

岩石力学与工程专家系统

冯夏庭 林韵梅 著

辽宁科学技术出版社

(辽)新登字4号

岩石力学与工程专家系统

Yanshi Lixue Yu Gongcheng Zhuanjia Xitong

冯夏庭 林韵梅 著

辽宁科学技术出版社出版发行

(沈阳市和平区北一马路108号 邮政编码 110001)

锦州印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:8% 字数:187千字
1993年6月第一版 1993年6月第一次印刷

责任编辑:枫岚
封面设计:太文

版式设计:于浪
责任校对:秀芝

印数:1—800

ISBN 7—5381—1756—3/P·12 定价:9.80元

内 容 提 要

本书以采矿与岩石工程为处理对象，以系统论、信息论、控制论的基本原理为基础，将人工智能、知识工程、神经网络、模糊数学、计算机技术等学科与岩石力学学科交叉与综合，改变了传统岩石力学忽视启发式知识、形象思维、大量的定性描述和界限不明确的中间状态的定量研究求解方法，系统地阐述了岩石力学专家系统理论和技术，并以人的抽象思维与人的形象思维相结合，不确定性推理与确定性计算相结合，专家经验、工程经验、理论分析、数值计算、现场监测等多途径相结合，把岩石力学研究与岩石工程决策提高到集成智能的高度。

本书可作为土木、采矿、矿山建设、岩土、水利、铁道、地质力学、地下建筑、人防、国防、核能等工程领域的技术人员和高等院校师生的参考书，也可作为岩石力学与工程专业有关的研究生教材，对专家系统、神经网络等领域工作的广大科技人员也有较大参考价值。

序 言

岩石力学是一门既富理论内涵而又工程实践性很强的发展中的学科。数十年来，它沿用以材料力学、弹塑粘性理论等传统学科为基础的确定性求解方法，并未解达到恰如人意的效果。谋求新的、更为综合的手段来解决问题，是一项亟待研究的当务之急。在这方面，人工智能专家系统的问世，大大开拓了人们的视野，给岩石力学也提供了一种很好的思维方法，它是对经典力学一次带根本性的变革，对本门学科的进一步发展带来了崭新的生机。

我极感兴趣地研读了《岩石力学与工程专家系统》这本书，书中的许多观点和方法深深地吸引着我。它以采矿和岩石力学为对象，将知识工程、模糊数学和计算机技术等新兴交叉学科溶入了岩石力学，在工程岩体分类和岩石工程设计方面提出了一种基于知识的闭环系统模型，使能进行岩石工程的最优设计；它还建议了一种适用于各类岩石工程的专家系统开发工具，使人的抽象思维与形象思维模拟以及不确定性的推理与确定性计算有机结合起来。进而，在所研制工具的支撑下，建立了一门适用于巷道和峒室等地下结构物采用的工程岩体分类和地下工程支护分区设计与优化的专家系统；为支持分区设计，书中还介绍了工程岩体分级分区图智能计算机辅助设计系统的系列软件。最值得庆幸的是，这一专家系统采用了众多工程实例进行测试，并在武钢某冶金矿

山以及工程岩体分级国家标准中得到了成功应用。

我们为本书作者们充满活力的构思与创新精神所鼓舞，本书的出版将补充当前国内外有关研究多致力专家系统理论或局限于探讨某单一问题的不足，而能为广大岩石力学工作者所参考、乐用。我深信本书必将为我国岩石力学学科发展带来极大的助益。

中国科学院学部委员

孙 钧

1993. 6. 4 于同济大学

前 言

人类的抽象思维是综合利用启发式推理和数值分析的过程，两者相辅相成，缺一不可。

传统的力学习惯于注重理论计算和数值分析。考察岩石力学的基本理论，可以发现这门学科的主体是从土力学和弹塑性力学中沿袭过来的。计算机的出现带来了力学方法的变革和力学本身的发展。即使这样，我们仍不能很好的解决岩石力学与工程中的实际问题。这是因为，岩体是迄今为止世界上历史最长、变异最多、成份最复杂的一种材料，它已形成一个从连续体到不连续体的系列。如果只根据均质、各向同性概念发展起来的传统岩石力学理论来解释，自然有不适用和脱离实际之处。为解决此问题，一种较为流行的方法是试图将影响岩体的各因素，分别归结到岩体的力学性质上去，建立复杂的本构方程，这不仅使理论推导更加复杂繁琐，而且理论与实际的差距仍然很大。所以至今，工程设计仍旧沿袭工程类比而不是靠工程计算。究其原因，不仅仅是理论模型和计算方法不完善，更主要的是这些模型和方法忽视了解决问题所需要的启发式知识。实际上，岩石力学中的许多问题在一定程度上都是数学描述不完善的，有的无法建立数学模型、有的缺乏必要的参量。对于这些问题，很难借助于一种预先设计好的固定程式或算法来解决，而领域专家运用在

实践中产生的直觉、灵感和总结的知识，采用一定的“启发式”的方法却能做出很好的判断。这种启发式方法在实践中表明是行之有效的。所以在解决岩石力学问题中采用启发式推理是很重要的，这也就是现代岩石力学所要研究的课题之一。

岩石力学问题的人工智能求解思想与传统方法有本质区别。

过去在寻求定量方法处理复杂的岩石力学问题时，把研究对象加以抽象，容易注意数学力学模型的逻辑处理，而忽视数学力学模型微妙的经验含义或解释。这样的数学力学模型看来“理论性”很强，但有时不勉牵强附会，从而脱离真实。既然如此，反不如从建立模型的一开始就实实在在的承认理论的不足，而求援于经验性判断，把定性的方法与定量的方法结合起来，综合分析研究对象的语义、内容和数量关系，建立知识模型和数学力学模型，最后定量。这样的系统建立模型的方法对解决实际工程问题可能是更有效的，对建模者判断力的增强与扩充，也是很重要的。

正确的工程决策离不开专家的经验，专家的知识是解决问题的基础，计算有利于工程决策精度的提高。因此，这就需要把各种专家的知识收集起来，建立推理方法，并与计算相结合。一方面吸取来自于工作经验的人脑思维中的灵感、直觉和启发性知识，提高问题的求解精度；一方面促进人脑思维的发展和工作的可靠性的提高。这就要求在岩石力学研究过程中，变革传统概念，利用新的知识和人的思维中的某些优点，采用启发式推理、联想记忆、自适应识别与科学计算相结合，以解决实际工程问题。

岩石力学与工程中许多问题的决策是不完善的系统分析

过程，它所包含的知识经常是不完备或不一致的。大量的地质、岩石力学性质、工程、生产、施工、计算及其它信息大都是不确定的，这里的不确定包含的是随机性、模糊性和未知性。这就要求在实际工作中必须采取不确定性处理方法。不确定性的推理与确定性的计算相结合，并且对大量的不确定性信息进行反馈处理和通过自学习逐步完善原始设计和决策模型，逐渐逼近工程实际和完善力学工作方法，以真正实现运用复杂的力学解决工程实际问题。

人工智能科学的诞生以及新一代计算机——智能计算机的研制，迎来了人类的智能革命，使计算机像人那样进行符号推理、形象思维和知识处理的能力大大增强，这些新技术使岩石力学研究借鉴人的思维中的某些优点，采用启发式推理、联想记忆、自适应识别与科学计算相结合，并上升到定量的综合决策方法成为可能。为此，作者从1986年开始从事人工智能与岩石力学交叉研究工作，并取得了一些可喜的成果。

本书是在冯夏庭的博士论文基础上修改和补充写成的。修改和补充工作是由冯夏庭根据32位评审论文的专家、教授的意见完成的。

全书共9章。前5章系统地探讨了岩石力学专家系统的基本理论，包括岩石力学问题求解的智能新途径、岩石力学知识表示、推理与不确定性推理模型、知识学习理论和岩石力学专家系统开发环境等，第6章到第8章探讨以岩石力学专家系统开发环境OEEST为工具开发的几个专家系统，并力图围绕围岩分区支护设计这个系统全过程：岩体识别（分级）→岩体分级分区→分区支护方案设计→支护与施工方案求精来讨论。最后一章着重探讨了专家系统在不同地下工程

目 录

序言

前言

第一章 岩石力学理论发展的新途径	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 人的思维在科学发展中起着重要的作用	(3)
第三节 经验和知识是进行科学研究、 解决工程与生产问题的基础	(5)
第四节 岩石力学理论发展与工程决策的新途径	(7)
第五节 人工智能为发展智能岩石力学 提供了理论基础	(10)
第六节 智能岩石力学与工程决策的系统方法 ..	(12)
第二章 岩石力学知识的表示	(18)
第一节 引言	(18)
第二节 产生式系统表示	(19)
一 基本概念	(19)

二	不确定性推理知识的规则表示	(21)
三	元知识的规则表示	(22)
四	规则的推理与控制	(23)
第三节	语义网络表示	(30)
一	基本概念	(30)
二	语义网络推理	(30)
第四节	框架表示	(33)
一	基本概念	(33)
二	复杂因素关系的框架表示	(35)
三	框架的附加过程与推理	(42)
第五节	神经网络表示	(43)
一	问题求解知识的神经网络表示	(44)
二	非线性函数的神经网络表示	(46)
三	神经网络知识表示的主要特点	(50)
第三章	推理方法与不确定性推理模型	(52)
第一节	引言	(52)
第二节	推理概念	(53)
第三节	推理方法	(54)
第四节	基于 Bayes 方法的不确定性推理	(57)
第五节	基于随机、模糊分析的不确定性推理	(63)
一	单一路径的不确定性推理	(63)
二	多路径的不确定性组合推理	(66)
三	信息不完全时的推理	(67)
四	推理计算实例	(67)
第四章	知识学习	(71)
第一节	引言	(71)
第二节	用自定义函数方法学习知识	(71)
第三节	用神经网络学习知识	(79)

第四节	用多层前馈网络学习不确定性知识	(87)
第五章	岩石力学问题专家系统开发工具	(95)
第一节	引言	(95)
第二节	领域问题和知识特征的模拟	(95)
第三节	知识库	(100)
一	知识库的参量	(100)
二	知识库的结构	(102)
第四节	知识库管理	(102)
第五节	OEEST 的设计与实现	(111)
一	设计目标	(111)
二	综合系统集成设计	(111)
三	OEEST 的系统结构	(117)
四	OEEST 的运行环境	(126)
第六节	生成专家系统	(127)
第六章	基于知识的岩体分级专家系统	(130)
第一节	引言	(130)
第二节	知识库的建立	(132)
第三节	岩体分级因素的确定与复杂关系的表达	(138)
第四节	一个新的定量分级模式	(144)
第五节	启发式岩体分级知识的组织与表达	(150)
第七章	工程岩体分级分区智能 CAD 系统	(162)
第一节	引言	(162)
第二节	工程岩体分级分区的智能方法学	(163)
第三节	工程岩体分级分区过程中的推理	(168)
第四节	工程岩体分级分区的 CAD 模型	(173)
第五节	智能 RCS—CAD 系统	(188)

第八章 基于知识的围岩支护分区优化

设计与决策系统 (191)

第一节 引言 (191)

第二节 支护优化设计的智能方法学 (192)

第三节 问题识别与知识获取 (195)

第四节 支护决策因素分析 (200)

第五节 支护设计的求精 (205)

第六节 一个具有启发性的数学模型 (210)第七节 OSDES 系统 (212)

第九章 工程应用 (218)

第一节 引言 (218)

第二节 坑道(隧道)工程围岩分级与支护设计 (219)

第三节 硐室工程围岩稳定性分级与支护设计 (224)

第四节 矿山巷道围岩稳定性分级与支护设计 (229)

第五节 武钢程潮铁矿矿岩稳定性分级分区
与进路支护的优化设计 (235)

参考文献

CONTENTS

FOREWORD

PREFACE

CHAPTER 1 A NEW APPROACH TO DEVELOP ROCK MECHANICS THEORY (1)

1.1 Introduction (1)

1.2 Human's thought—an important mainstay of scientific activity (3)

1.3 Expertise—the base of scientific research
and solving engineering and production problems
..... (5)

1.4 A new approach to develop rock mechanics theory
..... (7)

1.5 Artificial intelligence—the base of developing intelligent rock mechanics (10)

1.6 System methodology of developing intelligent rock mechanics and solving engineering problems (12)

CHAPTER 2 ROCK MECHANICS KNOWLEDGE REPRESENTATION (18)

2.1 Production system representation (18)

2.2	Semantic network representation	(19)
2.3	Frame representation	(30)
2.4	Neural network representation	(33)
CHAPTER 3 INFERENCE METHOD AND UNCERTAIN REASONING MODEL		(52)
3.1	Introduction	(52)
3.2	Inference concept	(53)
3.3	Inference method	(54)
3.4	Uncertain reasoning using Bayes method ...	(57)
3.5	Uncertain reasoning using stochastic and fuzzy analysis	(63)
CHAPTER 4 KNOWLEDGE LEARNING		(71)
4.1	Introduction	(71)
4.2	Learning knowledge using self-defination functions	(71)
4.3	Learning knowledge using neural network model	(79)
4.4	Learning uncertain knowledge using multilayer feedforward neural network model	(87)
CHAPTER 5 THE TOOL FOR BUILDING ROCK MECHANICS EXPERT SYSTEMS		(95)
5.1	Introduction	(95)
5.2	Domain problem and knowledge characteristics simulation	(95)
5.3	Knowledge base	(100)
5.4	Knowledge base management	(102)
5.5	Design and realization of the OEEST	(111)

5.6	Generating expert systems	(127)
CHAPTER 6 A KNOWLEDGE-BASED ROCKMASS		
CLASSIFICATION EXPERT SYSTEM		
		(130)
6.1	Introduction	(130)
6.2	Building Knowledge base	(132)
6.3	Factors and their relationship description	
		(138)
6.4	A new quantitative rockmass classification scheme	
		(144)
6.5	Representation of heuristic rockmass	
	classification knowledge	(150)
CHAPTER 7 AN INTELLIGENT CAD SYSTEM FOR EN-		
GINEERING STABILITY ZONING OF		
ROCK MASSES (162)		
7.1	Introduction	(162)
7.2	Intelligent methodology for engineering	
	stability zoning of rock masses	(163)
7.3	Inference dealed in rockmass zoning	(168)
7.4	CAD model for rockmass zoning	(173)
7.5	Intelligent RCS-CAD system	(188)
CHAPTER 8 A KNOWLEDGE-BASED DESIGN OF		
ZONED SUPPORT SYSTEMS FOR UN-		
DERGROUND OPENINGS (191)		
8.1	Introduction	(191)
8.2	Intelligent methodology for zoned support design	
		(192)

8.3	Problem identification and knowledge acquisition	(195)
8.4	Support design factor analysis	(200)
8.5	Support design refining	(205)
8.6	A heuristic support design model	(210)
8.7	The OSDES	(212)
CHAPTER 9 APPLICATIONS		(218)
9.1	Introduction	(218)
9.2	Tunnel design	(219)
9.3	Underground opening design	(224)
9.4	Mine entries design	(229)
9.5	Optimal design of extraction drifts in Chenchao iron mine	(235)

REFERENCES

第一章 岩石力学理论发展的新途径

第一节 引言

人工智能 (Artificial Intelligence) 是模拟人的思维过程和某些智能行为的科学, 它的诞生带来了人类一次新的生产工具和生产力革命——智能革命。它利用计算机的高速运算推理 (inference) 性能和庞大的存贮量部分地模拟、代替以致超过*人的已知其规律的脑力劳动, 使计算机从“存贮数据”发展到“思维 and 提供数据”, 从“数据处理”发展到“知识处理”。这种利用计算机靠“推理”来求解的思想比靠“计算”求解的传统做法大大向前推进了一步。本章根据人工智能科学的思想, 提出了发展岩石力学理论的新途径。

岩石力学作为一门学科, 已由材料力学阶段发展到裂隙结构力学阶段。它在学科研究和工程应用方面取得了极大的进展, 许多成果已经在生产实践中, 诸如边坡、岩基与隧洞工程等领域显示出巨大的技术经济效益。岩石力学的研究已

* 关于计算机以“超人的已知其规律的脑力劳动”是指有知识求精、学习和发明创新的能力