

永553低渗砂砾岩区块一体化(IPM)钻井技术

董志辉

(胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要:永安油田永553区块目的层为沙四段,以含砾砂岩、砾岩为主,为低孔低渗油藏。前期施工井存在钻进速度慢、开采程度低、经济效益差等特点。针对永553低渗区块开发现状及开发难点,对该区块进行了一体化(IPM)钻井方案设计,并对钻井设计进行了优化。通过优化钻井技术,钻井提速明显,提高了井身质量,延长了油井寿命。永553低渗区块IPM钻井项目的成功实施,说明IPM钻井模式对于提高油井质量、节约钻井成本、提高经济效益是行之有效的。

关键词:一体化钻井;砂砾岩;低渗油藏;钻井技术

中图分类号:TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)01-0046-06

Integrated Project Management (IPM) Drilling Technology of Yong 553 Low Permeability Glutenite Block/DONG Zhi-hui (Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Engineering Co., Ltd., Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: The target section of Yong 553 block in Yong'an oilfield is Sha-4, low permeability reservoir mainly containing glutenite and conglomerate. There are problems such as low drilling efficiency, low exploitation degree and poor economic benefit in early construction. To realize overall high quality and efficient development in Yong 553 block of Yong'an oilfield, IMP was carried out. The overall development program was designed for low permeability 553 block according to the development status and difficulties. By optimizing drilling design, the drilling efficiency was obviously improved with higher quality of wellbore and longer service life of oil well. The successful practice of IPM in Yong 553 low permeability block shows that IPM drilling model is an effective way to improve the quality of oil well, save drilling cost and increase economic efficiency.

Key words: integrated project management (IPM) drilling; glutenite; low permeability reservoir; drilling technology

1 永553区块一体化(IPM)钻井项目简介

永553地区已钻探井9口,其中7口井钻遇沙四段砂砾岩体,并进行试油试采,4口井获得工业油流。永553区块在前期开发过程中主要存在以下问题:储量控制程度低,需部署新井完善井网,整体开发,提高储量控制及动用程度;目的层以砂砾岩为主,机械钻速低,需提高钻井速度;自然产能低,需油气层保护及后期压裂注水等措施提高产量;地层倾角大,直井段易斜,抽油杆偏磨严重,需提高井身质量;后期需要压裂改造,对固井质量要求高。

针对一系列开发难题,为实现永安油田永553区块整体高效开发,开展实施了永553低渗区块IPM一体化钻井项目。一体化(IPM-Integrated Project Management)服务模式是大型油服公司对项目进行总承包,提供“一站式”服务,简化了项目运作的决策程序和项目管理复杂性,增强了油气勘探

生产活动各环节技术服务业务的紧密性,可以提高公司整体资源利用效率,减低运作成本^[1-2];可最大限度使用自己的技术来优化钻井,提高钻井效率,提高油井质量,提高采收效果,已成为油服公司逐步发展壮大主要服务模式之一。

在永553区块IPM钻井项目中,成立了IPM项目组,由项目组组织制定整体开发方案、钻井设计,组织协调钻井、钻井液、定向、钻头、供井材料及管具、录井、测井、固完井等各单位施工,确保了各单位紧密配合、顺利施工,通过一体化管理,提高了项目运行效率,提高了钻井质量及钻井速度,节约了成本。永553区块IPM钻井项目主要做了如下工作。

(1)对永553区块已钻井资料进行了收集及分析,针对永553区块开发现状及开发难点,对永553区块进行整体开发方案设计,并对钻井设计进行了优化。

收稿日期:2016-02-26; 修回日期:2016-10-13

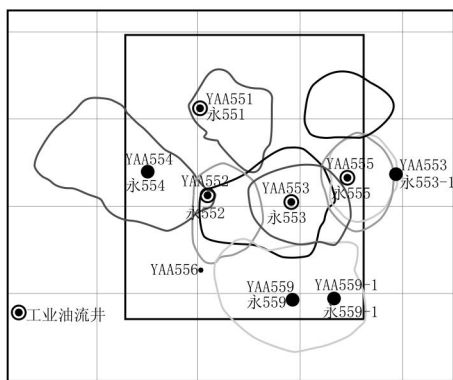
作者简介:董志辉,男,汉族,1983年生,工程师,石油工程专业,从事钻井科研及钻井技术服务工作,山东省东营市北一路827号,z45708@126.com。

(2)分析永 553 区块钻完井难点,进行了钻完井技术优化,明确应用技术,优化钻完井施工。

(3)由现场项目组负责下达每班作业指令,落实技术措施,各施工方按照作业指令内容,根据各自的承包责任,按照作业规程进行作业。

(4)项目组现场人员值班,监督生产作业,发现问题及时恰当地解决,确保安全、高效钻井。

(5)完井后进行全面总结,分析施工过程中的得与失,不断优化施工工序及技术措施,使项目施工不断优化,技术措施不断完善。



2 永 553 区块资料收集及分析

根据已钻取心井永 551、永 552、永 553、永 554、永 555 井所做的油层物性分析资料统计,储层主要是含砾砂岩、砾状砂岩、夹少量泥岩;根据区块岩心分析化验,平均孔隙度为 10.8%,平均空气渗透率为 $12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔低渗储层。

永 553 沙四段砂砾岩目前采出程度 1.89%,采收率仍有较大的提升空间,而且含水均 < 50%,水淹程度低,平面剩余油富集,整体开发永 553 区块潜力巨大,永 553 区块油藏情况见图 1。

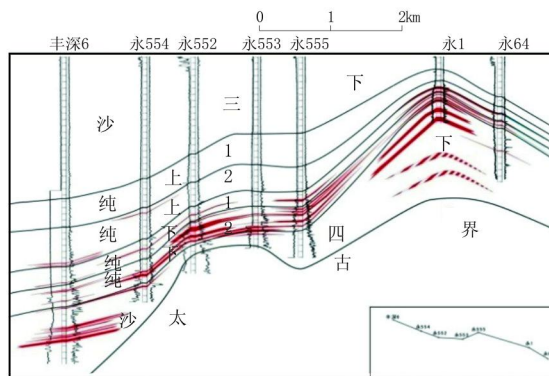


图 1 永 553 区块油藏情况图

根据已钻井录井资料,永 553 区块地层分层及岩性情况如表 1 所示。

表 1 永 553 区块地层情况

系	组	垂深/m	岩性	含油井段
第四系	平原组	340	粘土、松散砂层	
上第三系	明化镇组	1035	松软泥岩、粉砂岩	
	馆陶组	1395	松软泥岩,馆陶底有砂砾岩	
下第三系	沙二段	1435	泥岩夹粉砂岩	
	沙三上	1650	含砾细粉砂岩夹薄层泥岩	含油,永 66 开发层系
	沙三中	2090	泥岩夹薄层粉砂岩(岩屑较软)	
	沙三下	2335	泥岩,岩屑较软,塑性较强	
	沙四	2950	泥岩,岩屑较硬、脆	
	沙四	3050	灰质泥岩,可钻性变差	
	沙四	3270(未穿)	砂砾岩夹薄层泥岩	含油,永 553 开发层系

3 整体开发方案优化

永 553 区块目前投产开发井 3 口,井距 590 ~ 830 m,井距大,无法建立有效注采井网,储量控制程度 18%,储量控制程度低,需部署新井完善井网,提高储量控制及动用程度。对低渗透油田来说,井网

部署是否合理是开发成败的关键。在保证一定经济效益前提下,采取合理实用的井网部署,可使油田有效地注水开发,并达到较好的开发效果^[3-6]。

3.1 开发区域选取

根据产能高低、储量规模、开发难度选取有利目标。永 554 地区埋藏深度 > 3500 m,最高产能仅 1.4 t,效益差,暂不开发;永 551 地区储层厚度薄,储量规模小(储量 17000 t),暂不开发;永 559 与永 559-1 井均钻遇膏盐,因膏盐的塑性拱涨导致套管很快变形,开发难度较大,暂不开发;永 552、永 553、永 555 地区储量大、产能高,开发难度小,选取为本次开发目标。

3.2 开发方式选择

(1)永 553 开发层系有效厚度小,储层跨度不大,立足一套层系开发。

(2)永 553 区块已钻井储层改造情况如下:压裂 3 井次,平均单井日液增加 13 m^3 ;酸化 5 井次,平均单井日液增加 2.9 m^3 ;压裂整体效果明显好于酸化,表明储层适合压裂改造。

(3)油井有自然产能,但产能较低,已钻井每采出 1% 的地质储量压降为 3.3 MPa,弹性产率比为 1.23,表明天然能量不足。储层敏感性实验,弱水

敏,无明显敏感性特征,采用注水开发可行。低渗透油田必须早注水,以保持较高的地层压力,防止油层孔隙度大幅度下降,保持良好的渗流条件。

3.3 布井方案优化

(1)通过不同井网形式最终采出程度对比,交错状五点法面积井网采出程度最高。选取五点面积井网,交错排状开发,井排方向平行于主应力方向。

(2)依据参考文献[7]低渗透油藏极限泄油半径测算,永553沙四段砂砾岩体极限泄油半径为75 m。测算经济合理井网密度为21口/km²,排距为

150 m的情况下,注采井距218 m,油井井距320 m,油井压裂半缝长85 m,水井压裂半缝长50 m。永553区块布井总井数26口(17口油井,9口水井),利用老井数3口(1口油井,2口水井),新井数23口(16口油井,7口水井)。

(3)为进一步评价开发方式、井网井距和产能预测的合理性,新钻井分2期完成,一期钻井4口,优先围绕中间井永553井实施,同时探索永553低渗砂砾岩区块高效开发钻井技术,形成区域钻井模式(见图2),为永553低渗砂砾岩区块高效开发奠定基础。

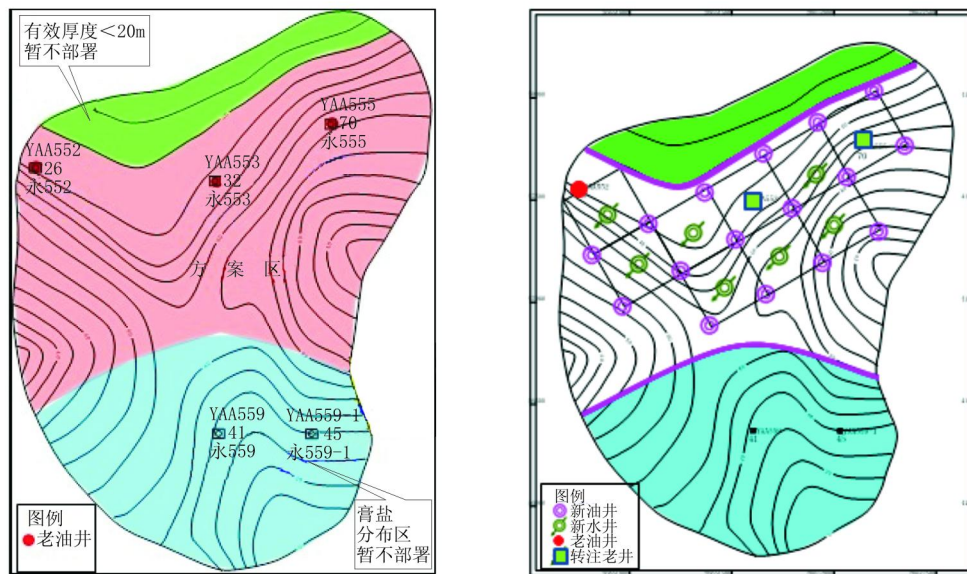


图2 永553区块整体开发方案简图

3.4 钻井工程设计优化

综合考虑地质环境、油气田开发对钻井工程的要求、钻井环境和钻井工艺技术现状,钻井成本、地面建设成本、采油及后期管理成本等因素,结合已钻井的实钻资料分析论证,优化钻井设计。主要优化设计如下。

(1)采用多个井组、丛式井开发方式。

(2)新井全部采用二开制井身结构、套管射孔完井方式,优选采用低密度水泥浆+塑性微膨胀水泥浆体系固井,可解决封固段长难题并提高固井质量,可满足采油及后期压裂等增产措施需求,钻完井工艺简便。

(3)优化井眼轨道,避免在砂砾岩地层定向。砂砾岩地层研磨性极强,可钻性差,定向速度慢。在不影响储层开采及满足钻井工程要求前提下,对井眼轨道设计进行优化,使砂砾岩井段处于稳斜段。

4 钻井技术优化

4.1 钻头优选

为提高钻速,对永553区块钻头进行了优选试验,优选试验情况如表2。

4.1.1 起下钻趟数及每趟钻钻头优选

通过对永553区块4口井二开钻头试验情况,采用三趟钻较合适,可有效提高钻井速度。

(1)井段350(二开)~1650 m地层依次为明化镇组、馆陶组、沙二段、沙三上段,岩性为松软泥岩、粉砂岩、含砾细粉砂岩,地层埋深较浅、成岩性差,适合HAT127型牙轮钻头钻进。牙轮钻头可释放钻压,钻完的直井段较直,利于防斜,利于与邻井防碰,并且沙三上段地层岩性主要是含砾细砂岩夹薄层泥岩,砾小、成分为石英,极易损坏PDC钻头,HAT127型牙轮能钻穿沙三上段含砾细砂岩地层,为下趟钻下入PDC钻头打好基础。

表2 永553区块4口井二开钻头优选试验情况

井号	趟数	钻头型号	钻进井段/ m	进尺/ m	钻速/ (m·h ⁻¹)	平均钻速/ (m·h ⁻¹)	效果分析
永553-斜11	1	PK4362MC(PDC)	354~1701	1347	18.20	9.43	第1趟钻PDC钻头钻遇含砾细砂岩(1450m)后钻头磨损严重,钻速变慢;第2趟钻PDC钻头钻泥岩地层,钻速较快;第3趟钻牙轮钻头钻速慢,寿命短,进尺少;第4趟钻PDC钻头磨损严重,报废;共4趟,钻速慢,起下钻次数多
	2	PQ4252SJ(PDC)	1701~2981	1280	9.14		
	3	MD517X(牙轮)	2981~3076	95	2.21		
	4	PQ4252SJ(PDC)	3076~3206	130	2.86		
永553-斜12	1	HAT127(牙轮)	368~1621	1253	30.94	10.31	第1趟钻改用牙轮钻头,可释放钻压,利于防斜防碰,可钻穿沙三段含砾细砂岩,钻速较快,效果较好;第2趟钻应用较好,可推广使用;第3趟钻改用五刀翼PDC钻头,增加PDC钻头抗研磨性,提高PDC钻头使用寿命,钻速较慢,钻头磨损较上口井轻
	2	PQ4252SJ(PDC)	1621~3084	1463	9.14		
	3	PK5253SJ(PDC)	3084~3239	155	1.99		
永553-斜13	1	P5363S(PDC)	356~2506	2150	14.83	9.54	减少了起下钻次数,但降低了钻速,第1趟钻上部地层钻速不如牙轮钻头,进入泥岩段钻速不如四翼PDC钻头;第2趟钻泥岩段钻速不如四翼PDC钻头
	2	PK5253SJ(PDC)	2506~3267	761	4.76		
永553-斜14	1	HAT127(牙轮)	365~1675	1310	31.19	11.97	第1趟钻、第2趟钻钻速较快,应用较好;第3趟钻进一步提高PDC钻头的抗研磨性,同时增加钻头的攻击性,对比上3口井,钻速提高,钻头磨损较上3口井轻
	2	PQ4252SJ(PDC)	1675~3062	1387	10.35		
	3	PK5253SJ(PDC)	3062~3250	188	2.89		

(2)井段1650~3050m地层为沙三段、沙四段,岩性以灰色泥岩为主,比较均质,可钻性相对较好,采用“4FPDC钻头+螺杆”钻具组合,能够充分发挥PDC钻头小钻压高转速的特点,提高钻速。

(3)井段3050~3250m(完钻)地层为沙四段,岩性为砂砾岩夹薄层泥岩,研磨性强,不均质,可钻性差,钻头易不规则转动,扭矩大且不稳。采用牙轮钻头钻速慢、寿命短、进尺少且易掉牙轮,推荐采用5FPDC型钻头并增强PDC钻头的抗研磨性,延长PDC钻头使用寿命,确保在砂砾岩地层一趟钻完钻。

4.1.2 PDC 钻头的选择

通过4口井PDC钻头使用试验,不断改进,优化适合永553区块不同井段的PDC钻头。

(1)井段1650~3050m选用型号为PQ4252SJ的四翼PDC钻头,选用高强度进口复合片作为主切削齿,低密度布齿、双排切削齿加强、PDC切削齿出露控制,低摩阻金刚石主动保径,具有定向设计结构特征,具有攻击性强,适合定向的特点。

(2)井段3050~3250m选用型号为PK5253SJ的五翼PDC钻头,选用高强度进口复合片作为主切削齿,中等密度加强布齿,双排切削齿加强,PDC切削齿出露控制,低摩阻金刚石主动保径,具有抗研磨性强、稳定性好的特点。

4.2 钻具优选及钻井参数优化

4.2.1 长寿命螺杆使用

优选长寿命螺杆,螺杆承受钻压尽量在50kN以内,尽量避免憋泵。平均使用寿命达到195.29h,大幅度减少了起下钻次数,提高了钻井时效。

4.2.2 使用修壁器修复光滑井壁

永553区块垂深1450~1650m井段为沙三段地层,岩性为含砾细粉砂岩夹薄层泥岩,钻进中易形成不规则井眼,同时,此井段为永66开发层系油层井段,渗透率相对较好,泥浆固相易在此井段吸附,造成局部小井眼,导致井眼不规则、起下钻困难。

永553-斜11井此井段每次起下钻有显示,尤其是钻井液未形成稳定体系前,起下钻显示阻力偏大。永553-斜12井、永553-斜13井、永553-斜14井在此井段钻具组合中加1~2个Ø210mm修壁器,钻进的同时,随钻修复此井段井眼,起下钻畅通无显示。

4.2.3 砂砾岩井段弱化钻井参数

永553-斜11井PDC钻头钻遇1450~1650m含砾细粉砂岩井段,未弱化钻井参数,钻速变慢,起出钻头切削齿崩坏,磨损严重。永553-斜13井PDC钻头钻遇1450~1650m含砾细粉砂岩井段,弱化钻井参数,适当降低钻压、转速,均匀送钻,钻速一直较快,钻至2506m起钻,起出钻头基本完好。永553-斜12井、永553-斜13井、永553-斜14井PDC钻头钻遇3050~3250m砂砾岩井段,弱化钻井参数,均保证了一趟钻钻穿砂砾岩井段完钻。

4.3 井眼轨迹控制优化

4.3.1 直井段防斜打直及防碰

永553区块地层倾角较大,直井段易斜,新井以井组形式开发,以及同区块有永66沙三段开发井网,需要与邻井防碰。通过防斜打直技术措施及MWD无线随钻仪器实时监测,确保了直井段打直。

防碰主要在直井段,通过直井段防斜打直,防碰任务得到了有效解决。

4.3.2 稳斜段稳斜钻具组合优选

随着斜井段的变长,摩阻升高,滑动钻进钻速变慢。稳斜段稳斜钻具组合的使用,稳斜效果好,可减少定向调整次数,减少滑动钻进进尺,提高钻井时效,井眼平滑。永553-斜11井,稳斜段钻具组合为“PDC钻头+1.25°螺杆+MWD”,复合钻进井斜以(2°~5°)/100 m增斜。永553-斜12、斜13、斜14井,稳斜段钻具组合为“PDC钻头+1.25°螺杆+Ø210 mm扶正器+MWD”,在螺杆上方增加一只Ø210 mm扶正器,复合钻进井斜以(0°~1°)/100 m增斜,稳斜效果好,大大减少了定向调整次数,减少了滑动进尺,提高了钻井时效。

4.4 钻井液优化

4.4.1 钻井液处理适当延后

按永安油田通常做法,在进入沙二段地层前,应调整泥浆,并尽快降低失水量,防止泥岩吸水膨胀,

掉块坍塌,确保沙二段以下泥岩井段井壁稳定。永553-斜11井钻井液设计参见表3。

表3 永553-斜11井钻井液设计

井段/m	密度/(g·cm ⁻³)	马氏漏斗粘度/s	API失水量/mL
0~351	1.05~1.10	35~45	
351~1300	1.05~1.15	30~40	
1300~2500	1.15~1.25	35~45	10~6
2500~3270	1.25~1.35	45~60	→5

通过前期已钻井情况及岩屑吸水等实验分析,沙二段以下泥岩井段存在坍塌周期,在坍塌周期内将钻井液性能调整好,不影响井下安全。钻井液处理适当延后,可避免上部井眼过小,能有效保障起下钻通畅,钻井液后期劣质固相含量低,性能稳定,易于调控,抗污染能力强。钻井液处理前,失水量大,粘度低,破岩效率高,可提高钻速。同时节约钻井液材料,节约钻井成本。永553区块部分井钻井液性能与钻速情况参见表4。

表4 永553区块部分井钻井液性能与钻速情况

井号	复合钻速/(m·h ⁻¹)	井深1800 m钻井液性能			井深2200 m钻井液性能			井深2600 m钻井液性能		
		密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	API失水量/mL	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	API失水量/mL	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	API失水量/mL
永553-斜11	11.28	1.18	40	6.0	1.19	49	5.0	1.25	54	5.0
永553-斜12	10.71	1.16	42	4.6	1.15	46	4.8	1.16	42	5.0
永553-斜14	15.72	1.14	34	36	1.14	35	30	1.15	42	5.0

注:各井采用的钻头型号均为PQ4252SJ,钻具组合为PDC钻头+螺杆,钻进井段1750~2600 m。

4.4.2 采用低密度钻井液

永553区块前期已钻井完井钻井液密度区间为1.38~1.6 g/cm³,新完成4口井钻井液密度基本在1.15 g/cm³,密度远低于前期井,降低了井底压差,减少了钻井液固液相侵入,提高了油层保护效果,同时较低钻井液密度也提高了钻井速度。在新井钻井过程中,自垂深2900 m后,一直有地层油气水侵入,通过不断调整维护钻井液,保持了钻井液性能的稳定和井壁稳定。

4.4.3 油层保护

永553区块油藏类型为低孔低渗,理想充填技术和防水锁技术是低孔低渗油藏油层保护的有效手段。在钻井过程中,钻井液完井液和固井水泥浆中固相颗粒的污染是造成储层伤害的关键之一^[8-10]。理想充填技术就是根据孔喉尺寸加入具有连续粒径序列分布的暂堵剂颗粒来有效地封堵储层中大小不等的各种孔喉以及暂堵颗粒之间形成的孔隙,达到

理想充填的效果^[11-15]。通过油层保护措施的实施,可有效降低钻井液对低渗储层的伤害。油气层保护具体措施如下。

(1)调整好钻井液性能,使用好固控设备,严格控制劣质固相和低密度固相含量,提高泥饼质量,减轻固相侵入伤害。

(2)进入储层前,对钻井液进行取样测试,根据理想充填技术,确定填充封堵剂的粒度级配,添加足量的多级配填充封堵剂,有效封堵固、液相的侵入。

(3)进入储层前,添加钻井液用防水锁剂,减轻低渗储层微孔道的水锁伤害。

(4)加快钻井速度,减少油气层浸泡时间。

5 完井技术优化

采用套管射孔完井方式,可满足永553区块采油及后期压裂等增产措施需求,且完井修井工艺简便。为有效封固垂深1435 m浅层油气,固井水泥需

返至1000 m,固井水泥封固段长近2300 m,存在水泥顶替压力高、易压漏地层,斜井段居中与扶正难以保障,固井质量难保证等难题。为提高固井质量,采用低密度水泥浆+塑性微膨胀水泥浆体系,其中1000~2000 m采用低密度漂珠水泥浆固井,2000 m至井底采用塑性微膨胀水泥浆固井。低密度漂珠水泥浆体系密度调节在 $1.40 \sim 1.55 \text{ g/cm}^3$,可以减少液柱压力,防止固井漏失,提高水泥返高,此外减小顶替压力,使固井顶替易达到紊流状态,提高固井质量。塑性微膨胀水泥浆膨胀率 $3\% \sim 5\%$,抵消水泥凝固体积收缩,防止环空窜槽,提高界面胶结质量;水泥石抗冲击性能提高20%,抗折强度提高20%~25%,减少射孔压裂及生产时水泥环破坏,从而防止压裂或生产窜槽。

为提高固井质量,固井施工中采用了多种技术措施:采用固井软件进行固井过程模拟设计,确保固井安全;对前置液、水泥浆体系进行配伍试验,优化前置液、水泥浆性能;优化通井方案,清洁井眼、钻井液降粘切;优选下入弹性双弓扶正器+树脂螺旋刚性扶正器,并对扶正器数量及下入位置优化,提高套管居中度;优化固井施工参数,提高顶替效率。永553区块新钻4口井固井质量均优质,能够保障压裂投产效果,延长油井寿命,满足长期开发要求。

6 钻井效果

永553区块IPM钻井项目已完成一期钻井4口,通过钻井技术优化、完井优化等技术措施,钻井提速明显,节约了钻井成本;井身质量、固井质量优质,提高了油井质量;目前4口井均已投产,单井每日平均产原油10.4 t,获得良好收益。探索出了永553低渗砂砾岩区块一体化高效钻井技术,形成了永553低渗砂砾岩区域钻井模式,预计随着第二期钻井项目的整体开发施工,可实现永553区块经济高效开发。永553区块IPM实施井效果情况见表5。

4口井直井段全角变化率 $\leq 1.75^\circ/25 \text{ m}$,斜井段全角变化率 $\leq 15^\circ/100 \text{ m}$ 。

7 结语

(1)通过成立永553低渗区块IPM一体化钻井项目,项目组针对永553低渗区块开发现状及开发难点,对永553低渗区块进行了整体开发方案设计、钻井设计优化,并通过优化钻井技术、优化固完井技术,

表5 永553区块IPM实施井效果情况

井号	平均井径扩大率/%	直井段位移<50 m	直井段全角变化率/[($^\circ$) $^{-1}$]	斜井段全角变化率/[($^\circ$) $^{-1}$]	固井质量	节约钻井周期/d	日产原油/t
永553-斜11	8.52	0.48	1.44	13.70	良	0.31	11.8
永553-斜12	7.33	12.55	1.11	12.30	优	9.27	11.5
永553-斜13	7.87	16.40	1.15	13.70	良	11.37	9.7
永553-斜14	8.15	14.98	1.09	13.25	优	16.34	8.5

使钻井质量大幅提高,延长了油井寿命,缩短了钻井周期,节约了钻井成本。说明IPM钻井模式对于提高钻井质量,提高钻井速度,提高经济效益方面是行之有效的。

(2)永553低渗区块通过4口井的钻井技术优化,钻井提速效果明显。但砂砾岩地层钻速仍然偏慢,砂砾岩钻速提高仍需进一步探索完善。

(3)低渗油藏开发,注重油层保护,能够获得较好投产效果;提高固完井质量,满足压裂改造等后期增产措施,可延长油井寿命,满足长期开发要求。

参考文献:

- [1] 张乃本. 浅析井筒技术服务行业的综合项目管理(IPM)模式[J]. 国外测井技术, 2009, 170(4): 66-68.
- [2] 凌立苏, 张伟, 徐新纽, 等. 石油钻探一体化管理模式的探索与实践[J]. 科技创业, 2011, 7(7): 75-76.
- [3] 李新红, 陈余万, 蔡刚. W2低渗—特低渗油藏高速高效开发实践[J]. 钻采工艺, 2003, 40(4): 40-43.
- [4] 梁柱, 申志军, 齐梅, 等. 宝浪油田低渗油藏高效开发技术研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(2): 100-102.
- [5] 李道品. 低渗透砂岩油田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [6] 张英芝. 特低渗透油藏开发技术研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [7] 孙焕泉, 杨勇. 低渗透砂岩油藏开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [8] 尹祥翔, 刘林泉, 柯贤贵, 等. 砂砾岩稠油油藏储层伤害机理研究[J]. 新疆石油天然气, 2013, 60(4): 60-63.
- [9] 张云鹏, 卢宗盛, 王玉娟, 等. 辽河油田沈95块储层伤害研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(3): 109-115.
- [10] 戎克生, 李建国, 徐生江, 等. 准格尔盆地砂砾岩气层钻井中的储层保护技术[J]. 天然气工业, 2012, 32(2): 63-66.
- [11] 郑淑杰, 窦同伟, 丁丽芳, 等. 理想充填理论在大港油田的应用[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(2): 123-125.
- [12] 马平平, 熊开俊, 杨荣奎, 等. 理想充填理论在吐哈油田温西三区块的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2012, 35(2): 57-60.
- [13] 孟尚志, 鄢捷年, 艾贵成, 等. 理想充填暂堵新方法在昆2井储层保护中的应用[J]. 天然气工业, 2007, 27(8): 79-81.
- [14] 张凤英, 鄢捷年, 杨光, 等. 理想充填暂堵新方法在吐哈丘东低渗透气田的应用[J]. 钻采工艺, 2009, 32(6): 88-90.
- [15] 鄢捷年, 王建华, 张金波. 优选钻井液中暂堵剂颗粒尺寸的理想充填新方法[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(4): 129-135.