

松辽盆地白垩系泉头组蒸发盐岩的成因及其古环境意义研究

王璞珺¹ 任延广² 王东坡¹

(1. 长春地质学院 长春 130026 2. 大庆石油管理局研究院 大庆 163712)

提 要 通过对松辽盆地三肇凹陷 S113 井泉头组蒸发盐岩沉积层序的详细沉积学、矿物学、元素地球化学和同位素地球化学的系统研究,认为该蒸发盐系属海水与淡水混合成因,其形成与周期性的海水入侵有关。

关键词 松辽盆地白垩系 蒸发盐岩 近海内陆盆地 周期性海水入侵

第一作者简介 王璞珺 男 37 岁 博士、副教授 沉积学与地球化学

松辽盆地白垩系的泉头—青山口组和姚家—嫩江组,构成两个最大的水进—水退沉积旋回并与白垩纪的两期最大湖侵相对应(钟其权等,1985)。在这两个湖侵层序的红层中(泉头组和姚家组),普遍发育蒸发盐沉积。作者(1992a)曾对姚家组蒸发盐岩的成因进行了初步探讨。本文拟通过对湖侵中期(泉三一四段)层序中蒸发盐岩成因的研究,探讨松辽陆相盆地沉积层序的形成与海水作用的关系,进而探索湖平面升降与全球海平面升降的关系。

1 沉积层序、结构构造与矿物组合特征

S113 井位于松辽盆地中央拗陷区、三肇凹陷二级构造带的永胜—昌五地区,泉头组总厚度约 900m。作者对泉三一四段含蒸发盐岩层系的近 500m 岩层进行了详细的沉积学研究。图 1 列出了该研究层段的沉积层序特征和相分析结果等与本文有关的内容。下面着重描述蒸发盐本身及其毗邻层序的沉积特征。

蒸发盐多产于暗紫色及紫灰色粉砂质泥岩中,常与钙质结核共生。蒸发盐成分主要为硬石膏、重晶石及天青石和少量交代残余石膏。不规则姜状钙质结核经常与蒸发盐共生。结核数毫米—数厘米;细层围绕结核弯曲或轻微切割层理,说明为同生—早期成岩结核。在显微镜下,蒸发盐与结核界线清楚,无交代现象。可见蒸发盐被结核挤压变形的现象,说明它们应早于结核,于同沉积期结晶沉淀形成。碎屑组分主要为石英、钾长石和钠长石以及白云母和斜长石;分选中等—好,磨圆程度不一,以次棱角—次圆状为主。用电镜—能谱观测,长石常具一定程度蚀变;而石英常呈鞍状、具有麻面和突出的棱角状结晶结点(crystalline node),与 Mazzulo 等(1992)描述的搬运距离在 250—400km 的风成粉砂结构相似。另外,作者在该层序的上部泉四段红色泥岩中见数颗圆状—极圆状花岗质砾岩,最大者为 7cm,其特征与作者(1992b)在盆地东南隆起区相当层位中鉴别出冰筏沉积层(ice—rafted deposits)完全相同。

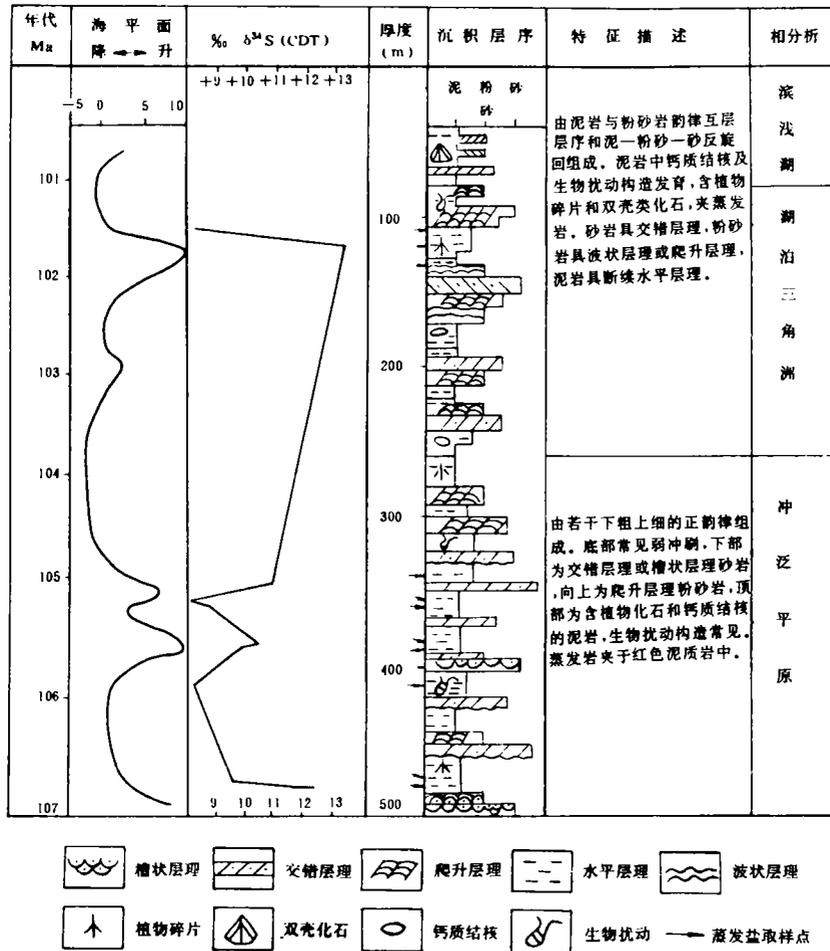


图1 泉头组含蒸发盐岩层序的主要沉积学特征

Fig. 1 Sedimentary Features of the Sequence Containing Evaporites

在显微镜下,常见具Ⅱ级鲜艳干涉色的硬石膏中有丝缕状Ⅰ级灰干涉色的残余石膏;前者可能是由后者脱水而成。在手标本下,蒸发盐主要呈不规则结核状(或蜂窝状)、透镜状和串珠状,平行层面断续排列;偶见树根状石膏垂直层面排列。单个膏盐晶体一般数毫米一数厘米,偶见长十余厘米、厚数厘米的透镜体。透镜状石膏常具同沉积示底构造,底面呈圆滑弧形、顶面平直或结晶棱角状;说明是同沉积期底部成核,过饱和结晶沉淀形成。在偏光显微镜下,局部可见膏盐组分作为基质、粉砂碎屑悬浮其中的基质支撑结构;可能是同沉积期在蒸发盐结晶过程

中、被片泛流或风搬运的粉砂碎屑坠入膏盐中形成的。在电子显微镜下,蒸发盐主要呈数微米—数十微米的半自形—它形晶体与方解石镶嵌,伊利石、绿泥石和沸石等成岩早期粘土矿物充填于它们的空隙中;各矿物间界线清楚、成分突变(二次电子像和背散射像相结合观测)。

能谱分析得重晶石的 S : Ba 原子比约 1 : 1。(SrSO₄)未见纯净者,主要呈天青石—重晶石的类质同象矿物,亦可与方解石呈混晶(或类质同象?)。当重晶石、方解石及天青石共生时(在同一视域下),它们的结晶特点多为:重晶石自形—半自形、方解石半自形—它形、天青石它形;说明它们结晶的先后顺序应是重晶石→方解石→天青石。天青石的能谱分析结果(Atom%):S = 47%—51%, Sr = 10%—40%, Ba = 19%—30%;共生方解石中 Sr 的原子数百分比(Atom%)可高达 11%。

与蒸发盐矿物共生的自生粘土矿物主要有伊利石(水白云母)、绿泥石(主要为柯绿泥石和铁绿泥石)和沸石(成分接近于片沸石—钙十字沸石)。自生非粘土矿物有方解石、黄铁矿、辉铜矿、辉银矿和褐铁矿。与蒸发盐共存的重矿物有锆石和钛铁矿。锆石:3μm,棱角均明显磨圆,包裹于方解石半自形晶中;说明是方解石同生结晶过程中,碎屑锆石坠入其中后被包裹而形成。钛铁矿:板状,30μm,尖棱角状,与鞍状石英碎屑共生,可能与风成作用有关。

2 含蒸发盐岩层序的元素地球化学特征和同位素地球化学特征

对与蒸发盐共生的泥质岩进行了系统采样(采样点位置同蒸发盐样品,见图 1),用 X—荧光法分析了其中的 24 种常量和微量元素,元素分布特征列于表 1,元素间相关特征列于表 2。

表 1 与蒸发盐岩共生的泥质岩的元素地球化学特征(N=11)

Table 1 Element distributions of the mudstones containing evaporites

元 素	含量范围 (μg/g)	平均值 (μg/g)	标准 偏差	相对标准 偏 差	元 素	含量范围 (μg/g)	平均值 (μg/g)	标准 偏差	相对标准 偏 差
SiO ₂ %	41—63	57	7.5	13.2	Rb	100—196	142	33	23.2
CaO%	1.6—9.3	3.8	2.7	71.1	Ni	16.2—35	25	6.1	24.4
TFe ₂ O ₃ %	4.3—7.3	5.6	1.1	19.6	Ga	17—23	19	2.1	11.1
Al ₂ O ₃ %	13.9—17.4	15.2	1.4	9.2	Co	14.2—22	18	2.8	15.6
K ₂ O%	2.4—4.2	3.6	1.8	50	V	72—125	84	25	29.8
Na ₂ O%	0.9—1.8	1.3	0.32	24.6	Zn	84—156	112	22	19.6
MgO%	1.2—2.2	1.8	0.31	17.2	Y	17—62	33	20	60.6
Ti	3123—6013	4314	723	16.8	Pb	13—33	20	6.4	32
Mn	421—1339	616	260	42.4	Cu	16—34	23	5.6	24.3
Cr	36—65	51	11	21.6	P	343—1073	651	238	36.6
Ba	249—629	396	118	29.8	Zr	115—231	191	34	17.8
Sr	224—485	287	119	41.5	S	0.1—119109	21360	35545	166

按图 1 标出的位置对层序中的蒸发盐进行了系统采样。样品粉碎至 40—60 目后、显微镜下挑选出纯净的硬石膏和重晶石,分析其 δ³⁴S。硫同位素组成的纵向变化特点绘于图 1 左侧。硫同位素的分布特征绘于图 2。

表 2 与蒸发盐岩共生的泥质岩的元素间相互关系(N=11)

Table 2 R-values between elements of the mudstones containing evaporites

元素对	相关系数	元素对	相关系数	元素对	相关系数
SiO ₂ -CaO	-0.79	Al ₂ O ₃ -Ga	0.75	Ti-Co	0.74
SiO ₂ -S	-0.75	Al ₂ O ₃ -Co	0.73	Ti-Zr	0.81
CaO-Zr	-0.9	K ₂ O-Mn	0.91	Cr-Ni	0.91
Fe ₂ O ₃ -Rb	0.78	Na ₂ O-Rb	-0.82	Cr-Co	0.77
Fe ₂ O ₃ -Ga	0.93	MgO-Cr	0.76	Cr-Cu	0.73
Fe ₂ O ₃ -Co	0.73	MgO-Co	0.78	Rb-Ga	0.73
Fe ₂ O ₃ -Pb	0.73	MgO-Cu	0.73	Ga-Co	0.82

注: $t_{0.01} = 0.73$

3 蒸发盐岩的形成环境及其成因分析

3.1 本区蒸发盐岩为同沉积期结晶沉淀形成

由钙质结核不切割(或轻微切割)层理以及方解石晶体中包裹碎屑重矿物(锆石)等特点可知,本区的钙质结核属沉积结核或早期成岩结核,其组成矿物方解石亦应形成于早期成岩阶段之前。另一方面,根据重晶石的自形程度常高于共生方解石以及钙质结核可使石膏被挤压变形等现象,有理由认为膏盐沉积略早于钙质结核,其形成时间应以同沉积期为主。此外,粉砂级碎屑颗粒“悬浮”于蒸发盐中的“基底式胶结”结构,应是在蒸发盐同沉积结晶过程中捕获了坠入其中的碎屑颗粒而形成的;它也可以说明蒸发盐矿物形成于同沉积期。

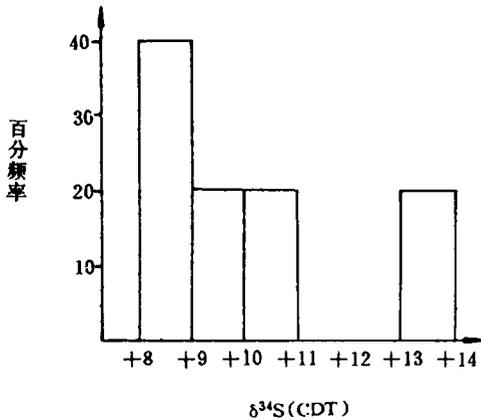


图 2 蒸发盐中硫同位素分布直方图

Fig. 2 Distribution diagram of $\delta^{34}\text{S}$ in evaporites

蒸发盐矿物的共生组合关系同样说明它们是按溶解度由小到大的顺序依次结晶沉淀的。本区的蒸发盐矿物主要有两种共生组合:①重晶石-方解石-天青石;②石膏(硬石膏)-方解石。而石膏与重晶石或天青石不共生。以上矿物的溶度积常数分别为: $K_{sp}(\text{BaSO}_4) = 1.1 \times 10^{-10}$, $K_{sp}(\text{CaCO}_3) = 2.9 \times 10^{-9}$, $K_{sp}(\text{SrSO}_4) = 3.2 \times 10^{-7}$, $K_{sp}(\text{CaSO}_4) = 9.1 \times 10^{-6}$; 阳离子在泥质岩中的平均含量分别为 $\text{Ca} = 27143 \mu\text{g/g}$, $\text{Ba} = 396 \mu\text{g/g}$, $\text{Sr} = 287 \mu\text{g/g}$ (见表 1)。可以看出,重晶石(BaSO_4)的溶解度最小、而 Ca 的含量最高。所以当介质中 Ba^{2+} 量充足时将优先形成重晶石, Ca^{2+} 更趋向于同 CO_3^{2-} 结合形成方解石,最后剩余的 SO_4^{2-} 将与 Sr^{2+} 结合成天青石。

故在重晶石-方解石-天青石组合中,矿物的自形程度(晶出顺序)依次为重晶石 > 方解石 > 天青石。当 Ba^{2+} 贫乏时,介质中大量存在的 Ca^{2+} 将依次与 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 结合成方解石和石膏。即,石膏-方解石组合只是介质中 Ba^{2+} (及 Sr^{2+}) 贫乏条件下的产物,而当 Ba^{2+} (及 Sr^{2+}) 充足时将优先形成重晶石(及天青石),此时的 Ca^{2+} 只能形成方解石;所以石膏不会与重晶石及天青石共生。本区的蒸发盐矿物组合完全符合上述沉淀溶解平衡的一般规律,说明它们是从沉

积介质中直接结晶沉淀形成的。

3.2 本区蒸发盐形成于 $\text{pH}=9\pm$ 、 $\text{Eh}=+0.1\pm$ 的碱性氧化条件,介质中 SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} 离子浓度介于盐湖与海水之间

由与蒸发盐共生的自生粘土矿物组合,可推测出当时的介质酸度是 $\text{pH}=8-10$ 的碱性条件。因为含蒸发盐层系的主要自生粘土矿物为沸石、绿泥石和伊利石,而且沸石以片沸石和钙十字沸石为主。绿泥石以柯绿泥石为主。Hay(1978)根据二百余例有关沸石的研究资料和五个现代环境的研究结果,认为沸石作为碎屑组分是十分罕见的,因此是沉积环境(或沉积期后环境)的良好标志,而且其形成介质的 $\text{pH}=8.9-9.9$ 。Andreason(1992)指出,柯绿泥石是在富 Mg 的咸水环境中,于较高的温度和 pH 值下形成的,而且其形成时间是以同沉积期为主,因为当沉积物被深埋后、由于岩石对酸度的缓冲效应会使介质的 pH 值降低、使柯绿泥石得以形成的高 pH 值条件遭到破坏、导致柯绿泥石不能再形成。将本区的自生粘土矿物组合与上述研究资料对比,有理由认为蒸发盐沉积时介质的 pH 值应为 $8-10$ 。另一方面,由蒸发盐与同生钙质结核密切共生的特点看,介质的 pH 值亦应大于 8.5(根据 CaCO_3 溶解度—酸度曲线,当 $\text{pH}<8.5$ 时溶解度迅速增大;刘宝珺,1980)。作者由此推测本区蒸发盐沉积时介质的 pH 值应在 9 左右。

根据矿物组合与沉积介质的电位(Eh)—pH 图解(刘英俊等,1979)可知,当 $\text{pH}=9\pm$ 时,不含有机质的石膏—方解石—褐铁矿矿物组合形成于 $\text{Eh}=+0.2-0$ 的弱氧化条件。

根据本区蒸发盐矿物共生组合关系和沉积介质的 pH 值,可求得沉积介质中的离子组成(表 3)。

表 3 恢复后的古水介质条件与现代环境比较

Table 3 Comparison of palaeocurrent contents with modern environments

组 分 (mg/L)	形成沸石矿物的盐湖水 ^a			本文计算 结 果	现 代 大洋水 ^b
	含量范围	平 均 值	标准偏差		
CO_3^{2-}	254—58100	31227	34587	102	18
SO_4^{2-}	468—9960	3354	4018	3084	2688
pH 值	8.9—9.9	9.95	0.41	9.0	8.0—8.3
Eh (V)				+0.2—0	+0.6—-0.4

注:a 据 Hay(1978);b 据赵其渊(1989)

其计算过程如下:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = K_{a_2} \cdot [\text{HCO}_3^-] / [\text{H}^+] = 1.7 \times 10^{-3} \text{mol/L} = 102 \text{mg/L} \quad (1)$$

由重晶石—方解石组合可得下列共生平衡关系式:

$$\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \quad K_{sp}(\text{重晶石}) = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \quad (2)$$

$$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3 \quad K_{sp}(\text{方解石}) = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] \quad (3)$$

$$(2)\text{式除}(3)\text{式得:} [\text{SO}_4^{2-}] = \frac{K_{sp}(\text{重晶石})}{K_{sp}(\text{方解石})} \cdot \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ba}^{2+}]} \cdot [\text{CO}_3^{2-}] \quad (4)$$

$$= 0.032 \text{mol/L} = 3084 \text{mg/L}$$

(1)式中 $K_{a_2} = 5.6 \times 10^{-11}$, $\text{pH}=9$, $[\text{HCO}_3^-] = 0.034$ (因饱和 CO_2 溶液为 0.04mol/L ,当

pH=9 时 HCO_3^- 占 80%±(赵其渊, 1989, p35)。

(4)式中 K_{sp} (重晶石) = 1.1×10^{-10} , K_{sp} (方解石) = 2.9×10^{-9} , $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ba}^{2+}] = K \cdot 68$ (其中 68 是岩石中 Ca 与 Ba 的含量比, 由表 1 求得; K 是 Ca/Ba 比值在沉积介质中与相应岩石中的比例系数, 此处作者选用 34 个岩石粉末样品做模拟溶出实验, 确定 $K=7$)。

3.3 本区蒸发盐沉积的形成受 SO_4^{2-} 供给量控制

从图 1 的沉积层序看, 蒸发盐岩是夹杂在碎屑岩层中的, 可出现在冲泛平原相及三角洲平原和滨浅湖泥坪相的红层泥质岩中。膏盐层上下的沉积层序是连续的, 沉积环境没有因蒸发盐的沉积而明显改变。然而在整个层序中蒸发盐岩明显地具有局部富集的趋势。这就是说, 在沉积环境及相应的物源供给和气候条件均无显著变化的情况下, 蒸发盐沉积会在某一特定时期集中形成。由此说明, SO_4^{2-} 离子的供给量是控制膏盐沉积形成与否的主要因素。即, 只要有足够的 SO_4^{2-} 供给就能形成蒸发盐沉积。

从表 1 和表 2 的元素地化特征也能说明这一点。表 1 中 Ba、Sr、Ca 等形成蒸发盐的主要阳离子在层序中的含量变化特征与其它金属元素无显著差异(Ca 的相对标准偏差较大, 可能与钙质结核有关); 而 S 的分布特征显然与其它元素不同。只要 $S > 3000 \mu\text{g/g}$ 就有蒸发盐形成, 而与其它元素含量无明显关系。表 2 显示, Ba、Sr、Ca 等蒸发盐中的阳离子组分与 S 无显著相关性(未列出者均不相关), 蒸发盐趋向于形成于贫硅的“碱性岩”中。以上特征说明, 沉积介质中的 Ba、Sr、Ca 等阳离子组分总是相对过剩的, 只要有足够的 SO_4^{2-} 即可形成蒸发盐沉积。

3.4 本区蒸发盐中 SO_4^{2-} 有大陆和海水两个来源

3.4.1 现代陆源 SO_4^{2-} 的主要特点

Holser 和 Kaplan(1966)将现代陆源 SO_4^{2-} 分为四类: ①老蒸发盐岩层溶解($\delta^{34}\text{S}\text{‰} = +10 \sim +30$), ②火山气射源($\delta^{34}\text{S}\text{‰} = -10 \sim +15$), ③老地层中黄铁矿的氧化($\delta^{34}\text{S}\text{‰} = -40 \sim +5$), ④大气降水($\delta^{34}\text{S}\text{‰} = +3 \sim +15$)。B. A 格里年科(1980)统计了日本、美国和欧洲地区大气降水中的 SO_4^{2-} ; 其 SO_4^{2-} 含量为 1.3—18.8mg/L, 平均值 = 5.3mg/L, 众数值 = 2.3—4mg/L, 标准偏差 = 3.96、相对标准偏差 = 74%; 其 $\delta^{34}\text{S}\text{‰} = +3.2 \sim +15.6$ 、平均值 = +7.7、众数值 = +5—+7.3、标准偏差 = 3.69、相对标准偏差 = 48%。虽然世界各地大气降水的硫同位素组成差异较大, 但对某一地区来说是相对稳定的, 相对标准偏差小于 30%。人类活动对于水中的硫同位素组成有显著影响, 所以在史前的地质时期、一定区域大气降水中 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 的变化范围应更小。大气降水硫酸盐中硫同位素组成的显著特点是 $\delta^{34}\text{S}$ 约为同期海水的三分之一。

3.4.2 本区蒸发盐 SO_4^{2-} 具双重来源特点

根据松辽盆地区域性沉积相、古地理和古气候的研究资料(王东坡等, 1989^①), 白垩纪泉头组三—四段时期无老蒸发盐地层物源区、火山作用影响微弱; 所以陆源 SO_4^{2-} 主要来自大气降水, 其次为前白垩纪地层中硫化物的氧化(C—P 板岩及中生代火山岩)。本文的研究层段相当于 107—100Ma(王璞珺等, 1994)。在该层段内上述两种陆源 SO_4^{2-} 的同位素组成应是相对稳定的。

由图 1 和图 2 可见, 该区的硫同位素组成具有三个明显特征。第一, $\delta^{34}\text{S}$ 离散性大; 第二, 百分频率曲线呈双峰; 第三, 众数值 = +8%—+9%。

① 75—54—01—11 项目研究报告: “松辽盆地中生代主要目的层段的沉积相及生储盖研究”(王东坡、刘招君、王璞珺等)

硫同位素分布的离散性和双峰特征均可说明 S 具有两个主要来源——陆源和海水。在相距仅数十厘米的相邻层位中, $\delta^{34}\text{S}$ 的相对变化可高达 63%。根据作者(1992c)对本区沉积速率的定量计算结果, 该相邻层段的沉积时限仅数千年, 单一的陆源供给不太可能引起 $\delta^{34}\text{S}$ 出现这样大的变化。从频率分布的双峰特点看, 第一主峰在 +8‰—+9‰ (主要反映陆源特点); 第二主峰为 +13‰—+14‰ (主要反映海水来源特点)。后一峰值落在同期海水的 $\delta^{34}\text{S}$ 范围内 (+13‰—+17‰, 以 +13‰—+15‰ 为主, 据 Richardson and Harry, 1989)。按同期海水的 $\delta^{34}\text{S}=15\text{‰}$ 计算, 根据现代大气降水与海水硫同位素组成的关系, 研究层段沉积时大气降水的 $\delta^{34}\text{S}$ 应在 +5‰ 左右。但由于图 2 的数值为 +8‰—+9‰, 高于同期大气降水的 $\delta^{34}\text{S}$, 所以作者认为, 陆源硫可能由大气降水和老地层中硫的混入两部分组成。

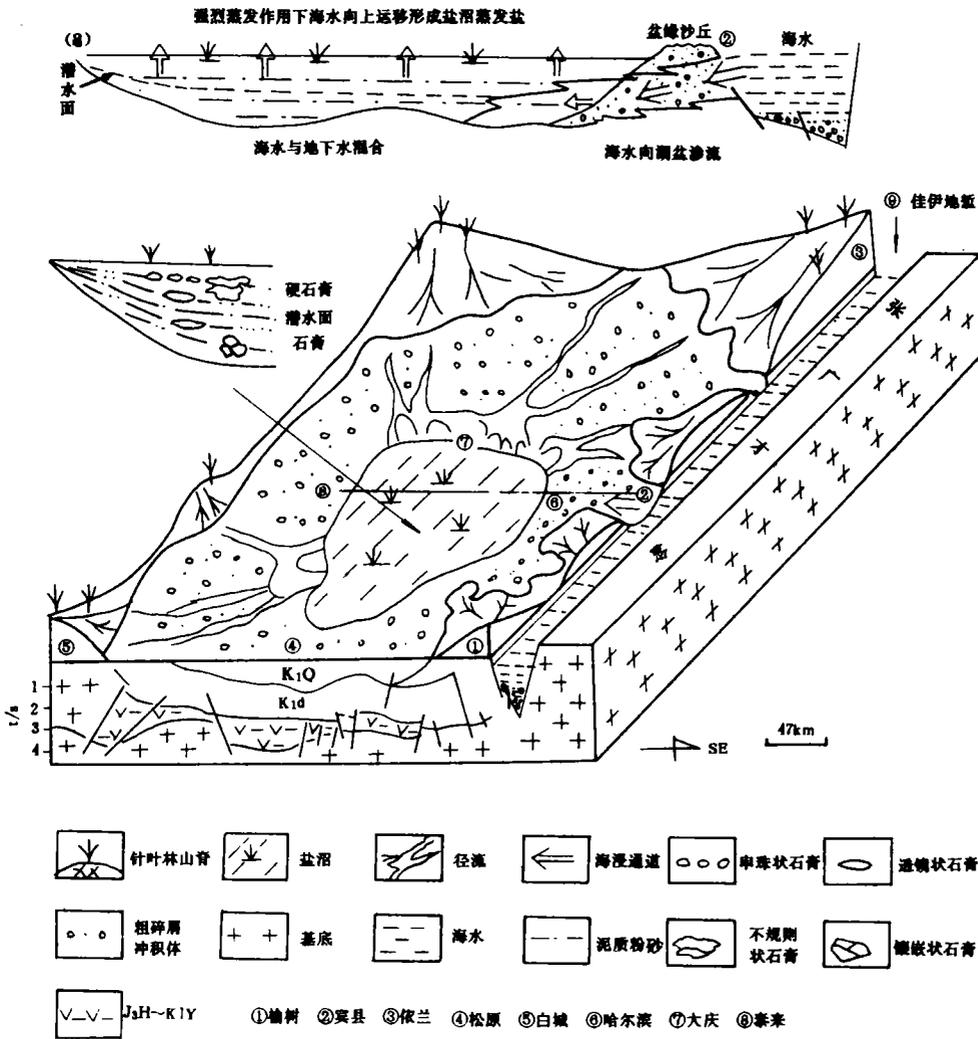


图 3 蒸发盐岩的成因与海水入侵的盆缘渗流模式示意图

Fig. 3 Schematic diagram showing evaporite sedimentation and origin

沉积岩(或其它地质体)中的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值是岩石形成之初同位素均一化的比值,它能够很好地反映体系的原始同位素组成和岩石成因(Faure and Powell, 1975, p31)。作者(1995)由 11 个蒸发盐样品的 Rb—Sr 等时线拟合结果,确定出泉三一四段蒸发盐的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70713$,与同期海水($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7071-0.7077$;Burke, 1982)⁽²²⁾同位素组成相当。这也说明蒸发盐同位素有同期海水来源。

4 蒸发盐岩的成因模式

将本区蒸发盐沉积与现代及古代的典型海相蒸发盐(Warren and Kendall, 1985)、陆相蒸发盐(Anadon 等, 1992)和海陆过渡相蒸发盐(Andreason, 1992)对比,在沉积层序、结构构造和矿物共生组合等方面均与海陆过渡相中的“暂短盐沼化泥坪蒸发盐”相似。又根据上述的成因分析结果以及石膏与硬石膏的同生关系,并结合相关的沉积相、古地理和古气候研究资料(王东坡等, 1989),作者认为本区蒸发盐沉积于干热气候的盐沼环境(包括冲泛平原沼泽、三角洲平面沼泽和滨浅湖泥坪沼泽);盐类来自于地面径流和周期性侵入的海水;蒸发盐是在潜水面附近结晶沉淀形成的(图 3);层序中风成组分占有一定比例。

5 讨论与结论

(1)现代环境研究和蒸发实验结果证明,硫酸盐的化学沉淀作用不产生显著的同位素分留效应(K. H. Wolf, 1980; B. A. 格里年科, 1980; K. Purvis, 1992)。本区蒸发盐为同沉积结晶沉淀形成,故可代表沉积介质的同位素组成。

(2)作者在蒸发盐红层中见到共生的还原型硫化矿物(黄铁矿、辉铜矿和辉银矿)。由于硫化物富 ^{32}S 因此会导致相应的硫酸盐富 ^{34}S 。但由于下面两个原因,本区的硫化物不会影响本文的研究结果。第一,硫化物分布非常局限而且与硫酸盐是热力学非平衡的共生组合,所以(后生)硫化物不会引起原生硫酸盐的同位素再分配。这方面的主要依据是,贫硫富铜条件下形成的辉铜矿(Cu_2S)与岩石中铜的含量无关,同时又与自形黄铁矿及石膏在 $50\mu\text{m}$ 范围内共生(可能与成岩后生期的局部微生物还原作用有关)。第二,作者只挑选了不含硫化物的硫酸盐样品进行硫同位素分析。

(3)若令陆源硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}=+8.5\%$,同期海水的 $\delta^{34}\text{S}=+15\%$ (见 3.4.2 节),则可算出本区蒸发盐的海水供给部分(W_H)与陆源供给部分(W_L)的比例 $W_H : W_L=0-2.6$ 。(因由质量平衡关系: $W_H \times 15 + W_L \times 8.5 = (W_H + W_L) \times \delta\text{S}(\text{蒸发盐})$,得 $W_H : W_L = (\delta\text{S} - 8.5) / (15 - \delta\text{S})$,因 $\delta\text{S}=8.5-13.2$,故 $W_H : W_L=0-2.6$ 。由此可恢复海平面变化曲线(图 1 左;详见王璞珺等, 1995)。

(4)由同位素年龄测定结果(王璞珺等, 1994),可知海侵的时间分别为 105Ma、103Ma 和 102Ma,与 Albian 中晚期全球海平面上升相对应。

(5)本文的有关结论均基于 S113 井的系统研究结果。根据盆地演化史的研究资料,泉三一四段时期盆地已进入整体拗陷阶段,此时在古生态环境和物源供给等方面都已趋于均一化,所以本文的研究成果具有一定的普遍意义。

(6)佳伊地堑和古松花江是海侵的可能通道(王璞珺, 1992a)。当时的松辽盆地在地理位置

上可能类似于当今中国的太湖及中美洲的尼加拉瓜湖,在水文条件上类似于南美委内瑞拉的马拉开波湖(一半淡水,一半咸水),在沉积方式上类似于红海裂谷西北缘的碎屑萨布哈沉积(Purser,1987)。

参 考 文 献

- [1]王璞君、王东坡,1992a,松辽盆地白垩纪黑色页岩沉积与湖泊缺氧事件,基础地质专辑,吉林省科技出版社,265—269。
- [2]王璞君、周燕、王东坡,1994,白垩纪非海相层序同位素年龄的直接测定研究及盆地分析的同位素年代学方法,世界地质,13(3):124—131。
- [3]王璞君、杜小弟、王东坡,1995,松辽盆地白垩纪湖侵沉积层序的地球化学特征与海进/海退事件的地球化学记录,岩相古地理,15(4):14—20。
- [4]刘宝君,1980,沉积岩石学,北京:地质出版社。
- [5]刘英俊、李兆麟、王鹤年等,1979,地球化学,北京:科学出版社。
- [6]杜小弟、王璞君,1992b,冰筏沉积与古气候、古地理,岩相古地理,4期,35—41页。
- [7]杜小弟、王璞君,1992c,沉积速率的定量计算,长春地质学院学报,22(1):67—71。
- [8]钟其权、马力、石宝珩,1985,松辽盆地的演化和构造格局对沉积建造的控制,松辽陆相盆地石油地质(杨万里主编),石油工业出版社,26—34页。
- [9]赵其渊,1989,海洋地球化学,北京:地质出版社。
- [10]Anadon, P., Rossell, L. and Talbot, M. R., 1992, Carbonate replacement of lacustrine gypsum deposits in two Neogene continental basins, eastern Spain. *Sedim. Geol.*, 78:201—216.
- [11]Andreason, M. W., 1992, Coastal siliciclastic sabkhas and related evaporative environments of the Permian Yates formation, North Ward—Estes field, Ward County, Texas. *AAPG Bull.* 76:1735—1739.
- [12]B. A. 格里年科和 L. H. 格里年科,1980,硫同位素地球化学(赵瑞译),北京:科学出版社。
- [13]Hay, R. L., 1978, 沉积岩中的沸石及其成因(黄典豪译),北京:地质出版社。
- [14]Holser, W. T. and Kaplan, J. R., 1966, Isotope geochemistry of sedimentary sulphates, *Chem. Geol.*, 1:93—135.
- [15]Mazzullo, J., Alexander, A., Tieh, T. and M. L. Ding, 1992, The effects of wind transport on the shapes of quartz silt grains. *J. Sedim. Petrol.*, 62:961—971.
- [16]Purvis, K., 1992, Lower Permian Rotilegend Sandstones, southern North sea; a case study of sandstone diagenesis in evaporite—associated sequences, *Sedim. Geol.*, 77:155—171.
- [17]Purser, B. H., Soliman, M. and M'Rabet, A., 1987, Carbonate, Evaporite, Siliciclastic stransitions in quaternary rift sediments of the northwest red sea. *Sedim. Geol.*, 53:247—267.
- [18]Richardson, M. S. and M. Y. Harry, 1989, *Geochemistry*, Prentice—Hall, Inc., New Jersey.
- [19]Warren, J. K. and Kendall, C. G., 1985, Comparison of sequences formed in marine sabkha (subaerial) and salina (sabaqreous) settings—modern and ancient. *Bull. AAPG Bull.*, 69:1013—1023.
- [20]Wolf, K. H., 1980, 层控矿床和层状矿床(谢学锦等译),北京:地质出版社。
- [21]Faure, G., and Powell, J. L., 1975, 锶同位素地质(中科院贵阳地化所译),北京:科学出版社。
- [22]Burke, W. H., Denison, R. E., Hetherington, E. A., Koephnik, R. B., Nelson, H. F., and Otto, J. B., 1982, Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. *Geology*, 10:516—519.

Evaporite Origin and Its Palaeoenvironmental Significance of Quantou Formation, Songliao Cretaceous Nearshore Continental Basin (NE China)

Wang Pujun Ren Yanguang and Wang Dongpo

(Geoenergy Department, Changchun University of Earth Sciences Jilin 130026)

Abstract

The studied well of S113 is situated on the Sanzhao downwarp of the Songliao Basin. About 500m core sequences containing evaporite of Quantou formation (Albian) in the well were systematically researched and described in their sedimentary sequences, structural and fabric features, mineral associations, as well as elemental geochemical and isotopic characteristics. According to the above studies, the authors concluded as following:

1. The evaporites which are mainly anhydrite, barite as well as celestine and gypsum have two kinds of mineral associations and the cementation order of the minerals ought to be barite→calcite→celestine and calcite→gypsum (anhydrite) respectively, which agree with their solubilities.

2. The palaeoenvironmental conditions were $\text{pH}=9$, $\text{Eh}=0.1$, $\text{SO}_4^{2-}=3084\text{mg/L}$ and $\text{CO}_3^{2-}=102\text{mg/L}$, which were the contents in between playa-lake and marine water.

3. There were two sources for forming evaporites — episodic marine water input and continental sources which were mainly composed of meteoric water and oxidation of pyrite from C-P shales and Yanshanian igneous rocks. The ratio of volume of marine input to volume of continental input lay between 0.1—2.6:1.

4. The marine water input became significant approximately during the period of 102Ma, 106Ma and 107Ma, which agree with the Mid-late Albian eustasy.

5. Formed in the arid playa mud flat or salina, the evaporites deposited near water table. And the eolian effect could occasionally become significant.

Key words: Songliao Cretaceous evaporite marine water input palaeoenvironment condition