

锥形 PDC 单齿破岩试验研究

邹德永, 郭玉龙, 赵 建, 陈修平, 王家骏, 于金平

(中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东青岛 266580)

摘 要: 为优化锥形 PDC 齿钻头的结构设计并提高其钻进硬地层的能力, 通过锥形 PDC 切削齿在玄武岩上的破岩试验, 分析了切削角、锥顶角及钻压等因素对锥形 PDC 切削齿破岩效率的影响规律。结果表明: 锥形 PDC 齿适合其锥尖指向钻头轴线安装在钻头上; 随着切削角增大, 切削深度先增大后减小, 当切削角为 25° 时, 切削深度最深; 破碎相同体积的岩石, 锥顶角小的锥形 PDC 齿所需的水平切削力小, 更易破碎岩石; 切削深度与钻压呈指数关系, 随着钻压增加而增大。试验结果可为锥形 PDC 齿钻头结构设计提供依据。

关键词: 聚晶金刚石复合片钻头 锥形切削齿 破岩 切削角 锥顶角 切削深度

中图分类号: TE921⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2015)01-0122-04

Experimental Study on Rock Breaking of Conical PDC Cutter

Zou Deyong, Guo Yulong, Zhao Jian, Chen Xiuping, Wang Jiajun, Yu Jinping

(School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580, China)

Abstract: In order to optimize the structure of PDC bits and improve their breaking performance in hard formations, this paper analyzed the influences of cutting angle, cone apex angle, weight on bit (WOB) and other factors of rock breaking of conical PDC cutter, through experiment with basalt. The results showed that the conical cutter was better to be installed on the bit with its prong pointing the bit axis. With the increase of the cutting angle, the cutting depth increased first and then decreased to the maximum when the cutting angle was 25° . The conical PDC cutter with small cone apex angle required smaller force to break the same volume of rock and the cutting depth increased with the WOB exponentially. The experimental results could provide reference for the design of a conical PDC bit.

Key words: PDC bit; conical cutter; rock breaking; cutting angle; cone apex angle; cutting depth

目前, 常规 PDC 钻头主要用于钻进软到中硬地层, 而在硬地层中的钻进效果不太理想^[1-2]。其中, 犁切型 PDC 钻头, 采用异于常规 PDC 的锥形 PDC 齿作为切削齿, 已在国外实验室以及一些现场钻进硬地层试验中取得了很好的破岩效果, 具备了钻进硬地层的能力^[3-7]。但是, 国内外关于锥形 PDC 齿破岩规律的研究尚属空白, 需进一步探索和研究^[8-13]。为此, 笔者通过锥形 PDC 齿破岩试验对锥形 PDC 齿在不同切削角、齿形及钻压下的破岩规律进行了分析, 以期优选出破岩效率高的齿形及切削角, 为锥形 PDC 齿钻头的优化设计提供依据, 满足深井钻进硬地层提速的迫切需求。

1 锥形 PDC 单齿破岩试验

1.1 试验装置

试验装置由 ZXTM-40 钻铣床(经过特殊改

收稿日期: 2014-06-09; **改回日期:** 2014-12-02。

作者简介: 邹德永(1962—), 男, 山东威海人, 1984 年毕业于华东石油学院钻井工程专业, 1988 年获石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位, 2004 年获石油大学(华东)油气井工程专业博士学位, 教授, 博士生导师, 主要从事油气井工程方面的教学与科研工作。

联系方式: (0532)86983276, zouyan@upc.edu.cn。

基金项目: 国家“十二五”科技重大专项“中东富油气区复杂地层井筒关键技术”(编号: 2011ZX05031-004)资助。

装)、岩样夹持装置、锥形 PDC 齿小钻头(锥形 PDC 齿夹持装置)、冲击力传感器和数据采集系统等部分组成,如图 1 所示。试验选用 2 种 $\phi 14.8$ mm 锥形 PDC 齿,1 # 齿的锥顶角为 86° ,2 # 齿的锥顶角为 78° ,2 种锥形齿的其他参数如图 2 所示。

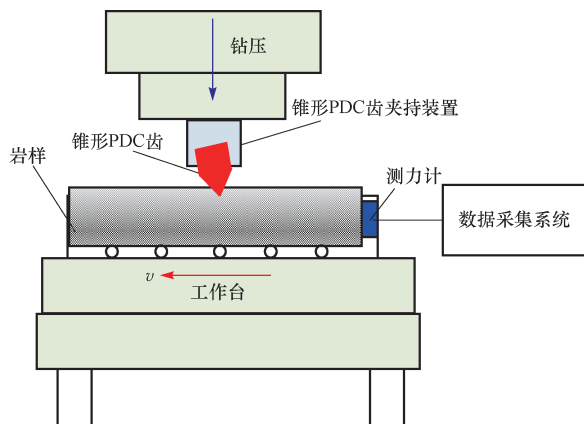


图 1 单齿破岩试验装置

Fig. 1 Experimental device of cutter rock-breaking

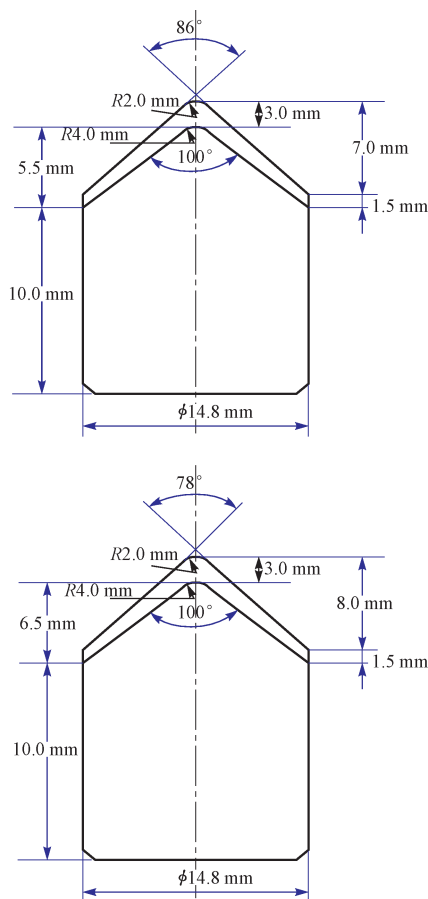


图 2 2 种锥形齿的设计参数

Fig. 2 Key parameters of two conical cutters

1.2 试验原理及方法

每次试验时,将表面平整的岩样固定在岩样夹

持装置上,通过更换不同角度的小钻头实现切削角的变化,用加压装置给锥形 PDC 齿施加不同的钻压,然后摇动钻铣床滑枕,带动岩样做直线运动,使锥形 PDC 齿切削岩样形成沟槽;在切削过程中,利用切向力传感器实时测量锥形 PDC 齿所受的水平切削力,由数据采集系统记录并显示试验数据,其原理如图 3 所示。为分析锥形 PDC 齿的切削角、锥顶角及钻压对破岩效率的影响规律,分别进行了不同切削角($0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ, \pm 20^\circ, \pm 25^\circ, \pm 30^\circ$, 角度如图 4 所示)、不同锥顶角(86° 和 78°)和不同钻压(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 和 3.0 kN)的破岩试验。岩样选用玄武岩,其可钻性级值为 9.27。

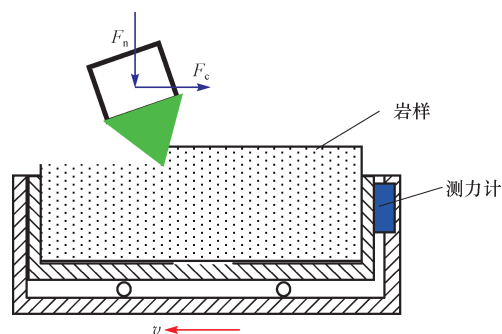


图 3 单齿破岩试验原理示意

Fig. 3 Principle of cutter rock-breaking

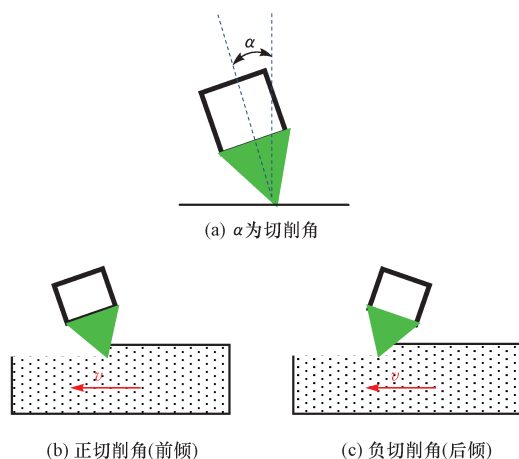


图 4 切削角度示意

Fig. 4 Diagram of cutting angle

2 试验结果分析

试验以岩样沟槽的深度(即切削深度)和水平切削力 2 个指标综合评价锥形 PDC 齿的破岩效果,分析各因素对锥形 PDC 齿破岩效率的影响规律。

2.1 切削角

以 1 # 齿为例,绘制不同钻压下切削深度与切削

角的关系曲线(见图5)及不同切削角下水平切削力与切削深度的关系曲线(见图6)。由图5可知,在相同钻压下,随着切削角从负到正的逐渐增大,切削深度先增大后减小,当切削角为 25° 时,切削深度达到最大;当钻压较大时,正切削角下的切削深度明显高于负切削角,但是当钻压较小时,正切削角下的切削深度虽然大于负切削角,但变化幅度较小。由图6可知,锥形PDC齿受到的水平切削力随着切削深度增大而增大,且两者为线性关系;当切削深度相同时,切削角为 25° 时,所受水平切削力最小,表明切削角为 25° 时,锥形PDC齿在钻进玄武岩时所需的破岩比能最小、破岩效率最高。

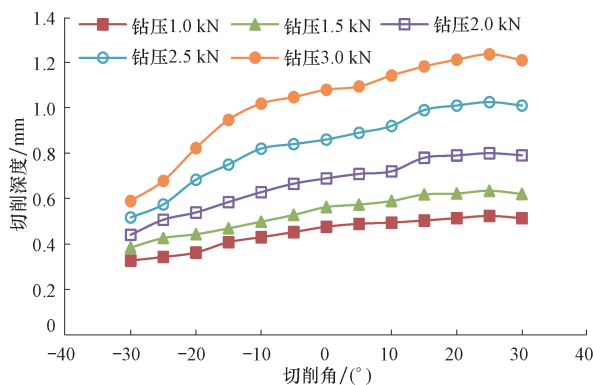


图5 不同钻压下切削深度与切削角的关系曲线

Fig. 5 Relation between cutting depth and cutting angle at different WOBs

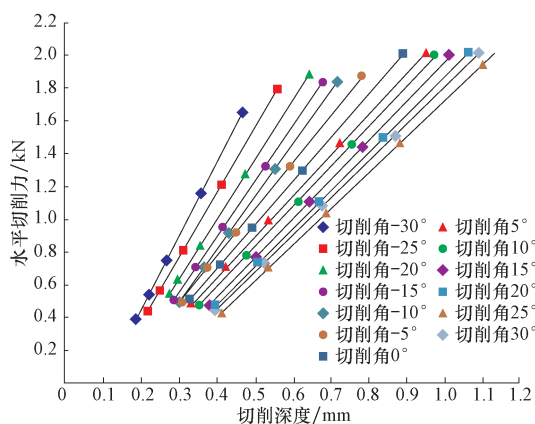


图6 不同切削角下水平切削力与切削深度的关系曲线

Fig. 6 Relation between horizontal cutting force and cutting depth at different cutting angles

2.2 锥顶角

图7为2#齿不同切削角下水平切削力与切削深度的关系曲线。图8为2种锥形PDC齿在切削角为 25° 时水平切削力和切屑深度的关系曲线。由

图8可知,当切削角为 25° 时,相同切削深度下,1#锥形PDC齿(锥顶角 86°)受到的水平切削力大于2#锥形PDC齿(锥顶角 78°)。由图6和图7可知,当切削角相同时,切削相同的深度,1#齿所需的水平切削力均大于2#齿。这表明,在相同切削条件下,2#锥形PDC齿(锥顶角 78°)的破岩效率高于1#锥形PDC齿(锥顶角 86°)。

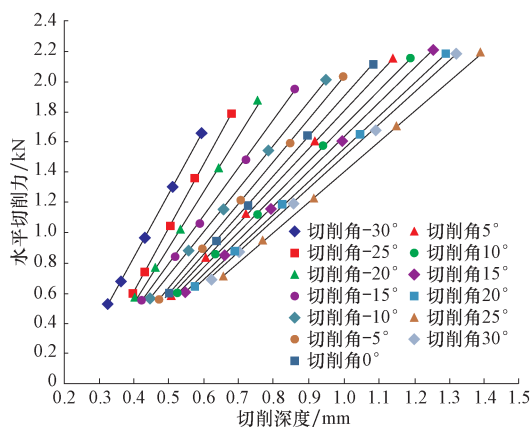


图7 不同切削角下水平切削力与切削深度的关系曲线

Fig. 7 Relation between cutting depth and horizontal cutting force at different cutting angles

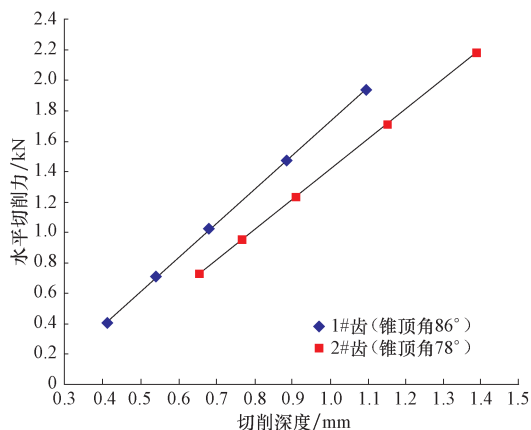


图8 2种锥形PDC齿水平切削力与切削深度的关系曲线

Fig. 8 Relations between cutting depth and horizontal cutting force for two conical PDC cutters

2.3 钻压

图9为2种锥形PDC齿切削深度与钻压的关系曲线。由图9可知:钻压较小时,锥形PDC齿的切削深度很小,而钻压较大时,切削深度迅速增大;随着钻压增大,切削深度上升的幅度逐渐增大,呈现指数增长趋势;不同锥顶角和切削角下的锥形PDC齿的切削深度随钻压的变化规律基本一致,均与钻压呈指数关系;在相同钻压下,当切削角为 25° 时,2种

锥形 PDC 齿的切削深度最大;在相同钻压和切削角下,2#齿的切削深度均大于 1#齿。

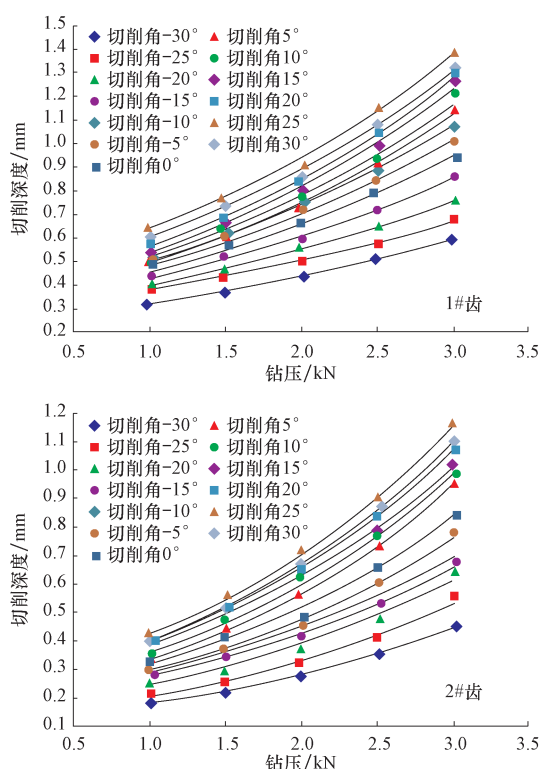


图 9 2 种锥形 PDC 齿的切削深度与钻压的关系曲线

Fig. 9 Relation between cutting depth and WOB for two conical PDC cutters

3 结论及建议

1) 锥形 PDC 齿适合其齿尖指向钻头轴线安装在钻头上,当钻进条件相同时,切削角为 25°时的破岩效果最好。结合钻头布齿设计理论、锥形齿的抗冲击性能及不同地层的适应性,切削角推荐选用 20°~25°。

2) 锥形 PDC 齿在小钻压下的破岩效果较差,随着钻压增大,破岩效果迅速得到提高。

3) 文中试验条件下,锥顶角小的锥形 PDC 齿的破岩效率优于锥顶角大的锥形 PDC 齿。

4) 文中试验只选用了 2 种锥顶角和 1 种岩样,建议后续试验中增加锥形 PDC 齿的齿型和岩样类型,以进一步探讨锥顶角对破岩效率的影响规律和锥形 PDC 齿在不同硬地层的破岩规律。

参 考 文 献

References

[1] 罗恒荣,唐玉响,徐玉超,等. 新型定向井 PDC 钻头的研制与应用[J]. 石油钻探技术,2007,35(5):86-89.

- Luo Hengrong, Tang Yuxiang, Xu Yuchao, et al. Research and application of a new PDC bit in directional well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(5): 86-89.
- [2] 杨顺辉,武汉杰,牛成成,等. 特种孕镶块加强 PDC 钻头的研制与试验[J]. 石油钻探技术,2014,42(6):111-114.
- Yang Shunhui, Wu Hanyue, Niu Chengcheng, et al. Manufacture and application of PDC bit enhanced by special diamond-impregnated segment[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(6): 111-114.
- [3] 常领,陈华忠. PDC 钻头在胜利油田深井中的应用[J]. 石油钻探技术,2007,35(4):92-93.
- Chang Ling, Chen Huazhong. Application of PDC bits to deep wells in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(4): 92-93.
- [4] Durrand C J, Skeem M R, Hall D R. Thick PDC, shaped cutters for geothermal drilling; a fixed cutter solution for a roller cone drilling environment; the 44th US Rock Mechanics Symposium and 5th US-Canada Rock Mechanics Symposium, Salt Lake City, June 27-30, 2010[C].
- [5] 于鹏. 适应硬地层的犁削型 PDC 钻头研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东)石油工程学院, 2013.
- Yu Peng. Research on plow-crushing PDC bit adapted to hard formation[D]. Qingdao: China University of Petroleum (Hua-dang), School of Petroleum Engineering, 2013.
- [6] 邹德永,于鹏,杨光. 硬地层破岩工具最新进展[J]. 石油机械, 2013, 41(6):1-5.
- Zou Deyong, Yu Peng, Yang Guang. Latest development of rock-crushing tools adapted to hard formation[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(6): 1-5.
- [7] 刘亚军,王晓鹏,王昆剑,等. 绥中 36-1 油田新型钻头的优化设计及应用[J]. 断块油气田, 2011, 18(5):669-671.
- Liu Yajun, Wang Xiaopeng, Wang Kunjian, et al. Optimization design and application of new drill bit in SZ 36-1 Oilfield[J]. Fault-Block oil & Gas Field, 2011, 18(5): 669-671.
- [8] Michael Azar, Allen White, Steven Segal, et al. Pointing towards improved PDC bit performance; innovative stinger shaped polycrystalline diamond element achieves higher rop and total footage[R]. SPE/IADC 163521, 2013.
- [9] Jonak J. Influence of friction on the chip size in cutting the brittle materials[J]. Journal of Mining Science, 2001, 37(4): 407-410.
- [10] Kou S Q, Lindqvist P A, Tang C A, et al. Numerical simulation of the cutting of inhomogeneous rocks[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1999, 36(5): 711-717.
- [11] Sunal O. Parametric study of a single PDC cutter with a numerical model[D]. Morgantown: West Virginia University, 2009.
- [12] Mendoza J A, Gamwo I K, Zhang W, et al. Discrete element modeling of rock cutting using crushable particles; the 44th US Rock Mechanics Symposium and 5th US-Canada Rock Mechanics Symposium, Salt Lake City, June 27-30, 2010[C].
- [13] Pierry Joelle, Robert Charlier. Finite element modelling of shear band localisation and application to rock cutting by a PDC tool[R]. SPE 28052, 1994.

[编辑 刘文臣]