

青年博士学术论坛



移动扫码阅读

司俊鸿¹, 许敏², 郑凯凯² 等. 黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体爆炸特性及预警技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 251-256. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.08.035

SI Junhong, XU Min, ZHENG Kaikai, et al. Characteristics and early warning technology for gas-oil explosion in Huanglong Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8): 251-256. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.08.035

黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体爆炸特性及预警技术研究

司俊鸿¹, 许敏², 郑凯凯², 褚廷湘¹

(1. 华北科技学院 安全工程学院 北京 101601; 2. 铜川矿业有限公司 陕西 铜川 727000)

摘 要: 针对黄陇矿区含油型气矿井瓦斯涌出随机性强、气体组分不稳定、防控难度大的特点, 通过分析瓦斯-油型气混合气体组分特性, 采用可燃性混合气体爆炸极限测算方法以及 10 L 球形多组分气体爆炸试验, 研究了瓦斯-油型气混合气体爆炸范围的变化规律, 提出了基于 CH_4 浓度和采空区煤自燃联合防控的瓦斯-油型气混合气体爆炸预警技术, 建立了瓦斯-油型气混合气体爆炸预警指标体系, 设计了混合气体爆炸预警系统。结果表明, 黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体组分中 CH_4 降低到 13%~67%, C_3H_8 和 C_4H_{10} 升高到 10%~30%, 各向异性明显; 烷烃类气体增加, 使得混合气体爆炸范围降低为 1.85%~9.85%, 混合气体爆炸危险度升高到 4.32, 高于普通矿井 2.15 倍; 确定了黄陇矿区回风巷 CH_4 的预警体积分数为 0.38%, 基于煤自燃氧化升温试验得出了煤自燃监测指标为 CO 、 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4)/\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ 。研究成果为瓦斯-油型气混合气体爆炸灾害防控提供了依据。

关键词: 瓦斯-油型气; 混合气体; 爆炸特性; 预警

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2019)08-0251-06

Characteristics and early warning technology for gas-oil explosion in Huanglong Mining Area

SI Junhong¹, XU Min², ZHENG Kaikai², CHU Tingxiang¹

(1. College of Safety Engineering, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China;

2. Tongchuan Mining Co., Ltd., Tongchuan 727000, China)

Abstract: The gas emission in Huanglong mining area is characterized by strong randomness, instability in gas composition, and great difficulty in prevention and control. In this research, laboratory experiments are conducted to study the explosion limit of gas-oil mix in a 10-L spherical multi-component gas explosion reactor. An early warning technology for gas-oil explosion is proposed which integrates with prevention and control of CH_4 and coal spontaneous combustion in mine gob. Moreover, an early warning index system and early warning gas-oil explosion system are constructed. The results show that CH_4 concentration in gas-oil mix decreases to 13%~67% and the concentration of C_3H_8 and C_4H_{10} increase to 10%~30%. The gas-oil in Huanglong mining area shows significant anisotropy. Due to increase of hydrocarbon composition, the explosion limit of gas-oil changes to 1.85%~9.85%. The results also indicate that the risk degree of gas-oil explosion is 4.32, which is 2.15 times higher than average risk degree for coal mines. Furthermore, the early warning limit of CH_4 is determined to be 0.38% in return airway in Huanglong mining area. The formula of monitoring index is determined as CO 、 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4)/\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ based on the oxidation heating experiment of coal spontaneous combustion. The research provides a significant reference for prevention and control of gas-oil explosion in coal mines.

Key words: gas-oil; gas mixture; explosion characteristics; early warning

收稿日期: 2019-03-27; 责任编辑: 王晓珍

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51804120, 51774114); 中央高校基本科研业务费资助项目(3142018003)

作者简介: 司俊鸿(1985—), 男, 陕西西安人, 高级工程师, 博士。E-mail: sijunhong@163.com

0 引言

黄陇侏罗纪煤田位于陕甘宁盆地延长油田的南缘,是14个国家大型煤炭基地之一。煤田内黄土沟壑发育,地质及开采条件复杂,绝大多数矿井为高瓦斯矿井,回采工作面瓦斯涌出量普遍高于 $30\text{ m}^3/\text{min}$,最大瓦斯涌出量超过 $90\text{ m}^3/\text{min}$,掘进工作面瓦斯涌出量一般为 $10\sim 15\text{ m}^3/\text{min}$,最大瓦斯涌出量高达 $27.13\text{ m}^3/\text{min}$,具有瓦斯含量低、绝对涌出量较大、涌出时间和地点随机性强的特点^[1]。黄陇侏罗纪煤田煤系地层存在不规则富集的含油层,使得煤层顶板和底板砂岩层尤其是砂岩透镜体中富含油型气^[2-3]。采掘扰动致使围岩的力学性质发生改变,造成围岩裂隙发育,当裂隙导通采场空间与油型气透镜体、瓦斯富集区,油型气在采掘空间与瓦斯混合,使得涌出瓦斯中含有大量油型气^[4-5]。油型气的组分以 CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 、 C_5H_{12} 、 N_2 等为主^[6],当与瓦斯混合后,混合气体的爆炸极限降低,最大爆炸压力增加,爆炸破坏性增强^[7-8],造成黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体灾害防控难度较大。

在油型气防治技术方面,张兰军等^[9]研究了油型气涌入采空区后对瓦斯爆炸特性的影响规律,提出了以瓦斯抽采为主的混合气体防治技术;封华等^[10]通过对瓦斯含量进行理论计算和实测,得出了瓦斯爆炸极限的变化趋势;贾宝山等^[11]认为采空区遗煤氧化过程中标志性伴生气体具有促进瓦斯爆炸的作用;张立志等^[12]分析了黄陵二号煤矿巷道油型气气样,得出了 C_2H_6 和 C_3H_8 是对 CH_4 爆炸极限产

生影响的主要参数;陈冬冬^[13]提出了多因素耦合条件下煤油气共生矿井围岩气区域综合预测技术;唐恩贤^[14]建立了区域治理和局部治理相结合的瓦斯油型气综合治理措施体系。

瓦斯-油型气混合气体是由煤层瓦斯和围岩油型气组成的复合气体,具有煤层瓦斯含量低、涌出量大、涌出时间和地点随机性强,防控难度大等特点,尤其对于矿井采空区中下部覆岩垮落破碎与遗煤混合的区域,遗煤自然发火成为混合气体爆炸的重要导火索。通过研究瓦斯-油型气混合气体组分、爆炸危险性变化规律,提出该特殊地质条件下的瓦斯-油型气混合气体爆炸预警技术,保障矿井安全生产。

1 瓦斯-油型气混合气体组分特征

黄陇矿区含油型气矿井煤系地层存在4个含油层,位于侏罗系直罗组、延安组、富县组及三叠系的延长组4套地层内。各含油层含油连续性差,多为透镜状,有倾之消失的特点,最大含油饱和度为35%,平均含油砂岩的孔隙率为15%,平均渗透率为 $10\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,属低产油、低渗透油层,达不到工业油流条件。黄陇矿区的油型气分布具有明显的区域性,表现在钻孔岩心有油渗、油斑、油臭;在不同地点,原油与气体含量也不同。油砂岩原油为沥青质、水与正构烷烃碳氢化合物 $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\sim\text{C}_{36}\text{H}_{76}$,正构烷烃气体分布基本上呈正态分布,峰值为 $\text{C}_{21}\text{H}_{42}$;含有少量异构烷烃。瓦斯-油型气组分见表1。

表1 黄陇矿区瓦斯-油型气组分

Table 1 Composition of gas-oil in Huanglong Mining Area

样本 编号	采样地点	气体体积分数 / %								
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	异 C ₄ H ₁₀	正 C ₄ H ₁₀	异 C ₅ H ₁₂	正 C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂
1	下石节 1230 大巷 1 号点	13.83	6.03	24.85	11.54	20.37	7.50	6.09	—	—
2	下石节 1230 大巷 2 号点	14.86	3.13	27.76	10.64	22.99	9.80	7.35	—	3.39
3	下石节 1230 大巷 3 号点	58.05	6.67	19.28	4.11	5.82	1.09	0.96	1.74	1.86
4	杏树坪 29 号钻孔	86.05	0.92	6.44	1.48	2.59	0.43	0.32	1.30	0.45
5	陈家山轨四下山	67.00	7.00	3.12	0.389	0.282	—	—	—	—

由表1可知,油型气主要为饱和碳氢化合物的烷烃类,各组分之间的比例关系及所含浓度随时间和地点变化而不同,同一矿井的不同采样点油型气组分、含量均不同,差异明显。与普通矿井瓦斯组分相比,含油型气矿井瓦斯-油型气混合气体中 CH_4 降低到13%~67%, C_2H_6 和 C_3H_8 体积分数升高到10%~30%,各向异性明显,如图1所示。

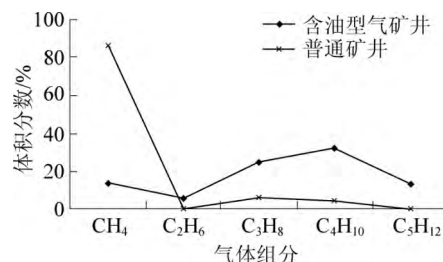


图1 矿井瓦斯-油型气混合气体组分对比

Fig.1 Comparison of gas-oil composition in coal mine

2 瓦斯-油型气混合气体爆炸危险性分析

2.1 混合气体爆炸极限数学测算

瓦斯-油型气混合气体爆炸是以 CH₄ 为主的多元可燃性气体爆炸,当混合较高比例的烷烃类气体组分时,根据各可燃气体的爆炸极限公式,计算得出多组分可燃性气体混合物的爆炸极限^[15]为

$$L_m = \frac{100}{\frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} + \dots + \frac{V_i}{L_i} + \dots + \frac{V_n}{L_n}} \quad (1)$$

式中: L_m 为混合气体的爆炸极限,%; L_i 为混合气体第 i 组分的爆炸极限,%; V_i 为第 i 组分在混合气体中的体积分数,%; n 为组分总数量。

表 2 为各种气体在常温常压下的爆炸极限,根据表 1 实测的样本气体组分,通过式(1)计算出各样本的瓦斯-油型气混合气体爆炸极限见表 3。

表 2 气体爆炸极限

Table 2 Limits of gas explosion

气体	体积分数 / %	
	爆炸下限	爆炸上限
CH ₄	5.0	15.0
C ₂ H ₆	3.2	12.4
C ₃ H ₈	2.4	9.5
异 C ₄ H ₁₀	1.8	8.4
正 C ₄ H ₁₀	1.9	8.4
异 C ₅ H ₁₂	1.3	7.8
正 C ₅ H ₁₂	1.4	7.8

表 3 黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体爆炸极限

Table 3 Limit of gas-oil explosion in Huanglong coalfield

样本编号	体积分数 / %	
	爆炸下限	爆炸上限
1	2.13	9.43
2	2.08	9.31
3	3.36	12.18
4	4.28	13.90
5	4.51	14.30

由表 3 可知,样本 5(陈家山矿轨四下山)的 CH₄ 含量最大,其爆炸上下限均较大,样本 2(下石节 1230 大巷 2 号点)的 CH₄ 含量最小,其爆炸上下限均较小。因此,烷烃类气体增加,使得混合气体爆炸范围降低为 1.85%~9.85%。

2.2 多组分气体爆炸试验

通过 10 L 密封的球形爆炸反应器研究瓦斯-油型气混合气体爆炸范围变化规律,球形爆炸试验装置如图 2 所示。

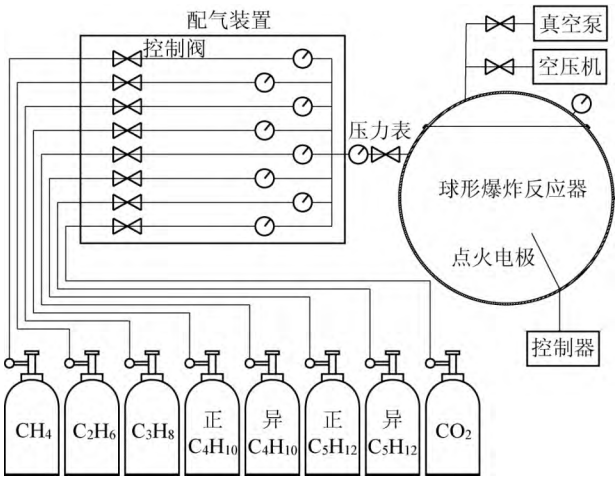


图 2 球形气体爆炸试验装置

Fig.2 Spherical experimental device of gas explosion

采用分压法配制多组分混合气体,首先用真空泵抽出爆炸罐内气体,使其内部处于负压状态;其次根据道尔顿分压定律计算各组分气体需要的压力,采用配气装置按浓度由小到大的顺序依次递增控制进气,反应罐内压力达到常压后,密封反应器。配气结束 30 s 后进行点火试验,共进行 2 组试验,2 次配气后测得气体组分见表 4。

表 4 爆炸试验气体组分

Table 4 Gas composition of explosion experiment

组分	体积分数 / %	
	试验 1	试验 2
CH ₄	15.10	14.90
C ₂ H ₆	5.05	4.96
C ₃ H ₈	24.70	25.70
异 C ₄ H ₁₀	17.70	17.30
正 C ₄ H ₁₀	17.30	17.30
异 C ₅ H ₁₂	7.52	7.41
正 C ₅ H ₁₂	7.53	7.39
CO ₂	5.07	4.98
空气	0.03	0

在室温 20 ℃、填充压力为 0.15 MPa 的条件下,测试混合气体爆炸极限,试验结果见表 5。由表 5 可知,试验结果与数学测算出的爆炸极限基本相同。与普通矿井相比,含油型气矿井的瓦斯-油型气混合气体爆炸范围由 5%~15% 降低为 1.85%~9.85%,如图 3 所示。因此,瓦斯-油型气混合气体更易发生爆炸事故。

表5 瓦斯-油型气混合气体爆炸试验结果

Table 5 Results of gas-oil explosion experiment

试验 编号	体积分数下限		体积分数上限		爆炸体积 分数范围/%
	数值/%	状态	数值/%	状态	
1	1.8	不爆炸	9.8	爆炸	1.95~9.85
	1.9	不爆炸	9.9	不爆炸	
	2.0	爆炸	10.0	不爆炸	
2	1.7	不爆炸	9.7	爆炸	1.85~9.75
	1.8	不爆炸	9.8	不爆炸	
	1.9	爆炸	9.9	不爆炸	

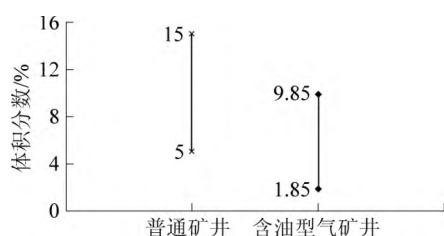


图3 瓦斯-油型气混合气体爆炸范围对比

Fig.3 Comparison of gas-oil explosion range

2.3 瓦斯-油型气混合气体爆炸危险度判定

爆炸危险度是用来表征可燃气体或蒸气的爆炸危险性,其计算公式如下^[16]:

$$H_a = (L_2 - L_1) / L_1 \quad (2)$$

式中: H_a 为可燃气体或蒸气的爆炸危险度; L_1 为可燃气体或蒸气的爆炸体积分数下限,%; L_2 为可燃气体或蒸气的爆炸体积分数上限,%。

分别计算出普通矿井瓦斯及黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体的爆炸危险度为2和4.32。因此,含油型气矿井的混合气体爆炸危险度是普通矿井2.15倍。

3 瓦斯-油型气混合气体爆炸预警技术

3.1 预警指标

根据气体爆炸三要素理论,从控制瓦斯浓度及火源的角度预防瓦斯-油型气混合气体爆炸事故,提出了基于 CH_4 浓度和采空区煤自燃联合防控的瓦斯-油型气混合气体爆炸预警指标体系。

1) CH_4 浓度。《煤矿安全规程》规定了矿井回风巷 CH_4 的最大允许体积分数不超过1%。黄陇矿区瓦斯混合气体的爆炸下限约为1.9%,利用比例法计算得出含油型气矿井回风巷 CH_4 的预警体积分数为0.38% (CH_4 的爆炸下限按5%计算)。

2) 煤自燃监测指标。遗煤自然发火是采空区中重要的火源,通过监测煤自燃气体指标,可有效预防灾害的发生。对黄陇矿区煤样进行煤自燃氧化升温试验,得出温度与气体浓度的关系曲线如图4所示。

CO 作为主要的指标气体,其出现时煤温约 50°C ,在 $100\sim 140^\circ\text{C}$ 时 CO 产生量迅速增加再急剧减小,超过 140°C 后又迅速增加,将出现 CO 作为煤炭自燃进入蓄热氧化阶段的监测指标; C_2H_6 出现的温度约为 40°C , C_2H_4 出现的温度比较高,在 100°C 左右,两者均随着温度升高气体浓度逐渐增大,将 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4)/\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ 作为煤炭自燃进入加速氧化阶段的监测指标。因此,得出了煤自燃监测指标为 CO 为主要监测指标, $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4)/\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ 作为辅助指标,其随温度变化曲线如图5所示。

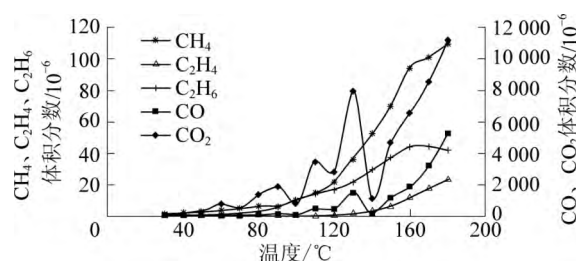


图4 气体浓度随煤温变化曲线

Fig.4 Change curves of gas concentration with coal temperature

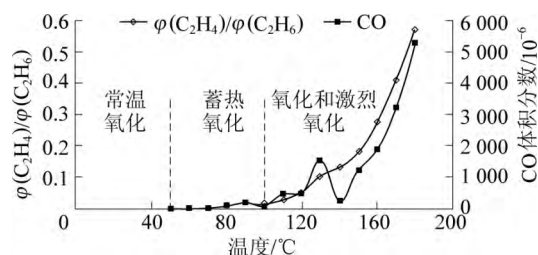


图5 指标气体随煤温变化曲线

Fig.5 Change curves of index gas with coal temperature

3.2 预警系统

设计了瓦斯-油型气混合气体爆炸预警系统,系统操作流程如图6所示。

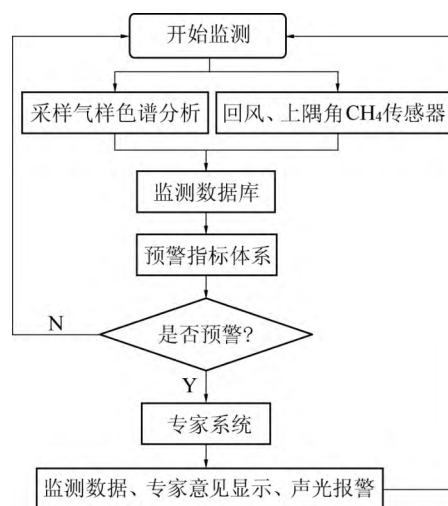


图6 瓦斯-油型气混合气体爆炸预警系统流程

Fig.6 Flow chart of early warning system of gas-oil explosion

1) 步骤 1: 采用气相色谱分析仪对采空区的气体组分进行分析, 将气体分析结果及回风巷、上隅角 CH_4 传感器监测数据传输给监测数据库。

2) 步骤 2: 从监测数据库中提取相应的 CH_4 浓度、 CO 浓度、 C_2H_4 浓度、 C_2H_6 浓度等预警指标的监测数据, 判断是否达到预警条件, 若监测数据在安全范围内, 则返回步骤 1, 开始下一时间点的监测任务, 否则执行步骤 3。

3) 步骤 3: 将监测数据传输到专家系统, 由专家系统提供接警后灾害防控指导意见, 将不达标监测数据、专家指导意见显示在监控主机上, 同时启动传输信号到声光报警器, 发动声光报警信号。

4) 步骤 4: 人工接警后, 通过主控键盘中止报警, 并返回步骤 1, 开始下一时间点的监测任务。

4 结 论

1) 分析了黄陇矿区瓦斯-油型气混合气体组分特性, 得出了含油型气矿井瓦斯混合气体是由煤层瓦斯和围岩油型气组成的复合气体, CH_4 体积分数降至 13%~67%, C_2H_6 和 C_3H_8 体积分数增加到 10%~30%。

2) 采用可燃性混合气体爆炸极限测算方法以及 10 L 球形多组分气体爆炸试验, 研究了瓦斯-油型气混合气体爆炸范围变化规律, 烷烃类气体增加, 使得混合气体爆炸范围降低为 1.85%~9.85%, 混合气体爆炸危险度升高到 4.32, 高于普通矿井 2.15 倍。

3) 提出了基于 CH_4 浓度和采空区煤自燃联合防控的瓦斯-油型气混合气体爆炸预警技术, 确定了黄陇矿区工作面回风巷 CH_4 的预警体积分数为 0.38%, 基于煤自燃氧化升温试验得出了煤自燃监测指标为 CO 、 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4)/\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$, 设计了采空区瓦斯混合气体爆炸预警系统, 为瓦斯-油型气混合气体爆炸灾害防控提供了依据。

参考文献(References):

- [1] 王生全. 煤油气共生矿井的采面瓦斯涌出预测[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(3): 13-16.
WANG Shengquan. The prediction of gas emission from combined mining face of the mine with coal and gas-oil symbiosis association[J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(3): 13-16.
- [2] 蒯亚兵, 宋一民, 蒋同昌, 等. 黄陇煤田永陇矿区煤层气成藏条件及主控因素研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(3): 168-175.
LIU Yabing, SONG Yimin, JIANG Tongchang, et al. Study on forming conditions and main controlling factors of CBM reservoirs

- in Yonglong Mining Area of Huanglong Coalfield[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(3): 168-175.
- [3] 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.
SUN Siqing. Discussion on oil-type gas emission mechanism from heading face floor in coal-gas-oil coexisting mine[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44(4): 90-94.
- [4] 郑凯歌, 孙四清. 煤油气共存巷道掘进对底板扰动效应模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(11): 113-118.
ZHENG Kaige, SUN Siqing. Simulation study on floor disturbance effect induced by coal and gas-oil coexistence roadway heading[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(11): 113-118.
- [5] 张俭让, 张 荃, 董丁稳, 等. 油型气涌出矿井 CH_4 扩散规律数值模拟[J]. 煤炭技术, 2015, 34(10): 136-138.
ZHANG Jianrang, ZHANG Quan, DONG Dingwen, et al. Law of gas distribution of numerical simulation with oil-type gas emission[J]. Coal Technology, 2015, 34(10): 136-138.
- [6] 殷民胜, 陈冬冬, 郑凯歌. 基于混源气计算模型的煤油气共存采空区瓦斯定量分析[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(5): 99-102.
YIN Minsheng, CHEN Dongdong, ZHENG Kaige. Quantitative analysis of gob gas with coal-bed gas and oil-type gas coexistence based on calculation model of source-mixed gas[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(5): 99-102.
- [7] 王 华, 葛岭梅, 邓 军, 等. 受限空间可燃性气体爆炸的对比研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(2): 218-223.
WANG Hua, GE Lingmei, DENG Jun, et al. Comparison of explosion characteristics of ignitable gases in confined space[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 218-223.
- [8] 李增华, 林柏泉, 张兰君, 等. 氢气的生成及其对瓦斯爆炸的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(2): 147-151.
LI Zenghua, LIN Boquan, ZHANG Lanjun, et al. Effects of hydrogen production on gas explosion[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(2): 147-151.
- [9] 张兰君, 李增华, 林柏泉, 等. 油气对瓦斯爆炸的影响[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2009, 24(1): 18-22.
ZHANG Lanjun, LI Zenghua, LIN Boquan, et al. The influence of oil gas on gas explosion[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2009, 24(1): 18-22.
- [10] 封 华, 徐永亮, 任万兴. 焦坪矿区油气伴生特性及其对瓦斯爆炸极限的影响[J]. 矿业快报, 2007(7): 53-55.
FENG Hua, XU Yongliang, REN Wanxing. The character of oil accompany with gas and the influence on explosion limits of gas in Jiaoping mining area[J]. Express Information of Mining Industry, 2007(7): 53-55.
- [11] 贾宝山, 肖明慧, 尹 彬, 等. 采空区遗煤氧化标志性伴生气体对瓦斯爆炸的影响[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(4): 56-61.
JIA Baoshan, XIAO Minghui, YIN Bin, et al. Symbolic associated gas of left coal oxidation in goaf affected to gas explosion[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(4): 56-61.
- [12] 张立志, 李学文, 张 琪. 煤油气共生矿井油型气爆炸极限的测定[J]. 煤矿安全, 2018, 49(5): 198-200, 205.
ZHANG Lizhi, LI Xuewen, ZHANG Qi. Determination of gas-oil

- explosion limit in coal oil gas symbiosis mine [J]. Safety in Coal Mines 2018 49(5) : 198-200 205.
- [13] 陈冬冬. 煤油气共生矿井围岩气多因素耦合区域预测技术——以鄂尔多斯盆地黄陵矿区为例 [J]. 煤田地质与勘探 2018 46 (2) : 49-53.
CHEN Dongdong. Prediction technology of surrounding rock gas zones by multiple factor coupling in coal mines with coal-gas-oil coexistence [J]. Coal Geology & Exploration , 2018 , 46 (2) : 49-53.
- [14] 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 88.
TANG Enxian. Exploration and practice of prevention and control technology for mine gas and oil-type gas disasters in Huangling coal mining area [J]. Mining safety & Environmental Protection , 2016 43(1) : 81-84 88.
- [15] 许满贵 徐精彩. 工业可燃气体爆炸极限及其计算 [J]. 西安科技大学学报 2005 25(2) : 139-142.
XU Mangui , XU Jingcai. Explosion limits and calculated methods of combustible gas [J]. Journal of Xi ' an University of Science and Technology 2005 25(2) : 139-142.
- [16] 程方明 邓 军. 一氧化碳影响二氧化碳惰化甲烷爆炸的实验研究 [J]. 西安科技大学学报 2016 36(3) : 315-319.
CHENG Fangming , DENG Jun. Experimental study on the influence of carbon monoxide on carbon dioxide-inerted methane explosion [J]. Journal of Xi ' an University of Science and Technology 2016 36(3) : 315-319.