

# 基于 AHP-模糊综合评价法的生产建设项目 水土保持效果研究

台辉<sup>1</sup>, 王苹<sup>1</sup>, 江宁<sup>1</sup>, 张茂林<sup>1</sup>, 徐聪<sup>1</sup>, 杨振奇<sup>2</sup>

(1.长江水利委员会 长江流域水土保持监测中心站,  
湖北 武汉 430010; 2.水利部 牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010030)

**摘要:** [目的] 评价生产建设项目建设期水土保持效果,为水电站水土保持后续监督管理提供数据支撑,为生产建设项目的水土保持效果评价提供参考。[方法] 以生产建设项目——四川省甘孜藏族自治州拉哇水电站为研究评价对象,以生产建设项目水土保持监测重点和监测技术规程为体系框架,应用层次分析法—模糊综合评价法构建包含红线范围扰动、水土流失控制、绿化恢复、水土保持措施实施和水土流失危害5个方面14个水土保持指标的生产建设项目水土保持效果综合评价模型,对拉哇水电站建设中水土保持效果进行综合评价。[结果] 2017—2021年拉哇水电站综合评价指数分别为0.840、0.727、0.571、0.786、0.792,评价等级为优、良、中、良、良,呈现先减小后增加趋势,水土保持效果总体评价结果表现为良好。[结论] 在拉哇水电站建设过程中,包含红线范围扰动、水土流失控制、绿化恢复、水土保持措施实施和水土流失危害5个方面的水土保持工作总体表现良好,收到了较好的成效。

**关键词:** 水土保持; 层次分析法 AHP; 模糊综合评价法; 生产建设项目

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)05-0169-07

中图分类号: S157

**文献参数:** 台辉, 王苹, 江宁, 等. 基于 AHP-模糊综合评价法的生产建设项目水土保持效果研究[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5): 169-175. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.05.020; Tai Hui, Wang Ping, Jiang Ning, et al. Research of soil and water conservation effects of production and construction projects based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5): 169-175.

## Research of Soil and Water Conservation Effects of Production and Construction Projects Based on AHP-fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Tai Hui<sup>1</sup>, Wang Ping<sup>1</sup>, Jiang Ning<sup>1</sup>, Zhang Maolin<sup>1</sup>, Xu Cong<sup>1</sup>, Yang Zhenqi<sup>2</sup>

(1. Yangtze River Basin Monitoring Center Station for Soil and Water Conservation, Yangtze River Water Conservancy Commission, Wuhan, Hubei 430010, China; 2. Water Conservancy

Research Institute of Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot, Inner Mongolia 010030, China)

**Abstract:** [Objective] The soil and water conservation effects of production and construction projects implemented during the construction period were determined in order to provide data support for the follow-up supervision and management of soil and water conservation of hydropower stations, and to provide a reference for the evaluation of soil and water conservation effects of production and construction projects. [Methods] The study was conducted at the production and construction project of the Lawa hydropower station in the Xizang Autonomous Prefecture of Garze, Sichuan Province. The system framework consisted of the focal points and technical regulations of soil and water conservation monitoring of production and construction projects. The analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy comprehensive evaluation were applied to establish a soil and water conservation effect evaluation system that included 14 indicators from five aspects (red line disturbance, soil and water loss control, greening restoration, implementation of soil

收稿日期: 2022-02-28

修回日期: 2023-01-13

资助项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目“砒砂岩区沟坡裸岩—植被交错格局形成机制及差异性侵蚀过程研究”(2021BS04009); 内蒙古自治区科技计划项目“黄河十大孔兑流域生态修复空间精准识别与智慧水土保持技术”(2021GGO052)

第一作者: 台辉(1994—), 男(汉族), 湖北省荆州市人, 硕士, 助理工程师, 主要从事水土保持监测工作。Email: 237808631@qq.com。

通信作者: 王苹(1984—), 男(汉族), 浙江省温州市人, 工程师, 主要从事水资源管理与保护工作。Email: 276570626@qq.com。

and water conservation measures, and soil and water loss hazards) to comprehensively evaluate the water and soil conservation effect during the construction period of the Lawa hydropower station. [Results] The comprehensive evaluation indexes of the Lawa hydropower station during 2017—2021 were 0.840 (excellent), 0.727 (good), 0.571 (average), 0.786 (good), 0.792 (good), respectively, indicating a trend of decreasing first and then increasing. The overall result was good. [Conclusion] Soil and water conservation work performed during the construction of the Lawa hydropower station (including red line disturbance, soil and water loss control, greening restoration, implementation of soil and water conservation measures, and soil and water loss damage) performed well overall, and achieved good benefits.

**Keywords:** soil and water conservation; analytic hierarchy process (AHP); fuzzy comprehensive evaluation; production and construction projects

随着中国经济的高速发展,多元化生产建设项目的大力开展,通过对建设区内不同形式地表扰动,出现了多类型、大范围和重强度的水土流失问题<sup>[1]</sup>。为了加强对生产建设项目水土流失问题的管控,国家层面出台一系列水土保持技术规范重要举措,加强对水土流失危害防治力度。在项目的实施过程中,水土保持监督管理也已形成监测、监理和验收为一体较完备监管体系<sup>[2-3]</sup>。其中较为重要的是水土保持监测工作,其目标是掌握工程实施阶段造成的水土流失情况及对周围环境的影响和程度,检验水土保持措施的实施效果和合理性,对水土保持效果进行动态监测,为生产建设过程中防治水土流失监督管理和水土保持措施实施效果提供数据支持,同样为水土保持监理和验收提供支撑材料<sup>[4-5]</sup>。水土保持监测结果能直观反映为水土保持措施实施效果,水土保持效果评价是关系到生产建设项目能否顺利开展的评价依据。随着人们对生态环境的日益重视,环境保护观念逐渐加强,生产建设的水土保持工作已与工程建设同等重要<sup>[6]</sup>。不少学者对水土保持效果评价进行了研究。闫超等<sup>[7]</sup>和王海燕等<sup>[8]</sup>,采用层次分析法,建立评价模型,对不同地理条件的生产建设项目进行了水土保持效果和不同类型的国家重点工程水土保持效益进行了评价。潘希等<sup>[9]</sup>对水土保持评价方法的研究进行了综述,表明了最常用的是灰色关联度分析法和国标法等评价方法,并建议将理论与多种方法进行融合和建模,探索评价的新方法,多种方法相结合,凸显综合评价方法的优势性。他们的研究注重不同项目之间水土保持效益评价比较,缺乏对项目建设期不同阶段的比较和动态分析。现今,在生产建设项目中定期对水土保持效果评价比较常规的评价方法为三色评价,该方法是对监测指标进行赋分,结合调查结果,进行主观打分评价<sup>[10-11]</sup>。

而 AHP-模糊综合评价法是一种定性与定量相结合的方法,该方法将层次分析法(AHP)与模糊综合评价法相结合,先用层次分析法进行结构和层次的

划分,然后用模糊综合评价法评判结果,最后通过评价模型计算出综合评价结果,评价更为可靠<sup>[12-13]</sup>。探索不同方法对生产建设中水土保持实施过程中的水土保持效果进行评价研究,为科学评价生产建设项目水土保持效果提供新方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 评价对象及数据获取

拉哇水电站位于金沙江上游川藏河段,位于四川省甘孜藏族自治州巴塘县拉哇乡与西藏昌都自治州芒康县竹巴笼乡交接处。电站工程任务以发电为主,采用坝式开发方案,正常蓄水位 2 702 m,死水位 2 672 m,正常蓄水位库容  $2.31 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,调节库容  $8.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,为季调节电站。电站坝型为混凝土面板堆石坝,最大坝高 245 m,装机容量 2 000 MW,预计年均发电量为  $9.09 \times 10^9 \text{ kWh}$ 。拉哇水电站建设推进藏区跨越式发展,实现能源可持续发展,体现了国家“十四五”规划低碳、节能减排和环境保护的发展理念<sup>[14]</sup>。

本文研究数据来自于华电金沙江上游水电开发有限公司拉哇分公司拉哇水电站水土保持监测项目部,包括监测季报、监测年报和遥感影像等资料。

### 1.2 AHP-模糊综合评价法

(1) 评价体系构建。采用 AHP 法构建水土保持效果层次结构。层次结构分为目标层、准则层、指标层 3 个层次。以《水土保持监测技术规程》监测重点指标和驻点水土保持监测重点为体系框架,结合指标数据的可获取原则,建立水土保持效果为目标层,以红线范围扰动、水土流失控制和绿化恢复等 5 个方面为准则层,扰动超红线次数、扰动超红线面积和水土流失治理度等 14 个指标为指标层,构建水土保持效果评价体系。水土保持效果评价体系见表 1。

(2) 评价指标的量化分级。在生产建设项目建设过程中,水土保持效果评价中的指标分级标准尚未形成标准和规范。为了达到科学评价的目的,以已形

成的相关的分级标准和专家咨询为指导,以水利部办公厅关于印发《全国水土保持规划国家级水土保持流失重点预防区和重点治理区复合划分成果》的通知和

《生产建设项目水土流失防治标准》(GB/T50434-2018)有关规定执行标准和专家咨询等为参考,划分为“Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ”5个等级(见表2)。

表 1 水土保持效果评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of soil and water conservation effect

| 目标层       | 准则层                       | 指标层                          | 指标释义  |
|-----------|---------------------------|------------------------------|---|
| 水土保持效果(A) | 红线范围扰动(B <sub>1</sub> )   | 扰动超红线次数 C <sub>1</sub>       | 通过现场驻点监测人员无人机核查,统计出一年内扰动超红线次数   |
|           |                           | 扰动超红线面积 C <sub>2</sub>       | 通过现场驻点监测人员无人机核查,统计出一年内扰动超红线面积   |
|           |                           | 水土流失治理度 C <sub>3</sub>       | 统计分析工程建设中的水土流失面积及水土流失治理达标面积,用水土流失治理达标面积除以水土流失面积,得出水土流失总治理度              |
|           | 水土流失控制(B <sub>2</sub> )   | 土壤流失控制比 C <sub>4</sub>       | 根据定位监测的流失量,计算该工程项目的加权平均土壤流失控制比  |
|           |                           | 拦渣土率 C <sub>5</sub>          | 弃渣量减去弃渣流失量,即为拦渣量,采用加权平均算得该项目的拦渣率(水土保持防治措施面积+永久建筑面积)之和除以扰动地表面积,得出扰动土地治理率 |
|           |                           | 扰动土地治理率 C <sub>6</sub>       | 林田土壤及土壤母质单位面积、单位时间内受侵蚀量的大小,反映了侵蚀强度                                      |
|           | 绿化恢复(B <sub>3</sub> )     | 林草植被恢复率 C <sub>8</sub>       | 根据调查、量测等方法统计出项目区适宜恢复植被面积和实施的植物措施面积,用实施的植物措施面积除以适宜恢复植被面积算得林草植被恢复系数       |
|           |                           | 林草覆盖率 C <sub>9</sub>         | 用已实施的植物措施面积与项目建设区面积相除,得出林草覆盖率   |
|           | 水土保持措施实施(B <sub>4</sub> ) | 临时措施完成情况 C <sub>10</sub>     | 以环水保月例会会议纪要为依据,统计出全年水土保持工程措施按照项目要求实施和落实情况                               |
|           |                           | 工程措施完成情况 C <sub>11</sub>     | 以环水保月例会会议纪要为依据,统计出全年水土保持植物措施按照项目要求实施和落实情况                               |
|           |                           | 植物措施完成情况 C <sub>12</sub>     | 以环水保月例会会议纪要为依据,统计出全年水土保持临时措施按照项目要求实施和落实情况                               |
|           | 水土流失危害(B <sub>5</sub> )   | 水土流失危害事件发生次数 C <sub>13</sub> | 在进行工程建设过程中,操作不当,造成水土流失危害事件。例如挂渣入江、甩渣入江和现有水土保持措施损坏等                      |
|           |                           | 水土保持措施损坏次数 C <sub>14</sub>   |   |

表 2 水土保持效果指标分级标准

Table 2 Grading standards for soil and water conservation effect indicators

| 指标层   | 等级                |              |              |                     |            |
|---|-------------------|--------------|--------------|---------------------|------------|
|   | Ⅰ                 | Ⅱ            | Ⅲ            | Ⅳ                   | Ⅴ          |
| 扰动超红线次数/(次·a <sup>-1</sup> )                  | 0                 | 1            | 2            | 3                   | ≥4         |
| 扰动超红线面积/(hm <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )   | ≤0.2              | 0.2~0.4      | 0.4~0.6      | 0.6~1               | >1         |
| 水土流失治理度/%                                     | ≥90               | 90~80        | 80~70        | 70~60               | <60        |
| 土壤流失控制比/%                                     | ≥0.95             | 0.95~0.8     | 0.8~0.7      | 0.7~0.6             | <0.6       |
| 拦渣土率/%  | ≥95               | 95~90        | 90~85        | 85~80               | <80        |
| 扰动土地治理率/%                                     | ≥95               | 95~80        | 80~70        | 70~60               | <60        |
| 土壤侵蚀强度/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ) | ≥1 000            | 1 000~1 500  | 1 500~2 000  | 2 000~2 500         | <2 500     |
| 林草植被恢复率/%                                     | ≥90               | 90~80        | 80~70        | 70~60               | <60        |
| 林草覆盖率/%                                       | ≥50               | 50~40        | 40~30        | 30~20               | <20        |
| 临时措施完成情况                                      | 措施及时布置,防治分区措施落实到位 | 出现 1—3 起重    | 出现 3—6 起重    | 上会后仍不采取行动,拖延布置,进度缓慢 | 存在重大措施没按   |
| 工程措施完成情况                                      |                   | 大措施延后布置,会上督促 | 大措施延后布置,会上督促 |                     | 要求布置,达不到标准 |
| 植物措施完成情况                                      |                   |              |              |                     |            |
| 水土流失危害事件发生次数/(次·a <sup>-1</sup> )             | 0                 | 1,2          | 3,4          | 5                   | >5         |
| 水土保持措施损坏次数/(次·a <sup>-1</sup> )               | ≤10               | 10—15        | 15—20        | 20—25               | >25        |

(3) 指标权重计算。为了更科学确定准则层和指标层权重,通过专家咨询法判断指标重要程度的基础上进行数学分析,计算权重的合理性。当判断矩阵一次性检验值满足  $R_c < 0.1$  时,通过检验,认为层次总排序结果具有较满意的一致性,并接受该分析结果

从而确定指标的权重,即判断矩阵最大特征向量为权重向量,进而确定权重值。首先构造判断矩阵,即构造指标之间两两相对重要程度的矩阵。为了定量两两元素的相对重要程度,在层次分析法中使用标度 1—9 标度法(见表 3)。

表 3 层次分析法标度值及其含义

Table 3 Scale value and its meaning of analytic hierarchy process

| 元素比较          | 标度      | 含义  |
|---------------|---------|---|
|               | 1       | 两个元素具有相同的重要性  |
|               | 3       | $A_i$ 比 $A_j$ 稍微重要  |
|               | 5       | $A_i$ 比 $A_j$ 比较重要  |
| $A_i$ 比 $A_j$ | 7       | $A_i$ 比 $A_j$ 十分重要  |
|               | 9       | $A_i$ 比 $A_j$ 绝对重要  |
|               | 2,4,6,8 | 上述相邻判断的中间值  |
|               | 1/(9-1) | 若元素 $i$ 与元素 $j$ 的重要性比值为 $a_{ij}$ , 则若元素 $ji$ 与元素 $i$ 的重要性比值为 $1/a_{ij}$ |

然后计算权重,是对判断矩阵的特征根  $\lambda_{\max}$  和特征向量  $W=(w_1, w_2 \cdots w_n)$  进行求解,对应元素的权重值即为特征向量,特征根则用来检验判断矩阵的一致性水平。最后进行检验一致性。构造判断矩阵不要求该矩阵具有一致性,但判断矩阵逻辑上要求具有一致性,因此,对非一致性的矩阵而言,可能会得到不合理的权重,从而影响评价结果。对一致性的检验,先求一致性指标  $I_C$ 。

$$I_C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中: $\lambda_{\max}$  是最大特征根; $n$  是判断矩阵的阶数。

$$R_C = \frac{I_C}{I_R} \quad (2)$$

式中: $I_R$  是平均随机一致性指标。当  $R_C < 0.1$  判断矩阵具有一致性,该值越接近 0,判断矩阵的一致性越好;当  $R_C \geq 0.1$  判断矩阵不具有一致性,需要再次调整和检验。

(4) 构造隶属度模糊关系矩阵。为了增大指标评价时在各等级间数值的区别,使隶属函数在各级之间能够平滑过渡,进行模糊化处理,量化指标隶属度  $r_{ij}$  计算公式参考台辉的研究<sup>[15]</sup>,非量化指标隶属度评价见表 4。

表 4 定性指标的度隶属度指标评价矩阵

Table 4 Index evaluation matrix of degree membership of qualitative indicators

| 评级等级隶属度 | I    | II   | III  | IV   | V    |
|---------|------|------|------|------|------|
| I       | 0.70 | 0.30 | 0    | 0    | 0    |
| II      | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0    | 0    |
| III     | 0    | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0    |
| IV      | 0    | 0    | 0.25 | 0.50 | 0.25 |
| V       | 0    | 0    | 0    | 0.30 | 0.70 |

(5) 模糊综合评价模型与等级标准。运用模糊数学法对水土保持效果进行综合评价,水土保持效果综合评价模型为:

$$Z = M \times H_T \quad (3)$$

$$M = W \times R; R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$W = (W_1 W_2 \cdots W_k) \begin{pmatrix} r_{1j} \\ r_{2j} \\ \vdots \\ r_{kj} \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中: $Z$  为水土保持效果综合评价指数; $H_T$  为水土保持效果综合等级评分向量的转置矩阵,其中  $H = (1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2)$ ;  $M$  为水土保持效果综合矩阵; $W$  为水土保持效果综合评价要素的权矩阵,  $W = (W_1, W_2 \cdots W_n)$ ;  $R$  为水土保持效果要素对应各分级标准的隶属度; $R_{ij}$  为第  $i$  个评价要素对第  $j$  标准的隶属度( $j = 1, 2 \cdots n$ );  $W_k$  为各评价要素中对第  $k$  个指标所赋予的权重; $r_{kj}$  为第  $k$  个指标对第  $j$  标准的隶属度。

水土保持效果综合等级评价标准见表 5。

表 5 水土保持效果综合等级评价标准

Table 5 Comprehensive grade evaluation standard of soil and water conservation effect

| 评级等级   | 优     | 良       | 中       | 差       | 极差    |
|--------|-------|---------|---------|---------|-------|
| 综合评价指数 | 0.8~1 | 0.6~0.8 | 0.4~0.6 | 0.2~0.4 | 0~0.2 |

## 2 结果与分析

### 2.1 指标权重的确定

根据水土保持效果评价体系,请从事水土保持方向研究的 7 位副高级及以上专家对准则层和指标层进行排序并赋值,形成各层次的得分矩阵,计算各层次指标的权重,并进行一致性检验。经过计算可得,准则层矩阵的  $R_C$  为 0.001 2,红线范围扰动、水土流失控制、绿化恢复、水土保持措施实施和水土流失危害的  $R_C$  分别为 0.000 0, 0.001 8, 0.000, 0.004 2, 0.000 0。准则层和指标层通过一致性检验,其  $R_C$  值

均小于 0.1,矩阵的权重值具有可信性,计算结果见表 6—11。

表 6 目标层判断矩阵及其一致性检验

Table 6 Target layer judgment matrix and its consistency test

| 水土保持效果 A                  | B <sub>2</sub> | B <sub>4</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>5</sub> | B <sub>3</sub> | 权重    |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| 水土流失控制(B <sub>2</sub> )   | 1              | 3              | 5              | 7              | 9              | 0.550 |
| 水土保持措施实施(B <sub>4</sub> ) | 1/3            | 1              | 2              | 3              | 3              | 0.200 |
| 红线范围扰动(B <sub>1</sub> )   | 1/5            | 1/2            | 1              | 2              | 3              | 0.126 |
| 水土流失危害(B <sub>5</sub> )   | 1/7            | 1/4            | 1/3            | 1/2            | 1              | 0.076 |
| 绿化恢复(B <sub>3</sub> )     | 1/9            | 1/4            | 1/3            | 1/2            | 1              | 0.048 |
| $R_C=0.0012 < 0.1$        |                |                |                |                |                |       |

表 7 红线范围扰动判断矩阵及其一致性检验

Table 7 Red line disturbance judgment matrix and its consistency test

| 红线范围扰动(B <sub>1</sub> ) | C <sub>2</sub> | C <sub>1</sub> | 权重      |
|-------------------------|----------------|----------------|---------|
| 扰动超红线面积 C <sub>2</sub>  | 1              | 3              | 0.750 0 |
| 扰动超红线次数 C <sub>1</sub>  | 1/3            | 1              | 0.250 0 |
| $R_C=0.0000 < 0.1$      |                |                |         |

表 8 水土流失控制判断矩阵及其一致性检验

Table 8 Soil and water loss control disturbance judgment matrix and its consistency test

| 水土流失控制(B <sub>2</sub> )  | C <sub>6</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>7</sub> | 权重    |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| 扰动土地治理率(C <sub>6</sub> ) | 1              | 1/2            | 4              | 3              | 3              | 0.263 |
| 拦渣土率(C <sub>5</sub> )    | 2              | 1              | 7              | 5              | 5              | 0.475 |
| 土壤流失控制比(C <sub>4</sub> ) | 1/3            | 1/5            | 3              | 1              | 1              | 0.110 |
| 水土流失治理度(C <sub>3</sub> ) | 1/3            | 1/5            | 2              | 1              | 1              | 0.090 |
| 土壤侵蚀强度(C <sub>7</sub> )  | 1/4            | 1/7            | 1              | 1/2            | 1/3            | 0.062 |
| $R_C=0.0018 < 0.1$       |                |                |                |                |                |       |

表 9 绿化恢复判断矩阵及其一致性检验

Table 9 Greening restoration judgment matrix and its consistency test

| 绿化恢复(B <sub>3</sub> )    | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | 权重      |
|--------------------------|----------------|----------------|---------|
| 林草植被恢复率(C <sub>8</sub> ) | 1              | 1              | 0.500 0 |
| 林草覆盖率(C <sub>9</sub> )   | 1              | 1              | 0.500 0 |
| $R_C=0.0000 < 0.1$       |                |                |         |

表 10 水土保持措施实施判断矩阵及其一致性检验

Table 10 Implementation of soil and water conservation measures judgment matrix and its consistency test

| 水土保持措施实施(B <sub>4</sub> ) | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>10</sub> | 权重    |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| 工程措施完成情况 C <sub>11</sub>  | 1               | 6               | 2               | 0.588 |
| 植物措施完成情况 C <sub>12</sub>  | 1/6             | 1               | 1/4             | 0.089 |
| 临时措施完成情况 C <sub>10</sub>  | 1/2             | 4               | 1               | 0.323 |
| $R_C=0.0042 < 0.1$        |                 |                 |                 |       |

表 11 水土流失危害判断矩阵及其一致性检验

Table 11 Soil and water loss hazards judgment matrix and its consistency test

| 水土流失危害(B <sub>5</sub> )        | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | 权重      |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------|
| 水土流失危害事件发生次数(C <sub>13</sub> ) | 1               | 5               | 0.833 3 |
| 水土保持措施损坏次数(C <sub>14</sub> )   | 1/5             | 1               | 0.166 7 |
| $R_C=0.0000 < 0.1$             |                 |                 |         |

运用 AHP 法分别计算准则层权重 W<sub>1</sub> 和指标层权重 W<sub>2</sub>,统计结果见表 12。

表 12 基于层次分析法的指标权重计算结果

Table 12 Index weight calculation results based on AHP

| 准则层            | 权重 W <sub>1</sub> | 指标层             | 要素层 W <sub>2</sub> |
|----------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| B <sub>1</sub> | 0.126             | C <sub>1</sub>  | 0.250              |
|                |                   | C <sub>2</sub>  | 0.750              |
|                |                   | C <sub>3</sub>  | 0.090              |
|                |                   | C <sub>4</sub>  | 0.110              |
| B <sub>2</sub> | 0.550             | C <sub>5</sub>  | 0.475              |
|                |                   | C <sub>6</sub>  | 0.263              |
|                |                   | C <sub>7</sub>  | 0.062              |
|                |                   | C <sub>8</sub>  | 0.500              |
| B <sub>3</sub> | 0.048             | C <sub>9</sub>  | 0.500              |
|                |                   | C <sub>10</sub> | 0.588              |
| B <sub>4</sub> | 0.200             | C <sub>11</sub> | 0.089              |
|                |                   | C <sub>12</sub> | 0.323              |
| B <sub>5</sub> | 0.076             | C <sub>13</sub> | 0.833              |
|                |                   | C <sub>14</sub> | 0.167              |

## 2.2 基于模糊综合评价模型的水土保持效果评价

通过建立隶属度评价矩阵,结合各指标权重和水土保持效果综合等级评分向量,计算拉哇水电站水土保持效果综合评指数。根据隶属度计算公式,得到拉哇水电站的 2017—2021 年隶属度评价矩阵为:

$$\begin{aligned}
 & \text{2017 年} \\
 R_1 = & \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.830 & 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix} \\
 R_2 = & \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.280 & 0.720 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.167 & 0.833 \\ 0.830 & 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.423 & 0.577 \end{bmatrix} \\
 R_3 = & \begin{bmatrix} 0.000 & 0.280 & 0.720 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.260 & 0.740 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix} \\
 R_4 = & \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \end{bmatrix} \\
 R_5 = & \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

## 2018 年

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.830 & 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.439 & 0.561 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.135 & 0.865 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.710 & 0.290 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.085 & 0.915 \\ 0.000 & 0.000 & 0.160 & 0.840 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.200 & 0.800 \\ 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

## 2019 年

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.830 & 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.440 & 0.560 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.293 & 0.707 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.114 & 0.886 \\ 0.000 & 0.936 & 0.064 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.470 & 0.530 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.556 & 0.444 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.124 & 0.876 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \\ 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

## 2020 年

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.830 & 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.685 & 0.315 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.200 & 0.800 \\ 0.712 & 0.288 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.183 & 0.817 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.225 & 0.775 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.261 & 0.739 \\ 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.840 & 0.160 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

## 2021 年

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.830 & 0.170 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.725 & 0.275 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.312 & 0.688 \\ 0.624 & 0.376 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.256 & 0.744 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.376 & 0.624 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.312 & 0.688 \\ 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0.000 \\ 0.700 & 0.300 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.735 & 0.265 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

通过水土保持效果综合评价模型得到拉哇水电站水土保持效果综合评价指数。通过计算可得,拉哇水电站 2017 年水土评价指标评判结果  $M_1 = W_1 \times R_1 = (0.798, 0.202, 0.000, 0.000, 0.000)$ ; 保土评价指标评判结果  $M_2 = W_2 \times R_2 = (0.578, 0.160, 0.025, 0.109, 0.127)$ ; 植被评价指标评判结果  $M_3 = W_3 \times R_3 = (0.000, 0.272, 0.728, 0.000, 0.000)$ ; 措施评价指标评判结果  $M_4 = W_4 \times R_4 = (0.638, 0.296, 0.045, 0.022, 0.000)$ ; 危害评价指标评判结果  $M_5 = W_5 \times R_5 = (0.700, 0.300, 0.000, 0.000, 0.000)$ ; 综合评判结果  $M = W \times R = (0.599, 0.208, 0.058, 0.065, 0.070)$ ; 综合评价指数  $Z = M \times H_T = 0.840$ 。同理可得 2017—2021 年拉哇水电站水土保持效果评价指数见表 13。

表 13 拉哇水电站水土保持效果综合评价

Table 13 Comprehensive evaluation of water and soil conservation effect of Lava Hydropower Station

| 年份     | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 综合评价指数 | 0.840 | 0.727 | 0.571 | 0.786 | 0.792 |
| 评价等级   | 优     | 良     | 中     | 良     | 良     |

## 3 讨论与结论

## 3.1 讨论

(1) 水土保持效果综合评价的合理性。如表 13 所示,2017,2018,2020,2021 年水土保持效果综合评价指数为 0.840,0.727,0.786,0.792,评价等级表现良好,而 2019 年评价指数为 0.571,评价价值较低。其原因在 2019 年是“三通一平”建设的重要阶段,扰动面持续增幅最大,项目建设区域内进行多点开挖扰动,范围大,监督落实不力,导致了水土保持措施布置不及时,临时措施完成较差,土壤侵蚀强度增大,进而导

致该年的水土保持效果评价价值较低。2017,2018 年拉哇电站施工处于“三通一平”开始阶段,道路开挖面已经形成,开挖活动面少。该阶段施工项目主要涉及辅助工程(通水通电和营地建设)和隧洞开挖。对已形成的开挖面进行临时和永久道路建设,道路网格梁护坡、坡面硬化和临时苫盖等相关的水土保持措施采取及时,因此水土保持效果较好。在 2020,2021 年期间,水土保持驻点日常巡检工作逐步常态化,环水保监理对水土保持措施的按计划监督落实,弃渣场、表土剥离与保护专题规划等重要监测区域水土保持措施体系已经基本形成,起到了较好的水土保持效果,表现出评价价值较高,符合实际情况。通过对项目建设中水土保持效果进行评价,同样也能侧面反映在水土保持监督管理的实施成效,有利于建管单位指导环境保护与水土保持监理继续加强对水保的管理工作。

(2) 水土保持效果综合评价对三色评价补充性。三色评价在生产建设项目运用是从 2020 年 7 月水利部办公厅印发《关于进一步加强生产建设项目监测工作的通知》(办水保〔2020〕161 号),明确水土保持监测执行方法,采用“绿黄红”表示项目建设中水土保持效果,为水行政主管部门提供督查依据<sup>[16-17]</sup>。生产建设项目水土保持监测评价采用三色评价,评价结果采用赋分评价,反映评价结果<sup>[18]</sup>。三色评价以赋分评价为判断,以颜色为评价结果,比较直观反映生产建设项目在建设过程中水土保持实施成效,没有凸显出多重监测指标在项目实施过程中对水土保持效果的评价。而 AHP-模糊综合评价法是通过建立综合评价模型,能涵盖多指标,通过定性与定量相结合,对生产建设项目水土保持效果整体进行评价,是对水土保持监测三色评价的一种补充。

### 3.2 结论

应用 AHP-模糊综合评价法,建立层次结构,层次结构分为目标层、准则层、指标层 3 个层次。水土保持效果为目标层,红线范围扰动、水土流失控制和绿化恢复等 5 个方面为准则层。扰动超红线次数、扰动超红线面积和水土流失治理度等 14 个指标为指标层。构建了水土保持效果评价指标体系,通过构建的生产建设项目水土保持效果评价模型,对拉哇水电站生产建设项目中的水土保持效果进行了综合评价。评价得出,拉哇水电站生产建设项目 2017—2021 年水土保持效果综合评价指数分别为 0.840, 0.727, 0.571, 0.786, 0.792, 水土保持效果表现依次为优、良、中、良、良,总体表现良好。这说明在拉哇水电站建设过程中水土保持工作起到了较好的成效,为截流验收和后续工程建设有序开展奠定良好基础。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 史东梅,蒋光毅,郭宏忠,等.生产建设项目人为水土流失的生态环境损害评估[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(2):71-79.
- [2] 段东亮,张晓远,郑国权,等.生产建设项目水土保持建设管理系统设计及应用[J].水利技术监督,2021,29(9):23-27.
- [3] 姜德文,蒋学玮,周正立.人工智能对水土保持信息化监管技术支撑[J].水土保持学报,2021,35(4):1-6.
- [4] 苗德志.水土保持监测工作的重要性与措施探讨[J].水利技术监督,2021,29(12):10-11.
- [5] 水利部水土保持监测中心.我国水土保持监测工作发展成就与作用[J].中国水土保持,2021(7):1-4.
- [6] Huang Xitao, Chen Siyu, Zhang Yu, et al. Study on dynamic monitoring technology of soil and water conservation in construction projects using multi-source remote sensing information [J]. Journal of Physics (Conference Series), 2021,1848(1):012055.
- [7] 闫超,张娜娜,赵言文.江苏省输变电类生产建设项目水土保持综合评价[J].水土保持通报,2014,34(2):120-123.
- [8] 王海燕,丛佩娟,袁普金,等.国家水土保持重点工程效益综合评价模型研究[J].水土保持通报,2021,41(6):119-126.
- [9] 潘希,罗伟,段兴武,等.水土保持效益评价方法研究进展[J].中国水土保持科学,2020,18(1):140-150.
- [10] 赵哲光.水土保持监测三色评价在房地产项目中的应用[J].水土保持应用技术,2021(5):43-45.
- [11] 刘帅华,袁涛.生产建设项目水土保持监测三色评价的思考与探讨[J].水电站机电技术,2021,44(8):81-83.
- [12] 阮久莉,王艺博,郭玉文.基于层次分析—模糊综合评价法的锌冶炼行业水污染控制技术评价[J].环境工程技术学报,2021,11(5):976-982.
- [13] 王敏,尹崇鑫,程金兰,等.层次分析—模糊综合评价法在制浆造纸水污染控制技术评估中的应用[J].林业工程学报,2021,6(4):107-113.
- [14] 钱钢粮.西藏水电开发与生态环境保护[J].水力发电,2019,45(2):6-10.
- [15] 台辉.黄土高原残塬沟壑区苹果经济林生态服务功能研究[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [16] 水利部.水利部关于进一步深化“放管服”改革全面加强水土保持监管的意见[J].中华人民共和国水利部公报,2019(2):21-24.
- [17] 水利部办公厅.水利部办公厅关于进一步加强生产建设项目水土保持监测工作的通知[J].中华人民共和国水利部公报,2020(3):30-32.
- [18] 汪水前.基于水土保持监督性监测成果复核三色评价结论的实践与思考[J].中国水土保持,2022(1):12-15.