

# 基于灰色关联度的水电站建设区景观格局及其变化研究

王兵<sup>1,4</sup>, 刘国彬<sup>1,4</sup>, 王伯铨<sup>2</sup>, 马俊杰<sup>2</sup>, 潘文光<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北大学 环境科学系, 陕西 西安 710069;  
3. 中国水电顾问集团 西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065; 4. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 运用遥感图像解译和 GIS 分析的方法, 在斑块尺度和景观尺度构建了区域景观格局指标体系, 研究了抽水蓄能电站开发建设对区域景观格局的影响。结果表明, 研究区域内植被单一, 以林地为主, 异质化程度较低, 相对抗干扰能力较弱; 规划方案的实施加剧了这一现象, 人为活动对生态系统影响就显得愈加强烈。此外, 灰色关联度法评价结果与景观格局指数分析结果和建设项目实际情况具有良好的一致性, 可以作为评价生态影响的方法。

**关键词:** 水电开发; 抽水蓄能电站; 景观格局; 灰色关联度法

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2009)06-0070-04 中图分类号: TV213.2, X171.1

## Changes of Landscape Patterns Based on Grey Relation Analysis of Hydropower Station

WANG Bing<sup>1,4</sup>, LIU Guo-bin<sup>1,4</sup>, WANG Bo-duo<sup>2</sup>, MA Jun-jie<sup>2</sup>, PAN Wen-guang<sup>3</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Dept. of

Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China; 3. Northwest Investigation Design & Research

Institute, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 4. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** An indicator system of regional landscape patterns at the patch and landscape scales was proposed by the principles of landscape ecology. The pumped storage station of hydropower development plan was taken as an example to show the impacts on regional landscape with the RS and GIS interpretation. Results showed that vegetation composition in the study area was simple, which was largely forest land. The landscape heterogeneity was low and the ability of anti-interference was weak. This circumstance was worse when the design was put into practice. Moreover, the grey relation analysis indicates a good consistency with landscape pattern indexes and actual situation and it is a better way to assess the impacts of ecological environment.

**Keywords:** hydroelectric development; pumped storage station; landscape pattern; grey relation analysis

水电开发工程会对环境产生显著影响, 生态环境保护是水电开发建设需要考虑的重要因素, 大型水利水电工程的建设和运行对区域生态环境的影响具有复杂性、潜在性、空间性、累积性及规模大的特点, 往往造成难以估计的后果。水电开发工程建设的景观生态影响评价已受到越来越多的重视, 加强工程建设对区域景观格局的定量评价已成为生态影响评价的重要组成部分<sup>[1]</sup>。但是目前水利水电景观影响评价中尚没有形成完善的理论和方法, 体现在评价指数过少, 仅考虑景观优劣势度的变化<sup>[2]</sup>, 评价内容单一, 不能

反映景观格局变化的全面特征, 加上这类工程往往位于生态环境十分脆弱的地区, 工程建设一定程度上将加强对区域景观格局的影响。

本研究以浙江乌龙山抽水蓄能电站为例, 从景观格局变化的角度, 根据景观生态学理论, 借助地理信息系统工具, 采用定量的方法分析了工程景观格局状况, 通过建立水电开发建设规划方案的景观格局变化评价的指标体系和评价方法, 对水电开发进行综合评价, 为水电开发建设及保障区域景观生态可持续发展提供理论依据。

收稿日期: 2009-04-23

修回日期: 2009-06-29

资助项目: 国家重点基础研究(973) 发展计划项目“水土流失环境效应评价理论与指标体系”(2007CB40725); 国家科技支撑项目“植被优化配置与可持续建设技术”(2006BAD09B03)

作者简介: 王兵(1982—), 男(汉族), 陕西省杨陵区人, 博士研究生, 主要从事生态系统健康评价方面工作。E-mail: enaboo@163.com。

通信作者: 刘国彬(1958—), 男(汉族), 陕西省榆林市人, 博士, 研究员, 主要从事流域生态经济系统健康评价及植被恢复研究工作。E-mail: gblu@ms.isw.c.ac.cn。

## 1 研究区概况

浙江乌龙山抽水蓄能电站工程设计装机容量 2 400 MW。该水电站所在区域位于副热带季风气候区,气候温和,四季分明,光照较多,雨量丰沛。多年平均气温 17 ℃,极端最高气温 42.9 ℃,极端最低气温约-9.6 ℃,多年平均相对湿度为 78%,多年平均降水量为 1 534.6 mm;多年平均水面蒸发量为 852 mm。4—6 月为梅雨季节,8—10 月为台风雨季。因受东亚季风影响,加之地形起伏较大,年降水量时空分布有明显变化。

根据工程特点及其周边生态环境特征,确定研究区面积约 30.7 km<sup>2</sup>。库区、集水区域、水文变化区域、施工期的辅助场地;包括上水库所在冷水塘沟小流域、乌龙山景点、严东关景区、七里泷景区靠近工程建设区的景点、下水库所在的富春江水库。乌龙山抽水蓄能电站所在区域生态环境比较脆弱,其生态组成结构相对不稳定,对干扰反应敏感,如何定量分析工程建设前后各种景观指数变化,以指导工程建设和生态环境保护在该区显得尤为重要。

## 2 研究方法

水电开发建设工程景观生态评价是工程建设前期进行规划环境影响评价工作的一部分。因此,工程建设后的景观图像只能借助相关信息资料对目前的景观图像进行叠加,预测工程建设后可能发生的景观格局变化,分析景观格局变化趋势。

### 2.1 景观格局指数

本研究结合传统生态学和现代生态学理论,从斑块类型尺度和景观尺度选取景观比例指数(landscape proportion index)、斑块数量指数(patch number index)、平均斑块面积指数(mean patch size index)、距离指数(distance index)、景观密度指数(landscape density index)、景观优势度指数(landscape dominance index)、景观多样性指数(landscape diversity index)、景观破碎度指数(landscape fragmentation index)和景观分离度指数(landscape apartness index)等 9 种指数评价水利水电工程开发建设对景观格局的影响,从不同的角度定量反映景观与斑块的主要特征,各景观格局指标计算方法及意义见参考文献[3-6]。

### 2.2 灰色关联度

灰色关联分析方法,是根据因素之间发展趋势的

相似或相异程度,亦即“灰色关联度”,作为衡量因素间关联程度的一种方法。在进行数据列关联分析时,必须先确定参考数列,然后比较其它数列同参考数列的接近程度,这样才能对其它数列进行比较,进而做出判断<sup>[7]</sup>。

设  $x_1, x_2, \dots, x_n$  为  $N$  个因素,反映各因素变化特性的数据列分别为  $\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}, \dots, \{x_N(t)\}$ ,  $t = 1, 2, \dots, M$ 。关联度的计算公式为:

$$\gamma \approx \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \xi_{ij}(t)$$

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\Delta_{\min} + R \Delta_{\max}}{\Delta_j(t) + R \Delta_{\max}}$$

式中:  $\xi_{ij}(t)$  ——因素  $x_j$  对  $x_i$  在  $t$  时刻的关联系数;  
 $\Delta_j(t) = |x_1(t) - x_j(t)|$ ;  $\Delta_{\max} = \max_j \max_i \Delta_{ij}(t)$ ;  $\Delta_{\min} = \min_j \min_i \Delta_{ij}(t)$ ;  $R$  ——介于 [0, 1] 区间上的灰数。

## 3 过程与结果分析

### 3.1 景观格局指数获取

采用四点纠正法在 ERDAS 下对地形图进行纠正并配准。纠正好的遥感影像作为区域景观类型图件制作的基础底图。在 ArcView 软件下对地形图数字化,形成完全覆盖整个研究区的等高线图。在 Arc Info 下生成 TIN,提取坡度分布图;在 ERDAS 软件下生成 DEM。根据 SPOT 影像特征与植被分布规律,建立植被分类解译标志,进行植被解译与植被图制作。

根据研究目的,结合区域的景观格局现状,把研究区域景观分为耕地、林地、水域、建筑用地和无林裸地 5 个类型。通过计算工程建设前、后景观数量化指标值,分析景观格局的变化程度,评价工程建设对区域景观生态的影响。

### 3.2 景观生态格局现状

工程主体景观为水工构筑物,因而将其归为水域类型。乌龙山抽水蓄能电站建设前后景观指数见表 1—2。

由表 1 可知,评价区域主要由森林生态系统、农业生态系统、河流生态系统等组成。其中林地生态系统属于环境资源型斑块,该类斑块的连通程度好,为研究区域基质,在区域内广泛分布;其次是以耕地和果园等为主的人工植被系统和以城镇、村庄、工矿和公路等建筑用地构成的人工建筑系统,均属于引入型斑块;最后是以裸地等构成的未利用土地、以河流为主的水域生态系统属于资源性斑块。各斑块中林地

的景观比例最大,符合基质的判定标准,说明林地是本区域内对景观动态具有控制作用的生态组分,该区域

的生境属于自然生态体系,具有一定的生产能力和对内外干扰的抵抗能力。

表 1 景观格局现状评价指数

斑块类型	面积/hm <sup>2</sup>	景观比例/%	斑块数量/个	景观密度/%	距离指数	分离度	平均斑块面积/km <sup>2</sup>
耕地	116.12	3.79	4	12.90	0.928 0	0.245 1	0.290 3
林地	2 041.54	66.64	8	25.81	0.312 8	0.004 7	2.554 9
水域	824.13	26.87	4	12.90	0.348 3	0.013 0	2.060 3
建筑用地	59.54	1.94	9	29.03	1.944 0	1.001 5	0.066 2
无林裸地	23.60	0.77	6	19.35	2.521 1	3.276 7	0.039 3
合计	3 067.30	100	31	100.00	—	—	—

注:多样性指数= 0.861 5; 优势度指数= 0.631 5; 破碎度指数= 1.010 7。

表 2 乌龙山抽水蓄能电站建成后景观格局指数

斑块类型	面积/hm <sup>2</sup>	景观比例/%	斑块数量/个	景观密度/%	距离指数	分离度	平均斑块面积/km <sup>2</sup>
耕地	116.13	3.79	4	12.12	0.928 0	0.245 1	0.290 3
林地	1 969.86	65.19	10	30.30	0.353 6	0.005 4	1.999 6
水域	868.98	28.33	6	18.18	0.415 5	0.014 7	1.448 3
建筑用地	58.63	1.91	7	21.21	1.727 7	0.903 8	0.083 8
无林裸地	23.96	0.78	6	18.18	2.502 1	3.203 1	0.039 9
合计	3 067.30	100	33	100.00	—	—	—

注:多样性指数= 0.873 7; 优势度指数= 0.613 9; 破碎度指数= 1.075 9。

### 3.3 景观格局指数变化分析

工程建成后,对原有景观格局产生了一定的影响(表 2)。(1) 景观比例指数。项目实施后水域类型景观比例明显增大,林地景观比例减少较为明显,表明方案实施后受淹没影响最大的是林地生态系统。(2) 斑块数量指数。斑块数量水域和建筑用地均有增大,这主要是项目实施后所形成的上下水库及水工建筑所致,连接上下水库公路的修建对林地有一定的割裂作用,致使其斑块数量增加。(3) 景观密度指数。抽水蓄能电站建成后,对林地、水域和建筑用地影响较大。林地和水域的景观密度有较为明显的增加,建筑用地景观密度呈相反趋势。表明方案的实施使得所在区域生态系统斑块总数增加,同时林地和水域斑块数量增加较其他土地利用类型明显,从而导致其景观密度呈增加趋势,破碎化程度有所增加;建筑用地则由于自身斑块数量的减少和区域斑块总数的增加使得其景观密度降低。(4) 距离指数。林地、水域和建筑用地的距离指数均呈增加趋势,耕地和裸地基本上没有发生变化。表明这 3 种斑块类型偏离程度增加,景观格局趋于破碎化。(5) 分离度指数。分离度指数均变化较

小,但从变化幅度来看,林地和水域和建筑用地变幅较大,表明其空间分布较项目实施前趋于离散,主要原因是上下水库的修建使得水域分散,连接上下水库的公路对林地的割裂以及项目水工建筑的建造,分离度变化与项目实际情况一致。(6) 平均斑块面积指数。林地和水域的平均斑块面积是均有所减小,其它景观类型基本没有发生变化或变幅较小。林地平均斑块面积减小主要是由于连接上下水库公路和上水库占据了一定的面积;水域平均斑块面积减少则主要是因为水域斑块数量的增加。通过分析可以看出,在斑块类型尺度上,乌龙山抽水蓄能电站的实施对水域、林地和建筑用地影响较大,而对耕地和无林裸地基本不产生影响,这与项目开发实际情况一致。

总体而言,规划方案实施后,没有改变森林生态系统的基质地位,区域景观生态体系的性质和功能总体来说变化不大。景观尺度上景观多样性指数和破碎度指数呈现增大趋势,优势度指数呈现下降趋势,说明随着水电开发方案的实施,触动原有景观格局斑块类型面积比例以及偏离程度发生变化,致使研究区域整体多样性指数增大。方案中新修建的上水库和连接上下

水库的盘山公路对森林生态系统有一定的破坏,割裂了原有的森林景观,降低了森林生态系统的联通性,使得原有森林景观(基质)破碎化程度增加。同时由于水域面积的增加使得所在区域连通性有所提高,破碎化程度增加,景观格局组合趋于简单化。

表3 灰色关联度

斑块类型	斑块面积	景观比例	斑块数量	景观密度	距离指数	分离度	平均斑块面积
灰色关联系数	0.602 7	0.633 5	0.643 3	0.518 1	0.616 2	0.566 8	0.612 3
土地利用类型	耕地	林地	水域	建筑用地	无林裸地	—	—
灰色关联系数	0.904 4	0.624 0	0.688 6	0.640 2	0.678 0	—	—

斑块类型景观指数灰色关联度由大到小依次为斑块数量>景观比例>距离指数>平均斑块面积>斑块面积>分离度>景观密度;土地利用类型景观格局指数灰色关联度由大到小依次为耕地>水域>无林裸地>建筑用地>林地。可以看出,景观密度和分离度与项目建设前(现状)关联度最小,表明工程的实施对其影响最大,使得原有的景观格局空间分布区趋于离散,景观密度发生了较为显著的变化。同时,不同景观类型中林地与项目建设前关联度最小,表明工程的实施对原有森林生态系统影响最大。

由于上水库和连接上下水库盘山公路的修建,减少了林地的面积,对林地的割裂不容忽视。此外,上水库的修建使得水域分散,在一定程度上增加了区域景观的分离度,对原有景观密度也造成一定的影响。林地是此次水电开发建设(人类活动)中最大的承受载体,其景观比例、斑块数量、景观密度、距离指数、分离度指数和平均斑块面积均发生了较为显著的变化,尤其表现在分离度和景观密度的变化。同时,灰色关联结果表明水电开发方案的实施使得原有景观格局斑块面积、分离度和密度发生较为明显的变化,致使研究区域整体多样性指数增大,破碎程度加剧。虽然森林生态系统的基质地位没有动摇,但是在一定程度上有所削弱,致使优势度有所下降。这也与景观格局指数分析结果和建设项目实际情况相一致。

## 4 结论

规划方案实施后,景观类型的分布趋于均匀化,

### 3.4 景观格局指数灰色关联度分析

为了反映工程实施后各景观格局指标在不同类型斑块上的变化,对研究区域抽水蓄能电站建成前后景观格局指数进行灰色关联分析(表3),并对关联度进行分级,以反映其变化幅度。

景观格局的组合趋于简单化,景观子系统间动态调控能力重新调配,对研究区域自然体系产生一定影响。研究区域属于亚热带森林区,物种多样性比较丰富,区域内以林地为主,抗干扰能力相对较强。项目的实施对研究区域生态系统产生一定的影响,应当在施工结束后采取相关生态修复措施。

通过灰色关联度评价区域抽水蓄能电站建设前后景观格局变化情况。结果表明,灰色关联度法评价结果与景观格局指数分析结果和建设项目实际情况具有良好的一致性,可以作为评价生态影响的方法,具有一定的生态学意义。

### [参 考 文 献]

- [1] 王兵.基于生态环境影响的水电开发规划方案优化研究[D].西安:西北大学,2007.
- [2] 中国国家环保总局.HJ/T19-1997,环境影响评价技术导则:非污染生态影响[S].北京:中国环境科学出版社,1999.
- [3] 布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [4] 李秀珍,布仁仓,常禹,等.景观格局指标对不同景观格局的反应[J].生态学报,2004,24(1):123-134.
- [5] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2002:95-154.
- [6] 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] 刘思峰.灰色系统理论及其应用[M].3版.北京:科学出版社,2004:50-95.