

锥形齿 PDC 钻头台架试验研究

邹德永¹, 孙源秀¹, 于 鹏¹, 侯绪田², 杨顺辉²

(1. 中国石油大学石油工程学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100102)

摘要:设计并加工锥形齿 PDC 钻头、锥形 PDC 齿与常规 PDC 齿混合的复合式钻头、常规 PDC 齿钻头,在不同性质的岩样上进行台架试验研究,分析锥形齿 PDC 钻头钻进硬地层的破岩效果以及钻压、转速等钻进参数对其钻进性能的影响规律,并与常规 PDC 钻头的破岩效果进行对比。结果表明:锥形齿 PDC 钻头具有钻进硬岩能力,机械钻速随钻压和转速的增加而增大;锥形 PDC 齿与常规 PDC 齿混合的复合式钻头在硬岩中可获得较高的破岩效率,机械钻速可提高 90.6%。

关键词:锥形齿; PDC 钻头; 台架试验; 破岩效率; 机械钻速

中图分类号: TE 921. 1 **文献标志码:** A

引用格式:邹德永,孙源秀,于鹏,等. 锥形齿 PDC 钻头台架试验研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2015,39(2):48-52.

ZOU Deyong, SUN Yuanxiu, YU Peng, et al. Experiment study on bench test of stinger PDC bit[J]. Journal of China University of Petroleum(Editon of Natural Science), 2015,39(2):48-52.

Experiment study on bench test of stinger PDC bit

ZOU Deyong¹, SUN Yuanxiu¹, YU Peng¹, HOU Xutian², YANG Shunhui²

(1. School of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. SINOPEC Petroleum Engineering Institute of Technology, Beijing 100102, China)

Abstract: The stinger PDC bit, the hybrid PDC bit, and the conventional PDC bit were designed and processed in this study, which were used to conduct bench tests on the different rock samples. And the rock-breaking effect of stinger PDC bit in drilling hard formations and the influence law of drilling parameters (such as weight on bit (WOB), rotation per minute (RPM), etc.) on stinger PDC bit drilling-in performance were investigated. Also, the rock-breaking effect from stinger PDC bit and conventional PDC bit was compared. The results show that the stinger PDC bit is available in hard formation drilling. And rate of penetration(ROP) is improved with the increase of WOB and RPM. Compared with the conventional bit, the hybrid PDC bit can achieve higher ROP in hard formations by 90.6%.

Keywords: stinger cutter; PDC bit; bench test; rock-breaking efficiency; rate of penetration

随着 PDC 钻头的切削齿、结构设计、水力设计等方面不断改进创新,提高了其在硬地层中的钻进性能^[1-7]。美国 Novatek International 公司发明了一种锥形 PDC 钻齿^[8-9],其耐磨性和抗冲击性都明显高于常规 PDC 切削齿。笔者设计两种结构的锥形齿 PDC 钻头,通过台架试验研究锥形齿 PDC 钻头钻进硬岩的破岩效果,分析钻进参

数、岩性等因素对锥形齿 PDC 钻头破岩效果的影响规律。

1 钻头设计

1.1 锥形齿钻头设计

锥形齿 PDC 钻头设计如图 1 所示,主要结构参数见表 1,井底覆盖设计如图 2 所示。

收稿日期:2014-11-12

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金课题(2011ZX05031-004)

作者简介:邹德永(1962-),男,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。E-mail:zouyan@upc.edu.cn。

通讯作者:孙源秀(1987-),女,博士,研究方向为油气井岩石力学与工程。E-mail:sunyanxiu@163.com。



图 1 锥形齿 PDC 钻头
Fig.1 Stinger PDC bit

表 1 锥形齿 PDC 钻头主要结构参数

Table 1 Main structural parameters of stinger PDC bit	
钻头直径	100 mm
切削结构	锥形 PDC 齿
切削齿	主切削齿:1625 锥形齿,9 个 保径齿:1308 型 PDC 齿,4 个
锥形齿切削角	17°
冠部剖面形状	直线-双圆弧剖面
刀翼结构	四直线型刀翼

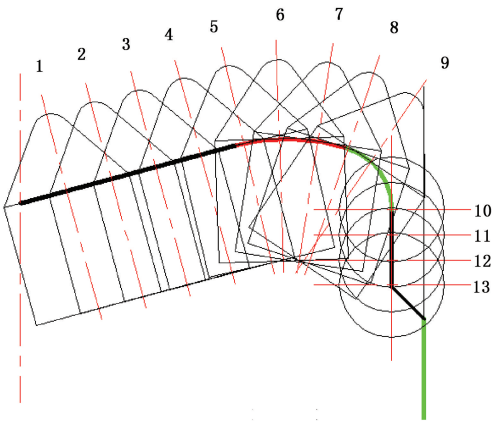


图 2 锥形 PDC 齿钻头井底覆盖图
Fig.2 Bottom hole overlays of stinger PDC bit

1.2 锥形齿与 PDC 切削齿的复合式钻头设计

复合式钻头设计见图 3,主要结构参数见表 2,井底覆盖设计如图 4 所示。



图 3 复合式钻头
Fig.3 Hybrid PDC bit

表 2 混合钻头主要结构参数

Table 2 Main structural parameters of hybrid PDC bit	
钻头直径	100 mm
切削结构	锥形 PDC 齿+PDC 复合片
切削齿设计	主切削齿:1625 锥形齿(5)+1613 复合片(4) 保径齿:1308 复合片,4 个
切削角度	锥形齿: 17°;复合片:-10°
冠部剖面形状	直线-双圆弧剖面
刀翼结构	四直线型刀翼

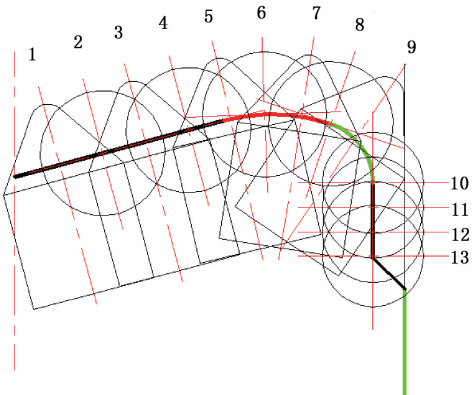


图 4 复合式钻头井底覆盖图

Fig.4 Bottom hole overlays of hybrid PDC bit

为了对比分析锥形齿 PDC 钻头、复合式钻头的破岩效果,设计了一种钻头直径、剖面形状和布齿数量完全相同的常规 PDC 钻头,如图 5 所示,主要结构参数见表 3,底覆盖设计如图 6 所示。



图 5 常规 PDC 钻头

Fig.5 Conventional PDC bit

表 3 常规 PDC 钻头主要结构参数

Table 3 Main structural parameters of conventional PDC bit	
钻头直径	100 mm
切削结构	PDC 复合片
切削齿数量	主切削齿:1613 复合片,9 个 保径齿:1308 复合片,3 个
切削角度	-10°
冠部剖面形状	直线-双圆弧剖面
刀翼结构	四直线型刀翼

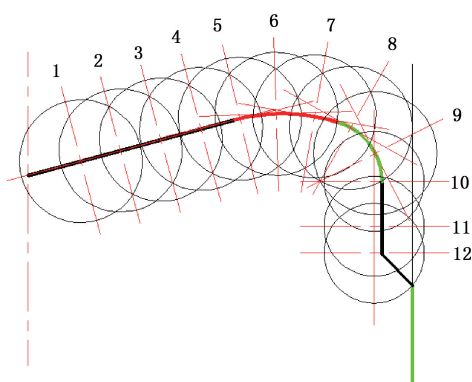


图 6 常规 PDC 钻头井底覆盖图

Fig. 6 Bottom hole overlays of conventional PDC bit

2 台架试验

2.1 试验装置

试验是在中国石油大学(华东)岩石力学实验室的 XY-2B 型钻机上进行的,该型号钻机为液压给压系统、旋转系统、循环系统。钻机同时安装有压力、扭矩、转速、位移传感器,可以通过数据采集系统实时采集钻进过程中的钻压、扭矩、转速和进尺。

2.2 试验原理及方法

用试验钻头钻进已经过井底造型的岩样,在钻进过程中,数据采集系统实时采集钻压、扭矩、转速、进尺和时间。为分析钻压、转速等钻进参数对其钻进特性的影响规律,分别进行了不同钻压(10、15、20、25、30 kN)、不同转速(49、101 r/min)和多种岩性(花岗岩、粉砂岩、玄武岩)的台架试验,花岗岩、粉砂岩、玄武岩的可钻性级值分别为 8.3、8.5、9.2。试验结果经过整理,取得了 270 组数据。

3 试验钻头钻压与机械钻速的关系

3.1 花岗岩

在花岗岩中,将锥形齿 PDC 钻头、复合式 PDC 钻头、常规 PDC 钻头在 2 种转速下钻压与机械钻速关系曲线作于同一图中进行比较分析,结果见图 7。

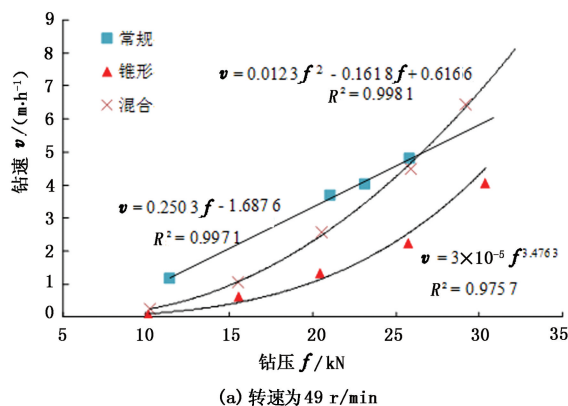
由图 7 可以看出:

(1)锥形齿 PDC 钻头具有钻进花岗岩的能力,最高机械钻速达 8.22 m/h。机械钻速随钻压的增大增加较快,呈幂函数或二次函数关系。

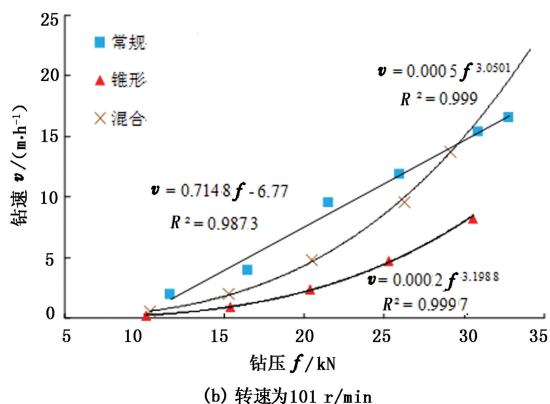
(2)相同钻压下,锥形齿 PDC 钻头的机械钻速低于复合式钻头和常规 PDC 钻头。

(3)在钻压小于某一值的情况下,复合式钻头机械钻速小于常规 PDC 钻头;钻压大于该值时,复合式钻头的机械钻速则大于常规 PDC 钻头的机械钻速。

(4)机械钻速均随转速的增加而增大。



(a) 转速为 49 r/min



(b) 转速为 101 r/min

图 7 钻进花岗岩钻压与机械钻速的关系

Fig. 7 Relationship between WOB and ROP in granite

3.2 粉砂岩

在粉砂岩中,将锥形齿 PDC 钻头、复合式钻头、常规 PDC 钻头在 2 种转速下钻压与机械钻速关系曲线作于同一图中进行比较分析,结果见图 8。由图 8 看出,3 种钻头在粉砂岩中钻进规律与在花岗岩中基本相同。不同的是复合式钻头机械钻速高于常规 PDC 钻头的临界钻压值较小(约 15 kN)。

3.3 玄武岩

在玄武岩中,将复合式钻头、常规 PDC 钻头在两种转速下钻压与机械钻速关系曲线作于同一图中进行比较分析。钻压和转速对其钻进特性的影响见图 9。由图 9 看出,相同钻压下,复合式钻头的机械钻速明显高于常规 PDC 钻头。

综合上述分析可以看出,锥形齿 PDC 钻头由于井底覆盖不够彻底,钻进过程中产生的岩脊不能被有效地破碎,导致破岩效率相对较低;而复合式 PDC 钻头,结合了锥形 PDC 齿的拉伸破岩机制和井底覆盖全面的优势,在破岩过程中表现出了较高的破岩效率。

建议数值模拟^[10]室内试验研究齿形结构、布齿间距对锥形 PDC 齿破岩效率的影响规律,为研制高

效破碎硬地层的新型 PDC 钻头提供理论依据。

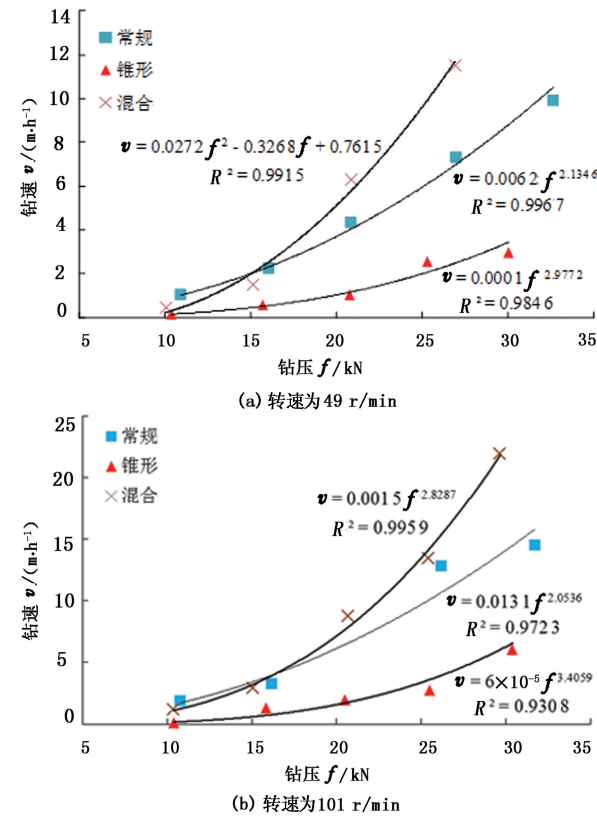


图 8 钻进粉砂岩钻压与机械钻速的关系
Fig.8 Relationship between WOB and ROP in siltstone

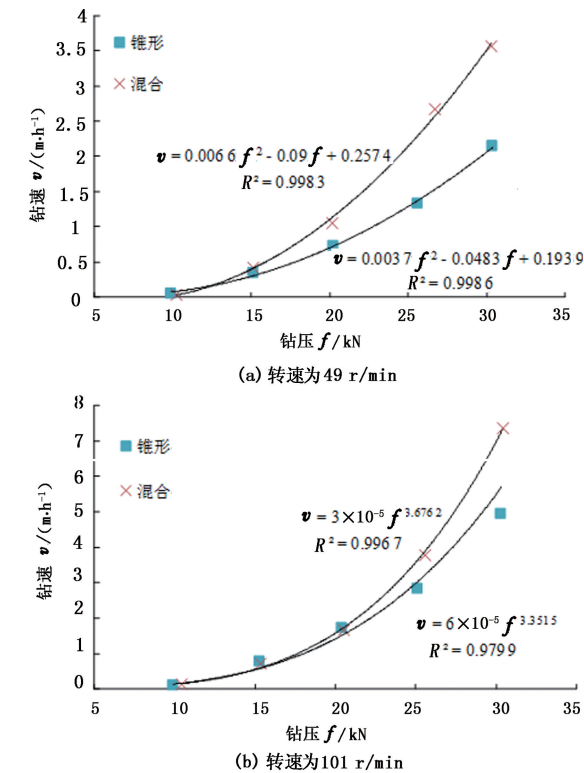


图 9 钻进玄武岩钻压与机械钻速的关系
Fig.9 Relationship between WOB and ROP in basalt

4 结论及建议

- (1) 锥形齿 PDC 钻头具有钻进硬岩能力,机械钻速随钻压和转速的增加而增大。
- (2) 在相同钻压下,锥形齿 PDC 钻头的机械钻速低于常规 PDC 钻头和复合式钻头。
- (3) 在钻压小于某一值的情况下,复合式钻头机械钻速小于常规 PDC 钻头;当钻压大于该值时,复合式钻头的机械钻速则大于常规 PDC 钻头的机械钻速。在一定的范围内,由锥形 PDC 齿和常规 PDC 齿组成的复合式 PDC 钻头,在硬岩中可获得较高的破岩效率。

参考文献:

[1] DAN S, MATT M, MATT I. Innovative PDC cutter technology leads to step out performance improvements in diverse applications in shale plays [R]. SPE/IADC 151569, 2012.

[2] MOHAMED A S, FAYEZ A F, MAHESH S, et al. Sloving deep, hard/abrasive 16" application challenges with new PDC technology saves operator 13 days rig time, Kuwait [R]. SPE 139873, 2011.

[3] 邹德永,梁尔国. 硬地层 PDC 钻头设计的探讨[J]. 石油机械,2004,32(9): 28-31.

ZOU Deyong, LIANG Erguo. Design of PDC bit for hard formation [J]. China Petroleum Machinery, 2004, 32 (9):28-31.

[4] SVEIN H, RUNAR N. PDC Cutter and bit development for challenging conglomerate drilling in the Luno Field-Offshore Norway [R]. IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, California, USA; Society of Petroleum Engineers,2012.

[5] 邵明仁,张春阳,陈建兵,等. PDC 钻头厚层砾岩钻进技术探索与实践[J]. 中国海上油气,2008,20(1):44-47.

SHAO Mingren, ZHANG Chunyang, CHEN Jianbing, et al. Customize PDC bit to drill through long conglomerate interval [J]. China Offshore Oil and Gas,2008,20(1): 44-47.

[6] HARELAND G, YAN W, NYGAARD R, et al. Cutting efficiency of a singer PDC cutter on hard rock [J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2009,48(6):91-94.

[7] 邹德永,曹继飞,袁军,等. 硬地层 PDC 钻头切削齿尺寸及后倾角优化设计 [J]. 石油钻探技术,2011,39 (6):91-94.

ZOU Deyong, CAO Jifei, YUAN Jun, et al. Optimization

- design of the cutter size and back rake for PDC bit in hard formation. [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6):91-94.
- [8] DURRAND C J, SKEEN M R, HALL D R. Thick PDC, shaped cutters for geothermal drilling: a fixed cutter solution for a roller cone drilling environment[C]//ARMA, Minnesota: American Rock Mechanics Association, 2010: 10-524.
- [9] 孙源秀, 邹德永, 侯绪田, 等. 锥形 PDC 齿犁切破岩受力试验研究[J]. 石油机械, 2014, 42(9):23-26.
SUN Yuanxiu, ZOU Deyong, HOU Xutian, et al. Test of force conical PDC cutter during rock plow-breaking[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(9):23-26.
- [10] 王家骏, 邹德永, 杨光, 等. PDC 切削齿与岩石相互作用模型[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2014, 38(4):104-109.
WANG Jiajun, ZOU Deyong, YANG Guang, et al. Interaction model of PDC cutter and rock [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(4):104-109.
- (编辑 刘为清)