doi:10.11988/ckyyb.20170192 2018,35(8):11-16

基于 EF-AHP 法的坝式小水电站生态环境影响评价

黄 苗[a,b],刘玥晓[a],王振华[a,b],李青云[a,b]
(长江科学院 a.流域水环境研究所;b.流域水资源与生态环境湖北省重点实验室,武汉 430010)

摘 要:坝式小水电在发挥"以电代柴"效益的同时,也对水资源及水生态环境产生了一定的负面影响。开展坝式小水电站生态环境影响评价研究,对于合理开发水资源,协调水电站开发与流域自然、社会、经济之间的关系具有重要意义。根据坝式小水电站的生态环境影响特点,应用层次分析法建立了指标评分体系,结合生态足迹法的思想来赋予各指标权重,构建了基于 EF-AHP 法的坝式小水电站综合评价模型,选取西北地区某坝式电站进行了案例应用分析,探讨了评价体系的适用性。结果表明,该模型提高了不同电站之间生态环境影响评价结果的可比性、客观性、实用性。该指标体系为客观评价坝式小水电生态环境影响提供了新的科学手段,对掌握小水电生态环境效应具有重要意义。

关键词:坝式小水电站;层次分析法;生态足迹法;指标评分体系;生态环境影响评价
中图分类号:X828 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-5485(2018)08-0011-06

1 研究背景

我国水能资源蕴藏量丰富,坝式小水电可开发装机容量达到8 700 万 kW,占全国可开发总量的23%,位居世界第一[1]。单站装机容量在5 万 kW及以下的小型水电站是农村用电的主要供给者[2],其主要结构形式为坝式水电站[3]。

坝式小水电在发挥"以电代柴"效益的同时,也对水资源及水生态环境产生了一定的负面影响,比如:建坝导致河流片段化;工程施工导致水土流失增加;蓄水导致河段水量减水等。开展坝式小水电站生态环境影响评价研究,对于合理开发水资源,保护山区农村水环境,协调水电站开发与流域自然、社会、经济之间的相互关系具有重要意义。

目前,生态环境影响评价主要分为单因子评价方法和多因子综合评价方法,生态环境综合评价指标体系主要分为基于数学模型的综合评价指标体系[4-5]、基于 DSR 模式的指标体系[6-7]以及基于生态足迹分析的指标体系[8-9]。其中层次分析评价方法(Analytic Hierarchy Process,简称 AHP 法)[10]是一种广泛应用于决策问题中的方法。其优点在于易于了解复杂的评价决策问题的本质及其内在关系,利用较少的定量数据便可将人们的思维过程数学化、系统化。但由于其在确定权重过程中以专家打分法为辅助,受主观影响较大,结果的客观性及方法的适用性受到一定程度影响。而生态足迹法(Ecological Footprint,简称 EF 法)[11]优点在于其计算结果以全球性生物生产面积表示,各项结果转换为统一量纲,使不同的评价指标具有可比性,但由于生态足迹法具有空间互斥性,某些可定量及定性指标在转换为生态足迹的过程中存在精度和物理意义的差异,影响了评价结果的合理性。本研究拟采用层次分析法评分构架,结合生态足迹法确定各指标权重,建立一套综合评价方法(EF-AHP),旨在消除层次分析法中存在的主观性缺陷,减小生态足迹法对结果的直接影响,为评价坝式小水电站综合效益提供更为科学、实用的新方法。

2 基于 EF-AHP 法的坝式小水电站综合评价模型

2.1 生态环境效益指标评分体系

本研究根据坝式小水电所处中小河流水文数据少的实际情况,在参考国内相关水电环境效应评价的基础上,针对长期性影响,遵循以下 3 个原则进行指标选取:

(1)能反映小水电工程的生态环境效应优劣。

收稿日期:2017-02-28; **修回日期**:2017-04-19
基金项目:国家自然科学基金项目(51379016);国家自然科学基金青年基金项目(51409009)
作者简介:黄 苗(1970-),男,湖北武汉人,教授级高级工程师,博士,主要从事流域水环境保护研究。E-mail:huangzhuo03@hotmail.com

(2)能够定量反映小水电工程的生态环境效应区域影响范围、层次和程度。

(3)能够用于区域生态修复,为减轻或消除区域生态负效应提供对策和措施。

本研究将生态环境效应的区域影响评价综合指数设定为目标层,在准则层中设置 4 个要素,在指标层中设置 8 个要素(表 1),综合最优原则,建立坝式小水电站生态环境效益层次结构(图 1)。

表 1 坝式小水电的生态环境效应评价指标

Table 1 Index system for assessing the eco-environmental impact of small dam-type hydropower

目标层(A)	准则层(B)	环境要素	指标层(C)	评价内容
坝式小水电的生态环境效应	水量及水质	水文情势	河道内最小流量(C1)	河道内最小流量达到年均流量的百分比
		水环境质量	水质类别(C2)	水质是否保持现状级别和功能
	水生生态	水生生物	激流性底栖动物所占比例(C3)	低等水生生物的影响程度
			鱼类物种多样性(C4)	生物多样性,生态稳定性
	陆生生态	陆生生物	河岸植被覆盖度(C5)	影响区域植被覆盖率影响程度
		水土保持	水土流失量(C6)	水土流失面积、治理面积
		土壤环境	土地利用合理性(C7)	工程占地、弃渣处理是否合理
	环境效益	植被保护	植被保护(C8)	“以电代柴”的植被保护效益

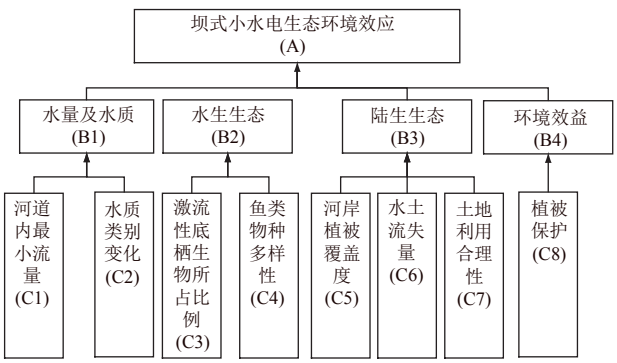


图 1 坝式小水电站生态环境效应评价指标层次结构

Fig.1 Hierarchy structure of the index system for assessing the eco-environmental impact of small dam-type hydropower

各指标 Ci 对应的评分值 L_i 计算过程分述如下。

2.1.1 河道内最小流量(C1)

生态基流应不低于年均流量的 30%或保持天然来水量。将生态基流量定为 0 级,低于历史最枯流量为-4 级。高于历史最枯流量的河道流量保证值评分 L_1 为

$$L_1 = \frac{V_d - \bar{V}}{\bar{V}} \times 100\% \times 10 \quad 。 \qquad (1)$$

式中:V_d 为修建电站后河道内最小流量;$\bar{V}$ 为生态基流。

2.1.2 水质类别(C2)

因坝式小水电运行过程中不对水质造成污染,如果工程所在河段水质已受到污染,则工程运行可能会导致污染加剧,也可能通过调度改善水质。因此,将工程建设前水质指标定为 0 级,工程建设后,水质类别改善为正,反之为负,改善级别数对应分数,以降低至劣于Ⅴ类水为-4 级。水质参数选取入河(库)污染物 COD、总氮、总磷 3 项指标评定水质类别。

2.1.3 激流性底栖动物种类所占比例(C3)

建坝改变了河流原有的水文特性,导致激流性底栖动物种类相对减少。因此,选用激流性底栖动物种类在底栖动物种类中所占比例的变化来反映建坝对低等水生生物的影响,所占比例 D 计算公式为

$$D = \frac{f_d}{F_i} \times 100\% \quad 。 \qquad (2)$$

式中:f_d 为样本中激流性底栖动物种类数;F_i 为样本中所有底栖动物种类数之和。

C3 指标的评分公式为

$$L_3 = \frac{D_h - D_j}{D_j} \times 100\% \times 10 \quad 。 \qquad (3)$$

式中 D_j,D_h 分别为建坝前、建坝后激流性底栖生物所占比例。

2.1.4 鱼类物种多样性(C4)

将工程建设前工程影响区域内 Shannon-Wiener 多样性指数 Y_j 设为 0 级。C4 指标的计算公式为

$$L_4 = \frac{Y_h - Y_j}{Y_j} \times 100\% \times 10 \quad 。 \qquad (4)$$

式中 Y_j,Y_h 分别为建坝前和建坝后 Shannon-Wiener 多样性指数。

2.1.5 河岸植被覆盖度(C5)

受影响区域选择 2~3 个长度在 15~50 m 的岸坡样本,用皮尺测定每个植被分布面积,计算植被覆盖度,以其平均值表示该河段的植被覆盖度。将建坝前植被覆盖度设为 0 级。C5 指标评分公式为

$$L_5 = \frac{Z_h - Z_j}{Z_j} \times 100\% \times 10 \quad 。 \qquad (5)$$

式中 Z_j,Z_h 分别为建坝前、建坝后植被覆盖度。

2.1.6 水土流失量(C6)

常采用经验公式法和类比法组合,计算因工程建设造成的水土流失量,即

$$W_s = \sum_{i=1}^{n} F_i (M_{ik} - M_{i0}) T_i \quad 。 \qquad (6)$$

式中：W_s 表示扰动地表新增水土流失量(t)；n 为预测单元数目；F_i 表示第 i 个预测单元的扰动面积(km^2)；M_{ik}表示扰动后第 i 个预测单元第 k 个时段的土壤侵蚀模数(t/(km^2 · a))；M_{i0}表示扰动前第 i 个预测单元土壤侵蚀模数(t/(km^2 · a))；T_i表示扰动时段(a)。

将建坝前水土流失量设为 0 级，C6 指标的评分公式为

$$L_6 = \frac{w_h - w_j}{w_j} \times 100\% \times 100 \quad 。 \tag{7}$$

式中 w_j和 w_h分别为建坝前、建坝后水土流失量。

2.1.7　土地利用合理性(C7)

小水电开发的土地利用主要包括两方面：一是工程占地是否合理；二是施工弃渣和固体废物是否合理利用。将工程施工前该区域建筑用地面积 T_j 设为 0 级，评分公式为

$$L_7 = \frac{T_h - T_j}{T_j} \times 100\% \times 10 \quad 。 \tag{8}$$

式中 T_j，T_h分别为建坝前、建坝后土地利用性评级。

2.1.8　植被保护(C8)

环境效益评估主要评价“以电代柴”所起的作用大小。计算公式为

$$L_8 = P \times 5 \quad 。 \tag{9}$$

式中 P 为用于“以电代柴”的电量在该水电站总发电量中所占的比例。

2.2　生态环境效益指标权重确定及综合等级评价

传统的层次分析法采用专家打分法来进行权重设置，受主观性影响较大。本研究中拟引入生态足迹的思想来计算权重。将评价地区的各类生物生产性土地面积经均衡因子和产量因子(表 2)校正后得到生态足迹，即

$$EF = \sum a_i r_i y_i \quad 。 \tag{10}$$

式中：a_i 为第 i 类生物生产性土地面积；r_i 为第 i 类全球均衡因子；y_i 为第 i 类中国产量因子；EF 为生态足迹。

表 2　不同类型生物生产性土地的全球均衡因子和中国产量因子

Table 2　Values of global proportional factor and Chinese yield factor of biologically productive land patterns

土地类型	主要用途	i	全球均衡因子 r_i	中国产量因子 y_i
农地	种植农作物	1	2.8	1.66
草地	提供畜产品	2	0.5	0.19
林地	提供木材或林产品	3	1.1	0.91
建筑用地	建筑和道路用地	4	2.8	1.66
水域	提供水产品	5	0.2	1.00

注：数据引自文献[12]

应用生态足迹法相关公式计算准则层中各指标生物生产性面积(EF_i)方法分述如下。

2.2.1　河道内最小流量(C1)

生态基流保障水面面积对应的生态足迹需求值 EF_1 为

$$EF_1 = r_5 y_5 \int_0^L \frac{V_d - \bar{V}}{\bar{h}} dt = 0.2 \int_0^L \frac{V_d - \bar{V}}{\bar{h}} dt \quad 。 \tag{11}$$

式中：$\bar{h}$ 为河道平均水深；L 为工程开发河段长度。

2.2.2　水质类别(C2)

改善水质所需水域面积对应的生态足迹需求值 EF_2 为

$$EF_2 = \frac{(C_2 - C_1) S_k}{C_2} r_5 y_5 = 0.2 \frac{(C_2 - C_1) S_k}{C_2} \quad 。 \tag{12}$$

式中：C_1和 C_2分别代表建坝前和建坝后河段 COD 浓度值(g/L)；S_k 为改善到原有水质所需水域面积。

2.2.3　激流性底栖动物种类所占比例(C3)

河道减水脱水对激流性底栖动物造成影响相应的生态足迹需求值 EF_3 为

$$EF_3 = k S_h r_5 y_5 = S_h \quad 。 \tag{13}$$

式中：S_h为河道减水脱水面积；k 为比例系数，底栖动物到鱼类能量传递效率最高为 20%，所以比例系数 k 取 5。

2.2.4　鱼类物种多样性(C4)

河道减水脱水对鱼类造成的影响对应的生态足迹需求值 EF_4 为

$$EF_4 = S_h r_5 y_5 = 0.2 S_h \quad 。 \tag{14}$$

2.2.5　河岸植被覆盖度(C5)

河岸植被生态足迹需求值 EF_5 为

$$EF_5 = S_z r_3 y_3 = 1.001 S_z \quad 。 \tag{15}$$

式中 S_z 为河岸植被减少面积。

2.2.6　水土流失量(C6)

岸坡水土流失生态足迹需求值 EF_6 为

$$EF_6 = S_t r_3 y_3 = 1.001 S_t \quad 。 \tag{16}$$

式中 S_t为电站施工破坏林地造成的水土流失面积。

2.2.7　土地利用合理性(C7)

电站及引水设施占地及弃渣占用河道生态足迹需求值 EF_7 为

$$EF_7 = S_d r_3 y_3 + S_q r_5 y_5 + S_g r_2 y_2 = 1.001 S_d + 0.2 S_q + 4.648 S_g \quad 。 \tag{17}$$

式中：S_d为电站及引水设施占用林地面积；S_q为弃渣占用河道面积；S_g为电站建设减少耕地面积。

2.2.8　植被保护(C8)

“以电代柴”生态足迹需求值 EF_8 为

$$EF_8 = r_3 \frac{P_e t_e}{C_e} \quad 。 \tag{18}$$

式中：r_3为林地均衡因子，取值为1.1；P_e为多年平均发电量；t_e为电力能源折算系数，$t_e = 3.6 \times 10^6$ J/(kW·h)；C_e为每公顷森林每年累积的可更新的生物能量，$C_e = 800 \times 10^8$ J/hm^2。

将上述指标生态足迹值按从下向上的次序汇总出准则层生态足迹值，两两相除之后按1-9标度法在yaahp软件判断矩阵中进行赋值，即

$$W_{ij} = \left[\frac{EF_i}{EF_j}\right] \quad 。 \tag{19}$$

式中：EF_i为Ci指标的EF值；EF_j为Cj指标的EF值；W_{ij}为判断矩阵中第i行j列值。

将计算结果中各指标权重与评分值进行加权计算，即

$$R = \sum_1^n W_{Cj} \times L_{Cj} \quad 。 \tag{20}$$

式中：R为综合评价指数；W_{Cj}为指标Cj在整个响应评价体系中的权重；L_{Cj}为指标Cj得分；n为指标个数。

坝式小水电站的生态环境效应综合评价指数等级如表3所示。

表3 坝式小水电站的生态环境效应综合评价指数等级

Table 3 Grading of assessment indexes of small dam-type hydropower

综合评价指数	评价指数的意义
$R<-1$	总体为负效应，且负效应特别严重，需对工程作特别处理，并考虑拆除
$-1 \leqslant R<-0.5$	总体为负效应，且正效应较小，负效应严重，需停止工程运行，从各方面进行整顿，采取有效手段减轻负效应
$-0.5 \leqslant R<0$	总体为负效应，负效应较严重，需采取适当的工程与非工程措施，减轻负效应，提高正效应
$0 \leqslant R<0.5$	总体为正效应，但负效应偏大，需改进和完善环境保护措施，优化工程运行管理，减轻负效应，提高正效应
$0.5 \leqslant R<1$	总体为正效应，区域生态环境保护较好，受坝式电站开发影响很小，属于鼓励开发地区
$1 \leqslant R$	总体为正效应，区域生态系统处于良好状态，基本不受坝式电站开发的影响，属于优先开发地区

3 案例分析

3.1 工程概况

西北地区某水电站工程开发河段长6 000 m，控制流域面积8 586 km^2，正常蓄水位1 469 m，多年平均发电量23 434万kW·h。水文站46 a实测多年平均流量132 m^3/s，最枯月流量26.8 m^3/s，工程调度采取不低于13.2 m^3/s。建坝扰动水域面积为0.28 km^2。

建坝前、建坝后水质均为Ⅲ类，但代表性水质指标COD浓度由22 mg/L上升至28 mg/L。建坝后激流性底栖动物种类所占比例由之前的61.0%下降至25.9%，降幅为35.1%。据调查结果显示，工程影响水域共有鱼类67种，工程建成后鱼产量约下降60%。工程影响区约为18 km^2，建设施工扰动原地貌、损坏占压的土地面积为581 hm^2，所产生的弃渣占用河道面积为120 hm^2，损坏的水土保持设施面积为158.19 hm^2。建坝后林地减少0.67 km^2，草地减少1.58 km^2，水域及湿地减少0.28 km^2，耕地减少0.72 km^2，建筑用地增加5.81 km^2，未利用地增加0.02 km^2。

工程所在区域水土流失严重，流域内水土流失总面积111.36万hm^2，其中侵蚀强度中度以上面积，占流域总面积的38.70%。该地区土壤平均侵蚀模数为3 429.8 t/(km·a)，年平均土壤侵蚀量0.56亿t。水库蓄水后，不淹没村庄，无人口迁移。根据当地供电局的调查，该电站85%用于当地居民生活用电。

3.2 模型计算结果

依据3.1节工程概况中所提及的面积值，结合2.2节中所提及各指标层权重计算公式，计算出各指标生态足迹值，汇总见表4。

表4 准则层及目标层生态足迹值

Table 4 Ecological footprint values of target levels and criteria levels

准则层(B)	准则层生态足迹值/hm^2	指标层(C)	指标层生态足迹值/hm^2
水量及水质(B1)	62.6	河道内最小流量(C1)	15.8
		水质类别(C2)	46.8
水生生态(B2)	34.6	激流性底栖动物种类所占比例(C3)	28.0
		鱼类物种多样性(C4)	5.6
陆生生态(B3)	666.1	河岸植被覆盖度(C5)	82.1
		水土流失量(C6)	158.3
		土地利用合理性(C7)	425.7
环境效益(B4)	717.8	植被保护(C8)	717.8

将各指标生态足迹值代入式(19)中，构造准则层及目标层判断矩阵，见表5—表7，运用幂法计算得各指标层总权重。

采用生态足迹法数据，将各指标评分进行加权计算得综合评分结果，见表8。另一种方式是选取较具代表性的专家打分数据，分别计算各指标权重，结合各指标评分，计算了该案例的生态环境效应目标层响应值，见表9。

表 5　准则层水生生态(B2)判断矩阵

Table 5　Judgment matrix of aquatic ecosystem(B2)

水生生态(B2)	流水性底栖生物所占比例(C3)	鱼类物种多样性(C4)	W_i
流水性底栖生物所占比例(C3)	1.0	5.0	0.833 3
鱼类物种多样性(C4)	0.2	1.0	0.166 7

表 6　准则层陆生生态(B3)判断矩阵

Table 6　Judgment matrix of terrestrial ecosystem(B3)

陆生生态(B3)	河岸植被覆盖度(C5)	水土流失量(C6)	土地利用合理性(C7)	W_i
河岸植被覆盖度(C5)	1.000 0	0.519 0	0.192 5	0.123 5
水土流失量(C6)	1.926 8	1.000 0	0.379 8	0.239 9
土地利用合理性(C7)	5.195 1	2.632 8	1.000 0	0.636 6

表 7　目标层坝式小水电生态环境效应(A)判断矩阵

Table 7　Judgment matrix of the eco-environmental impact (A) of small dam-type hydropower

坝式小水电生态环境效应(A)	水量及水质(B1)	水生生态(B2)	陆生生态(B3)	环境效益(B4)	W_i
水量及水质(B1)	1.000 0	1.800 0	0.133 5	0.086 5	0.049 0
水生生态(B2)	0.555 6	1.000 0	0.052 6	0.048 7	0.023 6
陆生生态(B3)	10.571 4	19.028 6	1.000 0	0.927 6	0.449 4
环境效益(B4)	11.396 8	20.514 3	1.078 1	1.000 0	0.484 5

表 8　综合评价模型各指标评分值和响应值

Table 8　Scoring values and response values of comprehensive evaluation model

指标	分值 L	生态足迹值 EF/hm^2	权重 W_j
河道内最小流量(C1)	−2.00	15.8	0.010 8
水质类别(C2)	0.00	46.8	0.031 7
激流性底栖动物种类所占比例(C3)	−2.52	28.0	0.019 7
鱼类物种多样性(C4)	−4.00	5.6	0.003 9
河岸植被覆盖度(C5)	−3.22	82.1	0.055 5
水土流失量(C6)	−1.40	158.3	0.107 8
土地利用合理性(C7)	−2.00	425.7	0.286 1
植被保护(C8)	4.25	717.8	0.484 5
目标层响应 R 值	1.08		

表 9　应用专家打分法各指标评分值和响应值

Table 9　Scoring values and response values calculated by experts grading method

指标	分值 L	专家打分法权重 W
河道内最小流量(C1)	−2.00	0.176 5
水质类别(C2)	0.00	0.176 5
流水性底栖动物种类所占比例(C3)	−2.52	0.044 1
鱼类物种多样性(C4)	−4.00	0.132 4
河岸植被覆盖度(C5)	−3.22	0.058 8
水土流失量(C6)	−1.40	0.029 4
土地利用合理性(C7)	−2.00	0.029 4
植被保护(C8)	4.25	0.352 9
目标层响应 R 值	0.22	

由表 8 和表 9 可见，这 2 种评价方法结果均为正效应，在总体评价及指标排序方面基本一致，在确定环境效益重要程度上差异较大。因本文只选取了一种较具代表性打分数据，而实际情况是依照不同专家打分结果进行计算，得到的目标层响应 R 值处于0.005~3 之间，波动范围较大，结果较难统一。但考虑到统一确定计算方法后，权重设定不受主观影响，可比较性更强，所以认为，EF-AHP 综合评价方法更客观、实用。

4　结　语

本研究应用层次分析法确定了评价模型各层次指标，将专家打分法替换为生态足迹法确定各层次指标权重，更好地发挥了层次分析法的作用，减少了权重确定过程中的主观随意性，增强了权重计算的客观性，提高了评价结果的科学性、可比性和实用性。

针对坝式小水电站特点，构建了包括水量及水质、水生生态、陆生生态、环境效益 4 个方面在内的综合评价模型，该指标体系对其他区小水电站的生态环境效应评价具有借鉴意义。经西北某坝式电站实例验证实用可靠，计算处理简便，评价结果基本符合现状。

由于反映坝式小水电站修建对生态环境效益的指标众多，许多指标获取难度较大，还有待进一步补充完善。此外，计算方法的统一也需反复验证才能得到业界认可。

参考文献：

[1] 孙　慧，龚壁卫，胡　波. 农村水电站引起的生态环境问题及补偿措施初探[J]. 长江科学院院报，2013，30(3)：12-15.

[2] 杜艳春，李晓亮，葛察忠. 我国农村小水电发展现状及生态环境影响浅析[C]//中国环境科学学会 2012 学术年会论文集.北京：中国农业大学出版社，2012：3249-3254.

[3] 赵淑杰，唐德善，曹　静. FAHP 在农村小水电生态效益评价中的应用[J]. 水电能源科学，2010，28(1)：130-132.

[4] 于永强，沙晓军，刘　俊，等. 基于模糊层次分析法的大型水利枢纽效益评估[J]. 水资源与水工程学报，2016，27(3)：154-159.

[5] 王效琴，王启山，王志文，等. 城市水资源开发利用措施综合效益评价模型研究[J]. 水利学报，2008，39(4)：466-471.

[6] 曲丽梅，王玉广，丛丕福，等. 河北省海岸带生态环境效应评价指标选择研究[J]. 海洋环境科学，2008，27(增 2)：41-44.

[7] 刘世梁，崔保山，温敏霞，等. 重大工程对区域生态安全的驱动效应及指标体系构建[J]. 生态环境学报，2007，16(1)：234-238.

[8] 董雅洁，梅亚东. 用生态足迹法分析水电站对河流生态系统功能的影响[J]. 水力发电，2007，33(7)：27-29.

[9] 王振华，李青云，黄　茁，等. 基于生态足迹的农村引

水式电站生态环境影响评价[J]. 小水电, 2015,(5): 8-13.
[10] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New-York: McGraw-Hill Inc.,1980.
[11] WACKERNAGEL M, CHAD M, ERB K H. Ecological Footprint Time Series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: Comparing the Conventional Approach to an "Actual Land Area" Approach[J]. Land Use Policy, 2004, 21(3):261-269.
[12] WACKERNAGEL M, REES W. Our Ecological Footprint [J]. Green Teacher, 1996, 45:5-14.

(编辑:王 慰)

Assessment of Eco-environmental Impact of Small Dam-type Hydropower by Integrating Ecological Footprint and Analytical Hierarchy Process

HUANG Zhuo[1,2], LIU Yue-xiao[1], WANG Zhen-hua[1,2], LI Qing-yun[1,2]
(1. Basin Water Environment Research Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Hubei Provincial Key Laboratory of Basin Water Resource and Eco-environment Science, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Small dam-type hydropower project has negative impact on water resources and water eco-environment despite of electricity generation in substitution of firewood. Assessing the eco-environmental impact of dam-type hydropower is of crucial significance for a rational development of water resources and a coordinative relationship between hydropower construction and nature, economy and society of the drainage basin. In the present research, a comprehensive assessment model for small dam-type hydropower is established. An index scoring system is built by analytical hierarchy process and the weights of indexes are given according to ecological footprint. The applicability of the assessment model is examined by case study on a small dam-type hydropower station in northwest China. Results suggest that the model enhances the practicability and objectivity of assessment results, and also improves the comparability among different stations. It also provides a novel scientific approach for the objective assessment of eco-environmental impact of small dam-type hydropower.

Key words: dam-type small hydropower; analytic hierarchy process; ecological footprint; index scoring system; ecological impact assessment

(上接第 5 页)

evolution characteristics of runoff in source regions of Yangtze River were investigated using statistical methods. On this basis, the impacts of both surface meteorological factors and upper atmospheric circulation factors on runoff were evaluated. Results show that runoff at Zhimenda station in the headwaters of Yangtze River distributed unevenly during a year, and a significant increasing trend is observed with regard to annual runoff. An obvious abrupt change in the year of 2004 was observed for runoff time series from 1956 to 2016. Wavelet analysis indicated that there were two significant periods of these time series, which were 7-8 years and 20-21 years, respectively. The biggest power of the spectrum was observed in the 42-43 year period. As for the impacts of different meteorological and atmospheric factors on runoff, our study indicated that precipitation was the leading driving force for runoff variation, and the role of water surface evaporation was also important. The variation of runoff was also influence by air temperature, but the effect was not significant enough. There was good agreement between monthly runoff observations of Zhimenda station and the Tibetan Plateau Index_B (TPI_B). Both the spatial distribution and magnitude of precipitation agreed well with the Tibetan Plateau vortex.

Key words: headwaters of the Yangtze River; runoff evolution; factor of atmospheric circulation; Tibetan Plateau Index; surface meteorological factors