

胜利油田高含水期油藏水驱精细调整技术方向

王友启^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京),北京 100083;2. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:以胜利油田为代表的高含水期油藏精细描述和水驱调整技术向精细化方向发展,为适应高含水期油藏精细挖潜的需要,近几年储层构型研究、低级序断层描述和层内剩余油分布预测技术得到不断发展,层系细分重组,采取井网加密调整和完善注采系统等措施改善了油田水驱开发效果。分析了制约整装构造、复杂断块和低渗透油藏大幅度提高水驱采收率的问题,提出了不同类型油藏水驱精细调整的技术方向。在陆相油藏高含水后期开发阶段,需要进一步加大层系细分重组,采取井网立体加密调整、水平井单层开发、改善水质、调整注水产液结构等措施,在井网优化调整的基础上,综合应用各种工艺技术对储层进行控制和改造,实施精细注水和有效注水开发,提高注采系统的针对性和有效性,以均匀控制驱替剖面。

关键词:高含水期;水驱;提高采收率;注采系统;胜利油田

中图分类号:TE313.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)01-0101-04

Fine Adjustment Direction of Water Flooding in High-Water Cut Oil Reservoirs of Shengli Oilfield

Wang Youqi^{1,2}

(China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing, 100083, China; 2. Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec, Beijing, 100083, China)

Abstract: Fine reservoir description and adjustment technology for the high-water cut Oilfield such as Shengli Oilfield is developing. In order to meet the demands of fine potential tapping in the high-water cut reservoirs, reservoir structure, low-order fault description and remaining oil distribution description were growing in recent years. Strata subdivision recombination, infilling adjustment, improving the injection system and others improved the water flooding results. The problems constraining the oil recovery in entire structure, complex fault block and low permeability oil reservoirs were analyzed. Then fine adjustments of water flooding in different oil reservoirs are put forward. At the late stage of high water cut in onshore oil reservoirs, strata subdivision-recombination, infilling well arrangement, single layer production with horizontal well, water quality improvement and injecting to production well ratio adjustment should be implemented. Based on the well pattern optimization, comprehensive application of technology should be used to control and transform the reservoir. Fine and effective water injection should be used to improve the relevance and effectiveness of injection system. And the uniform displacement profile should be explored.

Key words: high water cut stage; water drive; enhanced oil recovery; injection-production system; Shengli Oilfield

陆相沉积油藏与海相沉积油藏相比,储层非均质性强,原油黏度相对较高,水驱采收率较低,因此,进一步提高原油采收率已成为陆相老油田开发调整的中心任务。热采、气驱、化学驱是目前世界上规模化应用的三大提高采收率技术,尽管中国的蒸汽吞吐、聚合物驱和复合驱技术已成熟配套,热采和化学驱年产量在 $3\ 000 \times 10^4$ t 以上^[1],但水驱仍然是油田开发调整的重中之重。水驱是目前应用规模最

收稿日期:2010-10-12;改回日期:2010-12-02

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技攻关项目(编号:P10087)“特高含水阶段水驱油藏数值模拟方法改进”部分研究内容

作者简介:王友启(1968—),男,山东临沂人,1991年毕业于石油大学(华东)油藏工程专业,2008年获中国地质大学(北京)油气田开发工程专业博士学位,高级工程师,主要从事提高采收率技术和油藏工程方面的研究工作。

联系方式:(010)82282470,wyq200840@163.com

大、开采期限最长、调整工作量最大、开发成本最低的一种开发方式。胜利油田水驱油藏覆盖地质储量约占总储量的80%以上,已进入高采出程度、特高含水开发阶段,但仍然具有进一步提高采收率的潜力。为此,笔者总结了高含水油藏精细描述和水驱调整技术取得的新进展,分析了制约整装构造、复杂断块和低渗透油藏大幅度提高水驱采收率的问题,并提出了不同类型油藏水驱精细调整的技术方向。

1 高含水期油藏精细描述

油藏精细描述是油田开发调整及提高采收率的基础,其核心是建立精细三维地质模型,确定剩余油分布特征。油藏描述由早期的以整个油藏或开发层系为对象,逐步发展到以小层或单砂体为对象,为了满足高含水期油田进一步提高采收率的需要,应进一步研究储层构型、低级序断层描述和层内剩余油分布描述等技术,使其不断发展^[2]。

1.1 储层构型研究

夹层是油田开发中后期控制剩余油分布的重要因素,层内夹层对油层的分割作用和对注水的遮挡作用控制着剩余油的形成与分布。河流相沉积储层层内夹层薄而不稳定,平面上大面积分布的厚油层,往往是由不同期次、不同规模河道垂向切叠、侧向联合而成的大型复合储集砂体;点坝内部的侧积层成为侧向渗流屏障,心滩坝内部的落淤层成为垂向渗流屏障,砂体内部结构复杂、非均质性强。储层构型表征技术正是在小层或单砂体精细描述的基础上,以“层次分析、模式拟合”为研究思路,首先结合野外露头、现代沉积以及井网资料建立不同层次(如复合河道砂体、单一河道砂体、单一点坝砂体、点坝砂体内部增生体等层次)的构型模式,然后应用岩心、高分辨率测井、测井精细解释、水平井、动态监测等资料,对开发井网条件下的井间构型进行拟合和预测^[3],建立储层构型约束下的三维精细地质模型。储层构型研究能加深层内夹层及层内非均质性的描述,并可用于油藏数值模拟,为表征特高含水期剩余油奠定基础。

1.2 低级序断层描述

低级序断层延伸短、断距小,基本不控制油气的聚集,但影响油藏注水开发的水驱状况,是复杂断块油藏高含水期控制剩余油的主要因素。油藏综合地球物理新技术为提高低级序断层描述精度提供了新的手段。在构造模式、物理模拟和力学成因分析的

指导下,认识到大断层应力转换带可直接产生低级序断层(四级以下小断层),改变了以前断层逐级派生的观点^[2]。以岩石物理及地震正演模拟为支撑,在高精度三维地震资料高分辨率成像的基础上,钻井和地震资料联合储层反演提供了储层三维空间精细地球物理属性模型,提高了低级序断层的描述精度,精度达到断层落差5~10 m、延伸长度小于100 m。

1.3 剩余油分布定量预测

陆相水驱油藏剩余油富集区主要受低级序断层、夹层和物性差异等油藏非均质以及注采方式对储层中流体渗流产生的分割作用控制。物理模拟和数值模拟研究均表明,不论是正韵律还是反韵律油层,由于封闭性断层的遮挡作用在断层附近形成剩余油富集区,由于夹层的隔挡作用在夹层附近形成剩余油富集区,由于优势通道的存在,使劣势渗流部位水驱效果差而形成剩余油富集区^[4-5]。例如,在河流相厚油层中,辫状河储层受层内韵律性和夹层分布控制,厚油层顶部呈多个剩余油富集段。通过研究断层封堵规模、夹层隔挡规模、优势通道分布与剩余油富集区的定量关系,建立了断层分割控油、夹层分割控油、优势通道控油等3种“分割控油”模式和定量预测模型^[4],实现了对剩余油分布的定量预测,为陆相水驱油藏在特高含水期寻找规模剩余油富集区、提高水驱采收率提供了新的理论指导。

2 高含水期油藏水驱精细调整

注水开发是中国东部老油田的主要开发方式,随着油藏描述的不断精细和剩余油分布预测的不断深化,水驱调整由开发层系调整、井网整体加密、井网局部调整逐步向建立合理、有效的注采系统发展。

2.1 厚油层油藏细分韵律层开发

三角洲相储层以反韵律沉积为主,储层非均质性强,高含水期的剩余油分布更加复杂,纵向上层内中、低渗透韵律段,非主力小薄层和平面上主力油层边部剩余油富集,为此,开展了细分韵律层研究,进行韵律层细分重组和精细注水,取得了好的效果。胜坨油田二区沙2段 8^{3-5} 单元是典型的三角洲前缘相反韵律沉积的厚油层^[6],层内夹层发育,通过精细韵律层划分和夹层描述,将原来3个小层细分为11个韵律层,纵向上按照储层物性和开发状况相近组合的原则,优化生产层段,在油层厚度大、韵律层多、隔夹层发育的部位进行韵律层井网重组,将原来一

套层系细分为 2 套井网:一套为主体相带沉积高渗透韵律层井网,采用大井距、稀井网开发;一套为侧缘相带沉积的中、低渗透韵律层井网,采用适当的小井距、密井网开发。胜坨油田二区沙 2 段 8^{3-5} 单元实施细分韵律层重组、完善注采井网后,水驱控制程度提高 15.8%,采收率由 40% 提高到 42%。

2.2 多层砂岩油藏层系井网优化重组

复杂断块油藏断块小、注采井网不完善,小层多、油层厚度大、层间干扰严重,针对复杂断块高含水期剩余油的分布特点,对层系进行了细分重组,对加密井进行了调整,完善了注采系统。封闭型断块油藏一般采取合采方式开发,层间矛盾突出,高渗透储层动用程度高,低渗透储层剩余油富集,对物性和开采状况相近的储层进行了跨层系重组,优化了井网,实现了高、低渗透储层的分注分采,取得了较好的效果。如辛 47 断块依据层系重组技术政策界限^[2],将原来 4 套开发层系跨层系细分重组为 7 套,使同一层系内渗透率级差控制在 3 以内、原油黏度级差不超过 2、油层厚度不超过 12 m,实施后取得了较好的效果,可采储量增加了 23.8×10^4 t,采收率提高了 3.4%。

2.3 低渗透油藏小井距井网加密

低渗透油藏在非线性渗流机理、启动压力梯度、井网井距技术经济界限等研究指导下,采取小井距加密井网、改善水质等措施建立了有效的驱动体系。低渗透油藏储量丰度低,层系、井网受经济条件的制约,若采用与高渗透油藏相近的井距,由于存在较高的启动压力梯度,难以建立有效的驱动压差,储量得不到有效动用。随着油价升高,低渗透油藏的极限井网密度加大,单井极限控制剩余储量降低,在高油价下,低渗透油藏具有加密调整的潜力。在此指导下,对低渗透油田老区实施加密调整、对新区实施小井距注水开发,取得了较好的效果。如史深 100 区块采用小井距加密井网^[7],把 $400 \text{ m} \times 283 \text{ m}$ 反九点面积井网转换成 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 排状注水井网后,注水启动压力由 20 MPa 降为 18 MPa,地层能量得到恢复,水驱储量控制程度提高 16.8%,采收率由 17.7% 提高到 24.5%。

3 水驱精细调整技术方向

3.1 整装构造油藏实施精细注水矢量开发

整装构造油藏采收率已较高,制约该类油藏采

收率大幅度提高的主要矛盾是:井间夹层的预测精度、储层构型的定量化研究等难以满足精细开发的需要;注采对应状况差异大,需要提高注采系统的针对性和有效性;停产、停注、带病生产油水井多,套管损坏^[8]等井况仍为制约因素。

针对整装构造油藏存在的问题,通过加强矢量化井网和调整注水产液结构,建立了有效的注采系统。在储层构型精细描述的基础上,深入开展特高含水期油藏的剩余油分布研究,评价目前井网及产液结构的适应性,对非主力层、薄差层、韵律层、单砂体等潜力层,实施局部加密,完善注采关系;对于井网规则的主力层采取井网加密、深部堵调^[9]等措施转换流场,对于井网不规则的主力层重建开发体系,实现矢量化开发。在井网重组、重建的同时,对矢量化井网及注水产液结构进行调整,优化井网井距和单井产液量,进一步扩大水驱波及体积,提高水驱波及系数,提高水驱油效率。

3.2 复杂断块油藏实施细化注水立体开发

制约复杂断块油藏大幅度提高采收率的主要矛盾是:三维地震资料处理和低级序断层描述不能满足构造精细描述的要求;部分单元小层多、含油井段长,层系划分较粗,部分细分层系单元在现井网条件下注采完善程度低,需要提高水驱动用程度;停产、停注井多,开井率低,水井欠注。

复杂断块油藏层系划分粗,单井控制储量大,具备细分开发层系和加密调整的潜力。而单个剩余油富集区体积较小,采用常规技术开发难以达到对剩余储量的最大控制。为了解决平面上多个相邻剩余油富集区和纵向上多个剩余油富集薄层的有效动用问题,综合运用先进的复杂结构井和采油工艺技术,通过优化层系、井网、井型,最大程度地提高水驱的控制和动用程度,实现立体开发。

针对复杂断块油藏存在的问题,实施“细化注水”,在精细构造研究的基础上,细分断块类型,按自然断块、小层、单砂体进一步评价提高采收率的潜力。针对不同断块的特点,通过层系细分重组、井网立体加密、钻复杂结构井^[10]和完善注采系统,实施跨断块注水、分层系注水和层系内分层注水,实现断块油藏纵向及平面的均匀驱替。对开启型断块主要采用水平井和分支井,对断层附近、构造高部位、井间和层间剩余油富集区进行精细开发;封闭性断块主要通过层系细分重组、完善注采系统、补充能量进行有效注水开发;极复杂断块在构造精

细描述的基础上,明确剩余油分布,分小断块完善注采关系,对难以完善的单元灵活应用多种方式实现细化注水开发。

3.3 低渗透油藏实施短距离注水开发

低渗透油藏储量丰度较低,目前注采井距大,水驱动用程度低。制约低渗透油藏采收率大幅度提高的主要矛盾是:中深层滩坝砂、砂砾岩储层评价及预测难度大,储层非均质性描述及对开发的影响研究还不够深入;水驱控制程度整体较低,技术井距小与经济井距大的矛盾突出,层系井网及注采井距有待进一步优化;水质达标率不高,注入水沿程二次污染比较严重。

针对低渗透油藏存在的问题,实施精细注水和有效注水,在储层非均质性精细描述的基础上,通过采用优化井距、细分加密、完善井网、改善水质、重复压裂等技术手段,实现有效注水,逐步扩大有效注水规模;加大污水站改造,不断扩大达标水质规模,实现精细注水;扩大水平井应用规模,特别是滩坝砂等特低渗透油藏,应用水平井、水平井分段压裂^[11]等技术,实现有效注水开发。

4 结 论

1) 特高含水期油藏需要进一步加大层系细分重组,采取井网立体加密调整、水平井开发单层、改善水质、调整注水产液结构等措施,实现精细注水和有效注水开发。

2) 完善注采系统贯穿于油田开发的全过程,在高含水后期开发阶段,不能单纯追求注采井网的完善,要在井网优化调整的基础上,综合应用各种工艺技术对储层进行控制和改造,以提高注采系统的针对性和有效性,均匀控制驱替剖面。

致谢:该文在撰写过程中得到李阳、计秉玉、赵冬梅、吕成远、凡哲元等教授级高级工程师的悉心指导,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 王友启,周梅,聂俊.提高采收率技术应用状况及发展趋势[J].断块油气田,2010,17(5):628-631.
Wang Youqi,Zhou Mei,Nie Jun. Application status and development trend of EOR technology[J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2010,17(5):628-631.
- [2] 李阳.陆相高含水油藏提高水驱采收率实践[J].石油学报,2009,30(3):396-399.
- Li Yang. Study on enhancing oil recovery of continental reservoir by water drive technology[J]. Acta Petrolei Sinica,2009,30(3):396-399.
- [3] 吴胜和,岳大力,刘建民,等.地下古河道储层构型的层次建模研究[J].中国科学D辑:地球科学,2008,38(增刊1):111-121.
Wu Shenghe,Yue Dali,Liu Jianmin,et al. Level modeling research on reservoir architecture of ancient underground river [J]. Science in China Series D: Earth Sciences,2008,38(supplement 1):111-121.
- [4] 李阳,王端平,刘建民.陆相水驱油藏剩余油富集区研究[J].石油勘探与开发,2005,32(3):91-96.
Li Yang,Wang Duanping,Liu Jianmin. Remaining oil enrichment areas in continental waterflooding reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development,2005,32(3):91-96.
- [5] 刘建民,徐守余.河流相储层沉积模式及对剩余油分布的控制[J].石油学报,2003,24(1):58-62.
Liu Jianmin,Xu Shouyu. Reservoir sedimentary model of fluvia facies and it's control to remaining oil distribution[J]. Acta Petrolei Sinica,2003,24(1):58-62.
- [6] 侯春华.胜利油区不同类型油藏调整挖潜技术措施与实施效果[J].油气地质与采收率,2006,13(4):74-76.
Hou Chunhua. Technology and measure for adjustment and tapping the potential and their effect in various types of oil reservoir in Shengli petroliferous province[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2006,13(4):74-76.
- [7] 孙焕泉,杨勇.低渗透砂岩油藏开发技术:以胜利油田为例[M].北京:石油工业出版社,2008:178-183.
Sun Huanquan,Yang Yong. Low permeability sandstone reservoir development technology: a case of Shengli Oilfield[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2008:178-183.
- [8] 李荣强.胜利油田注水管柱腐蚀机理与防治技术[J].石油钻探技术,2008,36(4):64-66.
Li Rongqiang. Water injection string erosion mechanism and its control[J]. Petroleum Drilling Techniques,2008,36(4):64-66.
- [9] 陈月明,陈耀武,雷占祥,等.水驱油田高含水期稳产措施宏观决策方法[J].石油钻探技术,2007,35(5):1-6.
Chen Yueming,Chen Yaowu,Lei Zhanxiang,et al. Decision-making method to maintain oil production rate for water flooding reservoirs with high water cut[J]. Petroleum Drilling Techniques,2007,35(5):1-6.
- [10] 刘汝山,朱德武.中国石化深井钻井主要技术难点及对策[J].石油钻探技术,2005,33(5):6-10.
Liu Rushan,Zhu Dewu. Main technical difficulties encountered while drilling deep wells and countermeasures[J]. Petroleum Drilling Techniques,2005,33(5):6-10.
- [11] 唐汝众,温庆志,苏建,等.水平井分段压裂产能影响因素研究[J].石油钻探技术,2010,38(2):80-83.
Tang Ruzhong,Wen Qingzhi,Su Jian,et al. Factors affecting productivity of stage fractured horizontal well[J]. Petroleum Drilling Techniques,2010,38(2):80-83.