

山前构造砾石层大尺寸钻头优化设计及现场试验

蒋金宝

(中石化中原石油工程有限公司塔里木分公司, 新疆库尔勒 841000)

摘要:塔里木盆地天山南探区为山前构造, 钻井地质环境复杂, 3 000 m 以浅地层含有大段砾石层, 可钻性差。为此, 在深入分析砾石层物性特征的基础上, 有针对性地设计了适合于砾石层的 $\phi 660.4$ 和 $\phi 444.5$ mm 牙轮钻头和适合于微砾石层的 $\phi 444.5$ mm PDC 钻头。设计牙轮钻头时, 通过优化钻头齿高、齿长及齿顶宽, 调整布齿密度, 及采用螺旋式双稳定掌背、滚滑复合轴承、中心喷嘴和中长喷嘴等方式, 以增强钻头的攻击性, 提高钻进效率和工作的稳定性; 设计 PDC 钻头为 7 个喷嘴, 采用耐磨性和抗冲击性较好的 $\phi 19.0$ mm 复合片和中低布齿密度、肩部双排齿结构、加强保径, 以期在较低钻压下提高钻头的破岩效率。设计的 3 种钻头在天山南探区库 2 井一开、二开井段进行了现场试验, 结果表明: 与邻井实钻数据相比, $\phi 660.4$ mm 牙轮钻头钻速和单只钻头进尺分别提高 84.62% 和 445.04%, $\phi 444.5$ mm 牙轮钻头和 PDC 钻头的钻速分别提高 46.15% 和 128.85%。在大北、克深两地区 3 口井的推广试验结果也表明, $\phi 660.4$ mm 牙轮钻头可大幅提高机械钻速、节约钻时。综合分析各试验井数据认为, 设计的 3 种钻头适合于在山前构造探区砾石层钻井, 且提速提效明显。

关键词:山前构造 砾石 牙轮钻头 PDC 钻头 钻头设计 机械钻速

中图分类号: TE921⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)04-0069-04

Big Size Bit Design & Field Test for Gravel Layer in Piedmont Structure

Jiang Jinbao

(Tarim Drilling Company, Sinopec Zhongyuan Oilfield Service Corporation, Korla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: South Tianshan exploration area in Tarim Basin is a piedmont structure, with very complex geological environment, where layers shallower than 3 000 m deep containing thick gravel layers are poor in drillability. On basis of analyzing physical property of gravel layer, $\phi 660.4$ mm & $\phi 444.5$ mm roller bits suitable for gravel layers and $\phi 444.5$ mm PDC bit for microconglomerate layer have been designed. Drilling attackability, efficiency and stability of roller bit were enhanced by optimizing tooth projection and toe width, regulating tooth density, adopting screw wheel carrier, sliding and gliding complex bearing, center nozzle, and moderate length nozzle. PDC bit designed has 7 nozzles, and drilling efficiency was enhanced by adopting abrasion-proof and shock resistance compacts ($\phi 19.0$ mm), mid-low density cogging distribution, double-row cogging on shoulder, and enhanced gauge. Bits designed have been tested in the first and second drilling sections of Well Ku2. Compared with adjacent well (Well Ku1), penetration speed and average footage of $\phi 660.4$ mm roller bit rose by 84.62% and 445.04%; penetration speed of $\phi 444.5$ mm roller bit and $\phi 444.5$ mm PDC bit rose by 46.15% and 128.85%. The bits have also been tested in Dabei and Keshen area, and results showed that $\phi 660.4$ mm roller bit could enhance penetration speed and save drilling time significantly. On basis of field test, the result showed that drilling bits designed were suitable for drilling in gravel layer in piedmont structure, with significant increase in penetration rate and drilling efficiency.

Key words: piedmont structure; gravel; roller bit; PDC bit; bit design; penetration rate

塔里木盆地山前构造带天山南探区钻井地质环境复杂, 3 000 m 以浅地层含有大段砾石层, 可钻性极差: 1) 由于该地区井身结构比较复杂(一般为五开次井), 一开井眼尺寸较大($\phi 660.4$ mm 井眼), 井段长(1 000 m 左右), 机械钻速极低(如库 1 井一开钻速仅为 0.26 m/h), 施工周期较长(如库 1 井一开耗时 8 个月); 2) 随着地层埋深增加和砾石强度的增大, 牙轮钻头钻速不断降低, 提速难度加大。现有牙轮钻头寿命

收稿日期: 2012-11-26; **改回日期:** 2013-04-10。

作者简介: 蒋金宝(1981—), 男, 山东曹县人, 2003 年毕业于石油大学(华东)石油工程专业, 2008 年获中国石油大学(华东)油气井工程专业博士学位, 高级工程师, 主要从事复杂地质条件下超深井钻井提速提效技术研究工作。

联系方式: (0996)2210630, jimmyboyupc@yahoo.com.cn。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目“深井复杂地层安全高效钻井基础研究”(编号: 2010CB226703)和中国石化集团公司先导项目“库 2 井钻井技术先导试验”(编号: SG12032)资助。

较短,造成多次起下钻,钻井时效低且起下钻过程中易出现井下故障;现有PDC钻头不适合于在砾石层钻进^[1-2]。为此,笔者在分析砾石层物性的基础上,研制了适合于砾石层的 $\phi 660.4$ 和 $\phi 444.5$ mm牙轮钻头与适合于微砾石层的 $\phi 444.5$ mm PDC钻头,并在天山南、大北和克深地区进行了现场试验。

1 砾石层物性分析

天山南探区的主要勘探区域为亚肯北1号构造。该区域第四系地表部分为灰色、杂色砾石层与黄灰色砂岩层、含砂砾黏土层的不等厚互层;中上部(底深375~750 m)地层以深灰色砾岩为主,夹黄灰色、棕灰色含砾砂岩和砂泥岩;下部(底深750~940 m)地层为砾质砂岩、砂泥岩夹砾岩。砾石成分以变质岩块、石英砾石为主,次圆状(有少量棱角状),排列杂乱。新近系库车组上部(底深940~1 500 m)地层以黄灰色、棕色泥岩和砂质泥岩为主,与砾岩、泥质砂岩、砾质粗砂岩等形成不等厚互层;下部(底深1 500~3 600 m)地层为棕灰色泥岩、粉砂质泥岩与浅灰色、棕灰色砾岩形成的等厚、不等厚互层,与第四系地层相比,砾石尺寸明显变小(为2~5 mm),成分以石英砾为主,少量为变质岩块,次棱角一次圆状。总体来看,该区域岩石的胶结强度不高,砾石之间的充填主要靠泥质胶结,基本未经地质成岩和接受地质成岩压实^[2]。

由于该区域砾石强度高,地层可钻性差,钻压波动剧烈,跳钻现象极为严重。其中,上部地层井眼尺寸较大,采用牙轮钻头钻进时存在游离态砾石段蹩跳严重、单只钻头进尺短、机械钻速低、钻头外径易磨损等问题。另外,由于砾石中含有大量石英,抗压强度较高,研磨性较强,破碎难度较大。而且,由于上部地层胶结疏松,游离态砾石易发生掉落,也限制了钻井液排量^[1,3-4]。

2 山前构造探区砾石层钻头研制

2 000 m以浅地层含有大量砾石层,首先考虑使用牙轮钻头;2 000 m以深,砾石含量降低、粒度变小,地层强度变大,牙轮钻头钻速越来越低,考虑采用PDC钻头钻进。针对天山南探区一开井眼尺寸为660.4 mm、二开井眼尺寸为444.5 mm的常用井身结构,设计了 $\phi 660.4$ 、 $\phi 444.5$ mm牙轮钻头和 $\phi 444.5$ mm PDC钻头。

2.1 牙轮钻头设计

在200 m以浅井段,使用新型钢齿牙轮钻头。通过优化齿顶与地层的接触形式,提高牙齿压入、剪切地层的能力,从而增强钻头工作时的平稳性;钢齿堆焊成锥形,以增强攻击性;优化钻头露齿高度、齿长及齿顶宽,全包齿加厚焊,齿顶超厚敷焊^[5-6]。井深200 m至一开中完($\phi 660.4$ mm钻头)和二开($\phi 444.5$ mm钻头)上部井段,设计为镶齿钻头,设计时考虑掌背强化、牙轮特别保径、高密度布齿、小尺寸凸顶楔齿,并在钻头上加密外排齿,以增强钻齿抗碎断和保径的能力。采用螺旋式双稳定掌背,以形成水孔部位和外排齿的双稳定结构,提高钻头工作稳定性;改善外流场,更易于将井底及井壁岩屑及时排出,提高破岩效率。优化牙轮外排齿和背锥的设计,采用高密度及露齿高度呈梯度变化的全掌背布齿,有效增强钻头的抗缩径能力。采用滚滑复合轴承,同时进行金属密封,以提高钻头寿命。采用中心喷嘴和中长喷嘴以优化井底流场,强化清洁井底的能力。

2.2 PDC钻头设计

考虑到2 000 m以深地层含有小尺寸砾石,因此在设计PDC钻头时,要兼顾提速和进尺的要求。为此,进行了以下设计:1)设计了 $\phi 19.0$ mm复合片,该复合片的耐磨性和抗冲击性较好,采用中低布齿密度,在较低钻压情况下可提高钻头的单齿比钻压;2)肩部采用双排齿结构,以保证钻头的寿命;3)设计减振齿结构以防止崩齿、碎齿,减振齿与主切削齿的高度差设计为1.5 mm;4)特别加强保径设计,提高钻头保径能力;5)设计7个喷嘴,确保钻头清洁,防止钻头泥包。

3 现场试验及效果分析

设计的 $\phi 660.4$ mm、 $\phi 444.5$ mm牙轮钻头和 $\phi 444.5$ mm PDC钻头在天山南探区库2井进行了现场试验,后在大北、克深等地区的多口井进行了推广试验。

3.1 库2井试验情况

3.1.1 $\phi 660.4$ mm牙轮钻头试验

库2井是位于天山南探区亚肯北1号背斜圈闭

的一口风险探井。该井一开井段为 0~992 m,井眼尺寸为 660.4 mm。采用的钻具组合为 $\phi 660.4$ mm 牙轮钻头 + $\phi 279.4$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + 稳定器 + $\phi 228.6$ mm 钻铤 $\times 3$ 根 + $\phi 203.2$ mm 钻铤 $\times 6$ 根 + $\phi 139.7$ mm 加重钻杆 $\times 3$ 根 + $\phi 139.7$ mm 钻杆,排量 65~75 L/s,转速 60~80 r/min,钻压 40~100 kN(砾石层段跳钻严重,采用低钻压)。为进一步优化井底流场、提高水力破岩效果,使用了中长喷嘴(喷嘴长度较常规喷嘴加长 38 mm)^[1-5]。

该井一开井段共使用 1 只钢齿牙轮钻头(型号为 SKG125GC)、6 只镶齿七牙轮钻头(型号有 SKGT515GK、SKGT535GK 和 SKG515GXC),各钻头进尺及钻速见表 1。

由表 1 可知,单只钻头平均进尺 141.71 m,平均钻速 0.48 m/h,平均纯钻时间 333 h;同时表 1 也

表 1 库 2 井一开钻头使用情况
Table 1 Application of roller bit desinged in the first drilling section of Well Ku2

钻头型号	井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	钻速/(m·h ⁻¹)
SKG125GC	0~169.42	169.42	78.80	2.15
SKGT515GK	169.42~360.96	191.54	158.30	1.21
SKGT515GK	360.96~546.34	185.38	378.33	0.49
SKGT535GK	546.34~669.00	122.66	331.53	0.37
SKGT515GK	669.00~774.45	105.45	310.13	0.34
SKG515GXC	774.45~835.50	61.05	218.03	0.28
SKG515GXC	835.50~992.00	156.50	601.93	0.26

表明,钻头寿命大幅度延长,但 360 m 以深井段机械钻速提高不明显,因此如何提高钻头在胶结较好的砾岩层中的破岩效率将是今后的研究方向。

图 1 为库 2 井钻速、单只钻头进尺、钻井用时、所用钻头数量与邻井库 1 井的对比情况。

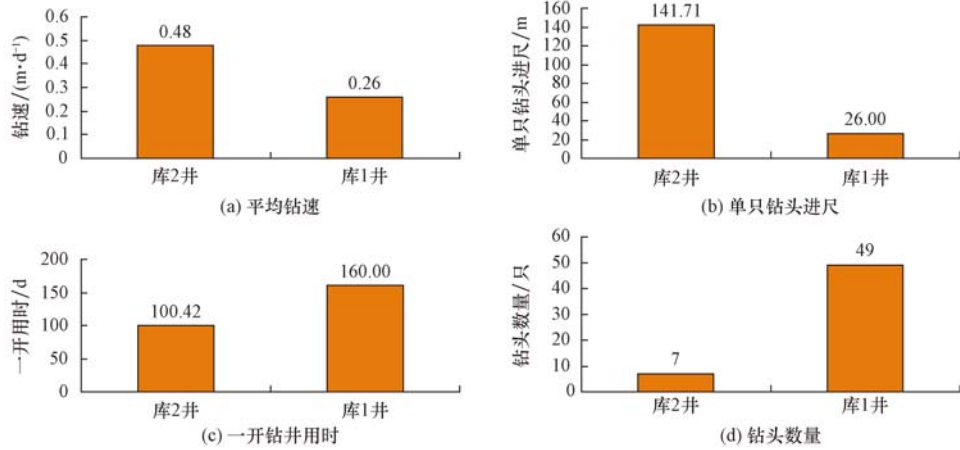


图 1 库 2 井与邻井库 1 井各项钻井数据对比

Fig. 1 Comparison of penetration speed, bit footage, drilling time, and bit amount between Well Ku2 and Well Ku1

从图 1 可以看出,库 2 井一开井段平均钻速与库 1 井相比提高 84.62%;单只钻头进尺较库 1 井增大 445.04%;一开井段钻井用时与设计周期(135.00 d)相比缩短 25.61%,与库 1 井钻至同样井深所用时间相比节约 37.24%;与库 1 井所用钻头数量相比,也减少很多。

3.1.2 $\phi 444.5$ mm 牙轮钻头和 PDC 钻头试验

在库 2 井二开井段上部地层试验了设计的 $\phi 444.5$ mm 牙轮钻头,并试验了中长喷嘴,试验井段 993~2 035 m,平均机械钻速 1.52 m/h。

在该井二开井段下部地层试验了设计的 $\phi 444.5$ mmPDC 钻头,试验井段 2 036~3 200 m,钻具组合为 $\phi 444.5$ mmPDC 钻头 + $\phi 279.4$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + 稳定器 + $\phi 228.6$ mm 钻铤 $\times 3$ 根 + $\phi 203.2$ mm 钻铤 $\times 6$ 根 + $\phi 139.7$ mm 加重钻杆 $\times 3$ 根 + $\phi 139.7$ mm

钻杆,排量 60~70 L/s,钻压 40~100 kN,转速 60~80 r/min,平均机械钻速 2.38 m/h。

图 2 为库 2 井试验井段与邻井库 1 井相应井段的钻速对比情况。从图 2 可以看出,与库 1 井相应

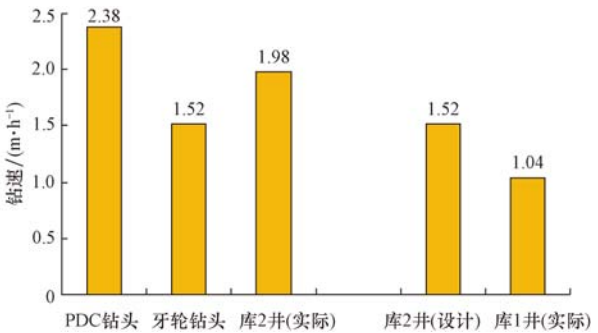


图 2 库 2 井二开井段与库 1 井相应井段的钻速对比

Fig. 2 Comparison of penetration speed between the second drilling section of Well Ku2 and corresponding section of Well Ku1

井段的实际钻速(1.04 m/h)相比,库2井的平均机械钻速提高90.38%;与该井的设计钻速(1.52 m/h)相比提高30.26%,其中牙轮钻头钻速较邻井实际钻速提高46.15%,与设计钻速相当;PDC钻头钻速相比邻井实际钻速提高128.85%,与设计钻速相比

提高56.58%。

3.2 大北、克深地区推广试验情况

设计的 $\phi 660.4$ mm牙轮钻头在大北、克深地区进行了现场试验和推广应用,试验和应用效果见表2。

表2 大北和克深地区 $\phi 660.4$ mm牙轮钻头试验结果

Table 2 Test results of designed $\phi 660.4$ mm roller bit in Dabei and Keshen area

井名	井段/m	机械钻速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)		机械钻速 提高, %	钻井周期/d		钻井周期 缩短, %
		实际	设计		实际	设计	
大北 205	0~199.58	1.66	1.19	39.5	5.00	7.00	28.6
克深 2-2-3	0~202.36	3.65	1.50	143.3	2.96	5.00	40.8
克深 2-2-8	0~200.06	3.45	1.50	130.0	3.33	5.00	33.4

从表2可以看出,与设计数据相比,该钻头可提高钻速39.5%~143.3%,钻井周期可缩短28.6%~40.8%。

3.3 试验效果综合分析

设计的 $\phi 660.4$ 和 $\phi 444.5$ mm牙轮钻头、 $\phi 444.5$ mmPDC钻头在山前构造探区上部砾石层试验应用,取得快速钻进效果。但试验中也发现了以下问题:由于砾石层跳钻严重(尤其是一开井段),导致钻压较低(跳钻地层钻压在60 kN以内);上部砾石层胶结物较为松软,对钻速影响不大,但随着埋深增加,胶结物强度增加,较小的钻压导致破岩效率较低(从表1可以看出后期钻速较低),影响钻井提速提效;为了减少跳钻、保护钻具和钻头,试验了复合减振器且减振效果明显,但寿命较短(正常工作仅6 h)。

4 结论与建议

1) 依据山前构造地区砾石层的物性特征,设计了适合砾石层的 $\phi 660.4$ 和 $\phi 444.5$ mm牙轮钻头及适合微砾石层的 $\phi 444.5$ mmPDC钻头。

2) 设计的 $\phi 660.4$ mm牙轮钻头其机械钻速较邻井提高84.6%,单只钻头进尺增大445.04%;设计的 $\phi 444.5$ mm牙轮钻头其机械钻速较邻井提高46.15%;设计的 $\phi 444.5$ mmPDC钻头其机械钻速比邻井提高128.85%,提速效果明显。

3) 设计的牙轮钻头在二开井段以深地层的提速效果不明显,建议通过改进切削齿材料和结构来增强其攻击性和耐磨性,并进一步优化布齿密度和井底流场,以更好地适应处于较深地层的砾石层。

4) 在跳钻严重井段,建议引入大尺寸水力加压器和减振器,以实现恒压钻进,为钻头提供良好的工

作环境;在较深而胶结强度较大的地层,建议引进、应用旋冲钻井技术,以实现“体积破岩”,提高钻头破岩效率,提高机械钻速。

参 考 文 献

References

- [1] 张建华. 西部地区砾石层钻井难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(3): 84-86.
Zhang Jianhua. Drilling gravel formation in the West Area: challenges and solutions[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(3): 84-86.
- [2] 王延民, 梁红军, 李皋, 等. 塔里木DB区块砾石层特征及对优快钻井影响[J]. 新疆地质, 2012, 30(1): 113-115.
Wang Yanmin, Liang Hongjun, Li Gao, et al. Characteristics of gravel layer in DB Block Tarim and its affection of fasten drilling[J]. Xinjiang Geology, 2012, 30(1): 113-115.
- [3] 邹光贵, 林发权, 熊伟, 等. 山前空气钻井实践与认识[J]. 钻采工艺, 2010, 33(4): 22-24.
Zou Guanggui, Lin Faquan, Xiong Wei, et al. Practice & understanding for air drilling in Submountain[J]. Drilling & Production Technology, 2010, 33(4): 22-24.
- [4] 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): 20-21, 28.
Gao Shaozhi, Zhang Jianhua, Li Tianming, et al. Research on PDC bit for drilling in gravel interlayer[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2006, 28(4): 20-21, 28.
- [5] 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.
Li Tianming, Li Dafo, Chen Hongjun, et al. Development and application of a new type of PDC bit drilling in cobble interbed[J]. Exploration Engineering, Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2006, 33(8): 57-60, 63.
- [6] 周天盛, 刘祖建. 卵砾石地层金刚石钻头的试验研究[J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2009, 36(11): 69-71.
Zhou Tiansheng, Liu Zujian. Experimental study on diamond bit for drilling in gravel stratum[J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2009, 36(11): 69-71.

[编辑 令文学]