

文章编号: 0253-9985(2006)04-0442-09

油气幕式成藏的矿物学和地球化学记录 ——以准噶尔盆地西北缘油藏为例

胡文瑄¹, 金之钧², 张义杰³, 姚素平², 张越迁⁴, 曹 剑²

(1. 南京大学 地球科学系, 壳幔演化与成矿作用研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083

3. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083

4. 中国石油天然气股份公司 新疆油田分公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:报道了记录油气幕式成藏事件的含油环带状方解石等自生矿物及其地球化学特点。这种矿物发现在准噶尔盆地西北缘一些油气藏的油源断裂附近, 方解石 (或 SD_2 裂隙填充物) 内发育十余条或更多的烃类环带, 与之相间生长的方解石的成分也频繁变化。地球化学示踪分析表明, 含油气流体主要来源于深部二叠系, 具有富含 Fe 和 Mn 等元素的特征, 因此与油气充注密切相关的含油方解石明显富含 Fe 和 Mn, 使得环带状方解石的 Fe、Mn 和 Mg 等元素发生显著的波动特点, 真实记录了含油气流体幕式充注的周期性过程。

关键词:幕式成藏; 方解石环带; 地球化学记录; 准噶尔盆地

中图分类号: TE112.113 文献标识码: A

Mineralogy and geochemical records of episodic reservoiring of hydrocarbon example from the reservoirs in the northwest margin of Junggar basin

Hu Wenxuan¹, Jin Zhijun², Zhang Yijie³, Yao Suping², Zhang Yunqian⁴, Cao Jian²(1. State Key Laboratory of Crust-Mantle Evolution and Mineral Deposit Research, Department of Earth Sciences
Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093 2 Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC,

Beijing 100083 3 Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083

4 Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000)

Abstract Authigenic minerals such as calcite and etc with oil-bearing girdles that recorded the traces of episodic reservoiring event and their geochemical characteristics are studied in this paper. The calcite (also called SD_2 the fissure filler), consisting of various components and interweaving with a dozen or more oil-bearing girdles inside them, is likely to be found near the source faults of some reservoirs in the northwest margin of Junggar basin. Geochemical tracing analysis suggests that the hydrocarbon-bearing fluids were mainly sourced from the deep of the Permian and had carried with them such elements as Fe, Mn, and etc. Therefore, the oil-bearing calcite in close relation to hydrocarbon charging is rich in Fe and Mn and the contents of Fe, Mn, and Mg in the calcite girdle fluctuate remarkably. This phenomenon honestly recorded the periodic process of the episodic charging of hydrocarbon-bearing fluids.

Key words episodic reservoiring; calcite girdle; geochemical record; Junggar basin

收稿日期: 2006-07-06

第一作者简介: 胡文瑄 (1959-), 男, 教授 (博士生导师), 地质流体与油气成藏

基金项目: 国家基础研究发展规划项目资助 (G1999043309)

越来越多研究资料表明,幕式成藏是油气成藏的重要方式^[1-2]。早在20世纪50年代人们研究油气排烃过程(即初次运移)时就发现,油气从烃源岩中向疏导层的排烃具有周期性排放特征,即主要通过微裂隙系统进行幕式排烃。20世纪60~70年代一些学者认为油气二次运移也具有幕式特点。20世纪80至90年代,含油气盆地中异常压力的研究,认为幕式成藏是某些含油气系统的重要成藏方式^[3-8]。典型的实例是我国学者对莺歌海盆地超压流体系统幕式成藏现象的揭示及其成藏机理的探讨^[9-12]。最近还有学者通过物理模拟手段揭示了幕式成藏的机理和特征^[13]。在研究油气幕式成藏的过程中,最为重要的工作是在油气田中寻找油气幕式成藏的地质证据,如董伟良等^[10-14-15]用事实证明了油气成藏在许多情况下是一个相对快速的聚集过程,并具有明显的周期性特征。

纵观前人对油气幕式成藏的研究,迄今为止所揭示的幕式过程绝大多数应属于成藏期次的范畴。所使用的主要手段是通过对含油气流体特点和性质的显著变化来确定不同的成藏幕次。如董伟良等^[14]和郝芳等^[16]根据流体非均质性等特点将莺歌海盆地天然气成藏分为4个期次,认为流体非均质性特点以及粘土矿物的非均质性变化都与热流体幕式活动相关。其中有许多工作主要依据是流体包裹体研究资料,特别是包裹体均一温度分布特征来解剖的,即根据均一温度的多峰特点来确定油气成藏幕次。前文提到的许多学者的研究工作,大都有流体包裹体测温资料作为幕式成藏的重要依据。如焦养泉等^[15]利用包裹体测温资料以及地质产状,得出的滦平盆地古流体活动有5幕,各自具有不同的温度峰值。事实上,油气在幕式成藏过程中,不同幕次所充注的流体未必会表现出明显的成分变化和温度差异。在相对稳定的构造背景之下,从油源到圈闭的充注过程,如果具有幕式特点的话,不同幕次充注的含油气流体,无论是烃类流体还是与之相伴的盐水流体,其成分和温度应该是基本相似的。但是对于这种更小尺度的幕式成藏过程,虽然有些学者在理论分析时曾经提到^[3-5-17],但至今尚无确切的证据给出。为了揭示这种更具普遍意义的成藏过程,作

者选择准噶尔盆地西北缘地区受断裂控制的油藏为例,对油源断裂附近的储层砂岩进行了细致的显微观测,发现了记录油气幕式充注的方解石含油生长环带,进而对这种生长环带进行了Fe、Mn和Mg等微量元素电子探针原位测试,发现它们是源于二叠系油源区的高盐度流体与浅部白垩系淡水流体多次混合沉淀的结果,从而证明了二叠系油源通过油源断裂以幕式成藏的方式经过十几至数十次充注,形成了浅部侏罗系—白垩系中的油藏。

1 地质概况与样品产状

准噶尔盆地是我国西部重要叠合型含油气盆地之一,累计探明石油地质储量为约为 20×10^8 t,大部分分布在盆地的西北缘(即车拐—克拉玛依—乌尔禾断阶带),部分产于东部隆起区的帐北断褶带及腹部陆梁隆起区。因此,西北缘地区的油气藏是目前中国石油新疆油田分公司的主力油田^[18]。

研究表明,西北缘地区的油气主要来源于二叠系风城组(P_f)和下乌尔禾组(P_{2u}),部分源于二叠系佳木河组(P_j),这是一套以陆相暗色泥岩为主的烃源岩,生烃中心在玛湖凹陷,目前已经演化到高成熟阶段,部分达到过成熟^[19]。勘探工作证实,西北缘地区发育多套生储盖组合,已经在石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系和白垩系都发现了工业油藏^[20]。导致二叠系油气在多个层系中成藏的重要原因是该区发育良好的断裂体系,沿盆地边缘形成规模巨大的断阶带,并伴有垂直断阶带的横向断裂,从而沟通了玛湖凹陷油源区和断阶带的圈闭构造,成为油气运移的主要通道,形成了多套含油气层系(图1)^[18-21]。

正是由于该区油藏受断裂控制十分显著,因而油气的成藏过程更多的表现出幕式成藏特点。为了寻找该区油气幕式成藏的地质记录,作者在钻孔剖面油源断裂带上以及长期活动大断裂的地表露头附近采集了大量样品,进行详细的显微鉴定工作,在部分样品中找到了记录幕式成藏的良好证据,本文以3个断裂油气通道附近的样品为代表进行阐述(表1)。

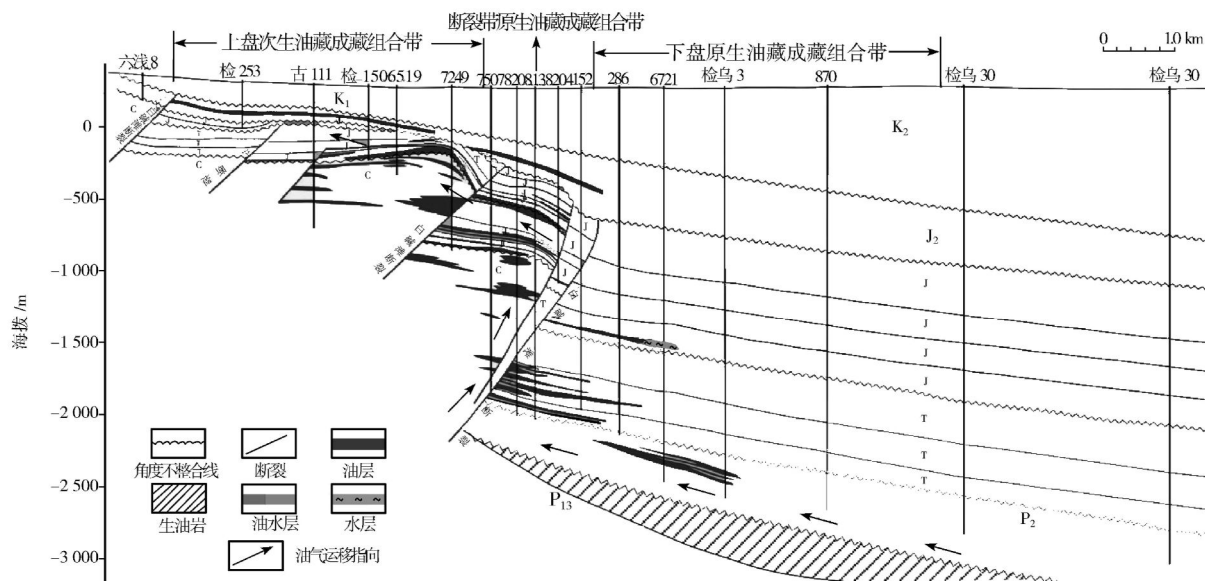
图 1 准噶尔盆地西北缘代表性油藏剖面图^[18]

Fig. 1 Section of typical reservoir in the northwest margin of Junggar basin

表 1 准噶尔盆地西北缘地区含油断裂附近样品情况

Table 1 Samples taken from the hydrocarbon-bearing faults in the northwest margin of Junggar basin

样号	油源断裂	相关油田	样品性质	备注
WB2-3 等	克拉玛依断阶带次级断裂	克拉玛依油田	储层砂岩和断裂破碎钙质泥岩等	钻孔岩心 (表 2)
Bzh-9c Zh-16	南黑油山断裂	克拉玛依油田	含油粉砂岩, 发育多期方解石脉 (J _{3b})	地表露头
Alk-1a hc	黄羊泉-少克申断裂	乌尔禾油田	含油砂岩 (K _{1q})	地表露头

2 矿物学记录

记录油气幕式成藏的主要矿物是碳酸盐类矿物, 局部见少量 SD_2 (玉燧) 矿物, 它们作为储层砂岩胶结物或断裂带中裂隙充填物产出, 其典型特征是发育明显的环带结构 (或条带状构造), 每个环带之间包裹着烃类物质, 构成无机矿物生长环带和烃类浸染环带交替发育的现象 (图 2)。图 2A 给出了油源断裂带内 SD_2 脉中记录的烃类条带, 多达二十余条, 显微傅立叶红外测试表明, 不同烃类条纹的成分是基本一致的, 也就是说, 同一油源通过此断裂带至少运移了二十余次。图 2B、C 和 D 是白垩系吐谷鲁群底部砂岩储层碳酸盐胶结物中的油气充注记录情况, 砂岩碎屑颗粒间充填有环带状方解石, 内含十余个烃类环带。其中图 2B

所示含油环带基本保持原貌, 显示成熟油特征。图 2C 中的含油环带受到一定程度的水洗氧化, 部分烃类显示褐黑色。图 2D 中的碳酸盐胶结物有两期, 早期为含油环带方解石, 呈溶蚀残余产出, 晚期为不含油的方解石, 两者结构不同, 光性有别。

详细观测得知, 裂隙充填物和储层孔隙胶结物中烃类环带非常细, 一般只有几至十几微米, 在更高倍显微镜下观察发现, 这些含油环带实际上是有大量大小不等的烃类油膜及包裹体集合组成, 越往外生长环带越多, 甚至逐渐形成断续的油膜分布于两个方解石环带之间。此外, 含油环带总体上分布也是不连续的, 一般方解石晶体的晶棱部位含油环带间断, 这正与晶体生长习性相吻合: 即晶体总是优先从顶角和晶棱开始生长, 然后向晶面扩展覆盖, 在此扩展覆盖过程中将早期晶体表面吸附的油膜包裹进来, 形成含油环带。

在电子显微镜下, 环带状方解石不同环带之间有两种变化情况: 其一是不同环带表现出深浅不同的二次电子图像 (图 3A), 说明它们的成分存在差异, 后文将具体说明其成分变化规律; 其二是各环带之间虽然看不出明显成分差异, 但结构上仍然表现出环带状特征, 特别是有些环带之间发育细小的显微孔洞 (图 3B), 作者认为正是烃类包裹体发育的部位。

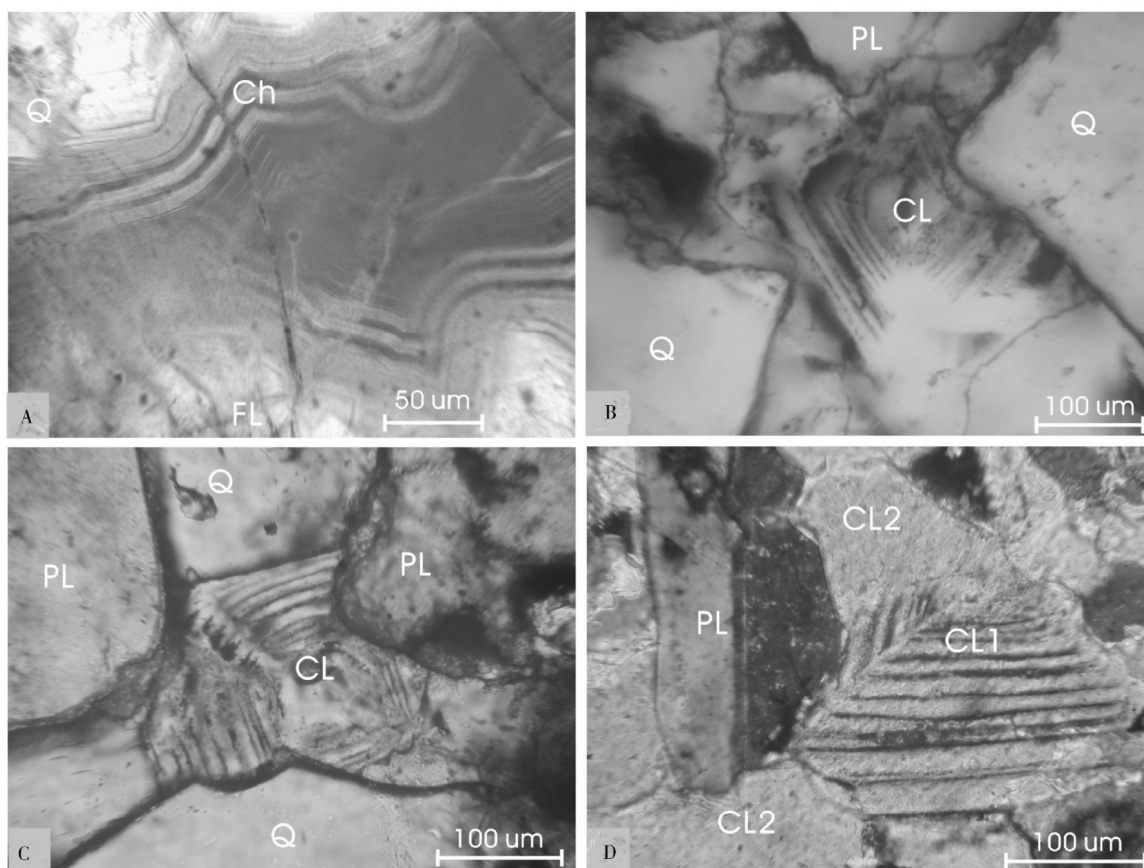


图 2 储层砂岩和地层裂隙充填物中的环带状方解石

Fig. 2 Reservoir sandstone and formation fissures filled with calcite girdle

A 为断裂带上硅化脉 (Ch) 中的含油环带。古 28 井 (WB2-3) 1 381 m; B 为白垩系土谷鲁群砂岩储层中的环带状含油方解石胶结物 (单偏光) (ALK-1a); C 为吐谷鲁群砂岩中的环带状含油方解石, 有的已经氧化为干沥青, 显黑色色调 (单偏光) (ALK-1b); D 为正交偏光下的环带状含油方解石胶结物 (CL1), 呈溶蚀残余被后期不含油的方解石包裹 (CL2) (ALK-1c)

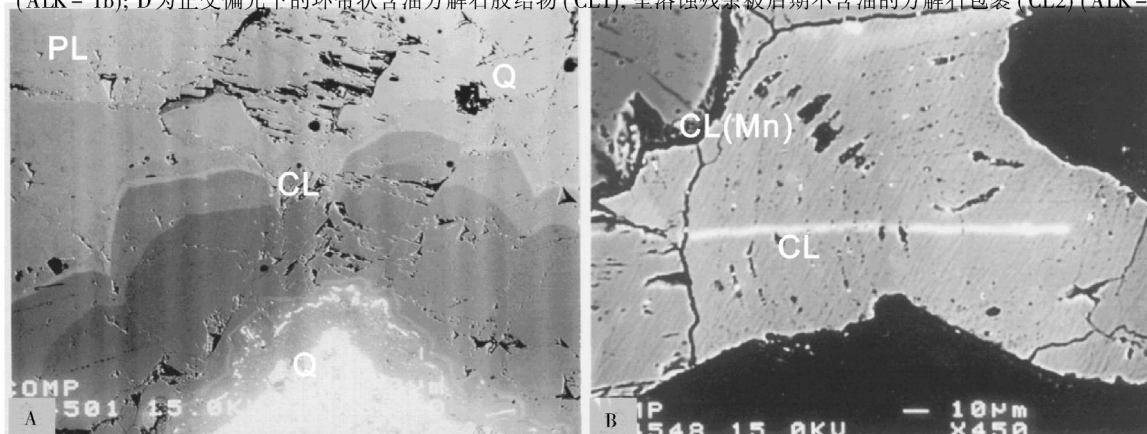


图 3 储层砂岩和地层裂隙充填物中的环带状方解石电子探针图像

Fig. 3 Electron probe images of calcites girdles in formation sandstone and fissure filler

A 为不整合沟南黑油山断裂带样品 (Bzh-9c), 裂隙充填方解石发育条带结构, 后期方解石富含 Mn (CL), 明显亮于内部的贫 Mn 的方解石; B 为环带状含油方解石胶结物的二次电子图像 (ALK-1b), 发育环带状微孔洞。照片中白色横线为电子探针线分析扫描痕迹

3 流体活动的地球化学记录

对于上述矿物环带的成因解释可以有两种: 一是储层物理化学条件 (温度压力等) 变化所致; 二是油源流体周期性注入形成 (即与幕式成藏密切相

关)。为了查证其确切的成因机理, 作者从流体来源角度进行了地球化学示踪分析。由于有机地球化学工作已确定油源来自深部二叠系烃源岩^[19], 因而与之相伴的流体也应来自二叠系地层, 它与浅部侏罗系和白垩系储层中的流体可能存在明显差异, 根据这种差异可以揭示形成环带状方解石的流体

是否与深部流体相关,进而分析环带的形成过程。

3.1 深部二叠系

该区二叠系地层富含火山物质,一方面它本身含有部分火山熔岩及火山碎屑岩,另一方面其物源主要是石炭系火山岩层。其中的地层水经过长期的成岩演化,必然带有一定的火山物源痕迹。此外,可能还有来自石炭系火山岩系的流体的影响。基于这一考虑,作者采集了若干二叠系及部分石炭系样品,对其中碳酸盐矿物胶结物及成岩期后方解石脉的微量元素(Fe Mn Mg等)进行了电子探针定量分析(表 2 表 3)。

从表 2 中数据可以看出,钻孔岩心二叠系和部分石炭系样品的胶结物成分比较复杂,除了方解石外,还有白云石和铁白云石,局部见天青石,说明流体成分复杂,盐度相对较高。从主要微量

元素三端元组分分布图(图 4A)中可以看出,流体以富 Fe 和 Mn 为主,部分富 Mg 形成白云石或铁白云石,个别含有一定量的 Sr(Ba)。而表 3 中侏罗系和白垩系样品中胶结物成分相对简单,主要是方解石。从主要微量元素三端元组分分布图(图 4B)中可以看出,微量元素的变化是非常大的,虽然浅部地层中火山物质含量很少,但仍然有富 Fe 和 Mn 端元存在,可能意味着在浅部流体基础上混入了深部富 Fe 和 Mn 流体。

二叠系和部分石炭系样品胶结物的 FeO 和 MnO 含量明显分为富 FeO 和 MnO(一般大于 1%)和贫 FeO 和 MnO(多小于 0.5%)两组(图 5)。与测试矿物的地质产状进行对比分析表明,富 Fe 和 Mn 者主要为成岩晚期或成岩期形成的网脉状碳酸盐(图 6)。这表明随着成岩演化,流体中 Fe 和 Mn 等微量元素含量越来越高。

表 2 准噶尔盆地西北缘钻孔岩石样品碳酸盐矿物化学成分电子探针分析结果一览表
Table 2 Results of electron probe analysis of chemical components of the carbonate minerals sampled from outcrops in source faults in the northwest margin of Junggar basin

井号	样号	层位	点号	MnO	MgO	CaO	FeO	SiO	BaO	总量	矿物
克 82	W 1- 2- 3	P _{2w}	1	1.87	0.08	54.20	1.36			57.51	方解石
			2	2.42	0.12	53.50	1.22		0.03	57.34	方解石
	W 1- 2- 5	P _{1j}	1	0.73	0.06	57.69	0.95	0.04		59.58	方解石
			2	0.85	0.03	48.95	1.10	0.12	0.03	51.65	方解石
			3	1.11	8.20	1.41	42.30		0.06	53.74	菱铁矿
574	W - 1- 11- 1	P _{1j}	1	0.15	0.29	54.75	0.33	0.04		55.69	方解石
			2	0.14		55.08		0.09		55.32	方解石
			3	1.53	0.11	53.43	1.13	0.18	0.15	56.63	方解石
风 9	W 2- 11- 2	P _{2w}	1	0.36	20.67	30.71	2.24			54.00	铁白云石
			2	0.65	20.16	29.36	3.14	0.33		53.65	铁白云石
			3	0.11	19.35	29.54	4.44	0.22		53.68	铁白云石
			4	0.21	18.95	29.48	4.07	0.37	0.03	53.16	铁白云石
	W 2- 11- 4	P _{1j}	1	0.35	17.32	28.87	3.94	0.14		50.81	铁白云石
2			0.10	18.03	29.65	2.98	1.10		50.98	铁白云石	
风 15	W 2- 10- 4	P _{1j}	1	0.27	0.11	53.93	0.18	0.15	0.04	54.78	方解石
			2	1.67	0.23	53.91	0.21	0.09		56.17	方解石
			3	0.98	0.07	54.12	0.11			55.28	方解石
			4	0.53	0.08	54.61	0.10	0.10	0.03	55.45	方解石
	W 2- 10- 5	P _{1j}	1	0.32	18.99	29.28	9.48	0.07		57.32	铁白云石
			2	0.34	19.73	31.36	3.75	0.18	0.07	55.68	铁白云石
			3	0.35	23.30	31.01	1.07	0.07		56.00	白云石
			4	0.21	15.63	28.86	11.78		0.04	56.54	铁白云石
			5	0.50	22.07	32.72	0.67	0.21	0.10	56.58	白云石
			6	0.13	14.38	2838	1347	0.04		56.93	铁白云石
古 95	W 2- 1b	C	1	0.71	0.07	55.36		0.14	0.10	56.59	方解石
			2	0.38		55.94	0.21	0.06		56.63	方解石
			3	1.74	0.02	54.20	0.31	0.08		56.43	方解石
	WD2- 3	C	1	0.02		0.19		0.17	65.44	100.58	天青石

注:空白处表示元素含量低于检测限

表 3 准噶尔盆地西北缘油源断裂地表露头样品碳酸盐矿物化学成分电子探针分析结果一览表
Table 3 Results of electron probe analysis of chemical components of the carbonate minerals sampled from outcrops in source faults in the northwest margin of Junggar basin

地点	样号	层位	点号	MnO	MgO	CaO	FeO	SiO	BaO	总量	矿物
艾里克湖东侧	Alk-1a	K ₁ lg	1	0.07	0.09	55.33	0.09	0.04	0.05	55.70	方解石
			2	0.72	0.22	56.45			0.06	57.64	方解石
			3	0.20	0.25	58.59	0.13	0.01	0.06	59.30	方解石
			4	0.40	0.12	54.73	0.01	0.12		55.50	方解石
			5			56.42				56.48	方解石
			6	0.07		54.23	0.11	0.01	0.08	54.51	方解石
			7	0.35	0.17	57.61		0.12		58.38	方解石
			8	0.31	0.20	55.20	0.02	0.08	0.03	56.04	方解石
	Alk-1b	K ₁ lg	1		0.07	55.80	0.03		0.04	55.94	方解石
			2	0.24	0.30	56.35		0.03		56.98	方解石
			3	0.16	0.03	54.73	0.01	0.16	0.02	55.16	方解石
			4		0.05	56.17	0.03	0.01	0.02	56.45	方解石
			5	0.77	0.15	54.69	0.02		0.11	55.87	方解石
			6	0.01	0.02	56.58	0.07		0.08	56.87	方解石
			7	0.68	0.02	59.47			0.02	60.26	方解石
不整合沟	Bzh-9c	J ₁ b	1	1.05	0.14	53.98	2.82	0.03		58.10	方解石
			2	0.53	0.15	56.67			0.05	57.41	方解石
			3	1.15	0.12	54.01	2.19	0.08	0.10	57.72	方解石
			4	0.45	0.12	54.95			0.11	55.65	方解石
			5		0.16	54.38		0.04	0.07	54.80	方解石
			6		0.70	55.73		0.06		56.62	方解石
			7	14.55	1.15	0.62	59.43	0.14	0.06	76.19	菱铁矿
			8	0.01	0.63	55.38	0.15	0.05	0.01	56.36	方解石
			9	0.06	0.92	55.03	0.23	0.06	0.07	56.50	方解石
	Bzh-16	J ₁ b	1	0.04	0.07	55.03	0.03		0.08	55.34	方解石
			2	5.71	0.14	51.24		0.06	0.06	57.28	方解石
			4	0.09	0.22	56.67	0.43	0.18		57.63	方解石
			5	8.36	0.13	50.00	0.05			58.59	方解石
			6	0.05	0.32	54.82	0.58	0.05	0.04	56.01	方解石

注: 空白处表示元素含量低于检测限

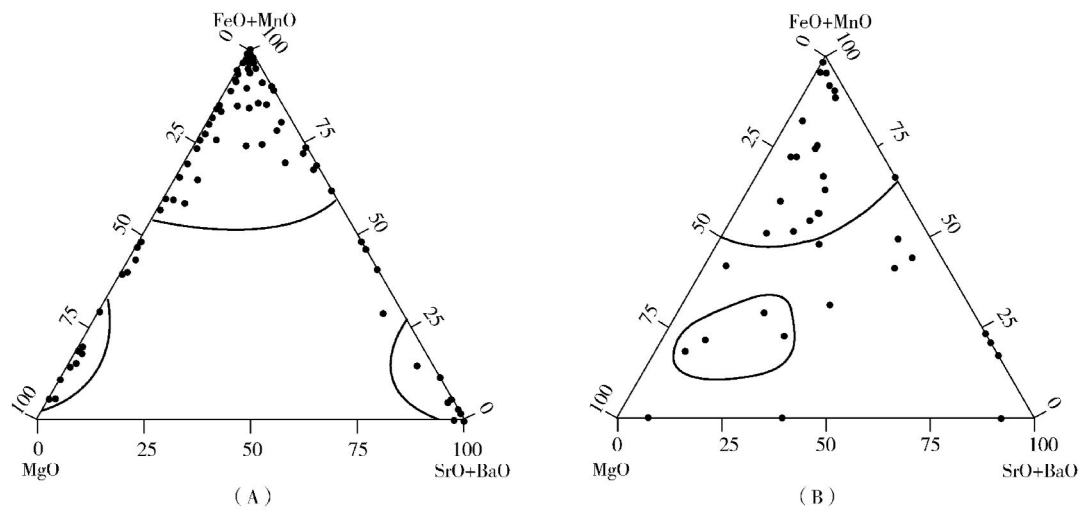


图 4 深部二叠系和部分石炭系样品 (A) 和浅部侏罗系及白垩系样品中胶结物主要微量元素三端元组分分布图
Fig. 4 Distribution of three endmembers components of main trace elements in cement samples taken from deep of the Permian and the Carboniferous and the upper part of the Jurassic and the Cretaceous

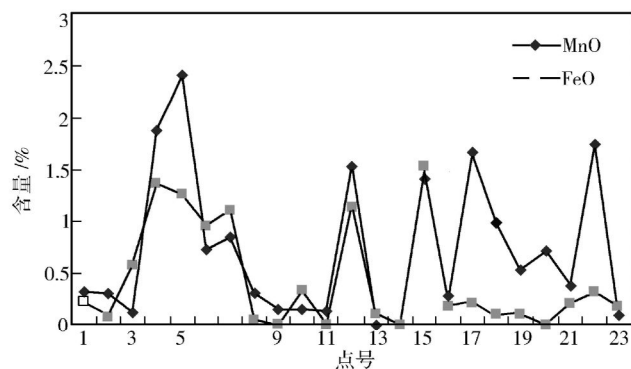


图 5 二叠系和部分石炭系样品胶结物与碳酸盐脉中 FeO、MnO 含量分布图

Fig. 5 Content distribution of FeO and MnO in cement samples taken from the Permian and the Carboniferous in carbonate vein

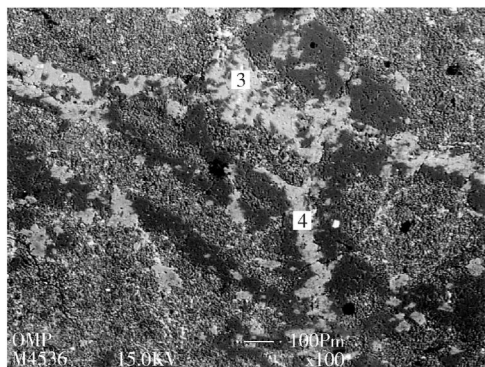


图 6 古 95 井 (W 2-1b) 电子探针扫描成分相及电子探针测点位置 (3、4)

Fig. 6 Electron probe scanning phase and test points in Well Gu95 (W 2-1b)

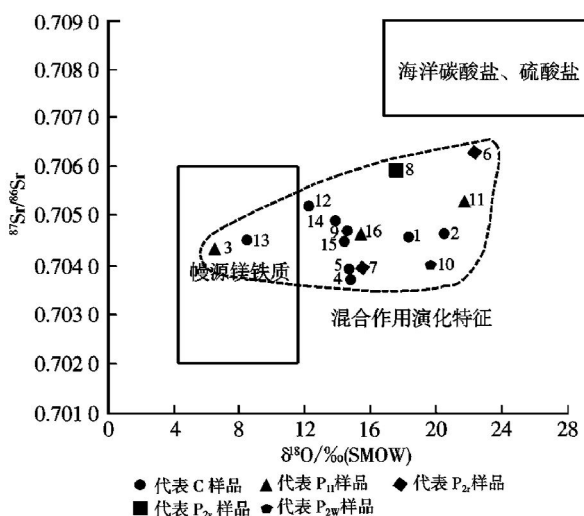


图 7 深部二叠系烃源岩等地层中方解石的锶和氧同位素分布特征

Fig. 7 Distribution of strontium and oxygen isotopes in calcites in hydrocarbon source rocks in the deep of the Permian

为了进一步确认地层流体与围岩的相互作用,作者挑选了一些方解石脉单矿物进行锶同位素和氧同位素分析。如图 7 所示,方解石锶和氧同位素变化很大,分布比较分散,多数 $87_{\text{Sr}}/86_{\text{Sr}}$ 比值为 $0.7040 \sim 0.7050$ 表现为深源流体的特征,实际上是地层流体与火山物质相互作用所致。随着地层中大气水来源的水体与含火山物质沉积岩反应程度的加深, $87_{\text{Sr}}/86_{\text{Sr}}$ 比值越接近幔源区。而成岩早期的方解石则接近正常沉积碳酸盐岩区。氧同位素变化范围从 $5\text{‰} \sim 23\text{‰}$, 也说明了流体混合成因特征。这进一步证明了地层流体的确受到了沉积物中火山物质的影响,正是这种水岩相互作用,导致地层水中不断溶解 Fe、Mn、Mg 等深源组分,使二叠系等烃源岩地层中的流体带有一定的深源物质混染的烙印,这为鉴别油源流体活动,提供了良好参照。

3.2 幕式成藏

在确定了深部油源流体典型特征基础上,作者利用电子探针线扫描测试技术,对发育含油环带的方解石进行了 FeO、MnO 和 MgO 等组分线分析,即在含环带状方解石的样品上确定一个显微剖面 (长度一般约数百微米,图 3A),然后利用电子探针沿着剖面进行连续测试分析 (图 8)。

从图 8 中可以清楚地看出,在横穿方解石环带的显微剖面上,FeO、MnO 和 MgO 等 3 种组分都在发生周期性变化,且幅度很大,最低含量与最高含量相差数倍,说明流体成分变化很大。而这种突发性的剧变,不可能是流体自身缓慢演化的结果,只能是外来流体的突然加入。通过显微对比分析,发现 FeO 和 MnO 含量高的地方正是含油环带发育的地方,即图 8 中十余个 Fe 和 Mn 同时升高的峰值对应着图 3A 的十余个含油环带。这就表明,方解石中 Fe、Mn 等元素的升高与油的充注事件密切相关。结合前文对深部二叠系油源流体富 Fe、Mn 特点的分析,恰与此处高 Fe-Mn 方解石环带与含油环带的密切关系相一致,从而证明了方解石环带的形成与油气的周期性充注紧密相连。也就是说,方解石发育的环带状结构正是油气幕式成藏的真实记录。如果仔细对比分析图 8 中 Fe 和 Mn 的变化规律,可以将十余个 Fe 和 Mn 升高的峰值分为两组,图 8 中 500~1100 测点为第一组高值区,然后经过 500~400 测点的低值

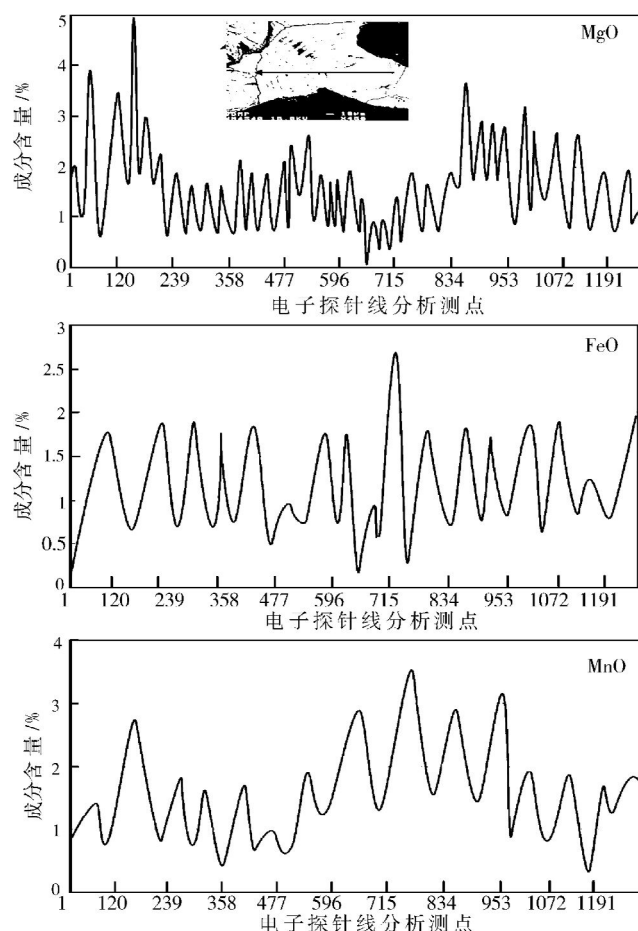


图8 艾里克湖样品(ALK-1a)电子探针线分析曲线

Fig. 8 Graph of electron probe analysis on samples from Ailike Lake

区,再到400~100测点的第二组高值区。也就是说,这十几个基本成藏幕是由两个更大一级的成藏幕(或成藏期)完成的,中间曾有一段成藏间歇期。

事实上,在作者鉴定的该区数百件储层薄片,方解石的环带结构很少见到。而发育这种环带结构的样品,都是含油的砂岩和油源断裂上的裂隙充填物。而且,凡是发育含油环带方解石的样品,往往见于油源断裂附近。这在某种意义上表明,油气的幕式成藏往往与油气沿断裂通道的运聚相联系^[1, 22~24]。莺歌海盆地的幕式成藏过程也主要与断裂构造密切相关^[12, 16],国外学者也大都认为受断裂控制的油气充注更易于发生幕式成藏^[3~5, 8]。

4 结束语

在准噶尔盆地西北缘油源断裂附近岩层中发现的环带状方解石的确是油气幕式成藏的客观记

录。这一现象的揭示表明油气在成藏过程中,有时伴随着显著的水岩作用过程,随同烃类一起运移的盐水流体在运移过程中或者到达浅部储层圈闭后,由于环境条件的改变,特别是与浅部流体的混合,形成与油气运聚密切相关的无机矿物的沉淀(如碳酸盐矿物等),从而记录了油气运聚的过程。因此,从矿物学和无机地球化学方面揭示油气的运聚过程,将是十分有意义的工作。还须指出的是,这种记录能为目前常用的包裹体技术提供有益的补充,有时能够刻画油气成藏的详细过程。而包裹体测试能够提供的数据往往只能确定油气充注期次,对于确定油气成藏频繁发生的幕式过程有时勉为其难。所以,开展储层胶结物的矿物学和无机地球化学研究工作,将是今后研究油气成藏过程的重要方面。

参考文献

- 1 Cao J, Yao S P, Hu W X, et al. Detection of water in petroleum inclusions and its implication [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(12): 1501-1507
- 2 郝芳, 邹华耀, 王敏芳, 等. 油气成藏机理研究进展和前沿研究领域 [J]. 地质科技情报, 2002, 21(4): 7-14
- 3 Hao Fang, Zou Huayao, Wang Minfang, et al. Research advances and frontier areas of mechanisms of petroleum accumulation [J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21(4): 7-14
- 4 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressure fluid compartments [J]. AAPG Bull, 1990, 74(1): 1-12
- 5 Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sedimentary basins [J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 4(2): 161-180
- 6 Sibson R H. Crustal stress, faulting and fluid and fluid flow [A]. In: Pamell J, ed. Geofluids: Origin, migration and evolution of fluid in sedimentary basins [C]. London Geological Society Special Publication, 1994, 78: 69-84
- 7 Dewers T, Ortoleva P. Nonlinear dynamical aspects of deep basin hydrology: fluid compartment formation and episodic fluid release [J]. American Journal of Science, 1994, 294(4): 713-755
- 8 Roberts S J, Nunn J A. Episodic fluid expulsion from geopressured sediments [J]. Marine and Petroleum Geology, 1995, 12(2): 195-204
- 9 Losh S, Eglinton E, Schoell M, et al. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault: South Eugene island block 330 field, offshore Louisiana [J]. AAPG Bull, 1999, 83(2): 244-276
- 10 Xie X, Li S, Dong W, et al. Evidence for episodic expulsion of hot fluids along faults near diapiric structures of the Yinggehai bar-

- sin, South China Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18: 715–728
- 10 Hao F, Li S, Gong Z, et al. Thermal regime, interreservoir compositional heterogeneities, and reservoir-filling history of the Dongfang gas field, Yinggehai basin, South China Sea: evidence for episodic fluid injections in overpressured basins [J]. AAPG Bull, 2000, 84 (5): 607–626
 - 11 龚再升, 陈红汉, 孙永传. 莺歌海盆地流体压力自振荡与天然气幕式成藏的耦合特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 1999, 29 (1): 68–74
Gong Zaisheng, Chen Honghan, Sun Yongchuan. Selfactivity of fluid pressure and its interaction with episodic gas accumulation in Yinggehai basin [J]. Science in China (Series D), 1999, 29 (1): 68–74
 - 12 殷秀兰, 李思田, 杨计海, 等. 莺歌海盆地超压流体活动与断裂系统的相互关系 [J]. 地球学报, 2002, 23(2): 141–146
Yin Xiulan, Li Sitian, Yang Jihai, et al. Correlations between overpressure fluid activity and fault system in Yinggehai basin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(2): 141–146
 - 13 Zeng J, Jin Z. Experimental investigation of episodic oil migration along fault system [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78–79: 493–498
 - 14 董伟良, 黄保家. 东方 1–1 气田天然气组成的不均一性与幕式充注 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(2): 15–18
Dong Weiliang, Huang Baojia. Heterogeneity of natural gases and the episodic charging process: a case study for Dongfang 1–1 gas field [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26 (2): 15–18
 - 15 焦养泉, 武法东, 李思田, 等. 滦平盆地成岩作用过程及古热流体幕式运移事件分析 [J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 615–622
Jiao Yangquan, Wu Fadong, Li Sitian, et al. Diagenesis and thermal fluid episode migration events in Luanping basin, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 615–622
 - 16 郝芳, 李思田, 龚再升, 等. 莺歌海盆地底辟发育机理与流体幕式充注 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 31(6): 471–476
Hao Fang, Li Sitian, Gong Zaisheng, et al. Mechanism of diapirism and episodic fluid injections in the Yinggehai basin [J]. Science in China (Series D), 2001, 31(6): 471–476
 - 17 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移 [J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 77–85
Hua Baoqin. Stress field, seismic pumping and oil-gas migration [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(2): 77–85
 - 18 张义杰. 新疆准噶尔盆地断裂控油气规律研究 [D]. 北京: 石油大学工学博士学位论文, 2002
Zhang Yijie. Petroleum migration and formation in fault-controlled Junggar basin [J]. Beijing: Ph.D. Dissertation of China University of Petroleum, 2002
 - 19 Cao J, Yao S P, Jin Z J, et al. Petroleum migration and mixing in the northwestern Junggar basin (NW China): constraints from oil-bearing fluid inclusion analyses [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37(7): 827–846
 - 20 Cao J, Zhang Y J, Hu W X, et al. The Permian hybrid petroleum system in the northwest margin of the Junggar basin, NW China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22: 331–349
 - 21 雷振宇, 鲁兵, 尉远江, 等. 准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成与分布 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 86–91
Lei Zhenyu, Lu Bing, Wei Yuanjiang, et al. Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern edge of Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 86–91
 - 22 陈振岩, 吴文柱. 辽河盆地东部凹陷幕式成藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 32–35
Chen Zhenyan, Wu Wenzhu. Episodic reservoiring features of Eastern Sag in Liaohe basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24 (1): 32–35
 - 23 曹剑, 胡文瑛, 张义杰, 等. 准噶尔盆地红山嘴—车排子断裂带含油气流体活动特点地球化学研究 [J]. 地质论评, 2005, 51(5): 591–599
Cao Jian, Hu Wenxuan, Zhang Yijie, et al. Geochemical analysis on petroleum fluid activity in the Hongshanzui-Chepaizi fault zone, the Junggar basin [J]. Geological Review, 2005, 51(5): 591–599
 - 24 黄保家, 李绪深, 易平, 等. 莺歌海盆地乐东气田天然气地化特征和成藏史 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 524–529
Huang Baojia, Li Xushen, Yi Ping, et al. Geochemical behaviors and reservoiring history of natural gas in Ledong gas field in Yinggehai basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4): 524–529

(编辑 高岩)

中国石油化工集团公司
在 2005 年全国 500 强企业排行榜中名列第一