

基于宏观指标的乡村人居环境区域差异研究

——以江西省为例

崔林瑶, 管月娥, 刘诗芸, 李明辉*

江西科技师范大学数学科学学院, 江西 南昌

收稿日期: 2026年1月26日; 录用日期: 2026年2月28日; 发布日期: 2026年3月23日

摘要

在快速城镇化背景下, 传统村落的保护与发展对于传承历史文化、改善乡村人居环境具有重要意义。以江西省11个地级市共413个传统村落为研究对象, 构建“压力-状态-响应”(PSR)模型评价体系, 系统评估了传统村落人居环境适宜性(TVHSS), 并结合空间计量方法探究其时空分异特征及驱动机制。研究结果表明: (1) 2008~2023年江西传统村落TVHSS综合指数总体呈上升趋势, 均值由0.304增长至0.4087, 展现出明显的发展势头, 但在2013~2018年间增速放缓。其空间分布呈现“中部低、南北高”的集聚格局; (2) 资源、环境与经济系统的状态特征, 是驱动人类应对措施调整的核心因素, 同时对人类活动引发的资源损耗与环境污染程度具有显著影响。压力、状态与响应三者间存在紧密的联动关系, 呈现出相互作用、相互制约的动态关联; (3) 床位数、专任教师数、财政预算支出和年降水量是影响TVHSS的关键因素, 其中前三者对人居环境适宜性具有正向作用, 年降水量则产生负向影响。研究为传统村落人居环境提升与政策制定提供了理论支持与实践参考。

关键词

传统村落保护, PSR模型, 熵权法, GWR模型, VAR模型

A Study on the Regional Differences in Rural Human Settlement Environment Based on Macro Indicators

—The Case of Jiangxi Province

Linyao Cui, Yue'e Guan, Shiyun Liu, Minghui Li*

School of Mathematical Sciences, Jiangxi Science and Technology Normal University, Nanchang Jiangxi

Received: January 26, 2026; accepted: February 28, 2026; published: March 23, 2026

*通讯作者。

Abstract

Under the backdrop of rapid urbanization, the preservation and development of traditional villages hold significant importance for inheriting historical culture and improving rural human settlements. Taking 413 traditional villages across 11 prefecture-level cities in Jiangxi Province as the research object, this study constructed a “Pressure-State-Response” (PSR) model evaluation system to systematically assess the Traditional Village Human Settlement Suitability (TVHSS). Spatial econometric methods were further employed to explore its spatiotemporal differentiation characteristics and driving mechanisms. The findings reveal that: (1) From 2008 to 2023, the comprehensive TVHSS index of Jiangxi’s traditional villages exhibited an overall upward trend, with the mean value increasing from 0.304 to 0.4087, demonstrating notable developmental momentum. However, growth slowed between 2013 and 2018. Spatially, the distribution displayed an agglomeration pattern characterized by “low values in the central region and high values in the northern and southern regions”. (2) The state characteristics of resource, environmental, and economic systems serve as core factors driving adjustments in human responses, while also significantly influencing the extent of resource depletion and environmental pollution caused by human activities. Pressure, state, and response exhibit close interconnections, forming a dynamic relationship of mutual interaction and constraint. (3) Key factors affecting TVHSS include the number of hospital beds, the count of full-time teachers, fiscal budget expenditures, and annual precipitation. Among these, the first three exert a positive impact on human settlement suitability, whereas annual precipitation has a negative effect. This research provides theoretical support and practical references for enhancing human settlements in traditional villages and informing policy formulation.

Keywords

Protection of Traditional Villages, PSR Model, Entropy Weight Method, GWR Model, VAR Model

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统村落是在 21 世纪我国社会快速转型阶段诞生的新概念，指代那些形成较早，拥有较丰富的传统资源，具有一定历史、文化、科学、艺术、社会、经济价值，应予以保护的村落[1]。然而，在城镇化进程和市场经济的冲击下，我国传统村落正在不断减少，其中蕴含的独特乡土文化也在加速消失。相关研究显示，在过去十余年间，我国传统村落的数量呈现出显著减少的趋势[2]。随着我国城镇化进程的持续稳步推进，经济变革与社会变革接踵而至，人口向城镇聚集的趋势也日益突出，对其开展普查、实施抢救与进行保护已迫在眉睫[3]。

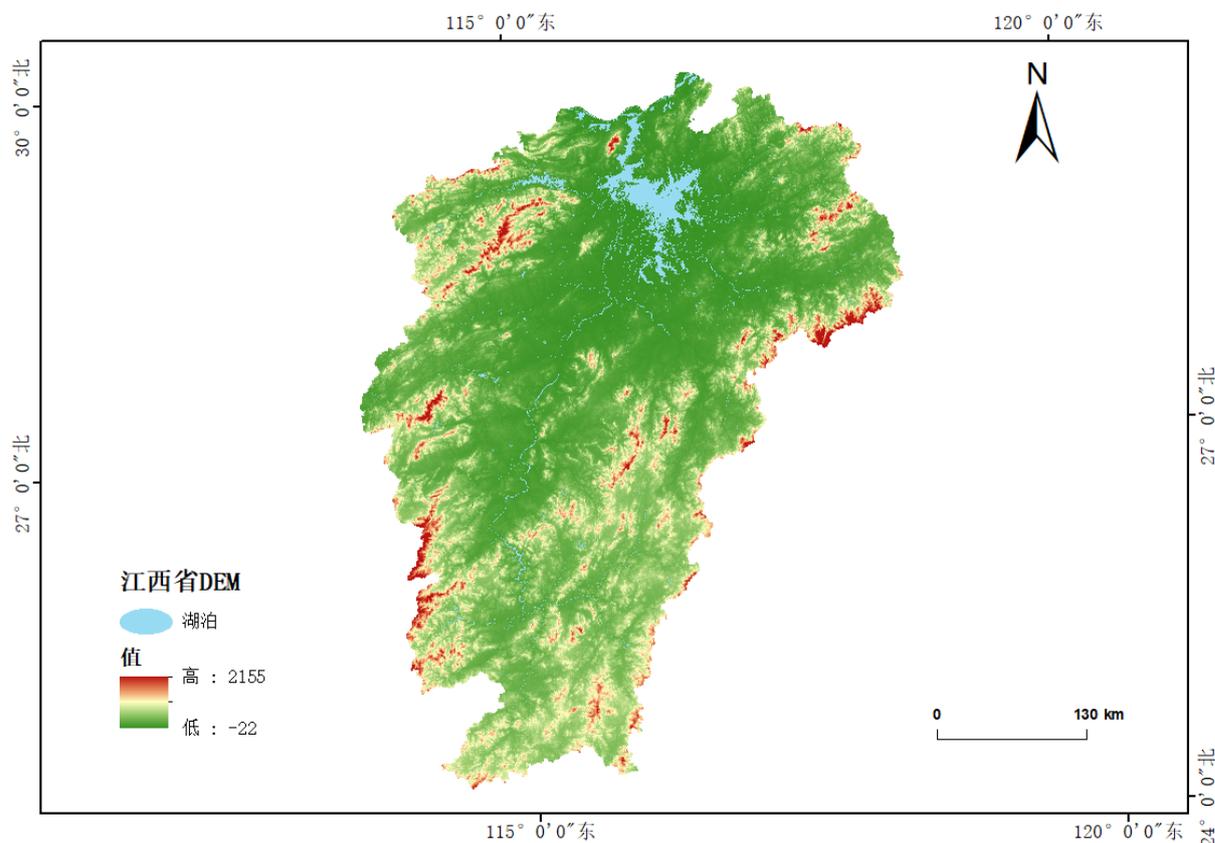
近年来，学界围绕“传统村落”主题展开了广泛研究，研究方向主要在乡村振兴[4]、村落空间[5]、村落景观[6]、空间形态[7]、策略研究[8]和保护与旅游开发[9]等方面。运用量化方法对传统村落进行研究有利于精准村落发展定位，探索其文化传承路径，进而解决传统村落“原真性保护”与“现代化发展”冲突难题[10]。本文旨在以江西省的 11 个地级市，共 413 个传统村落为研究对象，对 2008 至 2023 年的数据进行分析，运用 PSR 模型建立 TVHSS 综合指数评价体系，通过熵权法评价江西省传统村落的人居环境，运用 VAR 模型研究各指标之间的关系，运用地理加权回归模型(GWR)来探索因子的空间分布机

制，探究人类居住区适宜性以及不同城市村落的时空分异与驱动机制，以期有效平衡各地区文化、经济和环境之间的关系，从而提高对传统村落的保护水平和可持续发展能力。

2. 区域、数据与方法

2.1. 研究区域

江西省(如图 1)位于中国东南部，在长江中下游南岸，以丘陵、山地为主，整体地势南高北低。全省面积约为 $16.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，总人口 4518 万人，辖 11 个设区市，100 个县(市、区)。江西省内水资源丰富，97.7%的面积属于长江流域，河网密集，形成以鄱阳湖为核心的五大河流域。江西省是临川文化、豫章文化和客家文化的发源地，悠久的历史发展与优越的自然环境为江西省传统村落的形成与发展奠定了深厚的文化底蕴和物质基础[11]。截至 2023 年，江西省入选国家级传统村落名录共 413 个，总数在中国排列第八，是中国传统村落研究的重要对象之一。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)3333 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Landforms of Jiangxi Province

图 1. 江西省地貌

2.2. 数据来源

目前，江西省共有 413 个传统村落，第一批次包括 33 个传统村落；第二批包括 56 个传统村落；第三批包括 36 个传统村落；第四批包括 50 个传统村落；第五批包括 168 个传统村落；第六批包括 70 个传统村落。

413 个传统村落分别坐落于江西省南昌市、景德镇市、抚州市、赣州市、吉安市、九江市、上饶市、新余市、宜春市、鹰潭市、萍乡市 11 个市中，具体数据如下文，数据来源于住房和城乡建设部网站。

利用百度坐标拾取系统逐一查询古村落的经纬度，并借助 ArcGIS 软件对传统村落分布进行可视化处理。DEM 高程数据来自地理空间数据云平台，同时下载了多幅影像。通过镶嵌和掩膜处理，获得了江西省的 DEM 数据；图中河流位置数据来自中国科学院资源环境科学数据中心，江西省地级市的地理信息及其他数据则来源于国家基础地理信息中心网站。

本文研究传统村落的居住适宜性，环境、人为、对策是影响传统村落的主要因素，故本文从这三个关键维度出发选取指标，以衡量传统村落的居住适宜性。其中，环境维度选取指标年平均气温、年平均降水量、人口密度、粉尘排放量；人为维度选择地方财政预算收入、人均 GDP、供水总量、绿化覆盖率；对策维度选择农林渔业总产值、地方财政预算支出、专任教师数、医疗机构床位。本文研究时序为 2008 年至 2023 年，数据来源于《江西统计年鉴》；考虑到比对数据时的统一标准，本文采取了数据标准化的方法。因研究范围广且资源有限，本文未采用实地考察等直接方法获取数据，故无法精确反映每一个传统村落的具体状况，只能从宏观层面进行分析。

2.3. 研究方法

2.3.1. 压力 - 状态 - 响应模型(PSR 模型)

PSR 模型是 20 世纪 80 年代由联合国环境规划署(UNEP)和经济合作开发署(OECD)共同推广，用于研究环境问题的框架体系。其中 P 代表“压力(Pressure)”，是指人类活动所造成的资源损耗和环境污染； S 代表“状态(State)”，是指在特定压力下，资源、环境、经济等系统所呈现出的状态； R 代表“响应(Response)”，是指面对前述的压力与状态，人类为了减少资源耗损与环境污染，所采取的各种对策[12]。

2.3.2. 熵权 - TOPSIS 法

熵权法(信息熵权法)是一种客观赋权方法，通过量化指标熵值中的信息量来科学分配权重。在现实中，各类指标的权重的设定往往难以完全避免专家经验带来的偏差，而运用熵权法对每一项指标进行客观赋权，通过对评价结果的分析，有效解决了当前的评估方法在确定权重分配时，容易受到人为因素的影响，可以避免对每一项指标权重的人为干扰，从而使评价结果更加科学合理。

为系统评估各指标信息含量，需进行熵值计算。通过量化比较各指标的信息熵，可确保构建的综合指数能有效保留原始数据的主要信息特征。熵权法的计算原理是以某一指标观测值之间的差异程度为依据，来反映该指标在评价对象中所起的作用，如果某项指标的数据差别不大，则说明该指标对评价对象所起的作用并不大[13]。

利用熵权法确定指标权重的基本步骤有以下几个[14]：

(1) 数据标准化：

由于各指标的基本属性不同，故需对各项指标数据统一标准。常用的方法是将数据进行极差标准化，公式如下：

当 Z_{ij} 为正向指标时：

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

当 Z_{ij} 为逆向指标时：

$$Z_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

式中 x_{ij} 第 i 个评估样本第 j 个指标的标准化值。

(2) 计算各指标的比重 Y_{ij} :

标准化处理后, 计算第 i 个样本在第 j 个指标上的比重, 公式如下:

$$Y_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum Z_{ij}} \quad (3)$$

(3) 计算信息熵 e_j :

信息熵可以反映各指标所提供信息的离散程度。计算第 j 个指标的信息熵, 公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m Y_{ij} \ln Y_{ij} \quad (4)$$

(4) 计算冗余度 g_j :

冗余度是信息熵的补数, 表示指标的信息集中程度。计算第 j 个指标的冗余度, 公式如下:

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

(5) 计算权重 w_j :

根据冗余度计算各指标的权重, 公式如下:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (6)$$

(6) 计算综合得分:

根据各指标权重和品牌产品的归一化值, 计算得出各品牌的综合得分, 综合得分计算公式如下:

$$HSS = \sum_{j=1}^n w_j \times Y_{ij} \quad (7)$$

2.3.3. 向量自回归模型(VAR 模型)

向量自回归模型(VAR)是一种联立多个方程求解的数学模型, 但模型中不存在外生变量, 所有的变量均由自身的滞后项和其他内生变量的滞后项以及随机扰动项来解释, 可以分析所有内生变量的动态特征。比起单一的时间序列 ARIMA 模型, VAR 模型考虑了多个序列之间的相关性, 可以更好地反映变量之间的相互影响作用[15]。

(1) 定义 $Y_t = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt})$ 为一个 $(n \times 1)$ 维的时间序列变量, p 阶向量自回归模型(VAR(p))的一般表达式如下:

$$Y_t = v + B_1 Y_{t-1} + B_2 Y_{t-2} + \dots + B_p Y_{t-p} + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

这里 v 为 $(n \times 1)$ 维的常数向量, $B_i (i = 1, 2, \dots, p)$ 是 $(n \times n)$ 阶的系数矩阵, ε_t 是 $(n \times 1)$ 维的白噪声向量, 一般服从多元正态分布。

(2) 建立向量自回归模型的前提条件是满足各内生变量时间序列的平稳性, 否则容易产生“伪回归”现象[16]。“伪回归”现象即时间序列变量间本来不存在相依关系, 但是由于数据本身的偶然性, 导致回归结果表现为相关性。但是, 实际情况中, 多数时间序列存在不平稳的特征。除了将变量通过差分等方式变为平稳序列, 再建立 VAR 模型外, Engle 和 Granger 提出了协整的概念, 在时序建模过程中, 不要求所有的序列都平稳, 只要它们之间具有协整关系即可。

(3) VAR 模型除了需要满足平稳性或协整要求, 还需选择合适的滞后阶数 p 。滞后阶数太小, 会导致误差项的自相关严重, 并造成参数的非一致性估计。过大的阶数又会增加模型的复杂度, 同时影响模型

参数估计的有效性。一般的阶数选择方法有似然比统计量(Likelihood Ratio, LR), 赤池信息准则(Akaike Information Criterion, AIC)及施瓦茨准则(Schwarz Criterion, SC) [17]。

(4) 对于一个给定的 VAR 模型, 每个方程的解释变量都是各个内生变量的滞后项, 与当期误差项都不相关。因此可以通过最小二乘估计获得一致性估计。在模型误差服从正态分布的条件下, 模型参数的极大似然估计与最小二乘估计结果相同。

VAR 模型的拟合步骤如图 2 所示:

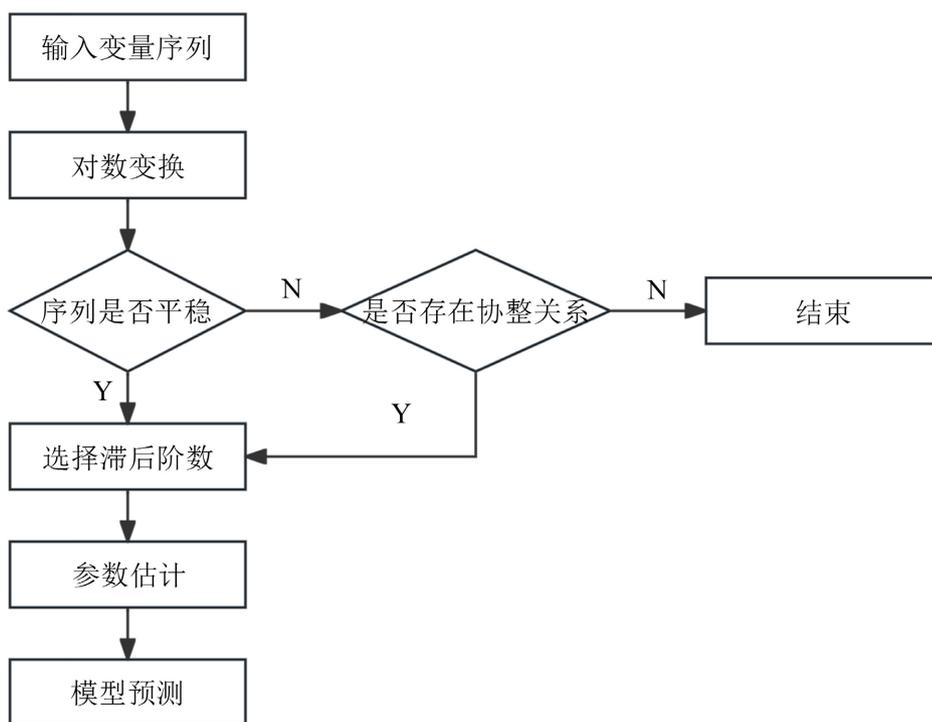


Figure 2. VAR model flowchart
图 2. VAR 模型流程图

2.3.4. 地理加权回归模型(GWR 模型)

GWR 是基于局部光滑思想提出的空间回归模型, 既能有效估计具有空间自相关性的数据, 也能反映参数在不同区域的空间异质性, 模型公式为[18]:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (9)$$

式中: y_i 为采样点 i 的因变量值; β_0 为截距, (u_i, v_i) 为采样点 i 的坐标, $\beta_0(u_i, v_i)$ 为采样点 i 的常数项; $\beta_k(u_i, v_i)$ 为采样点 i 的第 k 个自变量的系数, x_{ik} 为采样点 i 的第 k 个自变量; ε_i 为随机误差项。选择“自适应”核和修正的阿凯克信息准则(AICC)进行 GWR 分析。

3. 古村落人居环境研究

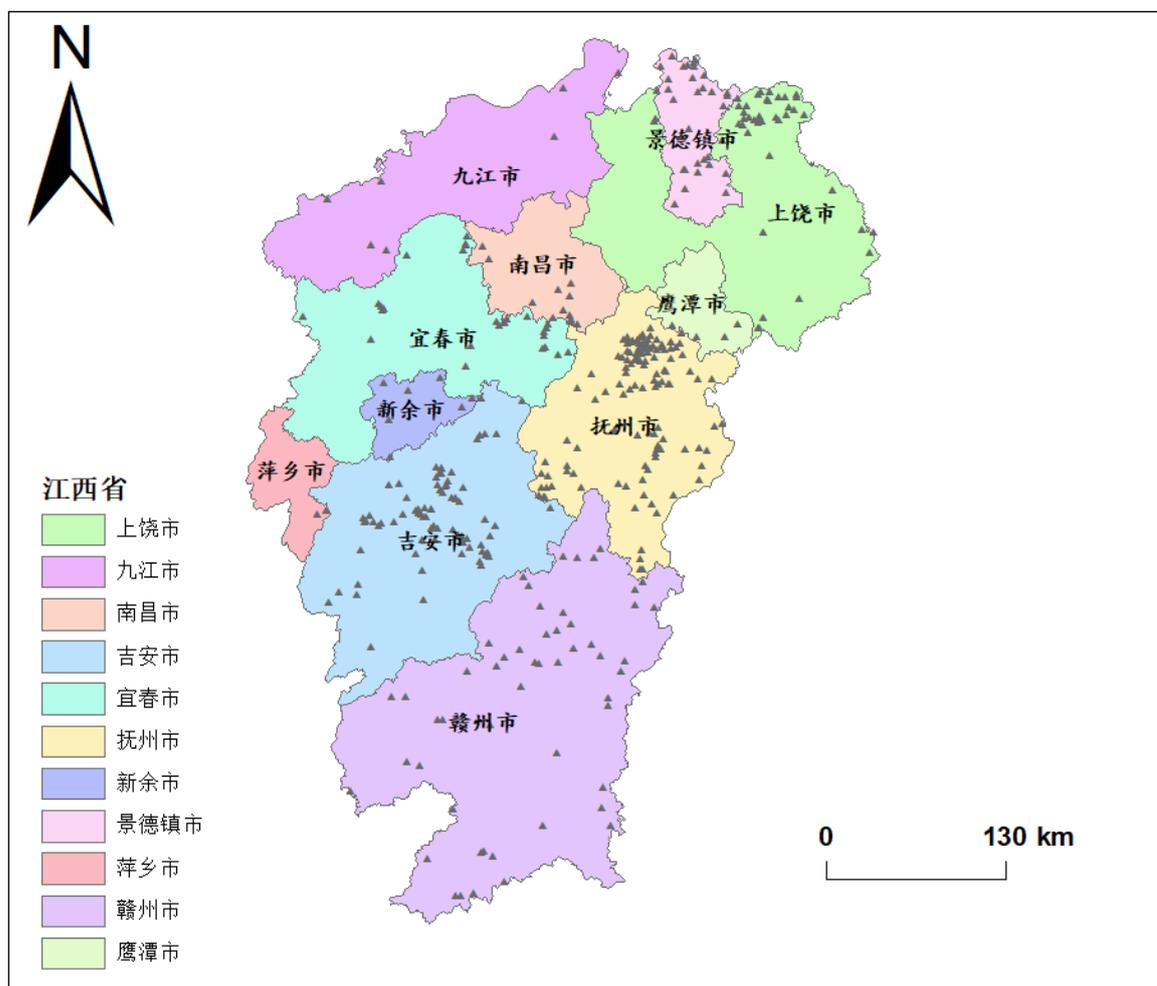
3.1. 基于 PSR 模型的 TVHSS 体系评价

3.1.1. 数据可视化

本文以江西省的 11 个地级市, 共 413 个传统村落为对象进行研究, 城市及村落个数如表 1:

Table 1. Number of traditional villages in each city
表 1. 各市传统村落个数

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
城市	南昌	景德镇	抚州	赣州	吉安	九江	上饶	新余	宜春	鹰潭	萍乡
村落	14	32	135	55	84	8	43	7	29	4	2
比例(%)	3.39	7.75	32.69	13.32	20.34	1.94	10.41	1.69	7.02	0.97	0.48



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)3333 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 3. Distribution map of traditional villages in municipal areas of Jiangxi province

图 3. 江西省传统村落市域分布图

从表 1 中可以发现，抚州市、吉安市、赣州市传统村落数量位居前三，分别为 135、84、55，而上饶市、景德镇市、宜春市、南昌市传统村落数量在 10~50，其余市的传统村落数量均小于 10。由此可以看出，江西省传统村落数量呈不均衡性，其中传统村落数量分布最多的抚州市与分布最少的萍乡市相差 133 个。

利用 GIS 对传统村落分布进行可视化处理，从图 3 中可以看出传统村落主要分布在抚州、吉安、景德镇及上饶等市，而萍乡、鹰潭、九江、赣州等市的传统村落数较少。

3.1.2. 指标选择

为评价江西省传统村落的人居环境，探究人类住区适宜性，通过对江西省现状的考察，结合已有的研究成果[19]-[21]，本文首先从对居民生活的若干个影响因素中，依据压力(P)、状态(S)、响应(R)三个维度，选取了 12 个指标进行分析研究。再根据三个关键维度的特征，将 12 种指标进行分类，结果为：压力(P)——年平均气温、年平均降水量、人口密度、粉尘排放量；状态(S)——地方财政预算收入、人均 GDP、供水总量、绿化覆盖率；响应(R)——农林渔业总产值、专任教师数、医疗机构床位数。

为更直观地了解数据的时空变化，本文选取 2008 年~2023 年各个地级市的 12 个指标的数据进行可视化。

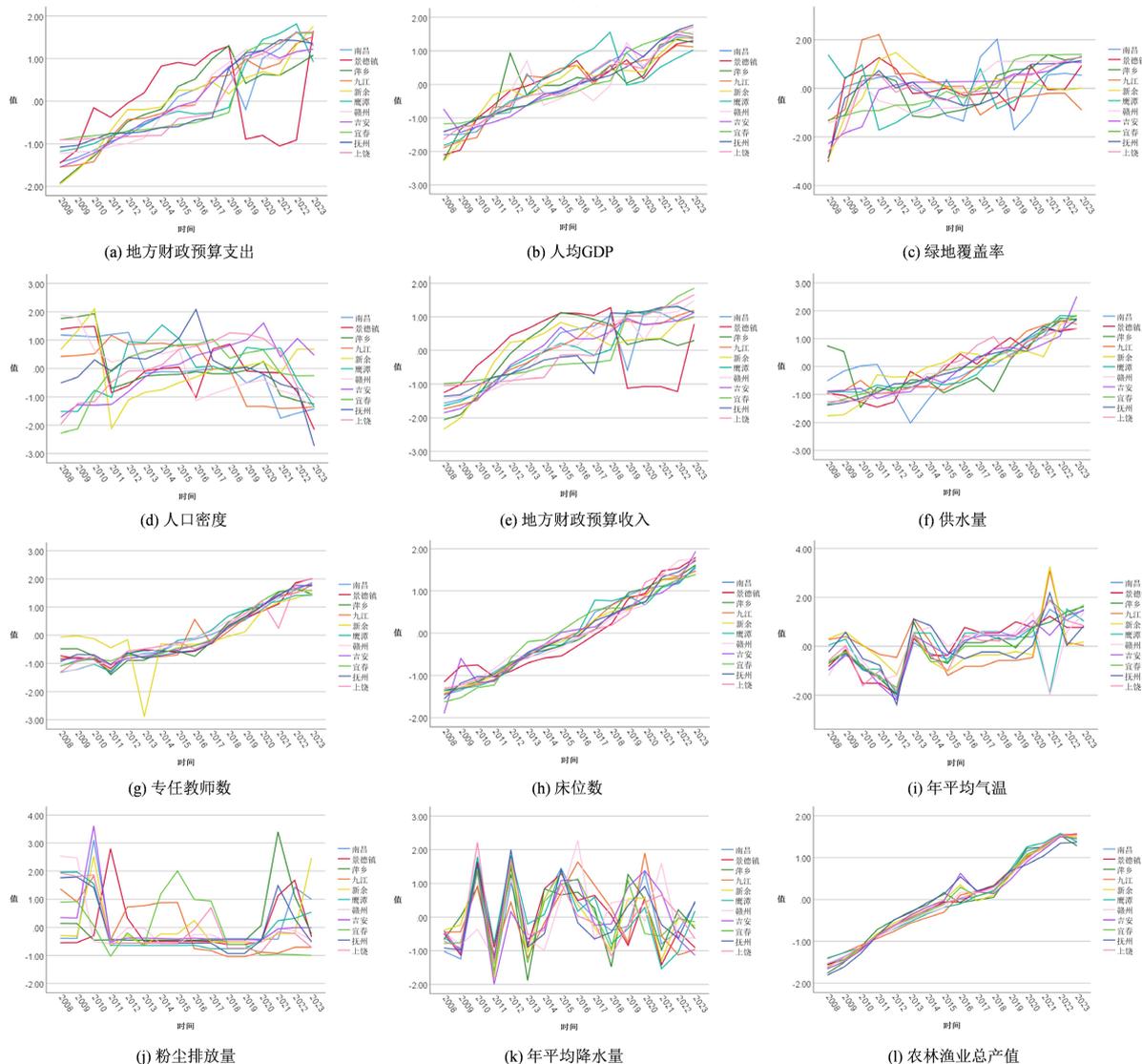


Figure 4. Time trend chart of PSR indicators for each city
图 4. 各市 PSR 指标的时间趋势图

由图 4 可以看出，大部分指标随年份的增加对城市的有促进作用，这可能与政策有关，而个别指标

如年降水量、人口密度等无明显变化，甚至有抑制趋势。

最后根据指标对居民的影响方向，本文将 12 个指标进行进一步分类，得到 PSR 模型。分类结果如表 2：其中“+”表示正向化，即有积极作用；“-”表示负向化，即有消极作用。

Table 2. PSR index
表 2. PSR 指标

维度	指标	影响
压力(P)	年平均气温	-
	年平均降水量	-
	人口密度	-
	粉尘排放量	-
状态(S)	地方财政预算收入	+
	人均 GDP	+
	供水总量	-
	绿化覆盖率	+
响应(R)	农林渔业总产值	+
	地方财政预算支出	+
	专任教师数	+
	医疗机构床位容量	+

3.2. 基于熵权-TOPSIS 法的评价模型

3.2.1. 数据标准化

为确保不同类数据比对中的统一标准，选定数据后对数据进行预处理。根据指标的影响方向，对指标进行标准化，标准化公式如下：

正向指标标准化：

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \tag{10}$$

负向指标标准化：

$$Z_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \tag{11}$$

式中 x_{ij} 表示第 i 个评估样本第 j 个指标值。

本文选取 2008 年、2013 年、2018 年以及 2023 年的各地级市的 PSR 指标数据进行标准化处理。

3.2.2. 模型运用

再通过 SPSS 软件，运用熵权-TOPSIS 法对标准化后的数据进行模型构建，计算得到四个年份的 PSR 指标的权重(如表 3)，并建立综合评价模型，最后基于该模型，得出四个年份 TVHSS 的综合得分。

Table 3. PSR index weight
表 3. PSR 指标权重

维度	指标	影响	权重系数(%)			
			2008 年	2013 年	2018 年	2023 年
压力(P)	年平均气温	-	6.0429	8.3434	6.8452	7.0539
	年平均降水量	-	2.4126	2.6373	2.7624	3.1194
	人口密度	-	3.9946	3.2783	4.4191	4.3876
	粉尘排放量	-	6.5591	4.7563	4.3486	8.3223
状态(S)	地方财政预算收入	+	3.1558	3.3407	5.7017	2.9085
	人均 GDP	+	22.6812	18.8721	16.7509	13.8756
	供水总量	-	16.4979	14.5105	14.7990	11.1251
	绿化覆盖率	+	6.2419	7.1283	7.3192	7.3332
响应(R)	农林渔业总产值	+	5.1785	8.2829	4.1263	4.0140
	地方财政预算支出	+	8.9752	8.1466	10.3721	12.4332
	专任教师数	+	7.7365	9.8766	10.5642	12.1394
	医疗机构床位容量	+	10.5238	10.8270	11.9914	13.2877
	综合得分平均值		0.304	0.355	0.371	0.408

为便于结果分析, 本文将各村落的综合得分进行可视化(如图 5、图 6), 并将 2023 年的得分与 2003 年得分进行比较分析, 统计 16 年间综合得分差异的百分比, 结果如表 4 所示。

从表 3 中可以得出, 2008 年、2013 年、2018 年和 2023 年的 TVHSS 的平均值分别为 0.304、0.355、0.371 和 0.408。由表 4 也可以看出, 江西省传统村落的 HSS 指数有了显著改善。HSS 得到改善的传统村落占 96.61%, 其中 43.58% 的传统村落改善程度较低, 53.03% 的传统村落发展较好。而 3.39% 的村落的 HSS 指数显著下降, 这可能是在发展过程中对生态环境等产生了影响。

Table 4. Percentage difference in the comprehensive score between 2023 and 2008

表 4. 2023 年与 2008 年综合得分差异的百分比

范围	占比
$-1 < X \leq 0$	3.39%
$0 < X \leq 0.02$	2.18%
$0.02 < X \leq 0.1$	41.40%
$0.1 < X \leq 0.2$	29.30%
$0.2 < X \leq 1$	23.73%

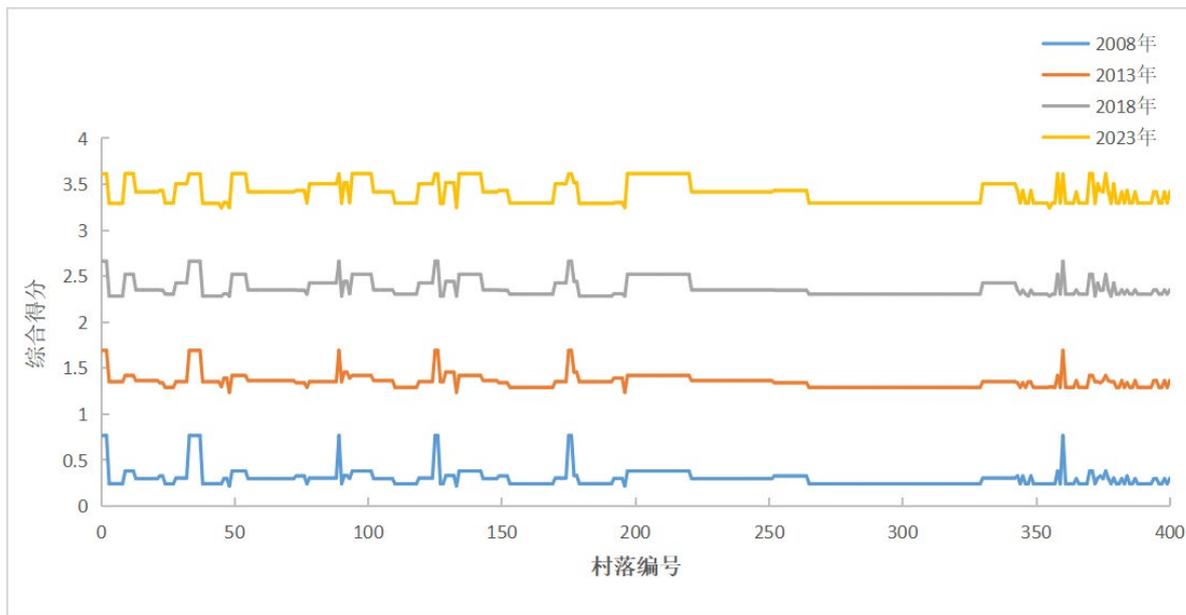


Figure 5. Comprehensive scores of traditional villages at different time points
图 5. 传统村落在不同时间点的综合得分

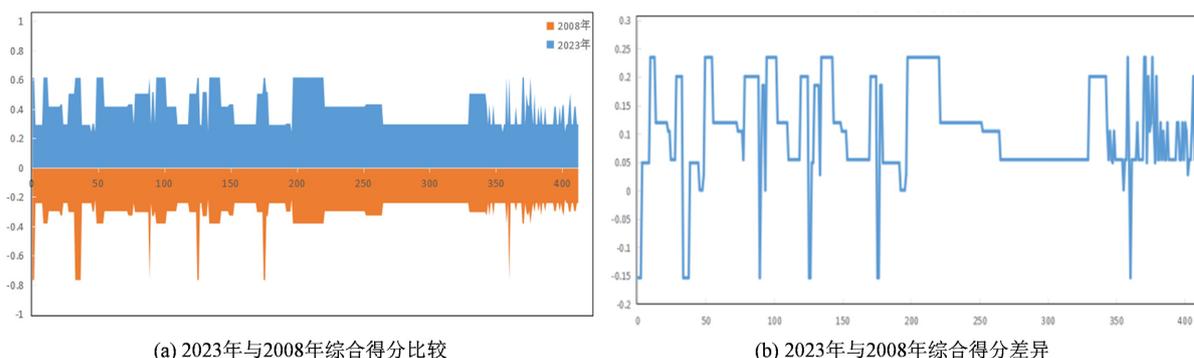


Figure 6. Comparison of comprehensive scores and differences between 2023 and 2008
图 6. 2023 年与 2008 年综合得分比较及差异

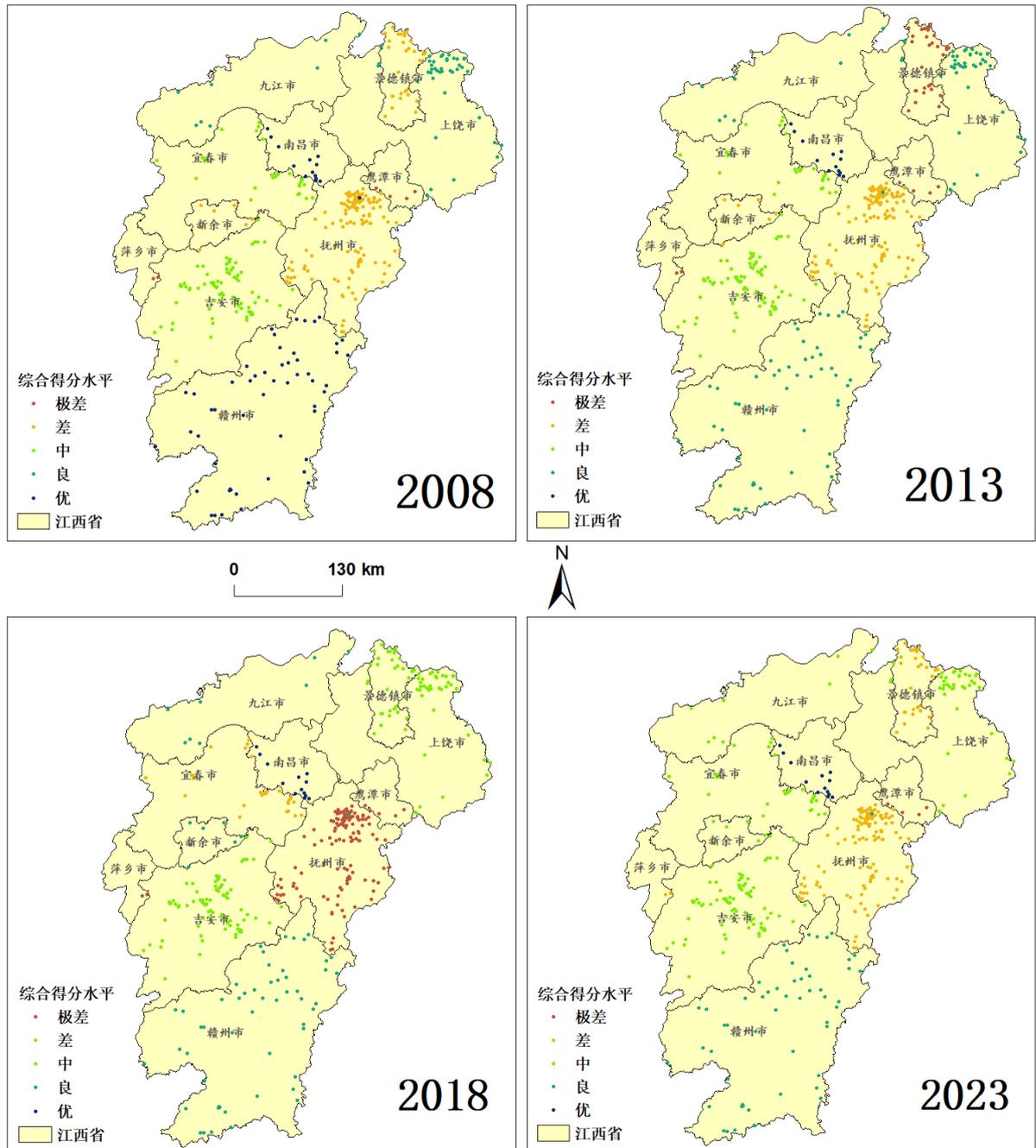
从图 5 中可以观察到，传统村落的综合 HSS 评分随时间呈上升趋势。2003 年至 2023 年间，江西省 TVHSS 综合指数得到了改善，而 2013 年至 2018 年的改善程度并不明显，这表明江西省 TVHSS 这几年间可能出现了不利发展，可能归因于具体的政策影响或其他外部因素。现有研究也表明乡村人居环境变化易受政策的影响，这需要进一步研究来分析。同时，从图 6(a)中可以看出，随时间推移，不同村落的综合得分没有显著差异；从图 6(b)中可以看出，随时间推移，不同村落的综合得分差大部分没有很大变化；这表明大部分村落在城市发展方面是同步进行的。

为更直观地分析空间状况，本文利用 ArcGIS 可视化结果，并采用自然断点分类法将其分为五个等级(如图 7)，等级从低到高依次为极差、差、中、良、优。

3.3. 基于 VAR 模型的内部系统影响分析

为考虑各指标之间的关系，本文对 2008 年至 2023 年间 16 年的数据进行 VAR 模型研究，对三个关键维度 P 、 S 以及 R 进行回归，估计 12 个指标间的关系。同时考虑到传统村落的各个区域的空间和时

间变化,对各个维度的所有变量进行对数变换,以实现数据集的平稳性,同时根据维度进行数据整合,形成新数据 P 、 S 以及 R 。



注:该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为GS(2019)3333号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 7. Spatial and temporal patterns of comprehensive scores

图 7. 综合得分的空间时间模式

3.3.1. 模型检验

构建 VAR 模型之前,本文先采用 ADF 单位根检验检验各内生变量(三个维度)是否稳定。当 $p < 0.01$

时,拒绝原假设,指标维度稳定;当 $p > 0.01$ 时,接受原假设,指标维度不稳定[22]。检验结果如表 5 所示,其中 LNP 表示压力系统 P 的一阶差分序列, LNS 表示状态系统 S 数据, LNR 表示响应系统 R 的二阶差分序列。

Table 5. ADF unit root test
表 5. ADF 单位根检验

序列	t	p
P (LNP)	-3.679	0.004
S (LNS)	-4.127	0.001
R (LNR)	-7.111	0.000

由表 5 可知,一阶差分后的 LNP 数据的 ADF 检验结果显示 $p = 0.004 < 0.01$,有高于 99% 的把握拒绝原假设,此时序列平稳。针对 LNS,该时间序列数据的检验结果显示 $p = 0.001 < 0.01$,有高于 99% 的把握拒绝原假设,此时序列平稳。二阶差分后的 LNR 数据的 ADF 检验结果显示 $p = 0.000 < 0.01$,有高于 99% 的把握拒绝原假设,此时序列平稳。故三个关键维度之间存在长期稳定的平衡关系。

再将检验后的数据进行 VAR 模型构建,得到三个维度的 VAR 模型。之后可以通过 AR 特征根图判断 VAR 模型的稳定性:如果所有特征值均在单位圆内,即所有点均在圆内,此时说明模型具有稳定性;如果出现特征根在单位圆之外,意味着模型可能不具有长期持续稳定性[23]。将本模型进行 AR 特征根检验,所得结果如图 8 所示。

从图 8 中可以观察到 VAR 模型的 AR 单位根检验结果,其中所有点都清楚地位于单位圆内,即表明所有特征根都低于 1,这证实了所建立的 VAR 模型稳定且有效,且各变量之间存在长期稳定平衡。

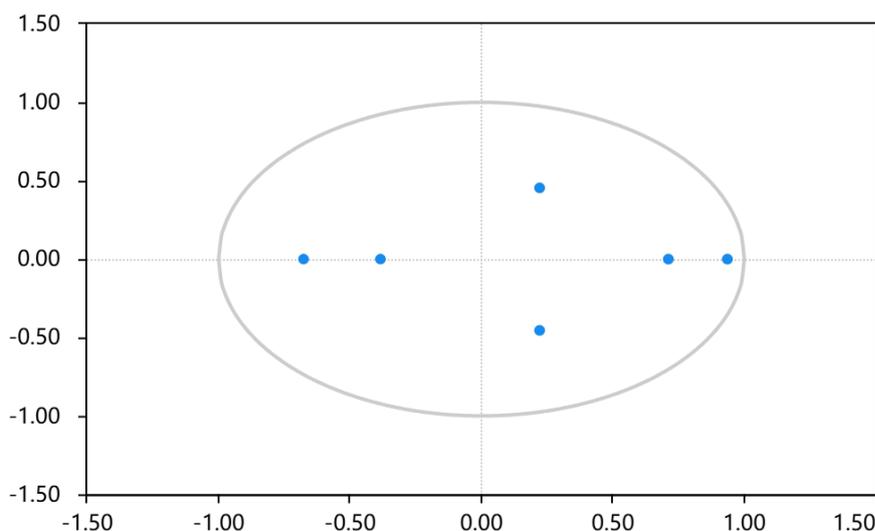


Figure 8. AR root test
图 8. AR 特征根检验

3.3.2. 脉冲响应

本文在模型稳定的基础上,对变量系统进一步分析。为了解释 HSS 三个子系统之间的动态关系和相互作用,本文引入了脉冲响应分析[24],考虑样本数据容量,将冲击响应期设定为 11 期。通过观察脉冲

响应函数的曲线图(如图 9), 可以观察到三个变量系统之间的影响和相互作用。



Figure 9. Pulse response analysis

图 9. 脉冲响应分析

观察图 9(a)所示的压力系统自影响脉冲响应结果可见, 在冲击初始阶段(第 1 期), 压力系统 P 对自身产生了强度显著且瞬时性的正向冲击, 这表明短期内人类活动引发的环境压力(如污染排放、人口集聚)具有明显的“自我强化效应”。然而, 随着时间推移, 这种正向影响呈现出逐步衰减的动态趋势, 在第 6 期之后冲击强度趋于平稳, 说明长期来看, 环境系统自身的调节能力和外部隐性约束开始发挥作用, 有效抑制了压力的持续扩张。

图 9(b)展示了压力系统 P 对状态系统 S 的负面影响, 并且该影响一直从第 1 个周期持续到第 10 个周期。图 9(c)展示了压力系统 P 对响应系统 R 产生的负面影响, 其从第 1 至第 3 周期呈现出一定的上升趋势, 之后保持相对稳定。这表明, 有效的政府决策、环境质量的改善、碳排放和污染物排放的控制以及可持续经济发展模式的建立, 可以在一定程度上有效缓解气候恶化, 促进空间演化。

图 9(d)和图 9(g)分别展示了状态系统 S 和响应系统 R 对压力系统 P 的影响。从图中可以看出, 在第 1 至第 10 个时期, 它们大多都对压力系统 P 产生了负面影响。首先, 状态系统 S 对压力系统 P 的影响在前 2 个周期缓慢增加, 在第 3 个周期下降, 并保持稳定的负面影响; 其次, 响应系统 R 对压力系统 P 的影响从第 1 期到第 5 期呈现出先降后增的趋势, 从第 6 期到第 10 期呈现出稳定的负面影响。并且响应系统 R 对压力系统 P 的影响在第 1 至第 10 期的波动相对较小。综上所述, 状态系统 S 和响应系统 R 都对压力系统 P 产生了负面影响, 且状态系统 S 的影响相对较大。

图 9(e)和图 9(i)展示了状态系统 S 和响应系统 R 对自身的影响。从两个图可以看出, 最初在第 1 个周期产生了高积极影响之后, 它们总体斜率逐渐下降, 但响应系统 R 的下降幅度较小。综上所述, 环境投资和环境政策可以有效地减轻压力系统的影响, 但是长期积累的高污染、温室效应和人口积累导致对这些影响的敏感性不足, 尤其是环境投资。

图 9(f)和图 9(h)展示了状态系统 S 和响应系统 R 的相互影响。状态系统 S 总是对响应系统 R 产生积极的影响, 而响应系统 R 最初对状态系统 S 产生积极的影响, 但这种影响在第 2 期变成消极的, 然后以较小的波动幅度逐渐趋于稳定。这种趋势表明, 政府 in 提高农村社会保障质量方面的管理策略, 以及村庄社会保障的变化将有效地反馈给当局, 使他们能够采取有针对性的措施。然而, 环境系统的反馈强度大大低于政策的执行强度, 表明其协同机制有待完善。因此, 保持实施力度和反馈力度之间的协同效应应该成为未来的重要课题。

3.3.3. 方差分解

在脉冲响应分析结果的基础上, 本文利用方差分解方法探讨各种冲击对三个系统变化的贡献。得到结果如表 6:

Table 6. Variance decomposition results

表 6. 方差分解结果

序列	阶数	LNP	LNS	LNR
LNP	1	100.000	0.000	0.000
	5	85.812	12.120	2.068
	10	84.982	12.823	2.195
LNS	1	0.071	99.929	0.000
	5	12.560	83.132	4.308
	10	18.415	74.067	7.518
LNR	1	18.365	25.470	56.165
	5	62.235	6.392	31.373
	10	66.225	4.435	29.340

表 6 给出了三个观察期的方差分解结果: 周期 1、周期 5 和周期 10。根据结果得出压力系统 P 的变化可以归因于状态系统 S 、响应系统 R 和自身。在整个期间, 状态系统 S 和响应系统 R 对冲击的贡献分别在 0~12.82% 和 0~2.20% 之间。而关于状态系统 S 的变化, 得出压力系统 P 是影响状态系统 S 变化的主要因素。这是因为压力系统 P 冲击的贡献范围为 0~18.42%, 超过响应系统 R 的贡献(0~7.52%)。这表明, 居民的人居环境和社会框架的改善在一定程度上受到气候调节、污染物控制和人口调整的限制。响应系统 R 的转变归因于压力系统 P 、状态系统 S 和自身的影响。其中, 压力系统 P 成为影响响应系统 R 变化的主要决定因素。压力系统 P 在第 1 期的影响约为 18.365%, 在长期发展中, 其影响稳步增长到第 10 期的 66.23% 左右。状态系统 S 对响应系统 R 的影响较小, 长期稳定影响约 4.44%。综上所述, 基于方差分解, 三个系统之间存在明显的相互依存关系, 压力系统 P 对响应系统 S 的影响最大。

3.4. 基于 GWR 模型的时空影响分析

为考虑对不同时空维度下的影响因子分析, 本文运用地理加权回归模型(GWR)来探索因子的空间分布机制。先根据 PSR 模型, 介绍了 TVHSS 的外部影响因素, 包括生态因素(降水量等)、经济因素(财政收入和支出等)和社会因素(专任教师数和床位数等)。为确保 GWR 模型的准确运用, 再对这些影响因素进行共线性检验, 选取无共线关系的因素作为指标, 后基于这些指标数据, 分析外部影响因素在时空背景下的演变。

3.4.1. 相关性检验和共线性检验

首先，利用 SPSS 软件，对 2008 年、2013 年、2018 年和 2023 年选定的人居环境影响因子进行相关性分析，结果如图 10 所示：

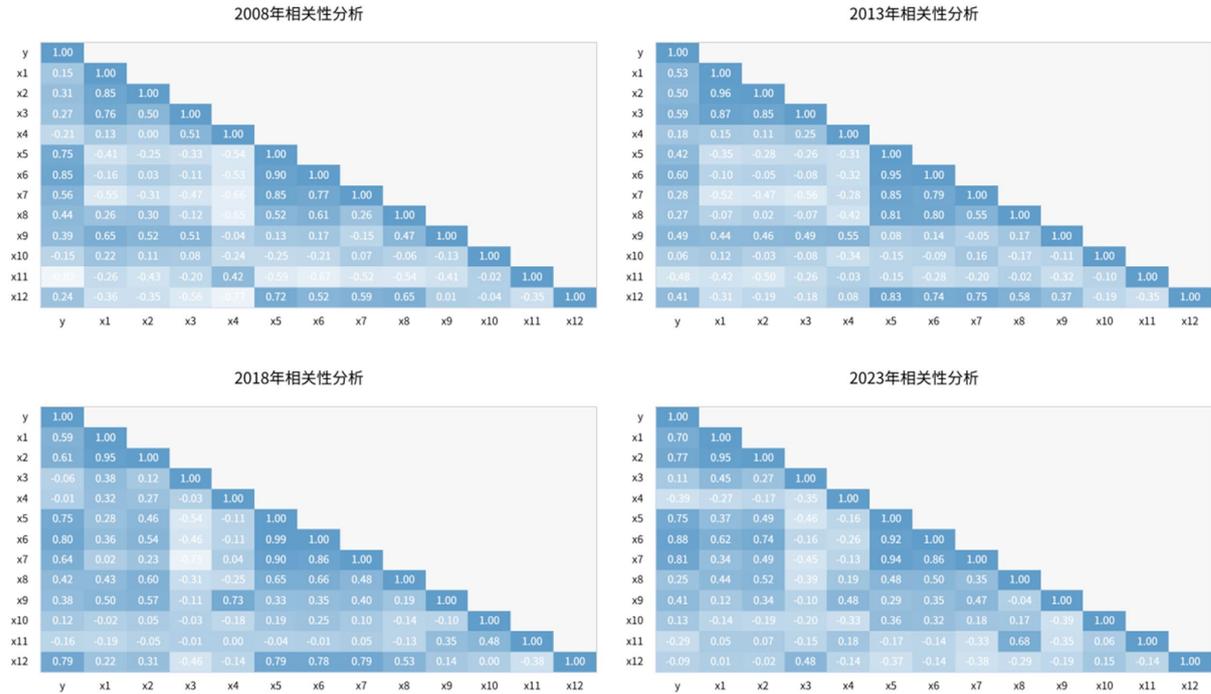


Figure 10. Factor correlation analysis
图 10. 因子相关性分析

图 10 因子相关性分析表明，TVHSS 与因素 x_2 、 x_5 、 x_6 和 x_{11} 之间存在相关性，故排除其他因子。其次，使用 SPSS 软件中的线性回归模型进行共线性分析，得到结果如表 7 所示：

Table 7. Collinearity experiment
表 7. 共线性实验

	非标准化系数		标准化系数		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>B</i>	标准误	<i>Beta</i>			
常数	0.000	0.103	-		0.000	1.000
x_2	2.175	1.657	2.175		1.313	0.246
x_5	0.279	0.524	0.279		0.533	0.617
x_6	0.232	0.518	0.232		0.448	0.673
x_{11}	0.087	0.167	0.087		0.523	0.623
R^2			0.942			
调整 R^2			0.883			
<i>F</i>	$F(5,5) = 16.100, p = 0.004$					

从表 7 可以看出，模型 R^2 值为 0.942，这说明 x_2 、 x_5 、 x_6 、 x_{11} 可以解释 y 的 94.2% 的变化原因。

对模型进行 F 检验, 发现模型通过 F 检验 ($F = 16.100, p = 0.004 < 0.05$), 即说明 x_2 、 x_5 、 x_6 、 x_{11} 中至少一项会对 y 产生影响关系。

最终具体分析可知:

- (1) x_2 的回归系数值为 2.175 ($t = 1.313, p = 0.246 > 0.05$), 这说明 x_2 并不会对 y 产生共线性关系。
 - (2) x_5 的回归系数值为 0.279 ($t = 0.533, p = 0.617 > 0.05$), 这说明 x_5 并不会对 y 产生共线性关系。
 - (3) x_6 的回归系数值为 0.232 ($t = 0.448, p = 0.673 > 0.05$), 这说明 x_6 并不会对 y 产生共线性关系。
 - (4) x_{11} 的回归系数值为 0.087 ($t = 0.523, p = 0.623 > 0.05$), 这说明 x_{11} 并不会对 y 产生共线性关系。
- 总结分析可得: x_2 、 x_5 、 x_6 、 x_{11} 均不会对 y 产生共线性关系。

3.4.2. 时空影响分析

基于上述 VAR 模型, 已知 x_2 、 x_5 、 x_6 和 x_{11} 可以影响 TVHSS。因此, 为了更好地观察这些因素在 TVHSS 上的时空分布模式, 本研究利用地理加权回归模型(GWR)来探索它们的空间分布机制, 得到结果如图 11 所示:



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)3333 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 11. Impact results of the GWR model
图 11. GWR 模型的影响结果

如图 11 所示, x_2 对江西省 TVHSS 总体上有显著的负面影响。但影响系数从 2008 年的 0.13 增加到 2023 年的 0.15, 呈上升趋势。在空间分布上, 总体呈现“两边高中部低”的分布特征。在局地空间变化方面, 赣州地区的 TVHSS 持续受到 x_2 的影响, 影响由正转负。 x_2 对宜春和新余 TVHSS 的影响由负转正。

x_3 对江西省 TVHSS 总体上有显著的正面影响, 其影响系数由 2008 年的 0.24 上升到 2023 年的 0.44, 呈现先升后降的趋势。在空间分布上, 一般呈现“东北高西南低”的分布特征。在局地空间变化方面, x_3 对吉安、新余等地 TVHSS 的影响由负转正。 x_3 对上饶市 TVHSS 呈正面影响, 且强度不断增加。

x_6 对江西省 TVHSS 总体上有显著的正面影响, 其影响系数由 2008 年的 0.27 上升到 2023 年的 0.51, 呈现先升后降的趋势。在空间分布上, 一般呈现“南北高中部低”的分布特征。在局地空间变化方面, x_6 对赣州、吉安、萍乡等地 TVHSS 的正向影响不断上升。 x_6 对抚州市 TVHSS 的影响由正转负。

x_{11} 对江西省 TVHSS 的总体负面影响显著, 其影响系数由 2008 年的 0.09 上升到 2023 年的 0.08, 呈现先升后降的趋势。在空间分布上, 一般呈现“北高南低”的分布特征。在局部空间变化方面, 南昌、抚州、鹰潭等地区均受到 x_{11} 的负面影响, 影响强度不断加大。

这表明为促进传统村落的可持续转型和发展, 政府应保证社会资源的公平分配, 发展和改善医疗设施, 并且进行地形恢复工作, 恢复受损地形和风景, 以保证气候稳定, 根据各地区不同程度发展, 有策略、妥善地规划财政投入。此外, 根据 VAR 模型的脉冲响应和方差分解分析结果, 压力系统是影响人居环境建设的核心因素。故而应采取减少温室气体排放、改善空气质量、实施人口管理、增强环保意识、保护生态环境、提供政策支持和加强国际合作等措施, 减少空气污染, 保护生态环境。这些战略将有助于提高 TVHSS 的质量, 实现其可持续发展, 这需要进一步的研究和实践探索。

4. 总结与展望

4.1. 主要结论

以江西省古村落为研究对象, 通过建立综合指数、判断空间分布、分析因素影响, 可以得到以下几点结论:

(1) 2008~2023 年江西省 TVHSS 综合指数总体较高, 呈现总体上升趋势和明显发展势头。平均值从 0.304 增加到 0.4087。然而, 2013~2018 年发展放缓。空间分布呈现“中部低、南北高”内聚的空间分布格局。

(2) 资源、环境与经济系统的状态是驱动人类应对措施(响应系统)及人类活动引发的资源损耗与环境污染(压力系统)发生变化的主要因素, 而状态系统的变化则主要受压力系统影响。

(3) 床位数、专任教师数、财政预算支出和年降水量是影响江西省 TVHSS 的四个最重要的驱动因素。

(4) 床位数、财政预算支出和专任教师数有积极影响, 年降水量有负面影响。

4.2. 实际应用

基于对江西省传统村落人居环境适宜性的系统研究及所得结论, 其实际应用主要体现在以下几个方面:

(1) 精准制定保护政策: 通过科学分析人居环境差异的时空规律, 可识别急需支持的村落, 建立动态调整的资金分配机制, 优先改善环境薄弱地区, 避免资源浪费。例如根据评估结果划分重点保护区、适度开发区等不同政策适用区域。

(2) 科学保护文化遗产: 明确影响传统村落保护的关键因素(如政策力度、旅游开发强度等), 针对性制定保护细则。对祠堂、古民居等核心文化遗产建立分级保护清单, 制定修缮标准和活化利用指南。

(3) 助力乡村振兴发展: 结合村落环境评估与地域文化特色, 规划差异化旅游开发路径。筛选具备发展潜力的村落打造文化体验线路, 带动周边农产品、手工艺品等特色经济, 促进增收。

(4) 优化基础设施布局: 借助数据分析识别基础设施(如道路、供排水)薄弱的区域, 制定分阶段建设计划。在保护传统风貌的前提下提升设施服务能力, 改善居民生活质量。

(5) 推动可持续发展: 评估自然资源承载能力, 建立开发红线预警机制。对生态敏感区限制过度开发, 推广传统生态智慧(如梯田灌溉系统), 实现环境保护与经济平衡。

4.3. 特色与创新

立足于生态环境管理与数据分析的交叉领域, 在研究方法、数据处理、模型验证及空间分析维度形成了鲜明特色与创新, 具体如下:

(1) 方法融合创新: PSR(压力-状态-响应)模型在生态环境领域应用广泛, 相关研究文献丰富, 表现出较强的交叉融合、高拓展性特点。本文突破该模型在单一环境问题分析中的传统应用框架, 创新性地将其与人类活动多维度影响分析相结合——通过模型系统拆解人类活动对环境的压力(如污染排放人口密度等), 量化评估区域环境的综合状态(如经济状况、绿地面积等), 并针对性制定涵盖政策、医疗、教育的多维度响应措施, 实现了从“问题分析”到“管理闭环”的延伸, 为复杂生态系统的综合管理提供了更具操作性的科学依据。

(2) 数据处理创新: 在权重计算环节, 本文摒弃传统主观赋权方法的局限性, 创新采用完全基于数据本身变异程度(信息熵)的熵权法。该方法全程无需人为干预, 有效规避了层次分析法(AHP)等主观赋权法中专家打分可能存在的认知偏差、经验依赖等问题, 使权重结果更贴合数据客观规律, 为后续分析的准确性奠定了坚实基础。

(3) 模型验证创新: 针对 VAR 模型(向量自回归模型)的应用, 本文创新性地加入脉冲响应分析、方差分解及数据平稳性检验三大验证环节。其中, 数据平稳性检验可有效识别非平稳序列, 从根源上防止伪回归现象的发生; 脉冲响应与方差分解则进一步揭示了变量间动态影响的强度与持续时间, 大幅提升了模型结论的可靠性与解释力。

(4) 空间分析创新: 为解决传统线性回归模型忽略空间异质性的缺陷, 本文创新引入地理加权回归模型(GWR), 将空间相关性与线性回归深度结合。相较于最小二乘法(OLS)等传统模型仅能获取全局平均参数的局限性, GWR 支持自变量与因变量关联的局部参数估计, 使变量间的关系可随地理位置变化而动态调整, 不仅捕捉了传统模型忽略的区域局部特性, 还能直观反映空间异质性对研究结果的影响, 为区域差异化政策的制定提供了更精准的空间参考[25]。

4.4. 展望

本文研究仍存在一定改进空间。具体来看, 在模型应用层面存在三方面局限: 首先, PSR 模型的实际运用中, 主要陷阱体现在对研究目标指向性、科学问题针对性、研究对象特殊性、人地关系复杂性及研究者主观性的忽视[26]; 其次, 熵权法在计算指标权重时, 极端值的介入会显著改变指标熵值, 进而可能导致权重偏离真实情况; 最后, VAR(p)模型受变量数(n)与滞后阶数(p)的影响显著, 参数量随二者增加呈指数级增长, 使得模型在小样本场景下极易出现过拟合问题。后续研究可针对上述不足进一步优化方法设计与数据处理流程。

本文研究中 PSR 模型可从“内部控制和外部借鉴”搭建完善框架, 遵循“内涵认知-应用完善-概念再认知”逻辑以深化理解[26]。熵权法可通过融合德尔菲法、优化分段标准化预处理、引入灰色关联分析, 在保持客观性的同时提升决策合理性。针对 VAR 模型不足, 可采用贝叶斯先验压缩(BVAR)或主成

分降维, 其中贝叶斯 VAR 模型预测效果更优[27]。

未来的研究可以考虑纳入更多相关因素, 以更全面地了解人居环境差异化的驱动因素, 也可以考虑延长时间跨度, 以更好地捕捉 TVHSS 的长期演变。本次研究还希望与皖南、闽北传统村落形成对照组, 验证驱动机制的普适性与地域特殊性, 并提炼传统村落保护与新型城镇化协同发展的政策工具箱, 为南方丘陵地带提供参考范式。

参考文献

- [1] 胡燕, 陈晟, 曹玮, 等. 传统村落的概念和文化内涵[J]. 城市发展研究, 2014, 21(1): 10-13.
- [2] 杜鹏辉, 安显金. 中国传统村落保护现状与发展前景——基于文献计量学的分析[J]. 现代园艺, 2025, 48(4): 156-161+164.
- [3] 蒲娇, 马怡霄. 中国传统村落保护十年(2013-2023)研究综述: 概念确认、学科研究与策略深探[J]. 民间文化论坛, 2024(5): 23-39.
- [4] 喻晓社, 白丹. 空间生产视角下传统村落文化助力乡村振兴的实践路径——基于江西省 X 县 S 村的案例分析[J]. 江西财经大学学报, 2026(1): 114-126.
- [5] 潘睿. 胶东半岛传统村落空间形态演变研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(23): 14-16.
- [6] 丁奇, 张蓝予, 陈佳琪, 田玉洁, 李鑫. 秀山传统村落景观基因识别与图谱构建研究[J]. 华中建筑, 2025, 43(8): 93-98.
- [7] 张朔航, 包若晗, 康峰. 晋中山地型传统聚落空间形态特征分析——以太谷区侯城乡范家庄村为例[J]. 城市建筑, 2025, 22(15): 149-152.
- [8] 张新红, 席晶, 王诗涵, 杨海勤, 安玉源. 基于 SNA 的河湟地区传统村落集群式保护策略研究[J]. 兰州交通大学学报, 2025(4): 124-133.
- [9] 白雪. 传统村落, 保下来还要“活起来” [N]. 新华日报, 2025-08-22(04).
- [10] 李雅迪, 张啸宇, 聂承静. 活态保护视域下传统村落文化景观价值评价与可持续发展——以河北井陘县为例[J]. 科技和产业, 2025, 25(6): 221-227.
- [11] 张晓瑞, 刘淑珍. 多维视角下江西省传统村落时空分异与影响因素[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(28): 12296-12307.
- [12] 崔娜, 陈芳, 齐晶晶. 基于 PSR 模型的绿色矿业发展评价指标体系[J]. 现代矿业, 2023, 39(4): 151-154.
- [13] 胡吉辉, 布美热木·克力木, 木合塔尔·艾买提. 熵权法在农业生产生态保护与经济发展中的应用[J]. 国土与自然资源研究, 2025(3): 55-58.
- [14] 董兵, 贾娜. 基于熵权法的卷烟品牌动态管理模型构建及实例[J]. 现代商贸工业, 2025(8): 94-98.
- [15] 何勇, 李艳婷. 基于向量自回归模型的移动通信基站流量预测[J]. 工业工程与管理, 2017, 22(4): 79-84.
- [16] Kao, C. (1999) Spurious Regression and Residual-Based Tests for Cointegration in Panel Data. *Journal of Econometrics*, 90, 1-44. [https://doi.org/10.1016/s0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/s0304-4076(98)00023-2)
- [17] Engle, R.F. and Granger, C.W.J. (1987) Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55, 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- [18] 韩静, 芮昉, 杨坤, 等. 基于地理探测器和 GWR 模型的中国重点镇布局定量归因[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1687-1697.
- [19] 赵宏波, 谷天顺, 孙东琪, 等. “三生”功能视角下黄河流域城市人居环境动态演变与机制[J]. 地理学报, 2023, 78(12): 2973-2999.
- [20] 李雪铭, 高梦珂, 田深圳, 等. 基于“三生”功能的人居环境耦合协调时空演变分析——以成渝城市群为例[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2024, 47(4): 518-526.
- [21] Long, T., Işık, C., Yan, J. and Zhong, Q. (2024) Promoting the Sustainable Development of Traditional Villages: Exploring the Comprehensive Assessment, Spatial and Temporal Evolution, and Internal and External Impacts of Traditional Village Human Settlements in Hunan Province. *Heliyon*, 10, e32439. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32439>
- [22] 李治国, 周德田. 基于 VAR 模型的经济增长与环境污染关系实证分析——以山东省为例[J]. 企业经济, 2013, 32(8): 11-16.

- [23] 张倩倩, 李百吉. 我国能源供需结构均衡度及其动态经济影响[J]. 科技管理研究, 2017, 37(15): 243-249.
- [24] 彭水军, 包群. 中国经济增长与环境污染——基于广义脉冲响应函数法的实证研究[J]. 中国工业经济, 2006(5): 15-23.
- [25] 王少剑, 高爽, 陈静. 基于 GWR 模型的中国城市雾霾污染影响因素的空间异质性研究[J]. 地理研究, 2020, 39(3): 651-668.
- [26] 马小宾, 章锦河, 郭丽佳, 等. 生态环境研究中压力-状态-响应模型应用的陷阱与改善[J]. 生态学报, 2024, 44(12): 4923-4932.
- [27] 朱慧明. 基于 Minnesota 共轭先验分布的贝叶斯 VAR(p)预测模型[J]. 统计研究, 2004(1): 44-48.