

沉积结构单元 在油藏研究中的应用

——以沾化凹陷东部馆上段为例

刘建民摇著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书用多学科的理论和方法,综合研究和揭示了河道砂储层沉积结构单元特征、空间分布、时间演化,建立了曲流河和辫状河两种成因类型结构单元模式,阐明河流相结构单元与宏观、微观剩余油分布规律和形成机理的关系,论述了河流相储层剩余油挖潜措施。

本书可供油田开发工作者及大专院校、科研单位师生、研究人员参考。

摇图书在版编目(CIP)数据

摇沉积结构单元在油藏研究中的应用 刘建民著 鄧

北京:石油工业出版社,1997

摇陈景原鄧原鄧原鄧

摇 I 鄧沉...

摇 II 鄧刘...

摇 III 鄧沉积结构 原应用 原油藏 原研究

摇 IV 鄧石油地质学

摇中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 000000 号

石油工业出版社出版

(北京摇北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

陈景原鄧毫米 远开本 陈景原鄧张 鄧千字 印 1—鄧

鄧年 远月北京第 员版 鄧年 远月北京第 员次印刷

陈景原鄧原鄧原鄧 陈景原鄧

定价 鄧鄧元

序

《沉积结构单元在油藏研究中的应用》一书是作者在河流相储层常规沉积相研究基础上进一步发展的研究成果。作者刘建民从事油田开发工作十余年,在油田开发及地质方面有一定的造诣,为石油工业发展做出了应有贡献。该书是他多年工作的结晶,他抓住我国东部陆相断陷湖盆强非均质特征油田,在长期注水开发后,如何揭示剩余油形成机理、分布规律这个国际前沿难题,引入 ~~粤东地区~~ 的河流相沉积结构单元这个新理论、新方法,研究和解剖了孤岛和埕岛等三个油田馆上段河流相储层的结构单元,进行了结构单元划分,研究了河流相沉积结构单元分布规律,建立了辫状河和曲流河结构单元模式,揭示了剩余油分布规律和形成机理,提出了剩余油挖潜的措施。

该书的特色是首次将 ~~粤东地区~~ 的露头区宏观河流相结构单元研究的新思路、新方法,加以发展应用于地下油藏研究中,研究和解决覆盖区河流相储层宏观、微观非均质性及对剩余油分布规律和形成机制的控制作用等难题,为长期注水开发河流相沉积砂岩油田提高采收率提供了科学依据,深化了陆相断陷湖盆油田开发地质学的理论和方法。该书是本学科领域的重要参考书。

蔡连俊

前摇摇言

我国石油勘探自 20 世纪 50 年代提出勘探战略向东转移后,在东部找到了一大批大、中型油田,东部油气田的储量和产量占我国总储、产量的一半以上。东部油气田主要分布在陆相断陷湖盆内,储层非均质性很强,给油田勘探开发带来很大困难。各油田经历数十年的注水开发,目前已进入特高含水阶段,综合含水率超过 90%,采收率仅 30%,尚有大量剩余油分散分布在地下储层中,要建立储层精细地质模型,揭示储层宏观、微观非均质性,揭示宏观和微观剩余油形成机理和分布及控制因素,才能实现油田提高最终采收率的目的。

该书以注水开发多年的孤岛、孤东和埕岛三个油田馆上段河道砂储层为研究对象,综合应用多学科的理论和方法,最大限度的应用计算机技术,引入 ~~粤东平原~~ 河流相储层沉积结构单元的理论和方法,研究和揭示了孤岛、孤东和埕岛三个油田馆上段河道砂储层沉积结构单元的特征、类型、空间分布、时间演化,建立了两种成因类型结构单元模型,揭示了河流相储层结构单元和剩余油分布的关系,对指导孤岛、孤东和埕岛三个油田提高原油采收率具有重要意义。

本书共分八章,其中第一章,论述了河道砂储层结构单元模型的目的和意义、国内外研究现状,主要研究内容和特色、技术路线和技术难点。第二章论述沾化凹陷下第三系地层格架、构造格架和构造演化,沾化凹陷上第三系馆陶组上段储层沉积特征、油气藏类型和分布规律。第三章论述河流相储层沉积结构单元研究的原理和方法,河流相储层沉积结构单元划分。第四章论述河流相储层沉积结构单元分布规律、河流相储层沉积结构单元模式。第五章以埕岛油田为例论述河流相储层砂体成因类型、砂体展布和演化规律。第六章以孤东油田为例论述馆上段储层微观非均质模型和三维地质模型。第七章以孤岛油田为例论述馆上段沉积模型和宏观非均质模型。第八章论述河道砂储层宏观剩余油分布规律、河道砂储层微观剩余油分布规律、河道砂储层剩余油形成和分布的主要控制因素,河道砂沉积结构单元对剩余油分布的控制作用、河道砂储层剩余油形成机理。

该书将常规储层沉积学研究和河道砂沉积结构单元研究相结合,揭示了孤岛、孤东和埕岛油田储层的宏观微观非均质性,宏观微观剩余油分布规律、形成机理、主要控制因素,论述了辫状河和曲流河砂体沉积结构单元对剩余油形成和分布的控制作用,提出了河道砂储层剩余油挖潜的措施。希望该书能对油田开发地质、油藏工程及剩余油研究领域起到抛砖引玉的作用,推动石油开发技术的发展。

本书编写过程中得到刘泽容教授的悉心指导并提出了修改意见,孤岛、孤东和埕岛油田有关专家为本书提供了大量的基础资料,给予很大帮助,借此机会表示衷心的感谢。

由于时间紧迫,加之笔者水平有限,书中不当之处,欢迎专家和同行批评指正。

目摇摇录

第一章摇绪论	(员)
摇一、储层沉积结构单元及剩余油研究现状	(员)
摇二、河流相储层沉积结构单元研究的主要内容和特色	(源)
摇三、技术路线和技术难点	(缘)
第二章摇沾化凹陷石油地质概述	(远)
摇一、沾化凹陷地层格架	(远)
摇二、沾化凹陷构造格架和构造演化	(贡)
摇三、沾化凹陷馆陶组上段储层沉积特征	(员源)
摇四、油气藏类型及分布	(圆)
第三章摇储层沉积结构单元研究原理和方法	(圆)
摇一、储层沉积结构单元研究原理和方法	(圆)
摇二、河流相储层结构单元划分	(猿)
第四章摇河流相储层沉积结构单元模式	(猿)
摇一、河流相储层结构单元分布规律	(猿)
摇二、河流相储层结构单元模式	(源)
第五章摇河流相储层结构单元成因类型和砂体展布规律	(源)
摇一、埕岛油田河流相储层结构单元成因类型	(源)
摇二、河流相储层砂体展布规律	(缘)
摇三、埕岛油田河流相储层砂体演化规律	(缘)
第六章摇孤岛油田馆上段储层非均质模型	(远)
摇一、孤岛油田馆上段沉积模型	(远)
摇二、孤岛油田馆上段微构造模型	(远)
摇三、孤岛油田馆上段非均质模型	(苑)
第七章摇孤东油田馆上段储层非均质模型	(苑)
摇一、孤东油田馆上段沉积模型	(苑)
摇二、孤东油田馆上段非均质模型	(苑)
摇三、孤东油田馆上段三维地质模型	(愿)
第八章摇河流相储层剩余油分布规律和形成机制	(愿)
摇一、河流相储层宏观剩余油分布规律	(愿)
摇二、河流相储层微观剩余油分布规律	(怨)
摇三、河流相储层剩余油形成和分布的主要控制因素	(怨)
摇四、河流相储层结构单元对剩余油分布的控制作用	(员)
摇五、河流相储层剩余油形成机理	(员)
摇六、河流相储层剩余油挖潜措施及应用效果	(员)
参考文献	(员)

第一章摇绪摇摇论

我国油气田的分布是以陆上油气田为主,而陆上油气田又以东部为主,东部油区原油地质储量占全国陆上的 怨豫,年产油量占全国陆上的 愿豫以上,目前已开发三十余年,绝大部分油田都已进入高含水、特高含水开发期,但仍是我国油气田开发的主阵地。因油藏构造复杂、储层非均质性强,在含水达 愿豫~怨豫的情况下,地质储量采出程度仍较低,仅有 圆豫~圆豫。如胜利油区 圆园年 员月含水 怨豫,地质储量采出程度为 圆豫,地下储层中还剩余近 愿豫地质储量的原油,扣除 猿豫的残余油,仍还有近一半地质储量的可动剩余油有待挖潜采出。仅从数量上看,这部分潜力是相当可观的,但因储层非均质性强、高油水粘度比,以及长期水驱和频繁的调整挖潜,致使储层内剩余油分布零散而复杂,油田开发进入零散剩余油深度挖潜开发阶段,再因剩余油监测及识别技术有限,油田开发剩余油难度越来越大。故开展剩余油形成、分布的研究极为重要,也是油田开发和地质工作者长期以来一直在攻关研究的难题和国际前缘技术。

我国东部油田以河流相为主要特征,据不完全统计,河流相储层石油储量占我国已开发油田动用储量的 缘豫(薛培华等,员怨怨)。我国(员个主要油区 苑个油田,占全国已开发 猿缘个油田的 圆豫,占已开发总储量的 苑圆豫)不同类型碎屑岩储层可动剩余油分布概率研究表明,河流成因储层内不但存在较多可动剩余油,而且是其中潜力最大的(表 员-员)。如胜利油区的孤岛、孤东、胜坨等大型油田储层均属河流相砂体,其剩余油形成、分布主要受储层非均质性控制,而河流相储层沉积结构单元的三维空间变化是储层非均质性的根本成因。因此研究储层沉积结构单元的特征、类型、空间分布、时间演化,建立河流相储层沉积结构单元模型及其与剩余油形成分布的关系,从不同类型河流成因储层的内部结构、构造、侧向与垂向等变化特征,及其对流体渗流的控制和影响作用,研究河流成因储层沉积结构单元对剩余油形成、分布的控制作用,可更好地指导高含水、特高含水期河道砂油田剩余油预测和挖潜,提高资源利用率、油田采收率,提高油田开发水平。

表 员-员 我国不同类型碎屑岩可动剩余油分布概率对比表(徐安娜等,员怨怨)

沉积相	含水 员圆豫驱油效率(豫)	含水 怨豫驱油效率(豫)	目前水驱采收率(豫)	可动剩余油分布概率(豫)	
				含水 员圆豫	含水 怨豫
三角洲	远豫	缘豫	猿豫	圆豫	员豫
滩坝	远豫	缘豫	猿豫	圆豫	员豫
扇三角洲	缘豫	源豫	源豫	员豫	怨豫
河流	远豫	源豫	猿豫	猿豫	员豫
冲积扇	缘豫	源豫	猿豫	圆豫	员豫
湖底扇	缘豫	源豫	圆豫	猿豫	员豫

一、储层沉积结构单元及剩余油研究现状

员 河流相储层沉积结构单元研究现状
石油和天然气生成于沉积岩中,绝大部分也储存于沉积岩中,沉积相研究是沉积岩石学研
— 员 —

究的主要内容之一。其基本研究方法是通过沉积岩的组分、结构、构造、颜色、古生物 ,以及地球化学等特征研究 ,推断(或反演)其古沉积环境 ,进而建立其沉积相模式。

随着石油、天然气勘探开发及其技术的发展 ,储层沉积相研究也得到了广泛应用和发展。在油气藏地质研究中 ,沉积相研究则主要通过取心井岩心单井相分析 ,结合区域地质背景 ,确定井剖面储层岩石沉积相模式 ,并应用测井曲线特征建立不同岩石相所对应的测井相模式 ,再从取心井出发进行测井相连井剖面对比 ,建立二维沉积相剖面 ,进而结合储层测井定量解释参数分布等特征 ,从二维到三维建立全区储层沉积相分布模型 ,指导油气开发生产。

沉积相研究手段也随着现代科技的进步和沉积理论的发展 ,从宏观到微观研究方法手段都有了较大的进步和发展。宏观上不断发展、完善、建立更加全面、科学合理的沉积相模式 ,应用水槽试验、现代沉积研究等将今论古 ,研究古沉积建造沉积机理与特征 ,且随着油田精细开发与挖潜的开展和需要 ,沉积相规模或级别也进一步细划 ,由沉积相进一步细划到沉积微相(少数还细划到了微微相) ,逐步适应油藏开发分析 ,尤其是油田开发中后期剩余油分布与挖潜研究的要求。微观上从低倍显微镜发展到高倍显微镜、电子显微镜等 ;从岩心观察、普通薄片分析 ,发展到铸体薄片分析 ,使我们对沉积岩微观沉积特征有了更深入和清楚的认识 ,使沉积相研究产生了较大的飞跃。

国内研究目前将河流相沉积分为河床、堤岸、河漫沉积、废弃河道四个亚相 ,包括 愿个微相(曾允孚 ,夏文杰 ,员愿愿) ,河床滞留沉积、边滩沉积(曲流河)或心滩沉积(辫状河)、天然堤、决口扇、河漫滩、河漫湖泊、河漫沼泽微相、废弃河道。并建立了相应的辫状河及曲流河沉积模式 ,对各沉积微相的沉积成因、沉积结构构造及岩性特征有了深入的研究和认识 ,对油田勘探开发起到了较大的指导作用。

国外研究以美国 粤利福尼亚州 员愿年所著《河流沉积学》为代表的最新研究 ,将河流沉积分为 缘种岩石相(砾石相、砂相、细碎屑相、非碎屑相、伴生相) ,建立了 员远种河流沉积模式 :①具有重力流沉积的砾石床辫状河 ;②浅砾石床辫状河 ;③深砾石床辫状河 ;④砾石床游荡河 ;⑤砾石床曲流河 ;⑥砾砂质曲流河 ;⑦砂床曲流河 ;⑧短暂砂床曲流河 ;⑨细粒曲流河 ;⑩网状河 ;⑪具有交错坝的低弯度河 ;⑫浅的常年砂床辫状河 ;⑬深的常年砂床辫状河 ;⑭高能砂床辫状河 ;⑮远漫流砂床辫状河 ;⑯暴涨常年漫流砂床河。将河流沉积相细分为 员远个沉积结构单元(河道 愿个 ,溢岸 愿个)(表 员—圆)。

粤利福尼亚州的结构单元分析法主要形成并应用于宏观露头研究 ,是根据大的露头特征描述 ,编绘露头二维和三维图 ,划分出一系列不同等级的界面和结构单元 ;如何用于地下储层研究 ,是一很值得探讨的前沿研究方向。

表 员—圆 员远种河流沉积结构单元(粤利福尼亚州)

分摇摇类	沉积结构单元	备摇摇注
河道沉积	悦匀单元	河道
	勋月单元	砾石坝和底床
	孺郎单元	沉积物重力流沉积
	朵月单元	砂质底床
	阅聘单元	下游增生大型体
	繇聘单元	侧向加积沉积
	繇单元	纹层砂席
	乞韵单元	洼坑

分摇摇类	沉积结构单元	备摇摇注
溢岸沉积	蕴单元	天然堤沉积
	悦单元	决口水道沉积
	悦单元	决口扇沉积
	云单元	泛滥平原细粒物
	悦约云跃单元	废弃河道充填物
	煤	生物化学沉积
	古土壤	
	蒸发岩	

圆剩余油研究现状

由于对剩余油的研究和认识 ,关系到各种挖潜措施的效果和效益 ,关系到油田开发水平 ,也关系到油田生产建设和发展 ,因此其地位和作用随着油田开采程度的加深及开发难度的加大日益突出和重要。各种挖潜措施的制定 ,层系井网调整、“控水稳油”以及三次采油等方案的设计等 ,都要以剩余油研究及认识为前提和基础。同时 ,剩余油分布研究也是一项世界性难题 ,已经成为国际学术会议 ,如世界石油大会、国际储层表征会议以及 杂耘 粤粤鄂等专业性年会讨论的重要课题之一。我国东部的大庆油田开展了以剩余油研究和挖潜为主要内容的国家级科技攻关项目研究 ,胜利油田开展了“九五”部级重大科技攻关项目“高含水期油田剩余油分布监测、描述与挖潜技术研究” ,标志着我国最大规模的剩余油研究与攻关。

当前国内外研究重点在三个方面 :

①剩余油形成的控制因素 ,提出了主要原因为储层平面、层间、层内非均质性及沉积结构构造、微构造引起的不均匀驱油 ,以及受断层封闭性、开发井网限制而导致的滞流作用。

②剩余油形成机理研究 ,主要是用简化的孔隙模型来研究 ,常用的简化模型有单孔隙模型、双孔隙模型和多孔隙网络体系模型。国外以双孔隙模型来研究剩余油在孔隙中被捕集与俘留的机理。国内大庆油田应用微观渗流物理模拟技术 ,对大庆油田 缘口检查井的 缘块天然岩样和人造微观网络模型分别进行了水驱模拟实验。

③剩余油预测方法技术研究 ,国内外石油界的专家们 ,用各自善长学科的理论和技术来开发或建立剩余油预测方法技术。经过近几年的发展 ,预测剩余油的技术层出不穷 ,推动了剩余油的理论研究。这些方法有开发地质学方法、油藏数值模拟方法、开发地震、测井方法、示踪剂测试法以及岩心分析法等。国外普遍认为测井、岩心分析和单井示踪剂测试方法是目前用于确定剩余油饱和度的三大方法 ,有广阔应用前景。在我国 ,利用岩心分析法及测井方法确定剩余油分布是当前最成熟的方法技术。

其中 ,对油田生产来说 ,最核心的是阐明剩余油分布规律 ,为剩余油挖潜指明方向。前人研究表明 ,在我国以河流体系为主的储层中 ,单一河道或砂体的宽度一般较窄 ,大型河流的河道宽度可以在 愿皂以上 ,中小型河道多在 愿皂以下 ,甚至只有几十米 ,多为不规则的条带状。因此 ,对大型河流系统来说 ,平面非均质控制的剩余油易于出现在岩性变化剧烈的砂体边缘地带。对中小型河流系统 ,则容易存在于注采井网很难控制的宽度既狭窄、形状又多变的砂体。层内非均质性控制的剩余油 ,主要指的是韵律性 ,层内岩石的结构、构造 ,如层理、纹理、基

岩团块以及层内的泥岩夹层或物性夹层等。对于正韵律厚油层,注入水受重力作用向下运动,造成下部水淹严重,而在上部留下剩余油。对于层理、纹理等的影响,由于它们往往伴随着局部渗透性的突变,或微细泥质条带的遮挡,这些部位往往是层内含油饱和度局部较高的地方;层内泥岩夹层或物性夹层的存在,对于油水流动起遮挡作用。

但是,实际情况要比上述同期单一沉积体系复杂得多。由于河道的变迁,加之河道下切、叠积造成了各期沉积砂体形态极不规则,砂体间的接触关系也复杂多变。如孤岛与孤东地理位置毗邻、物源基本一致、相同层位储层的垂向韵律规律也有很大差异,剩余油分布规律更是有很大差异。因此,本书认为在研究剩余油时,不仅要采用岩心分析、测井等方法确定剩余油分布,更要阐明剩余油形成机理,特别重视不同沉积类型储层在剩余油形成和分布上的差异。此外,平面上剩余油分布在岩性变化剧烈的砂体边缘地带、非主力低速相带、注采井网不完善地区等等这些认识过于简单,尚未揭示其内在实质。孤岛、孤东油田生产上已经发现这种高孔高渗油藏剩余油平面分布要复杂得多,因此,有必要针对这类河道砂储层,通过密闭取心和动态等资料,结合室内微观驱油实验,研究剩余油分布规律、微观形成机理和控制因素。

二、河流相储层沉积结构单元研究的主要内容和特色

本书首次将 ~~胜利油田~~ 的宏观露头河流相储层沉积结构单元研究的理论和方法引入覆盖区油气储层研究,为了揭示河流相储层结构单元的非均质性 & 与特高含水期剩余油分布规律和形成机理,从油藏基本地质特征、沉积体系、沉积微相、储层沉积结构单元,宏观、微观非均质,到剩余油分布规律、形成机理等方面,开展了系统的研究,主要研究内容和特色如下。

①首次将 ~~胜利油田~~ (露头)结构单元分析法,发展应用于胜利油区沾化凹陷东部馆上段岩心规模沉积微相及沉积模式研究,为油田地质研究中借助钻井取心、测井等资料进行河流成因储层沉积微相研究提供了新的方法学手段。

②建立了岩心规模 ~~员~~ 远级界面的划分标准,为覆盖区河流相储层沉积结构单元研究奠定基础。

③在沾化凹陷东部上第三系馆陶组上段河流成因储层中,首次鉴别划分了 ~~苑~~ 个沉积结构单元:河道滞流沉积(~~悦~~ 藕)、侧向加积沙坝(~~藕~~ 藕)、向下加积沙坝(~~藕~~ 藕)、天然堤(~~藕~~ 藕)、决口水道(~~悦~~ 藕)、决口扇(~~悦~~ 藕)和洪泛平原(~~云~~ 云),分别论述了 ~~苑~~ 个结构单元的特征和分布规律。

④建立了沾化凹陷东部的沉积结构单元模式,其中馆上段 ~~缘~~ 员垣砂层组为细粒曲流河沉积模式,馆 ~~远~~ 砂层组为砂质辫状河沉积模式。

⑤综合应用检查取心井资料分析、油藏工程、油藏数值模拟、动态分析和开发地质学、沉积学等理论和方法,从不同角度研究揭示了孤岛、孤东、埕岛三个油田馆上段河流成因储层剩余油分布特征和分布规律。

⑥从注采层系规模、单层规模两级规模,层间、层内、平面三个层次,系统分析揭示了河流成因储层沉积微相对剩余油分布的控制作用,指出了河流成因储层两级规模三个层次的剩余油分布在相似注采方式和强度下,主要与根本的控制因素是储层纵横向沉积相变。油田开采状况是剩余油形成分布的外在因素。

⑦应用岩心水驱油试验、宏观及微观水驱油物理模拟实验、以及水驱油数值模拟手段相结合揭示了河流成因储层水驱油规律及剩余油形成机理。

三、技术路线和技术难点

针对沾化凹陷东部孤岛、孤东、埕岛等大型油田上第三系馆上段河道砂储层沉积结构单元、剩余油分布规律和形成机理研究,采用的技术思路是:应用多学科理论和方法,以河流沉积学理论和现代沉积研究为基础,以计算机技术、测井解释技术、油藏数值模拟技术、油藏工程综合分析技术、岩心分析试验等技术为手段,综合利用油藏地质、钻井、测井、试油试采及生产动态等多信息资料,建立精细的储层沉积结构单元模型及剩余油分布模型,进而研究揭示河道砂储层沉积结构单元与剩余油分布的关系,并结合室内岩心驱油试验、微观驱油物理模拟试验等研究,阐明河道砂储层沉积结构单元对剩余油分布的控制作用和机理。为河道砂储层的剩余油预测和挖潜,提高油田采收率和开发水平提供科学依据和方法。

技术难点主要有:

- ①建立岩心规模—远级河流相储层结构界面划分标准。
- ②地下埋藏区河流相储层沉积结构单元分类依据和特征。
- ③建立地下埋藏区河流相储层沉积结构单元模型。
- ④地下埋藏区河流相储层结构单元模型和剩余油形成分布的相关性。

表 圆-员 瑶沾化凹陷地层发育简表(据刘仁君等, 1995)

界	系	组 (段)	代码	厚度 (皂)	岩性特征	电性特征	化石组合	
新 生 界	上第三系	第四系	平原组	Ⅱ	1.40-1.80	未成岩的砂质粘土层夹粉砂层及少量砾石层		
		明化镇组	Ⅲ	1.80-2.20	浅棕色砂质泥岩、泥岩夹薄层砂岩透镜体	以“弓形”电阻为特征,其上有“泥兜”泥岩与第四系平原组相隔;其下以“弓形”电阻、低平电阻出现而结束	以单囊、双囊松粉属及草本植物花粉增多为标志	
			馆陶组	Ⅳ	1.20-1.60	顶部泥岩夹砂岩,中部砂岩增多、增厚,泥岩与粉砂、细砂岩间互出现,下部以块状砂岩、砾质砂岩、砾岩夹薄层泥岩为特征	电阻特征:上部为中低型和笔架状,下部较高;自然电位曲线上部呈指状,下部出现两个大型箱形负异常	土星介、达尔文介、粗肋孢子—山核桃粉属组合;毛球藻组合
		东营组	Ⅴ	1.80-2.20	上部灰白色砂砾岩,反旋回,中部砂、泥岩互层;下部以灰色泥岩为主	自下而上电阻由高渐低;自然电位曲线由漏斗形变为指形	弯脊东营介组合、单峰华花介组合、网面球藻属—皱面球藻属组合	
			砂一段	Ⅵ	1.20-1.60	下部灰质泥岩、泥岩,底部为生物灰岩、白云质岩类;向洼陷内地层增厚、生物灰岩变薄	上部低平电阻、下部高阻	惠民小斗介组合、棒球藻组合
			砂二段	Ⅶ	1.0-1.4	构造顶部局部缺失,低部位为薄层砂砾岩,翼部或向洼陷内为砂、泥岩互层,泥岩中有红或绿色夹层	中高电阻,呈梳状;自然电位曲线呈指状负异常	济南土星介、椭圆拱星介组合
	砂三段		Ⅷ	1.0-1.4	顶部以砂岩为主,夹薄层泥岩,构造翼部为砂泥岩互层;中下部为泥岩集中段,在构造顶部未见沉积	中高电阻,自然电位曲线呈指状负异常,中部低阻,下部中高阻	中国华北介组合;渤海藻—副渤海藻	
		砂四段	Ⅸ	1.0-1.4	构造顶部缺失,仅孤东、胜利钻遇泥膏岩(未钻穿)		金星介、南星介组合	
	中 生 界	白垩系	Ⅹ	1.40-1.80	大套中酸性喷发岩,红色及杂色泥岩、砾岩、白云质砂岩	上部电阻低平,自然电位无明显异常;中下部块状高阻	蒙阴女星介、扇形轮藻	
			侏罗系	Ⅺ	1.0-1.4	火山碎屑岩、泥岩夹煤层	块状高阻,自然电位低平	
古 生 界	石炭—二叠系	Ⅻ	1.0-1.4	上部石英砂岩,红、灰色泥岩互层,夹薄铝土层、煤层;下部海陆交互层及煤层,构造顶部遭受剥蚀				
		奥陶—寒武系	Ⅼ	1.0-1.4	海相灰岩、隐晶白云岩;仅钻遇砾岩、马家沟组		棘皮动物、牙形石、三叶虫组合	
前震旦系		Ⅽ		花岗片麻岩(本区无井钻遇)				

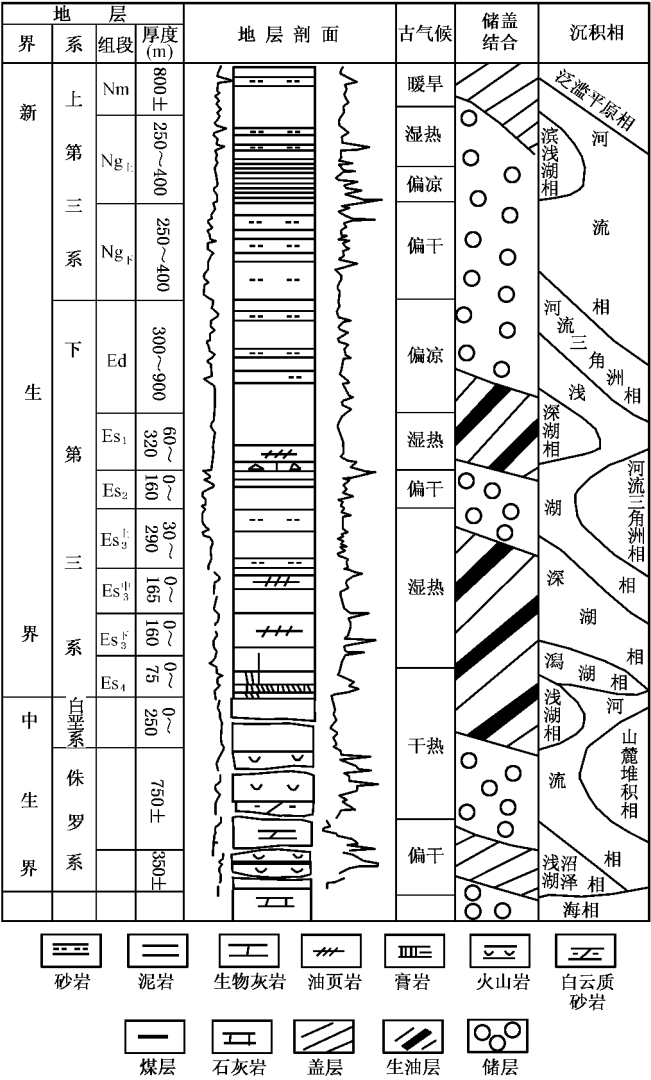


图 圆—圆瑶地层综合柱状图

员第第三系地层格架

孔店组分为三个岩性段 ,由灰绿色、紫灰色玄武岩夹泥岩、砂质泥岩和砂、泥岩互层组成 ,不整合于白垩系王氏组之上。

沙河街组与孔店组整合或假整合接触 ,分为四个岩性段。沙四段上部主要为半闭塞的潟湖沉积 ,地层以灰质泥岩、石灰岩与薄层砂岩互层为主 ,湖盆中心发育石膏沉积 ,在湖岸带受古地形的控制常发育有生物灰岩、藻灰岩 ,在斜坡带相变为砾状砂岩或含砾砂岩 ;沙三段为深湖—半深湖沉积环境 ,地层以灰色泥岩、油页岩、油泥岩为主 ,与沙四段为连续沉积。沙三段分上、中、下三个亚段 ,地层总厚度 猿~ 员,与上覆沙二段呈不整合关系。沙三下亚段沉积期湖盆进入稳定发展期 ,气候湿润 ,湖底广阔 ,以静水沉积的细粒成分为主。自下而上先后沉积了四套油页岩 ,在第三套油页岩顶发育一套浅灰色低阻泥岩 ,称为“ 稳定泥岩段 ”。沙三中亚段的下部以第二套油页岩为主 ,沙三中亚段的上部出现砂岩和泥岩间互沉积。沙三上亚段沉积期随湖域退缩 ,地层分布范围变小 ,在斜坡带地层变薄以至缺失。沙二段湖盆中心以暗色

泥岩及白云质、灰质泥岩为主。在湖盆斜坡带以厚层砂岩、砂砾岩体为主 地层厚度不大 ,约 100~150m,与沙一段呈不整合接触关系。沙一段是深水—半深水湖相还原环境 ,上部为灰色灰质泥岩或泥灰岩沉积 ,下部为油页岩 ,底部常有一套生物灰岩。沉积中心在四扣洼陷一带 ,地层厚度 150~200m,与沙二段在洼陷中心为假整合。总体上看 ,沙河街组岩性以紫红色、灰绿色、蓝灰色泥岩、灰白色盐岩石膏层、湖相暗色砂、泥岩以及油页岩为特征。

东营组与沙河街组呈整合或假整合接触 ,分为三个岩性段 ,为灰绿色、灰色、少量紫红色泥岩与砂岩、含砾砂岩、砾状砂岩的不等厚互层 ,或夹薄层碳酸盐岩。从凹陷中心向边缘岩性逐渐变粗 ,砂砾岩增加 ,泥质岩减少。整个东营组的厚度不稳定 ,顶部多遭剥蚀 ,从凹陷中部向边缘直到凸起部位厚度逐渐减少 ,剥蚀程度越来越大 ,缺失地层越多 ,不少凸起上完全缺失东营组。

图 2-3 第三系地层格架

上第三系包括馆陶组和明化镇组。馆陶组与下伏地层为区域性不整合接触 ,分为上、下两个岩性段 ,为陆源砂岩、泥岩和砾岩 ,厚度变化较大 ,从几十米到千米以上。明化镇组与馆陶组为整合或假整合接触 ,岩性为棕黄色、棕红色泥岩夹浅灰色、棕黄色粉砂岩及海相薄层。第四系平原组呈区域性不整合覆于明化镇组之上(表 圆-1)。

馆陶组为一套砂砾岩、泥岩互层。纵向上 ,下段粗 ,砂泥比高达 1:1 以上 ;上段则逐渐变细 ,砂泥比逐渐降至 1:2 以下。

1) 馆陶组下段

渐新世末期 ,东营运动使济阳拗陷整体抬升 ,湖水退出 ,前馆陶组遭受强烈剥蚀 ,凸起开始被夷平 ,凹陷进一步被充填 ,接受馆陶组沉积。

馆陶组尤其是馆下段沉积时期 ,胜利油区古地形基本上保持渐新世末期的面貌 ,凹陷周围的凸起或隆起为主要物源区 ,因此各凹陷中心沉积厚度大 ,向凸起逐渐变薄 ,且其下部在凸起上缺失。如义和庄凸起顶部、陈家庄凸起、青城凸起、林樊家构造高部位以及东营凹陷、惠民凹陷的南部斜坡地带均缺失馆下段 ,且馆上段也明显减薄。胜利油区馆陶组沉积厚度以沾化凹陷最大 ,车镇凹陷其次 ,东营凹陷和惠民凹陷的沉积厚度明显减薄(图 圆-3)。

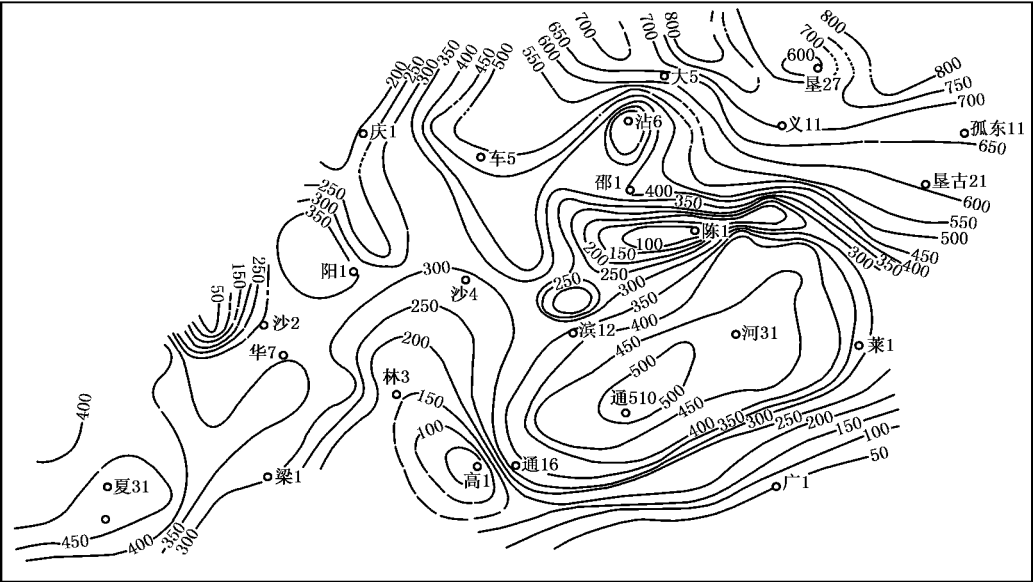
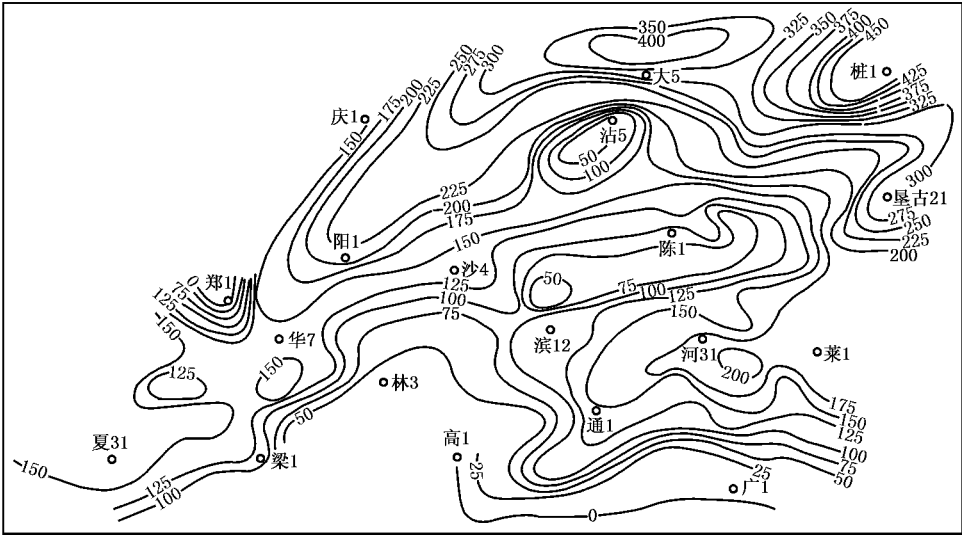


图 圆-3 胜利油区馆陶组下段地层厚度(米)图

摇除了厚度变化外,砂、砾岩的厚度变化也较大。凹陷的东北部其厚度一般为猿~猿,西南渐薄,至缘~猿,砂岩的百分含量从缘~苑向南变为猿~猿(图圆—源)。馆陶组砂岩是胜利油区的主要储油岩之一,目前它拥有全区猿以上的探明储量。近年来,孤东油田及海上埕岛油田的发现,展示了馆陶组含油的美好前景。馆陶组与下伏地层为区域性不整合接触。



图圆—源胜利油区馆陶组下段砂岩厚度(皂)图

上亚段岩性为紫红色、暗紫色、灰绿色泥岩、砂质泥岩与粉砂岩互层,夹粉、细砂岩。下部砂岩较发育,上部泥岩较发育。视电阻率曲线基值较低,上部为小锯齿状,中、下部呈中—高阻尖峰。自然电位曲线上部略平直,下部见中低幅度负异常。厚度为猿~猿。馆陶组的厚度变化较大,油区南薄北厚。东营、惠民凹陷一般厚圆~源,车镇、沾化凹陷厚苑~猿,个别地区可大于猿。淮北凹陷一般厚苑~圆,分段不明显,岩性粗,以砂、砾岩为主。

下亚段岩性为灰色、浅灰色、灰白色块状砾岩、含砾砂岩、砂岩夹灰色、灰绿色、紫红色泥岩、砂质泥岩。惠民凹陷的岩性相对较细,下部为杂色泥岩与灰绿色粉砂岩的不等厚互层。视电阻率曲线呈低值略平,见稀疏的中低阻尖峰。自然电位曲线一般为高幅度箱状负异常。厚度一般为圆~猿。

圆 馆陶组上段

馆上段地层厚源~源,为一套由粗到细的砂泥岩组成的正旋回,横向上分布稳定。按旋回对比、分级控制的原则,又将本区的馆上段自下而上分为六个砂层组(表圆—圆)。

表圆—圆馆上段地层特征

分播层		地层厚度(皂)	岩播性播播播
旱	员垣	苑~苑	主要为一套泥岩,夹少量薄层粉细砂岩
	猿	缘~源	主要为泥岩夹细粉砂岩
	源	源~缘	砂岩与泥岩互层
	缘	源~苑	砂岩、粉细砂岩与泥岩互层
	远	苑~源	中粗砂岩、细砂岩夹泥岩为特征

遥遥在孤岛地区,馆上段为砂岩、粉砂岩和泥岩互层,砂岩以细砂岩为主,厚约 10~15m。油气主要分布在馆陶组上段猿猴缘远砂层组,馆陶组上段缘远砂层组有少量稠油分布。

馆上段缘远砂层组主要为一套夹少量薄层粉细砂岩透镜体的泥岩,地层厚 10~15m;馆上段猿猴缘远砂层组为砂、泥岩互层,馆上段缘远砂层组出现中粗砂岩。砂层厚度依次为:馆上段猿猴层组为 10~15m,馆上段源砂层组为 10~15m,馆上段缘砂层组为 10~15m,馆上段远砂层组为 10~15m(表 1-1)。

二、沾化凹陷构造格架和构造演化

胜利油区构造概况

古生代胜利油区是华北地台的一部分,早古生代为海相沉积,晚古生代为海陆交互相沉积。中、新生代华北地台解体,渤海湾盆地形成,经历断陷、断拗、拗陷三个发展阶段,沉积了巨厚的陆相地层。胜利油区处于渤海湾盆地东南部,含济阳拗陷、昌潍拗陷以及临清拗陷之一部分,还包括渤海海域的埕北凹陷、桩东凹陷和青东凹陷。沂(河)沭(河)断裂呈 NNE 向通过油区东部边缘。早第三纪本区几度受到海水入侵,晚第三纪海水也多次入侵。下第三系沙河街组四、三、一段是良好的生油岩层,上第三系明化镇组为区域性盖层。由于构造运动的作用及构造变动的影响,尤其是沂沭断裂长期活动并出现左旋与右旋的交替变化,油区沉积厚度及岩相随之改变,因此形成多种类型的圈闭和复杂的油气藏类型。区内不仅同生岩层和后生岩层含有大量油气,而且基底岩层含油量也相当丰富;不仅砂、砾岩层含有大量油气,而且泥岩、火成岩和变质岩层含油气也屡见不鲜。多套含油气层系和多种类型的油气藏在空间上的交互叠加形成复式油气聚集带。复式油气聚集带有同生构造带、单斜构造带、潜山披覆构造带和洼陷等源种类型的油气聚集带。复式油气聚集带是复式油气区的基本单元。

胜利油区断裂活动较强,大断层有多期性和继承性的特点,其平面展布可分为近 NNE 及 NNE 向三组。这些断层把该区分解成多个次级洼陷(或凹陷)和凸起相间的构造格局。从北往南分布着埕北凹陷、沾化凹陷中的孤北、五号桩、渤南、孤南等洼陷。它们既具有相互连通的统一性,又具有一定的分割性,呈南断北超箕状特征,在洼(凹)陷边上发育了埕北、桩西、长堤、孤东、孤岛、埕东等低凸起,洼(凹)陷都以深断裂与低凸起接触,低凸起的太古界、古生界、中生界组成了前第三系潜山,下第三系逐步超覆披覆在潜山上,上第三系又披覆其上,形成了多个潜山披覆背斜构造。受埕北断层、五号桩断层、埕南断层这三条北西向展布的区域性断层的影响,埕北低凸起、埕北凹陷、埕子口凸起、桩西、原长堤、原孤东潜山披覆构造带走向以北西向为主,呈长条形展布的形态。受孤北断层、孤南断层两条近东西向断层的控制,孤岛潜山披覆构造形成一个近东西向的构造带。

济阳拗陷有四排凸起和三排凹陷。四排凸起自西北而东南依次为:呈子口凸起—庆云凸起、义和庄凸起—无棣凸起—宁津凸起、陈家庄凸起—滨县凸起、青城凸起—广饶凸起。凸起之间三排凹陷自西北而东南依次为:车镇凹陷、沾化凹陷—惠民凹陷、东营凹陷。山东境内临清拗陷含德州凹陷及莘县凹陷,其间为堂邑凸起。昌潍拗陷含侯镇凹陷和潍北凹陷。相通的拗陷其间以构造线延伸方向作为二者的界线。例如,宁津凸起的延伸方向经禹城洼陷东缘与聊考断裂相接,系济阳拗陷与临清拗陷的分界线;广饶凸起的延伸方向系济阳拗陷与昌潍拗陷分界线。相通的凹陷其间亦以构造线延伸方向或以正向构造带作为二者的界线。例如,宁津凸起与堂邑凸起的伸展方向即为德州凹陷、莘县凹陷的界线,青坨子凸起与广饶凸起的顺延线可作为东营凹陷与青东凹陷的界线,桩西—五号桩—孤东构造带使沾化凹陷、桩东凹陷分隔。

馆陶组与明化镇组组成了胜利油区的顶部构造层,馆陶组底部块状砂岩和底砾岩是识别标志。实际上它们属于胜利油区的拗陷阶段沉积,馆陶组以河流相为主的粗碎屑岩沉积不整合上覆于上渐新统东营组之上。明化镇组为河流相、洪积相夹海相沉积,假整合覆于馆陶组之上。摇摇

图 圆-缘 沾化凹陷构造格架

沾化凹陷第三系由两个不同结构特征的区域性构造层序组成,上覆于前第三纪基底岩系之上。下第三系孔店组、沙河街组和东营组组成盆地下部区域性构造层序,上第三系和第四系组成盆地上部构造层序,其间的不整合面为区域性角度不整合面。下第三系为裂陷期充填岩相,地层受古地形控制,厚度变化大,相变快,充填于半地堑中,明显受断裂构造的控制。上第三系呈层状或毯式披覆于整个盆地。

沾化凹陷总体上是一个复式的半地堑断陷湖盆。凹陷的发育受走向为北东向、北东东向张性、张扭性大断裂的影响,形成总体上呈北东、北东东向展布的、具有“北断南超”特点的多个半地堑构造格架。在南北方向上形成缓坡带、深洼陷带、陡坡带的构造展布样式(图 圆-缘),在东西向上形成多个次级洼陷和洼间低凸起(图 圆-远)。缓坡带上发育的鼻状低突起近南北向伸入盆地内,把近东西向半地堑凹陷带分割成两个次级洼陷。

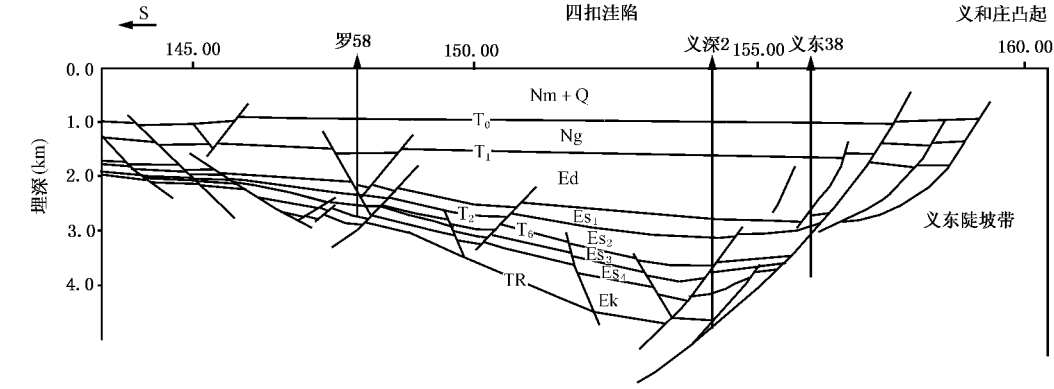


图 圆-缘 研究区南北向远视测线剖面图

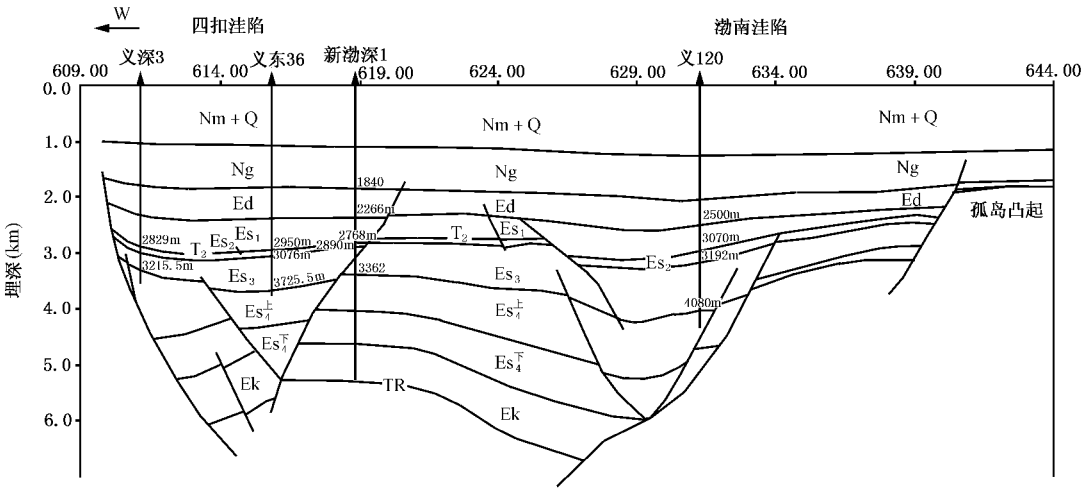


图 圆-远 研究区东西向远视测线剖面图

北东、北东东向展布的一、二级断裂是主控断层,平面上由多段弧形或帚状的断裂组成,三、四级断裂为伴生构造或反向调整构造。此外,盆地基底岩系中还发育有近南北向、北西-原北西西向多组横向或斜向断裂组,这些断层在不同程度上影响了裂陷期地层的沉积,造成盆地基底的起伏变化。

构造格架样式表明,盆地受到近东南-原西北向为主的拉伸,并具有多方向伸长的特点,左阶排列的伴生断裂的发育可能与右旋扭张作用的叠加有关。

综上所述,在垂向上沾化凹陷由下部同裂陷期构造层序和上部的裂后坳陷构造层序所组成,平面上表现为近东西向的复式“半地堑”构造带与近南北走向的低幅度基底突起的叠加,形成南北分带、东西分块的构造格局。

沾化凹陷构造演化史

通过对沾化凹陷构造剖面演化特征分析,结合前人的分析资料(王秉海等),认为:研究区内沙三段中发育的断裂构造主要是在两次较强烈的构造运动中形成(图 圆-苑)。

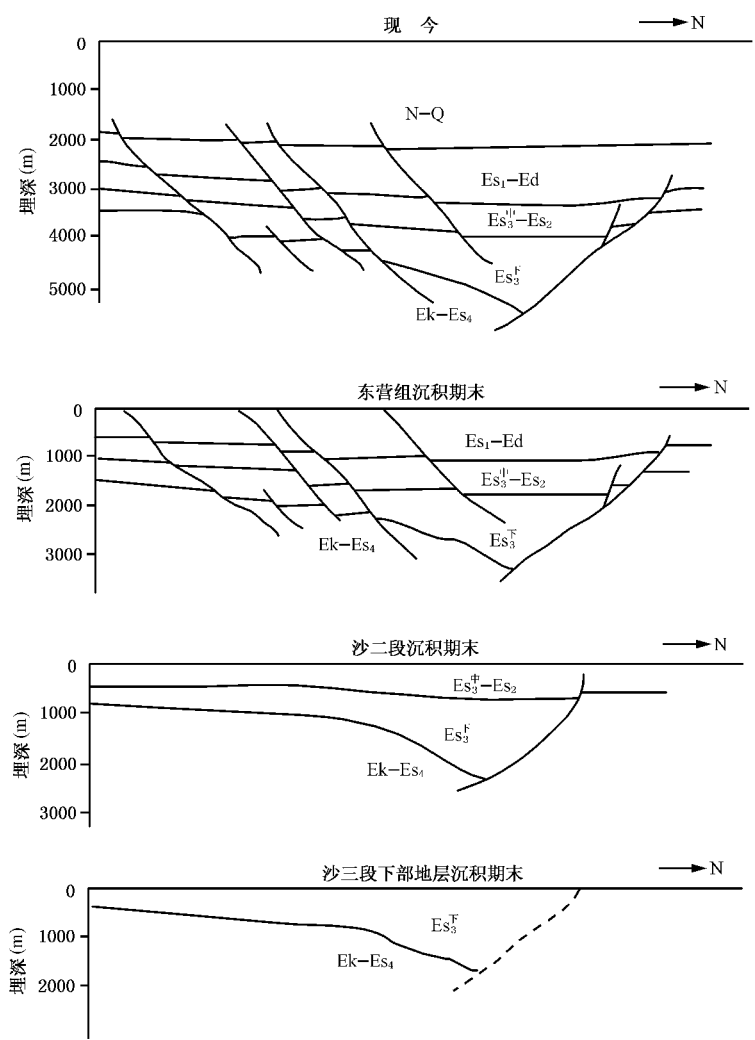


图 圆-苑 沾化凹陷构造演化剖面示意图

第一个断层形成期为沙四—沙三段沉积期 ,在研究区目的层统计的 10条断层中 ,有 5条是在该时期形成的 ,占 50%。此时 ,由于沙河街组沉积物还未成岩 ,地层强度小 ,主要是以塑性变形为主 ,没有在该区沙河街组中产生裂缝。到沙一期仅有 猿条断层持续活动 ,其余的 5条断层终止了活动 ,基本上没有形成新的断层。

第二个断层形成期主要为东营期 ,在统计的 10条断层中 ,有 5条在该时期形成 ,占 50% ,另外还有 缘条早期形成的断层重新活动 ,此时期也是该区沙河街组中裂缝的主要形成期。

至晚第三纪时期 ,几乎没有新的断层产生 ,仅有少量的老断层还在活动 ,反映该时期构造活动明显减弱。

三、沾化凹陷馆陶组上段储层沉积特征

沾化凹陷东部上第三系馆上段储层为河流成因砂岩体 ,主要分布在孤岛、孤东、埕东、埕岛等油田。纵向上分为馆上段 员垣圆猿源缘远砂组五个砂层组共 猿个 小层 ,储层总厚 愿~ 员米。馆上段 员垣圆砂层组可分为 员个 小层 ,馆上段 猿砂层组可分为 缘个 小层 ,馆上段 源砂层组可分为 源个 小层 ,馆上段 缘砂层组可分为 远个 小层 ,馆上段 远砂层组可分为 缘个 小层。各砂层组均有 员至 圆个 厚度为 员~ 圆米的主力砂层 ,其分布面积大 ,侧向连通性好 ,在各油田基本是全区分布。平面上 ,馆上段 员垣圆砂层组各小层基本是呈透镜状零星分布 ,少数为条带状分布 ,馆上段 猿~ 远砂层组各主力小层均大面积连片分布 ,非主力小层则以条带状和零星分布为主 ,少部分局部连片分布。

馆上段储层岩性主要为砂岩、粉砂岩等细粒碎屑岩 ,少量砾岩。进一步可分为砾岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩。其中馆 员垣圆砂层组以粉砂岩和泥质粉砂岩为主 ,馆 猿馆源砂层组以细砂岩、粉砂岩为主 ,馆 缘馆 远砂层组以粗砂岩和细砂岩为主 ,总体上反映一正旋回沉积 ,砂岩颗粒粒度中值向下由馆 员垣圆的 园~ 园毫米增大到馆 远的 园~ 园毫米 (表 圆~ 猿)。砾石主要由粉砂质泥岩和泥岩的泥砾组成的细砾 ,砾径一般 园~ 员毫米 ,少数达 圆毫米 ,为冲刷成因 ,少数为黄褐色、灰白色砂岩砾石 ,常见于砂岩层的底部。砂岩以泥质胶结为主 ,泥质含量为 愿% ~ 员% ,碳酸盐含量低 ,仅为 员% ~ 圆% ,胶结类型主要为接触式及孔隙—接触式。岩石组分有石英 ,含量为 源% ~ 源% ,最高达 缘% ;长石 ,主要是钾长石和斜长石 ,含量为 圆% ~ 猿% ,岩屑 ,含量为 员% ~ 圆% ,以变质岩岩屑为主 ,其次是喷出岩岩屑 ,少量为沉积的粉砂岩和泥岩岩屑 ,重矿物有锆石、楣石、绿帘石和石榴子石等 ;自生矿物有白云石、黄铁矿等。

表 圆~ 猿 馆陶组上段油层岩石结构参数 (李兴国等 ,员998 ,据 员口取心井资料统计)

参 参 参 参 参 参	馆 员垣圆	馆 猿	馆 源	馆 缘	馆 远	平均
粒度中值 (毫米)	园~ 园	园~ 园	园~ 园	园~ 园	园~ 园	园~ 园
分选系数	员~ 圆	员~ 远	员~ 愿	员~ 苑	员~ 缘	员~ 苑
连通孔隙度 (豫)	猿~ 源	猿~ 苑	猿~ 缘	猿~ 源	猿~ 源	猿~ 猿
空气渗透率 (伊 10 ⁻² 达西)	员~ 猿	员~ 圆	员~ 源	员~ 远	猿~ 园	员~ 猿
泥质含量 (豫)	怨~ 怨	员~ 源	员~ 猿	怨~ 源	愿~ 苑	怨~ 远
碳酸盐岩含量 (豫)	园~ 远	员~ 员	园~ 缘	员~ 缘	园~ 猿	员~ 源

馆上段储层因其时代新、埋藏浅、压实成岩作用差、胶结物含量低、粒度较粗 ,故储油物性好。储层孔隙度大 ,平均孔隙度在 猿% 以上 ,渗透率高 ,平均空气渗透率在 员~ 圆 达西以上 (表 圆~ 源)。

表 圆—瑶馆上段油层物性统计表

油田名称	孔隙度		空气渗透率		粒度分析				碳酸盐含量	
	块数	平均值 (豫)	块数	平均值 (伊瓦伊瓦, 皂)	块数	中值 (皂皂)	分选系数	泥质含量 (豫)	块数	平均值 (豫)
孤岛油田	圆缘	猿猿	圆猿	员猿	圆缘	圆缘	员猿	怨猿	圆缘	员猿
孤东油田	员猿	猿猿	源圆	员猿	员猿	圆缘	员猿	愿猿	源猿	员猿
埕岛油田	猿猿	猿猿	员猿	员猿	圆缘	圆缘	员猿	苑猿	苑猿	圆缘

主要岩石类型

沾化凹陷东部馆上段岩石类型比较简单 ,主要是细粒碎屑岩 ,少量砾岩。进一步可分为砾岩、砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩和粉砂质泥岩。

砾岩

灰色、灰绿色 ,含油或油浸砾岩为棕褐色。砾石主要由粉砂质泥岩和泥岩的泥砾组成 ,为冲刷成因。少数为黄褐色、灰白色砂岩砾石 ,砾径一般为 圆缘~ 员皂,少数达 圆皂。次棱角状到次圆状。砾石含量变化较大 ,为 猿缘~ 远缘,少量为 员缘左右则过渡到含砾砂岩。多数为砂到粉砂质的基质支撑。砾岩中沉积构造比较少见 ,多呈块状。砾岩层厚度较小 ,一般为 员~ 圆皂,厚的达 源皂。常见于砂岩层的底部。

砂岩

灰色、棕褐色。细粒结构 ,粒径一般为 圆缘~ 圆缘皂,部分较粗的可达 圆缘皂。成分有石英 ,含量为 源缘~ 源缘,最高达 缘缘,长石 ,主要是钾长石和斜长石 ,含量为 圆缘~ 猿缘,岩屑 ,以变质岩岩屑为主 ,其次是喷出岩岩屑 ,少量为沉积的粉砂岩和泥岩岩屑 ,含量为 员缘~ 圆缘。重矿物有锆石、榍石、绿帘石和石榴子石等。自生矿物有白云石、黄铁矿等。颗粒支撑 ,杂基含量小于 员缘,胶结疏松。主要为长石砂岩。

砂岩中沉积构造发育 ,有水平层理、波状交错层理、斜层理、低角度板状交错层理和槽状交错层理(图 圆—愿)。但是规模均不大 ,在西 缘原 员圆井中所见的波状层理 ,波长 员皂,波高 员缘皂。摇摇

砂岩层厚 员~ 圆,常常由于叠置而达到 缘~ 愿。砂岩底部侵蚀面发育 ,常含有泥砾(图 圆—怨)。砂岩多数为油浸或油染(图 圆—愿)。



图 圆—愿瑶棕褐色含油交错层砂岩(瑶)

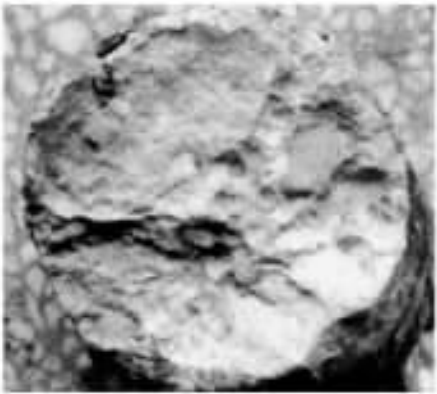


图 圆—怨瑶含碎屑岩砾石和泥砾砂岩(悦瑶)

粉砂岩、泥质粉砂岩

灰色、深灰色、褐灰色和棕褐色,粉砂结构。常有水平层理发育,有时也见小型斜层理。黑色炭质膜、植物碎片和云母片在粉砂岩中常见,而且水平层理常常由富炭质膜的暗色层和富砂的浅色层构成,云母片多分布于层面,或者与炭质膜共生。常见有豆状黄铁矿结核,结核粒径员~猿皂,周围常发育褐色的氧化圈。粉砂岩中常发育灰绿色泥质条带,常形成泥质粉砂岩或粉砂质泥岩。在含粉砂泥岩和粉砂质泥岩中,粉砂常常呈脉状分布,有时也呈条带状和囊状分布。粉砂细脉大小为圆~猿皂,边缘~猿皂,组成似水平层理。粉砂质泥岩中尚可见到黄铁矿结核,砂岩疏松。粉砂岩的层厚比较稳定,一般为园缘~员缘(图圆-员至图圆-员)。



图圆-员 含条带状、囊状细砂、粉砂岩(悦晒)



图圆-2 含细脉状粗粉砂、粉砂岩(悦晒)



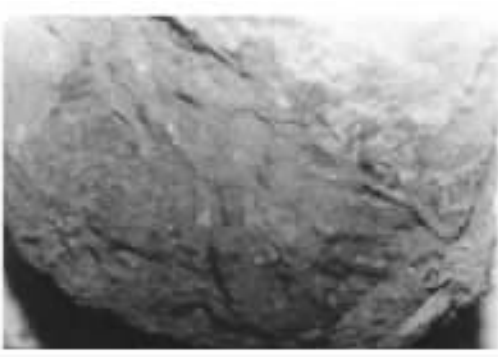
图圆-3 含植物碎片粉砂质泥岩(云)

泥岩

按颜色可分为两类,一类是棕红色为主夹有杂色的,另一类是以灰绿色为主。含粉砂泥岩和泥岩常呈块状和疙瘩状,镜面(滑动面)发育,硬度较大(图圆-员)。当粉砂含量增多时,镜面消失,由疙瘩状过渡到块状。



图圆-4 含炭质膜和云母片的纹层状粉砂质泥岩



图圆-5 泥岩中的镜面(云)

沉积相及相标志

沾化凹陷馆陶组沉积时期河流发育,凹陷周围的凸起或隆起为主要物源区。馆陶组油气藏多处于凸起或构造带高部位,一般为河流相沉积。主要依据概括如下。

角砂岩成熟度低

馆陶组主要由砾、砂、粉砂、粘土等碎屑沉积物组成。砾石成分复杂 ,随物源区岩性变化而变化。砂岩以泥质胶结的长石砂岩和不等粒砂岩为主。砂岩中石英含量相对较低 ,长石和岩屑含量较高 ,碳酸盐含量较低。孤岛油田馆上段砂岩中石英含量为 源豫 ~ 源豫 ,最高达 缘豫 ;长石含量为 圆豫 ~ 猿豫 ;岩屑含量为 员豫 ~ 圆豫 ,杂基含量小于 员豫。碳酸盐含量平均为 员豫。胶结疏松。孤东油田、埕岛油田馆陶组砂岩也具有类似的特点(表 圆—缘)。砂岩中长石表面新鲜 ,解理清楚。这些特点显示 ,砂岩成熟度低 ,河流搬运的距离较短。砂岩成熟度低是河流相沉积的特点之一。

表 圆—缘 馆陶组上段砂岩岩矿组合统计表

油田名称	石英(豫)	长石(豫)	岩屑(豫)	泥质(豫)	碳酸盐(豫)
孤东油田	源袁~源豫	猿远~猿愿	员缘~员愿	愿苑~愿	员猿~圆
孤岛油田	源~缘	圆缘~猿	员~圆	怨~怨	员~圆
埕岛油田	猿怨~源	猿袁~猿	圆~圆	苑~苑	圆~愿

圆砂岩底部具冲刷面和泥砾层

研究区馆上段砂层底部有几厘米或几十厘米的泥砾层 ,含泥砾、石英、岩块等滞留沉积物。泥砾可为河流冲刷底床形成 ,也可为侧蚀岸边垮塌后改造而成。这种底泥砾层与下伏泥岩呈突变接触 ,冲刷面反映了水流能量由弱到强的突变转折。底部冲刷面上的泥砾是河流相沉积的主要鉴定标志之一。

猿沉积韵律

河流作用沉积的砂体如单向环流作用下侧向加积形成的点坝砂 ,在纵向上 ,自下而上均为一套由粗到细的正韵律砂层。洪水的出现具周期性 ,每一个完整的河道砂体实则为由许多次洪水堆积的小砂体组成。孤岛油田馆上段砂层沉积韵律粒序为明显的下粗上细 ,自然电位曲线呈“钟形”(图 圆—员)。砂岩底部冲刷面上为河流滞留沉积物 ,以中—细砂岩为主 ,向上渐变为粉细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩 ,顶部为粉砂质泥岩和泥岩等溢岸沉积。其上、下两部分厚度相近 ,二元结构明显。显示了曲流河侧向加积时水流作用从河床底部向上能量逐渐减弱的特征。

源沉积构造

河流的水流是单向的 ,因此沉积物中虽有多种层理类型 ,但以板状、槽状、斜交及波状层理为主。孤岛油田馆陶组沉积构造具有单向水流特点 ,矢量有较好的一致性。砂层底部河床滞留沉积一般无层理 ,呈块状 ;中下部以板状及槽状交错层理为主 ;上部以平行层理、爬升层理及少量波痕交错层为主 ;顶部为泥岩 ,呈块状。此外 ,在孤岛油田馆上段下部还发育有近水平的平行层理 ,为河流垂向加积的产物。

缘砂岩粒度分析

馆上段是孤岛油田的主要含油层系 ,其砂岩一般为细砂岩 ,粒度分选以中等为主。孤岛油田馆上段平均粒度中值为 园,分选系数为 员,砂岩颗粒磨圆较差。

粒度频率曲线常为双峰正偏态 ,粒度概率曲线具牵引流的特征。砂层多具两段式 ,缺少滚动组分 ,即具跳跃和悬浮两种组分。跳跃组分含量为 猿~怨 ,平均在 苑左右 ,直线倾角为 缘~愿 ,斜率较高(表 圆—远表 圆—苑)。

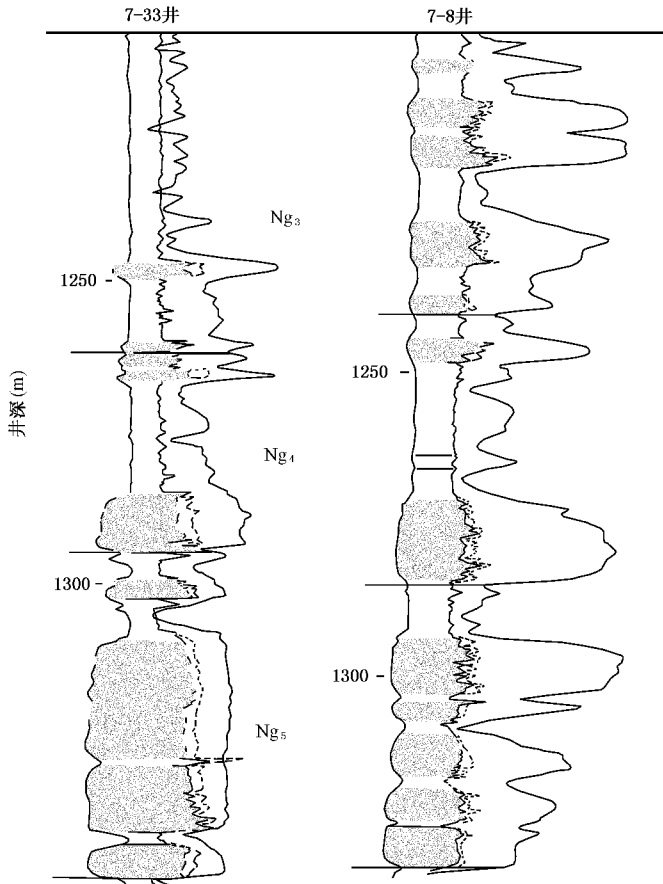


图 圆—员瑶孤岛油田东区馆猿缘组沉积序列

表 圆—员瑶孤岛油田中 员源原分员井砂岩粒度分析特征值

层段	样品编号	直线倾角	跳跃组分含量(豫)	细截点(φ)	悬浮倾角	分选系数	环境解释
旱员源组	园员	苑缘毅	猿源	园苑	猿毅	园缘缘	天然堤
	园猿	苑缘毅	远圆	园圆	猿毅	员猿圆	天然堤
	园员	苑毅	苑圆	园愿	猿毅	员猿愿	决口扇
旱猿	园缘	苑毅	远	猿苑	圆毅	员猿苑	点沙坝
	员猿	苑缘毅	缘圆	猿源	源毅	员猿员	决口扇
	圆缘	苑毅	苑	园苑	圆毅	员猿远	点沙坝
	圆苑	苑毅	缘	圆苑	猿毅	员猿	决口扇
旱源	圆愿	苑毅	苑圆	圆苑	猿毅	员猿远	决口扇
	圆员	远毅	缘苑	猿苑	猿毅	员猿愿	决口扇
	圆员	苑毅	苑缘	猿苑	猿毅	员猿猿	决口扇
	猿缘	苑缘毅	苑	猿缘	猿毅	员猿员	决口扇
旱缘	源员	远毅	愿缘	圆猿	圆毅	员源员	点沙坝
	源愿	远毅	愿苑	圆猿	圆毅	员源圆	点沙坝
	源缘	远毅	猿圆	圆苑	猿毅	猿圆	天然堤
	源员	苑毅	远	圆愿	猿毅	员源圆	决口扇
	源员	缘毅	远	猿苑	猿毅	圆缘苑	天然堤
	源员	苑缘毅	苑愿	圆苑	圆毅	员猿圆	点沙坝

表 圆—苑瑶孤岛油田中 员源原分层井砂岩粒度分析特征值

层段	样品编号	直线倾角	跳跃组分含量(豫)	细截点(φ)	悬浮倾角	分选系数	环境解释
员源原	园苑园	愿般	苑怨	园苑苑	猿般	员猿怨	点沙坝
	园苑员	愿般	苑怨	园苑远	源般	员猿愿	点沙坝
	园苑员	苑般	苑园	猿猿园	猿般	员猿园	决口扇
	园苑苑	愿般	愿苑	园苑苑	猿般	员猿远	决口扇
员源原	员源怨	愿般	苑缘	园苑园	猿般	员猿缘	决口扇
	员源源	愿般	愿苑	园猿	猿般	员猿猿	决口扇
	员源园	愿般	怨愿	园苑苑	员般	员猿苑	点沙坝
	员源远	愿般	愿园	园苑苑	猿般	员猿远	点沙坝
员源原	员源园	苑般	苑源	园源源	猿般	员猿园	点沙坝
	员源愿	苑般	愿园	园猿	圆般	员猿愿	点沙坝
	员源远	愿般	苑源	园苑园	猿般	员猿源	决口扇
	员源怨	愿般	远愿	园苑园	猿般	员猿员	决口扇
	员源愿	苑般	苑园	园猿	猿般	员猿猿	点沙坝
	园苑苑	愿般	愿猿	园苑园	圆般	员猿远	点沙坝

馆陶组上段 悦—酝图也反映牵引流的特点 ,以 源远 园苑 园般段为主 ,缺少 员源 的 源般段 ,沉积物以递变悬浮和均匀悬浮物质为主。

远泥岩特征

馆陶组泥岩颜色以红色、棕红色为主 ,夹少量灰绿色和杂色染斑 ,反映陆上淡水氧化环境。泥岩呈块状 ,镜面发育 ,是含粘土矿物特征性的标志(图 园—员源)。含植物根系、树干、叶等碎片 ,遗迹化石丰富 ,为典型的洪泛平原沉积(图 园—员园图 园—员苑)。

苑化石特征

馆陶组动物化石稀少 ,仅泥岩及河床滞留沉积中产少量炭化植物碎片 ,显示动荡的氧化环境。在孤岛地区馆上段含一层厚 园苑~ 猿园 的软体动物化石层 ,并产鱼类、介形类、葡萄藻属等淡水生物化石。这表明馆上段沉积时期曲流河坡降小 ,局部地区排水不畅 ,易形成沼泽或池塘 ,较有利于生物繁殖。

愿砂体形态

馆陶组上段砂体平面上多呈弯曲的长条形及或宽或窄的串珠状 ,垂直砂体走向的剖面多呈不对称的顶平底凸形。

猿河流类型

员砂体分布特征

研究区馆上段砂岩厚度与地层厚度之比约为 园猿远,总体上平均砂岩百分含量、砂层个数都是由下而上逐渐减少 ,砂层间泥质隔层厚度由下而上逐渐增大。

砂岩的单层厚度变化较大 ,为 园般~ 愿皂,但总体上 ,单层砂岩的厚度不大 ,平均单层砂岩的厚度在 园猿皂左右(表 园—愿表 园—怨表 园—员园) ,反映曲流河特点。

表 园—愿瑶孤岛油田馆上段砂层厚度分布

钻摇摇孔	厚度(皂)	砂层厚度(皂)	砂层数	平均砂层厚度(皂)	砂 轴	砂 轴
中 员源原分员	员猿愿	缘猿	园苑	园苑 缘般~ 园般	园猿愿	园猿缘
中 员源原分员	员猿愿	源远	园缘	员猿 源远~ 园苑	园猿员	园猿员
西 缘原分园	猿缘	园苑	员苑	员缘 源远~ 园般	园猿园	园猿苑
中 猿源原分愿	愿般	源怨	员缘	园苑 愿般~ 园般	园猿员	员猿源
孤东 苑原分	缘园	猿园	愿	猿怨 愿般~ 员般	园猿远	员猿苑
平摇摇均	愿远	猿猿	员源源	园源	园猿远	园猿远

表 圆-怨 摇孤岛油田中 员原分员井馆上段砂层组砂体厚度

砂层组	厚度(皂)	砂体厚度(皂)	砂层数	单层砂体厚度(皂)	砂体 边层组
员垣圆	员越苑	园缘	圆	园缘缘	园越猿
猿	猿越猿	员越缘	愿	员越怨	园越苑
源	园缘缘	猿园	圆	员越园	园越缘
缘	远园源	园越怨	员圆	园越怨	园越猿

表 圆-员 摇孤岛油田中 员原分员井馆上段砂层组砂体厚度

砂层组	厚度(皂)	砂体厚度(皂)	砂层数	单层砂体厚度(皂)	砂体 边层组
员垣圆	愿怨	猿猿	圆	员缘缘	园越缘
猿	猿越源	园越缘	员猿	员越员	园越远
源	园缘猿	苑缘	缘	员越圆	园越员
缘	猿越圆	员越猿	员圆	员越猿	园越圆

圆 砂岩粒度特征

本次研究选择了中 员原分员井和中 员原分员井,做了 猿个样品的粒度分析,这些样品几乎囊括了馆上段 缘至 员垣圆砂层组所有的砂层。结果表明,这些砂层的概率累积粒度曲线几乎完全由跳跃组分和悬浮组分组成,不具牵引总体。跳跃组分含量为 猿园缘~怨园缘,平均为 苑园缘左右,直线倾角 缘猿般~愿猿般斜率较高。悬浮组分含量为 远园缘~员园缘,平均为 猿园缘左右(表 圆-远表 圆-苑)。分别反映了曲流河不同结构单元的粒度特征,而没有辫状河和网状河特征性单元心滩的粒度特征。

猿 河流曲率

河流曲率是确定河流类型的一个重要参数。砸越员越怨把它与辫状参数一起来划分河流类型(表 圆-员)。

表 圆-员 摇根据几何特征的河流分类(砸越员越怨)

河流曲率	单河道(辫状参数 约员)	多河道(辫状参数 跃员)
低曲度(约员越)	直流河	辫状河
高曲度(跃员越)	曲流河	网状河

根据 杂越皂(员越圆)的计算公式

$$\text{孕越猿云} = \frac{\text{员越圆}}{\text{员越圆}}$$
$$\text{云越园缘云} = \frac{\text{员越圆}}{\text{员越圆}}$$

式中摇孕——河流曲率；

云——河流的宽深比；

酝——粉砂泥质的百分含量。

表 圆-员圆表 圆-员猿表 圆-员源表明,不论是单井或者是各个砂层组,曲率 孕几乎都大于 圆园。如果根据酝越员越怨的标准,孕约员越圆为低曲率,员越圆约孕约员越猿为中等,孕跃员越猿为高曲率,无疑,研究区馆上段 缘至 员垣圆砂层组是高弯度曲流河。

表 圆—员 孤岛油田馆上段河流曲率

钻摇摇孔	地层厚度(皂)	砂层厚度(皂)	砂 轱	云越缘缘云	孕越缘缘云
中 员原员	员苑苑	缘猿	园猿	园猿	园猿
中 员原员	员苑苑	源苑	园苑	猿苑	园苑
西 缘原员	猿猿	园苑	园苑	园苑	园苑
中 猿原员	缘猿	源苑	园苑	猿苑	园苑
孤东 苑原员	缘苑	猿苑	园苑	源苑	园苑
平摇摇均	缘苑	猿猿	园苑	猿猿	园苑

表 圆—员 孤岛油田中 员原员井馆上段河流曲率

砂层组	厚度(皂)	砂体厚度(皂)	砂体 轱层组	云越缘缘云	孕越缘缘云
员垣	员苑	园猿	园猿	员垣	园猿
猿	猿猿	员猿	园猿	园猿	园垣
源	园猿	猿	园猿	园垣	园苑
缘	远源	园猿	园猿	猿源	园猿

表 圆—员 孤岛油田中 员原员井馆上段河流曲率

砂层组	厚度(皂)	砂体厚度(皂)	砂体 轱层组	云越缘缘云	孕越缘缘云
员垣	缘	猿	园猿	园苑	园猿
猿	猿源	园猿	园苑	缘苑	园猿
源	园猿	苑	园苑	园猿	园猿
缘	猿垣	员猿	园苑	猿苑	园猿

四、油气藏类型及分布

员沾化凹陷主要含油层系

沾化凹陷油气资源丰富 ,据第三轮油气资源评价其有效生油面积为 猿垣垣,石油资源量为 员伊员,目前共发现油田 员个 ,累计探明石油地质储量 员伊员,控制石油地质储量 员伊员,预测石油地质储量 员伊员。作为一个陆相断陷湖盆 ,由于块断活动的差异和不均衡性 ,凹陷内形成了多套含油层系、多种储集类型和多种油藏类型 ,油气的分布及聚集受多种因素的控制 ,既有构造因素、又有沉积因素。济阳拗陷已发现的所有油藏类型在沾化凹陷几乎都能找到 ,所有储油层系在沾化凹陷也都存在。

多年的勘探实践证明 ,研究区是一个以潜山为背景的与披覆构造相关的复式油气聚集区 ,从浅到深含有多套含油层系、多种有利构造圈闭、多种油藏类型 ,显示了油气分布广、富集程度高的含油气特征。油气藏的分布有明显的规律性 ,在潜山披覆构造主体发育了多层系的披覆背斜油藏及多层系的潜山油藏 ,在控制潜山披覆构造形成的基底断层的下降盘发育了多层系成带分布的断块、断鼻及滚动背斜油藏 ,而在潜山披覆构造的翼部则发育了多层系的断块、断鼻、潜山、地层超覆、不整合、岩性等油藏。本区的油源主要来自区内发育的各次级洼陷、埕北凹陷及周边的渤中拗陷、黄河口凹陷等 ,有多套含油层系 ,油源十分丰富。在孤岛、孤东、埕岛等潜山披覆背斜构造上已证实有中生界、沙三段、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组上段、馆陶组

下段和明化镇组八套含油气层系,推测古生界也可以含油。目前,各层系均有一定的含油气面积和储量,其中近 忽忽忽 的储量分布于馆陶组上段的含油气层系中(图 圆一员)。

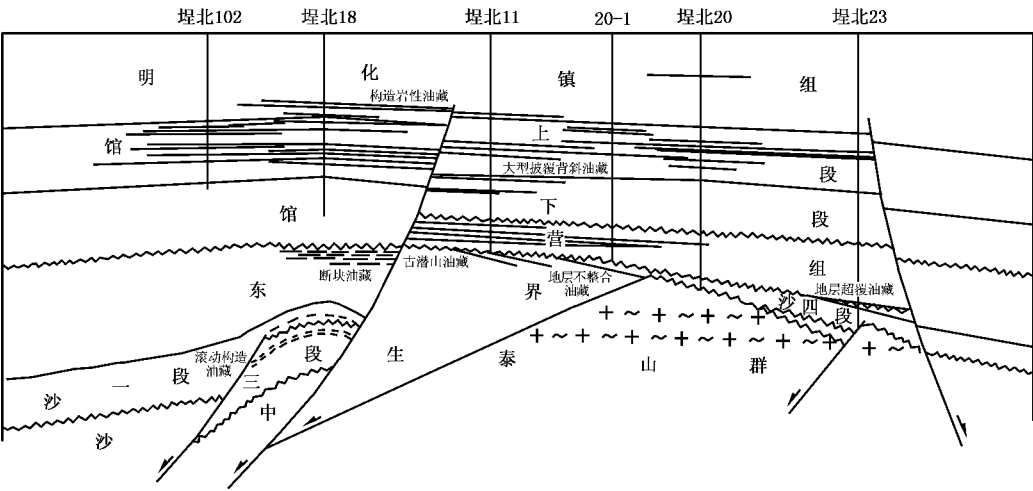


图 圆一员 埕北 员 井—埕北 圆 井油藏剖面图

员 中生界含油层系

由于中生代地层遭受过强烈的剥蚀,在不同的构造部位岩性差别很大。构造的主体部位及侧翼断阶带的火山岩系中录井均见荧光、油斑显示,电测解释为可疑油层,在埕岛油田已获得工业性油气流,分析中生界油藏主要为与不整合有关的地层油藏。

圆 沙三段、沙二段含油层系

该含油层系的油层大多处于沙二段与沙三段、沙三段与中生界的间断面附近。但是,不同的断块之间含油性差别很大,以断块的高部位、构造的翼部及同生断层的下降盘高部位含油性好,并能获得高产。

猿 沙一段含油层系

为沙一段底部生物灰岩发育段,油层段集中,油层厚度取决于生物灰岩或灰质砂岩的发育程度。油层的埋藏深度在 员缘- 圆缘 米,单层厚度在 缘- 员米。断层交汇处常常是高产区。

源 东营组含油气层系

主要发育于东营组上部砂、泥岩互层的薄层砂岩中,单层厚度一般在 猿米左右,且多为油水同层,埋藏深度为 员缘- 圆缘 米。各块的含油层数不一,且没有统一的油水系统。平面上零星分布于北东向和北西向断层交叉处的断块高部位。

缘 馆陶组下段含油气层系

馆下段含油层系纵向上集中于块状砂岩的顶部,平面上仅分布于个别断块的高部位。油层埋藏深度在 员缘 米以下,单层厚度较大,一般在 员米左右,单井累计厚度可达 远米以上。

远 馆陶组上段含油气层系

馆上段油气层埋藏深度在 员缘- 员缘 米,单井油层平均厚度在 圆米左右,累计最大厚度 远米。自上而下可以分为 远个油层组,第一、二油层组主要以含气为主,横向上受岩性影响而变化大;第三至第六油层组以含油为主,单层厚度大、分布范围广、油水关系比较简单。

该含油气层系横向上展布受岩性和构造的双重因素控制,上部岩性影响明显一些。但从整体上看,主要受几个披覆背斜构造的控制。由于背斜受断层的改造,使之分割成埋深不同的

断块 油水界面的深度大致都在 500 米左右。

苑明化镇组含油气层系

本段主要为下部的砂岩透镜体含气 ,且多为气层和气水同层。埋藏深度一般在 200~500 米之间 ,单层厚度一般为 1~2 米 ,累计厚度可达 10 米左右。气层主要沿孤东断裂带和孤南断裂带东端的两侧分布。

图 1 孤岛油田油藏类型及分布

孤岛油田馆陶组油藏位于凹陷中部的一个继承性潜山隆起带之上 ,其潜山构造带北北东向展布 ,周围被三个洼陷包围 ,西北为孤北洼陷 ,东北为五号桩洼陷 ,南为孤南洼陷 (图 1)。这三个洼陷都是良好的生油洼陷 ,油气资源十分丰富 ,生油岩系主要是新生界下第三系的沙三下亚段和沙一段 ,其次是沙四段、沙三上亚段、沙二段和东营组。孤岛油田是一个以披覆背斜为主 ,并兼有断鼻、滚动背斜及地层超覆等多种圈闭类型 ,以馆陶组储层为主 ,兼有奥陶系、沙河街组、东营组、明化镇组等多套含油气层系的复式油气聚集体。油藏构造为一简单的披覆 ,闭合高度为 10 米 ,闭合面积为 1 平方千米 ,构造顶部倾角为 1:1000 ,翼部稍大 ,为 1:500 ,同基底凸起一样 ,西翼陡 ,东翼缓 ,其南北分别为近东西走向的同沉积大断层 (图 1)。

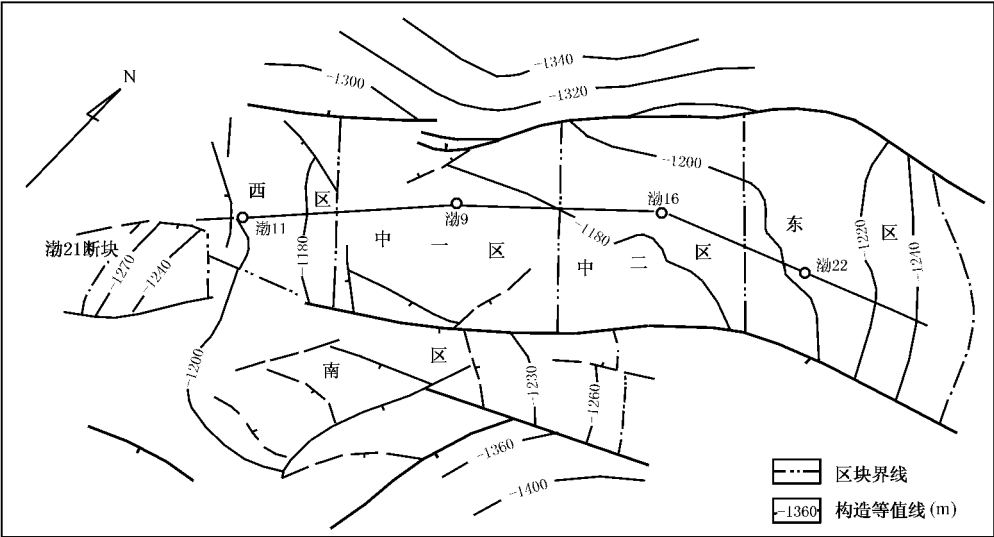


图 1 孤岛油田馆陶组顶面构造图 (据贾献斌 1998)

南北两条大断层断面陡、断距大 ,对孤岛油田的油气聚集起着控制作用 ,断层的走向均自西向东 ,由北东向转为东西向。构造北翼 1 号大断层倾向北西 ,倾角 1:1000 ,落差 100~200 米 ,自西向东落差由大变小 ,延伸长度为 1 千米 ;南翼 2 号大断层倾向南东 ,倾角 1:1000 ,落差 100~200 米 ,自西向东落差由小变大 ,延伸长度 1 千米。

主力含油层馆陶组上段储量大 (占油田储量的 80%)、丰度高 (100 吨/千米²)、油层埋藏浅 (埋深 100~200 米)。主要油藏类型是以疏松砂岩为储层的构造层状油藏 ,油气聚集受构造控制 ,各主力含油层均大面积分布。油源来自周边的渤南、孤北、孤南及富林等洼陷的沙河街组生油层 ,沿不整合面及断层进入储层。

孤岛馆上段油藏 1984 年 1 月投产 ,1985 年 1 月注水开发 ,到目前已进入特高含水开发阶段 ,具有十分丰富的油藏地质、钻井、取心、测井、油藏工程、开发动态等基础资料 ,提供了良好研究条件和基础。

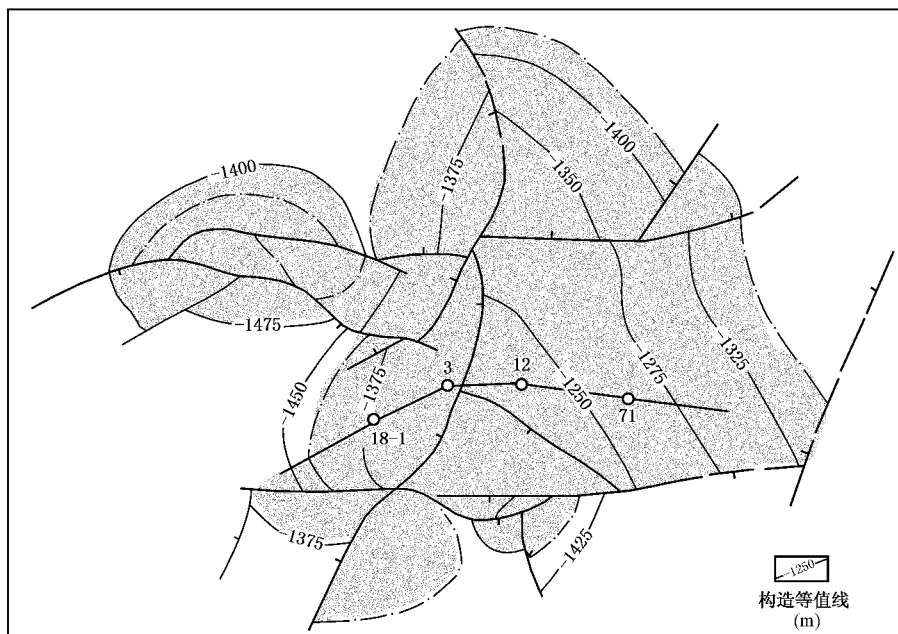


图 1 孤东油田馆陶组顶面构造图(据中国石油地质志·卷 远)

疏松,储油物性好,孔隙度大,渗透率高;据胶结较好的岩样进行分析,平均地面孔隙度为,平均渗透率为。资料较全的孤东远砂层组孔隙度多大于,馆上段源远砂层组平均空气渗透率为,孔隙度为,平均空气渗透率为。层内纵向渗透率分布以孤东为例,顶部为,底部高达~级差大,变异系数在~之间。以试验区馆上段~远砂层组为例,层间渗透率变异系数为~非均质性严重。

馆陶组下段油层由于颗粒粗,胶结物少,因此胶结更疏松。据胶结较好的岩样分析,平均孔隙度为,平均渗透率为,估计比实际平均值低。测井解释的平均孔隙度为,平均空气渗透率大于。

孤东油田油层可划分为明化镇组、馆陶组上段远六个砂层组及馆陶组下段、东营组、砂一段、砂三段。其中馆陶组上段远一个小砂层组可分为二类,I类小层储量占本区馆上段储量的以上,其面积大于,有效厚度大于,砂体大面积分布;II类小层储量占本区馆上段储量的~ ,其面积为,有效厚度在左右,面积分布较大。低于上述标准的为III类小层。

由于河流相沉积相变快,造成储层非均质性较强。平面上砂体主要呈长条型、扁豆状。层间差异较大,层内则以正韵律为主。由于该区储层非均质较强,造成注入水在平面、层间、层内不均匀推进,使地下油水分分布极为复杂,剩余油研究难度较大。

该含油气层系横向上展布受岩性和构造的双重因素控制,上部岩性影响明显一些。但从整体上看,主要受孤东披覆背斜构造的控制。由于背斜受断层的改造,使之分割成埋深不同的断块,虽然各断块有独立的油藏深度和高度,但油水界面的深度大致都在左右。

孤东油田投入开发,井网多为二套层系,个别单元为一套或三套层系,井距~。目前已进入高含水开发阶段。

源埕岛油田油藏类型及分布

埕岛油田位于渤海湾南部的浅海、极浅海海域 构造上处于济阳坳陷与渤中坳陷交汇处的埕北低凸起的东南端 ,南邻桩西地区 ,西以埕北大断层与埕北凹陷相连 ,向北和东南分别倾没于渤中凹陷和桩东凹陷 ,处于三个生油凹陷的包围之中。埕北低凸起是一发育在太古界、古生界、中生界潜山基础上的披覆背斜构造。从整体看 ,埕北低凸起为与埕子口凸起近平行的北西向低凸起带 ,沿埕北大断层呈北西向长轴背斜形态(图 圆-圆),倾向南西 ,地质结构相对复杂。

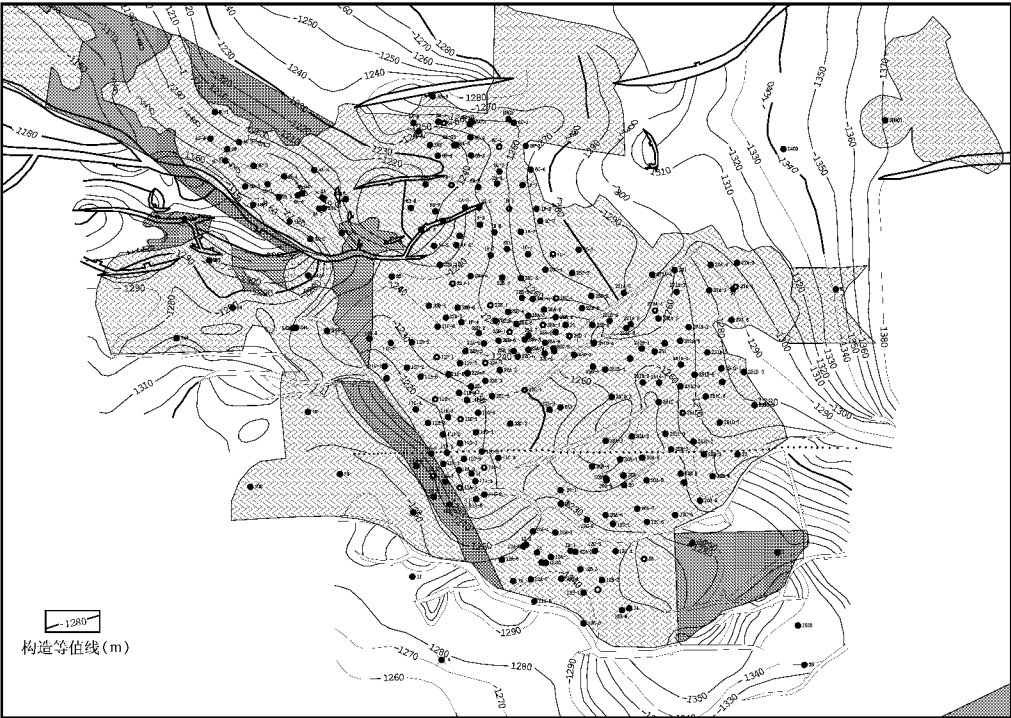


图 圆-圆 埕岛油田构造图

埕岛油田目前已发现了明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组、中生界、上古生界、下古生界及太古界八套含油层系 ,是一个大型整装复式油气田 ,馆上段是其主力产层 ,储量占整个埕岛油田探明储量的 忽像。

埕岛油田是一个在潜山背景上发育的大型披覆构造 ,馆上段发育多种油藏类型 ,从圈闭成因和形态分类 ,可分为以下几种。

员主体披覆背斜油气藏

是埕岛油田的主要油气藏类型 ,位于埕岛油田的主体部位。发生于第三纪的喜马拉雅运动使本区整体下降 ,并伴随继承性断裂的发展 ,形成下第三系向凸起超覆 ,部分地层披覆 ,上第三系及第四系披覆于上的大型披覆构造。由于不同断层的切割与持续活动 ,在纵向上沟通了砂体与砂体、砂体与凹陷中的生油层 ,使其油气聚集成藏 ,形成本区馆上段油藏的主要类型。总体来说 ,其构造比较完整、简单 ,倾角平缓。

圆断块、断鼻油气藏

主要分布于埕北断裂带附近 ,是在背斜或鼻状构造的背景下被三、四级断层切割而形成。

猿岩性油气藏

馆上段河道砂体广泛发育,横向多变,经常见孤立或条带状砂体,特别是在馆上段上部,因此,在主体翼部断层不太发育时,很有可能形成河道砂体岩性油藏。

源岩性—构造油气藏

此类油气藏除受构造、断层控制外,还受岩性变化的控制。主要是横向多变的河道砂体与三、四级断层组合形成断层—岩性封闭体,主要分布于主体背斜的翼部。

埕岛油田馆上段储层全区广泛分布,纵向上油层井段长,平面上变化大、连通性差,主要是员~远砂层组含油。油田南部以源~远砂层组含油为主,油层埋藏深度在员源~员缘,含油井段长源。油田北部员~远砂层组都有油层,油层埋深在员源~员缘,含油井段长猿。

馆上段油层厚度小,平面上变化大。油田南部油层厚度小,北部油层厚度大。南部完钻井单井平均有效厚度为源,北部为源。油田南部油层发育段单砂层最大厚度为员,北部为源,一般单层厚度为猿~员,单砂层平均厚度南部为源,北部为缘。单油层最大有效厚度南部为员,北部为源,单油层平均有效厚度南部为猿,北部为缘。

第三章 储层沉积结构单元研究原理和方法

一、储层沉积结构单元研究原理和方法

1. 结构单元的概念及由来

蔡卫忠在 1983 年对河流相沉积研究的基础上提出了建筑结构单元的概念(蔡卫忠 1983), 又称为建筑结构要素(蔡卫忠 1983), 国内也有人译为构成单元, 蔡卫忠最早将其作为一种新的河流相相分析方法提出并应用的, 之后许多学者将结构单元分析思路广泛应用在其他沉积类型的砂体中。

蔡卫忠定义结构单元为沉积体系的一个构成部分, 它在大小上等于或小于河道充填, 但比单个岩石相单元大, 并以不同的岩石相组合、内部几何形态、外部几何形态和垂向剖面(在某些实例中)为特征。结构单元这个术语所指的地层单元以三级到五级界面为界。而且, 结构单元分类是描述性的成因分类。它所划分的沉积单元持续的时间比层序地层学所划分的沉积单元持续的时间要短, 它可以更精细的刻划沉积体单元。按照一系列界面级别, 它将地层划分成不同等级结构单元, 能更系统和更完整地恢复保存地层的沉积史。

建筑结构单元分析法为进行储层的精细解剖, 尤其是砂体内部的解剖提供了新的思路, 该方法在露头剖面研究中得到了广泛的应用, 是根据大的露头特征描述, 编绘露头二维和三维图, 划分出一系列不同等级的界面和结构单元, 并取得了许多有益的成果。但对于地下储层, 这方面的工作进行的还不多, 地下储层建筑结构分析中遇到的难题之一, 便是各种结构单元的准确识别。

胜利油田大多为河流、三角洲、浊积砂储层, 储层非均质性严重, 在目前特高含水期, 传统的方法已不能适应油田挖潜的需要, 因此提出应用储层结构单元分析方法和理论, 借鉴露头区和现代沉积储层结构单元研究经验和认识, 提出一套在油田地下埋藏区开展储层结构单元研究的思路和方法, 形成针对从巨宏观到微观多层次储层系统的储层结构单元定量化分析流程和研究方法, 以结构单元为线索探讨剩余油形成和分布规律。

2. 结构单元分析原理和方法

传统沉积相的定义强调沉积岩的组合, 相的判别和区分是依据这些沉积岩的几何学、岩石学、沉积构造、古流模型和化石方面的特征(蔡卫忠 1983)。它主要强调特征性的垂向剖面的作用, 而基于垂向剖面的解释可能会歪曲大尺度沉积体的几何形态和复杂的内部结构, 尤其不能对河流这样侧向快速相变的沉积体做三维分析。

蔡卫忠定义结构单元为沉积体系的一个构成部分, 它在大小上等于或小于河道充填, 但比单个岩石相单元大, 它可以通过不同的岩石相组合、内部几何形态、外部几何形态和垂向剖面(在某些实例中)进行划分。结构单元这个术语所指的地层单元以三级到五级界面为界。而且, 结构单元分类既是描述性的, 也是成因分类。在结构单元划分中强调:

- ①上、下界面的性质: 侵蚀的或递变的、板状的、不规则的及弯曲的(向上凸或向上凹)。
- ②外部几何形态: 席状、透镜状、楔状、勺状及戟形充填。
- ③尺度: 厚度、侧向延伸平行或垂直于水流方向。

- ④岩性 :岩石相组合和垂向序列。
- ⑤内部几何形态 :内部界面的性质和位移 ;层理和一级到二级界面对更高级别界面的关系 (平行、削截、上超和下超)。
- ⑥古水流模式 :与内部界面和结构单元外部形式相关的水流标志的方向。
- 据此 阮圣怡归纳出河流沉积中 怨类基本结构单元(表猿-员)。而且 阮圣怡又把越岸细粒单元(云)分解为 缘个次一级单元(表猿-圆),这 缘个结构单元与人们传统上划分的微相是一致的。

表 猿-员 摇河流沉积中的结构单元(阮圣怡,1995)

代码	单元	符号	主要相组合	几何学和相关性
员	河道	悦匀	任何组合	指状、透镜状或席状 ,上凹的侵蚀基底 ;规模、形状变化大 ,内部上凹的 猿级侵蚀面常见
圆	砾石坝和底形	圆月	圆皂,圆贵,圆贼	透镜状、平伏状 ,通常是板状体 ,常具有 杂月的夹层
猿	砂底形	杂月	杂贼表,杂澡,杂造,杂则,杂藻,杂泽	透镜状、席状、平伏状、楔状 ,河道充填、决口扇、小型沙坝出现
源	向下加积的沙坝	阅粤	杂贼表,杂澡,杂造,杂则,杂藻,杂泽	发育于平和河道底上的透镜状 ,具有上凸的 猿级内部侵蚀面和向上的 源级界面
缘	侧向加积沙坝	缘粤	杂贼表,杂澡,杂造,杂则,杂藻,杂泽 通常 圆皂,圆贵,圆贼	楔形、席状、舌状以具内部侧向加积 猿级界面为特征
远	冲蚀凹地	匀韵	圆澡,圆贼,杂藻,杂造	匙形凹地 ,具有不对称的充填
苑	沉积重力流	杂郧	圆皂皂,圆皂早,圆警,圆皂皂	舌状体、席状 ,典型的具 圆月夹层
愿	层状砂席	缘杂	杂澡,杂造小型 杂贵,杂则	席状、带状
怨	越岸细粒	云	云皂,云造	薄的到厚的带状 ,通常具 杂月夹层 ,可以充填废弃的河道

表 猿-圆 摇越岸环境碎屑结构单元(阮圣怡,1995)

结构单元	符摇号	相组合	几何学	解 释
天然堤	缘灾	云造	楔状 ,圆皂厚 猿皂宽	越岸溢流
决口河道	悦匝	杂贼,杂则,杂泽	带状 ,几百米宽 缘皂深 圆皂长	主干河道边缘的裂缝
决口扇	悦杂	杂贼,杂则,云造	透镜状 ,圆伊圆皂宽 圆- 远皂厚	从决口河道进入洪泛平原 ,类似于三角洲的加积
洪泛平原细粒	云	云皂,云造,云皂,云则	席状 ,侧向数十到数百千米 ,厚几十米	越岸席状流沉积物 ,洪泛平原池塘和沼泽
废弃河道	悦(云)	云皂,云造,云皂,云则	带状 ,规模上可相当于流水河槽	流槽或牛轭湖产物

与传统的微相研究相比 ,结构单元可以更精细地刻画沉积体单元 ,如根据砂体的形态 ,它可以把河道砂分成席状砂(悦杂)和带状砂(悦匝) ;它所划分的沉积单元持续的时间比层序地层学所划分的沉积单元持续的时间要短 ;由于结构单元是力争从三维角度去划分沉积地质体 ,因此比主要从剖面结构划分单元的沉积相分析更能反映沉积体的本来特征 ;阮圣怡的结构单元有一些是构成微相的砂体 ,而另一些就是由沉积微相构成 ,所以应用起来比较方便 ;结构单元按照一系列界面级别将地层划分成不同等级结构单元 ,恢复保存地层的沉积史 ,比沉积相研究具有更好的系统性和完整性。

二、河流相储层结构单元划分

员主要岩相类型

沾化凹陷东部馆上段岩石类型比较简单 ,主要是细粒碎屑岩 ,少量砾岩。进一步可分为砾岩、砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩和粉砂质泥岩。根据 配源造的分类方案 ,馆上段岩相细分为以下 员种类型(表 猿-猿)。

表 猿-猿沾化凹陷东部馆上段岩相类型

岩相代号	岩相类型	沉积构造	成因解释
员皂	灰褐色、棕褐色砾岩 细粒结构	弱的水平层理、块状构造	滞流沉积、冲槽充填
猿碱	棕褐色砂岩 ,中—细粒结构 ,局部含砾	槽状层理	边滩和决口扇
猿皂	棕褐色砂岩 细—中粒结构 ,局部含砾	块状构造	沉积重力流 ,低流态
猿造	棕褐色砂岩 细粒结构	低角度斜层理	决口扇
猿泽	(含)泥砾砂岩 ,不等粒结构	冲刷构造	冲槽充填
猿燥	深灰色、棕褐色砂岩 细粒结构	水平纹层 ,云母片及植物碎片	面状层流
猿渍	棕褐色砂岩 细粒结构	低角度板状交错层理	横向和舌型沙丘
猿测	棕褐色砂岩 细粒结构	波状交错层理 ,含植物碎片	波痕 ,低流态
云造	灰色、棕褐色粉砂岩、含泥粉砂岩	水平纹层、小型楔状交错层理 ,炭质膜、植物碎片、云母片及黄铁矿结核发育	天然堤等越岸沉积
云皂	灰色、灰绿色泥岩、含粉砂泥岩	块状、疙瘩状 ,镜面发育 ,含 黄铁矿结核	洪泛平原沉积
云皂	棕红色泥岩、含粉砂泥岩	块状、疙瘩状 ,镜面发育	洪泛平原沉积

圆界面划分

为了划分结构单元 ,正确地鉴别和对比 员- 愿级界面显然是十分必要的。配源造已经总结了 员- 愿级界面的特征、沉积单位、沉积相的特征、沉积体的几何学以及作用时间的规模等(配源造)。但是 ,这基本上是以野外露头为依据的 ,而且特别强调野外露头二维以及三维特征。显然 ,岩心的界面特征与野外露头有较大的差异 ,给出的信息相对于露头有限得多 ,这对于界面的正确鉴别和对比增加了难度。但是 ,在研究中 ,据对岩心的细致观察 ,结合测井资料以及勘探成果 ,进行了详细的研究 ,可以确定岩心中 员- 远级界面的划分方案(图 猿-员表 猿-源)。

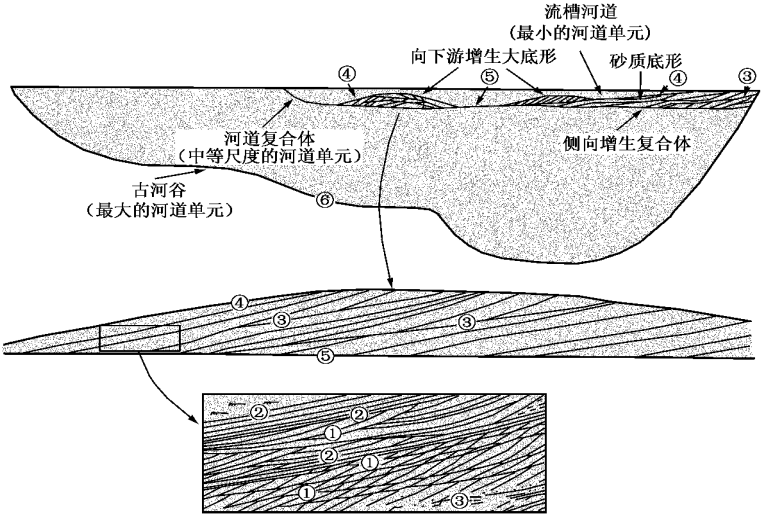


图 猿-员河流沉积六级界面划分示意图

表 猿-源瑶馆上段河流沉积界面划分及其特征				
级别	沉积单位	典型厚度(皂)	相特征	界面特征
员	层系	园皂~ 园源	单一的相	交错层系界面 ,平的 ,没有侵蚀 ,通过交错层前积层的削平或楔形尖灭来辨认
圆	层系组	员~ 圆	同种相的叠加	界面是平的 ,无侵蚀 ,界面的上、下相是一致的
猿	大型砂体增生	员~ 愿	顶部为泥披 ,底部为侵蚀面 ,泥砾发育	低角度的 ,界面起伏不平 ,为一侵蚀面 ,界面上下相组合类似
源	大型砂体 ,小型河道	圆~ 员圆	顶部为泥披 ,底部为侵蚀面 ,泥砾发育。向上变细或变粗	界面是平的或上凸的 ,界面上下相组合不同
缘	主要河道 ,大型洪泛单位	圆~ 员圆	简单的河道充填 ,或大型砂体和 其它小型沉积物的复合体	界面平的至向上凹的 ,冲刷充填 ,底部滞流砾石
远	砂层组	圆~ 员圆	与越岸沉积相关的河道复合体	砂层组的界面

显然 ,对于岩心中界面的划分应注意以下问题 :

①任何级别的界面都可能被同级别或更高级别的界面削截 ,但不会被更低级别的界面削截。用这种方法 ,总是能够确定产生界面级别的主要作用。

②加积面可以被下一个单元沉积之前的侵蚀作用削蚀。这种情况下 ,岩石单元的顶部根据与它相邻的单元基底来定义可能更合适。例如 ,大底形的顶部由 源级界面定义 ,除了在被一个主河道下切处外 ,它的基底被定义为 缘级界面。

③小的界面在侧向上可能改变级别。如一个大底形上部的 源级界面可能在邻近的河道底部合并成 圆级界面 ,而 猿级界面可能下超到 远级或更高级别的河道冲蚀界面上。

猿瑶馆上段储层沉积结构单元

通过对沾化凹陷东部的取心、岩屑录井、测井、粒度等资料的分析 ,认为馆上段主要为曲流河沉积。根据不同的岩相组合、外部几何形态、内部沉积结构、界面的性质以及剖面特征 ,将研究区馆上段分为 :河道滞流沉积(悦蕴)、侧向加积沙坝(蕴粤)、向下加积沙坝(阅粤)、天然堤(蕴灾)、决口扇(悦杂)、决口水道(悦砸)和洪泛平原(云)等结构单元(表 猿-缘)。

表 猿-缘瑶沾化凹陷东部馆上段沉积结构单元				
结构单元	符号	岩相	几何学特征	解 释
河道滞流沉积	悦蕴	员皂 ,杂皂	指状、透镜状 ,厚 园皂至(园猿~ 园愿)	河道充填沉积
侧向加积沙坝	蕴粤	杂形杂皂 ,杂形杂皂 ,云	透镜状、楔状 ,厚 远皂至(圆~ 员圆)	河道迁移侧向加积
向下加积沙坝	阅粤	杂形杂皂	透镜状 ,厚 愿皂左右	河道向下游加积为主
天然堤	蕴灾	云 ,云皂	带状 ,厚 园皂至(员愿~ 猿愿)	越岸溢流
决口水道	悦砸	杂形杂皂 ,云	透镜状、带状 ,厚 猿皂至(圆~ 缘)	主干河道边缘的裂缝
决口扇	悦杂	杂形杂皂 ,杂形杂皂 ,云 ,云皂	透镜状、楔状 ,厚 缘皂至(圆~ 员圆)	从决口水道进入洪泛平原类 似于三角洲的加积
洪泛平原	云	云皂 ,云皂	板状、席状 ,厚 苑至(圆~ 圆愿)	越岸席状流沉积物 ,洪泛平原 池塘和沼泽

5) 河道滞流沉积 (悦臻)

呈透镜状或条带状,厚度不大,一般小于 1m。主要由岩相 2 组成。以泥砾岩为主,其次是砂质砾岩。泥砾多为下伏地层的粉砂质泥岩和泥岩组成,其次有少量陆源碎屑岩。砾石主要为细砾,砾径一般为 0.5~1mm,少数达 2mm,次棱角状到次圆状。砾石含量变化较大,10%~30%,砂泥质含量较高。这反映了当时水体能量不高,沉积速率接近于快速沉积,砾石没有经过较长距离的搬运,沉积物也缺少强烈的簸选,表明河道的侵蚀能力不强。在砾石层内还常混有从河岸崩塌下来的半固结的泥块,偶见炭化的植物茎干碎块。



图 1-10 侵蚀面和上部含油层 (悦臻)

微微倾斜的砂质浅滩,覆盖在河道滞流砾石层之上,向上可达平均水位线附近。

研究区侧向加积沙坝见于馆 2 馆 3 源和馆 3 砂层组。由岩相 2 组成。主要是中—细粒长石砂岩,其次是粉砂岩和粉砂质泥岩,后者常常以夹层形式存在。粒度中值为 0.5~1mm。粒度特征表现为:概率曲线是两段式,牵引载荷通常缺乏,跳跃总体是主要组分,为 10%~20%,而且具中—高的斜率,直线倾角 25°~35°,表明良好的分选性,悬浮总体的斜率较低,分选较差,这在中 1 馆 1 层并表现得更具特征。分选系数为 1.5~2.0 (图 1-11)。

滞流沉积物中沉积构造不发育,砾岩中常常显示块状构造,当砂、泥含量增多时,显示出槽状和楔型交错层理。滞留沉积位于河道沉积的最低部,底部冲刷现象十分明显,其下均发育有起伏不平的冲刷面,底部被 2 级界面所限定(图 1-10)。

滞流沉积物的孔隙度和渗透率均不高,自然电位起伏小。

河道滞流沉积在孤岛油田不甚发育,分布局限。摇摇

6) 侧向加积沙坝 (蕴碧)

侧向加积沙坝也称为侧向加积沉积物或侧向增生大底形。实际上它相当于曲流河的点沙坝(边滩)。

侧向加积沙坝是曲流河体系中最重要沉积。它们均发育在凸岸一侧的河道中,为向河道



图 1-11 2 馆 3 单元下部 2 馆 3 单元

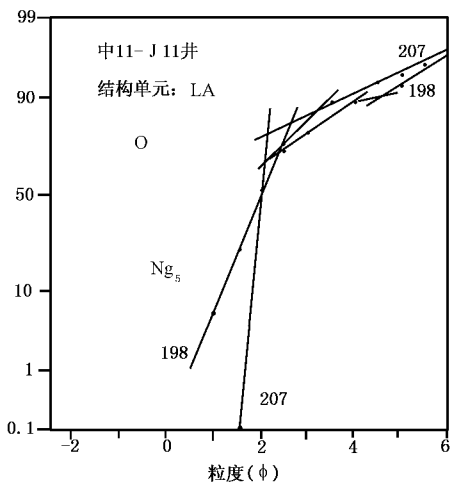
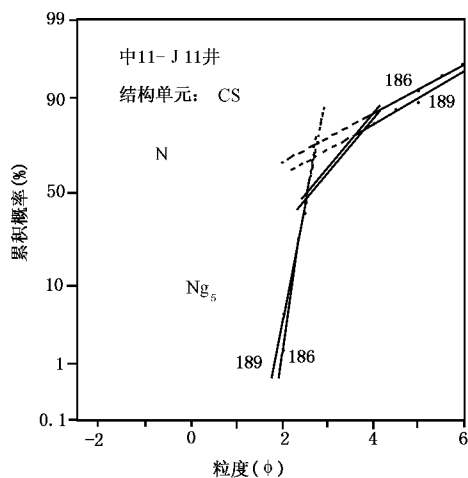
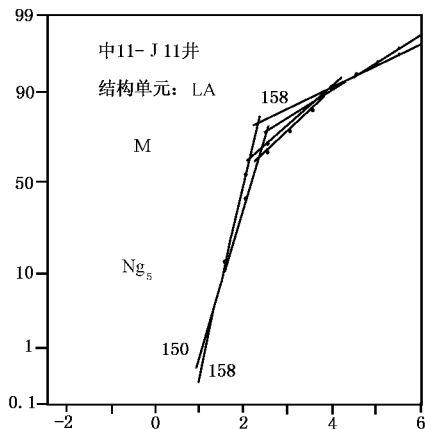
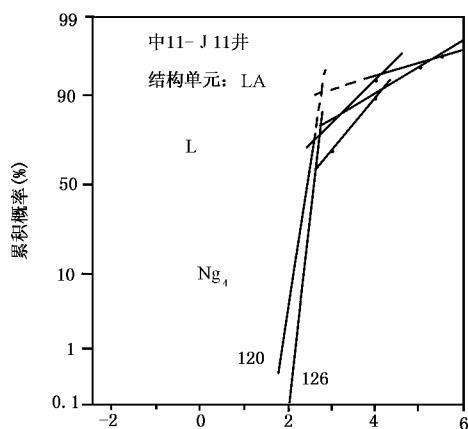
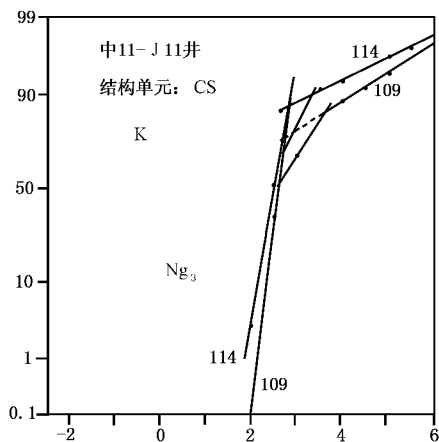
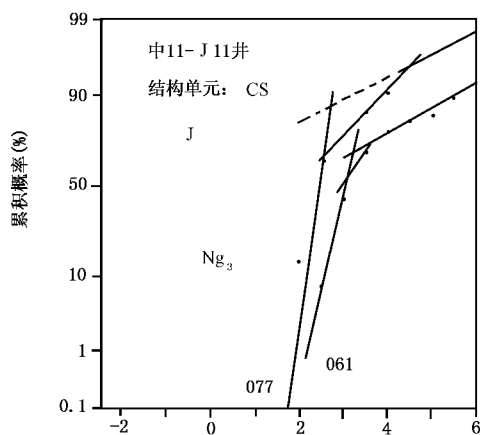


图 猿-源 瑶研究区馆上段砂岩粒度分析图

侧向加积沙坝发育有多种底形 ,下部有槽状

层理、水平层理和板状层理等 ;向上发育有斜层理、波痕层理和平行层理等。反映流态自下而上变小的趋势。

侧向加积沙坝常常以正韵律为主 ,下粗上细。加积面倾角比较陡 ,常常形成多个侧积体在

源天然堤(猿)

馆上段天然堤发育,见于馆缘至员垣圆砂层组,由岩相云组成。主要是粉砂岩,其次是泥



图猿-远瑶月源原原象井猿层顶部猿单元

质粉砂岩和粉砂质泥岩,间夹粉砂质细砂岩(图猿-远)。天然堤的砂岩粒度分析表明,概率累积曲线特征显著。概率曲线是两段式,缺牵引载荷。跳跃总体含量偏低,为猿猿~远猿,直线斜率为猿猿-猿猿。悬浮总体含量增多,最高达远猿,其斜率为猿猿-猿猿。分选系数为圆猿猿~猿猿,明显高于侧向加积沙坝和决口扇,表明分选较差。

天然堤结构单元中植物碎片、炭质膜和云母片常见。常常发育水平层理、波状层理以及小型的斜层理。自然电位曲线呈指形,微电极曲线表现为幅度差较小(图猿-缘)。砂岩孔隙度较低,小于猿猿,渗透率为源伊园 μm^2 。

天然堤是在洪水溢出河道时,水流分散、流速突然减小,搬运能力迅速降低,河水中携带的沉积物快速沉积形成的。所以天然堤结构单元主要是由几厘米厚的粉砂和泥质互层组成。每个沉积韵律代表了一次洪泛事件。而且一般来说,在天然堤沉积中,泥质层相对于砂质层的厚度要比在侧向加积沙坝中厚得多。天然堤结构单元厚可达员皂,由渐渐变细的楔状体组成,远离河道越薄越细。馆上段天然堤结构单元厚度不大,为员皂~猿皂,平均厚圆皂。与密西西比河怨皂高的天然堤相比要小得多。

缘决口水道(悦)

决口水道结构单元的规模取决于河流的大小,从深不到员皂到缘~远皂,宽几十米到几百米。这些水道切割天然堤和其后的沼泽沉积,典型的形成如同小三角洲一样的分布系统,远离主河道变得更浅。与密西西比河下游相关的决口水道深缘皂,甚至在较小河流系统决口水道也深达源缘皂相比,馆上段决口水道不甚发育,仅见于馆源馆缘砂层组,由岩相杂以则泽等组成。主要岩性是细砂岩和粉砂质细砂岩以及含砾砂岩,粒度比决口扇稍粗,具槽状和波状交错层理,内部冲槽常见。砂体呈带状,底部常含有砾质砂岩的滞流沉积。测井曲线为钟形(图猿-缘)。渗透率为圆伊园伊园 μm^2 左右,明显好于天然堤。

决口水道的界面被四级界面所限定。

远决口扇(悦)

决口扇结构单元是在洪水期由于天然堤决口,河水携带大量沉积物通过决口被冲到洪泛盆地形成的扇状沉积体,它邻近主要河道边缘。

孤岛油田决口扇发育,是第圆大的结构单元,约占剖面的圆猿,见于馆上段诸砂层组,由岩相杂以及云等组成。主要岩性是细砂岩,此外有粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和含砾砂岩等。砂岩中值为圆猿猿~圆猿猿皂。砂岩粒度分析表明,概率曲线为两段式,牵引载荷缺乏。跳跃总体含量变化较大,为猿猿~猿猿,直线斜率为远猿-猿猿。悬浮总体斜率为猿猿-猿猿。源猿意味着悬浮沉积物的分选性要好于侧向加积沙坝。分选系数为员猿猿~员猿猿,大于侧向加积沙坝的员猿猿而远小于天然堤的圆猿猿(图猿-苑图猿-愿),表明决口扇结构单元沉积物的分选性要略逊于侧向加积沙坝而比天然堤好得多。

沉积构造比较复杂多变,小波痕层理、爬升层理、槽状及板状交错层理均有发育,冲刷充填

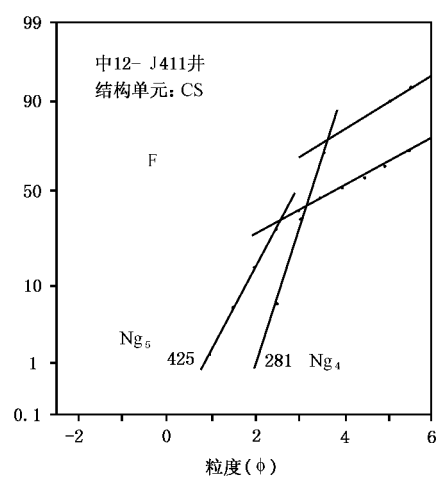
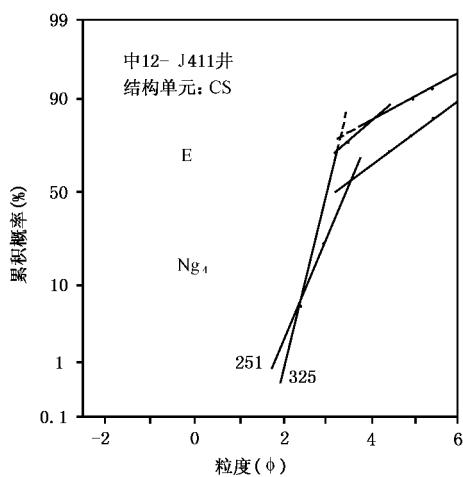
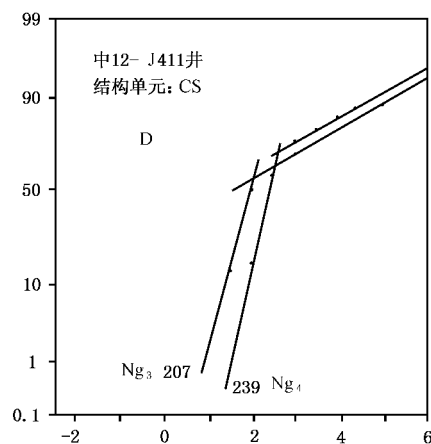
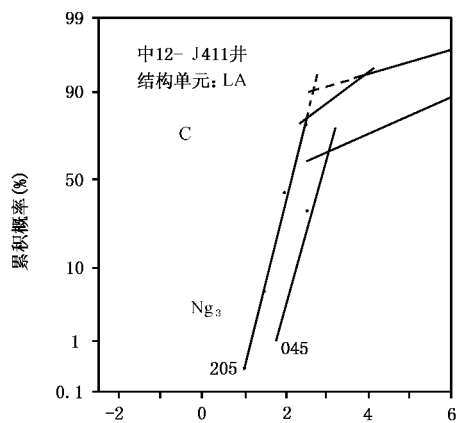
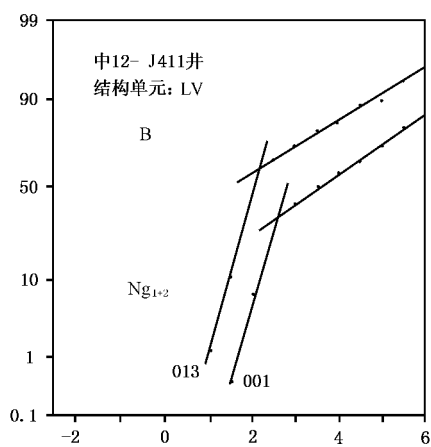
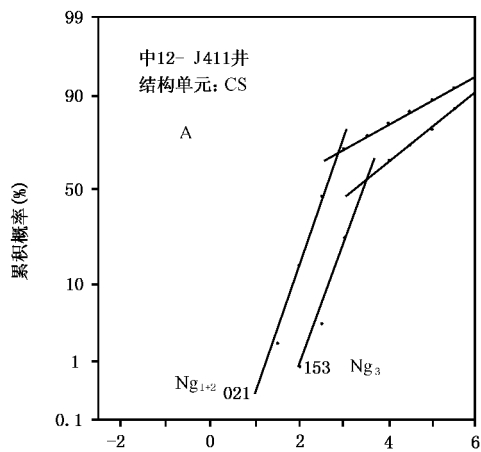


图 猿-15 瑶研究区馆上段砂岩粒度分析图

构造经常可见。其沉积组合是以薄层和内部非沉积面和小型侵蚀面为特征的 猿级界面发育，而且侵蚀面上较粗的组分中常常含油，沉积物中常含有许多植物碎屑。决口扇层序底部多具有明显的侵蚀面，与下伏洪泛盆地泥质沉积呈常突变接触。

决口扇的自然电位为漏斗形或齿化漏斗形，微电极曲线上幅度差较小(图 猿-15)。砂岩— 猿—

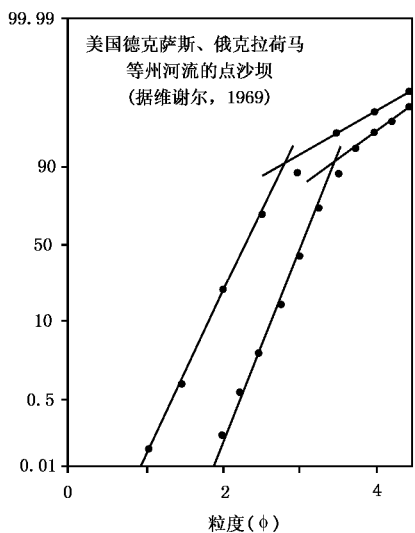
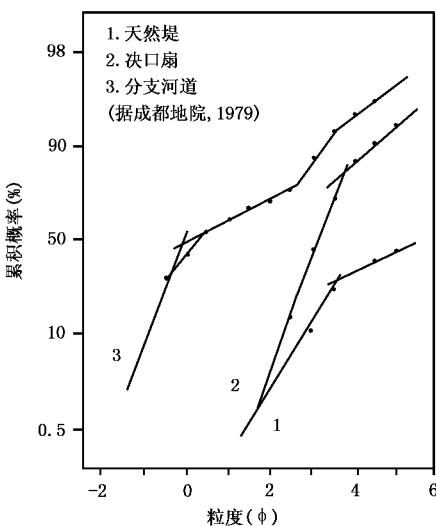
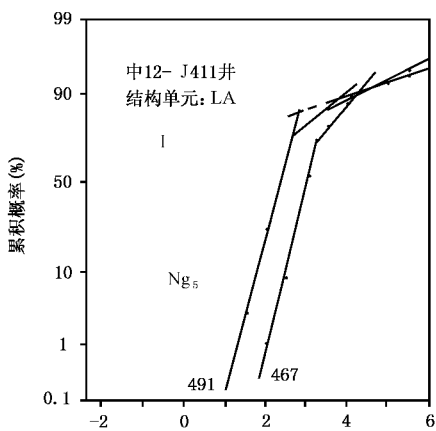
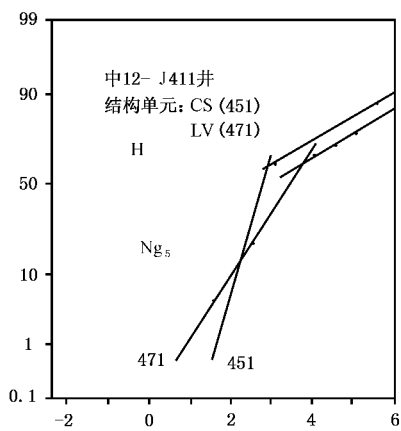
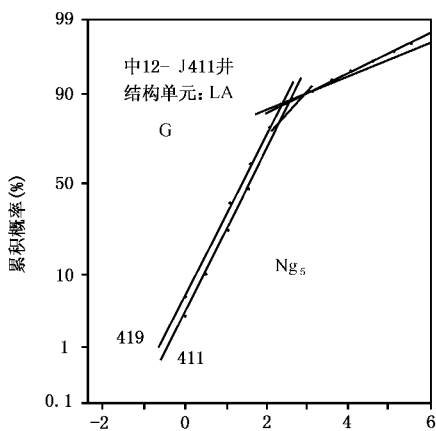


图 猿-愿 研究区馆上段砂岩粒度分析图

孔隙度为猿猿%~猿猿%,渗透率在猿圆~猿圆μm以上。

目前,人们对决口扇结构单元尚未给予足够的关注,实际上,它可以形成大型的砂体。决口扇的规模变化很大,小的决口扇从决口处到扇缘仅几十米至几百米,大的可达数十公里。月增和运能泽恩报道了累积厚达猿~圆m,延伸到距离主河道猿m远的天然堤—决口

扇层序。决口扇可以形成 员~缘皂长、缘皂宽的透镜状砂体 ,典型的厚 圆~远。在布拉马普特拉河 ,由于决口扇的发育 ,局部合并成一个近于连续分布的席状砂体。

馆上段决口扇结构单元一般呈透镜状 ,但可能有一些是呈席状。决口扇厚度变化较大 ,从 圆皂左右到 员皂,平均 缘皂。较厚的扇体可能是多次的决口导致多个扇旋回叠加的结果 ,这反映在扇体中常夹有多层的泥岩。

决口扇被 源级界面所限定。

苑 洪泛平原细粒(云)

洪泛平原细粒结构单元在孤岛油田馆上段广泛发育 ,大面积分布 ,是第 员大结构单元 ,见于馆 远~ 员垣垣各砂层组。中 员垣垣井和中 员垣垣井统计表明 ,洪泛平原细粒结构单元占剖面的 源豫(表 猿-远)。

表 猿-远 研究区馆上段结构单元厚度

结构单元	悦蕴	蕴	悦砸	悦杂	蕴灾	云
总厚度(皂)	圆圆	源猿	苑	缘猿	员圆怨	员圆缘
个数	猿	苑	圆	员圆	缘	员远
平均厚度(皂)	园苑	远	猿远	缘怨	圆苑	苑
σ 灶		猿		猿	园苑	缘源



该结构单元主要由岩相 云皂组成 ,其次是 云皂以及少许 云皂。岩性为棕红色夹杂色和灰绿色的泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩(图 猿-怨)。粉砂常常呈细脉状、条带状和囊状分布于泥质岩石中 ,并显示出似水平纹理。粉砂质泥岩中植物碎片、炭质膜和云母片都比较常见。泥岩中常常含有粘土而使岩石变硬 ,镜面发育。

在灰绿色泥岩中 ,有时可见黄铁矿结核和团块 ,说明是洪泛平原洼地上的还原环境。测井曲线形态以平直低幅为主。

洪泛平原沉积物中主要发育的是块状层理和水平层理 ,波状层理和小型的斜层理也能见及。该结构单元厚度变化较大 ,为 员圆~ 圆苑皂,平均厚达 苑皂。其几何形态多呈板状和席状。它类似于 员垣垣的细粒曲流河的特征。

该结构单元分布在河道两侧地势低平的地带 ,只有在洪水泛滥时它们才被洪水部分或全部淹没掉。由于盆地表面开阔 ,洪水被迅速分散到广大的面积上。

水浅、流速缓慢 ,洪水携带的大量悬浮质(粉砂和泥)得以沉积下来 ,所以 ,洪泛平原细粒结构单元是曲流河沉积体系中分布面积最大而粒度最细的一个相。

第四章 摇河流相储层沉积结构单元模式

一、河流相储层结构单元分布规律

员结构单元剖面分布规律

河流相砂体沉积结构单元在剖面上的分布主要受沉积作用控制,如沉积水动力能量的强弱、河型等。下面以埕岛油田馆上段的几个主力小层为例,阐明结构单元在剖面上的分布规律。摇摇摇

员馆上段 员垣圆砂组结构单元剖面分布规律

图源-员表明,馆上段 员垣圆砂组中 员垣圆小层的两个单砂体叠合在一起,没有明显的分界面,两个单砂体基本上都发育侧向加积沙坝单元,只有悦月缘井原缘井的单砂体和悦月缘井原缘井的单砂体顶部零星发育纹层沙席。

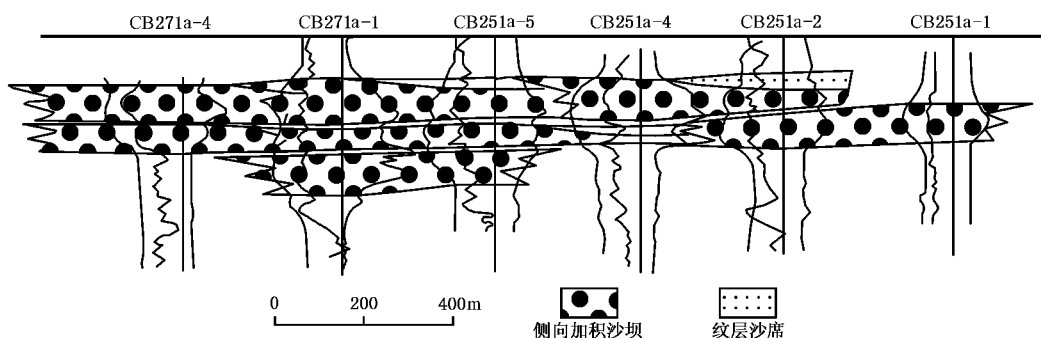


图 源-员 瑶埕岛油田馆 员垣垣 小层结构单元剖面图

圆馆上段獭砂组小层结构单元剖面分布规律

悦国缘原缘悦国缘塬塬悦国缘塬悦国缘塬等井周围在馆上段 猿—猿_小 小层沉积时期继承性地发育侧向加积沙坝单元和少量河道充填,而 悦国缘原缘悦国缘塬缘井在馆上段 猿_小 小层沉积时期发育一个较厚的侧向加积沙坝单元。侧向上,侧向加积沙坝单元可相变为河道充填和纹层沙席单元,边缘发育薄层决口扇单元(图源—圆)。

猿馆上段 源砂组小层结构单元剖面分布规律

悦1层曹原远悦1层近泉井的馆上段源_源小层继承性地发育猿期侧向加积沙坝单元,而且越来越强,顶部在悦1层曹原远井侧向变为河道充填单元,向西至悦1层曹原井变为纹层沙席单元。悦1层曹原远悦1层近泉井的馆上段源_源小层也表现出猿期侧向加积沙坝单元侧向迁移现象。馆上段源_源小层水动力能量弱,主要为薄层沙坝与纹层沙席(图源-猿)。

源馆上段 缘砂组小层结构单元剖面分布

在悦月缘曹原悦月缘曹原元井周围,由缘_缘到缘_缘小层继承性地发育猿期侧向加积沙坝单

图 源-缘 结构单元平面分布规律

以埕岛油田馆上段源单砂体为例。馆上段源单砂体的砂体河道发育极好,呈北西—南东走向,河道较宽,主体宽度在 园愿~员圆皂,在河道部位发育河道充填单元,决口扇和废弃河道单元发育零星,大量的侧向加积沙坝单元发育在河道的中心部位,如悦月缘曹景缘—悦月缘拜原员—悦月缘—悦月缘井组—悦月缘井组—悦月缘井组—悦月缘井组(图源-缘)。总体上来说,主要沉积砂体是侧向加积沙坝单元和河道充填单元。

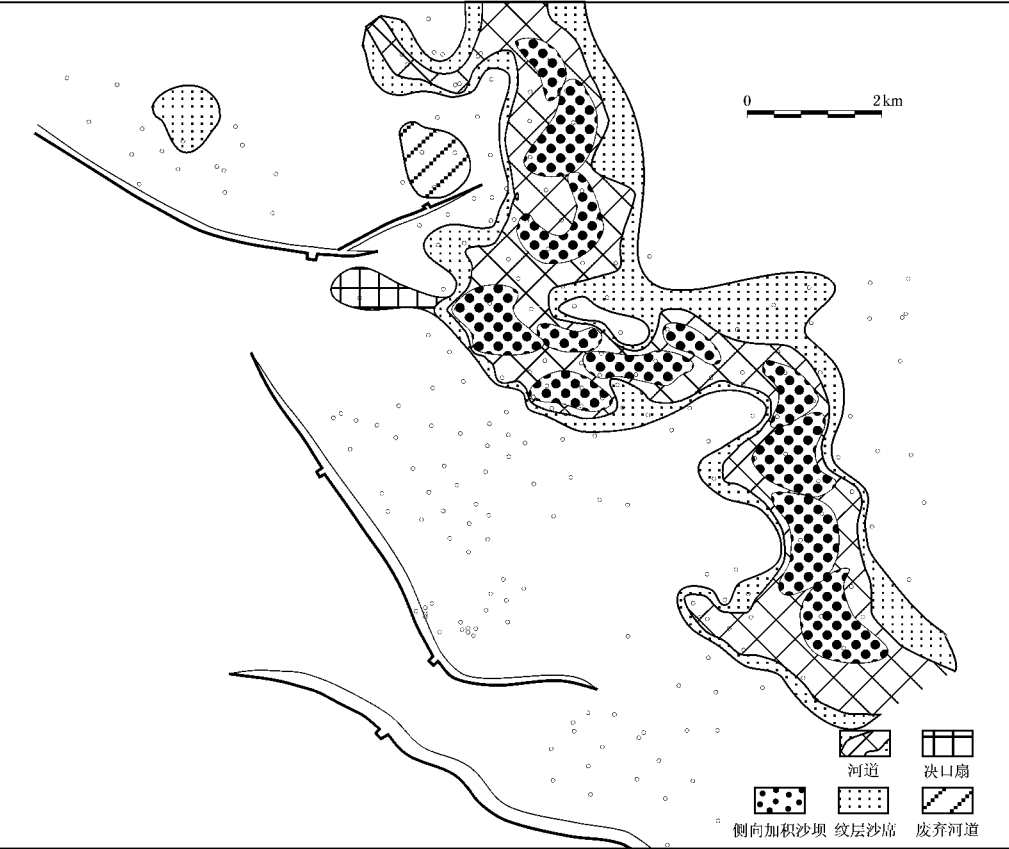


图 源-缘 埕岛油田馆上段源单砂体结构单元平面分布图

二、河流相储层结构单元模式

员细粒曲流河沉积结构单元模式

以孤岛油田为例,馆上段员垣圆-缘砂组沉积具有如下特征:

- ①沉积物粒度偏细,粉砂岩和泥岩十分发育,而砂岩中则以细砂岩为主,中、粗砂岩少见,砾岩仅非常局部地分布于旋回的底部。
 - ②砂岩粒度分析表明,缺乏牵引载荷,沉积物主要是以跳跃和悬浮方式进行搬运。
 - ③河流曲率孕大于 园愿,属于高弯度曲流河。
 - ④主要结构单元是云悦杂缘和悦月缘,发育比较局限,悦月缘更是鲜见。
- 因此,对比员垣圆的河流分类,研究区馆上段属于细粒曲流河(表源-员图源-远)。

表 源-员摇孤岛油田馆上段与不同类型河流特征比较

河流类型	弯曲度(孕)	辨状参数	沉积物类型	特征结构单元	资料来源
砂质曲流河	高	低	砂 少量细粒	藻,胡,云,藻,悦,悦,云,悦)②	配器造录院
季节性砂质曲流河	高	低	砂 少量细粒	藻,胡,云	
细粒曲流河	高	低	细砂 粉砂 泥	藻,胡,云,藻,悦,悦,云,悦)	
网状河	低—高	高	砂 细粒	胡,悦(藻),云,藻,悦,悦	
浅的常年性辫状河	低—中	高	砂	胡,云	
深的常年性辫状河	低—中	中—高	砂 少量细粒	藻,藻,胡,(云)	
孤岛油田 馆 缘-员垣砂层组	高(跃圆)	低	细砂 粉砂 泥	藻,云,藻,悦,悦	本文

摇摇①低:孕为员圆,中:孕为员圆-员圆,高:孕为员圆 配器造录院;②括弧中的结构单元是次要组分。

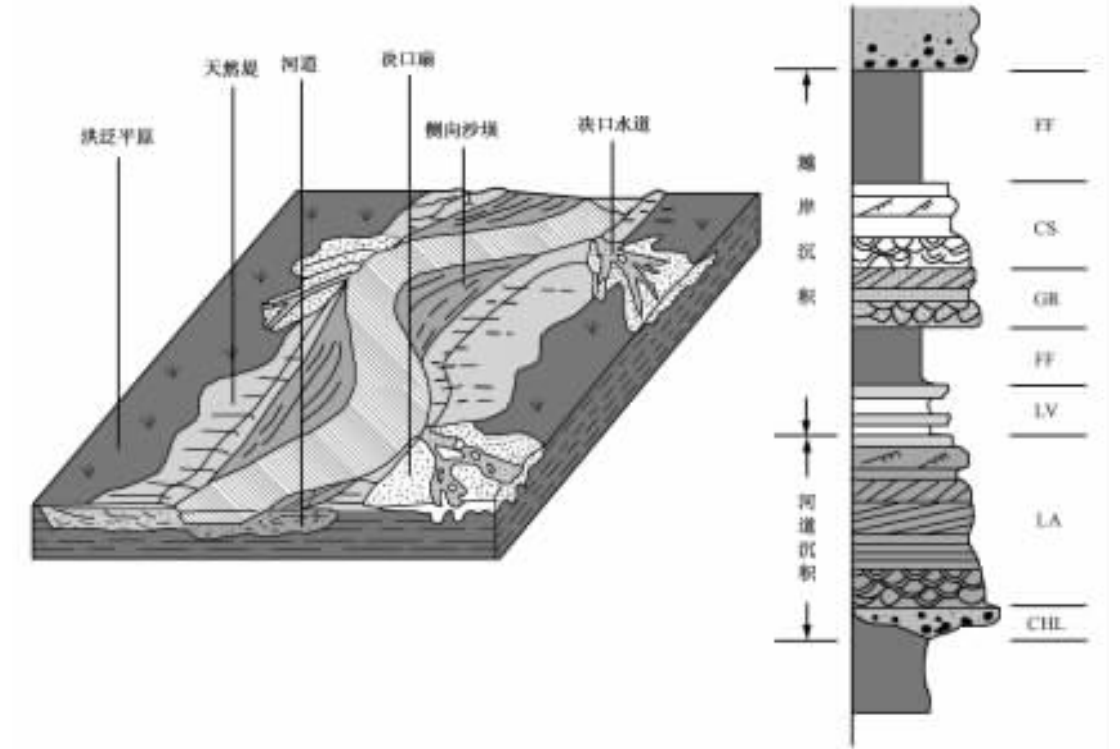
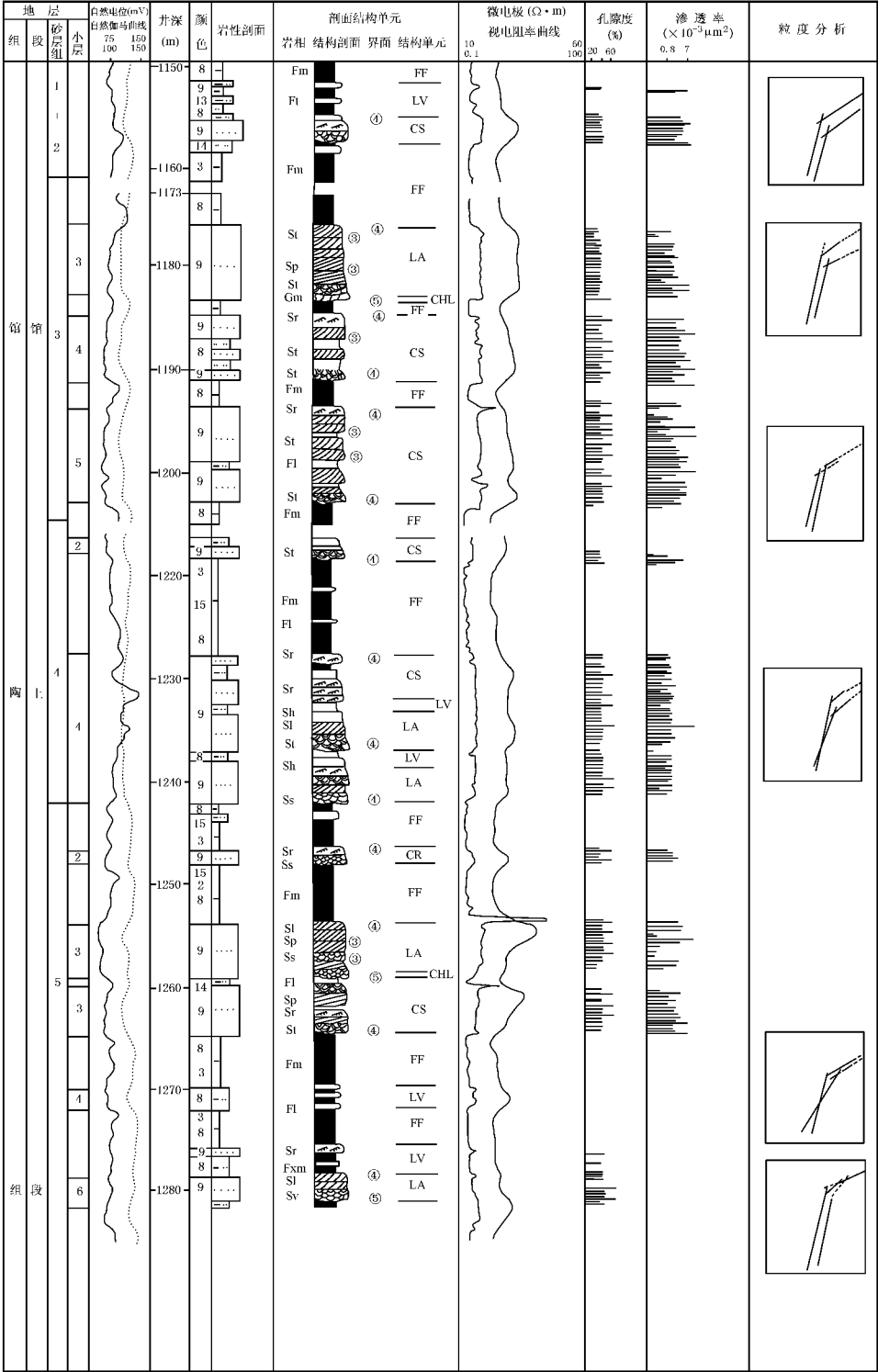


图 源-远摇研究区馆上段细粒曲流河沉积结构单元模式图

馆上段沉积时期 坡降越来越小 ,碎屑物供应越来越少 ,沉积速率相对变小 ,以细粒高弯曲曲流河沉积为主。最底部为一个非常清晰的冲刷侵蚀面 ,河道底部砾岩、含砾砂岩直接覆盖在侵蚀面上 ,其中含泥砾、岩块等滞留沉积 ,与下伏泥岩突变接触 ,由结构单元 悦藻组成 ,厚度不到 员皂,分布局限。向上过渡为发育有各种交错层理的点沙坝 ,即结构单元 藻,主要组成为砂岩 ,粒度和砂层呈向上变细变薄的特点。再向上过渡为以粉砂为主的天然堤。河道底部滞留沉积和边滩沉积均为河道侧向迁移时侧向加积产物。天然堤既有侧向加积 ,也有垂向加积。天然堤沉积之上主要是以垂向加积形成的洪泛平原 ,沉积物以粉砂质泥岩和泥岩为主 ,其中常夹有多层决口扇、决口水道砂质层 ,它们构成细粒曲流河层序的上部单元。细粒曲流河的上部单元发育 ,仅据中 员源原员井和中 员源原员井统计 ,上部单元占剖面的 苑圆%。

细粒曲流河的沉积砂体主要由决口扇、点沙坝和决口水道组成 ,厚度多为 缘-员皂,宽度一般为 员皂- 圆皂,宽厚比为 员- 缘。另外 ,还发育着天然堤上的粉细砂岩 ,单层厚度一般小于 猿皂,泥质含量高 ,常与泥岩间互或夹在厚泥岩之中 ,含油气性差。

剖析中 层原层井和中 层原层井(图源一苑图源一愿)发现馆上段细粒曲流河一个完整的河流单元厚约 圆皂左右 根据馆上段地层厚 圆皂~ 圆皂,大约相当于 层四个旋回。根据馆上



图源一苑孤岛油田中 层原层井沉积结构单元剖面图

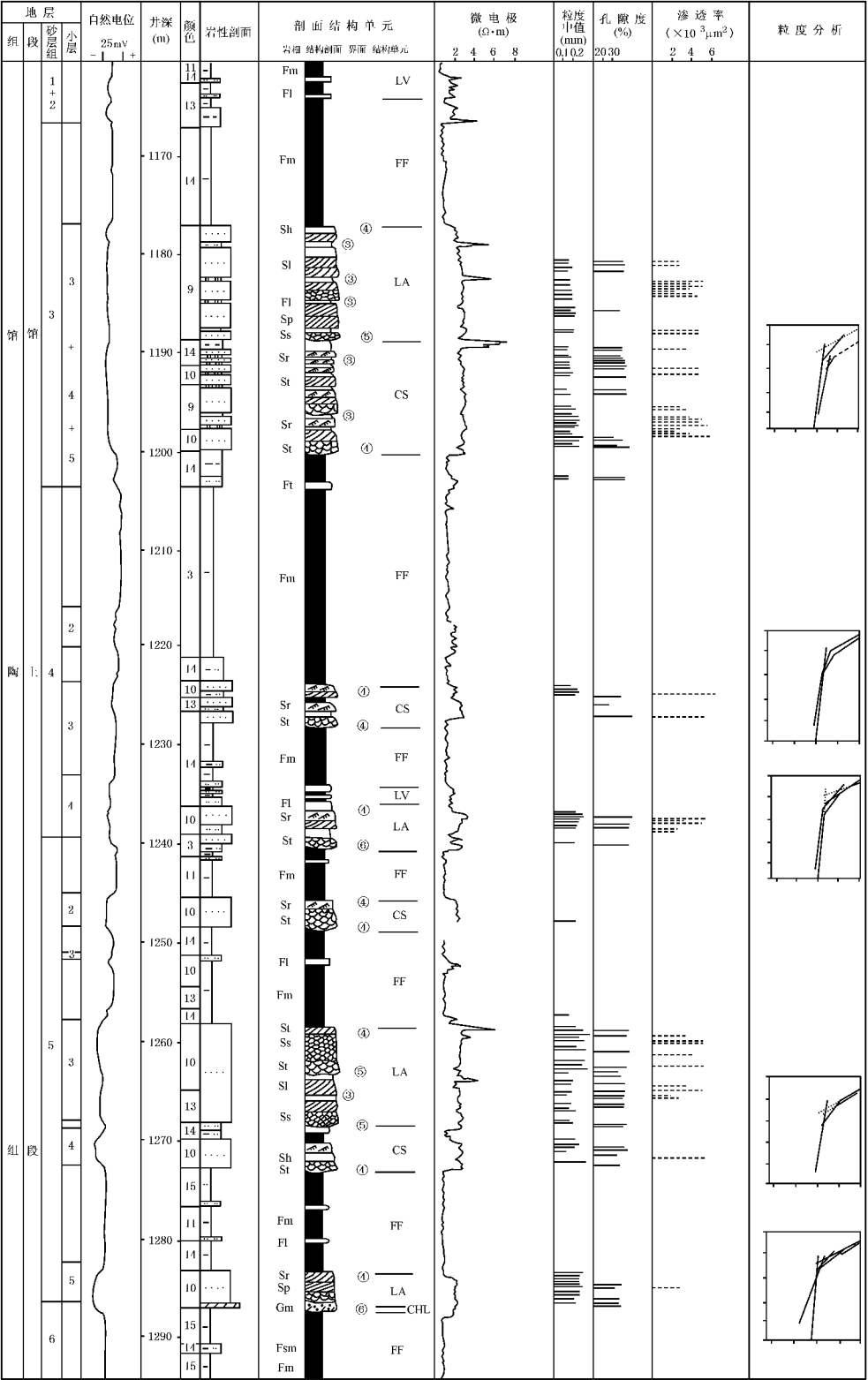


图 源—恩瑶孤岛油田中 层—层沉积结构单元剖面图

段持续的时间为 100 年,每个旋回持续的时间约为 100 年,这大约相当于层序地层学中的 1 级旋回(图 1-10)。这种旋回是由于大陆冰原的生长和消亡、三角洲的生长和废弃引起的全球海平面快速波动。馆上段细粒曲流河临近河口湾,受海平面波动的影响比受构造运动的影响更直接也更频繁。海平面的波动直接控制了河流侵蚀基准面的升降。这同样也可能解释了为什么馆上段的分米级和厘米级的砂泥层比较发育,而且它们可以形成厚达 1m 以上倾斜异粒层(图 1-11)。

图 1-10 辫状河沉积结构单元模式

辫状河是一些弯曲度小于 10° 的低弯度河流。其特点是在整个河流的宽度范围内发育有许多被沙坝分开的河道,河道宽而浅,时分时合,频繁迁移,游荡不定。

辫状河多发生在坡度较大的地带,河道坡度大,流速急,对河岸侵蚀快,一般发育心滩,而点沙坝和河漫滩不发育。心滩沉积物比点沙坝粗,常为砾石和粗砂,有时常夹细砂和粉砂层,岩石成熟度更低。

馆上段馆远砂层组主要由结构单元河道滞流沉积(心滩)、向下加积沙坝(点沙坝)和洪泛平原细粒(云)组成,而且洪泛平原不甚发育。这一组合与曲流河有很大不同,而与辫状河比较类似。

馆远砂层组河道砂发育的特点是河道宽而浅,易摆动,砂地比高,具有辫状河的特征。因此研究区馆上段馆远砂层组属于砂质辫状河(图 1-12)。

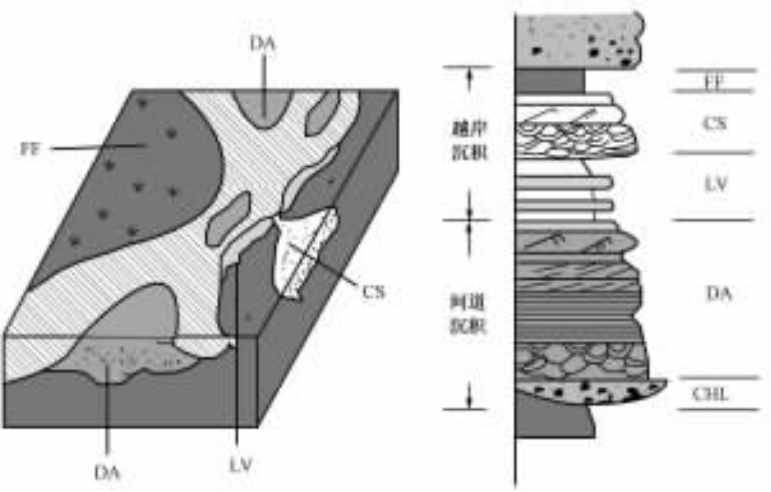


图 1-12 研究区馆远砂层组细粒砂质辫状河沉积结构单元模式图

第五章 河相储层结构单元成因类型和砂体展布规律

以埕岛油田为例,研究河相储层砂体成因类型和展布规律。该油田位于渤海湾南部的浅海、极浅海海域,构造上处于济阳坳陷与渤中坳陷交汇处的埕北低凸起的东南端,南邻桩西地区,西以埕北大断层与埕北凹陷相连,向北和东南分别倾没于渤中凹陷和桩东凹陷。埕北低凸起是一发育在太古界、古生界、中生界潜山基础上的披覆背斜构造。

一、埕岛油田河相储层结构单元成因类型

1. 沉积相类型

埕岛油田馆上段Ⅱ₁~Ⅱ₃砂组表现出典型的河相沉积特征,砂岩含量平均为 30%,各砂组间砂层发育有差异,河道形态也有较大差异。

埕岛油田馆上段为河相沉积,其中Ⅱ₁~Ⅱ₃砂组属曲流河沉积,依据如下:

- ①岩相类型具有曲流河沉积的二元结构特征,砂岩具有典型的下粗上细的正旋回特点;
- ②粒度分布特征以跳跃和悬浮组分为主,粒度偏细,具曲流河沉积特点。

通过对取心井粒度、测井曲线特征等资料分析,掌握了沉积韵律、沉积构造、粒度结构、泥岩、砂体形态等特征,在系统取心井单井相分析研究基础上,将沉积类型划分为四个亚相带,不同的亚相带沉积环境不同,油气富集程度不一。

主河道(河床亚相),包括河道滞留充填沉积和边滩沉积,以侧向加积为主。以中、细砂为主,沉积物粒度粗,粒度中值为 0.15mm,含油饱和度为 40%,含油丰度为 0.4,渗透率平均值达 1000μD,物性好,油层厚度大于 10m,油气富集程度高,是曲流河沉积中的主要砂体类型和有利的储集相带。

河道边缘相,以粉细砂为主,泥质夹层变多,沉积物粒度较粗,粒度中值为 0.15mm,含油饱和度为 40%,含油丰度为 0.4,渗透率平均值为 1000μD,物性较好,油层厚 10~20m,油气富集程度较高。

河漫滩沉积,以粉砂岩为主,沉积物粒度较细,粒度中值为 0.15mm,含油饱和度为 30%,含油丰度为 0.3,渗透率平均值为 1000μD,油层厚度小于 10m,油气富集程度较低。

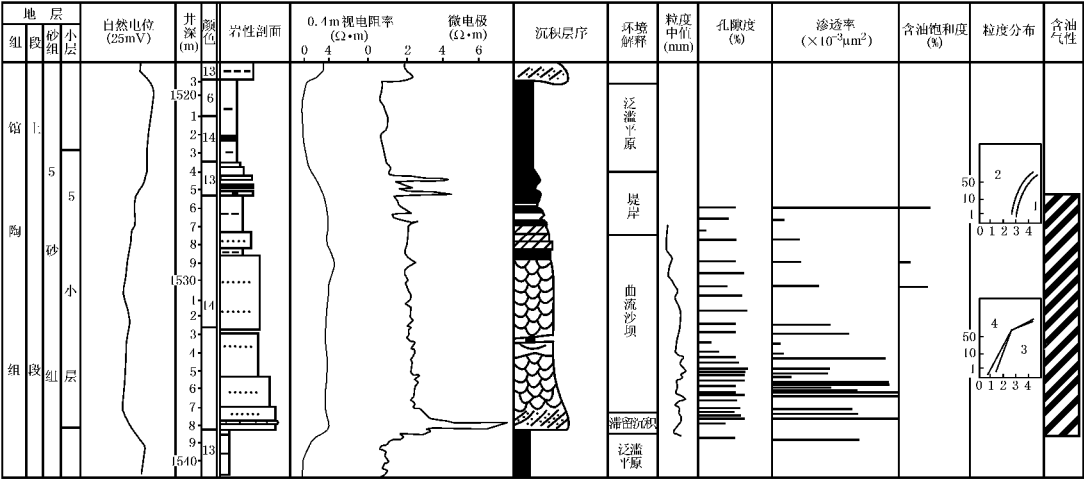
泛滥平原沉积,沉积物以泥质和泥质粉砂为主,油气富集程度低,不予考虑。

2. 馆上段Ⅱ₁~Ⅱ₃砂组砂体沉积结构单元类型

1) 单井结构单元分析

埕岛油田区内共有取心井 10口。总结前人对悦 1、悦 2、悦 3、悦 4 四口井所作的重点研究(图 5-1),通过岩心观察和对取心井分析化验资料的综合研究以及测井反映的综合分析,总结出如下主要特征。

(1)岩性特征埕岛油田馆上段属河流—泛滥平原沉积体系。粗碎屑质沉积以中细砂岩为主、粉细砂岩次之,部分为含砾砂岩。砂岩成分以石英、长石、变质岩屑为主,成熟度不高,且

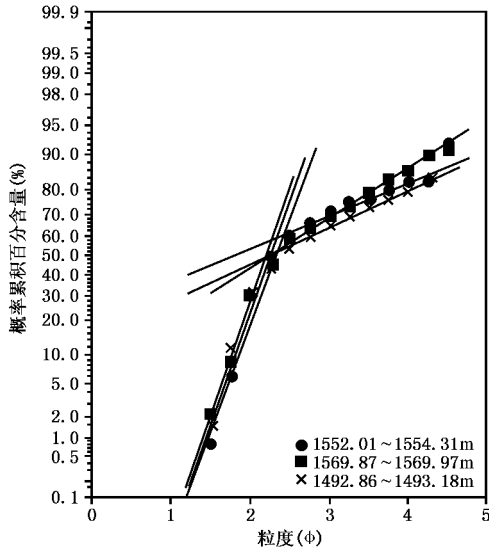


图缘—员瑶埕岛油田悦园源井馆上段单井沉积微相图

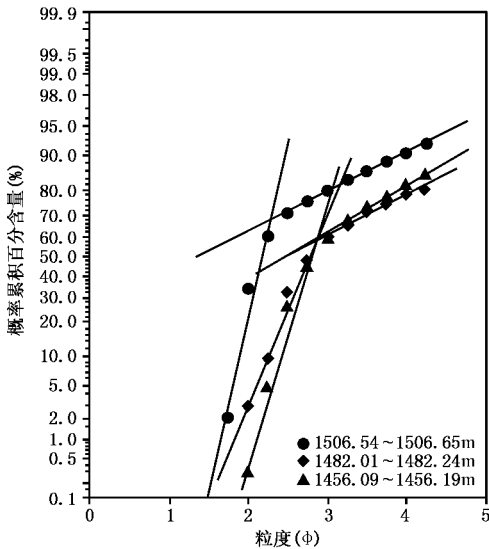
多为泥质胶结,砂岩较疏松。细碎屑质沉积以杂色泥岩为主,粉砂质泥岩次之,局部可见铁质结核、钙质团块等。

(圆)沉积构造与韵律组合摇通过单井岩心观察,所见主要沉积构造有底冲刷构造、槽状交错层理、斜层理、小型交错层理、波状层理、水平层理和块状构造等。各井所见岩性韵律组合总体上呈正韵律组合,包括正韵律型、正复合韵律型、随机型和均质型,以前两者为主。

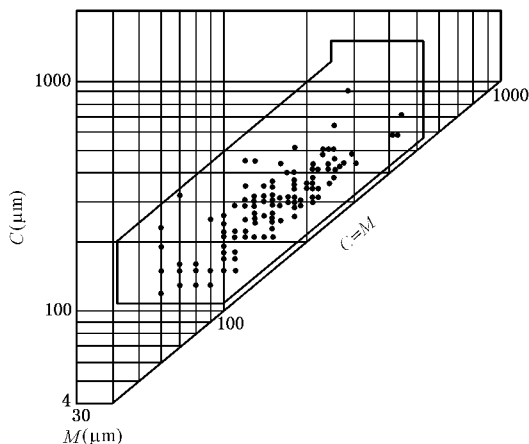
(猿)粒度特征摇概率曲线上呈现明显的两段式,主要为跳跃总体和悬浮总体,截点大致位于圆缘缘~猿缘缘之间。粒度概率图虽为两段式,但同一砂体内部在垂向上的概率图形变化比较明显。底部砂岩中跳跃组分含量高,曲线斜率陡;中部砂岩跳跃组分含量少,曲线斜率较缓。砂岩上部的粉砂岩,悬浮组分占优势,跳跃组分含量少。造成概率图形变化的主要原因可能是碎屑颗粒搬运方式和沉积方式不同,在砂体下部,碎屑颗粒以垂向加积为主,同时也反映出水动力条件由高向低的变化过程(图缘—圆图缘—猿)。馆上段悦—园图反映为牵引流特点(如图缘—源所示),以孕互圆碰段为主,沉积物以递变悬浮为主并含有少量滚动搬运组分。



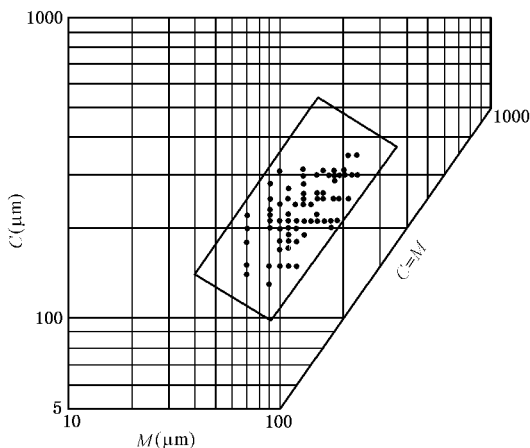
图缘—圆悦园源井粒度分布特征



图缘—猿悦园源井粒度分布特征



CB20-1井C—M模式图



CB22井C—M模式图

图 缘-源瑶馆上段 悦-酝模式图

圆)馆上段沉积结构单元划分

根据对取心井的观察和室内分析化验资料的整理分析结合测井相研究,研究区馆上段 灵垣-缘砂组归纳为四种亚相:河道充填亚相、河道边缘亚相、河漫亚相和废弃河道亚相;五种沉积沉积结构单元类型:边滩(蕴)、河道充填(悦)、河漫沼泽(云)、决口扇(悦)和废弃河道(悦)(云)。

埕岛油田馆上段自然电位曲线的总特征是馆上段 缘-远砂组是以箱形、钟形—箱形、箱形叠加为特征,反映心滩沉积的特点,而馆上段 灵垣-源砂组是在自然电位基值背景上发育的钟形、钟形—箱形及低幅齿形组合,反映砂层薄,泥岩层多,为边滩、天然堤及决口扇沉积的特点。

总结埕岛油田曲流河五种结构单元的电性模式,边滩(蕴)结构单元自然电位存在三种情况:箱形、钟形和指状,异常幅度都比较高,电阻率曲线反应基本都是高阻,自然伽马曲线形态都是箱形,即同一期边滩砂体从上向下自然伽马值变化很小(图 缘-缘)。

河道充填(悦)结构单元有三种情况,一是多期指状河道叠加,自然电位和自然伽马曲线表现都是指状;二是几期渐弱的河道充填,自然电位曲线表现为短促的正韵律;三是河道被细粒物质迅速充填,自然电位和自然伽马曲线都表现为低幅度箱形异常,电阻率极低。总体上看,都有自然电位和自然伽马曲线锯齿状向上幅度变小和电阻率较低的特点(图 缘-远)。

河漫沼泽(云)结构单元自然电位异常幅度小,层薄,在自然伽马曲线上处于每一期洪泛沉积的顶部,即紧邻每一期洪泛面(自然伽马回返面)(图 缘-苑)。

决口扇(悦)结构单元表现为反韵律尖指状或漏斗形(图 缘-愿)。

废弃河道(悦)(云)结构单元在自然伽马曲线上表现为多期洪泛叠加,巨厚的细粒物质堆积偶尔夹杂薄层砂岩,在自然电位曲线上表现为低幅度异常,这一系列薄层砂在自然电位上明显表现为正韵律(图 缘-怨)。

猿)结构单元综合特征

(员)河道充填瑶河道充填亚相是河流相中砂体最发育、砂层厚度最大的沉积相带,是馆上段油藏的主要储集砂体。本书将该亚相划分为边滩(蕴)和河道充填(悦)结构单元。

边滩(蕴)结构单元的特征如下。

岩性特征:以岩屑长石粗粉砂岩、岩屑长石细砂岩、长石细砂岩为主,含泥质长石粗粉砂岩和粉砂岩为特征。石英含量占 猿缘%~源缘%,长石占 猿缘%~源缘%,岩屑中变质岩屑占 员缘%~— 源愿%。

圆像, 泥质杂基占缘 ~ 圆像, 砂岩疏松, 属低成熟砂岩。

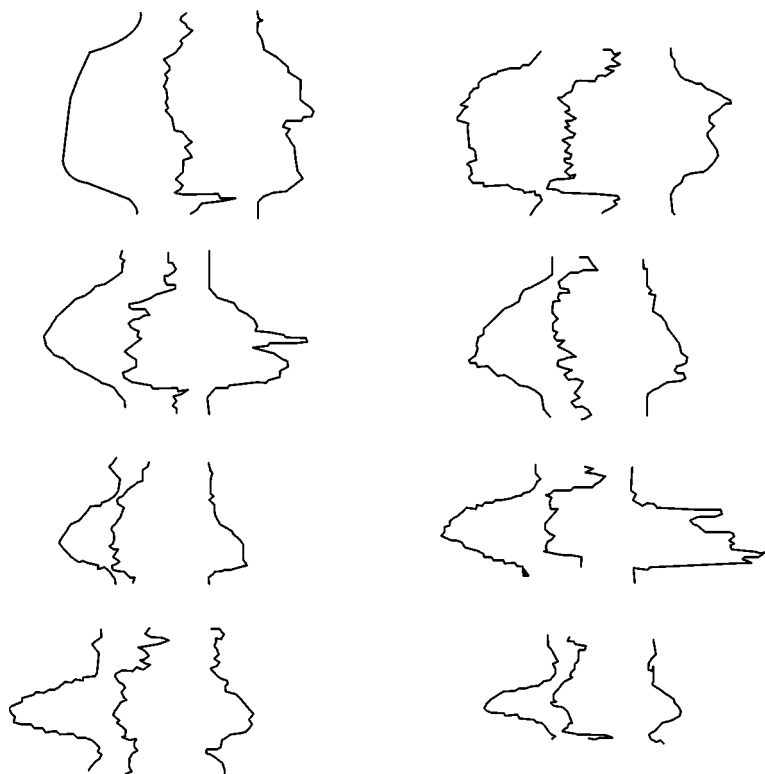


图 缘-缘 瑶埕岛油田曲流河 结构单元电性模式图

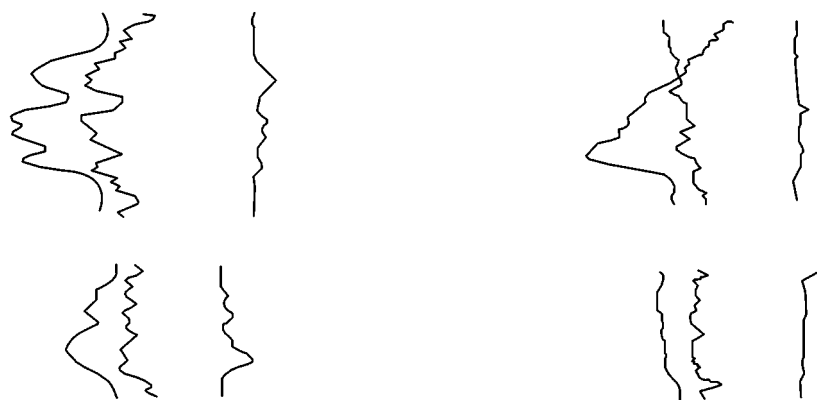


图 缘-远 瑶埕岛油田曲流河河道充填微相电性模式图



图 缘-苑 瑶埕岛油田曲流河河漫沼泽微相电性模式图



图 缘—愿瑶埕岛油田曲流河决口扇微相电性模式图

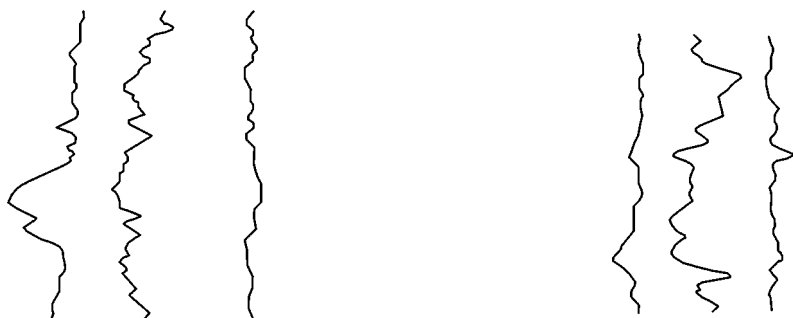


图 缘—愿瑶埕岛油田曲流河废弃河道微相电性模式图

摇摇结构特征:砂岩的粒度中值为 $0.06 \sim 0.075 \text{ mm}$,概率曲线呈两段式。

沉积构造:多见小型交错层理、槽状交错层理和波状层理,边滩底冲刷现象不显著,常呈带“底座”的正韵律特征。

生物化石:仅见炭化植物碎片偶尔沿层理面分布。

自然电位为钟形,表明曲流河边滩底部冲刷强烈,垂向粒序正递变及向上泥质增多、孔渗性变差,是边滩沉积的特点。自然电位为钟形叠加,反映曲流河道多期发育。自然电位曲线为齿化钟形叠加,为多期河道侧积泥岩夹层所致。

砂体厚度及物性特征:砂体厚度较大,砂岩物性较好,据物性资料分析,孔隙度在 10% 左右,渗透率为 $0.001 \sim 0.002 \mu\text{m}^2$ 。

(圆)河道边缘摇河道边缘亚相是河水满岸或漫溢时在近河道两侧形成的沉积,可进一步划分为河漫沼泽(云)和决口扇沉积(悦)结构单元。

决口扇是洪水决堤溢岸沿河道的凸岸形成的扇形沉积。岩性以薄的细砂岩、粉砂岩为主,沉积构造多见小型交错层理和波状层理,砂体厚度较河道边缘厚,一般小于 1 m ,有的由于洪水多次决堤形成成层叠置的砂层,厚度达 2 m 左右。值得注意的是,其具有下细上粗的反粒序特征,在自然电位曲线上表现为漏斗形或齿化漏斗形,微电极曲线上幅度差较小。

(猿)泛滥平原摇泛滥平原亚相指河道边缘以外的冲积平原沉积。在近曲流河河道边缘以外形成河漫沉积。由于河流的游动性,导致河道充填亚相发育广泛,在河道之间的砂体不发育处,往往形成道间洼地沉积。

岩性特征:粉砂岩、泥质粉砂岩与灰绿色、杂色、紫红色的泥岩、粉砂质泥岩呈互层状,河漫微相中泥岩厚度较大,道间洼地微相泥岩厚度较小。

结构与构造:粒度分析表明,粒度概率图呈两段式,悬浮总体占绝对优势,截点约为 0.06 mm ,沉积构造见水平—波状层理、水平层理。

生物化石及含有物:见炭化植物碎片、黄铁矿结核和钙质团块。曲流河的河漫沉积中还有腹足类和瓣鳃类化石碎片。

砂体厚度及物性:单层厚度小于 1 m ,孔渗性差,通常渗透率小于 $0.001 \mu\text{m}^2$ 。

(源废弃河道摇废弃河道(悦匀云跃)结构单元是曲流河的截弯取直作用或河道迁移改道后,废弃的河段经淤塞堆积而成。在沉积特征上与河道充填亚相近似,所不同的是废弃河道砂体厚度相对较薄,颗粒稍细。空间展布常为泥岩包围,砂体呈孤立的透镜状,平面上常远离河道形成土豆状、弯曲状或新月状砂体。

二、河流相储层砂体展布规律

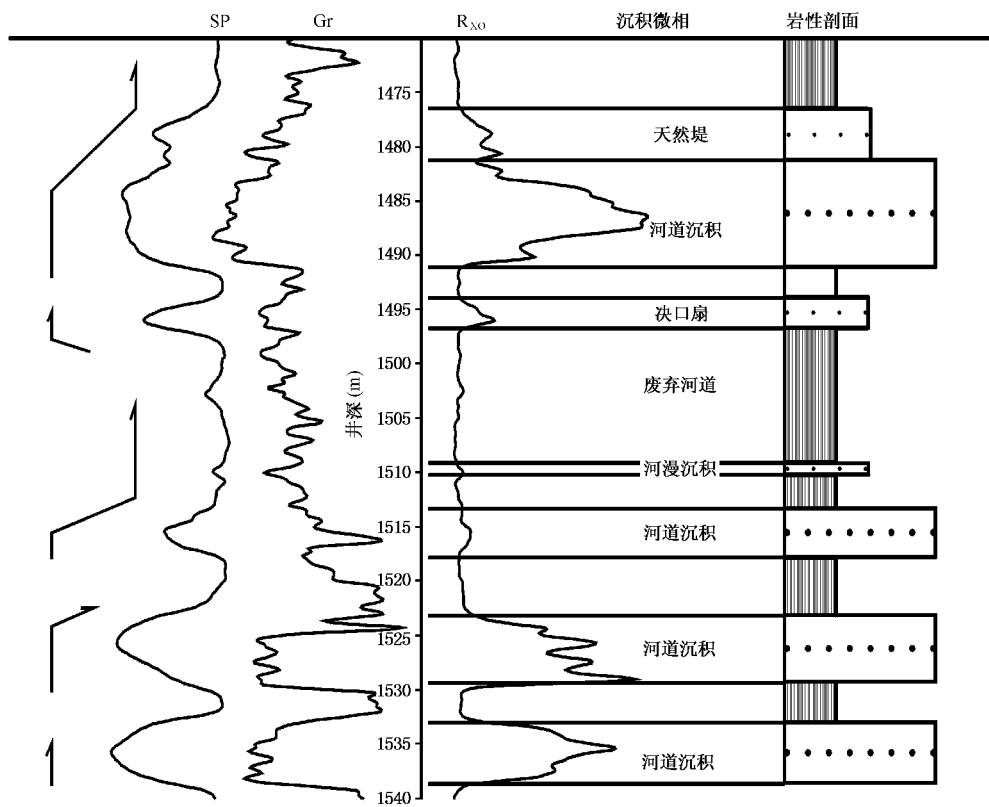
根据沉积旋回性,以测井曲线为主要对比手段,在沉积学理论的指导下,按照层组多层次逐级细分对比的原则,在砂组内细分小层,将埕岛油田馆上段主要含油层系馆上段 员垣圆猿源缘砂组共划分出 圆猿个小层(表 缘—员),对 员垣圆、员垣圆、猿、猿、源、缘等七个主力小层又进行了沉积时间单元对比和划分。沉积结构单元展布研究就是以单砂体为单位进行的。

表 缘—员埕馆上段油层小层明细表

地摇摇层	砂摇摇组	小摇摇层摇摇数	小摇摇层摇摇名
馆上段	员垣圆	远	员垣圆、员垣圆、员垣圆、员垣圆、员垣圆、员垣圆
	猿	远	猿、猿、猿、猿、猿、猿
	源	缘	源、源、源、源、源
	缘	远	缘、缘、缘、缘、缘

员垣圆电剖面模式

从前面的分析已经很清楚,目的层位主要为曲流河相沉积砂体(图 缘—员),而且也分析了主要存在五种结构单元。通过对埕岛油田北部的 员垣圆多口井的仔细分析,在剖面上,除了正常的河道—河漫—泛滥平原结构单元组合之外,还有三种剖面的结构单元组合形态,一种就是河道—天然堤—泛滥平原,第二种就是河道—河漫—泛滥平原—决口扇,第三种就是决口扇—泛滥平原—天然堤。



图缘一 埕埕岛油田河流相沉积岩性电性剖面模式(悦园1井)

圆剖面对比分析

通过对四条对比剖面的结构单元分析 ,可见在埕岛油田馆上段的几个主力小层内 ,主要发育边滩和河道充填结构单元 ,河漫、决口扇、废弃河道沉积都是零星发育的。

员悦月粤原员一悦月圆悦原员井结构单元剖面

馆上段 员垣圆砂组中馆上段 员垣圆小层的两个单砂体叠合在一起 ,没有明显的分界面 ,主要发育边滩 ,只有 悦月圆悦原员井发育的是河道充填 ,馆上段 员垣圆小层的两个单砂体基本上都发育河道充填 ,只有 悦月圆悦原员井的 员圆两个单砂体发育的是边滩 ,而在馆上段 员垣圆和馆上段 员垣圆小层中的各单砂体 ,馆上段 员垣圆单砂体在 悦月圆悦原员和 悦月圆悦原员井发育边滩 ,悦月粤原员井在馆上段 员垣圆小层下部几个单砂体发育边滩 ,其他零星发育几个决口扇、薄层河道充填、河漫沼泽砂体。

馆上段 猿砂组各单砂体边滩主要发育在馆上段 猿、馆上段 猿的几个单砂体上 ,而馆上段 猿单砂体除 悦月圆悦原员和 悦月圆悦原员井发育边滩外 ,其他部位主要发育的是河道充填 ,馆上段 猿单砂体发育大多的是废弃河道和河漫沼泽 ,馆上段 猿小层发育薄层河道充填和河漫沼泽。

馆上段 源砂组各单砂体发育的基本都是边滩和河漫充填 ,馆上段 缘砂组 员圆猿小层的 远个单砂体 ,除 远粤原员井发育废弃河道之外 ,发育的也基本都是边滩和河漫充填。边滩主要发育在 悦月圆悦原员悦月圆悦原员井的各个单砂体和 悦月圆悦原员和 悦月粤原员的馆上段 缘单砂体及悦月圆悦原员井的馆上段 缘单砂体 ,另外 ,在 悦月圆悦原员井发育决口扇沉积(图 缘一员)。

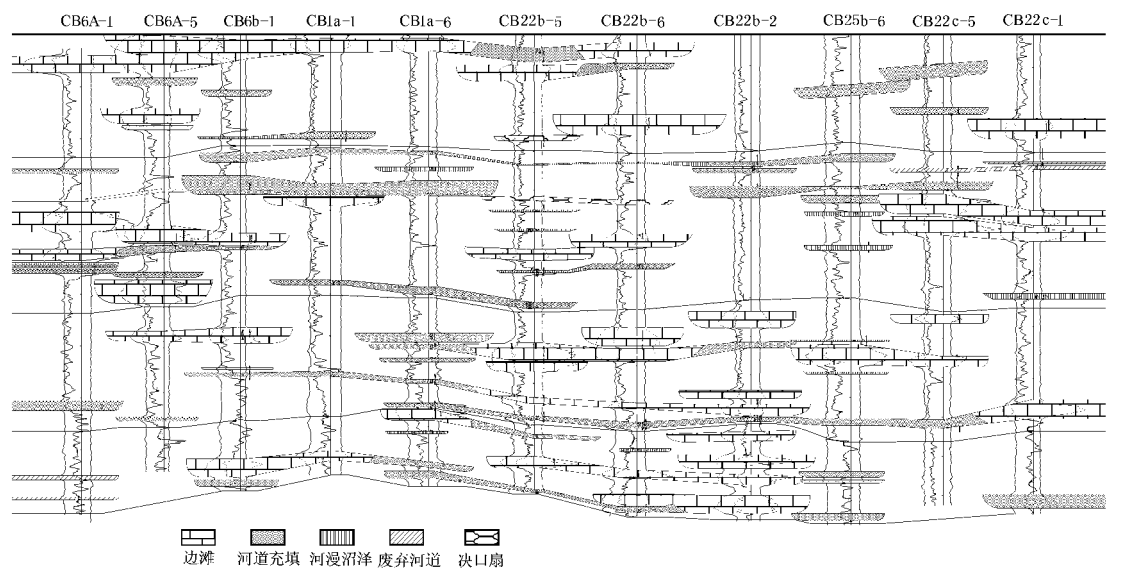


图 缘一员埕岛悦月粤原员一悦月圆悦原员井剖面沉积结构单元图

圆悦月远悦原员一悦月圆缘原员井结构单元剖面

在馆上段 员垣圆砂组中 ,边滩主要发育在馆上段 员垣圆小层的两个单砂体和 悦月圆悦原员井的馆上段 员垣圆单砂体 ,除边滩沉积外 ,员垣圆单砂体在 悦月远悦原员井发育河道充填沉积 ,悦月圆悦原员井发育河漫沼泽沉积 ,员垣圆单砂体在 悦月圆悦原员井发育河漫沼泽沉积 ,馆上段 员垣圆小层的两个单砂体基本上都发育河道充填 ,只有 悦月远悦原员悦月圆悦原员悦月圆悦原员井的 员圆两个单砂体发育的是废弃河道沉积 ,而在馆上段 员垣圆和馆上段 员垣圆砂组中的各单砂体 ,除上面所说的

馆上段猿砂组各单砂体边滩主要发育在悦月原范井的馆上段猿单砂体、悦月缘原员井的馆上段猿单砂体、河道充填主要发育在悦月远说原缘井的馆上段猿、馆上段猿单砂体、悦月原原井的馆上段猿单砂体、悦月说原原—悦月缘说原原的馆上段猿、馆上段猿和馆上段猿各单砂体、悦月原原—悦月原范井的馆上段猿单砂体;废弃河道主要发育在悦月原猿的馆上段猿单砂体、悦月缘说原员的馆上段猿和馆上段猿单砂体以及悦月缘原原井的馆上段猿单砂体;河漫沼泽主要发育在悦月缘说原员和悦月缘原缘井的馆上段猿单砂体、悦月缘原员井的馆上段猿单砂体;决口扇主要发育在悦月说原原井的馆上段猿单砂体、悦月说原原井的馆上段猿单砂体。

馆上段 源砂组的各个单砂体除了 漂小层不发育外,其他主要单砂体发育的都是边滩、河道充填、河漫沼泽等沉积。边滩主要发育在以下几个部位:馆上段 源的 悦月悦原原—悦月悦原原—悦月悦原原井一线,馆上段 源的 悦月悦原原—悦月悦原原—悦月悦原原井一线,馆上段 源的 悦月悦原原—悦月悦原原—悦月悦原原井一线和馆上段 源的 悦月悦原原—悦月悦原原—悦月悦原原井一线。

馆上段缘砂组员圆猿小层的远个单砂体,边滩主要发育在悦月员原井的馆上段缘和馆上段缘单砂体、悦月圆悦原原井的馆上段缘单砂体和悦月圆猿原原—悦月圆猿原原井的馆上段缘单砂体以及悦月圆猿原原—悦月圆猿原原井的馆上段缘单砂体(图缘-员圆)。

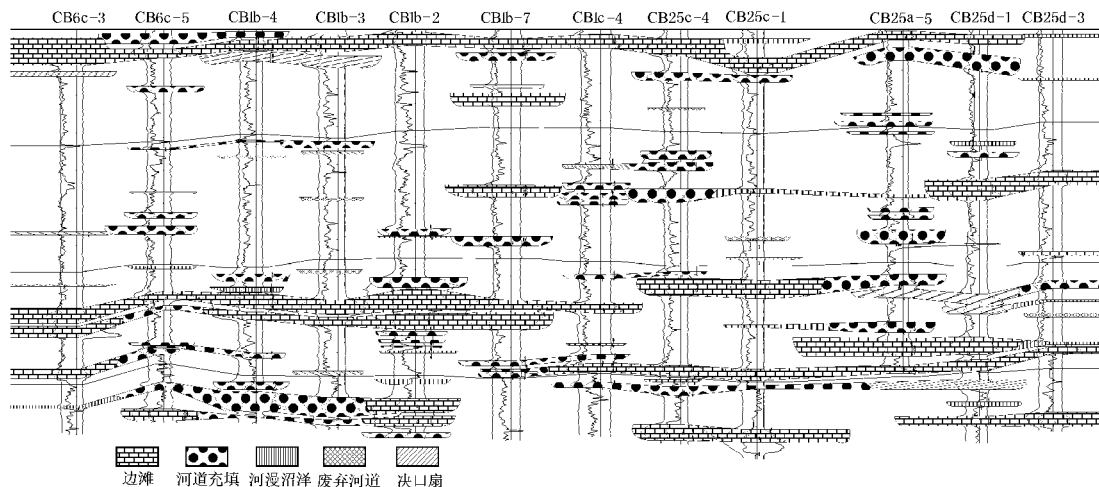
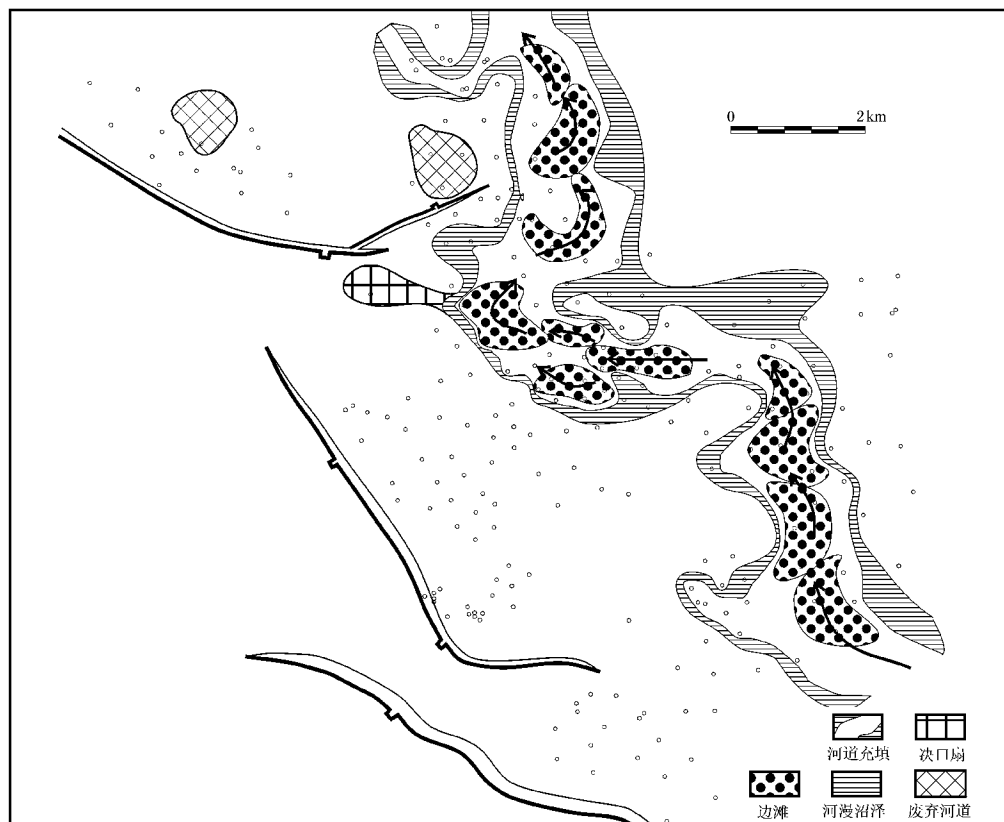


图 缘-员 瑶悦月说原袁——悦月缘綯原袁井剖面沉积结构单元图

猿猴岛油田馆上段平面沉积结构单元特征

员馆上段 员垣垣小层

馆上段 员垣圆 小层主河道流线呈“人”字形,从北向南分两支,一支向东延伸,一支向西,河道较宽,最宽可达 圆缘皂,主要河道为向东分支的河道,边滩主要发育在 悦圆粤原员-悦圆井组-悦圆悦原员-悦圆缘原猿-悦圆粤-悦圆井组-悦圆粤原员-悦圆粤原缘-悦圆悦原猿一线,员垣圆 圆 沉积时废弃河道发育,主要分布在研究区南侧(图 缘-员猿);员垣圆 圆 沉积时,河流覆盖面积较大,河道较 员垣圆 单砂体沉积时更宽,两条河道砂带之间决口扇发育,废弃河道在南北两侧分一 缘原一



图缘-员缘 瑶馆上段源两个单砂体沉积结构单元展布图

远馆上段缘^④小层

馆上段缘小层沉积时期水动力较强,河道表现为多期河道叠加,很难分清,划分出的两个单砂体沉积以河道及决口扇为特征。河道弯曲,凸岸决口扇发育,有少量河道间泥质沉积;河道较窄,河道宽度在0~6m之间,馆上段缘单砂体主流线由悦月湾原袁—悦月湾说原圆—悦月湾耘井组—悦月湾部并组—悦月湾碧原员—悦月湾象原缘—悦月湾原员—悦月湾原原并从悦月湾湾原原井流出研究区;而馆上段缘单砂体更复杂,除了与馆上段缘相近的一支河道砂带外,还有一支曲流河砂带从研究区南东方向向北西方向展布,河道主流线经由悦月湾—悦月湾碧井组—悦月湾员碧—悦月湾象原元井一线,在悦月湾部并组与另一支曲流河砂带会合。

馆上段缘小层的两个单砂体表现出了辫状河沉积向曲流河过渡的特点。

苑馆上段缘^續小层

馆上段缘、馆上段缘两个单砂体砂体展布不规则(图缘-员园),河道弯曲,且在本区东南角有分支,泛滥平原和决口扇发育是本小层两单砂体的共同特征,在中部有几片河间洼地泥质沉积,且所占面积不容忽视,河流主流向是南东—北西。

馆上段缘、馆上段缘两个单砂体都表现出两个方向砂体分别从研究区正南和正西向北西方向展布,只不过馆上段缘在圆月井组与另一支曲流河砂带会合,而馆上段缘在员云井组与另一支曲流河砂带会合,都表现出了辫状河沉积向曲流河过渡的特点。

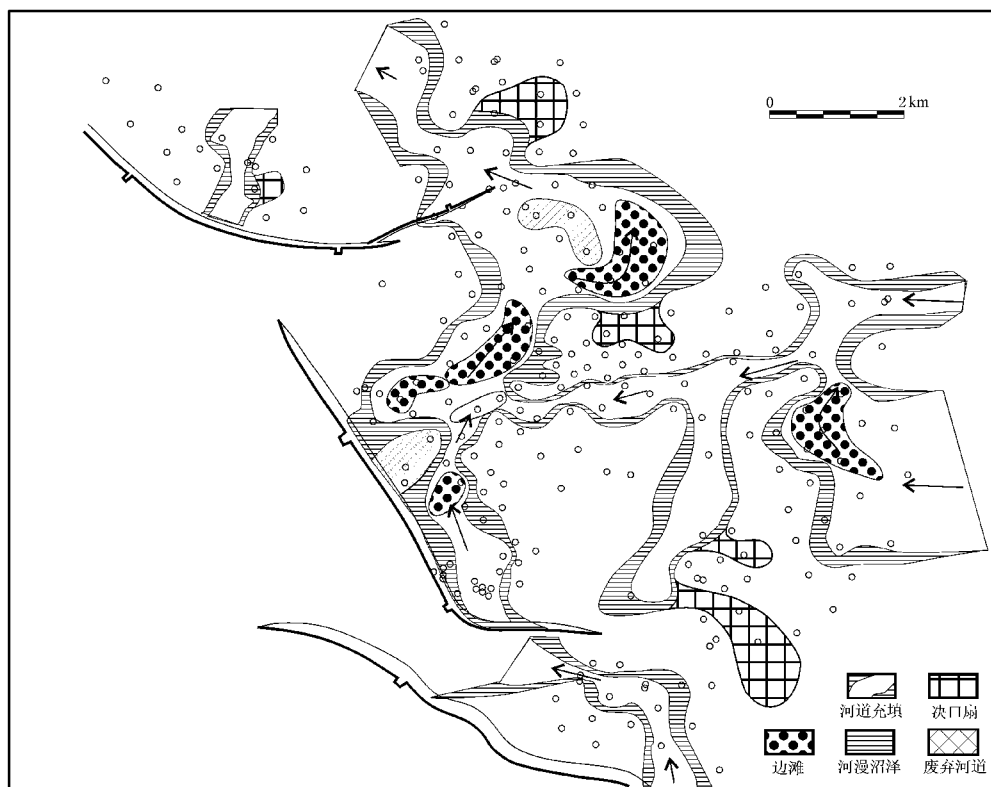


图 缘-员瑶馆上段缘两个单砂体沉积结构单元展布图

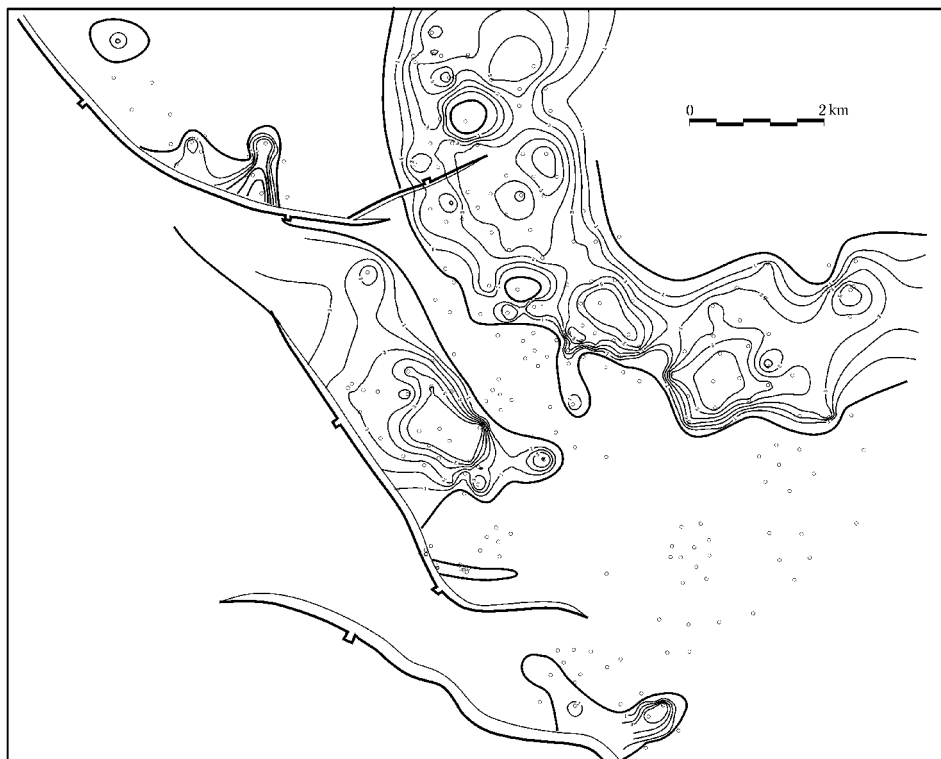
三、埕岛油田河流相储层砂体演化规律

埕岛油田馆上段砂体的沉积受埕北大断层控制,东部上升盘为含油砂体,西部下降盘砂体基本不含油。在上升盘,研究层位主要为曲流河沉积,油砂体面积小而零散,横向变化大、连通较差,河道砂体呈弯曲带状分布,废弃河道砂体呈透镜状分布。

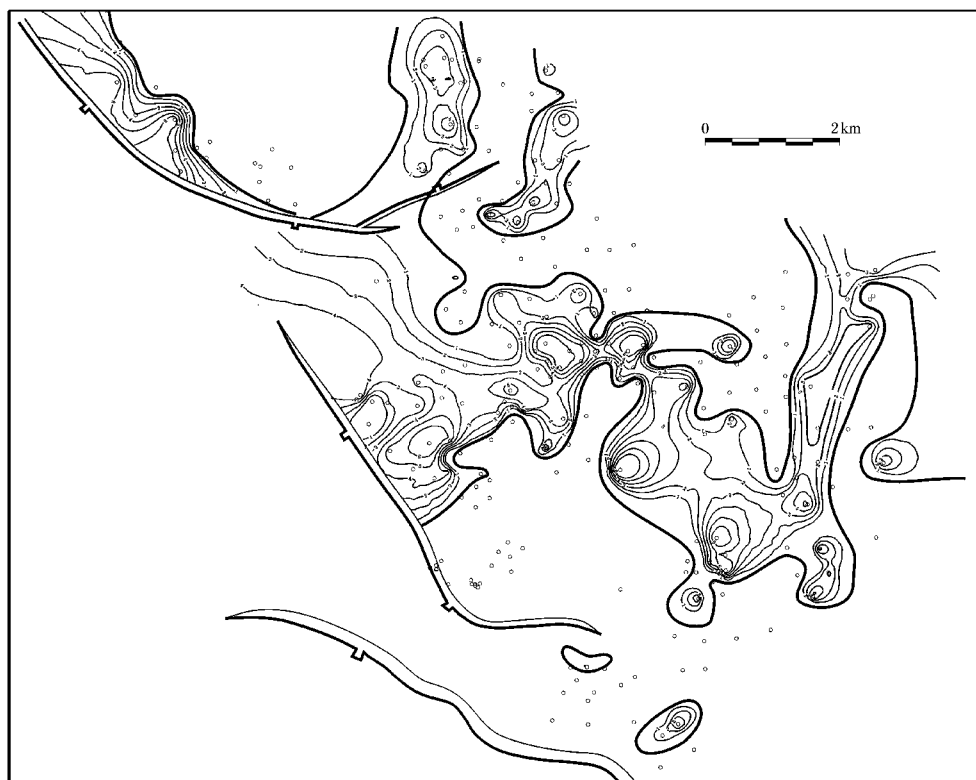
馆上段员垣厶小层单砂体呈“人”字形分布于油区北部,含盖了悦远井组、悦员井组、悦圆井组及悦缘悦圆悦员井组中的部分井,连片主体砂体厚度较大,最厚达苑米,河道边缘较薄,一般小于圆米,南部零星发育透镜状砂体,厚度较小,一般小于圆米。员垣厶单砂体展布形状同员垣厶单砂体相近,分析为两条以上河道砂带以南东—北西向展布,面积更大,分布范围更广(图缘-员)。

馆上段员垣厶小层砂体在埕岛油田中部大面积分布,小层砂体河道边缘较薄,控制范围比较大,绝大部分的是薄砂部分,厚度高点比较分散,砂体连片性较好,不规整,在南北两侧有少量土豆状砂体分布。其中员垣厶单砂体在研究区中部呈东西向分布,员垣厶单砂体连续向北展布,是连续的河道砂沉积,且在油区南部有零星砂体分布(图缘-员)。

馆上段猿小层单砂体窄、短,全区均有分布。馆上段猿单砂体砂体连续性较差,平均厚度较小,虽然最大厚度达员米,但厚度高点零星分布,且范围极小,南北两侧砂体较薄,河道边缘较薄,控制范围较大,砂体连通性较差。馆上段猿单砂体砂体连续性也较差,主体砂体呈条带状,平均厚度较大,最大厚度达怨米,在主体砂体中范围较大,砂体边缘较宽,主体砂体周围零星分布不规则及土豆状砂体,其厚度平均值较低(图缘-员)。



图缘—员瑶馆上段 员垣圆单砂体分布图



图缘—员瑶馆上段 员垣圆单砂体分布图



图 缘-10 馆上段 猿单砂体分布图

摇摇馆上段 猿小层单砂体基本上也是呈南西—北东向展布。馆上段 猿单砂体是分辨比较清晰的一条单一河道砂体,河道曲率不大,为低弯度曲流河沉积,砂体连片性好,主砂体两侧零星发育前期河道的废弃沉积。馆上段 猿单砂体也是分辨比较清晰的一条单一河道砂体,砂体连片性好,但是河道较直,基本上是顺直河流沉积,这导致砂体较上部的馆上段 猿单砂体窄,主砂体两侧零星发育前期废弃河道沉积。研究区内,馆上段 猿单砂体基本上是沿着南侧翼绕过,为高弯度曲流河沉积,在曲流河道颈部发育透镜状砂体,可能是河漫沉积产物,也可能是串沟沉积物,砂体连通性较差(图 缘-10)。

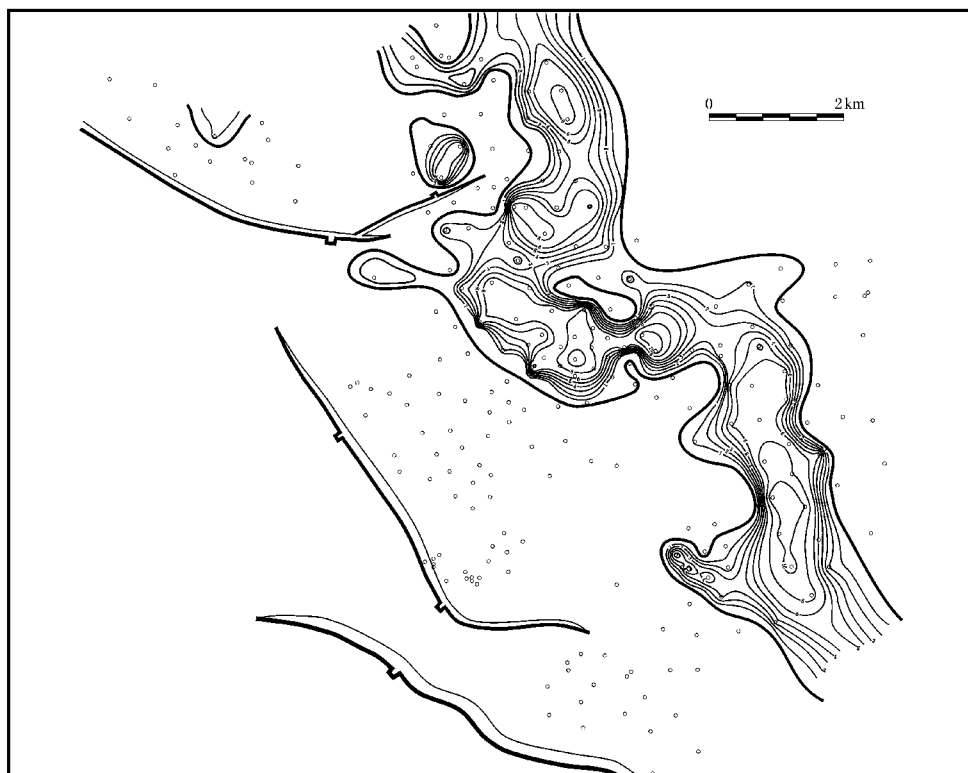
馆上段 源单砂体形状极不规则,多趾状突起,而且厚度不大,主要是河漫和废弃河道沉积物。馆上段 源单砂体呈条带状,沿北西—南东向延展,是识别最好的一条单一河道沉积,河道弯曲程度中等,河道比较宽,可以明显地看出河道侧翼的决口扇沉积体(图 缘-10)。

馆上段 缘单砂体形状不规则,全区都有分布,馆上段 缘单砂体连片性较差,呈条带状分布,大体可以看出高弯度河道沿北—南西向展布,馆上段 缘单砂体在油区中部大体呈“之”字形,明显为高弯度曲流河沉积。

馆上段 缘单砂体分布较广,在南部发散,形成数条分支,两个单砂体都是多期河道叠加的产物,但是由于多期洪泛之间没有长期的泛滥平原沉积,所以各期洪泛之间相互切割、侵蚀,形成了目前形状的砂体。当然馆上段 缘小层的两个单砂体之间存在比较清晰的隔层,所以划分为两个多期洪泛叠加的单砂体(图 缘-10)。



图缘一源馆上段猿单砂体分布图



图缘一源馆上段源单砂体分布图

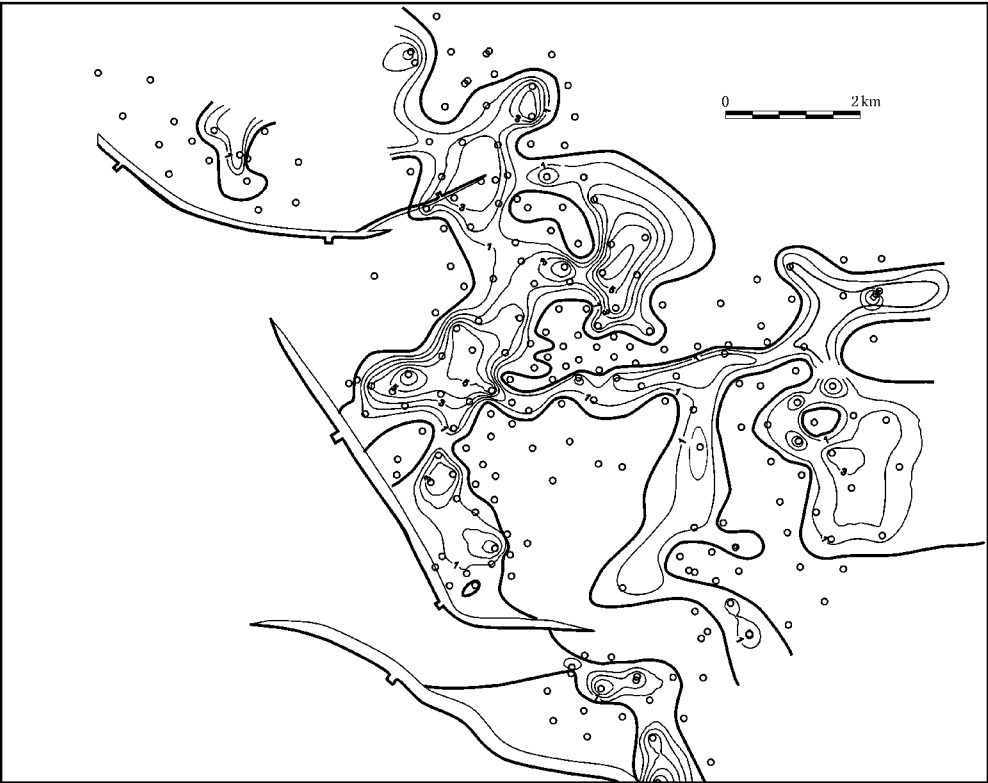
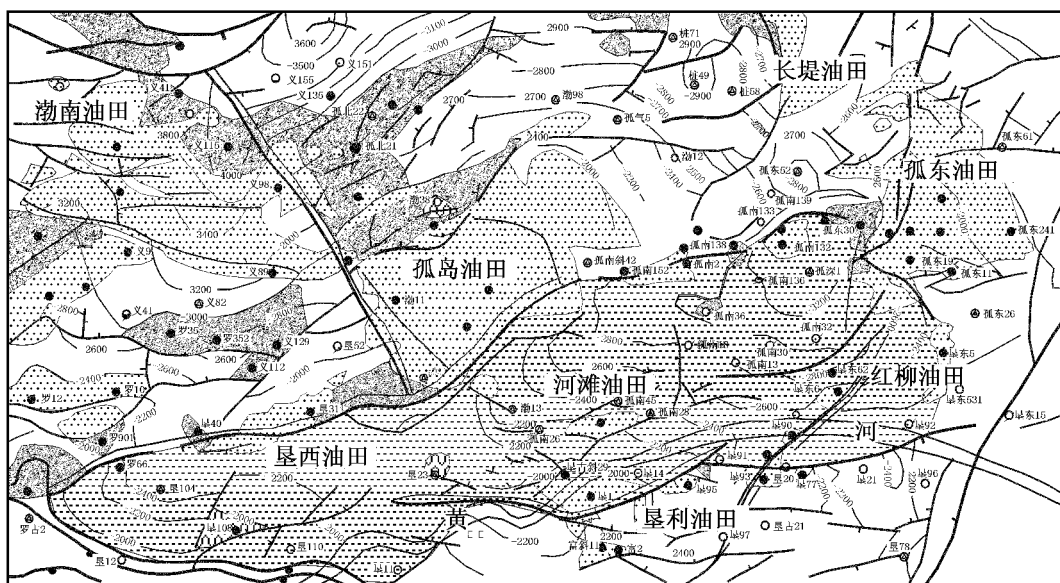


图 缘-圆瑶馆上段缘单砂体分布图

第六章摇孤岛油田馆上段储层非均质模型

孤岛油田地处山东省东营市河口区境内,濒临渤海,在区域构造上位于渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷东部。

孤岛油田是一比较完整的大型披覆背斜构造油气田,是一个以上第三系馆陶组疏松砂岩为储层的大型稠油油气田,整体呈东北走向,披覆于孤岛凸起之上。背斜构造内部发育有多条正断层,组成北东、北西、东西向三组断裂系统(图远-员)。规模最大的是员号、圆号断层,员号断层在背斜的北翼,向北倾斜,圆号断层在背斜的南翼,向南倾斜,断层倾角上大下小,一般为猿园°-苑园°。这两条断层直接控制着孤岛油田的砂体成因类型及油气聚集。



图远-员 摇沾化凹陷东部部分油田构造位置图

根据开发需要,把员号断层以南、圆号断层以北的区域从西向东划分为西区、中一区、中二区和东区四个区块。西区、中一区内部有一些小断层,中二区、东区内部无断层,构造保存完整。

馆陶组上段为砂泥岩互层,砂岩以细砂—粉细砂为主,厚约 圆园-圆缘m。从上到下分远个砂层组,油气主要分布在馆猿馆源砂层组,馆缘砂层组有少量稠油分布。

一、孤岛油田馆上段沉积模型

孤岛地区馆陶组储层沉积模型前人做过大量研究工作,取得了基本一致的观点,即认为该套猿-5m厚的、整体向上变细的地层为河流沉积体系。普遍认为,馆缘-馆愿砂组为辫状河沉积体系,馆猿-馆源砂组为曲流河沉积体系,馆员-馆圆砂组为泛滥平原相沉积。孤岛油田主力开发层系为馆猿-馆缘油组,储集岩性以细粒的粉细砂岩为主。

员蹇层沉积特征

通过对中猿源分源井(猿猿年密闭取心)、中员原员源井、中圆原原缘井、中员猿原源园井、月源井、月猿井、月源井、月猿井、月源井、月猿井等取心井岩心(馆员—馆远砂组)的沉积学观察分析,以及测井相与地质相配合的沉积微相综合柱状图分析,对本区河流沉积体系有了更深入的认识。

岩性成分较为单一,粒度较细,以粉细砂岩为主,岩石成分中石英占缘缘~远缘;长石占猿猿~源缘,岩屑占员缘以上,为长石岩屑砂岩。岩石结构和成分成熟度偏低。粒度概率累积曲线和悦—酝图反映了典型的牵引流特征。砂层底部一般为三段式,砂层中上部多为两段式。粒度中值馆员垣垣砂组较细,一般小于园猿皂,馆猿—馆远砂组一般为园猿~园猿皂,馆缘—馆远砂组一般为园猿~园猿皂。粒度中值等结构参数见表远—员

表远—员摇馆陶组上段油层岩石结构参数(据李兴国等,员圆)

参数	馆员垣垣砂组	馆猿砂组	馆源砂组	馆缘砂组	馆远砂组	合计
粒度中值(皂)	园猿	园猿	园猿	园猿	园猿	园猿
分选系数	员猿	员猿	员猿	员猿	员猿	员猿
孔隙度(豫)	猿猿	猿猿	猿猿	猿猿	猿猿	猿猿
空气渗透率(伊园 ^猿 μ皂)	员猿	员猿	员猿	员猿	猿猿	员猿
泥质含量(豫)	怨怨	员猿	员猿	怨怨	愿园	怨怨
碳酸盐岩含量(豫)	园猿	员猿	园猿	员猿	园猿	员猿

孤岛油田馆陶组砂层具有明显的向上变细变薄的层序,底部为冲刷面,冲刷面之上偶见泥砾沉积,向上由中、细粒砂岩逐渐变为细、粉砂岩至纯泥岩,表现为明显的二元结构,下部单元为河床亚相以侧向加积为主,上部单元为堤岸和河漫亚相,以垂向加积为主。

根据对孤岛油田馆陶组取心井的岩心观察,馆猿—馆源砂层组的沉积构造自下而上发育平行层理、槽状交错层理、爬升层理、波纹层理,顶部为具有平行层理的泥岩。馆缘—馆远砂层组的沉积构造则以近水平层理和板状交错层理为主。

由于河道的多次往复迁移以及侧向加积作用,造成河道砂体平面多呈现不规则带状,边缘不规则。砂体剖面也呈不对称状,凹岸沉积较厚,凸岸沉积较薄,剖面上单砂体呈板状或透镜状,各单砂体叠置或拼接。

圆沉积结构单元

综合应用储层沉积微相研究方法,将孤岛油田馆陶组河流相储层归纳为四种亚相、八种沉积结构单元(图远—圆)。

员河床结构单元

馆猿馆源砂层组中的主力油层均发育此亚相,根据砂层的形成机理、沉积特征和物性等,又具体细分为两个微相。

(员)谷底滞留沉积结构单元摇河床中的主流线偏向凹岸一侧,在凹岸侵蚀最剧烈,切割最深,形成深槽。泥砾在深槽沉积下来,沉积于河床底部,呈断续的透镜体状分布,位于层序最底部,冲刷面之上。

(圆)边滩沉积结构单元摇边滩是曲流河中最主要的沉积产物,是河床侧向加积的必然产物。河水在河道中呈螺旋状前进,不断地对凹岸进行冲刷侵蚀,又由于横向环流将河流中的碎屑物质搬运到凸岸沉积,形成边滩。由于底流在侧向运动中强度逐渐减弱,因而引起机械分异— 远源—



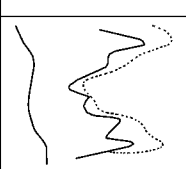


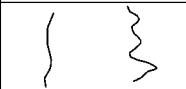
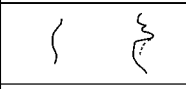
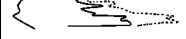

结构单元类型				岩 相 特 征				古生物	含油性	电 相 特 相
相	亚相	结构单元		颜色	结构	沉积构造	沉积层理			
河 流 相	河	边	滩脊	浅灰色、原油污染	细砂岩，分选中等	交错层理、平行层理	向上变细	化石少、植物屑	含油	
			凹槽	灰色、原油污染	细砂岩、粉砂岩，分选差	小型交错层理	向上变细	化石少、植物屑	含油	
		床	谷底滞留	灰色、原油污染	含泥砾中细砂岩，分选很差	正粒序层理、冲刷构造	向上变细	化石少	含油	
	堤岸	天然堤	灰绿、灰黄	泥质细砂岩，分选差	上攀层理、小型沙纹层理	向上变细	植物杆、植物屑	油浸、油迹、油斑		
		决口扇	灰绿、灰黄	泥质细砂岩，分选差	交错层理、冲刷构造	向上变粗	植物杆、植物屑	油浸、油迹、油斑		
	泛滥平原—盆地	泛滥平原	暗紫红色、杂色	质不纯	块状小型沙纹层理	上部单元	化石少	夹层、隔层		
		泛滥盆地	浅灰色、灰色	质较纯	水平层理、页理	上部单元	植物化石丰富	隔层、夹层		
	废弃河道	下部	浅灰色		水平层理	上部单元	植物屑	夹层		
		上部	浅灰色		小型交错层理	向上变细	化石少	含油		

图 远—圆摇孤岛油田馆陶组储层特征及沉积微相

作用。在边滩下部 ,沉积的是相对较粗粒的物质 ,而其上部沉积的是较细物质。孤岛油田馆陶组源砂组的边滩极其发育 ,是最主要的沉积单元。自然电位曲线幅度大 ,呈箱形和钟形 ,微电极曲线上幅度差大。

根据边滩沉积的特点 ,又可将边滩细分为滩脊和凹槽。凹槽位于两期形成的滩脊之间 ,它与滩脊相比在储层性质上差异较大。

圆)堤岸结构单元

堤岸沉积多发育在曲流河的凹岸一侧 ,在凸岸多为边滩的上部或顶部沉积。根据砂体沉积特点可分为天然堤和决口扇两种结构单元。

(员)天然堤结构单元摇孤岛油田天然堤砂体仅次于边滩砂体居第二位。天然堤是由于洪水期河水漫越河岸后 ,河水变浅 ,流速突降 ,携带的大部悬移物质很快在岸边沉积下来而形成的。其主要发育于凹岸一侧 ,其沉积物粒度比边滩细 ,比远离河道的泛滥盆地沉积物粗 ,主要由粉砂和泥质层组成。小型波状交错层理、爬升波纹层理和水平层理发育。在自然电位曲线上呈指形或齿化钟形 ,微电极曲线表现为幅度差较小。天然堤在剖面上呈楔状 ,远离河床方向

厚度变薄 粒度变细 过渡为河漫滩沉积。

(圆)决口扇结构单元摇高水位时 洪水冲决天然堤形成的扇形沉积体 其最大特征是具典型的下细上粗反粒序 与天然堤共生。其粒度介于河道和天然堤沉积之间 厚度一般不大 从十几厘米到几米。层理主要是小型交错层理。在电测曲线上表现为齿化漏斗形 幅度差小。孤岛油田比较少见。

獠泛滥平原—盆地结构单元

该亚相是本区重要的隔层和夹层 对地下油水运动有重要影响。是洪水期洪水漫过天然堤后在堤外广大平原区和低洼区形成的沉积。泛滥盆地是其中的低洼部分 其沉积物比天然堤更细 颜色为浅灰色、灰绿色。泛滥平原沉积物多呈暗紫红色或杂色。在电测曲线基本上无幅度差。

源废弃河道结构单元

该亚相周围为泛滥平原—盆地结构单元 在纵向上可具体细分为上部和下部 其中下部沉积物粒度相对较粗 物性相对较好 可作为一种类型的储层 其上部为泥质层。电性曲线表现为锯齿状的钟形 与活动河床相比储层厚度较小。

獠沉积体系

馆陶组河流沉积体系的空间展布受控于由区域构造演化所造成的地貌特征。渤海湾地区在东营组末区域抬升剥蚀之后 出现准平原化 为上第三系的馆陶组(獠)在全盆地大范围发育河流沉积体系创造了条件 事实上在该区馆陶组普遍发育了较厚的河流沉积物。从空间展布上看 馆陶组河流体系的主向要走为近南北向或北北西—南南东向。物源可能是西北部的燕山、吕梁山区。区域勘探资料证实黄骅坳陷馆陶组沉积物粒度粗于南部的济阳坳陷 也证明了河流的物源主要来自北部。

孤岛地区整个馆陶组河流沉积层序总体上是一完整的向上变细序列(图 圆—獠) 自下而上由辫状河(馆 愿—馆 缘砂组)向曲流河(馆 源—馆 獠砂组)过渡 顶部可以出现网状河 砂泥比由 苑缘过渡到 愿缘左右 砂体厚度由大到小 砂体横向连续性也相应变差。这一特征在单井和三维地震剖面中表现的较明显(图 远—獠、图 远—源)。

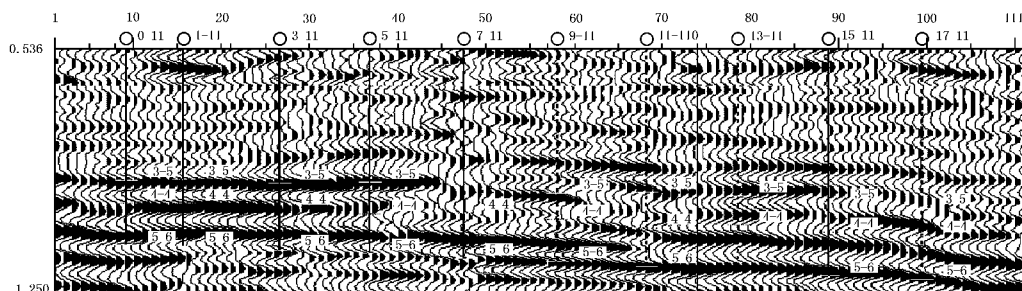
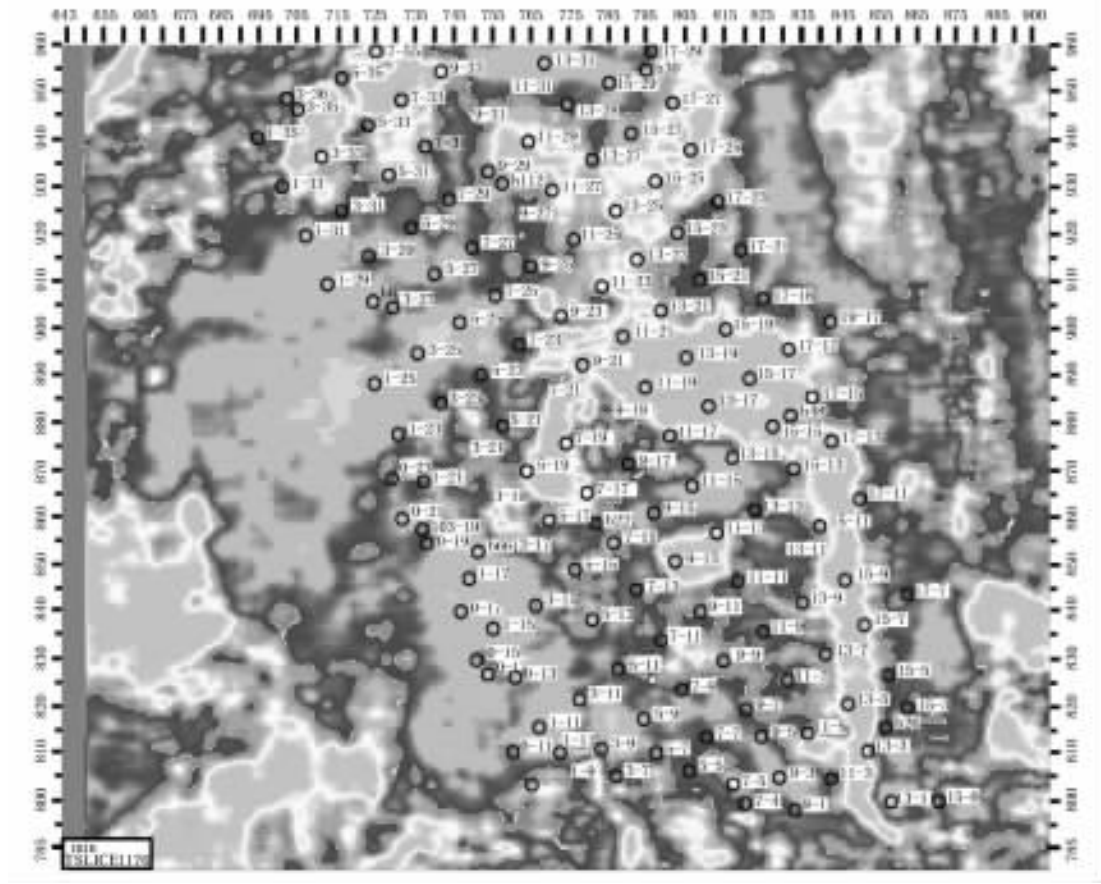


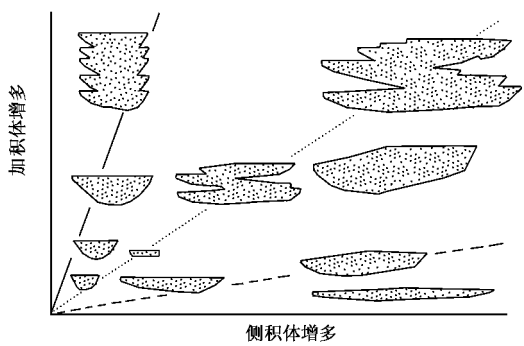
图 远—獠 馆上段横向(獠—苑)地震剖面图

但对地层进一步细致分析就会发现 馆陶组河流沉积体系的演化是脉冲式的 并不完全是渐变的 且由于河道的迁移不同位置的垂向演化是不同的。其中 馆 獠、馆 獠、馆 源、馆 源、馆 缘、馆 愿六层砂体厚度大、面积大 是最好的一类油层 其石油储量占全油田储量的 苑缘左右。

这些砂体对应着沉积体系的活跃发育段 是脉冲沉积的高峰期。而在脉冲沉积稳定期发育着正常渐变式的河流体系。沉积体系脉冲式发育模式可以较好地解释本区河流体系的垂向演化过程。



图远-源 馆上段馆 缘砂组地震水平切片



图远-缘 河道垂向加积、侧向迁移与砂体宽度、厚度的关系

垂向上砂体的脉冲式发育现象,从沉积过程上看是沉积体的垂向叠加和侧向迁移的结果。砂体厚度大表示垂向加积作用强,连续性好(即宽度大)说明侧向迁移作用强。加积和侧积二者对砂体的联合控制作用可用图远-缘表示。这一过程从成因机制上讲,基底沉降速率(月)与沉积物沉积速率或供给速率(杂侧)的平衡关系是控制砂体空间展布的根本原因。这就解释了沉积序列中河道冲蚀力不强、“底座”厚度大而均一的现象。基底沉降速率受全区构造(局部为断裂活动)升降的控制

表现为大范围全区性的变化,因此可进行全区性的对比,是控制层序发育的基础。沉积物沉积速率受控因素很多,除了物源供给量、古气候、古地貌、沉积部位等因素外,同时还受构造沉降的控制。河流体系的高分辨率层序地层学分析为详细解释沉积体系的空间展布及垂向演化规律提供了好的可行的方法(悦解释员恩路)。

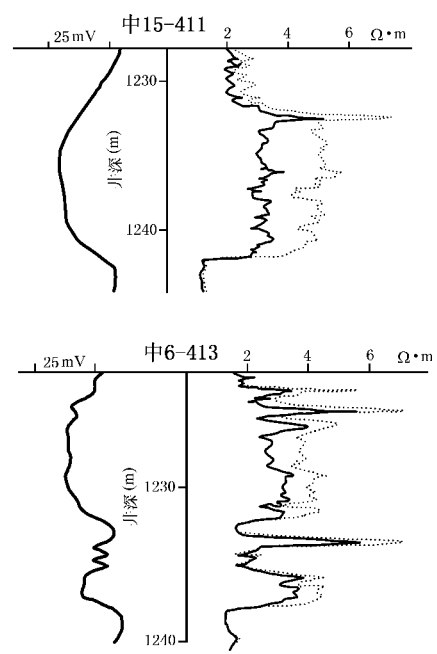
源 沉积结构单元与剩余油

沉积结构单元对剩余油分布的控制作用主要表现在以下几个方面:

①砂体的外部几何形态,主要指砂体顶底界面的起伏形态、幅度控制剩余油分布和影响注水井和油井生产(这部分内容见微构造研究部分)。

②砂体的延伸方向和展布规律对地下水油运动的影响。沿边滩滩脊的长轴方向砂体连通性好,孔渗性高,易水淹,而在边滩的短轴方向上由于滩脊和凹槽相间排列,砂体连通性受到凹槽的分割,孔渗性变化较快,水淹程度相对较弱。这一点在井网相对较稀的情况下,砂体的延伸方向及展布规律对地下流体运动的控制作用更加明显。

③砂体内部结构主要是垂向上的沉积层序对剩余油分布的控制作用。由于河流相储层具有典型的向上变细变薄沉积层序,中、下部为高孔高渗段,易水淹,而上部成为剩余油富集部分。然而由于河流的冲刷作用、侧向加积作用、迁移和改道作用导致垂向上岩相的组合不仅仅是一种简单的类型,在总体上呈向上变细变薄的沉积层序,内部由于夹层的分布,对剩余油分布和油井生产有很重要的影响,如中远原原和中员象原原两口油井,漂层的内部结构不同,以及顶底形态不同导致生产状况截然不同(图远-远)。



图远-远 漂层内非均质与剩余油分布

④不同结构单元的井生产情况不同
滩脊砂体油层厚度大,原始含油饱和度高,投产初期产量高,但见水快,易水淹。而凹槽附近的井由于不渗透或渗透性差的层的遮挡作用,对阻止锥进起到一定作用,油井生产比较稳定。天然堤结构单元砂体油层薄,砂岩和泥岩间互出现,有一定的累积油层厚度,投产初期含水较低,但产量递减快,往往通过换大泵排液后转注生产。废弃河道砂体在侧向上呈孤立状砂体,往往与其下部油层合采。边滩砂体是孤岛油田,是最主要的储集砂体,剩余石油储量也主要分布在边滩砂体中。

二、孤岛油田馆上段微构造模型

自从李兴国于1981年提出油层微型构造以来,它已经引起广大石油地质工作者的广泛重视。由于微型构造对油井生产和剩余油分布有一定的控制作用,有关微型构造的研究也在不断深化。从名称上看,它似乎属于构造研究范畴。实际上,微型构造的成因是在砂体沉积前的下切作用、差异压实作用和沉积古地形的影响下形成的,与构造作用力无关(李兴国,1981)。本书研究的微构造实质上是指小层沉积作用过程和沉积条件及其对剩余油分布和油井生产的控制作用,其成因主要与河流的沉积作用过程和沉积条件以及差异压实作用有关。

微构造研究目的是揭示沉积单元的顶底起伏形态对地下油(气)水运动规律和剩余油分布的控制作用以及对油水井生产的影响,从而指导该区剩余油挖潜开发生产。

与以往的微构造研究相比,本书以中一区、南区、东区为例,着重研究在新的油藏描述成果油砂体数据表的基础上,逐口井进行了海拔高度和补心高度以及井斜的校正,在密井网条件下,以10m等深线精确地刻划出小层沉积砂体顶底的形态,在分析微构造与剩余油分布和油井生产的关系时,特别强调砂体顶部和底部形态的组合模式对剩余油分布和油井生产的控制作用,而不是简单地依据砂体顶部或底部形态分析它与剩余油分布及油井生产的关系。在考虑

井网条件和其他地质条件的情况下,分析不同的微构造模式对剩余油分布的控制作用。

员 顶底微构造形态类型和特征

中一区在区域构造背景上为 员号 和 圆号 断层夹持的单斜垒块,区内构造相对简单平缓,由南向北倾斜,倾向 员段 圆段 以主力小层为单元的储层顶底起伏形成局部的高点、鼻状、斜面、低点及沟槽等微型构造形态。南区位于孤岛南翼大断层西段以南,区内有 员条 断层,将南区切割成 缘个 断块,每个断块都有自己的构造高点,总趋势是南高北低。根据孤岛油田的特征归纳出微型构造的形态类型和特征如下。

员 正向地形

指储层顶底起伏形态与周围相比地形相对较高的地区,根据其形态不同又可分为高点、鼻状或断鼻构造。高点指地形高于周围、而又闭合的微构造单元。幅度差一般为 圆~ 远,高者可达 员,闭合面积一般为 园至 园。中一区的南边高点闭合面积往往较大。鼻状构造指地形上相对高于周围,但不闭合的微构造单元,一般与沟槽微构造单元相伴生。中一区鼻状构造单元较低缓,倾向为 圆段 猿段,面积相对较大,一般为 园至 园。断鼻构造是指由断层和鼻状构造共同组合成的构造单元,有一定的闭合高度,在南区广泛发育。

圆 负向地形

指储层顶底相对较低的地区,根据其形态不同可分为低点和沟槽。低点是相对于高点的一种微构造单元,其地形低于周围而又闭合,其幅度一般为 圆~ 源左右,闭合面积较小,一般呈狭长条形。低点一般是河道下切形成的低洼处。沟槽为对应于鼻状构造的微构造单元,其形态与鼻状相对应,只是方向相反,是不闭合的低洼处。

猿 斜面地形

中一区这种微构造最为发育,这与其区域构造背景有关,其倾向倾向均与区域背景相一致。南区因断层较多,地层变化复杂,因此斜面地形变化也较复杂,一般仅在边缘地区有分布。

圆 顶底微构造组合配置模式

大量研究发现,储层的顶底微构造及其配置组合模式对油井生产和剩余油分布都有影响。根据对孤岛油田中一区、南区的主力小层顶底微构造研究,将微型构造组合模式分为如下几种。

员 顶凸底凸的双凸型

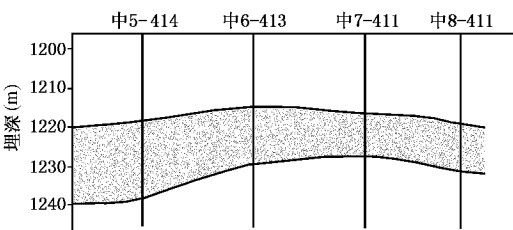
即储层顶底面均为高点,此类组合模式往往高产稳产。如中一区的中 远源 原井就处于这种微构造单元(图 远-苑),该井于 员段 年 员月投产馆陶组 源砂组 源小层,投产初期的含水率为 园,随着注水开发,其含水率上升,员段 年 员月综合产水率为 怨,日产油 员,累积产油量 员,可以看出该井是一口相对高产稳产井。

圆 顶凸底平型

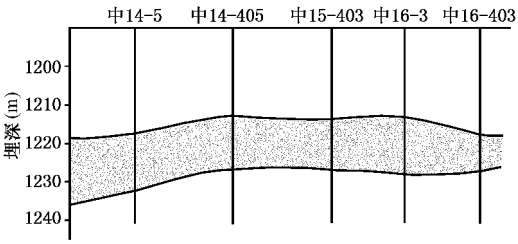
储层顶面为相对高点,储层底面平缓或稍微倾斜,此类组合模式也常高产稳产。如中一区的中 员源 原井(图 远-愿),于 员段 年 员月投产馆陶组 源砂组 源小层,投产初期产水率为 园,至 员段 年 员月产水率为 愿,日产油 员,累积产油 怨。

猿 顶平底凸型

即储层顶面起伏平缓,而底面为相对高点。该微型构造模式产油量较高,含水率低,剩余油相对富集,如中一区的中 缘源 原井(图 远-怨),员段 年 源月投产馆陶组 源砂组 源小层时含水率为 缘,日产油量达 园,而同期投产的井如中 远源 原井的馆陶组 源砂组 源小层的微型构造模式为顶底均为斜面型,含水率为 愿,日产油仅 源。



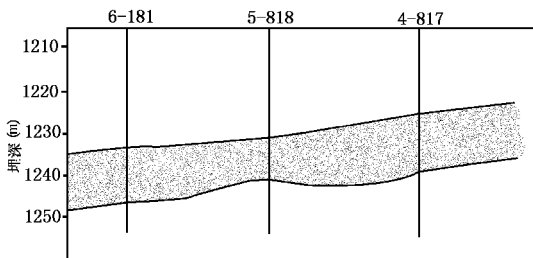
图远一源双凸型微型构造组合模式



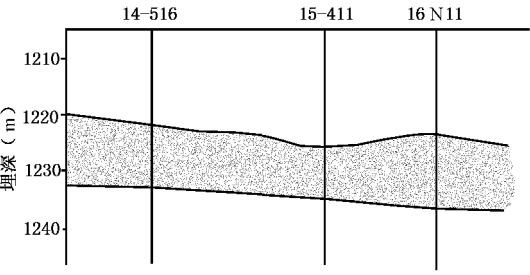
图远一源顶凸底平型微型构造组合模式

源顶凹底平型

储层顶面为低点，底面平缓。该类微型构造模式往往含水上升快，剩余油分布较少，如中一区的源原井(图远一源一源) 1983年 10月投产馆陶组 源砂组 源小层时含水率为 0.1%，但含水上升很快，1985年 10月含水率超过 0.2%，至 1986年 10月含水率高达 0.3%，因此转采其他层系。



图远一源顶平底凸型微型构造组合模式



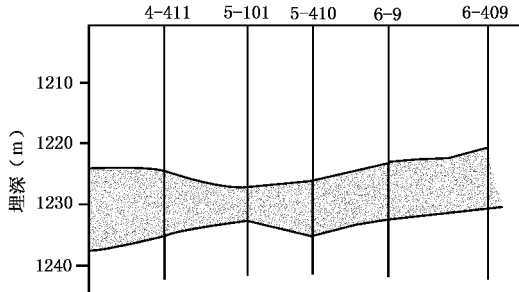
图远一源顶凸底平型微型构造组合模式

源顶凹底凹双凹型

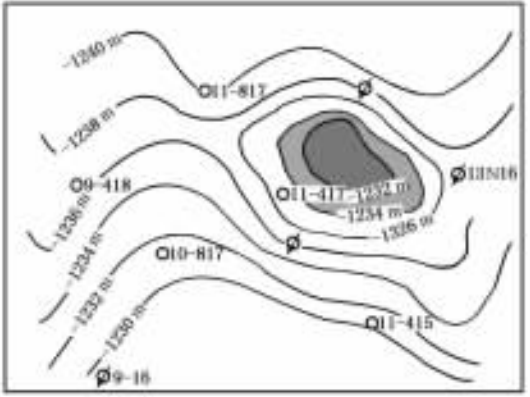
即储层顶底均为低点。该类微型构造模式往往含水上升快，易水淹，剩余油分布较少，如中一区的源原井(图远一源一源) 1983年 10月投产馆陶组 源砂组 源小层时含水率为 0.1%，至 1985年 10月含水率已达到 0.2%，日产油 10吨，累积产油 100吨，显然，与同期投产的位于前几种微构造模式的井相比，该井含水上升快。

源顶底均为鼻状凸起型

该类微型构造模式往往剩余油相对富集，如中一区馆陶组 源砂组 源小层的中 源原井(图远一源一源)与邻井中 源一源相比，含水率相近，但日产油量较高。



图远一源顶凸底凸型微型构造组合模式



图远一源顶底均为鼻状凸起微型构造模式

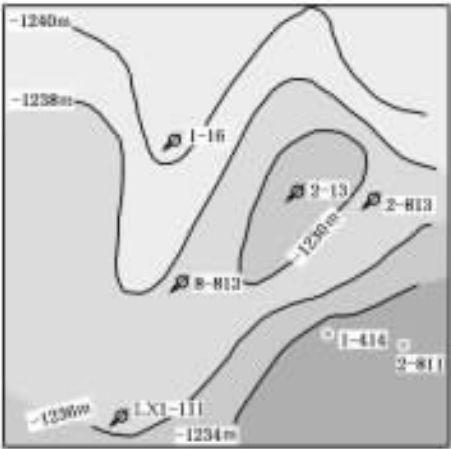


图 远-员瑶顶平底沟槽微型构造模式

苑顶平底沟槽型

储层的顶面平缓 ,地底为不闭合的沟槽。该类微构造模式常易水淹 ,剩余油较少 ,如中一区的中 园-愿范井(图 远-员猿),员愿园年 缘月投产馆陶组 源砂组 源小层时含水率为 怨园豫,远远高于同期投产井 圆-愿员(为双凸型)。

猿微构造模式对剩余油的控制

在分析储层微构造模式与剩余油分布的关系时 ,应考虑注采井网、油井和注水井的距离、注入水量、注水流线以及其他地质因素等的影响。总之 ,应选择可比性强的井例对比分析 ,从而得出储层微构造模式与剩余油分布及油井生产的关系。

员微构造模式与剩余油分布的关系

通过实际生产资料验证 ,发现在微构造模式中双凸型为剩余油富集区 ,顶凸底平型次之 ,顶平底凸型也是剩余油相对富集区。顶凹底平型油井生产情况差 ,水淹程度较高(表 远-圆)。双凹型是水淹程度最高区。顶底均为鼻状的微构造模式的剩余油富集状况略好于斜面单元 ,介于凸型和双凹型之间。

表 远-圆瑶中远不同储层微型构造模式的生产数据对比表

井号	储层顶底形态	油层厚度(皂)	投产时间	投产初期			员愿圆年 愿月底数据						员愿源年 缘月底数据					
				日产油	日产水	含水率	日产油	日产水	含水率	累积产油	累积产水	日产油	日产水	含水率	累积产油	累积产水	日产油	日产水
				(贼)	(皂 ^豫)	(豫)	(贼)	(皂 ^豫)	(豫)	(贼)	(皂 ^豫)	(贼)	(皂 ^豫)	(豫)	(贼)	(皂 ^豫)	(贼)	(皂 ^豫)
中 远原源	双凸形	愿皂	员愿圆年 猿月	猿	园	园	园	员	员	怨	员	员	员	怨	员	员	员	员
中 员缘原源	顶凸底平	愿皂	员愿圆年 猿月	猿	园	园	园	员	员	怨	员	员	员	怨	员	员	员	员
中 员缘原源	顶凹底平	愿皂	员愿圆年 猿月	猿	园	园	园	员	员	怨	员	员	员	怨	员	员	员	员

圆储层微构造与油井生产的关系

随着注水开发的进行 ,含水率上升 ,储层微构造模式对油井生产的影响增大。例如中 远原源井与中 员缘原源井微构造模式不同 ,尽管微构造起伏不大 ,但含水率上升幅度不同 ,累积产量差异很大。至含水率普遍上升到 怨园豫以上时 ,超低、低幅度的微构造起伏对油井的影响大大减小 ,而受动态因素的影响明显增强 ,如中 缘原愿井与中 远原愿井的生产对比(见表 远-猿)。但是起伏幅度较大的微构造仍对油井生产有影响作用。

表 远-猿瑶中远不同含水时期不同储层微型构造模式的油井生产情况

井号	储层形态	砂层厚度(皂)	投产时间	投产初期			员愿圆年 员月			
				日产油(贼)	日产水(皂 ^豫)	含水率(豫)	日产油(贼)	日产水(皂 ^豫)	含水率(豫)	累积产油(贼)
中 缘原愿	顶平底凸	员皂	员愿圆年 员月	园	猿	猿	猿	员	怨	园

中远源	平缓	猿	猿	源	源	猿	猿	猿	猿	猿	猿
-----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

三、孤岛油田馆上段非均质模型

沉积微相、油层微型构造及流体性质等各种地质因素综合表现出油藏内部的不均一性 ,影响到流体渗流 ,控制了剩余油分布 ,围绕着揭示油藏内部的不均一性及其对剩余油分布的控制 ,本书主要讨论以下几方面的问题。

砂体空间展布的非均质性

根据沉积微相等方面的研究和分析 ,孤岛油田砂体的空间展布规律可概括如下。

猿组 :存在三个旋回期次。馆 猿为弯曲度较大的曲流河主河道 ,总体表现为 杂型展布 ,河道厚度 圆~ 源,宽度下部 远,上部仅 猿。馆 猿曲流主河道向北退缩 ,南部无河道砂体。馆 猿时期 ,曲流河在中西部南北贯通展布 ,厚度仅 圆左右 ,馆 猿仅有次级短河道存在。馆 猿到 猿以较窄的次级河道为主。

源组 :总体表现为一个上升到稳定的旋回。馆 源是本层最主要的砂体 ,为较宽的主河道 ,表现为大型曲流河性质 ,河道宽 猿~ 猿左右 ,厚度较均一 ,为 源左右 ,大面积南北向展布 ,到 源时期河道向西北方向明显退缩。馆 源至馆 源河道进一部萎缩 ,主要为较窄的曲流河主河道和次级河道 ,河道宽 缘~ 缘,厚 圆~ 源,多为南北向展布 ,少数近东西向。

缘组 :较宽的辫状主河道大面积分布 ,明显分为两个旋回 ,一是馆 缘至馆 缘 ;二是馆 缘至馆 缘。馆 缘、馆 缘主河道在本区中西部大面积南北向展布 ,宽大于 缘,厚度为 源~ 远,发育厚度大于 远的心滩坝。到 缘河道有所萎缩。馆 缘时期主河道又相对发育 ,主要在中东部展布 ,河道宽度和厚度与前者相当 ,但大于 远的心滩不发育。馆 缘、馆 缘河道明显萎缩 ,以次级河道和溢岸微相为主。

为了便于更好地研究砂体非均质性 ,本书对砂体非均质性参数进行了定量统计、计算和对比 ,并以时间地层单元为尺度进行参数比较。

河道深度(厚度)阅:用砂体最大厚度代替 ,可在砂岩等厚图中确定。

河道宽度 宰:用宽度代替 ,可在微相平面图中确定。

以东区为例 ,通过 园层过南(杂猿号井)、北(晕源号井)剖面线河道砂体宽度和厚度的统计 ,结果见表远~源表远~缘表远~远

表 远~源 馆 猿组河道砂体宽 宰(皂)比统计表

小层号	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿	馆 猿
宽 宰(晕)	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
宽 宰(杂)	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿

表 远~缘 馆 源组河道砂体宽 宰(皂)比统计表

小层号	馆 源	馆 源	馆 源	馆 源	馆 源	馆 源	馆 源	馆 源	馆 源
宽 宰(晕)	源	源	源	源	源	源	源	源	源
宽 宰(杂)	源	源	源	猿	猿	猿	猿	猿	源

表 远~远 馆 缘组河道砂体宽 宰(皂)比统计表

小层号	馆 缘	馆 缘	馆 缘	馆 缘	馆 缘	馆 缘	馆 缘	馆 缘
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

宽 带 (毫)	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层
宽 带 (毫)	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层	源 砂 层

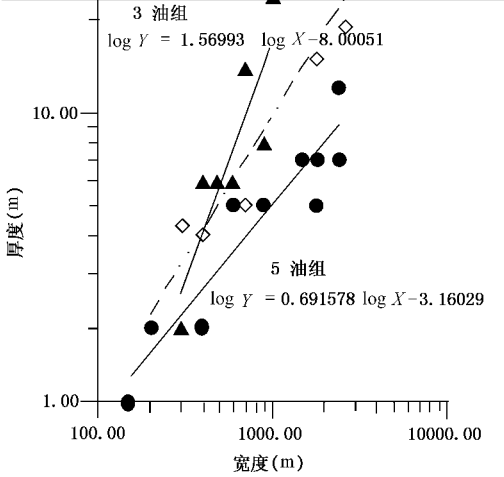


图 远—员 孤油砂体规模河道宽度与厚度的关系图

摇摇由图 远—员可知 ,同一种油砂体规模的河道宽度与厚度在双对数坐标上明显为直线关系 ,并由 缘油组到 猿油组直线斜率逐渐增大 ,反映河道宽度的变化对砂体厚度的影响更加敏感。

圆 储层平面非均质性

孤岛油田馆陶组河流相储层的砂体发育程度及砂体连通性差异很大 ,平面非均质性强弱不同。以中一区为例 ,馆陶组 源砂层组 源小层 (漂) 砂体最发育 ,连通性最好 ,平面非均质相对较弱。因此 ,漂层采出程度高 ,平均采出程度大于 源缘 ,相当一部分地区已达到 缘缘以上 ,只是在边角部分由于井网等因素造成采出程度较低。而其他小层的砂体连通性差 ,动用程度也差 ,剩余油相对富集

如中 怨源远中 员苑原愿中 怨源苑井区的馆陶组 猿砂组 猿小层 (猿) 位于砂体尖灭区附近 ,水淹程度低。员怨怨年 源月中 怨源远井投产 猿层时含水率为 园 ,日产油 员猿吨。中 怨源远井位于河道边缘 ,注入水沿边滩长轴方向高渗段指进 ,其注入水未波及到河道边缘 ,剩余油相对富集。员怨怨年 苑月投产时 ,含水率为 园 ,日产油 圆吨。砂体连通性相对不如 漂小层 ,其产出程度相对较低 ,剩余油分布和油井的生产受平面非均质性的影响很大。

储层渗透性差异是引起储层平面非均质性的主要原因。孤岛油田储层渗透性差异大 ,注入水沿高渗段指进 ,造成水驱程度不均一 ,高渗区水驱程度高 ,低渗区水驱效果较差 ,造成剩余油相对富集。当油井、水井均位于高渗区时 ,其采出程度相对较高 ,如 园源缘员源远圆源缘圆源猿猿源缘井区 ,其剩余油饱和度小于 猿缘。当水井位于高渗区 ,而油井位于低渗区 ,注水见效差 ,油井区剩余油相对富集 ,其中水井 远源缘远源缘苑源猿渗透率均大于 缘园伊园 皂,而油井 愿源缘怨源源渗透率小于 猿园伊园 皂,其剩余油饱和度大于 猿缘 ,局部可大于 缘缘。当油、水井均位于低渗区时 ,其注水程度和采出程度都相对较低。油井处于高渗向低渗过渡区时 ,其产量相对较高 ,水淹程度弱 ,如 苑源缘井 员怨怨年 圆月投产时 ,日产油 猿吨 ,含水率为 园。由此可见 ,渗透性差异是造成平面上剩余油相对富集的重要原因。

猿 层间非均质性

层间非均质性是指垂向上触及砂体之间的差异性。由于储层特征的差异 ,在开发过程中往往几个砂层同时开采构成开发层系 ,以孤岛油田中一区馆 猿—源砂层组为例 ,馆 猿—源砂层组分为两个开发层系 ,两个砂岩组之间的隔层分布比较稳定 ,层间非均质性强。

员 馆 猿砂层组层间非均质

馆 猿砂层组划分为 缘个小层 ,其中 猿层砂体最发育 ,猿层次之 ,这两小层为馆 猿砂组的主力油层。馆 猿砂组各小层的储层参数平均值见表 远—苑。馆 猿各小层之间 ,特别是 猿与 猿、猿与 猿之间隔层厚度分布不稳定 (表 远—苑) ,由于河道的冲刷、下切作用 ,造成小层与小层间砂体叠置。造成的层间非均质性更为复杂 ,中一区统计的 缘园口井内 ,层间砂体叠置的井有 源口 ,占 员缘。

表 远—苑瑶旱獭各小层原始储层参数

参 数 \ 小 层	獭	獭	獭	獭	獭
储层厚度(皂)	员獭员	源獭愿	远獭园	源獭远	怨獭远
泥质含量(豫)	园獭源苑	员獭源苑	员獭源员	员獭源远	员獭源员
粒度中值(皂皂)	园獭源园	园獭源员	园獭源缘	园獭源苑	园獭源园
孔隙度(豫)	园獭源园	园獭源苑	猿獭源园	猿獭源愿	猿獭源园
渗透率(伊园 ^肆 μ皂 ^圆)	源獭员源远	缘獭源苑	苑獭员源苑	缘獭源苑	怨獭源源
有效厚度(皂)	员獭源员	猿獭源园	缘獭源愿	源獭源员	愿獭源远
含油饱和度(豫)	缘獭源猿	缘獭源园	苑獭源怨	远獭源源	苑獭源园
渗透率变异系数	员獭源园	园獭源园	园獭源园	园獭源猿	园獭源源
渗透率突进系数	园獭源愿	园獭源缘	猿獭源园	园獭源猿	猿獭源缘
渗透率级差(伊园 ^肆 μ皂 ^圆)	远獭源猿	猿獭源园	员獭源源苑	源獭源苑	苑獭源苑
夹层厚度(皂)	园獭源源	园獭源愿	员獭源猿	园獭源猿	员獭源苑
夹层密度	园獭源园	园獭源缘	园獭源猿	园獭源员	园獭源猿
夹层频数	园獭源员	园獭源源	园獭源远	园獭源园	园獭源圆

馆 獭砂层组内层间非均质强 ,合采时各小层出力程度不同 ,造成层间动用程度差别大。獭、獭油层有效厚度大 ,渗透性好 ,采出程度相对较高 ,剩余油饱和度较低 ;而 獭、獭层动用程度相对较低 ,剩余油饱和度相对较高。但由于其原始储层物性较差 ,油层厚度较薄 ,其剩余油储量有限 ,挖潜重点仍为主力油层。

圆)馆 源砂层组层间非均质性

馆 源砂层组划分为 源个 小层 ,其中 源层砂体最发育 ,源层次之 ,这两小层为 馆 源砂组的主力油层。馆 源砂组各小层的储层参数平均值见表 远—愿

表 远—愿瑶旱獭各小层原始储层参数

参 数 \ 小 层	源	源	源	源
储层厚度(皂)	猿獭源	苑獭源	猿獭源	员獭源
泥质含量(豫)	员獭源园	员獭源园	员獭源源	愿獭源
粒度中值(皂皂)	园獭源缘	园獭源远	园獭源猿	园獭源缘
孔隙度(豫)	园獭源园	猿獭源猿	园獭源员	猿獭源源
渗透率(伊园 ^肆 μ皂 ^圆)	猿獭源猿	远獭源源	源獭源愿	远獭源缘
有效厚度(皂)	园獭源远	远獭源	猿獭源员	员獭源园
含油饱和度(豫)	缘獭源员	苑獭源员	缘獭源源	苑獭源缘
渗透率变异系数	园獭源苑	园獭源远	园獭源苑	员獭源园
渗透率突进系数	员獭源苑	园獭源源	园獭源园	猿獭源
渗透率级差(伊园 ^肆 μ皂 ^圆)	园獭源	员獭源猿	源獭源远	员獭源猿
夹层厚度(皂)	园獭源苑	员獭源员	园獭源源	员獭源缘
夹层密度	园獭源源	园獭源缘	园獭源源	园獭源源

夹层频数	园园园愿	园园园苑愿	园园园苑愿	园园园苑愿
------	------	-------	-------	-------

摇摇馆 源砂组内部小层间隔层厚度较大 ,层间砂体叠置较少 ,只有少量 漂和 漂砂层叠置。漂层有效厚度大 ,孔渗性好。旱漂单采并在 旱漂旱漂所有单采井所占比例最高。其采出程度高于 漂层 ,达到 源豫以上 ,有一部分地区达到 缘豫以上。漂层很少有单采井 ,一般和 漂合采 ,其油层较 漂层薄 ,故采出程度相对较低。

源层内非均质性

层内非均质是指单砂层内部垂向上储层性质的变化 ,是控制和影响单砂层垂向上注入剂波及体积和层内剩余油分布的关键因素。河流相储层为正韵律储层 ,总体上 ,底部粒度粗 ,渗透率高 ,上部粒度细 ,渗透率低。本书总结了孤岛河流相储层的层内非均质模式 ,可分为 猿种类型。

①正韵律层 指底部渗透率大 ,向上逐渐变小 ,这种类型是典型的河流相沉积特征 ,该模式约占 猿豫。

②复杂正韵律层 总体上有底部渗透性高向上变低的趋势 ,但其内部又包含有若干由高变低的韵律 ,中一区这种类型很多 ,约占 缘豫 ,是多期河道迁移改道和相互叠置而成。还有一种层内非均质模式是在中下部存在夹层 ,夹层的成因为边滩内的凹槽中形成的 ,夹层的存在可以阻止油层由于锥进造成高渗段暴淹。

③均质层 指渗透率变化不大 ,在中一区这种类型多分布于砂层的下部 ,约占 猿豫 ,其厚度不大 ,一般小于 圆皂 ,是一个相对稳定的单元。

中一区储层层内渗透率非均质模式决定了其水淹程度在垂向上差异较大 ,正韵律砂层底部出现强水洗段 ,而其上部多为见水、弱见水、甚至不见水。如中 愿原愿井 猿层 ,其上部深度 愿愿源皂~ 愿愿源皂处 ,平均产水率小于 愿豫 ,剩余油饱和度大于 远豫。对于复合韵律层 ,其水洗级别相对较高者分布于粒度较粗、岩性较均匀和物性较好的部位 ,如中 远原愿井 漂层细分为两个时间单元 源和 源 ,其划分界线为深度 愿愿源皂处 ,根据 愿愿年 愿月碳氧比能谱测井解释成果可看出 源的水淹级别高于 源单元的顶部(表 远-怨) ,中 愿原愿井也有类似的分布规律。

表 远-怨 中 远-愿井 碳氧比测井解释成果

层位	深度(皂)	储层含水饱和度(豫)	储层产水率
源	愿愿源	愿源	愿源
	愿愿源	远源	园源
	愿愿源	缘源	园源
	愿愿源	缘源	园源
源	愿愿源	源源	园源
	愿愿源	源源	园源
	愿愿源	源源	园源
	愿愿源	源源	园源
	愿愿源	源源	园源
	愿愿源	缘源	园源
	愿愿源	苑源	愿源
	愿愿源	愿源	愿源

由此可见 ,由于层内渗透性差异的影响 ,层内水淹程度差异较大 ,剩余油多分布于渗透率较低的部位 ,尤其是中上部的低渗区。但是层内剩余油的分布并不一定总是位于中上部 ,也有

多层出现的剩余油。另外 ,层内剩余油的分布也与其顶底微型构造部位有关 ,顶部微构造为低点部位 ,层内上部不一定有剩余油富集。

第七章 孤东油田馆上段储层非均质模型

孤东油田地理上位于山东省东营市垦利县境内,地处黄河入海口北侧的滩涂地带,构造上位于济阳拗陷沾化凹陷的桩西—孤东潜山披覆构造带的南端,东南为垦东青坨子凸起,西南为孤南洼陷,西北为桩西洼陷,东北与桩东凹陷相邻。孤东油田是一个以馆陶组河流相疏松砂岩为主要储层的大型披覆构造整装油藏。孤东油田 1982 年投入开发,井网多为二套层系,个别单元为一套或三套层系,井距 400~1000m。

孤东油田虽被断层切割,但构造主体部分背斜形态仍较完整,构造走向近南北,两翼不对称,东翼平缓而简单,西翼陡而复杂。背斜构造中部发育有两条近南北走向的西倾大断层,两条断层相连接,将背斜构造切割为东西两大部分(图 苑-1)。东翼断层少,平缓而简单,地层倾角一般小于 3°;馆陶组的倾角 1.5°~3°。西翼断层多,陡而复杂,地层倾角一般在 3°~5°之间。东翼被三条近东西走向的断层由北向南切割为六、七、八和九区。西翼构造较复杂,但总的说来,是由北向南被三条近北东走向的断层切割为一、二、三和四区。其中四区是一个东高西低、陡而复杂的单斜构造。孤东构造的闭合高度由深到浅由大变小,馆陶组闭合高度约 10m,馆陶组油层顶构造圈闭面积为 10.4km²。馆陶组上部整体上断层较少,断块大,地层平缓。下部断层增多,断块变小。孤东构造发育三组断裂:北东向、北西向和近东西向。根据这些断裂的组合将孤东油田划分为大小不同的 10 个区、10 个断块。

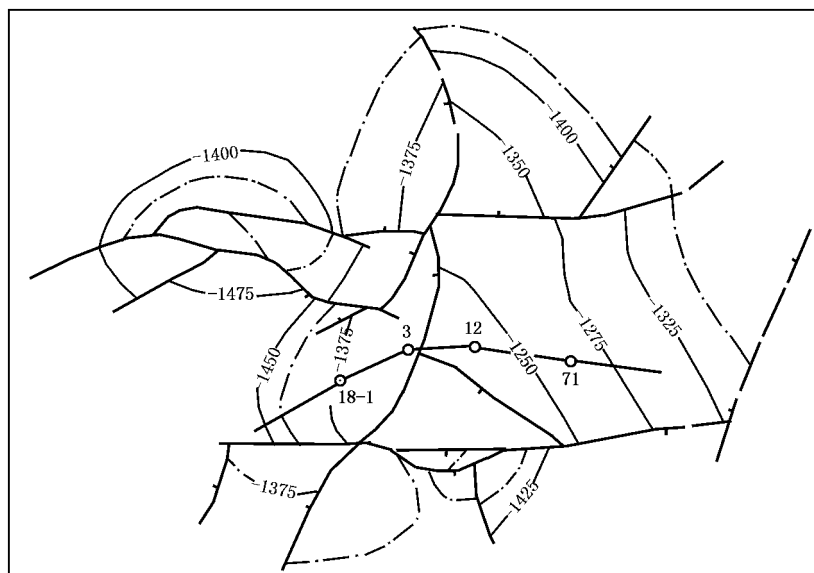


图 苑-1 孤东油田馆陶组顶面构造图(单位:米)

馆陶组可分为上下两段,馆下段为灰白色含砾砂岩、砾状砂岩,由下向上泥岩层增多,顶部为泥岩夹砂岩,馆上段泥岩层明显增多,且厚度大。馆陶组总体上呈正旋回。馆上段为孤东油田的主要含油层系,已探明含油面积 10.4km²,油藏埋藏深度为 1000~1500m,油层平均厚度 10m 左右,单井累计最大厚度 10m。共分为 10 个砂层组,10 个砂层组以含气为主,横向上受岩

性的影响变化大 猿至 远砂层组以含油为主 ,单层厚度大、分布范围广、油水关系比较简单。

一、孤东油田馆上段沉积模型

员沉积体系

孤东油田馆陶组河流相储层的沉积相可分为四种亚相 ,并进一步可划分出八种沉积结构单元(表 苑-员) ,其中 远- 缘砂层组为辫状河沉积 缘- 员砂层组为曲流河沉积。

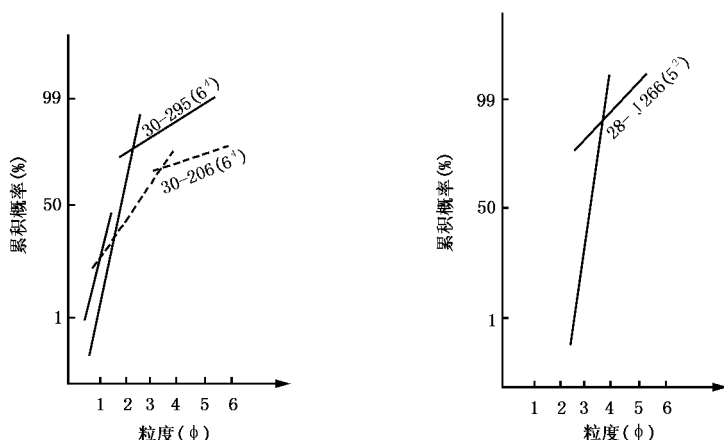
表 苑-员 馆上段沉积结构单元岩电模式

相摇类摇型				岩摇相摇特摇征				古生物	含油性	电 性 特 征	
相	亚相	结构单元		颜色	结构	沉积构造	沉积层序				
河床亚相	边滩	脊	滩	棕黑、浅灰、灰黑色 ,原油污染	细砂、粉砂 ,偶见中砂 ,分选中等	槽 状 交 错 层理、平行层理	向上变细	化石少 ,可见 植 物 炭屑	含油	自然电位曲线钟形 ,微电极曲线幅度差大	
			凹槽	灰、棕黑色 ,原油污染	细 砂、粉砂 ,分选差	小型交 错 层理、爬升沙纹层理、上攀层理	向上变细	可见 植 物 炭屑	含油	自然电位曲线齿化钟形	
		心滩		灰白、灰黄色 ,原油污染	中 砂、细砂 ,偶见砾石 ,分选中等	大型槽状、板 状 交 错 层理、平行层理	向 上 变 细 或均质	化石少 ,植 物 炭屑	含油	自然电位常见箱形、齿化箱形、齿化钟形等	
		谷底滞流沉积		灰、灰 黑色 ,原油污染	含泥砾中细砂 ,分选很差	正粒序、底冲刷	向上变细	化石少	含油	自然电位为小型钟、箱形 ,微电极幅度差不大	
	堤岸	天然堤		灰绿、灰黄色	泥质细砂、粉砂 ,分选差	上攀层理、小型沙纹层理	向上变细	化石少	油浸、油迹、油斑	自然电位指形或齿化矮钟形 ,微电极幅度差较小	
		决口扇		灰 绿、灰黄、棕红色	细、粉砂、泥质细砂 ,分选差	小型交 错 层理、斜层理、冲刷构造	向上变粗	植物屑杆	油浸、油迹、油斑	自然电位漏斗形或齿化漏斗形 ,微电极幅度差小	
	河漫	泛滥盆地		灰、灰绿色	质纯 泥岩	水平层理、页理	上部单元	富 植 物 化石、蚌、螺	隔层、夹层	自然电位起伏较小 ,微电极曲线呈小尖凸起	
		泛滥平原		浅 灰、灰、紫红、暗紫红色	粉、细 粉砂 泥质	块状层理、波状层理、水平层理	上部单元	化石少	隔层、夹层	自然电位曲线位于基线附近	
	废弃河道亚相				浅灰、灰绿色 ,原油污染	细、粉砂、细粉砂	水平层理、波状层理、小型交 错 层理	向上变细	植 物 杆 屑等	含油	自然电位曲线常呈锯齿状、钟形

员辫状河沉积体系

根据岩心观察和室内分析资料 ,远- 缘砂层组辫状河沉积的砂岩为低成熟度的岩屑长石砂岩 ,岩屑含量大于 员缘 ,且成分复杂 ,粒度中值一般为 园- 园,分选差 ,粒度概率图具两 — 苑- 苑

段式和多段式(图苑-圆)。中—细砂岩为主,细砂岩含量约为缘豫,中砂岩约占猿豫,粉砂岩占圆豫,砂岩发育率为源豫~缘豫,且单层厚度大。



图苑-圆 孤东油田馆上段粒度概率图

垂向上,砂岩缺乏完整的河流层序,很少出现泛滥平原微相的厚层块状泥岩。平面上,河道分叉、汇聚频繁,呈多河流、多分叉的辫状展布,辫状指数大于员,河道沙坝发育,心滩数量多,面积大,河道和河道边缘微相约占总面积的苑豫。

河道砂体的平均厚度为苑-怨皂,一般大于苑皂,平均宽度为愿皂~员皂,河道砂体发育为猿豫~缘豫,平均为源豫,砂体的宽厚比为圆皂~猿皂,平均为圆皂。剖面上砂体形态对称,侧向连续性好,常为多期河道叠加。

圆曲流河沉积体系

孤东油田曲流河沉积的砂岩以成熟度低的岩屑质长石砂岩、粉砂岩为主,细砂岩、粉砂岩各占源豫,中砂岩占圆豫,砂岩发育率为员豫~源豫,粒度中值为园皂~园皂,分选一般为差至中等。粒度概率图显示明显的跳跃、悬浮两段式(图苑-圆),并以跳跃总体为特征。其层理发育,类型繁多,包括块状层理、韵律层理、水平层理、平行层理、交错层理,但以板状和大型槽状交错层理为特征,一般有半数以上的层具交错层理。细层倾斜方向指向砂体延伸方向,倾角员毅~猿毅。由下至上层系及细层的厚度变薄、粒度变细,细层具粒度正韵律特征,层系厚度一般为猿皂或更薄,很少超过员皂。在河流沉积剖面上大型板状、槽状交错层理发育在下部,小型板状、槽状交错层理发育在上部,波状层理发育在剖面顶部。

垂向剖面上在层序的底部具有明显的冲刷面,顶部沉积由紫红色或灰绿色厚层块状泥岩组成,沉积完整且厚度约占猿豫。平面上各沉积微相的河道分叉少,多为单河道,分叉指数小于员,河道点沙坝发育,常侧向连接形成弯曲带状砂体。

河道砂体的平均厚度为远皂~远皂,平均宽度为源皂~员皂,河道砂体发育率为圆豫~猿豫,平均圆豫,砂体宽厚比为员皂~圆皂。剖面上砂体不对称,垂向叠置少,下切多。摇摇

圆沉积结构单元的演变及平面展布

馆上段沉积时期河流的演化大致可分为辫状河、低弯度曲流河和高弯度曲流河三个阶段。远-缘砂层组早期是辫状河发育阶段,这一时期因受地形高差、气候、构造运动的影响和物源区

物源供应的影响,辫状河的特点是河道分叉、汇聚频繁,网状化程度高,河道砂体沉积宽且厚,沉积发育率高,大面积连片分布,河道间沉积局限,显示辫状水流规模巨大,迁移频繁,其中尤以远砂层组早期的规模最大,随后沉积规模逐渐变小。缘砂层组末到源砂层组沉积时期,沉积特征和平面展布应属于曲流河,河流平均曲率为 $\frac{1}{1000}$,为低弯度曲流河。就河流规模而论,缘砂层组末期的河流规模最大,河道砂体的宽度、厚度接近于早期的辫状河,它是在缘砂层组早期辫状河背景上继承和发育起来的,实际上是辫状河向曲流河的过渡。源-猿砂层组为真正的低弯度曲流河,到猿砂层组沉积末期,泛滥平原发育,已逐渐过渡到高弯度曲流河。摇摇

二、孤东油田馆上段非均质模型

员 储层微观非均质模型

员 储层岩矿特征

储层的矿物组成、颗粒的胶结和排列方式常常决定储油物性的好坏。因此,储层的岩矿特征是决定储层成岩作用、孔隙类型和孔隙结构及储集物性的基础。

数十口取心井岩样分析表明,孤东油田馆上段油层主要为细砂岩、粉细砂岩,其次为中细砂岩和粉砂岩。碎屑成分中石英含量为猿豫~缘豫,长石含量为猿豫~源豫,岩屑含量为员豫~圆豫,属岩屑质长石砂岩类,其中长石主要为钾长石、斜长石,岩屑主要为石英岩屑,其次为结晶岩屑、喷出岩屑,偶见泥屑和砂屑。

填隙物以粘土杂基为主,含少量碳酸盐胶结物,粘土矿物中以蒙脱石为主,为缘豫~猿豫,其次为高岭石和伊利石,分别为圆豫~猿豫和员豫~猿豫,绿泥石占远豫。颗粒大多呈棱角状、次棱角状,磨圆中等到差,分选一般。总的来说,孤东油田馆上段岩石结构成熟度和成分成熟度较低。摇摇

圆 孔隙结构

常规薄片、铸体薄片、扫描电镜、图像分析和毛细管压力曲线资料观测分析表明,由于馆上段储层成岩作用弱,储集空间多为原生孔隙,其中以正常粒间孔为主,薄片中心隙周围没有溶蚀痕迹(图苑-猿)。少量的次生孔隙是由淋滤作用、溶解作用、交代作用等形成,以及构造作用形成的裂隙。次生孔隙类型有溶蚀孔洞(图苑-猿)、晶间微孔(图苑-猿)、裂缝及层间缝(图苑-猿)。孔隙形状多以三角形和四边形为主,其次为条形和不规则状。每个孔隙有猿~源条喉道与之相连。喉道类型以片状、缩颈状为主,部分呈弯曲片状。

孔喉大小、孔喉比等孔隙结构特征与沉积结构单元密切相关。河道沙坝的孔隙大,喉道粗,孔隙半径为猿~缘皂,最高达员皂,喉道半径为缘~员皂,最高可达猿皂,排驱压力低,仅园~圆兆帕,束缚水饱和度为苑豫~猿豫,迂曲度为苑~圆。河道充填砂体的孔隙和喉道均小于河道沙坝,平均孔隙和喉道半径分别为猿皂和源皂。排驱压力为园~圆兆帕,束缚水饱和度为员豫~猿豫,迂曲度为员~圆。孔喉分选较差,其分选系数为员~圆,变异系数为圆~圆。河道边缘砂体的孔隙小、喉道细,平均孔隙与喉道半径分别为源皂和圆皂。排驱压力高,其值为园~圆兆帕,束缚水饱和度高达圆~圆,孔喉分选差,孔隙分布非均质性强,其分选系数为员~圆,变异系数为圆~圆(表苑-圆表苑-猿表苑-源)。

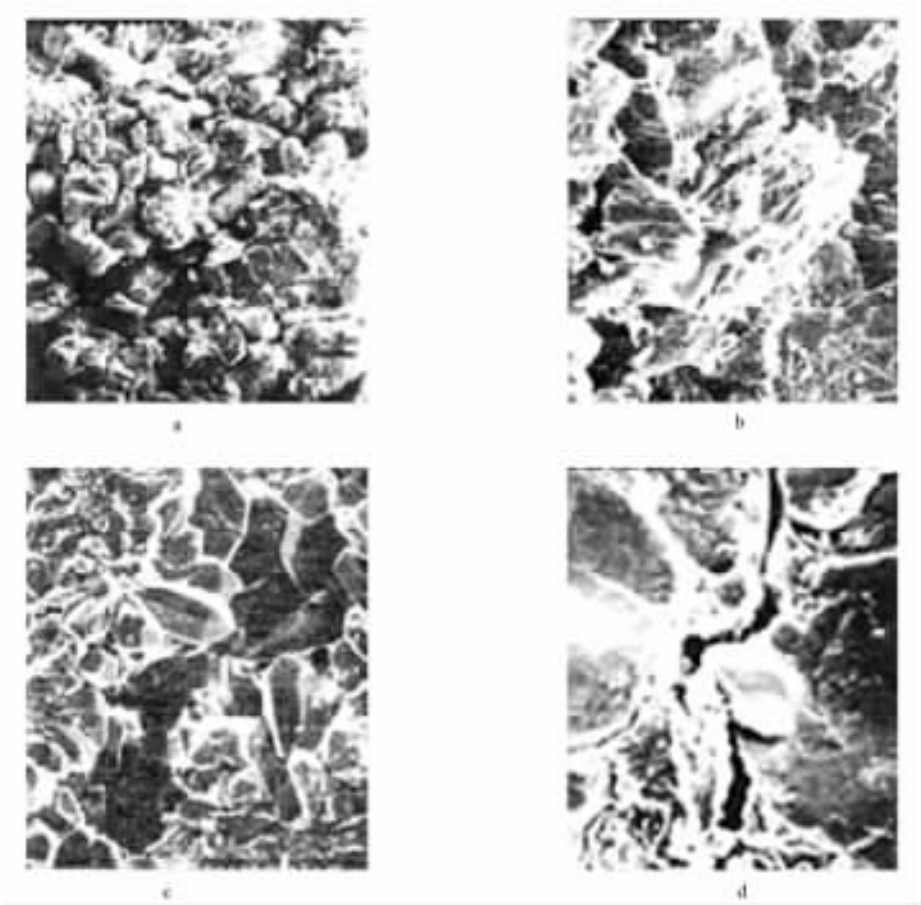


图 苑—獭摇孤东油田不同孔隙结构电镜扫描
葬—粒间孔 遭—溶蚀孔隙 糟—晶间孔 凿—裂缝

表 苑—圆摇不同结构单元孔喉参数表

参数	孔隙半径 ($\mu\text{皂}$)	喉道半径 ($\mu\text{皂}$)	排驱压力 (皂葬)	孔隙半径均值 ($\mu\text{皂}$)	孔喉比	配位数
阅粤	猿源~ 苑缘	缘猿~ 员圆源	园苑园缘	员猿猿愿	猿猿源~ 远源	猿源
蕴粤	猿圆源	源源	园苑缘~ 园苑源	缘猿~ 远源	苑缘	以 猿源为主 ,少量为 缘
蕴灾	员源苑	圆苑	园苑缘~ 园苑源	园苑缘~ 员猿愿	缘源	以 猿源为主 ,少量死空隙

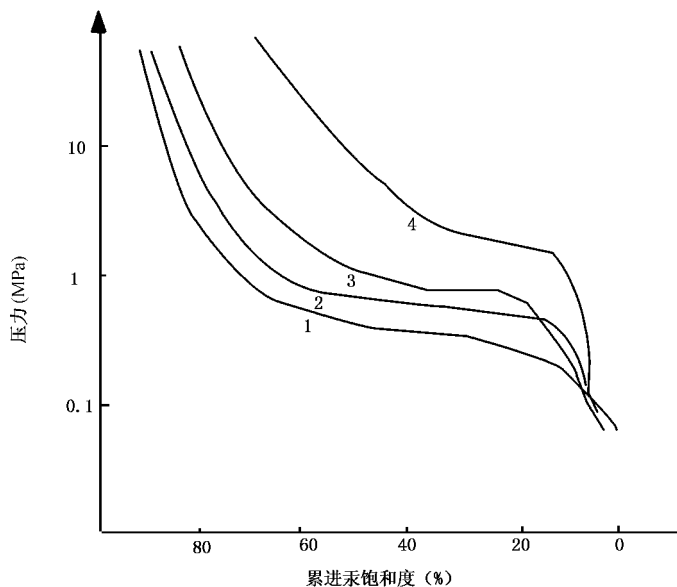
表 苑—獭摇不同结构单元孔喉分布均值程度参数表

参摇摇数	分选系数	相对分选系数	孔喉变异系数
阅粤	园苑源~ 园源源	园苑源~ 园苑缘	员猿员~ 员猿苑
蕴粤	员源圆	园苑愿	圆源
蕴灾	员源源	园苑源	圆源愿

表 苑—源摇不同结构单元流体渗流参数表

参数	迂曲度	退汞效率(豫)	难流动孔喉下限($\mu\text{皂}$)	束缚水饱和度(豫)
阅粤	苑源~ 愿源	园苑苑~ 园苑源	苑源~ 愿缘	苑源~ 苑缘
蕴粤	员源	园源	原	员源~ 员源
蕴灾	员源	园源	原	圆源~ 猿源

摇摇根据对大量取心井样品的压汞曲线、薄片、扫描电镜照片等资料分析,结合岩性及储油物性资料,将馆上段储层孔隙结构分为四种类型(图苑-源)。



图苑-源 不同孔隙结构类型毛细管压力曲线形态

一类:为特高渗特大孔粗喉孔隙结构类型(图苑-缘),主要分布于心滩(阅粤)结构单元,以含砾中砂、中砂、细砂岩为主,颗粒分选好,压实程度弱,大都为点状接触,孔隙度大于猿豫,渗透率一般大于圆园园伊园^{-猿}μ皂,孔隙半径主要集中于员园~圆园μ皂之间,约占缘豫,近似正态分布,相对较均质,孔隙等效直径平均值为员园μ皂,中值为员园μ皂,喉道直径平均为猿园μ皂。

二类:为高渗大孔中喉孔隙结构类型(图苑-缘),主要分布于边滩(蕴粤)结构单元,以细砂、粉细砂岩为主,孔隙度一般为猿豫~猿豫,渗透率为员园园伊园^{-猿}~圆园园伊园^{-猿}μ皂,孔隙半径主要集中于员园~员园μ皂之间,约占源豫,呈正态分布,相对较均质,平均孔隙等效直径为员园μ皂,分选也较差,喉道直径为缘园μ皂,配位数为圆缘。

三类:为中渗中孔中喉孔隙结构类型(图苑-缘),主要分布于凹槽结构单元中,以粉砂岩为主,孔隙半径主要集中于苑缘~员园μ皂之间,约占缘豫,但由于其粗尾和细尾部分较多,故其孔隙的均质性差。孔隙等效直径平均值为怨缘μ皂,中值为远缘μ皂,孔隙间的连续性较好,喉道直径为圆缘μ皂,配位数为圆缘。

四类:为低渗小孔细喉孔隙结构类型(图苑-缘),主要分布于天然堤(蕴粤)结构单元中,孔隙半径主要集中于源缘~员园μ皂之间,约占猿豫,细尾部分含量高,孔隙等效直径平均值为源缘μ皂,中值为源缘μ皂,分选较好,呈细歪度。

实验结果表明,自边滩至天然堤砂体,其孔隙和喉道逐渐减小,排驱压力及束缚水饱和度逐渐增大,孔隙分选系数和变异系数也逐渐增大,表明孔隙结构愈来愈复杂,非均质性愈来愈严重。

宏观非均质模式

员)辫状河(阅粤)结构单元(心滩沙坝)层内非均质模式

辫状河心滩沙坝是以垂向加积形成的,即整个沉积过程中沉积表面的地形特征只是向上

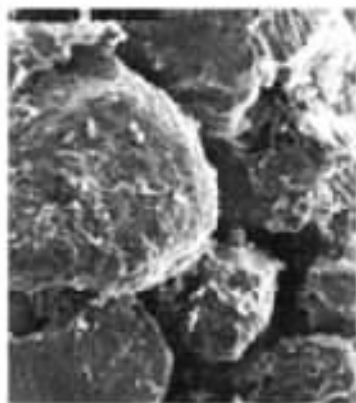


图 苑—缘瑶孤东油田不同孔隙结构电镜扫描

葬—大孔粗喉结构 ,遭—大孔中喉结构 糟—中孔中喉结构 ,凿—小孔细喉结构

延展而不发生侧向移动 ,该类砂体就是由多次沉积事件携带的碎屑物在一定的环境中加积而成。与边滩侧积体对应 ,把每次沉积事件所形成的砂体称之为垂积体。

辫状河心滩沙坝一般厚为愿~ 员皂,可进一步分为猿~ 远个垂积体 ,每个垂积体之间存在一些极薄的不稳定隔层 ,其岩性主要为富含云母或炭屑的粉砂质泥岩。自然电位曲线呈箱形 ,微电极曲线呈高幅度差。该类砂体主要为中、细砂岩和粉细砂岩 ,在垂向上粒度变化略显正韵律 ,平均粒度中值稍粗于边滩的粒度中值 ,粒度变异系数略小于边滩。泥质含量的变化与粒度大小仍为消长关系 ,即粒度中值大 ,泥质含量少。在垂向上 ,渗透率的变化也略呈正韵律 ,渗透率单层突进系数、变异系数、渗透率孔隙度级差略小于边滩。孔隙度垂向变化较小 ,平均孔隙度略高于边滩。

属中等非均质储层 ,其开发特征与边滩非均质模式基本相同。

圆)曲流河(缘)结构单元(边滩砂体)层内非均质模式

曲流河边滩具特殊的沉积方式——侧向加积。由于形成沉积物的水动力作用总是周期性发生的 ,故形成的侧积体侧向叠加最终形成一个边滩砂体。

边滩砂体厚度一般为愿~ 员皂,其内部可以小型正韵律划分出若干个侧积体 ,每个侧积体由砂岩侧积层及泥岩侧积层组成 ,砂岩侧积层的厚度由下向上逐渐减薄。而泥岩侧积层的厚度逐渐加厚 ,且分布不均匀 ,一般是下部稀少 ,上部密集。边滩砂体下部为连通状 ,上部为半连

通状或非连通状。边滩砂体自然电位曲线呈钟形,微电极幅度差上小下大。岩性由细砂岩、粉砂岩组成,粒度呈正韵律。泥质含量在垂向上的变化与粒度中值呈消长关系。在砂体的最底部多具明显的冲刷面,冲刷面附近泥砾富集,泥质含量增加,由下向上为槽状交错层理逐渐过渡为平行层理,这些层理也是影响砂体层内非均质性的重要因素。砂体渗透率呈现多个正韵律段,最高渗透率位于砂体的下部,它往往是注水开发时最易水窜部位,较高渗透率的厚度占每个韵律段砂体厚度的 1/3 左右,而且向上渗透率明显变低,渗透率单层突进系数较大,均质系数较小,变异系数较大,最高渗透率与最低渗透率的相差高达数百倍。故层内渗透率的非均质性很严重。砂体的孔隙度垂向变化小,表明孔隙度垂向上非均质性较弱。

属中等非均质储层,其开发特征表现为单储系数大、单井产量高、注水见效快、含水上升快,是油田开发最有利的油层,剩余油主要分布在储层顶面正向微构造的高部位。

猿悦(云)结构单元(废弃河道)储层非均质模式

自然电位曲线仍为钟形,砂岩厚度一般为 源~愿 m,粒度呈正韵律分布,在垂向上,渗透率呈明显的正韵律,最高渗透率分布在剖面的底部,渗透率均质系数为 园~源,突进系数为 猿~缘,平均级差一般为 园~愿,最高达 猿倍。平面上,渗透率变化较大。

属中等强非均质储层。具有单储系数大、单井产量较高、注水见效快、含水上升较快等开发特征,是油田开发中较有利的油层。剩余油主要分布在油层上部渗透率较低的部位。

源蕴(天)结构单元(天然堤)储层非均质模式

自然电位和微电极曲线呈低幅度,岩性为粉砂岩和泥质粉砂岩。剖面上粒度无明显变化规律,渗透率略呈正韵律。平面上砂体顺河道呈狭长条带状分布,砂岩厚度一般为 圆~源 m。

属较强非均质储层。具有单储系数小、单井产量较低、注水见效慢、含水上升慢等特征,是油田开发中较差的油层。剩余油主要分布在砂体上倾方向的砂泥岩互层部位。

三、孤东油田馆上段三维地质模型

油藏精细描述的目的就是建立能够描述油气田中油气分布状况和流体动力学特征的地质、岩石物理的及油藏工程等参数的预测模型。特别是进入 圆世纪 怨年代以来油藏描述的内容和尺度愈来愈细,定量化程度越来越高,这就要求尽可能真实地模拟储层参数在地下三维空间的分布。特别是以孤东油田为代表的我国东部各大油田,由于注水开发相继进入了中高、特高含水期,目前大部分油田综合含水率均在 怨园%以上,在这种情况下地下油气水的分布极为复杂,剩余油分布零散,油田稳定难度大,但是根据国外主要油田的采收率水平来看,预计采收率可达 猿缘%左右,而我国大部分油田远低于这个水平,因此大有潜力可挖。怎样进一步挖潜和搞好二次、三次采油,都对油藏精细描述提出了更高更严格的要求。这样单纯的沉积学手段已不能满足油田开发的需要,必须采用一些定量化的手段更精确地描述地下储层特征,按油藏规模描述砂体的连续性,以及储层物性的空间分布及储层非均质性特征,建立一个更加精细的定量储层地质预测模型。本书以孤东油田七区中为例,建立密井网条件的河流相储层三维地质模型,为油藏数值模拟、定性定量判别剩余油及油田稳油控水和开发方案调整提供了可靠的地质依据。

员源平面模型的建立及建模方法选择

孤东油田七区中为河流相沉积,从沉积相平面分布图上看主要物源为北东方向,选择物源方向为求取变异函数的主方向,分开发初期、中强水淹期、强水淹期三个时期对该区主力储层

馆陶组 缘沙层组 源小层 (缘) 的孔隙度、正态转换后的渗透率、粒度中值、泥质含量、含油饱和度等参数求取了实验变差函数 表 苑—缘所示的为 缘小层变差函数参数表。

表 苑-缘瑶储层参数变差函数参数表

参摇谣数		孔隙度 （豫）	渗透率 （伊园 ^源 μ皂 ^圆 ）	粒度中值 （皂皂）	泥质含量 （豫）	含油饱和度 （豫）	砂层厚度 （皂）
开发初期	块金常数 糟	园园	园园愿	园园园缘	员园	愿园	猿猿
	基台值 糟	员园园	园园源	园园园苑	愿园	员园	源园缘
	变程 葬	猿园	远园	远园	远园	远园	远园
	非均质比	员源源	园苑	园苑	园园缘	园园愿	园怨
中强水淹期	块金常数 糟	园园	园园愿	园园园缘	猿园	员园	愿猿
	基台值 糟	愿园	园园员	园园园苑	苑园	员园	缘猿
	变程 葬	源园	缘园	源园	远园	缘园	缘园
	非均质比	园源源	园园元	园园缘	园园猿	园愿	园园元

在准确求取变差函数的基础上,对建模方法进行了研究和分析,以便寻找最合适的建模方法。利用 缘小层开发初期数据进行了数据忠实性检验和抽稀井检验分析。数据忠实性检验也就是检查原始数据点处各种建模方法的计算结果与原始数据值是否相符,如表 苑-远所示为 缘小层数据忠实性检验数据表。再应用各种建模方法进行建模计算,查看在抽去的数据点处,其误差是否符合要求,如表 苑-苑所示为从开发初期 圆苑口井中随机抽去 员口井作为检验井得出的检验数据表。

通过对表 苑-远进行分析可以看出,随机模拟方法能够在原始数据点处完全忠实于原始数据,而克立格插值法则会在一些点处出现比较大的误差。对表 苑-苑进行分析可以看出,从整体上来说随机模拟方法能够较好地再现储层参数的分布,但在局部点误差较大,这可能是由于变差函数的方向性使得原来非均质性降低,譬如源原断块井,在其周围是孔隙度相对低值区,在抽去该井的原始数据后,使得该井处的预测值降低,从而造成较大的误差。这说明利用数学方法进行建模并不是万能的,它严格依赖于原始数据的分布及各种方法的数学原理,同时也揭示我们在条件允许的情况下,应考虑使用数据量较大的地震数据,从而约束利用井资料进行地质建模的准确程度和可信程度。可以看出随机建模方法,可以综合再现储层参数的非均质性和随机性,应大力推广应用。

圆环三维模型的建立

员) 储层格架模型

在本研究区内,建立定量的地层格架模型,由于钻井较多我们是利用井资料把每口井中的每个地质单元通过井间等时对比连接起来。建立地层格架模型,在本区我们利用全区近 200 口井的测井、钻井资料,在小层和韵律层精细划分对比的基础上,应用克立格插值法逐层作出顶面和底面构造图,建立本区储层构造格架模型。

在细分对比工作中,垂向上由砂层组、小层至沉积时间单元进行逐级控制,平面上以现代沉积学研究成果为指导,以取心井为基础,应用各井自然电位、微电极和感应曲线,采用由点到线至面、点、线、面相结合的对比方法进行对比。将**旱源**砂层组划分为**缘**个小层,其中**源**小层又细分出两个时间单元,**旱缘**砂层组划分为**缘**个小层,其中**缘**小层又细分出**猿**个时间单元,**缘**小层又细分出**圆**个时间单元,将**旱远**砂层组划分为**愿**个小层,即共**愿**小层**圆**个时间单元。

由于本区地层起伏平缓 ,且内部无大断层 ,整体发育为一单斜 ,因此构造格架主要是深度的细微变化 ,同时由于河道砂的顶底均被泥岩所包围 ,界限清楚 ,所以可以用时间单元的顶底界作为储层格架模型的纵向分格线 ,把每个韵律层作为一个网格单元 ,最终建立储层格架模型。

圆)储层参数模型

储层参数定量模型是油藏表征的重要组成部分 ,只有准确知道储层参数在地下的准确分布才能正确指导开发方案的实施和调整以及为油藏数值模拟提供准确的定量地质模型。目前国内外采用进行储层参数定量建模的方法很好。笔者在研究过程中针对孤东油田七区中的实际地质情况采用退火模拟和指示模拟的方法来建立该区的储层参数属性模型。同时利用随机建模技术建立储层参数模型可以得到某一储层参数属性场的多个可能实现 ,用说明实际属性场的空间组合的不确定性 ,并建立储层参数分布的概率场 ,从而为油藏工程和地质研究提供更丰富的储层地质定量模型。

针对本区的实际情况 ,在建模之前首先进行地层坐标变换和原始数据正态变换 ,应用转换后的数据求取三维变差函数 ,选取方向角为 源段员段- 员段 如表 苑-愿所示为开发初期储层参数三维变差函数表。表 苑-怨所示为开发初期储层参数指示变差函数表。

表 苑-愿开发初期储层参数三维变差函数表

储层参数	块金常数 糟	基台值 糟	变程 葬	非均质比 方向员	非均质比 方向圆
孔隙度(豫)	园源	园猿猿	猿远	员	员猿猿猿远
渗透率(伊园 ^{肆肆} μ皂 ^圆)	园猿	园苑	猿	员	园源员
粒度中值(皂皂)	园猿猿	园猿猿	圆	员	园源
含油饱和度(豫)	园源	园远	猿远	员圆	园猿猿
泥质含量(豫)	园猿猿	园源猿	圆愿	园猿员	园猿员

表 苑-怨开发初期储层参数指示变差函数表

储层参数	截断值	截断概率	块金常数 糟	基台值 糟	变程 葬
孔隙度(豫)	圆	园源远	园猿猿	园源圆	圆远
	圆愿	园猿猿	园猿猿	园源猿	猿
	猿圆	园猿苑	园源猿	园源猿	猿源
	猿圆	园源源	园猿猿	园猿猿	猿源
	猿源	园源愿	园源猿	园源苑	猿源
	猿远	园源猿	园源圆	园源苑	源圆
渗透率(伊园 ^{肆肆} μ皂 ^圆)	圆圆	园猿	园猿	园源	圆远
	猿圆	园源	园源	园源	猿
	苑圆	园源圆	园源	园源	猿
	员圆	园源远	园源	园猿	猿
	员圆	园猿	园源	园源员	猿
	圆圆	园源	园源	园源	猿
	猿圆	园源	园源	园源	员苑

储层参数	截断值	截断概率	块金常数 槽	基台值 槽	变程 葬
粒度中值(皂皂)	园猿缘	园苑	园猿远	园苑愿	猿猿
	园猿	园苑缘	园猿缘	园苑缘	猿猿
	园猿缘	园苑愿	园猿苑	园苑愿	猿猿
	园圆	园猿猿	园猿苑	园苑圆	员苑
	园猿缘	园猿缘	园猿缘	园苑苑	员苑
	园猿	园苑愿	园猿圆	园苑源	员苑
含油饱和度(豫)	员圆	园猿圆	园猿远	园苑缘	猿源
	圆缘	园愿	园猿猿	园苑缘	猿源
	猿圆	园猿猿	园猿缘	园猿猿	圆远
	源圆	园猿缘	园猿猿	园苑愿	员苑
	猿缘	园猿苑	园猿缘	园苑苑	员苑
	源缘	园愿	园猿远	园苑圆	员苑

在求准变差函数的基础上 ,利用指示模拟建立了本区三维定量地质模型 ,如图 苑—远图苑—苑所示 ,分别为三维立体图、等深切片图。

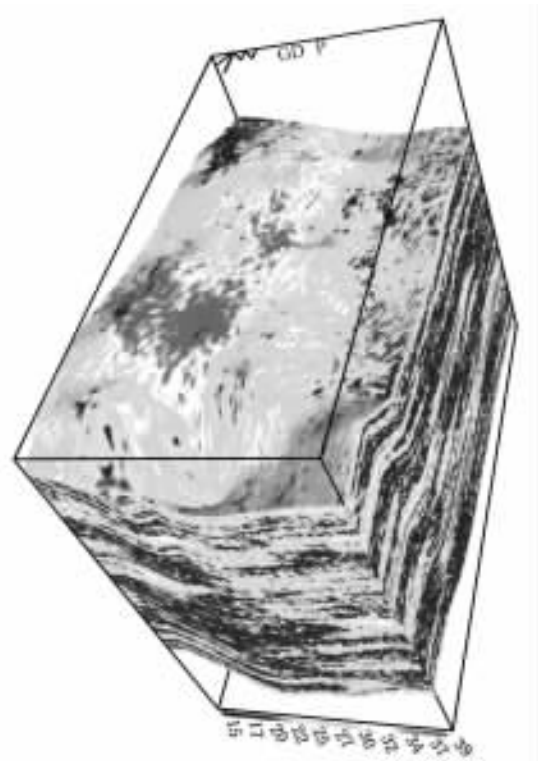


图 苑—远 瑶孤东油田七区中孔隙度三维图

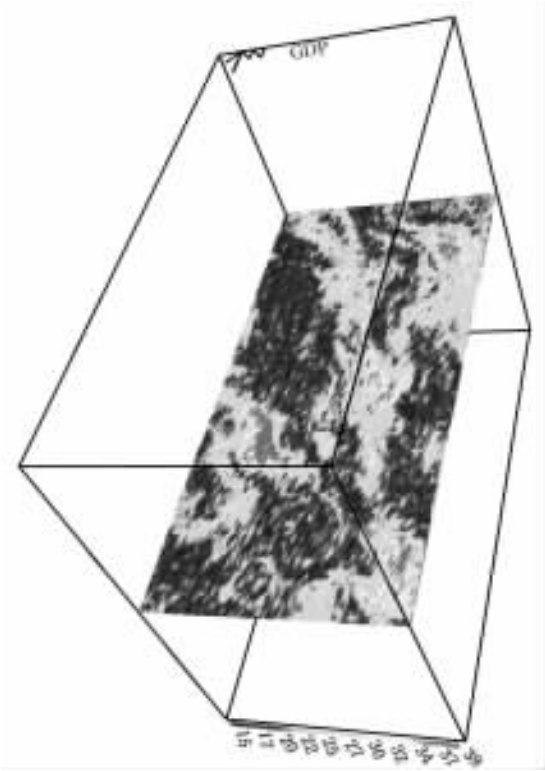


图 苑—苑 瑶孤东油田七区中孔隙度等深切片图

第八章摇河流相储层剩余油分布规律和形成机制

地下储层中聚集的原油 经一定阶段或程度的开采后 ,仍未被开采出的遗留下来的原油即为剩余油。其存在方式分为不可动的残余油和可动剩余油两大部分。据资料统计全国油田水驱总平均采收率为 猿园豫 ,河流相储层平均水驱采收率只有 猿园豫 ,目前地质储量采出程度为 圆豫左右。沾化凹陷东部的孤岛、孤东、埕岛油田目前综合含水率已高达 怨豫 ~ 怨豫 ,水驱采收率仅为 圆豫 ~ 猿豫 ,采出程度仅为 圆豫 ~ 圆豫 ,地下储层中尚有四分之三地质储量的剩余油。

认识和掌握剩余油分布规律 ,即搞清油层中储集的原油经弹性和水驱开采后剩余的原油所在空间位置与数量 ,及其与储层特征、注采状况等之间的关系 ,是进一步调整挖潜剩余油 ,提高驱油效率及原油采收率的前提和基础。

针对沾化凹陷东部孤岛、孤东、埕岛等油田水淹严重 ,剩余油分散的特点 ,结合研究区的资料情况 ,本书主要采用检查取心井资料分析法、油藏工程方法、油藏数值模拟方法、动态分析法和开发地质学等方法来研究和分析地下储层中的剩余油形成和分布规律 ,从不同角度探讨剩余油的分布特征和规律 ,为进一步提高采收率提供地质依据。

一、河流相储层宏观剩余油分布规律

通过对孤岛、孤东、埕岛等以河流相沉积砂体为储层的油田密闭取心井资料、测井资料、注采动态以及精细油藏描述等资料 ,应用开发地质学方法、取心井分析、油藏工程分析、油藏数值模拟、水淹层测井解释等方法综合分析研究 ,认识到研究区河流成因储层剩余油分布具有以下规律。

员层间剩余油分布规律

员主力层水淹程度高 ,非主力层水淹程度低、剩余油饱和度比主力层相对较高

层间次要层 ,即以孔渗性较低、层较薄的 蕴 悦 悦(云)沉积结构单元为主的非主力油层 ,在与主力层合采过程中 ,次要层渗流能力差 ,水淹较轻 ,剩余油饱和度相对较高。主力层 ,即以 蕴 阅 悦 悦结构单元为主 ,孔渗性较好、层较厚的油层 ,渗流能力强 ,水淹程度高 ,水驱油效率高 ,平均剩余油饱和度相对较低。

孤岛油田密闭取心井中 员原层中 员原层井岩心分析非主力层剩余油饱和度比主力层高 缘豫 ~ 怨豫(表 愿-员图 愿-员)。

表 愿-员摇层间剩余油饱和度对比表(密闭取心井)

井摇摇头	主力层				非主力层		备摇摇头注
	猿	猿	源	源	猿	源	
中 员原层			圆源	猿源		猿源	猿为合层

中	元	源	缘	源	缘	缘		
元	源	缘	源	缘	缘	缘		

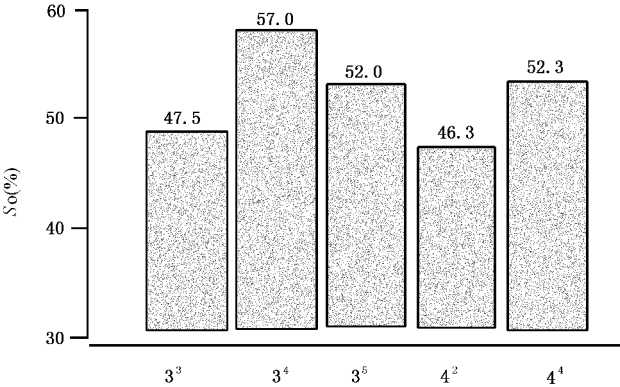


图 愿—员摇中 元源分元并分层剩余油饱和度对比图
(取心分析资料)

摇摇统计孤东油田七区西馆上段 员猿口单采井 员怨怨年 员月含水情况 愿个主力油层含水小于 远缘缘的井点数占 圆缘缘,而含水大于 怨缘缘的井点数占 怨缘缘, 怨个非主力油层含水小于 远缘缘的井点数占 员猿缘,而含水大于 怨缘缘的井点数占 远猿缘.单采主力层综合含水 怨缘缘,非主力层综合含水 怨缘缘,主力层水淹程度明显高于非主力层(表 愿—圆).

表 愿—圆摇孤东油田七区西馆上段单采井含水分级表

类 别	小层	统计 井数 (口)	平均单井			零≤远缘		远缘 约零 ≤愿缘		愿缘 约零 ≤怨缘		怨缘 约零 ≤远缘		零≤远缘	
			产液 (吨)	产油 (吨)	综合 含水 (豫)	井数 (口)	百分 数	井数 (口)	百分 数	井数 (口)	百分 数	井数 (口)	百分 数	井数 (口)	百分 数
主 力 层	缘	愿	员猿愿	苑愿	怨缘缘	园	园园	员	源园	猿	员缘	苑	圆猿	员	缘园
	缘	愿	员猿愿	源怨	怨缘员	圆	苑苑	员	猿愿	员	猿愿	源	员缘	员愿	远猿
	缘	怨	员猿猿	苑猿	怨缘苑	员	员猿	园	园园	园	园园	猿	猿猿	缘	缘苑
	远	员	员愿愿	源猿	怨缘愿	园	园园	园	园园	圆	员猿	员	愿猿	怨	苑缘
	远	愿	员愿源	远愿	怨缘怨	园	园园	园	园园	园	园园	苑	猿猿	员远	远猿
	远	员	员远苑	缘源	怨缘苑	园	园园	园	园园	园	园园	源	圆猿	员园	苑愿
	远	员	圆缘缘	源愿	怨缘苑	园	园园	员	苑苑	园	园园	员	苑苑	员	愿苑
	远	猿	员猿苑	圆猿	怨缘园	园	园园	园	园园	园	园园	园	园园	猿	员园
	小计	愿	员猿	缘苑	怨缘园	猿	园猿	猿	园猿	远	源愿	圆	圆愿	愿	远缘

非 主 力 层	漂	猿	猿源	源猿	猿源猿	园	园园	园	园园	员	猿猿猿	圆	远猿猿	园	园园
	漂	圆	源源	源猿	猿源猿	员	猿源	园	园园	园	园园	员	猿源	园	园园
	漂	猿	圆猿猿	缘园	猿源猿	员	猿猿猿	园	园园	园	园园	员	猿猿猿	员	猿猿猿
	漂	员	猿猿	猿猿	猿猿	员	猿猿	园	园园	圆	员源	圆	员源	远	猿猿猿
	缘	猿	猿源	员猿	猿源猿	员	猿猿猿	园	园园	员	猿猿猿	园	园园	员	猿猿猿
	远	源	员源	源猿	猿源猿	园	园园	园	园园	园	园园	圆	猿源	圆	猿源
	远	圆	员源	远园	远源猿	园	园园	圆	员源	园	园园	园	园园	园	园园
	远	员	猿猿	员源	远源猿	园	园园	园	园园	园	园园	员	员源	园	园园
	小计	圆	猿源	缘猿	猿源源	源	员源	圆	远源	源	员源	怨	猿源	员	猿源
馆上段合计		员猿	员源猿	缘远	猿源远	苑	源远	缘	猿猿	员	远猿	猿	圆猿	猿	远源

摇摇据 员—猿年 悦韵测井资料分析 ,主力油层平均剩余油饱和度为 猿猿,驱油效率为 猿,见水级别为水洗 ,而非主力油层平均剩余油饱和度为 源猿,驱油效率为 猿,见水级别为见水(表 愿—猿)。

表 愿—猿 孤东油田七区西馆上段 员—猿年 悦韵测井水淹状况表

类别	层位	井层数	厚度 (皂)	杂 (豫)	杂 (豫)	杂 (豫)	杂 (豫)	η _燥 (豫)	见水级别
主 力 层	缘	愿	远猿	猿园	圆	源猿	缘	猿	见水
	缘	苑	源源	远	猿	猿	远	源	水洗
	缘	猿	员源	猿	园	圆	猿	远	强水洗
	远	猿	怨	远	猿	猿	远	源	水洗
	远	源	猿	远	猿	猿	远	缘	水洗
	远	怨	远	远	猿	猿	远	源	水洗
	远	缘	圆	远	猿	圆	猿	缘	水洗
	小计	猿	圆源	远	猿	猿	远	源	水洗
非 主 力 层	漂	员	猿	缘	源	源	缘	圆	见水
	漂	员	源	猿	员	源	缘	源	水洗
	漂	圆	怨	缘	源	猿	远	圆	见水
	漂	源	圆	猿	圆	源	缘	猿	见水
	远	圆	员	缘	源	猿	远	源	水洗
	远	员	猿	远	猿	源	缘	圆	见水
	远	员	猿	远	猿	源	缘	猿	见水
	小计	员	远	远	猿	源	缘	猿	见水
合计		缘	猿源	远	猿	猿	远	源	水洗

应用流线模型计算孤东油田七区西馆 缘—远层系的剩余油分布情况 ,非主力油层馆 远层剩余油饱和度为 缘,主力油层馆 缘层剩余油饱和度为 源,缘层为 源(表 愿—源)。

表 愿-源 摇流模型计算分层剩余油饱和度

项 目 小 层	剩余油饱和度 Δ(豫)	原始储量 量(伊园吨)	剩余储量 Δ量(伊园吨)	剩余可采储量 Δ量(伊园吨)
缘	源缘近	远源猿	源源源	员园猿
缘	源缘园	源园源	园缘源	员源苑
述	缘园园	园源猿	园源园	愿源猿

孤东油田七区西馆上段油藏数值模拟结果,也表明非主力层剩余油饱和度比主力层高(表愿-缘)。

表 愿-缘 数值模拟剩余油饱和度分级统计表

小摇摇层	类别	含油饱和度范围(豫)			
		约园源	园源-园缘	园缘-园近	跃园近
源	非主力层	园苑	愿猿	缘近	猿源
源		员源	苑猿	员园猿	愿缘
源		猿愿	苑缘园	员猿愿	怨源
缘		员源	愿缘园	园愿	远愿
述		猿园	苑猿园	苑园	员园近
述		苑源	苑缘园	员缘园	苑近
平均		猿园	愿园近	愿近	苑愿
述	主力层	员源近	源源源	园缘园	员猿源
述		员缘源	源缘园	猿缘苑	苑愿
述		员缘苑	源缘园	猿缘源	怨园
述		园园近	缘园猿	园园猿	缘园
缘		员猿源	缘缘猿	员缘缘	远猿
缘		员缘苑	苑园苑	员园源	源苑
平均		员缘猿	缘缘源	园缘缘	苑愿
合计		员园猿	远缘园	员园猿	苑愿

园)主力层剩余可采储量高于非主力层,主力层仍是剩余油分布的主体
由于非主力层原始储量小,尽管其水洗程度低,剩余油饱和度较高,但剩余储量丰度较低,剩余可采储量比主力层少;主力层则剩余储量丰度较高,剩余可采储量绝对量大,故剩余油主要分布在主力油层中。
孤岛油田中一区馆猿-馆源砂组油藏数值模拟结果反映,馆猿、猿、源、源四个主力小层剩余油可采储量占怨缘豫(表愿-远)。

表 愿-远 摇孤岛油田中一区馆猿-馆源砂组层间采出、剩余油对比(数摸)

层摇摇位	主摇摇力摇摇层				非主力层
	猿	猿	源	源	猿
采出程度(豫)	猿猿近	源源缘	猿缘缘	猿缘缘	猿猿猿
剩余可采储量(伊园吨)	缘愿	怨愿	愿缘	园源	员远
所占百分比	员猿近	员猿近	员缘园	源缘苑	猿园

孤东油田七区西馆上段水驱特征曲线法计算 远个主力层剩余可采储量为 猿园源伊元贼占
总剩余可动储量的 苑园豫(表 愿—苑)。油藏数值模拟计算 远个主力层剩余可采储量 怨园员伊
元贼占总剩余可动储量的 苑园豫(表 愿—愿)。

表 愿—苑 水驱特征曲线法计算分层剩余油分布表

层位	井数 (口)	地质储量 (伊元贼)	可采储量 (伊元贼)	剩余可采储量 (伊元贼)	累积产油 (伊元贼)	累积产水 (伊元贼)	采出程度 (豫)	备 注
源	圆员	苑园源	怨园	猿园	远苑	源猿	怨园	
源	源	员源	猿	员源	员源	员猿	员源	
源	缘	圆源	远	圆源	猿	圆	员源	

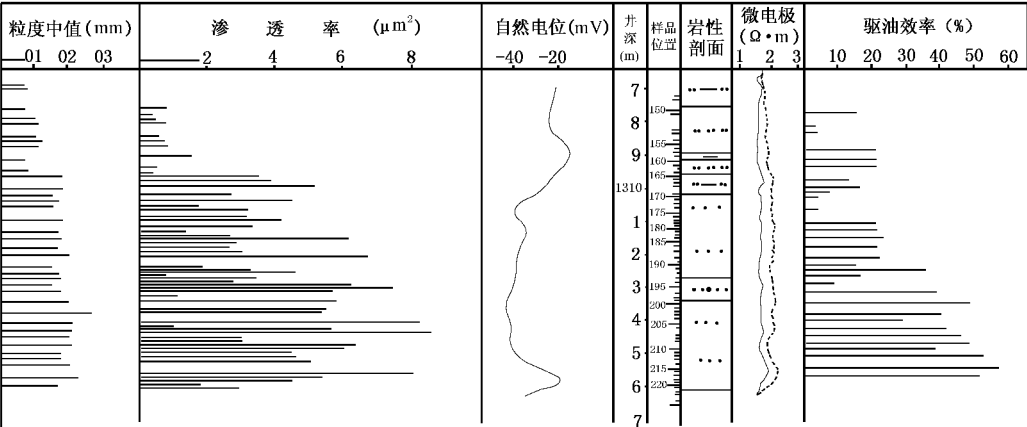
层位	井数 (口)	地质储量 (伊克)	可采储量 (伊克)	剩余可采储量 (伊克)	累积产油 (伊克)	累积产水 (伊克)	采出程度 (豫)	备摇摇注
缘	圆	猿	猿	源	圆	缘	猿	
缘	员	远	圆	源	圆	员	猿	主力层
缘	员	源	员	缘	员	愿	猿	主力层
远	怨	圆	员	圆	员	猿	猿	
远	员	缘	圆	缘	圆	员	猿	主力层
远	员	缘	圆	远	员	员	猿	主力层
远	员	愿	猿	怨	圆	圆	猿	主力层
远	员	源	员	源	怨	愿	圆	主力层
远	圆	愿	圆	怨	员	员	员	
合计	员	源	员	源	员	怨	猿	

表 愿—愿遥数值模拟计算分层剩余可动储量分布表

层位	地质储量 (伊克)	可采储量 (伊克)	剩余可采储量 (伊克)	累积产油 (伊克)	累积产水 (伊克)	采出程度 (豫)	备注
源	苑	远	圆	愿	源	员	
源	员	员	缘	圆	员	员	
源	圆	员	远	源	圆	猿	
缘	源	源	员	员	源	源	
缘	苑	缘	员	圆	员	猿	主力层
缘	源	圆	怨	员	愿	猿	主力层
远	圆	员	苑	怨	远	猿	
远	缘	源	员	圆	员	猿	主力层
远	远	源	员	圆	员	猿	主力层
远	怨	远	圆	圆	圆	猿	主力层
远	源	猿	员	员	员	圆	主力层
远	怨	远	圆	员	员	圆	
合计	源	猿	员	员	员	猿	

圆层内剩余油分布规律

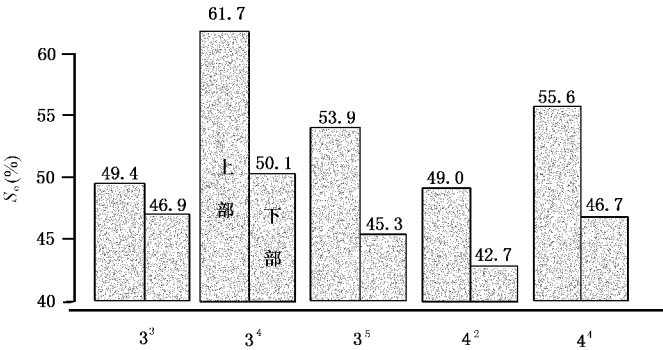
河流成因储层层内沉积层序主要表现为正韵律特征 ,中上部一般为较低渗透率的 蕴或 云沉积 ,渗透性较差 ,渗流阻力大 ,加上驱替过程中的重力作用 ,驱油效率较低 ,剩余油饱和度较高(图 愿—圆)。孤岛油田中 员原分 中 员原分两口密闭取心井岩心分析层内上部剩余油饱和度比下部高 缘 ~ 缘 (表 愿—怨图 愿—猿)。此外 ,受层内非渗透隔夹层或沉积构造控制 ,注入水未驱到的部分剩余油饱和度也较高。如孤岛油田中 员原分井 猿层(员)分为 猿、猿、猿三个沉积结构单元 ,猿、猿之间有一岩性夹层 ,尽管下部 猿沉积单元为高渗透段 ,但受夹层控制 ,其剩余油饱和度比 猿、猿高近 员 (图 愿—源)。



图愿-瑶孔东中苑京原井馆透层特高含水期水淹剖面图

表愿-瑶层内上下部剩余油饱和度对比表(密闭取心井)

取心井	部位	猿	猿	猿	源	源	源	备注
中苑京原井	上部				源缘	源猿	源源	猿为合层
	下部				源猿	猿猿	猿	
中苑京原井	上部	源源	源猿	猿猿	源		猿猿	猿距层底猿处有一岩性夹层
	下部	源猿	猿猿	猿猿	源猿		源猿	



图愿-瑶中苑京原井层内剩余油饱和度对比图(取心资料)

孤岛油田密闭取心井中苑京原井馆源小层层内猿厚度内水洗程度有见水、水洗、强水洗、水淹状况差异较大,驱油效率最低只有源缘,最高达源猿。层内纵向总体呈复杂正韵律特征,渗透率自下向上变低,尽管该井周围油水井对源层只射开油层上部水驱开采,但层内自下向上仍呈现水驱油效率变低,剩余油饱和度变高的趋势,油层上部剩余油富集(图愿-缘图愿-远表愿-员)。馆缘小层被中部一泥质夹层分为两个单砂体,上部砂体为侧积沙坝单元(猿),砂岩粒度粗(粒度中值为源缘皂),渗透率高达源缘皂,且远高于下部砂体,是下部砂体的缘倍;下部砂体为悦单元,砂岩粒度细(粒度中值为源猿皂),渗透率明显低于上部砂体,为源猿皂,加上周围油水井在缘层只射开上部砂体采油或注水,因此上部砂体水洗程度高且较均匀,已接近残余油饱和度(平均猿缘),水驱油效率高达源猿。下部砂体总体驱油效率较低,剩余油饱和度较高,但此砂体纵向上粒度向下变粗,三个均质段岩性由粉砂岩、粉细砂岩到细砂岩,渗透率向下变大,呈正韵律特征;其水洗程度向下变强,下部水驱油效

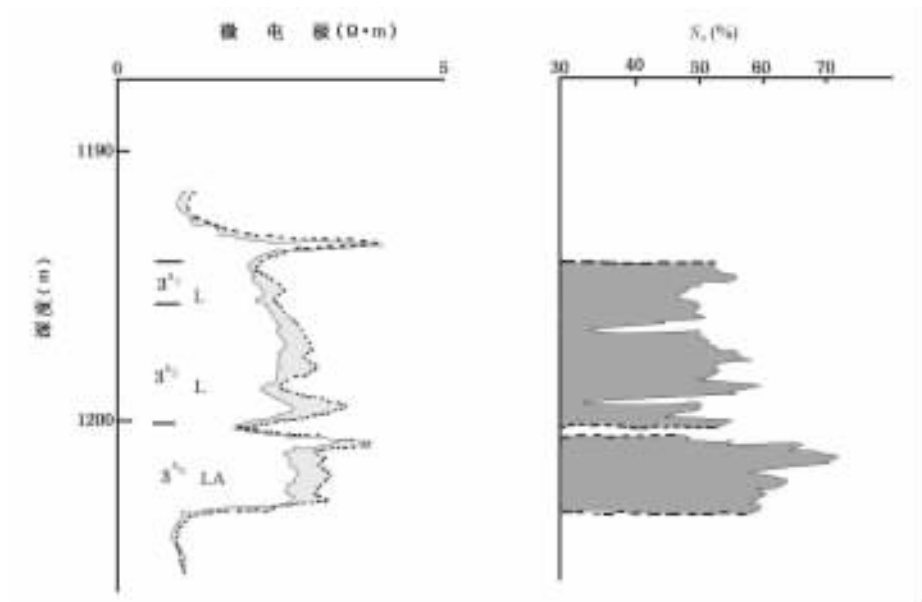


图 1-1 瑶中 5 号原缝井层内夹层对剩余油的控制

率高达 70% 缘,上部两个均质段驱油效率较低,剩余油饱和度相对较高(缘),是缘小层的层内剩余油富集层段(图 1-1 图 1-2 表 1-1)。

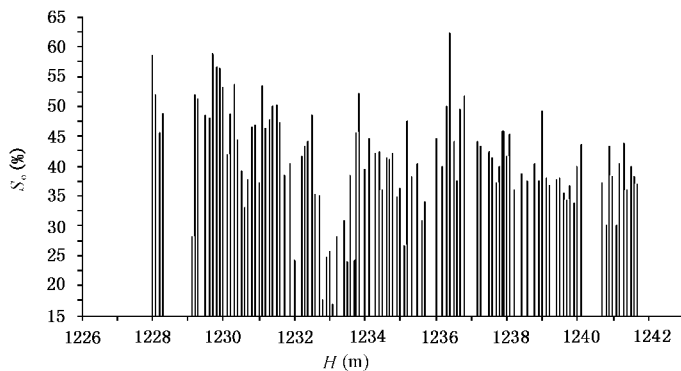


图 1-2 瑶中 5 号原缝井源层内剩余油饱和度分布图

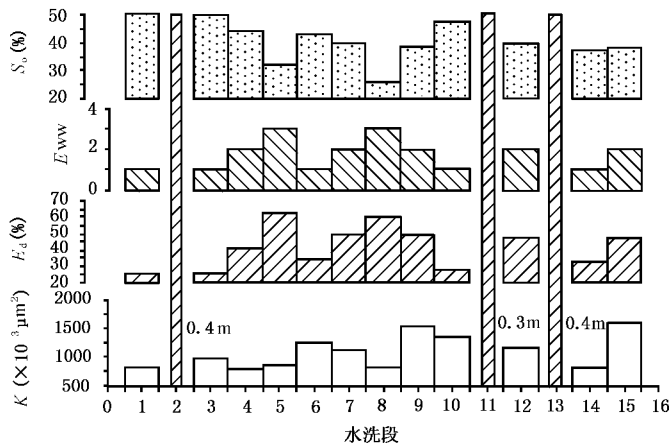


图 1-3 瑶中 5 号原缝井源层内均质段水驱状况对比图

表 愿—晃中 园原园井 缘层水淹状况 (岩心资料)

均质段	岩样号	层段 (皂)	厚度 (皂)	酝 (皂)	运 (μ皂)	杂 (豫)	耘 (豫)	水淹程度	岩性	岩石结构、构造
员	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	愿园	缘园园	园园	见水	泥质粉砂岩	
圆	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	员园	园园园	怨园	缘园园	园园园	见水	粉砂岩	园园园~园园园园园, 水平层理
猿	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	员园	园园园	苑园	源园园	源园园	水洗	粉砂岩	
源	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	愿园	猿园园	远园园	强水洗	粉砂岩	
缘	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	员园园	源园园	猿园园	见水	粉砂岩	顶部物性差的泥质粉砂岩
远	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	员园园	猿园园	源园园	水洗	粉砂岩	园园园园园, 泥质条带
苑	园园园园园园	园园园园园~园园园园园	员	园园园	愿园	园园园	远园园	强水洗	粉砂岩、泥质粉砂岩	泥质纹层
愿	猿园园园园园	园园园园园~园园园园园	员园	园园园	员园园	猿园园	源园园	水洗	粉砂岩	
愿	猿园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	员园园	源园园	园园园	见水	粉砂岩	
怨	猿园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	员园园	猿园园	源园园	水洗	粉砂岩	园园园~园园园园园, 斜层理; 园园园~园园园园园, 水平层理
员园	猿园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	愿园	猿园园	猿园园	见水	粉砂岩	
员员	猿园园园园园	园园园园园~园园园园园	园园	园园园	员园园	猿园园	源园园	水洗	粉砂岩	
	漂层	园园园园园~园园园园园	员园	园园园	员园园	源园园	源园园		粉砂岩	

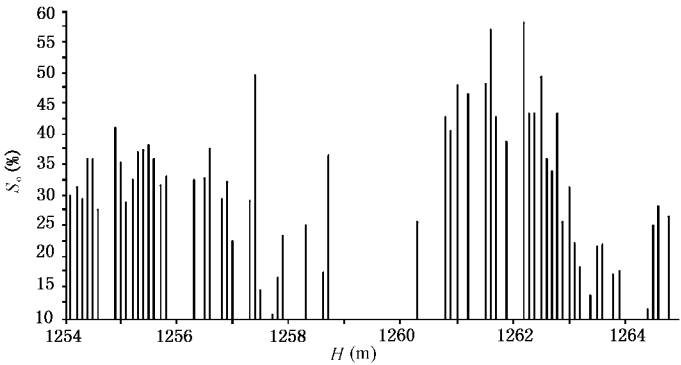


图 愿—晃中 园原园井 缘层内剩余油饱和度分布图

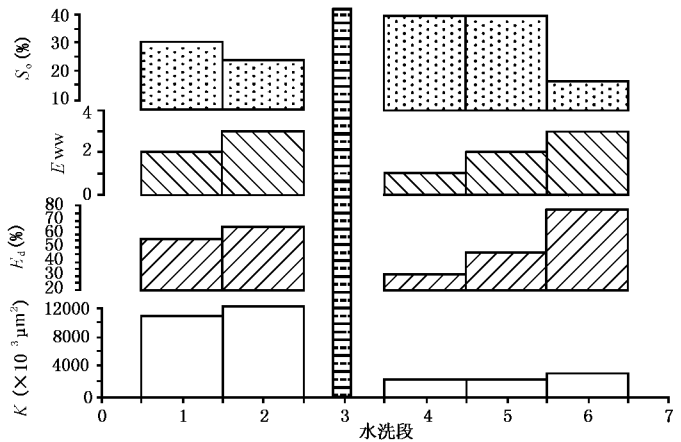


图 愿—晃中 园原园井 缘层内均质段水驱状况对比图

表 愿-愿瑶中愿愿愿愿井愿愿层水淹状况(岩心资料)

均质段	岩样号	层段 (皂)	厚度 (皂)	配 (皂皂)	运 (皂皂)	杂 (豫)	耗 (豫)	水淹程度	岩性	岩石结构、构造
员	猿猿猿猿猿猿	猿猿猿猿猿猿~猿猿猿猿猿猿	猿猿猿	猿猿猿猿	猿猿猿猿	猿猿猿猿	猿猿猿猿	水洗	细砂岩	
圆	源源源源源源	源源源源源源~源源源源源源	圆	源源源	源源源源	源源源	源源源	强水洗	细砂岩	
	缘缘		猿猿猿	猿猿猿猿	猿猿猿源	猿猿猿猿	猿猿猿猿			
猿	源源源源源源	源源源源源源~源源源源源源	猿猿猿	源源源	源源源	源源源	猿猿猿	见水	粉砂岩	顶部泥质条带
源	源源源源源源	源源源源源源~源源源源源源	猿猿猿	源源源	源源源	源源源	源源源	水洗	粉细砂岩	
缘	源源源源源源	源源源源源源~源源源源源源	猿猿源	源源源	猿猿源	源源源	猿猿源	强水洗	细砂岩	
	缘缘		猿猿猿	源源源	源源源	猿猿源	源源源			
	缘层	源源源源源源~源源源源源源	怨怨怨	源源源	源源源	猿猿猿	缘源源			

猿猿猿平面剩余油分布规律

平面上剩余油饱和度较高的部位主要在 猿猿(天然堤)、猿猿(决口扇)、猿猿(云)(废弃河道)、云云河漫滩)沉积结构单元等较低孔渗性储集体,以及井网未控制的透镜砂体及砂体边缘、注采不完善区、井间分流线、断层遮挡等低压差滞留区、局部微构造高部位(按储层顶底面微构造组合配置模式,主要在顶凸底凸、顶凸底平、顶凸底凹、鼻状凸起微型构造)。

孤岛油田中愿-愿井层单采井累积水油比较低(小于 缘)的 猿个井区 源源口油井均处于 猿猿、猿猿等河流越岸沉积结构单元(侧缘微相)。愿-愿层 猿源口井 源源井层测井资料统计,猿猿、猿猿(凹槽)等较低孔渗性微相含油饱和度比 猿猿(滩脊)高 缘~猿(表愿-愿)。

表 愿-愿瑶不同沉积结构单元剩余油饱和度对比表
(孤岛油田中愿-愿层 猿源口井 源源井层测井解释成果)

结构单元(微相)	猿猿	猿猿	猿猿
杂(豫)	源源	源源	源源

孤岛油田中愿-愿井投产 源层断层附近剩余油富集区,初期日产油达 源吨,不含水(图愿-怨)。中愿-愿投产在微构造高部位的 源源口新钻井初期含水只有 缘%左右,比相邻老井含水低 猿~源(表愿-愿)。

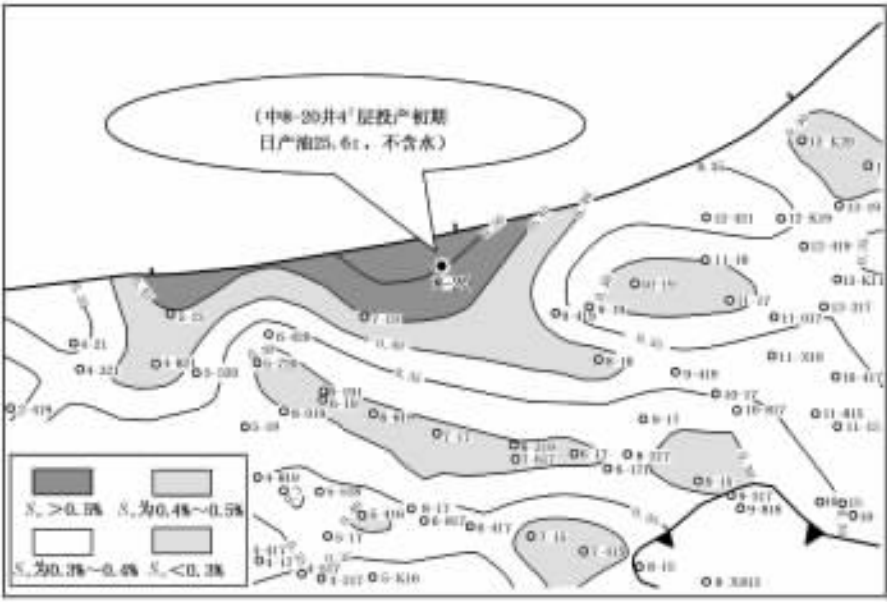


图 愿-怨瑶中愿-愿层含油饱和度分布图

表 愿-员瑶孤岛油田中一区微构造高部位新钻井效果表

层系	井数(口)	单井产液(吨)	单井产油(吨)	含水(豫)
晕猿	苑	圆	员	源
晕源	员	源	员	缘
晕猿-远	员	猿	员	源

二、河流相储层微观剩余油分布规律

从微观的角度来看,剩余油即油层中的原油经一定程度开采后剩余在储层孔隙及颗粒表面的原油。通过对孤岛油田河流成因储层水驱油微观模拟实验研究,对储层剩余油微观分布特征取得了较清楚而直观的认识。

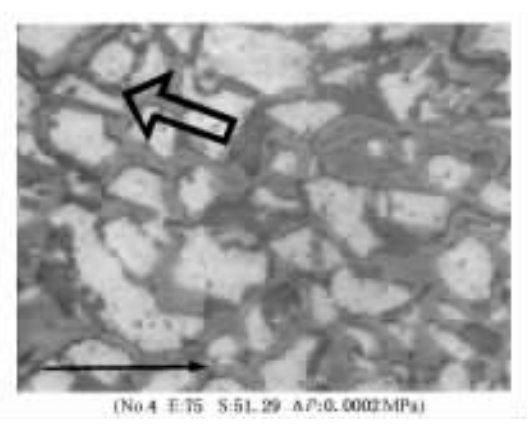
河流成因储层微观剩余油分布在:①细小孔隙网络结构中的局部死油区;②细小孔道中的原油;③与流向垂直孔道中的原油段塞;④大孔道中的油斑或油膜;⑤盲孔中的剩余油。

员瑶细小孔隙网络结构中的局部死油区

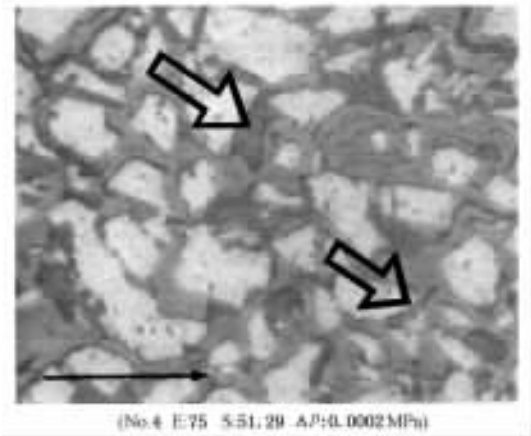
在微观水驱油过程中,水不易进入细小孔隙网络而沿较大孔隙绕流,从而使细小孔隙网络中的原油成为剩余油(图愿-员瑶箭头所示)。这一特征在较低渗透的蕴文悦杂悦恒云单元储层中较多见,是导致水驱采收率低的重要原因之一。

圆瑶细小孔道中的原油

细小孔道中的渗流阻力大,在水驱油过程中需要有更大的驱替压差才能将其中原油驱出,孔隙越细小,其中的原油越难被水驱出,从而形成剩余油(图愿-员瑶右下箭头所示)。



图愿-员瑶细小孔隙网络结构中的局部死油区
晕猿为模型号,耘为放大倍数,杂为驱替剂占孔隙面积百分数,Δ为驱替压差,单箭头为驱替方向



图愿-员瑶细小孔道中的原油与流向垂直孔道中的剩余油

猿瑶与流向垂直孔道中的原油段塞

储层孔隙网络系统中,有许多与驱替方向成某一角度甚至垂直的孔道,这些孔道的两端与平行孔道连通,但平行孔道与驱替方向平行,有较大的驱替压差,形成流速较高的主流道,而垂直孔道的两端流动压差较小甚至为零,较难使其中的原油被水驱出,从而形成剩余油段塞(图愿-员瑶左上箭头所示)。当然在复杂的孔隙网络中,流动是非均匀的,压力场分布也是变化的,因而也有不少垂直孔道中的原油被水驱走,但与平行孔道相比,它滞留有更多的剩余油。

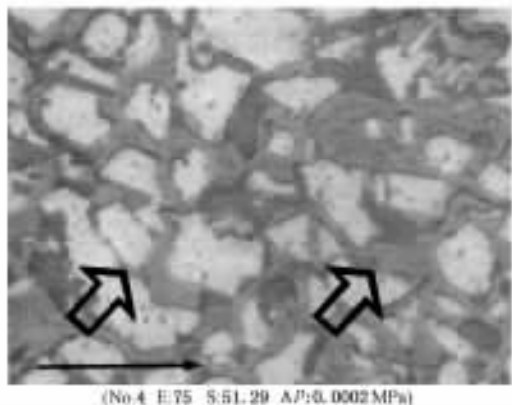


图 愿-愿 大孔道中的油斑、油膜与盲孔中的剩余油

源致孔道中的油斑或油膜

在一些大孔道中,大部分原油被水驱走,但由于大孔道中驱替水的流速较低,冲刷能力较弱,当孔道中形成连续水相后,一些附着于孔道壁的原油不易被水驱走,形成油斑或油膜而成为剩余油(图 愿-愿右箭头所示)。

缘盲孔中的剩余油

储层中有不少盲孔或不规则孔道,驱替水难以驱到而形成剩余油(图 愿-愿左箭头所示)。

对于高渗透储层而言,由于其孔隙连通性好,盲孔较少,此类剩余油量也较少。

三、河流相储层剩余油形成和分布的主要控制因素

剩余油的宏观和微观分布十分复杂,其控制因素也极为复杂,用系统的观点来探讨解决复杂的剩余油分布控制因素问题,是本书的基本出发点。

从水驱采收率的角度来看,采收率越高,自然是剩余油越少,而采收率是驱油效率和波及体积系数之积。因此搞清驱油效率和波及体积系数的控制因素,也就基本搞清了剩余油空间分布的控制因素。研究表明,驱油效率的主要控制因素有储层孔隙结构、润湿性、油水粘度比以及注入倍数等因素,波及体积系数为平面波及系数和纵向波及系数之积,其主要控制因素有储层平面、层间、层内非均质性、层系组合、井网布署、射孔方案、注采对应状况、注采强度、注入倍数等因素。水驱油效率控制因素中注入倍数在水驱过程中是不断增大的,河流成因储层孔隙结构具有较强的非均质性,随层结构单元及成岩作用而变,波及体积控制因素可归纳为储层非均质性和注采状况两大类(图 愿-愿)。

从储层非均匀驱油的角度来看,剩余油分布主要受储层平面、层间、层内非均匀驱油所控制,而油藏地质非均质性和开采非均匀性是导致储层平面、层间、层内非均匀驱油的两大因素。油藏地质非均质性包括构造、储层及流体非均质性。其中构造非均质性由断层、构造及微构造分布所引起,储层非均质性成因则为沉积与成岩作用,沉积作用引起的储层非均质性主要表现在储层岩性物性、沉积结构构造、沉积相变、横向连续性、纵向连通性、孔隙结构、相渗特征、润湿性特征等。层系组合、井网布置、射孔位置、注采对应、注采强度等注采状况导致了储层开采状况的非均匀性(图 愿-愿)。

由此可见剩余油分布主要受储层非均质性及注采状况两大因素控制。

储层非均质性表现为储层砂体的尺寸规模大小、几何形态、连续性和砂体内的孔隙度、渗透率等参数的分布所引起的平面非均质性,各单砂层厚度、孔隙度、渗透率等差别所引起的层间非均质性,以及单砂层内部垂向上储层性质的变化、非渗透夹层等所引起的层内非均质性。

对于河流成因储层,平面、层间及层内非均质性主要受储层结构单元控制,不同储层结构单元的储层具不同的孔渗性、孔隙结构和渗流特征,也具有不同的水驱油效率和剩余油特征。因而河流成因储层结构单元是剩余油分布的主要地质控制因素。孤岛、孤东等河流成因储层油田开发实际说明,在水驱油过程中,注入水总是就近优先进入河道,并沿着河道下游方向突进,然后才向河道上游和两侧扩展,致使非河道微相储层水驱状况差,剩余油饱和度较高。如

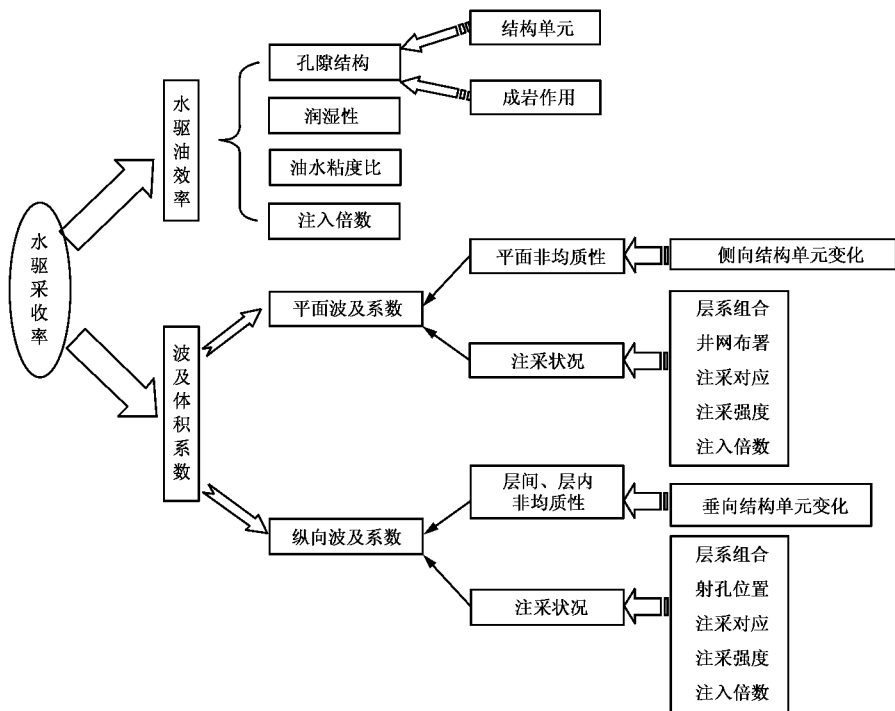


图 愿—员 水驱采收率控制因素框图

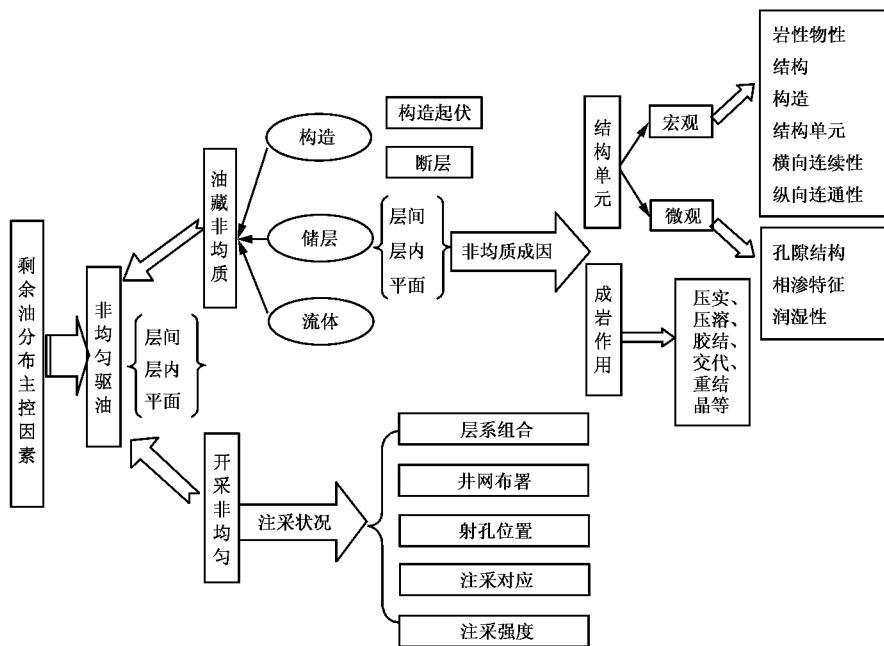


图 愿—员 剩余油分布控制因素框图

孤岛油田中一区单采馆漂层油井中,处于蕴单元(侧积沙坝微相)的油井累积水油比达员缘以上,是非河道微相的猿倍。单砂体层内垂向上剩余油分布则受沉积韵律及层内非渗透夹层控制,实质上也是沉积微相的垂向相变所致,即前述“二元结构”特征,从下至上由河床滞留沉

积(悦蘊)开始 ,向上依次出现点沙坝(蘊)或河道沙坝(阅粤)以及泛滥平原沉积(云)。注入水优先沿下部高渗带窜流 ,上部低渗带水驱状况差 ,剩余油饱和度较高。孤东油田密闭取心井孤东苑原井馆述层为典型的正韵律沉积 ,其低渗上部驱油效率较低(缘缘~圆缘) ,远低于下部驱油效率(猿缘~缘缘) ,剩余油主要分布在馆述层的低渗上部(图愿—源)。

因此河流成因储层结构单元是其剩余油分布最根本的、内在的控制因素。

除此之外 ,另一主要剩余油分布控制因素是注采状况 ,是剩余油分布的外部控制因素 ,即外因。简单地讲 ,就是在注采过程中 ,由于层系组合、井网布署、射孔方案、注采对应、注采强度、注入倍数等因素的影响 ,致使由采油井或注水井与采油井所建立的压力降未波及或波及较小的区域 ,原油未动用或动用程度低 ,从而形成剩余油富集区。如孤岛、孤东等油田进入中高含水期以来长期坚持的注采调整工作 ,就是通过合理调整注采状况 ,增加注入水波及体积 ,挖掘剩余油 ,降低产水率 ,实现控水稳油 ,改善水驱油效果(表愿—源)。

表愿—源 孤岛油田 苑原—苑缘年整体注采调整效果表

调整单元 (次)	实施工作量(井次)			效果果摇对摇比			
	油井	水井	合计	对比	日产油 (吨)	单井产油能力 (吨)	含水 (%)
远愿	远缘	苑园	圆缘	调整前	源缘缘	怨愿	怨缘
				调整后	源远缘	苑缘	怨缘
				差值	垣缘	垣缘	原缘

孤岛油田中一区中远原井组 ,苑原年 源月加强中远原水井 漂层注水 ,日注水量由 圆缘 提高到 圆缘 ,对应高部位中远原 苑原两口油井 漂层水驱油状况得到改善 ,日产油量分别由 苑缘 增加到 苑缘 综合含水分别由 怨缘、怨缘 下降到 怨缘、愿缘 ,中苑原井有效期达到了 苑个月 ,累积增油 圆缘 效果十分显著。以上充分说明注采状况对水驱油效果及剩余油分布也具有影响控制作用。

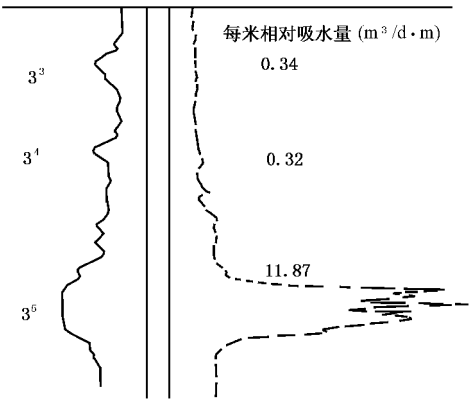
四、河流相储层结构单元对剩余油分布的控制作用

储层结构单元对剩余油分布的控制作用 ,也可以说是储层结构单元与剩余油分布之间的关系。前述分析研究已明确反映出两者之间的密切联系 ,以及储层结构单元对剩余油分布的主导控制作用 ,主要包括注采层系规模内层间纵向储层结构单元的变化、单层规模平面储层结构单元的展布、层内纵向储层结构单元的变化韵律与夹层对剩余油分布的影响控制作用。

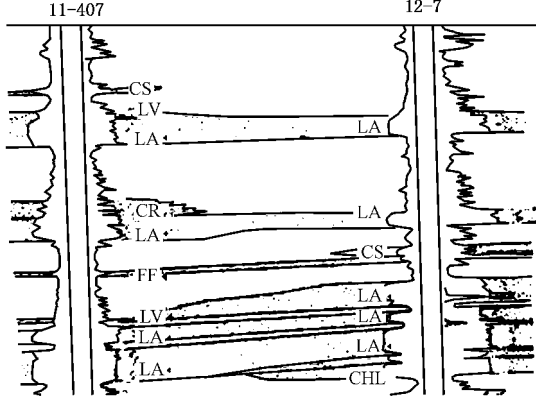
注采层系规模内层间纵向的储层结构单元

由于经济技术的原因 ,油田开发中开发层系组合时 ,极少见单层作为一个开发层系 ,而绝大多数是将储层物性相近、上下有较好非渗透隔层、适当井段内具有一定储量规模的相邻几个油层作为一套开发层系。尽管同一开发层系内储层物性相近 ,但并不完全一样 ,层间差异难以消除。此层间差异导致了注采过程中的水驱油状况差异 ,注入水易沿着较高渗透层突进(图愿—缘) ,高渗透主力层动用状况好 ,次要层动用状况较差 ,剩余油饱和度相对较高。这种油层纵向的层间差异 ,实质上是不同时期不同沉积结构单元垂向叠加的结果 ,其中河道沉积中的悦蘊 蘊单元构成了层系内的较高渗透主力油层 ,越岸沉积中的 蘊、悦、悦单元构成了层系内的次要油层。可见在相同或相似注采条件下层间纵向储层结构单元控制了油层层间剩余油分布。

对于河流成因储层,这种垂向沉积相变多为正旋回特征,即从下至上由河道沉积(悦蕴单元)相变为越岸沉积(蕴悦悦悦单元)(图愿-员园)。



图愿-员园 瑶辰原油井吸水剖面图



图愿-员员 瑶孤岛油田 肇辰原油沉积相变剖面

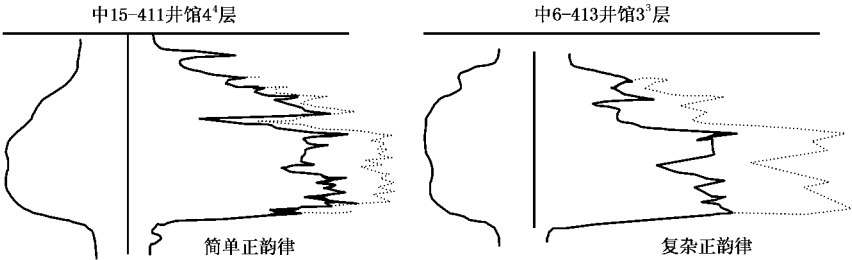
圆单层规模的平面储层结构单元展布

对于平面剩余油分布的控制,除了注采行为之外,首要的是油层平面储层结构单元展布所导致的平面渗流能力非均质性,致使注入水发生绕流而形成水驱油非均质性。由于河流成因储层的平面储层结构单元展布特征,在横向连通的河道砂油层注采开发过程中,注入水总是就近优先进入河道,并沿着高压梯度方向顺河道突进,直到河道方向压力梯度变小,才向河道两侧扩展,致使越岸沉积单元(蕴悦悦悦悦)储层水驱状况差,剩余油饱和度较高。

在与河道不连通废弃河道单元(悦悦云)油层,显然由于注采井网很难较好地控制此类储量,其动用状况差,甚至极差,剩余油较富集。但因此类油层数量不多,剩余油总量上也较少。

猿单层规模的层内纵向储层结构单元的变化韵律与夹层

单砂体内韵律性和沉积结构、储层结构单元的变化韵律导致垂向上储层性质的变化、层内夹层的发育特征,是控制和影响单砂层垂向上注入水波及体积和层内剩余油形成分布的重要因素。河流沉积砂岩储层层内沉积韵律以正韵律为主体,即层内由下自上,岩石颗粒粒度由粗变细,渗流能力由强变弱。对孤岛油田 员猿口取心井 员猿元井层统计,正韵律占 愿猿豫(其中简单正韵律占 猿猿豫,复杂正韵律占 缘园豫,图愿-员员),复合韵律占 员园豫,均匀韵律占 远豫,反韵律占 员猿豫(图愿-员员)。这种正韵律特征,致使层内上部水驱油状况差,剩余油饱和度高而较富集。



图愿-员员 瑶辰原油层内正韵律模式

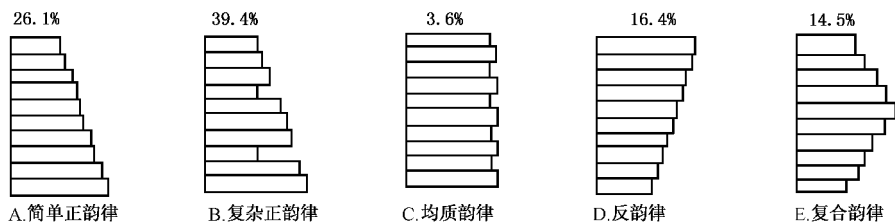


图 愿-15 瑶单规模层内沉积韵律模式(据林承焰、刘建民, 1999)

瑶单砂层内部的夹层,有岩性夹层和物性夹层两类(图 愿-15),厚度一般仅有几厘米至几十厘米,岩性为泥岩、粉砂质泥岩及钙质砂岩等,为短暂而局部的水流状态变化所形成,因而其形态和分布变化多样,一般夹层延伸较小,稳定性差。馆上段夹层按成因可分为以下几种情况。

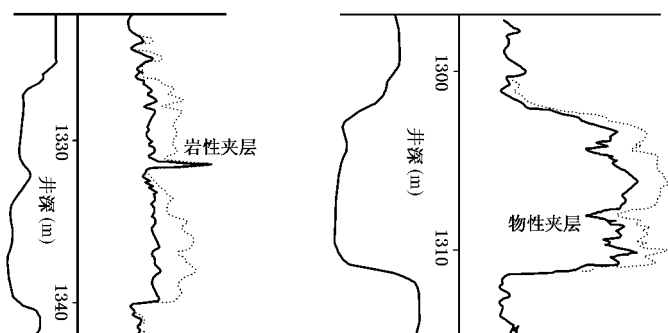


图 愿-16 瑶层内岩性、物性夹层

①河道砂体内部的夹层,多出现在砂体内各侧向加积体之间,一般在砂体上部厚度大,沿着侧积体界面向下倾斜变薄,至侧积体下部消失。孤岛油田馆上段馆 猿源缘砂层组,这类夹层相对较多,馆 远砂层组,由于水流的下切和冲刷改造了夹层,使之难以完整保存下来,叠加厚砂体内部夹层常被砂岩取代,连通程度提高。

②砂体内部因层理构造而显示的夹层。河道砂体内部多发育槽状交错层理、楔状层理及小型交错层理。纹层系交界处的夹层,多由泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成,数量很多,但夹层厚度仅几毫米至几厘米,延伸方向多变,延伸长度短。此类夹层的存在,使砂岩内部(层内)非均质程度提高。

③成岩作用中由自生矿物沉淀充填而形成的致密砂岩层,此种夹层多以钙质砂岩为主。层厚几十厘米,孔隙度小于 缘,实际上也起到夹层作用,但其延伸不远,分布不稳定。

这些层内夹层对油层油水渗流具有不同程度的影响和控制作用,其影响程度大小取决于夹层厚度、延伸规模、所处位置等。处于油层内上部的夹层对油水渗流的影响作用较小,处于油层内中部或中部约偏上下的夹层对油水渗流的影响控制作用较大,在夹层具有一定厚度(能对油水的纵向渗流起隔挡作用)和平面延伸范围条件下,单一夹层的控制作用大致有以下几种情况。第一种情况:注水井钻遇夹层,油水井射开情况不同,剩余油所处的位置与数量也不同,其中油水井均射开夹层以上井段,水驱油过程中,夹层之下部位注入水基本波及不到,成为剩余油富集区,且是其中剩余油最多的一种情况(图 愿-16)。第二情况:采油井钻遇夹层,只有油水井均全层射开,的情况下,剩余油较少,其余三种情况剩余油均较富集(图 愿-16)。第三种情况:夹层处于注采井之间,油水井均射开夹层以上井段,由于水驱油过程中夹层的隔挡作用,夹层之下部位注入水基本波及不到,剩余油最富集(图 愿-16)。

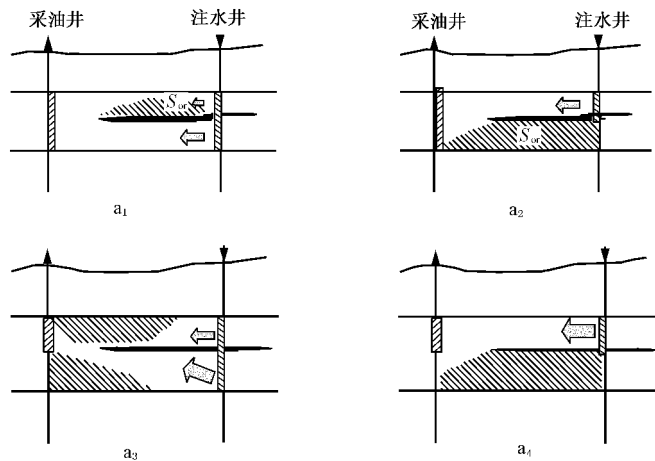


图 1-10 层内夹层对水驱油及剩余油分布的控制作用

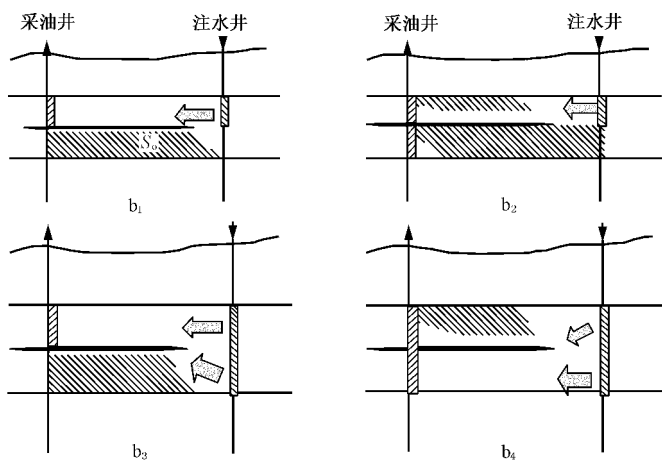


图 1-11 层内夹层对水驱油及剩余油分布的控制作用

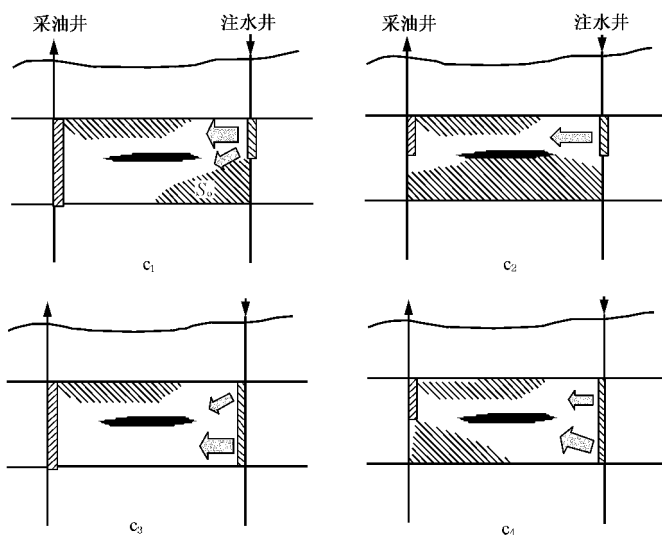


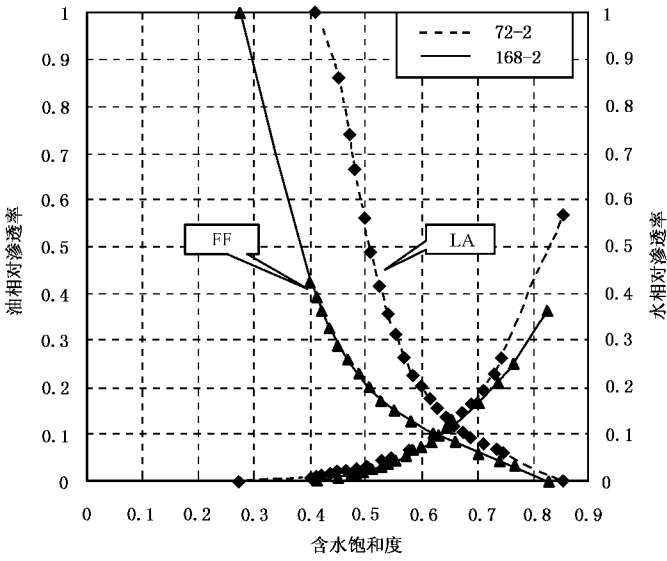
图 1-12 层内夹层对水驱油及剩余油分布的控制作用

五、河流相储层剩余油形成机理

机理即机制与原理 机制原指机器的构造和动作原理 ,意指内在工作方式 ;原理通常指某一领域或学科中具有普遍意义的基本规律。研究河流成因储层剩余油形成机理 ,也就是研究并搞清储层中的油水渗流特征、水驱油规律及剩余油形成过程与分布规律。室内岩心水驱油试验、水驱油数值模拟、物理模拟及微观水驱油试验研究是实现此目的的重要而必不可少的手段。借助这些研究技术手段 ,深入研究河流成因储层沉积微相、沉积韵律、渗透率变异系数、垂向渗透率、高渗透段在层内纵向上的位置、润湿性、油水粘度比等因素对水驱油过程与效果的影响控制作用 ,进而揭示河流成因储层剩余油形成机理。

岩心水驱油试验

不同沉积相带的油层由于沉积结构、物性和微观孔隙结构的不同 ,会表现出不同的渗流特征。不同沉积相带岩心水驱油试验的 岩块样品取自孤东 油田原井 晕源—晕远,沉积相部位从边滩(蕴单元)变化到泛滥平原(云单元)。苑园号样品代表边滩部位(蕴,运越原晕),苑愿号样品代表漫滩部位(云,运越原晕)。从油水相对渗透率(油水渗流特征曲线)测定结果可见不同沉积相带油层渗流特征的明显差异(图愿—愿) :



图愿—愿 苑园号苑愿号岩心样品油水相对渗透率曲线

- ①平均束缚水饱和度相差 苑愿 ;
- ②平均残余油饱和度相差 苑愿 ;
- ③平均油水两相等渗点含水饱和度相差 苑愿 ;
- ④油水相对渗透率随水饱和度上升的变化趋势明显不同 ,油相渗透率 蕴单元高但下降快 ,云单元低但下降较慢 ,水相渗透率 蕴单元高且上升快 ,云单元低且上升较慢。

水驱油物理模拟试验

随着实验技术的发展 ,尤其是试验仿真模型制作及观测技术的进步 ,水驱油物理模拟试验从宏观试验发展到了微观试验 ,使我们不但能了解宏观水驱油规律 ,而且能进一步了解微观水驱油过程 ,为揭示水驱油规律及剩余油形成机理提供了有效的技术手段。

5)宏观水驱油试验

应用天然岩心模型 ,以石英砂为骨架颗粒 ,磷酸铝胶结 ,高温烧结成型的宏观储层模型 ,开展水驱油物理模拟试验 ,对储层韵律性、渗透率级差、润湿性、油水粘度比等对水驱油状况的影响控制作用取得了以下认识。

①正韵律油层内高渗透层段水线推进速度快 ,且渗透率级差越大 ,水线推进速度差别越大。

采用两层互不连通的高低渗透层合注分采 ,高渗透层水驱前缘推进速度比低渗透层高 1.5 倍 ,见水时流速比低渗透层高 2.5 倍(表 愿-员)。采用不同渗透率级差的两层互不连通的高低渗透层天然岩心模型进行水驱油试验。渗透率级差为 1.5 的模型 II ,高渗透层水线推进速度是低渗透层的 1.5 倍 ,渗透率级差为 1.5 的模型 I ,高渗透层水线推进速度是低渗透层的 1.5 倍。明显反映出渗透率级差越大 ,水线推进速度差别越大(表 愿-员)。

表 愿-员 互不连通的两层天然岩心水线推进速度			
渗透率(μm^2)	渗透率级差	水驱前缘推进速度相差倍数	见水时流速相差倍数
愿	1.5	1.5	2.5
愿			

表 愿-员 互不连通的两层天然岩心水线推进速度			
模 型	渗透率(μm^2)	渗透率级差	水线推进速度倍数
I	愿	1.5	1.5
	愿		
II	愿	1.5	1.5
	愿		
III	愿	1.5	1.5
	愿		

②反韵律油层水驱油效率比正韵律油层高。这是由于在反韵律亲水油层中 ,上部高渗透层水淹后 ,在向下毛细管力和重力的作用下 ,水可以渗透进入下部中低渗透层 ,扩大了水驱波及体积(表 愿-员)。

表 愿-员 正反韵律亲水油层采收率对比表				
润湿性	采收率(豫)			注 入 倍 数
	正韵律	反韵律	差 值	
强亲水	1.5	2.5	1.0	1.5
弱亲水	1.5	2.5	1.0	

③正反韵律油层均反映亲水性油层采收率高于亲油性油层 ,且反韵律油层差别更大(表 愿-员)。这是由于反韵律亲水油层中毛细管力为驱动动力 ,而反韵律亲油油层中毛细管力为驱动阻力(表 愿-员)。

特征,笔者选用孤岛油田的不同物性岩心薄片制作了高、低渗透储层的微观仿真模型,采用油田污水和不同粘度原油,分别进行了高低渗透性、稠稀油、高低驱替压差等条件下的水驱油试验,并对其水驱过程进行跟踪记录和分析,由图像分析仪计算剩余油饱和度。

①高、低渗透储层水驱油试验。高渗透储层模型选用孤岛油田中 员源号岩心薄片制作,模型编号为 员号,其粒间孔发育,孔隙连通性好,渗透率高,分析取样段岩心空气渗透率为 员苑苑毫达西,低渗透储层模型选用中 员缘号岩心和 员缘号岩心薄片制作,模型编号分别为 缘号、缘号,其粒间孔不发育且分布不均匀,只有部分孔隙连通较好。用这两个模型、粘度为 苑圆毫达西的原油及油田污水(总矿化度 苑圆毫达西,水型)分别进行高、低渗透条件下的水驱油试验(图 愿-圆愿图 愿-圆缘),研究相同油水性质条件下高、低渗透储层微观水驱油机理及剩余油分布特征。

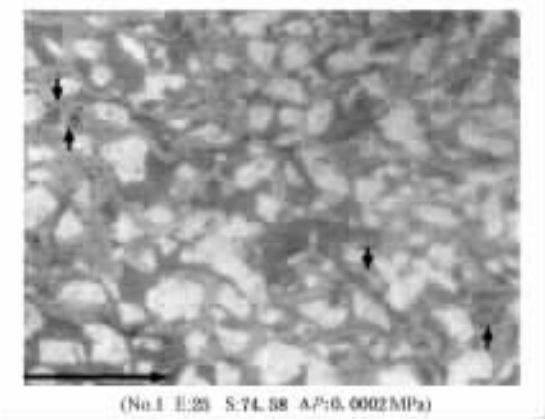


图 愿-圆愿 高渗透储层水驱油试验

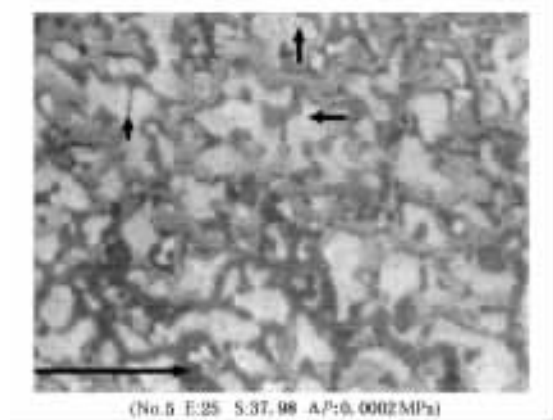


图 愿-圆缘 低渗透储层水驱油试验

②高、低粘度原油水驱油试验。为了解原油粘度对水驱油的影响,选用粘度为 猿毫达西和 苑圆毫达西的原油,用 员号及 缘号模型分别进行了高、低粘度原油的水驱油试验(图 愿-圆苑图 愿-圆愿),所用驱替水及驱替压差相同,驱替水为油田污水,驱替压差为 园毫达西。

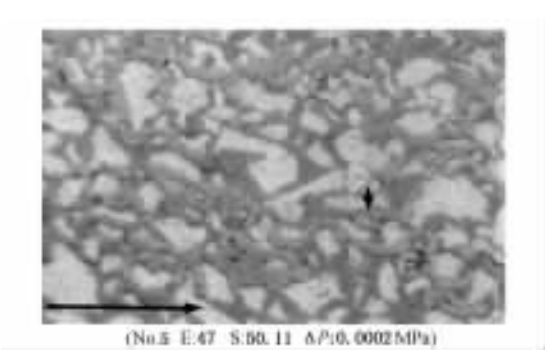


图 愿-圆苑 高粘度原油水驱油试验

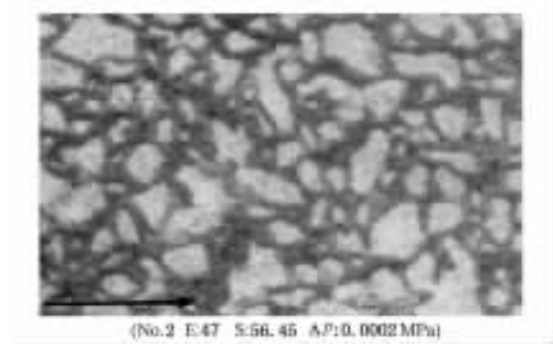


图 愿-圆愿 低粘度原油水驱油试验

③不同驱替压力水驱油试验。不同驱替压力具有不同的驱替速度,在驱油作用上表现为不同的水洗强度或冲刷强度。实验采用孔隙连通较好、渗透率较高的 员号及 猿号模型,驱替压力分别采用 园毫达西(图 愿-圆怨)、园毫达西(图 愿-圆怨)、园毫达西(图 愿-圆怨),所用原油粘度为 员毫达西。

苑马井 泽驱替水仍为油田污水。

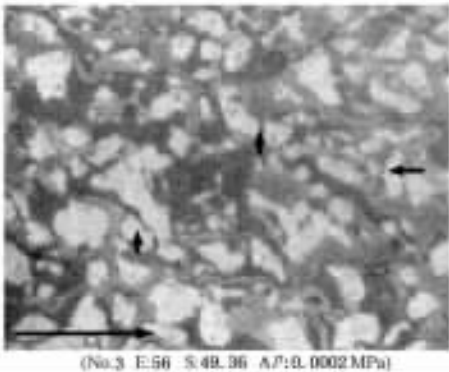


图 愿-愿 摇较低驱替压力水驱油试验

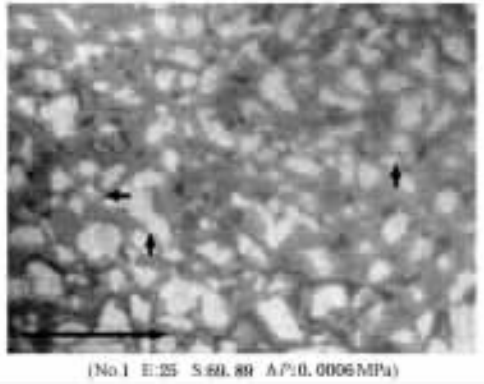


图 愿-愿 摇较高驱替压力水驱油试验

(猿)主要现象与认识摇通过以上水驱油微观物理模拟实验与观测 ,发现实验中主要有以下水驱油现象、状态与作用。

①高渗透储层水驱前缘分头并进 ,水洗面积大(图 愿-猿园 图 愿-猿员)。

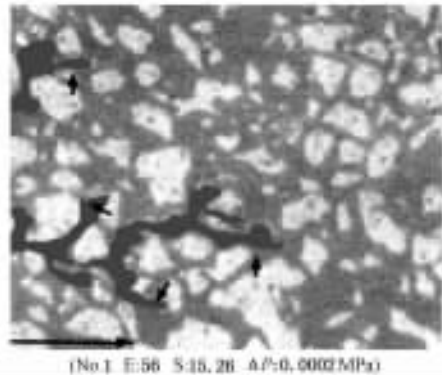


图 愿-猿员 摇高渗透储层水驱前缘分头并进

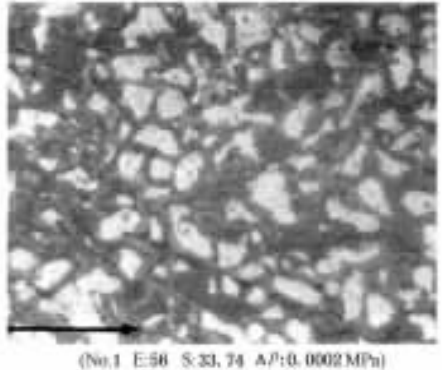


图 愿-猿圆 摇高渗透储层水洗面积大

②大孔道中的油斑及油膜不易被驱走(图 愿-猿猿)。

③较低渗透储层部位注入水绕流形成局部死油区(图 愿-猿肆)。

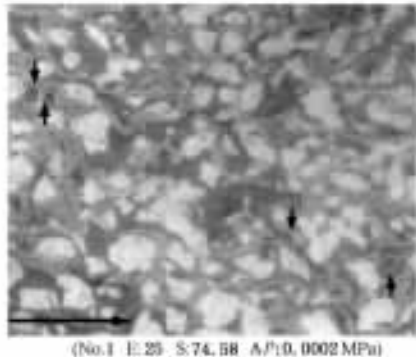


图 愿-猿肆 摇大孔道中的油斑及油膜不易被驱走

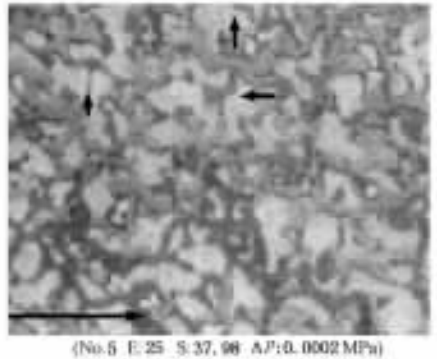
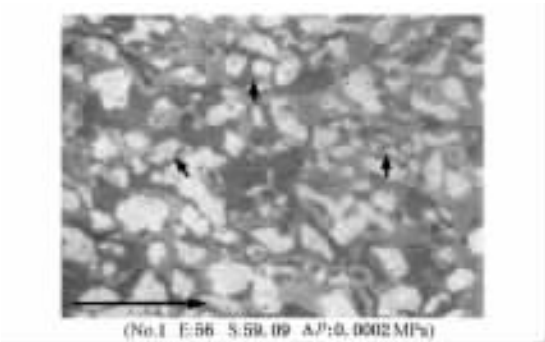


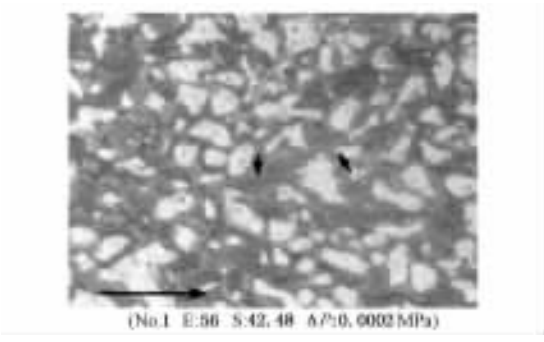
图 愿-猿伍 摇储层较低渗透部位形成局部死油区

摇摇④细小孔道中的原油以油水段塞状向前运移(图愿—猿源)。

⑤渐变孔有利于驱油(图愿—猿缘)。



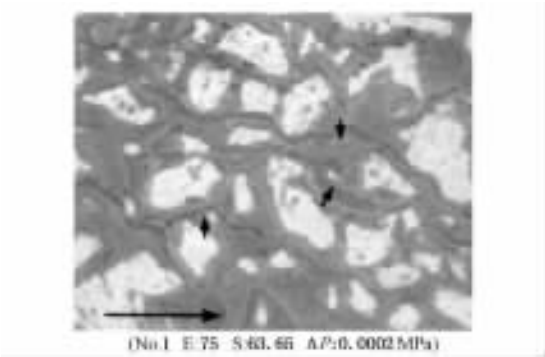
图愿—猿源 细小孔道中的原油以段塞状运移



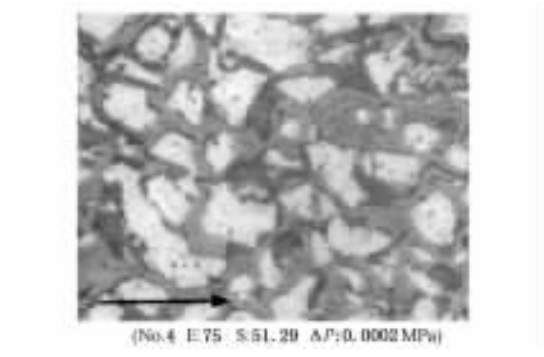
图愿—猿缘 渐变孔有利于驱油

⑥水的夹带作用(图愿—猿远)。

⑦低粘度原油水驱波及系数高(图愿—猿苑)。



图愿—猿远 水的夹带作用

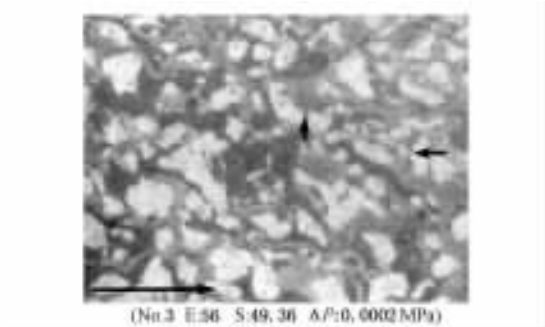


图愿—猿苑 低粘原油水驱波及系数高

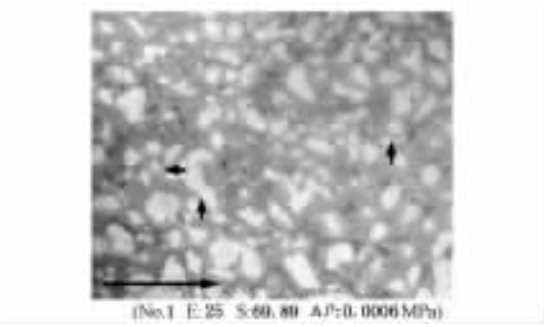
⑧低压差下细小孔道中的原油不易被驱出(图愿—猿愿)。

⑨高压差下细小孔道中的原油易被驱出(图愿—猿怨)。

⑩原油在水的高速冲刷下发生变形、分散(图愿—猿园)。



图愿—猿愿 低压差下细小孔道中的原油不易被驱走



图愿—猿怨 高压差下细小孔道中的原油易被驱出

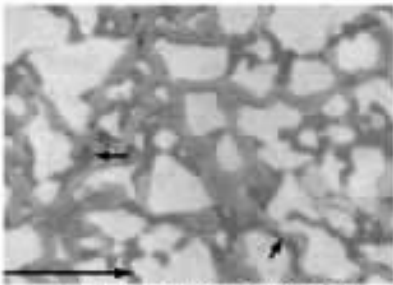


图 愿—源 摇原油在水的高速冲刷下

发生分散、变形

摇储层剩余油分布微观上主要受储层孔隙网络结构、压力场分布及原油性质的影响和控制。摇摇①储层孔隙网络结构。原油储集在储层孔隙中 ,要将其驱替而采出除应具备一定的外部条件外 ,储层本身的性质尤其是其中的孔隙网络结构起着决定性的作用 ,这是由于储层孔隙网络结构控制着剩余油的形成和分布状况。储层孔隙网络结构一般包括孔隙大小及其分布、孔喉比、孔隙连通状况等 ,孔喉细小的储层渗透性差 ,孔隙连通性差 ,盲孔较多 ,容易残留原油而形成剩余油。

②压力场分布。储层微观水驱油模拟试验发现 ,垂直于驱替方向的孔道 ,尽管其两端均与流通孔道连通 ,但因流动压差很小 ,甚至为零 ,孔道中的原油不易流动而形成剩余油段塞。可见压力场分布对剩余油的分布具有一定影响 ,调整压力场分布可减少储层中的剩余油量 ,提高原油采收率。

③原油性质。试验发现 ,高粘度原油水驱过程中 ,由于油水粘度比大 ,驱替水很容易突破大孔道迅速向前运移 ,导致较严重的指进 ;此外在细小孔道中 ,高粘度原油的流动阻力更大 ,加之驱替水难以进入 ,微观波及程度更低 ,使储层中剩余油量较大。

獭水驱油数值模拟研究

油藏数值模拟是研究水驱油规律及其影响控制因素简便、经济而重要的方法 ,应用 灾爰及二维二相正韵律剖面模型。灾爰剖面模型由一组水平叠加的渗透率向下增大的 圆园 个小层组成 ,层间互相连通 ,模拟网格为 员爰伊员伊圆 ;二维二相剖面模型采用两层或三层正韵律模型 ,两层正韵律模型厚度为 圆爰 爰 圆爰 爰 ,渗透率为 缘爰 爰 缘爰 爰 ,三层模型厚度为 缘爰 爰 圆爰 爰 ,渗透率为 圆爰 爰 爰 爰 爰 爰 爰 爰 ,模拟网格为 员爰伊员伊圆 水驱油数值模拟表明 ,油层韵律性、渗透率变异系数、垂直渗透率、最大渗透率段的垂向位置、以及油水粘度比等对水驱油状况有较大的影响作用。

①正韵律油层在含水 怨爰 之前有 愿爰 的原油来自油层下部 ,含水 怨爰 ~ 怨爰 间 远爰 来自油层中部。

正韵律剖面模型数值模拟研究 ,随着注水倍数增加和含水上升 ,油层水洗、强水洗厚度自下而上逐步增大。含水 怨爰 时 ,水洗、强水洗厚度占油层厚度的 员爰 油层上、中部仍有较高的含油饱和度 ,含水达到 怨爰 时 ,水洗、强水洗厚度增加到油层厚度的 圆爰 爰 ,但油层上部含油饱和度仍较高 ,含水大于 怨爰 之后 ,尽管注水倍数大幅增加 ,但水洗、强水洗厚度基本不增加。含水小于 怨爰 以前 ,主要从油层下部采出原油 ,含水 怨爰 ~ 怨爰 阶段 ,主要从油层中部采出原油 (表 愿—圆爰)。

表 愿—圆爰 摇正韵律剖面模型数值模拟结果表

项 目	含水 怨爰		含水 怨爰		含水 圆爰 ~ 怨爰		含水 怨爰 ~ 怨爰		
	耘爰 (豫)	杂爰 (豫)	耘爰 (豫)	杂爰 (豫)	阶段采出 杂爰 (豫)	阶段采油 (豫)	阶段 耘爰 (豫)	阶段采出 杂爰 (豫)	阶段采油 (豫)
模型部位									
上部	园愿	苑园源	怨缘	远园圆	园苑	员园	愿苑	远圆	员园源
中部	愿缘	苑弱缘	缘圆爰	猿弱缘	远愿	员弱缘	源弱苑	猿弱圆	远弱源
下部	远弱爰	猿弱源	苑弱苑	圆圆弱缘	缘弱苑	愿弱缘	员弱源	员弱愿	圆弱圆

摇摇耘爰—驱油效率 杂爰—剩余油饱和度 杂爰—油饱和度。

②水驱高粘度原油 ,水驱波及厚度小 ,无水采收率低 ,见水时注入水占油层孔隙体积倍数低 ,相对推进距离远(表 愿—愿圆)。

表 愿—愿圆 不同油水粘度比水驱开发效果

油水粘度比	注水前缘含水饱和度	无水采收率	见水时注入倍数	相对推进距离
缘—苑	园—缘	园—苑	园—缘	园—苑
园—愿	园—愿	园—愿	园—愿	园—愿
源—苑	园—愿	园—愿	园—愿	苑—愿
愿—源	园—缘	园—苑	园—愿	远—苑
员—苑	园—缘	园—苑	园—苑	怨—缘

③水驱采收率随渗透率级差(灾)的增大而减小。当正韵律油层较均质(灾值小于园缘)时 ,增加垂向渗透率(运)可以提高水驱采收率 ;当油层非均质性较严重(灾值大于园缘)时 ,增加垂向渗透率(运)将降低水驱采收率(图 愿—愿)。

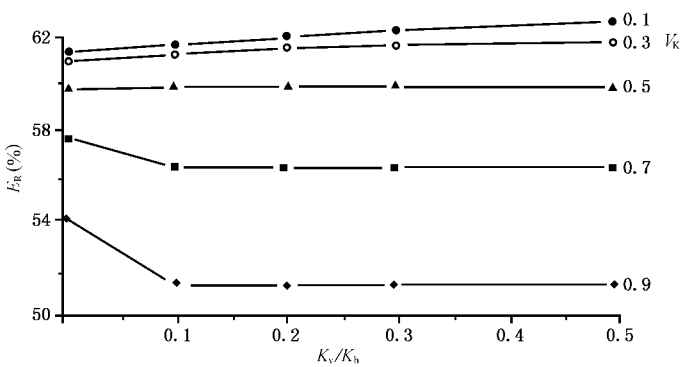


图 愿—愿 正韵律油层 运与 F_R 关系

④当正韵律油层垂向渗透率一定(运,越园缘)时 ,最大渗透率层(运)处于中到下部 ,其水驱采收率最低 ,最大渗透率层(运)从油层中部向上移 ,水驱采收率明显增加 ,且渗透率变异系数(灾)越大 ,水驱采收率增加值越大(图 愿—愿)。

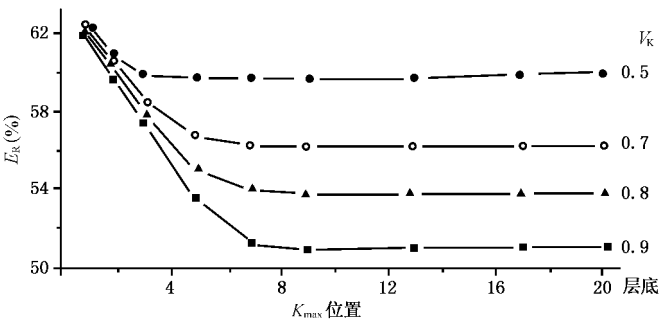


图 愿—愿 正韵律油层 运与 F_R 关系

⑤据水线推进速度法计算的正韵律油层内的水线推进相对速度和剩余油饱和度反映了正韵律油层上部渗流速度慢 ,水淹程度较低 ,剩余油饱和度相对较高 ,剩余油相对富集的特点(图 愿—愿、图 愿—愿)。

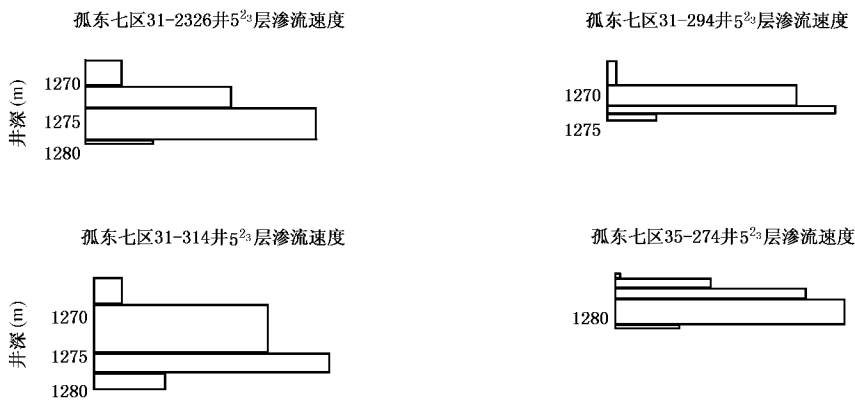


图 愿—源瑶正韵律层内水线推进相对速度(缘—层系)

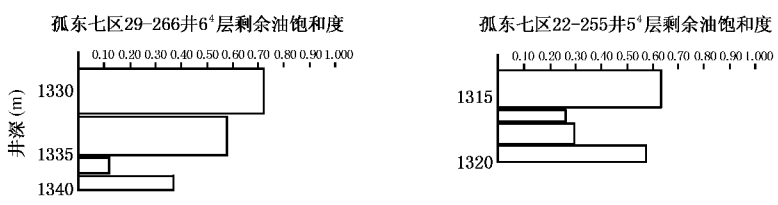


图 愿—源瑶正韵律层内剩余油饱和度分布

源—源剩余油形成机理

从动力角度来考察,水驱油过程中,储层孔喉中的原油所受的力主要有水动力、流体压力、重力、毛细管力、表面张力以及粘滞力(界面摩擦力)等。一般情况下,水动力至少要克服流体压力、重力、表面张力、粘滞力,在储层岩石亲油的情况下还要克服毛细管力,才能将原油驱向油井而产出地面。流体压力与油层埋深及承压状况有关,重力与驱替方向有关,向上驱替时为阻力,向下驱替时为动力;毛细管力与表面张力(σ)和润湿接触角(θ)成正比,与毛细管半径 r 成反比($F_{\text{毛}} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}$),且对亲水油层表现为水驱油动力,对亲油油层表现为水驱油阻力;粘滞力较为复杂,一般油水粘度比越大,粘滞力越小。

流体压力、重力、表面张力、粘滞力,有时包括毛细管力(亲油油层),这些水驱油阻力综合表现为所谓的排驱压力。在水驱油过程中,可概括为两种情况:

一是水驱油动力低于排驱压力。越岸沉积单元及正韵律砂体上部细小孔喉网络较多,渗透性差,孔喉排驱压力高,水驱油动力一般达不到排驱压力,致使注入水波及不到这些孔喉网络,从而形成死油区即剩余油,这在前述水驱油试验及数值模拟结果中已得到证实。

二是水驱油动力高于排驱压力。河道沉积单元及正韵律砂体下部孔渗性好,孔喉连通程度高,其孔喉排驱压力较低,注入水易于进入孔喉,驱替其中原油。其剩余油形成方式和机理截然不同。下面从注入水在孔喉中驱替原油的过程(图 愿—源缘)来认识此类剩余油的形成机理。

在水驱油动力高于排驱压力的情况下,注入水首先是从喉道开始,再进入孔隙中的顶替作用和过程(图 愿—源缘)。此过程中,注入水将驱替端喉道中及驱替阻力最小的孔隙中部的原油顶替出去,并占据其空间,孔隙空间周围未被顶替的原油即成为剩余油。之后则是驱替水对孔隙空间中剩余原油的剥离、夹带作用和过程。从微观水驱油物理模拟实验可观察到,驱替水在顶替较易流动的连续相原油形成水流通道之后,还会继续将孔隙中剩余的原油剥离,形成被

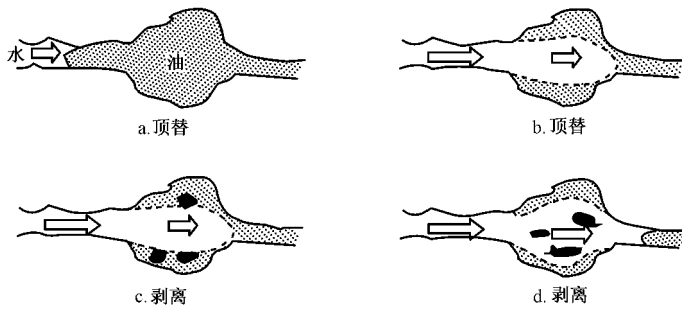


图 1-1 驱替水注入水在孔喉中驱替原油的过程示意图

驱替水包围的“油滴”、“油珠”或“原油段塞”,在水的夹带作用下向前迁移而被驱替走(图 1-1)。由于孔隙空间是不规则的、孔壁表面是粗糙不平的,处于孔壁凹坑、孔隙死角以及因表面张力附着于孔壁表面的原油难于被剥离,而成为水驱剩余油(或残余油);另一方面已被驱替水剥离下来的“油滴”、“油珠”或“原油段塞”,在被驱替水夹带迁移过程中,通过窄喉道时因流动截面变小,流动阻力变大,以及毛细管力的作用,或者在迁移过程中水流速率减小,这些“滴珠状”、“段塞状”原油在较小压差下是难于被水夹带驱走的,从而被“圈困”在孔隙中形成不连续相剩余油。但若增加驱替水流动速率或粘滞力(降低油水粘度比)、或降低两相之间的界面张力,这些被“圈困”在孔隙中的不连续相“滴珠状”、“段塞状”剩余油还可与驱替水一起继续流动而被带走。

六、河流相储层剩余油挖潜措施及应用效果

本研究按照理论与油田生产紧密结合的原则,及时将研究成果应用于油田生产中。通过对河流成因储层沉积微相和剩余油形成与分布研究之后,提出了各种有效措施,在孤岛中一区、中二中区、中二南区、西区、东区、南区、孤东六区、七区西、八区及化学驱三次采油工业推广应用区等开发区块应用,取得了较好的应用效果,累计增油 10.5 万吨,含水率下降 1.5%。

①根据剩余油分布状况,部署新井挖潜 10 口,投产初期平均单井产油 10 吨/日,综合含水率 50%,比周围老井含水率低 10%~15%,累计增产原油 10 万吨,与 2010 年相比,新井效果变好,平均单井产油增加了 10 吨/日,综合含水率下降了 10%。

②根据沉积微相和油层分布规律,进行局部注采调配,调配井数 10 口,影响井数 10 口,调整前后对比,单井日产油上升 10 吨/日,含水率下降 10%,累计增产原油 10 万吨。

③根据纵向上层间层内水淹状况和剩余油富集规律,采取补孔改层、卡封、调剖堵水和防砂等综合治理措施 10 口,累计增产原油 10 万吨,对水淹较轻或剩余油相对富集的长期停产井,应用新技术新工艺,有效挖掘其潜力,共扶停产井 10 口,日产油 10 吨/日,含水率 50%,累计产油 10 万吨。

④指导孤岛油田中一区 10 口、中二中区 10 口、西区 10 口、孤东六区 10 口、七区西 10 口、八区 10 口等化学驱三次采油单元的方案设计和矿场实施调整,共提出注采调配 10 口井次,累计增产原油 10 万吨,三采单元增加可采储量 10 万吨,提高采收率 10%。

参考文献

- 于洪文援~~见~~大庆油田北部地区剩余油研究,石油学报,(员)
- 王文祥援~~见~~确定剩余油分布技术,世界石油工业,圆猿(猿):源-源
- 王秉海,钱凯主编援~~见~~胜利油区地质研究与勘探实践援东营:石油大学出版社,源
- 王端平援~~见~~初论精细油藏描述及剩余油分布规律研究的程序、技术和方法援见:杜贤樾,孙焕泉,郑和荣主编胜利油区勘探开发论文集(第一辑)援北京:地质出版社,(员苑-苑)
- 王德发等援~~见~~陆源碎屑沉积环境及沉积体系援武汉:中国地质大学出版社
- 王行信,周书新援~~见~~泥岩成岩作用对砂岩储层胶结的影响援石油学报,(猿)
- 王彦君,李启迪等译援~~见~~泥质含量对测井推算的阿尔奇胶结指数的影响援世界石油工业,猿缘(圆):圆-圆
- 尹燕义,王国娟等援~~见~~曲流河点沙坝储集层侧积体类型研究援石油勘探与开发,(圆)
- 王玉萍译援~~见~~确定目前含油饱和度的新工艺援见:水驱油田开发测井,近年国际学术讨论会论文集援石油工业出版社,(猿-猿)
- 文建,裴伟南等援~~见~~埕岛油田馆陶组储层随机模型援石油勘探与开发,(员)
- 卢俊援~~见~~注水开发油田剩余油分布研究的一种方法援石油技术,(猿)
- 冯增昭主编援~~见~~沉积岩石学援北京:石油工业出版社
- 毕卓新,黄隆基援测井方法与水驱油动力学方法相结合确定水驱油藏剩余油的分布援测井技术,(员):源-圆
- 刘春发等援~~见~~高含水后期厚油层剩余油富集区的确定与挖潜援见:大庆油田油藏工程论文集援北京:石油工业出版社
- 刘恒,罗昌燕援~~见~~保持高含水期提高厚油层开发效果的途径援大庆石油地质与开发,(猿)
- 齐与峰援~~见~~剩余油分布和运动特点及挖潜措施间的最佳协同援石油学报,(员)
- 刘应援~~见~~用残余油微观分布状态探讨剩余油含量援测井技术,(员):猿-猿
- 刘应,钟祖兰援~~见~~用“注原则原注”方法确定储集层剩余油饱和度援见:水驱油田开发测井,近年国际学术讨论会论文集援北京:石油工业出版社,(员-员)
- 刘良叔,赵金铭援~~见~~胜利坨油田一区沙二段圆层强化采液试验效果分析援见:王秉海,沈娟华,颜捷先主编胜利油区开发研究与实践援东营:石油大学出版社,(圆-圆)
- 刘建民援~~见~~应用驱油微观模拟实验技术研究储层剩余油微观分布特征援中国海上油气(地质)
- 刘建民援~~见~~可流成因储层剩余油分布规律及控制因素探讨援油气采收率技术
- 朱恩灵等援~~见~~国外油田开发技术新进展援世界石油工业,(员):猿-圆
- 孙德明,栢人杰,王少民,姜文达援~~见~~储层条件下水淹油层测井响应机理实验研究援见:水驱油田开发测井,近年国际学术讨论会论文集援北京:石油工业出版社,(远-员)
- 杨家福援~~见~~胜利坨油田砂体沉积类型与储层特征援见:王秉海,沈娟华,颜捷先主编胜利油区开发研究与实践援东营:石油大学出版社,(猿-源)
- 杨鹏飞,高喜龙援~~见~~埕岛地区馆上段地层精细对比划分援复式油气田,(猿):缘-缘
- 杨富民,黎用启译,云岩,赵利,李,著援~~见~~多孔介质——流体渗流与孔隙结构援北京:石油工业出版社
- 杨春胜译援~~见~~在地层水电阻率多变的情况下评价水淹油田的剩余油饱和度援见:水驱油田开发测井,近年国际学术讨论会论文集援北京:石油工业出版社,(源-源)
- 李殿文援~~见~~油田注水开发剩余油的采出援石油技术,(猿)
- 李文侠译援~~见~~关于毛管滞留剩余油的分布援石油技术,(猿)
- 李兴国援~~见~~应用微型构造和储层沉积微相研究油层剩余油分布援油气采收率技术,(员):远-圆
- 李兴国,邱隆英援~~见~~孤岛油田河流相沉积及物性特征援见:王秉海,沈娟华,颜捷先主编胜利油区开发研究与实践援东营:石油大学出版社,(源-缘)
- 李兴国,周宪城援~~见~~孤岛油田两类河流相储集层及其开发效果分析援石油勘探与开发,(圆)
- 李阳,高喜龙,刘占军援~~见~~埕岛油田馆上段油砂体预测援复式油气田,(圆):源-源
- 李阳,刘建民,孤岛援~~见~~孤东油田馆上段河流相储层剩余油形成机理及分布规律援见:剩余油预测及油气

评价国际学术研讨会论文集援东营 :石油大学出版社

李厚裕 ,谢豪元 ,申辉林援见援支持高含水期水淹层剩余油饱和度的评价方法援见 水驱油田开发测井 近年国际学术讨论会论文集援北京 :石油工业出版社 缘园~ 缘愿

李素娥 ,贺其川 ,李木元援见援长江汉油田剩余油饱和度分布研究援见 水驱油田开发测井 近年国际学术讨论会论文集援北京 :石油工业出版社 缘缘~ 圆园

吴先承 ,沈娟华援见援胜利坨油田高产稳产研究援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 房园~ 房源

吴静 ,陈广军援见援蓬莱地区馆陶组河流相储层油藏描述技术援见 杜贤樾 ,孙焕泉 ,郑和荣主编援胜利油区勘探开发论文集 (第一辑)援北京 :地质出版社 远~ 苑

何秋轩 ,高永利 ,毕研鹏 ,刘建民援见援孤岛油田 缘层不同渗透率储层驱油特征援西安矿业学院学报 ,愿 (猿) 圆缘~ 圆园

何生厚 ,李秀生 ,陈镭译 ,薛琴 ,拉里著援见援物理化学和热力学采油工艺与原理援济南 :山东科学技术出版社

杜庆龙等援见援高含水后期剩余油确定方法研究 ,杂缘缘~ 缘远

杜贤樾 ,韩忠义 ,张灿烽援见援分流河道油藏描述及应用援复式油气田 (员) :员苑~ 圆

汪中浩 ,吴锡令援见援预测剩余油变化的油层数字模型援见 水驱油田开发测井 近年国际学术讨论会论文集援北京 :石油工业出版社 缘~ 缘缘

张宏逵援见援剩余油分布研究援石油技术 (猿)

张凤奎援见援马岭油田剩余油分布规律及综合挖潜援石油勘探与开发 (圆)

张占松 ,王冠贵等援见援非均质渗透率分形预测援石油勘探与开发 (员)

张萍 ,袁是高援见援单井化学示踪剂法测残余油饱和度援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 源缘~ 源园

陈亮 ,黄述旺等援见援应用截断高斯随机模拟方法研究沉积微相援石油勘探与开发 (远)

陈兴政援见援油层岩石润湿性几个影响因素的研究援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 猿园~ 猿愿

陈亮 ,张一伟 ,熊琦华援见援开发后期非均质剩余油分布预测援见 水驱油田开发测井 近年国际学术讨论会论文集援北京 :石油工业出版社 源缘~ 缘

沈平平 ,胡芝云 ,林长升援见援厚油层内油水运动规律研究援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 猿缘~ 源缘

林豪援见援应用油基泥浆取心井资料建立测井解释含水饱和度经验公式援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 员员~ 员缘

郑茂茂 ,庞明编著援见援碎屑储集岩的成岩作用研究援武汉 :中国地质大学出版社

郑金安援见援济阳坳陷利用水层测井资料建立解释含油饱和度经验公式的探讨援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 员员~ 员员

宗习武 ,胡芝云援见援油层水驱油效率影响因素的室内综合实验研究援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 源缘~ 源园

金强 ,林承焰 ,郭北尧 ,冀登武等著援见援油藏预测 (油藏综合研究新技术的应用)援北京 :石油工业出版社

周德勇援见援地下水对石油蚀变机理的探讨援见 :胜利复式油气区勘探开发论文集援北京 :石油工业出版社 缘缘~ 远

周渤然 ,林纯增 ,田中原援见援注水过程中岩石物理性质的实验研究援见 水驱油田开发测井 近年国际学术讨论会论文集援北京 :石油工业出版社 圆~ 猿

屈志坚援见援孤岛油田馆陶组 缘层小井距注水开发全过程现场试验研究的初步认识援见 :王秉海 ,沈娟华 ,颜捷先主编援胜利油区开发研究与实践援东营 :石油大学出版社 圆园~ 猿源

段勇编译援见援特殊岩心分析技术援北京 :石油工业出版社

侯加根 ,徐守余援见援河道砂储层随机模拟方法分析援石油勘探与开发 (源)

姜承恩 ,曾花秀 ,孙宝殿援见援求解剩余油饱和度的测井方法和解释技术援见 水驱油田开发测井 近年国际学术讨论会论文集援北京 :石油工业出版社 远~ 苑

