

# 盐湖相生油岩中某些地球化学参数与沉积环境的关系<sup>①</sup>

妥进才 邵宏舜 黄杏珍

(中国科学院兰州地质研究所)

**提 要** 柴达木盆地西部第三系盐湖相沉积生油岩中,含有丰富的碳酸盐岩,局部层段还含有盐岩、石膏和芒硝。生油岩中生物标志化合物的组成和分布与沉积环境有着密切的关系。沉积环境中盐度的增加可以抑制 T<sub>m</sub> 向 T<sub>s</sub> 的转化,反映母源输入的参数甾烷 C<sub>27</sub>/C<sub>28</sub>+C<sub>29</sub> 比值,随岩石中 Cl<sup>-</sup> 离子含量的增加而增大。成熟度参数藿烷 C<sub>31</sub>S/R 及甾烷 C<sub>29</sub>ββ/αα+ββ 比值随岩石中碳酸盐含量的增加而减小,表明碳酸盐对甾烷和藿烷的差向异构化反应存在着迟缓效应。

**关键词** 含盐盆地 沉积环境 碳酸盐

**第一作者简介** 妥进才 男 31岁 助研 有机地球化学

## 引 言

含盐盆地不仅能够生油,而且可能有很高的油气产率,这已为国内外勘探实践所证实。我国是世界上含盐盆地分布众多的国家之一,如华北、东濮、江汉、苏北、三水、清江、金坛、东莞等盆地(或凹陷)。并且在许多盆地中都先后发现了具有工业价值的与含盐地层有关的油气藏。因此,加强对含盐盆地生油岩及原油的有机地球化学研究,将有助于深化对含盐盆地油气生成及运移特点的认识。

## 1 地质背景

柴达木盆地西部第三系处于干旱—半干旱气候条件下,湖盆水体以微咸水至咸水为主。西部南区的狮子沟地区在始新统时已达半咸水沉积阶段,经渐新统下段短期淡化后又迅速咸化而达咸水沉积阶段,直至中新统下段(N<sub>1</sub>),适值气候干燥时期,蒸发作用强烈。该段地层内分布着白云质泥岩、灰质泥岩、石膏、芒硝和岩盐交互的盐湖相沉积。自中新统上段至上新统,湖盆水体基本稳定在微咸水阶段。西部北区的小梁山和南翼山地区自渐新统至中新统主要以微咸水沉积为主,上新统进入半咸水沉积阶段,上新统晚期进一步咸化,末期达到盐湖沉积阶段。南北两区均以盐湖相沉积为主,但盐湖发育的时间略有不同,南区的狮子沟盐湖

<sup>①</sup> 国家自然科学基金资助项目

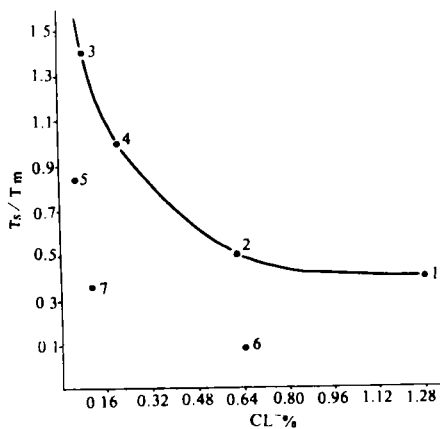


图 1 柴西北区 Ts/Tm 与 Cl<sup>-</sup> 含量关系

Fig. 1 Plot of Ts/Tm vs Cl<sup>-</sup> in north region of west part, Qaidam Basin

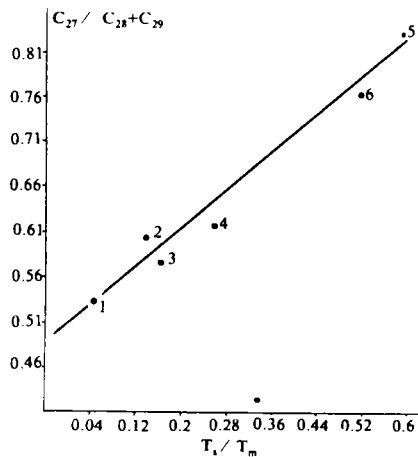


图 2 柴西南区甾烷 C<sub>27</sub>/C<sub>28</sub>+C<sub>29</sub> 与藿烷 Ts/Tm 关系图

Fig. 2 Plot of C<sub>27</sub>/C<sub>28</sub>+C<sub>29</sub> vs Ts/Tm in south region of west part, Qaidam Basin

基藿烷在酸的催化作用下,首先发生侧链断裂,随之发生甲基移动,最后加氢还原,形成三降藿烷。其次从化学结构来分析,Ts 是较稳定的化学结构,在热力作用下,Tm 有向 Ts 逐渐转化的趋势。例如,在狮 20 井剖面中,Ts/Tm 比值随深度的增加逐渐增大。从深度 2300m 到 4500m,Ts/Tm 比值从 0.05 增加到 0.53,说明由 Tm 向稳定结构 Ts 的转化是存在的。只不

发育于渐新统上段至中新统下段,而北区的小梁山、南翼山盐湖则形成于上新世末期。狮子沟地区生油岩主要形成于盐湖发育的 E<sub>3</sub> 至 N<sub>1</sub>, 而小梁山和南翼山地区的生油岩则主要形成于微咸水—半咸水沉积为主的 N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> 和 N<sub>3</sub> 时期。南北两区生油岩中均含有丰富的碳酸盐岩。

## 2 生物标志化合物的组成分布及其与沉积环境的关系

对于甾、萜类等生物标志化合物的组成和分布及其在有机质埋藏过程中所经历的演化过程,国内外学者都作了大量报导,也提出了许多有效的指标(Brassell and Eglinton, 1985; Didyk et al. 1978; Brassell 1985; Moldowan 1985; Fu et al. 1986; Seifert, et al., 1987, 1978)。在柴达木盆地第三系盐湖相沉积盆地的生油岩研究中,笔者发现许多指标受环境因素影响较大,尤其与沉积时水体的盐度及碳酸盐含量关系密切。因此,对这方面的问题进行探讨,将会对类似的含盐盆地的研究提供某些有益的启示。

### 2.1 Ts/Tm 比值

许多学者曾用 Ts/Tm 比值作为判断生油岩和原油成熟度的指标,近年来的研究发现,这项参数受环境因素的影响更大(Seifert, et al., 1978, 1987)①柴达木盆地西部第三系原油和生油岩抽提物中,Ts 含量普遍较低,尤其是西南部南区的狮子沟,Ts/Tm 比值绝大部分均小于 1,即使埋深在 4000m 以下,R<sup>o</sup> = 1.3% 时,Ts/Tm 比值也不大于 1。W. K. Seifert(1978)曾指出三降藿烷的先质体可能是 α-羟基藿烷。α-羟

① 黄第藩,李晋超等,1987,柴达木盆地西部第三系油源岩的地球化学和生油评价,石油工业部勘探开发科学研究院,青海石油局石油勘探开发研究院(内部资料)。

过高盐度的环境不利于 Ts 的形成,致使狮 20 井中 4000m 以下的生油岩中 Ts/Tm 比值仍未大于 1。如图 1 所示,在北区南翼山样品中, Ts/Tm 比值随岩石中  $\text{Cl}^-$  离子含量的增加而减小。狮子沟地区的样品也具有同样的趋势。说明盐湖相中盐度的增加可以抑制 Tm 向 Ts 的转化。从地层水测试的结果来看,南翼山地区地层水中 pH 值为 6~7,呈中性至弱酸性,一般说来,这种介质中  $[\text{H}^+]$  浓度较高,而较高的  $[\text{H}^+]$  浓度会抑制正碳离子的形成,从而使 Tm 向 Ts 的转化发生困难。致使 Ts/Tm 比值显著的低于其他环境。此外, Ts 与 Tm 的形成可能还存在着生源上的差别,如图 2 所示,在狮子沟地区,除 7 号样外,其余样品的 Ts/Tm 比值与甾烷  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  比值呈良好的正相关关系。一般认为甾烷  $\text{C}_{27}$  主要来源于低等水生生物,  $\text{C}_{29}$  主要与高等植物有关,而  $\text{C}_{28}$  则即可来源于低等水生生物,又可来源于陆生高等植物。因此,上述 Ts/Tm 比值与甾烷  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  比值之间的正相关分布,可能表明 Ts 的形成与盐湖相中的某种低等水生生物有着较为密切的关系。

## 2.2 甾烷 $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$ 比值

前已述及,甾烷  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  比值是反映沉积环境中低等水生生物与陆生高等植物贡献大小的一个母源参数,在柴达木盆地生油岩中,这项参数与岩石中的  $\text{Cl}^-$  含量也有一定的关系。如图 3,在狮子沟地区,随岩石中  $\text{Cl}^-$  含量的增加,甾烷  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  比值也随之增加。说明,在盐湖相沉积环境中,由于气候干旱,造成陆源河流补给的枯竭,陆源高等植物的输入也相应的减少了,相反,随着湖盆盐度的增加,一些嗜盐性的菌藻等低等水生生物却有可能适应了盐水环境,而繁衍下来,并加入到沉积有机质中来了。从而形成上述  $\text{Cl}^-$  含量变化与甾烷  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  比值的正相关分布规律。

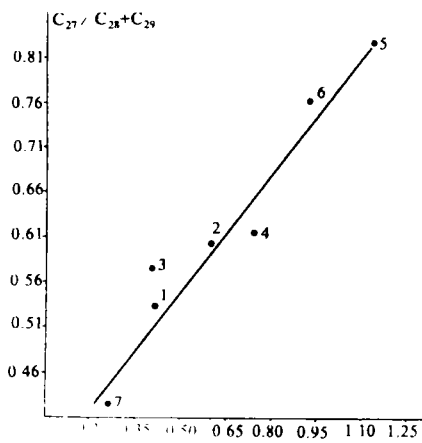


图 3 柴西南区甾烷  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  与  $\text{Cl}^-$  关系图

Fig. 3 Plot of  $\text{C}_{27}/\text{C}_{28} + \text{C}_{29}$  Vs  $\text{Cl}^-$  in south region of west part, Qaidam Basin

## 2.3 甾烷 $\text{C}_{29} \frac{\beta\beta}{\alpha\alpha + \beta\beta}$ 比值及藿烷 $\text{C}_{31} \text{S/R}$ 比值

这是两项常用的成熟度指标,在以往的研究中,许多学者都只考虑了它们在地质历史中的热成熟演化,对于矿物基质的催化或抑制作用,也仅限于理论探讨及试验室的模拟,很少看到有关的实际资料。在柴达木盆地第三系生油岩中,笔者发现包括甾烷  $\text{C}_{29} \beta\beta/\alpha\alpha + \beta\beta$  比值及藿烷  $\text{C}_{31} \text{S/R}$  比值在内的许多成熟度参数在剖面中都有异常的变化。如图 4 所示,与一般的泥岩剖面不同,在碳酸盐含量比较高的梁 3 井剖面及南翼山综合剖面中,甾烷  $\text{C}_{29} \beta\beta/\alpha\alpha + \beta\beta$  比值及藿烷  $\text{C}_{31} \text{S/R}$  比值在剖面中总的变化趋势虽然也是随埋深增加而增大,但波动性却很大。说明除了受热力作用的影响外,这两项参数可能还受到其它因素的作用。进一步研究发现,岩石中的矿物介质尤其是碳酸盐的含量与这两项指标之间存在着密切关系。如图 5 所示,盆地西部第三系生油岩甾烷、藿烷成熟度指标的变化规律为:当岩石中  $\text{CO}_3^{2-}$  离子含量小于 25% 时,甾烷  $\text{C}_{29} \beta\beta/\alpha\alpha + \beta\beta$  比值及藿烷  $\text{C}_{31} \text{S/R}$  比值均随岩石中  $\text{CO}_3^{2-}$  离子含量的增加而增大。而当  $\text{CO}_3^{2-}$  离子含量大于 25% 时,上

述比值则随岩石中  $\text{CO}_3^{2-}$  离子含量的增加而减小。这说明,在柴达木盆地这样一个盐湖相沉积盆地中,当岩石中碳酸盐含量比较低时( $\text{CO}_3^{2-} < 25\%$ ),碳酸盐对甾烷和萜烷的差向异构化反应不仅无阻碍,相反可能还具有一定的催化作用。而当岩石中的碳酸盐含量比较高时( $\text{CO}_3^{2-} > 25\%$ ),就对甾烷和萜烷的异构化反应产生了较明显的迟缓效应。

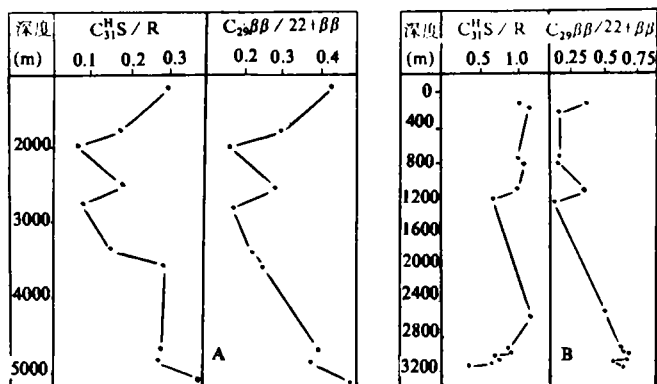


图 4 甾烷  $\text{C}_{29}\beta\beta/\alpha\alpha+\beta\beta$  比值及萜烷  $\text{C}_{31}\text{S}/\text{R}$  比值在剖面中的变化

A 梁 3 井剖面 B 南翼山综合剖面

Fig. 4 The variation of maturity parameters in column

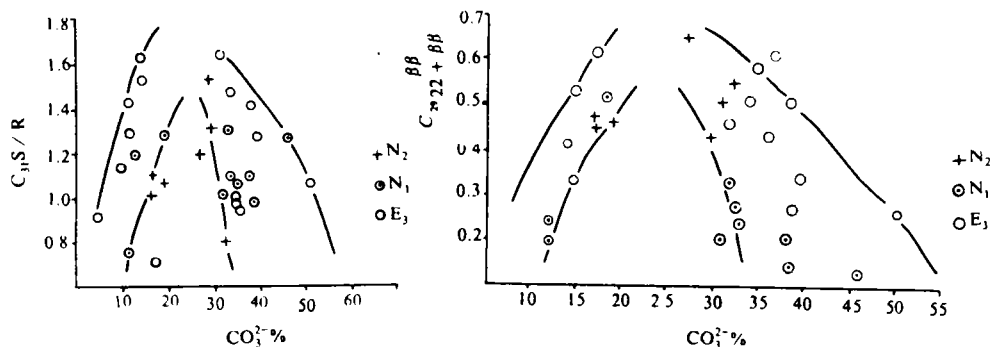


图 5 甾、萜成熟度参数与  $\text{CO}_3^{2-}$  含量关系

(据黄杏珍等,1993)

Fig. 5 Plot of maturity parameters of sterane and hopane vs  $\text{CO}_3^{2-}$  in source rocks

E. Tanenbaum 等(1986)在用不同的介质作催化剂的条件下所做的模拟试验表明,方解石对甾烷及各种三萜烷的异构化反应有抑制作用,而粘土矿物如伊利石、蒙脱石(尤其是蒙脱石)则有利于上述异构化作用的进行,这与图 5 中碳酸根离子含量大于 25% 时的情况是吻合的。

显然,E. Tanenbaum 等的模拟实验是在理想条件下进行的,而实际地层中由于粘土矿物

与碳酸盐矿物共存,它们对甾烷及三萜烷的差向异构化反应所产生的催化和迟缓效应是相互制约、互为消长的关系,即当岩石中碳酸盐含量较低时,粘土矿物的催化作用是主导因素,这时甾烷和萜烷的异构化反应不受碳酸盐的影响,而只受粘土矿物的控制。而当岩石中碳酸盐含量较高时,粘土矿物催化作用消失,碳酸盐的迟缓效应进而变为主导因素。

上述事实说明,盐湖相沉积物中矿物基质尤其是碳酸盐矿物的存在,对甾烷及萜烷异构化反应可以产生迟缓效应。因此,在碳酸盐含量比较高的地区,仅仅用甾烷和萜烷的异构化参数来判别油源岩和原油的成熟度是不可靠的。

### 3 结 论

盐湖相沉积中某些地球化学参数同沉积环境及岩石中的矿物介质的含量存在着密切关系:

1) 沉积环境中盐度的增加可以抑制 T<sub>m</sub> 向 T<sub>s</sub> 的转化,另外, T<sub>s</sub> 的形成可能还与盐湖相中某些低等水生生物有关。

2) 反映母源输入的参数甾烷 C<sub>27</sub>/C<sub>28</sub>+C<sub>29</sub> 比值随岩石中 Cl<sup>-</sup> 离子含量的增加而增大,表明干燥气候可导致陆源高等植物输入的减少和水体盐度的增加,同时某些嗜盐性的菌藻类等低等水生生物仍可繁衍其中。

3) 岩石中较高含量的碳酸盐,可以对甾烷和萜烷的异构化反应产生明显的迟缓效应。

### 参 考 文 献

- [1] Brassell S. C. and Eglinton G. 1986, Molecular. In organic Marine Geochemistry (sohn M. ed), p. 10~32. American Chemical society, Washington D. C.
- [2] Didyk B. M., Simoneit B. R. T., Brassell S. C. and Eglinton G. 1978, Nature vol. 272, 16 March., p. 216~221.
- [3] Moldowan J. M., Seifert W. K. and Gallegos E. J., 1985, AAPG Bull. V. 69, P. 1255~1268.
- [4] Seifert W. K. and Moldowan J. M., 1978, Geochim. Cosmochim. Acta, V. 42, P. 77~95.
- [5] Fu Jiemo and Sheng Guoying, 1986, In Advances in science of china—Earth sciences 1 (Tu Guangzhi ed) P. 251~286, science Press. Beijing, China, 1986; John Wiley and sons, New York.
- [6] Tannenbaum E., Ruth E., Kaplan I. R., 1986, 矿物对于酪根热解产物甾烷和三萜烷的影响,张惠之译,彭平安校,中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放研究实验室研究年报,贵州人民出版社,407~417.
- [7] 黄杏珍等, 1993, 柴达木盆地油气形成与寻找油气田方向, 甘肃科学技术出版社。

## The relationship between some geochemistry parameters and environment in saline facies

*Tuo Jincan Shao Hongshong Huang Xingzhen*

(Lanzhou institute of geology academia sinica)

### Abstract

The Tertiary are saline sediment in western part of Qaidam Basin. The source rocks of oil contain much of carbonate and some strata even contain halite and mirabilite. The concentration of chlorine is higher in rocks. The composition and distribution of biomarkers have a close relationship with their sedimentary environment. The increasing of salinity in sedimentary environment can restrain the transformation from Tm to Ts. In addition, the formation of Ts may relative to some aquatic organism in saline facies. Sterane parameter of  $C_{27}/C_{28} + C_{29}$  ratios which can represent the input information of organism have a positive relationship with the concentration of  $Cl^-$ . Show that because of dry climate, the supplying of higher plants decrease, the salinity increase in water and some aquatic organism which can living in saline water may increase. Many publications have shown that the hopane parameter of  $C_{31} S/R$  ratio and the sterane parameter of  $C_{29} \beta\beta/\alpha\alpha + \beta\beta$  ratio both can reflect the maturity degree of source rocks and oils. But in Qaidam Basin, when the concentrations of carbonate is lower than 25%, both of the  $C_{31} S/R$  ratio and the  $C_{29} \beta\beta/\alpha\alpha + \beta\beta$  ratio have a positive relationship with the concentrations of carbonate, when the concentrations of carbonate is higher than 25%, both of the parameters have a negative relationship with the concentrations of carbonate. Show that the higher amount of carbonate have a restricted effect on the isomerisation of sterane and hopane.