

# 煤矿回采工作面硫化氢综合治理方法及效果

杨宏伟<sup>1,2</sup>, 高 宏<sup>1,2</sup>

(1. 煤科集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110016; 2. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺 113122)

**摘 要:**针对某矿多构造地质条件下回采工作面的硫化氢治理问题,采用现场探头监测,人工便携仪检测,实时监控硫化氢浓度变化,通过选取工作面煤样在现场及实验室测定硫化氢含量,利用等值线软件绘制某矿硫化氢含量赋存等值线图,研究了工作面硫化氢浓度分布规律。并有针对性地采用了分阶段的治理方案,即工作面巷道落煤前长钻孔预注碱液和采面煤壁“钻墙”注碱液消除工作面煤层硫化氢,落煤中采用采煤机喷洒碱液以及落煤后采用风帘引排、支架水幕吸收措施治理硫化氢。采用了落煤前、落煤中、落煤后的综合治理措施,结果表明:综合治理措施在不同程度上降低了硫化氢的浓度,整体治理效果显著,从而保障了工作面矿工的人身安全和工作面的安全高效回采。

**关键词:**硫化氢治理;长钻孔注碱液;钻墙;采煤机喷雾;风帘引排

中图分类号:TD711

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)09-0170-06



## Comprehensive treatment method and effect of hydrogen sulfide in coal mining face

YANG Hongwei<sup>1,2</sup>, GAO Hong<sup>1,2</sup>

(1. Shenyang Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Shenyang 110016, China;

2. State Key Lab of Coal Mine Safety Technology, Fushun 113122, China)

**Abstract:** According to the hydrogen sulfide control problem of the coal mining face under the multi structural geological condition in a coal mine, a site probe monitoring and the miner's portable detector monitoring were applied to real time monitor the variation of the hydrogen sulfide concentration. With the coal samples selected from the coal mining face, the hydrogen sulfide content was conducted at the mine site and the indoor lab. An isoline software was applied to draw the deposition isoline map of the hydrogen sulfide content in a coal mine and the distribution law of the hydrogen sulfide content in the coal mining face was studied. At the same time, the stage control plan was adopted. Thus, before the coal cutting operation at the gateway of the coal mining face, long borehole alkaline liquid pre-injection and the alkaline liquid injections in the drilling wall of the coal wall in the coal mining face were applied to eliminate the hydrogen sulfide in the seam of the coal mining face. During the coal cutting, alkaline liquid spraying from the coal shearer as well as the air curtain to guide the ventilation after the coal cutting and the powered support water curtain absorption measures were applied to control the hydrogen sulfide. The comprehensive control measures were conducted before the coal cutting, during the cutting and after the coal cutting. The control results showed that the comprehensive control measures could reduce the concentration of the hydrogen sulfide in a deferent degree and the overall control effect was obvious. Thus the coal miners in the coal mining face and the safety and high efficient coal mining of the coal mining face could be ensured.

**Key words:** hydrogen sulfide control; alkaline liquid injection with long borehole; drilling wall; spray of coal shearer; air curtain to guide ventilation

## 0 引 言

硫化氢是一种有毒有害气体,煤矿采掘过程中,

硫化氢的大量涌出会对井下作业人员身体健康及生命安全造成重大影响,硫化氢浓度低时会刺激人的眼睛,浓度高时能刺激呼吸道而引起中毒,重者可

收稿日期:2018-04-21;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.09.027

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B05)

作者简介:杨宏伟(1980—),男,辽宁昌图人,副研究员,硕士生导师,博士后。Tel:024-24117170, E-mail: yanghongwei168@126.com

引用格式:杨宏伟,高 宏. 煤矿回采工作面硫化氢综合治理方法及效果[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(9): 170-175.

YANG Hongwei, GAO Hong. Comprehensive treatment method and effect of hydrogen sulfide in coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(9): 170-175.

能有生命危险<sup>[1-3]</sup>。对人体造成伤害的同时也造成工人工作效率降低,影响煤矿的生产效率<sup>[4-5]</sup>。四川天府、南桐矿区、永荣矿区、山西轩岗、山西西山、宁夏石炭井、内蒙古海勃湾等矿区均发生过井下硫化氢有毒气体中毒事件,影响煤矿安全生产<sup>[6-7]</sup>。目前国内众多学者对硫化氢的赋存规律及治理措施进行了研究。辽宁工程技术大学对硫化氢涌出规律进行初步研究,提出在煤层钻孔中注  $\text{NaHCO}_3$  溶液中和硫化氢气体<sup>[8-10]</sup>,取得了一定的效果,但是对于涌出量大和高浓度的硫化氢手段仍显得单薄<sup>[11-13]</sup>。神华新疆能源有限责任公司提出在支架放煤口及下风流中设置喷洒装置治理硫化氢<sup>[14]</sup>,但是由于封堵不严,仍有部分硫化氢得不到中和。基于此,笔者在对硫化氢气体赋存和分布规律研究的基础上,提出在工作面落煤前采用长钻孔预注碱液和施工“钻墙”(一竖排钻孔形成的墙面,可以起到阻挡和拦截硫化氢作用)注碱液消除工作面煤层硫化氢,工作面落煤中采用采煤机喷洒碱液,落煤后采用风帘引排、水幕吸收措施治理硫化氢的综合治理硫化氢技术,并对各项措施的效果进行评价分析。经过现场应用,治理效果显著,保障了井下作业人员的人身安全和工作面的高效回采。

## 1 硫化氢分布规律研究

### 1.1 硫化氢赋存规律分析

#### 1.1.1 工作面地质概况

某矿主要开采 9+10+11 号煤层 1303 工作面,工作面设计走向长度 906.6 m,倾斜长度 180 m,工作面机采采高 2.8 m。工作面主要受一向斜控制,向斜轴部距开切眼以东 353~670 m。两翼岩层基本对称,倾角  $6^\circ \sim 8^\circ$ ,轴长 1.5 km。

#### 1.1.2 赋存规律分析

通过现场选取煤样,在国家重点实验室测定煤样硫化氢含量,根据硫化氢吸附能力非常强、易溶于水的特点,不能够采用水解吸法测定含量,特制了一套硫化氢测定装置,主要是在密闭空间内粉碎煤样,利用氮气置换气体,进行色谱分析,经过大量硫化氢煤样的测定,测定的准确程度能够满足工程要求,根据测定的含量,绘制硫化氢含量等值线。通过硫化氢含量等值线,可以直观地看到某矿硫化氢含量的分布规律,掌握硫化氢含量的分布规律,为硫化氢的区域和局部治理提供依据。

由于某矿区域上较大的构造有紫金山断裂带、

罗云山断裂带、汾渭地堑、霍山断层等。此区域为一不对称(或不完整)的复式向斜构造。由图 1 可以看出,在断层附近及向斜轴部附近,硫化氢浓度较高,硫化氢呈现带状分布规律。

### 1.2 1303 综放工作面硫化氢浓度分析

根据硫化氢探头数据监测显示,采煤工作面的硫化氢浓度受采煤机割煤速度的影响,呈现出采煤机割煤速度越快,工作面硫化氢浓度越高,反之越小,距离向斜轴部越近,采煤过程中释放硫化氢的浓度越大。9+10+11 号煤层受采动影响,原生裂隙不断扩大,并产生大量新生裂隙,赋存于煤岩中的硫化氢沿裂隙涌入工作面作业空间。

硫化氢在工作面不回采期间,主要吸附在煤体中,涌出量很小。在工作面回采期间,吸附在煤体中的硫化氢在割煤期间大量快速涌出,造成回采面硫化氢气体超限,严重影响人员的人身安全和工作面的高效回采<sup>[15-16]</sup>。根据现场测试可知,1303 工作面的硫化氢主要是在落煤、运煤和放煤的过程中大量释放到采煤工作面空间。随着工作面逐渐向向斜轴部推进,煤体中硫化氢含量逐渐增大,因此掌握硫化氢的来源比例并采取相应措施尤为重要。

根据探头监测结果,运煤时硫化氢涌出比例为 30.5%,落煤时硫化氢涌出比例为 63.6%,放煤时硫化氢涌出比例为 5.9%。

## 2 工作面落煤前治理硫化氢方案及效果评价

### 2.1 长钻孔预注碱液

#### 2.1.1 巷道长钻孔注碱液钻孔布置

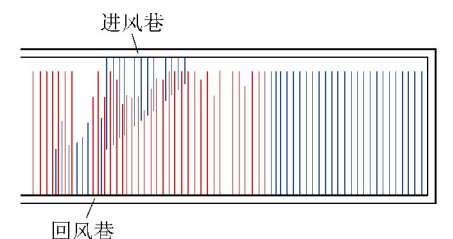
在顺层长钻孔注碱液的原理是让碱液充分渗透到煤的裂隙和孔隙中,与积存在煤体中硫化氢发生化学反应生成对人体无害或伤害较小的其他物质<sup>[17]</sup>。

在进、回风巷利用原有注水孔基础上补打煤层顺层钻孔进行注液的方法提前进行注碱液工作,不影响回采进尺,钻孔深度为 30~160 m,封孔深度应超过巷帮煤体的破碎带,通过脉动泵封孔深度 12 m。通过脉动泵进行长钻孔注碱液,即通过动压将碱液注入钻孔中。碱液采用的是碳酸钠水溶液,体积分数按照 1%~1.5% 配比。图 1 为工作面巷道长钻孔注碱液钻孔布置。

注液的具体参数如下:

1) 单孔注液量。

$$Q_1 = LBM\gamma Kv \quad (1)$$



红色钻孔为原有注水孔, 蓝色钻孔为补打注碱孔

图 1 巷道长钻孔注碱液布置示意

Fig.1 Layout of alkali solution for long borehole

式中:  $Q_1$  为单孔注液量,  $\text{m}^3$ ;  $L$  为工作面长度,  $\text{m}$ ;  $B$  为钻孔间距,  $\text{m}$ ;  $M$  为煤层厚度,  $\text{m}$ ;  $\gamma$  为煤的密度,  $\text{t}/\text{m}^3$ ;  $K$  为注液润湿不均衡系数, 取 1.2;  $v$  为吨煤注水量,  $0.01 \text{ m}^3/\text{t}$ , 根据注水经验值确定。

计算得  $Q_1 = 165.4 \text{ m}^3$ 。

## 2) 注液时间。

$$\tau = Q_2/q \quad (2)$$

式中:  $\tau$  为注液时间,  $\text{h}$ ;  $Q_2$  为注液总量,  $\text{m}^3$ ;  $q$  为单位时间内每孔注液量,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

采用分流器控制注液流量,  $q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ , 计算得  $\tau = 55.1 \text{ h}$ 。受煤层原生裂隙发育程度的影响, 长钻孔预注碱液的参数根据实际情况进行调整。

3) 注液方法。①封孔后(水泥砂浆封孔应滞后 1~2 d), 连接注液系统; ②开动注水泵进行动压注液; ③在注碱液的过程中, 若发现钻孔周边裂隙或者钻孔中有碱液渗出, 则应停止注碱液<sup>[18-19]</sup>。

### 2.1.2 巷道长钻孔注碱液效果评价

通过分析采煤机采煤时回风巷硫化氢浓度, 考察了长钻孔注碱液的效果, 监测显示硫化氢浓度总体较注液前降低。注碱液前后回风巷硫化氢体积分数分别为 50%、35%。注碱液前后回风硫化氢浓度峰值降低了 30%, 说明长钻孔注碱液起到了一定效果。

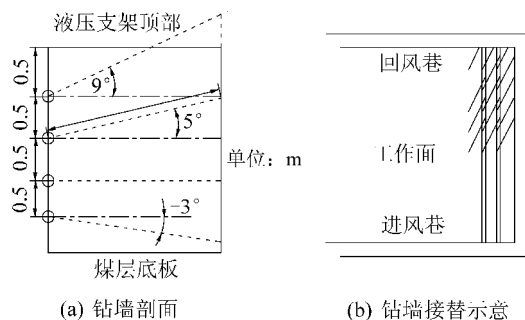
## 2.2 工作面施工钻墙拦截硫化氢

### 2.2.1 工作面钻墙施工方案

钻墙拦截吸收硫化氢是指在工作面煤壁施工多组倾斜钻孔, 钻孔每列组成墙面, 形成一道硫化氢拦截墙, 之后向钻孔中注碱液, 利用钻孔拦截墙将工作面煤壁及卸压区内涌向工作面的硫化氢吸收。巷道施工长钻孔注碱液的方法不能完全消除硫化氢的危害, 而且工作面逐渐向含高浓度硫化氢的向斜轴部靠近, 因此需要在采面煤壁施工钻墙, 利用钻墙拦截卸压区硫化氢。

钻孔拦截墙与煤壁垂直长度为 5.8 m, 3 个采煤循环(4.8 m)施工一次钻孔拦截墙, 封孔, 对 1 组(5

个) 钻孔同时进行注碱液作业。根据硫化氢的分布情况, 70 号支架之前硫化氢含量小, 不进行施工。在 70 号支架到回风巷处, 共施工 12 组 48 个钻孔。工作面施工“钻墙”如图 2 所示。



(a) 钻墙剖面

(b) 钻墙接替示意

图 2 工作面施工钻墙示意

Fig.2 Schematic diagram of drilling wall in working face construction

### 2.2.2 施工钻墙注碱液效果评价

施工钻墙注碱液是在浅孔注碱液基础上的进一步优化, 目的是降低硫化氢向回采工作面的涌出量。

在有钻墙和无钻墙情况下, 通过分析 70—120 号架正反向割煤时, 回风巷巷口探头的硫化氢浓度的变化, 来分析钻墙注液的效果。

在不施工钻墙的前提下, 回风巷巷口平均硫化氢体积分数为  $24.98 \times 10^{-6}$ , 施工钻墙后, 回风巷硫化氢体积分数为  $9.66 \times 10^{-6}$ , 硫化氢降低了 61.32%。

## 3 工作面落煤中治理硫化氢方案及效果评价

### 3.1 采煤机外喷雾喷洒碱液方案设计

采煤机外喷雾可以对采煤过程中涌出到工作面的硫化氢进行捕捉, 改善井下作业环境。

本次采煤机外喷雾采用的 BPW125/20 喷雾泵, 最大喷雾压力可达 20 MPa。主要有注液泵、供水箱、阀门、管路、压力表、快速接头、喷枪等构成。碱液采用 0.4% 的碳酸氢钠和 0.4% 的碳酸钠的混合溶液。

将按比例计算出的碳酸氢钠及碳酸钠放入供水箱, 打开供水管路阀门, 放入适量水, 关闭阀门, 水箱中固液搅拌均匀, 配制所需浓度, 配置完成后启动注液泵开始喷洒碱液, 如图 3 所示。

在回采工作面安设移动喷洒系统, 泵站应设在不影响正常掘进和采煤作业的区域, 在供水箱中配制碱液, 由注液泵将碱液经输液管路送至采煤工作面, 进行喷洒。分别在采煤机上部以及两侧安装喷雾装置, 尽量保证采煤机在割煤过程中喷雾空间全覆盖, 从而有效地吸收涌出的硫化氢。图 4 为采煤



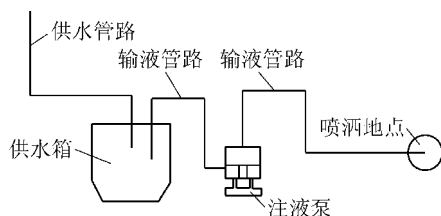


图3 碱液喷洒工艺

Fig.3 Spray process diagram of alkaline solution

机喷洒碱液治理硫化氢系统布置示意。

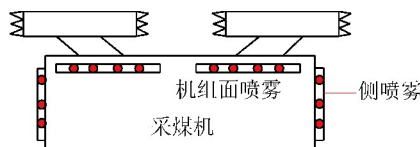


图4 喷洒碱液治理硫化氢系统布置示意

Fig.4 Layout of hydrogen sulfide system by spraying alkaline solution

### 3.2 采煤机外喷雾喷洒碱液效果评价

经过现场试验和分析得出,开启碱液喷雾的情况下,1303工作面60、68、70、80号支架处的硫化氢平均体积分数为 $40.7 \times 10^{-6}$ ,关闭碱液的情况下,60、68、70、80号支架处的平均硫化氢浓度为 $59 \times 10^{-6}$ ,说明启动碱液喷雾和关闭喷雾相比,使硫化氢体积分数降低了31%。

## 4 工作面落煤后治理硫化氢方案及效果评价

### 4.1 风帘引排和水幕吸收硫化氢设计

引排高浓度硫化氢是指利用风帘引排割煤产生的硫化氢有害物质,然后在引排通道上通过安设有喷雾装置的防尘网,达到稀释硫化氢的作用。本次采用的透明风帘材质是硬塑料,每个高3 m、宽2.2 m,将透明风帘固定在液压支架或巷道顶底板上,并进行搭接,如图5所示。搭接时按风流方向把1号风帘搭接在2号风帘上,搭接长度为0.7 m。

在引排通道上安设水幕可以吸收采煤机割煤过程中产生的高浓度硫化氢。

安装的喷嘴直接对准防尘网,喷出的碱液会在防尘网上形成一层水幕,水幕处在硫化氢随回风必经的通道,水幕严格按照设计的引流巷道断面全覆盖,及时将涌出的硫化氢通过碱液吸收。结合现场回风巷断面情况,均匀布置喷嘴,且应每个角度都能覆盖到,合理布置并调整喷嘴位置。水幕布置如图6所示。

每道水幕有2层过滤网,2层过滤网的层间距为0.2 m,过滤网和支架(在支架上按照喷嘴)的间距为0.1 m。本次设计2道防尘网,支架上安装喷嘴

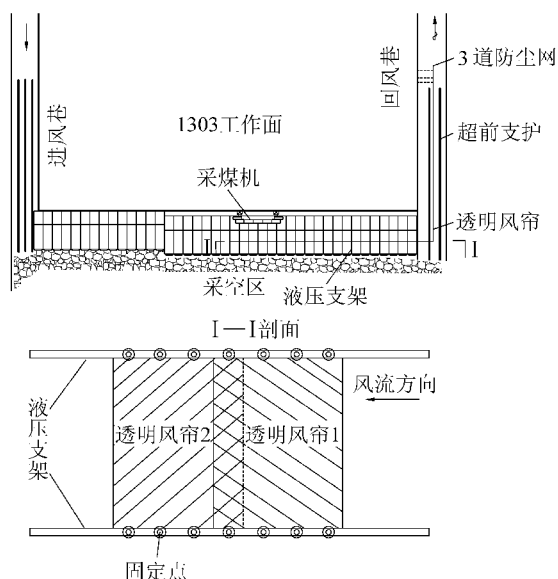


图5 引排高浓度硫化氢示意

Fig.5 Schematic of high concentration hydrogen sulfide

如图7所示。

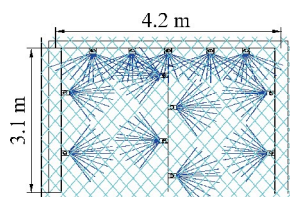


图6 水幕吸收硫化氢示意

Fig.6 Schematic diagram of hydrogen sulfide absorption by a water curtain

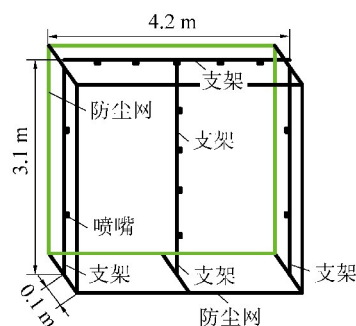


图7 支架上喷嘴安装示意

Fig.7 A schematic diagram of the installation of a nozzle on a bracket

水幕上的喷雾采用的是人工配制2%的碳酸钠溶液。将计量出的酸氢钠用量,放入供水箱,打开供水管路阀门,放入适量水,关闭阀门,水箱中固液搅拌均匀,配制所需浓度,配置完成后启动注液泵开始喷洒碱液。

## 4.2 风帘引排和水幕吸收硫化氢效果评价

实施了引排和水幕吸收硫化氢措施,对其效果进行分析,在工作面和回风巷设置了4个硫化氢浓度探头,探头位置如图8所示。

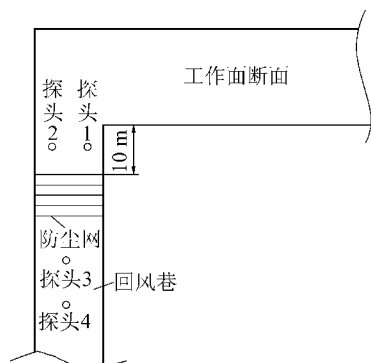


图8 探头位置示意

Fig.8 Probe the position of the probe

通过对探头数据进行比对,取割煤时硫化氢探头的平均值进行分析。其中防尘网稀释硫化氢的比例为

$$K = \frac{\Delta W_1 - \Delta W_2}{\Delta W_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $\Delta W_1$ 为上风侧硫化氢日平均浓度; $\Delta W_2$ 为下风侧硫化氢日平均浓度。

通过对工作面硫化氢的现场监测数据计算可知,水幕稀释硫化氢的比例为48.1%,通过将硫化氢引排到水幕上进行中和起到了很好的吸收硫化氢效果。

## 5 结 论

1)根据对矿井地质条件的分析以及现有揭露范围内的煤层硫化氢含量测试,得出硫化氢含量主要与井田范围内地质构造有关,在向斜和大的断层附近,硫化氢含量较高,沿向斜轴部向两侧随着地势升高,逐渐降低。

2)通过回采时硫化氢浓度测定可知:运煤时,硫化氢涌出比例为30.5%,落煤时,硫化氢涌出比例为63.6%,放煤时,硫化氢涌出比例为5.9%。根据工作面采煤三阶段硫化氢涌出及所占比例情况,采用了工作面落煤前长钻孔预注碱液和施工“钻墙”注碱液消除工作面煤层硫化氢,得出了长钻孔预注碱液使得硫化氢体积分数降低30%。施工钻墙拦截硫化氢的措施后,硫化氢体积分数降低的比例为61.32%,拦截率较高。工作面落煤中采用采煤机喷洒碱液,启动采煤机碱液外喷雾与关闭喷雾相比,硫

化氢体积分数降低了31%。落煤后采用风帘引排、水幕吸收措施治理硫化氢,增加“引流透明帘”后,硫化氢体积分数降低了48.1%左右,解决了行人侧的矿工人身安全问题,效果显著。

## 参考文献(References):

- [1] 刘伟,蒲晓林,白小东,等.硫化氢腐蚀机理及防护的研究现状及进展[J].石油钻探技术,2008,36(1):83-86.  
LIU Wei, PU Xiaolin, BAI Xiaodong, et al. Development of hydrogen sulfide corrosion and prevention[J]. Oil Drilling Technology, 2008, 36(1): 83-86.
- [2] 王新洲,李丽,刘守义.天然气中硫化氢的成因和测[J].石油与天然气地质,1987,8(1):67-76.  
WANG Xinzhou, LI Li, LIU Shouyi. The genesis and prediction of  $H_2S$  in natural gas[J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 1987, 8(1): 67-76.
- [3] 傅雪海,王文峰,岳建华,等.枣庄八一矿瓦斯中 $H_2S$ 气体异常成因分析[J].煤炭学报,2006,31(2):206-210.  
FU Xuehai, WANG Wenfeng, YUE Jianhua, et al. Genesis analyses of  $H_2S$  gas abnormality in gas of Bayi Coal Mine in Zaozhuang[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(2): 206-210.
- [4] 刘明举,李国旗, HANI Matri, 等.煤矿硫化氢气体成因类型探讨[J].煤炭学报,2011,36(6):978-983.  
LIU Mingju, LI Guoqi, HANI Matri, et al. Genesis modes discussion of  $H_2S$  gas in coal mines[J]. Journal of China Coal Society, 2011, (6): 978-983.
- [5] 赵兴齐,陈践发,郭望,等.川东北飞仙关组高含 $H_2S$ 气藏油田水地球化学特征[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(10):3477-3488.  
ZHAO Xingqi, CHEN Jianfa, GUO Wang, et al. Geochemical characteristics of oilfield waters with high  $H_2S$  gas reservoirs in Feixianguan formation, Northeastern Sichuan Basin[J]. Journal of Central South University: Natural Science Edition, 2014, 45(10): 3477-3488.
- [6] 费安国,朱光有,张水昌,等.全球含硫化氢天然气的分布特征及其形成主控因素[J].地学前缘,2010,17(1):350-360.  
FEI Anguo, ZHU Guangyou, ZHANG Shuichang, et al. Global distribution hydrogen sulphide-bearing natural gas and the major factors controlling its formation[J]. Geoscience Frontiers, 2010, 17(1): 350-360.
- [7] 吴拓,杨俊印,林仲,等.稠油注蒸汽开发区块 $H_2S$ 成因研究[J].特种油气藏,2008,15(3):80-83.  
WU Tuo, YANG Junyin, LIN Zhong, et al.  $H_2S$  genesis in heavy oil blocks recovered by steam injection[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(3): 80-83.
- [8] 袁欣鹏,梁冰,孙维吉,等.煤层注碱治理矿井硫化氢涌出危害研究[J].中国安全科学学报,2015,25(5):115-118.  
YUAN Xinpeng, LIANG Bing, SUN Weiji. Research on control of mine hydrogen sulfide emission by injecting sodium bicarbonate solution into coal seams[J]. Journal of Chinese Security Science,

- 2015, 25 (5): 115-118.
- [9] 王 潜.辽河油田油井硫化氢产生机理及防治措施[J].石油勘探与开发, 2008, 35(3): 349-352.  
WANG Qian. Generation mechanism and control measures for  $H_2S$  in oil wells, Liaohe Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35 (3): 349-352.
- [10] 梁 冰, 袁欣鹏, 孙福玉, 等. 钻屑法测定煤层  $H_2S$  含量[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(2): 106-111.  
LIANG Bing, YUAN Xinpeng, SUN Fuyu, *et al.* Determination of hydrogen sulfide content of coal by drilling cutting method[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(2): 106-111.
- [11] 张静岩, 朱光有, 田建波, 等. 注蒸汽开采稠油过程中  $H_2S$  的形成[J]. 天然气地球化学, 2007, 18(6): 798-799.  
ZHANG Jingyan, ZHU Guangyou, TIAN Jianbo, *et al.* Formation of  $H_2S$  during the thermal recovery for viscous oil by steam[J]. Natural Gas Geochemistry, 2007, 18 (6): 798-799.
- [12] 樊建明, 郭 平, 孙良田, 等. 天然气储层中硫化氢分布规律、成因及对生产的影响[J]. 特种油气藏, 2006, 13(2): 90-91.  
FAN Jianming, GUO Ping, SUN Liangtian, *et al.* Hydrogen sulfide distribution, genesis and impact on production in gas reservoir [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2006, 13 (2): 90-91.
- [13] 刘 平, 胡 敏. 煤矿硫化氢的形成机理及综合防治措施[J]. 中州煤炭, 2009, 30(5): 69-70.  
LIU Ping, HU Min. Formation mechanism of hydrogen sulfide in coal mine and comprehensive control measures [J]. Zhongzhou Coal, 2009, 30(5): 69-70.
- [14] 张 戈, 刘 奎, 孙秉成, 等. 急倾斜特厚煤层硫化氢涌出影响因素分析及控制技术[J]. 煤矿安全, 2016, 47(4): 80-84.  
ZHANG Ge, LIU Kui, SUN Bingcheng, *et al.* Analysis and control technology of hydrogen sulfide emission in steeply inclined thick coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(4): 80-84.
- [15] 王 建, 王宁波, 漆 涛, 等. 急倾斜煤层硫化氢气体侵蚀规律与综合治理[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(6): 677-680.  
WANG Jian, WANG Ningbo, QI Tao, *et al.* Application of grey related method in analysis of influencing factors on back-fill drilling hole's life[J]. Journal of Xian University of Science and Technology, 2009, 29(6): 677-680.
- [16] 王 岩, 梁 冰, 袁欣鹏. 深孔控制预裂爆破在高硫化氢矿井瓦斯强化抽采中的应用[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(5): 101-106.  
WANG Yan, LIANG Bing, YUAN Xinpeng. The application of deep hole presplit blasting in gas improved extraction in high hydrogen sulfide mine[J]. Journal of Chongqing University, 2013, 36(5): 101-106.
- [17] 杨家静, 王一刚, 王兰生, 等. 四川盆地东部长兴组—飞仙关组气藏地球化学特征及气源探讨[J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 349-352.  
YANG Jiajing, WANG Yigang, WANG Lansheng, *et al.* The origin of natural gases and geochemistry characters of Changxing reef and Feixianguan oolitic beach gas reservoirs in Eastern Sichuan Basin [J]. Journal of Sedimentation, 2002, 20 (2): 349-352.
- [18] 苗永春, 付玉凯. 煤矿硫化氢赋存机理及综合治理方法研究[J]. 煤炭技术, 2015, 34(3): 227-230.  
MIAO Yongchun, FU Yukai. Study on hydrogen sulphide forming mechanism and comprehensive management in mine [J]. Coal Technology, 2015, 34 (3): 227-230.
- [19] 吴 丹, 白雪峰. 硫化氢分解制取氢气和硫的技术进展[J]. 石油与天然气化工, 2006, 35(4): 276-279.  
WU Dan, BAI Xuefeng. Progress on the preparation technology of hydrogen and sulfur by hydrogen sulfide decomposition[J]. Petroleum and Natural Gas Chemical, 2006, 35 (4): 276-279.