

基于正态云模型的长株潭地区 农村空心化水平综合评价¹

陈婉铃，谭雪兰，于思远，欧阳巧玲，宁 金

（湖南农业大学 资源环境学院，湖南 长沙 410128）

【摘 要】：为有效评价长株潭地区农村空心化水平，针对综合评价过程中存在的模糊性和随机性问题，引入人工智能中的云理论，建立了基于正态云模型的综合评价方法。综合考虑农村空心化过程中存在的压力、状态及响应三方面因素，构建了长株潭地区农村空心化水平综合评价指标体系，并采用熵权法获取各指标权重，基于正态云模型定量描述各指标条件下待评价对象的农村空心化水平。结果表明：长株潭地区大部分存在农村空心化情况，农村空心化整治压力迫切，且空心化水平存在空间差异，呈现城区空心化水平最高，北部空心化水平次之，南部空心化水平较低的格局。

【关键词】：农村空心化；综合评价；正态云；模糊性；随机性

【中图分类号】：FM9.27；F327 **【文献标识码】**：A

1、引 言

农村空心化是指快速城市化进程中农村人口非农化与农村住宅的“建新不拆旧”造成的农村外围规模扩大，而内部出现空心的地域系统演化的特殊情况。农村空心化与新房扩建占地相伴而生，造成了耕地资源的严重流失、农村整体面貌的恶化以及乡村人居环境的破坏，成为优化城乡土地利用配置和统筹城乡协调发展的主要障碍。

对城市化进程中农村空心化水平进行综合定量的评价，主要的目的是对农村空心化导致的大量土地资源被闲置浪费的及时预警。针对城市化进程中造成或者可能造成的农村空心化现象，提出判别标准与风险等级，提出相应的调控方向及优化方案。从而进一步综合测定特定区域、不同情景下的村庄土地整治现实潜力和理论潜力，为空心村整治规划提供科学依据。目前，有关学者对于农村空心化的综合测度与评价研究主要采用“3S”技术、综合加权指数法和主成分分析法及层次分析法。

对于农村空心化这样一个处于动态变化、判别边界模糊的概念而言，上述研究方法仅仅从一种精确的定量化角度对农村空心化水平进行评价，不能体现其模糊性与随机性。正态云模型作为基本的云模型，由于社会和自然科学中大量事物的分布曲线都近似服从正态或半正态分布，所以正态云模型具有较高的普适性。因此，本文引入人工智能中的正态云模型，将定性定量相互转换的正态云模型引入农村空心化研究中，用以解决农村空心化水平综合评价中模糊性与随机性共存的问题。

¹【收稿日期】：2017-07-28

【基金项目】：国家自然科学基金项目（41571168，41201175，41471145）、湖南省自然科学基金（2016JJ3075）、湖南省哲学社会科学基金项目（14YBA209）、湖南省重点学科地理学建设项目（2011001）。

【作者简介】：陈婉铃（1996-），女，湖南衡阳人，土地资源管理专业本科生。

【通讯作者】：谭雪兰（1978-），女，湖南茶陵人，副教授，博士，研究方向：城乡规划及乡村地理。

2、研究区域概况及数据来源

2.1 研究区域概况

长株潭地区位于湖南省中东部，包括长沙、株洲、湘潭三个地级市及下辖的 23 个县（市区），地理位置分布紧凑，呈“品”字型相邻分布（见图 1）。地貌类型以丘、岗、平为主，兼有山地、水面，地形东北高西南低，地势起伏大。区域总面积为 2.8 万 km^2 ，作为中部六省城市中全国城市群建设的先行者，获批为全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区，2014 年长株潭地区城市化率已达到 66.00%，在湖南乃至整个中部地区的发展中具有举足轻重的地位。因此，选取该区域作为农村空心化水平综合评价的研究区域具有明显的典型性，可以为长株潭乃至整个中部地区空心村整治、乡村空间优化及城乡统筹发展提供一定理论支撑。



图 1 长株潭地区区位图

2.2 数据来源及预处理

本研究所需数据主要包括农村居民点用地数据和社会经济统计数据，其中 2014 年农村居民点用地数据主要来源于长株潭各县市区国土部门的土地利用变更调查数据。社会经济统计数据主要来源于 2015 年《湖南统计年鉴》及 2014 年长株潭各县市区国民经济和社会发展统计公报。对数据的预处理主要包括异常值的剔除与修正与数据归一化。

3、研究方法

3.1 评价指标体系及指标分级标准

3.1.1 评价指标体系。基于长株潭地区 23 个县市区 2014 年相关数据，构建以农村空心化水平为目标层，以压力、状态及响应为准则层，和 13 个相关具体指标的综合评价指标体系（见表 1）。本文主要借鉴联合国 OECD 和 UNEP 提出的 PSR 概念模型，作为农村空心化水平综合评价指标体系的基本框架：社会经济发展、土地开垦对农村生产生活环境带来的压力（Pressure）；农村空心化现象对农村生产生活环境所呈现的功能状态改变（State）；压力之下，人类通过政策调整、生产结构优化等做出反应，并反馈于社会经济发展过程（Response）。

表 1 长株潭地区农村空心化水平综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	计算方法
农村空心化水平	压力	土地垦殖率	耕地面积/区域总面积
		经济发财平	GDP/地区总人口
		地均农机总动力	农业机械年末总动力/耕地面积
		人均耕地面积	耕地面积/总人口
		居民点集约度	农村居民点面积/区域总面积
		城镇化率	城镇人口/总人口
	状态	村庄人口中心度	农村人口/行政村个数
		人口聚集度	农村人口/农村居民点面积
		区域经济结构粮食单产	第一产业增加值/GDP 粮食产量/耕地面积
	响应	耕地边际化率	农林牧渔产值/耕地面积
		地均固定资产投资	固定资产投资额/区域总面积
		农民收入水平	农民人均纯收入

3.1.2 指标分级标准。根据相关研究及实际数据情况，将长株潭地区农村空心化水平综合评价各指标按自然断点法划分为三个等级，以此为低度空心化、中度空心化及高度空心化。具体划分范围如表 2 所示。

表 2 长株潭地区农村空心化水平综合评价指标分级标准

指标/等级	低度空心化	中度空心化	高度空心化
土地垦殖率	4.51%~5.99%	2.39%~4.51%	2.39%~0.10%
经济发展水平（亿元/万人）	2.31~6.97	6.97~15.94	15.94~23.28
地均农机总动力（万 kw/km ² ）	0.0184~0.2612	0.0039~0.0184	0.0002~0.0039
人均耕地面积（hm ² /万人）	1.24~209.82	209.82~539.26	539.26~1248.24
居民点集约度（m ² /km ² ）	13.41~28.61	6.90~13.41	1.75~6.90
城镇化率	5.24%~20.13%	20.13%~64.42%	64.42%~98.86%
村庄人口中心度（万人/个）	60.12~97.14	25.70~60.12	5.31~25.70
人口聚集度（万人/m ² ）	0.0042~0.0071	0.0022~0.0042	0.0002~0.0022
区域经济结构	18.35%~31.97%	4.92%~18.35%	0.08%~4.92%
粮食单产（万 t/hm ² ）	12.21~26.78	4.11~12.21	0.47~4.11
耕地边际化率	0.54%~1.58%	0.22%~0.54%	0.05%~0.22%
地均固定资产投资（亿元/km ² ）	3.72~8.44	1.14~3.72	0.04~1.14
农民收入水平（元）	6155~13472	13472~23632	23632~33456

3.2 基于熵权法的权重确定方法

按照信息论基本原理的解释，信息是系统有序程度的一个度量，熵是系统无序程度的一个度量；如果指标的信息熵越小，该指标提供的信息量越大，在综合评价中所起作用理当越大，权重就应该越高。熵权法是根据信息论所提出来的一种客观获取权重的方法，它主要体现了评价对象所携信息量的大小，相比于德尔斐法、层次分析法等定性权重获取方法，更能克服主观影

响。故本文采取熵权法获取农村空心化水平综合评价中各指标的权重，主要计算步骤如下：

(1) 假定有 m 个评价单元， n 个评价指标，构建归一化判断矩阵：

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

(2) 定义各评价指标的熵为：

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (2)$$

式中：

$$f_{ij} = \frac{1+x_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1+x_{ij})} \quad (3)$$

(3) 计算第 j 个评价指标的熵权：

$$W_j = \frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^n (1-H_j)} \quad (4)$$

根据上述计算步骤，得到 2014 年长株潭地区农村空心化水平综合评价指标权重（见表 3）。

表 3 2014 年长株潭地区农村空心化水平综合评价指标权重

指标	土地垦殖率	人均耕地面积	粮食单产	地均固定资产投资	居民点集约度	地均农机总动力	耕地边际化率	城镇化率	村庄人口中心度	人口聚集度	经济发展水平	农民收入水平	区域经济结构
权重	0.09	0.11	0.04	0.07	0.05	0.06	0.06	0.13	0.06	0.07	0.07	0.05	0.12

3.3 基于正态云模型的综合评价方法 3.3.1 基本原座。在对区域农村空心化水平进行定量综合评价，其评价指标的定量化兼有模糊性与随机性，若基于传统模糊评价方法而言则仅仅只考虑了其模糊性，但其隶属函数分布的随机性并未体现，则最终评价结果难以达到预期效果，故引入同时兼顾模糊性与随机性的正态云模型。

其基本原理如下：设 X 是一个普通集合 $x=\{x\}$ ，称为论域。 C 是论域 X 上的定性概念。关于论域 X 中的模糊集合 C 是指对任意元素 x 均存在一个有稳定倾向的随机数 $\mu_c(x)$ ，称为 x 以 C 的隶属度。论域上某一点的隶属度不是恒定不变的，而是始终在细微变化着。当对 C 的隶属函数 $\mu_c(x)$ 满足：

$$\mu_c(x) = e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

则其在论域 x 上的分布为正态云。

如果给定论域 x 中的一个特定点 x ，则通过前件正态云发生器（见图 2）可以生成这个特定点属于概念 C 的确定度（即模糊隶属度）分布。

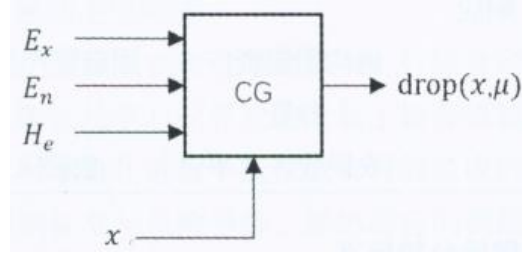


图 2 前件正态云发生器

前件正态云的具体算法如下：

- (1) 生成以 E_n 为期望值， H_e^2 为方差的一个正态随机数 E_n' ：

$$\exp\left\{-\frac{(x_{ij}^1 - x_{ij}^2)^2}{8(E_{n_{ij}})^2}\right\} = 0.5 \quad (6)$$

即： $E_{n_{ij}} = \frac{x_{ij}^1 - x_{ij}^2}{2.255} \quad (7)$

式中， x_{ij}^1 、 x_{ij}^2 分别表示指标 f_i 对应等级 v_j 的上、下边界值；超熵 H_e 一般根据试验取值，超熵的取值越小，则正态云的厚度越薄。

- (2) 利用特定输入值 x 和期望值 E_x 计算确定度：

$$E_{x_{ij}} = (x_{ij}^1 + x_{ij}^2)/2 \quad (8)$$

$$\mu_c(x) = e^{-\frac{(x - E_x)^2}{2E_n^2}} \quad (9)$$

3.3.2 模型运行流程。根据正态云理论及传统模糊数学的原理，建立基于正态云模型的模糊综合评价方法，其主要步骤分为以下几个方面：

- (1) 构建农村空心化水平评价对象指标集 $F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$ ，评语集 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ ，形成评价等级标准；

(2) 对区域内农村空心化水平各评价指标的评估，用期望 (E_x)、熵 (E_n) 和超熵 (H_e) 三个数字特征表达评价标准并形成评价正态云标准；

(3) 将农村空心化目标的量化值作为输入值，利用前件正态云发生器，确定出每个评价指标对应每个等级的正态云模型隶属度矩阵 $G = (g_{ij})_{n \times p}$ 。为提高评价结果的置信度，需要运行正向云发生器 N 次，计算在不同赖度情况下的平均综合评估值：

(4) 采用熵权法获取指标权重 $W=\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\}$;

(5) 评价权重集 W 属于 F 在 V 上的模糊子集。本研究将权重集 W 与模糊隶属度矩阵 G 进行模糊转换, 即得到农村空心化水平综合评价中评价集 V 上的模糊子集 B :

$$B = W \times G = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_p) \quad (10)$$

式中, $b_j = \sum_{i=1}^n w_i z_{ij}, j = 1, 2, 3, \dots, p$ 表示待评价对象对第 j 条评价等级的隶属度。

(6) 最后依据模糊数学中的最大隶属度原则, 来选取各评价对象最大的隶属度所对应的评价等级作为该评价对象此次农村空心化水平综合评价的评价等级。

4、结果及分析

基于已建立的农村空心化水平综合评价指标体系, 评价标准用相应的数学特征表示各评价指标所对应的评价等级(见表4), 表4中依次表示各指标相应空心化程度的期望(E_e)、熵(E_n)和超熵(H_e)的值。整个计算过程均基于 Matlab9.0 软件, 进而得出2014年长株潭地区各县市区农村空心化综合评价结果。

表4 长株潭地区农村空心化水平综合评价正态云标准

指标/等级	低度空心化	中度空心化	高度空心化
土地垦殖率	(0.0525, 0.0063, 0.01)	(0.0345, 0.009, 0.01)	(0.0125, 0.0097, 0.01)
经济发展水平(亿元/万人)	(4.64, 1.98, 0.5)	(11.46, 3.81, 0.5)	(19.61, 3.12, 0.5)
地均农机总动力(万kw/km ²)	(0.1398, 0.1031, 0.01)	(0.0111, 0.0062, 0.01)	(0.0021, 0.0157, 0.01)
人均耕地面积(hm ² /万人)	(105.53, 0.8857, 25)	(374.54, 216.32, 25)	(893.75, 301.05, 25)
居民点集约度(m ² /km ²)	(21.01, 6.45, 0.5)	(10.16, 2.76, 0.5)	(4.33, 5.15, 0.5)
城镇化率	(0.1270, 0.0631, 0.1)	(0.4228, 0.1881, 0.1)	(0.8164, 0.1462, 0.1)
村庄人口中心度(万人/个)	(78.63, 15.72, 1.5)	(42.91, 14.62, 1.5)	(15.51, 8.66, 1.5)
人口聚集度(万人/m ²)	(0.0057, 0.0012, 0.001)	(0.0032, 0.0008, 0.001)	(0.0012, 0.0008, 0.001)
区域经济结构	(0.2516, 0.0578, 0.02)	(0.1164, 0.0570, 0.02)	(0.0250, 0.0206, 0.02)
粮食单产(万t/hm ²)	(19.50, 6.19, 0.5)	(8.16, 3.44, 0.5)	(2.29, 1.55, 0.5)
耕地边际化率	(0.0106, 0.4404, 0.001)	(0.0038, 0.0136, 0.001)	(0.0014, 0.0007, 0.001)
地均固定资产投资(亿元/km ²)	(6.08, 2, 0.3)	(2.43, 1.1, 0.3)	(0.59, 0.47, 0.3)
农民收入水平(元)	(9814, 3107, 50)	(18552, 4314, 50)	(23544, 8418, 50)

经计算, 得到长株潭地区23个县市区2014年农村空心化水平最大隶属度, 再根据自然断点法将其分为三类, 得到其结果的空间分布情况(见图3)。



图 3 长株潭地区农村空心化综合评价结果

由图 3 可知，高度空心化区域主要集中在城区，包括长沙的开福区、芙蓉区、雨花区及天心区，株洲的石峰区、荷塘区，湘潭的岳塘区，总面积达 796.71km²，占区域总面积的 2.77%；中度空心化区域主要分布在长株潭地区的北部、东北部及南部和中部的少部分地区，包括长沙的宁乡市、望城区、长沙县、浏阳市、岳麓区，株洲的天元区、芦淞区、醴陵市、茶陵县，湘潭的雨湖区，总面积达 16786.77km²，占区域总面积的 58.35%；低度空心化区域主要分布在长株潭地区的中西部及南部地区，包括株洲的株洲县、攸县及炎陵县，湘潭的湘乡市、湘潭县及韶山市，总面积达 11183.91km²，占区域总面积的 38.88%。

5、结论与讨论

本文在梳理总结现阶段关于农村空心化水平综合评价方法的基础上，将人工智能中的云理论引入该领域的研究。基于正态云模型的评价方法，有效地对长株潭地区 23 个县市区的农村空心化水平进行了综合评价，在体现评价对象对于一定等级标准的模糊隶属度的同时，借助正态云模型的数字特征，兼顾了评价过程的正态随机性，使得评价过程与结果更具合理性。

综合评价结果表明：长株潭地区总体均存在农村空心化现象，农村空心化整治压力紧迫。但空心化水平在空间分布上有较大差异，因此对于不同空心化水平的区域进行整治要遵循因地制宜，对症下药的原则。对于高度空心化区域，由于其主要位于城区，故整治的重点在于人的生存保障，完善相关社会保障体系；对于中度空心化区域，由于主要是农业产值较高的县市区，故整治的重心应该放在确保农业规模化经营的基础上，适当加大促进二三产业发展的力度；对于低度空心化区域，则主要是维持当前空心化水平，并注重生态文明方面的建设。

[参考文献]:

[1]杨忍，刘彦随，陈秧分，等.中国农村空心化综合测度与分区.地理研究，2012，31（9）：1697-1706.

[2]]刘彦随，刘玉.中国农村空心化问题研究的进展与展望[J].地理研%，2010，29（1）：35-42.

[3]龙花楼，李裕瑞，刘彦随.中国空心化村庄演化特征及其动力机制[J].地理学报，2009，64（10）：1203-1213.

-
- [4]朱晓华,陈秋分,刘彦随,等.空心村土地整治潜力调查与评价技术方法——以山东省禹城市为例[J].地理学报,2010,65(6):736-744.
- [5]徐安琪,高雪松,李启权,等.平原村落空心化特征分析及类型识别[J].资源科学,2016,38(2):0196-0205.
- [6]黎磊,任平,高勇.绵阳市县域城镇化与农村空心化空间分布特征及相关性研究[J].四川师范大学学报,2014,37(5):728-734.
- [7]谭雪兰,钟艳英,段建南,等.快速城市化进程中农村居民点用地变化及驱动力研究——以长株潭城市群为例[J].地理科学,2014,34(3):309-315.
- [8]欧聪,谭雪兰.快速城市化区域农村空心化综合测度及地域类型划分——以长株潭地区为例[J].湖北农业科学,2016(10):2695-2700.
- [9]李昭.农村空心化的区域差异比较研究[D].蚌埠:安徽财经大学,2015.
- [10]李德毅,刘常昱.论正态云模型的普适性[J].中国工程科学,2004(8):28-34.
- [11]沈进昌,杜树新,罗祎,等.基于云模型的模糊综合评价方法及应用[J].模糊系统与数学,2012(6):115-123.
- [12]韩国超.基于PSR的城市周边乡村生态安全研究[D].扬州:扬州大学,2013.
- [13]倪九派,李萍,魏朝富,等.基于AHP和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J].农业工程学报,2009(5):202-209.
- [14]李秀霞,张希.基于熵权法的城市化进程中土地生态安全研究[J].干旱区资源与环境,2011(9):13-17.
- [15]李帅,魏虹,倪细炉,等.基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价[J].应用生态学报,2014(9):2700-2708.
- [16]龚艳冰.基于正态云模型和熵权的河西走廊城市化生态风险综合评价[J].干旱区资源与环境,2012(5):169-174.
- [17]李德毅,杜鹃.不确定性人工智能[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [18]李德毅,孟海军,史雪梅.隶属云和隶属云发生器m.计算机研究与发展,1995(6):15-20.