

油田地质与油藏工程

南堡3号堡古2断块沙一段滚动开发实践

高广亮 王九理 田中敬 段 彬 宋宝顺

(中国石油冀东油田公司勘探开发研究院)

摘 要:堡古2断块位于南堡3号构造,属于复杂断块油藏,含油层系主要为东三段、沙一段和奥陶系。该区块埋藏深,地震勘探资料品质差,通过开展沙一段滚动开发研究,以区域构造模式为指导,在地震趋势面控制下进行地层精细对比及构造精细解释,对油藏进行精细解剖,揭示了油气成藏的主要控制因素,落实了滚动开发潜力,为该区块高效滚动建产奠定了坚实的基础。

关键词:南堡凹陷 复杂断块 滚动开发

近年来,随着勘探开发工作的深入开展,面对的开发对象日益复杂,可供开发的优质储量越显不足,产能建设难度越来越大,产能建设对象由主体部位中浅层优质储量逐步向构造翼部中深层转移,导致新井当年贡献率低。本文以南堡3号构造堡古2断块沙一段为例,通过综合地质研究,精细落实了油藏地质特征,明确了滚动开发潜力,为该区块高效滚动建产奠定了坚实的基础,并对其他区块滚动开发综合研究具有重要的借鉴意义。

1 油藏地质特征

1.1 构造特征

堡古2断块位于南堡3号构造,整体位于南堡凹陷的南斜坡带上,为发育于古近系、古生界、寒武系基底上被断层复杂化的潜山披覆背斜构造,整体呈北东向展布,断层发育,主要发育北东向的南堡3号断层和近东西向断层(图1)。

1.2 储层特征

油气主要分布在沙河街组沙一段,储层沉积类型为水下扇沉积,岩性主要为浅灰色粉砂岩、细砂岩和黄灰色砂粒岩。储层物性孔隙度范围为7.4%~22.7%,平均15.0%,渗透率范围为1.05~275.0mD,平均189.4mD,为中孔中低渗储层。

1.3 流体性质

堡古2断块 E_{s1} 油藏原油具有原始溶解气油比高、体积系数高、饱和压力高、原油压缩系数高、地层原油密度低、黏度低的特点,地面原油密度为 $0.8140\text{g}/\text{cm}^3$,地层原油黏度为 $0.3\text{mPa}\cdot\text{s}$,气油比为 $600\sim 700\text{m}^3/\text{t}$;天然气为溶解气,相对密度平均为0.7565,甲烷平均含量为75.26%,乙烷平均含量为11.1%;地层水总矿化度 $6038\text{mg}/\text{L}$,水型为 NaHCO_3 型。

1.4 油藏类型

堡古 2 断块油藏受构造和岩性双重控制，为块状岩性构造油气藏，正常温度压力系统。

2 滚动开发面临的关键问题

堡古 2 断块油藏自 2013 年投入开发以来，滚动开发面临三方面的关键问题：（1）原始地震勘探资料采集年份不一，资料品质较差；（2）断层复杂，构造破碎，构造准确落实难度大；（3）沙一段储层厚度变化大，且由于地层中钾元素含量高，电测井曲线标志不明显，分层对比困难。

3 滚动开发技术思路及做法

南堡 3 号堡古 2 断块构造复杂，地震勘探资料品质差，滚动开发难度大，如何在开发早期快速准确落实滚动开发潜力，必须做到构造、储层、油层、储量 4 个清楚，满足高效建产需要是南堡 3 号构造沙一段滚动开发的关键。对此，在地震勘探资料融合处理的基础上，井震结合，通过精细落实构造和地层对比关系，开展油藏精细解剖，准确判断油气藏类型，明确了沙一段滚动开发潜力，其技术流程如图 2 所示。

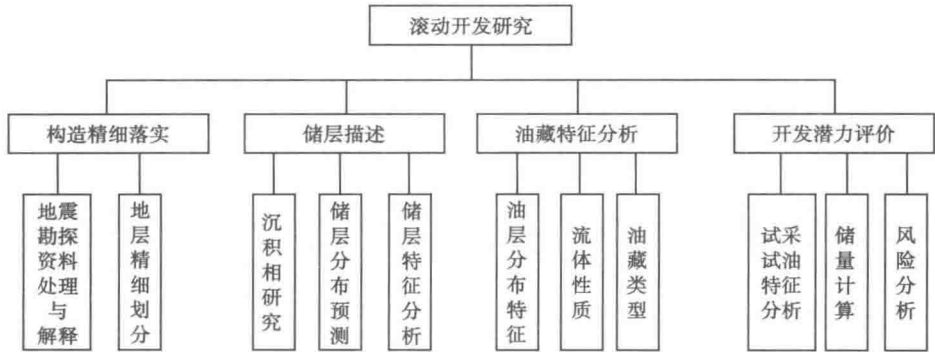


图 2 滚动开发综合地质研究技术路线图

3.1 开展二次三维地质资料提高分辨率融合处理

南堡 3 号构造堡古 2 断块滚动开发要取得突破，首先必须解决南堡 3 号构造资料品质差的问题。南堡 3 号构造主要有：2012 年采集的南堡 3 号高精度、2004 年采集的老堡三维、2003 年采集的哈陀三维和 2002 年采集的老堡南三维 4 块原始地震勘探资料，由于采集年份不一，4 块资料的覆盖次数、面元、最大炮检距、道距、炮点距、排列线距、炮线距和方位角存在不同程度的差异。为了充分挖掘并提高地震勘探资料的潜力，解决滚动开发中遇到的问题，2012 年针对这 4 块资料开展融合处理，处理后地震勘探资料品质得到明显提高（图 3），为滚动开发潜力的落实奠定了基础。

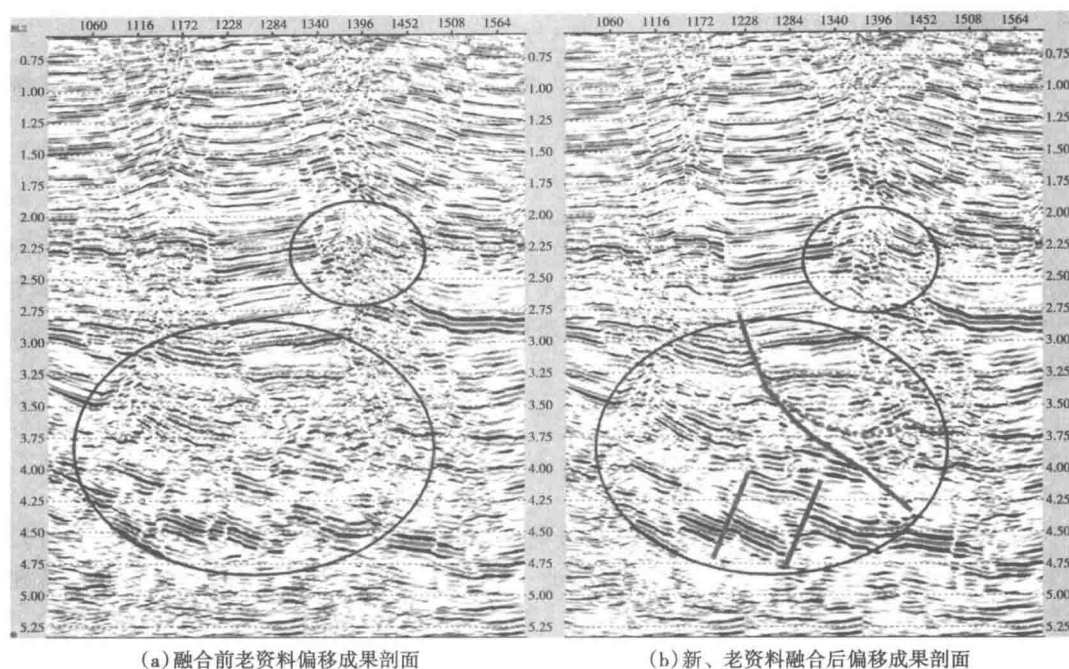


图3 南堡3号构造地震勘探资料融合前后成果剖面对比图

3.2 断裂平面剖面期次构型与历史演化分析，明确复杂断块构造特征

以区域构造背景研究为基础，对南堡3号构造断裂总体特征和断裂组合关系进行剖析，利用地层体和地震相干体技术等，结合开发生态资料和油气水界面组合样式分析，明确了堡古2断块的断层特征、构造格局及断裂演化。研究表明，南堡3号构造堡古2断块主要发育2个断裂系统3期活动，以东营底为界，上下分成2个断裂系统，在东三底互相转换，交切复杂。沙一段断层以Y字形或多级Y字形断裂组合为主，主要分为两期，西部以晚期断裂为主，构造主体被早期断层复杂化，控制构造的南堡3号断层在工区东北部与后期断裂交接（图4），构造整体形态为背斜构造，被断层复杂化，南堡3号断层下降盘为油气富集区。

3.3 地层产状趋势面与沉积旋回级次构造分析，明确地层变化规律及地层对比关系

地层工作是一切地质工作的基础，只有地层划分和对比准确可靠，才能正确认识地下情况，而断点的识别、断层断块和油藏研究更是依赖于准确的地层对比工作^[1]。

堡古2断块为复杂的断块油气田，由于地层中钾元素含量高且断层较发育，沙一段对比标准不明显，加之钻井揭示的地层，往往因断层作用而缺失部分地层。因此，要更加精细、准确地认识地层层序，就必须以地震沉积学为基础，陆相湖盆沉积模式为指导，利用相位转换、地层体切片、地层恢复、谱分解及趋势面刻画技术，进行地层产状变化趋势研究，在旋回组合样式分析基础上开展精细地层对比划分。

南堡3号构造沙一段总体具有北厚南薄、东厚西薄的沉积特征，上部地层超覆在沙一段之上，下部地层从西向东逐渐收敛；构造主体受两期断层和湖底古地形影响，地层厚度变

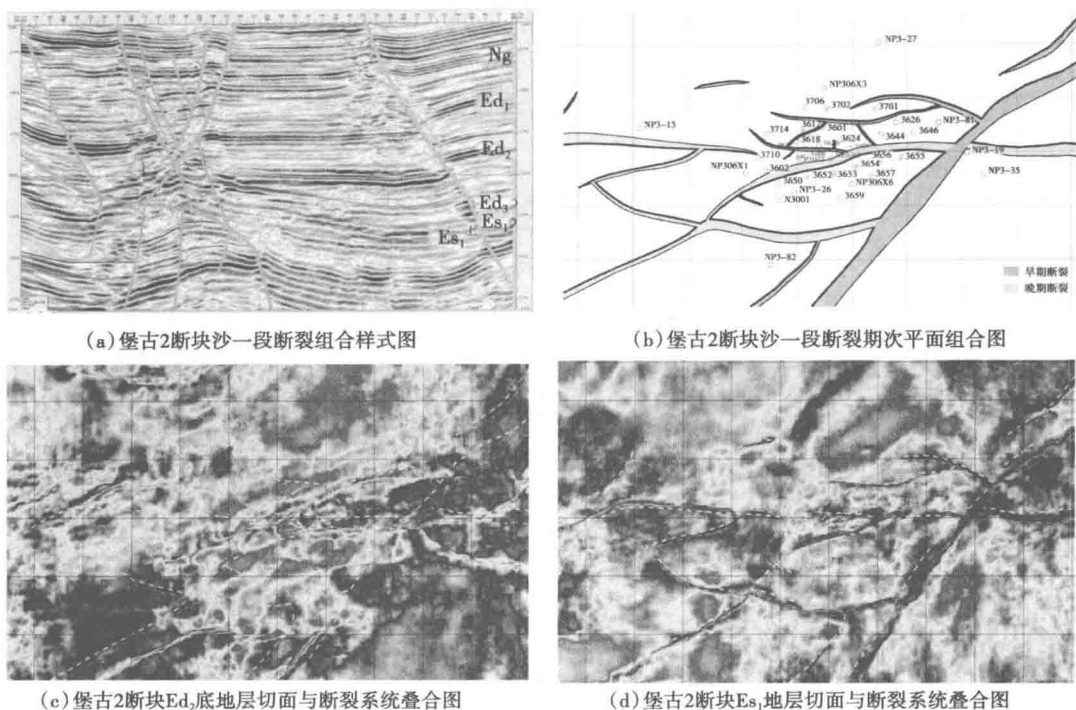


图4 南堡3号构造断裂组合样式及分期图

薄，地层产状发生变化，西南部地层向东北向抬升，东北部地层向西南向抬升（图5）。通过对50余口井的地层进行重新对比，依靠地层产状趋势面和旋回识别技术建立了该区的层序地层格架。在高分辨率层序地层分析基础上，利用地震反射结构特征进行地震地质综合对比，综合分析沉积旋回组合和砂体的叠合样式，有效地提高了地层层序的对比精度。

3.4 应用岩石物理分析技术有效预测沙一段优势储层分布范围

南堡3号堡古2断块沙一段砂岩的纵波阻抗偏高，泥岩波阻抗偏低，砂岩和泥岩有部分叠置，纵波阻抗对区域内的大套砂岩分布有很好的预测作用，因此，叠后确定性反演技术能很好地预测南堡3号构造沙一段集中段储层^[2]。

通过建立地震弹性参数与电性、岩性、物性、含油性的“四性关系”，明确目标区适用的敏感参数；通过井震紧密结合，开展了叠后、叠前地震反演技术研究，探索不同地质条件下储层预测的有效方法，制订相应的储层预测技术流程。预测堡古2区块优势储层，符合率达到83.3%。

3.5 开展油气成藏构型分析，明确油气成藏要素及分布规律

南堡3号构造发育有古近系东三段、沙一段和沙二三段3套烃源岩，主要分布于曹妃甸次洼和林雀—柳南次洼，其中沙河街组烃源岩是南堡3号构造油气藏的主力烃源岩^[3-6]。堡古2断块上覆Ed₂₊₃为巨厚泥岩且区域上大面积分布，是该断块良好的盖层。通过编制各断块油藏剖面图，综合分析认为南堡3号构造沙一段油源断层为南堡3号断层，堡古2断块沙一油藏为块状岩性构造油气藏，油层分布主要受构造控制，油层厚度与优势储层分布密切相

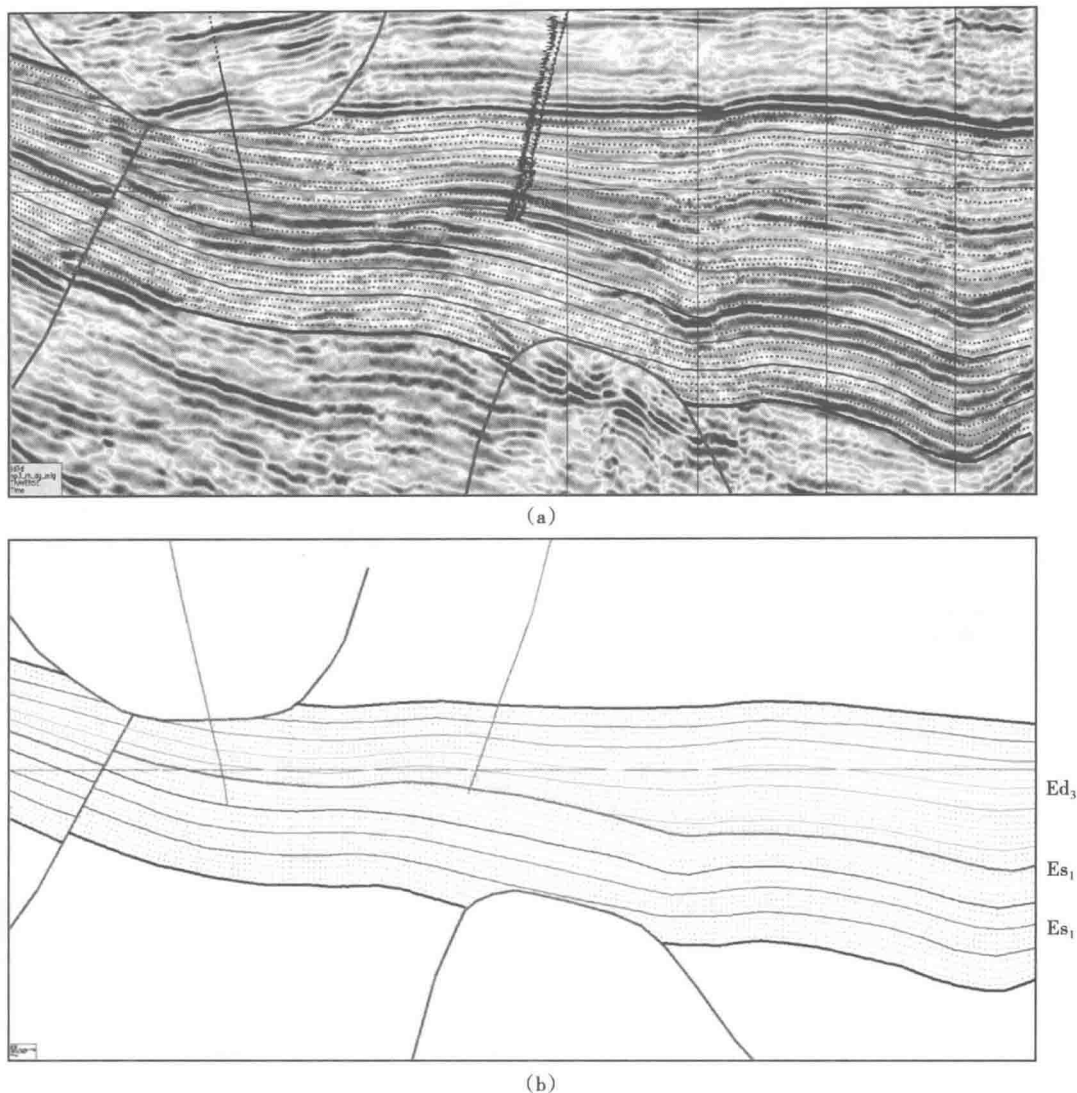


图5 南堡3号构造堡古2断块地层产状组合样式图

关。不同的断块圈闭中，具有大致统一的油水界面（-4100~41310m），如图6所示。

3.6 滚动开发总体方案设计，滚动实施，确保开发效果

通过以“构型—属性融合”为指导，开展综合地质研究，落实石油地质储量 $565.86 \times 10^4 \text{t}$ ，整体方案设计部署新钻井38口，利用油井4口、水井3口，采用边外注水保压开发。通过先打关键井，根据落实程度高低，分批逐步实施，已累计实施36口井，投产初期评价单井日产油50.3t，目前平均单井日产油30.6t，截至2014年9月，累计产油 $28.85 \times 10^4 \text{t}$ ，累计产气 $42530 \times 10^4 \text{m}^3$ ，取得了良好的滚动开发效果。

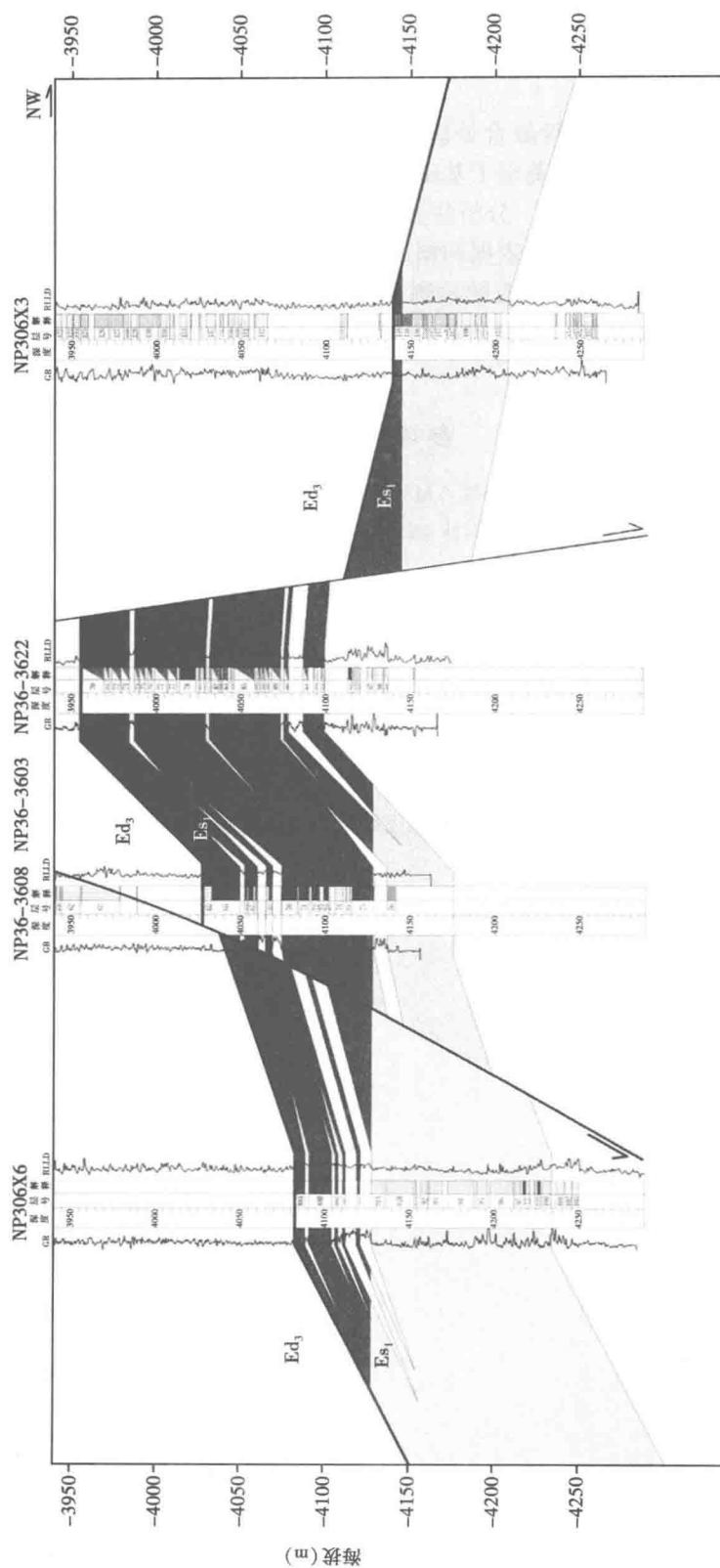


图 6 南堡 3 号构造堡古 2 断块 NP306X6—NP306X3 井 E_{s1} 油藏剖面图

4 结论

(1) 通过三维地震勘探资料融合处理,探索性地解决了地震勘探资料品质差的问题,为后续地层对比和精细构造解释奠定了基础。

(2) 应用“构型—属性融合”分析法开展综合地质研究,实现了各学科相互融合,可以有效地提高综合地质研究的科学依据和精度。

(3) 应用岩石物理分析技术,有效预测了沙一段优势储层分布范围。

(4) 坚持滚动开发的原则,进行滚动开发总体方案设计,滚动实施,可以取得良好应用效果。

参考文献

- [1] 王平,李纪辅.复杂断块油田详探与开发 [M].北京:石油工业出版社,1994.
- [2] 徐文会,邢文军,高文中,等.南堡油田沙一段优势储层预测技术 [J].特种油气藏,2014,21 (4): 70-72.
- [3] 卢鸿,王铁冠,徐新德,等.南堡凹陷原油的有机地球化学特征 [J].江汉石油学院学报,1998,20 (3): 28-35.
- [4] 张振英,邵龙义,柳广第,等.南堡凹陷无井探区烃源岩评价研究 [J].石油勘探与开发,2004,31 (4): 64-67.
- [5] 徐龙,王振奇,张昌民,等.南堡凹陷下古近系储层特征及其影响因素 [J].江汉石油学院学报,1994,16 (2): 21-26.
- [6] 赵彦德,刘洛夫,张枝焕,等.渤海湾盆地南堡凹陷滩海地区奥陶系原油油源分析 [J].现代地质,2008,22 (2): 264-272.

南堡2号潜山潜力评价及技术对策探讨

孙彦春 高广亮 于忠良 马晓丽 王海考

(中国石油冀东油田公司勘探开发研究院)

摘 要: 南堡2号潜山是块状底水碳酸盐岩油藏,目前单井产能低、含水上升快,急需进行调整。本文利用油藏工程与数值模拟法,基于双重介质储层渗流规律,开展了不同储集空间剩余油分布规律及潜力研究,提出了“三界面”“三条带”的剩余油分布规律。基于剩余油研究成果,结合各区块目前存在的问题,分别提出了治理对策。块状底水区通过水平井侧钻和提高采收率技术提高动用程度。层状边水、气顶区提出了“初降后保”、“注水+注气”相结合以及“顶底立体注采井网”的潜山开发模式。储层物性差区可开展水平井深度酸压、复合酸压来提高难动用储量动用程度。

关键词: 南堡潜山 碳酸盐岩 剩余油分布 挖潜 水平井

南堡油田2号构造潜山油藏为典型的裂缝—孔隙型碳酸盐岩油藏,发育奥陶系和寒武系,为具凝析气顶的块状底水油藏。针对目前存在的块状底水区高含水、层状边水区和气顶区能量不足,物性差区供液差等问题,本文以构建地下认识为基础,坚持“基质、裂缝”分类开发思路,重点开展“不同储集空间剩余油分布规律,不同类型潜山合理开发方式”研究,利用常规油藏工程、数值模拟手段,挖掘油田潜力,提出开发技术对策。

1 南堡潜山油藏地质油藏特征

1.1 储层特征

南堡2号潜山储层主要以裂缝—孔隙型和孔隙—裂缝型储层为主,裂缝走向为北东向和北东东向、倾角 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。基质有效孔隙度平均1.22%,水平渗透率11.2mD,垂向渗透率3.8mD,为特低孔、中渗、低渗储层。

1.2 油藏类型

南堡2号潜山油水分布受构造、储层多重因素控制,油藏类型复杂(图1和图2)。从储层形状及生产特征方面看,主要为块状底水油藏,同一断块山内具有统一的油水界面。

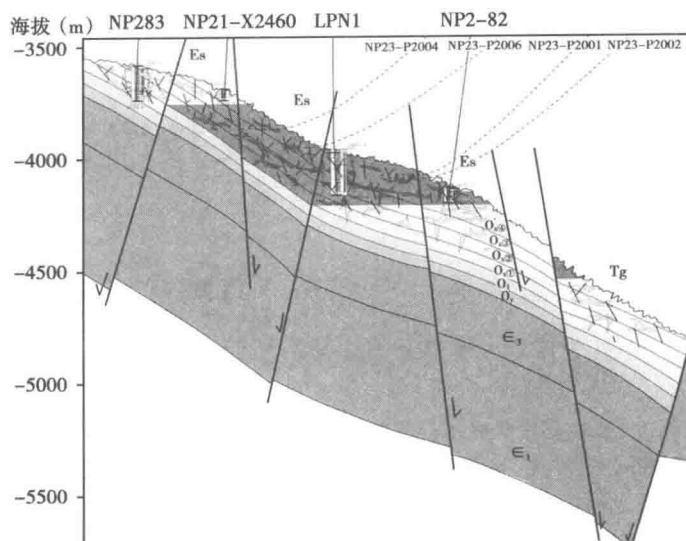


图1 油藏类型剖面示意图

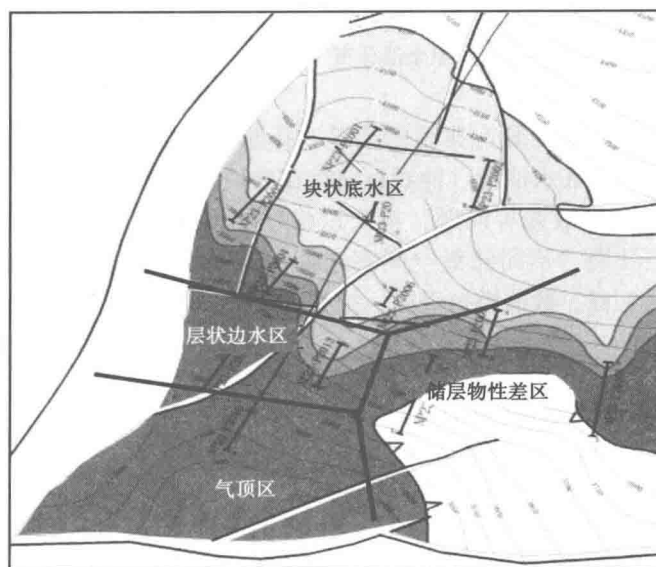


图2 油藏类型平面示意图

2 开发存在的问题

截至2014年底,老堡南1断块投产水平井12口,定向井2口,日产油78t,综合含水50.2%,地质储量采出程度10.3%,地质储量采油速度0.4%。

南堡2号潜山进入了中后期开发阶段,平面上4个区域在生产中暴露出不同的开发问题。块状底水区位于构造低部位,高含水、水淹严重;层状边水区和气顶区能量不足;物性差区远离主控断层,储层不发育,油井供液不足。为此,开展“块状底水区”高含水后剩余油分布规律研究、“层状边水区、气顶区”能量补充方式及“储层物性差区”水平井改造

措施研究，成为南堡油田 2 号潜山亟待解决的瓶颈课题。

3 不同储集空间剩余油分布规律研究

3.1 双重孔隙介质油藏数值模型的建立

本次数值模拟研究以南堡 2 号潜山 LPN1 断块山为研究对象，采用 Eclipse 软件完成历史拟合以及方案指标预测等工作。

3.1.1 地质模型

利用 Petrel 建立了南堡 2 号潜山 LPN1 断块构造模型和断层模型，进而利用数值模拟器建立了数值模拟模型（图 3）。维数 $69 \times 53 \times 110$ ，步长 $50\text{m} \times 50\text{m} \times 17\text{m}$ 。孔隙度及渗透率数据均来自于取心和测井解释成果。

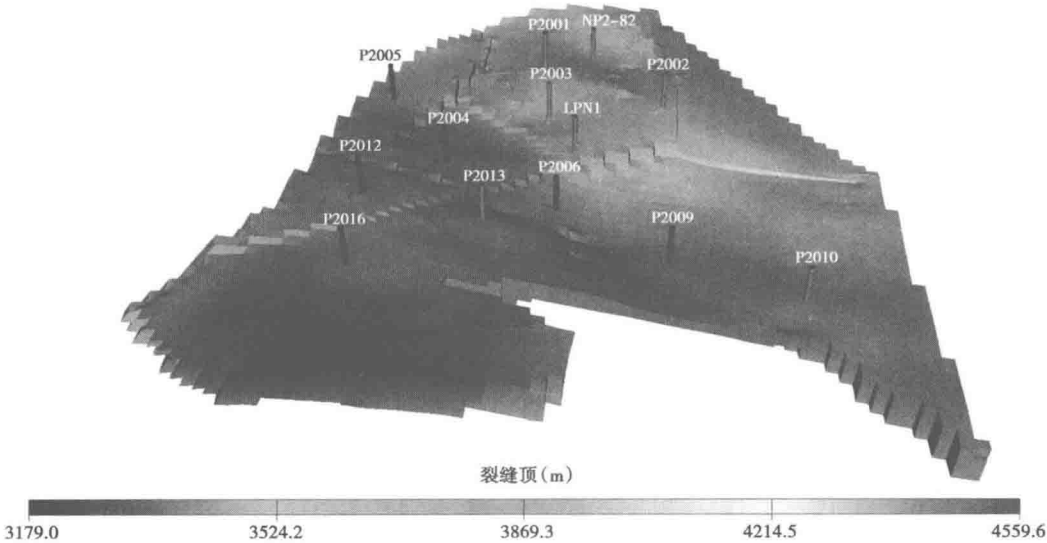


图 3 南堡 2 号潜山 LPN1 断块构造示意图

3.1.2 流体模型

PVT 数据见表 1。相渗数据借鉴南堡 1-5 井潜山段相渗数据，通过 Wyllie 经验公式计算获得（图 4）。毛细管力曲线借鉴华北油田室内实验结果。

表 1 南堡 2 号潜山地层流体数据

原始地层压力 (MPa)	饱和压力 (MPa)	油密度 (kg/m^3)	水密度 (kg/m^3)	气密度 (kg/m^3)
41.6	28.8	814.6	1000	0.7944

3.1.3 历史拟合

历史拟合结果如图 5 和图 6 所示。在开展生产动态拟合之前，首先通过单因素分析与历史拟合相结合的方法确定了南堡 2 号潜山 LPN1 断块山裂缝系统特征参数，窜流系数敏感区间为 $0 \sim 0.1$ ，基质岩块高度敏感区间为 $0 \sim 1$ 。通过历史拟合，原始油水界面 -4210m 附近，水油体积比至少为 75 倍。

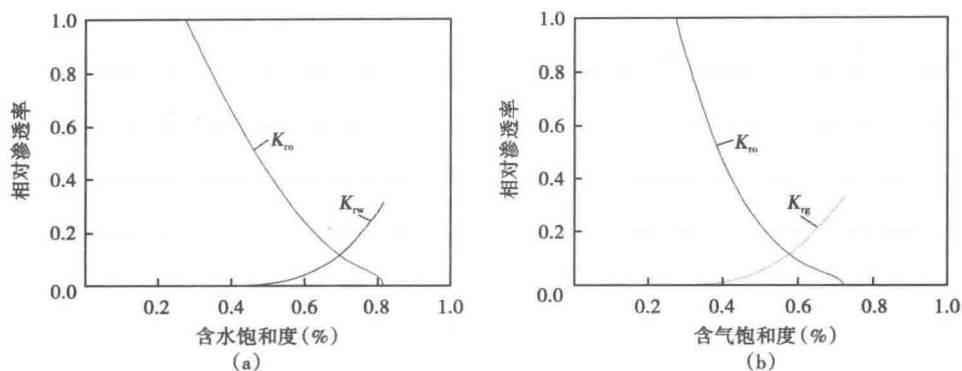


图4 模型相渗曲线

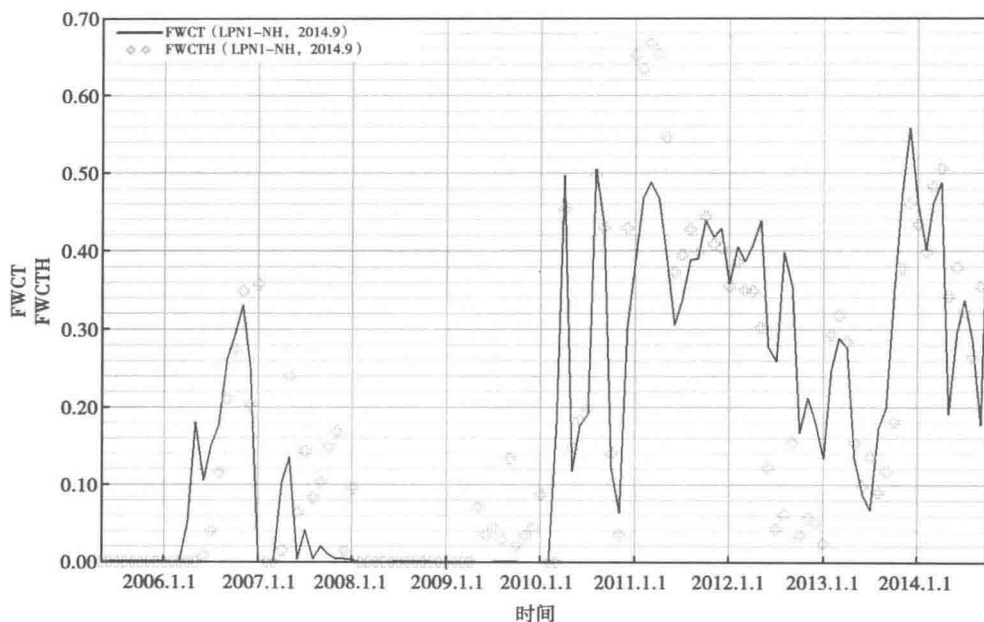


图5 南堡2号潜山区块含水拟合曲线
FWCT—全区含水率；FWCTH—实际全区含水率

3.2 南堡2号潜山剩余油分布规律研究

南堡2号构造潜山油藏，经过近十年的开发已进入中后期开发阶段。随着底水上升高度及水淹体积的增长，油藏内部的油水关系越加复杂。潜山油藏的水淹状况见图7、图8，分析如下：

(1) 存在3种油水界面和3个不同含油级别条带。

据测井资料解释、常规油藏及数值模拟分析，目前南堡2号潜山油藏存在3种油水界面^[1-16]，即：裂缝系统油水界面（-3950m）、基质系统油水界面（-4070m）和原始油水界面（-4210m）。由3种油水界面分割的3个条带，其原油的分布状态有较大的差异，形成了

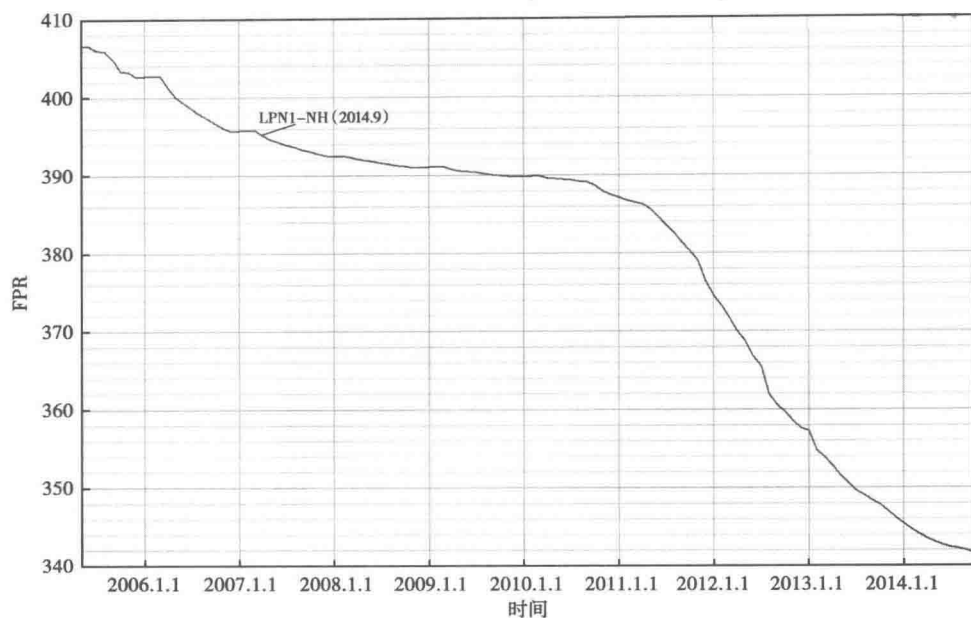


图6 南堡2号潜山区块压力拟合曲线
FPR—全区压力

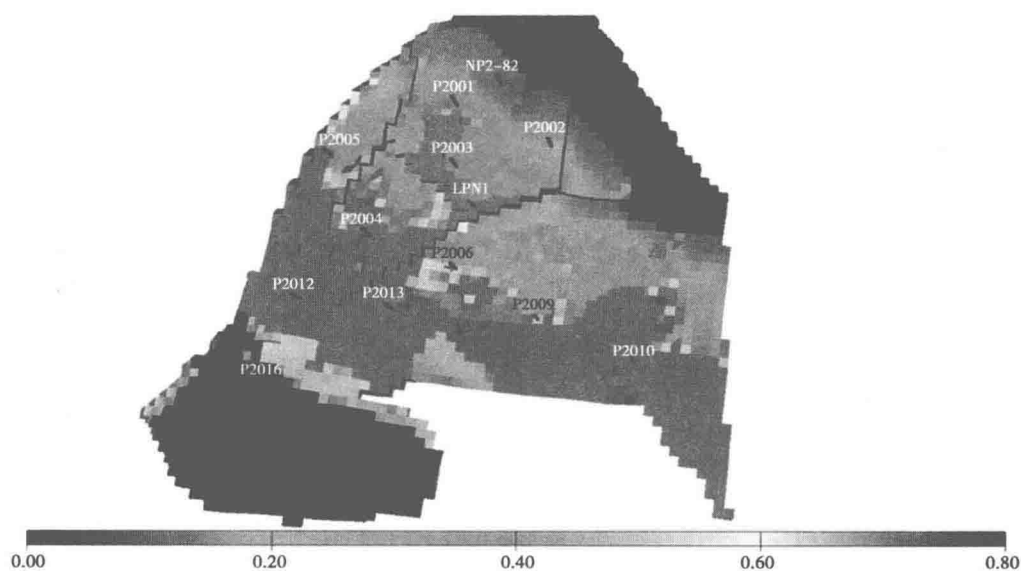


图7 裂缝系统剩余油饱和度分布图

3个不同含油级别的条带。其中，块状底水区存在油水过渡带和水淹带，纯油带主要分布于层状边水区、物性差区和气顶区。

①纯油带。纯油带是指裂缝油水界面以上尚未水淹的油层段。在裂缝油水界面以上，由于基质孔隙不存在自吸排油现象，地层含油饱和度没有发生变化，而在裂缝油水界面以下，

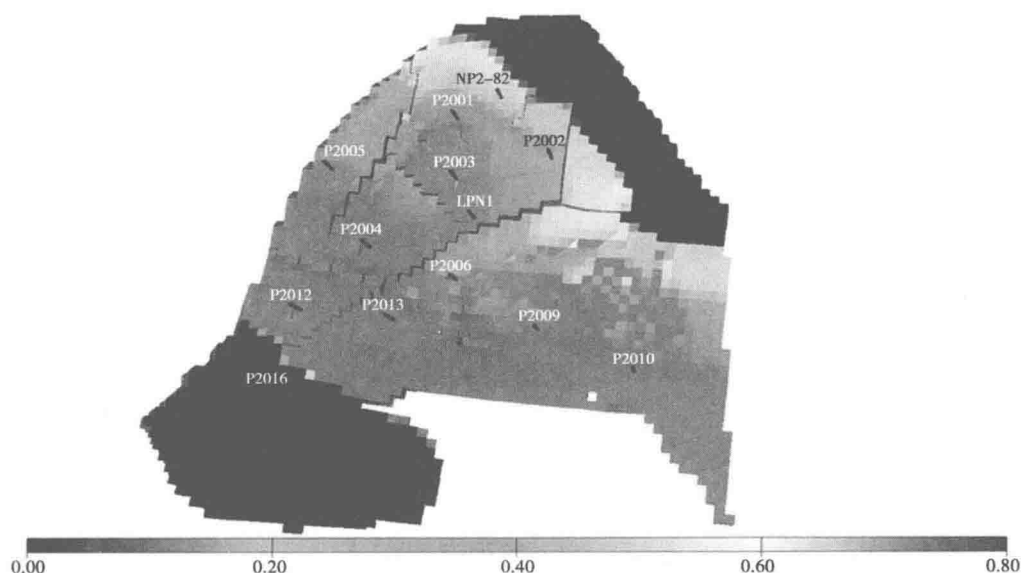


图 8 基质系统剩余油饱和度分布图

大裂缝已经水淹，基质部分开始自吸排油，含油饱和度逐渐降低，这个变化点即为裂缝油水界面的位置，其上则为纯油带。

②过渡带。过渡带指目前裂缝油水界面至基质油水界面之间的分布段。在基质油水界面以下，基质部分自吸排油过程已经完成，而在这个界面以上直至裂缝油水界面，基质部分自吸驱油过程不断进行，该过渡带为可动剩余油带。

③水淹带。水淹带指基质油水界面至原始油水界面之间的水淹段，即残余油段。该段内基质孔隙已经完成自吸驱油，在目前采油工艺条件下残余油无法采出，该带只产纯水，在此不作考虑。

裂缝系统油水界面的变化在整体上是一致的，纵向上油水关系分明，水驱油过程接近于活塞式推进，水驱油效率非常高。

(2) 水淹遵循大缝先淹、小缝后淹的规律。

南堡碳酸盐岩潜山油藏的储集空间由孔、洞、缝构成，在大裂缝系统中油水的运动主要受驱动压力和重力控制，裂缝系统水驱充分。由于裂缝分布具有一定的方向性，大裂缝发育的方向上各种储集空间的水驱油效果好。

(3) 岩块的水淹过程是一个缓慢的自吸驱替过程。

在裂缝油水界面以下，岩块系统的亲水性使它在毛细管压力的作用下自吸排油。由于毛细管压力的滞后效应，需经较长的时间方可观察到驱油作用，这是岩块孔隙与裂缝孔隙在产能特性上的最明显差异。微细裂缝中的自吸驱油过程始终进行着，这一过程将进行到微裂缝全部被水淹为止。

(4) 南堡 2 号潜山剩余储量主要存在于含油带。

根据数值模拟与动态分析研究结果，裂缝系统采出程度为 34.5%，基质系统采出程度为 1.9%，剩余可采储量 $27.6 \times 10^4 \text{t}$ ，84.0% 的可采储量存在于裂缝系统中，裂缝系统中 74.6% 的可采储量存在于含油带中，见表 2。

表 2 不同水淹带剩余可采储量分析表

区 域		剩余可采储量 (10 ⁴ t)			地质储量采出程度 (%)			可采储量采出程度 (%)		
		基质	裂缝	总	基质	裂缝	总	基质	裂缝	总
含油带	层状边水	2.6	10.0	12.6	0.8	34.4	18.0	16.3	68.8	64.3
	物性差区	0.7	7.3	8.0	0.0	2.7	1.4	0.0	5.4	5.0
过渡带		1.2	5.8	7.0	3.2	41.6	22.9	64.8	83.3	81.7
合计		4.5	23.1	27.6	1.9	34.5	18.6	37.2	69.1	66.3

4 不同潜山区块技术对策研究

基于不同储集空间的剩余油分布规律研究，结合各区块目前存在的开发问题，分区块提出了不同的治理对策。

4.1 块状底水区

块状底水区，裂缝系统剩余油分布零散、局部富集；基质系统剩余油富集。在剩余油研究的基础上，提出通过水平井侧钻动用局部剩余油富集区及利用提高采收率技术提高基质系统的动用程度。

4.1.1 侧钻潜力研究

通过数值模拟与油藏统计法对纵向上距目前油水界面的距离、平面上距离邻井水锥半径的距离进行研究。结果表明，纵向位置高于老井 100m，平面位置距老井大于 150m 时，单井累计产油可大于 1×10⁴t（图 9、图 10）。依据研究结果，提出 3 个侧钻潜力区，建议优先实施 P2005 高部位侧钻，预计增加可采储量 2.72×10⁴t。

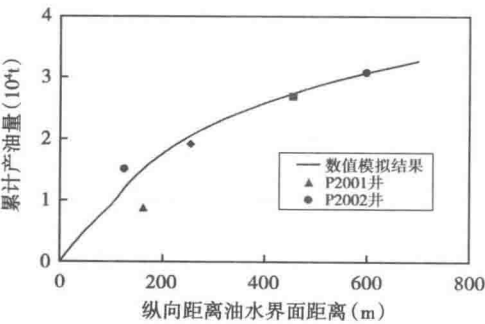


图 9 侧钻位置纵向距目前油水界面距离图版

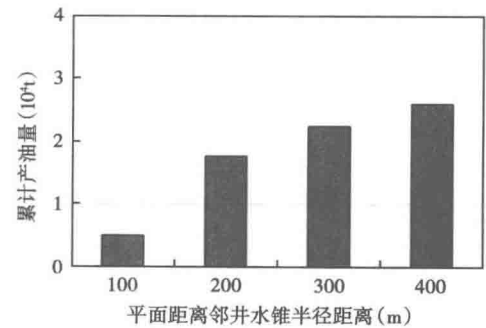


图 10 侧钻位置平面距邻井水锥半径距离图版

4.1.2 提高基质驱油效率研究

通过对国内外碳酸盐岩油藏转换驱替方式研究，气驱是提高基质采收率的主要方式。目前国内除氮气驱开展了大量的综合研究、室内实验、数值模拟和矿场试验外，CO₂ 驱和烃气驱仅停留在室内实验研究阶段。综合对比（表 3），氮气具有压缩性大，膨胀性高，对管柱无腐蚀等优点，因此优选氮气作为先导试验注入气体。