

■ 常学军 主编

复杂断块油藏 水平井开发技术文集



石油工业出版社

复杂断块油藏水平井 开发技术文集

常学军 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书论述了复杂断块油藏水平井开发的配套技术和应用研究成果,对我国众多的复杂断块油藏实施水平井开发具有重要的参考价值。

本书可供从事油藏描述及水平井开发科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂断块油藏水平井开发技术文集/常学军主编.

北京:石油工业出版社,2008.1

ISBN 978-7-5021-6270-2

I. 复…

II. 常…

III. 复杂地层-断层油气藏-水平井-油气钻井-文集

IV. TE243-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 152996 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14

字数: 350 千字 印数: 1—1000 册

定价: 80.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《复杂断块油藏水平井开发技术文集》

编 委 会

主 任：常学军

成 员：陈仁保 穆立华 李祥银 郝建明 李良川

主 编：常学军

目 录

冀东复杂断块油藏水平井开发研究与实践	常学军	(1)
复杂断块油藏精细描述技术与方法	常学军 郝建明 廖保方等	(8)
冀东复杂断块油藏水平井二次开发研究与实践	穆立华 常学军 郝建明等	(29)
复杂断块油藏水平井实用油藏工程方法	常学军 姚 军 郝建明等	(39)
复杂断块油藏水平井优化部署与设计技术	常学军 郝建明 王群一等	(56)
利用水平井资料开展油藏精细储层建模研究与探索	郝建明 吴 健 张宏伟	(69)
冀东复杂断块油藏水平井动态特征分析	郑家朋 刘泉海 王绍春等	(78)
复杂断块油藏水平井钻井工程方案研究	朱宽亮 冯京海 陈永浩等	(91)
复杂断块油藏水平井钻井工程设计与优化	徐小峰 朱宽亮 孙五苓等	(101)
复杂断块油藏水平井油层保护技术	邢韦亮 冯京海 陈永浩等	(113)
复杂断块油藏水平井井眼轨迹控制和地质导向技术方法	席庆福 李忠城 刘岩松等	(126)
复杂断块油藏小井眼侧钻水平井配套技术	李祥银 杨景中 白亮清等	(137)
复杂断块油藏水平井优快钻井技术	白亮清 李祥银 杨景中等	(148)
复杂断块油藏水平井整体开发采油工程方案设计	李良川 毕宏勋 郑家朋等	(161)
复杂断块油藏水平井完井方式优化与工艺	张立民 常学军 陈永浩等	(172)
复杂断块油藏水平井举升工艺技术	孙成林 彭丙军 周秀芬等	(184)
复杂断块油藏水平井增产技术	李良川 毕宏勋 吴 均等	(195)
冀东油田水平井等复杂结构井井下作业技术	陈仁保 苑吉林 李宏民等	(205)

冀东复杂断块油藏水平井开发研究与实践

常学军

(中国石油冀东油田公司, 河北省唐山市 063004)

摘要: 通过对几年来冀东油田水平井开发研究与实践的综合分析与总结, 全面论述了复杂断块油藏水平井开发的技术思路和方法体系、水平井开发配套技术以及当前面临的新挑战和今后的攻关方向。

关键词: 复杂断块油藏 水平井开发技术

复杂断块油藏是我国陆相含油气盆地中重要的油藏类型之一, 这类油藏由于断层发育、储层非均质性强、单个油藏含油面积小、新近系储层疏松等原因, 在常规定向井开发过程中常常表现出单井产量低、含水上升快、出砂严重、采收率低等特点, 一代又一代的油田开发工作者为了扭转这种被动局面, 进行了大量的探索和实践, 积累了宝贵的经验, 但如何显著地改善该类油藏开发效果, 仍然在探索与实践中。

冀东南堡陆地油藏是复杂断块油藏的典型代表, 早期采用定向井开发, 由于定向井本身的局限性、地质认识与实际情况的偏差及当时相关技术的发展水平等原因, 总体开发效果不好——突出表现为采收率低、采油速度低、高含水与低采出程度。冀东油田从2002年开始在大量调研和论证基础上, 针对制约改善开发效果的关键问题和瓶颈技术, 密切结合冀东复杂断块油藏特点, 广泛、深入地开展精细油藏描述深化地质认识, 规模推广应用水平井开发技术, 在几年的实践中见到明显成效: 已在多种类型油藏完成各类水平井200多口, 水平井开发调整区块采收率提高了9.7个百分点、水平井产量占油田总产量的30%, 复杂小断块油藏和部分难采储量得到高效开发, 对原油产量的快速增长发挥了重要作用。

水平井规模推广应用使原油产量快速增长的同时, 技术本身也在实践过程中得到快速发展, 为今后更好地应用水平井开发复杂断块油藏提供了强有力的技术支撑。

水平井开发技术之所以能在冀东油田复杂断块油藏快速规模推广、应用并取得良好效果, 主要是基于以下几方面。

(1) 密切结合油田实际, 确定正确的工作思路 and 战略部署, 有力指导水平井开发技术推广应用工作。

2002年, 冀东油田公司针对陆地复杂断块油藏开发效果差的实际情况, 组织开展了大量的调研和分析论证工作, 取得重要认识: 一是南堡陆地复杂断块油藏拥有丰富的石油资源, 已开发储量动用程度和采出程度均比较低, 具有大的开发潜力; 二是新采集的二次三维地震资料和油藏描述技术为深化油藏地质认识提供了非常有利的资料基础和技术支撑, 能为高效开发提供正确的认识基础; 三是通过改变开发思路与钻采技术创新和应用, 开发效果能够明显改善、产量可以规模增长; 四是确定水平井技术作为改善复杂断块油藏开发效果、实

现油田产量快速增长的主导技术。

在上述认识基础上,油田鉴于油藏地质条件复杂、缺乏水平井开发实践经验,制定了开展精细油藏描述,深化地质认识,大力推广以水平井为主的开发新技术、新工艺,不断改善开发效果,提高开发水平的战略部署。确定了水平井推广应用的思路——坚持以经济效益为中心,努力降本增效;加强前期研究,为水平井推广奠定坚实基础;突出重点,集中人力、财力、物力打歼灭战,力争近期有突破、中长期有规模;工作统一安排,统一部署,多专业、多部门联合实施;积极稳妥、全面推进工作,保证整体效益;水平井技术与其他常规技术并用,大幅度提高石油采收率。同时确定了水平井技术推广应用的工作部署原则——优先推广应用常规水平井技术;初期主要应用对象为浅层天然水驱油藏;重点区块优先安排,中深、深层油藏适量安排先导性工作;主要推广主导技术,相关技术逐步配套,研究与实物工程量配合,研究工作适度提前。

(2) 选准突破口,确保成功,为水平井技术推广应用开好局、起好步。

应用水平井技术开发复杂断块油藏,面临诸多挑战——储层横向变化快,要求预测精度高;单个油层含油面积小、单层厚度小,要求轨迹控制精度高;浅层油层胶结疏松,对防砂工艺要求高;地质导向仪器传输信号滞后,提高油层钻遇率难度大;已有平台老井多,防碰绕障问题突出;首次应用水平井技术,作为甲方的冀东油田和作为乙方的施工单位均缺乏实践经验。

为确保开好局、起好步,今后能顺利推进水平井技术规模应用,十分重视突破口的选择和实施。首先,认真筛选区块和钻探目标层,优先选择浅层油藏主力区块的主力油层,对比标志清楚可靠,油层未动用或动用程度很低,天然能量足,定向井生产出砂较轻且产量高。第二,对所筛选区块的主力层开展精细研究,包括油层顶面精细构造解释(等高距2m)、油层分布及其物性参数等值图、层内夹层分布、边底水能量分析、已动用层剩余油分布及定向井生产状况分析。第三,根据油层精细描述成果,优化水平井位部署——包括水平井平面位置、纵向位置、水平段长度等主要内容。第四,工程地质紧密结合,精心搞好单井钻井地质与钻采油工程优化设计,关键内容包括井身轨迹与结构、钻完井液体系、完井与举升方式和工艺。第五,优选施工队伍,确保各类设计方案实施到位。第六,加强管理、精心实施,为此油田成立领导小组,现场成立由相关专业技术骨干组成的实施小组。

通过上述做法,将突破口选在了柳赞油田102断块,其中NgⅡ⁴、NgⅡ¹利用水平井整体开发,NmⅢ¹²用水平挖潜剩余采油,共部署水平井5口,水平段长度为200~300m,采用二开井身结构、固井射孔管内防砂和电潜泵举升完井工艺。通过精心组织实施,全部成功并达到设计要求——水平段平均钻遇油层286.1m、单井平均日产油100t(为直井的3倍),断块产能由 9.5×10^4 t/a 上升到 16×10^4 t/a,评价期内采出程度较直井增加18个百分点,成本为直井的1.8~2倍。

柳102断块水平井开发的成功实施,有力地说明了水平井技术对复杂断块油藏大幅度提高原油采收率、提高单井产量、加快投资回收、控制成本具有重大意义,展示了其广阔的应用前景,同时也极大地鼓舞了冀东石油人下定决心快速规模推广应用水平井技术。

(3) 抓住有利时机,迅速扩大应用规模,扩展应用领域,凸显水平井技术优势,确立水平井在油田开发中的主导技术地位。

2002年水平井技术在柳赞油田102断块取得重要突破之后,冀东油田迅速组织科技人

员在高 104-5、高南、庙北、南 38 等浅层油藏集中论证部署水平井，到 2004 年底，共完成水平井 85 口，投产 75 口，累计建成原油年生产能力 $40 \times 10^4 \text{t}$ ，占总产能的 40%。

在迅速扩大应用规模的同时，逐步扩展应用领域，为水平井技术应用开拓更为广阔的前景。从 2002 年浅层稀油油藏成功实施水平井之后，到 2004 年底，先后在浅层常规稠油油藏、中深层油藏均钻探成功水平井，而且井型也不断丰富——常规水平井、5 $\frac{1}{2}$ in 井眼侧钻水平井、双分支水平井、大斜度水平井（表 1）。

表 1 2002—2004 年冀东油田南堡陆地完钻水平井井型统计

油藏类型	浅层稀油	浅层常规稠油	中深层油藏	合计
常规水平井	39	28	5	72
5 $\frac{1}{2}$ in 井眼侧钻水平井	—	4	—	4
双分支水平井	1	—	—	1
大斜度水平井	—	—	5	5
合 计	40	32	10	82

两年规模推广水平井技术的实践证明，冀东复杂断块油藏适合水平井开发，水平井主体技术基本满足实际需要；两年的实践也证明在复杂断块油藏开发中水平井具有独到的优势——有效地解决了浅层油藏定向井开采出砂严重的问题，难采储量的高效动用问题，有效地解决了产量低、含水上升快的问题，单井产量为定向井的 2~3 倍；在两年的实践中，也使我们对水平井的认识不断深化，技术不断完善，应用水平逐步提高，经验不断丰富，见到了更加广阔的前景，大规模推广的信心更足。

总之，通过两年的实践，无论在开发理念上，还是在油田开发实践中，水平井作为冀东复杂断块油藏高效开发的主导技术地位被牢固地确定下来，并转化为了现实生产力，对油田近几年快速增产发挥了极其重要的作用。

（4）建立科学的技术思路与方法体系，提高技术管理水平，促进水平井应用效果的不断改善。

复杂断块油藏水平井的成功实施是一项系统工程，任何环节出现问题都会导致整体工程效果变差或失败，客观上要求必须建立科学的技术思路与方法体系来指导实践，才能保证预期效果的实现。

冀东油田从一开始就十分重视在结合实践的基础上不断地总结，以形成具有自己特色的技术思路和方法，现已基本成熟，概括有如下 10 个方面。

①水平井开发适应性评价。

水平井开发适应性评价主要是分析各类油藏水平井开发在技术和经济上的适用性，为深入开展水平井部署研究与决策提供依据。评价的重点内容包括：油藏地质条件即油层厚度、分布范围、储层物性、油藏类型、驱动类型、油藏能量以及储量，已开发油藏要评价剩余油及其分布；开发指标即水平井单井控制可采储量、单井产量、提高采收率与新增可采储量；经济评价。

②水平井部署方案优化设计。

复杂断块油藏水平井部署要充分考虑断层分布、油藏分布、构造形态、地面平台位置以及钻井难度、钻井实施顺序等多种因素。

小断块多油层油藏开发部署必须搞好水平井、定向井组合以及井网整体优化,通过两者的有机结合显著改善水平井开发效果并提高井网对油藏的控制程度。此外,要注意优化定向井段轨迹,多钻遇油层、提高水平井后期利用价值。

水平井部署方案优化是个多因素的组合优化过程,主要包括布井范围、井数、水平段长度、水平段方位与生产参数的优化设计。

利用油藏数值模拟技术评价每种方案采油速度、稳产年限、采收率等开发指标的计算,结合经济评价确定最佳方案。

③水平井钻井地质设计。

正确的油藏地质认识、精细的油层描述成果和优化的开发部署方案是科学合理编制水平井钻井地质设计的基础;设计的关键是优化水平段的平面与纵向位置、水平段长度、着陆点选择与完井方式优化;地质与工程紧密结合,地面服从地下,优化部署井位与井身轨迹;在满足研究与现场分析需要的前提下,尽量优化、简化资料录取项目,降低钻井成本和施工风险。

④水平井钻井工程设计。

为降低水平井投资、简化井身结构、优化水平段钻井与施工安全,一是需要开展防碰设计、摩阻与扭矩分析、岩石可钻性、钻头个性化设计、三压力剖面预测、岩屑床计算、水平井固井工艺等大量基础研究;二是进行剖面优化研究、井眼轨迹控制工具与仪器的选择、水平井井身结构设计、完井方式优选等大量针对性研究。通过生产实践和研究,努力实现水平井钻井技术的系统化、规范化、个性化。

⑤水平井轨迹控制与地质导向。

地质导向和井眼轨迹控制是确保水平井成功实施的关键技术,为一项多学科、多专业结合的系统工程。

水平井井眼轨迹控制,一是控制工具的优选,冀东油田螺杆钻具由直螺杆发展为单弯螺杆和可调角度螺杆,广泛应用于水平井井眼轨迹控制;二是控制方式的优选,冀东油田全面使用 PDC 钻头 + 导向钻具 + MWD 导向钻井技术,提高了井眼轨迹控制能力和钻井速度。

地质导向坚持 4 项主要原则:一是一体化原则,地质导向工作是一项需要多种专业协同的系统工程,必须组建一个地质与工程人员构成的团队;二是综合分析原则,地质导向是对各种地质、工程资料全面分析并做出判断的过程,综合分析势在必行;三是节约投资原则,地面仪器和导向方法的不同,成本差异很大,必须结合实际优选;四是井眼轨迹圆滑原则,勺型轨迹井采油时底部易沉砂,影响出油效果,增加作业费用,导向过程中应确保井身轨迹圆滑。

⑥水平井完井方式。

结合油藏特点优化完井方式是提高单井产量、节约投资、保护油层、降低后期作业费用的关键环节。冀东油田新近系油藏出砂严重,采用裸眼滤砂筛管先期防砂完井;古近系油藏储层胶结程度高,原则上采用裸眼筛管或固井射孔完井。

裸眼滤砂筛管先期防砂完井,主要是根据储层粒度分析资料合理确定挡砂精度与优选筛管类型;固井射孔完井主要是合理设计定向射孔与枪型、弹型的选择。

⑦水平井举升工艺与采油生产管理。

举升工艺是水平井技术的重要组成部分,其优化原则,一是在浅层油藏能量充足的区块,采用大排量电泵、地面驱动螺杆泵或异型泵举升方式,满足高效、长效的要求;二是中深层油藏,供液能力较差的水平井主要应用有杆泵采油,立足小泵深抽,在注水见效区块应用中小排量电泵,满足放大生产压差和注水区块油井引效的需要。

采油生产管理主要是根据动态资料分析,确定合理的生产压差、及时跟踪分析举升工具的工况、及时解决发现的问题,提高采油时率、延长检泵周期、提高泵效。

⑧水平井增产措施。

冀东油田现阶段水平井生产暴露出的主要问题是堵塞、出砂、水突进,需要解堵、防砂、卡堵水等增产措施。

水平井堵塞类型主要是钻完井液固相堵塞和滤液污染,生产过程中的颗粒运移堵塞。解堵的技术关键是必须实现均匀布酸,增加有效解堵井段,延长有效期。

水平井防砂,首先必须通过出砂预测、储层固结程度与力学稳定性、极限采液强度和生压压差综合分析防砂的必要性;其次是根据油藏特点优选防砂方式,原则上要先期防砂。

水平井找水、卡水与堵水是中、后期需要大量实施的工艺措施,目前还不成熟,特别是裸眼筛管完井的水平井,要加强攻关、加快先导试验进程。

⑨水平井作业。

水平井作业主要考虑作业设备、下井工具和修井液3个方面的因素。目前,一般水平井作业设备普通修井机就能够满足要求;下井工具已系列化,能满足要求,除了特殊要求外,倒角是必须的;水平井由于接触油层段长具有更高的油层保护要求,要求全过程使用优质入井液。

⑩水平井资料录取。

水平井资料录取主要是指测录井和动态监测,资料录取方案的优化对水平井顺利着陆和轨迹控制、缩短建井周期、节约投资和成本、优化采油生产和油藏管理等均具有十分重要的现实意义。原则是在满足实际需要的前提下,充分应用随钻资料和常规资料,尽量优化简化。

(5) 在实践过程中,持续推进关键技术进步,带动配套技术发展,最大限度地满足油田开发需要。

冀东复杂断块油藏水平井技术大致经历了3个发展阶段。

①攻关主导技术、实现应用突破并快速推广阶段。

2002—2003年。该阶段水平井主要开发浅层未动用和采出程度很低的主力油层,其特点是油层厚度较大、分布稳定、储层物性好、胶结疏松、天然能量充足。针对这一地质特点和地面条件,重点开展了水平井论证与设计、钻井防碰绕障、水平井轨迹控制、固井射孔和管内防砂完井、水平段笼统酸化及钻盲板等主导技术的引进、吸收和结合本油田特点再创新与现场应用,实现了常规水平井开发技术在冀东复杂断块油田应用的突破。该阶段水平井部署的特点是相对比较分散,共实施常规水平井12口、建成 7×10^4 t原油生产能力,对油田上产百万吨发挥了关键性作用。

②创新关键技术、发展配套技术、实现规模应用阶段。

2004—2005年上半年。该阶段水平井开始用于浅层未动用和采出程度较低的主力区块整体开发和开发调整,特点是整体部署、集中实施。该阶段重点开展了部署方案优化研究(水平井井网优化、定向井井网与水平井井网优化、水平井定向井段与水平段轨迹整体优化)和水平井实用油藏工程方法研究,针对固井射孔和管内防砂完井暴露的问题和进一步提高产量的要求,开展了分级注水泥滤砂管完井、水平井段均匀布酸研究并大力推广;同时开始

了管外封隔器悬挂滤砂管完井技术和5 1/2in 小井眼侧钻水平井技术的应用研究。该阶段应用水平井整体开发了高63断块,整体调整了高104-5区块,分别新建产能 $10 \times 10^4 \text{t}$ 和 $14 \times 10^4 \text{t}$ 。

③关键技术攻坚与进一步提高应用效果阶段。

2005年下半年以来。该阶段用于挖潜剩余油和薄层的水平井数逐渐增多,部署和实施难度逐步增大,前几年已投产水平井出现含水上升、出砂、堵塞等问题,中深层和深层油藏应用水平井正式提到议事日程。该阶段重点开展了以单油层为单元的剩余油及其分布、优质钻完井液体系、以水平井控水和增油为目的的完井与采油工艺、深层水平井钻采工艺技术研究与实践,取得了重要进展,但在剩余油定量研究精度、水平井找水与控水、深层油层精细描述和水平井轨迹控制方面离实际需要还有较大差距。该阶段共投产水平井152口(截至2007年8月),建成原油生产能力 $97 \times 10^4 \text{t}$ 。

通过上述3个阶段的攻关研究与实践,目前基本形成了以精细油藏描述、水平井优化部署与设计、钻井与采油工程方案优化与设计、全程油层保护、5 1/2in 小井眼侧钻水平井、先进适用完井方式与工艺、解堵技术系列和水平井作业技术为主要内容的复杂断块油田水平井配套技术。其中,在已动用油层中水平井设计三开对油层实施专打并应用无固相钻井液体系取得明显效果,单井产量增加10~15t;管外封隔器悬挂滤砂管完井技术和5 1/2in 小井眼侧钻水平井技术成功规模应用;水平井段调流控水筛管、连续油管漩流冲砂解堵、氮气泡沫压底水、旋转地质导向几项前沿技术先导试验也取得了初步进展。

(6)面临的挑战与今后攻关方向。

①面临的挑战。

一是浅层油藏单油层含油面积小,已投产大量水平井,油井含水上升后产量递减大,水平井特别是筛管完井的水平井找水和治水工艺技术尚在攻关而且不能满足生产实际需要;二是储层非均质性严重,油水关系复杂,剩余油研究难度大,在采出程度较高的油层中水平井优化部署难度大,实施风险大;三是水平井油藏工程理论和方法不太成熟,开发指标准确预测、油水运动规律科学分析困难,加之现有测试技术的局限性,不利于油藏管理与采油生产管理;四是中深层和深层油藏精细描述精度不够,水平井着陆和轨迹控制难度大,中深层和深层5 1/2in 小井眼侧钻水平井技术尚不成熟与生产需要矛盾突出;五是需要的先进技术基本为国外公司专有而且价格昂贵。

②今后攻关方向。

一是大力推进复杂断块油藏剩余油定量研究和深层油藏精细描述技术的发展,以更好地满足水平井优化部署与设计的需要;二是千方百计地加快水平井段测试技术、卡堵水技术和配套作业技术的攻关,满足水平井后续生产需要;三是加快中深层和深层5 1/2in 小井眼侧钻水平井技术研究进程,以便推进该类油藏二次开发进程;四是加快部分关键技术国产化研发进程,为降低成本、扩大应用规模创造条件。

冀东复杂断块油藏水平井开发的认识为:

(1) 水平井技术是复杂断块油藏提高油井产量、大幅度提高石油采收率、加快资金回收、降低油田开发综合成本的有效途径。

(2) 复杂断块油藏应用水平井开发是一项系统工程,必须多专业、多部门在井位论证、单井设计、施工与生产管理等方而密切配合才能保证其高效应用。

(3) 目标层准确描述和剩余油定量研究、水平井优化部署与设计、准确着陆与水平井段轨迹严格控制、高效完井与举升是水平井高效应用的关键。

(4) 复杂断块油藏水平井技术必须在实际应用中才能更快、更好地发展，主导技术的进步能够带动配套技术快速发展。

(5) 水平井技术的快速发展和关键技术的国产化进程的加快，能够有力地促进水平井技术的快速推广应用。

复杂断块油藏精细描述技术与方法

常学军 郝建明 廖保方 周凤鸣 王绍春 岳文珍

(中国石油冀东油田公司, 河北省唐山市 063004)

摘要:近年来,随着计算机技术的广泛应用以及勘探开发工作的不断深入,国内各油气田公司对油藏描述工作越来越重视,使得油藏描述技术得以快速发展。冀东油田作为国内有代表性的复杂断块油田,通过大量的研究与实践,形成了一套有自己特色的油藏精细描述技术和方法。介绍了冀东复杂断块油田油藏精细描述过程中形成的工作流程、主导技术和主要做法,以及不同类型、不同阶段油藏描述的主要内容和研究重点,对于同类油藏今后的油藏精细描述工作以及老油藏二次开发方案的编制具有重要的借鉴意义。

关键词:复杂断块油藏 油藏精细描述 技术方法

油藏描述,是指一个油气藏发现后,对其开发地质特征所进行的全面的综合描述,目的是为合理开发这一油气藏制定开发战略和技术措施提供必要的和可靠的地质依据。现代油藏描述技术以建立定量的三维油藏地质模型为最终目标,这是提高油藏数值模拟和开采动态预测精度的要求。油藏描述是随着油气藏开发阶段的推移而渐进的,一般来说,随着油气藏开发程度地提高和深入,以及开发阶段的向前推移,对油藏描述的精度要求也就越来越高。

冀东油田位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,是具有复杂的地层、构造和储层条件的断块油田。其复杂性主要表现在:①地层变化大,岩相变化快,精细对比难度大;②断层多,构造复杂;③储层相变快,储层对油气分布控制作用明显;④单井含油井段长,埋藏深度差异大,油藏类型多,油水关系复杂;⑤纵横向储层内流体性质多变,油层电性特征复杂,电测解释油气水层难度大。

近年来,随着勘探开发技术的不断进步,特别是高精度三维地震资料采集、处理和解释技术以及层序地层学等理论和方法技术的发展,为从宏观上把握整体地质特征提供了资料基础;目前冀东油田二次三维地震资料品质得到明显改善,提高了构造解释和储层预测的精度;同时关键技术的储备也为开展油藏描述提供了保障。为此,冀东油田开展了以油藏重新认识为目的的新一轮主力油藏精细描述工作。由此带来了地质认识深化、储量产量快速增长、经济效益提高的良好局面,促使油田开发步入了良性发展的轨道,并形成了一套适合复杂断块油藏精细描述的技术和方法。

1 复杂断块油藏精细描述思路

一是以深化油藏整体认识、寻找开发潜力为重点;二是不同阶段、不同类型的油藏采取不同的描述方法和研究重点,以其研究尺度、研究内容、研究精度能够满足油田(区块)开发与调整任务的需要为依据;三是坚持反复认识,不断逼近地下油藏实际;四是多专业、多学科协同研究,在同一时间、围绕同一目标同步开展综合研究,将油藏的各种属性作为一

个完整的系统来研究。

对于中深层、深层油藏，主要是在层序地层学理论和研究方法指导下，以高精度三维地震资料为主，结合关键井资料，确定地层格架，建立等时地层模型，开展精细构造解释和储层精细描述，刻画构造形态与储层展布特征，建立构造与储层模型。以此为基础进行油藏综合分析，开展老井综合复查，搞清油气层分布与储量规模，建立三维地质模型，评价、落实油藏潜力，为制定开发战略和技术措施提供可靠的地质依据。

而浅层油藏则着力于利用高品质的地震资料，井震结合，缩小研究单元，逐个砂体、逐个油层地开展油层顶面微构造精细解释与储层反演，准确地落实了微构造特点和油层展布；进一步开展油藏综合分析，落实油藏开发潜力，为实现高速、高效开发和确定开发井最佳靶点位置提供可靠依据。

2 工作流程

新一轮油藏描述工作流程如图 1 所示。第一步，钻井、地震紧密结合，利用多种信息，在层序地层学原理指导下，以地震反射格架剖面 and 准确标定做宏观控制进行不同尺度的等时地层对比；第二步，在区域构造解释基础上，开展目标区、目的层精细构造解释及储层反演；第三步，油气分布规律研究，地质、测井结合，综合各种信息重新识别油水层；第四步，油藏潜力综合研究，要做到勘探开发共同研究、共同确定部署意见，实现工作一体化、认识一体化、成果转化一体化；第五步，精心组织实施，及时跟踪分析，及时调整，不断滚动研究，随着认识的深入和资料的积累，重新开始新一轮次的精细油藏描述，将油藏地质认识不断推向深入。

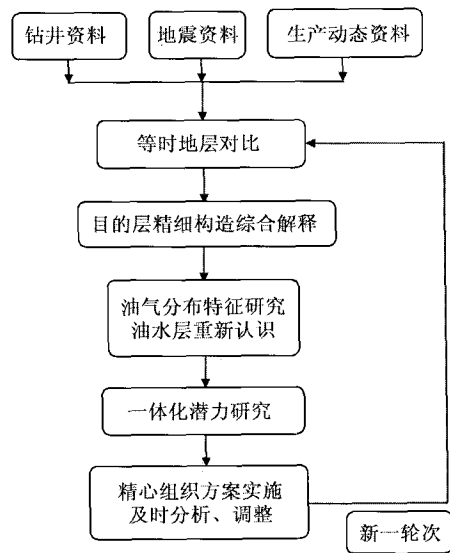


图 1 油藏描述研究流程示意图

3 精细描述应用的主导技术

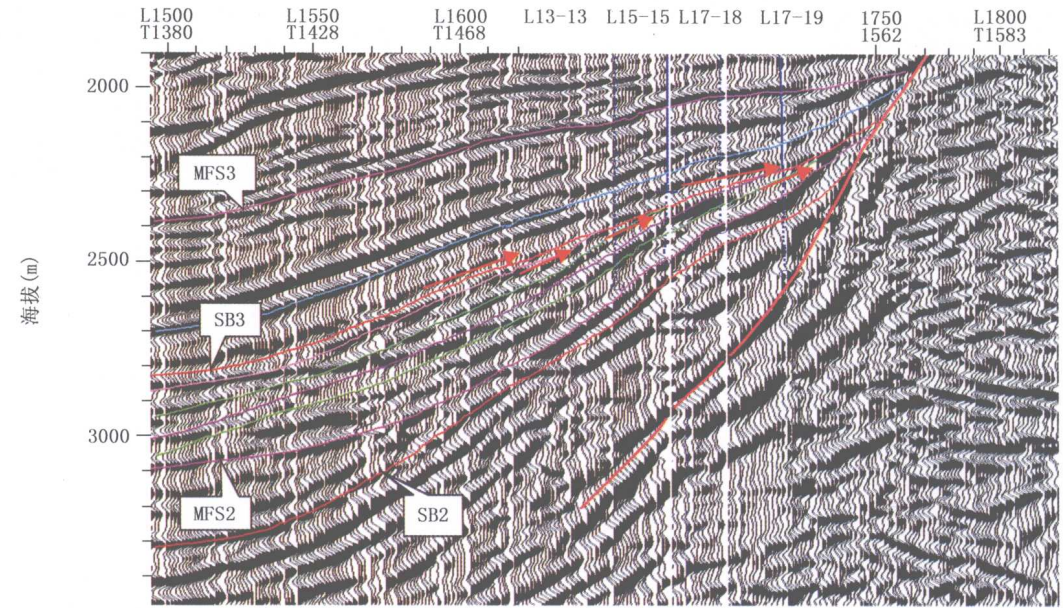
3.1 等时地层对比技术（层序地层对比技术）

正确的地层与储层模型是建立符合地下实际的油藏地质模型的基础和关键，等时地层划分对比则是建立正确的地层、储层模型的关键。层序地层学理论为我们开展等时地层对比、建立等时地层模型提供了理论基础和方法。

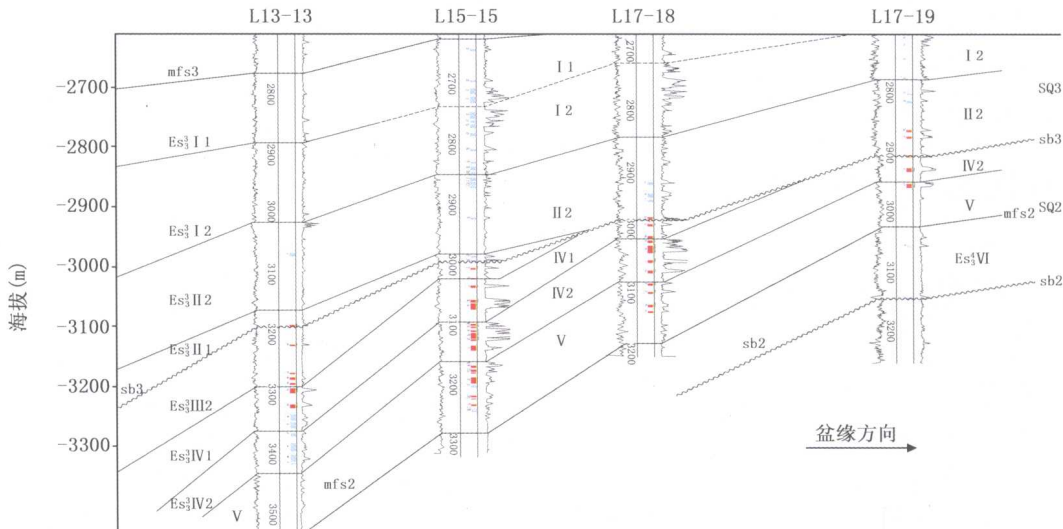
层序地层学的基本指导思想，是强调地层层序的形成受控于海（湖）平面升降、构造沉降、气候和沉积物供给等因素，并表现出不同的级别、规模和不同的时间间隔。层序是以侵蚀面或无沉积作用面以及可与之对比的整合面为界的、成因上有联系并具旋回性的一套地层。它清除了地层划分中长期存在的年代地层、岩石地层和生物地层单位三重命名的混乱现象，为准确的地层划分与对比提供了一个统一的地层学概念。

在层序地层学理论和研究方法指导下，确立了新的地层对比思路，即以三维地震资料为主，研究地层发育和地质构造的基本特征，在正确的宏观认识指导下，结合钻井与测井资料，寻找最大湖泛面、沉积间断面（不整合面）等作为地层划分对比的标志与界线，确定地层格架，在钻井和开发动态资料约束下确定油层划分与对比方案，实现等时对比。

首先，利用三维地震资料控制、识别地层宏观特征及变化规律，结合钻井资料进行地震层序划分，确定地层格架（图2）。关键是确定并识别最大湖泛面和区域性不整合面，以及研究层段的地震反射结构特征，用以指导层序的划分。



a. L13-13—L17-19 井连井地震剖面



b. L13-13—L17-19 井地层对比剖面

图2 井震结合建立地层结构模型（柳北沙三²⁺³亚段）

第二, 选定沉积旋回齐全的标准井, 利用电阻率、自然伽马曲线, 结合地震反射结构和最大湖泛面及层序界面之间中期基准面旋回的叠加样式分析, 进行单井地层层序、准层序组的划分, 使地层划分对比精度能够达到准层序级别 (图 3), 提高地层对比的等时性精度。

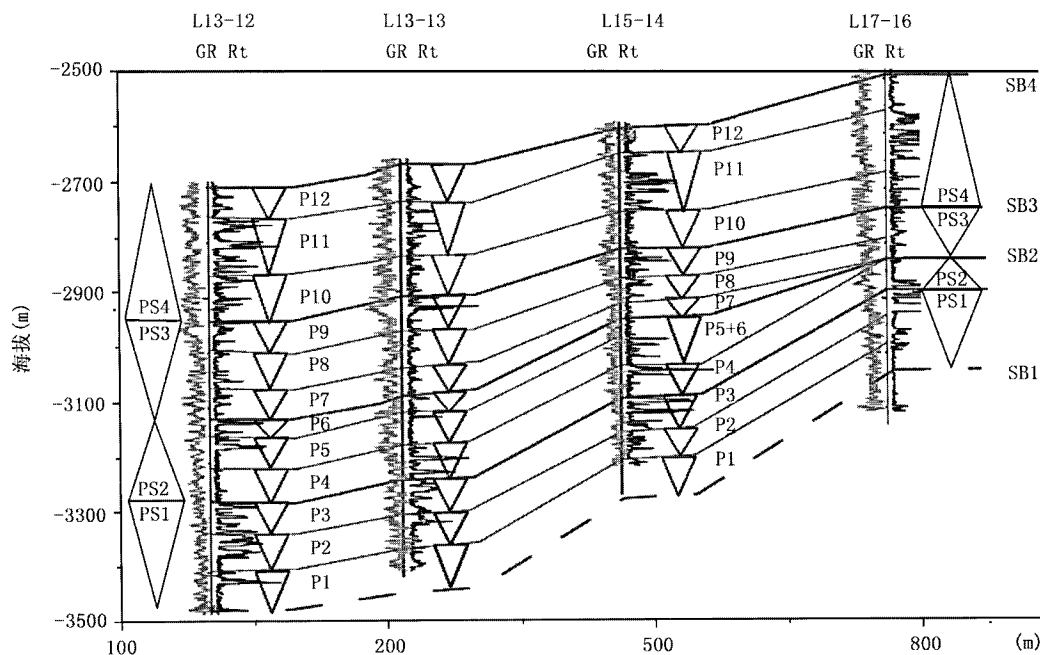


图 3 柳北沙三²⁺³油藏地层层序划分对比图

第三, 井震结合, 建立以标准井为基点的、平行物源方向的多条连井层序地层对比骨架剖面, 确定各级层序横向追踪对比模型。同时, 利用动态资料检校地层细分对比模型的建立, 达到地震剖面解释、钻井地层对比和生产动态资料三者的统一。

第四, 以标准井为基点, 若干层序地层对比骨干剖面为主干, 扩展到全区并进行闭合。

南堡凹陷柳赞、高尚堡沙三³油藏和高南地区东营组油藏认识的深化就是以层序地层对比为突破口的。因高柳地区靠近盆地边缘, 受盆地基准面的变化影响较大, 岩性粗、相变快、厚度变化大, 缺乏可靠的对比标志, 给地层的划分与对比工作带来了困难。为解决以往地层对比不等时和精度低的难题, 在陆相层序地层学理论指导下, 井震结合进行层序地层划分对比工作。改变以往等厚对比、井间地层变短开断点的对比思路, 以高精度三维地震资料为主, 结合关键井资料和骨干剖面, 研究地层发育和地质构造基本特征, 在正确的宏观认识指导下, 寻找最大湖泛面、沉积间断面等作为地层划分对比的标志与界线, 确定地层格架, 在钻井和开发动态资料约束下确定油层划分与对比方案, 实现等时对比, 建立可靠的地质研究基础。

通过研究认为, 柳赞地区沙三²⁺³地层格架是陆相断陷湖盆陡岸边缘以进积式准层序组合沉积序列为主的扇三角洲沉积, 常表现为同一准层序组的地层厚度由湖盆边缘向湖中心方向迅速变厚。沙三²⁺³亚段的层序地层层数数据减少了大批断点 (图 4), 改变了对整个柳赞地区沙三段构造十分破碎的认识, 重建沙三²⁺³亚段层序地层格架, 构造模式经修改成为了既简单又较完整的断背斜构造, 使油藏潜力得以进一步明确。

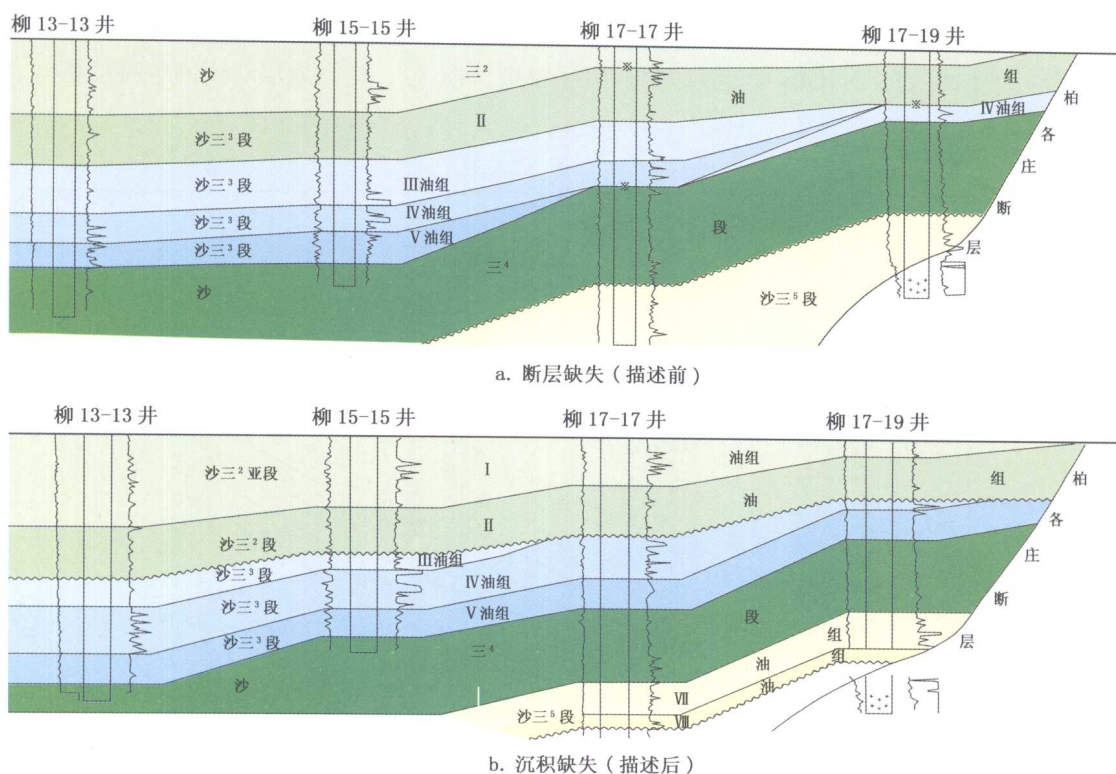


图 4 柳北沙三²⁺³油藏地层对比方法变化示意图

3.2 三维构造综合解释技术与目标区构造精细解释技术

3.2.1 三维构造综合解释技术

三维构造综合解释技术，主要的研究对象是层序界面和油组界面。首先，通过井震结合进行层位标定；其次，在成因模式指导下进行骨干剖面构造解释，确定断裂样式和交切关系，然后进行断裂解释与平面追踪。

由于岩性、岩相变化导致的地震反射特征的变化，与由于断层导致的变化往往不易区分；且由于地震资料本身信噪比、分辨率较低，要分辨断距小于 20m 的断层难度较大。解释过程中，地震与钻井资料结合，综合运用多种解释技术，提高断层解释精度，精确落实断裂特征。具体技术及措施如下。

- (1) 根据地震反射空间变化特征，区分岩性、岩相变化导致的地震反射特征的变化与由于断层导致的变化；
- (2) 通过模型正演，搞清不同断距断层的响应特征，指导断层解释；
- (3) 运用优势频带相干数据体、水平切片、瞬时相位处理等技术，结合平面剖面，准确落实断裂特征（图 5）；
- (4) 解释过程中与钻井资料紧密结合；
- (5) 开展断层精确性验证，保证断层解释的合理性和准确性。

测网解释密度采用 100m × 100m，局部采用 25m × 50m。首先，以地震为主，在关键井