文章编号:1672-5050(2019)02-0041-04 DOI:10.3969/j.issn.1672-5050.2019.02.010

综放顺槽采空区悬顶分析及控制技术

郭子程
(潞安集团高河能源公司,山西 长治 047100)

摘 要:为了解决综放工作面顺槽采空区大范围悬顶问题,采用理论分析和现场实测的方法,对其中的机理进行研究,并通过退锚技术实现了悬顶及时垮落。理论研究发现综放工作面回采后顶板成"O-X"型破断特征,其中关键块参数影响顺槽顶板垮落位置,通过现场实测确定了关键块参数,同时采用退锚技术使顺槽顶板紧跟工作面顶板垮落,现场实测发现顶板垮落步距减小,支架的工作阻力减少,来压次数增多,表明对悬顶控制较好,从而提高了综放工作面的安全性。

关键词:综放;悬顶;退锚
中图分类号:TD355 **文献标识码**:A

Analysis and Control Technology of Suspended Roof in Gob Area of Fully-mechanized Mining Face

GUO Zicheng
(*Gaohe Energy Co., Ltd., Lu'an Group, Changzhi* 047100, *China*)

Abstract: In order to solve the large-scale suspended roof of gob area in the fully mechanized mining face, we use theoretical analysis and field measurement to study its mechanism and realize the timely collapse of the suspended roof by the anchor withdrawing technology. In theory, the roof is characteristic of O-X breaking after the fully mechanized caving. Because of its influence on the roof collapsing position, key block parameters are determined by field measurements. Meanwhile, by the anchor withdrawing technology, the roof of the working face falls, followed by the roof of groove. Field measurements show the reduced caving intervals, decreased working resistance of supports, and increased weighting frequency, which indicates good control of the suspended roof and improved the safety of the fully mechanized caving face.

Key words: fully-mechanized mining face; suspended roof; anchor withdrawing

综采放顶煤是一种高效开采厚煤层的方法,通过开采下部煤层,放出上部煤体,实现厚煤层的一次开采。由于开采空间大,造成工作面的垮落带和裂隙带较普通综采工作面较高,顶板回转较大,存在动-静载荷加载,对煤岩体的损伤较大,如支护不合理则容易导致工作面、巷道冒顶事故的发生。

宋选民[1]对不同地质条件下放顶煤的来压规律和支架选型进行了研究;弓培林[2]对顶煤的冒放性进行了研究和处理;高清启[3]对孤岛放顶煤工作面冒顶的机理进行了研究,发现冒顶的主要原因是相邻工作面的开采过程中,老顶的断裂对相邻侧煤体的直接顶进行了压酥、破坏,直接导致支架前方未接顶处出现了超前冒落;方新秋[4]对综放工作面端头三角煤的稳定性进行了理论和数值模拟分析,发现煤柱的宽度和围岩的强度对其起关键作用,针对该情况,可以适当的增加煤柱的宽度,由现在的 12 m 增加到 20 m,强度提升较大;李迎富[5]对工作面端头三角煤的关键块进行了理论分析,提出了挤压变

* 收稿日期:2018-04-17
作者简介:郭子程(1989-),男,山西长治人,大学本科,助理工程师,从事煤矿开采技术方面的研究工作。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形和滑落失稳的判据，认为当煤柱宽度较小，缺少足够的承载能力时需要采用巷旁支护。可见，研究放顶煤的顶板破断规律对巷道的支护具有重要意义。

为了保证巷道在掘进和回采期间的稳定性，一般支护设计偏保守，支护强度较大，但经济上不合理，同时回采后顺槽悬顶较大，存在以下危害：

1)综采工作面回采过程中，因顺槽顶板不塌，容易导致机头尾三角区积聚瓦斯，造成瓦斯预警或者超限。

2)如顺槽顶板长时间不垮落，随着回采距离增加，两巷机头和机尾三角区会造成长距离空顶现象，如某一时间集中垮落，则可能造成瓦斯瞬间涌出的可能性，对工作面人员及设备造成冲击。

退锚技术指将锚杆托盘拆除、解除锚杆的锚固作用，使锚杆失效，回收托盘、杆体和螺母、钢带。韩朝军[6]对退锚的时机和位置进行了精准控制，在端头支架的支撑范围之内，同时在煤壁开采线之外，这样一方面所需的退锚力较小，另一方面有端头支架的支撑保证了安全。张庆云[7]针对放顶煤工作面和巷道中煤尘较大的问题，研发了带防尘设备的退锚机。李锦雄[8]认为采用后张拉法施工，锚固段在张拉后存在回弹现象，一方面导致锚杆的张拉强度损失，另一方面导致存在有效应力。褚晓威[9]针对煤矿井下锚索的锚具滑脱现象进行了分析，主要是机具出现不匹配的原因，例如锚索与夹片的强度有差距等。

本文依托余吾煤业公司 S1205 综放工作面，研究顶板的垮落特征，当出现顺槽采空区悬顶较大时，应采取何种措施应对处理。

1 矿井地质条件

工作面埋藏深度+350 m～+535 m，该煤层为3#煤层，赋存于二叠系山西组地层中下部，为陆相湖泊沉积，煤层厚度稳定，平均为 6.34 m。煤层底板 1.5 m，为炭质泥岩和部分矸石混合物。工作面围岩特征如表 1 所示。

表 1 S1205 工作面岩性综合柱状表

Table 1 Lithologic synthetic column table of S1205 working face

岩石名称	岩性描述	厚度/m
中粒砂岩	浅灰色，中厚层状，以石英为主含少量植物化石碎片，具斜裂隙	3.95～5.0
粉砂岩	深灰色，薄层状，含部分石英，具垂直裂隙	1.67～2.0
中粒砂岩	灰色，薄-中厚层状，以石英为主，含少量云母，分选差	5.0～6.25
粉砂岩	深灰色，团状，含少量部分石英，强度低	3.70～11.25
砂质泥岩	深灰色，团状，含鲕粒，细腻，产少量芦木化石	0.96～1.30
3#煤	煤层厚度为 6.34 m	6.05～6.34
砂质泥岩	深灰色，团状，含微量石英	0.50～0.70
细粒砂岩	深灰色，为层状分布，含部分石英	2.72～13.04
中粒砂岩	浅灰色，为倾斜层状分布，角度 25°，以石英为主	1.87～3.35
粉砂岩	深灰色，薄层状，与细粒砂岩成互层状，含少量云母，有黄铁矿结核	3.69～4.54

2 顶板破断分析

2.1 综放面覆岩结构形成

在综放工作面回采过程中，直接顶和顶煤随着回采直接冒落，基本顶随着回采距离的增加出现悬顶，在矿山压力的作用下会发生旋转、破断，形成“O－X”破裂结构，对产生的过程进行描述，工作面上覆岩层结构形成过程见图 1。

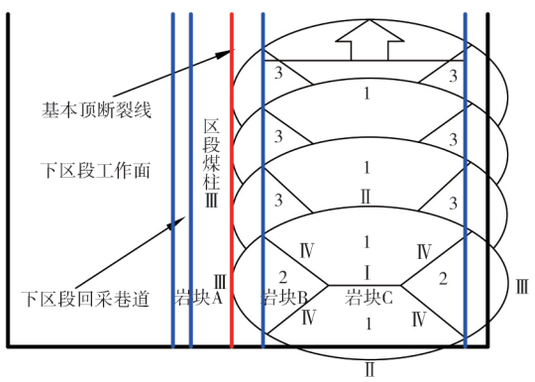

图 1 工作面上覆岩层结构形成过程

Fig. 1 Structure formation process of overburden strata of the working face

如图 1 所示，把坚硬的基本顶假设为板结构，当悬顶达到一定长度时，中部弯矩较大，容易产生断裂线Ⅰ，随着跨度的进一步增大，板结构的长轴成断裂线Ⅱ，随后短轴成断裂线Ⅲ，此时只是板的周围产生了断裂，与周围结构失去了相互铰接，加上下部已经采空，在上覆岩层的压力作用下板结构中心进行了破断，形成了分块断裂线Ⅳ，理论上形成了 2 块结构，即结构 1 和 2，这是工作面初次来压。随着采煤循环的不断进行，顶板会发生周期性的破断，导致上覆的结构破断一直在不断的重复产生，但由于块度比较小，如图中的块度 3 小于块度 2，这也是周期来压步距小于初次来压步距的原因。

在放顶煤工作面垂直剖面倾向方向，形成的结构如图 2 所示。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

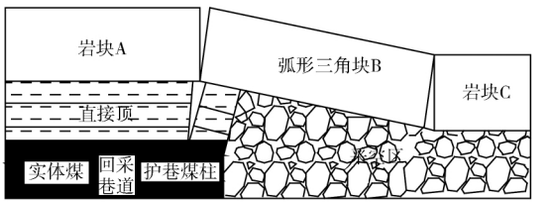

图 2　工作面覆岩铰接结构

Fig. 2　Hinge structure of overlying strata of the working face

C 段由于开挖后缺少支撑,会完全压实采空区。A 块会保持原来的位态,只是应力经过了重新的分布,B 块形成了“铰接”结构,其承载能力一端与 A 块有关,一端与 C 块有关,承载能力与 A、C 块对其水平挤压能力和接触面粗糙程度有关,巷道位置的选择需要重点考虑 B 块的位置和断裂线的位置。这种铰接结构就是相邻工作面基本顶岩层在本工作面煤体上方形成的破断结构。

2.2　关键块相关参数的确定

根据上文的分析,弧形三角块 B 对下方巷道的稳定性影响较大,因此确定其基本参数对煤柱的选择具有重要参考意义,B 块主要包括以下 4 个基本参数:基本顶的极限走向块度长度 L,基本顶倾向块度长度 l,基本顶岩梁的厚度 M_E 以及关键块在侧向煤体中的断裂位置 S_0。

2.2.1　L 的确定

根据上述的分析,长度 L 为基本顶发生破断的距离,即周期来压步距。根据余吾煤业 S1205 相邻工作面基本顶岩层的周期来压步距为 11 m,可以推断 S1205 工作面基本顶周期来压步距亦为 11 m 左右,即:

$$L = 11\ \text{m} \quad .$$

2.2.2　断裂跨度 l 的确定

l 是指基本顶在倾向方向发生破断的总长度,用于表示 B 块的基本长度,l 的长度可用下式进行计算:

$$l = \frac{2L}{17}\left[\sqrt{(10\frac{L}{s})^2 + 102} - 10\frac{L}{s}\right] \quad . \qquad (1)$$

式中:L 为工作面基本顶周期来压步距,11 m;s 为工作面超前距离 ,取 300 m。代入式(1)得到 l = 12.6 m。

2.2.3　基本顶岩层的厚度 M_E 的确定

关键块的厚度 M_E 即为基本顶岩层的厚度。根据地质钻孔和钻孔窥视,S1205 工作面基本顶的厚度为 6.5 m。

2.2.4　断裂位置

关键块 B 的断裂位置对其能否形成铰接结构并且保持一定的稳定性具有关键的作用,进而影响到煤体一侧和回采巷道的应力分布状态。

$$S_0 = \sqrt{\frac{2S_m M_E C_E \gamma_E}{k\gamma H}} \quad . \qquad (2)$$

式中:S_m 为工作面超前距离,300 m;M_E 为基本顶岩梁厚度,6.5 m;C_E 为基本顶岩梁周期来压步距,11 m;γ_E 为基本顶容重,0.026 MN/m^3;k 为应力集中系数;γ 为覆岩平均容重,0.025 MN/m^3;H 为煤层埋深,500 m。代入式(2),得 S_0 = 5.05 m。

3　退锚技术

3.1　退锚工艺

根据上文分析,顶板回采后的形态见图 3。

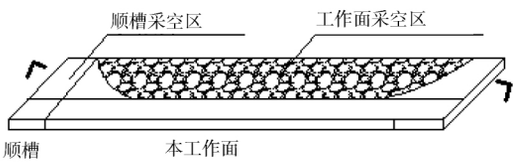

图 3　工作面悬顶结构图

Fig. 3　Suspended roof structure of the working face

顺槽采空区在关键块 B 下方,随着工作面的不断推进不会及时的垮落,因此使用退锚工艺,主要为:

1)将铁梯靠在煤墙上,由 2 名作业人员扶牢铁梯,作业人员站在铁梯上,并系好安全带进行作业,或搭设牢固可靠的作业平台。

2)退锚索时,将退锚机的高压管接到风动或电动涨拉泵上。

3)胶顺退锚索时,作业人员可站在转载机身上进行退锚。

4)人员站在铁梯上退锚时,由 2 名作业人员扶牢铁梯,1 名作业人员站在铁梯上将退锚机卡住锚索进行退锚,并系好安全带,另 1 名作业人员按照现场跟班对干的口令对涨拉泵缓缓送液,直至将锚索退下。

5)端头、端尾退锚后,严禁向采空区扔托盘、锁具等物品,采空区里不得有铁器出现。

6)锚索因变形等原因无法退掉时,用风镐将锚索托盘周围的煤炭破碎,将锚索托盘松动。

3.2　退锚效果

为了检测退锚的效果,采用现场观测退锚的情况以及监测退锚后顶板端头支架的压力。图 4 所示为 100# 端头支架的工作阻力,图 5 所示为 110# 端头支架作阻力,从 11 月 1 日开始,进行了退锚实验。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

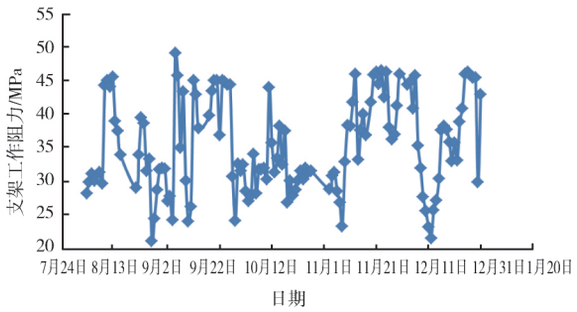

图 4 100# 支架工作阻力

Fig. 4 Working resistance of No. 100 support

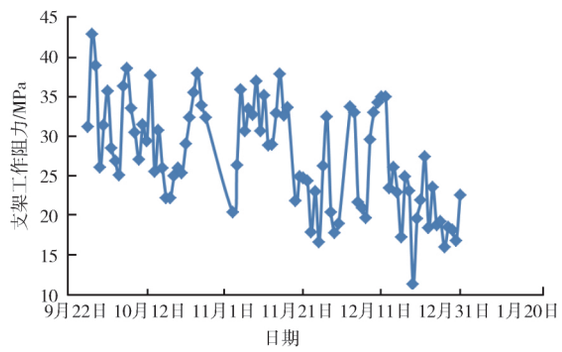

图 5 110# 支架工作阻力

Fig. 5 Working resistance of No. 110 support

从图 4、5 中可以看出：

1）经过退锚工序后，支架的最大工作阻力降低，如 100# 端头支架，最大工作阻力由 49.1 MPa 下降至 46.5 MPa。而 110# 端头支架，最大工作阻力由 43 MPa 下降至 35 MPa，说明了退锚有助于减少悬顶的长度，从而减少了支架的工作阻力。

2）经过退锚工序后，虽然顶板来压强度降低，但是顶板垮落步距减少，垮落次数增加，100# 端头支架来压次数和频率更为明显。

4 结论

1）基于地质条件和综采放顶煤理论，计算了覆岩顶板破断形成的“O－X”结构基本参数，从理论上分析了顺槽采空区悬顶的原因为关键块 B 的支撑结构。

2）关键块 B 的跨度为 12.6 m，断裂线位置距回采巷道为 5.05 m，因此顺槽采空区上方由于坚硬块的存在，不容易垮落。

3）通过退锚技术，端头支架最大工作阻力由 43 MPa下降至 35 MPa，说明了退锚有助于减少悬顶的长度，从而减少了支架的工作阻力。

参考文献：

[1] 宋选民，顾铁凤，闫志海. 浅埋煤层大采高工作面长度增加对矿压显现的影响规律研究[J]. 岩石力学与工程学报，2007(S2)：4007-4012.
SONG Xuanmin，GU Tiefeng，YAN Zhihai. Effect of Increasing Working Face Length on Underground Pressure Behaviors of Mining Super-high Face Under Shallow Coal Seam[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering，2007(S2)：4007-4012.

[2] 弓培林，靳钟铭. 放顶煤开采煤体裂隙演化规律实验研究[J]. 太原理工大学学报，1999，30(2)：119-123.
GONG Peilin，JIN Zhongming. Experimental Study on Crack Evolution Law of Caving Coal Mining[J]. Journal of Taiyuan University of Technology，1999，30(2)：119-123.

[3] 高清启，张景立. 孤岛放顶煤工作面初采冒顶事故原因分析[J]. 煤矿安全，2002，33(4)：45-46.
GAO Qingqi，ZHANG Jingli. Reasons for Initial Roof Fall Accident in Gudao Top Coal Caving Face [J]. Coal Mine Safety，2002，33(4)：45-46.

[4] 方新秋，许瑞强，赵俊杰. 采空侧综放工作面三角煤失稳机理及控制研究[J]. 中国矿业大学学报，2011，40(5)：678-683.
FANG Xinqiu，XU Ruiqiang，ZHAO Junjie. Research on Instability of the Triangular Coal Along Side the Goaf in a Fully Mechanized Top-coal Caving Work Face[J]. Journal of China University of Mining & Technology，2011，40(5)：678-683.

[5] 李迎富，华心祝. 二次沿空留巷关键块的稳定性及巷旁充填体宽度确定[J]. 采矿与安全工程学报，2012，29(6)：783－789.
LI Yingfu，HUA Xinzhu. The Stability of Key Block and Calculating the Width of Roadside Backfill in a Secondary Gob-side Entry Retaining [J]. Journal of China University of Mining & Technology，2012，29(6)：783-789.

[6] 韩朝军，梁建民，王建立，等. 煤顶巷道树脂卷锚固高强锚索退锚工艺试验研究[J]. 煤矿开采，1999(2)：34-35.
HAN ChaoJun，LIANG Jianmin，WANG Jianli，*et al*. Experimental Research on the Anchorage and High Strength Anchorage Cable Anchorage of Coal Roof Roadway[J]. Coal Mining，1999 (2)：34-35.

[7] 张庆云，王延明，陈永正，等. TMQ15-300/60 型退锚器的设计[J]. 煤矿机械，2006，27(12)：11-12.
ZHANG Qingyun，WANG Yanming，CHEN Yongzheng，*et al*. Design of TMQ15-300/60 Type Anchorage Device [J]. Coal Mine Machinery，2006，27(12)：11-12.

[8] 李锦雄，胡庆贺，李玉彬. 有效应力与退锚力在预应力施工中的影响[J]. 公路与汽运，2011(3)：148-151.
LI Jinxiong，HU Qinghe，LI Yubin. The Effect of Effective Stress and Anchoring Force on Prestress Construction[J]. Highway and Transportation，2011(3)：148-151.

[9] 褚晓威，鞠文君，吴拥政. 矿用小孔径预应力锚索单孔锚具滑脱机理研究[J]. 煤炭科学技术，2014，42(12)：16-19.
CHU Xiaowei，JU Wenjun，WU Yongzheng. Research on Slippage Mechanism of Single Anchoring Device in Mine Small Diameter Pre-stress Anchor [J]. Coal Science and Technology，2014，42(12)：16-19.

（编辑：樊 敏）

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net