

机械造穴钻孔增透效果考察

闫筱晨

(山西兰花科技创业股份有限公司唐安煤矿分公司)

摘 要:唐安煤矿为高瓦斯矿井,现主采3号煤层,瓦斯吸附性强,透气性差。本煤层顺层钻孔区域预抽是工作面瓦斯治理的根本措施,但普通钻孔存在钻孔工程量大,瓦斯抽采效率低等问题,应用机械造穴增透技术后,抽采效果显著。为进一步提高钻孔的抽采效率,唐安煤矿开展机械造穴增透技术,并在3315轨道顺槽开展相关试验。试验结果证明:造穴段长度1m以及造穴段间距为10m时,造穴钻孔的抽采效果最好,对比六个造穴钻孔与常规钻孔的抽采量,在相同的抽采时间下,机械造穴钻孔的抽采浓度为普通钻孔的1.10~1.14倍,机械造穴钻孔的平均抽采纯量为普通钻孔的1.41~1.52倍。

关键词:机械造穴;增透;抽采半径;抽采纯量

唐安煤矿属于高瓦斯矿井,并且现在主采的3#煤层属于低渗透率煤层,瓦斯抽采难度较大,需要采取增透措施辅助瓦斯抽采。为解决煤层透气性低的问题,实现工作面回采前的瓦斯高效预抽,目前煤矿广泛采用CO₂相变爆破技术、高压水射流割缝、水力冲孔、水力压裂等措施,对煤层进行卸压增透。但由于条件的局限性,如CO₂相变爆破技术和高压水射流割缝容易诱导煤与瓦斯突出,水力冲孔受限于煤的坚固性系数,水力压裂的裂缝容易闭合产生应力集中区,这些措施容易受到地质构造和施工装备技术的限制。

机械造穴技术是针对透气性低的煤层,在井下低压水或低压风的驱动下,通过机械钻具对钻孔周围的煤层进行切割,采用专用设备对钻孔煤层段进行二次造穴扩孔,形成类圆柱形空腔解吸空间,使钻孔周围的煤产生卸压变形。人为增加煤体的暴露面积,在煤层的钻孔中产生更大范围的卸压运动,创造新裂缝并扩大原有裂缝,充分形成气流通道,增加煤体的卸压范围,从而人为增加和改善钻孔周围煤层的透气性,降低煤层瓦斯压力,提高瓦斯抽采率。这个是在高压水射流的基础上,发展起来的一种增大煤层透气性的方法^[1]。

唐安煤矿3号煤层受强构造应力影响,该煤层渗透率低,煤质极松软。由于普通钻孔瓦斯抽采应力扰动范围小,抽采效率低,抽采时间长,因此采用机械造穴技术提高煤层的瓦斯抽采效率。并在唐安煤矿现场对比了不同造穴段长度以及造穴段间距下的瓦斯浓度、瓦斯流量以及瓦斯抽采纯量,确定出合理的造穴段长度及间距,并与普通钻孔在瓦斯抽采数据、纯量衰减系数以及施工效率上进行对比,从多方面体现了机械造穴的优势。

1 本煤层机械造穴技术与工艺

1.1 本煤层机械造穴设备介绍

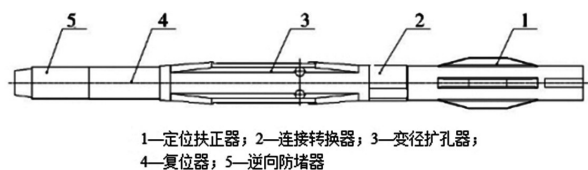
机械式煤层机械造穴泄压装置由钻机、清水泵站、矿用振动筛式固液分离机、钻具等配套部件组成。钻杆外径89mm的三棱高压密封钻杆,钻头直径为120mm。

(1) 钻机

钻机的型号为ZDY7300LX,额定扭矩为1600~7300N·m,动力强劲,能满足深孔打钻要求,钻机运输状态外形尺寸为4650mm(长)×1100mm(宽)×2100mm(高),导轨可实现水平±180°旋转,俯仰-90°~+90°调角,可以在任意需要位置打孔。

(2) 机械刀

能够实现低压正常打钻,高压刀臂打开扩孔造穴。刀臂转换压力为6MPa,正常钻进时,利用清水泵提供压力为6MPa的水快速钻进,造穴时,调高压力至6~8MPa打开刀臂,再将压力调至8MPa以上进行造穴。刀体最大直径110mm,刀体扩孔直径500mm,由定向扶正器、连接转换器、变径扩孔器、复位器、逆向防堵器组成,机械刀构成见图1。



1—定位扶正器; 2—连接转换器; 3—变径扩孔器;
4—复位器; 5—逆向防堵器

图1 造穴机械刀构成图

1.2 本煤层机械造穴的工艺

采用后退式机械造穴,首先固定钻机,使用喷漆将钻孔开孔位置标在煤壁上,钻机距离巷道3米以外放置,调整角度,使钻机跑道平行于巷道。以造穴段1m为例,正常打钻至规定深度后,开始造穴时,将履带式清水泵站压力调整到5~8MPa,逐步打开机械臂,钻机保持低速旋转,缓慢前后1米范围内往复推拉钻杆,根据出煤量决定造穴时长(出渣0.5m³以上),停止造穴。机械造穴完毕后,退出所有冲孔设备,等待下一循环钻进冲孔。钻孔施工到位后,申请验收钻孔,进行退杆。一个钻孔施工完毕后,立即采取穿32mmPVC封孔管、“两堵一注”带压封孔工艺,封孔管总长度为15m,水泥封孔段长度不得小于12m;封孔完成后使用封孔管将钻孔与抽采末端装置连接,末端装置与3315工作顺槽铺设的瓦斯管抽采管路连接。按照设计参数依次打钻造穴。钻孔施工到设计深度后退出所有钻杆,封孔连接抽放系统,图2为本煤层机械造穴的工艺示意图。

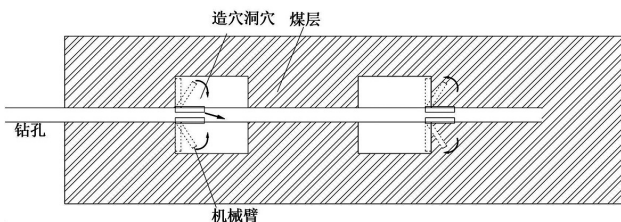


图2 本煤层后退式机械造穴工艺示意图

2 确定造穴段间距及造穴段长度

2.1 本煤层机械造穴参数

造穴段长度以及造穴段间距都与造穴后煤层的

渗透率有关。在机械造穴过程中,造穴孔四周会发生卸荷损伤,其煤体裂隙会发生变化导致渗透率不断增大^[2]。而随着造穴长度的增加,单穴的卸荷损伤增透区域逐渐扩大,而造穴间距和钻孔间距的减小将导致相邻造穴洞室之间煤体发生叠加卸荷损伤,其增透效果也将进一步增强^[3]。但由于每一个煤矿的煤质、开采工艺等都不尽相同,如果在一个造穴钻孔中不断增加造穴段长度,减小造穴间距不仅会增加工作负荷也同时造成不必要的经济浪费。所以选择合适的造穴段长度、造穴间距是十分重要的^[4]。

3315工作面轨道巷顺槽机械造穴采用“后退式”的施工工艺,先成孔后造穴。首先钻孔施工至设计深度,开始造穴时,先保持钻机动力头原地低速旋转,待孔口返水后,开始缓慢调整高压泵压力至

8MPa,通过钻机压力及返渣情况确认机械刀臂打开后,再逐步将压力调至8~10MPa开始造穴。造穴间距为5m、10m、15m,造穴间距为1m、1.5m,单穴出煤量为0.5m³,单穴造穴时间为10min左右,3315工作面轨道巷顺槽后退式机械造穴参数见表1。

2.2 造穴钻孔施工

根据唐安煤矿开拓部署情况,以及井下煤层赋存条件,首先计划在三盘区3315工作面施工本煤层顺层试验造穴钻孔18个,造穴段长度分别为1m和1.5m,造穴段间距分别为5m、10m和15m,以上6个钻孔为一组(详见表2)。考虑到测试结果的准确性,另外施工2组平行对照钻孔。实际施工过程中,第一个造穴孔只造了两个穴,故第一组造穴孔为7个,总计19个钻孔(详见图3),上述19个造穴钻孔用于确定造穴段长度以及造穴段间距。

表1 13315工作面轨道巷顺槽后退式机械造穴参数表

造穴参数	数 值	造穴参数	数 值
造穴长度	5m、10m、15m	造穴区段	50~119m
造穴间距	1m、1.5m	造穴数量	5~18个
造穴压力	8~10MPa	单穴出煤量	0.5m ³
单穴造穴时间	平均为10min	单穴洗孔时间	3min

表2 钻孔参数表

编号	钻孔名称	施工地点	与巷道夹角(°)	倾角(°)	造穴段长度(m)	造穴段间距(m)	钻孔深度(m)	孔径(mm)
ZX-1	本煤层机械造穴钻孔	3315 轨 道 巷 顺槽	90	与煤层倾角相同,根据现场实际情况调整	1	15	119	Φ120
ZX-2					1.5	15		
ZX-3					1	10		
ZX-4					1.5	10		
ZX-5					1	5		
ZX-6					1.5	5		

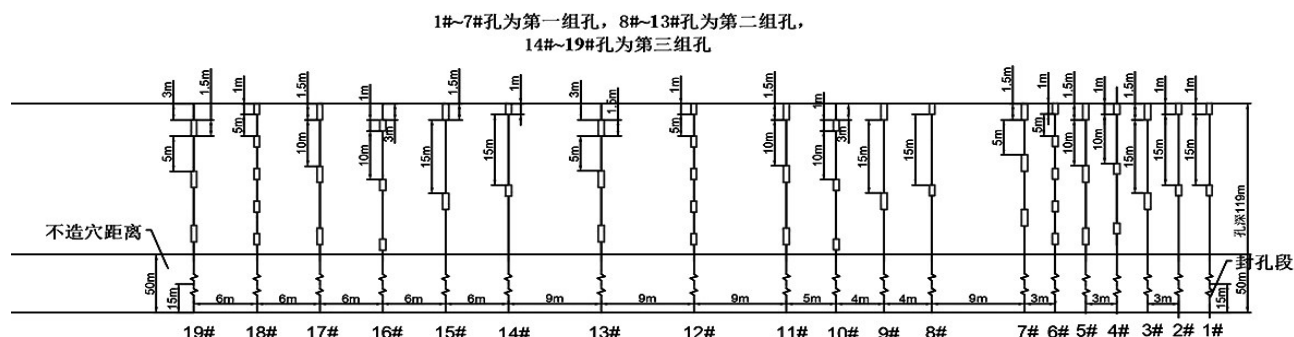


图3 造穴钻孔施工布置图

2.3 造穴段长度及造穴段间距的选择

2.3.1 造穴段长度的选择

通过多功能瓦斯参数测定仪测定出三种造穴段间距下的造穴钻孔40d的平均瓦斯浓度、瓦斯流量及抽采纯量,如图4~6所示。

通过图4,研究造穴段间距为15m的造穴孔,即

2#、3#、8#、9#、14#、15#孔,造穴段长度对抽采效果的影响。得出,在造穴段间距为15m时,造穴长度为1m的造穴钻孔比造穴长度为1.5m的造穴钻孔的瓦斯流量以及瓦斯抽采纯量均高,说明了在造穴段间距为15m时,造穴长度为1m的造穴钻孔比造穴长度为1.5m的造穴钻孔抽采效果要好。

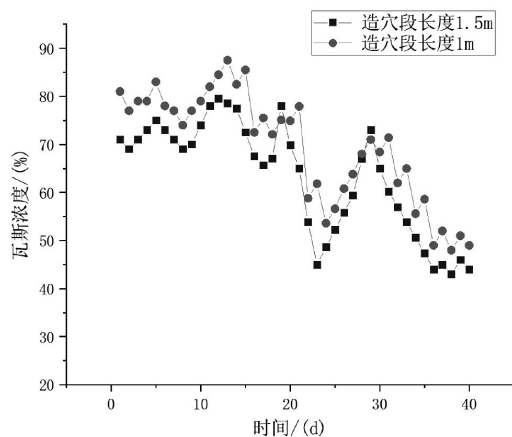


图4(a)造穴段间距为15m的造穴孔瓦斯浓度变化图

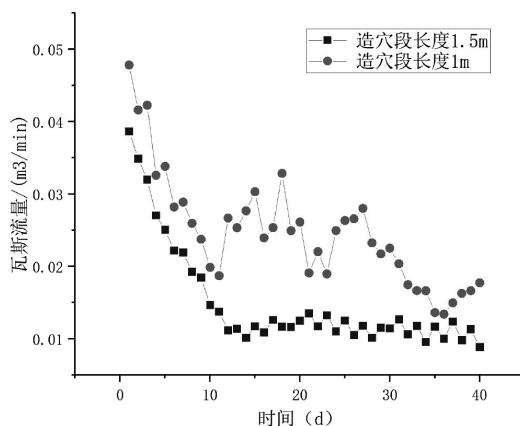


图4(b) 造穴段间距为15m的造穴孔瓦斯流量变化图

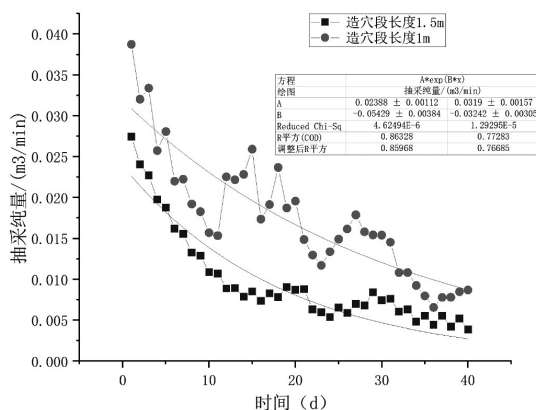


图4(c)造穴段间距为15m的造穴孔瓦斯抽采纯量变化图

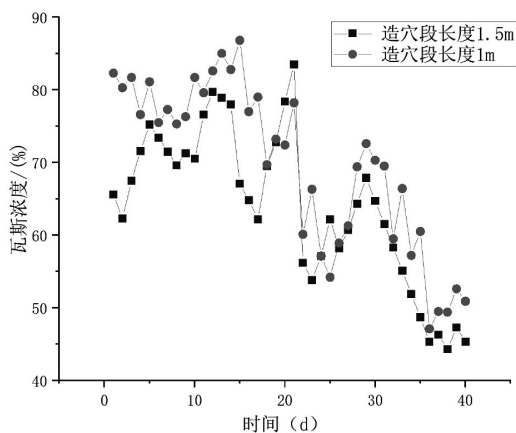


图 5(a)造穴段间距为 10m 的造穴孔瓦斯浓度变化图

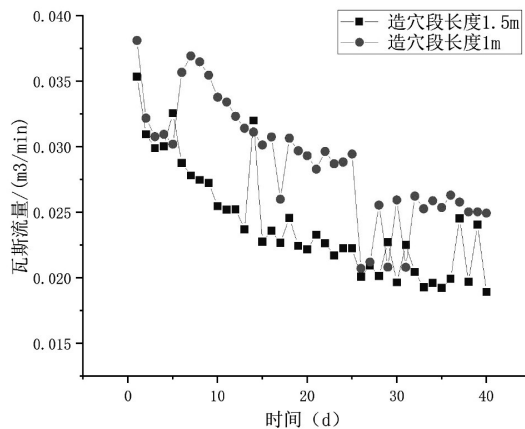


图 5(b) 造穴段间距为 10m 的造穴孔瓦斯流量变化图

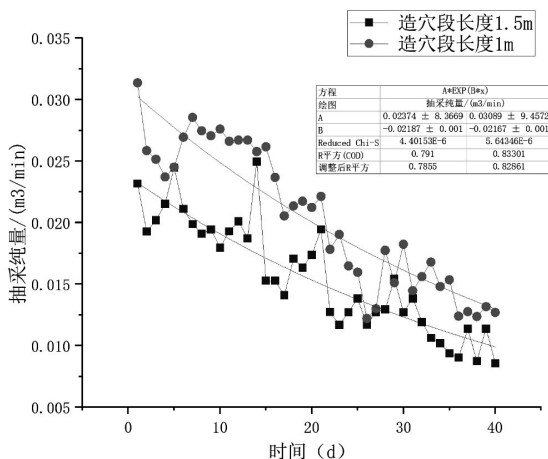


图 5(c)造穴段间距为 10m 的造穴孔瓦斯抽采纯量变化图

通过图 5,研究造穴段间距为 10m 的造穴孔,即 4#、5#、10#、11#、16#、17#孔,造穴段长度对抽采效果的影响。得出,在造穴段间距为 10m 时,造穴长度为 1m 的造穴钻孔比造穴长度为 1.5m 的造穴钻孔的瓦斯流量以及瓦斯抽采纯量均高,说明了在造穴段间距为 10m 时,造穴长度为 1m 的造穴钻孔比造穴长度为 1.5m 的造穴钻孔抽采效果要好。

通过图 6,研究造穴段间距为 5m 的造穴孔,即 6#、7#、12#、13#、18#、19#孔,造穴段长度对抽采效果的影响。得出,在造穴段间距为 5m 时,造穴长度为 1m 的造穴钻孔比造穴长度为 1.5m 的造穴钻孔的瓦斯流量以及瓦斯抽采纯量均高,说明了在造穴段间

距为 5m 时,造穴长度为 1m 的造穴钻孔比造穴长度为 1.5m 的造穴钻孔抽采效果要好。

综上所述,造穴段间距为 5m、10m、15m 时,造穴长度为 1m 的造穴钻孔都要比造穴长度为 1.5m 的造穴钻孔抽采效果要好,故接下来造穴钻孔施工的造穴段长度设计为 1m。

2.3.2 造穴段间距的选择

由于确定了合适的造穴段长度,下一步通过比较造穴段长度为 1m 的不同造穴段间距的造穴孔,分析出抽采效果最好的造穴段间距,从而选择最合理的造穴段间距,如图 7。

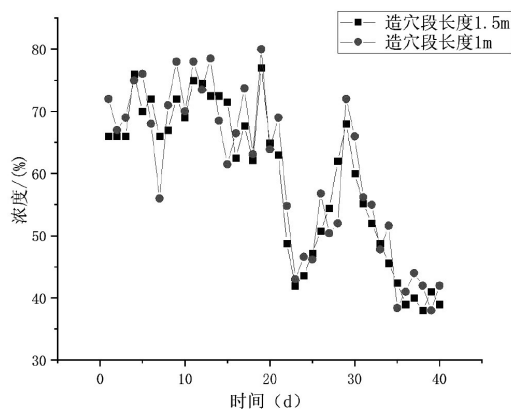


图 6(a)造穴段间距为 5m 的造穴孔瓦斯浓度变化图

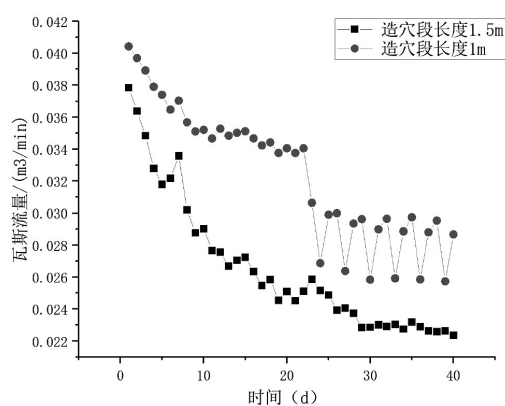


图 6(b) 造穴段间距为 5m 的造穴孔瓦斯流量变化图

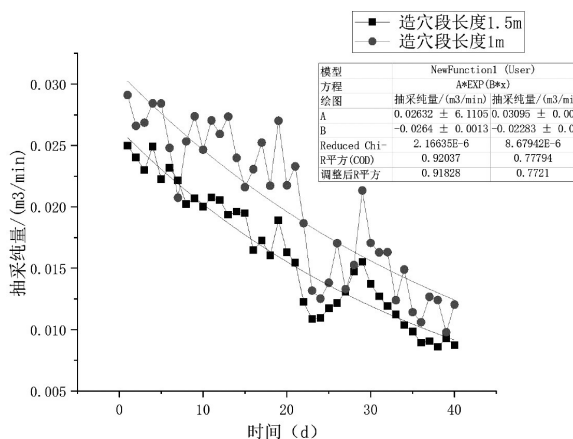


图 6(c)造穴段间距为 5m 的造穴孔瓦斯抽采纯量变化图

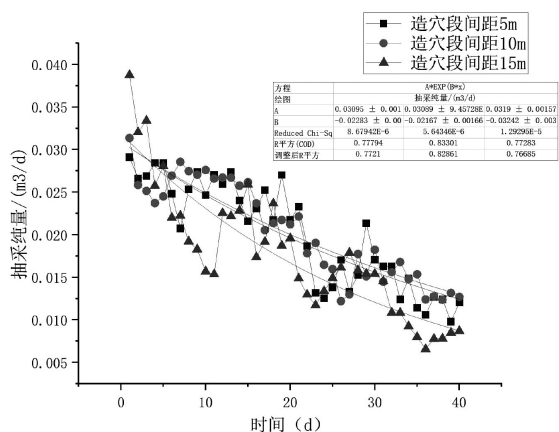


图 7 不同造穴段间距的造穴孔

(造穴段长度为 1m) 瓦斯抽采纯量变化图

通过图 7 分析可知,在造穴段长度为 1m 时,造穴间距为 10m 的造穴钻孔的瓦斯抽采纯量较其余两种造穴间距造穴孔的瓦斯抽采纯量相对稳定。比较

三种造穴间距造穴孔的平均瓦斯抽采纯量,造穴间距为 5m、10m、15m 造穴孔的平均瓦斯抽采纯量分别为 $0.0195\text{m}^3/\text{min}$, $0.0204\text{m}^3/\text{min}$, $0.0175\text{m}^3/\text{min}$, 可知,造穴间距为 10m 造穴孔的平均瓦斯抽采纯量最大,抽采效果最好,并且通过拟合程度来看,造穴间距为 5m、10m、15m 造穴孔的瓦斯抽采纯量的 R^2 分别为 77.21%、82.86%、76.69%,可知,造穴间距为 10m 造穴孔的瓦斯抽采纯量拟合效果最好,更能反映真实的抽采情况,故接下来造穴钻孔施工的造穴段间距设计为 10m。

3 瓦斯抽采效果对比

3.1 瓦斯抽采数据对比

为考察机械造穴钻孔与普通钻孔的抽采效果,在3315工作面轨道巷顺槽设计施工造穴段长度1m,造穴段间距10m的6个造穴孔,并在3315工作面轨道巷顺槽新施工6个普通钻孔,对两种钻孔的瓦斯抽采纯量进行对比,钻孔带抽时间均为40天。

(1)分析图8、图9可知,机械造穴钻孔瓦斯浓度及流量均优于普通钻孔,钻孔经过机械造穴后,孔内煤体暴露面积增大,煤体瓦斯解吸量变大,抽采效率提高。与普通钻孔相比,机械造穴孔在第10天、第20天、第30天、第40天的平均瓦斯浓度分别为普通钻孔的1.10倍、1.12倍、1.13倍、1.14倍;机械造穴孔在第10天、第20天、第30天、第40天的平均瓦斯流量分别为普通钻孔的1.26倍、1.34倍、1.31倍、1.27倍。

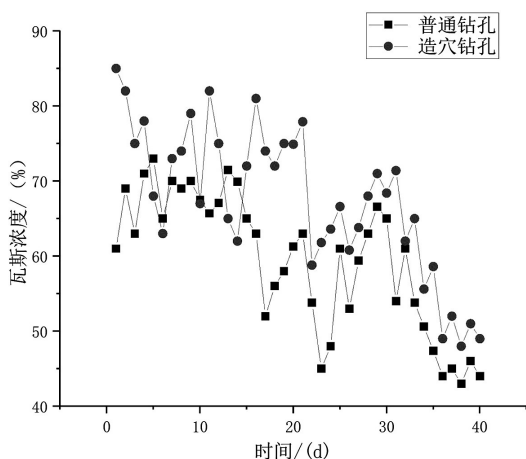


图8 造穴钻孔与普通钻孔瓦斯浓度变化图

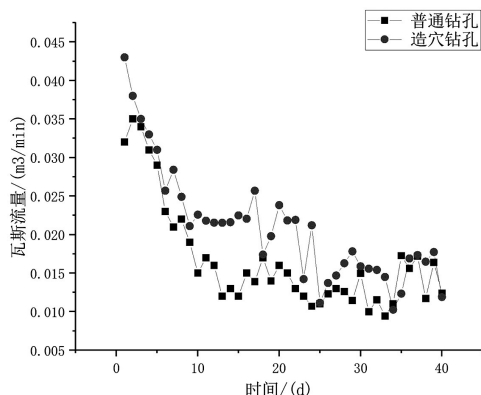


图9 造穴钻孔与普通钻孔瓦斯流量变化图

(2)分析图10可知,机械造穴钻孔瓦斯抽采纯量优于普通钻孔。机械造穴是通过增压设备在钻孔内产生洞穴,破碎煤体、释放大量瓦斯、改变煤体应力状态,应力集中向洞穴周围移动,洞穴周围煤体孔隙裂隙扩展延伸,使冲孔附近煤体卸压增透,可以有效地提高瓦斯抽采效果[5]。

与普通钻孔相比,机械造穴钻孔在第10天、第20天、第30天、第40天的日抽采纯量为普通钻孔的1.41倍、1.52倍、1.49倍、1.46倍。

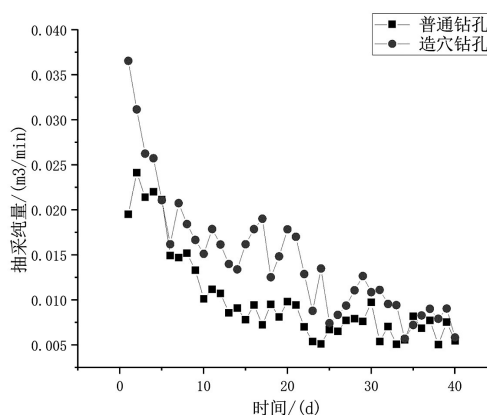


图10 造穴钻孔与普通钻孔瓦斯抽采纯量变化图

3.2 纯量衰减系数对比

在不受采动影响的条件下,煤层内钻孔的瓦斯流量随时间呈衰减变化的特性系数称为钻孔瓦斯流量衰减系数。它可以作为评价煤层预抽瓦斯难易程度的指标,其计算公式^[6]如下:

$$\alpha = \frac{\ln q_0 - \ln q_t}{t}$$

式中:

α 为钻孔瓦斯抽采量随时间变化规律特征参数(α 越小钻孔瓦斯抽放效果就越好;反之,则钻孔瓦斯抽采效果就越差);

q_t 为经过 t 时间后的钻孔瓦斯流量, m^3/min ; q_0 钻孔初始瓦斯流量, m^3/min ;

t 为时间, d ; α 为钻孔瓦斯流量衰减系数, d^{-1} 。

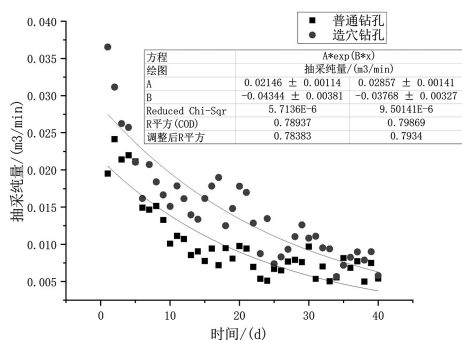


图 11 造穴钻孔与普通钻孔瓦斯抽采纯量拟合曲线图

由图 11 可知,普通钻孔、机械造穴流量衰减趋势均符合负指数变化曲线,其中普通钻孔拟合公式为 $y=0.02146\times e^{-0.04344x}$,机械造穴孔拟合公式为 $y=0.02857\times e^{-0.03768x}$ 。即普通孔流量衰减系数为 $0.04344d^{-1}$,机械造穴孔流量衰减系数为 $0.03768d^{-1}$,显然,机械造穴孔流量衰减系数小,普通钻孔的流量衰减系数大,故也证明了机械造穴钻孔的瓦斯抽采效果优于普通钻孔。

3.3 施工效率对比

单个造穴孔打钻时间为 8h,造穴用时 6h;普通钻孔打钻时间为 8 h。3315 工作面轨道巷顺槽可采长度为 1880m,则巷道均按照同一种类型钻孔,两台钻机同时施工计算,机械造穴孔间距 6m,普通孔 3 m 的情况下。机械造穴孔为 314 个,普通钻孔为 628 个,机械造穴孔用时 184 天,普通钻孔用时 210 天,即机械造穴用时较少,比普通钻孔用时减少 29 天。

表 3 机械造穴与普通打钻施工用时表

数据	类型	
	机械造穴	普通打钻
打钻用时/h	8	8
造穴用时/h	6	/
单孔用时/h	14	8
钻孔间距/m	6	3
钻孔个数/个	314	628
总用时/d	184	210

4 结语

(1)通过现场分析,得出机械造穴钻孔最优的造

穴段长度为 1m,最优的造穴段间距为 10m,此时,造穴钻孔的平均瓦斯抽采纯量为 0.0204m³/min。并且通过拟合瓦斯抽采纯量,造穴段长度为 1m,造穴段间距为 10m 的造穴孔的 R² 达到 82.86%,更能反映真实的抽采情况。

(2)机械造穴钻孔的瓦斯抽采纯量流量优于普通钻孔,钻孔经过机械造穴后,孔内煤体暴露面积增大,抽采纯量较高。在带抽第 1 天至第 40 天,机械造穴孔的瓦斯抽采量为普通孔的 1.5 倍左右。

(3)通过拟合曲线计算出机械造穴孔的流量衰减系数为 0.03768d⁻¹;普通钻孔流量衰减系数为 0.04344d⁻¹。机械造穴孔流量衰减系数小,普通钻孔的流量衰减系数大,也证明了机械造穴钻孔的瓦斯抽采效果优于普通钻孔。

(4)对比施工效率,相同的施工长度,机械造穴比普通钻孔用时少,故机械造穴也可以提高工作面的施工效率。

参考文献:

[1]翟成,李贤忠,李全贵.煤层脉动水力压裂卸压增透技术研究与应用[J].煤炭学报,2011,36(12): 1996-2001.

[2]杨睿月,黄中伟,李根生,等.煤层气水平井水力喷射分段造穴技术探索[J].煤炭学报,2022,47(9):3284-3297.

[3]王亮,廖晓雪,褚鹏,等.瓦斯抽采穿层钻孔扩造穴卸压增透机理研究[J].煤炭科学技术,2021,49(5):75-82.

[4]牟全斌,赵继展.基于机械造穴的钻孔瓦斯强化抽采技术研究[J].煤炭科学技术,2015,43(5): 58-61+86.

[5]彭深,林柏泉,翟成,等.本煤层脉动水力压裂卸压增透技术应用[J].煤炭工程,2014,46(5): 36-38+41.

[6]秦贵成,李阳,舒龙勇.本煤层分段水力造穴钻孔抽采半径考察试验研究[J].煤炭科学技术,2020,48(8): 106-113.