

文章编号: 1008- 2786- (2006) 1- 054- 06

高速公路建设对山地景观格局的影响 ——以云南省澜沧江流域为例

刘世梁¹, 崔保山¹, 杨志峰¹, 甘 淑², 董世魁¹

(1 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 2 云南大学亚洲国际河流中心, 云南 昆明 650091)

摘 要: 以云南省土地利用图为基础图件, 借助地理信息系统软件, 运用景观生态学原理和方法研究云南省国际大通道建设对山地景观格局的影响, 选择了澜沧江流域中下游两个典型区公路段, 通过计算不同缓冲区景观格局指数的变化来定量研究公路建设对景观格局影响规律。结果表明, 道路修建直接导致景观格局改变, 斑块数目、斑块密度、边缘密度和分维数增加, 景观异质性增加; 进一步研究表明, 道路建设对缓冲区 200 m 内的景观格局直接影响最大, 200 m 外的影响趋于缓和; 而多样性指数和均匀度指数在不同缓冲区变化不是很大; 分析结果也表明, 澜沧江中下游土地利用的空间分异和地貌差异也导致道路建设对景观格局影响不同。

关键词: 景观格局; 道路建设; 地理信息系统; 格局指数

中图分类号: P901

文献标识码: A

我国公路建设已进入高速发展阶段。公路建设对区域政治、经济、文化等发展起着促进作用, 但公路具有经过地区广, 影响范围大, 影响因素多及难于弥补和预测等特点, 其建设对生态系统及其景观也产生重大的影响。道路建设主要造成景观的破碎化和边缘效应, 目前的研究多以交通干线本身为主, 对生态系统的影响研究尚处于起步阶段^[1-4]。土地利用研究的深入也使得交通干线缓冲区的土地利用和景观格局的变化受到极大的关注^[5]。

景观格局是指景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置^[6]。数量化分析景观组分的空间分布特征及其景观格局变化, 是进一步研究景观功能和动态的基础^[7-8]。景观格局影响并决定着各种生态过程^[6], 过程产生格局, 格局作用于过程, 两者之间的关系又依赖于不同的研究尺度^[6]。20世纪 90年代以来, 对道路影响带等的研究, 主要是研究道路与景观格局和过程的关系^[4]。道路影响首先表现在景观结构组分(或景观要素)的空间结构、相互作用

及功能的变化和演替上。道路改变了景观格局, 同时受制于景观格局。由于道路特殊的线性特点, 往往难以量化研究其对某一生态系统的影响, 道路建设的时限性也决定了其对景观格局的影响具有相当大的作用, 目前国内的研究仍集中在概念或者框架上, 缺少进一步的定量分析^[4,9]。研究道路建设对景观格局的影响有利于维护区域生态环境建设的规划管理与区域持续发展, 为景观功能设计及景观动态研究提供基础信息。

云南作为我国唯一能从陆路通过东南亚各国的省份, 在连接中国、东南亚、南亚三大市场中具有十分突击的战略地位。在实施西部大开发战略期间, 云南每年公路建设投资都在 100 亿元左右, 已在全国交通大动脉的“神经末梢”快步走到对外开放的“前沿”, 进而成为国际大通道的枢纽。本研究以云南省国际大通道的建设为例, 从不同尺度上研究道路建设对不同缓冲区景观的影响, 同时选择了澜沧江流域两段为典型区, 研究高速公路建设所带来的

收稿日期 (Received date): 2005- 09- 11; 改回日期 (Accepted): 2005- 12- 01。

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

作者简介 (Biography): 刘世梁, (1976-), 男, 汉族, 山东省沂水县人, 博士, 讲师, 主要研究领域: 土地利用与景观生态学方向。[Liu Shiliang (1976-), male, the Han nationality. Mostly field landscape ecology and land use. E-mail: shiliangliu@163.com]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

景观变化。澜沧江流域由于具有特殊自然环境和生态系统特征, 使得研究道路对该区景观格局的变化具有重要现实意义^[10]。

1 研究区概况

研究选择了位于云南省的两条国际大通道的公路段, 分别是昆瑞公路(昆明-大理-瑞丽)澜沧江中游大理段, 昆磨公路(昆明-思茅-磨憨)澜沧江下游思茅段。这两条国际大通道都是高速公路, 其中山岭区按 4 车道高速公路标准建设, 路基宽 22.5 m。目前云南省的两条国际通道尚未完全通车, 澜沧江中游大理段已经建设完成, 工程于 1998 年开工, 于 2002 年试通车; 而澜沧江下游思茅段正在建设中。澜沧江中游地势险峻, 地貌复杂, 山高谷深, 沟壑纵横, 属于典型的纵向岭谷区, 澜沧江下游西双版纳地区地处中国西南横断山脉向南延伸的帚状山地, 没有气势宏大的高山峡谷, 却有由坝子(或沟谷)与低山山地相间排列构成的地貌格局, 地貌、气候、植被及其人类干扰的不同, 导致了同等级的道路建设所导致的生态影响存在差异。为方便比较, 选择道路长度大致相同, 约为 90 km。图 1 是研究区位置图。

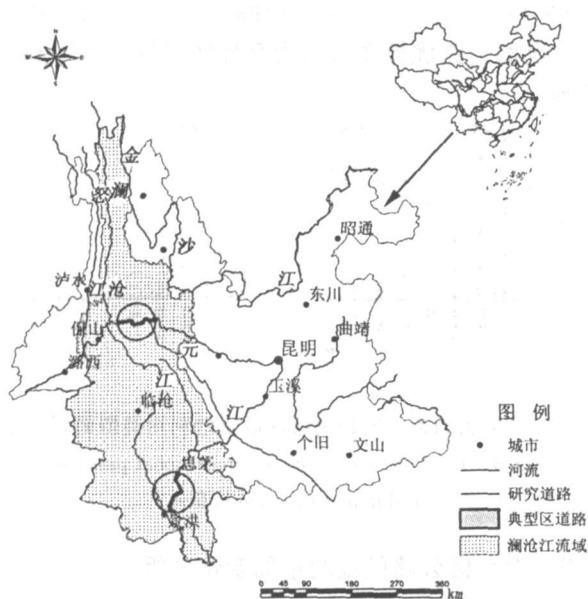


图 1 国际大通道及典型公路段研究区示意图

Fig 1 Location of the international passages and the study representative road sects

2 研究方法

2.1 理论假设和数据处理

利用云南省澜沧江流域 2000 年的 1:10 万土地利用类型图, 这些类型分属于水田, 旱地, 有林地(郁闭度 > 30%), 灌木林, 疏林地, 高覆盖草地, 中覆盖草地, 城镇用地, 工交建设用地基本类型。道路在修建后及其修建过程中, 对道路周围的生态系统产生不同的影响, 这种生态效应及其影响的差异可以由影响因子或被影响受体的不同而不同, 也可以由道路影响带的距离不同而变化, 同时也可以由于研究的尺度不同而改变(图 2)。研究的目不同, 所选择的研究尺度也不一样。

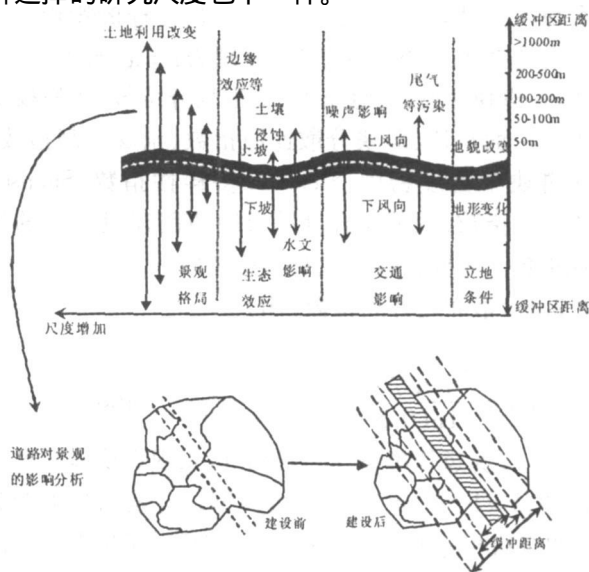


图 2 道路建设对景观的影响及分析方法

Fig 2 Sketch map of direct effect due to road construction and if s analysis is method

Foman 等人研究高速公路对不同生态因子的影响范围表明, 生态因子的受影响范围至少在 100 m 以上, 有些因子可以达到 1 000 m, 平均影响范围 600 m 左右^[3,9], 对于景观格局的变化, 目前尚缺少定量的描述, 传统分析方法利用行政、流域边界或者某个假定的缓冲区, 方法不尽完善。考虑到道路建设的时限性, 为分析道路建设对景观格局的影响, 假设道路建设前土地利用类型没有受到其他工程的影响, 仅仅考虑其切割作用。图 2 显示了道路的景观影响的分析方法。在道路数字化后, 利用 ArcGIS 软件, 建立道路修建前后不同距离的缓冲区 (100 m, 200 m, 500 m, 1 000 m, 2 000 m), 研究不同距离缓

冲区内景观格局的变化速率,建立缓冲距离和景观格局变化的定量化联系,分析道路建设前后景观格局指数的变化,以期获得道路建设对景观格局的具体影响及其范围。分析利用处理后的矢量数据文件转换为景观分类栅格图(网格分辨率为2 m),在 Arcinfo的支持下,利用 FragstaB.3 计算选取的景观指数^[11],由于道路景观格局的特殊性,选取5 km 道路长度作为分析单元,后对研究道路段进行均值分析。

2.2 指数的选择

景观格局指数能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征。通过对景观格局的分析,有助于分析景观组成单元的形状、大小、数量和空间组合;有助于对宏观区域生态环境状况评价及发展趋势分析;同时也有助于探索自然因素与人类活动对景观格局及动态过程的影响^[12]。本文选择了三类景观指数,分别为:总面积、斑块数目、斑块密度、边缘密度;平均分维数、面积权重周长-面积比、斑块分散连通指数、景观分割指数;

斑块丰富度密度、Shannon 多样性指数、Simpson 均匀度指数,景观聚合度等反映道路建设影响的景观指数。主要指数公式及其意义如下。

2.2.1 散布与并列指数 (IJI)

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m I \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \times \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right)}{\ln(0.5 \times [m(m-1)])} \times 100 \quad (1)$$

式中 i 为斑块类型, m 为研究区景观斑块体的类型总数; $k=1, \dots, m$: 表示斑块类型; e_{ik} : 表示与类型为 k 的斑块相邻的斑块 i 的边长。IJI 对于生态系统的分布特征反映显著,彼此邻近的生态系统类型 IJI 值一般较高。

2.2.2 景观分割指数

$$SPLI = \frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2} \quad (2)$$

式中 a_{ij} 为斑块 ij 的面积, A 为总面积,分割指数越大则破碎化程度越高。

2.2.3 香农多样性指数 (SHDI)

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i) \quad (3)$$

式中 P_i 是第 i 类斑块体占景观总面积的比例; m 是研究区景观斑块体的类型总数。在一个景观系统中,土地利用越丰富,计算出的 SHDI 值也就越高。

2.2.4 Simpson 均匀度指数 (SEI)

$$SEI = \frac{1 - \ln \sum_{i=1}^m P_i^2}{\ln m} \quad (4)$$

式中 i, m, P_i 含义同上。SEI 越高说明景观中没有明显的优势类型且各斑块类型在景观中均匀越分布,有更大的多样性。

2.2.5 聚合度指数 (AI)

$$AI = \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{g_{ii}}{m \times g_{ii}} \right) P_i \right] \times 100 \quad (5)$$

式中 g_{ii} 为邻近相同类型的斑块数目, $m \times g_{ii}$ 为最大的相邻斑块类型数目;聚合度指数越大,表明景观斑块的几何程度越高。

3 结果与讨论

3.1 高速公路影响的景观面积分析

昆瑞公路和昆磨公路两条国际大通道所经过地区的生态系统类型复杂,土地利用类型也较多。总体来说,由于两条国际大通道穿越的地貌类型不一样,影响的斑块数目、类型等有较大的差异。图3是道路不同距离的缓冲区所影响到景观面积,可以看出,昆瑞公路在不同缓冲区内,影响最多的是旱地,其次是有林地(郁闭度 > 30%)地和疏林地;而昆磨公路主要影响有林地,其次是旱地和疏林地。从景观面积看出,昆瑞公路缓冲区水田、旱地、有林地、灌丛、疏林地比例较高,分别占18%, 28%, 21%, 9.3%和15%,而不同缓冲距离上,景观比例变化不大。昆磨公路优势度依次为有林地、旱地、水田和疏林地。

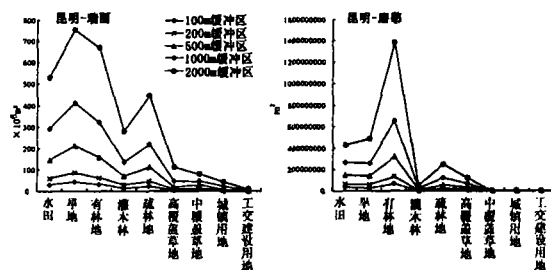


图3 国际大通道不同距离缓冲区土地利用类型面积变化
Fig 3 Land use variations of international passages in different distance buffers

3.2 典型区公路段景观格局变化分析

对格局变化的数量分析,主要是辨识公路建设前后对景观格局所造成的直接影响。由于道路建设的特殊性,在建设过程中,可以认为建设期道路缓冲区土地利用格局的变化主要是受到工程扰动的结果。在此基础上,分析道路的切割作用,研究景观格局的变化规律,对公路建设及其运营期的生态保育

和恢复具有重要意义。

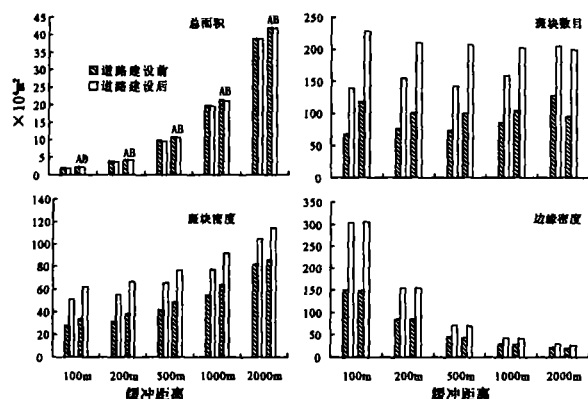


图 4 道路修建前后不同缓冲距离景观格局变化趋势 I
(A: 大理段; B: 思茅段, 下同)

Fig 4 Landscape pattern change in different distance buffers before and after road construction - I (A: Dali sect; B: Simao sect)

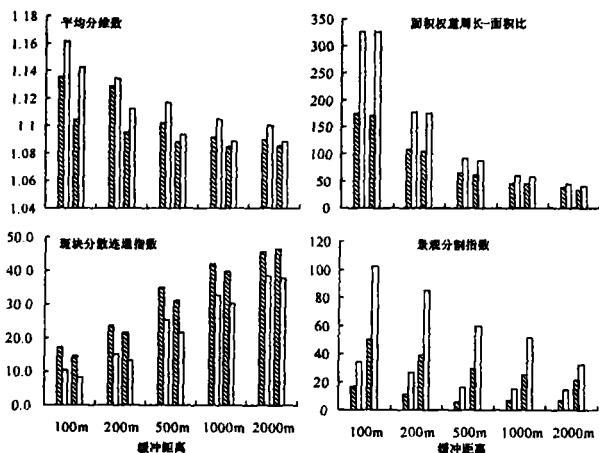


图 5 道路修建前后不同缓冲距离景观格局变化趋势 II
Fig 5 Landscape pattern change in different distance buffers before and after road construction - II

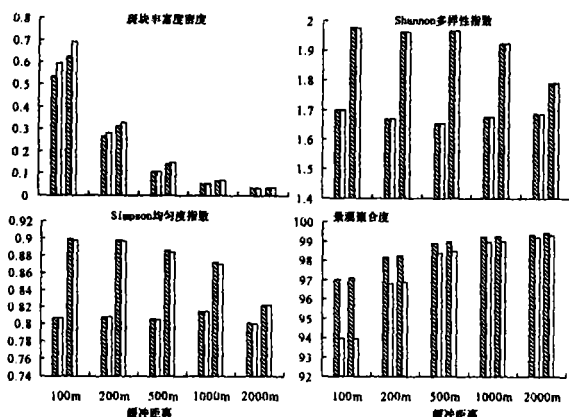


图 6 道路修建前后不同缓冲距离景观格局变化趋势 III
Fig 6 Landscape pattern change in different distance buffers before and after road construction - III

图 4 图 5 图 6 显示的是澜沧江中下游典型区公路段 (A: 大理段; B: 思茅段) 在 100 m, 200 m, 500 m, 1 000 m 和 2 000 m 缓冲区内景观指数的变化。选择的指数分属于面积 密度 边缘指数, 形状指数、连通性指数和多样性指数系列。

从图 4 中可以看出随道路缓冲区的增大, 斑块面积、数目增加; 而斑块密度和边缘密度减少。对比道路建设前后发现, 道路建设导致生态系统破坏, 面积减少, 斑块数目增加, 而且斑块密度和生态系统的边缘密度也增加, 在 200 m 内变化幅度较大。对比不同典型区, 大理段和思茅段道路在不同缓冲区的面积、斑块数目、斑块密度和边缘密度在建设前后的变化趋势相同, 但斑块数目差异较大, 思茅段较大理段多, 而且不同缓冲区变化不显著, 原因是思茅地处澜沧江下游, 地势较大理段平缓, 而且人类干扰多, 生态系统斑块数目多, 而且均质化。

分形分析主要分析斑块类型及其整个景观的破碎度, 分维数反映了景观的复杂程度。图 5 表明, 道路建设后分维数增加, 说明景观异质性增加; 随着缓冲距离的增加, 分维数降低, 周长-面积比具有同样的趋势, 说明道路建设对景观破碎度的影响随着距道路的距离越大而变小。从景观的连通性来看, 斑块的分散-连通指数在道路建设后降低, 说明道路的切割作用明显, 而随着缓冲距离增大, 连通性也增加, 景观分割指数则具有和连通性指数相反的趋势。从思茅段和大理段缓冲区对比可以看出, 思茅段的景观分割指数远远大于大理段。从地貌来看, 虽然澜沧江中游大理段地势较为险峻, 但是土地利用类型由于人类干扰少, 所以道路所穿越的土地利用类型较少; 而思茅段由于地处坝子和低山交错区, 土地利用类型所形成的斑块数量大, 斑块面积小, 类型多, 道路所产生的影响也较大。从土地利用和地貌关系来看, 地势平坦的地区, 人类活动剧烈, 土地利用的斑块化也较为强烈。

景观多样性可反映一个景观中不同景观类型分布的均匀化和复杂化程度。图 6 显示, 虽斑块丰富度密度有所增加, 但是 Shannon 多样性指数、Simpson 均匀度指数在建设前后变化不大, 说明道路建设后, 景观类型没有受到大的影响。而且从区域角度来说, 景观类型的均匀度也变化不大, 这比较符合道路建设的线性特点。但和其他研究相比, 结果稍有不同, 原因是本研究没有考虑其他干扰的影响, 由于道路建设往往伴随周边土地利用的剧烈改变, 以往

的研究在探讨景观格局指数的变化时, 主要分析的是道路建成后对景观的潜在影响。图 6 景观聚合度的结果表明, 随着缓冲距离增大聚合度增加, 200 m 缓冲距离内变化幅度最大。

选取斑块密度、边缘密度、平均分维数、面积权重周长-面积比、斑块分散连通指数、景观分割指数、斑块丰富度密度、景观聚合度变化指数, 利用距离作为变化速率的权重, 分析缓冲距离间的变化率, 辨析缓冲区和景观格局变化的关系, 以思茅段和大理段平均值作为比较, 结果如图 7 所示。可以看出, 缓冲距离在 200 m 内, 景观格局受到道路建设的影响最大, 200~500 m 距离内, 景观指数变化率降低一倍以上, 而 500 m 外, 景观格局指数变化率趋于平缓。这说明道路建设后, 对景观的影响以 200 m 内最大。Forman 等对道路建设的影响因子进行研究, 表明各种生态因子的平均影响范围在 600 m 左右。

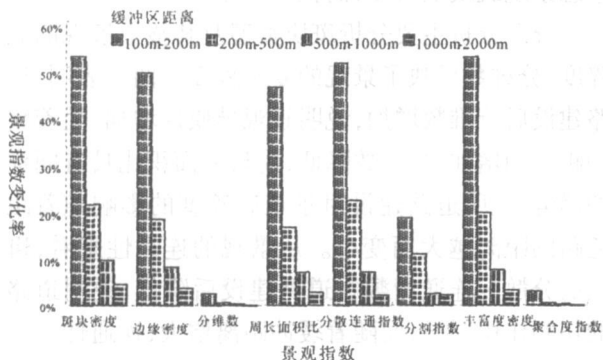


图 7 道路建设后不同缓冲区景观指数变化率

Fig 7 Change rate of landscape index in different distance buffers after road construction

4 小结

从景观格局的数量化分析入手, 选取了云南省澜沧江流域典型区域国际大通道建设为案例, 对道路建设前后和景观格局的变化规律性进行了探讨。结果表明, 道路的切割作用对景观格局的影响在不同缓冲距离上变化的规律不同, 而且道路所穿越的区域的差异, 所造成的景观变化也不一样。总的来说, 道路建设对景观格局的直接影响反映在生态系统面积减少, 斑块数目增加, 斑块密度和边缘密度增加上, 同时分维数、周长-面积比的增加, 分散-连通指数、景观聚合度降低, 景观分割指数增加, 但多样性指数和均匀度指数变化不大。对于不同缓冲区尺度来说, 200 m 范围内的景观格局是道路建设影响最为剧烈的区域。

澜沧江中游和下游的土地利用空间分异是导致公路建设对景观格局影响强弱的关键因素, 对于道路产生的影响域及其造成的景观格局变化来说, 更多的受制于道路穿越区地貌的变化, 虽然地貌差异对土地利用有影响, 但是影响域的大小和地貌关系可能更为紧密。澜沧江中游地势险峻, 下游地貌是沟谷和低山相间, 所以同一段道路在不同地貌情况下, 其景观格局变化也不同, 而道路影响域的确定也是道路生态学所面临的难点之一。从景观格局入手, 利用假设分析格局指数变化, 能够对道路所产生的区域景观格局变化有一定的了解。总体上来看, 道路所带来的景观生态效应研究处于起步阶段, 许多具体问题如道路影响带的大小, 道路景观的划分单元, 适合的景观分辨率等值得进一步商榷。作为研究道路生态效应的分析方法, 景观格局的分析可为进一步研究道路和生态系统的交互作用机制等研究提供有益的启示。同时道路对生态系统的生态效应还受到地形、地貌、干扰强度等诸多因素的影响, 需要进一步加强野外调查的研究。

参考文献 (References)

- [1] Chen Hui, Li Shuanchen, Zhen Du. Features of ecosystems alongside Qinghai-Xizang highway and railway and the impact of road construction on them [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(5): 559~567 [陈辉, 李双成, 郑度. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响 [J]. *山地学报*, 2003, 21(5): 559~567]
- [2] Van Bohemen H D. Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering [J]. *Ecological Engineering*, 1998, 11: 199~207
- [3] Forman R T T, Deblinger R D. The ecological road effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway [J]. *Conservation Biology*, 2000, 14: 36~46
- [4] Li Yuehui, Hu Yu'aman, Li Xuzheng, 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]
- [5] Zhang Yili, Han Jianzhong, Liu Lishan, et al. Impact of Qinghai-Xizang Highway on land use and landscape pattern change From Golmud to Tanggula Shan pass [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 253~266 [张镭铿, 阎建忠, 刘林山, 等. 青藏公路对区域土地利用和景观格局的影响——以格尔木至唐古拉山段为例 [J]. *地理学报*, 2002, 57(3): 253~266]
- [6] Chen Wenbiao, Xiao Duming, Li Xuzheng. Classification, application and creation of landscape indices [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 121~125 [陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 121~125]
- [7] Ma Kening, Fu Bojie. Landscape pattern and fragmentation in Donglingshan montane region [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000,

- 24(3): 320~ 326 [马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 320~ 326]
- [8] Forman R T T, Godron M. Landscape Ecology [M]. New York: John Wiley and Sons, 1986
- [9] 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]
- [10] Gan Shu He Daning Dang Chenglin. The comparison of three case study area on landscape structure of Lancang River basin in Yunnan Province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(5): 564~ 569 [甘淑, 何大明, 党承林. 澜沧江流域上中下游典型案例区景观格局对比分析 [J]. 山地学报, 2002, 20(5): 564~ 569]
- [11] McGarigal K, Marks B F. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure: Reference manual [M]. Corvallis Oregon: Forest Science Department Oregon State University, 1994: 89~ 134

Effects of Highway Construction on Mountain Landscape Pattern

——A Case Study in Lancangjiang River Valley of Yunnan Province

LU Shiliang¹, CUI Baoshan¹, YANG Zhifeng¹, GAN Shu², DONG Shiku¹

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

2 Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091 China)

Abstract Ecological conservation on landscape scale is a vital way to construct regional ecological security pattern and road landscape ecology research has important role in road zone construction. As a special land use in landscape, road has "corridor-barrier" role and effects on surrounding landscape. The study focuses on regional landscape pattern change of two international passages construction by GIS software based on the land use map of Yunnan province. Two representative road sects were selected in middle (Dali sect) and lower reaches (Simao sect) of Lancangjiang River valley and certain landscape indexes of different road buffers including 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m, 2000 m were calculated to quantify the effects of road construction. The results showed landscape pattern changed greatly after road construction. Patch number, patch density, edge density and fractal dimension increased showing the landscape heterogeneity increased. Due to different land use and elevation, landscape index differed in the two sects. Patch number, landscape aggregation, edge density and landscape split index were greater in Dali sect but the diversity and evenness index showed little change in different buffers. Direct effect was mainly limited in the 200 m road buffer region based on the landscape indexes including the patch number, landscape aggregation, and edge density change. The comprehensive index show little change beyond the 200 m buffer. The results also showed that effects of road construction exhibited different due to the different land use and topography of the two regions.

Key words landscape pattern; road construction; GIS; pattern index