

# 松辽盆地深井钻井技术难点与对策

陈安明<sup>1</sup>, 张进双<sup>2</sup>, 白彬珍<sup>2</sup>, 陈天成<sup>2</sup>

(1. 中国石化华东石油局钻井工程公司, 江苏镇江 212003; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

**摘 要:** 东北松辽盆地长岭断陷天然气资源丰富, 火山岩发育, 分布范围广, 具有巨大的油气藏勘探开发潜力。该地区地质条件复杂, 井壁稳定问题突出, 深部地层研磨性强, 可钻性差, 机械钻速慢, 钻井周期长, 储层流体富含二氧化碳。为加快该地区的钻探进程, 解决制约钻井提速的技术难题, 分析了前期探井钻完井资料, 明确了钻井过程出现的主要井下故障。通过钻井地质环境因素分析, 系统分析了该地区的地层压力体系、地层岩石可钻性和地层岩石力学参数, 为钻井工程设计、钻头选型和个性化设计、现场施工提供了科学的参考依据。通过采取优化井身结构、分层优选高效钻头、应用保护储层钻井液、试验应用钻井新技术等技术措施, 该地区深井机械钻速得到了大幅度提高, 达到了优质、快速、高效成井的目的。

**关键词:** 深井钻井 火山岩 松辽盆地 井身结构 防止地层损害

**中图分类号:** TE245 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2011)04-0119-04

## The Drilling Problem and Countermeasures of Deep Wells in Songliao Basin

Chen Anming<sup>1</sup>, Zhang Jinshuang<sup>2</sup>, Bai Binzhen<sup>2</sup>, Chen Tiancheng<sup>2</sup>

(1. Drilling Engineering Company, Sinopec East China Petroleum Bureau, Zhenjiang, Jiangsu, 212003, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** The Changling fault depression, located at Songliao Basin in Northeast China with rich volcanic rocks distributed widely, has abundant natural gas source, it has a promising potential of oil & gas exploration. But the geological condition is very complex, including unstable wellbore, high formation abrasion, poor rock drillability, slow ROP, long drilling period and excessive CO<sub>2</sub> in the reservoir. In order to speed up the exploring process and resolve the drilling problems which restrict the drilling rate of penetration, this paper analysed the early drilling and completion data and makes downhole complexities known clearly. Through the comprehensive research of the drilling geological environment, the formation pressure system, the rock drillability and the stratum mechanics profile, the scientific foundation for designing wells, selecting the bit types, operating at location has been laid. The paper presents some technical measures to optimize casing program, choose high efficiency bits, conserve the reservoir with drilling fluids, test and promote the new drilling technologies. By adopting these measures, the wells can be drilled with high quality, high rate of penetration and high efficiency in this area.

**Key words:** deep well drilling; volcanic rocks; Songliao Basin; casing program; formation damage prevention

2006 年, 腰深 1 井在营城组火山岩进行了裸眼测试, 获得  $20.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的产气量, 取得了长岭断陷腰英台深层火山岩勘探的重大突破。此后, 腰深 101 井和腰深 102 井分别在营成组获得  $14.42 \times 10^4$  和  $7.99 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的天然气产量, 展

**收稿日期:** 2011-05-25; **改回日期:** 2011-07-01。

**作者简介:** 陈安明(1971—), 山东沂水人, 男, 1994 年毕业于石油大学(华东)石油工程专业, 副经理兼叙利亚项目部经理, 高级工程师, 主要从事钻井工程方面的科研与管理工作。

**联系方式:** 13605280381, chenanm2009@163.com。

现了良好的勘探开发前景。长岭地区在早白垩世断陷盆地形成期发育的深部地层,自下而上主要包括火石岭组、沙河子组、营城组和登娄库组,地质条件复杂,钻井过程中地层漏失、井壁失稳等情况多发,同时深部地层钻速低、钻井周期长(建井周期大多为 7~8 个月)<sup>[1-2]</sup>,严重制约了该地区的勘探开发进度,直接影响到中国石化在东北地区的油气勘探部署和油气战略的实现。为此,迫切需要探索适合该地区深部地层的钻井提速配套技术,为今后该地区快速钻井提供技术保障。

1 深部地层主要钻井技术难点分析

- 1) 深部地层岩石可钻性差。泉头组、登娄库组和营城组地层岩性致密、硬度大、研磨性强、可钻性差<sup>[2]</sup>;平均单井使用钻头 40 只左右,营城组以深地层单只牙轮钻头进尺一般仅为 40~50 m。前期完钻的 10 口深井,平均完钻井深 4 447.72 m,平均机械钻速 1.98 m/h,平均钻井周期 185.40 d。
- 2) 地层易漏失。青山口组地层下部易发生渗透性漏失;营城组地层火山岩裂隙发育,易发生裂缝性漏失(漏速 20~30 m<sup>3</sup>/h)<sup>[2]</sup>。
- 3) 井壁稳定性差。登娄库组地层泥岩水敏性

强,井壁易吸水膨胀、失稳坍塌<sup>[2]</sup>。

4) 勘探发现与储层保护困难。火山岩气藏岩性复杂,储集空间类型多样,火山岩岩性识别、岩相划分、储层流体解释等方面难度比较大;营城组火山岩、凝灰岩和角砾岩等裂缝性地层储层保护困难。

2 钻井地质环境因素分析

通过处理分析地质取心室内试验数据和完钻井资料、测录井资料,开展区域性钻井地质环境因素描述研究,确定岩石力学特性参数,建立地层压力和可钻性剖面,可以为井身结构优化、钻头选型提供科学理论支持。

2.1 岩石可钻性室内试验

对腰深 101 井、腰深 202 井和新深 1 井的青山口组、泉头组、营城组、沙河子组和火石岭组地层的岩心进行了岩石可钻性和抗压强度试验。结果表明,深部地层可钻性级值高,营城组以深地层岩石可钻性级值超过 10 级、三轴抗压强度超过 300 MPa(见表 1)。

表 1 长岭地区深部地层岩石可钻性试验数据

Table 1 The rock drillability test data of deep formation in Changling Area

井名	层位	井段/m	试验时间/s			岩石可钻性级值
腰深 202 井	青山口组	2 075.10~2 083.35	88.80	91.69	95.21	6.52
	登娄库组	3 448.00~3 454.15	116.02	140.18	121.12	6.97
		3 709.00~3 711.90	244.81	258.59	247.10	7.97
腰深 101 井	泉一段	3 343.27~3 349.12	116.02	120.18	124.12	6.91
		3 534.31~3 539.25	254.81	232.59	245.35	7.93
	营城组	3 646.72~3 655.01	>1 800.00			>10.00
		3 838.38~3 840.69	>1 800.00			>10.00
新深 1 井	营城组	3 529.20~3 534.20	2 384.40	2 066.40	2 417.90	11.16

2.2 测井解释地层力学特性

通过处理分析测井资料,可以建立区域岩石力学参数变化曲线。腰深 2 井测井资料处理分析结果表明(见图 1):进入泉头组地层之后,岩石的抗压强度和内摩擦角上升很快;登娄库组、营城组和沙河子组地层的抗压强度 100~225 MPa,硬夹层达到 250 MPa;泉头组以下地层摩擦角 42°左右,个别超过 45°;石英含量高、地层研磨性较强;随着深度的增加,岩石强度逐渐增大,营城组地层强度变化剧烈;沙

河子组地层泥质含量高,岩石抗压强度大,内摩擦角变化平缓。腰深 2 井测井径曲线表明(见图 1),部分井段失稳垮塌,扩径明显。

2.3 地层孔隙压力体系

分析邻井实钻和测井资料可知,长岭地区地层孔隙压力为常压体系,层间压力变化平缓,登娄库组及以上地层压力系数小于 1.0,营城组火成岩储层压力系数 1.10~1.17。表 2 为前期完钻井营城组储层的地层孔隙压力测试数据。

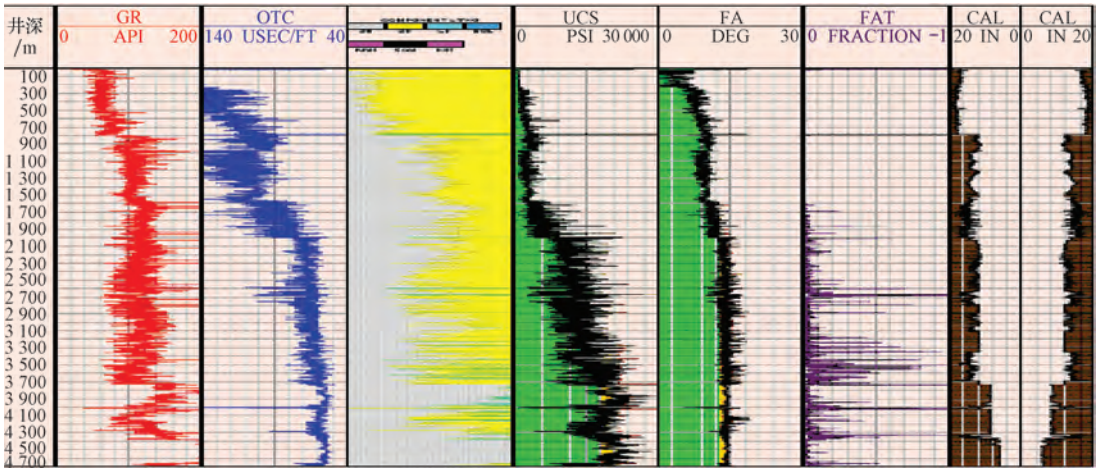


图 1 腰深 2 井测井资料岩石力学分析

Fig. 1 The rock mechanical analysis of Well Yaoshen 2 using logging data

表 2 长岭断陷火山岩营城组地层孔隙压力测试数据  
Table 2 The pore pressure testing data of Yingcheng volcanic rocks in Changling Fault

井名	层位	井深/m	孔隙压力/MPa	压力系数
腰深 1 井	营城组	3 540~3 750	41.660	1.17
腰深 2 井	营城组	3 761~3 984	44.050	1.16
腰深 3 井	营城组	3 585~3 610	40.528	1.15
腰深 4 井	营城组	4 158~4 168	45.660	1.12

3 钻井提速对策

3.1 井身结构优化设计

井身结构设计对钻井速度影响很大<sup>[3]</sup>。长岭地区前期钻探采用常规套管程序:φ339.7 mm 表层套管封隔明水组不稳定易垮层段;φ244.5 mm 技术套管封至登娄库组地层底部,为下部目的层段实行欠平衡钻进提供井筒条件;三开钻达目的层后下入φ139.7 mm 尾管完井。

由于表层和二开大尺寸井眼井段较长,地层破碎需较高破岩能量,腰深 9 井对井身结构进行了改进:一开采用 φ346.1 mm 钻头开孔,下入 φ273.1 mm 封隔;二开 φ241.3 mm 井眼中完下入 φ193.7 mm 技术套管;三开采用 φ165.1 mm 钻头钻至完钻井深。随着对地质构造和目的层特征认识的不断加深,在井壁稳定和储层保护技术的支持下,开发井可以探索优化表层套管下深,二开技术套管封至泉头组地层顶部,三开以 φ215.9 mm 钻头完钻,下入 φ139.7 mm 尾管完井。

3.2 钻头选型

钻头选型应充分注重完钻井基础资料分析,在钻头使用效果统计、地层岩性分析、测录井资料综合分析的基础上,建立不同地层剖面、不同开次的标准化钻头选型模板。长岭地区嫩江组—登娄库组地层,提高 PDC 钻头切削齿的抗研磨能力和抗冲击强度,推广应用复合钻井技术;营城组及以深地层选择高效牙轮钻头,优选高强度、抗研磨碳化物镶齿,采用长寿命金属密封和金刚石保径结构。

腰深 201 井、腰深 202 井、腰深 3 井、腰深 4 井、腰深 5 井和腰深 6 井等引进 Baker Hughes 公司 HCD506ZX 型和 HC407ZX 型 PDC 钻头,钻头平均进尺 418 m,机械钻速提高 30%~50%;腰深 7 井采用“PDC 钻头+螺杆+转盘”的双驱复合钻进技术,2 324.22~2 764.15 m 井段平均机械钻速 2.38 m/h,与常规钻井相比,在防斜、提高机械钻速方面效果明显;腰深 3 井、腰深 5 井和腰深 201 井在营城组以深地层使用 MXL-DS55DX 型钻头,平均进尺 127 m,平均机械钻速 1.60 m/h。

3.3 高效辅助破岩工具提高钻速

十屋 30 井 3 234~3 352 m 井段在应用牙轮钻头钻进过程中,应用了液动冲击器,进尺 118 m,纯钻时间 81 h,平均机械钻速 1.46 m/h,与上部井段相比机械钻速提高 44%。

扭转冲击器在川东北元坝地区进行了初步应用,取得了良好效果(元坝 10 井在 3 233.30~3 503.82 m 井段平均机械钻速 3.21 m/h,机械钻速提高

69.84%<sup>[4]</sup>),可以在青山口—登娄库组地层尝试应用扭转冲击器。

3.4 保护储层钻井液技术

非渗透材料和抑制防塌悬乳钻井液技术相结合,可提高储层保护效果和井壁稳定能力。在腰深1井通过使用屏蔽暂堵技术、非渗透材料和聚合醇钻井液体系,试气表皮系数0.98,基本未对储层造成污染。抑制防塌悬乳钻井液以新型乳化石蜡为主剂,高分子聚合物DS-301、高效防塌抑制剂DS-302作为分散连续相,具有封堵性强、润滑防塌作用好的特点,结合其他封堵材料,可有效提高泥饼质量,有利于防塌、防卡和保护油气层。

3.5 气体/泡沫钻井技术试验

气体钻井井底压力低、压持效应小,有利于岩石应力释放,能够最大限度地提高机械钻速,同时在控制井斜、解决井下故障(井漏、水敏性坍塌)等方面的

作用显著。对腰深1井、腰深2井和腰深3井进行了气体钻井可行性分析,理论计算的气体钻井坍塌压力<0,无塑性残余区,可以实施气体钻井。利用测井资料,同时对3口井进行了地层流体判断、水层物性解释和出水量分析。测井解释结果表明:腰深1井嫩江组、青山口组和泉头组地层分布有多个水层,但出水量不大(小于12 m<sup>3</sup>/h);腰深2井泉头组地层存在少量出水层段;腰深3井泉头组及以下地层出水量很小。综合分析对比可知,可在2 500~3 500 m井段(泉二段—登娄库组地层)实施气体钻井,钻井过程中如地层出水则及时转换为泡沫钻井液,预计气体钻井可节约钻井时间1 051 h(约44 d)。

2007年,松辽盆地深层火山岩地层实施气体钻井11井次,机械钻速提高效果明显。2008年以来,在徐家围子气田古深2井、古龙1井、双深1井、达深9井、徐深31井和莺深2井等进行推广应用,部分井空气、氮气钻井技术指标统计见表3。

表 3 松辽盆地气体钻井技术指标统计

Table 3 The technology index of gas drilling in Songliao Basin

井名	层位	井段/m	进尺/m	机械钻速/m·h <sup>-1</sup>	循环介质
徐深31井	泉二段—登二组	2 600~3 282	682	5.05	空气/雾化
古深2井	登四段—营城组	3 250~4 772	1 522	8.23	空气
双深1井	登三段—营城组	1 994~2 532	538	5.64	空气/氮气
古龙1井	泉二段—登三段	3 105~4 301	1 196	7.53	空气/雾化
达深9井	营城组—沙河子组	3 111~3 812	701	7.74	氮气

4 结论与建议

1) 通过统计分析松辽盆地火山岩气藏深井钻完井资料,明确了钻井技术难点;在钻井工程地质环境因素分析的基础上,提出了适用于松辽盆地火山岩气藏的钻井提速技术措施。

2) 松辽盆地长岭断陷上部易钻地层选用PDC钻头,应用复合钻井技术效果比较好,建议进一步推广;登娄库组下部地层优选高强度、抗研磨牙轮钻头提高单只钻头进尺和延长钻头工作寿命,应用液动冲击器、扭转冲击器等高效辅助破岩工具提高钻井速度。

3) 气体钻井井壁稳定和地层出水分析研究表明,该地区具备气体钻井条件,建议选取1口井进行气体钻井试验。泉头组和登娄库组地层为少量出水地层,应提前做好转化为泡沫钻井的准备。

参 考 文 献

[1] 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.  
Yang Minghe, Xia Hongnan, Jiang Hongwei, et al. Optimized drilling techniques to increase drilling speed in volcanic formations[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 44-47.

[2] 李艳军,张立功. 大庆油田深层气藏水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术,2009,37(5):47-51.  
Li Yanjun, Zhang Ligong. Deep horizontal gas well drilling technology used in Daqing Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(5): 47-51.

[3] 冯月江. 火成岩油藏钻井完井技术探讨[J]. 石油钻探技术, 1998,26(4):40-41.  
Feng Yuejiang. Drilling and completion techniques in igneous rock reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1998, 26(4): 40-41.

[4] 孙起昱,张雨生,李少海,等. 钻头扭转冲击器在元坝10井的试验[J]. 石油钻探技术,2010,38(6):84-87.  
Sun Qiyu, Zhang Yusheng, Li Shaohai, et al. Application of bit torsional impact generator in Well Yuanba 10[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 84-87.