

采矿工程智能系统

——人工智能与神经网络在矿业中的应用

INTELLIGENT SYSTEMS ON MINING ENGINEERING

——Application of Artificial
Intelligence and Neural Network
to Mining Science

冯夏庭 王泳嘉 著

冶金工业出版社

ABSTRACT

It is well known that rock mass is a material whose components are extremely complex. In many cases, rock or mining behaviors have not been clearly understood and the data acquired are often incomplete. Insufficiency of knowledge for mining problems, lack of characterizing information and difficulties arising from uncertainty, imprecision, and noise restrain existing approaches from achieving optimal results. In these cases, intelligent theory including artificial intelligence and neural networks is more ideally suitable.

On the basis of control theory and system theory and with join of three theories—artificial intelligence, neural networks and fuzzy mathematics, a new mining theory, i. e., integrating intelligent mining theory, has been established in this monograph. It includes intelligent mining database, mining method base, mining knowledge base, fuzzy processing and application of mining knowledge, neural network models for mining problems, neural network expert system for mining engineering and integrating intelligent mining system. The proposed theory changed hypothesis-based traditional method into comprehensive intelligent method of “learning”, “inference”, “thinking” and “adaptive recognition”. The function simulation of mining experts’ intelligent behaviours (expert system) is not only carried out, but also it has been

combined with simulation of structure (comprehension of neural network and artificial intelligence). It makes various different methods into comprehensive and integrated system. Some example problems are presented in this monograph to demonstrate various aspects of the theory and its application in mining engineering.

序

采矿稳定分析的实质是开挖动态过程稳态平衡问题的研究。采矿开挖不是一次完成，而是多步骤，前次开挖对以后各次开挖都产生影响的过程，结构是动态的，时间是不可逆的。在实际问题求解中，都处在非确定的、不完全的、部分信息环境之中，需要研究非确定性知识推理的方法和技术，其中包括开发统计推断和模糊逻辑等非确定性知识推理技术。这属于计算机科学技术、智能科学和人工智能研究的重要内容，脱离了它难以解决上述采矿和开挖理论分析与技术方案优化设计问题。

1991年3月，本书作者冯夏庭攻读博士学位期间，纂序人发现了他的专家系统研究工作处于当时采矿领域领先地位，给予了鼓励，并建议他与系统论、控制论等理论相结合，以系统、不确定、反馈和全方位现代新思维方式为指导，继续提高。经过几年，在作者的努力下，终于有了本书的出现。本书的主要特点：创造性地提出了一种开挖知识智能系统的集成理论和方法，它把目前各自为战的方法所积累的知识综合于一个知识智能系统之中，将基于专家经验和工程类比解决复杂开挖和采矿问题的传统方法，提高到一个新的层次的科学化方法之中；建立了采矿神经网络专家系统，解决了传统专家系统的知识获取“瓶颈”、推理效率低、缺乏学习功能的问题；在神经网络研究中的主要特色是探讨了网络结构和学习参数在解决采矿工程问题的适应性、用网络学习规则的可信度（使神经网络与基于符号的专家系统有机

的结合在一起，提高了可信度的准确性），用网络来实现模糊逻辑，解决非线性隶属度函数的表达和运算问题；从直觉联想、逻辑推理到与其它计算方法（非智能方法）结合，并考虑人脑创造性思维的功能，给出了全智能采矿智能理论模型，建立了采矿智能理论的基本框架。用工程实例作为学习样本的研究方法是值得推崇的。

采矿和各种开挖工程的第一道工序是根据客观规律进行工程设计，进行技术方案优化，本书内容为解决这个问题，提供了有力的科学理论与技术方法。

于学馥

1994.4.12

前 言

智能 (Intelligence), 是现代科学研究的前沿。智能理论及其应用已成为当今国际科学研究的热点。采矿智能系统理论及其应用研究不仅是智能领域的一个新的研究热点, 而且开辟了采矿科学的一个新领域。

目前, 矿床开采深度已超过3000m。随着开采深度的增加, 矿山开采条件越来越差; 岩石的力学性质变得更加复杂多变; 地应力、采空区以及因地表塌陷、不断渗入的地下水等的影响越来越严重。地下矿山的压力显现过程和规律变得越来越复杂, 这使这些地下采矿结构(采场、井巷工程等)的稳定性研究与控制变得更加困难。露天开采与地下开采相比虽有许多优点, 但随着目前的许多露天矿已转入深凹开采, 露天矿边坡越来越高。随着边坡的加陡, 边坡失稳的控制难度就更大, 采场尺寸的缩小, 开采、运输和新水平准备的困难加大, 采场的环境污染越来越严重, 劳动效率显著降低。这就要求有更可靠的理论和技术来解决这些越来越复杂的采矿问题。

然而, 采矿科学的现状怎样呢?

至今, 采矿计算还提不出令人信服的定量关系, 以供采矿决策。这是因为, 采矿地质条件复杂, 采矿生产过程与工艺复杂多变, 现有的数学力学方法在解决采矿生产问题中还很不完善。到目前为止, 采矿规律的认识和生产问题的解决主要依赖于经验和工程类比方法, 缺乏科学的理论作指导。这就造成当今采矿技术落后, 阻碍采矿工业发展的根本原因。

况且，就采矿理论研究现状而言，要想在近期解决诸如各种复杂条件下的采矿规律的正确认识、地质数据分布规律的正确认识、岩体力学参数的正确确定等是很难的。

本书从系统科学的思想出发，应用人工智能、神经网络、模糊数学等前沿科学理论，系统地研究采矿工程智能问题。这种研究方法引用了人脑思维中的某些优点，变革基于“假定”的传统研究方法为基于“学习”和“模型”结合的智能化研究方法，将逻辑推理、直觉联想、创造性思维相结合，将有可能从根本上改变采矿科学目前所面临的困境。

智能采矿学的研究方法与传统的方法有很大的区别。

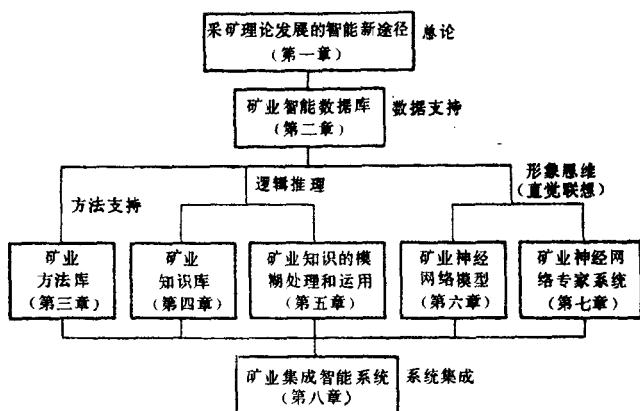
本书应用人工智能理论模拟采矿专家的逻辑思维过程，将他们的知识纳入知识库，建立采矿工程专家系统。将其三个重要的组成（知识获取、知识表示与知识运用）有机地结合起来。在考虑采矿知识的获取时，采用人工方法实现专家知识的显式部分向计算机中转移，用机器学习方法和人工神经网络方法实现采矿领域隐含知识的抽取，在考虑采矿知识的表示时，研究显式知识和隐式知识的分层多种综合表示技术；知识处理包括推理、搜索、协同、不确定性的传播，可信解的辨识等。

应用人工神经网络对专家的形象思维过程进行模拟，提出基于神经网络的自学习、联想、非线性动态处理、自适应模式识别等新方法。从积累的工程实例中获取知识，建立神经网络知识库，以神经计算实现网络的正向推理，构造神经网络专家系统。

以数据为基础，以采矿工程中各种行之有效的计算方法作为决策支持，智能方法与非智能方法、线性方法与非线性动力学方法、数值模型计算与模糊信息处理等有机地结合，

多学科多技术融合，建立全智能的采矿工程智能新体系。

本书的结构如下图所示。



在本书出版之际，作者要特别感谢林韵梅教授给予我们的关怀和帮助。北京科技大学于学馥教授给予了我特别关怀，并亲自为本书作序。同济大学孙钧教授、北方交通大学张清教授、煤炭科学研究总院北京开采所姚建国高工、中科院地质所丁恩保研究员、东北大学徐小荷教授、卢世宗教授、李克洪教授、苏士权教授等都给本书提出了许多宝贵意见，在此，作者一一向他们表示衷心的感谢。书中所展现的科研成果得到了辽宁省博士启动基金、国家“八五”重点攻关项目和东北大学科学基金的资助，在此表示谢意。

作者还要特别感谢王丽娜女士的无私奉献，书中的许多智能思想的提出都是与她分不开的。

当然，由于智能理论本身及采矿工程中智能理论研究所具有的科学前沿的性质，又由于本书所具有的探索和尝试的特点，加上作者学术水平的限制，书中的不完善之处在所难

免，作者诚恳地希望读者提出批评和建议，愿共同探讨。

作者

于沈阳东北大学

1994年3月30日



冯夏庭博士，副教授。1964年9月生，安徽省潜山县人。1986年毕业于东北大学采矿系，获学士学位，并免试保送为岩石力学硕士生，1988年提前考上博士研究生，1992年1月获博士学位，并留校任教，1993年破格晋升为副教授。现主要从事采矿、岩石力学及其智能理论、岩土工程中的不确定性分析等研究工作。已在国内外重要刊物与学术会议上正式发表学术论文50余篇，出版了专著《岩石力学与工程专家系统》和高等学校教材《应用岩石力学》，已完成的国家教委博士点基金项目《岩体工程分类与工程设计专家系统》达国际领先水平，目前是国家八五重点攻关课题《建立露天矿边坡数据库与开发边坡稳定性分析专家系统》的负责人，为研究生开设了《采矿工程专家系统》课程，为本科生主讲了《岩石力学》等课程。

6/04



王泳嘉博士,教授,博士生导师。现任中国煤炭学会理事、国际岩石力学学会中国国家小组成员、国际岩土力学计算机方法与进展协会会员。1933年生于上海,1954年毕业于东北大学,1956年毕业于中国矿业学院研究生班。多年来从事放矿理论的研究,于1962年提出的随机介质放矿理论比国外同类理论早12年。1980年被派往美国攻读博士学位。在美国期间,从事地下核废料处理系统的粘弹性力学的分析研究,达到国际先进水平,1983年获美国明尼苏达大学岩土工程博士学位。回国后,曾获得国家教委科技进步二等奖和冶金部科技进步二等奖,曾多次赴美国、加拿大、澳大利亚、瑞典、波兰和俄罗斯等国参加国际会议、合作科研和讲学,在国内外刊物和国际会议上发表论文60余篇,用英文撰写的《岩石力学粘弹性问题的边界元法》曾参加国际书展。

目 录

第一章 采矿理论发展的智能新途径	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 智能革命使工业社会得到了飞跃发展	(2)
第三节 专家的思维方式、过程及其模拟	(3)
第四节 采矿科学的智能化研究方法	(7)
第五节 智能理论及其在矿业中的应用	(10)
第二章 矿业智能数据库	(18)
第一节 引言	(18)
第二节 基本概念	(19)
第三节 智能数据库模型	(22)
第四节 智能数据库管理系统	(25)
第五节 岩石三性综合分级数据库系统	(29)
第三章 矿业方法库	(40)
第一节 引言	(40)
第二节 方法表达和方法库结构	(41)
第三节 方法库系统结构	(43)
第四节 方法库系统设计	(44)
第四章 矿业知识库	(49)
第一节 引言	(49)
第二节 矿业知识的基本概念与基本类型	(49)
第三节 矿业知识的获取与学习	(55)
第四节 矿业知识的表示	(61)
第五节 矿业知识库的结构与管理	(82)
第五章 矿业知识的模糊处理和运用	(84)
第一节 引言	(84)

第二节	模糊推理方法.....	(85)
第三节	模糊逻辑的神经网络实现.....	(88)
第四节	模糊关系合成推理.....	(95)
第六章	矿业人工神经网络模型	(99)
第一节	引言.....	(99)
第二节	人工神经网络.....	(100)
第三节	神经网络模型与学习算法.....	(105)
第四节	人工神经网络求解机制.....	(111)
第五节	用于矿业问题求解的神经网络设计.....	(117)
第六节	矿业预测神经网络方法.....	(129)
第七章	矿业神经网络专家系统	(142)
第一节	引言.....	(142)
第二节	矿业神经网络专家系统的基本原理和结构.....	(142)
第三节	矿业神经网络专家系统的知识获取、表示与 推理.....	(145)
第四节	岩体质量评价神经网络专家系统.....	(159)
第八章	矿业集成智能系统.....	(174)
第一节	引言.....	(174)
第二节	模糊神经网络.....	(174)
第三节	多方法的混合系统模型.....	(176)
第四节	全智能系统模型.....	(180)
第五节	采矿方法选择集成智能系统.....	(181)
第六节	岩爆预报智能集成系统.....	(186)
参考文献		(197)

CONTENTS

1	A NEW APPROACH TO DEVELOP MINING SCIENCE.....	(1)
1.1	Introduction	
1.2	Intelligent revolution making rapid trides of industry society	
1.3	Expert's thinking mode and its simulation	
1.4	A new approach to developping mining science theory	
1.5	Intelligent theory and its application to mining engineering	
2	INTELLIGENT MINING DATA BASE	(18)
2.1	Introduction	
2.2	Concept of intelligent mining data base	
2.3	Model of intelligent mining data base	
2.4	Intelligent mining database management system	
2.5	A database system for comprehensive classification of rock drillability, blastability and stability	

3	MINING METHOD BASE.....	(40)
3.1	Introduction	
3.2	Method representation and method base structure	
3.3	Structure of mining method base system	
3.4	Design of mining method base system	
4	MINING KNOWLEDGE BASE.....	(49)
4.1	Introduction	
4.2	Concept and classification of mining knowledge	
4.3	Acquisition and learning of mining knowledge	
4.4	Representation of mining knowledge	
4.5	Structure and management of mining knowledge base	
5	FUZZY PROCESSING AND APPLI- CATION OF MINING KNOWLEDGE	(84)
5.1	Introduction	
5.2	Fuzzy reasoning method	
5.3	Fuzzy neural network logic	
5.4	Component inference of fuzzy relationship	

6	NEURAL NETWORK MODELS FOR MINING PROBLEMS.....	(99)
6.1	Introduction	
6.2	Artificial neural network	
6.3	Neural network model and learning algorithm	
6.4	Problem-solving mechanism of neural network	
6.5	Neural network design for solving mining problems	
6.6	Neural network techniques for mining prediction	
7	MINING NEURAL NETWORK EXPERT SYSTEM	(142)
7.1	Introduction	
7.2	Principle and structure of mining neural network expert system	
7.3	Knowledge acquisition, representation and infe- rence of mining neural network expert system	
7.4	A neural network expert system for rock quality evaluation	
8	INTEGRATING INTELLIGENT MINING SYSTEM	(174)
8.1	Introduction	

- 8.2 Fuzzy neural network system
- 8.3 Model of Mixed intelligent system of multi-methods
- 8.4 Model of complete intelligent system
- 8.5 An integrating intelligent system for reasonable selection of underground mining systems
- 8.6 An integrating intelligent system for predicting probable rockburst of underground openings

REFERENCES (197)