

文章编号: 1000-0747(2006)03-0262-05

胜利油田三次采油技术的实践与认识

孙焕泉

(中国石化胜利油田分公司)

基金项目: 中国石化股份有限公司重点科研项目(P04049; P04059)

摘要: 通过技术探索、研究试验、工业化推广和新驱油体系技术攻关, 三次采油技术已成为胜利油区老油田持续稳产的主导技术, 截至2006年3月, 累计增产原油达到1150万t。经过多年攻关研究, 发展了化学驱油理论, 胜利油田化学驱由单一的聚合物驱发展为多个复合驱油体系, 并形成了具有胜利油田特色的化学驱配套技术。目前, 胜利油田三次采油面临着聚合物驱优质资源接替不足、三次采油技术接替难度大、三次采油技术发展的不平衡及已实施化学驱单元的效果差异较大等问题, 需要增强化学驱技术和产品创新能力, 强化储备技术攻关、拓宽三次采油技术发展空间, 抓好注聚项目管理、提高降水增油效果, 强化先导试验研究、加快三次采油技术接替。参15

关键词: 胜利油田; 三次采油; 聚合物驱; 三元复合驱; 复合驱油体系

中图分类号: TE357

文献标识码: A

Practice and understanding on tertiary recovery in Shengli Oilfield

SUN Huan-quan

(Shengli Oilfield Company, Sinopec, Shandong 257000, China)

Abstract: The tertiary recovery has become the dominant technique for the stable production of old oilfields in the Shengli Oilfield. The cumulatively incremental oil was up to 11.50 million tons by the end of Mar. 2006. Chemical flooding has developed from single polymer flooding to multiple compound flooding systems in the oilfield and a complete set of chemical flooding with the oilfield's characteristics was formed. The tertiary recovery is facing some major problems, such as inadequate high-quality resources of the polymer flooding, replacement difficulty and unbalanced development of the tertiary recovery technology, and great resulted differences among the chemical-flooding implemented units, etc. The chemical flooding technology and the ability to innovate new products should be strengthened. The developmental space of tertiary recovery should be widened through continuously extending technical storage. The polymer-injection project should be well managed so as to enhance the effect of water decreasing and oil increasing. The intensive pilot study will make the tertiary recovery technology replacement faster.

Key words: Shengli Oilfield; tertiary recovery; polymer flooding; ASP compound flooding; compound oil displacement system

化学驱三次采油技术是一项能够大幅度增油降水、提高原油采收率的油田开发技术。20世纪60年代以来, 针对胜利油田地层温度高、地层水矿化度高、原油黏度高、综合含水率高、大孔道较为发育的特殊油藏条件, 开展了三次采油技术的探索研究。经过长期的室内实验研究, 1992年开展了小井距三元复合驱先导试验^[1]和孤岛油田中一区Ng₃层聚合物驱矿场先导试验^[2], 两个试验取得了明显的增油降水效果。1994年在孤岛和孤东油田开展了聚合物驱扩大试验^[3], 1997年聚合物驱油技术在I类油藏实现工业化推广, 此后, 开展了II类油藏的提高采收率技术研究。目前, 三次采油技术已成为胜利油田持续稳产的主导技术, 截至2006年3月, 胜利油

田共投入化学驱单元30个, 覆盖地质储量3.18亿t, 年增产原油达169.3万t, 累计增产原油1150万t, 取得了显著的经济效益和社会效益。

1 胜利油田三次采油技术应用状况

1.1 油藏制约条件

根据化学驱适用性评价标准^[4], 胜利油田化学驱存在以下制约因素。①地层温度高、地层水矿化度高。根据资源评价结果, 胜利油田有4类资源适合化学驱, 储量共10.76亿t。其中, 油藏条件相对较好的I类资源地层温度达到70℃, 地层水矿化度为10000mg/L左右, 储量只占总资源量的24.9%; II类资源地层温度70~80℃, 地层水矿化度10000~30000mg/L, 储量占总

资源量的25.3%；III类资源地层温度80~93℃，地层水矿化度大于30 000mg/L，储量占总资源量45.2%。②原油黏度高。地下原油黏度大于40 mPa·s的储量占60%，大于70mPa·s的储量占25%，通过改善流度比来提高这类稠油油藏采收率的难度更大。③动态非均质性较严重。胜利油田适合化学驱的储量以疏松砂岩常规稠油油藏为主，高含水期是水驱开采的主要阶段，主力单元的注水倍数均在1倍孔隙体积(PV)以上，个别单元达到3PV。长期高强度注水开发，造成大孔道发育、动态非均质性严重，孤东等强水洗油田的水线推进速度达到2.6 m/h，加大了三次采油的风险。④老井井况差、井网不完善。由于胜利油田聚合物驱是在原井网条件下进行的，所以该问题较为普遍。⑤淡水资源紧张，污水处理排放难度大。受黄河水的影响，推广化学驱三次采油技术受到环境条件的制约。

1.2 应用规模及效果

胜利油田三次采油技术经历了“七五”以前的技术探索、“八五”期间的研究试验、“九五”期间的工业化推广和“十五”以来的新驱油体系技术攻关4个阶段，三次采油技术应用规模不断扩大。至2006年3月，胜利油田共有化学驱项目30个，覆盖储量3.18亿t，占油田动用储量的8%，化学驱单元产油量达到10 024 t/d，占油田总产油量的14%，增油量为4522t/d，2005年增产原油169.3万t，降低油田产量递减率近5%，累计增产原油超过1150万t，平均每吨聚合物增产原油41t，主力单元达到80~100t。30个化学驱项目已整体提高采收率3.54%，主力单元达到7%~10%，预计最终可增加可采储量2156万t，提高采收率7.3%。

2 三次采油技术创新及突破

2.1 化学驱油理论

2.1.1 胜利油田油藏条件下聚合物驱的配方设计依据

传统理论认为，聚合物溶液与地下原油的流度比越接近于1，驱油效果越好。但对于胜利油田的油藏条件，从技术经济的角度来看不可能达到这一要求。对此，应用物理模拟和数值模拟等手段，深入开展聚合物驱渗流规律研究，分析注入浓度、注入段塞和注入速度等因素对驱油效果的影响，研究结果表明，针对胜利油田的油藏条件，流度比控制在2~7时仍然可以显著提高采收率和开发效益。这一认识奠定了胜利油田聚合物驱方案设计的基础。

2.1.2 聚合物黏弹性对驱油效果的影响

通过室内实验和矿场试验证明了微观孔隙渗流过程中存在滑脱效应，弹性较差的驱油体系难以发挥有

效的调驱作用，进一步明确了聚合物溶液黏性和弹性对流度控制的共同影响，指出聚合物驱油体系既要有较高的黏度，也要有较好的弹性，才能取得明显的驱油效果。这一认识为三次采油驱油用剂的评价奠定了基础。在此认识基础上，建立了聚合物体相流变、界面流变、拉伸流变的评价方法和界面扩张黏弹模量的测量方法，并首次将其用于表征不同类型聚合物的溶液特征，完善了高温高盐油藏聚合物产品的质量指标体系。

2.1.3 聚合物加合增效理论

大量的实验研究和矿场实践表明，在聚合物溶液中加入合适助剂的复合驱油方式，能够产生超加合作用。体系的阻力因子、界面活性大幅度提高，驱油效果好于两种单一注入剂效果之和，具有更大的技术优势和应用范围。基于这一认识，初步建立了聚合物加合增效理论，其内涵为“一个核心、两个基础、四个机制”，即以“聚合物加合增效”为研究核心，聚合物、活性剂合成及设计为研究基础，化学剂之间、化学剂与原油、化学剂与岩石、化学剂在多孔介质中的运移4个方面的相互作用为主要机制。这一理论认识为复合驱油体系的设计提供了科学的指导。由于不同化学驱单元的原油烃类组成、极性物含量和酸值存在差异，传统的活性剂筛选方法存在一定盲目性。通过研究分子构效关系，查明致效机制，解决了降低界面张力的本质问题，提高了配方设计的针对性和有效性。设计了系列石油磺酸盐产品，以此为主剂研制了二元复合驱油体系，界面张力达到了超低的 1×10^{-3} mN/m。这些研究成果发展了化学驱提高采收率理论，丰富了三次采油技术的应用与实践。

2.1.4 化学驱驱油规律

胜利油田的油藏条件决定了其三次采油驱油规律的特殊性。通过对开采阶段^[9]、见效类型、见效特征等的研究，形成了规律性的认识，有效指导了方案优化设计和矿场跟踪调整。胜利油田聚合物驱项目按见效情况可分为诱导期、主导期和持续期3个阶段。诱导期一般在注入0.15PV以前，基本特征是注聚井压力上升2~3MPa，单元含水率基本稳定或略有上升，产油量保持平稳或略有下降。主导期一般为注入0.15~0.7PV，此阶段注入压力保持平稳，单元含水率下降5%~20%，产油量增加1~3倍；约注入0.35PV时，含水开始回返，产油量下降，初期含水上升速度为5%~15%，产量递减率为20%~40%。注入0.7PV以后进入持续期，含水和产油量逐步恢复到注聚前的水平。大庆油田化学驱增油量绝大部分是在注聚阶段产出的，而胜利油田后续水驱阶段的增油量占总增油量的60%左

右。按含水率的变化,油井见效类型可划分为 U、V、W 和平稳型等 4 种类型,分析了其影响因素和控制条件,用以指导注聚过程和后续水驱阶段的跟踪调整,确保注聚项目增油增效。

2.2 化学驱油方式

经过多年攻关研究,胜利油田化学驱由单一的聚合物驱发展为多个复合驱油体系。

2.2.1 用于注聚低压井治理的交联体系

充分利用交联剂体系黏度大、阻力系数高,能够形成稳固的聚合物段塞、有效抑制聚合物窜流的特点,开展了低压井添加交联剂改善注聚质量的研究和应用。“十五”以来,累计应用交联体系 138 井次,注聚压力平均上升 2MPa。

2.2.2 三元复合驱油体系

“九五”期间,为了进一步探索三元复合驱在胜利油田稠油油藏的适用性,对孤东小井距先导试验的配方进行改进,研制了高效、价廉、乳化程度低的三元弱碱配方体系,并在孤岛油田西区进行了常规井网试验。试验区含油面积 0.61km²,地质储量 197 万 t,注入井 6 口,生产井 13 口。目前油井全部见效,含水率下降了 12.7%,日产油增加了 2.3 倍,已提高采收率 12.01%,预计最终提高采收率 15.5%。而同区的聚合物驱井组合含水率下降了 6.2%,日产油增加了 1.1 倍,预计最终提高采收率 6.0%。可见,三元复合驱油体系具有明显的技术优势。

2.2.3 二元复合驱油体系

针对三元复合驱采用污水配注、碱垢问题难以解决的缺陷,通过研究原油与表面活性剂的相互作用及构效关系,研制了系列石油磺酸盐产品,设计出可达到超低界面张力的表面活性剂与聚合物二元驱配方。2003 年 9 月在孤东七区西南部 Ng₅⁴-Ng₆¹ 层段开展了先导性矿场试验,目前已见到明显效果,试验区含水率下降了 8.9%,日产油增加了 5 倍,初步展示了二元复合驱广阔的应用前景。

2.2.4 泡沫复合驱体系

与单一聚合物驱相比,泡沫驱阻力系数更高、扩大波及体积的能力更强、对大孔道的封堵更加有效^[9]。为了验证泡沫复合驱的矿场适应性,探索复合体系的注入参数和注入方式,2003 年 4 月在孤岛油田中二区中部的 28-8 井开展了氮气泡沫复合驱单井试注试验,取得了较好效果。

2.3 化学驱配套技术

胜利油田历经 20 多年的攻关研究,形成了具有本油田特色的化学驱配套技术^[7]

2.3.1 驱油剂产品开发和评价技术

研制开发了石油磺酸盐、交联剂、泡沫剂 3 个系列 20 余种产品。建立聚合物、活性剂、泡沫剂、交联剂等驱油剂评价方法 50 余个,制定了一系列技术指标和标准,规范了化学剂的质量监测和产品采购程序。

2.3.2 油藏化学驱方案设计与优化技术

在物理模拟、数值模拟和油藏工程研究的基础上,建立了注采参数优化方法——综合模糊评价法,确定出最佳的注采参数,实现经济效益最大化,提高项目的抗风险能力。开发了多套大型化学驱数值模拟软件,形成了网格细化技术,实现了化学驱方案优化和矿场实施跟踪的全程高精度模拟预测。

2.3.3 注采工艺技术

形成了注聚前期以调剖、防砂、停产停注井恢复、降低聚合物溶液黏度损失为主的配套工艺技术;注聚过程中以低压井治理、分层注聚、聚合物解堵、阳离子堵聚防窜为主的配套工艺技术,提高开井率、利用率和见效率;后续水驱阶段以提液、调剖、防偏磨为主的配套工艺技术,有效延长聚合物驱效果。研制了 MA-1 型阻尼式微流量交联剂分配装置,其交联剂分配误差小于 5%;分层注聚管柱、倒替注聚管柱模式分别在孤东油田和胜坨油田得到应用,分层注聚管柱黏度损失率小于 15%,基本实现了注聚井两层分注和测试的目标。

2.3.4 地面工艺技术

实现了地面工艺设备的国产化和系列化,简化了地面流程,优选了注入设备,减少了地面工程投资;研制开发了小排量水流式分散溶解装置、高混配比的混配器、智能曲线跟踪搅拌控制器、高压微流量计量分配装置,地面装备的配套能力与适应性不断提高。

2.3.5 现场管理及油藏监测技术

根据注聚前期、注聚过程和后续水驱的不同动态特征,建立了一整套现场管理方法和规范。探索了适应聚合物驱的动态监测配套技术,主要包括地层参数测井、工程测井、注入剖面测试、试井等。其中,聚合物驱非牛顿流体试井方法的开发和应用,为聚合物驱动态监测提供了重要技术手段。

2.3.6 效果评价技术

建立了效果评价技术模型,筛选出 4 种增油效果评价方法;根据化学驱投入产出的特点,建立了“增量法”经济评价模型,有效指导了三次采油技术的矿场实践。

2.4 化学驱油藏类型

随着应用规模的不断扩大,实现了聚合物驱油技术由 I 类向 II 类油藏的突破。“八五”到“九五”期间,通过孤岛、孤东油田的聚合物驱先导和扩大试验,形成

了I类油藏的聚合物驱配套技术,建立了适合I类油藏的聚合物产品评价方法,制定了技术质量指标;确定了清水配制母液、污水稀释注入的配注方式和加注高浓度前置调剖段塞的注入方式;完善了油藏方案设计、注采工艺^[8]、地面工艺、动态监测及效果评价等多项配套技术,在16个单元推广应用,覆盖地质储量2.2亿t,已增油638万t,预计最终增加可采储量1608万t,提高采收率7.3%。

进入“九五”中期,II类油藏逐渐成为三次采油资源接替的主要对象,但其地层温度、地层水矿化度高于I类油藏,面临着聚合物产品及其评价方法不适应、化学驱油机理和开采规律不清楚等难题。通过攻关,建立了适用于II类油藏的聚合物产品性能评价和表征方法,研究油藏适应性和黏-浓关系,制订了II类聚合物产品的技术质量指标。1998年在胜一区E₅₂¹⁻³单元(油层温度80℃,地层水矿化度17000mg/L)开展了II类油藏聚合物驱先导试验。实施聚合物驱后,单元含水率下降了14.3%,日产油增加了2.2倍,已提高采收率5.68%,预计最终提高采收率7%。先导试验的成功证明了II类油藏开展聚合物驱的技术经济可行性,但是由于试验中采用的是进口聚合物和清水配注方式,限制了技术的推广应用。为此,2002年3月又在胜一区开展了II类油藏注聚扩大试验,试验区含油面积为6.41km²,地质储量1625万t,注聚井30口,生产井75口,分为3个对比试验区:进口聚合物清水配注试验区、国产聚合物清水配注试验区和国产聚合物清水配注污水注试验区。目前试验区处于整体见效阶段,油井见效率达到87.4%,全区含水率下降7.2%,日产油已增加1.5倍。其中进口聚合物清水配注区含水率下降了6.4%,日产油增加0.84倍;国产聚合物清水配注区含水率下降10.8%,日产油增加1.2倍;国产聚合物污水配注区含水率下降8.1%,日产油增加了1.8倍。试验结果说明采用国产聚合物清水配注污水注的方式,完全可以达到进口聚合物清水配注的效果,实现了聚合物驱技术由I类油藏到II类油藏的突破。

3 胜利油田三次采油技术面临的新问题

目前,胜利油田三次采油技术已经步入了一个新的发展阶段,三次采油技术主要面临以下4方面的问题^[9]。

3.1 聚合物驱优质资源接替不足

根据聚合物驱的动态变化特点,注聚区在见效高峰期以后年产量递减达25%~30%,弥补这部分递减需提前2年投入相当规模的储量。目前,已动用的

3.18亿t储量基本覆盖了油藏条件、井网井况适用性较好的I类和II类资源。到“十五”末,胜利油田I类和II类剩余可动储量只有3000万t。

3.2 三次采油技术接替难度大

根据二次潜力评价的结果,胜利油田III类和IV类化学驱资源为5.4亿t,是下步化学驱的主要接替对象,但目前仍处于技术攻关阶段。已实施聚合物驱的单元,采收率一般达到40%~50%,仍有一半左右的剩余油滞留地下,具有进一步提高采收率的物质基础,但聚合物驱后进一步提高采收率的接替技术急待攻关突破。同时,水质状况已成为三次采油技术发展的重要制约因素之一。

3.3 三次采油技术发展的不平衡

目前,油田三次采油技术以化学驱为主,实施对象主要是油藏条件相对较好的整装油田。而气驱、强化热力采油、微生物采油^[10]等三次采油技术与现阶段油田开发的要求有一定差距。气驱是低渗透油藏补充能量、提高采收率的有效方法,胜利油田已开展了室内研究,但尚未进入现场应用;热力采油技术面临着多轮次蒸汽吞吐后提高采收率和蒸汽驱推广应用等难题。微生物采油作为一种有前景的采油方法,还未形成应用规模。

3.4 已实施化学驱单元的效果差异较大

在胜利油田的化学驱单元中,大部分取得了显著的降水增油效果,含水率下降5%~15%,提高采收率6%以上,油井见效率在70%以上。但也有部分单元的效果较差,含水率下降幅度很小,增油量少。如孤东七区西部Ng₅⁴-Ng₆²单元,注聚后最低含水率仅比注聚前低2.1%,已注入0.3PV的聚合物溶液,只提高采收率1.38%。近两年投注的单元油藏条件更复杂,含水率和采出程度更高,达到方案设计指标也存在一定风险。

4 胜利油田三次采油技术下步攻关方向

4.1 深化基础研究,增强化学驱技术和产品创新能力

深化表面活性剂驱油体系、泡沫复合驱油体系、有机交联体系等“聚合物加合增效”机理和驱油机理研究^[11],综合应用密闭取心、大物理模拟和数值模拟等手段,了解聚合物驱后剩余油分布特征^[12],为聚合物驱后进一步提高采收率提供依据^[13-15]。

4.2 强化储备技术攻关,拓宽三次采油技术发展空间

针对III类高温高盐油藏、IV类大孔道油藏、聚合物驱后油藏和低渗透油藏、热采稠油油藏,加强提高采收率储备技术攻关,努力突破三次采油技术的“瓶颈”。III类高温高盐油藏要做好单一体系耐温抗盐聚合物驱、胶态分散凝胶驱(CDG)、胀流性流体驱等技术的攻

关试验,力争早日突破产品的耐温关、稳定关和经济关。聚合物驱后油藏开展低张力泡沫复合驱技术攻关,在体系设计上实现“强洗和强调”的结合。低渗透油藏进行聚硅纳米材料增注和石油磺酸盐增注技术攻关,组织气驱技术的研究和评价;热采稠油油藏加快高温泡沫复合驱技术的攻关和试验。

4.3 抓好注聚项目管理,提高降水增油效果

深化对聚合物驱后续水驱阶段含水率上升和产量递减规律的认识,研究总结后续水驱阶段合理的技术政策界限,为今后转后续水驱的单元提供指导和借鉴。

4.4 强化先导试验研究,加快三次采油技术接替

继续抓好孤东油田七区西南部二元复合驱先导试验、埕东西区泡沫复合驱先导试验、坨11南高温高盐油藏有机交联聚合物驱油先导试验、郑408敏感性稠油油藏火烧驱油先导试验等现有重大先导试验项目,尽快实现技术突破。开展Ⅲ类高温高盐油藏预交联增效聚合物驱油先导试验、聚合物驱后二元复合驱提高采收率先导试验、热采稠油油藏多效泡沫复合驱先导试验、牛庄油田牛20块低渗透油藏氮气驱先导试验4项储备技术先导试验。

参考文献:

- [1] 宋万超,张以根,王友启,等.孤东油田碱-表面活性剂-聚合物复合驱油先导试验效果及动态特点[J].油气采收率技术,1994,1(2): 8-12. (SONG Wan-chao, ZHANG Yi-gen, WANG You-qi, et al. Pilot test result and performance characteristics of alkali-surfactant-polymer compound flooding in Gudong Oilfield[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 1994, 1(2): 8-12.)
- [2] 屈智坚,王庆平,郭兰磊.孤岛聚合物驱先导试验阶段效果及动态特征[J].油气采收率技术,1994,1(2): 26-32. (QU Zhi-jian, WANG Qing-ping, GUO Lan-lei. Stage result and performance characteristics of pilot test of Gudao polymer flooding[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 1994, 1(2): 26-32.)
- [3] 李振泉.孤岛油田中一区特高含水期聚合物驱工业试验[J].石油勘探与开发,2004,31(2): 119-121. (LI Zhen-quan. Industrial test of polymer flooding in superhigh water cut stage of central No. 1 Block, Gudao Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 119-121.)
- [4] 张爱美.胜利油区聚合物驱资源分类标准修订及其评价[J].油气地质与采收率,2004,11(5): 68-70. (ZHANG Ai-mei. Standard revision and evaluation of resources classification for polymer flooding in Shengli petroliferous province[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(5): 68-70.)
- [5] 王友启,王军志,王庆红,等.聚合物驱生产规律初步分析[J].油气采收率技术,2000,7(3): 5-8. (WANG You-qi, WANG Jun-zhi, WANG Qing-hong, et al. Preliminary analyses on production rules of polymer flooding[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2000, 7(3): 5-8.)
- [6] 官俊峰,曹嫣翎,唐培忠,等.高温复合泡沫体系提高胜利油田稠油热采开发效果[J].石油勘探与开发,2006,33(2): 216-220.

(GONG Jun-feng, CAO Yan-bin, TANG Pei-zhong et al. Improving development efficiency of heavy oil in Shengli Oilfield by using high-temperature compounded foaming agent[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(2): 216-220.)

- [7] 孙焕泉,张以根,曹绪龙.聚合物驱油技术[M].东营:石油大学出版社,2002. (SUN Huan-quan, ZHANG Yi-gen, CAO Xu-long. Polymer flooding technology[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2002.)
- [8] 孙江波.飞雁滩油田聚合物驱采出液处理技术[J].油气地质与采收率,2004,11(4): 56-57. (SUN Jiang-bo. Treatment technology of produced liquid by polymer flooding in Feiyantan Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(4): 56-57.)
- [9] 张以根,元福卿,祝仰文,等.胜利油区化学驱油技术面临的矛盾及对策[J].油气地质与采收率,2003,10(6): 53-55. (ZHANG Yi-gen, YUAN Fu-qing, ZHU Yang-wen, et al. Contradiction and countermeasure for chemical flooding in Shengli petroliferous province[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(6): 53-55.)
- [10] 程海鹰,王修林,徐登霖,等.内源微生物提高采收率实验研究[J].石油勘探与开发,2006,33(1): 91-94, 110. (CHENG Hai-ying, WANG Xiu-lin, XU Deng-ling, et al. Experiments on EOR employing indigenous microorganisms[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 91-94, 110.)
- [11] 沈平平,袁士义,邓宝荣,等.化学驱波及效率和驱替效率的影响因素研究[J].石油勘探与开发,2004,31(增刊): 1-4. (SHEN Ping-ping, YUAN Shi-yi, DENG Bao-rong, et al. Influence factors of oil displacement efficiency and sweep efficiency in chemical flooding[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(Supp.): 1-4.)
- [12] 姜颜波.孤岛油田中一区聚合物驱后油层的波及状况[J].油气地质与采收率,2005,12(1): 66-67, 70. (JIANG Yan-bo. Sweep conditions of oil reservoirs after polymer flooding in Zhong 1 area, Gudao Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(1): 66-67, 70.)
- [13] 郭尚平,田根林,王芳,等.聚合物驱后进一步提高采收率的四次采油问题[J].石油学报,1997,18(4): 49-53. (GUO Shang-ping, TIAN Gen-lin, WANG Fang, et al. Quaternary recovery problem of enhancing oil recovery further after polymer flooding[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(4): 49-53.)
- [14] 徐婷,李秀生,张学洪,等.聚合物驱后提高原油采收率平行管试验研究[J].石油勘探与开发,2004,31(6): 98-100. (XU Ting, LI Xiu-sheng, ZHANG Xue-hong, et al. Parallel column experiments for enhancing oil recovery after polymer flooding[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(6): 98-100.)
- [15] 范森,侯吉瑞,李宜强,等.聚合物驱后热化学沉淀调剖提高采收率技术研究[J].油气地质与采收率,2005,12(2): 66-68. (FAN Sen, HOU Ji-rui, LI Yi-qiang, et al. Enhanced oil recovery for profile control by thermo-chemical precipitation after polymer flooding[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(2): 66-68.)

作者简介:孙焕泉(1965-),男,山东诸城人,博士,中国石化胜利油田分公司教授级高级工程师,主要从事油气田开发研究与管理工。地址:山东省东营市济南路258号,中国石化胜利油田分公司,邮政编码:257000. E-mail: shq@slof.com

收稿日期:2005-08-16 修回日期:2006-02-24

(编辑 单东柏)