

穿层钻孔二次封孔技术研究

Technological Research on Secondary Sealing of Crossing Hole

李 锋(河南能源化工集团焦煤公司 九里山矿,河南 焦作 454005)

摘要:为解决底抽巷穿层钻孔瓦斯抽采浓度衰减快、浓度低的问题,考察了九里山煤矿底抽巷穿层钻孔瓦斯抽采变化规律,理论分析了造成其浓度迅速降低的原因。并以重力场作用下 CH_4 分子的浮积运动理论和负压引流作用理论为基础,提出了一种穿层钻孔二次封孔提高瓦斯抽采浓度的方法,分析了低浓度穿层钻孔二次封孔提浓技术的可行性。在九里山矿16101底抽巷进行了现场试验,试验表明:低浓钻孔提浓技术可以显著提高钻孔抽采浓度,试验钻孔的瓦斯抽采浓度提高了2倍以上,抽采混量明显降低,提高了抽采效果,实现了抽采能力的高效利用。

关键词:瓦斯抽采; 钻孔提浓; 浮积作用; 负压引流; 穿层钻孔

中图分类号: TD853 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)05-0044-04

Abstract: In order to solve the problem of concentration drop and low concentration of gas drainage in the bottom drainage roadway through crossing hole, Jiulishan coal mine was investigated for its variation rule of gas drainage by such practice and theoretical analysis was carried out on the reasons for the drop in gas concentration; And based on the floating accumulation theory of CH_4 molecule under gravity field and negative pressure drainage theory, a method of secondary sealing to crossing hole was proposed to raise drainage gas concentration. Technological feasibility was analyzed on the concentration increase of secondary sealing to crossing hole that had low gas concentration. Field test was conducted in the 16101 bottom drainage roadway of Jiulishan mine. As was proved by test, the concentration increase technology for holes with low concentration could greatly improve hole drainage concentration. The gas drainage concentration of test drill hole was increased by more than 2 times, with much less mixed volume and higher drainage efficiency, which realized efficient utilization of the drainage capacity.

Key words: gas drainage; concentration increase in drill hole; floating concentration effect; negative pressure drainage; crossing hole

1 前言

煤层瓦斯既是煤矿瓦斯突出的动力源之一,也是一种清洁能源。其二者为一体,但其根本区别在于能否以将较高浓度瓦斯抽采出并加以利用。钻孔瓦斯抽采是煤矿瓦斯灾害防治的有效手段之一,也是井下瓦斯利用的主要方法。特别针对单一低渗煤层,底抽巷+穿层钻孔抽采煤层瓦斯已经在瓦斯灾害严重的矿井得到推广应用。但在钻孔瓦斯抽采过程中,由于地应力作用或钻孔封孔质量问题等原因,造成大量钻孔漏气,从而使钻孔抽采出的瓦斯浓度较低,抽采出的瓦斯无法有效利用,给矿井通风造成的一定压力,而且还污染了大气环境^[1-3]。针对这

类情况,目前矿井一般采用关闭钻孔、透孔封孔等措施^[4-6],关闭钻孔可以有效提高抽采管路中的瓦斯浓度,但大大减少钻孔抽采时间,没有做到应抽尽抽,对防突工作不利;重新透孔封孔能够保证钻孔抽采时间,但需要投入的人力物力较大,工程费用较高。所以亟待研发一种简单可靠的方法提高漏气钻孔的瓦斯抽采浓度。

针对造成钻孔漏气的因素,结合瓦斯的物理化学性质,根据分子浮积运动和负压引流理论提出了一种穿层钻孔二次封孔提高瓦斯抽采浓度的方法,并在九里山矿16101底抽巷进行了现场试验,漏气钻孔瓦斯抽采浓度得到显著提高。

2 穿层钻孔提浓技术原理

2.1 CH_4 分子的浮积运动

底抽巷穿层钻孔进行瓦斯治理时,瓦斯煤层中渗流进入钻孔中,由于负压泵的负压引流作用产生下行流动进入支管中。瓦斯气体中的主要成分是 CH_4 ,根据 CH_4 的理化性质,其标况下的密度为 0.716 kg/m^3 ,标况下的空气密度为 1.293 kg/m^3 。

[作者简介] 李锋(1989-),男,硕士,工程师,主要从事煤矿灾害防治技术研究工作。

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目“页岩裂缝非平面扩展行为控制机制研究”(课题编号:51804100)。

[引用格式] 李 锋. 穿层钻孔二次封孔技术研究[J]. 中国矿山工程,2022,51(5):44-47.

在静止状态下,由于重力场作用,CH₄与空气混合气体中CH₄分子受到空气的浮力作用向上运动。在非孤立系统中,CH₄在空气中充分靠固有物理属性做浮升积聚运动,在经历一定高度 z 和时间 t 的时空过程后,形成CH₄分子富集层。CH₄分子的这种自由扩散运动的结果使混合气体永不能达到均匀状态。综合分子扩散理论及CH₄和空气物理性能参数的固有差异性的理论学习研究,揭示和推知CH₄分子在非孤立系统中具有永远做浮升积聚运动的物理属性,简称浮积运动属性^[7-8],除非受到热力学势的逆向干扰。

假设环境是等温环境,根据FICK定律和重力场公式^[9]:

$$p = p_0 \exp(-Gh) \quad (1)$$

推导出CH₄的浓度分布函数为

$$C_m = C_0 \exp(-Gh) \quad (2)$$

式中, h 为高度,m; p 为高度 h 位置的大气压,Pa; p_0 为 $h=0$ 时的大气压,Pa; C_0 为 $h=0$ 时的甲烷浓度,%; G 为气体分子重力, $G = mg/(kT)$; m 为气体平均分子量,kg/mol; k 为boltzman常数, 1.38×10^{-23} J/K; T 为温度,K。

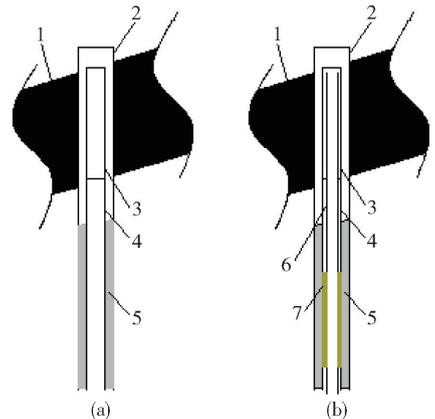
从式(1)和(2)中可以看出CH₄与空气的混合气体,在等温条件下,即热力学势恒定条件下,处于非孤立系统中的CH₄分子的分离原理^[10-11]。在重力场作用下CH₄分子充分做浮积运动,充分呈现出与空气相比CH₄密度低的固有浮升积聚属性^[12-13]。

2.2 负压引流作用

钻孔漏气是造成钻孔瓦斯抽采浓度低一个关键因素之一,施工钻孔的巷道受矿山压力和水平应力作用,岩层发生离层变形,抽采钻孔遭受拉伸、错断等,同时封孔材料受到破坏,甚至将封孔管拉断,从而在岩层或者岩层和封孔管之间形成漏气通道^[14-17]。钻孔在负压抽采过程中,大量的空气通过漏气通道进入钻孔,并通过抽采筛管进入封孔管;而煤层中的纯瓦斯渗流到筛管上部,由于负压引流进入封孔管。空气与高浓度瓦斯在封孔管中进行混合,在负压的引流作用下从封孔管进入支管。穿层钻孔提浓技术利用32 mm的抽采管通过50 mm封孔管直接封到钻孔底,将负压点延伸到钻孔底,瓦斯浮积处,在高浓度瓦斯和空气混合前,通过负压引流至32 mm封孔管中进入支管。

3 穿层钻孔提浓技术及操作步骤

穿层钻孔提浓技术主要是针对底抽巷上向低浓度瓦斯抽采钻孔,已经进行过两堵一注封孔后的钻孔,抽采一段时间后,浓度明显下降时的一种提高钻孔抽采浓度的方法。结构示意图如图1所示。



1—煤层;2—穿层钻孔;3—50 mm 筛管;4—50 mm 封孔管;5—两堵一注封孔段;6—32 mm 封孔管;7—聚氨酯封孔段

图1 穿层钻孔提浓技术示意图

主要操作步骤为:(1)封孔,使用50 mm封孔管进行两堵一注封孔,具体如图1(a)所示,封孔长度为两堵一注封至煤岩界面,不超过岩段,岩段使用直径50 mm的封孔管,煤段使用直径50 mm筛管。(2)抽采,抽采负压不低于-13 kPa,抽采管路安装导流管,每2 d测量单孔瓦斯抽采浓度和流量。(3)提浓封孔,浓度下降明显时,不在使用筛管,直接使用32 mm的封孔管下到钻孔的孔底,使用聚氨酯进行注浆封孔。(4)连抽,将32 mm封孔管接到抽采系统上进行抽采。由于32 mm封孔管没有筛管,所以负压可以直接延伸到孔底,即能直接抽采高浓度瓦斯,又可以延长空气进入封孔管的距离,增加的空气的摩擦阻力,有效的减少空气进入量,从而实现瓦斯抽采浓度提浓的目的。

4 现场试验及结果分析

为了验证穿层钻孔提浓技术,在九里山矿16101底抽巷考察三组钻孔,选取两个较为典型的漏气低浓度瓦斯抽采钻孔,钻孔施工参数见表1。1#钻孔为7月26日施工,2#钻孔为7月30日施工,均从8月2日开始监测瓦斯抽采浓度和流量。8月31日试验穿层钻孔提浓技术,根据上文所述的步骤进行,1#使用32 mm封孔19.5 m,2#使用16.5 m,32 mm封孔管和50 mm封孔管中间使用固特捷封孔

料进行封堵。试验完成后,共监测试验前 28 d 和试验后 25 d 的抽采数据。

表 1 钻孔施工参数

孔号	钻孔倾角/(°)	岩段/m	煤段/m	总深/m	封孔管长/m	封孔筛管长/m	32 mm 封孔管长/m
1#	48	13	7.3	21	12	6	19.5
2#	83.5	11	5.5	17	9	6	16.5

统计 8 月 2 日至 8 月 31 日两个试验钻孔的瓦斯抽采情况,并绘制成抽采浓度随时间变化图,具体如图 2 所示。从图中可以看出,8 月 2 日开始连抽,但由于钻孔没有进行注浆,存在漏气现象,所以钻孔浓度较低。8 月 4 日经过注浆后钻孔浓度迅速增加,然后随着抽采时间的增加,钻孔的抽采浓度迅速降低,当浓度下降到 5% 时,基本稳定,统计 1# 钻孔 10 d 平均抽采浓度为 5.1%;2# 钻孔 10 d 平均抽采浓度仅为 4.9%。分析其原因:(1)采动应力、地应力作用下,封孔材料遭到破坏或岩层产生裂隙,形成漏气通道。(2)煤段为筛管段,负压不能延伸到孔底,大量空气通过漏气通道进入筛管中,从而降低瓦斯抽采浓度。

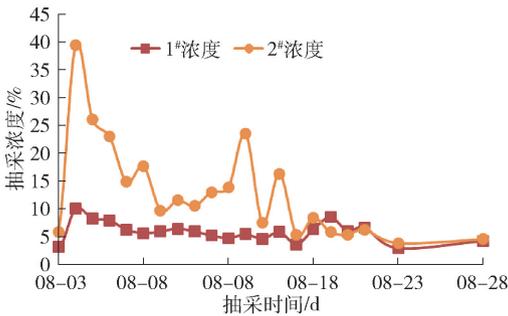


图 2 钻孔抽采浓度变化图

8 月 31 日进行试验低浓度钻孔二次封孔提浓技术,统计了 9 月 1 日至 9 月 26 日 26 天的钻孔瓦斯抽采浓度变化情况,并绘制试验前后的钻孔抽采浓度对比图,具体如图 3 所示。

从图 3 中可以明显看出,试验后两个钻孔的抽采浓度有明显提高,试验后 1# 钻孔的瓦斯抽采浓度提高至 11%,是试验前的 2.39 倍,26 天的钻孔平均抽采浓度为 9.8%,是试验前的 2.01 倍;2# 钻孔的瓦斯抽采浓度提高至 10.2,是试验前的 2.17 倍,26 d 的平均抽采浓度为 11%,是试验前的 2.24 倍。

为研究低浓钻孔提浓技术的抽采效果,绘制了

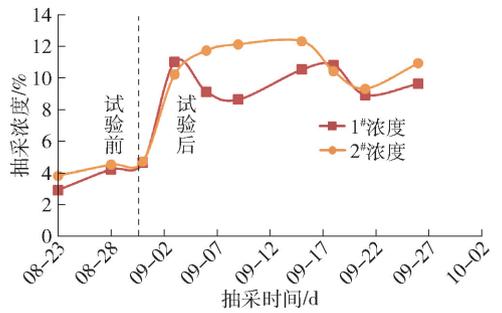


图 3 试验前后钻孔抽采浓度对比图

抽采混合流量,具体如图 4 所示。1# 钻孔混流量比较大,波动明显,前期主要在 0.12 ~ 0.29 m³/min 波动。使用二次封孔提浓技术以后,钻孔抽采混流量明显下降,在 0.11 ~ 0.14 m³/min。分析其原因为试验前抽采管径为 50 mm,试验后抽采管径为 32 mm,管径变小,造成抽采混流量降低。2# 钻孔混流量较小,波动不是很明显,试验前流量低于 0.05 m³/min,试验后混流量逐步上升。分析其原因为前期抽采混流量低有可能是抽采管路有堵塞情况,在试验提浓技术时 32 mm 的封孔管进行透孔,将堵塞段疏通,从而使抽采混流量增大。

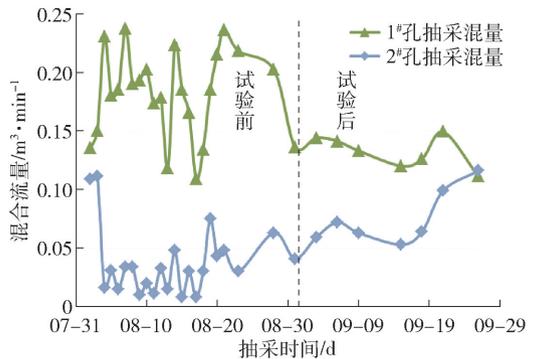


图 4 抽采混合流量随抽采时间变化图

为进一步研究试验前后抽采纯量随抽采时间变化规律,绘制图 5 抽采纯量随抽采时间的变化图。1# 钻孔前期抽采纯量随抽采时间缓慢降低,试验后抽采纯量较明显的提高,试验后抽采纯量较试验前提高 2.5 倍;2# 钻孔前期抽采纯量较低,试验后由于钻孔经过疏通,抽采混流量增大,抽采浓度也有所提高,所以抽采纯量有显著提高,试验后抽采纯量较试验前提高 3.1 倍。分析 1# 钻孔抽采纯量明显大于 2# 钻孔原因,1# 钻孔煤段长度 7.3 m,2# 钻孔煤段长度 5.5 m,1# 煤段长度是 2# 钻孔的 1.4 倍,所以 1# 钻孔的抽采混量和纯量均明显大于 2# 钻孔。

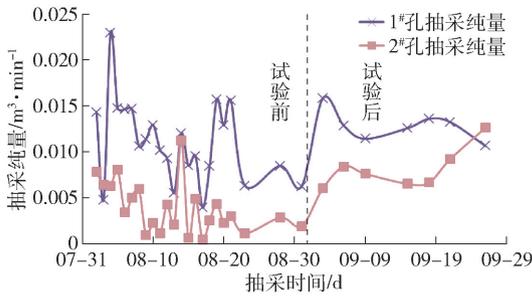


图5 抽采纯量随抽采时间的变化图

5 结论

(1) 考察了底抽巷穿层钻孔瓦斯抽采浓度变化规律,并分析穿层钻孔不同阶段的瓦斯抽采浓度、混量和纯量的变化,并分析了抽采后期浓度降低的原因。

(2) 针对底抽巷穿层瓦斯抽采浓度较低的钻孔,提出了一种提高钻孔抽采浓度的方法。并从 CH_4 分子的浮积运动和负压引流作用的角度对低浓钻孔二次封孔提浓技术原理进行分析。

(3) 在九里山矿 16101 底抽巷进行了现场试验,试验表明:低浓钻孔二次封孔提浓技术可以提高漏气钻孔抽采浓度,试验钻孔的瓦斯抽采浓度提高了 2.01 倍以上;试验后抽采混量略微下降;抽采纯量有较明显的提高。

(4) 由于试验条件的局限性,在试验低浓钻孔二次封孔提浓技术时,没有考虑负压对钻孔抽采浓度的影响,也是钻孔抽采浓度提高不明显的主要原因之一。

[参考文献]

[1] 王兆丰,李杰,杨宏民,等. 抽采钻孔封孔失效的二次处理措施[J]. 煤矿安全,2012,43(5):86-89.
 [2] 杨坤. 义安矿瓦斯抽采封孔与漏气处置技术研究[D]. 焦作:河南理工大学,2014.
 [3] 陈绍杰,朱建芳,陈学习. 新型联合带压瓦斯抽放封孔技术及应用[J]. 中国煤炭,2013,39(12):109-111 +

122.

[4] 王振锋. 瓦斯抽采联管系统及浓度控制方法研究[D]. 焦作:河南理工大学,2009.
 [5] 李时宜,张青松,刘标懿,等. 瓦斯抽采钻孔密封用天固封孔材料及工艺应用研究[J]. 矿业安全与环保,2019,46(3):44-47.
 [6] 任培良,王迪,郭香印,等. 穿层瓦斯抽采钻孔通管直连新型封孔工艺研究[J]. 煤矿安全,2020,51(2):34-37.
 [7] 王文,王恒,李东印,等. 低浓度弱涡流场瓦斯富集新方法及试验研究[J]. 煤炭学报,2018,43(3):751-758.
 [8] 王世贤,乔继延,陈力,等. 利用浮力富集乏风瓦斯的可行性研究[J]. 中国煤炭,2012,38(6):104-106.
 [9] 高鹏飞. 乏风瓦斯提浓利用技术现状及展望[J]. 矿业安全与环保,2017,44(3):95-99.
 [10] 李励,王凯全,乐林. 低浓度甲烷提纯试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2012,31(5):716-719.
 [11] 邹德蕴,程卫民,刘义磊,等. 矿井回风流瓦斯富集回收原理及其试验研究[J]. 煤炭学报,2011,36(9):1506-1510.
 [12] 傅培舫,赵以惠. 空气中沼气的迁移和输运[J]. 中国矿业大学学报,1993,22(2):75-83.
 [13] 梁冰,于洪雯,孙维吉,等. 煤低压吸附瓦斯变形试验[J]. 煤炭学报,2013,38(3):373-377.
 [14] 尹勇勤,程风超. 囊袋式“两堵一注”带压注浆封孔工艺关键参数技术研究[J]. 能源与环保,2021,43(2):32-36.
 [15] 杨雄,张传钊,孟宇,等. 煤矿乏风瓦斯富集中试试验研究[J]. 煤炭学报,2014,39(3):486-491.
 [16] 熊伟. 瓦斯抽采漏气失效钻孔修复技术研究[J]. 矿业安全与环保,2020,47(1):80-83.
 [17] 高建成,李迎旭,王娟. 下行穿层瓦斯抽采钻孔排水与增采封孔工艺优化[J]. 能源与环保,2017,39(3):157-161.