

文章编号: 1008-2336 (2021) 01-0073-05

新型钻井提速技术在南海东部古近系地层应用

薛亮, 张伟国, 肖夏, 王堂青, 魏裕森

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司深水工程技术中心, 广东深圳 518067)

摘要: 针对南海东部海域恩平组、文昌组等深部古近系地层压实程度大、岩石抗压强度高, 并且含硬夹层较多, 地层可钻性差难题, 为解决钻井作业过程中出现钻头吃入困难、机械钻速低、钻头磨损严重、起下钻频率高等一系列问题, 提高对钻井效率和钻井成本控制。该文以南海东部某区块为例, 通过总结以往常规钻头使用效果, 并综合地层可钻性开展分析, 优选出一套复合冲击器配合专用 PDC 钻头组合的新型钻井提速技术, 并在深部古近系难钻地层进行现场应用和验证。结果表明, 该钻井提速技术与邻井同垂深、同层位对比, 机械钻速显著提高, 钻井效率大幅提高。该钻井提速技术的成功应用可为后续类似难钻地层的提速提效提供技术参考。

关键词: 古近系地层; 机械钻速; 钻井提速技术; 钻井效率

中图分类号: TE52

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2021.01.073

Application of New Drilling Speed-increasing Technology in Paleogene Strata in Eastern South China Sea

XUE Liang, ZHANG Weiguo, XIAO Xia, WANG Tangqin, WEI Yuseng

(Deepwater Well Engineering & Operation Center, Shenzhen Branch, CNOOC (China) Ltd.,
Shenzhen Guangdong, 518067, China)

Abstract: The deep Paleogene strata such as the Enping Formation and Wenchang Formation in the eastern South China Sea are highly compacted, with high rock compressive strength, more hard interlayers, and poor drillability. A series of problems such as bit entry difficulty, low speed, serious drilling bit wear, and high frequency of tripping have restricted drilling efficiency and drilling cost. Taking a block in the eastern South China Sea as an example, through summarizing the effect of conventional drilling bits in the past and analyzing the drillability of formations comprehensively, this paper optimizes a set of high-speed drilling technology with a composite impactor and a special PDC bit combination, and carries out field application and verification in difficult-to-drill formations of deep Paleogene. Compared with the drilling speed-up technology of adjacent wells at the same vertical depth and at the same horizon, the ROP and the drilling efficiency has significantly been improved. The successful application of this drilling speed-up technology can provide technical reference for the subsequent speed-up and efficiency improvement of similar difficult-to-drill formations.

Keywords: paleogene strata; ROP; drilling speed-up technology; drilling efficiency

南海东部地区油气勘探前景较为广阔, 具有形成大中型油气田的地质条件^[1], 近年来的研究发现, 南海东部海域古近系领域具有较大勘探潜力^[2]。但从现场钻井作业实际表明, 恩平组、文昌组及以下古近系等深部地层存在岩石抗压强度高、研磨性强、地层夹层多、可钻性差等难题^[3], 使用常

规钻具作业时, 易出现黏滑、钻头齿过早崩坏的现象^[4-5], 直接影响机械钻速, 导致钻井效率低下。另外, 在夹层段应用常规 PDC 钻头钻进时易出现蹩跳, 影响定向井轨迹, 对今后几年中国海油加强油气勘探技术攻关^[6]产生挑战, 因此探索合理的钻井提速技术尤为必要。

收稿日期: 2020-09-10; 改回日期: 2020-11-16

第一作者简介: 薛亮, 男, 1981年生, 硕士, 工程师, 2006年毕业于西南石油大学油气井工程专业, 现主要从事海洋石油钻井技术支持工作。E-mail: xueliang2@cnooc.com.cn。

1 南海东部古近系地层难点

南海东部海域 X 区块埋深超过 2 800 m 及恩平组以下深部古近系地层的岩性性质硬，岩石强

度高。根据现场应用测井数据对可钻性数据统计 (图 1)，该地层的岩石单轴抗压强度 (UCS) 多在 8 000~30 000 psi 范围，内摩擦角 (IAF) 多在 36°~45°范围，可钻性极差。

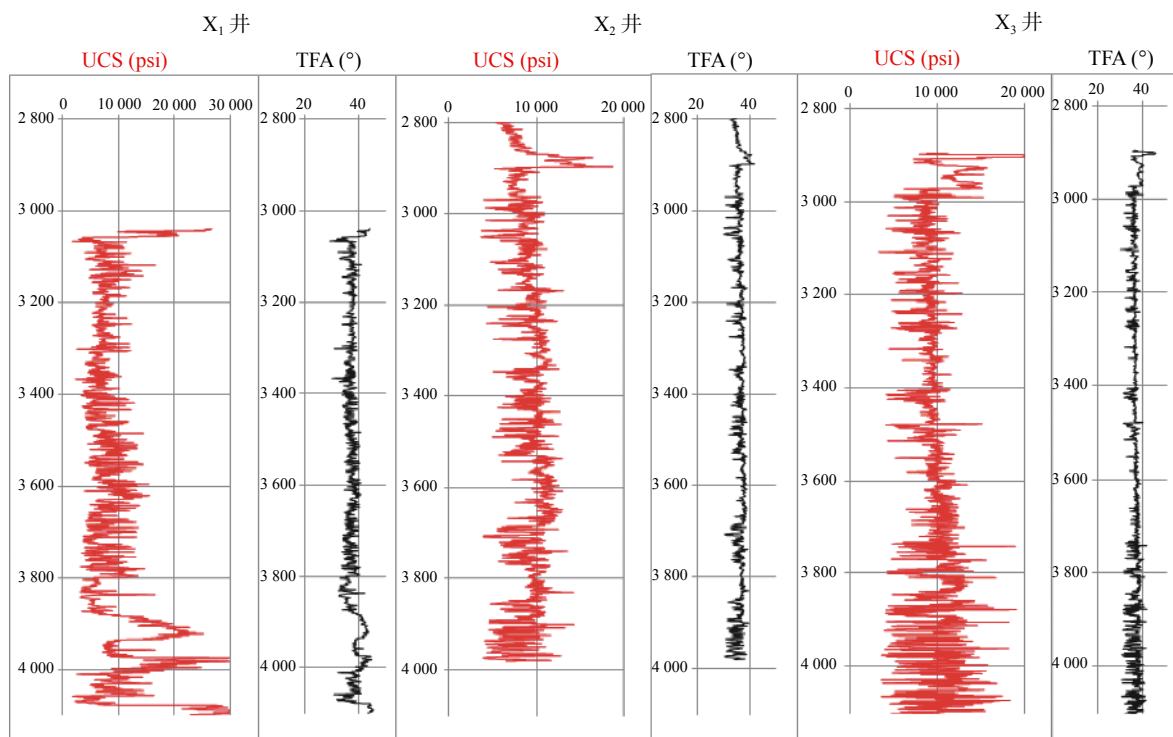


图 1 南海东部某区块古近系地层岩石抗压强度 (UCS) 及内摩擦角 (IAF) 举例

Fig. 1 Examples of rock compressive strength (UCS) and internal friction angle (IAF) of Paleogene formation in a block in the eastern South China Sea

常用的 PDC 钻头难以吃入，影响机械钻速。图 2 为南海东部某区块钻头出井状况，即使应用“16 mm 齿、6 刀翼”研磨性更强的的 PDC 钻头，依然存在崩齿和 PDC 钻头齿碎裂、脱落的现象。

损整体严重，机械钻速 ROP 低，存在钻头进尺少、磨损严重 (磨损状况参照钻头磨损评价^[7])、起下钻频率高、作业周期长等问题，影响钻井钻井速率和钻井时效。

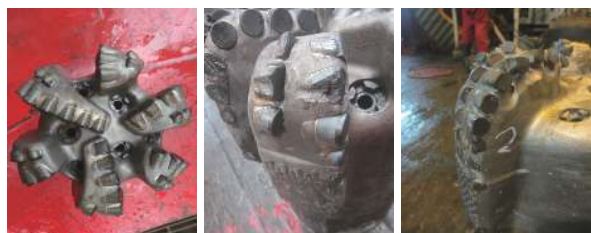


图 2 南海东部某区块钻头出井状况

Fig. 2 Outgoing status of drilling bit in a block in the eastern South China Sea

表 1 为南海东部海域该区块古近系地层使用常规钻头的应用统计。由表 1 可知，该地层当前使用常规 PDC 或牙轮钻头钻进时多使用 3 趟钻以上 (最多高达 6 趟钻) 钻至设计深度，且钻头磨

2 新型钻井提速技术方案

针对南海东部海域该区块恩平组及以下古近系难钻地层岩性强度高、密度大，尤其是硬夹层研磨性较强、对钻头磨损及冲击破坏大、可钻性差的难题，本文从提高钻头的冲击性和研磨性出发，优选出一套复合冲击器提速工具配合专用 PDC 钻头组合的新型钻井提速技术方案。

2.1 复合冲击器提速工具优选

常规提速工具主要为钻头传递周向冲击或轴向冲击作用^[6-10]，并且主要输出扭矩和钻压以达到破碎岩层的目的^[11]。新型钻井提速技术应用的复

表 1 南海东部某区块古近系地层钻头使用现状举例

Table 1 Examples of current status of drilling bits used in Paleogene strata in the eastern South China Sea

井名	井眼尺寸/mm	井下工具	入井深/m	出井深/m	进尺/m	机械钻速/m	磨损评价/(m/h)
A ₁	215.9	PDC钻头+马达	2670	3808	1138	18.4	4-4-WT-A-X-1/16-CT-PR
	215.9	PDC钻头+马达	3808	3818	10	1.3	0-0-NO-A-X-1-NO-DMF
	215.9	PDC钻头+常规	3818	4090	272	5.1	3-4-WT-A-X-1/16-CT-TD
A ₂	215.9	PDC钻头+超级马达	2400	2819	419	11.57	2-3-WT-A-X-1/16-NO-DTF
	215.9	PDC钻头+旋转导向	2819	3518.74	699.74	14.27	2-2-WT-A-X-1/16-CT-PR
	215.9	PDC钻头+旋转导向	3519	3787	268.26	2.99	6-8-RO-A-X-1/16-CT-PR
	215.9	PDC钻头+常规	3787	4098	311	5.06	6-6-WT-A-X-1/16-CT-TD
A ₃	215.9	PDC钻头+马达	2741	3590	849.46	15.2	3-4-WT-A-X-1/16-CT-PR
	215.9	PDC钻头+扭冲工具	3590	4075	485	6.3	8-3-WT-A-X-1/16-CT-TD
A ₄	311.15	PDC钻头+马达	2503	3000	497	29.89	1-3-WT-S-X-1/16-CT-TD
	215.9	PDC钻头+马达	3000	3789	789	15.52	4-3-WT-A-X-1/16-CT-BHA
	215.9	PDC钻头+旋转导向	3789	4118	329	9.7	0-1-WT-S-X-1-NO-DTF
	215.9	PDC钻头+旋转导向	4118	4190	72	2.1	1-2-WT-A-X-1/16-NO-BHA
	215.9	PDC钻头+马达	4190	4282	92	3.52	2-4-WT-A-X-1/16-CT-DMF
	215.9	PDC钻头+超级马达	4282	4292	10	0.84	3-2-WT-A-X-1/16-CT-TD
A ₅	311.15	PDC钻头+旋转导向	2637	3000	363	28.14	1-1-WT-A-X-1/16-NO-TD
	215.9	PDC钻头+马达	3000	3333	333	14.29	2-2-CT-A-X-1/16-WT-BHA
	215.9	PDC钻头+旋转导向	3333	4130	797	14.62	1-3-WT-A-X-1/16-CT-TD
A ₆	311.15	PDC钻头+旋转导向	2696	3722	1026	19.81	1-1-WT-A-X-1/16-NO-TD
	311.15	PDC钻头+马达	3722	4166	444	7.28	2-2-CT-A-X-1/16-WT-BHA
	311.15	牙轮钻头+常规	4166	4243	77	3.1	1-3-WT-A-X-1/16-CT-TD

合冲击器具有周向冲击和轴向冲击的双重作用, 其通过其内部的能量发生装置、频率发生装置将钻井液的水力能量转化为高频、稳定的机械脉冲能量, 再经过其内部的能量分配装置(图3), 按一定的比例同时输出高频的周向冲击及轴向冲击并传递到下部与之相连接的专用 PDC 钻头上, 使钻头对地层形成复合冲击效果。可对扭矩产生减

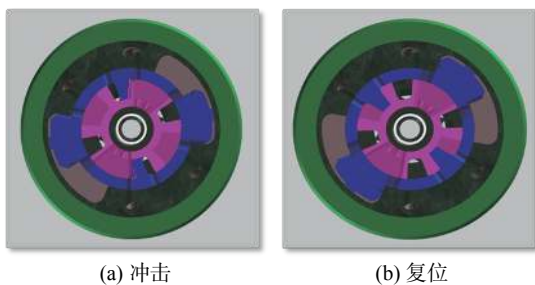


图 3 复合冲击器提速工具工作原理

Fig. 3 Working principle of speed-up tools for compound impactor

缓作用, 减轻或避免夹层段应用常规 PDC 钻头钻进易出现蹩跳或黏滑现象, 间接提高机械钻速且保证定向井轨迹平滑。

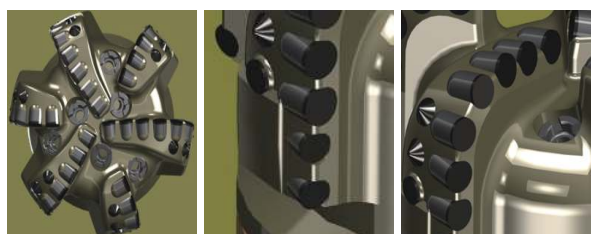
2.2 专用 PDC 钻头优选

(1) 冠部形状及刀翼设计

PDC 钻头需承受较高的地层冲击载荷, 专用 PDC 钻头的冠部应设计得较常规 PDC 钻头更扁平, 冠部剖面采用平顶或短抛物线设计^[12]有利于弱化冲击力。刀翼采用微螺旋设计, 更有利于钻头稳定性; 刀翼数量采用 6 刀翼(图 4), 使得钻头面切削齿覆盖率适中, 从而兼顾了钻头的攻击力和抗冲击、抗研磨能力。

(2) 切削齿选用及布齿设计

为兼顾钻头攻击力及抗冲击、抗研磨能力, 并结合所钻井具体岩性及井深情况, 主切削齿大小选用 16 mm 或 13 mm, 齿形选用圆柱齿或斧形齿, 且专用 PDC 钻头每刀翼肩部设置 2~4 颗新



(a) 钻头整体外观 (b) 钻头局部外观

图4 专用PDC钻头外观

Fig. 4 Appearance of special PDC bit

技术后排锥形齿辅助破岩，可提高钻头吃入深度及切削效率^[13]。

(3) 保径及力平衡设计

专用PDC钻头保径长1.5"~2"，短保径设计，钻头导向性好，有利于配合定向工具实现轨迹控制^[14]；钻头满足力平衡设计要求，不平衡力小于3%，以确保整体具备较好的稳定性。

4) 其它优化设计

如图4(b)，钻头采用侧向切削齿及短保径(保径长1.5"~2")设计，提高钻头导向性，有利于配合定向工具控制轨迹；钻头面流道较常规钻头更为开阔，更有利于提速后的返屑；力平衡设计要求及水利设计要求，确保钻头稳定性好，水力性能优。

3 现场应用

3.1 应用概况

优选出的“复合冲击器提速工具+专用PDC钻头”新型钻井提速技术在南海东部X区块多口井恩平组及以下古近系难钻地层的应用效果良好，实钻数据见表2。

表2 复合冲击器在南海东部某区块地层应用举例

Table 2 Examples of application of composite impactor in a block in the eastern South China Sea

井名	井眼尺寸/mm	配合工具	入井深度/m	出井深度/m	进尺/m	机械钻速/(m/h)	磨损评价
A ₇	215.9	提速工具+常规钻具	2 449	4 100	1 651	25.25	1-3-WT-A-X-I-CT-TD

注：主要在恩平组、文昌组等可钻性差地层钻进。

3.2 应用效果

(1) 与邻井相同垂直深度的机械钻速对比

A₇井四开φ215.9 mm井段第四趟钻钻具组合如下：φ215.9 mm专用PDC钻头&复合冲击器+φ171.5 mm双母接头+φ203.2 mm钻铤+φ171.5 mm扶正器+X/O+φ171.5 mm F/V+φ165.1 mm钻铤×10+φ165.1 mm震击器+φ165.1 mm钻铤×2+X/O+φ139.7 mm加重钻杆×12。优选钻井参数为：钻压3~12 t，排量1 800~2 500 L/min，顶驱转速80~160 r/min。

钻珠江组至文昌组地层，进尺高达1 524 m，平均ROP达到25.25 m/h(表2)。邻井A₂井相同垂直深度使用了4只“常规PDC钻头+超级马达或旋转导向”，平均ROP为7.52 m/h；另一邻井A₄井在相同垂直深度使用了3只“常规PDC钻头+马达或旋转导向”，平均ROP为17.61 m/h(图5)。对比邻井相同垂直深度，使用新型提速技术的平均ROP分别提高235.8%和43.3%，并且对比邻井A₂、A₄井分别节省3趟和2趟起下钻时间，钻井效率显著提高。

(2) 与邻井相同层位的ROP对比

A₇井恩平组、文昌组古近系地层使用“复合冲击器+专用PDC钻头”新型提速技术平均ROP分别为25.49 m/h和16.77 m/h。邻井A₂井在使用常规PDC配合超级马达或旋转导向，同层位平均ROP分别为14.32 m/h和3.81 m/h；邻井A₄井使用常规PDC配合马达或旋转导向，同层位平均ROP分别为14.65 m/h和8.81 m/h。与邻井A₂、

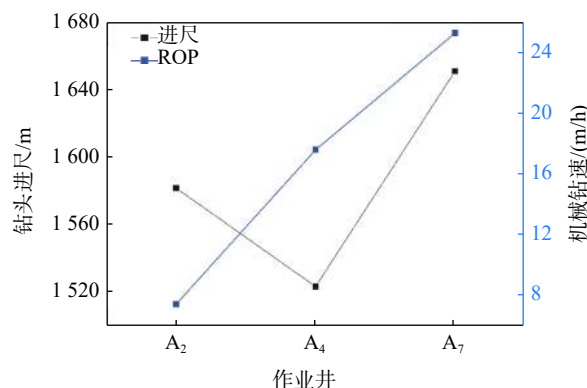


图5 与邻井同垂深段使用效果对比图

Fig. 5 Comparison diagram of application effect of the same vertical depth section with adjacent wells

A₄ 井相比, 在恩平组 A₇ 井使用新型提速技术平均 ROP 分别提高 78% 和 74%, 在文昌组分别提高 340.2% 和 90.36%, 钻速显著提高 (表 3)。

表 3 与邻井在恩平组、文昌组地层使用情况分析表

Table 3 Analysis of usage with adjacent wells in Enping and Wenchang formations

井号	恩平组				文昌组			
	井段/m	段长/m	钻时/h	ROP/(m/h)	井段/m	段长/m	钻时/h	ROP/(m/h)
A ₂	2 867~3 547	680	47.48	14.32	3 547~4 098	551	144.54	3.81
A ₄	2 955~3 658	703	47.97	14.65	3 658~4 266	608	68.98	8.81
A ₇	2 900~3 730	830	32.56	25.49	3 730~4 100	370	20.06	16.77

专用 PDC 钻头在恩平组、文昌组古近系地层完钻后出井状况如图 6, 钻头正常磨损, 整体状况良好, 未出现崩齿、牙齿碎裂及脱落等现象, 表现出与古近系地层良好的适配性。



图 6 专用 PDC 钻头出井照片

Fig. 6 Photo of the special PDC bit out of the well

4 结论及建议

(1) 由“复合冲击器+专用 PDC 钻头”组合的钻井提速技术在南海东部某区块古近系难钻地层成功应用, 有效地应对了恩平组、文昌组及古近系难钻地层岩石抗压强度高、研磨性强、地层夹层较频繁等难题, 机械钻速显著提高。

(2) 新型钻井提速技术专用 PDC 钻头与古近系地层适配性较好, 为今后其它区块难钻地层的井下工具选择及钻井提质增效提供了技术参考。

(3) 建议在其他区块难钻地层对该新型钻井提速技术进行应用, 并通过应用效果总结出更合理的钻井参数, 进一步挖掘该新型钻井提速技术的应用潜力。

参考文献:

- [1] 李昭伟. 南海东部地区近10年油气勘探进展及新领域分析 [J]. 中国海上油气, 2008, 20 (6): 357-361.
- [2] 李昭伟, 钟辉, 林鹤鸣, 等. 南海东部海域油气勘探新认识 [J]. 石油天然气学报, 2012, 34 (11): 49-51.
- [3] 游尧, 姜韡, 田峥, 等. PDC钻头旋转齿技术在南海东部西江区块深部地层应用 [J]. 海洋石油, 2020, 40 (1): 79-83.
- [4] 罗恒荣, 崔晓杰, 谭勇, 等. 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术与现场试验 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(3): 58-62.
- [5] 柳贡慧, 李玉梅, 李军, 等. 复合冲击破岩钻井新技术 [J]. 石油钻探技术, 2016, 44 (5): 10-15.
- [6] 谢玉洪. 中国海油近海油气勘探实践与思考 [J]. 中国海上油气, 2020, 32 (2): 1-13.
- [7] 董星亮, 曹式敬, 唐海雄, 等. 海洋钻井手册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [8] 李相勇, 王春华, 杨决算, 等. 深部难钻地层提速工具现状及发展趋势 [J]. 西部探矿工程, 2018, 30 (11): 74, 77.
- [9] 宋建伟, 何世明, 龙平, 等. 国内深井钻井提速技术难点分析及对策 [J]. 西部探矿工程, 2013, 25 (12): 73-77.
- [10] 周燕, 金有海, 董怀荣, 等. SLTIDT型钻井提速工具研制 [J]. 石油矿场机械, 2013, 42 (1): 67-70.
- [11] 申琳, 雷新超, 苏志波. 北部湾盆地涠西区块优快钻井技术 [J]. 海洋石油, 2020, 40 (2): 80-83.
- [12] 彭辉, 王福修. 钻头冠部剖面形状设计模式 [J]. 石油钻探技术, 1996, 24 (4): 38-39, 47.
- [13] 黄亚辉. 高速PDC钻头的布齿设计研究 [D]. 武汉: 长江大学, 2017.
- [14] 邹德永, 王瑞和. 刀翼式PDC钻头的侧向力平衡设计 [J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29 (2): 42-44.