

# 围压对井内爆炸压裂损伤破坏尺度影响的数值模拟研究

王京印<sup>1</sup>, 程远方<sup>1</sup>, 刘芳<sup>2</sup>, 温盛魁<sup>3</sup>, 李庆华<sup>4</sup>

(1. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东东营 257061; 2. 中国石油大学(华东)计算机与通信工程学院, 山东东营 257061; 3. 中国石化胜利油田分公司采油工艺研究院, 山东东营 257000; 4. 中国石化胜利油田分公司滨南采油厂, 山东滨州 256600)

**摘 要:** 针对当前因条件所限而无法通过开展大规模井内爆炸压裂试验来研究围压对井内爆炸压裂损伤破坏尺度的影响规律这一问题, 借助 LS-DYNA 有限元分析模块, 结合前期开展的室内爆炸压裂试验, 建立了井内爆炸压裂数值计算模型。该模型主要由围岩损伤力学模型、炸药爆炸力学模型和耦合介质模型 3 部分构成。在对模型准确性进行验证的基础上, 进行了爆炸压裂作用下围压对井壁围岩损伤破坏尺度的数值模拟, 并通过岩石损伤力学理论, 对模拟结果进行了分析。结果表明: 在确保诸如炸药量、岩性和装药结构等其他条件不变的情况下, 随着围压的增大, 围岩损伤衰减速度加快, 损伤破坏范围减小; 对于围岩内部同一位置, 其损伤破坏程度随围压增大而降低。

**关键词:** 封闭压力 爆炸压裂 损伤尺度 数值模拟 数学模型

**中图分类号:** TE357.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-0890(2011)04-0081-06

## Numerical Simulation for the Influence of Confined Pressure on the Damage Scale of Explosive Fracturing Inside Wellbore

Wang Jingyin<sup>1</sup>, Cheng Yuanfang<sup>1</sup>, Liu Fang<sup>2</sup>, Wen Shengkui<sup>3</sup>, Li Qinghua<sup>4</sup>

(1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061, China; 2. College of Computer & Communication Engineering, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061, China; 3. Oil Production Research Institute, Shengli Oilfield Branch, Dongying, Shandong, 257000, China; 4. Binman Oil Production Plant, Shenli Oilfield Branch, Binzhou, Shandong, 256600, China)

**Abstract:** Considering the current difficulty of using the field test method to analyze the influence of confining pressure on the damage and failure scale of explosive fracturing inside wells, a numerical model of explosive fracturing inside wellbore has been established based on the lab explosive fracturing test and the finite-element analysis module, LS-DYNA. The numerical model includes three components: the surrounding rock damage mechanical model, the explosion mechanical model and the coupling medium model. On the basis of the verification of model accuracy, the numerical simulations were conducted to determine the influence of explosive fracturing inside wellbore on the surrounding rock under the confining pressure. At last, the simulation result was analyzed using rock damage mechanics. The results showed that, with the increase of the confining pressure, the decay rate of rock damage accelerates and the damage area becomes smaller under the same condition of explosive amount, rock properties and the charging structure. For the same location inside the surrounding rock, the damage caused by the explosion decreases with the increase of confining pressure.

**Key words:** confining pressure; explosive fracturing; damage scale; numerical simulation; mathematical model

井内爆炸压裂作为一种开发低渗透低丰度油气田的非常规方法, 是利用炸药爆炸产生的能量在井眼周围地层制造大量裂缝, 达到改善低渗储层物性、提高油气采收率的目的<sup>[1-5]</sup>。利用该技术对储层进行改造时, 一方面要确保井壁的稳定性, 另一方面便是最大化地追求压裂改造效果, 而以上两方面在很大程度上都受围压的影响。因此, 开展井内爆炸压裂后围压对储层围岩损伤破坏尺度的影响规律研究

**收稿日期:** 2010-09-27; **改回日期:** 2011-05-30。

**作者简介:** 王京印(1978—), 男, 吉林长春人, 2001年毕业于石油大学(华东)石油工程专业, 2004年获石油大学(华东)油气井工程专业硕士学位, 2007年获中国石油大学(华东)油气井工程专业博士学位, 讲师, 主要从事钻井工程及岩石力学方面的研究工作。

**联系方式:** (0546)8393754, jingyinwang@126.com。

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目“低渗透低丰度油气田井内动载压裂开采新技术”(编号: 2007AA06Z208)部分研究内容。

十分必要。然而,由于目前条件所限,无法通过开展大规模爆炸压裂试验完成围压对爆炸压裂损伤破坏尺度影响规律的研究工作。因此,笔者在参考前期理论、试验以及数值模拟研究的基础上<sup>[6-18]</sup>,以 AN-SYS 有限元分析软件中的 LS-DYNA 显示动力分析模块为依托,建立了井内爆炸压裂数值计算模型,在验证模型准确性后,进行了爆炸压裂作用下围压对井壁围岩损伤破坏尺度的数值模拟研究,初步探讨了爆炸压裂作用下围压对井壁围岩损伤破坏尺度的影响规律。

## 1 数值模拟

对井内动载压裂技术的研究,其最终的落脚点是要将该技术应用于现场,并达到改善低渗储层物性、提高油气采收率的目的。因此,在建立动载压裂数值计算模型时需要考虑现场施工时井筒内的具体环境。为此,笔者建立的动载压裂数值计算模型包括围岩损伤破坏模型、炸药爆炸力学模型、耦合介质模型 3 部分,而对其相互作用则采用流固耦合方法进行处理。

### 1.1 数学模型

#### 1.1.1 围岩损伤破坏模型

采用了能够反映脆性材料在高应变、高应变率与高压下的动态力学性能、能够累积损伤并能反映损伤对材料性能影响的 HJC 模型模拟井壁围岩,进行数值模拟计算。HJC 模型对应力进行了归一化处理,具体材料方程为:

$$\sigma^* = \sigma_i^* - D(\sigma_i^* - \sigma_i^*) \quad (1)$$

$$\sigma_i^* = a(p^* + t^*)^n (1 + c \ln \epsilon) \quad (2)$$

$$\sigma_i^* = b(p^*)^m (1 + c \ln \epsilon) \leq \sigma_{fmax} \quad (3)$$

$$D = \sum \Delta \epsilon^p / \epsilon_f^p \quad (4)$$

$$\epsilon_f^p = d_1 (p^* + t^*)^{d_2} \quad (5)$$

式中: $\sigma^*$  为等效应力; $\sigma_i^*$  为完整无损条件下的等效应力; $\sigma_f^*$  为损伤条件下的等效应力; $D$  为累积损伤; $p^*, t^*$  分别为爆炸等效压力、等效最大拉伸静水压力; $\epsilon$  为应变力; $\Delta \epsilon^p$  为每个循环计算得到的塑性应变增量; $\epsilon_f^p$  为破裂时的塑性应变; $\sigma_{fmax}$  为最大等效破裂强度; $a, b, c, d_1, d_2, m, n$  为材料系数,与材料类型有关。

#### 1.1.2 炸药爆炸力学模型

做如下假定:流动是理想的、一维的,不考虑介

质的黏性、扩散、传热以及流动的湍流等性质;爆轰波阵面是平面,其厚度可忽略不计,只是压力、质点速度、温度等参数发生突跃变化的强间断面;波阵面内的化学反应是瞬间完成的,其化学反应速率为无穷大,且反应产物处于热力学平衡状态;爆轰波阵面的参数是定常的。炸药爆炸产生的压力  $p$  定义为:

$$p = F p_s(V, E) \quad (6)$$

式中: $F$  为燃烧系数,当计算得到的  $F > 1$  时,将  $F$  定为 1,也即保证  $0 \leq F \leq 1$ ;  $p_s(V, E)$  为炸药完全爆炸时的压力,MPa。

$p_s(V, E)$  的半经验状态方程为:

$$p_s = A e^{-R_1 V} + B e^{-R_2 V} + C V^{-(\omega+1)} \quad (7)$$

式中: $V = \rho_0 / \rho$ ;  $A, B, C, R_1, R_2$  和  $\omega$  为 6 个通过试验即可测得的炸药参数。

#### 1.1.3 耦合介质模型

井筒内动载压裂时,填充在炸药包和井壁之间的耦合介质(钻井液),可以采用空材料模型以及以下状态方程来进行描述。

压缩时:

$$p = \frac{\rho_0 c^2 \mu \left[ 1 + \left( 1 - \frac{\gamma_0}{2} \right) \mu - \frac{\alpha}{2} \mu^2 \right]}{1 - (S_1 - 1) \mu - S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2}} + (\gamma_0 + \alpha \mu) E \quad (8)$$

膨胀时:

$$p = \rho_0 c^2 \mu + (\gamma_0 + \alpha \mu) E \quad (9)$$

式中: $\mu = \rho / \rho_0$ ;  $\rho$  为当前钻井液密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $\rho_0$  为常温下的钻井液密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $c$  为声速,  $\text{m/s}$ ;  $S_1, S_2, S_3, \gamma_0, \alpha$  为 Gruneisen 系数;  $E$  为初始体积内能, J。

### 1.2 计算方法

爆炸压裂是一个非常复杂的作用过程,炸药在井筒内爆炸后,强大的冲击波使靠近井眼的岩石受压破碎,瞬间形成粉碎区和初始裂隙;环向拉应力及应力波的反射拉应力使岩石中的裂隙扩展,引起岩石进一步破裂,包括初始裂隙的扩展和二次裂隙的形成;爆生气体的膨胀作用使岩石中的裂隙贯穿并形成破碎块,碎胀体积增大。在远离爆源的位置,应力波衰减得很小,不足以形成裂隙,应力波呈现出弹性波的形态,对井壁围岩不产生任何破坏和损伤。综上可知,井筒内爆炸压裂的物理过程相当复杂,既包含了近爆破区围岩的塑性变形,又包含了远爆炸

区围岩的弹性变形,单纯使用 Lagrange 算法和 ALE 算法都不能获得较为满意的模拟效果。因此,笔者在近爆破区,采用 ALE 算法处理近爆破区的塑性变形问题,而后提取爆炸弹性空腔半径上的压力数据,在远爆破区进行冲击模拟,以获得分析数据。

## 2 数值模拟结果验证

为了验证数学模型及计算结果的准确性,借助中国石油大学(华东)石油工程学院岩石力学教研室研制的爆炸压裂试验系统,进行了爆炸压裂试验。试验所用试样由普通硅酸盐水泥制成,试样密度 1.74 kg/L,静态抗压强度 32.0 MPa,静态抗拉强度 2.8 MPa。试样为  $\phi 80\text{ cm}\times 80\text{ cm}$  的圆柱,试样内炮眼尺寸  $\phi 3\text{ cm}\times 40\text{ cm}$ ,如图 1 所示。

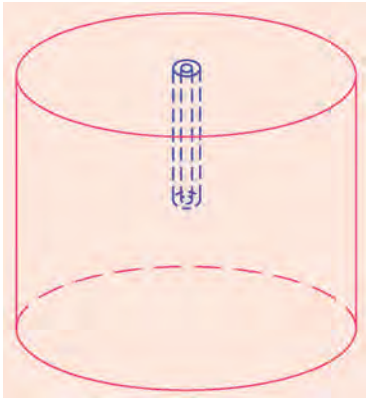


图 1 试样结构示意图  
Fig. 1 Structure of the sample

试验开始前,通过液压控制系统向试样施加 20.0 MPa 围压,以模拟井壁围岩的应力状态。同时,选用了长 80 cm 的导爆索,导爆索药芯为单质锰炸药黑索金,药量为 12~14 g/m。试验前将雷管和导爆索绑扎在一起布置于炮眼内,试验准备工作完成后,通过雷管将导爆索引爆。爆炸后,试样表面无明显的粉碎现象,产生的裂纹主要集中于炮眼附近,裂纹数量较多,但较短、较细,如图 2 所示。

利用上文建立的数学模型,对上述爆炸压裂试验进行数值模拟。几何模型根据爆炸压裂试验时所用的试样尺寸建立,由 3 个圆柱体组成,分别代表岩样、炮眼和柱状炸药,尺寸分别为  $\phi 80\text{ cm}\times 80\text{ cm}$ 、 $\phi 3\text{ cm}\times 40\text{ cm}$ 、 $\phi 1\text{ cm}\times 40\text{ cm}$ 。为了减少计算量,对 1/4 模型进行网格划分,划分完毕后共包括 120 016 个节点、110 160 个单元,如图 3 所示。对有限元模

型上表面所有节点施加法向约束;对  $Oxz$ 、 $Oyz$  面上的所有节点施加对称面法向约束;对有限元模型弧面上所有单元施加围压。采用顶部起爆方式,计算时间设置为 300  $\mu\text{s}$ 。



图 2 试验后裂纹分布  
Fig. 2 Fracturing distribution after the test

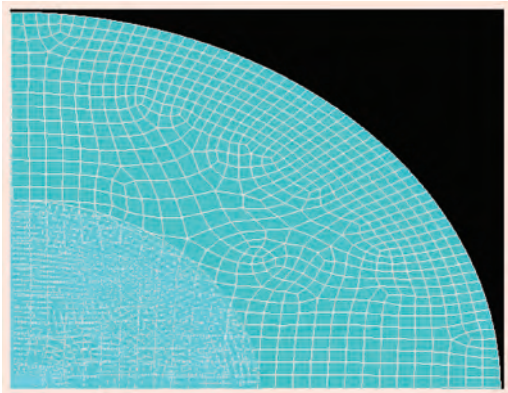


图 3 有限元模型  
Fig. 3 Finite element model

岩石损伤力学认为:在宏观裂纹出现之前,岩石材料内部已经出现了损伤,如微观裂纹、微观空洞等,损伤的累积、增加将引起岩石材料内黏聚力的减弱,并导致体积单元破坏,最终表现为宏观力学行为劣化。通过损伤值  $D$  的大小即可对裂纹分布情况进行预测,当损伤值  $D$  达到 0.8~1.0 时,表明该区域内材料已经被破坏,出现宏观裂纹的概率相当大;损伤值  $D$  小于 0.1,则认为此处属于弹性区,材料不会受到破坏;介于 0.1~0.8 之间的区域被称为损伤区,即微观裂纹、微观孔洞等微观缺陷出现的地方。根据上述理论,笔者通过数值模拟得到的损伤分布情况对爆炸压裂产生的宏观裂纹进行了预测和描述。为了获得完整的模型损伤分布情况,对原有 1/4 有限元模型进行对称映射,计算终止时刻模型上端面损伤分布,结果如图 4 所示。



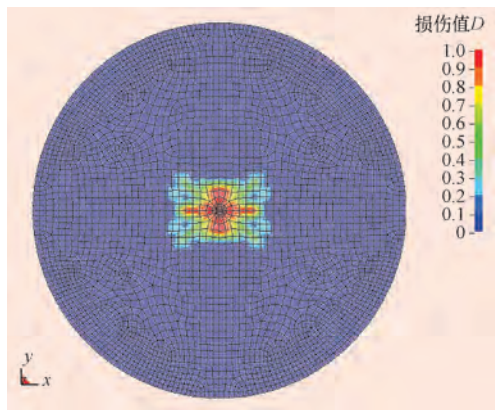


图 4 计算终止时刻模型上端面损伤分布  
Fig. 4 Damage distribution on the top of the model at termination time

由图 4 可知,损伤破坏区域集中在 2~3 倍炮眼尺寸范围内,其中损伤值  $D$  为 0.8~1.0 的区域出现在距炮眼约 4~6 cm 的范围内,该区域也就是宏观裂纹集中出现的地方,宏观裂纹由炮眼向外径向长度最长可达 6 cm;损伤值  $D$  为 0.2~0.8 的区域

内,虽然没有出现宏观裂纹,但却产生了大量的微观裂纹,其对渗透率提高幅度的贡献不可忽略。通过上述分析可知,对宏观裂纹分布情况的预测较为准确,模拟结果与试验结果较为吻合,数值计算模型具有较高的准确度。

### 3 围压对围岩损伤破坏尺度影响分析

对低渗油气储层实施爆炸压裂时,炸药往往被放置在地表以下几千米深的位置,而地下几千米深处井壁围岩的应力状态明显不同于常压下岩石的应力状态,因而爆炸压裂作用下形成的损伤破坏范围也将存在很大差别。因此,利用上文建立的模型,模拟了常压和 10,20 和 30 MPa 围压下的爆破效果,通过对比常压和不同围压条件下形成的损伤破坏情况,探讨围压对损伤破坏尺度的影响规律。在常压和上述 3 个围压条件下,模拟得到的损伤分布情况如图 5 所示。

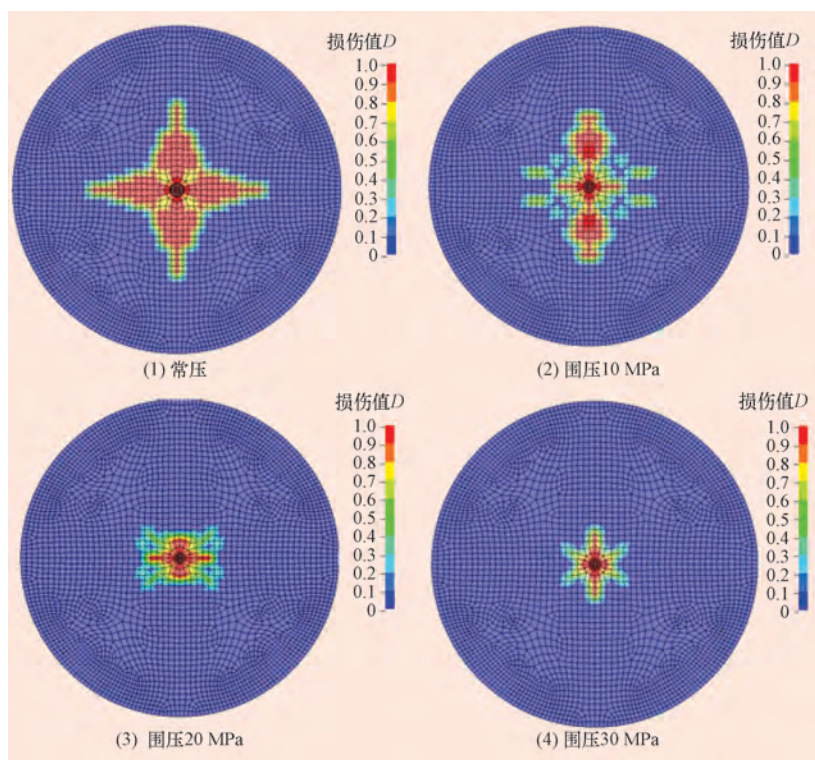


图 5 不同围压条件下的损伤分布  
Fig. 5 Damage distribution at different confining pressure

从图 5 可以看出:围压对损伤破坏范围影响比较明显,围压增大,损伤破坏范围缩小,形成的宏观裂纹的密度、长度减小;常压条件下,损伤破坏集中在约 6 倍炮眼尺寸的范围,损伤值  $D$  主要介于 0.7~1.0 之间,表明损伤破坏程度较为严重,在该

条件下大部分微裂纹扩展、汇集形成明显的宏观裂纹,宏观裂纹数量不会少于 4 条,产生的宏观裂纹由炮眼向外径向长度可达 15~18 cm;围压 10 MPa 条件下,损伤破坏程度明显降低,损伤破坏范围缩小至炮眼外 9~12 cm 的区域内,除损伤值  $D$  为 0.8~

1.0 的区域产生宏观裂纹外,由中心孔眼向外距离 3~4 倍炮眼尺寸范围内,还将产生大量微观裂纹;围压增至 30 MPa 时,损伤破坏区域集中在井筒内壁上,井筒内壁以外很小范围内会产生少量长度很短的宏观裂纹,损伤区域集中在炮眼附近。

分别选取模型 0°、45°和 90°径向上的所有单元,读取该径向上所有单元的损伤值  $D$ ,按照单元距炮眼内壁距离  $r$ ,建立损伤值  $D$  与  $r$  的关系曲线,如图 6 所

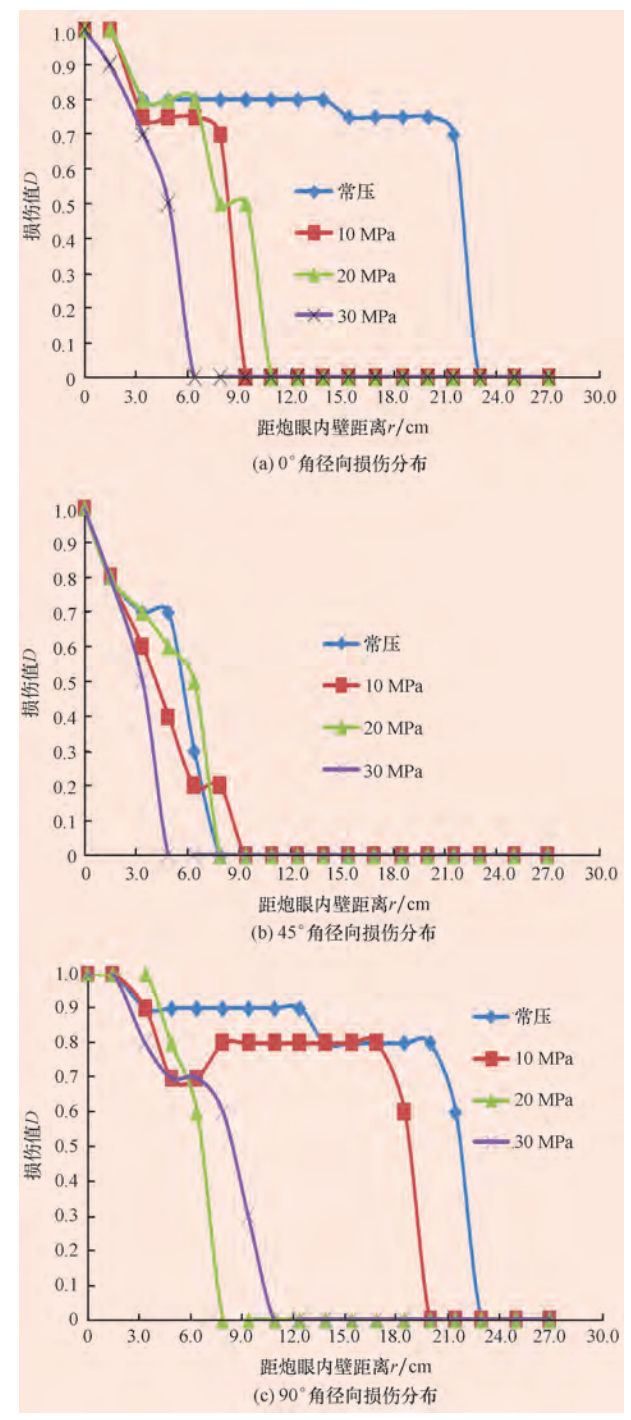


图 6 不同角度下的径向损伤分布  
Fig. 6 Radial damage distribution in different angles

示。由图 6 可知:随着距炮眼内壁距离  $r$  的增加,径向上单元的损伤值  $D$  逐渐减小;井眼内壁处破坏严重,其损伤值  $D$  可达 1;由内壁向外,爆炸波呈放射状沿径向传播,随传播距离的增加,其携带的能量不断衰减,进而对围岩造成的损伤也逐渐减小,直至衰减至零。同时,图 6 还表明,不同围压条件下,离炮眼内壁相同距离处产生的损伤也不同,例如,相同距离  $r$  处,常压下造成的损伤值  $D$  一般会大于 30 MPa 围压下的损伤值  $D$ ,即围压越大,相同条件下造成的损伤越小,爆炸压裂效果越差。

### 4 结 论

- 1) 数值模拟结果与试验结果较为吻合,数值计算模型较为可靠、准确,能够对井内爆炸压裂进行有效、直观的描述。
- 2) 爆炸压裂时,井壁围岩受到的围压越大,其损伤破坏范围越小,爆炸压裂效果越差。
- 3) 围岩损伤演化发展过程受围压影响明显,围压越大,损伤衰减速度越快。
- 4) 对于同一层面、处于爆炸压裂中远区域内的围岩来说,在距离爆源相同距离处,其损伤值  $D$  随围压增大而减小。

### 参 考 文 献

[1] 杨俊杰. 低渗透油气藏勘探开发技术[M]. 北京:石油工业出版社,1993:23-45.  
Yang Junjie. Exploration and development technologies of low permeability reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993:23-45.

[2] 林英松,蒋金宝,孙丰成,等. 爆炸技术与低渗透油气藏增产[J]. 钻采工艺,2007,30(5):48-52.  
Lin Yingsong, Jiang Jinbao, Sun Fengcheng, et al. Exploding technology and low permeability reservoir improvement[J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(5): 48-52.

[3] 丁雁生,陈力,谢燮,等. 低渗透油气田“层内爆炸”增产技术研究[J]. 石油勘探与开发,2001,28(2):90-96,106.  
Ding Yansheng, Cheng Li, Xie Xie, et al. On the stimulation of “exploding in fractures” in low permeability reservoir[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(2): 90-96, 106.

[4] 林英松,张宝康,蒋金宝,等. 爆生气体作用下孔壁岩石开裂的机理及影响因素研究[J]. 石油钻探技术,2008,36(3):50-54.  
Lin Yingsong, Zhang Baokang, Jiang Jinbao, et al. Mechanism and influencing factors on radial fractures’ cracking and propagation under exploding gas[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 50-54.

- [5] 林英松,孙丰成,丁雁生,等. 损伤对爆生气体作用下孔壁岩石开裂规律的影响[J]. 石油钻探技术,2007,35(4):25-27.  
Lin Yingsong, Sun Fengcheng, Ding Yansheng, et al. Effects of damages on gas-driven radial fracture induced by blasting within a cavity[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(4): 25-27.
- [6] 林英松,蒋金宝,朱天玉,等. 爆炸载荷对水泥试样损伤破坏规律研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(3):55-58.  
Lin Yingsong, Jiang Jinbao, Zhu Tianyu, et al. Research of cement sample's damage and fracture by exploding load[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2006, 30(3): 55-58.
- [7] 杨小林,员小有,吴忠,等. 爆破损伤岩石力学特性的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(4):436-439.  
Yang Xiaolin, Yuan Xiaoyou, Wu Zhong, et al. The experimental study on mechanical properties of blasting damaged rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(4): 436-439.
- [8] 徐鹏,程远方,刘丹,等. 爆炸压裂下围压对井壁破碎效果的影响[J]. 石油钻探技术,2009,37(6):22-25.  
Xu Peng, Cheng Yuanfang, Liu Dan, et al. The effects of ambient pressure on wellbore crushing effect under explosive fracturing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 22-25.
- [9] 宗琦. 爆炸冲击波的动态破岩特性研究[J]. 爆炸与冲击,1997,17(4):369-374.  
Zong Qi. Investigation on dynamic characteristics of rock fragmentation by shockwave[J]. Explosion and Shock Waves, 1997, 17(4): 369-374.
- [10] 郭学彬,肖正学,史瑾瑾,等. 石灰岩冲击损伤实验与破碎特性研究[J]. 爆炸与冲击,2007,27(5):438-444.  
Guo Xuebin, Xiao Zhengxue, Shi Jinjin, et al. Experimental study and numerical simulation on shock-damaged rock[J]. Explosion and Shock Waves, 2007, 27(5): 438-444.
- [11] 张宽虎,张治安,惠晨. 爆炸对井下岩石的成缝作用[J]. 火炸药学报,1999,22(2):67-68,66.  
Zhang Kuanhu, Zhang Zhi'an, Hui Chen. Explosion action for marking crack on rock in well[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 1999, 22(2): 67-68, 66.
- [12] 林英松,王莉,丁雁生,等. 饱和水泥试样被爆炸激波损伤破碎的尺度研究[J]. 爆炸与冲击,2008,28(2):186-192.  
Lin Yingsong, Wang Li, Ding Yansheng, et al. Experimental study of damage and fracture zone in cement sample subjected to exploding wave[J]. Explosion and Shock Waves, 2008, 28(2): 186-192.
- [13] 颜峰,姜福兴. 爆炸冲击载荷作用下岩石的损伤实验[J]. 爆炸与冲击,2009,29(3):275-280.  
Yan Feng, Jiang Fuxing. Experiment on rock damage under blasting load[J]. Explosion and Shock Waves, 2009, 29(3): 275-280.
- [14] 刘运通,高文学. 爆炸荷载下岩石损伤的数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(6):789-792.  
Liu Yuntong, Gao Wenxue. Numerical simulations on rock damage under explosion loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(6): 789-792.
- [15] 左宇军,唐春安,朱万成,等. 动载荷作用下岩石破坏过程的数值试验研究[J]. 岩土力学,2008,29(4):887-892.  
Zuo Yujun, Tang Chun'an, Zhu Wancheng, et al. Numerical test on failure process of rock subjected to dynamic loading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(4): 887-892.
- [16] 杨小林,王树仁. 岩石爆破损伤及数值模拟[J]. 煤炭学报,2000,25(1):19-23.  
Yang Xiaolin, Wang Shuren. Rock damage by blasting and its numerical simulation[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(1): 19-23.
- [17] 王志亮,黄景忠,范书群,等. 岩石爆破中塑性压剪损伤的数值模拟[J]. 火炸药学报,2006,29(5):1-4,16.  
Wang Zhiliang, Huang Jingzhong, Fan Shuqun, et al. Numerical simulation on blast-induced plastic compression and shear damage in rock blasting[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2006, 29(5): 1-4, 16.
- [18] 李炜. 数值分析模拟爆生气体作用下岩石裂纹扩展研究进展[J]. 工程建设,2008,40(2):16-22.  
Li Wei. Advancement of study on numerical analysis and simulation of rock crack growth under action of gas generated by explosion[J]. Engineering construction, 2008, 40(2): 16-22.

## 中国石化第一口页岩气水平井固井作业顺利完成

建页 HF-1 井位于湖北省利川市建南镇,目的层为下统自流井组东岳庙段,钻探目的是获取建南地区侏罗系页岩气评价参数,了解侏罗系下统自流井组东岳庙段页岩气井的产能情况,为整体评价该区页岩气勘探潜力提供地质依据。该井实际完钻井深 1 777.77 m,套管下深 1 720.73 m,垂深仅 611.00 m,位垂比达到 2.02,是一口大位移水平井。由于该井井口载荷先增大后减小,水平井段对井壁的侧压力大,套管靠自重下入困难;加之井斜角大,造斜段井眼狗腿度最大达到 35°/100m,水平段较长以及井眼粘卡等井眼条件所带来的高摩阻,套管更难顺利下至预定位置。因此采取了井口加压、在遇阻井段开泵循环、在适当位置安放双弓弹性扶正器等措施。为防止冲洗液使油基钻井液破乳,提高顶替效率,按照固井设计,施工中注入柴油、冲洗液和加重隔离液。通过采取以上措施,该井套管顺利下至预定位置,并顺利完成了固井施工。