

文章编号: 1673-3363-(2012)01-0021-05

“三软”大采高综采面煤壁稳定性及其控制研究

袁永, 屠世浩, 马小涛, 孙璐璐, 白庆升

(中国矿业大学矿业工程学院, 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要 为有效控制“三软”大采高综采面煤壁稳定性, 以淮北矿业集团许疃煤矿 7₂19 面为工程背景, 实测了“三软”煤层大采高综采面煤壁片帮特征, 建立了采场煤壁“楔形”滑动体稳定性分析的力学模型, 分析了“楔形”滑动体稳定性的关键影响因素。结果表明: “三软”大采高综采面煤壁片帮以上半部片落的“楔形体”滑落形式为主, “楔形”滑动体稳定系数 K 与 C , P_h , μ 呈正比关系, 与 W_0 , θ 呈反比关系。通过提高支架初撑力、控制端面冒顶、加固煤壁、用好护帮板以及适当提高工作面推进速度等技术措施, 7₂19 面煤壁稳定性得到了有效控制。

关键词 三软煤层; 大采高综采; 煤壁稳定性; 楔形滑动体; 控制技术

中图分类号 TD 323

文献标识码 A

Coal Wall Stability of Fully Mechanized Working Face with Great Mining Height in “Three Soft” Coal Seam and Its Control Technology

YUAN Yong, TU Shi-hao, MA Xiao-tao, SUN Lu-lu, BAI Qing-sheng

(School of Mines, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining,
China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract To effectively control the coal wall stability of fully mechanized working face in “three soft” coal seam, we measured the characteristics of coal wall falling at NO.7₂19 fully mechanized face with great mining height in Xutuan Coal Mine of Huaibei Mining Group, built the mechanical model for stability analysis of wedge sliding object in coal wall, and analyzed the key effect factors of the sliding object stability. The results show that the coal wall falling in fully mechanized face with great mining height in “three soft” seam occurs mainly in wedge sliding type in the upper part of coal wall, and the stability coefficient of wedge sliding object (K) is proportional to C , P_h and μ , and inversely proportional to W_0 and θ . By adopting technical measures of increasing the support resistance, controlling end face roof fall, strengthening coal wall, correctly using guard plate, appropriately increasing the advancing speed, et al, the coal wall stability of NO.7₂19 face has been effectively controlled.

Key words three soft coal seam; fully mechanized mining with great mining height; coal wall stability; wedge sliding object; control technology

收稿日期: 2010-12-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51074164, 51004102); 江苏高校优势学科建设工程项目; 煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主研究课题项目 (SKLCRSM09X02); 江苏省“青蓝工程”项目; 江苏省普通高校研究生创新计划项目 (CX09B_120Z); 中央高校基本科研业务费专项资金人才引建资助项目 (TA111780)

作者简介: 袁永(1983-), 男, 河南省泌阳县人, 博士, 从事采矿方法与岩层控制方面的研究。

E-mail: yy20062006@163.com

Tel: 15862169239

大采高综采是近年来发展起来的厚煤层开采新工艺,实践表明,大采高综采煤炭采出率可比综放开采提高 10%~15%,是一种有推广前景的高采出率开采技术,已成为 7.0 m 以下厚煤层高效开采的发展方向^[1-3]。但由于大采高综采工作面采高大、矿压显现剧烈,煤壁稳定性差、控制困难,已成为影响大采高综采技术推广应用的基本问题之一^[4-5]。以淮北矿区为代表的我国中东部矿区存在大量“三软”煤层,开展大采高综采面煤壁稳定性控制的研究对促进此技术的推广应用,提高其煤层采出率具有重要意义。

目前,对煤壁片帮的影响因素的研究较多^[6-10],对煤壁片帮机理的研究多简化为平面问题^[5,11-12],缺少将煤壁稳定性看做三维空间问题的研究,本文在“三软”大采高综采面煤壁片帮特征实测的基础上,尝试从空间上研究煤壁稳定性,建立了煤壁“楔形”滑动体稳定性分析的力学模型,得到了控制煤壁稳定性的关键要素,为有效控制“三软”大采高综采面煤壁片帮提供参考。

1 “三软”大采高综采面片帮特征实测

工作面煤壁片帮是煤体内裂隙相互贯通的宏观表现^[13],由于煤体内原始裂隙(节理、层理

等)延伸方向、长度等的不同,贯通后煤壁片帮的形式也是多种多样的,常见的形式如图 1 所示。

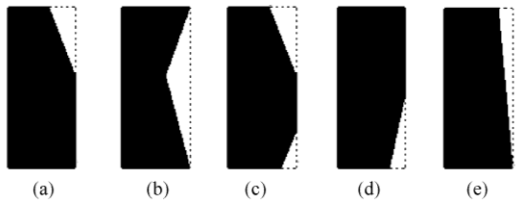


图 1 工作面煤壁片帮形式素描
Fig.1 Coal wall rib spalling types

淮北许疃煤矿 7₂19 大采高综采面主采 7₁, 7₂ 煤合并区,煤厚 4.6~6.5 m、平均 6.0 m, $f=0.5$, 直接顶厚 1.5 m 泥岩,基本顶厚 9 m 粉砂岩与泥岩互层,直接底为厚 3.4 m 粉砂岩,老底为厚 14.7 m 细砂岩,属典型“三软”煤层,回采期间,对工作面煤壁片帮特征进行了实测,如表 1, 2 所示。

表 1 许疃煤矿 7₂19 面煤壁片帮形式统计
Table 1 Statistics of different rib spalling types for NO.7₂19 working face in Xutuan coal mine

片帮形式	a	b	c	d	e	合计
频数/次	45	2	36	6	1	90
频率/%	50	2.2	40	6.7	1.1	100

表 2 许疃煤矿 7₂19 工作面煤壁片帮深度、长度和高度的统计

Table 2 Statistics of different rib spalling depth, length and height for NO.7₂19 working face in Xutuan coal mine

片帮	深度/m				长度/m				高度/m			
	0~0.5	0.5~1.0	>1.0	合计	<17.5	17.5~35	>35	合计	<1	1~2	>2	合计
频数/次	45	38	7	90	24	12	4	40	56	22	12	90
频率/%	50	42.2	7.8	100	60	30	10	100	62.2	24.4	13.4	100

注:煤层顶板到煤壁片帮体最下部的垂直距离为片帮高度。

由表 1, 2 分析可知:

1) 片帮形式 a 和 c (即煤壁上半部片落) 所占比重大, 约为 90%, 是“三软”大采高综采面煤壁片帮的主要形式, 且上述 2 种片帮形式对工作面设备、人员的影响大, 控制困难;

2) 7₂19 面煤壁片帮深度多在 1 m 以下, 连续片帮长度多小于 10 架长度 (17.5 m), 片帮高度多集中在 1 m 以下, 顶板破碎、工作面推进速度慢、老顶来压以及工作面停产时, 煤壁片帮严重, 煤壁片帮深度、长度以及高度均变大。

2 采场煤壁“楔形”滑动体稳定性分析

2.1 煤壁片帮体几何特征

煤壁片帮体的几何特征, 在平面上, 可简化为图 1a 的形式, 其横剖面为“V”字形剖面, 且

煤壁片帮的长度、高度与深度的统计频度分布特征也基本符合“楔形体”定义^[14-15], 如图 2, 即煤壁片帮控制可视为煤壁“楔形”滑动体稳定性控制问题, 而防治“三软”大采高综采面煤壁片帮的关键是提高采场煤壁“楔形体”稳定性。

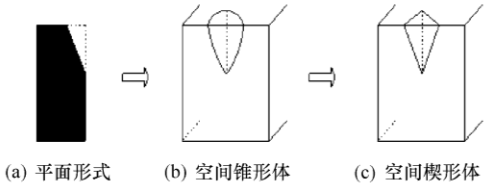


图 2 工作面煤壁上半部片落形式
Fig.2 Coal wall rib spalling in the upper part of mining face

2.2 “楔形体”稳定性分析的力学模型

工作面煤壁中的裂隙贯通后, 形成 a, b 2 个结构面, 2 个结构面的交线为 BD , 这时两结构面

a, b 与煤壁及煤层上部面形成 V 字形四面滑动楔形体, 如图 3 所示。

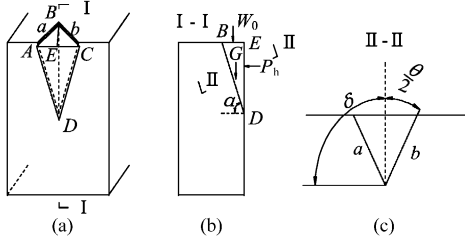


图 3 煤壁“楔形”滑动体稳定性分析的力学模型

Fig.3 Mechanical model for stability analysis of coal wall wedge sliding object

选取平行于直线 AC 的为 x 轴, 垂直于直线 AC 的为 y 轴, 煤壁中的“楔形”滑动体在滑体自重 G 、顶板对煤壁的作用力 W_0 以及护帮板水平力 P_h 的共同作用下, 存在如下关系, 如图 3b, 垂直于结构面交线 BD 的力 N 为

$$N = (W_0 + G)\cos\alpha + P_h \sin\alpha \quad (1)$$

平行于结构面交线 BD 的力 τ 为

$$\tau = (W_0 + G)\sin\alpha - P_h \cos\alpha \quad (2)$$

将 N 分解为垂直于 2 个结构面方向的法向力 N_a 和 N_b , 按静力学平衡条件, $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ 可得

$$N_a \sin(\delta - \frac{\theta}{2}) = N_b \sin(\delta + \frac{\theta}{2}) \quad (3)$$

$$N_a \cos(\delta - \frac{\theta}{2}) + N_b \cos(\delta + \frac{\theta}{2}) = N \quad (4)$$

联解式 (1), (3) 和 (4) 可得

$$N_a = \frac{[(W_0 + G)\cos\alpha + P_h \sin\alpha]\sin(\delta + \frac{\theta}{2})}{\sin\theta} \quad (5)$$

$$N_b = \frac{[(W_0 + G)\cos\alpha + P_h \sin\alpha]\sin(\delta - \frac{\theta}{2})}{\sin\theta} \quad (6)$$

$$N_a + N_b = \frac{[(W_0 + G)\cos\alpha + P_h \sin\alpha]\sin\delta}{\sin\frac{\theta}{2}} \quad (7)$$

则“楔形”滑动体的稳定系数 K 为

$$K = \frac{N_a \tan\mu_a + N_b \tan\mu_b + C_a S_a + C_b S_b}{\tau} \quad (8)$$

式中: α 为 a, b 等 2 个结构面组合交线的倾角, ($^\circ$); θ 为 a, b 等 2 个结构面间的夹角, ($^\circ$); δ 为楔形体的倾角, ($^\circ$); μ_a, μ_b 分别为 a, b 等 2 个结构面的内摩擦角, ($^\circ$); C_a, C_b 分别为 a, b 等 2 个结构面的内聚力, MPa; S_a, S_b 分别为 a, b 等 2 个滑面的面积, m^2 。

考虑到煤体在一定范围内力学性质差异不大, 可认为 $\mu_a = \mu_b$, $C_a = C_b$, 假定 a, b 等 2 个滑面面积相等, 即 $S_a = S_b$, 则式 (8) 变为

$$K = \frac{(N_a + N_b) \tan\varphi + 2CS}{\tau} \quad (9)$$

将式 (2), (7) 代入式 (9) 可得

$$K = \frac{[(W_0 + G)\cos\alpha + P_h \sin\alpha]\sin\delta \tan\mu + 2CS \sin\frac{\theta}{2}}{[(W_0 + G)\sin\alpha - P_h \cos\alpha]\sin\frac{\theta}{2}} \quad (10)$$

式中: μ 为内摩擦角, ($^\circ$); C 为内聚力, MPa。

图 3b 中, 令 $BE = d$, 即采场煤壁片帮的最大深度 $AC = l$, 即采场煤壁片帮的长度 $DE = h$, 即采场煤壁片帮的高度 (从采场顶板算起), 则

$$\alpha = \arctan \frac{h}{d}, \quad S = \frac{l\sqrt{h^2 + d^2}}{4\sin\frac{\theta}{2}} \quad (11)$$

将式 (11) 代入式 (10) 可得

$$K = \frac{2[(W_0 + G)d + P_h h]\sin\delta \tan\varphi + Cl(h^2 + d^2)}{2[(W_0 + G)h - P_h d]\sin\frac{\theta}{2}} \quad (12)$$

设垂直于煤壁平面的面为 c , 若 a, b 2 个结构面关于平面 c 对称, 则 $\delta = 90^\circ$, 式 (12) 可化简

$$K = \frac{2[(W_0 + G)d + P_h h]\tan\varphi + Cl(h^2 + d^2)}{2[(W_0 + G)h - P_h d]\sin\frac{\theta}{2}} \quad (13)$$

2.3 影响“楔形体”稳定的因素分析

由式 (13) 可知, 通过赋值, 可得“楔形”滑动体稳定系数与各影响因素的关系, 如图 4。

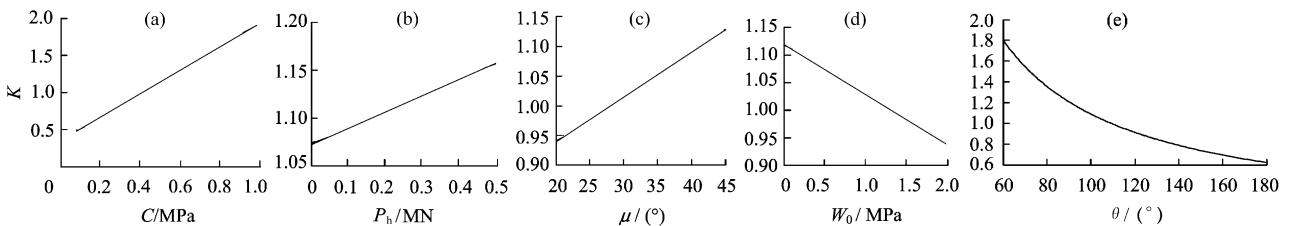


图 4 K 与各影响因素间的关系

Fig.4 Relation between K and its affecting factors

由图 4 分析可知: 增大 C , P_h , 减小 W_0 , θ , 对提高楔形滑动体稳定性有利。

3 “三软”大采高综采面煤壁稳定性控制

“三软”大采高综采面煤壁稳定性控制实质是提高“楔形”滑动体稳定性, 根据上述分析, 对于 7₂19 面的具体措施有:

1) 增大 C 值, 提高煤壁抗剪切能力。在构造区、煤岩体破碎带, 通过注马丽散 N , 提高煤体的内聚力和内摩擦角, 增加煤壁的整体稳定性和抗剪切破坏能力。

2) 增加 P_h 值, 用好支架护帮板。支架选型时, 应尽量选用护帮长度大、能力强的二级或三级护帮板支架, 采煤机割煤后, 及时移架, 使护帮板水平力能及时作用于煤壁, 控制煤壁“楔形体”滑动。

3) 控制端面冒顶, 减小 W_0 。工作面“煤壁-顶板-底板”是一个有机系统^[4], 在“三软”大采高综采条件下, 片帮冒顶的联动性强, 控制冒顶, 可减少“楔形”滑动体受其上方顶板的压力, 提高煤壁稳定性。

4) 提高支架初撑力, 适当提高工作面推进速度, 减小 θ 角, 它的物理意义表现为在一定片帮深度及高度条件下, 煤壁连续片帮长度。支架选型时尽量选择大初撑力的支架, 割煤移架后, 升架操作要保证足够的初撑力, 不仅可控制端面冒顶, 且可降低超前支承压力峰值, 使支承压力峰值远离煤壁, 减轻煤壁压力, 提高工作面推进速度, 可减少煤壁暴露时间, 减少超前支承压力的影响范围、减少支承压力对煤体的作用时间, 降低煤壁损伤程度, 从而可减小煤壁片帮程度。

许疃煤矿 7₂19 面, 通过采取上述措施, 有效控制了大采高综采面煤壁片帮现象, 实现了“三软”煤层大采高综采面的安全高效生产。

4 结 论

1) “三软”大采高综采面煤壁片帮主要表现为煤壁上半部片落的“楔形体”下滑形式, 控制采场煤壁“楔形”滑动体稳定性是提高煤壁稳定性的关键。

2) 采场煤壁“楔形”滑动体稳定系数与煤体内聚力、内摩擦角以及护帮板对煤壁的水平力呈正比关系, 与“楔形”滑动体自重及顶板压力呈反比关系。

3) 通过提高支架初撑力、控制端面冒顶、煤壁注马丽散、用好护帮板以及适当提高工作面推进速度等技术措施, 许疃煤矿 7₂19 面煤壁片帮得到了有效控制, 实现了“三软”煤层大采高综采面的安全高效开采。

参考文献:

- [1] TU Shi-hao, YUAN Yong, YANG Zhen, et al. Research situation and prospect of fully mechanized mining technology in thick coal seams in China[J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1): 35-40.
- [2] 王学军, 钱学森, 马立强, 等. 厚煤层大采高全厚开采工艺研究与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(2): 212-216.
WANG Xue-jun, QIAN Xue-sen, MA Li-qiang, et al. Research on large mining height technique for thick coal seams[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(2): 212-216.
- [3] 王国法. 煤矿高效开采工作面成套装备技术创新与发展[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 63-68.
WANG Guo-fa. Innovation and development of completed set equipment and technology for high efficient coal mining face in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 63-68.
- [4] 袁永, 屠世浩, 王瑛, 等. 大采高综采技术的关键问题与对策探讨[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 4-8.
YUAN Yong, TU Shi-hao, WANG Ying, et al. Discussion on key problems and countermeasures of fully mechanized mining technology with high mining height[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 4-8.
- [5] 尹希文, 闫少宏, 安宇. 大采高综采面煤壁片帮特征分析与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(2): 222-225.
YI Xi-wen, YAN Shao-hong, AN Yu. Characters of the rib spalling in fully mechanized caving face with great mining height[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(2): 222-225.
- [6] 何富连, 钱鸣高, 刘长友. 高产高效工作面支架围岩保障系统[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1997.
- [7] 弓培林. 大采高采场围岩控制理论及应用研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [8] 华心祝, 谢广祥. 大采高综采工作面煤壁片帮机理及控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(9): 1-3.

- HUA Xin-zhu, XIE Guang-xiang. Coal wall spalling mechanism and control technology of fully mechanized high cutting longwall coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(9): 1-3.
- [9] 宁宇. 大采高综采煤壁片帮冒顶机理与控制技术[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 50-52.
- NING Yu. Mechanism and control technique of the rib spalling in fully mechanized mining face with great mining height[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(1): 50-52.
- [10] 刘长友, 黄炳香, 常兴民, 等. 极软厚煤层大采高台阶式综采端面煤岩稳定性控制研究[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(6): 734-739.
- LIU Chang-you, HUANG Bing-xiang, CHANG Xing-ming, et al. Study on tip to face coal and rock stability control of fully mechanized stepped large cutting height mining in extremely soft thick seam[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(6): 734-739.
- [11] 王家臣. 极软厚煤层煤壁片帮与防治机理[J]. 煤炭学报, 2007, 32(8): 785-788.
- WANG Jia-chen. Mechanism of the rib spalling and the controlling in the very soft coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(8): 785-788.
- [12] 方新秋, 何杰, 李海潮. 软煤综放面煤壁片帮机理及防治研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(5): 640-644.
- FANG Xin-qiu, HE Jie, LI Hai-chao. A study of the rib fall mechanism in soft coal and its control at a fully mechanized top coal caving face[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(5): 640-644.
- [13] YUAN Yong, TU Shi-hao, WU Qi, et al. Mechanics of rib spalling of high coal walls under fully mechanized mining[J]. Mining Science and Technology, 2011, 21(1): 129-133.
- [14] 高全, 伊小娟, 赵晓彦. 楔形体及其稳定性分析与讨论[J]. 路基工程, 2008, 12(1): 115-116.
- GAO Quan, YI Xiao-juan, ZHAO Xiao-yan. Discussion and analysis of wedge sliding and its stability[J]. Subgrade Engineering, 2008, 12(1): 115-116.
- [15] 王思敬, 薛守义. 岩体边坡楔形体动力学分析[J]. 地质科学, 1992, 27(1): 177-182.
- WANG Si-jing, XUE Shou-yi. Dynamic analysis of wedge sliding on rock slopes[J]. Scientia Geologica Sinica, 1992, 27(1): 177-182.

本刊重要启示

《采矿与安全工程学报》创办以来, 办刊质量不断提高, 刊物的学术水平不断攀升, 为我国煤炭工业矿压理论与工程技术的发展和煤炭工业生产安全状况的改善做出了重要贡献, 在煤炭科技领域产生了广泛影响, 为了刊登更多优秀的文章, 扩大刊物的学术影响力, 缩短文章发表周期, 经江苏省新闻出版局批准, 并报国家新闻出版总署备案, 《采矿与安全工程学报》从 2012 年开始, 刊期变更为双月刊, 单月出版。

另, 编辑部引进“期刊稿件处理平台软件”, 2012 年已开通网上在线投稿审稿系统, 网址: <http://ckxb.cumt.edu.cn>, 敬请广大作者、审稿人关注。