

# 东濮盆地蒸发岩的成因

李任伟

(中国科学院地质研究所)

辛茂安

(中原油田研究院)

**提要** 东濮盆地第三纪蒸发岩含大量芒硝、钙芒硝等矿物；石盐岩具有低的溴含量，都低于30ppm，部分接近或低于10ppm；硬石膏岩硫同位素的 $\delta^{34}\text{S}$ 的范围从+33.1到+37.5，大大超过现代及第三纪海洋硫酸盐的数值。上述资料表明，东濮盆地第三纪蒸发岩可能为非海相成因。

**主题词** 硬石膏岩 石盐岩 非海相 第三系 溴含量 硫同位素

**第一作者简介** 李任伟 男 48岁 副研究员 地球化学

东濮盆地北部下第三系沙河街组发育了厚层的蒸发岩沉积，其成因不仅直接关系沉积盆地的性质及演化，而且关系油气的生成及特征。笔者对东濮盆地的蒸发岩进行了研究，取得了若干有意义的分析数据，包括矿物、微量元素和稳定同位素，笔者将根据这些综合资料，来讨论蒸发岩的成因。

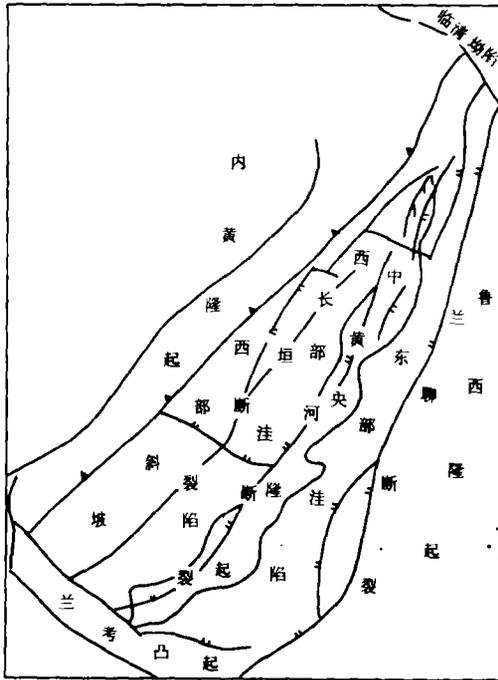


图1 东濮盆地构造区划略图

Fig.1 The sketch map of tectonic division in Dongpu Basin

## 一、地质背景

东濮盆地位于豫东北、鲁西南，南北长约145km，南宽北窄（北宽14km，南宽62km），面积5,300km<sup>2</sup>。它是中生代末期发生强烈断陷后形成的，受两组主要构造的控制，一为北北东—北东向，一为北西—北西西向。由于这两组构造的影响，形成了东西分带和南北分块的构造格局。例如，由于主要受北北东向的兰聊、黄河、长垣三条大断裂的控制，形成了两洼一隆一斜坡，即东部和西部洼陷，中央隆起和西部斜坡。（图1）

下第三系，东濮盆地沉积了包括沙河街组和东管组厚达7000m的碎屑岩和蒸发岩沉积。北部地区沙四段为一套紫红色泥岩，

粉、细砂岩和深灰色泥岩, 粉砂岩。沙三段为一套深灰至黑色的泥、页岩和粉砂岩互层, 并夹有厚层蒸发岩层。沙二段为一套红色泥岩、砂岩或紫红、灰绿相兼颜色的泥岩、砂岩。沙一段为一套灰色泥、页岩和砂岩, 也夹有厚层蒸发岩沉积。下第三系东管组为一套灰绿色砂岩和泥岩的互层。

东濮盆地下第三系沙河街组具有四套蒸发岩沉积, 三套分布在沙三段, 一套分布在沙一段。沙三段包括文留地区沙三一4段, 卫城地区沙三一3段, 以及沙三一2段的蒸发岩沉积。蒸发岩一般分布在次一级凹陷的中心部位。其累计厚度达100—200m, 卫城—前梨园地区, 累计厚度超过400m。蒸发岩单层厚度变化较大, 从不足一未至20—30m。

## 二、东濮盆地蒸发岩的矿物和化学特征

主要对卫20井和文204井的16个蒸发岩, 另外还包括濮63井的一个蒸发岩样品进行了矿物鉴定(表1)。结果表明它们多数为石盐岩或硬石膏岩。另外还存在无水芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )—钙芒硝岩(文204井, 中60上), 无水芒硝—硬石膏岩(文204井, 中63)等。盐类矿物的鉴定主要根据X—射线衍射分析(如图2), 薄片鉴定并参考盐类的化学分析。

东濮盆地蒸发岩的矿物组成是比较复杂的; 而且纵向上有时即使是在相邻部位, 其矿物组成变化也很大(表1); 尤其加上存在无水芒硝—钙芒硝, 使得其矿物组成具有一定的成因意义。Hdser (1979, A) 指出, 在非海相蒸发岩中, 矿物种类的范围很大, 而且常常发现天然碱( $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 钙芒硝( $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ )和芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )或无水芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )。Eugster (1980) 也指出非海相蒸发岩矿物组成的复杂

表1 东濮盆地下第三系蒸发岩的矿物组成  
Table 1 Mineralogical composition of the Lower Tertiary evaporites from Dongpu basin

井号	编号	岩石名称	深度	主要矿物	次要矿物
卫20	10	硬石膏岩	2296(米)	硬石膏	白云石
	11	石盐岩	2300	石盐	
	12	硬石膏岩	2301	硬石膏	石盐
	13	石盐岩	2304	石盐	硬石膏
	14	石盐岩	2304·5	石盐	
	15	石盐岩	2305	石盐	硬石膏
	16	硬石膏岩	2305	硬石膏	
	24	硬石膏岩	2410	硬石膏	
	104	硬石膏岩	2656	硬石膏	石英, 白云石, 方介石
文204	60(上)	芒硝—钙芒硝岩	3906	芒硝, 钙芒硝	石盐
	60(下)	石盐岩	3906	石盐	白云石
	61	石盐岩	3908	石盐	
	63	芒硝—硬石膏岩	3910	芒硝, 硬石膏	石盐, 钙芒硝
	66	石盐岩	3914	石盐	
	67	硬石膏—石盐岩	3915	硬石膏, 石盐	芒硝, 白云石
濮63	82	石盐岩	3277—3285	石盐	

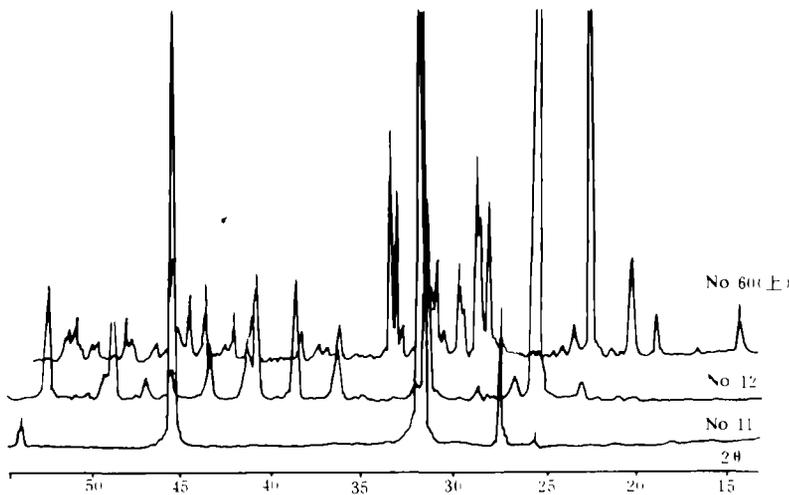


图2 东濮盆地蒸发岩 X—射线衍射分析曲线

Fig.2 X-ray diffraction analyses of evaporites from Dongpu basin

性, 指出钙芒硝类矿物常常形成于蒸发的盐湖环境。可以推测, 东濮凹陷的蒸发岩也可能形成于陆相盐湖环境。

但是芒硝—钙芒硝类矿物并不具有肯定指示成因的意义 (Eugster, 1980)。要更可靠地确定东濮凹陷蒸发岩的成因, 仅仅根据矿物方面的资料是不够充分的。本文后面三、四节将提供更多的证据。

按照 Eugster, 卤水可以分成五个类型,

即 (a)  $\text{Na}-\text{CO}_3-\text{Cl}$ , (b)  $\text{Na}-\text{CO}_3-\text{SO}_4-\text{Cl}$ , (c)  $\text{Na}-\text{SO}_4-\text{Cl}$ , (d)  $\text{Na}-\text{Mg}-\text{SO}_4-\text{Cl}$  和 (e)  $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{Na}-\text{Cl}$  型。东濮凹陷蒸发岩主要矿物组成为石盐 ( $\text{NaCl}$ ), 硬石膏 ( $\text{CaSO}_4$ ), 无水芒硝 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 和钙芒硝 ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ ), 因而其成盐卤水应该为  $\text{Na}-\text{SO}_4-\text{Cl}$  型。我们还对蒸发岩样品进行过化学分析, 结论是一致的 (分析的结果列于表 2),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , 还有  $\text{Ca}^{2+}$  为成盐卤水的主要成分。

### 三、石盐岩中微量元素溴的分布及其意义

石盐岩中溴的地球化学对于确定石盐岩本身的成因, 成盐卤水容量的大小及对钾盐的勘探具有重要意义。溴的地球化学主要基于它在石盐晶体和成盐卤水中的分配 (分配系数  $d = C_{\text{BC}} / C_{\text{Bb}} < 0.14$ ,  $C_{\text{BC}}$  为溴在石盐晶体中的浓度,  $C_{\text{Bb}}$  为溴在成盐卤水中的浓度, 参见 Holser, 1979 b)。因为溴的分配系数  $d$  显著小于 1, 当石盐晶体从卤水中结晶出来时, 溴主要分配在卤水中。结果溴在石盐晶体中的浓度将大大低于它在卤水中的浓度。随着卤水中溴浓度不断增加, 以后结晶出来的石盐的溴浓度也缓慢增加。

按照 Holser (1979b), 海相成因的石盐岩, 其溴的含量通常高于 60ppm。如果石盐岩溴浓度低于 20ppm 左右, 常常指示其具有二次循环的成因, 即它可能为初次形成的石盐岩经过重溶后二次生成。较之成盐卤水, 初次形成石盐岩的溴含量本来就显著降低, 再经过重溶到浓缩成卤水, 第二次成盐又发生一次分配, 结果溴在二次循环成因的石盐岩中含量就更低了。当石盐岩溴的浓度低于约 10ppm 时, 不仅指示为二次循环成因, 而且指示这种重溶作用还是在非海洋或淡水中发生的。

东濮盆地石盐岩的溴含量无例外地具有低的数值 (小于 30ppm, 表 2), 显著低于正常海相成因类型。其中部分样品的数值等于或低于 10ppm。例如卫 20 井中—11, 中—13, 文 204 井的中—67 和濮 63 井的中—32。按照上述标准, 由这些样品所代表的石盐岩不仅可能

表2 东濮盆地第三系蒸发岩的化学组成\*  
Table 2 Chemical composition of the Lower Tertiary evaporites from Dongpu basin

井号	编号	岩石名称	K	Na	Ca	Mg	Cl	Br**	SO <sub>4</sub> **
卫 20	10	硬石膏岩	0.29	0.68	21.8	1.62	0.035	—	47.22
	11	石盐岩	0.00	31.90	0.06	0.01	59.56	<0.0005	—
	12	硬石膏岩	0.22	0.43	27.69	2.75	0.030	—	48.01
	13	石盐岩	0.00	32.64	0.26	0.03	58.74	0.0010	—
	14	石盐岩	0.02	32.05	0.02	0.04	59.00	0.0015	—
	15	石盐岩	0.05	31.90	0.44	0.14	—	—	—
	16	硬石膏岩	0.25	0.45	24.66	0.42	0.030	—	61.09
	24	硬石膏岩	0.50	0.48	22.16	0.87	0.027	—	52.54
文 204	60	芒硝—钙芒硝岩	—	—	—	—	7.14	<0.0005	—
	61	石盐岩	0.05	30.86	0.49	0.26	—	—	—
	62	石盐岩	—	—	—	—	59.40	0.0028	—
	63	石盐岩	0.05	32.42	0.58	0.27	58.18	0.0028	—
	67	石盐岩	0.11	32.05	1.47	0.05	51.15	0.0010	—
濮 63	82	石盐岩	0.00	32.05	0.09	0.02	59.20	0.0010	—

\* 表中所列分析由中国科学院地质所分析室完成。 \*\* 该分析项目由化工部化学矿山地质研究所完成。 — 表示该项目未测定。

属二次循环成因，而且重循环的水还可能是非海洋的，即陆相的淡水。

陆相石盐岩具有低溴含量的实例是不不少的。靠近西德汉堡的下二叠系 Rotliegendes 建造中厚层石盐岩，已被证明为陆相成因，其溴的含量仅为 2.5 到 4.5ppm。最近报道，美国西部二叠系 Williston 盆地、Opeche 建造中厚层石盐岩也具有低的溴含量，多数低于 30ppm，仅个别可高约 70ppm。Opeche 的石盐岩被解释为是在一个封闭的大陆盆地中形成的 (Wilgus and Holser, 1984)。

#### 四、蒸发岩中硫同位素地球化学

对东濮盆地硬石膏岩进行了硫同位素测定 (分析由中国科学院地质研究所稳定同位素实验室完成)。样品的分布及硫同位素组成列于表 3 中。

硫同位素分析用 SO<sub>4</sub> 的制备方法如下：在 800℃ 时，岩样被埃斯卡试剂 (3Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: 2MgO) 分解，所形成的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 以钡盐 (BaSO<sub>4</sub>) 的形式沉淀，然后在 1700℃ 高温下直接分析，得到质谱分析所需要的 SO<sub>2</sub> 气体。用埃斯卡试剂方法所得到的硫同位素组成包括岩样中多种形式硫的贡献。但是由于笔者所选取的样品为纯的硬石膏矿物，所以岩样的硫同位素组成实际上代表硬石膏本身。

从表 3，东濮盆地硬石膏的硫同位素 δS<sup>34</sup> 值的范围从 +33.1—+37.5，显著富集 S<sup>34</sup> 的成份。

人们对海相硫酸盐 (主要是石膏) 的硫同位素组成已经进行了大量工作，证明从现代海水中形成的硫酸盐矿物常常和海水硫酸盐本身具有大致相同的硫同位素组成，因而设想可以根据古代蒸发岩来判断古海洋硫酸盐的同位素组成。这方面最重要的成果就是建立了海相硫酸盐 (以及所反映的古海洋) 的硫同位素组成随地质时代如何演化的曲线 (Holser and

表3 东濮盆地第三系蒸发岩的硫同位素组成\*

Table 3 Sulfur isotope composition of the Lower Tertiary evaporites from Dongpu basin

井号	编号	矿物	深度(米)	$\delta S^{34}\%$
卫20	10	硬石膏	2299	+34.2
	12	硬石膏	2301	+33.1
	16	硬石膏	2305	+33.6 (33.7**)
	20	硬石膏	2390	+33.4
	24	硬石膏	2410	+33.8
	104	硬石膏	2656	+31.8
文204	60	硬石膏	3906	+35.0
	63	硬石膏	3910	+34.2
	64	硬石膏	3912	+34.0
	66	硬石膏	3914	+33.2
	67	硬石膏	3915	+37.5

\*表中分析项目由中国科学院地质所同位素室完成, \*\*对两次取样进行平行硫同位素分析的结果。

Kaplan, 1966)。在一定的地质时代, 海相蒸发岩(以及由它所反映的古海洋硫酸盐)的同位素组成仅仅在一个比较狭窄的范围内变化。现代海洋硫酸盐以及海相成因蒸发岩的硫同位素  $\delta S^{34}$  大约为+20。不仅大洋如此, 还包括黑海、红海等。例如, 红海海水  $\delta S^{34}$  为+20.8, 而沿红海底部流动的热卤水, 其  $\delta S^{34}$  值为+20.3。(B. A 格里年科, L.H 格里年科, 1972; 中译本, 1980)。

根据 Holser 和 Kaplan 的资料(1966), 第三纪时期, 海相蒸发岩和现代海洋硫酸盐硫同位素组成并无明显差别。最大的  $\delta S^{34}$  (‰) 大概不超过+25。但是和第三纪海相蒸发岩对比, 东濮凹陷蒸发岩具有重得多的硫同位素组成。(如上述, 其  $\delta S^{34}$  (‰) 高达+33.1—+37.5)。从此, 很难设想东濮凹陷蒸发岩会是典型海洋成因。

要阐明东濮盆地蒸发岩硫同位素组成的意义, 还必须进一步探讨其地球化学的机制。众所周知, 决定一个盆地水体和沉积物中硫同位素的组成, 有两个重要因素。一是硫的来源, 即从陆源的(经过岩石风化和搬运过程)各种形式的硫自身的同位素组成。例如当来源于以前的蒸发岩时, 常常相对富集重的同位素成分。相反, 如果硫主要来源于黑色页岩风化产物时, 因为黑色页岩主要为还原形式的硫(硫化矿物), 则常常富集轻的硫同位素成分。另一个重要因素是盆地内发生的生物分馏作用。已经证实, 生物分馏作用对水体和沉积物中硫同位素组成具有很大的影响。结果使得不同形式的硫, 如硫酸盐和硫化物的  $\delta$  值, 差别可以达到 50 到 60%。(Faure, 1977)。造成生物化学分馏的主要微生物为硫还原菌。由于硫还原菌的作用, 盆地中的硫酸盐被还原时, 所形成的硫化氢富集轻的硫同位素  $S^{32}$ 。结果残存的硫酸盐本身就富集重的硫同位素  $S^{34}$ 。部分还原形式的硫( $S^{2-}$ )以后可以硫化物的形式被固定于沉积物中。在海洋条件下, 由于硫酸盐的数量很大, 生物分馏作用并不明显改变其硫同位素组成, 因而海相蒸发岩和海洋的硫酸盐具有大致相同的同位素组成。但是对一个封闭的内陆盆地(如湖泊), 情况就完全不同了。因为盆地水体所含的硫酸盐数量毕竟是有限的, 结果由硫还原菌所造成的生物分馏可以大大改变硫同位素原来的组成, 盆地中硫酸盐以及最终可能形成的蒸发岩沉积, 明显富集重的硫同位素  $S^{34}$ , 具有大的正  $\delta$  值。

已经发表了若干古代蒸发岩硫同位素地球化学的资料, 这些成果为研究东濮盆地蒸发岩的硫同位素地球化学以及蒸发岩的成因可以提供类比。

美国第三纪的绿河建造, 分布范围跨科罗拉多、犹他和怀俄明等州的广大地区。这套地层中含有厚层蒸发岩, 同时含有为世界上储量最大的油页岩沉积。绿河建造主要分布于第三纪时的几个大湖盆中(绿河盆地, 瓦舍凯盆地, 犹因塔盆地和皮森河盆地)。Desborough (1978) 认为绿河建造油页岩形成时, 湖盆具有为生物成因、化学上分层的环境。Cole 和 Picard (1978) 也认为, 在绿河建造沉积历史的一定时期, 其环境可能是化学上分层的。已经对犹因塔盆地的烃类及生油岩进行了硫同位素研究 (Harrison and Thode, 1958), 包括瓦萨克建造、绿河建造和犹因塔建造。发现以瓦萨克建造向上经过绿河建造下部地层到绿河建造的上部, 硫同位素的组成发生规律性的变化,  $\delta S^{34}$  从负值变为正值, 到比较大的正值。在绿河建造的上部地层, 岩石中硫酸盐的  $\delta S^{34}$  达+29.0, 显著高于现代海洋硫酸盐的数值(+20)。同样有意义的事实是, 犹因塔盆地盐度的变化也是有规律的, 从瓦萨克建造到绿河建造上部地层, 盐度不断增高。最近发表的绿河建造硫同位素研究结果表明, 在油页岩中硫同位素(铁的硫化矿物)有更高的  $\delta S^{34}$  数值, 平均值从 32.7 到 37.9 (Cole and Picard, 1981), 大大超过了现代海洋硫酸盐。犹因塔盆地是一个典型的陆相盆地, 而且根据硫同位素地球化学研究, Harrison 和 Thode (1958) 早就指出, 湖盆在化学上是分层的, 不仅有利于烃类的形成和保存, 而且由于硫还原菌活动非常发育, 还发生了强烈的硫同位素分馏。在盆地演化过程中, 持续的生物分馏作用最终导致硫酸盐以及由它们形成的有机硫, 硫化矿物的硫大大富集重同位素成分 ( $S^{34}$ ), 因而具有很高的  $\delta S^{34}$  值。

在规模及沉积物的性质等方面, 笔者不可能把东濮盆地和形成绿河建造的湖盆完全进行类比。但是它们在硫同位素组成上的类似特点(大大超过现在海洋硫酸盐的数值), 表明盆地的沉积环境及演化具有相似性。东濮盆地也可能是一个典型的陆盆, 而且盆地也经历过在化学上具有分层特征的阶段, 在湖盆下部发育硫还原菌等细菌微生物活动, 造成了强烈的硫同位素分馏。强烈的细菌微生物活动不仅导致形成具有很高  $\delta S^{34}$  数值的蒸发岩沉积, 而且还会产生大量有机质加入到沉积物中, 加上盆地下部层位水体的还原性有利于有机质的保存, 因而在东濮凹陷中可以发育比较丰富的油气资源。

笔者曾经对卫 20 井等钻孔的岩心进行过仔细观察。在含有厚层蒸发岩沉积的沙三段, 大部分泥岩具有纹层结构, 有时泥膏岩也具有纹层结构, 水平层理发育, 表明沙三段沉积物常常形成于静水环境, 因而在湖盆水体中可以发生化学分层的现象。

## 五、结 论

东濮盆地蒸发岩的成因给我们提出了难题, 但同时也给我们提供了机遇, 使我们可以采用多种手段对它进行综合研究。

东濮盆地蒸发岩矿物组成包括大量芒硝、钙芒硝, 石盐岩具有低的溴含量, 低于 30ppm, 部分接近或低于 10ppm; 以及硬石膏岩硫同位素的  $\delta S^{34}$  范围从+33.1 到+37.5, 大大超过海洋硫酸盐的数值(约+20)。综合分析这些资料, 表明东濮盆地曾经是一个陆相湖盆, 东濮盆地蒸发岩(以及油气资源)就是在这样的沉积环境下形成的。近年来在我国东部第三纪盆地中陆续发现海相沉积标志, 东濮盆地可能也不例外。上面的结论并不排斥海侵的

影响。但是考察盆地总的发展演化历史, 海洋环境对东濮凹陷蒸发岩以及油气的形成可能不起主要作用。

硫同位素的研究还表明, 东濮盆地这个下第三纪湖盆的环境具有化学分层的特征, 硫酸盐还原菌等微生物的活动十分发育。其结果不仅导致东濮凹陷蒸发岩硫同位素发生强烈分馏, 而且对油气的形成造成了有利的条件。

本项研究工作得到科学院地学部、地质所、石油部科技司和中原油田的支持。化学分析主要由中国科学院地质所李德春, 硫同位素分析主要由赵瑞, X—衍射分析主要由周景良等完成。对X—衍射图谱的解释以及对硫同位素分馏机制的讨论, 作者还分别得到张乃娴、李家驹、赵瑞和陈锦石的帮助。在样品准备和编写过程中还得到林大兴和王志珍的帮助。在此一并致谢。

收稿日期 1986年2月7日

### 参 考 文 献

- (1) 金强, 黄醒汉, 1985, 华东石油学院学报 (自然科学版), 9卷1期 1—14页
- (2) B·A·格里年科, L·H·格里年科 (赵瑞译) 1980, 硫同位素地球化学, 北京科学出版社
- (3) R.D.Cole and M.D.Picard, 1978, Geological Society of America Bull., V.89, p.144—1454.
- (4) R.D.Cole and M.D.Picard, 1981, Sulfur—sulfur isotope variations in marginal—lacustrine rocks of the Green River Formation, Colorado and Utah, SEPM Special Publication No. 31, p.261—275
- (5) G.A.Desborough, 1978, Geological Society of America Bull., V.89 p.961—971.
- (6) H.P.Eugster, 1980, Geochemistry of evaporite lacustrine deposits, Ann. Rev. Earth, Planet. Sci. 8: 35—63
- (7) G.Faure 1977, Principles of Isotope Geology, John Wiley & Sons, New York.
- (8) A.G.Harrison and H.G.Thode, 1985, AAPG Bull., V.42, p.2642—2644
- (9) W.T.Holser, 1979a, Mineralogical Society of America Short Course Notes, V.6, p.211—286.
- (10) W.T.Holser, 1979b, Trace elements and isotopes in evaporites, *ibid.* p.295—346
- (11) W.T.Holser and I.R.Kaplan, 1966, Chem. Geol., V.1, p.93—135
- (12) C.K.Wilgus and W.T.Holser, 1984, AAPG Bull., V.68, p.765—767

## ORIGIN OF EVAPORITES OF DONGPU BASIN

Li Renwei

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Xin Maoan

(Research Centre of Zhong Yuan Oil Field, Henan Province)

### Abstract

Dongpu basin is located in the North-Eastern Part of Henan Province and South-Western part of Shandong Province, with area of 5300km<sup>2</sup>. It started with intensive fault-subsiding activities at the end of the Mesozoic era. During Lower Tertiary, clastic rocks and evaporites with thickness of 7000m deposited in Shahejie group and Dongying group.

There are four suits of evaporite deposits in the Lower Tertiary Shahejie group of Dongpu basin. Three of them occur in third member of the group. Three of them occur in third member of the group, the another occurs in first member of the group. Evaporites localize generally near the centre of a sub-subsidence. Their total thickness normally is ca. 100-200m, sometimes up to 400m.

Evaporites of Dongpu basin are mainly halites, anhydrites and mirabilite-glauberite rocks. Their mineralogical composition varies greatly laterally and longitudinally. In addition to existence of minerals such as mirabilite-glauberite the mineralogical composition of the evaporites may display a certain significance to its origin.

The bromine distribution in halites of Dongpu basin was studied. It has been discovered that all samples have low values below 30 ppm, which are much lower than those of normally marine halites. The bromine contents in some samples of halites are approximate to or below 10ppm, which indicates not only that the halites are second-cycled in origin but also that the second-cycled halites are probably from non-marine or continental fresh water.

At a certain geological time, sulfur isotope composition of marine evaporites and the correspondent sulfates of ancient oceans changes generally in a narrow range.  $\delta S^{34}$  values (‰) of the present marine evaporites and the oceanic sulfates are +20, more or less. There is no distinct difference in sulfur isotope composition of marine evaporites between the Tertiary and the present. However, it has been shown by determination of sulfur isotope composition of anhydrites from Dongpu basin, that their  $\delta S^{34}$  values are from +33.1 to 37.5 and the sulfur is much enriched in S<sup>34</sup> compared with the Tertiary marine type. So it is difficult to suggest that the anhydrites of Dongpu basin are typically marine in origin.

Generally, only a defined amount of sulfates are contained within water body of a quite closed inland basin. Biological fractionation caused by reducing bacteria may change the original sulfur isotope composition greatly, finally the S<sup>34</sup> is most enriched in sulfate deposits. The Dongpu basin would be such closed type of lake basins and the evaporites, enriched in S<sup>34</sup>, deposited in it correspondently. Similar to lake basins, e.g. Uintah basin Utah etc., consisting of the Green River Formation, probably the Dongpu basin experienced steps when the water body was chemically stratified. A strong fractionation of sulfur isotope occurred and the chemically stratified structure in water body favoured accumulation of organic matter to produce a enormous potential of oils and gas in the basin.