

大庆油田火山岩砾岩水平井钻井技术

宫 华, 李国华, 邓胜聪, 李瑞营

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘 要:随着大庆油田深层火山岩砾岩气藏的持续开发,利用水平井技术勘探开发深层气藏成为迫切要求。对大庆深层火山岩砾岩的地质特性、火山岩砾岩水平井特点及难点进行了描述。开展了钻头优选、井眼轨道优化、井身结构优化、井下动力钻具选型、欠平衡负压值控制等技术研究,并完成多口现场试验井,其中徐深平34井全井平均机械钻速2.79 m/h,取得了较好的应用效果。形成了一套适合于大庆油田火山岩砾岩气藏勘探与开发的水平井钻井技术。

关键词:火山岩;砾岩;水平井;钻井;大庆油田

中图分类号:TE243 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)08-0019-04

Horizontal Well Drilling Technique in Volcanic Rock and Conglomerate in Daqing Oilfield/GONG Hua, LI Guo-hua, DENG Sheng-cong, LI Rui-ying (Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering Company, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: With the sustainable development of deep volcanic rock and conglomerate gas reservoir in Daqing oilfield, there is an urgent request of developing deep gas reservoir with horizontal well technique. The paper described the geological characteristics of deep volcanic rock and conglomerate and the features and difficulties of horizontal well in volcanic rock and conglomerate. Research was made on bit selection, well trajectory optimization, well structure optimization, BHA selection and the under balanced drilling pressure value control with several field test wells completed. The average penetration rate is 2.79m/h in Xushen - P34 well, and a series of horizontal well drilling techniques has been developed for exploration and exploitation of the deep volcanic rock and conglomerate gas reservoir in Daqing oilfield.

Key words: volcanic rock; conglomerate; horizontal well; well drilling; Daqing oilfield

近些年,大庆油田加大了对徐家围子地区深层火山岩、砾岩气藏的勘探开发力度,取得了较好的效果。但是,由于登娄库组以下火山岩砾岩岩层埋藏深、成岩作用强和普遍含有凝灰质等原因,致使气藏整体物性、连通性较差,大部分储层为低丰度储层,孔隙度低于下限6%,密度超过 2.50 g/cm^3 ,利用常规直井勘探开发火山岩、砾岩气藏无法取得理想效果。针对这一难题,大庆油田开展了火山岩砾岩水平井钻井技术研究,利用水平井技术勘探开发深层气藏,最大限度地增加气藏裸露面积,增加单井产量,提高深层天然气勘探开发的综合效益。

1 火山岩砾岩水平井钻井技术难点

(1)登娄库组地层不稳定,易出现井壁坍塌,发生井下复杂。

(2)岩石硬度大(2000~5000 MPa),研磨性强,可钻性极高(6~8级),导致机械钻速低、钻头寿命短。

(3)地层温度高,平均地温梯度 $4.1 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,井深4000~5500 m,井底温度160~220 $^\circ\text{C}$,对井下动力钻具等工具的抗温性能要求高。

(4)造斜点深,井眼轨迹控制难度大;水平段钻井施工加压困难,钻井速度慢。

(5)火山岩砾岩储层多为气孔和裂缝发育,裂缝具有极高导流能力,储层易受损害且难于恢复。

2 火山岩砾岩水平井钻井技术

针对上述的技术难点,通过不断的攻关和完善,形成了一套适合于大庆油田的火山岩砾岩水平井钻井技术,并完成了徐深平32井、徐深平34井等多口井的现场试验,达到了勘探开发的目的。

2.1 井身结构优化设计

大庆油田火山岩砾岩水平井多为开发营城组油气藏,目的层较深,裸眼段较长,且上部登娄库组地层不稳定,易出现井壁坍塌,发生井下复杂。因此在井身结构优化过程中重点考虑以下2点:(1)合理

收稿日期:2012-04-10

作者简介:宫华(1981-),男(汉族),黑龙江人,大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院工程师,勘查技术与工程专业,从事钻井工艺技术研究工作,黑龙江省大庆市八百垅,gh_dq@126.com。

的套管层次,节约成本;(2)合适的技术套管下深,有效封固登娄库组地层。

根据大庆油田深层气井和常规水平井的设计施工经验,经技术可行性论证和经济评价,火山岩砾岩水平井优选了三开井身结构,并根据地质情况和钻井工艺要求,分别优化设计了2种不同的井身结构:(1) $\phi 339.7$ mm 表层套管 + $\phi 244.5$ mm 技术套管 + $\phi 139.7$ mm 生产层套管;(2) $\phi 273.0$ mm 表层套管 + $\phi 177.8$ mm 技术套管 + $\phi 88.9$ mm 生产层套管。

技术套管的下深3种方案:直井段、造斜段和接近窗口处。常规水平井技术套管下深均选用直井段方案,但通过3种方案的对比分析,认为技术套管下深至造斜段能有效封固登娄库组以上地层,避免井壁剥落对下部施工的影响。最终优化后的井身结构成功应用于徐深平32井和徐深平34井(见图1),并取得了较好的应用效果。

2.2 个性化钻头的优选

火山岩砾岩水平井登娄库组上部地层岩石可钻性极值相对较低(小于6级),但登娄库组下部营城组地层岩石硬度明显增大,研磨性变强,可钻性极值

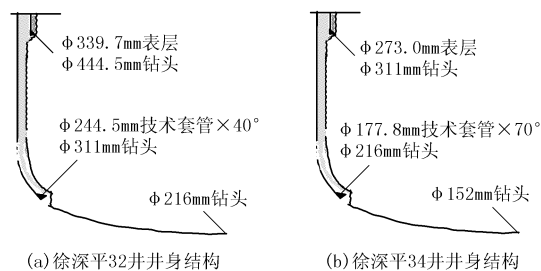


图1 徐深平32井和徐深平34井井身结构示意图

高(6~8级),因此在进行个性化钻头优选时重点考虑:(1)直井段和造斜段如何提高钻头使用寿命,减少起下钻次数;(2)水平段如何提高钻头破岩效率,提高行程钻速。

钻头的选择一般根据所钻地层岩石的抗剪强度、研磨性、可钻性等力学性质来进行合理选型^[1]。因此,首先利用测井资料获得地下岩石的声波、密度等物性参数,利用这些参数评价出岩石的可钻性、硬度、抗剪强度等力学参数(见图2)。根据得出的地层力学参数,结合该地区已钻井的钻头应用资料,通过综合对比优选出该地区各层位的合理钻头类型(见表1)。

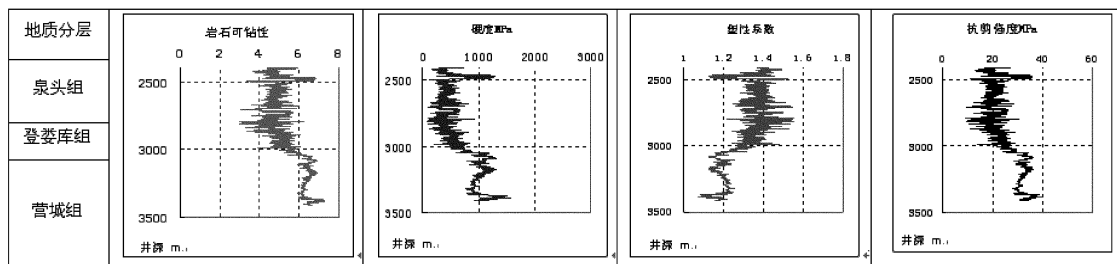


图2 徐家围子地区部分岩层的力学参数

表1 火山岩砾岩水平井钻头优选结果

井段	地层层位	主要岩性	地层平均可钻性极值	优选钻头类型
直井段	四方台组	泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩互层	2~3	R235H/B535
造斜段	泉头组三段	泥岩和砂岩为主,夹杂钙质粉砂岩和砂砾岩互层	3~6	PFM635/M1951SGU/M1666SR
	登娄库组三段	泥岩、砂岩、细砂岩互层	5~7	HJT537GK/HJT617G
水平段	营城组	黑色泥岩、流纹岩、凝灰岩及砂砾岩	6~8	HJT637GH/MD637HDX

与此同时,充分考虑火山岩砾岩水平井的技术特点,直井段与造斜段多为登娄库组以上地层,岩石可钻性一般不大于6级,岩石硬度一般不超过800 MPa。在钻头综合数据对比过程中着重优先考虑PDC钻头。而水平段为营城组地层,岩石可钻性普遍较高一般在6~8级,岩石硬度通常在1000 MPa左右,并且水平段多为复合钻进,钻头侧翼磨损较重,因此,在优选钻头的基础上重点考虑带有适应高转速、掌背部加强保径等附加特征的牙轮钻头。

2.3 井下动力钻具的选型

根据火山岩砾岩水平井地温高、岩石硬度大等技术特点,在优选螺杆钻具过程中,重点考虑了螺杆钻具的抗温性、抗震性以及低转速大扭矩。通过与相关螺杆厂家合作开发,利用特制耐高温橡胶、设计防脱结构、优选特殊转子涂层等方法有效解决了上述难题,并优选出了配套的螺杆钻具(表2)。

2.4 井眼轨道优化设计

井眼轨道优化包含靶点、入靶方位以及井眼轨

表 2 螺杆钻具的选型

螺杆型号	井眼尺寸 /mm	螺杆外径 /mm	螺扶外径 /mm	螺杆弯角 /($^{\circ}$)	特点
C7LZ216 \times 7.0-SF	311.2	216	308	1.25 ~ 1.5	双防脱保护
C5LZ172 \times 7.0DWG	215.9	172	210	1.25 ~ 1.5 0.75 ~ 1.0	抗高温 (150 $^{\circ}$ C)

道的几何形状几个方面^[2]。设计井眼轨道时,首先要考虑火山岩砾岩水平井造斜点深、水平位移较大,需优化设计合理的井身剖面;其次由于深层岩石硬度大、造斜困难,定向时机械钻速低,需优化井眼轨道曲率^[3,4],提高旋转钻进的比例。

由于火山岩砾岩水平井的水平位移相对较大、地层初始造斜能力不确定,因此选用变曲率多圆弧双增剖面法进行井眼轨道优化设计,其靶前位移调整范围余地大,有利于实钻过程中的井眼轨迹控制。通过变曲率设计方法可以将火山岩砾岩水平井的初始造斜率设计较小,随着井斜角增加、造斜趋势形成后,逐步适当提高造斜率,减小造斜段长度,从而便于现场施工过程中对螺杆造斜率的掌控,降低了现场井眼轨迹控制难度(如图 3 所示)。

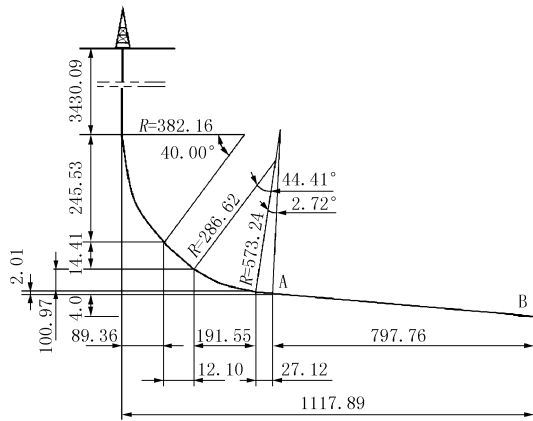


图 3 徐深平 32 井井眼轨道剖面示意(单位:m)

2.5 欠平衡钻井技术

针对火山岩砾岩储层多为气孔和裂缝发育,裂缝具有极高导流能力,正压差状态下储层易受损害且难于恢复这一难点,通过理论计算及方案论证,在水平段采用低密度钻井液体系,应用欠平衡水平井钻井技术实现水平段油气藏的有效保护,并成功应用于徐深平 32 井。

2.5.1 欠平衡井底负压值和钻井液密度窗口的设计

基于大庆油田以往欠平衡钻井技术的经验,经过优化设计和计算得出,静态负压值要控制在 -2.0 ~ -4.0 MPa,动态负压值控制在 -0.7 ~ -1.4

MPa,以确保水平段欠平衡钻井的顺利实施。结合邻井产层实测压力及其他相关数据,优化设计了钻井液密度窗口(如表 3 所示)。

表 3 徐深平 32 井欠平衡钻井参数

井深 /m	地层压力系数	动态负压 /MPa	循环当量密度 /($g \cdot cm^{-3}$)	实现欠平衡钻进钻井液密度上限 /($g \cdot cm^{-3}$)
3700	1.02	0.930	1.014	0.95
	1.04	0.903	1.034	0.97
	1.10	0.743	1.099	1.03
4200	1.02	1.017	1.013	0.94
	1.04	0.984	1.034	0.96
	1.10	0.882	1.108	1.02
4763	1.02	0.928	1.015	0.93
	1.04	0.887	1.012	0.95
	1.10	0.759	1.101	1.01

2.5.2 井底负压值控制技术

实时调节和控制井底压力变化是井底负压值控制技术的关键。而可能造成井底压力波动的主要因素有:(1)随钻产气液量;(2)钻井液入口性能;(3)泵排量;(4)节流阀开度。现场施工过程中钻井液入口性能和泵排量相对较为稳定,可视为常量。

根据环空动力平衡的条件建立如下等式(1):

$$p_t + p_m + p_{HK} = p_p - p_F = p_w \quad (1)$$

根据水力学关系得等式(2):

$$p_B = p_{ZJ} + p_{HK} + p_M + p_t + p_m - p_Z \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)可得:

$$p_F = p_p + p_{ZJ} + p_M - p_B - p_Z \quad (3)$$

式中: p_F ——井底负压值,MPa; p_p ——地层压力,MPa; p_M ——钻头压降,MPa; p_{ZJ} ——钻具内循环压降,MPa; p_B ——泵压,MPa; p_Z ——钻具内静液柱压力,MPa; p_{HK} ——环空循环压力,MPa; p_t ——地面压力(套压),MPa; p_m ——环空气液柱压力,MPa。

根据井内压力关系,当钻井液入口性能、排量不变,而气体滑脱上升或随钻产气液量变化时, p_M 、 p_{ZJ} 、 p_Z 、 p_p 为常量,设 $C = p_M + p_p + p_{ZJ} - p_Z$,则 C 为常数,因此式(3)可简化为:

$$p_F = C - p_B \quad (4)$$

由此可知,当排量不变时,如果泵压上升,则井底负压值按同值减少;反之,如果泵压下降,则井底负压值按同值增加。因此,随钻产油气量变化或气体滑脱上升时,靠调节节流阀使泵压保持不变,即可保持井底负压值不变^[5]。

3 火山岩砾岩水平井钻井技术现场应用

3.1 徐深平 32 井和徐深平 34 井施工简况

火山岩砾岩水平井技术在徐深平 32 井、徐深平

34井等进行了现场应用。其中徐深平32井为大庆油田第一口深层砾岩水平井,设计井深4763.58 m,完钻井深4746.00 m,全井平均机械钻速2.01 m/h,三开水平段首次采用欠平衡钻井方式,钻井液密度控制在 $0.95 \sim 1.00 \text{ g/cm}^3$,及时发现并保护了油气储层,水平段施工中多次点火成功,火焰高达3 m。

根据徐深平32井的相关经验,结合徐深平34井的地质情况及钻井工艺要求,通过井身结构的进一步“瘦身”,有效降低了钻井成本,提高了平均机械钻速。该井设计井深4555.00 m,完钻井深4586.00 m,全井平均机械钻速2.79 m/h,较徐深平32井提高了38.8%,取得了较好的应用效果。

3.2 试验效果分析

目前已完成的多口火山岩砾岩水平井均取得了较好的试气效果,其中徐深平32井水平井段长839.88 m,试气无阻流量是周边直井的2~3倍,增产效果较好。由此可见,利用火山岩砾岩水平井技术开发深层火山岩砾岩气藏经济效益明显。

4 结论与认识

(1)大庆油田首次在火山岩砾岩水平井应用欠平衡钻井工艺技术,该技术能够及时发现并有效保

护火山岩砾岩储层。

(2)优选出适合高转速的M系列钻头(MD637HDX),提高了钻头与螺杆的匹配程度,从而延长了钻头寿命,减少了起下钻次数,提高了行程钻速。

(3)优化后的井身结构及井眼轨道能够满足不同的地质情况和钻井工艺要求,在确保施工安全的条件下,有效地降低了钻井施工成本,提高了钻井速度。

(4)形成了一套成熟的火山岩砾岩水平井钻井完井技术,实现了深层气藏的经济有效开发。

参考文献:

- [1] 纪明师,张富成,张庆华,等.砂砾岩地层钻头合理选型研究及应用[J].石油钻采工艺,2005,27(3):13-14.
- [2] 刘乃震.定向井井眼轨道的最优化设计方法[J].石油钻探技术,2001,29(4):14-16.
- [3] 韩志勇.定向井设计与计算[M].北京:石油工业出版社,1989.
- [4] 韩志勇.三维定向井轨道设计和轨迹控制的新技术[J].石油钻探技术,2003,31(5):1-3.
- [5] 周英操,翟洪军.欠平衡钻井技术与应用[M].北京:石油工业出版社,2003.

(上接第18页)

决了迁安红山铁矿破碎、坍塌、掉块等复杂地层的钻进难题,保证了较高的岩心采取率,控制了钻孔的弯曲度。通过调整金刚石钻头的胎体硬度和底唇面的规格、形状,提高了坚硬“盖帽”地层的钻探施工效率。我们通过上述钻探生产的试验和实践,总结了以下经验和体会。

(1)今后要加强复杂地层的研究和处理方案的比较,对于破碎、坍塌、漏失严重地层或存在断层的复杂岩层,应通过新型泥浆材料的应用,有效地解决钻进护壁防塌堵漏的问题。

(2)加快绳索取心液动潜孔锤钻进技术的引进和使用,提高攻克坚硬“打滑”地层的钻进效率和回次进尺,以便有效地控制硬、脆、碎地层的孔斜,提高岩(矿)心采取率。

(3)针对复杂地层的钻进施工,改变原有的破碎、坍塌、漏失和坚硬“打滑”等复杂地层处理方法,及时推广和使用新的钻探工艺和新方法、新技术,减

少扫孔和提下钻次数,提高钻探效率,降低施工成本,保证地质钻探施工质量。

参考文献:

- [1] 曾石友.嵩县多金属矿区复杂地层岩心钻探施工综合技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11).
- [2] 张元清,宋健.长白矿区复杂地层多金属矿深孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12).
- [3] 郑思光,赵志杰,王克佳,等.司家营(南)区大贾庄铁矿复杂地层深孔钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7).
- [4] 陈风云,王虎,谷天本.小秦岭地区深部钻探钻孔结构设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7).
- [5] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9).
- [6] 皮跃进,刘文华.安溪黄厝坪铁矿复杂地层钻孔护壁堵漏实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9).
- [7] 乔彦斌.新疆乌拉根矿区复杂地层绳索取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11).
- [8] 首照兵,陈礼仪,张统得,等.攀西钒钛磁铁矿整装勘查复杂地层钻探护壁堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2).