

综采放顶煤工作面 岩层控制与工艺参数优选

Strata Control And Technology Optimization For
Fully Mechanized Coalface Using Top-Coal Caving

煤炭科学研究总院

史元伟 Shi Yuanwei
宁宇 Ning Yu 著
齐庆新 Qi Qingxin

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

综采放顶煤工作面 岩层控制与工艺参数优选

Strata Control And Technology Optimization For
Fully Mechanized Coalface Using Top-Coal Caving

煤炭科学研究总院

史元伟 Shi Yuanwei

宁 宇 Ning Yu 著

齐庆新 Qi Qingxin

中国矿业大学出版社 2006

前 言

我国厚煤层储量约占煤炭总储量的41%。20世纪60~80年代,一直以分层垮落法开采为主。伴随着工效低、成本高、顶板事故、采空区发火等事故频繁等问题。在综合机械化开采发展的过程中,长壁工作面一次采全高技术得到部分发展。但对超过4~5 m的煤层,一次采全高存在技术上和装备上的一些难题。自从采用放顶煤开采,这种特殊的厚煤层一次采全高开采方法在我国试验成功后,20多年来,得到了迅速推广。实现了高产量、高工效,且大幅度降低了回采成本。在技术装备和开采工艺方面也取得显著进步,在总体技术上处于国际领先水平。

但是,我国厚煤层地质和开采条件复杂,用同一种工艺模式进行开采是不适宜的,需要深入研究放顶煤开采的重大理论问题和工艺技术问题,包括:

顶板、顶煤的破断、破碎规律及其控制;

放顶煤开采的技术可行性和经济合理性问题;

放顶煤工作面液压支架选型和参数选择;

放顶煤合理工艺参数选择;

在特殊条件下,如硬顶煤、难垮落顶板、大倾角煤层等必须采取的处理技术和工艺参数等。

本书以作者和煤炭科学研究总院北京开采所多年来的研究成果为基础,重点研究了以下问题:

放顶煤工作面围岩支承压力及围岩、顶煤变形工况分析,在此基础上,提出顶煤冒放性分类、直接顶分类、基本顶分级准则以及支架选型建议;

放顶煤工作面矿压显现规律和不同开采条件下岩层和顶煤控制经验;

放顶煤工作面提高顶煤回收率的工艺参数研究;

放顶煤工作面裂隙性顶板和顶煤的运动规律(离散元法)及工作面围岩、顶煤应力数值分析(现代差分法)。

本书由史元伟研究员执笔。宁宇研究员、齐庆新博士修改,毛德兵博士提供了对于潞安矿放顶煤层岩层控制的研究报告,硕士研究生潘俊新(齐庆新博士指导)进行了离散元研究计算,煤炭科学研究总院张声涛教授级高级工程师、开采事业部康立军和阎少宏研究员等给予了大力支持,在此表示诚挚的感谢。

本书可供从事煤炭工业的工程技术人员,大专院校师生参考。

作 者

2006年5月

目 录

前 言	(1)
-----	-----

概 论	(1)
-----	-----

第一篇 顶煤和顶板力学关系和分类研究

第一章 放顶煤工作面顶煤、围岩应力和形变破断力学分析	(15)
----------------------------	------

第一节 煤壁前方支承压力与煤体损伤变形	(15)
---------------------	------

第二节 基本顶的临界破断厚度和断裂步距分析	(40)
-----------------------	------

第三节 直接顶工况对于围岩—支架力学系统的作用	(70)
-------------------------	------

第四节 控顶区顶板—顶煤—支架力学相互作用和弹、塑性区计算	(103)
-------------------------------	-------

第二章 放顶煤工作面围岩分类	(125)
----------------	-------

第一节 顶煤冒放性分类	(125)
-------------	-------

第二节 直接顶的冒落特性分类	(147)
----------------	-------

第三节 放顶煤工作面基本顶分级	(164)
-----------------	-------

第四节 放顶煤液压支架选型	(180)
---------------	-------

第二篇 放顶煤工作面岩层控制、支护阻力和回采工艺研究

第三章 放顶煤工作面岩层控制的改善和支护阻力选择	(189)
--------------------------	-------

第一节 “三软”条件下放顶煤工作面围岩控制实践	(189)
-------------------------	-------

第二节 不稳定和中等稳定顶板条件下放顶煤工作面矿压显现	(195)
-----------------------------	-------

第三节 大倾角煤层放顶煤的岩层控制	(225)
-------------------	-------

第四节 硬顶煤条件下煤、岩体超前弱化技术实践	(235)
------------------------	-------

第五节 放顶煤工作面支架载荷计算	(246)
------------------	-------

第四章 放顶煤工艺参数改善的研究	(292)
第一节 顶煤回收率相关因素的国内外研究.....	(292)
第二节 放顶煤工艺参数优化选择.....	(301)
第三节 特殊条件下放顶煤工艺优化实践.....	(313)

第三篇 围岩应力和移动规律的数值法分析

第五章 放顶煤工作面顶板运动规律的离散元模拟研究	(337)
第一节 工作面推进过程中顶板岩层的垮落规律.....	(337)
第二节 顶板岩块几何参数对岩层移动的影响规律.....	(355)
第三节 顶板岩块不同断裂角平衡条件计算.....	(378)
第六章 运用 FLAC 软件研究工作面围岩应力和变形	(399)
第一节 长壁工作面开采模型.....	(399)
第二节 放顶煤计算模型.....	(407)
第三节 工作面初采阶段煤层弹塑性应力解析计算.....	(420)
参考文献	(435)

Catalogue

Preface	(1)
----------------------	-----

Introduction

The main technique and science problems about the ground control and mining technology that should be still deep solved in use sublevel caving for thick seam	(1)
---	-----

Part1

The research for mechanics interaction between surrounding rockmass and top-coal and also about its category

chapter 1 The Mechanics Basis of category for top-coal and surrounding rock	(15)
1.1 The abutment pressure and scathing deformation of coal-mass in front of coalface	(15)
1.2 The analyzing about rupture critical height and rupture span of main roof	(40)
1.3 The deformations situation of immediate roof and its reflection on the interacting between top-coal and surrounding rock	(70)
1.4 The mechanics interacting between roof, top-coal and supports and also the calculation of elastic and plastic zone	(103)

Chapter 2 The categorizing of surrounding roof and top-coal in use of sublevel-caving method	(125)
2.1 The category of thick coal seam according to its caving behavior	(125)
2.2 The category of immediate roof according to its stability and caving thickness	(147)
2.3 The categorizing for main roof according to its periodic load density on the top-coal	(164)
2.4 The selection of supporting structure on the basis of the category of roof and top-coal	(180)

Part 2

About the measured loads on the supports and also the mining technology for top-coal recovering

Chapter 3 The Measured loads on coal face and its theory calculation on top-coal and supports	(189)
--	-------

3.1	The practice of ground control in case of soft surrounding rock and thick coal seam	(189)
3.2	The load character on the supports in case of unstable und moderate stable roof	(195)
3.3	The technology and ground control in case of inclination seam	(225)
3.4	The technique to soften the hard roof and top-coal and also its Use in practice	(235)
3.5	The required load density to the top-coal at working face by using theory calculation	(246)
Chapter 4	The research on the technology parameters for top-coal recovers	(292)
4.1	The outline about the research on the recovery for top-coal in abroad and home	(292)
4.2	The selection of technology parameter for top-coal recovery	(301)
4.3	The practice about improving the top-coal recovery in special geologic case	(313)

Part 3

The digital calculation and analysis about movement and stress of surrounding rock and coal seam

Chapter 5	The about analysis roof movement by using dispersed element method	(337)
5.1	The roof movement following the advance of coalface	(337)
5.2	The influence of geometric parameter on the character of movements	(355)
5.3	The calculation about mechanic balance of rock piece of roof considering its geometric parameters	(378)
Chapter 6	The research of stress and deformation around face by using FLAC program	(399)
6.1	The stress distribution in case of the model of normal long-wall mining	(399)
6.2	The stress distribution in case of the model of sublevel-caving	(407)
6.3	The analysis about elastic and plastic stress of roof and seam in case of first steps of face advancing	(420)
Bibliography		(435)

概 论

近年来,放顶煤开采技术已经成为我国厚煤层的主要开采方法,为发展我国煤炭工业高产、高效、安全、低耗发挥了重要作用。放顶煤开采不仅在地质、开采条件适宜的矿井和煤层发挥了优势,取得很好的技术经济效益,使厚煤层产量已超过煤炭总产量的40%。采煤工作面单产已超过600万t/a。而且在难采煤层,也不断克服生产系统、工艺、装备、岩层控制、高瓦斯、易自燃、粉尘等技术难关,扩大了综放开采的适用条件。在松软围岩的厚煤层、煤层和顶板较硬、倾角 30° 左右厚煤层及厚度在3.5~5m的一般厚煤层逐步实现了综放开采,在总体技术上处于国际领先水平。但应当指出,放顶煤开采毕竟是一项处于发展初期的技术,要实现放顶煤开采技术的科学化、现代化,还需进行深入的理论、实验和现场研究。需要解决的问题包括主要理论问题和主要技术和工艺问题。

主要理论问题:

(1) 放顶煤开采围岩应力和变形规律,顶煤破坏机理和破坏过程的研究,顶煤破坏状况的控制。

(2) 基本顶—直接顶—顶煤—支架—底板力学系统的作用规律和控制。

(3) 不同厚度、倾角、块度的顶煤,在输送机上方冒落和流动规律及其控制;直接顶和基本顶对顶煤破断和流动的影响规律等;以及提高顶煤回收率的理论研究。

主要技术和工艺问题:

(1) 在给定地质技术条件下,放顶煤技术的可行性和经济合理性的评估。

(2) 进一步研究提高工作面和采区回收率的途径。为此,需要针对不同地质和开采条件下,实现工艺装备,包括工作面液压支架、端头支架的选型和开采技术参数优化。

(3) 在复杂条件下,如难冒落煤层或难垮落顶板条件下,包括含夹矸特厚煤层放顶煤开采技术和辅助工艺的研究。

(4) 倾斜和急倾斜煤层放顶煤合理工艺参数的研究。

(5) 与高产、高效相适应的配套安全技术措施,如防火、防尘、瓦斯治理等。

本书将为上述部分问题的解决提供重要参考。

一、放顶煤开采系统和工艺简介

放顶煤开采工艺最早来自前南斯拉夫。对于厚度不规则的特厚褐煤层,用单体支柱支护,开采煤层并回收一定量的顶煤。随后,在法国和匈牙利发展为机械化放顶煤开采,但发展规模有限。20世纪90年代以来,放顶煤开采在我国得到迅速推广。目前不论在技术上和使用规模和经济效益上均处于国际领先水平。

我国目前放顶煤工作面支护手段多种多样。有单体支柱放顶煤(铺金属顶网,在控顶区边缘剪断顶网放煤),工艺过程见图0-1。

滑移支架放顶煤,其工艺与单体支架类似。

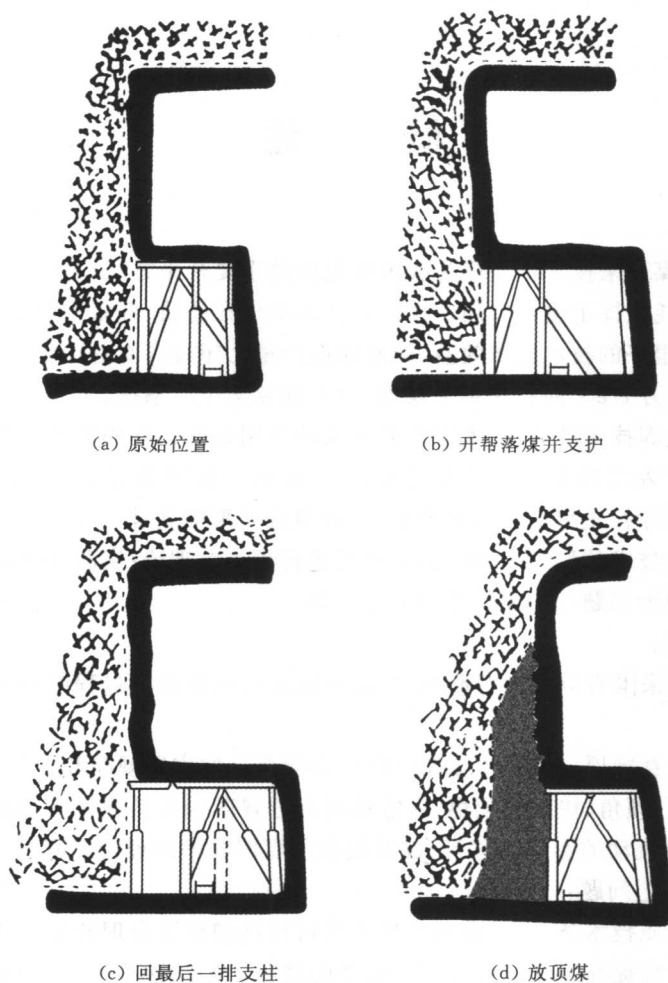


图 0-1 在金属网下进行放顶煤

综合机械化放顶煤开采是针对厚煤层一次采全高的特殊工艺方法,其特点是:将煤层分为上、下两部分。首先借助于采煤机切割开采煤层下面部分,由前部输送机运出。其上面部分作为工作面的“顶板(即顶煤)”,由液压支架支护。借助于矿山压力的作用,促使顶煤破坏,在支架掩护梁上冒落,通过掩护梁上的放煤窗口流入布置在支架后部的输送机(称为中位放煤),或直接借助于掩护梁上的插板的伸缩运动,使冒落顶煤落入后部输送机运出(低位放煤),或借助于放煤窗口,流入布置在煤壁附近的前部输送机运出(高位放煤)。

图 0-2 为法国综采放顶煤的工艺实例。采用了节式支架支护控顶区,通过后部弧形尾梁放煤。

为避免煤壁片帮和机道顶煤冒落,在落煤后,煤壁处和机道上方用单体支柱和顶梁作临时支护。

弧形尾梁在液压千斤顶作用下反复松动顶煤,直至放落。显然,这种放顶煤的工艺和支架结构均很不完善,属于放顶煤技术的初期阶段。

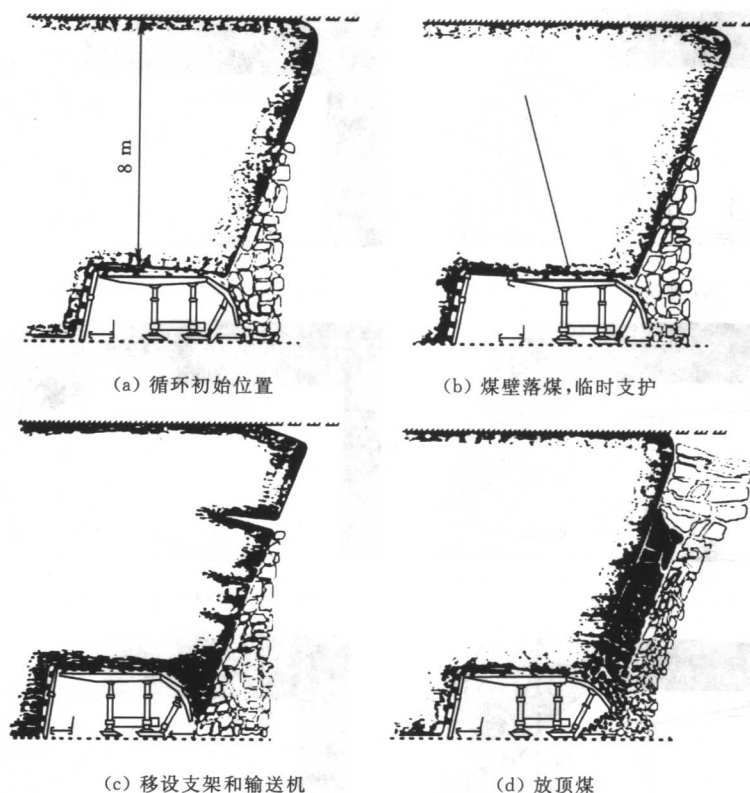


图 0-2 法国自移支架放顶煤工作面循环作业示意图

我国综采放顶煤技术日益成熟。其工艺流程见图 0-3(中位放顶煤支架)。基本流程是:

- (1) 采煤机割煤,移后部输送机(上一循环的放煤工艺结束)。
- (2) 推移前部输送机,移架,移动后部输送机。此时,顶煤在掩护梁之上垮落。
- (3) 割煤,并移动后部输送机。

(4) 移架,放顶煤,本循环结束。此循环工艺相当于“二刀一放”,即完成二个割煤步距后,进行沿全工作面放顶煤工艺流程。

对于不同的煤层厚度和地质条件,工作面长度、采放工艺将有相应的变化,如一刀一放、二刀一放、单轮或多轮放煤等。

二、放顶煤开采的主要技术问题

综合机械化放顶煤开采技术,在给定条件下是否能获得良好的技术经济效益,特别是达到较高的顶煤回收率,取决于以下诸方面的问题是否得到科学合理的解决。

- (1) 顶煤的冒放性评价与控制;
- (2) 机道上方顶煤的控制;
- (3) 所选用的支架结构参数与顶煤和顶板条件适应性;
- (4) 支架的放煤机构与顶煤和直接顶冒落特征的适应性;
- (5) 所采用的放煤工艺和参数与顶煤厚度、块度和直接顶垮落特征的协调性;
- (6) 与放顶煤开采配套的防尘、防火、通风等技术装备和技术措施的可靠性和合理性。

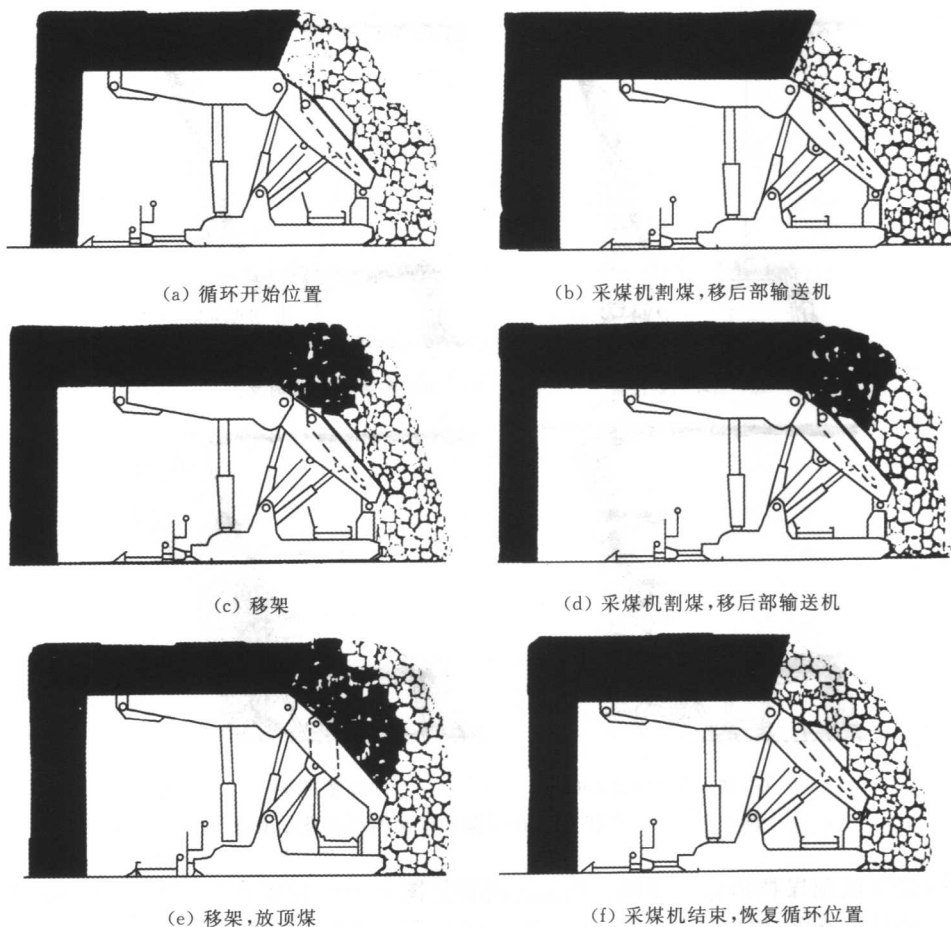


图 0-3 综放工作面回采工序

1. 顶煤的冒放性

顶煤冒放性, 取决于顶煤从煤壁前方至控顶区上方应力和变形的发展过程。图 0-4 显示了装备有中位放顶煤支架的工作面, 顶煤从煤壁至掩护梁上方, 及放煤口, 从破断至破碎的发展过程。从图 0-4 可以看出, 除煤体特性外, 顶板压力、顶煤外侧在采空区垮落的直接顶、支架的结构和工作面移架、放煤工艺均对顶煤的冒放性和冒落块度有重要影响。

一般认为, 顶煤从煤壁前方至控顶区末端, 可以经历四个阶段或形成四个分区, 分别为: 工作面前方的显著变形区; 压裂区; 松动区和后方的垮落区。如图 0-5 所示。这对于冒放性较好的顶煤是可能的, 但不适于难冒落的硬顶煤。对于冒放性很差的顶煤, 必须采取必要的弱化措施, 方能取得较高的回收率。或者通过技术经济论证, 放弃采用放顶煤开采系统。

关于放顶煤工作面工作面前后方顶煤变形发展的研究, 国外有代表性的是法国布朗齐矿 D 煤层的观测结果, 如图 0-6 和图 0-7 所示。

图 0-6 和图 0-7 显示, 从煤壁前方 6 m 开始的放顶煤工作面顶煤体积膨胀量(纵坐标)随着靠近支架上方按指数曲线规律递增(图 0-6 中, 百分数是体积膨胀率)。且垂直和水平位移量均很大, 水平位移量约占垂直位移量的 50%, 并分别指向采空区方向和放煤方向。图

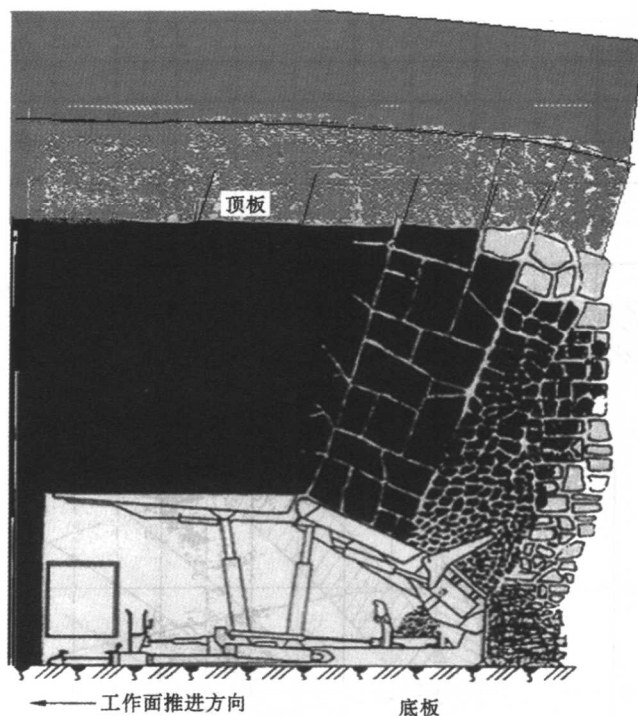


图 0-4 控顶区顶煤的破碎过程和放落

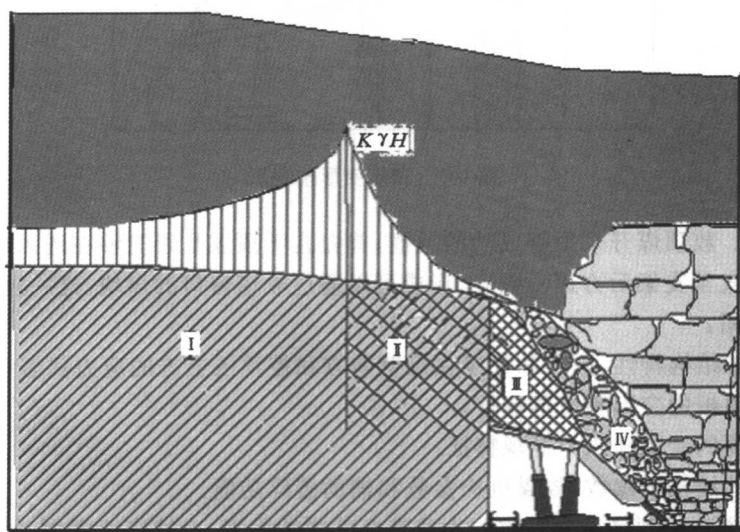


图 0-5 顶煤变形分区

I —— 显著变形区；II —— 顶煤压裂区；III —— 顶煤松动区；IV —— 顶煤的放落区

0-7是根据观测结果对不同层位顶煤变形分布的推断,上层顶煤的水平位移量要大于下层,而垂直变形量自上而下递增。

顶煤在煤壁前方和控顶区上方的上述纵向和横向连续变形过程,是上部岩层压力持续

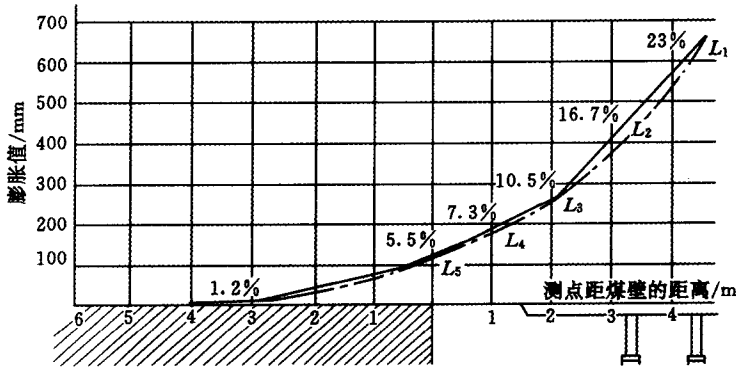


图 0-6 煤体水平位移与膨胀值的关系

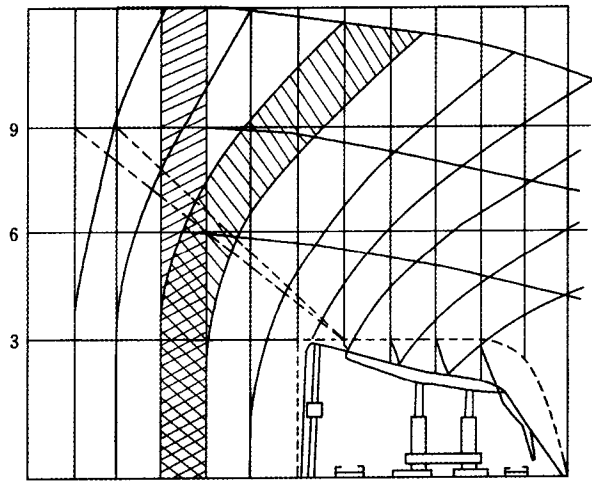


图 0-7 顶煤变形推测图

起作用的结果。放顶煤开采是否成功的关键,首先在于顶煤是否能够在进入放煤窗口前,在控顶区从煤壁直至支架后方逐步破碎,形成可以通过放煤窗口的煤块。这一过程取决于以下因素的综合作用:

- (1) 煤体的结构特性,围岩和顶煤在煤壁前方和控顶区上方的应力状态;
- (2) 直接顶板的变形和垮落特性;
- (3) 基本顶的变形和压力显现特征;
- (4) 支架的结构和参数,放煤机构参数和辅助破碎功能。

在煤壁前方和控顶区上方顶煤应力状态及其影响因素:上述诸因素中,对顶煤冒放性影响的首要因素是顶煤体的力学属性和煤壁前方支承压力所共同决定的顶煤应力状态。对于不同的地质和开采条件,可以有三种应力状态:

- (1) 煤壁前方顶煤处于弹性应力状态,控顶区全段仍处于弹性应力状态;
- (2) 煤壁前方顶煤处于弹性应力状态,控顶区前段仍处于弹性应力状态,而后段为塑性应力,即处于极限平衡状态;

(3) 煤壁前方顶煤已进入塑性应力状态,控顶区前段仍处于塑性应力状态,后段完全松散破碎。

第一种情况下,顶煤可能会滞后冒落,或者冒落块度较大,一般需要采取辅助措施改善其冒落特性。浅部开采中硬以上煤层,可能会出现这种情况。第三种情况可能出现在松软煤层或开采深度较大的中硬以下煤层。在此情况下顶煤冒放性很好,但是否能达到较高的回收率,还需要考虑直接顶是否能及时在采空区垮落及其垮落厚度。

事实上,取得工作面顶煤较高的回收率需要满足以下 2 个条件:

- (1) 顶煤在放煤窗口破碎为较小的煤块;
- (2) 直接顶能够随采随落,并且垮落厚度大于松散后顶煤高度。

反之,如果顶煤不能及时垮落,或者块度过大,直接顶滞后冒落或冒落厚度过小,均会不同幅度地降低顶煤回收率。而顶煤在放煤窗口的破碎状况和直接顶的垮落特征,与所处应力环境密切相关。

煤壁附近的岩层应力主要取决于开采深度和基本顶来压显现强度。经验表明,基本顶周期来压期间顶煤的冒放性有所增强。此外,在控顶区,支架的反复支撑,卸载次数,放煤窗口,摆梁和插板的辅助破碎功能,也对改善顶煤的冒放性和回收率有一定作用。

研究顶煤应力,变形和破坏机理是本书的重要内容,包括解析法和数值法。

(1) 解析法:借助于弹性基础板原理,计算了不同力学和几何参数条件下,工作面前方铅垂应力分布,顶煤和直接顶进入塑性区条件。基本顶运移的不同阶段,煤壁前方支承压力的变化,及对顶煤、直接顶应力状态的影响特征。这些研究为煤层和围岩分类提供了依据,详见第一章和第二章。

(2) 数值法:运用 FLAC3 软件计算了工作面顶煤和围岩的应力分布和随工作面推进的应力变化;顶煤线性与非线性变形特征的应力对比;均质体和层状体等应力线的差别;顶煤和围岩破坏机理。详见第六章。

2. 直接顶的变形和垮落特征

在放顶煤工作面,直接顶已不再是液压支架控制的直接对象。但是,直接顶的变形特性和垮落特性及垮落厚度,对顶煤的冒放性及回收率有重要影响,可以说,直接顶参与了顶煤的破断、破碎和回收过程。

直接顶的作用主要体现在以下 3 个方面:

(1) 借助于直接顶变形,传递基本顶和上覆岩层的压力,促使顶煤在控顶区上方进一步破碎。如果直接顶强度较高或整体性很强,因而抗弯刚度较大,则将减弱对顶煤体的铅垂应力和破断过程;反之,如果直接顶沿煤壁断裂,则作用在支架上的载荷将由基本顶周期来压形成的载荷和直接顶及顶煤自重载荷组成,这意味着直接顶工况将显著影响控顶区顶煤变形和支架载荷强度。

(2) 直接顶在采空区如能及时垮落,并达到一定厚度,将形成对顶煤的阻挡墙,阻止冒落后的顶煤向采空区流动,从而为提高回收率创造条件;反之,如果直接顶滞后垮落,或垮落厚度较小,冒落顶煤有可能向采空区流动,势必将显著降低顶煤的回收率。

(3) 直接顶在采空区的垮落厚度或称充填程度,明显影响下位基本顶的运动形态或周期来压强度,而间接地影响顶煤的破碎程度。

(4) 直接顶的裂隙形态。在开采应力影响下,直接顶可能被分割成不同形态的块体。典

型的裂隙类型,通常称为 R_2 (裂隙方向垂直于煤层平面), R_3 (向煤壁倾斜), R_4 (向采空区倾斜) 等。不同的裂隙形态,在控顶区和采空区上方的运动形态有很大差别。通常会形成短梁拱并失稳,影响控顶区顶煤和支架载荷。而不同的裂隙类型,其失稳位置和短梁拱极限跨度显著不同。

本书提出了放顶煤工作面前方支承压力解析计算法。以此为基础,第一章、第二章计算分析直接顶在煤壁前方和控顶区上方的应力状态和变形工况,提出了直接顶分类准则和分类实例。第五章借助于离散元法计算和解析计算,研究裂隙顶板的运移规律,分析了直接顶垮落过程特征和不同裂隙岩块的平衡及失稳条件。

3. 基本顶压力显现

基本顶可分为上位基本顶(未形成贯穿裂隙)和下位基本顶(周期性断裂并彼此咬合),见图 0-8。其中,下位基本顶可能由于长梁型失稳断裂或者为短梁拱失稳而引起周期来压。

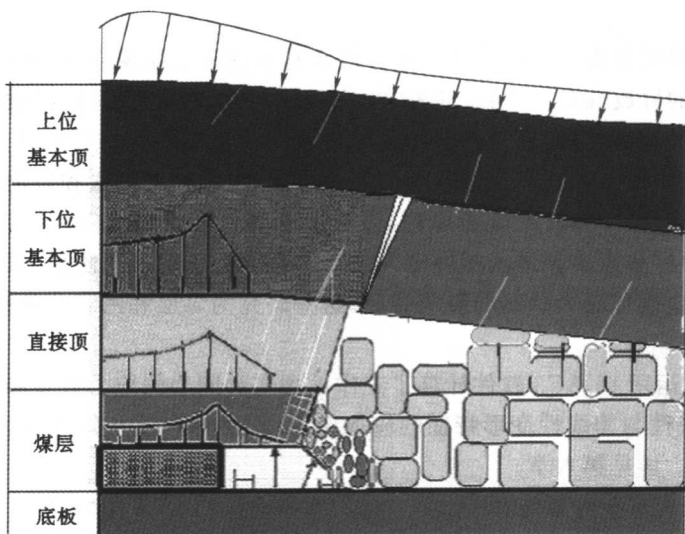


图 0-8 放顶煤工作面顶板-煤层力学系统构成

本书第一章和第二章,计算分析了基本顶变形,断裂或失稳对于煤壁前方支承压力分布的影响,包括基本顶厚度、弹性模数的影响规律;提出了基本顶周期来压步距的计算公式,上位基本顶变形,下位基本顶周期来压对于控顶区直接顶变形特征,顶煤弹塑性区,顶煤延米载荷的影响规律。

本书的研究将表明,工作面前方的支承压力,促使顶煤不同程度地弱化或塑性化,而基本顶动态直接影响支承压力的数值和分布范围。同时,控顶区上方,上位基本顶的形变压力和下位基本顶的周期来压,均通过直接顶的传递,强化顶煤的破断过程。

按照作者提出的串行与并行支撑力系的概念,图 0-8 显示了基本顶—直接顶—顶煤—支架—底板力学体系。在控顶区上方基本顶由直接顶—顶煤—支架—底板组成的四元素串行力系支撑;而同时,基本顶受到煤壁、控顶区支撑力系和采空区垮落岩石共同组成三元素并行支撑力系支撑。显然,直接顶垮落厚度愈大,基本顶在控顶区的压力显现愈弱;反之亦然。同时基本顶断裂步距或厚度愈大,对直接顶和顶煤的载荷也愈大。

由顶煤、直接顶、基本顶形成的不同组合,工作面矿压显现,支架结构和参数将显著不同。普通长壁工作面的顶板分类,不能完全适用于放顶煤工作面。为此需要提出新的分类准则,为改善放顶煤工作面岩层控制提供依据。本书在以上分析研究的基础上提出了顶煤和顶板分类及分级准则。其中包括以下部分:

- (1) 顶煤的冒放性分类;
- (2) 直接顶垮落特性分类;
- (3) 基本顶来压强度分级。

在此基础上,提出放顶煤工作面液压支架选型和改善岩层控制的建议。

4. 放顶煤工作面的矿压显现

本书第三章对不同矿区放顶煤工作面的矿压显现实测成果进行了综述。分析了顶煤、直接顶和基本顶不同条件对矿压显现的影响特征。

“三软”煤层,如郑州米村、龙口北皂、淮北矿区等,工作面载荷强度一般较小。而顶煤在机道上方冒落频繁,成为岩层控制的重点。上述矿区通过生产实践,提出了有效的控制措施。中硬以下顶煤,如潞安、阳泉、兖州等矿区,通过矿压显现观测,对顶煤在煤壁前、后方变形特征,裂隙发育过程,平时和周期来压时支架载荷,前、后柱载荷比等方面取得重要研究成果。第三章根据作者提出的串行支撑系统理论,分析了放顶煤工作面支架载荷较小的基本原因。

急(倾)斜特厚煤层采用水平分段放顶煤,取得了很好的技术经济效果。需要解决的主要问题是合理选择分段高度,支架结构和放煤顺序,以及处理底板残留三角煤等。第三章提出了急(倾)斜放顶煤工作面顶煤塑性应力的判别准则。指出,与开采深度相关的水平应力起主导作用。

硬顶煤和难垮落顶板组合,如大同矿区,一般不宜采用放顶煤开采技术。但大同忻州窑矿,经过几年实践,先后采取了对顶煤和顶板分层预裂松动爆破的措施,大幅减低了顶煤冒落块度,提高了顶煤回收率。在靖远等矿区也有类似成功的实践,包括硬顶煤条件下对支架结构参数的选择和改进。

5. 支架载荷计算

放顶煤工作面载荷的计算是当前重要的理论问题。本书第三章提出了较完整的计算体系。提出基本顶,直接顶不同工况,顶煤和顶板不同裂隙类型的支架载荷强度相应计算公式。包括了以下有代表性工况的支架载荷计算。

(1) 基本顶(短梁拱型)和直接顶具有 R_2 (裂隙垂直层面)、 R_3 (裂隙下端向煤壁倾斜)和 R_4 (裂隙下端向采空区倾斜)裂隙类型下的支架载荷强度(如图 0-9);

(2) 基本顶周期来压(长梁型失稳)条件下的支架载荷特征。

① 直接顶全厚度被多条贯穿裂隙切割,完全失去抗弯能力;如图 0-9(a),直接顶裂隙为 R_2, R_3, R_4 ;

② 直接顶保持抗弯能力(中硬厚层岩石),如图 0-9(b)右;

③ 直接顶部分厚度断裂,例如,其下部断裂厚度达到煤层厚度的 1~3 倍,而其上部仍保持抗弯能力,如图 0-9(b)左。

本书对于上述三类直接顶工况和两种基本顶失稳条件下支架必需的延米载荷和支护强度,给出了多种计算实例,并根据 20 多个工作面的实测载荷,提出了多元回归支架载荷强度预测公式。

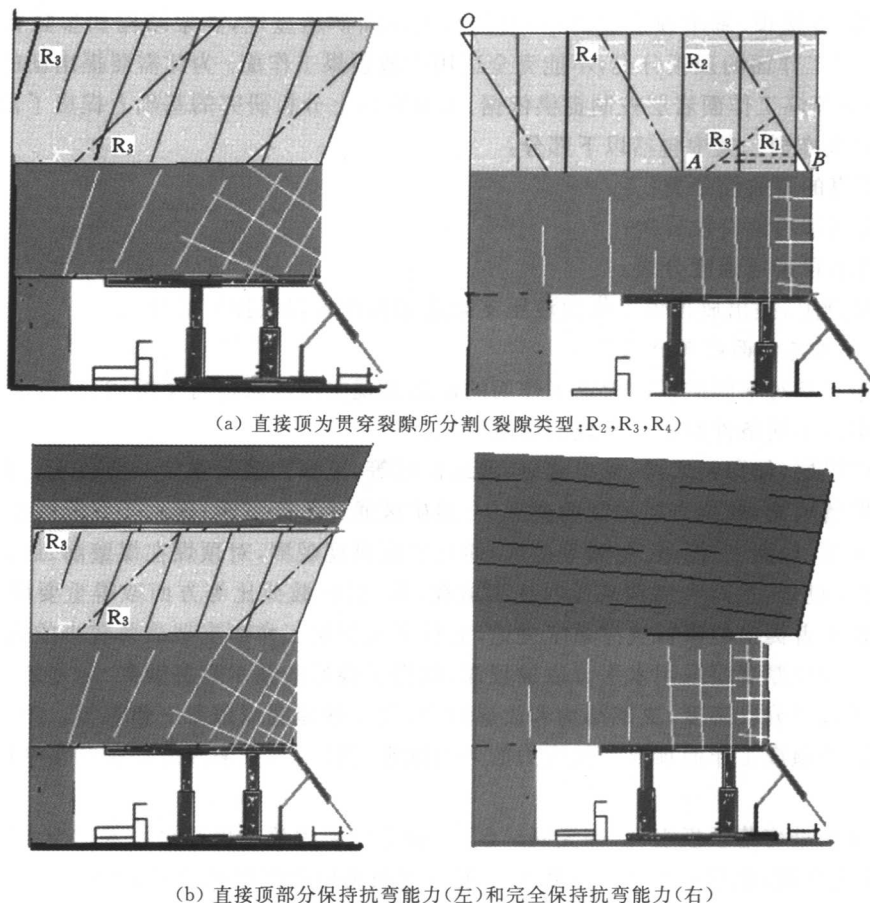


图 0-9 顶板和顶煤力学工况

——主要裂隙；- - -次要裂隙

6. 放顶煤工艺参数

合理的放顶煤开采工艺是高产、高效、顶煤高回收率和低成本的保证。我国在多年来的实践中，针对不同煤层厚度总结了多种放顶煤工艺。这里涉及四方面的问题：放煤顺序；放煤轮次（沿顶煤厚度方向）；放煤步距；放煤方向（沿倾斜方向）。

(1) 放煤顺序和轮次

如单轮顺序放煤；单轮间隔放煤；多轮顺序放煤和间隔放煤；等等。

所有最佳方案均应是煤与矸石界面保持接近平面的微小曲面，如图 0-10，图 0-11，图 0-12。不同的放煤方式，主要根据煤层厚度进行优选。其中，图 0-11 为瞬时煤流漏斗曲线。

(2) 放煤步距

目前国内采用的放煤步距一般为：一刀一放（完成全工作面一次割煤工艺后，接着进行放煤工艺）；二刀一放（完成两次割煤工艺后进行一次放煤工艺）；个别矿区也有采用三刀一放的。今后还可以有其他形式，主要应根据采煤机割煤深度和顶煤厚度进行优选。

(3) 沿倾斜的放煤方向

当煤层倾角超过 20° 以后，沿走向推进的工作面，需要考虑沿倾斜不同的放煤方向。它