

综放巷内预制充填巷帮无煤柱 开采技术研究

Research on Non-pillar Mining Technology of Prefabricated Filling
Roadway Side in Fully Mechanized Caving Roadway

周茂营(海力财富集团有限公司石桥煤矿, 山东 泰安 271400)

摘要:在厚煤层开采过程中通常留设了区段煤柱进行护巷,这带来了煤炭资源浪费和巷道维护困难等问题。为了解决这类问题,本文提出了综采放顶煤工作面回采巷道内预制充填巷帮无煤柱开采方法,采用数值模拟方法建立了综放巷内预制充填巷帮无煤柱开采模型,研究了回采巷道掘进过程中围岩应力分布、位移变化以及塑性区分布规律。结果表明:回采巷道掘进会导致围岩应力重新分布,进而导致充填巷帮及实体煤帮应力增加;巷内预制巷帮充填体具有将大的支撑强度和抗变形能力,其变形量小于实体煤帮变形量;综放巷内预制充填巷帮无煤柱开采方法的应用可有效提高工作面回采率、减小巷道围岩变形,对无煤柱开采及巷道围岩稳定性研究具有重要意义。

关键词:综采放顶煤;无煤柱开采;充填巷帮;数值模拟

中图分类号: TD823 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2025)02-0031-05

Abstract: In the process of thick coal seam mining, section coal pillars are usually retained for roadway protection, which brings problems such as waste of coal resources and difficulty in roadway maintenance. In order to solve these problems, this paper proposes a method of non-pillar mining of prefabricated filling roadway side in fully mechanized top coal caving face. The numerical simulation method is used to establish a non-pillar mining model of prefabricated filling roadway side in fully mechanized top coal caving face. The stress distribution, displacement change and plastic zone distribution law of surrounding rock in the process of roadway excavation are studied. The results show that the excavation of the mining roadway will cause the stress redistribution of the surrounding rock, which will lead to the increase of the stress of the filling roadway side and the solid coal side; the prefabricated filling body in the roadway has a large supporting strength and anti-deformation ability, and its deformation is less than that of the solid coal side. The application of non-pillar mining method of prefabricated filling roadway in fully mechanized caving roadway can effectively improve the recovery rate of working face and reduce the deformation of roadway surrounding rock, which is of great significance to the study of non-pillar mining and roadway surrounding rock stability.

Key words: top-coal caving mining; non-coal pillar mining; filling roadway side; numerical simulation

1 前言

传统煤矿开采过程中,通常通过留设保护煤柱的方式隔离本工作面采空区、保护相邻工作面回采巷道^[1]。相邻工作面之间的保护煤柱留设宽度一般不小于8 m^[2],大量保护煤柱的留设会降低煤炭采出率,造成煤炭资源损失^[3]。特别是随着煤炭资源的大量开采,各矿区储量逐渐下降,回收这类煤炭资源显得尤为重要,有必要展开相关的研究。

近年来,针对如何缩短或取消工作面之间煤柱这类课题,国内外专家学者进行了系列研究。例如,陈兵等^[4]基于综放工作面区段煤柱留设造成煤炭损失及巷道破坏等问题,研究了综放工作面不同宽度区段煤柱对巷道稳定性影响特征,获得了区段煤柱所受煤层顶板压力与其宽度成正比规律。杜兆文等^[5-6]研究了膏体充填材料的微观结构及宏观稳定性,获得了巷内预制充填巷帮支撑强度机理。刘福平^[7]针对屯兰煤矿工作面区段小煤柱变形与坍塌现象,分析了在采动影响下小煤柱变形失稳的破坏机理,提出了采用切顶卸压技术降低小煤柱所受应力的开采方法。郭现峰^[8]研究了不同宽度区段煤柱对沿空巷道围岩稳定性的影响机理,确定了沿空

[作者简介] 周茂营(1981—),男,山东泰安人,工程师,从事煤矿安全生产管理工作。

[引用格式] 周茂营. 综放巷内预制充填巷帮无煤柱开采技术研究[J]. 中国矿山工程,2025,54(2):31-35.

掘巷小煤柱的留设尺寸,并获得了沿空巷道顶板下沉量和两帮移近量随区段煤柱宽度增加而逐渐减小的规律。张盛等^[9]基于极不稳定厚煤层条件下工作面沿空留巷技术的应用现状,研究了工作面超前段经切顶卸压后覆岩的矿压显现及变形失稳规律,揭示了工作面前方沿空巷道围岩受切顶卸压影响的变形机理。杨涛等^[10]基于山阳煤矿工作面宽煤柱问题,研究了1513工作面区段煤柱留设宽度对其稳定性的影响,在确保煤柱稳定的前提下,实现了1513工作面区段煤柱从20 m缩短至15 m。李周波^[11]根据青洼煤矿工作面实际情况研究了不同区段煤柱宽度条件下的围岩变形特征,明确了工作面回采和回采巷道掘进期间区段煤柱最小宽度为6 m。田二霏^[12]研究了沿空留巷技术对巷道围岩稳定性及变形破坏规律,得出了采用深孔预裂爆破技术能够改善留巷巷道顶板条件及其稳定性规律,对实现工作面无煤柱开采具有重要意义。

上述研究主要是针对改变煤柱尺寸后煤柱在采动影响下的变形破坏机理,具有一定的指导意义,但是缺乏通过充填材料代替煤柱对巷道稳定性的影响,因此,本文提出利用置换煤柱的方法开展煤柱开采技术的研究。

2 综放巷内预制巷帮充填开采方法

沿空掘巷是一种在煤矿开采中常用的巷道掘进方法,这种掘巷方式通常需要在采空区和所掘巷道之间留设一定宽度的小煤柱进行护巷^[13-15],通常这部分煤炭资源后期很难回收,会造成资源浪费^[16]。目前,膏体充填开采技术在煤炭开采中被广泛应用,充填膏体具有较好致密性和抗压性,可以用来取代上述小煤柱进行护巷,从而大幅降低工作面煤炭损失率^[17]。因此,有必要开展综放巷内预制巷帮充填开采方法的研究。

2.1 巷帮充填无煤柱开采方法

综放巷内预制充填巷帮无煤柱开采技术是在综采放顶煤巷内,紧贴下工作面煤壁构筑一条一定宽度的充填带,即充填巷帮,用于代替原本的留设煤柱,降低工作面煤炭资源的损失率。该充填巷帮在构筑时,需预制充填“模具”,在工作面回采过程中将制备的充填料浆输送到“模具”内进行充填。随着工作面回采,沿采空区形成一条连续的充填巷帮。待该充填巷帮固结稳定后,在下区段煤层贴近充填巷帮掘出一条巷道,作为下工作面回采巷道,具体如

图1所示。下工作面在回采过程中,充填巷帮强度、抗变形及抗失稳能力均强于煤柱,可减少巷道变形破碎,保障巷道稳定,同时充填巷帮可隔绝邻近采空区的水和有毒气体,实现工作面无煤柱开采的目的。

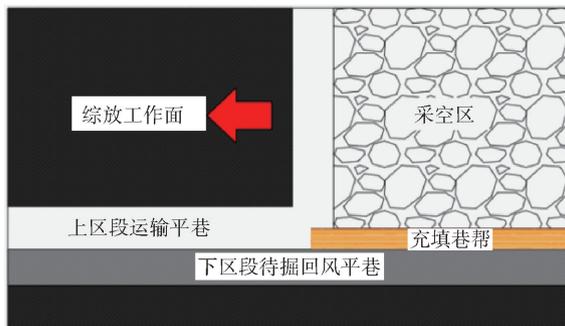


图1 充填巷帮无煤柱开采示意图

2.2 技术施工步骤

综放巷内预制巷帮充填开采技术施工步骤如图2所示。

- (1) 在开掘上工作面运输平巷时,根据顶板及围岩稳定情况预留出合理的充填巷帮宽度。
- (2) 开采上工作面时,在巷道内预制与巷道等高的充填“模具”并进行充填形成充填巷。
- (3) 上工作面回采完成,覆岩运动稳定后,沿充填巷帮开掘下工作面回采巷道。
- (4) 根据围岩稳定性对所掘巷道进行支护。

2.3 技术优点

综放巷内预制充填巷帮无煤柱开采技术主要有以下几方面优点。

- (1) 提高煤炭回采率。在综放巷内利用充填巷帮取代保护煤柱进行护巷,实现了工作面之间无煤柱接替,提高了煤炭回采率。
- (2) 起到定位作用。掘进下工作面回风巷时,可贴近所筑的充填巷帮施工,有助于确定巷道掘进的方向,起到定位的作用。
- (3) 降低护巷成本。充填巷帮强度一般比煤体强度大,护巷效果更好,可节约巷道一侧的支护材料,降低成本。
- (4) 隔绝邻近采空区。充填巷帮比煤柱致密性更好,可有效隔绝邻近采空区的水和有毒气体。

(5) 减少矸石排放,促进煤矿可持续发展。由于膏体充填材料的各项参数可根据煤矿实际需要进行人为设计,相较于实体煤柱具有强度大、密度小及宽度小等优点。并且膏体充填材料主要由矸石、粉煤灰等废弃物为原料配制而成,提高了废弃物的利

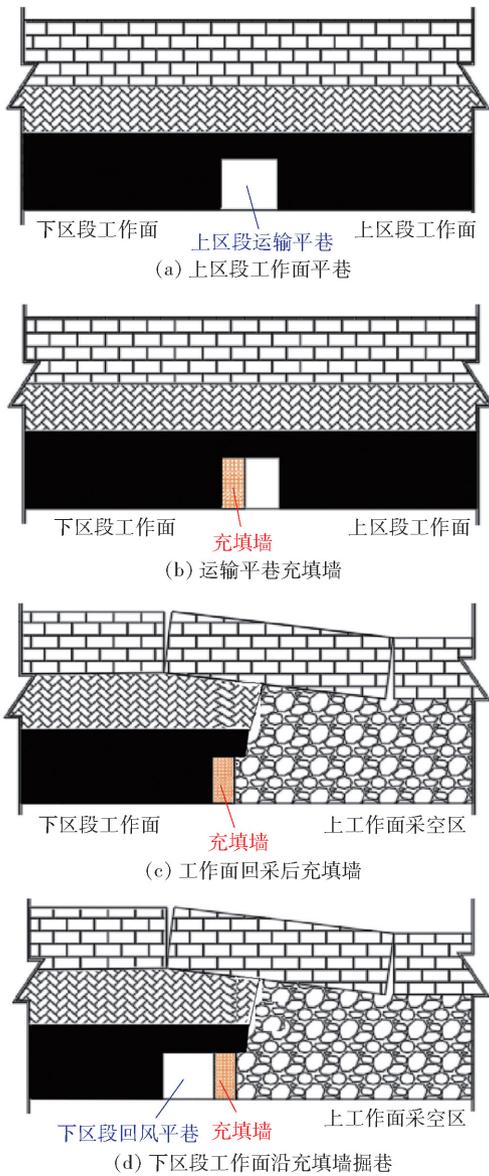


图2 综放巷内预制充填巷帮无煤柱开采技术示意图

用率,推动了煤矿行业的可持续发展。

(6)减小应力集中现象。传统煤柱留设宽度一般较大,致使煤体下部应力集中程度和范围较大,而充填巷帮宽度较小且强度较大,有效降低了应力集中程度和范围。

3 数值模拟

3.1 模拟方案

根据实际工程概况,确定模拟尺寸(长×宽×高)为200 m×160 m×70 m,工作面煤层埋深为600 m,平均厚度4.0 m,充填巷帮宽度为2.0 m,巷道断面为矩形巷道,巷道净宽4.6 m、净高2.9 m,具体如图3所示。模拟过程中在煤层的走向及倾向方向上施加侧压系数为0.5的水平应力,为使模拟效果更加真实和降低边界效应对模拟结果的影响,在模拟巷道周围设置一定宽度的保护煤柱。煤层及其顶底板岩层岩体的物理力学性能参数见表1。

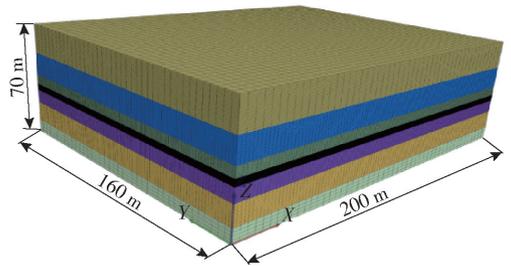


图3 数值模型建立示意图

3.2 沿充填巷帮掘巷过程中围岩稳定性分析

1) 应力场分析

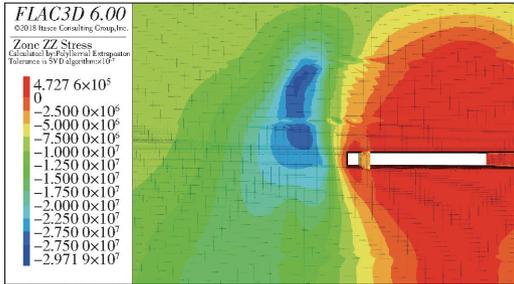
沿充填巷帮所掘巷道处于围岩应力卸载且相对稳定区域,具体如图4所示。图4(a)中,当沿充填巷帮掘进巷道时,充填巷帮与实体煤帮顶板深处在

表1 煤岩层物理力学参数

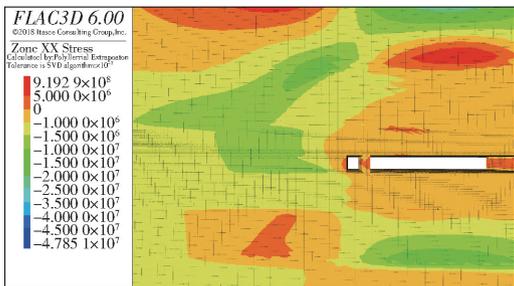
岩层名称	厚度/ m	体积模量/ 10 GPa	剪切模量/ 10 MPa	内聚力/ MPa	抗拉强度/ MPa	内摩擦角/ (°)	密度/ kg·m ⁻³
砂质泥岩	38	5.0	5.5	3.6	2.5	30	2 550
粉砂岩	9.6	8.2	10.2	8.5	3.5	40	2 620
中粒砂岩	5.1	5.5	8.3	5.8	2.4	39	2 360
泥岩	12	4.9	5.2	2.4	1.7	25	2 420
细粒砂岩	12.5	8.3	7.7	9.3	3.4	38	2 640
3 煤	6.0	3.4	0.9	2.0	2.5	28	1 400
砂质泥岩	1.6	5.0	5.5	3.6	2.5	30	2 550
细砂岩	4.5	8.3	7.7	9.3	3.4	38	2 640
中砂岩	26	4.9	5.2	2.4	1.7	25	2 420

垂直方向上会出现一定程度的应力集中现象。其中煤层顶板岩层中最大垂直应力和集中系数分别为 22.1 MPa 和 2.28;距离巷道顶板煤壁 3m 处的实体煤帮最大垂直应力和集中系数分别为 19.5MPa 和 2.01;相较未掘巷时充填巷帮与实体煤层顶板上的垂向应力最大而言,该应力最大值相对较低。图 4(b)中,沿充填巷帮掘巷时,所掘巷道及顶板层间错位离层区均出现水平应力集中现象,该现象主要出现在距巷道底板 2 m 的底板岩层中,最大值为 4.9 MPa。图 4(c)中,剪切应力集中转移到了所掘巷道实体煤顶角。由以上分析可知,沿充填巷帮掘巷的位置处于相对稳定的顶板岩层中。掘巷所处位置是覆岩运移相对稳定的应力降低区,在掘巷的扰动下,巷道围岩的小范围内出现应力重新分布现象,致使充填巷帮和实体煤帮内应力有所增加。

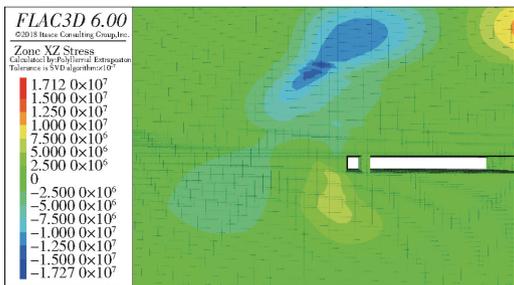
所示。其中,相较于巷道顶、底板岩层的变形量,实体煤帮和充填巷帮的变形量更小。巷道掘进完成且围岩应力平衡后,巷道顶板及底板在垂直方向上的相对移近量分别为 311.2 mm 和 261.8 mm;实体煤帮和充填巷帮在水平方向上的相对移近量分别为 130.2 mm 和 116.3 mm。在掘巷过程中,充填巷帮所表现出的强度和刚度均较大,致使其变形量略小于实体煤帮。



(a) 掘巷中围岩垂直应力分布



(b) 掘巷中围岩水平应力分布

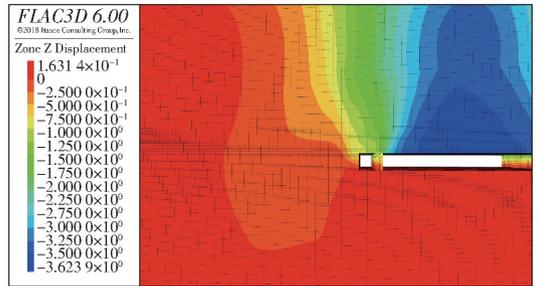


(c) 掘巷中围岩水平应力分布

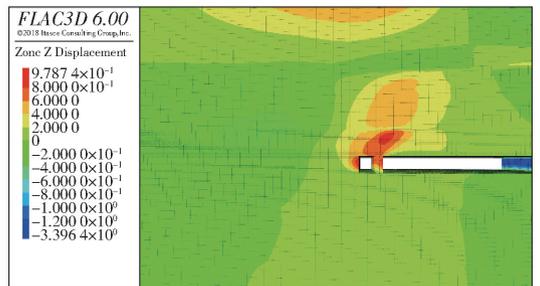
图 4 沿充填巷帮掘巷过程中围岩应力分布规律

2) 位移场分析

受巷道开挖扰动影响,巷道围岩卸压导致巷道围岩出现不同程度的位移变化,具体如图 5 和表 2



(a) 掘巷中围岩垂直位移



(b) 掘巷中围岩水平位移

图 5 沿充填巷帮掘巷过程中围岩位移分布规律

表 2 沿充填巷帮掘巷过程中巷道围岩变形量统计表

阶段	变形量/mm			
	顶板	底板	实体煤帮	充填体帮
掘巷稳定期	311.2	261.8	130.2	116.3

3) 塑性区分析

巷道掘进完成后,会在巷道围岩的小范围内发生应力重新分布现象,致使该范围的岩体发生松动而形成塑性区,具体如图 6 所示。塑性区发生在煤帮 3.5 m 范围以及底板向下 5 m 的范围。随着巷道掘进巷道围岩塑性区会出现一定程度的扩大。掘巷所处的位置是相对比较稳定的岩层下,就无形地对下方的煤岩体构成了一种保护性构造。同时,掘巷也是一个卸压的过程,使煤层中顶底板发生了应力场的改变。因此,塑性区有了较小范围的扩大。但由于掘巷的卸压作用,煤层顶板上的支撑压力比上区段工作面回采时要小,因此塑性区变化不显著。

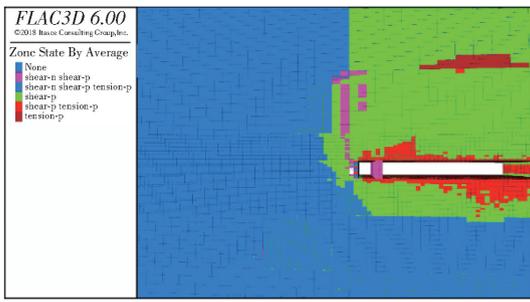


图6 沿充填巷帮掘巷过程中围岩塑性区分布规律

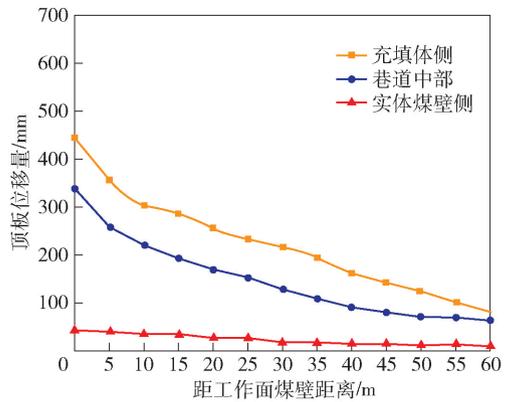


图8 巷道底板及两帮位移变化规律

4 成巷效果分析

4.1 巷道顶板位移变化规律

新掘巷道顶板下沉量随工作面走向变化规律如图7所示。从图中可得出,对巷道加强支护后,顶板靠实体煤帮侧、巷道中部和靠充填巷帮侧的位移量均较小,分别为273 mm、308 mm和334 mm。

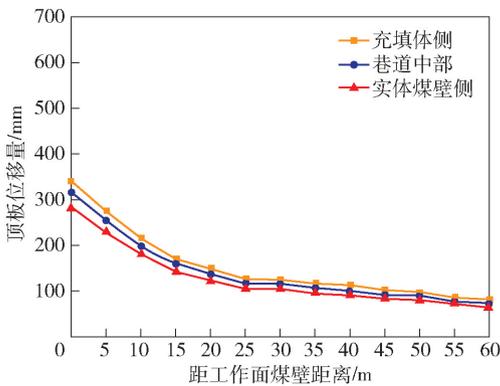


图7 巷道顶板位移变化规律

4.2 巷道底板及两帮位移变化规律

新掘巷道底板两帮位移量随工作面走向变化规律如图8所示。从图中可得出,通过对煤帮锚杆加密,并打设底角锚杆后,底板和实体煤帮的位移量均较小,其最大值分别为425 mm和327 mm。

5 结论

针对厚煤层沿空掘巷小煤柱留设造成资源浪费问题,本文提出了综放行内充预制巷帮充填开采方法,并通过数值模拟研究了回采巷道掘进过程中围岩应力分布、位移变化以及塑性区分布规律,主要获得以下几条结论:

(1)沿充填巷帮掘巷所处位置是覆岩运移相对稳定的应力降低区,在掘巷的扰动下,巷道围岩的小范围内出现应力重新分布现象,致使充填巷帮和实体煤帮内应力有所增加。

较大且稳定性较好,致使其变形量略小于实体煤帮。

(3)掘巷完成后,会在巷道围岩的小范围内发生应力重分布现象,致使该范围的岩体发生松动而形成塑性区,该塑性区发生在煤帮3.5 m范围以及底板向下5 m的范围。

(4)巷道加强支护后,顶板靠实体煤帮侧、巷道中部和靠充填巷帮侧的位移量均较小,分别为273 mm、308 mm和334 mm。

(5)对实体煤帮锚杆加密,并打设底角锚杆后,底板和实体煤帮的位移量均较小,其最大值分别为425 mm和327 mm。

[参考文献]

[1] 康红普, 张晓, 王东攀, 等. 无煤柱开采围岩控制技术及应用[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 16-44.

[2] 王莹. 厚煤层区段煤柱合理留设宽度及支护参数优化研究[J]. 建井技术, 2024, 45(1): 84-88+71.

[3] 祁方坤, 周跃进, 曹正正, 等. 综放沿空掘巷护巷窄煤柱留设宽度优化设计研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2016, 33(3): 475-480.

[4] 陈兵, 高亮, 杜正虎. 综放工作面区段煤柱宽高比效应及尺寸优化研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(10): 8-12.

[5] 杜兆文, 温卓越, 李帅乾, 等. 氯盐作用下膏体充填体力学特性及劣化机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2024, 43(12): 2924-2939.

[6] 杜兆文, 陈绍杰, 尹大伟, 等. 氯盐侵蚀环境下膏体充填体稳定性试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2021, 50(3): 532-538+547.

[7] 刘福平. 煤矿定向切顶卸压沿空留巷施工技术分析研究[J]. 煤矿现代化, 2017(5): 94-95+98.

[8] 郭现峰. 厚煤层沿空掘巷合理煤柱宽度研究[J]. 山西能源学院学报, 2023, 36(1): 10-12.