

国际油气井钻头进展概述(二)

——FuseTek 融合钻头与 Pexus 组合钻头

左汝强

(国土资源部,北京 100812)

摘要:NOV 公司 2013 年向市场推出 FuseTek 融合钻头。它将 PDC 钻头的高钻速与孕镶金刚石钻头的耐磨性结合在一起,适宜于钻进中硬—坚硬、高研磨性地层。FuseTek 钻头已广泛应用于刚果、厄瓜多尔、中国、哥伦比亚等国家。应用表明,该新型组合钻头比 PDC 钻头或牙轮钻头钻进效率提高许多,工作寿命增加 1~3 倍或更多。Shear Bits 公司于 2014 年推出 Pexus 组合钻头。该钻头广泛应用于加拿大冰川冰碛物钻进。地层上部硬卵砾石层利用可转动硬质合金齿钻进,下部软砂岩与页岩则运用 PDC 碎岩。整个冰碛物地层用一个 Pexus 钻头一钻到底。所述 3 类组合式钻头(含 Kymera 钻头)对于未来实现“一个钻头,一口井”的目标有重要意义。

关键词:融合技术钻头;PDC + 孕镶金刚石齿组合钻头;PDC + 硬质合金组合钻头;可转动硬质合金齿;冰川冰碛物

中图分类号:P634.4⁺1;TE921⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)02-0001-04

International Advancement of Drilling Bits for Oil and Gas Well (2) —FuseTek Bit and Pexus Hybrid Bit/ZUO Ru-qiang (Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, Beijing 100812, China)

Abstract: FuseTek bit, a PDC + Impregnated diamond hybrid bit, launched by NOV in 2013. It is suitable for drilling medium-hard to hard and abrasion formations. The FuseTek bits were widely used in Congo, Ecuador, China, Colombia, etc., Applications have shown that the FuseTek bits could increase the ROP obviously and bit life 1-3 times or more compared with PDC bit or roller cone bit. Pexus hybrid bit, a PDC + Carbide hybrid bit, launched by Shear Bits in 2014, which used extensively in Western Canada to drill glacial till, comprised of a hard top layer of boulders, drilled by rotary carbide element and a soft bottom layer of sand and shales drilled by PDC cutters. The whole interval can be drilled in one run with one Pexus bit. Those three types of hybrid bits are significant for realization of “one bit, one well” in the future.

Key words: FuseTek bit; PDC + impregnated diamond hybrid bit; PDC + carbide bit; rotating carbide elements; glacial till

近年来,不同类型切削具的组合化(Hybridization)已是油气井钻头发展的主要趋势之一。文献[4]中介绍的贝克·休斯的 Kymera 组合式钻头(PDC + 牙轮组合)是其中一种,本文介绍的国家油井(National Oilwell Varco)公司的 FuseTek (融合技术)钻头(PDC + 孕镶金刚石齿),以及剪切钻头(Shear Bits)公司的 Pexus 组合钻头(PDC + 硬质合金齿)则是另外 2 种组合式钻头。

1 FuseTek (融合技术)钻头

1.1 FuseTek 融合钻头碎岩机理及优越特性

FuseTek 融合钻头系列由国家油井(National Oilwell Varco)公司于 2013 年 4 月推向市场。FuseTek 融合钻头将具有高钻速的 PDC 钻头与高耐磨

性的孕镶金刚石钻头的优势组合,或融合到一起,旨在使钻头应用范围从中硬地层扩大到坚硬、研磨性地层。该型钻头是在钻头唇面的复合片之后平行镶嵌一排孕镶金刚石圆柱齿(图 1)。钻进中当复合片经磨损失去其原有几何形状后,孕镶圆柱齿即参与继续破碎岩石,由此破岩方式即由剪切转变为研磨方式。这种 PDC + 孕镶金刚石齿组合钻头,将现已广泛应用的 PDC 钻头扩大应用到更加坚硬岩石范围,并适用于定向钻井、海洋深水钻井,且具有高钻速、长寿命和耐冲击的优异性能。

1.2 FuseTek 融合钻头的广泛应用

FuseTek 融合钻头近年来已在刚果、厄瓜多尔、中国、哥伦比亚等许多国家应用,取得了明显的效果。

1.2.1 在非洲刚果油田的试用

收稿日期:2015-12-30

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,北京市海淀区北三环中路 24 楼 1003 室(100088),zrq1941@sina.com。

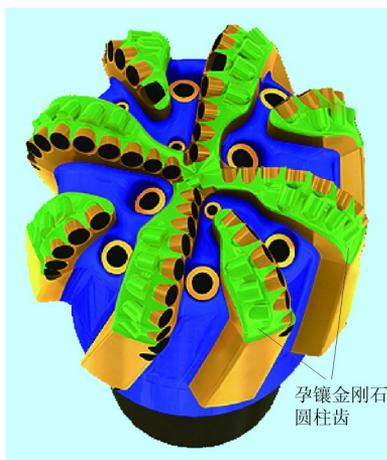


图1 FuseTek 融合技术钻头

2011年四季度开始在非洲刚果油田生产试验。用 $8\frac{1}{2}$ in ($\varnothing 215.9$ mm) 该新型钻头在砂岩、石灰岩、粘土岩和砾岩中钻进,进尺 467 m,时效达到 7.62 m,比以前所用最好复合片钻头的寿命增加 26%。在一个陆上油田 1400 m 长度的井段内,地层为含砾石软硬互层,岩石抗压强度变化极大。以前需用 11 个 $8\frac{1}{2}$ in 牙轮钻头来钻进此井段,最好的情况也得用 5 个钻头。后运用 FuseTek 钻头,仅用 21 个此新型钻头,以 22 个下井回次,总共钻了 19 口井的 1400 m 井段。

1.2.2 在南美洲厄瓜多尔 Yuralpa 油田应用

该油田以前所用的牙轮钻头因切削齿和轴承质量所限,在陆地和海上水平井钻进,一个钻头平均只能钻进 73.1 m,时效仅 3 m。运用 $8\frac{1}{2}$ in FuseTek FT813 钻头先在侵入岩中钻进 225 m,接着又在砂岩、页岩和石灰岩中钻进了 96.6 m,以平均 8.53 m/h 的钻速共进尺 321.6 m,创造了油田的历史记录。同时还完成了井斜从 $64^\circ \sim 84^\circ$ 的增斜而方位角几无变化的钻进。由此可见,此新型钻头无论钻进效率还是使用寿命,都大约是以以前所用牙轮钻头的 3 倍。多次应用表明, FuseTeK 钻头以其特殊的破碎机理适用于难钻进地层,包括含高抗压强度、坚硬/粗糙夹层的地层;或钻井上、中井段钻速高,而下部地层抗压强度加大的钻井中。

1.2.3 在我国渤海油田和塔里木油田的成功应用

渤海油田引进了 FuseTeK FT813 钻头,应用于常规回转钻进、螺杆钻具钻进与旋转导向钻进。应用结果表明,该型钻头在含薄泥岩夹层的粗砂岩中钻进,工作寿命是油田以前所用 PDC 钻头的 233%。

在固结性砾岩中用旋转导向钻具钻进,钻头寿命增加 30 m 以上。

该型钻头在塔里木油田的应用也显示了其优异性能。该区域以前钻进中遇到 3 方面的问题:(1) 存在复杂难钻地层,为抗压强度多变和易使钻头产生破坏性振动夹层的地层,如含细砂岩和砾石细砂岩的硬粘土岩,含 35% 石英高研磨性细砂岩等;(2) 井壁不够稳定,可能发生坍塌;(3) 钻进大斜度井 ($60^\circ \sim 80^\circ$)。根据以前的记录,钻进此类岩层,原来所用 PDC 钻头平均只有 1.26 m/h 的钻进效率,70 m 的使用寿命。据此,确定了运用 FuseTek 融合钻头提高的指标,即平均钻进效率 1.5 ~ 2.5 m/h,工作寿命 200 ~ 300 m。

首次下井试验选择 $13\frac{1}{8}$ in FT613 钻头 ($\varnothing 333.4$ mm),在吉迪克组至 E_{2-3s} 地层钻进。从 6273 m 井深开始,以 1.98 m/h 的钻速钻进了 177 m,比以前所用 9 个 PDC 钻头的钻进效率都高。图 2 显示了该钻头钻进 177 m 之后的正常磨损情况。第二次应用效果见图 3。在 Keshen206 井垂直井段中,用 $13\frac{1}{8}$ in FuseTek 钻头 ($\varnothing 352.4$ mm) 进行旋转导向钻进,从 4416 m 深度开始,以平均钻速 3.5 m/h 钻进,累积进尺约 350 m。然后,该钻头又在 Keshen208 井中以 5 m/h 的钻速钻进砾石层约 25 m。对比相邻 Keshen208、Keshen202 两井钻进所用的 PDC 钻头, FuseTek 融合钻头的钻速 (3.5 m/h) 比 PDC 钻头的最高钻速 (1.7 m/h) 还高 1 倍多,工作寿命则相当于 5 ~ 6 个 PDC 钻头的总和,大大地超过了预期指标。



图2 在塔里木油田钻进 177 m 后的 FuseTek 613 钻头

1.2.4 在南美洲哥伦比亚 Pauto sur 油田应用

该油田 1182 ~ 1676 m 的深度为高研磨性的砂岩、粘土岩和页岩。要求 $18\frac{1}{2}$ in FuseTek 钻头

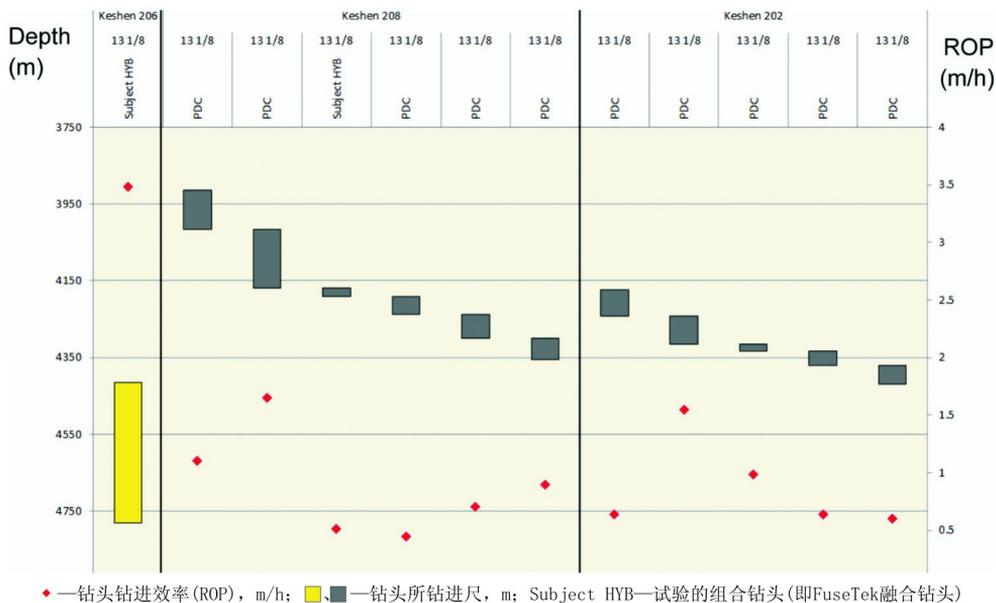


图 3 塔里木油田 13 1/8 in FuseTek 钻头第二次应用与 PDC 钻头性能效果对比

(Ø469.9 mm) 在垂直井段易振动的条件下具有耐久性,并且在用于旋转导向钻进和螺杆钻具钻进时具有良好的导向性。为此,设计的 18 1/2 in FuseTek 融合钻头具有 8 个刀翼,镶嵌直径 16 mm 的太阳神抗振(HeliosImpact)热稳定复合片。运用此新型 FT816 钻头第一次下井,以 6.4 ft/h(1.95 m/h)的钻进效率钻进 178 ft(54.3 m)超过预期指标 4.5 ft/h(1.37 m/h)的 42%。因非钻头原因提钻后再次下井,该钻头以 6 ft/h(1.82 m/h)的钻速,进尺 521 ft(159 m)超过预期指标的 33%,超过油田历史最长回次进尺 37%。图 4 显示运用新型 FT816 钻头与常规 PDC 钻头在这次应用钻进效率和工作寿命的对比。显然,FuseTek 钻头的钻进效率与钻头寿命比常规 PDC 钻头高得多。

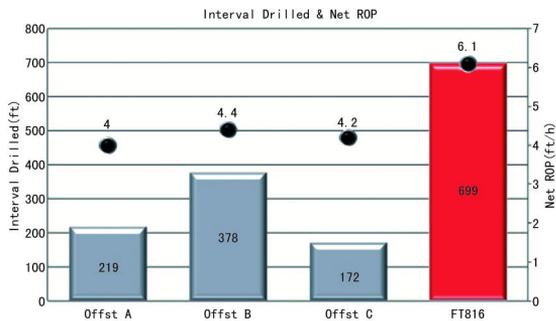


图 4 哥伦比亚油田 FuesTek816 钻头与 PDC 钻头钻进效率和寿命对比

1.3 小结

实际应用表明,FuseTek 钻头因其复合型岩石

破碎机理,分阶段破碎过程,可在坚硬、高研磨性地层中钻进。与传统的 PDC 钻头和牙轮钻头对比,显著地提高了钻进效率,尤其是钻头寿命可提高 1~3 倍或更多。FuseTek 钻头优良的方向控制能力也特别适用于当代油气钻井普遍实施的大位移井和水平井。

除了 NOV 公司外,还有其它著名钻头公司也积极研发 PDC + 孕镶金刚石齿组合钻头,如 Varel 国际公司推出的此类钻头,用于钻进难钻地层,以及具有高温高压环境的深井中。

2 Pexus 组合式钻头

2.1 Pexus 组合钻头的结构与分层碎岩特征

当钻进上层为漂砾和砾石层,下面为软砂岩和页岩井段时,选择钻头是很困难的。若选用 PDC 钻头,钻进上部层位时则会遭毁坏,而选用牙轮钻头时则钻进效率低。

为解决此问题,剪切钻头(Shear Bits)公司于 2014 年推出 Pexus 组合式钻头。Pexus 组合钻头(图 5)以硬质合金齿破碎坚硬岩石,保护 PDC 切削具免受损坏。该钻头的初次切削结构为可转动硬质合金齿(图 6),安置于钻头唇面的外侧,以保护参与第二次破岩的 PDC 切削具,即硬质合金齿先行破岩并保护 PDC,通过漂砾和砾石层,然后 PDC 切削具再钻进下部软地层。这样,仅用一个钻头,就可以完成整个井段内岩性差异很大的两类地层的钻进。



图5 Pexus 组合钻头



图6 Pexus 组合钻头的可转动硬质合金齿

2.2 Pexus 组合钻头的应用

(1) Pexus 组合式钻头成功地应用于加拿大西部钻探冰川冰碛物。此类地层正如前述,上部为漂砾和砾石,下部为软的砂岩和页岩。运用这种钻头,高效、成功地解决了在加拿大广泛存在冰碛物的钻探难题。

(2) 2015年3月, Pexus 组合式钻头应用于加拿大 Wilrich - Bluesky 油砂岩造斜钻进。先用 $17\frac{1}{2}$ in ($\varnothing 444.5$ mm) 牙轮钻头钻进 200 m, 接着再下 $12\frac{1}{2}$ in Pexus 组合钻头 ($\varnothing 317.5$ mm) 穿越卵砾石层于 240 m 处开始造斜钻进, 平均钻进效率达 50 m/h。根据剪切公司统计, Pexus 组合钻头钻进效率平均比邻井所用牙轮钻头高 30%, 比邻井所用 PDC 钻头高 66%。

3 新型组合式钻头的启示与重要意义

本文以及文献[4]所述的3种类型的组合式钻

头,即 PDC + 牙轮的 Kymera 钻头, PDC + 孕镶金刚石齿的 FuseTek 钻头, 以及 PDC + 硬质合金齿的 Pexus 钻头, 是近 5 年来对油气钻井传统钻头的重要突破。它们显著地比单一切削具钻头 (PDC 钻头、牙轮钻头) 扩大了岩层应用范围, 提高了在难钻进地层的钻进效率和工作寿命, 而且在定向钻进与水平钻井中控制方向能力极佳。

油气井钻头这种“组合化”的理念和成功实践, 对于我们地质钻探、科学钻探, 以及水文水井钻探、煤层气钻探、地热钻探、干热岩钻探等领域均具有重要启示。组合式钻头能够明显地提高钻进效率和钻头寿命, 从而也大大地减少了提下钻等辅助作业时间, 归根到底, 可以达到缩短钻井周期, 降低钻探成本的目的。这对于深井钻探、页岩气钻井尤其具有重要意义。我们应该积极借鉴和移植这些组合式钻头的成果, 尽早研究开发出适用于日益向深部勘探的地质钻探等领域的高效耐用钻头。

国际油气开发领域十余年前早已提出过“单一钻头井孔” (Single-bit Well), 即只用一钻头钻出一口井 (Drilling with one bit), 实现“单一井径钻井” (Monodiameter Drilling) 的前景目标, 当时听来似同做梦。如今几种类型组合式钻头在应用中表现出的长工作寿命, 与多功能、多用途的优异性能, 在浅井和深井长井段钻进中可认为初步实现了这个目标。今后, 应该对组合式钻头进行更加深入的研究, 进一步提高其工作寿命与钻进效率等技术性能, 同时伴随着套管钻井 (CWD) 技术、膨胀套管技术的提高和发展, “单一钻头井孔”的理想目标能够完全实现。

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 [J]. Drilling contractor, IADC, 2012, (7-8).
- [4] 左汝强. 国际油气井钻头进展概述 (一)——Kymera 组合式 (Hybrid) 钻头系列 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2016, 43 (1): 4-6.