



移动扫码阅读

潘荣锟,刘伟,李怀珍,等.浅埋近距离煤层群工作面上隅角贫氧致因及综防技术[J].煤炭科学技术,2021,49(2):102-108. doi:10.13199/j.cnki.est.2021.02.013
 PAN Rongkun, LIU Wei, LI Huaizhen, et al. Causes of oxygen deficiency in upper corners of working face in shallow-buried and contiguous seams and comprehensive prevention technology [J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(2):102-108. doi:10.13199/j.cnki.est.2021.02.013

浅埋近距离煤层群工作面上隅角贫氧致因及综防技术

潘荣锟^{1,2},刘伟¹,李怀珍^{1,2},晁江坤¹,王亮³

(1.河南理工大学 安全科学与工程学院,河南 焦作 454000;2. 煤炭安全生产与清洁高效利用省部共建协同创新中心,河南 焦作 454003;3. 中国矿业大学 安全工程学院,江苏 徐州 221116)

摘要:我国神东、平朔、大同煤田赋存着大量浅埋近距离煤层群,浅埋近距离煤层群具有煤层埋藏浅、煤层间距近等特点,在开采扰动下,层间易产生裂隙形成漏风通道,当地表空气进入上覆采空区,易引起上覆采空区遗煤自燃,间接影响下层煤开采过程中工作面上隅角的氧气浓度,造成贫氧现象。为了探究浅埋近距离煤层群工作面上隅角贫氧致因,提出防治贫氧的措施,以大恒煤矿91103综采工作面为研究背景,采用理论分析、CDEM数值模拟以及SF₆示踪气体漏风测试等方法进行了研究。结果表明:地面裂缝、沉积现象明显;模拟煤岩损伤、破裂过程、裂隙发育,得出地表与上覆采空区、工作面贯通模型;利用连续定量释放SF₆示踪气体在工作面进行漏风测定,测定结果验证了数值模拟中地表、上覆采空区以及工作面的贯通。工作面上隅角贫氧是由于浅埋赋存煤体破碎析出的低氧气体、采空区氧化衍生气体以及防灭火注入的惰性气体,在通风负压和大气压力的双重作用下,通过漏风通道进入工作面,加之U型通风方式的通风特点等多种因素共同造成的,其中工作面与地表贯通造成漏风严重是上隅角贫氧的主要致因。基于对贫氧致因的研究,大恒煤矿采用了井上下堵漏、安设风帘、埋管抽采、风机配合风筒等综合性防治措施,有效解决了工作面上隅角贫氧对安全生产的制约和影响,确保了工作面上隅角氧气浓度始终处于正常水平。

关键词:浅埋近距离煤层群;上隅角贫氧 U型通风;漏风测试

中图分类号:TD75 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2021)02-0102-07

Causes of oxygen deficiency in upper corners of working face in shallow-buried and contiguous seams and comprehensive prevention technology

PAN Rongkun^{1,2}, LIU Wei¹, LI Huaizhen^{1,2}, CHAO Jiangkun¹, WANG Liang³

(1. College of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. State Collaborative Innovation Center of Coal Work Safety and Clean-efficiency Utilization, Jiaozuo 454000, China; 3. School of Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Shendong, Pingshuo, Datong coalfield in China have a large of shallow-buried and contiguous seams, shallow buried and contiguous seams have the characteristics of shallow coal seams and close seam spacing. Under mining disturbance, cracks are likely to form air leakage channels. Surface air entering the overlying gob can easily cause spontaneous combustion of the remaining coal in the overlying gob, which indirectly affects the oxygen concentration in the upper corners of the working face during the mining of the underlying coal, resulting in oxygen depletion. In order to explore the causes of oxygen deficiency in the corner of the working face and put forward the measures to prevent oxygen deficiency, taking No.91103 fully-mechanized working face of Daheng Coal Mine as the research background, theoretical analysis, CDEM numerical simulation and SF₆ air leakage test methods were used for the study. The results show that there are obvious cracks and sedimentation on the ground. By simulating the process of coal and rock damage, fracture process and cracks development, the ground surface and the overlying gob and working face are connected. Using continuous quantitative release of SF₆ tracer gas in the working face for air leakage measurement, the measurement results verify the numerical simulation of the surface, overlying gob and

收稿日期:2020-09-28;责任编辑:王晓珍

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51674103,52004084);中国博士后科学基金资助项目(2020T130173)

作者简介:潘荣锟(1980—),男,广西安南人,副教授,博士生导师。E-mail:prk2008@126.com

working face through model. The oxygen deficiency in upper corner is due to the low oxygen gas released from the crushing of shallow-buried coal, the oxidation derived gas from gob and the inert gas injected into fire prevention. Under the dual effects of ventilation negative pressure and atmospheric pressure, low oxygen gas by the air leakage channel enters the working face as well as the ventilation characteristics of U-type ventilation mode, resulting in oxygen deficiency. Among them, the serious air leakage caused by the connection between the working face and the ground surface is the main cause of oxygen deficiency in the upper corner. Based on the research on the causes of poor oxygen, Daheng Coal Mine adopted comprehensive prevention and control measures, such as plugging up and down the well, installing air curtains, buried pipe drainage, fans with air duct, etc., which effectively solved the problem of poor oxygen at the upper corners of the working surface, and the oxygen concentration in the upper corner of the working face was always at the normal level.

Key words: shallow-buried depth and contiguous seams; oxidation; upper corner; oxygen deficiency; U-type ventilation mode; air leakage test

0 引言

随着我国中东部地区煤炭资源逐渐枯竭,煤炭开采的主战场逐渐向西部地区转移,西部地区将成为我国能源供应的主要基地。近年来西部矿区相继建成了一批大型、特大型矿井,如神华集团的神东矿区、乌达矿区、中煤能源平朔井工矿区、大同矿区等,这些矿区目前的赋存条件大部分属于浅埋近距离煤层群开采。根据 GB 8959—2006《缺氧危险作业安全规程》,矿井为缺氧危险作业场所中的地下有限空间,缺氧危险作业氧气报警体积分数为 19.5%。当氧气体积分数为 17% 时,现场人员从事一般劳动强度工作会出现呼吸困难等情况,氧气体积分数低于 12% 时,工作人员会休克甚至死亡^[1]。因此,对贫氧致因及防治的研究具有重要意义。

在贫氧致因及防治方面,国内学者做了很多研究。如梁栋林^[2]利用改良后的大直径钻孔配合套管护孔抽采技术有效防控上覆采空区有害气体向本工作面下泄。王新成^[3]利用本煤层向上覆采空区施工短布距截流抽采钻孔抽采,从根本上提高了工作面上隅角氧浓度。叶庆树等^[4]通过采空区气体浓度变化模拟试验,提出了导致低氧的原因可能是 N₂ 的涌出稀释或者 O₂ 被煤体物理吸附。聂含张^[5]采取 OF25—190 型手提风动式风机配合临时导风障的方法使工作面氧气浓度稳定在了规定范围。贾宝财等^[6]针对采面隅角为采空区风流汇合处的低氧原因,采用设置采面隅角挡风帘等措施较好地处理了上隅角瓦斯超限。路志堂等^[7]采用安设大流量风水引射器等方法,增加了上隅角处空气流动量。钱竹响^[8]分析上隅角瓦斯积聚的原因及规律,针对性地提出了高位裂隙钻孔抽采等措施,对防治上隅角瓦斯积聚超限提供了参考。周巨钦^[9]从分析低氧机理入手,提出了顶抽巷反风等方法,有效解决了上隅角低氧对安全生产的制约和影响。菅跃荣^[10]对隅角氧气浓度低的原因进行充分分析,提出了回

风隅角管理,优化通风管理等综合治理措施,确保了综采工作面的安全生产。杨俊哲^[11]从巷道支护及联络巷密闭施工等方面阐述了解决回风隅角氧气浓度低的主要措施。王伟^[12]从低氧气体来源及涌出原因分析,采取了回风隅角安设专用抽排风机等综合措施确保了回风隅角氧气浓度处于正常水平。方保明^[13]针对工作面漏风通道提出了提高采空区密闭规格和质量等措施。李玉福^[14]在工作面应用卸压通风技术,减少了采空区有害气体涌出。文献[15-20]应用了系统均压通风技术,使工作面和采空区风压达到平衡,减少采空区有毒有害气体涌入工作面。但是针对地表裂隙与采空区贯通导致的工作面上隅角贫氧分析还少有涉及。

基于此,笔者从贫氧气体来源以及漏风通道等方面分析造成上隅角贫氧的原因,结合现场情况,采取相应防治措施以杜绝工作面贫氧。

1 工作面概况

大恒煤矿 91103 工作面是 9⁻¹ 煤一采区的第 3 个综采工作面,工作面宽度为 200 m,地面标高 1 215—1 300 m,91103 工作面标高 996—1 028 m,煤层平均厚度 6.68 m,其上覆为 4 煤采空区,4 号煤层分叉为 4⁻¹、4⁻² 号煤层,4⁻¹ 号煤层厚度平均 9.50 m,4⁻² 号煤层上距 4⁻¹ 号煤层平均 6.88 m,煤厚平均 4.70 m,9⁻¹ 号煤层上距 4⁻² 号煤层 16.38 m。层间关系如图 1 所示。

91103 工作面位于井田西北部,正上方为 42103、42108 工作面采空区;西侧北部为 91101 工作面采空区,南部为设计的 91102 工作面,东侧上部为 42106 工作面采空区。91103 工作面采用综采放顶煤采煤法,回采方式为后退式开采,采高为 3.0 m,放煤高度为 1.75 m。工作面采用一进一回 U 型通风系统,全负压通风。自燃等级为Ⅱ级,属自燃煤层,煤尘有爆炸危险性,该矿井属瓦斯矿井。

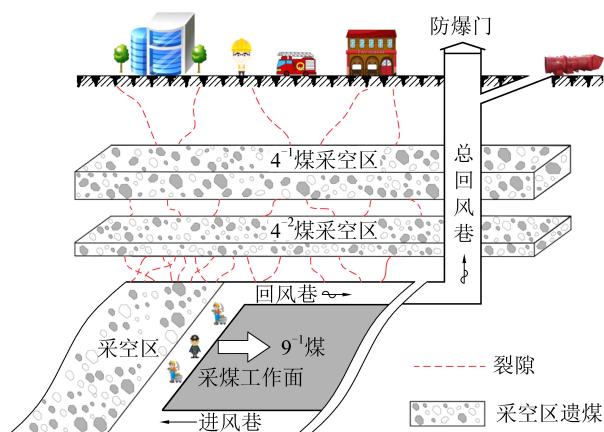


图1 地面与3层煤之间关系

Fig.1 Relation ships between ground and three coal seams

2 贫氧致因分析

工作面上隅角贫氧现象是多种因素综合作用的结果,因此,分析造成贫氧现象的原因时,综合考虑了U型通风方式的通风特点、贫氧气体的来源以及贫氧气体的涌人方式。根据大恒煤矿实际情况分析,工作面上覆地表损害严重,裂隙、沉降区域范围较大且明显,地表与工作面贯通,91103工作面漏风严重,是隅角贫氧的主要致因,贫氧气体的产生、涌人方式以及通风方式等是贫氧的次要致因。

2.1 U型通风方式特点

91103工作面采用U型通风方式,因其系统简单、便于通风管理、巷道掘进量少、成本较低等优点,所以在矿井开采中广泛应用。但这种通风方式对工作面上隅角贫氧具有一定影响:①上隅角为采空区风流的汇合处。在进、回风巷风流压差作用下,进入工作面的风流分为两部分,一部分直接从工作面流过,另一部分流入采空区,在采空区内部沿一定的流线方向流动,进入采空区的风流其氧气成分经过气流交换发生变化,在工作面的后半部分,逐渐返回工作面,最后汇集于采煤工作面上隅角。②上隅角局部处于涡流状态。采煤工作面上隅角靠近煤壁和采空区,风流经过工作面上端头时,巷道突然垂直转弯,使靠近煤壁的风速降低,工作面上隅角出现涡流现象。当采空区贫氧气体运移至上隅角后,由于风速低,只能在涡流区处于旋转状态,无法进入主风流,如图2所示。综合以上2点,可知U型通风方式容易在工作面上隅角形成贫氧气体的积聚和CO超限。

2.2 贫氧气体来源

2.2.1 浅埋煤层赋存条件

浅埋煤层赋存条件是贫氧气体形成的客观条件。91103工作面处在瓦斯分带的 N_2 带、 $N_2\text{-}CH_4$ 带,

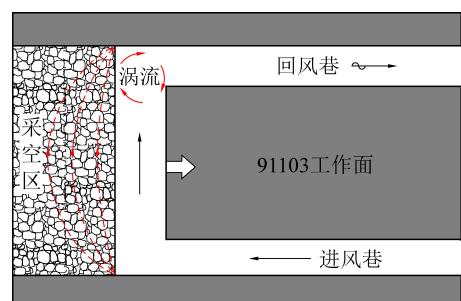


图2 风流经过采空区汇入上隅角时的涡流状态

Fig.2 Eddy current of airflow when it flows into upper corner through goaf

煤体所含气体以 N_2 为主, N_2 体积分数为67.30%~70.78%, CH_4 体积分数为13.22%~20.13%, CO_2 体积分数为12.53%~15.97%。煤炭开采过程中,采煤机切煤及放煤过程中,吸附在煤体中的 N_2 和 CO_2 等气体随着大量煤块破碎析出,稀释了氧气浓度,析出的混合气体是贫氧气体的组成部分。这些贫氧气体因不能及时被风流吹散,进入低风速涡流状态的上隅角积聚,从而造成上隅角贫氧,所以煤体本身的赋存条件是贫氧气体产生的主要来源。

2.2.2 采空区贫氧气体溢出

近距离煤层群开采的上覆采空区、邻近采空区和本层采空区遗煤氧化是工作面贫氧气体产生的次要来源。受采煤工艺、顶底板特性及煤质等因素影响,各采空区遗留有30 m煤柱及大量呈破碎状态的遗煤,遗煤解吸产生贫氧气体,稀释氧浓度。同时,9-1号煤层属自燃煤层,吸氧量为0.58 cm³/g,在采空区内部良好蓄热环境条件下,破碎的遗煤增加了与氧气的接触面,加速煤低温氧化,在这一过程中采空区内部遗煤吸附并消耗氧气,进行煤氧复合反应,释放 CO 、 CO_2 、烃类等气体产物以及物理、化学吸附热、化学反应热等热量,引起采空区压力上升,导致采空区内贫氧气体从上隅角溢出,出现贫氧现象。

2.2.3 采空区防灭火注入的氮气

采空区防灭火注入的氮气也是造成贫氧的重要因素。9号煤为Ⅱ级自燃煤层,为了防止采空区遗煤自燃,在回采过程中,工作面采用埋管注氮工艺,连续、开放注氮方式进行采空区防灭火,开采9-1号煤层注氮量为463.7 m³/h,开采4-1号煤层注氮量为406.2 m³/h,开采4-2号煤层注氮量为234.0 m³/h,因此,开采9-1号煤层过后的采空区留下了大量高浓度氮气,氮气扩散到层间采空区漏风流中稀释了漏风流中的氧气浓度。

2.3 贫氧气体涌人方式

2.3.1 漏风通道的影响

地表与上覆采空区、工作面贯通后形成的漏风

通道是贫氧气体涌出的主要途径,工作面漏风严重是贫氧的主要原因。由于大恒煤矿为浅埋近距离煤层群开采,地表受重复采动的影响,工作面容易形成采动裂隙,在矿井周期来压作用下,会使得裂隙进一步发育,直达上层采空区及地表,形成良好的漏风通道。图3为91103工作面地表裂隙实拍图,图中红色虚线中间是较为明显的裂隙、沉降区域。

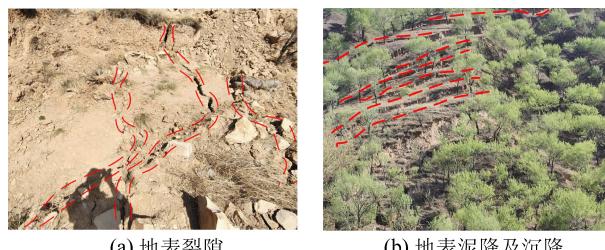


图3 工作面上覆地表裂隙及沉降

Fig.3 Surface fissures and settlement in overlying working face

宏观方面通过采用数值模拟及 SF_6 漏风测试,验证了裂隙发育及漏风通道的存在。微观方面从漏风通道分析了 O_2 降低的置换机理。

利用 CDEM 数值模拟,通过拉格朗日系统建立严格的控制方程,利用动态松弛法显示迭代求解,实现了连续—非连续的统一描述,模拟煤层从连续变形到断裂直至运动的全过程。根据常见煤系地层条件,建立二维层状数值模型,采用四边形网格,共含块体 33 500 个,节点 33 885 个,块体采用摩尔-库仑本构模型,节理采用脆断模型。模型尺寸 $x=500$ m, $y=238.26$ m, 共划分 36 层。数值模拟分为 3 个状态阶段,4⁻¹煤开采后裂隙分布,4⁻¹煤、4⁻²煤双煤层开采后裂隙分布以及 4⁻¹煤、4⁻²煤、9⁻¹煤三煤层开采后裂隙分布。通过 CDEM 数值模拟软件得出:①煤层回采后,工作面前后方出现应力集中现象,由于工作面不断推进,煤壁和采空区不断向前移动,导致工作面前后方支承应力是移动型支承应力;煤层回采后,地表变形逐渐增大。②随着工作面的推进,采空区上方上覆岩层塑性破坏区范围越来越大,上覆岩层发生拉伸破坏和剪切破坏的区域主要集中在靠近进回风侧内。结合大恒煤矿 U 型通风方式分析,地面气体通过裂隙,在负压作用下向上隅角汇集、积聚。随着开采逐渐增加,受采动影响,裂隙更加发育,漏风通道及漏风量逐渐增加,如图 4—图 6 所示。

为掌握工作面的漏风规律,利用连续定量释放 SF_6 示踪气体在工作面进行漏风测定,利用逐点释放,逐点采集的方案,以回风巷作为起始点,在每一取样点的上风侧释放,间距 20 m, 在沿程释放 SF_6 的过程中保证释放量相同,采集气体编号填写释放点

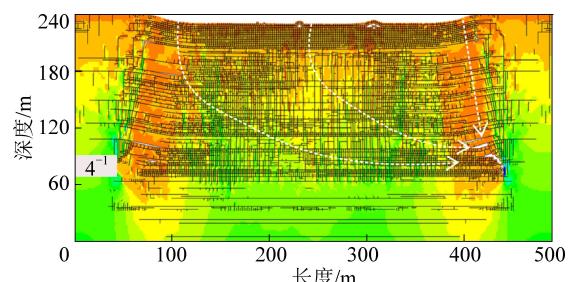


图 4 4⁻¹ 煤开采后裂隙分布

Fig.4 Fracture distribution of No.4⁻¹ coal seam after coal mining

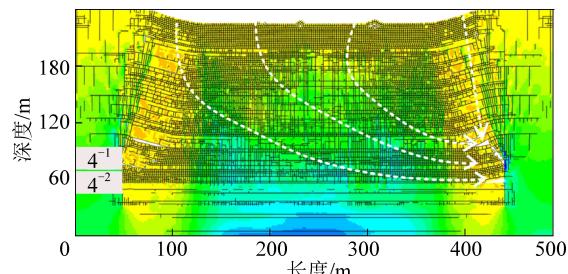


图 5 4⁻¹ 煤、4⁻² 煤双煤层开采后裂隙分布

Fig.5 Fracture distribution of No.4⁻¹ coal seam and No.4⁻² coal seam after mining

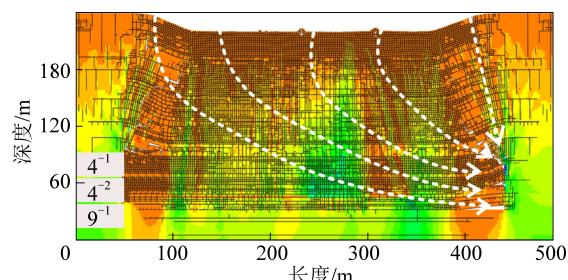


图 6 4⁻¹ 煤、4⁻² 煤、9⁻¹ 煤三煤层开采后裂隙分布

Fig.6 Fracture distribution of No.4⁻¹ coal seam, No.4⁻² coal seam and No.9⁻¹ coal seam after mining

及采样点位置信息。沿程测试完成后取样,利用 SF_6 专用色谱进行分析,确定 SF_6 的气体含量,然后根据测试数据及井下测样点位置,分析工作面的风量分布,进而确定漏风量。漏风测试的裂隙测点漏风分布,如图 7 所示,根据实测数据可得到各个漏风分布测点的漏风量,如图 8 所示。

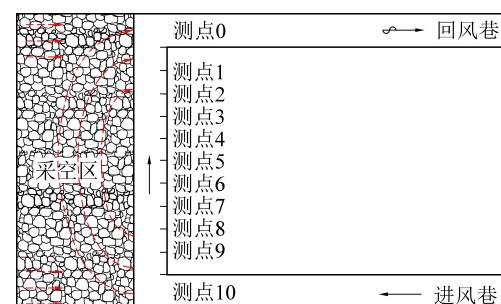


图 7 裂隙测点漏风分布

Fig.7 Air leakage distribution at crack detection points

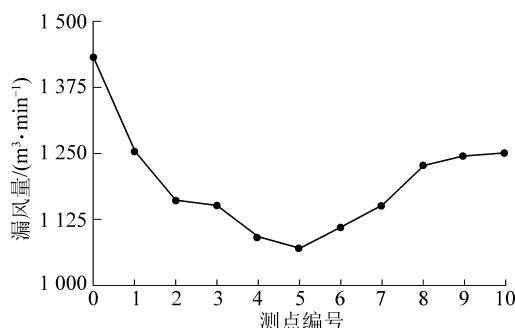


图 8 漏风分布测点的漏风量

Fig.8 Air leakage at each measuring point

由图 8 知,工作面下隅角漏风较大,测点 5 距离进风巷 80 m 范围内,风量逐渐降低,表明工作面部分进风流通过支架后方垮落带及上覆岩层裂隙进入采空区。测点 4 处风量较测点 5 有所增大,随后风流逐渐呈增大趋势,这说明漏入采空区的风流在工作面后半段进入工作面,在工作面上隅角及工作面回风巷达到最大值。但可看到工作面总回风大于工作面进风,由此说明部分风流通过邻近采空区或地表裂隙流入工作面。证实了漏风现象及漏风通道的存在。

微观方面从漏风通道入手,分析了地表气体通过地表裂隙发生吸附、置换,气体中氧气浓度降低后进入工作面,造成隅角贫氧,如图 9 所示。煤是由碳、氢、氧以及氮原子为主体,组成结构极其复杂的大分子,煤作为一种复杂的孔隙性介质,具有发达的孔隙和裂隙,形成了庞大的孔隙表面与微空间,据测定,1 g 无烟煤的微孔表面积达 200 m^2 以上,为气体赋存提供了条件^[21-22]。当地面气体通过地表裂隙进入,在负压作用下运移至工作面的过程中,由于煤体对气体吸附能力强弱不同,煤体对氧气的吸附能力强于 CO_2 、 N_2 、 CH_4 及 CO 等,因此氧气会被煤体地表

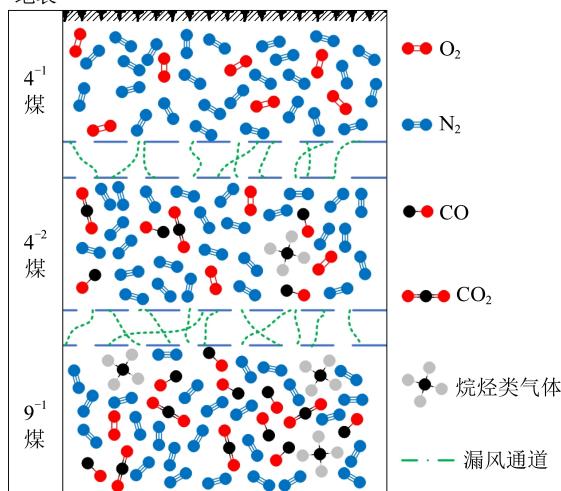


图 9 气体置换机理示意

Fig.9 Gas displacement mechanism diagram

大量吸附,同时置换出 CO_2 、 N_2 、 CH_4 及 CO 等,成为游离状态,在漏风作用下进入工作面,造成上隅角贫氧现象。

此外,工作面与邻近采空区联络巷数量多,每隔 50 m 有 1 个联络巷,由于两巷道联络巷间密闭以砖石材料为主,受采动影响易被压裂甚至垮塌,为邻近高压采空区的贫氧气体涌出提供了良好的通道。同时,本井田断层较发育,91103 工作面邻近主要断层为运输巷东侧断层 F_1 ,落差 11 m,轨道巷掘进过程中揭露的 F_2 落差 3.5 m, F_3 落差 0.7 m,断层带也成为贫氧气体进入工作面的通道。

2.3.2 负压通风的影响

复合采空区气体在负压作用下,通过漏风通道进入工作面。回采工作面采空区与邻近采空区、上覆采空区因为裂隙形成超大面积多层复合采空区。91103 工作面通风方式为 U 型负压通风,此时与地表贯通的大面积采空区绝对压力高于工作面压力,又由于综放工作面上隅角是采空区的漏风汇集处,大量贫氧气体从上隅角涌出,造成工作面贫氧。

2.3.3 大气压力的影响

工作面贫氧受大气压力影响严重。当采空区与地表通过地表裂隙导通后,采空区与综采工作面之间时刻处于动态状态,地面大气压力变化幅度较小时,采空区贫氧气体的涌出量较小且呈均匀态势。当季节更替或昼夜温差较大时,大气压力变化明显,贫氧现象严重,工作面开始出现贫氧,随着大气压力下降幅度的增加,贫氧的范围随之扩大,造成采空区气体的大量涌出,从而引起工作面上隅角 O_2 浓度偏低、 CO 超限,易引起窒息事故。

3 工作面贫氧区防治技术

3.1 井上下堵漏技术

由于所采煤层为浅埋近距离煤层群开采,工作面开采过程中,覆岩垮落破断,形成采动裂隙直达地表,导致地表与采空区联通,裂隙对上隅角氧气浓度影响明显,因此对地表采动裂隙要及时回填封堵,减少采空区气体涌入回采工作面。堵漏包括地表堵漏和井下堵漏,地表堵漏是指安排专人每天对地表巡查,发现裂隙立即回填,不得滞后工作面 100 m。由于已回填的地表会受到重复采动等客观原因影响,会再次形成新的裂隙,因此需要对已回填地表进行 2 次、3 次甚至多次回填。

井下堵漏一般采用充填上、下隅角的方法,使用无机膨胀堵漏风加固材料,在进、回风巷后部采空区

形成有效的封堵墙;使用高水水凝胶防灭火材料,以在工作面后部采空区有效地充填裂隙,如图 10 所示。通风负压和大气压力的变化通过地表裂隙直接影响采空区气体含量及运移,进而影响综采工作面气体分布,因此充填堵漏对贫氧窒息灾害事故的防治具有较大作用。

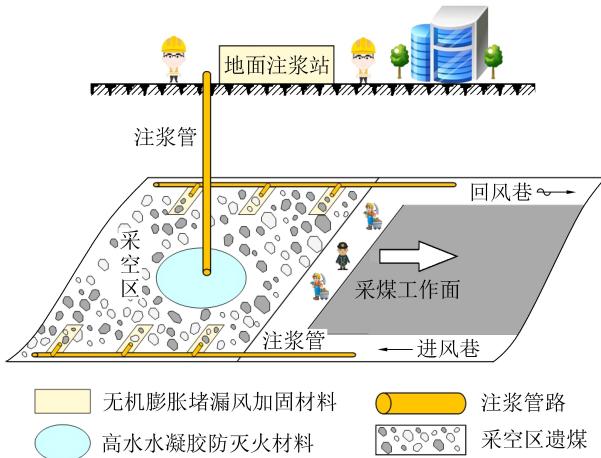


图 10 隅角充填示意

Fig.10 Sketch of corner filling

3.2 安设挡风帘和导风帘技术

在工作面上、下隅角安设挡风帘减少流向采空区的漏风量,同时在靠近上隅角 5 台支架的范围内安设导风帘,引导较多的风流流经上隅角稀释贫氧气体。此方法对于综放工作面放煤口、架顶的局部积聚也有很好效果。

3.3 上隅角埋管抽采技术

上隅角埋管抽采就是在上隅角垒挡风墙进行封堵后,采用管路穿过封堵墙进上隅角,连接在回风巷的负压抽采管路上,通过上隅角埋管抽采,在工作面上隅角处形成一个负压区,使该区域的贫氧气体通过抽采管路被抽走,如图 11 所示,避免因采空区贫氧气体涌出而造成上隅角贫氧气体超限事故的发生。此方法配合上、下隅角截堵共同使用效果良好,能有效降低上隅角贫氧气体浓度。

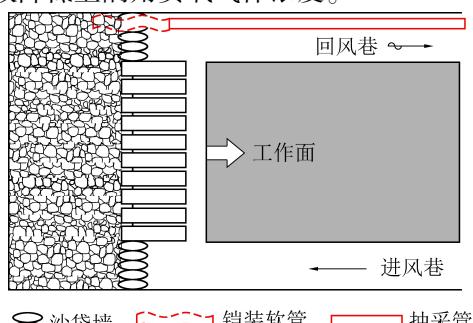


图 11 上隅角埋管抽采平面示意

Fig.11 Drawing plane of the upper corner buried pipe

3.4 通风机配合风筒技术

将通风机吊挂在工作面尾部 5~6 个支架下,通过风筒对上隅角贫氧区域进行供风,打破上隅角涡流状态,吹散有害气体。使上隅角氧气浓度符合规定。采用此方法治理上隅角后,91103 工作面上隅角氧气体积分数稳定在 20.0% 左右。

4 结 论

1)通过对综放工作面上隅角贫氧现象进行分析,因为浅埋近距离煤层群受开采扰动影响,产生裂隙,导致工作面与上覆采空区及地表贯通,形成漏风通道,造成工作面漏风严重,是工作面上隅角贫氧的主要致因,贫氧气体的产生、涌人方式以及通风方式等是贫氧的次要致因。

2)贫氧气体来自工作面割煤时煤体本身放出的贫氧气体、采空区溢出的氧化衍生气体以及采空区防灭火注入的惰性气体;加之,煤是空隙性介质,对气体吸附能力不同,地面气体通过地表裂隙使得煤体吸附氧气,置换出贫氧气体后进入工作面,造成隅角贫氧。

3)通过采取井上地表裂隙回填,井下使用无机膨胀堵漏风加固材料配合高水水凝胶防灭火材料充填隅角、隅角安设挡风帘及导风帘、上隅角埋管抽采、风机配合风筒等技术,达到了防止工作面上隅角有害气体浓度超限的效果,整体实践效果良好。

参考文献(References):

- [1] 赵罗飞.补连塔煤矿工作面低氧原因及防控方法研究[D].徐州:中国矿业大学,2020.
- [2] 梁栋林.极近距离煤层综采工作面低氧综合治理技术[J].煤矿安全,2020,51(6):77-80,86.
LIANG Donglin. Low oxygen comprehensive treatment technology of fully mechanized mining face in very close coal seams [J]. Safety in Coal Mines, 2020,51(6):77-80,86.
- [3] 王新成.基于短布距抽放技术的极近距离煤层综采工作面低氧防治[J].煤炭技术,2020,39(5):129-132.
WANG Xincheng. Hypoxia prevention and control in fully mechanized mining face of very close coal seam based on short distance drainage technology [J]. Coal Technology, 2020,39(5):129-132.
- [4] 叶庆树,李鹏,宋小林,等.补连塔矿 22310 工作面低氧产生原因探究[J].内蒙古煤炭经济,2019(20):4-5,9.
YE Qingshu, LI Peng, SONG Xiaolin, et al. Study on the causes of low oxygen in 22310 working face of Bulianta mine [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2019(20):4-5,9.
- [5] 聂含张.综放工作面低氧区域综合治理研究[J].山西冶金,2019,42(4):154-156.
NIE Hanzhang. Study on comprehensive treatment of low oxygen area in fully mechanized top coal caving face [J]. Shanxi Metallurgy,

- gy, 2019, 42(4): 154–156.
- [6] 贾宝财, 刘振宇.U型通风方式采煤工作面上隅角瓦斯处理方法[J].煤炭技术, 2008(5): 88–89.
JIA Baocai, LIU Zhenyu. Gas controlling in upper corner of coal face with U type ventilation system [J]. Coal Technology, 2008 (5): 88–89.
- [7] 路志堂, 邵明喜.U型通风方式综放工作面上隅角瓦斯积聚分析及处理方法[J].煤矿现代化, 2004(4): 29–49.
LU Zhitang, SHAO Mingxi. Analysis and treatment method of gas accumulation in upper corner of U shaped ventilation working face [J]. Coal Mine Modernization, 2004(4): 29–49.
- [8] 钱竹响.U型通风方式采煤面上隅角瓦斯积聚分析与处理方法[J].内蒙古煤炭经济, 2013(1): 97–98.
QIAN Zhuxiang. Analysis and treatment of gas accumulation in U type ventilation coal face [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2013 (1): 97–98.
- [9] 周巨钦.浅谈马兰矿12505综采面上隅角贫氧防治技术[J].陕西煤炭, 2019, 38(3): 147–150, 154.
ZHOU Jujin. Study on low oxygen control technology of upper corner in No.12505 fully mechanized mining face of Malan Mine [J]. Shaanxi Coal, 2019, 38(3): 147–150, 154.
- [10] 菅跃荣.近距离煤层回采工作面回风隅角低氧防治研究[J].煤炭工程, 2018, 50(S1): 94–96.
JIAN Yuerong. Study on low oxygen prevention in return air corner of working face in close distance coal seam [J]. Coal Engineering, 2018, 50(S1): 94–96.
- [11] 杨俊哲.大柳塔煤矿12612工作面回风隅角氧气浓度异常原因分析与治理措施[J].中国煤炭, 2009, 35(7): 94–96.
YANG Junzhe. Analysis of return airway corner abnormal hydrogen concentration in No. 12612 coal face in Daliuta Coal Mine and control measures applied [J]. China Coal, 2009, 35 (7): 94–96.
- [12] 王伟.大柳塔煤矿22613工作面回风隅角低氧原因分析及防治技术[J].煤矿安全, 2016, 47(7): 160–162, 165.
WANG Wei. Reason analysis and prevention technology of low oxygen concentration in return airway corner of 22613 working face in Daliuta Coal Mine [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47 (7): 160–162, 165.
- [13] 方保明.综采工作面回风隅角低氧原因分析及防治[J].煤矿安全, 2018, 49(10): 187–190.
FANG Baoming. Analysis and prevention of low oxygen in return air corner of fully mechanized mining face [J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(10): 187–190.
- [14] 李玉福.神东矿区近距离煤层群开采低氧防治技术及应用 [J].煤矿安全, 2018, 49(10): 80–84.
LI Yufu. Technology and application of low-oxygen prevention and control in mining close coal seams in shendong mining area [J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(10): 80–84.
- [15] 李斌, 杨英兵.基于均压通风技术的浅埋深超大面积采空区综采工作面低氧防治[J].煤矿安全, 2017, 48(S1): 94–98.
LI Bin, YANG Yingbing. Low oxygen prevention and control for shallow-buried depth and large area goaf at fully mechanized working face based on pressure balance ventilation technique [J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(S1): 94–98.
- [16] 秦清河, 张立辉.补连塔煤矿22307工作面均压通风安全技术及应急处置措施[J].煤矿安全, 2017, 48(S1): 69–71, 75.
QIN Qinghe, ZHANG Lihui. Safety technology and emergency disposal measures for pressure balancing ventilation at 22307 working face of Bulianta Coal Mine [J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(S1): 69–71, 75.
- [17] 郭金义.均压技术治理综采工作面回风隅角低氧问题的研究[J].煤炭工程, 2017, 49(S2): 146–148.
GUO Jinyi. Solution for low oxygen problem with even pressure technology at return airflow corner of fully mechanized working face [J]. Coal Engineering, 2017, 49(S2): 146–148.
- [18] 庞文勇, 王伟, 陈洋.工作面低氧原因分析及防治技术[J].煤矿安全, 2018, 49(1): 89–92.
LU Wenyong, WANG Wei, CHEN Yang. Reason analysis and prevention technology of low oxygen concentration at working face [J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(1): 89–92.
- [19] 张会平, 赵耀江.均压通风治理综采工作面上隅角及回风流中的CO[J].山西煤炭, 2011, 31(6): 53–54.
ZHANG Huiping, ZHAO Yaojiang. CO control by even pressure ventilation in upper corners and return airflow of fully mechanized working face [J]. Shanxi Coal, 2011, 31(6): 53–54.
- [20] 胡开通.综放工作面低氧原因分析及防治新技术[J].同煤科技, 2018(2): 44–46.
HU Kaitong. Cause analysis and prevention technology of low oxygen in fully mechanized working face [J]. Datong Coal Technology, 2018(2): 44–46.
- [21] 于水军, 谢锋承, 路长, 等.不同还原程度煤的氧化与阻化特性[J].煤炭学报, 2010, 35(S1): 136–140.
YU Shuijun, XIE Fengcheng, LU Chang, et al. Oxidation and inhibition characteristic of coal with different deoxidation degree [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(S1): 136–140.
- [22] 潘荣锟.深部开采煤自燃规律研究[M].徐州:中国矿业大学出版社, 2019.