

[引著格式] 张雪飞, 张伟, 王俊文, 等. 准噶尔盆地中拐石炭系钻完井难点及技术对策 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (1+2): 35~38.

# 准噶尔盆地中拐石炭系钻完井难点及技术对策

张雪飞 (长江大学石油工程学院, 湖北 武汉 430100)

张伟, 王俊文, 谢建安, 李君 (中石油新疆油田公司勘探公司, 新疆 克拉玛依 834000)

[摘要] 随着近几年中拐地区油气勘探工作的不断突破, 该地区显示出良好的勘探前景。石炭系是中拐凸起主要的含油地层之一, 但目的层石炭系裂缝十分发育, 地层承压能力低, 安全钻井密度窗口窄, 易发生井漏、井涌等复杂事故。而裂缝发育也容易导致下部地层流体的侵入, 影响固井质量; 此外石炭系地层岩石类型复杂, 可钻性差, 机械钻速低, 制约了石炭系地层的钻井速度, 延长了钻井周期。针对中拐石炭系钻井过程中复杂事故频发、钻井速度慢的特点, 钻井前加大对火山岩地层防漏堵漏技术的研究, 配制适合各地层的钻井液体系, 选择合适的水泥浆体系, 优化施工参数设计, 提高固井质量。根据石炭系地层特性优选强攻击性钻头及高速涡轮+孕镶金刚石钻头组合进行钻井提速。

[关键词] 准噶尔盆地中拐地区; 石炭系地层; 防漏堵漏; 钻井提速; 固井质量; 高速涡轮

[中图分类号] TE256.1 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 01+02-0035-04

中拐凸起位于准噶尔盆地西北缘克-无断裂带和红车断裂带的转换部位, 三面临凹, 是在石炭纪至早二叠世挤压应力场作用下形成的宽缓鼻状古隆起, 是准噶尔盆地西北缘富油凹陷中的正向构造单元, 其总体构造格局为由北西向东南方向倾斜的单斜, 勘探面积为  $2200\text{km}^2$ <sup>[1,2]</sup>。石炭系是中拐地区主要的含油地层之一, 其储集空间主要以孔隙和裂缝为主。该区石炭系地层埋藏一般较深, 岩石类型复杂, 主要是火山碎屑岩、火山熔岩和部分侵入岩, 圈闭落实难度大, 但含油显示较好, 目前已发现了多个油气藏和出油气点, 显示出良好的勘探前景<sup>[3~5]</sup>。

## 1 中拐石炭系钻完井难点

### 1.1 储层裂缝发育, 易发生漏、窜

中拐凸起石炭系为受断裂控制的带底水的块状油藏, 埋深 3000~3500m, 储层岩性以火山角砾岩、安山岩为主, 高角度裂缝发育, 顶部发育风化壳。该区施工井型裸眼井段长, 井眼承压能力低, 易发生井漏; 钻井液中含堵漏材料, 易造成下部结构堵塞, 影响胶结质量; 水泥浆抗水侵能力达不到封固段含水层、油水同层; 压裂不当, 造成底水上窜等施工技术难题。

### 1.2 石炭系地层可钻性差

通过近几年现场钻井经验及对该区地层的研究分析得出, 中拐地区石炭系以上地层单轴抗压强度在 20~85MPa 之间, 内摩擦角在 25~38°之间, 地层可钻性较好, 可钻性级值在 2~5 之间, 该套地层适合 PDC 钻头钻进。进入石炭系地层, 地层岩石以凝灰岩、安山岩、火山角砾岩为主, 地层硬度大、研磨性强<sup>[6]</sup>, 岩石力学各项参数台阶性升高, 地层单轴抗压强度在 150~180MPa, 内摩擦角在 40~45°, 可钻性级值达到 6 级以上, 可钻性差, 机速低, 钻具易疲劳, 易造成钻具事故。其区域地层岩石力学特性及可钻性评估见表 1。

[收稿日期] 2014-09-06

[基金项目] 国家科技重大专项 (2008ZX05005-006-09HZ)。

[作者简介] 张雪飞 (1988-), 男, 硕士生, 现主要从事岩石力学和钻井工艺方面的研究与学习, zxfzfei2014@163.com。

表1 地层岩石可钻性评估

地层	平均厚度 /m	单轴抗压强度 /MPa	内摩擦角 / (°)	可钻性级值	地层	平均厚度 /m	单轴抗压强度 /MPa	内摩擦角 / (°)	可钻性级值
吐谷鲁群	500	20~30	25~30	2~3	八道湾组	50~400	55~80	30~37	3~5
吐谷鲁群	900~1300	20~50	25~30	2~3	白碱滩组	100~350	50~70	36	4
头屯河组	100~200	40~50	28~30	3	克拉玛依组	200~500	40~85	32~38	4~5
西山窑组	30~150	40~55	30~35	3~4	乌尔禾组	50~350	35~60	30~35	3~5
三工河组	100~400	50~70	30~35	3~4	石炭系	150~180		40~45	6

### 1.3 固井质量差

中拐地区目的层多在3000m以下，而根据地层情况分析，3000m以下封固段有多套水层和油水同层，地层流体的侵入、置换会对泥浆性能带来一定破坏，影响固井质量。同时该区目的层属低孔、超低渗透油藏，储层物性差，泥岩夹层不发育，在大型压裂中极易引起层间互窜，而钻井液中含堵漏材料，其固相颗粒及形成的虚泥饼会对界面胶结有一定影响。

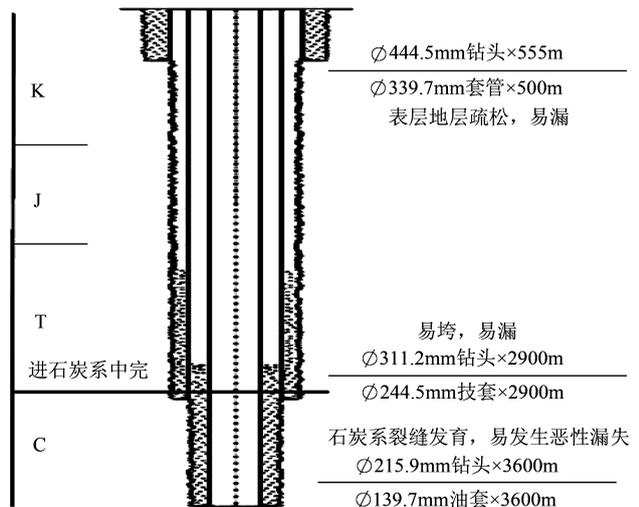
## 2 石炭系钻井提速对策

### 2.1 优化井身结构

2014年于该区块部署的金龙15井、金龙16井、金龙102井、金龙103井，井身结构由二开改为三开，一开采用 $\varnothing 444.5\text{mm}$ 钻头， $\varnothing 339.7\text{mm}$ 套管下深500m左右，建立井口；二开采用 $\varnothing 311.2\text{mm}$ 钻头， $\varnothing 244.5\text{mm}$ 技术套管下至目的层顶部，封固易垮易漏地层；三开采用 $\varnothing 215.9\text{mm}$ 钻头，下入 $\varnothing 139.7\text{mm}$ 油层套管，完钻井深定于油水界面以上50m。这种井身结构将低压易漏风化壳地层封固，有效解决了上部地层漏失、钻井液循环不畅通和固井施工完成后无法对环空进行加回压的问题，既为完井固井施工创造了良好的井筒条件，又有效地防止了底水上窜。

### 2.2 优选防堵防漏钻井液体系

针对中拐地区地层易漏的特点，根据地层情况选择合适各个地层的钻井液体系是降低钻井过程中的钻井复杂的重要措施之一。该区表层砾岩层胶结疏松，易发生井漏，在表层钻进过程中采用高固含、高黏切钻井液，配方为：8%~10%膨润土+0.3%~0.5% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0.3%~0.4%CMC（配方中的百分数为质量分数，下同），确保了在钻进过程中的携岩、防漏和稳定井壁的能力。白垩系及侏罗系地层采用钾钙基钻井液体系，配方为：4%膨润土+0.2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0.3%KOH+7%KCl+0.6%~0.7%SP-8（JT888、MAN101）+0.5%~0.6%PMHA-2（MAN104、FA367）+0.5%~0.7%NPAN+2%SMP-1（粉）+2%SPNH+1%低荧光润滑剂+3%阳离子乳化沥青（磺化沥青粉）+0.2%~0.5%CaO+2%QCX-1+1%WC-1+2%~3%随钻堵漏剂+堵漏剂+重晶石，以强抑制、强包被和强封堵为主，分散为辅，减少在该层段钻井过程中钻井液的漏失。进入到三叠系和石炭系地层后对钾钙基钻井液体系进行分散，配方为：4%膨润土+0.2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0.3%KOH+5%KCl+0.6%~0.7%SP-8（JT888、MAN101）+0.5%~0.6%PMHA-2（MAN104、FA367）+0.5%~0.7%NPAN+2%SMP-1（粉）+2%SPNH+1%低荧光润滑剂+3%阳离子乳化沥青（磺化沥青粉）+0.2%~0.5%CaO+2%QCX-1+1%WC-1+2%~3%



注：K为白垩系；J为侏罗系；T为三叠系；C为石炭系。

图1 2014年金龙区块井身结构

随钻堵漏剂+堵漏剂+重晶石，优化后的钻井液在维持井壁稳定和和保护储层上起到了良好作用。

通过在金龙 15 井、金龙 102 井、金龙 103 井、金龙 16 井 4 口井进行试验应用后，金龙区块钻井复杂时率降为零，平均机械钻速由 2013 年的 5.69m/h 提高到 2014 年的 6.41m/h，平均机械钻速提高了 11.13%，该区钻井液的优化效果理想。

### 2.3 优选泥浆体系，提高固井质量

2013 年金龙井区 5 口井采用常规微珠低密度水泥浆体系固井，出现部分井水泥充填合格，但界面交接不好的情况，固井质量合格率仅为 40%。通过分析，微珠低密度水泥环在大型压裂施工中结构有可能被破坏，层间封隔可能失效。针对中拐凸起石炭系固井质量问题，2014 年在该区开展科技攻关，通过针对性试验论证，金龙 15 井、金龙 16 井、金龙 102 井、金龙 103 井完井固井选用了斯伦贝谢 FlexSTONE 韧性膨胀水泥+GASBLOK 胶乳体系，与常规微珠低密度体系相比，该配方具有膨胀性好、弹性强，防窜、防侵效果好的特点，有效解决了常规水泥石胶结收缩引起的微环空等问题，降低水泥浆体系的渗透率和孔隙度，满足油井后期完井射孔、压裂造成的水泥石伸缩、承压等要求（见表 2）。施工前，通过软件模拟施工实际参数对隔离性能进行筛选，对于不满足性能要求的隔离液进行重新设计，保证了 4 口井石炭系固井质量全优，固井质量合格率达到 100%，效果明显（见图 2）。

表 2 FlexSTONE 水泥石与普通微珠低密度水泥石性能对比

水泥石	抗压强度/MPa	泊松比/1	抗拉强度/MPa	弹性模量/MPa	膨胀率/%
常规微珠低密度体系	13	0.17	1.8	5900	-0.1
FlexSTONE 韧性膨胀体系	30	0.14	4.5	3100	2

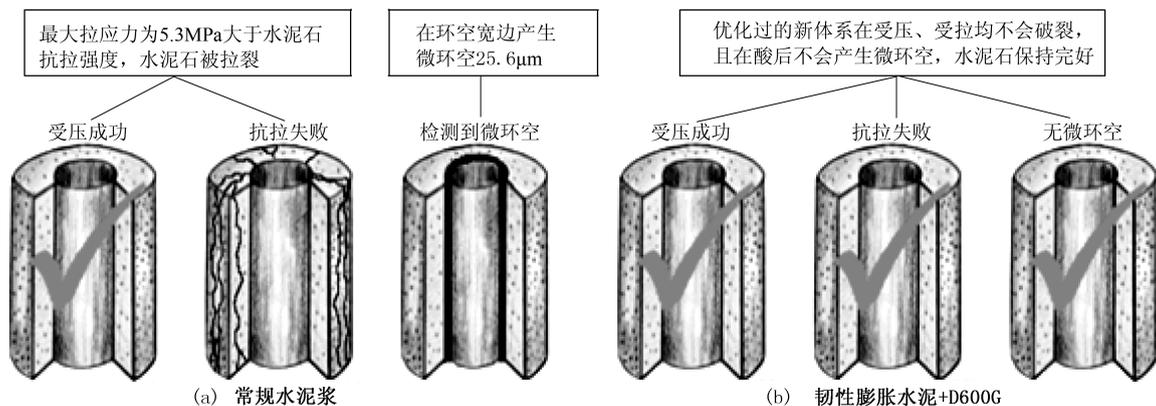


图 2 优化后的水泥浆体系与常规水泥浆体系固井质量对比

### 2.4 优选高效钻头与钻具组合

1) 优选史密斯钻头提速 针对中拐石炭系地层的岩石物理特性，在金龙 15 井三开石炭系 2946~2968m 井段和 2976~3000m 井段使用强攻击性的 6 刀翼 16mm 齿的单排齿史密斯钻头 (MDI616) 进行钻进，平均机械钻速为 1.51m/h，相比在同层段 2910.00~2920.00m 和 2920.00~2930.12m 牙轮钻头钻进的平均机械钻速 (1.2m/h) 提高了 25.8%，见表 3。

表 3 金龙 15 井石炭系史密斯钻头与牙轮钻头机速对比

钻头	井段	层位	进尺	机械钻速
	/m		/m	/(m·h <sup>-1</sup> )
牙轮钻头	2910.00~2920.00	石炭系	10	1.25
	2920.00~2930.12	石炭系	10.12	1.15
史密斯钻头	2946.81~2968.05	石炭系	21.24	1.25
	2976.68~3000.00	石炭系	23.32	1.77

2) 优选“高速涡轮+孕镶 PDC 钻头”组合提速 涡轮钻具相比常规钻具有转速高、压降小、无横向振动、输出动力强、工作寿命长的特点，适合在复杂地质条件下钻井，孕镶金刚石钻头是以切削方式破岩，工作时需要的钻压小、转速高、能量低，正好与涡轮钻具的输出特性匹配<sup>[7~11]</sup>。高速涡轮配孕

镶金刚石钻头以犁削、磨削的方式钻硬地层及研磨性地层<sup>[12]</sup>，正好适应于石炭系地层抗压强度高、可钻性极差和研磨性强的特点。如图3所示，2014年金龙地区在金龙102井和金龙103井使用“高速涡轮+孕镶PDC钻头”组合后，平均机械钻速与牙轮钻头在石炭系地层钻进的平均机械钻速相比，分别提高了138%和66%，提速效果十分明显。因此“高速涡轮+孕镶PDC钻头”组合适合在石炭系钻进。

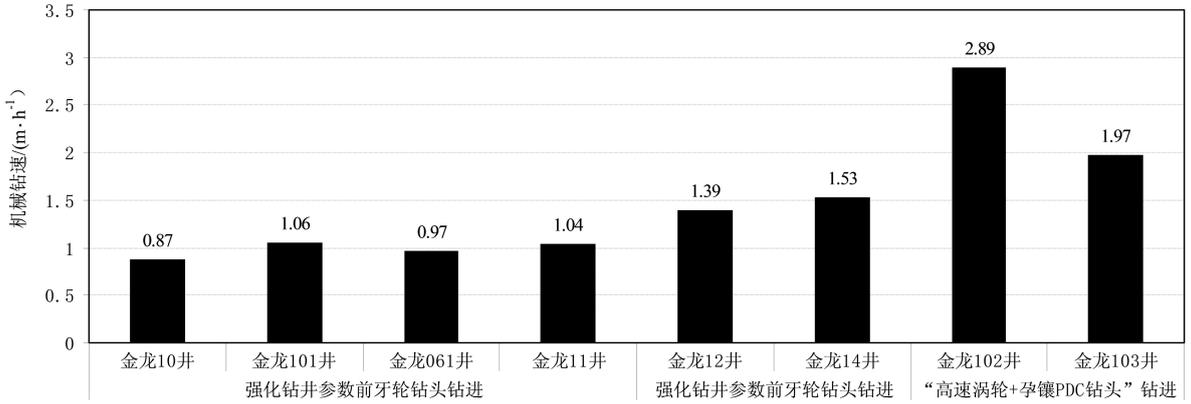


图3 中拐各井石炭系机械钻速对比图

### 3 结论与建议

- 1) 优化井身结构，由二开变为三开井身结构，有效封固上层易漏井段，保证良好的井筒条件。
- 2) 优选适应不同地层的钻井液体系，有效解决地层易漏、易塌难题，提高钻井速度，缩短钻井周期。
- 3) 选用 FlexSTONE 韧性膨胀水泥浆体系，提高石炭系地层固井质量合格率。同时建议进一步优化水泥浆参数及施工参数，增加浆体稳定性，提高前置液清洗效率，降低水泥浆污染，提高水泥浆在环空覆盖率。
- 4) “高速涡轮+孕镶PDC钻头”组合在金龙井区石炭系具有良好的提速效果，初步解决了石炭系机械钻速低的问题。由于地质取心要求，单趟钻进尺短，综合提速效果不明显。建议继续开展石炭系地层个性化钻头攻关及高效提速工具的试验，最终优选出经济有效的提速技术方法。

#### [参考文献]

[1] 周坤, 秦启荣, 梁则亮, 等. 准噶尔盆地西北缘中拐凸起石炭系油气地质特征及勘探潜力 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13 (32): 9655~9661.

[2] 范存辉, 秦启荣, 支东明, 等. 准噶尔盆地西北缘中拐凸起石炭系火山岩储层裂缝发育特征及主控因素 [J]. 天然气地球科学, 2012, 23 (1): 81~87.

[3] 朱国华, 蒋宜勤, 李娴静. 克拉玛依油田中拐-五八区佳木河组火山岩储集层特征 [J]. 新疆石油地质, 2008, 29 (4): 445~447, 543.

[4] 赵洪山, 冯光通, 唐波, 等. 准噶尔盆地火成岩钻井提速难点与技术策 [J]. 石油机械, 2013, 41 (3): 21~26.

[5] 李军, 薛培华, 张爱卿, 等. 准噶尔盆地西北缘中段石炭系火山岩油藏储层特征及其控制因素 [J]. 石油学报, 2008, 29 (3): 329~335.

[6] 杨明合, 夏宏南, 蒋宏伟, 等. 火山岩地层优快钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2009, 37 (6): 44~47.

[7] 冯定. 涡轮钻具复合钻进技术 [J]. 石油钻采工艺, 2007, 29 (3): 19~21.

[8] 李文飞, 周延军, 陈明, 等. 涡轮钻具复合钻井技术及其在塔河油田的应用 [J]. 西部探矿工程, 2010, 22 (5): 41~42.

[9] 解兰宏, 张金成, 张东清, 等. 涡轮钻井技术在元坝等重点区块的应用 [J]. 石油钻探技术, 2011, 39 (6): 15~18.

[10] 罗飞, 王希勇, 廖忠会. 涡轮钻具在川西深井段的应用分析 [J]. 断块油气田, 2008, 15 (6): 94~96.

[11] 刘占魁. 深井涡轮钻具复合钻进技术应用 [J]. 西部探矿工程, 2012, 24 (6): 64~65.

[12] 成海, 郑卫建, 夏彬, 等. 国内外涡轮钻具钻井技术及其发展趋势石油 [J]. 矿场机械, 2008, 37 (4): 28~31.