

基于地理加权回归的漫湾库区景观破碎化 及影响因子分析

刘世梁, 刘琦, 王聪, 赵清贺, 邓丽, 董世魁

(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:应用地理加权回归模型分析漫湾库区景观破碎化指数——有效筛网大小与相关因子之间的空间关系。选取的解释变量分别是距道路的距离、距乡村的距离、距河流的距离、坡度。结果表明:大坝修建后4种解释变量与有效筛网大小呈现较显著的正相关性。与线性回归模型相比,地理加权回归模型的拟合效果显著提高。1974~1988年,有效筛网大小对各影响因子最敏感的区域面积呈现显著的时空变化这为确定水电站建设及其他因素对景观破碎化影响的大小,并进一步改善库区景观破碎化的现状提供了依据。

关键词:景观破碎化;有效筛网大小;地理加权回归;漫湾

中图分类号:P901 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2014)07-0856-07

景观的破碎化是指由于自然或人文因素的干扰所导致的景观由简单趋向于复杂的过程,即景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体的过程^[1]。其中以人类活动的干扰为主,例如道路建设、城市化、土地利用的改变等。景观破碎化对自然生态系统及城市化的生态系统的保护、农业安全造成严重威胁^[2],对城市热环境的变化存在显著影响^[3]。目前对景观破碎化的研究主要集中在采用景观指数对景观破碎化特征进行描述^[4-6],对生物多样性^[7]及栖息地^[8]的破坏研究,及其带来的对生态系统其他过程和功能的影响^[9]。此外,虽然有学者对道路、土壤裸露等影响破碎化的因子进行了探究^[10-12],但大多局限于单一因子及多个因子的定性研究。

水电开发能够导致土地利用及覆被的变化,继而改变陆地景观格局和生态学过程。澜沧江作为一条国际河流,其水电开发目前受到广泛关注。作为澜沧江水能梯级开发的第一个干流大型水电站,漫湾水电站的建设对库区景观格局及过程也造成了一定影响^[13,14]。漫湾水电站建设之前人类活动对景观格局的干扰较小,主要为农林渔业生产活动,而且生产水平较低,人类干扰的年际

变化小^[15]。自漫湾水库蓄水后,天然水位从891 m提高到994 m,原994 m以下的陆地环境全部被淹没,河谷景观随之消失,在1 000~1 500的坡度稍缓的谷坡地带,200 hm²的次生林地、荒草地被开垦成耕地^[16],尤其是位于较陡山坡上的旱耕地,多为水库移民开垦,因造地困难,缺乏梯、台地整治,对植被景观影响很大^[16]。加之水库旁的山体滑坡,泥石流现象频繁等自然因素,导致库区景观遭到很大破坏,尤其是大坝区域景观破坏尤为严重^[16]。有研究表明,随着漫湾电站库区人类活动的干扰程度不断增强,库区景观格局在近30 a发生显著变化,景观基质表现出破碎化加剧^[15]。景观格局的破碎化使该流域的生态环境恶化,动植物栖息地遭到破坏,动植物种类减少,研究显示澜沧江流域几百种动植物已经消失,15%的动植物濒临灭绝^[16]。漫湾水电站的建设虽然促进了地方经济的发展,但经济发展的空间结构变化并不明显,景东和云县的财政收入较高,南涧较低,同时主要经济活动仍为农林渔业生产,而且其生产水平对地形的依赖非常明显^[15]。因此,人类干扰及地形因子对漫湾库区景观破碎化的影响具空间分异性,以往对景观破碎化研究侧重整体景观格局的变化^[12,14,17],较少

收稿日期:2013-05-03; 修订日期:2013-08-22

基金项目:国家自然科学基金项目(50939001)、环保公益项目(2012090290)、中央高校基本科研业务费专项资金(105564GK)资助。

作者简介:刘世梁(1976-),男,山东沂水人,副教授,博士,主要从事景观生态研究。E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

考虑其对影响因子响应的空间异质性,并且对人类干扰及自然因子的影响大多侧重于定性的描述^[16,18],缺乏定量化的分析。为探讨漫湾库区景观破碎化与其影响因子在空间上的定量关系,本文一方面分析在空间上各影响因子与有效筛网大小的关系,进而比较在空间中不同因子对景观破碎化的贡献大小,另一方面,由于在不同时期,各影响因子在空间中变化显著,如道路的长度及位置在漫湾水库建设前后呈现很大的变化,因此对有效筛网大小的影响也呈现不同的时间差异。因此,本文选择具有代表性的影响因子来研究上述内容,具有很大的现实意义,为进一步确定漫湾水电站建设和其他人为及自然因素对景观破碎化的贡献大小,减缓景观破碎化对生态环境带来的负面影响提供依据。

1 研究区概况

澜沧江全长 4 880 km,在中国境内长 2 160 km,流经 7 个气候带,地理环境复杂多样。根据澜沧江水能开发规划,澜沧江中下游河段上将陆续建设 8 座梯级电站,形成总装机容量达 $1\,555 \times 10^4 \text{ kW}$ 的水电群体。漫湾水电站坝址位于澜沧江中游,约 $100^\circ 05' \sim 100^\circ 25' \text{ E}$, $24^\circ 25' \sim 24^\circ 40' \text{ N}$ 。漫湾水电站于 1986 年正式开工,1987 年 12 月大江截流,1993 年第一台机组投产发电。坝高 132 m,坝顶长度 418 m,水库宽 337.1 m,是自然河道的 2 倍,水库蓄水面积为 23.6 km^2 ,是建坝前面积的 2.8 倍。干流回水约 70 km,总装机容量为 $150 \times 10^4 \text{ kW}$ ^[19]。本研究所指的库区范围包括电站水库所涉及的澜沧江河段两岸分水岭以内的区域,上游至小湾电站附近,下游至坝址所在山脊线。整个研究区属横断山系南部帚状山脉峡谷中山区,岸坡陡峻,峰高谷深^[15]。研究区位于云南西部型热区气候区域即印度季风气候区,属于独特的河谷南亚热带半湿润气候,年平均气温为 $18 \sim 20^\circ \text{ C}$,年降水量为 $1\,000 \sim 1\,150 \text{ mm}$ ^[20]。两岸植被覆盖率高、类型多样^[21,22]。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

研究所需道路数据为在 1974、1988、2004 年的 1:100 万云南省交通图基础上对道路进行数字化,然后利用 2004 年 1:25 万中国基础地理信息中的道路要素图进行配准,并按照国家公路工程技术

标准(编号 JTJ 001-97),数字化道路要素,得到 3 a 的道路矢量数据,并结合实地调查,对道路进行修正与裁剪,获得 3 期道路矢量图,同时以水系图和居民点作为参考(图 1)。利用 ERDAS 图像处理软件结合野外调查对本研究区 1974、1988 和 2004 年 3 个时段的 LANDSAT MSS/TM 影像,在 1:5 万地形图的辅助下,进行人工目视判读与监督分类,并结合实地调研验证获取 3 个时期研究区景观类型图(图 2)。根据研究目标与实际情况将研究区划分为水域、林地、灌丛、草地、农田和建设用地共 6 个景观类型,来计算不同时期研究区景观的有效筛网大小,并通过村落图(图 3)、道路图与土地利用图叠加,计算各栅格与主干道路的距离、与乡村的距离、与河流的距离。并通过 3 个时期 1:10 万 DEM 数据提取每个栅格的坡度。

2.2 研究方法

本文结合漫湾库区破碎化现状及生态学过程,将有效筛网大小与影响破碎化的 4 个因子——距道路的距离、距河流的距离、距乡村的距离、坡度 4 个因素进行 GWR 方法拟合。揭示漫湾水电站建设前后库区破碎化的空间分布,并探究不同时期各影响因子与库区破碎化的空间关系。

1) 有效筛网大小。有效筛网大小表示在区域中随机抽取 2 个点。这 2 个点不被道路、铁路、城区或自然地物(如河流)阻隔而位于同一个非破碎化的斑块中的概率。有效筛网大小 $[m_{\text{eff}}(j)]$ 见公式(1):

$$m_{\text{eff}}(j) = A_j \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{ij}}{A_j} \right)^2 = \frac{1}{A_j} \sum_{i=1}^n A_{ij}^2 \quad (1)$$

式中, n 表示景观 j 中未破碎的斑块的个数, A_j 表示景观 j 的面积, A_{ij} 表示落在景观 j 中的斑块 i 的面积。当景观中的每个单元都是独立的斑块时(最大程度细分), m_{eff} 值最小,等于每个单元的面积。当整个景观只由一个斑块组成时, m_{eff} 值最大,等于整个景观的面积^[22]。本文用软件 Fragstats 中的移动窗口法计算有效筛网大小,移动窗口大小为 200 m。

2) 地理加权回归。目前兴起的地理加权回归(Geographically Weighted Regression, GWR)法通过计算回归模型局部参数,可很好解决模型空间非平稳性,从而大幅度提高模型拟合优度^[23]。地理加权回归模型是对传统回归分析的扩展,在地理要素的空间分析和建模中应用越来越广^[24,25]。

GWR 模型的参数是位置 i 的函数。估计参数随空间位置 i 的变化而变化。GWR 模型可表示如下:

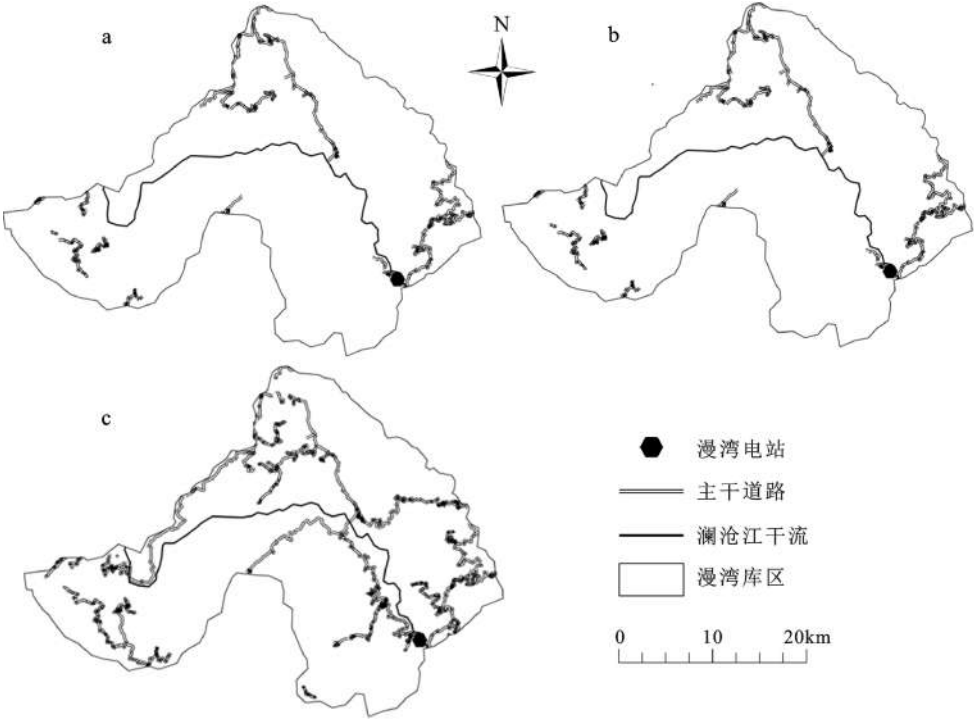


图1 不同时期漫湾库区主干道路分布

Fig.1 The main roads in Manwan Reservoir in 1974, 1988 and 2004

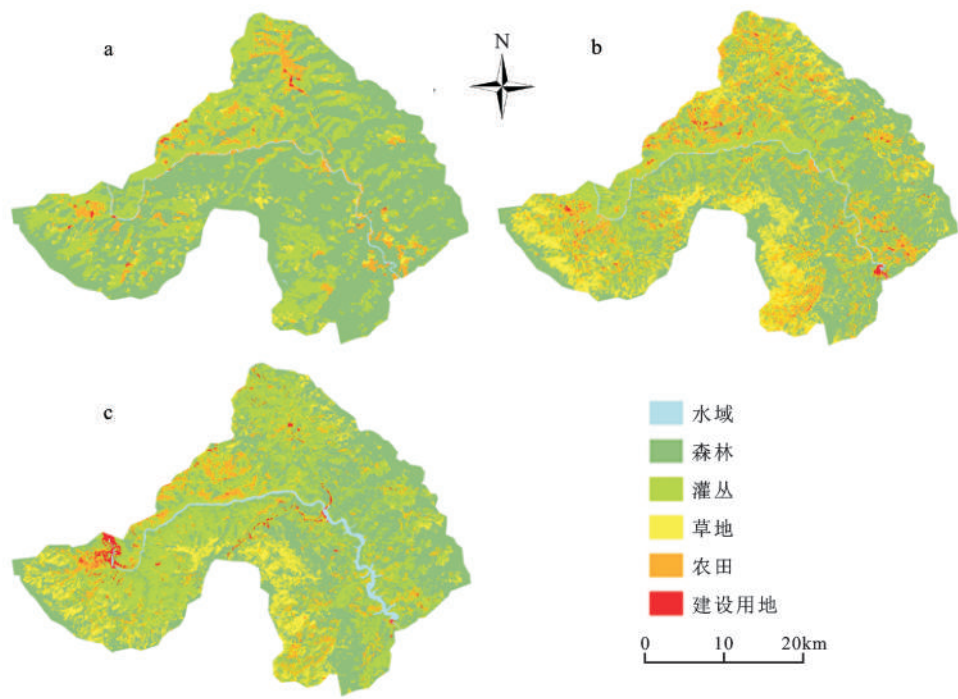


图2 不同时期漫湾库区土地利用类型

Fig.2 The land use type of Manwan Reservoir in 1974, 1988 and 2004



图3 漫湾库区村落分布
Fig.3 The distribution of villages in Manwan Reservoir

$$y_i = a_{i0}(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p a_{ik}(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中, (u_i, v_i) 为第 i 个样本点的空间位置; x_{ik} 为第 i 个样本点的独立变量; $a_{i0}(u_i, v_i)$ 和 $a_{ik}(u_i, v_i) x_{ik}$ 分别为第 i 个样本点的常数项估计值和参数估计值; P 为第 i 个样本点独立变量的个数, ε_i 为误差修正项。

本文将漫湾库区划分为 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的栅格, 分别计算距主要道路的距离、距乡村的距离、距河流的距离、坡度, 经提取得到每个栅格中自变量与解释变量的值, 共提取得到 4 662 个栅格的数据。利用 ArcGIS9.3/Spatial/GWR 工具, 以有效筛网大小为因变量, 距主干道路的距离、距乡村的距离、距河流的距离、坡度为解释变量。权重函数的校准采用自适应方法(Adaptive), 采用最小 AIC 方法确定带宽。权重函数为:

$$W_{ij} = \exp[-(d_{ij}/b)^2] \quad (3)$$

式中, b 为基带宽度; d_{ij} 为点 (u_i, v_i) 到点 (u_j, v_j) 的距离。

3 结果

3.1 相关性分析

表 1 表示了 2004 年有效筛网大小与各解释变量之间的皮尔逊相关系数, 所有解释变量均与有效筛网大小呈现较显著的正相关性。通常与道路、乡村的距离越近, 景观破碎化越强, 即有效筛网越小, 而河流作为库区中重要的影响因子改变土地利用结构, 间接造成景观破碎化。坡度影响人类活动, 坡度较缓的区域通常人类活动也较频繁, 景观破碎化程度也较强。因此, 基于皮尔逊相关性分析结果, 这 3 个变量可以作为有效筛网大小空间分析的因子。同时通过 ArcGIS 地统计分析可

表1 有效筛网大小与各解释变量的相关系数

Table 1 Pearson correlations between effective mesh size and explanatory variables

	距道路 的距离	距乡村的 距离	距河流 的距离	坡度
栅格个数	4662	4662	4662	4662
皮尔逊相关系数	0.170	0.305	0.111	0.209
显著性水平	0.01	0.01	0.01	0.01

得有效筛网大小、距道路的距离、距乡村的距离、距河流的距离、坡度在每个栅格中的值服从正态分布, 可以进行回归分析。

3.2 有效筛网大小与各解释变量关系的空间分异

每个点上有效筛网大小对各影响因素的敏感程度可以从该点的模型回归系数反映, 敏感程度越大, 说明该区域破碎化受此因子的影响较大。本研究得到每个点上回归系数中最大的值, 以此作为有效筛网大小的正向最敏感因素。分别统计 4 个影响因子作为最敏感因素的影响面积占总面积的百分比, 并以 4 种影响因子为横坐标, 以其影响面积比例为纵坐标(图 4), 可见, 1974~2004 年, 对距道路的距离最敏感的区域面积逐渐减小, 而受距河流的距离、坡度因素影响最强的区域面积逐渐增大, 受距乡村的距离的影响较强的区域面积呈现先增大后减小的趋势。1974 年有效筛网大小对坡度的敏感程度几乎为 0。

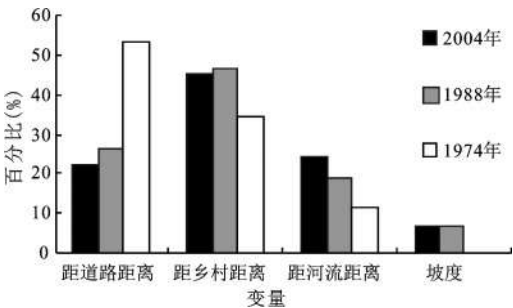


图4 1974~2004 年 m_{eff} 最敏感因素统计
Fig. 4 The most sensitive factors of m_{eff} in 1974-2004

图 5 表示了 1974、1988、2004 年空间上有效筛网大小对 4 个影响因子的敏感程度。

对距道路距离最敏感的区域(图 5 m_{eff} -道路表示的区域)面积在水电站建设前后呈现逐渐减小的趋势。在建坝之前距道路的距离是库区景观破碎化最主要的影响因素, 其影响面积占库区面积 50% 以上, 除分布在主要道路周围以外, 在村落分

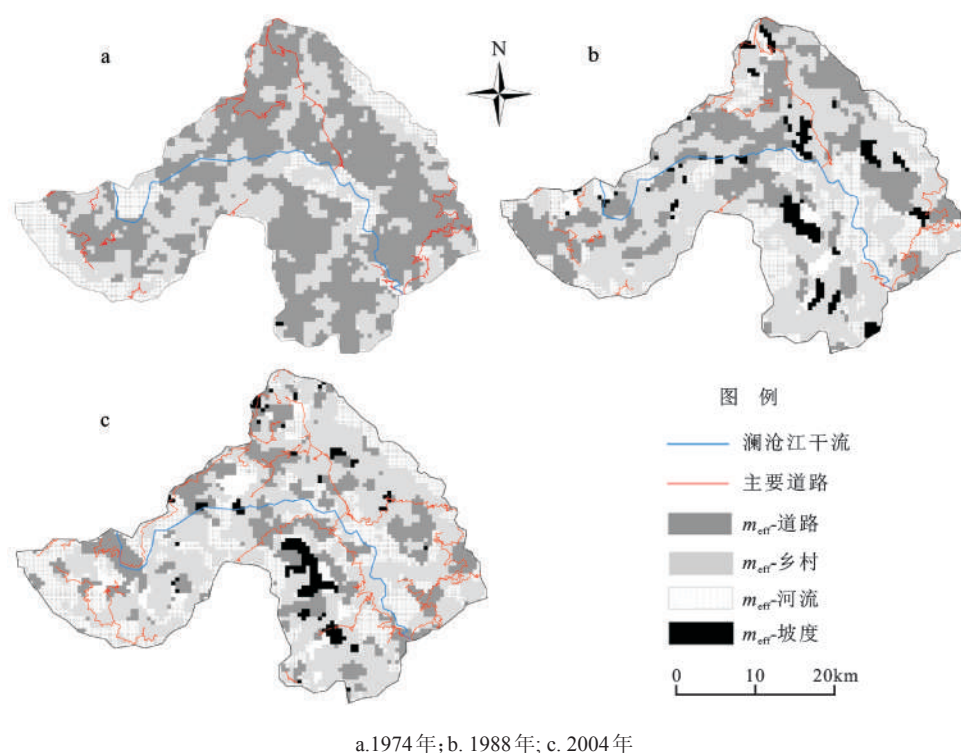


图 5 1974~2004 年 m_{eff} 最敏感因素空间分布

Fig.5 Spatial distribution of the most sensitive factors of m_{eff}

布区也广泛分布。尤其是漫湾库区河流右岸的区域主要受道路的影响。水电站建设期间,道路的影响面积逐渐缩小至库区面积的25%左右,建坝之后道路的影响面积继续减小,分布在主要道路两侧。

m_{eff} 对距河流距离最敏感的区域(图5 m_{eff} -河流表示的区域)面积在水电站建设前后呈现逐渐增加的趋势。建坝之前河流对周围景观破碎化的影响区域十分狭窄,主要分布在漫湾水库库首2 km内、库尾、库中8~13 km间的范围内。水坝建设期间, m_{eff} 对河流最敏感的区域面积增加了8%,与建设前相比,其分布区域扩展至漫湾水电站上游20 km以内、河流周围4 km的区域。水电站建成后,河流的影响区域继续扩展至整个库区,主要分布在河流周围及库区周边的区域。

m_{eff} 对距乡村距离最敏感的区域(图5 m_{eff} -乡村表示的区域)面积在水电站建设前后呈现先增加后减小的趋势。建坝之前,乡村的影响区域占漫湾库区面积的35%,分布较分散。而水电站建设期间,乡村的影响成为这一时期最主要的影响因素,影响面积接近50%,原有的块状影响区域连成片状,主要分布在漫湾库首河岸的左侧、库中河岸右侧、库尾。水电站建成后,乡村的影响范围略有减小,在

扩建道路两侧,乡村的影响区域被道路取代。

坡度对 m_{eff} 的影响在3个时期虽然最小,但也呈现出显著的变化。1974年 m_{eff} 对坡度最敏感的区域(图5 m_{eff} -坡度表示的区域)几乎为零,而1988年对坡度最敏感的区域大幅增加,在河流左右岸均有分布。

4 结论及讨论

1) 距道路的距离、距乡村的距离、距河流的距离、坡度与有效筛网大小均呈显著的相关性,说明道路、水坝的建设及农村居民活动、坡度与景观破碎化之间存在一定的关系。

2) 道路作为景观要素之一直接导致景观的破碎化。漫湾水电站建设前(1974~1988年),4种影响因子中距道路的距离是库区景观破碎化最主要的影响因子。大坝蓄水直接导致土地利用类型之间相互转化,间接导致景观的破碎化,漫湾电站的建设运行后(1988~2004年),与河流的距离对景观破碎化的影响逐渐增大。距乡村的距离能够反映农村居民活动对景观破碎化的影响,乡村对景观破碎化的影响面积在水电站建设前后呈现先增加后减小的趋势。坡度对 m_{eff} 的影响在3个时期虽

然最小,但也呈现出显著的变化。

漫湾水电站蓄水前后道路总长度发生很大变化,由于水库面积大幅增加,部分道路被洪水淹没,227.6 km的道路为新修建的公路,这使道路影响区域发生空间上的变化。1974年水电站建设之前库区的主要人类干扰为道路。而随着漫湾水电站的开工建设,1988年道路的影响程度大幅度减小,2004年 m_{eff} 对道路最敏感的区域面积继续减小。水电站建设时期, m_{eff} 对与乡村距离最敏感的区域面积最大,同时 m_{eff} 对坡度最敏感的区域面积大幅增加。这与漫湾库区的移民政策有很大关系,首先移民搬迁占用了林地、草地,修建公共设施等占用了大量林地和草地,直接影响景观格局的连续性。其次,漫湾电站移民90%是就地后靠安置,移民补偿的耕地数量不足,质量较差,为了解决后靠安置移民的耕地问题,在谷坡地带200 hm²坡度稍缓的次生丛林、荒草地被开垦成耕地,林地、草地破坏严重,直接加剧了景观破碎化。第三,坡旱地增加,而坡旱地是主要的水土流失源,据统计,1999~2000年移民自主开垦坡旱地160 hm²,致使坡旱地水土流失不断加重,生态环境更加脆弱。此外,由于移民的传统意识不强,澜沧江流域的农村50%以上的能源来自薪柴,这直接导致了滥砍滥伐的现象^[13,14]。而1996年以来,政府加大了扶持力度,尤其是2000年以来,库区实施退耕还林,库区毁林、毁草开荒现象有所改善^[16]。因此,1988~2004年 m_{eff} 与距乡村的距离最敏感的区域面积稍有降低,对坡度最敏感的区域面积增加幅度较1974~1988年显著减小。因此为了缓解库区景观格局的破碎化,避免生态环境恶化,建议政府加大力度解决库区人民生活生活的用能问题,逐步用沼气、电能代替柴薪,减少对树木的砍伐。同时建议坡度较大的旱地全部退耕还林还草,大力发展经济林木,提高移民的收入,增强移民的环境保护意识^[14,15]。

合适的尺度对于研究道路对景观破碎化的影响具有重要的意义。本文采用1:10万土地利用类型图,并通过对比发现分辨率对于数据分析的结果有很大影响,分辨率太高,可能差异不明显,分辨率太低,可能会使结果稍微偏大。较之中国全境,漫湾由于面积较小,TM影响的分辨率较为合适。尽管有效筛网大小能较好地表征景观破碎化,但是基于斑块的景观指数的计算往往具有边界效应而使计算结果不准确。目前,Moser等人提出了

调整后的有效筛网大小解决了跨边界计算的问题,无疑为以后的研究打下了基础。此外,本文中影响有效筛网大小的因素的选取还需要进一步研究,以期充分地揭示漫湾库区景观破碎化的动因,减缓破碎化的过程及降低破碎化带来的负面影响。

参考文献:

- [1] 王宪礼,布仁仓,胡远满,等.辽河三角洲湿地的景观破碎化分析[J].应用生态学报,1996,7(3):299~304.
- [2] Zeng H,Wu X B.Utilities of edge-based metrics for studying landscape fragmentation[J].Computers,Environment and Urban Systems,2005,29:159~178.
- [3] 祝善友,张桂欣,刘莹.苏州下垫面格局演变及其局地热环境效应[J].地理科学,2012,32(7):860~865.
- [4] 刘红玉,吕宪国,张世奎,等.三江平原流域湿地景观破碎化过程研究[J].应用生态学报,2005,16(2):289~295.
- [5] 黄青,王让会,吴世新.塔里木河上游景观破碎化的时空动态变化分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(9):73~77.
- [6] 李文杰,乌铁红,李晓佳.内蒙古希拉穆仁草原旅游地景观格局动态变化[J].地理科学,2013,33(3):307~313.
- [7] 吴春燕,郝建峰.景观破碎化与生物多样性的相关性[J].安徽农业科学,2011,39(15):9245~9247.
- [8] 刘红玉,李兆富,李晓民.湿地景观破碎化对东方白鹤栖息地的影响——以三江平原东北部区域为例[J].自然资源学报,2007,22(5):817~822.
- [9] 刘珍环,王仰麟,彭建,等.深圳市水体景观破碎化动态及其生态价值变化[J].北京大学学报(自然科学版),2010,46(2):286~292.
- [10] 李正国,王仰麟,张小飞.陕北黄土高原景观破碎化及其土壤裸露效应[J].生态学报,2005,25(3):422~427.
- [11] 刘佳妮,李伟强,包志毅.道路网络理论在景观破碎化效应研究中的应用[J].生态学报,2008,28(9):4352~4362.
- [12] Forman R T T.Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions[M].Cambridge MA:Cambridge University Press, 1995.
- [13] 周庆,欧晓昆,张志明,等.澜沧江漫湾水电站库区土地利用格局的时空动态特征[J].山地学报,2008,26(4):481~489.
- [14] 赵清贺,刘世梁,张兆苓,等.漫湾水电开发对库区景观动态的影响[J].生态学杂志,2011,30(10):2343~2350.
- [15] 陈丽晖,李勤.漫湾库区生产恢复障碍及其原因[J].长江流域资源与环境,2003,12(6):542~546.
- [16] 付保红,陈丽晖,朱彤.漫湾电站库区生态环境变化分析及治理对策[J].国土与自然资源研究,2005,1:54~55.
- [17] 社会石,哈斯,李明玉.1977~2008年延吉市城市景观格局演变[J].地理科学,2011,31(5):608~612.
- [18] 徐旌,陈丽晖.大型水电站建设的环境影响及生态修复——云南漫湾水电站为例[J].云南环境科学,2005,24(4):14~18.
- [19] Qinghe Zhao.Landscape change and hydrologic alteration associated with dam construction[J].International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2012,16:17~26.
- [20] 卞福久,王瑞元.云南热区农业气候资源特征及分布[J].热带地

- 理,1991,11(3): 270~276.
- [21] 崔保山,翟红娟.水电大坝扰动与栖息地质量变化——以漫湾电站为例[J].环境科学学报,2008,28(2):227~234.
- [22] Jiangbo Gao,Shuangcheng Li.Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression[J].Applied Geography,2011,31:292-302.
- [23] 马宗文,许学工,卢亚灵.环渤海地区 NDVI 拟合方法比较及其影响因素[J].生态学杂志,2011,30(7):1558~1564.
- [24] 邵一希,李满春,陈振杰,等.地理加权回归在区域土地利用格局模拟中的应用——以常州市孟河镇为例[J].地理科学,2010,30(1):92~97.
- [25] 肖琛,陈雯,袁丰,等.2000~2010年无锡市职住空间关系变化及影响因素分析[J/OL].地理科学,http://www.cnki.net/kcms/detail/22.1124.P.20130723.0953.002.html

Landscape Fragmentation and Affecting Factors of Manwan Reservoir Based on Geographically Weighted Regression

LIU Shi-liang, LIU Qi, WANG Cong, ZHAO Qing-he, DENG Li, DONG Shi-kui

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

Abstract: Applying Geographic Weighted Regression model, this article analyzed the spatial relationships between landscape fragmentation index-effective mesh size and related factors of Manwan Reservoir, Lancang River, Yunnan Province. The selected explanatory variables covers factors of nature and human activity, including distance to main road, distance to county, distance to river and slope, aiming to determining the contribution of different factors to fragmentation. The results showed that: all the related factors exhibited significant positive correlations with effective mesh size after dam construction, which indicates these three variables can be used as factors for the spatial analysis of effective mesh size. We compared GWR model with Ordinary Least Square(OLS) model which presented that GWR model gave a much better fitting result with lower AICc value and higher adjusted R^2 value. Besides, the spatial distribution of residuals can examine the validity of the results. Apparent gathering characteristic indicated that the results of the model are invalid because the key explanatory factor is lost. Therefore global Moran's I statistics on the residuals from OLS and GWR models were tested. For all the GWR models global Moran's I ranges from 0.042 7-0.344 2 ($p < 0.01$), while for all the OLS models it ranges from 0.478 6 to 0.545 8 ($p < 0.01$) which indicated that the GWR models produced smaller global Moran's I than OLS models with the same explanatory variables and reduced the spatial autocorrelation residuals of the models. Hence a GWR model improved the reliability of the relationships and was the optimization of OLS models. Coefficients of regression models reflect the sensitivity of the effective mesh size to each factor. The big coefficient represented the strong impact explanatory variable had on the effective mesh size. So we got the maximum value of coefficients as the most sensitive factor of effective mesh size. The most sensitive area to distance to road gradually reduced in 1974-1988. Before the dam construction in 1974, road was the most influential factor to the landscape fragmentation of the study area and its affected area occupied by almost 50% of study area, while after the construction and operation of Manwan hydropower station, its affected area reduced to 25% of the study area. However, the most sensitive area to distance to river and slope gradually increased. The most sensitive area to distance to county exhibited a trend of increasing firstly and then reducing. Although the impact of slope on effective mesh size in the three periods was the smallest, it showed a significant change. In terms of spatial distribution, the most sensitive area to distance to river located within 2 km to Manwan dam, the tail of the reservoir and the narrow-shaped part in the middle of the reservoir, which expanded to the entire reservoir area in 1974-2004.

Key words: landscape fragmentation; effective mesh size; Geographic Weighted Regression; Manwan