

国家自然科学基金资助项目(59544010)

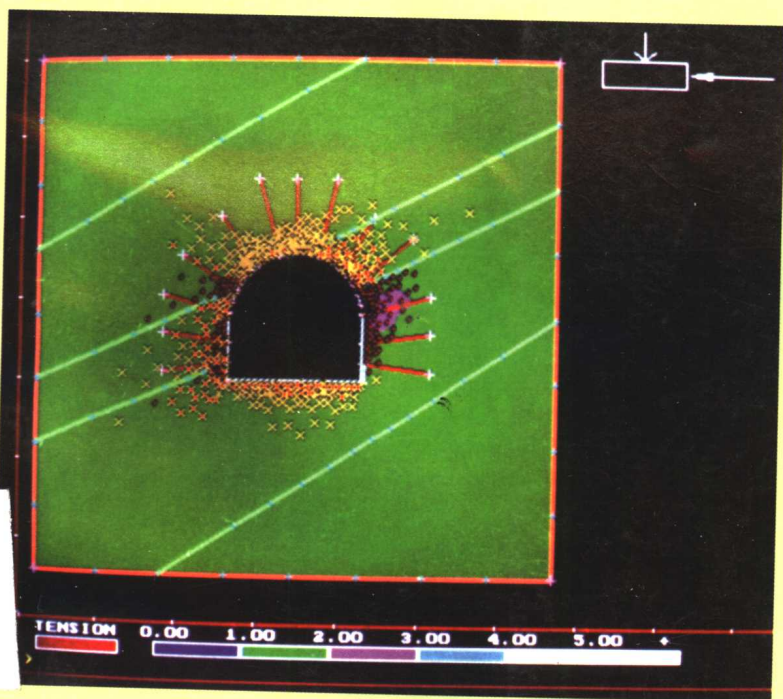
煤炭科学基金资助项目(95采10513)

巷道围岩稳定性预测与控制

谭云亮 刘传孝 著

PREDICTION AND CONTROL FOR
THE STABILITY OF GATE SURROUNDING ROCK MASS

Tan Yunliang Liu Chuanxiao



China University of Mining & Technology Press

中国矿业大学出版社

国家自然科学基金资助项目(59544010)

煤炭科学基金资助项目(95 采 10513)

巷道围岩稳定性预测与控制

PREDICTION AND CONTROL FOR
THE STABILITY OF GATE
SURROUNDING ROCK MASS

谭云亮 刘传孝 著

Tan Yunliang Liu Chuanxiao

中国矿业大学出版社

China University of Mining & Technology Press

责任编辑 姜志方

责任校对 杜锦芝

图书在版编目(CIP)数据

巷道围岩稳定性预测与控制/谭云亮,刘传孝著.
—徐州:中国矿业大学出版社,1999.9
ISBN 7 - 81070 - 058 - 8

I. 巷…、I. ①谭… ②刘… III. ①巷道-围岩稳定性-预测 ②巷道-围岩稳定性-控制 IV. TD263

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 44080 号



中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

徐州新华印刷厂印刷 新华书店经销

开本 850×1 168 1/32 印张 9 字数 235 千字

1999年9月第1版 1999年9月第1次印刷

印数 1~1 100 册 定价 29.50 元

内 容 简 介

本书系统介绍了作者近几年来在巷道围岩稳定性预测与控制理论及应用方面研究的新成果。这些成果突破了传统的按指标体系进行巷道围岩分类的方法,研究的主要内容包 括:如何对不同结构组合的巷道围岩,处于不同的应力环境下的失稳部位及特点进行诊断;建立了围岩稳定性识别的神经网络与模糊数学模型;提出了相应的围岩控制性准则及设计方法,并给出了现场实用实例;开发了围岩稳定性预测与控制专家系统,从而形成一个巷道围岩预测与控制理论的新体系。

本书可供采矿、冶金、水电、铁路、交通、土木工程等科技人员、现场工程技术人员和高等院校师生参考。

Summary

Surrounding rock mass classification techniques have been taken as main ways to the gate reinforcement during the past decades. However, it is very difficult to realize the goal of quantitative design by the classification techniques. In this book, some of the author's new research results and viewpoints on the stability prediction and reinforcement for the gate surrounding rock mass are introduced. These research results break through the traditional gate surrounding rock mass classification which bases on the index system. The research results mainly conclude how to diagnose destabilizing positions and features of the gate surrounding rock mass that was composed of different deposit sediment on the different stress conditions. Furthermore, the models, artificial neural network and fuzzy mathematics for the surrounding rock mass stability identification, have been built. The criteria and designing methods to control surrounding rock mass have been set up, the in-site examples have been also presented, and the expert system to predict and control gate surrounding rock mass stability has been explored. Hence, a perfect theoretical system for predictions and controls of gate surrounding rock mass has been set up. This book can be referred by the scientists, technicians, teachers and students in the college majoring in mining engineering, metallurgical engineering, hydroelectric engineering, railway, traffic, civil engineering, etc.

前 言

中国是一个煤炭大国,到 2000 年,我国的煤炭产量将达到 14 亿吨,占我国能源比重的 65% 左右。21 世纪对能源的需求将会持续增长,给采矿行业带来了巨大的压力,因为需要开掘数十万公里的地下巷道来服务于煤炭的持续开采。而我国煤炭资源分布地域广大,赋存地质条件复杂,使得巷道支护工程中的问题屡见不鲜。同时,根据统计表明,我国立井的深度在 50 年代平均不到 200 m,而 90 年代平均已达 600 m,相当于平均每年以 10 m 的速度向深部发展。如华丰、孙村等矿已经延深至千米之下,这样使得本来在浅部稳定性较好的巷道,进入深部以后也变得难以支护了,也就是说巷道支护问题更加突出了。与此同时,金属矿山、铁路、水电、人防等工程也需要开挖大量的巷道与硐室。这些就给我们岩土力学与工程界提出了一个十分现实的问题:针对具体条件的围岩和工程特点,怎样做才能够使得对巷道围岩的加固达到“技术上先进、经济上合理、安全上可靠”的目标呢?

国内外许多学者和工程师,在巷道围岩预测与控制方面做了大量工作,形成了一些规范来指导巷道支护工程设计。如著名的国际地质力学分级(CSIR)、Q 分级等;我国 1985 年制定了《锚杆喷射混凝土支护技术规范》、1995 年制定了《工程岩体分级标准》。同时,我国各个行业也制定了相应的行业标准,如原煤炭部 1988 年颁布《我国缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类方案》等,这些对指导巷道围岩的控制实践均起到了重要作用,但离针对具体

围岩条件和应力环境下的定量控制设计的目标还相差较远。

本书是作者多年来在巷道围岩控制理论与实践方面成果的集中反映,特别是对国家自然科学基金项目“矿山巷道围岩结构状态预测与稳定性控制”、煤炭科学基金项目“巷道围岩结构层次分析与稳定性预测”等研究成果的系统总结。这些成果从基于诊断具体巷道围岩的结构组合及应力环境下巷道的破坏形式和特点,对巷道围岩破坏演化规律和稳定性预测,到最终实现面向巷道围岩不同部位进行有针对性的定量控制,形成了巷道围岩稳定性预测与控制理论的新体系。

本书共分为上、下两篇,由10章内容构成:第一章为绪论,介绍了国内外巷道围岩稳定性预测与控制方面的研究现状;第二章介绍了影响巷道围岩稳定性的应力环境,特别是采动压力的特点、显现类型及影响程度的表达;第三章介绍了不同应力环境下巷道围岩变形与破坏的特点;第四章介绍了不同围岩结构组合对巷道围岩稳定性的影响;第五章介绍了节理岩体的锚固延时特征及支护要求;第六章介绍了利用地质雷达对巷道围岩破坏探测研究的新成果;第七章介绍了巷道围岩稳定性识别的神经网络模型和模糊方法;第八章介绍了锚固机理及锚固参数对围岩稳定性的影响;第九章介绍了围岩稳定性判据、锚固设计方法及工程应用实例;第十章介绍了巷道围岩稳定性预测与控制专家系统。从而使本书能够尽量向结构比较完整、严密、逻辑性较强的特色专著迈进。

在将此书奉献给奋斗在岩土界广大同仁之际,我要感谢中国科学院院士宋振骥教授的热忱指导,感谢东北大学王泳嘉教授、朱浮声教授、郑雨天教授在学术思想上给予的启迪。还要感谢山东矿业学院姜福兴教授等有益的讨论和无私的帮助及引用蒋金泉教授

等的部分研究成果,感谢周辉博士、韩宪军硕士的辛勤劳动,才使得本书以今天的面貌与广大读者见面了。

由于作者水平有限,难免有错误之处,敬请读者给予批评指正。

谭云亮谨识

1999年5月于泰安

目 录

上篇 基础理论篇

第一章 绪论	(3)
第一节 以岩石强度为代表的分类方法	(3)
第二节 地质力学分级方法	(5)
第三节 围岩稳定性评判方法	(9)
第四节 巷道围岩稳定性预测与控制新途径	(11)
第二章 采动支承压力与巷道围岩应力环境分析	(13)
第一节 影响巷道稳定性力源分析	(13)
第二节 采动支承压力及显现特征诊断	(19)
第三节 基础对支承压力分布的影响	(31)
第四节 反弹与支承压力变化	(39)
第五节 受采动影响巷道应力环境分析	(43)
第六节 采动影响的定量评价分析	(49)
第三章 不同应力环境对巷道围岩稳定性的影响	(55)
第一节 非关联塑性流动准则	(55)
第二节 有限元与边界元耦合原理	(59)
第三节 重力型原岩应力场内巷道围岩的稳定性	(61)
第四节 受采动影响巷道围岩的稳定性	(64)
第五节 构造应力场内巷道围岩稳定性	(68)
第六节 深部软岩跨采巷道变形实测研究	(72)

第四章 不同围岩结构组合巷道变形破坏规律	(79)
第一节 拉格朗日元法原理	(79)
第二节 回采巷道围岩结构稳定性分析	(83)
第三节 回采巷道层位选择	(100)
第四节 准备巷道围岩结构稳定性分析	(101)
第五节 不同应力环境下准备巷道层位选择	(117)
第五章 节理围岩稳定性分析	(120)
第一节 引言	(120)
第二节 离散元模拟节理岩体的思路	(121)
第三节 锚杆加固节理围岩计算模式	(123)
第四节 锚杆加固节理围岩模拟分析	(128)
第五节 破碎围岩与新奥法	(131)
第六章 巷道围岩破坏范围的雷达探测研究	(134)
第一节 雷达探测原理及方法	(134)
第二节 巷道围岩破坏范围探测	(137)
第三节 准备巷道两帮破坏范围回归分析	(144)
第四节 受采动影响巷道两帮破坏范围回归分析	(146)
第五节 两帮与顶底板之间的破坏关系	(149)
第七章 巷道围岩稳定性模型识别	(153)
第一节 神经网络动力学特性分析	(153)
第二节 巷道围岩稳定性类别的 BP 神经网络识别模型	(157)
第三节 回采巷道分类指标的神经网络聚类分析模型	(161)
第四节 软岩类型的模糊综合评判模型	(167)
第五节 锚固回采巷道围岩稳定性最优模糊识别模型	(174)

下篇 控制与应用篇

第八章 锚固机理与参数分析.....	(183)
第一节 巷道围岩深部变形特征.....	(183)
第二节 锚杆加固的基本机理.....	(191)
第三节 复合顶板锚固力学形态分析.....	(197)
第四节 锚杆参数与围岩稳定性.....	(202)
第九章 巷道围岩稳定性控制.....	(207)
第一节 巷道围岩稳定性判定方法.....	(207)
第二节 锚杆、锚索种类	(219)
第三节 锚固设计的原则与方法.....	(226)
第四节 华丰矿—920 m 岩石集中巷锚固设计.....	(230)
第五节 济宁二号煤矿“三软”顺槽锚固设计.....	(238)
第六节 荆各庄矿 1111 工作面运输巷锚固设计	(247)
第十章 巷道围岩稳定性控制与预测专家系统.....	(252)
第一节 概述.....	(252)
第二节 GSCP—ES 系统知识库	(252)
第三节 GSCP—ES 系统推理机制	(258)
第四节 GSCP—ES 系统解释与反馈机制	(260)
第五节 GSCP—ES 应用初步	(261)
参考文献.....	(263)

Contents

Part I The Chapters of Basic theories

Chapter 1 Introduction	(3)
Section 1 The traditional classification based on the strength of rock	(3)
Section 2 The classification methods according to geomechanics	(5)
Section 3 The traditional judgement for the stability of the surrounding rock mass	(9)
Section 4 A new way for the stability prediction and reinforcement of the gate surrounding rock mass	(11)
Chapter 2 The analysis for the abutment pressure and the stress Conditions of the gate surrounding rock mass	(13)
Section 1 The analysis of the force components influencing the gate stability	(13)
Section 2 Diagnosis of the characteristics and appearances for abutment pressure	(19)
Section 3 The foundation of the roof which influences on the abutment pressure distribution	(31)
Section 4 The relations between rebounding phenomenon and changes of abutment pressure	(39)
Section 5 The analysis for the stress conditions of the gate influenced by mining	(43)
Section 6 The quantitative estimation and analysis for the abutment	

	pressure	(49)
Chapter 3	The influences on the stability of surrounding rock of the gate based on different stress conditions	(55)
Section 1	The unassociated plastic flowing criterion	(55)
Section 2	The coupling theory of FEM and BEM	(59)
Section 3	The stability of surrounding rock of the gate in the gravitational stress field	(61)
Section 4	The stability of surrounding rock of the gate influenced by mining	(64)
Section 5	The stability of surrounding rock of the gate in the tectonic stress field	(68)
Section 6	The in-situ measurement study of the convergence of deep soft surrounding rock mass influenced by the across mining pressure	(72)
Chapter 4	The rules of deformation and destruction of the different sediments of the gate surrounding rock mass	(79)
Section 1	The theory of Fast Lagrange Analysis method	(79)
Section 2	The analysis for the stability of the surrounding rock mass of the roadway influenced by mining pressure	(83)
Section 3	The layer position choices of the mining roadway	(100)
Section 4	The analysis for the stability of the surrounding rock mass of the rock roadway	(101)
Section 5	The layer position choices of the rock roadway under the different stress conditions	(117)
Chapter 5	The analysis of the stability of the joint surrounding rock of the gate	(120)
Section 1	Introduction	(120)
Section 2	The thought of Discrete Element Method to simulate the jointing rock mass	(121)
Section 3	The calculation pattern to reinforce the joint surrounding rock	

	mass with bolts	(123)
Section 4	The simulation analysis of the reinforcement of joint surrounding rock Mass by bolts	(128)
Section 5	Cracked surrounding rock mass and NATM	(131)
Chapter 6	The fractured zones detection by radar of the surrounding rock mass of the gate	(134)
Section 1	The theory and method of radar detection	(134)
Section 2	The fractured zone detection of the surrounding rock mass of the gate	(137)
Section 3	The regress analysis of the fractured zone of the coal roadway walls	(144)
Section 4	The regress analysis of the fractured zone of the rock roadway walls	(146)
Section 5	The relation of the destruction between walls and the roof(or floor)	(149)
Chapter 7	The mode identify of the stability of the surrounding rock of the gate	(153)
Section 1	The analysis of the dynamic features of the neural network	(153)
Section 2	The BP neural network identification model for the category of the surrounding rock mass of the gate	(157)
Section 3	The NN cluster analysis model for the indexes of the classification of the extraction openings	(161)
Section 4	The fuzzy comprehensive judgement model for types of the soft rock	(167)
Section 5	The optimizing fuzzy identification model for the stability of the extraction openings reinforced by bolts	(174)

Part II The Chapters of control and application

Chapter 8 Anchorage mechanics and the analysis of parameters

	(183)
Section 1	The deformation features of the surrounding rock in deep-seated gate	(183)
Section 2	The fundamental reinforcing mechanics of the bolt	(191)
Section 3	The mechanical conformation analysis for the bolted composite roof	(197)
Section 4	The bolt parameters and the stability of the surrounding rock mass	(202)
Chapter 9	The control of the stability of the surrounding rock of the gate	(207)
Section 1	The criterion for judging the stability of the surrounding rock of the gate	(207)
Section 2	The types of bolts and cable anchor	(219)
Section 3	The principle and method of the anchorage design	(226)
Section 4	The anchorage design for -920 m main haulage roadway in Huafeng coal mine	(230)
Section 5	The anchorage design for soft surrounding rock mass gate of the No. 2 pit in Jining coal field	(238)
Section 6	The anchorage design for the gate of No. 1111 working face in Jinggezhuang coal mine	(247)
Chapter 10	The expert system of the stability prediction and reinforcement for the gate surrounding rock mass	(252)
Section 1	Introduction	(252)
Section 2	The knowledge bases of GSCP-ES system	(252)
Section 3	The inference mechanics of GSCP-ES system	(258)
Section 4	The explanation and feedback mechanism of GSCP-ES system	(260)
Section 5	The preliminary applications of GSCP-ES system	(261)

上篇 基础理论篇

第一章 绪 论

第一节 以岩石强度为代表的分类方法

对矿山巷道围岩稳定性评价、预测与控制一直是国内外岩土工程领域研究的热点之一。目前,国内外学者普遍采用对围岩分类分级的办法进行围岩稳定性评价与支护设计。对岩体分类这样一个课题,国内外众多学者已做了大量的工作,从分类的特点看,主要有以岩石强度指标为基础的分类、以工程地质力学特点分类和以围岩稳定性为基础的分类方法。

早在1970年,英国伦敦地质协会就提出了以岩石的单轴抗压强度为指标,将岩石从软到硬分为6类:很软、软、较软、较硬、硬、很硬。国际岩石力学协会于1978年提出了用单向抗压强度指标将围岩分为极软、非常软、中硬、非常硬4大类。中国在解放初期曾按照岩石的极限抗压强度的大小将岩石分为特坚硬岩(160~250 MPa)、坚硬岩(100~160 MPa)、次坚硬岩(40~100 MPa)、软岩(小于40 MPa)4个等级。法国在山区隧道围岩工程分类中,考虑单向抗压强度将围岩分为:极好、良好、困难及极坏4个类别。捷克以单向抗拉强度为指标,将围岩分为7个等级。前苏联的普氏将顶板以单向抗压强度为基础,提出了普氏坚硬性系数(即普氏系数 f)分类,将围岩分为极硬($f=20$)、很硬($f=15$)、坚硬($f=8\sim 10$)、较硬($f=5\sim 6$)、普通($f=3\sim 4$)、较软($f=1.5\sim 2$)、软层($f=0.8\sim 1$)和松软、松散($f<1$)等8个类别。第一批岩石分类属于