

基于PSR模型的四川省升钟水库生态安全评价

王文敬¹, 任德有¹, 李铁松¹, 黄波¹, 李成柱²

(1. 西华师范大学 国土资源学院, 四川 南充 637009; 2. 四川省环境工程评价中心 南充分中心, 四川 南充 637000)

摘要: 通过PSR(Pressure—State—Response)模型建立水库生态安全评价的指标体系,用熵权法确定17个指标的权重,运用Excel软件对数据进行处理,评价了四川省升钟水库的生态安全情况。结果表明,2004—2007年升钟水库生态安全状况呈逐年好转趋势。讨论了水库生态环境保护的多项措施,包括取缔网箱肥水养殖,加强库区居民点生活垃圾与污水处理,治理库区水土流失,减少面源与点源污染物氮、磷入库量,严防水葫芦泛滥,注重治理水体富营养,使水库的蓄水量保持在合理水平等。同时,应注意水库垂钓等新因素对升钟水库生态平衡的影响。

关键词: PSR模型; 熵权法; 生态安全评价; 升钟水库

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0198-03

中图分类号: X171.4, TV697

Ecological Security Evaluation Based on PSR Model for Shengzhong Reservoir in Sichuan Province

WANG Wen-jing¹, REN De-you¹, LI Tie-song¹, HUANG Bo¹, LI Cheng-zhu²

(1. College of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China;

2. Environmental Protection Agency of Nanchong, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract: The evaluation index of ecological security system was built using the PSR(pressure—state—response) model, entropy method was applied to define the weights of seventeen assessment indexes, and the Excel software for data processing was used to evaluate the ecological security of Shengzhong Reservoir. Results showed that the ecological security situation from 2004 to 2007 was improved. At last, several environmental protection measures for reservoir ecosystem were discussed, such as banning cage farming fertilizer, strengthening the solid waste and wastewater treatments of reservoir residents, controlling soil erosion, reducing point source and non-point source pollution by nitrogen and phosphorus, preventing the spread of water hyacinth, focusing on the management of water eutrophication, and maintaining the reservoir storage capacity in a reasonable level. At the same time, it should be noted that the new factors such as reservoir fishing or other factors affected the ecological balance of Shengzhong Reservoir.

Keywords: PSR model; entropy method; ecological security evaluation; Shengzhong Reservoir

目前,生态安全评价常用的评价指标体系有PSR模型、生态足迹法等;常用的评价方法有综合指数法、层次分析法、熵权法、模糊数学评价法和灰色理论评价法等。PSR(Pressure—State—Response)模型是1994年经济合作与发展组织(OECD)提出的,在资源、环境和社会经济的基础上,以压力、状态和响应为表征,指标体系较完整,可更清晰地表达出资源、环境、经济社会的关联^[1]。四川省库容最大的升钟水库,以灌溉为主兼有防洪、发电、饮用、游览、航运、水

产养殖、土壤持留等综合效益。从1992年起,四川省政府将升钟水库的水域功能区划定为Ⅲ类,升钟水库是南充市740多万人的第二水源地,对其生态安全方面的评价具有现实意义^[2]。

1 研究区概况

四川升钟水库1977年12月8日正式动工,1984年下闸蓄水,1998年底一期工程全面竣工,控灌面积 $9.23 \times 10^4 \text{ hm}^2$,二期工程正在审批中,二期控灌 4.86

收稿日期: 2009-12-28

修回日期: 2010-01-25

资助项目: 四川省科技厅软科学规划项目“嘉陵江中游城市供水水质安全对策研究”(2008ZR0049); 西华师范大学大学生科技创新基金“基于PSR(压力—状态—响应)模型的升钟水库生态安全研究”

作者简介: 王文敬(1985—),女(汉族),河南省新乡市人,硕士研究生,主要从事水环境研究。E-mail: jing6909119@163.com。

通信作者: 李铁松(1964—),男(汉族),四川省仁寿县人,硕士,副教授,硕士生导师,主要从事环境信息工程研究。E-mail: lts64425@163.com。

$\times 10^4 \text{ hm}^2$ 。总库容 $1.34 \times 10^9 \text{ m}^3$, 常年蓄水量 $7.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。水库地理坐标的范围为东经 $105^\circ 05' - 105^\circ 43'$, 北纬 $31^\circ 31' - 32^\circ 04'$, 入库河流主要是西河, 库区面积 517 km^2 , 地形属低山丘陵, 在流域上属嘉陵江流域。

在行政单元上, 升钟水库地跨广元的剑阁县、南充的南部县、阆中市, 控灌广元、南充、广安 3 个地级市的 9 个县市区纵横 $5\,500 \text{ km}^2$ 的 $1.39 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 耕地。在饮用水方面, 涉及饮用水人口 150 多万人, 牲畜 180 万头^[3], 水库淹没区涉及 10 个乡镇, 104 个村, 近 10 万人的土地、房屋被淹没、拆迁。由于当时移民安置采取“就近后靠, 就地上移”的办法, 淹没区群众生产生活条件没有得到及时改善, 逐渐出现了许多特殊的困难, 库区成为远近闻名的贫困地区。

2 生态安全评价模型的构建

2.1 升钟水库 PSR 模型指标体系的构建

根据郭树宏等人^[1]建立的指标体系, 结合升钟水库的实际情况, 选取并制定了“压力”指标 6 个, “状

态”指标 7 个, “响应”指标 4 个, 涵盖了水库生态安全的资源、环境、经济社会各个方面, 具有一定的代表性和普遍适用性(表 1)。

2.2 评价指标权重的确定^[4-5]

“熵权”理论是一种客观赋权方法, 熵是系统无序程度的度量, 它可以度量数据所提供的有效信息量, 引用它来确定水库生态安全系统中各个评价指标的权重(表 2), 方法步骤为:

(1) 构建 m 个样本, n 个评价指标的判断矩阵 $R = (v_{ij})_{nm} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。

(2) 对判断矩阵做归一化处理, 得到归一化判断矩阵 A : 对极大型指标(即大者为优)的指标而言, 有

$$a_{ij} = \frac{v_{ij} - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}} \times 0.4 + 0.6 \quad (1)$$

对极小型指标(即小者为优)而言, 有

$$a_{ij} = \frac{v_{\max} - v_{ij}}{v_{\max} - v_{\min}} \times 0.4 + 0.6 \quad (2)$$

式中: v_{\max}, v_{\min} ——同指标下不同样本中最满意者或最不满意者(越小越满意或越大越满意)。

表 1 2004—2007 年升钟水库生态安全评价指标数据^[6-7]

指 标	生态安全评价指标	2007 年	2006 年	2005 年	2004 年
压力	A_1 水土流失比例/ %	40.0	41.8	42.7	43.9
	A_2 人均耕地($\text{hm}^2/\text{人}$)	0.042 9	0.043 4	0.044 0	0.044 4
	A_3 人均活立木蓄积量($\text{m}^3/\text{人}$)	3.527 5	3.169 6	1.985 1	1.784 1
	A_4 人均水资源量($\text{m}^3/\text{人}$)	1 873.0	1 931.0	1 350.8	1 046.4
	A_5 人口密度/($\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$)	572	566	565	556
	A_6 人均财政收入(元/人)	968.9	664.2	558.6	473.4
状态	A_7 森林覆盖率/ %	43.0	34.4	33.9	33.2
	A_8 $\text{DO}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	7.90	6.20	8.80	8.95
	A_9 $\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.70	5.70	3.72	3.25
	A_{10} $\text{TN}/(\text{mg}/\text{L})$	1.240	1.340	0.938	0.300
	A_{11} 城镇化率/ %(正向指标)	25.3	22.6	22.3	21.9
	A_{12} 农民人均纯收入/元	3474	2988	2782	2478
	A_{13} 经济密度/($\text{万元} \cdot \text{km}^{-2}$)	392.04	294.53	295.83	268
响应	A_{14} 科教投入占 GDP 比例/ %	3.467 6	2.998 9	2.555 7	2.112 5
	A_{15} 人均固定资产投资/元	2 154.1	1 760.2	1 558.2	1 276.2
	A_{16} 第三产业比例/ %	25.85	27.40	26.83	26.40
	A_{17} 人均 GDP(元/人)	9 393	9 024	6 312	6 494

(3) 定义熵。在有 n 个评价指标, m 个被评价对象的评估问题中, 可以确定第 i 个评价指标的熵为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}$$
$$f_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}} \quad (3)$$

($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$); $k = 1/\ln m$

(4) 定义熵权 w 。定义了第 i 个评价指标的熵之

后, 可得到第 i 个评价指标的熵权定义, 即:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i} \text{ (其中 } 0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{)} \quad (4)$$

(5) 计算生态安全得分 $\text{ESI} = \sum W_i \times a_{ij} (i = 1, \dots, 17)$ 。

ESI 的分值在 0 到 1 之间, 分 5 个等级: $0 \leq \text{ESI} < 0.2$, 很不安全; $0.2 \leq \text{ESI} < 0.4$, 不安全; $0.4 \leq \text{ESI} < 0.6$; $0.6 \leq \text{ESI} < 0.9$; $0.9 \leq \text{ESI} \leq 1.0$, 很安全。

3 结论与讨论

由表 3 可见,升钟水库在 2004—2007 年期间,其生态处于不安全的状态,同时,生态安全状态逐年有所好转,从表 1 模型的各指标数值可知,“状态指标”方面的 DO、COD_{Mn}、TN 指标等均为 2006 年最差,因库区失地农民网箱养鱼、肥水养鱼,严重超过了国家规定的 1‰养殖面积(按水库面积应控制在 1 600 口以内),突

破了升钟水库水环境容量。据统计,网箱养殖年产成鱼 8 500 t,每年平均投放配合饲料约 20 000 t,鱼药 3.2 t,鱼排泄物达 4 000 t。截至目前,南部县投入资金 4600 万元取缔升钟水库养鱼网箱 6882 口。2008 年 11 月四川省政府办公厅在升钟水库组织召开了升钟水库水污染综合整治工作现场会。省环保局组织专家编制了《升钟水库生态环境污染防治规划》、《升钟水库环境保护管理办法》,并多次派出工作组现场指导。

表 2 升钟水库生态安全评价各指标权重

指标	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
权重	0.0516	0.0545	0.0707	0.0624	0.0497	0.0579	0.071 8	0.055 0	0.051 9
指标	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	
权重	0.062 8	0.065 1	0.051 5	0.059 6	0.052 6	0.051 2	0.051 2	0.080 5	

注: $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ 为压力指标; $A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}, A_{12}, A_{13}$ 为状态指标; $A_{14}, A_{15}, A_{16}, A_{17}$ 为响应指标

表 3 升钟水库生态安全评价结果

年份	ESI	优等排序
2007	0.288 3	1
2006	0.248 8	2
2005	0.234 4	3
2004	0.228 5	4

从表 1—2 还可以看出,“响应”指标中的“人均 GDP”、“状态”指标中的“森林覆盖率”和“压力”指标中的“城镇化率”权重较大。可见库区经济发展是制约水库生态安全的关键。由于库区农业是复种指数高的传统种植业,化肥、农药施用频繁和过度施用,必然会使水库污染加重,库区钓鱼盛行,有各类机动船舶 160 艘,缺乏必要的环保条件和措施,船舶污染将会对水库生态有重要影响,2006 年,四川省政府以“千亩桑园,万里湖面,核桃长廊,生态旅游”的思路,引导库区农民从事旅游接待、栽桑、养殖等,逐步促进了库区环境与经济社会的协调科学发展^[8]。

投资 200 多万元的升钟湖风景区内首个旅游码头于 2009 年 9 月底前完工并投入使用,结束了升钟湖无码头的历史,从而减少小型船舶污染。2009 年入汛以来,升钟水库蓄水量比汛期前净增 $1.684 \times 10^8 \text{ m}^3$,达到 $1.020 \times 10^9 \text{ m}^3$,水位达到 426.55 m,仅比 1988 年同期最高水位低 0.87 m,比 1989 年同期高出 1.11 m,创 20 a 来新高,也结束了连续 15 a 未泄洪的历史,对 2009 年 10 月在升钟水库举行的首届“中国·升钟湖钓鱼节”产生了积极影响。

本研究通过 PSR 模型建立升钟水库生态安全评价的指标体系,应用熵权法确定各指标权重并对水库的生态安全状况进行评价,所选取的指标还有待完善,还需要调研,找出新出现的水库生态环境问题,并把这些重要因素也加入到评价体系中,更能切实评价出水库的生态安全状况。

[参 考 文 献]

[1] 郭树宏,王菲凤,张江山,等.基于 PSR 模型的福建山仔水库生态安全评价[J].湖泊科学,2008,20(6):814-818.

[2] 詹朝坤.升钟水库富营养化趋势分析[J].四川环境,1989,8(3):68-71.

[3] 朱飞燕,叶兴东,李铁松.顺庆国家级生态示范区初研[J].中国西部科技,2004(27):38-40.

[4] 周振民,常慧.基于熵权的模糊物元地下水水质评价模型[J].中国农村水利水电,2008(12):45-47.

[5] 闫文周,顾连胜.熵权决策法在工程评价中的应用[J].西安建筑科技大学学报,2004,36(1):98-100.

[6] 史箴,杨朋,李抗美.升钟水库灌区土壤及农作物中农药污染现状调查[C]//北京:第六次全国环境监测学术交流会,2001.

[7] 胡丽慧,潘安,李铁松,等.灰色聚类法在升钟水库水体富营养化评价中的应用[J].农业环境科学学报,2008,27(6):2407-2412.

[8] 欧阳峰,芦垒,骆珍珍.普适指数公式在升钟水库富营养化评价中的应用[J].安徽农业科学,2009,37(8):3702-3703.