

# 水电站工程水土流失防治效果评价研究 ——以金安桥水电站为例

柳小强, 陈奇伯, 王克勤, 余德恒, 齐红梅

(西南林业大学 环境科学与工程系, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 选取林草植被恢复率、林草覆盖度、治理措施合格率、拦渣率、土壤侵蚀减少率、土壤流失控制比、河流含沙量、水土流失治理度、扰动土地整治率等9项与水土流失防治效果紧密相关的评价指标, 构建了金安桥水电站工程水土流失防治效果评价的指标体系。用层次分析法和综合指数法, 对金安桥水电站工程水土流失防治效果进行评价。结果表明, 金安桥水电站工程水土流失防治效果处于5个评价等级(极差、较差、一般、良好、优良)的“一般”等级, 存在着林草恢复率和林草覆盖度偏低、河流含沙量较大等问题。该评价结果, 可为金安桥水电站工程水土流失控制措施的进一步完善提供依据, 为类似工程的水土保持评价研究工作提供借鉴。

**关键词:** 水电站; 水土流失; 防治效果; 评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0195-04

中图分类号: S157

## Evaluation of Soil Erosion Control Effect in Hydropower Station Project —Taking Jinanqiao Hydropower Station as an Example

LIU Xiao-qiang, CHEN Qi-bo, WANG Ke-qin, YU De-heng, QI Hong-mei

(*Environmental Department of Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China*)

**Abstract:** The indexes of vegetation restoration degree, vegetation coverage, qualified control measurement rate, dreg blocking rate, reduced soil erosion rate, soil and water loss control ratio, sediment concentration, soil and water loss control degree, and disturbed land remediation rate are significant in the evaluation of soil erosion control effect. The 9 evaluation indexes are thus selected to construct an index system using the method of analytic hierarchy process and synthetic index method for the evaluation of soil loss control effect in Jinanqiao hydropower station project. In the five levels of very poor, poor, general, good, and very good, soil loss control effect in the project is in the “general” level, being low in vegetation restoration degree and low coverage, but high in sediment concentration. Result from the evaluation can provide further improvement in soil erosion control measurements of the hydropower station and a reference to similar research works.

**Keywords:** hydropower station; soil and water loss; control effect; evaluation

水土流失作为评价环境状况及区域生态安全的重要影响因子, 越来越引起社会各界的广泛关注, 尤其在大规模的基础设施建设中, 水土流失不仅是单纯的环境保护问题, 也涉及到主体工程的安全运营、稳定以及使用年限。因此, 水土流失的防治工作从以前单纯的政府行为开始向建设单位自觉实施方向倾斜, 防治技术也越发成熟和完善, 作为检验各项水土保持措施实施成效的水土流失防治效果评价也日显重要<sup>[1]</sup>。相关学者从不同角度出发, 对工程建设导致的

水土流失防治效果进行了评价。鱼哲<sup>[2]</sup>等从水土保持效果和植被组成两方面对水土保持植被工程效果进行了评价, 并提出了相应的评价指标体系; 徐永年等<sup>[3]</sup>用人工模拟降雨的方法, 通过分析不同坡面上绿化带拦沙、减流效果, 对其水土保持效果作了分析; 其他学者<sup>[4-5]</sup>对公路边坡植被恢复质量和措施实施效果进行了分析研究, 并提出了相应的评价方法和评价指标。但总的来说, 有关开发建设项目水土流失防治效果的评价研究相对较少, 评价指标也缺乏统一性。

收稿日期: 2010-03-21

修回日期: 2010-06-04

资助项目: 国家自然科学基金项目“干热河谷水电站工程弃渣场废弃地植被恢复生态学过程研究”(31060093); 云南省应用基础研究计划面上项目(20070065M); 西南林业大学生态学重点建设学科(XKX200902)

作者简介: 柳小强(1984—), 男(汉族), 甘肃省甘谷县人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: liuxq152314@163.com.

通信作者: 陈奇伯(1965—), 男(汉族), 甘肃省通渭县人, 教授, 研究方向为土壤侵蚀与生态恢复。E-mail: chengqb05@163.com.

## 1 工程及研究区概况

金安桥水电站位于云南省丽江市境内的金沙江中游河段上,是金沙江中游河段梯级水电站规划的第 5 级电站,电站采用堤坝式开发,总投资 139 亿元人民币,坝高 160 m,正常蓄水位以下库容  $8.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,装机容量 2 400 MW。根据施工总布置,施工期共设计弃渣场 4 个,存弃渣场 2 个。弃渣场总容积为  $2.06 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,存渣场容积为  $2.90 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。截止 2009 年底,大坝、厂房等土建施工基本结束,渣土弃倒只剩最后大坝围堰拆除等少量部分,各防治部位的水土流失防治工程措施已经基本实施到位,植物措施正在组织实施。工程区属亚热带季风气候,光照充足、热量充沛、干湿季分明,河谷区“焚风效应”明显。多年平均降水量 938 mm,最大日降水量 127.6 mm,多年平均蒸发

量 2 200 mm,多年平均流量  $1 640 \text{ m}^3/\text{s}$ ,多年平均含沙量  $0.749 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。工程区主风向为西风,出现频率 21.6%,全年无霜。土壤类型主要有红壤,占 75% 以上。自然地带性植被为暖温性针叶林和稀树灌木草丛,针叶林代表群落主要为云南松林。

## 2 评价方法

### 2.1 评价指标体系的建立

评价指标选择的正确与否,指标之间的关联程度、合理性及指标的可操控性对评价结论的正确程度及可信度均起到决定性作用。

根据指标体系选取的全面系统与独立性原则、可比与可量性原则、功效性原则以及层次性原则,并结合工程区水土流失特点和水土保持措施实施进度,确定评价指标体系及各指标含义(表 1)。

表 1 水土流失防治效果评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C	指标含义
水土流失防治效果 A	植被恢复效果 B <sub>1</sub>	林草植被恢复率 C <sub>1</sub> /%	工程区已恢复植物措施面积占设计绿化面积的比率
		林草覆盖度 C <sub>2</sub> /%	工程区已恢复植物措施面积占施工扰动面积的比率
		治理措施合格率 C <sub>3</sub> /%	水土保持治理措施达标合格比率
	水土流失控制效果 B <sub>2</sub>	拦渣率 C <sub>4</sub> /%	实际现存弃渣占土石方总量的比率
		土壤侵蚀减少率 C <sub>5</sub> /%	措施实施后土壤侵蚀模数与施工期最大土壤侵蚀模数的比率
		土壤流失控制比 C <sub>6</sub>	区域允许土壤流失量与水保措施实施后土壤流失量的比值
		河流含沙量 C <sub>7</sub>	工程建设施工影响区域河道泥沙含量
		水土流失治理度 C <sub>8</sub> /%	水保措施防治面积占受工程扰动造成水土流失面积的比率
		扰动土地整治率 C <sub>9</sub> /%	水保措施防治面积与永久建筑物面积、硬化面积之和与扰动地表面积的比值

### 2.2 指标权重的确定方法

指标体系中各单一指标的权重确定,目前采用的方法主要有专家评估法、频数统计分析法、等效益替代法、指标值法、因子分析法、相对系数法和层次分析法等<sup>[10]</sup>。

由于选定的效果评价指标体系所涉及的指标数量较多,且各指标归属及指标属性也不尽相同,选用定性分析与定量分析相结合的层次分析法来确定各指标的权重。

### 2.3 评价方法

为了对选定水电站工程施工过程产生水土流失的综合防治效果进行定量分析,并作出直观判断,采

用综合指数法对工程建设产生的水土流失防治效果进行评价。

## 3 结果分析

### 3.1 指标值计算

根据选定评价指标及指标含义,通过外业调查数据和实际观测数据计算分析,各评价指标的计算值见表 2。

### 3.2 权重计算

根据设定的水土流失防治效果评价指标体系,依据 1—9 比率标度方法,请 10 位专家依据多年的实践经验和研究基础对各项指标打分。评价判读尺度见表 3。

表 2 评价指标值

指标	C <sub>1</sub> /%	C <sub>2</sub> /%	C <sub>3</sub> /%	C <sub>4</sub> /%	C <sub>5</sub> /%	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub> /(kg·m <sup>-3</sup> )	C <sub>8</sub> /%	C <sub>9</sub> /%
指标值	6.96	4.76	72.22	99.98	79.06	0.98	1.95	84.62	93.80

注: C<sub>1</sub>—9 分别表示评价体系中指标层的 9 个指标。

表3 评价判断尺度

判断尺度	定义
1	对评价方案, $A_i$ 和 $A_j$ 同样重要
3	对评价方案, $A_i$ 和 $A_j$ 稍微重要
5	对评价方案, $A_i$ 和 $A_j$ 明显重要
7	对评价方案, $A_i$ 和 $A_j$ 强烈重要
9	对评价方案, $A_i$ 和 $A_j$ 极端重要
2 4 6 8	上述两相邻判断的中值

注:  $A_i, A_j$ ——表示第  $i$  第  $j$  两种评价指标(或要素), 根据判断尺度, 计算出  $A_{ij}$  值。即:  $A_{ij} = W_i / W_j$ ;  $A_{ii} = W_i / W_i = 1$ 。例如: 若  $A_i$  比  $A_j$  明显重要, 则  $A_{ij} = W_i / W_j = 5$ ; 反之,  $A_{ji} = 1 / A_{ij} = 1/5$ 。

根据专家评分表的统计结果, 可以建立如下判断矩阵。

判断矩阵 1: 准则层对目标层的标度值

$$A-B = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 2: 指标层对植被恢复效果的标度值

$$B_1-C = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 3: 指标层对水土流失控制效果的标度值

$$B_2-C = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 5 & 5 \\ 3 & 1 & 1 & 1/5 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1 & 1 \\ 5 & 5 & 3 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

各判断矩阵的层次单排序计算及一致性检验计算结果为: (1) 判断矩阵 1(准则层对目标层)。通过计算,  $\lambda_{max} = 2.001$ ,  $CI = 0.001$ ,  $RI = 0.00$ ,  $CR = 0.00 < 0.10$ , 判断矩阵具有较好的一致性, 所以对于水土流失防治效果评价综合指数而言, 植被恢复效果和水土流失控制效果所占的权重分别为 0.167 和 0.833。(2) 判断矩阵 2(指标层对植被恢复效果)。通过计算,  $\lambda_{max} = 3.027$ ,  $CI = 0.013$ ,  $RI = 0.58$ ,  $CR = 0.023 < 0.10$ , 判断矩阵具有较好的一致性, 所以对于植被恢

复效果准则层而言, 林草植被恢复率、林草覆盖度和治理措施合格率所占的权重分别为 0.474, 0.316 和 0.210。(3) 判断矩阵 3(指标层对水土流失控制效果)。通过计算,  $\lambda_{max} = 6.526$ ,  $CI = 0.105$ ,  $RI = 1.24$ ,  $CR = 0.085 < 0.10$ , 判断矩阵具有较好的一致性, 所以对于水土流失控制效果准则层而言, 拦渣率、土壤侵蚀减少率、土壤流失控制比、河流含沙量、水土流失治理度、扰动土地整治率所占的权重分别为 0.035, 0.339, 0.063, 0.522, 0.004 和 0.038。(4) 层次总排序。计算指标层同一层次所有指标对于最高层(目标层)相对重要性的排序权重。计算结果为:

$$W = \begin{bmatrix} 0.474 & 0.000 \\ 0.316 & 0.000 \\ 0.210 & 0.000 \\ 0.000 & 0.035 \\ 0.000 & 0.339 \\ 0.000 & 0.063 \\ 0.000 & 0.522 \\ 0.000 & 0.004 \\ 0.000 & 0.038 \end{bmatrix} \quad W_{总} = \begin{bmatrix} 0.079 \\ 0.053 \\ 0.035 \\ 0.029 \\ 0.282 \\ 0.052 \\ 0.435 \\ 0.003 \\ 0.032 \end{bmatrix}$$

因此, 选定金安桥水电站工程水土流失防治效果评价指标体系中各指标相对于目标层的权重值为: 林草植被恢复率 0.079, 林草覆盖度 0.053, 治理措施合格率 0.035, 拦渣率 0.029, 土壤侵蚀减少率 0.282, 土壤流失控制比 0.052, 河流含沙量 0.435, 水土流失治理度 0.003 和扰动土地整治率 0.032。

评价指标对水土流失防治效果贡献大小的排序为: 河流含沙量 > 土壤侵蚀减少率 > 林草植被恢复率 > 林草覆盖度 > 土壤流失控制比 > 治理措施合格率 > 扰动土地整治率 > 拦渣率 > 水土流失治理度。

### 3.3 标准化处理

层次分析法虽然能确定各评价指标对水土流失防治效果的贡献量, 但由于各指标间量纲不统一, 因而缺乏可比性<sup>[2]</sup>, 所以在利用上述指标时, 通过对参评因子进行标准化处理来克服参数间的不可比性, 参评因子标准化公式为:

$$Y = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \times 10 \quad (1)$$

式中:  $Y$ ——参评因子的标准话赋值;  $x_i$ ——实测值;  $x_{max}$ ——最大实测值;  $x_{min}$ ——最小实测值。  $Y$  值大则表示该因子对防治效果的影响大, 反之则小。

根据公式(1), 对资料进行标准化处理, 各指标权重及标准化赋值见表 4。

表 4 指标权重及标准化赋值

项目	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
赋值结果 $Y_i$	0.90	0.60	5.83	6.70	7.80	2.60	5.15	9.00	5.70
权重 $F_i$	0.079	0.053	0.035	0.029	0.282	0.052	0.435	0.003	0.032

### 3.4 水土流失防治效果评价

通过上述方法计算所得的综合指数值往往不符合人们判断“好”和“差”的习惯,因此需要将定量表述转化为定性描述,以便更真实地反映防治效果。因此,采用级差标准化的方法,将指标的标准化值和综合指数值转换为等级值,即建立评判集与标准化值的概念关联。综合指数是由  $n$  个要素加权得来的,计算结果总是随机分布在  $0 \sim 10$  之间,因此,本研究采用等间距法将水土流失防治效果综合指数划分为 5 个等级,即:极差  $0 \leq R < 2$ 、较差  $2 \leq R < 4$ 、一般  $4 \leq R < 6$ 、良好  $6 \leq R < 8$ 、优良  $8 \leq R \leq 10$ ,由此判别工程实施水土保持措施后的水土流失防治效果,  $R$  的计算式为:

$$R = \sum_{i=1}^n Y_i F_i \quad (2)$$

式中:  $R$  ——水土流失防治效果综合指数;  $Y_i$  ——各指标赋值结果;  $F_i$  ——各指标的权重值;  $n$  ——指标总数。

由公式(2)求得水土流失防治效果综合指数  $R$  为 5.29。依据设计好的评价标准,  $4 < R = 5.29 < 6$ ,由此判定金安桥水电站工程实施水土保持措施后的水土流失防治效果处于 5 个评价等级的一般等级。

## 4 结论

(1) 用层次分析和综合指数相结合的方法,评价建设工程施工过程中造成水土流失的防治效果,参数获取与计算简便,方法简单易行,根据在金沙江干流金安桥水电站工程的实际应用,效果较好,符合工程实际。

(2) 金安桥水电站实际阶段评价结果显示,目前水土流失防治效果处于 5 个评价等级(极差、较差、一般、良好、优良)的“一般”等级,存在着林草恢复率和

林草覆盖度偏低、河流含沙量较大等问题。因此,在后期的水土流失防治工作中,应努力提高林草植被恢复率和林草覆盖度,通过各项水土保持措施的有效实施,使工程建设导致的水土流失防治效果进一步提高,达到理想的效果。

(3) 水土流失防治效果评价可供选择的指标较多,本研究选择的林草植被恢复率、治理措施合格率等 9 项指标侧重于水电站工程,不同类型工程的防治重点不同,指标选取应不尽一致。在对观测调查数据进行统计分析和对评价指标进行标准化赋值时,存在一定的主观判断性,进而对评价结果有一定的影响。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李智广. 开发建设项目水土保持监测[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [2] 鱼哲, 雷启祥, 包文林. 罗玉沟流域水土保持植被工程效果评价[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 237-239.
- [3] 徐永年, 苏晓波, 王向东, 等. 绿化植生带在不同坡面上的水土保持效果[J]. 水利水电技术, 2002, 33(7): 62-64.
- [4] 贾致荣, 张玮. 公路边坡植被恢复质量评价指标及方法研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 115-118.
- [5] 石万英, 高欣. 绥北公路北安段水土保持方案及实施效果[J]. 黑龙江水利科技, 2008, 36(4): 191-192.
- [6] 姜德文. 开发建设项目水土保持损益分析指标体系研究[J]. 中国水土保持, 2008(1): 37-39.
- [7] 尹少华, 朱玉雯, 尹峰. 退耕还林工程综合效益评价指标体系研究[J]. 林业经济, 2008(5): 29-32.
- [8] 刘玉珍. 中型水电站经济评价[J]. 西北水电, 2000(4): 1-4.
- [9] 齐红梅, 陈奇伯. 水电工程建设区生态安全评价指标体系研究[J]. 中国水土保持, 2009(2): 39-41.
- [10] 沈慧, 姜凤岐. 水土保持磷土壤改良效益评价指标体系的研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(5): 96-99.