文章编号:1673-5005(2014)05-0018-07

塔里木盆地大北地区巴什基奇克组成岩相测井识别

杨宁1,王贵文2,3,李潮流4,信毅5,于峰丹6,年涛2,3

(1. 中国石油长城钻探工程有限公司,北京 100101; 2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249;

3. 中国石油大学地球科学学院,北京102249;4. 中国石油勘探开发研究院测井所,北京100083;

5. 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院,新疆库尔勒 841000; 6. 中国地质调查局西安地质调查中心,陕西西安 710054)

摘要:依据成岩序列和成岩阶段划分原理,结合储层岩心观察、铸体薄片、阴极发光,扫描电镜、X 射线衍射等资料,对 塔里木盆地大北地区巴什基奇克组成岩相定量划分及测井表征进行研究。结果表明:塔里木盆地大北地区巴什基 奇克组划分为强压实相、不稳定组分溶蚀相、钙质胶结相、构造裂缝相 4 种成岩相类型;将综合成岩系数作为成岩相 表征的参数,相比前人的研究方法能够很好地解决成岩相定量划分的问题;综合成岩系数的测井资料计算可以实现 测井资料模块化处理定量识别成岩相;提出的成岩相识别新方法与岩心分析资料形成良好的印证,方法准确可靠。 关键词:大北气田;成岩相;综合成岩系数;定量表征;测井识别

中图分类号:TE 122.2 文献标志码:A

引用格式:杨宁,王贵文,李潮流,等. 塔里木盆地大北地区巴什基奇克组成岩相测井识别[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版,2014,38(5):18-24.

YANG Ning, WANG Guiwen, LI Chaoliu, et al. Reservoir diagenetic facies of Bashijiqike Formation in Dabei gas field compartmentalization and quantitative evaluation [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014,38(5):18-24.

Reservoir diagenetic facies of Bashijiqike Formation in Dabei gas field compartmentalization and quantitative evaluation

YANG Ning¹, WANG Guiwen^{2,3}, LI Chaoliu⁴, XIN Yi⁵, YU Fengdan⁶, NIAN Tao^{2,3}

(1. CNPC Greatwall Drilling Company, Beijing 100101, China;

State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
 College of Geosciences in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

4. RIPED Logging Institutes, Beijing 100083, China;

5. Exploration and Development Research Institute of CNPC Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China;

6. Xi'an Center of Geology Survey, CGS, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the division principle of diagenetic sequence and diagenetic stage, this paper studied the quantitative division and logging identification of diagenetic facies for Bashijiqike Formation in Dabei area of Tarim Basin using reservoir data of core observations, and methods such as cast thin, cathodoluminescence, SEM and X-ray diffraction. The results show that the diagenetic facies can be divided into four types: compaction density facies, corrosion of unstable components facies, calcareous cementation facies, and structural fracture facies. Compared to previous methods, the method used here with comprehensive diagenetic coefficient as characterization parameters can be a good solution to the problem of quantitative division. Comprehensive diagenetic coefficient can be used in logging data processing to identify diagenetic facies. The results obtained

基金项目:国家大型油气田及煤层气开发科技重大专项(2011ZX05020-008)

作者简介:杨宁(1982-),男,博士,主要从事沉积学和测井地质学方面的研究。E-mail:0726008@163.com。

通讯作者:王贵文(1966-),男,教授,博士生导师,主要从事测井地质学、储层沉积学等领域的研究工作。E-mail:wanggw@ cup.edu.cn。

收稿日期:2014-02-17

from the method agree well with the core analysis data, and the method is accurate and reliable.

Key words: Dabei gas field; diagenetic facies; diagenetic integrated coefficient; quantitative identification; logging identification

在油气勘探开发的实践中,人们逐渐认识到储 层物性是沉积相、成岩相以及构造综合作用的结果, 在特定的构造、沉积背景下,成岩相的研究在储层的 评价和预测中就显得尤为重要。目前,对成岩相的 研究主要是通过观察岩心、铸体等资料方法进行,集 中在定性描述,未能实现对成岩相定量化表征,导致 各种成岩相之间界限不明确,限制了成岩相的使用 范围。笔者以塔里木盆地大北地区白垩系巴什基奇 克组为研究对象,建立一种以综合成岩系数为参数, 利用测井资料来定量划分成岩相的方法。

1 地质概况

大北气田位于库车坳陷的克深构造带西缘,南 天山造山带与塔北隆起之间,是一个以中、新生界沉 积为主的前陆盆地,迄今为止发现的气藏储层主要 集中在白垩系(图1)。研究区白垩系主要发育下白 垩统,自下而上可分为亚格列木组、舒善河组、巴西 盖组、巴什基奇克组。巴什基奇克组为一套扇三角 洲—辫状河三角洲相沉积陆源碎屑岩层,总体上属 于低孔低渗—特低孔特低渗储层。巴什基奇克组以 长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩为主。成分成熟度 低—中等,结构成熟度中等;胶结物以方解石为主; 储集空间为溶孔和构造形成的微裂缝。储层形成受 成岩相控制^[1-2]。



Fig. 1 Location of Dabei gas field

2 成岩作用序列与成岩阶段

研究区巴什基奇克组普遍经历了较强的压实作 用,长石次生溶孔发育,并发育大量裂缝,包裹体均 一温度为90~155 ℃,伊/蒙混层中的蒙皂石层平均 为20%。其主要成岩作用次序为机械压实→早期 方解石胶结→火山岩屑、长石颗粒溶蚀→晚期方解 石、白云石、含铁白云石沉淀。根据自生矿物组合、 分布、演化及形成顺序,黏土矿物及混层黏土矿物的 转化,以及岩石结构、构造特征及孔隙类型等指标, 并结合研究区的区域地质特征、包裹体温度、成岩作 用类型及特点等综合判断,巴什基奇克组已处于晚 成岩 A, 期^[36]。

3 成岩作用类型及特征

塔里木盆地大北气田巴什基奇克组在漫长地质 历史中,经历了复杂的成岩作用,形成如今的致密砂 岩,可以明显识别出4种成岩作用:机械压实、碳酸 盐胶结、溶蚀作用和构造挤压破裂。

3.1 机械压实作用

塔里木盆地白垩系巴什基奇克组常见的压实特征:碎屑颗粒线-凹凸紧密接触,出现火山岩屑等柔 性颗粒的塑性变形,云母类片状矿物的弯曲变形,原 生孔隙近乎丧失殆尽。巴什基奇克普遍发育强压实 作用,是储层原生孔隙度大幅降低、储层致密的一个 重要原因,且砂岩粒度越细,压实作用越强(图 2 (a)、(b))。

3.2 钙质胶结作用

巴什基奇克组经历了两期的钙质胶结作用:白 垩纪末期地层整体抬升暴露,遭受地表水淋滤,形成 早期碳酸盐胶结(主要是无铁方解石),胶结率一般 为5%~20%,最大可达80%,阻碍压实作用进行。 深埋藏晚期(5.3 Ma~现今),以钙质胶结作用为 主,方解石、铁方解石、白云石、铁白云石主要呈现孔 隙式胶结(2(c)~(h))。

3.3 溶蚀作用

巴什基奇克组砂岩孔隙类型有次生溶蚀孔隙、 残留原生孔隙以及微裂缝,其中次生溶蚀孔隙是主 要孔隙类型。溶蚀作用经历了3期:库姆格列木期, 三叠系与侏罗系烃源岩生成的油气进入储层,产生 相应的溶蚀作用,并沉淀高岭石胶结物(1%),溶蚀 强度弱;深埋藏早期(25~5.3 Ma),经历了碱性环 境下石英和岩屑的弱溶蚀,产生少量的长石次生加 大边(约1%);有机质成熟产生的大量有机酸沿断 裂注入,使得成岩环境为酸性,对长石和岩屑的溶蚀 形成新的作用(溶蚀量为1%~2%),镜下观察被溶 组分主要是火山岩屑以及长石,常见颗粒边缘被溶 解成港湾状(图2(i))。

3.4 构造作用

大北气田所处的库车坳陷在海西晚期(晚二叠 世)开始发育,经历了多期构造运动,第一期为白垩 纪燕山运动,使北部天山抬升,向南形成较大的水平 挤压力,形成一系列北倾逆断层,是坳陷内断裂和构 造的重要发育期;第二期为第三纪的喜马拉雅运动, 北部天山继续抬升,燕山期断裂继续活动,形成了天



(a)大北101, 5.792 km 颗粒呈线状-紧密接触



(e)大北202, 5.718km含铁白 云石充填构造裂缝



(i)大北101, 5.801 km溶蚀作 用强烈,红色铸体



(b)大北1, 5.879km云母受 挤压发生扭曲变形,颗粒 紧密接触



(f)大北201, 5.718 km 构造裂 (g)大北102, 5.327 km 颗粒呈 缝由铁白云石充填,发暗红色 棱角装点-线接触 光或不发光



(j)大北101, 5. 792 km 发育构 (k)大北101, 5. 792 km 构造溶 充填, 沿裂缝溶蚀有溶蚀作用 填并有溶蚀



 $(j)_{(k)_{(l)}}$

(c)大北101, 5.793km方解

石胶结作用明显,胶结物 呈红色

造微裂缝宽0.03~0.12 mm, 未 蚀缝4条, 宽0.02~0.12 mm, 未充



山山前大型逆冲褶皱带及一系列逆冲断层。构造作

用产生大量的断层和裂缝,岩心观察可见较多剪性

和张剪性高角度裂缝呈雁列式或共轭排列,最小间

距仅几厘米、均为方解石质充填、半充填或未充填:

断层和裂缝为流体提供运移通道和容纳空间,也为

次生孔隙的形成和储层的渗透性创造了有利条件,

铸体薄片中也可见较强的沿裂缝溶蚀现象(图2

(d)大北102, 5.411 km方解石 胶结作用明显,胶结物发桔 黄、桔红色光



(h)大北102, 5.327 km 方解石 胶结物发桔黄色光, 白云石 (照片中部) 也发桔黄色光



(1)大北101, 5.881 km 构造溶

图 2 巴什基奇克组成岩特征

Fig. 2 Reservoir diagenetic characteristics of Bashijiqike Formation

成岩相的分类和命名 4

成岩相是成岩环境的物质表现,即反映成岩环 境的岩石学特征、地球化学特征和岩石物理特征的总 和,也是反映各种成岩事件的相对强度、成岩环境与 成岩产物的综合表现[22]。目前关于成岩相划分及命 名国内外尚无统一的方案,主要根据成岩产物、成岩 作用划分和命名,故成岩相包含两方面的内容,即成 岩作用及该作用下的成岩产物。成岩作用和成岩产 物具有共存性和继承性,岩石都经历了极其复杂的多 种成岩作用的叠加与改造,只能以现今储层观察到的 主要成岩作用和成岩产物来命名成岩相。由此将巴 什基奇克组储层划分为强压实相、钙质胶结相、构造 裂缝相、不稳定组分溶蚀相4种成岩相^[7-10]。

4.1 强压实相

巴什基奇克组强压实相主要发生在软性岩屑含 量高和杂基含量高的砂岩中。统计此类成岩相的杂 基含量平均为6.6%,软性岩屑中变质岩屑平均含 量为9.0%,居各成岩相之首。储层物性差,平均孔 隙度为2.2%,平均渗透率为0.03×10⁻³ μm²,砂岩 中仅见少量粒间孔和溶蚀孔。致密强压实相主要发 育于水下分流河道间沉积环境。

4.2 钙质胶结相

巴什基奇克组钙质胶结相主要发生在含砾砂 岩、砾状砂岩、粗—中砂岩、钙质含量较高的砂岩中。 储层物性差,平均孔隙度为3.2%,平均渗透率为

0.05×10⁻³ μm²。胶结物含量与物性呈明显负相关 系,当碳酸盐胶结物含量大于 15%,储层物性小于 下限。少数层段还出现了碳酸盐的致密胶结,碳酸 盐胶结物含量大于 20%,使孔隙几乎完全消失。钙 质胶结相主要发育于水下分流河道沉积环境。

4.3 构造裂缝相

构造裂缝相发育受主要受构造运动控制,多为 石英含量低,粒度较细的细砂岩、粉砂质细砂岩。石 英含量为35%~41%,平均为38%。构造裂缝相孔 隙度平均孔隙度为3.9%,渗透率可达1.28×10⁻³ µm²。

4.4 不稳定组分溶蚀相

不稳定组分相主要发生在杂基含量少、塑性岩 屑和碳酸盐岩岩屑含量少、长石含量高的较成熟砂 岩中。多为中粗粒、中粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩, 石英含量为50%~64%,平均为60.7%,泥质含量 小于1%。不稳定组分溶蚀相次生溶蚀孔隙发育, 孔隙度平均为6.6%,渗透率主要分布在0.2×10⁻³ μm²,主要发育于辫状河三角洲水下分流河道沉积 环境、扇三角洲河口坝沉积环境。

5 成岩相的定量评价

常用成岩相分类方法只是简单区分成岩相类 型,结果准确性依赖研究者的经验;有必要选择合适 的参数,建立一套成岩相定量划分评价方法,消除主 观判断产生的多解性。

5.1 成岩相定量评价参数

成岩相命名和分类中,表征成岩作用参数的精 度高于表征成岩矿物的参数,成岩相定量化表征实 质是通过成岩作用实现。定量化表征成岩作用的参 数很多(压实率、胶结率、溶蚀率)。巴什基奇克组 的填集密度为 77.3% ~90%,压实率为 60.0% ~ 91%,胶结率一般为 10% ~40%,同时具有强压实、 钙质胶结程度高、微孔隙发育的多种成岩作用叠加 特征。任何一个参数增大,不表征其所代表的成岩 作用增强,可能是其他成岩作用间接增强结果。单 纯依靠某个参数变化难以准确判断成岩作用强弱, 划分成岩相类型,需要综合各种成岩作用影响的参 数来实现这一目标。

利用综合的成岩参数实现对成岩相的划分,前 人做过大量的工作。张一伟等^[11]在研究辽河油田 冷东-雷家地区岩石物理相时,为了定量描述各类 成岩作用对储集性能的综合影响,即成岩作用的综 合效应,首先引入成岩系数"*C*",相比胶结率、压实 率、微孔隙率等单个参数只针对成岩过程中一种或 几种作用,综合的成岩系数能够全面反映各种作用 下成岩作用的效果:

$$C = \frac{m}{R_{\rm p} + R_{\rm c} + R_{\rm m}},\tag{1}$$

$$R_{\rm p} = \frac{40 - V_{\rm p}}{40},\tag{2}$$

$$R_{\rm c} = \frac{V_{\rm c}}{V_{\rm c} + V_{\rm \phi}},\tag{3}$$

$$R_{\rm m} = \frac{\varphi_{\rm f} - m}{\varphi_{\rm f}}.$$
 (4)

其中 C 为成岩系数; m、 R_p 、 R_e 和 R_m 分别为面孔率、 视压实率、视胶结率、微孔隙率; V_p 、 V_e 、 V_{ϕ} 和 φ_f 分别 为粒间体积、胶结物体积、粒间孔体积和物性孔隙 率。

其后,许多研究者根据实际情况开展应用并取 得一些成果,证实成岩系数"C"在比单个参数评价 方面更有优势^[12-16]。这些研究者计算的成岩系数 从 0.05% 到 38.78%,利用成岩系数建立成岩相评 价标准也不同。因此,有必要在探讨计算成岩系数 "C"的各参数物理和地质意义基础上,寻找能够实 现统一表征成岩相的参数。

视压实率主要反映机械压实作用对原始孔隙体 积的影响程度,视胶结率主要反映胶结作用对原始 孔隙体积的影响程度,微孔隙率主要反映溶蚀、溶解 及交代作用对原始孔隙体积的影响程度。任何一个 参数的计算都在假定其他参数为恒量,即储层的改 造只在其中一种成岩作用下完成,其他成岩作用不 参与。这一假设,造成对某一成岩作用强度估算加 大,忽视了多种因素共同作用下有效成岩作用的评 价。

为了更加准确地反映储层的有效成岩作用,同时刻画各种成岩作用对储层真实影响,在成岩系数 基础上,对成岩系数"C"改进,引入了表征实际成岩 作用对原始孔隙体积影响程度的参数——填集密 度,得到了综合成岩系数"C_e":

$$C_{\rm g} = \frac{D_{\rm f}}{R_{\rm p} + R_{\rm c} + R_{\rm m}} m.$$
(5)

其中 C_g 为综合成岩系数;D_f 为填集密度,%;式(5) 中第一部分"分子"代表实际各种成岩作用强度叠 加,"分母部分"代表理论计算的各种成岩作用代数 和。两者比值为成岩作用的分异程度,其值越大表 示各种成岩作用叠加程度越低,将其乘以面孔率得 到 C_g,压制多种成岩作用叠加造成影响,突出某一 成岩作用,使改造后的综合成岩系数能够定量反映 成岩相的变化。

5.2 成岩相的定量划分标准

在确定成岩相定量化表征参数的基础上,借助

于巴什基奇克组 56 个样品的铸体薄片、常规物性分 析资料计算得到压实率、胶结率、微孔隙率和面孔 率;同时结合岩心描述、扫描电镜等确定样品的成岩 相类型(表1)。

表1	大北气田巴什基奇克组综合成岩系数与物性参数(部分结果)
衣I	人北、田口田奉可兄组综合成石余数与物性参数(即分组采

Table 1	Comprehensive	diagenetic	coefficient and	physical	parameters
---------	---------------	------------	-----------------	----------	------------

井号	编号	井深 H/km	总面孔率 m/%	视压实率 $R_{ m p}$ /%	视胶结率 $R_{ m e}/\%$	微孔隙率 $R_{\rm m}$ /%	填集密度 D _f /%	综合成岩 系数 C _g /%	成岩相 类型
大北 101	1	5.7920	1.1	63.4	24. 4	56.5	89.1	0.68	构造裂缝相
	2	5. 792 1	0.3	61.0	24.4	85.9	98.3	0.17	胶结相
大北 102	17	5.321 9	3.7	73.2	17.1	52.7	77.3	2.0	溶蚀相
	21	5.322 5	0.1	36.6	61.0	97.0	98.9	0.05	四下 中 相
大北 104	7	6.048 1	0.1	51.2	36.6	98.9	98.9	0.05	一 浊压头相
	11	6.048 8	2	39.0	31.71	52.2	82.4	1.34	构造裂缝相

利用聚类分析法分析显示,成岩相类型对应不同的综合成岩系数:强压实相的综合成岩系数小于 0.06,胶结相为 0.06~0.39,构造裂缝相的综合成 岩系数为0.39~0.72,不稳定组分溶蚀相的综合成 岩系数一般大于0.72,由此建立利用综合成岩系数 进行成岩相定量划分的标准(表2)。

表 2 成岩相定量划分标准 Table 2 Diagenetic facies quantitative criteria for classification

		-		-				
成岩相	平均孔隙度	平均渗透率	面孔率	视压实率	视胶结率	微孔隙率	填集密度	综合成岩
	arphi/%	$k_{\rm a}/10^{-3}~\mu{\rm m}^2$	m/%	$R_{ m p}/\%$	$R_{ m c}/\%$	$R_{ m m}$ / %	$D_{ m f}/\%$	系数 C _g /%
强压实相	2.4	0.03	0.1	52.0	37.3	96.6	97.5	<0.06
胶结相	3.2	0.05	0.4	53.7	27.2	89.27	94.7	0.06~0.39
构造裂缝相	3.9	1.3	1.2	56.9	15.9	66.79	81.0	$0.39 \sim 0.72$
溶蚀相	6.3	0.19	2.6	71.6	12.9	58.0	85.9	>0.72

5.3 成岩相的测井表征

利用丰富的测井资料计算综合成岩系数,可以 拓宽定量划分成岩相应用范围。综合成岩系数与岩 心分孔隙度、水平渗透率之间具有良好的相关性 (图3)。可利用孔隙度、渗透率进行回归计算综合 成岩系数,但考虑到渗透率不能通过原始测井曲线 获得,与孔隙度相关的测井曲线包含密度、中子、声 波,利用多条测井曲线进行回归,可以弥补单一测井 曲线产生的误差,提高综合成岩系数精度。用最小 二乘法计算回归系数,建立回归相关方程:

C_g=-15.6794DEN+0.007067AC-0.22418CNL+ 42.2868. (6) 其中 DEN、AC、CNL 分别为密度、声波、中子测井;复 相关系数 R=0.75,标准误差 0.6004,回归方差与剩 余方差之比 F=21.70。



图 3 综合成岩系数与物性关系

Fig. 3 Relations between comprehensive diagenetic coefficient and physical properties

5.4 应用效果分析

选取大北 101 和大北 102 井 5 个岩心铸体薄片 鉴定结果,利用本文建立的方法对测井资料进行处 理,将识别结果与薄片鉴定结果进行对比,以验证本 文提出方法的可靠性。大北101 井5.79111 km 处, 测井计算综合成岩系数为0.045,判断为强压实相; 薄片鉴定显示该井段方解石含量为8%,面孔率为 0.43%,颗粒之间点线接触,压实率为60.98%,属 于典型的强压实相,与基于本文方法结果一致。大 北101 井5.80062 km 计算综合成岩系数为0.11, 判断为钙质胶结相;薄片鉴定显示方解石含量为 15%,面孔率为0.75%,颗粒之间方解石呈孔隙-基 底式胶结,胶结率为31.7%,为典型的钙质胶结相, 与本文方法一致(图4(a))。

大北 102 井 5.320 67、5.320 86 和 5.324 00 km 深度点测井计算结果综合成岩系数分别为 1.37、 1.05 和 0.95,判断为不稳定组分溶蚀相。薄片鉴定 结果为:方解石含量小于 4%,面孔率为 4.5%、 4.87% 和 5.83%,孔隙类型粒间溶蚀孔、粒内溶蚀 孔,为典型的不稳定组分溶蚀相;与本文方法一致 (图 4(b))。



Fig. 4 Diagenetic facies logging identify application effect analysis

6 结 论

(1)塔里木盆地大北地区巴什基奇克组划分为 强压实相、不稳定组分溶蚀相、钙质胶结相、构造裂 缝相4种成岩相类型。

(2)综合成岩系数作为成岩相表征的参数,相 比前人的研究方法,很好地解决了成岩相定量划分 的问题;综合成岩系数的测井资料计算可以实现测 井资料模块化处理定量识别成岩相。

(3)本文提出的成岩相识别新方法,与岩心分 析资料形成良好的印证,经过多井段验证,方法准确 可靠。

参考文献:

- [1] 顾家裕,方辉,贾进华. 塔里木盆地库车坳陷白垩系 辨状三角洲砂体成岩作用和储层特征[J]. 沉积学报, 2001,19(4):517-523.
 GU Jiayu, FANG Hui, JIA Jinhua. Diagenesis and reservoir characteristics of braided delta sand body deposition of Cretaceous Kuqa Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001,19(4):517-523.
- [2] 陆金波,王英民,张雷,等.阿克库勒地区三叠系湖 底扇沉积及其主控因素[J].中国石油大学学报:自然 科学版,2011,35(2):12-17.
 LU Jinbo, WANG Yingmin, ZHANG Lei, et al. Sedimentary characteristics and main controlling factors of sub-lacustrine fans of Triassic in Akekule area[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural
- Science), 2011,35(2):12-17.
 [3] 王瑞, 焦养泉, 荣辉, 等. 塔里木盆地巴楚中奧陶统 一间房组生物礁-滩发育模式和储集物性[J]. 中国石 油大学学报:自然科学版, 2012,36(1):48-59.
 WANG Rui, JIAO Yangquan, RONG Hui, et al. Reefshoal depositional model and reservoir qualities of middle Ordocician Yijianfang formation in Bachu, Tarim Basin [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2012,36(1):48-59.
- [4] 邢恩袁, 庞雄奇, 肖中尧, 等. 塔里木盆地库车坳陷 依南 2 气藏类型的判别[J]. 中国石油大学学报:自然 科学版, 2011,35(6):22-35.
 XING Enyuan, PANG Xiongqi, XIAO Zhongyao, et al. Type discrimination of Yinan 2 gas reservoir in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2011,35(6): 22-35.
- [5] 王贵文,张新培. 塔里木盆地塔中地区志留系测井沉 积相研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2006,30(3):40-45.

WANG Guiwen, ZHANG Xinpei. Well logging sedimentary facies of Silurian in Tazhong area of Tarim Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2011,30(3):40-45.

[6] 牛永斌,钟建华,王培俊,等. 塔里木盆地西北缘奥 陶系露头中的钙华特征及其石油地质意义[J]. 中国 石油大学学报:自然科学版,2010,34(4):25-32.

NIU Yongbin, ZHONG Jianhua, WANG Peijun, et al. Tufa character and its oil-gas significance of Ordovician outcrops in the northwest margin of Tarim Basin [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2010,34(4):25-32.

[7] 邹才能,陶士振,周慧,等.成岩相的形成、分类与定 量评价方法[J].石油勘探与开发,2008,35(5):526-540.

> ZOU Caineng, TAO Shizheng, ZHOU Hui, et al. Diagenetic facies formation, classification and quantitative evaluation method [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008,35(5):526-540.

- [8] RONALD B C, RICHARD G S. Middle tertiary extension recorded by lacustrine fan-delta deposits, Push Ranch basin, western transverse ranges, California [J]. Journal Sedimentary Research, 1995,65(4):455-468.
- [9] POLLART J E. Facies sequences and trace fossils in Lacutrine fan-delta deposits in Western Norway [J]. Sedimentary Geology, 1992:32(1/2):982.
- [10] KEITH B S, JOHN S C, KENNETH E D. Enhancing the deepwater rservior characterization effort in west Africa[J]. Petrofacies, 2003,44(3):177-189.
- [11] 张一伟,熊琦华,王志章. 陆相油藏描述[M]. 北京: 石油工业出版社,1997.
- [12] 赵澄林,刘孟慧.碎屑岩储层砂体微相和成岩作用研究[J].石油大学学报:自然科学版,1993,17(增刊):1-7.

ZHAO Chenglin, LIU Menghui. Clastic rock reservoir sand body microfacies and diagenesis research [J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science), 1993, 17(sup):1-7.

- [13] 程会明,王端平,夏冰. 胜坨油田特高含水期储层岩石物理相研究[J].石油大学学报:自然科学版,2002,26(5):15-22.
 CHENG Huiming, WANG Duanping, XIA Bing. Second district of Shengtuo Oilfield establishes reservoir petrophysical facies period of study[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Sci-
- ence), 2002,26(5):15-22.
 [14] 宋子齐,王静,路向伟,等.特低渗透油气藏成岩储 集相的定量评价方法[J].油气地质与采收率,2006, 13(2):21-23.
 SONG Ziqi, WANG Jing, LU Xiangwei, et al. Special low permeability reservoir diagenetic reservoir facies quantitative evaluation method [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiecy, 2006,13(2):21-23.
- [15] 程启贵,张磊,郑海妮,等.基于成岩作用定量表征的成岩储集相分类及意义[J].石油天然气学报,2010,32(5):60-65.
 CHENG Qigui, ZHANG Lei, ZHENG Haini, et al. Based on the diagenesis of quantitative characterization of diagenetic reservoir facies classification and significance[J]. Journal of Petroleum and Natural Gas, 2010, 32(5):60-65.
- [16] 张响响, 邹才能, 朱如凯, 等. 川中地区上三叠统须 家河组储层成岩相[J]. 石油学报, 2011,3(2):257-264.

ZHANG Xiangxiang, ZOU Caineng, ZHU Rukai, et al. Reservoir diagenetic facies of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the central Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011,3(2):257-264.

(编辑 徐会永)