

分形视角下黄土高原沟壑区城乡空间发展适宜路径研究 ——以陕北米脂为例

田达睿¹, 周庆华²

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建大城市规划设计研究院, 陕西 西安 710055)

摘要:以陕北米脂沟壑区为研究案例,依据城镇空间形态结构的演变规律,结合陕北黄土高原丘陵沟壑区独特的沟壑空间体系,探讨该地区城乡空间动态发展的不同路径.在以人居空间高效分布与自然环境保护综合效益最大化为目标的分形理论指导下,通过比较不同城乡空间发展路径的总体差异及各自的阶段性特征,包括城乡规模、空间形态、分形维数等指标的变化趋势,总结米脂城乡总体用地形态扩展的适宜途径,引导人居环境朝着更为合理、优化的方向发展.研究结论有效地指导了米脂城镇化进程中的城乡协同建设与生态保护,提升了土地资源的综合效益,有助于改善粗放利用空间的传统模式.

关键词:分形理论;黄土高原沟壑区;城乡空间发展路径;米脂

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)05-0699-09

The development path of urban and rural space in the loess plateau from the perspective of fractal theory: A case study of Mizhi

TIAN Darui¹, ZHOU Qinghua²

(1. School of architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Institute of urban planning and design XAUAT, Xi'an 710055, China)

Abstract: This paper takes Mizhi area as an example and discusses the different development paths of urban and rural space in gully region of loess plateau, based on the laws of urban and rural spatial evolution and the special status of local natural environment. Under the guidance of fractal theory which aims to maximize comprehensive benefit of human settlement and natural environment, the paper analyses the differences of the development paths and their stage characteristics, including the variation of the urban dimensions, forms and fractal index. In addition, it puts forward the suitable development path of urban and rural space which directs the human settlement along a more reasonable line. Finally, this research helps Mizhi area on the urban-rural integration and ecological protection, and promotes overall benefits of land resource by improving traditional mode of land extensive use.

Key words: Fractal theory; gully region of loess plateau; development path of urban and rural space; Mizhi

城乡空间发展路径引导着眼于城镇和乡村地区的长远发展与宏观战略部署,表达城乡总体用地形态在一个长久阶段内发展的总体方向与动态规律,可作为指导城乡总体空间布局的结构框架^[1].对于沟壑纵横、地形复杂的陕北黄土高原地区而言,制订适宜的城乡空间发展路径、综合协调城乡不同发展阶段的关系,是保证其城乡可持续发展的重要一环.但是,现有城市规划的思维与方法并不足以有效地完成陕北黄土高原城乡空间发展路径的比选与优化.例如,如果依据传统的定性标准衡量各备选方案,则难以对各空间发展路

径方案的综合效益进行准确量化,当出现备选方案“各有优劣”的情况时,往往难以客观地比较择取,因此需要借助更加理性的评判方法、并引入更加全面、高效的比选依据和指标.

分形理论始于美国法裔数学家 B. B. Mandelbort 1967 年关于英国海岸线的研究,后广泛应用于各学科领域.根据分形理论,分形体能最有效地占据空间,是大自然的优化结构^[2].如果城乡聚落能达到分形优化状态,那么人居环境就能最有效地占据地理空间.因此,在陕北黄土高原特殊的自然环境特征影响下,城乡空间发展应达到高效的

收稿日期: 2016-08-25

修改稿日期: 2017-08-22

基金项目: 国家自然科学基金青年科学项目(51408476); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JM2-5075); 西安建筑科技大学人才科技基金(RC1629)

第一作者: 田达睿(1984—),男,博士,讲师,主要从事可持续人居环境规划与设计. E-mail: tatary-tdr@163.com

分形布局,城镇空间才能形成集聚与扩散的合适比例,实现城市与自然的相互融合。

本文引入分形理论与方法,对不同城乡发展路径方案进行客观描述和比较,以分维数作为城乡总体用地形态的评判标准,通过对各路径不同阶段的建设用地形态、规模、分维数的综合比较,择取适宜的发展路径方案。首先,基于黄土高原丘陵沟壑空间体系可以模拟某一区域或流域城乡用地的演变过程:假设城镇从一个初始点沿沟壑空间逐渐生长、扩展、并最终达到填满沟壑用地后的极限状态。根据黄土高原沟壑区川道、次沟和支毛沟的层级结构,沟壑区的城乡空间增长存在不同的发展路径,如沿川道空间为主发展或沿次沟空间为主发展等不同方式。其次,沿着预设的城乡发展过程,计算并记录不同发展路径下每个阶段城乡用地的形态图示、用地规模、网格维数、拟合优度等指标,从而可以客观、定量地描述城乡空间发展路径的阶段特征。最后,通过比较分析,观察城乡用地形态在逐渐扩张的过程中分形指标的变化规律:通过对不同城乡空间发展路径的比较,揭示用地形态、用地规模以及分形指标之间的变化规律,寻找适宜的城乡空间发展路径。

1 陕北米脂城乡空间发展路径及特征

1.1 研究对象与范围

以陕北榆林市米脂县为例,并以米脂县城为中心沿着川道和次沟四个方向扩展,划定出20 km见方的区域作为米脂沟壑区城乡用地发展路径的研究范围(见图1)。米脂研究区由川道、次沟和支毛沟组成,该沟壑体系可形象的比喻为树形脉络:川道即为主干,次沟为分枝,支毛沟为末梢,形成干一枝一稍三级层次(见图2)。

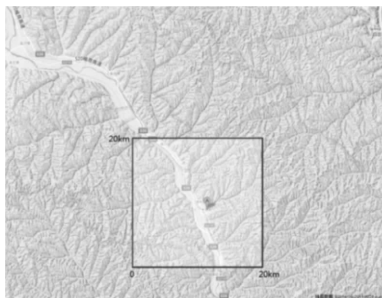


图1 米脂研究区范围

Fig. 1 Range of Mizhi

1.2 城乡空间发展的一般路径

城乡空间的发展伴随着集聚与扩散作用,集聚可产生规模效应,扩散可拓展新的发展空间^[3]。根据区域城镇空间结构演变的相关理论,城镇空

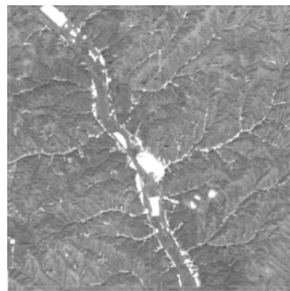


图2 米脂研究区城乡建设用地现状

Fig. 2 Present situation of land use pattern in Mizhi

间形态的扩展可归纳为三种方式:

聚集扩展型——城镇发展以主城区的极化为基础,通过城镇内部空间的不断集聚和功能的不断完善,提高城镇的吸引力和凝聚力。当主城区发展成熟后,原有一些不适宜的城镇功能逐渐被疏解到边缘或外围,促使城镇空间逐渐从中心向四周蔓延和拓展。可见,聚集扩展型是由城镇内部的向心集聚引发的城镇空间发展方式,属于单核扩张。

离散扩展型——通过自上而下的战略导向和政策引导,在老城近郊甚至远郊脱离原有中心建设新区或新城等新的增长点,先初步形成城镇总体空间骨架和等级结构,之后再转向内优化发展、提升内部空间的使用效率。城镇在从单中心集聚向多中心疏解的过程中,边缘区或外围区域的新引擎被视为应优先发展的重点,可见离散扩展型是以城镇外部的离心力驱动为主的城镇空间发展方式。

均衡扩展型——城乡用地扩展也可能出现集聚与扩散作用同步进行的状态,即城镇整体骨架在不断扩张、内部空间也在持续优化和填充,城镇总体用地形态呈现出多中心、网络化的特征,生产力亦将随之趋向均衡化布局。与飞地式的离散扩展型不同,均衡扩展型是由近及远地渐进发展,新区与老区始终保持紧密地联动关系,城镇在每一阶段的空间拓展都存在明确的范围限定。可见,均衡扩展型是以城镇外部离心力与内部向心集聚并重的城镇空间发展方式。

1.3 米脂沟壑区城乡发展路径及形态特征

在陕北黄土高原沟壑区域,“临水而居”和“沿河谷、沟道集聚”是体现城乡聚落分布与自然地理条件之间关系的重要规律^[4]。在特殊的地形地貌限制下,陕北黄土高原丘陵沟壑区城镇不会像平原城市那样均匀向外蔓延,因此也无法按照平原城镇的理想模式建设,只能探索适宜于自身条件的城镇空间发展道路。基于上述城乡空间发展的一般

路径,结合米脂沟壑区的现状特征以及川道、次沟、支毛沟的沟壑层级体系,提出三组米脂沟壑区城乡空间增长的可能路径。

(1)丘陵沟壑区内基于集聚扩展型的城乡发展路径 A——川道主干集聚式用地形态

城镇集聚扩展型主要是由中心位置向外以同心圆式的圈层扩展方式为主,而对于陕北黄土高原丘陵沟壑区城镇而言,在地形地貌的限制下,城镇由中心向外延伸的方式是城镇沿着河道、川谷或交通干线呈线性或带状生长。因此,该路径城镇形态以线形扩展模式为基础,首先并主要沿川谷生长轴发展。

具体而言,以米脂老城为起点,城乡用地先沿川道内宽敞的河谷用地填充式发展,达到研究区边界时再逐渐向次沟延伸,当次沟填满后再转而在支毛沟内扩展,最终达到极限状态,呈现出较明显的带状集聚性空间结构。该过程以每次增加 5 km^2 建设用地为标准进行等差递增,最终形成 10 个阶段的用地形态。用地形态从最初围绕老城形成的 $5 \sim 10 \text{ km}^2$ 的“单中心团块状”增长为 $15 \sim 20 \text{ km}^2$ 的“短轴带状”、 $25 \sim 30 \text{ km}^2$ 的“长轴带状”,再沿沟壑发展变为 $35 \sim 40 \text{ km}^2$ 的“强轴+枝状”,最后扩展为城乡用地极限形态“强轴+网络”状,用地规模达到 50 km^2 (见图 3)。

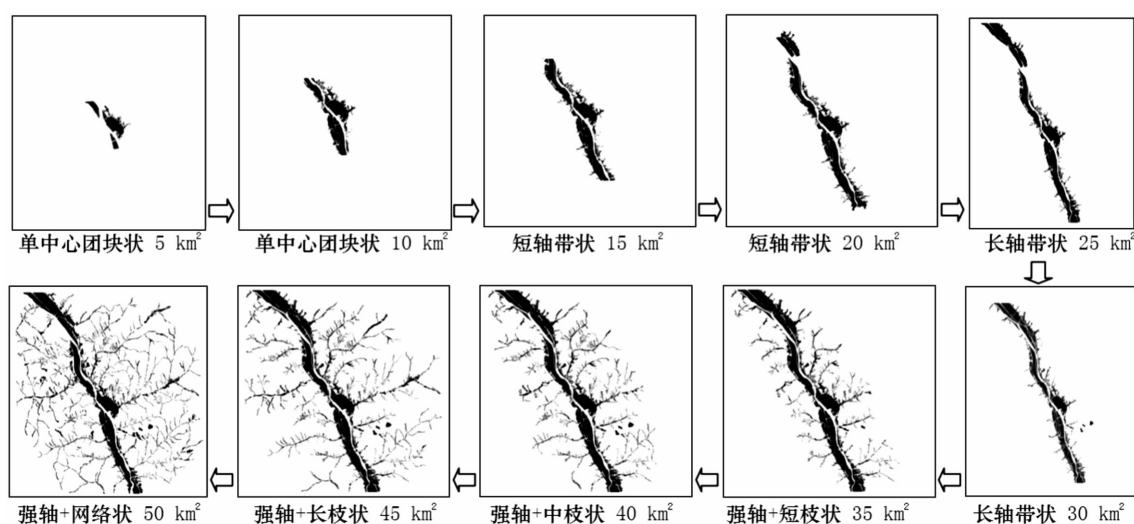


图 3 路径 A 用地形态动态模拟

Fig. 3 Development path A of urban and rural space

(2)丘陵沟壑区内基于离散扩展型的城乡发展路径 B——次、支沟分散式的用地形态

城镇沿川道过度集聚和延伸容易引发城镇中心吸引力不足、生态环境恶化、基础设施低效等问题。为避免这些问题的加剧,沟壑区城镇应跳出河谷向两翼腹地伸展以挖掘新的增长潜力,由此提出以离心力作用为主导的城乡空间发展路径 B。该路径的城镇形态以沟道枝状扩展模式为基础,首先呈现出均质分散的多核心空间结构。

具体而言,以米脂老城为起点,城乡用地先沿离老城中心最近的次沟和支毛沟空间拓展,尽量保留川道中的宝贵土地;并逐渐向其他的次沟、支毛沟扩展;当次沟和支毛沟空间被充分利用后,再转而进入川道内发展,并优先采用组团式集聚,再逐步达到极限状态。同样以每次增加 5 km^2 建设用地为标准进行等差递增,生成 10 个阶段的用地形态。用地形态从 5 km^2 的“分散枝状”增长为 $10 \sim 20 \text{ km}^2$ 的“单中心+枝状”,再沿沟壑继续蔓延

发展为 $25 \sim 30 \text{ km}^2$ 的“单中心+叶脉状”和 35 km^2 的“单中心+网络状”,使次沟和支毛沟内的建设用地被充分利用,最后转入川道沿主轴扩展成“组团+网络状”、“强轴+网络状”形态(见图 4)。

(3)丘陵沟壑区内基于均衡扩展型的城乡发展路径 C——川道与次、支沟并重的用地形态

路径 C 的城镇空间形态以集中与分散相结合的扩展模式为基础,注重川道与周边次沟、支毛沟用地的协同发展,总体空间形态以叶脉状和网状为基本格局不断扩展,用地形态相似、规模由小变大。

具体而言,以米脂老城为起点,离老城中心最近的川道和次沟最先发展,城镇沿次沟拓展长度与沿川道延伸长度一致;之后建设用地逐渐沿南北向川道和东西向次沟同时扩展、同时增长,并利用支毛沟贯通次沟,最终达到极限状态。同样以每次增加 5 km^2 建设用地为标准进行等差递增,形成 10 个阶段的不同用地形态。用地形态从 5 km^2

的“中心+短枝状”变为 $10\sim 15\text{ km}^2$ 的“短轴+小叶脉状”，再发展为 $20\sim 25\text{ km}^2$ 的“中轴+中叶脉状”、 $30\sim 35\text{ km}^2$ 的“组团化强轴+中叶脉状”以及

40 km^2 的“组团化强轴+大叶脉状”，最终逐渐达到川道与次、支沟相融合的“强轴+网络状”极限状态(见图 5)。

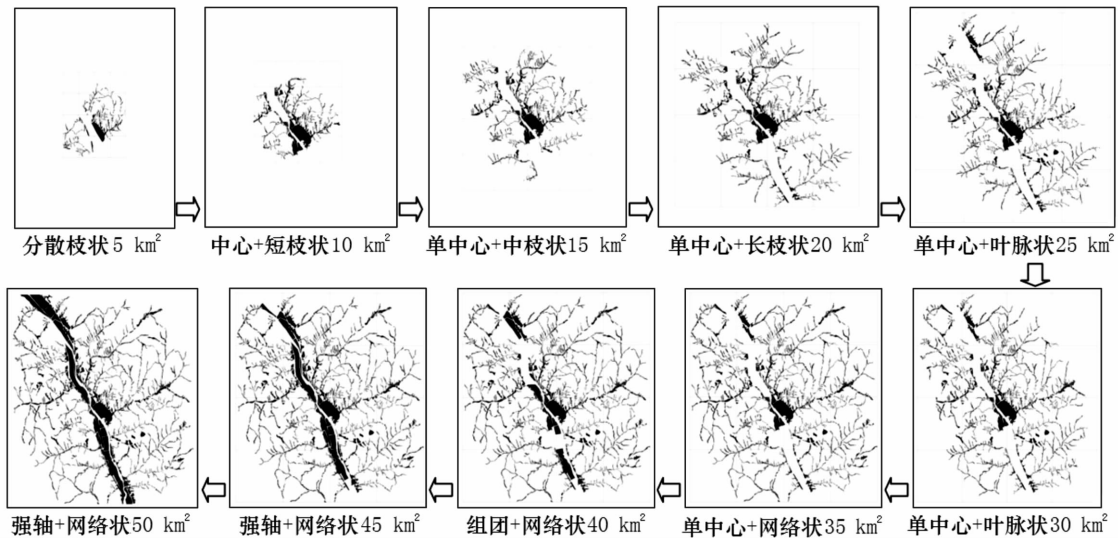


图 4 路径 B 用地形态动态模拟

Fig. 4 Development path B of urban and rural space

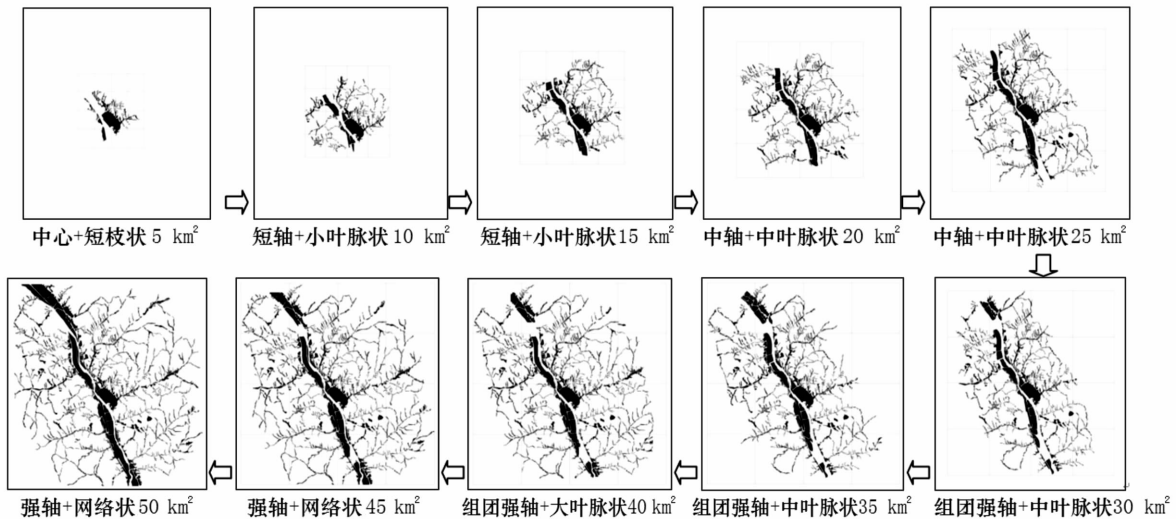


图 5 路径 C 用地形态动态模拟

Fig. 5 Development path C of urban and rural space

2 米脂城乡发展路径的分维数计算及变化趋势

2.1 计算用地形态的网格维数

分维数是反映分形体空间特征和分形状态的核心指标^[5]。其中网格维数是迄今在各学科领域中应用较为广泛的一种分维数，揭示了研究对象的均匀性以及系统对空间的填充能力。在相同的建设规模下，网格维数的高低就是评判空间形态效益的重要指标，其为空间形态的比较提供了综合的

定量标准。根据国内外城市分形研究的成果，随着城市的增长，城市空间形态分维应呈上升趋势，但不会超过其极限值 2.0 ^[6]；而且城市的期望分维值应在 1.71 左右，此时城市形态格局无论在均衡性方面还是在集聚性方面都会达到相对稳定和合理的状态^[7,8]。因此，分维数越接近于 1.71 的空间形态越应成为优选模式^[9]。

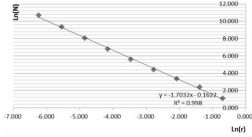
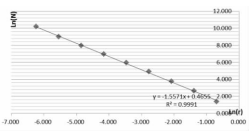
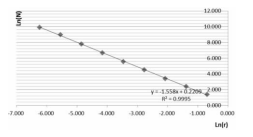
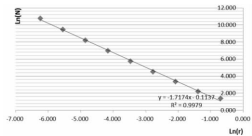
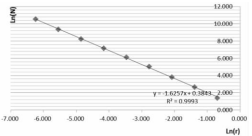
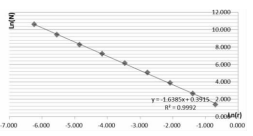
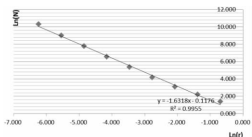
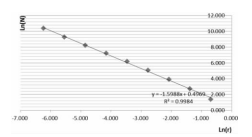
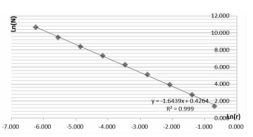
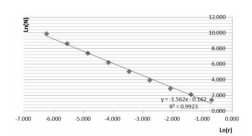
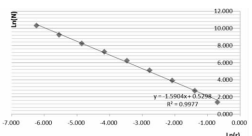
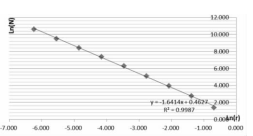
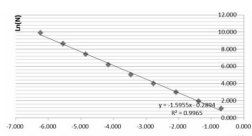
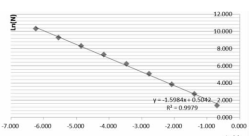
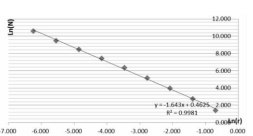
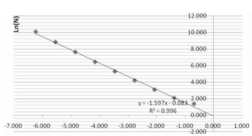
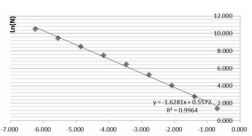
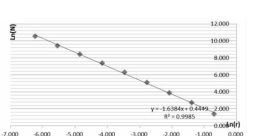
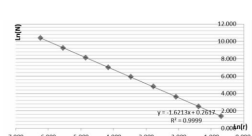
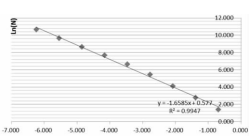
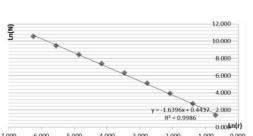
上述三组城乡空间发展路径按照用地规模的增长各自划分为 10 阶段，分别测算各阶段用地形态的网格维数 D 和拟合优度 R^2 ，总共形成 30 组城

乡用地形态分形指标(见表 1)。根据分形理论, 城镇形态的分维拟合优度 R^2 应达到 0.995 才可判定为分形。结果显示: 除路径 A 中面积为 20 km^2 的“短轴带状”用地形态的分形拟合优度 R^2 未达到

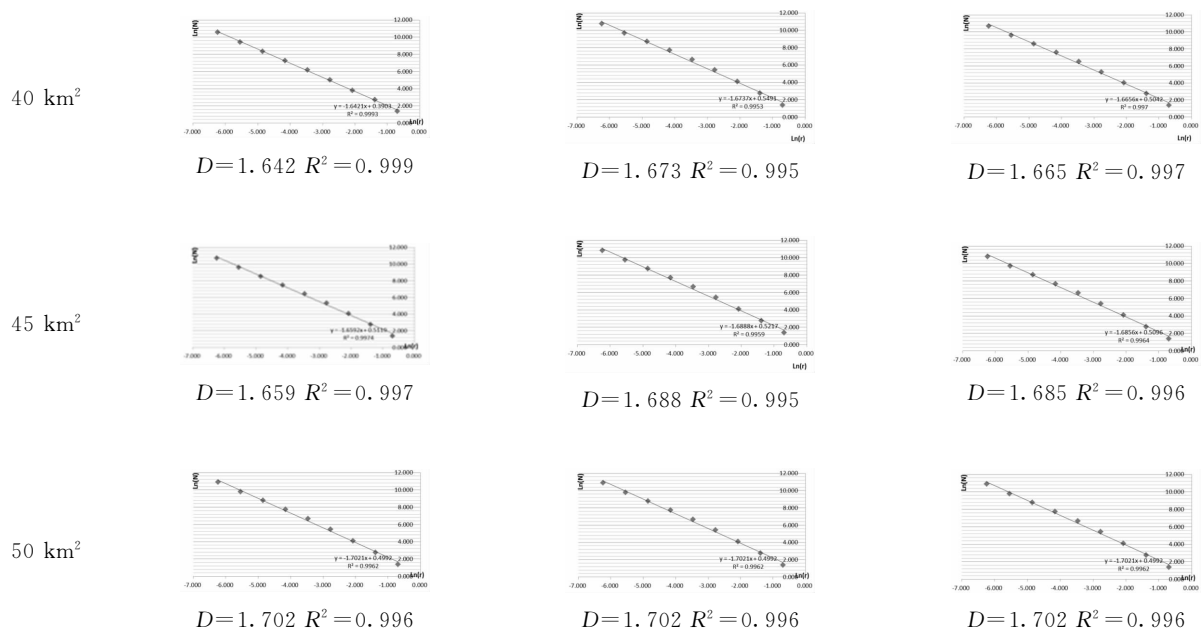
0.995 的分形标准(为 0.992), 分形特征不够明显, 其它所有城乡用地形态的分形拟合优度 R^2 均大于 0.995, 部分用地形态的拟合优度达到 0.999, 分形特征显著, 因此可以进行分维数的横向比较。

表 1 米脂沟壑区城乡发展路径分维数计算

Tab. 1 Fractal dimensions of different urban forms in Mizhi

用地规模	路径 A 网格分维	路径 B 网格分维	路径 C 网格分维
5 km^2	 $D=1.703 \ R^2=0.998$	 $D=1.557 \ R^2=0.999$	 $D=1.558 \ R^2=0.999$
10 km^2	 $D=1.717 \ R^2=0.998$	 $D=1.625 \ R^2=0.999$	 $D=1.638 \ R^2=0.999$
15 km^2	 $D=1.631 \ R^2=0.995$	 $D=1.598 \ R^2=0.998$	 $D=1.643 \ R^2=0.999$
20 km^2	 $D=1.562 \ R^2=0.992$	 $D=1.590 \ R^2=0.997$	 $D=1.641 \ R^2=0.998$
25 km^2	 $D=1.595 \ R^2=0.996$	 $D=1.598 \ R^2=0.997$	 $D=1.643 \ R^2=0.998$
30 km^2	 $D=1.597 \ R^2=0.996$	 $D=1.628 \ R^2=0.996$	 $D=1.638 \ R^2=0.998$
35 km^2	 $D=1.621 \ R^2=0.999$	 $D=1.658 \ R^2=0.995$	 $D=1.639 \ R^2=0.998$

续表 1



2.2 生成网格维数的变化趋势图

首先, 针对三组城乡空间发展路径, 分别将每个用地形态的网格维数与所对应的城乡建设用地面积进行关联, 生成散点趋势分布图(见图 6—图 8), 由此反映各组路径中用地形态的网格维数随建设规模扩展的变化趋势。其次, 为了进一步分析三组城乡空间发展路径之间的差异, 将这三组网格维数变化趋势线进行叠加和综合比较, 可以直观地对比相同建设规模阶段下各路径用地形态分形指标的高低。最后, 通过对分形绩效的研判, 可对米脂沟壑区城乡用地形态和适宜发展路径进行更为理性、高效地评价和择取(见图 9)。

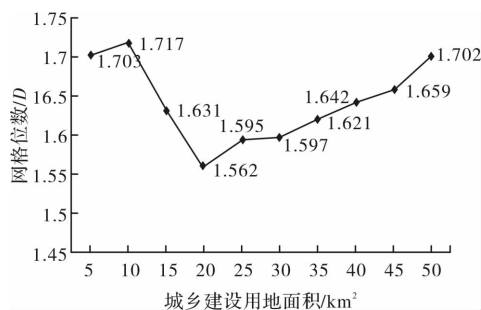


图 6 路径 A 维数随规模变化趋势

Fig. 6 Variation of grid dimension in path A

3 米脂城乡发展路径的综合比较及对规划的指导

由于路径 A、路径 B 和路径 C 分别代表了“川道空间为主集中式”、“次沟空间为主分散式”和“川、沟整体并重混合式”三类不同的空间扩展模

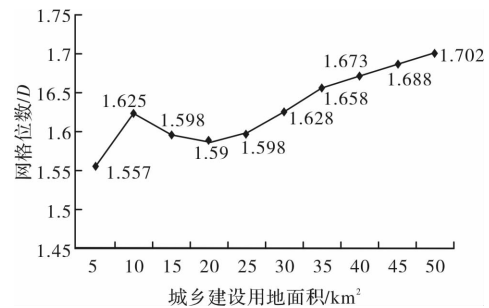


图 7 路径 B 维数随规模变化趋势

Fig. 7 Variation of grid dimension in path B

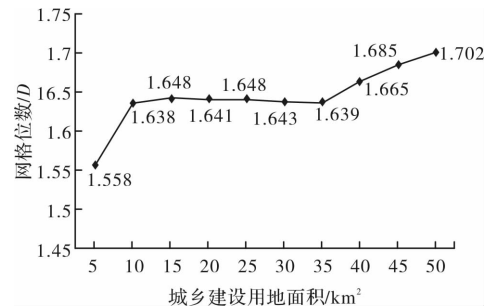


图 8 路径 C 维数随规模变化趋势

Fig. 8 Variation of grid dimension in path C

式, 通过比较路径 A、B、C 在相同建设规模时网格维数的大小变化, 可以反映米脂沟壑区城乡空间从县城中心向周边沟道扩展的过程性和阶段性特征。三条城乡空间发展路径的网格维数起伏波动明显、在不同建设阶段差异较大, 由此可推导出不同发展阶段下米脂沟壑区的不同城乡适宜用地形态(见图 9)。

3.1 起始阶段应以川道内集聚为主

首先, 建设用地面积在 5~15 km² 范围时, 城

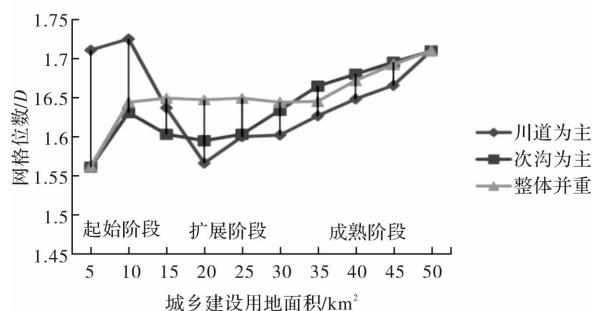


图9 城乡发展路径各阶段网格维数比较

Fig. 9 Comparison of grid dimension between different paths

乡用地发展路径 A 的城乡用地形态网格维数高于另外两条路径中的用地形态维数,在建设用地上为 10 km^2 左右时网格维数达到 1.717,说明在该阶段路径 A 的分形绩效明显优于路径 B 与 C(见图 9).因此,米脂沟壑区城乡用地应首先以在川道内集聚发展为主,不宜向次沟蔓延,并以河谷中宜居的中、小县城为初期定位,总体用地形态应呈单中心团块状布局(空间示意如图 10 所示).



图10 单中心团块状构型

Fig. 10 Form of agglomeration

陕北黄土高原城镇发展水平较为落后,生产力、城镇化水平以及人居环境品质整体偏低,在城镇发展初期更是如此;破碎的丘陵沟壑地貌又导致人居环境点分散分布,相互间孤立且缺乏联系.为了尽快改变初级阶段的落后状况,应强调经济发展和空间增长,注重规模经济和集聚效应的发挥.当城镇集聚到一定程度后,便可依托已建成区的基础设施、公共服务设施等公共资源进行空间扩展^[10].因此,陕北黄土高原城镇在发展初期,且在有限的空间范围内,城镇集中建设的效益优于分散建设,不宜过早追求均衡式或分散化布局.当前陕北一些城镇的空间规划盲目追求大骨架、多中心的空间结构,对当地发展的现实条件和适宜性不够尊重.

3.2 扩展阶段应注重均衡协调发展

其次,建设用地面积在 $15 \sim 30 \text{ km}^2$ 范围时,

城乡用地发展路径 C 的用地形态网格维数高于另外两条路径中的用地形态维数,分维数保持在 1.64 左右,说明在该发展阶段路径 C 的分形绩效较为稳定,且优于路径 B 与 C(见图 9).因此,当米脂沟壑区城乡用地达到一定规模后,应逐渐鼓励川道集聚与次沟、支毛沟分散相结合的发展策略,合理引导建设用地在次沟中适度延伸,并以中等规模的地带性重要城镇为发展定位,总体用地形态呈“主轴+叶脉”状布局(空间示意如图 11 所示),形成川道与次沟整体并重的“有限分散化”模式,该布局形态符合米脂沟壑区的现实状况与发展需求.

从城镇发展过程而言,当陕北黄土高原城镇长期在河谷川道内发展,过度集聚的带状模式不但难以满足建设用地规模的需求,而且容易对资源和环境承载造成较大压力,最终使城镇自身的发展效率和效益大大降低.适度的分散布局将为陕北黄土高原城镇开拓新的空间格局,既缓解了川道建设开发的压力,又增加了新的发展节点.因此,陕北黄土高原城镇在城镇高速发展阶段仍需要依托集聚效应,但在河谷川道内适度集聚后,应逐渐沿两翼的沟道均衡扩展,既确保城镇规模合理扩张,又保持城镇内部结构的集聚优化.

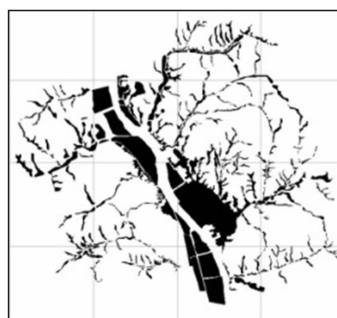


图11 主轴+叶脉状构型

Fig. 11 Form of minor axis with vein

3.3 成熟阶段应以末梢空间优化为宜

最后,建设用地面积在 $35 \sim 45 \text{ km}^2$ 范围时,城乡用地发展路径 B 的用地形态网格维数高于另外两条路径中的用地形态维数,尽管三者差距并不明显(见图 9),但仍说明在该发展阶段路径 C 的分形绩效较优.因此,当米脂沟壑区城镇发展到较为成熟的状态时,城乡空间建设宜重点优化次沟和支毛沟内用地,引导建设用地向两翼和末梢分散,逐渐发展为榆林市域城镇体系中的重要节点,总体用地形态应呈“组团强轴+网络”状(空间示意如图 12 所示),不得再占用川道中的耕地与生态用地.

当陕北黄土高原城镇集聚与扩散均达到较大规模后,土地、水等资源短缺、生态环境恶化等限制城镇发展的因素越来越凸显,在此阶段城镇向内集聚的动力逐渐弱化,分散的离心力开始成为主体.例如,工业企业或城镇建设开始寻找沟道末梢等低成本的用地空间,城乡体系中的远端职能开始发挥作用^[1].

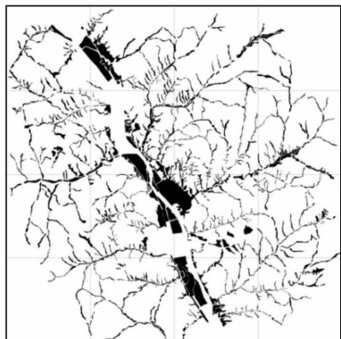


图 12 组团+网络状构型

Fig. 12 Form of groups with net structure

总之,城镇用地形态与经济水平、城镇发展状态相关,米脂沟壑区城乡建设用地在扩展过程中具有明显的阶段性特征,在不同发展阶段应由不同的城乡适宜形态主导,由此可组合形成米脂城乡总体用地形态发展的最佳路径。

4 结论

城镇的发展过程伴随着城镇空间结构的演变,并呈现出阶段性特征^[11].本文基于米脂沟壑空间体系模拟和构建了该流域城乡用地不同的发展路径,通过对城乡用地分形规律的研究,得出了与自然和谐相融的城乡建设用地适宜路径及其对应的最佳规模和合理形态.具体结论如下:

(1)陕北黄土高原城镇空间的发展应遵循分形优化规律及其阶段性特征.以米脂为代表的陕北黄土高原丘陵沟壑区人居环境在沿川道、沟道不断生长的过程中,由城乡用地分维数所反映的空间效率在不断变化,因此不同的发展阶段所对应的合理建设规模和适宜用地形态亦不同.

(2)集聚发展是不可逾越的阶段.陕北黄土高原丘陵沟壑区建设空间分散、整体基础设施体系较弱,如果一开始便沿枝状沟道跳跃式扩展建设,则会因大量新建城镇基础设施、服务配套等投入而增加启动难度,多中心的分散模式使老城与新增片区之间亦难以统筹协调.因此,米脂沟壑区建设用地规模在 $5\sim 15\text{ km}^2$ 的城乡发展起始阶段,城乡用地应在川道内呈单中心团块状集聚发展,不

宜向次沟延伸,从而达到较优的分形状态.

(3)在集聚发展的基础上应适度加强离散扩张性.陕北黄土高原丘陵沟壑区地貌破碎,城乡空间难以均匀扩展,城镇只能在河谷、沟道等有限空间内呈带状延伸.当城镇沿沟道过度延伸形成狭长的带形用地,则会产生河谷生态环境恶化、城市中心活力不足、交通拥堵等问题,导致内在发展阻力骤增.因此,米脂沟壑区建设用地规模在 $15\sim 30\text{ km}^2$ 的城乡扩展阶段,城乡用地应在川道和次、支沟内并重发展,形成川道集聚与次、支沟分散的协同形态,并以“主轴+叶脉”状这种高效分形的用地形态作为此阶段城镇空间的首选.

(4)城乡发展的远期可逐渐完善集聚与分散相结合的网络化空间模式.陕北黄土高原城镇在未来较长一段时间内仍将面临经济发展动力不足、人口聚集度不高、信息产业不够发达等问题,其尚不具备分散扩张布局的条件与能力.只有当城镇发展到较为成熟的阶段,才可以网络化的空间模式对城乡用地进行优化.因此,当米脂沟壑区远期发展到成熟阶段,建设用地规模达到 $35\sim 45\text{ km}^2$ 时,城乡用地宜以拓展次沟和支毛沟空间为主,加强用地结构向两翼和末梢分散,不能再侵占川道内的空间,总体用地形态呈“强轴+网络”状时可达到的较理想的分形状态.

参考文献 References

- [1] 田达睿. 基于分形地貌的陕北黄土高原城镇空间形态及其规划方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2016.
TIAN Darui. Studies on urban form and planning method in loess plateau of northern Shaanxi based on fractal landform[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016, 06:80-92.
- [2] 赵珂,冯月,韩贵锋. 基于人地和谐分形的城乡建设用地面积测算[J]. 城市规划, 2011, 35(7):20-23.
ZHAO Ke, FENG Yue, HAN Guifeng. Calculating the area of urban-rural construction land based on the humanearth harmonious fractal relations[J]. City Planning Riview, 2011, 7(35):20-23.
- [3] 綦伟琦. 城市设计与自组织的契合[D]. 上海:同济大学,2006,6:142.
QI Weiqi. urban design compatible with self organization[D]. Shanghai: Tongji University, 2006, 6:142.
- [4] 王中德,赵万民. 对西南山地城市公共空间系统复杂性与复杂问题的解析[J]. 中国园林, 2011(8):58-61.
WANG Zhongde, ZHAO Wanmin. Analysis of the complexity and complex problems of the public space

- system in southwest mountainous cities[J]. Chinese Landscape Architecture, 2011(8):58-61.
- [5] SALAT Serge. 关于可持续城市化的研究:城市与形态[M]. 陆阳,张艳,译. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
- SALAT Serge. Cities and forms:on sustainable urbanism[M]. LU Yang, ZHANG Yan, Translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [6] 陈群元,尹长林,陈光辉. 长沙城市形态与用地类型的时空演化特征[J]. 地理科学, 2007(2):273-280.
- CHEN Qunyuan, YIN Changlin, CHEN Guanghui. Spatia temporal evolution of urban morphology and land use sorts in Changsha[J]. Geographic Science, 2007(2):273-280.
- [7] BATTY M. Cities as Fractals:Simulating Growth and form[M]. Newyork:Springer Verlag, 1991.
- [8] 陈彦光,罗静. 城市形态的分维变化特征及其对城市规划的启示[J]. 城市发展研究, 2006(5):35-40.
- CHEN Yanguang, LUO Jing. A tentative theoretical in-terpretation of the fractal dimension of urban form [J]. Urban Studies, 2006(5):35-40.
- [9] 田达睿,周庆华. 分形视角下黄土高原沟壑区城乡用地形态研究——以陕北米脂研究区为例[J]. 城市规划, 2017, 41(4):33-40.
- TIAN Darui, ZHOU Qinghua. The suitable urban and rural form in the loess plateau from the perspective of fractal theory: the case study of mizhi [J]. City Planning Review, 2017, 41(4):33-40.
- [10] 惠怡安. 陕北黄土丘陵沟壑区川谷型城镇空间扩展模式及其开发策略研究[D]. 西安:西北大学, 2007.
- HUI Yian. Study on the town space developing mode and exploring strategy of northern Shannxi's plain-valley-city in loess hill and gully area[D]. Xian: North-west University, 2007. 5:67.
- [11] 刘军民,唐伊娟,郑建栋. 传统聚落人居环境保护的现状、问题及对策研究——以陕西省米脂窑洞古城为例[J]. 城市发展研究 2015, 22 (9):12-15.
- LIU Junmin; TANG Yijuan; ZHENG Jiandong. Situation, Question and Solution on Protection of Vernacular Settlements:Cave Dwelling in Mizhi County as Example[J]. Urban Development Studies, 2015, 22 (9): 12-15.

(编辑 沈 波)

(上接第 684 页)

- [10] 胡伟,闵弘,陈健,等. 大型原位直剪试验设备改进研制与应用[J]. 岩土力学. 2015, 36(3):905-912.
- HU Wei, MIN Hong, CHEN Jian, et al. Improvement of a large scale in-situ direct shear test apparatus and its application[J]. Rock and Soil Mechanics. 2015, 36 (3):905-912.
- [11] 周志刚,李文胜,宋勤德. 大型直剪仪试验的尺寸效应[J]. 长沙交通学院学报. 1999, 15(1):47-49.
- ZHOU Zhigang, WEN Shengli, SONG Qinde. The size of the large direct shear apparatus test effect[J]. Journal of changsha institute of transportation. 1999, 15(1):47-49.
- [12] 孙宗颀,徐放明. 岩石节理表面表面特性的研究及其分级[J]. 岩石力学与工程学报. 1991, 10(1):63-73.
- SUN Zongqi, XU Fangming. The study of the surface characteristics of the joint surface of rocks and its classification[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering. 1991, 10(1):63-73.
- [13] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安:陕西科技出版社, 1996.
- LIU Zudian. Mechanics and engineering of loess[M]. Xi'an:Shaanxi Science and Technology Press, 1996.
- [14] 米海珍,李如梦,牛军贤. 含水量对兰州黄土剪切强度特性的影响[J]. 甘肃科学学报. 2006, 18(1):78-81.
- Mi Haizhen, Li Rumeng, Niu Junxian. The influence of water content on shear strength characteristica of Lanzhou intact loess. [J]. Journal of Gansu Sciences, 2006. 18 (1):78-81.
- [15] JING L, STEPHANSSON O, NORLUND E. Study of rock joints under cyclic loading conditions[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1993, 26(3): 215-232.
- [16] 刘小军,王震,王铁行,等. 原状黄土节理抗剪强度试验研究[J]. 煤炭学报, 2017, 42(8): 2003-2010.
- LIU Xiaojun, WANG Zhen, WANG Tiehang, et al. Experimental study on shear strength of loess joints[J]. JOURNAL OF CHINA COAL SOCIETY, 2017, 42 (8): 2003-2010.

(编辑 沈 波)