

文章编号: 1673-9469 (2019) 01-0098-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.01.021

高瓦斯综采工作面瓦斯涌出预测与立体防治技术研究

李兴¹, 杜少华², 李洪生³, 米帅⁴

(1. 百色百矿集团公司, 广西百色 533000; 2. 中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083; 3. 贵州省矿山安全科学研究院, 贵州贵阳 550025; 4. 泰山职业技术学院, 山东泰安 271000)

摘要: 针对高瓦斯低渗透煤层工作面瓦斯抽采与灾害控制难题, 以土城矿 15311 综采工作面为研究对象, 首先, 初步分析了工作面瓦斯涌出来源, 运用分源预测法预测了其瓦斯涌出含量, 接着针对性地在 3[#] 煤层运用了顺层钻孔、底抽巷穿层钻孔、高位钻场以及采空区埋管等多种抽采方法, 并联合工作面配风提出了立体瓦斯防治技术。最后, 通过施工底抽巷截留钻孔对底抽巷溢出瓦斯进行截留抽放, 考察了抽采效果。结果表明: 15311 综采工作面瓦斯来源主要为 3[#] 煤层和下邻近层, 瓦斯抽采总量为 45.4 m³/min, 瓦斯抽采率为 85.33%, 回风流中瓦斯浓度未超过 1%, 瓦斯抽采达标, 有效地控制了工作面高瓦斯的涌出。

关键词: 高瓦斯; 综采工作面; 瓦斯抽采; 分源预测法; 立体防治技术

中图分类号: TD712

文献标识码: A

Research on the Prediction of Gas Emission and 3D Prevention and Control Technology for Fully-mechanized Face with High Gas

LI Xing¹, DU Shaohua², LI Hongsheng³, MI Shuai⁴

(1. Baise Mining Group Co., Ltd. Baise 533000, China; 2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 3. Guizhou Provincial Research Institute of Mine Safety Science, Guiyang 550025, China; 4. Taishan Polytechnic, Taian 271000, China)

Abstract: In the light of the problem of gas extraction and disaster control for coal mining face with high gas and low permeability, No.15311 fully-mechanized face of Tucheng Mine was considered as an object of study in this paper. Firstly, the source of gas emission was preliminarily analyzed, the different-source prediction method was applied to predict the gas emission. Secondly, several methods of gas extraction, such as in-seam boreholes in mining seam, boreholes through mining seam in bed plate tunnel, boreholes in the high level gateway, and the pipeline buried in the goaf, was used to put forward the 3D prevention and control technology for gas combining with the ventilation in coal mining face. Basic on it, the spillover gas was intercepted and pulled out by drilling construction in the roadway floor, and the effect of extraction is also investigated. The filed practice indicated that: the source of gas emission in No.15311 fully-mechanized face is mainly form the coal seam and the lower adjacent layer, total gas extraction is 45.4 m³/t, gas extraction rate is 85.33%, the concentration of gas has not exceeded 1% in return air, this effectively control coal mining face of gas emission source.

Key words: high gas; fully-mechanized face; gas extraction; different-source prediction method; 3D prevention and control technology

目前, 针对高瓦斯矿井瓦斯抽采及其灾害控制取得了诸多可参考与借鉴的经验和研究成果^[1-7]。然而, 当面临高瓦斯煤层的采煤工作面开采, 亦或煤

收稿日期: 2018-06-21

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ2296); 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室(湖南科技大学)开放基金资助项目(E21827)

作者简介: 李兴(1990-), 男, 云南曲靖人, 硕士, 主要从事瓦斯防治方面研究工作。

层群卸压开采时,上述技术手段具有很大的局限性,抽采效果不理想,难以保证开采工作面的安全环境,容易引发瓦斯事故^[8-9]。本文以土城矿15311综采工作面3#煤层为研究对象,开展了瓦斯预测与综合防治技术研究,分析采煤工作面瓦斯来源,预测瓦斯涌出量,提出针对性的立体瓦斯灾害防治技术,并通过工程实践对其抽采效果进行了综合评估。

1 矿井概况

土城矿位于贵州省六盘水市盘县境内,井田面积29 km²,2005年核定生产能力3 Mt/a。井田煤系属二叠系上统龙潭组,含煤地层总厚度280~310 m,共含煤40~50层,其中可采煤层12层,呈近距离煤层群分布。矿井采用分区抽出式通风,采用走向长壁后退式综采工艺,全部垮落法管理顶板。如图1所示,该矿井15311首采工作面位于3#煤层上,位于15采区西翼,走向长530.3~583.2 m,倾向长137.6 m,煤层平均厚度2.2 m,倾角8°,煤层埋深约520 m,瓦斯含量为4.36 m³/t,最大瓦斯涌出量为10.64 m³/t,属于煤与瓦斯突出矿井。

2 工作面瓦斯涌出情况

由于近距离多煤层区段首采工作面回采时,瓦斯涌出来源主要是本煤层瓦斯涌出和邻近层瓦斯涌出两部分,可知15311综采工作面瓦斯主要来源为本煤层(3#煤层)、上覆1#和下伏5#、6#邻近煤层。

为了保证回采期间15311综采工作面的生产安全,采用了分源预测法预测了综采工作面的瓦斯涌出量,其具体计算方法如下所述^[10-11]:

回采工作面瓦斯涌出量 q :

$$q = q_1 + q_2 \quad (1)$$

式中: q_1 —开采层相对瓦斯涌出量, m³/t; q_2 —邻近层相对瓦斯涌出量, m³/t。

开采层相对瓦斯涌出量 q_1 :

$$q_1 = k_1 k_2 k_3 \frac{m}{m_0} (w_0 - w_c) \quad (2)$$

式中: k_1 —围岩涌出系数; k_2 —工作面丢煤瓦斯涌出系数; k_3 —采区内准备巷道预排瓦斯对开采层瓦斯涌出影响系数; m —煤层厚度; m_0 —工作面采高; w_0 —煤层原始瓦斯含量, m³/t; w_c —运出煤后煤的残存瓦斯含量, m³/t。

邻近层瓦斯涌出量 q_2 :

$$q_2 = \sum_{i=1}^n (W_{oi} - W_{ci}) \cdot \frac{m_i}{m} \eta_i \quad (3)$$

式中: W_{oi} —第 i 个邻近层煤层原始瓦斯含量, m³/t; W_{ci} —第 i 个邻近层煤层残存瓦斯含量, m³/t; m_i —第 i 个邻近层煤层厚度, m; η_i —第 i 个邻近层瓦斯排放率, %。

当煤层采高小于4.5 m时,邻近层受采动影响瓦斯排放率 K_i 取值见图2所示,高变质煤残存瓦斯含量 $W_0 < 10$ m³/t时或低变质煤残存瓦斯含量 w_c 取值根据公式:

$$W_c = \frac{10.385e^{-7.207}}{W_0} \quad (4)$$

综上,可得出15311综采工作面回采期间相对瓦斯涌出量、工作面相对瓦斯涌出量及邻近层相对瓦斯涌出量,见表1所示。

由表1可知,15311综采工作面相对瓦斯涌出量为9.23 m³/t,其中3#煤层瓦斯涌出总量为3.99 m³/t,占瓦斯涌出总量的43.23%;上邻近层相对瓦斯涌出量为0.43 m³/t,占瓦斯涌出总量的4.66%;下邻近层相对瓦斯涌出量为4.81 m³/t,占瓦斯涌出总量的52.11%。因此,15311工作面回采区域的瓦斯涌出主要来源于下邻近煤层和3#煤层,上邻近层对工作面瓦斯涌出量也有一定的影响。

3 立体瓦斯防治技术

煤矿生产实践表明,简单的瓦斯抽采方法无法

表1 15311工作面影响区域内煤层相对瓦斯涌出量预测

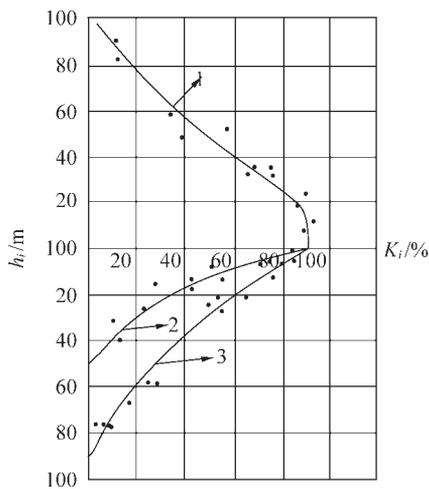
Tab.1 The relative gas emission rate of each coal seam in the area affected by No.15311 fully-mechanized face

煤层	煤层厚度/m	层间距/m	原始瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)	瓦斯排放率/%	残存瓦斯量/(m ³ ·t ⁻¹)	瓦斯涌出量/(m ³ ·t ⁻¹)
1#	1.3	11.4	0.794	93	0.009 7	0.43
3#	2.2	0	10.64	-	0.001 8	3.99
5#	2.6	9.6	9.44	51	0.001 3	2.07
6#	1.6	18.40	10.6	38	1.996 3	2.74



图 1 15311 综采工作面工程平面图

Fig.1 Engineering plans of No.15311 fully-mechanized face



1- 上邻近层; 2- 缓倾斜煤层下邻近层;
 3- 倾斜、急倾斜煤层下邻近层
 h_i - 第 i 邻近层与开采层垂直距离, m;
 K_i - 第 i 邻近层瓦斯排放率, %。

图 2 邻近层瓦斯排放率与层间距的关系曲线图

Fig.2 The relation curve of gas emission rate and layer spacing for near coal seam

解决煤矿瓦斯涌出问题, 往往需要采用多种瓦斯抽采方法的组合 (优化), 实现对煤矿瓦斯的立体防治^[11-13], 本文拟采用 3# 煤层顺层钻孔预抽煤层瓦斯、底抽巷穿层钻孔预抽煤层瓦斯、高位钻场抽采煤层瓦斯、埋管抽采煤层瓦斯、底抽巷截留钻孔等抽采工艺以及配风风排瓦斯等技术手段实现该矿井瓦斯立体防治。

3.1 3# 煤层顺层钻孔抽采瓦斯

根据土城矿自测的瓦斯抽采半径 3 m 距离, 在运输巷和回风巷施工顺层钻孔时按 3 m 的孔间距布置, 运输巷施工深度 100 m、共施工 176 个, 回风巷施工深度 50 m、共施工 196 个。顺层钻孔布置示意图如图 3 所示。

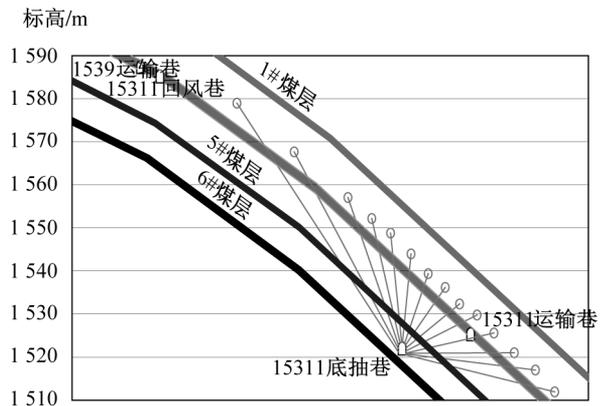


图 3 3# 煤层顺层钻孔布置示意图

Fig.3 The layout of in-seam boreholes in coal seam 3#

3.2 底抽巷穿层钻孔抽采瓦斯

根据煤层赋存情况, 沿 15311 工作面下覆 5# 煤层底板 (距 3# 煤层 18 m) 施工上向穿层钻孔至采出的 3# 煤层, 终孔位于 3# 煤层顶板上方 5 m 处, 钻孔深度 25 ~ 89 m, 倾角 $-5^{\circ} \sim 87^{\circ}$, 共施工 14 个钻孔。底抽巷穿层钻孔示意图如图 4 所示。

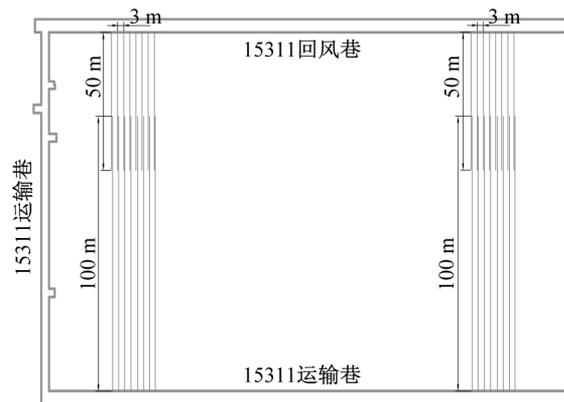


图 4 底抽巷穿层钻孔布置示意图

Fig.4 The layout of boreholes through coal seam 3# in bed plate tunnel

3.3 高位钻场抽采瓦斯

在 15311 综采工作面回风巷切眼往外 120 m 处施工第一个高位钻场，然后每隔 100 m 施工一个高位钻场，共设计施工 5 个高位钻场，共施工钻孔 54 个，钻孔深度 45 ~ 298 m，倾角 $-13^{\circ} \sim 9^{\circ}$ 。高抽巷钻孔示意图如图 5 所示。

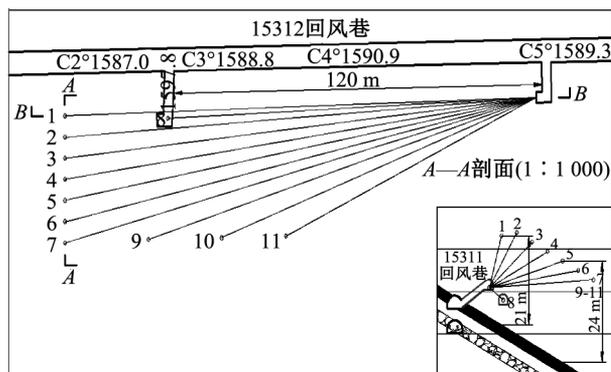


图 5 高位钻场钻孔布置图

Fig.5 The layout of boreholes in the high level gateway

3.4 回风巷埋管抽采瓦斯

沿 15311 综采工作面回风巷铺设一趟 DN350 mm 瓦斯抽采管至工作面上出口作为留管，在预先铺设的管路上每隔一定距离采用静电编织袋装煤或矸石垛墙封闭（阻止上隅角瓦斯外涌），封堵墙完成后，开始抽采采空区瓦斯，如图 6 所示。

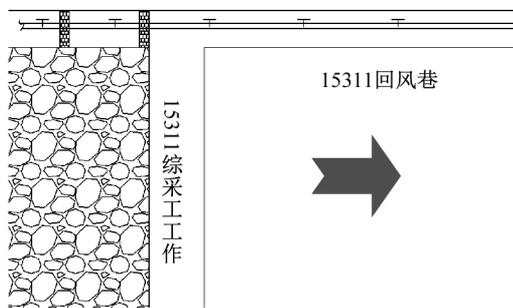


图 6 埋管抽采示意图

Fig.6 Schematic diagram of drainage through pipe laying method

3.5 瓦斯截留钻孔抽采瓦斯

根据底抽巷瓦斯涌出地点进行推测并连续考察得出超前距在 26 m 左右，在运输巷提前施工穿层钻孔截留超前距 26 m 内底抽巷上部 3 ~ 5 m 范围内瓦斯提出施工瓦斯截留钻孔，对底抽巷溢出瓦斯进行截留抽放，控制底抽巷垂直上方 5 m 的范围，并将底抽巷上方 5 m 处作为终孔点，钻孔布置示意图如图 7 所示。

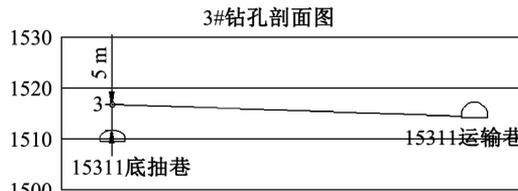
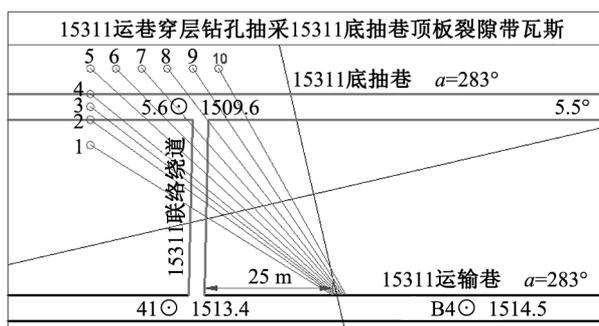


图 7 底抽联络巷截留钻孔布置图（单位：标高/m）

Fig.7 The layout of boreholes in the roadway floor

3.6 工作面配风治理瓦斯

根据 15311 综采工作面预测瓦斯涌出量，在采取瓦斯抽采方法后，视瓦斯实际涌出量配风排瓦斯，风流中允许瓦斯涌出量为 $6.66 \text{ m}^3/\text{min}$ ，工作面配风量为 $732 \text{ m}^3/\text{min}$ ，控制上隅角和回风巷瓦斯超限。

4 抽采效果考察

根据以上针对 15311 综采工作面提出的瓦斯综合防治技术，通过现场瓦斯实时监测，统计整理数据得出在回采初期回风巷、上隅角的瓦斯浓度，及其对应瓦斯抽采浓度，其结果如图 8 所示。

由上可知，在回采期间回风巷瓦斯浓度基本在 0.91% 左右浮动，总的变化趋势不大；上隅角瓦斯浓度基本在 0.49% 左右浮动，总的呈上升趋势；高位钻场、底抽巷和回风巷留管的瓦斯抽采平均浓度分别为 37.8%、38.6%、38.6%。从整体来看，虽然 3# 煤层瓦斯含量高，但在瓦斯综合治理措施下，相对来看瓦斯涌出量较大，回风巷瓦斯浓度基本在 0.91% 左右浮动，但符合煤层回采的相关标准，有效地治理了工作面回采中回风巷及上隅角瓦斯超限问题。

此外，根据瓦斯报表逐天相加的原则，计算得到各种抽采方法瓦斯抽采量及瓦斯抽采率，结果如表 2 所示。

由表 2 可知，回采初期采用瓦斯综合治理措施后，回采过程中增加底抽巷和高位钻场数量后，获得瓦斯抽采率 85.33%，抽采效果良好，有效地控制了回风巷和上隅角瓦斯浓度，防止了瓦斯超限。

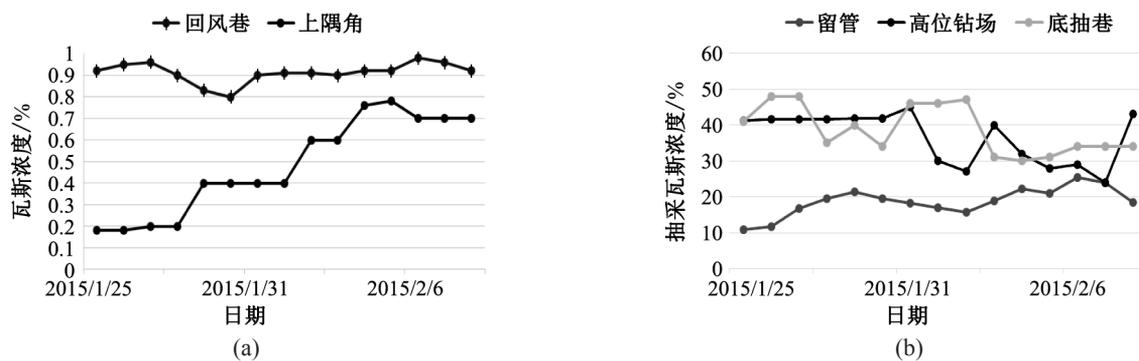


图8 回采初期瓦斯浓度情况

Fig.8 The change situation of gas concentration during mining period

表2 15311 工作面回采期间瓦斯抽采量

Tab.2 The amount of gas extraction No.15311 fully-mechanized face during mining period

瓦斯抽采方法	瓦斯抽采量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	风排瓦斯量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	瓦斯涌出总量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	瓦斯抽采率 /%
运输巷顺层钻孔	3.42			
回风巷顺层钻孔	1.98			
留管抽采	7.19	6.66	45.4	85.33
高位钻场	7.03			
底抽巷	17.25			
截留钻孔	1.87			

5 结论

通过现场瓦斯监测得知,在增加底抽巷和高位钻场数量后,回风巷瓦斯浓度基本在 0.91% 左右浮动,符合煤层回采的相关标准,瓦斯总体抽采率为 85.33%,提出的瓦斯立体综合防治技术有效地控制了回风巷和上隅角瓦斯浓度,防止了瓦斯超限,抽采效果良好,实现了 15311 综采工作面安全高效生产。

参考文献:

[1] 李成武,付帅,解北京,等.煤与瓦斯突出能量预测模型及其在平煤矿区的应用[J].中国矿业大学学报,2018,47(2):231-239.

[2] GEORGE J D St, BARKAT M A. The change in effective stress associated with shrinkage from gas desorption in coal[J]. International Journal of Coal Geology, 2001, 45: 105-113.

[3] 蓝航,陈东科,毛德兵.我国煤矿深部开采现状及灾害防治分析[J].煤炭科学技术,2016,44(1):39-46.

[4] WANG Haifei, CHENG Yuanping, YUAN liang. Gas outburst disasters and the mining technology of key protective seam in coal seam group in the Huainan coalfield[J]. Nature Hazard, 2013, 67(2): 763-782.

[5] NILSON R H. An integral method for predicting hydraulic fracture propagation driven by gases or liquids[J]. International Journal for Numerical & Analytical Methods in Geomechanics, 2010, 10(2): 191-211.

[6] 谢和平,周宏伟,薛东杰,等.我国煤与瓦斯共采:理论与技术[J].煤炭学报,2014,39(8):1391-1397.

[7] 程远平,付建华,俞启香.中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):127-139.

[8] 赵宝友,王海东.我国低透气性 3# 煤层增透技术现状及气爆增透防突新技术[J].爆破,2014,31(3):32-41.

[9] 胡其志,舒安齐,肖衡林,等.高瓦斯低渗透性煤层隧道水力压裂机理研究[J].地下空间与工程学报,2015,11(S2):491-497.

[10] 袁亮.低透气煤层群首采关键层卸压开采采空侧瓦斯分布特征与抽采技术[J].煤炭学报,2008,33(12):1362-1367.

[11] 李树清,颜智.近距离煤层群下保护层开采瓦斯防治及涌出规律分析[J].煤矿安全,2013,44(10):199-201.

[12] 俞启香,程远平.矿井瓦斯防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.

[13] 马衍坤,刘泽功,蔡峰.急倾斜低透煤层水力压裂瓦斯及水分富集特征[J].采矿与安全工程学报,2016,33(6):1160-1164.

(责任编辑 李新)