

引用格式:王喆.可控冲击波解堵增透技术在延川南煤层气田中的应用[J].油气藏评价与开发,2020,10(4):87-92.

WANG Z. Application of controllable shock wave plugging removal and permeability improvement technology in CBM gas field of Southern Yanchuan[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(4): 87-92.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.04.013

可控冲击波解堵增透技术在延川南煤层气田中的应用

王喆

(中国石化华东油气分公司勘探开发研究院,江苏 南京 210019)

摘要:为解决延川南区块煤层气井煤粉堵塞、产气量低等问题,开展了可控冲击波解堵增透技术的应用试验。选取4口典型井,进行了施工过程中的地质和工程参数分析,及实施前后产气量、产水量的对比分析。结果表明,可控冲击波解堵增透技术应用于煤层气井中可以提高液体流动性,促进气体解吸扩散,并且可以解堵煤储层。可控冲击波解堵增透技术的选井标准是煤层破裂压力较低、压裂改造效果好、含有夹矸、煤层含气性好和地层压力系数相对较高。该技术具有造缝与解堵作用,可提高地层液体流动性,清除地层污染,在延川南煤层气井近井地带解堵、提升产量方面也有较好的实施效果和应用前景,并且有望成为低产、低效井的一项新型增产技术。

关键词:可控冲击波;延川南区块;煤层气;解堵增透技术

中图分类号:TE37

文献标识码:A

Application of controllable shock wave plugging removal and permeability improvement technology in CBM gas field of Southern Yanchuan

WANG Zhe

(Research Institute of Exploration and Development, Sinopec East China Oil and Gas Company, Nanjin, Jiangsu 210019, China)

Abstract: In order to solve the problems such as coal blockage and low gas production of coalbed methane wells in the Southern Yanchuan block, an application test of controlled shock wave plugging removal and permeability improvement technology is carried out. Therefore, four typical wells are selected to analyze the geological and engineering parameters in the construction process, as well as comparative analysis of the gas and water production before and after the implementation. The results show that the application of controllable shock wave plugging removal and permeability improvement technology in coalbed methane wells can improve liquid fluidity, promote gas desorption and diffusion, and remove plugging in coal reservoirs. The well selection criteria of this technology are low coalbed fracture pressure, good fracturing effect, including dirt band, high gas-bearing capacity of coalbed, relatively high formation pressure coefficient, etc. This technology has the effect of creating fractures and removing plugs, which can improve the fluidity of formation fluids and remove formation pollution. It has a good implementation effect and application prospect in the near-well zone of south Yanchuan coalbed methane wells to plugging removal and increase gas production, and is expected to be a new stimulation technology for low yield and efficiency wells.

Key words: controllable shock wave, South Yanchuan block, CBM (coalbed methane), plugging removal and permeability improvement technology

鄂尔多斯盆地延川南区块煤层气勘探工作始于2008年,经过十多年的勘探开发,截至2019年底已建成年产近4亿立方米的煤层气田。根据构造特征,延川南区块可划分为3个二级构造单元,即谭坪构造

带、西掌断裂带和万宝山构造带^[1]。该区块含煤层系主要为二叠系山西组和石炭系太原组,两套地层中纵向上共发育11层煤^[1]。其中主力煤层是西部万宝山构造带2号煤层,埋深大于1 000 m,构造形态为北

收稿日期:2020-03-20。

作者简介:王喆(1988—),男,硕士,助理工程师,主要从事非常规油气研究工作。通讯地址:江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼,邮政编码:210019。E-mail:625205326@qq.com

基金项目:中国石化科技部项目“延川南深层煤层气稳产技术研究”(P19019-4)。

西向的鼻状构造,其西北部区域发育多个规模较小的正断层;东部谭坪构造带2号煤层埋深小于1 000 m,构造简单,局部发育小断层,地层倾向近北西,中间地层较平缓^[1](图1)。目前部分煤层气井遇到产气量下降、煤粉堵塞等问题。针对遇到的问题,已经尝试的增产措施主要有可控冲击波解堵增透、氮气泡沫压裂、大液量提液等。氮气泡沫压裂、大液量提液措施成本高,经济效益差,增产效果有限^[2-3]。

可控冲击波解堵增透技术在国内油气田已经实施数百口井,在胜利油田、桥口油田、江苏油田、安塞油田等都取得较好的效果。2010年以来,邱爱慈院士团队在国际上首先提出采用可控冲击波激励煤层的设想,随后郭智栋等^[4]和田守增等^[5]根据这种设想在室内利用实验装置进行了大量试验和研究工作,武杰、张聪等^[6-10]也在沁水盆地部分煤层气井进行了试验,取得了良好的效果。该文首次对该技术在延川南煤层气田40余口井的试验结果进行了对比分析,并且对实施效果进行了评价。

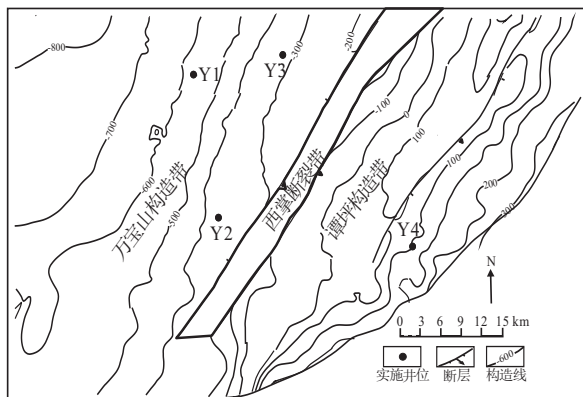


图1 延川南区块构造井位

Fig. 1 Structure and well location of south Yanchuan block

1 可控冲击波技术及现场实施

1.1 可控冲击波解堵技术机理

可控冲击波是针对煤层解堵增产的一项新技术,它的定义是冲击波的波幅冲量可控,作业点数和每个点上重复作业次数可控^[11],有别于传统煤层增透技术^[12],对煤层伤害较小,不会对煤层造成二次污染和伤害^[13]。其原理是利用水中高压放电的脉冲大电流或金属丝电爆炸,在局部范围内形成能量快速沉积产生等离子体,使放电通道剧烈膨胀扩张,从而推动水介质形成冲击波,对煤层进行压裂增透^[14]。

可控冲击波技术相比之前的传统技术有两大明

显优势。一是在增透作业过程中形成许多孔隙,可控冲击波发展到高强波时,扰动这些孔隙使煤层气解吸、扩散,扩大煤层增透范围;二是由于煤层抗压强度小于岩层,增透时煤层容易塌陷垮落。对此,可控冲击波可通过控制波动幅度值和有效作用区域,使在顶板与底板周围钻孔的煤层小幅度撕裂,同时也保证了煤层顶底板的完整性^[15]。

冲击波增产的机理主要表现为:一是造缝作用,当冲击波峰值压力超过岩石的疲劳强度时,就会造成新的微裂缝或宏观裂缝;二是解堵作用,冲击波在非均质性较强的介质中产生的速度、加速度有很大的差异,从而在这些介质中的固液和气液等波阻抗相差较大的界面就会产生较强的剪切力与剪切位移,达到解堵目的;三是提高地层液体流动性,由于冲击波在煤岩介质不同位置上压差的方向和大小交替变化,使液体由滞留区向排液活动区流动,改变孔隙中水、气界面的动态,克服束缚滞留效应,这样就有利于地下水的重新分布、聚集和排出;四是清除地层污染,弹性冲击波在多孔介质中传播时会使介质时而被压缩,时而被扩张,造成渗流道直径大小变化,可使固态颗粒逐步通过孔道排出;五是改变地层静电场分布,冲击波在煤层产生的强电磁或弹性波场,可以改变煤层表面电场的分布,减少气水的流动阻力^[16-17]。

1.2 延川南区块可控冲击波技术应用

1.2.1 目的煤层储层条件

延川南区块位于鄂尔多斯盆地东缘南段,该区块主力开发煤层是山西组2号煤,全区横向分布稳定,煤层平均厚度约为5 m^[1]。

山西组2号煤普遍含有1~2层夹矸,局部发育3层夹矸,总厚度为0~0.8 m,平均为0.35 m。2号煤煤岩显微组分主要由无结构镜质体组成,结构镜质体少见,其间分散着黏土和惰质组碎片及少量黄铁矿颗粒。2号煤镜质组反射率在1.96%~3.22%,变质程度属贫煤、无烟煤阶段。2号煤层含气量普遍较高,均值为12 m³/t。此外,该区块煤岩微裂隙、割理较发育,机械强度低、易破碎^[1]。

1.2.2 实施井基本参数

根据延川南区块煤层气井普遍存在煤粉堵塞、产气量下降的问题,通过分析生产井产气、产水、流压和套压等数据,归纳出4种问题类型(见表1),即

低产气、低产水,低产气、不产水,不产气、不产水,以及低产气、产水4种类型。按照上述4种类型,在延川南区块谭坪构造带和万宝山构造带选择40余口井进行了可控冲击波解堵增产试验。其中,4口典型井实施前的具体数据见表1、表2。

2 冲击波解堵实施效果及分析

2.1 典型煤层气井运行情况

2.1.1 Y1井效果

Y1井实施前状态类型为低产气、低产水井。该井于2019年4月25日进行可控冲击波解堵技术作业,从图2可以看出,在实施初期,该井的产水量较先前明显增大,由之前的日产水0.09 m³上升至0.98 m³,最高达1.09 m³,但在这之后产水量急剧下降,逐渐下降至0.03 m³。实施后的产气量也较实施前有大幅度地提高,最高日产气量为1 990 m³,但随后产气量缓慢下降,逐渐降至1 400 m³。实施后的井底流压初期较先前明显增大,由0.40 MPa上升至3.91 MPa,最高

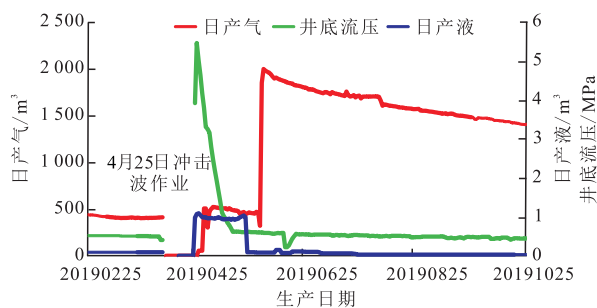


图2 Y1井生产曲线

Fig. 2 Production curve of well-Y1

达5.45 MPa,但随后急剧下降,至2019年10月25日该井流压下降至0.45 MPa。

2.1.2 Y2井效果

Y2井实施前状态类型为低产气、不产水井。该井于2019年3月10日实施可控冲击波解堵作业,从图3可以看出,该井产水量较实施前明显增大,日产水上升至0.99 m³,随后逐渐降低,下降至0.1 m³。实施后的产气量也较实施前有大幅度地提高,最高日产气量为1 715 m³,但随后产气量缓慢下降,至2019年9月10日稳定在1 330 m³左右。实施后的井底流压初期较先前变化不大,由之前的0.30 MPa下降至0.23 MPa,期间流压有所波动,至2019年9月10日流压稳定在0.23 MPa。

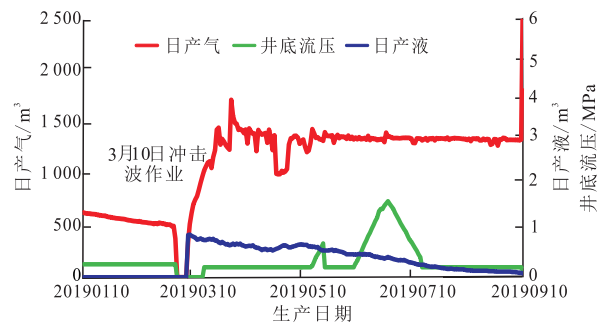


图3 Y2井生产曲线

Fig. 3 Production curves of well-Y2

2.1.3 Y3井效果

Y3井实施前状态类型为不产气、不产水井。该井于2018年8月20日实施可控冲击波解堵作业,从图4可以看出,在实施初期,该井的产水量较先前明

表1 4口典型井实施前生产情况

Table 1 Production data of four typical wells before implementation

实施井号	煤层埋深/m	煤层厚度/m	产气量/(m ³ ·d ⁻¹)	产水/(m ³ ·d ⁻¹)	流压/MPa	套压/MPa	实施前状态类型
Y1	1 431.6 ~ 1 436.1	4.6	410	0.09	0.50	0.16	低产气、低产水
Y2	1 196.7 ~ 1 202.8	4.3	624 ~ 374	0	0.30	0.30	低产气、不产水
Y3	1 449.0 ~ 1 453.7	3.6	0	0	0.10	0.10	不产气、不产水
Y4	1 005.3 ~ 1 011.8	6.1	430	1.10	0.18	0.18	低产气、产水

表2 4口典型井压裂和地质参数

Table 2 Fracturing and geological parameters of four typical wells

实施井编号	总砂量/m ³	总液量/m ³	破裂压力/MPa	煤体结构	矿化度/(mg·L ⁻¹)	夹矸层数/层	夹矸厚度/m	含气性/(m ³ ·t ⁻¹)	压力系数/[MPa·(100 m) ⁻¹]
Y1	50.1	781	30.6	原生-碎裂煤	18 244	3	0.39	12.5	0.773
Y2	51.2	1 021	39.0	原生-碎裂煤	27 758	3	0.50	12.7	0.768
Y3	59.1	811	53.8	碎粒-糜棱煤	23 198	0	0	10.6	0.604
Y4	40.0	617	25.0	原生-碎裂煤	3 688	2	0.33	12.0	0.443

显增大,日产水上升至 1.23 m^3 ,之后产水量急剧下降,下降至 0.07 m^3 。实施后的产气量也较实施前有大大幅度地提高,最高日产气量为 $1\,450\text{ m}^3$,但随后产气量缓慢下降,至2019年2月20日稳定在 650 m^3 左右。实施后的井底流压初期较先前明显增大,上升至 3.99 MPa ,但随后急剧下降,至2019年2月20日后下降至 0.17 MPa 。

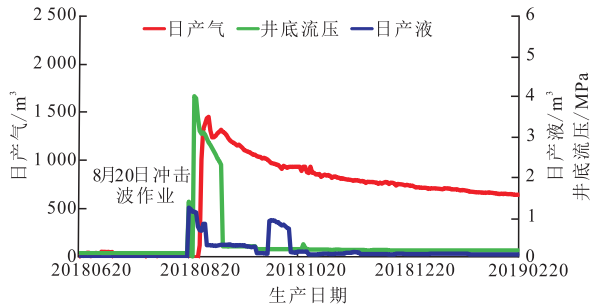


图4 Y3井生产曲线

Fig. 4 Production curves of well-Y3

2.1.4 Y4井效果

Y4井实施前状态类型为低产气、产水井。该井于2018年2月7日实施可控冲击波解堵作业,从图5可以看出,在实施初期,该井产水量较先前明显增大,日产水上升至 1.6 m^3 ,之后产水量下降,降至 0.05 m^3 。实施后产气量也较实施前有所提升,最高日产气量为 625 m^3 ,但随后产气量有所波动,至2018年8月7日稳定在 430 m^3 左右。实施后的井底流压初期较先前明显增大,上升至 2.1 MPa ,但随后急剧下降,至2018年8月7日后下降至 0.12 MPa 。

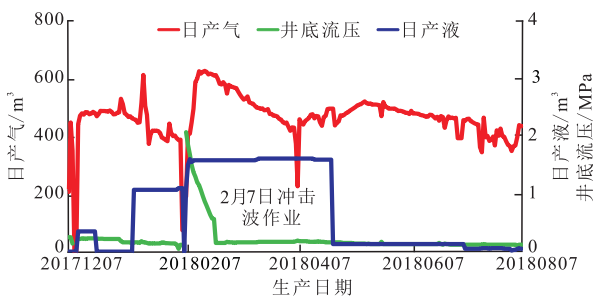


图5 Y4井生产曲线

Fig. 5 Production curves of well-Y4

2.2 可控冲击波解堵实施效果分析

通过对比40余口煤层气井在可控冲击波解堵作业实施前后日产气、日产水等的变化情况,可以评价该技术在延川南区块整体应用的效果。通过应用发现:实施初期有效果的增产煤层气井有30余口,约占

实施总井数的80%;生产6个月后日产气仍高于实施前的井有20余口,约占实施总井数的60%,说明冲击波解堵技术在延川南区块的应用效果良好。

图6是4口典型井在措施前后的产气量和产水量对比,从图中可以看出,4口井无论实施前是否产气、产水,在冲击波解堵后的初期,产气量和产水量较实施前明显增加,井底流压也有一定程度的增加,尤其是Y2井,日产气量从解堵前的 500 m^3 增加至 $1\,715\text{ m}^3$,日产水量也从之前的不产水增大至 0.99 m^3 ,初期增产效果非常明显,说明可控冲击波解堵技术可以撕开裂缝、清除煤粉堵塞物、沟通渗流通道,提升井筒附近渗流能力,促进煤层气解吸扩散,提高单井产气量。

但是这种高产的状态对于某些井来说不能长久保持。Y3井和Y4井,初期最高日产气量分别达 $1\,450\text{ m}^3$ 、 625 m^3 ,但随后产气量缓慢下降。运行6个月后日产气降至约 650 m^3 、 430 m^3 ;产水量更是急剧下降,在运行6个月后日产水分别下降至 0.09 m^3 、 0.05 m^3 。说明可控冲击波解堵对延川南区块的有效作用半径较小,解堵、提升液体流动和促进气体解吸等作用主要集中在煤粉堵塞的近井地带,并不能延伸到煤层远处,这可能与Y3井煤层煤体结构较破碎及Y4井压力系数较低有关。

另外,从实施整体效果看,Y1井和Y2井在运行6个月后产气量下降不明显,日产气保持在 $1\,700\text{ m}^3$ 和 $1\,300\text{ m}^3$ 左右,仍然高于实施前的日产气量,说明可控冲击波解堵技术在煤体结构完整、煤层强度较高的煤层气井中解堵、提升产量方面有比较稳定的增产效果。

2.3 可控冲击波解堵技术的适应性分析

2.3.1 对煤储层的适应性选择

通过对煤储层的对比,发现实施效果好的井有如下特点:一是煤体结构均是原生一碎裂煤;二是煤层含夹矸层数多,夹矸厚度相对较大。与之相反,效果差的井大多有如下特点:一是煤体结构大多是碎裂—糜棱煤;二是煤层不含夹矸或者夹矸层数较少,且夹矸厚度较小。分析原因主要有2个方面:一是煤体结构本身破碎的井,由于强度低、渗透率低,冲击波能量无法向远处传递,波及范围小;二是煤层中含有夹矸的井非均质性强,冲击波可以从硬煤层和夹矸送进煤层,波及范围更广。

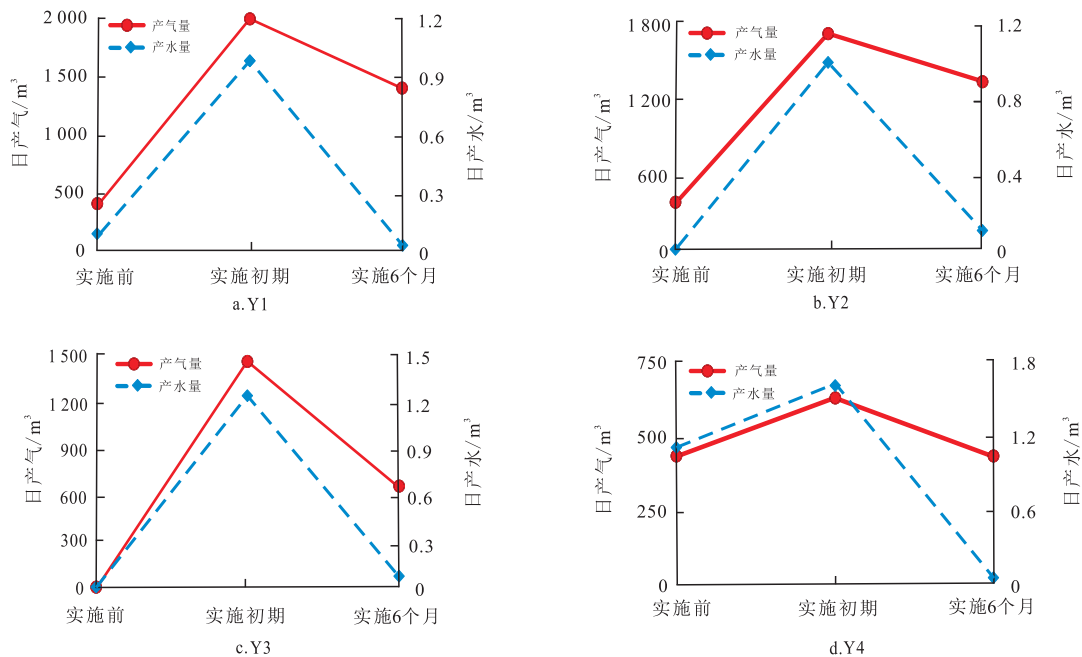


图6 实施前后煤层气井产气量、产水量变化及其对比

Fig. 6 Comparison of gas and water production of CBM wells before and after the implementation

2.3.2 对煤层气井压力系统的适应性选择

分析措施井前期压裂改造情况和其他地质参数发现,实施效果好的煤层气井破裂压力低、加砂量大,如Y3井破裂压力最高(53.8 MPa),Y4井加砂量最少(40 m³),这两口井冲击波解堵效果就不如Y1、Y2井;冲击波解堵效果好的井煤层含气量和地层压力系数高,如Y1、Y2井地层压力系数明显高于Y3、Y4井。所以应选择破裂压力低、加砂量大、煤层含气性好、地层压力系数相对较高的井进行可控冲击波解堵作业,这样才会取得比较好的效果。

2.3.3 对作业技术参数的适应性选择

在应用初期,使用普通型聚能棒进行冲击,且冲击点位控制在3~6个,冲击次数控制在3~5次,获得的效果有限;随后对点位、次数和聚能棒进行了调整,减少了冲击点位并且增大了冲击次数,普通型聚能棒改为增强型聚能棒,效果有一定提升;而后进一步对冲击点位和次数进行了优化,增强型聚能棒改为威力型聚能棒,增加对夹矸的冲击次数,煤层其他部位冲击4~6次,并且根据单井的地质特征和工程参数对其进行优化,效果得到进一步提升。以4口典型井为例,Y3和Y4井是实施较早的井,Y3井使用普通型聚能棒在煤层中3个点位分别冲击5次,Y4井使

用增强型聚能棒在煤层中4个点位分别冲击5次。这两口井的实施效果都比较差。而Y1和Y2井是之后实施的井,对聚能棒类型、冲击点位和冲击次数进行了优化,其中聚能棒类型调整为威力型,冲击点位增加为8~10个,冲击次数增加为8次,并且在夹矸部分冲击次数增加为10次,效果明显优于Y3和Y4井。这说明根据延川南区块煤层煤体结构、孔渗性等地质特征,不断摸索和优化冲击波的聚能棒类型、冲击点位和冲击次数等技术参数,解堵改造煤储层的效果会逐步提升。

3 结论

1) 可控冲击波解堵技术解决延川南区块部分煤层气井煤粉堵塞、产气量下降等问题有较好效果,初期产气量增加明显,有些井效果可持续6个月以上,说明该技术在延川南区块煤层气井中的应用可以改善煤层渗透性,提高液体流动能力,加速煤层气解吸扩散,达到煤层解堵的目的。该技术的甜点区主要在井筒附近,应尽量选在煤层渗透率好、强度高和煤体结构完整的煤层气井中应用,同时煤层夹矸对冲击波也有一定的影响作用。在适宜的煤层气井条件下,有望成为低产、低效井的一项新型解堵增产技术。

2) 进一步加强选井、选层及井筒完整性研究,

对典型井的各类地质、工程参数和试验结果进行分析,得出延川南区块应用可控冲击波解堵选井标准是煤层破裂压力较低,压裂改造效果好,含有夹矸,煤层含气性好,压力系数相对较高等。

3) 在可控冲击波解堵实施过程中使用不同的冲击点位、次数和聚能棒类型,不断优化冲击波工程参数,低产低效的煤层气井的增产效果就不断提升,说明应根据煤层煤体结构、孔渗性等综合地质特征,针对性地制定实施方案,优化冲击波的作用位置、冲击次数等工程技术参数,才能有效地提升低效井的增产改造效果。

参考文献

- [1] 方志雄. 延川南煤层气田勘探开发关键技术及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 9-20.
FANG Z X. Key technologies and application of exploitation and development of south Yanchuan gas field[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 9-20.
- [2] 邱爱民, 张波, 邱爱利, 等. 煤层气多分支井成井失效分析及补救措施研究[J]. 非常规油气, 2018, 5(3): 88-92.
QIU A M, ZHANG B, QIU A L, et al. Drilling failure analysis and remedial measures of coalbed methane multiple laterals wells[J]. Unconventional Oil & Gas, 2018, 5(3): 88-92.
- [3] 卢凌云, 张遂安, 郭文朋, 等. 煤层气直井低产原因与高产因素诊断分析[J]. 非常规油气, 2017, 4(5): 71-75.
LU L Y, ZHANG S A, GUO W P, et al. The diagnosis and analysis of the low-yield cause and high-yield factor of vertical well in coalbed methane[J]. Unconventional Oil & Gas, 2017, 4(5): 71-75.
- [4] 郭智栋, 曾雯婷, 方惠军, 等. 重复脉冲强冲击波技术在煤储层改造中的初步应用[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(3): 397-402.
GUO Z D, ZENG W T, FANG H J, et al. Initial application of intense repeated pulse wave for stimulating CBM reservoirs[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(3): 397-402.
- [5] 田守增, 黄中伟, 李根生, 等. 径向并复合脉动水力压裂煤层气储层解堵和增产室内实验[J]. 天然气工业, 2018, 38(9): 88-94.
TIAN S C, HUANG Z W, LI G S, et al. Laboratory experiments on blockage removing and stimulation of CBM reservoirs by composite pulsating fracturing of radial horizontal wells[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(9): 88-94.
- [6] 武杰, 田永东. 高聚能电脉冲技术在沁水盆地煤层气井的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(5): 206-211.
WU J, TIAN Y D. Application of high energy electric pulse technology in coalbed methane wells in Qinshui basin[J]. Coal Geology and Exploration, 2018, 46(5): 206-211.
- [7] 张聪, 李梦溪, 王立龙, 等. 沁水盆地南部樊庄区块煤层气井增产措施与实践[J]. 天然气工业, 2011, 31(11): 26-29.
ZHANG C, LI M X, WANG L L, et al. EOR measures for CBM gas wells and their practices in the Fangzhuang Block, southern Qinshui Basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(11): 26-29.
- [8] 韩学婷, 张兵, 叶建平. 煤层气藏 CO₂-ECBM 注入过程中 CO₂ 相态变化分析及应用——以沁水盆地柿庄北区为例[J]. 非常规油气, 2018, 5(1): 80-85.
HAN X T, ZHANG B, YE J P. Analysis and application of CO₂ phase change during CO₂-ECBM injection in CBM——Taking the study of Shizhuang North Block in Qinshui Basin as an example[J]. Unconventional Oil & Gas, 2018, 5(1): 80-85.
- [9] 王勃, 姚红星, 王红娜, 等. 沁水盆地成庄区块煤层气成藏优势及富集高产主控地质因素[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 366-372.
WANG B, YAO H X, WANG H N, et al. Favorable and major geological controlling factors for coalbed methane accumulation and high production in the Chengzhuang Block, Qinshui Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 366-372.
- [10] 刘羽欣. 柿庄北区煤层气井排采制度研究[J]. 特种油气藏, 2019, 26(5): 118-123.
LIU Y X. Drainage gas recovery system of CBM well in the north Shizhuang block[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(5): 118-123.
- [11] 张永民, 邱爱慈, 秦勇. 可控冲击波增透松软煤层的工程实践[J]. 山西焦煤科技, 2017, 41(8): 116-121.
ZHANG Y M, QIU A C, QIN Y. Engineering practice on controllable shock wave reinforcement on soft coal seam[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2017, 41(8): 116-121.
- [12] 王向东, 李文刚. 吉宁煤矿可控冲击波增透技术应用分析[J]. 山西焦煤科技, 2019, 43(2): 4-7.
WANG X D, LI Y G. Application analysis of controlled shock wave penetration enhancement technology in Jining Coal Mine[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2019, 43(2): 4-7.
- [13] 张永民, 蒙祖智, 秦勇, 等. 松软煤层可控冲击波增透瓦斯抽采创新实践——以贵州水城矿区中井煤矿为例[J]. 煤炭学报, 2019, 44(8): 2388-2400.
ZHANG Y M, MENG Z Z, QIN Y, et al. Innovative engineering practice of soft coal seam permeability enhancement by controllable shock wave for mine gas extraction: A case of Zhongjing Mine, Shuicheng, Guizhou Province, China[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2388-2400.
- [14] 张永民, 邱爱慈, 秦勇. 电脉冲可控冲击波煤储层增透原理与工程实践[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 79-85.
ZHANG Y M, QIU A C, QIN Y. Principle and engineering practices on coal reservoir permeability improved with electric pulse controllable shock waves[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 79-85.
- [15] 张波. 可控冲击波如何实现煤层增透[N]. 中国煤炭报, 2018-3-31(4).
ZHANG B. How controllable shock wave realizes anti-reflection in coal seams[N]. China Coal News, 2018-3-31(4).
- [16] 白建梅, 程浩, 祖世强, 等. 大功率脉冲技术对低产煤层气井增产可行性探讨[J]. 中国煤层气, 2010, 7(6): 24-26.
BAI J M, CHENG H, ZU S Q, et al. Discussion on feasibility of enhancing production of low-production CBM wells by using powerful pulse techniques[J]. China Coalbed Methane, 2010, 7(6): 24-26.
- [17] 邓钧耀, 杨松, 曹振义, 等. 鄂尔多斯东缘深层煤层气井新型堵漏工艺研究[J]. 石油机械, 2019, 47(9): 37-43.
DENG J Y, YANG S, CAO Z Y, et al. Study on new lost circulation control technology for deep coalbed methane wells in the eastern margin of Ordos[J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(9): 37-43.

(编辑 李青)