

定向水力压裂增透技术在矿井瓦斯治理中的应用

An application of directed hydraulic fracturing antireflection technology in underground mine gas control

叶俊良¹, 秦兴林^{2,3}

(1. 山西怀仁联顺玺达柴沟煤业有限公司, 山西 怀仁 038300; 2. 煤科集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110016; 3. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺 122113)

摘要:为了提升矿井瓦斯治理效率,以3109运输巷掘进为工程研究对象,采用定向水力压裂增透技术对掘进面前方煤体进行增透处理,并采用理论分析、工程类比并结合矿井瓦斯治理实际情况制定定向水力压裂增透技术方案并进行现场应用。定向水力压裂增透技术应用后,瓦斯抽采钻孔纯量、浓度增幅分别为30%、150%以上,瓦斯治理时间缩短约1/3,取得显著应用效果。

关键词:定向钻孔;水力压裂;瓦斯治理

中图分类号: TD712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)03-0033-03

Abstract:The essay is a case study of 3109 haulage roadway development. To improve gas control efficiency, antireflection was conducted by applying directed hydraulic fracturing at the coal body in front of the workface. After theoretical analyses, project comparison and studying site gas control actualities, a directed hydraulic fracturing antireflection scheme was developed and practiced. Finally a remarkable success was achieved: gas extraction drilling purity and concentration were improved by 30% and 150%, and gas control time was reduced by about 1/3.

Key words:directed drilling; hydraulic fracturing; gas control

1 前言

随着矿井开采深度增加、煤层瓦斯含量呈逐渐增加趋势,瓦斯治理是煤矿安全管理工作中的重点^[1]。根据有关统计资料,高瓦斯、突出矿井中开采的煤层约有95%的煤层透气性较差,采用传统负压抽采方式虽然可在一定程度降低煤层瓦斯含量,但是存在瓦斯治理效率低、时间长、治理成本高等问题,因此有必须采取措施增加煤层透气性,从而提高矿井瓦斯治理效果^[2-5]。CO₂变相压裂、深孔爆破、高压水射流以及水力压裂等技术均可在一定程度上提升煤层透气性,其中以水力压裂应用最为广泛^[6-7]。为了实现回采区域内煤层大范围预抽,本文将定向钻进技术与水力压裂技术相结合对井下煤层进行增透,现场应用取得显著效果。

2 工程概况

山西某矿3109运输巷沿着3煤顶板掘进,煤层埋深平均560 m,厚度平均2.85 m,中间夹杂有2~3层泥岩矸石,煤层倾角平均5°,顶底板岩性以细砂岩、砂质泥岩为主,具体顶底板岩性综合柱状图如图1所示。

由于矿井为突出矿井,开采的3号煤层具有突出危险性,因此巷道掘进过程中需要采取必要的瓦斯治理措施。矿井瓦斯治理采用以保护层开采为区域瓦斯治理措施,本煤层瓦斯抽采钻孔进行瓦斯预抽,从而解决工作面瓦斯涌出问题。为了确保3109运输巷掘进安全,矿井决定采用定向水力压裂技术来提升瓦斯抽采效果。

3 定向水力压裂技术方案及设备

3.1 定向水力压裂技术方案

1) 总体方案

为了确保采用的定向水力压裂技术效果,并实现瓦斯抽采快达标,综合以往研究成果决定在3109

[作者简介] 叶俊良(1991-),男,北京人,助理工程师,本科,主要研究方向为煤矿采掘技术等。

[引用格式] 叶俊良,秦兴林.定向水力压裂增透技术在矿井瓦斯治理中的应用[J].中国矿山工程,2021,50(3):33-35+39.

层厚/m	柱状 1:200	标志层	岩石名称	岩性描述
1.9			粉砂岩	浅灰色,粉砂岩。剪节理,脉状层理,半坚硬及坚硬,过渡接触
2.8			中粒砂岩	灰白色,中粒砂岩。石英为主,长石次之,分选差底部具含砾粗粒砂岩
1.9			粉砂岩	深灰色粉砂岩,波状层理,脉状层理发育,半坚硬,夹泥质条带
2.15			砂质泥岩	深灰色粉砂岩,波状层理,脉状层理发育,半坚硬,夹泥质条带
1.65			细粒砂岩	深灰色,细粒砂岩,脉状层理发育,坚硬,含泥质包体
1.49			砂质泥岩	深灰色,砂质泥岩,水平纹理,节理发育,端口参差状,半坚硬
2.85		3	3号煤	
0.56			砂质泥岩	深灰色,砂质泥岩,含少量云母,斜交裂隙发育,端口参差状,松软
0.97			粉砂岩	深灰色粉砂岩,波状层理发育,坚硬明显接触
2.3			砂质泥岩	深灰金通灵,含砂泥岩,含少量云母,松软
2.35			砂质泥岩	深灰色,端口平坦状,含方解石和含植物根茎化石

图1 3号煤层顶底板岩性

巷道内布置钻场,在钻场内布置定向水力压裂钻孔,具体布置如图2所示。

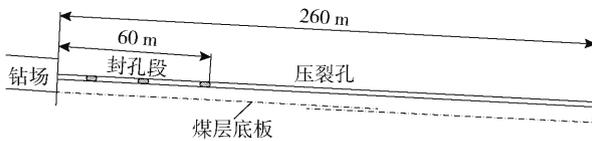


图2 定向水力压裂钻孔布置示意图

定向水力压裂具体操作步骤:

(1) 在巷道钻场内采用定向钻机沿着3号煤层钻孔,钻孔与煤层底板间距保持在1.5 m,开孔角度为3°,确保钻孔始终沿着3号煤层钻进。钻孔孔径设计为96 mm、压裂孔设计长度为260 m。

(2) 钻孔钻进完成后,在压裂孔内装入孔径50 mm,壁厚8 mm 无缝钢管。采用套管+无缝钢管+封隔器组合封堵定向水力压裂钻孔进,钻孔采用封隔器进行封孔,深度为60 m。

(3) 定向水力压裂钻孔封孔完毕,并经打压试验合格后,采用高压泵对钻孔进行水力压裂。单次压裂长度为200 m,钻孔左右两侧影响范围可达30 m。

2) 注水压力及注水量

(1) 煤体破裂产生裂隙需要一定的压力,在采用定向水力压裂时注水压力为^[8]

$$P_f = \sigma_1 + \sigma_3 - 2(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\theta + R_t \quad (1)$$

$$\sigma_1 = 0.021 6H + 6.780 8 \quad (2)$$

$$\sigma_3 = 0.018 2H + 2.232 85 \quad (3)$$

式中: P_f ——水力压裂破断压力,MPa;

θ ——方向角;

R_t ——煤体抗拉强度,MPa;

σ_1 ——最大主应力,MPa;

σ_3 ——最小主应力,MPa;

H ——煤层埋深,m。

3号煤层埋深平均为560 m,管道摩阻约为2 MPa,经过计算得到水力压裂时高压泵提供的水压应在17.8 MPa以上。

(2) 具体定向水力压裂孔注水量为

$$V_{水} = V_{体} k \quad (4)$$

$$V_{体} = abh \quad (5)$$

式中: $V_{水}$ ——注入水量, m^3 ;

K ——煤体孔隙率,%;

$V_{体}$ ——注水影响范围, m^3 ;

a ——影响体长度,m;

b ——影响体宽度,m;

h ——影响体高度,m。

代入相关参数,经计算求得定向水力压裂孔注水量约为1 650 m^3 。

3.2 定向水力压裂设备确定

根据矿井现有的钻孔设备,在定向水力压裂钻孔选用型号为ZYWL-4500DS型履带式全液压定向钻机进行施工,该钻机钻进深度在400 m以上,适应性强,体积小,可满足井下施工。

现阶段煤矿井下常用的高压泵组型号有

BRW200-31.5、CBYL400等,其中BRW200-31.5高压泵组电动机额定工作功率为125 kW,提供的最大水压为31.5 MPa,流量最大为12 m³,在重庆等地区应用较为广泛,但是主要存在注水流量过小问题,不能满足井下压裂供液需要。在3109运输巷水力压裂采用的CBYL400高压泵组,该设备具有体积小、流量大、自动化程度高等优点,具体设备运行参数见表1。

表1 CBYL400 高压泵组运行参数

档位	流量/ m ³ ·h ⁻¹	泵速/ r·min ⁻¹	压力/ MPa	速比	电机功 率/kW	柱塞直 径/mm
5	70.5	370	16.5	1	400	100
4	52.3	274	22	1.35	400	
3	35.1	184	33	2.01	400	
2	26.3	138	44	2.68	400	
1	17.6	92.5	50	4	400	

3.3 注水压裂及保压

1) 注水压裂

在巷道安全位置处将CBYL400高压泵组布置完毕、钻孔封孔完成后,开始进行钻孔注水工作,累积注水时间达到70.3 h,钻孔内注水量为1 625 m³,最大泵送压力为24.5 MPa,压裂孔口位置最大压力为18.5 MPa,具体注水过程中泵送压力变化情况如图3所示。

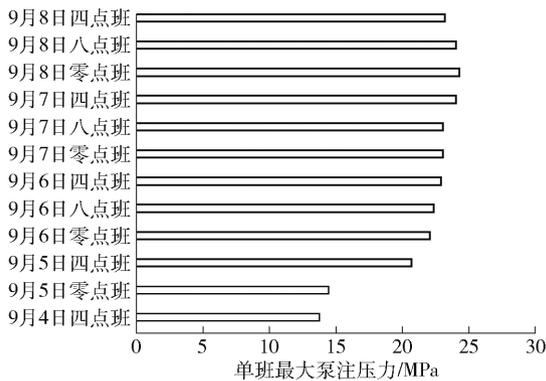


图3 注水过程中泵送压力变化情况

随着煤体被压裂,水沿着裂隙逐渐扩展,水流受到的阻力呈逐渐增加趋势,整个泵送压力也逐渐增长。考虑到注水管路压力损失,高压泵组与压裂孔口间存在有约5 MPa压力差,孔口位置压力大于计算得到的煤体破裂压力,注水压力可满足现场需要。

2) 钻孔保压

为避免注水完成后直接排放水造成3109运输

巷出现瓦斯超限问题及排水过程中造成钻孔堵孔、塌孔等问题,注水压裂后采取钻孔保压技术措施,使得钻孔内水压自然降低,最后与煤储层压力间达到新的平衡,整个保压耗时5 d,钻孔压力由停泵时的17.6 MPa降低至5.3 MPa,后人工打开排水阀排水3 h后将钻孔内水压降低至0,共计排水约315 m³,钻孔注水量远大于排水量。

4 效果分析

为了分析定向水力压裂技术应用效果,在对水力压裂前后瓦斯抽采钻孔抽采浓度、抽采纯量变化情况进行监测、考察,具体如图4所示。

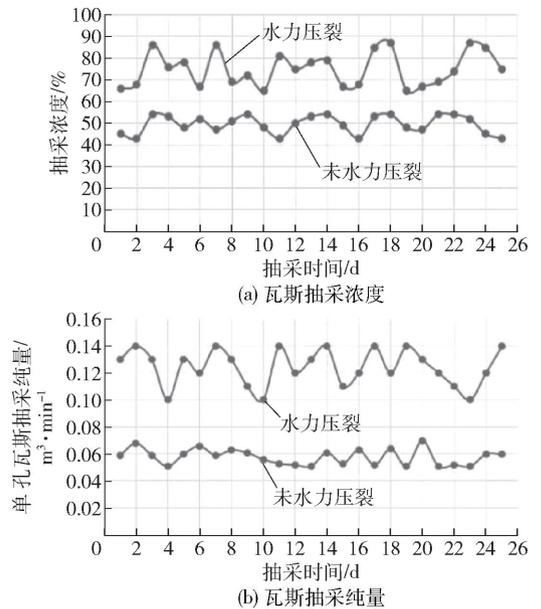


图4 定向水力压裂技术应用前后钻孔瓦斯抽采浓度、纯量变化情况

从图中看出,在未采取定向水力压裂技术的区域单孔瓦斯抽采浓度、纯量分别为42%~53%、0.049~0.064 m³/min,采用定向水力压裂技术后单孔瓦斯抽采浓度、纯量分别提升至65%~88%、0.11~0.16 m³/min。瓦斯抽采浓度、抽采纯量分别提30%、150%以上瓦斯抽采达标时间缩短1/3,定向水力压裂取得显著的瓦斯治理效果。

5 结论

(1)根据3号煤层实际地质条件以及矿井瓦斯现有治理设备,为了提升巷道掘进效果,提出采用定向水力压裂技术提升煤层透气性,从而降低瓦斯治理时间,并对定向水力压裂钻孔具体施工方案以及现场应用效果进行设计与考察。

(下转第39页)