

引用格式:鲜保安,王力,张晓斌,等.双管柱筛管完井技术在沁水煤层气区块水平井开发中的应用[J].油气藏评价与开发,2020,10(4):59-62.
XIAN B A, WANG L, ZHANG X B, et al. Application of double string screen completion in horizontal wells of Qinshui CBM Block[J].
Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(4): 59-62.
DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.04.009

双管柱筛管完井技术在沁水煤层气区块水平井开发中的应用

鲜保安^{1,2,3},王力⁴,张晓斌⁵,毕延森⁶,张洲^{1,2,3}

(1.河南理工大学资源环境学院,河南焦作454000;2.中原经济区煤层(页岩)气河南省协同创新中心,河南焦作454000;
3.河南省非常规能源地质与开发国际联合实验室,河南焦作454000;4.中联煤层气有限责任公司,北京100080;
5.北京九尊能源技术股份有限公司,北京100011;6.中国石油大学(北京),北京102249)

摘要:煤岩储层完井液伤害与水平井眼易坍塌是限制沁水地区煤层气水平井产量的主要因素,针对煤储层伤害与坍塌导致煤层气水平井低产、减产问题,利用双管柱筛管完井增产一体化技术,解决了煤层气水平井完井液对煤层伤害以及煤层裸眼井壁失稳问题。实现完井洗井作业一趟钻,提高煤层气单井产量,延长煤层气井稳产周期。煤层气水平井双管柱完井结构由外层筛管系统和内层冲管系统组成,外层筛管系统可以实现长期支撑井壁,防止井筒坍塌,内部冲管系统可建立完井液循环通道,实现水力喷射、消除污染、冲砂洗井功能,降低筛管下入遇阻风险,提高筛管一次性下入成功率。该工艺发展为沁水煤层气区块水平井开发主要完井方式,已开发外径 $\phi 73\text{ mm}$ 、 $\phi 89\text{ mm}$ 与 $\phi 110\text{ mm}$ 等系列的筛管及配套工具,该技术现已推广应用331口煤层气水平井,相比2014年之前的裸眼水平井,筛管完井水平井稳产周期提高5倍以上,15#煤层气水平井单井日产气量超过1000 m³,从根本上解决了15#煤层气开发的技术难题,形成了适合沁水煤层气区块水平井高效开发新模式。

关键词:煤层气;水平井;双管柱;筛管完井;增产

中图分类号:TE257

文献标识码:A

Application of double string screen completion in horizontal wells of Qinshui CBM Block

XIAN Baoan^{1,2,3}, WANG Li⁴, ZHANG Xiaobin⁵, BI Yansen⁶, ZHANG Zhou^{1,2,3}

(1. Institute of Resources & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China; 2. Collaborative Innovation Center of Coalbed Methane and Shale Gas in Central China Economic District, Jiaozuo, Henan 454000, China; 3. Henan International Joint Laboratory for Unconventional Energy Geology and Development, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China; 4. China United Coalbed Methane Co., Ltd, Beijing 100080, China; 5. Beijing Jiuzun Energy Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China; 6. China Petroleum University (Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: The damage of coal-rock reservoir completion fluid and the easy collapse of horizontal wells are the main factors limiting the output of coalbed methane horizontal wells in Qinshui area. In terms of the resulting problems of low horizontal well production and production reduction, the integrated technology of dual-tubing screen completion and production increasing is used to solve the problems of damage to coal seam caused by completion fluid of horizontal wells of coalbed methane and the instability of open hole wall of coal seam. Therefore, one-trip drilling of completion and flushing operation is realized, the output of single CBM well is improved, and the stable production cycle of a CBM well is extended. The dual tubing completion structure of a horizontal CBM well consists of an outer screen system and an inner flushing system. The outer screen system can realize the long time support of the shaft wall and prevent the collapse, while the inner flushing system can establish the completion fluid circulation channel, realize the function of hydraulic jet, pollution prevention, sand flushing and well cleaning, reduce the resistance encountered of screen pipe entering, and improve the success rate of screen pipe entering in just one-time. This process is the main method to develop horizontal wells in Qinshui CBM Block. A series of screen pipes and supporting tools with an outer diameter of 73 mm, 89 mm and 110 mm have been developed, and this technology has been popularized and applied in 331 horizontal CBM wells. Compared with the open-hole horizontal wells developed in the year before 2014, the stable production cycle of the screen completion horizontal wells is increased by more than 5 times, and the single well production of the horizontal wells of 15# coal

收稿日期:2020-03-21。

第一作者简介:鲜保安(1966—),男,博士,副教授,主要从事非常规油气钻完井工程技术研究。通讯地址:河南省焦作市山阳区世纪大道2001号,邮政编码:454150。E-mail:759267753@qq.com

基金项目:国家科技重大专项“沁水盆地高煤阶煤层气高效开发示范工程/煤层气水平井高效增产改造技术研究”(2017ZX05064002);国家科技重大专项“井下长钻孔气相压裂和地面井多缝压裂增透煤层气高效抽采技术与示范”(2016ZX05067006-002);国家自然科学基金重点支持项目“页岩和致密油气田高效开发建井基础研究”(U1762214);河南理工大学博士基金项目“低渗透松软煤储层煤层气水平井筛管完井机理研究”(B2017-63)。

seam has exceeded 1 000 m³ to the fundamentally solve technical difficulties in development. A new efficient development mode suitable for the horizontal wells in the refreshing water coalbed methane block is formed.

Key words: coalbed methane, horizontal well, dual tubing, screen completion, increase production

由于我国天然气资源紧缺,煤层气作为一种洁净的非常规天然气,是我国能源的重要补充,其开发和利用对解决能源供需矛盾和环境污染问题极为重要^[1-2]。目前我国煤层气呈现单井产量偏低、煤体结构复杂、非均质性强、单井产量差异大的特征^[3-10],煤储层钻完井液对煤储层伤害一直没有彻底解决^[11-15],直接影响煤层气水平井单井产量。截至2019年底,国内煤层气已累计钻井19 000余口,其中水平井939口。水平井钻完井工艺技术推动了沁水地区煤层气高效开发模式,但是由于裸眼完井水平井筒坍塌造成的减产与停产问题日益显著,水平井开发技术适用性越来越得到重视。沁水区块15#构造煤层结构复杂,纵向与横向变化大,煤层渗透性普遍较低,且差异性很大,前期储层改造后平均单井日产气量不足1 000 m³,制约着煤层气水平井单井产量的提高,急需在煤储层改造及增产技术方面加大研究与试验。

1 煤层气水平井双管柱筛管结构与完井机理

煤层气储层具有低孔、低渗、易受污染等特点,在煤层气水平井钻井过程中煤储层极易受到物理、化学伤害,造成渗透率降低,限制后期排采的产气量。为了解决此问题,煤层气水平井钻完井技术也在不断发展与完善,先后研发了PE筛管完井、钢筛管完井、玻璃钢筛管完井^[16-19],但上述完井工艺重点在于对井眼的支撑,没有应对钻井液对煤储层伤害的合理措施。在此基础上,研发出双管柱筛管完井工艺,技术核心是长期支撑井壁与及时消除钻完井液对煤层的伤害。

1.1 水平井双管柱筛管结构

双管柱筛管完井结构由外层管柱的筛管柱(图1a)与内层管柱的冲洗管柱(图1b)构成,外层管串结构包

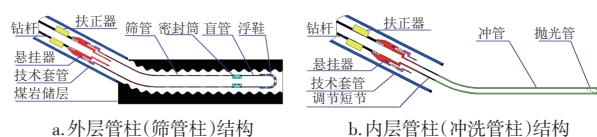


图1 双管柱筛管完井管串的内、外层管柱结构

Fig. 1 Structure of inner and outer string of dual-tubing screen completion

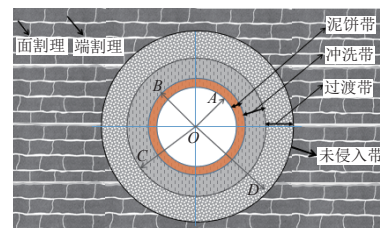
括浮鞋、盲管、密封筒、筛管串、悬挂器、扶正器、钻具,内层管串结构包括抛光管、冲管串、调整短节,内外层管柱最后都要与悬挂器相连。玻璃钢筛管已形成不同井身结构的配套系列产品,即 $\phi 73$ mm、 $\phi 89$ mm与 $\phi 110$ mm及配套的冲洗管柱结构。

1.2 双管柱筛管完井机理

煤层气水平井双管柱筛管完井工艺主要机理在于:首先利用水力冲蚀作用消除井壁1~3 mm厚度的泥饼带,再利用水力喷射高压逐步消除冲洗带与过渡带煤岩裂缝中残留的钻井液(图2),疏通井壁附近煤层原始裂隙。煤岩储层渗透率恢复率为76%~80%,降低地层流体进入井筒的压力损耗,有利于提高煤层气采收率。以郑庄区块某井3#煤层为例,利用等温曲线法预测煤层气采收率,煤层原始含气量(V)为25 m³/t, P_L 为2.0 MPa, V_L 为35 m³/t,参照传统完井方式的煤层气井弃井压力假设为1.0 MPa,含气量为10.5 m³/t时对应的按照式(1)计算煤层气采收率为46.7%;采用无固井相钻井液配合洗井作业后地层流体进入井筒的压力损耗为洗井前的80%,临界解吸压力为4.0 MPa,此时煤层气采收率提高至66.7%。

$$R_f = 1 - \frac{p_{ad}(p_L + p_{cd})}{p_{cd}(p_L + p_{ad})} \quad (1)$$

式中: R_f 为煤层气采收率,%; V 为原始含气量,m³/t; V_L 为兰氏体积,m³; p_L 兰氏为兰氏压力,MPa; p_{ad} 为枯竭压力; p_{cd} 为临界解吸压力,MPa, ($p_{cd} = \frac{V p_L}{V_L - V}$)。



OA为井眼半径;OB为泥饼带半径;OC为冲洗带半径;OD为过渡带半径

图2 煤储层伤害范围剖面

Fig. 2 Scope of damage to coal reservoir

2 双管柱筛管完井方法

2.1 双管柱筛管完井工艺主要配套工具

XGS-178×114多功能悬挂器可连接冲洗管与筛

管,是适用于直井、大斜度井、水平井筛管完井的专用工具,配合筛管、冲管及专用喷头,实现筛管和冲管的内外双层连接,在管柱下入过程中遇阻时,可实现开泵循环冲洗,保障筛管下至设计位置。

1) 多功能悬挂器组成

多功能悬挂器包括上接头、活塞缸、坐封活塞、坐封卡瓦、滑套球座、中心管、外接管、一级柱塞、梯形凸台、二级柱塞、剪切销钉(图3)。



图3 XGS-178 x 114型多功能筛管悬挂器
Fig. 3 Type XGS-178 x 114 multi-function screen pipe suspension

2) 多功能悬挂器技术参数

多功能悬挂器技术参数见表1。

表1 XGS-178 x 114型筛管悬挂器技术参数
Table 1 Technical parameters of XGS-178 x 114 screen pipe suspension

参数名称	参数值
工具总长/mm	1 200
外径最大值/mm	152
球座内孔径/mm	40
冲管接头内孔径/mm	50
坐封销钉剪切压力/MPa	2~4
循环通道打开销钉剪切压力/MPa	14~18
丢手后最大通径/mm	100

3) 主要功能

多功能悬挂器实现外层筛管和内层冲管的层连接,在管柱下入过程中遇阻时可实现开泵冲洗井底沉砂,保障筛管下入至设计位置;当筛管下至设计深度时,投球进行打压,实现卡瓦坐封,将筛管柱悬挂固定于生产套管内壁;完成卡瓦坐封后,正转倒扣,实现钻具与筛管本体的丢手分离;完成打压后,内部通道打开,配合冲管及专用喷头可实现水力喷射洗井;如发生井下复杂情况,可使用专用打捞矛回收悬挂器。

2.2 双管柱筛管完井工艺

煤层气水平井双管柱筛管完井工艺,是使用冲管、悬挂器等工具辅助将完井玻璃钢或钢筛管串送入裸眼井段,固定在上层套管后,并进行洗井的一种

煤层气水平井完井工艺。目前应用于单支煤层气水平井完井中,适用的井身结构见表2。

2.3 工艺施工流程

双管柱筛管完井工艺现场施工分为11个步骤:①施工准备;②下筛管;③下冲管及配长;④安装悬挂器;⑤测试悬挂器;⑥下钻具;⑦进行坐挂丢手操作;⑧洗井;⑨起钻具;⑩卸悬挂器;⑪甩冲管。工艺流程见图4。

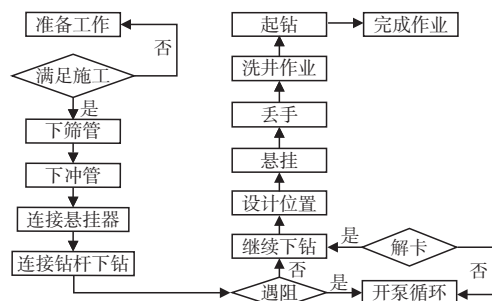


图4 双管柱筛管完井工艺流程
Fig. 4 Technical process of dual-tubing screen completion

该项工艺的现场应用的关键在于双层管柱的成功分离。在直井或定向井中井斜角相对水平井较小,完井管柱悬重在丢手后会有明显减小,可作为判断丢手是否成功的显示。煤层气水平井双管柱在弯曲井段与水平井段受摩擦阻力影响显著,丢手前是筛管与井壁的摩擦阻力,丢手后是冲管与筛管的摩擦阻力,管柱材质、管柱结构组合、钻井液性能、井身轨迹、摩擦系数等均为影响摩擦阻力的因素,导致煤层气水平井双管柱筛管完井管柱摩擦阻力理论计算较为复杂,为了便于现场应用,采用管柱上提、下放悬重变化作为判断双管柱筛管完井管柱系统是否成功分离的判断依据。

煤层气水平井双管柱完井工艺统计现场应用φ114 mm钢筛管完井33口井进行分析,受煤层气水平井井眼轨迹、钻井液性能、管柱结构等影响,井下管柱受力情况复杂,不同井存在较大差异,管柱悬重呈现较强的离散性;煤层气水平井双管柱在分离前后上提、下放悬重差异,由于煤层埋藏深度一般不超过800 m,水平井水垂比超过2,双管柱受到摩阻影响

表2 双管柱筛管完井井身结构
Table 2 Well structure of dual-tubing screen completion

开钻次序	钻头尺寸/mm	套管尺寸/mm	套管/筛管下入深度	水泥封固井段
一开	φ311.15	φ244.50	一开井底	地面—井底
二开	φ215.90	φ177.8	距二开井底2 m	地面—井底
三开	φ152.4	筛管	完井管串悬挂在技术套管上距离浮鞋30 m内,下深距离井底少于50 m	不固井

在分离前后上提、下放悬重变化相对较小,但仍为判断双管柱分离的重要指示特征(图5)。在现场应用中悬挂器完成丢手后上提钻柱后再下放至悬挂器悬挂位置并施加钻压3~5 t,钻柱不发生向下移动,证明悬挂器悬挂丢手成功。

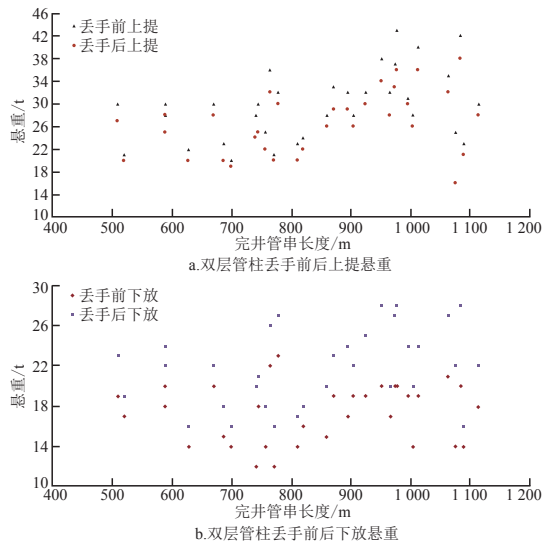


图5 F114 mm 筛管与冲管分离前后悬重对比

Fig. 5 Suspension weight comparison of F114 mm screen pipe before and after separation

3 水平井双管柱筛管完井工艺技术应用

在山西沁水盆地南部成功推广应用331口煤层气水平井双管柱筛管完井技术,相比2014年之前的裸眼水平井,筛管完井水平井稳产周期提高5倍以上,山西组3#煤层气平均日产气量由原来低于5 000 m³提高到20 000 m³,最高日产量达到38 000 m³,如图6所示;太原组15#煤层气平均日产气量由原来不足1 000 m³提高到10 000~12 000 m³,最高日产量达到32 151 m³,实现了15#煤层气开发技术和产量的重大突破,从根本上解决了15#煤层气开发的技术难题。

4 认识与结论

1) 水平井双管柱筛管完井工艺技术,现场施工稳定性高,操作性强,可以满足煤层气水平井井眼支撑井壁与清除井壁附近钻井液伤害的要求,尤其是后期的长期排采,可以长期保持井壁稳定,为稳产、高产提供良好的井眼条件。

2) 双管柱筛管完井技术在山西沁水盆地南部煤层气推广应用331口水平井,相比2014年之前裸

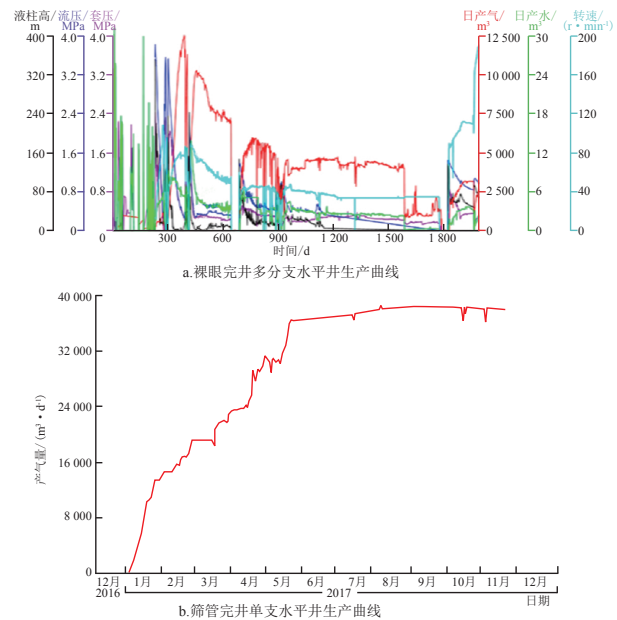


图6 沁水区块3#煤层某裸眼完井水平井与某筛管完井水平井生产曲线

Fig. 6 Comparison of production curves for a horizontal well with open hole completion and a horizontal well with screen completion in 3# coal seam of Qinshui Block

眼完井,3#煤层平均单井日产量提高4倍,稳产周期提高5倍以上,解决了该区块15#煤层开发技术难题,实现了沁水盆地水平井完井方式的转变。

3) 煤层气水平井双管柱筛管完井工艺专用悬挂器技术已成熟,尤其是其连接的冲洗管串能够实现筛管外环空冲砂、洗井,并可以根据井下条件设定灵活的洗井水力参数,提高冲洗井壁的效率,对减少煤层污染与提高煤层气产量具有重大意义。

参考文献

- 姚成林,熊云威,宋春香.煤层气地面开发及利用趋势探讨[J].矿业安全与环保,2017,44(6):79-82.
YAO C L, XIONG Y W, SONG C X. Discussion on surface exploitation and utilization trend of coalbed methane[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44(6): 79-82.
- 董瑞.我国煤层气利用现状及发展趋势研究[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(20):126-127.
DONG R. Research on utilization status and development trend of CBM in China[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2019, 39(20): 126-127.
- 张群,冯三利,杨锡禄.试论我国煤层气的基本储层特点及开发策略[J].煤炭学报,2001,26(3):34-39.
ZHANG Q, FENG S L, YANG X L. Basic reservoir characteristics and development strategy of coalbed methane resource in China[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(3): 34-39.
- 张遂安,袁玉,孟凡圆.我国煤层气开发技术进展[J].煤炭科学技术,2016,44(5):1-4.
ZHANG S A, YUAN Y, MENG F Y. Progress on coalbed methane development technology in China[J]. Coal Science and

(下转第69页)