

煤层顶板水平长钻孔布置高度对抽采效果的影响

葛林¹, 高建良^{1,2}, 李炫焯¹

(1. 河南理工大学 安全科学与工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室 - 省部共建国家重点实验室培育基地, 河南 焦作 454000)

摘要:通过对水平钻孔布置在煤层顶板不同高度时的抽采效果进行研究可为采空区瓦斯抽采时的水平钻孔布置高度选择提供理论依据. 利用 Fluent 软件对钻孔与煤层不同距离时的钻孔抽采纯量与抽采混量、采空区瓦斯分布、上隅角瓦斯浓度变化进行数值模拟, 并且研究了钻孔抽采纯量与抽采混量、采空区瓦斯分布、上隅角瓦斯浓度变化与钻孔布置高度的关系. 研究表明: 随着钻孔与煤层之间的距离增大, 钻孔的抽采瓦斯纯量基本逐渐增加, 抽采混量呈现减小趋势, 抽采瓦斯浓度逐渐增大; 采空区内部瓦斯浓度靠近进风巷侧和采空区深部逐渐降低, 靠近回风巷侧呈现先减小再增加再减小规律, 垂直方向上在顶、底板附近瓦斯浓度逐渐降低; 上隅角瓦斯浓度先减小再增加再减小最后趋于平衡.

关键词:水平长钻孔; 煤层顶板; 抽采效果; 不同高度

中图分类号: TD712.6 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2016)01-0034-07

The impact of horizontal long boreholes' arranged height in coal seam roof over drainage effect

GE Lin¹, GAO Jianliang^{1,2}, LI Xuanyue¹

(1. School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: When horizontal boreholes in coal seam roof are arranged in different height, through studying their drainage effect, a theoretical basis for the selection of horizontal boreholes' arranged height can be provided, which are used for gas drainage in goaf. Drainage scalar quantity and mixing quantity, gas distribution in goaf and gas consistency change in upper corner under the condition of different arranged distance between borehole and coal seam are numerical simulated by Fluent, and the relation between these and boreholes' arranged height are studied. The research results show that with the distance between borehole and coal seam enlarges, the drainage scalar quantity basically gradually increases. Drainage mixing quantity shows a decreasing trend, and drainage gas consistency gradually increases. Close to the side of intake airway and in deep goaf, gas concentration internal goaf gradually decreases, while it is close to the side of air-return way, it shows a trend of first decreasing and then increasing and then decreasing, in vertical direction near the roof and floor, gas concentration gradually decreases. Gas concentration in upper corner first decreases, then increases and then decreases, and finally gets balanced.

Key words: horizontal long borehole; coal seam roof; drainage effect; different height

收稿日期: 2015-09-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174079); 国家重点基础研究发展计划“973”资助项目(2012CB723103); 教育部长江学者和创新团队发展计划创新团队资助项目(IRT1235)

通信作者: 高建良(1963-), 男, 河北望都人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 安全技术及工程、矿井通风、热环境控制理论与技术. E-mail: gao@hpu.edu.cn

众所周知,制约煤矿安全生产的七大灾害中瓦斯是导致事故发生频率最高发生灾害时产生的后果最严重的一项灾害.在煤矿回采过程中,由于落煤、邻近层瓦斯涌向本煤层采空区等使得采空区内瓦斯涌出量占据很大比重,因此对采空区瓦斯治理研究具有重要意义.

李宗翔等针对水平钻孔抽放的优点提出了采空区水平钻孔瓦斯抽放模拟计算方案,计算了瓦斯抽放时流场风流规律^[1].唐爱东等通过对采空区顶板冒落状态分析及钻孔参数研究,介绍了高位钻场近水平钻孔在鸡西矿区的运用实践工作^[2].马世志等在综合分析平顶山十二矿瓦斯地质条件及瓦斯防治基础上,对顶板高位水平钻孔瓦斯抽放开展了研究,取得了良好的经济效益^[3].孙凯民等针对高位走向倾斜钻孔瓦斯抽放效果不稳定等问题通过寻找采场上覆岩层中裂隙位置和顶板瓦斯富集区从而确定了高位近水平钻孔的钻场高度、钻场间距、钻孔最佳布孔层位及与回风巷之间的平距^[4].李星星将整个采空区视为瓦斯涌出源,利用 Fluent 软件模拟了钻孔与煤层底板不同间距时各个钻孔的抽采效果,得出随着钻孔与采空区底板距离增加钻孔的抽采混量逐渐减小的规律^[5].C. Özgen Karacan 等利用 GEM 软件建立三维的动态的采空区瓦斯抽采仿真模型,模拟得到了上邻近层瓦斯流到本煤层工作面时的瓦斯流动规律,并且确定了最佳抽采钻孔的参数^[6].许家林等应用上覆岩层采动裂隙及其“O”形圈特征,提出了大面积抽放采空区泄压瓦斯的合理钻孔布置方案^[7].梁运培等综合运用矿山压力和岩层移动理论,有限元数值分析方法以及瓦斯越流理论,对顶板岩层瓦斯抽放水平长钻孔合理布孔层位进行了系统优化确定^[8].张飞等基于上覆岩层三带分布理论和“O”形圈理论,确定了高位钻孔的分布范围,最终确定了厚煤层高位钻孔的布置参数,有效地降低了上隅角瓦斯浓度^[9].高保彬等为确定采空区三带高度,利用 UDEC4.0 对工作面上覆岩层进行数值模拟,从而确定了三带高度,并结合现场试验对高位钻孔的布置参数进行了优化,取得了较好的抽采效果^[10].根据上述,可以知道无论是水平钻孔还是高位钻孔,其布置参数选择对抽采效果的影响至关重要,因此前人对此进行了大量研究,但仅是将钻孔布置在裂隙带内固定位置考察抽采效果或钻孔长度较短,忽略了当采空区瓦斯主要来源为上邻近层时水平长钻孔布置在裂隙带不同位置时的抽采效果是怎样变化的,通过对水平长钻孔布置在煤层顶板不同高度时的抽采效果进行研究可为采空区瓦斯主要来源为上邻近层时的水平长钻孔的布置高度选择提供依据.本文通过建立钻孔与煤层底板间距分别为 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 m 时的工作面采空区物理模型,利用 Fluent 进行模拟,分析钻孔抽采纯量与抽采混量、采空区瓦斯分布和上隅角瓦斯浓度随钻孔布置高度变化的变化规律.

1 研究背景与物理模型建立

1.1 研究背景

现在煤矿开采多为井下开采,采用全部垮落法管理煤层顶板时,随着工作面向前推进,在含有上邻近层的采煤工作面,煤层由于受到采动影响而卸压,大量的卸压瓦斯通过采动而产生的裂隙汇聚到本煤层采煤工作面而使得瓦斯超限.为了防止由于上邻近层瓦斯涌出而使得瓦斯超限,现有的抽采措施中由于水平长钻孔具有能够有效利用采动卸压及冒落开放媒体使瓦斯大量充分释放的优点达到对采空区瓦斯更有效的抽采,且抽放持续稳定,布置层位也具有更好的灵活性^[1],因此本文用水平长钻孔的瓦斯治理方法进行瓦斯治理,但是水平长钻孔的布置高度与抽采效果是否有关系,如果有关系那两者的变化是一种什么样的规律需要研究,以用来指导实际的钻孔布置达到最好的抽采效果.因此本文对二者的关系进行模拟分析.

1.2 采空区物理模型

利用 Fluent 前处理器 Gambit 建立采空区物理模型,模型尺寸如下所述:采空区长 300 m(冒落带 1,冒落带 2,冒落带 3 走向长度分别为 20, 80, 200 m),宽 220 m,高 60 m(冒落带为 18 m,裂隙带 1 为 20 m,裂隙带 2 为 22 m);进、回风巷长 35 m,宽 5 m,高 4.7 m;工作面长 220 m,宽 5 m,高 4.7 m.在裂隙带内布置 5 个钻孔,靠近回风巷的为 1[#]钻孔,其他依次水平排列,钻孔直径 150 mm,长 306 m,距离回风巷上帮 15 m,钻孔间距 15 m.分别建立钻孔与煤层底板间距为 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 m 时的采空区物理模型,由于模型较多因此本文只显示钻孔与煤层底板间距为 30 m 时的物理模型,如图 1 所示,其它模型均与本图相似,只是改变钻孔与煤层底板之间的距离.

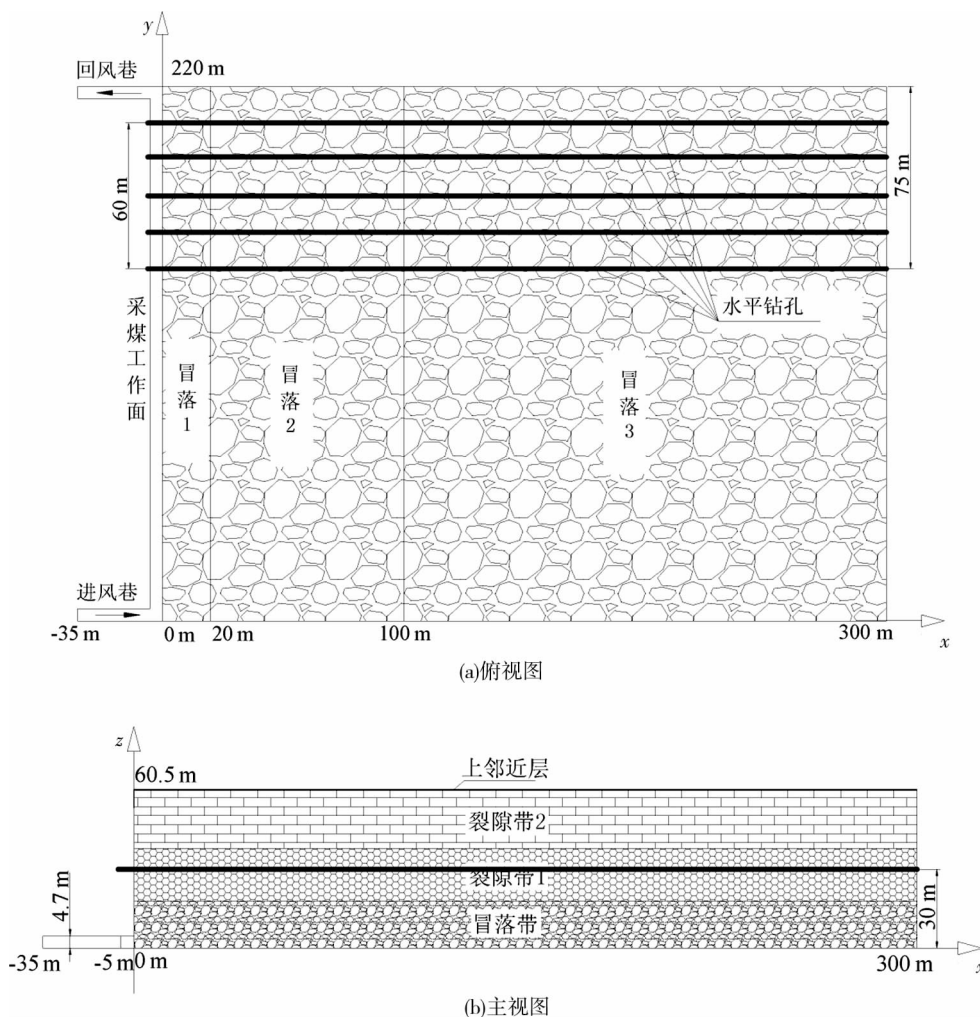


图1 工作面采空区物理模型

1.3 边界条件

- 1) 进风巷设置为速度入口, 风速为 2.34 m/s , 风量为 $3\,229.4 \text{ m}^3/\text{min}$, 瓦斯浓度为 0 , 氧浓度为 21% ;
- 2) 钻孔出口设置为压力出口, 钻孔出口压力为 -20 kPa ;
- 3) 采空区内部孔隙率分布为分段均匀分布, 各段孔隙率如下:
冒落带 1, 冒落带 2, 冒落带 3 孔隙率分别为 $0.3, 0.2, 0.1$, 裂隙带 1 和裂隙带 2 孔隙率分别为 0.1 和 0.05 ;
- 4) 采空区瓦斯为上邻近层涌出, 涌出量为 $13.43 \text{ m}^3/\text{min}$;
- 5) 工作面瓦斯涌出量为 $19.82 \text{ m}^3/\text{min}$.

2 数值模拟结果分析

2.1 钻孔抽采纯量与抽采混量

通过数值模拟得到工作面水平长钻孔抽采采空区瓦斯时的抽采纯量、抽采混量、抽采瓦斯浓度随钻孔与煤层间距的变化规律如图 2 ~ 图 4 所示。

分析图 2 可知, 随着钻孔与煤层底板之间的距离增大, 各个钻孔的抽采纯量基本是随之增加. 这是由于本次模拟为邻近层瓦斯涌出, 随着钻孔与煤层底板的距离增大, 钻孔与瓦斯涌出源的位置逐渐减小即越靠近瓦斯涌出源, 这样邻近层受钻孔抽采负压的影响越大就越有利于钻孔瓦斯抽采, 所以各个钻孔的抽采纯量基本呈逐渐增大趋势。

分析图 3 可知, 随着钻孔与煤层底板之间距离增大, 各个钻孔的抽采混量基本呈现减小趋势. 这是

由于钻孔的抽采混量包含一部分空气和一部分甲烷,这部分空气是由于工作面的漏风而产生的,当钻孔距离煤层底板越远时,工作面的漏风流到钻孔之间的阻力增大,致使一部分风流因能量不够而不能流向钻孔,从而抽采混量呈现降低趋势.分析图3还可以知道,在间距为40 m相对于间距为30 m时的抽采混量变化很大.这是由于本次模拟时采空区内部孔隙率分布设置为分块均匀分布,在 $z=38$ 处是裂隙带1与裂隙带2的分界面,钻孔与煤层底板间距从35 m变化到40 m时孔隙率突然变小,气体流动阻力突然增大所致.

分析图4可知,随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,各个钻孔的瓦斯浓度逐渐增大.这是由于随着钻孔与煤层底板的距离增大,钻孔距离瓦斯涌出源越近,钻孔逐渐移动到高瓦斯聚集区域,在高浓度瓦斯聚集区域,钻孔抽采瓦斯纯量逐渐增加,另外根据图3分析得出的混量减小的结论,所以最终钻孔抽采的瓦斯浓度逐渐升高.

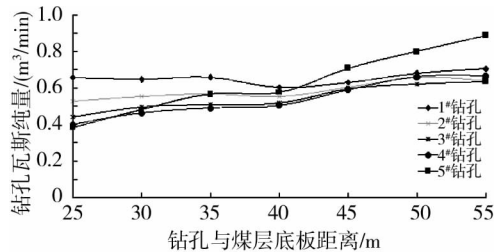


图2 钻孔与煤层不同间距时的钻孔抽采纯量

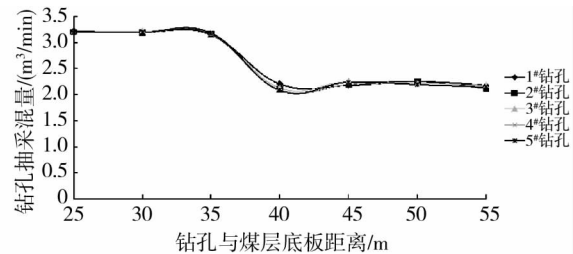


图3 钻孔与煤层不同间距时的钻孔抽采混量

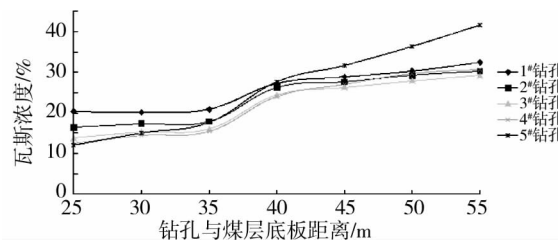


图4 钻孔与煤层不同间距时的钻孔抽采瓦斯浓度

2.2 采空区横向瓦斯分布

钻孔与煤层不同间距时采空区横向瓦斯分布规律如图5所示.

分析图5可知,随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,在进风巷侧瓦斯浓度等值线逐渐向采空区深部移动即这一区域瓦斯浓度逐渐减小,以1%瓦斯浓度等值线为例,靠近进风巷侧1%瓦斯浓度等值线从间距为25 m时的125.61 m变为间距为55 m时的132.21 m,逐渐向采空区深部移动,这是由于,一方面随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,钻孔逐渐布置于高浓度瓦斯聚集区,钻孔抽出高浓度瓦斯,邻近层瓦斯向采空区涌进的瓦斯因钻孔截流而向采空区底板运移量减小,另一方面漏风流稀释了这一区域的高浓度瓦斯,所以采空区底板附近进风巷侧瓦斯浓度逐渐降低.

在采空区深部,随着钻孔与煤层底板之间距离增加,瓦斯浓度等值线逐渐向采空区边界移动即瓦斯浓度逐渐降低,以40%瓦斯浓度等值线为例,间距为25 m时该等值线与采空区横向深部边界交于181.02 m,当间距为55 m时交于202.5 m,瓦斯浓度降低,这是由于随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,钻孔逐渐布置于高浓度瓦斯聚集区,在钻孔抽采负压作用下,高浓度瓦斯被钻孔抽出,邻近层瓦斯向采空区涌进的瓦斯因钻孔截流而向采空区底板运移量减小.

在回风巷侧,0~100 m范围内,瓦斯浓度呈现先减小再增加再减小规律,以1%瓦斯浓度等值线为例,靠近回风巷侧,1%瓦斯浓度等值线与 $x=20$ m这条线的交点从层位为25 m时的214.62 m移动到35 m时的217.92 m,向采空区边界移动了3.3 m,这一区域瓦斯浓度降低,这是由于一方面随着钻孔与煤层底板间距增加,钻孔截流的瓦斯量增加,则流向底板处的瓦斯量减小,进而随漏风流流到工作面上隅角处的瓦斯量减小,另一方面是在漏风流作用下工作面一部分瓦斯被带入采空区,这部分瓦斯又分成2部分,一部分在钻孔抽采负压的影响下被钻孔抽走,另一部分在上隅角处流出采空区;交点从层位为35 m时的

217.92 m 移动到层位为 40 m 时的 216.82 m, 移动了 1.1 m, 这一区域瓦斯浓度升高, 这是由于在 $z = 38$ m 处孔隙率突然变小, 气体流动阻力增大, 钻孔提供的负压不足以使得采空区底板处因漏风而带进来的瓦斯克服阻力而运移到钻孔, 这部分瓦斯随漏风流运移到回风巷侧, 所以这一区域瓦斯浓度升高(由于钻孔层位升高而使得钻孔截流的增加量小于工作面漏进采空区的瓦斯被钻孔抽采的减小量); 当钻孔层位从 40 m 变为 55 m 时, 1% 瓦斯浓度等值线不仅移动至采空区边界, 而且明显可以观察到向采空区深部移动, 这一区域瓦斯浓度降低, 这是由于钻孔逐渐移动到高浓度瓦斯区, 高浓度瓦斯被钻孔截流, 从而使得高浓度瓦斯运移到采空区底部的量减小(由于钻孔层位升高而使得钻孔截流的增加量大于工作面漏进采空区的瓦斯被钻孔抽采的减小量), 最终汇聚到这一区域的瓦斯量减小瓦斯浓度降低.

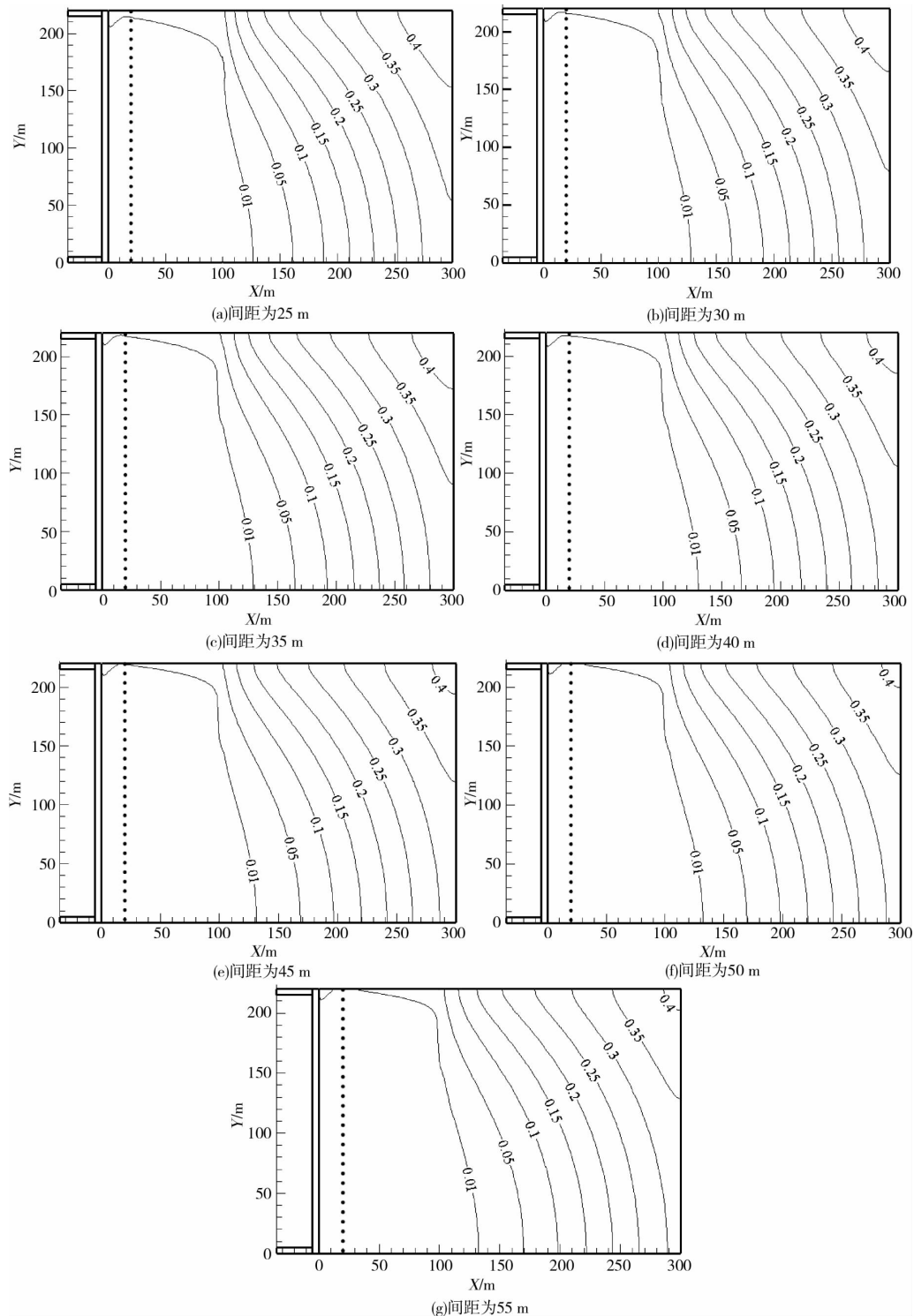


图5 钻孔与煤层不同间距时的采空区瓦斯浓度分布($z = 4$ m)

2.3 采空区纵向瓦斯分布

利用数值模拟手段得到采空区纵向瓦斯分布随钻孔与煤层间距的变化规律如图6所示。

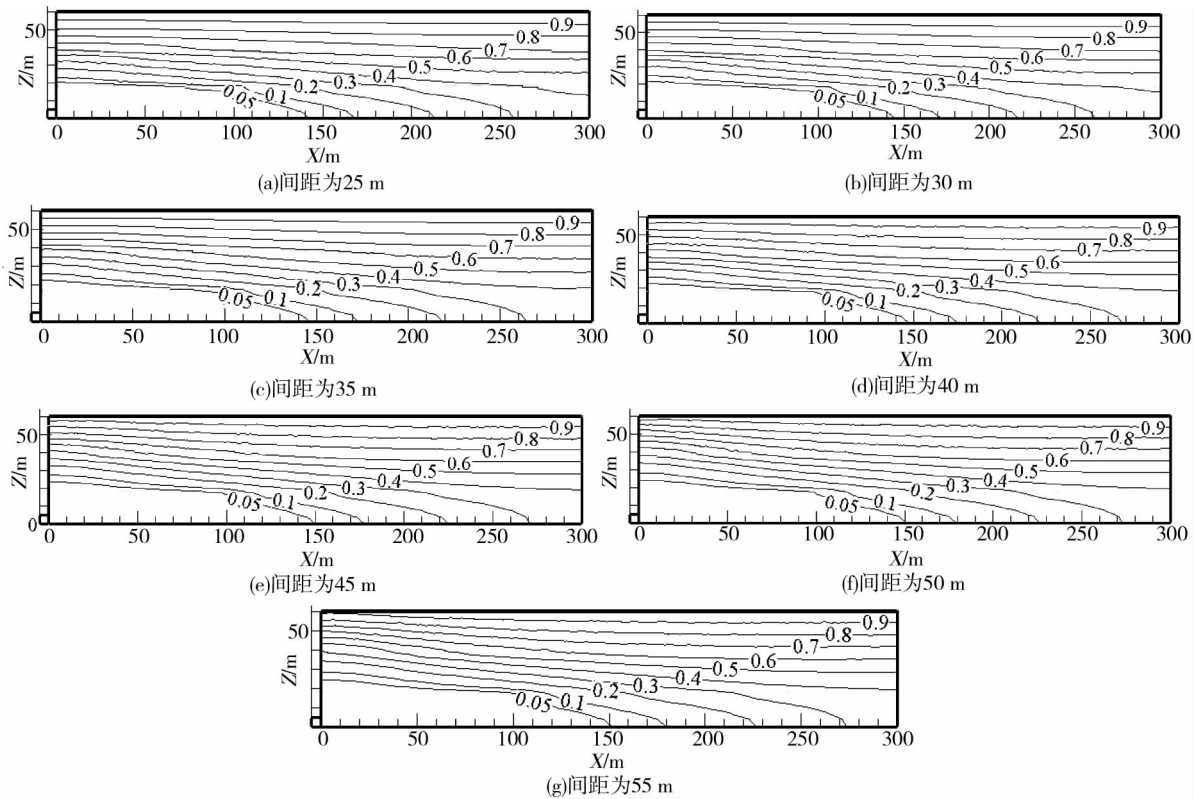


图6 钻孔与煤层不同间距时的采空区瓦斯浓度分布($y = 110 \text{ m}$)

分析图6可知,在采空区底板附近瓦斯浓度较采空区顶板低,且在采空区深部瓦斯浓度逐渐升高,这是由于工作面向采空区漏风稀释了底板附近的瓦斯,而随着向采空区顶板移动孔隙率变小,气体流动阻力增大,使得漏风流因阻力而减小向采空区顶板的移动,所以采空区顶部瓦斯浓度高于采空区底部瓦斯浓度。

随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,采空区底板附近瓦斯浓度逐渐降低,以5%瓦斯浓度等值线为例,这条瓦斯浓度等值线与采空区底板的交点从间距为25 m时的141.23 m变为间距55 m时的151.24 m;采空区顶板附近瓦斯浓度也逐渐降低,以5%瓦斯浓度等值线为例,这条等值线与采空区边界的交点在竖直方向上从间距25 m变为55 m时向上移动了3.51 m。这是由于钻孔距离地板越高,钻孔距离瓦斯涌出源也就越近则逐渐处于高瓦斯浓度聚集区域,在钻孔抽采负压的影响下,邻近层涌向采空区的瓦斯被钻孔截流的瓦斯浓度越高,截流的瓦斯量也就越大从而使得采空区底板与采空区顶板附近瓦斯浓度逐渐降低。

2.4 上隅角瓦斯浓度变化

钻孔与煤层间距不同,工作面上隅角瓦斯治理效果不同,具体变化规律如图7所示。

分析图7可知,当钻孔与煤层底板间距从25 m增高到35 m时,上隅角瓦斯浓度从0.799%降低到0.754%。这是由于一方面随着钻孔与煤层底板间距增加,钻孔截流的瓦斯量增加,则流向底板处的瓦斯量减小,进而随漏风流流到工作面上隅角处的瓦斯量减小;另一方面是在漏风流作用下工作面一部分瓦斯被带入采空区,这部分瓦斯又分成2部分,一部分在钻孔抽采负压的影响下被钻孔抽走,另一部分在上隅角处流出采空区;当钻孔与煤层间距从35 m增加到40 m时,上隅角瓦斯浓度从0.754%升高到0.774%,这是由于在 $z = 38 \text{ m}$ 处孔隙率突然变小,气体流动阻力增大,采空区底板处因漏风而带进来的瓦斯受钻孔抽采负压影响减小,随采空区内气体流动最终汇聚到上隅角处(由于钻孔层位升高而使得钻孔截流的增加量小于工作面漏进采空区的瓦斯被钻孔抽采的减小量);当钻孔与煤层底板间距从40 m增高到55 m时,

上隅角瓦斯浓度从0.774%降低到0.747%,这是由于钻孔逐渐移动到高浓度瓦斯区,高浓度瓦斯被钻孔截流从而使得高浓度瓦斯运移到采空区底部的量减小(由于钻孔层位升高而使得钻孔截流的增加量大于工作面漏进采空区的瓦斯被钻孔抽采的减小量),最终随漏风流汇聚到上隅角处的瓦斯量减小。

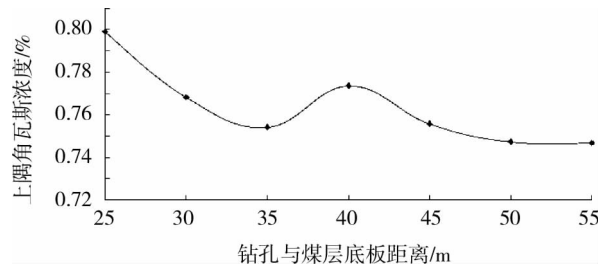


图7 钻孔与煤层不同间距时的上隅角瓦斯浓度变化

3 结论

1) 随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,各个钻孔的抽采瓦斯纯量基本逐渐增加,各个钻孔的抽采混量呈现减小趋势,各个钻孔的瓦斯浓度逐渐增大。

2) 随着钻孔与煤层底板之间的距离增大,采空区进风巷侧和采空区深部瓦斯浓度降低,采空区回风巷侧瓦斯浓度呈现先减小再增加再减小趋势,采空区顶底板处瓦斯浓度降低。

3) 随着钻孔与煤层底板之间间距增加,上隅角瓦斯浓度呈现先减小在增加再减小最后趋于平衡的趋势。

参考文献:

- [1] 李宗翔,刘耀宇,孙洪峰,等.采空区水平钻孔瓦斯抽放工艺与原理[J].中国地质灾害与防治报,2008,19(1):95-99.
- [2] 唐爱东,王广智.高位钻场近水平钻孔在低透气煤层瓦斯治理中的应用[J].煤矿安全,2008(5):18-22.
- [3] 马世志,范满长,殷秋朝.顶板高位水平钻孔瓦斯抽放技术应用研究[J].煤炭科学技术,2002,30(9):40-42.
- [4] 孙凯民,许德岭,杨昌能,等.利用采场覆岩裂隙研究优化采空区瓦斯抽放参数[J].采矿与安全工程学报,2008,25(3):366-370.
- [5] 李星星.赵庄矿3304工作面采空区瓦斯分布及运移规律研究[D].焦作:河南理工大学,2013.
- [6] Karacan C Ö, Esterhuizen G S, Schatzel S J, et al. Reservoir simulation - based modeling for characterizing long wall methane emission and gob gas venthole production[J]. International Journal of Coal Geology, 2007,71(2):225-245.
- [7] 许家林,孟广石.应用上覆岩层采动裂隙“O”形圈特征抽放采空区瓦斯[J].煤矿安全,1995(7):2-4.
- [8] 梁运培,于不凡.顶板岩层水平长钻孔合理布孔层位的研究[J].矿业安全与环保,2000,27:3-5.
- [9] 张飞,杨威,孔利芳.厚煤层高位钻孔位置确定及效果检验[J].矿业工程研究,2013,28(1):48-52.
- [10] 高保彬,高佳佳,袁东升.基于 UDEC 的大采高覆岩破裂的模拟与分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(2):1-6.