

文章编号: 0253-9993(2012)11-1777-06

特厚煤层大采高综放开采机采高度的确定与影响

王国法, 庞义辉, 刘俊峰

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013)

摘 要: 为了确定大采高综放开采合理的机采高度, 基于理论分析与数值模拟计算方法, 研究了不同机采高度对支架工作阻力、顶煤冒放规律、煤壁稳定性的影响。研究表明: 大采高综放开采机采高度的确定应充分考虑采放比、煤壁稳定性、矿压显现、顶煤采出率及设备投资等。支架所需支护强度、顶煤采出率、煤壁片帮程度与机采高度成正相关性, 但并不是简单的线性关系。由于受顶煤赋存条件及采出率等因素影响, 相同采高大采高综放开采煤壁片帮几率要高于大采高综采。大采高综放开采是煤炭开采技术的新突破, 是实现特厚煤层安全高效开采的有效途径。

关键词: 大采高综放; 机采高度; 顶煤运移规律; 采出率; 煤壁片帮

中图分类号: TD823.97 文献标志码: A

Determination and influence of cutting height of coal by top coal caving method with great mining height in extra thick coal seam

WANG Guo-fa, PANG Yi-hui, LIU Jun-feng

(Coal Mining and Design Department Tiandi Science & Technology Co., Ltd. Beijing 100013, China)

Abstract: In order to determine the cutting height of coal on top caving with great mining height, the influence of different cutting height on the support working resistance, the top-coal caving rules and the coal wall stability were studied based on theoretical analysis and numerical simulation method. The results show that the ratio of mining height to caving height, coal wall stability, mine pressure appeared, top coal recovery rate and equipment investment should be fully considered to determine the cutting height. The support requires strength, top coal recovery rate, coal wall spalling positively correlate with the cutting height, which is not a linear relation. Due to the influence of top coal geological conditions and recovery rate, the rate of coal wall spalling in top coal caving with great mining height is larger than large mining height fully-mechanized in the condition of the same cutting height. The top coal caving with great mining height is a breakthrough and is a new effective way to achieve safe and efficient mining in extra thick coal seam.

Key words: top coal caving with great mining height; cutting height; top coal migration rule; rate of recovery; coal wall spalling

我国神东、陕北、黄陇、宁东、新疆等大型煤炭基地赋存有大量 10~20 m 及以上特厚煤层, 该类煤层具有赋存厚度不稳定、硬度较大、自然发火期短等显著特点。由于受采放比、顶煤冒放性等因素的制约, 一般综放开采煤层总厚度不大于 14 m; 受采煤机采高、煤壁片帮等因素制约, 综采一次采全高开采目前最大采高为 7.0 m; 分层开采则受煤层厚度变化、自

然发火、吨煤成本、工效等诸多因素的制约, 传统的厚煤层开采技术应用于该类煤层具有一定的局限性^[1-5]。

机采高度大于 3.5 m 的放顶煤工作面定义为大采高综放工作面^[6]。大采高综放开采技术是集大采高综采技术与综采放顶煤开采技术的优点于一体, 应用大功率大采高电牵引采煤机、大工作阻力高可靠性

强力高效放顶煤液压支架、大槽宽大运量高强度前后部刮板输送机成套装备,工作面生产能力可实现年产 10 Mt 以上。

大采高综放工作面机采高度的加大可以提高顶煤的允许放出厚度,增大综放一次采全厚开采适应的煤层厚度范围,但对支架支护强度、设备稳定性、顶煤采出率、煤壁片帮冒顶等提出更高要求^[7-9]。本文通过理论分析与数值模拟相结合的方法,以同煤塔山煤矿大采高综放开采实践为基础,研究了大采高综放工作面机采高度与支架支护强度、顶煤采出率、煤壁片帮的关系,为大采高综放开采合理机采高度的确定提供理论依据。

1 特厚煤层综放开采合理机采高度的确定

厚及特厚煤层采用综放开采技术,不仅缓和了矿井采掘接替矛盾,降低了吨煤成本,而且有利于矿井实现集中控制,实现减面、减人、提高工效的目的。特厚煤层大采高综放开采由于机采高度的增加,可实现采放相对平衡、增大通风断面、降低通风阻力、提高顶煤破碎效果、增大后部放煤空间、提高资源采出率,但机采高度过大也会导致工作面矿山压力显现加剧、煤壁片帮冒顶严重、工作面端头及超前支护困难等,影响矿井安全高效生产。因此,大采高综放开采合理机采高度的确定应充分考虑以下几方面内容:

(1) 应满足采放比小于 1:3 的规定。《煤矿安全规程》第六十八条规定:采放比大于 1:3 的煤层,严禁采用放顶煤开采。虽然业内对这一规定存在广泛质疑,普遍认为该规定没有充分的科学依据,但目前还必须严格遵守这一规定。

(2) 工作面煤壁稳定性应满足安全高效生产要求。随着工作面机采高度增大,煤壁稳定性降低,煤壁片帮加剧,并易于引发端面冒顶,导致顶板条件恶化,威胁工作面安全生产。

(3) 工作面矿山压力显现加剧。机采高度的加大提高了顶煤的允许放出厚度,扩大了综放开采的适用范围,机采高度、顶煤厚度及开采煤层总厚度的增大都将直接导致矿山压力加剧,对支架支护强度、端头及超前支护提出了更高的要求。

(4) 满足煤炭采出率的要求。在煤层厚度确定的情况下,加大机采高度有利于提高煤炭采出率,但机采高度增大,提高了顶煤的允许放出厚度,对于含夹矸层且煤质较硬的特厚煤层,其机采高度的确定还应充分考虑顶煤采出率的影响。

(5) 综采设备投资加大。工作面机采高度的增大对采煤机、液压支架、刮板输送机等设备的技术参

数、材质、稳定性及制造水平提出了更高的要求,直接导致建井初期设备投资的增大。

根据我国目前综放开采技术与装备发展水平,充分考虑我国特厚煤层赋存状况,大采高综放开采最大机采高度应控制在 5.3 m 以内,液压支架最大高度应大于最大机采高度 0.2 ~ 0.3 m,支架最大高度应不大于 5.5 m。

2 机采高度对液压支架工作阻力的影响

机采高度对支架工作阻力的影响主要考虑 2 个方面:① 增大机采高度提高了顶煤的允许放出厚度,即煤层一次采出总厚度增大对支架工作阻力的影响;② 煤层厚度一定时,不同机采高度对支架工作阻力的影响。

文献[10]对综放开采煤层一次采出总厚度与支架工作阻力的关系做了详细的论证,得出了支架支护强度与煤层厚度成正相关关系,煤层采出厚度越大,要求支架支护强度越大。

为了得到煤层厚度一定时,不同采高对支架工作阻力的影响,模拟了煤层厚度为 20 m 时,机采高度为 3.5、4.5、5.5 m 的开挖过程,如图 1、2 所示,得到了支架支护强度为 0.6、0.8、1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、1.6 MPa 时顶板下沉量关系曲线,如图 3 所示。

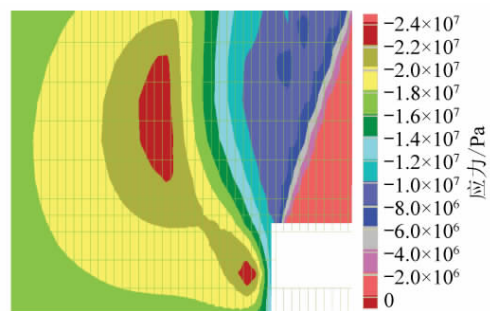


图 1 垂直应力分布情况

Fig. 1 Vertical stress distribution

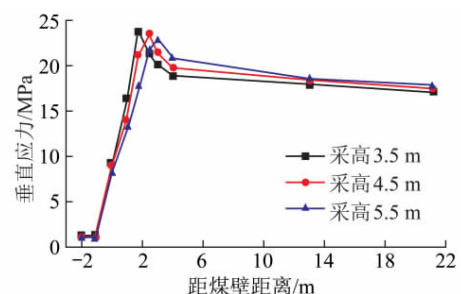


图 2 超前支承应力分布曲线

Fig. 2 Curves of advanced bearing stress

通过对模拟结果进行分析发现:在煤壁及顶煤前方分别形成了应力集中区,顶煤前方的应力峰值点距

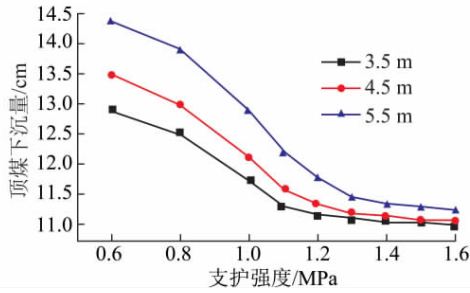


图 3 支护强度与顶煤下沉量曲线

Fig. 3 Curves of support strength and subsidence top-coal

煤壁更远(约 7.5 m), 应力集中区域更大, 机采高度由 3.5 m 增大到 5.5 m 时, 煤壁前方超前支承应力峰值与煤壁的水平距离由 1.75 m 增大到 3.00 m, 超前支承应力峰值的影响范围增大, 但应力集中系数略有下降, 这说明煤壁的破坏深度增大, 煤壁的稳定性降低。

由图 3 可知, 随着机采高度的增大, 顶煤的下沉量也增大, 这主要是由于顶煤厚度减少, 在上部顶板岩层下沉量一定的情况下, 顶煤中节理裂隙闭合的压缩总量降低, 导致顶煤下沉量增大, 降低了顶煤对上

部岩层冲击能量的吸收能力, 加剧了矿山压力显现程度。

工作面机采高度分别为 3.5、4.5、5.5 m 时, 所需支架支护强度分别为 1.1 ~ 1.2、1.2 ~ 1.3、1.4 ~ 1.5 MPa, 即在煤层厚度一定时, 支架所需支护强度随机采高度的增大而增大。

3 机采高度对顶煤运移规律及采出率的影响

综放开采是利用工作面前方采动支承压力的作用将煤体压碎并放出。顶煤的冒放性是指在特定地质采矿条件下, 顶煤在前方支承压力作用下冒落放出难易程度的特征度量, 即顶煤可冒性和可放性的总和^[11-13]。

为了研究特厚煤层大采高综放开采机采高度对顶煤运移规律及采出率的影响, 运用 PFC^{2D}3.10 离散元程序进行了模拟分析。模型宽 80 m, 煤层总厚度为 20 m, 底部边界按不同割煤高度时对应的支架掩护梁角度及放煤口高度确定, 放煤步距为 0.8 m, 模拟分析机采高度为 3.5、4.0、4.5、5.0 m 时顶煤运移及煤炭采出率情况(图 4)。

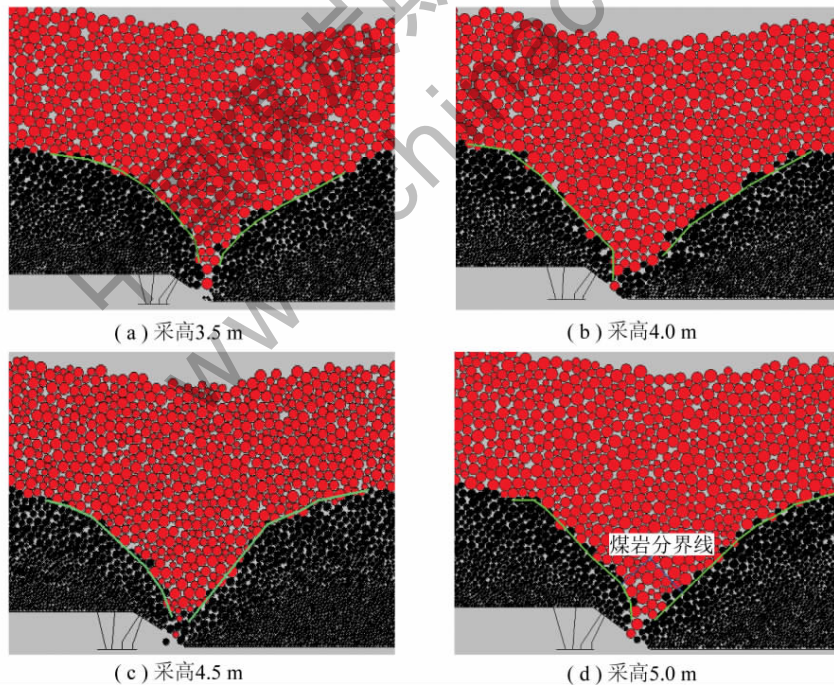


图 4 不同采高初次放煤后情况

Fig. 4 Coal recovery after first caving at different cutting heights

通过对模拟结果进行分析发现:

(1) 工作面初始放煤漏斗总体呈对称状, 由于支架的存在, 放出漏斗稍向采空区方向偏斜, 支架尾梁对放出漏斗下部有影响, 前、后煤岩分界线类似于二次曲线;

(2) 由于岩石密度大于煤体密度, 在正常放煤循环过程中, 岩石呈现横向运动, 从煤体下方涌入放煤口, 其运动趋势多与支架掩护梁垂直;

(3) 放煤口高度及掩护梁与顶梁角度的不同直接影响煤体的顺利放出, 支架高度为 4.5、5.0 m 时,

放煤口较大,放煤很顺利,在放煤过程中很少出现煤块堵塞放煤口的现象。支架高度为 3.5 m 时,由于放煤口高度较低,且掩护梁与顶梁夹角较小,出现了堵塞放煤口的现象。如图 5 所示,这时需要摆动支架尾梁,破坏平衡拱的拱角,如果平衡拱的拱角落在支架的掩护梁上,则平衡拱很难破坏,导致顶煤采出率降低。

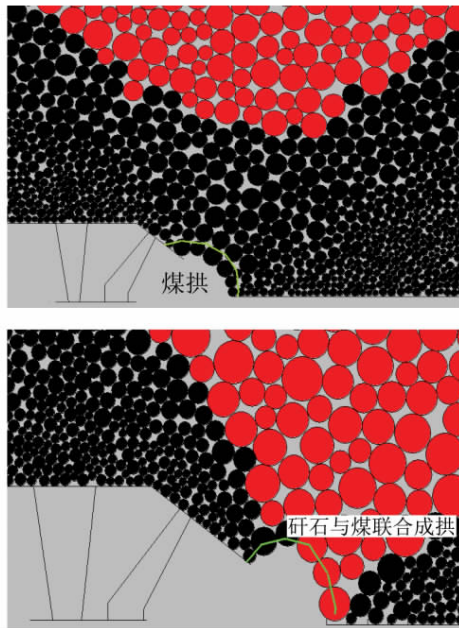


图 5 放煤口成拱现象

Fig. 5 Phenomenon of caving into the arch

大采高综放开采机采高度的增大降低了顶煤厚度,后部放煤空间的增大提高了顶煤的允许放出块度。机采高度分别为 3.5、4.0、4.5、5.0 m 的顶煤采出率统计结果如图 6 所示。

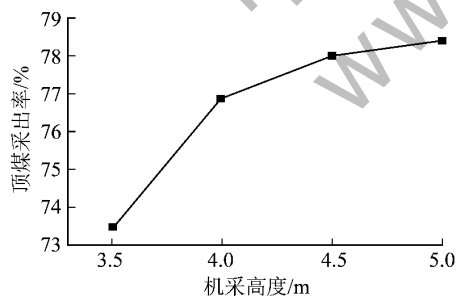


图 6 不同机采高度顶煤采出率

Fig. 6 Top coal recovery rate in different cutting heights

通过对统计结果进行分析可知,煤层厚度为 20 m 时顶煤采出率随机采高度的增加而增大,但并不是简单的线性关系,机采高度由 4.5 m 增大到 5.0 m 时,其采出率增幅并不是很明显,但采高由 3.5 m 增大到 4.0 m 时,采出率增幅较大。

4 机采高度对煤壁片帮的影响分析

目前,国内对大采高一次采全厚开采煤壁片帮问

题研究较多,普遍认为大采高煤壁片帮主要受采高、煤层赋存条件、矿山压力、支架结构与工作阻力、工作面推进速度等因素制约,而对大采高综放开采煤壁片帮问题研究很少,煤壁片帮机理仍不是十分明确。

为了研究大采高综放开采与大采高综采煤壁片帮之间的差异,运用 FLAC 数值计算软件进行了 2 种开采过程的模拟,其塑性破坏区情况如图 7 所示。

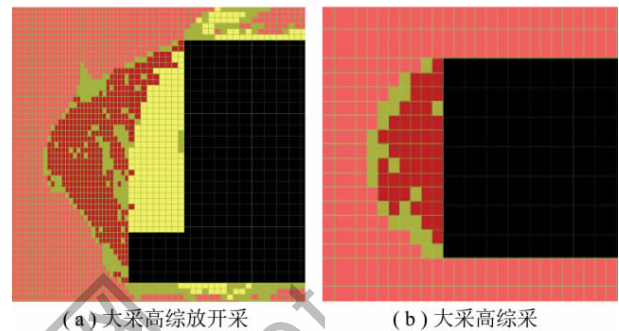


图 7 大采高综放与综采煤体塑性区对比

Fig. 7 Plastic zone contrast of top coal caving with great mining height and large mining height fully-mechanized

通过对模拟结果进行分析可知,大采高综放开采与大采高综采煤壁前方塑性破坏区的形状总体相似,但由于煤层总厚度不同,其煤壁前方的塑性破坏区范围相差很大,大采高综放开采煤壁前方塑性破坏区深度明显大于大采高综采,且受上部顶煤破坏深度的影响,导致相同采高大采高综放开采煤壁片帮几率要高于大采高综采。

综放开采顶煤的冒落过程可视为顶煤在矿山压力作用下的“片帮”过程,顶煤“片帮”的程度越大越好,“片帮”后的块度越小越好,即顶煤的放出率越高越好,但顶煤放出率越高,采空区冒落的矸石对顶煤壁的水平作用力越小,越容易导致顶煤壁“片帮”,并变相提高了机采高度,导致工作面煤壁片帮严重,即综放工作面煤壁片帮不仅受自身机采高度的影响,还会受到上部顶煤厚度、硬度及冒落放出程度的影响。

目前,控制煤壁片帮的方法^[11-13]主要有:①提高支架初撑力;②带压擦顶移架;③工作面快速推进;④采用合理的支架护帮机构等。多年的开采实践表明:合理支架护帮机构及参数是抑制煤壁片帮的最有效方法。

为了研究液压支架护帮板的合理护帮高度,通过 FLAC^{3D} 数值模拟软件进行了煤层厚度为 20 m 条件下,采高分别为 3.5、4.5、5.0、5.5 m 时的综放开采过程,不同采高煤壁水平位移量曲线如图 8 所示。

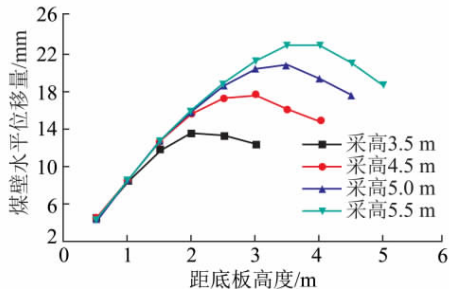


图 8 不同采高煤壁水平位移量曲线

Fig. 8 Horizontal displacement curves of different cutting height

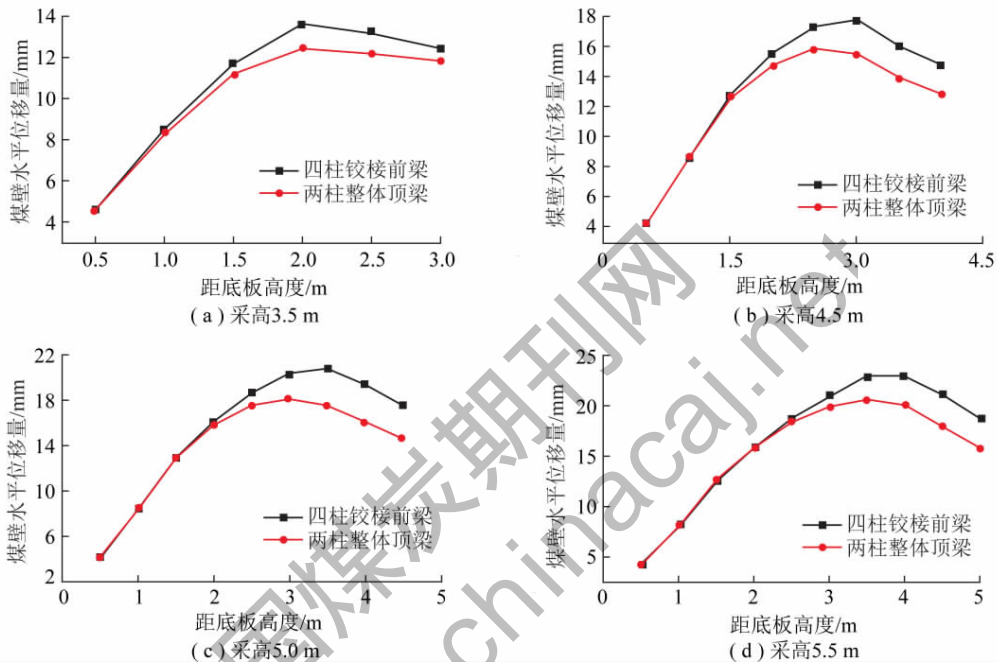


图 9 煤壁水平位移量对比曲线

Fig. 9 Contrast curves of rib horizontal displacement

壁上部水平位移量明显小于铰接前梁结构, 即该结构更有利于抑制煤壁片帮。由于四柱支撑掩护式支架采用整体顶梁极易出现拔后柱情况, 支架受力状态差, 两柱放顶煤支架不仅很好的解决了拔后柱问题, 而且支护效率高。目前, 两柱大采高综放支架在东滩煤矿、平朔安家岭煤矿、神华保德煤矿、澳大利亚澳斯达煤矿等成功应用, 并取得了高产高效, 该架型将成为我国未来大采高综放液压支架的主要发展架型。

5 塔山煤矿特厚煤层大采高综放开采实践

塔山煤矿 8105 工作面为大采高综放工作面, 也是国家“十一五”科技支撑项目的试验工作面, 煤层厚度 9.42 ~ 19.44 m, 倾角 1° ~ 3°, 普氏系数 $f=2.7 \sim 3.7$, 走向长度 2 965.9 m, 倾斜长度 207 m, 工作面最大机采高度为 5.0 m。基本顶为深灰色粉砂岩、灰、灰白色细砂岩与含砾粗砂岩, 直接顶为黄白、灰白、灰绿色岩浆岩、灰黑色炭质泥岩、深灰色泥岩, 直接底为

通过对模拟结果进行分析发现, 煤壁水平位移量最大点距顶板高度为 1.5 ~ 2.0 m, 支架护帮板的护帮高度应大于 2.0 m。

目前, 我国放顶煤支架多为四柱支撑掩护式支架, 顶梁为带铰接前梁结构, 支架支顶力小, 一次采全高支架多为掩护式支架, 整体顶梁结构, 该结构支架支顶力大, 图 9 为采高 3.5 4.5 5.0 5.5 m 时 2 种结构煤壁水平位移量曲线。

通过对模拟结果进行分析可知, 整体顶梁结构煤

灰褐色、浅灰色高岭质泥岩, 工作面设计年产 10 Mt, 工作面配套设备见表 1。

表 1 配套设备情况

Table 1 Corollary equipment condition

序号	名称	型号	数量
1	采煤机	MG750/1915-GWD	1
2	中间支架	ZF15000/28/52	113
3	过渡支架	ZFG/15000/28.5/45H	7
4	端头支架	ZTZ20000/30/42	1
5	前刮板输送机	SGZ1000/1710	1
6	后刮板输送机	SGZ1200/2000	1
7	转载机	PF6/1542	1
8	破碎机	SK1118	1

经塔山煤矿 8105 工作面生产实践检验, 增大机采高度可以有效提高工作面采出率, 但采高大于 4.5 m 后, 煤壁片帮、冒顶较严重, 工作面矿山压力加

剧,管理较困难,现有支架支护强度 1.45 MPa,能够满足工作面支护要求。塔山煤矿采用大采高综放开采取得了很好的技术经济效益,对提高我国大采高综放开采技术水平起到了关键的促进作用。

6 结 论

(1) 大采高综放开采机采高度的确定应充分考虑采放比、煤壁稳定性、矿山压力显现、顶煤采出率及初期设备投资等因素的影响,结合矿井的实际情况进行设备选型配套。

(2) 液压支架所需支护强度不仅跟煤层一次采出总厚度成正相关性,在煤层厚度一定的情况下,支架支护强度亦随机采高度的增大而增大。

(3) 大采高综放开采支架后部矸石呈现横向运动,运动趋势多与支架掩护梁垂直,顶煤采出率随着机采高度的增大而提高,但不是简单的线性关系。

(4) 大采高综放开采煤壁前方塑性破坏区明显大于大采高综采,其煤壁稳定性不仅与煤层赋存条件、矿山压力、工作面推进速度等有关,还受上部顶煤厚度、硬度及冒落放出程度的影响,相同机采高度情况下,大采高综放开采煤壁更易发生片帮。

(5) 支架整体顶梁较带铰接前梁机构支顶力大,更有利于抑制煤壁片帮,两柱整体顶梁综放支架较四柱铰接前梁支架具有支护效率高、受力状态好、便于采用电液控制等优点,是大采高综放开采的主要发展架型。

参考文献:

- [1] 王金华. 我国大采高综采技术与装备的现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术 2006, 34(1): 4-7.
Wang Jinhua. Present status and development tendency of fully mechanized coal mining technology and equipment with high cutting height in China[J]. Coal Science and Technology 2006, 34(1): 4-7.
- [2] 王家臣. 我国综放开采技术及其深层次发展问题的探讨[J]. 煤炭科学技术 2005, 33(1): 14-17.
Wang Jiachen. Fully mechanized longwall top coal caving technology in China and discussion on issues of further development[J]. Coal Science and Technology 2005, 33(1): 14-17.
- [3] 王国法. 放顶煤液压支架与综采放顶煤技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社 2010.
- [4] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力及其顶板控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社 2003.
- [5] 毛德兵, 姚建国. 大采高综放开采适应性研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1837-1841.
Mao Debing, Yao Jianguo. Adaptability of long wall top coal caving with high cutting height[J]. Journal of China Coal Society 2010, 35(11): 1837-1841.
- [6] 闫少宏, 尹希文. 大采高综放开采几个理论问题的研究[J]. 煤炭学报 2008, 33(5): 481-484.
Yan Shaohong, Yin Xiwen. Discussing about the main theoretical problem of long wall with top coal caving[J]. Journal of China Coal Society 2008, 33(5): 481-484.
- [7] 刘涛. 综放工作面割煤高度对瓦斯涌出的影响[J]. 煤炭学报 2011, 36(7): 1161-1164.
Liu Tao. Rules of mining height's influence on methane gushing and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(7): 1161-1164.
- [8] 夏永学, 康立军, 齐庆新. 割煤高度对大采高综放工作面煤壁稳定性影响[J]. 煤炭科学技术 2008, 36(12): 1-3.
Xia Yongxue, Kang Lijun, Qi Qingxin. Coal cutting height affected to stability of coal wall in fully mechanized top coal caving mining face with high coal cutting height[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(12): 1-3.
- [9] 闫少宏. 特厚煤层大采高综放开采支架外载的理论研究[J]. 煤炭学报 2009, 34(5): 590-593.
Yan Shaohong. Theory study on the load on support of long wall with top coal caving with great mining height in extra thick coal seam[J]. Journal of China Coal Society 2009, 34(5): 590-593.
- [10] 毛德兵. 综放支架支护强度与煤层采出厚度关系的研究[J]. 煤炭科学技术 2009, 37(1): 45-48.
Mao Debing. Study on relative relationship between support strength of hydraulic powered caving support and thickness mined in seam[J]. Coal Science and Technology 2009, 37(1): 45-48.
- [11] 张日晨. 神东矿区保德煤矿综放开采可行性研究[J]. 煤炭学报 2008, 33(5): 489-491.
Zhang Richen. Feasibility study of long wall with top coal caving in Baode coalmine in Shendong mining area[J]. Journal of China Coal Society 2008, 33(5): 489-491.
- [12] 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.
- [13] 张银亮, 刘俊峰, 庞义辉, 等. 液压支架护帮机构防片帮效果分析[J]. 煤炭学报 2010, 36(4): 691-695.
Zhang Yinliang, Liu Junfeng, Pang Yihui, et al. Effect analysis of prevention rib spalling system in hydraulic support[J]. Journal of China Coal Society 2010, 36(4): 691-695.