

采准巷道 矿压理论及应用

THE UNDERGROUND PRESSURE
OF SECTIONAL ROADWAYS AND
ITS CONTROL

马念杰 侯朝炯 著

MA NIANJIE AND HOU CHAOJIONG

煤炭工业出版社

COAL INDUSTRY PUBLISHING HOUSE

采准巷道矿压理论及应用

The Underground Pressure of Sectional
Roadways and its Control

马念杰 侯朝炯 著

Ma Nianjie & Hou Chaojiong

煤炭工业出版社

Coal Industry Publishing House

(京)新登字042号

图书在版编目(CIP)数据

采准巷道矿压理论及应用/马念杰,侯朝炯著.—北京:煤炭工业出版社,1995

ISBN 7-5020-1192-7

I.采… II.①马… ②侯… III.①准备巷道-矿山压力-理论②准备巷道-巷道变形:围岩变形-安全措施 IV.TD322

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第05312号

采准巷道矿压理论及应用

马念杰 侯朝炯 著

责任编辑:刘瑾

煤炭工业出版社 出版

(北京安苑门内和平里北街21号)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本850×1168mm^{1/32} 印张7^{1/8} 插页1

字数181千字 印数1—680

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

书号 3960 G0324 定价11.70元

内 容 提 要

本书根据采准巷道围岩和所处位置原岩应力的特殊性,阐述了该类巷道围岩应力分布和变形破坏的特点,并提出了控制措施。其中关于均匀介质中圆形巷道围岩应变软化力学模型及其应力分布和变形破坏、层状岩体巷道围岩塑性区分布规律、煤体两帮塑性区宽度计算,巷道底板围岩变形破坏分析、受采动影响巷道围岩整体下沉等理论是近年来关于采准巷道矿压理论的重要突破性成果。书中介绍的几种支架和锚杆已成为采准巷道支护的新架型。

本书可供煤矿及其他地下工程的工程技术人员、科研工作者及大专院校师生学习参考。

1525-20

ABSTRACT

In accordance with the special surrounding rocks and stress field around sectional roadways, it has mainly studied the features of the surrounding rock stress distribution and the deformation and failure of this kind roadways. Meanwhile, the writers put forward some suitable measures to control the deformation and failure. The following subjects, such as, the mechanics model of strain softening of surrounding rocks around circular roadway in isotropic rock mass and its stress distribution and deformation, the distribution features of plastic deformation area of surrounding rocks around bedded rock mass roadways, calculating the width of coal side plastic area, deformation and failure analysis of the bottom of roadways, monolithic sinking of surrounding rocks around actual mining roadways, are proved of a creative result underground pressure theories of sectional roadways in recent years. Several new kinds of supports and anchor bolt introduced in this book have been considered as new type supports for sectional roadways.

序

采准巷道是一种特殊类型的巷道，由于该类巷道围岩分层性质显著，围岩强度较低，又受到采动的影响，因而采用弹塑性力学、岩石力学等理论方法进行分析时必须结合其特殊性才具有理论与实际意义。又由于巷道围岩变形强烈和变形发展的不均匀性，在进行围岩控制时必须把握其围岩应力和变形的特点才能达到有效、经济和实用。目前，采准巷道矿压理论及围岩控制技术还处于发展时期，很多问题尚未得到解决，而在我国煤矿采准巷道所占比重高达70%~80%，因此开展这方面的研究有着十分重要的意义。

这本专著集中反映了作者多年来在这一领域进行的大量科学研究工作，书中有关层状岩体巷道围岩塑性区的分布规律、巷道两帮塑性区宽度的计算、巷道底板变形破坏规律、受采动影响巷道围岩整体下沉以及围岩控制原理等许多内容都很新颖，是对采准巷道矿压理论的新贡献，在此基础上提出的几种有效和实用的采准巷道支护新技术对该类巷道支护具有重要的实用价值。为此，特将该书推荐给广大读者。

范维唐
九五 年九月

前 言

《采准巷道矿压理论及应用》是研究回采和准备巷道围岩压力、变形破坏规律及其支护技术的科学论著。它是在这一研究领域内大量科学研究工作成果的总结。

采准巷道是一种特殊类型的巷道。所谓特殊，主要表现在以下三个方面：首先，采准巷道开挖前后岩体中应力较高，应力场变化极其复杂。这不仅因为煤系地层中的原岩应力是非均匀和非稳定的应力场，受断层、褶皱等构造的影响很大，而且由于采准巷道往往经受采煤工作面后方大面积采空区形成的数倍于原岩应力的固定支承压力或移动支承压力的作用；其次，巷道围岩组成十分复杂，它不像其它类型巷道那样为单一岩层，而是由分层性质极其明显的煤层、煤层直接顶、老顶、煤层直接底和老底组成，这些岩层的强度相差几倍到十几倍，变形性质极不一致，在很多情况下不能简单地视为均匀介质；第三，组成巷道围岩的岩层大多强度很低，或者围岩内应力相对于岩体强度的比值较高，巷道围岩属于软岩。因此，采准巷道围岩压力显现一般很强烈，围岩变形量大，且各个方向变形存在相当大的差异，这对支护技术和参数无疑提出了新的要求。

研究采准巷道围岩变形破坏规律必须注意该类巷道自身的特点，采用与其相适应的力学模型和分析方法，尤其在使用岩石力学方法时，更应该结合工程地质实际，其结果才会具有理论意义，并对实践有指导价值。因此，我们在前人研究结果的基础上，力求建立的力学模型接近和反映采准巷道围岩和受力特点，并使用相应的分析方法探讨其围岩变形破坏的规律。研究内容主要包括采准巷道围岩及应力特点、均质巷道围岩应力、煤层巷道围岩稳定性和采准巷道围岩变形等。最后根据理论研究结果提出了几种

实用的控制方法。

本书中的许多实测结果和科研成果的取得得到了有关现场领导、工程技术人员、研究人员以及具体工作人员的帮助，在此表示衷心感谢。

书中不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

一九九四年十二月



作者简介

侯朝炯 (Hou Chaolong), 男, 四川省自贡市人, 1933 年 1 月出生, 1955 年 7 月毕业于北京矿业学院采矿系, 留校后长期从事教学和科研工作, 现任中国矿业大学教授、博士生导师、矿山压力研究所所长。在矿山压力及其控制、岩石力学、巷道支护、开采方法等方面进行了卓有成效的工作, 尤其在动压巷道矿压理论及控制技术 (锚杆支护、金属支架、高水速凝材料) 等方面成绩卓著, 获国家发明奖 2 项, 省部级科技进步奖 12 项, 实用新型专利 11 项, 在国内外学术刊物及国际学术会议上发表论文近 50 篇, 编著有《巷道金属支架》、《中国煤矿巷道围岩控制》等 4 本书, 获全国高等学校先进科技工作者、江苏省优秀教育工作者、江苏省优秀研究生教师等称号, 1991 年获政府特殊津贴。



作者简介

马念杰 (Ma Nianjie), 男, 辽宁省开原县人, 1959年2月出生, 1982年2月毕业于阜新矿业学院采矿系, 获学士学位, 1988年10月研究生毕业于中国矿业大学采矿系, 获博士学位。现任中国矿业大学北京研究生部副教授, 采矿室副主任, 主要从事巷道矿山压力及控制方面的教学和科研工作, 科研成果获国家发明奖1次, 省部级科技进步奖2次, 实用新型专利2项, 在国内外主要学术刊物上发表论文20余篇。曾获“做出突出贡献的中国博士”、“江苏省普通高校青年骨干教师”称号, 1992年获国家政府特殊津贴, 1994年获“孙越崎青年科技奖”。

目 录

序

前言

第一章 采准巷道围岩及应力特点	1
第一节 围岩组成特点	1
第二节 常见岩石的力学性质特征	2
第三节 原岩应力分布	5
第四节 采动引起的支承压力	7
第二章 均匀介质巷道围岩应力	21
第一节 线弹性分析	21
第二节 有支护巷道围岩应力的粘弹性分析	32
第三节 圆形巷道围岩塑性应力及变形	37
第四节 塑性区理论的评价及应用	54
第三章 煤层巷道围岩稳定性	59
第一节 极薄煤层塑性区应力	59
第二节 煤层界面应力分布	62
第三节 煤体内滑移线场及应力	71
第四节 煤柱应力分析	75
第五节 煤层巷道塑性区分布	77
第四章 采准巷道围岩变形	82
第一节 巷道围岩变形破坏一般规律	82
第二节 巷道顶板围岩变形破坏	91
第三节 巷道底板的变形破坏	103
第四节 煤巷两帮变形破坏	118
第五节 回采巷道围岩的整体下沉	126
第五章 动压巷道围岩控制	139
第一节 影响巷道围岩稳定性的主要因素	139
第二节 我国缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类	151
第三节 新型可缩性金属支架	161
第四节 锚杆支护的新发展	183
参考文献	211

CATALOGER

Chapter 1 Features of Original Stress and Surrounding Rocks around Sectional Roadways

- 1.1 The composition of surrounding rocks
- 1.2 Mechanical properties of ordinary rocks in mines
- 1.3 Original stress distribution in the rock mass
- 1.4 Abutment pressure caused by coal mining

Chapter 2 Stress of Surrounding Rocks around Roadways in Isotropic Rock Mass

- 2.1 Linear elastic analysis
- 2.2 Viscoelastic analysis of surrounding rocks around supported roadways
- 2.3 Plastic stress and deformation of surrounding rocks around circular roadways
- 2.4 Evaluation and application of plastic theory about surrounding rocks around roadways

Chapter 3 Stability of Surrounding Rocks around Coal Roadways

- 3.1 Plastic stress in thin Coal seam
- 3.2 Stress distribution on coal seam interface
- 3.3 Slip line field and stress distribution in coal seam
- 3.4 Stress analysis of coal pillars
- 3.5 Distribution of plastic area around coal

roadways

Chapter 4 Deformation of Surrounding Rocks around Coal Roadways

- 4.1 General features of deformation and failure of roadway surrounding rocks
- 4.2 Deformation and failure of the roof of roadways
- 4.3 Deformation and failure of the bottom of roadways
- 4.4 Deformation and failure of the roadway's sides
- 4.5 Monolithic sinking of surrounding rocks around actual mining roadways

Chapter 5 Pressure Controls of Actual Mining Roadways

- 5.1 Main factors affecting the stability of roadway surrounding rocks
- 5.2 Grade classification of surrounding rock stability of flatly inclined and inclined seam in our country
- 5.3 Introduction about a few kind of new yielding steel supports
- 5.4 Development of anchor supports

第一章 采准巷道围岩及应力特点

采准巷道一般是指采区范围内的回采巷道和准备巷道。它们通常布置在煤层或距煤层较近的岩层里，例如采煤工作面的运输巷和回风巷、采区集中岩石平巷和采区上、下山等。这类巷道距离采空区很近，往往受到采煤工作面的移动支承压力和采空区周围固定支承压力影响，导致其围岩应力分布和围岩变形规律与基本巷道有很大差别。因此，在进行任何理论分析之前，首先需要了解该类巷道的围岩组成和受载的特殊条件。

第一节 围岩组成特点

采准巷道一般布置在煤层中或煤层附近，这是一套含有煤层的大致连续沉积的岩层，主要由各种粒度的粉砂岩、砂岩、页岩及泥岩等沉积岩组成。

采准巷道有岩石巷道和煤层巷道之分，岩石巷道围岩一般可以看成是均质的，而煤层巷道围岩则由煤层、煤层顶板岩层和底板岩层组成。

煤层是开采的对象，在煤层巷道中一般位于巷道的两帮。煤体强度通常与煤的变质程度有关，煤的变质程度越高，强度也越高。例如，褐煤成煤期短，变质程度最低，所以其比重最小，易风化碎裂成小块，强度也最低。褐煤在更高的温度和压力作用下，在化学成分和物理性质等方面将发生一系列的变化，强度逐渐提高。当转变成变质程度较高的无烟煤时，比重和强度比其它煤种都大。

煤层直接顶是采准巷道支护的重要对象。它通常由碳质页岩、泥质页岩和砂质页岩等强度较低的岩层组成。巷道开挖后若不及时支护，这部分岩层可能会发生垮落。直接顶以上为老顶，由强度较高的砂岩、石灰岩和砾岩等组成。在少数情况下，煤层直接顶也可能是强度较高的稳定岩层。

煤层底板多为碳质页岩、泥质页岩以及砂质页岩等岩层,富含植物化石,有时还含有粘土矿物。例如,具有强吸水膨胀性的高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}(OH)_2]$ 、蒙脱石 $(Al_2, Mg)_2[Si_4O_{10}(OH)_2] \cdot nH_2O$ 和伊利石等,是引起巷道底鼓的原因之一。较深部的底板常为强度较高的粉砂岩,细砂岩和中粒砂岩等。

实践证明,巷道浅部围岩,即巷道两帮、 $1.5h$ (h 为巷道高度) 顶板岩层以及 $1.0h$ 底板岩层的强度特征对巷道围岩稳定性起决定性作用。因此,尽管实际矿山中采准巷道围岩组成千差万别,但大体可以分为图1-1所示的五种类型。

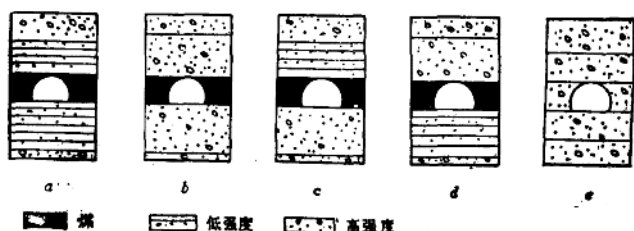


图 1-1 围岩类型

第一种围岩组成特点是顶底板岩层的强度较低,更深部为强度较高的老顶和老底;第二种围岩组成特点是顶底板岩层都较坚硬,强度大大地高于两帮的煤体;第三种围岩顶板为有一定厚度的直接顶,直接底板却是较坚硬岩层;第四种围岩组成与第三类恰好相反,即直接顶较坚硬,直接底是煤或较软的岩层;第五类围岩顶底及两帮都是较坚硬的岩层,为岩石巷道,可看成是均质的。

由于巷道围岩类型不同,就需用不同的力学模型来分析,这是理论分析结果能否与实践相吻合的关键。

第二节 常见岩石的力学性质特征

一、弹性模量和泊松比

弹性模量反映了岩石的刚度,是度量其在弹性范围内受力时变形大小的重要特征量。煤矿常见岩石的弹性模量为 $1 \times 10^3 \sim 3$

$\times 10^8 \text{MPa}$ 。通常,岩石的弹性模量随其密度的加大而增高,所以,松软的泥质页岩的弹性模量低,而石灰岩、砂岩等坚硬岩石的弹性模量高。对于煤层巷道,围岩顶、底及两帮岩层的弹性模量往往相差几十倍。煤矿几种常见岩石的弹性模量值见表1-1。

表 1-1 煤矿几种常见岩石的弹性模量

岩 石 种 类	压缩弹性模量 $E (\times 10^4 \text{MPa})$	
	平 行 层 理	垂 直 层 理
石 灰 岩	2.68	2.90
砂 岩	3.74	3.98
砂质页岩	3.63	2.42
泥质页岩	2.50	1.50
粘 土	0.03	
煤	0.1	

岩石的泊松比也称横向变形系数,反映了岩石在单轴应力作用下横向应变程度的大小。它与岩石的矿物组成、结构构造、风化程度、空隙性、含水量、软弱面相对于施加应力的方向等许多因素有关。因此,岩石的泊松比变化也较大,且往往都具有各向异性的特点。岩石的泊松比一般为0.1~0.4。煤矿中几种常见岩石的泊松比见表1-2。

表 1-2 煤矿几种常见岩石的泊松比

岩 石 名 称	泊 松 比 μ 值	
	平 行 于 层 理	垂 直 于 层 理
泥质页岩	0.15~0.39	0.1~0.48
砂质页岩	0.25	0.16
砂 岩	0.12	0.14~0.20
石 灰 岩	0.16~0.27	0.19~0.39

二、岩石的强度特征

岩石强度主要用其抗压强度、抗剪强度和抗拉强度表示,煤

系地层部分岩石强度见表1-3。从该表可见,煤系地层岩石的强度都不大,采准巷道经常遇到的岩石强度则最低。各种岩石之间的强度不但有很大差别,而且于同一种岩石的变化范围也较大。岩石的抗压强度最大,抗拉强度最小,抗剪强度居二者之间。

表 1-3 煤系地层部分岩石强度

岩石种类	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗剪强度 (MPa)
细砂岩	106.0~146.0	5.6~18.0	17.8~54.5
中砂岩	87.5~136.0	6.1~14.3	13.6~37.2
粗砂岩	58.0~126.0	5.5~11.9	12.6~31.0
粉砂岩	37.0~56.0	1.4~2.5	7.0~11.7
砂砾岩	71.0~124.0	2.9~9.9	7.2~29.4
砾岩	82.0~96.0	4.1~12.0	6.7~26.9
砂质页岩	40.0~92.0	4.0~12.1	21.0~30.5
页岩	19.0~40.0	2.8~5.5	16.0~23.8
石灰岩	54.0~161.0	7.9~14.1	10.0~31.0
煤	5.0~50.0	2.0~5.0	1.1~16.5

研究表明,岩石强度与岩石组成、外部条件以及试验状态等关系很大。

岩石组成主要指组成岩石的矿物、胶结物、岩石的空隙性和矿物颗粒的大小及形状等。一般来说,组成岩石的矿物的强度越大、胶结物的粘结力越高,则岩石的强度也越大。例如,石英岩比粘土岩的强度高,硅质胶结的砂岩比泥质胶结的砂岩强度要高很多。

岩石的外部条件,如温度、湿度、风化程度和受力状态等对岩石强度影响也很大。岩石的强度随着温度增高、湿度加大和风化程度增加而降低,还会随着中间主应力的提高而升高。岩石强度在不同应力状态下的强度顺序是:三向等压>三向不等压>双向压>单向压。

加载速度、岩石试件的尺寸和形状等对岩石强度也有重要影响。例如:岩石强度随加载速度的提高而增大,圆形试件的岩石