

采用安全韧性理论的农村居民点空间布局优化

邹亚锋^{1,2}, 谷香香¹, 罗艺婷¹, 王 淇¹, 贾庚融¹

(1. 内蒙古大学公共管理学院, 呼和浩特 010020; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 安全韧性是农村居民点存续发展的基础和保障, 能有效指导乡村振兴背景下农村居民点的空间布局优化。该研究以内蒙古武川县可可以力更镇(可镇)为例, 基于安全韧性理论, 界定农村居民点安全韧性的内涵和特征; 借助景观格局指数, 分析可镇农村居民点空间分布现状; 基于农村居民点安全韧性特征, 从适宜性、冗余度、适应性和自组织性 4 个维度构建农村居民点安全韧性评价指标体系并测算其安全韧性等级; 基于评价结果, 结合《国家乡村振兴战略规划(2018—2022 年)》及《关于统筹推进村庄规划工作的意见》, 确定可镇农村居民点空间布局优化类型, 并提出相应的空间布局优化策略。结果表明: 1) 农村居民点安全韧性是一个过程性概念, 具有阶段性特征, 包括防御阶段、恢复阶段和适应阶段, 各个阶段有其显著特征, 依次为适宜性、冗余度、适应性, 以及贯穿于整个过程的独立自主能力; 2) 可镇农村居民点安全韧性整体水平较高, 安全级别以上的农村居民点斑块共 87 个, 占可镇总面积的 52.5%, 在空间上呈现出“南高北低, 中间高四周低”的分布特征; 3) 可镇农村居民点优化类型包括城郊融合类、集聚提升类、特色保护类、一般存续类和搬迁撤并类, 利用加权 Voronoi 图, 确定搬迁撤并类农村居民点安置去向, 进而得到可镇农村居民点优化方案。该研究结果可为全面推进乡村振兴背景下的农村居民点规划发展提供依据。

关键词: 土地利用; 农村地区; 优化; 安全韧性; 加权 Voronoi 图

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.031

中图分类号: F311

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2021)-12-0271-09

邹亚锋, 谷香香, 罗艺婷, 等. 采用安全韧性理论的农村居民点空间布局优化[J]. 农业工程学报, 2021, 37(12): 271-279.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.031 <http://www.tcsae.org>

Zou Yafeng, Gu Xiangxiang, Luo Yiting, et al. Spatial layout optimization of rural settlements based on the theory of safety resilience[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(12): 271-279. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.031 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

农村居民点空间布局是农村自然、社会和经济状况的综合反映^[1], 其布局优化是国土空间规划和全面推进乡村振兴的重要内容^[2]。在从脱贫攻坚向全面推进乡村振兴过渡的关键阶段, 各种不确定性事件频发, 农村居民点面对外界冲击的不稳定性逐渐显现^[3], 这对农村居民点的安全性和稳定性提出了更高的要求。因此, 将安全韧性理念融入农村居民点空间布局优化的实践, 提高农村居民点独立应对风险变化的能力显得尤为重要。

国外关于农村居民点布局优化的研究起步较早, 主要包括农村居民点区位影响因素^[4]、等级结构^[5]、空间分布及演变^[6]等, 近年来西方学者更加注重从微观视角探索农村空间单元的内在联系, 同时强调自然、空间与文化融合的结构演化^[7]。国内学者则围绕农村居民点布局空间特征^[8]、影响因素^[9]、演变驱动机制^[10]和空间优化与重构^[11]等方面, 结合压力论^[12]、景观生态学理论^[13]、

生活质量理论^[14]、点轴理论^[15]等研究理论开展了深入研究, 研究尺度囊括了村^[16]、镇^[17]、县^[18]、市域^[19]等层级; 在研究方法上基于地理信息系统, 运用空间引力模型^[16]、景观格局指数^[20]、加权 Voronoi 图^[21-22]等对农村居民点布局进行评价与优化研究, 制定农村居民点优化布局方案, 极大程度上丰富了有关农村居民点空间布局优化研究的理论与方法。然而, 国内目前少有从“安全韧性”视角出发对农村居民点进行评价, 且已有研究中多将“农村自然灾害防治”以偏概全作为“农村安全韧性”来进行研究, 将二者视为等同的概念而忽视其差异。

农村居民点作为一个动态的开放系统, 在发展过程中不可避免会受到外界变化的影响, 而安全韧性理论强调系统从遭遇风险、逐渐适应并从中提升自身学习能力的整个阶段, 可以综合全面地表征农村居民点抵御外界冲击和适应环境变化的能力。因此, 本文以武川县可可以力更镇为例, 基于安全韧性理论, 重构农村居民点安全韧性内涵和特征; 从适宜性、冗余度、适应性及自组织性 4 个特征维度选取能够体现农村居民点安全韧性度的指标构建评价指标体系; 依据《国家乡村振兴战略规划(2018—2022 年)》及《关于统筹推进村庄规划工作的意见》(以下分别简称:《规划》《意见》), 确定农村居民点空间布局优化类型并提出相应对策, 以期为推进农村居民点布局优化提供新思路。

收稿日期: 2021-03-30 修订日期: 2021-06-08

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2016M601119、2018T110136); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJC630241); 内蒙古自治区自然科学基金资助(2020MS04016); 内蒙古自治区教育科学研究“十三五”规划课题(2017JGH002)

作者简介: 邹亚锋, 博士, 副教授, 研究方向为国土空间规划与土地信息系统。Email: zouyafeng2003@sina.com

1 农村居民点安全韧性的内涵和特征

1.1 农村居民点安全韧性内涵

“Resilience”译作韧性、恢复力、弹性等,本意为“回复到原始状态”。随着时代的发展,韧性概念经历了从基于工程韧性和生态韧性的均衡论视角到基于演进韧性的演化论视角的认知转型^[23]。均衡论认为韧性系统存在均衡状态,强调系统对外界干扰冲击造成的破坏具有恢复能力。演化论视角下的演进韧性则摒弃这种观点,认为系统具有复杂性、非线性和自组织性,且充满了不确定性和不连续性,从而能够在动态演进过程中进入“新常态”^[24],即从一种状态改变到另一种状态,而非恢复到原始状态。

近年来,面对日益突发、频发的风险事件以及复杂的内外环境,在韧性基础上发展而来的安全韧性理念正成为公共安全领域的前沿理念。农村居民点是农村经济社会与自然环境密切耦合而形成的复杂系统,农村居民点安全韧性强调居民点自身在面对冲击时主动搜集信息,迅速恢复正常生产生活秩序并从中提升自身学习能力的全过程。现有研究认为其是指农村社区通过适应性的行为,加强社区组织成员间的协作交流^[25],对农村未来发展方向产生一定程度的影响,进而提高村民幸福感的整个过程^[26-27];也有学者将安全韧性视作社区“能力”的一种,如 Wilson 等认为农村社区安全韧性是家庭通过恢复干扰所造成的破坏、学习应对和适应社会经济和环境变化的能力^[28]。由此可见,学者多将安全韧性置于一定的系统框架内(乡村社区、家庭、农村居民等),从“能力”或“过程”角度进行定义。然而,目前学界对“安全韧性”的内涵和特征尚未达成共识,且现有研究虽然提及安全韧性是一种能力或过程,但是就不同的能力间的关系及其具体运作过程的叙述并不清晰。

基于此,本文从演化论视角出发提出农村居民点安全韧性的定义:是指农村居民点系统在应对未知风险的干扰和冲击时,在不依赖外界援助的情况下,由系统内的农户、社会组织等独立自主组织开展预防、抵抗、重建、发展工作的过程。进一步来看,此过程为一个闭环,其先后经历了防御阶段、恢复阶段和适应阶段。防御阶段以预防、承受、吸收外界冲击为主,主要反映农村居民点系统对风险的抵御能力;恢复阶段,系统内部开始修复,农村居民点日常生活秩序趋于稳定,系统从不平衡状态逐渐转变为平衡状态;适应阶段,系统在适应内外环境变化的过程中不断学习,提升自身抗干扰能力和适应能力。其中,由于农村居民点安全韧性强调居民点在不依赖外界援助的情况下能够独立应对风险,因此独立自主能力成为整个农村居民点安全韧性系统的核心,贯穿并引领系统运行的各个阶段,为系统能够对外部干扰作出积极反应并迅速组织系统内成员维持系统的正常运转发挥着重要作用,也是系统在变化中学习、将风险转化为发展机遇的内在动因之一。

1.2 农村居民点安全韧性特征

农村居民点安全韧性的特征实质上是农村居民点在

应对风险时所体现出的能力,依据其所发挥作用的差异,在系统运行的不同阶段各有其显著性:处于防御阶段的农村居民点其适宜性占主导地位;恢复阶段则以表征农村居民点系统各项功能弹性的冗余度为主;适应阶段强调系统的适应性,即转变和创新能力;而自组织性则更为关注系统的独立自主能力和系统内部各要素的协作共生,贯穿于系统运行的整个过程并发挥着重要作用。

1) 适宜性

适宜性是指在维系农村居民点生态环境不遭破坏的前提下,系统的自然环境状况和区位条件对农业生产、城镇建设等人类活动的适宜程度,包括生产适宜性、生活适宜性和自然环境适宜性。农村居民点是农户依据一定的生产、生活需要,将自身与外部环境相协调而在特定的环境空间下形成的重要场所,因此农村居民点系统与其所处的生产、生活环境和自然环境的适宜程度,直接影响着农村居民点的空间布局。

2) 冗余度

冗余度指农村居民点系统中各子系统及其耦合环节具有一定的弹性空间,在系统发生变化时能够保持系统各项功能有序运作的功能,包括恢复力和抗干扰性。恢复力指农村居民点系统在遭遇破坏后,能迅速恢复自身结构、功能的能力;抗干扰性是系统抵御干扰的能力,恢复力和抗干扰性共同表征着农村居民点系统在社会、经济和生态等方面的富余程度,影响农村居民点的规模大小和集聚程度。

3) 适应性

适应性即农村居民点系统积极主动适应内外部环境的变化并从中学习以提升自身抵御风险的能力,在系统从外部干扰到完成转化的过程中,适应变化的能力和创造力的培育是农村居民点安全韧性构建的关键环节,因此适应性包括可变性和创新性。可变性是农村居民点安全韧性系统在风险中求变、求发展的内在动因之一,表现在农村居民点位置的迁移、居民点空间布局的转换等方面;创新性指系统在经历干扰后能从中吸取经验教训,提高学习能力,能够影响农村居民点未来的发展模式 and 方向。

4) 自组织性

自组织性是指在农村居民点系统受到破坏的情况下,村民可自行组织抵御外界冲击并进行局部修复以使系统迅速重组的能力,包括开放性、协同性和非线性。开放性是指农村居民点能与外界不断地进行物质精神交流,协同性指农村居民点内部的协同作用,非线性指农村居民点内部各要素间的相互联系、相互作用和相互制约。自组织性实质上体现了一种合作共赢、资源信息共享的和谐共生模式,影响着农村居民点系统各子系统的运行效率和效益。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

可可以力更镇(以下简称可镇)位于内蒙古自治区呼和浩特市武川县(40°47'03"-41°22'57"N, 110°30'39"-

111°52'16"E) 东中部,是武川县县委、县政府所在地(见图 1)。受北麓阴山山脉大青山的影响,全镇地形以山地、丘陵为主,平均海拔在 1 500~1 600 m 之间,降雨量少且集中,自然资源匮乏,生态环境脆弱。截至 2018 年底,可镇户籍人口中,农村人口仅占 12.15%,且以老年人居多,而村庄面积却占城镇村用地总面积的 81.47%,人地比例严重失调,空心化、老龄化问题严重,加之居民点间连接度差,分布较为散乱,且相关公共基础服务设施不完善,使得可镇农村居民点难以抵御突发风险,因此亟待完善。

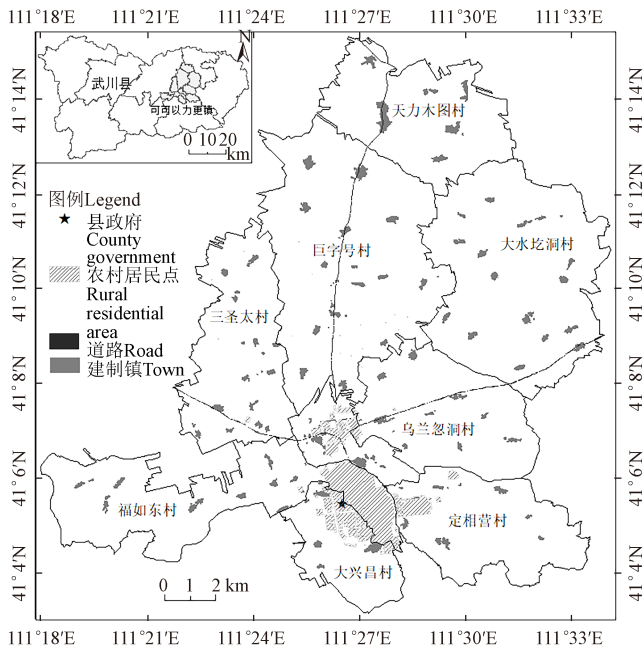


图 1 研究区位置与农村居民点布局

Fig.1 Location of study area and layout of rural settlements

2.2 数据来源

基础数据主要来源于武川县自然资源局提供的研究区 2018 年土地利用变更调查矢量数据成果、2018 年传统村落保护名录、《武川县土地利用总体规划(2009—2020 年)》及《可可以力更镇土地利用总体规划(2009—2020 年)》、《武川县统计年鉴》(2018)等,部分社会经济数据包括可镇中小学、卫生院等由实地调研获取。此外,相关要素信息(建制镇、农村居民点斑块等)及数据借助 ArcGIS10.2 软件分别进行提取及预处理。

3 研究思路与方法

农村居民点是广大农村地区人们进行生产生活的主要场所,也是抵御外界不确定性干扰和未知风险的空间屏障,因此其安全韧性度的高低直接关系到农村人口的生存质量及农村居民点的布局和发展。农村居民点安全韧性可视为农村居民点独立承受外界干扰和冲击、快速从损伤中恢复并主动学习以适应新变化的动态演进过程,包括适宜性、冗余度、适应性及自组织性等基本特征。因此,本文借助景观格局指数,分析研究区农村居民点现状;利用农村居民点安全韧性 4 个基本特征分别表征农村居民点的抵御风险能力、恢复力、适应环境变

化的能力以及独立自主能力,据此构建农村居民点安全韧性评价指标体系,并采用专家打分法确定各指标权重;基于评价结果,将可镇农村居民点空间布局优化类型划分为城郊融合类、集聚提升类、特色保护类、一般存续类和搬迁撤并类;运用加权 Voronoi 图划分城郊融合类和集聚提升类农村居民点的空间辐射范围,据此确定搬迁撤并类农村居民点具体迁移方向,进而得到研究区农村居民点的空间布局优化方案。

3.1 农村居民点安全韧性度评价指标体系构建

演化论视角下的安全韧性并非处于稳定静止状态,而是作为一个长期动态过程而存在^[3],因此对于农村居民点进行安全韧性评价,必须分别考虑其各个发展阶段的情况,包括防御阶段、恢复阶段和适应阶段,以及贯穿于各个阶段的独立自主能力。据此,本文依据农村居民点安全韧性在各个发展阶段的显著特征,并借鉴已有研究^[29-32],选取适宜性、冗余度、适应性和自组织性 4 大维度构建农村居民点斑块安全韧性评价体系,采用专家打分法确定各指标权重(详见表 1)。

表 1 农村居民点安全韧性度评价指标体系
Table 1 Safety resilience evaluation index system of rural settlements

| 目标层 Target level | 准则层 Criteria level | 指标层 Index level | | 指标权重 Weights of index |
|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | 一级指标层 Index level I | 二级指标层 Index level II | |
| 农村居民点安全韧性度 | 适宜性 (0.20) | 生产适宜性 (0.30) | 距耕地距离 (0.30) | 0.018 |
| | | | 距工矿点距离 (0.15) | 0.009 |
| | | | 距草地距离 (0.25) | 0.015 |
| | | | 距水源距离 (0.30) | 0.018 |
| | | 生活适宜性 (0.30) | 距卫生室距离 (0.15) | 0.009 |
| | | | 距学校距离 (0.15) | 0.009 |
| | 冗余度 (0.30) | 自然环境适宜性 (0.40) | 距道路距离 (0.40) | 0.024 |
| | | | 距建制镇距离 (0.30) | 0.018 |
| | | | 坡度 (0.40) | 0.032 |
| | | | 自然灾害 (0.30) | 0.024 |
| | | 恢复力 (0.50) | 植被覆盖度 (0.30) | 0.024 |
| | | | 农户收入来源多样性 (0.40) | 0.060 |
| 适应性 (0.30) | 自组织性 (0.20) | 抗干扰性 (0.50) | 农业保险投保人占比 (0.30) | 0.045 |
| | | | 人均公共服务基础设施数量 (0.30) | 0.045 |
| | | 可变性 (0.55) | 农村居民点连接度 (0.60) | 0.090 |
| | | | 景观多样性指数 (0.40) | 0.060 |
| | 创新性 (0.45) | 未利用地面积 (1.00) | 高中文化水平率 (0.40) | 0.054 |
| | | | 创新型项目拥有状况 (0.60) | 0.081 |
| | | 开放性 (0.30) | 社会组织对农村公共事务影响状况 (1.00) | 0.060 |
| | | | 村民凝聚力 (1.00) | 0.080 |
| 自组织性 (0.20) | 非线性 (0.30) | 协同性 (0.40) | 村民公共事务参与度 (1.00) | 0.060 |
| | | | | |

注: 括号内数字为指标权重。
Note: The numbers in brackets are the index weights.

1) 适宜性。适宜性准则层中,生产适宜性包括农业生产适宜性和非农业生产适宜性,采用距耕地、工矿点、草地、水源的距离测算,距离越近则生产越适宜;生活适宜性依据当地村民生活的实际需要,采用距卫生室、

学校、道路及建制镇的距离测算,距离越近则村民生活越便利、生活服务设施越完备;自然环境适宜性采用坡度、自然灾害和植被覆盖度测算,坡度越高、自然灾害发生频率越高自然环境适宜性越差,植被覆盖度越高则自然环境适宜性越好。

2) 冗余度。冗余度准则层中,恢复力用农户收入来源多样性、农业保险投保人占比和人均公共服务基础设施数量来表示,农户收入来源越多样,农业保险投保人占比越大,所拥有的恢复生产生活的资源相应的也更加丰富,同时,人均公共服务基础设施数量越大,后备设施也越充足;抗干扰性用农村居民点连接度及景观多样性指数来表示,其连接度及景观多样性指数越高,抵御外界干扰的能力也越强。

3) 适应性。适应性准则层中,可变性用未利用地面积表示,指为因外界环境改变导致需求的变化而事先预留的可变动用地,其面积越大,农村居民点可变动的余地也越大;创新性用高中文化水平率和创新型项目拥有状况来表示,高中文化水平率越高,创新型项目越丰富,越具有创新潜力。

4) 自组织性。自组织性准则层中,开放性是指农村居民点能与外界不断地进行物质精神交流,用社会组织对农村公共事务影响状况来表示,影响越大,农村居民点开放程度越高;协同性指农村居民点能通过其内部的协同作用,自发地出现时间、空间、功能上的有序结构,用村民凝聚力来表示,凝聚力越强,协同性越显著;非线性指农村居民点内部各要素间并非独立存在,而是相互联系、相互作用、相互制约,用村民对公共事务的参与度表示,村民参与度越高,非线性越强烈。

3.2 农村居民点空间布局优化类型确定

本研究采用层次分析法^[4-15],利用 ArcGIS10.2 的空间分析功能对农村居民点安全韧性度进行综合评价,得出农村居民点斑块安全韧性度分值,并采用自然断点法^[17],将其划分为高度安全、中度安全、临界安全、不安全 4 个等级。基于此,结合《规划》和《意见》等中央文件规定的村庄类型及可镇实际情况,最终确定可镇农村居民点空间布局优化的 5 种类型。

其中,高度安全的农村居民点斑块在适宜性、冗余度、适应性和自组织性方面具有最高水平,居民点区位条件优越,对外开放程度高,各类工业和创新产业有着较好发展前景,将其划分为城郊融合类;中度安全的农村居民点斑块已具备足够的生产生活物质资料,应在此基础上积极发展工业及创新产业,助力农户多渠道创收,提高居民点应对外界冲击的适应力和在冲击后迅速恢复的能力,将其划分为集聚提升类;临界安全的农村居民点斑块表明居民点仅勉强适宜村民居住,但安全韧性度比之前两类农村居民点有较大差距,无法满足进一步发展的需要,亟需对居民点空间布局、现有基础设施、土地利用状况等方面进行较大程度的改造,故将其确定为一般存续类;不安全的农村居民点斑块大多布局散乱,居民点连接度和村民凝聚力差,在面对外来风险时极易遭到不可逆的破坏,故将其确定为搬迁撤并类农村居民

点,应通过搬迁撤并,向区域内安全韧性等级更高的居民点方向合并。此外,根据武川县自然资源局提供的传统村落保护名录,将名录内的村落确定为特色保护类。

4 结果与分析

4.1 研究区农村居民点现状分析

可镇多丘陵、山地。由图 1 及表 2 可知,受地形因素影响,可镇农村居民点除在南部建制镇周边区域相对集中分布外,整体布局较为零散、居民点斑块数量多且面积小,居民点连接度差,基本呈星状分布。具体来看,大兴昌村、巨字号村和三圣太村因其分布在建制镇周边或交通干线两侧,区位条件优越,地形平坦,居民点的斑块面积(Plaque Area, PA)最大,斑块数量最多,斑块密度大,表明这些区域农村居民点规模大且分布集中;天力木图村由于地处偏远,定相营村等受可镇南高北低的地势影响,居民点斑块面积小、数量少,表明居民点破碎度高,布局散乱、规模较小。可镇农村居民点的景观形态指数数值小且斑块分维数的值趋近于 1,表明可镇农村居民点形状较规则。

表 2 农村居民点景观指数分布
Table 2 Landscape index distribution of rural settlements

| 村庄 Villages | 斑块面积 Patch area /hm ² | 斑块数量 Number of patches | 斑块密度 Patch density /(个·hm ⁻²) | 景观形态 指数 Landscape shape index | 斑块分维数 Patch fractal dimension |
|----------------|--|------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| 大水圪洞村 | 2 235.603 1 | 26 | 0.005 34 | 3.370 7 | 1.121 0 |
| 大兴昌村 | 4 869.616 7 | 35 | 0.015 66 | 3.790 2 | 1.161 0 |
| 天力木图村 | 2 709.212 3 | 9 | 0.003 32 | 3.318 2 | 1.134 4 |
| 乌兰忽洞村 | 2 727.085 6 | 20 | 0.007 33 | 3.076 5 | 1.134 4 |
| 三圣太村 | 2 742.076 0 | 26 | 0.009 48 | 3.623 6 | 1.140 6 |
| 巨字号村 | 5 623.307 3 | 30 | 0.005 33 | 3.576 4 | 1.134 4 |
| 福如东村 | 3 266.108 1 | 20 | 0.006 12 | 3.849 2 | 1.160 3 |
| 定相营村 | 2 446.633 9 | 14 | 0.005 72 | 2.873 9 | 1.098 2 |

4.2 农村居民点安全韧性度评价结果

可镇农村居民点安全韧性整体水平较高,安全级别以上(高度安全及中度安全)的农村居民点斑块共 87 个,占可镇总面积的 52.5%,在空间上呈现出“南高北低,中间高四周低”的分布特征。详见图 2、图 3 及表 3。

可镇高度安全级别农村居民点斑块共 26 个,面积为 87.07 hm²,占全镇农村居民点面积的 16.2%,紧靠建制镇分布。其在防御阶段适宜性高,能够积极组织系统内成员抵御外界冲击;在恢复阶段因其较高的社会、经济和生态冗余度而得以迅速恢复正常生产生活秩序;在适应阶段适应能力突出,能够在风险中创新、发展;此外,在系统运作整个过程中自组织性表现较好,表明系统内部各要素间相互联系、相互作用,协作共生。

可镇中度安全级别的农村居民点面积最大,居民点斑块共 61 个,面积为 195.19 hm²,占全镇农村居民点面积的 36.3%,主要分布在福如东村东部、巨字号村交通干线附近。其在防御阶段适宜性等级居中,对不确定性冲击的反应速度中等;在恢复阶段冗余度偏低,系统难以在较短时间内恢复正常运作;适应阶段的适应性表现较好,系统的可变性强,能够在变化中产生促进系统转变

的内生动力,进而提升自身安全韧性度;此外,表征系统独立自主能力的自组织性表现较为突出,在统筹引领组织行动上发挥着重要作用。

可镇临界安全级别的农村居民点共 47 个,面积为 142.81 hm^2 , 占全镇农村居民点面积的 26.6%, 主要分布在乌兰忽洞村,零星分布在大水圪洞村、巨字号村的边缘地带。其在防御阶段适宜性偏低,系统抵御风险冲击的能力不足;恢复阶段冗余度较差,系统各项基本功能弹性空间小,一定程度上阻碍系统运作秩序的恢复,适应阶段适应性偏低,农村居民点自身不具备进一步发展、

转变的潜力;此外,自组织性表现中等,表明系统面对多重复杂的人为和自然扰动时有一定的独立自主能力。

可镇不安全级别农村居民点共 46 个,面积为 112.49 hm^2 , 占全镇农村居民点面积的 20.9%, 主要分布在大水圪洞村和三圣太村。其所在区域自然灾害频发,本身遭遇风险的频率更高,在防御阶段适宜性低,无法有效抵抗风险;在恢复阶段冗余度差,系统各项功能基本陷入瘫痪状态,系统极易遭到不可逆的破坏;在适应阶段则缺乏必要的适应和学习能力;自组织性同样表现较差,难以有效组织内部各要素。

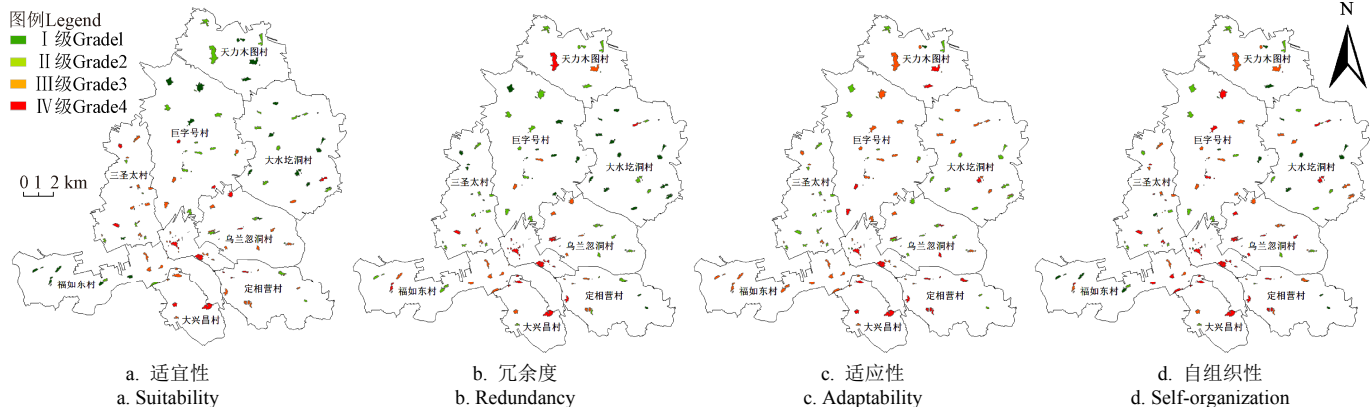


图 2 研究区评价体系准则层计算结果空间分布

Fig.2 Space distribution of rule layer calculation results of evaluation system in the study area

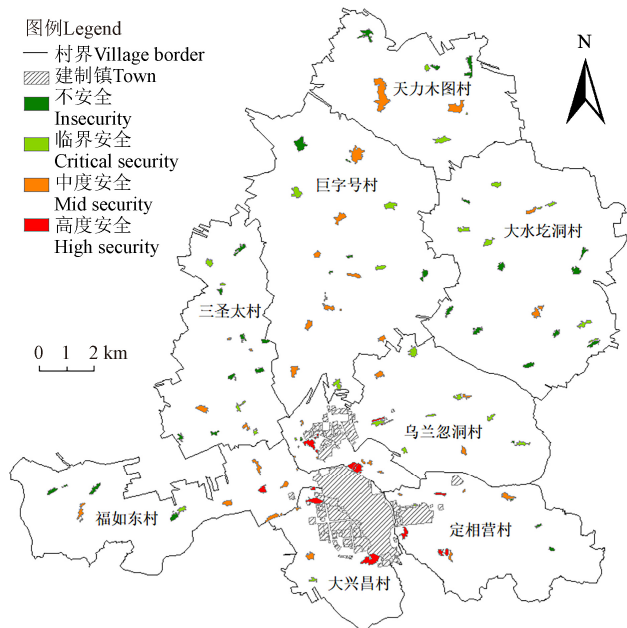


图 3 农村居民点斑块安全韧性度评价结果

Fig.3 Evaluation results of safety resilience of rural residential patches

4.3 农村居民点空间布局优化类型

1) 城郊融合类

由表 4 和图 4 可知,可镇属于城郊融合类的农村居民点共 24 个。其未来可逐步转化为城镇建设用地,承接城镇功能外溢,在空间布局上可基于城镇建设安排,由政府统一规划管理,建设规模化住宅区,防止农村建设用地边界无序扩张,注重空间组合协调性,构筑结构合理的土地利用空间格局。由于城郊融合是一个长期持续、多元融合的过程,在此过程中农村居民点应明确自身职能定位,积极

发展城镇所需要的配合、接续、辅助产业类型,促进劳动力向二、三产业转移;加强基础设施尤其是卫生、教育和居民活动中心的配套建设,转变村民生活方式,逐步与城镇交通网络和公共服务体系接轨。

2) 集聚提升类

可镇属于集聚提升类的农村居民点共 59 个。其未来可建设成为更高等级的中心村,吸引周边规模较小的一般存续类和搬迁撤并类村庄聚集,实现居民点空间集聚分布。集聚提升的关键在于产业发展,这类农村居民点农业基础条件较好,可依托农业资源优势,引入二产加工,发展多种经济类型,提高农户收入来源多样性;同时综合考虑周边居民点的公共服务需求,完善基本公共服务设施,强化与周围村庄的道路网络建设。

3) 特色保护类

可镇属于特色保护类的农村居民点共 10 个。其中,位于福如东村和乌兰忽洞村的 3 个居民点安全韧性等级为中度安全,具备一定的发展条件,可依托自身的文化特色,积极发展特色民俗旅游业,实现文化传承和经济发展的良性互促,同时加强居民点内部基础设施建设,改善村容村貌,提升旅游品质;位于三圣太村西北方向和大水圪洞村东部的 7 个居民点安全韧性等级为临界安全和不安全,其未来应在保护村民生活习惯和传统民居的前提下,加强配套基础设施建设,处理好农村居民点整理与特色文化资源保护之间的关系,尽可能降低人类活动强度对生态环境的影响。

4) 一般存续类

可镇属于一般存续类的农村居民点共 43 个。其未来

应在空间上严格限制外延扩展，在居民点内部集约节约利用土地，改善空心化现状。同时在发展过程中需依托邻近的集聚提升类村庄共同发展，注重对居民点医疗卫

生、文化等基础设施条件的优化，提高区域生活条件；对于已出现空心化的居民点应对废弃宅基地进行有序退出和有偿退出，以改善乡村景观和村民生活环境。

表 3 农村居民点斑块安全韧性度空间分布
Table 3 Spatial distribution of safety resilience of rural settlement patches

| 村庄 Villages | 总面积 Total area /hm ² | 图斑数 Number of patches | 高度安全 High security | | 中度安全 Mid security | | 临界安全 Critical security | | 不安全 Insecurity | |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | | 面积 Area/hm ² | 图斑数 Number of patches | 面积 Area/hm ² | 图斑数 Number of patches | 面积 Area/hm ² | 图斑数 Number of patches | 面积 Area/hm ² | 图斑数 Number of patches |
| 天力木图村 | 87.47 | 9 | 0 | 0 | 53.98 | 4 | 19.57 | 3 | 13.93 | 2 |
| 巨字号村 | 110.96 | 30 | 0 | 0 | 58.42 | 13 | 42.84 | 8 | 9.70 | 9 |
| 大水圪洞村 | 85.38 | 26 | 0 | 0 | 12.66 | 3 | 33.20 | 9 | 39.53 | 14 |
| 三圣太村 | 55.78 | 26 | 0 | 0 | 12.64 | 6 | 16.83 | 12 | 26.31 | 8 |
| 乌兰忽洞村 | 44.62 | 20 | 3.56 | 3 | 15.95 | 7 | 24.13 | 6 | 0.97 | 4 |
| 大兴昌村 | 68.60 | 35 | 56.36 | 18 | 10.64 | 14 | 0.75 | 2 | 0.86 | 1 |
| 福如东村 | 52.98 | 20 | 4.95 | 1 | 26.36 | 10 | 4.68 | 4 | 16.98 | 5 |
| 定相营村 | 31.76 | 14 | 22.20 | 4 | 4.54 | 4 | 0.81 | 3 | 4.21 | 3 |
| 合计 | 537.55 | 180 | 87.07 | 26 | 195.19 | 61 | 142.81 | 47 | 112.49 | 46 |

表 4 研究区农村居民点空间布局优化类型统计
Table 4 Spatial layout optimization of rural settlements in the study area

| 优化类型 Optimization type | 图斑总面积 Total patch area/hm ² | 图斑数 Number of patches | 面积 Area/hm ² | | |
|--------------------------------------|---|--------------------------|-------------------------|---------|------------|
| | | | 最大 Max. | 最小 Min. | 平均 Average |
| 城郊融合类 Suburban integration type | 74.49 | 24 | 15.98 | 0.01 | 3.10 |
| 集聚提升类 Agglomeration promotion type | 194.06 | 59 | 35.41 | 0.07 | 3.29 |
| 特色保护类 Characteristic protection type | 37.56 | 10 | 9.26 | 0.15 | 3.76 |
| 一般存续类 General persistence type | 105.72 | 43 | 8.09 | 0.04 | 2.46 |
| 搬迁撤并类 Relocation merge type | 125.71 | 44 | 14.00 | 0.00 | 2.86 |

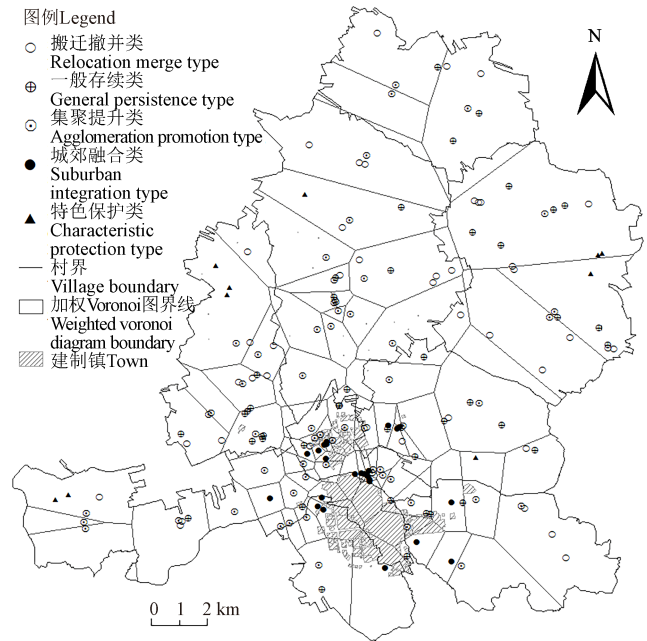


图 4 农村居民点空间布局优化类型分布

Fig.4 Spatial distribution optimization of rural settlements

5) 搬迁撤并类

可镇属于搬迁撤并类的农村居民点共 44 个。其优化方式为整村搬迁。为最大程度保留其原有生产、生活及社交环境，降低其搬迁后的环境陌生感，提高其与迁入地融入程度，借助加权 Voronoi 图划分城郊融合类和集聚提升类农村居民点的空间辐射范围，据此确

定其迁移去向和迁移方案，即：由政府部门组织协调多方利益，在尊重村民意愿的基础上，根据加权 Voronoi 图确定的具体迁移方向（如图 5 所示），将城郊融合类和集聚提升类农村居民点内部及外围的闲置土地作为新村选址，实现农村土地挖潜利用及公共服务资源的优化配置。

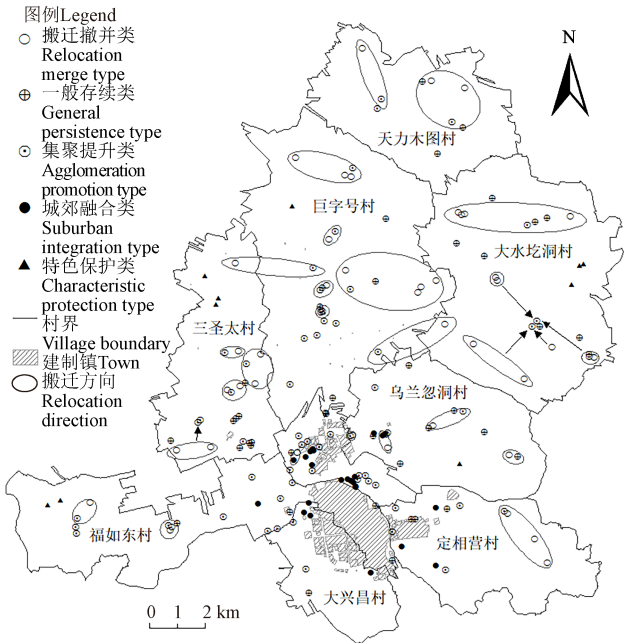


图 5 搬迁撤并类农村居民点迁移方向

Fig.5 Direction of the relocation merge type of rural settlements

5 结论与讨论

本文从安全韧性的演化论视角出发, 综合考虑其发展阶段, 依据农村居民点安全韧性的内涵与特征, 从适宜性、冗余度、适应性和自组织性 4 个维度构建农村居民点安全韧性评价指标体系, 基于评价结果, 依据《规划》和《意见》中的村庄分类对农村居民点类型进行划分, 从而提出研究区农村居民点空间布局优化策略。主要结论如下:

1) 可镇农村居民点安全韧性整体水平较高, 安全级别以上的农村居民点斑块共 87 个, 占可镇总面积的 52.5%, 在空间上呈现出“南高北低, 中间高四周低”的分布特征。具体来看: 可镇高度安全农村居民点斑块共 26 个, 面积为 87.07 hm^2 , 紧靠建制镇分布; 中度安全级别农村居民点 61 个, 面积最大, 为 195.19 hm^2 , 主要分布在福如东村东部、巨字号村交通干线附近; 临界安全级别农村居民点共 41 个, 面积为 142.81 hm^2 , 主要分布在乌兰忽洞村, 零星分布在大水圪洞村、巨字号村的边缘地带; 不安全级别农村居民点共 46 个, 面积为 112.49 hm^2 , 主要分布在大水圪洞村和三圣太村。

2) 可镇农村居民点划分为城郊融合类、集聚提升类、特色保护类、一般存续类和搬迁撤并类, 不同类型农村居民点顺应村庄发展规律和演变趋势, 各有其空间布局优化策略。其中, 城郊融合类农村居民点应在产业经济和公共服务体系方面积极与城镇接轨, 以推进城郊协调发展; 集聚提升类居民点要加强基础设施建设, 注重多种经济类型融合发展; 特色保护类居民点应在保护传统村落的前提下积极改善村民生产生活条件, 也可适当发展旅游业, 以提高村民收入; 一般存续类居民点应进一步集约节约利用土地, 改善空心化现状; 搬迁撤并类居民点已不适宜人类居住, 可根据加权 Voronoi 图确定的具体迁移方向, 将其迁移至安全韧性等级更高的农村居民点。

安全韧性理论关注农村居民点在外要素的干扰下如何主动抵御外部冲击、从损伤中恢复, 并探索实现可持续发展的最优路径, 是研究农村居民点空间布局优化的新视角。本文基于安全韧性理论评价农村居民点安全韧性, 统筹把握了农村居民点的生产生活适宜性、自然环境适宜性、遭遇外部干扰后的稳定性、恢复力、适应能力以及独立自主能力, 可根据形成的空间布局优化策略指导实践工作, 从而提高研究区农村居民点安全韧性。但因学界对“安全韧性”的内涵和特征尚未达成共识, 除本文提到的 4 个安全韧性特征外, 目前还存在鲁棒性、模块化等特征, 有待进一步挖掘研究。

【参 考 文 献】

- [1] 谭雪兰, 周国华, 朱苏晖, 等. 长沙市农村居民点景观格局变化及地域分异特征研究[J]. 地理科学, 2015, 35(2): 204-210.
Tan Xuelan, Zhou Guohua, Zhu Suhui, et al. Landscape pattern changes and the characteristic of spatio-temporal differentiation of rural residential area in Changsha in recent 20 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(2): 204-210. (in Chinese with English abstract)
- [2] 高强. 脱贫攻坚与乡村振兴有机衔接的逻辑关系及政策安排[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2019, 19(5): 15-23.
Gao Qiang. Logic relation and policy for organic link between poverty alleviation and rural revitalization[J]. Journal of Nanjing Agricultural University(Social Sciences Edition), 2019, 19(5): 15-23. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李红波. 韧性理论视角下乡村聚落研究启示[J]. 地理科学, 2020, 40(4): 556-562.
Li Hongbo. Rural settlements research from the perspective of resilience theory[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(4): 556-562. (in Chinese with English abstract)
- [4] Hosseini S B, Faizi M, Norouzian-Maleki S, et al. Impact evaluation of rural development plans for renovating and retrofitting of rural settlements case study: Rural districts of Tafresh in Iran[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(7): 3033-3042.
- [5] Azar Ali. Investigation and evaluation of environmental potential in spatial distribution of rural settlements in Maragheh City using AHP fuzzy technique[J]. Town and Country Planning, 2020, 12: 125-151.
- [6] Tofigh A, Mahmoud Y D, Mehdi M, et al. Temporal and spatial distribution of under-five mortality and factors associated with multiple cases of under-five deaths within a family in the rural area of Khuzestan, Southern Iran[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 1-8.
- [7] Pyles L, Svistova J, Ahn S, et al. Citizen participation in disaster recovery projects and programmers in rural communities: A comparison of the Haiti earthquake and Hurricane Katrina[J]. Disasters, 2018, 42(3): 498-518.
- [8] 卢德彬, 杨建, 毛婉柳, 等. 山区农村居民点空间分布特征与空间重构研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(2): 238-246.
Lu Debin, Yang Jian, Mao Wanliu, et al. Research on spatial distribution characteristics and space reconstruction of rural settlements in mountainous areas[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(2): 238-246. (in Chinese with English abstract)
- [9] 谭雪兰, 张炎思, 谭洁, 等. 江南丘陵区农村居民点空间演变特征及影响因素研究: 以长沙市为例[J]. 人文地理, 2016, 31(1): 89-93.
Tan Xuelan, Zhang Yansi, Tan Jie, et al. Study on the spatial evolution characteristics and influent factors of rural residential area in the south of Yangtze river: A case study of Changsha[J]. Human Geography, 2016, 31(1): 89-93. (in Chinese with English abstract)
- [10] 杨斌, 王占岐, 张红伟, 等. 高山贫困地区农村居民点空间格局演变特征及驱动机制[J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 285-293.
Yang Bin, Wang Zhanqi, Zhang Hongwei, et al. Spatial pattern evolution characteristics and driving mechanism of rural settlements in high mountain areas with poverty[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(4): 285-293. (in Chinese with English abstract)
- [11] 孙建伟, 孔雪松, 田雅丝, 等. 基于空间组合特征的农村居民点重构方向识别[J]. 地理科学, 2017, 37(5): 748-755.
Sun Jianwei, Kong Xuesong, Tian Yasi, et al. Identifying reconstruction directions of rural settlements based on analysis of spatial combination features[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(5): 748-755. (in Chinese with English abstract)
- [12] 叶琴丽, 王成. 基于结构方程模型的集聚农户共生认知及

- 影响因素分析: 以重庆市为例[J]. 中国土地科学, 2015, 29(4): 82-89.
- Ye Qinli, Wang Cheng. Cognition and its impact factors on the scale effects of village agglomeration based on the structural equation model: Taking Chongqing as example[J]. China Land Science, 2015, 29(4): 82-89. (in Chinese with English abstract)
- [13] 师满江, 颜耀文, 曹琦. 干旱区绿洲农村居民点景观格局演变及机制分析[J]. 地理研究, 2016, 35(4): 692-702.
- Shi Manjiang, Xie Yaowen, Cao Qi. The landscape evolution and mechanism analysis of rural settlements in the oasis of arid region[J]. Geographical Research, 2016, 35(4): 692-702. (in Chinese with English abstract)
- [14] 唐承丽, 贺艳华, 周国华, 等. 基于生活质量导向的乡村聚落空间优化研究[J]. 地理学报, 2014, 69(10): 1459-1472.
- Tang Chengli, He Yanhua, Zhou Guohua, et al. The research on optimization mode of spatial organization of rural settlements oriented by life quality[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(10): 1459-1472. (in Chinese with English abstract)
- [15] 孔雪松, 金璐璐, 郝昱, 等. 基于点轴理论的农村居民点布局优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 192-200.
- Kong Xuesong, Jin Lulu, Qie Yu, et al. Layout optimization of rural settlements based on point-axis theory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(8): 192-200. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杜相佐, 王成, 蒋文虹, 等. 基于引力模型的村域农村居民点空间重构研究: 以整村推进示范村重庆市合川区大柱村为例[J]. 经济地理, 2015, 35(12): 154-160.
- Du Xiangzuo, Wang Cheng, Jiang Wenhong, et al. Rural settlements restructuring based on analysis of the gravity model at village level: The case of Dazhu Village, Chongqing, China[J]. Economic Geography, 2015, 35(12): 154-160. (in Chinese with English abstract)
- [17] 樊天相, 杨庆媛, 何建, 等. 重庆丘陵地区农村居民点空间布局优化: 以长寿区海棠镇为例[J]. 地理研究, 2015, 34(5): 883-894.
- Fan Tianxiang, Yang Qingyuan, He Jian, et al. Spatial distribution optimization of rural residential land in hilly areas: A case study of Haitang Town in Changshou District[J]. Geographical Research, 2015, 34(5): 883-894. (in Chinese with English abstract)
- [18] 乐容潮, 雷国平, 殷嘉, 等. 农村居民点空间分布及影响因素分析: 以庆安县为例[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(11): 173-180.
- Le Rongchao, Lei Guoping, Yin Jia, et al. Analysis on the distribution pattern and influence factors of rural settlements: A case study of Qing'an County[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(11): 173-180. (in Chinese with English abstract)
- [19] 魏璐瑶, 陈娱, 张正方, 等. 多情景视角下基于空间组合识别的农村居民点布局优化研究: 以江苏省新沂市为例[J]. 地理研究, 2021, 40(4): 977-993.
- Wei Luyao, Chen Yu, Zhang Zhengfang, et al. Rural settlements layout optimization based on spatial combination identification from a multi-scenario perspective: Taking Xinyi City of Jiangsu Province as an example[J]. Geographical Research, 2021, 40(4): 977-993. (in Chinese with English abstract)
- [20] 曲衍波, 朱伟亚, 郅文聚, 等. 基于压力-状态-响应模型的土地整治空间格局及障碍诊断[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 241-249.
- Qu Yanbo, Zhu Weiya, Yun Wenju, et al. Land consolidation spatial pattern and diagnosis of its obstacle factors based on pressure-state-response model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(3): 241-249. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李卫民, 李同昇, 武鹏. 基于引力模型与加权 Voronoi 图的农村居民点布局优化: 以西安市相桥街道为例[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(1): 77-82.
- Li Weimin, Li Tongsheng, Wu Peng. Layout optimization of rural settlements based on gravity model and weighted voronoi diagram: A case of Xiangqiao Subdistrict[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(1): 77-82. (in Chinese with English abstract)
- [22] 贺贤华, 杨昕, 毛熙彦, 等. 基于加权 Voronoi 多边形的山区农村居民点优化布局: 以重庆市崇龛镇与石龙镇为例[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(1): 80-89.
- He Xianhua, Yang Xin, Mao Xiyan, et al. Optimization of rural residential land distribution in mountainous area based on weighted voronoi diagram[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(1): 80-89. (in Chinese with English abstract)
- [23] 颜文涛, 卢江林. 乡村社区复兴的两种模式: 韧性视角下的启示与思考[J]. 国际城市规划, 2017, 32(4): 22-28.
- Yan Wentao, Lu Jianglin. Two models for revitalizing village: Enlightenments under resilient perspective[J]. Urban Planning International, 2017, 32(4): 22-28. (in Chinese with English abstract)
- [24] 范乐, 王燕语, 张婧岩, 等. 基于人群疏散行为的西南山地城镇住区安全韧性提升对策[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2020, 60(1): 32-40.
- Fan Le, Wang Yanyu, Zhang Jingyan, et al. Safety resilience promotion strategies for mountainous neighborhoods in southwestern China based on crowd evacuation behavior[J]. Journal of Tsinghua University (Sciences and Technology), 2020, 60(1): 32-40. (in Chinese with English abstract)
- [25] Markantoni M, Artur A S, John E M. Can community interventions change resilience? Fostering perceptions of individual and community resilience in rural places[J]. Community Development, 2019, 50: 238-255
- [26] Ashkenazy A, Chebach T C, Knickel K, et al. Operationalising resilience in farms and rural regions findings from fourteen case studies[J]. Journal of Rural Studies, 2018, 59: 211-221.
- [27] Zambon G, Benocci R, Brambilla G. Statistical road classification applied to stratified spatial sampling of road traffic noise in urban areas[J]. International Journal of Environmental Research, 2016, 10(3): 411-420.
- [28] Wilson, Geoff A, Hu Z P, et al. Community resilience in rural China: The case of Hu Village, Sichuan Province[J]. Journal of Rural Studies, 2018, 60: 130-140.
- [29] 邹亚锋, 李亚静, 马天骏, 等. 乡镇规划调控下的农村居民点空间布局优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 238-244.
- Zou Yafeng, Li Yajing, Ma Tianjun, et al. Spatial distribution optimization of rural residential areas based on town planning regulation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(10): 238-244. (in Chinese with English abstract)
- [30] 卢丽文, 宋德勇, 李小帆. 长江经济带城市发展绿色效率研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 35-42.

- Lu Liwen, Song Deyong, Li Xiaofan. Green efficiency of urban development in the Yangtze River Economic Belt[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(6): 35-42. (in Chinese with English abstract)
- [31] 倪晓露, 黎兴强. 韧性城市评价体系的三种类型及其新的发展方向[J]. 国际城市规划, 2021, 36(3): 76-82.
- Ni Xiaolu, Li Xingqiang. Three approaches for the assessment on "resilient city" and its new directions[J]. Urban Planning International, 2021, 36(3): 76-82. (in Chinese with English abstract)
- [32] 孙美玲. 基于自组织理论的雄安新区社区韧性提升策略研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- Sun Meiling. Research on Community Resilience Promotion Strategy of Xiongan New Area District Based on Self-organization Theory[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019. (in Chinese with English abstract)

Spatial layout optimization of rural settlements based on the theory of safety resilience

Zou Yafeng^{1,2}, Gu Xiangxiang¹, Luo Yiting¹, Wang Qi¹, Jia Gengrong¹

(1. School of Public Management, Inner Mongolia University, Hohhot 010020, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Safety resilience is essential to effectively optimize the spatial layout of rural settlements in the context of rural revitalization, particularly to the survival and development of rural settlements. Taking Kekeyiligeng Town, Wuchuan County, Inner Mongolia Autonomous Region of China as a typical case, this study aims to define the connotation and characteristics of residential safety resilience in rural settlements using the principle of safety resilience. The landscape pattern index was also utilized to analyze the current situation of spatial distribution in the rural settlements. The safety resilience of rural settlements was then calculated using Expert Scoring and Analytic Hierarchy Process (AHP). Four dimensions of characteristics were selected, including suitability, redundancy, adaptability, and self-organization. Referred to *National Rural Revitalization Strategic Plan (2018-2022)* and *Opinions on Promoting Village Planning as a Whole*, the optimal types of the spatial layout were determined to obtain the optimal strategies in the rural settlements. The results showed that: 1) Safety resilience of rural settlements was a procedural concept with the phased characteristics, including the defense phase, recovery phase, adaptation phase, and independent capabilities throughout the various phases of system operation. The salient characteristics of safety resilience were proposed for the rural settlements in different stages of system operation, indicating better suitability, redundancy, adaptability, and self-organization. 2) The overall performance of safety resilience was relatively excellent in the rural settlements. There were 87 patches of rural settlements above the security level, accounting for 52.5% of the total area of Kekeyiligeng Town. There was also a spatial pattern of "south high north low, middle high around low". Specifically, there were 26 high-security patches with an area of 87.07 hm² in the rural settlements, locating close to the institutional towns. 61 medium-security rural settlements with the largest area of 195.19 hm² were mainly distributed in Furudong Village, mostly near the traffic arteries of Juzihao Village. A total of 41 critical safety level rural settlements with an area of 142.81 hm² were mainly distributed in Wulanhudong Village, particularly scattered in the marginal area of Dashuigedong and Juzihao Village. There were 46 insecure rural settlements with an area of 112.49 hm², mainly distributed in Dashuigedong and Sanshengtai Village. 3) Different types of rural settlements well conformed to the development and evolution trend of villages, representing their own strategies of spatial layout optimization. The suburban integration type of rural settlements should be positively integrated with urban areas in the industrial economy and public service system, in order to promote the coordinated development of urban and suburban areas. Furthermore, the agglomeration promotion type of rural settlements should be used to strengthen the construction of infrastructure and integrated development of various economic types. The characteristic protection type of rural settlements should also be used to actively improve the production and living conditions, where appropriate tourism can be developed to increase the income of villagers. Additionally, the general persistence type of rural settlements should be a further intensive and economical use of land to improve the situation of hollowing out. Consequently, the relocation merge type of rural settlements is no longer suitable for human habitation. Therefore, the central village of high safety resilience needs to relocate using a weighted-Voronoi diagram. The findings can provide a potential basis to comprehensively promote the planning and development of rural settlements under the background of rural revitalization.

Keywords: land use; rural areas; optimization; safety resilience; weighted-Voronoi diagram