

深部矿井工作面过老巷技术研究

Research on Technology for Deep Mine Working Face Passing Through Old Roadways

郑俊岭, 周波(临沂矿业集团菏泽煤电有限公司郭屯煤矿, 山东 菏泽 274700)

摘要:本文以郭屯煤矿 113 上 01 综采工作面为研究对象,通过数值模拟与工程实践相结合的方法,研究深部开采矿井采煤工作面过老巷技术。基于 FLAC3D 数值模拟分析发现,未处理老巷在工作面推进至距其 10 m 时,煤柱应力峰值达 131.2 MPa,塑性区扩展至 16 m,导致顶板冒落风险显著;采用水灰比 6:1 的 EHW-1 型无机充填材料充填老巷后,塑性区扩展范围大幅缩小,围岩稳定性显著提升。结合顶板注浆加固与开采工程质量管控措施,现场实践表明,工作面过老巷期间顶板完整,未发生冒顶事故,支架阻力平稳,验证了过老巷技术的有效性。本研究为深部矿井工作面安全过老巷提供了技术参考。

关键词:深部开采;采煤工作面;高水充填;数值模拟

中图分类号: TD323 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2025)04-0010-06

Abstract: This article takes the 113-01 fully mechanized mining face of Guotun Coal Mine as the research object, and uses a combination of numerical simulation and engineering practice to study the technology of passing through the old roadway in the mining face of deep mining mines. Based on FLAC3D numerical simulation analysis, it was found that when the untreated old roadway was pushed to a distance of 10 meters from the working face, the peak stress of the coal pillar reached 131.2 MPa, and the plastic zone extended to 16 meters, resulting in a significant risk of roof collapse; After using EHW-1 inorganic filling material with a water cement ratio of 6:1 to fill the old roadway, the expansion range of the plastic zone is significantly reduced, and the stability of the surrounding rock is significantly improved. Combining roof grouting reinforcement with quality control measures for mining engineering, on-site practice has shown that the roof of the working face is intact during the passage of the old roadway, and no roof collapse accidents have occurred. The support resistance is stable, which verifies the effectiveness of the passage of the old roadway technology. This study provides technical reference for the safe passage of old tunnels in deep mine working faces.

Key words: deep mining; coal mining face; high water filling; numerical simulation

1 前言

随着煤炭资源开发,深部采区划分时往往无法按照规整的矿块进行单独划分。为了资源利用的最优化,提高资源回收率及矿山产能,在进行开采工作面设计时,往往将老巷道包含在内,以增加工作面走向长度,减少设备搬家倒面次数。但是老巷的存在也增加许多难题。首先老巷在生产存续期间,受其他区域生产作业影响,应力损伤明显,巷道内发生变形、应力集中显著,在回采过程中极易诱发冒顶、底鼓以及压架等安全事故。同时在工作面回采至揭露老巷时,工作面暴露面积突然增大,应力环境急剧变化,会导致回采作业面发生严重的片帮、冒顶事故。因此大量学者对深部矿山工作面回采过老巷进行了

研究。研究发现^[1-3],现阶段过老巷的主要有 4 类方法,第一类是使用单体支柱对老巷进行连续支护,逐步回采撤柱;第二类是使用锚杆索、锚网进行老巷的主动支护补强;第三类是将老巷作为新工作面切眼进行使用;第四类是利用充填体对老巷进行充填处理后正常开采。这四种方法各有优劣,但在实践中发现对老巷进行充填后再回采是较为可靠的处理方式,因此大量学者也开展了相应研究。张自政等^[4]研究了综放工作面空巷高水材料充填技术,发现水灰比 2.5:1 的充填体可以实现支护阻力大于 3.58 MPa,使破碎煤体得到有效胶结形成稳定结构。何向宁^[5]等通过 FLAC3D 模拟对比材料过空巷的支护效果,确定优化水灰比的高水材料充填为最优方案,在过空巷实践时发现充填后的液压支架阻力仅增 3.5%,能够实现安全高效过空巷。邓照玉^[6]提出水灰比 8:1 的高水材料充填老巷实现稳定控顶技术,经实践验证该方法能够有效支撑顶板并实现围岩有效控制。何国志等^[7]针对矿山老巷充填治

[作者简介] 郑俊岭(1983—),男,汉,山东菏泽人,主要从事煤炭开采工作。

[引用格式] 郑俊岭,周波. 深部矿井工作面过老巷技术研究[J]. 中国矿山工程,2025,54(4):10-15.

理难题,研发钠盐改性铝基高固水材料(水灰比8:1),其具备速凝、早强、高流动性和固水性,充填后显著降低围岩应力峰值,对废弃巷道治理具有普遍适应性。徐亮等^[8]提出了分段注浆充填过老巷的技术方案,并在实践中验证可行性较高。范卫军^[9]通过研究发现在回采工作面过老巷时,若老巷不采取处理措施,在回采至距老巷10 m位置处,老巷将发生严重变形破坏,同时指出使用高水充填老巷可以较好的加固老巷围岩,减缓老巷形变破坏。张浩^[10]基于覆岩开采的“三带理论”,提出了过老巷分段充填注浆方案,实践证明该方法能够有效治理采区中老巷,保障工作面有序回采。综合来看,采煤工作面过老巷具有颇多挑战,但丰富的研究成果表明使用高水充填配合对老巷围岩加固仍能够较平稳地进行工作面回采推进。因此本文以郭屯煤矿113上01综采工作面为研究背景,开展深部开采矿井采煤工作面过老巷技术研究,通过研究结果更好地指导矿山进行安全生产,并为相似条件矿山提供科学借鉴。

2 工程概况

2.1 工作面基本情况

113上01工作面位于-808 m水平113上采

区,主采3上煤层,地面标高为+42.4~+44.2 m,工作面标高为-633.0~-703.4 m,具体布置如图1所示。113上01工作面东距13上14采空区最小距离为3 m,西距三采区胶带巷最小距离为120 m,南侧与-670 m辅助水平胶带巷相连,北侧为实体煤。113上01工作面局部在13下14采空区裂隙带范围内回采,13下14工作面于2017年12月开始回采,2018年9月回采完毕,实际揭露煤层厚度3.0~4.3 m,结构简单,回采期间共揭露4条断层,顶底板岩性见表1。113上01工作面轨道巷道长1300 m(切眼至设计停采线位置),胶带巷道长1295 m(切眼至设计停采线位置),工作面宽里段206 m,外段180 m,回采面积244 938 m²。

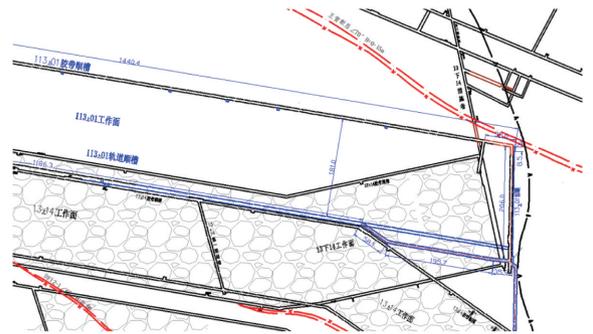


图1 113上01工作面平面布置图

表1 113上01顶底板岩性

顶底板名称	岩石名称	平均厚度/m	岩性特征
基本顶	细砂岩	8.94	深灰色夹灰白色、主要以细砂岩为主、主要成分由石英、长石组成、暗色矿物和煤屑次之、局部含植物茎叶碎屑化石,具波状斜层理
直接顶	中砂岩	4.66	浅灰色、灰白色,成分以石英为主,长石次之,含较多暗色矿物,钙质泥质胶结,分选较好,滚圆度次圆状-次棱角状,上部见较多泥质包裹体,局部见煤线。厚度4.37~4.95 m,平均4.66 m。 $f=5.5\sim 7.0$
直接底	泥岩	5.62	灰色-深灰色、上部含大量植物茎叶化石及根化石、局部见菱铁矿结核。厚度5.44~5.80 m,平均5.62 m, $f=2.2\sim 3.5$
基本底	细砂岩	4.15	灰色,成分以石英为主,长石次之,含较多暗色矿物,断面见较多叶片化石顶,底部发育平行层理,分选较差,泥质胶结。厚度3.20~5.10 m,平均4.15 m, $f=5.2\sim 6.5$

2.2 工作面老巷情况

113上01工作面老巷(原切眼),具体如图2所示,自113上01胶带巷道按90°方位角开门,老巷荒宽5.0 m,荒高2.9 m,长度为37.5 m。巷道顶部锚杆选用MSGLW500/22×2400左旋无纵肋螺纹钢高度锚杆,帮部锚杆选用MSGLD500/22×2400左旋等强全螺纹钢高强度锚杆,锚杆间排距900×1000 mm。锚索采用 $\phi 21.8\times 8\ 200$ mm的左旋预应

力钢绞线,切眼导洞按“3-0-3”布置,间排距1600×2000 mm。该老巷距离113上01工作面切眼50.6 m。

3 工作面过老巷开采模拟

为研究113上01工作面过老巷开采过程中在未开展处理措施时工作面应力环境分布及破碎影响程度,利用FLAC3D数值软件建立数值仿真模型进行计算分析。

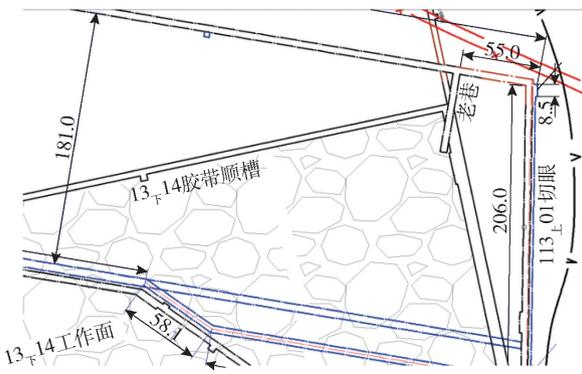


图2 113上01工作面老巷布置关系图

3.1 计算模型的建立

为了便于模型计算,对地质条件进行了简化,设计模型尺寸 200 m × 100 m × 40 m,模型如图 3 所示。

该模型四周边界施加水平方向位移约束,下边界施加水平方向及垂直方向位移约束,上边界为应力边界,模型上边界施加垂直方向均布载荷,载荷大小为模型未模拟的岩层自重为 9 MPa。按照工作面实际对 113 上 01 工作面按照 6 m 步距依次开挖,岩体参数见表 2。

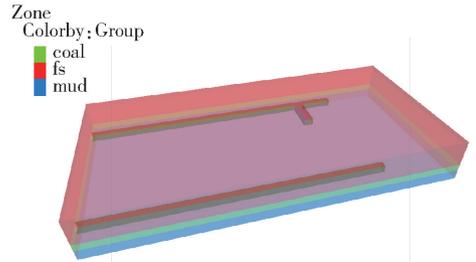


图3 113上01工作面开采数值模型图

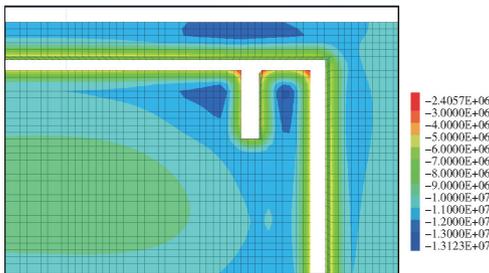
表2 岩体参数表

岩性	密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^3$	体积模量 K/Pa	剪切模量 G/Pa	抗拉强度 σ_t/Pa	内聚力 c/Pa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
泥岩	2.51×10^3	1.29×10^9	0.63×10^9	0.34×10^6	0.5×10^6	29
中砂岩	2.62×10^3	6.44×10^9	3.26×10^9	1.6×10^6	4.1×10^6	34
煤	1.42×10^3	0.21×10^9	0.17×10^9	1.02×10^6	1.1×10^6	28

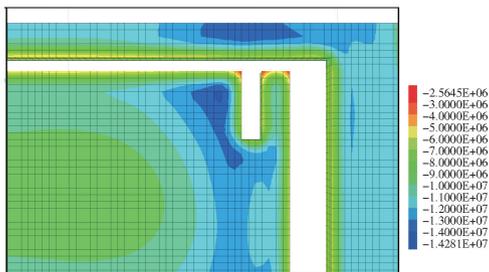
3.2 应力环境分布及破碎影响程度模拟分析

图 4 所示为工作面开采距老巷 10 m、4 m 时的应力分布图。如图 4(a) 所示,当老巷不进行处理时,工作面推进至距老巷 10 m 处时,应力集中区域为老巷两侧,最大应力为 131.2 MPa。如图 4(b) 所示,当推进至距老巷 4 m 处时,应力集中区域为老巷左侧,最大应力值为 142.8 MPa,右侧煤柱由于受开

采影响已经完全破碎,承载能力丧失,但未完全损坏,此处受到应力最大值为 113 MPa。



(a) 工作面距老巷 10 m



(b) 工作面距老巷 4 m

图4 工作面开采距老巷 10 m、4 m 时的应力分布图

图 5 所示为工作面开采距老巷 10 m、4 m 时的塑性区分布图。如图 5(a) 所示,在老巷开掘后,围岩塑性区已达到 4 ~ 6 m,当工作面距离老巷较远时,老巷围岩不受影响,其塑性区分布范围基本不变。如图 5(b) 所示,当老巷不进行处理时,工作面推进至距老巷 10 m 处时,此时,老巷与工作面之间煤柱受较大应力集中影响,塑性区范围急速扩大。如图 5(c) 所示,当推进至距老巷 4 m 处时,此时,小煤柱已完全破坏,同时由于应力集中区域为老巷左侧,塑性区在老巷左侧扩展范围大大增加,最大扩展范围为 16 m。

综上所述,当 113 上 01 工作面开采过程中若对老巷不进行处理,则老巷与开采工作面之间的煤柱将完全破碎,其应力也会由老巷右侧向座车深部转移,导致老巷及煤柱破碎,在开采过程中采煤面出现煤帮破碎,顶帮支护困难等诸多问题。因此,需要设计过老巷的施工方案,保障 113 上 01 工作面能够顺利过老巷开采。

4 工作面过老巷技术措施研究

通过对 113 上 01 工作面过老巷开采过程中在未开展处理措施时工作面应力环境分布及破碎影响

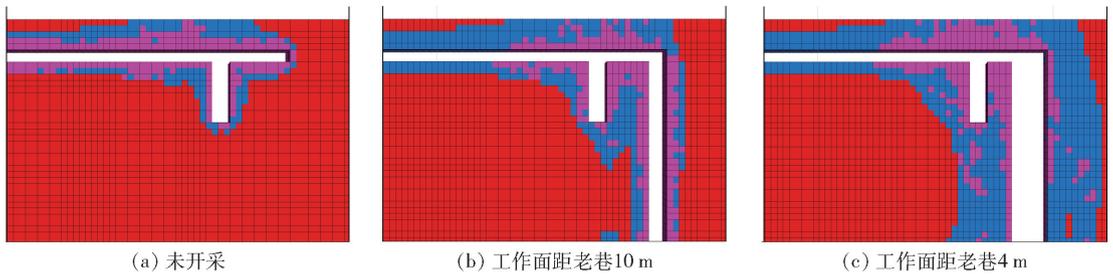


图5 工作面开采时老巷塑性区分布图

程度的研究分析,发现113上01工作面过老巷安全技术措施应从老巷高水充填、老巷顶板注浆加固及开采工程质量管控等3方面制定。

4.1 老巷高水充填处理

具体措施为使用无机充填材料进行充填。采用EHW-1型无机充填材料对巷道空间进行充填,

EHW-1型无机充填料是甲、乙双组份无机超高水充填料,充填 1 m^3 空间体积的固化材料用量范围为 $150\sim 180\text{ kg}$ 。巷道充填体积为 $37.5\times 5\times 2.9=543.75\text{ m}^3$,需要的材料为 87 t ,按照水灰比6:1比例进行充填,室内试验验证,充填后强度可达到 1.2 MPa ,试验流程如图6所示。

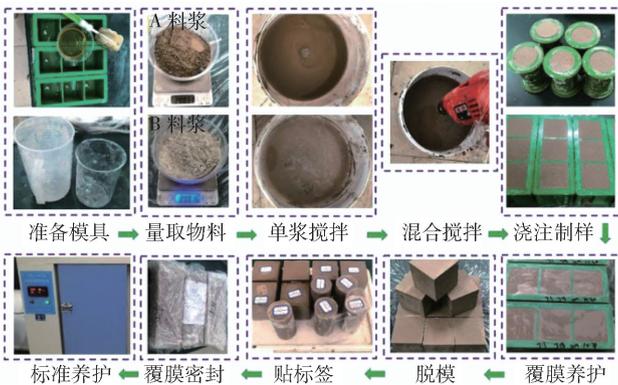


图6 无机充填材料充填室内强度试验

利用数值模拟试验开展老巷高水充填处理后对工作面开采的影响情况。图7、图8所示分别为充填后工作面开采距老巷10 m、4 m时的应力与塑性区分布图。充填体参数见表3。

与图4、5进行对比分析后可知,在图7中老巷充填后,老巷与工作面之间煤柱消失,因此,主要应力集中出现在深入工作面2 m位置处,且最大应力

增大,最大值增加大 164 MPa 。同时,由图8可知,老巷充填后,塑性区扩展范围大大减小,除原有损伤范围外,仅工作面深入4 m位置出现塑性区,相较不处理老巷,塑性区扩展得到了较大控制。

4.2 老巷顶板注浆加固处理

工作面至老巷前6 m时,开始对顶板进行注浆加固。具体方法为在工作面距顶板0.5 m处施工4

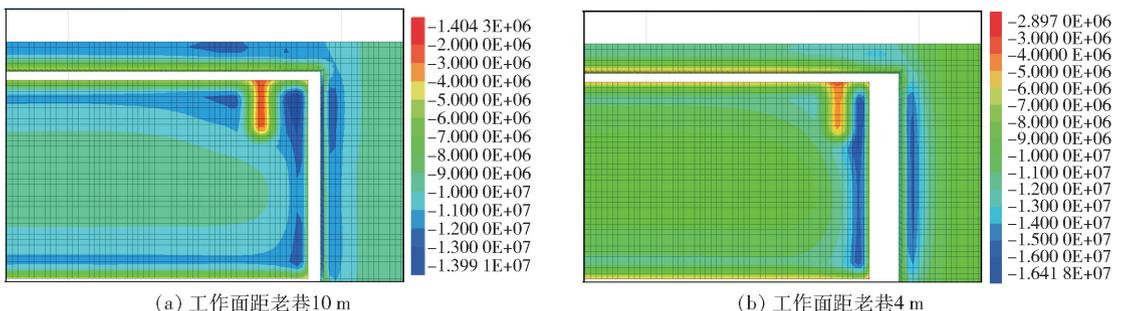


图7 老巷充填后工作面开采距老巷10 m、4 m时的应力分布图

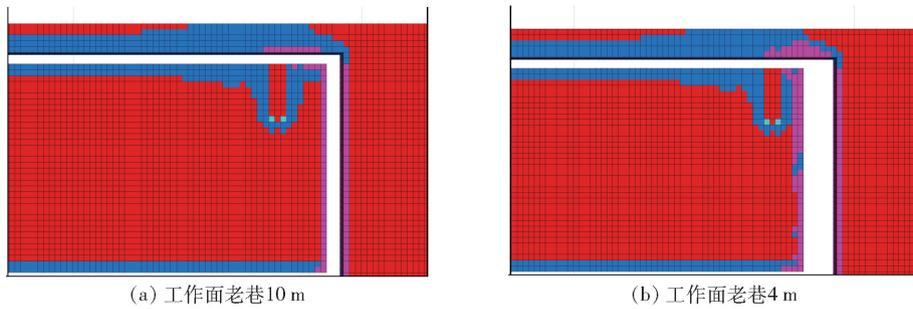


图8 老巷充填后工作面开采时塑性区分布图

表3 充填体参数表

岩性	密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	体积模量 K/Pa	剪切模量 G/Pa	抗拉强度 σ_t/Pa	内聚力 c/Pa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
充填体	1.14e3	0.36e9	0.28e9	0.39e6	0.16e6	26

个注浆孔,间距1.5 m,排距3 m,注浆孔孔深5 m,角度倾斜向上45°,两侧注浆孔往巷帮内倾斜15°。使用ZBQS-7/5(8.4/12.5)型气动注浆泵将煤矿加固煤岩体用聚氨酯材料注入岩体内,进而快速反应达到加固目的。注浆过程中要对孔口周围5 m范置内进行观察,当出现跑浆时及时用封堵。

工作面在揭露老巷前,提前将工作面调斜,使工作面与老巷形成一定的夹角,避免一次性揭露老巷较多,造成顶板隐患。工作面内部先揭露联络巷,预计揭露位置在21#、22#左右,老巷掘进期间顶板破碎,故提前6 m在15#-26#架挂网,并根据顶帮情况,及时注浆加固,确保顶板管控完好。老巷三岔口位置提前施工一排锚索加强支护,锚索间距1.8 m,顶板破碎时加密支护强度;锚索采用 $\phi 21.8 \times 8200$ mm的左旋预应力钢绞线配合T型钢带进行“3-3-3”布置,间排距1600 mm \times 1800 mm;顶板采用双层网支护(外层为经纬网,里层为双向拉伸塑料网),经纬网采用 $\phi 6$ mm钢筋编织而成,规格为3400 mm \times 1100 mm,网格100 mm \times 100 mm,双向拉伸塑料网规格为2000 mm \times 1000 mm,网格40 mm \times 40 mm。

4.3 开采工程质量管控处理

(1)采用平推的方法推采过老巷,过老巷时,以不破坏老巷顶板为主,工作面控制好采高,采高保持在2 m左右,根据现场变化及时飘刀或刹底,顺平运输机,执行好超前带压擦顶移架,保证好支架初撑力。

(2)揭露点视顶板情况采取不同措施。若顶板完好无破碎漏顶,工作面及时拉移超前支架,尽量减少空顶距;若顶板破碎有漏矸现象,则采取在支架前方施工锚索梁加强顶板控制,具体支护形式结合现

场顶板情况而定,确保支护强度满足推采要求,保证顶板完整。

(3)工作面过老巷时如遇到支护锚杆、锚网等金属件,停机闭锁后检出。

(4)开展工作面日评估制度,每天对工作面推采情况、采高、运输机下卧角度、设备状态及影响因素等进行分析评估并制定考核制度,严格按照考核制度进行落实。

(5)每班测量工作面采高、运输机角度,跟班区长重点盯靠生产期间煤机的刹刀卧底量,严格按照制定的推采方案进行推采。

(6)工作面工程质量应当动态达标,确保三直(煤壁直、支架直、输送机直)、一平(顶底板平)、一净(浮煤净)、两畅通(两出口畅通);支架要排成一条直线,其偏差不得超过50 mm,支架不挤、不咬;支架顶梁侧护板位置架间距不超过100 mm;支架中心距保持 1750 ± 100 mm,支架歪斜不超过5°,支架顶梁仰俯角不超过7°;支架与输送机要保持垂直,偏差小于5°;顶板破碎或者片帮时,及时超前移架,并及时伸出伸缩梁、护帮板护实煤帮,对顶底板进行有效支撑。

(7)过老巷期间,对巷道超前单元支架、工作面支架每班安排专人检查支护情况并进行二次补液,确保单元支架初撑力不低于10 MPa,工作面支架不低于24 MPa。老巷巷揭露过程中,每班必须由区队跟班人员现场协调指挥施工,并安排经验丰富的人员观察顶板,施工人员严格执行敲帮问顶制度,严禁空顶。

5 治理效果分析

1) 矿压情况

工作面治理完成后,实现了深部开采矿井采煤

工作面过老巷的技术突破。通过现场观测,老巷充填及顶板注浆加固后,当工作面推进至此,顶板状态理想,在保障正常生产效率的开采过程中未发生冒顶、漏顶等重大事故。同时,通过监测支架阻力发现,使用安全措施后,支架支护阻力较为平稳,周期来压步距、阻力值较为一致,无较大差异,曲线图如图9所示。

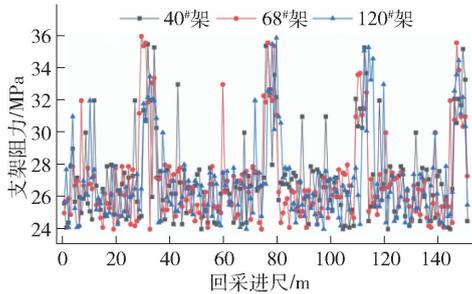


图9 支架支护阻力监测曲线图

2) 变形情况

通过对老巷进行高水充填及注浆加固顶板等多项治理措施,老巷围岩状态由两向转变为三向,进而降低了煤柱位置煤体应力集中情况,减小了塑性区分布,提高了煤体整体承载能力,工作面围岩变形得到有效控制,图10所示为超前工作面顶板位移监测曲线,通过充填老巷,超前工作面位置顶板变形得到明显改善。

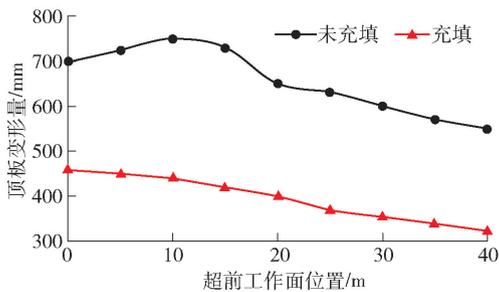


图10 超前工作面顶板位移监测曲线

3) 开采效果

老巷高水充填效果如图11所示,正常开采后,煤体、充填体截面完整,充填较密实,煤体充填体间无明显缝隙及分层情况,完整性较好,充填后老巷已与煤体形成稳定整体共同支持顶板,可以较好地缓解地压情况。

6 结论

本文通过数值模拟与工程实践,系统研究了深部开采矿井采煤工作面过老巷技术。研究表明:



图11 老巷高水充填效果实景图

(1) 未处理老巷在工作面推进过程中易引发应力集中与塑性区扩展,最大应力达142.8 MPa,煤柱完全破碎;采用水灰比6:1的EHW-1型无机充填材料充填老巷后,充填体有效分担围岩应力,塑性区扩展范围减少至4 m,围岩稳定性显著改善。

(2) 结合顶板注浆加固及动态工程质量管控措施,现场应用实现了工作面安全高效过老巷,未发生冒顶事故,支架阻力波动平稳。研究成果表明,高水充填技术结合围岩主动加固与精细化开采管理,可有效解决深部矿井工作面过老巷的围岩控制难题,为类似条件矿山提供技术借鉴。

[参考文献]

- [1] 李君青. 综采工作面过老巷高水材料局部充填法探究[J]. 煤矿现代化, 2019(4): 161-163.
- [2] 王萌. 放顶煤工作面过老巷高水材料充填技术研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(3): 60-64.
- [3] 魏明华, 宋忠亮, 曾现策. 复杂条件下过断层及老巷破碎带超高水充填技术的研究[J]. 能源技术与管理, 2021, 46(1): 59-61.
- [4] 张自政, 柏建彪, 韩志婷, 等. 空巷顶板稳定性力学分析及充填技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(2): 194-198.
- [5] 何向宁, 陈勇, 秦征远. 综放工作面过空巷技术研究及应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6): 124-130.
- [6] 邓照玉, 何明川. 综采工作面通过走向空巷充填技术研究与实践[J]. 矿业安全与环保, 2020, 47(3): 64-69.
- [7] 何国志, 刘国磊, 马秋峰, 等. 钠盐改性铝基高固水材料在矿山老巷充填治理中的适应性研究[J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(10): 36-46.
- [8] 徐亮, 高杨, 杨高林, 等. 综采工作面过老巷注浆充填技术研究[J]. 陕西煤炭, 2021, 40(3): 81-84.
- [9] 范卫军. 注浆充填技术在综采工作面过空巷中的应用[J]. 煤炭与化工, 2022, 45(1): 4-7.
- [10] 张浩. 基于“三带理论”315综采工作面过老巷分段充填支护技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.