

doi: 10.3799/dqkx.2010.011

# 浊沸石形成与分布及其对优质储层的控制作用： 以陕北富县探区延长组长3油层为例

付国民<sup>1</sup>, 董满仓<sup>2</sup>, 张志升<sup>2</sup>, 孙磊<sup>1</sup>, 潘荣<sup>1</sup>

1. 长安大学国土资源部成矿作用及其动力学开放研究实验室, 陕西西安 710054

2. 延长油田股份有限公司, 陕西延安 716000

**摘要:** 鄂尔多斯盆地东南富县探区延长组长3油层组广泛发育浊沸石胶结作用, 其主要成因是富县探区长3油层斜长石含量高, 与碱性富钠的孔隙水相互反应形成浊沸石胶结物, 包体测温表明, 形成温度主要在85~100℃之间, 对应于早期成岩的晚期; 浊沸石发育受地下流体活动的控制, 多发育在三角洲平原及前缘相互叠置的分流河道复合砂体; 在晚成岩早期, 有机质脱羟作用形成有机酸对浊沸石溶蚀, 形成大量次生孔隙。在富县探区东部地区, 浊沸石沉淀与溶解总体效应造成孔隙度的增加; 而在西部地区, 由于浊沸石胶结物含量较小, 后期的溶蚀作用不明显, 其综合效应是造成孔隙降低。浊沸石溶蚀次生孔隙的发育是控制富县探区延长组长3油层优质储层的主控因素。

**关键词:** 浊沸石; 延长组; 优质储层; 石油地质; 富县探区。

中图分类号: P539.2

文章编号: 1000-2383(2010)01-0107-08

收稿日期: 2009-05-22

## Formation Process and Distribution of Laumontite in Yanchang 3 Reservoir of Fuxian Exploration Area in North Shaanxi Province and the Controls of the High Quality Reservoirs

FU Guo-min<sup>1</sup>, DONG Man-cang<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-sheng<sup>2</sup>, SUN Lei<sup>1</sup>, PAN Rong<sup>1</sup>

1. Open Laboratory of Mineralization and Dynamics, Ministry of Land and Resources of Chang'an University, Xi'an 710054, China

2. Yanchang Oilfield Limited-Liability Company, Yan'an 716000, China

**Abstract** The degree of laumontite's development and the status of laumontite's dissolution are important indexes for the prediction of potential sedimentary belt in extra-low permeability formations of Yanchang group in Ordos basin. Laumontite is not only distributed in the deep reservoir such as Chang 6 of the northeast Ordos basin, but also extensively distributed in the shallow reservoir such as Chang 3 of Fuxian exploration area in the southeast basin. The main reason is that the Chang 3 reservoir of Fuxian exploration area has a great quantity of plagioclase. In the later period of early diagenetic stage, laumontite and the alkaline pore water which was rich in Na were interactional, and the laumontite cement was formed. Through measuring inclusions in laumontite, we find out that its forming temperature is between 85—100℃. The development of laumontite was controlled by sedimentary micro-facies and the sequences stacked of sandbody, and it was mostly distributed in the delta plain and delta front stacked of the distributary channel's compound sandbody. In the early period of later diagenetic stage, laumontite were dissolved by organic acid which was generated in decarboxylation of kerogen, and a great quantity of secondary pores were formed. The total effect of the laumontite's sedimentation and dissolution led to the increased porosity in the Fuxian exploration east area and the reduced porosity in the west area. The development of laumontite dissolved secondary pore was the main control factor of the high quality reservoirs in Yanchang Formation of Fuxian exploration area.

**Key words:** laumontite; Yanchang Formation; high quality reservoirs; petroleum geology; Fuxian exploration area.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(No. 2003CB214601); 博士后基金项目(No. 20070420489)。

作者简介: 付国民(1968—), 男, 博士, 主要从事油藏描述、储层地质学教学与科研。E-mail: guominfu2000@163.com



其溶蚀状况,可能成为富县探区有利砂岩储集体预测的一个重要指标.研究浊沸石胶结物的形成与分布、浊沸石的溶蚀机理和影响因素,浊沸石次生溶孔储集砂体的纵、横向展布规律,以及浊沸石溶孔的分布规律和与储集砂体的匹配关系等,对鄂尔多斯盆地延长组油气勘探有着重要指导意义.

### 1 浊沸石形成机理

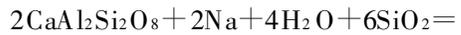
在富县探区浊沸石胶结主要在长 3 油层中发现(表 1,图 2a 和 2b),浊沸石含量变化很大,最高可占岩石体积总量的 13%,在研究区东北部平均为 6.7%,中部及西部长 3 砂岩中浊沸石含量甚微,整个富县探区平均含量为 1.89%.

浊沸石多以胶结物的形式充填于粒度较粗、分

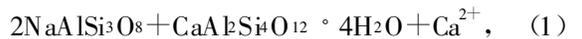
选性较好和杂基少的砂岩中,呈两种形态出现,即胶结成分和斜长石假象.当浊沸石含量高时,往往呈大片连晶的孔隙充填使碎屑嵌于其中(图 2c),有时可见放射状集合体;含量少时,则呈斑块状、补丁状孔隙充填或呈零星分布的完好晶体.浊沸石的形成明显晚于孔隙衬边的自生绿泥石,有时可见交代碎屑长石的现象.扫描电镜下浊沸石为柱状集合体(图 2d).

根据对研究区的长 3 油层组的成岩现象观察,浊沸石胶结物主要有以下 2 种成因:

#### 1.1 斜长石蚀变形成浊沸石



(钙长石)



(钠长石)

(浊沸石)

表 1 长 3 储层自生矿物电子探针分析数据

Table 1 Data of authigenic mineral in Chang 3 reservoir (analyzed by electronic microscope)

序号	井号/样号	氧化物含量(%)										矿物名称
		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	总量	
10	zf48-9	0.074	0.046	19.665	58.181	0.163	9.812	0.013	0.000	0.431	88.385	浊沸石
11	zf47-33	0.198	0.034	19.657	55.076	0.172	9.368	0.000		0.163	84.668	
12	zf47-56	0.013	0.078	21.980	48.980	0.000	10.320	0.055	0.064	0.321	81.811	
13	zfq31-54	0.008	0.007	17.120	58.980	0.022	10.340	0.000	0.065	0.147	86.689	
14	zfq8-3-101	0.235	0.043	16.980	58.210	0.000	9.980	0.024	0.000	0.089	85.561	
15	zfq45-73	0.054	0.015	20.890	57.760	0.016	10.022	0.001	0.130	0.154	89.042	

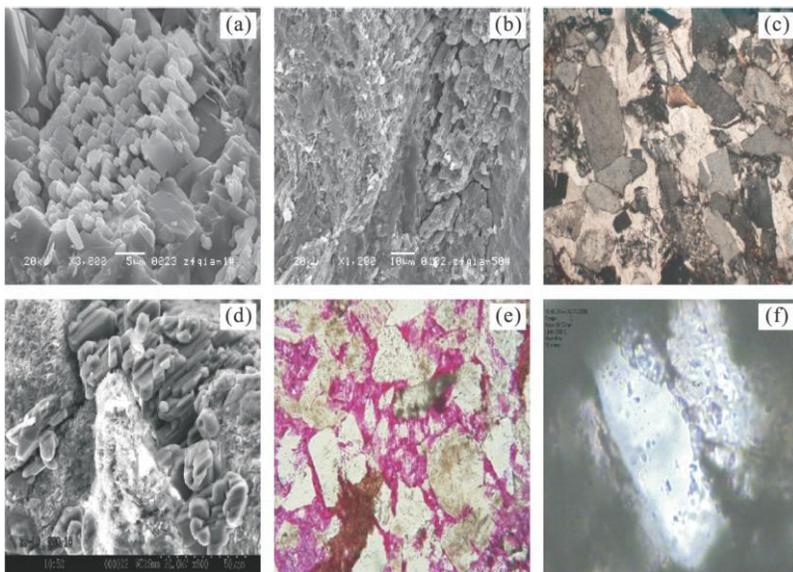


图 2 浊沸石胶结物成岩特征

Fig. 2 Diagenetic character of laumontite cement

a. 浊沸石晶体(中富浅 1,长 3<sub>2</sub>、SEM× 800); b. 浊沸石溶蚀残晶(中富浅 50,长 3<sub>2</sub>、SEM× 800); c. 浊沸石连晶式胶结(中富浅 50 正交偏光× 100); d. 浊沸石晶体及溶蚀残余(中富 53,长 3<sub>2</sub>、SEM× 800); e. 浊沸石残晶及粒间溶孔(中富 47,长 3<sub>1</sub>、单× 200); f. 浊沸石中包体(中富浅 15~3、长 3<sub>2</sub>、单× 600)

根据式(1)  $\Delta G$ (吉布斯自由能增量)值计算<sup>②</sup>, 斜长石蚀变成浊沸石(同时有水与石英参加)的最低温度为 42 °C. 很显然在正常压力与温度梯度条件下的成岩过程很容易满足这种温压条件, 并且温度越高、压力越大, 越有利于浊沸石的形成, 而且在埋藏深度逐渐增加的渐进埋藏成岩过程中, 埋深相对较大的地层中形成浊沸石的条件更好, 由斜长石蚀变成浊沸石的趋势更强.

从上述反应可以看出, 砂岩中较多的斜长石及碱性富钠的孔隙水有利于浊沸石的形成. 富县探区长 3 油层组储层中富含斜长石(占碎屑总量的 35%~45%), 而且斜长石的钠长石化现象非常普遍. 另外通过扫描电镜分析, 粒间孔隙中见晶形良好的板状钠长石及石盐晶体, 说明孔隙水在成岩期有过富钠、pH 值高的阶段, 有利于浊沸石的形成, 因此富县探区长 3 油层组中浊沸石胶结物主要是其中的斜长石与碱性富钠的孔隙水相互反应的产物, 这一过程主要发生在早成岩的晚期.

此次研究中, 在富县探区长 3 油层组中富浅 50 井找到个体较小的浊沸石胶结物中盐水包裹体(图 2f), 其均一温度主要分布在 85~100 °C 之间, 最高不超过 110 °C.

因而, 陕北延长组浊沸石胶结物为早成岩阶段晚期产物, 推测温度不超过 80~90 °C.

## 1.2 火山物质的水化蚀变成浊沸石

三叠纪延长组陕北斜坡中来自盆地北部阴山的

物源含有火山物质, 在延长组长 3 油层组等浅部层位, 大部分以火山岩碎屑形式存在, 但在更深层位(长 7、长 6)则为火山凝灰质泥岩薄层大面积分布. 火山物质在埋藏成岩早期水化蚀变成部分浊沸石胶结物, 其反应机理与斜长石蚀变成浊沸石的机理类似<sup>②</sup>. 富县探区长 3 油层火山岩屑含量相对较少, 缺乏火山凝灰岩, 成岩早期火山物质的水化蚀变形成的浊沸石也相对较少.

富县探区长 3 油层组浊沸石相对下部长 6~8 油层组发育, 不但与斜长石含量高有关, 而且与碳酸盐含量也有关系. 镜下薄片观测及其  $\chi$  射线全岩分析结果都证实, 浊沸石与碳酸盐含量有相互排斥的现象, 有时在一块薄片, 浊沸石和方解石也可以共生, 但两者总是各自分片出现, 原因显然是浊沸石和碳酸盐沉淀过程存在对钙离子争夺(Surdam *et al.*, 1984).

## 2 浊沸石的分布

富县探区长 3 油层组浊沸石的分布严格受沉积微相控制. 在不同的砂体纵向叠置序列及不同的沉积微相带浊沸石发育程度不同(图 3).

在平面上, 浊沸石主要分布在三角洲平原分流河道及三角洲前缘水下分流河道砂体中, 河口坝微相中浊沸石不发育. 在富县探区东北部三角洲平原及前缘相带平均含量 6%, 而在富县探区中部及西

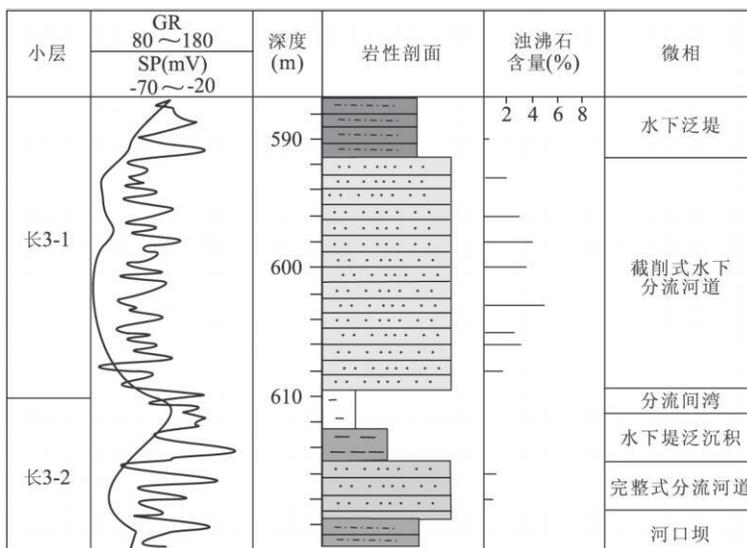


图 3 浊沸石含量垂向上变化(中富浅 50 井)

Fig. 3 Vertical change of the laumontite's content

②黄思静, 2002. 鄂尔多斯盆地南部延长组有利储层分布, 长庆油田内部研究资料.

部三角洲河口坝及前缘席状砂相带长 3 砂岩中浊沸石含量甚微, 尤其在截削式分流河道发育的中富 43 井区浊沸石推测原始含量平均可达 7.8%, 其溶蚀后形成极其发育的次生孔隙发育带是形成油气富集区的主控因素。

在垂向上, 不同的砂体充填序列及其非均质性程度不同, 浊沸石含量及分布不同。在三角洲平原或前缘相互叠置截削的厚层分流河道复合砂体, 浊沸石原始含量高, 次生溶孔发育, 因为这些叠置水下分流河道中的原生孔隙发育, 孔隙水易于流动, 孔隙水与火山岩碎屑和斜长石碎屑的离子交换能力强, 因此易于形成浊沸石胶结。而纵向上孤立的、薄的完整式水下分流河道砂体及其侧缘、复合式河口坝砂体、完整式河口坝砂体平面连通性较差, 黑云母及其碳质纹层富集成层, 泥质夹层及其钙质夹层发育, 储层非均质性较强, 酸性水不易进入, 影响了孔隙流体渗流及其离子交换, 浊沸石原始含量甚微, 次生孔隙不发育。

### 3 浊沸石胶结及溶解对优质储层控制作用

#### 3.1 浊沸石溶解机理

浊沸石的溶蚀作用需要酸性介质条件。这种溶解作用伴随着高岭石的形成:



富县探区浊沸石溶蚀作用发生于晚成岩 A 期, 储层成岩演化进入深埋阶段。大气淡水、蒙皂石和高岭石向伊利石转化形成的酸性水对其溶蚀发挥影响有限, 干酪根成熟产生的酸和上覆煤系地层酸性水下渗对浊沸石溶蚀是必要的。该时期有机质演化已开始进入低熟—成熟阶段, 热演化过程中产生的短链羧酸是络合和迁移铝离子的有效溶剂, 它对铝硅酸盐格架颗粒, 如长石及自生浊沸石等的溶蚀能力比碳酸盐高数十倍至数百倍, 并且溶蚀过程中析出的  $\text{Ca}^{2+}$  离子

和溶液中本来就富有的  $\text{CO}_3^{2-}$  离子, 抑制了碳酸盐矿物的溶解(Surdam *et al.*, 1989)。据油田水分析资料(表 2), 现今油田水全部为  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Cl}^-$  含量为 17 400~17 736 mg/L, 总矿化度为  $(19\ 628 \sim 46\ 813) \times 10^4$  mg/L, 阳离子  $\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$  浓度较大, 其次是  $\text{Mg}^{2+}$ , 阴离子主要为  $\text{Cl}^-$ , 其次为  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ , 水的酸碱度主要是酸性及弱酸性( $\text{pH} = 5 \sim 6$ ), 这与长 3 油层长石及浊沸石等非稳定矿物遭受溶蚀所需要的物化条件和溶蚀时所释放的主要金属阳离子类型相吻合。

#### 3.2 浊沸石胶结及溶蚀对储层的综合评价

富县探区延长组长 3 油层组砂岩中的自生浊沸石主要是由斜长石蚀变来的, 在砂岩中呈斑状分布, 充填孔隙、交代碎屑, 浊沸石的沉淀在以下几个方面影响砂岩的储集空间:

(1) 斜长石蚀变形成浊沸石, 固体体积增加约 40%, 因而大大降低油气储集岩的孔隙度, 因此, 如果只有浊沸石的沉淀, 而没有溶解, 将使岩石变得致密, 甚至成为隔层而不是储层。

(2) 浊沸石的沉淀消耗了一部分钙离子, 使相对晚期的碳酸盐胶结物的沉淀作用减弱, 降低碳酸盐封堵作用对孔隙空间的影响, 这是富县探区东部碳酸盐胶结物含量低, 储集性能好于西部地区的重要原因之一。

(3) 当浊沸石沉淀后, 介质孔隙水对浊沸石的饱和程度改变, 如酸性水的介入造成流体 PH 值的降低, 从而导致浊沸石的溶解, 提供一定数量的次生孔隙, 这是富县探区东部长 3 油层储集性能改善的主要原因之一。富县探区西部, 浊沸石含量小, 分布范围有限, 因而对次生孔隙的贡献有限。

因此在进行浊沸石沉淀溶解对砂岩储集空间的影响评价时, 必须考虑浊沸石的溶蚀率及岩石中浊沸石含量, 使用孔隙度净增加值来评价与浊沸石沉淀与溶解有关的双重成岩作用。

$$P_n = [Cl^- (RI - 2/7)] / (1 - RI) \quad (3)$$

式(3)中,  $P_n$  为孔隙度净增加值;  $RI$  为浊沸石溶蚀率;

表 2 长 3 段地层水分析数据

Table 2 Analytic data of stratum water in Chang 3

区块	井号	层位	试油结论	地层水离子含量(mg/L)							水型	pH 值
				$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$		
中富 43 井区	中富 43	T <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	油水同层	6 125	4 849	74	17 736	470	259	29 513	CaCl <sub>2</sub>	5
	中富 43-6	T <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	油水同层	5 608	4 967	89	16 532	1 401	212	16 824	CaCl <sub>2</sub>	5
	中富 43-19	T <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	油水同层	6 247	4 552	86	19 309	510	237	30 941	CaCl <sub>2</sub>	6
中富 47 井区	中富 47	T <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	油水同层							46 813	CaCl <sub>2</sub>	6
	中富 49	T <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	油水同层	6 665	4 408	104	17 400	1 115	259	29 951	CaCl <sub>2</sub>	5

表 3 浊沸石沉淀与溶解对孔隙影响评价

Table 3 Estimate of the influence of the laumontite's sedimentation and dissolution on porosity

区块	井号	平均浊沸石含量(%)	平均浊沸石溶孔(%)	平均原始浊沸石含量(%)	平均浊沸石溶蚀率(%)	平均孔隙度净增加值(%)	样品数
中富 43	zf43	3.41	2.03	5.44	37.31	21	8
	zf47	2.45	3.02	5.47	55.21	15	7
	zfq8-3	5.30	2.57	7.87	32.66	25	9
	zfq15-3	3.23	1.90	5.13	37.04	35	11
中陕 18	zsh18	0.90	0.21	1.11	18.92	-48	5

表 4 长 3 油层组储层砂岩次生孔隙构成统计

Table 4 Secondary pore in Chang 3 reservoir sandstone

层位	样品数	项目(%)	面孔率	粒间孔	浊沸石溶孔	长石溶孔	岩屑溶孔	碳酸盐溶孔	杂基溶孔	晶间孔
长 3	83	最大值	11.80	9.50	4.50	4.00	2.00	0.50	0.15	0.25
		最小值	4.50	2.00	0.30	0.05	0.10	0.01	0.01	0.01
		平均值	7.90	3.67	2.83	0.82	0.33	0.17	0.03	0.05
		对次生孔隙贡献率			66.90	19.39	7.80	4.02	0.71	1.18
		占总孔隙		46.46	35.82	10.38	4.18	2.15	0.38	0.63

CI 为岩石中浊沸石含量。

孔隙度净增加值的大小不仅与浊沸石溶蚀率有关,而且与浊沸石初始含量有关,是表征浊沸石胶结与溶蚀对孔隙含量的总体效应。

从表 3 可知,在富县探区中富 43 井区,平均浊沸石溶蚀率为 40.55%,平均孔隙度净增加值为 24%,也就是说在富县探区东部长 3 油层组,浊沸石沉淀与溶解总体效应造成孔隙度的增加,浊沸石的沉淀与溶解的共同作用意义是积极的。而在富县探区西部地区的中陕 18 井区,浊沸石含量低,平均浊沸石溶蚀率为 18.92%,平均孔隙度净增加值为 -48%,其沉淀与溶解综合效应造成孔隙降低。

### 3.3 浊沸石胶结及溶解对优质储层控制作用

在长 3 油层中,浊沸石胶结物及其溶蚀现象常形成粒间溶蚀孔隙及其胶结物溶孔,浊沸石溶蚀常沿解理缝进行,形成浊沸石内大小不等的粒内溶孔(图 2e),甚至使大部分浊沸石溶掉,只剩下少量残晶。

通过对富县探区 83 余块铸体薄片统计分析(表 4),溶蚀作用增加孔隙 1.9%~4.6%。其中对次生孔隙贡献最高的浊沸石溶孔,为 66.9%,其次是长石溶孔及岩屑溶孔,次生孔隙贡献率分别为 19.39% 及 7.80%,碳酸盐的溶解对次生孔隙贡献率仅为 4.02%。晶间溶孔,杂基溶孔贡献率甚微。可见,晚期成岩阶段浊沸石胶结物的溶解作用是造成富县探区长 3 砂岩物性改善的主要途径。

从图 4 富县探区储集成岩相与物性关系可知:以浊沸石溶蚀为主的浊沸石溶蚀储集成岩相物性相对

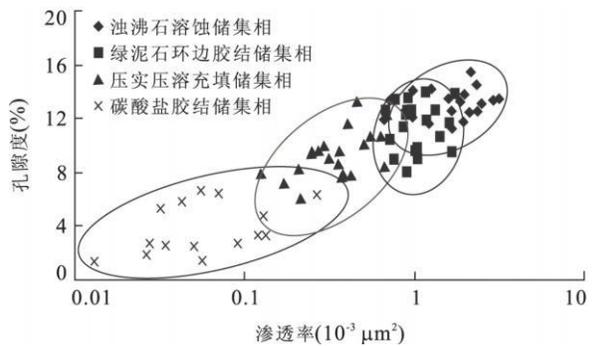


图 4 不同成岩储集相储层的物性分布

Fig. 4 Reservoir properties distribution of the different diagenetic facies

最好,孔隙度平均为 13.02%,渗透率平均为  $1.74 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;而碳酸盐胶结物发育的碳酸盐胶结储集成岩相物性最差,孔隙度平均为 3.85%,渗透率平均为  $0.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,表明储层物性受控于成岩相类型。富县探区长 3 油层组优质储层的发育与储集成岩相关密切,浊沸石溶蚀储集成岩相主要发育中富 43 井截削式分流河道沉积相带,该带浊沸石原始含量平均为 7.80%,浊沸石胶结物在晚成岩阶段经酸性水溶蚀后,产生大量溶孔,使砂岩物性得以改善,成为好的油气储层。富县探区中富 43 井区长 3 油层主产区工业油流井大部分为该类型储层(图 5)。可见浊沸石溶蚀次生孔隙的发育是富县探区延长组长 3 油层优质储层的主控因素。



图 5 长 3 油层浊沸石溶蚀储集岩相与油气富集区配置关系

Fig. 5 Disposition relationship between laumontite dissolving formation facies and oil and gas enrichment area

## 4 结论

(1) 浊沸石的发育程度及其溶蚀状况, 成为鄂尔多斯盆地延长组特低渗透层有利砂岩储集体预测的一个重要指标, 以往研究认为浊沸石次生孔隙发育带仅发育盆地东北部延长组长 6 等深部层位, 此次研究, 证实该有利成岩相带在盆地东南缘富县探区长 3 浅部层位发育, 其为优质储层的主控因素。

(2) 富县探区长 3 油层组砂岩中含有较多斜长石及碱性富钠的孔隙水, 有利于浊沸石的形成。这一过程主要发生在早成岩晚期, 形成温度在 85 ~ 100 °C 之间, 浊沸石的形成抑制了碳酸盐岩沉淀。

(3) 浊沸石的分布严格受沉积微相及砂体叠置序列控制, 浊沸石主要分布在三角洲平原分流河道及三角洲前缘水下分流河道砂体中, 河口坝微相中浊沸石不发育。在三角洲平原或前缘相互叠置截削的厚层分流河道复合砂体, 浊沸石原始含量高, 孤立的、薄的完整式水下分流河道砂体及其复合式河口坝砂体、完整式河口坝砂体, 浊沸石含量较低。

(4) 浊沸石胶结与溶蚀具双重成岩作用, 孔隙度净增加值的大小不仅与浊沸石溶蚀率有关, 而且与浊沸石初始含量有关。在富县探区中富 43 井区, 浊沸石沉淀与溶解总体效应造成孔隙增加, 而在富县探区西

部地区的中陕 18 井区, 浊沸石含量低, 综合效应造成孔隙降低。

(5) 富县探区长 3 油层组优质储层的发育与成岩储集关系密切。浊沸石溶蚀储集成岩相为好的油气储层, 富县探区中富 43 井区长 3 油层主产区工业油流井大部分为该类型储层。该区浊沸石溶蚀次生孔隙的发育是形成油气富集区的主要因素。

## References

- Guo, Y. Q., 2006. Research on reservoir micro-characteristic of Yangchang Formation in Fuxian exploration area of the Ordos basin [Dissertation]. Northwest University, Xi'an (in Chinese).
- Liu, Y. Q., Li, W. H., Feng, Q., 1997. Palaeotemperatures and diagenetic stage of the Upper Triassic oil sandstones in the eastern Ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 71(1): 65-74 (in Chinese with English abstract).
- Luo, J. L., Zhang, X. L., Moas, S., et al., 2001. The reconstruction of the stream-lake-delta facies sand's diagenesis and the effect for the evolution of the quality of reservoirs—taking the sand of Jurassic-Upper Triassic in Yangchang oil area as an example. *Science in China (Ser. D)*, 31(12): 1006-1016 (in Chinese).
- Surdan, R. C., Crossey, L. J., Hagen, E. S., et al., 1989. Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis.

*AAPG Bulletin*, 78(1): 1—23.

- Surdan, R. C., Crossey, L. J., Lahann, R., 1984. Mineral oxidants and porosity enhancement. *AAPG Bulletin*, 68: 532.
- Wei Z. Y., Yao, G. Q., He S., 2008. Diagenetic evolution and mode in the Chaluhe faulted depression reservoir Yitong craben. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(2): 227—232 (in Chinese with English abstract).
- Xie Y., 2002. Sequence stratigraphy and hydrocarbon reservoirs of the Upper Triassic Yangchang Formation in the Fuxian prospect area of the Ordos basin [Dissertation]. Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese).
- Yang, H., Fu, J. H., Yu, J., 2003. Oil reservoir enrichment patterns of large delta systems and application of exploration techniques in Shanbei area. *Acta Petrolei Sinica*, 24(3): 6—10 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. J., 2002. The tectonic evolution and oil-gas distribution Pattern of Ordos basin. Petroleum Industry Press Beijing (in Chinese).
- Yang, X. P., Qiu, Z. N., 2002. Formation process and distribution of laumontite in Yanchang Formation (Upper Triassic) of Ordos basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(4): 628—632 (in Chinese with English abstract).
- Yang X. P., Zhang, B. M., Lei, Z. Y., et al., 2006. Formation and distribution of laumontite cement in petroliferous basin and its significance for oil-gas exploitation. *China Petroleum Exploration*, 11(2): 33—38 (in Chinese with English abstract).
- Zhu G. H., 1985. Formation of lomonitic sand bodies with secondary porosity and their relationship with hydrocarbons.

*Acta Petrolei Sinica*, 6(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 郭艳琴, 2006. 富县探区延长组储层微观特征研究[博士学位论文]. 西安: 西北大学.
- 柳益群, 李文厚, 冯乔, 1997. 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油砂岩的古地温及成岩阶段. *地质学报*, 71(1): 65—74.
- 罗静兰, 张晓莉, Morad S., 等, 2001. 河流—湖泊三角洲相砂岩成岩作用的重建及其对储层物性演化的影响——以延长油区侏罗系—上三叠统砂岩为例. *中国科学(D辑)*, 31(12): 1006—1016.
- 魏忠元, 姚光庆, 何生, 2008. 伊通地堑岔路河断陷储层成岩演化史与成岩模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(2): 227—232.
- 谢渊, 2002. 鄂尔多斯盆地富县探区上三叠统延长组层序地层与储层研究[博士学位论文]. 成都: 成都理工大学.
- 杨华, 付金华, 喻建, 2003. 陕北地区大型三角洲油藏富集规律及勘探技术应用. *石油学报*, 24(3): 6—10.
- 杨俊杰, 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京: 石油工业出版社.
- 杨晓萍, 裘择楠, 2002. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组油沸石的形成机理、分布规律与油气关系. *沉积学报*, 20(4): 628—632.
- 杨晓萍, 张宝民, 雷振宇, 等, 2006. 含油气盆地中油沸石的形成与分布及其对油气勘探的意义. *中国石油勘探*, 11(2): 33—38.
- 朱国华, 1985. 陕北油沸石次生孔隙砂体的形成与油气的关系. *石油学报*, 6(1): 1—8.