

切顶卸压留小煤柱技术应用研究

苏文明

中煤华晋集团韩咀煤业有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i7.8984

[摘要] 针对厚煤层综放工作面留区段小煤柱沿空巷道控制难度大的问题，以韩咀煤业 32205 综放工作面为工程背景，采用 FLAC³D 数值模拟方法对切顶卸压高度及小煤柱宽度进行了系统研究，并开展了工程应用与效果评价。结果表明：切顶可有效减小煤柱塑性破坏程度，随切顶高度增加煤柱塑性破坏面积逐渐减小，但当切顶高度超过 20m 后减幅趋于平缓；煤柱宽度增加可有效降低塑性破坏占比，宽度达到 8m 时塑性区不再贯通，煤柱趋于稳定。现场应用表明，孔间距 1.5m 预裂效果良好，回采期间巷道围岩变形量均在可控范围内。研究成果可为类似厚煤层综放工作面切顶卸压留小煤柱提供借鉴。

[关键词] 切顶卸压；小煤柱；厚煤层；数值模拟；围岩控制

Research on the Application of the Top-Cutting Pressure Relief with Small Coal Pillar Technique

Su Wenming

Hanzhong Huajin Group Hanju Coal Industry Co., Ltd.

[Abstract] To address the challenge of controlling the small coal pillar along the roadway at a comprehensive mining face in thick coal seams, this study takes the 32205 comprehensive mining face of Hanju Coal Industry as the engineering case study. Using the FLAC³D numerical simulation method, this study conducts a systematic investigation into the top-cutting pressure relief height and the width of the small coal pillar, and further carries out engineering applications and an effectiveness evaluation. The results indicate that: top-cutting can effectively reduce the degree of plastic failure of the coal pillar; as the top-cutting height increases, the area of plastic failure within the coal pillar gradually decreases, but when the top-cutting height exceeds 20 m, the rate of reduction tends to level off; increasing the width of the coal pillar can effectively reduce the proportion of plastic failure; when the width reaches 8 m, the plastic zone no longer connects through, and the coal pillar becomes stable. Field application results demonstrate that the pre-splitting with a hole spacing of 1.5 m yields excellent results, and the deformation of the surrounding rock in the roadway during the mining process remains within controllable limits. These research findings can serve as a reference for similar projects involving top-cutting pressure relief with small coal pillars at comprehensive mining faces in thick coal seams.

[Key words] roof caving and pressure relief; small coal pillars; thick coal seams; numerical simulation; surrounding rock control

引言

厚煤层综放开采中，工作面之间传统留设宽区段煤柱导致大量煤炭资源滞留^[1-2]。近年来，留设 6~8m 小煤柱以提高资源

回收率的方法得到广泛关注^[3-5]，但厚煤层综放工作面小煤柱沿空巷道围岩控制难度大的问题亟待解决。

切顶卸压技术通过对采空区侧向顶板进行预裂爆破，切断上覆岩层与煤柱之间的应力传递路径，降低煤柱承受的采动应

力,从而改善小煤柱的受力状态^[6-8]。在切顶高度与煤柱宽度的参数确定方面,众多学者开展了大量研究^[9-12],但针对深部厚煤层、软弱复合顶板条件下的系统研究仍不充分。

韩咀煤业 32205 综放工作面主采 2#煤层,厚度大、直接顶软弱破碎,沿空留巷条件下小煤柱控制难度大。本文以该工作面为工程背景,采用 FLAC³D 数值模拟方法,研究不同切顶高度和煤柱宽度条件下煤柱塑性区的演化规律,确定最优参数,并通过现场实践验证其效果。

1 工程概况

韩咀煤业 32205 综放工作面位于二盘区北部,主采 2#煤层,煤层厚度 6.39~7.82m,平均 6.88m,属厚煤层范畴。煤层倾角 0°~13°,平均 8°,为近水平至缓倾斜煤层。工作面埋深约 480m,属深部开采范畴。直接顶为深灰色泥岩,厚度 1.83~3m,平均 2.43m,岩性软弱、节理裂隙发育、自稳能力差,属典型破碎顶板;老顶为 K8 中细砂岩,厚度 2.73~8.4m,平均

表 1 岩层力学参数

煤岩名称	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)	弹性模量/GPa	泊松比
K8 中细砂岩	65.6	6.0	2.43	44.5	3.05	0.26
泥岩(直接顶)	30.5	2.45	1.04	35.7	2.72	0.25
2#煤	9.0	0.44	1.68	34.4	1.70	0.20
粉砂岩(老底)	44.5	4.52	2.16	47.6	2.83	0.26

模拟方案分为两部分:(1)为确定最佳切顶高度,分别模拟不切顶及切顶高度 18m、19m、20m、21m、22m 六种工况下煤柱塑性区分布特征;(2)在确定合理切顶高度的基础上,模拟煤柱宽度 5m、6m、7m、8m、9m、10m 六种条件下的塑性区演化规律。

2.2 切顶高度的确定

不切顶时,煤柱塑性破坏面积为 42.2m²,占煤柱总面积的 67%,煤柱大部分已处于塑性破坏状态。切顶后煤柱塑性破坏面积显著减小:切顶高度 18m 时为 28.3m²(占 45%),19m 时为 25.8m²(占 41%),20m 时为 23.9m²(占 38%),21m 和 22m 时均为 23.5m²(占 38%)。相较于不切顶,切顶 20m 时煤柱塑性破坏面积减少了 43.3%。

分析表明,切顶可有效减小煤柱塑性破坏程度。随切顶高度增加,煤柱塑性破坏面积逐渐减小,但当切顶高度超过 20m 后,减幅趋于平缓,继续增加切顶高度对改善煤柱稳定性的提升不再显著。综合考虑切顶效果与施工成本,确定最佳切顶高度为 20m。

2.3 小煤柱宽度的确定

在切顶高度 20m 条件下,模拟煤柱宽度 5~10m 时的塑性区分布。煤柱宽度 5m 时塑性区面积 28.3m²(占 89%),6m 时 27.1m²(占 71%),7m 时 26.5m²(占 60%),8m 时 25.2m²(占 50%),9m 时 24.1m²(占 42%),10m 时 23.5m²(占 38%)。

可见,随煤柱宽度增加,塑性区面积逐渐减小但变化趋缓,而塑性区占比显著降低。当煤柱宽度达到 8m 时,塑性区不再

6.88m,岩性致密、强度较高。直接底为泥岩(平均 3.29m),遇水易软化;老底为粉砂岩(平均 4.43m)。

32205 主运巷与相邻采空区间原采用 8m 煤柱,但在软弱复合顶板条件下,巷道变形严重,常规支护难以有效控制,亟需通过切顶卸压技术改善煤柱受力环境。

2 切顶卸压留小煤柱数值模拟研究

2.1 模型构建与模拟方案

采用 FLAC³D 数值模拟软件建立数值模型,本构模型选用摩尔-库仑模型。模型尺寸长×宽×高=200m×1m×80m,模拟 32205 工作面采空区长度设为 125m,相邻巷道断面尺寸为宽×高=5.6m×3.6m,与 32205 主运巷设计断面一致。巷道与采空区间留设煤柱,切顶线距巷道煤柱帮 0.5m 垂直向上。模型上部施加 12.5MPa 的垂直应力(按埋深 480m 及上覆岩层平均容重 26kN/m³计算),其余表面设置为固定边界。岩层力学参数依据 32205 工作面地质资料确定,见表 1。

贯通整个煤柱,煤柱内部存在弹性核区,整体趋于稳定。继续增大煤柱宽度对塑性区改善有限,却会造成资源浪费。因此,确定最优煤柱宽度为 8m。

3 工程实践

3.1 切顶方案

基于数值模拟结果,在 32205 主运巷与相邻采空区间采用切顶卸压留 8m 小煤柱方案。沿巷道轴线方向,在顶板采帮侧 0.8m 处布置一排切顶钻孔,孔径 60mm,孔深 20m,孔间距 1.5m,钻孔垂直于顶板。采用深孔预裂爆破方式,装药结构为间隔装药,每两个装药孔之间设一个导向孔。

3.2 窥视效果评价

切顶施工完成后,采用钻孔窥视仪对预裂效果进行检测。对多个代表性钻孔的窥视分析表明:在 7~8m 深度的砂质泥岩层及 10~15m 深度的中细砂岩岩层中,均发育有对称裂隙和孔壁破碎现象。孔间距 1.5m 时,相邻爆破孔之间的裂隙能够有效贯通,爆破作用效果明显,切顶卸压可达到预设目标。

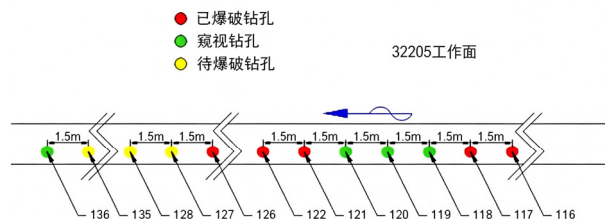
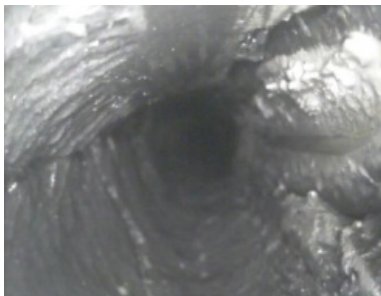


图 1 窥视钻孔位置示意图



(a) 中细砂岩，对称裂隙



(b) 砂质泥岩，孔壁破碎



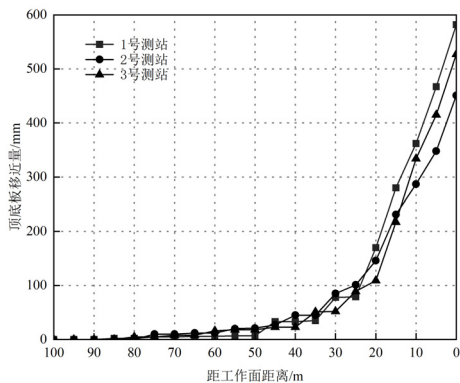
(c) 粉砂岩，对称裂隙

图2 窥视典型图像

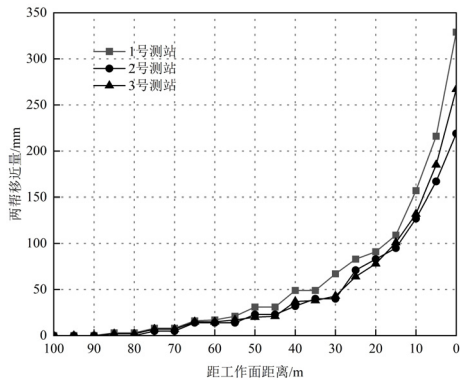
3.3 矿压监测效果

为检验切顶卸压留小煤柱护巷效果，在32205主运巷设置3个围岩位移监测站，分别距工作面不同距离。监测结果表明：在距工作面50m范围以外时，巷道围岩基本不受采动影响；进入50m范围内后，巷道开始发生明显变形；在工作面端头位置变形最为严重，三个测站顶底板移近总量分别为582mm、451mm、527mm，平均520mm；两帮移近总量分别为329mm、219mm、267mm，平均271mm。

巷道围岩变形规律见图3，所有变形量均在可控范围之内，表明切顶卸压留小煤柱技术可有效保护巷道在回采过程中的稳定性。



(a) 顶底板移近量



(b) 两帮移近量

图3 工作面回采过程中1306运输巷围岩变形特征

4 结论

(1) 以韩咀煤业32205综放工作面为背景，采用FLAC^{3D}数值模拟研究了切顶卸压留小煤柱的关键参数。切顶可有效减小小煤柱塑性破坏程度，随切顶高度增加煤柱塑性破坏面积逐渐

减小，但当切顶高度超过20m后减幅趋于平缓，确定最佳切顶高度为20m。

(2) 随煤柱宽度增加，塑性破坏占比有效降低。煤柱宽度达到8m时塑性区不再贯通，煤柱趋于稳定；继续增大宽度对塑性区改善有限。综合考虑稳定性与资源回收，确定最优煤柱宽度为8m。

(3) 现场实践表明，孔间距1.5m的预裂爆破效果良好，切顶处顶板裂隙有效贯通。回采期间巷道围岩变形量均在可控范围内（顶底板平均520mm，两帮平均271mm），验证了切顶卸压留8m小煤柱护巷技术的可行性，为类似厚煤层软弱复合顶板条件下的煤柱留设提供了技术参考。

[参考文献]

- [1]张金贵，程志恒，陈昊熠，等. 区段煤柱留设宽度分析及优化——以崖窑煤矿为例[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(10): 60–67.
- [2]庞义辉，张国军，王泓博，等. 综放工作面区段煤柱采动应力全周期时空演化分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2023, 42(04): 833–848.
- [3]刘团，张百胜，郭俊庆，等. 邻采邻掘动压巷道密集钻孔切顶卸压技术研究[J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(01): 42–47.
- [4]张百胜，王朋飞，崔守清，等. 大采高小煤柱沿空掘巷切顶卸压围岩控制技术[J]. 煤炭学报, 2021, 46(07): 2254–2267.
- [5]毕慧杰，邓志刚，李少刚，等. 深孔爆破在小煤柱巷道顶板控制中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(03): 85–91.
- [6]何满潮，陈上元，郭志飏，等. 切顶卸压沿空留巷围岩结构控制及其工程应用[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(05): 959–969.
- [7]柴亚栋，王涛. 厚煤层小煤柱沿空掘巷支护技术研究[J]. 煤, 2023, 32(05): 68–72+76.
- [8]柏建彪，侯朝炯，黄汉富. 沿空掘巷窄煤柱稳定性数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, (20): 3475–3479.
- [9]童荣，柴泽宇，孟德祺，等. 同忻煤矿大采高综放工作面小煤柱巷道爆破切顶技术研究[J]. 煤, 2022, 31(08): 12–15+20.
- [10]李世慧. 夏店煤矿3号煤层回采巷道切顶卸压留小煤柱技术研究与应用[J]. 煤, 2022, 31(10): 76–78.

作者简介：苏文明，1989年1月26日，汉族，山西长治市人，矿井通风与安全管理。