

文章编号: 1004—5589 (2025) 01—0106—13

朱洪武, 张丹扬, 陈鹏, 等. 克拉玛依油田四1区三叠系下克拉玛依组沉积特征 [J]. 世界地质, 2025, 44 (1): 106–118. DOI: 10.3969/j.issn.1004–5589.2025.01.008.

ZHU H W, ZHANG D Y, CHENG P, et al. Sedimentary characteristics of Triassic Lower Karamay Formation in Block Si 1, Karamay Oilfield [J]. World Geology, 2025, 44 (1): 106–118. DOI: 10.3969/j.issn.1004–5589.2025.01.008.

克拉玛依油田四1区三叠系下克拉玛依组沉积特征

朱洪武, 张丹扬, 陈鹏, 殷嘉伟, 戚炳坤, 王德海*

吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

摘要: 为分析克拉玛依油田四1区下克拉玛依组 (简称克下组) 油藏的岩石学特征、粒度分布特征、沉积相类型及空间分布规律, 选取 D16 井作为研究区的标准井, 其钻井岩心作为观察和实验的主要数据来源, 运用岩心观察、岩石矿物薄片鉴定和筛析法, 获取四1区克下组储层的颜色、岩性、沉积结构与构造、岩石矿物成分和含量等岩石学数据及粒度分布统计数据。根据岩心颜色、岩性组合、结构构造、粒度概率累计曲线、C-M 图解、结构参数散点图等沉积相标志识别四1区克下组的沉积相类型。同时结合全区一百多口井的物探数据, 应用测井相的方法, 将 D16 标准井的沉积相模式辐射到工区内其他井上, 通过拉取连井剖面, 分析沉积微相和砂体在剖面上的分布规律。根据砂岩的厚度等值线图, 分析沉积微相和砂体在平面上的分布规律。研究结果表明: D16 井的岩心颜色为褐色、浅褐色、浅灰色和灰绿色; 岩性按粒度大小分为不等粒砂岩、中-细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩, 按岩石矿物类型分为岩屑砂岩、长石质岩屑砂岩和岩屑质长石砂岩; 磨圆度为次棱角-次圆状, 分选性中-差, 发育块状层理和板状交错层理; 颗粒接触关系主要为点-线接触, 孔隙主要为剩余粒间孔。粒度概率累积曲线为两段式和四段式, C-M 图具有牵引流特征, 结构参数散点图投点集中在三角洲平原和前缘区间。四1区克下组储层的沉积环境为浅水、弱氧化-弱还原环境; 识别出辫状河三角洲前缘和滨浅湖2种沉积亚相, 水下分流河道、水下分流河道间、河口坝和滨浅湖泥等4种沉积微相。克下组的主要储集砂体为水下分流河道砂体, 剖面上呈透镜状和层状分布, 平面上呈条带状和片状分布。

关键词: 沉积特征; 沉积微相; 粒度分析; 三叠系; 下克拉玛依组; 克拉玛依油田

中图分类号: P618.13 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1004–5589.2025.01.008

Sedimentary characteristics of Triassic Lower Karamay Formation in Block Si 1, Karamay Oilfield

ZHU Hongwu, ZHANG Danyang, CHENG Peng, YIN Jiawei, QI Bingkun, WANG Dehai *

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: To analyze the petrological characteristics, grain size distribution characteristics, sedimentary facies

收稿日期/Received: 2024-04-09; 修订日期/Revised: 2024-10-28; 出版日期/Published: 2025-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41202072)

第一作者: 朱洪武 (1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积学方面的研究。E-mail: 1105466515@qq.com

* 通信作者: 王德海 (1970—), 男, 副教授, 主要从事石油地质、沉积学方面的研究。E-mail: dhwang@jlu.edu.cn

© Editorial Office of World Geology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

types and spatial distribution regularity of the Lower Karamay Formation in Block Si 1, Karamay Oilfield, Well D16 is selected as the standard well in the study area, and its drilling cores are used as the main data source for observation and experiments. Core observation, rock mineral thin section identification and sieve analysis are used to obtain petrological data such as colors, lithologies, sedimentary structure and texture, rock mineral composition and contents, and grain size distribution statistics of the Lower Karamay Formation reservoir in Block Si 1. The sedimentary facies types of the Lower Karamay Formation in Block Si 1 are identified based on sedimentary facies markers such as core colors, lithologic assemblages, structure and texture, grain size probability accumulation curves, $C-M$ diagram, and structural parameter scatter plots. At the same time, combined with the geophysical data of more than 100 wells in the study area, the method of well logging is used to radiate the sedimentary facies model of the D16 standard well to other wells in the study area. By pulling the well-connected profile, the distribution regularity of sedimentary microfacies and sand bodies on the profile are analyzed. According to the thickness contour map of sandstone, the distribution regularities of sedimentary microfacies and sand bodies on the plane are analyzed. The results show that the core colors of Well D16 are brown, light brown, light gray and gray-green, and the lithologies are divided into unequal-grained sandstone, medium-fine sandstone, argillaceous siltstone, silty mudstone and mudstone according to the grain size, and the sandstone is divided into lithic sandstone, feldspathic lithic sandstone and lithic feldspathic sandstone according to the rock mineral types. The roundness is sub-angular to sub-rounded, the sorting is medium to poor. Massive bedding and tabular cross-bedding are developed, the contact relationships of particles are mainly point-line contact, and the pores are mainly residual intergranular pores. The probability accumulation curves of grain size are two-stage or four-stage types, the $C-M$ diagram has the characteristics of traction flow, and the points of the structural parameter scatter plots are concentrated in the delta plain and front interval. The sedimentary environment of the Lower Karamay Formation reservoir in Block Si 1 is shallow, weakly oxidized to weakly reduced. Two sedimentary subfacies, the braided river delta front and the shallow lake, and four sedimentary microfacies, including the subaqueous distributary channel, the subaqueous interdistributary, the estuarine dam and the coastal shallow lake mud, are identified. The main reservoir sand bodies of the Lower Karamay Formation are subaqueous distributary channel sand bodies, which are distributed in lens-shaped and layered forms on the cross section and in strip-shaped and sheet-shaped forms on the plane.

Keywords: sedimentary characteristics; sedimentary microfacies; grain size analysis; Triassic; Lower Karamay Formation; Karamay Oilfield

0 引言

克拉玛依油田四1区三叠系下克拉玛依组(T_2k_1)油藏于1957年被发现并开采,共经历产能建设、产量递减、低速采油、二次开发4个阶段。初期采用天然能量开发,油藏无稳产期,1993年探明的石油地质储量为 540.59×10^4 t。克拉玛依油田 T_2k_1 具有巨大的油气勘探前景,为进一步明确克拉玛依油田 T_2k_1 油气资源的勘探,学者们对该区域油藏沉积相类型和砂体展布开展了大量的研究,但是对克拉玛依油田不同区块内的 T_2k_1 储层沉积相类型的识别存在着截然不同的认识。张纪易^[1]认为克拉玛依组为洪积扇粗碎屑储集体,苏维强^[2]认为五2西区 T_2k_1 为扇三角洲沉积,黄彦

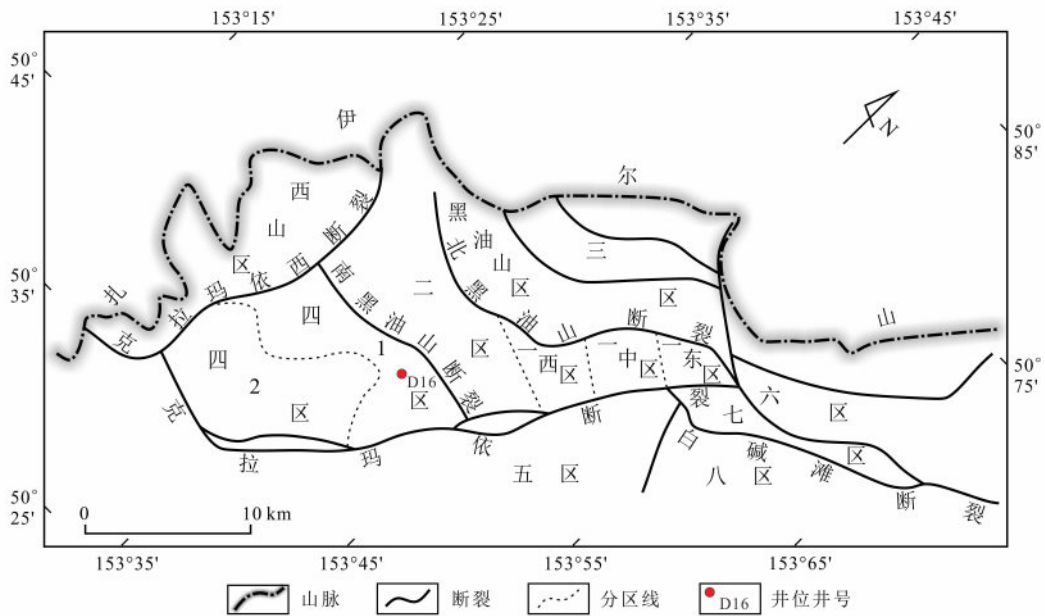
庆等^[3]认为六中区 T_2k_1 为冲积扇相沉积,朱志良等^[4]认为一东区克拉玛依组为辫状河、扇三角洲和湖泊沉积,孙乐等^[5]认为五2东区上克拉玛依组为扇三角洲沉积。前人的研究成果差别巨大,并且缺乏细致的粒度分析资料作为支撑证据。因此,开展对四1区 T_2k_1 储层沉积相的认识以及砂体展布研究十分必要。研究成果有助于深入认识四1区 T_2k_1 的沉积相类型、沉积特征和砂体展布,能更好地识别潜在的储集层和优质油气区块,提高勘探和开发效率。

1 区域地质背景

克拉玛依油田位于准噶尔盆地西北缘,西临扎伊尔山,呈NE-SW向条带状分布,长约50 km,

宽约 10 km，属单斜构造，自西北向东南阶梯状下降。油区断裂发育，根据断裂切割情况分为 9 个区和若干个开发断块。其中，克拉玛依油田四 1 区

位于克拉玛依市东南 5 km 处，区内地势平坦，平均海拔高度 280 m。北部以南黑油山断裂与二区为界，东部以克拉玛依断裂与五区为界（图 1）。



据文献 [4] 修改。

图 1 克拉玛依油田四 1 区位置图
Fig. 1 Location of Block Si 1 in Karamay Oilfield

海西期，受控于来自西北方向强烈的逆冲推覆作用，准噶尔盆地西北缘整体呈西北高、东南低的特点。经过石炭纪—二叠纪剧烈的冲断构造作用和长期的风化剥蚀，在断层上盘，即准噶尔盆地西北部造山带形成了大量的碎屑物源。中三叠世早期，准噶尔盆地西北缘古地貌具有西北高、东南低，西北陡、东南缓的特点，沉积体系接受西北方向的物源供给，随着地形向东南变缓，可容纳空间增大，沉积物得以保存，形成西北薄—东南厚的地层^[6-9]。

2 地层特征

克拉玛依油田四 1 区沉积地层包括石炭系和三叠系，缺失二叠系和三叠系下统（表 1）。石炭纪，准噶尔地块向西北方向俯冲于哈萨克斯坦板块之下，西北缘残余洋消亡而隆起成陆，碰撞挤压和冲断作用在晚二叠世达到顶峰，造山运动强烈。石炭纪—早三叠世，受继承性推覆作用的影响，准噶尔盆地西北缘处于抬升状态，无二叠纪和早三叠世

百口泉组沉积，长期的风化、侵蚀导致区域性不整合，形成大量的碎屑物质。中三叠世，准噶尔盆地西北缘进入陆内拗陷阶段，西北方向的冲断作用逐渐减弱，克拉玛依组（ T_2k ）直接沉积于石炭系不整合面之上，地层呈由西北向东南逐渐增厚的趋势。克拉玛依组（ T_2k ）内部发育的区域岩性突变面将地层划分为下克拉玛依组（ T_{2k1} ，厚度 66 ~ 127 m）和上克拉玛依组（ T_{2k2} ，厚度 68 ~ 134 m），是一套辫状河向湖泊过渡的粗粒三角洲沉积。晚三叠世，发生广泛的湖侵，白碱滩组为一套区域性的湖相深灰色泥岩^[5-8]。

3 沉积相类型与沉积特征

基于 D16 井的岩心观察、薄片鉴定、粒度分布和测井等资料，根据各类沉积相标志，认为四 1 区三叠系下克拉玛依组为辫状河三角洲前缘和滨浅湖沉积亚相，其中辫状河三角洲前缘亚相可进一步识别出水下分流河道、水下分流河道间和河口坝沉积微相（表 2；图 2）。

表 1 克拉玛依油田四 1 区地层划分表
Table 1 Stratigraphic division of Block Si 1 in Karamay Oilfield

地层名称				厚度/m	岩性描述
系	统	组	符号		
三叠系	上统	白碱滩组	T ₃ b	50 ~ 100	以暗色泥岩、粉砂质泥岩为主。
	中统	上克拉玛依组	T ₂ k ₂		以砂砾岩与泥岩交互为主, 下部是泥岩, 上部为细砂岩, 孔隙以粒间孔为主, 中等渗透, 是油田重要的储集层, 研究区埋深 150 ~ 1 000 m, 该组可分 S ₅ 、S ₄ 和 S ₃ 等 3 个砂组。
		下克拉玛依组	T ₂ k ₁		为一套不等粒砂岩、泥岩互层-细粉砂岩-泥岩正旋回沉积, 该组为油田的主要储集层, 可分为 S ₇ 和 S ₆ 等 2 个砂组, 研究区埋藏深度为 300 ~ 1 000 m。
					以中性火山喷发岩为主, 其次为少量酸性喷发岩, 轻变质岩和凝灰岩, 不同的断阶带埋藏深度不同, 一般为 400 ~ 3 000 m。
石炭系	上统	包古图组	C ₂ b		

表 2 四 1 区下克拉玛依组沉积相类型
Table 2 Sedimentary facies types of T₂k₁ in Block Si 1

沉积相	沉积亚相	沉积微相	岩性	分选性	沉积构造	韵律性	测井曲线形态
辫状河三角洲	辫状河三角洲前缘	水下分流河道	褐灰色细粒砂岩、粉砂岩	中-差	块状层理	正韵律	钟形-箱形
		河口坝	褐灰色泥质粉砂岩、粉砂岩	好	板状交错层理	反韵律	漏斗形
		水下分流河道间	褐色泥质粉砂岩夹粉砂质泥岩		块状层理		平直线形
湖泊	滨浅湖	滨浅湖泥	杂色泥岩、粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩		块状层理		平直线形

3.1 辫状河三角洲前缘

3.1.1 岩石学特征

岩石学特征是沉积相中最容易观察和获取的沉积特征^[10]。四 1 区 T₂k₁ 发育的辫状河三角洲前缘主要为水下分流河道和水下分流河道间沉积, 碎屑沉积物整体颜色主要为灰色、灰绿色和浅褐色, 由下向上为泥岩、粉砂岩、砂岩、含砾砂岩组成的反韵律或复合韵律。由于辫状河强烈的河道化及较深和持续的水流作用, 砂岩以颗粒支撑为主, 巨砾级大砾石少见, 分选中等-好、磨圆次棱角-次圆状, 在辫状河水流和生物扰动的作用下, 发育板状交错层理和块状层理(表 3; 图 3)。碎屑岩按矿物成分分为岩屑质长石砂岩、长石质岩屑砂岩和岩屑砂岩(图 4、5a)。岩屑体积分数主要集中在 45% ~ 80%, 长石体积分数普遍低于 25%, 石英体积分数主要集中在 10% ~ 40%。

3.1.2 辫状河三角洲前缘的粒度分析特征

将四 1 区 T₂k₁ 的样品粒度分布数据代入

Folk^[11] 粒度参数计算公式(公式 2 ~ 5), 得到四 1 区 T₂k₁ 的粒度参数统计表(表 4)。

$$\Phi = -\log_2 \frac{d}{d_0} \tag{1}$$

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \tag{2}$$

$$\sigma_i = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \tag{3}$$

$$SK = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \tag{4}$$

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \tag{5}$$

式中: d 为碎屑颗粒的直径 (mm); $d_0 = 1\text{ mm}$; Φ 为粒径; Φ_x 为粒度概率累计曲线中粒度概率百分数为 x 时所对应的粒径 (Φ); M_z 为平均粒径; σ_i 为标准偏差; SK 为偏度; K_G 为尖度。

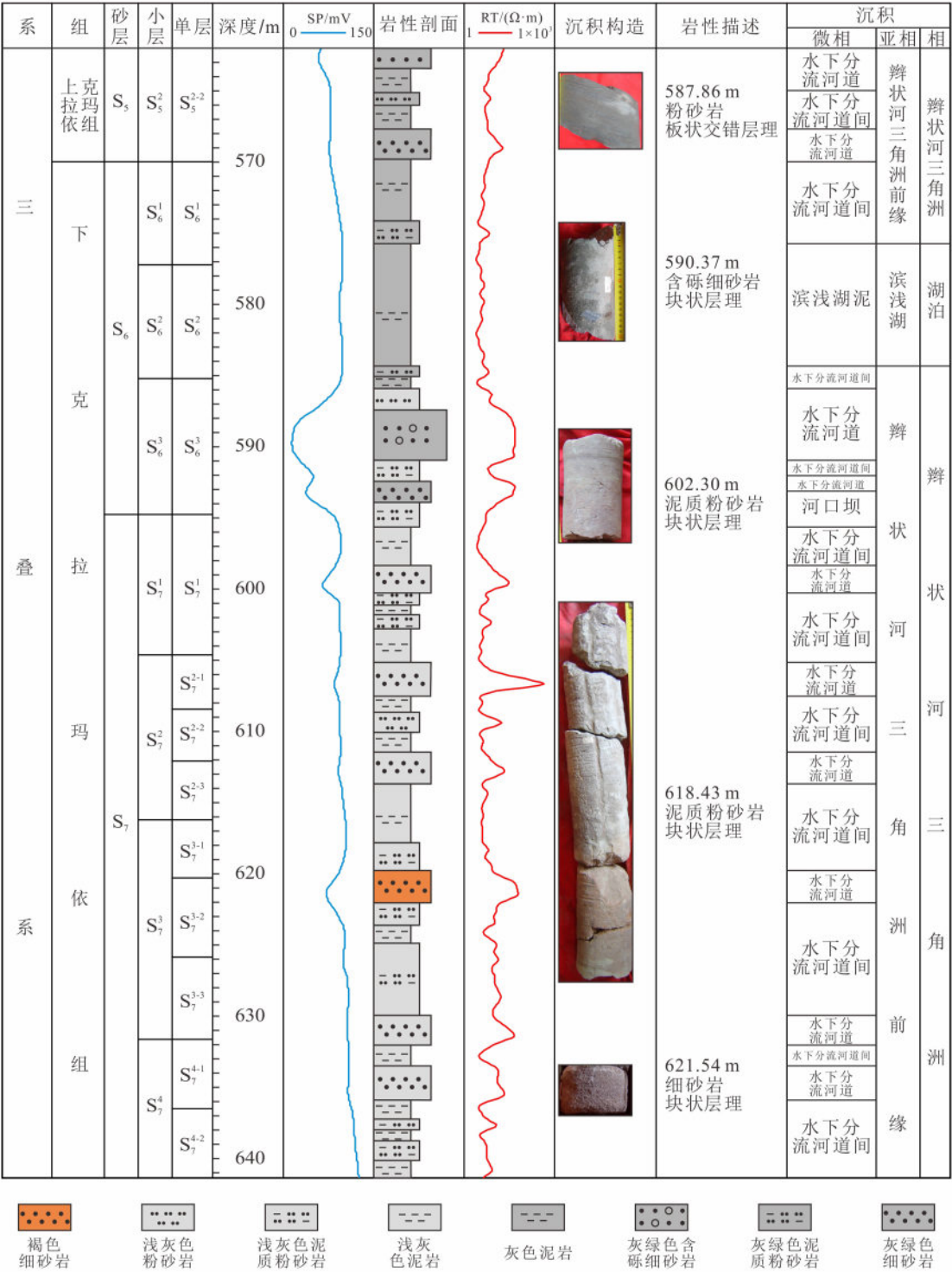


图 2 四 1 区下克拉玛依组地层综合柱状图和典型沉积相剖面图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column and typical sedimentary facies profile of T₂k₁ in Block Si 1

表 3 克拉玛依油田四 1 区下克拉玛依组岩石薄片鉴定

Table 3 Thin section observation of T₂k₁ in Block Si 1 of Karamay Oilfield

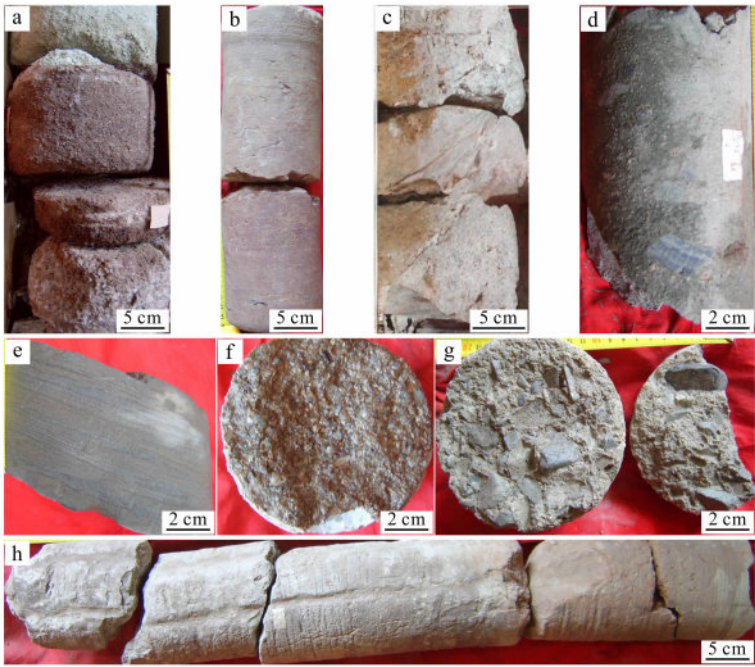
样品编号	深度/m	颜色	胶结程度	镜下结构	磨圆度	分选性	支撑类型	接触方式	岩石定名	图片
2011-05553	586.17	绿灰色	致密	极细粒粉粒砂质结构	次棱角状	中	颗粒支撑	线接触	含泥质极细粒粉粒岩屑砂岩	图 4a
2011-05560	590.22	褐色	中等	细粒砂质结构	次圆-次棱角状	好	颗粒支撑	点-线接触	细粒岩屑砂岩	图 4b
2011-05566	591.17	褐色	中等	细粒砂质结构	次圆-次棱角状	好	颗粒支撑	线接触	细粒岩屑砂岩	图 4c
2011-05576	594.27	灰色	致密	砂质泥质结构	次棱角状				砂质泥岩	图 4d
2011-05582	617.23	灰色	致密	泥质不等粒砂质结构	次棱角状	差	杂基支撑	不接触	泥质不等粒岩屑砂岩	图 4e
2011-05585	619.18	绿灰色	中等	砂质泥质结构	次棱角状				砂质泥岩	图 4f
2011-05591	621.00	绿灰色	致密	泥质不等粒砂质结构	次棱角状	差	杂基-颗粒支撑	线-点接触	泥质不等粒长石岩屑砂岩	图 4g
2011-05597	622.05	浅褐色	中等	粗粒巨粒砂质结构	次圆状	中	颗粒-杂基支撑	线-点接触	粗粒巨粒岩屑长石砂岩	图 4h
2011-05603	622.79	褐色	中等	细粒极细粒砂质结构	次棱角状	中	颗粒支撑	线接触	细粒极细粒岩屑长石砂岩	图 4i
2011-05611	626.04	灰绿色	致密	粉砂质泥质结构	次棱角状				粉砂质泥岩	图 4j
2011-05619	628.66	灰绿色	致密	砂质泥质结构	次棱角状				砂质泥岩	图 4k
2011-05622	629.57	褐色	中等	不等粒砂质结构	次棱角状	差	颗粒支撑	点-线接触	不等粒岩屑砂岩	图 4l
2011-05626	629.80	浅褐色	中等	含砾不等粒砂质结构	次棱角-次圆状	差	颗粒支撑	点-线接触	含砾不等粒岩屑砂岩	图 4m
2011-05632	631.81	浅绿灰色	致密	不等粒砂质结构	次圆状	差	颗粒支撑	点-线接触	不等粒岩屑砂岩	图 4n

表 4 克拉玛依油田四 1 区下克拉玛依组粒度参数统计及沉积环境判别

Table 4 Statistics of grain size parameters and sedimentary environment discrimination of T₂k₁ in Block Si 1 of Karamay Oilfield

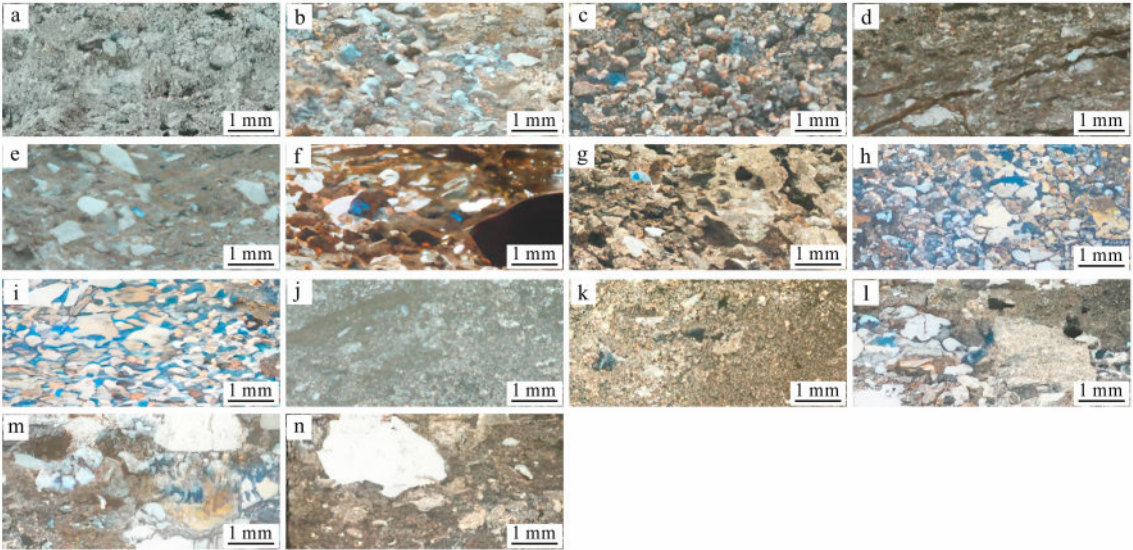
深度/m	ϕ_1	ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}	平均粒径(M_z)	标准偏差(σ_1)	偏度(SK)	尖度(K_G)	判别函数值	环境判别
584.76	1.979	1.983	2.255	2.388	2.757	3.371	4.279	10.164	3.097	1.745	0.658	3.410	-28.868 6	三角洲
585.58	1.702	1.996	2.239	2.360	2.626	3.132	3.990	11.652	2.952	1.901	0.714	5.129	-34.065 5	三角洲
590.05	1.854	2.036	2.328	2.458	2.795	3.476	4.202	7.062	3.108	1.230	0.600	2.023	-15.210 9	三角洲
593.36	2.105	1.910	2.137	2.289	2.605	3.236	4.227	10.357	2.990	1.802	0.694	3.657	-30.832 9	三角洲
596.82	2.085	2.422	2.774	3.015	3.600	4.367	5.283	7.455	3.886	1.390	0.437	1.525	-17.879 8	三角洲
599.42	1.932	2.169	2.444	2.559	2.892	3.464	4.301	15.849	3.212	2.537	0.706	6.200	-58.641 2	三角洲
600.20	1.931	2.160	2.410	2.520	2.842	3.443	4.243	9.323	3.165	1.544	0.669	3.182	-23.100 6	三角洲
604.38	1.969	2.196	2.449	2.546	2.836	3.279	3.771	5.717	3.019	0.864	0.526	1.968	-8.161 4	三角洲
608.74	1.973	2.207	2.448	2.553	2.865	3.294	3.737	5.794	3.017	0.866	0.493	1.984	-8.034 7	三角洲
611.65	2.049	2.360	2.598	2.748	3.118	3.726	4.324	7.941	3.347	1.277	0.563	2.337	-15.978 0	三角洲
612.98	2.007	2.295	2.512	2.640	2.962	3.357	3.858	6.400	3.111	0.959	0.503	2.347	-9.522 2	三角洲
616.69	1.988	1.966	2.238	2.393	2.764	3.314	3.827	6.583	2.943	1.097	0.495	2.054	-12.034 4	三角洲
620.06	1.880	1.960	2.239	2.375	2.687	3.204	3.801	7.753	2.909	1.268	0.587	2.862	-16.002 5	三角洲
626.61	1.921	1.898	2.172	2.361	2.725	3.258	3.865	7.029	2.921	1.201	0.512	2.343	-14.199 0	三角洲
627.43	1.823	2.114	2.516	2.699	3.131	3.733	4.231	7.403	3.293	1.230	0.449	2.096	-14.419 3	三角洲
628.16	1.854	2.172	2.543	2.718	3.153	3.822	4.374	7.406	3.357	1.251	0.480	1.944	-15.010 5	三角洲

注: $\Phi = -\log_2(d/d_0)$ (d 表示碎屑颗粒的直径, 单位为 mm, $d_0 = 1$ mm), Φ_x 为粒度概率累计曲线中粒度概率百分数为 x 时所对应的粒径 (Φ)。



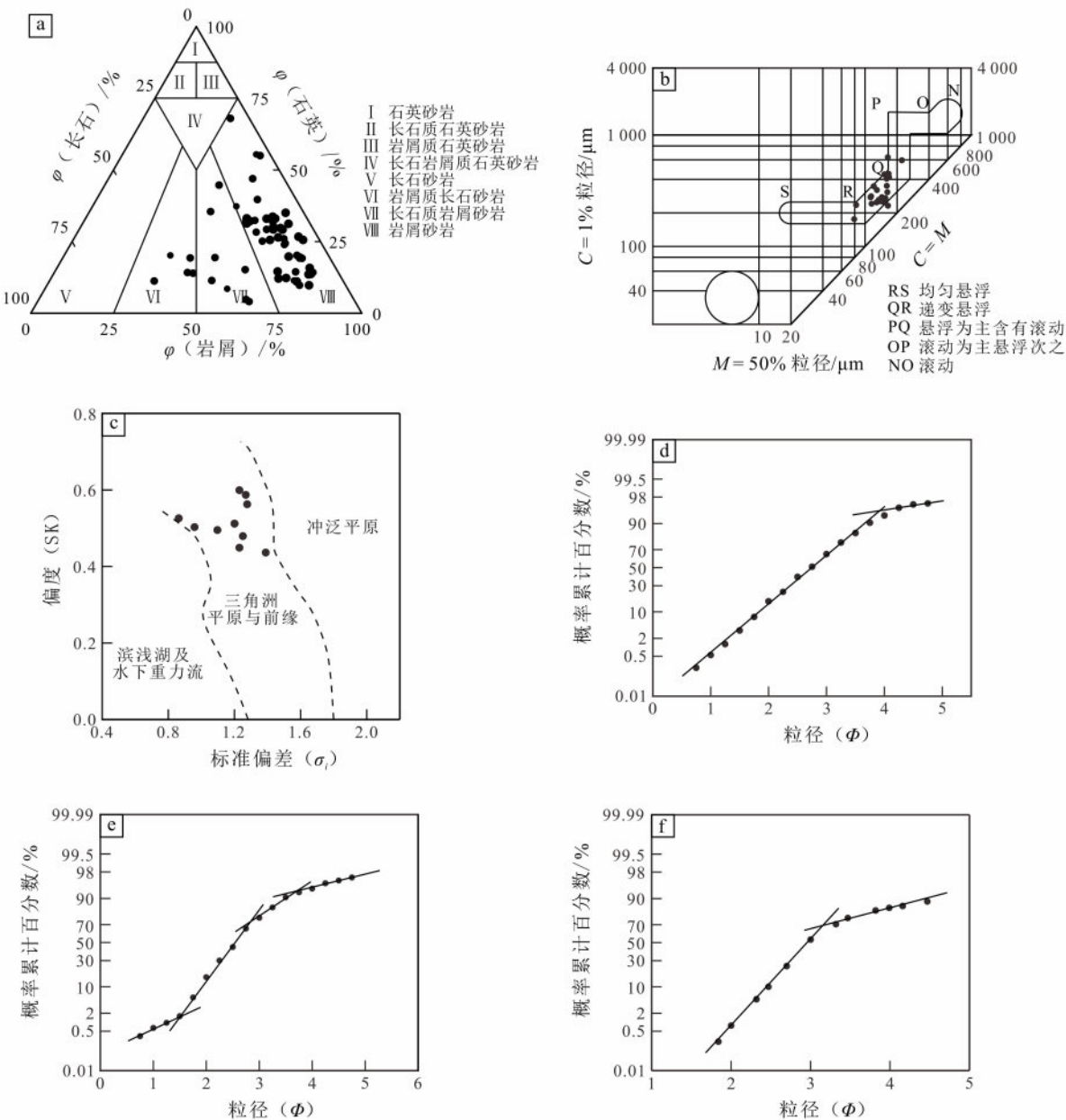
a. D16 井, 622.54 m, 褐色细粒砂岩, 块状层理; b. D16 井, 606.30 m, 褐色粉砂岩, 块状层理; c. D16 井, 619.18 m, 浅灰色泥质粉砂岩, 块状层理; d. D16 井, 593.46 m, 灰绿色含砾细砂岩, 块状层理; e. D16 井, 593.46 m, 灰绿色泥质粉砂岩, 板状交错层理; f. D16 井, 622.05 m, 浅褐色含砾不等粒砂岩, 块状层理; g. D16 井, 629.80 m, 灰色含砾细砂岩, 块状层理; h. D16 井, 618.43 m, 灰绿色粉砂岩, 块状层理。

图 3 克拉玛依油田四 1 区三叠系下克拉玛依组岩心照片
Fig. 3 Core photos of T_2k_1 in Block Si 1 in Karamay Oilfield



a. D16 井, 586.17 m, 极细粒粉粒砂质结构, 颗粒支撑, 线接触; b. D16 井, 590.22 m, 细粒砂质结构, 颗粒支撑, 点-线接触; c. D16 井, 591.17 m, 细粒砂质结构, 颗粒支撑, 线接触; d. D16 井, 594.27 m, 砂质泥质结构; e. D16 井, 617.23 m, 泥质不等粒砂质结构, 杂基支撑, 不接触; f. D16 井, 619.18 m, 砂质泥质结构; g. D16 井, 621.00 m, 泥质不等粒砂质结构, 杂基-颗粒支撑, 线-点接触; h. D16 井, 622.05 m, 粗粒巨粒砂质结构, 颗粒-杂基支撑, 线-点接触; i. D16 井, 622.79 m, 细粒极细粒砂质结构, 颗粒支撑, 线接触; j. D16 井, 626.04 m, 粉砂质泥质结构; k. D16 井, 628.66 m, 砂质泥质结构; l. D16 井, 626.57 m, 不等粒砂质结构, 颗粒支撑, 点-线接触; m. D16 井, 629.80 m, 含砾不等粒砂质结构, 颗粒支撑, 点-线接触; n. D16 井, 631.81 m, 不等粒砂质结构, 颗粒支撑, 点-线接触。

图 4 克拉玛依油田四 1 区下克拉玛依组岩石薄片
Fig. 4 Thin sections of T_2k_1 in Block Si 1 in Karamay Oilfield



a. 四 1 区下克拉玛依组砂岩分类图；b. 粒度 $C-M$ 图 (C 为最大粒径, M 为平均粒径)；c. 四 1 区下克拉玛依组结构参数散点图；d. D16 井, 辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积粒度概率累计曲线图；e. D16 井, 辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积粒度概率累计曲线图；f. D16 井, 辫状河三角洲前缘河口坝沉积粒度概率累计曲线图。

图 5 四 1 区下克拉玛依组粒度分析和砂岩分类
Fig. 5 Grain size analysis and sandstone classification of T_2k_1 in Block Si 1

克拉玛依油田四 1 区 T_2k_1 整体发育于湖泊-三角洲环境背景^[4-6], 因此利用 Sahu^[12] 的浅海与三角洲判别公式 (公式 6) 对四 1 区 T_2k_1 碎屑岩的沉积环境进行判别^[13]。

$$Y(A,B) = 0.285\ 2M_z - 8.706\sigma_i^2 - 4.893\ 2SK + 0.482K_c \quad (6)$$

式中: A 为浅海; B 为河流 (三角洲)。

四 1 区 T_2k_1 碎屑岩的判别函数值均小于 $-7.419\ 0$ (表 4), 具有三角洲的特点。研究区 $C-M$ 图 (图 5b) 显示沉积物样品投影点集中于牵引流范围 ($N-O-P-Q-R-S$) 内, 且集中于 QR 段 (与 $C=M$ 基线平行), 个别样品位于 PQ 段, NO 、

OP、RS段均未见样品投影点,表明四1区 T_2k_1 碎屑岩主要为递变悬浮沉积。研究区结构参数散点图(图5c)中样品投影点位于三角洲平原与前缘区带中,具有正偏度和分选差的特点,表现为辫状河道砂体沉积。

3.2 辫状河三角洲前缘沉积微相及其特征

3.2.1 水下分流河道

水下分流河道是辫状河三角洲前缘亚相中重要的微相之一,为辫状水上分流河道在湖平面之下的延伸部分,是辫状河三角洲前缘的主要沉积体^[14]。四1区 T_2k_1 水下分流河道沉积岩性以褐色、灰色含砾细粒岩屑砂岩为主,发育块状层理(图3d、f、g),结构成熟度中等,磨圆度为次棱角-次圆状(表3),分选系数(标准偏差)为1.74~2.54(表4)。自然电位(spontaneous potential, SP)和地层真电阻率(resistivity true, RT)曲线形态为中高幅箱型-钟形,与下层为突变接触,曲线光滑(图2)。

四1区 T_2k_1 的水下分流河道砂体粒度概率累积曲线主要表现为2种类型:①“四段式”,由滚动次总体、跳跃次总体和悬浮次总体3部分组成,跳跃次总体含量为80%~90%,斜率较高(倾斜角为 $50^\circ \sim 70^\circ$);悬浮次总体含量大约为10%,斜率较低(倾斜角低于 20°);滚动次总体含量低于2%。悬浮次总体和跳跃次总体之间存在一个过渡带,粒度 Φ 为2.5~4.0,滚动次总体和跳跃次总体的交截点 Φ 为1.5(图5d)。②“两段式”,由跳跃次总体和悬浮次总体两部分组成,跳跃次总体含量大于90%,斜率中等(倾斜角为 $40^\circ \sim 50^\circ$);悬浮次总体含量低于10%,斜率较低(倾斜角低于 10°),与跳跃次总体的交截点 Φ 为3.5~4.0(图5e)。

3.2.2 水下分流河道间

四1区 T_2k_1 水下分流河道间沉积主要以浅褐色泥质粉砂岩夹粉砂质泥岩为主,发育块状层理(图3b、c、h),胶结程度致密(表3;图4a),厚度稳定(大于0.3 m)。自然电位(SP)曲线形态为平直线形(图2)。

3.2.3 河口坝

河口砂坝主要发育在水下分流河道的末端和侧缘^[14],其沉积构造特征与水下分流河道相似,但沉积物粒度较水下分流河道细。四1区 T_2k_1 的河

口坝沉积岩性以浅褐色、灰白色(泥质)粉砂岩为主,发育板状交错层理(图3e),在沉积层序上具有反韵律层序的特点。自然电位(SP)和地层真电阻率(RT)曲线形态呈中-低幅漏斗形,与上层为突变接触,曲线光滑(图2)。

四1区 T_2k_1 的粒度概率累计曲线类型为“两段式”,由跳跃次总体和悬浮次总体组成,滚动次总体缺失,其最大粒径 Φ 为1.5~2.0,要比水下分流河道的最大粒径细。滚动次总体含量约为70%,斜率中等偏高(倾斜角为 $50^\circ \sim 70^\circ$);悬浮次总体含量约为30%,斜率低(倾斜角低于 10°),与跳跃次总体的交截点 Φ 为3.0~3.5(图5f)。

3.3 滨浅湖

四1区 T_2k_1 可识别出滨浅湖泥微相,岩性为杂色泥岩、粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩(图3h)。自然电位(SP)和地层真电阻率(RT)曲线形态为平直线形(图2)。

4 沉积微相展布

4.1 连井剖面相

前人^[6,15]常利用拉取连井剖面的方法来分析砂体的展布规律。根据克拉玛依油田四1区 T_2k_1 岩相和测井相标志,明确了四1区下克拉玛依组D16井等16口井的沉积微相特征,利用连井相对比法,分析了砂体的剖面展布规律。以过D77-D82-D88-D94-D86等井为例,开展连井相分析(图6)。

连井剖面位于四1区中部,剖面整体为辫状河三角洲前缘亚相,沉积砂体由水下分流河道砂体和河口坝砂体组成,水下分流河道砂体是占主要地位的骨架砂体。通过分析砂体在剖面上的空间展布形态以及砂体的连通形式,可以判断该剖面在四1区 T_2k_1 不同沉积时期($S_7^4-S_6^1$)是顺物源方向还是切物源方向的。

若剖面方向与物源方向重合,在横向上水下分流河道和河口坝砂体连片分布,近物源处水下河道砂体较发育且垂向上不间断,远离河道处水下分流河道、河口坝砂体均有发育,且水下分流河道在向湖泊前进的过程中不断分流、弯曲和变道,这将导致砂体厚度减薄至砂体尖灭,且垂向上砂体中间被水下分流河道间湾分隔。砂体横向连通性好,垂向连通性则由物源向远离物源的方向逐渐变差。

若剖面方向与物源方向相切,在横向上水下分

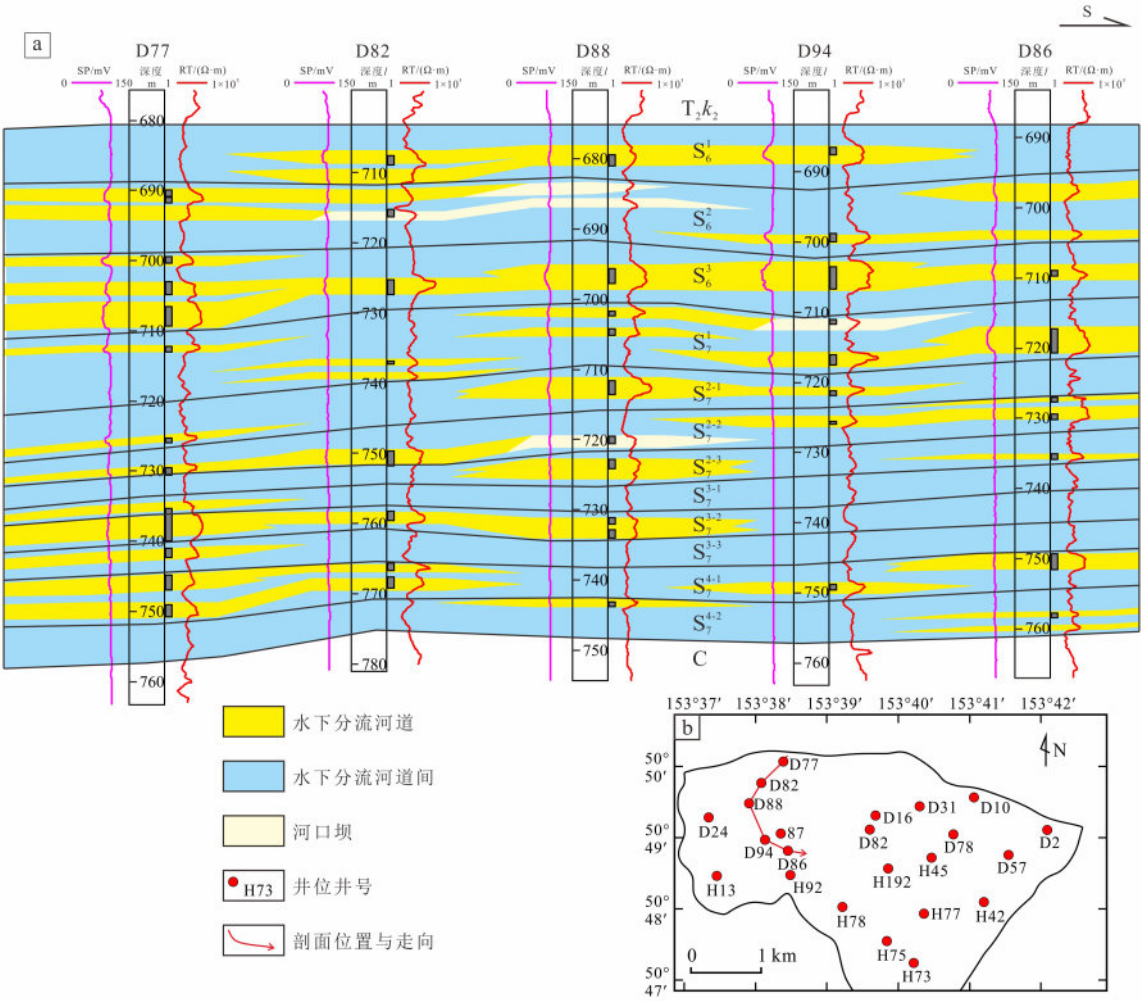


图 6 四 1 区下克拉玛依组连井剖面相 (a) 和剖面位置图 (b)

Fig. 6 Cross-sectional profile (a) and section location (b) of T₂k₁ in Block Si 1

流河道砂体呈孤立状分布，被水下分流河道间所分隔；在垂向上底部可能发育少量河口坝砂体，中上部发育水下分流河道砂体，砂体横向连通性差，垂向连通性好。

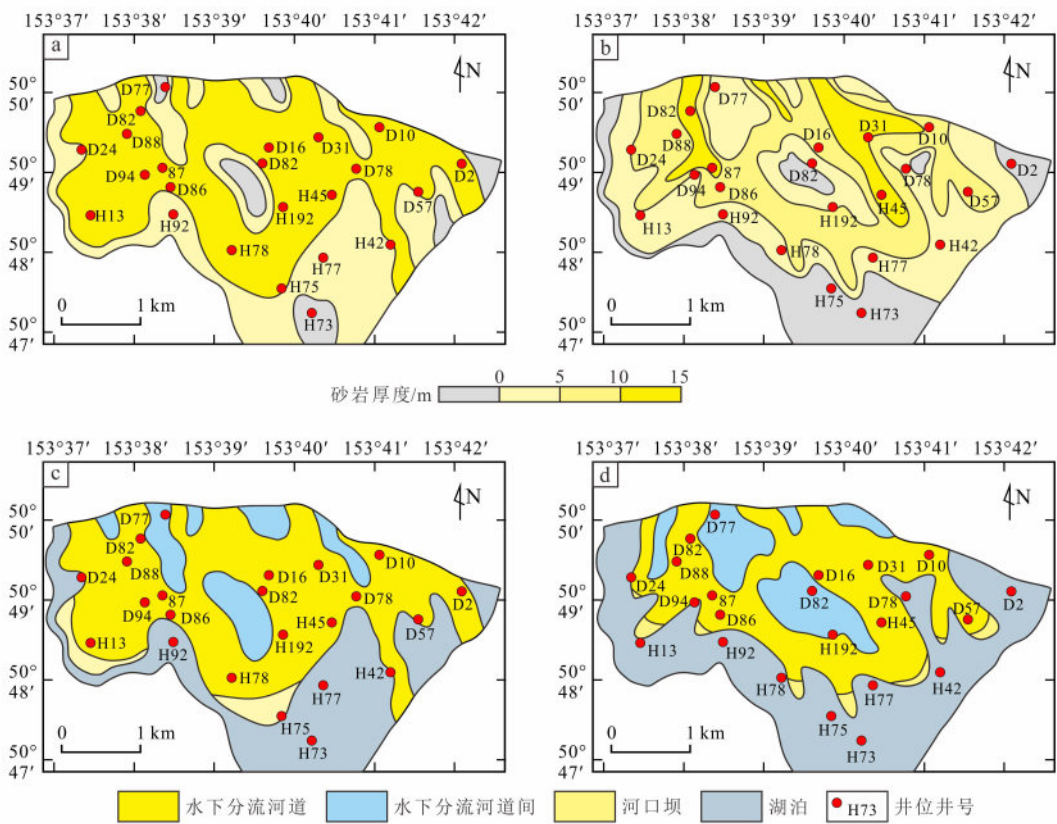
图 6 中砂体横向连通性好，厚度均匀，表明该剖面主要是顺物源方向的。

4.2 平面展布

利用砂体厚度等值线图和沉积相平面展布图分析砂体与沉积相的平面展布特征是最直接、有效的方法^[14-17]。在对克拉玛依油田四 1 区 T₂k₁ 单井和连井相研究的基础上，结合 S₆、S₇ 砂岩厚度等值线图 (图 7a、b) 绘制 S₆、S₇ 的沉积相平面展布图 (图 7c、d)，分析 S₆、S₇ 砂体和沉积相在平面上的展布特征。

4.2.1 砂体展布及物源方向分析

根据四 1 区下克拉玛依组 S₇、S₆ 的砂体厚度等值线图 (图 7a、b)，砂体厚度北边厚、向南逐渐减薄。S₇ 的最大砂体厚度为 14.5 m，厚度大于 10 m 的砂体呈条带状，由北向南和东南方向延伸，砂体向延伸方向和侧缘逐渐减薄乃至尖灭；S₆ 的最大砂体厚度为 8.8 m，厚度大于 5 m 的砂体在研究区背面呈条带状，向南延伸与其他砂体接触形成网格状展布，再逐渐向侧缘减薄至尖灭。结合前人^[6-9]研究成果，早三叠世，四 1 区所在的准噶尔盆地西北缘古地貌具有西北高、东南低，西北陡、东南缓的特点；地层展布具有西北薄、东南厚的特点。四 1 区 T₂k₁ 砂层具有北边厚、南边薄的特点 (图 7a、b)，可以得出研究区砂地比 (砂层厚度



a. S₆砂岩厚度等值线图; b. S₇砂岩厚度等值线图; c. S₆沉积相平面展布; d. S₇沉积相平面展布。

图 7 四 1 区下克拉玛依组砂岩厚度等值线图和沉积相平面展布

Fig. 7 Sandstone thickness contour plots and sedimentary facies distribution plans of T₂k₁ in Block Si 1

与地层厚度之比, 数值越大表明离物源越近) 具有北边高、南边低的特点, 且厚层条带状砂体的延伸方向为 NW-SE, 可以推测出四 1 区 T₂k₁ 的物源在西北方向。

4. 2. 2 沉积微相平面展布

四 1 区 T₂k₁ 是北方物源形成的辫状河向南面湖泊进积形成的辫状河三角洲, 研究区整体为辫状河三角洲前缘, 南部为湖泊。因此, 将研究区南部砂体厚度小于 5 m 的连片砂体和泥岩定为湖泊, 将厚度大于 5 m 的砂体定为水下分流河道并将河道砂体末端的砂体额外定为河口坝, 中间被分割开的厚度小于 5 m 的砂体和泥岩则定为水下分流河道间, 如此便得到了四 1 区三叠系下克拉玛依组 S₆ 和 S₇ 的沉积相平面展布图 (图 7c、d)。S₇ 沉积时期形成的辫状河三角洲沉积体在平面上呈鸟足状; 到了 S₆ 沉积时期, 物源供给充足且湖平面下

降, 辫状河三角洲在平面上呈朵状。

5 沉积模式

在岩心观察、岩矿分析、粒度分析和测井资料的基础上, 结合四 1 区下克拉玛依组 S₆、S₇ 的砂体厚度等值线图和沉积相平面展布图 (图 7), 总结了四 1 区 T₂k₁ 的沉积模式。四 1 区 T₂k₁ 整体为北面辫状河向南面湖泊进积形成的辫状河三角洲前缘沉积。在 S₇ 沉积时期, 物源供给充足, 但南部湖盆容纳空间较少, 河道骨架砂体主要在研究区北面呈条带状分布并向周缘延伸减薄, 在研究区南部有较大面积未接受砂体沉积; 在 S₆ 沉积时期, 物源供给稳定, 且南部湖盆容纳空间增加, 水下分流河道砂体向南进积, 砂体分布广泛且厚度稳定, 只有少部分区域未接受砂体沉积。

6 结论

(1) 岩性组合、沉积构造和粒度特征表明在三叠纪中期,克拉玛依油田四1区下克拉玛依组发育辫状河三角洲前缘和滨浅湖沉积亚相,结合测井曲线可进一步识别出水下分流河道、水下分流河道间、河口坝和滨浅湖泥等4种沉积微相。

(2) 研究区的物源在西北方向,骨架砂体为水下分流河道砂体。在 S_7 沉积时期,物源供给充足,南部湖盆容纳空间较少,骨架砂体在研究区北面呈条带状分布并向周缘延伸减薄;在 S_6 沉积时期,物源供给稳定,南部湖盆容纳空间增加,骨架砂体呈片状分布且厚度稳定。

(3) 三叠纪中期,受西北物源影响形成的辫状河经过克拉玛依油田四1区,向南部湖泊进积,在研究区内形成辫状河三角洲前缘-湖泊沉积体系,由于湖平面下降和物源供给充足,辫状河三角洲沉积体在平面上由鸟足状变为朵状。

参考文献:

- [1] 张纪易. 克拉玛依洪积扇粗碎屑储集体 [J]. 新疆石油地质, 1980, 1 (1): 33-53.
ZHANG J Y. Coarse clastic reservoir of alluvial fan in Karamay [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1980, 1 (1): 33-53.
- [2] 苏维强. 红山嘴油田中三叠统克下组沉积相研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2006.
SU W Q. Sedimentary facies study of the Middle Triassic Lower Karamay Formation in Hongshanzui Oilfield [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006.
- [3] 黄彦庆, 张昌民, 汤军, 等. 克拉玛依油田六中区克下组沉积微相及其含油气性 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18 (1): 67-70.
HUANG Y Q, ZHANG C M, TANG J, et al. Sedimentary microfacies and oil-bearing probability of Lower Karamay Formation in Liuzhong District of Karamay Oilfield [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18 (1): 67-70.
- [4] 朱志良, 熊迪, 岳渊洲, 等. 克拉玛依油田一东区克拉玛依组沉积相与剩余油分布关系研究 [J]. 岩性油气藏, 2013, 25 (3): 112-118.
ZHU Z L, XIONG D, YUE Y Z, et al. Relationship between sedimentary facies and remaining oil distribution of

- Karamay Formation in eastern Block 1 of Karamay Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25 (3): 112-118.
- [5] 孙乐, 王志章, 于兴河, 等. 克拉玛依油田五2东区克上组沉积相及砂体展布特征 [J]. 断块油气田, 2017, 24 (4): 474-480.
SUN L, WANG Z Z, YU X H, et al. Sedimentary facies and sand body spreading characteristics of Upper Karamay Formation in eastern Wu 2 area of Karamay Oilfield [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24 (4): 474-480.
- [6] 王进, 于兴河, 卢凤豪, 等. 准噶尔盆地红山嘴北部三叠系克拉玛依组沉积特征 [J]. 高校地质学报, 2023, 29 (5): 776-787.
WANG J, YU X H, LU F H, et al. Sedimentary characteristics of the Triassic Karamay Formation in the north Hongshanzui area, Junggar Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2023, 29 (5): 776-787.
- [7] 龚德瑜, 王绪龙, 周川闽, 等. 准噶尔盆地西北缘中三叠统克拉玛依组烃源岩生烃潜力 [J]. 中国矿业大学学报, 2020, 49 (2): 328-340.
GONG D Y, WANG X L, ZHOU C M, et al. Hydrocarbon generation potential of Middle Triassic Karamay Formation in the northwestern Junggar Basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2020, 49 (2): 328-340.
- [8] 王进, 于兴河, 仲玉芳, 等. 准噶尔盆地红山嘴地区三叠系克下组辫状河沉积特征 [J]. 现代地质, 2021, 35 (3): 841-849.
WANG J, YU X H, ZHONG Y F, et al. Braided river depositional characteristics of the Triassic Lower Karamay Formation at Hongshanzui, Junggar Basin [J]. Geoscience, 2021, 35 (3): 841-849.
- [9] 夏钦禹, 吴胜和, 冯文杰, 等. 同生逆断层伴生褶皱对冲积扇片状砂砾体及辫状水道沉积的控制: 以准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组为例 [J]. 石油与天然气地质, 2021, 42 (2): 509-521.
XIA Q Y, WU S H, FENG W J, et al. Controlling effects of syn-depositional reverse fault associated folds on the deposition in alluvial fan sheet glutenites and braided channels: a case study of the Triassic Karamay Formation in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42 (2): 509-521.
- [10] 郭春涛, 史江涛, 刘亮, 等. 塔里木盆地塔河地区中下奥陶统沉积特征及其演化模式 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2024, 54 (1): 68-82.

- GUO C T, SHI J T, LIU L, et al. Sedimentary characteristics and evolution model of Middle and Lower Ordovician in Tahe area, Tarim Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2024, 54(1): 68–82.
- [11] FOLK R L. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1957, 27 (1): 3–26.
- [12] SAHU B K. Transformation of weight frequency and number frequency data in size distribution studies of clastic sediments [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1964, 34 (4): 768–773.
- [13] 陈林. 鄂尔多斯盆地西南部延长组长8砂岩储层沉积相及致密化机理研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2015.
- CHEN L. Sedimentary facies and densification mechanism for Chang 8 sandstone reservoir of Yanchang Formation in southwestern Ordos Basin [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2015.
- [14] 赵汉卿, 李超, 郭诚, 等. 渤海湾盆地莱州湾凹陷沙三上段近源砂质辫状河三角洲沉积特征 [J]. *世界地质*, 2024, 43 (1): 37–46.
- ZHAO H Q, LI C, GUO C, et al. Sedimentary characteristics of near source sandy braided river delta in the Upper 3rd Member of Shahejie Formation in Laizhou Bay Sag, Bohai Bay Basin [J]. *World Geology*, 2024, 43 (1): 37–46.
- [15] 王红岩, 施振生, 孙莎莎, 等. 陆表海页岩沉积微相类型及微相分布模式: 以川南地区五峰组—龙马溪组为例 [J]. *石油勘探与开发*, 2023, 50 (1): 51–64.
- WANG H Y, SHI Z S, SUN S S, et al. Microfacies types and distribution of epicontinental shale: a case study of the Wufeng–Longmaxi shale in southern Sichuan Basin, China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2023, 50 (1): 51–64.
- [16] 雷章树, 印森林, 程皇辉, 等. 阜康断裂带中段三叠系克拉玛依组沉积微相及优质储层分布 [J]. *地质科学*, 2023, 58 (4): 1255–1276.
- LEI Z S, YIN S L, CHENG H H, et al. Distribution of sedimentary microfacies and high-quality reservoir of Triassic Karamay Formation in the middle part of Fukang fracture zone [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2023, 58 (4): 1255–1276.
- [17] 魏泽德, 李胜利, 张容基, 等. 准噶尔盆地阜东斜坡头屯河组二段沉积微相及主控因素 [J]. *现代地质*, 2022, 36 (2): 709–718.
- WEI Z D, LI S L, ZHANG R J, et al. Sedimentary microfacies identification and controlling factors of the Toutunhe Formation (2nd Member) in the eastern Fukang slope, Junggar Basin [J]. *Geoscience*, 2022, 36 (2): 709–718.