

许 婷,饶 磊,赵小敏,等. 基于 MCR 模型和加权 Voronoi 图的农村居民点空间布局优化[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):333-337.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.083

基于 MCR 模型和加权 Voronoi 图的 农村居民点空间布局优化

许 婷,饶 磊,赵小敏,孙见伟,孙 凯,郭 熙

(江西农业大学鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室,江西南昌 330045)

摘要:以江西省都昌县为例,将土地利用现状中的农村居民点作为源,通过选取地形、区位、用地等 3 个阻力因素 9 个阻力因子建立最小累计阻力模型的方法来研究农村居民点空间布局适宜性,再结合加权 Voronoi 图的空间势力范围确定农村居民点的规划安置方向。结果表明,都昌县农村居民点呈由南到北布局适宜性降低的特征;都昌县高等、中等和低等 3 种类型农村居民点的面积比例分别为 28.59%、51.39%、20.03%。根据现状和适宜性评价结果,都昌县农村居民点空间布局优化有重点发展型、优先发展型、内部整理型和拆迁合并型等 4 种模式。研究结果对促进经济和城乡发展、协调农村人地关系具有重要意义。

关键词:农村居民点;最小累计阻力模型;加权 Voronoi 图;优化布局;都昌县

中图分类号: F301.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0333-05

农村居民点作为农村人口聚居的场所,是农民生产和生活的载体,是农村人地关系的核心表现^[1-2]。目前农村居民点存在着布局分散、规模小、数量大、满天星的格局,并且分布形态呈向外蔓延的趋势,在一定程度上造成土地的粗放利用和耕地数量的下降^[3-4]。研究农村居民点布局优化是集约利用建设用地、增加耕地面积、优化土地资源空间结构的重要内容^[5]。近年来,许多学者站在不同角度对农村居民点的布局调整进行了大量研究。一些学者从农村居民点所处地形区不同的角度来进行研究,如平原区^[6]、丘陵区^[7]、低山丘陵区^[8-9]、低山-丘陵-平原交错区^[10]、黄土高原丘陵沟壑区^[11]等;一些学者对不同尺度的评价单元进行研究,如沈陈华等以乡(镇)为评价单元对农村居民点进行研究^[1,12-13],而曲衍波等以村镇为评价单元分别以北京市平谷区和江苏省南

京市六合区为研究区域对农村居民点整理类型和时序进行研究^[5,14];还有些学者通过利用不同的研究方法进行探索,如沈陈华应用地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)空间分析方法和 Ripley's K 函数分析法研究农村居民点空间布局特征^[1];朱彬等采用栅格成本加权距离算法研究农村居民点空间格局可达性^[15];王阳等用 Topsis 法和时间管理优先矩阵法研究农村居民点的整理时序^[16];石诗源等利用人均用地指标法和限制条件修正系数法对农村居民点整理潜力进行测算^[17]。

本研究在前人的基础上,以典型的鄱阳湖地区水域占地面积较大的江西省都昌县为研究对象,以农村居民点现状为源,建立最小累计阻力模型,研究都昌县农村居民点的扩张阻力并划分研究区居民点布局适宜性。在此基础上,结合加权 Voronoi 多边形的势力范围规划农村居民点的安置,从而优化农村居民点的空间布局,对开展土地整治、提高土地资源的有效利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与数据处理

都昌县(28°50'28"~29°38'00"N,116°01'34"~116°38'27"E)位于江西省九江市,地处鄱阳湖东北部,包含鄱阳湖 1/3 的水域,陆地部分以平原、丘陵为主,地势北高南低,逐次为低山-

产空间格局厘定——以重庆市合川区大柱村为例[J]. 资源科学,2016,38(3):387-394.

[17] 吴良林,罗建平,李 漫. 基于景观格局原理的土地规模化整理潜力评价方法[J]. 农业工程学报,2010,26(2):300-306.

[18] 吴良林,周永章,陈 子,等. 基于 GIS 与景观生态原理的土地资源规模化潜力评价[J]. 资源科学,2007,29(6):146-153.

[19] 张正峰,陈百明,郭战胜. 耕地整理潜力评价指标体系研究[J]. 中国土地科学,2004,18(5):37-43.

[20] 蔡海生,林建平,朱德海. 基于耕地质量评价的鄱阳湖区耕地整

理规划[J]. 农业工程学报,2007,23(5):75-80.

[21] 孔祥斌,刘灵伟,秦 静. 基于农户土地利用行为的北京大兴区耕地质量评价[J]. 地理学报,2008,63(8):856-868.

[22] 奉 婷,张凤荣,李 灿,等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. 农业工程学报,2014,30(1):200-210.

[23] 高亚楠. 基于 GIS 的城市社区家庭通勤交通碳排放热点分析[D]. 西安:长安大学,2013.

[24] 李文安,马文起. 河南农业土地规模经营模式及效益分析[J]. 南都学坛,2012,32(4):98-101.

高丘—低丘—平原—湖泊。2014 年年末,全县人口总数为 810 480 人,占全市人口总数的 16.86%,其中农业人口为 683 419 人,非农业人口为 127 061 人;县域下辖 24 个乡镇,包括 1 个县直辖乡,另外还有 2 个林场、1 个良种场和鄱阳湖部分水域。全县土地总面积为 222 685.78 hm^2 ,其中农村居民点用地面积为 8 527.42 hm^2 ,占城乡建设用地总面积的 79.86%。考虑到农村居民点建设的成本和居民安全性,本研究扣除不能作为农村居民点选址的水域和水库水面面积,最终研究区的土地净面积为 186 054.96 hm^2 。

本研究使用的基础数据包括都昌县 1:10 000 土地利用变更数据(2014 年)、都昌县土地利用总体规划(2006—2020 年)、都昌县基本农田保护区图(2014 年)、江西省 1:75 000 地形图以及都昌县统计年鉴(2014 年)。

本研究采用以下方法对数据进行处理:(1)运用 ArcGIS 10.2 软件从土地利用变更数据中提取都昌县行政界线、农村居民点以及建制镇、水源、道路等的 shp 文件;(2)利用 3D Analyst 模块,将江西省地形图转换成不规则三角网(triangulated irregular network,简称 TIN)文件,再由 TIN 文件转成 20 m \times 20 m 的栅格数据并生成数字高程模型(digital elevation model,简称 DEM)数据,最终生成都昌县坡度、坡向、高程图。

1.2 研究方法

1.2.1 最小累计阻力模型 最小累计阻力模型(minimal cumulative resistance,简称 MCR)是指以源为到达目的地,在运动过程中克服阻力所要耗费的最小代价,由源、阻力面、阻力系数等 3 部分组成^[11-12],已被广泛应用于物种保护、景观格局等多个领域^[13],其数学表达式为:

$$MCR = f_{\min} H_{ij} \times R_i$$

式中:MCR 为最小累计阻力值,MCR 值越小,表示源 j 在阻力面体系下越容易扩张; f 是一个单调递增的未知函数,表示最小累计阻力值和源扩张易达度的负相关关系; H_{ij} 为源 j 扩张到任一点 i 的空间距离; R_i 为点 i 对源 j 运动过程的阻力系数; $H_{ij} \times R_i$ 表示源 j 扩张到点 i 过程中的阻力值。

1.2.2 加权 Voronoi 图 Voronoi 图法别称垂直平分法,是一种空间剖分和聚类的方法,其数学定义为:设平面有 n 个离散点,对于任意点 $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n \in P$,因此, Voronoi 图为所有到点 P 距离最小点 P_i 的集合^[18-19]。常表示为:

$$V(P_i) = \{P/d(P, P_i) \leq d(P, P_j), i \neq j, j = 1, 2, 3, 4, \dots, n\}。$$

而加权 Voronoi 图是对 Voronoi 图的扩展,除考虑点的空间距离外,还考虑各点之间的差异^[20],被广泛应用于数学、城市地理学、选址和提高集聚等方面^[21]。其数学定义为:设任意点 $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n \in P$,且各自有权 K_i ,则加权 Voronoi 图为所有到点 P 加权距离最小点 P_i 的集合,可见当点的权都相等时, Voronoi 图是加权 Voronoi 图的特例。

$$V(P_i) = \{P/K_i d(P, P_i) \leq K_j d(P, P_j), i \neq j, j = 1, 2, 3, 4, \dots, n\}。$$

本研究根据加权 Voronoi 图的影响势力范围,规划农村居民点的安置方向,从而最大程度地优化农村居民点的空间布局。目前该研究方法在农村居民点布局优化上的应用较少,因此,鉴于 Voronoi 图具有较强的科学性、应用性、简易性的特点,将其运用到农村居民点空间布局适宜性的研究中具

有较强的可操作性和一定的创新性。

2 结果与分析

2.1 源的选取

农村居民点源以江西省都昌县 4 235 个农村居民点为源,总面积为 8 527.42 hm^2 ,其中居民点的最小面积为 0.2 hm^2 ,最大面积为 34.79 hm^2 ,平均面积为 2.0 hm^2 (图 1)。

2.2 阻力面和阻力系数的构建

农村居民点的布局受自然、经济、社会、生态等因素制约,本研究选取地形、区位、用地等 3 个阻力因素 9 个评价因子建立阻力面(图 2),并按等级划分 10、20、30、40、50 等 5 个阻力系数。同时,由专家和相关部门确定各指标权重和量化标准,评价因子赋值见表 1。

2.2.1 地形阻力 本研究选取高程、坡度、坡向等 3 个因素分析地形阻力对农村居民点布局适宜性的影响。高程、坡度和地势的起伏具有一定的关联性,决定着农村居民点建设的成本和居民交通的便捷度;坡向与人们所必需的光、热、水条件息息相关。一般情况下,高程高、坡度大地形的生产生活基础设施建设的经济投入大且易发生地质灾害;而阴坡和半阴坡地形的生产生活因受光照和热的限制,农村居民点空间布局阻力系数大。

2.2.2 区位阻力 区位阻力因素主要选取公路、铁路和建制镇。研究表明,越靠近公路和建制镇人们获取物质、信息、能量越便利,经济和生活水平越高,农村居民点布局的适宜性阻力越小;铁路不但不能给人提供直接的便利,反而会给靠近火车轨道的居民造成一定的噪声污染^[22],适宜性阻力大。本研究根据缓冲区分析功能作不同的缓冲半径来表示不同的阻力系数(表 1)。

2.2.3 用地阻力 本研究主要以水源、耕作距离、保护区和土地资源类型作为用地阻力因素。离水源较近的地方能提供人们生产生活上便捷,但也存在水源污染和洪涝灾害等限制,有研究表明,距离水源 200 m 以内的区域农村居民点扩张阻力最大^[23];耕地和园地作为资源关系着农户的生计,一般情况下,距离资源越近的地方居民点分布越密集,且研究表明,农户可接受 600 m 以内的耕作距离^[23];不同的土地资源类型可影响农村居民点建设的成本和便利性,具体阻力系数见表 1。

2.3 研究区适宜性分区

最小累计综合阻力值的计算公式为:

$$S = \sum a_{ij} \times q_{ij}$$

式中: S 表示最小累计综合阻力值; a_{ij} 表示第 i 个阻力因子的阻力系数; q_{ij} 表示第 i 个阻力因子的权重。最后,采用自然断点法将研究区分为 5 种适宜性分区,即高度适宜区($10.8 \leq S < 17.3$)、较适宜区($17.3 \leq S < 21.2$)、一般适宜区($21.2 \leq S < 25.4$)、较不适宜区($25.4 \leq S < 30.3$)、高度不适宜区($30.3 \leq S < 42.0$),如图 3 所示。

从总体上看,较适宜区的面积最大,占总面积的 32.23%;除春桥乡和红光林场幸福分场、武山林场外,每个乡(镇)都有高度适宜区,其中东南部的芗溪乡、中馆镇、蔡岭镇的高度适宜区达到 30% 以上。由于受到地形和水源的影响,江西省都昌县呈现出南部适宜性高于北部的特征,而高度不

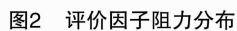
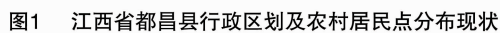


表 1 阻力体系

一级指标	二级指标	农村居民点扩张阻力系数					权重
		10	20	30	40	50	
地形阻力	高程(m)	≤100	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	>400	0.08
	坡度(°)	≤2	2 ~ 6	6 ~ 15	15 ~ 25	>25	0.11
	坡向	平坡	缓坡	中坡	大坡	陡坡	0.06
区位阻力	公路(m)	≤500	500 ~ 1 200	1 200 ~ 2 300	2 300 ~ 4 100	>4 100	0.11
	铁路(m)	800 ~ 4 000	4 000 ~ 10 000	10 000 ~ 20 000	>20 000	≤800	0.08
	建制镇(m)	≤800	800 ~ 2 000	2 000 ~ 3 600	3 600 ~ 6 000	>6 000	0.16
用地阻力	水源(m)	200 ~ 1 000	1 000 ~ 2 500	2 500 ~ 5 000	>5 000	≤200	0.09
	耕作距离(m)	≤150	150 ~ 300	300 ~ 450	450 ~ 600	>600	0.20
	土地资源类型	农村居民点	耕地、园地	其他农用地、林地、自然保留地	其他建设用地、交通水利、工矿用地	建制镇、水域	0.11

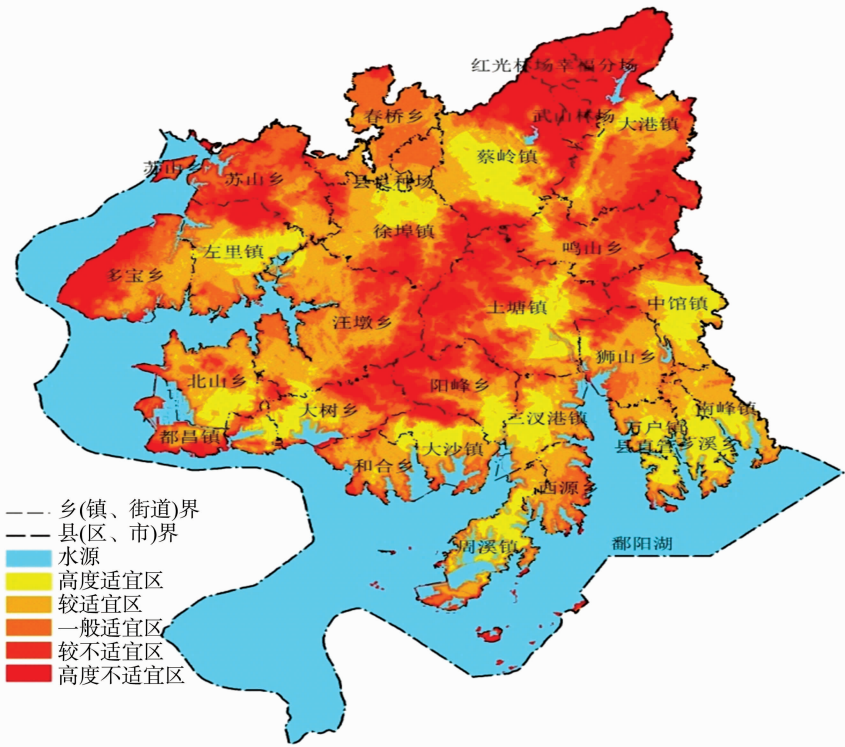


图3 江西省都昌县农村居民点用空间布局适宜性分区

适宜区主要集中在东北部的大港镇、鸣山乡、武山林场、红光林场幸福分场以及县城中部地区。

2.4 农村居民点布局优化

通过 ArcGIS 10.2 软件将农村居民点现状图层与适宜性分区图层叠加,再利用自然断点法将江西省都昌县的 4 235 个农村居民点划分为高等农村居民点(10.8≤S<16.5)、中等农村居民点(16.5≤S<20.8)和低等农村居民点(20.8≤S<39.9)。经统计,高等、中等、低等农村居民点分别有 1 194、2 105、936 个,面积分别为 2 437.67、4 381.88、1 707.94 hm²,分别占都昌县农村居民点总面积的 28.59%、51.39%、20.03%。可见,都昌县高等居民点占有农村居民点的比例不到 30%;中等居民点数量最多、面积最大。本研究利用 ArcGIS 软件中的 Calculate Geometry 模块获取各个等级农村居民点图层的质心并形成点文件,以综合阻力值的平方根为权重生成加权 Voronoi 图的势力范围。

本研究发现,就加权 Voronoi 多边形而言,每一个加权

Voronoi 多边形中包含的居民点数越多,居民点越集中,因此可以以高等向低等靠拢,零散向集中靠拢为原则,结合加权 Voronoi 多边形的空间关系确定高等以外的农村居民点安置方向(表 2)。

据统计,有 1 194 个重点发展型农村居民点斑块,面积占县城农村居民点总面积的 28.59%,主要集中在蔡岭镇、周溪镇、南峰镇、万户镇和芦溪乡,这些居民点大多位于地形平坦、离水源近、交通便利以及农业资源丰富的地区,是未来农村居民点发展的重点方向。优先发展型农村居民点面积最大,占县城农村居民点总面积的 37.44%,均处在高级农村居民点势力范围内且处于高等居民点集中区,生产生活优势较明显,是以后农村居民点发展的主要选址。有 1 085 个内部整理型居民点斑块,应该充分挖掘这部分居民点的潜力,使其达到高级居民点水平,可通过拆迁合并居民点的方式来改善人们的生活条件,包括拆迁合并至高级居民点和中级居民点等 2 种。

表 2 江西省都昌县农村居民点空间布局优化模式

农村居民点等级	农村居民点空间布局	加权 Voronoi 多边形空间关系	数量 (个)	面积 (hm ²)	农村居民点安置去向
高等居民点	与高等居民点势力范围重合	与高等居民点势力范围重合	1 194	2 437.67	重点发展
中等居民点	包含于高等居民点势力范围	相互重叠	1 578	3 192.57	优先发展
		不相互重叠	519	1 165.37	内部整理
	不包含于高等居民点势力范围	不包含高等居民点势力范围	8	23.94	拆迁合并至高级居民点
低等居民点	包含于高等居民点势力范围	相互重叠	566	1 033.76	内部整理
		不相互重叠	351	643.48	拆迁合并至高级居民点
	不包含于高等居民点势力范围	不包含高等居民点势力范围	19	30.70	拆迁合并至中级居民点

3 结论与讨论

本研究以水域面积较大的江西省都昌县为例,从农村居民点现状出发,以地形阻力(高程、坡度、坡向)、区位阻力(公路、铁路、建制镇)、用地阻力(水源、耕作距离、土地资源利用)等 3 个因素构建最小累计阻力模型,能较好地反映不同阻力因子在农村居民点扩张过程中产生的影响,同时也反映都昌县农村居民点的实际分布情况,即多集中在地形平坦、交通便利、离耕地园地等资源较近的地方。

本研究根据评价结果将江西省都昌县全域划分为高度适宜区、较适宜区、一般适宜区、较不适宜区、高度不适宜区,并将农村居民点划分为高等、中等、低等 3 个等级,其面积比例分别占都昌县农村居民点总面积的 28.59%、51.39%、20.03%。

本研究结合加权 Voronoi 多边形的势力范围内居民点是否重叠对农村居民点去向作出空间优化,将江西省都昌县农村居民点分为重点发展、优先发展、内部整理和拆迁合并等 4 种类型,这种方法是对居民点量化的创新,可为土地整治提供依据,同时对完善农村聚落规划具有重要意义。

本研究在选取阻力因子时由于受资料限制,没有考虑到社会经济、基本农田保护和生态保护的影响;同时在农村居民点优化方案中农户拆迁没有考虑到诸如资金、公共服务、法律等因素的影响,也没有将方案与乡(镇)规划、土地整治规划等进行进一步的对比分析,因此还须进行下一步的探讨。

参考文献:

[1] 沈陈华. 丹阳市农村居民点空间分布尺度特征及影响因素分析[J]. 农业工程学报,2012,28(22):261-268.

[2] 姜广辉,张凤荣,陈军伟,等. 基于 Logistic 回归模型的北京山区农村居民点变化的驱动力分析[J]. 农业工程学报,2007,23(5):81-87.

[3] 陈阳,李伟芳,任丽燕,等. 空间统计视角下的农村居民点分布变化及驱动因素分析——以鄞州区滨海平原为例[J]. 资源科学,2014,36(11):2273-2281.

[4] 李乐,张凤荣,关小克,等. 基于规划导向度的农村居民点整治分区及模式[J]. 农业工程学报,2011,27(11):337-343.

[5] 曲衍波,张凤荣,郭力娜,等. 北京市平谷区农村居民点整理类型与优先度评判[J]. 农业工程学报,2011,27(7):312-319.

[6] 姜广辉,张凤荣,谭雪晶. 北京市平谷区农村居民点用地空间结构调整[J]. 农业工程学报,2008,24(11):69-75.

[7] 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(1):

89-93,139.

[8] 刘晓清,毕如田,高艳. 基于 GIS 的半山丘陵区农村居民点空间布局及优化分析——以山西省襄垣县为例[J]. 经济地理,2011,31(5):822-826.

[9] 张佳佳,赵小敏,郭熙,等. 数量化赣南低山丘陵区农村居民点空间布局研究[J]. 中国农业大学学报,2016,21(6):152-163.

[10] 朱雪欣,王红梅,袁秀杰,等. 基于 GIS 的农村居民点区位评价与空间格局优化[J]. 农业工程学报,2010,26(6):326-333.

[11] 赵茜宇,张占录,方杰代. 黄土高原丘陵沟壑区农村居民点整理模式分析——以兰州市黄裕乡为例[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(9):44-49.

[12] 孙宇杰,张宇辰,李鹏,等. 江苏省农村居民点整理时序研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(8):958-963.

[13] 王佳洁,李钢,鞠军,等. 农村居民点整理潜力评价研究——以江苏省沛县为例[J]. 江苏农业科学,2011(3):566-568.

[14] 徐惠,孙玉杰,龚敏飞. 基于村尺度的农村居民点整理时序研究——以南京市六合区为例[J]. 中国农学通报,2014,30(14):179-184.

[15] 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.

[16] 王阳,王占岐,陈媛. 基于 Topsis 和矩阵法的山区农村居民点整治时序分区研究[J]. 水土保持研究,2015,22(6):324-330,334.

[17] 石诗源,张小林. 江苏省农村居民点用地现状分析与整理潜力测算[J]. 中国土地科学,2009,23(9):52-58.

[18] 贺贤华,杨昕,毛照彦,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.

[19] 滑斌杰,林立忠,柴忠良. 粗糙域 Voronoi 图离散生成算法研究[J]. 计算机工程与应用,2013,49(23):191-194,214.

[20] 齐邦龙. 基于加权 Voronoi 图的百色市右江区耕地布局优化研究[D]. 南宁:广西师范学院,2015.

[21] 谷景祎,周廷刚,郭丽敏. 基于断裂点理论与加权 Voronoi 图的京津冀地区城市影响范围研究[J]. 地理与地理信息科学,2014,30(1):65-69.

[22] 吴春华,胡远满,黄培泉,等. 基于最小阻力模型阜新市城市及农村居民点适宜性评价研究[J]. 资源科学,2013,35(12):2405-2411.

[23] 何建,杨庆媛,藏波,等. 基于 ArcGIS 的农村居民点选址研究——以重庆市石柱县冷水镇八龙村为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2014,2(2):73-80.