

矸石充填工作面沿空留巷技术应用与效果监测分析

Application of Gob-Side Entry Retaining of Waste Filling Working Face Technology and Measurement and Analysis of Its Effect

李胜伟(冀中能源邢台矿业集团有限责任公司 金谷煤业, 山西 临汾 042499)

摘要:为进一步完善实际工程应用中工作面沿空留巷围岩控制技术,减少留巷成本,以11101工作面为背景,通过工程现场实践,分析了矸石开采沿空留巷围岩结构,留巷围岩受力过程以及围岩变形和上覆岩层运动特征,并基于留巷围岩应力分析结果以及矸石充填工作面沿空留巷围岩控制原理,提出了“锚索+加强锚杆”等支护方案,并设计了监测系统,对留巷围岩变形及留巷隔离墙体承载性能进行了监测。现场监测结果表明:11101工作面运输平巷变形量较小,处于可控范围内,留巷获得成功,可为相似条件下的留巷围岩控制技术提供了参考。

关键词:充填采矿;沿空留巷;围岩稳定规律;围岩控制

中图分类号: TD355 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)02-0054-06

Abstract: The method of gob-side entry retaining of waste filling working face plays an important role in the technology of non-pillar mining in coal mines, which is widely used in mining thin and medium thickness coal seams, nevertheless, the roof weighting is still drastic, and the entry retaining effect is poor. In order to further perfect the wall rock control technology of gob-side entry retaining of working face in actual engineering application, and to reduce the entry retaining cost, the 11101 working face is used as the background, through engineering site practice, the wall rock structure of gob-side entry retaining in waste rock mining, the stress process of entry retaining wall rock, the wall rock deformation and the movement features of overburden are analyzed; and based on the results of stress analysis of entry retaining wall rock and the wall rock control principles of gob-side entry retaining of waste filling working face, the Anchor Cable + Reinforcing Rock Bolt and other solutions are rolled out. The monitoring system is designed to monitor the deformation of entry retaining wall rock and the bearing performance of the separating wall of entry retaining. The site monitoring results show that the deformation of the haulage drift is small, within the controllable range, which means that the entry retaining is successful and can provide a reference for using the entry retaining wall rock control technology under similar conditions.

Key words: cut-and-fill mining; gob-side entry retaining; law of wall rock stability; wall rock control

1 前言

矸石充填工作面沿空留巷技术是在我国煤炭开采不断向深部进行的背景下通过实践形成的一种先进开采技术。许多专家学者进行了大量研究,康红普等^[1]通过数值模拟以及实际工程实践,提出深部开采沿空留巷技术留巷支护原则;陈勇等^[2]通过分析沿空留巷围岩三个变形阶段得到了沿空留巷巷内支护机理以及技术;李化敏^[3]基于现场工程实验以

及建立沿空留巷力学模型,通过分析沿空留巷上覆岩层活动以及变形,得出了巷旁填充体在上覆岩层活动的各个阶段中的作用;朱川曲、张道兵等^[4]通过建立力学结构极限状态方程得到了支护结构可靠度的计算公式,并基于此公式提出了提高沿空留巷支护结构可靠性的相关措施;谢文兵^[5]通过分析沿空留巷围岩位移过程特点及其应力演化特点认为在确保顶板稳定条件下,可以合理利用围岩以及填充方式达到很好的留巷效果。

与传统的垮落法采煤不同,充填法开采中采空区的充填体限制了上覆岩层的移动,改变了长壁综采工作面的顶板运移规律,矿压显现平缓,为实施沿空留巷技术创造了有利条件。因此,本文在分析了矸石充填开采沿空留巷围岩结构、围岩应力以及变

[作者简介] 李胜伟(1984-),男,本科,高级工程师,从事采掘技术管理工作。

[引用格式] 李胜伟. 矸石充填工作面沿空留巷技术应用与效果监测分析[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(2): 54-59.

形特征的基础上,采用“锚索+高强锚杆”等支护方式对矸石充填开采沿空留巷进行支护实践,并通过现场监测验证了支护方案的可行性以及沿空留巷的稳定性。

以11101工作面为背景,11101工作面位于矿区西南部,煤层平均埋深155 m,受地形限制影响,工作面平均采高2.3 m,走向长1 037.5 m,倾向长150 m,在断层近一定范围内的煤层有被压缩变形的现象。11101工作面煤层稳定,倾角为 4° ,直接顶多为平均厚度为2.9 m的泥岩;伪顶为0.3 m厚较破碎的泥岩。直接底为平均厚度为6.5 m的泥岩。

2 矸石充填开采沿空留巷围岩结构

传统沿空留巷的采空区处理方法为垮落法,采煤作业完成之后形成的采空区使得直接顶断裂、垮塌,上覆岩层形成的“竖三带”,矿压显现较为强烈。

矸石充填工作面沿空留巷完成综采工作面采煤作业之后,用矸石进行填充采空区,充填材料占据了上覆岩层垮落空间,减少了等效采高^[5],基本顶下沉量减小以至于不发生断裂,或者即使断裂,其断裂岩块的回转角不大,工作面来压强度不剧烈。矸石垮落由于具有碎胀系数,不能完全填满采空区,但是充填率越高,控制留巷围岩变形的效果也就越好,相关研究表明充填率最低应达到85%^[6]。此时上覆岩层的荷载由直接顶承担,沿空留巷巷道围岩以及砌体墙仅承受直接顶与楔形承载区岩体的重力,荷载较低,在此基础上,沿空留巷技术才能够得以实现。图1所示为传统沿空留巷,图2所示为充填开采沿空留巷。

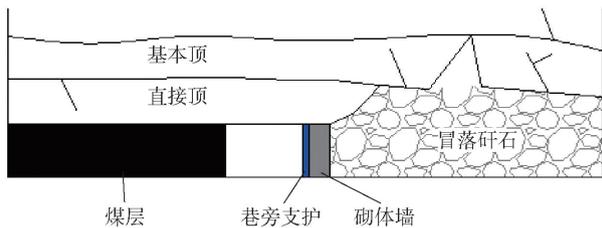


图1 传统沿空留巷

3 充填开采沿空留巷围岩应力分析

3.1 留巷顶板运动特征

侯朝炯教授提出沿空掘巷采场围岩结构可分为大、小结构。大结构是指上覆岩层经过断裂、回转、下沉运动之后形成的可以为沿空掘巷巷道提供相对稳定的围岩条件的结构,小结构是指锚索锚杆等支护手段与支护范围内的围岩共同组成的相对稳定的

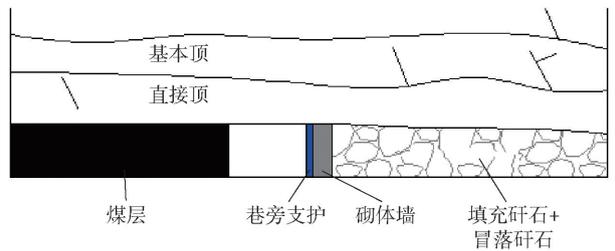


图2 充填开采沿空留巷

锚固体。由于沿空掘巷与沿空留巷在工作面开采后的地下结构类似,则大、小结构概念同样适用于沿空留巷技术^[7-8]。根据沿空留巷的相关研究,工作面开采时对上覆岩层活动影响以及采场结构的改变过程分为前、过渡、后期。

前期:综采工作面的回采工作结束,支架随之前移,采空区上方直接顶开始冒落,冒落的矸石与充填矸石一起充填采空区,占据上覆岩层垮落空间。采空区侧向边界,砌体墙前方一定距离的直接顶与上覆关键岩层之间形成“悬臂梁”覆岩结构。

过渡期:随着综采工作面的继续推进,基本顶达到极限跨距后在采空区上方破断、回转、下沉,基本顶破断岩块与下方充填矸石形成大结构,为采场提供相对稳定围岩条件。

后期:基本顶对下方矸石不断积压,随着矸石的不断压实,上覆岩层离层带加大,上位岩层也将折断、弯曲下沉,重新与下方的基本顶形成更大范围的大结构,采场围岩相对稳定。

3.2 留巷围岩受载过程

随着综采工作面的不断推进,采场围岩应力重分布,围岩反复的应力集中与卸荷造成采场围岩强度以及稳定性的降低,且围岩的应力会随着上覆岩层的破裂、旋转以及下沉而不断变化,因此将留巷围岩受载过程分为前期、中期以及后期三个时期^[9]。

前期:围岩在工作面回采前处于上区段工作面的超前支承压力作用时期,上区段采空区一侧的残留直接顶重量由砌体墙和巷旁支护以及实体煤侧共同承担,留巷砌体墙侧面以及实体煤侧发生破坏,且塑性破坏区范围不断增大,在煤壁前方以及砌体墙中段应力集中,形成“应力双峰”。

中期:工作面推进后,直接顶开始冒落,由于采空区有充填矸石的作用能够一定程度限制上覆岩层的下沉运动,因此基本顶运动不明显。随着推进距离的不断加大,上覆岩层之间裂隙带加大,弯曲下沉量加大,直至基本顶达到极限跨距后在采空区上方

破断、回转、下沉。此时采场来压剧烈,巷道实体煤侧以及巷旁支护体和砌体墙构成的小结构受力显著增加,巷旁支护体与砌体墙压缩变形速度加快,承载能力增加。

后期:由于基本顶的下沉与采空区矸石构成了大结构,故此时的采场围岩条件相对稳定,应力较低。

3.3 留巷围岩变形特征

1) 留巷顶板变形

沿空留巷巷道顶板处于上、下两区段的回采扰动应力影响区,顶板强度与稳定性降低,顶板离层加大,易破碎、垮落。留巷实体煤一侧与巷旁支护由于强度不同,能够提供的支护阻力也就不同,导致顶板受力不均难以自稳。同时由于留巷中段支护强度不够,造成留巷中段的顶板离层量显著大于留巷两帮离层量,形成“一”型巷道顶板^[10]。

2) 留巷底板变形

留巷实体煤一侧与巷旁支护提供的对顶板的支

撑阻力不同导致两帮作用于底板的载荷也不同,同时由于直接底为平均厚度 6.5 m 的泥岩,在高支承压力的作用下,容易产生塑性流动、蠕变或者底板岩层的压曲断裂,形成“剪切错动型”底鼓^[11]。

3) 巷旁支护变形

由于基本顶运动后形成的各断裂岩块之间在矸石充填采空区的前提下排列整齐进而形成“砌体梁”稳定结构,因此砌体墙以及实体煤帮只承受直接顶的重力作用,则其受的压力相对较小。但是矸石受压时将会产生一定的塑性形变,在直接顶长期的压缩作用下,砌体墙以及巷旁支护体在垂直方向被压缩,容易发生鼓帮,同时顶板下沉,留巷实体煤一侧发生塑性破坏且塑性破坏范围不断增大。

4 矸石填充工作面沿空留巷支护技术

根据矸石充填工作面沿空留巷巷道围岩控制基本原理以及“先固顶”“再护帮”的支护原则,最终确定矸石充填工作面沿空留巷支护方案,具体如图 3 所示。

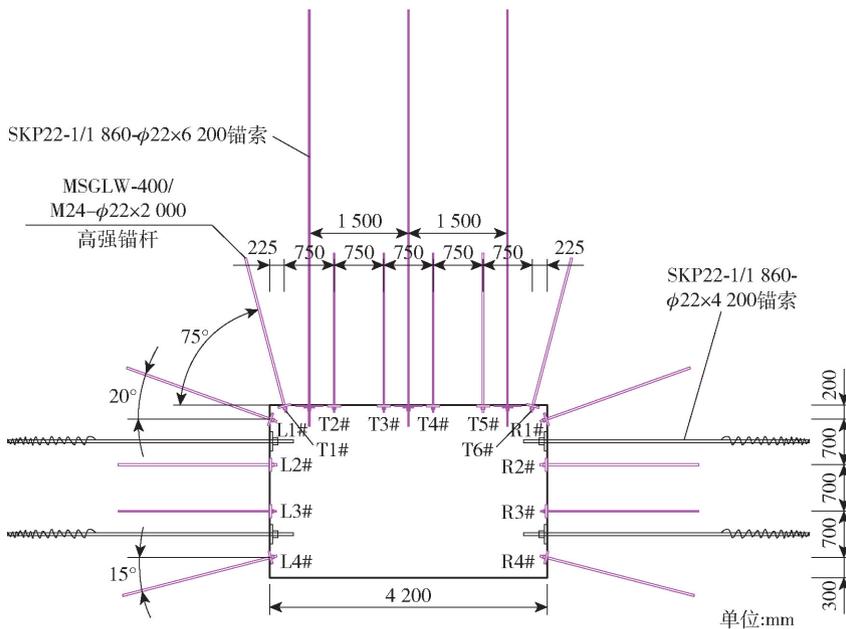


图 3 运输平巷支护断面示意图

4.1 顶板支护参数

1) 顶板锚索支护

锚索:采用 SKP22-1/1860 高强度低松弛钢绞线垂直于留巷顶板按照 1 500 mm × 2 000 mm 间隔支护,在顶板对于 11101 工作面运输平巷正常段顶板采用“3030”布置形式,规格 φ22 mm × 6 200 mm。锚索的初始张拉力大于 30 MPa。T 型钢带规格为 2 400 mm × 180 mm × 12 mm,一梁 2 孔,按图 4 所示

压在 M 型钢带上方。图 4 所示为顶板支护俯视图。

2) 顶板锚杆支护

锚杆采用 MSGLW-400/M24-22 × 2 000 mm 高强锚杆,共 6 根,间排距 750 mm × 1 000 mm;锚杆角度:顶板 1#锚杆偏向实体煤侧 15°,2#~5#锚杆垂直留巷顶板,6#锚杆偏向外采空区侧 15°。螺母:80~120 N·m 扭矩型。垫圈:调心球垫配套垫圈。托盘:120 mm × 100 mm × 8 mm 蝶形托盘。预紧力矩:预

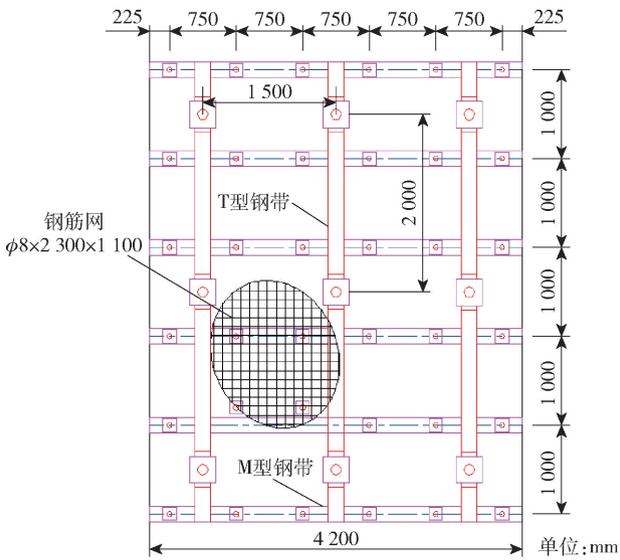


图4 运输平巷顶板支护俯视图

紧力大于 50 kN, 预紧力矩大于 300 N·m。钢带采用 M5 型钢带, 4.4 m 长的 M5 型钢带, 孔间距 750 mm。钢筋网: 顶板采用两块 2 300 × 1 100 mm 的 8 mm 钢筋网。

3) 帮部锚索支护

帮部锚索规格采用 SKP22-1/1860 高强度低松弛钢绞线按照 1 400 mm × 2 000 mm 间隔支护, 对于 11101 工作面运输平巷正常段帮部采用“2020”布置形式, 即每两排施工一组锚索, 规格 $\phi 22$ mm × 4 200 mm。锚索的初始张拉力大于 30 MPa。T 型钢带规格为 1 800 mm × 180 mm × 12 mm, 一梁 2 孔, 按图 5 所示纵向布置, 压在 M 型钢带上方。图 5 所示为两帮支护示意图。

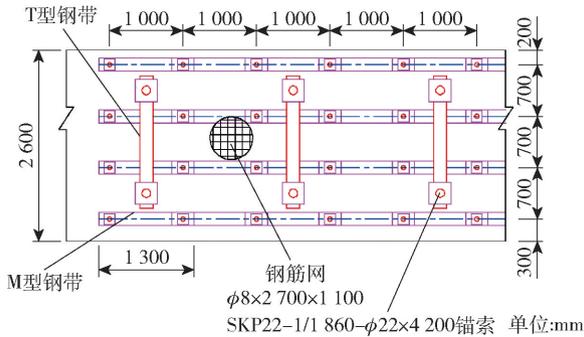


图5 运输平巷两帮支护示意图

3) 帮部锚杆支护

锚杆采用 4 根 MSGLW - 400/M24 - 22 × 2 000 mm 按图 5, 700 × 1 000 mm 间隔施工。锚杆角度: 1# 锚杆上仰 15°, 2# ~ 3# 锚杆垂直部帮施工, 4# 锚杆下扎 15°。预紧力大于 50 kN, 预紧力矩大于 250

N·m。钢带采用 1 300 m 长的 M5 钢带压茬施工(走向布置), 孔距 1 000 mm。钢筋网使用 1 块 2 700 mm × 1 100 mm 的 8 mm 钢筋网, 网孔距 100 mm, 压茬部分 100 mm, 并采用 14 号铁丝按 100 mm 间隔进行有效扎接。

4.2 矸石充填工作面沿空留巷效果监测分析

为了进一步验证矸石充填工作面沿空留巷技术的留巷效果, 对 11101 工作面运输平巷进行应力和变形监测, 研究结果可为相邻工作面类似地质条件下的沿空留巷支护技术提供参考。

1) 巷道周围位移监测与分析

通过对超前巷道表面变形的监测, 可分析深井矸石充填工作面超前支承压力的 大小及其影响范围, 掌握沿空留巷围岩弱化情况, 为后续留巷围岩控制提供依据。对 11101 充填工作面运输平巷 5 个测站监测数据进行整理, 测站分别距切眼 36 m、51 m、66 m、81 m、96 m, 具体如图 6 所示。通过测量得到留巷巷道在工作面回采期间的变形曲线, 具体如图 7 至图 11 所示。

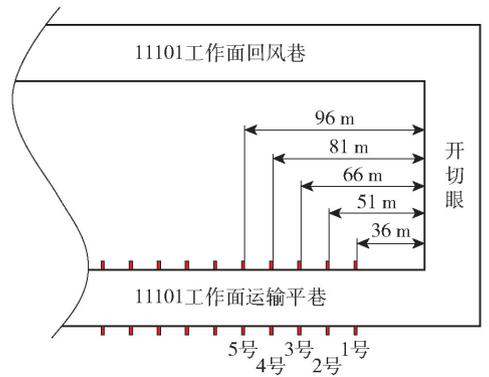


图6 围岩变形测站布置

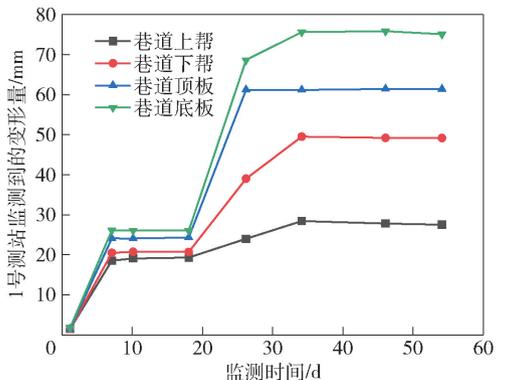


图7 1号测站沿空留巷围岩变形监测数据

由图 7 可知, 距切眼 36 m 的 1 号测站在监测至 20 天时, 巷道的上帮、下帮、顶板和底板变形量突然

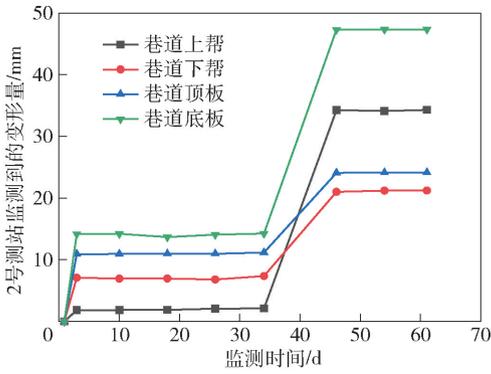


图8 2号测站沿空留巷围岩变形监测数据

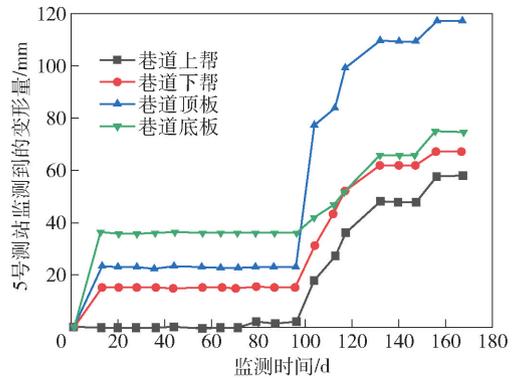


图11 5号测站沿空留巷围岩变形监测数据

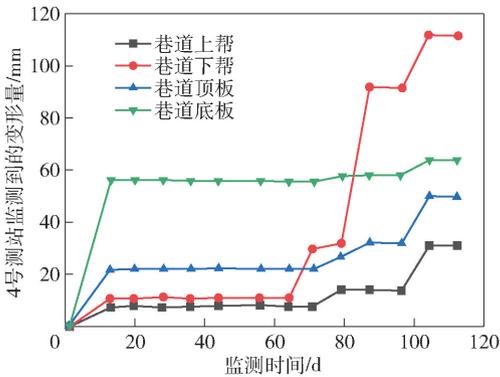


图9 3号测站沿空留巷围岩变形监测数据

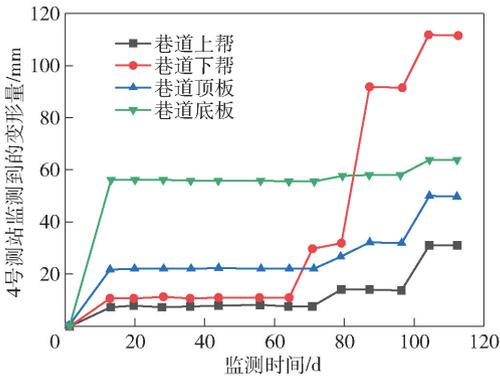


图10 4号测站沿空留巷围岩变形监测数据

增大,其中以底板变形量增加最大。距离切眼 51 m 的 2 号测站在监测至 35 天时,围岩变形出现突增现象,仍是底板变形增量最大。距离切眼 66 m 的 3 号测站变形量在监测至 40 天时底板围岩变形量突然增大,上帮、下帮和顶板围岩变形量增大趋势平缓。距离切眼 81 m 的 4 号测站在监测至 60 天时,底板围岩变形量突然增大,顶板的变形量在 10 天左右时突然增大,上帮、下帮围岩变形量增大趋势平缓。距离切眼 96 m 的 5 号测站监测至 95 天时巷道围岩出现突增,底板围岩增量最大,巷道上帮变形量增量及

趋势最平缓。因此,11101 充填工作面超前 100 m 范围内的巷道围岩均存在围岩变形量突增的时刻,这是由于受超前支承压力的影响。但总体来看,工作面超前巷道两帮及顶板变形量都在可控范围内。

2) 留巷隔离墙体内应力监测与分析

通过对隔离墙体内应力的监测,可分析矸石袋垒设的隔离墙承载性能,为留巷围岩的稳定提供依据。在矸石隔离墙中安装压力盒,将压力盒高压油管接入压力表,对留巷隔离墙体压力进行实时监测。压力监测数据并入矿压监测系统,可实时传输至地面监控中心。在工作面切眼以南 50 m、120 m、230 m 处隔离墙体中,沿走向平行布置 3 组测站,每组测站含 2 个压力盒,间距为 0.8 m,距底板 1.0 m,安装深度 1.5 m,与锚杆错开布置。在距切眼 50 m 处相邻布置的 2 台隔离墙体受力传感器测得的隔离墙体受力变化曲线,具体如图 12 所示。

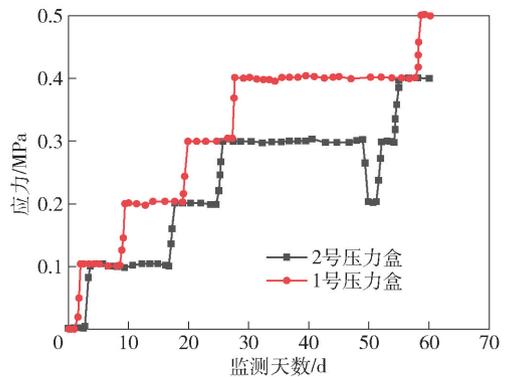


图12 隔离墙体受力变化曲线

可以看出,传感器至工作面的距离由 0 增加至 40 m 时,隔离墙体受力呈“类阶梯式”增大,最大值平均值为 0.3 MPa。随着工作面推进,在隔离墙体承载一定时间后,墙体内应力有较大波动,最后趋于稳定。

通过现场观测得出:留巷结束后,充填帮、实体帮移近量与变形量较小,顶板完整性好,且下沉量不大,底鼓量较大,且部分区段底板出现轻微硬化破裂。可见,留巷围岩变形量总体上在可控范围内,留巷获得成功。

5 结论

(1)利用矸石填充开采后形成的采空区能够有效减少采场上覆岩层活动,顶板活动后期与矸石压实构成大结构,给采场提供相对稳定的围岩条件。

(2)沿空留巷的巷旁和煤帮的支护方式,力学性能将会直接影响到沿空留巷围岩的强度和稳定,巷内的及时支护能够有效预防顶板破碎以及由于砌体墙和实体煤侧受力不均引起的底鼓。

(3)根据充填开采沿空留巷围岩结构与应力分析,顶板采用“锚索+高强锚杆”的支护方案,帮部锚索采用高强度低松弛钢绞线按照 $1\ 400\ \text{mm} \times 2\ 000\ \text{mm}$ 间隔支护,对11101工作面运输平巷正常段帮部采用“2020”布置形式,并另配备锚杆进行加强支护。

(4)设计了监测系统,对留巷围岩变形及留巷隔离墙体承载性能进行了监测,监测结果表明,采用上述联合支护方案后,留巷两帮及顶板变形量较小,底鼓现象相对突出,在隔离墙体内应力有较大波动,但最后趋也于稳定。可见,留巷总体无论在变形量还是承载性能方面,均处于可控范围内,留巷获得成

功,但底鼓控制仍是今后的重点。

[参考文献]

- [1] 康红普,牛多龙,张镇,等.深部沿空留巷围岩变形特征与支护技术[J].岩石力学与工程学报,2010,29(10):1977-1987.
 - [2] 陈勇,柏建彪,王襄禹,等.沿空留巷巷内支护技术研究与应用[J].煤炭学报,2012,37(6):903-910.
 - [3] 李化敏.沿空留巷顶板岩层控制设计[J].岩石力学与工程学报,2000(5):651-654.
 - [4] 朱川曲,张道兵,施式亮,等.综放沿空留巷支护结构的可靠性分析[J].煤炭学报,2006(2):141-144.
 - [5] 谢文兵.综放沿空留巷围岩稳定性影响分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(18):3059-3066.
 - [6] 郑忠友,吴玉意,朱磊,等.矸石充填开采沿空留巷围岩控制技术研究[J].煤炭技术,2020,39(6):19-23.
 - [7] 周川旸.贵州某矿一次成双巷沿空留巷技术应用研究[D].贵阳:贵州大学,2019.
 - [8] 陈勇.沿空留巷围岩结构运动稳定机理与控制研究[D].徐州:中国矿业大学,2012.
 - [9] 唐建新,邓月华,涂兴东,等.锚网索联合支护沿空留巷顶板离层分析[J].煤炭学报,2010,35(11):1827-1831.
 - [10] 华心祝,李迎富.沿空留巷底板变形力学分析及底鼓防控[J].煤炭学报,2016,41(7):1624-1631.
 - [11] 徐营,周辉,柏建彪,等.沿空留巷底鼓特性与控制方法研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(S2):4235-4243.
-
- (上接第46页)
- 抗压强度均能大于1.5 MPa,可满足上向分层胶结充填采矿法矿山充填强度要求。
- (4)使用流变仪测试得到料浆相应粘度和动态屈服应力,推导计算出尾砂输送单位沿程阻力值最小的最佳工况,可作为充填尾砂输送系统设计参考。
- [参考文献]
- [1] 李夕兵,周健,王少峰,等.深部固体资源开采评述与探索[J].中国有色金属学报,2017,27(6):1236-1262.
 - [2] 古德生.地下金属矿采矿科学技术的发展趋势[J].黄金,2004,25(1):18-22.
 - [3] 石采星,郭利杰,许文远,等.某铜矿尾砂高浓度充填技术方案优化研究[J].中国矿业,2019,28(2):415-419.
 - [4] 刘可任.充填理论基础[M].北京:冶金工业出版社,1982.
 - [5] 付建勋,贺茂坤.细粒级全尾砂基础特性及其流变试验研究[J].中国矿山工程,2020,49(1):63-67.
 - [6] 石宏伟,黄吉荣,滕高礼,等.高浓度分级尾砂充填料浆管输阻力影响因素研究与分析[J].有色金属(矿山部分),2019,71(6):89-94.
 - [7] 侯国权,郭利杰,杨超,等高浓度全尾砂充填料浆流变特性试验研究[J].中国矿业,2014,(z2):238-241.