

# 大牛地气田太原组水平段钻头选型分析

孙庆春

(中石化华北石油工程有限公司五普钻井分公司, 河南 新乡 453700)

**摘要:**大牛地气田主要目的层太原组地层砾岩发育, 石英含量高。在使用 PDC 钻头钻砾岩段, 较大的负荷冲击载荷作用常造成 PDC 钻头复合片崩齿从而失去切削能力, 不得不起钻更换钻头, 大大降低了钻井时效、增加了钻井成本。通过对太原组水平段钻头的数据统计分析, 使用 GD1306TX 型与 FX55D 型 2 种型号的钻头在太原组地层钻进可以提高机械钻速、缩短钻井周期, 在 GD1306TX 型与 FX55D 型之间通过每米成本统计分析获得 GD1306TX 型钻头每米成本更低, 更适合太原组研磨性地层使用, 可为该区域水平段钻井的钻头选择提供依据。

**关键词:** PDC 钻头; 钻头选型; 砾岩; 大牛地气田

**中图分类号:** TE921<sup>+</sup>.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2015)03-0020-05

**Analysis on Bit Selection for a Horizontal Section of Taiyuan Formation in Daniudi Gas Field/SUN Qing-chun** (Wu-pu Drilling Company of North China Petroleum Bureau, SINOPEC, Xinxiang Henan 453700, China)

**Abstract:** The conglomerate develops in Taiyuan formation with high quartz content, which is the main target of Daniudi gas field. In the conglomerate section drilling with PDC, tooth breakage is often caused by big impact load and drilling efficiency is greatly reduced by bit tripping with higher drilling cost. According to the statistical analysis on the data and by the use of GD1306TX and FX55D bits in Taiyuan formation, the ROP is increased to shorten the drilling cycle. It is proved the cost per meter of GD1306TX bit is lower than FX55D bit by statistical cost analysis, GD1306TX bit is more suitable to be applied in abrasive Taiyuan formation.

**Key words:** PDC bit; bit selection; conglomerate; Daniudi gas field

## 0 引言

大牛地气田位于陕西省榆林市与内蒙古鄂尔多斯市交界地区, 构造位置属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部。二叠系下石盒子组、山西组, 石炭系太原组为气田主要目的层。其中, 太原组地层碎屑颗粒粗, 砾岩发育, 石英含量高, 常可见粒径较大的砾石, 质地极为坚硬<sup>[1]</sup>。PDC 钻头在该地层工作环境恶劣, 钻进时钻头不平稳、跳动、PDC 复合片崩裂、磨损消耗快、机械钻速低、寿命短<sup>[2]</sup>。PDC 钻头钻进硬地层所受的反作用力集中在复合片边缘, 钻进软地层的反作用力全部在切削齿面上, 即使采用同样的钻井参数, 钻进硬地层比钻进软地层容易损坏切削齿<sup>[3]</sup>。而在以往的使用过程中, 并没有针对太原组砂砾岩地层特性做钻头分析筛选。所选择的钻头型号往往不以耐研磨性为优先考虑。钻遇砾石段, 较大的负荷冲击载荷作用常造成 PDC 片崩齿, 在砂砾的磨蚀下钻头刀翼鼻部和肩部会在短时间内被破坏, 并在肩部磨蚀成环丧失大部分或全部的切削能

力<sup>[4]</sup>(见图 1), 不得不起钻更换钻头。尤其是在连续几百米的水平段钻进中。常常需要多个钻头, 频繁地起下钻会大大降低钻井时效, 从而增加钻井成本。大牛地气田尔林兔镇附近 5 口水平井, 太原组水平井 DPT-27-1 井、DPT-27-2 井、DPT-27-3 井、DPT-27-4 井、DPT-36 井水平段平均钻头钻进尺仅为 207.45 m, 平均机械钻速 4.70 m/h, 最短钻头进尺仅 11.52 m。在 DPT-27-2 井水平段使用的第一个钻头 S1353FG 型刚入井之后机械钻速可以达到 30 m/h, 但是仅仅钻了 20 m, 机械钻速降低到 10 m/h, 在井深 2900.79 m 时机械钻速降低至 5 m/h, 因而起钻。出井钻头带有明显的被研磨性地层磨蚀的痕迹(见图 1)。此类情况屡见不鲜, 这样不但会降低全井机械钻速, 而且会增加起下钻次数, 从而降低钻井效率, 拉升钻井成本。因此, 必须针对该地区砾岩层情况选择相适应的 PDC 钻头。增加其抗研磨性, 在保持其机械钻速的前提下提高进尺, 从而减少起下钻次数、提高其行程钻速, 降低

收稿日期: 2014-08-28; 修回日期: 2015-02-19

作者简介: 孙庆春, 男, 汉族, 1987 年生, 河南新乡人, 助理工程师, 石油工程专业, 从事石油钻井技术与管理工作, 河南省新乡市洪门五普钻井技术部, wplidh6804@163.com。

钻井成本。



图 1 钻头被磨损出环形槽

PDC 钻头的工作原理是在钻压和扭矩的作用下,PDC 复合片吃入地层,犁削和剪切地层破碎岩石<sup>[5]</sup>而切削齿的加速磨损和冲击碎裂是影响 PDC 钻头在硬的、研磨性强的地层中钻进效果的 2 个主要因素。在钻头选型中可以通过使用更为坚韧的材料、减小切削齿尺寸、增加切削齿数量来改善 PDC 钻头的抗冲击性和耐磨性。一般在较硬的地层和研磨性强的地层中要求有较多的切削齿数,尽管这样会降低其初始机械钻速,但是相应的会提高钻头的使用寿命<sup>[6]</sup>,从而达到整体机械钻速提高的目的。

## 1 PDC 钻头的使用统计

(1) 钻头选型:FX55D 型(见图 2)、GD1306TX 型(见图 3)、P5235MJH 型(见图 4)、GD1605TX 型(见图 5)、S1353FC 型(见图 6)。



图 2 哈里伯顿 FX55D 型钻头

(2) 钻具组合:Ø152.4 mm BIT + 1°螺杆 + Ø148 mm 扶正器 + 无磁 DC × 1 根 + Ø88.9 mm DP × 150 m + Ø88.9 mm HWDP × 51 + Ø88.9 mm DPS。

(3) 钻头使用效果统计(见表 1)。



图 3 GD1306TX 型钻头



图 4 P5235MJH 型钻头

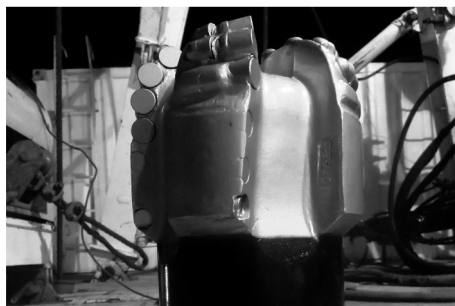


图 5 GD1605TX 型钻头



图 6 S1353FG 型钻头

哈里伯顿公司推出的 FX 系列钻头从胎体材料到粘结剂都使用了更为耐冲蚀的材料以防止液体

表1 5种钻头使用统计<sup>[7]</sup>

井号	钻头型号	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	排量/(L·s <sup>-1</sup> )	立管压力/MPa	纯钻时间/h	进尺/m	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
DPT-36	哈里伯顿	100	31+螺杆	16.0	27.0	92.92	467.55	5.03
DPT-27-2	FX55D	80	35+螺杆	19.0	26.2	120.17	620.06	5.16
平均						106.55	543.81	5.11
DPT-27-1		80	30+螺杆	15.6	20.0	27.83	202.33	7.27
DPT-27-1		80	30+螺杆	17.0	27.5	35.25	152.90	4.34
DPT-27-1		80	30+螺杆	16.5	27.7	57.83	263.23	4.55
DPT-27-2		80	37+螺杆	18.0	24.0	33.33	225.72	6.77
DPT-27-2		90	32+螺杆	15.8	27.0	46.83	365.43	7.80
DPT-36	GD1306TX	110	29+螺杆	17.5	27.3	78.00	483.04	6.19
DPT-36		100	27+螺杆	15.0	27.0	34.25	139.41	4.07
DPT-37		80	40+螺杆	17.0	22.0	53.50	141.95	2.65
DPT-37		100	40+螺杆	16.0	22.0	141.67	680.85	4.81
DPT-53		100	35+螺杆	18.0	21.2	36.17	496.42	13.72
DPT-53		70	35+螺杆	18.6	21.8	33.17	433.58	13.07
平均						52.53	325.90	6.23
DPT-27-3		80	35+螺杆	16.0	27.0	63.50	407.81	6.42
DPT-27-3		80	30+螺杆	15.0	28.0	31.75	193.76	6.10
DPT-27-3		50	28+螺杆	14.0	27.0	95.17	430.90	4.53
DPT-27-3		50	28+螺杆	14.0	27.0	39.50	167.53	4.24
DPT-37		70	40+螺杆	16.0	22.0	30.00	138.26	4.61
DPT-27-4	P5235MJH	80	30+螺杆	16.0	25.0	55.50	241.45	4.35
DPT-27-4		80	30+螺杆	16.0	27.0	51.83	301.69	5.82
DPT-27-4		90	27+螺杆	12.0	27.0	114.50	400.33	3.50
DPT-27-4		80	30+螺杆	16.0	27.0	73.42	252.65	3.44
DPT-27-4		80	27+螺杆	12.0	27.0	50.83	184.07	3.62
平均						60.60	271.85	4.49
DPT-37	GD1605TX	70	40+螺杆	17.0	21.8	31.67	121.38	3.83
DPT-27-4		80	27+螺杆	12.0	27.0	128.33	444.29	3.46
平均						80.00	282.84	3.54
DPT-27-1		50	30+螺杆	15.0	27.0	72.08	294.54	4.09
DPT-27-2		60	35+螺杆	19.0	23.0	26.58	88.79	3.34
DPT-37	S1353FG	80	40+螺杆	16.0	22.0	39.00	158.92	4.07
DPT-37		80	40+螺杆	16.0	22.0	28.83	194.95	6.76
平均						41.62	184.30	4.45

冲蚀<sup>[8]</sup>,刀翼几何形状和喷嘴定位也能够提供更好的流体控制。本井使用的FX55D型钻头5刀翼16mm复合片上还采用了热稳定性能优良和特别耐磨的X3齿,X3齿拥有超强的抗研磨性、抗冲击性和热稳定性,综合指标突出,能极大地减少岩石对切削齿的冲击破碎与磨损<sup>[9]</sup>。能够提高钻头在极热状态下的稳定性。采用的新型处理工艺,大幅减少金刚石切削结构的破碎现象,从而有助于实现更大的进尺。但同时提高了钻头成本。

GD1306TX型钻头(见图3)采用的是 $\varnothing 13$ mm复合片,6刀翼,复合片间隙约1mm,中长抛物线结构,宽保径设计。其中长抛物线的结构可以增加钻头的攻击性,从而提高机械钻速。而其6刀翼的结

构比常规使用的5刀翼钻头可以镶嵌更多的复合片。这样在太原组水平段钻进中,由于总的冲击载荷不变,每个复合片所承受的冲击载荷较常规结构更低,从而达到增加钻头耐研磨性提高机械钻速和进尺的目的。

太原组地层有良好的可钻性,而水平段钻具组合中螺杆所提供的150~200r/min的动力支持,可以有效地提升机械钻速。因此减小复合片尺寸和减小复合片与地层接触面积可以减少崩齿的发生,对钻头提供有效的保护。而不会对钻头造成太大的机械钻速损失。

P5235MJH型钻头(如图4)在大牛地气田DPH-76井下石盒子组水平段的施工中单只钻头进尺

达到1011.12 m,但是在太原组水平段的施工效果不太理想。在DPT-27-3井、DPT-27-4井和DPT-37井的多次使用中,机械钻速与进尺都不能令人十分满意。主要原因是本钻头齿间距较大,单复合片的冲击载荷大,早期崩齿导致机械钻速和进尺均不理想。

GD1605TX型钻头(如图5)与GD1306TX型钻头同属于一个厂商,2个钻头有着相似的抛物线形状和齿间距。这种高抛物线形状和小的齿间距使其有较强的攻击性,可以在软的、中硬的地层中均获得相对不错的机械钻速,本钻头的初始机械钻速也证明了这一点,但是由于其在太原组研磨性强不均质地层中钻进,钻头的早期磨损会导致机械钻速的下降,因而效率不高。

S1353FG型钻头(见图6)选择了减小复合片尺寸的同时保留了五刀翼的结构设计,复合片间隙约3 mm,抛物线结构略短于GD1306TX型和GD1605TX型,齿间距大于上述2种型号钻头,略小于P5235MJH型。本意是即通过五刀翼结构保证机械钻速又能通过减小复合片尺寸来对钻头做适当的保护,所以表现出较高的机械钻速,但是抗研磨性依然不足以攻克太原组这种强研磨性地层。

## 2 钻头使用情况分析

以上5种型号钻头是大牛地气田常用的PDC钻头,相同点是以上几种钻头无一例外的选择了中长抛物线结构。这种结构可以提高最大限度的提高钻头的攻击力。而且均为双排齿结构,双排齿结构的确能在钻头的主切削齿受到崩毁或者磨损之后对机械钻速提供另一道保险。但是针对大牛地气田太原组研磨性地层,仅仅这样显然是不够的。

哈里伯顿公司生产的FX55D型钻头通过使用耐磨性材料的方式达到了提高钻头耐研磨性,提高进尺和机械钻速的目的。而GD1306TX型钻头通过增加刀翼数量,增加布齿密度,从而增加钻头上安置的金刚石量。使各个齿承担的切削载荷低,这样可以有效地减少钻头的早期磨损,从而使得钻头更为坚韧耐用,其工作寿命也就越长。这样通过提高钻头单个复合片的耐研磨性或者降低单一复合片承担切削载荷的2种途径达到了提高机械钻速和进尺的目的。

如表1所示,GD1306TX型钻头机械钻速达到

6.23 m/h,为以上数据中最高。而哈里伯顿公司生产的FX55D型钻头单只进尺543.81 m,为以上数据中最高,但是在机械钻速上面不及GD1306TX型钻头。如表1的P5235MJH型、GD1605TX型、S1353FG型这3种型号PDC钻头均采用5刀翼的结构,P5235MJH型和GD1605TX型钻头采用的是16 mm复合片,而S1353FG型钻头采用的是13 mm复合片,但是由于其布齿密度以及复合片的抗耐研磨性基本一致,所以其机械钻速与进尺也是大致相同,并没有因为使用尺寸的复合片使其在以上两方面有所进步。其他钻头在进尺上以及机械钻速上均不理想。所以通过以上理论分析与现场试验数据对比可以得出FX55D型和GD1306TX型2种型号钻头更加适合大牛地气田太原组水平段。

## 3 经济指标分析

对钻头的经济评价可采用每米成本法进行。每米成本法的计算公式为:

$$Y = (CN + Y_0T) / H^{[10]} \quad (1)$$

式中: $C$ ——每个钻头成本,元; $N$ ——考察井段使用钻头数目,只; $Y_0$ ——井队每小时作业费用,元; $T$ ——作业时间,它包括钻完考察井段所花的纯钻进时间、起下钻时间、划眼时间、接单根时间等, $h$ ; $H$ ——考察井段长度, $m$ 。

其中, $T = H / V_{\text{行}}$  ( $V_{\text{行}}$ 为行程钻速, $m/h$ )。行程钻速反映了井队的综合钻井速度。于是公式(1)可变为:

$$Y = CN / H + Y_0 / V_{\text{行}} \quad (2)$$

根据大牛地气田施工的这几口井的基础数据统计,大牛地气田太原组水平井平均完井井深3900.00 m,水平段1100.00 m,水平段接单根以及测斜时间为20 h,每次起下钻及井口操作时间平均是14 h,起钻均循环1.80 h。钻机的日作业费按8.4万元计,由公式(2)可以计算出使用统计钻头的每米成本如表2所示。

由表2可以看出,GD1306TX型钻头的水平段钻井周期是最少的,虽然其在进尺上低于FX55D型钻头,但是由于行程钻速高于FX55D型钻头,综合对比,其在施工周期上仍然比FX55D型钻头少0.69 d。GD1306TX型钻头能更快地完成水平段钻进作业,对井下安全更有利,而且经济性较好。

虽然FX55D型钻头的进尺更高,相同井段

表2 各钻头水平段钻进每米成本统计

钻头型号	钻头 单价/ 万元	单只 进尺/ m	纯钻进 时间/ h	行程钻 速/(m· h <sup>-1</sup> )	水平 段周 期/d	每米 成本/ 万元
FX55D(进口)	26.0	543.81	106.5	4.12	11.12	0.133
P5235MJH	4.7	271.85	60.6	3.34	13.71	0.122
GD1605TX	4.7	282.84	80.0	2.80	16.36	0.142
S1353FC	8.0	184.30	41.6	3.03	15.11	0.159
GD1306TX	8.0	325.90	52.5	4.39	10.43	0.104

所需要钻头起下钻次数更少。但是由于其高昂的钻头单价,导致其每米成本不但高于 GD1306TX 型,而且高于机械钻速与进尺都不甚理想的 P5235MJH 型钻头。

#### 4 结论

(1)在太原组地层的施工中,刀翼鼻部和肩部切削齿会因为大的冲击载荷导致崩齿,增加刀翼数量、降低复合片尺寸不可避免地会影响钻头的初始机械钻速,但是冲击载荷被分散到更多的复合片上了,这样就大大有利于延长钻头使用寿命、增加钻头进尺,从而达到减少起下钻次数,降低钻井成本。

(2)不管从钻井周期上来说还是从每米成本来计算,GD1306TX 型钻头更有利于降低钻井成本,而且缩短施工周期对井下安全更加有利,所以 GD1306TX 型钻头更适用于大牛地气田太原组水平

段的施工。在下步施工中可以优先考虑选用。

(3)GD1306TX 型钻头还有需要改进之处,下步可以通过借鉴 FX 系列的优势,选用更加抗研磨的材料,对钻头做进一步改进。从而继续提高机械钻速,可以在太原组水平段的施工中继续提速提效。

#### 参考文献:

- [1] DPT-27-1. 钻井工程设计[Z]. 华北分公司工程技术研究院.
- [2] 李天明,李大佛,陈洪俊,等. 用于砾石夹层钻进的新型 PDC 钻头的研制与使用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(8):57-60,63.
- [3] 高绍智,张建华,李天明,等. 适用于砾石夹层钻进的 PDC 钻头[J]. 石油钻采工艺,2006,28(4):20-28.
- [4] 黄继庆,魏向辉,周东,等. 复杂地层 PDC 钻头研究[J]. 石油机械,2008,36(12):11-15.
- [5] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2007.
- [6] 王红波,段隆臣,杨道合,等. 适用于硬岩的 PDC 全面钻头特点分析[J]. 矿山机械,2009,(17):20-22.
- [7] 数据来源于相关井的《钻井井史》.
- [8] 申守庆. 看美国 PDC 钻头技术最新进展(一)[J]. 石油与装备,2010,(6):80-82.
- [9] 周礼. 国外进口哈里伯顿 PDC 钻头在云安 006-X5 井的应用与认识[J]. 内江科技,2013,(10).
- [10] 刘天恩,付有义,等. 钻头选型新思路[J]. 油气田地面工程,2011,30(1):87-88.

#### (上接第 19 页)

验收与管理参照《钻井井控装置组合配套安装调试与维护》(SY/T 5964—2006)标准的相关规定执行。

(4)目前国内的专门针对页岩气的钻井井控技术基本空白,页岩气井控防喷技术主要参照常规石油与天然气的井控技术,介于页岩气不同的成藏特性,需要有针对性强的井控防喷技术。

#### 参考文献:

- [1] 何红生,何大芳,李志能. 湖南页岩气资源研究进展与问题[J]. 中国矿业,2013,22(3):8-11.
- [2] 张金川,薛会,卞昌蓉,等. 中国非常规天然气勘探综述[J]. 天然气工业,2006,26(12):53-56.
- [3] 姜晓佳,胡强,杨雷. 开县井喷事件应急救援行动分析[C]//2013年第二届全国危险物质与安全应急技术研讨会论文集,2013:460-464.

- [4] 肖正辉,杨荣丰,冯涛,等. 湘西北下寒武统牛蹄塘组页岩气成藏条件及其勘探潜力分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2012,27(1):50-54.
- [5] 杨振平,吴波,王勇. Eaton 法预测 M 油田地层孔隙压力[J]. 石油与天然气学报,2012,34(9):181-187.
- [6] 孙学军,温育明. 超低渗油藏积极的井控措施[J]. 石油科技论坛,2012,(6):33-36.
- [7] 孙振纯,王守谦,徐明辉. 井控设备[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [8] 许张斌. 浅析井控安全技术 在钻井过程中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013,(4):114.
- [9] 左星,何世明,黄桢,等. 泥页岩地层孔隙压力的预测方法[J]. 断块油气田,2007,(1):24-26,90.
- [10] 孙学军,温育明. 超低渗油藏积极的井控措施[J]. 石油科技论坛,2012,(6):33-36,71.
- [11] SY/T 5964—2006,钻井井控装置组合配套安装调试与维护[S].
- [12] SY/T 6426—2005,钻井井控技术规程[S].