

# 高效耐冲击复合片取心钻头的研制与应用

沈立娜, 吴海霞\*, 蔡家品, 贾美玲, 李 春, 刘海龙

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:**针对油气及非常规油气、科学钻探中,砂质泥岩和砂泥岩互层钻进效率低、钻头寿命短的难题,通过齿形金刚石复合片与圆形复合片的交错布置,研制的新型高效耐冲击复合片取心钻头在新疆吉木萨尔油田36-4井页岩油芦草沟组进行了试验研究。结果表明:研制的新型高效耐冲击复合片取心钻头机械钻速较其他钻头提高了2.4~3.1倍,取得了良好的社会效益。

**关键词:**塑性泥岩;金刚石复合片;齿形;取心钻头

**中图分类号:**P634.4+1 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0366-04

## Development and application of high-efficiency and impact-resistance PDC core bits

SHEN Lina, WU Haixia\*, CAI Jiapin, JIA Meiling, LI Chun, LIU Hailong

(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In oil and gas, unconventional oil and gas, and scientific drilling, drilling efficiency in sandy mudstone, and interbedded sand and mudstone is low, and the bit service life is short. Through the staggered arrangement of tooth shaped PDC and circular PDC, a new high-efficiency and impact-resistance PDC core bit was developed and tested in Lucaogou Formation of shale in Well 36-4 of Jimusaer Oilfield, Xinjiang. The results showed that the penetration rate of the new type of high-efficiency and impact-resistance PDC core bit was 2.4 to 3.1 times higher than that of other bits, and good social and economic benefits have been achieved.

**Key words:** plastic mudstone; polycrystalline diamond compact; tooth shape; core bits

## 0 引言

我国地质钻探、油气井钻探、海洋深水钻探及科学钻探等众多领域,需要大量的钻头,钻探的成本与钻头的钻进效率和寿命密切相关<sup>[1]</sup>。而在油气及非常规油气、科学钻探领域,经常会钻遇两大类难钻进地层,一种是极硬地层,另一种是硬夹层泥岩、砂泥岩互层等弹塑性地层。对于极硬地层,很多学者做了相应研究,有针对钻头胎体的,有对钻头进行结构优化的,取得了一定效果<sup>[2-6]</sup>。然而针对

较硬砂质泥岩、砂泥岩互层等弹塑性地层,尤其是几千米深井高密度钻井液静液柱压力和深部围压对近井底区域形成压持效应,导致这类地层呈现强硬塑性力学特征<sup>[7]</sup>。钻遇该类地层,如果地层砂质含量较低,使用孕镶金刚石取心钻头,金刚石不易出刃,呈现钻进效率极低甚至不进尺和糊钻现象;使用常规硬质合金取心钻头,则很快被磨钝,钻头寿命短;使用圆形金刚石复合片取心钻头,复合片难以有效压入地层,虽然磨损很少,但进尺缓慢,效

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.061

基金项目:工信部项目课题“水合物及大洋科学钻探取芯作业技术方案应用研究”

作者简介:沈立娜,女,汉族,1985年生,高级工程师,从事金刚石钻头及钻具的优化设计工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号102488,slina@mail.cgs.gov.cn。

通信作者:吴海霞,女,汉族,1986年生,高级工程师,从事金刚石钻头及钻具的优化设计工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号102488,whaixia@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:沈立娜,吴海霞,蔡家品,等.高效耐冲击复合片取心钻头的研制与应用[J].钻探工程,2021,48(S1):366-369.

SHEN Lina, WU Haixia, CAI Jiapin, et al. Development and application of high-efficiency and impact-resistance PDC core bits[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):366-369.

率很低;而使用常规尖齿金刚石复合片取心钻头,在硬夹层泥岩或砂泥岩互层钻进,切削齿尖部经常崩掉损坏,造成钻头早期失效<sup>[8-11]</sup>。因此,本文针对此类问题,开展了新型高效耐冲击复合片取心钻头的研制,并进行了现场应用。

## 1 钻头的研制

### 1.1 钻头冠部

早期金刚石复合片取心钻头采用类似表镶金刚石钻头布齿方法,将PDC切削齿按一定的规则镶嵌在钻头冠部表面上,即所谓的散布式布齿。这种布齿结构因切削齿出露高度低和水力清洗效果差常常使PDC取心钻头不能有效地剪切破碎岩石和产生“泥包”<sup>[12]</sup>。本文采用刀翼式布齿方式,水路深度约25~30 mm,以提高剪切破岩和水力清洗效果。冠部采用外侧长抛物线设计,即内径处冠部曲线斜率近乎为0,如图1所示,这样可以保证布有更多的切削齿,从而为齿形复合片井底覆盖提供有利条件,同时也能够提高钻头使用寿命,齿形金刚石复合片只布置于抛物线一定范围内,避免保径部位出现钻进阻力。此外,外侧长抛物线设计使得外保径复合片增多,加强了钻头外保径效果,提高了钻头钻进过程的平稳性。

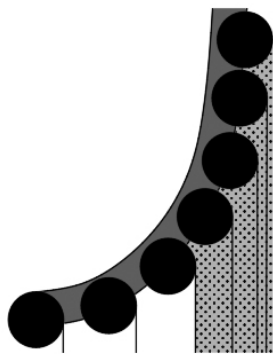


图1 冠部弧线示意

### 1.2 金刚石复合片形式和布置方式

不同岩石破碎模式的差异与临界切削深度有关,有试验结果表明不同岩石钻进深度存在明显的差异,即钻头的进尺量(切削深度)不同,而切削深度的不同影响岩石破碎模式。当切削深度小于临界切削深度时,岩石发生塑性破碎;当切削深度大于临界切削深度时,岩石发生脆性破碎<sup>[13-15]</sup>。而强塑性泥

岩或砂泥岩互层主要发生的是塑性破碎,切削齿吃入深度直接影响钻进效率的高低。相关研究表明,仅依赖“剪切”式破岩的常规平面齿难以吃入强硬塑性泥岩储层对岩石进行高效破岩,而“点接触”式致裂破岩的方式更容易吃入强硬塑性泥岩储层并形成沟槽,所形成的沟槽内侧的岩石自由面会使得之后“剪切”式破岩所需的能量大大降低,因此在强硬塑性泥岩储层中这类齿组更具优势<sup>[7,9-10,16]</sup>。因此,本文设计的高效耐冲击复合片取心钻头主要由2种金刚石复合片组成,一种是起主要切削作用的三尖齿齿形金刚石复合片,这是由于相比于地质矿产取心,油气及非常规油气、科学钻探取心经常配川7、川8系列钻具,钻头内外径跨度较大,单尖齿难以实现钻头径向全覆盖,多尖齿可有效解决这一问题,并在地层表面形成多个凹槽,更加有利于快速切削钻进。齿形金刚石复合片尖端呈微圆弧状,避免由于尖端过于尖锐导致崩损失效,如图2所示。齿形复合片尖齿数量根据钻头大小和地层情况也可设计为双尖齿、四尖齿等其他数量尖齿。另一种金刚石复合片为圆形金刚石复合片,圆形金刚石复合片与齿形金刚石复合片交错镶嵌于钻头基体上,且圆形金刚石复合片略低于齿形复合片,从而对齿形复合片尖齿切削深度进行合理限制。在后倾角设计上,蔡环<sup>[17]</sup>、Chen等<sup>[18]</sup>指出,切削齿后倾角和布齿间距等布齿参数对破岩效率有显著影响,PDC钻头切削齿的后倾角通常选取 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ <sup>[19-20]</sup>。因此,综合考虑到所应用地层特点,高效耐冲击复合片取心钻头设计后倾角度为 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ,金刚石复合片后支撑与前方金刚石复合片形状一致,亦成相应角度后倾。齿形金刚石复合片后衬根据齿形形状向后倾斜延伸,为尖齿快速切入地层和排屑提供便利条件。钻头最终布齿如图3所示。

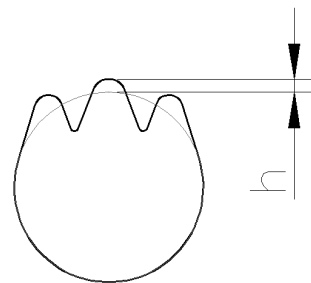


图2 齿形金刚石复合片结构示意图

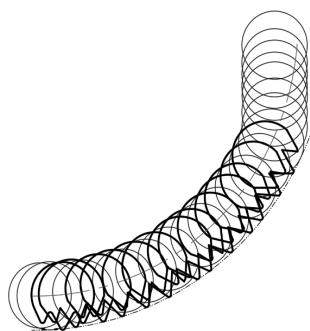


图3 布齿示意

### 1.3 钻头的加工制造

根据设计理念,采用3D打印做阳模,从而实现烧结模具的精准加工,钻头内外径均交错贴有方形金刚石聚晶,以保证井眼尺寸和岩心顺利进入内管。模具组装好后,采用无压浸渍法将钻头钢体与碳化钨粉末烧结成型,最后利用银铜钎焊的方法将齿形、圆形金刚石复合片与其后支撑焊牢固。钻头成品如图4所示。

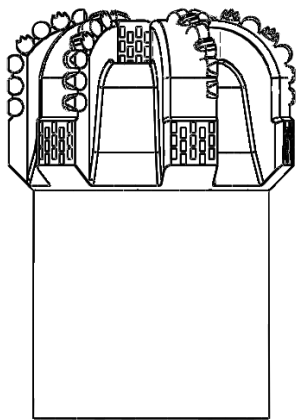


图4 钻头成品

### 1.4 钻头碎岩特点

通常而言,切削齿密度越大,数量越多,钻头寿命相对越高,反之亦然。为了平衡金刚石复合片取心钻头机械钻速和钻头寿命之间的矛盾,在布齿密度上,尤其是钻头外径侧布齿采用长抛物线高密度布齿,以提高钻头寿命;在齿形上,利用出露稍高的多尖齿齿形金刚石复合片快速吃入地层,从而提高钻头的机械钻速。

本文研制的高效耐冲击复合片取心钻头将圆形金刚石复合片和齿形金刚石复合片进行有效结合,

出露稍高的多尖齿齿形金刚石复合片先吃入地层,圆形金刚石复合片紧随其后切削地层,同时圆形金刚石复合片限制齿形金刚石复合片单次切入深度以保护齿形金刚石复合片,每一片齿形金刚石复合片后方都有至少一片圆形金刚石复合片给予支撑保护和辅助切削,从而在提高钻头钻进效率的同时,增加钻头的使用寿命。

## 2 钻头的现场应用

研制的高效耐冲击金刚石复合片取心钻头(型号:PC1336M-BJ)在我国最大的页岩油油田—吉木萨尔油田36-4井页岩油芦草沟组弹塑性地层进行了现场应用,成功实现了弹塑性地层取心提速。由图5可以看出,高效耐冲击金刚石复合片取心钻头(型号:PC1336M-BJ)机械钻速较其他厂家钻头提高了2.4~3.1倍,双筒岩心长21.1m,岩心采取率达100%。钻头入井前后照片如图6所示。该项技术广泛应用该区域,为油气及非常规油气资源勘探开发提供了有力的技术支持。

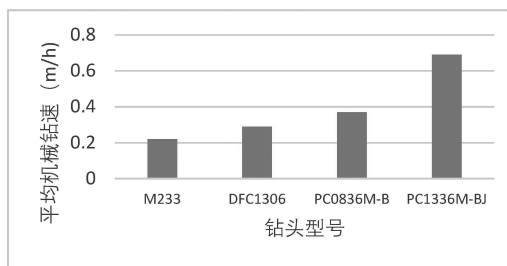


图5 吉木萨尔油田所用钻头机械钻速对比



图6 钻头出井情况

### 3 结论与建议

(1)刀翼式长抛物线高密度布齿、金刚石复合片多尖齿微弧形尖端设计以及圆形金刚石复合片限位保护布置是提高强塑性地层取心钻头寿命和钻进平稳性的有效途径。

(2)“点接触”式金刚石复合片多尖齿设计,能够提高钻头切削深度,进而提高钻头的机械钻速。若能够将金刚石复合片多尖齿齿形与孙荣军<sup>[16]</sup>仿生PDC切削齿进一步结合,钻头机械钻速将可能会得到进一步提高。

(3)高效耐冲击复合片取心钻头将圆形金刚石复合片和齿形金刚石复合片进行有效结合,出露稍高的多尖齿齿形金刚石复合片先吃入地层,圆形金刚石复合片紧随其后切削地层,同时圆形金刚石复合片限制齿形金刚石复合片单次切入深度以保护齿形金刚石复合片,每一片齿形金刚石复合片后方都有至少一片圆形金刚石复合片给予支撑保护和辅助切削,从而在提高钻头钻进效率的同时,增加了钻头的使用寿命。

#### 参考文献:

- [1] 蔡家品,贾美玲,沈立娜,等.难钻进地层金刚石钻头的现状和发展趋势[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):67-73.
- [2] 阮海龙,沈立娜,胡远彪,等.硬岩超高胎体偏心齿钻头的研制及应用[J].钻探工程,2021,48(3):56-60.
- [3] 郭庆清,王家亮,张绍和.胎体弱化颗粒材质对WC基孕镶金刚石钻头胎体磨损性能的影响[J].中国有色金属学报,2015,25(9):2531-2535.
- [4] 沈立娜,阮海龙,李春,等.坚硬致密“打滑”地层新型自锐金刚石钻头的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):57-59.
- [5] 庞丰,段隆臣,童牧,等.钻进打滑地层时造孔剂对孕镶金刚石钻头性能的影响[J].粉末冶金材料科学与工程,2014(5):790-796.
- [6] 孙义生,王军,杨文彬.深部“打滑”地层绳索取芯孕镶金刚石钻头的设计探讨[J].吉林地质,2012,31(4):130-132.
- [7] 罗鸣,朱海燕,刘清友,等.一种适用于超高温超高压塑性泥岩的V形齿PDC钻头[J].天然气工业,2021,41(4):97-106.
- [8] 要二仓,张富兰,杨爱军,等.地浸砂岩型铀矿弹塑性致密泥岩钻头的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(6):72-75.
- [9] 李雨,蔡家品,贾美玲,等.硬致密泥岩钻进的新型复合片钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9):60-61.
- [10] 阮海龙,沈立娜,李春,等.弹塑性致密泥岩用新型尖齿PDC钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):80-83.
- [11] 陈云龙,秦志坤,王志刚,等.致密泥岩用新型巴拉斯钻头的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):63-65.
- [12] 何育光.抗涡旋PDC取芯钻头研究与应用[D].青岛:中国石油大学(华东),2008.
- [13] 周琴,张在兴,张凯,等.钻头切削齿破碎岩石的温度变化试验及机理分析[J].天然气工业,2020,40(10):102-110.
- [14] RICHARD T, FABRICE D, POYOL E, et al. Rock strength determination from scratch tests [J]. Engineering Geology, 2012 (147/148): 91-100.
- [15] 张在兴,周琴,张凯,等.岩石切削深度对切削齿温度分布的影响分析[J].煤炭学报,2019,44(S2):492-501.
- [16] 孙荣军.煤矿用PDC钻头耦合仿生设计及提速增效破岩机理研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [17] 蔡环.PDC钻头关键设计参数优化研究[D].北京:中国石油大学,2008.
- [18] CHEN Pengju, MENG Meng, MISKA S, et al. Study on integrated effect of PDC double cutters [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019, 178: 1128-1142.
- [19] 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.
- [20] 祝效华,但昭旺.PDC切削齿破碎干热岩数值模拟[J].天然气工业,2019,39(4):125-134.