

# 三峡库区山地生态系统预警

刘邵权, 陈国阶, 陈治谏

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 论述了三峡库区山地生态系统的特征, 建立山地生态系统预警评价的指标体系和预警模式, 在假定不作重大投资进行调控修复的前提下对三峡库区山地生态系统进行预警分析, 复合生态系统及各子系统都将处于逆向演替状态, 绝大多数子系统及复合生态系统在 2010 年前将处于各种预警状态。在预警分析基础上, 提出优化调控战略要点, 其核心是经济、社会发展与生态环境建设的协调。

**关键词:** 三峡库区; 山地生态系统; 预警

**中图分类号:** X821; X171

**文献标识码:** A

山地是指起伏的相对高度 $>200\text{m}$ 的地段, 它不仅包括低山、中山、高山、极高山, 而且包括高原、山原、丘陵及其间的山谷与山间盆地<sup>[1]</sup>。它是由自然、社会、经济系统组成的复合生态系统, 并在自然过程和人类活动的共同作用下处于不断地演替状态, 山地生态系统预警主要针对人类活动所导致的山地生态系统负向演替、退化、恶化状态等作出及时预告、报警。其目的在于在系统退化质变之前, 及时发现环境问题, 并通过采取调控修复措施, 使山地生态系统变负向演替为正向演替, 实现山地生态系统的可持续发展。

环境预警是在环境评价、环境预测基础上发展起来的, 并成为当代环境科学的一个研究热点。通过几年的发展, 对预警的基本概念、预警理论和方法作过一些初步探讨<sup>[2~7]</sup>。与其它复合生态系统相比, 山地生态系统更具不稳定性 and 脆弱性<sup>[8]</sup>, 由于人类活动的强度超越山地生态系统的承受能力, 致使山地森林面积减小, 水土流失、洪旱灾害、泥石流、滑坡、崩塌、生物多样性丧失等生态灾难日趋严重, 环境污染加剧, 山地生态系统逆向演替更加明显, 进程加快。因此, 山地生态系统预警在山地环境研究中的地位与作用日益增强, 并在实践中对山地生态系统的恢复与重建具有重要的指导作用。

三峡库区包括重庆市东部的 16 个县(区)市和

湖北西部的 4 个县, 面积约  $5.42\text{万 km}^2$ , 人口约为 1 440 万人。区内地形起伏相对高差大, 低山以上的山地约占总面积的 74%, 平原、坝地很少, 仅占总面积的 4.3%, 土地资源严重不足, 土地人口承载力不高, 人口密度大, 人类活动强度大, 对山地生态系统演化的方向造成较为严重的不利影响。同时, 三峡工程的开工建设, 势必进一步使其生态与环境问题复杂化、严重化。因此, 选择三峡库区山地生态系统进行预警分析, 提出调控对策, 对其实现可持续发展具有积极的作用和强烈的现实意义。

## 1 山地生态系统特征分析

### 1.1 经济特点

三峡库区处于我国中西部的结合带, 是我国经济发展水平较低的区域, 整个库区的经济实力、产业结构、经济效益都呈现欠发达的经济特征。

1. 经济发展水平低下 1998 年三峡库区 GDP 总量仅 519.32 亿元, 人均 GDP 仅 3 614 元, 均低于当年四川、湖北及全国的平均水平。人均粮食产量、人均第三产业产值、工业产值和农业产值也都低于川鄂和全国的平均水平。

2. 工业化初期的产业结构特征 从三大产业结构分析, 三峡库区的第一产业增加值占 GDP 的 27.83%; 其第二产业增加值的比重仅 43.12%; 第三

收稿日期: 2001-12-05。

基金项目: 国家自然科学基金(编号 49571067); 国务院三峡建设委员会办公室生态环境补偿费资助万县生态环境监测试验站项目(合同号 SX2001-021)。

作者简介: 刘邵权, (1968-), 男(汉族), 重庆梁平人, 在读博士研究生, 主要从事山地环境研究工作。

产业增加值占 GDP 的 29.05%, 这说明库区的第二、三产业发展水平很低, 基本上还处于工业化初期的产业状态。

3. 经济效益低下 库区工业 1998 年每百元资金产值为 72.86 元, 每百元资金利润为 -0.87 元, 远低于四川、湖北及全国的平均水平。万县市作为库区最大城市, 工业企业每百元资金实现利润为 -1.95 元, 每百元固定资产净值实现利润为 -6.19 元, 每百元产值实现利润 -6.62 元, 总成本达 110.93 元, 占用定额流动资金达 101.92 元。原万县市所属库区农业人口人均农业产值仅 869.48 元, 农业劳动力人均农业产值仅 1 697.29 元。这说明库区劳动生产率低下, 经济效益低下。

## 1.2 社会环境特点

库区由于其所处的特殊的地理位置并受经济发展水平的制约, 其社会环境具有如下特点:

1. 人口自然增长率高、农村人口数量大 库区多数县人口自然增长率为 12%~14%, 个别山区县超过 20%, 由于库区山地生产条件差, 土地人口承载能力较低, 人地关系紧张的矛盾突出。库区农村人口占总人口的 85.11%, 大大高于四川、湖北和全国的同期比重, 这说明该区域城镇化水平很低, 是其经济水平低的具体表现, 同时也是社会经济较落后的原因。

2. 劳动力人口年轻化、文化教育水平低、剩余劳动力数量大 库区劳动力比较年轻, 尤其是 15~19 岁年龄组达 13.27%, 比湖北和四川高 2 个百分点以上, 20~24 岁年龄组占劳动力人口的 12.22%, 劳动力占总人口比重高达 68.32%。库区 6 岁及以上人口文化教育水平显著< 四川、湖北和全国平均水平, 大学文化程度比重仅占 0.54%, 高中、中专文化程度的比重也只有 5.45%, 文盲或半文盲比重高达 18.86%, 这将在较长时间内制约库区社会经济发展。库区劳动力就业不充分, 根据在万州区五桥河流域作典型农户调查, 依据理论劳动量与实际劳动量折算, 就业率为 53.93%, 库区农村劳动力已严重过剩, 大约在 300 万以上, 大量劳动力过剩, 必将影响库区经济发展和社会安定。

3. 社会服务、保障体系不健全 库区每百人拥有电话机数量不到 6 部, 每千人拥有的病床数约为 2 张, 每千人拥有的医生数量不足 2 人, 农村健康制度覆盖率<40%, 失业救济率<40%, 医疗保险比率<10%, 农村社会保险覆盖率<5%, 这些说明库

区社会服务与保障体系极不健全, 成为影响社会安定与发展的主要障碍因素之一。

4. 基础设施落后 三峡库区基础设施落后的最突出的问题在交通, 虽有长江水运, 但陆上尚无铁路相通, 高等级公路所占比重很小, 航空运输落后, 使商品流通极其不便, 也制约水运的发展。基础设施落后还体现在城市体系、港口等落后, 在三峡工程移民迁建过程中, 新城镇的建设配套、港口等设施需较长时间才能完成, 这一问题也将在较长时间内制约库区社会、经济的发展。

## 1.3 生态环境特点

三峡库区的生态环境十分脆弱, 加上过载的人口压力, 三峡工程的兴建对库区生态环境又将带来新的影响, 百万移民的安置和自身经济发展也将对环境造成更大的压力, 其生态环境的显著特点是环境多样性与环境污染、环境退化的严重性并存。

1. 原生环境问题突出 库区地方性氟中毒、地方性甲状腺肿、地方性克山病发病率较高, 有 9 种自然疫源性疾病的易于在库区发生、流行, 库区土壤环境的汞背景值显著高于四川盆地其它区域, 库区江段沉积物与悬移质的汞含量高于长江水系元素背景值和地壳的汞元素丰度。

2. 环境污染严重 库区由于大量三废物质的排放和特殊的地理环境, 已成为我国酸雨污染最为严重的区域之一, 大气中 TSP 的含量在涪陵已达  $1\ 050\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 平均超标率达 91.4%,  $\text{SO}_2$  的 20 日均值达  $503\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 平均超标率达 94.9%, 酸雨的最低 pH 值达 3.10, 沿江城市的酸雨年均 pH 值大多在 4.5~4.8 之间。库区长江干流段水质基本上达到三类水质要求, 有的区段还达到二类水质要求, 但污染物超标的现象已存在, 与城镇生产、生活密切相关的岸边污染带已成为突出问题, 整个库区段在全长江中已属水污染较严重江段。

3. 自然生态环境已遭受较严重的破坏 由于过度垦殖和对森林的过量采伐, 库区森林覆盖率呈下降趋势, 现有的森林表现为树种单一(以马尾松为主)、幼林比例大、结构简单的特点, 植被发生逆向演化, 表现为森林→灌丛→草丛→荒山→石化的演替方向, 原万县市的石化面积已占土地总面积的 10%。库区以低山为主的地形, 坡度大, 土地利用率和垦殖指数很大, 原万县市占耕地的 30.57% 为  $>25^\circ$  的陡坡耕地。由此导致库区水土流失严重, 水土流失面积占总土地面积的 68%, 库区年侵蚀量达

$1.48 \times 10^8 \text{t}$ , 入江泥沙年均  $3\,500 \times 10^4 \text{t}$ <sup>[9]</sup>。库区滑坡、崩塌、岩崩、泥石流等山地灾害具有面积大、发生频率高等特点, 库区段现有  $1000 \text{万 m}^3$  以上滑坡 36 处,  $50 \text{万 m}^3$  以上滑坡 210 处, 泥石流沟 172 条, 对工农业生产、居民生活和长江航运构成直接威胁。

2 预警评价指标体系与预警分析

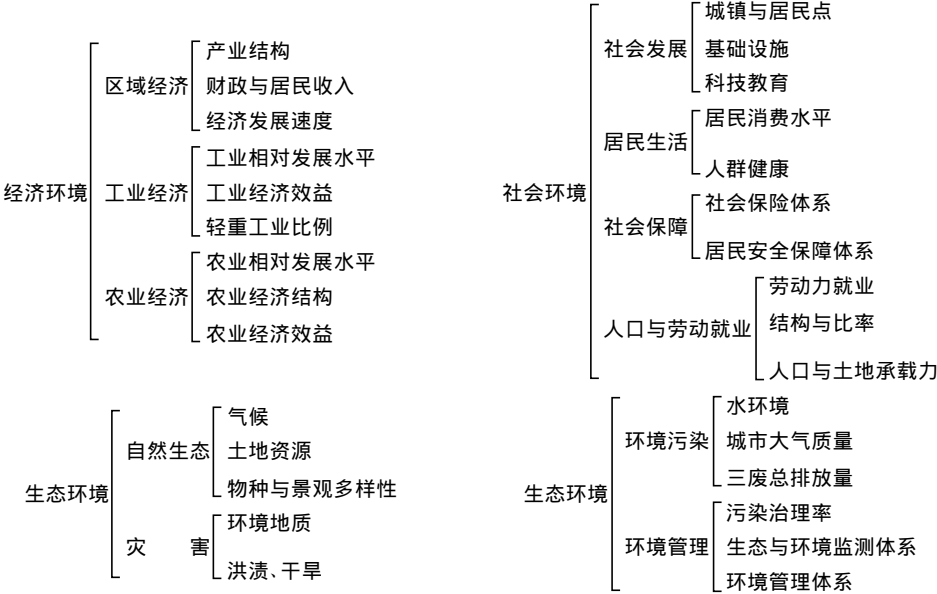
2.1 指标体系

综合国内外研究 PRED 协调发展、区域社会发展、区域人文发展、区域可持续发展的研究成果以及三峡工程对生态与环境影响的综合评价的指标体

系<sup>[2 3 10 11]</sup>, 在确定库区山地生态系统预警评价的指标体系时, 依据科学性、完整性、动态性、独立性原则, 以及三峡库区复合生态系统的演替方向和遭遇的主要问题, 提出三峡库区山地生态系统预警评价的指标体系框架(见表 1)。该体系分为五个层次, 在复合生态系统下分为经济、社会、生态环境三个子系统, 每个子系统下又分为若干次级子系统, 每个次级子系统又分若干评价因子, 评价因子下分为若干具体指标, 如库区气候下分为气温、湿度、风速、降水量、雾等 5 个指标。这样从低到高构成一个完整的评价大系统。

表 1 三峡库区山地生态系统预警评价指标体系

Table 1 The evaluational index system of warning in the Three Gorges Reservoir(TGR) area



2.2 预警评价分析

复合生态系统质量用加权平均模型, 其表达式为

$$E(t)=\sum_{i=1}^n W_i(t)E_i(t) \tag{1}$$

式中  $n$  为评价因子或子系统数量,  $W_i(t)$  为第  $i$  个因子或子系统权重, 运用权重分析法计算;  $E_i(t)$  为第  $i$  个因子或子系统在  $t$  时刻质量评分值;  $E(t)$  为  $t$  时刻生态系统质量综合评分值。

生态环境预警分为不良状态预警、负向演化预警和恶化速度预警<sup>[2~4]</sup>, 其预警模式及参数为:

1. 不良状态预警

$$E(t)<EP \tag{2}$$

式中  $EP$  为预警临界值, 依据生态环境质量分级,  $E(t)$  值在  $[4, 2]$  区间时, 为较差状态预警,  $EP=4$ ;

$E(t)$  值在  $[2, 0]$  区间时, 为恶劣状态预警,  $EP=2$ 。

2. 负向演化趋势预警

$$\begin{aligned} E(t_2)<E(t_1) \\ \frac{|E(t_2)-E(t_1)|}{(t_2-t_1)}<\Delta EP \end{aligned} \tag{3}$$

式中  $\Delta EP=1/(10(1/a))$ 。

3. 恶化速度预警

$$\begin{aligned} E(t_2)<E(t_1) \\ \frac{|E(t_2)-E(t_1)|}{(t_2-t_1)}\geq\Delta EP \end{aligned} \tag{4}$$

山地生态系统变化趋势预测是以现实状态为前提, 依据过去各子系统发展状态, 未来发展趋势研究和三峡库区社会经济发展规划, 在综合三峡工程对生态与环境的影响的相关研究成果的基础上, 由专家

就各评价指标给出“理想”、“良好”、“一般”、“较差”和“恶劣”五级状态的定性和定量描述, 并对各评价指标的变化趋势进行分析预测, 给出不同时段各指标质量状态的评分, 再依据加权平均模型和各子系统、因子、指标权重计算各子系统和复合生态系统的质量评分值。

三峡库区山地生态系统演替主要受到三峡工程百万移民搬迁、重建的强烈作用, 在假定不对整个库区山地生态系统作大的投资进行调控恢复与重建的前提下, 山地生态系统质量综合评价与预测结果见表2。从现在到2000年, 山地生态系统及各子系统质量演替呈现如下特点: (1)经济环境、区域经济、工业经济、农业经济现状质量处于较差状态, 在预测期内皆呈负向演替趋势; (2)社会环境、社会发展、社会保障、人口与劳动就业现状质量处于较差状态, 居民生活现状质量一般, 在预测期内子系统与各次级子系统质量皆呈负向演替趋势, 人口与就业在2010年将处于恶劣状态; (3)生态环境、自然生态、灾害、环境污染现状质量一般, 环境管理处于较差状态, 在预测期内环境管理呈正向演替, 在2005年前进入一般状态, 其它皆呈负向演替趋势, 自然生态在2005年后将进入较差状态; (4)库区山地复合生态系统现状质量一般, 在2005年将进入较差状态, 在预测期内呈负向演替趋势。

将表2的山地生态系统质量综合评价分值作预警分析, 为表达方便, 用A表示恶劣状态预警, B表

示较差状态预警, C表示负向演化趋势预警, D表现恶化速度预警。预警结果见表3。

表3 三峡库区山地生态系统预警分析

Table 3 The warning of mountain complex ecosystem in the TGR area

预警系统或子系统	现状预警	~2005	2005~2010
区域经济	B	B, C	B, C
工业经济	B	B, D	B
农业经济	B	B, C	B, D
社会发展	B	B, C	B, D
居民生活	B, D	B, D	
社会保障	B	B, C	B, C
人口与劳动就业	B	B, C	A, D
自然生态		D	B, D
灾 害		C	D
环境污染		C	D
环境管理	B		
经济环境	B	B, C	B, C
社会环境	B	B, C	B, D
生态环境		C	C
复合生态系统		B, C	B, D

3 优化调控战略

三峡库区山地生态系统的优化调控, 不仅仅是单纯的生态建设与环境保护问题, 也不仅仅是单纯的移民问题, 它的核心是使百万移民搬迁、重建与区域社会经济发展和生态环境建设协调起来, 通过山地复合生态系统的优化调控, 建立起区域结构合理的资源开发和资源节约型产业经济体系、高效的社会组织与保障体系、适宜的消费体系以及良好的资源和生态环境基础, 实现区域社会经济的可持续发展。针对库区山地生态系统预警分析的主要问题, 优化调控战略主要包括以下几个方面:

1. 大农业开发与水土流失控制。目的是要改善农业生产条件, 优化农业生产结构, 使水土流失得到有效控制, 农民收入得到大幅度提高, 并使农村剩余劳动力向二、三产业转移。其战略要点是坡改梯、中低产田改造、将> 25°坡耕地退耕还林、还草, 以生态环境建设带动农村产业结构调控。

2. 工业发展与环境污染治理。它是库区山地生态系统优化调控的另一重要方面, 从库区工业发展的现有基础和未来发展前景分析, 库区应大力发展具有较好资源条件和市场前景的农副产品加工业, 一方面结合移民搬迁, 重组企业规模, 达到规模经济效益; 另一方面是增加环境保护投资, 对污染进行治理, 有效减轻污染排放, 积极培育和发展无污染或污染轻的产业。即使是农副产品加工业的发展也

表2 三峡库区山地生态系统质量综合评价与预测

Table 2 The synthetical evaluation and forecast of mountain complex ecosystem in the TGR area

评价因子或子系统	现状值	2005	2010
区域经济	3.60	3.07	2.67
工业经济	2.90	2.10	2.10
农业经济	3.00	2.85	2.15
社会发展	3.53	3.06	2.30
居民生活	4.53	3.66	3.03
社会保障	3.69	3.63	3.27
人口与劳动就业	3.81	3.34	1.91
自然生态	4.96	4.08	3.50
灾 害	5.57	4.89	4.03
环境污染	5.56	5.23	4.43
环境管理	3.67	4.16	4.96
经济环境	3.19	2.70	2.33
社会环境	3.88	3.40	2.57
生态环境	4.90	4.60	4.28
复合生态系统	4.28	3.88	3.38

不应谋求建立完整的产业体系,而应建立大的产业集团和培育名牌产品<sup>[12]</sup>。

3. 聚落生态建设与居民生活、社会保障体系建立。三峡库区山地生态系统调控的难点并不是技术问题,而是区域相对贫困与生态恶化这一互为因果的社会问题,因此,库区各种问题的解决也只有从复合生态系统观点着手才能得以根本解决。聚落是山地生态系统调控最为有效的空间尺度单元,只有各个城镇、农村居民点的经济发展,居民生活与健康水平提高,社会保障体系得以建立和完善,生活污染得以控制和治理,特别是移民聚落的生态重建,库区山地生态系统的优化调控才能落到实处,库区生态环境建设才能行之有效地进行。

## 4 结语

三峡库区山地生态系统的经济、社会、生态环境存在诸多问题,复合生态系统处于不稳定状态,在三峡工程与移民搬迁的外力作用下,在不作重大投资进行调控修复的前提下,复合生态系统及各子系统、次级子系统都将处于逆向演替过程,绝大多数子系统、次级子系统及复合生态系统在 2010 年前都将处于各种预警状态。其优化调控的核心是区域经济社会

会发展与生态环境建设的协调。

## 参考文献:

- [1] 徐樵利, 谭传凤, 李克煌, 等. 山地地理系统综论[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 1994. 1~3.
- [2] 陈治谏, 陈国阶. 环境影响评价的预警系统研究[J]. 环境科学, 1992, 13(4): 20~25.
- [3] 陈国阶. 对环境预警的探讨[J]. 重庆环境科学, 1996, 18(5): 1~4.
- [4] 陈国阶, 陈治谏. 三峡工程对生态与环境影响的综合评价[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 11~78.
- [5] 陈国阶, 徐琪, 杜榕桓, 等. 三峡工程对生态与环境的影响和对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 273~330.
- [6] 文传甲. 三峡库区农业生态经济系统的预警分析[J]. 山地学报, 1998, 16(1): 13~20.
- [7] 冯仁国, 等. 三峡库区坡耕地退耕与粮食安全的空间分异[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 306~311.
- [8] 中科院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 山地学概论与中国山地研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000. 37~63.
- [9] 陈治谏, 刘邵权, 杨定国, 等. 长江上游水土流失与防治对策研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 1~5.
- [10] 朱文元. 持续发展导论[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 149~153.
- [11] 毛汉英. 山东省可持续发展指标体系初步研究[J]. 地理研究, 1996, 15(4): 16~23.
- [12] 陈国阶. 贫困山区如何面向 21 世纪[J]. 山地学报, 1999, 17(1): 16~21.

# Warning on Mountain Complex Ecosystem in the Three Gorges Reservoir Area

LIU Shao-quan, CHEN Guo-jie and CHEN Zhi-jian

(Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041 China)

**Abstract:** Authors expound the characters on the mountain complex ecosystem in the Three Gorges Reservoir (TGR) Area, set up the index system and the mathematical models of warning evaluation, and make the forecasting and warning on eco-environment in the condition that do not invest much money to adjust and restore the mountain complex ecosystem in TGR Area. The complex ecosystem and its subecosystems will be the process of the negative evolution, the most of subecosystems and the complex ecosystem will be the status of the different warnings. Based on the warning on the mountain complex ecosystem in the TGR Area, authors put forward the adjusting strategies, the key strategy is the harmony between the social and economic development and the eco-environmental construction.

**Key words:** TGR area; mountain complex ecosystem; eco-environmental warning