

文章编号:1671-251X(2020)10-0038-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17660

高瓦斯工作面隅角新型组合封堵气囊研究

乔磊¹, 范富槐², 黄晓昇²

(1. 山西潞安集团高河能源有限公司, 山西 长治 046100;
2. 西安科技大学 安全科学与工程学院, 陕西 西安 710054)



扫码移动阅读

摘要:隅角封堵是解决工作面隅角漏风、瓦斯超限问题的有效方法。针对现有垛双抗袋、风筒布封堵技术及气垛充填技术难以实现全断面封堵,轻型柔性气囊极限承载压力较小且无法回收利用等问题,设计了一种隅角新型组合封堵气囊,将该气囊制作成大小组合式结构,以适应不同巷道封堵断面的需要。对该气囊进行了抗压和抗冲击物理试验,结果表明:气囊变形速率在抗压物理试验初始阶段较大,随着施加泵压增大逐渐减小,达到额定工作压力(0.05 MPa)后气囊形状趋于稳定;随着冲击气囊的矸石质量增大,气囊变形量增大,矸石回弹高度减小,矸石动能吸收效果更佳。在余吾煤业 N1101 工作面对新型组合封堵气囊进行了现场试验,结果表明:采用组合封堵气囊封堵上隅角后,采空区平均瓦斯体积分数较采用传统风筒布封堵时上升了 13.85%,上隅角和回风巷平均瓦斯体积分数分别下降了 16.04%和 8.69%,且瓦斯体积分数变化平稳、波动小,有效解决了采空区局部漏风及上隅角瓦斯超限问题;新型组合封堵气囊可回收利用,降低了隅角封堵成本。

关键词:高瓦斯工作面; 瓦斯治理; 瓦斯超限; 隅角漏风; 隅角封堵; 组合封堵气囊
中图分类号:TD712 **文献标志码:**A

Research on a novel combined sealing airbag for high gas working face corner

QIAO Lei¹, FAN Fuhuai², HUANG Xiaosheng²

(1. Shanxi Lu'an Group Gaohe Energy Co., Ltd., Changzhi 046100, China; 2. College of Safety Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract:Corner sealing is an effective solution to air leakage and gas overrun in working face corner. Existing double anti-bagging sealing, air duct cloth sealing and airbags filling are difficult to seal the whole section, and light flexible airbag has little bearing pressure and cannot be recycled and reused. For the above problems, a novel combined sealing airbag for high gas working face corner is designed, which is made into combined structure of big airbag and miniature airbag to meet needs of different sealing sections of roadway. Physical tests of pressure resistance and impact resistance of the combined sealing airbag are carried out, and following conclusion are gotten: Deformation speed of the airbag is large in the initial phase of physical test of pressure resistance, and then decreases gradually with the increase of pumping pressure. When working pressure of the airbag achieves rated value (0.05 MPa), the airbag shape tends to be stable. With the quality increase of gangue impacting on the airbag, deformation value of the airbag increases, rebound height of gangue decreases, and kinetic energy absorption effect of gangue is better. The combined sealing airbag is tested in N1101 working face of Yuwu Coal Mine. The test results show that: When the combined sealing airbag is used to seal upper corner, average gas volume fraction in goaf

收稿日期:2020-08-24;**修回日期:**2020-09-29;**责任编辑:**李明。
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51874233);潞安矿区单一低渗煤层井上下联合开发煤层气工程示范项目(2016ZX05067006-001)。
作者简介:乔磊(1986—),男,山西昔阳人,工程师,目前主要从事煤矿瓦斯研究与治理工作,E-mail:602122708@qq.com。通信作者:范富槐(1997—),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向为煤矿安全,E-mail:1163002629@qq.com。
引用格式:乔磊,范富槐,黄晓昇.高瓦斯工作面隅角新型组合封堵气囊研究[J].工矿自动化,2020,46(10):38-42.
QIAO Lei,FAN Fuhuai,HUANG Xiaosheng. Research on a novel combined sealing airbag for high gas working face corner[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(10):38-42.

increases by 13.85% compared to that when traditional air duct cloth sealing is used, the ones in upper corner and return airway decrease by 16.04% and 8.69% separately, and gas volume fraction changes smoothly with small fluctuation, which verify the combined sealing airbag can effectively solve local air leakage in goaf and gas overrun in upper corner; The combined sealing airbag can be recycled and reused, so as to decrease corner sealing cost.

Key words: high gas working face; gas control; gas overrun; air leakage in corner; corner sealing; combined sealing airbag

0 引言

近年来,随着采煤深度不断增加,巷道破坏变形更加严重,工作面上下隅角位置漏风、瓦斯超限等问题给矿井安全生产造成严重威胁^[1-4]。国内外学者针对隅角瓦斯治理开展了大量研究。李树刚等^[5]研究了工作面上隅角瓦斯流动活跃区的形成机理,并结合 Fluent 模拟软件,对上隅角埋管抽采瓦斯的布置参数进行了优化。吴兵等^[6]提出了上隅角瓦斯拖管抽采技术,使得抽放点可以跟随工作面推进而移动,实现了采空区瓦斯抽放最佳效果的连续性。张勇^[7]在某矿尾部联络巷使用并列双 U 型通风治理瓦斯技术,在保证尾部联络巷间距合理性的基础上,有效改善了瓦斯抽放与巷道通风能力。除瓦斯抽采和通风技术外,隅角封堵也是一种有效的隅角瓦斯治理技术,对该技术的研究取得了一定成果。张道平^[8]研究了垛双抗袋及风筒布封堵技术的特点,通过实践证明了风筒布封堵工作面上隅角技术的可行性。郑军^[9]提出在高瓦斯综采工作面回采期间采用气垛充填上隅角。王磊等^[10]研发了矿用阻燃内外胆组合结构的轻型柔性隅角封堵气囊,并提出了单体液压支柱配合轻型柔性气囊的隅角封堵方法。上述研究中,垛双抗袋、风筒布封堵技术及气垛充填技术难以真正做到全断面封堵,封堵效果不理想^[11];轻型柔性隅角封堵气囊虽然使用便捷、封堵迅速,但极限承载压力较小,在巷道形变复杂情况下难以应用,且无法回收利用,增加了隅角封堵成本^[12]。

针对以上问题,本文设计了隅角新型组合封堵气囊,其具有承载压力大、可回收利用、在复杂断面适用性强等优点,为防治高瓦斯工作面上隅角瓦斯超限、降低封堵成本提供了保障。

1 隅角新型组合封堵气囊设计

工作面隅角位置封堵截面多变,若将气囊制成 1 个整体,不仅会造成材料浪费,而且增大人员劳动负荷,同时延长封堵时间,在巷道形变复杂的情况下难以真正做到全断面封堵。因此,本文提出将气囊制作成大小组合式结构,以适应不同巷道封堵断面

的需要。组合封堵气囊设计参数见表 1,实物如图 1 所示。

表 1 组合封堵气囊设计参数

Table 1 Design parameters of combined sealing airbag

型号	长度/ cm	宽度/ cm	高度/ cm	夹层厚 度/cm	布厚/ mm
大型气囊	150	50	100	5	2
小型气囊	50	50	50	5	2

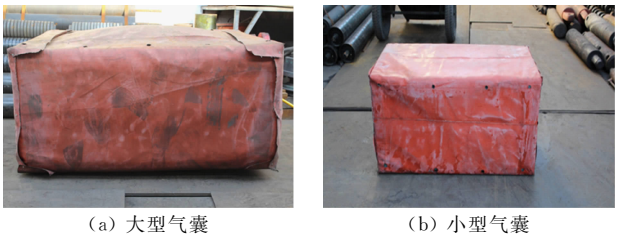


图 1 组合封堵气囊实物

Fig. 1 Actual combined sealing airbag

组合封堵气囊均由承压内胆、阻燃海绵防护层、土工布外壳、进气阀、压力表、泄压阀、阻燃回收网等组成。以小型气囊为例,其结构如图 2 所示。气囊外壳选用阻燃抗静电硅胶防火布材料。该材料形变范围大、质量小、便于加工及修复、密封性和耐久性优良,可以有效密封隅角空间。承压内胆由伸缩性能良好的橡胶材料加工而成,厚度为 3 mm,具备一定的膨胀性,能承载 0.08 MPa 气压。该材料质软,但抗拉强度大。加工时应严格控制内胆尺寸,使内胆与外壳尺寸相互匹配、装配适当。泄压阀在内胆气压超过 0.05 MPa 时会自动泄压,因此气囊最大工作压力为 0.05 MPa。内胆与外壳之间填充厚

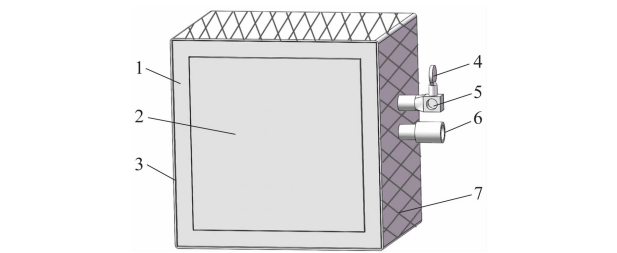


图 2 小型气囊结构

Fig. 2 Structure of miniature sealing airbag

0.5 mm 的阻燃海绵防护层,以避免井下尖锐物体刺穿外壳而损伤内胆。阻燃海绵密度为 25 kg/m³,属于中密度海绵,且孔洞细密。阻燃回收网选用建筑行业常用的安全平网,具有强度高、耐腐蚀、阻燃性能好、耐候性良好的特点,适用于工作面隅角封堵。阻燃回收网包裹在组合封堵气囊外部,便于气囊回收利用。

2 隅角新型组合封堵气囊性能试验

2.1 抗压物理试验

隅角新型组合封堵气囊抗压物理试验平台如图 3 所示。试验步骤:① 充气。连通气囊进气阀与气源,然后打开进气阀。在充气阶段,采用压力表实时监测气囊内气压,以保证达到试验设计气压时能迅速关闭进气阀,停止对气囊注气。② 固定和加载。充气结束后,受气压作用,气囊的 6 个面均有一定程度的膨胀,因此在加载前应对气囊加以固定。同时为防止气囊受力不均,在气囊上方加盖 1 层刚性垫板,垫板尺寸与气囊一致。设定液压千斤顶加载速率为 0.5 MPa/min,对气囊缓慢地均匀加载。



图 3 组合封堵气囊抗压物理试验平台

Fig. 3 Physical test platform of pressure resistance of combined sealing airbag

隅角新型组合封堵气囊抗压物理试验数据见表 2、表 3,对应的试验曲线如图 4 所示。可看出随着施加泵压增大,气囊工作压力逐渐增大,达到承压内胆额定压力(0.05 MPa)时趋于稳定,气囊高度不断降低,变形速率逐渐减小。在受压初期,气囊主体发生的形变主要是由阻燃海绵防护层变形引起的,变形速率较大;随着工作压力增大,阻燃海绵防护层形变达到极限值,承压内胆开始发生形变,但变形速率较小;当工作压力接近或达到 0.05 MPa 时,气囊变形速率极小,整体形状趋于稳定。

2.2 抗冲击物理试验

隅角新型组合封堵气囊抗冲击物理试验步骤:① 取样。为了更加真实地还原现场实际情况(特别是采空区矸石块完整度较高、工作面倾角较大时,不可避免地出现矸石冲击下隅角处封堵气囊的情况),

表 2 大型气囊抗压物理试验数据

Table 2 Physical test data of pressure resistance of large sealing airbag

施加泵压/ MPa	工作压力/ MPa	气囊实时 高度/cm	气囊变形速率/ (cm·min ⁻¹)
0	0.020	79	0
0.5	0.031	73.2	5.8
1.0	0.039	68.0	5.2
1.5	0.045	65.0	3.0
2.0	0.048	62.8	2.2
2.5	0.049	61.2	1.6
3.0	0.050	60.3	0.9
3.5	0.050	59.4	0.7
4.0	0.050	58.9	0.5

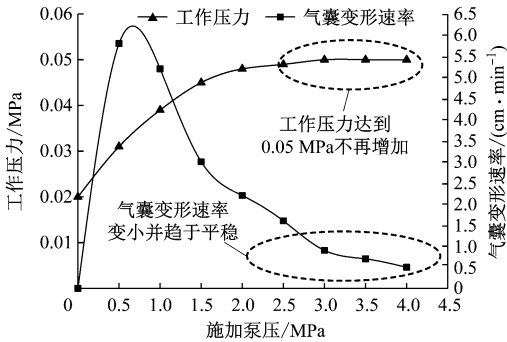
表 3 小型气囊抗压物理试验数据

Table 3 Physical test data of pressure resistance of miniature sealing airbag

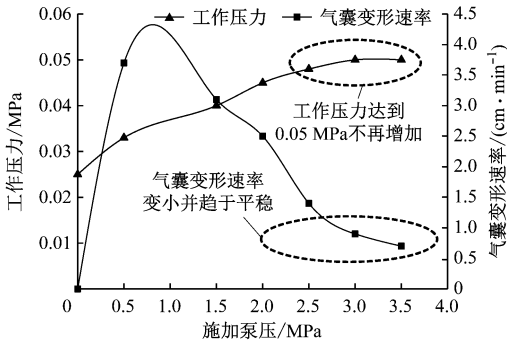
施加泵压/ MPa	工作压力/ MPa	气囊实时 高度/cm	气囊变形速率/ (cm·min ⁻¹)
0	0.025	63.8	0
0.5	0.033	60.1	3.7
1.5	0.040	57.0	3.1
2.0	0.045	54.5	2.5
2.5	0.048	53.1	1.4
3.0	0.050	52.2	0.9
3.5	0.050	51.5	0.7
4.0	0.050	50.9	0.6

从山西潞安集团余吾煤业有限责任公司(简称余吾煤业)N1101 工作面气囊封堵墙内部和液压支架后方采集体积较大的矸石,尽可能保证矸石样品的完整性。从中挑选 5 块几乎无裂痕、无规律形状且体积较大的矸石样品(质量分别为 8.2,10.1,14.9,20.6,28.8 kg)作为试样进行组合封堵气囊抗冲击物理试验。② 充气。将气囊进气阀与气源连通,然后慢慢打开进气阀进行充气。充气过程中采用压力表实时监测气囊气压,待达到试验设计气压时迅速关闭进气阀。③ 固定和冲击。充气结束后气囊 6 个面都有一定程度的膨胀,需对气囊进行固定,使其在冲击试验台正下方保持静止状态,保证气囊受到静态冲击。

试验结果如图 5 所示。可看出:① 气囊受质量较小的矸石冲击时,气囊变形量较小,矸石回弹高度较大。这说明气囊受到质量较小的矸石冲击时,仅有极少能量传递给气囊,绝大部分能量再次转移给



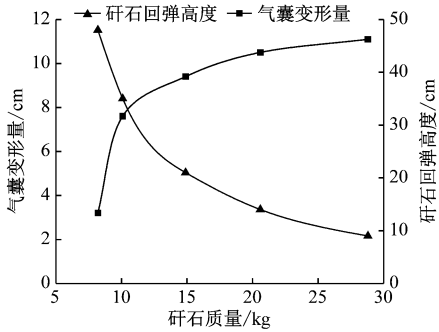
(a) 大型气囊



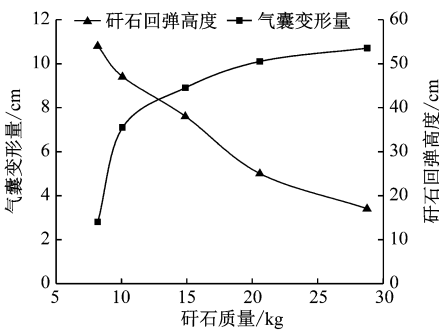
(b) 小型气囊

图4 组合封堵气囊抗压物理试验曲线

Fig. 4 Physical test curves of pressure resistance of combined sealing airbag



(a) 大型气囊



(b) 小型气囊

图5 组合封堵气囊抗冲击物理试验曲线

Fig. 5 Physical test curves of impact resistance of combined sealing airbag

矸石,使其被弹飞。② 气囊受质量较大的矸石冲击时,气囊变形量较大,回弹高度较小。这说明气囊受到质量较大的矸石冲击时,绝大部分能量传递给气囊,小部分能量再次转移给矸石,使其又落到气囊

上。③ 矸石质量越大,气囊变形量越大,回弹高度越小,矸石动能吸收效果越好。这说明在实际生产中,当发生大块矸石垮落情况时,隅角新型组合封堵气囊可有效防止矸石回弹,降低伤人事件发生的概率。

3 隅角新型组合封堵气囊现场试验

3.1 试验方案

为验证隅角新型组合封堵气囊的实际应用效果,在余吾煤业 N1101 工作面进行了现场试验。N1101 工作面标高 +402~+445 m,北侧、西侧为实体煤,东侧为 N1102 工作面(已采)。煤层平均厚度为 6.4 m,煤层倾角为 +5°。工作面上隅角处巷道最大高度为 3.2 m,最大宽度为 4.5 m;下隅角处巷道最大高度为 3.1 m,最大宽度为 3.8 m。采用单 U 型通风方式,工作面供风量为 3 426 m³/min。针对巷道变形复杂的断面,目前采用铁丝网+风筒布封堵配合采空区埋管抽采方式进行瓦斯超限治理,但在回采期间上隅角、回风流瓦斯浓度仍较高,因此考虑采用隅角新型组合封堵气囊进行封堵,如图 6 所示。

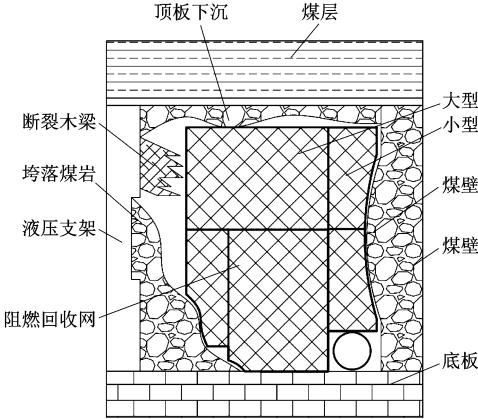


图6 复杂断面封堵示意

Fig. 6 Complex section sealing

采用新型组合气囊封堵隅角步骤:① 简单清理单体液压支柱处的封堵位置。② 将气囊水平摆放,避免歪斜,以免窝住气体打爆气囊。③ 取进气管,一端连接总供风管道,另一端连接压力表,压力表连接进气阀。④ 对气囊充气,同时观察压力表,在满足压力数值后及时停止供风,以免压力过大。⑤ 取另一个气囊重复上述步骤,直至将整个隅角断面完全封堵。在气囊与气囊、顶板、煤壁接触不严密的位置,喷涂聚氨酯封堵裂隙,保证密闭封堵。⑥ 在气囊外部包裹的阻燃回收网上连接回收钢丝绳。⑦ 完成1个周期生产后,在工作面端头安全区域内拖动回收钢丝绳,完成气囊回收工作,留待下次封堵作业使用。

3.2 效果分析

为了考察新型组合气囊封堵效果,对采空区、上隅角及回风巷瓦斯浓度进行监测,并与采用风筒布封堵方法时监测结果进行对比。2018-10-22—29 瓦斯浓度监测结果如图 7 所示。

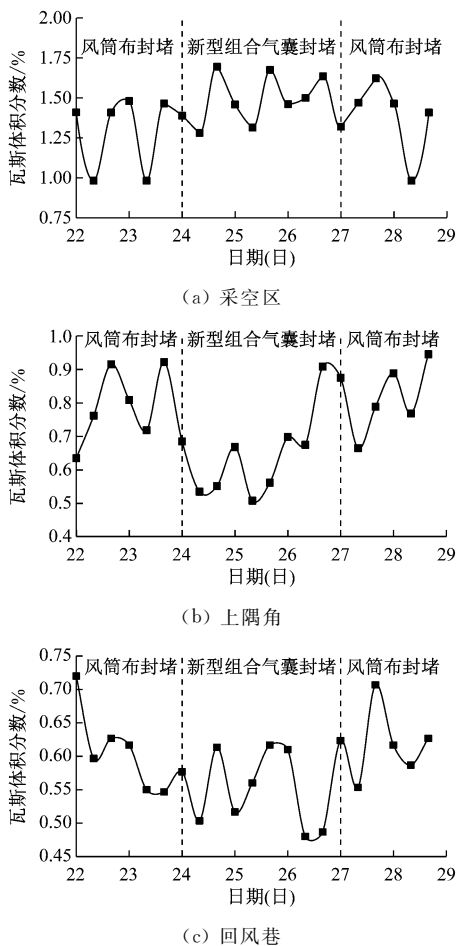


图 7 瓦斯浓度监测结果

Fig. 7 Gas concentration monitoring results

从图 7 可看出:① 采用风筒布封堵时,采空区、上隅角、回风巷平均瓦斯体积分数分别为 1.30%, 0.792%, 0.610% 左右。② 采用新型组合气囊封堵时,采空区平均瓦斯体积分数较采用风筒布封堵时明显上升,维持在 1.48% 左右;上隅角平均瓦斯体积分数下降,稳定在 0.665% 左右;回风巷平均瓦斯体积分数小幅下降,稳定在 0.557% 左右。③ 与风筒布封堵方法相比,新型组合气囊封堵更严密,很大程度上降低了采空区内高浓度瓦斯风流流到上隅角和工作面。④ 采用风筒布封堵时,采空区、上隅角、回风巷瓦斯浓度随时间变化剧烈,而采用新型组合气囊封堵时瓦斯浓度较稳定。这是因为风筒布为单层结构,其封堵区间小于 1 cm,且在断面变形时可能会产生缝隙,影响封堵效果;组合封堵气囊为 3 层复合结构,封堵区间达 70 cm,有 6 层封堵层,且断面变形越大,与断面贴合越紧,封堵效果较好。

4 结论

(1) 新型组合封堵气囊受压变形时,初始阶段变形速率较大,达到额定工作压力时变形速率减小并趋于平缓;气囊受矸石冲击时,矸石质量越大,则气囊变形越大,回弹高度越小,矸石动能吸收效果越好。

(2) 采用新型组合封堵气囊对于解决采空区局部漏风有较好效果,减少了采空区内高浓度瓦斯风流进入工作面和上隅角。

(3) 采用新型组合封堵气囊封堵可有效降低上隅角瓦斯浓度,与采用传统的风筒布封堵方式相比,平均瓦斯体积分数降低了 16.04%,且瓦斯体积分数波动小。

(4) 新型组合封堵气囊具有较好的封堵效果,且可回收利用,降低了隅角封堵成本。可采用新型组合封堵气囊封堵与隅角抽采相结合的方式,对高瓦斯工作面上隅角瓦斯超限问题进行防治。

参考文献 (References):

- [1] 王小龙. 回采工作面上隅角瓦斯治理技术[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(增刊 1): 42-44.
WANG Xiaolong. Gas control technology of working face upper corner[J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(S1): 42-44.
- [2] 俞启香, 王凯, 杨胜强. 中国采煤工作面瓦斯涌出规律及其控制研究[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(1): 9-14.
YU Qixiang, WANG Kai, YANG Shengqiang. Study on pattern and control of gas emission at coal face in China [J]. China University of Mining and Technology, 2000, 29(1): 9-14.
- [3] 黄炳香, 赵兴龙, 陈树亮, 等. 坚硬顶板水压致裂控制理论与成套技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(12): 2954-2970.
HUANG Bingxiang, ZHAO Xinglong, CHEN Shuliang, et al. Theory and technology of controlling hard roof with hydraulic fracturing in underground mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(12): 2954-2970.
- [4] 姜鹏飞, 张剑, 胡滨. 沿空留巷围岩受力变形特征及支护对策[J]. 采矿与安全工程学报, 2016, 33(1): 56-62.
JIANG Pengfei, ZHANG Jian, HU Bin. Mechanical and deformation characteristics of gob-side entry retaining surrounding rock and support methods[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2016, 33(1): 56-62.
- [5] 李树刚, 乌日宁, 赵鹏翔, 等. 综采工作面上隅角瓦斯

- 流动活跃区形成机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1):207-213.
- LI Shugang, WU Rining, ZHAO Pengxiang, et al. Study on formation mechanism of gas flow active area in upper corner of fully-mechanized mining face[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(1):207-213.
- [6] 吴兵,雷柏伟,华明国,等. 回采工作面上隅角瓦斯拖管抽采技术参数研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(2):315-321.
- WU Bing, LEI Baiwei, HUA Mingguo, et al. Parameters of gas tube extraction technology in the upper corner of working face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31(2):315-321.
- [7] 张勇. U型通风系统在高瓦斯矿井综采工作面瓦斯治理中的应用[J]. 能源技术与管理, 2019, 44(6): 27-28.
- ZHANG Yong. Study and application of U-shaped ventilation system to gas control of fully mechanized face in high gas mines[J]. Energy Technology and Management, 2019, 44(6):27-28.
- [8] 张道平. 工作面上隅角封堵技术探讨[J]. 水力采煤与管道运输, 2006(4):50-51.
- ZHANG Daoping. Probe on sealing technology in upper corner of working face[J]. Hydraulic Coal Mining & Pipeline Transportation, 2006(4):50-51.
- [9] 郑军. 综采工作面上隅角气垛快速充填技术[J]. 煤矿安全, 2018, 49(6):41-44.
- ZHENG Jun. Technology of airbags quickly filling in upper corner of fully mechanized mining face[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(6):41-44.
- [10] 王磊,谢广祥,唐永志,等. 高瓦斯工作面隅角柔性气囊安全封堵研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(6):18-24.
- WANG Lei, XIE Guangxiang, TANG Yongzhi, et al. Study on safe sealing of corner in high gas working face by flexible airbag[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(6):18-24.
- [11] 王举文. 综放面上隅角与回风流瓦斯综合治理技术[J]. 煤矿开采, 2012, 17(1):89-90.
- WANG Juwen. Methane comprehensive treatment technology of upper-corner and return air in full-mechanized caving mining face[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(1):89-90.
- [12] 张浪,范喜生,蔡昌宣,等. U型通风上隅角瓦斯浓度超限治理理论与模拟[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8):129-132.
- ZHANG Lang, FAN Xisheng, CAI Changxuan, et al. Theory and simulation on over limit control of gas concentration in upper corner of U type ventilation in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(8):129-132.