引文格式：郑英铉,王大燎,吴梓涵,等. 基于深度学习和物元的居民点适宜度与分布特征分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(8):29-33. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.08.006

基于深度学习和物元的居民点适宜度与分布特征分析

郑英铉[1]，王大燎[1]，吴梓涵[1]，方书敏[1*]
（1. 甘肃农业大学 资源与环境学院，甘肃 兰州 730070）

摘　要：为了响应乡村振兴、精准扶贫等一系列农村相关政策，通过分析了解温州市村级居民点的空间分布特征，对村级居民点适宜度做出分级评价，以温州市为例为村级居民点的布局优化提供一定的参考。通过地理空间数据云、Python 结合天地图与高德地图提供的接口，获取温州市道路路网数据、水系水网数据、DEM 数据、AOI 地类数据、村级居民点数据。利用泰森多边形、核密度、近邻性分析方法，分析温州市村级居民点的空间分布特征及其影响因子，并利用物元模型方法对温州市村级居民点的适宜度进行分级评价。温州市的村级居民点主要高密度地分布在中部沿海地区，在自然因素的角度上，其分布主要受到高程的影响，在社会因素上，村级居民点分布密集程度跟道路的距离成反比，而温州市村级居民点的适宜度整体较高，最佳适宜村级居民点占村级居民点总数的73.83%。温州市的村级居民点在自然因素和社会因素的共同影响下，受自然因素影响较大，其中以地形因素为主。温州市的村级居民点整体适宜度较高，适宜居住，研究可以为优化温州市村级居民点的布局提供一定的参考价值，拓展村级居民点的分析思路。

关键词：村级居民点；物元模型；核密度；泰森多边形；近邻性分析；适宜度评价
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）08-0029-05

Distribution Characteristics and Suitability Analysis of Settlements Based on Deep Learning and Object Element Modeling

ZHENG Yingxuan[1], WANG Daliao[1], WU Zihan[1], FANG Shumin[1]
(1. School of Resource and Environmental, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In response to a series of rural-related policies such as rural revitalization, by analyzing and understanding the spatial distribution characteristics of rural residential areas in Wenzhou City, we made a hierarchical evaluation of the suitability of rural residential areas, providing a reference for optimizing the layout of village-level residential areas. By combining the interfaces provided by the GSCLund, Python, MapWorld and Amap, we obtained road network data, water system data, DEM data, land-use data, and residential area data of Wenzhou City. , we used Thiessen polygons and kernel density methods to analyze the spatial distribution characteristics and influence factors of rural residential areas in Wenzhou City, and used the object element model method to evaluate the suitability of rural residential areas in Wenzhou City. The residential areas in Wenzhou City are mainly distributed in the central coastal area with high density. From the perspective of natural factors, their distribution is mainly influenced by elevation. In terms of social factors, the dense distribution of residential areas is inversely proportional to the distance from rivers and roads. Overall, the suitability of residential areas in Wenzhou City is relatively high, with the best suitable residential areas accounting for 73.83% of total number of residential areas. Under the combined influence of natural and social factors, the village-level residential areas in Wenzhou City are highly influenced by natural factors, with terrain being the main factor. The overall suitability of these residential areas is relatively high, making them suitable for living. The result can provide some positive reference value for optimizing the layout of village-level residential areas in Wenzhou City.

Key words: Village-level settlement, object element model, kernel density, Thiessen polygon, proximity analysis, suitability evaluation

农村居民点的空间分布和适宜性特征可以给农村发展的规划提供科学的依据[1]，以推动农村布局的优化与发展转型，帮助农村推进解决现有的种种矛盾。

国外对农村居民点的研究起步较国内更早，国外学者一般认为农村区域要作为城市的后备支撑，对城市发展中产生的人口激增、环境污染、交通拥堵等问题产生作用，提供一定的缓冲[2]。在国内，由于最大发展中国家与人口基数大的实际国情影响，学者们更加关注于农村的利用率问题，希望进一步提高农村的利用率。在空间格局的研究上，主要通过各种自然与

项目来源：甘肃省自然科学基金资助项目（21JR7RA832）；甘肃农业大学省级创新创业项目（S202410733034）。
第一作者简介：郑英铉（2002—），本科生，研究方向为地理信息科学，E-mail：ZyxL0710@163.com。
通信作者：方书敏（1977—），博士，副教授，研究方向为生态水文过程与GIS模拟，E-mail：fangsm@gsau.edu.cn。

社会因子进行研究，其中对交通、高程、土地三因素的关注度颇高[3]，随着信息技术的发展，关于村级居民点的研究维度与尺度越发广与深[4-9]，也有大量学者利用POI等新数据，结合机器学习等先进方式进行相关研究[10-13]。

本文以浙江省温州市作为研究区域，为各个村级居民点的适宜度做出分级评价，分析温州市村级居民点空间分布特征，试图找出合理的村级居民点区位与规划，对温州市的村级居民点优化布局提供科学的依据，为交通建设、基建工程等方面的规划提供帮助。

1 研究方法与数据来

1.1 研究区概况

温州市位于我国浙江省南部地区（图1），陆地面积达1.21万km^2。地处我国地势第三级阶梯，多丘陵，内部地势由西南向东北呈现梯形倾斜。温州临海，海岸曲折，良港众多，受季风影响明显，为亚热带季风气候，雨热同期，夏季高温多雨、冬季温和少雨，总体雨水充沛，空气湿润。

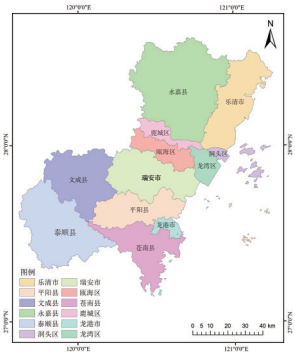


图1 温州市概况图

审图号：浙S(2023)38号

1.2 数据源与数据处理

此项研究数据来源于高德地图、天地图和地理空间数据云，通过Python编写程序，结合利用高德地图和天地图提供的接口，获取Aster30 mDEM数据、2023年3月的兴趣点（Points of interest，POI）、AOI（Area of interest，AOI）数据与其他所需数据，包括村级居民点、主要道路、主要河流等数据。

因为村级居民点用地形状大多为不规则多边形，故采用以点代面的方式，利用村级居民点中心经纬坐标，将村级居民点数据转化为点集数据来及进行研究。

1.3 研究方法

1.3.1 泰森多边形

泰森多边形的面积会随着点集的分布而发生变化，因此可以利用多边形面积的CV值（变异系数）来量化多边形的变化程度，并以此来评估点集数据的分布类型。

$$CV=\left(\text{标准差}/\text{平均值}\right)\times 100\% \tag{1}$$

式中，CV值越大，点集之间分布密度越高。根据Duvekaerts提出的3个建议值：当$CV<33\%$时，居民点的空间分布类型为“均匀分布”；当$CV\in[33\%, 64\%]$时，居民点分布类型为“随机分布”；当$CV>64\%$时，居民点分布类型为“集群分布”[1]。

1.3.2 近邻性分析

邻近性分析可以呈现出较为直观的分析管理方式，可以体现出检测中心周围距离事物之间的关联。在ArcGIS之中，可以利用等距缓冲区分析工具来实现近邻性分析，再结合重分类工具，可以得出海拔、坡度、AOI地类、道路、河流5个因子对于居民地分布特征影响。

1.3.3 核密度分析

核密度分析是一种分参数的表面密度估计方法，利用动态的单元格来计算空间中点集的分布密度，其方程可以表示为：

$$f_n(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}k\left[\frac{x-x_i}{h}\right] \tag{2}$$

式中，$f_n(x)$为村级居民点的核密度值；n为范围内的点数据量；k为核函数；$x-x_i$为村级居民点x至x_i的距离；h为带宽。

核密度值的大小与村级居民点的分布密度呈现正比状态。核密度值越大，其分布密度越大，村级居民点分布越密集；核密度值越小，分布密度越小，村级居民点分布越稀疏。

1.3.4 物元模型法

物元模型由我国数学家蔡文教授创立，用以解决各种不相容问题，适合用于解决多方案的评价以及标准等级的划分[14]。

构建待评物元。物元分析中评价等级M、特征C（假设有n个特征）、特征量V、待评价事物为N作为农村居民点适宜度的基本元即物元，其中等级分为两部分，一是各个特征的等级划分，二是待评价物元最终的综合等级；特征是各类因子或评价维度；特征量为特征的量化数值。物元可以表示为：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} N & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中，$\boldsymbol{R}$为n维物元，可以表示为：

$$\boldsymbol{R}=(N,\ C,\ V)$$

确定经典域（$\boldsymbol{R}_j$）。经典域是由待评价物元的特征及其量值的特定等级区间而定的区间，为特征对应特征量的各个等级的数值区间范围的多维组合。若评价等级分为 m 级，则可以得到：

$$R_j=\begin{bmatrix} N_j & C_1 & V_{j1} \\ & C_2 & V_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{jn} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_j & C_1 & (a_{j1},\ b_{j1}) \\ & C_2 & (a_{j2},\ b_{j2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{jn},\ b_{jn}) \end{bmatrix} j=1,2,\cdots,n \tag{4}$$

确定节域（$\boldsymbol{R}_p$）。节域是依据特定特征所有等级的量值范围确定的，为特征对应特征量的取值范围。则可以确定。

$$\boldsymbol{R}_p=\begin{bmatrix} N_j & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中，$V_{pi}=(a_{pi},\ b_{pi})$；$i=1$，2，…，n，为第 i 个特征所有等级区间的并集。

构建关联函数和计算关联度。关联度是物元之间衡量彼此之间关联程度的量化指标，本项研究中用以确定 X 物元的 V_i 特征量与 j 等级的关联度，即 V_i 在 j 等级的可能性。关联函数是根据不同应用场景构建的用以计算关联度的函数式，本项研究中用区间距离公式构建关联函数。

设有界区间 $X=[a,\ b]$，其模长为 $|X|=|b-a|$，则 x 到区间 X 的距离公式为：

$$\rho(x,\ X)=\left|c-\frac{1}{2}(a+b)\right|-\frac{1}{2}(b-a) \tag{6}$$

可得关联函数为：

$$K_{xj}(V_i)=\begin{cases} \dfrac{-\rho_{ji}(V_{xi},\ V_{ji})}{|V_{ji}|} & V_{xi}\in V_{ji} \\ \dfrac{\rho_{ji}(V_{xi},\ V_{ji})}{\rho_{ji}(V_{xi},\ V_{pi})-\rho(V_{xi},\ V_{ji})} & V_{xi}\notin V_{ji} \end{cases} \tag{7}$$

之后使用关联函数，计算各特征量在不同等级的关联度。

1）确定权重。评价因子的权重的数值通过 Python 的 PyTorch 深度学习库，以通过层次分析法构建的村级居民点适宜性评价模型的结果作为样本，使用线性回归随机梯度下降方法进行深度学习，通过随机起点求出导数（斜率），促使一些参数的更新，每次更新都会使参数，包括权重和偏差更加趋近直至达到某一收敛点，完成线性回归，构建多因子的线性模型，获取可用的权重 $w_i(i=1,\ 2,\ \cdots,\ n)$。

确定综合关联度。通过确定待评价事物所在各个等级的综合关联度来判断事物的等级，综合关联度公式为：

$$K_j(N_x)=\sum_{i=1}^{n}w_i k_j(V_i) \tag{8}$$

式中，N_x 为第 x 个待评价事物；w_i 为第 i 个指标的权重；$k_j(V_i)$ 为第 j 个等级第 i 个指标的关联度。计算完成后最大综合关联度所在的等级即为待评价事物的等级。

关于村级居民点适宜度，选取高程、坡度、AOI 地类、河流、道路为评价因子，构建评价体系。适宜度将被分为6级，分别是最佳适宜、比较适宜、适宜、次适宜、欠适宜、不适宜。

2　结果分析

2.1　基于核密度和泰森多边形的村级居民点分布特征

温州市的村级居民点分布集中程度高，中部沿海地区的有呈条带状的高密集村级居民点分布区域，主要分布在鹿城区、瑞安市、平阳县和龙港市。全市中，永嘉县的面积最大，居民点的分布密度却较小。鹿城区、瑞安市、平阳县和龙港市4个地区占温州市面积30%左右，居民点却主要集中在这几个地区，说明这几个地区中居民点核密度值高的地区相对更加适宜居住。龙湾区的居民点泰森多边形 CV 值在全温州市最高，而核密度值却居中，表明龙湾区的居民点数量不多，分布却十分密集，可见该地区的开发规划仍不够完善，导致了有相当大的面积没有得到利用，产生了居民点十分密集的状况；平阳县的 CV 值在温州市最低，内有大面积高核密度区域，可见该地区的规划相对更加完善，高密度区域的适宜度更好。

2.2　根据近邻性分析村级居民点的空间分布特征

2.2.1　自然环境因子影响下的分布特征分析

温州市的平均海拔为120 m左右，利用ArcGIS中的自然间断点分级法将高程分为6个等级。按高程分级，温州市的村级居民点大多数处在第一级别，也就是高程<=110 m的范围，在此范围内分布的村级居民点达到75.94%。村级居民点的在不同海拔的分布数量有明显的变化，整体表现为村级居民点数量随海拔上升而减少，超过等级一的村级居民点的空间分布数量骤然下降。

坡度是影响居民点建设的重要因素。利用ArcGIS中的自然间断点分级法将坡度分为6个等级。由图2

可知，温州市村级居民点主要分布在等级一和等级二，也就是坡度在13.87°以下的地区内，其数量占总数的89.92%，可见由于地形的限制，温州市村级居民点集中地分布在有限的低坡度地区，产生了温州市村级居民点在坡度等级一和等级二密集分布的状态。

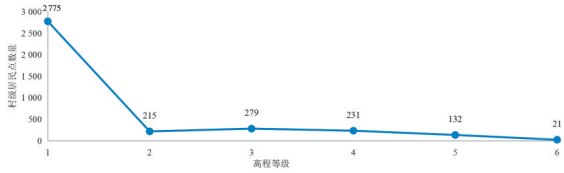


图2 温州市村级居民点依高程统计

河流对于村级居民点公布至关重要。根据近邻性分析方法，把河流按距离分为0~2 km、2~4 km、4~6 km、6~8 km、8~10 km、10~50 km 6个等级。由图3可知，温州市的村级居民点基本倾向于河流，分布在河流2 km范围之内的村级居民点数量占总数的64.04%，在距离河流10 km外分布的村级居民点仅占总数的4.58%。然而村级居民点若太过集中于河流，并且缺少科学严谨的管理，对河流的污染是不可避免的。基于村级居民点如此集中的情况，应该加强对河流的保护以及开发。

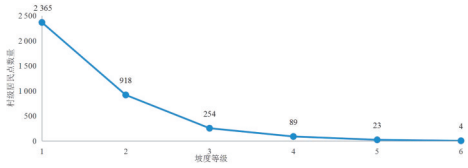


图3 温州市村级居民点依坡度统计

2.2.2 村级居民点在社会环境因子上的分布特征

公路是现代交通的基础，交通的便利与否对人们的生活有着巨大的影响。根据近邻性分析方法，把道路按距离分为0~2、2~4、4~6、6~8、8~10、10~50 km 6个等级。从图4可以看出，距离道路越近，村级居民点分布越密集，可见由于地形多起伏，山地丘陵分布密集，人们对于交通道路的需求与迫切程度颇高。分布在距离道路2 km以内的村级居民点数量占总数的72.98%，分布在距离道路10 km以外的村级居民点数量仅占总数的2.66%，表明温州市的绝大部分村级居民点的交通条件优异，仅有很小一部分仍然缺少有效的交通联系，然而村级居民点大部分集中在道路距离2 km以内的区域内，会造成交通压力大与运输能力负载高的负面影响。在后续交通建设中，应该对这些地区进行合理的基础建设，对远距离及时进行补短，保证区域的均衡发展。

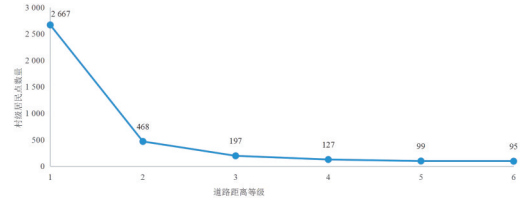


图4 温州市村级居民点依道路距离统计

地类对于村级居民点分布影响较大。不同的地类，会影响村级居民点的宜居程度。根据不同地类的宜居与否，将地类赋予不同的量化值，如表格2，分为6个等级：第一等级为1~3，第二等级为4~6，第三等级为7~9，第四等级为10~12，第五等级为13~14，第六等级为15~17。

温州市的村级居民点大多分布在第三等级的地区内，也就是在城建区、果园、农家庭院3个地类之内，占总数的74.68%，其中城建区占大部分。第一和第二等级包含居民区、生态区、公园、商业等地类，是最适宜居住的一类村级居民点，然而其数量占总数的24.31%，远远低于第三等级村级居民点的数量。而村级居民点集中于第三等级，并且城建区占其中大部分，说明在此方面的规划与建设仍然有很大部分的缺少，城建区的面积仍然很大，早期规划的建设推进相对较慢，并且过早的建设了大部分的村级居民点。

2.3 基于物元模型法的村级居民点适宜度分析

基于温州市村级居民点建设的物元共有五项特征：高程、坡度、河流距离、道路距离、AOI地类。其各自的系数是利用PyTorch人工智能库的深度学习功能而来。

各次训练的数据分别为高程、坡度、AOI地类、道路距离、河流距离五项特征的权重，以及五项权重的总和与偏振。五项权重以及偏振会基于权重总和进行数据朴正，使得权重总和达到1。对于数据训练，由于执行随机梯度下降方法中随机起点的差异，训练产生的结果都会不一致，故研究中以层次分析构建的村级居民点适宜性评价模型运行的结果为样本，进行了三组训练，第一组进行5轮1 000次的随机梯度下降的线性回归（即进行5轮的1 000次随机起点的连续求导修正参数至收敛，每一轮之间独立），并记录每一轮产生的权重数据；第二组进行3轮3 000次的随机梯度下降的线性回归；第三组进行2轮5 000次的随机梯度下降的线性回归。

选用的五项权重和偏振确定为各组训练的补正后的总均值，得出权重如表格1。

表1　各因子权重表

高程	坡度	地类	道路距离	河流距离	偏振
0.321 39	0.058 41	−0.014 75	0.539 83	0.095 12	0.056 84

采用如表1权重，温州市村级居民点基于物元法的适宜度分析结果如图5与表格2。

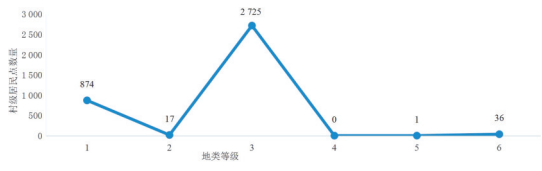


图5　温州市村级居民点依地类统计

整体来看，温州市的村级居民点的适宜度水平高。最佳适宜地区占总评价区域24.82%面积，却集中了73.83%的村级居民点，说明了温州地区发展仍有不平衡不充分的地方，需要合理的进一步规划发展。

表2　温州市村级居民点适宜度分级统计

地区	最佳适宜	比较适宜	适宜	次适宜	欠适宜	不适宜	最佳适宜占比%
苍南县	316	70	30	5	2	1	74.53
洞头区	63	15	0	0	0	4	76.83
乐清市	452	20	19	4	0	15	88.63
龙湾区	117	2	0	1	1	2	95.12
鹿城区	161	5	4	1	0	0	94.15
瓯海区	167	12	8	2	1	8	84.34
平阳县	379	26	29	8	2	5	84.41
瑞安市	464	25	15	1	4	3	90.63
泰顺县	16	135	62	42	21	13	5.54
文成县	108	69	37	13	19	0	43.90
永嘉县	352	70	52	24	7	41	64.47
龙港市	102	1	0	0	0	0	99.03

由图6可知，最佳适宜的村级居民点大部分呈条带状分布在温州中部偏东地区，高密度区域集中于此，其分布与地形高度对称相似，由东北向西南梯形倾斜。大部分次适宜、欠适宜和不适宜村级居民点大多零散的分布在西南和北部地区，这些地区与前者相较下，地势高起伏大，多丘陵，居民点建设多被地形因素限制，也说明这些不适宜居民点大多为个例现象，整体的建设向好。

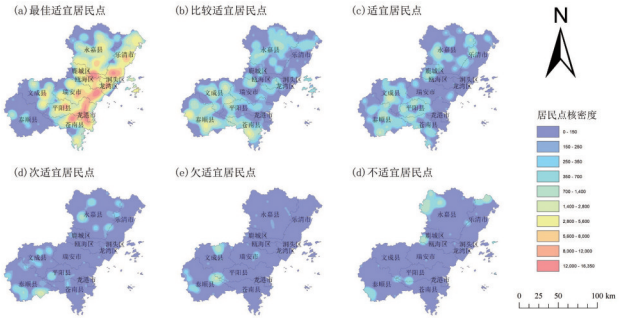


图6　温州市村级居民点适宜度分级核密度图

3　结　论

本文通过泰森多边形、核密度分析等方法，研究了温州市村级居民点的空间分布特征及适宜度。结果显示，温州市村级居民点整体呈集群分布，中部地区（龙湾区、瑞安市、鹿城区）最为密集。居民点分布受高程和道路距离影响最大，高程上升和道路距离增加会导致分布数量减少。适宜度分析表明，温州市整体适宜度高，最佳适宜居民点占73.83%，主要集中在中部偏东地区，且呈条带状分布。

基于以上研究，建议对不适宜地区的居民点进行调查并计划搬迁安置；对过于密集地区进行扩展规划；对最佳适宜地区进行保护与优化升级，吸引更多人口聚集。同时，加强基础设施建设，优化空间布局，缩小城乡差距，促进协调发展。

参考文献

[1] 刘立文,段永红,李丽丽,等. 山西省农村居民点空间分布特征及其适宜性评价[J]. 中国农业资源与区划,2022,43(1):100-109

[2] 刘敬杰,夏敏,刘友兆,等. 基于物元模型的农村居民点布局适宜性评价及分类[J]. 土壤通报,2016,47(2):308-313

[3] 姜广辉,张凤荣,秦静,等. 北京山区农村居民点分布变化及其与环境的关系[J]. 农业工程学报,2006,21 (11):85-92

[4] 赵璐,赵作权. 基于特征椭圆的中国经济空间分异研究[J]. 地理科学,2014,34(8):979-986

[5] 李云强,齐伟,王丹,等. GIS支持下山区县域农村居民点分布特征研究:以栖霞市为例[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(3):73-77

[6] 罗丹,王涛,常庆瑞. 县域农村居民点适宜性评价:以陕西省陇县为例[J]. 中国农学通报,2019,35(14):157-164

[7] 曹竞文,李淑杰,齐鲁,等. 基于泰森多边形的汪清县农村居民点空间分布特征及其影响因素[J]. 世界地质,2019,38(1):268-276

[8] 王玮莹,李仕冀,邵长秀,等. 基于遥感的农村居民点地理景观格局演变研究:以山东省德州市为例[J]. 中国农业资源与区划,2024,45(3):1-10

[9] 何炬,张雪松,邓振,等. 多尺度下农村居民点空间分布特征及其影响因素研究[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(6):8-17

[10] 徐枫,王占岐,张红伟,等. 随机森林算法在农村居民点适宜性评价中的应用[J]. 资源科学,2018,40(10):2 085-2 098

[11] 彭金金,孔雪松,刘耀林,等. 基于智能体模型的农村居民点空间优化配置[J]. 地理与地理信息科学,2016,32(5):52-58

[12] 刘殿锋,李镜汝. 基于HLM的农户搬迁意愿影响因素分析[J]. 地理空间信息,2023,21(3):66-71

[13] 王其腾,吴凤华. 基于POI数据的生活便利性研究[J]. 地理空间信息,2023,21(6):31-34

[14] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学出版社,1994