

# 专家系统在矿山环境治理中的应用研究

陈 奇<sup>1</sup>, 武 强<sup>2</sup>, 徐佳成<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100081; 2. 中国矿业大学, 北京 100083)

**摘要:** 论述了专家系统在矿山环境治理方面的应用, 探讨了矿山环境治理专家系统的设计思路、系统构成及功能。系统主要包括矿山环境效应识别、矿山环境治理模式选择及治理工程设计与优化三部分, 阐述了这三项功能的实现机理, 并结合实例说明了其实现过程。

**关键词:** 专家系统; 矿山环境; 治理模式

中图分类号: TD167; X14

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)05-0113-04

矿山环境是由诸多相互制约的因素构成的复杂系统。矿山环境治理要综合考虑各方面影响因素。矿山环境工程是一门实践性很强的学科<sup>[1]</sup>, 在处理工程实际问题时往往需要倚重于该领域专家的深厚专业知识和丰富实践经验。随着计算机技术的发展, 专家系统在矿山环境管理方面也得到了很好的应用。专家系统作为人工智能学中一个重要的分支, 能很好地将专家经验、知识与冗繁众多的矿山环境信息融合为一个智能化的系统, 简便、高效、可靠地处理矿山环境管理相关问题, 而矿山环境治理是其中重要内容之一。

矿山环境治理过程中, 首先需要从宏观上把握矿山环境治理的对象, 进而选择相应的治理模式, 最后针对具体的矿山环境问题得出治理设计并进行优化。本文所构建的专家系统围绕以上三部分进行开发。

## 1 专家系统

专家系统(Expert System, ES)也称基于知识的系统<sup>[2]</sup>, Edward Feigenbaum 教授把专家系统定义为“一种智能的计算机程序”, 它具有大量专门知识与经验, 应用人工智能技术, 根据一位或多位人类专家提供的特殊领域知识、经验进行推理和判断, 模拟人类专家做决策的过程来解决特定领域的复杂问题。专家系统一

般包括人机接口、知识库、推理机、解释机制、综合数据库和知识获取等六部分<sup>[3]</sup>(图 1)。

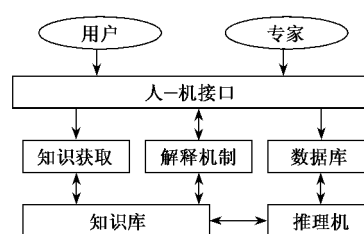


图 1 专家系统的基本结构

Fig. 1 Basic structure of the expert system

人机接口是用户与专家系统进行交流的端口; 知识库是专家系统的核心部分, 它包含有描述关系、现象、方法的规则, 以及在系统专家知识范围内解决问题的知识; 推理机实质上是计算机的一组程序, 主要是用于控制、协调整个专家系统的工作, 它根据输入的数据或信息, 利用知识库中的知识, 按一定的推理策略进行处理、解决问题; 解释机制主要功能是解释系统本身的推理结果, 回答用户问题<sup>[4]</sup>。

## 2 矿山环境治理专家系统

### 2.1 设计思路

首先了解研究对象依托的地质环境背景与矿山环境现状, 确定存在的主要矿山环境问题及已经产生的环境效应; 进而分析矿山环境问题产生与矿山开采活动之间的相关规律。在此基础上构建系统知识库和推理机。系统运行时, 根据输入的信息和分析评价结果可以选择适宜的环境治理模式, 进而确定具体治理措施, 进行工程方案设计, 通过优化设计和动态调整, 达到科学合理治理矿山环境的目的<sup>[5]</sup>。

### 2.2 系统结构

收稿日期: 2009-10-26; 修订日期: 2009-12-29

基金项目: 国家自然科学基金(40572149, 40772162)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(2006CB202205)、“十一五”国家科技支撑项目(2007BAK24B01, 2006BAB16B04)、河北省矿山环境项目联合资助

作者简介: 陈奇(1956-), 女, 副教授, 博士, 主要从事环境工程地质研究。

E-mail: chenqi531@126.com

依上述设计思路,构建本矿山环境治理专家系统的系统模型(图2)。

### 2.3 系统功能

矿山环境治理专家系统的主要功能可分为三个层次,即:接收和存储信息、信息整理和问题分析、给出问题解决方案。其分别对应专家系统的信息库、知识库

和推理机三大功能块。通过推理分析得到解决问题的合理方案是专家系统的关键技术,也是对专家系统可靠性和有效性最直接的检验。矿山环境治理专家系统的核心部分是根据提供的基础数据,依据一定的推理机制进行矿山环境效应识别、治理模式选择及治理方案优化设计,得出相应的结果,并据此给出科学合理的

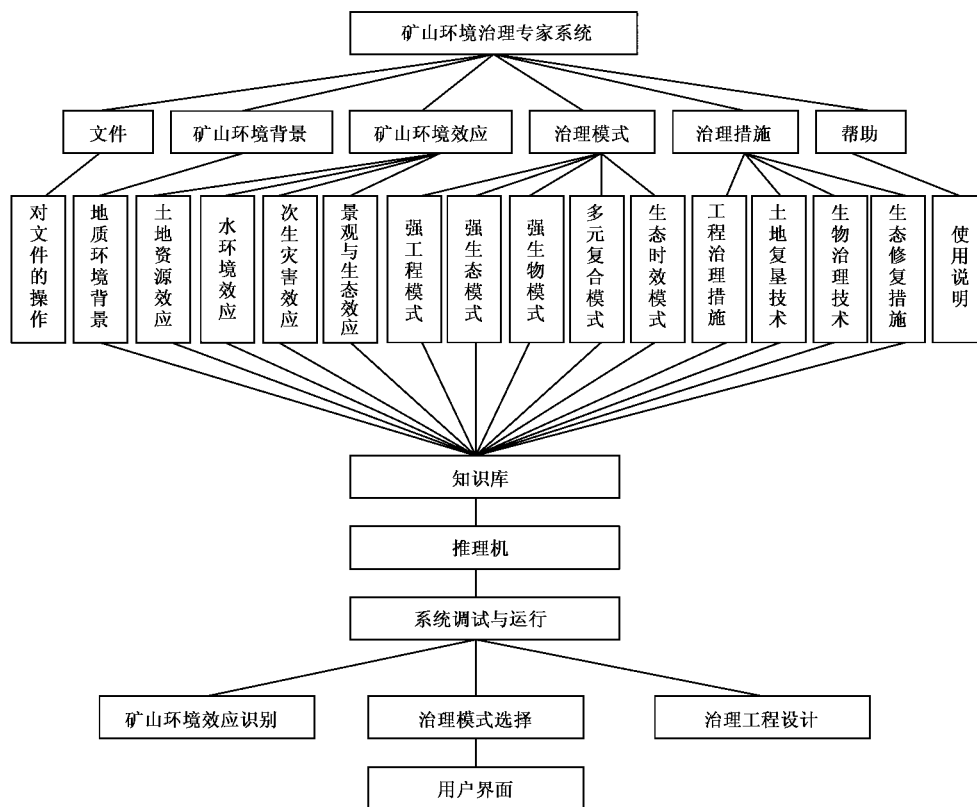


图2 矿山环境治理专家系统模型

Fig.2 Model of the expert system for mine environmental management

治理方案与建议。

## 3 矿山环境治理专家系统设计原理

### 3.1 矿山环境效应识别

通常一个矿山会包含诸多矿山环境问题和若干矿山环境效应,矿山环境管理决策时将选择主要矿山环境效应、重点(突出的)矿山环境问题先期实施工程治理。为此,在同时并存的若干矿山环境效应中确定对矿山环境影响最突出的;在诸多矿山环境问题中找出对产生矿山环境效应贡献最大的作为先期治理对象,这是矿山环境治理专家系统确定科学合理的治理方案所必须完成的基础工作。

根据系统的理论分析和大量典型实例研究,各类矿山环境问题所诱发的综合环境效应可划分为四类,

即:土地资源效应、水环境效应、次生灾害效应以及景观与生态效应<sup>[6]</sup>。矿山环境问题是矿山环境治理的主要对象,同时它又构成矿山环境效应产生的基本条件。鉴于矿山环境问题的多样性和矿山环境系统的复杂性,本文开发的专家系统采用模糊评判法进行矿山环境效应识别。

#### 3.1.1 关联度

本文运用灰色系统的关联分析确定各子因素的关联度,并确定各个子因素权重,这是矿山环境效应模糊综合评判的基础。

矿山环境效应各因素的关联情况是矿山开发导致的次生地质灾害、土地资源损毁等方面效应之间的关联性,以及各方面效应对应的具体因子之间的关联性的反映。而矿山环境因素关联度则是运用数学方法对

这种关联性的定量描述。依据具体矿山的实际情况,可以人为地给出矿山环境效应各个因素的关联度,也可以通过专家打分等方式确定其值。

### 3.1.2 模糊多层次综合评判

多层次综合评判是在模糊综合评价的基础上,再进行模糊综合评判,并且根据具体情况可以多次这样进行下去<sup>[7]</sup>。

矿山环境是由多因素多层次构成的,处理这类问题的基本思路是:把众多的因素分为若干层次,先对最低层次的各个因素做综合评价,然后再对上一层次的各个因素做综合评价,依次进行到最高层次,得出总的评价结果。根据矿山环境问题的具体特征,依多层次综合评判方法逐层求得各层的评价集的隶属度<sup>[7]</sup>,最后可得到最高层次评价集{土地资源效应,水环境效应,次生灾害效应,景观生态效应}各因素的隶属度。哪个效应对应的隶属度值最大,表明该项矿山环境效应越严重。

### 3.2 矿山环境治理模式选择

矿山生态环境治理模式选择的依据是治理对象特性、治理目标、环境效应等级,并应参考环境效应风险等级综合考虑。

治理目标明确是矿山环境治理有效性的前提,依据治理目标对治理模式进行选择,当以使用要求作为治理目标时,也会因目标的要求不同而对应不同的治理模式;环境效应等级既表达了矿山环境状况和环境效应严重程度,也决定了矿山环境治理的次序,并影响到治理模式的选择,环境效应等级确定主要依据以下几个方面:环境效应复杂程度、影响范围与严重程度、矿山环境治理难度等;治理模式选择不仅要考虑治理对象特征和治理目标,同时有必要考虑环境效应风险(即不采取针对性治理措施的情况下,环境效应继续发展对应的可能后果与危害)。

矿山生态环境治理对象具有多源性,治理目标可分成若干层次,环境效应风险受多方面因素影响,矿山环境治理模式选择的具体步骤如图3所示。

### 3.3 治理工程设计与优化

以矿山环境问题中具有普遍意义的开采沉陷为例。对于生产矿山的开采沉陷宜采用改进开采工艺的方法防控;对于闭坑矿山,则应结合治理目标,主要采用工程治理的方法<sup>[8]</sup>。目前,工程治理的方法主要有充填注浆法、覆岩结构加固法、跨越法等。以较为常用的充填注浆法为例,其主要设计内容包括:采空区充填压力注浆设计、采空区处理宽度计算和采空区处理深

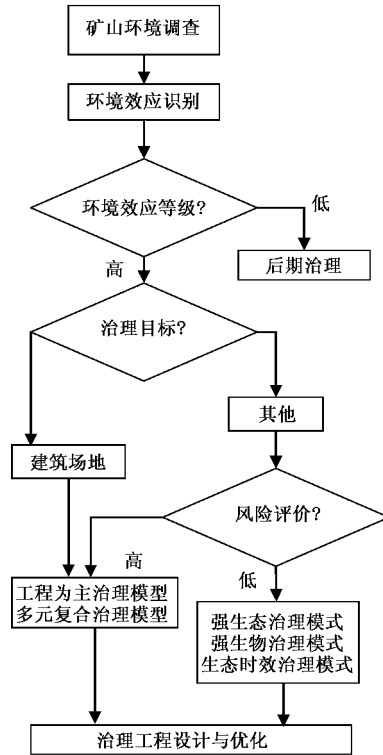


图3 治理模式选择程序

Fig. 3 Sketch map of the election of the treatment model

度确定等。

一项治理方案是否合理,一般应从安全和经济两方面考虑。为此对治理方案在保证治理效果的基础上进行优化设计,从而选出最经济合理的方案。假定施工控制的目标已知,则在最优运用的策略下满足施工控制要求,就会使工程费用为最小。其数学表达式为<sup>[9]</sup>:

$$M = F(X) = \min \left\{ \sum_{i=1}^m C_i(x_i) \right\} \quad (1)$$

$$x \in X, j = 1, 2, \dots, m$$

并满足条件:

$$r(x_i) > r_{\text{设}}, x_i^1 < x_i < x_i^u,$$

$$P > P_{\text{设}}, t > t_{\text{设}},$$

$$Q_{\text{设计}} - Q_{\text{调整量}} < Q < Q + Q_{\text{调整量}},$$

$$x_i > 0$$

(2)

式中:  $M$ ——注浆工程费用;

$X$ ——决策变量;

$C_i(x_i)$ ——最低费用函数;

$x_i$ ——决定费用分量大小的决策变量;

$r_{\text{设}}$ ——浆液设计扩散半径(m);

$r(x_i)$ ——浆液实际扩散半径(m);

$x_i^1, x_i^u$ ——决策变量的上下限;

$p, p_{\text{设}}$ ——实际注浆压力和设计注浆压力 (MPa);

$t, t_{\text{设}}$ ——实际注浆历时及设计历时 (h);

$Q_{\text{设计}}, Q_{\text{调整量}}$ ——设计注浆量及设计可调注浆量 ( $\text{m}^3$ ), 一般后者为前者的 15%;

$Q$ ——实际注浆量 ( $\text{m}^3$ )。

#### 4 系统应用实例

以内蒙古自治区某煤矿的矿山环境治理为例。研究区内主要地层有:石炭系本溪组泥岩、泥晶灰岩及薄煤层;太原组砂岩、砂质泥岩、灰岩和煤。二叠系山西组由陆源碎屑岩及煤组成。第四系黄土、红土及松散洪积物和堆积物。

区内煤系地层总厚度 220~260m。可采煤层主要有四层(3#、8#、12#和 15#煤),累计煤层厚度最大达 11m。可采煤层 3#煤赋存在二叠系下统山西组地层中,8#、12#和 15#煤赋存在石炭系上统太原组地层中,煤层的顶底板均为砂质泥岩。

现场调查表明该矿区主要环境问题为开采沉陷及其诱发的次生地质灾害。

运行本矿山环境治理专家系统,在菜单栏中点开相应的栏目,依照系统提示将该矿山地质环境背景和矿山开采情况等基本信息输入系统。系统对该矿山的矿山环境效应识别的结果是次生灾害效应最大,土地资源效应次之,水环境效应其次,景观与生态效应最小。随后进入治理模式选择子系统,系统运行后,得出的该矿山环境治理模式选择结果为:(a)多元复合强化型。该矿山主要矿山环境问题为开采沉陷,治理方案设计与优化子系统提供注浆法设计。优化的设计方案如图 4 所示。

#### 5 结论

本文开发了用于矿山环境治理的专家系统,该系统具备信息存储、问题推理分析、提供解决方案等基本功能。其实用功能主要包括以下三方面:

(1)治理对象识别:首先运用灰色系统的关联分析确定矿山环境因素的关联度,进而采用多层次模糊综合评判,最后按评价结果排序,便得出治理对象识别结果。

(2)治理模式选择:在矿山环境效应识别的基础上,以环境效应等级与环境效应风险分析作为依据;参照矿山环境治理具体目标综合考虑,最终选择适宜的

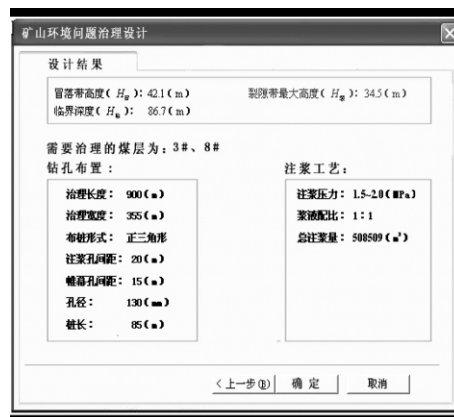


图 4 优化设计结果

Fig. 4 Results of design and optimization

治理模式。

(3)治理方案设计与优化:确定治理模式后,在若干可用的措施中选择现阶段应用最成熟的技术措施,针对治理对象特征,确定设计参数,进行具体设计。在保证治理效果(安全性)的基础上对治理方案进行优化调整,从而选出最经济合理的方案。

该系统实现了矿山环境信息的计算机化管理、信息共享,增加了数据使用频率,并能准确可靠地评判矿山环境现状、提出合理的矿山环境治理模式,最终针对具体的矿山环境问题给出相应的工程治理方案。

#### 参考文献:

- [1] 武强,刘伏昌,李铎,等. 矿山环境研究理论与实践[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [2] 黄可鸣. 专家系统导论[M]. 南京:东南大学出版社,1988.
- [3] 苏海云,秦秀婵. 矿山专家系统的应用现状及展望[J]. 矿业工程,2005,3(1):54-56.
- [4] 王智明,杨旭,平海. 知识工程及专家系统[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [5] 陈奇. 矿山环境治理技术与治理模式研究[D]. 北京:中国矿业大学,2009.
- [6] 武强,陈奇. 矿山环境问题诱发的综合环境效应研究[J]. 水文地质工程地质,2008,35(5):81-85.
- [7] 王士同. 模糊数学与人工智能[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [8] 胡振棋. 采煤沉陷地的土地资源管理与复垦[M]. 北京:煤炭工业出版社,1996.
- [9] 董立元,刘松玉,邱钰. 高速公路下伏采空区危害性评价与处治技术[M]. 南京:东南大学出版社,2006.

## Application of the expert system to mine environment treatment

CHEN Qi<sup>1</sup>, WU Qiang<sup>2</sup>, XU Jia-cheng<sup>1</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** An expert system for mine environmental treatment is designed and its design routine, structure and function is discussed in this article. The expert system mainly contains the identification of mine environmental effects, the choice of treatment models and design and optimization of treatment engineering. The mechanism of design of the three parts is described and its work process is expounded with examples.

**Key words:** expert system; mine environmental effect; treatment model

责任编辑:汪美华

(上接第 112 页)

- [15] GÖRAN SÄLLFORS, ANNA-LENA ÖBERG-HÖGSTA. Determination of hydraulic conductivity of sand-bentonite mixtures for engineering purposes [J]. *Geotechnical and Geological Engineering* 2002, 20:65 – 80.
- [16] Ameta N K, Akgun H, Kockar M K. Effect of Bentonite on Permeability of Dune Sand [J]. *EJGE* 2008, 13:1 – 7.
- [17] Chalermyanont T, Arrykul S. Compacted sand-bentonite mixtures for hydraulic containment liners [J]. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 1999, 36:815 – 825.
- [18] 彭祥捷. 粉煤灰、干污泥改性粘土防渗层的可行性研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [19] 徐德敏. 高渗压下岩石(体)渗透及力学特性试验研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [20] Naim Muhammad. Hydraulic, Diffusion, and Retention Characteristics of Inorganic Chemicals in Bentonite [D]. Florida: University of South Florida, 2004.

## Influence of penetrative conditions on permeability of modified loess soil by bentonite

ZHAO Tian-yu<sup>1</sup>, ZHANG Hu-yuan<sup>1</sup>, YAN Geng-sheng<sup>1</sup>, WU Jun-rong<sup>2</sup>, LIU Ji-sheng<sup>1</sup>

(1. *Lanzhou University, Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China, Ministry of Education, Lanzhou 730000, China;*

2. *China Northwest Municipal Engineering Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** The process stress of sanitary landfill is changing constantly in use, which will cause the penetrative conditions to change in landfill liner. It is of great realistic significance to explore the influence of these changes on the seepage performance of landfill liner. The permeability of modified loess soil by bentonite was tested with a flexible-wall permeameter and the impact on coefficient of permeability of the modified loess soil was investigated under different conditions of penetration time, confining pressure and osmotic pressure. The research results show that coefficient of permeability of modified loess soil fluctuates in the same order in the initial stage and the coefficient of permeability tends to be stable. Furthermore, the coefficient of permeability of modified loess soil can be reduced in the same order with the increasing confining pressure and osmotic pressure. Therefore, the safety of coefficient of permeability can be reserved by predicting the penetrative conditions in a sanitary landfill liner design.

**Key words:** modified loess soil; coefficient of permeability; confining pressure; osmotic pressure

责任编辑:汪美华