

# 基于空间分析方法和GIS的区域道路网络特征分析

刘世梁, 温敏霞, 崔保山, 富伟, 杨敏

(北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 以纵向岭谷区云南核心区为研究区, 利用空间分析方法, 研究了区域道路网络的空间分布差异; 进一步统计道路影响下各县市的土地利用面积, 分析了道路网络影响下区域土地利用的分维数和稳定性指数的变化; 利用回归分析, 研究区域道路网络与土地利用的空间联系。结果表明: 纵向岭谷区道路网络与其影响下的土地利用均表现出相似值之间的空间集聚效应。回归分析发现道路网络在空间上的扩展, 不仅与区域土地利用相关, 而且还与其空间滞后因子有关。

**关键词:** 纵向岭谷区; 道路网络; 空间统计分析; 空间回归模型

**中图分类号:** P208 U113

**文献标识码:** A

区域差异一直是国内外学术界广泛关注的热点问题之一。在研究不同尺度的区域差异问题时, 空间的影响, 尤其是空间自相关和空间异质性必须加以考虑。近年来, 不少学者致力于空间分析与GIS结合在区域差异问题中应用的研究, 但这些研究多集中在区域经济发展<sup>[1-3]</sup>、人口分布<sup>[4]</sup>、土壤养分<sup>[5]</sup>等方面, 很少涉及到道路网络。

道路网络已经成为当今社会和经济发展的中枢, 其分布范围之广和发展速度之快, 是其他人类建设工程不能比拟的。有关资料研究表明, 这种影响至少涉及到全球陆地的15%~20%<sup>[6-8]</sup>。道路网络是一种社会经济现象, 其发展衡量指标如: 道路密度等都存在一定的数量时间变化规律, 同时, 由于地域的限制, 区域内存在不同的空间单元, 各个空间单元的道路网络同样具有一定的差异性。因此, 道路网络的扩展变化, 既存在时间上的动态性, 也具有空间上的关联性、差异性<sup>[9]</sup>。

云南纵向岭谷区作为连接东南亚、南亚的必经之路, 交通区位非常重要。目前国际大通道的修建, 势必进一步带动其他道路的发展, 从而加剧对生态

系统的影响<sup>[10]</sup>。由于纵向岭谷区的多民族分布, 社会经济发展不均衡, 人口资源等<sup>[11]</sup>指标以及生态系统的分布格局等存在较强的地域差异, 研究其道路网络的空间特征, 以及道路网络扩展影响下生态系统的变化, 有助于了解区域道路网络的空间格局, 并为寻找区域差异的解决对策提供辅助参考作用。

本文以云南纵向岭谷区核心区道路网络为研究对象, 采用空间分析方法, 研究道路网络的区域差异; 利用缓冲区分析方法, 统计道路影响下各县市的土地利用面积, 并进一步研究道路影响下土地利用组成结构的变化; 利用空间回归模型进行回归分析, 得出区域各县市道路网络与土地利用间的关系。

## 1 研究区概况

云南纵向岭谷区 (Longitudinal Range-Gorge Region LRGR) 是指位于我国西南, 与青藏高原隆升直接相连的横断山及毗邻的南北走向山系河谷区。由于纵向岭谷区位于青藏高原东南部, 地质、地貌、气候、水系、土壤、植被均受其影响, 地理环境的

收稿日期 (Received date): 2007-11-30; 改回日期 (Accepted): 2008-04-29。

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2003CB415104) 和国家自然科学基金 (40501067) 资助。 [ Supported by the National Key Project for Basic Research on Ecosystem Changes in Boundary Ecosecurity of Southwest China (2003CB415104) and the National Sciences Foundation of China (40501067) ]

作者简介 (Biography): 刘世梁 (1976-), 男, 山东沂水人, 副教授, 主要从事景观生态学和土地利用的研究, 发表论文 40 余篇。 [ Liu Shiliang (1982-), male, mainly engaged in landscape ecology and land use ] E-mail: shiliangliu@163.com

地域分异十分明显,形成水平地带性和垂直地带性特征突出的各种自然地理景观。

纵向岭谷区核心区包括怒江州、大理市等 14 个地州, 79 个县, 区位优势明显。区域从北到南, 由于地理条件差异较大, 人口分布不均, 经济发展不平衡, 生态环境由于自然灾害和人类活动遭到不同程度的破坏, 生态环境脆弱。随着云南省社会交通建设发展迅速, 人类干扰增加, 道路网络对区域生态系统的影响日益增加。

## 2 数据与研究方法

### 2.1 数据来源

研究所需道路矢量数据利用最新的 1: 100 万云南省交通数字化图和 1: 25 万中国基础地理信息中的道路要素图。根据纵向岭谷区实际情况, 将道路类型分为一级路、二级路、三级路、四级路和等外路。土地利用图利用 1980 年遥感影像所提取的 1: 10 万类型图。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 空间统计分析

空间统计分析的核心是认识与地理位置相关的数据间的依赖、空间关联或空间自相关, 通过空间位置建立数据间的统计关系。空间自相关 (spatial autocorrelation) 是测试空间某点的观测值是否与其相邻点的值存在相关性的一种分析方法<sup>[12 13]</sup>。Moran 指数是用来度量空间自相关的全局指标<sup>[14]</sup>, 反映的是空间邻接或空间邻近的区域单元观测值的相似程度, 其公式为

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}}, S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

式中  $x_i$  为区域  $i$  的观测值,  $w_{ij}$  为空间权重矩阵。

空间权重矩阵通常可以通过空间数据的拓扑属性如邻接性来构造, 也可以通过空间距离来构建, 如果  $i$  和  $j$  之间的距离小于指定距离, 则  $w(i, j) = 1$  其他情况为 0。文中采用邻接性来构造空间权重矩阵<sup>[15]</sup>。

Moran 指数  $I$  的取值一般在  $[-1, 1]$  之间,  $< 0$  表示负相关, 等于 0 表示不相关,  $> 0$  表示正相关。

全局 Moran's  $I$  统计量是一种总体统计指标, 仅说明所有区域与周边地区之间空间差异的平均程度。在区域总体空间差异缩小的情况下, 局部空间

差异有可能扩大, 为了全面反映区域空间差异的变化趋势, 还需采用局部空间自相关分析。局部空间自相关分析包括空间联系的局部指标 (Local Indicators of Spatial Association, LISA)、G 统计、Moran 散点图。本文选择 LISA 和 Moran 散点图进行分析。

LISA 包括局部 Moran 指数 (Local Moran) 和局部 Geary 指数 (Local Geary), 文中重点讨论局部 Moran 指数。局部 Moran 指数公式为

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

Moran 散点图常用来研究局部的空间不稳定性。Moran 散点图的 4 个象限, 分别对应区域单元与其相邻区域之间的 4 种类型的局部空间联系形式: 第 1 象限 - 高观测值的区域单元被高值区域包围的空间联系形式; 第 2 象限 - 低观测值的区域单元被高值区域包围的空间联系形式; 第 3 象限 - 低观测值的区域单元被低值区域包围的空间联系形式; 第 4 象限 - 高观测值的区域单元被低值区域包围的空间联系形式。将 Moran 散点图与 LISA 显著性水平相结合, 得到“Moran 显著性水平图”, 图中显示出显著的 LISA 区域。

#### 2.2.2 分维值与稳定值

在计算土地利用类型分维值时, 若令  $A$  代表图形面积,  $P$  为同一斑块周长, 则对应分维公式定义为

$$\sqrt[D]{P} = k \times r^{1-D} \times \sqrt{A}$$

上式通过取自然对数可变换为

$$\ln(A) = \left(\frac{2}{D}\right) \ln(P) + C$$

即土地利用斑块的公式, 分维值  $D$  为斜率值的一半, 可通过建立各类斑块周长 - 面积关系计算斑块分维值。 $D$  值的理论值介于 1~2 间, 反映了土地利用斑块的复杂性和稳定性,  $D$  值越大, 表示空间上的镶嵌结构越复杂。当  $D = 2$  时, 表示斑块形状最复杂;  $D$  值越小, 表示空间上的镶嵌结构越简单; 当  $D = 1$  时, 表示土地利用斑块为正方形; 当  $D = 1.5$  时, 表示处于一种类似于布朗运动的随机运动状态, 即空间结构最不稳定。

稳定指数  $S_i$ :  $S_i = |1.5 - D|$ ;  $S_i$  值越大, 表示空间结构越稳定<sup>[16]</sup>。

#### 2.2.3 空间自回归模型<sup>[17]</sup>

Anselin L 教授<sup>[18]</sup>根据解释变量与自变量之间的空间相关性, 得出次序空间线性回归方程的通用形式

$$y = \rho W_1 y + X\beta + \varepsilon \quad \varepsilon = \lambda W_2 \varepsilon + \mu$$

式中  $y$  为因变量, 权重矩阵  $W_1$  反映因变量本身的空间趋势, 权重矩阵  $W_2$  反映残差的空间趋势,  $X$  为解释变量。

当  $\rho = \lambda = 0$  时,  $y = X\beta + \varepsilon$  即经典线性回归模型, 本身不反映空间数据之间的空间相关性。常见的空间自回归模型有 2 种: 空间滞后模型 ( $y = \rho W_1 y + X\beta + \varepsilon$ )、空间误差模型 ( $y = X\beta + \varepsilon, \varepsilon = \lambda W_2 \varepsilon + \mu$ )。

### 3 纵向岭谷区道路网络空间分析

#### 3.1 区域道路网络空间自相关分析

道路密度是道路生态影响的主要测度指数, 也是表征道路网络特征的重要参数<sup>[8, 19]</sup>。文中选取道路密度为指标研究纵向岭谷区道路网络的空间特征。

利用 Moran 指数公式计算, 得到纵向岭谷区道路密度的全局 Moran's I 指数为 0.709 8 表明纵向岭谷区道路密度的空间分布并非表现出完全随机性, 而是表现出空间相似值之间的空间集聚。其空间联系的特征是: 在道路密度高的县, 其周边区域的道路密度也较高; 道路密度低的县, 其周边道路密度也低。纵向岭谷区较大的空间正相关特性表明了空间差异的存在。

利用局部 Moran 指数公式计算纵向岭谷区各县域道路密度的局部 Moran's I 值及其显著性, 得到县域道路密度空间分异状态的 Moran 散点图 (图 1), 并将结果用地图表示 (图 2)。

纵向岭谷区道路网络空间异质性通过 Moran 散点图上高高、低低两类明显的空间分异区域体现出来, 并且位于第一象限内的高-高集聚类型的县市比位于第三象限内的低-低集聚类型的县市多一些。由图 2 可以进一步看到纵向岭谷区道路密度局部集聚的空间结构。从各县市道路密度值来看, 高值被高值包围的高-高集聚县市有 (39 个): 安宁、沧源、楚雄、峨山、个旧、耿马、广南、河口、红河、建水、金平、晋宁、景东、景谷、澜沧、临沧、绿春、麻栗坡、马关、勐海、蒙自、孟连、墨江、屏边、普洱、丘北、石屏、双江、思茅、文山、西畴、西盟、砚山、易门、永德、元江、元阳、镇康、镇沅; 低值被低值包围的低-低集聚县市有 (26 个): 保山、宾川、昌宁、大理、德钦、凤庆、福贡、贡山、剑川、景洪、兰坪、丽江、梁河、

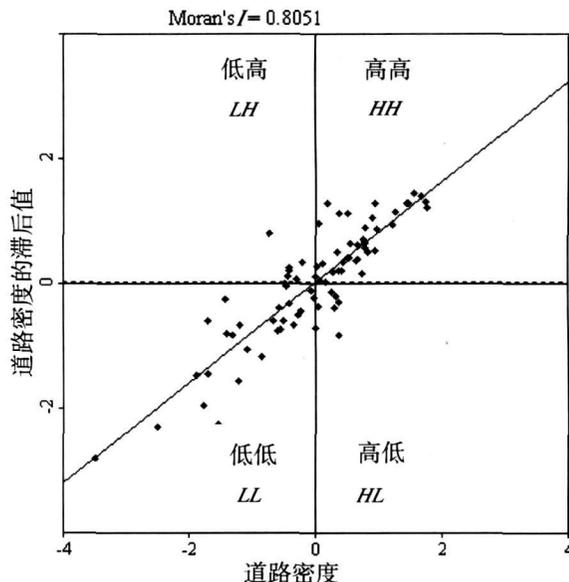


图 1 道路密度的 Moran 散点图

Fig 1 Moran scatter plots for road density in LRGR

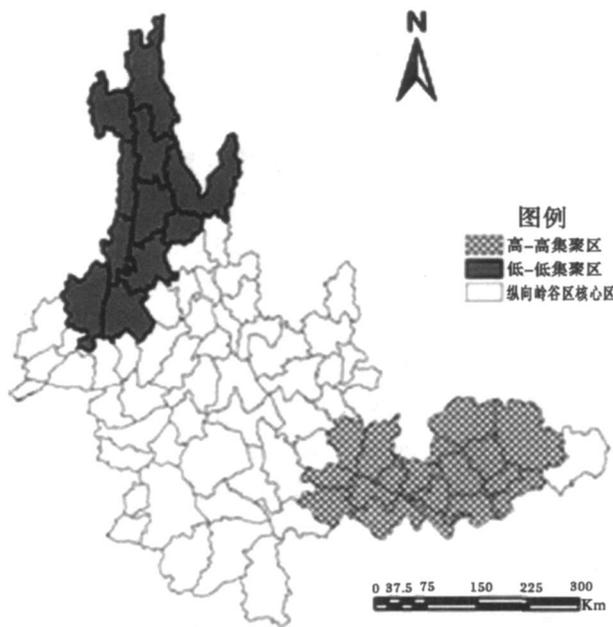


图 2 纵向岭谷区道路密度的 Moran 显著性水平图

Fig 2 Moran significance map for road density in LRGR

陇川、泸水、潞西、勐腊、南华、腾冲、巍山、维西、漾濞、盈江、永平、云龙、江城; 被低值包围的高值县市有 (6 个): 富宁、禄丰、双柏、武定、新平、云县; 被高值包围的低值县市有 (8 个): 洱源、鹤庆、龙陵、弥渡、南涧、瑞丽、施甸、祥云。

图 2 为纵向岭谷区道路密度的 Moran 显著性水平图, 纵向岭谷区东南部文山州与红河州为道路密

度值高的县市显著集聚的区域,西北部的迪庆州、怒江州,及西南保山地区的腾冲、保山是道路密度值低的县市显著集聚的区域。这从总体上揭示出纵向岭谷区道路网络在空间上分布的不均衡性,道路网络发达的地区集聚于东南部,道路网络稀疏的地区则

聚集在西北部。

### 3.2 区域不同等级道路密度的空间相关性分析

纵向岭谷区道路网络由不同等级道路组成,研究各等级道路、及各等级道路与区域总道路网络的空间关系。

表 1 不同等级道路密度相关性系数

Table 1 Correlation coefficient of road density of different grade

相关系数	一级路	二级路	三级路	四级路	等外路	所有道路
一级路	0.0316	0.0285	0.1481	-0.0251	0.0329	0.1130
二级路	0.0207	0.1279	0.1238	0.1245	-0.0251	0.1662
三级路	0.1242	0.1298	0.5529 <sup>a</sup>	-0.0100	-0.0483	0.3539 <sup>a</sup>
四级路	0.0379	0.0667	0.0029	0.5057 <sup>a</sup>	-0.0556	0.32318 <sup>a</sup>
等外路	0.0413	-0.0120	-0.0921	-0.0464	0.4287 <sup>a</sup>	0.2606 <sup>a</sup>
所有道路	0.1491	0.1406	0.3310 <sup>a</sup>	0.3239 <sup>a</sup>	0.2770 <sup>a</sup>	0.7098 <sup>a</sup>

注: \* 表示  $P$  值为 0.001 相关性显著

由表 1 可知,三级路、四级路和等外路具有显著的空间自相关性。同时,三级路、四级路和等外路均与道路密度显著相关,即在道路密度呈现空间集聚效应的同时,三级路、四级路与等外路也呈现出空间上的集聚效应。但各类型道路密度集聚的区域不尽相同,三级路发达的地区集中于纵向岭谷区的东部地区—昆明市,玉溪市大部分地区,楚雄州、红河州的个别县市,稀疏的主要集中在北部迪庆州、怒江州,及思茅、西双版纳州的个别县市;四级路分别在文山州大部分县市、临沧地区个别县市(发达),迪庆州、怒江州,以及楚雄州、思茅地区、玉溪市三个地区邻接处(稀疏)聚集。等外路集中于思茅地区大部分县市,楚雄、文山、临沧的个别县;德宏州的大部、保山与大理州的个别县市。

## 4 道路网络影响范围内土地利用的变化

各级道路影响生态系统面积的范围大小采用国际上常用标准<sup>[20]</sup>,一级路 500 二级路 250 三级路 100 四级路 50 等外路 12.5 建立缓冲区,与纵向岭谷区土地利用图相切,得到道路影响域内的土地利用图。统计区域道路影响的土地利用类型面积,研究不同等级道路影响下的土地利用类型分维数与稳定指数的大小。

文中将土地利用类型按照土地资源系统划分为林地、草地、水域、建设用地、未利用土地、水田和旱

地等 7 种。不同等级道路影响下的土地利用类型面积见图 3。

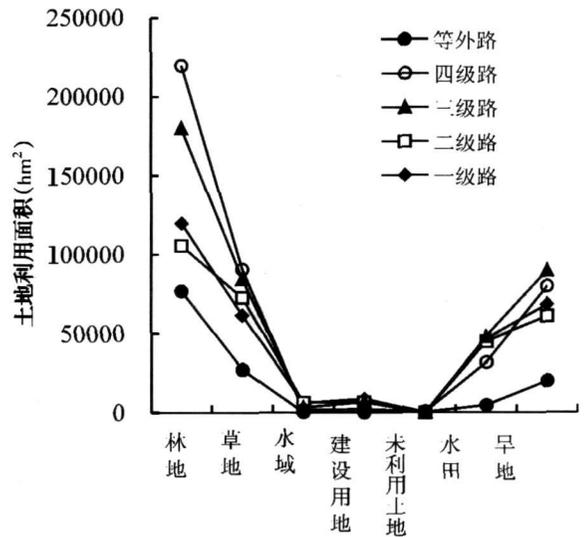


图 3 不同等级道路影响下各土地利用类型面积

Fig. 3 Land use area influenced by different road types

比较各等级道路影响土地利用面积大小可以看出,在纵向岭谷区核心区,以四级路影响土地利用面积最大,其次为三级路和一级路,等外路最低。从道路影响的土地利用类型看,影响最大的为林地,其次为草地、旱地。

根据分维公式可以建立道路影响下土地利用类型斑块周长—面积关系,由斑块面积—周长关系可

进一步计算出分维值和稳定性指数。

一级道路影响下土地利用斑块周长 - 面积关系见表 2。

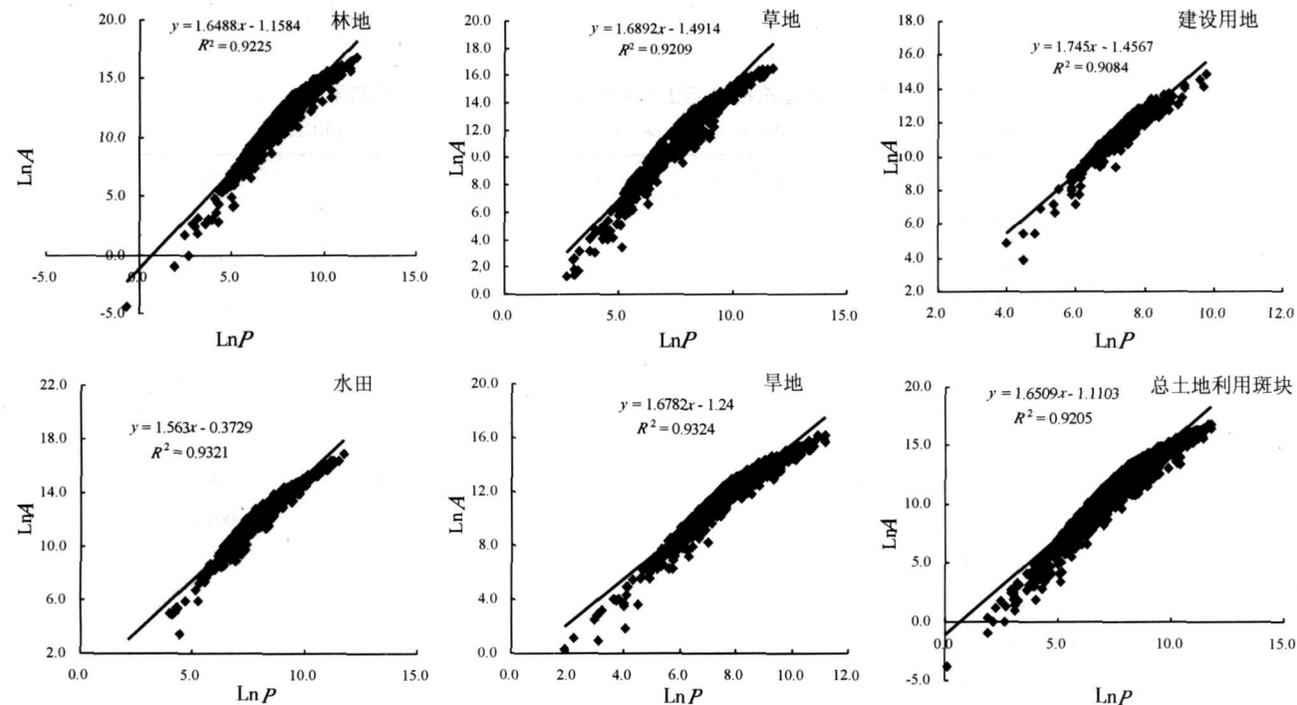
根据表 2 一级路影响下土地利用类型中水田的分维值最大, 稳定性指数最小, 即水田斑块形状,

以及空间上的镶嵌结构复杂, 表明一级路对水田的影响较大。表中总土地利用斑块的分维值和稳定性指数为一级路影响下土地利用的平均分维值和平均稳定性指数。

表 2 一级路影响下土地利用斑块周长 - 面积关系式

Table 2 Relationship of perimeter and area of patches of land use affected by first order road

土地利用类型	周长 - 面积回归方程	$R^2$	分维值 $D$	稳定性指数 $S_i$
林地	$y = 1.6276x - 0.8064$	0.9226	1.229	0.271
草地	$y = 1.6297x - 0.8375$	0.9367	1.227	0.273
旱地	$y = 1.645x - 0.9$	0.9281	1.216	0.284
水田	$y = 1.5407x - 0.0431$	0.9307	1.298	0.202
建设用地	$y = 1.8318x - 2.0659$	0.9128	1.092	0.408
水域	$y = 1.6428x - 1.2603$	0.8800	1.217	0.283
未利用土地	$y = 1.8494x - 2.3238$	0.7955	1.081	0.419
总土地利用斑块	$y = 1.6296x - 0.7976$	0.9242	1.227	0.273



注: 其中水域周长 - 面积关系:  $y = 1.6369x - 1.4077$ ,  $R^2 = 0.9039$  未利用土地仅有 1 个斑块

其样本回归分析结果不具有统计学意义, 因此未列出

图 4 二级路影响下土地利用斑块周长 - 面积关系

Fig. 4 Relationship between perimeter and area of land use affected by second-order road

图 4 为二级路影响下土地利用斑块周长 - 面积关系图, 由此计算各土地利用类型的分维值和稳定性指数, 得出水田的分维值最大, 稳定性指数最小。二级路影响下土地利用的平均分维数为 1.211, 平均稳定性指数为 0.289。

依此分别计算三级路、四级路、等外路影响下土地利用类型的分维数和稳定性指数, 发现三级路影响下水田分维值最大 (1.408), 稳定性指数最小 (0.092); 四级路影响下未利用土地的分维值最大 (1.524), 其次为水田 (1.487), 但水田的稳定性指数最小 (0.013); 等外路影响下, 林地的分维值最大 (1.729), 其次为未利用土地 (1.684)、水田 (1.669), 但稳定性指数最小的为水域 (0.052)。总的看来, 四级以上道路对水田的分维数和稳定性指数影响较大, 等外路对生态系统的影响呈现多元化, 如等外路影响下, 林地、未利用土地、水田的分维值受影响较大, 但稳定性指数水域的最小。

比较各等级道路影响下土地利用类型的平均分维值和平均稳定性指数, 分维值: 等外路 > 四级路 > 三级路 > 一级路 > 二级路, 稳定性指数: 二级路 > 一级路 > 等外路 > 三级路 > 四级路, 表明低等级道路

对生态系统的影响较大。

## 5 道路网络密度与土地利用的空间回归分析

为进一步研究区域道路密度与土地利用的相关关系, 采用空间回归模型, 研究道路密度与土地利用的关系函数 (样本数目  $n = 79$ )。

从表 3 可以看出, 经典回归模型的拟合度  $R^2$  值、 $LK$  值小于空间滞后模型和空间误差模型; 比较空间滞后模型和空间误差模型, 选择空间滞后回归模型, 得出回归方程为

$$y = 0.8112y - 8.2337 \times 10^{-9}x + 0.1062$$

$$(R^2 = 0.6840)$$

式中  $y$  为道路密度,  $x$  为土地利用。

采用空间滞后回归模型, 分别研究不同等级道路密度与其影响的土地利用面积的空间相关性 ( $n = 79$ ) 得到:

$$\text{一级路: } y = 0.0383y + 8.3507 \times 10^{-8}x + 0.0064$$

$$R^2 = 0.2911$$

表 3 纵向岭谷区道路密度与土地利用的 3 种回归模型分析结果

Table 3 Results of three different models between road density and land use in LRGR

变量	相关系数	标准偏差	t/Z 值	概率
经典回归模型				
常数	0.491 0	0.017 7	27.797 2	0.00
土地利用面积	$-3.6917 \times 10^{-9}$	$8.2029 \times 10^{-9}$	-0.450 1	0.653 9
$R^2$	0.002 6			
$LK$	86.729 7			
空间滞后模型				
道路密度空间滞后因子	0.811 2	0.061 6	13.166 0	0.00
常数	0.106 2	0.032 2	3.297 3	0.001 0
土地利用面积	$-8.2337 \times 10^{-9}$	0		
$R^2$	0.684 0			
$LK$	123.615			
空间误差模型				
常数	0.495 0	0.026 5	18.692 8	0.00
土地利用面积	$-8.8575 \times 10^{-9}$	0		
$\lambda$	0.797 5	0.066 0	12.077 0	0
$R^2$	0.679 3			
$LK$	123.455 0			

$$\text{二级路: } y = 0.2699y + 6.8744 \times 10^{-8}x + 0.0103$$

$$R^2 = 0.1845$$

$$\text{三级路: } y = 0.7241y - 1.4083 \times 10^{-8}x + 0.0284$$

$$R^2 = 0.5043$$

$$\text{四级路: } y = 0.7086y + 3.1497 \times 10^{-8}x + 0.0382$$

$$R^2 = 0.4707$$

$$\text{等外路: } y = 0.5333y + 6.4642 \times 10^{-8}x + 0.0631$$

$$R^2 = 0.3616$$

其中仅有三级路密度与土地利用面积的拟合度最大, 即三级路密度与土地利用与回归模型更相符。由回归方程可以看出, 道路网络影响下生态系统的空间分布与道路网络相关, 并受空间滞后的影响, 在空间上表现为分布区域的偏差。

## 6 结果与讨论

本文以纵向岭谷区云南核心区各县市道路密度, 以及道路影响下的土地利用面积为数据支撑, 对其进行空间统计分析, 揭示了道路网络与土地利用之间的空间联系。

1. 纵向岭谷区东南部道路网络发达, 西北部稀疏。纵向岭谷区地势总趋势是北高南低, 西北部海拔最高, 一般 > 在 4 000 m。山地由北向南降低, 降至边缘地带。一般来说, 海拔越高, 道路密度越低。

2. 不同等级道路影响下, 生态系统的空间分布存在差异。一级路、二级路影响下, 生态系统空间分布不明显, 而三级路、四级路、等外路影响下的生态系统具有明显的空间集聚效应, 集聚效应由西北部、西部、中部向西部、西南部转移; 区域道路网络影响的生态系统分布与四级路、等外路相近。

3. 比较各等级道路影响下土地利用类型的平均分维值和平均稳定性指数, 表明低等级道路对生态系统的影响较大。

4. 回归分析得到, 道路密度与土地利用符合空间滞后模型, 即在区域范围内, 道路密度除与土地利用相关外, 还与空间滞后因子有关系, 滞后因子可能是政府的政策、经济原因等。

空间数据统计分析是一种景观边界的判定方法, 通过空间自相关分析可以找到空间上显著相似(或相异)的点, 即能够界定空间上的同质区域的范围, 从而间接确定景观边界<sup>[21]</sup>。本文中采用此法对道路网络空间分布的研究可以看作是对其影响域的一种探索, 但由空间统计分析得出的道路网络影响

域的范围是一个不连续的区域, 这可能与所选取的分析尺度有关。

空间数据探索分析也是研究空间现象的有力手段, 对于区域道路网络扩展效应的研究同样可以发挥重要作用。但是空间数据探索分析方法仍有一些局限性<sup>[13]</sup>: 道路网络与土地利用之间的空间关系可能仅是赋予地理属性的邻域单元间不确定相符的表征, 在纵向岭谷区范围内选取县市为分析单元, 主要是由于数据的可得性, 而不是出于理论的考虑。此外, 文中仅研究了道路网络与土地利用间的关系, 进一步的研究应该考虑多个变量, 例如海拔、温度、人口、GDP 等。

## 参考文献

- [1] Ma Guoxia, Xu Yong, Tian Yujun. Spatial analysis of economic growth convergence mechanism in Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(3): 590~598 [马国霞, 徐勇, 田玉军. 京津冀都市圈经济增长收敛机制的空间分析. *地理研究* [J], 2007, 26(3): 590~598]
- [2] Xu Jianguang, Yin Haiwei, Zhong Guifen, et al. Study on African economy structure based on spatial autocorrelation [J]. *Economic Geography*, 2006, 26(5): 771~791 [徐建刚, 尹海伟, 钟桂芬, 等. 基于空间自相关的非洲经济格局 [J]. *经济地理*, 2006, 26(5): 771~791]
- [3] Me Bin, Wang Jinfeng, Zhang Wenzhong, et al. Evaluation of regional disparity in China based on Spatial Analysis [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(4): 393~400 [孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的区域差异研究 [J]. *地理科学*, 2005, 25(4): 393~400]
- [4] Du Guoming, Zhang Shuwen, Zhang Youquan. Analyzing spatial autocorrelation of population distribution: A case of Shenyang city [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(2): 383~390 [杜国明, 张树文, 张有全. 城市人口分布的空间自相关分析——以沈阳市为例 [J]. *地理研究*, 2007, 26(2): 383~390]
- [5] Xie Hualin, Li Bo, Liu Lining, et al. Study on spatial feature of soil nutrients based on integration of spatial statistical analysis and GIS in farming-pastoral zone [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2): 73~76 [谢花林, 李波, 刘黎明, 等. 基于空间统计学和 GIS 农牧交错带土壤养分空间特征分析——以内蒙古翁牛特旗为例 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 73~76]
- [6] Zong Yueguang, Zhou Shangyi, Peng Ping, et al. Perspective of road ecology development [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2396~2405 [宗跃光, 周尚意, 彭萍, 等. 道路生态学研究进展 [J]. *生态学报*, 2003, 23(11): 2396~2405]
- [7] Forman R T T. Road ecology: a solution for the giant embracing us [J]. *Landscape Ecology*, 1998, 13: iii~v
- [8] Forman R T T, Alexander L E. Roads and their major ecological effects [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998, 29:

- 207~ 231
- [ 9] Robert H. Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003
- [ 10] Liu Shiliang, Wen Minxia, Cui Baoshan. Ecological effects of different road classes on landscape in the Lancang River Valley[J]. *Geographical Research*, 2007, 26(3): 485~ 490[刘世梁, 温敏霞, 崔保山. 不同道路类型对澜沧江流域景观的生态影响[J]. *地理研究*, 2007, 26(3): 485~ 490]
- [ 11] Zhang Xinghui, Dong Wei. Evaluating and analyzing the degree of harmony in valley: A case of LRGR in Yunnan[J]. *Environmental Protection*, 2007, 3B: 66~ 69[张向晖, 董伟. 流域协调度评价及分析——以云南纵向岭谷区为例[J]. *环境保护*, 2007, 3B: 66~ 69]
- [ 12] Chen Xiaoyong. Spatial autocorrelation of genetic structure in a population of cyclobalanopsis glauca in Huangshan, Anhui[J]. *Acta Phytocoecologia Sinica*, 2001, 25(1): 29~ 34[陈小勇. 安徽黄山青冈种群遗传结构的时空自相关分析[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(1): 29~ 34]
- [ 13] Sanjeev S, Helena T, Richard L, et al. An exploratory spatial data analysis approach to understanding the relationship between deprivation and mortality in Scotland. *Social Science & Medicine*, 2007, 65: 1942~ 1952
- [ 14] Cliff A D. Spatial Autocorrelation[R]. London: Pion, 1973: 7~ 17
- [ 15] Hu Qingfeng, Zhang Ziping, He Rong, et al. Study on spatial statistical analysis of regional economic growth rate based on Geoda 095i[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2007, 30(2): 53~ 55[胡青峰, 张子平, 何荣, 等. 基于 Geoda 95i 区域经济增长率的空间统计分析研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2007, 30(2): 53~ 55]
- [ 16] Li Xindong, Guo Zhixing, Deng Nanrong, et al. Analysis of spatial variability for the fractal dimension and stability indexes of land use type[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(2): 627~ 631[李新东, 郭治兴, 邓南荣, 等. 土地利用类型的分维值和稳定性指数空间变异分析[J]. *生态环境*, 2007, 16(2): 627~ 631]
- [ 17] Qi Bingwen, Wang Qiumin, Chen Chongcheng, et al. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land use in Fujian Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(2): 311~ 320[邱炳文, 王钦敏, 陈崇成, 等. 福建省土地利用多尺度空间自相关分析[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(2): 311~ 320]
- [ 18] Anselin L. Spatial econometrics: Methods and models[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1988: 284
- [ 19] Li Yuehui, Hu Yuanman, Li Xizhen, et al. A review on road ecology[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 447~ 452[李月辉, 胡远满, 李秀珍, 等. 道路生态研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 447~ 452]
- [ 20] Li Shuangcheng, Xu Yueqing, Zhou Qiaofu, et al. Statistical analysis on the relationship between road network and ecosystem fragmentation in China[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 77~ 85[李双成, 许月卿, 周巧富, 等. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 77~ 85]
- [ 21] Li Liguang, He Xingyan, Li Xizhen. Research advances in depth of edge influence of landscape boundary[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(5): 935~ 938[李丽光, 何兴元, 李秀珍. 景观边界影响域研究进展[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 935~ 938]

## Spatial Analysis of Road Network and Ecosystem Affected in LRGR

LIU Shiliang, WEN Minxia, CUI Baoshan, FU Wei, YANG Min

(School of Environment State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** Road network and its extension have important impacts on ecosystem. Exploring relation between road network and ecosystem can provide some reference value for road and surrounding ecosystem management. Based on the road network of LRGR, spatial discrepancy of regional road network distribution was investigated using Exploratory Spatial Data Analysis. Then we counted land use area affected by road network in each counties and studied the variability for fractal dimension and stability indexes of land use. Through spatial regression analysis, we studied relation between road network and land use. The results showed that the distribution of road network and land use affected in LRGR was spatial clustering of similar value. Regression analysis indicated that spatial expansion of road network was not only correlation with regional land use, but also with spatial lag factors.

**Keywords** LRGR; road network; exploratory spatial data analysis; spatial regression model