

# 基于 PSR 模型的三峡库区重庆段 生态安全动态评价

魏兴萍<sup>1,2</sup>

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆师范大学地理科学学院, 重庆 400047)

**摘 要:** 基于压力—状态—响应(PSR)概念模型, 从 20 个指标通过数据标准化处理、指标权重确定和生态安全评价模型的构建, 以三峡库区重庆段为例, 分析三峡库区重庆段自直辖以来的生态安全问题。运用熵权和 AHP 的平均值作为权重, 结合主观和客观赋权的优点, 使评价更为合理。结果表明, 三峡库区重庆段 1997–2003 年生态安全度为很不安全状况, 2004–2007 年生态安全度为不安全状况。从资源环境压力来看, 1997–2007 年其 ESI 一直处于很不安全状况; 从资源环境状态来看, 1997–1999 年为很不安全状态, 2000 年和 2001 年为不安全状态, 2002–2006 年为临界安全状态, 2007 年为较安全状态; 从人文环境响应来看, 1997–2004 年为很不安全状况, 2005–2007 年为不安全状况。从压力—状态—响应模型 3 方面分析对三峡库区重庆段生态安全的影响, 据权重值得知, 人文环境响应对城市生态影响最大, 其次是资源环境状态, 影响最小的是资源环境压力。

**关 键 词:** PSR 模型; 三峡库区重庆段; 生态安全

## 1 引言

随着经济与科学技术的发展, 人类征服自然和改造自然的能力空前增强, 但同时人类赖以生存的地球环境也遭受到极大的破坏, 生态安全问题日渐凸现, 成为人类社会与经济进一步发展的桎梏。广义的生态安全<sup>[1-2]</sup>是指人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态, 包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全, 组成一个复合人工生态安全系统。狭义的生态安全<sup>[3]</sup>是指自然和半自然生态系统的安全, 即生态系统完整性和健康的整体水平反映。其研究是从人类对自然资源的利用与人类生存环境辨识的角度来分析评价自然和半自然的生态系统。生态安全是一个相对的和动态的概念, 是在受到人类活动和外界环境变化的影响下处于不断的动态变化之中。

国外近年有关生态安全的研究主要集中在全球或国家层面, 很少涉及地方或区域层面, 研究的内容也主要集中在生态健康、生态风险的研究<sup>[4]</sup>。国内则更多地关注生态安全问题, 包括生态系统健康诊断、区域生态风险分析、景观安全格局、生态安

全监测与预警以及生态安全管理、保障等方面<sup>[5-7]</sup>, 近年来以生态安全评价研究最为活跃, 评价生态安全的手段也趋于多元化, 包括生态足迹法分析生态安全, “压力—状态—响应”模型评价生态安全, 运用等权法、属性识别模型、层析分析法、景观分析评价生态安全<sup>[8-14]</sup>。生态安全的评价大多都要借助评价模型, 而很多评价模型都离不开指标权重的计算, 且指标权重的确定是生态评价最重要的难点之一。前面提到的生态安全评价在使用权重时大多采用主观赋权或客观赋权法, 存在片面性。本文运用层次分析法和熵权法的平均值赋权值, 可以最大限度地降低主观因素和数据偶然性导致与事实不符的现象, 使分析结果更为合理。同时采用 1997 年~2007 年的数据分析可以了解生态安全的动态变化情况, 为全面掌握该地域生态安全提供依据。

目前国内外生态评价模型框架有 PSR 模型<sup>[15]</sup> (压力—状态—响应, 1994)、DSR 模型 (驱动力—状态—响应, 1996)、Corvadan 等提出的 DPSEEA 模型 (驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应, 1996)、欧洲环境署提出的 DPSIR 模型 (驱动力—压力—状态—影响—响应, 1998)<sup>[16]</sup>等, 这些模型均不同程度地考虑了人类活动对环境压力, 自然资源的质和量

收稿日期: 2009-09; 修订日期: 2010-01.

基金项目: 重庆市科委项目(CSTC2007BC7001; CSTC2009BA0002); 国家科技支撑计划课题项目(2006BAC01A16); 国家自然科学基金(40801077); 教育部重点项目(209100); 重庆市自然科学基金(CSTC2008BB7367); 科技部国际合作项目(2008GR1256); 重庆市教委人文社科项目(10SKE15); 西南大学研究生创新基金项目(kb2009004)。

作者简介: 魏兴萍(1975-), 女, 博士, 讲师。主要研究方向为资源环境与地理信息系统。E-mail: xingpingwei@126.com.

的变化,以及人们采取的减少、缓解和预防自然不理想变化的措施。PSR 模型从社会经济与环境有机统一的观点出发,表明了人与自然这个生态系统中各种因素间的因果关系,能更精确地反映生态系统安全的自然、经济和社会因素之间的关系,为生态安全指标构造提供了一种逻辑基础<sup>[3]</sup>。因此本文采用 PSR 概念模型,从广义生态安全概念出发,构建了 3 个层次,20 个指标的三峡库区重庆段生态安全评价指标,运用层次分析法与熵权法的平均值对各指标赋权,评价三峡库区重庆段生态安全,得出自直辖以来,三峡库区重庆段的生态安全的变化,以及基于 PSR 模式的生态安全变化,据权值分析了影响生态安全因素的强弱程度。

## 2 研究地域、方法及模型

### 2.1 研究区概况

重庆库区包括重庆市主城 7 区和国务院批准的《三峡库区经济社会发展规划》中的巫山、巫溪、奉节、云阳、开县、万州、忠县、石柱、丰都、涪陵、武隆、长寿、渝北、巴南、江津等 15 个区县(市)(图 1),幅员面积 4.61 万 km<sup>2</sup>,2007 年末人口 1896 万,城镇化水平 30.7%(15 区县 19.1%)。三峡库区重庆段属于亚热带季风性湿润气候,地带性植被为常绿阔叶林,森林覆盖率低于 30%,水土流失面积比重 56%。该段地跨川东平行岭谷低山丘陵区、大巴山喀斯特中山区和大娄山、巫山低中山山区,山地占 74%、丘

陵占 21%、河谷平坝占 5%。

三峡库区是长江上游主要的生态脆弱区之一。三峡库区是中国乃至世界最为特殊的生态功能区,其生态安全状况不仅直接影响三峡工程的安全,百万移民的安稳,更关心到整个长江流域的生态安全与区域社会经济的可持续发展。而重庆市域内三峡库区面积约占整个三峡库区面积的 80%,覆盖了大部分三峡库区范围,由此则凸现出其重要的生态地理位置<sup>[7]</sup>。

### 2.2 评价方法

#### 2.2.1 评价指标

20 世纪 80 年代末,经济合作与发展组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)共同提出了环境指标的 PSR 概念模型,即压力(Pressure)—状态(State)—响应(Response)模型<sup>[18]</sup>。在 PSR 框架内,环境问题可以表述为 3 个不同但又相互联系的指标类型:压力指标反映人类活动给环境造成的负荷;状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况;响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施<sup>[11]</sup>。

从 PSR 概念模型出发,遵循科学性、完备性、针对性、可比性和可操作性的原则<sup>[19]</sup>着眼于对城市生态环境、经济和社会方面的影响,达到自然、经济和社会之间协调的目的及考虑到与目前各种评价方法相适应,建立指标体系<sup>[20]</sup>。运用 SPSS 11.5 软件,计算这一系列指标的累计贡献率,选取累计贡献率大于 85%或特征根值大于 1 的因子作为公因子,再在 SPSS 软件求公因子的“旋转因子载荷矩阵”,通过对公因子载荷矩阵实施方差最大正交旋转<sup>[21-22]</sup>,确定了 20 个指标评价体系(表 1)。为消除由评价指标物理量纲带来的影响,在评价之前需将样本矩阵中各指标进行无量纲处理。数据源于 1997-2007 年《重庆市统计年鉴》和 1997-2007 年《重庆国民经济和社会发展统计公报》提供的相关数据。

#### 2.2.2 权重的确定及分析

在确定评价指标权重时,多采用主观确定权重的方法,如 AHP 方法等。AHP 首先是把复杂的问题分解为若干层次,建立层次结构模型,然后由专家对层次模型中各所列指标进行比较,逐层构建矩阵,并对矩阵进行一致性检验,如果通过一致性检验,证明矩阵有效,最后进行层次总排序得到各因素的权重值。其优点是思路简单,层次清晰,对问题

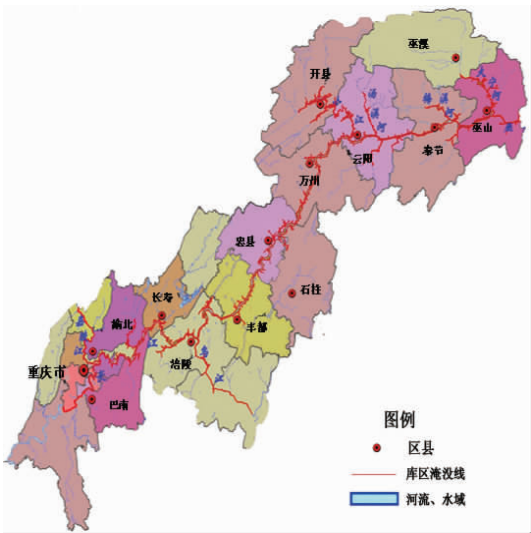


图 1 三峡库区重庆段分布示意图

Fig.1 Distribution map of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing

涉及的因素及其关系分析得较透彻,能有效地建立指标的权值分布。其缺点可能会由于人的主观因素而形成偏差。

熵权法属客观赋权法,主要根据各指标提供的信息量大小计算综合指标的数学方法。在信息论中,熵值反映了信息无序化程度,其值越小,系统无序值越小,故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及有效性。优点能客观准确得到各指标的权重,缺点可能会由于数据统计以及部分特定历史数据发生的偶然性等原因,导致与实际情况不符。为了使权重更合理,本文将取 AHP 的权值和熵权值的平均值作为综合权重值<sup>[20]</sup>(表 2)。

2.3 评价模型

生态安全度(Ecological Safety Index,ESI)是 1 个衡量生态安全程度的指标,其数值介于 0~1 之间。根据生态安全评估指标数据,可以判断研究区的生

态安全状况。

(1) 各子系统生态安全度计算模型

$$ESI_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} W_j$$
(1)

式中:  $ESI_i$  表示各子系统的生态安全度;  $Y_{ij}$  表示该指标的标准化值;  $W_j$  表示指标层  $j$  的权重。

(2) 系统生态安全度计算模型

$$ESI = \sum_{i=1}^3 ESI_i W_i$$
(2)

式中:  $ESI$  表示总系统的生态安全度,  $W_i$  表示准则层各子系统的权重。

2.4 城市生态安全度分级标准

本文参考相关研究<sup>[11]</sup>设计了一个 5 级生态安全量度标准,并给出了相应的程度描述(表 3)。

3 结果与分析

根据表 2 和表 3 的值,运用公式(1)和(2)评价模型求算生态安全度(图 2)。

3.1 三峡库区重庆段生态安全度的时间变化特征

从图 2 可以看出:三峡库区重庆段 1997~2003 年生态安全度分别为 0.163、0.17、0.24、0.27、0.315、0.325、0.33,均小于 0.35,为很不安全状况,2004~2007 年分别为 0.363、0.41、0.426、0.432,为不安全状况;虽然生态安全自直辖以来到 2007 年一直处于不安全状态以下,但生态安全度在增加,生态状态趋于好转,原因是随着三峡工程的建设,三峡库区及生态功能保护区的生态环境建设与保护受到各级政府的高度重视,特别是国家西部大开发战略以生态环境建设为核心,极大地推动了规划区的生态环境建设与保护,尤其在自然保护区建设、植被恢复、饮用水库区重庆段生态安全的好转起到了关键性的作用。

表 1 城市生态安全指标

Tab.1 Urban ecological safety indicators

目标层 A	准则层 B	领域层 C	指标层 D	
			指标	权重
生态安全评价 A	压力 B1 0.288	资源压力	人均住宅面积/ m <sup>2</sup> (D1)	0.235
			人均道路/ m <sup>2</sup> (D2)	0.144
			人均公共绿地面积/ m <sup>2</sup> (D3)	0.094
		人文社会压力	人均 GDP/(万元/人) (D4)	0.223
			人口密度/万人(D5)	0.199
			人口自然增长率‰ (D6)	0.105
	状态 B2 0.312	资源状态	森林覆盖率/% (D7)	0.112
			引用水源水质达标率/% (D8)	0.196
			自然保护区占全省面积比例/% (D9)	0.104
		人文社会状态	万人拥有车辆数/台 (D10)	0.196
			百人拥有电话数/部 (D11)	0.112
			万人拥有医生数/人 (D12)	0.280
	响应 B3 0.4	环境响应	恩格尔系数/% (D18)	0.104
			工业固体废物处理率/% (D13)	0.061
		经济响应	工业废水排放达标率/% (D14)	0.160
			环保投资占 GDP 比重/% (D16)	0.124
			科教经费占 GDP 比重/% (D17)	0.089
			第三产业占 GDP 比重/% (D15)	0.190
		人文社会响应	万人拥有学历人数/人(D19)	0.139
			万人拥有各级学校数/个(D20)	0.134

表 2 1997 年三峡库区重庆段生态安全评价指标权重

Tab.2 Ecological safety evaluation index weight value of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing in 1997

准则层	指标层	AHP 法权重	熵值法权重	综合权重 w <sub>k</sub>	准则层	指标层	AHP 法权重	熵值法权重	综合权重 w <sub>k</sub>
压力 B1 0.288	D1	0.235	0.197	0.216	响应 B3 0.400	D11	0.112	0.139	0.125
	D2	0.144	0.156	0.150		D12	0.280	0.225	0.253
	D3	0.094	0.135	0.115		D13	0.104	0.094	0.099
	D4	0.223	0.194	0.209		D14	0.061	0.142	0.102
	D5	0.199	0.183	0.191		D15	0.160	0.158	0.159
	D6	0.105	0.135	0.120		D16	0.124	0.125	0.125
状态 B2 0.312	D7	0.112	0.138	0.125		D17	0.089	0.108	0.099
	D8	0.196	0.180	0.188		D18	0.190	0.113	0.152
	D9	0.104	0.135	0.120		D19	0.139	0.133	0.136
	D10	0.196	0.183	0.190		D20	0.134	0.128	0.131



表 3 生态安全水平量度标准  
Tab.3 Criteria for ecological safety classification

	开始冻结	完全封冻	开始消融	完全消融
AMSR-E	2007.12.28-29	2008.1.27-28	2008.4.26-28	2008.5.11-12
监测				
野外观测	—	2008.1.27	—	2008.5.12
误差	—	1	—	1

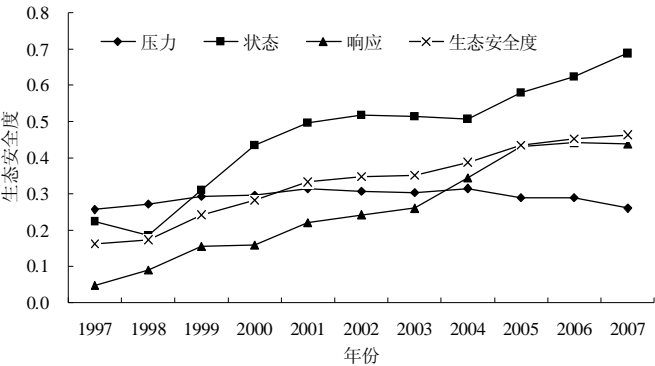


图 2 1997–2007 年三峡库区重庆段生态安全分级结果  
Fig.2 Ecological safety classification results of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing from 1997 to 2007

3.2 基于 PSR 模型的生态安全时间变化特征

就资源环境压力而言,1997–2007 年 ESI 值分别为 0.257、0.271、0.294、0.297、0.316、0.306、0.304、0.314、0.289、0.290、0.261,为很不安全状态。就人文环境响应而言,1997–2004 年 ESI 值分别为 0.048、0.09、0.155、0.158、0.22、0.241、0.262、0.345,为很不安全状况,2005–2007 年 ESI 值分别为 0.429、0.442、0.438,为不安全状况;就资源环境状态而言,1997–1999 年 ESI 值依次为 0.225、0.18、0.299,为很不安全状态,2000 年和 2001 年 ESI 值分别为 0.39 和 0.436,为不安全状态,2002–2007 年 ESI 值为 0.45、0.44、0.43、0.496、0.532,为临界安全状态。因此,影响三峡库区重庆段生态安全的劣势因子是资源环境压力,其次是人文环境响应;影响三峡库区重庆段生态安全程度的优势因子是资源环境状态。

3.3 综合权值对三峡库区重庆段生态安全的影响

从表 2 可以看出,压力、状态、响应 3 方面对三峡库区重庆段生态安全影响程度,据权重值可以得知,人文环境响应对城市生态影响最大(权值 0.4),其次是资源环境状态(权值 0.312),影响最小的是资源环境压力(权值 0.288)。从指标层来看,对三峡库区重庆段生态安全影响最大的前 3 个因素依次是万人拥有医生数(权值 0.253)、人均住宅面积(权值 0.216)、人均 GDP(权值 0.209);影响最小的是科教经费占 GDP 比重(权值 0.099)。

4 结论

本研究采用 PSR 模型确定生态安全评价方法的 20 个指标,并对指标运用层次分析法和熵权法的平均值赋权值,综合主观和客观分析法的优点,使指标权重的评价更趋科学、合理。通过实例证明该方法既明确该区域各年的生态安全度,又定量比较分析各年生态安全的优劣,以及得出各因素影响城市生态安全的强弱程度,从而为城市的健康发展提供行之有效的科学依据。

在 PSR 概念框架模型的指导下,运用层次分析法和熵权法的平均值作为权值进行三峡库区重庆段生态安全评价具有可行性。通过分析,得出三峡库区重庆段生态安全自直辖以来到 2007 年,均处在不安全状态以下,但生态安全度在逐年升高。从资源环境压力来看,三峡库区重庆段自直辖以来一直到 2007 年均处于很不安全状况;从资源环境状态来看,从 1997 年的很不安全状态发展到 2007 年为较安全状态;从人文环境响应来看,1997 年为很不安全发展为 2007 年的不安全状况。分析结果可以看出影响三峡库区重庆段生态安全的劣势因子是资源环境压力,其次是人文环境响应;优势因子是资源环境状态。由权重值判断生态安全影响程度,人文环境响应对其影响最大,其次是资源环境状态,影响最小的是资源环境压力。

参考文献

[1] Costanza R, Norton B G, Hashell B D. Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Washington DC:Island Press, 1992: 1–125.

[2] Dobson, Andy P, et al. Hopes for the future:Restoration ecology and conservation ecology. Science, 1997, 233: 515–524.

[3] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354–358.

[4] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13 (10): 397–402.

[5] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展. 生态学报, 2006, 26(5): 1558–1566.

[6] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展. 生态学报, 2005, 25(4):861–868.

[7] 陈星,周成虎. 生态安全: 国内外研究综述. 地理科学进展, 2005, 24(6): 8–20.

[8] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析. 地理学报, 2005, 60(4): 597–606.

[9] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67–71.

[10] 邱微, 赵庆良, 李崧, 等. 基于“压力–状态–响应”模型的黑龙江省生态安全评价研究. 环境科学, 2008, 29(4): 1148–1152.

[11] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价. 自然资源学报, 2004, 19(6): 769–775.

[12] 吴开亚, 张礼兵, 金菊良, 等. 基于属性识别模型的巢湖流域生态安全评价. 生态学杂志, 2007, 26(5): 759–764.

[13] 郭明, 肖笃宁, 李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析.生态学报, 2006, 26(2): 457–466.

[14] 李晓燕, 任志远. 基于“压力–状态–响应”模型的渭南市生态安全动态变化分析. 陕西师范大学学报, 2008, 36(5): 82–85.

[15] Tong C. Review on enviromental indicator research. Research on Environmental Science, 2000, 13(4): 53.

[16] Corvlan C, Briggs D, Kjellstrom T. Development of environmental health indicators//Briggs D, eds. Link –age Methods for Enviroment and Health Analysis. General guidelines. Geneva: UNEP,USEPA and WHO, 1996: 19–53.

[17] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征. 生态学报, 2009, 29(2): 788–796.

[18] Peter C, Schnlze. Overview: Measures of Enviromental Performance and Ecosystem Condition. Washington DC: National Academy Press, 1999.

[19] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究. 环境科学研究, 2002, 13(13): 33–36.

[20] 李佩武, 李贵才, 张金花, 等. 深圳城市生态安全评价与预测. 地理科学进展, 2009, 28(2): 245–252.

[21] 张凤太, 苏维词, 周继霞. 基于熵权灰色关联分析的城市生态安全评价. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1249–1254.

[22] 官冬杰, 苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究. 环境科学学报, 2006, 26(10): 1716–1721.

# Ecological Safety Evaluation of Three Gorges Reservoir Area in Chongqing with the Pressure–State–Response Model

WEI Xingping<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographic Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;  
2. School of Geographic Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China )

**Abstract:** An ecological safety index (ESI) system including 20 indices for the Three Gorges Reservoir area in Chongqing was built up following the principles of the pressure–state–response (P–S–R) model. The ecological safety problems were analysed through standardizing the primary data, estimating values of weight and constructing models for ecological safety evaluation. The study results was made more reasonable by using the average means of the results from the entropy method and AHP method as comprehensive weight values. The Results showed that the Three Gorges Reservoir area in Chongqing was kept at a very unsafe state from 1997 to 2003 and kept at an unsafe state from 2004 to 2007. The resource environment was at very unsafe state from 1997 to 1999, unsafe state in both 2000 and 2001, critical safe state from 2002 to 2006 and relative safe state in 2007. The human enviroment response was at very unsafe state from 1997 to 2004 and unsafe state from 2005 to 2007. The affecting degrees on urban ecological safety of the factors in the PSR model follow a descending order of human enviromental response, resource environmental state and resource environmental pressure in turns.

**Key words:** pressure–state–response (PSR) model; Three Gorges reservoir region in Chongqing; ecological safety