

文章编号: 1673-3363-(2013)05-0766-07

低渗透性煤层群卸压开采地面钻井抽采瓦斯技术

涂敏

(安徽理工大学能源与安全学院, 安徽 淮南 232001)

摘要 基于淮南矿区高瓦斯低渗透性煤层群赋存条件,通过试验模型分析了卸压开采后的覆岩移动破坏、卸压煤层移动变形、采动裂隙垂向分带和卸压煤层应力分带特征,得出了首采层采空侧顶板至上覆卸压煤层顶板中存在环形裂隙区、竖向裂隙区、远程卸压煤层裂隙区,根据采动裂隙区发育特征,提出了卸压瓦斯抽采地面钻井的部署方法。在顾桥矿1117(1)工作面切眼外侧、风巷内侧和工作面前方分别布置有“?”、“|”型和“L”型地面钻井,实现了长时间、大范围、较高的卸压瓦斯抽采率。总结了地面钻井位置、钻井型式、钻井稳定性与卸压瓦斯抽采效果之间的关系。

关键词 低渗透性;煤层群;采动裂隙垂向分带;卸压瓦斯抽采;地面钻井部署

中图分类号 TD 325

文献标志码 A

Surface well drilling extracting gas technology in low permeability coal seams depressurized mining

TU Min

(School of Mining and Safety Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

Abstract Based on depositing conditions of high gas and low permeability of coal seam group in Huainan mining area, this article analyzes the movement and failure characteristics of overlying strata, the movement and deformation characteristics of relief seam, the vertical zoning characteristics of mining fractures and stress zoning characteristics of relief seam through the analogue test. Conclusion is drawn that there are annular fracture area, vertical fracture area, and the remote relief seam fracture area from the roof of goaf in the first mining layer. According to the developing characteristics of the mining fracture areas, this article puts forward the deployment method of surface drilling in the drainage of pressure relief gas. The “?”-type, “|”-type and “L”-type ground drilling are respectively put outside the starting cutting hole 1117(1) work face, inside the wind tunnel, and in front of the work face in Guqiao Coalmine. The relationship among the ground drilling locations, drilling type, drilling stability and relief gas drainage effect is probed into and found.

Key words low permeability; coal seam group; vertical zoning characteristics of mining fractures; relief gas drainage; ground drilling locations

我国煤层的透气性系数普遍较低,一般在 $0.1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$ 范围内,水城、丰城、鹤岗等渗透率较高的矿区也仅为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,

这一特点决定了我国地面开发煤层气的难度很大,抽采率低^[1-3]。通过保护层卸压开采,可使上覆煤岩体产生显著的卸压增流效应,其透气性可增数千倍

收稿日期: 2013-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51074004); 安徽省自然科学基金项目(11040606M102)

作者简介: 涂敏(1964-),男,安徽省六安市人,教授,博士,博士生导师,从事岩层控制与采动岩体力学方面的研究。

E-mail: mtu@aust.edu.cn

Tel: 0554-6668736

以上^[4-5]。淮南矿区通过多年的实践,利用采动作用所产生的卸压增透效应,试验地面钻井抽采卸压区和采空区的瓦斯,基本探索出了地面钻井抽采瓦斯技术的经验^[6-7]。但多年来众学者在抽采卸压瓦斯方面,主要集中在上覆岩层的变形破坏、煤层透气性、卸压保护范围、采动裂隙演化等方面的研究^[8-13],对地面钻井的井位部署主要依据岩层移动后透气性的增幅,而较少考虑地面钻井位置、钻井型式、钻井稳定性与卸压瓦斯抽采效果的关系。针对该问题,本文将讨论保护层开采后的卸压范围、卸压应力分布及其采动裂隙发育稳定区域、卸压瓦斯抽采地面井部署与抽采效果的关系,以实现大面积、长时间、高效持续的抽采。研究结果可为煤矿低渗透性煤层群卸压开采后卸压瓦斯地面钻井布置和高效抽采提供理论依据。

1 试验模型及分析

1.1 试验模型

以顾桥矿 11-2、13-1 煤层赋存条件为平面应力模型试验的原型^[14-15],两煤层平均间距 75 m,属远距离煤层群赋存,11-2 煤厚平均 3.0 m,倾角平均 5°,模型几何尺寸 3 m×1.3 m×0.3 m,几何相似常数为 1/100。为分析保护层开采后被保护层移动、变形及受力情况,煤体内每隔 10 cm 布置 1 个压力传感器,共 29 个,同样每隔 10 cm 在煤层顶底板及距保护层 50 cm 位置布置 3 排位移测点,并使测点上下对应,通过数字图像法分析被保护层膨胀变形情况。

1.2 试验结果分析

1.2.1 覆岩移动破坏特征

11-2 煤层开采后的覆岩移动模拟如图 1 所示。

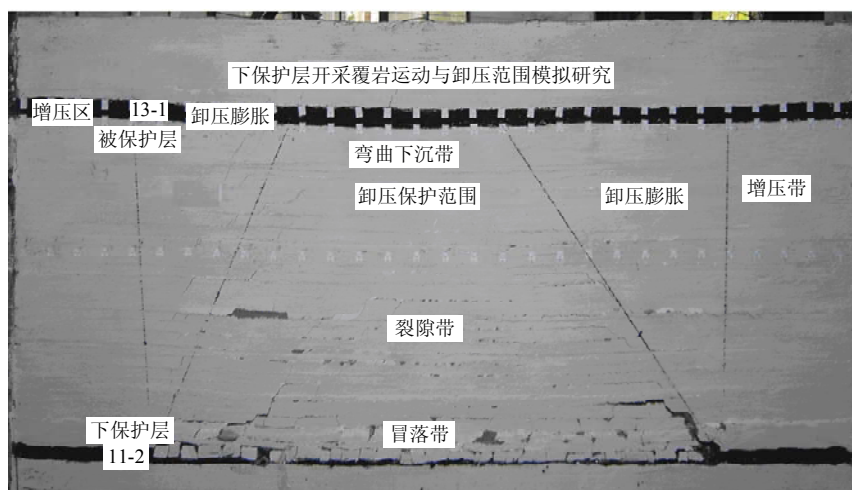


图 1 11-2 煤层开采后覆岩移动示意

Fig.1 Picture for the overlying strata movement after 11-2 coal seam mining

由模拟研究表明:

1) 11-2 煤层开采后最大冒落带高度 13.0 m,为采高的 3.71 倍,岩石破碎垮落不规则。

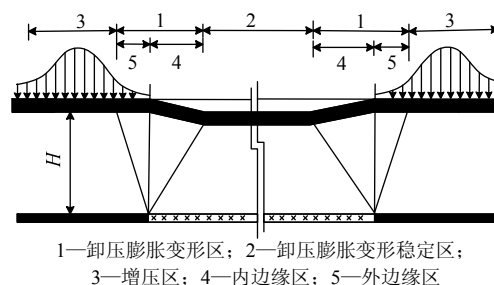
2) 在两采空侧,采动裂隙发育高度为 46.5~72 m,裂隙带发育高度约为采高的 13.29 倍。其中,在采空侧下位顶板内斜交裂隙及离层裂隙十分明显,自煤壁向偏采空区方向裂隙呈 50°左右向上发育,裂隙带发育高度较大,纵向裂隙和横向裂隙相互联络沟通。

3) 弯曲下沉带内的卸压煤层移动基本上是成层的、整体性的移动,以竖向膨胀变形为主。

1.2.2 卸压煤层移动变形特征

研究表明,在充分采动条件下,卸压煤层的移动变形盆地划分 5 个区域,依次分别为增压区、卸

压膨胀变形区、卸压膨胀变形稳定区、卸压膨胀变形区、增压区。卸压煤层移动盆地的特征如图 2。



1—卸压膨胀变形区; 2—卸压膨胀变形稳定区;
3—增压区; 4—内边缘区; 5—外边缘区

图 2 卸压煤层移动变形特征

Fig.2 Deformation characteristics of the pressure-relief coal seam

1) 增压区: 内位于卸压膨胀变形区外侧,煤层产生压缩变形,煤层致密,裂隙不发育。

2) 卸压膨胀变形区: 煤层底板向盆地中心倾斜, 产生水平拉伸压缩变形, 形成断裂裂缝, 裂隙发育丰富, 是卸压瓦斯的富集区; 该区域内边界角为顶板破断角, 外边界为采动影响角。其中:

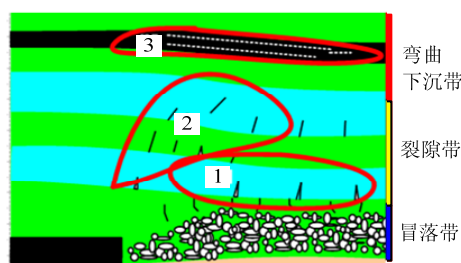
内边缘区: 煤层底板下沉均匀, 但下沉值不相等, 底板向盆地中心倾斜, 呈凹形, 产生拉伸压缩变形, 形成断裂裂缝, 裂隙发育丰富, 按照一定的方向呈楔形向采空区上方展布, 卸压瓦斯抽采钻孔应布置在该区, 该区域内边界角为采动顶板破断角, 外边界为采动卸压角。

外边缘区: 底板下沉不均匀, 并向盆地中心倾斜, 产生拉伸变形。当拉伸变形达一定程度后底板产生裂缝。

3) 卸压膨胀变形稳定区: 煤层底板下沉均匀, 断裂裂缝趋于密合, 横向膨胀裂隙发育, 是卸压瓦斯运移的通道, 下沉值最大。

1.2.3 采动裂隙分带特征

模拟研究表明, 卸压开采后, 在采空侧顶板存在“竖向裂隙发育区”, 采空侧采动影响区内顶板岩层裂隙呈动态演化, 竖向裂隙区位于卸压膨胀变形区, 外侧为增压区、内侧为卸压膨胀稳定区。采空侧采动裂隙垂向分带模型如图 3 所示。



1—采空区顶板空区; 2—裂隙带内的竖向裂隙发育区;
3—远程卸压煤层裂隙发育区

图 3 采空侧采动裂隙垂向分带模型

Fig.3 vertical zoning model of mining-induced fractures in mined-out area

1) 采空侧顶板上方的环型裂隙发育区(如图 3 中的 1 区), 采动裂隙发育丰富, 为采空区瓦斯富集区域。

2) 采空侧顶板上方的竖向裂隙发育区(如图 3 中的 2 区), 该区域离层裂隙和竖向破断裂隙发育, 横向和竖向裂隙贯通, 并和下部冒落带相连通, 为首采层卸压瓦斯和采空区瓦斯富集区。

3) 弯曲下沉带内的远程卸压煤层裂隙发育区(如图 3 中的 3 区), 煤体发生膨胀变形, 离层裂隙发育丰富, 煤层的透气性显著增加, 为远程卸压煤

层瓦的富集区。

1.2.4 卸压应力分带特征

为了量化被保护煤体卸压或应力集中程度, 定义卸压系数 k :

$$k = \frac{(|\sigma_{z_0}| - |\sigma_z|)}{|\sigma_{z_0}|}$$

式中: σ_{z_0} 为垂直应力原始应力值, MPa; σ_z 为煤体残存垂直应力, MPa。

由上式可知: 当 $k > 0$ 时, $\sigma_{z_0} > \sigma_z$, 煤体卸压; 当 $k \leq 0$ 时, $\sigma_{z_0} \leq \sigma_z$, 煤体未卸压。实验过程中在被保护煤层中布置压力传感器, 用以监测压应力变化情况。

从卸压应力分布观点看, 岩层的垮落、自然充填的支撑和压实等作用, 在采空区上方的横向方向上依次形成应力集中带、初始卸压带、充分卸压带和应力恢复带。卸压煤层应力分带模型如图 4^[15]。

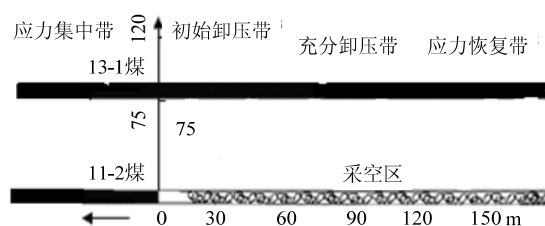


图 4 卸压煤层应力分带模型

Fig.4 Zoning model of stress in protective coal seam

由上图可知:

1) 应力集中带: 位于首采层工作面前方 5~50 m 范围内, 卸压煤层承受的应力高于原始状态, 最大应力点位于工作面前方 5~20 m 范围内, 最大压缩变形达 0.5%~2%, 裂隙封闭, 透气性降低。

2) 初始卸压带: 从保护层工作面开始往采空区方向均存在卸压作用, 但由于保护层的卸压传递到被保护层时要滞后一段距离, 因此, 保护层卸压带的起点(对卸压层而言)通常位于保护层工作面后方 0.25~0.8 倍层间距位置。从卸压瓦斯流动观点来看, 在此带范围内, 初始卸压带内煤层纵向破断裂隙发育, 透气性大大增加, 为初始卸压增透带。

3) 充分卸压带: 充分卸压点位于保护层工作面后方 50~150 m 范围, 通常为层间垂距的 0.8~2.75 倍, 然后应力开始恢复。从卸压瓦斯流动观点来看, 在此带范围内, 煤层承受的应力减小, 被保护层变形增大, 裂隙十分发育, 尤其是横向离层裂隙发育丰富, 透气性增加, 充分卸压带内为卸压充分高透高流带。

4) 应力恢复带：位于保护层工作面后方 150~500 m 以后，该范围由于采空区冒落岩石逐渐被压实，应力逐渐恢复，但仍然小于原始应力状态，但随工作面推进逐步恢复到原始应力状态。从卸压瓦斯流动观点来看，在此带范围内，由于上覆岩层向下移动压实作用使应力恢复带内的采动裂隙趋于密合，为减透减流，但被保护层横向离层变形要维持较长时间，能为卸压瓦斯抽采提供足够时间。

2 卸压瓦斯抽采地面钻井布置方法

由上述研究知道，在首采层采空侧顶板至上覆卸压煤层顶板中存在顶板环形裂隙区、竖向裂隙发

育区、远程卸压煤层裂隙发育区。这 3 个裂隙发育区的存在，为卸压瓦斯抽采钻井的合理布置提供了理论依据。

卸压瓦斯抽采地面钻井的合理位置，首先应有利于大面积、长时间、高效地进行卸压抽采，达到较高的瓦斯抽采率；其次要考虑卸压瓦斯抽采钻井的施工和保护，避免受到采动剧烈影响后使地面钻井变形错断，地下水和流沙等进入钻井，堵塞钻井造成抽采失效。卸压瓦斯抽采地面钻井布置如图 5 所示。

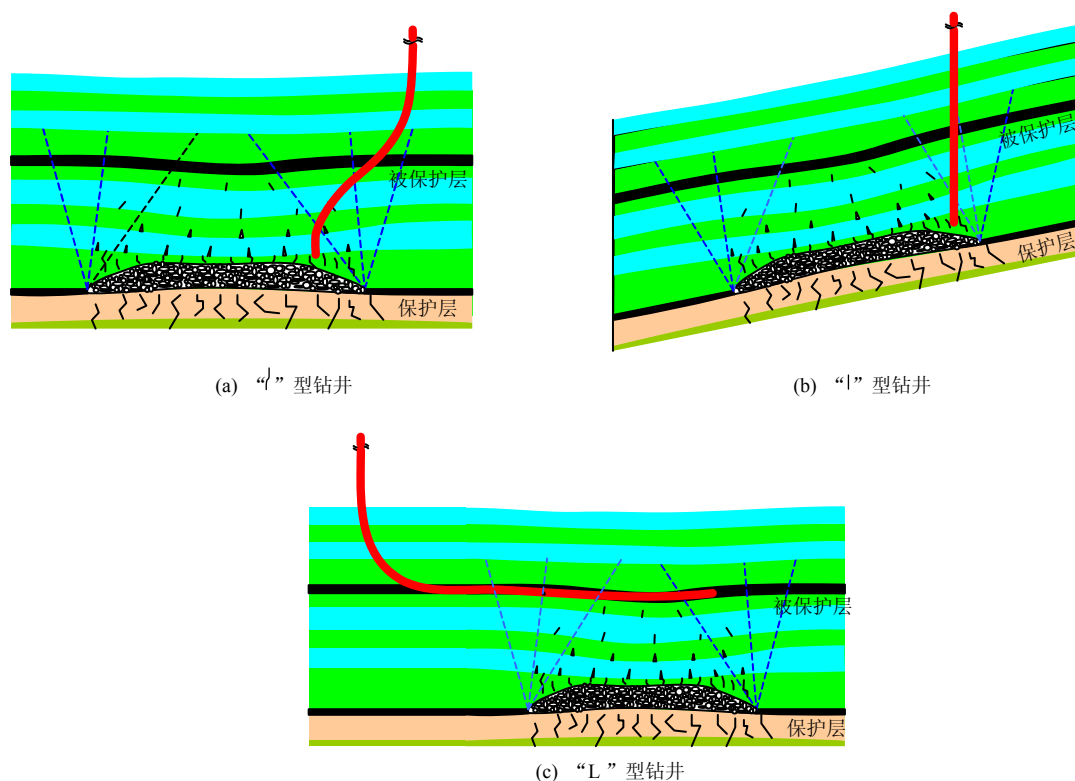


图 5 卸压瓦斯抽采地面钻井布置

Fig.5 Section plane arrangement of the drilling arrangement in the ground drainage of coal bed methane

1) 切眼外侧的“J”型钻井：钻井井口位于采动影响边界外、井身穿过 3 个裂隙发育区，终孔位于采空侧的环形裂隙发育区，可保证钻井有长时间的、大范围的、较高的卸压瓦斯抽采率。

2) 风巷内侧的“I”型钻井：钻井布置在采空区内侧边缘，钻井穿过 3 个裂隙发育区域，但钻井受岩层水平移动剧烈影响，钻井易错断，受采动影响大。

3) 工作面前方的“L”型水平钻井：垂直井身位于工作面前方，不受采动影响，水平井身位于卸压煤层内，可保证钻井有长时间的、大范围的、较

高的卸压瓦斯抽采率。

3 工程实践

1117(1)工作面为顾桥矿 11-2 煤层的首采面，作为 13-1 煤层的下保护层工作面，两煤层间距平均 75 m，属远距离煤层群赋存，工作面走向长 2 801 m，回采走向长 2 731 m，倾斜长 250 m，11-2 煤厚平均 3.0 m，煤层倾角平均 5°，瓦斯相对涌出量 5.4 m³/t，绝对瓦斯涌出量 37.4 m³/min。

3.1 地面抽采钻井布置

为了全面考察不同位置及型式的地面钻井抽

采卸压瓦斯的效果,按照上述布置方法,在 1117(1) 井。地面钻井平面、剖面布置如图 6a, b 所示。工作面的地面分别布置“?”、“|”和“L”型钻

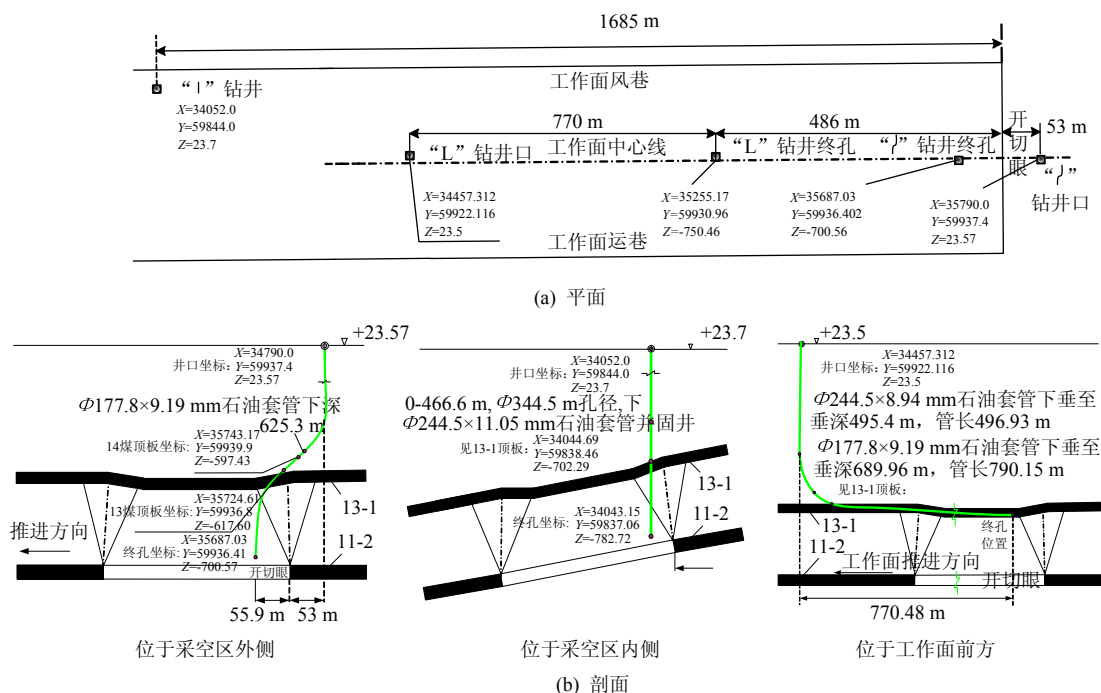


图 6 卸压瓦斯抽采地面钻井布置

Fig.6 Section plane arrangement of the drilling arrangement in the ground drainage of coal bed methane

1) “?”型钻井,井口位于开切眼外侧 53m,终孔位于切眼内侧 55.9 m,抽采本煤层采空区和上覆煤层的卸压瓦斯。

2) “|”型钻井,与开切眼相距 1 685 m,距上风巷内错 25 m,终孔与 11-2 煤层顶板相距 36 m,抽采本煤层采空区和上覆煤层的卸压瓦斯。

3) “L”型水平钻井,井口及终孔均位于工作面前方,水平投影响长度 770 m,终孔与工作面切眼距离 468 m,整个钻孔水平段均位于 13-1 煤层中,主要抽采 13-1 煤卸压瓦斯。

3.2 地面钻井抽采卸压瓦斯效果

3.2.1 切眼外侧“?”型地面钻井

从工作面推进 24.5 m(距井口 77.5 m)进行测试,钻井与工作面距 2 034 m 时数据统计结束,共抽采卸压瓦斯 1 573 047 m³。卸压瓦斯抽采量与工作面推进距离的关系曲线如图 7a 所示。

1) 工作面距钻井 77.5~334 m,日抽采量不大,平均在 1 500 m³/d 左右,并在距工作面 175~334 m 处采出量波动很大,从 2 400 m³/d 下降到 25 m³/d 后升高到 4 000 m³/d。初期主要抽采首采层采空区及裂隙带内的瓦斯。

2) 工作面距钻井 334~676 m,随工作面不断向前推进,日抽采量稳步升高,切眼上部卸压区及膨

胀卸压区趋于稳定,该范围内裂隙带发育完全,且受工作面采动影响较小。同时,11-2 煤层开采使 13-1 煤卸压范围稳步扩大,解吸瓦斯量不断增加,从而使瓦斯抽采量达到最大,最大值为 12 096 m³/d。主要抽采首采层采空区、裂隙带和卸压煤层内的瓦斯。

3) 工作面距钻井 841 m 以后,瓦斯抽采量相对下降,一方面 11-2 煤开采后采空区压实范围增大,增大了气体流动阻力,使得本煤层瓦斯抽采量减少;另外原有 13-1 煤解析瓦斯随抽采时间增加浓度降低,新增瓦斯解吸量距钻孔距离较远流动受限,但日抽采量维持在 3 000 m³/d 以上。

3.2.2 风巷内侧“|”型地面钻井

工作面推过钻井 5 m 时开始进行测试,到工作面推过钻井 283 m 时数据统计结束,共抽采卸压瓦斯 250 245 m³。卸压瓦斯抽采量与工作面推进距离的关系曲线如图 7b。

1) 钻井与工作面相距 5~45 m 时,瓦斯抽采量稳步提高,推过 45 m 时达到最大抽采量 32 000 m³/d。说明这一阶段 11-2 煤层顶板垮落充分,上覆岩层裂隙发育完全,同时 13-1 煤卸压瓦斯解吸,使钻孔瓦斯抽采量稳步上升。

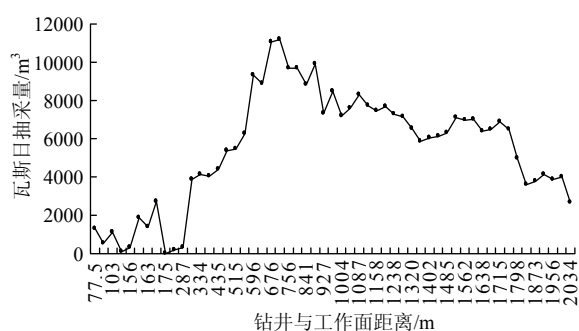
2) 随着工作面继续推进,在 45~89 m 范围内,

卸压瓦斯抽采量逐渐降低,工作面推过钻井 89 m 时,瓦斯抽采量减小到 $1\,700\text{ m}^3/\text{d}$ 左右,瓦斯抽采量大幅度下降;但工作面继续推进,卸压瓦斯抽采量基本保持在 $2\,200\text{ m}^3/\text{d}$ 左右。

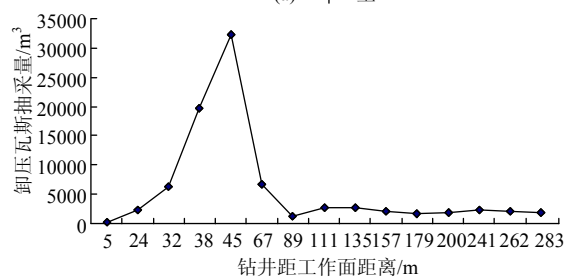
3) 结合布孔位置分析,钻井位于风巷内侧,在表土层与基岩交界面处岩层层位水平错动致使钻井截面缩小,地面钻井变形示意如图 8 所示。钻井穿过卸压膨胀变形区,同时,终孔位于 11-2 煤层底板,因此采空区、竖向裂隙发育区及 13-1 煤层瓦斯均能有效抽采,尽管受到采动影响,但覆岩水平移动不足以完全阻孔,能够实现 13-1 煤层的卸压瓦斯和 11-2 煤层采空区的卸压瓦斯连续抽采。

3.2.3 工作面前方“L”型地面钻井

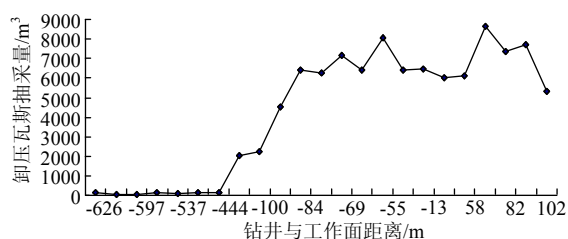
工作面距钻井-626 m 时开始进行测试,到工作面推过钻井 102 m 时统计结束,共抽采卸压瓦斯 $142\,175\text{ m}^3$,水平钻井卸压瓦斯抽采量与工作面推进距离的关系曲线图 7c。



(a) “L”型



(b) “|”型



(c) “L”型

图 7 钻井卸压瓦斯抽采量与工作面距离关系曲线

Fig.7 The drainage quantity of the relieved coal bed methane of drilling with the working face advancing

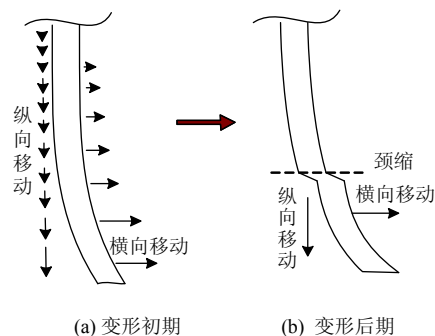


图 8 地面钻井变形示意

Fig.8 Surface well drilling deformation

地面“L”型水平钻井实质上主要抽采 13-1 煤层内卸压瓦斯,随工作面的推进,卸压瓦斯抽采量逐步提高,卸压瓦斯日抽采量最大达 $8\,800\text{ m}^3$,卸压瓦斯平均抽采量保持在 $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 左右。水平钻井井口与工作面距离-444 m 时,工作面超前终孔 246 m,此时被保护层 13-1 煤卸压完全,瓦斯抽采量大幅度提高,且随工作面的推进,瓦斯不断解吸涌出,使抽采量保持较高水平。

综合分析表明:

1) 从抽采效果看,布置在风巷内侧的“|”型钻井,由于受到采动影响,钻井断面颈缩影响卸压瓦斯高效抽采;位于开采边界外侧的“∩”型和“L”型水平钻井抽采效果较好。

2) 为使地面钻井能够高效、长时、大面积抽采卸压煤层和本煤层采空区的卸压瓦斯,地面钻井布置应满足:① 井口布置在开采范围以外,以减小岩层移动对井身的影响;② 钻井布置形式应满足岩层水平移动、变形的要求,防止钻井钻断;③ 钻孔下段应穿过卸压煤层裂隙发育区、裂隙带内的竖向裂隙发育区、采空区顶板环形裂隙区。

3) 钻井的地面位置、终孔位置及钻井形状能够使其与岩层裂隙形成沟通,钻井位置位于开切眼外侧,避免受到采动的强烈影响,钻井设计及位置合理,能够进行长时间、大面积的卸压瓦斯抽采,达到煤与卸压瓦斯共采的目的。

4 结 论

1) 通过模型试验,分析了卸压开采后的覆岩移动破坏、卸压煤层移动变形、采动裂隙垂向分带和卸压煤层应力分带特征,得出了首采层采空侧顶板至上覆卸压煤层顶板中存在顶板环形裂隙区、竖向裂隙发育区、远程卸压煤层裂隙发育区。

2) 顾桥矿 1117(1)工作面分别布置“∩”、“|”

和“L”型地面钻井,卸压瓦斯抽采实践表明,位于开采边界的“J”型和“L”型水平钻井较好地适应岩层移动、变形要求,高效地抽采卸压煤层及远程卸压煤层裂隙发育区瓦斯;对开采范围内的“|”型钻井受采动影响出现颈缩、阻孔原因进行分析。对比3种井型的抽采效果,有效验证了模型试验中各分区、带的正确性,同时进一步明确了地面抽采钻井型式及位置。

3) 根据淮南矿区煤层群赋存特征,总结出地面钻井位置、钻井型式、钻井稳定性与卸压瓦斯抽采效果之间的关系。研究结果可为煤矿低渗透性煤层群卸压开采后卸压瓦斯抽采地面钻井部署和高效抽采提供理论依据。

参考文献:

- [1] 钱鸣高. 绿色开采的概念与技术体系[J]. 煤炭科技, 2003(4): 1-3.
QIAN Ming-gao. Technological system and green mining concept[J]. Coal Science & Technology Magazine, 2003(4): 1-3.
- [2] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林. 资源与环境协调(绿色)开采及其技术体系[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(1): 1-5.
QIAN Ming-gao, MIAO Xie-xing, XU Jia-lin. Resources and environment harmonics(green) mining and its technological system[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(1): 1-5.
- [3] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林. 资源与环境协调(绿色)开采[J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 1-7.
QIAN Ming-gao, MIAO Xie-xing, XU Jia-lin. Green mining of coal resources harmonizing with environment[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 1-7.
- [4] 叶建平, 史保生, 张春才. 中国煤储层渗透性及其主要影响因素[J]. 煤炭学报, 1999, 24(2): 118-122.
YE Jian-ping, SHI Bao-sheng, ZHANG Chun-cai. Coal reservoir permeability and its controlled factors in China[J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(2): 118-122.
- [5] 夏红春, 程远平, 柳继平. 远程覆岩卸压变形及其渗透性研究[J]. 西安科技大学学报, 2006, 26(1): 10-14.
XIA Hong-chun, CHENG Yuan-ping, LIU Ji-ping. Deformation and permeability characteristics caused by pressure-relief of long-distance strata[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2006, 26(1): 10-14.
- [6] 袁亮. 松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [7] 周德昶, 焦先军. 地面钻井抽采瓦斯技术的发展方向[J]. 矿业安全与环保, 2006, 33(6): 77-79.
- [8] ZHOU De-chang, JIAO Xian-jun. The development trend of gas drainage with borehole[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2006, 33(6): 77-79.
- [9] 许家林, 钱鸣高. 地面钻井抽放上覆远距离卸压煤层气试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(1): 78-81.
XU Jia-lin, QIAN Ming-gao. Study on drainage of relieved methane from overlying coal seam far away from the protective seam by surface well[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(1): 78-81.
- [10] 许家林, 钱鸣高, 金宏伟. 基于岩层移动的“煤与煤层气共采”技术研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(2): 129-132.
XU Jia-lin, QIAN Ming-gao, JIN Hong-wei. Study on “coal and coal-bed methane simultaneous extraction” technique on the basis of strata movement[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(2): 129-132.
- [11] 石必明, 俞启香, 王凯. 远程保护层开采上覆煤层透气性动态演化规律试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(9): 1917-1921.
SHI Bi-ming, YU Qi-xiang, WANG Kai. Test research on coal seam permeability dynamic changing law by far-distance protecting stratum mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(9): 1917-1921.
- [12] 袁亮. 卸压开采抽采瓦斯理论与煤与瓦斯共采技术体系[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 1-8.
YUAN Liang. Theory of pressure-relieved gas extraction and technique system of integrated coal production and gas extraction[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(1): 1-8.
- [13] TU M, FENG M, LIU Z. Dynamic principle of development of strata separation fracture of the roof in the coal seam mining[C]// WANG Y J, HUANG P, LI S. Proceedings of the 2004 International Symposium on Safety Science and Technology. Beijing: Science Press, 2004: 259-264.
- [14] SANG Shu-xun, XU Hong-jie, FANG Liang-cai, et al. Stress relief coal bed methane drainage by surface vertical wells in China[J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 82(3-4): 1-8.
- [15] 涂敏. 煤层气卸压开采的采动岩体力学分析与应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学理学院, 2008.
- [16] 涂敏, 付宝杰. 低渗透性煤层卸压瓦斯抽采机理研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 433-436.
TU Min, FU Bao-jie. Extraction mechanism of relieved gas from low permeability seam[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(4): 433-436.