

* 沿空留巷挡矸应力演变及围岩运动规律研究

王 壮, 陈庆玉, 陈庆钊, 王在斌

(山东省邱集煤矿有限公司, 山东 德州 251105)

摘 要: 为了研究沿空留巷挡矸应力演变及围岩运动规律, 以邱集煤矿 1101 工作面双重灰岩复合顶板为研究对象, 采用切顶卸压沿空留巷技术进行开采。随着工作面推采, 上覆岩层逐渐弯曲、下沉, 与采空区垮落的矸石接触。利用 GPD300 矿用本安型充填体挡矸压力传感器和 YHJ65J 激光测距仪来监测采动影响下巷道挡矸支护应力及巷道变形规律。结果表明, 挡矸压力在滞后工作面平均 13 m 位置处开始增长, 在滞后工作面 21.5 m 出现首次稳定, 滞后工作面 55 m 位置处出现第 2 次增长, 两台监测仪器的监测结果最大值为 3.02 kN, 约为 87 kPa; 采用 YHJ65J 激光测距仪对留巷巷道收敛特性进行检测, 发现顶底板移进量大于两帮收敛量, 巷道挡矸效果明显。

关键词: 挡矸支柱; 沿空留巷; 巷道变形; 压力

中图分类号: TD325

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Stress Evolution of Blocking Gangue in Gob-Side Entry Retaining and Surrounding Rock Movement

WANG Zhuang, CHEN Qingyu, CHEN Qingzhao, WANG Zaibin

(Shandong Qiuji Coal Mine Co., Ltd., Dezhou 251105, China)

Abstract: In order to study the stress evolution of blocking ganague in gob-side entry retaining and surrounding rock movement, taking the double limestone composite roof of the 1101 working face in Qiuji Mine as the research object, the roof cutting pressure releasing technology in the gob-side entry retaining was used in mining. With the advancing of the working face, the overlying rock strata gradually bent and sank, and then reached the gangue collapsed in the mined-out area; the GPD300 intrinsically safe filling body pressure sensor and YHJ65J laser range finder were used to monitor the supporting stress of blocking gangue under the influence of mining and roadway deformation. The results showed that: The blocking gangue pressure began increasing at average 13 m of the lagging working face, stabilized for the first time at 21.5 m, and increased for the second time at 55 m. The maximum monitoring value by the two monitoring instruments was 3.02 kN, about 87 kPa. With YHJ65J laser range finders, the convergence between roof and floor was found greater than that between two sides in the retaining roadway, which had distinct blocking gangue effects.

Key words: blocking gangue support; gob-side entry retaining; roadway deformation; pressure

沿空留巷技术是深部无煤柱开采的重要发展方向^[1]。沿空留巷技术成功的应用, 不仅对生产矿井

进行技术改造、缓和采掘关系及延长矿井寿命具有现实意义, 也是煤炭企业改善安全条件和技术经济

* 收稿日期: 2020-12-20

作者简介: 王壮(1995-), 男, 山西长治人, 本科, 工程师, 从事采矿工程煤层气研究, E-mail: 1047892561@qq.com

指标增产、增盈的主要途径之一。近年来,我国部分矿区采用切顶卸压沿空留巷技术,国内外学者对此做了大量的研究并取得了重要的理论研究成果^[2-14]。现场工程实践表明,在煤层采出后,基本顶断裂位置大多发生在挡矸支柱外侧和实体煤上方,其中以实体煤上方居多。1101工作面采用预裂爆破切顶卸压技术,在预留巷道一侧形成贯穿的切缝面,使得坚硬顶板断裂位置发生在挡矸支柱外侧,减小基本顶悬臂梁长度,提高巷道稳定性,对挡矸支护方案具有重要的现实意义。

1 工程概况

1.1 工作面概况

1101工作面属邱集煤矿11#一采区,工作面标高422 m~338 m,位于11#集中轨道上山以西,北邻西翼泄水巷保护煤柱,南至一采区胶带巷,东邻11#集中轨道上山保护煤柱,西侧为1103工作面。1101工作面走向长100 m,倾斜长789 m。

根据巷道实际揭露情况分析,1101工作面范围内煤层赋存较稳定,适合综合机械化开采。采用倾斜长壁后退式采煤法,综合机械化采煤,全部垮落法管理顶板,一次采全高,每循环推进度为0.8 m。工作面共安装ZY6800/14/28D型掩护式支架66架,最小控顶距4 160 mm,最大控顶距4 960 mm。

1101工作面轨道顺槽采用矩形断面,规格为净宽×净高=4.0 m×2.5 m, $S_J=10.09\text{ m}^2$,荒宽×荒高=4.2 m×2.6 m, $S_H=11.01\text{ m}^2$,两顺槽均为进风巷。根据设计,1101轨道顺槽为预留巷道,为后期采煤工作面服务,补强支护采用普通锚索和单体液压支柱支护。

1.2 煤层情况

该工作面煤层走向近东西,煤层倾角 $3^\circ\sim 8^\circ$,平均 5° ,煤厚1.8~2.4 m,平均煤厚2.1 m,煤层结构简单且赋存比较稳定。煤为块状—粉末状,以亮煤为主,含少量镜煤、暗煤条带及微量丝炭。

1.3 顶底板条件

煤层直接顶板为平均厚度2.01 m的五灰岩,五灰以上是平均厚度1.14 m的泥岩以及平均厚度

5.13 m的四灰岩,四五灰岩平均厚度7.69 m。灰岩顶板的抗压强度为127 MPa,为极坚固岩石,属坚硬顶板。直接底板主要为粉砂岩,其次为泥岩或粘土岩,局部有炭质泥岩或粘土岩伪底,平均厚度为5.56 m。

2 挡矸压力与巷道支护监测

邱集煤矿1101工作面为双重灰岩复合顶板,坚硬不易垮落,采用切顶卸压沿空留巷技术进行开采,既能提高煤炭回收率,巷道还可为下一个工作面服务。针对邱集煤矿1101工作面,采用GPD300矿用本安型充填体挡矸压力传感器和YHJ65J激光测距仪来监测采动影响下巷道挡矸支护应力及巷道变形规律。

2.1 挡矸压力监测点布置

工作面支架拉架后即开始对所留巷道沿空侧采空区顶板垮落过程进行监测,主要监测采空区矸石侧向压力。在轨道顺槽的挡矸工字钢中部,距离开切眼30 m、70 m各布置一个测站,每个测站安装一个GPD300矿用本安型充填体挡矸压力传感器。

GPD300矿用本安型充填体挡矸压力传感器(简称挡矸传感器)主要布置在采空区底挡矸支护结构上,用于监测冒落矸石在采动影响条件下的应力时空变化规律,以及随工作面推进速度和距离变化影响下的挡矸支护分布规律。其量程为0~20 kN,经过改装可安装在挡矸工字钢中部,监测挡矸支护侧向受力。挡矸传感器是由传感器压头和采集器表头组成,二者之间通过传输电缆进行连接,挡矸传感器的压头位于采空区内。

2.2 巷道形变监测点布置

1101工作面轨道顺槽布置4个巷道变形测站,共计4台激光测距仪。

在轨道顺槽距离开切眼30 m、70 m各布置1台YHJ65J激光测距仪,监测挡矸支护两帮的收敛量。在轨道顺槽距离开切眼200 m和距离停采线200 m各布置一个测站,每个测站布置2台YHJ65J激光测距仪,监测巷道顶底板和两帮变形量,安装位置详情如表1所示。

表1 激光测距仪安装详情

Table 1 Installation of laser rangefinders

仪器编号	与切眼距离/m	激光测距仪安装位置	反光板安装位置
101	30	沿推采走向轨道顺槽右帮	挡矸工字钢中部
102	70	沿推采走向轨道顺槽右帮	挡矸工字钢中部
103	200	沿推采走向轨道顺槽右帮	推采煤帮中部
104	200	沿推采走向轨道顺槽右帮	轨道顺槽顶板中部

3 结果与分析

3.1 留巷巷道挡矸压力规律

36# 挡矸压力传感器安装在距离开切眼 36.2 m 位置,如图 1(a)所示。挡矸压力传感器在滞后工作面 15 m 位置处,挡矸压力以每推进 1 m 增长

0.17 kN的速度开始逐步上升;滞后工作面 24~58 m 范围内挡矸压力变化逐步趋于平稳;滞后工作面 58 m 挡矸压力传感器又开始逐步上升,截止到工作面推进至 110 m(6 月 10 日)仪器失效,挡矸压力传感器最大值为 3.02 kN。挡矸压力传感器的直径为 210 mm,其最大应力为 87 kPa。

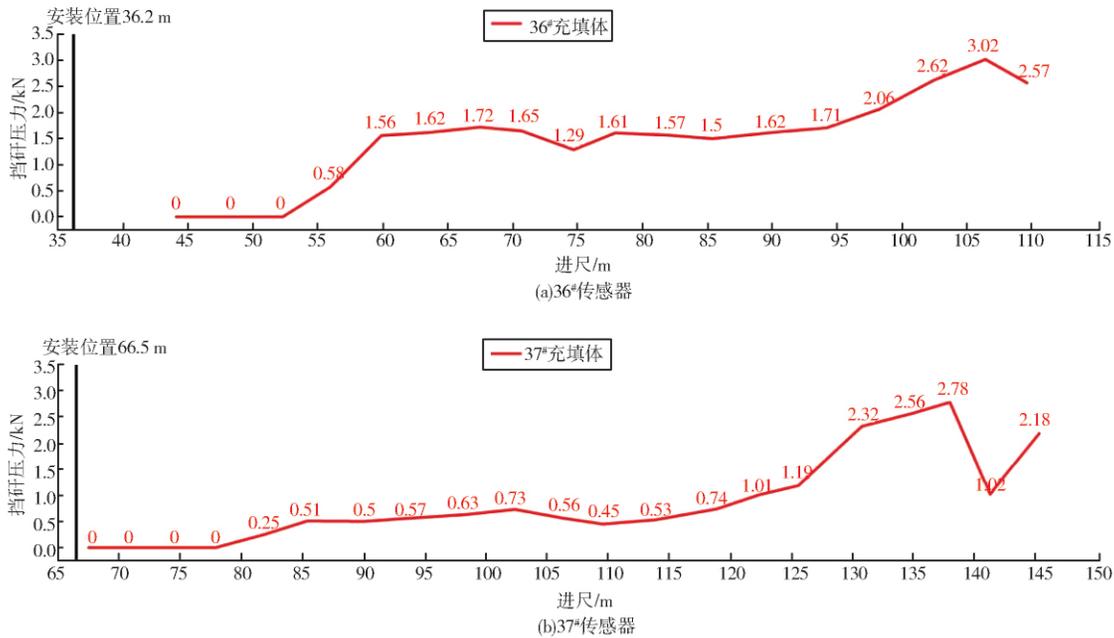


图 1 挡矸压力传感器变化曲线

Fig. 1 Variation of blocking gangue pressure sensors

37# 挡矸压力传感器安装在距离开切眼 66.5 m 位置,如图 1(b)所示。挡矸压力传感器在滞后工作面 11~19 m 范围内以每推进 1 m 增长 0.06 kN 的速度开始逐步上升;滞后工作面 19~60 m 范围内挡矸压力变化逐步趋于平稳;滞后工作面 52 m 挡矸压力传感器又开始逐步上升,截止到工作面推进至 145.3 m(6 月 19 日)仪器失效,挡矸压力传感器最大值为 2.78 kN。

36# 挡矸压力传感器与 37# 挡矸压力传感器对比分析如表 2 所示。挡矸压力在滞后工作面平均 14.5 m 位置处开始增长,在滞后工作面 21.5 m 出现首次稳定。滞后工作面 55 m 位置处出现第 2 次增长,监测结果最大值为 2.9 kN,挡矸压力传感器的直径为 210 mm,其最大应力为 83 kPa。

表 2 两挡矸压力传感器监测结果

Table 2 Monitoring results of twoblocking gangue pressure sensors

编号	首次增长滞后工作面/m	首次稳定滞后工作面/m	第 2 次增长滞后工作面/m	监测挡矸压力最大值/kN
36#	15.0	24.0	58.0	3.0
37#	11.0	19.0	52.0	2.8
平均值	13.0	21.5	55.0	2.9

3.2 留巷巷道收敛变化规律

1101 工作面推采过程中,共安装 4 台 YHJ65J 激光测距仪,其中 101#、102# 和 104# 激光测距仪监测巷道两帮收敛量,103# 激光测距仪监测巷道顶板表面下沉量,详细信息如表 3 所示。激光测距仪安装后,所监测到最大巷道顶板下沉量为 228 mm,101#、102# 和 104# 检测到巷道两帮收敛量分别为 44 mm、260 mm 和 121 mm。

表 3 激光测距仪安装位置详情

Table 3 Installation of laser rangefinders

仪器编号	安装切眼位置/m	安装位置巷道里程/m	安装日期	监测收敛量
101	42	39.4	6 月 1 日	两帮
102	73	69.5	6 月 7 日	两帮
103	208	200.0	7 月 9 日	顶板
104	208	200.0	7 月 9 日	两帮

101 号激光测距仪监测留巷两帮收敛,其最大收敛量为 44 mm。在安装初期,距离推采工作面 40 m 时,巷道两帮收敛量有明显的上升,第二阶段为距离工作面 90~130 m 时两帮收敛量有所增加;截止距离工作面 180 m 时,巷道里程 39.4 m 处两帮的移进量为 44 mm,如图 2 所示。

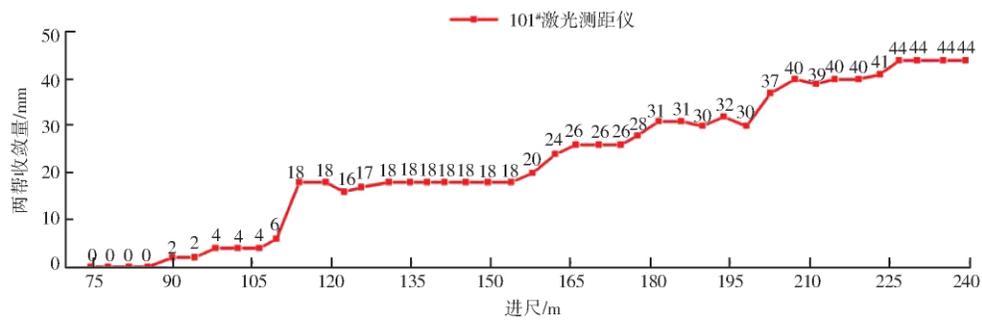


图 2 101# 激光测距仪随推采变化曲线

Fig. 2 Convergence variation with mining by No. 101 laser rangefinder

102 号激光测距仪监测留巷两帮收敛,其最大收敛量为 260 mm。在安装初期,距离推采工作面 20 m 时,巷道两帮收敛量有明显的上升,收敛量为 50 mm;第二阶段为距离工作面 75~110 m 时两帮

收敛量有所增加,此阶段增长约 80 mm;截止距离工作面 300 m 以外时,巷道里程 69.5 m 处两帮移进量为 260 mm,不再增加,如图 3 所示。

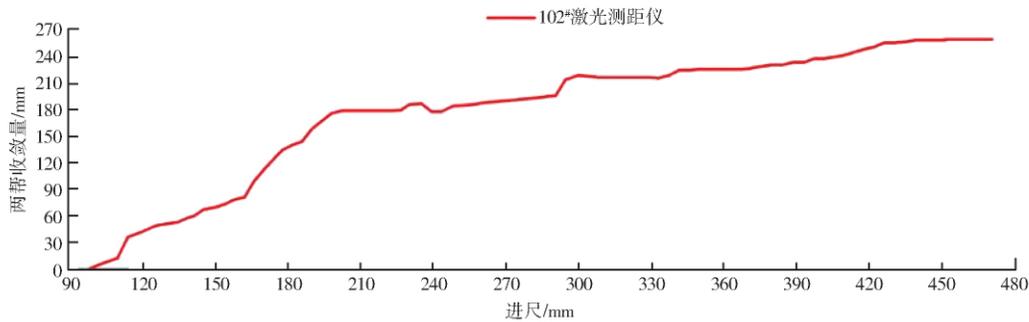


图 3 102# 激光测距仪随推采变化曲线

Fig. 3 Convergence variation with mining by No. 102 laser rangefinder

103# 激光测距仪位于巷道里程 200 m 位置,监测留巷顶板下沉量。在安装初期,距离推采工作面 30 m 时,下沉量较大,为 49 mm,此时处于留巷不稳

定阶段,工作面后方矸石逐步冒落密实,约 280 m 后,顶板移进量处于稳定状态,最大下沉量为 228 mm,如图 4 所示。

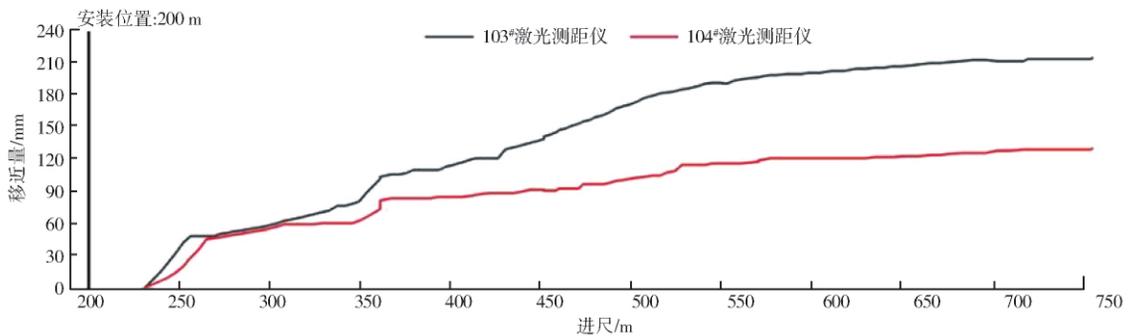


图 4 103# 和 104# 激光测距仪随推采变化曲线

Fig. 4 Convergence variation with mining by No. 103 and No. 104 laser rangefinder

104# 激光测距仪,位于巷道里程 200 m 位置,监测留巷巷道两帮收敛量。安装初期,随着顶板矸石垮落,两帮有移进量明显增加,约为 46 mm;在 361 m 附近时巷道收敛量明显增加,此时为工作面周压显现剧烈区段,影响工作面后方约 130 m,周压显现剧烈过后,两帮收敛量平稳增加并趋于稳定,最

大移进量为 121 mm。

综上所述,巷道两帮移进量远小于巷道顶板下沉量,说明巷道挡矸效果明显,在留巷初期,巷道处于不稳定状态,收敛变形较大,约为进尺 20 m 范围内收敛约 50 mm 左右。

4 结论

以邱集煤矿 1101 工作面为工程背景,分别采用 GPD300 矿用本安型充填体挡矸压力传感器和 YHJ65J 激光测距仪来监测巷道挡矸压力及巷道变形规律,研究结果如下。

1)采用 GPD300 矿用本安型充填体挡矸压力传感器对所留巷道碎石帮横向压力研究分析,监测结果表明:挡矸压力在滞后工作面平均 13 m 位置处开始增长,在滞后工作面 21.5 m 出现首次稳定,滞后工作面 55 m 位置处出现第 2 次增长,两台监测仪器的监测结果最大值为 3.02 kN,约为 87 kPa。

2)架后挡矸支护随变形增加工字钢变形弯曲严重,但没有发生漏矸现象,工字钢大部分被压弯,在后续施工中,保持此间距不变,将工字钢靠近切缝线一侧,可增大侧向支护阻力,减少工字钢因顶板下沉导致弯曲。

3)采用 YHJ65J 激光测距仪对留巷巷道收敛特性进行检测,发现顶底板移进量大于两帮收敛量,说明巷道挡矸效果明显。在留巷初期,巷道处于不稳定状态,收敛变形较大,所监测到最大巷道顶板下沉量为 228 mm,巷道两帮收敛变形在滞后工作面 130 m 逐步趋于稳定,两帮最大收敛量为 260 mm。

参考文献:

- [1] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2813.
HE M C,XIE H P,PENG S P,et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2005,24(16):2803-2813.
- [2] 陈登红,华心祝,鲁德超,等. 深部厚煤层开采底板巷道受采动影响矿压显现规律研究[J]. 煤炭技术,2014,33(7):174-177.
CHEN D H,HUA X Z,LU D C,et al. Study on mining effect laws on tunnel of floor affected by mining pressure under deep thick coal seam[J]. Coal Technology,2014,33(7):174-177.
- [3] 王猛. 煤矿深部开采巷道围岩变形破坏特征试验研究及其控制技术[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2010.
- [4] 王宏岩,王猛. 深部矿井开采问题与发展前景研究[J]. 煤炭技术,2008(1):3-5.
WANG H Y,WANG M. Research of deep mining question and development prospects[J]. Coal Technology,2008,27(1):3-5.
- [5] 张国锋,何满潮,俞学平,等. 白皎矿保护层沿空切顶成巷无煤柱开采技术研究[J]. 采矿与安全工程学报,2011,28(4):511-516.
ZHANG G F,HE M C,YU X P,et al. Research on the technique of no-pillar mining with gob-side entry formed by advanced roof caving in the protective seam in Baijiao Coal Mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2011,28(4):511-516.
- [6] 任志成,杨胜利,孔德中. 深部巷道围岩变形与破坏特征[J]. 煤矿安全,2014,45(8):224-227.
REN Z C,YANG S L,KONG D Z. Deformation and failure characteristic of roadway in deep mine[J]. Safety in Coal Mines,2014,45(8):224-227.
- [7] 李怀珍,武俐,习春雨. 深部开采冲击地压发生机理及防治技术[J]. 煤矿安全,2011,42(2):55-57.
- [8] 康红普. 深部煤巷锚杆支护技术的研究与实践[J]. 煤矿开采,2008,13(1):1-5.
KANG H P. Research and practice of bolting support technology in deep coal roadways[J]. Coal Mining Technology,2008,13(1):1-5.
- [9] 蔡洪林,尹贤坤,汤朝均,等. 切顶卸压沿空留巷无煤柱开采技术研究与应用[J]. 矿业安全与环保,2012,39(5):15-18.
- [10] 雷转霖,柏建彪,陈勇,等. 深部矿井沿空留巷围岩控制技术[J]. 煤矿开采,2014,19(5):16-19.
LEI Z L,BAI J B,CHEN Y,et al. Technology of controlling surrounding rock of roadway retained along gob in deep mine[J]. Coal Mining Technology,2014,19(5):16-19.
- [11] 柏建彪,周华强,侯朝炯,等. 沿空留巷巷旁支护技术的发展[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(2):59-62.
BAI J B,ZHOU H Q,HOU C J,et al. Development of support technology beside roadway in goaf-side entry retaining for next sub level[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2004,33(2):59-62.
- [12] 华心祝. 我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议[J]. 煤炭科学技术,2006,34(12):78-81.
HUA X Z. Development status and improved proposals on gob-side entry retaining support technology in China[J]. Coal Science and Technology,2006,34(12):78-81.
- [13] 胡社荣,彭纪超,黄灿,等. 千米以上深矿井开采研究现状与进展[J]. 中国矿业,2011,20(7):105-110.
HU S R,PENG J C,HUANG C,et al. An overview of current status and progress in coal mining of the deep over a kilometer[J]. China Mining Magazine,2011,20(7):105-110.
- [14] 刘衍利,黎卫兵,黄星源. 切顶卸压爆破技术在沿空留巷中的应用[J]. 煤矿安全,2014,45(6):132-135.
LIU Y L,LI W B, HUANG X Y. The application of roof cutting and pressure relief blasting technology in gob-side entry retaining[J]. Safety in Coal Mines,2014,45(6):132-135.

(编辑:单 婕)