

# 混合钻头在涪陵页岩气田的应用

陈星星

(中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司,重庆 408014)

**摘要:**涪陵页岩气田是中国第一个正式投入商业开采的海相页岩气田,历经 2013 年的开发评价试验阶段及 2014—2015 年的一期产能建设阶段,通过攻关研究与现场试验应用,创新形成了适合涪陵页岩气田勘探开发的钻完井技术系列,二期产建推进以来,由于埋深的增加、地层的不确定性,对钻井提速提效造成了巨大的阻碍,其中部分复杂层系的钻头选型显得尤为困难,主要体现在常规钻头行程钻速低、起下钻趟次多、定向困难等几个方面。通过对岩石可钻性及定向难点分析,针对平桥区块小河坝组地层研磨性强、砂泥岩交错的特点,优选了 12¼ in 高研磨性混合钻头;针对二开深层大三维井定向托压严重的问题,优选了 12¼ in 高效定向混合钻头;针对三开龙马溪组(含浊积砂岩)定向段高造斜率及研磨性强的特点,优选了 8½ in 硬地层定向混合钻头。截止 2019 年 2 月,3 种型号混合钻头在涪陵工区累计使用 200 余井次,平均减少起下钻 4~5 趟次,缩短钻井周期 6~7 d。混合钻头的优选应用,为二期产建的钻井提速提效提供了技术保障,为下步页岩气田的高效开发提供了钻头选型方案。

**关键词:**涪陵页岩气;小河坝组地层;浊积砂;高研磨性混合钻头

**中图分类号:**P634.4<sup>1</sup>;TE21<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)10-0034-06

## Application of hybrid drill bits in Fuling Shale Gas Field

CHEN Xingxing

(Sinopec Chongqing FuLing Shale Gas Exploration and Development Co., Ltd., Chongqing 408014, China)

**Abstract:** Fuling Shale Gas Field was the first marine shale gas field put into commercial exploitation. It went through the development evaluation test phase in 2013 years, and the Phase I productivity construction from 2013 to 2015 with development of a series of drilling and completion technology ideal for Fuling Shale Gas Field exploration and exploitation through field test and application. In the second phase, greater buried depth, and formation uncertainty led to great obstacles in increasing the drilling speed; particularly the bit type selection was difficult for some complex formation. It was mainly reflected in the low drilling rate per round trip with conventional bits, multiple times of tripping, and difficult orientation. With the analysis of drillability and directional difficulties, 12¼ in high abrasive hybrid drill bits were selected for strong abrasive and alternating sand and mudstone in the Xiaoheba Formation of Pingqiao Block. In order to solve the serious problem of directional drag force in drilling of the second section in long reach three-dimensional wells, 12¼ in high-efficiency directional hybrid bits were optimized. In view of the characteristics of high formation deflection rate and strong abrasiveness in the build section of Longmaxi Formation (containing turbidite sandstone), the 8½ in hard formation directional hybrid bit was optimized. Up to now, the three types of hybrid drill bits have been used in the Fuling work area for more than 200 times totally, with an average reduction of 4 to 5 trips and cutting short of the drilling duration by 6~7 days. The selection of the hybrid bit has provided technical guarantee for the drilling acceleration and efficiency improvement in the second construction phase, and also provides the bit selection scheme for the efficient development of the following shale gas fields.

**Key words:** Fuling Shale Gas; Xiaoheba Formation; turbidite sandstone; hybrid drill bit

收稿日期:2019-02-28; 修回日期:2019-09-12 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.10.006

基金项目:国家科技重大专项“涪陵页岩气开发示范工程”(编号:2016ZX05060)

作者简介:陈星星,男,汉族,1986年生,石油与天然气工程专业,硕士,主要从事油气开发、钻井管理工作,重庆市涪陵区焦石镇,413537767@qq.com。

引用格式:陈星星.混合钻头在涪陵页岩气田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):34-39.

CHEN Xingxing. Application of hybrid drill bits in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):34-39.

## 0 引言

涪陵页岩气田主体地处重庆市涪陵区境内,西、北临长江,南跨乌江,东到矿权边界,属山地喀斯特地貌,地面海拔 300~1000 m。涪陵页岩气田二期主要包括江东、平桥、梓里场、白涛、白马等五个区块,通过前期勘探开发展现出了良好的产能前景。

2016 年以来,启动了二期江东和平桥两个区块的产能建设,通过近期数据统计,在焦石坝区块外围的平桥区块、江东区块新建钻井平台 40 个,完钻 89 口,平均完钻井深 5158 m,平均垂深 3259 m,垂深较一期产能建设阶段增加 383 m<sup>[1-4]</sup>。平均完井周期 99.17d,钻井周期延长了 23.5%。与涪陵一期相比,二期页岩气井垂深不断加深,水平段越来越长,井眼轨迹越来越复杂,地质条件更复杂。施工中,钻速慢、定向托压、摩阻大等难题比较突出,为涪陵二期钻井施工带来了严峻的挑战<sup>[5-7]</sup>。

## 1 钻头优选研究

### 1.1 复杂地层钻头使用情况

平桥小河坝组地层平均垂厚约 200 m,岩性以泥岩为主,砂岩较发育,粉砂岩占比 10%~30%,较一期明显增加,砂泥岩互层,非均质性强,可钻性较差,钻时由主体区域的 5 min/m 上升至 30 min/m。

牙轮钻头极不适应小河坝组地层,焦页 182-xHF 井 3193~3404 m,进尺 211 m,共使用 5 只牙轮钻头,耗时 13.41 d,平均单只钻头进尺 42.2 m,平均机械钻速 1.51 m/h。采用常规 PDC 钻头一般需要 3 只才能钻穿小河坝组地层,平均单只钻头进尺 100 m,平均机械钻速 3.5 m/h。

龙马溪组地层浊积砂段平均垂厚约 20 m,岩性以灰色一灰黑色粉砂岩和灰黑色泥质粉砂岩为主,夹深灰色泥岩,常发育 1~2 套箱体状灰黑色泥质粉砂岩,砂岩致密,硅质含量普遍较高,可钻性较差,钻时 30~40 min/m。焦页 93-xHF 井 PDC 钻头钻遇浊积砂地层仅 1 m 左右,钻头报废,改用牙轮钻头钻穿后,单只牙轮钻头能钻穿一套浊积砂地层,但牙齿全部磨损 50%以上,平均钻速仅 1.42 m/h。考虑浊积砂上部地层需要 PDC 钻头过渡及发育两套浊积砂的可能性,钻穿浊积砂至 A 靶需要 2~4 趟钻。

通过测井曲线及岩石力学分析,平桥小河坝组地层强度整体偏高(120~180 MPa),地层软硬交错指数普遍大于 3(最大达 10),地层软硬程度显著,可钻性差(级值在 7~8 之间)。浊积砂地层硬度高,可钻性级值在 7~8 之间。具体情况见图 1。

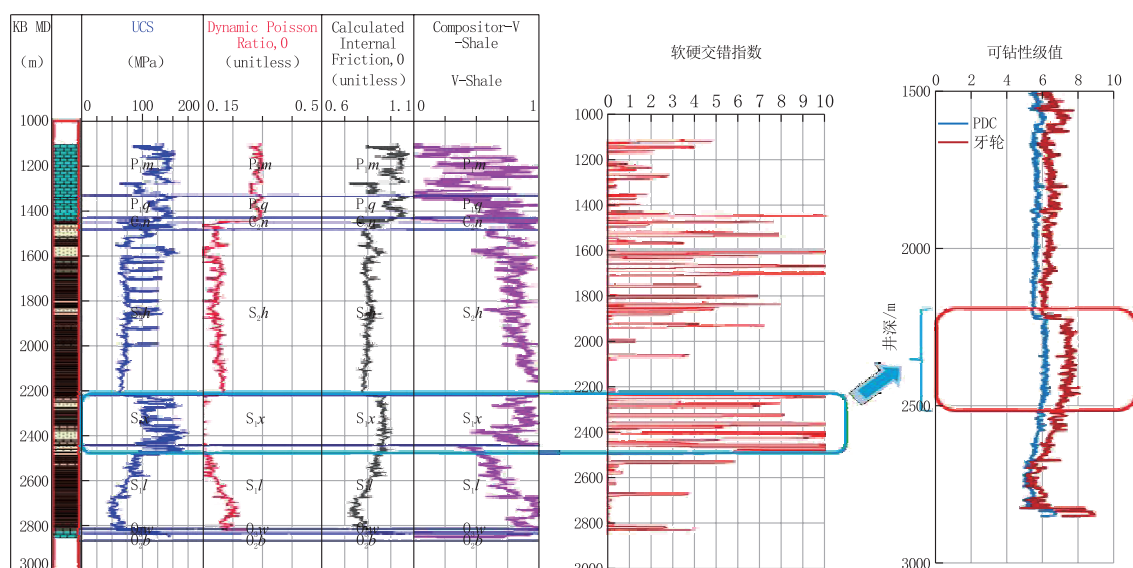


图 1 岩石可钻性分析

Fig.1 Rock drillability analysis

### 1.2 二开大三维井定向难点分析

为实现地下井网全覆盖,多动用储量,涪陵区块采用交错式井网,为最大限度利用好地下空间,一般

采取缩短前后邻井之间水平段距离的方式,具体表现为靶前距的大幅度减小,形成反向位移三维水平井(鱼钩井)。

这类井普遍具有大偏移距、小靶前距的特点,施工中造成较大的扭方位工作量,偏移距越大(超过200 m),稳斜井段越长(超过900 m),只要具备其中一项,二开后期扭方位时表现的摩阻就会越大,据统计(见表1),出现轻微托压的井中,78.57%的井摩阻在80~100 kN,出现严重托压的井,86.67%的井摩阻达到100 kN以上。

表1 大三维井托压—摩阻统计  
Table 1 Long reach 3D well drag forces statistics

井号	偏移距/m	稳斜段长度/m	托压及摩阻/kN
焦页90-xHF井	655.22	1870	托压/上提220~500
焦页90-yHF井	1113.00	1652	托压/上提220~400
焦页64-xHF井	278.92	969	托压/上提160
焦页74-xHF井	221.81	900	托压/上提140~160
焦页90-zHF井	655.22	1870	托压/上提220~500

定向施工过程中,上提下放摩阻较大,使用PDC定向托压憋泵情况严重,使用水力振荡器也效果不佳,定向托压得不到缓解,扭方位井段PDC钻头易发生早期磨损,甚至形成环形槽,钻头磨损后形成小井眼,定向托压明显,且易发生卡钻。对于二期区块三维水平井而言,小河坝组地层属于扭方位的主要井段,PDC钻头的不适应性极大地影响了井眼轨迹控制的精度和效率,虽然通过对PDC钻头的改进,钻头耐磨性增强,使用2只KSD1663DRT钻头可以钻穿小河坝组含砂地层。但钻头保径仍然磨损较快,保径齿磨损之后,定向托压、卡钻的风险明显增大。

### 1.3 钻头优选

牙轮钻头失效特征表现为牙轮旷动、掌尖和掌背磨损;钻头钻遇软硬交错的夹层时跳钻严重,造成牙轮钻头切削齿断齿;定向段易发生偏心旋转造成掌尖、掌背以及牙轮齿槽磨损;资料分析表明,钻具刚性和强化钻井参数引起的跳钻,对钻头轴承的早期失效影响较大。PDC钻头失效特征为钻头鼻部、肩部崩齿,同时复合片磨损较多。其失效原因为地层软硬交错,互层较多,岩性变化频繁,PDC钻头复合片受到的冲击作用强,复合片易崩碎,钻头损坏较快,失去PDC钻头在定向段钻进优势;PDC钻头造斜能力差、工具面极为不稳定,制约了定向段的机械钻速<sup>[8-10]</sup>。

借鉴川渝其他工区复杂难钻地层混合钻头施工经验,推出新型结构的混合钻头,该结构同时包含牙

轮和PDC刀翼,将牙轮冲击破碎与PDC复合片的剪切破碎有机结合,以达到提高切削效率目的。在不均匀及软硬交错地层,混合钻头上的牙轮切削齿对岩石产生预破碎,一方面,提高了对硬质块或硬夹层的切削效率,使得混合钻头在不均匀及软硬交错地层中具有较高机械钻速;另一方面,降低了PDC切削齿的切削载荷变化幅度,减轻钻头产生的扭转振动,PDC切削齿不易破裂,故混合钻头的使用寿命长,进尺多。在硬塑性地层及硬脆性地层,牙轮切削齿能对岩石产生预破碎,PDC切削齿能对地层形成有效切削,从而形成完整的破碎环带,使得混合钻头在硬塑性地层及硬脆性地层中具有较高机械钻速;由于PDC切削齿能对地层形成有效切削,混合钻头工作平稳,PDC切削齿不易破裂,故混合钻头的使用寿命长,进尺多<sup>[11-12]</sup>。

针对二开平桥区块小河坝组非均质高研磨地层及大三维井定向困难地层,优选了12¼ in KPM1633DST系列高研磨及高效定向混合钻头,见图2、图3。该系列钻头采用3PDC刀翼+3牙轮设计,具有以下特点,采用“滚动牙轮+固定刀翼”复合破岩技术;牙轮齿预破碎,降低岩石强度,提高复合片切削效率,减轻复合片损坏程度;采用滚动破岩结构,扭矩波动小;设计牙轮防掉结构,较普通牙轮钻头更可靠;PDC复合片强化保径,增强钻头抗磨性能。高效定向钻头较同系列高研磨混合钻头相比,有以下两个特点,一是减少了合金齿的排布,增强了钻头的攻击性,增强了定向能力;二是浅内锥设计,辅助提高了定向能力。



图2 12¼ in KPM1633DST 高研磨混合钻头  
Fig.2 High abrasive hybrid drill bit

针对三开硬质浊积砂地层,优选了8½ in KPM1642ART系列硬地层定向混合钻头,见图4,



图 3 12¼ in KPM1633DST 高效定向混合钻头  
Fig.3 High efficient directional hybrid drill bit

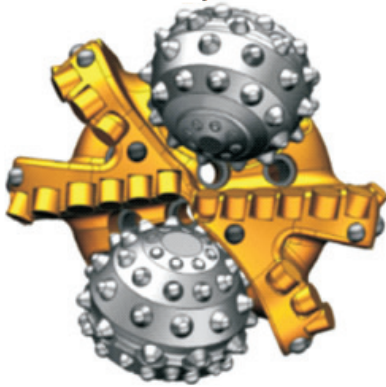


图 4 8½ in KPM1642ART 硬质定向混合钻头  
Fig.4 Directional hard hybrid drill bit

该钻头直径 215.9 mm 由 2 个牙轮和 4 个 PDC 刀翼组成(主切削齿直径 16 mm),共有 6 个水眼,保径长度 100 mm<sup>[13-14]</sup>。具有以下特点,采用混合切削结构(4 刀翼+2 牙轮);浅内锥设计,辅助提高定向能力;优化减震齿设计,使用抗研磨型齿材;使用镶齿牙轮金属密封轴承技术,延长轴承寿命。

## 2 应用分析

### 2.1 现场应用情况

截止目前,3 种型号混合钻头在涪陵工区累计使用 200 余井次,平均每井减少起下钻 4~5 趟次,缩短钻井周期 6~7 d。

12¼ in KPM1633DST 高研磨混合钻头已在涪陵页岩气井全面推广应用,形成了针对平桥区块小河坝组难钻地层的有效解决方案。统计近期使用的 50 余只该型号混合钻头,平均进尺 300 m,平均机械钻速 4.5 m/h。对比常规 PDC 钻头,平均进尺和机械钻速指标分别提高 200%、28%,平均节约钻井

周期 2~3 d,有效地解决了小河坝组高研磨性地层 PDC 钻头行程钻速低的工程难题。如该钻头在焦页 189-2HF 井的应用,总进尺 350 m,平均机械钻速 4.8 m/h,其中小河坝组地层进尺 180 m,平均机械钻速 4.29 m/h,为同期平桥区块小河坝组地层单只钻头最高进尺。与同期常规 PDC 钻头平均指标相比,进尺提高 155%;与同区 PDC 钻头单趟钻最高进尺(KMD1663DRT 加强版)相比提高 14.6%;与邻井 189-xHF 井进口 PDC 钻头(SFD65DH)相比提高 52.5%。

12¼ in KPM1633DST 高效定向混合钻头针对性地解决了二开大三维井的定向施工难题,保障了定向段复杂工况的钻进,统计近期使用的该型号混合钻头,平均进尺 325 m,平均机械钻速 4.6 m/h。对比常规 PDC 钻头,平均进尺和机械钻速指标分别提高 64%、63%。如该钻头在焦页 90-xHF 井的应用,总进尺 470 m,平均机械钻速 5.3 m/h,其中扭方位复杂井段进尺 220 m、平均机械钻速 3.99 m/h。该钻头使用井段井斜大于 45°、垂深超过 3000 m,扭方位累计 60.45°,工具面稳定,定向工作可操控性强,有效解决了深层页岩气大三维井定向难题。临井焦页 89-xHF 井在 3673~3769.44 m 井段共使用 2 只牙轮钻头,进尺 96.44 m,平均机械钻速 1.43 m/h,混合钻头进尺和机械钻速分别提高 311.63%、64.73%。

8½ in KPM1642ART 硬地层定向混合钻头已在工区三开定向段全面推广应用,配合低速大扭矩长寿命油基螺杆实现了三开定向段一趟钻优快钻进目标。统计近期使用的 25 只该型号混合钻头,平均进尺 453 m,平均机械钻速 7.7 m/h,对比常规 PDC 钻头,平均进尺和机械钻速指标分别提高 150%、22%。有效解决了三开定向段浊积砂 PDC 钻头适应性差、牙轮钻头行程钻速低及高造斜率定向作业的工程难题。较原使用的牙轮钻头节省 2~3 趟钻,节约钻井周期 3~4 d。如该钻头在焦页 83-xHF 井的应用,钻进井段:3435~4321 m(浊积砂岩井段 3686~3786 m),一趟钻钻至 A 靶,进入水平段 200 m 更换钻具组合起钻。进尺 886 m(含浊积砂岩 100 m),纯钻 96.80 h,平均机械钻速 9.15 m/h,进尺和纯钻创涪陵工区混合钻头进尺最多、寿命最长 2 项最优指标。井斜由 46.10°增至 91.52°,方位由 82.31°扭至 50.11°,造斜工作量累计超 45.42°,方位

工作量累计超 32.20°。定向效率高,一趟钻完成定向段施工任务。

## 2.2 应用评价

钻头比能是指钻头从井底地层破碎单位体积岩石所需要做的功,钻头比能越低,说明钻头的破岩效率越高,钻头使用效果越好<sup>[15]</sup>。但现场由于起下钻时间较长,因此钻头选型不仅要考虑钻速,而且要兼

顾进尺,以减少起下钻次数,由于比能法未考虑钻头进尺因素,评价不够全面。因此,为综合考虑比能和进尺,以钻头钻进每米进尺消耗的比能作为钻头的评判选择依据,以真正反映钻头的进尺和使用效果。基于常规钻头及混合钻头的使用数据,通过比能算法得到钻头比能,比能/进尺值越小表明该钻头应用效果越佳。统计结果见表 2。

表 2 钻头比能/进尺统计  
Table 2 Bit specific energy/footage statistics

钻头型号	钻头类型	使用井段地层	钻头直径/mm	平均进尺/m	平均钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	平均比能/(MJ·m <sup>-3</sup> )	比能/进尺/(MJ·m <sup>-4</sup> )
HJT537GK	牙轮	江东大位移	311.2	90	1.6	1730.42	19.23
KMD1663DRT	PDC	江东大位移	311.2	198	2.8	610.38	3.08
KPM1633DST	混合	江东大位移	311.2	325.75	4.6	594.45	1.82
MD537K	牙轮	平桥小河坝	311.2	50	1.8	1709.06	34.18
KMD1663DRT	PDC	平桥小河坝	311.2	100	3.5	585.96	5.86
KPM1633DST	混合	平桥小河坝	311.2	300	4.5	569.69	1.90
MD537K	牙轮	浊积砂	215.9	60	1.4	2111.53	35.19
KMD1652ADGR	PDC	浊积砂	215.9	176	6.3	430.13	2.44
KPM1642ART	混合	浊积砂	215.9	453	7.7	415.91	0.92

计算结果表明,12¼ in KPM1633DST 高效定向混合钻头比能/进尺值为 1.82 MJ/m<sup>4</sup>,较牙轮钻头降低了 90%,较 PDC 钻头降低了 41%。12¼ in KPM1633DST 抗研磨性混合钻头比能/进尺为 1.9 MJ/m<sup>4</sup>,较牙轮钻头降低了 94.4%,较 PDC 钻头降低了 67.6%。8½ in KPM1642ART 硬地层定向混合钻头比能/进尺值为 0.92 MJ/m<sup>4</sup>,较牙轮钻头降低了 99.4%,较 PDC 钻头降低了 62.3%。由此可见,混合钻头破岩能力强,使用寿命长,技术指标全面超越常规钻头,应用效果显著,能够满足平桥区块小河坝组及龙马溪组浊积砂难钻地层和大三维井定向复杂工况的使用要求。

## 3 结论

针对二期目的层垂深较深,裸眼井段长,存在摩阻扭矩大、部分地层可钻性较差的特点,基于混合破岩理论,优选了适合涪陵页岩气二期复杂地层的混合钻头,提高了机械钻速及钻头进尺,形成了针对平桥区块小河坝组及龙马溪组浊积砂难钻地层和大三维井定向复杂工况的有效解决方案。为二期产建钻井提速提效提供了技术保障。

通过现场实践应用,客观地反映了混合钻头的应用效果,相比常规钻头技术,提速效果显著。12¼ in KPM1633DST 系列抗研磨性、高效定向混合钻

头及 8½ in KPM1642ART 系列硬质定向混合钻头,已在涪陵页岩气井田全面推广应用。

通过比能法对混合钻头进行了应用评价,技术指标全面超越常规钻头,应用效果显著,能够满足平桥区块小河坝组及龙马溪组浊积砂难钻地层和大三维井定向复杂工况的使用要求。

## 参考文献(References):

- [1] 艾军,张金成,臧艳彬,等.涪陵页岩气田钻井关键技术[J].石油钻探技术,2014,42(5):9-15.  
AI Jun, ZHANG Jincheng, ZANG Yanbin, et al. The key drilling technologies in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(5):9-15.
- [2] 周贤海.涪陵焦石坝区块页岩气水平井钻井完井技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):26-30.  
ZHOU Xianhai. Drilling & completion techniques used in shale gas horizontal wells in Jiaoshiha Block of Fuling Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,41(5):26-30.
- [3] 潘军,刘卫东,张金成.涪陵页岩气田钻井工程技术进展与发展建议[J].石油钻探技术,2018,46(4):9-15.  
PAN Jun, LIU Weidong, ZHANG Jincheng. The drilling technology progress and recommendations of Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018,46(4):9-15.
- [4] 牛新明.涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J].石油钻探技术,2014,42(4):1-6.  
NIU Xinming. Drilling technology challenges and resolutions in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 1-6.
- [5] 张金成.涪陵页岩气田水平井组优快钻井技术[J].探矿工程

- (岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 1-8.
- ZHANG Jincheng. Optimal and fast drilling technology for horizontal wells in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7): 1-8.
- [6] 黄迪箫笙, 涪陵页岩气田江东区块优快钻井技术研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(4): 18-23.
- HUANG Dixiaosheng. Research and application of fast drilling technology in Jiangdong Block of Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4): 18-23.
- [7] 沙贞银, 杜俊伯, 向进, 等. 涪陵页岩气田钻井提速方案及实施效果分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 31-36.
- SHA Zhenyin, DU Junbo, XIANG Jin, et al. A scheme for drilling rate improving in Fuling Shale Gas and its implementation effects analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7): 31-36.
- [8] 张富晓, 黄志强, 周已. PDC 钻头切削齿失效分析[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(9): 44-49.
- ZHANG Fuxiao, HUANG Zhiqiang, ZHOU Yi. Failure analysis of PDC bit cutter[J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(9): 44-49.
- [9] 黄志强, 王晓凤, 涂小芳, 等. 三牙轮钻头滑动轴承失效分析[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2008(3): 136-138, 194.
- HUANG Zhiqiang, WANG Xiaofeng, TU Xiaofang, et al. The failure analysis of three roller bit sliding bearing[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2008(3): 136-138, 194.
- [10] 许京国, 陶瑞东, 郑智冬, 等. 牙轮+PDC 混合钻头在迪北 103 井的应用试验[J]. 天然气工业, 2014, 34(10): 71-74.
- XU Jingguo, TAO Ruidong, ZHENG Zhidong, et al. Pilot tests of a roller-PDC hybrid bit in Well Dibe 103, Tarim Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(10): 71-74.
- [11] 胡大梁, 严焱诚, 李群生, 等. 混合钻头在元坝须家河组高研磨性地层的应用[J]. 钻采工艺, 2013, 36(6): 8-12.
- HU Daliang, YAN Yancheng, LI Qunsheng. Application of hybrid-drill bit in Xujiahe high abrasive formation of Yuanba Gas Field[J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(6): 8-12.
- [12] 张辉, 高德利. 钻头选型方法综述[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(4): 1-5.
- ZHANG Hui, GAO Deli. Review on drill bit selection methods[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005, 27(4): 1-5.
- [13] 曹继飞, 田京燕, 张辉. 弱胶结砂砾岩地层钻头研制及提速工具配套研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(4): 88-91.
- CAO Jifei, TIAN Jingyan, ZHANG Hui. PDC bit optimization and complete tool selection for poor cemented sandy gravel formation drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4): 88-91.
- [14] 汤凤林, 沈中华, 段隆臣, 等. 新型加长防斜减振 PDC 钻头的设计试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(3): 75-80.
- TANG Fenglin, SHEN Zhonghua, DUAN Longchen, et al. Design and experiment on a new elongated, stabilized and vibration-reduced PDC drill bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(3): 75-80.
- [15] 薄玉冰. 定向钻井中托压机理分析及对策探讨[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(1): 27-32.
- BO Yubing. The formation mechanism and technical countermeasures for back pressure during directional drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(1): 27-32.

(编辑 韩丽丽)