

## 基于岩石性能试验的冲旋钻井钻齿破岩仿真

张晓东<sup>1</sup>, 张 毅<sup>1</sup>, 苟如意<sup>1</sup>, 何 石<sup>1</sup>, 王海娟<sup>2</sup>

(1. 西南石油大学机电工程学院, 四川成都 610500; 2. 中国石化河南油田分公司石油工程技术研究院, 河南南阳 473000)

**摘 要:** 利用空气冲旋钻井技术进行钻进时, 易出现钻齿脱落、折断以及磨损严重等失效问题。针对该问题, 应用岩石力学试验机和 SHPB 试验装置, 开展了花岗岩动态劈裂拉伸、单轴压缩和围压下的压缩性试验, 为数值模拟提供了必要的岩石材料模型参数。数值模拟选用 H-J-C 动态本构模型, 结合试验结果确定了材料模型参数, 选择花岗岩的拉应变作为失效准则。在此基础上, 对钻齿的齿形参数和破岩的钻齿侵入深度、破碎体积进行了数值模拟。研究表明, 相同工况下锥形中心齿的破岩效率最高, 边齿角度取 30° 可显著提高岩石的破碎体积。在此基础上, 对齿面布齿进行选配研究, 发现“中心球形齿+周围锥形齿”的破岩效率最高, “中心球形齿+周围球形齿”组合的破岩效率最低。

**关键词:** 冲旋钻井 岩石力学 动态本构 钻头牙齿 有限元法 破岩效率

**中图分类号:** TE921+.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2014)01-0105-06

## Simulation of Hammer Bit Drilling Based on Rock Properties Experiment

Zhang Xiaodong<sup>1</sup>, Zhang Yi<sup>1</sup>, Gou Ruyi<sup>1</sup>, He Shi<sup>1</sup>, Wang Haijuan<sup>2</sup>

(School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China; 2. Petroleum Engineering and Technology Research Institute, Henan Oilfield Branch, Sinopec, Nanyang, Henan, 473000, China)

**Abstract:** To investigate frequent failures of drill bit teeth in air hammer drilling like teeth falling, breaking and severe wear, laboratory experiments of dynamic splitting tensile, uniaxial and triaxial compression and compression with granite samples were conducted with the SHPB and material test system to obtain mechanical properties of the rock for numerical simulation. H-J-C dynamic constitutive model was adopted for in numerical simulation, the material model parameters were determined from experiment, and tensile strength of granite was selected as failure criterion. Drill bit tooth parameters, the bit teeth sinking depth, crushing volume were simulated numerically, which showed that the cone tooth has the highest efficiency in rock breaking under the same conditions and heel tooth in 30° can increase the rock crushing volume significantly. In addition, the configuration of tooth surface was examined, which showed that the pattern of “ball teeth in the middle and cone teeth in the peripheral” has highest rock breaking efficiency, but the pattern of “ball teeth in the middle and peripheral” has lowest in rock breaking efficiency.

**Key words:** hammer bit drilling; rock mechanics; dynamic constitutive; bit tooth; finite element method; rock breaking efficiency

在深部硬质地层, 空气钻井技术具有钻速高及成本低等技术特点, 因此该技术得到越来越广泛的应用。但在现场作业中也暴露了很多问题, 如国产空气锤锤头的牙齿脱落、边齿折断以及磨损严重等现象时有发生<sup>[1]</sup>。国内对空气锤钻井技术相关理论的研究相对滞后, 制约了该技术的进一步发展。截至

收稿日期: 2013-04-18; 改回日期: 2013-12-17。

作者简介: 张晓东 (1959—), 男, 重庆涪陵人, 1982 年毕业于西南石油学院石油矿场机械专业, 1995 年获北京科技大学矿山机械专业硕士学位, 教授, 主要从事石油天然气装备和井下动力钻具方面的研究工作。

联系方式: (028)83037204, zxd123420@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目“油气井管柱力学与井下工具”(编号: 51222406)资助。

目前,国内外学者对空气冲旋破岩主要进行了以下研究:G. Han 等人<sup>[2]</sup>建立了冲旋钻井仿真模型,并对冲旋钻井的破岩机制进行了研究;左建平等<sup>[3]</sup>对不同温度和预应力综合作用下的岩石开展了动态特性的理论及试验研究;祝效华等人<sup>[4]</sup>研究了钻井参数与冲击功、破岩比功的关系;范永涛等人<sup>[5]</sup>对冲旋钻井破岩进行仿真分析发现,钻头破岩过程中各个牙齿的应力变化非常大;黄志强等人<sup>[6]</sup>分别对冲旋钻头在单纯冲击和冲击旋转联合作用下的破岩过程进行了仿真研究,揭示了冲旋钻井的破岩机理。目前,冲旋钻井研究还存在以下主要问题:1)已有研究一般都没有考虑动载作用下岩石力学性质的变化,或是仅仅基于假定的性能参数进行了数值仿真分析,分析结果与实际工况差距较大;2)研究内容集中在钻井参数和破岩能效的关系方面,对钻齿的性能参数研究很少<sup>[4-6]</sup>。为此,笔者在试验研究岩石实际性能参数的基础上,通过对钻头的边齿与岩石相互作用进行研究,实现了空气锤钻齿的优化设计。

## 1 岩石动态本构关系

钻井过程中,岩石的力学性能会由于强烈的冲击载荷而发生改变,需要一种能描述岩石在冲击作用下破坏过程的动态本构关系。目前比较常见的岩石动态模型主要有脆性损伤模型、Riedel-Thoma-Hiermer 模型、H-J-C 模型和 Plastic-Kinematic 模型<sup>[7]</sup>等,其中 H-J-C 模型考虑的因素比较全面且符合钻井过程中岩石的实际特性,因此笔者选择 H-J-C 模型作为动态本构模型(见图 1)。

H-J-C 模型的等效应力公式为:

$$\sigma^* = [A(1-D) + Bp^{*N}](1 - C\ln\epsilon^*) \quad (1)$$

式中: $\sigma^*$  为标准化等效应力,  $\sigma^* = \sigma/f_c$ ;  $\sigma$  为实际等效应力, MPa;  $f_c$  为岩石的静态单轴抗压强度, MPa;  $\sigma^* \leq S_{\max}$ ,  $S_{\max}$  为岩石所能承受的最大归一化强度;  $A, B, N$  和  $C$  是材料的强度参数,分别为等效应力系数、压力硬化系数、应变率系数和压力硬化指数;  $p^*$  为标准化静水压力,  $p^* = p/f_c$ ;  $p$  为实际静水压力, MPa;  $\epsilon^*$  为

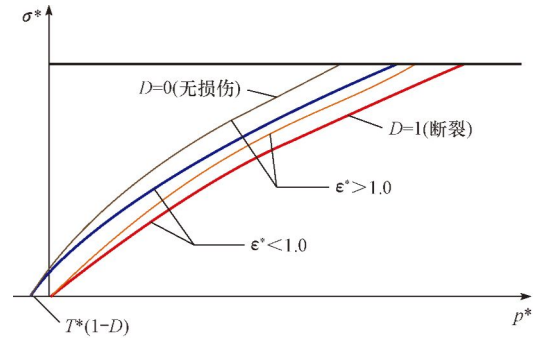


图 1 H-J-C 本构模型

Fig. 1 H-J-C constitutive model

相对应变率  $\epsilon^* = \epsilon/\epsilon_0$ ;  $\epsilon$  为真实应变率,  $s^{-1}$ ;  $\epsilon_0$  为参考应变率,  $s^{-1}$ ;  $D$  为损伤因子,取值范围为  $0 \leq D \leq 1$ 。

损伤因子累积了来自等效塑性应变和塑性体积应变的损伤,由损伤演化方程定义为:

$$D = \sum \frac{\Delta\epsilon_p + \Delta\mu_p}{\epsilon_p^f + \mu_p^f} \quad (2)$$

式中: $\Delta\epsilon_p$  和  $\Delta\mu_p$  分别为一个积分步长内单元的等效塑性应变和塑性体积应变的增量;  $\epsilon_p^f + \mu_p^f = D_1 (p^* + T^*)^{D_2}$  是在压力  $p$  作用下材料断裂时的塑性应变;  $D_1$  和  $D_2$  为损伤常数;  $T^*$  为材料的标准化最大拉伸强度,  $T^* = T/f_c$ ;  $T$  为材料的最大拉伸强度, MPa。

## 2 花岗岩动态本构关系试验

动态本构关系试验中,采用 SHPB 试验装置研究花岗岩的动态劈裂拉伸、单轴压缩和围压下的压缩性能,通过试验得到了花岗岩的应力率、抗拉强度和压缩强度等力学性能主要参数<sup>[8]</sup>,为建立花岗岩的动态本构模型提供了基础。

### 2.1 动态劈裂拉伸和单轴压缩试验

花岗岩的破坏应变较小,因而不能采用载荷突变的方波载荷,需要通过波形整形器进行整形,获得类三角波或正弦波的加载波形。劈裂拉伸和单轴压缩试验的花岗岩试样直径为 50 mm 左右,分别进行了 3 次试验,试验结果见表 1。

表 1 劈裂拉伸和单轴压缩试验数据

Table 1 Experiment data of splitting tensile and uniaxial compression

岩心编号	岩心直径/ mm	动态劈裂拉伸试验		单轴 SHPB 压缩试验		
		应力率/(MPa · s <sup>-1</sup> )	抗拉强度/MPa	撞击速度/(m · s <sup>-1</sup> )	轴向最大应力/MPa	应变率/s <sup>-1</sup>
1	50.00	1.6 × 10 <sup>5</sup>	16.80	14.6	208	86
2	50.06	2.0 × 10 <sup>5</sup>	16.87	15.2	195	96
3	49.92	2.5 × 10 <sup>5</sup>	16.75	11.3	132	34

从表 1 可以看出,在不同的应力率作用下,花岗岩的动态劈裂拉伸强度变化很小,但不同的撞击速度对花岗岩的轴向最大应力和应变率影响比较大。

## 2.2 围压下 SHPB 压缩性能试验

在设计加工的 SHPB 围压装置和试验装置上进行模拟围压作用下的岩石性能试验,围压作用下岩石的动态性能曲线如图 2 所示。对比围压为 0、5 和 10 MPa 条件下的岩石性能参数发现,围压 5 MPa 下的岩石抗压强度是无围压下的 1.5 倍左右,围压 10 MPa 下岩石的抗压强度是无围压下的 2 倍多。

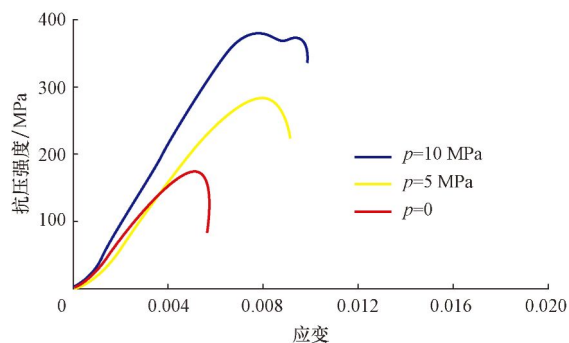


图 2 岩石动态性能曲线

Fig. 2 Rock dynamic performance curve

## 2.3 岩石失效准则及参数确定

失效类型参数控制着 H-J-C 模型的材料失效,然而不同的取值对结果几乎没有影响,进一步模拟发现,单元的失效与其值没有相关性<sup>[9]</sup>。由于岩石属于脆性材料,其抗拉强度要远小于抗压和抗剪强度,所以选择岩石的拉应变作为失效准则。假设试验使用的花岗岩孔隙率为 2%,结合静态、动态试验得到部分花岗岩参数值,花岗岩 H-J-C 模型的所有参数为<sup>[10-11]</sup>:剪切模量为 14.19 GPa,弹性模量为 28.09 GPa,密度为 2 800 kg/m<sup>3</sup>,黏聚强度为 0.95 MPa,压力硬化系数为 1.6,失效应变为 0.008,静态抗压强度为 126.5 MPa,压力常数  $K_1 = 85$  GPa,  $K_2 = -171$  GPa,  $K_3 = 85$  GPa;损伤常数  $D_1 = 0.034$ ,  $D_2 = 1.000$ ;最大抗拉静压  $T = 8.768$  MPa,应变率 0.08,压力硬化指数为 0.79,内聚力为 37.86 MPa,标准化最大强度为 7.0,破碎压力为 0.421 7 MPa,破碎体积应变为 0.003,压实压力为 2.79 MPa,压实体积应变为 0.02,内摩擦角为 30.16°。

## 3 钻头中心齿冲击模型及参数分析

### 3.1 基本假设及边界条件

钻头牙齿与岩石的相互作用受到诸多因素的影响,为了便于分析计算,忽略仿真过程中影响较小的因素,特做以下假设<sup>[12]</sup>:1)岩石为均匀连续介质,忽略孔隙介质的影响;2)岩石作为无限体处理,不考虑岩石的侧边效应和应力波在岩石边界的反射;3)整个冲击过程为绝热过程,不计空气阻力,不考虑重力的作用;4)破碎失效的岩石单元即刻被移除。

首先建立钻齿和岩石接触的三维实体模型,根据现场工况确定钻井仿真的输入数据,在模型周围施加地应力 10 MPa,上覆岩层压力 15 MPa,中心齿上的钻压为 0.8 kN,钻头旋转速度为 60 r/min,冲击末速度为 10 m/s,冲击频率为 26 Hz,组成钻齿的所有节点形成一个节点组,利用 \* BOUNDARY\_PRESCRIBED\_MOTION\_SET 施加旋转角速度;对岩石柱面施加非反射的边界条件,消除岩石反射波的影响。钻齿与岩石的接触面除外,其余岩石的所有表面约束全部的自由度,使岩石既不移动也不转动,钻齿选为硬质合金,密度  $\rho = 15\ 800$  kg/m<sup>3</sup>,弹性模量  $E = 710$  MPa,泊松比  $\mu = 0.21$ 。钻头中心齿冲击岩石的有限元模型如图 3 所示。

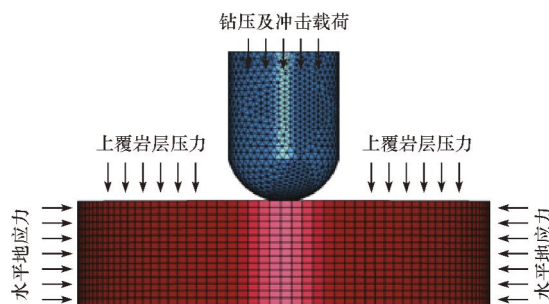


图 3 钻头中心齿有限元模型

Fig. 3 Finite element model for center teeth in the bit

### 3.2 不同齿形的钻齿破岩效率分析

钻齿的形状直接影响到钻头的破岩效率,为了确定钻头端面中心布置何种齿形的钻齿最适宜,通过球齿、锥齿和弹头齿的单齿冲击有限元分析,研究了相同工作参数下 3 种齿形破碎坑体积和吃深随时间变化的曲线。3 种钻齿的结构形状如图 4 所示。

图 5 为不同齿形钻齿形成的破碎体积时程曲线。从图 5 可以看出,锥形齿最大(破碎体积 500 mm<sup>3</sup>),弹头齿次之(破碎体积 340 mm<sup>3</sup>),球形齿最小(破碎体积



图4 3种钻齿形状

Fig. 4 Shapes of 3 kinds of bit teeth

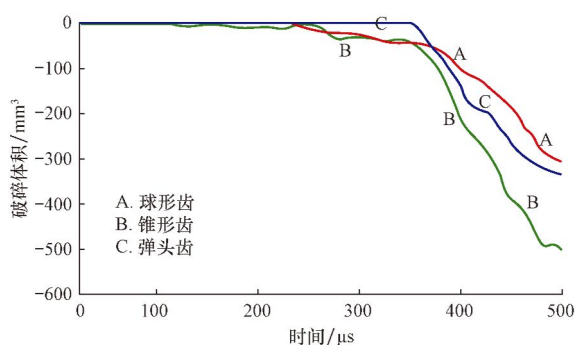


图5 牙齿破碎坑体积变化时程曲线

Fig. 5 Curves of time history of the crater volume caused by bit teeth

300 mm<sup>3</sup>)。分析结果表明,锥形齿的破碎效果最好。3种齿形的钻齿,开始都处于弹性变形阶段,350 μs后岩石形成破碎坑,此后钻齿的旋转刮削促使破碎坑更大,破碎坑体积急剧变化。

图6为不同齿形钻齿侵入岩石深度的时程曲线。由图6可知,锥形齿的侵入深度最大(为2.72 mm),球形齿次之,弹头齿最小(为1.45 mm),可知锥形齿的破岩效率是最高的。3条曲线都反映了钻齿的破岩过程:钻齿在冲击载荷和钻压驱使下,使岩石发生弹性变形;当达到岩石的破碎强度时,岩石发生体积破碎使钻齿吃深增加;钻齿很快侵入岩石,并迅速增大进尺,钻齿的侵入深度并不是连续的,而是一步步跳跃式增加的。

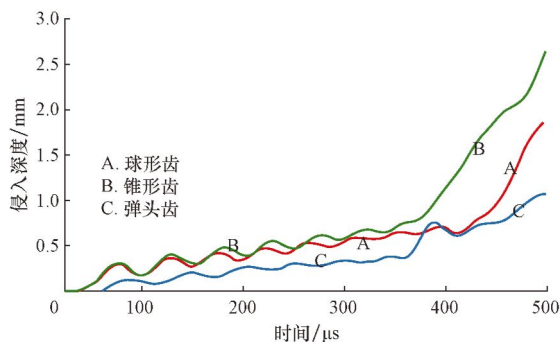


图6 不同齿形的牙齿侵入深度时程曲线

Fig. 6 Curves of time history of the sinking depth of different tooth shapes

### 3.3 钻头边齿倾角对破岩效率的影响

通过以上分析可知,锥形齿的破岩效率最高,边齿分析中仍选用锥形齿,但要改变图3所示模型中牙齿与钻头轴线方向的角度,通过研究可得到钻头边齿倾角对侵入岩石深度和破碎体积的影响。

图7和8分别为不同钻头边齿倾角条件下侵入深度曲线及岩石破碎体积曲线。由图7、图8可知,在相同钻井参数下,一个周期内钻齿侵入岩石的深度按倾角排序依次是 20° > 30° > 25° > 0° > 35° > 40° > 45°,岩石的破碎体积按倾角排序依次是 30° > 25° > 35° > 20° > 40° > 45° > 0°。综合2方面因素可知,30°倾角边齿的破岩效率优于其他角度。

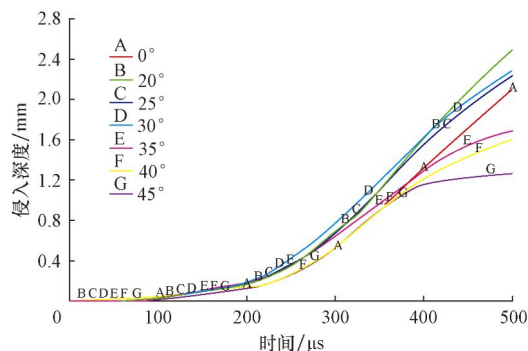


图7 不同倾角的边齿侵入深度时程曲线

Fig. 7 Curves of time history of sinking depth at different heel teeth angle

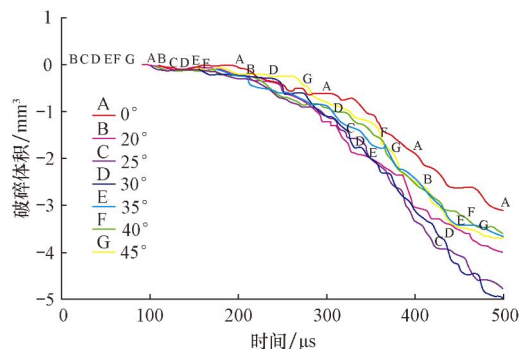


图8 不同倾角的边齿破碎体积时程曲线

Fig. 8 Curves of time history of crush volume at different angles of heel tooth

在此基础上,判断30°倾角的钻齿在工作过程中是否超出材料的屈服强度。图9为齿顶Mises应力时程曲线。由图9可知,最大等效应力为362 MPa,远小于硬质合金的屈服应力,综合考虑边齿角度取30°最优。

### 3.4 布齿结构对破碎坑体积的影响

上述研究表明,锥形中心齿和30°倾角边齿的



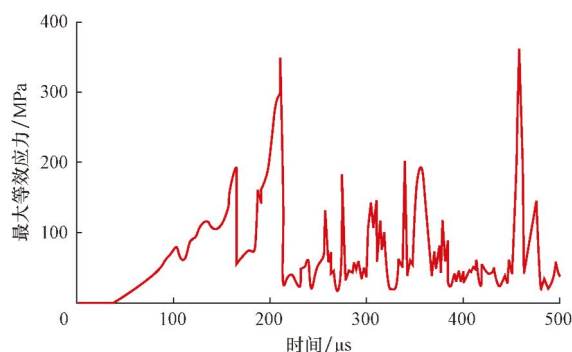


图 9 30°倾角牙齿的最大等效应力时程曲线

Fig. 9 Curves of time history of the maximum equivalent stress for the tooth at 30°angle

侵入深度和破岩体积均为最大,但单齿效率高不代表钻头齿面所有齿的效率高。为此,选用球形齿和锥形齿进行布齿组合优化,得到了新的钻头实体模型,将其输入已建立的仿真模型中进行求解计算,可以得到不同牙齿组合对侵入岩石深度和破碎体积的影响。

图 10 为 4 种布齿情况下岩石的破碎体积时程曲线。从图 10 可以看出,相同时间内“中心球形齿+周围锥形齿”的破岩体积为 3 250 mm<sup>3</sup>,破岩效率最高,比“中心锥形齿+周围球形齿”组合的破岩体积增大大约 100 mm<sup>3</sup>。

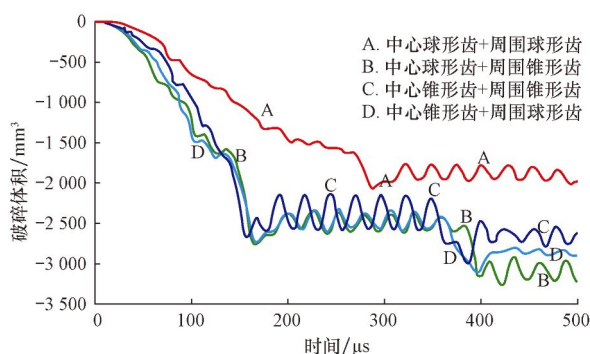


图 10 不同布齿结构的破碎体积时程曲线

Fig. 10 Curves of time history of crush volume of different tooth configurations

图 11 为 4 种布齿情况下钻头沿竖直方向的位移时程曲线。从图 11 可以看出,钻头的吃深基本相同,说明新布齿方案对钻头的吃深影响不大;但“中心球形齿+周围球形齿”组合方案下,牙齿达到最大吃深所用时间最长,破岩效率最低。

## 4 结 论

1) 在不同的应力率作用下,花岗岩的动态劈裂

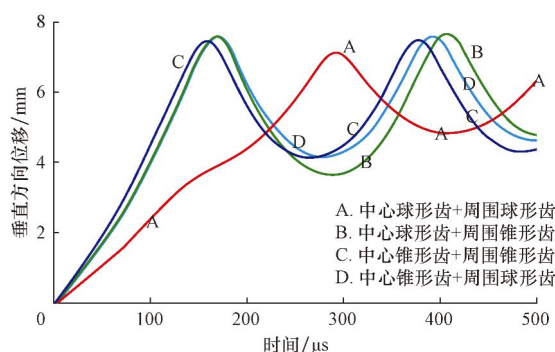


图 11 不同布齿方案下钻头垂直方向位移时程曲线

Fig. 11 Curves of time history at the Y direction of different tooth configurations

拉伸强度变化很小,但不同的撞击速度对花岗岩的轴向最大应力和应变率影响比较大;随着围压的增大,岩石的单轴抗压强度增幅很大。

2) 通过研究相同工作参数下不同齿形的冲击破碎体积和侵入深度曲线,可知锥形齿的破岩效率最高;钻齿的侵入深度并不是连续的,而是一步步跳跃式增加的。

3) 分析不同倾角牙齿模型的侵入深度及岩石破碎体积曲线可知,钻头边齿与钻头轴线呈 30°角最优。

4) 通过球形齿和锥形齿的钻头齿面布齿组合优化分析,可知不同牙齿组合对侵入岩石深度和破碎体积的影响,分析发现“中心球形齿+周围锥形齿”的破岩效率最高,“中心球形齿+周围球形齿”组合的破岩效率最低。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 侯树刚,李铁成,舒尚文,等. 空气锤及空气钻头在普光气田的应用[J]. 天然气工业,2007,27(9):65-67.  
Hou Shugang, Li Tiecheng, Shu Shangwen, et al. Application of air hammer and air bit at Puguang Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(9): 65-67.
- [2] Han G, Bruno M S, Dusseault M B. 3D simulation of rock breakage with air hammers in gas-well drilling: proceedings of the 2006 SPE Gas Symposium, Calgary, Oklahoma, May 15-17, 2006[C].
- [3] 左建平,谢和平,周宏伟. 温度压力耦合作用下的岩石屈服破坏研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2917-2921.  
Zuo Jianping, Xie Heping, Zhou Hongwei. Study on failure behavior of rock under coupling effects of temperature and confining pressure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2917-2921.
- [4] 祝效华,罗衡,贾彦杰. 考虑岩石疲劳损伤的空气冲旋钻井破岩数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(4):

- 754-761.
- Zhu Xiaohua, Luo Heng, Jia Yanjie. Numerical analysis of air hammer bit drilling based on rock fatigue model[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(4): 754-761.
- [5] 范永涛, 黄志强, 高德利. 物探冲旋钻头破岩机理仿真研究[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 110-113.
- Fan Yongtao, Huang Zhiqiang, Gao Deli. Research on rock breaking mechanism of geophysical prospecting hammer bit[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 110-113.
- [6] 黄志强, 范永涛, 魏振强, 等. 冲旋钻头破岩机制仿真研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(1): 148-150.
- Huang Zhiqiang, Fan Yongtao, Wei Zhenqiang, et al. Emulation study of rock-breaking mechanism of percussion-rotary bit[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2010, 32(1): 148-150.
- [7] 葛修润, 任建喜, 蒲毅彬, 等. 岩石疲劳损伤扩展规律 CT 细观分析初探[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(2): 191-195.
- Ge Xiurun, Ren Jianxi, Pu Yibin, et al. Primary study of CT real-time testing of fatigue meso-damage propagation law of rock[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(2): 191-195.
- [8] 王东, 刘长武, 王丁, 等. 复杂应力条件下岩石的拉剪变形及破坏准则研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2012, 44(2): 31-35.
- Wang Dong, Liu Changwu, Wang Ding, et al. Research on the tension-shear deformation and failure criterion of rock under complex stress[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2012, 44(2): 31-35.
- [9] 李耀, 李和平, 巫绪涛. 混凝土 HJC 动态本构模型的研究[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2009, 32(8): 1244-1248.
- Li Yao, Li Heping, Wu Xutao. Research on the HJC dynamic constitutive model for concrete[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2009, 32(8): 1244-1248.
- [10] 张德志, 张向荣, 林俊德, 等. 高强度钢弹对花岗岩正侵彻的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(9): 1612-1618.
- Zhang Dezhi, Zhang Xiangrong, Lin Junde, et al. Penetration experiments for normal impact into granite targets with high-strength steel projectile[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(9): 1612-1618.
- [11] Qian L, Qu M. Study on terminal effects of dense fragment cluster impact on armor plate: part II: numerical simulations[J]. International Journal of Impact Engineering, 2005, 31(6): 769-780.
- [12] 林元华, 施太和, 李润方, 等. 空气冲旋钻井冲击力和机械钻速仿真研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(18): 3337-3341.
- Lin Yuanhua, Shi Taihe, Li Runfang, et al. Simulation of impact force and penetration rate of air hammer bit drilling[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(18): 3337-3341.

[编辑 令文学]

## 欢迎订阅 2014 年《石油钻探技术》

《石油钻探技术》创刊于 1973 年,是由中国石油化工集团公司主管、中国石化集团石油工程技术研究院主办的科技期刊,是全国中文核心期刊和历年中国科技论文统计源刊,被美国《石油文摘》、《中国石油文摘》和《中国地质文摘》等大量摘录。国内统一出版物号:CN11-1763/TE,国际标准连续出版物号:ISSN1001-0890。

《石油钻探技术》主要报道国内石油工程(包括钻井、钻井液、固井、完井、开采等专业)以及钻采机械设备与自动化方面的科技进展和现场经验,适当介绍国外石油工程技术发展的水平和动向本刊栏目为:专家视点、钻井完井、油气开采、钻采机械、现场交流、科技信息。适合于广大石油工程技术人员、石油类高等院校师生和油田企业经营管理者阅读。

《石油钻探技术》为双月刊,大 16 开版本,单月末出版。2014 年每期定价 15 元(含邮寄费),全年 6 期共 90 元。自办发行,邮汇与电汇均可。欢迎有关单位和个人及时订阅,可破季订阅。订阅办法:

1. 登录本刊网站(<http://www.syzt.com.cn>)下载期刊订阅单,认真填写订阅单及汇款单,切勿潦草,以免因地址不详而无法邮寄。

2. 银行汇款:工行北京市海淀区支行,帐号 0200049629200702219,户名“中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院”,开户行代码 102100004960,并注明“期刊”字样。

3. 邮局汇款:北京市朝阳区北辰东路 8 号北辰时代大厦 710 室,邮编 100101,收款人:刘文臣。

联系电话:010-84988356,84988317;传真:010-84988289;E-mail: [syzt@vip.163.com](mailto:syzt@vip.163.com)。