

**编者按:**应本刊编辑部约请,我国资深钻探专家、国土资源部咨询研究中心原咨询委员左汝强教授级高级工程师将其收集的国际油气钻井最新进展资料编撰成文,将陆续在本刊刊出,以飨广大读者。

# 国际油气井钻头进展概述(一)

## ——Kymera 组合式(Hybrid)钻头系列

左汝强

(国土资源部,北京 100812)

**摘要:**针对油气钻井中钻遇坚硬地层、粘-滑(stick-slip)地层、软硬互层与含夹层地层,以及定向井、水平井等钻进中PDC钻头钻进效率、钻井方向控制方面的局限性问题,贝克·休斯公司克里斯坦森(Baker Hughes Christensen)分公司于2011年四季度向国际市场推出了将金刚石复合片与牙轮相结合的钻头——Kymera组合式钻头。该新型钻头借助于牙轮在硬岩层中的侵入能力,提高碎岩效率,改善PDC的冷却,还能明显降低钻头在井底的扭矩,提高钻井方向的控制能力。在世界各地现场实际应用取得了良好的钻井效果。介绍了Kymera组合式钻头的研发背景和历程,以及其在世界多地油气钻井中的现场应用情况。

**关键词:**油气钻井;页岩气;PDC钻头;牙轮钻头;组合钻头

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1; TE921<sup>+</sup>.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)01-0004-03

**International Advancement of Drilling Bits for Oil and Gas Well (1)—Kymera Hybrid Bit/ZUO Ru-qiang** (Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, Beijing 100812, China)

**Abstract:** Baker Hughes commercially launched a new hybrid bit, Kymera bit, which combines features of a PDC and roller cone bit in Q4 2011. Kymera bit is especially suitable for difficult-to-drill formation, such as hard, stick-slip, hard-soft interbedded formations in shale plays, as well as for directional and horizontal well drilling. Kymera bit can increase ROP with roller cone's ingressive capability in hard formation, improve PDC cooling condition, decrease torque fluctuation obviously, and also control well trajectory effectively. Kymera bit has been successful in oil and gas field applications in many countries. The development background of Kymera bit and case studies are given.

**Key words:** oil and gas drilling; shale gas; PDC bit; roller cone bit; hybrid bit

### 0 引言

美国页岩气开发取得成功,不仅使其本国的能源结构发生了变化,而且也改变了全球能源的市场格局,具有重要意义。但是,页岩气作为一种非常规油气能源,开发技术难度大,投资成本高。于是,石油公司和钻井承包商便设法依靠技术创新来加强页岩气的勘探开发,以降低成本,增加利润,这就促进了油气钻井的科技进步。近10余年来,油气钻井用钻头、钻具、钻探设备、导向钻进技术等,甚至整个钻井模式都发生了很大变化。仅就钻头而言,近五六年来取得了显著进展,贝克·休斯(Baker Hughes)、国家油井(NOV, National Oilwell Varco)、哈里伯顿(Halliburton)、史密斯钻头(Smith Bits)等著名石油

服务公司和石油工具供应商研究开发出多种新型钻头,大大地提高了钻井效率,延长了钻头寿命,扩大了应用领域。

### 1 Kymera 组合式钻头的诞生及其优异性能

牙轮钻头于1909年由美国霍华德·休斯(Howard Hughes)发明。此后,这种新型钻头因其高效耐用逐步替代刮刀钻头,广泛运用于石油钻井钻进坚硬和耐磨性地层。但是,牙轮钻头在页岩和其它塑性岩层中钻进效率较低,且容易形成泥包。而刮刀钻头却不存在这样的问题,于是,美国的斯科特(Scott)和拜茨(Betts)于1932年就提出将以上两种类型的钻头组合在一起的钻头结构。但是,当时的

收稿日期:2015-12-07

作者简介:左汝强,男,汉族,1941生,国土资源部咨询研究中心原咨询委员,教授级高级工程师,探矿工程专业,曾从事钻孔弯曲测量与定向钻进科研及科研管理工作,现进行国际油气钻井技术、国际科学钻探发展态势研究,北京海淀区北三环中路24楼1003室(100088),zrq1941@sina.com。

刮刀钻头技术水平不高,钻进中易产生早期磨损,钻进效率和寿命较低,从而未能付诸实际应用。直到 20 世纪 80 年代,美国史密斯(Smith)公司和瑞德(Reed)公司先后获得复合片+牙轮组合钻头的技术专利,但那时金刚石复合片(PDC)的抗冲击性能较差,也未能实现商业化应用。

随着近年来金刚石复合片性能不断提高,其应用范围已逐步由软至中硬岩层向硬岩层扩展。但是,对于坚硬、高研磨性地层,特别是非均质、软硬互层和含夹层的地层,PDC 钻头的钻进效果仍不理想。此外,在上述地层定向钻进中井底产生较大扭矩时,PDC 钻头控制工具面向角效果差,易引起钻井偏离设计方向。

2009 年,贝克·休斯公司克里斯坦森(Baker Hughes Christensen)分公司研发出将金刚石复合片与牙轮相结合的钻头——Kymera 组合式钻头(图 1)。藉助于牙轮在硬岩层中的侵入能力,可提高碎岩效率,改善 PDC 的冷却,还能明显降低钻头在井底的扭矩,提高钻井方向的控制能力。该新型组合式钻头特别适用于页岩气钻井坚硬地层、粘-滑(stick-slip)地层、软硬互层与含夹层地层,以及定向井、水平井钻进等,但却不适宜在较软地层中钻进。



图 1 Kymera 组合式钻头

## 2 Kymera 组合式钻头的应用

Kymera 组合式钻头于 2010 年在美国石油工程师会议上首次展出,在 2011 年美国海洋技术大会

(OTC, Offshore Technology Conference)上获得技术奖(共 15 项),排名第一。至 2012 年,该型钻头系列已应用于世界上 21 个国家,下井钻进超过 1000 个回次。图 2 为现场应用照片。实际应用效果举例如下。



图 2 Kymera 组合式钻头现场应用

(1)在沙特阿拉伯油田,用  $12\frac{1}{4}$  in ( $\varnothing 311.2$  mm) 该型钻头在中等强度碳酸盐岩中运用螺杆钻具定向钻进,从垂直井段开始钻进,逐步增大井斜角至  $83^\circ$ ,在 72 h 内钻进 1152 m,平均时效达 14.2 m。

(2)在美国北得克萨斯州油田,以前使用典型的牙轮钻头平均钻进效率为 23.8 m/h。后采用  $7\frac{7}{8}$  in ( $\varnothing 200$  mm) 双 PDC 刀翼+双牙轮 Kymera 组合式钻头(图 3),运用螺杆钻具实施定向钻进,以 35 m/h 的钻速,钻进 1158 m 直到目标深度,钻进效率比牙轮钻头提高了 47%。而且,定向钻进中钻井方向控制十分理想。

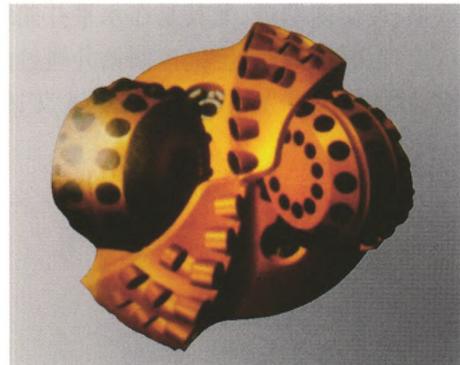


图 3 Kymera 双 PDC 刀翼+双牙轮组合钻头

(3)2013年一季在哥伦比亚油田,用 $8\frac{1}{2}$  in ( $\varnothing 215.9$  mm) Kymera 钻头在硬砾岩和页岩中钻进412 m,时效达到11.2 m,相当于替代了2个PDC钻头和3个牙轮钻头的功效。

### 3 第二代 Kymera 组合式钻头

经过不断的改进提高,此后又诞生了第二代 Kymera 组合式钻头。其中 Kymera FSR 定向钻进钻头配置双牙轮和4个强力PDC刀翼(图4),可以在控制钻井方向的同时提高钻进效率。Kymera FSR 钻头于2014年四季度在美国鹰滩(Eagle Ford)页岩气田,运用于钻进3口水平井(平均每井深度3840 m)的曲线井段(平均长度240 m),地层为奥斯汀白垩统和 Anacacho 岩层。油田原先所使用的PDC钻头存在着3个问题:(1)井底钻头产生强烈扭振,迫使钻工减轻钻压,以致引起钻速下降;(2)井底钻具组合偏离设计轨迹,引起井斜;(3)每钻一口水平井曲线井段至少要消耗2个钻头,耗时费钱。而选用新型 Kymera FSR 定向钻进钻头,在3口水平井曲线井段各只用一个钻头,分别以11 m/h的钻速钻进22 h、14.2 m/h的钻速钻进17 h、12.5 m/h的钻速钻进19 h完成。并且,这3个钻头在使用后仍保持完好可继续使用。而在相邻的另2口井中,用原先所用的PDC钻头完成同样的钻井任务,分别用3个钻头以7.2 m/h的钻速钻进了35 h、用2个钻头以9.8 m/h的钻速钻进了27 h。经计算,运用 Kymera FSR 钻头每英尺钻探成本至少节约36%。

### 4 结论与建议

在世界各地的实际应用表明, Kymera 组合式钻头在油气钻井,特别是页岩气钻井所遇复杂、难钻地层中获得钻进效率高、使用寿命长、应用岩层范围宽的钻井效果;在定向钻进,尤其是在水平井曲线段钻进中显示出其高效、耐用、准确控制钻井轨迹的优越性。目前,我国勘探开发页岩气正方兴未艾,钻井中



图4 第二代 Kymera FSR 定向钻进钻头

也会遇到类似的复杂、难钻地层。所以,积极开展类似 Kymera 组合式钻头的研究是必要的。

据了解,我国有些专业机构已开展PDC+牙轮组合钻头的研究,如西南石油大学成都装备制造分公司建立了组合钻头实验装置,开展在不同条件下组合钻头的钻岩试验,获得了重要研究成果。

Kymera 组合式钻头结构复杂,设计中要求对牙轮和PDC刀翼这2种切削具的结构和尺寸、钻头空间布局以及循环水力学等方面进行深入研究。其钻头研发要经过室内和野外的反复试验,不断改进提高,才能够取得成功。

### 参考文献:

- [1] Linda Hsieh, Alex Endress. Better and better, bit by bit/New drill bits utilize cutting structures, cutter element shapes, advanced modeling software to increase ROP, control, durability [J]. Drilling contractor, IADC, 2015, (7-8).
- [2] Alexis Garcia. Fixed cutter hybrid bit pushes performance in extreme environments, /Applications from Congo to Ecuador, from China to Colombia demonstrate enhanced durability in hard-rock environments [J]. Drilling contractor, IADC, 2013, (7-8).
- [3] Joanne Liou. New bits look beyond design at overall wellbore/ Advanced cutters, manufacturing methods, data analysis help extend bit life, performance. Drilling contractor, IADC, 2012, (7-8).