DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.06.013 CSTR:32311.14.rswc.2026.06.013
黄书洋, 杨芳琴, 孙建伟, 等. 基于“设施-网络-空间”视角的喀斯特山区农村居民点分区协同优化:以七星关区为例[J]. 水土保持研究,2026,33(6):440-450.
Huang Shuyang, Yang Fangqin, Sun Jianwei, et al. Zoning-based synergistic optimization of rural settlements in karst mountainous areas from a “facility-network-space” perspective: a case study of Qixingguan District[J]. Research of Soil and Water Conservation,2026,33(6):440-450.

基于“设施-网络-空间”视角的喀斯特山区农村居民点分区协同优化
——以七星关区为例

黄书洋[1], 杨芳琴[2], 孙建伟[1], 邓玲玲[1], 罗 静[3], 陈晓剑[1]
(1.贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025; 2.贵州大学 经济学院, 贵阳 550025;
3.华中师范大学 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079)

摘 要:[**目的**]探究喀斯特山区农村居民点的公共服务可达性空间格局与网络联系特征,识别其分区类型并构建协同优化路径,为居民点空间治理与乡村振兴提供理论支撑。[**方法**]以七星关区为例,基于“设施-网络-空间”分析框架,综合运用可达性评价、引力模型、社会网络分析方法,测度农村居民点公共服务可达性并解析其网络结构特征。[**结果**](1)公共服务可达性呈“核心—边缘”梯度递减格局,并沿交通廊道带状延伸,乡镇节点形成次级高值区,低值区集中于西部山区与东北部乡镇,不同设施面临差异化约束。(2)网络联系呈现“整体松散、局部抱团”的小世界特征,节点层级分异明显,高强度节点集聚于城区及近郊,构成网络的辐射核心;中强度节点沿干线承担传导功能;外围山区网络联系相对稀疏。(3)综合公共服务可达性与网络结构特征,将农村居民点划分为城郊融合型、集聚提升型、潜能培育型、一般存续型、整治改善型5类空间单元,并提出了“极核引领—廊道传导—节点培育—底线管控”的分区协同优化路径。[**结论**]喀斯特山区农村居民点公共服务可达性与网络联系具有显著空间分异,二者组合特征决定了分区类型及其协同优化方向,各类型居民点在可达性水平与网络位置上的差异是制定分区协同优化策略的核心依据。

关键词:公共服务可达性; 农村居民点; 社会网络分析; 分区协同优化; 七星关区
中图分类号:K928.5; F323.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-3409(2026)06-0440-11

Zoning-based synergistic optimization of rural settlements in karst mountainous areas from a “facility-network-space” perspective
—a case study of Qixingguan District

Huang Shuyang[1], Yang Fangqin[2], Sun Jianwei[1], Deng Lingling[1], Luo Jing[3], Chen Xiaojian[1]
(1.*School of Geographical and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang* 550025, *China*; 2.*School of Economics, Guizhou University, Guiyang* 550025, *China*; 3.*Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation of Hubei Province, Central China Normal University, Wuhan* 430079, *China*)

Abstract: [**Objective**] This study aims to explore the spatial patterns of public service accessibility and network linkage characteristics of rural settlements in karst mountainous areas, identify their zoning typology, and construct synergistic optimization pathways, thereby providing theoretical support for settlement spatial governance and rural revitalization. [**Methods**] Taking Qixingguan District as an empirical case, this study

收稿日期:2026-01-16 **修回日期:**2026-02-10 **接受日期:**2026-03-09
资助项目:国家自然科学基金(42361028,42271228);2024年度贵州省教育厅人文社会科学研究专项(24RWZX007);贵州省科技计划项目(课题)(黔科合基础-ZK[2022]一般313)
第一作者:黄书洋(2002—),女,湖南武冈人,硕士研究生,研究方向为区域发展与城乡规划、乡村地理学。E-mail:huangshuyang@gznu.edu.cn
通信作者:孙建伟(1986—),男(侗族),贵州黎平人,博士,副教授,主要从事乡村地理学、区域发展与城乡空间重构研究。E-mail:sunjianwei@gznu.edu.cn

developed a “facility-network-space” analytical framework by integrating accessibility evaluation, gravity modeling, and social network analysis (SNA) to measure the public service accessibility of rural settlements and analyze their network structural characteristics. [**Results**] (1) Public service accessibility exhibited a decreasing “core-periphery” gradient pattern and extended in a belt-like form along transportation corridors. Township nodes formed secondary high-value zones, while low-value zones were concentrated in the western mountainous areas and northeastern townships, with differentiated constraints across facility types. (2) The network linkages exhibited a “loose overall, clustered locally” structure with small-world characteristics. Node hierarchy was distinct. High-strength nodes were concentrated in urban and suburban areas, forming the radiation core of the network. Medium-strength nodes along trunk lines undertook transmission functions, and network linkages in peripheral mountainous areas remained relatively sparse. (3) By integrating public service accessibility with network structural characteristics, rural settlements were categorized into five spatial units: suburban integration, clustered enhancement, potential cultivation, general retention, and rectification and improvement. Accordingly, a zoning-based synergistic optimization pathway of “growth pole leading - corridor transmission-node cultivation-bottom-line control” was proposed. [**Conclusion**] Public service accessibility and network linkages of rural settlements in karst mountainous areas both exhibit significant spatial differentiation. Their combined characteristics determine the zoning typology and corresponding synergistic optimization directions, while differences among settlement types in accessibility levels and network positions constitute the core basis for formulating differentiated zoning synergistic optimization strategies.

Keywords: public service accessibility; rural settlements; social network analysis; zoning-based synergistic optimization; Qixingguan District

长期以来,城乡分隔的二元体制与城市优先发展战略促使大量劳动力、土地、资本等生产要素向城市集中,从而引发乡村地域出现用地空废化、人口空心化、空间结构混乱与居民点布局失序等问题,制约了乡村的可持续发展[1-2]。随着农村经济收入稳步增长、生活方式变化以及乡村文化的提升,农村居民对生活环境质量的需求日益增长。在此背景下,中共十九大报告提出实施乡村振兴战略,着眼于解决城乡发展不均衡、农村发展不充分等重大问题;《乡村全面振兴规划(2024—2027年)》则进一步提出要着力推动乡村振兴的高质量发展,通过分类引导乡村差异化振兴路径,统筹推进城镇与乡村的规划、建设与治理,促进城乡基本公共服务均等化。农村居民点作为乡村地域内农户集聚生活和开展生产活动的基本空间载体,承担着整合乡村生产、生活与生态功能的关键作用[3]。科学识别农村居民点在功能结构、空间形态及发展潜力等维度的差异,精准划定优化类型并制定差异化振兴路径,是整合乡村资源要素、激活乡村内生发展动能,推动乡村振兴战略向纵深发展的关键突破口。

当前,众多学者围绕农村居民点的适宜性评价[4]、时空格局演变[5]、潜力测算[6]与分区整治等[7-8]展开了深入研究。其中,农村居民点分区整治作为实现差异化治理的关键路径,其核心在于综合分析自然条件、生态约束与社会经济因素,划定具有共性特征的空间单元。现有研究主要从可达性评价[9]、农户生计转型[10]、三生功能理论等[11]多维视角构建分区评价指标体系,从而对居民点空间格局进行科学划分。相关研究丰富了乡村空间重构的理论基础,但随着农村居民点功能从单一居住属性演化为集生活服务、经济生产、社会保障、景观文化等于一体的多元复合体系[12],传统的静态数量管控视角已难以适应新时期乡村振兴的现实需求。如何在分区整治基础上进一步优化多元功能配置、激发内在活力、增强区域协同发展能力,成为亟待深化的研究议题。

为回应这一现实需求,学术界开始从多元要素耦合与动态关联的维度探寻优化路径,相关研究呈现出内生要素匹配与外向联系重构两个维度的演进特征。在内生要素匹配维度,学者们致力于引入多维测度指标以精准识别发展类型。如邹亚锋等[13]通过测度“活力”指数识别居民点类型,赵素霞等[14]基于“人-耕-居”关联模式制定差异化策略,均强调从内部要素的互动机制出发构建振兴路径。在外向联系重构维度,基于“流空间”视角[15]的研究日益深化,设施配置与网络联系成为解析乡村空间重构的关键变量。金贵等[16]在武汉城市圈的研究中,通过建立“要素-功能”评价指标体系,将产品供给与空间功能传导相结合,构建国土空间综合功能分区框架;Bertram等[17]以阿

尔卑斯山区为例,证实了多中心服务网络对优化山区空间组织效率的关键作用,并指出地形受限区域依赖弹性的聚落网络来应对服务供给边际成本递增的重要性;Medeiros[18]以葡萄牙阿连特茹和挪威内陆两个边缘乡村地区为例,揭示了在人口稀疏与地理隔离的乡村腹地中,通过培育中心村作为关键节点并强化其网络联系,是打破空间孤立、带动区域整体协同发展的有效途径。这些研究表明,内部要素协同与外部网络支撑共同驱动着乡村空间有序演化。

然而现有成果在系统性整合与内在关联揭示上仍显不足。多数研究或侧重设施可达性的独立评价,或将网络联系简化为随距离线性衰减的关联,未能将设施供给、网络结构与空间格局三者纳入统一框架进行综合分析。尤其在喀斯特山区,地形破碎导致物理距离与时间成本呈现非线性错配,常规适用于平原地区的模型难以应对其生态约束强、网络联通弱、空间整合难的多重困境,亟需构建契合山区人地关系复杂性的协同分析框架。基于此,本文以毕节市七星关区为例,该区地貌破碎、耕地有限、生态脆弱,农业生产受自然条件制约显著;随着城镇化进程加快,乡村人口空心化加剧,城乡发展长期不均衡,公共服务配置失衡问题日益凸显。为此,本文构建"设施-网络-空间"分析框架,通过测算农村居民点的公共服务可达性、构建村域网络结构,从"可达性-网络联系"耦合视角划分居民点类型,并提出相应的协同优化路径,以期为喀斯特山区农村居民点空间结构优化与城乡协调发展提供科学依据。

1 基于"设施-网络-空间"视角的农村居民点优化分析框架

设施是乡村地域系统的物质基础与公共保障底线。教育、医疗、商业等公共服务设施是满足居民基本生存与发展需求的重要基础,也是引导人口集聚与生活空间重构的关键[19]。公共服务设施配置的空间效率不仅取决于设施数量,更取决于居民在真实交通条件下获取服务的便利程度[20]。受城乡二元结构及资源配置偏向影响,农村地区普遍面临公共服务供给不足与空间分布不均衡的问题,进而影响居民生活质量、人口稳定与村庄发展基础[21]。因此,以公共服务可达性衡量设施支撑水平,能够从通行时间成本与空间公平性出发识别服务覆盖短板,为优化配置提供科学依据。

网络是乡村地域系统内外联系的组织基础与要素流通道。随着交通条件的改善与信息技术的普及,农村居民点已嵌入区域要素流网络,村庄间的经济协作、信息交流与社会往来构成复杂的关联网络[22]。在流动的网络视角下,村庄发展差异不仅取决于内部资源禀赋,更与其在联系网络中的结构位置相关,进而影响其对人口、资金与服务等要素的承接、集聚与扩散能力[23]。构建村域空间关联网络并引入中心性指标,能够刻画村庄联系强度与层级分化,识别关键节点与传导通道,并揭示村际互动格局对空间组织的驱动效应。

空间是设施供给与网络联系共同作用的综合载体。设施配置对空间具有显著引导效应,服务设施与交通条件的空间分异推动居民点向通达性较好、设施更完善的区域集聚并形成增长极[24-25];而要素流动强弱与结构位置差异将进一步强化村庄等级分化[26],促使乡村空间从相对均质的离散分布演变为"核心—边缘"或轴带串联的组织形态。同时,乡村空间格局的优化能反作用于提升设施配置与服务供给的整体效率,降低要素流动的摩擦成本[27]。因此,将设施可达性与网络联系纳入同一分析框架,有助于从系统内部作用过程出发提出更具针对性的空间优化路径。

由此,设施支撑、网络联系与空间优化之间形成了一种动态耦合与循环累积的互馈机制:设施配置的优化通过降低服务获取成本与要素流动的摩擦阻力,为强化村域间的网络联系奠定物质基础;网络联系的增强促进要素向优势区位的定向集聚与高效配置,推动乡村空间结构由无序分散向有序集约演化;而空间格局的重组与集聚又反过来提升公共服务供给的规模效应与网络运行效率,进一步巩固关键节点的结构地位。这一互馈过程为本文基于"可达性-网络联系"双维视角识别居民点类型并制定差异化调控策略提供了坚实的理论逻辑。

在喀斯特山区,地形破碎、资源环境承载力有限与生态敏感性较高等因素共同作用,使农村居民点更易面临设施支撑不足、联系组织薄弱与空间格局无序并存的困境[11]。基于此,本文构建"设施-网络-空间"协同优化分析框架,以公共服务可达性表征设施支撑水平、网络中心度刻画联系组织能力,通过识别不同村庄的组合特征划分差异化空间类型,旨在为破解山区资源错配难题、推动设施配置与空间重构的协同演进提供一种新的分析思路。

2 研究区域及数据

2.1 研究区概况

七星关区(104°51′—105°55′E,27°03′—27°46′N)地处黔、滇、川三省交界的乌蒙山区腹地,是贵州省毕节市的政治、经济和交通中心,同时也是西南

地区重要的交通枢纽与物资集散地。全境以喀斯特地貌为主,海拔461～2 210 m,地势起伏明显,区域总面积3 411.14 km^2,辖46个乡镇(街道),596个村(社区)。根据七星关区2022年统计年鉴,全区常住人口为130.51万人,为贵州省人口最多的县区;第三次国土调查数据显示,农村居民点斑块共计75 178个,总面积为95.52 km^2,呈现出高度破碎的空间分布特征。区域交通路网以高速公路和国道为主骨架,省道、县道及农村公路为基础网络,公路总里程5 456.50 km,路网密度较高,对外联系与区内通达条件总体较好。

2.2　数据来源与处理

本文的土地利用现状数据来源于七星关区第三次全国国土调查成果,石漠化、水土流失、地质灾害数据来自国土空间总体规划成果,依据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)与《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》(SL461—2009)对水土流失和石漠化进行等级划分,地质灾害数据源自七星关区国土空间总体规划中的地质灾害易发性分区图,经矢量化与赋值处理后获取。行政区划底图数据来自国家地球系统科学数据中心(https://www.geodata.cn/),30 m精度的DEM数据和道路数据来源于地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/);水文地质数据依据贵州省七星关区环境地质图矢量化整理获得。社会经济数据方面,购物、医疗、教育等设施点目录来源于相关行业部门,并通过百度地图开放平台(https://lbs.baidu.com/)获取坐标;人口数据引用自《七星关区统计年鉴(2022年)》;其余社会经济数据取自七星关区《国民经济和社会发展统计公报》和《中国县域统计年鉴(乡镇卷)》。

3　研究方法

3.1　公共服务可达性评价

3.1.1　*公共服务可达性评价指标体系构建*　公共服务设施是面向社区居民提供的各类公共性、服务性设施,涵盖公共建筑、场地及其附属设施等,根据功能可分为教育、医疗卫生、文化体育、商业服务、金融邮电等类别[28]。本研究选取与村民日常生活最密切相关的教育、医疗、购物3类设施构建评价体系(表1),利用AHP层次分析法确定各级指标权重,以量化不同设施在乡村生活圈中的重要程度。

3.1.2　*高斯两步移动搜索法*　高斯两步移动搜索法(Ga2 SFCA)由Dai提出[29],其核心改进在于通过引入高斯函数等距离衰减模型,量化搜索半径内农村居民出行的距离衰减效应与空间竞争关系,具体流程如下:

第一步:计算设施点供需比。以各公共服务设施点j为中心,以服务半径d_0划定搜索区,并运用高斯衰减函数对区内所有居民点k的人口需求进行距离加权求和,得到潜在服务需求总量。随后以设施j的供给能力S_j除以该加权需求总量,得到其供需比R_j:

$$R_j=\frac{S_j}{\sum\limits_{k\in\left(d_{kj}\leqslant d_0\right)}G\left(d_{kj},d_0\right)D_k} \tag{1}$$

$$G\left(d_{kj},d_0\right)=\begin{cases}\dfrac{\mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{kj}}{d_0}\right)^2}-\mathrm{e}^{-\frac{1}{2}}}{1-\mathrm{e}^{-\frac{1}{2}}} & d_{kj}\leqslant d_0\\ 0 & d_{kj}>d_0\end{cases} \tag{2}$$

式中:S_j为设施点j的供给量;D_k为服务区域半径内农村居民点k的需求人口之和;d_{kj}为农村居民点k和设施点j之间的时间阻抗;d_0为搜索半径阈值;$G(d_{kj},d_0)$为考虑距离衰减的高斯方程。

第二步:对农村居民点k,以搜索半径d_0识别设施j,利用高斯函数加权k对j的设施占有量,并汇总得到农村居民点k的可达性A_k^F:

$$A_k^F=\sum_{j\in\left(d_{kj}\leqslant d_0\right)}G\left(d_{kj},d_0\right)R_j \tag{3}$$

式中:R_j为设施点j的供需比;A_k^F为居民点k的公共服务设施空间可达性指数,计算得到的值越大,则表明位置k的可达性值越高。

表1　农村居民点公共服务可达性评价指标体系

Table 1　Evaluation indicator system for public service accessibility of rural settlements

准则层	准则层权重	指标层	指标权重
医疗设施	0.36	综合医院	0.44
		卫生院	0.31
		卫生室、诊所	0.25
教育设施	0.35	幼儿园	0.22
		小学	0.32
		中学	0.46
购物设施	0.29	综合商场	0.39
		集贸市场	0.36
		便利店	0.25

针对喀斯特山区特殊的地形条件与研究数据特征,本研究对模型中的出行阻抗、搜索阈值等关键参数设定如下:(1)出行阻抗(d_{kj})的测算:考虑到喀斯特山区地形起伏大、道路迂回曲折,因此采用路网通行时间代替物理距离作为阻抗指标,依据《公路工程技术标准》结合山区实际路况,构建OD成本矩阵批量计算各农村居民点到公共服务设施点的最短路网通行时间;(2)搜索半径(d_0)的确定:鉴于不同类型设施的服务层级差异,以及山区居民对不同服务的

出行时间接受度不同,基于OD成本矩阵的统计特征进行分类设定:医疗与教育设施等级较高且分布相对稀疏,为确保绝大多数偏远村庄能被评价覆盖,同时剔除极端离群值影响,选取居民点到最近设施通行时间的75%分位数作为阈值进行计算;购物设施主要满足日常购物需求,服务频率高且分布较密,因此选取通行时间的平均值作为阈值。

3.2 农村居民点空间网络构建

3.2.1 *农村居民点质量评价指标体系构建* 农村居民点的综合质量由其内外部条件共同决定,并直接影响其在区域网络中的集聚与辐射能力。为科学测度村庄间的空间相互作用,本文将行政村抽象为网络节点,结合七星关区作为喀斯特山区的典型特征,从生态条件、产业条件与资源条件3个维度构建综合评价指标体系(表2)。在生态条件方面,选取石漠化等级、土壤侵蚀程度和地质灾害指数作为负向约束指标,以量化生态安全对居民点发展的限制作用,同时通过林草地面积占比表征生态本底条件。在产业动力方面,引入企业数量表征非农经济活力,以特色园地面积体现山地特色农业基础,并通过农业人口规模反映劳动力供给潜力。在资源支撑方面,采用路网密度评价交通可达性,以土地垦殖率衡量农业利用强度,并引入耕地破碎度指标,刻画山区耕地细碎化对规模化经营的制约效应。

为消除不同指标在量纲与数量级上的差异,对全部指标数据进行极差标准化处理,将正向与负向指标统一转化为可比较的标准化数值。在此基础上,采用AHP层次分析法确定各指标权重,通过加权求和计算得到各行政村的综合质量指数(M_i),为后续网络分析提供数据基础。

表2 农村居民点质量评价指标体系

Table 2 Evaluation indicator system for quality of rural settlements

准则层	指标层	指标说明	指标权重	指标属性
生态条件	林地面积占比	林地面积/土地总面积	0.0752	正向
	草地面积占比	草地面积/土地总面积	0.0636	正向
	石漠化等级	按石漠化程度赋值(无石漠化=1,轻度=3,中度=5,重度=7,极重度=9)	0.0913	负向
	水土流失程度	按土壤侵蚀程度赋值(微度=1,轻度=2,中度=3,强烈=4,极强烈=5,剧烈=6)	0.1261	负向
	地质灾害指数	基于地质灾害规模权重的核密度值	0.1343	负向
产业条件	农业人口数	乡村户籍人口数量	0.0587	正向
	企业数量	乡村企业的数量	0.1065	正向
	园地面积占比	园地面积/土地总面积	0.0324	正向
资源条件	土地垦殖率	耕地面积/土地总面积	0.0511	正向
	路网密度	道路面积/土地总面积	0.1681	正向
	耕地破碎度	村耕地总面积/村耕地斑块个数	0.0927	负向

3.2.2 *引力模型* 为刻画农村居民点之间的空间相互作用,本研究引入修正后的引力模型,以计算节点间的空间联系强度,计算公式如下:

$$F_{ij}=K\frac{M_iM_j}{D_{ij}^{\beta}} \tag{4}$$

式中:F_{ij}为居民点i与居民点j之间的空间引力值;K为引力常数,通常取值为1;M_i,M_j分别为居民点i和j的综合质量指数;D_{ij}为居民点i和j之间的最小通行时间成本;β为距离衰减系数,结合相关研究与区域特征,取值为2。基于该模型构建农村居民点空间关联网络的邻接矩阵。

3.2.3 *社会网络分析* 基于空间网络的构建,选取整体网络指标与节点中心性指标进行分析。整体网络特征选用网络密度、网络效率、聚类系数与平均路径长度,以刻画网络的连通性、信息传递效率及局部集聚程度。并采用度中心性衡量单个节点在网络中的核心地位,度中心性越大,节点强度越大,节点枢纽功能越突出,对网络信息流动的影响力越强[30],公式如下:

$$S_k=\sum_{j=u_k}R_{kj} \tag{5}$$

式中:S_k为节点k的节点强度;R_{kj}为节点k,j相连接边的数量;u_k为节点k与其他节点相邻的节点个数。基于Ucinet平台计算度中心性结果,并借助GIS自然断点法将其划分为Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级中心点,以识别区域空间结构中的关键节点与层级体系。

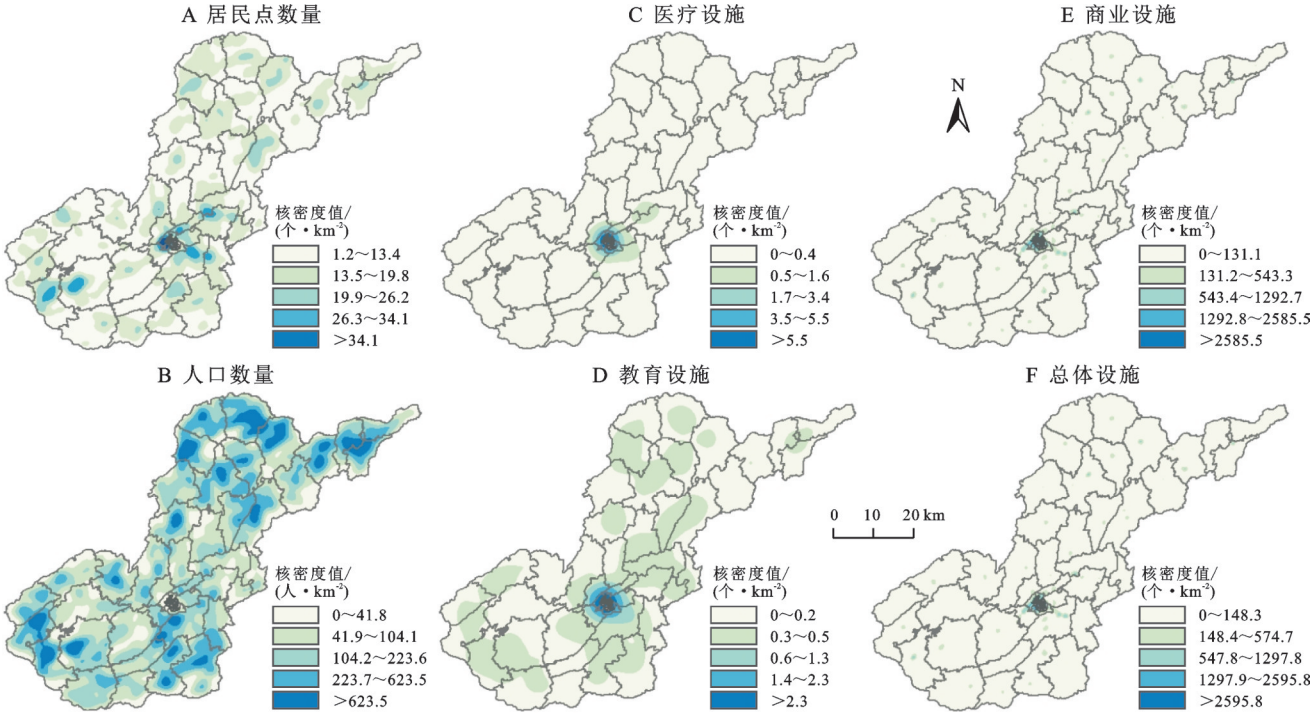
4 结果与分析

4.1 公共服务设施供需格局

运用ArcGIS 10.8中的核密度估计法对研究区域的农村居民点、人口数、公共服务设施数量进行空间分析(图1),结果表明,七星关区农村居民点空间分布呈现显著的集聚态势,其高密度区主要集中于3个区域:北部的生机镇、清水铺镇、林口镇、大屯彝族

乡等乡镇形成的连片高密度带;鸭池镇、朱昌镇、梨树镇等毗邻中心城区的地带;沿杭瑞高速等主要交通干线分布的杨家湾镇、撒拉溪镇等廊道地区。而低密度区则集中分布于西南部高海拔山区的野角乡与长春堡镇、中部田坝桥镇至八寨镇的过渡地带,以及东部小坝镇、海子街镇与碧海街道的毗邻区域。

公共服务设施的整体空间格局呈现出以城区为核心的单核分布特征,城区作为绝对核心区其核密度值显著高于外围区域,各乡镇中心则成为次级核心点。医疗服务设施空间分异最为显著,整体上以主城区为核心形成高密度区,并向外围呈圈层式递减;教育设施在城区集聚基础上沿东、北向扩展,形成带状外延特征;购物设施点位数量相对较多、分布更为离散,但仍以城区及各镇区为主要集聚中心,表明商业要素高度集聚于人口密集、经济发达的核心区域。



注:基于贵州省地理信息公共服务平台下载的审图号黔S[2022]005号的标准地图绘制,底图未做修改,下图同。

图1　七星关区供需空间分布

Fig. 1　Spatial distribution of supply and demand in Qixingguan District

4.2　公共服务可达性空间格局分析

基于极差标准化与反距离权重法生成可达性空间分布图(图2),为进一步揭示服务供给在区域宏观尺度上的空间公平性与分布规律,量化公共服务供给的空间非均衡性及其与区位条件的关联,本研究将全域乡镇按综合可达性指数降序排列,并叠加距中心城区通行时间圈层(核心区<40 min、过渡带40～90 min、边缘区>90 min)进行统计分析(图3),展示各乡镇公共服务可达性的位序排列与圈层属性。结论如下:

从整体格局看,公共服务可达性呈现“核心—边缘”梯度分异与多极支撑并存的特征。空间形态上,综合可达性高值区集中覆盖中心城区及近郊街道,并依托交通干线向梨树镇、朱昌镇等次级中心延伸,形成核心引领、廊道辐射的十字型骨架;低值区则集中于水箐镇、龙场营镇等深山区,受地形与路网制约明显。统计显示,全区约60%的乡镇综合可达性低于平均值,高值梯队主要以核心区为主导,展现出优质资源对中心城区极强的空间依附性;而低值长尾区则几乎全被边缘区覆盖,反映了通行时间成本对服务获取能力的硬约束、可达性随距离增加而衰减的总体规律。在梯度衰减的主导下,朱昌镇、千溪乡等地处过渡带的乡镇可达性位序显著靠前,成功嵌入高值梯队,发挥了区域次级中心的支撑作用,体现出交通节点与设施配套对地理阻隔的缓解作用。

分不同设施类型看,受政策导向、市场机制与地形约束的交互作用,各类设施表现出差异化的分异机理。七星关城区作为毕节市市辖区核心,集聚了全市相对优质的综合性医疗资源,形成辐射全域的服务中心,而低值区表现为两种类型,一类是西部大河乡、野角乡等山区地带,通过叠加地形、路网分析显示其多处于地形起伏大、道路绕行显著的区域,实际通行时间大幅增加,从而形成连片低值“洼地”;第二类低值区位于东北部的普宜镇、阿市乡等人口密

集区，在供需的结构性错配下，表现为显著低值。教育可达性与医疗可达性在空间上具有较高的协同性，但教育可达性呈现更明显的向心收缩特征。受优质教育资源城区集聚导向及撤点并校政策影响，教育服务范围更趋向核心区收缩，边缘村庄获取优质教育资源的边际成本显著高于其他设施。购物设施可达性呈现双核驱动格局，且具有更强的市场导向与更低的准入门槛，设施的数量更多、形态更灵活，除主城区外，层台镇、八寨镇等交通枢纽凭借客流集散优势形成次级高值中心，但在广大的农村腹地，受制于人口分散与消费门槛，整体仍表现为供给偏弱与可达性不足。

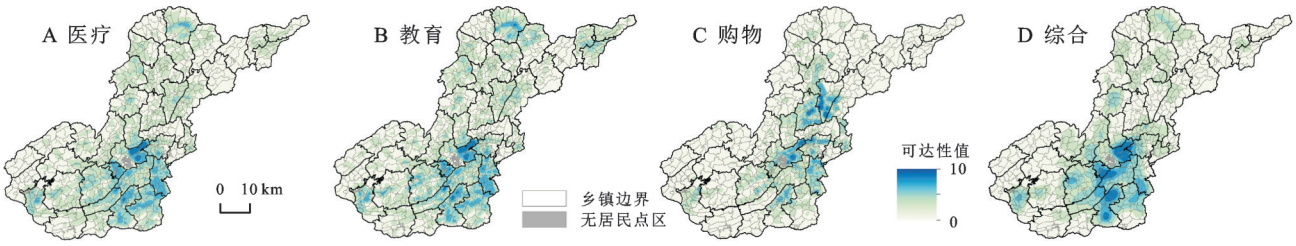


图2 七星关区公共服务可达性空间分布格局

Fig. 2 Spatial distribution patterns of public service accessibility in Qixingguan District

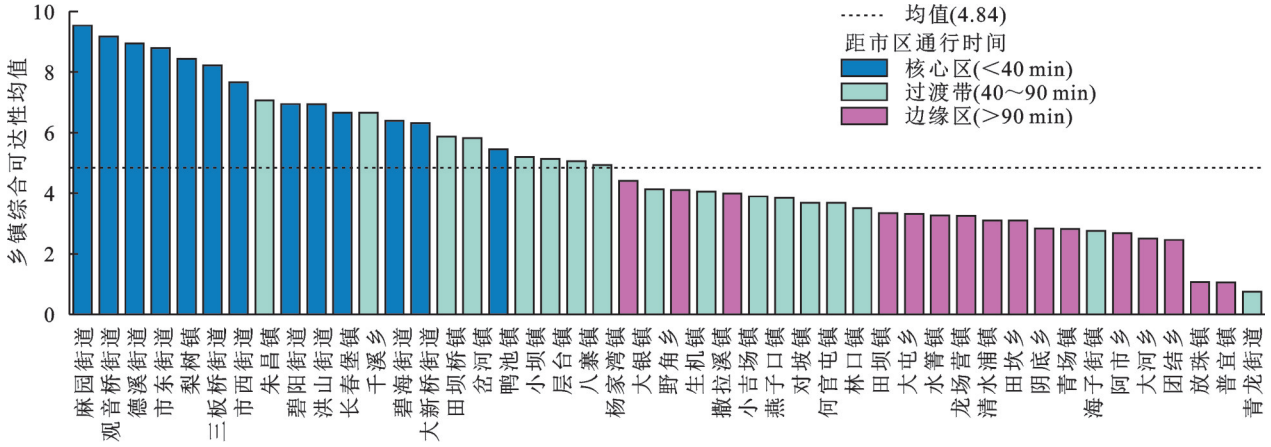


图3 七星关区乡镇综合可达性均值位序图

Fig. 3 Ranking of average comprehensive accessibility of townships in Qixingguan District

4.3 农村居民点空间网络分析

4.3.1 整体网络结构特征 基于引力模型构建农村居民点空间关联网络，首先测算其整体网络相关指标，结果表明，农村居民点网络具有显著的“小世界”效应，呈现出“低密度、高聚类、短路径”的空间组织特征，反映了喀斯特山区乡村网络在地形约束下仍能维持局部集聚的内在韧性。网络密度仅为0.133 2，说明实际有效联系仅占理论全连接的13.32%，直观印证了地形阻隔对全域要素流动网络的显著抑制作用，边缘村庄多处于弱连接状态。与此同时，网络在局部表现出高度集聚倾向，聚类系数达0.726 6，形成多个内部联系紧密的村落组团，为推进联村共建与片区协同提供了结构基础。尽管地形阻隔明显，但2.882 4的平均路径长度表明，关键节点能够发挥高效的桥接功能，在破碎空间中搭建起快速流通的骨架通道。值得注意的是，网络效率为0.444 2，处于中低水平，表明节点间要素传递的平均效率有限，全域联系在拓扑结构上仍较为脆弱，部分节点之间缺乏有效的间接联系路径，网络整体的信息与资源流通能力有待提升。

4.3.2 节点等级分异特征 为进一步解析网络内部的层级结构，基于度中心性测算结果，采用自然断点法将节点强度划分为Ⅰ级(5.50~10)、Ⅱ级(2.45~5.50)、Ⅲ级(0~2.45)3类，结果显示，空间分布呈现显著的“核心集聚—廊道串联—边缘分散”结构(图4)。

Ⅰ级核心节点共计118个，高度集聚于麻园、碧阳等中心城区街道及鸭池、梨树等近郊镇区，该类节点综合能级突出，既是高强度联系的集聚地，又是全域网络的辐射源，承担着跨越地理阻隔、主导区域要素流动的核心枢纽功能。Ⅱ级中继节点共计107个，主要沿长春堡—撒拉溪—岔河等交通干线分布，该类节点在网络结构中充当重要的中继与传导角色，依托交通廊道维持着核心区与外围区域的连通性，将分散的边缘单元纳入区域交换体系，促进网络结构由单中心向多层级过渡。Ⅲ级基础节点共计349个，数量最多且广泛散布于区域边缘及地形受限的山区腹地。该类节点在网络中处于被动依附地位，对外连接通道单一，主要承担基础居住与生产功能。作为网络体系的基底，其弱连接特性决定了其是后

续分区优化中实施分类治理、识别重点帮扶与底线管控对象的主要载体。

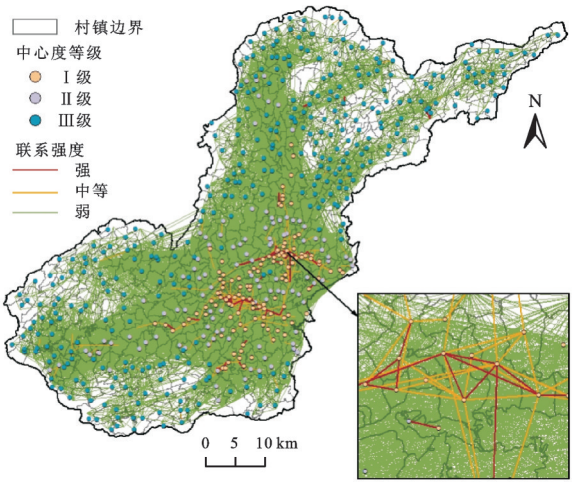


图 4　七星关区农村居民点网络联系图

Fig. 4　Network linkage map of rural settlements in Qixingguan District

4.4　农村居民点分区协同优化研究

基于前述分析,采用自然间断点法将农村居民点的公共服务综合可达性指数与网络中心度指数分别划分为高、中、低 3 个等级。通过构建“可达性-中心度”二维分类矩阵,根据不同组合的功能特征与空间属性,识别出城郊融合型、集聚提升型、潜能培育型、一般存续型和整治改善型 5 类发展单元(表 3),并绘制空间分布格局图(图 5)。

(1) 城郊融合型。该类型分区覆盖 87 个行政村,农村居民点面积为 11.34 km^2,占农村居民点总面积的 11.88%,集中于中心城区外围过渡带,具备较高的公共服务可达性与较强的网络中心度。作为县域公共服务集聚与要素组织的关键节点,其优化重点在于承接中心城区的功能外溢。在设施配置层面,通过公共交通接驳与服务圈组织增强对周边村庄的稳定覆盖,推动教育、医疗、商业等基础服务向城郊村延伸;在网络组织层面,应利用高通达性的交通区位,强化其作为城乡要素交换枢纽的职能,推动从“过路经济”向“节点经济”转型,切实将区位与网络优势转化为可持续的产业辐射能力。

(2) 集聚提升型。该类型分区覆盖 106 个行政村,农村居民点面积为 19.65 km^2,占农村居民点总面积的 20.57%,主要沿交通主干线及城郊次级廊道呈带状或环状分布,可达性较高且中心度处于中高水平,承担核心区与外围乡村的传导联系功能。该类型村庄的发展应强化廊道效应并提升节点的要素截留能力。针对设施支撑,可依托交通干线进行带状产业服务设施布局,引导教育、医疗资源向沿线中心村集聚;在网络联通层面,应重点完善“干线—支线”的微循环路网,消除断头路与瓶颈路段,增强廊道节点对腹地乡村的横向辐射能力,实现由线状交通优势向面状空间发展优势的传导与转化。

(3) 潜能培育型。该类型分区覆盖了 90 个行政村,农村居民点面积为 13.62 km^2,占农村居民点总面积的 14.26%。主要分布在七星关区南部的岔河镇、杨家湾镇,中部的田坝桥镇、层台镇等区域。该类型存在显著的“设施-网络”非均衡特征,需分类施策以释放发展潜能。对于交通通达度不足但在局部范围内联系较强的村庄,可优先完善教育、医疗等基础服务,改善通往主干道的连接线与应急通道条件,增强其承担山区次级服务组织与要素中继的功能;对通达条件较好但联系组织能力偏弱的村庄,应完善快递电商服务点、公共活动场所等便民服务设施,提升公共空间与便民服务节点的功能集聚水平。

(4) 一般存续型。该类型分区覆盖 242 个行政村,农村居民点面积为 44.42 km^2,面积占比达 46.50%,主要分布于中部至西北部过渡地带,可达性整体中等、中心度以中低等级为主。该类型居民点作为维系乡村社会稳定的主体单元,受制于地理区位与资源约束,优化方向应以稳态提升为主。在服务供给上,通过移动医疗、远程教育、巡回服务与定制出行等方式弥补固定设施覆盖不足;空间层面以村庄微更新、宅基地整合为主改善人居品质,同时强化邻近村庄间的互助网络,鼓励共享公共空间,维持乡村社区的韧性与稳定性。

(5) 整治改善型。该类型分区覆盖 49 个行政村,农村居民点面积为 6.49 km^2,占农村居民点总面积的 6.79%。多位于西部、北部边缘区域,可达性与中心度双低,该类型村庄主要位于高海拔生态敏感区或地质灾害频发区,是区域安全的底线管控区。其优化路径应坚持生态优先导向,实施严格的空间用途管制。近期策略上,应严控新增建设用地,完善灾害预警与应急避险设施,通过定期巡回服务保障留守人口的基本生存需求;远期策略上,应结合易地扶贫搬迁与生态移民政策,逐步引导人口向优势区域转移,通过宅基地复垦与生态修复,最终实现人地关系的再平衡与生态空间的系统复绿。

从全域协同视角来看,5 类空间单元的优化路径形成了“极核引领—廊道传导—节点培育—底线管控”的分级协同治理体系:城郊融合型村庄承担高等级服务供给与要素组织并向外溢出,集聚提升型通过通道与节点组织实现扩散传导,潜能培育型通过差异化补短板逐步嵌入协作体系并发挥局部中继作用,一般存续型以联合服务圈维持稳定并实现渐进

改善，整治改善型以生态安全与风险管控提供底线支撑。资源统筹上，增量投入应优先配置到能够同时改善可达性与中心度的关键节点与通道瓶颈，存量资源则应通过服务圈共享、设施复合利用与移动服务提高供给效率，并与生态底线管控协同推进，从而在资源约束下同步提升公共服务配置效率、联系组织能力与空间结构稳定性。

表3 农村居民点分区优化类型划分

Table 3 Classification of zoning-based optimization types of rural settlements

空间划分类型	可达性条件	节点等级
城郊融合型	高可达性(4.22～10)	Ⅰ级节点(5.50～10)
集聚提升型	高可达性(4.22～10)	Ⅱ级节点(2.45～5.50)
	中可达性(1.25～4.22)	Ⅰ级节点(5.50～10)
潜能培育型	高可达性(4.22～10)	Ⅲ级节点(0～2.45)
	低可达性(0～1.25)	Ⅰ级节点(5.50～10)
一般存续型	中可达性(1.25～4.22)	Ⅱ级节点(2.45～5.50)
	中可达性(1.25～4.22)	Ⅲ级节点(0～2.45)
	低可达性(0～1.25)	Ⅱ级节点(2.45～5.50)
整治改善型	低可达性(0～1.25)	Ⅲ级节点(0～2.45)

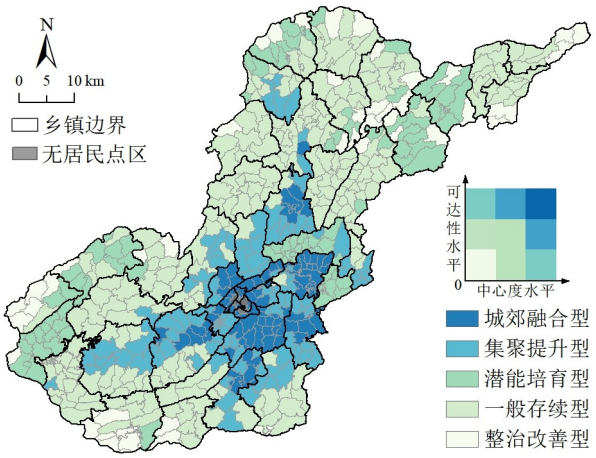


图5 七星关区农村居民点优化分区类型分布

Fig. 5 Spatial distribution of zoning-based optimization types of rural settlements in Qixingguan District

5 讨论与结论

5.1 讨 论

七星关区作为典型喀斯特山区，生态本底脆弱与空间异质性显著，受制于破碎的地貌环境，农村居民点的发展并非线性梯度扩散，而是呈现出显著的结构性分化特征。因此，超越单一的行政层级视角，开展基于功能与关联的居民点类型识别并实施分类引导，是推动山区乡村全面振兴的前置逻辑。本文以七星关区为例，对农村居民点的空间组织与公共服务配置进行系统分析，相关结论对于深化喀斯特山区乡村空间治理研究、推动差异化振兴实践具有参考意义。

在理论层面，本文构建的“设施-网络-空间”协同分析框架，突破了传统乡村地理研究中静态要素评价与动态流空间分析相割裂的局限。该框架通过耦合公共服务可达性与网络中心性，系统揭示了设施配置、要素流动与空间格局之间的循环互馈机制，为解析地形约束下乡村空间分异提供了整合性视角。在此基础上提炼的“核心引领—廊道传导—节点培育—底线管控”协同优化范式，不仅适用于案例区域，也可为类似喀斯特地貌区的乡村空间重构提供可迁移的分析工具与规划逻辑。在实践层面，本研究揭示了喀斯特山区乡村发展应遵循“非均衡协同”的优化路径。地形阻隔虽制约了全域网络化联系，但也促使要素沿交通干线集聚，并在局部形成次级协作组团。因此，山区的空间优化不宜追求全域均质推进，而应依托“核心—廊道—节点”体系，重点提升关键空间载体的设施配置与网络枢纽功能，同时通过跨村域协作机制激活边缘地区的局部网络，实现整体结构优化与区域效能提升。

本文在测度可达性的基础上引入网络视角刻画村域空间相互作用，弥补了既有研究对居民点互动关系关注不足的问题；并在质量评价体系中提高生态因子权重，使识别结果更契合生态保护与发展统筹的区域诉求。然而研究仍存在两点不足：其一，可达性评价主要聚焦购物、医疗与教育等基础需求，未纳入文化、养老、体育等高层次需求及不同群体的行为差异，可能影响对生活便利性的全面刻画；其二，农村居民点网络主要基于客观空间数据构建，尚未充分整合居民出行行为与交往偏好等主观因素。后续研究可扩展服务类型与指标体系，引入多源行为数据并结合实地调研对网络关系进行校正，以提升评估的科学性与针对性，为差异化整治与发展策略提供更精准的支撑。

5.2 结 论

（1）七星关区公共服务空间格局呈现明显的“核心—边缘”梯度分异，以城区为辐射中心，并沿交通廊道表现出非均质衰减的特征，各类设施面临差异化的结构性约束。可达性高值区在主要交通走廊方向出现明显的带状外展，并由若干乡镇节点形成次级高值支撑；低可达性区域主要集中在西部高海拔破碎山区以及东北部乡镇，是后续均衡提升与优化配置的重点区域。

（2）七星关区农村居民点空间网络具有显著的层级化与结构分异，呈现出通道依赖与局部集聚并存的空间组织特性。全域网络联系呈现“整体松散、局部抱团”的小世界特征；高强度联系节点集聚于城区及近郊

过渡带,构成了网络的辐射核心;中等强度节点沿交通干线分布,承担着承上启下的传导功能;而广大外围山区与腹地乡村则处于网络末梢,联系相对稀疏。

(3)综合医疗、教育、购物设施可达性格局与空间网络结构特征,将七星关区农村居民点分区归纳为城郊融合型、集聚提升型、潜能培育型、一般存续型、整治改善型5类空间单元,构建“极核引领—廊道传导—节点培育—底线管控”的分区协同优化路径:城郊融合型重点承接城市功能外溢,集聚提升型依托交通廊道促进通道优势转化,潜能培育型通过补齐短板嵌入区域网络,一般存续型与整治改善型分别侧重于内生稳态维系与生态底线管控。

参考文献(References):

[1] 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 Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018,73(4):637-650.

[2] 冯应斌,龙花楼.中国山区乡村聚落空间重构研究进展与展望[J].地理科学进展,2020,39(5):866-879.
Feng Y B, Long H L. Progress and prospect of research on spatial reconstruction of rural settlements in mountainous areas of China[J]. Progress in Geography, 2020,39(5):866-879.

[3] 冯德东,龙花楼,王坤,等.中国农村居民点空间布局优化研究综述与展望[J].地理研究,2024,43(8):2215-2232.
Feng D D, Long H L, Wang K, et al. Review and prospect of research on spatial layout optimization of rural settlements in China[J]. Geographical Research, 2024,43(8):2215-2232.

[4] 洪步庭,任平.基于最小累积阻力模型的农村居民点用地生态适宜性评价:以都江堰市为例[J].长江流域资源与环境,2019,28(6):1386-1396.
Hong B T, Ren P. Assessment of ecological suitability for rural residential land based on minimum cumulative resistance model: a case study in Dujiangyan City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019,28(6):1386-1396.

[5] 唐芳,李阳兵,王权,等.岩溶槽谷区农村居民点的时空分布特征及其驱动机制[J].自然资源学报,2021,36(4):978-992.
Tang F, Li Y B, Wang Q, et al. Spatio-temporal distribution characteristics and driving mechanism of rural residential areas in karst trough valley area[J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(4):978-992.

[6] 黄梓鑫,付艳华,李晶,等.基于村庄类型差异的农村居民点整治潜力研究:以聊城市为例[J].中国土地科学,2022,36(12):78-90.
Huang Z X, Fu Y H, Li J, et al. Consolidation potential of rural residential areas based on village types: taking Liaocheng City as an example[J]. China Land Sciences, 2022,36(12):78-90.

[7] 孙建伟,罗静,孔雪松,等.基于空间特征的秦巴山区农村居民点整理分区与潜力测算[J].人文地理,2017,32(2):80-87.
Sun J W, Luo J, Kong X S, et al. Zoning and potential calculation for rural settlements consolidation in the Qinba Mountainous Area based on spatial characteristics[J]. Human Geography, 2017,32(2):80-87.

[8] 郑秋月,姜广辉,张瑞娟.基于乡村地域功能导向的土地整治分区:以北京市平谷区为例[J].中国农业资源与区划,2018,39(11):70-76.
Zheng Q Y, Jiang G H, Zhang R J. Regionalization for land reclamation based on rural area functional orientation: a case study of Pinggu District, Beijing[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018,39(11):70-76.

[9] 涂叶绿,曹小曙,姚玲玲.基于道路可达性的典型脱贫地区乡村聚落空间分布特征及影响因素[J].人文地理,2024,39(1):122-129.
Tu Y L, Cao X S, Yao L L. An analysis of rural settlement patterns and their effect mechanisms based on road traffic accessibility in poverty alleviation area[J]. Human Geography, 2024,39(1):122-129.

[10] 王楠,郝晋珉,李牧,等.生计转型背景下河北省农村宅基地整理分区与潜力研究[J].农业工程学报,2019,35(9):255-264.
Wang N, Hao J M, Li M, et al. Zoning and potential of rural housing land consolidation in Hebei Province under background of livelihoods transformation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(9):255-264.

[11] 杨丹丽,孙建伟,张勇,等.基于“三生”功能的喀斯特山区农村居民点整治类型划分:以七星关区为例[J].中国土地科学,2021,35(11):80-89.
Yang D L, Sun J W, Zhang Y, et al. Classification of consolidation type of rural settlements in karst mountainous areas based on “production-living-ecological” functions: taking Qixingguan District as an example[J]. China Land Sciences, 2021,35(11):80-89.

[12] 田亚亚,姜广辉,邢玉琦,等.面向乡村振兴的农村居民点用地结构与功能互动研究框架[J].农业工程学报,2024,40(8):232-244.
Tian Y Y, Jiang G H, Xing Y Q, et al. Research framework for the interaction between rural residential land structure and function oriented towards rural revitalization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2024,40(8):232-244.

[13] 邹亚锋,易呈锋,杜平平,等.顾及三生功能与活力的农牧交错区不同类型农村居民点振兴路径[J].农业工程学报,2025,41(11):264-276.

Zou Y F, Yi C F, Du P P, et al. Revitalization paths for different types of rural settlements in the farming pastoral ecotone considering "production-living-ecological" functions and vitality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(11): 264-276.

[14] 赵素霞,李金衡,尹蒙蒙.河南省乡村人-耕-居关联模式及协调发展优化路径[J].水土保持研究,2025,32(5):384-392.
Zhao S X, Li J H, Yin M M. Association patterns and coordinated development optimization pathways of rural population-cultivated land-settlements in Henan Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025,32(5):384-392.

[15] 郭倩倩,张志斌,陈龙,等."流空间"视角下西北地区城市关联特征与网络格局分析[J].经济地理,2023,43(3):88-99.
Guo Q Q, Zhang Z B, Chen L, et al. Characteristics and network structure of urban linkage in Northwest China from the perspective of "Flow Space"[J]. Economic Geography, 2023,43(3):88-99.

[16] 金贵,邓祥征,张倩,等.武汉城市圈国土空间综合功能分区[J].地理研究,2017,36(3):541-552.
Jin G, Deng X Z, Zhang Q, et al. Comprehensive function zoning of national land space for Wuhan metropolitan region[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 541-552.

[17] Bertram D, Chilla T. Polycentricity and accessibility in mountain areas: the Alpine case[J]. European Planning Studies, 2023,31(12):2425-2445.

[18] Medeiros E. Development clusters for small places and rural development for territorial cohesion[J]. Sustainability, 2022,14(1):84.

[19] 周国华,贺艳华,唐承丽,等.中国农村聚居演变的驱动机制及态势分析[J].地理学报,2011,66(4):515-524.
Zhou G H, He Y H, Tang C L, et al. Dynamic mechanism and present situation of rural settlements evolution in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 515-524.

[20] 张金萍,林丹,周向丽,等.基于改进3SFCA的乡村地区公共医疗设施空间可达性与公平性评价:以海口市为例[J].地理科学进展,2022,41(4):636-647.
Zhang J P, Lin D, Zhou X L, et al. Spatial accessibility and equality of public medical facilities in rural areas based on the improved 3SFCA: a case of Haikou City[J]. Progress in Geography, 2022,41(4):636-647.

[21] 罗静,韩婷婷,裴利利,等.乡村公共服务布局与统筹政策研究进展及展望[J].人文地理,2024,39(6):23-32.
Luo J, Han T T, Pei L L, et al. Progress and prospects of theoretical research and integrated policy study on rural public service layout[J]. Human Geography, 2024,39(6):23-32.

[22] 李鑫,马晓冬,胡嫚莉.乡村地域系统人-地-业要素互馈机制研究[J].地理研究,2022,41(7):1981-1994.
Li X, Ma X D, Hu M L. The mutual feedback mechanism of human-land-industry factors of the rural regional system[J]. Geographical Research, 2022, 41(7):1981-1994.

[23] 宿瑞,王成.基于网络中心点辐射导向的农村居民点体系重组与优化:以重庆市江津区燕坝村为例[J].资源科学,2018,40(5):958-966.
Su R, Wang C. Rural settlement spatial layout optimization using network center radiation guidance for Yanba Village in Chongqing[J]. Resources Science, 2018, 40(5):958-966.

[24] 朱彬,尹旭,张小林.县域农村居民点空间格局与可达性:以江苏省射阳县为例[J].地理科学,2015,35(12):1560-1567.
Zhu B, Yin X, Zhang X L. Spatial pattern and accessibility of rural settlements: a case study on Sheyang County in Jiangsu Province[J]. Geographical Science, 2015,35(12):1560-1567.

[25] Zheng Q Y, Jiang G H, Tian Y Y, et al. Spatio-temporal pattern and allocation efficiency of public service land in rural settlements[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022,10:986417.

[26] Tian Y S, Kong X S, Liu Y L, et al. Restructuring rural settlements based on an analysis of inter-village social connections: a case in Hubei Province, Central China[J]. Habitat International, 2016,57:121-131.

[27] Yue Q B, He J H, Liu D F. Identifying restructuring types of rural settlement using social network analysis: a case study of Ezhou City in Hubei Province of China[J]. Chinese Geographical Science, 2021, 31(6): 1011-1028.

[28] 宋正娜,陈雯,张桂香,等.公共服务设施空间可达性及其度量方法[J].地理科学进展,2010,29(10):1217-1224.
Song Z N, Chen W, Zhang G X, et al. Spatial accessibility to public service facilities and its measurement approaches[J]. Progress in Geography, 2010, 29(10): 1217-1224.

[29] Dai D J. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: where to intervene[J]. Landscape and Urban Planning, 2011,102(4):234-244.

[30] 尹玉聪,王宏卫,薛孟琦,等.基于生态约束的新疆新和县农村居民点整治分区[J].农业资源与环境学报,2023,40(5):1093-1103.
Yin Y C, Wang H W, Xue M Q, et al. Regulation zoning of rural settlement based on ecological constraints in Xinhe County, Xinjiang, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(5):1093-1103.