

孙四清.煤油气共存矿井掘进工作面底板油型气涌出机理探讨[J].矿业安全与环保 2017 44(4):90-94.
文章编号:1008-4495(2017)04-0090-05

问题探讨

煤油气共存矿井掘进工作面底板油型气涌出机理探讨

孙四清

(中煤科工集团西安研究院有限公司 陕西 西安 710054)

摘要:针对煤油气共存矿井工作面掘进过程中底板油型气涌出问题,采用现场跟踪观测、数值模拟和理论分析的方法,研究掘进工作面底板油型气涌出机理。现场观测结果表明,掘进工作面底板油型气涌出主要受到油型气储集层分布、巷道开挖、底鼓裂隙等因素的影响。数值模拟结果表明,巷道开挖引起地层应力、应变发生变化,导致底板岩层变形破坏,产生裂隙。综合研究分析认为,掘进工作面底板油型气涌出是油型气储集层分布、巷道开挖扰动、地应力和油型气压力等因素综合作用的结果,其中油型气储集层分布是物质前提,巷道开挖扰动是诱导因素,地应力创造了运移通道,油型气压力是动力因素。

关键词:煤油气共存矿井;掘进工作面;油型气;扰动效应;涌出机理

中图分类号:TD712 文献标志码:A 网络出版时间:2017-08-03 14:45

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20170803.1445.040.html>

Discussion on Oil-type Gas Emission Mechanism from Heading Face Floor in Coal-oil-gas Coexisting Mine

SUN Siqing

(China Coal Technology and Engineering Group Xi'an Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: Aiming at the problem of the oil-type gas emission from the heading face floor in the coal-oil-gas coexisting mine, the oil-type gas emission mechanism from the heading face floor was discussed in this paper through the field follow-up observation, numerical simulation and theoretical analysis. The field observation results showed that the oil-type gas emission from the heading face floor was mainly affected by the reservoir distribution of oil-type gas, the roadway excavation and the floor heave fractures. The numerical simulation results showed that the roadway excavation led to the change of the strata stress and strain, which then caused the deformation and damage of floor strata and the generation of fractures. It was concluded from the comprehensive analysis that the oil-type gas emission from the heading face floor was resulted from the reservoir distribution of oil-type gas, the roadway excavation disturbance, the strata stress, the oil-type gas pressure and so on, of which the reservoir distribution of the oil-type gas was the material precondition, the roadway excavation was the induction factor, the strata stress created the gas migration channels, and the oil-type gas pressure provided the power.

Keywords: coal-oil-gas coexisting mine; heading face; oil-type gas; disturbance effect; emission mechanism

黄陵矿区位于鄂尔多斯盆地南缘,在侏罗系延安组中含有丰富的煤炭资源,而其下部的三叠系延长组富含油气资源,整个矿区形成了煤、油气资源共

存^[1-2]、共采的局面。在漫长的地质演化过程中,延长组深部油气在构造运动作用下向上运移,部分油气在煤层顶底板砂岩层中保存下来。对于煤层底板油气成因类型的研究已确定其属于油型气^[3]。

煤层开采过程中这部分油气在采动扰动的作用下涌向采掘空间,对煤矿的安全生产构成了严重威胁。黄陵矿区煤矿生产过程中多次出现底板油型气异常涌出现象^[4-6],大量气体瞬间从巷道底板涌出,

收稿日期:2017-02-25;2017-04-10 修订

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05045-002-002)

作者简介:孙四清(1977—),男,河南新县人,博士研究生,副研究员,从事煤矿地质及煤矿瓦斯防治方面的研究工作。E-mail: sunsiqing@cctegxian.com。

造成巷道瓦斯浓度超限、矿井停采停掘。掘进巷道底板油型气涌出多位于掘进端头后面一定范围内,因巷道开挖使得底板围岩发生变形甚至破坏,产生裂隙,将下部地层沟通,下部储集层的油型气涌向采场空间。

针对回采工作面围岩应力、应变及围岩破坏等开展过大量研究工作^[7-13],但对于掘进巷道开挖过程中围岩应力、应变及围岩破坏的研究较少。对于煤油气共存矿井巷道开挖过程中的围岩应力和变形,以及开挖过程中油型气如何涌向巷道空间的研究未见报道。因此,为实现对煤油气共存矿井掘进巷道中油型气的有效防治,亟需研究探讨掘进工作面底板油型气涌出机理,为煤油气共存矿井安全高效开采提供理论基础支撑。

1 矿区概况

矿区地层由老至新主要有三叠系、侏罗系、白垩系和第四系,其中含煤地层为侏罗系延安组,主采2号煤层,3号煤层局部可采;矿区油气资源储层主要分布在三叠系的瓦窑堡组、永坪组、胡家村组和铜川组(即延长群),目前油气资源开发主要集中在长₄₊₅和长₇^[14]。矿区2号煤层顶底板采动影响范围内稳定的油型气储集层主要有4层,即直罗组一段砂岩、延二段七里镇砂岩、富县组下部砂岩和瓦窑堡组顶部砂岩,4个油型气储集层柱状图如图1所示。

2号煤层顶底板采动影响范围内泥岩有机质成熟度为0.49%~0.85%,平均0.69%;有机碳含量为0.05%~4.16%,平均1.03%;烃原岩属于低成熟度、差烃原岩,不具备大量生气条件。地球物理特征证实鄂尔多斯盆地内存在基底断裂系统^[15],认为鄂尔多斯盆地内至少存在EW、NE、NW 3组不同方向的基底断裂。这些断裂活动过程中会产生小断层或微裂缝,在区域上构成了油气垂向运移的通道。另外,矿区局部地层中规模较小的天然断层、裂隙同样是下部瓦窑堡组油气向上运移的通道。在煤层顶底板中赋存有大量砂岩层,在保存条件合适的地方,会形成圈闭油气保存下来。

2 掘进工作面底板油型气涌出规律

巷道开挖后底板岩层因受应力作用而产生局部变形破裂并出现底鼓现象,产生的局部变形破裂裂隙将下部地层联通,使得下部储集层中的油型气通过裂隙向掘进巷道空间涌出。研究期间对黄陵二号煤矿205掘进工作面进行了现场跟踪观测,底板油

系统	组		类别	岩层剖面	岩性	
侏罗系中统	直罗组 J ₂ ^z		盖层	— — — —	泥岩	
			储集层	… … …	细粒砂岩	
				… … …	中粒砂岩	
	延安组 J ₂ ^y	延四段		— — — —	泥岩	
				… … …	粉砂岩	
		延三段		— — — —	泥岩	
				… … …	粉砂岩	
				… … …	细粒砂岩	
		延二段		— — — — — — — — — — — —	泥岩	
				… … …	细粒砂岩	
				— — — —	泥岩	
				… … …	细粒砂岩	
			盖层	— — — —	泥岩	
			储集层	… … …	细粒砂岩	
			延一段		… … …	粉砂岩
				储集层		2号煤层
		储集层		… … …	细粒砂岩	
		储集层			3号煤层	
侏罗系下统	富县组 J ₁ ^f		盖层	— — — —	泥岩	
			储集层	… … …	细粒砂岩	
三叠系上统	瓦窑堡组 T ₃ ^w		盖层	— — — —	泥岩	
			储集层	… … …	细粒砂岩	

图1 油型气储集层柱状图

型气涌出点分布如图2所示。巷道开挖后油型气涌出点主要集中在距离掘进工作面5~10 m的位置,巷道宽度范围内均有油型气涌出,但主要在巷道中部底鼓裂隙较为发育的部位涌出;且在油型气涌出较明显的地段,巷道底鼓裂隙往往连片分布。

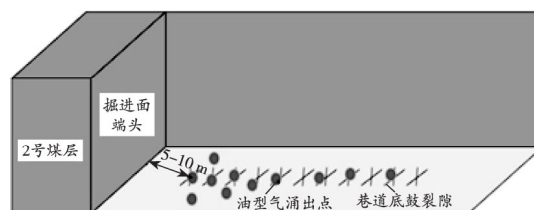


图2 掘进工作面油型气涌出点分布示意图

根据观测,掘进工作面油型气涌出与底板储集层间距的对应关系如图3所示。从图3中可以看出,掘进工作面油型气涌出量随油型气储集层与巷道底板间距的增大而减少。当储集层距离巷道底板较远,位于巷道开挖扰动影响之外时,储集层一般不会向巷道空间涌出油型气;若储集层距离巷道底板较近,或处于巷道开挖扰动影响范围之内时,掘进过程中底板储集层会向巷道空间涌出油型气。

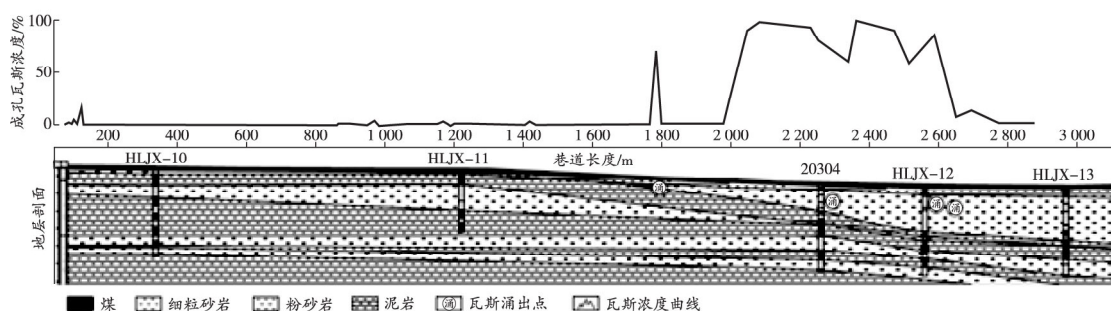


图 3 油气气涌出与储集层距巷道底板距离的对比关系

3 巷道开挖底板岩层应力、应变数值模拟

3.1 模型的建立

模拟巷道开挖后底板围岩应力、应变的变化特征,采用 FLAC^{3D} 建立巷道开挖后数值模拟物理模型。建立的模型走向长 200 m,倾向宽 100 m,煤层厚度取 5 m。假设地层原岩应力场为自重应力场,计算获得上覆岩层垂直应力初始值约为 15 MPa;认为岩石破坏遵循摩尔—库仑准则;掘进工作面实施分步开挖,每步开挖 20 m,累计开挖 6 步,共计开挖 120 m。模拟计算采用的煤岩层物理力学参数如表 1 所示。

3.2 应力变化特征

巷道开挖后底板围岩应力变化模拟结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,巷道开挖后围岩应力重新分布,顶底板岩层出现对称性的卸压现象;巷道中部卸压程度、卸压影响深度均最大,底板岩层卸压程

表 1 研究区煤岩层物理力学参数

岩性类别	体积模量/GPa	切变模量/GPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa	密度/(kg/m ³)
泥岩	1.51	0.65	2.0	20.9	1.26	2 400
粉砂岩	4.46	1.12	3.0	24.9	2.13	2 500
细砂岩	5.28	1.65	4.0	25.6	2.50	2 600
煤层	0.57	0.24	1.2	18.0	1.20	1 400

度由巷道底至深逐渐降低,在底板垂距 3 m 内垂直应力趋近于 0。巷道开挖后两帮煤壁出现应力集中现象,应力集中系数为 1.25~1.40,随着巷道掘进应力集中系数增大,巷道掘进 100 m 后应力集中系数值基本稳定在 1.40 左右。巷道开挖中底板围岩卸压深度为 3~10 m,巷道掘进 100 m 后底板围岩卸压深度基本稳定在 10 m 左右。掘进工作面超前支撑压力显著影响范围 10~20 m,随着巷道掘进超前支撑压力显著影响范围增大,巷道掘进 100 m 后影响范围基本稳定在 20 m 左右。

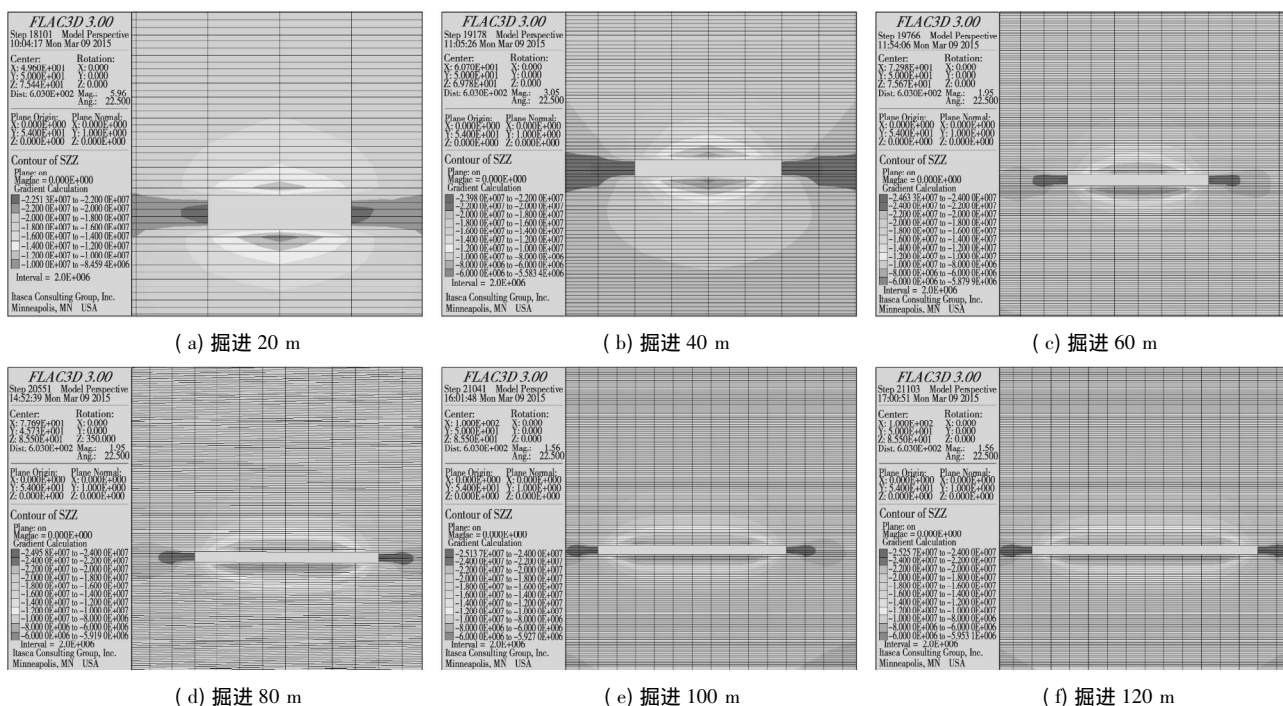


图 4 巷道掘进过程中煤层顶底板垂直应力变化情况

3.3 底板围岩变形特征

巷道开挖后围岩变形数值模拟结果见图5,可以看出,巷道开挖后底板围岩整体向上凸起变形,在同一位置巷道底板中间的围岩变形量要大于巷道两帮,呈现巷道底板中间凸起而两侧相对下降的现象,这与井下巷道实际观测的情况基本吻合。从垂直方向看,巷道底板围岩变形量随着与底板垂距的增加

而逐渐减小,与底板垂距在5 m内的围岩变形量较为明显,如底板垂距1 m处围岩变形量达640 mm,而同一位置底板垂距20 m处的围岩变形量仅为100 mm。沿巷道开挖方向,巷道底板围岩变形量随着开挖距离的延长而呈现增大直至稳定的规律,底板围岩变形量为350~650 mm,巷道开挖到100 m后围岩变形量基本稳定在650 mm左右。

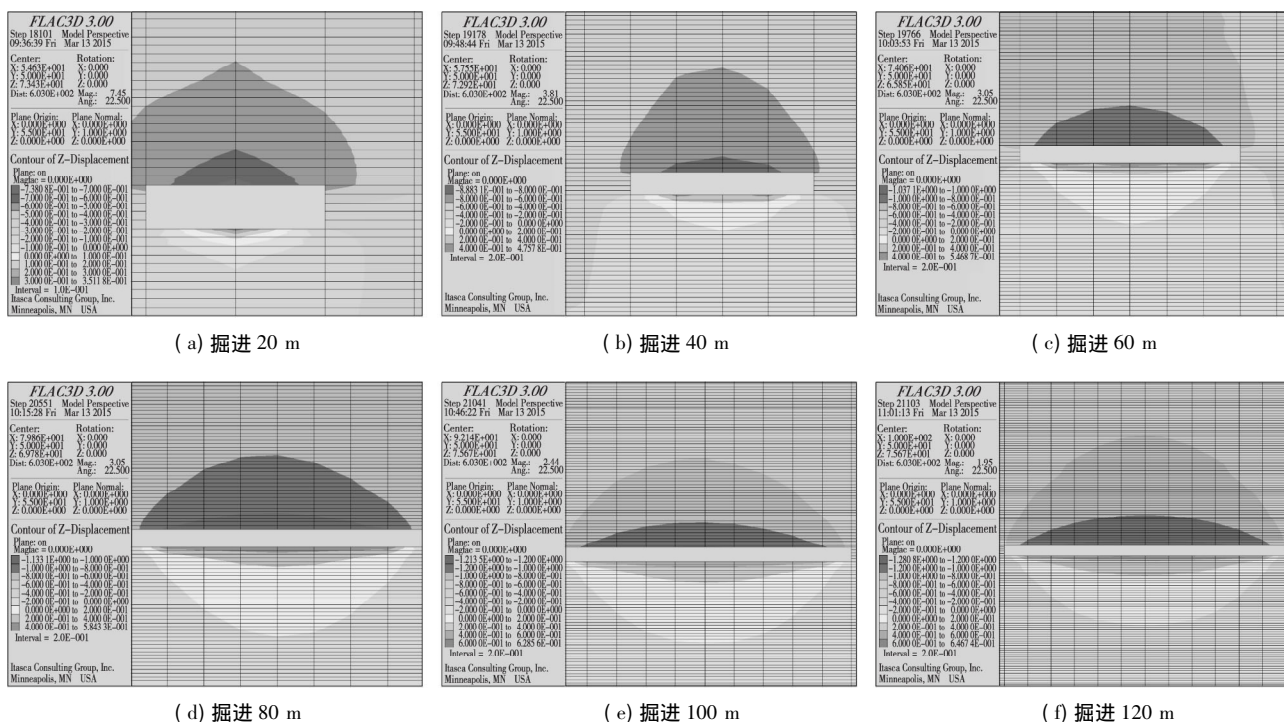


图5 巷道掘进过程中煤层顶底板垂直方向变形特征

4 掘进工作面底板油型气涌出机理

4.1 底板油型气涌出控制要素

巷道开挖后使得底板围岩直接暴露于巷道空间,油型气储集层若与巷道底板直接接触,则储集层直接向巷道空间涌出油型气。该种情况油型气涌出主要受到油型气压力、储集层厚度及其渗透性等因素的影响。若储集层与巷道底板间距较小,位于巷道掘进扰动影响范围之内时,巷道掘进扰动使得底板岩层产生膨胀变形破坏,通过底板岩层裂隙将下部油型气储集层沟通,则下部油型气储集层向巷道空间涌出油型气;该种情况油型气涌出除了受到油型气压力、储集层厚度及其渗透性等因素的影响外,还受到地应力和巷道开挖扰动等因素的影响和制约。

4.2 油型气涌出各控制要素之间的作用

油型气储集层是油型气涌出的物质前提,其对油型气涌出的作用主要通过3个方面来体现:一是

油型气储集层与巷道底板的间距,决定了巷道开挖扰动影响范围内是否有油型气涌出气源;二是油型气储集层厚度,反映了油型气储量,决定了底板油型气涌出量;三是油型气储集层的渗透性,表征油型气涌出的难易程度。

巷道开挖扰动效应是油型气涌出的诱导因素,其对油型气涌出诱导作用主要体现在3个方面:一是巷道开挖后油型气储集层与巷道之间形成了油型气压力差和浓度梯度,压力差和浓度梯度是储集层油型气向巷道空间涌出的动力因素;二是巷道开挖打破了地层原岩应力平衡,引起地层应力重新分布,导致巷道底板一定范围内岩层出现卸压和应力集中现象;三是巷道开挖解除了岩层间的相互约束作用,为岩层的膨胀变形和油型气涌出提供了空间。

地应力为油型气涌出创造了运移通道,提供了能量,其主要表现在3个方面:一是在地应力作用下巷道底板岩层出现膨胀变形,产生并促进裂隙发展,为油型气的涌出创造了运移通道;二是应力降低使

得岩层渗透性提升,降低了油型气涌出难度;三是地应力作用于岩层中的弹性潜能增大了油型气压力,增加了油型气涌出的能量。

油型气压力是油型气涌出的直接动能,压力越高涌出强度越大;另外,油型气压力也会加速巷道底板岩层膨胀变形和裂隙延展。

5 结论

1) 巷道开挖扰动打破了地层原岩应力平衡,并在储集层与巷道之间形成了油型气体压力差;地应力重新分布引起岩层变形甚至破坏,产生裂隙,为油型气涌出提供了运移通道,而气体压力差的形成为油型气涌出提供了动力因素。

2) 掘进工作面底板油型气涌出是储集层分布、巷道开挖扰动、地应力和油型气压力等因素综合作用的结果。其中储集层分布是发生油型气涌出的物质前提,巷道开挖扰动是诱导因素,地应力创造了运移通道,油型气压力是油型气涌出的动力因素。

3) 对于煤油气共存矿井掘进工作面油型气的防治,应根据巷道开挖扰动影响范围和油型气储集层的分布情况,以及巷道开挖过程中底板围岩裂隙演化规律,合理布置抽采钻孔,及时有效地抽采卸压状态下的油型气,防止掘进工作面底板油型气异常涌出。

参考文献:

- [1] 俞桂英,冯景昌. 黄陵矿区煤、油、气共生概况及综合勘探的重要性[J]. 中国煤田地质, 1993, 5(3): 3-7.
- [2] 梁秋利,宋继华. 陕西黄陵矿区双龙井田煤系地层中的伴生石油[J]. 西北地质, 2000, 33(3): 52-55.
- [3] 唐恩贤. 黄陵矿区煤层底板异常涌出气体成因类型[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(6): 8-11.
- [4] 唐恩贤. 矿井瓦斯与油型气共生灾害防治技术在黄陵矿

区的探索与实践[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(1): 81-84.

- [5] 殷民胜. 黄陵矿业公司二号煤矿 201 工作面底板油型气治理技术研究[C]//全国煤矿瓦斯抽采利用与通风安全技术现场会煤矿瓦斯抽采与通风安全论文集, 2013: 88-93.
- [6] 马功社,赵耀耀. 煤矿底板油型气特性及防治技术研究——以黄陵二号煤矿 205 面为例[J]. 内蒙古煤炭经济, 2016(21): 134-138.
- [7] 张农,袁亮,王成,等. 卸压开采顶板巷道破坏特征及稳定性分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(11): 1784-1789.
- [8] 王连国,韩猛,王占盛,等. 采场底板应力分布与破坏规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(3): 317-320.
- [9] 张蕊,姜振泉,于宗仁,等. 煤层底板采动破坏特征综合测试及数值模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(4): 531-537.
- [10] 张风达,申宝宏,康永华. 煤层底板破坏机理分析及最大破坏深度计算[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(3): 58-61.
- [11] 高召宁,孟祥瑞,郑志伟. 采动应力效应下的煤层底板裂隙演化规律研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(1): 90-95.
- [12] 李宝富,魏向志,任永康,等. 煤层巷道底板动态破坏机理及控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 34-37.
- [13] 马功社,孙四清,郑凯歌,等. 采动效应下煤层底板变形破坏数值模拟[J]. 煤矿安全, 2016, 47(9): 202-205.
- [14] 王平,张志升,孟海峰. 鄂尔多斯盆地东南部延长群的划分及其在油田开发中的应用[J]. 地层学杂志, 2013, 37(1): 62-72.
- [15] 赵文智,胡素云,汪则成,等. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 1-5.

(责任编辑:李 琴)