

煤炭部科技计划资助项目

国家自然科学基金资助项目

巷道围岩结构稳定性与控制设计

STRUCTURAL STABILITY OF ROADWAY'S SURROUNDING
ROCKS AND ITS CONTROLLING DESIGN

蒋金泉 韩继胜 石永奎 著

By Jiang Jinquan Han Jisheng Shi Yongkui

煤炭工业出版社

CHINA COAL INDUSTRY PUBLISHING HOUSE

煤炭部科技计划资助项目
国家自然科学基金资助项目

巷道围岩结构稳定性与控制设计

STRUCTURAL STABILITY OF ROADWAY'S SURROUNDING
ROCKS AND ITS CONTROLLING DESIGN

蒋金泉 韩继胜 石永奎 著

By Jiang Jinquan Han Jisheng Shi Yongkui

煤炭工业出版社

CHINA COAL INDUSTRY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

巷道围岩结构稳定性与控制设计/蒋金泉等著. —北京: 煤炭工业出版社, 1998. 11

ISBN 7-5020-1655-4

I. 巷… I. 蒋… II. 巷道—围岩—结构稳定性—控制设计 N. TD263

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 27872 号

巷道围岩结构稳定性与控制设计

蒋金泉 韩继胜 石永奎

责任编辑: 王敏根

煤炭工业出版社

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 850×1168mm¹/₁₆ 印张 7½

字数 189 千字 印数 1—805

1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷

书号 4424 定价 19.80 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书是根据作者近年来在巷道矿压理论研究与围岩控制工程实践方面的成果撰写而成的学术专著。全书共分十章，主要论述了采准巷道围岩结构稳定性亚分类与预测、围岩控制设计决策。其内容包括：采准巷道围岩稳定状态的结构特性，结构稳定性亚分类指标、方法、模式与分类方案，亚类别的模糊模式识别，矿压显现的定量预测，合理支护形式选择 and 支护参数设计体系，支护设计决策支持系统及其应用，高应力巷道卸压保护的研究与实践等。本书对实现采准巷道围岩稳定性和矿压显现的预测、控制设计的科学化等方面具有重要的科学价值和应用价值。

本书可供矿井生产、设计、施工、科研单位的有关技术人员和矿业院校师生参考使用。

ABSTRACT

This book is an academic treatise based on the achievement of the theoretical study of ground pressure in roadway and the engineering practices about strata control by the authors in the past several years. There are ten chapters in this book, mainly describes the subdividing and predicting of the structural stability of extraction and preparatory openings' surrounding rocks and decision making of its controlling design. The content of this book includes the following: the structural property of the stability state of extraction and preparatory openings' surrounding rocks, the index, method, pattern and scheme of subdividing structural stability, the fuzzy pattern discrimination of subdivides, the quantitatively prediction of the behaviour of ground pressure, the system of reasonable support style choosing and support parameters designing, the supplementary software system for support design and its application, the study and practice of protecting roadway by relieving pressure in a high-stress environment, and so on.

It has an important scientific and practical value in the respect of realizing scientific controlling design based on predicting scientifically the stability of extraction and preparatory openings' surrounding rocks and the behaviour of ground pressure. This book can be read for reference by technical personnel that are engaged in coal mine production, design and construction and by the teachers and students in mining college.

前 言

煤矿巷道掘进和维护工作量巨大，其中70%以上是受采动影响的动压巷道，且绝大多数巷道处于强度较低的沉积岩层中，其围岩稳定性控制问题十分突出。回采和准备等动压巷道的围岩稳定性取决于所处位置的采动应力环境和巷道围岩结构等要素。在众多的地层条件与采动条件下，围岩结构与工程应力环境的变化范围大、结构形式多，巷道顶板、底板、两帮的围岩性质和结构状态的差异极大；围岩结构各部分的稳定性明显不同，巷道合理位置、围岩结构稳定性、矿压显现程度、合理支护形式与参数具有多样性，有着不同于一般地下工程的特殊性与复杂性，具有鲜明的工程特点。

在采准巷道围岩稳定性与支护设计研究与应用方面，原有成果与工程实际要求还存在着很大的差距。对采准巷道围岩稳定性的研究都是整体稳定性分类，不能反映巷道结构稳定性的具体特征，难以在支护设计中应用，从结构稳定性分析出发，以结构稳定性进行巷道亚分类，方能全面反映动压巷道稳定性的具体特征。巷道支护设计主要停留在工程类比阶段，尚不能针对具体条件设计合理支护参数。一个矿井不同动压巷道或同一巷道不同地段支护参数基本一致，甚至千篇一律，缺乏科学性和针对性，部分巷道维护效果不佳，部分巷道支护参数偏于保守，这些都制约着矿井高产高效水平的提高。随着开采深度的增加和多层次高产高效矿井的建设，采准巷道围岩控制科学化问题日益突出。必须在研究采准巷道围岩结构稳定性及其亚分类、矿压显现预测的基础上，形成科学化、量化、实用化的控制体系，实现针对巷道具休条件进行稳定性预测和控制决策。

近年来，作者在吸收前人已有研究成果的基础上，围绕采准

巷道围岩结构稳定性与支护设计开展了较为系统的研究工作，完成了煤炭工业部科技计划项目“采准巷道矿山压力显现预测及支护方法选择”，国家自然科学基金重点项目“煤矿上覆岩层移动破坏研究”中的采动应力场与巷道围岩结构稳定性子课题，“采准巷道支护设计决策支持系统”，“华丰矿巷道围岩稳定性与支护设计”，“华丰矿-750泵房卸压保护”等课题，经鉴定达到国际先进水平或国内领先水平。先后带领三名研究生进行了系列理论研究工作。

本书是在总结有关研究成果的基础上写成的，主要内容包括巷道围岩结构稳定性特征，回采和准备巷道围岩结构稳定性亚分类及其模式识别，围岩变形量的定量预测方法，支护设计决策体系，支护设计决策支持系统及其应用，高应力巷道卸压保护理论与技术等，较完整地提出了从巷道围岩结构稳定性分类、稳定性识别、矿压显现预测、支护设计到决策系统软件的一整套理论、方法与技术。

在本书有关内容的前期研究过程中，宋振骥院士、钱鸣高院士、陆士良教授、侯朝炯教授等著名学者对作者给予了很大启迪，对学术思想的形成有重要影响；陈卫忠、刘传孝同志在研究期间参加了部分研究工作；兖州南屯煤矿冯增强及矿压组成员、大屯煤电公司邹兆仲、马小军，新汶矿业（集团）有限责任公司毛仲玉、徐方军、史宪银等工程技术专家对现场研究工作给予了很大支持，在此对为本书做出无偿贡献的同仁一并表示衷心的感谢！

书中不当之处，恳请批评指正。

作 者

1998年2月

目 录

前言

第一章 巷道围岩结构稳定性与支护设计科学化	1
第一节 巷道围岩稳定性分类与支护设计的发展状况	1
第二节 巷道围岩结构稳定性亚分类与支护设计科学化	11
第三节 巷道围岩稳定状态的结构特征及其控制途径	17
第二章 回采巷道围岩结构稳定性亚分类	27
第一节 回采巷道围岩结构稳定性亚分类指标	27
第二节 回采巷道围岩结构稳定性亚分类指标权值	43
第三节 回采巷道围岩结构稳定性亚分类的模糊 ISODATA 聚类分析方法	47
第四节 回采巷道围岩结构稳定性亚分类模式与分类方案	55
第三章 回采巷道矿压显现预测及稳定性识别方法	61
第一节 回采巷道围岩移近率的定量预测	61
第二节 基于部颁整体分类指标的移近率预测方法	63
第三节 回采巷道影响因素的概率分布与移近量的 Bayes 预测方法	67
第四节 回采巷道围岩稳定性亚类的模式识别	74
第四章 准备巷道围岩结构稳定性分类	83
第一节 准备巷道围岩结构稳定性的影响因素与 分类方法	83
第二节 准备巷道围岩结构稳定性分类	96
第三节 准备巷道围岩结构稳定性的实用分类方案	99
第五章 准备巷道围岩变形量的预测	105
第一节 准备巷道围岩变形量的一般预测方法	105
第二节 南屯煤矿跨采巷道围岩变形量的预测方法	110
第六章 采准巷道合理支护形式选择方法	118
第一节 采准巷道合理支护形式选择的依据	118

第二节	采准巷道合理支护形式推荐方案	122
第七章	采准巷道支护参数设计方法	130
第一节	锚杆支护参数设计方法	130
第二节	实体煤回采巷道支架参数设计方法	140
第三节	沿空巷道支架参数设计方法	145
第四节	跨采巷道锚杆支护参数设计的实用方法	149
第五节	采准巷道支护设计实例	149
第八章	跨采巷道稳定性特征与控制决策	157
第一节	跨采巷道围岩稳定性特征	157
第二节	跨采巷道合理位置确定及其应用	168
第三节	跨采巷道稳定性预测与支护设计应用	174
第九章	采准巷道支护设计决策支持系统	
	(HHDK2.0) 开发及其应用	179
第一节	引言	179
第二节	采准巷道支护设计决策支持系统的开发	180
第三节	HHDK (2.0) 系统的安装及一般操作	187
第四节	HHDK (2.0) 系统的测试及应用	189
第十章	高应力巷道卸压保护的研究与实践	206
第一节	高应力巷道基角钻孔爆破成缝卸压保护	
	原理与参数	206
第二节	深部硐室卸压保护的研究与实践	212
参考文献	222

CONTENTS

Preface

Chapter 1 Structural stability of roadway's surrounding rocks and design support scientifically

- Section 1 Classification of the stability of roadway's surrounding rocks and the developing state of support design
- Section 2 Subdividing of structural stability of roadway's surrounding rocks and design support scientifically
- Section 3 Structural property of the stability state of roadway's surrounding rocks and controlling ways

Chapter 2 Subdividing of the structural stability of extraction openings' surrounding rocks

- Section 1 Index of subdividing the structural stability of extraction openings' surrounding rocks
- Section 2 The weight of the index of subdividing the structural stability of extraction openings' surrounding rocks
- Section 3 ISODATA fuzzy clustering analysis method of subdividing the structural stability of extraction openings' surrounding rocks
- Section 4 The pattern and scheme of subdividing the structural stability of extraction openings' surrounding rocks

Chapter 3 Prediction of the behaviour of ground pressure in extraction openings and discrimination method of stability

- Section 1 Quantitatively prediction of convergence ratio in extraction openings
- Section 2 Prediction method of convergence ratio based on classification index promulgated by MCI of China

Section 3 Probability distribution of factors that influence the stability of extraction openings and Bayes prediction method of convergence

Section 4 Pattern discrimination of the subdivide of stability of extraction openings

Chapter 4 Classification of structural stability of preparatory openings' surrounding rocks

Section 1 Factors that influence the structural stability of preparatory openings' surrounding rocks and classification method

Section 2 Classification of structural stability of preparatory openings' surrounding rocks

Section 3 A practical classification scheme of structural stability of preparatory openings' surrounding rocks

Chapter 5 Prediction of the convergence of preparatory openings' surrounding rocks

Section 1 General prediction method of the convergence of preparatory openings' surrounding rocks

Section 2 Prediction method of the convergence of preparatory openings' surrounding rocks disturbed by overhead mining in Nantun Coal Mine

Chapter 6 Choosing method of reasonable support style in extraction and preparatory openings

Section 1 Basis of choosing reasonable support style in extraction and preparatory openings

Section 2 Recommended scheme of reasonable support style in extraction and preparatory openings

Chapter 7 Design method of support parameters in extraction and preparatory openings

Section 1 Design method of bolt support parameters

Section 2 Design method of support frame parameters of extraction openings in solid coal mass

Section 3 Design method of support frame parameters of extraction

openings along goaf

Section 4 Practical design method of bolt support parameters in preparatory openings disturbed by overhead mining

Section 5 Living example of support design in extraction and preparatory openings

Chapter 8 Prediction of stability and control decision of preparatory openings disturbed by overhead mining

Section 1 Stability characteristics of surrounding rocks of preparatory openings disturbed by overhead mining

Section 2 Determination of reasonable place of preparatory openings disturbed by overhead mining and practice

Section 3 Practice of prediction of stability and support design of preparatory openings disturbed by overhead mining

Chapter 9 Development and application of the supplementary software system for support design (HHDK 2.0)

Section 1 Introduction

Section 2 Development of the supplementary software system for support design

Section 3 Setup and general operation of HHDK (2.0) system

Section 4 Test and application of HHDK (2.0) system

Chapter 10 Study and practice of protecting roadway by relieving pressure in high-stress environment

Section 1 Principle and parameters of protecting roadway by relieving pressure using drilling and blasting to form slot in the corner of roadway in high-stress environment

Section 2 Study and practice of protecting chamber in deeper strata

REFERENCES

第一章 巷道围岩结构稳定性与 支护设计科学化

第一节 巷道围岩稳定性分类与 支护设计的发展状况

一、工程岩体分级分类的发展状况

为了适应岩体工程设计、施工和管理工作的需要,几十年来,国内外学者对工程岩体的分级或分类进行了大量的研究工作,提出了很多分级或分类方法。工程岩体分类最早是由欧洲人 Roman 提出的。进入 20 世纪以后,岩体分类技术发展很快,种类也很多,现将具有代表性的分类方法概述如下。

1926 年前苏联采矿工程师 M. M. 普洛托基雅可诺夫提出用一个综合性的指标“坚固性系数 f ”来划分岩石等级。由于指标单一简便,分类方法简单易行,给设计与施工带来了方便,一段时间内被广泛应用,在我国一些矿山工程中至今仍使用。

随着采矿业、水电工程和其它地下工程技术的迅速发展,人们发现单纯采用岩石坚固性系数不能全面反映工程岩体的质量,还与岩体地质特征有关,由此逐步建立了一些综合考虑工程地质构造特征的分类方法。日本从 1960 年开始着手用物探技术来判定工程围岩的稳定性,并提出了按岩体的抗压强度、反映裂隙发育程度的弹性波速度进行围岩综合分类的建议,目前仍广为应用。美国 Illinois 大学的 D. U. Deer 在 1969 年提出了按岩体质量指标 R. Q. D 对岩体进行分类。1973 年,南非比尼伍斯科 (Z. T. Bieniawski) 提出了利用 7 个指标(单轴抗压强度、R. Q. D 值、风化变质程度、节理间距、节理的连续与充填状况、地下水的影响、节理的走向与倾向)进行围岩分级。1974 年,挪威学者巴顿 (N. Bar-

ton) 等人提出了岩体质量分类, 共用 6 个指标 (R、Q、D、节理组数 J_n 、节理粗糙度 J_r 、节理的蚀变程度 J_o 、裂隙含水折减系数 J_w 、应力折减系数 SRF) 来反映, 提出综合指标 Q, $Q = (R \cdot Q \cdot D / J_n) \cdot (J_r / J_o) \cdot (J_w / \text{SRF})$, 由 Q 值再划分等级, 国外应用较多。

70 年代以后, 我国有关部门和单位纷纷开展了岩体分类的研究, 从不同角度提出了各种岩体的分类方法。1979 年, 中国科学院地质研究所谷德振教授等提出按岩体质量优劣等级进行分类, 并且提出了岩体质量系数的概念, 它是用通过地质测量、物理测试和力学试验所获得的三项指标乘积来表达各类结构岩体质量的优劣, 根据岩体质量系数 Z 值把岩体分成五级。 $Z = I \cdot f_n \cdot f$, 式中 I 为岩体的完整性系数, $I = V_m^2 / V_r^2$, V_m 、 V_r 为岩体与岩石的纵波速度; f_n 为结构面摩擦系数, $f_n = \text{tg}\varphi$ (φ 为内摩擦角); f 为岩块的坚固性系数, $f = \sigma_c / 10$, σ_c 为岩块单轴抗压强度, MPa。1991 年我国制定了中华人民共和国国家标准《工程岩体分级标准》。该标准分两步对工程岩体定级, 先不考虑工程类型的差别, 按一般岩体的基本稳定性特征, 对岩体基本质量进行评价和分级; 然后考虑各类岩石工程的特征, 根据影响工程岩体稳定性的其它因素, 确定工程岩体的级别。岩体基本质量指标 $Q = 93 + 3\sigma_c + 250K_v$, 式中 K_v 为岩体完整性系数。岩体级别由岩体基本质量指标的修正值 $[Q] = Q - 100 (K_1 + K_2 + K_3)$ 确定, K_1 、 K_2 、 K_3 分别为地下水影响、主要软弱结构面产状影响、初始应力状态影响的修正系数。1975 年煤炭工业部根据地质特征、井巷开掘后的围岩稳定状态把围岩分成五种类型, 即稳定岩体、稳定性较好岩体、中等稳定岩体、稳定性较差岩体和不稳定岩体。

岩体分级方法很多, 指标从定性到定量、从单因素到多因素或多因素复合, 还有动态法、分类函数法和模糊综合评判方法等, 但至今没有一个得到国际上广泛认可的统一的工程岩体分级标准。

二、巷道围岩稳定性分类的发展状况

(一) 国外代表性的巷道分类研究概况

煤矿受采动影响的巷道约占巷道总长度的 70%，绝大多数巷道处于强度较低的沉积岩中，它的稳定性除受本煤层采动影响外，还受邻近煤层的采动影响及煤柱尺寸的影响，因而它具有不同于其它地下工程围岩分类的特殊性和复杂性。近年来，世界上各主要采煤国家都相继将围岩稳定性分类的观点引入煤矿采准巷道中，结合其矿压显现特点做了大量的工作，提出了适合各自国内具体条件的巷道围岩稳定性分类和选择合理支护形式与支护参数的方法。

前西德埃森采矿研究中心的研究人员通过以现场矿山压力观测为主、结合室内模拟试验和数学力学计算的“岩层控制系统”研究后认为，最能反映巷道围岩稳定性的综合指标是巷道的围岩移近量，巷道的支护形式和施工方法必须与巷道的围岩移近量相适应；认为影响回采巷道围岩移近率的主要因素是：煤层的埋藏深度、巷道顶底板的岩层强度指数、回采煤层的厚度、巷旁充填指数和回采边界的影响，并根据 60 条巷道的实测数据建立了前进式开采超前掘巷条件下的移近率的回归公式。

根据预计的巷道围岩移近量可求得支护每立方米空间所需钢材的消费量，进一步还可求出钢材消费量与支架间距、断面积之间的关系。在对巷道移近量估算后，以移近率的大小为依据，选择合适的支护方式，并采取相应的减少巷道围岩移近量的措施。

波兰煤矿采用围岩稳定性指数 S_g 进行分类，并且作为选择巷道支护方式和支护参数的依据。波兰的研究者们认为影响围岩稳定性的主要因素有：围岩的有效强度 R_{ef} （用触探仪现场获取）、埋深 H 、围岩应力集中系数 k 、巷道围岩的暴露系数 a 和岩石的破坏系数 b ， $S_g = R_{ef} / (\gamma H \cdot k \cdot a \cdot b)$ 。

前苏联的采矿研究者们经过大量的现场矿压观测和模型试验，同样认为巷道的围岩移近量是代表围岩稳定程度的综合指标，并且建立了用来预测围岩移近量的公式。他们考虑的主要因素有：煤层倾角、巷道底板的抗压强度、直接顶岩石的单向抗压强度、巷

道埋深、平巷上部煤柱的宽度、直接顶厚度与采高的比值及回采工作面的推进速度。在对回采巷道的移近量预计后，就可对不同开采条件下的巷道状况进行预计。有根据地确定各种护巷方法适应的范围，从而可以选择合理的断面形状、支架型式及可缩量的大小。

西班牙地质采矿研究院将巴顿 (N. Barton) 和比尼伍斯科 (Z. T. Bieniawski) 的地质力学分类观点运用于煤矿回采巷道围岩稳定性分类中，通过多元统计分析得出了预计移近量的公式和选择巷道支架参数的方式。他们认为影响围岩稳定性的主要因素是：支护密度、煤层厚度和岩层的节理状况，巷道围岩的移近量可用下式预计：

$$K_D = 38.45 - 56.33M + 7.48T_G + 0.016H - 1.84D_s + 0.86R_{MR} \quad (1-1)$$

式中 K_D ——以巷道初始高度百分比表示的巷道移近量；

M ——煤层厚度；

T_G ——巷道种类，根据岩石质量在 1~5 之间变化；

H ——巷道埋深；

D_s ——支护密度（每立方米空间支架钢材消耗量）；

R_{MR} ——岩石的质量系数，与巴顿系数 Q 的关系如下：

$$R_{MR} = 10.53I_n Q + 41.83 \quad (1-2)$$

他们同时得出了巷道围岩稳定性分类的综合指标参数 IGME82，根据预计的巷道围岩移近量和 IGME82 对巷道的支护参数进行选择，并且作出巷道围岩指标 IGME82、支护密度 D_s 同巷道围岩移近量关系的曲线图，由此进行巷道支架参数选择。

$$\ln K_D = 4.2614 - 0.032(D_s) - 0.0167(IGME82) \quad (1-3)$$

前苏联札斯拉夫斯基等人对顿巴斯矿区深度为 600~1200m 矿井中的 56 个位移测站实测资料进行回归分析，得到的巷道周边位移 u 与掘进半径 R_0 之比 u/R_0 与原岩垂直应力 γH 与岩石单轴抗压强度 σ_c 之比 $\gamma H/\sigma_c$ (称为稳定性指数) 呈双直线关系。当 $\gamma H/\sigma_c < 0.25 \sim 0.30$ 时，位移量微小 ($u < 50 \sim 80\text{mm}$)，巷道稳定； $\gamma H/$

$\sigma_c = 0.25 \sim 0.40$ 时, $u < 200\text{mm}$, 巷道中等稳定, 底板不需专门支护; $\gamma H / \sigma_c > 0.40 \sim 0.45$, $u > 200\text{mm}$, 巷道呈不稳定状态(需全封闭支护)。

(二)我国巷道围岩分类研究的主要发展概况

1987年,我国制订了缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类方案,确定了选用巷道的顶板、底板和煤层的强度,巷道的埋深 H , 直接顶初次垮落步距 L , 直接顶的厚度与采高的比值 N 及护巷煤柱宽度 X 7个影响回采巷道围岩稳定性的主要因素作为巷道围岩分类的指标,利用模糊聚类分析技术把回采巷道围岩分成五类,并提出相应的支护技术。五种类别的标准样本即聚类中心见表 1-1,具体分类见表 1-2。

表 1-1 每个指标的聚类中心

类别	$\sigma_{\text{顶}}$	$\sigma_{\text{煤}}$	$\sigma_{\text{底}}$	N	H	X	L
一	0.1035	0.2073	0.1296	0.025	266.3	0	24.3
二	0.1491	0.2335	0.1728	2.355	297.5	0	14.9
三	0.1820	0.2821	0.2869	3.100	412.1	0	10.3
四	0.1384	0.2430	0.1834	2.656	340.8	0.799	11.9
五	0.1726	0.2978	0.2900	3.190	365.5	0.826	9.7

中国矿业大学董方庭教授等,根据多年的围岩松动圈实测研究,形成了巷道围岩松动圈支理论。该理论认为,巷道支护的对象为松动圈围岩自重和深部围岩的部分弹塑性变形及松动围岩的碎胀变形,而围岩松动圈是围岩应力和围岩强度的函数,它反映了巷道稳定程度,因此可按松动圈进行巷道稳定分类并选择相应的支护形式,其结果见表 1-3。

另外,陆士良教授根据围岩变形量的大小和维护难易程度,将回采巷道分为四类。我国一些矿区按照准备巷道的围岩性质,定性地划分巷道稳定性类别,以作为本矿区工程类比法支护决策的