

层次分析法应用于黑龙江省生态环境质量评价研究

李崧, 邱微, 赵庆良*, 刘正茂

(哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘要: 将层次分析法应用于生态省建设指标体系的研究, 构建了黑龙江省生态省建设指标体系. 采用专家调查问卷的方式构造判断矩阵, 应用 MATLAB6.5 计算软件编程, 确定了各指标的权重. 运用环境质量综合指数模型, 对黑龙江省的生态环境质量进行分级, 评价黑龙江省生态省建设所取得的进展. 结果表明, 应用层次分析法定量地评价省域范围生态环境质量是切实可行的, 黑龙江省自开展生态省建设以来, 生态环境得到了明显改善.

关键词: 层次分析法; 指标权重; 环境质量综合指数; 生态省建设; 生态环境质量

中图分类号: X822 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)05-1031-04

Applying Analytical Hierarchy Process to Assess Eco-Environment Quality of Heilongjiang Province

LI Song, QIU Wei, ZHAO Qing-liang, LIU Zheng-mao

(School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The analytical hierarchy process (AHP) was adopted to study the index system of eco-province and the index system was set up for eco-province construction. The comparison matrix was constructed on the basis of experts' investigation questionnaires. MATLAB6.5 was used to confirm the weights of the indices. The general environment quality index model was used to grade the environment quality and assessed the progress of constructing eco-province in Heilongjiang province. The results indicate that it is feasible to apply the AHP to assess quantitatively the ecological environmental quality province-wide. The ecological environment quality of Heilongjiang province has been improved obviously from the beginning of eco-province construction.

Key words: analytical hierarchy process(AHP); index weight; general environment quality index; eco-province construction; eco-environment quality

近年来, 随着社会的发展、经济繁荣、科技进步和社会生产力的提高, 环境恶化与生态破坏的问题日益严重, 如何避免因发展而牺牲环境已经被提到议事日程上来. 生态环境建设已成为我国的新热点, 生态环境因素已成为今后国家综合竞争力的一个重要组成部分. 建设生态省, 在省域范围内实施可持续发展战略, 是实现省域经济持续快速健康发展的正确途径, 是主动适应 21 世纪经济发展趋势的必然选择, 也是我国实现全面小康目标的重要措施^[1~3].

国内外大量学者曾应用层次分析法(analytical hierarchy process, AHP), 在各自的研究领域取得了一定的进展^[4~7]. Yedla 等^[8]应用 AHP 法, 评价印度德里市不同交通运输工具对环境可持续发展产生的影响. Kang^[9]用 AHP 法确定韩国复合环境指标的权重, 评价经济发展对环境保护的影响. Wang 等^[10]用 AHP 法确定能源指标体系的权重, 为不同地区研究能源与环境可持续发展提供定量化方法. Chiang 等^[11]从实用性、经济性和可行性方面构建室内环境质量指标体系, 应用 AHP 法确定指标权重, 为居住者提供定量评价室内环境质量的方法. 此外,

还有研究者将层次分析法与其它分析方法相结合使用, 如模糊评判层次分析法^[12]和蒙特卡罗法^[13]等.

然而, 将层次分析法应用于宏观生态省建设的研究还鲜有报道. 笔者利用此方法将生态省建设指标体系看作一个系统, 对系统中各因素进行划分, 通过确定各因素的相对重要性, 构建黑龙江省生态省建设指标的层次结构, 并确定各层次影响因素的权重, 评价目前黑龙江省生态建设取得的进展, 划分生态环境质量等级, 为生态环境规划提供科学依据.

1 层次分析法的模型构建与检验

层次分析法是由美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代中期提出的一种多层次权重分析决策方法, 具有系统性、灵活性和实用性等特点, 现已被广泛地应用于社会经济系统的决策分析之中. AHP 法能将复杂问题中的各种因素通过划分为相互联系的有序层次使之条理化, 并能将数据、专家意见和分析

收稿日期: 2005-05-11; 修订日期: 2005-08-30

基金项目: 黑龙江省科学技术计划项目(2005R0057-00)

作者简介: 李崧(1972~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为生态省建设.

* 通讯联系人, E-mail: zhql1962@163.com

者的客观判断直接而有效地结合起来^[14]. 其基本原理是: 将一个复杂问题看成一个系统, 根据系统内部因素之间的隶属关系, 将一个复杂问题的各种要素转化为有条理的有序层次, 并以同一层次的各种要素按照上一层要素为准则, 构造判断矩阵, 进行两两判断比较, 计算出各要素的权重. 根据综合权重按最大权重原则确定最优方案, 进而得到方案或目标相对重要性的定量化描述. 它是在简单加性加权法的基础上推导得出的^[15, 16]. Aupetita 等^[17]在 Saaty 的研究基础上, 进一步明确对判断矩阵进行一致性检

验的问题.

1.1 建立系统结构层次模型

本研究中根据专家的咨询意见, 遵循科学性、可表征性、可度量性以及可操作性的原则^[18], 筛选了生态省建设指标体系中的关键因子. 以建设生态省为总目标, 以经济发展、社会进步、生态环境保护与建设为系统层, 以生态省建设指标体系中的重要指标为指标层, 建立黑龙江省生态省建设指标体系递阶层次结构, 见图 1.

1.2 构造判断矩阵

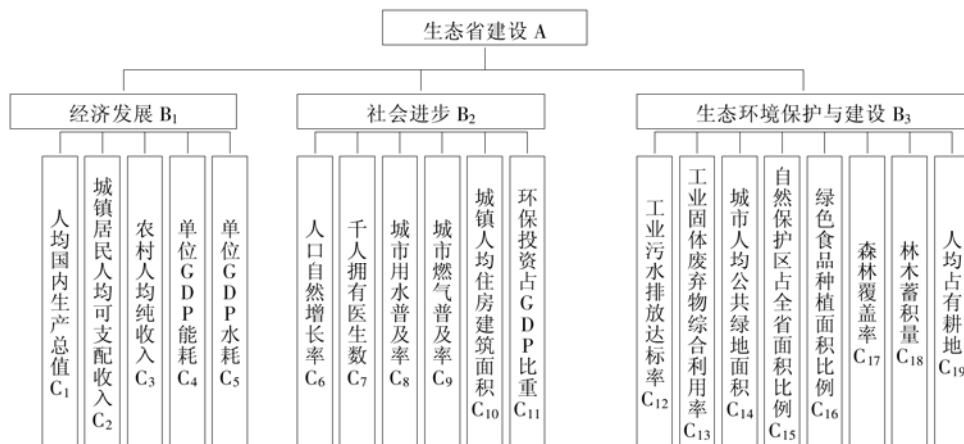


图 1 黑龙江省生态省建设指标体系递阶层次结构

Fig. 1 Index system graded hierarchy structure of eco province construction of Heilongjiang province

在每一层次上, 对该层指标进行逐对比较, 按照规定的标度方法定量化, 写出数值判断矩阵, 标度及其描述见表 1.

表 1 标度及其描述

Table 1 Number scale and its description

标度	定义(比较因素 i 与 j)
1	因素 i 与 j 同等重要
3	因素 i 与 j 稍微重要
5	因素 i 与 j 较强重要
7	因素 i 与 j 强烈重要
9	因素 i 与 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	两相邻判断的中间值
倒数	当比较因素 j 与 i 时, 得到的判断值为 $C_{ji} = 1/C_{ij}$, $C_{ii} = 1$

本研究中采取专家调查问卷的形式, 请 10 位专家在构造判断矩阵前对层次结构中各个生态指标进行重要性的单排序, 以便于减小误差, 一次性通过一致性检验.

利用方根法计算判断矩阵的最大特征值和特征向量.

(1) 计算判断矩阵 C 每行元素乘积 n 次方根:

$$W'_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n C_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

(2) 对向量 $W' = (W'_1, W'_2, \dots, W'_n)^T$ 作正规化、归一化处理:

$$W_i = \frac{W'_i}{\sum_{i=1}^n W'_i} \quad (2)$$

则 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 为所求的对应最大特征值的特征向量.

(3) 求最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(C \cdot W)_i}{n \cdot W_i} \quad (3)$$

1.3 层次单排序的一致性检验

根据专家构造的判断矩阵, 计算对于上一层某因子而言, 本层次与之有联系的所有因素的权重. ①为度量判断矩阵偏离一致性的程度, 引入判断矩阵最大特征值以外的其余特征根的负平均值 CI , 计算 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$. 当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$. $\lambda_{\max} - n$ 愈大, CI 愈大, 矩阵的一致性愈差. ②为

度量不同判断矩阵是否有满意的一致性, 引进平均随机一致性指标 RI . RI 值如表 2 所示.

表 2 平均随机一致性指标 RI
Table 2 Average random index (RI)

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

计算随机一致性比率 $CR = CI/RI$, 当 $CR < 0.10$ 时, 认为矩阵具有满意的一致性, 否则要将问卷反馈给专家, 重新构造判断矩阵, 直到具有满意的一致性为止.

1.4 层次总排序的一致性检验

层次总排序即利用同一层次中所有层次单排序的结果, 以及上层次所有元素的权重, 来计算针对总目标而言本层次所有因素权重值的过程.

层次总排序一致性比率为:

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^m a_i CI_i}{\sum_{i=1}^m a_i RI_i}$$

(4)

当 $CR < 0.10$ 时, 认为层次总排序结果是满意的.

2 结果与讨论

基于上述步骤, 采用 MATLAB6.5 软件编程计算指标数据权重, 如表 3 所示. 经检验, 总的一致性排序结果 $CR = 0.029235 < 0.1$, 满足一致性.

2.1 数据的标准化处理

统计数据取自《中国统计年鉴》(1999~2003)、《黑龙江省年鉴》(1999~2004)、《黑龙江省环境质量公报》(1999~2003)、《黑龙江统计年鉴》(1999~2004), 此外还有黑龙江省环保局和黑龙江省环境监测站提供的大量统计资料. 收集到的数据一般都具有自身的量纲和分布区间, 无法直接进行比较和运算, 必须对数据进行标准化处理, 采用指标数值无量纲化的方法, 即:

$$X'_i = \frac{100(X_i - X_{i\min})}{X_{i\max} - X_{i\min}}$$

(5)

式(5)中: X'_i 为 X_i 的无量纲值; X_i 为第 i 个评价单元某个指标的原始值; $X_{i\min}$ 为第 i 个评价单元某个指标的最小值; $X_{i\max}$ 为第 i 个评价单元某个指标的最大值; i 为各评价单元的序号, $i = 1, 2, 3 \dots n$.

2.2 生态省建设环境质量综合指数模型构建与计算

某个因素的单元评价分值等于各因子指标分值

表 3 黑龙江省生态环境综合评价指标的权重

Table 3 Weight of general assessment index system of environment quality in Heilongjiang province

目标层	制约层		指标层	
	指标	权重	指标	权重
生	经济 发展	1.259 9	人均国内生产总值	1.197 8
			城镇居民人均可支配收入	1.441 6
			农村人均纯收入	1.949 3
			单位 GDP 能耗	0.529 6
			单位 GDP 水耗	0.561
态	社会 进步	0.630 0	人口自然增长率	0.376 3
			千人拥有医生数	0.773 5
			城市用水普及率	1.707 7
			城市燃气普及率	1.161 3
			城镇人均住房建筑面积	0.866 8
省	生态 环境 保护 与建 设	1.259 9	环保投资占 GDP 比重	2.335 2
			工业污水排放达标率	1.739 3
			工业固体废弃物综合利用率	0.881 6
			城市人均公共绿地面积	0.816 6
			自然保护区占全省面积比例	0.871 2
建	生态 环境 保护 与建 设	1.259 9	绿色食品种植面积比例	0.769 9
			森林覆盖率	1.078 6
			林木蓄积量	1.029 9
			人均占有耕地	1.071 9
			设	

加权之和, 即:

$$E_i = \sum_{j=1}^n X_j W_j$$

(6)

式(6)中: E_i 为 i 因素的评分值; X_j 为 i 评价单元中 j 因子的作用值; W_j 为 j 因子的权重值.

生态环境质量综合指数的计算式为:

$$E = \sum_{i=1}^3 E_i W_i$$

(7)

式(7)中: E 为生态环境质量综合指数; W_i 为 i 因素的权重值. 按照上述计算方法首先计算出各个因素的分值, 然后再计算出区域生态环境质量的单元总分值, 并以此进行质量分级.

2.3 生态环境质量评价

计算全部评价单元质量分指数和生态环境质量综合指数, 直观、定量地表征黑龙江省 1999~2003 年间生态环境质量状况, 自 2001 年开展生态省建设后, 黑龙江省生态环境得到了一定改善, 评价结果如表 4 所示.

将 2005 年启动阶段结束定义为 100 分, 到 2005 年达到 100 分即完成启动阶段的各项任务. 由图 2 可知, 黑龙江省生态环境质量总的趋势不断提高, 总体水平由 2001 年的 59.81 分上升到 2003 年的 83.31 分, 并有向良好水平发展的趋势, 预计到 2005 年能够顺利完成启动阶段各项任务, 向推进阶

表 4 黑龙江省生态环境质量评价结果

Table 4 Assessment result of ecological environment quality in Heilongjiang Province

年份	分值			综合指数
	经济发展	社会进步	生态环境	
1999	9.98	9.26	34.96	46.84
2000	6.94	11.25	29.81	40.05
2001	18.08	12.45	38.99	59.81
2002	27.90	13.86	33.32	64.40
2003	42.50	15.62	37.86	83.31

段迈进。一个生态环境系统是社会、经济、环境系统的有机结合,三者相互依赖、相互制约^[19]。虽然自生态省启动阶段开始的 2001 年至 2003 年,黑龙江省的环境质量得到明显改善,但仍存在一定问题。经济质量增幅过快,环境质量一直呈震荡趋势,这与经济发展过程中单纯片面追求 GDP 的增长有密切关系,2002 年人均 GDP 比 1999 年增长 25%,这样的经济增长并不意味着省内经济的繁荣,反之会带来环境资源浪费和短缺。

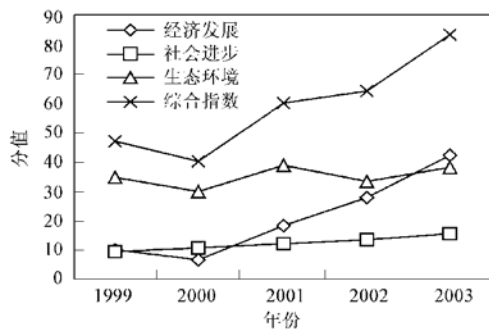


图 2 黑龙江省生态环境质量评价结果变化动态

Fig. 2 Transforming dynamic of ecological environment quality assessment in Heilongjiang Province

3 结论

(1) 应用定量 AHP 法评价省域范围生态环境质量是切实可行的,黑龙江省在开展生态省建设以来,按照生态省建设规划纲要采取相应的措施,生态环境确实得到了明显改善。本文的研究方法可供其它开展生态省建设的省份借鉴参考。

(2) 对判断矩阵进行一致性检验时,还有待对该方法进行改进,以增强方法的自我调整性,满足一致性比率。由于通过各种统计资料收集到的数据,存在同一指标在同一年度数值不同的情况,影响数据处理的精度,对定量评价生态环境质量有局部影响。

参考文献:

[1] 黑龙江省政府办公厅. 黑龙江省生态省建设规划纲要[R]. 2002.

- [2] 贾广和. 提高认识 明确任务 搞好生态省建设[A]. 见: 全国首届生态省建设论坛[C]. 哈尔滨, 2004, 137~ 139.
- [3] 李文华. 可持续发展与生态省建设[A]. 见: 全国首届生态省建设论坛[C]. 哈尔滨, 2004, 75~ 82.
- [4] Edgar G H, William S P, Catherine P K. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods [J]. The Science of the Total Environment, 1997, **196**(1): 13~ 29.
- [5] 蒋卫国, 杨秀春, 朱晓华, 等. 连云港市 1990~ 1999 年间生态环境质量动态评价研究[J]. 淮海工学院学报, 2001, **10**(4): 50~ 54.
- [6] Robert H, Steven V W, Robert S, et al. Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process [J]. European Journal of Operational Research, 2002, **141**(1): 70~ 87.
- [7] Simon U, Bruggemann R, Pudenz S. Aspects of decision support in water management-example Berlin and Potsdam (Germany) - spatially differentiated evaluation [J]. Water Research, 2004, **38**(7): 1809~ 1816.
- [8] Yedla S, Shrestha R M. Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi [J]. Transportation Research Part A Policy and Practice, 2003, **37**(8): 717~ 729.
- [9] Kang S M. A sensitivity analysis of the Korean composite environmental index [J]. Ecological Economics, 2002, **43**(2, 3): 159~ 174.
- [10] Wang X H, Feng Z M. Sustainable development of rural energy and its appraising system in China [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2002, **6**(4): 395~ 404.
- [11] Chiang C M, Lai C M. A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan [J]. Building and Environment, 2002, **37**(4): 387~ 392.
- [12] Klunghoonkrong P, Taylor M A P. A Microcomputer-based system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road network [J]. Computer, Environment and Urban System, 1998, **22**(5): 425~ 446.
- [13] Van der Kleij C S, Hulscher S J M H, Louters T. Comparing uncertain alternatives for a possible airport island location in the North Sea [J]. Ocean & Coastal Management, 2003, **46**(11, 12): 1031~ 1047.
- [14] 朱发鑫. 层次分析法在石羊河流域生态环境现状评价中的应用 [J]. 甘肃水利水电技术, 1999, **1**: 66~ 68.
- [15] 程建权. 城市系统工程 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001, 122~ 135.
- [16] 喻良, 伊武军. 层次分析法在城市生态环境质量评价中的应用 [J]. 四川环境, 2002, **21**(4): 38~ 40.
- [17] Aupetit B, Genest C. On some useful properties of the perron eigenvalue of a positive reciprocal matrix in the context of the Analytical Hierarchy Process [J]. European Journal of Operational Research, 1993, **70**(2): 263~ 268.
- [18] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究 [J]. 环境科学研究, 2002, **13**(3): 33~ 36.
- [19] 姚建. AHP 法在县域生态环境质量评价中的应用 [J]. 重庆环境科学, 1998, **20**(2): 11~ 14.