

煤层气开发精确对接井钻进技术装备研发与应用

石智军¹ 张 群¹ 王保玉² 刘建林¹ 田宏亮¹ 赵永哲¹

(1. 中国煤炭科工集团西安研究院有限公司 陕西 西安 710077; 2. 山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司 山西 晋城 048006)

摘 要: 针对煤矿区煤层气地面开发面临的井型及成井方法单一、配套国产化钻井装备不足等难题,提出了一种基于精确对接井钻进技术的煤层气开发新模式,研制了配套全液压车载钻机,集成了成套钻进装备系统;研究发展了精确对接井钻进工艺,总结形成了系列完井技术,在晋城矿区建成了我国煤矿区第一个高产的远端精确对接井。精确对接井钻进技术装备已推广应用于多个煤层气勘探开发工程,相继建成10个不同类型的精确对接井组,施工水平连通井16口,最大对接距离1 065 m,最大位垂比3.7,最高日产气量3.28万m³(晋城矿区15号煤层),为实现煤矿区煤层气地面高效开发提供了技术装备支持。

关键词: 全液压车载钻机; 精确对接井; 钻进工艺; 完井技术; 煤矿区; 煤层气开发

中图分类号: TD41 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)05-0006-05

Research & development and application on drilling technology and equipment of accurate butted well for coalbed methane development

Shi Zhijun¹ Zhang Qun¹ Wang Baoyu² Liu Jianlin¹ Tian Hongliang¹ Zhao Yongzhe¹

(1. Xi'an Research Institute Company Limited, China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an 710077, China;

2. Shanxi Jincheng Anthracite Mining Group Co., Ltd., Jincheng 048006, China)

Abstract: According to the single well type and completion technology, insufficient matched domestic drilling equipment and other problems faced to the coalbed methane surface ground development in the coal mine area, a new accurate butted coalbed methane development mode with a butted point and two side branches was studied and practices, a matched full hydraulic truck mounted drilling rig was researched and developed and the completed set drilling equipment system was integrated. The accurate butted drilling technique was studied and developed, a series well completion technology was summarized and formed and the first high production remote accurate butted well in China coal mine area was constructed in Jincheng Mining Area. The accurate butted drilling technology and equipment was promoted and applied to several coalbed methane exploration and development projects. One after another, 10 different type accurate well butted groups were established, 16 horizontal butted wells were constructed, a max butted distance was 1 065 m, the max vertical ratio was 3.7 and the max daily gas production was 32 800 m³(No. 15 seam in Jincheng Mining Area). The technology and equipment could provide a technical and equipment support to realize a coalbed methane high efficient development on the surface.

Key words: fully hydraulic truck-mounted drilling rig; accurate butted well; drilling technique; well completion technology; coal mine area; coalbed methane development

0 引 言

煤层气(煤矿瓦斯)是我国重要的非常规天然气资源,据最新的全国油气资源评价结果,埋深

2 000 m 以浅的煤层气地质资源量为 36.81×10^{12} m³,居世界第3位,与我国陆地上的天然气资源量相当,其中可采资源量为 10.87×10^{12} m³[1]。自20世纪80年代开始,我国将煤层气(煤矿瓦斯)作为

收稿日期:2015-12-11;责任编辑:赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.05.002

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2008ZX05041-001)。

作者简介:石智军(1955—),男,陕西富平人,研究员,博士生导师。Tel:13909254439, E-mail: shizhijun@cctegxian.com

引用格式:石智军,张 群,王保玉,等.煤层气开发精确对接井钻进技术装备研发与应用[J].煤炭科学技术,2016,44(5):6-10,58.

Shi Zhijun, Zhang Qun, Wang Baoyu, et al. Research & development and application on drilling technology and equipment of accurate butted well for coalbed methane development[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 6-10, 58.

一种资源进行勘探评价研究,同时积极引进美国现代煤层气开发技术,进行煤层气地面勘探开发试验^[2]。然而,由于我国煤层赋存地质条件复杂,盆地原型及构造样式多变,煤层气成藏地质条件与美国有很大差别,开发难度大^[3]。

煤矿区煤层气地面钻井开发具有获取清洁能源、提高煤矿安全保证能力和减少温室气体排放等多重效益,且不受井下采掘工程进度限制,生产周期长,是实现煤层气(煤矿瓦斯)高效开发的重要方式之一^[4-6]。2005年开始,我国煤层气地面开发井年钻井数量快速增长,以压裂直井为主,约占钻井总数的97%以上。随着对我国煤层气藏地质多样性和复杂性特征认识的加深,钻井类型、成井方法单一已成为制约煤层气地面规模化勘探开发的技术瓶颈。同时,完全采用国外先进技术装备无法从根本上解决我国煤层气地面开发面临的难题,需通过科研攻关和现场实践,开发适合我国煤储层特征的煤层气开发技术,并研制配套装备。在国家科技重大专项的支持下,研发了一种煤层气精确对接井地面开发新模式,研究发展了钻完井工艺技术,研制了全液压车载钻机,集成了配套装备系统,并进行了推广应用。

1 精确对接井开发模式

煤层气地面开发精确对接井由1口目标垂直井与1口或多口水平连通井组成,其中目标垂直井在目标煤层段造穴,洞穴高度与煤层厚度一致;水平连通井在目标煤层中远距离延伸后与目标垂直井洞穴连通形成远端(一般井口距离大于500 m)精确对接井,主井过洞穴继续钻进一定长度,根据需要在对接点两侧施工分支井,其典型结构如图1所示,完钻后在目标垂直井中安装排采设备,生产过程中水平连通井根据现场情况可临时封闭或就近连入集气管路。

精确对接井特殊的结构形式有利于提高煤层气开发效果,其技术优势为:①对接点两侧的分支井增加了煤层气有效供给面积,扩大了排水降压的波及范围和煤层气有效解吸区,有利于提高煤层气抽采效果;②远端精确对接为水平连通井主井段修井创造了有利条件,能够延长井组的有效产气时间,增加累计产气量;③精确对接井可利用未产气或低产的直井作为目标直井,实现已有井网的加密和挖潜,改善局部区域煤层气开发效果;④对接点两侧带分支结构配合分段压裂完井工艺易于实现大范围压裂改

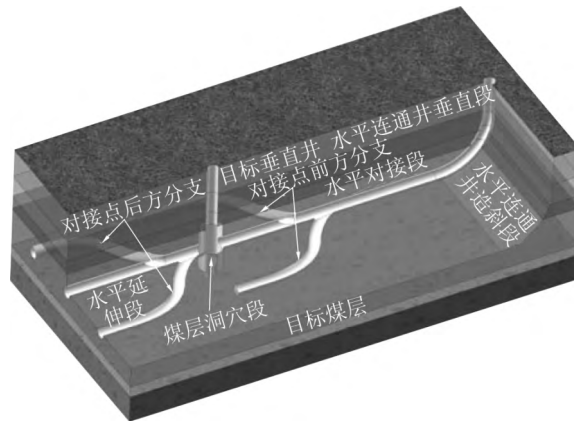


图1 带分支的远端精确对接井

Fig.1 Extended-reach precise intersected well with multi-branches

造,增大精确对接井排采影响范围,利于降低综合开发成本。

精确对接井特殊的结构形式决定它适用于勘探程度高、地质构造相对简单、水文地质条件优越的煤层气开发区域,同时,目标煤层应具备埋深适中、水平分布稳定、透气性较好、气含量较高等特点。

2 精确对接井关键钻进工艺技术开发

2.1 精确对接井井身结构设计

在借鉴国内外煤层气开发井井身结构设计成功经验基础上^[7-9],结合精确对接井自身特点,确定目标垂直井和水平连通井均采用三开井身结构,其中一开钻头尺寸 $\phi 311.1$ mm、对应套管尺寸 $\phi 244.5$ mm,进入基岩或较稳定地层5~10 m,下表层套管封固易漏、易塌地层及浅层水;二开钻头尺寸 $\phi 215.9$ mm、对应套管尺寸 $\phi 177.8$ mm,钻进至目标煤层顶板稳定地层结束,下技术套管封固目标煤层以上含水层。目标垂直井的三开钻头尺寸 $\phi 152.4$ mm或 $\phi 149.2$ mm,煤层段造洞穴,半径不小于500 mm。水平连通井的三开钻头尺寸可根据地层情况、完井方式及造斜曲率半径等具体要求,在 $\phi 152.4$ 、 $\phi 149.2$ 、 $\phi 117.8$ mm中选择。

2.2 水平连通井井眼轨道设计

水平连通井井眼轨道设计是确保精确对接井顺利成井的重要因素。综合考虑钻进装备施工能力、钻杆强度、现场施工条件、下套管及固井要求,在适应煤储层特性和地质条件的前提下,基于钻具组合的造斜能力,依据提高造斜段造斜率、减小曲率半径、缩短造斜段长度,改善井眼摩阻特性的原则,研究确定水平连通井造斜段的曲率半径宜控制在

150~200 m。针对精确对接井结构特点,为降低水平连通井施工难度、提高对接的成功率,确定采用直(井段)-增(斜段)-稳(斜段)-增(斜段)-稳(水平段)的五段制井眼轨道剖面类型。

2.3 精确对接井钻进工艺技术

精确对接井的钻进施工包括目标垂直井和水平连通井2个部分,其中目标垂直井及水平连通井直井段的钻进施工方法与常规煤层气直井相同,可根据具体地层情况选用泥浆循环回转钻进方法或空气潜孔锤冲击回转钻进方法,其技术成熟、施工难度相对较小。水平连通井定向井段的钻进施工是精确对接井的关键,需保证井眼在目标煤层中长距离定向延伸,处理安全钻进与储层保护之间的矛盾,顺利地为目标直井煤层段洞穴精确对接连通。

1) 针对水平连通井目标煤层中长距离延伸需要,研究发展了精确对接井地质导向钻进技术,通过自然伽马参数测量辅助分析井眼周围地层性质,判断当前井眼在目标层中的位置,指导轨迹控制,保证井眼在目标煤层中延伸,满足钻速率和精确对接的要求。配套钻具组合为: $\phi 152.4/149.2$ mm 牙轮/PDC 钻头+ $\phi 120$ mm 单弯螺杆($1.5^\circ/1.25^\circ$)+转换接头+ $\phi 95$ mm 无磁承压钻杆+伽马短节+MWD 随钻测量系统+ $\phi 89$ mm 钻杆+ $\phi 89$ mm 加重钻杆,或者 $\phi 117.8$ mm 牙轮/PDC 钻头+ $\phi 95$ mm 单弯螺杆($1.5^\circ/1.25^\circ$)+转换接头+ $\phi 89$ mm 无磁承压钻杆+伽马短节+MWD 随钻测量系统+ $\phi 73$ mm 钻杆+ $\phi 73$ mm 加重钻杆。

2) 远端精确对接井以中小曲率半径造斜进入目标煤层,之后长距离定向延伸并与远端目标垂直井对接连通,其钻进施工对安全钻进和储层保护的要求更高。首先,目标煤层内井眼定向延伸过程中保证安全钻进至关重要,因为一旦发生孔内事故不仅会影响后续与目标垂直井的对接连通,处理事故过程中还会对储层造成严重损害;其次,在目标煤层中钻进必须高度重视储层保护,否则将对后续排采产生不利影响,甚至达不到高效开发煤层气的目的。

针对煤储层中安全钻进与储层保护之间的矛盾^[10-12],研究实践了一种“无固相聚合物钻井液+化学方式解堵”的钻井液技术,即当水平连通井眼进入目标煤层后,利用无固相聚合物钻井液体系维护井壁稳定,确保安全钻进,完钻后利用与钻井液体系相匹配的化学浆液降解井壁泥皮,并对近井壁范围

内裂隙充填物进行解堵,降低或消除储层损害。无固相聚合物钻井液配方设计如下:复合型材料加量 $8\sim 10\text{ kg/m}^3$;磺化褐煤树脂加量 $5\sim 6\text{ kg/m}^3$;液体润滑剂加量 $1\sim 2\text{ kg/m}^3$ 。

3) 针对远端精确对接需要,研究应用了旋转磁测距技术^[12-15],配套硬件主要包括永磁短节、测量探管及附属升降装置等。引导对接时,永磁短节置于水平连通井中,连接在钻头后方,并随钻头一起回转产生旋转磁场;测量短节置于目标垂直井洞穴中测量旋转磁场信号,进而通过软件计算二者之间的相对距离、位置等参数,辅助进行轨迹控制、引导水平连通井向目标垂直井洞穴延伸并精确对接。

3 精确对接井完井工艺技术

随着精确对接井应用范围的扩大,针对不同目标煤储层特殊物理力学性质,在裸眼完井的基础上研究应用了筛管完井、滑套分段压裂完井,形成了精确对接井系列完井工艺技术。

碎软煤储层中井壁稳定性差,精确对接井生产过程中存在产气通道易堵塞而影响产气效果的问题,为此,研究应用了筛管完井工艺。根据后期安全采煤的需要,确定采用PE筛管和玻璃钢筛管进行精确对接井完井。

PE筛管具有较高的耐压强度、环刚度和良好抗应力开裂能力,主要技术参数为:外径50.8 mm,壁厚4.6 mm。PE筛管需借助专用助推器通过钻杆柱内孔连续下入,如图2所示,其下入长度随机可控,可进行主井完井,也可进行分支井完井,基本工艺流程为:下入钻杆柱(不带钻头)至预定深度→井口安装助推器→筛管锚头端下入钻杆柱内孔→启动助推器连续下管→达到预定长度后切断筛管→连接循环管路开启泥浆泵→水力输送筛管至预定位置锚定→起钻。为满足裸眼下大直径筛管的要求,研究应用了精确对接井玻璃钢筛管完井工艺,即完钻后裸眼状态下将大直径玻璃钢筛管(公称直径88.9 mm或114.3 mm)下入至目的层段完井。

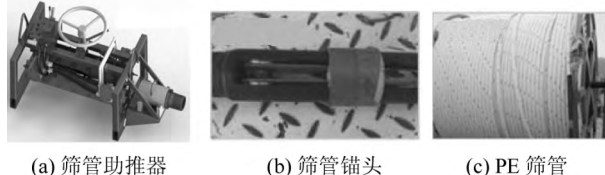


图2 PE筛管及完井装置

Fig. 2 PE screen pipe and auxiliary device for completion

在低透气性、厚度较薄的煤储层中,精确对接井产气能力有限。为此,将水力压裂技术引入精确对接井中,在水平连通井完钻后,裸眼下入由套管、封隔器、滑套等组成的压裂管柱,由井底开始分段依次压裂目标煤层段,进行储层增产改造,达到提高低渗及厚度较薄煤层煤层气开发效果的目的。

4 精确对接井配套装备研制集成

4.1 全液压车载钻机研制

全液压车载钻机是施工精确对接井的关键钻进装备。基于精确对接井施工工艺特点,在消化吸收国外车载钻机先进设计思想的基础上,成功研制了MDY-60型全液压车载钻机,实现了精确对接井关键钻进装备国产化,实物照片如图3所示,其主要技术参数如下:

名义钻井深度/m	1 500($\phi 152.4$ mm)
最大提升力/kN	600
桅杆伸出时高度/m	21.5
桅杆缩回时高度/m	13.6
柴油机功率/kW	563
动力头最大输出转矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	12.5
动力头最高输出转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	150
整机运输尺寸/($\text{m} \times \text{m} \times \text{m}$)	13.60 \times 2.85 \times 4.30
整机质量/t	53

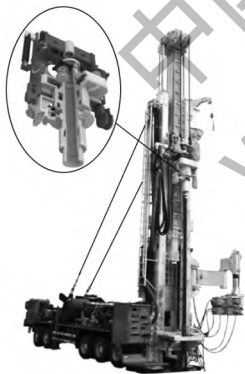


图3 MDY-60型全液压车载钻机

Fig. 3 MDY-60 full hydraulic truck-mounted rig

MDY-60型全液压车载钻机设计有多种保护功能、多冗余度的电液控制系统;配套的双速马达回转装置通孔直径达到150 mm,转速与额定转矩可调节范围大,能够适应多种工艺要求;设计配备了具有丝扣保护功能的液压卸扣大钳,同时研究增设了气液双动大钳和移动式强有力大钳,解决了机载卸扣器加持范围小、不能拧卸大直径钻具和套管、钻进不到位

且不能中途拧卸钻杆等问题,能够满足多种规格钻具拧卸要求。MDY-60型全液压车载钻机具有搬运迅速、机动性强、集成度高、占地面积小等特点,能够满足精确对接井施工需要。

4.2 配套钻具研制

根据精确对接井钻进工艺需要,研制了2种类型(常规型和加重型)3个规格($\phi 73$ 、 $\phi 114$ 、 $\phi 127$ mm)的精确对接井施工用配套钻杆;研制了2种类型(钢体式和胎体式)3个规格($\phi 117.5$ 、 $\phi 152.4$ 、 $\phi 215.9$ mm)的精确对接井施工用PDC钻头。

4.3 随钻测量仪器配套

基于精确对接井轨迹控制、对接需要,研制了有线随钻测量系统,用于目标垂直井及水平连通井直井段的井身质量控制;研究配套了2种类型无线随钻测量系统及地质导向系统,用于水平连通井井眼轨迹控制;选配了1套精确对接系统,用于水平连通井与目标垂直井的精确对接。无线随钻测量系统包括PMWD-C型泥浆脉冲系统和BlackStar EM-MWD电磁波系统,其中PMWD-C型泥浆脉冲系统用于循环介质为清水或无固相聚合物钻井液的钻进中,具有信号有效传输距离长、使用维护成本低等优点;BlackStar EM-MWD电磁波系统对钻井液类型适应性强,信号传输不受钻井液压缩性影响,测量数据传输速度快,可以实现地面与井下双向通信等特点。

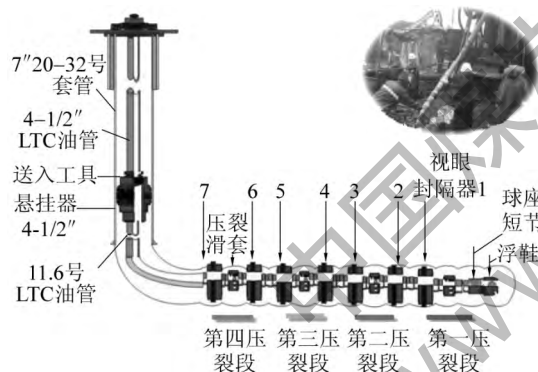
5 精确对接井应用情况

精确对接井开发模式与配套钻进技术装备首先在山西晋城矿区潘庄井田进行了工业性试验,建成了我国煤矿区第一个高产的远端精确对接井(SH-U2/U3),最高日产气量达 2.1万 m^3 ,随后在多个煤层气勘探开发工程中得到推广应用,相继建成10个不同类型的精确对接井——V型精确对接井、U型精确对接井、多井对接精确对接井、精确对接多分井,施工水平连通井16口,精确对接16次均一次性成功,最大对接距离达到1 065 m,最大位垂比达到3.7。

典型应用实例为2014ZX-U-05V/H精确对接井。2014ZX-U-05V/H精确对接井位于晋城矿区潘庄井田,目标层为15号煤层,它位于太原组层段顶部,直接伏于K2灰岩之下,底板为泥岩、含炭泥岩,常含有黄铁矿结核,偶为粉砂岩。15号煤层在该区域的厚度为1.08~5.45 m,平均厚度2.67 m。

由2014ZX-U-05V/H精确对接井实钻三维轨迹可知,目标垂直井(2014ZX-U-05V)与水平连通井(2014ZX-U-05H)井口之间的平面间距771.45 m,其中水平连通井测深676 m处进入目标煤层,测深1 099.37 m处与目标垂直井对连接通,过洞穴继续钻进至1 356.72 m主井眼完钻,对接点两侧共施工了4个分支井,长度分别为561.91、468.98、206.30、156.72 m,煤层段总进尺2 083.53 m,煤层钻遇率100%。

2014ZX-U-05V/H精确对接井采用滑套分段压裂方式完井,共压裂了4段,压裂管柱组成及压裂位置如图4所示。2014ZX-U-05V/H精确对接井2015年1月开始排采,初期日产气量曲线如图5所示,排采3个月 after 日产气量达到2.0万 m^3 ,最高日产气量达到3.28万 m^3 ,目前日产气量控制稳定在1.8万 m^3 左右,这是沁水盆地15号煤层第1个高产的精确对接井,其良好的产气效果为进一步推广应用精确对接井及配套钻完井工艺技术奠定了基础。



第一、二、三、四压裂段长度范围分别为1 270~1 300、983~1 023、817~857、697~737 m

图4 2014ZX-U-05V/H井压裂管柱组成示意

Fig. 4 Schematic diagram of fracturing string for Well 2014ZX-U-05V/H

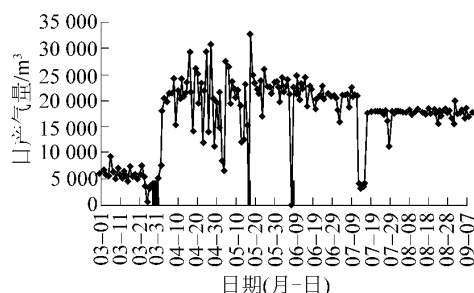


图5 2014ZX-U-05V/H井日产气量曲线

Fig. 5 Curve of daily gas production of Well 2014ZX-U-05V/H

6 结 论

1) 对接点两侧带分支的精确对接井开发模式具有显著的技术优势,在多个煤层气勘探开发工程中得到了推广应用,取得了良好效果。

2) 精确对接井配套的无线随钻地质导向钻进技术解决了远距离精确对接及厚度较薄煤层中水平连通井轨迹控制难题。“无固相聚合物钻井液+化学方式解堵”的钻井液技术方案解决了精确对接井安全钻进与储层保护之间的矛盾。

3) 研究形成的裸眼完井、筛管完井、滑套分段压裂完井系列完井技术满足了精确对接井在完整煤层、碎软煤层及低透性煤层中的完井需要,拓展了精确对接井开发模式的适用范围。

4) 研制、集成的配套钻进装备能够满足精确对接井施工工艺需要,关键钻进装备——全液压车载钻机实现了国产化。

参考文献(References):

- [1] 刘大锰,李俊乾.我国煤层气分布赋存主控地质因素与富集模式[J].煤炭科学技术,2014,42(6):19-24.
Liu Dameng, Li Junqian. Main geological controls on distribution and occurrence and enrichment patterns of coalbed methane in China[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 19-24.
- [2] 秦勇,汤达祯,刘大锰,等.煤储层开发动态地质评价理论与技术进展[J].煤炭科学技术,2014,42(1):80-88.
Qin Yong, Tang Dazhen, Liu Dameng, et al. Geological evaluation theory and technology progress of coal reservoir dynamics during coalbed methane drainage[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 80-88.
- [3] 贺天才,王保玉,田永东.晋城矿区煤与煤层气共采研究进展及急需研究的基本问题[J].煤炭学报,2014,39(9):1779-1785.
He Tiancai, Wang Baoyu, Tian Yongdong. Development and issues with coal and coal bed methane simultaneous exploitation in Jincheng Mining Area[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9): 1779-1785.
- [4] 吴立新,赵璐正.煤矿区煤层气开发利用制约因素与发展建议[J].洁净煤技术,2014,20(5):24-27,52.
Wu Lixin, Zhao Luzheng. Restrictive factors and development suggestions of coalbed methane extraction and utilization[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 24-27, 52.
- [5] 晋香兰.煤矿区煤与煤层气协调开发模式的探讨:以晋城矿区为例[J].中国煤炭地质,2012,24(9):16-19.
Jin Xianglan. A discussion on coal and CBM coordinated exploitation mode in coalmine areas: a case study in Jincheng Mining Area[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(9): 16-19.

(下转第58页)

- seam methane[J]. Journal of Coal Society 2000 24(1): 65-69.
- [11] 王晋,王延斌,郭慧,等.围压对注CO₂置换煤层CH₄效果的影响研究[J].煤炭科学技术 2015 43(8): 129-134.
Wang Jin, Wang Yanbin, Guo Hui, et al. Study on surrounding pressure effect of CO₂ injection CH₄ of coal seam[J]. Coal Science and Technology [J]. 2015 43(8): 129-134.
- [12] 罗培培. N₂ 焖压增透实验研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2013.
- [13] 王永辉, 卢拥军, 李永平, 等. 非常规储层压裂改造技术进展及应用[J]. 石油学报 2012 33(1): 149-159.
Wang Yonghui, Lu Yongjun, Li Yongping, et al. Progress and application of hydraulic fracturing technology in unconventional reservoir[J]. Acta Petrolet Sinica 2012 33(1): 149-159.
- [14] 李晓益, 汪志明, 万鑫, 等. 煤层气裸眼洞穴完井注气增压数值实验[J]. 石油钻探技术 2012 40(2): 14-19.
Li Xiaoyi, Wang Zhiming, Wan Xin, et al. Numerical experiments of gas injection pressurization for CBM open hole cavity completion[J]. Petroleum Drilling Techniques 2012 40(2): 14-19.
- [15] 倪小明, 贾炳, 曹运兴. 煤层气井水力压裂伴注氮气提高采收率的研究[J]. 矿业安全与环保 2012 39(1): 1-5.
Ni Xiaoming, Jia Bing, Cao Yunxing. Study on improving coal-bed gas recovery rate by hydraulic fracturing and nitrogen injection of borehole[J]. Mining Safety and Environmental Protection 2012, 39(1): 1-5.
- [16] 孙晗森, 贺承祖. 煤层气氮气泡沫压裂技术的研究与实验[C]//中国煤层气勘探开发利用技术进展. 北京: 地质出版社 2006.
- [17] 武志学, 郭萍, 候光东, 等. 氮气泡沫压裂液技术在大宁-吉县地区煤层气井的应用[J]. 内蒙古石油化工 2012(12): 119-122.
Wu Zhixue, Guo Ping, Hou Guangdong, et al. Application of nitrogen foam fracturing fluid in Daning Jixian area of CBM wells[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry 2012(12): 119-122.
- [18] 张迪, 马晶翼, 秦伟, 等. 煤层气氮气泡沫压裂井排采认识[J]. 中国石油和化工标准与质量 2013(2): 74-75.
Zhang Di, Ma Jingyi, Qin Wei, et al. Insight into drainage of coal-bed methane nitrogen foam fracturing well[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality 2013(2): 74-75.
- [19] 孙晗森, 冯三利, 王国强, 等. 沁南潘河煤层气田煤层气直井增产改造技术[J]. 天然气工业 2011 31(5): 21-23.
Sun Hansen, Feng Sanli, Wang Guoqiang, et al. Qinnan Panhe CBM vertical CBM well production by technology[J]. Natural Gas Industry 2011 31(5): 21-23.
- [20] 中国石油集团长城钻探工程有限公司. 一种煤层气水平井氮气泡沫压裂开采技术: 中国 201310615719[P]. 2014-02-19.
- (上接第10页)
- [6] 石智军, 董书宁. 澳大利亚煤层气开发现状[J]. 煤炭科学技术 2008 36(5): 20-23.
Shi Zhijun, Dong Shuning. Present status of coal bed methane development in Australia[J]. Coal Science and Technology 2008 36(5): 20-23.
- [7] 陈艳鹏, 杨焦生, 王一兵, 等. 煤层气羽状水平井井身结构优化设计[J]. 石油钻采工艺 2010 32(4): 82-85.
Chen Yanpeng, Yang Jiaosheng, Wang Yibing, et al. Optimization of casing program and its application to CBM pinnate horizontal well[J]. Oil Drilling & Production Technology 2010 32(4): 82-85.
- [8] 高德利, 鲜保安. 煤层气多分支井身结构设计模型研究[J]. 石油学报 2007 28(6): 113-117.
Gao Deli, Xian Baoan. Research on design models of multi-lateral well structure for coalbed methane[J]. Acta Petrolet Sinica 2007, 28(6): 113-117.
- [9] 曹立虎, 张遂安, 石惠宁, 等. 煤层气多分支水平井井身结构优化[J]. 石油钻采工艺 2014 36(3): 11-14.
Cao Lihu, Zhang Suian, Shi Huining, et al. Wellbore structure optimization to multi-lateral horizontal CBM well[J]. Oil Drilling & Production Technology 2014 36(3): 11-14.
- [10] 刘彬, 薛志亮, 张坤, 等. 煤层气U型水平连通井缝囊钻井液技术应用实践[J]. 煤炭科学技术 2015 43(9): 105-109.
Liu Bin, Xue Zhiliang, Zhang Kun, et al. Application to fuzzy ball drilling fluid technology of coalbed methane U shaped horizontal connected wells[J]. Coal Science and Technology 2015 43(9): 105-109.
- [11] 陈德飞, 康毅力, 李相臣, 等. 煤层气钻井过程中钻井液对煤岩储层损害评价[J]. 煤田地质与勘探 2014 42(6): 45-48.
Chen Defei, Kang Yili, Li Xiangchen, et al. Evaluation of reservoir damage caused by drilling fluid[J]. Coal Geology & Exploration, 2014 42(6): 45-48.
- [12] 黄维安, 邱正松, 杨力, 等. 煤层气钻井井壁失稳机理及防塌钻井液技术[J]. 煤田地质与勘探 2013 41(2): 38-41.
Huang Weian, Qiu Zhengsong, Yang Li, et al. Instability mechanism of sidewall and anti-sloughing drilling fluid technique for coalbed methane well drilling[J]. Coal Geology & Exploration, 2013 41(2): 38-41.
- [13] 胡汉月, 陈庆寿. RMRS 在水平井钻进中靶作业中的应用[J]. 煤田地质与勘探 2008 44(6): 89-92.
Hu Hanyue, Chen Qingshou. RMRS application on target-hitting of horizontal drilling[J]. Coal Geology & Exploration, 2008 44(6): 89-92.
- [14] 宋强, 陈霄, 汤福彬, 等. RMRS 精准定位技术在岩盐开采中应用[J]. 中国井矿盐 2011 42(3): 21-23.
Song Qiang, Chen Xiao, Tang Fubin, et al. Application of RMRS precise positioning technology in rock salt mining[J]. China Well and Rock Salt 2011 42(3): 21-23.
- [15] 向文军, 胡汉月. 国产定向对接井精确中靶技术在盐矿中应用[J]. 中国井矿盐 2010 41(5): 16-18.
Xiang Wenjun, Hu Hanyue. The application of accurate target technology of domestic directional butted-well in salt mine[J]. China Well and Rock Salt 2010 41(5): 16-18.