中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

高瓦斯矿井高抽巷合理布置及终巷位置确定研究

徐 永 佳
(河南平宝煤业有限公司,河南 平顶山 467000)

扫码移动阅读

摘 要:为治理首山一矿上隅角瓦斯超限,采用高抽巷对采空区瓦斯进行抽采,根据倾向覆岩裂隙分布特征,对高抽巷合理布置层位及其与回风巷合理平距进行了理论计算,并依据综采工作面初采期矿压显现特征,建立初采期覆岩裂隙发育模型,对高抽巷的合理终巷位置进行计算。结果表明:高抽巷位置对采空区瓦斯抽采具有重要影响,确定首山一矿高抽巷布置的合理位置应为:与回风巷内错平距 16~20 m(中对中),与回风巷垂距保持 20~25 m;终巷最佳位置为距离开切眼水平距离为 80 m。

关键词:高抽巷;布置层位;覆岩裂隙;瓦斯抽采
中图分类号:TD712 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2018)11-0093-08

Study on reasonable arrangement of upper level drainage-way and determination of final roadway position in high gassy mine

XU Yongjia
(*Henan Pingbao Coal Mine Corporation Ltd.*, *Pingdingshan* 467000, *China*)

Abstract: In order to control the upper corner gas overlimit of Shoushan No.1 Mine, upper level drainage-way was adopted to extract gas from the goaf, according to the distribution characteristics of inclined overburden fractures, rational layout of upper level drainage-way a reasonable horizontal distance and tailentry has carried on the theoretical calculation, on the basis of fully-mechanized working face in the early mining stage pressure characteristics, to build a new model of rock fracture development, calculate the reasonable final lane position for upper level drainage-way. The results showed that the location of upper level drainage-way has an important influence on gas drainage in goaf, it is determined that rational layout position of upper level drainage-way in No.1 Shoushan Coal Mine is drainage 16~20 m (medium to medium) offset in the tailentry, keep the vertical distance of 20~25 m with the return airway; the optimal position of the terminal line is 80 m horizontal distance from the open-off cut.

Key words: upper level drainage-way; layout level; strata fissures; gas drainage

0 引 言

高抽巷抽采是指在开采层采动空间形成的裂隙带内布置抽采巷道,由于采空区瓦斯沿采动裂隙向上不断运移,最终积聚于采动裂隙带,通过裂隙带内布置的高抽巷实现采空区瓦斯抽采[1]。

经过了 50 多年的发展,我国煤矿瓦斯工业性抽采由采空区和本煤层单一抽采,发展到现在的综合瓦斯抽采技术,其中主要包括采空区抽采、开采层抽采、围岩抽采、邻近层抽采、综合抽采等。在高抽巷抽采采空区瓦斯方面,国内学者进行了大量研究,主要研究方法是:现场效果考察分析和数值模拟分析。在现场效果考察分析方面,大量学者经常以现场数据和抽采效果为基础,结合理论分析来验证高抽巷布置的合理性和在抽采采空区瓦斯方面的良好效果[2-3];在数值模拟分析方面,学者们通过模拟不同抽采条件下采空区上覆岩层的裂隙发育规律和采空区流场,分析高抽巷抽采对采空区流场的影响,为提

收稿日期:2018-04-08;**责任编辑**:杨正凯 **DOI**:10.13199/j.cnki.cst.2018.11.015
作者简介:徐永佳(1983—),男,河南平顶山人,工程师。E-mail:shangjia930@126.com
引用格式:徐永佳. 高瓦斯矿井高抽巷合理布置及终巷位置确定研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(11):93-100.
XU Yongjia.Study on reasonable arrangement of upper level drainage-way and determination of final roadway position in high gassy mines[J].Coal Science and Technology,2018,46(11):93-100.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

高高抽巷瓦斯抽采效果和布置高抽巷的最佳抽采位置提供指导[4-8]。

研究表明,为了达到较好的瓦斯抽采效果,合理布置高抽巷的层位是至关重要的;另外,工作面回采初期,当覆岩裂隙未发育至高抽巷所在层位高度时,高抽巷难以发挥其抽采效果,浪费了工程量,为了节约高抽巷施工工程量,需要确定高抽巷的合理终巷位置。

1　工程概况

河南平宝煤业有限公司(又称首山一矿)矿区构造简单,主采煤层为己$_{15-17}$煤层,厚度 3.0~5.5 m,煤层倾角 3°~12°。矿井属于单一煤层开采,不具备保护层开采条件。经探索实践,首山一矿坚持低位巷穿层钻孔治理瓦斯掩护煤巷快速掘进、本煤层钻孔预抽回采区域煤层瓦斯掩护采面安全回采,针对工作面上隅角瓦斯制约工作面快速推进这一问题,在采面使用高位抽采巷抽采上隅角和采空区瓦斯,从而形成“一面多巷”立体抽采系统,如图 1 所示。

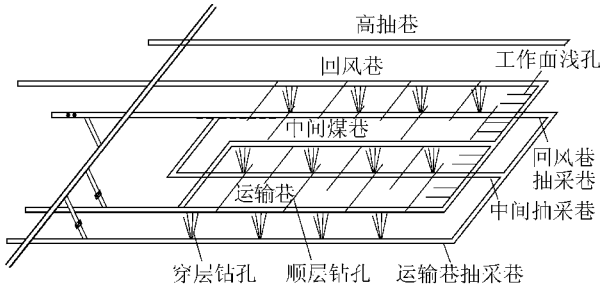


图 1　“一面多巷”的瓦斯立体抽采系统

Fig. 1　Gas extraction system of “one face and many roadways”

2　高抽巷合理布置位置对瓦斯抽采的影响

2.1　不同层位的高抽巷瓦斯抽采效果分析

2.1.1　12061 工作面高抽巷布置情况

12061 工作面位于己二采区西翼第 3 个采煤工作面,设计走向长 1 294 m,采长 239 m,回采己$_{15-17}$煤层,煤厚平均 4.7 m,采高 4.0 m;煤层倾角较为稳定,一般为 5°~13°。工作面布置 3 条煤巷、4 条岩巷,高抽巷位于煤层顶板,断面为圆弧拱形,巷道宽度 4.5 m,拱高为 2.25 m,壁高为 1.15 m。12061 工作面高抽巷呈里段高、外段低的布置情况,如图 2 所示。里段长 400 m,终巷位置距离开切眼水平距离为 88 m,巷道底板与己$_{15-17}$煤层顶板保持 22~26 m 垂距,距回风巷的水平距 20 m;外段长 892 m,巷道底板与煤层顶板保持 8~12 m 的垂距,距回风巷的水平 20 m。

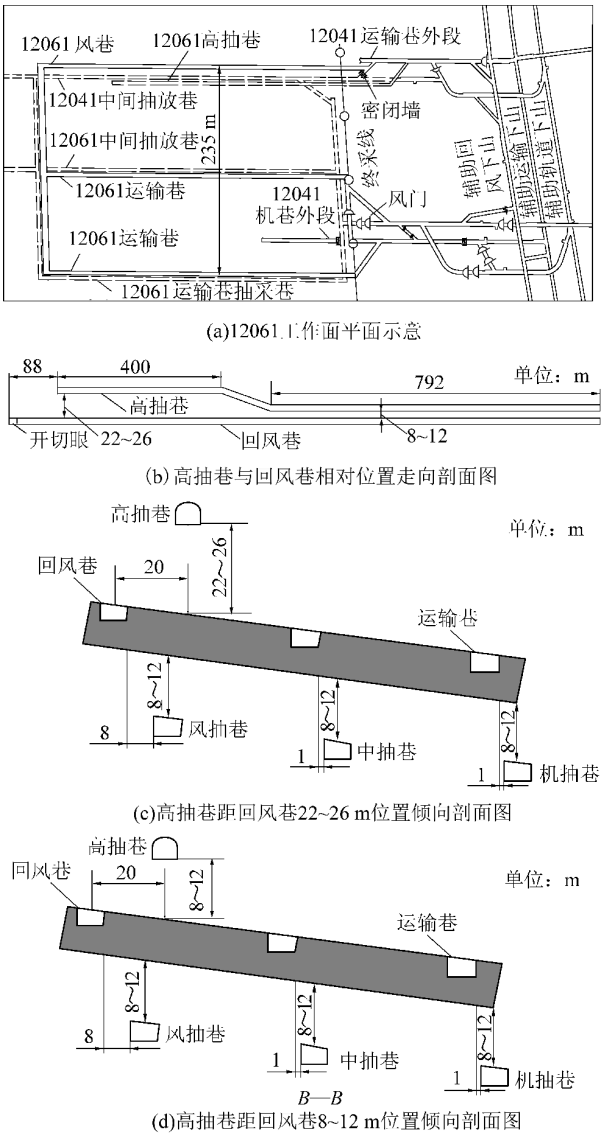


图 2　12061 工作面高抽巷与回风巷相对位置示意

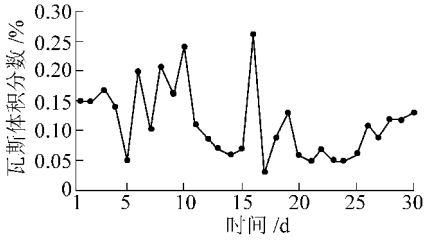
Fig. 2　Relative position of upper level roadway and wind roadway on working face is indicated

2.1.2　12061 高抽巷抽采效果分析

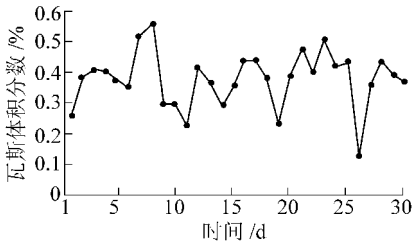
1)工作面上隅角及回风流瓦斯浓度。高抽巷上隅角瓦斯浓度变化曲线如图 3 所示,高抽巷里段服务期间,上隅角瓦斯体积分数稳定在 0.03%~0.20%,最大值为 0.47%,未发生上隅角瓦斯超限情况。在打钻、生产期间,工作面回风流瓦斯体积分数稳定在0.1%~0.3%。高抽巷外段服务期间,上隅角瓦斯体积分数稳定在 0.08%~0.43%,2017 年 6 月 18 日和 25 日出现上隅角瓦斯超限,最大值为 1.7%。在打钻、生产期间,工作面回风流瓦斯体积分数稳定在 0.2%~0.5%。相比里段,高抽巷外段的抽采效果虽基本满足瓦斯抽采要求,但仍

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

出现了局部瓦斯超限情况。



(a) 高抽巷里段上隅角瓦斯浓度变化曲线



(b) 高抽巷外段上隅角瓦斯浓度变化曲线

图 3　高抽巷上隅角瓦斯浓度变化曲线

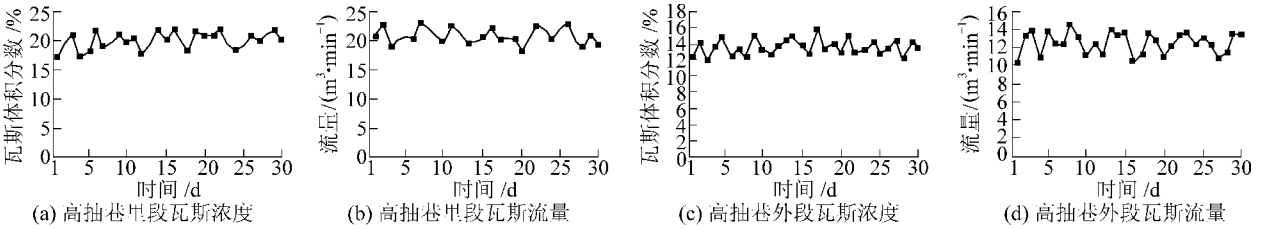
Fig. 3　Change curves of gas concentration in upper corner of high suction roadway

2)高抽巷里、外段瓦斯抽采情况。高抽巷抽采服务期间瓦斯浓度及流量变化曲线如图 4 所示,高抽巷里段服务期间,高抽巷瓦斯抽采体积分数为 17%~22%,瓦斯流量为 18~23 m^3/min。高抽巷外段服务期间,高抽巷瓦斯抽采体积分数为 12%~15%,瓦斯流量为 10~14 m^3/min。相比里段,高抽巷外段的瓦斯抽采浓度与纯量偏低。

2.1.3　高抽巷层位选取对抽采效果影响分析

由现场数据对比分析发现,高抽巷布置层位对抽采采空区瓦斯效果有直接关系,由于瓦斯比空气密度小,采空区瓦斯向上运移并富集至裂隙带岩层,为了达到较好的抽采效果,应将高抽巷布置于裂隙较为发育但漏风可控的覆岩层位内[9],其布置层位取决于采动覆岩裂隙场发育状况。

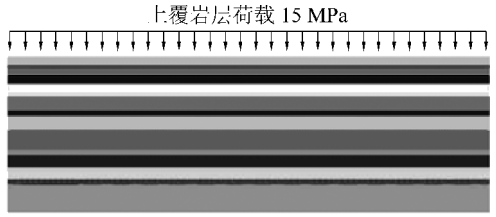
为探究覆岩采动裂隙演化特征,确定采空区覆岩采动裂隙场的分布规律,根据 12061 工作面的地质条件及覆岩岩性特征,分别建立走向和倾向模型,如图 5 所示。采用 CDEM(Continuum-based Discrete Element Method)软件以离散元法为基础,在位移和应力混合边界条件下,对综采工作面采动覆岩裂隙演化规律进行模拟。



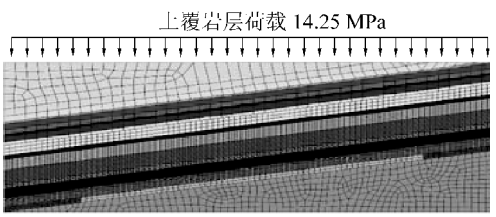
(a) 高抽巷里段瓦斯浓度　(b) 高抽巷里段瓦斯流量　(c) 高抽巷外段瓦斯浓度　(d) 高抽巷外段瓦斯流量

图 4　高抽巷抽采服务期间瓦斯浓度及流量变化曲线

Fig. 4　Gas concentration and flow change curve of high drainage roadway during extraction service



(a) 走向模型



(b) 倾向模型

图 5　CDEM 模型

Fig. 5　CDEM model

根据对综采工作面采动覆岩裂隙演化模拟结果可知:裂隙圈的宽度范围:走向方向工作面侧和开切眼侧均为 30 m;倾向方向进风巷侧为 35 m、回风巷侧为 30 m。高抽巷应布置在断裂带内,为了提高抽采效果,高抽巷所在层位的瓦斯浓度应较高(高于煤层底板 20 m 以上)。为了防止高抽巷围岩过于破碎导致严重漏风,可适当提高高抽巷布置层位;其次离煤层顶板距离越远,虽瓦斯浓度较高但围岩破碎状况逐渐降低,不利于瓦斯抽采。综上所述,高抽巷与回风巷垂距(底对顶)保持在 20~25 m。

当高抽巷与回风巷垂距(底对顶)保持在 20~25 m,同时使得高抽巷处于裂隙带内,则高抽巷与回风巷内错平距最小值 l_{nx}(中对中)应满足:$l_{nx} \geqslant (25 + l_y)\cot 69° - l_x + 4.55$,其中:$l_x$为回风巷宽度,m;$l_y$为回风巷高度,m。代入数据得 $l_{nx} \geqslant 10.70$ m。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

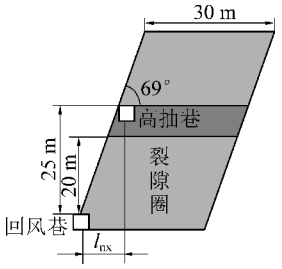


图 6　高抽巷位置计算示意

Fig. 6　Schematic diagram of high suction roadway position calculation

为提高高抽巷的抽采范围同时兼顾对上隅角瓦斯抽采,应尽量保持高抽巷位于裂隙圈中央偏回风巷一侧,故可确定高抽巷与回风巷内错最佳间距(帮对帮)为 16~20 m。综上所述,高抽巷布置的合理位置应为:高抽巷与回风巷垂距(底对顶)保持 20~25 m;与回风巷内错平距(帮对帮)16~20 m。

2.2　不同终巷位置的高抽巷抽采效果分析

2.2.1　12050 工作面高抽巷布置情况

12050 工作面位于己二采区东翼上部第 3 个区段,设计采长 212 m(里段 223 m),回采己$_{15}$煤层,12050 工作面煤层结构单一,厚度较为稳定,煤厚 1.80~4.71 m,平均 3.2 m,煤层倾角为 6°~13°,工作面布置 2 条煤巷、4 条岩巷,高抽巷位于煤层顶板,断面为圆弧拱形,巷道宽度 4.5 m,拱高为 2.25 m,壁高为 1.15 m。

12050 工作面原始瓦斯含量 10.5 m^3/t,原始瓦斯压力 1.5 MPa。根据 12050 工作面在检修、打钻、生产期间的现场情况,工作面绝对瓦斯涌出量 15~29 m^3/min,在 12050 工作面外段施工 800 m 高抽巷工程,终巷位置距离开切眼 700 m,巷道底板与己$_{15}$煤层顶板的垂距保持 14~17 m,距离风巷的水平距为 20 m,如图 7 所示。

2.2.2　工作面有、无高抽巷条件下瓦斯抽采效果分析

1)上隅角及工作面回风流瓦斯浓度。12050 采面回采至 700 m 位置前采用上隅角插管联合高位斜交钻孔联合抽采,如图 8 所示,采用传统方法(上隅角插管联合高位斜交钻孔)抽采条件下,从 2017 年 4 月 1 日至 4 月 30 日,有 5 d 出现了上隅角瓦斯超限情况(4 月 2 日、10 日、16 日、23 日、30 日),说明采用上隅角插管联合高位斜交钻孔联合抽采不能满足抽采要求,抽采效果较高抽巷效果差。12050 工作面有高抽巷时,上隅角瓦斯体积分数为 0.2%~0.6%,相较于里段无高抽巷的情况下,上隅角瓦斯浓度明显降低。高抽巷服务期间,在打钻、生产期间,工作面回风流瓦斯体积分数稳定在 0.2%~0.5%,抽采效果满足瓦斯抽采要求。

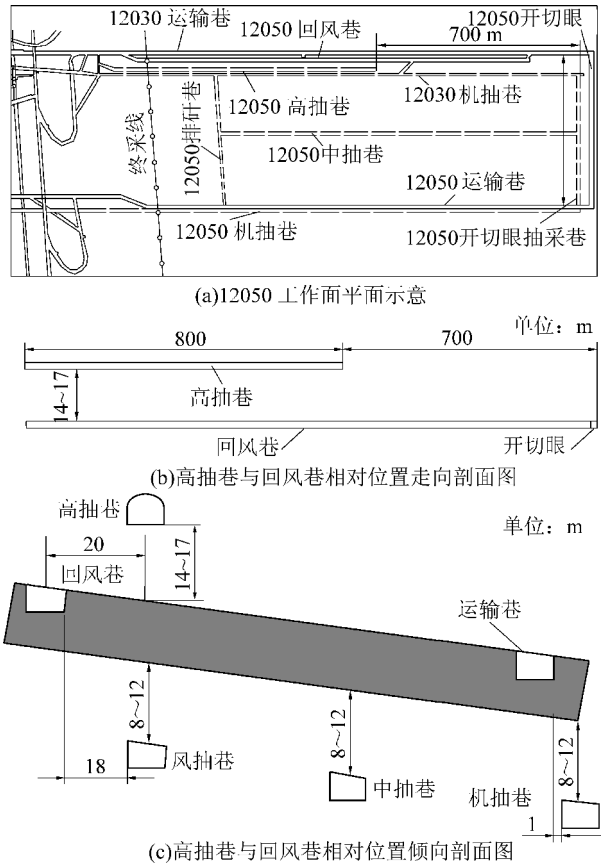


图 7　12050 工作面高抽巷与回风巷相对位置

Fig. 7　The relative position of high suction roadway and wind roadway on working face 12050

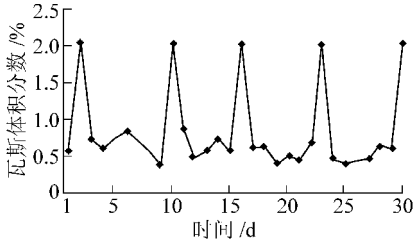


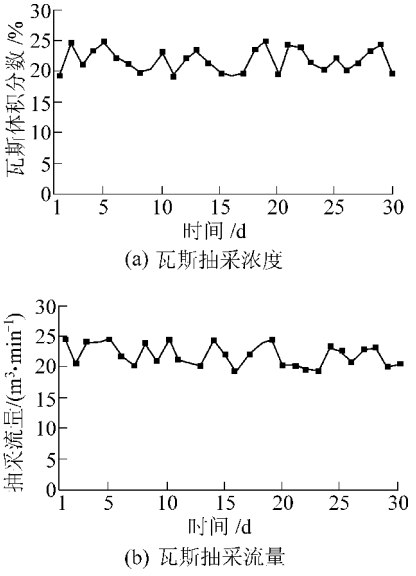
图 8　有、无高抽巷条件下上隅角瓦斯浓度变化情况

Fig. 8　Change of gas concentration in upper corner under the condition of having and not having high drainage roadway

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

2)工作面瓦斯抽采情况。在工作面推进至 700 m 前采用上隅角插管与高位斜交钻孔联合抽采(控制回风巷向内 35 m,每组布置 7 个孔,孔底间距 5 m,孔底距回风巷顶板上部 14~17 m)治理上隅角瓦斯,回风流瓦斯在打钻、生产期间一般为 0.4%~0.7%,出现 0.7%~1.0%的情况时有发生,如图 9 所示。

工作面推进至 700 m 后进入高抽巷影响范围,采用高抽巷密闭抽采采空区瓦斯的措施,抽采瓦斯体积分数稳定到 19%~25%,纯量达到 20~25 m^3/min,在打钻、生产期间工作面回风流瓦斯浓度降低到了 0.2%~0.5%,并取消了上隅角插管、高位斜交钻孔以及工作面上隅角封堵墙,大幅减少了瓦斯治理的危险环节,降低了职工的劳动强度(图 8 和图 9)。



(a) 瓦斯抽采浓度

(b) 瓦斯抽采流量

图 9　存在高抽巷时瓦斯抽采效果

Fig. 9　Results of gas extraction in high drainage roadway exist

2.2.3　高抽巷合理布置层位分析

为了节约高抽巷施工工程量,需要对高抽巷合理终巷位置进行研究。高抽巷合理终巷位置需要着重考虑采长一定情况下沿工作面推进方向的采动覆岩裂隙演化规律。

由采动覆岩裂隙演化地下煤层开采后,采空区上方覆岩体的自然应力平衡状态受到破坏,在受扰动覆岩内部某一区域内的岩层在自重力和上覆岩层压力的作用下将发生法向弯曲移动,岩层将沿层间弱面发生剪切破坏,导致相邻岩层沿层面发生分层[10-12]。如果相邻两岩层的垂直位移不协调,那么两岩层将沿层面的垂直方向纵向发生分离。当这两相邻岩层整体结构稳定,未发生断裂式破坏,且下层位岩层有足够的移动空间高度时,将会在两相邻岩层的接触面间形成离层空间。从整个离层形成过程来看,好像一个“拱”不断的发展扩大,如图 10 所示。当这个“拱”发展到一定高度后不再向上扩展,只是随着工作面的不断推进,拱形区域依次向前传递[13-16]。在整个发展过程中,下部离层的生成为上覆岩层的运动提供了发展空间。

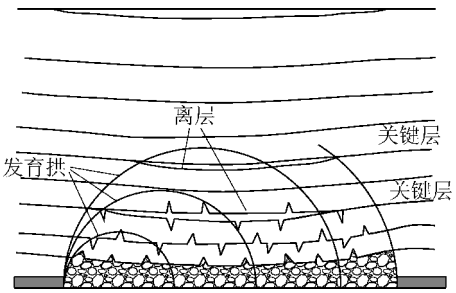


图 10　工作面推进过程中覆岩“拱”结果演化规律

Fig. 10　Evolution law of overburden “arch” results in the course of working face propulsion

12061 工作面自 2017 年 7 月 17 号至 8 月 31 日,工作面共推进 77 m。此期间第一次周期来压已经结束。根据初采期间矿压分析结果,工作面推进长度与覆岩裂隙发育高度的关系可知,初采期间,覆岩裂隙发育高度与工作面推进长度之比近似线性增长,两者比值为 0.532 48,如图 11 所示。

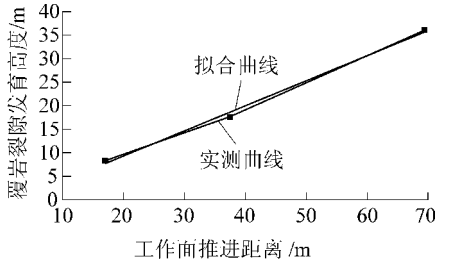


图 11　初采期间工作面推进长度与覆岩裂隙发育高度关系

Fig. 11　Working face propulsive length is highly correlated with the development of overburden rock fractures during the initial mining period

由于 12061 工作面长度为 235 m,在初采期间(0~74.2 m),煤炭采出空间呈走向短、倾斜方向长的长矩形状,故可认为沿走向方向覆岩裂隙呈现尖顶或椭球顶状;沿倾斜方向上岩层充分垮落,覆岩裂隙发育呈“中部平顶,端部逐渐降低”形态,如图 12 所示。在高抽巷位置附近的工作面端部(高抽巷与回风巷内错平距为 7 m)裂隙在初采期其发育范围沿走向与倾斜方向都呈现不断扩大,覆岩裂隙呈现椭抛带分布;故 12061 工作面回风巷一

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

侧端部裂隙拱在初采期为一半轴不断增大的半椭圆。

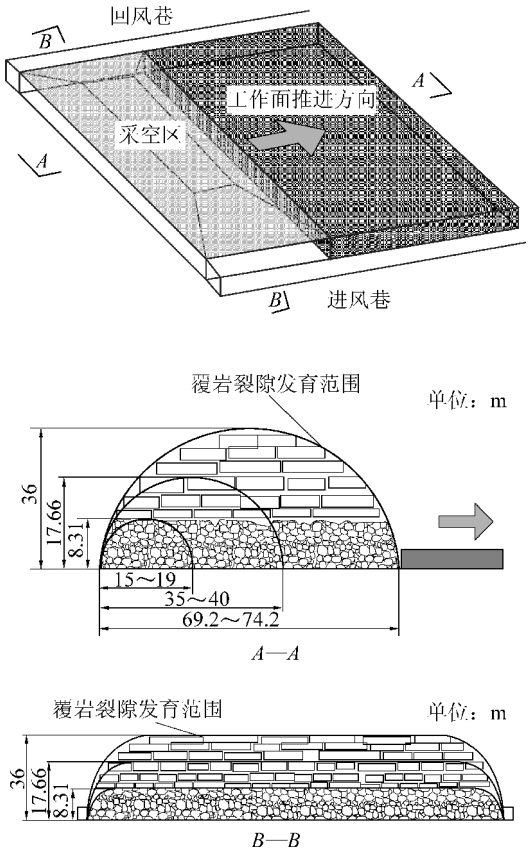


图 12　初采期沿走向与倾向覆岩裂隙发育示意

Fig. 12　Schematic diagram of the development of fractures along strike and inclined overburden during the initial mining period

假定工作面推进方向为 x 轴正方向，y 轴为倾斜方向，z 轴为垂向，原点位于椭球中心[17-21]。则回风巷一侧端部裂隙拱方程为

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1 \tag{1}$$

式中：a 为工作面推进长度的 1/2，m；b 为倾斜方向半长轴长度，m，计算模型如图 13 所示；c 为覆岩裂隙发育高度，m。

由初采矿压分析可知，覆岩裂隙发育高度 c 与工作面推进长度 $2a$ 之比为 0.532 48，即

$$c=1.064\ 96a \tag{2}$$

由梯形台裂隙圈(图 7)可计算得 b 为

$$b=30+c\cot 70.5° \tag{3}$$

联合式(1)(2)(3)，可得

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{(30+1.06a\cot 70.5°)^2}+\frac{z^2}{1.13a^2}=1 \tag{4}$$

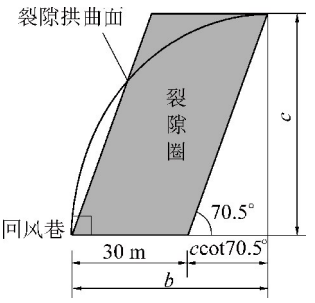


图 13　椭球方程半长轴 b 计算模型示意

Fig. 13　The calculation model of semilong axis b for ellipsoid equation

2.2.4　高抽巷合理终巷位置

高抽巷终巷的最佳位置应使得固定层位的高抽巷最早进入裂隙拱之内[22-25]。对于上述假定的坐标系，当高抽巷与回风巷内错平距为 19 m、垂距 22 m 时，高抽巷的方程为

$$\begin{cases} y=-(30+1.06a\cot 70.5°)+19 \\ z=22 \end{cases} \tag{5}$$

若使高抽巷终巷的处于最佳位置，应满足固定层位的高抽巷最早进入裂隙拱内，则高抽巷直线方程与椭球方程相切。可得相切时 a 应取 46.7(内错平距 19 m、垂距 22 m)。

此时，可求得切点坐标为 P(25.90，-31.39，22)。此切点坐标即终巷位置。终巷距开切眼平距 d_z 等于 P 点 x 坐标值与 a 之和，即：

$$d_z=x+a \tag{6}$$

代入数据得 $d_z=72.6$ m。为使得覆岩裂隙进一步发育时再抽采，抽采效果更佳，可使此平距增大，工程应用终巷距开切眼平距 D_z 为

$$D_z=kd_z \tag{7}$$

根据己二采区地质条件及现场经验，系数 k 可取 1.1。最终解得工程应用的终巷距开切眼平距为 79.86 m，取 80 m 为宜。

3　结　　论

1)分析了高抽巷布置应考虑的关键因素，主要包括覆岩裂隙带发育高度、采动覆岩裂隙演化规律、采空区瓦斯浓度分布特征、高抽巷与回风巷的空间位置关系、顶板岩层岩性。高抽巷合理终巷位置需要着重考虑沿工作面推进方向的采动覆岩裂隙演化规律。

2)通过数值模拟、理论分析计算，结合现场实际，确定了高抽巷与回风巷内错平距 16～20 m(中对中)，与回风巷垂距保持 20～25 m；终巷最佳位置

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

为距离开切眼水平距离为 80 m。高抽巷合理位置的确定,对相似条件的矿井具有重要的借鉴意义。

参考文献(References):

[1] 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.
LAN Hang,CHEN Dongke,MAO Debing.Analysis on the status of deep mining and disaster prevention in China's coal mines[J].Coal Science and Technology,2016,44(1):39-46.

[2] 李树刚,林海飞,赵鹏翔.采动裂隙椭抛带动态演化及煤与甲烷共采[J].煤炭学报,2014,39(8):1455-1462.
LI Shugang,LIN Haifei,ZHAO Pengxiang.Dynamic evolution of ellipsoidal belt of mining-induced fracture and co-mining of coal and methane[J].Journal of China Coal Society,2014,39(8):1455-1462.

[3] 卫修君,王　满.平顶山矿区单一突出煤层瓦斯抽采新技术[J].煤炭科学技术,2012,40(12):42-47.
WEI Xiujun,WANG Man.New technology of single outburst coal seam gas extraction in pingdingshan mining area[J].Coal Science and Technology,2012,40(12):42-47.

[4] 李生舟.采动覆岩裂隙场演化及瓦斯运移规律研究[D].重庆:重庆大学,2012.

[5] 华明国.采动裂隙场演化与瓦斯运移规律研究及其工程应用[D].北京:中国矿业大学(北京),2013.

[6] 王　彪.采动裂隙场中瓦斯运移规律实验研究及数值模拟[D].重庆:重庆大学,2014.

[7] 李树刚,丁　洋,安朝峰.近距离煤层重复采动覆岩裂隙形态及其演化规律实验研究[J].采矿与安全工程学报,2016,33(5):904-910.
LI Shugang,DING Yang,AN Chaofeng.Experimental study on fracture morphology and evolution law of overburden rock in repeated mining near coal seam[J].Journal of Mining and Safety Engineering,2016,33(5):904-910.

[8] 程　刚,施　斌,张平松.采动覆岩变形分布式光纤物理模型试验研究[J].工程地质学报,2017,25(4):926-934.
CHENG Gang,SHI Bin,ZHANG Pingsong.Experimental study on distributed optical fiber physical model of mining overburden deformation[J].Journal of Engineering Geology,2017,25(4):926-934.

[9] 褚丕晶.大黄山矿大倾角特厚煤层综放面采空区瓦斯赋存运移规律及其数值模拟研究[D].太原:太原理工大学,2016.

[10] 李树刚,王琳华,林海飞.采场覆岩"三带"演化特性的相似模拟实验及分析[J].矿业安全与环保,2013,40(3):17-20.
LI Shugang,WANG Linhua,LIN Haifei.Similar simulation experiment and analysis on the evolution characteristics of overburden "three zones"[J].Mining Safety and Environmental Protection,2013,40(3):17-20.

[11] 杨　科,谢广祥.采动裂隙分布及其演化特征的采厚效应[J].煤炭学报,2008,33(10):1092-1096.
YANG Ke,XIE Guangxiang.Mining thickness effect of mining-induced fracture distribution and its evolution characteristics[J].Journal of China Coal Society,2008,33(10):1092-1096.

[12] 张建国.平煤超千米深井采动应力特征及裂隙演化规律研究[J].中国矿业大学学报,2017,46(5):1041-1049.
ZHANG Jianguo.Study on the dynamic stress characteristics and fracture evolution law of horizontal coal over 1000 km deep well[J].Journal of China University of Mining and Technology,2017,46(5):1041-1049.

[13] 冯锦艳,刘旭杭,于志全.大倾角煤层采动裂隙演化规律[J].煤炭学报,2017,42(8):1971-1978.
FENG Jinyan,LIU Xuhang,YU Zhiquan.Evolution law of mining-induced fracture in large dip coal seam[J].Journal of China Coal Society,2017,42(8):1971-1978.

[14] 张　勇,张春雷,赵　甫.近距离煤层群开采底板不同分区采动裂隙动态演化规律[J].煤炭学报,2015,40(4):786-792.
ZHANG Yong,ZHANG Chunlei,ZHAO Fu.The dynamic evolution of mining-induced fractures in different zones of the mining floor in the near coal seam[J].Journal of China Coal Society,2015,40(4):786-792.

[15] 杨　鹏.采场上覆岩层采动裂隙演化规律相似模拟研究[J].煤炭科学技术,2014,42(8):121-124.
YANG Peng.Study on similarity simulation of mining-induced fracture evolution in overlying strata in stope[J].Coal Science and Technology,2014,42(8):121-124.

[16] 李　飞,张金陵,段李宏.煤层底板采动裂隙演化规律数值模拟研究[J].煤炭科学技术,2014,42(S1):37-39.
LI Fei,ZHANG Jinling,DUAN Lihong.Numerical simulation of mining-induced fracture evolution in coal seam floor[J].Coal Science and Technology,2014,42(S1):37-39.

[17] 谢和平,张泽天,高　峰,等.不同开采方式下煤岩应力场-裂隙场-渗流场行为研究[J].煤炭学报,2016,41(10):2405-2417.
XIE Heping,ZHANG Zetian,GAO Feng,*et al*.Study on stress field,crack field and seepage field behavior of coal and rock under different mining methods[J].Journal of China Coal Society,2016,41(10):2405-2417.

[18] 程志恒,齐庆新,李宏艳,等.近距离煤层群叠加开采采动应力-裂隙动态演化特征实验研究[J].煤炭学报,2016,41(2):367-375.
CHENG Zhiheng,QI Qingxin,LI Hongyan,*et al*.Experimental study on the dynamic evolution characteristics of mining-induced stress-fracture in near-distance superimposed mining of coal seams[J].Journal of China Coal Society,2016,41(2):367-375.

[19] 尹光志,李　星,韩佩博,等.三维采动应力条件下覆岩裂隙演化规律试验研究[J].煤炭学报,2016,41(2):406-413.
YIN Guangzhi,LI Xing,HAN Peibo,*et al*.Experimental study on the evolution of overlying rock fracture under three-dimensional mining stress[J].Journal of China Coal Society,2016,41(2):406-413.

[20] 王　伟,程远平,袁　亮,等.深部近距离上保护层底板裂隙演化及卸压瓦斯抽采时效性[J].煤炭学报,2016,41(1):138-148.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

WANG Wei, CHENG Yuanping, YUAN Liang, *et al*. The evolution of cracks and the timeliness of gas extraction at the bottom of the deep protective layer at close range[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 138-148.

[21] 张东明,齐消寒,宋润权,等.采动裂隙煤岩体应力与瓦斯流动的耦合机理[J].煤炭学报,2015,40(4):774-780.
ZHANG Dongming, QI Xiaohan, SONG Runquan, *et al*. The coupling mechanism of stress and gas flow in coal rock mass in mining-induced fracture[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 774-780.

[22] 李树刚,成小雨,刘 超,等.低透煤层采空区覆岩高位瓦斯富集区微震探测及应用[J].煤炭科学技术,2017,45(6):61-66.
LI Shugang, CHENG Xiaoyu, LIU Chao, *et al*. Microseisms detection and application of high-level gas enrichment region inoverlying strata of goaf under low-permeability coal seam[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6): 61-66.

[23] 张进军,李红选,原德胜,等.彬长矿区三区联动立体抽采瓦斯技术[J].煤炭科学技术,2017,45(8):181-188.
ZHANG Jinjun, LI Hongxuan, YUAN Desheng, *et al*. Three dimensional gas drainage technology of three areas linkage inBinchang Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 181-188.

[24] 匡铁军.深部低渗透率煤层瓦斯抽采气固耦合机理研究[J].煤炭科学技术,2017,45(8):170-176.
KUANG Tiejun. Study on gas-solid coupling mechanism of gas drainage fromdeep and low permeability seam[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 170-176.

[25] 陈星明,刘永茜.承压水锥进理论及在煤层瓦斯压力测定中的应用[J].煤炭科学技术,2017,45(8):189-193.
CHEN Xingming, LIU Yongqian. Confined water coning theory and application to pressure measurement of seam gas[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 189-193.