

DOI: 10.5846/stxb201301280173

苏超, 张红, 梁迅. 基于模糊认知图的生态风险管理探究. 生态学报, 2014, 34(20): 5993-6001.

Su C., Zhang H., Liang X. Exploration of ecosystem risk management based on fuzzy cognitive map. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 5993-6001.

## 基于模糊认知图的生态风险管理探究

苏 超<sup>1</sup>, 张 红<sup>2,\*</sup>, 梁 迅<sup>2</sup>

(1. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 2. 山西大学环境与资源学院, 太原 030006)

**摘要:**生态风险管理具有不稳定性 and 不确定性, 如何获取和调整不同利益群体对于生态风险和管理的看法并把它们定量表示出来、协调其中存在的冲突是生态系统管理亟待解决的问题。以煤矿区生态系统为研究对象, 探讨了模糊认知图方法在获取利益相关方认知上的应用, 并基于模糊关联矩阵, 采用神经网络模型进行不同生态风险管理政策的情景模拟。研究结果为: 大气污染和水环境破坏是所有利益相关者最关注的问题, 国家政策是最核心的变量; 不同利益相关者之间的不同点在于, 管理者较多地关注国家政策及煤矿开采给国家带来的财政收入与居民生活水平的提高, 而当地居民和矿工更关注自己的身体健康和人身安全。通过对煤矿区生态风险管理的政策模拟, 可看出要减少大气污染, 政府要加大对企业的治理力度, 从保护耕地、林地, 增加植被覆盖度, 提高生物多样性出发; 另外, 如果政府制定相关政策提高了次级产物的利用率, 矿区生态系统的风险也会大大降低。结果表明: 模糊认知图方法用在生态系统管理中, 可以真实反映利益相关者对生态系统的风险认知以及风险之间的因果联系强度。神经网络模型用在生态风险管理的情景分析中, 可以帮助矿区生态风险管理者选择不同的方案以达到管理目标, 为在煤矿区建立资源、环境和人口协调发展的生态环境管理机制奠定了基础, 从而为生态风险管理提供了一个新视角。

**关键词:**生态风险管理; 利益相关者; 模糊认知图; 管理政策模拟; 煤矿区

## Exploration of ecosystem risk management based on fuzzy cognitive map

SU Chao<sup>1</sup>, ZHANG Hong<sup>2,\*</sup>, LIANG Xun<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

<sup>2</sup> Department of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

**Abstract:** There are the natures of instability and uncertainty in ecological risk management. Each stakeholder's cognition plays a crucial role in it. For this reason, the coal-mining environment managers need to choose appropriate measures to take stakeholders' interests in account in ecosystem management. But the crucial problems to be solved are how to get and adjust different stakeholders' perspectives on ecological risk and environmental management, and how to quantify their perspectives, and coordinate their conflicts. This research paper focused on coal-mining ecosystem, explored the application of fuzzy cognitive map (FCM) on getting stakeholders' perspectives and graph theory indices on quantifying them, and simulated the different ecological risk management policy options using FCM-based artificial neural network (ANN). The Fuzzy Cognitive Mapping was applied to develop a participatory environmental management model for the typical coal-mining area in Yangquan. The ANN was used to conduct simulations combining the initial state of variables and the adjacency matrix getting from the social condensed map. The results showed that different stakeholders' cognition were distinctly different, managers emphasized national policy and economic interests brought by coal-mining activity, while engineers stressed living standard more, whereas mine workers and local residents paid more attention to the work's safety and their health condition. But it is noteworthy that 'air pollution' and 'water damage' were the variables which were mentioned by almost all of them. It revealed the severity of 'air pollution' and 'water damage'. The most central variables in the social

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41101558, 41271513); 山西省研究生创新项目(020752901007)

**收稿日期:**2013-01-28; **网络出版日期:**2014-03-11

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanghong@sxu.edu.cn

condensed map were ‘national policy’ and ‘health’, as well as in the four stakeholder groups. The simulations of policy option reflected that when local governments and enterprises make management decisions in coal-mining ecosystem, they should place an emphasis on protecting farmland, increasing vegetation coverage, improving energy efficiency and recycling waste so as to decrease air pollution, protect water environment and reduce resources waste. It is helpful for learning how different choices affect the coal-mining ecosystem. The results revealed that FCM analysis and ANN simulations could provide useful information for the development of environmental management planning. FCM analysis could help us to understand the varying attitudes among stakeholder groups as they considered environmental issues affecting the ecosystem. In addition, the policy option simulations based on ANN can help the coal-mining environmental managers to choose proper measures to achieve management goals, so as to lay the foundation of ecological environment management mechanism that can harmonize the development of resource, environment and population. Throughout the full text, the FCM method has the advantages: (1) Comparing with the traditional questionnaires, semi-structured interview respects more individual’s perception and leaves more space to interviewees. (2) Comparing with the traditional evaluating factor system, the FCM method can get a more accurate causal relationship among each factor. (3) Getting knowledge easily, combining qualitative analysis and quantitative calculation, and expressing cognition and inference well. (4) Getting multi-stakeholders’ FCMs and comparing their different perceptions is more convenient. Moreover, this paper expanded the environment management research methods and provided some new ideas and approaches with regional ecological risk management theoretically.

**Key Words:** ecological risk management; stakeholders; fuzzy cognitive map; policy option simulation; coal-mining ecosystem

煤炭资源是我国经济社会发展的重要物质基础,但与此同时采矿给当地生态系统造成的生态环境风险已成为区域环境、社会和经济发展的主要制约因素,这使得煤矿区成为了当今世界陆地生物圈破坏和退化最严重的生态系统<sup>[1-2]</sup>。目前区域生态风险管理研究主要综合考虑受体、暴露和效应3个要素,对人类活动导致的生态系统的可能损失进行识别、度量和和管理。或是运用3S技术对生态系统进行风险评价和管理。传统的煤矿区环境管理研究或是对矿区进行生态修复研究,或是对已损坏、污染的土壤进行生态风险评价<sup>[3-5]</sup>。这些研究大多仅凭严谨的科学理论知识来指导,知识具有较强的导向性,有时过于偏重技术,而忽略了与煤炭区生态环境密切相关的利益者对矿区生态系统的认知和态度<sup>[6-8]</sup>。越来越多的国外实证研究表明,随着文化敏感和价值性对话的支持(而不是简单的技术性分析),决策制定时更强调在科学、平等的基础上,通过融合参与者的认知和当地文化习俗等来自不同信息源的可靠信息而得出的实践方法才能有效的进行生态系统管理与决策<sup>[9-10]</sup>。

但是,由于生态系统管理具有不稳定性和不确定性,因此如何获取和调整不同阶层的人对于经济

价值和环境价值的看法,协调其中存在的冲突;在数据资料的获取阶段,如何找到合适的指标,真实、灵敏地体现系统的状态和变化;在政府层面,如何突破机构间的界限,做出符合生态系统管理尺度的决策等,成了生态系统管理亟待解决的问题<sup>[11-12]</sup>。本文从矿区生态系统的多利益相关者视域出发,在管理目标体系的调查与设计阶段,强调矿区生态系统多利益相关群体的共同参与,采用参与式方法获取和调整多利益群体对于经济价值和环境价值的观点,协调其中存在的冲突;在数据资料的获取阶段,采用半结构访谈和模糊认知图方法,真实地体现不同利益相关者的认知和态度;在优化调控阶段,采用神经网络模型进行情景分析,探讨生态系统不同的管理措施,建立科学有效的矿区生态环境风险管理机制,从而解决矿区生态风险管理研究现状与矿区管理实践存在的矛盾。本课题组已在2010年对阳泉市矿区进行了调研,探讨了模糊认知图和人工神经网络在生态风险管理方面的应用,取得了较好的结果<sup>[13]</sup>。本次研究在上次调研的基础上,进一步界定了利益相关者,规范了访谈的方式及提及变量的划分方法,对盂县矿区进行了研究。

## 1 研究区概况

山西省地处华北西部的黄土高原东翼。地理坐标为北纬  $34^{\circ}34'$ — $40^{\circ}43'$ 、东经  $110^{\circ}14'$ — $114^{\circ}33'$ 。东西宽约 290 km,南北长约 550 km,全省总面积 15.63 万  $\text{km}^2$ 。山西省是我国的产煤大省之一,全省含煤地层面积达 5.7 万  $\text{km}^2$ ,占全国煤炭分布总面积的 36.5%。省内约 70% 的县(市)分布有煤矿,阳泉矿区是其晋东基地之一,本文选取阳泉市孟县矿区为主要研究区,孟县工业经过五十多年的建设和发展,现已形成一个以煤炭开采为支柱产业,冶金、电力、耐火材料加工、石材开采等产业相应发展的工业体系。仅煤炭一项,产值就占到全县工业总值的三分之一。

## 2 研究方法

### 2.1 利益相关者辨识

利益相关者理论(Stakeholder Theory)是 20 世纪 60 年代逐步在西方国家发展起来的一种企业认知和治理的经济学理论。利益相关者指那些与项目或行动计划有着一定利益关联的个人、群体或机构<sup>[14]</sup>。本文在 Mitchell 的属性划分法依据基础上,将煤矿区生态风险管理中的利益相关者划分为煤矿管理者、技术人员、当地居民和矿工四类<sup>[15]</sup>:(1)煤矿管理者:煤矿区的中高层管理煤矿各个方面的科长,矿长以及与煤炭产业相关的政府机关部门人员;(2)技术人员:在煤矿中从事地质勘探,测绘,改进开采技术等技术人员;(3)当地居民:生活在矿区周边的居民;(4)矿工:在煤炭企业的生产中,从事煤层开采、洗煤加工等工作在一线的工人。

### 2.2 半结构访谈法

半结构访谈法(Semi-structured Interview)是参与式方法的一种,参与式方法的精髓是参与、赋权、利益共享和机制促进。各利益相关者群体积极参与可以更好的了解当地环境并能获得新的认知,进而有利于管理决策的实施<sup>[16]</sup>。半结构访谈法没有正式的结构,而是一个十分开放的框架,谈话式或聊天式和双向交流始终围绕一个主题。与结构访谈不同之处在于访问过程中不局限于单一、狭窄的主题和拟好的提纲,有利于访谈者的发挥,具有灵活性,可获得更丰富的信息。

### 2.3 模糊认知图

模糊认知图(Fuzzy Cognitive Map, FCM)方法是一种优秀的建模工具,它基于模糊推理规则来表达参与各方的知识,由变量与变量间的关系组成,变量可以表示系统的动作、原因、结果、目的、感情、倾向及趋势等,反映系统的属性与性能,变量间的关系表示变量间的因果联系强度,目前它已被广泛运用于军事政策、工商管理和股票交易等方面<sup>[17-19]</sup>。Özesmi 等综合了不同利益相关者的认知,将模糊认知图方法用于生态系统中,为生态风险管理提供了一种新的建模方法<sup>[20]</sup>。而在国内,将其用于生态系统风险管理的研究却很少<sup>[21]</sup>。作为决策制定的一个分支,在本研究中它可将定性问题转化为定量的数据,为决策分析过程提供可靠的数据来源,也将为矿区生态系统管理决策提供一种新的思路和模式。在煤矿区,各利益相关者群体对生态环境风险的认知中,通常会同时考虑“促进”、“抑制”或“不确定”因素对矿区发展的影响,而模糊认知图正可以结合正面、负面或不确定三方的影响直接对环境建立模型。

图 1 为某个体 FCM 的示意图, $D_i$  表征认知变量,变量间的连线  $w_{ij}$  表示认知变量  $D_i$  与  $D_j$  间的因果或关联关系, $w_{ij} \in [-1, 1]$ ,其中  $w_{ij} > 0$  表示认知变量  $D_i$  对  $D_j$  具有正向作用, $w_{ij} < 0$  表示认知变量  $D_i$  对  $D_j$  具有反向作用, $w_{ij} = 0$  表示认知变量  $D_i$  与  $D_j$  互不关联(认知变量间没有直接影响),而后可得该 FCM 的关联矩阵  $W = [w_{ij}]_{n \times n}$ <sup>[19]</sup>。

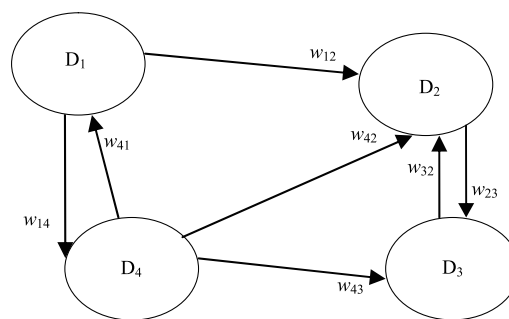


图 1 模糊认知图表示

Fig.1 Fuzzy cognitive map

图 1 的关联矩阵即为:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & w_{13} & w_{14} \\ w_{21} & 0 & w_{23} & w_{24} \\ w_{31} & w_{32} & 0 & w_{34} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

每一个被采访的个体都会绘制一张个体认知图,每个利益相关者的认知图给予同等的重视,将个体认知图用定量聚合的方法进行综合即可得利益相关者的群体认知图。认知图合成的过程体现了不同知识的聚合。本文用以下方法合成群体认知图:(1)列出群体中所有个体认知图中包含的变量;(2)变量之间因果关系  $w_{ij}$  的确定采用等权相加法,若该变量之间的因果关系没被提及,则认为它们之间的权值为零<sup>[20]</sup>;(3)得到每一个群体认知图后,采用同样的方法,将所有利益群体的认知图聚合,即可得到综合所有利益相关者认知的社会简明认知图。

建立了 FCM 之后,可以采用图论指数如认知图的密度、认知图的输出输入端数、中心度、复杂度、层次结构指数等来分析认知图的结构<sup>[20]</sup>。本文主要采用输出端数与输入端数、中心度来分析不同利益群体的认知。

#### (1) 输出端数与输入端数

输出端数  $[od(v_i)]$  是邻接矩阵中行变量绝对值的总和,表示了一个变量的输出连接 ( $a_{ik}$ ) 的累积强度:

$$od(v_i) = \sum_{k=1}^N \overline{a_{ik}} \quad (1)$$

输入端数  $[id(v_i)]$  是邻接矩阵中列变量绝对值的总和,表示了一个变量输入连接 ( $a_{ki}$ ) 的累积强度:

$$id(v_i) = \sum_{k=1}^N \overline{a_{ki}} \quad (2)$$

#### (2) 中心度

通过计算变量的中心度 ( $C$ ) 来计算它在认知图中的贡献,一个变量的中心度 ( $C$ ),是它输出端数和输入端数的总和:

$$C_i = od(v_i) + id(v_i) \quad (3)$$

### 2.4 基于人工神经网络模型的情景分析

得到社会简明认知图和其关联矩阵后,本文采用人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)模型计算这个系统的稳定状态,即如果照这样发展下去,这个系统会变成什么样<sup>[22]</sup>。目前人工神经网络模型已在模式识别、分类、市场经济预测等方面得到了较大应用,近年来与遗传算法、粗集理论、模糊逻辑和混沌理论有较好的融合,并多用于智能控制方面,而在生态环境方面的应用较少<sup>[23]</sup>。ANN 模型由大量的神经元相互联接构成,每个神经元包括输入

和输出,输入经激活函数作用后可得到输出,激活函数通常用阈值函数或有限单调递增函数来表示。本文中,所有变量的初始状态向量  $I^n$  作为 ANN 的输入,输入向量中各分量之间的关联矩阵为  $W$ ,得到的输出向量再次作为输入,如此迭代下去,直到输出结果不再发生变化,便得到系统的稳定状态。

得到系统稳定状态后,进行矿区生态风险管理的情景模拟,即通过设定与矿区生态风险管理方案相关的变量的期望值来预测该变量变化对该系统的影响。如果希望增加某变量在系统中的权重,则将所有状态向量中该变量的值设为 1;如果要减少某变量在系统中的权重,则将所有状态向量中该变量的值设为 0<sup>[22]</sup>。

## 3 研究结果

### 3.1 基于 FCM 的半结构访谈结果分析

本文对煤矿管理者、煤矿技术人员、当地居民和矿工等 4 类利益相关者进行访谈。访谈过程中,访谈者首先清晰地表达本次访谈的内容和意义,并解释如何做出一幅因子间互不相关的认知图<sup>[22]</sup>。之后访谈者提问“当提到煤矿开采对生态环境、人民生活与当地发展的影响时,您能想到哪些方面的因素?”,受访者列出自己认为的所有变量。接下来,访谈者要求受访者用箭头表示各变量之间相互影响的关系,并用  $[-1, 1]$  之间的数描述影响的程度,这个过程由受访者独立完成,访谈者只是辅助,但不提有导向性的问题或意见。当受访者将自己的认知表达完毕,没有可添加的内容时,受访者个体的认知图绘制完毕。当增加被访谈对象时,被提及变量数不再增加时可认为认知图数量达到研究需要。Özesmi 等采用模糊认知图方法在研究某湿地生态系统的风险管理时,其总访谈对象为 31 人<sup>[22]</sup>。本文中当被访谈

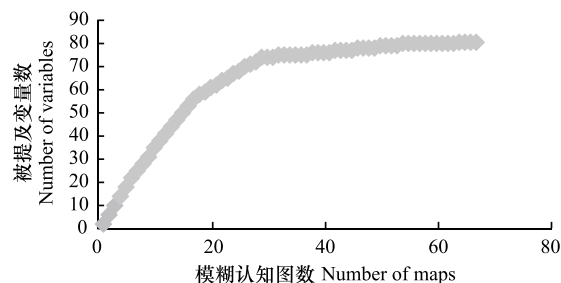


图2 被提及变量数与模糊认知图数的关系

Fig.2 The total number of variables vs. number of maps

对象为 16 人时,被提及变量数的增加趋势变得缓慢,当访谈对象为 45 人时,被提及变量数基本不再增加,说明认知图数量达到需求,如图 2。

本研究共得到了 80 张认知图,剔除无效认知图后,共得 67 张可用的认知图,其中煤矿管理者 18 张,技术人员 16 张,当地居民 17 张,矿工 16 张。本文将针对 4 类不同利益相关者的认知情况进行分析,之后将所有利益相关者的认知图融合后再进行

分析。

### 3.1.1 矿区生态风险管理多级目标体系的风险因子体系

本文将所有利益相关者提及的变量(表 1 中的三级变量)按定性聚合法汇总到二级变量因子层,例如将地面塌陷、地裂缝、崩塌、滑坡等均归为地质灾害类,得到的风险因子体系如表 1 所示。

表 1 矿区生态风险管理多级目标体系的风险因子体系

Table 1 The multi-level risk factor system

| 一级变量<br>First-level factors       | 二级变量<br>Second-level factors | 三级变量<br>Third-level factors |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 生态环境<br>Ecology and environment   | 地质灾害                         | 包含地面塌陷、地裂缝、崩塌、滑坡等           |
|                                   | 资源利用率                        | 包括矸石、煤层气未利用等,以及采矿过程中造成的资源浪费 |
|                                   | 水环境破坏                        | 包含地表水破坏、地下水破坏、水质破坏等         |
|                                   | 大气污染                         | 包含烟气、粉尘污染等                  |
|                                   | 土地破坏及土壤污染                    | 包含土地利用变更、耕地减少、农作物减产、矸石占地等   |
|                                   | 生物多样性降低                      | 包含植被减少、生物量减少、生物种类减少等        |
|                                   | 噪声污染                         | 包含生产噪音、运输噪音                 |
| 经济生活<br>Economy and livelihood    | 相关产业发展                       | 包含产业链、运输业等以采煤业为依托的产业发展      |
|                                   | 身体健康                         | 居民身体健康                      |
|                                   | 居民生活水平                       | 包含居民收入、就业、能源保障、产业补贴等        |
|                                   | 人身安全                         | 包含房屋安全隐患、治安、交通运输等造成的人身安全威胁  |
|                                   | 公众参与                         | 社会群众或组织在其权利义务范围内有目的的社会行动    |
|                                   | 幸福感                          | 人们内心的幸福感受,包括对生活的满意程度等       |
|                                   | 财政收入                         | 包含经济增长、财政收入                 |
| 政策体制<br>Policy and countermeasure | 基础设施建设                       | 道路建设、市政建设                   |
|                                   | 次级生产物综合利用                    | 瓦斯、煤矸石的利用                   |
|                                   | 国家政策                         | 包含国家制定的资源整合、资源利用率等政策        |
|                                   | 企业治理                         | 包含防尘网建设、矿区绿化、密闭作业等          |
|                                   | 相关政策                         | 行政监管等                       |

### 3.1.2 最多提及变量分析

通过观察所有利益相关群体的认知图中提及变量的次数,可以看到各利益群体间的相似和差异,见表 2。

由表 2 知,大气污染是所有利益相关者提及最多的变量,水环境破坏也是所有利益相关者关注的,这说明采矿活动带来的大气污染和水环境破坏对生态系统的风险最直接也最受关注。不同之处在于,管理者更注重国家对煤矿开采和生态恢复制定的一系列政策,之后是居民生活水平和财政收入;技术人员更关注居民的生活水平和身体健康,之后是企业对环境的治理和财政收入;而当地居民和矿工则更多关心的是身体健康问题和人身安全问题。进一

步,对不同利益相关者对于变量之间关联系数的认知进行了方差分析,结果表明:利益相关者对大气污染和水环境破坏的认知没有显著差异( $P>0.05$ ),这也说明大气污染和水环境破坏问题的共同性和严重性;而对于国家政策,管理者和其他利益群体有显著差异( $P<0.05$ );对于居民生活水平,技术人员、矿工和其他群体有显著差异( $P<0.05$ );对于身体健康和人身安全问题,当地居民、矿工与其他群体有显著差异( $P<0.05$ ),这与前文的分析结果一致。综上所述,矿区生态风险管理的首要目标就是要减少大气污染和水环境破坏。决策者在制定管理措施时还应考虑如何减少煤炭开采对人们身体健康造成的威胁以及如何提高居民的生活水平。

表 2 不同利益相关者的最多提及变量表

| Table 2 Most mentioned variables |                      |                        |                        |                         |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 所有人 (67)<br>All stakeholders     | 管理者 (18)<br>Managers | 技术人员 (16)<br>Engineers | 当地居民 (17)<br>Residents | 矿工 (16)<br>Mine workers |
| 大气污染                             | 大气污染                 | 大气污染                   | 大气污染                   | 大气污染                    |
| 国家政策                             | 水环境破坏                | 居民生活水平                 | 身体健康                   | 身体健康                    |
| 水环境破坏                            | 国家政策                 | 水环境破坏                  | 国家政策                   | 国家政策                    |
| 身体健康                             | 居民生活水平               | 身体健康                   | 财政收入                   | 居民生活水平                  |
| 居民生活水平                           | 财政收入                 | 企业治理                   | 企业治理                   | 水环境破坏                   |
| 企业治理                             | 资源利用率                | 财政收入                   | 水环境破坏                  | 人身安全                    |

备注:至少在 1/3 的图上被提及的变量,按提及次数降序排列

3.1.3 社会简明认知图

将所有利益相关者的认知图进行聚合后,得到社会简明认知图,如图 3 所示。图 3 即为包含所有参与访谈的 67 个利益相关者的社会简明认知图。

由图 3 可看出,国家政策几乎对所有认知变量都有作用。所有认知变量的因果关系中,最强正连接是水环境破坏对引发地质灾害的促进作用,最强负连接是大气污染对人们身体健康的损害作用。

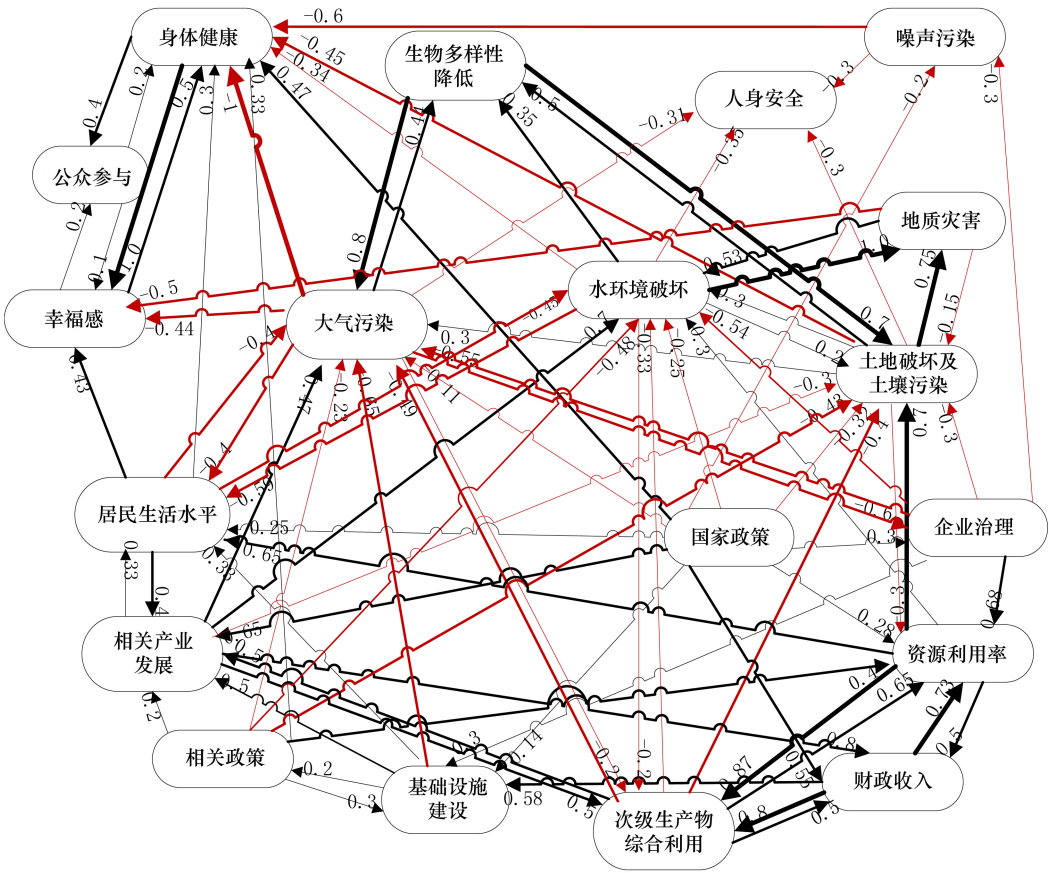


图 3 社会简明认知图

Fig.3 Social condensed map

黑色线表示变量间的正作用,红色表示负作用,线段越粗表示变量间的作用越大

为了进一步分析社会简明认知图的结构,采用公式 1-3 的图论指数分析认知图的核心变量,结果见表 3。由表 3 可知,在煤矿开采的生态风险社会认

知图中,最核心的变量是国家政策,其次是身体健康。国家政策对其他变量的影响(输出端数)是最大的,身体健康是受其他变量影响(输入端数)最大的

变量,次级生产物综合利用较容易受其他变量的影响(输入端数远大于输出端数)。并且经过分析不同利益相关者群体的群体认知图,也都是将国家政策和身体健康作为第一或第二核心变量。

表 3 社会简明认知图的核心变量分析  
Table 3 The most central variables in the social condensed map

| 变量<br>Variables                        | 变量提及次数<br>The number of<br>times mentioned | 输出<br>Outdegree | 输入<br>Indegree | 中心度<br>Centrality |
|----------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| 国家政策 National policy                   | 52                                         | 6.74            | 1.84           | 8.58              |
| 身体健康 Health                            | 52                                         | 3.04            | 5.53           | 8.57              |
| 次级生产物综合利用 Utilization of by-products   | 24                                         | 2.87            | 5.04           | 7.91              |
| 大气污染 Air pollution                     | 63                                         | 4.49            | 3.22           | 7.71              |
| 相关产业发展 Expansion of related industries | 18                                         | 5.23            | 2.25           | 7.48              |
| 企业治理 Enterprise countermeasures        | 47                                         | 5.83            | 1.6            | 7.43              |
| 居民生活水平 Living standard                 | 49                                         | 3.88            | 4.4            | 7.28              |
| 水环境破坏 Water damage                     | 51                                         | 3.63            | 3.58           | 7.21              |

所列核心变量均为中心度大于 7.0 的变量

**3.2 基于 ANN 的矿区生态系统风险管理政策模拟**  
在社会简明认知图的基础上,本文建立了基于 ANN 的风险管理政策模拟模型,通过模拟可以帮助矿区生态风险管理者选择不同的方案以达到管理目标,人们也可看到不同的选择会如何影响矿区生态系统。

**3.2.1 矿区生态系统的稳定状态**

令由社会简明认知图得到的关联矩阵为  $W$ , 设所有变量的初始状态都为 1, 则得到一个  $19 \times 1$  的矩阵  $I$ ,  $I$  作为神经元的输入, 本文采用对数函数作为激活函数, 在 MATLAB (Matrix Laboratory) 平台运行后得其输出, 其输出再作其输入, 如此迭代下去得到系统稳定状态如表 4 所示。

由表 4(初始状态稳定值)可看出,资源利用率、相关产业发展、财政收入、国家政策和次级生产物综合利用等的值较高,说明这些变量严重影响着这个生态系统。结合最多提及变量表和核心变量表,可知减少大气污染、提高次级生产物的综合利用是煤矿区生态系统亟待解决的问题。在下一步煤矿区生态系统风险管理政策模拟中将分别对减少大气污染、提高次级生产物的综合利用进行模拟。

**3.2.2 减少大气污染的情景模拟**

要减少大气污染,则在每次迭代时,将输入向量中大气污染的分量都设置为 0, 关联矩阵  $W$  不变, 如此迭代下去, 直到达到新的稳定状态。

表 4 矿区生态系统的稳定状态及不同政策下的情景模拟  
Table 4 The initial steady state and simulation steady states for different policy options

| 变量<br>Variables                 | 初始状态<br>稳定值<br>Initial steady state | 减少大气污染<br>Decreasing air pollution |                  | 提高次级生产物综合利用<br>Improving utilization of by-products |                  |
|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
|                                 |                                     | 稳定值<br>Steady state                | 差异<br>Difference | 稳定值<br>Steady state                                 | 差异<br>Difference |
|                                 |                                     |                                    |                  |                                                     |                  |
| 大气污染 Air pollution              | 0.2049                              | 0.0020                             | 0.2029           | 0.2015                                              | 0.0034           |
| 噪声污染 Noise pollution            | 0.3446                              | 0.3417                             | 0.0030           | 0.3445                                              | 0.0001           |
| 地质灾害 Geological disaster        | 0.6147                              | 0.6088                             | 0.0059           | 0.6177                                              | -0.0030          |
| 财政收入 Public revenue             | 0.9804                              | 0.9814                             | -0.001           | 0.9819                                              | -0.0015          |
| 身体健康 Health                     | 0.7184                              | 0.7401                             | -0.0217          | 0.7189                                              | -0.0005          |
| 人身安全 Safety                     | 0.7055                              | 0.7065                             | -0.0010          | 0.7058                                              | -0.0003          |
| 幸福感 Happiness                   | 0.3850                              | 0.3888                             | -0.0038          | 0.3840                                              | 0.0010           |
| 国家政策 National policy            | 0.9722                              | 0.9746                             | -0.0024          | 0.9743                                              | -0.0021          |
| 企业治理 Enterprise countermeasures | 0.8413                              | 0.8618                             | -0.0205          | 0.8618                                              | -0.0205          |

续表

| 变量<br>Variables                           | 初始状态<br>稳定值<br>Initial steady state | 减少大气污染<br>Decreasing air pollution |                  | 提高次级生产物综合利用<br>Improving utilization of by-products |                  |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
|                                           |                                     | 稳定值<br>Steady state                | 差异<br>Difference | 稳定值<br>Steady state                                 | 差异<br>Difference |
|                                           |                                     |                                    |                  |                                                     |                  |
| 公众参与 Public participation                 | 0.6695                              | 0.6695                             | 0.0000           | 0.6701                                              | -0.0006          |
| 水环境破坏 Water damage                        | 0.5855                              | 0.5756                             | 0.0099           | 0.5829                                              | 0.0026           |
| 土地破坏及土壤污染<br>Land damage and soil erosion | 0.4591                              | 0.4357                             | 0.0234           | 0.4539                                              | 0.0052           |
| 生物多样性降低 Biodiversity loss                 | 0.7630                              | 0.7282                             | 0.0348           | 0.7731                                              | -0.0101          |
| 资源利用率 Resource utilization                | 0.9397                              | 0.9388                             | 0.0009           | 0.9438                                              | -0.0041          |
| 相关产业发展 Expansion of related industries    | 0.9722                              | 0.9692                             | 0.0030           | 0.9737                                              | -0.0015          |
| 基础设施建设 Infrastructure construction        | 0.6324                              | 0.6560                             | -0.0236          | 0.6243                                              | -0.0081          |
| 居民生活水平 Living standard                    | 0.8788                              | 0.8910                             | -0.0122          | 0.8795                                              | -0.0007          |
| 相关政策 Related policy                       | 0.7806                              | 0.7982                             | -0.0176          | 0.7884                                              | -0.0078          |
| 次级生产物综合利用 Utilization of by-products      | 0.9117                              | 0.9238                             | -0.0121          | 0.9876                                              | -0.0759          |

运行减少大气污染的模拟后的结果见表 4,可以看出,土地破坏及土壤污染和生物多样性降低的稳定值大大减低,企业治理和次级生产物综合利用的稳定值大大升高。因此决策者在制定矿区生态风险管理的措施时,首先要加大企业治理的力度,严格贯彻国家的有关政策法律,并提高次级生产物的利用率,减少资源浪费,其次要增加植被覆盖度,做好植树造林工作,才能提高生物多样性、改良土壤状况,从而将大气污染尽可能的降到最小,使其不会对人们身体健康和生活水平的提高有太大影响。

3.2.3 提高次级生产物综合利用的情景模拟

要提高次级生产物的综合利用率,则在每次迭代时,将输入向量中次级生产物综合利用的分量都设置为 1,关联矩阵  $W$  不变,如此迭代下去,直到达到新的稳定状态。

运行提高次级生产物综合利用的政策后得到的结果见表 4,可知:提高次级生产物利用率后,大气污染、水环境破坏及土地破坏和土壤污染均会显著降低,而资源利用率、居民生活水平、身体健康状况会相应提高,同时,国家政策、相关政策、企业治理和公众参与也会有所增加,这说明国家、企业在制定相关政策时应该重视公众参与,并以降低大气污染、水环境破坏、土地破坏及土壤污染为出发点,以提高资源利用率、居民生活水平和身体健康为根本目标,来制定一系列相关政策、加大治理力度来提高次级生产物的综合利用,谨防资源浪费造成更大的污染。

4 结论

本文通过半结构访谈法对山西盂县煤矿区 4 类不同的利益相关者的认知情况进行分析,并基于神经网络模型对矿区管理政策模拟后,得到以下结论:

(1) 本文关于矿区生态系统风险管理的实例研究表明:大气污染和水环境破坏是所有利益相关者最关注的问题,国家政策是最核心的变量,这说明无论是哪个利益群体,都认为国家政策是矿区生态系统中能够对其他变量产生直接影响的变量;不同利益相关者之间的不同点在于,管理者较多地关注国家政策及煤矿开采给国家带来的财政收入与居民生活水平的提高,而当地居民和矿工更关注自己的身体健康和人身安全。

(2) 通过对煤矿区生态风险管理的政策模拟,可看出要减少大气污染,政府要加大对企业的治理力度,把重点放在保护耕地、林地,增加植被覆盖度,提高生物多样性;另外,如果政府制定相关政策提高了次级产物的利用率,矿区生态系统的风险也会大大降低。

(3) 将神经网络模型用于生态系统风险管理政策模拟中,取得了较符合实际的结果,具有可行性。通过模拟可看出选择不同的管理措施能对生态系统带来不同的管理结果,那么矿区管理者、当地政府便可以选择合适的方案来达到管理目的,为矿区可持续发展奠定基础。

## References:

- [1] Yang S F, Fang W X, Hu R Z. Advances in studying environmental impact and pollution control of coalmine waste in China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2004, 23(3): 264-269.
- [2] Fan Y H, Lu Z H, Cheng J L, Zhou Z X, Wu G. Major ecological and environmental problems and the ecological reconstruction technologies of the coal mining areas in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2144-2152.
- [3] Bi R T, Bai Z K, Li H, Ye B Y. Landscape change analysis of reclamation land in opencast coal mine based on 3S technology. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(11): 1157-1161.
- [4] Li Z Q, Hou J Y, Wang J Z. Potential ecological risk assessment model for heavy metal contamination of agricultural soils in mining areas. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(5): 509-516.
- [5] Chang Q, Qiu Y, Xie M M, Peng J. Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5164-5174.
- [6] Gregory R, Failing L, Ohlson D, Mcdaniels T L. Some pitfalls of an overemphasis on science in environmental risk management decisions. *Journal of Risk Research*, 2006, 9(7): 717-735.
- [7] Failing L, Gregory R, Harstone M. Integrating science and local knowledge in environmental risk management: A decision-focused approach. *Ecological Economics*, 2007, 64(1): 47-60.
- [8] Gregory R, Failing L. Using decision analysis to encourage sound deliberation: Water use planning in British Columbia, Canada. *Journal of Policy Analysis and Management*, 2002, 21(3): 492-499.
- [9] Zhang S Q. Reform of China's environmental regulatory system: from sector-based management to public management. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(4): 90-94.
- [10] O'Laughlin J. Policy issues relevant to risk assessments, balancing risks, and the national fire plan: Needs and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 2005, 211(1/2): 3-14.
- [11] Xu J Y, Chen L D, Lü Y H, Fu B J. Sustainability evaluation of the Grain for Green Program based on participatory rural appraisal in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3789-3795.
- [12] Tian H Y, Chen L D, Lü Y H, Fu B J. Ecosystem management: Its multi-objective system and methodology. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(9): 1147-1152.
- [13] Zhang H, Song J, Su C, He M Y. Human attitudes in environmental management: Fuzzy Cognitive Maps and policy option simulations analysis for a coal-mine ecosystem in China. *Journal of Environmental Management*, 2013, 115: 227-234.
- [14] Clark W A V, Freeman H E, Hanssens D M. Opportunities for revitalizing stagnant markets: An analysis of household appliances. *Journal of Product Innovation Management*, 1984, 1(4): 242-254.
- [15] Jia S H, Chen H H. A review on the methods of stakeholder definition. *Foreign Economics & Management*, 2002, 24(5): 13-18.
- [16] Lu Y L. *Qualitative Social Research Methods*. Beijing: The Commercial Press, 2011: 132-134.
- [17] Luo X F, Gao J, Wang R G, Hu L M. A review of recent advances on cognitive map. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2003, 16(3): 315-322.
- [18] Xiong Y Y, Zhou K P, Yue L Y, Yao Z G. Application of FCM in mine safety assessment system modeling. *Mining Research and Development*, 2007, 27(6): 86-88, 94-94.
- [19] Liu H L, Wu T J. A coordination model based on FCM in MAS. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2002, 22(2): 49-54.
- [20] Özkesmi U, Özkesmi S. A participatory approach to ecosystem conservation: fuzzy cognitive maps and stakeholder group analysis in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Management*, 2003, 31(4): 518-531.
- [21] Song J, Zhang H, Li F. Study on environmental risk of coal-mining ecological models based on fuzzy cognitive-map. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(S1): 142-145.
- [22] Özkesmi U, Özkesmi S L. Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, 2004, 176(1/2): 43-64.
- [23] Shi F, Wang X C, Yu L, Li Y. *MATLAB Neural Network Analysis of 30 Cases*. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2010.
- [1] 杨社锋, 方维萱, 胡瑞忠. 中国煤矿废弃物环境效应研究进展. *矿物岩石地球化学通报*, 2004, 23(3): 264-269.
- [2] 范英宏, 陆兆华, 程建龙, 周忠轩, 吴钢. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术. *生态学报*, 2003, 23(10): 2144-2152.
- [3] 毕如田, 白中科, 李华, 叶宝莹. 基于 3S 技术的大型露天矿区复垦地景观变化分析. *煤炭学报*, 2007, 32(11): 1157-1161.
- [4] 李泽琴, 侯佳渝, 王奖臻. 矿山环境土壤重金属污染潜在生态风险评价模型探讨. *地球科学进展*, 2008, 23(5): 509-516.
- [5] 常青, 邱瑶, 谢苗苗, 彭建. 基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法. *生态学报*, 2012, 32(16): 5164-5174.
- [9] 张世秋. 中国环境管理制度变革之道: 从部门管理向公共管理转变. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(4): 90-94.
- [11] 徐建英, 陈利顶, 吕一河, 傅伯杰. 基于参与性调查的退耕还林政策可持续性评价——卧龙自然保护区研究. *生态学报*, 2006, 26(11): 3789-3795.
- [12] 田慧颖, 陈利顶, 吕一河, 傅伯杰. 生态系统管理的多目标体系和方法. *生态学杂志*, 2006, 25(9): 1147-1152.
- [15] 贾生华, 陈宏辉. 利益相关者的界定方法述评. *外国经济与管理*, 2002, 24(5): 13-18.
- [16] 陆益龙. *定性社会研究方法*. 北京: 商务印书馆, 2011: 132-134.
- [17] 骆祥峰, 高隼, 汪荣贵, 胡良梅. 认知图研究现状与发展趋势. *模式识别与人工智能*, 2003, 16(3): 315-322.
- [18] 熊耘云, 周科平, 岳力阳, 姚振凯. 模糊认知图在矿山安全评估系统建模中的应用研究. *矿业研究与开发*, 2007, 27(6): 86-88, 94-94.
- [19] 刘海龙, 吴铁军. 基于模糊认知图的多 Agent 协调模型. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(2): 49-54.
- [21] 宋洁, 张红, 李芳. 基于 FCM 的煤矿区生态系统环境风险分析研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(S1): 142-145.
- [23] 史峰, 王小川, 郁磊, 李洋. *MATLAB 神经网络 30 个案例分析*. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.