

文章编号:1001-5485(2010)08-0016-04

水库对河流生态系统服务功能影响的生态足迹评价研究

曹永强^{1,2,3}, 张伟娜¹, 张林⁴, 游海林¹

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090; 3. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 4. 吉林省辽源市环境科学研究所, 吉林 辽源 136200)

摘要:基于层次分析法的基本原理,构建了水库对河流生态系统服务功能影响的生态足迹评价指标体系,运用 AHP 确定各个评价指标权重。以大伙房水库为例,进行了水库对河流生态系统服务功能影响的综合评价,最后应用生态足迹评价模型定量地核算了大伙房水库 4 项生态供给足迹和 3 项生态需求足迹。

关键词:生态系统;服务功能;AHP;生态足迹模型

中图分类号:X171.4 **文献标识码:**A

目前,与对森林、草原生态系统服务功能的研究相比,对河流生态系统服务功能尤其是水利工程对河流生态系统服务功能影响的研究相对要少^[1]。我国国情决定了水利工程建设仍将继续,为使已建、在建和拟建的水库工程建设走可持续发展的道路,就要充分考虑水利工程的负面效应及其环境资源价值,因此对水库工程进行环境影响评价并寻找生态补偿措施方面的研究势在必行^[2]。

1 基于层次分析法的生态足迹评价研究

1.1 生态足迹的内涵及功能

生态足迹 (Ecological Footprint), 或称生态空间占用,是指任何已知人口生产这些人口所消费的所有资源和消纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产土地面积 (包括陆地和海洋)。生态足迹代表着支持经济活动和人类日常生活所需的生态基础。

生态足迹分析提供了一种核算人类社会消费对自然环境影响的简单而综合的账户体系,因此,生态足迹指标是自然资源消耗 (能源和物质) 的一种综合指标,它与经济综合指标非常类似。研究生态足迹的重要意义在于将人类对自然资源及其生态系统服务的消耗与环境影响关联起来,用生态足迹来监视可持续发展进程,让决策者、学者和公众了解人类

对自然资本利用的状况,以便于确立可持续发展目标、监测资源的可持续利用和制定相关政策措施。

1.2 生态足迹评价研究

层次分析法是用来处理一些机理不清、难以精确量化的复杂问题的一种定性定量相结合的决策分析方法^[3]。其基本原理是将复杂问题分解成若干个层次,通过两两比较重要程度构造判断矩阵,逐层进行判断评分,利用判断矩阵的特征向量,确定下层元素对上层元素的贡献程度,从而得到基层元素对总体目标的重要性排序结果。层次分析法主要用于确定综合评价的权重系数,所用的数学工具主要是矩阵运算。层次分析法具体步骤如下。

1.2.1 明确问题并建立层次模型

通过查阅大伙房水库相关文献资料,从实际情况出发,根据数据资料的可收集性和完整性,以及选取指标对结果影响大小程度,分析核算了大伙房水库养殖、水力发电、调蓄洪水、水库供水 4 项生态供给足迹和水库泥沙淤积、工程占据、水库淹没 3 项生态需求足迹^[4],建立了水库对河流生态系统服务功能影响的生态足迹评价的层次结构,如图 1 所示。

1.2.2 构造判断矩阵及层次单排序

判断矩阵及各层次单排序结果如表 1 至表 3 所示。(A 代表层次模型结构第一层 (总目标层), B 代表层次结构模型第二层 (准则层), C 代表第三层 (措施层))。

收稿日期:2009-10-15

基金项目:城市水资源与水环境国家重点实验室 (哈工大) 开放基金 2008 年开放基金 (HC200814); 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 (河海大学) 2008 年对外开放基金 (2008491111)

作者简介:曹永强 (1973-), 男, 内蒙丰镇市人, 副教授, 主要从事水利经济方面研究, (电话) 13079816104 (电子信箱) caoyongqing@tsinghua.org.cn。

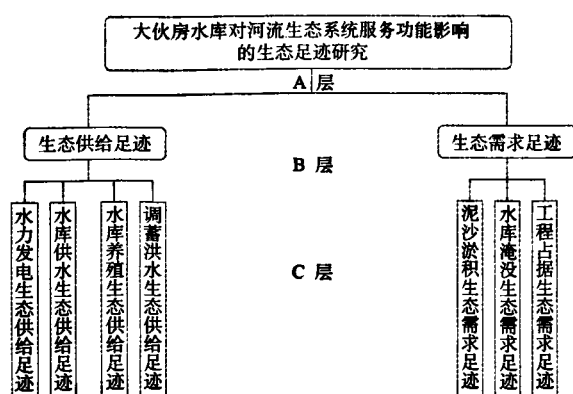


图 1 大伙房水库对河流生态系统服务功能影响的生态足迹评价层次结构图

Fig. 1 The stratum structure of ecological footprint assessment of impact of Dahuofang Reservoir on the river ecosystem service function

表 1 判断矩阵 A-B

Table 1 Judgement matrix A-B

生态足迹研究	生态供给足迹	生态需求足迹	Wi
生态供给足迹 B1	1	1	0.500 0
生态需求足迹 B2	1	1	0.500 0

注:判断矩阵一致性比例为 0.00; 对总目标的权重为 1.00

表 2 判断矩阵 B1-C

Table 2 Judgement matrix B1-C

生态供给足迹	水力发电	水库供水	水库养殖	调蓄洪水	Wi
水力发电 C1	1	1/4	2	1/4	0.187 2
水库供水 C2	4	1	4	2	0.341 1
水库养殖 C3	1/2	1/4	1	1/3	0.178 1
调蓄洪水 C4	4	1/2	3	1	0.293 6

注:判断矩阵一致性比例为 0.005 6; 对总目标的权重为 0.500 0

表 3 判断矩阵 B2-C

Table 3 Judgement matrix B2-C

生态需求足迹	泥沙淤积	水库淹没	工程占据	Wi
泥沙淤积 C5	1	1/2	4	0.361 0
水库淹没 C6	2	1	5	0.440 9
工程占据 C7	1/4	1/5	1	0.198 1

注:判断矩阵一致性比例为 0.000 0; 对总目标的权重为 0.500 0

1.2.3 层次总排序

利用上面层次单排序的结果,综合得到本层次各因素对更上一层的优劣,最终得到指标层对总目标层的优劣顺序。对求出的各间接判断矩阵的向量进行权重计算,并进行排序得到层次总排序结果见表 4。经计算所得,层次总排序随机一致性比例 $CR=0.004$, $CR<0.1$,层次总排序的结果具有令人满意的一致性。

大伙房水库对河流生态系统服务功能影响的生态足迹研究评价因子指标划分见图 2。从图 2 可以看出,4 项生态供给足迹权重排列是:水库供水生态供给足迹 > 调蓄洪水生态供给足迹 > 水力发电生态供给足迹 > 水库养殖生态供给足迹。该结果与当

表 4 层次总排序结果

Table 4 The weights of every evaluation factor

层次 C	层次 B		层次总排序
	B1	B2	
C1	0.187 2		0.093 6
C2	0.341 1		0.170 6
C3	0.178 1		0.089 0
C4	0.293 6		0.146 8
C5		0.361 0	0.180 5
C6		0.440 9	0.220 5
C7		0.198 1	0.099 1

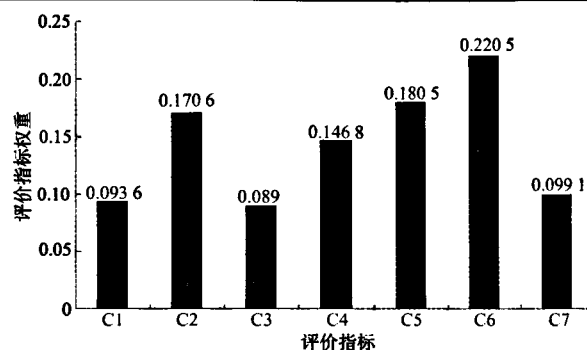


图 2 大伙房水库对河流生态系统服务功能影响的生态足迹研究评价因子指标划分图

Fig. 2 The index histogram of ecological footprint study assessment of impact of Dahuofang Reservoir on the river ecosystem service function

初兴建大伙房水库的目的是一致的,说明大伙房水库是以防洪、工业及城市供水、灌溉为主,兼顾发电、养鱼、旅游等。

3 项生态需求足迹权重排列依次是:水库淹没生态需求足迹 > 水库泥沙淤积生态需求足迹 > 工程占据生态需求足迹。说明大伙房水库投入使用之后,由水库淹没带来的负面效应占据比例是最大的,接着依次是水库泥沙淤积及工程占据所带来的负面效应。

2 基于生态足迹模型^[5-8]的生态足迹评价研究

2.1 生态供给足迹模型计算

2.1.1 水库养殖生态供给足迹模型

大伙房水库总养鱼水面积近 6 667 hm^2 ,多年平均产商品鱼 84 万 $\text{kg}^{[9]}$ 。水库养殖生态供给足迹的计算模型如下^[10]:

$$EF_c = r_c / (Q_c / y_{wc}) \quad (1)$$

式中: EF_c 为水库养殖生态供给足迹(hm^2); r_c 为均衡因子,取 0.2 (水域^[11]); Q_c 为水库正常运行时水库养殖年均水产品的产量(kg); y_{wc} 为世界水域的平均生产能力,取 29 kg/hm^2 ^[8]。计算结果为 $EF_c = 5 793.1 \text{ hm}^2$ 。

2.1.2 水力发电生态供给足迹模型

大伙房水库建库 50 年来, 累计发电 19.92 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 多年平均发电量 4 065 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ^[9]。水力发电生态供给足迹的计算模型如下^[4]:

$$EF_e = r_3 (Q_e t_e / C_e) \quad (2)$$

式中: EF_e 为水力发电生态供给足迹 (hm^2); r_3 为均衡因子, 取 1.1 (林地)^[11]; Q_e 为多年平均发电量 ($\text{kW} \cdot \text{h}$); t_e 为电力的能源折算系数, 取 $11.84 \times 10^6 \text{ J/kW} \cdot \text{h}$ ^[12]; C_e 为每公顷土地可以生产相当于 $800 \times 10^8 \text{ J}$ 的乙醇 (替代法), 或每公顷森林每年累积的可更新的生物质能源大约 $800 \times 10^8 \text{ J}$ (自然资本存量法)^[13], 取 $800 \times 10^8 \text{ J/hm}^2$ 。计算结果为 $EF_e = 6\,617.8 \text{ hm}^2$ 。

同理根据模型计算公式(2)可得, 调蓄洪水生态供给足迹模型计算结果为 $75.917\,3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 水库供水生态供给足迹模型计算结果为 $80.403\,7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

2.2 生态需求足迹模型计算

修建水库会淤积河流输送的部分泥沙, 削减河流生态系统输送泥沙的能力, 使其失去造地的功能。水库泥沙淤积生态需求足迹的计算模型为

$$EF_s = r_2 (Q_s / d_s) \gamma_2 \quad (3)$$

式中: EF_s 为水库泥沙淤积生态需求足迹 (hm^2); r_2 为均衡因子, 取 2.8 (耕地)^[11]; Q_s 为大伙房水库正常运行后年均泥沙淤积量 (m^3); d_s 为土壤表土平均厚度, 取 0.5 m ^[13]; γ_2 为产量因子^[10], 取 1.66 (耕地)。计算结果为 $EF_s = 143\,316.43 \text{ hm}^2$ 。

同理根据模型计算公式(3)可得, 工程占据生态需求足迹模型计算结果为 125.43 hm^2 , 水库淹没生态需求足迹模型计算结果为 $22\,822.79 \text{ hm}^2$ 。

生态足迹评价结果如表 5 所示。

表 5 生态足迹模型评价结果

Table 5 The assessments result of ecological footprint

model		hm^2/a	
生态供给足迹		生态需求足迹	
水库养殖	5 793.1	水库泥沙淤积	143 316.43
水利发电	6 617.82	工程占据	125.43
调蓄洪水	$75.917\,3 \times 10^4$	水库淹没	22 822.79
水库供水	$80.403\,7 \times 10^4$		
合计	1 575 620.92	合计	166 264.65

3 小 结

从生态足迹评价结果可以看出: 水库供水和调蓄洪水是大伙房水库对河流生态系统的主要正面影响, 而水库泥沙淤积是其主要的负面影响。大伙房水库 4 项生态供给足迹总计为 $1\,575\,620.92 \text{ hm}^2$, 3 项生态需求足迹总计为 $166\,264.652 \text{ hm}^2$, 生态供给

足迹是生态需求足迹的 9 倍之多, 说明从兴建至今, 大伙房水库的生态效益远大于其对环境的影响作用, 在一定程度上促进了人与自然的和谐相处, 实现了流域水资源、经济、生态、社会的可持续发展。将生态足迹评价结果与 AHP 评价结果比较可以看出, 两种方法所计算出的各项指标排序是一致的, 水库供水和调蓄洪水是大伙房水库的主要正面影响, 而水库泥沙淤积是大伙房水库的主要负面影响。

由于反映大伙房水库对河流生态系统服务功能影响的指标众多, 全部考虑十分复杂, 本研究还存在一些局限和不足。如在评价指标的选取过程中, 评价指标不够全面, 不能全方位地评价水库对河流生态系统服务功能影响的实际情况; 在计算过程中, 主要资料为统计数据, 计算结果对统计数据的准确性与精确性的依赖很大等。这些方面, 在今后的研究中还需要进一步完善。

参考文献:

- [1] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁, 等. 水利工程对河流生态系统服务功能的影响评价方法初探[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 803-807. (LU Chun-xia, XIE Gao-di, CHENG Sheng-kui, et al. Approaches to evaluate the effects of hydraulic engineering on river ecosystem services[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 803-807. (in Chinese))
- [2] 陈若缙. 水坝工程环境影响后评价与环境资源价值损失核算[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2006. (CHEN Ruo-ti. The post-evaluation of environment influences for dam engineering and the accounting for the loss of value for environment resources [D]. Xi'an: Northwest Agriculture and Forestry Science and Technology University, 2006. (in Chinese))
- [3] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. (XU Jian-hua. Measurement Geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese))
- [4] REES W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [5] WACKERNAGEL M, REES W E. Our Ecological Footprint: reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [6] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [7] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. Ecological footprint of nations [R]. Commissioned by the Earth Council for the Rio +5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, Toronto, 1997.
- [8] 辽宁省大伙房水库管理局水情调度处. 大伙房水库调度工作五十年回顾[R]. 抚顺: 辽宁省大伙房水库管理局, 2008. (Water Regulation Department of Dahuofang Reservoir Administration Bureau in Liaoning Province.

- Review of fifty-year's regulation work of Dahuofang Reservoir [R]. Fushun: Dahoufang Reservoir Administration Bureau in Liaoning Province, 2008. (in Chinese))
- [9] 邵姗姗. 大连市生态承载力与生态恢复研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2006. (TAI Shan-shan. Study on ecological capacity and ecological restoration in Dalian [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2006. (in Chinese))
- [10] 田萍萍. 基于生态足迹分析的陕西关中地区生态安全与生态补偿研究[D]. 西安: 西北大学, 2006. (TIAN Ping-ping. Study on regional ecological security and compensation based on the analysis of ecological footprint in Guanzhong Region, Shanxi Province [D]. Xi'an: Northwest University, 2006. (in Chinese))
- [11] 赵娜. 大伙房水库对河流生态系统服务功能影响评价研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2009. (ZHAO Na. Study on the impact assessment of Dahuofang Reservoir on the river ecosystem service function [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2009. (in Chinese))
- [12] 邱大雄. 能源规划与系统分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995: 48. (QIU Da-xiong. Energy planning and system analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995: 48. (in Chinese))
- [13] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹[M]. 北京: 经济科学出版社, 2003: 168 - 169. (TAO Zai-pu. Ecological rucksack and footprint [M]. Beijing: Economic Science Press, 2003: 168 - 169. (in Chinese))

(编辑: 罗玉兰)

Ecological Footprint Assessment of Dahuofang Reservoir Impact on River Ecosystem Service Function

CAO Yong-qiang^{1,2,3}, ZHANG Wei-na¹, ZHANG Lin⁴, YOU Hai-lin¹

(1. School of Urban Planning and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. State Key Lab of Urban Water Resource and Environment (HIT), Harbin 150090, China; 3. State Key

Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing

210098, China; 4. Liaoyuan Institute of Environmental Sciences, Jilin Province, Liaoyuan 136200, China)

Abstract: On the basis of the fundamental principle of analytical hierarchy process (AHP), first of all, an index assessment system on ecological footprint of the impact of a reservoir on river ecological service functions is established, and then, the weights of every index are determined by AHP. The Dahuofang Reservoir in Fushun is taken as an illustration, the aggregate assessment on the influence of the reservoir on river ecological service functions is carried out. At the end, the mentioned above model is applied to quantitatively calculate four-item ecological footprints and 3-item ecological demands of the Dahuofang Reservoir.

Key words: ecosystem; service function; AHP; ecological footprint model

长江科学院“四渡河深切峡谷悬索桥关键技术研究”项目 喜获中国公路学会科学技术奖一等奖

由长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室参加的西部交通建设科技项目“四渡河深切峡谷悬索桥关键技术研究”(200431800024)喜获2009年中国公路学会科学技术奖一等奖。

“中国公路学会科学技术奖”等同省部级科技进步奖,是由中国公路学会于2002年设立科学技术奖项。

西部交通建设科技项目“四渡河深切峡谷悬索桥关键技术研究”是为解决沪蓉高速湖北段宜昌至恩施高速公路的控制性工程——四渡河特大跨度隧道式锚碇悬索桥设计施工难题而设立的科研项目,四渡河特大跨度隧道式锚碇悬索桥是我国目前规模最大难度最高的山区桥梁工程,锚碇是目前国内外规模最大荷载最高的隧道锚,其设计与施工中的关键技术研究是我国山区特大桥梁工程建设的一次重大创新。

长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室负责了该课题中的基础性研究专题:“隧道锚试验与数值分析研究”。该专题采用勘探平洞地质结构调查、岩石内外力学试验、岩体质量评价、现场1:12实体模型张拉试验、模型及原型锚碇正反数值模拟及施工期原位监测等相结合的研究手段,研究隧道锚在设计荷载下的稳定性,解决了西部山区深切峡谷悬索桥隧道锚碇与施工中的关键技术难题。

(摘自《长江水利科技网》)