

文章编号: 1009-6248(2005)03-0076-06

甘肃樊家川油田延9油层储层沉积微相分析

闫海卿¹, 付国民¹, 杨兴科¹, 梁志录²

(1. 长安大学地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054,
2. 甘肃省地质矿产勘查开发局第三勘查院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 储层微相研究是油田开发后期储层非均质性精细表征及剩余油分布规律研究的重要内容。笔者从岩心资料分析入手, 按照成因相 成因相组合与成因分析 测井微相模式 单井测井相分析 平面微相分析的思路, 对樊家川油田延9油层河流相储层进行微相细分研究, 归纳出沉积微相平面展布特征, 为油田开发及剩余油分布规律研究提供重要信息。

关键词: 河流相储层; 细分微相; 成因相; 樊家川油田

中图分类号: P618.13 文献标识码: A

储层微相研究是油田开发后期储层精细表征的主要内容, 其重要性主要表现在以下两个方面: 一是不同成因类型的储层具有不同的物性特征和非均质性, 必然造成流体流动特征的差异性, 从而控制剩余油的分布; 二是储层非均质性描述要求更深层次储层成因分析, 促使储层沉积微相多层次逐级细分。笔者从岩心资料、测井资料分析入手, 对研究区河流相储层进行微相细分, 研究沉积微相在平面上的组合及其展布规律, 指导油田深度开发。

1 油田概况

樊家川油田位于甘肃省环县樊家川乡境内, 储集层系为侏罗系延安组的延8、延9、延10油层, 以延9油层为主, 延9油层进一步细分为3个小层及6个单砂层, 储层岩性主要为含砾、中粗粒岩屑长石英砂岩, 总体为一套河流-沼泽相的陆源碎屑含煤

建造。樊家川油田1987年4月试采, 1988~1990年油井相继投产, 1990年9月开始注水试验, 1991年7月进行全面注水开发, 樊家川油田目前综合含水81%, 含水上升率18.1%, 已进入油田高含水开发阶段。深入开展油田精细储层研究, 认识剩余油分布特征及开发动态, 是油田做好稳油控水和综合调整措施的当务之急。

2 河流相储层成因

通过鄂尔多斯盆地古地理研究, 樊家川油田位于陕甘宁盆地陕北斜坡带上甘陕古河北侧, 姬原古隆起南斜坡。在侏罗纪延安期研究区为盆地河流三角洲沉积体系山前冲积平原, 发育呈南西至北东向古河流^①。

延安组沉积基底是三叠系延长组风化壳, 延9油层是在延10油层填平补齐基础上的河流相沉积,

收稿日期: 2005-04-01; 修回日期: 2005-06-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 盆地多种能源矿产共存富集的数值和几何特征及其同一的地球动力学背景(项目编号2004CB214601-03)

作者简介: 闫海卿(1963-), 男, 河南人, 博士, 长安大学讲师, 从事区域地质及石油地质研究。E-mail: haiqingyan@126.com。

①付国民, 等. 长庆樊家川油田剩余油精细描述. 思友公司内部科研报告, 2002.

河道砂体极其发育, 6口井54个筛析粒度分析: 跳跃组分直线斜率一般 $50\sim60^\circ$, 搬运组分占总量的80%以上。跳跃组分与悬浮组分之间的交截点一般在0.28 mm左右, 纵向上粒度显示粒序类型复杂多样, 粒径0.2~0.75 mm, 平均0.44 mm, 分选系数为0.63~0.80, 平均0.72, 分选较好; 峰态为0.46~0.56, 平均0.51, 属单峰正态曲线, 为典型的河道砂体粒度分布特征。

根据粒度分析资料统计和经验公式计算, 河道宽深比W/D为46.7, 曲率P为1.1, 河床比降S为0.029, 参照现代河型分类参数(表1)及其M.C.Budding判别图, 延9油层为辫状河流沉积。

表1 现代河型分类参数表

Tab. 1 Parameter table of the classification of modern stream (After Xue Peihua, 1991)

输砂类型	粉砂泥土 与输砂量 占输砂量	推移值	形态指标	判别
悬浮搬运	>20	<3	W/D<10, P>2, S小	曲流河道
混和搬运	5~20	3~11	W/D10~40, P1.3~2, S中等	过渡河
推移搬运	<5	>11	W/D>40, P<1.3, S大	辫状河道

注: 据薛培华, 1991。

表2 樊家川油田延9油层河流相储层成因相划分及其特征

Tab. 2 Classification and features of genesis facies in stream-facies Yan 9 oil reservoir of Fanjiachuan oil field

储层成因相	代号	粒度中值 (mm)	沉积构造	杂基含量 (%)	胶结方式	分选系数	成因解释	古流强度
块状层理含砾砂岩相	Gms	0.267	块状层理	8	孔隙式	1.53	高流态	强
块状泥砾砂岩相	Gm	0.172	块状层理	8~15	基底-孔隙式	1.42	较高流态	强
大型槽状层理砂岩相	St	0.184	大型槽状层理	8	孔隙	1.50	高流态	较强
平行层理砂岩相	Sh	0.171	平行层理	8~10	孔隙	1.49	较高流态	较强
板状交错层理砂岩相	Sp	0.172	板状交错层理	8~10	孔隙	1.47	较高流态	较强
小型槽状层理细砂岩相	Fst	0.160 1	小型槽状层理	8~13	孔隙-接触	1.52	低流态	较弱
小型板状层理细砂岩相	Fsp	0.153	小型板状层理	12~13	孔隙-接触	1.99	低流态	较弱
波状交错层理粉砂岩相	SSr	0.065	波状交错层理	9~13	基底		低流态	较弱
水平纹理泥质粉砂岩相	Fi	0.03	水平纹理	10~18	基底-孔隙		溢岸	弱

线。此组合代表辫状河沉积, 块状砾岩及块状含砾砂岩反映河流滞留沉积, 上部沉积为心滩沉积, 为一向变细的正粒序沉积, 概率累积曲线为两段性, 由跳跃总体和悬浮总体构成, 且以跳跃总体为特征, 自然电位曲线特征为中幅齿化-微齿钟形, 齿中线内收敛。

(2) 细砂岩相-小型交错层理砂岩相-砂纹层理粉砂岩相-水平层理粉砂质泥岩相。此组合代表天然堤沉积, 具有下粗上细的正粒序特征, 概率累积曲线

3 成因相类型及其组合特征

在微相分析中, 成因相的划分是关键, 成因相是较均匀水动力条件下形成的能量单元, 一种成因相往往具有单一的岩性, 一个成因相是一个岩石单元, 它以其独特的岩石特征(包括组分、粒度、层理结构、沉积构造)而定义。每一个成因相都代表了一个单独的沉积事件。若干成因相可以组成一个成因组合, 代表一种特殊的沉积环境, 这种组合构成建立岩相模式的基础。

根据多口井岩心描述, 樊家川油田延安组延9油层河流相储层发育9种成因相(表2)。

由于成因相在纵向上的叠置规律反映了水动力条件的演化过程, 所以, 通过研究成因相组合规律可以分析沉积微相的发育特征(表3)。

樊家川油田延安组延9油层可以划分出5种成因相组合。

(1) 块状砾岩相-块状含砾砂岩相-槽状层理交错层理砂岩相-水平纹理粉砂岩相-灰色泥岩相-煤

为两段性, 由跳跃总体和悬浮总体构成, 且以跳跃总体为特征, 分选中等, 自然电位曲线特征为中幅对称齿形。

(3) 细粉砂岩相-小型交错层理粉砂岩相-砂纹层理泥质粉砂岩-粉砂质泥岩。此组合代表决口扇沉积, 具有下部粗上部细的正粒序特点, 概率累积曲线为两段性, 由跳跃总体和悬浮总体构成, 且以跳跃总体为特征, 其分布范围为1.75~3, 跳跃总体和悬浮总体的截点在2.75~3.5, 分选中等, 自然电位曲线

特征为正向齿形到对称齿形, 齿中线下倾或水平。

表 3 不同微相主要成因相类型

Tab. 3 Main genesis-facies of various microfacies

相	亚相	微相	成因相组合类型
辫状河	河道充填	河道砂	Gms-St-Fst-Ssr
	河漫滩	心滩	Gms-St-Fst-Fi
	溢岸平原	泛滥平原泥	Fi-Fm
	河道间	沼泽	Fm-Fim
		河道间泥	Fi-Fm

(4) 水平层理粉砂质泥岩-平行层理粉砂质泥岩-泥岩, 此组合代表曲流河漫滩沉积, 主要由棕色-灰绿色泥岩组成, 含有植物碎片及碳屑, 概率累积曲线以悬浮总体为主, 自然电位曲线为基线或微齿近平直曲线。

(5) 黑灰色纹层状粉砂质泥岩-煤层, 此为典型的岸后沼泽沉积, 含有大量煤层及碳屑。

4 相模式建立及微相分析

不同学者根据沉积物特征及其环境特征建立了河流相的沉积模式, 较有代表性的是艾伦(1964)将河流划分为河床、堤岸、河漫3个亚相, 河床亚相又细分为谷地滞留沉积、心滩(边滩)微相; 堤岸亚相可细分为天然堤、决口扇微相; 河漫亚相细分为河漫滩沉积、河漫湖泊(河漫沼泽)微相^[1, 2]。此次研究中, 采用艾伦提出的河流沉积模式(图1), 对研究区系统

取心井分别建立了单井相模式, 在此基础上, 系统分析各成因相及微相的测井曲线响应, 建立各微相测井相模式图(图2)。

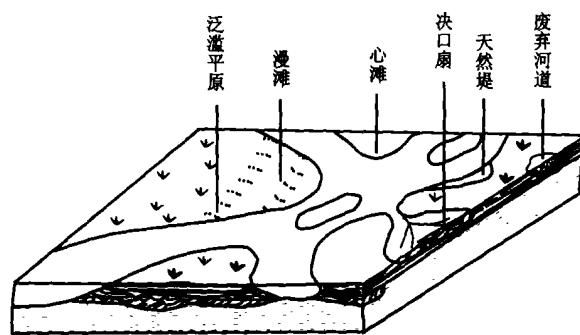


图1 辩状河沉积模式图(据艾伦, 1964)

Fig. 1 Map of sedimentary mode in braided river (After Allen, 1964)

4.1 河道

砂体由一期和多期河道砂岩叠加而成, 厚度小于心滩, 一般5~15 m, 砂体组成以向上变细的正粒序为主, 底界发育强烈的冲刷面, 向上依次为河道滞留砾岩、大小型槽状交错层理含砾不等粒砂岩、粗砂岩, 平行层理、板状层理砂岩, 砂泥比值小于心滩, 砂体展布横剖面上呈透镜状或槽状, 平面上呈片状或辫状, 主河道区电测曲线为高中幅钟型曲线或复合型钟形曲线(图3), 非主河道区电测曲线多为单指型曲线, 幅度中等, 也可见到多指形组成的梳状曲

名称	曲线形态	厚度与幅度	砂体成因解释
箱形		高中幅 > 4 m	河流中心主流线心滩部位
钟形-箱形组合			
钟形		中高幅 3~5 m	小型河流主流线部位或大型河流侧翼部位
漏斗形		中高幅	中等规模河道部位
指形		中高幅	决口扇或废弃河道
尖峰形		低中幅 < 2 m	溢岸沉积或河间薄层砂
微锯齿形		低幅 < 2 m	天然堤或河间薄层砂
河间泥		低幅	泛滥平原

图2 测井相模式图

Fig. 2 Map of facies mode of well logging

线, 齿中线近于平行, 反映砂泥互层的特点。樊家川地区河道砂体可分为叠加型河道砂和切叠型河道砂两种类型。

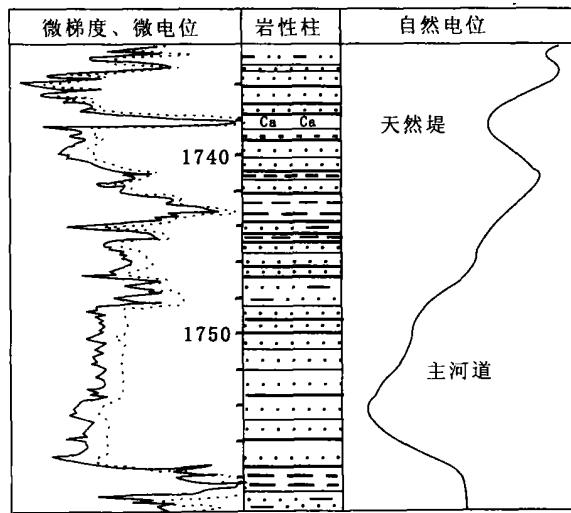


图 3 樊家川油田主河道测井相图

Fig. 2 Facies map of well logging in Fanjiachuan oil field

4.2 心滩

心滩的发育是辫状河的典型特征,其形成和改造主要发生在洪水期,是多期沉积的结果,砂体厚度较大,砂泥比高,形成于较强水动力条件,砂体在平面上呈舌形或椭圆形,剖面上具明显的正旋回层序,发育多级切割和冲刷,沉积旋回间界面极不规则,掘蚀再填充构造很普遍,单砂体多为不规则的叠置形成复合块状砂体,可分性差,平面上心滩多与河道延伸方向一致,以纵坝为主,部分与河道垂直及斜交,形成横向坝与斜向坝。心滩剖面特征具有落淤层沉积,有无落淤层沉积是划分河道与心滩坝的相标志。心滩砂体电测曲线以高—中幅箱形或齿化箱形为主(图4)。

4.3 河漫滩

在洪水期河流水位抬高漫过河岸时将细粒沉积快速沉积下来,通常紧邻河岸两侧或平行河岸分布,以小朵状、小豆荚状嵌于河道砂的边部或嵌于河道砂体中间,岩性以粉砂、泥岩为主,砂体厚度较薄,含植物碎屑及漂浮矿物,电测曲线较平直,部分为低幅齿形(图5)。目前尚无法准确细分河漫滩沉积物,只能与河道砂体相对照,层位较高、位于河道砂之上为天然堤沉积,层位偏下则为漫滩沉积,在平面上主要以相序加以区分。

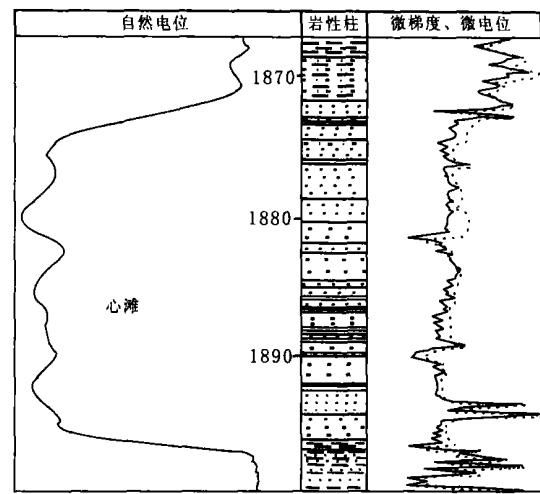


图 4 樊家川油田心滩测相图

Fig. 4 Facies map of well logging in batteure of Fanjachuan oil field

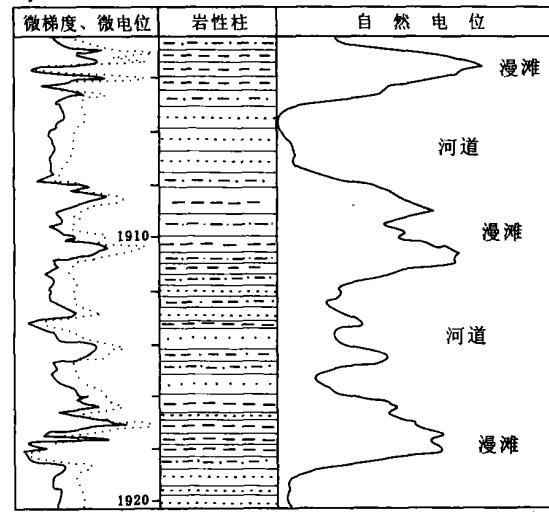


图 5 樊家川油田河道-漫滩测井相图

Fig. 2 Facies map of well logging in stream course
flood land of Fanjiachuan oil field

4.4 决口扇

决口扇是在洪水能量较高时,河流冲裂堤岸向河间洼地推进时的卸载。通常与主河道砂体直交或斜交,并且离主河道较远。砂体多呈窄条状、不规则片状或扇状。其中,平面形态呈窄条状者则为决口水道砂体,不规则片状、扇状则为决口席状砂。决口席状砂与较厚的决口水道相伴生,其尾端砂层变薄并逐渐尖灭成泥质岩,反映了沉积物在扇面上随水流分散沉积,能量逐渐减弱的过程。决口扇砂体以波状层理、小型交错层理为主,电测曲线呈指状或尖峰状。

4.5 废弃河道

砂岩厚度2~5 m, 上半部由河道废弃的泥和砂泥互层所充填, 底部一般与河道层位相当, 平面上一般位于河道凹岸边部或大型河道砂中间。测井曲线为锯齿状时, 反映河道逐渐废弃, 为指状

曲线时, 代表废弃河道被后期洪水位时砂质充填, 由沉积物加积而成。废弃河道砂体与小型河道砂体测井曲线形态及砂体厚度很相似, 需在平面上加以确认。

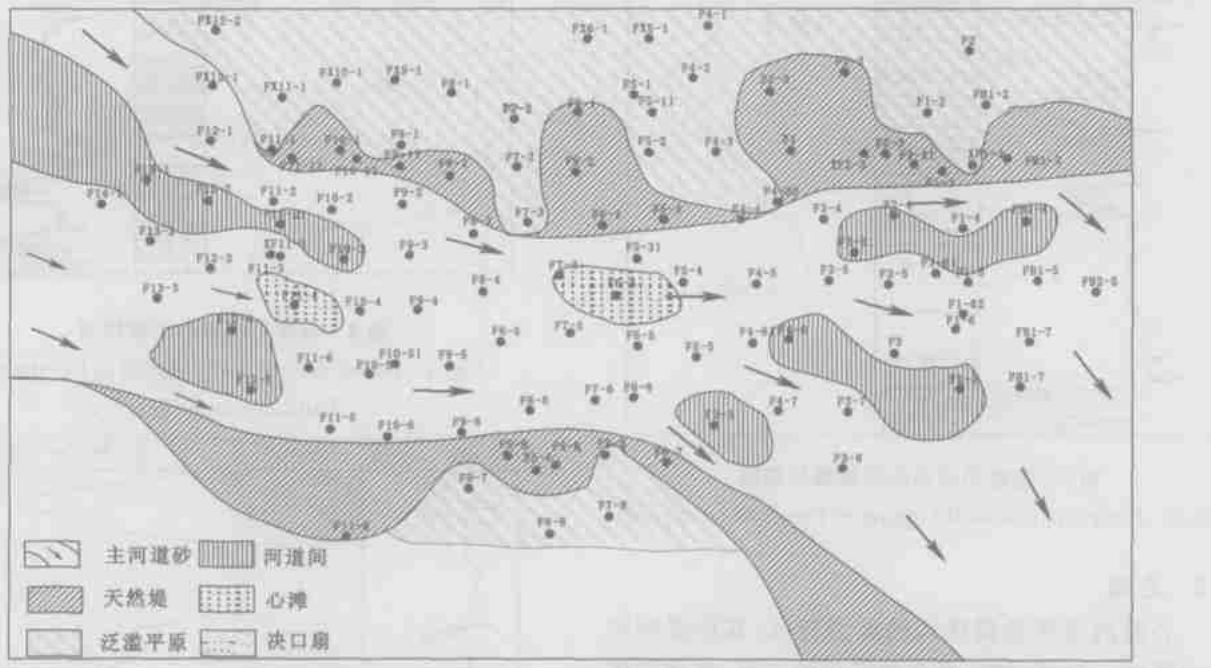


图6 延9²⁻²沉积微相图

Fig. 6 Map of sedimentary microfacies in Yan9²⁻² oil subreservoir

4.6 河间滩

河间滩指在河间高地处形成较薄细粒沉积, 其电测曲线平直。

4.7 泛滥沼泽

泛滥沼泽是潮湿气候条件下, 河漫滩上低洼积水地带植物生长繁茂并逐渐淤积而成, 或是潮湿气候区河漫湖泊发展而成。以夹有煤层的细粒沉积为特征, 偶夹薄层细砂岩。煤层具低电位、低加码、高时差、高电阻、高感应值等特征。

5 平面沉积微相组合特征

微相细分与合理组合是储层平面精细描述的关键环节, 也是平面划分渗流单元的基础。以现代沉积中微相的类型、特征和分布面貌为指导, 依据沉积单元和单一河道砂体内测井曲线形态的微小差异, 以及砂体的几何形态、相互配置关系, 进一步

识别出各井点中微相类型, 并采用储层模式预测描述法对井间砂体的连续性、几何形态与边界位置等进行模式化预测性描述, 使描述更加符合储层的本来面目^[3~6]。根据上述模式绘制法重点对延9油层各单砂层微相分布进行了分析。

(1) 砂体展布与水流方向以南西至北东为主。

(2) 各砂层沉积微相的展布特点严格受古地理、古物源、河流水系的发育状况及能量控制, 既有继承性, 又有差异性。

(3) 延9³⁻²: 是一套长流程辫状河沉积, 以垂相加积和前加积为主。砂体主要发育在西部, 且心滩较多。东部以尖灭区为主, 只在樊8-5井与樊9-5井之间产生一个决口水道, 延伸到樊8-6井。

(4) 延9³⁻¹: 河水能量变强, 河道规模和深度进一步扩大, 向东部推进两个井距。

(5) 延9²⁻²: 继承了延9³沉积期沉积格局, 仅心滩分布略有差异, 河道逐渐东移, 洪泛带增大, 整

个河流由两个次级河平面拼接而成(图6)。

(6) 延9²⁻¹: 河道规模和深度进一步扩大, 决口扇、河间砂体较为发育。

(7) 延9¹⁻²: 河道向南西北东方向偏移, 河道的不停摆动导致废弃河道较为发育。

(8) 延9¹⁻¹: 河流表现为曲流河至辫状河过渡型式, 心滩规模加大, 河流不断分叉、合并, 边滩、决口扇发育。

6 不同成因砂体及其组合形式中剩余油分布规律

砂体的成因类型不同会导致剩余油分布的差异, 同时也会影响到深度开发的潜力。边滩和心滩砂体油层厚度大, 原始含油饱和度高, 投产初期产量高, 但见水快, 易水淹; 河间天然提及决口扇砂体厚度薄且泥岩夹层多, 有一定的累积油层厚度, 投产初期含水低, 但产量递减快; 河道充填砂体在侧向上呈孤立状, 地质储量少, 因此剩余油主要分布在边滩和心滩砂体水淹程度较弱部位; 非主力微相成因的天然提、决口扇虽然水淹程度较低, 但层厚小、原始含油饱和度低, 剩余油潜力相对较弱。

砂体的平面展布状况及其组合形式影响油水运动规律, 沿心滩和边滩滩脊的长轴的方向, 砂体连通性好, 且储层物性好, 是油气富集区, 也是水淹

的主要方向, 而沿砂体短轴方向连通性差, 物性变化快, 水淹程度较弱, 剩余油相对富集。

在河道砂体上倾尖灭区及其不同成因类型砂体交接和过渡带, 物性变化剧烈, 常形成剩余油富集区。砂体在横向连通性差, 井网难以控制, 注入水极难波及, 成为剩余油富集区。

总之, 沉积微相控制了储层在垂向和平面上非均质性, 从而控制着储层的含油气性, 同时在开采过程中直接影响流体的流动特性, 因此储层沉积成因是控制剩余油形成及分布的核心因素。

参考文献:

- [1] 薛培华. 河流点坝相储层模式概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [2] 赵霞飞. 河流相模式与储层非均质性 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26 (4): 357-364.
- [3] 刘波. 古河流废弃河道微相的精细描述 [J]. 沉积学报, 2001, 19 (3): 394-398.
- [4] 刘波. 储层砂质辫状河的识别 [J]. 石油学报, 2002, 23 (2): 43-47.
- [5] 赵翰卿. 应用精细地质研究准确鉴别古河流砂体石油勘探与开发 [J]. 石油学报, 1995, 22 (2): 68-70.
- [6] 赵翰卿. 大型河流三角洲沉积储层精细描述方法 [J]. 石油学报, 2000, 21 (4): 109-113.

Analysis on sedimentary microfacies of Yan 9 oil reservoir in Fanjiachuan oil field

YAN Hai-qing¹, FU Guo-min¹, YANG Xing-ke¹, LIANG Zhi-lu²

(1. College of Earth Science and Land Resource, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. No. 3 Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Analysis of oil reservoir microfacies is important for the study of remnant oil and the anisotropy features of oil reservoir in later period. Based on the core analysis, and the study from genesis facies to combination and genesis analysis of genesis facies, from building logging's microfacies mode to the analysis of single logging facies, and to the analysis of plane microfacies, the author studies the subdivision microfacies of Yan 9 oil reservoir in stream facies in Fanjiachuan oil field, and using the method of mode-projecting to analyze the combination of plane microfacies. The study makes a solid geological foundation for the further development of later remanent oil.

Key words: oil reservoir in stream facies; subdivision microfacies; genesis facies; Fanjiachuan oil field