基于沿空留巷与多方位抽采的瓦斯综合治理技术应用

栾恒杰[1]，蒋宇静[1]，林惠立[2]

（1. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建国家重点实验室培育基地，山东 青岛 266590；
2. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院，北京 100013）

摘　要：为有效解决工作面瓦斯超限问题，在深入分析青龙煤矿生产地质条件的基础上，采用基于沿空留巷与多方位抽采的瓦斯综合治理技术。通过混凝土砌块墙沿空留巷方式，成功保留了回采巷道，实现了“Y”型通风。采用本煤层瓦斯顺层钻孔、穿层钻孔立体抽采，临近层瓦斯穿层钻孔抽采，采空区及上隅角瓦斯顶板高位钻孔和采空区埋管抽采的多方位抽采技术，同时解决了本煤层、采空区及邻近煤层瓦斯涌入工作面、上隅角的问题。应用效果表明：工作面瓦斯抽采率达 80％以上，基本杜绝了瓦斯超限问题；工作面推进速度提高 1 倍，月回采煤量达 15 万 t，实现了高瓦斯煤层安全高效开采。

关键词：沿空留巷；“Y”型通风；多方位抽采；瓦斯治理；安全高效开采

中图分类号：TD82　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1672-3767(2017)03-0038-07

Comprehensive Gas Control Technology Based on Gob-side Entry Retaining and Multi-direction Extraction

LUAN Hengjie[1], JIANG Yujing[1], LIN Huili[2]

(1. State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;
2. Mine Safety Technology Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: To effectively solve the problem of working face gas concentration exceeding limits, a comprehensive gas control technology based on gob-side entry retaining and multi-direction extraction was proposed on the analysis of the production and geological conditions of Qinglong Mine. With concrete block wall as roadside support, the mining roadway was retained successfully and the “Y” model ventilation was realized. The multi-direction extraction was employed including the seam gas stereoscopic extraction of drilling in seam and cross-seam holes, the near layer gas cross-seam hole extraction, and the gas high position drilling in roof of the goaf, which solved the problem of gas outbursting to the working face and the upper corners in the coal seam, the goaf and the adjacent coal seam. The application results showed that, the working face gas drainage efficiency was more than 80% and the gas concentration exceeding limits problem was basically eliminated. The mining velocity of working face was doubled. The monthly mining quantity reached 150 thousand tons. The safety and high efficiency mining of the high gas coal seam was realized.

Key words: gob-side entry retaining; ”Y” model ventilation; multi-direction extraction; gas control; safe high-efficient mining

贵州大多数煤矿都面临着高瓦斯突出煤层开采的问题，开采煤层瓦斯含量高、瓦斯压力大，瓦斯治理困

收稿日期：2015-12-24
基金项目：国家自然科学基金项目(51379117)
作者简介：栾恒杰(1989—)，男，山东烟台人，博士研究生，主要从事采矿工程、岩土工程等方面的研究工作.
E-mail：luanjie0330@126.com
蒋宇静(1962—)，男，江苏靖江人，教授，博士生导师. 主要从事岩石力学方面的科研与教学工作，本文通信作者.
E-mail：jiang@nagasaki-u.ac.jp

难，严重制约着矿井的安全高效开采。为解决瓦斯突出问题我国研究人员进行了大量的理论研究与现场实践，例如杨彦群[1]、李晓华[2]、李臣武[3]、梁春豪[4]、邢继亮[5]等对瓦斯顺层钻孔、穿层钻孔抽采，临近层瓦斯穿层钻孔抽采，采空区瓦斯抽采等多种瓦斯治理技术及机理进行了研究，并在多个矿区进行了瓦斯防治实践，通过瓦斯抽采技术大幅降低了瓦斯浓度，取得良好的效果。但是，随着采掘工作不断延深、产量的不断增加，采掘工作面瓦斯涌出量会逐渐增长，仅采用瓦斯抽采技术已不能满足生产要求[6-7]。回采面上隅角的瓦斯积聚将不仅限制采掘设备生产能力和生产效率的进一步提高，而且严重危及到工作面作业人员的生命安全[8]。沿空留巷技术可以实现 Y 型通风方式，是治理工作面瓦斯超限难题的有效途径；沿空留巷所保留的巷道是进行采空区瓦斯抽采和治理的理想场所[9-10]。可见，进行基于沿空留巷与多方位抽采的瓦斯综合治理技术研究与应用十分必要。

为了确保矿井安全高效开采，消除工作面瓦斯超限问题，提高防治矿井瓦斯灾害的能力。本研究以青龙煤矿高瓦斯煤层开采为背景，采用基于沿空留巷与多方位抽采的瓦斯综合治理技术对青龙煤矿 21604 回采工作面进行瓦斯综合治理。实现了“Y”型通风，采煤工作面瓦斯抽采率达 80%以上，很好解决了工作面瓦斯考察超标、临近层瓦斯涌出对开采层威胁及上隅角瓦斯超限问题，为采煤工作面加快推进提供重要保障。

1 工程地质条件

根据青龙煤矿生产接续及现场实际情况，选择 21604 工作面作为瓦斯综合治理技术试验工作面。21604 工作面地面标高＋1 222.8～＋1 382.9 m，工作面煤层底板标高＋1 073.5～＋1 148.3 m，煤层倾角10°～15°，工作面走向长为 1 412.4 m，倾斜长为 181.7 m。21604 工作面所采煤层为二叠系上统龙潭组 16 煤，厚度 1.3～3.4 m，平均厚 2.6 m，煤层倾角 10°～15°，下距 17 煤层 5.40～18.70 m。17 煤厚度 0～1.6 m，平均厚度 1.4 m，下距 18 煤层顶板 15.4～28.7 m。18 煤厚度 2.3～4.3 m，平均厚度 3.6 m，为主采煤层。矿井的可采煤层均为高瓦斯煤层，根据瓦斯地质图及取样化验结果，二采区 16 煤层瓦斯含量为 22.88 m^3/t，17 煤层瓦斯含量为 10.97 m^3/t，18 煤层化验瓦斯含量为 25.48 m^3/t。经计算，21604 工作面开采层相对瓦斯涌出量为 16.19 m^3/t，临近层相对瓦斯涌出量 15.47 m^3/t，围岩相对瓦斯涌出量 4.04 m^3/t，则 21604 工作面相对瓦斯涌出量 35.7 m^3/t。

2 沿空留巷“Y”型通风

“U”型通风条件下，工作面风流在流经上隅角时直角转弯形成涡流，上隅角成为系统风压的最低点，采空区涌出的瓦斯易积聚、难吹散。而采用沿空留巷能够使工作面形成“Y”型通风系统，通过“两进一回”的通风方式，可有效解决工作面上隅角瓦斯集聚问题[11-12]。

2.1 沿空留巷方式

巷旁支护墙体采用 C30 普通混凝土砌块和砂浆砌筑而成。砌块地面预制，分多种规格，井下人工砌筑形成错缝纵码的巷旁支护墙。墙体位于轨道顺槽的采空区侧，墙体砌好后沿空留巷宽度 4.5 m，墙体砌筑到顶板，墙高平均约 2.6 m，墙体宽度 1.2 m，如图 1 所示。为增大墙体强度，墙体两侧采用锚杆＋钢筋梯进行加固，锚杆两头采用螺母＋托盘压住钢筋梯，如图 2 所示。

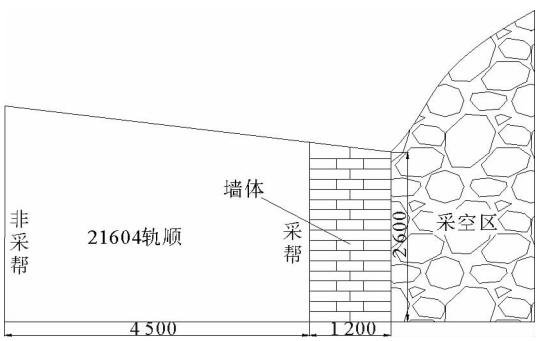

图 1 墙体尺寸及位置示意图

Fig. 1 Wall size and location

2.2 “Y”型通风

21604 工作面为青龙煤矿二采区第一个工作面，工作面轨道顺槽沿空留巷。工作面回采初期采用“U”型通风方式，21604 运顺进风，21604 轨顺回风。工作面推进至里程 370 m 处时沿空留巷采用“Y”型

通风方式，21602 措施巷联络巷、21602 轨顺、21602 轨顺联络巷、11608 运顺回风，21604 工作运顺及 21604 轨顺进风，如图 3 所示。

1）工作面切眼贯通期间，克服了通风路线长，通风负压小、风量紧张等困难，通过采取全矿通风系统优化，现场充分准备等措施，有效对巷道贯通通风系统进行调整。经过测定，工作面“U”型通风生产期间最大风量达到 1 900 m^3/min 以上，“Y”型通风期间最大达 1 800 m^3/min 以上，确保了工作面正常生产期间的瓦斯稀释效果。

2）工作面采用“Y”型通风后对工作面通风系统和各巷道配风量进行了调整，本着 1/3 和2/3 的原则，调整 21604 运顺进风 1 200 m^3/min 左右，21604 轨顺进风 600 m^3/min 左右。既降低了工作面采空区内漏风量，同时能有效解决工作面上隅角及回风流中瓦斯浓度较高问题，取得了良好的效果，为类似通风系统的采煤工作面提供了借鉴经验。

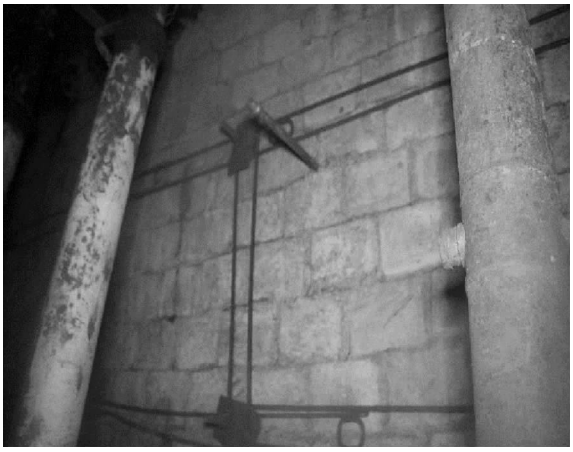

图 2　沿空留巷墙体实物图

Fig. 2　Gob-side entry retaining wall

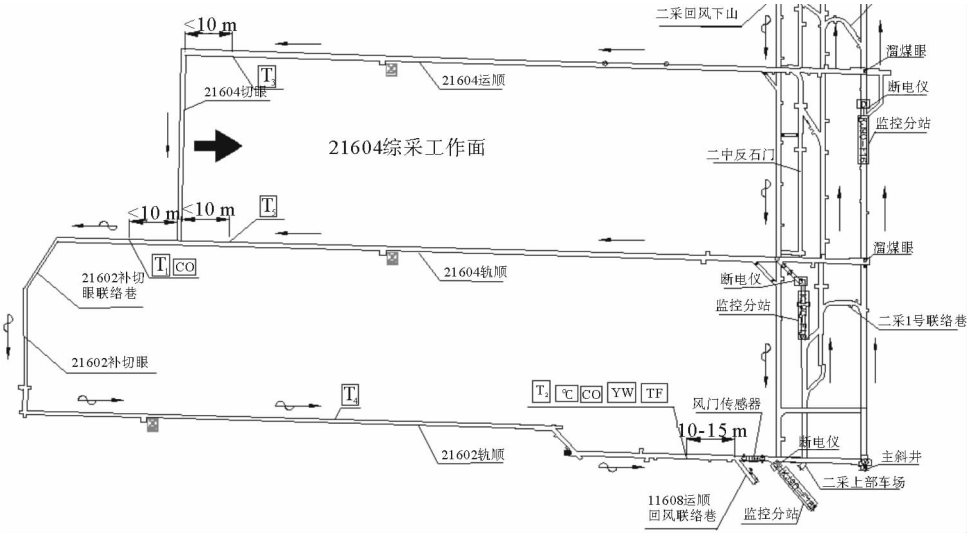

图 3　工作面通风方式

Fig. 3　The working face ventilation way

3　工作面多方位瓦斯抽采技术

21604 工作面本煤层瓦斯采用顺层钻孔、穿层钻孔立体抽采，临近层瓦斯采用穿层钻孔抽采，采空区及上隅角瓦斯采用顶板高位钻孔和采空区埋管抽采。通过对本煤层瓦斯、临近层瓦斯、采空区瓦斯综合治理，同时解决本煤层、采空区及邻近煤层瓦斯涌入造成工作面、上隅角瓦斯超限的问题，保证工作面正常回采。工作面局部地段过构造带煤层赋存变化大，瓦斯异常时在工作面施工浅孔配合进行抽采。

3.1　本煤层瓦斯立体抽采

21604 工作面本煤层采用顺层钻孔＋穿层钻孔立体抽采，钻孔布置示意图如图 4 所示。

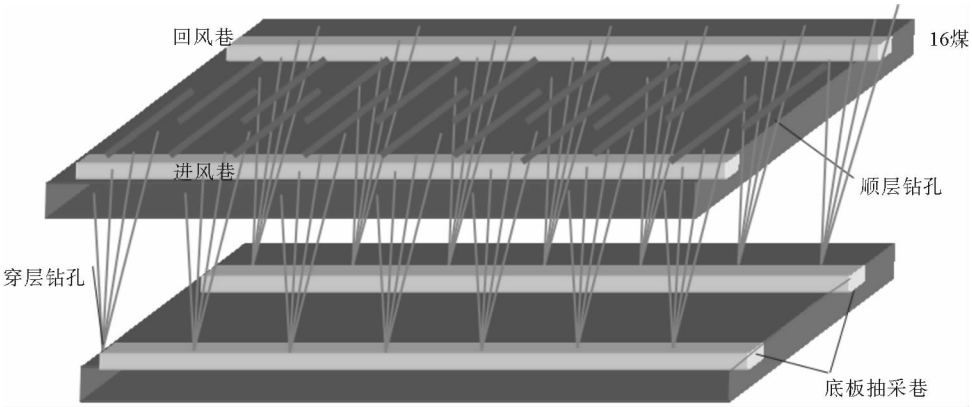

图 4　顺层钻孔十穿层钻孔立体抽采图例

Fig. 4　The stereoscopic extraction of drilling inseam and cross-seam holes

21604 采煤工作面顺层钻孔抽采本煤层瓦斯钻孔设计情况：0～900 m 段钻孔按照 3 m 孔间距进行设计，900 m 停采线位置按照 4 m 孔间距设计(全长下套管)，轨顺侧钻空深 100 m，运顺侧钻空深 95 m，轨顺与运顺钻孔相交 10 m。钻孔采用 ZDY-3200S、ZDY3500S 型钻机施工，施工孔径为 113 mm，顺层钻孔施工完毕后，封孔管直径不得小于 89 mm，连抽管直径不得小于 108 mm。

当 21604 工作面地质条件发生变化，设计的本煤层抽采钻孔达不到设计要求，施工本煤层顺层钻孔控制不到位，在 21604 工作面出现瓦斯抽采空白带时，在 21604 轨顺底抽巷(标高＋1 080 m)、21604 运顺底抽巷(标高＋1 040 m)设计穿层钻孔，对两个工作面的空白带瓦斯进行抽采。21604 工作面前 0～300 m 段按照 10 m 终孔间距设计，300 m 停采线段按照 15 m 终孔间距设计，钻场间距 10～15 m，重点抽采工作面距进回风巷大于 60 m 及顺层钻孔控制空白带区域。钻孔采用 ZDY-4000LF、ZDY-3200S、ZDY3500S 型钻机进行施工，钻孔终孔直径为 113 mm。

3.2　被保护层卸压瓦斯抽采

在 21604 底抽巷穿层钻孔施工完毕后，在底抽巷内向 21604 工作面下方的 18 煤层内施工穿层钻孔预抽 18 煤层瓦斯，如图 5 中间部分钻孔所示。钻孔采用网格式布置，钻孔间距为 22 m(煤层中部的平均距离)，钻场间距为 19.5 m，钻孔孔径不小于 75 mm，钻孔穿过 18 煤层后停钻。在 21604 工作面回采期间，除利用上述钻孔抽采 18 煤层瓦斯卸压外，还利用掘进期间在底抽巷内施工的 1 号和 7 号穿层钻孔协助抽采 18 煤层瓦斯卸压。

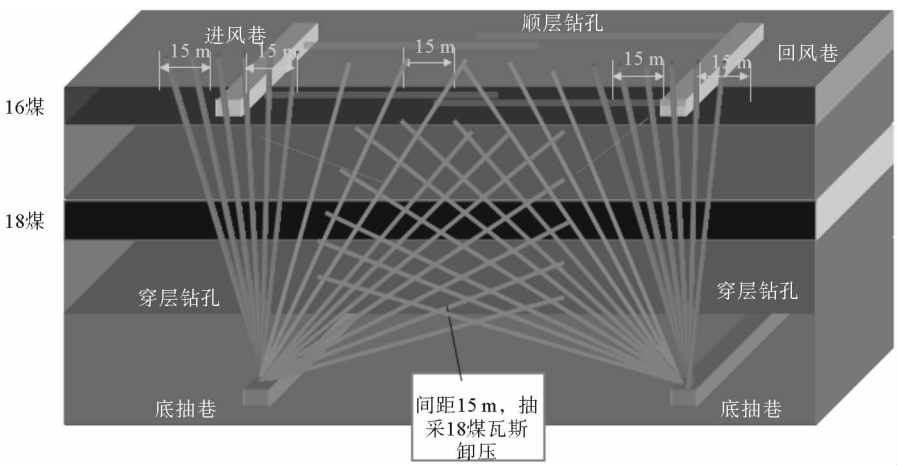

图 5　穿层钻孔抽采被保护层卸压瓦斯图例

Fig. 5　The protected seam gas relief by cross-seam holes extraction

3.3 采空区裂隙带瓦斯抽采

为解决21604工作面回采过程中上隅角瓦斯超限，21604轨顺中每间隔100 m施工一个硐室，硐室规格为：深×宽×高＝4 m×4 m×2.8 m，每个硐室施工6个钻孔对采空区瓦斯进行抽采。钻场位于回采煤层顶板上5 m，钻孔长度150～200 m，钻孔直径不小于113 mm，钻孔最终位置距离煤层顶板20～50 m(裂隙带)，如图6所示。

低负压抽采管路的安装。21604工作面回采期间，在21604轨顺安装一趟500 mm的低负压瓦斯抽采管，瓦斯抽采管末端安装至21604工作面第一组高位抽采硐室处，便于回采期间抽采采空区高浓度瓦斯。随着工作面的回采，将低负压瓦斯抽采管延伸至21604轨顺的低负压瓦斯抽采管上，便于抽采21604工作面上隅角瓦斯。

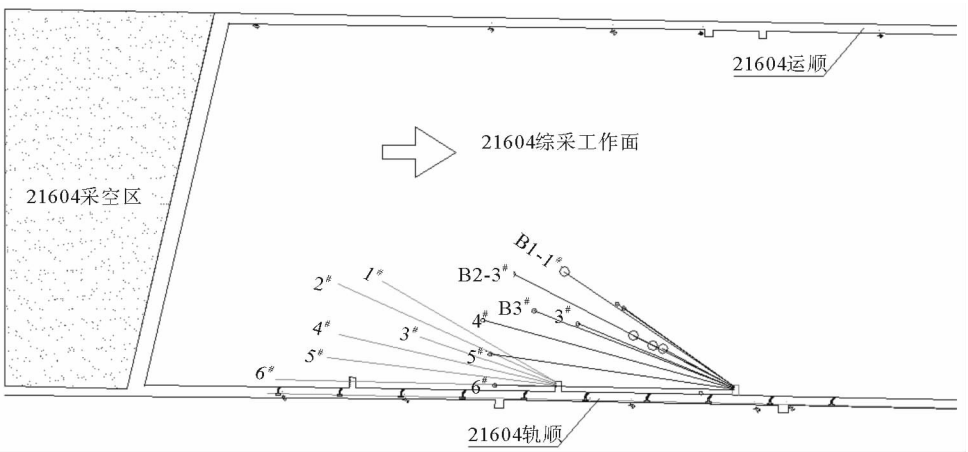

图6 走向高抽钻孔抽采采空区裂隙带瓦斯图例

Fig.6 The trend high holes extraction of the goaf fractured zone gas

3.4 采空区瓦斯抽采

21604属于高瓦斯工作面，为了保证安全，留存瓦斯应尽可能抽放。21604工作面回采期间，安装一趟500 mm的低负压瓦斯抽采管至21604工作面上隅角处。随着21604工作面的推进，每间隔30 m设一个500 mm的等径三通，等径三通上直接500 mm的抽采管，埋入21604采空区内，抽采采空区内瓦斯，如图7所示。埋入采空区内(横管)长度不小于1.5 m，直径为500 mm，横管上加工成筛孔(筛孔直径为50 mm、孔间距50 mm、行间距50 mm，筛孔总面积不得小于500 mm铁管的横截面积，不少于100个)。筛孔管必须用木垛进行保护，确保顶板垮落后不破坏筛孔管。在500 mm的支管上安设可控制的闸阀，便于调整抽采流量。

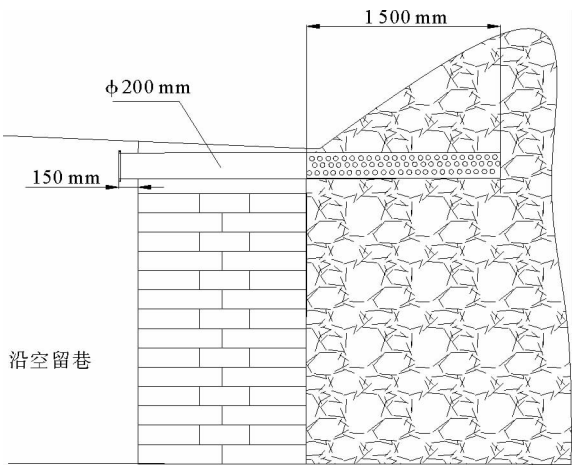

图7 瓦斯抽采管的设置

Fig.7 The settings of the gas drainage pipes

21604轨顺最大抽采浓度为44.6%，抽采纯流量为13.78 m^3/min，抽采负压为30 kPa。21604轨顺底抽巷最大抽采浓度为44.7%，抽采纯流量为29.58 m^3/min，抽采负压为26 kPa。21604运顺最大抽采浓度为37.8%，抽采纯流量为13.89 m^3/min，抽采负压为28 kPa。21604运顺底抽巷最大抽采浓度为51.2%，抽采纯流量为28.69 m^3/min，抽采负压为26 kPa。

4 瓦斯治理效果

二采区首采 21604 工作面，在煤层瓦斯含量最大达 22.88 m^3/t，最大瓦斯压力为 1.73 MPa，工作面回采初期最大瓦斯涌出量达 93 m^3/min 情况下，采用基于沿空留巷与多方位抽采的瓦斯综合治理技术，采煤工作面瓦斯抽采率达 80%以上，很好解决了工作面瓦斯考察超标、临近层瓦斯涌出对开采层威胁及上隅角瓦斯超限问题，为采煤工作面加快推进提供了重要保障。

工作面推进情况如图 8 所示。21604 工作面和 11609 工作面回采煤量对比如表 1 所示。可以看出，在 2014 年 11 月采用瓦斯综合治理技术后，工作面回采效率大大提高。工作面月推进 150 m，推进进尺大幅度提高，工作面推进速度提高 1 倍以上。相对于仅采用顺层钻孔抽采技术的 11609 工作面，月回采煤量也大幅度增加，达 15 万 t。瓦斯综合治理技术确保了工作面的安全高效回采，取得了良好的安全和经济效益。

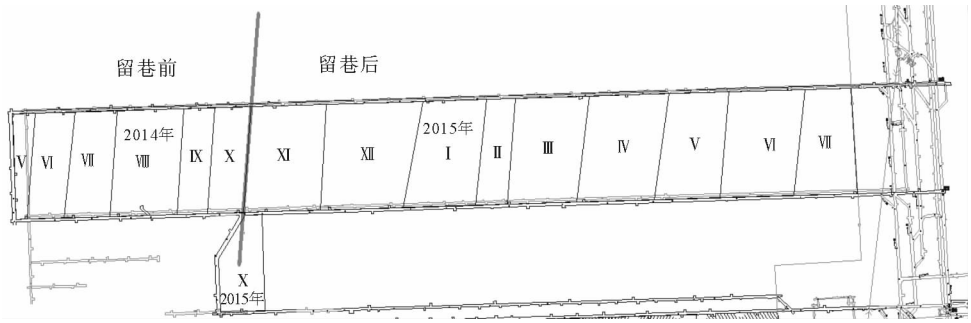

图 8 21604 工作面采掘平面图

Fig. 8 The mining and excavation plan of the No. 21604 working face

表 1 21604 工作面和 11609 工作面回采煤量对比表

Tab. 1 The mining coal quantity comparison between the No. 21604 and No. 11609 working face

工作面名称	21604 工作面	11609 工作面
平均回采煤量(万 t/月)	15	3
瓦斯治理方法	瓦斯综合治理技术	顺层钻孔

5 结论

采用基于沿空留巷与多方位抽采的瓦斯综合治理技术对青龙煤矿 21604 回采工作面进行瓦斯综合治理。通过混凝土砌块墙沿空留巷方式，成功保留了回采巷道，实现了“Y”型通风，降低了工作面采空区内漏风量，有效解决了上隅角瓦斯超限及回风流中瓦斯浓度较高问题；采用本煤层瓦斯顺层钻孔、穿层钻孔立体抽采，临近层瓦斯穿层钻孔抽采，采空区及上隅角瓦斯顶板高位钻孔和采空区埋管抽采的多方位抽采技术，同时解决了本煤层、采空区及邻近煤层瓦斯涌入工作面、上隅角的问题。采煤工作面瓦斯抽采率达 80%以上，很好解决了工作面瓦斯超标、临近层瓦斯涌出对开采层威胁，为采煤工作面加快推进提供了重要保障。工作面月推进 150 m，进尺大幅度增加，工作面推进速度提高 1 倍以上，月回采煤量达 15 万 t。瓦斯综合治理技术确保了高瓦斯煤层工作面的安全高效回采，取得了良好的安全和经济效益。

参考文献：

[1]杨彦群. 高瓦斯突出矿井综采工作面瓦斯综合防治技术[J]. 煤炭科学技术，2012，40(6)：44-46.
YANG Yanqun. Comprehensive gas prevention and control technology of fully mechanized coal mining face in high gassy and outburst mine[J]. Coal Science and Technology，2012，40(6)：44-46.

[2]李晓华，戚新红，韩真理，等. 近距离煤层群高瓦斯突出煤层回采工作面瓦斯综合治理技术[J]. 煤炭技术，2014，33(6)：46-48.
LI Xiaohua，QI Xinhong，HAN Zhenli，et al. Comprehensive gas control technology of coal mining in close coalseams with high gassy and outburst mine[J]. Coal Technology，2014，33(6)：46-48.

[3]李臣武. 突出煤层沿空留巷综采工作面瓦斯综合治理技术[J]. 煤炭科学技术，2015，43(增)：89-92.

LI Chenwu. Gas control technology of gob-side entry retaining fully-mechanized coal mining face in outburst coal seam[J]. Coal Science and Technology,2015,43(S):89-92.

[4]梁春豪,李进鹏. 近距离突出煤层群无煤柱开采及立体抽采技术[J]. 煤炭科学技术,2013,41(12):63-66.

LIANG Chunhao,LI Jinpeng. Three dimensional gas drainage technology of pillarless coal mining in contiguous outburst seams group[J]. Coal Science and Technology,2013,41(12):63-66.

[5]邢继亮,李思乾,李文超,等. 屯兰矿瓦斯综合治理技术实践[J]. 煤矿安全,2013,44(8):126-128.

XING Jiliang,LI Siqian,LI Wenchao,et al. Practice of gas comprehensive control technology in Tunlan Coal Mine[J]. Safety in Coal Mines,2012,44(8):126-128.

[6]李学臣. 严重突出煤层沿空留巷区段预抽技术[J]. 煤矿安全,2013:55-57.

LI Xuechen. Pre-pumping technology in gob-side entry retaining of serious outburst coal seam[J]. Safety in Coal Mines,2013,44(8):55-57.

[7]卢平,方良才,童云飞,等. 深井煤层群首采层 Y 型通风工作面采空区卸压瓦斯抽采与综合治理研究[J]. 采矿与安全工程学报,2013,30(3):456-462.

LU Ping,FANG Liangcai,TONG Yunfei,et al. Relieved gas drainage and comprehensive control in gob of Y-type coal face in the first coal seam mining of deep multi-seams[J]. Journal of Mining and Safety Engineering,2013,30(3):456-462.

[8]王锐,修毓,王刚,等. 采空区瓦斯渗透影响的综放面瓦斯运移模拟研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2016,35(4):52-61.

WANG Rui,XIU Yu,WANG Gang,et al. Numerical simulation of coal and gas outburst based on particle flow theory[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science),2016,35(4):52-61.

[9]刘洪林,柏建彪,张东升,等. 基于沿空留巷的瓦斯综合治理技术[J]. 煤矿安全,2012,43(9):60-62.

LI Honglin,BAI Jianbiao,ZHANG Dongsheng,et al. Gas comprehensive control technology based on gob-side entry retaining[J]. Safety in Coal Mines,2012,43(9):60-62.

[10]杨晓红,马步才,樊少武. 沿空留巷 Y 型通风瓦斯治理效果分析[J]. 煤炭科学技术,2011,39(7):46-49.

YANG Xiaohong,MA Bucai,FAN Shaowu. Analysis on gas control effect based on gateway retained along goaf Y type ventilation[J]. Coal Science and Technology,2011,39(7):46-49.

[11]孟杰,姜秀雷. 沿空留巷在综采工作面瓦斯治理中的应用[J]. 煤炭技术,2012,31(11):90-92.

MENG Jie,JIANG Xiulei. Application of gob-side entry retaining at fully mechanized mining face[J]. Coal Technology,2012,31(11):90-92.

[12]梁赛江,王同旭,王太茂,等. 采空区瓦斯渗透影响的综放面瓦斯运移模拟研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2012,31(6):15-19.

LIANG Saijiang,WANG Tongxu,WANG Taimao,et al. Modeling and research about gas transport based on the influence of high gas in the neighboring coal seam [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science),2012,31(6):15-19.

(责任编辑:吕海亮)