

国际油气井钻头进展概述(三)

——PDC 钻头发展进程及当今态势(上)

左汝强

(国土资源部,北京 100812)

摘要:自 1973 年 PDC 钻头应用以来,油气钻井发生了很大变化。但是 PDC 钻头在早期约 15 年时间内发展缓慢。此后,由于加强技术创新,如多层聚晶金刚石层、非平面界面专利、防回钻技术、滤钻工艺、优化水力学设计以及计算机建模等,促进了 PDC 钻头迅猛发展、广泛应用。目前,PDC 钻头在世界上所钻进尺数已占到约 90%。NOV 公司近年推出 4 种太阳神 PDC 切削齿,由其制作的 PDC 钻头提高了热稳定性、抗研磨性、抗冲击韧性与导向性等。这类钻头可以钻进硬岩与研磨性地层,以及一些难钻地层,具有较高的钻进效率和较好的耐用性。Helios 太阳神系列 PDC 钻头成功地应用于挪威、中东、澳大利亚以及美国等地的油气田。斯伦贝谢公司推出的 ONYX 玛瑙 360°滚动 PDC 可保持刀齿锐利、相对冷却及延长寿命,显著地提高了钻头耐用性。在美国许多油气田应用表明,这种滚动 PDC 制造的钻头比固定齿 PDC 钻头平均钻进效率可提高 40% 以上,而钻头的工作寿命则可提高 40% ~ 70%。

关键词:复合片;聚晶金刚石复合片;非平面界面;滤钻工艺;太阳神 PDC 齿;热韧性;玛瑙 360°滚动 PDC 齿

中图分类号:P634.4⁺1;TE921⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)03-0001-08

International Advancement of Drilling Bits for Oil and Gas Well(3)—PDC Bits Progress and Present Trend(I)/ZUO Ru-qiang (Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, Beijing 100812, China)

Abstract: PDC bits have greatly changed the oil and gas drilling since their introduction in 1973. But PDC bits grew slowly in early about 15 years. Then their growth sped up obviously for innovations and improvements, such as Layered diamond table, NPI patents, Cobalt leaching, Anti-whirl, Hydraulics design, Computer Modeling etc. At present, PDC bits drill 90% of worldwide footage. In recent years, NOV has launched 4 types of Helios PDC cutters, which could increase the thermal stability, abrasion resistance, impact toughness and steerability of PDC bits. Those bits are suitable for drilling hard, abrasive formations, as well as some difficult-to-drill formations with high ROP and durability. Applications were successful in Norway, Middle East, Australia, US Texas etc. ONYX 360° rolling PDC cutter, launched by Schlumberger, which keeps the cutter's edge sharp and relatively cool, prolonging cutter life and overall bit durability. Applications in many oil and gas field showed that the average ROP of the bits with rolling PDC cutters increased more 40% compared with the bits installed by fixed cutters. The rolling cutter's bits also increased footage 40% ~ 70% compared with the fixed cutter's bits.

Key words: PDC; polycrystalline diamond compact; non-planar interfaces; cobalt leaching technology; Helios PDC cutters; thermal toughness; ONYX 360° rolling PDC cutter

0 前言

PDC 钻头,即聚晶金刚石复合片钻头(Polycrystalline Diamond Compact Bits)首次应用于 1973 年。PDC 钻头的研发应用是 20 世纪下半叶后期,在油气钻井领域,与随钻测量(MWD)、大位移井、水平井、液压顶驱钻机以及交流变频顶驱钻机等几乎同步实现的重大技术进展,对加速国际油气勘探开发具有重要意义。PDC 钻头发展前期进展缓慢,但是在积

极开展技术创新,关键技术逐步突破之后,发展迅速,应用日益广泛。PDC 钻头在世界油气钻井市场总进尺中的比例,由 1988 年的 5%,至 2005 年上升至 60%,发展到现在已达 90%,此种趋势仍在继续。现在,PDC 钻头的钻进效率已是二三十年前的 5 ~ 10 倍^[1],目前钻一口井所需的时间只是那时钻井时间的几分之一,这对国际油气钻井业实在是一种戏剧性的影响。本文试对 PDC 钻头诞生 44 年以来的进程作一简要回顾;并介绍两类新型 PDC 钻头,即

收稿日期:2016-02-18

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技管理工作,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 77 号 24 楼 1003 室(100088),zrq1941@sina.com。

Helios 太阳神切削齿(Helios Cutters)系列钻头,以及 ONYX 玛瑙 360°滚动切削齿钻头。

1 PDC 钻头的发展历程

1.1 PDC 钻头初入市场艰难开拓约 15 年,至 20 世纪 80 年代末仅占据油气钻头市场份额 5%

1971 年,美国通用电气(GE, General Electric)公司发明 PDC,1973 年名为 Compax 的 PDC 正式商品化生产。GE 与 Tulsa 大学合作研究利用 PDC 制造石油钻头,在美国德克萨斯等 4 个州先后 4 批下井试验,多不成功。1974 年,比利时 Diamant Boart 公司成功地完成了 PDC 油井钻头的井下试验。在进行若干改进(如衬底质量)后,GE 公司于 1976 年推出钻探钻头专用的 PDC 系列 Stratapax(地层专用

片),这为此后制造钻探用 PDC 钻头奠定了良好基础。图 1 为 GE 公司提供市场 Stratapax 系列的 PDC 产品^[1]。南非 DeBeers 公司工业金刚石部(DeBeers Industrial Diamond Division)于 1983 年推出石油、地质钻探 PDC 系列产品 Syndrill,并于 1986 年提供直径大至 50 mm(2 in)的 PDC。此后多家公司仿效生产更大尺寸的 PDC,制造适用于软与粘性地层的 PDC 钻头。20 世纪 80 年代,DeBeers 成为国际上 PDC 的主要供应商。乌克兰超硬材料研究所于 1985 年研发出 PDC 用于制造钻头;我国郑州磨料磨具磨削研究所也于同期研发生产 PDC,国内多家企业先后引进 PDC 制造技术和设备生产 PDC 材料,提供制造钻探用 PDC 钻头。

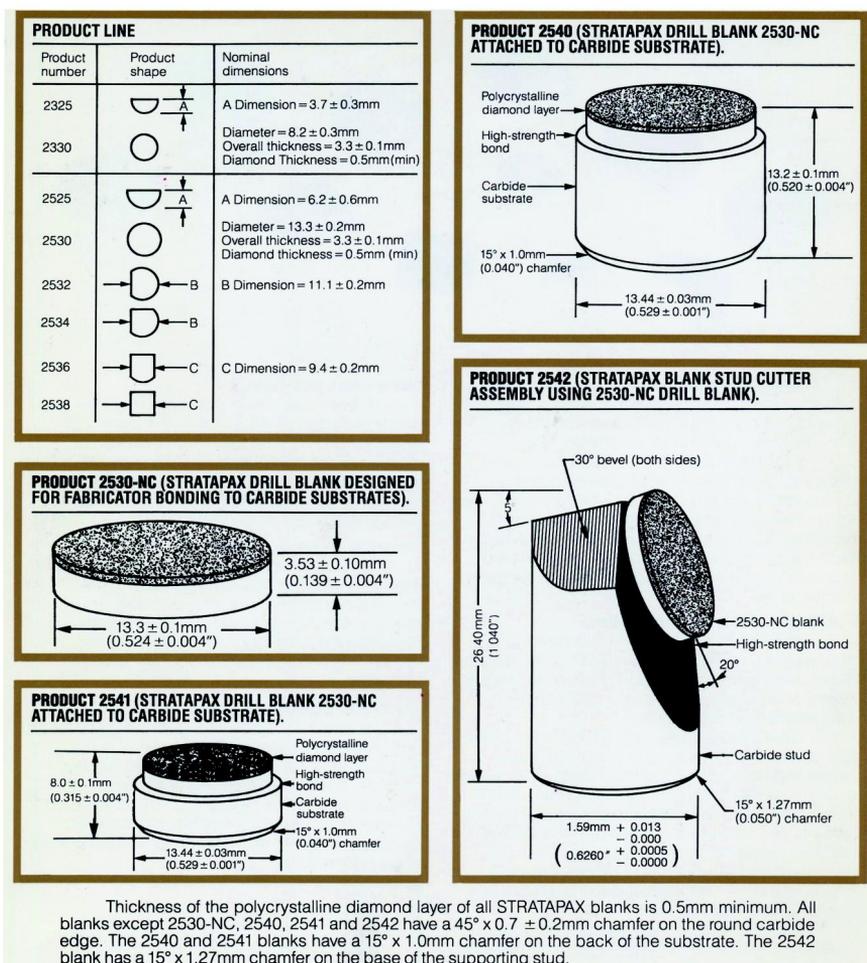


图 1 美国 GE 公司提供市场的 Stratapax 系列 PDC 产品(地层专用片)

由于 PDC 的硬度和抗压强度明显高于硬质合金,PDC 钻头可以在较低钻压条件下,于中硬地层中取得较高的钻进效率,所以 PDC 钻头在油气钻

井、地质和矿山勘探应用中具有其优越性。遗憾的是,PDC 钻头在其诞生后大约 15 年之久的时间内却未能迅速推广,其原因在于以下几个方面^[1]。

(1) 由于 PDC 质量不高、制造工艺不精,钻头使用可靠性较低。钻头在下井钻进过程中,PDC 经常断裂、崩落,金刚石层从硬质合金衬底剥离。早期甚至整个切削具从钻头焊接处脱离,以及喷嘴脱落井中。

(2) PDC 钻头结构与水力学设计不善,钻进中钻头在井底发生剧烈扭振(torque fluctuation)或回旋(whirl),造成钻进效率低下,PDC 毁坏,或严重井斜;在钻进页岩等软、粘地层时,PDC 钻头经常产生泥包,等等。

(3) 适逢牙轮钻头处于积极改进完善之中。如采用 O 形密封圈轴承、改进牙轮结构等,促使牙轮钻头使用寿命与可靠性提高几倍,从而排斥了 PDC 钻头的推广应用。

(4) 这段时间内国际石油勘探处于低谷。1977 年油气钻井开动钻机数减少至 3444 台,相当于 20 年前的开动台数。在这种情况下,石油公司和钻井承包商当然不甘冒险,选用不成熟的 PDC 钻头产品。

基于以上主客观原因,直到 80 年代末,PDC 钻头在世界油气钻井市场所占份额仅 5%。

1.2 多项技术创新促进 PDC 钻头逐步完善,2005 年其钻井进尺已占世界总进尺的 60%^[1]

针对 PDC 钻头应用中存在的缺点和问题,石油公司、钻头公司与钻井承包商联合大学、科研机构,在美国能源部(DOE)支持下,积极开展对 PDC 及 PDC 钻头关键技术的攻关。

(1) 比利时 DEBID 联合一家钻头制造公司,领先开发并推出多层聚晶金刚石层 PDC 切削具(Layered diamond table cutter)。该金刚石层表层含耐磨的细粒金刚石,而背层则含韧性较好的粗粒金刚石。这种多层聚晶金刚石层 PDC 成为当时许多钻头公司欢迎的产品,而且成为此后很长一段时间内供应量最大的 PDC 产品。另一种综合利用不同粒度金刚石于一体的 PDC,是将粒度 2 ~ 50 μm 的金刚石混合一起,小尺寸的金刚石充填到大粒金刚石间的空隙中,形成致密的聚晶金刚石层,这便提高了 PDC 的耐磨性与抗冲击韧性。

(2) 运用非平面界面(NPI, non-planar interface)与控制残余应力较佳的 PDC 切削齿已成为行业规范。衬底凹槽专利(Chamfers patents)于 20 世纪 90 年代中期在世界上广泛应用^[1]。凹槽即是 PDC 硬质合金衬底表面上的纵横或放射状沟槽(图 2),可增加金刚石层与硬质合金衬底的接触面积(比平面接触面积超过 22%),从而可提高两者间的联接强度。凹槽衬底 PDC 测得的平均剪切应力比标准 PDC 提高了 30%^[2]。具有凹槽衬底的 PDC 钻头,在钻进中 PDC 齿的抗断裂能力可提高 100%^[1]。同时,这种 PDC 增加了金刚石层的厚度。因此,利用 PDC 非平面界面技术不仅可大大地降低金刚石层脱落的机率,而且也提高了钻头的耐磨性和抗冲击性能。贝克·休斯公司成功地开发了双凹槽(Dual chamfers)PDC 与可降低与岩层间摩擦力的抛光切削齿,又提高了 PDC 钻头的钻进性能。

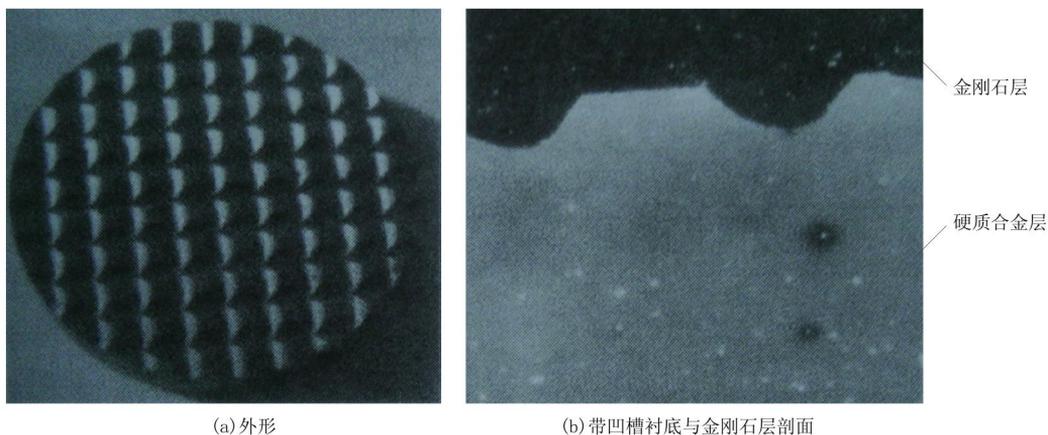


图 2 具有棋盘形凹槽的硬质合金衬底

(3) 针对 PDC 钻头井底扭振问题,阿姆科(Amoco)公司开展了若干技术革新,如刀翼非均匀布局,刀翼和保径螺旋,同轨布齿,对岩石切深限制,

以及改善钻头水力学等,使 PDC 钻头在钻进中井底作用力平衡,从而明显地减弱了钻头扭振现象^[3]。该项研究取得防回旋技术专利,Eastman Christensen

公司据此建立了 PDC 钻头防回旋生产线(Anti-whirl product line)^[1]。至 20 世纪 90 年代中期,制造 PDC 钻头已广泛引用防回旋技术。防回旋 PDC 钻头尤其适用于在非均质和含夹层地层钻进。

(4) 美国合成(Synthetic)公司采用最厚和最抗冲击的聚晶金刚石层制作抗冲击耐用 PDC,使 PDC 的耐磨性、抗冲击性和抗冲蚀性进一步提高。以此种 PDC 制造的钻头适用于研磨性高及易引起钻头振动的地层。1997 年及其后若干年,合成公司成为国际 PDC 市场拥有最大份额的供应商。

(5) 运用计算机辅助设计(CAD)和建立数理模型,对井下钻进过程,如钻头作用力平衡、切削齿-岩石交互作用、钻柱运动状态等进行深入研究;运用计算流体动力学(CFD, computational fluid dynamics)研究钻头水力学,等等^[1]。所研究的成果用于设计和制造 PDC 钻头,使 PDC 钻头的性能和质量显著提高。

(6) 对于若干其它技术问题,如 PDC 热效应损坏、页岩钻进形成泥包,钴粘结剂对钻头质量影响、钻井液冲蚀引起金刚石层凸起剥离以及 PDC 齿形状优化、异形 PDC 应用等等进行了研究,均不同程度的取得了进展。

在此期间,世界上能够提供高品质 PDC 的公司有:合成公司、DI(Diamond Innovations,原 GE)公司、E6(Element 6,即 DEBID)公司、MegaDiamond 公司,等等。

以上开展的多项技术创新,使 PDC 钻头的性能和质量显著提高,增强了耐磨性与热稳定性,改善了井底回转稳定性,从而提高了钻头的钻进效率和使用寿命,扩大了在油气钻井、地质勘探等领域的应用。而且,与 PDC 钻头同期发展的液压和电动顶驱钻机、先进钻井参数仪表,以及更加合理的井底钻具组合(BHA)等,与 PDC 钻头相辅相成,互相促进也是推动 PDC 钻头迅速推广应用的重要因素。至 1995 年,PDC 钻头的应用占油气钻井总进尺的 15%;至 2000 年增长到 24%。而到 2005 年,世界上销售油气钻井 PDC 钻头的收益,已超过整个钻头制造业收入的 50%,其钻井进尺超过国际钻井市场总进尺的 60%^[1]。

1.3 近 10 年多来 PDC 钻头日趋成熟,目前在世界油气市场的份额已达 80%,占世界钻井总进尺比例超过 90%

1.3.1 新一代 PDC 钻头热稳定性、耐磨性与抗冲蚀性继续提高

除上述专业 PDC 制造公司外,著名钻头公司也独自或与 PDC 公司合作,积极研发新一代专利 PDC 切削齿,如 Hughes Christensen 公司的 Zenith 齿;Halliburton 公司的 Z3 齿;Smith International 公司的 HOT 齿;NOV(Reed-Hycalog)公司的 TReX 和 Raptor 齿等。所制 PDC 钻头更加适应硬地层、研磨性地层以及难钻不均质地层^[4]。

1.3.2 运用滤钴工艺(Cobalt leach technology)显著提高 PDC 热稳定性^[1]

该项工艺最早由 GE 公司和 Sumitomo 公司于 20 世纪 80 年代提出,但未能商业化。后来,由 Hycalog 公司深入研究并取得专利开发成功。钴作为粘合剂用于提高金刚石间的结合强度。但是,在钻进时产生的热量使温度升高至 700 °C 时,会引起 PDC 聚晶金刚石石墨化,从而使切削齿损坏。同时,由于钴的膨胀系数比金刚石的大很多,故温度升高会引起金刚石层内部热应力增大破坏其结构。通常,采用酸浸工艺滤去 PDC 金刚石层中的钴。运用滤钴工艺后,金刚石自身则可承受高温 1200 °C,可增强 PDC 的热稳定性。新型 PDC 有 2 层聚晶金刚石层:内层为常规含钴金刚石层,以保持底层金刚石的牢固联结;其外再加一层滤钴的薄金刚石层,以提高 PDC 的热韧性(Thermal Toughness),从而提高 PDC 钻头的使用寿命和钻进效率。

1.3.3 研发新型导向钻井 PDC 钻头

近年来油气钻井,特别是页岩气钻井,水平井已占大多数。水平井的最大水平位移早已超过 14000 m。水平井的垂直段、曲线段与侧向水平段,均要求对井身轨迹严加控制,需要有效的导向钻头配合回转钻进、旋转导向钻进(RSS)等。

许多著名钻头公司积极开发了高效适用的导向钻头。如 Hughes 公司的 Quantec D 和 Genesis D 系列;Smith 公司的 Directional 系列;Halliburton 公司的 FX Directional 系列;Reed-Hycalog 公司的 RS 系列(用于旋转导向钻井)与 MS 系列(用于滑动导向钻井)等导向钻头^[4]。这些新型导向钻头能够严格控制钻头前行方向,并具有较高的钻进效率。

2 两类新型 PDC 钻头

2.1 Helios 太阳神 PDC 切削齿(Helios PDC Cut-

ters)系列及其钻头^[5]

近几年,NOV 公司先后推出 4 种 Helios 太阳神 PDC 切削齿。它们虽然在性能上各有差异,各具特色和适用范围,但是,其共同特征都运用了深滤钻工艺,明显地提高了 PDC 齿的热稳定性与热韧性,具有很高的耐磨性和抗冲击性能。其中有的太阳神 PDC 还利用改变刀齿几何形状等技术,进一步提高钻头的钻进效率以及使用寿命。该新型 PDC 切削齿取名希腊神话的太阳神(Helios),寓意明显,即力大无比、攻无不克。

2.1.1 Helios 太阳神高温 PDC 切削齿(Helios Inferno PDC Cutters)

Helios 高温切削齿(见图 3a)为各类难钻进地层专门设计制造。因能保持长时间锋利而具有高钻进效率;具有保持钻头稳定性和导向性能力;提供专门几何形状要求的切削齿。针对难钻进地层,运用“耐热性-研磨性-韧性指标系统”,专门设计高温 PDC 齿,并对每只高温 PDC 切削具验收。

2.1.2 Helios 太阳神热韧性 PDC 切削齿(Helios Thermal Tough PDC Cutters)

2.1.2.1 性能特征

采用高密度优质聚晶金刚石材料,运用深滤(钻)工艺(Deep leach Technology)专利技术制造这种切削齿(见图 3b),具有最高热韧性(maximum thermal toughness)。由其制造的钻头极大地减少了 PDC 齿的损坏,从而使钻头钻得更快、寿命更长。

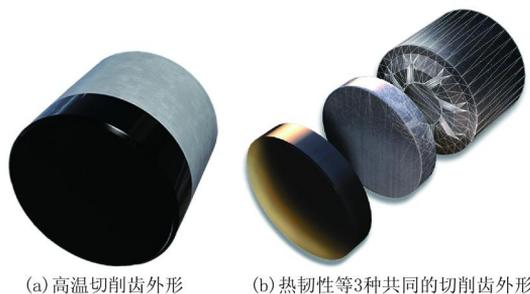


图 3 太阳神(Helios)PDC 切削齿外形

2.1.2.2 应用效果

(1)挪威 Troll 油田。2011 年二季度,在含坚硬方解石脉的中—粗粒砂岩地层中,用 8 1/2 in RSH616D-F5 太阳神热韧性 PDC 钻头(Ø215.9 mm),配合 BH1 Autotrack 旋转导向钻具,成功地不提钻一次钻成一口主井,及侧钻出 3 个裸分支井,总进尺达 4827 m,创造了油田钻头工作寿命新记录。

(2)澳大利亚 Cooper 盆地 2011 年二季度,在多种砂岩地层 743 ~ 2637 m 井段,运用 6 3/4 in DSH416S 热韧性 PDC 钻头(Ø171.45 mm),以 21.6 m/h 的钻进效率,钻进 1893 m。由于高的钻进效率与无需提钻作业,钻井仅用 4 d 即完成。而且,由于钻头具有较好的导向性能,钻井轨迹达到了预期的要求。钻毕检查钻头,磨损状态正常。

(3)美国德克萨斯 Panola 县运用太阳神热韧性 PDC 钻头以平均 12.2 m/h 的钻进效率,钻进 725.7 m,达到 3145.8 m 井深。与邻井所用常规 PDC 钻头对比,钻头进尺增加 35%;每英尺钻井成本减少 31%;钻进同样井段经费节约 54007 美元。

(4)中东应用。运用 16 in DSH816 热韧性钻头(Ø406.4 mm),配合 HemiDri 螺杆钻具,以 95.5 h,钻进 1553 m。与以前 5 个油田所用最好的 PDC 钻头相比,钻进效率提高 22.5%,每英尺钻井成本降低 11.6%,钻井时间节约 22.6 h。

2.1.3 Helios 太阳神刀刃高效切削齿(HeliosEdge High Efficiency Cutters)

NOV 公司于 2011 年推出具有高钻进效率的太阳神刀刃高效 PDC 切削齿。它采用改变 PDC 刀齿几何形状工艺(AEG, Altered-Edge-Geometry-Technology),使该新型 PDC 切削齿能够更有效地传递钻进压力,从而提高钻进效率 30%,而且可保持较长的使用寿命,及降低成本。

2012 年初,在挪威近海油田,运用 8 1/2 in 该高效 PDC 切削齿钻头,在研磨性地层以 51.8 m/h 的钻进效率,钻进 491 m。提钻后再次下井钻进,以 43 m/h 钻进效率,又钻进了 3749 m,创造了该油田高效钻头的记录。

2.1.4 Helios 太阳神抗冲击极耐久 PDC 切削齿(HeliosImpact Extreme Durability PDC Cutters)

该新型抗冲击 PDC 切削齿钻头较适用于坚韧难钻互层或含夹层的地层。实验室钻进试验表明,它比传统优质 PDC 齿抗冲击性能提高 45%。

2012 年夏,在德克萨斯 Nacogdoches 油田应用,在 Travis peak 地层中,使用常规 PDC 钻头,钻进中遭到典型损坏:破裂、剪断和崩刃(见图 4 上)。而运用此新型抗冲击 PDC 钻头,在钻进 3261 m 之后,却磨损甚微(见图 4 下)。



图4 太阳神抗冲击极耐久 PDC 钻头与常规 PDC 钻头应用对比

在南美洲哥伦比亚 Pauto sur 油田, 1182 ~ 1676 m 的深度为高研磨性的砂岩、粘土岩和页岩。为此, 选用 $18\frac{1}{2}$ in (Ø469.9 mm) 具有八刀翼、镶嵌直径 16 mm 的太阳神抗冲击 (HeliosImpact) PDC 的 FuseTek 融合钻头(图 5)^[5]。运用此新型钻头第一次下井, 以 1.95 m/h 的钻进效率钻进 54.3 m, 超过计划指标 1.37 m/h 的 42%。以后再次下井, 该钻头以 1.82 m/h 的钻速, 进尺 159 m 超过计划指标的 33%, 超过油田历史最长回次进尺 37%^[6]。在这种高研磨性、含夹层地层中钻进, FuseTek 钻头钻进效率与钻头寿命比常规 PDC 钻头高得多。其原因除了融合钻头(PDC + 孕镶金刚石圆柱齿)^[10]所具有的复合型切削具、分阶段碎岩机理特征外, 选用太阳神抗冲击切削齿也是重要原因。



图5 镶嵌太阳神抗冲击 PDC 齿的 FuseTek 融合钻头

2.2 ONYX 玛瑙 360°滚动 PDC 钻头 (ONYX 360° Rolling PDC Cutters Bit)^[8]

2.2.1 固定齿 PDC 钻头(Fixed Cutter PDC Bits)的缺陷

正如前述, 由于积极的技术创新, 促使 PDC 性能不断提高, PDC 钻头已可用于硬岩与研磨性地层中。然而, 一旦 PDC 切削齿焊接到钻头体上之后, 它就固定住了。当钻头在井底回转时, PDC 圆周只有一小部分切削刃与岩石接触。这种传统结构的局限意味着, 在钻进过程中, PDC 切削刃 70% 是无用的, 只有 30% 的切削刃出露与岩层接触, 由于连续的机械作用与发热影响促使 PDC 磨钝或损坏。

钻进过程中随着 PDC 切削刃不断磨损, 其剪切效率迅速下降, 从而减缓了钻进速度。对此通常是增加钻压, 以保持必要的钻进效率。但是, 在多数情况下, 改变钻进参数会加速切削齿的磨损, 导致其碎裂毁坏。这种磨损破坏, 是限制固定齿 PDC 钻头性能和寿命的主要因素, 使其难以在坚硬和研磨性地层中应用的主要因素。

2.2.2 ONYX 玛瑙 360°滚动 PDC 齿的优越性

斯伦贝谢(Schlumberger)公司所属史密斯钻头(Smith Bits)公司近期研发出 ONYX 360°滚动 PDC 切削齿, 可减缓 PDC 切削齿磨平, 并控制剪切作用摩擦生热。钻进中当 PDC 可作 360°自由转动时, PDC 齿仍能牢固地安置在其基体上(图 6)。滚动 PDC 这种可左右自由滚动, 或转动作用, 正好解决了传统固定齿 PDC 因磨平和摩擦生热性能下降的问题。

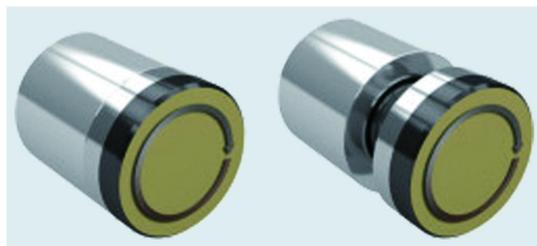


图6 ONYX 360°滚动 PDC 切削齿

钻进过程中当此切削具转动时, PDC 沿其圆周均匀地受到磨损。连续不断地来回滚动, 使 PDC 容易发散碎岩摩擦产生的热量, 从而避免其脆裂。这种滚动作用既保持了 PDC 切削齿始终锐利, 高效碎岩, 也有利于其冷却, 延长切削具的寿命, 从而增强了整个钻头的耐用性。该 PDC 切削齿取名玛瑙

(ONYX),也是隐含坚硬与美丽之意。

2.2.3 ONYX 360°滚动 PDC 的钻头设计

每个钻头配置滚动 PDC 切削齿的数量和确切位置取决于钻头尺寸、刀翼数目,以及所钻地层的岩性。将以前所用钻头的详细记录资料输入计算机建模系统,来设计配置滚动 PDC 钻头的方案。根据以前所用固定齿 PDC 钻头上磨损最严重的部位等资料,由计算机分析处理并输出,确定用滚动 PDC 齿替代固定 PDC 齿在钻头上的位置、刀齿镶嵌角度与滚动 PDC 齿的数目,由此取得钻进中最大的动载,并达到切削齿碎岩能力与其耐久性之间的最佳平衡。根据计算机设计,制造了在钻头肩部安置 7 个滚动 PDC 齿的 MSiR613 钻头(见图 7)。



图 7 配置 7 个 ONYX 360°滚动 PDC 齿的 MSiR613 钻头

2.2.4 ONYX 360°滚动 PDC 齿钻头的应用效果

在美国多处油气田应用了镶有 360°滚动 PDC 齿的钻头,均取得了良好的效果。

2.2.4.1 在 Hemphill 县应用

运用 $6\frac{1}{8}$ in ($\varnothing 155.6$ mm) 肩部配置 7 个 ONYX 滚动 PDC 的 MSiR613 钻头,在 Hemphill 县花岗岩冲积层中侧向水平钻进。首先用钻头钻出套管鞋,以 25 ft/h (7.62 m/h) 的钻进效率,在研磨性花岗岩冲积砂矿层中水平钻进 1562 ft (476.1 m),然后再使用 7 个常规固定齿 PDC 钻头,钻至水平井 5113 ft (1558.4 m) 的最终深度。此次应用表明,所用 ONYX 滚动 PDC 钻头的进尺,比其它 7 个固定齿 PDC 钻头中最长进尺 996 ft (303.6 m) 的钻头增加 57%; 钻进效率则比最快的固定 PDC 钻头 (17 ft/h, 5.18 m/h) 提高 47% (图 8)。提钻后,MSiR613 钻头仍保持良好的磨损状态。

2.2.4.2 在德克萨斯应用

滚动 PDC 钻头另一成功应用实例,是在德克萨斯 panhandle 花岗岩冲积砂矿地层,用 $6\frac{1}{8}$ in 钻头钻进整个水平井段至终孔。钻进结果表明,配置滚动 PDC 齿的钻头比在 1 号邻井和 2 号邻井所用固定 PDC 齿的钻头的使用寿命要高得多(图 9)。镶有滚动 PDC 齿 $6\frac{1}{8}$ in MSiR613 钻头的进尺 890 ft (271.3 m),比 1 号邻井进尺 681 ft (207.6 m) 增加 30%,比 2 号邻井进尺 510 ft (155.4 m) 增加 75%,此井的钻进效率也比 2 个邻井高。重要的是,滚动 PDC 钻头钻进该井水平井段只用 5 个钻头,比 1 号邻井用 7 个

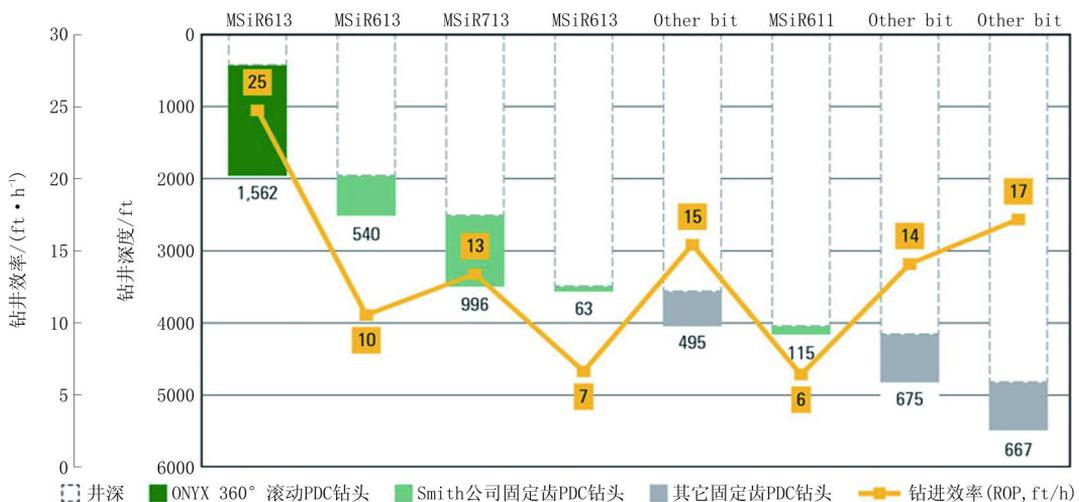


图 8 在 Hemphill 县运用 $6\frac{1}{8}$ in 360°滚动 PDC 钻头与固定齿 PDC 钻头效果对比

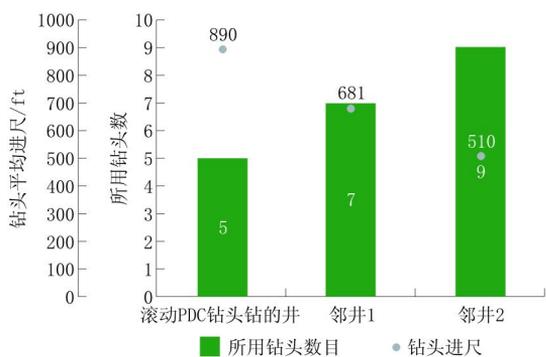


图9 用滚动PDC钻头钻井与2个邻井用固定齿PDC钻头钻井的2种钻头性能对比

固定PDC钻头减少2个,比2号邻井用9个钻头减少4个。此外,钻井时间比1号邻井减少5 d,比2号邻井减少12 d。

2.2.4.3 在俄克拉荷马州应用^[9]

选用6 $\frac{1}{8}$ in 7刀翼16 mm滚动PDC钻头,在侵蚀严重的砂岩地层中钻进水平井段。先后钻进6口井,用此钻头比原先常规PDC钻头进尺增加100%。平均钻进效率提高40%。

2.2.4.4 在路易斯安那州应用^[9]

选用6刀翼16 mm滚动PDC钻头,在油田钻井上部井段一次可多钻进1500 ft(457.2 m)。仅用2个滚动PDC钻头就可钻完这个井段,而相邻邻井却需要4个常规PDC钻头来完成这项任务。

3 结语

本文对目前在世界油气市场占绝对优势的PDC钻头的44年发展历史作一简要回顾,扼要介绍了两类新型PDC钻头。PDC钻头发展前期,由于质量不高,市场竞争激烈,以及油气勘探低谷等原因,应用推广受到很大限制。后来,美国石油公司、钻头公司、钻井承包商联合大学、科研单位,在美国能源部(DOE)支持下,大力开展技术创新与重点攻关,使PDC钻头性能逐步完善。在进入21世纪后,PDC钻头日趋成熟,不但能以高效率长寿命钻进中硬岩层,而且扩大应用于硬地层、研磨性地层,以及某些难钻进地层。至今PDC钻头不但性能优良,而且品种类型较多。文中介绍的Helios太阳神系列PDC钻头采用深滤钻工艺、优化PDC几何形状等新技术新工艺,进一步提高钻头的热稳定性、耐磨性和抗冲击性,而且多品种可针对钻进地层择优选用。近年来推出的ONYX 360°滚动PDC齿,是对沿用数十年

传统固定齿PDC的重要突破。它以充分或完全利用PDC 360°圆周切削刃的机理,使钻头钻进中始终保持切削齿锐利,具有钻进高效率、长寿命的特点。

本文(下)篇将继续介绍国际上当今采用新技术、新工艺的其它新型油气井PDC钻头,如非平面PDC钻头(Non-Planar Face Cutters PDC Bit)、圆锥齿PDC钻头(Conical Cutting Element PDC Bit)、斧式脊状齿PDC钻头(AxeBlade ridged PDC Bit)、防泥包涂层PDC钻头(Anti-balling coating PDC bit)、铝支撑刀翼套管钻头(Aluminum blade supporting PDC casing bit),以及PDC齿防剪切保护帽(CuttPro shearing caps)等。

参考文献:

- [1] Dan Scott. A bit of history: Overcoming early setbacks, PDC bits now drill 90% - plus of worldwide footage/Decades after invention of polycrystalline diamond cutters, PDC bits edge out roller cones with advances in cutters, stability, hydraulics[J]. Drilling contractor, IADC, 2015, (7/8).
- [2] 鄢泰宁, 巴格丹诺夫. P. K., 等. 人造金刚石超硬材料在钻探中的应用[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- [3] 王福修. PDC钻头技术发展概述[C]//胜利钻井新技术研究/创新与应用(2011). 山东青岛:中国石油大学出版社, 2012.
- [4] 杨迎新, 况雨春, 陈炼, 等. 油气钻井破岩技术新进展及发展方向[C]//第十届钻井研究院(所)长会议论文集. 北京:石油工业出版社, 2011.
- [5] [http://www.nov.com/segments/Wellbore_Technologies/Down-hole/Drill_Bits/\[EB/OL\]](http://www.nov.com/segments/Wellbore_Technologies/Down-hole/Drill_Bits/[EB/OL]).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] Robert Ford. 360 Rolling PDC cutter enhances drill bit life in Granite Wash runs/360 rotation consistently presents edge to formation, distributes wear evenly and dissipates frictional heat[J]. Drilling contractor, IADC, 2014, (7/8).
- [9] 全球七大最具创新钻头 牛在哪里[EB/OL]. <http://www.cubeoil.com>.
- [10] 左汝强. 国际油气井钻头进展概述(二)——FuseTek融合钻头与Pexux组合钻头[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(2): 1-4.