土地科学, 2017, 31(10): 53-58
A N L S, Wang M, Zhang Y F. Industrial development status quo and countermeasure research in Kangbashi new district[J]. *China Land Sciences*, 2017, 31(10): 53-58 (in Chinese)
- [18] Clarke K C, Hoppen S, Gaydos L A. Self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area[J]. *Environment and Planning*, 1997, 24: 247-261
- [19] 吴春华, 胡远满, 黄培泉. 基于 SLEUTH 模型的阜新市城市扩展模拟[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2671-2676
Wu C H, Hu Y M, Huang P Q. Simulation of urban expansion based on SLEUTH model in Fuxin city, Northeast China[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(9): 2671-2676 (in Chinese)
- [20] 米文宝, 仲俊涛, 米楠. 康巴什新区城市发展的新思路: 建设“活力型草原生态城市”[C]// 草原、城市、文化: 康巴什论坛论文集, 2017: 182-194
Mi W B, Zhong J T, Mi N. Newideas of urban development in Kangbashi: building “dynamic grassland eco-city” [C]. In: *Grassland, City, Culture; Kangbashi Forum Proceedings*, 2017: 182-194 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华