

煤层气洞穴完井技术

徐云龙, 李亚男, 夏文安, 张晓明

(胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要:煤层气洞穴完井技术既是一种裸眼完井技术, 又是一种增产技术, 在适宜的地层该技术能够大大提高近井地带的渗透率, 从而提高煤层气的采收率。该技术在美国圣胡安盆地的高渗煤层取得了巨大的成功, 但是在其它区域并没有像圣胡安盆地那样效果明显, 究其原因对该技术的增产机理及煤层适应性的认识还有一定的差距。分析了洞穴完井技术的增产机理及洞穴完井的煤层适用条件, 对洞穴完井技术的储层选择、井身结构、工艺流程及设备配套进行了详细论述, 并介绍了国内的现场试验情况及取得的一些有益经验, 为该技术以后的推广应用奠定基础。

关键词:煤层气; 洞穴完井; 增产机理; 工艺流程

中图分类号:TD842 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)05-0027-04

CBM Cave Completion Technology/XU Yun-long, LI Ya-nan, XIA Wen-an, ZHANG Xiao-ming (Shengli Drilling Technology Research Institute, Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: CBM cave completion technology is not only a kind of open hole completion technology, but also a stimulation technology, which can greatly improve the permeability of the near well zone in the appropriate formation, so as to improve the recovery rate of coal-bed methane. This technology was applied in the high permeability coal seam of San Juan basin in the U. S. with great success, but there is no such obvious effect in other areas. The main reason is that there is certain gap in the understanding of the mechanism of the stimulation technology and reservoir adaptability. In this paper, the stimulation mechanism of the cave completion technology and the applicable conditions of coal seam in cave completion are analyzed; the reservoir selection, well structure, process flow and equipment matching are discussed in detail. The field tests situation and some useful experience obtained in China are introduced, which lay the foundation for the popularization and application of this technology.

Key words: coal-bed methane; cave completion; stimulation mechanism; process flow

0 引言

煤层气裸眼洞穴完井技术起源于美国, 1977年 Amoco 公司施工的 Cahn1 井裸眼完井后得到较高的产量, 从此以后才有意识对套管下部裸眼井段进行扩眼完井。1986年 Meridian 公司开始在圣胡安盆地使用该技术, 通过压力“激动”使井壁坍塌扩大裸眼洞穴, 才真正发展为裸眼洞穴完井技术。随后, 该技术在圣胡安盆地得到了推广应用, 其产量是水力压裂产量的 3~20 倍, 而且施工成本比水力压裂低。目前在圣胡安盆地有三分之一是采用裸眼洞穴完井技术, 这部分井的产气量占整个盆地产量的 76% 左右。这说明该技术在圣胡安盆地是优于水力压裂技术的, 然而在其它区域进行试验的结果并没有取得象圣胡安盆地那样的开发效果, 因此, 这种增产技术在特定煤层的适用性还需要进一步研究^[1-3]。

我国从“八五”开始, 也对煤层气洞穴完井技术进行研究, 对该技术的增产机理、煤层适用性、井下造穴技术、设备配套、数值模拟进行研究以及开展了相关现场试验。从试验结果来看, 有好也有坏, 受限对煤层特征和增产机理认识不足, 该技术在国内外并没有得到推广应用^[4-6]。

1 增产机理及适用条件

1.1 增产机理

洞穴完井技术既是一种裸眼完井技术, 又是一种增产措施。在煤层的裸眼井段, 通过人工压力“激动”、地层自然压力、水力或机械扩孔等方法使得煤层向井筒内坍塌, 然后将煤粉循环出去, 形成一个应力场重新分布的洞穴, 洞穴周围产生了大量的剪切裂缝, 并与地层中原有裂缝沟通, 使得近井地带

收稿日期: 2016-06-30; 修回日期: 2017-03-04

作者简介: 徐云龙, 男, 汉族, 1975年生, 高级工程师, 硕士, 油气井工程专业, 主要从事钻井工艺研究和技术推广工作, 山东省东营市北一路 827 号钻井院钻井所, xuyunlong_slyt@sinopec.com。

的渗透率大大提高,这种能够有效提高煤层气产量的完井和增产技术即为洞穴完井技术。

目前,常用的形成洞穴的方式有3种:人工动力造穴、机械工具扩眼、水射流造穴^[7-8]。人工动力造穴是通过空压机将大量空气注入井内,经过多次快速憋压和放喷,造成剧烈的井内压力“激动”,最后使煤层崩落形成洞穴。机械工具扩眼是通过控制造穴刀具张开,在钻具的带动下旋转,切削煤层形成洞穴。水力射流造穴是运用水射流原理,在钻具下部安装水力喷射装置,在煤层进行水力切割,形成煤层洞穴。从狭义概念的角度,洞穴完井技术特指人工动力造穴完井技术。

人工动力造穴在快速注入空气和快速泄压过程中,在井筒周围形成了3个变动区(如图1所示):洞穴区、破碎带和挠性区^[9-10]。

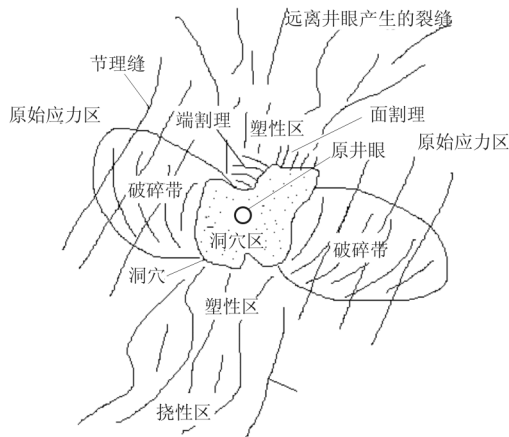


图1 洞穴完井在井眼周围形成3个变动区

(1) 洞穴区:半径可达2~3 m。增大了煤层的裸露面积,同时又消除了钻井过程中对煤层的伤害。

(2) 破碎带:半径可达5~6 m。该区域是洞穴效应的延伸,区域内的煤层发生张性破裂和剪切破裂,形成大量张剪性裂缝,增强了渗流能力。

(3) 挠性区:半径可达50~60 m。由于应力的释放作用,在破碎带以外产生了对煤层的扰动,形成一个渗透性增强区。

洞穴法完井使得井眼能够有效地连通了面割理裂缝、端割理裂缝及其它类型的天然裂缝。造穴过程增加了井眼与煤层内裂缝的沟通,同时使得洞穴周围的应力场重新分布,形成了指向洞穴的单项载荷,煤层因缺乏支撑而向洞穴移动。煤层移动影响天然裂缝形态,挠性区可达50~60 m,使得有效渗透率不断增加。

1.2 适用条件

根据上述人工动力造穴完井技术的增产机理及美国圣胡安盆地成功开发经验,可以得到其适用条件。

(1) 煤层渗透率高,一般要在10~20 mD。高渗透率是洞穴完井的首要条件,高渗意味着注入空气能够顺利进入地层,弹性能量作用范围大,同时能够使煤层中的自然裂缝系统与人为裂缝系统形成良好沟通,煤层中的水和气能够顺利产出。

(2) 地层压力系数高,一般地层压力系数>1.0。地层压力高,形成煤层到井眼较大的压力差,使井眼附近煤层所受压力超过其破裂极限而发生破碎。注气作业完成后关井有利于游离气压力快速恢复,快速释压,增强了压力“激动”的效果,同时地层压力高,有足够的能量保证水和气的产出。

(3) 煤层厚度大,一般要求在6 m以上。厚度大的煤层不仅能产生较大的洞穴,而且有利于形成较长的诱导裂缝。足够的煤层厚度减少了裂缝产生的边界阻碍,也能够形成更大的渗流面积。

(4) 围岩特征好,不易垮塌。煤层顶底板封闭性好,机械强度高,不易垮塌。

2 工艺流程及设备配套

2.1 储层选择

在确定实施洞穴完井的储层时,要尽量满足其适用条件。在一个含煤盆地中,一定会存在高渗层,寻找可造穴带成为洞穴完井的关键因素。具体步骤如下。

(1) 研究整个盆地的地质演化史,并收集已钻井的生产资料进行系统性分析,了解地质时期的应力及目前的应力状态;

(2) 部署探井,对选择的区块进行地层评价,记录钻井过程中的所有参数,通过收集的第一手实钻资料,对地层进一步评价;

(3) 进行取心作业,对岩心及流体性质分析解释,从而确定高渗层储层发育段;

(4) 进行测井、试井作业,并通过岩心数据进行校正,准确确定高渗储层发育段。

2.2 井身结构

采用洞穴完井的煤层气开发井一般采用三开井身结构,一开 $\varnothing 311.2$ mm表层钻进至基岩20 m后,下入 $\varnothing 273.1$ mm表层套管,二开钻进至煤层顶,下

入 $\phi 177.8$ mm 技术套管,三开 $\phi 152$ mm 钻进至煤层底板 10 m 裸眼完钻。在煤层造穴完成后,可下入筛管,放置在裸眼煤层及以下井段。井身结构如图 2 所示。

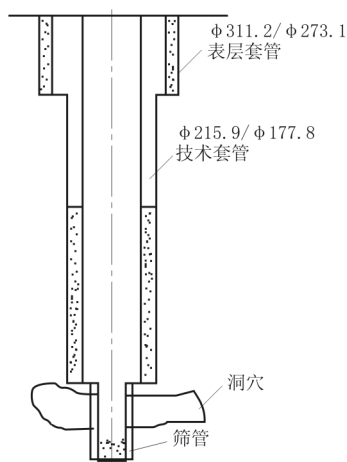


图2 洞穴完井井身结构

2.3 工艺流程

三开钻至煤层底板完钻后,开始向煤层内注入高压空气,采取压力“激动”的方法进行造穴,具体步骤如下^[11-12]。

(1)试压。安装调试防喷器及地面设备,并进行地面管汇试压。

(2)排除井内积水和岩屑。一边下钻具,一边利用高压空气将井内的积水排除,当下到井底后,充分循环,确保井眼清洁。

(3)注入空气。根据目的层的破裂压力选择合理的注气压力,下入钻具组合向井内注入高压空气,达到煤层破裂压裂压力后,观察压力变化。

(4)闭压阶段。在注气结束之后关闭阀门,形成封闭体系,观测井内气体压力变化,如果压力下降过大,重新注气,关闭时间长短取决于储层压力和渗透率,达到所需压力后及时放喷。

(5)压力释放。打开阀门迅速放喷,井口返出水、气、煤屑等,完成一次放喷过程,该过程分 6 个周期,每周期 3~6 次。

(6)洗井作业。每个放喷周期结束,钻具旋转下放,利用泡沫产生负压,对目的层洞穴内的煤粉进行反复清洗,直到井内只返出清水。

(7)数据检测。洗井作业结束后,关闭阀门形成封闭系统,观测记录井内压力的变化,然后开启阀门,检测产出气体的流量,进行点火试验,并根据所

获得的数据来改进排采参数。

2.4 设备配套

洞穴完井需要配备设备如下:

- (1)带顶驱的钻机,能够满足设计提升能力及注气作业;
- (2)空压机 2 台,满足注入空气排量要求及造穴需要;
- (3)增压机 1 台,增加注入空气的压力,满足煤层的破裂压力要求;
- (4)泥浆泵 2 台;
- (5)井口防喷器系统及高压管汇;
- (6)发电机组;
- (7)其它设备,如液动阀门等。

3 国内现场试验

洞穴完井技术起源于美国圣胡安盆地,该地区煤层渗透率高、煤质易碎、地层压力高及存在游离气,非常有利于洞穴完井技术的实施,获得了很多高产的气井。国内在某些煤田对该项技术进行了有益的探索与尝试,获得了一些宝贵经验^[13-17]。

3.1 山西寿阳区块

远东能源公司在寿阳地区进行了 4 口井的煤层气洞穴完井试验,增产效果显著。寿阳区块目的煤层为太原组 15 号煤层,该煤层含气量高,一般在 $10 \sim 20 \text{ m}^3/\text{t}$ 之间,煤层厚度 $> 3 \text{ m}$,渗透率在 1 md 以上,顶底板泥质胶结,封闭性好,煤层地质条件适宜洞穴完井技术。主要设备为 2 台空气压缩机和 1 台增压机,满足注入空气排量和压力的要求。通过空压机向煤层注入空气,然后进行憋压和放喷,共进行了 5 次注气、憋压和防碰循环作业,最高注入压力为 6 MPa。

从试验效果看,该区块在造穴前不产气,洞穴完井后最高产量达到 $92 \text{ m}^3/\text{h}$,3 个月后单井产量达到 $2000 \text{ m}^3/\text{d}$,是前期套管射孔完井的 1~2 倍,效果良好。分析该区块成功的原因,主要是煤层厚度大,含气量高,渗透性好。另外,由于煤层埋藏浅,注入空气压力超过煤层的破裂压力,从而形成了更大范围的破碎带,沟通了地层中原始裂缝,提高了井眼周围的渗透率。

3.2 山西保德区块

保德区块煤层属于中低阶煤,含气量不高,埋藏浅,渗透性好,渗透率一般在 $2.5 \sim 8 \text{ md}$,厚度大,一

一般为10~20 m。施工BD-01试验井的目的是探索洞穴完井在该地区的适应性,为煤层气下一步开发提供依据。该试验井先在煤层进行了机械扩孔至500 mm,然后采用人工动力造穴。注气压力为12 MPa,进行了12个周期的动力造穴,形成了稳定的洞穴。因为该地区煤层结构原因,后期排采时井内出水量很小,气量也很小,没有达到试验预期效果。保德南部地区煤层破裂压力为12 MPa,而该试验井的地面设备注气压力达到12 MPa时工作负荷大,井眼内压力无明显上升,达不到煤层破裂压力要求。另外,该区块煤层含气量为低—中等,也是造成出气量小的一个原因。

3.3 沈北煤田

沈北煤田也进行了洞穴完井试验,但是由于对地层条件和造穴工艺认识不足,导致试验效果不理想。沈北煤层为褐煤,灰分含量40%,煤层厚度12 m,渗透率为0.01 md左右,这样的煤层条件导致空气注入压力高,影响范围小,压力释放时,井壁压力梯度大,易坍塌。煤层顶板为油页岩,遇水易垮塌,造成井下复杂。在工程方面,顶板垮塌造成套管变形,工程风险加大。煤层埋藏深度923 m,破裂压力15~16 MPa,而注入空气最高压力为12 MPa,达不到破裂压力要求,空气很难进入煤层。

从该区块试验过程可以得出,不能照搬国外洞穴完井的施工经验,一定要对煤层的适应性进行仔细深入研究,该地区虽然煤层较厚,但由于渗透率太低,空气注入非常困难,难以形成大范围的波及。

4 结论

(1)洞穴完井技术做为煤层气开发一种完井方法和增产措施,要求煤层满足一定的地质条件,在应用该技术之前,应仔细研究煤层地质条件是否适合该技术。

(2)实施洞穴完井技术,要根据地质条件对工艺流程和设备配套进行优化设计,降低作业成本。

(3)洞穴完井技术对渗透率的波及范围和增产效果还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 田中岚,张芳.适用于煤层的新型完井技术—裸眼洞穴完井技术[J].煤田地质与勘探,1998,26(4):69-72.
- [2] A. L. 克拉威特,等.高产选取的综合勘探方法[J].中国煤层气,1995,12(2):57-61.
- [3] W. 克拉克等.美国圣胡安盆地水果组煤层气井的完井、装备及生产[J].中国煤层气,1997,12(2):40-44.
- [4] 王连刚,李俊乾.我国煤层气开发模式与开发技术问题探讨[J].煤炭科学技术,2010,38(4):104-107.
- [5] 郑毅,黄洪春.中国煤层气钻井完井技术发展现状及发展方向[J].石油学报,2002,23(3):81-85.
- [6] 陈添,汪志明,杨刚.造穴方式对煤层气洞穴完井影响评价[J].科学技术与工程,2012,33(12):8832-8834.
- [7] 万继方,申瑞臣,陈添,等.煤层气井造穴技术特点分析[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2015,17(2):73-75.
- [8] 蒋海涛,周俊然,董颖,等.煤层气井复合造穴技术研究及应用[J].中国煤层气,2011,8(6):42-45,21.
- [9] 段明星,高德利,张辉,等.煤层气井空气动力洞穴完井力学机理研究[C]//2008年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社,2008:281-285.
- [10] 苏现波,潘结南,薛培刚.煤中裂隙—裸眼洞穴完井的前提[J].焦作工学院学报,1998,17(3):163-168.
- [11] 马永峰.美国西部盆地煤层气钻井和完井技术[J].石油钻采工艺,2003,25(4):32-33,83.
- [12] 李宏欣,张学锋.煤层气洞穴—筛管完井工艺[J].中国煤层气,2012,9(2):13-17.
- [13] 朱泽斌.裸眼洞穴井在山西保德煤层气区块的实验和应用[J].中国煤炭地质,2013,25(12):75-78.
- [14] 黄勇,熊涛.洞穴完井工艺在寿阳地区煤层气钻井中的应用[J].中国煤炭地质,2008,20(2):61-64.
- [15] 莫日和.煤层气井造穴技术的实践与研究[J].中国煤层气,2007,4(3):35-37,42.
- [16] 熊德华.沈北煤田空气造穴工艺的技术探讨[C]//2008年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社,2008:276-280.
- [17] 熊德华,王珊珊.煤层气空气造穴工艺的的实践与认识[J].中国煤炭地质,2010,22(10):26-27,61.