

碎屑岩沉积微相工业制图方法及应用探讨

——以辽河欢喜岭油田齐 108 块莲花油层为例

赵永胜¹ 朱永铭¹ 杨世民¹ 王震² 车翔飞²

1 (成都理工学院油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059)

2 (辽河石油勘探局 辽宁盘锦 124400)

提 要 根据层序地层学及动力沉积学原理,结合开发层系需要,将齐 108 块莲花油层分为 3 个油层组 10 个砂岩组,该油层可识别出 Gm, Ss, Sm, Smg, Sp, Sw, Sh, Sr, Fm, Ff 和 Fds 等 11 种岩石(性)相,它们构成了二级扇三角洲沉积模型,细分出水下分流河道、前缘砂坝等 7 种沉积微相,利用古河道趋势分析法,编绘了不同时期砂体的分布网络及沉积微相图,砂体分布明显受控于水下分流河道的展布趋势,不同级别水下分流河道砂体构成了研究区的主要储集层,控制了储层的非均质性,并讨论了沉积微相研究在油田开发中的作用。

关键词 沉积微相 工业制图 古河道趋势分析 莲花油层 辽河欢喜岭油田

第一作者简介 赵永胜 男 35 岁 教授 储层地质与沉积学

1 前言

地下流体(油气水)运动明显受到砂体形态和渗透率的控制,砂体内的非均质性受控于沉积微相。因此,在油田开发阶段,确定砂体形态、展布特征、微相带的宽度及纵横向连通的非均性,对于研究开发剩余油和提高三次采收率,具有重要的意义。

辽河欢喜岭油田齐 108 块已发现莲花油层和大凌河油层为主力油层,确定沙河街沙三段下段莲花油层为开发试验区。该油层沉积相为扇三角洲水下部分沉积,该沉积体系由于河道频繁多级分叉、改造,沉积特征及储层特征明显不同于海岸扇三角洲沉积^[1,2,3],扇三角洲沉积体系是辽河盆地主要的储集砂体,非均质性明显,因此,研究解剖扇三角洲的构型及砂体平面展布具有重要的意义。笔者根据欢喜岭油田齐 108 块沙三段下段(E_{5T})沉积微相和微相工业制图的研究,总结出该类储集砂体的分布特征及非均性,为提高三次采收率提供了地质依据,同时对其它开发区块研究具有借鉴意义。

2 储层地质模型及沉积微相特征

2.1 地质背景

欢喜岭油层齐 108 块位于辽河盆地西部凹陷西斜坡欢曙上台阶中段,是西部斜坡背景上发育起来

的次级构造单元^[1],其周边被断层所包围,南邻北东向断层,东部为北北西向断层,西界为北西向断层,块内北东向断层控制了油水分布,而发育于沙一和沙二时期的北西向断层控制了油气藏的形成和分布,齐 108 块为岩性—构造油气藏。

本区的主力产层是沙河街组三段下部莲花油层(E_{5T}),岩性特征为含砾粗砂岩、砂砾岩夹薄层状灰色泥岩,砂岩成分以石英为主,含量 41.5%,长石含量为 36.8%,分选系数 1.72,粒度中值为 0.163 mm,泥质含量 10.91%,碳酸盐含量 13.2%,以孔隙式胶结为主。

2.2 储层地质模型

根据齐 108 块 8 口取芯井岩性相分析,250 个粒度分布曲线和 CM 图及 187 口钻井的录井剖面和测井相研究^[2],该区莲花油层的储层地质模型为二级扇三角洲(近岸水下扇)沉积模式(图 1),其分流河道、前缘砂坝、河道间和浅湖沉积的展布类似于云南陇川断陷盆地扇三角洲沉积体系^[3]和英格兰北东 Durham 煤田的湖成三角洲平原沉积^[4]。主要特征包括:(1)莲花油层沉积微相可分为水下大分流河道、水下小分流河道、决口河道、前缘砂坝、远砂坝、溢堤沉积、河间湖和浅湖沉积等 7 种微相;(2)古流向为 NW—SE 向,时有 NE 物源影响,水下分流河

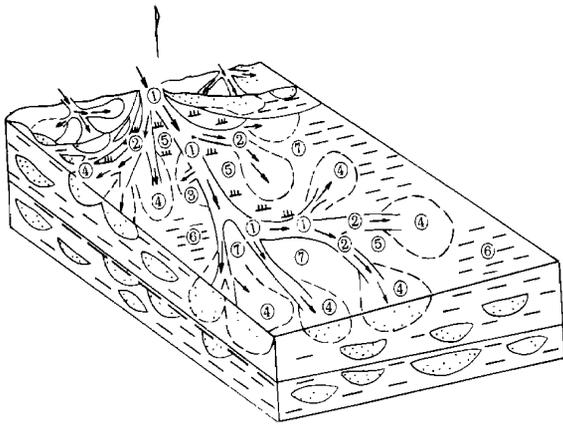


图 1 莲花油层沉积地质模型

- 1. 水下大分流河道; 2. 水下小分流河道; 3. 决口河道;
- 4. 前缘砂坝; 5. 溢堤沉积; 6. 浅湖; 7. 河道洼地和浅湖

Fig. 1 Genetic geologic model of subaqueous fan-delta in Lianhua oil reservoir, Qi108

下河道的充填作用不明显,而湖平面下降时,河道的充填作用明显,为储集层形成的主要时期。

2.3 沉积微相特征

根据齐 108 块 187 口井录井剖面,岩芯和测井资料的研究,莲花油层沉积微相划分 7 种类型,各微相的特征及成因解释列在表 1 中。

3 沉积微相工业制图理论及方法

3.1 古河流趋势分析理论简介

陆相断陷湖盆中,河流是沉积物主要携带者,河道的大小控制砂体的规模和非均质性,故河流动力学研究具有重要的意义。河道规模除汇合、分流点以外在近距离内变化不大或稳定不变,显然,可以连结近距离内两点间的同一级河道^[5]。河道的平面形态是多个变量(上游植物、气候、坡降、上游泥砂、水量、河岸和河床抗冲性等)的函数,河成砂体是古河流经历复杂变迁的堆积物,因此可以绘出古河流在某一时间的趋向,图 2 是 3 口随机钻井排列方式所表现出河道带的趋向,该种古河流的趋势分析^[5,6]同样适用于水下河道砂体的形成。

不同级别(大小)河道,古河道的大小可用满槽

表 1 齐 108 块莲花油层微相特征

Table 1 Characteristics of sedimentary microfacies in Lianhua oil reservoir, Qi108

序号	微相	岩性	层序厚度、单砂层厚度 /m	底界特征层序性质	岩(性)相及序列	粒度 C-M 图	解释
1	水下大分流河道	中砂岩、细砂岩、细砾岩	10~ 20 8~ 12	侵蚀型或冲刷型 向上变细	Gm→ Sp→ Sm→ Fm Gm→ Smg→ Fm Ss→ Sm→ Sr→ Fm	两段式 PQ, RS, Q R 段	牵引流沉积
2	水下小分流河道	细砂岩、粉砂岩	6~ 10 2~ 4(4)	冲刷型或侵蚀型 向上变细	Sm→ Sr→ Fm Ss→ Sm→ Sr→ Fm	Q R 段 RS 段	
3	水下决口河道	细砂岩、粉砂岩	20 4~ 6	突变型	Sm→ Fm Gm→ Sm→ Fm	两段式	垂直大分流河道
4	前缘砂坝	砂砾岩、细砂岩	25 4~ 6	渐变型 向上变粗	Ff→ Sr→ Sm Fm→ Sw→ Sh Fds→ Sr→ Sm	汇合段	建设型扇三角洲
5	远砂坝	细砂岩、粉砂岩、泥岩	10~ 20 2~ 3	互层 向上变粗	Fds→ Sr→ Sh→ Fm Fm→ Fds→ Sw→ Sr→ Ff	单段式	
6	溢堤沉积	粉砂和泥岩	3~ 10 1~ 2	渐变	Sm→ Sr→ Fm Sm→ Fm	单段式	
7	河间湖和浅湖沉积	泥岩、粉砂质泥岩、夹薄层粉砂岩	5~ 10 7	互层	Fm→ Sr→ Fm Ff→ Sr→ Fm		

注: Gm. 块状砾岩相 Smg. 渐变(粒序)层理砂岩相 Sp. 板状交错层理砂岩相 Sm. 块状层理砂岩 Sr. 沙纹交错层理砂岩相 Sh. 水平沙纹层理 Sw. 浪成构造砂岩相 Ss. 冲刷构造 Ff. 页片状泥岩和钙质页岩相 Fds. 变形构造泥岩相 Fm. 块状泥岩相

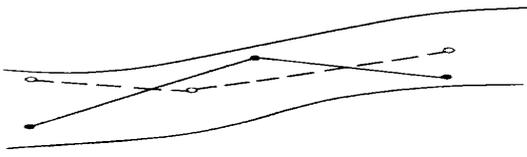


图 2 三口井随机钻遇河道带砂体示意图 (据赵霞飞等, 1996)

Fig. 2 Random arrangement of three drilling showing the channel-belt trend

流深度来标志, 满槽流的深度等于河成层序“粗段”的厚度^[7], 当弯度大小 1.7 时, 满槽流宽度 (W) 和满槽流深度 (h) 之间的关系为

$$W = 6.8 h^{1.54} \quad (1)$$

而河道带宽度 (W_B) 与满槽深度 (h) 的经验公式^[8]为

$$W_B = 64.6 h^{1.54} \quad (2)$$

显然公式 (2) 适用于一定时间跨度的古河道分析。因此, 根据某一时间单元沉积微相变化可以反映该时间单元内砂体的变化趋势和规律。

3.2 砂体解剖及制图单元确定

解剖砂体的几何形态是进行砂体微相工业制图研究的基础, 但在沉积盆地内, 钻井剖面往往包含多层砂体, 为了把这些相互叠置的砂层分别进行解剖, 需要将钻井剖面划分成若干个时间地层单元, 其主要原则:

3.2.1 动力沉积学原则

在同一沉积体系内, 成因上互相联系的整体, 在物源、重矿物组合、厚度、粒度、砂泥比等方面具有一定的变化规律^[3]。沉积旋回的划分是注重水侵水退结果及垂向上相序配置特点, 如果应用旋回地层学理论与方法^[9, 10]进行沉积旋回的划分, 则旋回划分与层序地层单元划分具有对比上的相容性。

3.2.2 层序地层学原则

层序地层单元的划分是以事件界面及具有对比意义的沉积学界面为基础, 并且必须考虑层序地层格架的完整性和等时性。在地层剖面和测井曲线上有标志层控制, 利用取芯井段建立层序界面及旋回的测井响应模型, 从而指导区内非取芯井测井曲线的划分和标定^[3]。

3.2.3 应用原则

地层单元的划分应以油田开发系为基础, 作适当调整, 以便将研究成果直接应用于油田开发区的井网调整和工艺措施。

据此, 我们把沙河街组沙三段大凌河油层底部发育的一套褐灰色、低阻、厚度约 50~150 m 的块

状泥岩, 作为大凌河油层与莲花油层的分界标志。莲花油层的划分是根据上述 3 个原则, 即以沉积旋回和层序单元为基础, 以标志层和层序界面作为控制, 以原来的开发层系为依据, 并作适当调整的原则, 将莲花油层分为 3 个油层组 10 个砂岩组, 其中莲 I 油层组 (L_I) 分为 3 个砂岩组 (L_I^1, L_I^2, L_I^3), 莲 II 油层组分为 2 个砂岩组 (L_{II}^1, L_{II}^2), 莲 III 油层组分为 5 个砂岩组 ($L_{III}^1, L_{III}^2, L_{III}^3, L_{III}^4, L_{III}^5$)^[2]。因此, 沉积微相的制图单元为砂岩组。

3.3 沉积微相制图方法

根据研究区开发层系的要求, 把砂岩组作为成图单元, 取各井砂岩组的最大砂层厚度及各井砂岩组沉积微相解释平面图, 以单井沉积微相研究为基础, 利用古河流趋势分析理论, 根据砂体沉积微相和测井曲线形状相似, 厚度相当, 层序相同, 说明为同一级别河道。齐 108 块二级扇三角洲沉积各级水下河道砂体的厚度:

水下大分流河道	8~12 m
水下小分流河道	2~4 m
水下决口河道	4~6 m
前缘砂坝	4~6 m
远砂坝	2~3 m

通过对齐 108 块 187 口井岩芯、沉积构造、录井资料和测井曲线研究, 结合每口井的沉积微相解释和砂层厚度的变化, 即可勾绘出水下分流河道的分布趋势和沉积微相展布特征。古流向的确定, 主要据以下资料来确定: ① 区域古流向资料; ② 扇三角洲前积方向; ③ 湖泊一般为泄水区; ④ 倾角测井显示的古流向。

根据上述方法, 我们利用齐 108 块 187 口钻井资料编绘了莲花油层 10 张沉积微相和砂体分布特征图, 从图上清楚显示莲花油层砂岩体时空变化, 从而为油田开发、方案调整提供了地质依据。

4 莲花油层沉积环境演化及砂体分布

根据沉积微相和砂体分布图的研究, 可以讨论齐 108 块二级扇三角洲的演化规律。为此, 我们引用莲 III 期、莲 II 期和莲 I 期 5 张沉积微相分布图来讨论水下河道的迁移和砂体的分布。

4.1 莲 III 期砂体展布及河道迁移

莲 III 期分为 5 个时间单元, 将以典型沉积微相展布来讨论扇三角洲沉积水下分流河道的迁移和砂体的分布。

4.1.1 莲III⁵期(图 3A)

该时期水下河道呈北西—南东向,水下河道间发育河间洼地(河间湖)和过岸沉积,在水道附近形成决口或砂坝,13-03 9-04 齐 210井区发育的几条水下河道在齐 206井汇合,形成较厚的砂体,单层厚 10.5 m,水道将向南部延伸;东部 17-13 14-14 10-16 8-20井区和西南 1-03 3-3井区均有水下河道存在;东北齐 211 18-02井区有一前缘砂坝形成。莲III⁴时期河流充填作用不明显,前缘砂坝不发育,发育广阔的河间湖和河间洼地,与莲III⁵期发育的1-03 9-04 13-03井区的水下分流河道相比,在1-03 2-03井区发育水下大分流河道,几条河道相互交叉分支,时有决口河道存在;南部 12-6 12-8井区河道相对莲III⁵期更加发育,呈北北西向,单砂层厚 14 m,而莲III⁵期北部发育前缘砂坝,成为浅湖沉积。

4.1.2 莲III³期(图 3B)

该时期 9-04 13-04井区发育的水下河道减弱,流向偏移,在 8-2井区汇合,改道呈北东—南西方向。流经 14-02井区水下河道相对发育,砂层厚度较大,几条河道的交叉与会汇,在 12-16 10-16 12-18井区形成砂坝,单层砂岩厚 12.5 m,总厚达 22.5 m。河道在发育过程中发生明显变化,砂坝建造明显,砂坝和河间洼地相伴在水下河道两侧,河间湖中时有分流河道和决口河道的注入,在平面上构成了扇三角洲的水下河道沉积体系。

4.2 莲II 期砂体展布及河道变迁

莲II²期的水下河道有明显的分支与汇流,水下河道间以砂坝为主,河道呈北西—南东向,流经 14-02井区水下大分流河道在 11-7 9-9井区开始分支和改道,决口形成砂坝,而 22-2井区的水下河道,在 15-13井区明显改道,呈北东—南西向,在 8-14 12-16井区汇合,砂体厚度增大,该时期由于水下大河道的决口和过岸沉积,河道以砂坝沉积为主,河间湖不发育,而在 8-18 8-20井区有前积特征,推测有河口砂坝形成(图 4)。莲II¹时期流流向为北西—南东向,与莲II²期相比,在东北 12-02 13-11井区发育河间湖,时有河道的注入和决口沉积。

4.3 莲I 期砂体展布特征和河湖演变

4.3.1 莲I³期(图 5A)

该时期水下河道具有辫状河特征,为低弯度河流体系;10-14 10-18 16-18井区发育的砂坝可能是北东向河流充填的产物,流经 11-3 11-5 10-6井区

的河道形成扇三角洲前缘砂坝和浅湖,沿河道两侧形成砂坝,远离河道则发育河间湖,流经 3-03 1-03 7-04井区的水下河道依然存在。而莲I²时期与莲I³期相比,河道及砂坝相对不发育,以河间洼地和浅湖沉积为主,东北物源加强,18-02 齐 211和 03-02 05-02井区发育砂坝,在东南 8-20 齐 108 12-22井区形成前缘砂坝,为泄水区。

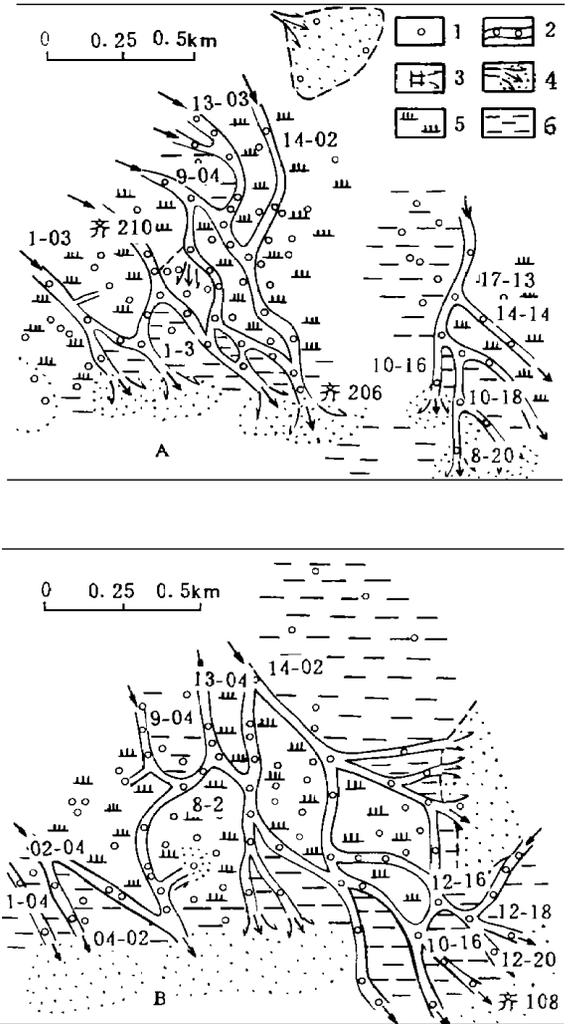


图 3 莲花油层莲III期沉积微相及砂体分布图
1. 井位; 2. 水下分流河道; 3. 决口河堤; 4. 前缘砂坝;
5. 溢堤沉积; 6. 浅湖和河间湖; A. 莲III⁵期; B. 莲III³期
Fig. 3 Map showing sedimentary microfacies and sandbody distribution for the Lianhua oil reservoir, Qi108 stages of Lianhua oil reservoir, Qi108

4.3.2 莲I¹期(图 5B)

该时期湖水范围明显扩大,河流作用相对减弱,在 4-02 齐 204井区的浅湖沉积范围加大,湖边缘

有水下河道注入和建造砂坝,在 6-4 17-11 9-11 齐 109 12-18 井区发育砂体,其余地区为小型砂坝和河间湖,流经 13-03 井区河道呈北北西—南南东向,在 6-14 6-16 井区建造砂坝,而流经 10-04 5-01 井区的河道则消失于湖中,东北 18-02 井区发育砂坝,广大地区为河间湖沉积,该时期物源主要为东北方向。

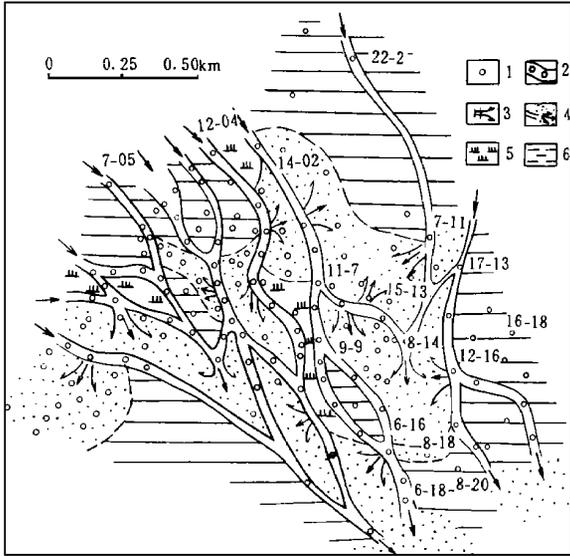


图 4 莲花油层莲 II 期沉积微相及砂体分布图

- 1. 井位; 2. 水下河道; 3. 决口河道;
- 4. 前缘砂坝; 5. 溢堤沉积; 6. 浅湖和洼地

Fig. 3 Map showing sedimentary microfacies and sandbody distribution for L_2^2 stages of Lianhua oil reservoir, Qi108

5 认识与讨论

5.1 讨论

沉积微相是油田开发方案设计、后期开发方案调整、油井注采、防砂措施等工作的重要地质依据,在此仅从沉积微相研究对油田开发的作用作简单讨论。

5.1.1 关于开发方案调整

开发井网的布置一般为等距反九点井网,从齐 108 块沉积微相研究结果,砂体分布受到水下河道、前缘砂坝展布的制约和控制,是不均匀分布的。因此,在布置加密井时,应根据莲花油层沉积微相图预测不同时期砂体发育位置,提高加密井对河道砂体的钻遇率

5.1.2 砂体非均质性对注采效果的影响

由于水下河道砂体顺水流方向和垂直河道方向层内非均质性明显,沿水道砂体展布方向向油水推进的速度比垂直方向油水推进速度快,容易造成注入水(气)沿河道方向突进,导致油井过早被水淹。因此,根据齐 108 块不同开发层系沉积微相图上水道的沿延方向,适当调整注采压差、注水量、采油量,保证长期稳定高产。

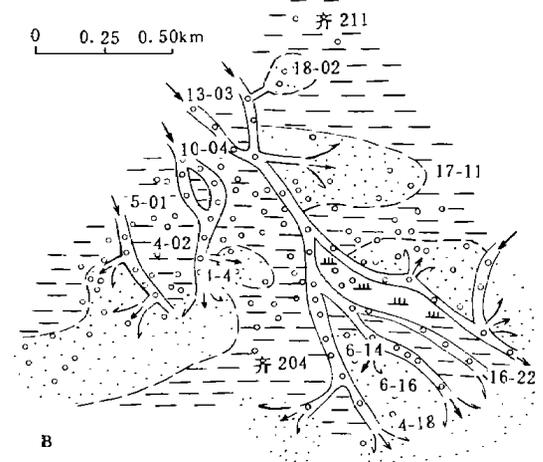
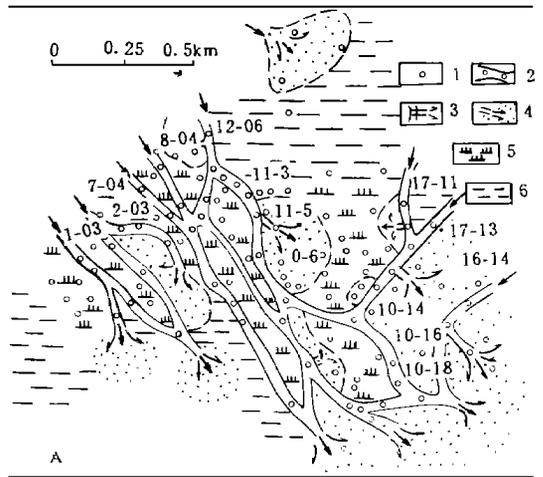


图 5 莲花油层莲 I 期沉积微相及砂体分布图

- 1. 井位; 2. 水下分流通河道; 3. 决口河道; 4. 前缘砂坝;
- 5. 溢堤沉积; 6. 浅湖或河间湖; A. 莲 I³ 期; B. 莲 I¹ 期

Fig. 3 Map showing sedimentary microfacies and sandbody distribution for L_1^3 (A) and L_1^1 (B) stages of Lianhua oil reservoir, Qi108

5.2 主要认识

(1) 莲花油层符合近二级扇三角洲(近岸水下

扇)沉积模式,可细分出水下大分流河道、水下小分流河道、决口河道、前缘砂坝、河间洼地、溢堤和浅湖等 7 种沉积微相;水下河道总体呈北西→南东方向,时有河道的迁移和改道以及河道的分支和汇合,河流入湖构成前缘砂坝

(2) 在密集钻井的开发区,利用水下河道砂体厚度与古河道之间的关系,可以确定古河道趋势,这一分析方法同样适用于扇三角洲沉积中水下河道的分布研究

(3) 成图单元内最大砂体厚度的变化,可反映该时间单元内沉积环境的演变,利用单井微相解释成果,平面上不同单井沉积微相的展布反映了砂体在该时间单元内分布网络和趋势。

(4) 莲花油层从莲 III⁵ 期到莲 I¹ 期,河流作用明显减弱,湖泊作用明显加强,是一个湖侵过程,在发育过程中,河道的注入方向决定了储层的展布规律,从而控制了储层砂体非均质。

参 考 文 献

1 李应暹. 早第三纪辽河裂谷盆地沉积演化及沉积体系. 见: 中

国石油学会编委编, 碎屑岩沉积相研究. 北京: 石油工业出版社, 1985, 32~ 40

2 赵永胜. 辽河欢喜岭油田齐 108 块莲花油层沉积微相及非均质性研究. 矿物岩石, 1996, 16(4): 76~ 82

3 赵永胜, 陈布科, 戴苏兰等著. 断陷湖盆比较沉积学与油气储层. 成都: 四川科学技术出版社, 1996. 52~ 140

4 Fielding C R. Upper delta plain lacustrine and fluviolacustrine facies from the west phalian of the Durham coalfield NE England. Sedimentology, 1984, 31: 547~ 567

5 赵霞飞编著. 动力沉积学与陆相沉积. 北京: 科学出版社, 1992. 12 76~ 82

6 赵霞飞, 丁贵民, 王衡鉴等. 松辽盆地扶扬油层古河流分析. 石油学报, 1995, 16(4): 32~ 39

7 Leeder M R. Fluvial fining-upwards cycles and magnitude of palaeochannels. Geol. Mag. 1973, 110 265~ 276

8 Collinson J D. Alluvial sediments. In Reading H G, ed. Sedimentary Environments and Facies Oxford: Blackwell Scientific Publication, Oxford. 1978. 15~ 60

9 Miall A D. Principle of Sedimentary Basin Analysis (second edition). New York: Springer Verlag, New York Inc., USA. 1991. 209~ 264

10 Brett C E, Goodman W M, Loduca S T. Sequences, cycles and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian foreland Basin. Sedi. Geol., 1990, 69(5): 191~ 244

Application and Method of Sedimentary Microfacies

Technical Carting in Clastic Rock

— for Lianhua Oil Reservoir of Qi108, Huanxiling Oilfield, Liaohe Basin.

Zhao Yongsheng¹ Zhu Yongming¹ Yang Shiming¹

Wang Zhen² Che Xiangfei²

1 (State key lab of oil Exploitation Gas Reservoir, Geology and Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

2 (Liaohe Petroleum Exploration Bureau, PanJing Lioning 124400)

Abstract

Qi 108 is a small oil developing block of Huanxiling oilfield in Liaohe basin. The reservoir, the third member of Shahejie Formation, consists of fan-delta deposits. Based on the theory of sequence stratigraphy and dynamic sedimentology, with the need of oil developing bed, the Lianhua reservoir of Qi 108 can be divided into three oil bed groups containing ten sandstone beds. The reservoir is recognized 11 lithofacies as follows Gm, Sm, Ss, Smg, Sp, Sw, Sh, Sr, Fm, Ff and Fds. 12 lithofacies assemblages are composed of the 11 lithofacies, and they are Gm→Sp→Sm→Fm, Gm→Smg→Fm, Ss→Sm→Sr→Fm; Sm→Sh→Fm, Ss→Sm→Sr→Fm; Gm→Sm→Fm; Ff→Sr→Sm, Fm→Sw→Sh; Fds→Sr→Sh→Fm, Fm→Fds→Sw→Sr→Ff; Sm→Sr→Fm; Ff→Sr→Fm. The lithofacies and assemblages constitute subaqueous fan-delta depositional modelling, containing 1) subaqueous major distributary channel, 2) subaqueous