

地理科学  
*Scientia Geographica Sinica*  
ISSN 1000-0690, CN 22-1124/P

## 《地理科学》网络首发论文

题目：汾河流域城乡聚落体系发展潜能测度及空间模式探究  
作者：侯志华，刘敏，樊晓霞，贾宇平  
收稿日期：2019-07-29  
网络首发日期：2021-01-04  
引用格式：侯志华，刘敏，樊晓霞，贾宇平. 汾河流域城乡聚落体系发展潜能测度及空间模式探究[J/OL]. 地理科学.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1124.P20201231.1608.016.html>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

侯志华, 刘敏, 樊晓霞, 等. 汾河流域城乡聚落体系发展潜能测度及空间模式探究 [J]. 地理科学, 2020, 40: 1978-1989. [Hou Zihua, Liu Min, Fan Xiaoxia et al. Development potential and spatial pattern of urban-rural settlement system in the Fenhe River Basin. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40: 1978-1989.] doi:10.13249/j.cnki.sgs.2020.12.004

# 汾河流域城乡聚落体系发展潜能测度及空间模式探究

侯志华<sup>1,2</sup>, 刘敏<sup>1,2</sup>, 樊晓霞<sup>1</sup>, 贾宇平<sup>1</sup>

(1. 太原师范学院地理科学学院, 山西 晋中 030619;

2. 太原师范学院山西省城乡统筹协同创新中心, 山西 晋中 030619)

**摘要:** 以 11 188 个自然聚落斑块为研究对象, 基于场强模型, 定量测度汾河流域城乡聚落体系发展潜能, 借助 GIS 技术和地理探测器模型, 分析其空间格局特征及驱动因素, 进而探讨流域城乡融合发展空间模式。结果表明: ① 城乡聚落斑块发展潜能差异显著, 且空间分布极不平衡; 纵向上中游流域高于下游流域高于上游流域, 横向上河谷盆地区高于周边缓丘区高于两侧山丘区。② 聚落斑块发展潜能具有正向空间自相关性, 高值斑块聚类显著; 具有空间异质性特征且方向性明显, 汾河主河道方向联动效应最强, 空间联系最紧密; 存在局域热点区, 并呈现“主核-廊道-次核”的空间结构形态。③ 自然基础、社会经济发展水平和区位条件共同影响着城乡聚落体系发展潜质及空间结构形态; 融合发展采取非均衡增长路径, 市、县、镇、村全局考虑, 构建“强化核心点-培育发展轴-扶持特色区-带动全流域”的逐层推进式空间发展模式。

**关键词:** 城乡聚落体系; 聚落体系发展潜能; 场强模型; 汾河流域

**中图分类号:** F291.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2020)X-1978-12

为彻底解决“三农问题”, 根本破解城乡二元结构矛盾, 在党的“十六大”提出的“统筹城乡经济社会发展”和“十七大”提出的“城乡经济社会发展一体化”基础上, “十九大”将“乡村振兴”和“城乡融合发展”提高到国家战略高度, 标志着中国城乡发展进入新的历史时期。在新时代背景下, 推动城乡融合发展成为中国学术界广泛讨论的重点和焦点问题。构建科学合理的城乡聚落体系, 深入探讨其发展潜能和空间发展模式, 是实现城乡融合发展的重要切入点和抓手, 对推动城乡聚落优化、重构具有重要的理论和实践意义。

城乡聚落体系是指一定地域范围内, 一系列不同大小、不同等级的城乡聚落, 包括城市、集镇、

乡村、部落等各种形式, 按照一定组合方式, 共同构成的既相互独立、又紧密联系的有机整体<sup>[1]</sup>。在较长时期的城乡二元结构城市偏向发展战略<sup>[2]</sup>影响下, 城镇在城乡聚落体系研究中占据主导地位, 学术研究也以城镇体系为主, 并在理论研究和实证分析方面取得了较为丰硕的成果。城镇体系研究对象主要为城市、城镇、城市群, 研究内容包括等级划分<sup>[3]</sup>、结构特征<sup>[4]</sup>、布局优化<sup>[5]</sup>、时空演变<sup>[6,7]</sup>、驱动因素<sup>[8]</sup>等, 研究尺度多是国家<sup>[7,9]</sup>、区域(跨省)、省域<sup>[5]</sup>、地区(跨市)<sup>[4]</sup>等大中尺度。2000年2月14日建设部发布了《村镇规划编制办法》(试行), 国内学者掀起了村镇体系规划建设研究的小浪潮, 但以定性分析为主; 近年来, 随着遥感与 GIS 技术

**收稿日期:** 2019-07-29; **修订日期:** 2020-02-04

**基金项目:** 山西省社会科学界联合会重点课题(SSKLZDKT2020126)、山西省高等学校科技创新项目(201802101)、山西省哲学社会科学规划课题(晋规办[2017]2号)资助。[Foundation: Key Research Projects of Shanxi Federation of Social Sciences (SSKLZDKT2020126), University Technological Innovations Project of Shanxi (201802101), Regulated Research Projects of Philosophy and Social Science in Shanxi (Shanxi Regulation Office [2017]2).]

**作者简介:** 侯志华(1981-), 女, 山西阳泉人, 副教授, 主要从事遥感与 GIS 在资源环境与城乡规划方面应用研究。E-mail:houzhihua1008@126.com

**通讯作者:** 刘敏。E-mail:liumin2279812@163.com

以及大数据等研究手段的不断推广,开始出现乡村聚落的规模等级、空间分布、演化特征、驱动机理等的定量研究<sup>[10-12]</sup>,但大多是就村镇论村镇,与城市的结合不够紧密。关于城乡聚落体系的学术研究也存在明显的二元分裂特征,城镇体系研究中没有细化到村落,村镇体系研究中又忽视了城市。当今,正是城乡发展转型重构阶段<sup>[13]</sup>,城乡聚落将日益形成一个相互交叉、相互渗透、相互支撑的有机整体,单纯的城镇体系研究或割裂的城乡聚落研究已经难以适应新形势下的城乡发展要求<sup>[14]</sup>。一定地域范围内城-镇-村的整体分布特征、相互作用、发展潜能、空间模式等问题亟需深入研究。

城乡空间作用量化是城乡聚落体系发展潜能及空间模式研究的基础环节和关键内容。1942年Zipf<sup>[15]</sup>首次将万有引力定律引入城市体系,建立了城镇空间相互作用的理论基础。之后,Perroux的增长极理论<sup>[16]</sup>、Ullman的空间相互作用理论<sup>[17]</sup>、Hägerstrand的空间扩散理论<sup>[18]</sup>等的提出与建立,为城镇空间联系研究提供了较为充分的理论依据。国内地理学者则更侧重于实证性研究,常用的方法包括重力模型<sup>[19]</sup>、断裂点算法<sup>[20]</sup>、场强模型<sup>[21]</sup>、Voronoi图<sup>[22]</sup>等,而且在区域城市、城镇之间或与其腹地之间的空间作用与功能联系的案例比较丰富,但在村镇方面相对较弱,尤其是城乡聚落体系的总体分析还鲜少见到。对空间作用力定量评价时,受限于人口、经济等统计数据的可获取性,评价对象和研究区域多为行政单元,但行政单元是一个为便于管理而人为划定的地域单元,事实上,很多情况下人类活动会打破这种“行政壁垒”,故将研究对象聚焦于自然聚落斑块,研究区域选定为自然地域,更有助于客观、科学地揭示城乡聚落体系规模、分布、发展的空间分异特征。

流域是一个自然形成的独特地域单元,物理边界明显,自然资源相通、社会文化相近、经济命脉相连,与一般行政区域相比,流域城乡聚落体系及其空间结构的关联性、整体性更强,规律性更显著<sup>[23]</sup>。汾河流域是黄河子流域之一,位于山西省中部偏西南地区,约占全省总面积的1/4,是山西省的主要生态功能区、人口密集区、粮食主产区和经济发达区。优越的自然条件使汾河流域不仅是山西省的政治、经济、文化核心区,也成为连接渤海经济区与西部地区的重要区域。因此,本文以汾河流域为研究案例,以各类城乡聚落自然斑块为研

究对象,基于可达性刻画的场强模型,定量测算城乡聚落体系发展潜能及空间格局特征,利用地理探测器模型分析影响因素,并在此基础上探讨城乡聚落融合发展空间模式,对区域城乡一体化建设、空间规划、经济发展布局优化等具有一定的科学参考和现实意义。

## 1 研究数据与方法

### 1.1 研究数据

① 城乡聚落斑块数据。以2019年Landsat8陆地卫星OLI影像为主要数据源,经过几何校正、镶嵌与裁剪、GS光谱锐化融合等处理后,通过人机交互目视解译的方法,得到初步聚落斑块数据,并参照Google Earth地图,结合野外调查,将解译数据中的聚落斑块划分为城市、建制镇、村庄3种城乡土地类型,最后对所有聚落斑块形态和分布进行逐一校验,得到研究区较为准确、科学的城乡聚落斑块矢量图。若一个自然聚落斑块对应实际中2个及以上城乡土地类型,则按照面积占优法确定其归属类型。最终,划定5类城乡聚落斑块:即省会城市级(太原市建成区)、一般地市级(晋中市和临汾市的建成区)、县级(县级政府驻地的建成区)、镇级(镇级政府驻地的建成区)和乡村级(一般农村居民点)。

② 交通数据。根据山西省地图<sup>[24]</sup>交通现状,经过地理配准与矢量化后,得到研究区铁路、高速公路、国道、省道、县道等交通路网矢量图,并结合遥感影像补充乡村道路。

③ 社会经济统计数据源于文献[25~27]。

④ 高程、坡度、坡向数据。利用30m DEM表面分析得到,来源于地理空间数据云的ASTER GDEM V2数据(<http://www.gscloud.cn>)。

⑤ 河流、水库等水系要素信息。基于遥感影像并参考汾河流域水系图<sup>[28]</sup>矢量化得到。

⑥ GDP栅格尺度数据。基于2019年NPP/VIIRS夜间灯光数据反演得到,来源于美国国家海洋与大气管理局的NGDC网站(<https://www.ngdc.noaa.gov/>)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 场强模型

1) 聚落斑块发展潜能值( $G$ )测算。聚落斑块发展潜能值,即斑块处所有栅格的综合城市空间场能平均值,需借用房强模型测算。场强模型源于物理学概念,是研究中心向外围辐射力逐渐衰减的典型范式<sup>[29]</sup>,在城镇空间体系研究中得到了广

泛应用。目前,多数学者采用  $K$  阶数据场模型刻画城市空间场能<sup>[30]</sup>,强调了  $K$  个中心城市对区域空间任一点场强辐射的综合作用,计算公式为:

$$G_g = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{ij}, F_{ij} = \sum_{k=1}^K (E_{ij}^k \times \lambda_k), E_{ij}^k = \frac{Z_k}{(D_{ij}^k)^\alpha} \quad (1)$$

式中,  $g$  为任意聚落斑块,  $G_g$  为聚落斑块  $g$  的发展潜能;  $m$  和  $n$  分别为聚落  $g$  包含栅格的行数和列数;  $(i, j)$  表示空间任一点的位置;  $F_{ij}$  为任一点  $(i, j)$  位置的综合空间场能;  $E_{ij}^k$  为中心城市  $k$  在  $(i, j)$  的场强;  $\lambda_k$  为中心城市  $k$  场强的作用权重,这里省会太原、一般地市级、县级中心城市,  $K$  分别取 3、2、1;  $Z_k$  为中心城市  $k$  的综合带动能力,采用结节性指数计算;  $D_{ij}^k$  为中心城市  $k$  与任一点  $(i, j)$  之间的距离,采用区域可达性时间成本反映;  $\alpha$  为可达性成本摩擦系数,一般取值为 1.0<sup>[31]</sup>。

2) 中心城市综合实力结节性指数 ( $Z$ )。城市结节性指数是表征城市综合实力的指标,较为主流的测算方法是先依据城市经济、社会发展、科技教育、公共服务、生态环境等重点维度构建指标体系,进而采用因子分析法进行测算,基本评价单元多为地级城市<sup>[32]</sup>。本文重点研究县级及以上城市的辐射强度,在参考前人研究基础上,同时考虑资料获取的难易程度,共选取了 11 个指标,即:地区生产总值  $X_1$ /万元、二三产业产值比重  $X_2$ %、固定资产投资总额  $X_3$ /万元、社会消费品零售总额  $X_4$ /万元、城镇人口  $X_5$ /万人、人均 GDP  $X_6$ /元、在岗职工平均工资  $X_7$ /元、单位从业人员  $X_8$ /人、卫生机构床位数  $X_9$ /张、公路通车里程  $X_{10}$ /km、普通高中专任教师人数  $X_{11}$ /人,以期较为真实、客观、全面地反应中心城市对各类聚落生产、生活的辐射能力和影响程度。由于各原始指标间相关性较强且数据量庞大,指标权重难以客观确定,利用主成分分析法综合测算各中心城市的结节性指数。公式如下:

$$Z_k = \sum_{a=1}^p S_{ka} \times \varphi_a, \varphi_a = C_a / \sum_{a=1}^p C_a \quad (2)$$

式中,  $Z_k$  为中心城市  $k$  的结节性指数;  $S_{ka}$  为城市  $k$  在主成分  $a$  上的得分;  $\varphi_a$  为主成分  $a$  的权重系数;  $C_a$  为主成分  $a$  的贡献率;  $p$  为特征值大于 1 的主成分个数。另外,为了消除不同数据类型在量纲和数量级上的影响,主成分分析前采用 Z-score 标准化法对原始数据进行标准化处理;主成分分析

后由于部分中心城市  $Z$  得分为负值,又采用最小-最大规范化方法,将测算出的数据进行线性变化,映射到 1~100 的数据区间上。

3) 区域可达性 ( $D$ ) 测度。可达性是指依托特定的交通系统从某一区位到达指定活动区位的便捷程度<sup>[33]</sup>,这一概念刚好刻画了通过最小的活动量获得最大的接触机会这一人类活动的基本规律<sup>[34]</sup>,为场能模型中“流通道”的精确表征提供了很好的研究基础。本文采用基于栅格数据的时间成本加权距离加以表征,综合考虑聚落斑块大小和计算量,最终选取了 30 m×30 m 的格网将基础矢量底图栅格化,共 9 362×13 983 个。每个栅格的时间成本取决于代表的交通类型,不同交通类型具有不同的出行速度。根据《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB01—2003)》,参考前人研究成果<sup>[35,36]</sup>,并结合研究区路网密度和路网质量的实际情况,采用表 1 所示的时间成本值。

表 1 主要交通方式行车速度和时间成本设定

交通类型	速度/(km/h)	时间成本/(min/km)
高速铁路	200	0.30
普通铁路	100	0.50
高速公路	120	0.60
国道	80	0.75
省道	60	1.00
县道	40	1.50
乡道	20	3.00
陆地	5	12.00

### 1.2.2 探索性空间数据分析方法(ESDA)

探索性空间数据分析方法(ESDA),是一系列空间数据分析技术与方法的集合,能够借助可视化的表达方法描述数据的空间分布特征、识别空间数据的结构及其异常值,核心在于度量事物或现象之间空间关联或者依赖程度。本文用到的具体空间统计分析方法包括莫兰指数(Moran's  $I$ )、高/低值聚类、Getis-Ord  $G_i^*$  指数热点分析和核密度估计,具体算法见参考文献 [37,38],分析过程借助 ArcGIS10.2 的空间统计工具实现。

空间变差函数  $\gamma(h)$ ,又称半变异函数,将距离越近的事物越相似这一假设进行量化,是研究地理事物空间变异规律的有效工具,分析时常以采

样距离  $h$  为横坐标,  $\gamma(h)$  为纵坐标, 绘制半变异函数曲线图, 详细的计算公式和描述详见文献 [39]。变程  $R$  表示了在这种观测尺度下, 空间相关性的作用范围, 在  $R$  范围内, 样点间的距离越小, 其相似性, 即空间相关性越大; 当  $h > R$  时, 区域性变量的空间相关性不再存在。

### 1.2.3 地理探测器模型

地理探测器由王劲峰等<sup>[40]</sup>创建, 是一种新型探测空间分异性分析工具, 因其具有简约的形式和明确的物理含义已被广泛应用于土地利用、区域经济、公共健康、生态环境等领域。其核心思想是: 假设某个自变量对某个因变量有重要影响, 那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性。各因子的地理探测力值可表示为:

$$q_x = 1 - \frac{1}{N_x \sigma_x^2} \sum_{t=1}^T N_{x,t} \sigma_{x,t}^2 \quad (3)$$

式中,  $t=1, 2, \dots, T$ , 为探测因子  $X$  分区;  $N_{x,t}$  和  $N_x$  分别为因子  $X$  的  $t$  分区和整个研究区内的样本数;  $\sigma_{x,t}^2$  和  $\sigma_x^2$  分别为因子  $X$  在  $t$  分区和整个研究区的离散方差;  $q_x$  为因子  $X$  的探测力值。  $q_x$  的值域为  $[0, 1]$ , 表示因子  $X$  对聚落斑块场能空间分异的解释程度,  $q$  值越大, 解释力越强, 反之则越弱。

### 1.3 研究区概况

汾河, 黄河第二大支流, 是山西省境内流域面积最大、流程最长的第一大河, 被誉为“山西人民的母亲河”。汾河流域地理位置在  $110^{\circ}30' \sim 113^{\circ}32'E$ ,  $35^{\circ}20' \sim 39^{\circ}00'N$ , 南北长约 415 km, 东西宽约 188 km, 流域面积约 4 万  $km^2$ <sup>[25]</sup>。属中纬度大陆性季风气候区, 地势总体北高南低, 东西高、中部低, 西部为吕梁山脉, 东部为太行、太岳山脉, 汾河主干流纵向穿行其中部晋中盆地和临汾盆地。流域内蕴藏着丰富的矿产资源, 种类繁多, 分布广泛; 此外还有平遥古城、乔家大院、常家庄园等一批享誉中外的文物古迹和旅游胜地。

汾河流域涉及太原、晋中、忻州、吕梁、临汾、运城、长治、晋城 8 个地级市, 49 个县(市、区)<sup>[41]</sup>, 含有 38 个县级及以上中心城区。由于本文是基于场强模型测算发展潜能, 将研究区作为一个完全的封闭系统考虑有所不妥, 因此, 在计算过程中, 除流域内部的 38 个中心城区外, 还考虑了外围相邻的 5 个一般地市级和 11 个县级, 共 54 个中心城区对流域聚落斑块的场能辐射, 如图 1 所示。

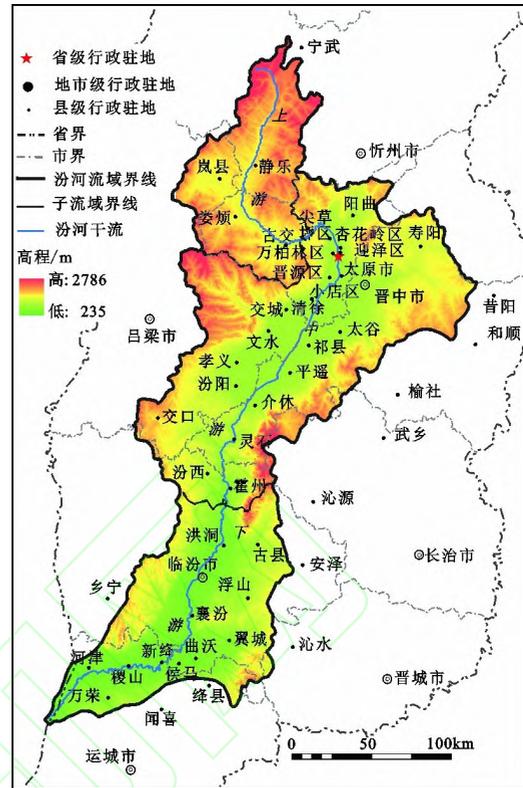


图 1 汾河流域概况

Fig.1 The overview map of the Fenhe River Basin

## 2 城乡聚落斑块发展潜能特征分析

### 2.1 聚落斑块现状特征

汾河流域共有自然聚落斑块 11 188 个, 其中省会级 14 个、地市级 5 个、县级 62 个、镇级 193 个、乡村级 10 914 个。规模上, 51.11% 为乡村级, 其次是县级和省会级, 占比分别为 15.37% 和 15.02%, 镇级占比为 13.08%, 地市级最少, 仅 5.42%。空间分布地域差异明显, 就聚落个数、总规模、聚落平均规模和等级完备性而言, 中游流域优于下游流域优于上游流域, 盆地、沟谷地带优于缓丘区优于山丘区, 具体情况详见表 2。

### 2.2 聚落斑块发展潜能测度

#### 2.2.1 中心城市结节性指数分析

借助 SPSS23 软件, 对统一标准化后的 11 个社会经济统计指标进行 KMO 和 Bartlett 球形检验。KMO 检验值为 0.805, 同时 Bartlett 球形检验的显著性概率小于 0.001, 因此, 可进行主成分分析。根据特征值大于 1 原则, 提取了 3 个主因子, 累积贡献率为 83.98%, 并计算流域内外 54 个县级及以上中心城市综合实力结节性指数。结果显示, 中

表 2 2019 年汾河流域城乡聚落规模体系统计特征

Tab. 2 The statistical features of the urban-rural scale system in typical regions of the Fenhe River Basin in 2019

子流域	聚落个数/个	聚落总规模/km <sup>2</sup>	聚落平均规模/km <sup>2</sup>	地貌类型	聚落个数/个	聚落总规模/km <sup>2</sup>	聚落平均规模/km <sup>2</sup>
上游区	1841	166.90	0.09	盆地、沟谷区	6074	2723.32	0.45
县级	17	43.16	2.54	省会城市级	12	459.46	38.29
镇级	14	13.64	0.97	地市级	5	167.20	33.44
乡村级	1810	110.10	0.06	县级	51	444.36	8.71
中游区	5228	1860.30	0.36	镇级	167	383.15	2.29
省会城市级	14	463.59	33.11	乡村级	5839	1269.15	0.22
地市级	3	93.80	31.27	丘陵区	4561	349.40	0.08
县级	26	265.63	10.22	省会城市级	2	4.13	2.07
镇级	89	245.76	2.76	县级	11	29.96	2.72
乡村级	5096	791.53	0.16	镇级	26	20.64	0.79
下游区	4119	1058.81	0.26	乡村级	4522	294.67	0.07
地市级	2	73.40	36.70	山地区	553	13.29	0.02
县级	19	165.53	8.71	乡村级	553	13.29	0.02
镇级	90	144.40	1.60	总计	11188	3086.01	0.28
乡村级	4008	675.47	0.17				
总计	11188	3086.01	0.28				

中心城市结节性指数平均值为 25.58, 具有与行政级别密切关联的梯度特征, 省会城市结节性指数最高(64.72), 一般地市级次之(60.82), 县级最小(14.90); 上中下流域差异性显著, 中游流域平均中心城市结节性指数(28.25)最高, 下游流域以 18.98 位居第二, 上游流域很低, 仅 7.12。

2.2.2 流域可达性分析

各级中心城市可达性情况如图 2, 统计所有聚

落斑块覆盖栅格的平均时间成本, 结果显示流域聚落斑块到各级中心城市可达性明显不同。就省会城市而言, 49.76% 聚落的时间成本在 1~2 h, 26.35% 在 1 h 之内, 极少数需要 3 h 以上, 流域东北部太原市附近的聚落可达性最好, 越向南北两端, 可达性越差; 就一般地市级而言, 3 h 之内可全部到达, 50.08% 在 0.5~1 h, 17.08% 在 0.5 h 之内, 极少数需要 2~3 h, 晋中、临汾两大盆地区的聚落

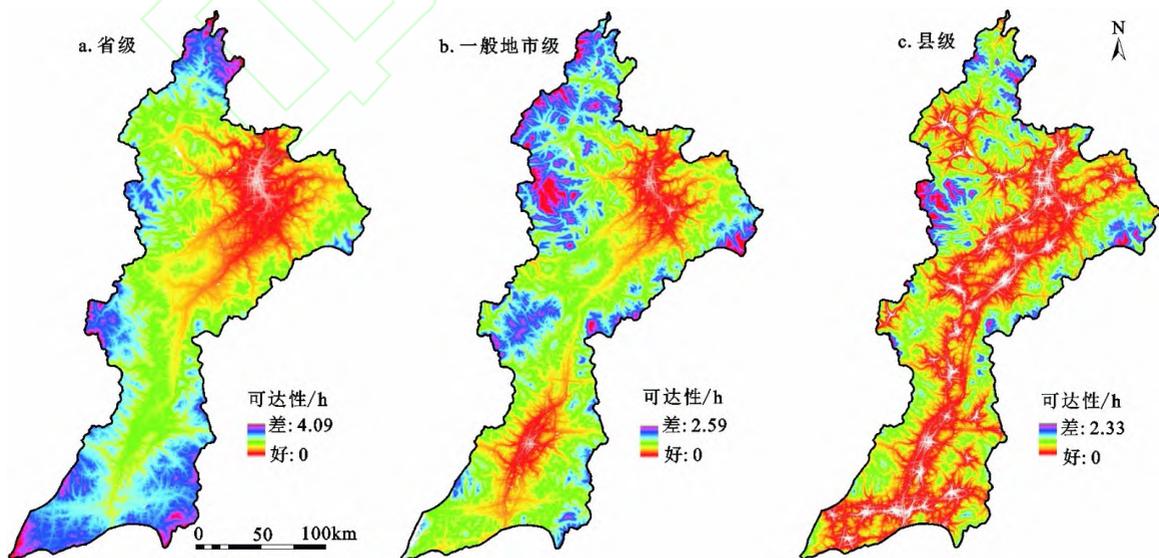


图 2 汾河流域三级中心城市区域可达性空间分布

Fig.2 Spatial pattern of regional accessibility at three city levels in the Fenhe River Basin

可达性较好,越向盆地外围,可达性越差,流域北部及西北部的山地丘陵区的聚落可达性最差;就县级而言,2 h之内可全部到达,59.05%在0.5 h之内即可到达,极少数需要1~2 h,流域中部、南部以及北部河谷地带的聚落可达性较好,越向东西两侧可达性越差。

### 2.2.3 流域聚落斑块发展潜能分析

根据公式(1)计算汾河流域县级以上中心城市空间场强,并借助 ArcGIS 软件统计各聚落斑块发展潜能值  $G$ 。结果显示:城乡聚落斑块发展潜能值差异显著,平均值为 101.68,最高为 879.13,最低仅 33.74,相差 26.06 倍;空间分布极不均衡,总体上,中游(133.06)>下游(75.29)>上游(71.61),中部河谷盆地(119.86)>周边丘陵(82.91)>两侧山地(56.78);具体各子流域而言(表 3),中游流域的各等级聚落平均发展潜能( $\bar{G}$ )均为最高,上游流域县级和镇级的 $\bar{G}$ 值较下游高,而下游流域地市级和村级的 $\bar{G}$ 值较上游高。

表 3 汾河子流域城乡聚落体系平均发展潜能统计

Tab.3 The average value of potential of the urban-rural system in sub-basin scale in the Fenhe River Basin

	上游流域	中游流域	下游流域
总平均值	71.61	133.06	75.29
省会城市级	-	524.42	-
地市级	-	414.85	246.10
县级	118.20	188.67	104.13
镇级	104.90	162.03	92.14
乡村级	70.91	131.03	74.69

注:“-”表示该子流域中无此类型城乡聚落。

## 2.3 发展潜能空间格局特征

### 2.3.1 空间变异分析

以 5 km 为采样步长,取城乡聚落发展潜能对数值计算其空间变差函数( $\gamma$ ),并绘制方向半变异

函数曲线(图 3)。由图可见,半变异值  $\gamma$  随采样距离  $h$  的增大逐渐增大, $h$  达到一定范围后, $\gamma$  趋于稳定,表明研究区城乡聚落发展潜能具有明显的空间变异性,变程范围内聚落斑块越接近,发展潜能差异性越小,相似性越大,反之亦然。不同方向上  $\gamma(h)$  的探测显示,发展潜能空间异质性具有明显的方向性,北北东 23°方向,异质性变程最大,65 km 才趋于稳定,而其垂直方向变程较小,35 km 就基本达到稳定,异质性变程最大的方向恰好与汾河的主河道方向基本一致,反映出汾河沿岸的城乡聚落斑块发展潜能异质性最小,连通性最强,较其他方向更容易产生互联互通效应。

### 2.3.2 空间自相关分析

1)全局自相关分析。利用全局 Moran's  $I$  指数和 General  $G$  指数分析聚落斑块发展潜能的全局自相关性。Moran's  $I$  指数为 0.96,且  $Z$  值>2.58, $P$  值<0.01,通过 99% 的置信度检验;General  $G$  指数在 0.01 的置信水平上, $Z$  得分为正,且观察值大于期望值。城乡聚落斑块发展潜能存在正向自相关性,且高值聚类显著,说明高发展潜能聚落,如中心城市、优势村镇必然对周围聚落产生一定的辐射带动作用。

2)局部热点分析。为进一步剖析流域城乡聚落发展潜能的局部空间自相关性,计算潜能对数值的空间关联指数 Getis-Ord  $G_i^*$  及其标准化值  $Z(G_i^*)$ ,并根据  $Z(G_i^*)$  值大小,采用自然断点法划分为热点区、次热点区、过渡区、次冷点区和冷点区 5 种类型,同时生成冷、热点空间分布图(图 4a)。最后以  $Z(G_i^*)$  为权值,进行核密度估计(图 4b),以更直观地体现聚落发展潜能的空间格局特征,经多次试验,密度计算搜索半径采用 25 km。

经统计,汾河流域聚落斑块发展潜能随热点区向冷点区的逐渐过渡,斑块个数增多,但面积递减,发展的不均衡性突出。少数规模大的聚落斑块

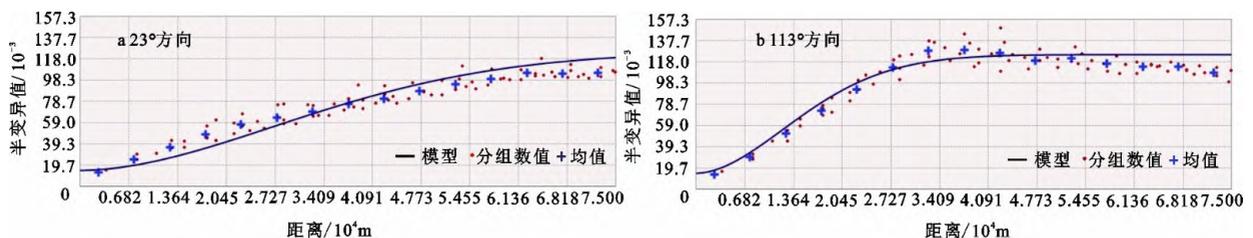


图 3 半变异函数曲线

Fig.3 Semivariogram at 23° and 113°

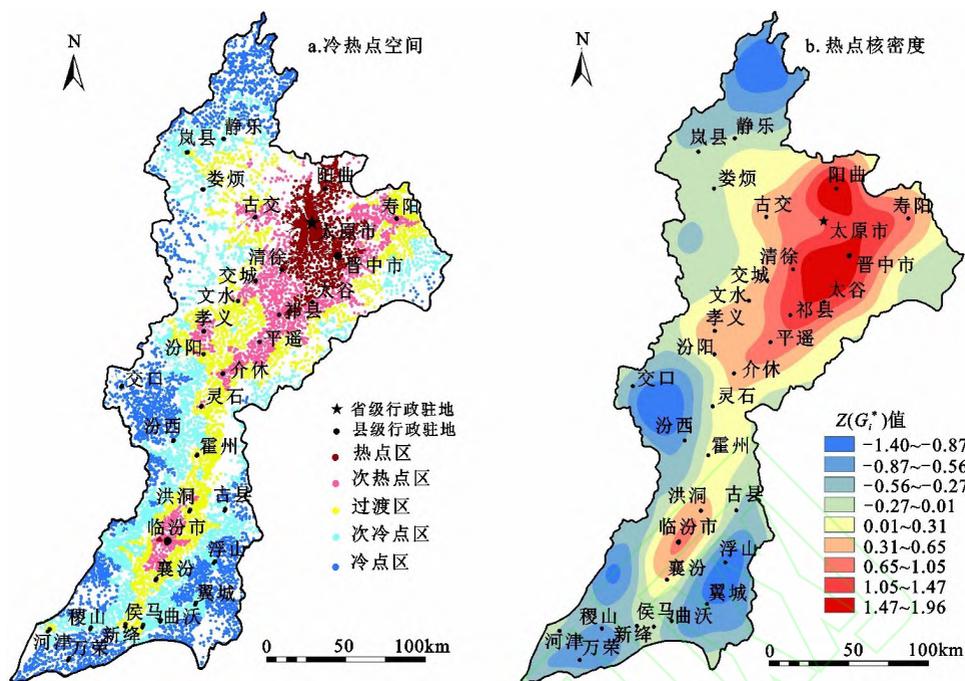


图 4 汾河流域冷热点空间分布及热点  $Z(G_i^*)$  值核密度

Fig.4 distribution and weighted kernel density estimation of hotspot areas in the Fenhe River Basin

发展潜力高,带动力强,局部集聚效应显著,形成热点和次热点区;过渡区聚落斑块发展潜力一般,依赖于热点、次热点的辐射作用,分布其外围地区,继续向外围扩散是发展潜力更低的次冷点区;冷点区聚落斑块个数最多,面积最小,破碎且远离中心城市,发展潜能最低,集中分布流域北端的管涔山地、西侧吕梁山系及东南端太岳山区。

从空间格局上看(图 4b),汾河流域聚落斑块发展潜能热点呈现出“主核-廊道-次核”的结构特征,主核为太原市区及其东北的阳曲、南部的清徐、榆次、太谷等地区,是流域城乡聚落体系的最核心区,发展增长极;次核为临汾市区及其周边尤其是南北两向的襄汾、洪洞地区,为流域南部城乡聚落组织和经济发展的核心区;廊道为主次 2 核的连通要道,主要包括交城、文水、孝义、汾阳、祁县、平遥、介休、灵石、霍州等汾河沿岸一带,地势平坦,可达性好,社会经济发达,人类活动密集。

具体各子流域而言:上游流域无热点区,冷点区斑块个数最多,次冷点区面积最大,城乡聚落发展潜能最低;中游流域聚落斑块发展潜力明显最高,热点区和次热点区聚落斑块个数占该子流域的 37.49%,面积占 68.75%,且向外形成明显的辐射扩散圈层,冷点区和次冷点区面积占比不到

10%;下游地区有显著的热点和次热点,但个数不到该子流域的 5%,面积不足 15%,极化效应不强,带动力度不够,还未形成一定的辐射范围,过渡区聚落斑块不多,大部分仍处于次冷点区和冷点区。

### 3 城乡聚落体系发展空间模式探讨

#### 3.1 发展潜能影响因素探测

借地理探测器模型定量分析汾河流域城乡聚落发展潜能空间异质性原因。综合考虑自然条件、区位因素、社会经济发展和区域特色,兼顾数据的可获取性,选取高程、坡度、坡向、距河流距离、斑块面积、到县级中心城市可达性、到市级中心城市可达性、到省级中心城市可达性、人口密度、GDP、距煤矿距离,共计 11 个因子,利用 SPSS 软件的  $K$ -均值法进行离散化分类,具体指标说明及探测结果见表 4 和图 5。其中,聚落斑块人口密度利用 478 个乡镇域人口密度通过普通克里金法模型插值估计,邻域搜索采用  $K$  邻域法,  $K$  取值 12。聚落斑块 GDP 数据利用 NPP/VIIRS 夜间灯光数据反演得到,具体方法见文献 [42],本次拟合精度  $R^2$  为 0.847,且通过了 1% 的显著性检验。

由图 5 可见,就全流域而言,除  $x_4$  以外其余因子均通过了 1% 的显著性检验,其中 8 个因子都

表 4 地理探测器的变量和指标说明

Tab.4 Description of variables and measures of Geodetector

影响因子	数据获得途径	单位	分级
$x_1$ 高程	DEM	m	10
$x_2$ 坡度	DEM栅格表面分析	(°)	10
$x_3$ 坡向	DEM栅格表面分析	(°)	8
$x_4$ 距河流距离	欧式距离分析	km	6
$x_5$ 斑块面积	软件自动统计	km <sup>2</sup>	10
$x_6$ 到县级中心城市可达性	时间成本距离	min	10
$x_7$ 到市级中心城市可达性	时间成本距离	min	10
$x_8$ 到省级中心城市可达性	时间成本距离	min	10
$x_9$ 人口密度	统计年鉴乡镇级人口密度的克里金插值估计	人/km <sup>2</sup>	10
$x_{10}$ GDP	灯光影像反演		10
$x_{11}$ 距煤矿距离	欧式距离分析	km	10

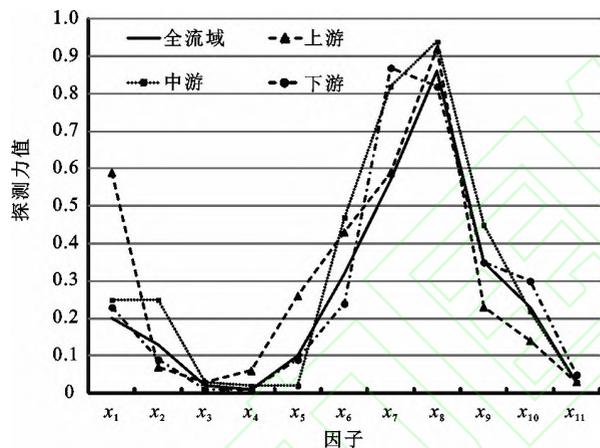


图 5 汾河流域空间分异因子探测结果

Fig.5 Detected results of spatial heterogeneity in the Fenhe River Basin

对聚落发展潜能空间分异具有明显的贡献量, 排列顺序为:  $x_8 > x_7 > x_6 > x_9 > x_{10} > x_1 > x_2 > x_5$ 。其中,  $x_8$ 、 $x_7$  和  $x_6$  的  $q$  统计值较高, 说明聚落到中心城市, 尤其是高级别中心城市的可达性, 即区位条件, 对其发展潜能起重要作用; 其次是  $x_9$  和  $x_{10}$ , 说明聚落斑块自身的人口状况、经济发展水平对其发展潜能也会产生较大影响;  $x_1$ 、 $x_2$  和  $x_5$  的  $q$  统计值较小, 起次要作用, 即海拔、坡度、斑块大小对聚落发展潜能的作用度较低, 但也不容忽视。

上、中、下流域分区探测显示, 聚落发展潜能空间分异原因在不同流域之间有一致性, 但也存在着明显的差异。主要表现在: ① 上游流域,  $x_1$

和  $x_5$  的  $q$  统计明显较中下游流域高, 即上游流域海拔高度和斑块大小对聚落的发展相对更为重要, 可见, 上游流域地形起伏大, 斑块破碎且分散, 不易产生集聚效应, 对城乡聚落的发展存在一定程度的制约; ② 中游流域,  $x_2$  的  $q$  统计明显高于上下游, 因为中游在整个流域中东西最宽, 地形起伏差异大, 坡度对聚落发展潜能的影响也更为明显; ③ 下游流域,  $x_7$  高于  $x_8$ , 受区位因素的影响, 地市级城市的作用强度超过省会城市, 而  $x_6$  的  $q$  统计明显低于中上游, 表明下游流域县级中心城市的带动作用较弱, 还有较大的提升空间。

### 3.2 空间发展模式探讨

为进一步探讨流域城乡聚落体系空间发展模式, 结合影响因素探测结果, 统计不同交通区位、不同自然条件各聚落类型平均发展潜能  $\bar{G}$  (表 5)。省会城市和地市级中心城市的  $\bar{G}$  值明显最高 (>200), 发展潜能最大; 其次为县级中心城市和盆地、沟谷区可达性 1 h 圈内的村镇,  $\bar{G}$  值大于 100, 但小于 200; 第三是盆地、沟谷和缓丘区可达性 1~2 h 圈内的村镇以及山丘区可达性 1 h 圈内的村落,  $\bar{G}$  值 70~100, 发展潜能一般; 最后, 盆地、沟谷区可达性 2 h 以上村镇、缓丘区可达性 2 h 以上和山丘区可达性 1 h 以上村落,  $\bar{G}$  值最低 (<60), 是整个流域最外围区的聚落, 发展落后且区位条件差, 受中心城市辐射微弱, 发展潜能也最低。

表 5 汾河流域不同区位城乡聚落体系平均发展潜能统计

Tab.5 The average value of potential of the urban-rural system in different location in the Fenhe River Basin

	省会城市级	地市级	县级	镇级	乡村级
盆地、沟谷区					
1 h圈	565.91	347.35	151.61	140.91	129.91
1~2 h圈				70.38	73.90
2 h以上				51.67	57.43
缓丘区					
1 h圈	275.52		115.54	85.21	81.88
1~2 h圈				77.90	70.09
2 h以上					56.40
山丘区					
1 h圈					97.04
1~2 h圈					53.95
2 h以上					48.78

注: 空白无此项。

因此,流域聚落体系中,不同聚落斑块发展潜能差异大,在一体化发展空间模式中的地位和作用也明显不同(图6)。一般,地势越平坦,交通条件越好,聚落等级越高,发展越优越,带动作用也越强。地市级以上中心城市,发展潜能最高,极化作用最强,是整个流域城乡聚落体系的核心点和增长极,具有绝对发展优势;县级中心城市和地势、交通等条件好的优势村镇,发展潜能大,带动作用强,主要沿主河道两侧交通干线分布,是一体化发展的关键牵引区,构成流域城乡聚落体系的重要发展轴带;交通一般的盆地、缓丘或者交通较好的山丘区,聚落个数较多,是一个比较广泛的过渡地区,一体化发展的关键助推区,合理利用点轴扩散效应并结合区域特色形成新的扩散节点是融合发展的突破口;交通条件或地势状况差的地区,目前发展潜能较低,只能依靠极核、轴带,尤其是特色节点的带动作用保守发展,如果可以改善其交通状况,或许能冲破瓶颈。

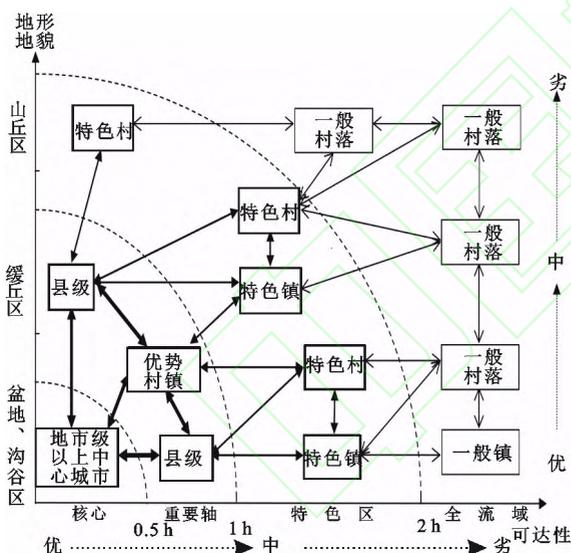


图6 汾河流域聚落体系一体化发展空间模式

Fig.6 The integrated development model of urban-rural system in the Fenhe River Basin

综上所述,流域城乡融合发展需要市、县、镇、村全局考虑,点、线、区、域层层递进,构建“强化核心点-培育发展轴-扶持特色区-带动全流域”的空间模式,本质上讲,是采用非均衡增长路径实现均衡发展的理论依据。具体来说,第一步,给足动力,继续强化少数规模大、级别高的中心城市或城镇,充分发挥其极化效应;第二步,催化提速,依托重

要交通轴线连接贯通,构建轴带框架;第三步,伺机突破,随着点轴扩散效应,在外围择优扶持若干规模不大但特色明显的村镇聚落为扩散节点,分区分类引导,形成特色区域;最后协同共进,核心、轴带、节点交织构成网络,形成城乡发展的立体空间和网络结构,推动全流域城乡聚落体系,实现从不平衡的发展过程,到最终较均衡的融合发展。

汾河流域城乡聚落体系融合发展,就全流域而言,总体上点轴模式已经形成,但缺乏外围支点,在过渡区域选择并重点发展一批各具特色、有较强吸引和带动能力的小型村镇是关键所在,是突破点轴迈向网络发展模式的重要途径。具体到子流域,发展潜能差异大,发展阶段不同步,发展要点也各有侧重:上游流域,目前发展潜能空间模式为辐射模式,但辐射源为中游流域的太原市-榆次区,等级最高的中心城市是县级,个数少且综合实力弱,缺乏核心带动力,因此,其首要任务是整合县级中心城市,引导优势资源集中,增强实力、完善功能,提高辐射力度和强度,形成上游流域的核心动力点;中游流域,点轴模式基本成熟,扩散效应明显,在外围地区重点扶植一些特色城、镇、村,形成二级支点,将点轴模式升级为轴网模式是其空间发展的主要方式;下游流域,地级市临汾的中心极化效应明显,但还未形成成熟的轴线架构,尤其是南部万荣、稷山、新绛、侯马、曲沃等地区发展潜能较上、中游的同级中心城市低,带动效应也弱,因此,进一步强化县级中心城市,并依托交通条件打造互联互通,带动效应强的主体轴线是下流域城乡聚落空间发展的当务之急。

#### 4 结论与讨论

本文利用RS和GIS技术,对汾河流域城乡聚落体系发展潜能及空间模式进行研究,得出结论如下:①借助空间场强模型,聚焦聚落斑块尺度,测度各级中心城市辐射强度,在一定程度上可作为城乡聚落发展潜力的“指示器”。汾河流域实证研究表明:城乡聚落体系发展潜能差异显著且空间分布极不均衡,总体上中游>下游>上游,河谷盆地>周边缓丘>两侧山丘;在不同聚落类型上,中游流域各等级聚落的发展潜能均最高,上游流域县级和镇级的较高,而下游流域地市级和村级的较高。②汾河流域城乡聚落发展潜能全局正向空间自相关明显,高值斑块聚类显著;具有空间异

质性特征且方向性明显, NNE23°汾河主河道方向异质性最小, 联动效应最强; 发展热点在全流域上呈现“主核-廊道-次核”的空间结构形态, 上游流域无热点区, 中游流域热点突出, 且向外形成明显的辐射扩散圈层, 下游流域有显著热点, 但带动力较弱, 未形成一定规模的辐射区。③ 城乡聚落发展潜能受到自然基础、社会经济发展水平和区位条件的明显影响, 发展模式采取非均衡增长路径, 市、县、镇、村全局考虑, 构建“强化核心点-培育发展轴-扶持特色区-带动全流域”的逐层推进式空间模式。根据各自发展阶段, 上游流域重在整合县级中心城市, 增强动力; 中游流域关键在于外围地区培育二级支点, 突破点轴发展, 进入轴网模式; 下游流域则是继续强化县级中心城市, 依托交通条件打造互联互通、带动效应强的主体轴线。

本次研究视角上, 突破常规的城市/城镇角度, 从聚落自然斑块作为切入点, 打破行政边界, 城镇、乡村统筹考虑, 突出城乡系统的整体性和联动性。同时也存在一些问题有待进一步解决: ① 场强模型中更多地考虑了经济、人口、社会服务等因素, 可将城乡之间的信息联系、历史沿革、地域文化、政策导向等因素进行量化, 纳入模型进一步扩充; ② 本文仅对 2019 年数据进行分析, 如果结合历史资料, 揭示城乡聚落体系发展时空轨迹特征, 探索长期演化规律, 将为城乡融合发展战略决策提供更有力科学依据。

## 参考文献(References):

- [1] 李智, 张小林, 李红波. 县域城乡聚落规模体系的演化特征及驱动机理——以江苏省张家港市为例[J]. 自然资源学报, 2019, 34(1): 140-152. [Li Zhi, Zhang Xiaolin, Li Hongbo. Evolution characteristics and driving mechanism of urban-rural scale system at county level: A case of Zhangjiagang City, Jiangsu Province. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 140-152.]
- [2] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650. [Liu Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650.]
- [3] 周一星, 杨齐. 我国城镇等级体系变动的回顾及其省区地域类型[J]. 地理学报, 1986, 41(2): 97-111. [Zhou Yixing, Yang Qi. A review on the urban-size hierarchy of China and the territorial types of the hierarchy on provincial level. *Acta Geographica Sinica*, 1986, 41(2): 97-111.]
- [4] 陈彦光, 周一星. 豫北地区城镇体系空间结构的多分形研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 810-818. [Chen Yanguang, Zhou Yixing. A study of multifractal measures of the spatial structure of the urban system in Central Plains. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001, 37(6): 810-818.]
- [5] 朱玲玲, 郭志富, 张竟竟, 等. 河南省城镇体系空间优化研究[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(3): 78-81+98. [Zhu Lingling, Guo Zhifu, Zhang Jingjing et al. Study on urban spatial structure optimization in Henan Province. *Areal Research and Development*, 2017, 36(3): 78-81+98.]
- [6] 肖磊, 黄金川, 孙贵艳. 京津冀都市圈城镇体系演化时空特征[J]. 地理科学进展, 2011, 30(2): 215-223. [Xiao Lei, Huang Jinchuan, Sun Guiyan. Temporal-spatial characteristics of evolution of the urban system in Jing-Jin-Ji Metropolitan Region. *Progress in Geography*, 2011, 30(2): 215-223.]
- [7] 李佳泓, 杨宇, 樊杰, 等. 中印城镇化区域差异及城镇体系空间演化比较[J]. 地理学报, 2017, 72(6): 986-1000. [Li Jiaming, Yang Yu, Fan Jie et al. Comparative research on regional differences in urbanization and spatial evolution of urban systems between China and India. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 986-1000.]
- [8] 王士君, 廉超, 赵梓渝. 从中心地到城市网络——中国城镇体系研究的理论转变[J]. 地理研究, 2019, 38(1): 64-74. [Wang Shijun, Lian Chao, Zhao Ziyu. From central place to city network: A theoretical change in China's urban system study. *Geographical Research*, 2019, 38(1): 64-74.]
- [9] Li S J, Sui D. Pareto's law and sample size: A case study of China's urban system 1984-2008[J]. *GeoJournal*, 2013, 78(4): 615-626.
- [10] 单勇兵, 马晓冬, 仇方道. 苏中地区乡村聚落的格局特征及类型划分[J]. 地理科学, 2012, 32(11): 1340-1347. [Shan Yongbing, Ma Xiaodong, Qiu Fangdao. Distribution patterns characteristics and type classification of the rural settlements in central Jiangsu Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(11): 1340-1347.]
- [11] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 中国村庄空间分布特征及空间优化重组解析[J]. 地理科学, 2016, 36(2): 170-179. [Yang Ren, Liu Yansui, Long Hualou et al. Spatial distribution characteristics and optimized reconstructing analysis of rural settlement in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(2): 170-179.]
- [12] 李智, 张小林, 李红波, 等. 江苏典型县域城乡聚落规模体系的演化路径及驱动机制[J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2392-2408. [Li Zhi, Zhang Xiaohong, Li Hongbo et al. Evolution paths and the driving mechanism of the urban-rural scale system at the county level: Taking three counties of Jiangsu Province as an example. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(12): 2392-2408.]
- [13] 刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1011-1020. [Liu Yansui, Yang Ren. The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011-1020.]

- [14] Liu Y, Li Y. Revitalize the world's countryside[J]. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277.
- [15] Zipf G K. The P1P2/D hypothesis: On the intercity movement of persons[J]. *American Sociological Review*, 1946, 11(6): 677-686.
- [16] Perrous F. Economic space: Theory and applications[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1950, 64 (1): 89-104.
- [17] Ullman E L. *American commodity flow*[M]. Seattle: University of Washington Press, 1957: 60-73.
- [18] Richard L M, Gary L G, Grant I T. *Spatial geography series: Spatial diffusion*[M]. Berkeley Hill: Sage Publications, 1988.
- [19] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分[J]. *地理研究*, 2008, 27(1): 1-12. [Gu Chaolin, Pang Haifeng. Study on spatial relations of Chinese urban system: Gravity model approach. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 1-12.]
- [20] 段七零. 基于断裂点理论的南京经济腹地界定及层次划分[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(8): 853-858. [Duan Qiling. Spatial scope and the layer of Nanjing's economic hinterland based on breaking point theory. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(8): 853-858.]
- [21] 王丽, 邓羽, 刘盛和, 等. 基于改进场模型的城市影响范围动态演变——以中国中部地区为例[J]. *地理学报*, 2011, 66(2): 189-198. [Wang Li, Deng Yu, Liu Shenghe et al. The study of urban spheres of influence based on improved field model and its applications: A case study of central China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 189-198.]
- [22] 涂建军, 朱月, 李琪, 等. 基于网络空间结构的长江经济带城市影响区划定[J]. *经济地理*, 2017, 37(12): 65-73. [Tu Jianjun, Zhu Yue, Li Qi et al. Influence scope of Yangtze River Belt based on the urban spatial structure. *Economic Geography*, 2017, 37(12): 65-73.]
- [23] 郭文炯, 姜晓丽, 张侃侃, 等. 汾河流域城镇变迁与城镇化[M]. 北京: 科学出版社. 2017. [Guo Wenjiong, Jiang Xiaoli, Zhang Kankan et al. *Changes of cities and towns and urbanization in Fenhe Basin*. Beijing: Science Press, 2017.]
- [24] 星球地图出版社. 1:70万山西省地图[JS(2019)01-304][Z]. 北京: 星球地图出版社. 2019. [Star Map Publishing. 1:700,000 Map of Shanxi Province [JS(2019)01-304]. Beijing: Star Map Press. 2019.]
- [25] 山西省统计局, 国家统计局山西调查总队. 山西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019. [Shanxi Provincial Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Shanxi. *Shanxi statistics yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2019.]
- [26] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县域统计年鉴(县市卷)[M]. 北京: 中国统计出版社. 2019. [Department of Rural Surveys of NBS. *China statistical yearbook (County-level)*. Beijing: China Statistics Press, 2019.]
- [27] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县域统计年鉴(乡镇卷)[M]. 北京: 中国统计出版社. 2019. [Department of Rural Surveys of NBS. *China statistical yearbook (Township)*. Beijing: China Statistics Press, 2019.]
- [28] 山西省地图集编纂委员会. 汾河流域地图集[M]. 西安: 西安地图出版社, 2012年. [Map Compiling Committee Office of Shanxi Province. *Atlas of the Fenhe River Basin*. Xi'an: Xi'an Map Press, 2012.]
- [29] 彭建, 陈云谦, 胡智超, 等. 城市腹地定量识别研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2016, 35(1): 14-24. [Peng Jian, Chen Yunqian, Hu Zhichao et al. Research progress and prospect on quantitative identification of urban hinterland area. *Progress in Geography*, 2016, 35(1): 14-24.]
- [30] 李震, 顾朝林, 姚士谋. 当代中国城镇体系地域空间结构类型定量研究[J]. *地理科学*, 2006, 26(5): 544-550. [Li Zhen, Gu Chaolin, Yao Shimou. A quantitative study on regional spatial structure of urban system in contemporary China. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(5): 544-550.]
- [31] 初楠臣, 姜博, 张雪, 等. 基于现实和虚拟视角的哈大齐空间联系综合测度及驱动力[J]. *经济地理*, 2016, 36(7): 70-75. [Chu Nanchen, Jiang Bo, Zhangxue et al. The comprehensive measure and driving force of spatial connection in Ha-Da-Qi based on the real and virtual perspectives. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 70-75.]
- [32] 黄金川. 基于辐射扩散测度的中国城市群发育格局识别[J]. *经济地理*, 2016, 36(11): 199-206. [Huang Jinchuan. Identification of urban agglomeration in China based on radiation diffusion measurement. *Economic Geography*, 2016, 36(11): 199-206.]
- [33] 李平华, 陆玉麒. 可达性研究的回顾与展望[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(3): 69-78. [Li Pinghua, Lu Yuqi. Review and prospect of accessibility research. *Progress in Geography*, 2005, 24(3): 69-78.]
- [34] 王振波, 徐建刚, 朱传耿, 等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系[J]. *地理学报*, 2010, 65(4): 416-426. [Wang Zhenbo, Xu Jiangan, Zhu Chuangeng. The county accessibility divisions in China and its correlation with population distribution. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 416-426.]
- [35] 潘竟虎, 刘莹. 基于可达性与场强模型的中国地级以上城市空间场能测度[J]. *人文地理*, 2014, 29(1): 80-88. [Pan Jinghu, Liu Yin. Measurements for spatial field of cities at prefecture level or above in China based on accessibility and field-strength model. *Human Geography*, 2014, 29(1): 80-88.]
- [36] 关兴良, 方创琳, 罗奎. 基于空间场能的中国区域经济发展差异评价[J]. *地理科学*, 2012, 32(9): 1055-1065. [Guan Xingliang, Fang Chuanglin, Luo Kui. Regional economic development disparity of China: An application of spatial field. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(9): 1055-1065.]
- [37] 曲衍波, 姜广辉, 张佰林, 等. 山东省农村居民点转型的空间特征及其经济梯度分异[J]. *地理学报*, 2017, 72(10): 1845-1858. [Qu Yanbo, Jiang Guanghui, Zhang Bailin et al. Spatial characteristics of rural residential land transition and its eco-

- conomic gradient differentiation. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(10): 1845-1858.]
- [38] 马晓冬, 李全林, 沈一. 江苏省乡村聚落的形态分异及地域类型[J]. *地理学报*, 2012, 67(4): 516-525. [Ma Xiaodong, Li Quanlin, Shen Yi. Morphological difference and regional types of rural settlements in Jiangsu province. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(4): 516-525.]
- [39] 姜海宁. 泛长江三角洲FDI空间格局演化研究[J]. *人文地理*, 2015, 30(6): 126-131+145. [Jiang Haining. Research on spatial pattern evolution of foreign direct investment in Pan-Yangtze River Delta. *Human Geography*, 2015, 30(6): 126-131+145.]
- [40] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geode-
- tector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [41] 马义娟, 侯志华. 流域生态环境变化及质量评估理论与实践: 以汾河流域为例[M]. 北京: 科学出版社. 2018. [Ma Yijuan, Hou Zhihua. Evaluation of quality for the changes of ecological and environmental: Theory and practice (A case study of Fenhe River Basin). Beijing: Science Press, 2018.]
- [42] 侯志华, 刘敏, 姚丹. 基于灯光遥感数据的栅格尺度经济发展空间格局分析——以汾河流域为例[J]. *经济研究参考*, 2018(57): 3-10. [Hou Zhihua, Liu Min, Yao Dan. Spatial pattern analysis of economic development on grid scale using DM-SP/OLS data: A case study of Fenhe River Basin. *Review of Economic Research*, 2018(57): 3-10.]

## Development Potential and Spatial Pattern of Urban-rural Settlement System in the Fenhe River Basin

Hou Zhihua<sup>1,2</sup>, Liu Min<sup>1,2</sup>, Fan Xiaoxia<sup>1</sup>, Jia Yuping<sup>1</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Taiyuan Normal University, Jinzhong 030619, Shanxi, China;

2. Shanxi Collaborative Innovation Center for Coordinated Urban and Rural Development, Taiyuan Normal University, and Rural Development, Jinzhong 030619, Shanxi, China)

**Abstract:** The article used field model to calculate development potential of urban-rural system choosing 11, 188 settlement patches as study object, analyzed the spatial characters by GIS technology and explored factors based on Geodetector model, lastly, discussed the spatial pattern of the urban-rural integration. Several conclusions can be drawn as follows: 1) The development potential has significant difference and its distribution was unbalanced. From a vertical perspective, the average value of potential was the highest in the middle reaches, the second in the lower reaches and the lowest in upper reaches. From the crosswise view, it was occupied first place in basin, come second in hilly area and was third in mountain. 2) The potential of settlements overall positive spatial autocorrelation and showed a significant pattern of high-high spatial clustering. The potential has distinct spatial heterogeneity and was different in the each direction. The spatial interaction is the strongest in those settlements among the main direction of the Fenhe River. By hot spot analysis, it was found that the hot spots and hot sub-spots were intensively distributed with the spatial structure of “main core-corridor-sub core”. 3) Natural conditions, social and economic development level and distance to the center cities are the three main factors influencing the development potential and spatial structure of urban-rural settlement system. Non-balanced development is necessary, and “Point-Axis-Net-Area” development mode was build. Specifically, in the beginning, we should focus on building the core region, then set up the main development axis. The key remaining step is putting priority on the development of distinctive settlements which processes some kind of energy level and radiometric force. Finally, all settlements in urban-rural system support and promote each other and ultimately achieve integrated development.

**Key words:** urban-rural settlement system; settlement development potential; field model; the Fenhe River Basin