

塔里木盆地塔北与塔中地区东河砂岩段 沉积特征对比

朱筱敏¹ 张 强² 吕雪雁³ 孙 超¹

(1. 中国石油大学资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油测井集团公司, 北京 100724;
3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:塔里木盆地东河砂岩是中国首例海相深层含油气沉积储层。笔者通过对塔里木盆地地质和地球物理资料综合研究发现,塔中和塔北东河砂岩均具有较高的成分和结构成熟度、典型的海相粒度参数和微量元素组合、明显的滨浅海沉积构造等特征,但在沉积特征细节和沉积环境等方面还存在着差异。塔北地区东河砂岩段沉积于滨岸及障壁岛—泻湖环境,塔中地区东河砂岩段沉积于河口湾—滨岸环境。进而阐明了塔中和塔北东河砂岩段沉积特征的垂向序列和沉积相平面分布特征。

关键词:沉积特征;沉积相;东河砂岩;塔里木盆地

中图分类号:P588.21⁺2.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)04-0648-07

塔里木盆地是中国最大的大型叠合含油气盆地,蕴藏着极为丰富的油气资源。目前,已在寒武系、石炭系、侏罗系、古近系和新近系等十余个地质层系中发现了工业油气流,其中塔北和塔中地区东河砂岩(尽管所属地质时代有争议^[1-5])是中国首例高产工业性油气流的重要海相沉积层段,也是近期的重点研究对象之一^[3-5]。

所谓“东河砂岩”原指于 1989 年所钻的塔北东河 1 井 5 726~5 930 m 井段钻遇的成分和结构成熟度均高的细粒石英砂岩。随着油气勘探区域不断扩大,先后在塔中、塔北哈德逊、吉拉克等地区也发现了相似的海相石英砂岩。但是,由于塔里木盆地复杂的地质特征,造成这些地区分布的东河砂岩表现了不同的沉积特征,也造成了对东河砂岩的不同理解^[2-6]。鉴于塔中地区东河砂岩的沉积典型性和在油气勘探中的重要性,笔者将以塔中 4 井为代表的由“底部砾岩”、“中部块状砂岩”和“上部含砾砂岩”构成的砂岩段称“东河砂岩段”,而以塔北东河 1 井为代表的、由“底部砾岩”和“块状砂岩”组成的沉积序列称为狭义的“东河砂岩”。由于东河砂岩作为一个重要的油气储层,前人曾对其沉积特征作过深入研究,有人认为东河砂岩形成于滨岸环境^[3,4],有人认为它形成于洪积环境^[5],也有人认为它形成环境复杂^[6]。通过对地质与地球物理资料的

综合研究,笔者提出了不同于前人的沉积环境特征看法,认为东河砂岩段空间分布复杂,沉积环境多变。塔中地区东河砂岩段形成于河口湾和滨岸沉积环境,而塔北地区东河砂岩段则形成于滨岸以及障壁岛沉积环境。

1 东河砂岩段岩石学特征

1.1 发育岩屑质石英细砂岩,但岩性组成复杂

受物源区、构造背景和沉积环境的影响,东河砂岩段岩石类型并不均一,而表现出岩石类型丰富、不同地区存在差异的特征。塔北地区东河砂岩段以发育岩屑质石英细砂岩为特征,岩性较为单一,砾岩(厚约 5 m)仅在塔北东河 2 井中出现,缺乏泥岩夹层。塔中地区东河砂岩段岩性组成相对复杂,在塔中东部发育底部砾岩。自东向西,沿塔中 6、塔中 4 至塔中 10 井方向,砾石含量大幅度降低,其他钻井中东河砂岩段均以岩屑质石英中、细砂岩为主。

东河砂岩段成分成熟度较高,岩石组成总体表现为石英及岩屑含量高、长石含量低的特点(图 1,表 1)。石英含量变化不大,均值一般大于 70%;长石含量偏低(<5%),仅个别井达 16%;岩屑含量多数为 20%左右,塔中 6 井可达 46.8%。东河砂岩段同时具有较高的结构成熟度,颗粒含量高(>85%)、

收稿日期:2004-12-12;改回日期:2005-07-01

基金项目:国家“973”项目(G19990433)和国家“九五”攻关项目(96-111-01)资助。

作者简介:朱筱敏,男,1960 年生,博士,教授,从事沉积岩石学教学和科研工作;E-mail: xzmzhu@cup.edu.cn。

表 1 东河砂岩段岩石成分统计
Table 1 Statistics of rock components in the Donghe sandstone section

地区	井名	样品数	石英含量 (%)		长石含量 (%)		岩屑含量 (%)		泥质含量 (%)	胶结物含量 (%)
			范围	均值	范围	均值	范围	均值	均值	均值
塔北地区	DH1	21	78~87	83	0~4	0.8	12~21	16	6.7	6.7
	DH2	42	67~87	78	1~8	3	11~30	19	5	5.4
	DH5	99	63~79	71	2~6	4	19~32	25	1.9	4.7
	DH8	8	70~80	75	3~4	3.8	16~26	21	3	2.6
塔中地区	TZ403	24	76~86	80	2~9	5.4	12~19	14.5	4.1	9.3
	TZ421	161	60~88	75.4	4~16	7.9	8~32	21	4.3	3
	TZ6	18	14~84	52	0~3	0.9	14~86	46.8	7.4	9.3
	TZ10	50	78~96	89.6	1~6	3	2~20	7.4	9	10.5
	TZ17	23	49~89	79.4	2~11	3.9	8~48	16.7	2.9	8.8
	TZ21	28	60~80	76	1~3	1.9	17~30	22.4	5	7.6

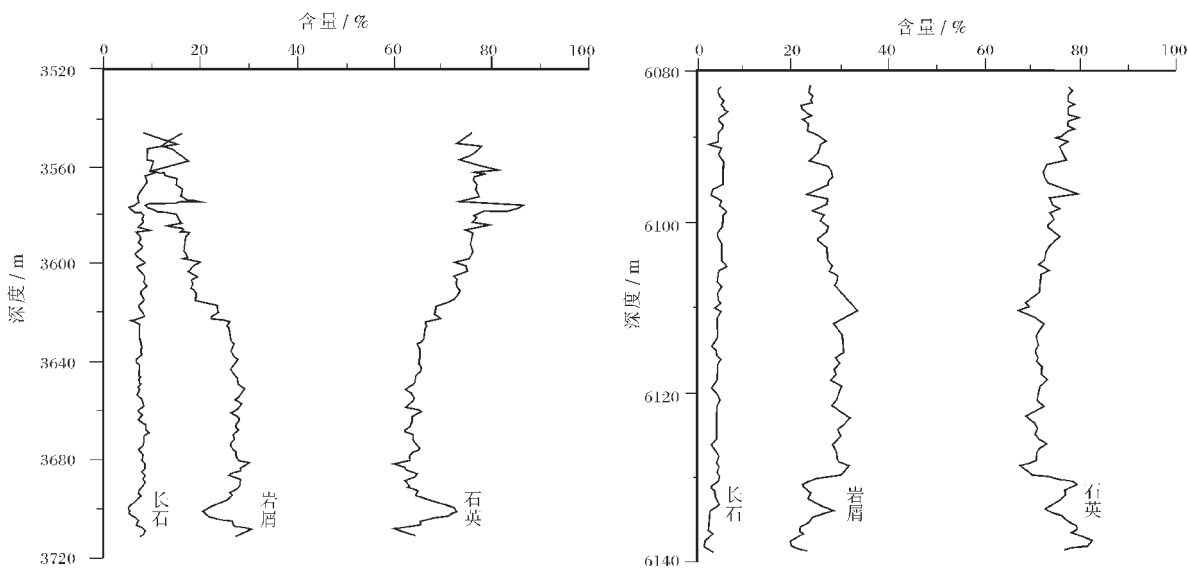


图 1 东河砂岩段岩石组分的垂向变化(左为塔中 421 井,右为东河 5 井)

Fig.1 Vertical variation of rock components in the Donghe sandstone section(Left; Well Tazhong 421; Right; Well Donghe 5)

分选磨圆中等、泥质含量低(表 1)。据 X 衍射分析,粘土矿物以高岭石为主,占粘土总含量的 82%;伊利石和绿泥石分别占 13%、3%;伊蒙混层仅占 2%;且多集中在东河砂岩段下部。粘土矿物中不含蒙脱石。

1.2 重矿物类型丰富,石英颗粒表面发育 V 字形撞击坑

东河砂岩段中发育多种类型的重矿物。透明矿物有锆石、电气石、金红石、石榴石、绿帘石、重晶石、尖晶石等;不透明矿物主要有磁铁矿、白钛石、褐铁矿及黄铁矿。透明矿物中锆石和电气石及金红石含量约占 90%,石榴石含量小于 10%;不透明矿物中以白钛石为主(达 90%)。上述重矿物组合

反映了酸性岩浆岩及变质岩作为母岩的特征。

东河砂岩段石英颗粒表面发育机械成因的“V”字形撞击坑,还发育大小为 5~50 μm 的碟形和新月形撞击坑。许多颗粒表面之上可见重叠发育的“V”字形撞击坑,但未见化学成因的硅质球沉淀,这反映了东河砂岩段在较长时期内形成于海滩带以及近岸高能沉积环境。

1.3 微量元素含量反映海相特征

泥岩中不同微量元素的含量能够反映其形成的沉积环境。东河砂岩段中 40 块泥岩样品微量元素测定的结果反映了东河砂岩段形成于海相沉积环境(表 2)。

表2 东河砂岩段微量元素分析综合结果 单位: $\mu\text{g/g}$
Table 2 Trace element analysis of the Donghe sandstone section (unit: $\mu\text{g/g}$)

地区	B		Ga		Ba		Sr	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
塔北	308.4 ~ 412.7	356.6	30.7 ~ 40.8	35.8	0.056 ~ 0.072	0.064	0.008 ~ 0.011	0.009
塔中	69 ~ 473.6	194.8	20.1 ~ 56	35.6	0.003 ~ 0.144	0.038	0.008 ~ 0.021	0.018
地区	B/Ga		Sr/Ba		Mn		Fe	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
塔北	10.05 ~ 10.12	9.96	0.14 ~ 0.15	0.14	261.9 ~ 403	351.6	3.74 ~ 6.26	4.78
塔中	3.43 ~ 8.46	5.47	0.15 ~ 2.67	0.47	92.5 ~ 1228	351.6	2.14 ~ 9.45	4.48

2 东河砂岩段粒度结构特征

2.1 分选变化大、略显正偏态

根据 Folk 粒度参数计算公式^[4]计算的平均粒径、标准偏差、偏度和峰度等参数表明,东河砂岩段以分选较好~较差、略显正偏态为特征,反映了较强的水动力沉积环境。

塔北和塔中地区东河砂岩段均具有相似的分选特征,粒度分选均为较好至较差。在偏度上,大量样品以正偏为主,部分对称,个别样品为负偏,但是塔北地区位于正偏样品的比例明显高于塔中地区。塔北地区 50.6% 的样品峰度位于尖锐级别,而塔中地区样品则散布于中等至极尖锐区内。此外,塔中东河砂岩段平均粒径为 0.18 mm,塔北为 0.12 mm,塔中

东河砂岩段平均粒径粗于塔北地区(表 3)。

2.2 单峰不对称频率直方图和两段式累积概率曲线

对 125 块样品的粒度分析表明,多数样品的频率直方图多呈单峰不对称形态,单峰图形主峰对应的粒径为 0.12~0.25 mm,对应的粒径含量为 30%~50%。塔北地区东河砂岩段频率直方图多为单峰对称或亚对称形态,但塔中地区频率直方图多为双峰甚至多峰,粒径范围扩大且向粗粒方向延伸。

塔北和塔中地区粒度累计概率曲线可细分为由跳跃和悬浮总体构成的两段式和由滚动、跳跃及悬浮总体组成的三段式。塔北地区东河砂岩段累计概率曲线以中、低悬浮组分的两段式和三段式为主,塔中地区则以大量高悬浮组分的两段式为特征。

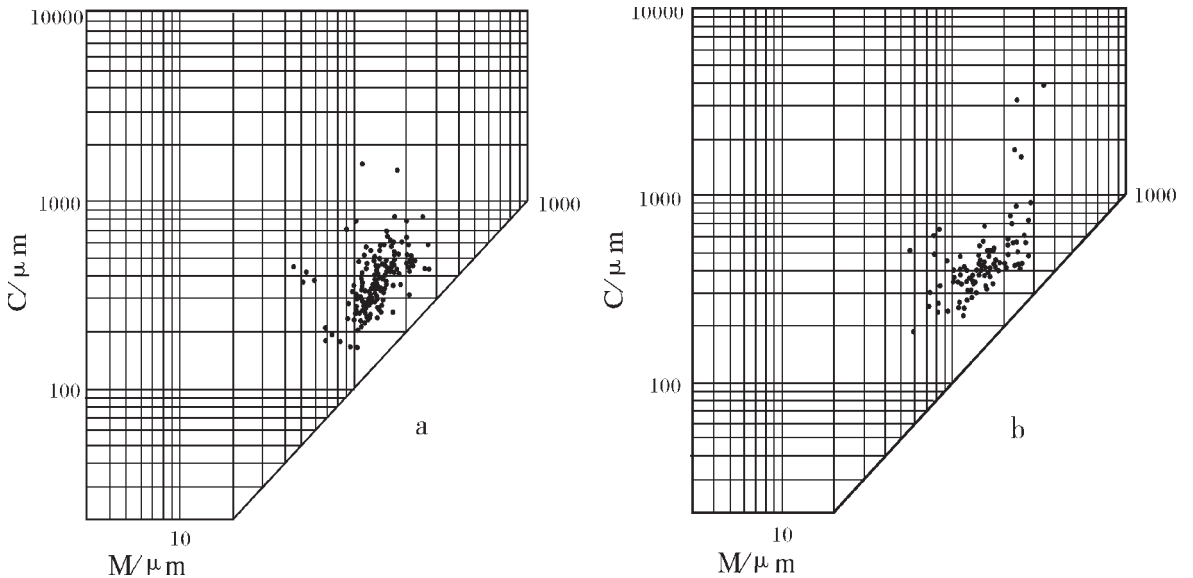


图2 东河砂岩段 C—M 图

a—塔北地区;b—塔中地区

Fig. 2 C—M diagram of the Donghe sandstone section

a—Tabei area;b—Tazhong area

C—M 图能够综合反映东河砂岩段沉积时的水动力特征。塔中和塔北地区东河砂岩段 C—M 图也有差别。塔中地区东河砂岩段大多数样品点 C 值大于 200 μm , M 值大于 100 μm , 样品点散布于 I、II、IV 和 V 区中, C 值变化较大, 反映较强水动力条件。塔北地区东河砂岩段样品点 C、M 值分布范围更加集中, 说明沉积环境具有较好的一致性(图 2)。

2.3 结构参数反映滨海及河流沉积特征

不同沉积环境具有不同的粒度结构参数变化范围。塔北与塔中地区东河砂岩段的标准偏差、偏态比较相似, 但塔北地区东河砂岩段峰度(平均值 2.14)高于塔中地区(平均值 1.6), 这表明东河砂岩段沉积时物源供给的复杂性(表 3)。

现代沉积学研究表明, 正常海滩的频率曲线为单峰对称的正态曲线, 偏度值近于 0、峰度值近于 1。不正常的偏度和峰度值反映沉积物具有多源特点。与典型海滩沉积物相比, 东河砂岩段偏度为正偏态, 峰度为很尖锐。进而利用萨胡公式对东河砂岩段沉积环境进行判别, 结果表明在反映滨浅海沉积的同时, 存在河流沉积特征。利用塔中和塔北地区 18 口井 392 个样品计算的 $\sqrt{\sigma_1^2}$ 和 $\frac{S_{KC}}{S_{MZ}} \cdot S(\sigma_1^2)$ 数值所作的成因图解也表明, 东河砂岩段主要形成于滨浅海环境, 同时存在较为显著的河流沉积特征, 表明了沉积环境的复杂性。

3 东河砂岩段沉积构造特征

3.1 滨浅海沉积构造类型丰富

东河砂岩段沉积构造类型丰富, 在不同成因的沉积构造中, 物理成因的层理构造是最为重要的。塔北地区层理类型较单一, 主要以斜层理、交错层理、平行层理和块状层理为主; 塔中地区层理类型丰富, 除了塔北地区发育的层理类型以外, 还发育冲洗层理、脉状层理、丘状交错层理、递变层理等具有重要指相意义的层理类型(表 4)。

3.2 风暴沉积作用及丘状交错层理

东河砂岩段主要形成于水动力较强的滨浅海及障壁岛河口湾沉积环境, 但也存在着一定的风暴沉积作用。目前, 已先后在塔中 4 井、塔中 10 井、塔中 17 井、乡 3 井、东河 5 井以及塔中 24 井、塘北 2 井发现了具丘状交错层理的风暴沉积序列。在季节性风暴作用下, 风暴潮对前期沉积物进行大规模改造并携带大量悬浮沉积物, 在正常浪底与风暴浪底之间沉积形成风暴岩。东河砂岩段中的风暴沉积序列发育在中细砂岩之中。由递变层理、平行层理、丘状交错层理中细砂岩和水平纹层粉砂质泥岩组成, 序列厚度 0.8~3.6 m。丘状交错层理规模较小, 纹层呈卧背斜状, 层系厚度 13~25 cm, 可见泥岩撕裂屑, 常与平行层理伴生(图 3)。

表 3 东河砂岩段粒度参数特征

Table 3 Statistics of grain size parameters in the Donghe sandstone section

地区	井号	标准偏差			偏度			峰度		
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
塔北地区	DH1	0.601	1.434	0.99	0.045	0.657	0.305	0.971	3.809	1.903
	DH2	0.475	1.309	0.906	0.059	0.584	0.328	1.117	3.932	2.339
	DH3	0.481	1.123	0.893	0.192	0.488	0.372	1.014	4.949	3.072
	DH5	0.677	2.16	1.703	0.158	0.722	0.486	1.02	6.451	3.787
	DH6	0.439	1.34	0.745	-0.211	0.544	0.065	0.874	2.493	1.333
	DH14	0.496	1.557	0.751	0.281	0.661	0.157	0.928	3.526	1.324
	DH20	0.496	2.744	1.448	0.142	0.615	0.362	0.728	3.023	1.413
	平均值	0.439	2.411	1.084	-0.211	0.722	0.278	0.858	6.451	2.140
塔中地区	TZ10	0.473	1.875	0.966	-0.004	0.49	0.225	0.997	1.814	1.384
	TZ12	0.599	2.334	1.122	0.136	0.643	0.367	0.92	3.241	1.785
	TZ16	0.524	2.132	0.941	-0.073	0.496	0.258	1.013	1.822	1.434
	TZ17	0.522	1.622	0.918	0.018	0.48	0.233	0.979	1.825	1.425
	TZ24	0.783	1.531	1.306	0.325	0.574	0.496	1.184	1.774	1.497
	TE22	0.909	2.922	1.509	-0.216	0.59	0.344	0.629	3.838	2.665
	TZ30	0.513	1.137	0.82	0.055	0.297	0.187	1.028	1.262	1.130
	TZ31	1.113	1.394	1.295	0.423	0.894	0.659	2.266	2.409	2.334
	TZ37	0.703	2.118	1.306	0.208	0.551	0.381	1.686	3.087	2.294
	TZ4	0.46	1.469	0.747	-0.137	0.52	0.14	0.934	2.764	1.398
TZ6	0.799	2.445	1.506	-0.249	0.591	0.368	0.85	2.026	1.439	
平均值	0.46	2.922	1.022	-0.216	0.894	0.256	0.629	3.838	1.600	

表4 东河砂岩段沉积构造特征

Table 4 Characteristics of sedimentary structure in the Donghe sandstone section

沉积构造	构造特征	发育地区	沉积构造实例
高角度斜层理	纹层平直, 厚 1~8 mm, 倾角 30°~60°, 层系厚 30~50 cm	塔北和塔中地区	塔中 4 井, 高角度斜层理中细砂岩, 3730.9 m
低角度斜层理	纹层平直, 厚 0.5~1 mm, 倾角 8°~12°, 层系厚 5~10 cm	塔中及塔北地区	乡 3 井, 低角度斜层理粉细砂岩, 5670.7 m
平行层理	纹层平坦平直, 厚 0.5~3 mm, 平行层理, 厚 8~40 cm	塔中和塔北地区	乡 3 井, 平行层理粉细砂岩, 5670.7 m
槽状交错层理	纹层下凹, 纹层厚 1~2 mm, 层系厚 5~20 cm	塔中和塔北地区	东河 2 井, 槽状交错层理中细砂岩, 5622.7 m
楔状交错层理	纹层平直, 纹层厚 1~2 mm, 层系厚 5~20 cm	塔中及塔北地区	东河 12 井, 楔状交错层理中细砂岩, 4019.4 m
递变层理	可为中细砾至中细砂的正递变层理, 也可为中砂至粗砂、细砾的反递变层理	塔中地区	塔中 6 井, 递变层理细砾岩, 3729.4 m
块状层理	成分和结构较为均质的大段块状	塔北和塔中地区	塔中 6 井, 块状层理粉细砂岩, 3720.5 m
冲洗层理	纹层平直、层系界面平直并以 5°~10° 低角度相交	塔中及塔北地区	塔中 10 井, 冲洗层理细砂岩, 4217.7 m
脉状层理	粉细砂岩中间夹层厚 2~5 mm 的平坦状灰绿色泥岩薄层	塔中地区	塔中 6 井, 脉状层理泥质粉砂岩, 3709.8 m
生物扰动和潜穴	生物扰动造成砂岩斑点状, 垂直或斜交层面的生物潜穴形态多样, 反映了浅水沉积特征	塔中地区	塔中 10 井, 生物扰动泥质粉砂岩, 4210.4 m

4 东河砂岩段沉积环境

根据东河砂岩段沉积特征并结合区域构造背景, 认为东河砂岩段的沉积环境在塔北地区主要为前滨—临滨以及障壁岛—泻湖环境, 塔中地区主要为滨岸和河口湾沉积(图 4)。

4.1 塔北地区东河砂岩段沉积于滨岸及障壁岛—泻湖环境

塔北东河塘、沙雅及英买力地区东河砂岩段沉积特征表现为典型无障壁海岸环境, 主要包括后滨、前滨和临滨沉积, 岩性组合简单, 主要为大套浅灰色细粒石英砂岩, 沉积中心位于东河 8 井和东河 1 井一线, 沉积厚度逾 200 m。后滨以沙 5 井 5 669.5~5 755.0 m 井段互层的浅灰色细砂岩、含砾细砂岩和云质砂砾岩为代表, 具不规则泥漂砾和平行层理, 分选磨圆较好。前滨沉积主要分布在东河 1 井—满西 1 井一带, 主要岩性为浅灰色含砾细砂岩、中砂岩, 沉积构造主要为平行层理、冲洗层理和层系平直的低角度斜层理, 砂岩成分和结构成熟度高, 石英含量 80% 以上, 分选磨圆好。临滨沉积主要分布在满西 2 井—跃南 1 井一带, 主要岩性为浅灰色粉细砂岩和粉砂质泥岩, 具中等成分和结构成熟度, 发育平行层理、双向交错层理以及波状、脉状层理。

障壁岛—泻湖沉积主要分布在哈德 4 井—草 1 井区。障壁岛向海一侧为前滨和临滨沉积并通过潮道将广海与泻湖连接起来。潮道砂体由浅灰色砂质砾岩、含砾细砂岩构成, 发育冲刷面和槽状交错层理。潮坪沉积(如哈德 401 井)主要岩性为褐色含膏粉砂质泥岩、泥质粉砂岩, 发育鸟眼构造、脉状层理、波状和透镜状层理。泻湖沉积(草 1 井、草 2 井区)是在具较多陆源物质供给情况下形成的, 主要岩性为生物扰动构造发育的粉、细砂岩(图 4)。

4.2 塔中地区东河砂岩段沉积于河口湾—滨岸环境

东河砂岩段沉积时期, 受东高西低的斜坡结构古地形差异影响, 沉积环境类型和分布远比塔北地区复杂。

在塔中 28 井—塔中 24 井区早期存在下切河流沉积, 后

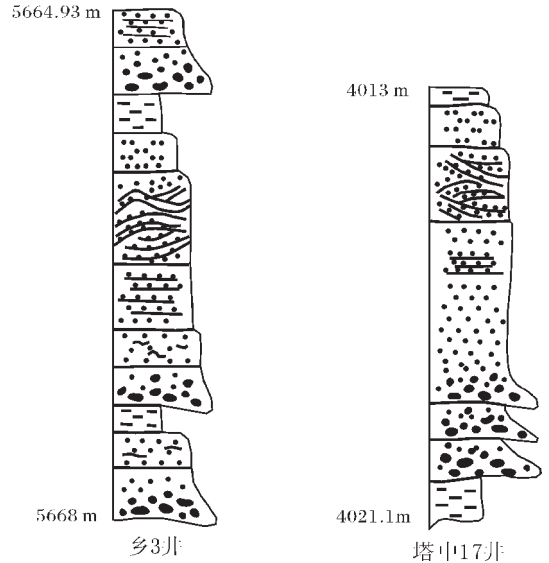


图3 东河砂岩段风暴沉积序列

Fig.3 Storm sedimentary sequence of the Donghe sandstone section

期发展演变成河口湾沉积(图 4)。东部塔中 6 井、塔中 24 井区发育大量砾石, 卵圆形、磨圆度高, 主要发育递变层理; 部分砾石呈漂砾状存在于砂岩中, 个别扁平砾石直立, 说明河流沉积曾受风暴改造。砾石沉积层之上为分选磨圆较好的细砾岩和泥质沉积。泥质沉积呈薄层状分布于细砂岩中并见脉状层。细砂岩中发育平行层理和低角度斜层理, 累积概率曲线以高悬浮组分的两段式为特征, 悬浮总体含量大于 20%。

塔中 12 井以西的塔中 10 井区以前滨、临滨沉积为特征, 主要岩性为发育冲洗层理、平行层理的细砂岩和发育波状层理、生物扰动构造的粉砂质细砂岩及灰绿色泥岩; 砂岩颗粒分选磨圆好, 粒度概率曲线为低悬浮组分的三段式和两段式。

[J]. 古地理学报, 2002, 4(1): 13~24.

Zhu Rukai, Luo Ping, Luo Zhong. Lithofacies paleogeography of the late Devonian and Carboniferous in Tarim basin [J]. Journal of Paleogeography, 2002, 4(1): 13~24 (in Chinese with English abstract).

[7] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学(第三版)[M]. 北京: 石油工业出版社

社, 2001. 1~407.

Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrography (the 3th edition) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 1~407 (in Chinese with English abstract).

Comparison of the sedimentary characteristics of the Donghe sandstone section between the Tabei and Tazhong areas, Tarim basin

ZHU Xiao-min¹, ZHANG Qiang², LÜ Xue-yan³, SUN Chao¹

(1. Faculty of Natural Resources, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. PetroChina Well-logging Corporation, Beijing 100724, China;

3. Exploration and Development Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The Donghe sandstone is a marine petroleum-bearing reservoir that was first found in China. An integrated study of the geological and geophysical data of the Tarim basin show that the Donghe sandstone in Tabei and Tazhong has high compositional and textural maturities, typical grain-size parameters of the marine environment and trace element association and distinct littoral-neritic sedimentary structures. However, there are differences in details of sedimentary characteristics and sedimentary environment in the Donghe sandstone. The Donghe sandstone in the Tabei area was deposited in the littoral and barrier island-lagoonal environment, while the sandstone in the Tazhong area in the estuary-littoral environment. Finally, this paper elucidates the vertical sequence of the sedimentary characteristics and distribution of sedimentary facies of the Donghe sandstone section in the Tabei and Tazhong areas.

Key words: sedimentary characteristics; sedimentary facies; Donghe sandstone; Tarim basin

About the first Author: ZHU Xiao-min, male, born in 1960, professor and Ph.D, engages in the teaching and research of sedimentology and sequence stratigraphy; E-mail: xmzhu@cup.edu.cn.