

# 基于移动窗口法的水电开发影响下 景观格局梯度分析

刘 琦,刘世梁\*,赵清贺,王 聪,邓 丽,杨珏婕,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:** 基于 GIS 技术,利用移动窗口法对漫湾水电站建设前后上下游的景观格局改变进行梯度分析,这对于确定梯级水电开发的生态效应及影响范围具有现实意义。结果表明:1974—2004 年 30 a 中,由于梯级水电站的建设,漫湾电站上下游河岸景观格局随与大坝距离的增加呈现不同的梯度变化,上游距离电站 0 ~ 10 km 内景观破碎化程度、景观多样性程度、景观丰富度最大,11 ~ 30 km 内有所降低,31 ~ 38 km 内由于上游小湾电站建设使景观格局所受干扰增强。通过上下游景观格局变化对比表明:0 ~ 10 km 内,漫湾水电开发对大坝上游的景观格局的影响大于下游,下游 10 km 之外,景观格局的变化因素具有不确定性,退耕还林政策的实施对其影响很大。

**关键词:** 移动窗口法; 梯度分析; 景观格局; 漫湾电站

中图分类号: P901

文献标识码: A

我国西部地区水能资源十分丰富,在国家开发西部的进程中,将会建设越来越多的水利工程<sup>[1]</sup>。近年来澜沧江梯级水电开发日益引起社会的关注,在产生巨大的防洪、发电、灌溉、航运等经济效益的同时,对生态及环境的负面影响日益凸显,而其带来的景观格局的时空变化是生态环境变化的基础。有研究表明,流域景观动态变化将影响区域整体的生态功能特征<sup>[2]</sup>;还有学者认为不同集水区景观结构指数与植被保水指数之间具有很高相关性<sup>[3]</sup>,水坝库区的植被类型影响土壤侵蚀过程,进而影响水库中沉积物的沉积<sup>[4]</sup>等。此外,河岸缓冲带景观格局的动态变化对水体水质也存在一定影响<sup>[5]</sup>。因此,量化分析大坝建设与周围景观格局时空演变之间的内在关联性具有重要的现实意义,为进一步研究大坝建设产生的生态效应提供了依据。特别是目前梯级水电的建设在各国受到广泛的关注,电站梯级

开发对环境影响突出的特点就是具有累积性。景观格局的变化不仅受一个工程的影响,而且还受到梯级其他工程的影响,这些影响具有叠加、累积性质<sup>[6]</sup>。因此,与单个水电建设相比,梯级水电对景观格局的影响更大。

此外,梯级水电建设对景观格局的影响,具有很强的空间分异性,在宏观尺度上,具体表现为整个流域不同梯级电站周围景观格局的变化,在中尺度上,表现在单一库区及水坝上下游景观格局的时空演变。在小尺度上,表现在水坝建设对左右岸景观格局影响的差异上。目前已有学者对梯级水电站建设造成的景观格局变化进行了研究,但大部分基于流域尺度<sup>[7]</sup>或库区尺度<sup>[8-10]</sup>,在研究方法上采用横向做缓冲区对比<sup>[11]</sup>,或沿河岸截取横断面进行对比<sup>[12]</sup>,而很少有学者研究梯级水电站间景观格局沿河岸的梯度变化。

收稿日期( Received date ): 2012 - 01 - 31; 改回日期( Accepted ): 2012 - 04 - 24。

基金项目( Foundation item ): 国家自然科学基金项目、环保公益项目和中央高校基本科研业务费专项资金资助。[The National Natural Science Fund Projects( No. 50939001 ), Nonprofit Environment Protection Specific Project of China( No. 201209029 ), Central University basic research funds( No. 105564GK ) . ]

作者简介( Biography ): 刘琦( 1988 - ),女,山东人,硕士,主要从事景观生态学研究。[Liu Qi( 1988 - ), female, born in Shandong province, master, mainly engaged in landscape ecology. ] E-mail: liuqismile@yeah.net

\* 通讯作者( Author for correspondence ): 刘世梁[ Liu Shiliang ] E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

移动窗口法与时间序列上的景观特征指数相结合,可以更加精确地实现格局变化与过程的连接,并且梯度分析有利于进一步了解电站建设对周围景观格局的影响<sup>[13]</sup>。移动窗口法最早由 Whittaker 用于分析沿水分梯度的植被变化,后来被应用在城市化过程对植被分布和生态特征的影响等方面。在景观格局分析中,移动窗口法是观察景观格局指数空间变异状况的有效手段。目前,已有学者运用移动窗口法研究城市景观格局的梯度变化<sup>[13-15]</sup>,也有学者应用移动窗口法研究湿地的地形梯度变化对物种组成和结构的影响<sup>[16]</sup>,而应用移动窗口法分析水电站建设对周围景观格局的影响还未见报道。

澜沧江作为国际河流,其水电站梯级开发目前受到广泛关注。漫湾水电站于 1986 开工,建成较早,其上下游的分别建成小湾和大朝山水电站,其历史时期的景观格局变化分析为研究其他梯级水电站的生态效应及影响范围提供借鉴。因此,本文以 1974—2004 年 3 期遥感资料为基础,运用遥感、GIS 技术和移动窗口法,以漫湾电站为结点研究小湾电站—漫湾电站—大朝山电站景观格局的梯度变化,并比较漫湾电站建设对上下游景观格局的影响。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

澜沧江全长 4 880 km,在中国境内长 2 160 km,其中云南 1 240 km,沿途山高谷深,水流湍急,蕴藏着丰富的水力资源。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  $1555 \times 10^4$  kW 的水电群体<sup>[17]</sup>。漫湾水电站是澜沧江流域梯级水电开发建设的第一级电站,坝址位于澜沧江中游,云南省的云县与景东县交界处的漫湾镇上游附近,约  $24^{\circ}25' \sim 24^{\circ}40'N$ 、 $100^{\circ}05' \sim 100^{\circ}25'E$ 。漫湾水电站于 1986 年正式开工,1993 年投产发电,坝长 418 m、高 132 m,正常蓄水位 994 m,总库容  $10.6 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,水库面积 23.6 km<sup>2</sup>,干流回水约 70 km,总装机容量为  $150 \times 10^4$  kW<sup>[10]</sup>。小湾电站是澜沧江中下游河段规划梯级中的第二级,在漫湾电站上游约 70 km 处,于 2002—01—20 正式开工,2004—10—25 提前一年实现大江截流。大朝山电站,在漫湾电站下游约 100 km 处,1993 年开始前期工程准备,于 2001 年并网发电。本研究纵向上以漫湾电站为结点,上边界至小湾电

站,下边界至漫湾电站下游 38 km 处。横向上选取澜沧江干流沿岸 1 000 m 内对水坝建设最为敏感的区域作为研究区域。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,为河道型水库<sup>[18]</sup>。研究区域属亚热带半湿润气候区,年均温  $18^{\circ}C \sim 20^{\circ}C$ ,库区河谷年降水量较为丰富,在 1 000 ~ 1 150 mm 之间,年降水量的季节分配极不均匀,一年内有非常明显的干季和雨季。月降水量百分率变化曲线多呈单峰型,雨峰出现在 7 月或 8 月,雨谷出现在 12 月或 1 月<sup>[19]</sup>。两岸植被覆盖率高、类型多样,主要有河岸半落叶阔叶混交林、山地针叶林、陡坡高草稀树林、山地常绿阔叶林、河滩灌丛和荒地灌草林<sup>[20]</sup>。

### 1.2 研究方法

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 TM 影像,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,其影像的分类精度达 91%。根据研究目标与实际情况将河岸带划分为水域、林地、灌丛、草地、农田和建设用地共 6 个景观类型,以对河岸带景观指数及其变化进行梯度分析。

本文利用 Fragstates 中的移动窗口法计算并反映河岸景观格局的梯度变化,移动窗口方法主要是通过窗口内选中的特征进行统计计算。输出对应所选景观指数的新栅格图。移动窗口在研究区内移动计算选定的景观指数,并将该值赋给中间栅格,最后输出计算结果的连续的栅格图<sup>[13]</sup>。沿澜沧江干流,以漫湾电站为中心,按 1 000 m 等距进行梯度分析,同时叠加不同时期土地利用图,栅格大小为 30 m × 30 m,用移动窗口法在景观层面计算所选择的景观指数,其中选择的移动窗口形状移为矩形,将结果的连续栅格图像导入 ArcMap 中,计算代表每个分区景观格局指数平均值,并将该计算结果输出进行分析。

### 1.3 景观指数的选取

目前景观格局指数很多,但大部分指数所指示的格局特征往往不全面,具有局限性且存在冗余。已有研究表明,漫湾水电站的建设使库区景观破碎化加剧、斑块形状更加复杂<sup>[10]</sup>。因此本研究选取斑块密度、景观形状指数、香农多样性指数,拟从破碎度、形状和多样性角度探讨研究区景观格局的梯度变化特征。各指标的生态学意义见文献[21]。

## 2 结果与分析

### 2.1 梯级电站建设对小湾 - 漫湾段景观格局的影响

#### 2.1.1 建坝对景观破碎化的影响

景观的破碎化程度是衡量景观异质性的重要指标,本研究用斑块密度表示。由1974—2004年斑块密度梯度变化图(图1)看出,斑块密度的平均水平呈逐年增加的趋势。说明1974—2004年30 a间漫湾电站上游河岸景观的破碎化程度逐年增加。1974年漫湾电站上游河岸景观的斑块密度在20个/km周围波动,但1988—2004年斑块密度随与电站距离的增大呈现明显的梯度变化,随着与电站距离的增大,斑块密度呈现先减小后增大的趋势,尤其以2004年变化较为明显。

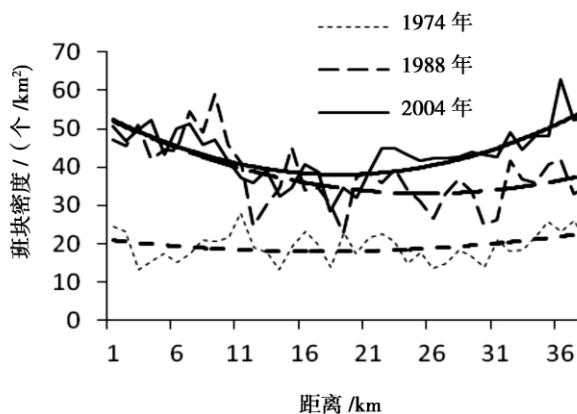


图1 上游建坝前后斑块密度梯度变化

Fig.1 Gradient change of upstream patch density before and after dam construction

#### 2.1.2 建坝对上游景观形状指数的影响

本研究应用景观形状指数描述景观形状的复杂程度。由图2看出景观形状指数呈逐年增加的趋势,说明1974—2004年这30 a间漫湾上游河岸景观斑块形状趋于复杂。此外,1974年景观形状指数基本不变。而1988年与2004年景观形状指数随与电站距离的增大呈现先减小后增大的趋势,其中2004年曲线的弧度较大,说明随与大坝距离的增加景观斑块的形状变化较剧烈。

#### 2.1.3 建坝对景观多样性的影响

多样性指数是度量景观类型的多样性和复杂性的指数,多样性指数的高低反映了景观类型的多少

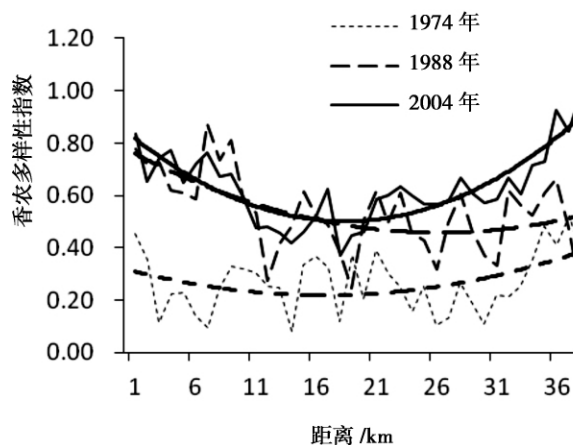


图2 上游建坝前后景观形状指数梯度变化

Fig.2 Gradient change of upstream landscape shape index before and after dam construction

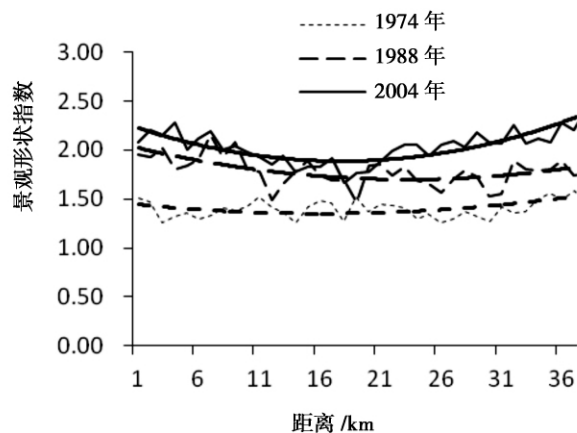


图3 上游建坝前后香农多样性指数梯度变化

Fig.3 Gradient change of upstream Shannon diversity index before and after dam construction

以及各类型所占比例的变化<sup>[21]</sup>。本研究使用香农多样性指数表示研究区的景观多样性。由图3看出与1974年相比,1988—2004年景观多样性指数逐年增大,说明研究区景观类型趋于多样化。随着与大坝距离的增加,建坝后景观多样性指数呈现先减小后增大的趋势,与斑块密度、形状指数相比变化幅度较小。

### 2.2 漫湾电站建设对下游景观格局的影响分析

以与漫湾电站之间的距离为横坐标,下游各景观指数梯度变化为纵坐标作图,由图4看出,建坝前后漫湾电站下游河岸景观格局发生较大变化,1974—1988年间斑块密度、景观形状指数、景观多样性指数大幅增加,而1988—2004年间增加幅度较小,主要由于建坝后实行退耕还林等环境保护政策

减缓了景观格局的变化速度。

下游河岸景观斑块密度、景观形状指数、景观多样性指数的梯度变化规律相似。1974年,随与漫湾电站距离的增大,各个景观指数的变化梯度为先减小后增大。而1988年、2004年则表现为逐渐增大的趋势,尤其是在距离大坝10~30 km范围内,各景观指数的增加幅度最大。

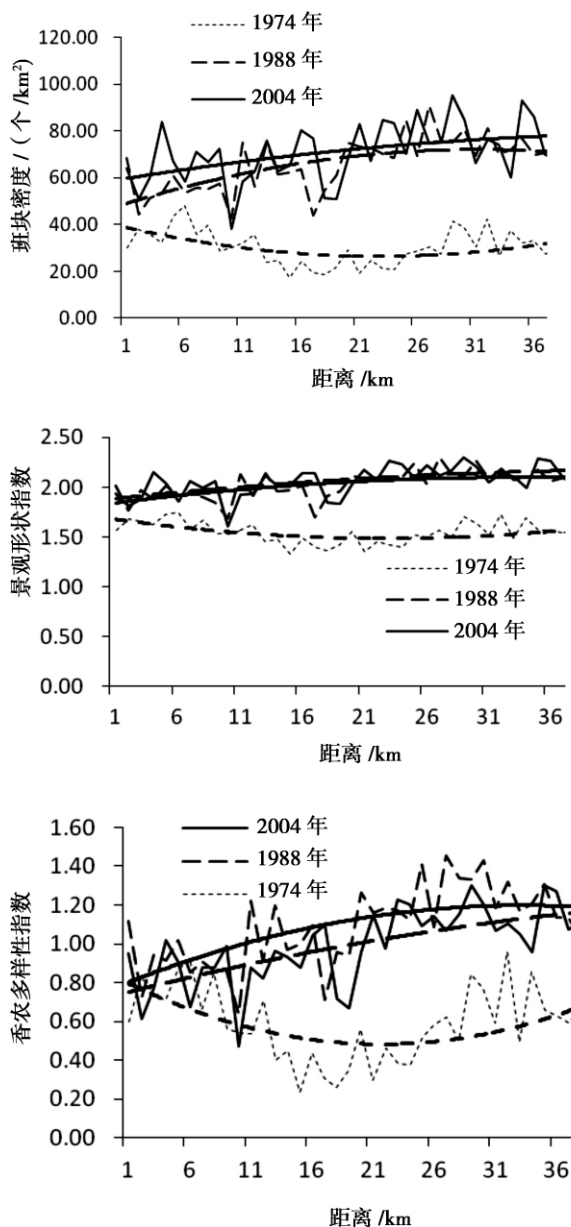


图4 下游建坝前后景观指数梯度变化

Fig. 4 Gradient change of downstream landscape metrics before and after dam construction

### 2.3 漫湾电站建设对上下游景观格局影响对比 分别对建坝前后景观格局指数的平均值做差来

对比建坝前后上下游景观格局变化情况。从表1看出,1974—1988年间下游斑块密度和景观形状指数分别增大了119.90%和31.80%,大于上游的变化,即水坝建设初期对下游景观格局破碎化和斑块形状复杂程度的影响较大。而1988—2004年间上游的景观格局指数变化较大,其中景观形状指数增大了21.20%,说明水坝建坝后期对上游景观格局的影响较大。

表1 景观格局指数上下游变化对比

Table 1 Comparison of changes of upstream and downstream landscape metrics

| 格局及变化率     | 斑块密度<br>/(个/km <sup>2</sup> ) | 景观形状<br>指数 | 香农多样性<br>指数 |
|------------|-------------------------------|------------|-------------|
| 上游         |                               |            |             |
| 1974年      | 19.48                         | 1.41       | 0.27        |
| 1988年      | 38.03                         | 1.79       | 0.54        |
| 2004年      | 18.55                         | 2.04       | 0.63        |
| 1974—1988年 | 95.20%                        | 18.40%     | 100.00%     |
| 1988—2004年 | 15.40%                        | 21.20%     | 16.70%      |
| 下游         |                               |            |             |
| 1974年      | 30.08                         | 1.54       | 0.58        |
| 1988年      | 66.14                         | 2.03       | 1.09        |
| 2004年      | 71.28                         | 2.07       | 1.00        |
| 1974—1988年 | 119.90%                       | 31.80%     | 87.90%      |
| 1988—2004年 | 7.80%                         | 2.00%      | -8.30%      |

此外由2.1和2.2分析可见上下游景观格局呈现不同的梯度变化,根据变化特征,将上下游研究区域划分为a(0~10 km)、b(10~30 km)、c(30~38 km)3部分,为进一步比较不同区段景观格局在建坝前后的变化,现以1974—1988年、1988—2004年漫湾电站上下游a、b、c段景观格局指数差值作图(图7),看出1974—1988年上下游景观格局指数的变化均大于1988—2004年间的变化,说明漫湾电站的建设对上下游景观格局均产生较大影响,而漫湾电站建成后(1988—2004年),由于采取退耕还林措施改善了上下游的生态环境,使景观格局的演变速度大大降低。此外,在1974—1988年间上下游景观格局的变化规律有很大差异,上游a段景观指数变化最大,下游b段景观指数的波动最大,a段变化最小。说明漫湾电站的建设对上游距离大坝较近处的景观格局影响最大,对下游较近处的影响小于上游。而1988—2004年上游a段景观指数变化最小,c段变化最大,主要由于上游小湾电站于1988—2004年

间建成并投产导致距离小湾较近的区域景观出现破碎化、斑块形状趋于复杂化、斑块种类多样化。对下游来说, a、b、c 段的景观指数变化较小, 尤其是香农多样性指数比 1974—1988 年小, 说明漫湾电站投产运行后, 随着退耕还林等一系列生态修复政策的实施, 下游的景观多样性降低。

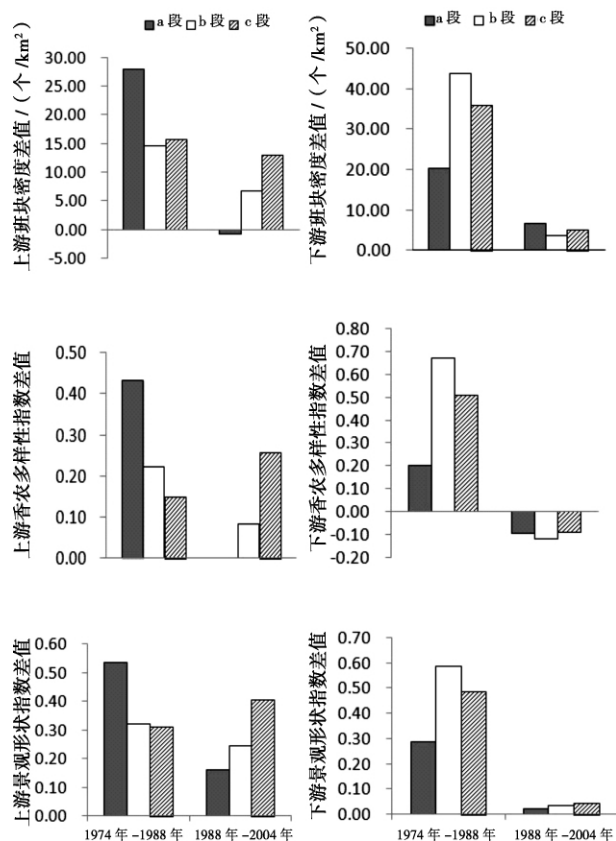


图5 建坝前后 a、b、c 段景观指数差值比较

Fig. 5 Comparison of the difference between landscape metrics of a, b, c section before and after dam construction

## 2.4 景观格局变化原因

1988 年、2004 年漫湾电站上游景观类型面积百分比梯度变化如图(8)所示。1988—2004 年漫湾电站上游景观类型以森林、灌丛、农田为主, 各景观类型面积的不断变化导致景观格局的相应变化。1974 年, 农田出现在漫湾电站周围 2 km 处, 建筑用地出现在 3 km 处, 而 1988 年, 漫湾电站周围 1 km 处出现了农田和建筑用地, 2004 年, 漫湾电站周围 1 km 处农田和建设用地分别占总面积的 30%, 说明 1974—2004 年间漫湾电站周围的人类活动逐渐加剧, 导致漫湾电站周围 11 km 内景观格局指数较大。与 0~10 km 相比, 11~19 km 内的景观类型的面积

比例变化较平缓, 而 19 km 以外各种类型的面积比例又处于较大波动中, 说明景观格局指数在 0~10 km 内逐渐减小, 11~19 km 内变化较平坦, 而 19 km 以后又逐渐增大。与 1988 年相比, 2004 年在 31~38 km 内农田比例大大增加, 尤其在 37 km 以后森林、灌木、农田向建筑用地转化, 表明此区域人类活动强烈, 与 2004 年小湾电站开工建设有关。

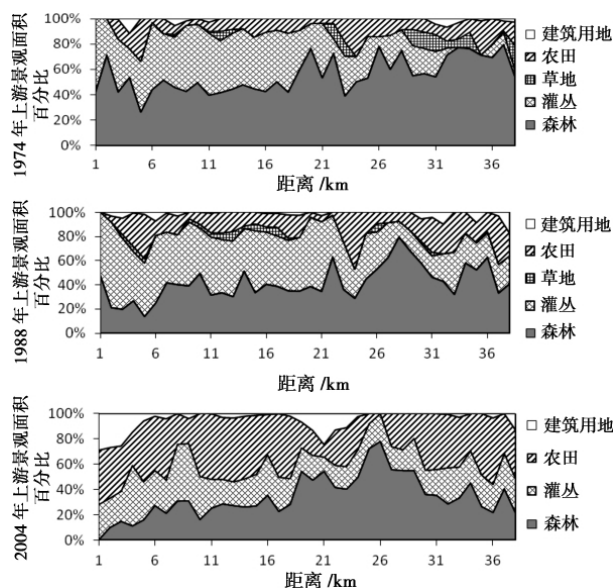


图6 漫湾电站上游各土地利用类型面积百分比梯度变化

Fig. 6 The gradient change of land use types area upstream

通过漫湾电站下游森林与农田的面积梯度变化对比(图7)说明森林和农田两类景观类型的面积变化导致下游 b 段景观指数波动最大。在 1974—1988 年漫湾电站下游 a 段森林和农田的面积变化较大, 1974 年森林的面积大于农田的面积, 1988 年在 11~26 km 的区域农田面积大于森林的面积, 说明此区域在 1974—1988 年间毁林开荒较为严重, 人类活动干扰强烈, 而在 1988—2004 年随着退耕还林政策的实施, 2004 年森林面积增加, 农田面积减小, 但森林面积未增加到 1974 年的水平。由此可见, 漫湾水电站下游的 10~30 km 内景观格局的变化受土地利用类型的影响较大, 尤其受毁林开荒和退耕还林的人类活动的干扰。

## 3 讨论

本文在遥感和 GIS 的技术支持下, 利用移动窗口法结合梯度分析, 以漫湾水电站、小湾水电站为例

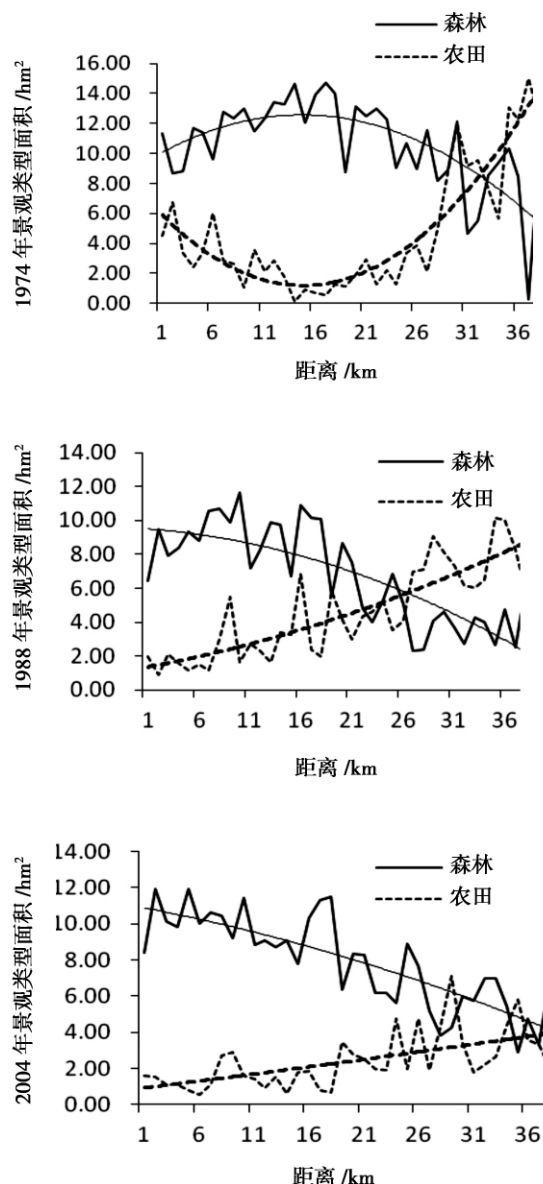


图7 漫湾电站下游森林与农田的面积梯度变化对比

Fig.7 Comparison of the gradient change of forest and farmland area downstream

研究梯级水电建设引起的河流沿岸景观格局变化,并比较了水坝上下游沿岸景观格局的变化规律,为进一步探索河岸景观格局对建坝的响应机理,有针对性的实施上下游景观调整及生态建设政策提供了依据。

结果表明,随着电站的建设上下游景观的破碎化程度、形状的复杂程度、多样性都呈现逐渐增大的趋势,说明漫湾电站建设及运行后,水坝上下游景观格局受到直接的影响,不仅在时间尺度上发生了显著变化,在空间尺度上也呈现梯度变化。这主要是由于电站建设后政府和行业主管部门鉴于国内部分

工程远迁移民容易导致较多社会问题的教训,规划设计了“以就地后靠安置为主”的移民安置方案,库区居民过度砍伐以及陡坡耕种等活动对上下游的景观格局产生较大破坏,并且耕地大多分布在较陡山坡上,有部分没有进行梯、台地整治,对植被景观影响很大<sup>[22]</sup>。

但漫湾水电站的建设对上下游景观格局的影响存在差异。电站建设时(1974—1988年)对漫湾电站上游0~10 km内的区域影响最大。此外,由于小湾电站的建设,上游景观格局的梯度变化幅度在1988—2004年发生改变,2004年小湾电站周围的研究区域景观格局变化加快。与上游相比,下游景观格局呈现不同的梯度变化规律,0~10 km内景观格局也受到建坝的影响,但其影响程度小于上游。下游10~30 km的区域景观格局变化最大。在此区域内森林和农田是主要的土地利用类型,通过对下游农田及森林面积的梯度变化分析看出,在1974—2004年30 a间,下游距离水坝38 km内的森林和农田的面积发生了较大变化,1974年森林的面积大于农田的面积,而1988年,农田面积大大增加,尤其是在下游26 km内农田的面积大于森林的面积,1988—2004年间由于退耕还林等环境保护政策的实施,2004年时下游森林面积大大增加,但未达到1974年时的水平。因此,下游景观格局变化主要受毁林开荒和退耕还林等人类活动的干扰。

然而,很多因素影响结果的准确性,遥感图像的解译精度、土地利用分类方法影响景观指数大小,研究区域的确定及移动窗口大小的选择也对梯度分析结果产生一定影响,本文研究区为距离河岸1 000 m的区域,研究区的边缘效应会对移动窗口法的计算结果产生一定影响,今后需进一步研究不同宽度的研究区内景观格局对建坝的敏感性程度。在采用移动窗口法时分别尝试了100 m、200 m、300 m、500 m边长的窗口,通过观察边长为200 m的窗口既能保留梯度特征又不至于使景观指数出现较大波动,能通过景观指标的变动特征真实反映空间格局的变化<sup>[14]</sup>。但如何基于研究区域的面积选择不同大小的移动窗口需要进一步研究。

#### 参考文献(References)

- [1] Li Chunhui. Impact on regional landscape patterns of Huanghe Laxi-wa Hydroelectric Station [J]. Journal of Safety and Environment, 2003, 3(2): 27-31 [李春晖. 黄河拉西瓦水电站建设对区域景观格局的影响[J]. 安全与环境学报, 2003, 21(5): 27-31]

- [2] Wang Genxu. Dynamic variations of landscape pattern and the landscape ecological functions in the source area of the Yellow river[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2002 22(10): 1587 – 1598 [王根绪. 黄河源区景观格局与生态功能的动态变化[J]. *生态学报*, 2002, 22(10): 1587 – 1598]
- [3] Li Chongwei, Liu Shirong. Analysis on landscape pattern and eco-hydrological characteristics at the upstream of Minjiang River[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2005 25(4): 691 – 698. [李崇巍, 刘世荣. 岷江上游景观格局及生态水文特征分析[J]. *生态学报*, 2005, 25(4): 691 – 698]
- [4] Mohsin Jamil Butt. The combined effect of vegetation and soil erosion in the water resource management[J]. *Water Resour Manage*, 2010 24(13): 3701 – 3714
- [5] Zhou Ting, Peng Shaolin, Ren Wentao. Influence of landscape pattern changes on the restoration of stream in Dongjiang River riparian buffer[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2009 29(1): 1587 – 1598 [周婷, 彭少麟, 任文韬. 东江河岸缓冲带景观格局变化对水体恢复的影响[J]. *生态学报* 2009 29(1): 231 – 239]
- [6] Chen Kaiqi, Wang Dongsheng, Liu Lanfen, et al. Features and research direction of environmental impact assessment for the planning of cascade hydropower development in river basins[J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research* 2005, 3(2): 79 – 84 [陈凯麒, 王东胜, 刘兰芬, 等. 流域梯级规划环境影响评价的特征及研究方向[J]. *中国水利水电科学研究院学报* 2005 3(2): 79 – 84]
- [7] Wei Ouyang. Accumulated effects on landscape pattern by hydroelectric cascade exploitation in the Yellow River basin from 1977 to 2006[J]. *Landscape and Urban Planning* 2009 93(3–4): 163 – 171
- [8] Huang Qiuyan, Hu Baoqing, Zeng Lingfeng. Land use/cover and landscape pattern changes over the Karst reservoir area of the Red River, China[J]. *Resources Science* 2009 31(10): 1805 – 1814 [黄秋, 胡宝清, 曾令锋. 红水河梯级电站喀斯特库区土地利用与景观格局变化研究[J]. *资源科学*, 2009, 31(10): 1805 – 1814]
- [9] Zhou Qing, Ou Xiaokun. Spatial Temporal land use Pattern changes in Manwan Hydropower Station Reservoir of Lancang River, Yunnan, China[J]. *Journal of Mountain Science* 2008 26(4): 481 – 489 [周庆, 欧晓昆. 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]
- [10] Zhao Qinghe, Liu Shiliang. Effects of Manwan hydropower exploitation on dynamic changes of landscape pattern in related reservoir area[J]. *Chinese Journal of Ecology* 2011 30(10): 2343 – 2350 [赵清贺, 刘世梁. 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]
- [11] W Ouyang. Vegetation response to 30 years hydropower cascade exploitation in upper stream of Yellow River[J]. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2009 15(7): 1 – 14
- [12] G Bombino. Assessment of the effects of check-dams on riparian vegetation in the mediterranean environment: A methodological approach and example application[J]. *Ecological engineering* 2006, 27(2): 134 – 144
- [13] Zhang Linlin, Kong Fanhua. Spatial pattern change of Jinan City based on landscape metrics and moving window method[J]. *Chinese Journal of Ecology* 2010 29(8): 1591 – 1598 [张琳琳, 孔繁花, 等. 基于景观空间指标与移动窗口的济南城市空间格局变化[J]. *生态学杂志* 2010 29(8): 1591 – 1598]
- [14] Liu Xin, Guo Qingxi. Landscape pattern in northeast China based on moving window method[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009 20(6): 1415 – 1422 [刘昕, 国庆喜. 基于移动窗口法的中国东北地区景观格局[J]. *应用生态学报*. 2009 20(6): 1415 – 1422]
- [15] Zhang Quanlin, Wu Jianping. A GIS-based gradient analysis of the urban landscape pattern of Shanghai metropolitan region[J]. *Acta Phytocologica Sinica* 2004 28(1): 78 – 85 [张利权, 吴建平, 等. 基于 GIS 的上海市景观格局梯度分析[J]. *植物生态学报*, 2004 28(1): 78 – 85]
- [16] Robert Kröger. Landscape hydrogeomorphic conditions determine structure and species composition of an ephemeral flood plain wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica* 2010 30(5): 280 – 287
- [17] Gu Ying, Lei Sihua, Liu Jingnan. Effects of cascade hydropower development on hydrological regime of Lower Lancang River[J]. *Water Resource and Hydropower Engineering* 2008 39(4): 20 – 23. [顾颖, 雷四华, 刘静楠. 澜沧江梯级电站建设对下游水文情势的影响[J]. *水利水电技术* 2008 39(4): 20 – 23]
- [18] Zhou Jiahui, Fu Baohong. Cultivated land use of the migrant areas of large-sized hydropower stations in Yunnan Province: a case study of Manwan Dam[J]. *Tropical Geography* 2008 28(6): 551 – 554 [周嘉慧, 付保红. 云南大型水电工程后靠移民区耕地利用存在问题及对策——以漫湾电站为例[J]. *热带地理* 2008 28(6): 551 – 554]
- [19] Wang Ping, Wang Jinliang. Basic climatic characteristics in the Manwan hydropower station reservoir area of lancang River, Yunnan Province, China[J]. *Journal of Yunnan Normal University* 2002 22(6): 57 – 61 [王平, 王金亮. 云南澜沧江漫湾水电站库区河谷气候基本特征[J]. *云南师范大学学报* 2002 22(6): 57 – 61]
- [20] Cui Baoshan, Zhai Hongjuan. Quality evaluation of habitats disturbed by the Manwan Hydropower Dam[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae* 2008 28(2): 227 – 234 [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]
- [21] Wu Jianguo. The concept and theory of landscape ecology[J]. *Chinese Journal of Ecology* 2000 19(1): 42 – 52 [邬建国. 景观生态学概念与理论[J]. *生态学杂志*. 2000 19(1): 42 – 52]
- [22] Xu Jing, Chen Lihu, Fu Baohong. Immigrants and ecological compensation in hydropower development of the Lancang River—the case of Manwan Hydropower Station in Yunnan Province[J]. *Journal of Guizhou University of Finance and Economics* 2005 4(4): 15 – 17 [徐旌, 陈丽晖, 付保红. 澜沧江水电开发移民与生态补偿——以云南漫湾水电站为例[J]. *贵州财经学院学报* 2005, (4): 15 – 17]

## Gradient Analysis of Landscape Pattern Affected by Hydroelectric Station Based on Moving Window Method

LIU Qi ,LIU Shiliang ,ZHAO Qinghe ,WANG Cong ,DENG Li ,YANG Juejie ,DONG Shikui

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

**Abstract:** Based on GIS technology and by using moving window method ,We carried out gradient analysis of upstream and downstream landscape pattern before and after the construction of Manwan hydropower station. Practically ,it is important to quantify the ecological effect and influential range of cascade hydropower development. The results showed that in the 30 years of 1974—2004 ,as distance to the dam increased the upstream and downstream landscape pattern presented different gradient change because of the construction cascade hydroelectric station. Within 0 ~ 10 km upstream from the power plant ,the index of landscape fragmentation ,landscape diversity and landscape richness were the largest. There was a slight decrease in all indexes within 11 ~ 30 km. Due to the construction of Xiaowan hydropower station upstream ,the landscape pattern within 31 ~ 38 km upstream affected greatly. In addition ,through the comparison of upstream and downstream change ,it shows that the influence on landscape pattern caused by construction of Manwan hydropower station within 0 ~ 10 km in the upstream is greater than that in downstream. Although the factors resulting in landscape pattern changes of downstream outside 10 km distance is uncertain ,the implementation of the policy of “Returning farmland to forest” may influence to a great extent.

**Key words:** moving window method; gradient analysis; landscape pattern; Manwan hydropower station