

应用基础

大采高综放开采煤壁片帮冒顶机理与控制途径研究

闫少宏

(煤炭科学研究总院 北京开采设计研究分院, 北京 100013)

[摘 要] 运用数值模拟与解析法研究了大采高综放开采煤壁片帮特征与机理, 并对片帮冒顶的可控性因素进行了量化分析, 提出了控制煤壁片帮冒顶应采取合理的支架结构与参数, 并配合有效的回采工艺相结合的技术途径。

[关键词] 大采高综放; 冒顶机理; 控制途径

[中图分类号] TD327.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2008) 04-0005-04

Research on Side and Roof Falling Mechanism and Control Approaches in Fullmechanized Caving Mining with Large Mining Height

YAN Shao-hong

(Coal Mining & Designing Branch China Coal Research Institute Beijing 100013, China)

Abstract: Numerical simulation and analytic method were applied to researching characteristics and mechanism of side falling in full-mechanized caving mining with large mining height and controllable factors of side and roof falling were quantized. A technical approach was put forward that reasonable support structure and parameters were adopted and effective mining technique combined for controlling side and roof falling.

Key words: fullmechanized caving mining with large mining height; roof falling mechanism; control approach

1 大采高综放易于发生煤壁片帮冒顶

1.1 大采高综放开采煤壁片帮冒顶特征

为了研究大采高综放开采端面片帮冒顶特征, 采取了有限元与离散元相结合的方法进行了数值方法模拟。以某矿地质条件为例, 煤层厚度 12m, 埋深约 300m。

表 1、图 1、图 2 为模拟结果。表 1 是不同采高条件下顶煤体冒落状态评价指标值; 图 1 是不同采高时工作面超前支承压力; 图 2 是不同采高时煤壁水平位移。

表 1 不同采高顶煤冒落状态评价指标值

	机采高度 /m				
	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
最大滞后垮落长度 /m	4	4	3	3	3
最大滞后垮落厚度 /m	6.5	5	4.5	4	3.5
垮落角 / (°)	45	45	45	45	45

分析模拟结果, 可以看出:

- (1) 采高加大, 顶煤冒落性越好;
- (2) 采高加大, 煤壁破坏程度也趋于严重。在采高小于 4.0m 时, 煤壁不存在拉伸破坏, 而超

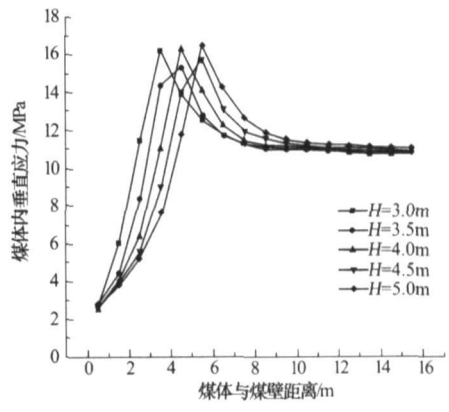


图 1 不同采高超前支承压力

过 4.0m 时, 煤壁出现拉伸破坏, 且随着采高继续增大, 拉伸破坏范围越大, 煤壁片帮愈加严重。所以, 综合考虑, 机采高度应有一个临界点;

(3) 随着采高增大, 超前支承压力峰值逐渐增大, 或与煤壁距离增大。这一现象表明煤壁破坏程度逐渐变得严重;

(4) 随着采高增大, 煤壁水平位移也逐渐增大, 但采高增大到 4.0m 以后, 增大趋势减缓, 原因是煤壁发生拉伸破坏后, 应力得到释放, 煤体位

[收稿日期] 2008-02-22
[作者简介] 闫少宏 (1966-), 男, 陕西武功人, 博士, 研究员, 博士生导师, 现任煤炭科学研究总院开采设计分院副院长。

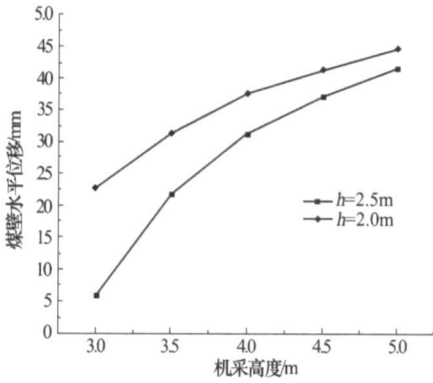


图 2 不同采高煤壁水平位移

移量增幅减小；

(5) 由 (3), (4) 可以看出, 煤体的力学状态随着采高加大有一临界值。

1.2 大采高综放片帮机理分析

图 3 为用 FLAC^{3D} 数值模拟软件计算所得某矿工作面煤壁主应力分布图。可以看出, 工作面煤壁主应力在上部、中部和下部方向均不同。在上部, 最大主应力方向与垂直方向有一定夹角, 且偏向煤壁前方; 煤壁中部最大主应力方向基本垂直, 而下部最大主应力方向与垂直方向有一定夹角, 且偏向采空区。煤壁上部和下部受顶底板压力的大小和方向呈对称分布, 煤壁所受的水平方向外力大小相等, 方向相反。

基于以上的简化, 对于完整性较好的中硬煤壁, 分析顶板压力作用下煤壁的挠度特征时可以将图 3 简化为图 4 的受力模型, 即一端弹性支承, 一端刚性固定的受压杆。

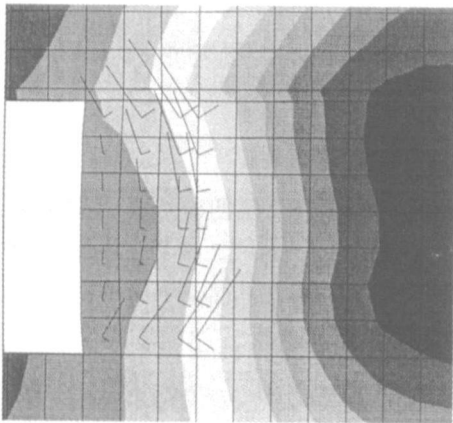


图 3 采高 6.0m 时工作面前方煤体主应力

1.3 煤壁的挠度计算

假设压杆处在临界平衡状态, 根据小挠度微分方程以及端部约束条件确定煤壁的挠度曲线, 求得煤壁在顶板压力作用下的挠度最大值, 即煤壁容易

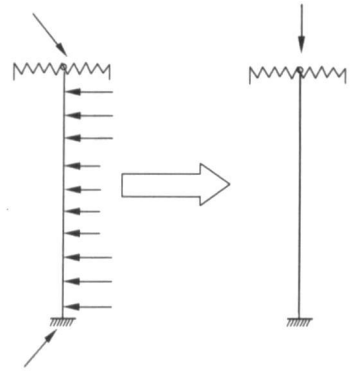


图 4 压杆的受力模型

失稳位置。

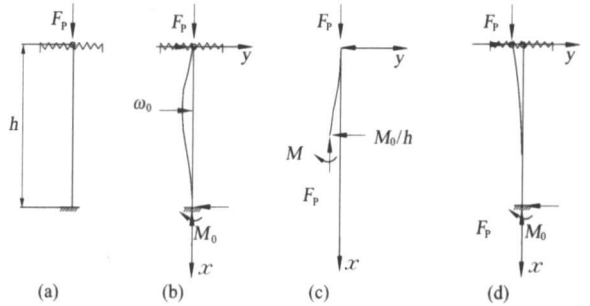


图 5 一端弹性支承另一端刚性固定的煤壁

图 5 (a) 为一端固定另一端弹性支承的煤壁。设固定端力矩为 M_0 , 采高为 h 。当弹簧刚度较大时, 杆体端部不发生侧向位移。根据杆件的整体平衡条件, 两端有水平反力 M_0/h 。取 x 截面以下部分为分离体如图 5 (c), 以 x 截面的形心为中心建立力矩平衡方程得

$$M = F_p \omega - M_0 x/h \quad (1)$$

式中, M 为 x 截面形心的弯矩, $N \cdot m$; F_p 为煤壁所受垂直方向压力, N ; ω 为煤壁挠度, m ; M_0 为煤壁固定端力矩, $N \cdot m$; h 为采高, m 。再由 $M = -EI\kappa$ “得微分方程 $EI\kappa'' + F_p\omega = M_0 x/h$ ”

$$\text{或 } \omega'' + K^2 \omega = \frac{M_0 x}{EIh} \quad (3)$$

式中, EI 为煤壁的弯曲刚度, $K^2 = F_p / (EI)$ 。微分方程 (3) 的解是

$$\omega = C_1 \cos Kx + C_2 \sin Kx + \frac{M_0}{F_p} \cdot \frac{x}{h} \quad (4)$$

由边界条件

$$(1) \text{ 当 } x=0 \text{ 时, } \omega(0) = 0$$

$$(2) \text{ 当 } x=h \text{ 时, } \frac{d\omega}{dx} = 0$$

$$\text{得到 } \omega = \frac{M_0}{F_p} \left[\frac{x}{h} + 1.02 \sin \left(4.49 \frac{x}{h} \right) \right] \quad (5)$$

当 $\sin \left(4.49 \frac{x}{h} \right) = 1$ 时, ω 取最大值, 即

$\frac{4.49x}{h} = 2k\pi + \frac{\pi}{2}$ (k 为整数), 解得 $x = (1.39k + 0.35)h$ 考虑实际情况, 取 $x = 0.35h$ 此时 ω 的最大值为 $\frac{1.37M_0}{F_p}$ 。

该式表明, 边界条件为一端铰支、另一端固支时, 煤壁侧向变形曲线为正弦半波, 其侧向位移最大值点距顶端 $0.35h$ 处。

式 (5) 是在假定煤壁处于临界状态下而求得的, 当顶板压力继续增加, 煤壁将首先从距顶板 $0.35h$ 处失稳。

图 5 (b) 所示的弹簧刚度较大, 当弹簧刚度减小到一定程度时, 随着压力的增加, 还可能发生如图 5 (d) 所示失稳形式, 即整个煤壁失稳。

采用“压杆”理论研究表明, 煤壁片帮主要有两种形式: 一种是半煤壁片帮, 在顶板压力的作用下, 煤壁将发生类似于正弦波式的弯曲变形, 距底板 0.65 倍采高处侧向位移最大, 在最大位移处首先失稳, 之后发生整体煤壁失稳; 另一种是整个煤壁片帮, 当煤壁在微小的外界扰动下, 如采煤机的割煤或移架的影响, 煤壁将发生整体片帮。这就揭示了大采高煤壁片帮的一般机理, 为支架护帮机构高度尺寸的确定提供了依据, 即支架护帮机构高度尺寸不小于采高的 0.35 。

1.4 大采高综放端面片帮冒顶的可控性因素分析

影响大采高综放煤壁片帮冒顶的因素是很多的, 可分为地质因素和开采因素, 其可控因素主要为开采因素。

文献^[1]研究表明, 支架对于采场下位岩层控制效果受 4个因素影响: 一是支架垂直作用力; 二是支架水平作用力; 三是端面距; 四是支架合力作用点距工作面煤壁距离。以郑州米村矿 15011综放面条件为例, 利用有限元模拟了不同参数下顶煤应力场的变化情况。

地质条件: 平均煤厚 $8.4m$, 硬度系数 $f=0.3 \sim 0.5$, 直接顶为砂质泥岩, 厚 $3.6 \sim 8m$, 基本顶为中粒砂岩, 厚 $4.9 \sim 15.7m$, 直接底为 $0.5m$ 厚的黏土岩。

图 6、图 7是立柱 $500kN$, $1300kN$ 时顶煤应力场模拟结果, 可以看出, 顶煤端面与顶部拉应力区明显减小。

图 8、图 9是立柱垂直作用力 $500kN$, 而支架水平作用力为 0 , $600kN$ 时顶煤应力区模拟结果, 可以看出, 随着支架水平作用力增大, 顶煤体拉应力区相应减小。

图 10、图 11是立柱垂直作用力为 $1300kN$, 而端面距为 $0.25m$ 和 $0.5m$ 时模拟结果, 不难看出, 缩小端面距, 亦可减小工作面端部和顶部煤体拉应力区的大小。

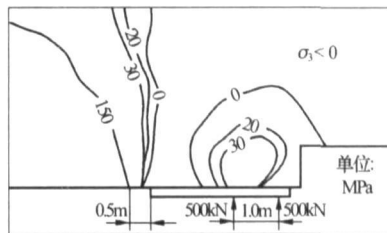


图 6 立柱力为 $500kN$ 时顶煤应力场

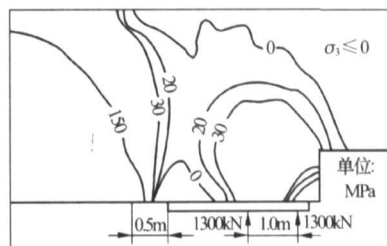


图 7 立柱力为 $1300kN$ 时顶煤应力场

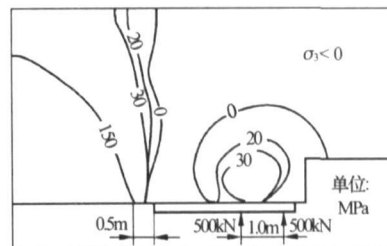


图 8 水平力为 0 时顶煤应力场

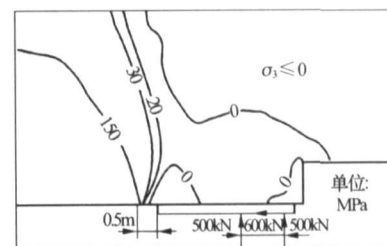


图 9 水平力为 $600kN$ 时顶煤应力场

2 大采高综放开采端面片帮冒顶控制途径

由前面分析可以看出, 大采高综放开采端面片帮冒顶是必然的, 而且随着采高的加大, 将愈加严重; 改善端面片帮冒顶的途径, 应设法提高无立柱空间顶煤的稳定性, 应从端面距, 垂直作用力、水

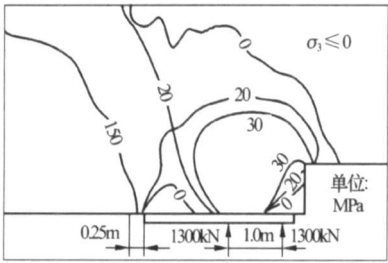


图 10 端面距为 0.25m 时顶煤应力场

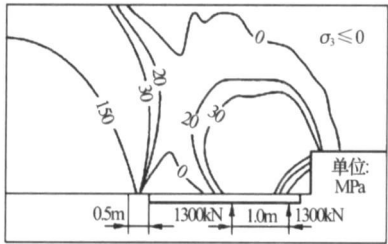


图 11 端面距为 0.5m 时顶煤应力场

平作用力和合力作用点与煤壁距离 4 个参数入手；改善 4 个支护参数首先应考虑缩小端面距。一是要设计合理的支架结构，二是在工艺上要采煤机过后即时移架，使无立柱空间及时全封闭。

3 举例

3.1 某矿“三软”易冒煤层综放支架，如图 12

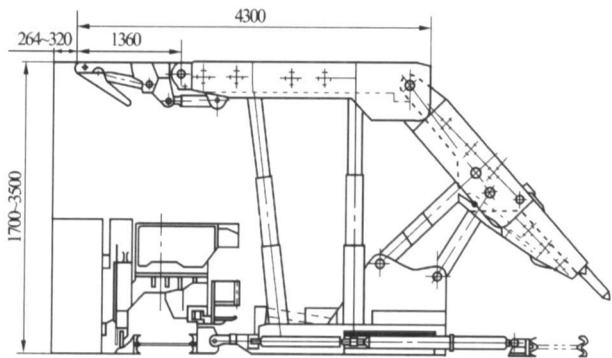


图 12 易冒顶煤体综放支架

- 该支架对于片帮冒顶的防治主要有以下特点：
- (1) 采用整体顶梁、长侧护板、内伸缩梁支护方式；
 - (2) 前立柱向前倾斜，支架具有指向煤壁方向的作用力；
 - (3) 后立柱具有抗压、抗拉双重作用。

3.2 某矿大采高综放支架，如图 13

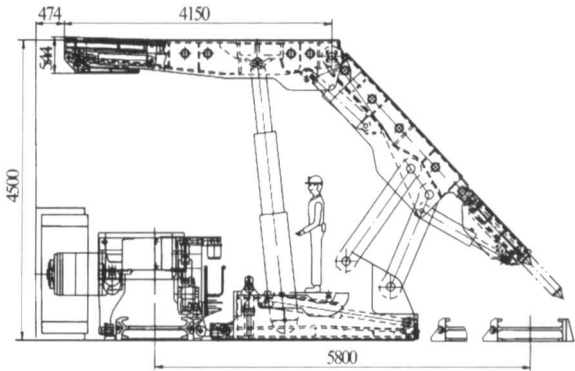


图 13 ZY9000/25/48 两柱掩护式大采高综放支架

- 该支架对于片帮冒顶的防治主要有以下特点：
- (1) 改善顶梁前端支护状态，采用整体顶梁带伸缩梁及挑梁结构。
 - (2) 采用大平衡千斤顶，能适应顶板合力作用点位置的变化。
 - (3) 顶梁前端对顶板的支护能力强，有利于避免片帮冒顶。控制梁端距的变化，在支架的调高范围内，梁端轨迹变化不大，有利于防治片帮冒顶。
 - (4) 支架顶梁前后比值约为 2.5，以适应顶板合力作用点位置的变化。

4 主要结论

- (1) 大采高综放开采易于发生煤壁片帮冒顶，对于某一特定条件的工作面发生片帮冒顶的采高有一临界值。
- (2) 大采高综放煤壁片帮的机理是在顶底板压力作用下，煤壁首先在上部 0.35h (采高) 处发生破裂，之后煤壁片帮；另一种情况是在外力挠动下，煤壁整体片帮，支架护帮机构的高度尺寸应不小于采高的 0.35。
- (3) 大采高综放煤壁片帮的控制因素主要有：一是支架垂直作用力；二是支架水平作用力；三是端面距；四是支架合力作用点距工作面煤壁距离。控制煤壁片帮冒顶应采取合理的支架结构与参数，又要配合有效的回采工艺。

[参考文献]

[1] 闫少宏 . 综放开采顶煤与顶板活动规律的研究与应用 [M] . 北京：煤炭工业出版社，2003.

[2] 李明忠，曾明胜 . 大采高放顶煤液压支架的设计研究 [A] . 煤炭科学研究总院北京开采研究所 . 地下开采现代技术理论与实践新进展 [C] . 北京：煤炭工业出版社，2007.

[责任编辑：邹正立]