

文章编号:0253-9985(2012)02-0225-11

滨里海盆地肯基亚克地区中、下石炭统碳酸盐岩储层特征与成岩作用

王瑞^{1,2}, 朱筱敏^{1,2}, 陈烨菲³, 李孔稠³

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 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 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:利用岩心、岩矿薄片、扫描电镜、孔渗和地化等多种资料,对滨里海盆地肯基亚克地区A井取心段中、下石炭统碳酸盐岩岩石类型、储集空间和成岩作用进行了研究。研究揭示:中、下石炭统碳酸盐岩为纵向上非均质性强的开阔台地相颗粒灰岩和泥晶灰岩储层,可划分为以粒间溶孔-粒内溶孔为主的Ⅰ类好储层和以晶间孔-晶间溶孔为主的Ⅱ类中等或差储层。胶结作用和溶蚀作用是控制两类储层形成的主要成岩作用,前者主要包括正常海水叶片状-纤维状方解石胶结作用、埋藏期镶嵌状、粒状、半自形方解石胶结作用,后者主要包括大气淡水溶蚀作用和埋藏期溶蚀作用。其中,埋藏期溶蚀作用是形成Ⅰ类储层的关键,Ⅱ类储层则具胶结作用发育的特征。

关键词:成岩作用;碳酸盐岩储层;石炭系;肯基亚克地区;滨里海盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Diagenesis and reservoir characteristics of the Lower-Middle Carboniferous carbonates in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

Wang Rui^{1,2}, Zhu Xiaomin^{1,2}, Chen Yefei³ and Li Kongchou³

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
3. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: By using core, thin section, SEM, porosity, permeability and geochemical data, this paper studied rock types, reservoir spaces and diagenesis of the Lower-Middle Carboniferous carbonate rocks in the coring interval of well A in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin. The Lower-Middle Carboniferous carbonate reservoirs are grainstones and micrites of open platform facies with strong vertical heterogeneity and can be divided into two types, Class I and Class II. The Class I is high quality reservoir with intergranular dissolved pores and intra-granular dissolved pore as the main pore types. In contrast, the Class II is moderate to poor reservoirs with pores dominated by intercrystalline pores and intercrystalline dissolved pores. Cementation and dissolution are the main diagenesis processes controlling the two types of reservoirs. The cementation mainly includes bladed-fibrous calcite cementation in normal seawater diagenetic environment and mosaic-granular-subhedral calcite cementation in burial diagenetic environment. The dissolution includes meteoric dissolution and burial dissolution, with the latter being critical for the formation of class I reservoir. The cementation is well developed in the class II reservoir.

Key words: diagenesis, carbonate reservoir, Carboniferous, Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

收稿日期:2011-11-02;修订日期:2012-01-21。

第一作者简介:王瑞(1983—),男,博士研究生,沉积岩石学与储层地质学。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2011CB201104);国家科技重大专项(2011ZX05001-002)。

碳酸盐岩储层预测是海相地层油气勘探面临的主要科学问题之一,也是制约海相碳酸盐岩地层油气勘探的瓶颈技术,而储层成因机理认识是储层预测的基础^[1]。沉积作用在碳酸盐岩储层形成演化过程中无疑起到了重要的控制作用,但碳酸盐岩储层孔隙演化复杂性往往与多类型、多期次成岩作用的改造和叠加相关^[2-7]。本文旨在通过对碳酸盐岩储层发育特征及成岩作用的分析,探寻研究区储层成因机理,为储层预测提供帮助。

1 地质背景

滨里海盆地始于早古生代三叉裂谷,经历了裂谷、被动大陆边缘和裂谷聚敛3个演化阶段^[8],划分为北部断阶带、中部坳陷带、阿斯特拉罕-阿克纠宾斯克隆起带和东南坳陷带等四个次级构造单元^[9]。研究区位于阿斯特拉罕-阿克纠宾隆起带最东部的扎尔卡梅斯-延别克隆起区的中部(图1),石炭系沉积期主要为被动大陆边缘构造背景下的碳酸盐台地边缘相与开阔台地相沉积。石炭系沉积后,研究区经历了复杂的构造抬升反转等作用^[9-11],成岩环境和成岩作用复杂,形成了单层厚度薄、横向变化大与非均质性强的储层,研究区的储层预测是一个难题。

肯基亚克地区钻井揭示地层自下而上有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系以及第四系。本次研究选取了A井103.6 m长取心段开展了精细观察和室内测试分析,该取心段为中石炭统下巴什基尔阶和下石炭统希尔普霍夫阶,顶部与二叠系碎屑岩不整合接触,缺失了上石炭统。

2 储层特征

2.1 岩石学特征

中、晚石炭纪滨里海盆地肯基亚克A井区发育了一套早期海侵晚期海退的开阔台地相沉积,主要由杂屑滩、生屑滩和滩间构成,包含少量鲕粒滩和砂屑滩(图2)。杂屑滩颗粒类型多、分选差,主要有生屑、内碎屑、藻屑和鲕粒,岩石类型包括有孔虫灰岩、鲕粒灰岩、颗粒灰岩和生屑灰岩等。生屑滩颗粒主要为有孔虫、棘屑和藻屑等,少量鲕粒和内碎屑,岩石类型包括有孔虫灰岩、生屑灰岩和棘屑灰岩等。滩间主要由细粒泥晶构成,含少量生屑和藻屑等,以含颗粒泥晶灰岩为主。鲕粒滩颗粒主要为鲕粒,混有部分生屑和藻屑,岩石类型包括鲕粒灰岩和颗粒灰岩;砂屑滩颗粒主要为砂屑,少量生屑,岩石类型为砂屑灰岩。

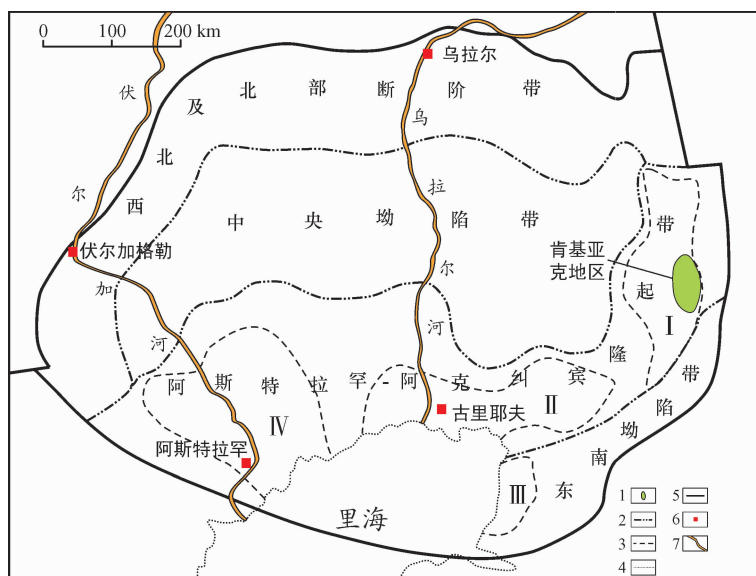


图1 滨里海盆地构造区划和研究区位置

Fig. 1 Structural units of the Pre-Caspian Basin and the location of the study area

1. 研究区; 2. 次级构造单元边界; 3. 局部隆起边界; 4. 里海边界; 5. 盆地边界; 6. 地名; 7. 河流; I. 扎尔卡梅斯-延别克隆起; II. 舒卡特-北海隆起; III. 沿海隆起; IV. 阿斯特拉罕隆起

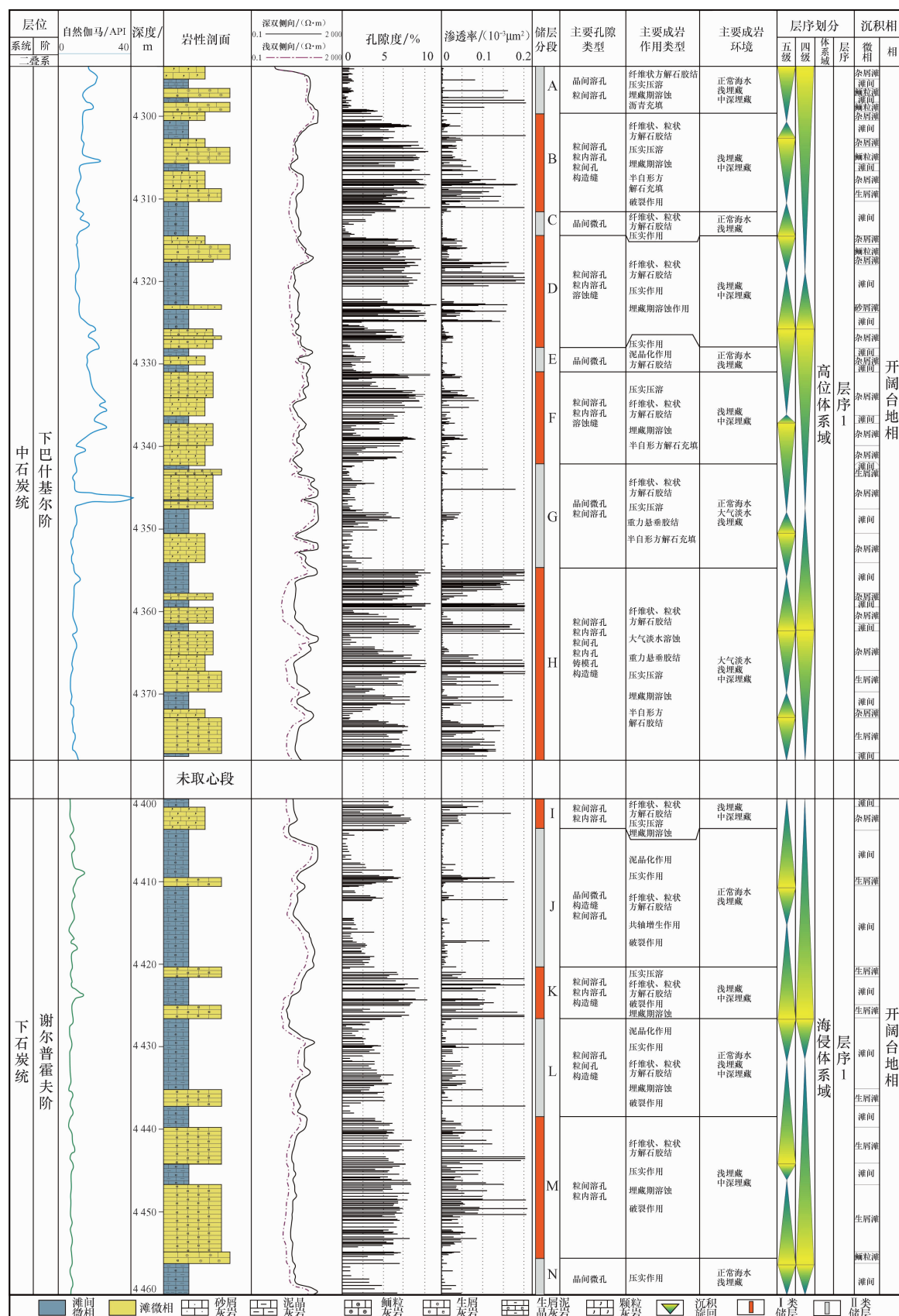


图2 滨里海盆地肯基亚克地区A井取心段成岩作用和沉积特征分析柱状图

Fig. 2 Histogram showing diagenesis and sedimentary characteristics of the cored interval in well A in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

2.2 孔隙类型

结合404个铸体薄片和75块样品扫描电镜的观察,识别出储集空间主要为粒内孔、粒内溶孔、粒间孔、粒间溶孔、晶间孔、晶间溶孔、铸模孔、裂缝和溶洞,其中前四者约占总孔隙的80%。

1) 原生孔隙

原生孔隙包括粒间孔和粒内孔。粒间孔主要发育于滩相颗粒灰岩中,多为颗粒间多期胶结物发育后残留的孔隙(图3a),连通性一般较差,大小为0.05~0.1 mm;粒内孔主要为各种生物的体腔孔(如有孔虫、蠕类、海百合和腕足动物房室等),该类孔隙大小不一,多小于0.1 mm。

2) 次生孔隙

①粒间溶孔:多为颗粒间胶结物遭受溶蚀形成的孔隙(图3b),形态不规则,孔径变化较大为0.1~0.5 mm,连通性较好。②粒内溶孔:生屑、砂屑和鲕粒等颗粒内部遭受溶蚀作用形成粒内溶孔(图3b),其形态不规则,直径较小,为0.1~0.3 mm。③铸模孔:主要为鲕粒和砂屑被溶蚀仅保留外部轮廓(图3c),连通性一般较差,直径大小为0.1~0.2 mm。④晶间孔:泥晶及颗粒内方解石晶体之间的孔隙(图3d),连通性较差,大小为0.01~0.05 mm。⑤晶间溶孔:是在晶间(微)孔基础上溶蚀扩大形成的孔隙,孔壁圆滑呈弯曲状,大小为0.01~0.1 mm。⑥溶洞:取心段未见大型溶洞,以小型溶洞为主,镜下观察孔径大小为2~5 mm,岩心上孔径为2~20 mm。⑦非组构选择性溶孔:该类孔隙具有非组构选择性,沿裂缝和缝合线等分布,可切割颗粒、胶结物和缝合线,形态呈长条状或串珠状,大小为0.1~1 mm,最大可达2 mm(图3e)。

3) 构造裂缝

区内裂缝型储层空间较少,包括构造缝、压溶缝和溶蚀缝。构造缝呈平直状,延伸远,缝宽小于5 mm,缝内被方解石充填或半充填(图3f)。压溶缝主要表现为缝合线,多分布于颗粒灰岩中,产状多与层面平行,呈锯齿状,缝宽一般为几毫米,多数被方解石、泥质或沥青不同程度充填。溶蚀缝主要沿着早期裂缝系统和缝合线溶蚀扩大,呈不规则弯曲状,缝宽多大于1 mm,表现为破裂面的不规则溶蚀扩大。

2.3 物性特征

对657块样品孔渗资料分析,储层平均孔隙度为4.67%,平均渗透率为 $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔特低渗储层。孔隙度和渗透率垂向上差异变化明显,但两者具有较好的相关性(图2)。依据储层中含油气性的不同,将A井取心段划分出两类储层(I类和II类)和14个储层段,I类为孔洞发育的好储集层,包括B、D、…、M等7个段,II类为孔洞不发育的中等或差储集层,包括A、C、…、N等7个段(图2),两类储层间大致以孔隙度为5%和渗透率为 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为界。统计发现,鲕粒滩、生屑滩、砂屑滩和杂屑滩平均孔隙度达4.5%以上,而滩间微相孔隙度平均为3.76%,滩微相储层物性整体优于滩间微相储层物性;同样,不同滩微相之间孔渗特征也存在一定差异(表1),这说明了原始沉积组构对储层物性的影响。但成岩作用使得储层物性变得复杂化,如4 296.6~4 297.7 m 鲕粒滩平均孔隙度为0.6%,4 303.7~4 305.7 m 鲕粒滩其值为8.5%,两者物性差异明显,反映了该区成岩作用对储层物性差异起到了决定性作用。

表1 滨里海盆地肯基亚克地区A井取心段沉积微相孔隙度和渗透率特征

Table 1 Porosity and permeability of microfacies in the cored interval of well A in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

微相	孔隙度/%		渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		样品数/个
	范围	平均值	范围	平均值	
鲕粒滩	0.2~10.2	5.02	0.000 1~0.783 0	0.040 6	55
生屑滩	0.7~8.90	5.05	0.000 1~0.231 0	0.082 7	136
砂屑滩	4.5~10.5	5.85	0.002 1~0.015 2	0.007 6	10
杂屑滩	0.2~10.1	4.57	0.000 1~0.338 6	0.032 9	227
滩间	0.1~10.6	3.76	0.000 1~0.421 4	0.042 7	299

3 成岩环境和成岩作用

结合区域地质背景,通过镜下薄片、孔洞缝胶结物同位素和包裹体等测试分析,认为该区经历了正常海水成岩环境、大气淡水成岩环境和埋藏成岩环境,不同成岩环境下成岩作用对储层孔隙控制作用不同。

3.1 正常海水成岩环境阶段

在正常海水成岩环境阶段,粒间多被空气和海水占据,其孔隙流体以正常海水为特征,对绝大多数矿物相都是饱和的^[12]。其成岩作用包括泥晶

化作用、叶片状-纤维状方解石胶结作用和弱机械压实作用,该阶段对储层孔隙主要起到破坏作用。

泥晶化作用主要发育于生屑(海胆和腹足类等)边缘(图4a),在滩间相中常见。泥晶套颜色较黑,成分单一,部分厚层泥晶套见模糊的纹层状结构。泥晶套具有加固颗粒、抗压实和保护颗粒铸模孔隙的作用^[3]。在叶片状-纤维状方解石胶结作用前,滩相中会发生少量微弱的压实作用,使得生屑破裂,该期的压实破裂作用较少见。叶片状-纤维状方解石呈等厚状垂直生屑边缘生长,长度多小于0.2 mm,相邻胶结物结壳之间呈多边形缝合接触样式(图3a)。该期胶结物主要出现在滩相沉积中,尤其是分选较好的生屑滩和鲕粒滩中,部分

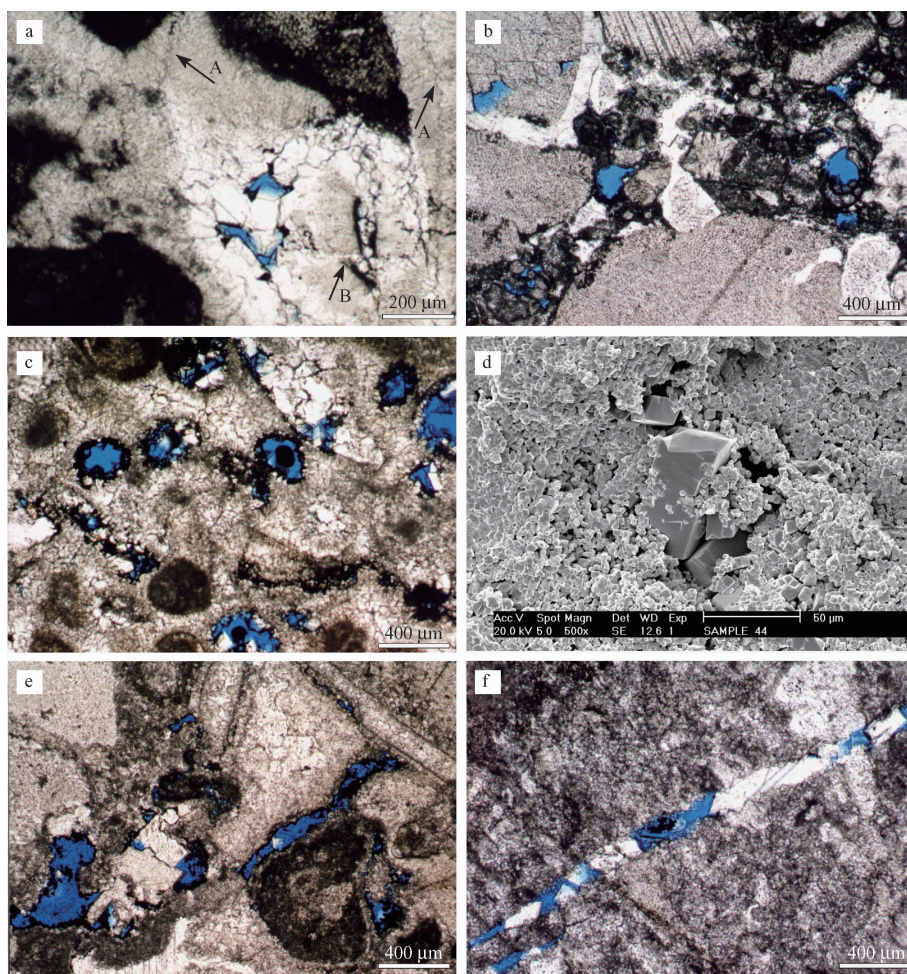


图3 滨里海盆地肯基亚克地区 A 井取心段石炭系碳酸盐岩储层孔隙类型

Fig. 3 Pore types of the Carboniferous carbonate reservoirs in the cored interval of well A in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin
a. 残留原生粒间孔隙, 4 309.7 m, 第一期胶结物呈缝合线接触样式(箭头 A 所指), 生屑和第一期胶结物被压实破裂(箭头 B 所指), 第二期胶结物为等轴粒状方解石, 蓝色铸体单偏光; b. 粒间和粒内溶孔, 4 320.25 m, 蓝色铸体单偏光; c. 鲕粒铸模孔, 4 369.38 m, 蓝色铸体单偏光; d. 粒内晶间微孔, 粒间被方解石半充填, 4 355.44 m, 扫描电镜; e. 非选择性溶孔切割颗粒, 4 446.06 m, 蓝色铸体单偏光; f. 构造缝内溶孔呈竹节状, 其内充填粒状方解石, 4 411.75 m, 蓝色铸体单偏光

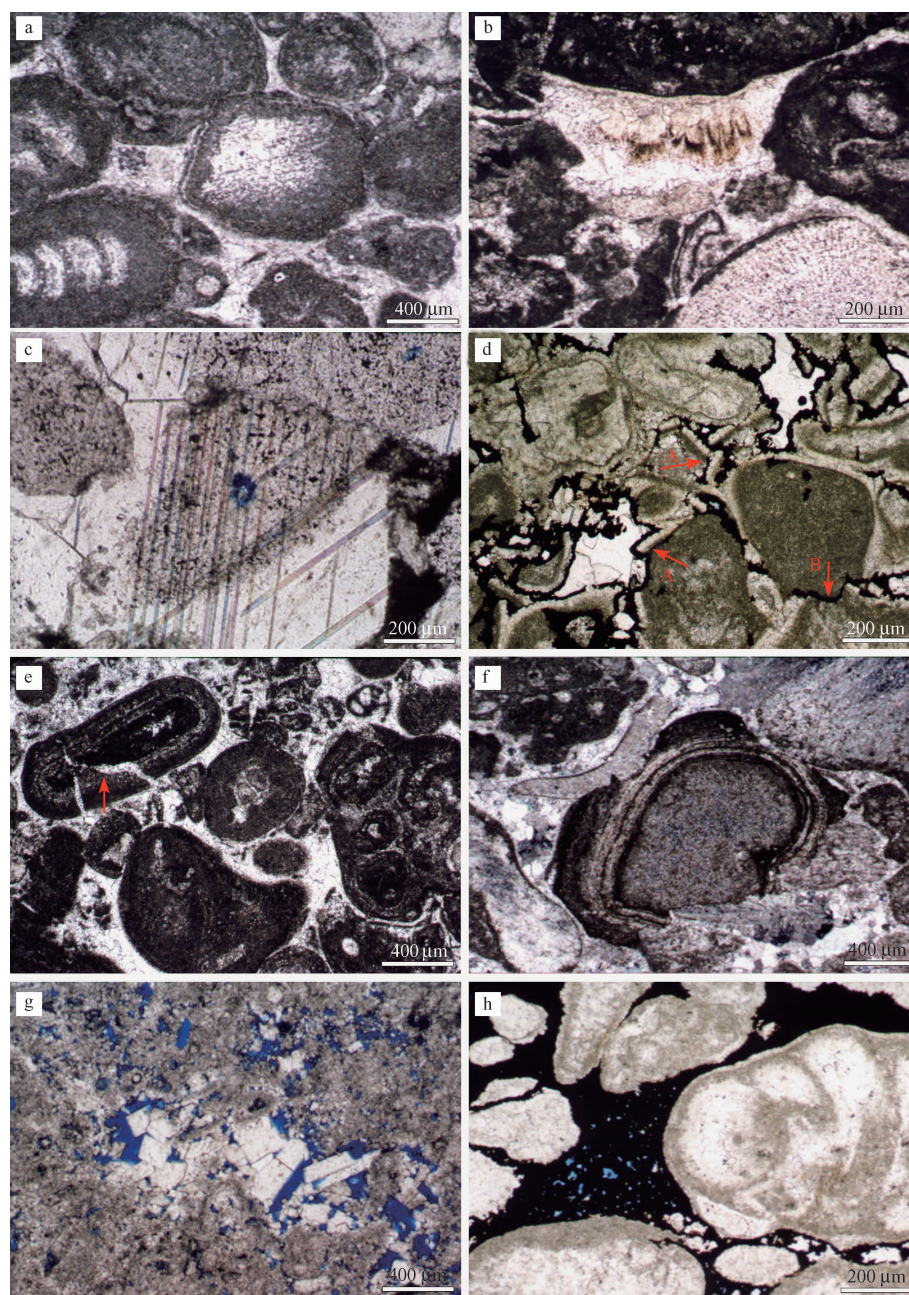


图4 滨里海盆地肯基亚克地区A井取心段石炭系碳酸盐岩储层典型成岩作用特征

Fig. 4 Typical diagenetic features of the Carboniferous carbonate reservoirs in the cored interval of well A in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

a. 腹足边缘泥晶套, 4 329.54 m, 单偏光; b. 重力悬垂状方解石, 4 353.21 m, 单偏光; c. 棘屑共轴增生作用, 4 415.75 m, 单偏光; d. 第一期胶结物破裂(箭头 A), 而后沥青充填和粗粒镶嵌状方解石胶结, 颗粒间微细缝合线被沥青充填(箭头 B), 4 290.89 m, 单偏光; e. 鲕粒破裂(箭头所指), 裂缝内充填粒状方解石, 4 358.6 m; f. 鲕粒压溶现象, 4 454.07 m, 正交光; g. 泥晶灰岩溶孔内充填半自形方解石, 4 306.43 m, 单偏光; h. 生屑间溶孔被沥青充填, 见少量沥青冷凝收缩孔, 4 297.17 m, 单偏光

或完全充填了颗粒间的原生孔隙。形成于该环境下的叶片状-纤维状方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 为接近于零的低正值 0.555% , $\delta^{18}\text{O}$ 为低负值 -9.155% , Ca/Mg 值变化大, Fe 和 Mn 含量较高且变化大, Sr 值接近海水, 平均值为 $133 \mu\text{g/g}$, 整体表现为正常海水值的特征(表2)。

3.2 大气淡水成岩环境阶段

大气淡水成岩环境的特点是碳酸盐矿物相的饱和度变化很大, 可以从不饱和到过饱和, 这与沉积物或地层暴露于地表环境和相对稀释水的出现

表 2 滨里海盆地肯基亚克地区 A 井取心段储层孔、洞、缝充填物地化特征
Table 2 Geochemical characteristics of the fillings in pores, cavities and fractures in the cored interval of well A in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

方解石类型	元素含量										均一温度/℃		包裹体类型	成岩环境
	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$		$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$		Ca/Mg		$\text{Fe}/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		$\text{Mn}/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$					
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值		
纤维状方解石	0.220 ~ 0.890	0.555	-9.43 ~ 9.88	-9.155	163.24 ~ 464.08	280.79	0 ~ 1 100	356	0 ~ 400	167	0 ~ 600	133	正常海水	
		0.390	-9.400	-9.400	309.61 ~ 464.83	365.67	0 ~ 400	100	1 ~ 300	143	0 ~ 600	86	多水溶液包裹体	
孔隙中方解石		-0.812	-12.130	-12.130	122.60 ~ 185.20	154.88	0 ~ 400	125	0 ~ 400	125			浅-中深埋藏	
		0.323 ~ 1.020	-9.22 ~ 7.22	-8.220	110.42 ~ 372.13	249.78	0 ~ 700	269	0 ~ 300	146	0 ~ 600	162	多水溶液包裹体	
半自形方解石		-0.940	-9.960	-9.960	125.00 ~ 347.50	268.01	1 300 ~ 25 000	6 620	0 ~ 300	120	0	0	少量水溶液和烃包裹体	中深埋藏
溶洞中方解石											54 ~ 89	78.22	水溶液和烃包裹体	浅埋藏
构造缝中粒状方解石					241.70 ~ 1 863.70	664.14	0 ~ 700	300	0 ~ 300	125	0	0	偶见水溶液包裹体	浅-中深埋藏
共轴增生方解石					797.00 ~ 1 108.00	902.00	300 ~ 400	333	0 ~ 600	200	0	0	少量水溶液包裹体	浅-中深埋藏

注:测试资料来自 KJ 油田内部资料;碳、氧同位素均为 PDB 标准。

有关^[1]。这种成岩环境由两个次环境构成:渗流带和潜流带,按时间顺序分为早期同生阶段和晚期表生阶段,主要成岩作用包括溶蚀作用和胶结作用。

早期同生溶蚀作用为大气淡水在沉积物沉积不久之后作用于不稳定的文石类矿物,形成组构选择性的溶蚀孔隙,包括铸模孔、粒内溶孔和粒间溶孔等,亦可形成非组构选择性的溶蚀缝和溶洞。但该期的溶蚀孔洞易被后期的胶结物充填,难以形成有效的储集空间。晚期表生溶蚀作用与石炭系顶部不整合面形成有关,主要为非组构选择性的溶蚀作用,大气淡水作用于已成岩的岩石,对裂缝内充填或半充填的方解石进行溶蚀,并具有明显的方向性,形成中小型溶蚀孔洞和高角度溶蚀缝。

胶结作用主要包括重力悬垂型方解石胶结和等轴粒状方解石胶结。图4b纤维粗大方解石构成的悬垂胶结,是渗流带可靠的生长标志;原生孔隙中的等轴粒状方解石亦是大气淡水环境潜流带产物(图3a),其 $\delta^{13}\text{C}$ 为低正值0.39‰, $\delta^{18}\text{O}$ 为低负值-9.40‰;具低Fe、Mn特征;Sr平均值偏低为86 $\mu\text{g/g}$,这与淡水淋滤作用下Sr元素易迁移有关^[13];包裹体多为水溶液包体,均一温度值较低为66.5 $^{\circ}\text{C}$ (表2),反映了大气淡水影响深度较深,可能与断裂的沟通作用相关。

3.3 埋藏成岩环境阶段

埋藏成岩环境的成岩流体以海水和大气淡水的混合或高温高压条件下长期的岩石-水相互作用的化学成分复杂的盆地卤水为特征^[14],依据地层埋深、温度和压力特征,分为浅埋藏和中深埋藏两个阶段。埋藏期成岩作用主要包括:棘屑的共轴增生作用;压实作用;压溶作用;镶嵌状、粒状、半自形方解石的胶结作用;溶蚀作用;沥青充填作用;破裂作用。其中溶蚀作用对孔隙起到主要的建设作用,压实、压溶和胶结作用起到主要的破坏作用。

共轴增生作用形成一期微弱的方解石胶结物,是由底质控制围绕着主体颗粒生长成单一的晶体(主要与颗粒灰岩中棘屑和海胆碎屑有关)(图4c)。这种作用主要形成于泥晶化以后,对储层孔隙影响微弱,其Ca/Mg值高,Fe和Mn含量较高且变化大,见少量水溶液包裹体,均一温度平均

为99.88 $^{\circ}\text{C}$ (表2),具有相对高温的特征,形成于浅-中深埋藏成岩环境。

压实作用是造成孔隙减少的重要作用,包括颗粒的塑性变形、胶结物的破裂和颗粒自身的破碎。塑性变形表现为介屑或条带形颗粒受挤压重新排列、被压平或压扁;胶结物的破裂为早期的等厚环边叶片状-纤维状胶结物受压实作用而破裂(图3a,图4d),但易被后期沥青充填或粗粒镶嵌状方解石胶结;颗粒自身破碎是颗粒脆性应变的结果,如鲕粒遭受压实而破裂(图4e),但其破裂产生的裂隙被后期粒状方解石胶结。压溶作用是压实作用的继续,表现为不同尺度和规模的缝合线,图4f展示的为鲕粒和生屑之间的压溶现象,反映了压溶作用对孔隙的破坏。压实压溶作用主要发生在浅埋藏阶段。

埋藏期方解石胶结物粒度较粗,呈镶嵌状、粒状和半自形状,颜色较明亮,对孔隙起到明显的破坏作用。裂隙、压实和破碎的颗粒、缝合线和焦沥青等特征与胶结物的相关性长期以来都被当作辨别埋藏期胶结物的基本标准。图3f为裂缝被粒状方解石充填,其内偶见水溶液包裹体,均一温度较高为80 $^{\circ}\text{C}$,Ca/Mg值高(表2),为浅-中埋藏环境产物。图4d显示了粗粒镶嵌状方解石胶结物是在压实作用和沥青充填作用之后所形成的,对孔隙破坏严重,其同位素特征与叶片状-纤维状方解石、等轴粒状方解石相似,但形成温度较高(均一温度值平均为109.33 $^{\circ}\text{C}$),为中深埋藏产物。图4e显示了浅-中深埋藏粒状方解石对压裂破碎鲕粒孔隙的胶结作用,其 $\delta^{13}\text{C}$ 呈低负值为-0.81‰, $\delta^{18}\text{O}$ 呈高负值为-12.13‰,其Ca/Mg值、Fe和Mn含量均较低(表2)。图4g在埋藏期非组构选择溶蚀孔隙内发育的半自形方解石胶结物内见少量水溶液和烃类包裹体,均一温度值较高,平均为73.50 $^{\circ}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$ 低负值、 $\delta^{18}\text{O}$ 高负值,Fe含量很高,平均值为6 620 $\mu\text{g/g}$ (表2),为中深埋藏成岩环境。

埋藏过程的任何时间均可以发生溶蚀作用,早期组构选择性次生孔隙最为常见,次生孔隙的形态受单个颗粒的矿物相所控制,而晚期次生孔隙一般为非组构选择性的,其分布通常受溶解事件发生时已经存在的孔隙的分布所控制^[1]。前者溶蚀常跨越多个颗粒和晶体,颗粒(主要为鲕粒、生屑)边缘或内部被溶蚀(图3b),形成粒间溶孔

和晶间溶孔;后者主要形成溶扩构造缝、溶扩压溶缝和溶蚀孔洞等。依据与埋藏期胶结作用的配置关系(图3f,图4g),该区埋藏溶蚀作用在浅埋藏和中深埋藏都有发生,且以中深埋藏溶蚀作用为主。

沥青充填对孔隙具有重要破坏作用,部分或完全充填孔隙。图4d显示了一期微弱的沥青充填作用,其主要发生在叶片状-纤维状胶结物受压实破裂作用以后和粗粒镶嵌状方解石胶结作用以前;图4h为沥青完全充填孔隙,颗粒边部隐约见早期胶结物,颗粒间孔隙未见其他充填物,反映了沥青充填作用前发生了较强烈的溶蚀作用,溶蚀了颗粒间早期的胶结物。破裂作用主要形成多期构造缝,多期性主要发育于埋藏期,如浅埋藏期裂缝被后期粗晶粒状方解石胶结,而你又遭受中深埋藏期的溶蚀(图3f),对储层具建设性作用。

研究层段中、下石炭统经历了相似成岩作用历史。正常海水环境中泥晶化和叶片状-纤维状

方解石胶结对孔隙具有破坏性。大气淡水成岩环境中淋滤溶蚀作用对孔隙具有建设性,等轴粒状方解石胶结物则充填了早期的孔隙。埋藏期嵌晶状、粒状等方解石胶结、压实压溶对储层起到了主要破坏作用,而溶蚀作用和破裂作用对孔隙发育具建设作用。

4 成岩作用与孔隙演化

A井取心段先后经历了正常海水、早期大气淡水、中期浅埋藏、晚期大气淡水、晚期浅埋藏和晚期中深埋等成岩环境(图5)。早中石炭世研究区为开阔台地相正常海水环境,滩间的泥晶化作用和浅滩的叶片状-纤维状方解石胶结作用,对粒间原生孔隙充填破坏,在颗粒灰岩中使原生粒间孔隙度减少。短暂的海平面下降,使海底沉积物遭受早期大气淡水淋滤,溶蚀作用形成铸模孔、粒内

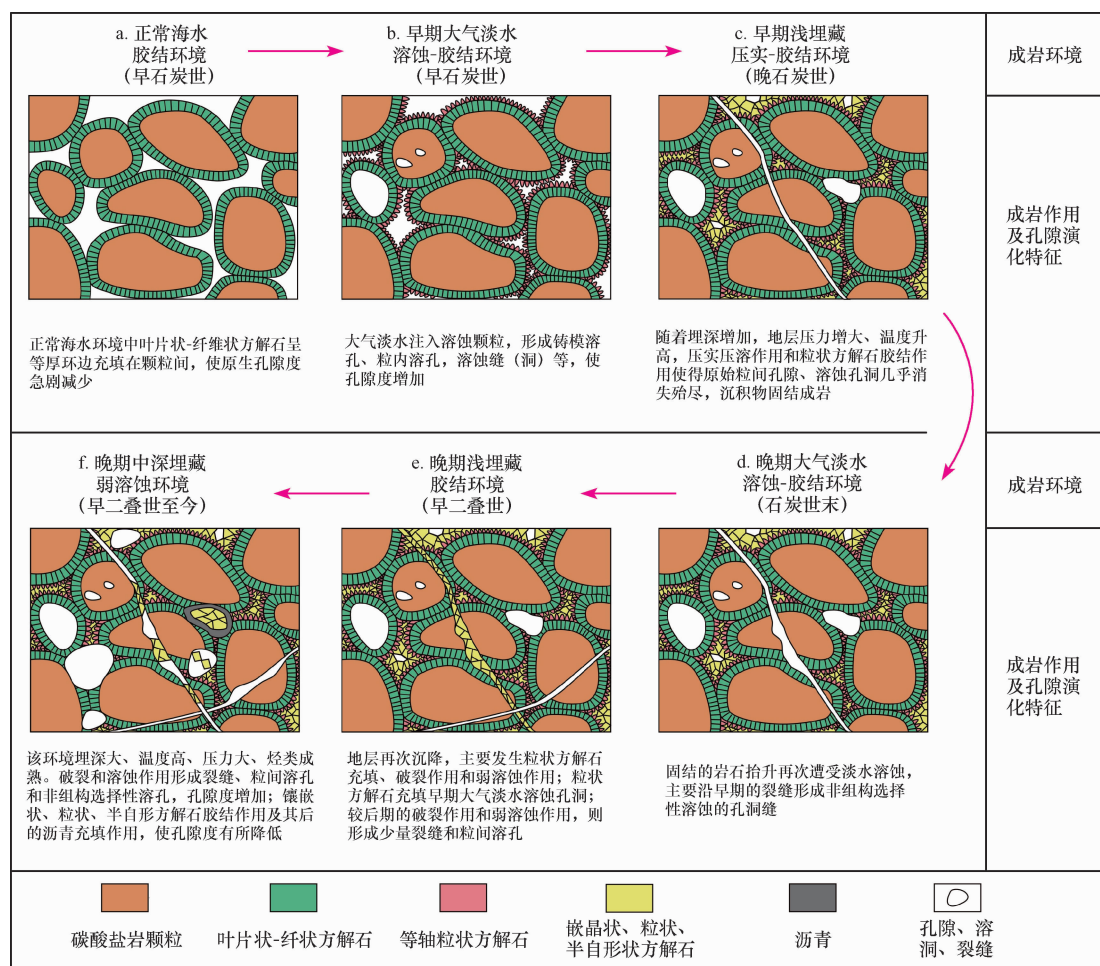


图5 滨里海盆地肯基亚克地区成岩作用演化序列及孔隙演化模式

Fig. 5 Diagenetic evolution stages and porosity evolution models in Kenkyak area, Pre-Caspian Basin

溶孔和溶蚀缝(洞)等,使孔隙度增加。晚石炭世基底沉降,沉积物进入中期浅埋藏阶段,压实压溶作用和镶嵌状方解石胶结作用使沉积物固结成岩,早期的孔隙几乎消失殆尽。石炭世末,晚海西期造山运动构造抬升使研究区出露地表遭受晚期大气淡水淋滤,沿早期的裂缝等发生非组构选择性溶蚀作用,形成溶扩孔洞。早二叠世研究区再次沉降经历晚期埋藏环境改造至今。晚期浅埋藏期压实压溶作用和粒状方解石胶结破坏了多数表生期形成的孔隙。晚期深埋藏阶段,地层压力和喜山期构造运动形成多期裂缝;烃类成熟及热降解过程中形成侵蚀性孔隙流体产生溶蚀作用,形成粒间溶孔、晶间溶孔和非组构选择性溶孔,使孔隙度增加;镶嵌状、粒状和半自形方解石胶结作用与溶蚀作用同期发生,充填早期孔隙。随着热演化的成熟,液态烃转为气态,剩余残渣即沥青部分充填孔隙空间,亦使孔隙度降低。

A井取心段内Ⅰ类储层和Ⅱ类储层都经历了上述六个成岩阶段,但不同储层段经历的主要成岩环境和成岩作用不同,使储层特征差异明显。对比发现,两类储层经历正常海水-中期浅埋藏成岩环境后,储层孔隙几乎消失殆尽,其形成的关键是中深埋藏溶蚀改造作用(图2)。Ⅰ类储层受晚期中深埋藏溶蚀改造作用明显;Ⅱ类储层受其改造不明显,其主要与正常海水胶结、浅埋藏压实作用相关,但中深埋藏溶蚀后的成岩作用可使Ⅰ类储层转化为Ⅱ类储层,此类成岩作用包括镶嵌状、粒状方解石胶结作用、沥青充填作用等,如A储层段内埋藏期溶蚀孔隙被沥青充填。

在中深埋藏成岩环境内,大多数学者认为有机质在成熟过程中的脱羧基作用能提供大量的 CO_2 和有机酸, CO_2 和有机酸有利于溶蚀作用的发生并增加孔隙^[1]。然而,研究区埋藏期溶蚀作用与沉积微相、颗粒含量、裂缝发育情况关系都不密切,溶蚀规律还需要去进一步探究。

5 结论

1) A井取心段为浅滩和滩间微相组成的一套开阔台地相沉积,主要由颗粒灰岩、生屑灰岩、鲕粒灰岩、泥晶灰岩等构成。取心段为低孔特低渗透层,可划分出以粒内溶孔、粒间溶孔和非组构选

择性溶孔为主的Ⅰ类好储层和以晶间孔与晶间溶孔为主的Ⅱ类中等或差储集层。

2) 研究层段先后经历了正常海水、早期大气淡水、中期浅埋藏、晚期大气淡水、晚期浅埋藏和晚期中深埋藏等成岩环境。成岩作用主要为胶结作用和溶蚀作用。

3) 埋藏期溶蚀作用改造是形成两类储层的关键,其后的成岩作用可使Ⅰ类储层转化为Ⅱ类储层。Ⅰ类储层晚期中深埋藏溶蚀改造作用明显,且其后的胶结或充填作用不发育;Ⅱ类储层则主要与正常海水胶结、浅埋藏压实作用、中深埋藏期的方解石胶结及沥青充填作用相关。

4) 本区碳酸盐岩储层非均质性强制约了油气田开发和预测,加强对埋藏期溶蚀机理及受控因素的分析是储层预测的重点。

参 考 文 献

- [1] 姚根顺,沈安江,潘文庆,等. 碳酸盐岩储层-层序地层格架中的成岩作用和孔隙演化[M]. 北京:石油工业出版社, 2008:52-53.
Yao Gen Shun, Shen Anjiang, Pan Wenqing, et al. Diagenesis and pore evolution of carbonate reservoirs-sequence stratigraphy frame work[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 52-53.
- [2] 王英华. 碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化[J]. 沉积学报, 1992,10(3):86-90.
Wang Yinghua. Carbonate diagenesis and porosity evolution[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992,10(3):86-90.
- [3] Benoit V, Laurent E, Pascal H, et al. Geodynamic control on carbonate diagenesis: petrographic and isotopic investigation of the Upper Jurassic Formations of the Paris Basin(France)[J]. Sedimentary Geology, 2007,197(3):267-289.
- [4] Flugel E. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application[M]. New York: Springer-Verlag, 2010: 267-338.
- [5] 赵彦彦,郑永飞. 碳酸盐沉积物的成岩作用[J]. 岩石学报, 2011,27(2):501-519.
Zhao Yanyan, Zheng Yongfei. Diagenesis of carbonate sediments[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011,27(2):501-519.
- [6] 李宏涛,龙胜祥,吴世祥,等. 川西坳陷中段下三叠统碳酸盐岩储层成岩作用与机理[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4):551-559.
Li Hongtao, Long Shengxiang, Wu Shixiang, et al. Diagenesis and forming mechanism of the Lower Triassic carbonate reservoirs in the middle Part of the western Sichuan Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011,32(4):551-559.
- [7] 吴世祥,李宏涛,龙胜祥,等. 川西雷口坡组碳酸盐岩储层

- 特征及成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 542–550.
- Wu Shixiang, Li Hongtao, Long Shengxiang, et al. A study on characteristics and diagenesis of carbonate reservoirs in the Middle Triassic Leikoupo Formation in western Sichuan Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 542–550.
- [8] 刘洛夫, 朱毅秀, 胡爱梅, 等. 滨里海盆地盐下层系的油气地质特征[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(3): 11–15.
- Liu Luofu, Zhu Yixiu, Hu Aimei, et al. Petroleum geology of pre-salt sediments in the Pre-Caspian basin[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(3): 11–15.
- [9] 刘洛夫, 朱毅秀, 熊正祥, 等. 滨里海盆地的岩相古地理特征及其演化[J]. 古地学报, 2003, 5(3): 279–289.
- Liu Luofu, Zhu Yixiu, Xiong Zhengxiang, et al. Characteristics and evolution of lithofacies palaeogeography in Pre-Caspian basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(3): 279–289.
- [10] 方甲中, 吴林刚, 高岗, 等. 滨里海盆地碳酸盐岩储集层沉积相与类型—以让纳尔油田石炭系 KT-II 含油层系为例[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 498–508.
- Fang Jiazhong, Wu Lingang, Gao Gang, et al. Sedimentary facies and types of carbonate rock reservoir in Caspian Seashore Basin: a case from Carboniferous KT-II Member in Zahnanor Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Production, 2008, 35(4): 498–508.
- [11] 蒋晓光, 彭大钧, 陈季高, 等. 滨里海盆地东缘生物礁预测研究[J]. 成都理工大学学报, 2005, 32(5): 492–497.
- Jiang Xiaoguang, Peng Dajun, Chen Jigao, et al. Prediction of organic reefs on the east edge in the Near Caspian Sea basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2005, 32(5): 492–497.
- [12] Moore C H. Carbonate diagenesis and porosity[M]. New York: Elsevier, 1989.
- [13] 王琪, 史基安, 陈国俊, 等. 塔里木盆地西部碳酸盐成岩环境特征及其储层物性的控制作用[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 548–554.
- Wang Qi, Shi Ji'an, Chen Guojun, et al. Characteristics of diagenetic environments of carbonate rocks in Western Tarim Basin and their controls on the reservoir property[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 548–554.
- [14] Stoessell R K, Moore C H. Chemical constraints and origins of four groups of Gulf Coast reservoir fluids[J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(6): 896–906.

(编辑 张亚雄)

(上接第216页)

- Wang Qingchen, Zhang Zhongpei, Li Wei. Tertiary fault active feature and stress state in the boundary of Kuqa basin and Tianshan[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(24): 2553–2559.
- [24] 张明利, 谭成轩, 汤良杰, 等. 塔里木盆地库车坳陷中新生代构造应力场分析[J]. 地球学报, 2004, 25(6): 615–619.
- Zhang Mingli, Tan Chengxuan, Tang Liangjie, et al. An analysis of the Mesozoic-Cenozoic tectonic stress field in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2004, 25(6): 615–619.
- [25] 王震亮. 库车坳陷古流体动力与天然气成藏特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 809–815.
- Wang Zhenliang. Analysis on paleohydrodynamic force and gas accumulation characteristics in the Kuqa depression, the Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 809–815.
- [26] 王震亮, 罗晓容, 陈荷立. 沉积盆地地下水动力场恢复——原理与方法[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1997, 27(2): 155–159.
- Wang Zhenliang, Luo Xiaorong, Chen Heli. Rebuilding of palaeohydrodynamic field in sedimentary basin: principle and means[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1997, 27(2): 155–159.
- [27] 张凤奇, 王震亮, 宋岩, 等. 库车坳陷构造挤压增压定量评价的新方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(4): 1–7.
- Zhang Fengqi, Wang Zhenliang, Song Yan, et al. The new method of quantitative evaluation on pressurization according to tectonic compression in Kuqa depression[J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35(4): 1–7.
- [28] 赵孟军, 宋岩, 秦胜飞, 等. 中国中西部前陆盆地多期成藏、晚期聚气的成藏特征[J]. 地学前缘(中国地质大学), 2005, 12(4): 525–531.
- Zhao Mengjun, Song Yan, Qin Shengfei, et al. The multi-stage formation of oil-gas pools and late-stage accumulation of gas in the foreland basins in central and western China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 525–531.

(编辑 高 岩)