

doi:10.13582/j.cnki.1674-5876.2023.01.005

祁南煤矿火成岩侵蚀对煤层瓦斯赋存及突出灾害的影响

沈先华, 李贺*, 鲁义, 路洁心, 施式亮

(湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:通过在祁南煤矿火成岩侵蚀区域附近的巷道布置采样或测压钻孔,对火成岩侵蚀区的煤层进行现场取样和实验室参数测定分析,结果表明:火成岩侵蚀后煤层灰分显著降低,胶质层平均厚度与黏结指数增加,煤的变质程度升高,发热量增大,煤层变为易选煤层.研究火成岩侵蚀对煤质、煤层厚度及瓦斯赋存规律等方面的影响,发现火成岩侵蚀不仅破坏了煤层的原生状态,使煤层焦化,采区储量降低,火成岩侵蚀产生的强大推挤力还使煤层层位发生相对位移,煤层变薄或完全被吞蚀,继而导致煤层的厚度变异程度和突出危险性增大,煤层结构趋于复杂,稳定性降低,不可采区增大.最后根据火成岩侵蚀区的煤岩瓦斯动力灾变机制,提出针对性的瓦斯防治技术措施.

关键词:火成岩侵蚀区;瓦斯赋存;煤质;瓦斯防治技术

中图分类号:TD712

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2023)01-0029-07

Influence of Igneous Rock Erosion on Coal Seam Gas Occurrence and Outburst Disaster in Qinan Coal Mine

SHEN Xianhua, LI He, LU Yi, LU Jiexin, SHI Shiliang

(School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: By arranging sampling or pressure borehole in the roadway near the igneous erosion area in Qinan Coal Mine, the field sampling and laboratory parameter measurement and analysis of the coal seam in the igneous erosion area are carried out. The results show that the coal ash content decreases significantly after the igneous rock erosion, glial layer thickness and caking index increase on average, coal metamorphism degree rises, calorific value rises, and coal seam becomes easy to choose. The effects of igneous erosion on coal quality, coal seam thickness and gas storage patterns are studied. It is found that igneous erosion not only destroys the primary state of the coal seam, causing coal seam coking and reducing the storage capacity of the mining area, but the strong pushing force generated by igneous erosion also causes the relative displacement of the coal seam level, the coal seam becomes thinner or is completely swallowed, which then leads to an increase in the thickness variability and protrusion risk of the coal seam. The coal seam structure tends to be more complex and less stable, and the unmineable area increases. Finally, according to the kinetic disaster mechanism of coal and rock gas in the igneous erosion zone, targeted technical measures for gas prevention and control are proposed.

Keywords: igneous rock erosion area; gas occurrence; coal quality; gas control technology

火成岩是火山爆发时岩浆沿其通道流经至地层裂隙和地表后冷却形成的岩层^[1].煤矿采掘过程中常发现火成岩侵蚀的煤层^[2],火成岩侵蚀体的岩性^[3]、产状^[4]、分布形式^[5]及火成岩的侵入方式^[6]对矿山开

收稿日期:2022-01-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51904103);中国博士后科学基金资助项目(2019M652765)

*通信作者, E-mail: lihecumt@126.com

采^[7]、煤质变化^[8-9]、瓦斯赋存^[10-11]和突出灾害控制^[12]等具有重要影响。火成岩侵蚀对煤层瓦斯赋存的控制作用主要体现为热演化作用、热变质作用、瓦斯圈闭作用及推挤作用^[13-14]。其中,热演化作用与热变质作用均会改变煤的变质程度和孔隙结构^[13,15]，“岩床”侵蚀的圈闭作用会阻止煤层瓦斯逸散，“岩墙”侵蚀的推挤作用则会对地层产生附加构造应力,使得火成岩床下伏采动煤岩体瓦斯动力灾变更加频繁和严重^[16-17]。因此,揭示火成岩侵蚀区的煤层瓦斯赋存特征,对探究火成岩侵蚀下的煤岩瓦斯动力灾变机制、实现矿井安全高效开采具有重要意义^[18]。本文以祁南煤矿 101 采区为背景,基于煤层结构特点及厚度变化规律,通过工业指标分析与工艺性能参数测定,结合瓦斯压力与瓦斯含量测定结果,研究火成岩侵蚀对煤质、煤层厚度及瓦斯赋存特征的影响,并针对性地提出了瓦斯防治技术措施。

1 祁南矿井与采区概况

1.1 矿井地理位置及煤层情况

祁南煤矿位于安徽宿州埇桥区祁县镇境内,矿井北部以第 10 勘探线与淮北矿业集团桃园矿毗邻,东部以 F22 断层与皖北煤电集团公司祁东煤矿分界,浅部止于二叠系山西组 10 煤层露头,深部以 3₂ 煤层-800 m 水平地面投影为界,走向长约 10.5 km,宽约 3.0~8.5 km,矿井面积约 58.1 km²。矿井共含可采或局部可采煤层 10 层,从上至下分别是 2₃,3₂,6₁,6₂,6₃,7₁,7₂,8,9,10 煤层,其中,3₂,7₂,10 煤层为矿井主采煤层。根据地质勘查和生产揭露,祁南矿井内火成岩主要侵蚀下煤组 10 煤层。10 煤层位于山西组中部,上距 9 煤层 56~99 m,煤层厚度 0~5.26 m,平均煤厚为 2.23 m。10 煤层正常区域的破坏类型为 II 类、III 类,地质破坏带的破坏类型为 III 类、IV 类,实测最大相对瓦斯压力为 0.5 MPa,小于突出临界值 0.74 MPa;煤的坚固性系数为 0.18,小于突出临界值 0.5;瓦斯放散指数为 14 mmHg,大于突出临界值 10 mmHg;采掘过程中未出现瓦斯动力现象和突出预兆。

1.2 采区地质构造及瓦斯赋存

101 采区位于井田南部,区内煤系地层中部为较宽缓的向斜构造,采区两侧为单斜构造。火成岩侵蚀区主要分布在 101 采区东南部,由西向东侵蚀范围逐渐增大,东部均受火成岩侵蚀,侵蚀面积约 0.66 km²,占采区总面积的 72%。侵蚀 10 煤层的火成岩成分为中基性云斜煌斑岩,岩性特征为灰-深灰色,斑状结构,块状构造。火成岩多沿煤层顶板侵入,均属脉岩,呈小型矿床产出,平面多呈片状,其厚度变化较大,为 0~1.06 m,平均厚度为 0.7 m。10 煤层受火成岩侵蚀影响,瓦斯含量较低,一般为 3.03~3.12 m³/t,局部断层及地质构造影响区域瓦斯含量较高。实测 10 煤层最大瓦斯压力为 0.65 MPa,最大瓦斯含量为 7.58 m³/t,瓦斯成分以 CH₄ 为主,CH₄ 体积分数为 70%~90%,N₂ 次之,为 10%~30%。火成岩侵蚀不仅破坏了煤层原生状态,使煤层焦化,采区储量降低,还造成煤层变薄或完全被吞蚀,不可采区增大,煤层稳定性降低;同时,煤层被火成岩穿插,出现分叉合并,使煤层夹矸增多,煤层结构趋于复杂;此外,火成岩沿煤层顶板侵蚀,使煤层顶板遭受破坏、强度降低,回采难度增大。

1.3 瓦斯压力测定与分析

测压钻孔施工钻场选定在 101 采区 10116 风巷距进料联巷 72 m 的位置,共设计 11 个测压钻孔,其中 3 个钻孔(5[#],7[#]和 11[#])没有见到 10 煤,即火成岩侵蚀后 10 煤部分区域被火成岩吞蚀;有 8 个测压钻孔能见到煤,这 8 个钻孔的测压结果如图 1 所示。由图 1 可知:这 8 个安装瓦斯压力表的钻孔中,4[#],9[#]和 10[#]测压钻孔没有测试到瓦斯压力,其余 5 个钻孔能测试到瓦斯压力,最大瓦斯压力钻孔为 10116 风巷的 1[#]钻孔,所测瓦斯压力为 0.52 MPa。

1.4 火成岩侵蚀范围

祁南矿井在 37 条勘探线上共施工了 396 个勘探钻孔,其中,揭露发现火成岩的钻孔有 112 个,约占矿井勘探钻孔总数的 28%;火成岩吞蚀 10 煤的勘探钻孔为 128 个,约占矿井勘探钻孔总数的 32%,因此,10 煤受火成岩侵蚀的钻孔数约占矿井勘探钻孔总数的 60%,几乎使 10 煤大部分不可采。火成岩从矿井东部边界一直侵蚀至西部边界,在矿井南部和北部边界附近也有火成岩侵蚀情况,给 10 煤开采的采区划分和

巷道布置带来难度,还阻碍了工作面的连续推进.

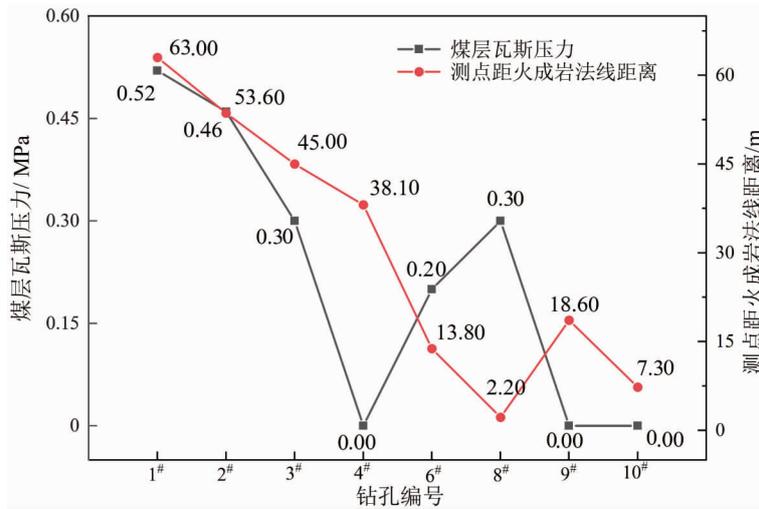


图 1 瓦斯压力实测结果

2 祁南矿井火成岩侵蚀对煤质的影响

2.1 火成岩侵蚀后各煤层的工业指标分析

祁南煤矿火成岩侵蚀区 10 煤层与上邻近煤层的工业性指标水分 (M_{ad})、灰分 (A_d)、挥发分 (V_{daf}) 如图 2 所示.根据图 2 分析发现:(1)各煤层原煤的平均水分含量较低,均在 1.33%~1.55%,火成岩侵蚀后不同煤类(天然焦除外)水分变化不大;(2)受火成岩侵蚀的 10 煤层原煤为低灰煤,其余煤层原煤均属中灰煤,即火成岩侵蚀使煤层原煤的灰分产率显著降低;此外,各煤层浮煤的灰分产率为 6.63%~9.00%,均属特低灰煤,说明火成岩侵蚀后浮煤的灰分产率略有减少,但降幅小于原煤;(3)除 9 原煤的挥发分较低外,其他各煤层的挥发分产率均较高,在 33.33%~36.02%,属于中高挥发分煤,因而火成岩侵蚀后,煤层的挥发分产率变化不明显.

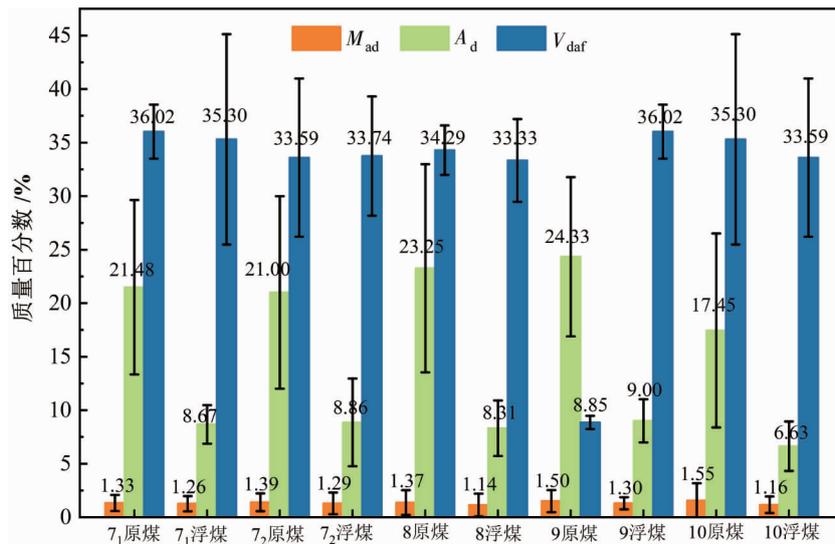


图 2 火成岩侵蚀区 10 煤与上邻近煤层的工业性指标

2.2 火成岩侵蚀后各煤层的工艺性能分析

测定祁南矿井火成岩侵蚀后的 10 煤层与上邻近煤层的工艺性能参数指标胶质层厚度、黏结指数和发热量,其中,煤的发热量采用测定弹筒发热量的方法,以干燥基发热量 ($Q_{b,ad}$)、干燥无灰基发热量 ($Q_{b,daf}$) 和干燥基高位发热量 ($Q_{gr,d}$) 表示,测定结果如表 1 所示.由表 1 可知:(1)各煤层胶质层厚度的平均

值变化范围为18.00~28.00 mm,10 煤的胶质层厚度平均值略大于上覆中组煤;(2)各煤层黏结指数的平均值均大于 77,属于中强黏结煤,而 10 煤的黏结指数平均值比上覆煤层略高;(3)各煤层的发热量随着煤化程度的升高而增大,即 10 煤层因受火成岩侵蚀的高温影响,煤的变质程度增加,发热量增大,与上覆煤层相比,10 煤从中高热值煤变为高热值煤.

表 1 祁南矿井火成岩侵蚀后的 10 煤层与上邻近煤层的工艺性能参数指标

煤层	胶质层厚度/mm 两极值 平均(点)	黏结指数/% 两极值 平均(点)	煤的发热量/(MJ/kg)			煤类	发热量分级
			Qb,ad	Qgr,d	Qb,daf		
			两极值 平均(点)	两极值 平均(点)	两极值 平均(点)		
7 ₁	10.00~33.00 20.10(83)	67.8~99.0 85.35(75)	19.03~30.76 26.82(75)	19.38~30.89 27.25(76)	29.21~36.65 34.64(76)	1/3JM QM,FM	高热热量煤
7 ₂	11.00~33.00 20.29(94)	43.4~97.4 80.23(89)	16.46~32.07 26.81(87)	16.58~33.02 27.15(90)	22.08~37.58 34.62(89)	1/3JM QM,FM	中高发热量煤
8	11.50~40.05 18.00(8)	66.9~94.0 85.12(19)	17.07~30.81 24.89(33)	17.26~31.30 25.67(35)	32.05~35.97 34.42(34)	1/3JM	中高发热量煤
9	11.10~32.00 19.13(47)	70.0~98.7 80.90(52)	21.46~29.96 25.74(50)	20.19~30.55 26.06(54)	32.29~35.70 34.37(54)	1/3JM	中高发热量煤
10	20.00~37.50 28.00(37)	84.8~98.3 88.51(35)	26.58~32.24 29.95(32)	26.93~32.47 30.32(32)	34.70~36.18 35.43(32)	FM	高热热量煤

2.3 火成岩侵蚀后各煤层的可选性分析

10 煤层的上覆煤层均属于极难选煤层,洗选后的中煤产品仍属于中等热值煤,其尾煤产率较低,灰分产率高,发热量低,不具备燃料利用条件.而受火成岩侵蚀后的 10 煤层变为易选煤层,灰分产率低,发热量大,燃烧后可利用的热量高.

3 祁南矿井火成岩侵蚀对煤层厚度的影响

祁南矿井火成岩主要以“岩墙”形式侵蚀 10 煤,为研究火成岩以“岩墙”形式侵蚀煤层对瓦斯赋存及突出灾害的影响,先探讨研究区域内的煤层结构特点与煤层厚度变化规律.

3.1 火成岩侵蚀区的勘探钻孔分布情况

10116 工作面及其附近勘探钻孔的分布如图 3 所示.研究区域内共有勘探钻孔 26 个,其中未受火成岩侵蚀的勘探钻孔有 14 个.从工作面的平面分布来看,无论是工作面的进风平巷还是回风平巷,均须穿过火成岩“岩墙”,因此,火成岩侵蚀严重影响了工作面尺寸的合理设计和巷道布置.

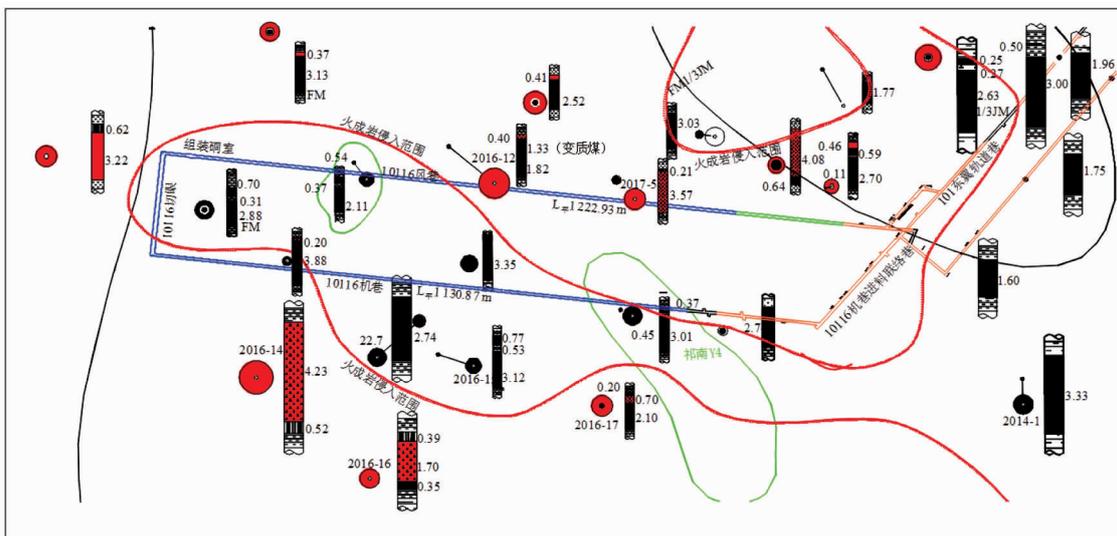


图 3 祁南矿井 10116 工作面勘探钻孔分布

3.2 火成岩侵蚀下 10 煤的煤层结构特征分析

根据煤层中有无较为稳定的夹矸层(厚度小于 0.5 m 的沉积岩层),可将煤层分为简单结构煤层和复杂结构煤层.10116 工作面及其附近区域共有 14 个勘探钻孔未受火成岩侵蚀,其中有 3 个钻孔的 10 煤含有小于 0.5 m 的稳定泥岩层,其余均未含夹矸层,属于简单结构煤层.在受火成岩侵蚀的 12 个钻孔中,由于火成岩侵入的推挤作用,使 10 煤形成火成岩-天然焦-10 煤的互层结构,变成复杂结构煤层.

3.3 火成岩侵蚀下 10 煤的煤层厚度特征分析

祁南矿井 10 煤火成岩侵蚀钻孔和非火成岩侵蚀钻孔的煤层组成及厚度统计结果如图 4 所示.由图 4 发现:受火成岩侵蚀的钻孔煤层厚度为 0.21~3.88 m,平均值为 1.97 m;未受火成岩侵蚀(10 煤正常赋存状态下)的煤层厚度为 1.60~3.89 m,平均值为 2.78 m,说明火成岩侵蚀导致煤层厚度明显减小.

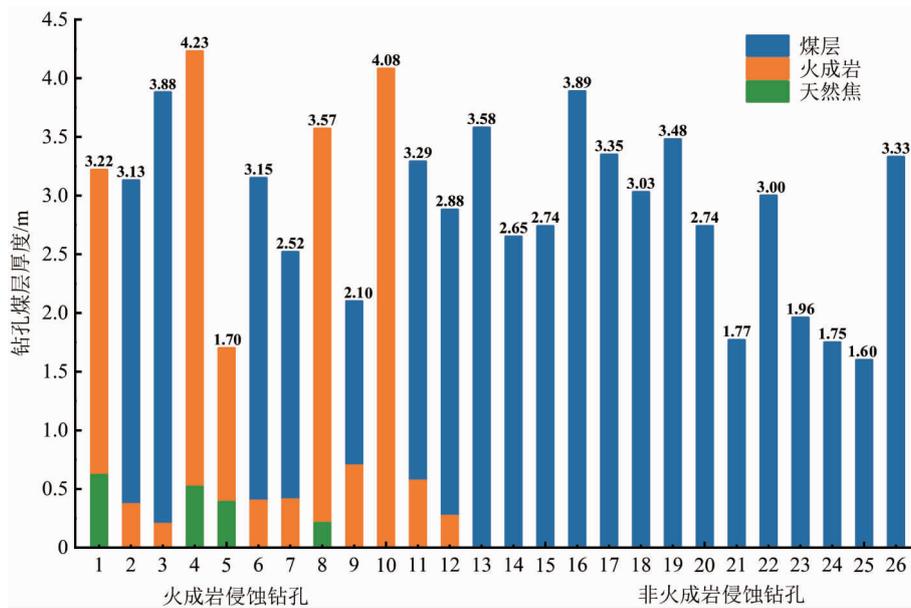


图 4 火成岩侵蚀钻孔与非侵蚀钻孔的煤层组成及厚度分布

3.4 火成岩侵蚀下的煤层厚度变异程度分析

突出煤层的厚度变化是判断煤层突出危险性的重要指标,煤层厚度变异程度越大越危险.通常用煤层厚度标准差来表征煤层厚度的变异程度:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H}_i)^2}. \quad (1)$$

式中: S 为煤层厚度的变异程度, m; H_i 为每个测点的实测厚度, m; \bar{H}_i 为评定区内的平均厚度, m; n 为测定区内的总测点数.

根据式(1)和图 4 中的数据,火成岩侵蚀区与非侵蚀区的煤层厚度变异程度分别为

$$\text{火成岩侵蚀区域煤层厚度变异程度: } S_1 = \sqrt{\frac{1}{12-1} \sum_{i=1}^{12} (H_i - \bar{H}_i)^2} = 1.33;$$

$$\text{非火成岩侵蚀区域煤层厚度的变异程度: } S_2 = \sqrt{\frac{1}{14-1} \sum_{i=1}^{14} (H_i - \bar{H}_i)^2} = 0.81.$$

火成岩侵蚀区 10 煤的煤层变异程度大于正常赋存区域,说明火成岩侵蚀会增加煤层的厚度变异程度和突出危险性.

4 祁南矿井火成岩侵蚀对瓦斯赋存的影响

4.1 火成岩侵蚀对煤层瓦斯压力的影响

采掘生产期间对 10 煤瓦斯正常赋存区域施工测压钻孔 6 个,其中正常赋存区域 5 个(1#~5#)钻孔,

火成岩侵蚀边界区 1 个(6#) 钻孔, 瓦斯压力测定结果如图 5 所示. 10 煤正常赋存区域的瓦斯压力为 0.30~0.65 MPa, 而火成岩侵蚀边界区测点的瓦斯压力为 0.60 MPa, 这说明火成岩侵蚀并非煤层瓦斯压力降低的唯一原因, 对瓦斯压力的影响不明显.

4.2 火成岩侵蚀对煤层瓦斯含量的影响

地质勘探期在 10 煤共施工 11 个钻孔测量瓦斯含量(见图 6), 其中, 火成岩侵蚀区的 3 个钻孔, 有 2 个钻孔的瓦斯含量测定值超过突出临界值 8 m³/t; 火成岩侵蚀边界区的 4 个钻孔, 瓦斯含量均小于 8 m³/t; 正常赋存区的 4 个钻孔, 有 1 个钻孔的瓦斯含量测定值超过 8 m³/t. 说明火成岩以“岩墙”形式侵入煤层时, 会导致煤层瓦斯含量的变化范围增大, 突出危险性增加.

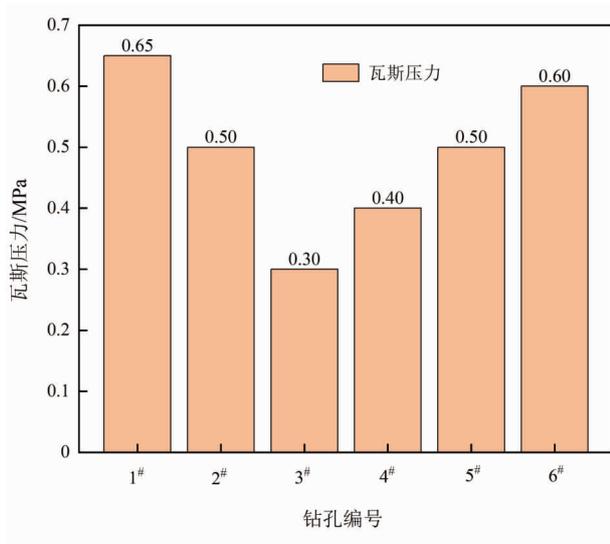


图 5 采掘期间 10 煤的瓦斯压力

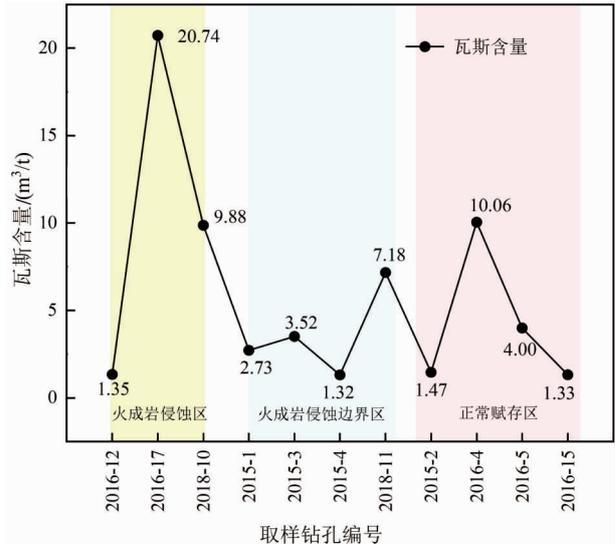


图 6 地质勘探期间 10 煤的瓦斯含量

5 火成岩侵蚀后煤层的瓦斯防治方案

祁南矿井的火成岩主要以“岩墙(岩脉)”方式侵蚀 10 煤层, 火成岩侵蚀后, 煤层两侧火成岩呈“发散”状(见图 7 中 A 区域)或呈“收敛”状(见图 7 中 B 区域). 侵蚀区的 10 煤被火成岩吞噬后置换成火成岩, 变成不可采煤层, 只能作为采区工作面的边界.

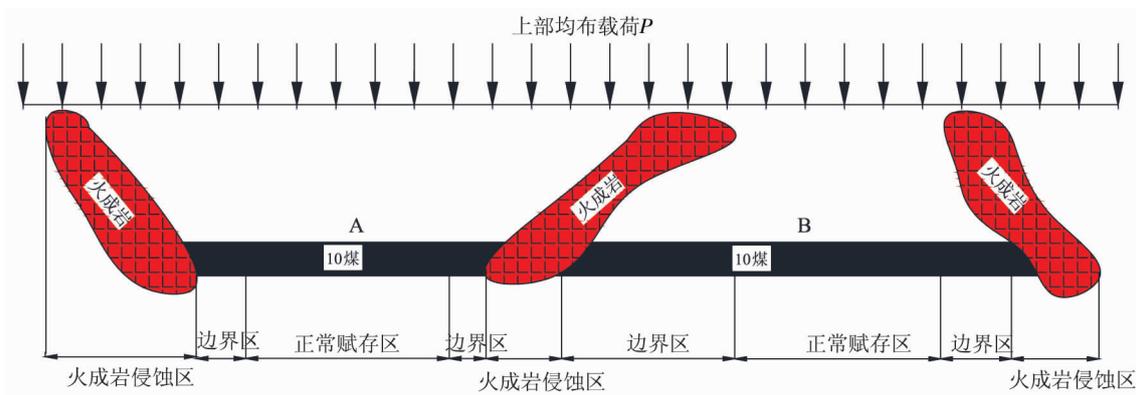


图 7 祁南矿井火成岩侵蚀煤层后呈现的形态

5.1 火成岩侵蚀边界区的瓦斯防治方案

若火成岩以“岩墙(岩脉)”方式侵蚀 10 煤层后呈“发散”状(如 A 区域), 此时, 类似煤层正常赋存状态下的情况, 按正常状态下的瓦斯防治措施执行, 即采用保护层开采及卸压瓦斯抽采技术, 确保安全监控系统可靠有效, 并加强煤层探测工作和瓦斯巡回检查工作.

若火成岩以“岩墙(岩脉)”方式侵蚀 10 煤层后呈“收敛”状(如 B 区域), 则火成岩边界区因受瓦斯压

力、构造应力、地应力及火成岩自重分力等多重应力耦合作用而成为“高应力区”,为防止该区域在煤层开采时发生煤与瓦斯突出或冲击地压等灾害,应将火成岩侵蚀的边界区作为保护煤柱进行留设。

5.2 正常赋存区的瓦斯防治方案

若火成岩侵蚀 10 煤后呈“发散”状(如 A 区域),火成岩自重分力未对 10 煤的采掘活动和瓦斯储集造成影响,此时,瓦斯防治按正常状态下瓦斯治理模式进行。

若火成岩侵蚀 10 煤后呈“收敛”状(如 B 区域),火成岩对瓦斯产生良好的封闭或半封闭作用,使瓦斯大量储集,瓦斯压力增大、含量升高;同时,由于火成岩向 10 煤正常赋存区倾斜,其自重分力对正常赋存区煤层的挤压作用,使煤层压缩能增加,突出危险性增大。此时,应严格遵守《防治煤与瓦斯突出细则》,先实施区域“四位一体”和局部“四位一体”防突措施,再进行安全高效回采。

6 结论

1)火成岩侵蚀导致煤层变薄或完全被吞蚀,不可采区增大,煤层稳定性降低,煤层结构趋于复杂,煤层顶板破坏,回采难度增大。

2)火成岩侵蚀使煤层的厚度变异程度和瓦斯突出危险性增大,不仅给采区划分和巷道布置带来难度,还阻碍工作面的连续推进。

3)对火成岩侵蚀后煤层不同区域采取相应的瓦斯防治方案,可实现对煤层的高效回采。

参考文献:

- [1] 罗文柯.上覆巨厚火成岩下煤与瓦斯突出灾害危险性评估与防治对策研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [2] 王亮,程远平,聂政,等.巨厚火成岩对煤层瓦斯赋存及突出灾害的影响[J].中国矿业大学学报,2011,40(1):29-34.
- [3] 朱有彬,方家虎,吴小军,等.朱仙庄井田岩浆岩侵蚀区瓦斯赋存影响因素分析[J].煤炭科学技术,2016,44(3):147-151.
- [4] CHENG L B, WANG L, CHENG Y P, et al. Gas desorption index of drill cuttings affected by magmatic sills for predicting outbursts in coal seams[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016,9(1):1-15.
- [5] 蒋静宇,程远平.淮北矿区岩浆岩侵入对煤储层微孔隙特征的影响[J].煤炭学报,2012,37(4):634-640.
- [6] MATHIEU L, DE VAN VRIESW B D V B, HOLOHAN EOGHAN P H, et al. Dykes, cups, saucers and sills: Analogue experiments on magma intrusion into brittle rocks[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2008,271(1-4):1-13.
- [7] 王亮,刘飞.岩浆盖层下伏煤层物性特征与瓦斯突出灾变机制[J].煤炭科学技术,2016,44(6):111-116.
- [8] 蒋静宇,程远平,王海锋,等.岩浆侵入对煤吸附瓦斯特性的影响分析[J].采矿与安全工程学报,2012,29(1):118-123.
- [9] 李勇,严海军,李洪震,等.掘进中遇火成岩侵入瓦斯富集区的瓦斯治理[J].矿业安全与环保,2014,41(5):72-75.
- [10] 王伟,程远平,王亮,等.巨厚火成岩对下伏煤层瓦斯赋存的控制作用[J].采矿与安全工程学报,2014,31(1):154-160.
- [11] CHEN M Y, CHENG Y P, ZHOU H X, et al. Effects of igneous intrusions on coal pore structure, methane desorption and diffusion within coal, and gas occurrence[J]. Environmental & Engineering Geoscience, 2017,23(3):191-207.
- [12] CHANG R M, KAUFFMAN R J, KWON Y O. Understanding the paradigm shift to computational social science in the presence of big data[J]. Decision Support Systems, 2014,63(3):67-80.
- [13] 王亮,程远平,翟清伟,等.厚硬火成岩下突出煤层动力灾害致因研究[J].煤炭学报,2013,38(8):1368-1375.
- [14] WANG L, CHENG Y P, XU C, et al. The controlling effect of thick-hard igneous rock on pressure relief gas drainage and dynamic disasters in outburst coal seams[J]. Natural Hazards, 2013,66(2):1221-1241.
- [15] WANG L, CHENG L B, CHENG Y P, et al. Characteristics and evolutions of gas dynamic disaster under igneous intrusions and its control technologies[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2014,18:164-174.
- [16] 韩军,张宏伟.构造演化对煤与瓦斯突出的控制作用[J].煤炭学报,2010,35(7):1125-1130.
- [17] 蔡春城,祝琳,姜奎,等.不同产状侵入岩浆岩对煤体的热变质作用研究[J].煤矿安全,2014,45(9):4-8.
- [18] 舒龙勇,程远平,王亮,等.地质因素对煤层瓦斯赋存影响的研究[J].中国安全科学学报,2011,21(2):121-125.