

基于熵权和 AHP 的农村绿色小水电建设 成效模糊综合评价

刘 香,袁汝华

(河海大学商学院,江苏 南京 211100)

摘要:基于生态、社会、管理和经济4个维度构建我国农村绿色小水电建设成效评价指标体系,采用熵权法和层次分析法相结合确定指标权重,并结合模糊综合评价法对农村绿色小水电建设成效进行客观的定量评估。最后,将模型运用于甘肃皇城水库水电站的实例分析,结果表明甘肃皇城水库水电站绿色小水电建设成效属于良好水平,同时指出其发展不足之处,为农村绿色小水电建设成效评价提供了思路和方法。

关键词:绿色小水电;建设成效;熵权;层次分析法;模糊综合评价

中图分类号:X820.2

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2016)06-0021-05

水电为可再生清洁能源,与核电、风电等其他发电方式相比开发难度较低,对改变我国以化石能源为主的能源消费结构具有重大的意义。在我国,小水电是指装机容量在5万kW以下、主要分布在农村地区的水电站,现有47000多座,年发电量占全国水电发电总量的25%^[1]。然而,小水电的开发却给当地生态环境带来了诸多负面影响,如下游生态供水不足导致河道断流,基本农业、生活用水受到影响^[2]等。

为降低小水电开发建设过程中对生态环境造成的不利影响,中华人民共和国水利部于2013年9月发出开展绿色小水电试点、进行绿色小水电评价试点的有关通知,规定获得“绿色水电”认证的水电站将享受电价、税收、投资等方面的补贴^[3]。此外,“十三五”期间农村水电工作仍将以绿色小水电建设为宗旨,推进小水电可持续发展。

国外对水电的绿色评价研究始于20世纪80年代,最富代表性的是瑞士绿色水电认证、美国低影响水电认证以及国家水电协会的水电可持续性评估,其他的发达国家如瑞典、加拿大等也开展了相关绿色水电试点和评价工作^[2]。我国目前对绿色水电的评价

研究还处在初级阶段,多数文献仅对绿色水电评价指标体系进行定性分析,定量研究较少。李华鹏等^[4-5]将层次分析法(AHP)和模糊综合评价法相结合对绿色水电进行实例评价,虽然比单纯采用AHP进行分析更科学,但是基于AHP得到的指标权重主观性较大。本文结合AHP和熵权法来确定权重,克服主观局限性,同时利用模糊综合评价法构建评价模型,为农村绿色小水电建设成效评价提供思路和方法。

1 基于 AHP 和熵权法确定指标权重

1.1 层次分析法^[6]

层次分析法是20世纪70年代初,由美国运筹学家 Saaty 教授提出的一种定量分析定性问题的简便、灵活的多目标决策方法。层次分析法被广泛应用于确定指标权重,步骤如下。

- a. 明确元素之间层级关系,建立评价指标体系。
- b. 同一层次元素关于上一准则的重要性进行两两比较,构造判断矩阵。通常采用5标度法和9标度法构造判断矩阵,5标度法各取值含义见表1。

表1 用5标度法表示的指标*i*与指标*j*重要性之比

<i>i</i> 与 <i>j</i> 的重要性之比 a_{ij}	1	2	3	4	5	1/2	1/3	1/4	1/5
含义	<i>i</i> 与 <i>j</i> 一样重要	<i>i</i> 比 <i>j</i> 稍重要	<i>i</i> 比 <i>j</i> 重要	<i>i</i> 比 <i>j</i> 重要得多	<i>i</i> 比 <i>j</i> 绝对重要	<i>j</i> 比 <i>i</i> 稍重要	<i>j</i> 比 <i>i</i> 重要	<i>j</i> 比 <i>i</i> 重要得多	<i>j</i> 比 <i>i</i> 绝对重要

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201301055)

作者简介:刘香(1991—),女,江苏丹阳人,硕士研究生,主要从事工程管理及技术经济研究。E-mail:xiangliu1991@163.com

c. 选用方根法计算被比较元素权重,并进行一致性检验。①计算判断矩阵每一行元素的乘积,再开 n (矩阵阶数)次方根:

$$\bar{W}_i = \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \right)^{1/n} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: a_{ij} 为判断矩阵 A 中的元素。②将向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$ 规范化处理:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (2)$$

则 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 为所求各评价指标的权重构成的特征向量。③计算各判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (3)$$

式中: $(AW)_i$ 为向量 AW 的第 i 个元素。④一致性检验:

一致性指标

$$C_I = \frac{\lambda_{\max}}{n-1} \quad C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad (4)$$

查找相应的平均随机一致性指标 R_I , 计算一致性比例 C_R 。若 $C_R < 0.1$, 认为判断矩阵的一致性可以接受, 否则应对判断矩阵进行适当的修正。

1.2 熵权法

熵的概念最早起源于经典热力学理论,后被引入到信息论中,指体系混乱、无序的程度。熵权法是一种客观赋权的方法,可以克服个人主观弊端,使评价结果更可信^[7]。

定义评价系统中第 j 个指标的熵为^[8]:

$$S_j = -k \sum_{r=1}^n P_r \ln P_r \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

其中 $k = \frac{1}{\ln t}$

式中: t 为评语集中评价等级个数; P_r 为某个评价指标处于各个评价等级 r 上的概率,且 $0 \leq P_r \leq 1$, $\sum P_r = 1, P_r = 0$ 时, $S_j = 0$ 。

则第 j 个指标的熵权为

$$W_j = \frac{1 - S_j}{m - \sum_{j=1}^m S_j} \quad (6)$$

1.3 综合权重的确定

AHP 主要是根据专家经验、决策者的偏好进行赋权,熵权法则更多地关注数据本身的客观信息,但有时不能反映决策者的想法,因此也存在一定的不足。考虑到两种方法各自的优缺点,在参考文献[9-10]有关内容的基础上,最后确定综合权重计算公式如下:

式如下:

$$W_j = 0.5W_{jAHP} + 0.5W_{jshang} \quad (7)$$

式中: W_{jAHP} 和 W_{jshang} 分别为由 AHP 和熵权法计算得到的指标 j 的权重。

2 农村绿色小水电评价模型构建

2.1 评价指标体系

绿色小水电评价涉及生态、社会、经济及管理等方面影响因素,因此在选取评价指标时需要综合该 4 个方面的因素。基于科学性、合理性、可行性的原则,在借鉴相关文献^[2]的基础上,建立了包含 4 个一级指标、16 个二级指标的评价指标体系,如表 2 所示。

表 2 农村绿色小水电建设成效评价指标体系

一级指标		二级指标
农村绿色小水电建设成效	生态建设成效(u_1)	满足生态需水情况(u_{11})
		排沙情况(u_{12})
		水质(u_{13})
		水生物种保护情况(u_{14})
	社会建设成效(u_2)	陆生生物保护情况(u_{15})
		景观协调度(u_{16})
		节能减排情况(u_{17})
		公共设施改善情况(u_{21})
	管理建设成效(u_3)	低价供电情况(u_{22})
		防洪、灌溉等其他效益(u_{23})
		安全生产标准化等级(u_{31})
		规章制度建设情况(u_{32})
	经济建设成效(u_4)	监测设备投入运行情况(u_{33})
		设备自动化程度(u_{34})
		盈利情况(u_{41})
		区域经济贡献度(u_{42})

2.2 模糊综合评价模型构建

2.2.1 确定模糊评价因素集和评语集

模糊综合评价模型^[7]的评价因素集(即评价指标)具有层次性,一级指标为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 二级指标为 $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}\}$, 其中 u_{ij} 表示第 i 指标层下的第 j 个指标。

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为评语集,其中 $V_j(j=1, 2, \dots, n)$ 为评价等级, n 为评价等级的个数。

2.2.2 构建模糊关系矩阵 R

为将每一个评价因素量化,需要确定该评价因素隶属于各评价等级的程度。将第 i 个单因素 u_i 在第 j ($1 \leq j \leq n$) 个评价等级上 v_j 的概率分布作为隶属度 r_{ij} , 使之满足 $\sum_{j=1}^n r_{ij} = 1$, 构成模糊关系评价矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.2.3 模糊综合评价

根据式(8)中 R 以及计算得到的指标权重向

量,得到模糊综合评价矩阵 B :

$$B = W \cdot R = (W_1, W_2, \dots, W_m) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (B_1, B_2, \dots, B_n) \quad (9)$$

式中: $B_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示单因素的上一级评价指标对应的 v_j 等级程度。通过求各级指标的模糊综合评价矩阵得出评价系统目标层的评价矩阵并进行分析。

3 实例分析

甘肃省金昌市永昌县皇城水库水电站^[11]位于东大河流域,总装机容量为 3 750 kW (3×1 250 kW),设计年发电量 1 720 万 kW·h,现已运行近 30 年。

皇城水库水电站在绿色小水电建设中取得了一些成果。

a. 生态方面:严格按照水电站最小生态下泄流量的有关要求,保证下游生态需水量;增加泄水通道,每秒从泄洪洞下泄 0.5 m³ 水量用于下游植被、水土保持,避免河流脱水、断流。采取围栏封育以及人工造林等措施保护上游水质,改善了东大河流域的生态环境。据统计,皇城水库水电站通过发电年均减少薪柴使用量 2 000 多 m³,减少燃煤量 16.82 万 t、二氧化碳排放量 38.45 万 t、二氧化硫排放量 0.46 万 t,节能减排效果明显,保护了当地的森林,改善了自然环境。同时,皇城水库水电站秉持绿色发展理念,在附近种植了多种植物,保证了水土保持的效果,并增加了水电站的景观效益。

b. 社会方面:为周边 18 个自然行政村、8 个不同民族供电。利用东大河流域的水资源,为灌区、金昌市工农业和生活用水提供保障。改善公共基础设施,出资修建永昌到皇城的公路,提高了皇城水库水电站周边风景区的景点效益;架设专门的输电线路,保障村民用电安全。

c. 安全生产管理方面:2015 年 4 月,皇城水库水电站的安全生产“双主体”责任落实完成。水电站严格执行安全生产大检查制度,建立了设备安全和作业安全规章制度,设置 3 个督查组强化监督效力。定期排查隐患和重大危险源,召开安全会议并进行记录。除此之外,积极组织安全生产培训讲座,增强员工安全生产主动性和自觉性。

d. 经济方面:皇城水库水电站运行以来上网电量 4.81 亿 kW·h,销售收入超 1 亿元。

3.1 隶属度矩阵及模糊关系评价矩阵 R 的确定

$V = \{ \text{优秀, 良好, 中等, 合格, 差} \}$, 对于隶属评

价等级的评价标准采用专家调查法进行确定。

a. 专家根据已有的评价标准、研究结果进行打分,如满足生态需水情况、排沙情况等指标已有相关评价标准;

b. 根据有关试点地区专家考察经验确定评价等级。

本文的农村绿色小水电建设成效评价指标为定性指标,主要通过皇城水库水电站绿色小水电建设相关报告以及绿色小水电评审专家填写的 30 份问卷来获取皇城水库水电站指标完成情况。专家对指标所属评价等级做出判断,共回收有效问卷 24 份。

表 3 皇城水库水电站评价指标问卷调查数据

二级指标	评价指标				
	优秀	良好	中等	合格	差
满足生态需水情况 (u_{11})	9	10	5	0	0
排沙情况 (u_{12})	5	6	8	3	1
水质 (u_{13})	4	6	9	3	2
水生物种保护情况 (u_{14})	3	8	10	2	1
陆生物种保护情况 (u_{15})	5	12	5	1	1
景观协调度 (u_{16})	6	10	8	0	0
节能减排情况 (u_{17})	7	11	6	0	0
公共设施改善情况 (u_{21})	6	9	7	2	0
低价供电情况 (u_{22})	7	9	6	2	0
防洪、灌溉等其他效益 (u_{23})	2	5	11	4	2
安全生产标准化等级 (u_{31})	3	8	9	2	2
规章制度建设情况 (u_{32})	4	7	8	3	2
监测设备投入运行情况 (u_{33})	2	3	10	6	3
设备自动化程度 (u_{34})	2	3	9	7	3
盈利情况 (u_{41})	5	9	6	3	1
区域经济贡献度 (u_{42})	6	10	5	2	1

对表 3 中的数据进行归一化处理,再按构建隶属度矩阵的步骤建立模糊关系评价矩阵,记为 R_1, R_2, R_3, R_4 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.375 & 0.417 & 0.208 & 0 & 0 \\ 0.208 & 0.250 & 0.333 & 0.125 & 0.042 \\ 0.167 & 0.250 & 0.375 & 0.125 & 0.083 \\ 0.125 & 0.333 & 0.417 & 0.083 & 0.042 \\ 0.208 & 0.500 & 0.208 & 0.042 & 0.042 \\ 0.250 & 0.417 & 0.333 & 0 & 0 \\ 0.292 & 0.458 & 0.250 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.250 & 0.375 & 0.292 & 0.083 & 0 \\ 0.292 & 0.375 & 0.250 & 0.083 & 0 \\ 0.083 & 0.208 & 0.458 & 0.167 & 0.083 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.125 & 0.333 & 0.375 & 0.083 & 0.083 \\ 0.167 & 0.292 & 0.333 & 0.125 & 0.083 \\ 0.083 & 0.125 & 0.417 & 0.250 & 0.125 \\ 0.083 & 0.125 & 0.375 & 0.292 & 0.125 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.208 & 0.375 & 0.250 & 0.125 & 0.042 \\ 0.250 & 0.417 & 0.208 & 0.083 & 0.042 \end{bmatrix}$$

3.2 指标权重的确定

3.2.1 AHP 确定权重

a. 构造判断矩阵。邀请相关领域专家对指标之间重要性按照 5 标度法进行判断打分。二级指标层 $u_{11} \sim u_{17}$ 、 $u_{21} \sim u_{24}$ 、 $u_{31} \sim u_{33}$ 、 $u_{41} \sim u_{42}$ 对一级指标层 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 的判断矩阵分别记为 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ；一级指标层对目标层的判断矩阵记为 P_A 。

$$P_1 = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 4 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/2 & 2 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/2 & 2 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 2 & 2 & 1 & 3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 1/2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$P_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{vmatrix} \quad P_3 = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

$$P_4 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \quad P_A = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 4 & 5 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 3 \\ 1/4 & 2 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{vmatrix}$$

b. 权重计算及一致性检验。使用方根法计算权重,设二级指标层 $u_{11} \sim u_{17}$ 、 $u_{21} \sim u_{24}$ 、 $u_{31} \sim u_{33}$ 、 $u_{41} \sim u_{42}$ 对一级指标层 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 的权重向量分别为 W_{AHP1} 、 W_{AHP2} 、 W_{AHP3} 、 W_{AHP4} ；一级指标层对目标层的权重向量为 W_{AHP} ：

$$W_{AHP1} = (0.286 \quad 0.075 \quad 0.075 \quad 0.107 \quad 0.05 \quad 0.204 \quad 0.204)$$

$$W_{AHP2} = (0.4 \quad 0.4 \quad 0.2)$$

$$W_{AHP3} = (0.4 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.2)$$

$$W_{AHP4} = (0.5 \quad 0.5)$$

$$W_{AHP} = (0.568 \quad 0.149 \quad 0.21 \quad 0.073)$$

经计算,判断矩阵 P_A 、 $P_1 \sim P_4$ 的 C_R 分别为 0.059、0.029、0、0、0,均小于 0.1,因此各判断矩阵具有满意一致性,即层次单排序和总排序具有满意一致性,故计算得到的权重值合理。

3.2.2 熵权法确定权重

根据式(5)、(6)计算得到二级和一级指标层的权重向量分别为

$$W_{熵1} = (0.215 \quad 0.069 \quad 0.051 \quad 0.109 \quad 0.135 \quad 0.208 \quad 0.213)$$

$$W_{熵2} = (0.378 \quad 0.378 \quad 0.244)$$

$$W_{熵3} = (0.312 \quad 0.183 \quad 0.265 \quad 0.24)$$

$$W_{熵4} = (0.431 \quad 0.569)$$

$$W_{熵} = (0.571 \quad 0.194 \quad 0.144 \quad 0.091)$$

3.2.3 综合权重的确定

根据式(7),对由 AHP 和熵权法求得的指标权重进行计算,并得出二级和一级指标层的综合权重向量分别为

$$W_1 = (0.25 \quad 0.072 \quad 0.063 \quad 0.108 \quad 0.093 \quad 0.206 \quad 0.209)$$

$$W_2 = (0.389 \quad 0.389 \quad 0.222)$$

$$W_3 = (0.356 \quad 0.192 \quad 0.232 \quad 0.22)$$

$$W_4 = (0.466 \quad 0.534)$$

$$W = (0.57 \quad 0.172 \quad 0.177 \quad 0.082)$$

3.3 模糊综合评价

3.3.1 一级指标模糊综合评价

由式(8)计算得到一级指标模糊综合评价矩阵:

生态建设成效

$$B_1 = (0.264 \quad 0.402 \quad 0.285 \quad 0.03 \quad 0.017)$$

社会建设成效

$$B_2 = (0.229 \quad 0.338 \quad 0.312 \quad 0.102 \quad 0.09)$$

管理建设成效

$$B_3 = (0.114 \quad 0.231 \quad 0.377 \quad 0.176 \quad 0.102)$$

经济建设成效

$$B_4 = (0.231 \quad 0.397 \quad 0.228 \quad 0.103 \quad 0.042)$$

按照最大隶属度原则,皇城水库水电站绿色小水电在生态、社会、管理和经济方面的建设成效评价等级分别为:良好、良好、中等、良好。

3.3.2 皇城水库水电站绿色小水电建设成效模糊综合评价

皇城水库水电站绿色小水电建设成效模糊关系评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.264 & 0.402 & 0.285 & 0.03 & 0.017 \\ 0.229 & 0.338 & 0.312 & 0.102 & 0.019 \\ 0.114 & 0.231 & 0.377 & 0.176 & 0.102 \\ 0.231 & 0.397 & 0.228 & 0.103 & 0.042 \end{bmatrix}$$

则二级指标模糊综合评价结果为

$$B = (0.229 \quad 0.36 \quad 0.301 \quad 0.074 \quad 0.034)$$

由此,皇城水库水电站绿色小水电建设成效隶属于优秀、良好、中等、合格、差等级的隶属度分别为 0.229、0.36、0.301、0.074 和 0.034,按照最大隶属度原则,皇城水库水电站绿色小水电建设成效属良好水平。

仅由 AHP 计算得到的二级指标模糊综合评价结果为

$$B_{AHP} = (0.229 \quad 0.355 \quad 0.304 \quad 0.074 \quad 0.036)$$

仅由熵权法计算得到的二级指标模糊综合评价

结果为

$$B_{\text{属}} = (0.229 \quad 0.366 \quad 0.298 \quad 0.073 \quad 0.033)$$

将由综合权重计算得到的综合评价结果与仅由AHP或仅由熵权法计算得到的综合评价结果进行对比,可以发现3种方法下各个等级隶属度变化不大,因此可以认为应用本文方法的评价结果具有一定的可信度。

皇城水库水电站绿色小水电建设成效模糊综合评价结果如图1所示。

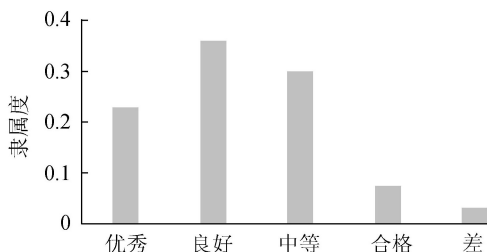


图1 皇城水库水电站绿色小水电建设成效评价等级隶属度

由图1可知,皇城水库水电站绿色小水电建设成效总体属良好水平,说明皇城水库水电站推行绿色可持续发展策略取得了较好的成绩。其中,生态、社会和经济方面的绿色小水电建设成效良好,而管理为中等水平,表明生态绿色建设良好主要得益于管理者采取的严格执行下游生态需水量供给制度、围栏育林涵养水源、种植树木保护水土、高效发电节能减排等措施,使得皇城水库水电站在至关重要的生态绿色建设评价方面成效良好。

社会建设方面,皇城水库水电站在当地出资修建了公路,架设了配套的输电线路,给当地居民交通出行、安全方便用电提供了便利;此外,为18个自然村的村民低价供电,受到村民的一致好评。经济建设方面,运行以来上网电量达4.81亿kW·h,销售收入超1亿元,显示出较强的盈利能力;另外,水电站建立后增加了当地就业人数,修建公路和低价供电一定程度上促进了地方工农业的发展。管理绿色建设方面,皇城水库水电站已落实安全生产“双主体”责任,并且制订了较为完善的安全生产操作、监督制度,在安全生产管理方面成效较好。但由于皇城水库水电站自动化水平还较低、监测设备投入不完善,因而管理方面综合评价属中等水平。

4 结 语

a. 将AHP和熵权法相结合确定指标权重,从主观、客观层面综合赋权,使得评价指标的权重更具科学性、合理性^[10]。

b. 采用基于AHP和熵权法的甘肃皇城水库水

电站绿色小水电建设成效模糊综合评价结果显示:皇城水库水电站总体上绿色等级为良好,在生态环境治理、低价供电、安全生产等方面建设成效显著。该评价模型同样适用于其他农村小水电站的绿色小水电建设成效综合评价,但在指标选取、权重确定方面尚无统一的标准,因此一定程度上存在不足。

c. 皇城水库水电站在绿色管理上为中等水平,需着重加强改进。同时,生态、社会和经济方面也需要进一步弥补不足,以实现水电站的绿色可持续发展,争创“全国绿色小水电站”。①生态方面,定期清理整治河道,减少泥沙沉积以改善河流水质,保持水生生物物种多样性。②社会方面,提高水电站的防洪、灌溉和供水等综合效益,将水电站的综合效益最大化。③管理上,首先以成为安全生产标准化等级企业为目标,从规章制度、监督力度上全面加强生产安全性。其次,引进先进的自动化设备^[11],实时监控,不仅可以减少人力投入、提高发电效率,而且有助于生产安全。④经济上,目前皇城水库水电站装机容量较小,应增加装机容量配合自动化设备来提高发电量。

参考文献:

- [1] 水利部水电局. “十二五”农村水电十件大事发布[J]. 小水电, 2016(1): 60.
- [2] 刘德有, 欧传奇, 叶敏敏. 我国绿色小水电评价标准的编制情况[J]. 中国水能及电气化, 2015(9): 7-12.
- [3] 水利部水电局. 水利部农村水电及电气化发展局关于选择和培育典型开展绿色小水电评价试点的函[J]. 中国水能及电气化, 2013(10): 1.
- [4] 李华鹏. 我国西南地区中小规模水电站绿色水电评价研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [5] 禹雪中, 夏建新, 杨静, 等. 绿色水电指标体系及评价方法初步研究[J]. 水力发电学报, 2011, 30(3): 71-77.
- [6] 吴凤平, 陈滢萍. 现代决策方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 2011: 61-79.
- [7] 王翠红. 基于熵权模糊综合评价法的建设项目后评价研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013.
- [8] 李婷, 郑垂勇. 农业水价改革绩效的熵权模糊综合评价[J]. 水利经济, 2015, 33(3): 32-36.
- [9] 邵磊, 陈郁, 张树深. 基于AHP和熵权的跨界突发性大气环境风险源模糊综合评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(3): 135-138.
- [10] 周振民, 李延峰, 范秀, 等. 基于AHP和改进熵权法的城市节水状况综合评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(2): 37-41.
- [11] 潘存荣, 孙其同, 王永光. 守护夏日塔拉草原的卫士: 甘肃省永昌县皇城水库水电站小水电建设典型经验介绍[J]. 中国水能及电气化, 2015(9): 13-15.

(收稿日期: 2016-04-22 编辑: 胡新宇)