

蒙脱石氯化钾饱和后的长石化结构

——热液循环体系海水潜人区的标志

林宗南 罗瑞兰

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

蒙脱石氯化钾饱和后, 经压实或者加热, 会出现长石化, 钠蒙脱石向类钾长石转化、钙蒙脱石向斜长石转化。在沉积岩 $10\mu\text{m}$ 级粘土中, 其类钾长石是在海沟-海槽和地堑沉积体系中由钠蒙脱石在高压下成岩转化而成。类钾长石可以作为热液循环体系中海水潜人的地球动力特征标志。

本文发现了类钾长石的存在, 在定向的 X 光衍射 XRD 图中, 3.71\AA 、 4.23\AA 和 3.3\AA 特征峰的比值为 $1:1:3.8$, 这种结构可能是按一定比例的, 由类微斜钾长石与低石英组成的复合物, 这种物质可能是文象花岗岩的先质。

关键词 蒙脱石长石化 类钾长石 文象花岗岩 热液循环

第一作者简介 林宗南 男 51岁 工程师 地球化学

0 前 言

不少地质学家和粘土专家对蒙皂石族粘土的饱和钾作用作了研究, 海洋地质学家期望海水中的蒙脱石由于钾的供给, 会吸附和富集钾, 从而导致蒙脱石向伊利石转化。但是海洋沉积物中往往不是富集钾, 而是镁的富集(Powors, 1954, 1957; Wearer, 1957)。当粘土入海时, 伊利石和高岭石由于海水的凝析作用沉积于近海, 蒙脱石不易凝析可以输送到远海沉积(Van Andel 等 1954, Wearer, 1957)。一般地说粘土是半透膜结构(Hanshaw and Coplen, 1973), 在没有动力的作用下, 仅靠静止浸泡是不会发生离子交换作用的。Derine 等(1973)发现在海洋沉积中粘土与孔隙水间没有明显的离子交换现象。

从海水与洋壳间热液循环体系理论得出推论, 林宗南(1991)认为: 在海水下潜剖面(从海底表面到数公里深度), 如在海槽、海沟沉积区域, 由于深部地质运动引起强烈的“抽滤”动力效应, 沉积物中粘土则会发生强烈的离子交换, 从而使蒙皂石饱和钾作用发生。

Mamy 等(1975)发现饱和钾蒙脱石经 80°C 处理后, XRD 结果发生了很大变化, 原来 001 衍射峰 15\AA 变为 10\AA , 类似云母的结构, 这些进入蒙脱石结构的钾成为不可交换的离子。

罗瑞兰等(1985)用不同蒙脱石经饱和钾作用, 再经过加压($200\sim 300\text{MPa}$)、升温($300\sim 680^{\circ}\text{C}$)后, 研究结构(XRD)上的变化, 评价了蒙脱石向伊利石转化和蒙脱石-伊利石混层转化与油气压实运移的关系, 本文主要对比和探讨饱和钾蒙脱石长石化的 XRD 结构。由于没有发生溶解与结晶聚集, 检出的长石化结构只能是隐伏的。

1 蒙脱石样品与实验方法

蒙脱石样品一个是产自浙江临安平山的钠蒙脱石(Na-Sm),一个是江苏溧水甲山的钙蒙脱石(Ca-Sm)。另外4个样品是苏北下第三系泥岩的粘土样。所有的实验和原始资料均来自罗瑞兰(1983)。

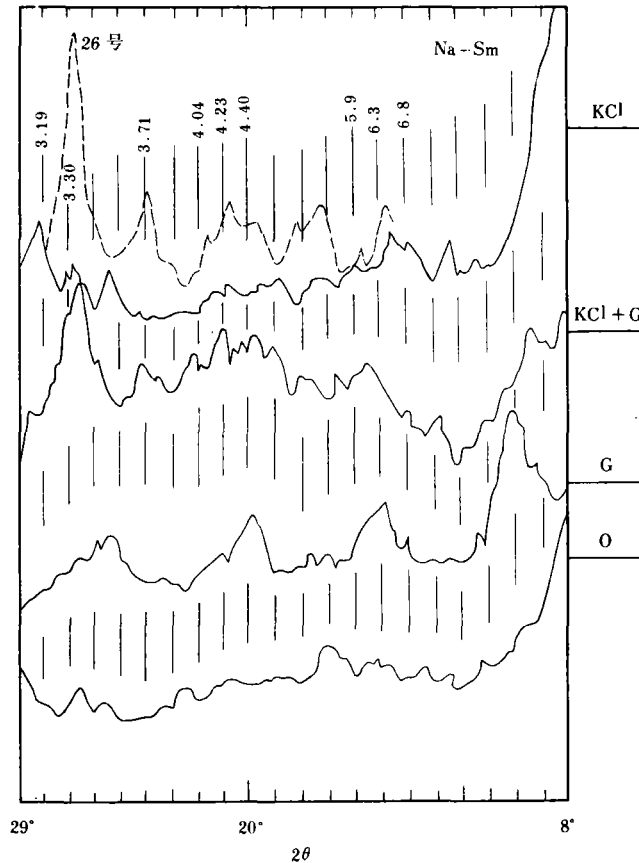


图 1a Na-Sm 和 Na-Sm (KCl 饱和)XRD 图

其中“O”(非定向)和“G”(定向,甘油)为 Na-Sm 图,“KCl”(非定向)和“KCl+G”(定向,甘油)为 Na-Sm (KCl 饱和)图,26号(见表6)苏北样

两个蒙脱石的化学组成见表 1。

表 1 粘土矿物化学组成(能谱分析)

产地	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ +FeO%	MgO%	CaO%	K ₂ O%	Na ₂ O%
浙江临安	65.5	25.1	1.9	3.8	1.3	0.87	1.8*
江苏溧水	62.7	28.5	1.4	4.2	2.3	0.64	

*据浙江省地质局实验室化学分析资料

两个样品的 X 光衍射 XRD 图(定向加甘油饱和和处理)显示最典型的蒙皂石结构(图 1a, b),但 Ca-Sm,经定向和甘油饱和处理的 XRD 图上(图 1b)比 Na-Sm 有明显差异的峰,如 4.04 Å 和 3.19 Å 反映斜长石的结构。又如 4.4 Å Ca-Sm 具有贝得石类似的结构(表 2)。贝得石具有比蒙脱石更高的氧化铝和二氧化硅比,前者为 0.61,后者为 0.39(任磊夫,1982),这里 Na-Sm 和 Ca-Sm 分别为 0.38 和 0.45。贝得石具有比蒙脱石更强的吸附钾离子能力,这里 Ca-Sm 比 Na-Sm 吸附钾能力也高得多(表 3)。因此,钙蒙脱石样品某种程度代表了贝得石的变化特征,而钠蒙脱石则是比较典型的蒙脱石。

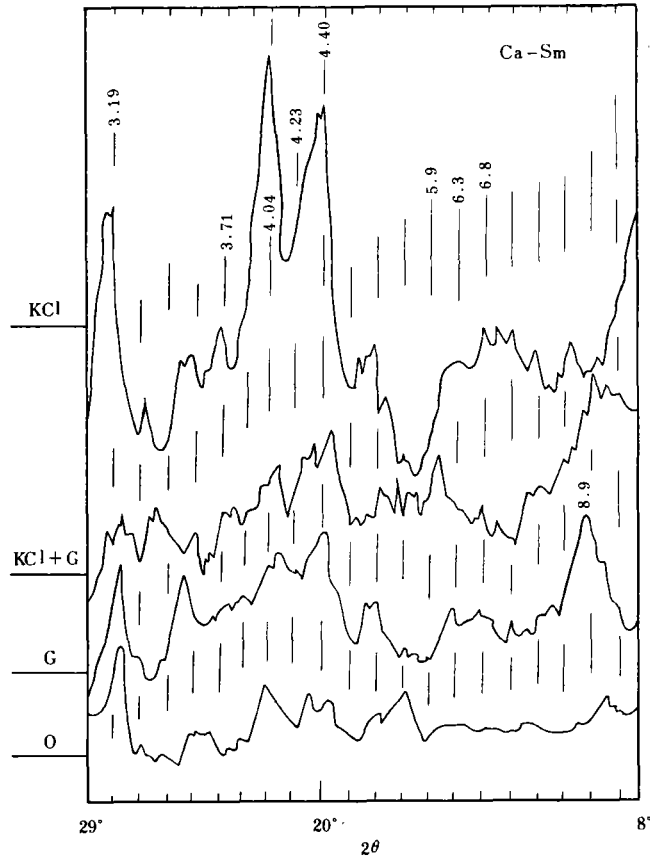


图 1b Ca-Sm 和 Ca-Sm(KCl 饱和)XRD 图
其中“O”、“G”、“KCl”和“KCl+G”见图 1 说明

表 2 甘油饱和钙贝得石部分 XRD 峰与强度值

d 值(Å)	17.6	4.42	3.95	3.54	3.17
I	10	10	10	10	2

据 Brindley(1980),Weir(1962,1960)

实验方法(罗瑞兰,1983):将粘土样与 1N 浓度的 KCl 溶液按体积比 1:5,室温下混和

进行4小时的饱和作用,然后在80℃驱去水份,对比饱和钾前后、低温加压(200~300MPa)和升温加热后XRD结构的变化(卢书鐸等,1985)。

表3 Na-Sm和Ca-Sm,KCl处理前后K₂O%变化(EDAX分析)

样 品	K ₂ O%	
	前	后
Na-Sm	0.87	5.7
Ca-Sm	0.67	8.9

2 实验结果与讨论

本文所讨论长石化虽然与常见的各种长石不同,但XRD上应当是可比较的,表4列出典型长石主要XRD的峰与强度。Smith(1974)认为各种过渡的钾长石的XRD特征均在低微长石与低透长石(正长石)之间;高透长石与低透长石特征类似;过渡的钾钠长石则在钾长石与低钠长石或高钠长石之间。根据Brown(1980)介绍,长石定性XRD鉴定从长石在6.4~6.5Å附近有弱的衍射峰作出判断。钾长石在4.2Å,钠长石和钙长石在4.03Å、4.04Å处有强峰;钾长石在3.25Å和3.3Å有强峰,钠长石和钙长石则在3.20、3.19、3.18Å处有强峰;斜长石一般在3.20Å附近成双峰。由于石英在4.26Å和3.34Å都有衍射峰,因此区分钾长石与石英是很重要的。

2.1 低温处理(80~120℃)、常压和高压饱和钾蒙脱石结构的变化

两个蒙脱石和4个苏北生油岩粘土进行了氯化钾饱和处理,处理后的XRD图分别见于图1-a,b,两个主要蒙脱石经307MPa压实处理后的XRD图见于图3a(3号4号)。

Na-Sm经KCl饱和后就显露了钾长石化,出现原来没有的钾长石结构,如有6.3Å、6.8Å长石定性峰和突出的3.3Å、3.17Å及4.23Å钾长石特征峰(图1a)。Na-Sm加压后,几乎完全向钾长石结构转化。钙蒙脱石虽然最易钾化,也出现了些微的长石化,但不是钾长石化而是斜长石化,而且依然保留了突出的蒙皂石性质,如定向甘油饱和后的8.9Å(002)和17Å(图1b)。

2.2 加热(300~680℃)温度对饱和KCl蒙脱石长石化的影响

蒙脱石在450℃加热后一般都失去了蒙皂石的特性(Brindley等,1980)。

罗瑞兰等(1985)展示了Na-Sm(KCl)从正常温度(80℃)到680℃加热后XRD图谱。尽管样品均是经KCl饱和和预处理,从300~460℃加热后,在3.71Å处并没有显示任何增长,只有在575℃时才大大地增强,出现接近压实后钾长石化结果。当温度高达680℃时,这种钾长石化又复而降低,在3.3Å峰处明显加厚加宽,表明伊利石化和蒙脱石-伊利石混层化大大增强。在这温度系列的XRD图中,始终都多少有蒙脱石的001峰和4.4Å贝得石特征峰,表明Na-Sm样品实际上是混杂有一部分钙蒙脱石或贝得石的成份。图2a和图2b是Na-Sm和Ca-Sm一些特征峰在不同温度加热后出现的变化。很明显Na-Sm保持钾长石化(3.71Å、4.23Å)和伊利石化(3.3Å)特征,Ca-Sm则保持斜长石化(4.04Å、3.20Å)和钾化贝得石特征(4.4Å),和伊利石化特征(3.3Å)。

表 4 长石的 XRD 特征峰 d(Å)和强度(I)

长石类型	特征峰 d(Å)								
	6.5	4.21	4.03	3.83	3.78	3.71	3.3	3.25	3.20
低微斜钾长石	5	51	/	30	/	30	48	100	/
低透钾长石	7	61	/	/	75	/	100	(3.23) 82	/
低钠长石	9	/	61	/	26	/	/	/	100
高钠长石	16	/	84	/	/	/	/	/	88
钙长石	5	/	52	/	29	/	/	53	100

据 Brown 等,1980

表 5 列出了 Na-Sm(饱和 KCl)不同温度加热后 $R_2(3.3 \text{ \AA}/3.71 \text{ \AA})$ 结构参数的变化。

表 5 Na-Sm(KCl)加热后在 XRD(甘油、定向)的 R_2 比(3.3 Å/3.71 Å)结构参数变化

原始(KCl)	307MPa	300°C	350°C	500°C	575°C	600°C	680°C
3.8	3.4	3.8	7.7	5.0	4.5	5.5	4.0

对比表 6 中 R_2 的数据,温度在 300°C 以下和压实后的 R_2 ,比值在 3.4~3.8(平均 3.6),表明是钾长石化结构参数。在 350~500°C, R_2 为 7.7 和 5.0,表明 3.3 Å 增加。显然归于 Na-Sm 中钠蒙脱石主要部分伊利石化。550~680°C, R_2 又明显降低,但实际上这种降低仅反映在峰高(本文以峰高计量),而 3.3 Å 的半峰宽明显加大,归于 Na-Sm 中的钙蒙脱石向蒙脱石-伊利石混层化增强的结果(钠蒙脱石钾长石化保持常数 R_2 为 3.6 上下)。

表 6 Na-Sm、Ca-Sm 和苏北下第三系生油岩粘土 KCl 饱和实验对比(XRD 甘油、定向)*

参数	样 名					
	Na-Sm	Ca-Sm	26 号	27 号	29 号	24 号
Sm/I (1)	5.0	5.4	2.5	1.5	1.4	0.3
S/I (2)	2.1	1.5	0.2	0.04	0.23	0.0
$R_1(1)$	2.0	0.8	/	/	/	/
$R_1(2)$	4.0	1.3	/	/	/	/
$R_2(1)$	2.2	2.2	∞	∞	∞	∞
$R_2(2)$	3.8	1.7	3.1	3.5	3.2	2.1

* Sm/I (1)或 Sm/I (2),为 KCl 处理“前”或“后”蒙脱石/伊利石比; $Sm/I = 0.25P_{17\text{ \AA}}/P_{10\text{ \AA}}$, $R_1(1)$ 或 $R_1(2)$ 上述“前”或“后” $P_{4.23\text{ \AA}}/P_{4.04\text{ \AA}}$ 比, $R_2(1)$ 或 $R_2(2)$,“前”或“后” $P_{3.3\text{ \AA}}/P_{3.71\text{ \AA}}$ 比;当 $P_{3.71} = 0$ $R_2 = \infty$ 。

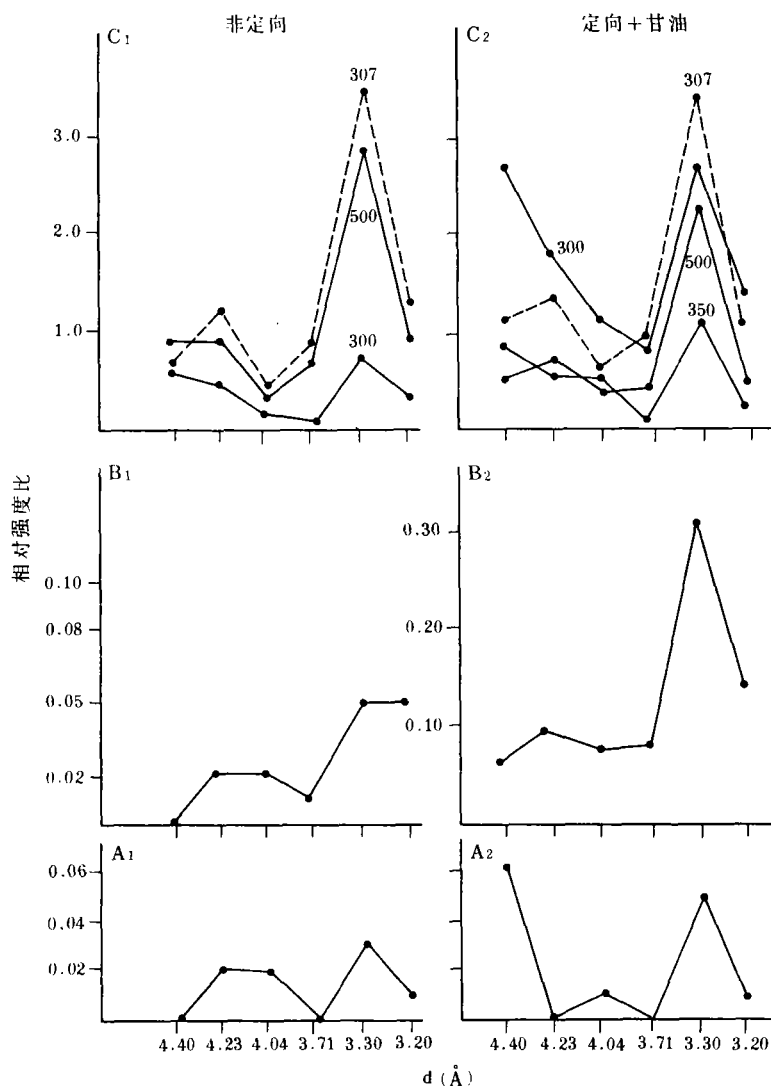


图 2a Na-Sm(KCl)不同温度加热后典型结构特征的变化图

强度以[001]为参比,正常温度(80~120℃)以 15Å 或 17Å(甘油)峰,300~500℃取 12Å 峰+15Å 或+17Å 峰(甘油),A₁ 和 A₂ 为正常温度原样,B₁ 和 B₂ 为 KCl 饱和,在 C₁ 和 C₂ 中,“307”为“MPa”外,其他为“C”

2.3 苏北下第三系湖相粘土 KCl 饱和后特征

在表 6 中,对比苏北生油岩粘土 KCl 饱和后 XRD 特征和结构参数。尽管 24 号原始样中伊利石和蒙伊混层占主要成份,实际上经 KCl 处理后,所有的样品均都出现了原来没有的钾长石结构,如 26 号(图 1a)和 27 号,R₂ 参数,3.1 和 3.5 与 Na-Sm(KCl)相当。这些实验表明了湖相生油岩粘土大多以钠蒙脱石为主,而且沉积过程中缺少离子交换的动力条件,反

映了大多数陆内湖相构造的地球动力学环境特征,说明了钠蒙脱石是一种耐温性差的粘土,在地温 80℃左右就会完全向伊利石转化(林宗南,1991),同样也是最难进行离子交换的蒙皂石,但在动力作用下一旦钾化,就会出现钾长石的结构。钙蒙脱石最易离子交换(包括贝得石),但能够耐高温,在地温 150℃下才会消失(Veld,1985;林宗南,1991)。

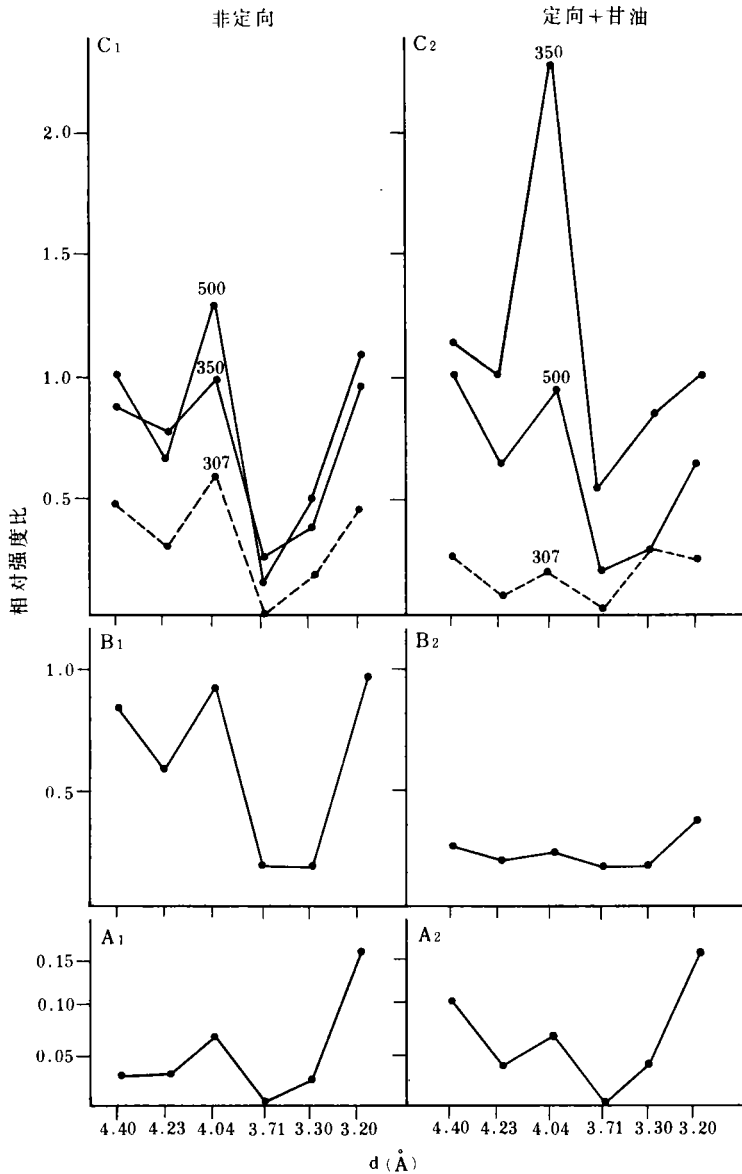


图 2b Ca-Sm(KCl)不同温度加热后典型结构特征的变化图
(其它说明类似图 2a)

罗瑞兰、卢书鐸等(1985)对 Na-Sm、Ca-Sm 以及苏北下第三系生油粘土的 KCl 饱和作用, 加压、加热实验作了大量的研究, 从这些实验前后的扫描电镜(SEM)形态来看, 钠蒙脱石钾长石化后, 失去了原来片状疏松结构, 形成块结构, 460℃和 600℃加热的块状为 30μm 左右, 未加热的则为 8μm 左右。这种差别对沉积剖面中类似结构的来源, 到底是异地、火山或热液喷发, 还是原地、由于构造环境的动力机制、钠蒙脱石的钾化成岩转化, 提供了判据, 正如本文尚要对比的剖面中的类钾长石, 其块状大小为 8~10μm, 说明它是原地成岩的产物。

3 海沟-海槽和地堑沉积体系中的类钾长石特征和指相意义

林宗南通过对某海沟-海槽和地堑构造区的一些粘土(<10μm)XRD 剖面特征的研究, 发现从浅到深(约 5km 探井)无论是泥岩还是砂岩的 XRD 中都有强度不等的类似由 Na-Sm(KCl)高压转化的类钾长石结构。为了与沉积中往往占次要成分的其它钾长石(作者一般称之为正长石)区分开, 提供了类钾长石(K-F 表示)的命名。

图 3a 是某地区不同泥岩、砂岩的 XRD, 代表了海沟-海槽区的特征。图中的 2 号为砂岩, 是沉积成岩最典型的类钾长石特征(没有蒙脱石, 没有伊利石, 很少的高岭石或绿泥石)。R₂ 的比值为 3.8, 非常符合 Na-Sm(KCl)类钾长石化的结果。因此, 类钾长石的判别特征, 除了长石定性峰之外, 它们的 4.23Å : 3.71Å : 3.3Å 峰强度比可以确定为 1 : 1 : 3.8。

图 3b 2~5 是“凹中隆”地堑区中较高地温带中粘土(小于 10μm)的 XRD 图。除了也有较突出的类钾长石之外, 明显具有钾化钙蒙脱石特征(4.4Å)。2~4 号图与 Na-Sm(KCl) 300℃的 1 号图具有很好的相似性。这种图谱特征表征类钾长石化的中间过渡相, 说明了该剖面处于缺乏高压作用的构造动力环境。

4 热液循环体系中海水下潜区地球化学特征

林宗南(1991)在研究某井区的不同构造的粘土矿成岩特征的差异以后, 认为在残余洋剩余盆地中的海沟-海槽体系和中央地堑沉积体系中, 海水下潜, 钠蒙脱石转化为类钾长石。因此类钾长石可以作为海水下潜的重要标志。

图 4 是海沟-海槽和相邻的裂谷裂陷盆地的热液循环模式, 海沟-海槽沉积物的来源除了陆源之外, 主要的是弧后裂谷和板内裂谷热液喷发的约 300℃形成的矿物如绢云母、伊利石-绿泥石混层矿、纤蛇纹石等(林宗南, 1991)。下潜的海水在潜入 4~5 km 深度后, 向侧向裂谷和裂陷盆地底部高温的玄武岩层, 形成酸性富二氧化碳、硫化氢、甲烷等气体热卤水向上喷发, 最高温度可达 350℃(Hutchinson, 1983), 或在裂陷盆地中释放, 形成强烈高岭石化(120~100℃)的砂岩热液网络(林宗南 1991)。

在海沟-海槽区, 沉积物明显是由于浊流的快速沉积堆积的。类钾长石的海水潜入势指标(K-F/ΣC)也标志着浊流——暴积沉积旋回标志。当俯冲作用强烈时期, 既是海沟-海槽高压低温异常期, 也是地球动力机制向心应力增强期, 这时浊流特征向“风暴岩”转化, 形成向下强烈旋涡, 出现喇叭状和丘状沉积。这种持续相当长一段时间的无风暴的“风暴岩”沉积时

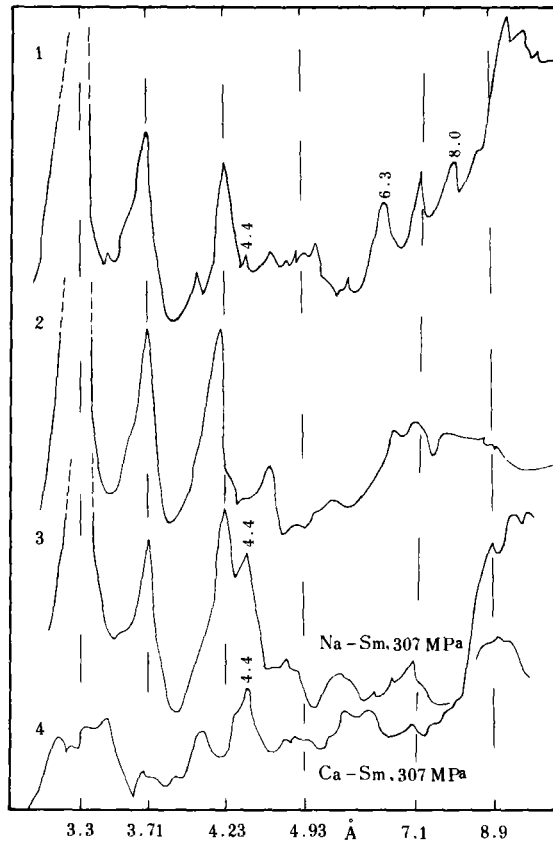


图 3a 某井区不同深度泥岩(1号)、砂岩(2号)和 Na-Sm, 307MPa(3号)、Ca-Sm, 307MPa(4号)的 XRD 图
(定向, 甘油)

间(暴积期),可能就是当今百慕大死亡三角深海区的灾害原因。图 5 是某井区海沟-海槽低温带 RP_2 井($G2.2^\circ C/100m$)和地堑带 RT_{AN} 井($G3.47^\circ C/100m$)海水潜入势($K-F/\Sigma C$)对地温变化图。在 RP_2 井 $30\sim 60^\circ C$ 的深度区内,出现过两期暴积岩,而 RT_{AN} 井在 $50\sim 100^\circ C$ 深度区也有两期暴积岩($K-F/\Sigma C \geq 0.6$),从地震反射标定界面的深度对比,不同构造区的两期暴积期可以推断为平行发生的。 $K-F/\Sigma C$ 对温度变化图,表明类钾长石在海水潜入区内保持稳定,只有在热液从深部回返侵蚀时才会出现高岭石化。因此,配合绿泥石与高岭石比值变化,当 Ch/K 比小于 0.35 ,正长石与斜长石比趋向很小时(如 0.10),总粘土(ΣC)中高岭石占优势的条件下,那么类钾长石也会出现溶失和风化。同样,当 $Ch/K > 0.4$,正/斜比大于 0.10 ,那么类钾长石的潜入势则是该地区不同时期地球动力学的参数(林宗南,1991)。

在大陆边缘的海沟-海槽和地堑的沉积剖面可发现煤的沉积,这种煤不同于浅水沼泽的煤。由于浊流的沉积方式,有机质颗粒很大,一般都是 $50\mu m$,在暴积期内常见更粗的颗粒,可以在 $200\mu m$ 以上。海水下潜,保持新鲜活化的生化环境,发酵层仅受地温控制,若低于

50℃均为生化有利条件,那么发酵层可以深达1~2km,沉积有机质遭受强烈的生化降解,孢粉在这里尤其是暴积期层内遭受降解侵蚀和黄铁矿化,在这种条件下,有机质(含煤)干酪根的H/C原子不高,但沥青的H/C比却相当高。大量降解的富氮类脂体溶于下潜的流体,在地温120~150℃深部,在矿物催化下形成高成熟标志的原油、凝析油和天然气。天然气中尚可发现相当数量的氮气(林宗南,1991)。前陆沉积的煤,可能沉积在淡水陆相环境,潜入势为零,但粘土等均富含钾,表明重复了上述海水潜入后生化改造的成岩条件。

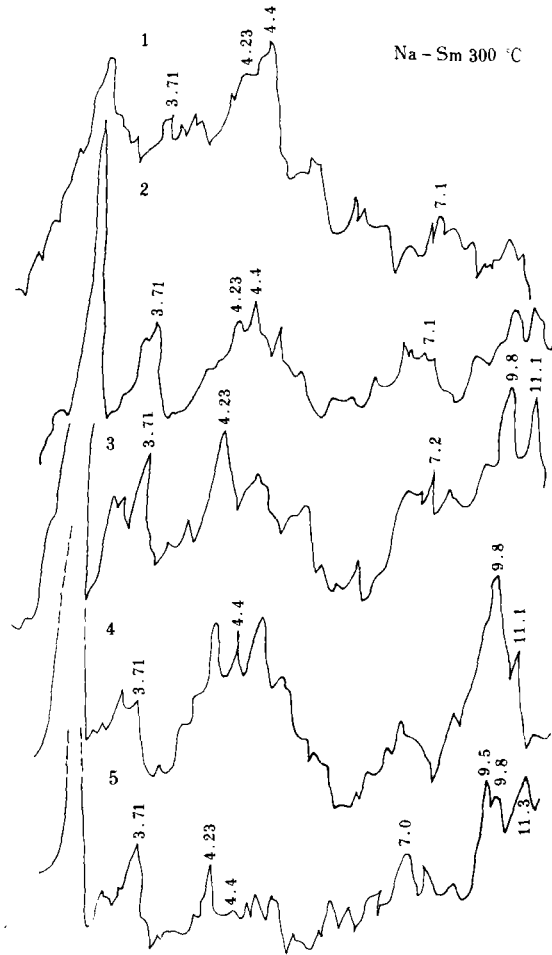


图 3b Na-Sm(KCl) 300℃类钾长石化中间相与某井区地堑带深度的粘土 XRD 图
(定向,甘油饱和)

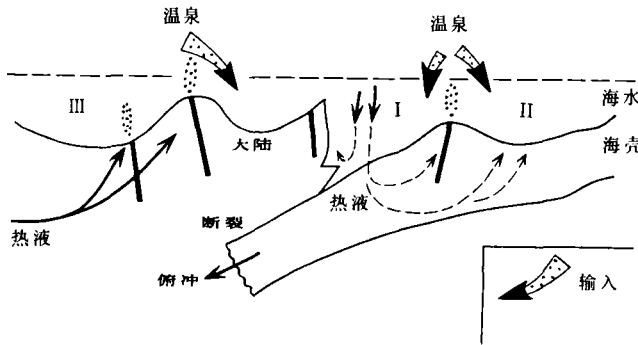


图4 海沟-海槽沉积体系的热液循环模式

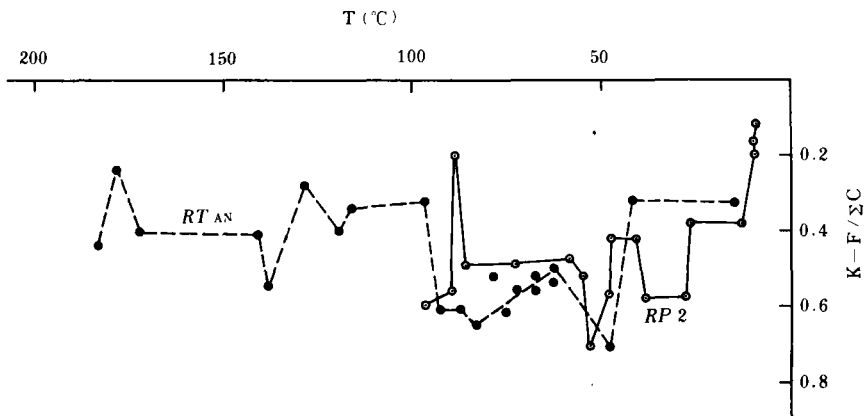


图5 海沟-海槽(RP₂)和地堑(RT_{AN})沉积剖面中类钾长石海水潜入势(K-F/ΣC)与矿物古地温的关系图 (林宗南 1991)

5 结 语

在湖相生油岩中的粘土相,钠蒙脱石是主要成分,在演变过程中从未遭受过钾化后的类钾长石转化,表明陆内裂陷盆地的低压地球动力特征。

在海沟-海槽和地堑带,类钾长石剖面标志海水下潜的地球动力学特征,巨厚的沉积(5~10km)和微循环机制(林宗南,1991)为油气生成提供最有利的条件。

在裂陷和裂谷带热液上涌,出现强烈的高岭石化,但在裂谷边缘的转换槽,海水下潜也会有类钾长石剖面出现,但深度较浅(<2.5km),不能与地堑相比。

在聚敛带发生碰撞、逆掩和前陆等造山带出现过程中,上覆于聚敛构造的剖面体系,一定程度上继承了下伏体系的地球动力特征,构造运动就像跷跷板,在俯冲期,海沟-海槽和地堑快速下沉,而裂谷裂陷区热扩张抬升;在碰撞期,向心的应力受制,“下沉的”隆起,裂谷裂陷区冷却拗陷。在原海沟-海槽或地堑隆起时,海水潜入势降低;转入陆相时,淡水或空气代之潜入。在向心应力又复活的“前陆”时期,又复出现海水的潜入。塔北库车拗陷卡普沙良露

头剖面,粘土潜入势变化就记录了这种旋回,二叠系的顶界,潜入势为零,出现高温拉张(古温度 $>200^{\circ}\text{C}$),三叠系为潜入势较强期,为前陆沉降期,侏罗系的潜入势,除了 J_2qk 为较强期之外,均在零值与低值范围,反映海陆交替频繁时期(林宗南,1991)。

本文强调类钾长石作为海水潜入区的标志。但是类钾长石的结构有待深入研究,根据大量的XRD数据,不排除类钾长石的结构实际上是类似微斜长石的钾长石的结构和低密石英结构以固定比例(3.71Å:4.26Å为1:1)组成的约 $8\mu\text{m}$ 的复合物。从这种思路去分析,在火成的伟晶岩中,文象花岗岩可能就是沉积中的这种类钾长石结构,在深部15~25km高压和温度小于 550°C 下热变质形成。文象花岗岩也是基本上按固定比例:70%微斜长石和30%石英组成。伟晶岩、文象花岗岩的岩体一般都很大,大多数超过1cm,1~2m直径也是常见(Dietrich等,1979),有可能形成世界上最大的矿物。因此在沉积体系中的类钾长石(只集中在 $10\mu\text{m}$),只能是成岩产物,绝不会是伟晶岩的碎屑(如是,就有从细到粗广谱分布)。对于文象花岗岩的形成有多种假说,显然本文的推论又是一种新的假说。

(收稿日期:1991年1月7日)

参 考 文 献

- 1 罗瑞兰等. 蒙脱石的成岩转化与油气的形成和初次运移,石油实验地质 1985,7(4):257
- 2 卢书博等. 泥质沉积物压实作用和石油初次运移的模拟研究,国际交流地质学术论文集(5),1985,209
- 3 Dietrich等. 岩石和造岩矿物(中译本),1979,110
- 4 Hutchinson. Presidential Adress, Hydrothermal Concepts, the old and the new. *Economic Geology* 1983,1734

**THE FELDSPARIZED TEXTURE OF
POST-MONTMORILLONITE SATURATED WITH KCl——
THE MARKS FOR THE DOWNWARD-EXCAVATING
SEA WATER CURRENT IN HYDROTHERMAL
CYCLIC SYSTEM**

Lin Zongnan Luo Ruilan

(Central Lab. of Petroleum Geology MGMR)

Abstract

After the montmorillonites saturated with KCl and experienced through compaction or heatings, feldsparizations would take place, bringing about the transformation of sodium-montmorillonites into iso-potassium feldspars and calcium-montmorillonites into plagioclases. In the sedimentary rocks with $10\mu\text{m}$ clay, the iso-potassium feldspar is the product from the sodium-montmorillonites with high pressure in sedimentary system of trench-trough or graben, Therefore, the iso-potassium feldspar can be taken as the marks for the dynamic characters of downward-excavating sea water current in hydrothermal cyclic system.

Based on existence of the iso-potassium feldspar, the ratio of the characteristic peak values of 3.71Å , 4.23Å and 3.3Å in the oriented X-ray diffraction (XRD) is about 1:1:3.8. Such a diffraction texture may be fixed in a certain ratio and is probable to be the precursor of graphic granites.