

# 紧凑发展理念下山西省河曲县城市空间 增长边界划定研究

张海青, 尤 琪

(沈阳建筑大学建筑与规划学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘 要:**城市空间增长边界的划定对于缓解城市的无序扩张和实现城市健康稳定发展必不可少。以紧凑发展理念为指导,以水土流失严重、生态本底脆弱的河曲为研究对象,从城市的生态约束与扩展需求之间的矛盾出发,探索了河曲的紧凑增长边界。首先,通过引入生态适宜性评价模型构建河曲的综合生态安全格局,确定城市的“刚性”边界;其次,利用最小累计阻力模型模拟较为适宜城市增长的“弹性”范围;最后,将两个边界进行叠加拟合,并用分形维数对各边界紧凑度进行比较,择优选出最为紧凑的城市空间增长边界,以控制城市空间蔓延,提高土地集约利用水平,维护生态本底安全,引导河曲未来健康稳定发展。

**关键词:**河曲;城市空间增长边界;紧凑发展;刚性边界;弹性范围

**中图分类号:** TU984.11

**文献标志码:** A

随着我国城镇化进程的不断深入,城市建设取得巨大成就,同时,也出现了建设用地无序扩张、土地资源浪费、生态环境破坏等诸多问题,对城市的健康稳定发展造成了极大的威胁。在此背景下,2015年中央城市工作会议提出“要控制城市开发强度,划定城市生态保护红线,防止城市摊大饼式扩张,坚持集约发展,树立紧凑城市的理念”<sup>[1]</sup>。2019年5月,《中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》提出“在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的基础上,科学划定城镇开发边界,强化底线约束,为可持续发展预留空间”<sup>[2]</sup>。

由此可见,科学合理地划定城市空间增长边界、建设紧凑型城镇,现已经成为化解城市发展困境的重要举措之一。

## 一、城市空间增长边界划定相关理论与研究方法

### 1. 紧凑发展及增长边界相关理论概述

#### (1) 紧凑发展理论

紧凑发展理论由精明增长和紧凑城市理论发展而来,主张通过紧凑有序的城市外部边界和城市内部结构来遏制城市的无序蔓延,实现城市的健康可持续发展,是一种提倡土地资源高效集约利用、实现城市可持续发展的新思维。

#### (2) 城市空间增长边界理论

城市空间增长边界是西方国家应对城市蔓延的重要措施,旨在遏制城市无序扩张所引起的一系列社会和环境问题。城市空间增长边界理论希望通过划定增长边界,把城市

的开发建设限制在资源环境承载能力范围内,是确保城市未来可持续发展的底线思维<sup>[3]</sup>。

笔者将增长边界的概念界定为城市“刚性”与“弹性”两重含义,其中,“刚性”增长边界主要从维护城市生态安全的角度出发,是确保城市建设发展的基本底线和终极规模,具有不可操作性;“弹性”增长边界从城市增长动力角度出发,是预期性边界,反映不同时期城市空间增长的动态边界,具有阶段性特征。

2. 城市空间增长边界划定方法探讨

当前,对于城市空间增长边界划定方法的探讨较多,但尚未形成统一的方法。我国对城市空间增长边界的研究主要从生态敏感区控制与自然资源保护的逆向思维出发,构建限建因素指标体系,但缺乏城市用地需求适宜性视角的研究,不能反映城市用地扩展的客观社会经济规律,必须加强对城市扩展的内在机制研究,构建限制与需求兼顾的增长边界划定方法。

笔者采用“先底后图”的研究方法划定增长边界,引入生态适用性评价的方法,将资源、生态承载能力作为城市用地选择的外部生态约束条件,确定城市未来的扩张极限。同时,考虑城市内部的扩张推动作用,结合城市未来发展方向、发展潜力等方面的综合影

响,最终探寻出限制与需求兼顾的城市空间增长边界。

二、河曲空间边界的现状分析

河曲县位于晋西北典型黄土丘陵沟壑区,当地生态环境脆弱,地形破碎,水土流失严重,是我国生态安全问题最为严重的区域之一。近年来,随着河曲能源产业的迅速发展,城市框架不断拉大,城市规模迅速扩张,对城市的生态安全造成了严重影响,威胁着城市的健康稳定发展。同时,城市发展过程中也存在城市建设无序、空间布局散乱等问题。在此背景下,以紧凑发展理念指导河曲空间增长边界集约紧凑发展尤为必要。

笔者采用定量与定性相结合的方式对河曲的现状空间边界进行分析,剖析其空间边界存在的问题。

1. 现状空间边界的定性分析

首先,通过定性比较分析 2005—2019 年河曲县城建设用地演化情况(见图 1)发现,十几年间,随着城市不断建设发展县城的框架不断拉大。对比 2005 年和 2010 年河曲县城的卫星影像图可以看出,城市建设用地呈东西向布局,城市空间扩展主要以低速填充式为主;对比 2010 年和 2015 年河曲县城的影像图可以看出,随着城市北部路网的不断

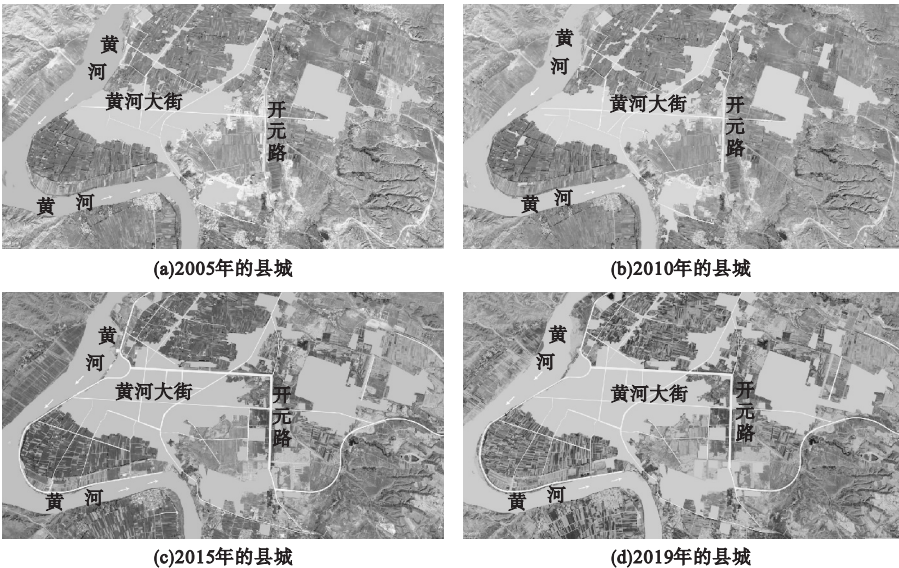


图1 河曲县城用地演化情况

建设与完善,城市向北侧和东侧扩展速度加快,沿东侧开元路两侧进行了大规模建设,以移民安置、棚户区改造为主的东部新区逐步形成,位于城市东端的工业片区也初步形成(见图 2);对比 2015 和 2019 年的卫星影像图可以发现,由于开元路两侧快速扩张,城市边界不断向外扩展,城、村混杂建设现象也更为严重,最终城市空间边界破碎模糊。

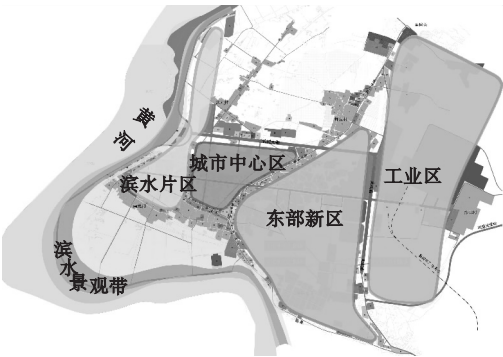


图 2 河曲县城现状功能分区

2. 现状空间边界的定量测算

对空间边界进行定量分析主要基于分形理论,城市紧凑度的分形研究一般有 3 种,分别为边界维数法、半径维数法和网格维数法。其中,边界维数法运用城市边界线的周长和面积关系进行计算,常作为测算城市边界线紧凑程度的重要指标<sup>[4]</sup>。其测算式为

$$C = 2 \sqrt{\pi A / P}$$
 (1)

式中: $C$  为紧凑度; $P$  为城市轮廓线周长; $A$  为城市用地面积。紧凑度的取值为 0~1,其值越大,紧凑度越高,表示城市形态也越稳定<sup>[5]</sup>。

通过对 2008、2019 年河曲边界进行定量测算(见表 1)发现,随着城市建设规模不断扩大,空间边界的紧凑度不增反降,紧凑度值由 2008 年的 0.212 下降至 2019 年的 0.190。这表明随着河曲东部新区与城东工业区的建设发展,城市边界呈现蔓延式、不紧凑的发展态势。

表 1 河曲空间边界紧凑度测算

边界年份	面积/m <sup>2</sup>	周长/m	紧凑度
2008	5 791 964	40 314	0.212
2019	8 667 109	54 784	0.190

三、紧凑发展理念下增长边界划定的技术路线

城市空间增长边界作为遏制城市无序蔓延的约束界线,在紧凑发展理念的指导下,其核心内涵主要表现在空间边界的紧凑及内部用地布局的集约。

笔者针对河曲空间边界蔓延、离散的扩张态势,从刚性和弹性两方面入手,对河曲紧凑增长边界进行探索(见图 3)。刚性增长边界是保证城市生态安全的基本底线,应引入生态适宜性评价模型,探讨河曲的生态安全格局,从而确定河曲的刚性增长边界;同时,根据城市的发展需求,选取生长因子,并通过引入最小累计阻力模型对城镇建设用地进行模拟预测,划定城市的弹性边界。最后,将“刚性”和“弹性”边界进行叠加拟合,并通过分形网格维数测算各条空间增长边界线的紧凑度值,综合划定紧凑的空间增长边界<sup>[6]</sup>。

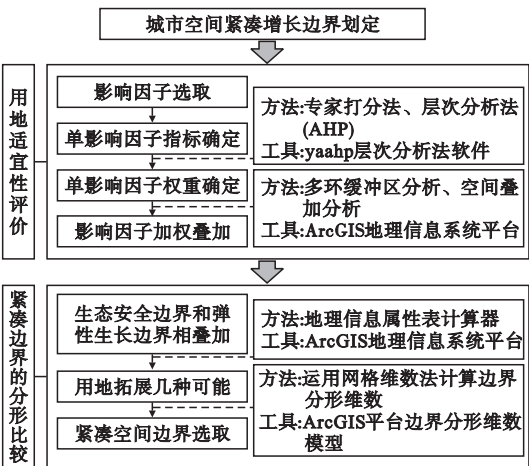


图 3 空间增长边界的技术路线

四、基于紧凑发展理念的河曲城市空间增长边界划定

1. 河曲生态安全边界划定

(1) 生态适宜性评价模型引入

为遏制城市边界的无序蔓延、保护县城周边脆弱的生态环境,笔者引入生态适宜性评价模型,确定城市的生态安全边界。首先,从河曲生态现状出发选取生态因子;其次,对单因子进行分析评价并确定权重;然后,通



过在地理信息系统 (ArcGIS) 平台上对各单因子进行多缓冲区分析,得出单因子的图示化影响范围。最后,利用 ArcGIS 平台的栅格化及栅格计算器功能,对各个单因子进行加权叠加,得到综合生态安全格局图。综合的生态适宜性评价式为

$$S_{ij} = \sum_{K=1}^N W(K) \times C_{ij}(K)$$

(2)

式中: $S_{ij}$ 为第  $(ij)$  网络上的综合生态适宜性; $K$ 为生态因子, $K=1,2,\cdots,N$ ; $W(K)$ 为第  $K$ 个生态因子的权重; $C_{ij}(K)$ 为第  $K$ 个生态因子在第  $(ij)$  网络上的适宜性分值<sup>[7]</sup>。

(2)生态因子选取及指标确定

笔者从河曲的生态本底现状出发,选取生态因子,从保护城市的重要生态敏感区与防范地质灾害角度出发,选取生态风险因子,包括地质灾害风险、地表径流影响、洪灾风险 3 项;根据生态环境遭受外界干扰的敏感性与修复的难易程度,选取生态敏感性因子,包括坡度、坡向、地表覆盖类型、河流、工业等 5 项。

结合河曲空间发展现状及相关学者经验,对各生态因子进行合理分级(5,4,3,2,1),等级越高,表明该因子的生态安全性越高。并依次对各因子的影响分布进行层级划分,例如:坡度因子的 5 级,代表地形坡度在  $0^{\circ} \sim 8^{\circ}$  时,该范围的用地稳定性较好,土壤侵蚀较小,是城市开发的理想用地(见表 2)。

表 2 生态因子评价分级

类型	因子名称	因子权重
生态敏感因子	坡度	0.286 7
	坡向	0.035 6
	土地覆盖类型	0.155 6
	工业	0.106 5
	河流	0.082 5
生态风险因子	地表径流影响	0.028 4
	地质灾害风险	0.214 7
	洪灾风险	0.090 2

在对因子进行层级划分后,利用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 确定各影响因子的权重,并根据因子属性建立包括目标层、中间层和底层等不同层级的递进关系结构;再将因子的重要程度进行两两比较,构建判断矩阵;最后,运用方根法计算各

因子权重(见表 3)<sup>[8]</sup>。

表 3 生态因子权重评分

评价因子	分类/ $^{\circ}$	分级
坡度	0 ~ 8	5
	9 ~ 15	4
	16 ~ 25	3
	26 ~ 40	2
	40 以上	1

(3)生态安全格局构建

在确定因子权重后,利用 ArcGIS 平台进行缓冲区分析,并按各单因子的等级划分标准,进行评价打分,得到各单因子的评价模型(见图 4)。将各因子评价结果由矢量文件转化为  $30 \times 30$  的栅格文件,与权重进行叠加,得到最终的综合生态安全格局图(见图 5)。最终生态安全性取值范围为 2.72 ~ 5.00,根据像元值明显变化节点重新进行分类,将其划分为 5 个层级,层级越高,说明该范围内生态安全性越高。

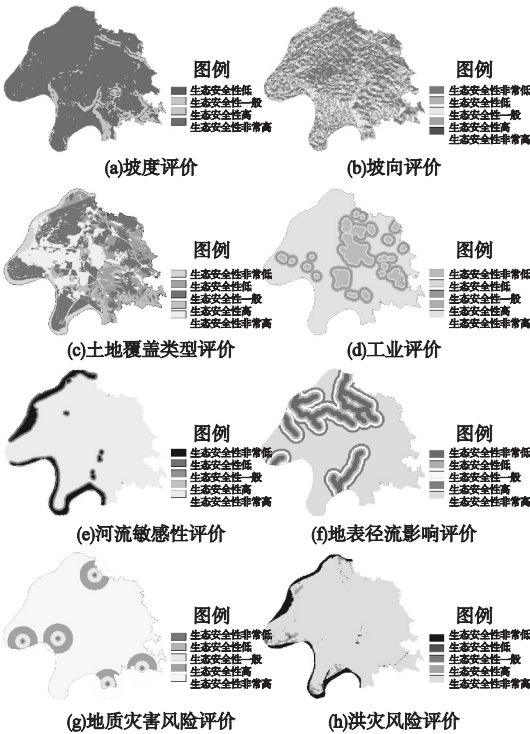


图 4 单因子评价

(4)生态安全边界形成

分析生态安全格局的内涵可知,第一等级是城市建设发展中的重度保护区,生态安全性极低,应严禁任何建设活动;第二等级为

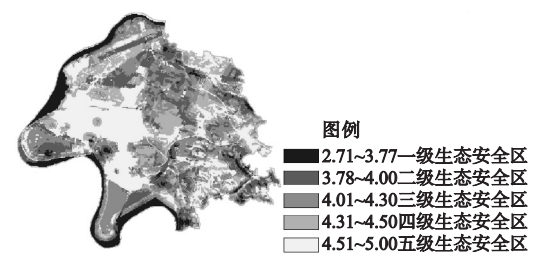


图 5 综合生态安全格局

生态安全性较低的区域,生态敏感性较高,应严格控制该区域的建设活动,属于限建区;第三等级介于适建和不适建之间,生态安全性一般;第四等级为生态敏感性较低而安全性较高的区域,适合城市的建设活动;第五等级的生态安全性极高,不受任何地质灾害的影响,是最适合人类建设活动的区域。

第三等级介于适建和不适建之间,是城市向外扩张中不可逾越的底线,因此将其定义为生态安全边界。同时,为保证城市边界的连续性,对边界进行修正,最终得到修正后的平滑曲线(见图 6)。

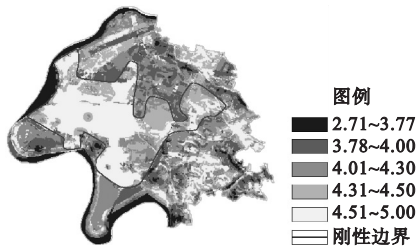


图 6 生态安全边界

2. 河曲弹性生长边界划定

从城市规模扩张的需求出发,划定城市弹性生长边界,首先,选出对城市扩展影响较大的因子;其次,对各生长因子的指标及权重进行确定;最后,引入最小累计阻力模型,对城市建设用地规模进行模拟预测,划定城市弹性生长边界。

(1) 生长因子选取

选取 4 类对城市用地增长影响较大的因子,分别为交通适宜性类、城市氛围类、公共服务设施类和生态因子类。其中,交通适宜性选取城市干道、客运站和省道;公共服务设施类主要选取医院、学校及主要文化设施作为评价对象;城市氛围主要选取城市现状建成区影响因子;生态因子作为城市扩张的阻

力因子,选取了叠加生成的综合生态安全格局。

(2) 生长因子指标确定

城市生长因子评价过程中,将阻力值作为评价城市扩张难易程度的指标,阻力值越小,越有利于城市的扩张;反之,阻力值越大,城市扩张难度也越大。要从城市的现状出发确定阻力值的大小,在将各生长因子评价分级的基础上,通过专家打分确定各因子的重要性,并借助 yaahp 软件平台,采用层次分析法得出各因子权重(见表 4)。

表 4 生长因子权重

类型	评价因子	因子权重
交通适宜性	客运站	0.072 0
	省道	0.216 2
	城市干道	0.169 9
城市氛围	城市建成区	0.175 2
公共服务设施	医院	0.026 0
	学校	0.028 0
生态因子	生态安全格局	0.312 7

在评价结果中,生态因子作为城市扩张的限制要素,其权重最大,表明生态安全在城市对外扩张过程中占据首要地位,城市发展要注重防范地质灾害并注重减少对生物和环境造成的破坏;其次,重要的因子为交通适宜性和城市氛围;而公共服务设施的影响力相对于前三者来说较小。

(3) 弹性生长边界划定

确定各因子的权重后,首先利用 GIS 技术平台对 6 个单因子进行欧氏距离分析;其次,对各因子进行重新分类,并利用栅格计算器工具对其进行加权总和,叠加出城市增长综合阻力面(见图 7);最后,将区域内的建成区作为“生长源”,进行最小累计阻力模型运算,得出城市内生动力下的用地增长模拟图<sup>[9]</sup>(见图 8)。

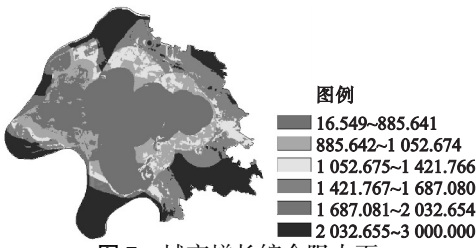


图 7 城市增长综合阻力面

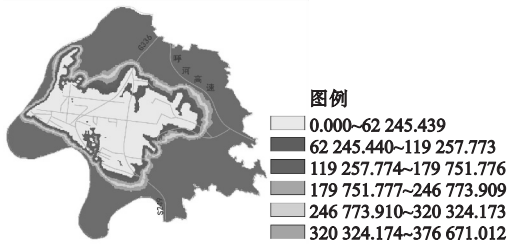


图 8 河曲用地增长模拟

由图 8 可知,东部新区由于拥有足够的空间和良好的交通,发展速度较快,在原有建成区基础上得到充分的扩张,并进一步向南北两侧延伸,逐步与呼河高速相接;而西部老城区,受西侧黄河以及南北基本农田的限制,整体发展空间较小。

3. 基于紧凑发展理念的增长边界划定

(1)弹性与刚性边界叠加

生态安全边界是区域发展的终极规模和底线,在边界叠加中占据主导地位,通过保障

城市生产、生活不受生态破坏与环境污染等,维护城市生态安全,保证经济社会稳定发展。

依据以上原则,将生态安全边界和弹性生长边界进行叠加拟合,得到叠加后的 6 条边界(见图 9)。第一条边界在现状建成区基础上扩张较小,城市内部建设主要以空闲地的开发利用为主;第二条边界向老城区北侧进行了少量扩张;扩张到第三条边界时,南侧边界已接近生态安全边界,北侧边界继续向北扩张;扩张到第四条边界时,东部新区和旧城区北侧已接近生态安全边界,南侧已发展至生态安全边界;第五条边界在第四条的基础上进一步扩张,老城区和东部新区已扩展至生态安全边界,工业片区东南方向以及东北方向扩展速度较慢;到达第六条边界时,除东部工业区还有少许扩展空间外,其他片区用地都已接近生态安全边界。

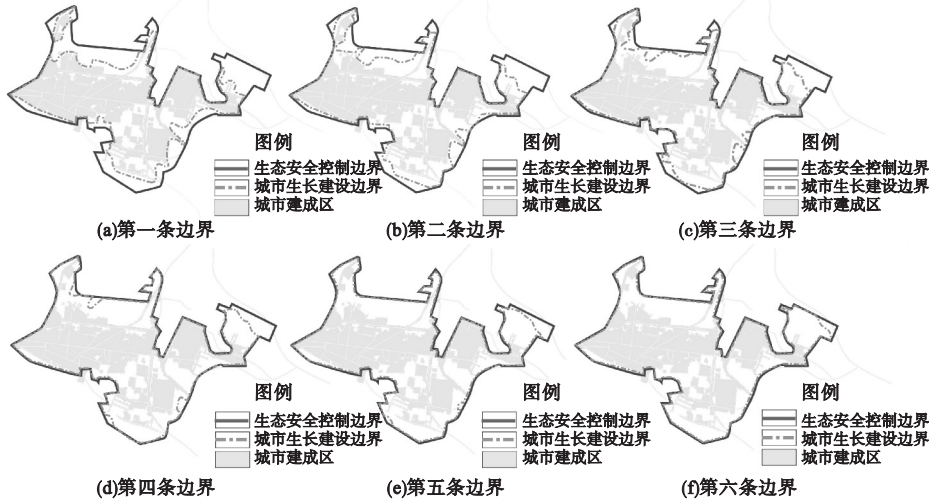


图 9 边界叠加

(2)空间增长边界调整

对叠加后的边界进行分析可知,未来的城市空间增长边界还受到城市发展潜力、发展方向等因素的影响,笔者综合考量以上要素,对空间边界进行调整。从城市未来发展方向上看,现状建成区以西为黄河河谷和河漫滩,已无发展余地;向南为基本农田建设区,适宜建设用地相对较少;未来城市以向北和向东发展为主。从城市未来发展潜力方面考虑,目前,城市工业重点以能源及高耗能工业产品加工为主,总体上发展较为缓慢,且在

开元路以东、黄河大街以南区域有大量未利用工业用地,后期发展首先以现状闲置用地的补充完善为主,短期内东侧发展较为缓慢。

综上所述,河曲整体发展方向以向北和向东发展为主,且开元路以东工业片区短期内用地拓展较为缓慢。而第四条边界北侧和南侧已发展至生态安全边界,仅在东侧工业片区上有少量用地,笔者选取第一条、第二条、第三条和第四条边界线,进行比较择优。

(3)紧凑空间增长边界比较择优

笔者运用网格维数法理论对边界线进行



紧凑度测算,再比较边界线的分形维数值,选出最紧凑的边界。

① 网格维数法的引入。目前,网格维数法是城市研究中应用最广泛的一种维数,它主要利用其测度边界紧凑性,从而选出紧凑边界,分形维数的取值范围为1.0~2.0。

我国学者陈彦光<sup>[10]</sup>对国内外城市土地利用形态和结构进行了分形研究,提出分形维数的绝对值 $D$ 在1.71附近比较理想;当 $2>D>1.71$ 时,城市功能分区不够明显,城市处于无序的状态,会削减城市的功能强度;当 $1.71>D>1$ 时,分形维数的绝对值越接近1.71,表明城市边界线更为紧凑,城市建成区的内部形态也更为稳定。反之,城市建设用地边界越复杂、破碎。

② 分形维数的测算。运用网格维数法测算选出4条边界线的分形维数,进而判读各条边界线的紧凑程度。首先,在GIS平台中建立边长为50~500 m,间隔50 m的正方形网格,将用地边界线与正方形网格相叠加,统计重合的正方形网格数,并分别对网格边长、重合的网格数取以 $e$ 为底的对数。之后在表格中将两组对数值处理为点状图,并进行线性拟合,最终得到的拟合方程系数即为分维数值。以第一条边界为例进行测算(见表5、图10),得到线性方程 $y=-1.5522x+13.948$ ,拟合度 $R^2=0.9904$ , $R^2>0.9$ 则表明方程拟合程度高。 $x$ 系数的绝对值1.5522即为第一条边界线的分维数值。

表5 分形网格维数测算			
网格边长 $n/m$	网格数 $m/\text{个}$	$\ln(n)$	$\ln(m)$
50	3 215	3.91	8.08
100	803	4.61	6.69
150	419	5.01	6.04
200	264	5.29	5.58
250	202	5.52	5.31
300	169	5.70	5.13
350	139	5.86	4.93
400	112	5.99	4.72
450	89	6.11	4.49
500	78	6.21	4.36

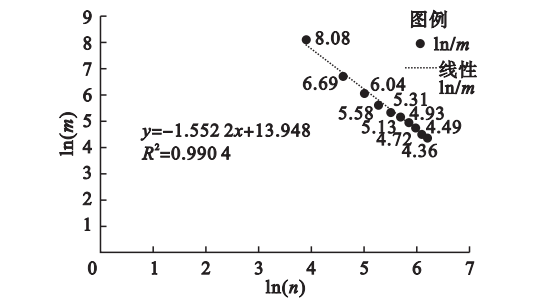


图10 边界维数线性拟合

同理,对其余3条用地边界线进行测算,得出第二条边界线对应的直线拟合方程为 $y=-1.5224x+14.355$ , $R^2=0.99$ ( $R^2>0.9$ ),其边界的分维数值为1.5224;第三条边界线对应的直线拟合方程为 $y=-1.5698x+14.19$ , $R^2=0.99$ ( $R^2>0.9$ ),其边界的分维数值为1.5698;第四条边界线对应的直线拟合方程为 $y=-1.5711x+13.846$ , $R^2=0.99$ ( $R^2>0.9$ ),其边界的分维数值为1.5711(见表6)。

表6 城市各条用地边界线的紧凑度值统计	
边界线	边界分维数值
第一条	1.552 2
第二条	1.552 4
第三条	1.569 8
第四条	1.571 1

③ 紧凑增长边界的确定。由分形理论研究内容可知,边界分形维数值能显示城市边界的复杂程度和紧凑性。由分形维数值统计结果可知,第四条边界线的维数值最接近理想值1.71,其边界形态最为紧凑,其次为第三条边界线,而第二条边界紧凑度最低。因此,将第四条边界作为河曲县的紧凑增长边界,引导城市空间紧凑集约发展。

五、结 语

划定城市空间增长边界是抑制城市盲目增长、实现城市紧凑发展的有效手段。笔者从河曲城市边界的现状问题出发,在紧凑发展理念的指导下,构建了适用于河曲城市空间增长边界的划定模型,确定了代表城市终极增长规模的生态安全边界和具有动态性及引导性的弹性生长边界,并将两边界进行叠

加拟合,最终,划定河曲县最为紧凑的城市空间增长边界。空间增长边界划定方法也存在不足之处,在城市空间增长边界划定过程中还需要综合考虑城市经济、人口等诸多要素的影响,在后续研究中需要进一步加强。

参考文献:

[1] 新华社. 中央城市工作会议 [EB/OL]. (2015 - 12 - 22) [2020 - 09 - 10]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2015 - 12/22/c\\_1117545528.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2015 - 12/22/c_1117545528.htm), 2015 - 12 - 22.

[2] 中共中央国务院. 关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[M]. 北京:人民出版社,2019.

[3] 胡玉洁. 洛川县城空间形态节地模式研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.

[4] 吴左宾,刘业鹏. 紧凑理念下的米脂城市空间增长边界划定[J]. 规划师,2017(3):144 - 148.

[5] 程功. 神木县锦界镇空间布局节地模式研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.

[6] 姬一丹. 节地导向下定边县城空间形态优化研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2017.

[7] 陈彰花. 清涧县城空间结构优化研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.

[8] 周锐,王新军,苏海龙,等. 基于生态安全格局的城市空间增长边界划定:以平顶山新区为例[J]. 城市规划学刊,2014(7):57 - 63.

[9] 关永飞. 古浪县中心城区增长边界设定研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.

[10] 陈彦光. 分形城市与城市规划[J]. 城市规划,2005,29(2):33 - 40.

Study on Boundary Delimitation of Urban Spatial Growth in Hequ City under the Concept of Compact Development

ZHANG Haiqing, YOU Qi

(School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** The delimitation of urban spatial growth boundary is essential to alleviate the disorder expansion of cities and realize the healthy and stable development of cities. Under the guidance of the concept of compact development, this paper takes Hequ County, which has serious soil erosion and fragile ecological background, as the research object. Starting from the contradiction between urban ecological constraints and expansion demand, the author explores the compact growth boundary of Hequ County. Firstly, the comprehensive ecological security pattern of Hequ County is constructed by introducing the ecological suitability evaluation model to determine the “rigid” boundary of the city; secondly, the least cumulative resistance model is used to simulate the more suitable “elastic” range of urban expansion; finally, the two boundaries are superimposed and fitted, and the compactness of each boundary is compared with fractal dimension, and the most compact one is selected in order to control the urban spatial spread, improve the level of intensive land use, maintain the ecological background security, and guide the healthy and stable development of Hequ in the future.

**Key words:** Hequ; boundary of urban space growth; compact development; rigid boundary; elastic range

(责任编辑:郝 雪 英文审校:林 昊)