

文章编号: 2095—0411 (2014) 01 - 0089 - 04

# 适合柯柯亚 J2x 地层的 PDC 钻头设计及现场应用<sup>\*</sup>

吕苗荣, 刁建波, 刘志成, 陆 健

(常州大学 石油工程学院, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 针对柯柯亚 J2x 地层硬度高、强耐磨的特点, 在分析了岩石特性的基础上, 从冠部形状、刀翼设计、布齿特点、切削齿后倾角以及水力参数等方面设计了一种适合该区块的 9.5 英寸 M433 型 PDC 钻头。在柯 193 井的试验中, 单只进尺提高 165%, 机械钻速提高 72%, 达到提高钻头使用寿命、缩短钻井周期、提高钻井综合经济效益的目标。

**关键词:** PDC 钻头; 结构设计; 钻井技术; 现场试验

中图分类号: TE 22

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.01.020

## Design and Field Application of PDC Bit in J2x of Kekeya Block

LV Miao-rong, DIAO Jian-bo, LIU Zhi-cheng, LU Jian

(School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Based on the analysis that Kekeya J2x strata is very hard and wear resistant, this paper has designed a 9.5 inch PDC bit (M433 type) upon the crown shape, blade, tooth placement, back dip angle and hydraulic parameters. In Ke 193 well trials, the footage of a single bit improved by 165% and drilling speed increased by 72%, which show that it has achieved the goals of prolonging service life, shortening drilling cycle and improving the comprehensive economic benefits of drilling.

**Key words:** PDC bit; structural design; drilling technology; field test

随着石油工业钻井技术的持续发展, 钻井逐步向深井、超深井发展, 所遇的地层条件也越来越复杂, 岩石硬度也由中软向高强度高研磨的中硬及硬质特点发展, 从而增加了钻井难度, 对钻井性能要求也更高。柯柯亚区块地层具有硬度高、可钻性差、耐研磨等特点, 钻井难点主要集中在解决下部地层可钻性差、钻速低、钻井周期长等问题上。而 PDC 钻头切削齿的材料是聚晶金刚石, 具有硬度高、磨削性能优以及韧性好的特点<sup>[1]</sup>, 是解决这类地层钻井难点的理想选择。针对柯柯亚 J2x 地层岩石特性, 设计出了一种适合该地层的 PDC 钻头, 并在现场试验中取得较好的钻井效果, 大大提高了

钻井综合效益。

### 1 岩石特性分析

为了研究柯柯亚 J2x 地层特性, 搜集其不同井段的岩屑, 分析岩石的硬度、塑性、可钻性、研磨性以及密度。分析结果见表 1。

通过分析表 1 的实验结果, 发现该区块属中硬致密地层, 具有可钻性差及耐研磨的特点, 且该类地层抗剪强度要比其它力学强度低, 所以采用剪切破碎岩石的方式比较有效。而 PDC 钻头是通过钻头旋转切削破碎岩石<sup>[2]</sup>, 具有较强的硬度和耐磨性, 因此本文开展适合柯柯亚 J2x 地层的 PDC 钻

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013 - 12 - 14

作者简介: 吕苗荣 (1964—), 男, 浙江嵊州人, 教授, 博士。

头研究设计。查阅钻头型号，选择 M433 型 PDC 钻头。

表 1 柯 21 井不同深度的岩屑岩石特性分析

Table1 Rock properties analysis of rock debris in the different depth of the ke 21

序号	取样深度/ mm	岩屑描述	硬度/ (kg · mm <sup>-2</sup> )	塑性系 数	硬度级别	塑性级别	可钻性 级值	研磨性 级值	岩屑密度/ (g · cm <sup>-3</sup> )
1	2017	致密灰色泥岩、有砾石	150.42	2.64	5	3	4	4	2.33
2	2081	致密灰色泥岩、有砾石	170.32	2.71	5	3	4	4	2.28
3	2922	致密灰色泥岩	286.17	2.69	7	3	6	6	2.54
4	2924	棕红色致密细砂岩	250.87	2.26	6	3	5	6	2.34
5	2933	致密粉砂岩	261.12	2.23	6	2	5	6	2.30
6	3045	致密灰色泥岩	261.00	2.74	6	2	5	6	2.51
7	3083	致密灰色泥岩	300.26	2.49	7	3	5	7	2.35
8	3106	致密泥岩	298.23	2.87	7	3	7	6	2.56
9	3143	致密灰色泥岩、安山岩	288.46	1.86	6	2	7	6	2.29
10	3199	致密砂泥岩	307.63	2.13	7	3	7	7	2.52

2 PDC 钻头设计

2.1 冠部轮廓设计

根据 PDC 钻头轮廓的设计方法，并结合中硬地层特点，采用三段制（直线 - 圆弧 - 圆弧）的冠部形状，并调整圆弧曲率，达到整个轮廓平滑过渡的目的。冠部结构如图 1 所示。

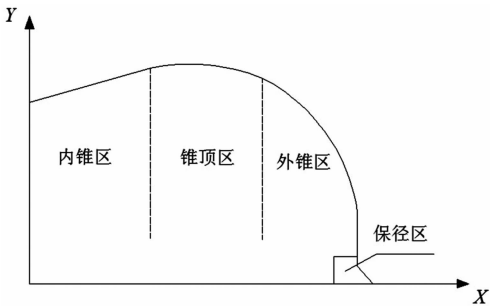


图 1 冠部结构图

Fig. 1 The structure of the crown

冠部具体结构参数由冠部轮廓方程（1）确定。  
$$h = \int_{R_0}^{D/2} \sqrt{(R/R_0)^{2/n} - 1} dR \tag{1}$$
  
式中： $h$ —冠部外锥高度； $R$ —冠部公称外径； $R_0$ —冠部顶部半径； $n$ —试验指数。

以该钻头轴线为轴，建立  $x$ 、 $y$  平面。根据该区块岩石特性，选择 80 度的内锥角、合适内锥高度及保径距离，再利用绘图软件对冠部进行优化设计，确定最佳的冠部形状<sup>[3-4]</sup>。本次设计的 PDC 钻头冠部轮廓剖面如图 2 所示。这种三段制的轮廓剖面具有布齿充分均匀、线型过渡圆滑以及加工制造方便等特点，能够较好的满足设计要求。

2.2 刀翼设计

本次设计的 PDC 钻头刀翼采用螺旋式布置结

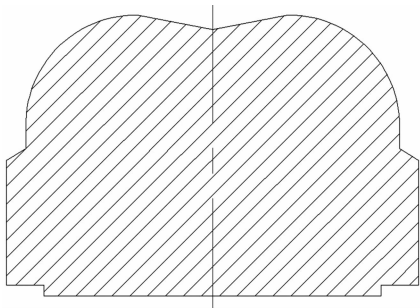


图 2 冠部轮廓剖面图

Fig. 2 The section of the crown profile

构<sup>[5]</sup>。螺旋结构具有的特点：一是使钻头与岩石充分接触，钻孔质量高；二是螺旋曲线结构给岩屑提供了额外的向心力，利于排屑；三是减小了钻头径向应力，提高钻头的耐久性。

设计不对称螺旋刀翼曲线时，在极坐标系中，第  $i$  条螺旋线方程为：

$$r_i = (i-1) \theta_0 + a \theta_0 \tag{2}$$

式中  $\theta_0$  及  $a$  值为常数。改变  $a$  值，可以改变螺旋线的形状，改变值可以改变螺旋线的位置。对于直径 215.9mm，6 刀翼 PDC 钻头： $i=1, 2, \dots, 6$ ， $0^\circ < \theta_0 \leq 40^\circ$ ， $a \geq$  钻头的半径，具体  $\theta_0$  值要根据刀翼的数目、钻头的尺寸和设计时的具体情况而定。

2.3 布齿密度

钻头的布齿密度是由地层的硬度及可钻性决定，柯柯亚 J2x 属中硬致密地层，可钻性差，所以在此采用高密度布齿<sup>[6]</sup>。本次设计的 PDC 钻头选用 62 个切削齿，其中保径齿 14 个。

2.4 布齿原则及方法

PDC 钻头布齿一般遵循两个原则：一是钻头旋转一周，每个切削齿都参与岩石切削，保证较高

的切削效率<sup>[7]</sup>; 二是保证齿间有足够的间隙, 降低齿间干扰, 并且利于排屑。图 3 为此次设计 6 刀翼 PDC 钻头布齿图。

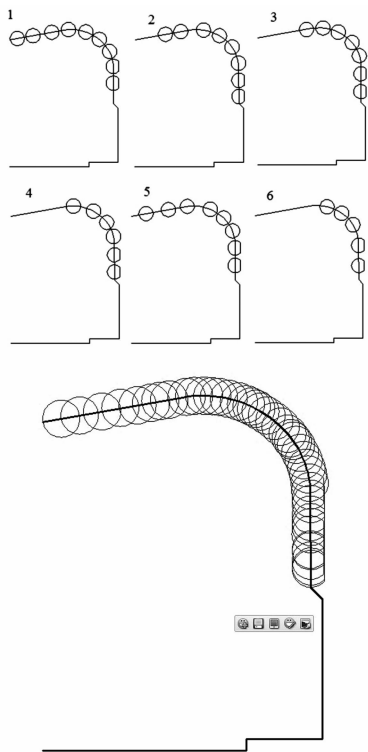


图 3 PDC 钻头布齿图及井底覆盖图

Fig. 3 The placement of tooth and bottom cover of the PDC bit

钻头表面径向切削齿的位置是由公式 (3) 确定, 该公式是根据等破岩体积原则推导得出:

$$R_{ci} + 1 = \frac{R_{ci}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{R_{ci}^2 + \frac{8r_s r_c}{f_d}} \quad (i = 1, 2, \dots, k, N-1) \quad (3)$$

$$\text{其中: } f_d = \frac{2(N-1)r_c}{L_c}$$

式中:  $R_{ci}$ 、 $R_{ci+1}$ —第  $i$ 、 $i+1$  个切削齿中心在钻头上的半径, mm;  $r_s$ —钻头冠顶半径, mm;  $r_c$ —切削齿半径, mm;  $f_d$ —布齿密度系数;  $N$ —钻头上切削齿数量;  $L_c$ —冠部轮廓上切削齿中心连线弧长, mm。周向齿的布置公式是根据极坐标方程推导得出:

$$\theta_{ci} = \frac{R_{ci} - R_{cl}}{R_{cN} - R_{cl}} \theta_s + \theta_m \quad i \in [1, N], m \in [1, N] \quad (4)$$

式中:  $\theta_{ci}$ —第  $m$  条螺旋线上第齿的周向位置角;  $\theta_s$ —规径齿和中心齿处的极角差;  $\theta_m$ —第  $m$  条螺旋线的起点极角;  $R_{cl}$ 、 $R_{ci}$ 、 $R_{cN}$ —中心齿中心、第  $i$  齿中心、规径齿中心在钻头上的半径, mm;  $N$ 、 $M$ —钻头上切削齿数、布齿螺旋线数。

根据径向、周向布置理论, 完成切削齿位置初步设计, 再综合其它的因素以及实际经验调整切削齿位置, 完成最终的布齿设计。

## 2.5 切削齿后倾角设计

本次设计的 PDC 钻头是针对 2 000 多米的中硬耐磨地层, 其所受的钻压、扭矩都较大, 大大提高了对切削齿性能的要求, 本次设计选用的切削齿后倾角为  $12^\circ$ 。

## 2.6 PDC 钻头水力学设计

钻头上喷嘴的不合理布置将直接影响井底流场的分布, 轻则导致机械转速低, 钻井困难; 重则引起泥包, 发生卡钻。本次设计的 PDC 钻头采用倾斜非对称布置的喷嘴结构<sup>[8]</sup>, 倾斜喷嘴能减缓径向流速的衰减, 能很好地使用水力能量冲刷井底岩屑。非对称布置喷嘴能够很好的结合钻头水力学参数及钻头各部位岩屑分布特点, 从而提高了喷嘴射流的井底覆盖率, 具有更高的清岩效率。本次设计的六刀翼 PDC 钻头水眼布置图如图 4。

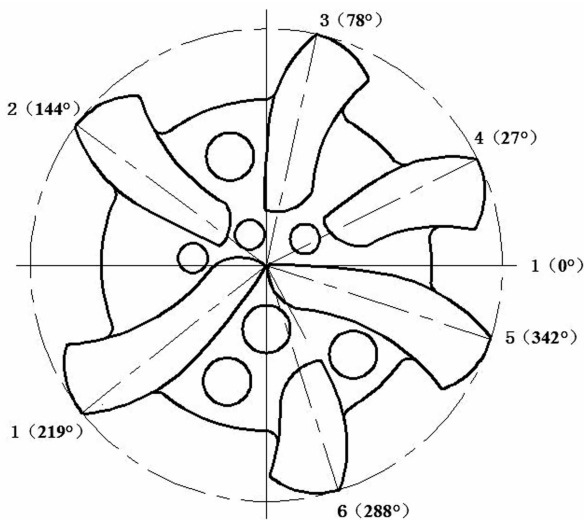


图 4 六刀翼 PDC 钻头水眼布置

Fig. 4 The port layout of the six blades PDC bit

喷嘴水眼的尺寸及位置参数由方程 (5) 确定:  $C = (R_n^2 - R_1^2) / (N-1)$  (5)

其中  $R_1 \approx D/10$ ;  $R_n \approx D/4$

式中:  $R_1$ —第一水眼中心距;  $R_n$ —最末水眼中心距;  $N$ —水眼个数;  $D$ —钻头直径。

## 3 PDC 钻头的具体参数和技术特点

钻头尺寸 (inch): 9; 切削齿数 (个): 62; 规径保径切削齿 (个): 14; 切削齿直径 (mm):

φ16；喷嘴数量：3 个可换喷嘴，4 个固定喷嘴；连接形式：4 - 1/2" API Reg；耐高温能力：800℃；耐磨、不掉齿。

本钻头采用高密度布齿方式，冠部轮廓平滑过渡，采用粉末冶金烧结而成，其胎体骨架成分为铸造碳化钨。

4 现场试验

柯 193 井处在柯柯亚油田 192 区块，是直井，其井别属于预探井。其地质情况中的侏罗系西山窑组：上部为灰色泥岩与细砂岩为主；中下部为灰色泥岩与煤层互层。

4.1 试验情况

为了测试钻井效率，于 2011 年 8 月 15 日下午 3 时在 2 417.00m 至 2 863.07m 井段下入本次设计的 PDC 钻头。钻具组合为：Φ241mmPDC 钻头 + 3A × 0.25m + Φ178mm 钻铤 × 80.31m + Φ165mm 钻铤 × 93.22m + Φ165mm 随 × 6.51m + Φ165mm 钻铤 × 18.55m + Φ127mm 加重钻杆 × 137.48m + Φ127mm 钻杆。具体情况见表 2。

表 2 现场试验情况  
Table 2 The conditions of the field test

钻井井段/m	进尺/m	纯钻/h	平均机速/(m·h <sup>-1</sup> )
2 417.00~2 863.07	446.07	115.50	3.86

钻头磨损情况：钻头新度为 60%，钻头直径未磨损，无断齿，主切削齿发生不同程度轻微磨损，保径齿磨损程度较大。试验后钻头见图 5。



图 5 试验后钻头  
Fig. 5 The tested PDC bit

4.2 试验结果分析

2011 年在柯柯亚区块所钻的 3 口井同井段同

尺寸使用 PDC 钻头 2 只，2 只 PDC 钻头共进尺 336.59m，平均进尺 168.30m，平均机械钻速 2.90m/h。而使用三牙轮钻头达 24 支，24 支三牙轮钻头共进尺 2448.4m，平均进尺 102.02m，平均机械钻速为 1.78m/h。

与 2011 年在柯柯亚区块同井段同尺寸使用的 PDC 钻头平均指标相比，单只钻头进尺提高了 446.07/168.30=2.65 倍，提高了 165%，平均机械钻速提高了 3.86/2.90=1.72 倍，提高了 72%；与 2011 年柯柯亚区块所钻 3 口井同井段同尺寸使用的三牙轮钻头平均指标相比，单只钻头进尺提高了 446.07/102.02=4.37 倍，提高了 337%，平均机械钻速提高了 3.86/1.78=2.81 倍，提高了 181%。

5 结论

(1) 根据该地层岩石硬度高、可钻性差、研磨性高等特点，结合钻头优化设计理论方法，设计出了适合该区块 9.5 英寸六刀翼的 PDC 钻头。

(2) 此次设计的 PDC 钻头在柯柯亚 J2x 地区的现场试验中效果显著，与 2011 年同井段使用的 PDC 钻头相比：单只进尺显著提高，达到 165%，机械钻速提高 72%。

(3) 此设计的 PDC 钻头还可在防泥包特性上做进一步的优化设计，以达到更好的使用效果。

参考文献：

[1] 邹德勇, 王瑞和. PDC 钻头的岩石研磨性试验研究 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27 (2): 41 - 43.  
[2] 杨庆理. 复杂地层钻头个性化设计及应用研究 [D]. 东营: 中国石油大学 (华东), 2007.  
[3] 马立安. PDC 钻头特征造型及参数化设计方法研究 [D]. 东营: 中国石油大学 (华东), 2006.  
[4] 韦忠良, 陈正阳, 王元喜, 等. 地层岩心资料分析在 PDC 钻头设计中的应用研究 [J]. 吐哈油气, 2011, 16 (1): 82 - 85.  
[5] 魏学成. 非均质地层复合 PDC 钻头的研制 [D]. 上海: 上海交通大学, 2004.  
[6] 孙光明, 张云联. 新型 PDC 钻头设计 [J]. 石油钻采工艺, 2000, 22 (2): 31 - 34.  
[7] 邹德永, 王瑞和, 岳志国. PDC 钻头的轨迹方程及切削参数计算方法 [J]. 石油钻采工艺, 2003, 25 (5): 34 - 38.  
[8] 朱世滨. PDC 钻头涡动分析 [J]. 科技资讯, 2011, 18 (12): 58.