

Research on High-Speed Drilling Technology in the Jingyan-Jianwei Block of the Sichuan Basin

Huankun Qu

Southwest Drilling Branch of Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

The Jingyan-Jianwei block in the Sichuan Basin is one of the key areas for shale gas exploration and development in China, with enormous resource potential, while also facing challenges such as complex geological conditions, high drilling difficulty, and long construction cycles. Taking Well X as an example, this paper systematically analyzes the entire drilling process and summarizes a high-speed drilling technology system suitable for this block from the perspective of integrated geological engineering. Through the analysis of actual construction data from Well X, the significant effects of high-speed drilling technology in improving mechanical drilling speed, shortening well construction cycles, and ensuring wellbore quality are verified, providing technical references for horizontal well drilling of shale gas in this block.

Keywords

Rapid drilling; Geotechnical engineering integration; Horizontal well; Drilling parameter optimization

四川盆地井研-犍为区块优快钻井技术研究

曲焕坤

中石化中原石油工程有限公司西南钻井分公司, 中国·四川成都 610000

摘要

四川盆地井研-犍为区块是中国页岩气勘探开发的重要区域之一, 具有巨大的资源潜力, 同时也面临着地质条件复杂、钻井难度大、施工周期长等挑战。本文以X井为例, 系统分析其钻井施工全过程, 从地质工程一体化的角度, 总结了适用于该区块的优快钻井技术体系。通过对X井的实际施工数据进行分析, 验证了优快钻井技术在提升机械钻速、缩短建井周期、保障井身质量等方面的显著效果, 为该区块的页岩气水平井钻井提供了技术参考。

关键词

优快钻井; 地质工程一体化; 水平井; 钻井参数优化

1 引言

四川盆地是中国页岩气资源最为丰富的地区之一, 其中井研-犍为区块位于川西南平缓构造带, 构造位置属于铁山-威远构造带的西南翼斜坡, 是近年来页岩气勘探开发的重点区域。该区块目的层主要为寒武系筇竹寺组, 埋藏深、地层压力高、岩性复杂, 钻井过程中易出现井壁失稳、机械钻速低、轨迹控制难度大等问题。为此, 开展优快钻井技术研究, 提高钻井效率、降低工程成本, 对于推动该区块页岩气规模化开发具有重要意义。

X井是某石油分公司在该区块部署的一口开发预探井, 完钻井深 5580m, 采用三开制水平井结构, 水平段长 2050m。该井钻井周期 71.37 天, 创造了该区块同类型水平井钻井周期最短纪录。本文以该井为例, 系统分析其钻井工

艺与技术措施, 从地质工程一体化的角度, 总结形成一套适合井研-犍为区块的优快钻井技术体系。

2 地质工程一体化钻井设计思路

地质工程一体化是优快钻井的核心指导思想, 其核心在于根据地质特征优化工程设计, 实现地质目标与工程实施的有机结合。X井在钻井前开展了详细的地质分析与邻井调研, 明确了以下关键地质特征:

地层序列复杂: 自上而下钻遇侏罗系、三叠系、二叠系至寒武系多套地层, 岩性包括泥岩、砂岩、灰岩、白云岩、页岩等, 可钻性差异大。

压力系统多变: 存在多套压力系统, 尤其是嘉陵江组—雷口坡组存在高压层, 茅口组—栖霞组为常压—低压层, 钻井液密度窗口窄。

目的层埋藏深: 筇竹寺组埋深超过 3300m, 水平段长, 轨迹控制要求高。

岩石硬度高、研磨性强: 尤其是茅口组灰岩、栖霞组

【作者简介】曲焕坤(1987—), 男, 中国山东高密人, 本科, 工程师, 从事石油工程钻井研究。

白云岩及筲竹寺组硅质页岩，对钻头磨损严重。

基于以上地质特征，X井制定了“以防为主、优化结构、强化参数、精细控制”的钻井技术路线，重点围绕井身结构、钻具组合、钻井参数、钻井液体系等方面开展优化。

3 优快钻井关键技术措施

3.1 井身结构优化

井身结构表

表 2-1 X 井井身结构表

开钻层次	钻头尺寸 × 井深 (mm × m)		套管尺寸 × 井深 (mm × m)		水泥返深 (m)
	设计	实际	设计	实际	
导管	Φ609.6 × 52	Φ609.6 × 50	Φ508.0 × 50	Φ508 × 50	0
一开	Φ406.4 × 512	Φ406.4 × 509	Φ339.7 × 510	Φ339.7 × 507.28	0
二开	Φ311.2 × 2938	Φ311.2 × 2925	Φ244.5 × 2936	Φ244.5 × 2923.68	0
三开	Φ215.9 × 5605	Φ215.9 × 5580	Φ139.7 × 5603	Φ139.7 × 5578.78	0

井身结构分析

合理的井身结构是安全高效钻井的基础。X井采用三开制结构：

导管段 (Φ609.6mm × 50m)：采用桩机旋挖预埋，封隔浅表水层。

一开 (Φ406.4mm × 509m)：钻进至沙溪庙组，下入Φ339.7mm表层套管，封固上部疏松地层。

二开 (Φ311.2mm × 2925m)：钻至陡坡寺组顶部，下入Φ244.5mm技术套管，封隔高压层和易塌层。

三开 (Φ215.9mm × 5580m)：钻至筲竹寺组目的层，完成水平段，下入Φ139.7mm生产套管。

该结构简化了套管层次，兼顾了封固与井眼稳定需求，为后续钻井作业创造了良好条件。

3.2 钻头选型与钻井参数优化

针对不同地层的岩性与可钻性，X井实施了“个性化钻头+参数强化”的提速策略，本井一开使用PDC钻头1支，二开使用PDC钻头3支，三开使用混合钻头2支、PDC钻头6支，全井共使用钻头12支。

一开井段 (50.00 ~ 509.00m)。

选用Φ406.4mm PDC钻头 (KS1662DGRS)，配合螺杆钻具，采用中低钻压 (20~60kN)、高转速 (50r/min)，机械钻速达21.86m/h。一开钻遇地表下沙溪庙组，地层岩性以泥岩为主，可钻性好，提高钻头攻击性和稳定性，防止钻头泥包，提高破岩效率，是提速关键。

二开井段 (509.00 ~ 2925.00m)。

二开井段共使用3支PDC钻头，配合1.25°单弯螺杆，井段509.00-2925.00m，总进尺2416.00m，纯钻186.5h，平均机械钻速12.95m/h。须家河地层以细砂岩、中砂岩、泥质粉砂岩为主，夹黑色页岩等。地层不均质性强，研磨性强，常规PDC进尺少，优选高效钻头及提速工具，提高行程钻速，减少起下钻趟次，是该层段提速关键。

第1支Φ311.2mm六刀翼PDC钻头，此钻头使用效果较好，钻遇地层须家河组、雷口坡、嘉陵江、飞仙关组，岩性为灰色 (泥质) 灰岩夹紫红色灰质泥岩、浅紫红、褐灰色

泥岩、粉砂质泥岩夹浅紫红、浅灰色灰质粉砂岩。钻进井段509-1636m，共进尺1127m，纯钻时间53.5h，平均钻速21.07m/h，该只钻头入井新度100%，出井新度85%。

第2支Φ311.2mm五刀翼PDC钻头，钻遇飞仙关组、沙湾组、峨眉山玄武岩、茅口组岩性为岩性为灰色、泥粉晶灰岩、深灰色、灰色玄武岩、白云质灰岩、泥质灰岩夹灰黑色灰质页岩。钻进井段1636-2560m，进尺924m，纯钻时间63h，平均钻速14.67m/h，该只钻头入井新度100%，出井新度85%。

第3支Φ311.2mm六刀翼PDC钻头，钻遇茅口组、栖霞组、陡坡寺组，灰、深灰色粉砂质白云岩、泥质白云岩、砂屑白云岩夹薄层灰色白云质粉砂岩、灰黑色云质页岩，钻进井段2560-2925m，进尺365m，纯钻时间70h，平均钻速5.21m/h，该只钻头入井新度100%，出井新度85%。

三开井段 (2925.00 ~ 5580.00m)。

三开井段共使用10支钻头，其中8支PDC钻头、2支混合钻头，钻遇陡坡寺、龙王庙、沧浪铺、筲竹寺组。总进尺2655m，纯钻502.5h，平均机械钻速5.28m/h。

三开造斜段使用混合钻头2支钻至筲竹寺组更换旋导组合，陡坡寺组、龙王庙组、沧浪铺组局部石英砂岩岩性致密，研磨性强、可钻性差、钻头进尺少、机械钻速低，造斜段定向增斜率低，定向工作量大，平均机械钻速2.26m/h。

旋导组合钻进井段3313-3553m，使用TKC66钻头，机械钻速4.32m/h。

水平段3553-4307m，段长754m，因钻时变慢更换钻头、螺杆起下钻3趟，本井段采用型号TKC56的PDC钻头，平均机速6.08m/h，起出钻头磨损较为严重，目的层筲竹寺⑧号小层硅质含量高，该型号钻头不适用于该层位，行程钻速低。

水平段4307-5620m，段长1273m，更换使用型号GTD55DKOS的PDC钻头，纯钻151h，机速8.43m/h，创井研-犍为区块三开水平段一趟钻最长指标。

3.3 钻井液体系优选与维护

钻井液体系的选择直接影响井壁稳定、携岩效率和机械钻速。本井采用“水基+油基”分段体系：

一开：井深在 50-509m，采用钾基聚合物钻井液，密度在 1.15-1.25g/cm³，粘度在 45-48s，有良好的抑制性和携砂能力。

钻井液配方：3 ~ 5% 土粉+0.5 ~ 1.0%HP+0.2 ~ 0.5%LV-CMC+5 ~ 7%KCl

二开：井深在 509-2925m，采用复合盐强抑制聚磺钻井液，密度 1.30-1.77 g/cm³，粘度 50-65s，做到低失水、高矿化度、形成薄而韧的滤饼质量。

钻井液配方：3 ~ 5% 土粉+0.3 ~ 0.5%HP+0.4 ~ 0.8% 聚合物降滤失剂+0.2 ~ 0.5%LV-CMC+2 ~ 3%FT+2% 超细碳酸钙+2 ~ 3% 纳米复合钙+0.3 ~ 0.5% 聚胺+1 ~ 3%SMP-2+1 ~ 3% 腐植酸降滤失剂+5 ~ 7%KCl+25%NaCl+重晶石等。

三开：井深 2925-5580m，采用白油基钻井液，密度 1.55-1.67g/cm³，粘度 64-67s，具有优异的润滑性、抑制性和高温稳定性，有效降低了摩阻，提高了轨迹控制精度。

钻井液配方：80 ~ 90% 白油+20 ~ 10% 盐水(25 ~ 35% 的氯化钙溶液)+1 ~ 3% 有机土+3 ~ 5% 石灰+3 ~ 5% 油基乳化剂+2 ~ 3% 油基降滤失剂+1 ~ 2% 亲油腐植酸降滤失剂+1% 球状凝胶+2% 纳米复合钙+重晶石。

钻井液性能实时监测与调整，确保了井下安全与钻进效率。

3.4 井眼轨迹控制技术

X 井为水平井，轨迹控制难度大。通过以下措施实现精准中靶：

直井段：采用 MWD 随钻监测，配合钟摆钻具组合，控制井斜在 2° 以内。

造斜段：采用“PDC+ 螺杆+MWD”定向组合，造斜率 3-6° /30m，平滑过渡至水平段。

水平段：采用旋转导向系统，实现“地质导向+轨迹控制”一体化，确保井眼在筇竹寺组⑥-⑧号层中穿行，中靶精度高达纵向 0.03m、横向 0.08m。

表 2-2 X 井中靶情况

靶点参数		井深 m	垂深 m	南北位移 (m)	东西位移 (m)	水平井	
						纵距 m	横距 m
A 点	设计	3530	3336	455	153	3	20
	实测	3530.00	3335.73	455.24	151.66	0.34	1.10
B 点 (井底)	设计	5530	3367	2262	-705	3	20
	实测	5530.00	3366.96	2260.84	-704.33	0.03	0.08

3.5 钻具组合与井下工具配套

针对不同井段的特点，优化钻具组合：

直井段：采用“PDC+ 螺杆+扶正器+钻铤”组合，增强刚性，防斜打直。

造斜段：采用“PDC+ 单弯螺杆+无磁钻铤”组合，配合水力振荡器，减少托压。

水平段：采用“旋转导向+直螺杆+加重钻杆”组合，提高导向精度与钻进稳定性。

地质工程一体化是优快钻井的前提，必须充分认识地层特性，优化工程设计。

钻头与钻井参数的匹配是关键，应结合地层岩性与实钻数据动态调整。

旋转导向与地质导向的结合是提高水平井钻井效率与轨迹精度的有效手段。

钻井液体系的优选与维护对井壁稳定和机械钻速具有重要影响。

建议在后续钻井中进一步推广“一趟钻”技术，优化钻具组合，加强实时数据监测与智能决策支持。

4 实施效果分析

通过上述优快钻井技术的集成应用，X 井取得了显著的技术效果：

钻井周期缩短：本井实际钻井周期 71.37 天，创区块同类型井最短纪录。

机械钻速提升：全井平均机械钻速 7.79m/h，其中二开达 12.95m/h，三开水平段达 8.43m/h。

井身质量优良：井眼轨迹平滑，最大井斜 92.76°，中靶精度高，满足地质要求。

井下无重大复杂：全井未发生井塌、卡钻等重大事故，井控安全受控。

6 结语

X 井的成功实践表明，通过地质工程一体化的系统优化，结合个性化钻头选型、高效钻井液体系、旋转导向轨迹控制等关键技术，可以在井研-犍为区块实现优快钻井目标。该套技术体系具有较好的适用性与推广价值，可为四川盆地深层页岩气高效开发提供技术支撑。

参考文献

- [1] X井钻井施工总结[R]. 2024.
- [2] 张强, 刘伟, 王磊. 四川盆地页岩气水平井优快钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(3): 45-50.
- [3] 李明, 赵刚. 地质工程一体化在深层页岩气钻井中的应用[J]. 天然气工业, 2021, 41(5): 78-84.

5 认识与建议

通过对 X 井的实践分析，形成以下认识与建议：