

大倾角突出煤层群岩层高位 中小钻孔瓦斯抽采技术

谢东海^{1,2*}, 张轩¹, 尹红球³, 苏波¹, 孟远¹

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;
3. 湖南煤业集团嘉禾矿业有限公司, 湖南 嘉禾 424506)

摘要: 大倾角突出煤层群保护层工作面开采过程中出现的保护层工作面上隅角瓦斯超限问题和被保护层瓦斯抽采难题亟待解决。以矿压理论为基础, 研究了保护层工作面顶板“三带”的合理高度, 提出了大倾角突出煤层群保护层工作面顶板岩层裂隙带高位中小钻孔瓦斯抽采技术, 通过湖南煤业集团蛇形山煤矿 2344 工作面研究结果表明, 该技术提高了瓦斯抽采量和瓦斯抽采浓度, 解决了保护层工作面上隅角瓦斯超限问题, 同时又拦截了被保护层涌出的瓦斯, 为类似煤层瓦斯抽采提供了理论和实践依据。

关键词: 大倾角; 突出煤层; 保护层; 高位钻孔; 瓦斯抽采

中图分类号: TD712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2020)01-0047-07

On Gas Drainage Technology of High and Medium-sized Boreholes in Large Inclined Angle Outburst Coal Seam Group

Xie Donghai^{1,2}, Zhang Xuan¹, Yin Hongqiu³, Su Bo¹, Meng Yuan¹

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
2. Hunan Provincial Key Laboratory of Coal Mine Safety Mining Technology, Xiangtan 411201, China;
3. Hunan Coal industry Group Jiahe Mining Co., Ltd., Jiahe 424506, China)

Abstract: It is urgent to solve the problem of gas overlimit in the corner of the protective working surface and the difficult problem of gas extraction in the protected layer. On the basis of mine pressure theory, this paper studies the reasonable protective layer working face roof height of the “three zones”, puts forward the coal seams group of protection layer of large dip angle working face roof strata small borehole fissure zone high gas extraction technology. Taking the Hunan Coal Group Shexingshan coal mine 2344 working face as an example, the research results show that this technology can improve the gas drainage and concentration of the gas extraction, and solve the problem of the protective work top corner gas overrun, stopped by protection layer of the gas again at the same time, and provides the basis in theory and practice for the similar coal seam gas extraction.

Keywords: large dip angle; protruding coal seam; protective layer; high hole drilling; gas drainage

近年来,随着矿井的开采深度增加,瓦斯治理的难度不断加大,大倾角突出煤层群的安全高效开采是目前国内外研究较少的难题,纵观国内外瓦斯研究的历史,无论是理论研究还是现场实践研究均取得了可观的成果。闫浩^[1]等利用 UDEC 软件,以平煤十二矿为研究对象,研究了上保护层高瓦斯低透气性煤层的

收稿日期:2019-09-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51604111;51774133);湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ2082);湖南省教育厅科研资助项目(16C0654)

* 通信作者, E-mail: dhxie@hnust.edu.cn

开采问题,提出了采选抽充防的开采技术,并将模拟与现场对比,研究表明,该技术提高了瓦斯抽采率,降低了瓦斯压力.李晓疆^[2]等以新疆某矿为研究对象,采用 FLUENT 软件模拟优化了工作面回风巷高位钻孔瓦斯抽采参数,现场实验表明钻孔优化可有效降低工作面上隅角瓦斯浓度.舒才^[3]等以兴隆煤矿为研究对象,建立数学模型,提出了参数确定方法,并将模型结果与现场研究进行对比,由此得到了钻孔有效抽采瓦斯半径与瓦斯抽采量的规律.段守德^[4]等建立 FLAC^{3D}数值模型,以平煤八矿为研究对象,并将现场结果与模拟结果对比,当出煤量在 0.37~1.00 t/m 时,煤孔的孔间距为 5 m 左右,此时煤体的卸压效果可达到良好.张小涛^[5]以东林煤矿为研究对象,研究了施工期间粉尘污染问题,采用钻孔抽采瓦斯后又利用该孔进行煤层注水减尘,大大提高了降尘效率,减少施工量.朱丽媛^[6]等以阜新某矿为研究对象,研究了瓦斯突出、冲击地压的转化复合机理,结果是随着瓦斯压力的增大,工作面煤岩体的应力反而减小.张友谊^[7]等以平煤八矿为研究对象,建立灰色关联模型,研究煤与瓦斯突出预测准确率问题,将模拟结果与现场实际相比较,结果表明该模型的正确性与适用性.马孝富^[8]等以蛇形山煤矿 2341 工作面为研究背景,研究了大倾角煤层群下保护层工作面风巷本煤层高位钻孔采空区瓦斯抽采,基本解决瓦斯超限问题.文献^[9]针对急倾斜本煤层下保护范围工作面具有“三高二低”(倾角较高、瓦斯压力高、瓦斯含量高,井型偏低、瓦斯抽采效率低)的生产地质特征,研究了急倾斜煤层工作面下保护范围的有效距离,说明在该类煤层中上部工作面开采后可以给下部工作面开采带来 6~10 m 的卸压区域条带.防治煤与瓦斯突出细则^[10]中规定了在实行保护层区域开采技术措施时,除了解决保护层工作面的瓦斯问题外,还应对被保护层的瓦斯进行抽采;目前在解决突出煤层的回采工作面开采过程中的瓦斯抽采方法,一般采用本煤层中实施顺层扇形、平行等钻孔抽采、交叉钻孔抽采等,这些方法不同程度出现钻孔工程量大,抽采过程中易出现单孔负压值低,瓦斯抽采效率低,工作面上隅角瓦斯超限等问题;在解决被保护层瓦斯问题上,实践过程中也出现被保护层的瓦斯通过裂隙在保护层工作面涌出,至上隅角出现瓦斯超限问题,规程规定应该对被保护层进行瓦斯抽采,也存在瓦斯钻孔工程量大,在保护层工作面回风巷施工钻孔影响保护层工作面的正常生产,且在保护层工作面开采后,就不能对被保护层瓦斯进行抽采等,形成了保护层工作面开采后的重大安全隐患,如此多的问题以及大倾角突出煤层群保护层工作面瓦斯治理问题,是现场亟待解决的工程技术问题.

1 理论研究

“大倾角煤层”这一概念在我国的使用^[11],主要是受国际上主要产煤国的影响而引入我国的;国际主要产煤国将煤层按倾角分成 4 类:0°~18°为缓斜煤层,19°~34°为倾斜煤层,35°~55°为大斜或陡斜煤层,56°~90°急斜煤层,这些主要是考虑煤层应用机械化开采时对于不同倾角类别煤层采取相应技术措施;而我国目前还是分 3 类煤层:0°~25°为缓倾斜煤层,25°~45°为倾斜煤层,45°~90°为急倾斜煤层,这是我国建国以来应用机械化技术上所做的规定,当时仅限于 45°以下煤层中使用机械化技术;随着我国机械化技术的不断开发和应用,我国已经在 45°以上煤层应用了机械化技术进行多年开采,对煤层开采倾角的分类在我国煤炭开采工程与学术界尚无统一定义,大多数学者与工程技术人员倾向于将 35°~55°煤层称为大倾角煤层,且在许多国内外研究成果上有所反映.

大倾角突出煤层群的开采,按照《防治煤与瓦斯突出细则》是以进行区域防护措施为主,局部措施作为补充.在此主要以区域措施-保护层开采技术为主,对于瓦斯治理就是在进入区域之前必须做出相应的瓦斯抽采巷道,对煤层群进行瓦斯抽采达标后再进入煤层.本文仅对保护层工作面开采过程中瓦斯如何治理进行研究,考虑到保护层工作面开采前的穿层钻孔抽采存在盲区,保护层开采工作面开采过程中,为确保保护层工作面安全高效开采,尚需对部分盲区采取本煤层抽采瓦斯,其主要方法有:顺层钻孔,扇形钻孔,交叉钻孔.由于保护层开采,特别是首个保护层开采时,受被保护层煤层瓦斯的影响,使保护层工作面按照这些方法施工难于达到要求,一是经常出现保护层工作面上隅角瓦斯超限问题,二是由于被保护层煤层在保护层开采后由于保护层工作面顶板裂隙发育到被保护层煤层,被保护层瓦斯沿裂隙进入保护层工作面,导致保护层工作面瓦斯出现超限问题等.为了寻求大倾角高瓦斯或突出煤层的瓦斯抽采技术,首先

考察目前对于倾斜煤层工作面的瓦斯治理进行研究,倾斜煤层开采过程中的瓦斯治理在工程中一般采用两种途径:第一种是利用保护层工作面顶板岩层裂隙带进行瓦斯抽采,如高位瓦斯巷抽采;第二种是在顶板裂隙岩层中实行真正意义的高位钻孔抽采,较好地解决了瓦斯问题,但对大倾角煤层群的瓦斯如何治理有待进一步的研究,首先要研究大倾角岩层冒落及移动规律和大倾角煤层瓦斯运移的基本规律,其次要研究大倾角煤层工作面顶板冒落带和裂隙带发育高度。

1.1 大倾角岩层冒落及移动规律和瓦斯运移的基本规律研究

已有大倾角突出煤层的开采研究^[12-15]表明,大倾角突出煤层工作面除按照防治煤与瓦斯突出细则进行开采以外,还有其特殊性,首先是大倾角煤层的矿山压力普遍比缓倾斜和倾斜煤层工作面的要小,且出现工作面上、中、下部的矿山压力不一致,同时,出现工作面上部的矿压显现较下部的矿压显现大;其次是在大倾角煤层开采过程中出现跨落顶板向下滑移的特征,对工作面采空区下部构成充填;第三是在大倾角煤层工作面开采过程中由于瓦斯的扩散运移和重力运移作用,经常出现上隅角瓦斯超限的问题,甚至出现大倾角煤层工作面顶板岩层裂隙带的瓦斯纯度高、瓦斯量大等特点;第四是大倾角煤层一旦出现地质条件的变化(特别是断层和皱曲),给工作面开采过程中带来较大的困难。

1.2 大倾角煤层工作面顶板岩层“三带”研究

由矿压理论可知,当工作面推进后,在工作面煤层顶板岩层中出现“竖三带”(冒落带、裂隙带、弯曲下沉带)的矿压显现,在研究该类煤层瓦斯治理时,主要考虑到煤层顶板裂隙带所储存的大量瓦斯,而现有的工程做法是在工作面回风巷中向采空区实施钻孔,进行瓦斯抽采,但随着工作面的推移还有许多瓦斯不能及时抽走,给工作面生产带来较大的隐患。为此,我们研究了一种大倾角突出煤层工作面顶板岩层高位中小钻孔瓦斯抽采方法,同时抽采保护层本煤层工作面采空区后方30~50 m范围的瓦斯及被保护层裂隙涌出的瓦斯,确保保护层工作面的生产安全。

根据三下压煤开采规程^[16]给出的大倾角煤层(35°~54°)工作面开采后顶板岩层冒落带高度、裂隙带高度等计算公式,分别计算工作面顶板岩层冒落带、裂隙带最大高度。具体如下。

顶板岩层冒落带最大高度计算公式:

$$H_1 = \frac{100M}{4.7M + 19} \quad (1)$$

顶板岩层裂隙带最大高度计算公式:

$$H_2 = \frac{100M}{1.6M + 3.6} \quad (2)$$

式中: H_1, H_2 为冒落带、裂隙带高度,m; M 为煤层采高,m。

由于蛇形山煤矿IV煤的煤厚平均为1.95 m,将此数据分别代入式(1)和式(2)中,计算得到冒落带的最大高度为6.92 m,是工作面煤层实际采高的3.55倍;裂隙带的最大高度为8.82 m,是工作面煤层实际采高的4.52倍。除了进行计算外,在现场应进行各带的注水试验,根据注水体积分数的变化,最后确定两带的实际高度。

2 工程概况

2.1 矿井基本情况

湘煤集团蛇形山煤矿,年产30万t/a,为湖南省优质无烟煤生产基地之一。矿井共含煤7层,主采IV煤,煤厚0~8.7 m,平均1.95 m,煤层变异系数52%,煤层倾角25°~53°,平均为46°。矿井一直坚持开采保护层方法进行区域瓦斯治理,在矿井一水平采用开采III煤来保护IV煤的上保护层开采的方式,由于III煤的瓦斯参数高于IV煤的瓦斯参数,当矿井进入二水平后,则采用开采IV煤保护III煤的下保护层开采的方式。

2.2 试验工作面情况

试验地点选取考虑矿井的生产采掘部署,确定在蛇形山煤矿23采区IV煤层2344工作面。下面为该工作面的具体情况。

1) 工作面地理位置: 2344 工作面位于蛇形山煤矿 23 采区二水平 IV 煤第二个工作面, 工作面机巷标高为 -203 m, 风巷标高为 -158 m. 工作面倾向长为 100 m, 走向长为 420 m.

2) 煤层赋存情况: 从 2344 机、风巷掘进得知: IV 煤层赋存较为稳定, IV 煤层厚度在 1.6~2.0 m, IV 煤层赋存的倾角是 40° ~ 60° , 其平均倾角是 45° .

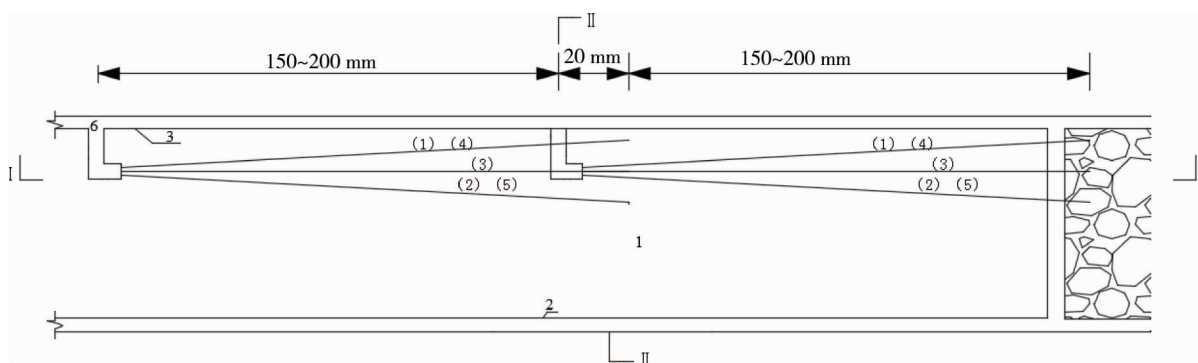
3) 煤层瓦斯参数: 2008 年 9 月, 在 2344 瓦斯巷西翼 -193 m 水平对煤层进行测压及有关参数进行测定四煤层瓦斯压力为 3.0 MPa, 瓦斯含量为 $25.7 \text{ m}^3/\text{t}$.

4) 2011 年 1 月, 矿上瓦斯队在 2344 工作面测出的绝对瓦斯涌出量是 $2.68 \text{ m}^3/\text{min}$, 其中在采空区及邻近煤层中测定的绝对瓦斯涌出量为 $2.01 \text{ m}^3/\text{min}$, 本煤层绝对瓦斯涌出量是 $0.67 \text{ m}^3/\text{min}$, 说明 2344 工作面的绝对瓦斯涌出主要来源于该工作面的采空区和有裂隙带联通的邻近煤层(被保护层 III 煤). 上行 U 型通风, 风量为 $620 \text{ m}^3/\text{min}$, 在实验之前, 回采工作面的瓦斯治理一直是利用风巷尾巷+气室的方式进行瓦斯抽放, 但一直效果较差.

3 瓦斯抽采高位钻场、钻孔布置与施工

根据上述矿山压力理论中裂隙带的计算, 最终确定高位钻场布在 2344 工作面顶板岩层中, 且距回风巷的水平距离为 17 m, 此处距四煤层的法向距离为 11.2 m, 距 III 煤层的水平距离为 9.72 m.

采煤工作面采后瓦斯高富集区一般在工作面后方采空区 30~50 m 的地方, 其抽采方法采取顶板岩层裂隙带抽采瓦斯, 在大倾角煤层的回风巷向煤层顶板 15 m 以上水平距离的岩层中布置钻场, 每个钻场相隔的距离在 150~200 m, 钻场与钻场之间必须要有 20 m 以上的重叠, 确保上一个钻场抽采完毕之前, 由下一个钻场进行接替, 其钻孔参数(倾角和方位角)均同上一个钻场的钻孔参数, 钻场内的 5 个钻孔采取钻场五花眼的布置方式, 钻孔直径为 $\Phi 70 \sim 105 \text{ mm}$; 每个钻孔用软管与矿井瓦斯抽采系统的管道相连, 且在软管处测定瓦斯参数(瓦斯流量、瓦斯浓度、抽采纯量和抽采负压等); 实现了煤层顶板岩层真正意义的高位中小直径($\Phi 70 \sim 105 \text{ mm}$)钻孔的瓦斯抽采. 具体 2344 工作面瓦斯抽采的高位钻场、高位钻孔的平面图和剖面图分别见图 1~图 3.



1-大倾角煤层; 2-2344 工作面运巷; 3-2344 工作面风巷; 4-2344 工作面; 5, 6-钻场; 7-顶板冒落带; 8-顶板裂隙带; (1)~(5) 为钻场中钻孔编号

图 1 2344 工作面高位钻场、钻孔布置平面

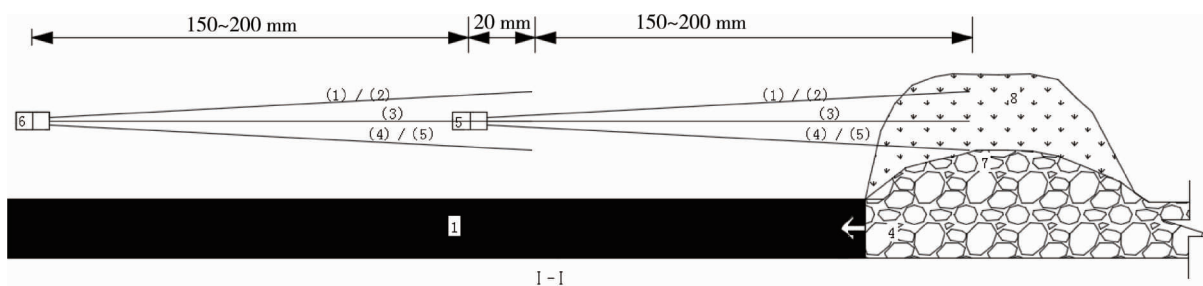


图 2 2344 工作面高位钻场、钻孔布置走向剖面

相比倾斜煤层和缓倾斜煤层的大直径($\Phi 300$ mm 以上)走向钻孔,大倾角煤层进行的瓦斯抽采是在每个钻场中施工 5 个左右的中小直径($\Phi 70\sim 105$ mm)钻孔,其钻孔施工效率高,可以加快施工速度 60% 以上,瓦斯抽采浓度可达 99.9% 以上,瓦斯抽采效率明显得到提高,本质上解决了大倾角突出煤层群工作面上隅角瓦斯超限问题,还能解决大倾角突出煤层群工作面采空区后方一定范围内高瓦斯聚集区的瓦斯抽采问题;同时,大倾角突出煤层群保护层开采时,一定程度上拦截了被保护层卸压瓦斯,创新了中小型矿井瓦斯治理的工程技术,也是一项新的适用技术。

图 1~图 3 中显示,在每个钻场中均布 5 个钻孔(编号分别为 1[#]~5[#]),每个钻孔的倾角和方位角各有不同,其中 3[#] 钻孔为水平布置,1[#] 钻孔和 2[#] 钻孔采取水平上向布置方式,即布在 3[#] 钻孔的上部,分别向钻场两边以一定的倾角和方位角向顶板岩层上方进行施钻,4[#] 钻孔和 5[#] 钻孔采取水平下向布置方式,即布在 3[#] 钻孔的下部,分别向钻场两边以一定的俯角和方位角向顶板岩层下方进行施钻.钻孔由钻场位置沿顶板岩层向工作面开切眼上方进行施工,施工到距离开切眼 10 m 左右即可,如此,施工一个 120 m 的钻孔一个大班就能完成,这样 5 个钻孔也就 5 d 能施工完毕,比高位巷和大直径钻孔的施工速度快出 40%~70%.当 5 个钻孔全部施工联网后,即可进行瓦斯抽采。

考虑斜角的计算公式,分别计算出每个钻孔的终孔标高。

$$H=L\sin\alpha. \quad (3)$$

式中: α 为倾角, $(^\circ)$; H 为高程,m; L 为钻孔长度,m.

2344 工作面高位钻孔的参数见表 1 所示。

表 1 2344 工作面高位钻孔参数表

序号	孔号	倾角/ $(^\circ)$	方位/ $(^\circ)$	孔深/m	孔口标高/m	孔底标高/m	偏离巷道方位长/m
1	1 [#]	4	84	95	-156.50	-150.07	6.63
2	2 [#]	4	82	95	-156.35	-149.92	9.93
3	3 [#]	8	80	95	-156.20	-142.98	13.22
4	4 [#]	4	78	95	-156.50	-150.07	16.49
5	5 [#]	9	80	95	-156.20	-141.34	13.22

钻孔施工及冒落带、裂隙带的确定:在钻场底板标高以上 1.3 m 作为施钻地点,根据 IV 煤层走向、倾角施工钻孔,每个钻场施工钻孔 5 个.当钻孔打完后,即刻注水进行冒落带和裂隙带的分界验证,若注水的体积分数在 10% 以上时,钻孔终端所处范围为煤层顶板冒落带;在注水的体积分数达 10% 以下时,则该区域为煤层顶板裂隙带。

4 高位钻孔抽采瓦斯效果检验

待钻孔施工完毕,则连接矿井瓦斯抽采管路进行瓦斯抽采,具体每个钻场的各钻孔瓦斯参数,采取相关仪器设备进行测试确定.钻孔抽采瓦斯参数从 2011 年 12 月 16 日开始,到 2012 年 1 月 4 日截止,主要是检测抽采管道内的瓦斯参数(瓦斯流量、瓦斯浓度、瓦斯纯量和抽采负压等),所使用的检测仪器为 CZJ70 瓦斯抽放综合参数测定仪.所测参数分别见图 4~图 6 所示,其中,图 5 中所有钻孔中除 4[#] 钻孔打在了冒落带,其抽采瓦斯浓度仅为 15%~50%,其他钻孔的瓦斯抽采浓度都较高,1[#],2[#] 钻孔一直是 99.9%,3[#],5[#] 钻孔的 80%~90% 以上。

如图 4 所示,1[#] 钻孔和 2[#] 钻孔瓦斯流量开始时只有 $0.3\sim 0.4$ m^3/min ,随着工作面的推进,其瓦斯流量

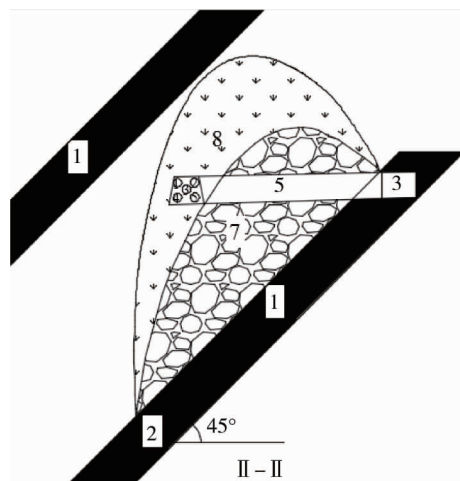


图 3 2344 工作面高位钻场、钻孔布置倾向剖面

迅速达到 $0.7 \sim 0.8 \text{ m}^3/\text{min}$, 其余钻孔的瓦斯流量均为 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上. 但 2# 钻孔于 2011 年 12 月 28 日出现 $0.298 \text{ m}^3/\text{min}$, 说明抽采管路受到损坏. 3# 钻孔抽采流量比较稳定, 达到 $0.60 \sim 0.75 \text{ m}^3/\text{min}$ 附近. 4#, 5# 钻孔抽采流量较高, 达到 $0.76 \sim 0.80 \text{ m}^3/\text{min}$, 效果较好.

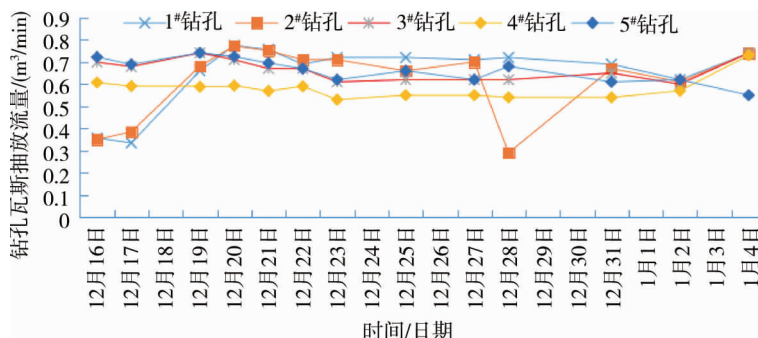


图4 钻孔抽采瓦斯流量变化曲线

图5中显示, 1# 钻孔和 2# 钻孔的瓦斯浓度均为 $80\% \sim 99.9\%$, 说明这些钻孔的孔底均落在预先设计的裂隙带内. 3#, 5# 钻孔瓦斯浓度起伏较大, 但后期监测数据达到 90% 以上; 4# 钻孔的瓦斯浓度均低于 50% , 该钻孔孔底落在冒落带内, 此为今后高位钻孔施工时应该注意的.

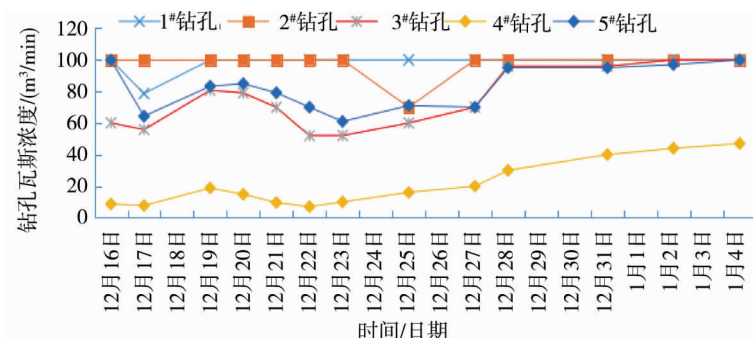


图5 钻孔抽采瓦斯浓度变化曲线

图6中显示, 5个高位钻孔抽采的瓦斯纯量曲线的变化规律基本与各钻孔的瓦斯流量变化规律相一致, 只是 4# 钻孔抽采的瓦斯纯量较低, 进一步反映了该钻孔的孔底落在了冒落带内.

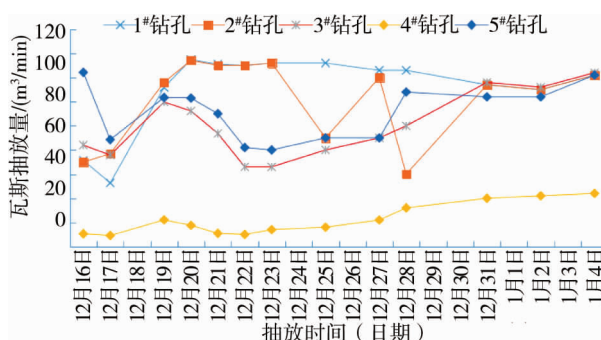


图6 钻孔瓦斯纯量曲线

采用工作面顶板岩层高位钻场钻孔抽采瓦斯后, 工作面的风量为 $620 \text{ m}^3/\text{min}$ 降低到 $300 \text{ m}^3/\text{min}$, 有效节省通风工程的成本.

5 主要结论

1) 大倾角突出煤层群瓦斯治理采用工作面顶板岩层裂隙带高位中小钻孔抽采技术, 其抽采瓦斯量和瓦斯浓度较实验前显著增大, 达到 80% 以上, 改变了大倾角煤层群工作面瓦斯在本煤层抽采的方式, 创新

了瓦斯抽采模式。

2)大倾角煤层群保护层工作面开采过程中的瓦斯治理不局限在本煤层,可以采用本煤层以外岩层的方式进行,利用工作面顶板岩层裂隙带进行瓦斯抽采,更有利于保护层工作面后方采空区瓦斯和被保护层裂隙瓦斯的抽采时间。

3)工作面顶板岩层裂隙带高位中小钻孔抽采技术在工作面顶板岩层中进行钻场钻孔施工,不在工作面内进行,由此,可以采取这种瓦斯治理方式,创新了瓦斯抽采和工作面煤层开采互不干扰的生产方式。

4)工作面顶板岩层裂隙带高位中小钻孔抽采技术在2344工作面的实验,高位钻孔施工难度显著减小,施工速度明显提高,且工作面风量由原来的 $620\text{ m}^3/\text{min}$ 降低到 $300\text{ m}^3/\text{min}$,节省大量的通风工程成本,表明该技术是一项安全可靠高效的瓦斯治理技术。

参考文献:

- [1] 闫浩,张吉雄,鞠杨,等.上保护层开采下充实率控制裂隙发育规律及瓦斯抽采研究[J].采矿与安全工程学报,2018,35(6):1262-1268.
- [2] 李晓疆,王震,娄芳,等.顶板来压规律对高位钻孔瓦斯抽采浓度的影响及抽采钻孔参数优化[J].中国矿业,2019,28(5):131-135.
- [3] 舒才,王宏图,任梅青,等.基于瓦斯抽采量的有效抽采半径数学模型及工程验证[J].采矿与安全工程学报,2017,34(5):1021-1026.
- [4] 段守德,杨威,宋浩然.水力冲孔布孔参数对高瓦斯突出煤层卸压效果的影响[J].中国矿业,2018,27(12):124-127.
- [5] 张小涛.高瓦斯突出煤层综采工作面注水降尘技术应用研究[J].煤炭科学技术,2019,47(1):231-236.
- [6] 朱丽媛,潘一山,李忠华,等.深部矿井冲击地压、瓦斯突出复合灾害发生机理[J].煤炭学报,2018,43(11):3042-3050.
- [7] 张友谊,崔金雷,焦向东.煤与瓦斯突出多指标耦合预测模型研究及应用[J].工程科学学报,2018,40(11):1309-1316.
- [8] 马孝富,谢东海,尹红球,等.下保护层工作面高位钻孔抽采瓦斯技术研究[J].煤炭工程,2010(11):49-51.
- [9] 谢东海,张轩,冯涛,等.急倾斜单一厚煤层采后下部自保护范围的研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2017,32(3):1-5.
- [10] 国家煤矿安全监察局.防治煤与瓦斯突出细则[S].2019.
- [11] 伍永平,刘孔智,负东风,等.大倾角煤层安全高效开采技术研究进展[J].煤炭学报,2014,39(8):1611-1618.
- [12] 钱鸣高,石平五,许家林.矿山压力与岩层控制[M].中国矿业大学出版社,2015.
- [13] 伍永平.大倾角煤层机械化开采的关键技术与对策[J],矿山压力与顶板管理,1993(1):60-63.
- [14] 余海龙,尹光志,鲜学福.俯伪斜采煤法防治急斜煤层煤与瓦斯突出的研究[J],重庆大学学报,1999,22(3):107-111.
- [15] 伍永平,解盘石,任世广.大倾角煤层开采围岩空间非对称结构特征分析[J].煤炭学报,2010,35(2):182-184.
- [16] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局,国家能源局,国家铁路局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[S].2017.