

高尚堡油田沙三段扇三角洲储层沉积学特征

冉启佑

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

常学军

(冀东石油勘探开发公司勘探开发地质所, 河北唐山 063200)

刘翠荣

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

高尚堡油田沙三段二、三亚段为一套粗碎屑扇三角洲沉积, 沉积物主要来自 NE 方向, 具有近物源、短距离、快速搬运、快速堆积的特点。在 8 类岩石相中, 以正韵律砂砾岩相、正韵律厚层含砾砂岩相和块状层理砂岩相为最有利的储集岩类, 6 种岩石相组合形式中, 发育于分流河道亚相中的类型 1 和类型 2 最有利于油气的富集。

关键词 高尚堡油田 扇三角洲 岩石相 沉积物源 有利相带

第一作者简介 冉启佑 男 29 岁 工程师 石油地质

高尚堡油田沙河街组三段二、三亚段储集层位于南堡凹陷陡坡带邻近柏各庄-西南庄大断层下降盘, 正处于断陷湖盆发育期, 为一套近物源粗碎屑沉积。湖盆北部山地为高山峡谷地貌, 具有坡降陡、近物源的古地形条件, 据孢粉化石分析, 为湿热的亚热带气候, 由于降雨充沛, 为携带碎屑沉积物提供了动力条件。高 65-1 井、高 3106 井、高 93 井岩芯中植物碎屑十分发育, 完整的植物叶、根、碳化的树干及大量腹足类化石, 反映了当时为湖盆水体较浅的环境。这种古地理环境和古构造、古气候条件, 构成了本区扇三角洲沉积发育的主要背景。

1 岩石学特征

1.1 成分及结构

据 19 口井 800 多块样品统计资料, 高尚堡油田深部油层沙河街组三段二、三亚段平均石英含量为 29.9%, 长石含量为 35.23%, 岩屑含量为 34.17%(表 1), 显然以非稳定矿

表 1 岩石矿物成分分布特征表 (%)

井号	平均含量			石英		石英/长石	石英/岩屑
	石英	长石	岩屑	长石+	岩屑		
1	27.50	42.00	30.50	0.39	0.65	0.90	
3	30.33	40.66	29.00	0.42	0.74	1.04	
5	31.84	34.27	33.88	0.48	0.92	0.93	
7	29.66	37.04	33.29	0.44	0.80	0.89	
8	30.89	38.71	30.39	0.44	0.79	1.01	
13	28.35	35.51	36.12	0.44	0.79	0.78	
23	24.13	39.25	36.61	0.38	0.61	0.65	
26	23.86	37.80	38.33	0.38	0.63	0.62	
35	26.86	34.66	38.46	0.43	0.78	0.69	
65	44.06	24.86	31.06	0.63	1.77	1.41	
65-1	30.48	29.26	40.25	0.51	1.04	0.75	
66	23.53	47.07	29.38	0.33	0.50	0.80	
74-1	38.40	18.10	43.50	0.67	2.12	0.88	
93	39.22	17.89	42.87	0.68	2.19	0.91	
104-3	23.23	33.78	42.97	0.40	0.68	0.54	
3102	23.93	39.53	36.53	0.37	0.60	0.65	
3104	27.00	35.21	37.78	0.43	0.76	0.71	
3105	24.48	45.08	30.44	0.35	0.54	0.80	
3106	24.83	38.77	36.39	0.39	0.64	0.68	

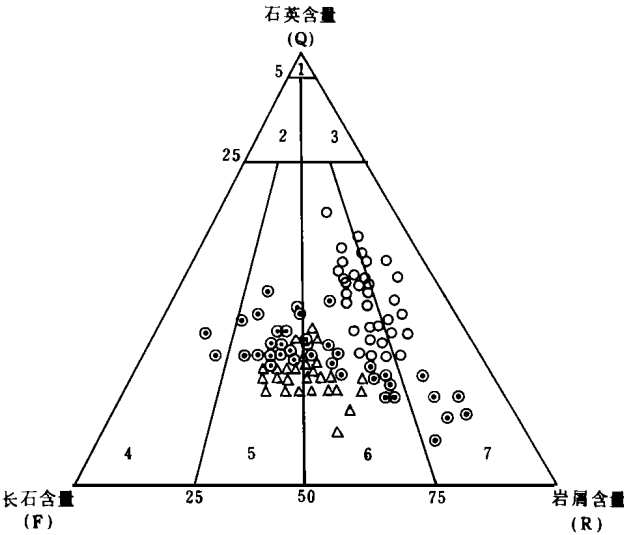


图 1 砂岩三角端元分类图

—高 7 井岩石类型; —高 3106 井岩石类型;
○—高 93 井岩石类型;

1—石英砂岩; 2—长石石英砂岩; 3—岩屑石英砂岩; 4—长石砂岩;
5—岩屑长石砂岩; 6—长石岩屑砂岩; 7—岩屑砂岩

反映物源供给不稳定, 母岩成分也比较复杂; 其二是以高 3106 井为代表的长石与岩屑的过渡类型, 即岩屑长石砂岩与长石岩屑砂岩为主, 这类岩石是工区沉积物的主体, 约占 70% 以上, 也是陆源碎屑尤其是山前湖泊最常见的类型, 主要分布在盆地东北部, 反映物源比较稳定, 且母岩为含长石较多的花岗岩类; 第三类为以高 93 井为代表的岩屑砂岩类, 仅分布在南部高柳断裂带附近, 基质含量很高, 一般大于 15%, 最高达 40%, 是由断裂作用造成的滑塌沉积。工区 19 口井的砂岩分类结果表明(表 2), 砂岩类型以过渡型的岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,

表 2 砂岩分类表

井 名	样品数/个	长石砂岩		岩屑长石砂岩		长石岩屑砂岩		岩屑砂岩	
		数量/个	百分比(%)	数量/个	百分比(%)	数量/个	百分比(%)	数量/个	百分比(%)
104-3	47	0	0	7	14.9	40	85.0	0	0
23	36	0	0	18	50.0	18	50.0	0	0
3102	32	0	0	20	62.5	12	37.5	0	0
3104	14	0	0	6	42.9	8	57.1	0	0
3105	25	0	0	22	88.0	3	12.0	0	0
3106	150	0	0	86	57.3	64	42.7	0	0
65	15	0	0	5	33.3	10	66.7	0	0
66	13	0	0	12	92.3	1	7.7	0	0
74-1	20	0	0	0	0	20	100	0	0
93	129	0	0	0	0	94	72.8	35	27.1
65-1	83	0	0	12	14.5	66	79.5	5	6.0
13	44	3	6.8	15	34.0	26	59.1	0	0
35	15	1	6.6	5	33.3	9	60.0	0	0
1	17	2	2.0	6	35.3	9	52.9	0	0
26	15	1	6.6	6	40.0	8	53.3	0	0
3	24	4	16.6	12	50.0	8	33.3	0	0
5	78	5	6.4	29	37.2	43	55.1	1	1.2
7	50	2	4.0	27	54.0	15	30.0	6	12.0
8	88	2	7.0	19	67.9	64	14.2	3	10.7
小计	835	20	2.0	307	36.7	458	54.8	50	5.9

占总样品的 91.5%, 其次为岩屑砂岩占 5.9%, 真正的长石砂岩只占 2%, 而纯石英砂岩没有。因此, 砂岩类型亦反映了沉积物强烈侵蚀、快速搬运、快速堆积的沉积特征。

物为主, 而在正常河湖三角洲占绝对优势的石英只占不足 30%, 表明本区岩石成分成熟度非常低。此外, 根据薄片鉴定资料, 沙河街组三段二、三亚段储层以中粗砂岩为主, 含砾砂岩及砂砾岩为辅, 砂岩粒径变化范围大, 一般在 0.05 ~ 2 mm 左右, 砾石砾径大者可达 2 cm, 分选及磨圆度普遍差。据粒度分析资料, 标准偏差平均值在 2.1 左右, 相当于分选程度分级标准的很差级^[1], 反映了近物源、快速搬运、快速堆积的沉积特征。

1.2 砂岩类型

根据砂岩三角端元分类法^[2], 对目的层砂岩进行投点作图, 可归纳为三类(图 1), 其一为以高 7 井为代表的杂乱型, 既有长石砂岩、岩屑砂岩也有其间的过渡类型, 这类岩石分布在盆地西边, 反

映物源供给不稳定, 母岩成分也比较复杂; 其二是以高 3106 井为代表的长石与岩屑的过渡类型, 即岩屑长石砂岩与长石岩屑砂岩为主, 这类岩石是工区沉积物的主体, 约占 70% 以上, 也是陆源碎屑尤其是山前湖泊最常见的类型, 主要分布在盆地东北部, 反映物源比较稳定, 且母岩为含长石较多的花岗岩类; 第三类为以高 93 井为代表的岩屑砂岩类, 仅分布在南部高柳断裂带附近, 基质含量很高, 一般大于 15%, 最高达 40%, 是由断裂作用造成的滑塌沉积。工区 19 口井的砂岩分类结果表明(表 2), 砂岩类型以过渡型的岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,

1.3 砂岩粒度概率图解

对 16 口井的 700 多个样品粒度资料进行计算机处理, 分别编制其概率图, 并利用图解法分别计算单样品平均值、标准偏差、偏度、峰度等粒度特征参数表明, 工区目的层砂岩粒度概率图解大多只有两段, 即悬浮和跳跃两大次总体, 粒级范围一般在 $1 \sim 5\phi$ 左右, 反映了沉积物颗粒搬运方式多为河流床沙形体搬运, 且粒度较粗, 多以粗-中砂岩为主, 曲线斜率较小, 反映了沉积物分选性较差。

1.4 砂岩粒度 $C-M$ 图解

将研究区内 11 口井的粒度资料作 $C-M$ 图解, 综合归纳为网状河沉积, 水下分流河道沉积, 断裂作用造成的滑塌沉积、扇三角洲前缘砂沉积和远端席状砂沉积 5 种类型(图 2)。

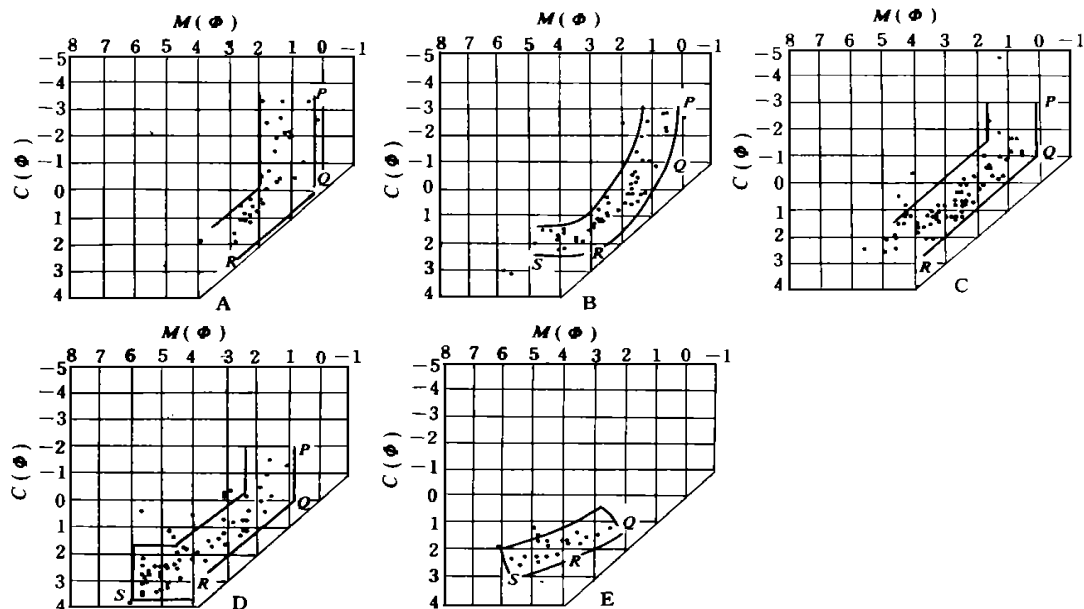


图 2 高尚堡油田扇三角洲体系 $C-M$ 图的演变

A—网状河沉积; B—水下分流河道沉积; C—断裂作用造成的滑塌沉积; D—扇三角洲前缘砂沉积; E—远端席状砂沉积

从图中可以看出, 工区目的层砂岩粒度 $C-M$ 图解大多只有 2 段, 即 PQ 段和 QR 段, 反映了沉积物多呈滚动和悬浮状态搬运(亦即牵引流方式搬运), 密度流沉积不发育; 图中从 A 到 E 的变化, 反映了从扇三角洲平原到前扇三角洲 PQ 段逐渐消失而 RS 段逐渐发育。

2 岩石相分析

2.1 岩石相的划分

笔者通过对数口井的岩芯观察, 并依据岩性、颜色、粒度、沉积构造等特征, 将工区岩石相划分为 8 种, 以此来反映其沉积时的基本水动力条件和沉积作用。

2.1.1 块状混杂砾岩相(G_m)

砂砾岩混杂堆积, 砾石成分复杂, 呈次棱角状, 数量和大小自下而上递减。单层厚度 2 m, 与下伏含砾砂质泥岩呈突变接触。该岩相基质含量较高, 为泥质及粉砂质, 呈基底式胶结, 孔隙性较差, 主要分布在扇三角洲平原。反映近物源、水体能量高、沉积速度快的沉积特点。

2. 1. 2 正韵律砂砾岩相或含砾砂岩相(Gf)

由多套正粒序的细砾岩-砂砾岩(含砾粗砂岩)组成的叠覆砂砾岩,砾石直径 0.5~2 cm,底部有时可有含砾细砂岩-细砾岩组成的薄层反粒序沉积,与下伏灰绿色泥岩呈突变接触,单层厚度 1.5~3 m。此类岩相代表多次阵发性洪水带来的粗碎屑的冲刷-叠加-再冲刷-再叠加的多次沉积作用过程,常出现于分流河道轴部,其孔隙度和渗透率均较好。

2. 1. 3 正韵律厚层含砾砂岩相(Sf)

包含多种岩石类型,从砾岩—砂砾岩(含砾粗砂岩)—中砂岩—细砂岩—粉砂岩,以中-粗砂岩为主。单层厚度 2~4 m,与下伏泥岩呈突变接触,有时也与下伏正递变砂砾岩相呈突变接触,代表一次洪水事件从发生到消亡的全过程,多发育于水下分流河道,底部砂岩孔渗性较好,向上变差。

2. 1. 4 块状层理砂岩相(Sm)

粒级范围较大,包括砾岩、砂砾岩、粗砂岩、中砂岩和细砂岩,主要由中-细砂岩组成,砾岩通常出现在该相的下部,结构成熟度中等,磨圆度中等,多呈棱角状-次圆状,单层厚度大多在 2 m 以上。层内无明显的沉积构造和粒度变化,底部可见冲刷面,反映了沉积物快速堆积的特点,代表分流河道因地形变化或能量减弱而堆积,故而分选性差。

2. 1. 5 槽状交错层理含砾粗砂岩相(St)

粒度范围较大,从细砂岩到含砾粗砂岩,但以中-粗砂岩为主。岩石类型以长石岩屑砂岩为主,结构成熟度中等,具中-小型槽状交错层理。砾石直径 0.5~1 cm,单层厚度 0.5~1 m,常出现于分流河道轴部或河口坝,其孔、渗性均较好。

2. 1. 6 平行层理砂岩相(Sh)

包括平行层理细-粗砂岩相,以细砂岩为主,结构成熟度中等,成分成熟度中等偏低,主要是受物源的影响,单层厚度 1~2 m,在厚度较大的单层中见有粒度向上变粗的趋势,它常与块状层理砂岩相共生,该岩相类型孔隙性较好,但渗透性较差,常见于前缘河口坝沉积中。

2. 1. 7 波状交错层理粉砂岩相(Fr)

常与灰绿色泥岩共生,呈互层或夹层产出,也常见于厚层正递变砂岩相顶部,厚度一般为 1~1.5 m,多分布于分流河道间以及扇三角洲前缘远端部位。

2. 1. 8 块状(或平行)层理泥岩相(M)

颜色较深,多呈块状产出,泥岩中多含粉砂质或其它悬浮物。厚度一般几米至几十米,厚者可达百米以上。此类岩相常分布于分流河道间或前扇三角洲。

高尚堡油田沙河街组三段二、三亚段储集岩十分发育,但由于埋藏较深,几乎全部进入晚成岩阶段,储集空间以各种次生孔隙为主。依据沉积相带、岩性、物性、孔隙结构及含油气性等条件可将区内储集岩分为 4 种主要类型(表 3)。储集性能最好的相带为分流河道,岩性为细-

表 3 储集岩分类表

砂体类型	岩 性	Φ (%)	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	P_d/MPa	$R_{50}/\mu\text{m}$	含油气性	综合评价
分流河道砂	细-中粗砂岩	15~25	60~700	0.02	7	最好	
前缘河口坝	中-细砂岩	15~20	1~100	0.035	0.55	好	
辫状河道砂	不等粒砂岩,砂砾岩	10~15	0.5~40	0.2	0.3	较好	
远端席状砂	粉细-粉砂岩	5~10	0.1~1	0.7	0	较差	

中粗砂岩。工区内最发育的岩石相类型为正韵律砂砾岩相、正韵律厚层含砾砂岩相以及块状层理砂岩相, 它们的岩性均为细-中粗砂岩, 均发育于分流河道亚相。对工区而言, 岩性对物性的影响尤为明显, 中-粗砂岩物性最好, 其次为细砂岩和不等粒砂岩 (图 3)。这一特征亦反映了扇三角洲环境中物性较好的分流河道发育, 而前缘亚相相对来说不甚发育, 且其细粒沉积物物性较差。

2. 2 岩石相组合类型与沉积作用

据前面所述的 8 类岩相在垂向上的组合特征和配置关系, 将工区内岩石相组合划分为 6 类, 本文仅介绍工区最常见且最有利于油气富集的 3 种岩相组合类型。

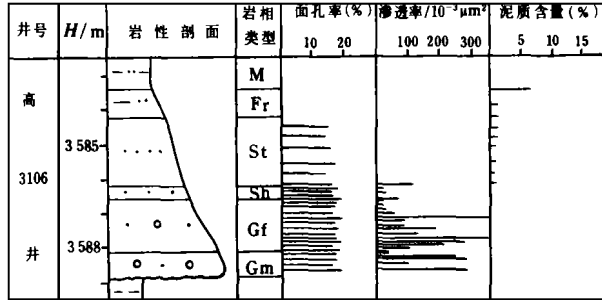


图 4 类型 1 沉积层序和非均质性图

一次洪水事件的全过程。沉积物主要表现为侧向加积作用, 层序与底部泥岩相呈突变接触, 为季节性洪水冲刷所致。整个层序由下向上的变化, 反映了水动力条件和水体能量的由强到弱, 代表扇三角洲水下分流河道沉积, 层序底部粗粒级段其孔渗性较好。

2. 2. 2 类型 2: Gf-Gm-Sh-Gf-St-M

如图 5 所示, 以含砾粗砂岩和砂岩为主, Gf 相和 Gm 相在整个层序中占有绝对的主导地位, 厚度较大。沉积构造主要为正粒序层理和槽状交错层理, 其次为平行层理, 冲刷作用频繁。发育有洪水层理砂砾岩相, 表现出水动力强弱的交替变化; 同一岩相在垂向上可反复出现, 具间歇性水流的特点。剖面结构由不同粒级的含砾粗砂岩或砂质砾岩至细砂岩构成, 其特点为向上变细的复合正韵律。粗粒物质占着剖面的主要部分, 漫岸的细粒物质很少或缺乏, 其成因是被后一次间歇洪水的

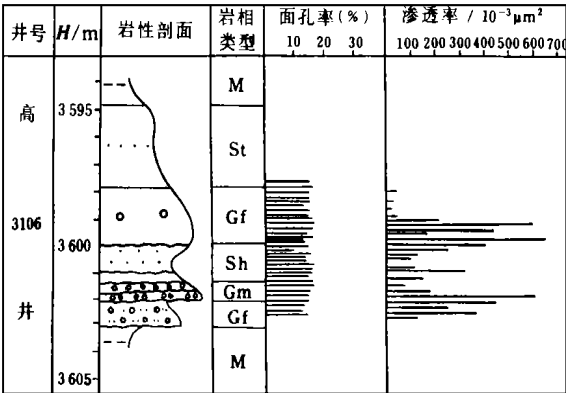


图 5 类型 2 沉积层序和非均质性图

层理砂岩相为主要的储集岩类。6 种组合形式中, 以发育于分流河道亚相中的类型 1 和类型 2 两种组合最有利于油气的富集。

(3) 沉积物物源区主要在东北方向, 西南方向可能存在着物源。

参 考 文 献

- 1 Folk R M, Ward W C. Brazos river bar: a study in significance of grain size paramters. Jour Sed, 1975, 27(1): 3- 27
- 2 刘宝通. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1980. 123 ~ 127, 307 ~ 320

SEDIMENTOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FAN-DELTA RESERVOIRS IN E_{s3}^{2+3} SUBMEMBERS, GAOSHANGPU OILFIELDS

Ran Qiyu

(*Institute of Petroleum Geology, M GMR, Beijing*)

Chang Xuejun

(*Institute of Geology, Jidong Petroleum Exploration & Development Cor., Tangshan, Hebei*)

Liu Cuirong

(*Institute of Petroleum Geology, M GMR, Beijing*)

Abstract

The deep E_{s3}^{2+3} submembers consist of a set of coarse detritus fan-deltaic deposits which come from NE direction and are characterized by near-provenance, short-transportation and rapid accumulation. Among 8 lithofacies types, the positive rhythmic sand-gravel facies, positive rhythmic gravel-bearing sandstone facies and massive sandstone facies are favourable reservoir rocks; within 6 facies assemblages, type- and type- developed in distributary channel subfacies are favourable for oil and gas accumulation.