

三门峡盆地油气调查优快钻井技术

赵洪波^{1,2,3}, 张 龙⁴, 沈立娜⁵, 张交东¹, 刘旭锋¹,

王丹丹¹, 孟祥龙^{1,3}, 胡 浩⁴, 朱迪斯^{1,3*}

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 中国地质调查局非常规油气地质重点实验室, 北京 100083;
3. 中国地质调查局非常规油气工程技术中心, 北京 100083; 4. 河南省资源环境调查三院, 河南 郑州 450046;
5. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 南华北三门峡盆地古近系沉积厚度大且分布连续, 暗黑色泥岩发育, 通过部署钻探工程, 有望实现中小盆地油气调查取得新发现。但该类油藏钻井地质环境复杂, 砂泥岩互层频现, 易引起钻头泥包、井壁坍塌、掉块、涌漏风险并存和难钻进等工程难点。通过钻具组合与井身结构优化、不同井段钻井液技术研究、个性化PDC异形齿钻头研发以及“低转速+中钻压+螺杆+高效PDC钻头”钻井工艺研究, 有效解决了井壁稳定性和钻头选型难题, 在豫峡地1井实钻中, 全面钻进平均机械钻速达到5.67 m/h, 实现提高机械钻速30%以上, 相比设计钻井周期缩短10 d。创新形成了防泥包钻井液技术体系、长裸眼井壁保护钻井液技术体系、砂泥岩互层高效PDC异形齿钻头提速技术、“两低一高”变密度水泥浆固井技术等可推广的三门峡盆地砂泥岩互层“新优快”钻完井技术体系, 可为同类地区钻井工程设计和施工提供有益借鉴。

关键词: 油气调查; 钻井液体系; PDC异形齿钻头; 机械钻速; 豫峡地1井; 三门峡盆地

中图分类号: TE242; P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)06-0111-08

Efficient drilling technology for oil and gas survey in Sanmenxia Basin

ZHAO Hongbo^{1,2,3}, ZHANG Long⁴, SHEN Lina⁵, ZHANG Jiaodong¹, LIU Xufeng¹,

WANG Dandan¹, MENG Xianglong^{1,3}, HU Hao⁴, ZHU Disi^{1,3*}

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Unconventional Oil & Gas, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

3. Unconventional Oil & Gas Survey Engineering Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

4. Henan Provincial Third Institute of Resources and Environment Investigation, Zhengzhou Henan 450046, China;

5. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The Paleogene sedimentary thickness in the Sanmenxia Basin in Southern North China is large and continuously distributed, with developed dark mudstone. Through the deployment of drilling projects, new discoveries of oil and gas in small and medium-sized basins can be assisted. However, the geological environment for drilling in this type of reservoir is complex, with frequent sand and mudstone interlayers, which can easily cause engineering difficulties such as bit mud entrapment, wellbore collapse, block falling, coexisting risks of leakage, and difficulty in drilling. Through the optimization of drilling tool combination and wellbore structure, research on drilling fluid technology in different sections, development of PDC irregular tooth drill bits, and research on the drilling process of

收稿日期: 2024-06-20; 修回日期: 2024-07-24 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.06.014

基金项目: 中国地质调查局油气资源调查中心科技创新基金英才培养项目“异形齿PDC钻头破岩机理研究及新型钻头研制”(编号: 中地调油科创[2023]-YC03号); 中国地质调查局地质调查项目“三门峡盆地及鄂尔多斯南缘盆地群油气调查评价”(编号: DD20230262)、“全国油气基础地质调查”(编号: DD20240052)

作者简介: 赵洪波, 男, 汉族, 1988年生, 高级工程师, 地质工程专业, 博士, 主要从事科学钻探、油气钻井技术及工艺研究工作, 北京市海淀区北四环中路267号航遥大厦, zhaohb@email.cugb.edu.cn。

通信作者: 朱迪斯, 男, 汉族, 1982年生, 正高级工程师, 硕士, 主要从事油气钻井装备与工艺研究工作, 北京市海淀区北四环中路267号航遥大厦, zdisi@mail.cgs.gov.cn。

引用格式: 赵洪波, 张龙, 沈立娜, 等. 三门峡盆地油气调查优快钻井技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(6): 111-118.

ZHAO Hongbo, ZHANG Long, SHEN Lina, et al. Efficient drilling technology for oil and gas survey in Sanmenxia Basin[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(6): 111-118.

“low speed + medium drilling pressure + screw + high-efficiency PDC drill bits”, effectively solved the problems of wellbore stability and drill bit selection. In the actual drilling of Well YXD1, the average mechanical drilling speed of comprehensive drilling reached 5.67m/h, that improved 30%, which shortened the drilling cycle by 10 days compared to the design. Innovations have formed a “new, superior, and fast” drilling and completion technology system for sand and mudstone interlayers in the Sanmenxia Basin, including a mud pack drilling fluid technology system, a long open hole wellbore protection drilling fluid technology system, an efficient PDC shaped cutter drill bit acceleration technology for sand and mudstone interlayers, and a “two low and one high” variable density cement slurry cementing technology that can be promoted. This can provide useful reference for drilling engineering design and construction in similar regions.

Key words: oil and gas survey engineering; drilling fluid system; PDC irregular teeth drill bit; mechanical drilling speed; Well YXD1; Sanmenxia Basin

0 引言

南华北三门峡盆地面积近 3000 km², 东西长约 120 km, 南北宽约 40 km, 盆地内新构造活动比较频繁而明显, 对油气形成起到积极作用, 是豫西地区具有油气勘探潜力的主要中小盆地, 自 20 世纪 50 年代以来, 先后开展了地质、地球物理等油气勘探工作, 一直未取得重大认识和发现。2019 年, 中化华油建设集团有限公司在函谷关地区部署一口温泉井(HW1)发现油流^[1]。同期, 中国地质调查局在三门峡盆地及周缘开展了公益性油气调查工作, 在济源凹陷部署实施了广域电磁工程和小口径地质调查井工程豫济地 1 井(YJD1)^[2], 以及在三门峡盆地灵宝凹陷、五亩凹陷部署实施了时频电磁剖面测量工程和小口径地质调查井豫灵地 1 井(YLD1)^[3]、大口径油气地质调查井豫峡地 1 井(YXD1)。以往钻井表明, 区域内地层岩性以砂岩、泥岩为主, 通过 YXD1 井实施, 探索形成了一整套适应于该区域的优快钻井技术方法, 进一步掌握了地层岩性, 初步建立了三门峡盆地盆内古近系地层序列, 发现油气显示 12 层, 前期对下部 3 层油层进行地层测试, 24 h 获自喷 17.13 m³高产工业油流, 初步圈定 4 个油气远景区, 其中, 中央构造带远景区仅函谷关构造预测地质资源量达 1.07 亿 t, 具备建设新的油气资源接续基地资源基础, 证实了中小盆地具有油气勘探潜力, 为下一步油气资源潜力评价和勘探提供重要资料依据, 对推动我国中小盆地油气勘查工作具有重要指导意义。

1 区域构造概况及工程难点

1.1 区域构造概况

三门峡盆地整体呈“五凹两隆”的构造格架, 东部为平陆凹陷和中央构造带, 南部为五亩凹陷, 西

部为潼关凹陷和盘头凸起, 中部为芮城凹陷和灵宝凹陷(图 1)。由于 20 世纪 50—60 年代区域地质调查和 70—90 年代石油地质调查阶段的钻探均未发现有效烃源岩, 认为不具备形成工业性油气藏的物质条件, 油气勘探工作停止, 导致油气勘探程度非常低。近年来, 综合野外地质调查、构造演化特征、物探工程和钻井工程实施结果表明, 三门峡盆地主要受近 EW 向的小秦岭北麓断裂(华山北断裂)、ENE 向的中条山南麓断裂和 NE 向的灵宝—三门峡断裂(大营—川口断裂)控制。

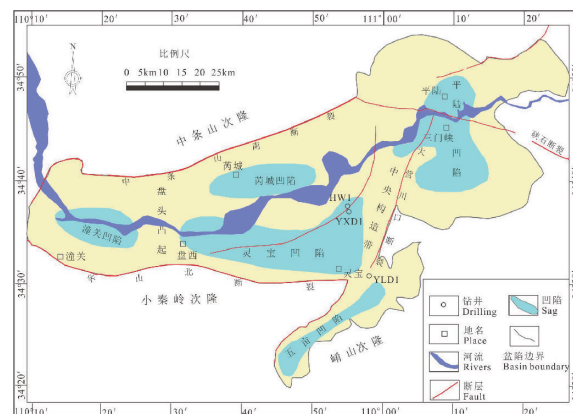


图 1 三门峡盆地构造区划与钻井部署(据文献[3]修改)

Fig.1 Structural zoning and drilling deployment of Sanmenxia Basin

YXD1 井实钻验证了本地区域地层层序, 钻遇地层见表 1。自上而下钻遇地层依次为新生界第四系全新统(Q)、新生界新近系(N)、古近系柳林河组(E₃l)、古近系小安组(E_{2x})(未穿)。

1.2 工程难点

前期地质研究和以往钻井实践表明, 钻探工程主要存在以下技术难点:

(1) 第四系以灰黄色砂土层、粘土、含砾砂层为

表 1 YXD 1 井钻遇地层与设计预估地层对比										
Table 1 Comparison between the formation encountered during Well YXD 1 drilling and the designed estimated formation										
地 层				设计地层/m		实钻地层/m		误差/m		岩性简述
界	系	组	代号	底深	厚度	底深	厚度	底深	厚度	
新 生 界	第四系		Q	550	550	543.00	543.00	－7	－7	灰黄色砂土、粘土、含砾砂
	新近系		N	1000	450	1100.00	557.00	100	107	灰黄色砂质泥岩、粘土岩、含砾砂岩
		柳林河组	E ₃ l	1600	600	1737.00	637.00	137	37	灰黄、红褐色砂岩、泥岩、砂质泥岩
	古近系	小安组	E ₂ x	2235	635	2299.88	562.88			绿灰、浅灰色泥岩、砂质泥岩、灰白色细砂岩 (未穿)

- 主,岩性松散、不成岩,易垮塌;
- (2)新近系泥岩易水化膨胀和分散,造浆能力强,易发生钻头泥包,钻时明显变慢,导致频繁起下钻;
- (3)新近系、古近系地层半固结,含砾砂层,井壁易垮塌、掉块;
- (4)基于邻井(HW1)出现漏失和井涌,上部砂岩地层承压能力低,目的层地层孔隙压力系数高,且裂缝发育,井涌、井漏风险并存,钻井液密度范围选择窄,给钻井施工安全带来极大挑战;
- (5)大段砂泥岩互层频现,钻头选型难度大。

2 钻完井技术

2.1 钻具组合与井身结构

YXD1井设计为一口直井,后根据实钻情况,在1646 m向东南调整轨迹。采用导管+二开井身结构。导管段钻入坚硬岩石下 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ (13 $\frac{3}{8}$ in)导管,建立井口;一开钻穿第四系进入稳定地层,下入 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ (9 $\frac{5}{8}$ in)表层套管,下深766.56 m,封隔上部松散地层及存在井塌风险的层位,安装井控设备;二开使用 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ (8 $\frac{1}{2}$ in)钻头钻至2299.88 m完钻,下入 $\varnothing 139.7\text{ mm}$ (5 $\frac{1}{2}$ in)生产套管。实钻井身结构见图2及表2,各开次钻具组合见表3。

2.2 钻井液体系

导管段钻遇地层为第四系灰黄色砂土、粘土、含砾砂层,岩性松散、不成岩,易垮塌,采用膨润土钻井液体系(淡水+纯碱+膨润土+聚合物降滤失剂),配置钻井液密度为1.18 g/cm³,排量为30 L/min,配合三牙轮钻头快速成孔,有效解决了井眼净化、井壁稳定问题。

一开井段钻遇新近系地层半固结、含砾砂层,导致井壁剥落增加垮塌风险,同时部分新近系泥岩

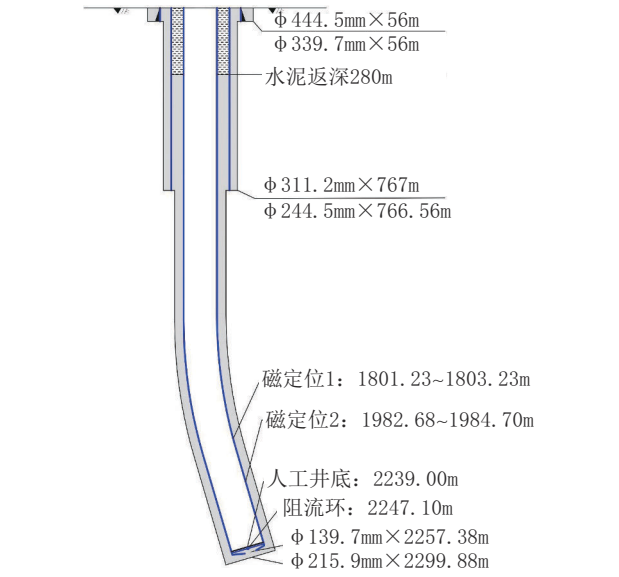


图 2 YXD1 井实钻井身结构

Fig.2 Practical wellbore structure of Well YXD1

表 2 YXD1 井井身结构数据					
Table 2 Wellbore structure data of Well YXD1					
开次	井深/m	钻头直径/mm	套管直径/mm	套管下入深度/m	水泥返高/m
导管	56.00	444.5	339.7	56.00	返至地面
一开	767.00	311.2	244.5	766.56	返至地面
二开	2299.88	215.9	139.7	2257.38	280.00

易水化膨胀和分散,钻头易发生泥包,以往实践认为维护处理好钻井液性能和优化钻井参数是预防钻头泥包的主要技术措施^[4]。现场钻进钻时变化范围较大,起钻发现钻头泥包严重(见图3),后期测井显示该井段地温梯度异常(最高3.84℃/100 m),高温引起钻井液性能变差。通过配置聚合物钻井液体系(清水+纯碱+膨润土+聚合物降滤失剂+KPAM),随钻添加高粘CMC和抗高温降滤失剂,提高钻井液粘度,降低滤失量,提高滤饼质量,提高

表3 YXD1井各开次钻具组合

Table 3 Drilling assembly for each opening of Well YXD1

开钻 次序	井眼直 径/mm	井段/m	钻具组合
导管	444.5	0~56.00	Ø444.5 mm 三牙轮钻头+730×631 接头+630×4A10 接头+4A11×NC56 接头+Ø203 mm 钻铤 3 根+NC56×410 接头+Ø127 mm 加重钻杆 3 根+410×410 方保接头+方钻杆
一开	311.2	56.00~ 767.00	Ø311.2 mm PDC 钻头/三牙轮钻头+变径接头+Ø203 mm 钻铤 3 根+变径接头+Ø165 mm 钻铤 4 根+变径接头+Ø127 mm 加重钻杆 34 根+Ø127 mm 钻杆+变径接头+410×410 方保接头+方钻杆
二开	215.9	767.00~ 2299.88	非取心段 Ø215.9 mm PDC 钻头+变径接头+Ø165 mm 钻铤+变径接头+Ø127 mm 加重 钻杆+Ø127 mm 钻杆+变径接头+方保接头+方钻杆
			造斜段 Ø215.9 mm PDC 钻头+Ø172 mm×1.25°螺杆 1 根+变径接头+Ø165 mm 无磁 钻铤 1 根+Ø165 mm 钻铤 4 根+变径接头+Ø127 mm 加重钻杆 34 根+Ø127 mm 钻杆+变径接头+410×410 方保接头+方钻杆
			取心段 Ø215.9 mm PDC 取心钻头+变径接头+Ø188 mm 川 8-4 取心筒+变径接头+ Ø165 mm 钻铤+变径接头+Ø127 mm 加重钻杆+Ø127 mm 钻杆+变径接 头+方保接头+方钻杆

钻井液携砂能力,同时加强固相控制,降低钻井液固相含量,有效解决了掉块和钻头泥包问题。

二开井段,针对地层高温、泥岩水化、膨胀、造

浆以及井壁掉块的问题,采用聚合物防塌钻井液体系,基本配方为:在一开钻井液基础上随钻添加防塌剂+高粘CMC+低粘CMC+纯碱+抗高温降滤失剂+KPAM,性能参数见表4。施工过程中,钻至井深855 m时振动筛返出大量掉块,为保证井筒安全,逐步提高钻井液密度,在井深904 m钻井液密度提高至1.18 g/cm³,掉块明显减少。至完钻,在兼顾井内安全、高效钻进和保护油层的前提下,二开钻井液密度控制在1.11~1.20 g/cm³范围,维持近平衡钻井,保障了井壁稳定,有效保护了油层,缩短了油层浸泡时间,达到了安全高效钻进目的。

2.3 PDC 异形齿高效钻头研制

PDC 钻头应用于油气调查井施工,具有机械钻速高、寿命长等优点,个性化PDC 钻头在解决火山岩、燧石等研磨性地层以及软硬互层难钻进问题中发挥着重要的作用^[5-8]。YXD1 井二开井段小安组砂泥岩互层频现,选用常规平面齿 PDC 钻头,机械



(a)PDC钻头 (b)三牙轮钻头

图3 泥包钻头情况

Fig.3 Mud packed drill bit

表4 YXD1井二开井段钻井液主要性能

Table 4 Performance of drilling fluid for second opening section of Well YXD1

井段/m	类型	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	滤失量/mL	泥饼厚度/mm	含砂量/%	pH 值	备注
767~904	聚合物	1.07~1.18	34	6	0.3	0.4	9	掉块
904~1535	聚合物	1.11~1.13	40	8	0.5	0.5	9	
1535~1849	聚合物	1.16~1.18	43~60	5~6	0.5	0.4	9	掉块
1849~1935	聚合物	1.20	43~48	5~6	0.5	0.5	9	
1935~2299.88	聚合物	1.16~1.18	46~51	6~8	0.5	0.4~0.5	9	

钻速偏低。前人研究认为异形齿在相同钻压下,能量传递越大,应用于复杂地层中具有长寿命高效率特点。贝克休斯等企业研制了一系列PDC异形齿^[9],其中三棱齿、屋脊齿等异形齿PDC钻头实际应用中与常规平面齿PDC钻头相比,在切削难易度、抗冲击性等某一方面或多方面表现出良好的破岩效果和具有较长的使用寿命^[10-12]。谢哈等^[13]对平顶三棱齿、屋脊齿、常规平面齿的破岩性能进行了

对比研究,利用有限元软件建立不同切削齿切削破岩三维有限元模型,模拟了相同布齿角度下3种切削齿压入岩石的过程,认为:与常规平面PDC切削齿相比,三棱形PDC切削齿和屋脊PDC齿切削岩石时,产生的剪应力更大(见图4),更易压入地层形成破碎坑,且所需的切削力较小,岩石产生的预破碎区域更大,破碎非均质岩石时的切向力波动幅度小,更易破碎岩石。

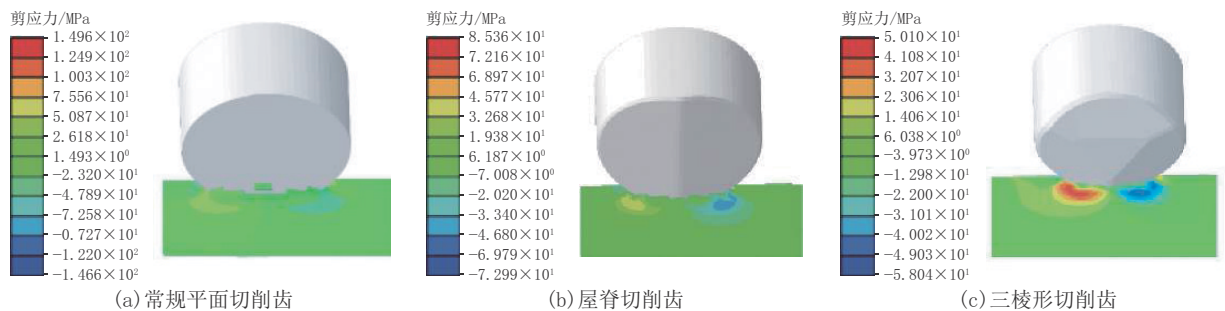


图4 不同形状PDC切削齿直线切削均质砂岩时的剪应力分布^[13]

Fig.4 Shear stress distribution of PDC cutters with different shapes for linear cutting of homogeneous sandstone

根据岩石可钻性级值与PDC复合片直径选择经验对应关系^[14](图5),参考邻井资料推测YXD1井二开井段对应层位的岩性以砂、泥岩为主,可钻性级值一般在4~7之间,选取PDC切削齿直径为13 mm。结合地层情况,设计五刀翼双排PDC全面钻头,优选屋脊齿作为主切削齿,圆柱齿为副切削齿,水眼设计于底部中心和刀翼处,冠状部轮廓设计为长抛物线型,以提高碎岩能力和防泥包;针对砂泥岩互层取心难题,研制了新型平顶三棱齿+常规齿混合布齿PDC取心钻头,采用天然金刚石内外径,圆弧形冠部设计,以提高钻头地层适应性。

2.3.1 全面钻头

新型屋脊齿PDC全面钻头(见图6)在2037.76~

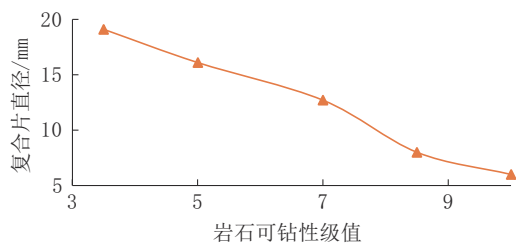


图5 岩石可钻性级值与PDC复合片直径选择经验对应关系

Fig.5 Empirical correspondence between rock drillability level values and PDC diameter selection

2299.88 m井段(小安组地层)完成进尺262.12 m,配合1.25°螺杆复合转速为90 r/min,稳定钻压60~80 kN,平均机械钻速达到5.67 m/h。相比1645.89~1846.69 m井段(柳林河组底部)选用常规圆柱齿PDC钻头机械钻速提高7.38%;相比1851.48~2019.59 m井段(小安组泥岩、砂岩地层)常规平面齿PDC钻头机械钻速提高30.64%(见表5、图7)。

2.3.2 取心钻头

采用新型平顶三棱齿+常规齿混合布齿PDC取心钻头(见图8)在YXD1井完成取心试验3筒,分别为第1筒(1637.59~1645.89 m)、第2筒(1846.69~1851.48 m)、第4筒(2028.76~2037.76 m),累计进尺22.09 m,平均岩心收获率为99%。在钻进砂岩时,新型平顶三棱齿PDC取心钻头(1.84 m/h)相比常规PDC取心钻头(1.51 m/h),机械钻速提高22%;在钻进泥岩地层时,新型平顶三棱齿PDC取心钻头(0.64 m/h)相比常规PDC取心钻头(0.55 m/h),机械钻速提高15%。

2.4 取心情况

本井共取心4筒,累计取心进尺31.26 m,心长28.17 m,平均取心率90.12%。据邻井(HW1)资料推测,YXD1井在1637 m有疑似含油层。结合录井显示情况,在1637.59~1645.89 m完成第1筒心,经



图6 OGS屋脊齿PDC全面钻头入井前后对比

Fig.6 Comparison before and after use of OGS PDC Ax-shaped cutter bit

岩心观察,分析钻孔可能钻遇断层下盘,为取准地质资料,向东南方向调整井眼轨迹。在1843 m处录井发现油斑岩屑后,下取心管柱,完成第2筒心,取心井段为1846.69~1851.48 m,后结合录井连续进行第3、4筒取心,取心井段为2019.59~2037.76 m,取心概况见表6。获取岩心岩性为红褐色泥岩、砂质泥岩夹灰色砂岩(见图9)。重点描述岩心的含油情况、缝洞发育情况、充填物性质及充填程度。

2.5 固井技术

YXD1井井身采取三开结构,导管段井径444.5

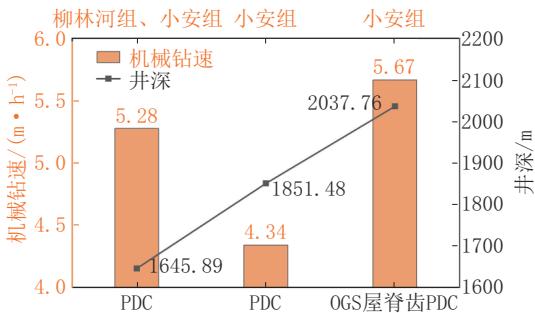


图7 OGS屋脊齿PDC钻头与普通PDC钻头钻效对比

Fig.7 Comparison of drilling efficiency between OGS PDC Ax-shaped cutter bit and conventional bits



图8 新型平顶三棱齿PDC取心钻头入井前后对比

Fig.8 Comparison before and after use of triangular PDC coring bit

表5 OGS屋脊齿PDC钻头与常规钻头钻井参数对比

Table 5 Comparison of drilling parameters between OGS PDC Ax-shaped cutter bit and conventional bits														
钻头 编号	型号	使用井 段/m	钻井参数				纯钻时 间/h	机械 钻速/ (m·h ⁻¹)	新度/%		钻井液性能			
			钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	泵量/ (L·s ⁻¹)	泵压/ MPa			下 入	起 出	密度/ (g·cm ⁻³)	粘度/ s	滤失 量/mL	泥饼厚 度/mm
1	PDC	1645.89~ 1846.69	40	30+螺 杆	31	10~ 11	38.00	5.28	95	70	1.17~ 1.18	43~ 45	6	0.5
2	PDC	1851.48~ 2019.59	70~80	30+螺 杆	31	10~ 12	38.75	4.34	100	85	1.18~ 1.20	48~ 50	6~8	0.5
3	OGS屋脊 齿PDC	2037.76~ 2299.88	60~80	30+螺 杆	30	9~10	46.25	5.67	100	85	1.16~ 1.17	46~ 48	5~6	0.5

表 6 YXD1 井取心统计

Table 6 Coring overview of Well YXD1

取心筒次	层位	井段/m	进尺/m	心长/m	收获率/%	含油气岩心长度/m			不含油气岩心长度/m	
						油浸	油斑	油迹	储层	非储层
1	柳林河组	1637.59~1645.89	8.30	8.30	100.0				3.24	5.06
2	小安组	1846.69~1851.48	4.79	4.67	97.5		0.92	1.06		2.69
3	小安组	2019.59~2028.76	9.17	6.20	67.6	1.75				4.45
4	小安组	2028.76~2037.76	9.00	9.00	100.0	3.05				5.95
合计			31.26	28.17	90.1	4.80	0.92	1.06	3.24	18.15



图 9 1846.69~1851.48 m 井段获取的岩心

Fig.9 Core obtained from well sections

1846.69~1851.48m

mm,一开井径 311.2 mm,二开井径 215.9 mm。分别下入导管(Ø339.7 mm)、表层套管(Ø244.5 mm)、生产套管(Ø139.7 mm),并固井试压合格。

2.5.1 导管段固井

YXD1 井导管段下入 Ø339.7 mm、壁厚 9.65 mm、钢级 J55 导管 5 根,总长 56.00 m,下入深度 56.00 m。导管固井使用 G 级水泥 9.00 t。注入前置液 3.00 m³,水泥浆量 7.20 m³,水泥浆密度为 1.75~1.80 g/cm³,平均密度 1.78 g/cm³,替浆量 3.70 m³。水泥浆返出地面,憋压候凝。

2.5.2 表层套管固井

下入 Ø244.48 mm、壁厚 10.03 mm、钢级 J55 表层套管 67 根,套管总长 766.56 m,下深 766.56 m,阻位 754.45 m,口袋 0.44 m。固井使用 G 级水泥 45.00 t。注入前置液 8.00 m³,水泥浆 35.00 m³,水泥浆密度为 1.86~1.89 g/cm³,平均密度 1.87 g/cm³,替浆量 31.00 m³,水泥浆返出地面。碰压 15 MPa,稳压 15 min,压降 0 MPa,敞压候凝。表层套管试压,打压 10 MPa,稳压 30 min,压降 0 MPa,试压合格。

2.5.3 生产套管固井

结合录井油气显示,优化套管串结构确保套管接箍避开所有录井解释油层。下入 Ø139.7 mm、壁厚 7.72 mm、钢级 N80Q 生产套管 204 根,套管总长 2257.87 m,下深 2257.38 m,上余 0.49 m,阻位 2247.10 m,定位短节位置:1983.00~1985.02、1801.24~1803.24 m。生产套管固井施工存在“两高一低”难点,即目的层孔隙度高,高密度水泥浆段长,但地层承压能力较低。为防止固井时压漏地层甚至失压,通过降低水泥浆密度和减少水泥浆返高,减少固井压漏地层的风险。采用变密度固井,使用 G 级水泥 45.50 t。其中前置液 4.00 m³,低密度水泥浆 33.50 m³(水泥 20.5 t),密度为 1.40~1.45 g/cm³。注入高密度水泥浆 21.50 m³(水泥 25 t),密度为 1.80~1.85 g/cm³,返高至油层顶(1816 m)以上 200 m(即 1610 m);最后替浆 27.52 m³。根据固井质量测井,生产套管固井水泥实际返至井深 280 m,高密度水泥浆密度平均 1.82 g/cm³,低密度水泥浆密度平均 1.43 g/cm³,目的层段水泥环质量合格率 100%。通过优化浆柱结构,确保了固井质量。碰压 19.0 MPa,稳压 10 min,压降 0 MPa;试压打压 20.0 MPa,稳压 30 min,压降 0 MPa,试压合格。

3 结论及建议

通过 YXD1 井钻探工程顺利实施,探索形成适应三门峡盆地的优快钻井技术,助力形成三门峡盆地油气成藏新认识,对我国中小盆地油气勘查工作具有重要示范和借鉴意义。取得的主要钻井成果及建议如下:

(1)防泥包钻井液技术体系(清水+KPAM+高粘 CMC+抗高温降滤失剂),有效提高了钻井液携砂能力,避免钻头泥包产生,减少起下钻频次;长

裸眼井壁保护钻井液技术体系(随钻添加防塌剂+高粘CMC+低粘CMC+纯碱+抗高温降滤失剂+KPAM),有效解决了地层高温梯度异常、泥岩水化、膨胀、造浆以及井壁掉块频现难题。

(2)创新发展了砂泥岩互层高效PDC异形齿钻头提速技术。研制了新型屋脊齿+常规齿主副布齿PDC全面钻头,建立了长裸眼段泥砂岩互层全面钻进提速方法与技术,平均机械钻速5.67 m/h,相比常规PDC钻头,机械钻速提高30.64%;研制了新型平顶三棱齿+常规齿混合布齿PDC取心钻头,在砂岩层钻进时,机械钻速提高22%;泥岩层钻进时,机械钻速提高15%。

(3)总结提出了泥砂岩互层地层“低转速+中钻压+螺杆+高效PDC钻头”钻进工艺新方法,配合不同类型钻井液体系,实现井壁安全与高效钻进,形成了可推广的“新优快”钻井模式。

(4)本井在施工过程中未揭露暗色烃源岩,且在钻测井口袋时(2250~2299.88 m)揭露了下部含油层系,建议继续部署小口径地质调查井,实现小安组全取心,进一步获取油气地质资料;小安组地层机械钻速整体偏低,建议研究尖齿类异形齿PDC钻头提升对泥岩的攻击性,提高机械钻速。

参考文献(References):

- [1] 何发岐, 於文翔, 马超, 等. 三门峡断陷盆地及邻区深部结构及成因——来自深地震反射与大地电磁测深的证据[J]. 地质学报, 2024, 98(4): 1088-1100.
HE Faqi, YU Wenhui, MA Chao, et al. Deep structure and genesis of Sanmenxia fault basin and its adjacent area: Evidence from deep seismic reflection and magnetotelluric sounding[J]. Acta Geologica Sinica, 2024, 98(4): 1088-1100.
- [2] 王丹丹, 张交东, 刘旭峰, 等. 广域电磁法在豫西地区济源凹陷古生界油气勘探中的应用[J]. 地质与勘探, 2023, 59(2): 328-336.
WANG Dandan, ZHANG Jiaodong, LIU Xufeng, et al. Application of the wide field electromagnetic method to paleozoic oil and gas exploration in the Jiyuan depression of western Henan Province[J]. Geology and Exploration, 2023, 59(2): 328-336.
- [3] 王丹丹, 张交东, 刘旭峰, 等. 河南三门峡盆地构造格架及其油气资源远景分析[J]. 中国地质, 2024, 51(3): 719-727.
WANG Dandan, ZHANG Jiaodong, LIU Xufeng, et al. Structural framework of Sanmenxia Basin, Henan Province and its oil and gas resources potential analysis[J]. Geology in China, 2024, 51(3): 719-727.
- [4] 邓传光, 朱明玉, 黄焰, 等. PDC钻头泥包原因分析及对策[J]. 钻采工艺, 2006, 29(6): 127-128.

- DENG Chuanguang, ZHU Mingyu, HUANG Yan, et al. Cause analysis of PDC bit balling and its preventive[J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(6): 127-128.
- [5] 冯云春. 龙凤山气田火山岩地层个性化PDC钻头设计与应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 94-101.
FENG Yunchun. Design and application of personalized PDC bit for volcanic rock formation in Longfengshan Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 94-101.
- [6] 陈新海. 巴彦河套新区异形齿PDC钻头研究与应用[J]. 钻探工程, 2022, 49(5): 127-135.
CHEN Xinhai. Research and application of special-shaped tooth PDC bits in Bayanhetao New Area[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 127-135.
- [7] 王勇军, 梁伟, 张涛, 等. 深部地热钻探中硬塑性泥岩地层钻头应用研究[J]. 钻探工程, 2023, 50(3): 92-98.
WANG Yongjun, LIANG Wei, ZHANG Tao, et al. Research on bit application of hard plastic mudstone formation in deep geothermal drilling[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3): 92-98.
- [8] 易浩, 郭挺, 孙连忠. 顺北油气田二叠系火成岩钻井技术研究与应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(1): 131-138.
YI Hao, GUO Ting, SUN Lianzhong. Study and application of drilling technology for Permian igneous rocks in Shunbei Oil and Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(1): 131-138.
- [9] Nelms D. Case study: Drilling at the cutting edge of performance with shaped-cutter technology[J]. Journal of Petroleum Technology, 2023, 75(3): 42-44.
- [10] 肖新磊, 席境阳, 杜旭, 等. 胜利油田页岩油大井眼高效钻进技术研究与应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(6): 122-128.
XIAO Xinlei, XI Jingyang, DU Xu, et al. Research and application of high efficiency drilling technology for shale oil large boreholes in Shengli Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6): 122-128.
- [11] 赵洪波, 朱芝同, 梁涛, 等. 页岩气基础地质调查钻井技术进展及展望[J]. 中国地质, 2023, 50(2): 376-394.
ZHAO Hongbo, ZHU Zhitong, LIANG Tao, et al. Shale gas geological survey drilling technologies: Progress and prospect[J]. Geology in China, 2023, 50(2): 376-394.
- [12] Zhao H B, Wu H X, Shen L N, et al. Research on slim-hole drilling technology for shale gas geological survey in China[J]. Petroleum Research, 2024, 9(3): 451-461.
- [13] 谢晗, 况雨春, 秦超. 非平面PDC切削齿破岩有限元仿真及试验[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(5): 69-73.
XIE Han, KUANG Yuchun, QIN Chao. The finite element simulation and test of rock breaking by non-planar PDC cutting cutter[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5): 69-73.
- [14] 邹德永, 曹继飞, 袁军, 等. 硬地层PDC钻头切削齿尺寸及后倾角优化设计[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(6): 91-94.
ZOU Deyong, CAO Jifei, YUAN Jun, et al. Optimization design of the cutter size and back rake for PDC bit in hard formation[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 91-94.

(编辑 周红军)