

克拉玛依油区沸石类矿物特征 及其与油气的关系

孙玉善

(新疆石油勘探开发研究院)

〔内容提要〕 克拉玛依油区储层中共发现6种沸石和一种与沸石演化有关的钠长石。本文通过沸石矿物特征及分布规律的研究认为,沸石及沸石的组合在纵向上存在着一定的分带性,与埋藏成岩关系极为密切。方沸石和方沸石十片沸石带为早成岩期B阶段形成,片沸石十浊沸石带主要为晚成岩期A阶段形成,浊沸石+钠长石带为晚成岩期B—C阶段形成。方沸石的钠长石化和方沸石溶蚀对储层贡献较大。另外对沸石分带中的一些重叠现象等进行了初步探讨。

关键词 沸石 演化 成岩阶段 溶蚀作用

1 地质背景

研究区属于克拉玛依油田,包括车排子至百口泉地区,面积约4200km²。区内石炭系和二叠系中沸石矿物较发育。

石炭系在克-乌断裂和红-车断裂的上盘普遍被钻遇。地震地质资料已证实,断裂带上盘的石炭系是一个较大的逆掩推覆体。地层走向与断裂延伸方向基本一致,倾向北西,倾角变化在50°~30°之间,平面上由新至老的分布方向同倾向一致。该层的钻揭深度一般在1300~2400m之间,顶界埋深为50~500m。岩性以泥~粉砂级的凝灰质岩石为主,其中夹有厚层和薄层泥岩、砂岩、砾岩及玄武岩和安山质熔岩等。

二叠系由上二叠统乌尔禾组(P_{2w})、夏子街组(P_{2x})和下二叠统风城组(P_{1f})、佳木河组(P_{1j})组成,它们广泛分布在红-车断裂和克-乌断裂下盘。地层南倾,倾角小于10°,钻揭深度在3500m左右,顶界埋深平均为2000m,在相同的深度中,车排子的地层较八区钻遇的新。二叠系与上覆地层呈不整合接触。上二叠统主要由砂砾岩和砾岩组成,常夹有薄层或厚层砂岩、泥岩。下二叠统由砂质砾岩、凝灰质砂岩、玄武岩、凝灰岩、流纹岩和火山碎屑岩等组成。

2 沸石类矿物特征及分布规律

沸石的鉴定与分布特征是依据区内广泛分布的135口井、4000余块岩矿资料的基础上进行的。

经电子探针和X射线衍射的分析鉴定,目前发现克拉玛依油田中的石炭、二叠系共有

① 本文是在中国石油与天然气总公司科技发展部90年下达的课题研究基础上的部分成果

② 本文1992年4月20日收稿

6种沸石矿物,即浊沸石、片沸石、辉沸石、方沸石、中沸石和丝光沸石,另外还有与沸石演化有关的钠长石。

2.1 化学组成

对沸石采用电子探针——能谱和波谱定量分析后,所获得的化学组成成分列入表1,与标准值对比,其结果差异性甚微。

表1 沸矿石化学组成的分析值与标准值对比表

Table 1 Comparison of analytical values with standard values of chemical compositions in zeolite minerals

化学组成	浊沸石		片沸石		辉沸石		方沸石		中沸石		丝光沸石		钠长石	
	标准值	测试值												
SiO ₂	49~51	51.07	56~57	60.65	52~56	56.41	55.05	54.77	40~42	44.84	64~67	67.74	68.98	67.48
Al ₂ O ₃	21~22	22.03	16~17	16.26	16~18	17.60	22.36	23.06	27~29	27.67	11~13	12.68	19.94	19.86
CaO	10~12	9.64	5~7	4.25	7~8	6.91	痕量	0.13	6~10	7.75	3±	4.32		
Na ₂ O	少量	0.29	1~3	0.90	少数	0.7	13.44	12.08	3~10	3.00	2~4	2.63	11.27	11.4
K ₂ O	少量	0.11	少量	0.23	少量	0.14	痕量	0.01	少—痕量	0.04	少量	.08	0.14	0.05
MgO	痕量	0.06	痕量	0.54	痕量	0.11	痕量	0.02	少—痕	0.09	少量	0.00	痕量	0.07
FeO	痕量	0.15	痕量	1.81	痕量	0.13			少—痕量	0.27	少数	0.00	痕量	0.45
H ₂ O	13~16	16.63	15.00	15.26	18±	17.88	8.13	9.92	14±	16.9	14±	12.89		

另外,根据沸石化学分子式中氧原子总数,将表1中的测试结果换算成离子个数后发现,矿物中阳离子数及硅铝比值都具有一定的特殊性(见表2)。它们主要表现为阳离子个数偏低,硅铝比值除方沸石偏高外,其他比值也偏低。该特殊性可能受区内岩石类型和地下水化学性质的影响而造成。

表2 阳离子个数及硅铝比值分析结果对比表

Table 2 Comparison of positive ion numbers with Si/Al ratios for zeolite minerals

矿物	标准化学式	Ca ⁺⁺ 个数		Na ⁻ 个数		Si/Al
		范围	平均值	范围	平均值	
浊沸石	Ca(Al ₂ Si ₄)O ₁₂ ·4H ₂ O	0.64~0.93	0.84			1.94
片沸	(CaNa)Al ₂ Si ₇ O ₁₈ ·6H ₂ O	0.2~0.86	0.52	0.09~0.29	0.19	3.2
辉沸石	(CaNa ₂ K ₂)(Al ₂ Si ₇ O ₁)·7H ₂ O	0.82~0.99	0.91	0.07~0.24	0.16	2.72
方沸石	Na(AlSi ₂ O ₅)·H ₂ O			0.75~0.91	0.83	2.24
钠长石	(NaAlSi ₃ O ₈)			1.15~1.2	1.13	2.76

表1中部分沸石经X线衍射测试后,其结果与标准物相值吻合较好(见表3)。

2.2 镜下特征

(1)浊沸石 柱状晶体常以半充填分布于泥岩、凝灰质砂泥岩及熔岩的裂隙中(照片1),在砂、砾岩的粒间孔隙中亦可见。连生状晶体以全充填式发育在砂、砾岩的粒间孔隙中。放射状晶体则均分布于熔岩气孔中。浊沸石与辉沸石的共生多见于熔岩裂隙中,而与钠长石的共生则常见于凝灰质砂泥岩和砾岩的裂缝及粒间孔隙中。其中常见的交代顺序是浊沸石交代辉沸石、钠长石交代浊沸石,浊沸石被交代的现多现于石炭系下统。

(2)片沸石 片状晶体多呈半充填式产于砂、砾岩的粒间孔隙中(照片2)。板状和条状

晶体以半充填或全充填式产于玄武岩及其他岩性的裂隙中。连生状晶体为全充填式,只见于熔岩气孔中。片沸石常与方沸石密切共生,与浊沸石多呈交代状产出。

表3 沸石矿物的X射线衍射分析结果与标准物相值对比表(铜靶)

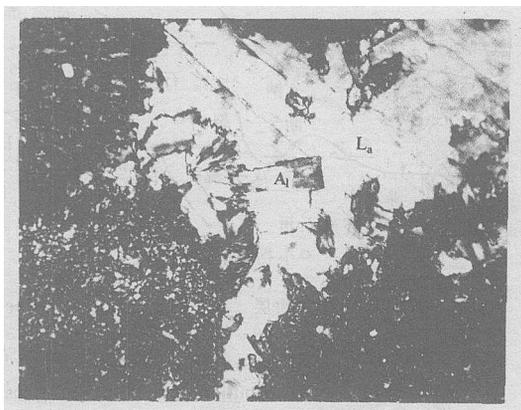
Table 3 Comparison of X-ray diffraction analyses with standard physical phase values of zeolite minerals(copper bar)

浊沸石			片沸石				辉沸石				中沸石				
标准物相值		测试结果		标准物相值		测试结果		标准物相值		测试结果		标准物相值		测试结果	
d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I	d(10 ⁻¹⁰ m)	I
9.45	10	9.46	10	9.00	10	9.00	10	9.15	10	9.12	10	6.60	60	6.57	60
6.90	7	6.90	7	5.1	5	5.09	3	4.65	5	4.65	3	4.72	45	4.71	45
4.15	9	4.15	8	4.65	4	4.67	3	4.05	9	4.05	6	4.21	30	4.20	27
3.51	7	3.50	6	3.96	9	3.96	4	3.40	5	3.40	3	3.23	30	3.22	30
3.03	4	3.03	4	2.97	9	2.98	5	3.03	8	3.03	4	2.94	45	2.93	44
2.88	4	2.87	3	2.80	5	2.82	5	2.77	4	2.77	2	2.89	100	2.88	100
2.44	5	2.43	3	2.73	4	2.73	2	2.56	3	2.56	2	2.86	70	2.86	70



照片1 砂质砾岩,粒间孔由板条状钠长石(A1)充填,晶间孔隙发育(见沥青质充填)。(一)×64,检乌26井(深3360.25m处)

Photograph 1 Sandy conglomerate with the intergranular pores filled by lath-shaped albite (Al). The intercrystalline pores are well-developed, filled with bituminous matter. Plane-polarized light, ×64. Borehole JW26 (at the depth of 3360.25m)



照片2 砾岩,粒间孔由连生晶体沸石(La)充填,无任何残余空间。(+)×64,古42井(深150.80m)处

Photograph 2 Conglomerate with the intergranular pores filled by connecting laumontite crystals (La). Cross-polarized light, ×64. Borehole G42 (at the depth of 1530.80m)

(3)辉沸石 板状和平行束状晶体常以半充填式发育于熔岩较大的裂隙中,晶体垂直于缝壁,在细缝中(小于0.2mm),板状晶体多沿缝隙发育,具竹节状特征。放射状晶体均发育于气孔中。共生矿物除浊沸石外,尚有中沸石。

(4)方沸石 区内方沸石在各类岩石的裂缝、粒间和气孔中均有发育。通常,自形粒状方沸石以半充填式为主,均质状(连生晶体)的则以全充填式为主。共生矿物除片沸石外,还有钠长石。方沸石的钠长石化特征较为典型。

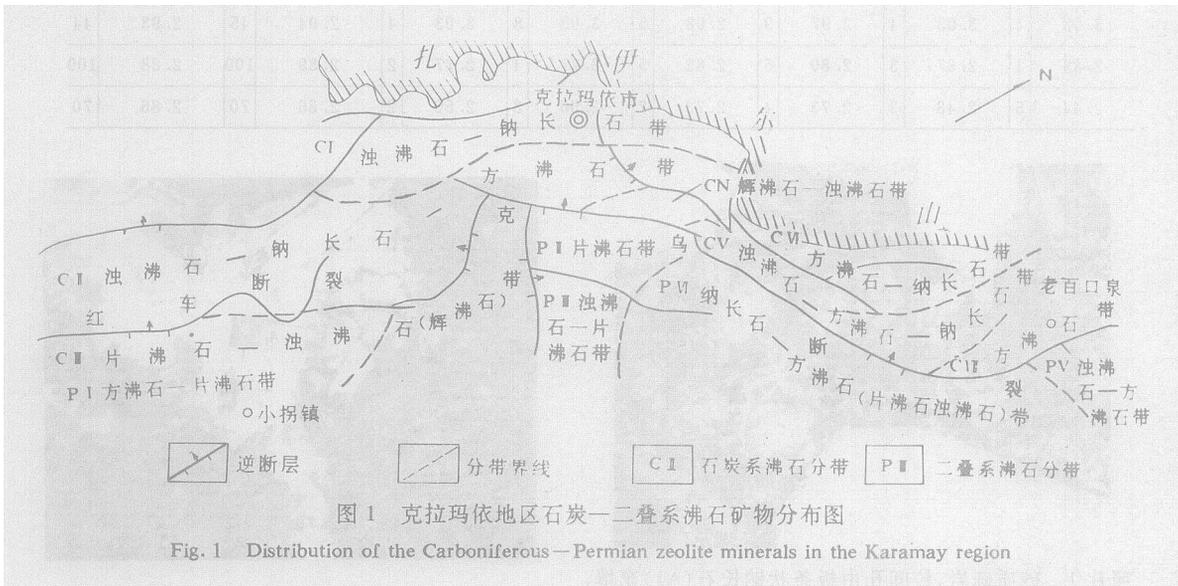
(5)中沸石 以毛发状簇晶集合体为主,全充填式发育于熔岩的裂缝和气孔中,晶体生长方向近垂直于孔隙边缘。与其共生的矿物除辉沸石外,尚未见到其他。

(6)丝光沸石 丝光沸石为针状和纤维状组成的扇状集合体,发育于火山角砾岩和一些玄武岩破碎带的粒间孔隙及裂隙之中,充填方式各异。其共生特征,均晚于辉沸石和浊沸石。

(7)钠长石 钠长石均为板条状,晶体一般小于0.25mm,主要发育在凝灰质砂—泥岩和砂砾岩的裂隙及粒间孔隙中,以全充填方式为主。与其共生的矿物除浊沸石和方沸石外,尚见葡萄石。

2.3 分布规律

(1)平面分布 根据沸石类矿物的组合形式和演化特征,在石炭系中划分了7个沸石带,二叠系中划分了5个沸石带。它们在平面上呈带状沿着主要构造线而分布,与地层走向大体一致(图1)。



石炭系中方沸石、浊沸石和钠长石的组合带大部分分布于断裂带前缘,而无方沸石和含方沸石的组合带则分布于山前一带。由盆地内部向扎伊尔山方向沸石带由第Ⅲ组合带依次转向成岩作用较深的第Ⅰ、Ⅴ、Ⅳ、Ⅰ组合带,这与地层由新到老的分布状况是一致的。

二叠系中片沸石、方沸石、浊沸石和局部出现的钠长石组成了不同形式的沸石带。它们由浅至深的分带性也与地层的分布状况是相一致的。

(2)垂直分布 根据取心和代表性较好的5口井资料,可分为6个沸石的垂向分布带(图2),图中除了钠长石和方沸石的重叠现象比较突出外,其他各带的溶化界线是比较明显的。

综上所述,沸石及沸石组合带无论在平面上还是在垂向上的演化均与地层层序有着密切的相关性。虽然沸石在平面上和剖面上的演化有一定的规律可循,但也常见一些沸石组合带的重叠和混合现象,有时这种现象还比较突出。造成这种现象的原因,将在后面进行讨论。

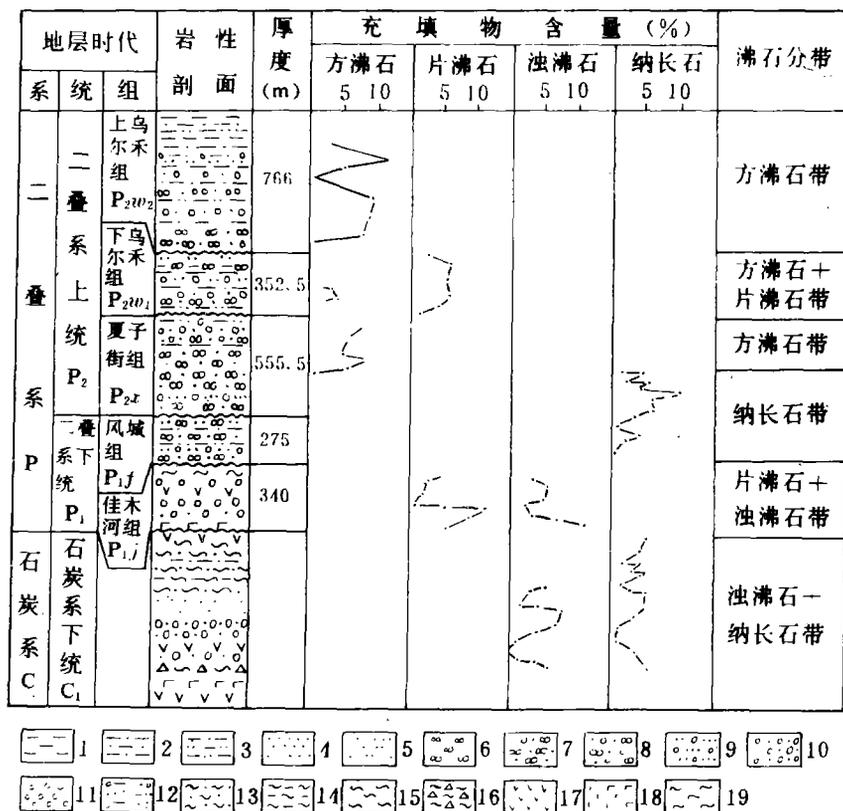


图2 综合垂向分带图

1. 泥岩; 2. 砂质泥岩; 3. 泥质砂岩; 4. 砂岩; 5. 细砂岩; 6. 泥质小砾岩; 7. 砂质小砾岩; 8. 砂质不等粒小砾岩; 9. 含砾不等粒砂岩; 10. 砂砾岩; 11. 砾岩; 12. 含砾泥质砂岩; 13. 凝灰质砂岩; 14. 凝灰质泥岩; 15. 凝灰岩; 16. 凝灰质火山角砾岩; 17. 安山岩; 18. 玄武岩; 19. 流纹岩

Fig. 2 Generalized vertical zonation of zeolite minerals

1 = mudstone; 2 = sandy mudstone; 3 = muddy sandstone; 4 = sandstone; 5 = fine sandstone; 6 = muddy fine gravel conglomerate; 7 = sandy fine gravel conglomerate; 8 = sandy unequigranular fine gravel conglomerate; 9 = gravel-bearing unequigranular sandstone; 10 = sandstone and conglomerate; 11 = conglomerate; 12 = gravel-bearing muddy sandstone; 13 = tuffaceous sandstone; 14 = tuffaceous mudstone; 15 = tuff; 16 = tuffaceous volcanic breccia; 17 = andesite; 18 = basalt; 19 = rhyolite

3 沸石类矿物成岩变化及成岩阶段

3.1 成岩作用变化

由于成岩作用过程的演变,沸石在温度与压力的增加下发生脱水反应,向含 H_2O 低的沸石演变。故在地层剖面上所出现的垂直分带性则是成岩作用变化的结果。

从区内沸石的分布规律中可得出下列结论:

(1)二叠系上乌尔禾组(P_{2w_2})为方沸石带,埋藏深度 1900~2600m;下乌尔乐组(P_{2w_1})为方沸石+片沸石带,埋藏深度 2400~3300m;下统佳木河组(P_{1j})为片沸石+浊沸石,埋藏深度在 2600m 以下。

(2)石炭系中上统分为上下两个带,位于红-车断裂下盘的为下带(见图 1),由片沸石十

浊沸石组成;上带位于克乌断裂上盘,由方沸石、浊沸石和钠长石组成了演化程度不同的分带。

以上各带,随着埋深及层序的变化,沸石组合带中的主要成分,是由含 H_2O 高的片沸石 ($6H_2O$) 依次演变为浊沸石 ($4H_2O$) → 钠长石 (无水)、硅铝比值也由 3:1 降至 2:1。由此表明该系列演化特征反映了一定的成岩作用变化的过程。

3.2 成岩阶段分析

沸石的分带性主要与埋藏成岩变化关系十分密切。综合对比沸石分带与相应层段的地化和粘土矿物资料,将区内石炭和二叠系的成岩阶段作以下分析:

(1) 在二叠系 18 口井、35 块岩样的分析资料中统计出,镜质体反射率 (R_v) 变化在 0.75% 左右和最大热解峰温度平均在 $440^\circ C$ 的岩样,均分布于二叠系上统上部乌尔禾组,而反射率变化在 1.5% 左右和最大热解峰温度平均为 $450^\circ C$ 的岩样则分布于上统下部夏子街组至上统佳木河组。

(2) 石炭系中的 16 口井,44 块岩样的结果是:镜质体反射率变化在 1.4% 左右、最大热解峰温度平均为 $450^\circ C$ 的岩样分布于石炭系中上统;反射率在 2.5% 左右和最大热解峰平均在 $500^\circ C$ 的岩样均分布于石炭系下统。

砂岩中自生粘土矿物含量和泥岩伊蒙混层中的蒙脱石 (%) 变化特征详见表 4。

表 4 石炭—二叠系粘土矿物的主要组合及变化特征

Table 4 Main associations and variations in the Carboniferous—Permian clay minerals

层位	样品井段 (m)	样品数	砂岩自生粘土矿物相对含量 (%)										泥岩 I/S 中 S 层 (%)
			蒙脱石 (S)		蒙脱石/伊利石		伊利石 (I)		高岭石 (K)		绿泥石 (C)		
			范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	
P _{2w2}	1970~2457	10	75~100	88.9			2~12	4.5	4~14	4.2	2~8	2.4	
P _{2w1}	2307~2455	5			47~83	61	4~13	8	7~31	18.2	6~20	12.8	
P _{1j}	2687~2704	5			100	100							
C ₂₊₃	1331~1528	3			42~50	45					50~58	55	30
	1011~1233	5			5~32	18	22~59	49.2			22~46	32.8	20
C ₁	468~930	5			2.8~26	10.5	41~89	60.6	4~21	15.1	3~23	13.8	0

把以上数据列入含油气区碎屑岩成岩阶段划分一览表中进行对比分析 (表 5), 其结果不难看出: 二叠系上统乌尔禾组中的方沸石+片沸石带代表了早成岩 B 阶段; 上统夏子街组至下统佳木河组中的片沸石+浊沸石主要代表为晚成岩 A 阶段; 石炭系中上统上部的片沸石+浊沸石带代表的成岩阶段与二叠系下统成岩阶段相同; 其下部浊沸石+方沸石+钠长石至下统浊沸石+钠长石带代表为晚成岩 B—C 阶段。

上述表明, 应用沸石组合特征对成岩阶段的分析是有帮助的。

4 沸石类矿物研究与油气的关系。

4.1 确定有机质成熟度

过去许多人一直把浊沸石的出现认为是低级变质相的标志, 认为浊沸石形成的地温为 $195-220^\circ C$ 。若按此观点, 浊沸石在沉积剖面上出现就代表了石油的死亡线。近年来在一些

表5 含油气区碎屑岩成岩阶段划分对比表
Table 5 Division and correlation of diagenetic stages for the clastic rocks in the oil- and gas-bearing regions

埋藏成岩期	碎屑岩成岩阶段划分法与部分主要成岩标志 ⁽¹⁾										研究区的主要成岩标志与相应的成岩阶段 ⁽²⁾														
	最高古地温(C)	有机质R _o (%)	成熟带	最大热解峰温 ² (C)	泥岩		砂岩中自生矿物				孔隙类型	有机质R _o (%)	最大热解峰温(C)	泥岩I/S中S层(%)	蒙脱石(S)	I/S混层	高岭石(K)	伊利石(I)	绿泥石(C)	钠长石	沸石	方沸石	次生孔	裂缝	
					I/S中S层(%)	蒙脱石(S)	I/S混层	高岭石(K)	伊利石(I)	绿泥石(C)															钠长石
亚期																									
早成岩	70±	0.4	未成熟	<430	<70						原生孔为主														
B	80~90	0.5±	成熟	<435	70~50																				
A	130~140	1.3±	460成熟	成熟	50~20																				
晚成岩	170±	2.0±	高成熟	480	<20						可有次生孔—缝发育														
C	>170	>2	过成熟	>500	0																				

1) 石油天然气总公司, 1989年, 我国含油气区碎屑岩成岩阶段划分及主要标志的初步方案。

2) 应凤祥, 1990年, 成岩作用阶段划分及今后研究工作设想, 石油科技专辑(4)。

油田发现浊沸石后,认为浊沸石不仅是高温下的产物,而且在低温下也能形成,其温度在50—80℃范围内。显然把沸石作为地质温度计,单纯地应用它了解古地温确定有机质成熟度是不够确切的。例如有人曾根据研究区含浊沸石层段产油现象,认为浊沸石的生成温度为46—132℃,属低温成因,有机质成熟度在未成熟—成熟期之间。但结合成岩阶段分析,该层段已属晚成岩期,相当古地温130—170℃,有机质已处于成熟—过成熟期。另外据含油特征,发现在车排子—百口泉地区至今未见到理想的生油岩,至少是在含浊沸石层段中,这表明油来源于外区,与浊沸石的形成无因果关系。浊沸石层段因产油而认为低温成因的依据是不可靠的。这些状况告诉我们,应用沸石了解古代地温、确定有机质成熟度需要结合本地区成岩特征及生储条件来判断。

4.2 对油气储层的影响

沸石矿物在成岩演化过程中,它的析出、演变和溶蚀,对储集性能都有不同程度的破坏与改善。从分布和产状特征上已表明早成岩期主要是方沸石析出,以充填粒间孔隙为主,表现了对储集性能的破坏。晚成岩期的A、B亚期阶段则以矿物演变和溶蚀作用为主,表现了对储集性能的改善作用。镜下观察结果主要为以下3个方面。

(1)结晶作用 在不同的物理、化学条件影响下的不同矿物结晶形态和结晶方式,在降低储集性能方面差异较大。区内常见的片沸石和钠长石,多以较完善的自形板条状晶体产于粒间孔隙中,晶体之间可见到残留程度不同的空间,即晶间孔隙。而方沸石、浊沸石大多数是以连生状晶体产于粒间孔隙中,使粒间孔完全丧失了储集空间(见照片1、2)。

(2)演变(交代)作用 方沸石在向钠长石演变过程中,由于方沸石是开放的架状结构,密度为2.0~2.2g/cm³,脱水后的孔隙体积增大至50%,而钠长石是密实的架状结构,堆积紧密,密度为2.6~2.7g/cm³。所以方沸石向钠长石转化后则能增大晶间孔隙。这一作用尤其对连生晶体方沸石带的孔隙改善是极为显著的。八区二叠系内部分储集空间主要是该作用而形成(见照片3)

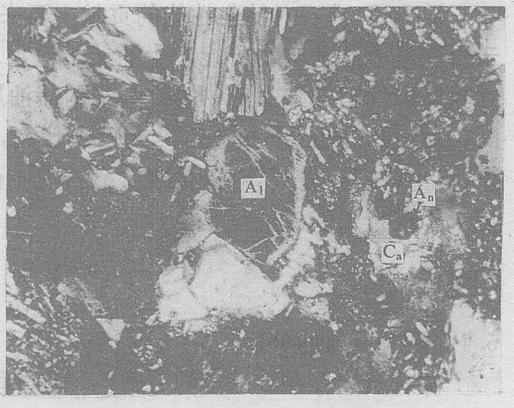
(3)溶蚀作用 对沸石类及其他铝硅酸盐矿物的溶蚀孔隙,用荧光显微镜观察后发现,无论是油层或非含油层,在溶蚀孔的边缘均有不同程度的荧光显示,说明该类矿物溶蚀机理与含有有机质的酸类溶剂有着比较密切的关系。朱国华(1990)指出,有机酸对碎屑岩中铝硅酸盐的溶解是十分有效的^①。Surdam(1982)也曾认为,导致碳酸盐,特别是硅酸盐溶解的是地下水中的羧酸。目前通过实验进一步表明,有机酸(主要是二元羧酸)的羧基与铝硅酸盐的Al³⁺相络合形成稳定的络合物,从而使之溶解形成次生孔隙。但是,由于铝硅酸盐矿物的不同,被溶蚀程度仍有不同。据本区的镜下资料和一些其他地区(如火烧山油田等)的资料中获得,最为显著的是碱型系列的铝硅酸盐矿物,例如方沸石及碎屑组分中的钠长石、钾长石等,他们的溶蚀程度远远超过钙质系列的铝硅酸盐矿物,有时甚至超过碳酸盐矿物(见照片4)。T. T. Thomas等(1986)在对加利福尼亚犹伦内油田的长石砂岩成岩作用的研究项目中,曾总结出在有机酸的作用下,碱性的钾、钠长石比非碱性的斜长石易发生溶蚀,而Ca²⁺含量高的(An>32)长石类则不易发生溶蚀。研究区碱性方沸石的溶蚀现象十分典型(见照片5、6),一些区块中已形成了以此种类型为主的工业性油藏。但在钙质系列的片沸石和浊沸石相带中溶蚀作用却远逊于方沸石带,尤其浊沸石带被溶蚀的现象更为少见。

① 朱国华,1990年,碎屑储集岩孔隙的形成、演化和保存,石油科技专辑(4)。



照片3 砾岩, 粒间孔隙中的连生晶体方沸石(An), 具环带状钠长石化(Al), 钠长石分布处尚见大量晶间孔。正偏光, $\times 50$, 检乌30井
(深2976.30m)

Photograph 3 Conglomerate showing the connecting analcime (An) crystals in the intergranular pores and atoll albitization (Al). Numerous intercrystalline are visible in the albite field. Cross-polarized light, $\times 50$. Borehole JW30 (at the depth of 2976.30 m)



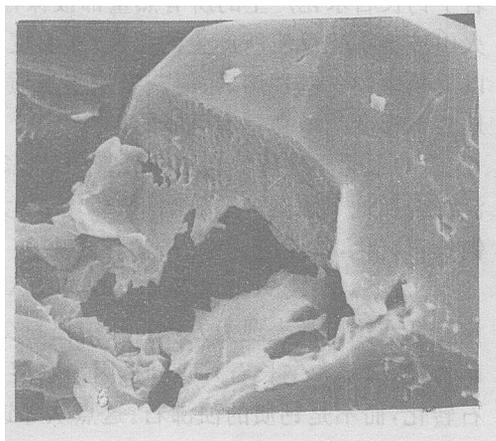
照片4 砂岩, 胶结物方沸石(An)和碎屑组分钠长石(Al)被溶蚀后形成的铸模孔(全销光部分)。被溶方沸石周围的方解石(Ca)保存完整。正交偏光, $\times 80$, 火11井(深1572.56m)

Photograph 4 Sandstone showing the cast pores resulting from the erosion of the cement analcime (An) and clastic albite (Al) (see the complete extinction part). Calcite (Ca) surrounding the eroded analcime is well-preserved. Cross-polarized light, $\times 80$. Borehole H11 (at the depth of 1572.56 m)



照片5 砂岩, 粒间孔隙中的方沸石(An)均被溶掉, 形成铸模孔, 而方解石(Ca)则无溶蚀现象。单偏光, $\times 50$, 8645井(深2650.50m)

Photograph 5 Sandstone showing the erosion of analcime (An) in the intergranular pores resulting in the formation of the cast pores. However, no erosion evidence is found for calcite. Plane-polarized light, $\times 50$. Borehole 8645 (at the depth of 2650.50 m)



照片6(照片5中)扫描电镜下方沸石征, $\times 877$

Photograph 6 Erosion of analcime in Photograph 5 under SEM $\times 877$

4.3 提供勘探线索

综上所述,沸石对储集性能的贡献主要来自于有机酸对碱性铝硅酸盐矿物的溶蚀作用,显示出优越于其他矿物所能产生的储集效果。该特点指明了在有机-无机反应的成岩体系中,寻找以碱性铝硅酸盐矿物胶结为主的储油层段是较为理想的。由此认为百口泉至乌尔禾区间,二叠系方沸石分布较广,含量有所增高,与风城地区二叠系底部厚层生油岩又相距不远,生、储条件配合较好,对以溶蚀方沸石为主而形成的油气藏是比较有利的。在此对二叠系应进一步进行工作。

5 问题讨论

5.1 重叠现象的分析

沸石虽然存在有一定的分带性,但在垂直深度上重叠现象十分突出,例如上盘石炭系中的沸石组合带出现深度在50~2400m之间,其底界相当于二叠系的顶界埋深;二叠系局部钠长石带出现于片沸石+浊沸石带之上等等。造成这种现象的主要原因与下列几点情况有关:

(1)构造位移 据上盘石炭系中上统的沸石组合特征看,它与二叠系下统沸石带的演化保持着一定的序列性,同样它们的成岩特征也能反映出与二叠系下统有相接之处。该特点从埋藏成因方面分析,石炭系在未抬升前的原始埋藏深度应该是大于3000~3500m,即二叠系之下。车排子至八区二叠系在相同的埋深下所钻遇的地层是由新至老的,说明八区一带相对抬升,所以沸石分带也完全可能出现在相同或是相反的深度中。

(2)地热异常 佐佐木(1971)指出,当地壳发生构造运动时,其动力和地下岩浆的活动致使地层发生地热异常,显示出比相对沉降带有较高的地温梯度。这种地热异常也可导致成岩作用与埋藏深度的非正比关系。

(3)水化热效应 R. C. 苏达姆(1979)曾论述过,水化反应能够引起火山堆积物含量高的沉积盆地地热梯度的巨大混乱。根据罗比和沃尔鲍姆(1968)的热力学资料,如果在火山砂岩中钙长石水化产生的所有热量都被保存下来的话,那么岩石的温度将升高约45℃,若加上火山玻璃水化反应所产生的温度,其温度可能更高。岩石学资料表明,二叠系碎屑组分70%以上是由中-基性熔岩、凝灰岩及凝灰质碎屑岩组成。因此,对于产生上述作用而引起局部地热带梯度的增高是有可能的。

(4)水化学性质 在垂向分带中,钠长石带的重叠现象是由二叠系局部的酸性凝灰岩与流纹岩在地下水溶液的影响下,SiO₂活度大幅度提高,在适当的温度条件下将促使方沸石向钠长石转化,其反应式为:



该特征在镜下常表现为方沸石被钠长石交代。另外在相同化学条件下,当方沸石处于向其他矿物(浊沸石和钠长石)演变时,因为水溶液中以阳离子Na⁺为主,所以有可能首先是向钠长石转化,而不是钙质的浊沸石。这点从邻近发现的浊沸石晚于钠长石(如照片2)的产状上也能表明这点。

5.2 方沸石的应用

在沸石的组合系列中,发现方沸石不论在埋藏深度上,还是在层序上,甚至于火成岩中,它的分布范围非常广泛,说明方沸石的生成温度范围较大。戴长禄(1982)在对天然沸石的成因分类中曾指出,方沸石不仅生成温度范围大,而且生存环境也很广泛(见表6)。由此可见,

用方沸石来分析成岩阶段则毫无意义。

Coombs 等人将不同成因方沸石的 Si/Al 值测定结果分为三个组:^①

a. 高硅方沸石,由硅质火山玻离与碱性水反应生成,其 Si/Al 值为 $2.7 \pm$ 。

表6 不同产状的天然沸石的生成温度和沸石种类

Table 6 Formation temperatures and types of natural zeolite minerals of different occurrence

产状类型	温度	生成沸石种类
深海沉积	$4^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{C}$	钙十字沸石、斜发沸石、(方沸石)
风化类型 盐、碱湖类型 渗透地下水类型(在基性岩层中)	$20^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{C}$	钙十字沸石、斜发沸石、菱沸石、毛沸石、丝光沸石、水钙沸石、八面沸石、变杆沸石、钠沸石、方解石(片沸石)
渗透地下水类型(在酸性岩中) 浅埋藏成岩作用类型 低温热液类型	$25^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{C}$	钙十字沸石、斜发沸石、菱沸石、毛沸石、丝光沸石、镁碱沸石、方沸石、杆沸石、中沸石、钙沸石、片沸石、辉沸石等。尚有浊沸石、斜钙沸石和汤河原石。
深埋藏成岩作用类型 中温热液类型	$>100^{\circ}\text{C}$	浊沸石 方沸石
低级变质作用类型 较高温热液类型	$>200^{\circ}\text{C}$	斜钙沸石、汤河原石、方沸石
岩浆原生类型		方沸石

据戴长禄,1982。

(b)其成因与埋藏演变作用有关的方沸石, Si/Al 值为 $2.4 \pm$ 。

(c)直接从溶液中晶析出或由高碱性水与沉积物相互作用生成的方沸石,其 Si/Al 值为 $2.2 \sim 2$ 。

据分析结果,区内方沸石的 Si/Al 值是:二叠系自 2400m 之上的 Si/Al 值均在 2.2 之下,其成因类型相当于 C 组;2400m 以下至上盘石炭系中 Si/Al 值依次变化为 $2.3 \sim 2.5$,成因类型相当于 B 组。B 组方沸石依次与片沸石→浊沸石→钠长石形成组合形式。该特点表明,应用方沸石成因类型与其组合形式来分析和判断成岩阶段尚有一定的地质意义。

本文编写过程中,得到中国地质科学院成都地质矿产研究所丘东洲教授的帮助和指导,特此致谢。

参考文献

- 北京大学地质学系岩矿教研室,1979,《光性矿物学》,地质出版社。
中国科学院贵阳地球化学研究所,1978,《矿物 X 射线粉晶鉴定手册》,科学出版社。
田洪均,1985年成岩温度的判别标志,矿物岩石,第5卷,第3期,第128~140页。
朱国华,1985陕北浊沸石次生孔隙砂体的形成与油气关系,石油学报,第6卷,第1期,第1~8页。
张璞珊,1985,克拉玛依二叠系粗碎屑储集体中自生沸石的析出与演化,新疆石油地质,第2期,第30~40页。

① 应风祥,1990年,我国陆相碎屑岩中的自生矿物,石油科技专辑(4)。

- 佐佐木沼雄等,利用沸石自生矿物带推算古地温梯度,徐永元译,石油地质与实验,1983年,第2期,第1~12页。
- R. C. 苏达姆等,西北大学地质系译,1986,火山砂岩的成岩作用,碎屑岩的成岩作用,西北大学出版社。
- 戴长禄,1982,天然沸石形成条件和成因类型,国外地质,第3期,第22~27页。
- Mumpton, F. A., 江绍英译,1985,天然沸石的矿物学,国外地质,第8期第24~29页,科学文献出版社。
- JCPDS International Centre for Diffraction Data U. S. A. 1981.《Selected Powder diffraction data Minerals》。
- Surdam, R. C. et al., 1989. Organic-Inorganic Interactions and Sandstone Diagenesis; AAPG Bulletin, V. 73, No. 1, pp. 1—23.
- Thomas, T. T. et al., 1986. Deposition and Diagenesis of Upper Miocene Arkoses, Yowlumne and Rio Viejo Fields, Kern County, California; AAPG Bulletin, V. 70, No. 8, pp. 953—969.
- Winkler, H. G. H., 1979. Petrogenesis of metamorphic Rocks. Springer—Verlag. N. Y.

MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF ZEOLITE MINERALS AND THEIR BEARINGS TO THE RESERVOIR BEDS IN THE KARAMAY OIL FIELD

Sun Yushan

(Institute of Petroleum Prospecting and Exploitation
of Xinjiang Uygur Autonomous Region)

ABSTRACT

Six types of zeolite minerals and a kind of albite associated with zeolite evolution have been recognized in the reservoir beds in the Karamay oil field. On the basis of mineralogical characteristics and distribution, the author contends that zeolite and zeolitic associations are longitudinally zoned and closely related to burial diagenesis. The analcime and analcime+heulandite zones were formed during Stage B of early diagenesis; the heulandite+laumontite zone during Stage A of late diagenesis, and the laumontite+albite zone during Stages B to C of late diagenesis. Albitization and erosion of analcime contribute a lot to the reservoir quality. In addition, some superimposed phenomena in the heulandite zonation are also discussed in this paper.

Key words: zeolite, evolution, diagenetic stage, corrosion