

# 基于径向井技术的煤储层高效增透工艺研究

郝春生<sup>1 2</sup> 季长江<sup>1 2</sup>

(1. 山西蓝焰煤层气集团有限责任公司, 山西 晋城 048000; 2. 易安蓝焰煤与煤层气共采技术有限责任公司, 山西 晋城 048000)

**摘要:** 为获得高效的煤储层增透工艺技术, 从而达到显著提高煤层气井气产量的目的, 以新型径向井技术为基础, 并将其与水力压裂技术高效结合, 采用理论分析的方法, 对影响径向井压裂增透效果的各种因素进行了深入的分析与研究, 包括主裂隙方位、地层倾角、径向井施工技术等。同时, 通过现场试验对径向井压裂技术的实用性进行了检验, 结果表明, 基于径向井技术的煤储层高效增透工艺能使不产气井的日产量增加到 500 m<sup>3</sup>/d, 煤层透气性系数提高了 3.55 倍, 从而形成了一套基于径向井技术的煤储层高效增透新工艺, 该工艺可以显著提升煤储层的增透效果, 提高煤层气井产量。

**关键词:** 径向井; 煤储层; 增透工艺; 煤层气

中图分类号: TD712.6

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)05-0039-04

## Study on high efficient permeability improved technique of coal reservoir based on radial well technology

Hao Chunsheng<sup>1 2</sup> Ji Changjiang<sup>1 2</sup>

(1. Shanxi Lanyan Coalbed Methane Company Limited, Jincheng 048000, China;

2. Yi'an Lanyan Coal and Coal Bed Methane Co-mining Technology Company Limited, Jincheng 048000, China)

**Abstract:** In order to have a high efficient permeability improved technique and technology of the coal reservoir and to reach a target to obviously improve the production of the coalbed methane well based on a new radial well technology, in high efficient combination with the hydraulic fracturing technology, the theoretical analysis method was applied to a deep analysis and study on each factor affected to the fracturing and permeability improved effect of the radial well, including the major crack direction, strata inclination, radial well construction technology and others. Meanwhile, with the site test, an inspection was conducted on the practicality of the radial well fracturing technology. The results showed that based on the radial well technology, the high efficient permeability improved technology of the coal reservoir could increase the daily production of the no gas production well to 500 m<sup>3</sup>/d and the permeability coefficient of seam was increased by 3.55 times. Thus, a new set high efficient permeability improved technique of the coal reservoir was formed based on the radial well technology. The new technique could obviously improve the permeability effect of the coal reservoir and could improve the production of the coalbed methane well.

**Key words:** radial well; coal reservoir; permeability improved technique; coalbed methane

## 0 引言

煤储层的透气性决定着煤层气井的产气能力, 目前常用的煤储层增透技术主要包括物理、化学和生物三大类<sup>[1-7]</sup>。水力压裂技术是最为常见、有效的煤储层增透技术, 在煤层气开发中已得到了较为

广泛的应用, 其兼具物理、化学 2 种煤储层增透特性<sup>[8-16]</sup>。但常规水力压裂技术在储层增透中也存在一定的局限性, 在压裂裂缝周围会形成一个高压应力区, 在一定程度上制约了水力压裂改造效果<sup>[17]</sup>。同时, 压裂裂缝延伸往往受压裂区域主裂隙方位影响显著, 裂缝扩展范围有限, 从而无法达到理想的储

收稿日期: 2016-03-01; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.05.008

基金项目: 山西省煤层气联合研究基金资助项目(2014012008)

作者简介: 郝春生(1970—)男, 山西祁县人, 工程师, 硕士。Tel: 13834920795 E-mail: 274226732@qq.com

引用格式: 郝春生, 季长江. 基于径向井技术的煤储层高效增透工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(5): 39-42, 171.

Hao Chunsheng Ji Changjiang. Study on high efficient permeability improved technique of coal reservoir based on radial well technology[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 39-42, 171.

层增透改造效果。而新型径向井技术具有定向能力强、延伸距离远等优势,在油田的储层增透中已取得了较为理想的增透效果。因此,笔者将径向井技术引入到煤储层的增透改造中,并将其与压裂技术组合,以期形成一种新的煤储层增透技术,从而可以大幅提升煤储层的透气性和煤层气井产量。

## 1 径向井煤储层增透工艺

### 1.1 增透工艺简介

新型径向钻井技术是一种可以在0.3 m的超短半径内完成由垂直到水平的转向,并完成套管开窗和水力破岩的技术。其原理是通过磁定位和自然伽马测井来确定套管开窗深度,用陀螺测斜仪来确定开窗方位,然后使用磨铣钻头在套管上开窗,之后借助特殊喷嘴产生的高压水射流破碎、切割岩层,从而在地层中钻进具有一定直径和长度的径向水平孔<sup>[18-19]</sup>。径向钻井施工系统如图1所示。

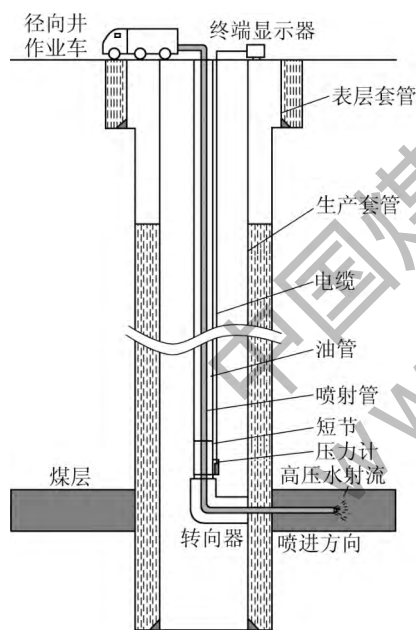


图1 径向钻井施工系统

Fig. 1 Construction system of radial drilling

径向井技术的主要特点是可以充分利用现有井身结构,在井筒内直接实现从垂直转向水平,并可在同一口井内的不同煤层段进行多方位钻进,形成直径约为50 mm、长度达100 m的径向水平孔,从而增加煤储层的透气性。为大幅提升增透效果,充分利用径向井技术定向能力强、延伸距离远的特点,将该技术与水力压裂技术高效组合,利用已施工的径向水平孔引导压裂裂缝扩展延伸,实现裂缝的定向扩展,最大限度地扩大压裂裂缝的延伸范围,大幅提高

煤储层的透气性。从而形成一种基于径向井技术的煤储层高效增透新工艺。

### 1.2 增透工艺影响因素分析

1) 主裂隙方位。径向井技术通过在煤储层施工多个分支径向孔,人为地增加煤储层的裂隙通道,从而改善煤层的透气性。而煤层原始裂隙系统受地应力影响,在某一方位上较为发育,即主裂隙方位。而在其他方向上,发育一些较为短小的次生裂隙。为了最大程度地提高煤层透气性,在径向井施工过程中应使径向分支尽可能多地沟通次生裂隙。但在径向井施工结束后进行水力压裂时,压裂裂缝延伸方向受地应力影响,最终与主裂隙方向趋于一致。

因此,在采用径向井水力压裂技术进行煤层增透时,需将径向孔分支的施工方向尽可能地与该区域的主裂隙方位大角度相交。不仅可以在径向孔施工过程中有效沟通原始次生裂隙,在后续的水力压裂作业时还可以使压裂裂缝在近井端沿径向分支孔眼延伸,在远端受地应力影响裂缝又沿着主裂隙的方位扩展,从而大幅度增加裂缝的延伸面积,提高径向井水力压裂技术的增透效果。裂缝扩展延伸如图2所示。

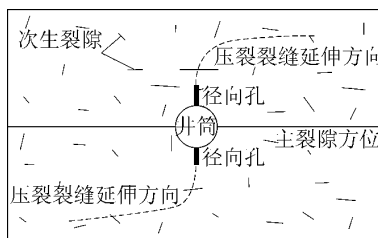


图2 径向井水力压裂裂缝延伸示意

Fig. 2 Schematic diagram of cracks extension by the radial drilling hydraulic fracture

2) 煤储层矿物成分。在成煤作用过程中,黏土矿物随着沉积作用也充填于煤层中。所以,在煤层中黏土矿物较为常见。由于黏土矿物具有遇水膨胀的特性,在进行径向井喷射作业过程中黏土矿物遇水膨胀,堵塞煤层裂隙,导致煤层气不能正常流动,影响径向井的施工效果,如图3所示。

因此,在径向井施工前,应对施工区域煤储层的矿物成分进行详尽的分析与研究,并在此基础上,有针对性地配制具有显著防止黏土膨胀的高效喷射液。最大程度地阻止黏土膨胀,有效地稳定黏土,从而保障径向孔的增透效果。

3) 煤粉返排效果。在径向井施工过程中,煤层在高压水射流的作用下破碎,产生煤粉或煤渣,随着

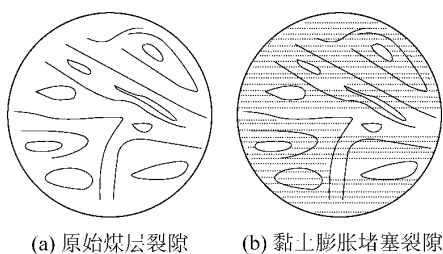


图3 裂隙堵塞示意

Fig. 3 Schematic diagram of blockage in fissures

喷射长度的不断增加,煤粉也越来越多。产生的煤粉若不能有效排出会进入煤层原始裂隙中,堵塞煤层气的产出通道,降低径向井施工效果。同时,还会在后续的水力压裂中进入到裂隙系统,影响压裂增透效果。因此,在径向井施工时,应最大程度地提高煤粉的返排效果。

## 2 煤储层增透试验

### 2.1 试验井概况

JXSY-01井位于山西省古交市屯兰井田,构造位置为太原西山向斜。屯兰井田地处于西山煤田,该煤田位于吕梁—太行断块、五台山块隆的古交掀斜地块。JXSY-01井附近构造较少,地层较为平缓。JXSY-01井施工目的层位为2号煤层,共6支径向孔分支(图4),各分支长度为100 m,施工参数见表1。

表1 施工参数

Table 1 Construction parameters

层位	施工编号	方位角/(°)	孔径/mm	长度/m
第2层实际深度 183.52 m	①	81.67	约50	100
	②	140.00	约50	100
	③	290.00	约50	100
第1层实际深度 182.99 m	④	322.70	约50	100
	⑤	260.00	约50	100
	⑥	110.00	约50	100

注:径向孔的施工先后顺序为:①→②→③→④→⑥→⑤。

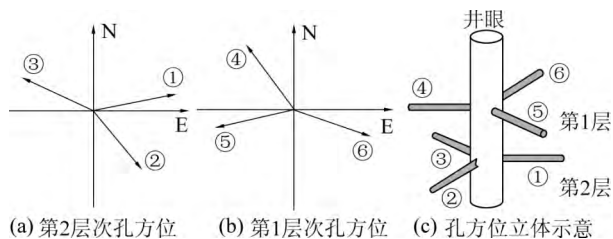


图4 JXSY-01井径向分支示意

Fig. 4 Schematic diagram of radial branches in Well JXSY-01

JXSY-01井在径向井施工完成后进行水力压

裂,共注入液量 $537.36\text{ m}^3$ ,加入石英砂 $25.17\text{ m}^3$ 。

### 2.2 施工效果考察

JXSY-01井在完成径向井水力压裂后,对该井的日常排采数据进行观测和对比分析。该井在进行径向井水力压裂前的压裂目的层位为8号煤层,产气量也较低,且波动较大,排采近一年半后,日产气量下降明显,直至不产气。在采用径向井水力压裂工艺对2号煤层改造后,该井的套压和产量较之前都有明显提高,效果见表2,套压与日产气量对比如图5所示。

表2 煤层气井增产效果对比

Table 2 Stimulation effect comparison of coalbed methane well

作业深度/ m	喷射 孔数	单孔 进尺/m	作业前产量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	作业后产量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )
182.30~184.15	6	100	0	500

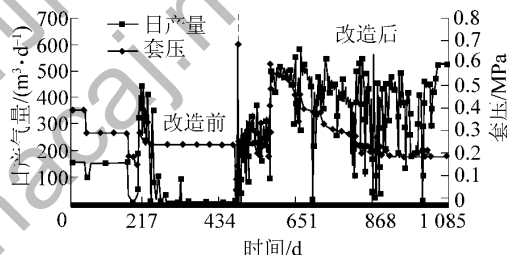


图5 JXSY-01井套压与日产气量改造前后对比

Fig. 5 Comparison of casing pressure and gas daily production before and after transformation in Well JXSY-01

由以上数据分析可知,JXSY-01井2号煤层在采用径向井水力压裂工艺进行改造后,套压和日产量得到了显著提高。说明径向井压裂增透工艺可以在很大程度上沟通煤层原始裂隙,扩大压裂裂缝的延伸规模,大幅提升煤储层的透气性。

将该工艺用于晋城矿区赵庄区块ZZFT-013井3号煤层的煤储层增透改造中,在采用径向井水力压裂工艺进行增透后,分别从地面和井下考察增透效果。ZZFT-013煤层气井井口有间歇性自喷现象,瓦斯涌出现象明显。在井下观察得出,煤层气井压裂区域范围内煤层的透气性系数由原来的 $0.375\text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ 增加到 $1.331\text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ ,煤层透气性系数平均增加至原来的3.55倍,煤层透气性显著增加。

## 3 结 论

1) 主裂隙方位、煤储层矿物成分和煤粉返排效果等因素是影响径向井水力压裂工艺增透效果的主

要因素 在进行煤储层增透前应充分考虑这些因素对径向分支施工方位和施工技术的影响。

2) 基于径向井技术的煤储层增透工艺可以将气井产量从0提升到500 m<sup>3</sup>/d; 透气性系数增加了3.5倍。

3) 基于径向井技术的煤储层增透工艺增透、增产效果明显, 为煤层气开发和煤储层高效增透提供了新的工艺技术和方向。

#### 参考文献(References):

- [1] 郭红玉, 罗源, 马俊强, 等. 不同煤阶煤的微生物增透效果和机理分析[J]. 煤炭学报, 2014, 39(9): 1886-1890.  
Guo Hongyu, Luo Yuan, Ma Junqiang, et al. Analysis of mechanism and permeability enhancing effect via microbial treatment on different-rank coals [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9): 1886-1890.
- [2] 季长江, 蒯海晓, 信凯. 瓦斯强化抽采措施的分析[J]. 煤矿开采, 2011, 16(6): 6-7.  
Ji Changjiang, Lin Haixiao, Xin Kai. Analysis of methane strengthening drainage measures [J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(6): 6-7.
- [3] 蒯海晓, 季长江, 刘 晓. 穿层钻孔水力压裂试验研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2015, 35(3): 26-29.  
Lin Haixiao, Ji Changjiang, Liu Xiao. Experimental study on hydraulic fracturing with cross-seam boreholes [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2015, 35(3): 26-29.
- [4] 朱红青, 张民波, 申 健, 等. 低透气性煤层脉动注水增透机理研究及数值分析[J]. 煤炭学报, 2013, 38(S2): 343-347.  
Zhu Hongqing, Zhang Minbo, Shen Jian, et al. Permeability enhancing mechanism and numerical analysis on pulsating water injection in low permeability coal seams [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S2): 343-347.
- [5] 郭红玉, 苏现波, 陈俊辉, 等. 二氧化氯对煤储层的化学增透实验研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 633-636.  
Guo Hongyu, Su Xianbo, Chen Junhui, et al. Experimental study on chemical permeability improvement of coal reservoir using chlorine dioxide [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(4): 633-636.
- [6] 王兆丰, 范迎春, 李世生. 水力冲孔技术在松软低透突出煤层中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 52-55.  
Wang Zhaofeng, Fan Yingchun, Li Shisheng. Application of borehole hydraulic flushing technology to soft and outburst seam with low permeability [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(2): 52-55.
- [7] 王耀锋, 何学秋, 王恩元, 等. 水力化煤层增透技术研究进展及发展趋势[J]. 煤炭学报, 2014, 39(10): 1945-1953.  
Wang Yaofeng, He Xueqiu, Wang Enyuan, et al. Research progress and development tendency of the hydraulic technology for increasing the permeability of coal seams [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(10): 1945-1953.
- [8] 冯彦军, 康红普. 水力压裂起裂与扩展分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(S2): 3169-3178.  
Feng Yanjun, Kang Hongpu. Hydraulic fracturing initiation and propagation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(S2): 3169-3178.
- [9] 张小东, 张 鹏, 刘 浩, 等. 高煤级煤储层水力压裂裂缝扩展模型研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(4): 573-578.  
Zhang Xiaodong, Zhang Peng, Liu Hao, et al. Fracture extended model under hydraulic fracturing engineering for high rank coal reservoirs [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, 42(4): 573-578.
- [10] 覃道雄, 朱红青, 张民波, 等. 煤层水力压裂增透技术研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(5): 79-81, 85.  
Qin Daoxiong, Zhu Hongqing, Zhang Minbo, et al. Application and research on seam hydraulic fracture permeability improvement technology [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(5): 79-81, 85.
- [11] 苏东林. “三软”低透气性难抽煤层水力压裂增透技术研究[J]. 煤矿开采, 2014, 19(1): 95-97.  
Su Donglin. Technology of adding permeability of low-permeability coal-seam with hydro-fracture [J]. Coal Mining Technology, 2014, 19(1): 95-97.
- [12] 徐 刚, 彭苏萍, 邓绪彪. 煤层气井水力压裂压力曲线分析模型及应用[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(2): 173-178.  
Xu Gang, Peng Suping, Deng Xubiao. Hydraulic fracturing pressure curve analysis and its application to coalbed methane well [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(2): 173-178.
- [13] 程远方, 吴百烈, 袁 征, 等. 煤层气井水力压裂“T”型缝延伸模型的建立及应用[J]. 煤炭学报, 2013, 38(8): 1430-1433.  
Cheng Yuanfang, Wu Bailie, Yuan Zheng, et al. Establishment and application of “T” shape fracture propagation model in hydraulic fracturing of methane well [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(8): 1430-1433.
- [14] 乌效鸣, 屠厚泽. 煤层水力压裂典型裂缝形态分析与基本尺寸确定[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1995, 20(1): 112-115.  
Wu Xiaoming, Tu Houze. Hydraulic fracturing of coal seam typical fracture morphology analysis and size determination [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(1): 112-115.
- [15] 黄炳香, 程庆春, 刘长友, 等. 煤岩体水力致裂理论及其工艺技术框架[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 167-173.  
Huang Bingxiang, Cheng Qingchun, Liu Changyou, et al. Hydraulic fracturing theory of coal-rock mass and its technical framework [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(2): 167-173.
- [16] 吴晓东, 席长丰, 王国强. 煤层气井复杂水力压裂裂缝模型研

(下转第171页)

- 煤炭工程 2005(12): 55-57.
- Song Yuanjing Xu Guangming. Research on auto control system of chain tension for AFC [J]. Coal Engineering 2005(12): 55-57.
- [10] 孟国营, 李国平, 沃磊等. 重型刮板输送机成套装备智能化关键技术 [J]. 煤炭科学技术 2014 42(9): 57-60.
- Meng Guoying, Li Guoping, Wo Lei *et al.* Intelligent key technologies of complete heavy scraper conveyor equipment [J]. Coal Science and Technology 2014 42(9): 57-60.
- [11] 黄开林. 高压变频技术在刮板输送机上的应用研究 [J]. 煤炭科学技术 2014 42(2): 68-72 97.
- Huang Kailin. Research and application on high voltage frequency conversion technology in scraper conveyor [J]. Coal Science and Technology 2014 42(2): 68-72 97.
- [12] 徐广明, 杨伟红. 刮板输送机运行阻力计算分析 [J]. 煤矿机械 2009 30(1): 3-5.
- Xu Guangming, Yang Weihong. Analysis of scraper conveyor running resistance [J]. Coal Mine Machinery 2009 30(1): 3-5.
- [13] 张成刚. 交流变频调速技术在刮板输送机驱动系统上的应用 [J]. 煤矿机械 2011 32(10): 209-210.
- Zhang Chenggang. Application of AC frequency conversion technology in driving system of armoured face conveyor [J]. Coal Mine Machinery 2011 32(10): 209-210.
- [14] 姜敬. 变频电动机在综采工作面刮板输送机的应用 [J]. 煤矿机电 2012(3): 100-102.
- Jiang Jing. Application of variable frequency motor on scraper conveyor at fully mechanized coal face [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology 2012(3): 100-102.
- [15] 吴兆宏, 朱华, 王勇华等. 刮板输送机磨损失效及对策 [J]. 煤矿机械 2005 26(8): 58-59.
- Wu Zhaohong, Zhu Hua, Wang Yonghua, *et al.* Mining Scraper Conveyor's wear failure and countermeasure [J]. Coal Mine Machinery 2005 26(8): 58-59.
- (上接第 42 页)
- 究 [J]. 天然气工业 2006 26(12): 124-126.
- Wu Xiaodong, Xi Changfeng, Wang Guoqiang. The mathematic model research of complicated fractures system in coalbed methane well [J]. Natural Gas Industry 2006 26(12): 124-126.
- [17] 赵阳升, 杨栋, 胡耀青等. 低渗透煤储层煤层气开采有效技术途径的研究 [J]. 煤炭学报 2001 26(5): 455-458.
- Zhao Yangsheng, Yang Dong, Hu Yaoqing *et al.* Study on the effective technology way for mining methane in low permeability coal seam [J]. Journal of China Coal Society 2001 26(5): 455-458.
- [18] 吴刚. 径向钻井技术开发沁水盆地煤层气工艺研究 [J]. 中国煤炭 2012 38(1): 9-12.
- Wu Gang. Process study on radial drilling technology to exploit CBM in Qinshui basin [J]. China Coal 2012 38(1): 9-12.
- [19] 张义, 鲜保安, 赵庆波等. 超短半径径向水平井新技术及其在煤层气开采中的应用 [J]. 中国煤层气 2008 5(3): 20-24.
- Zhang Yi, Xian Baoan, Zhao Qingbo *et al.* Study on new technologies of ultra-short radius radial horizontal wells and application in coalbed methane development [J]. China Coalbed Methane, 2008 5(3): 20-24.