

# 四川盆地三叠纪蒸发岩地层 硫同位素的分布

黄建国 刘世万

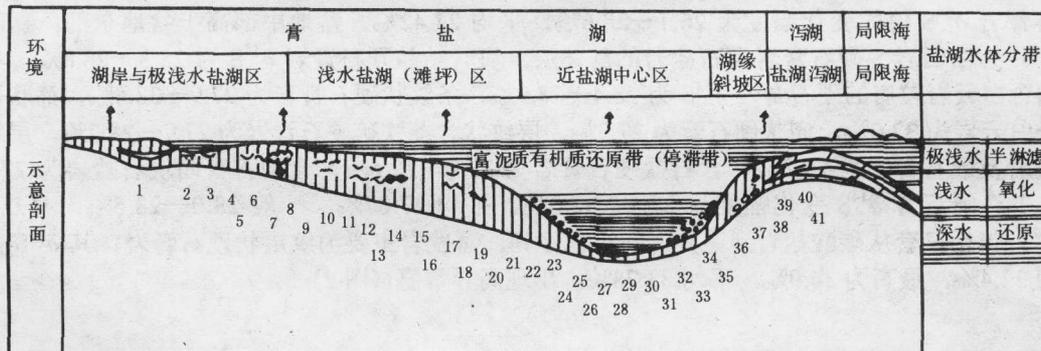
(地矿部第二地质大队)

**提要** 四川盆地三叠系蒸发岩发育, 硫同位素  $\delta^{34}\text{S}$  的变化幅度为 14.5—34.9%。其中以雷口坡组第四段最低约 16.5%, 与现代海洋硫酸盐硫同位素值接近; 雷一段至嘉四段 26.1—29.5%; 嘉二段出现硫同位素的高异常值 (32.4—34.9%), 可用以修改世界流行的  $\delta^{34}\text{S}$  变化曲线。硫同位素的分布也表明了区内三叠纪属浅水盐湖环境。

**主题词** 四川盆地 三叠纪 蒸发岩 硫同位素 浅水盐湖环境

**第一作者简介** 黄建国 男 49岁 盐矿地质

三叠纪, 以硫酸盐为主的蒸发岩沉积在上扬子区广泛分布, 面积超过 400, 000km<sup>2</sup>, 尤以四川盆地最为发育。从早三叠世早期到中三叠世的海相盐湖中均有各种不同类型的硬石膏沉积 (图 1)。笔者在四川盆地三叠系忠县、万县、云阳、蓬安、丹 等地的钾盐及油气普查钻井取芯中采集了上百件样品并进行  $\delta^{34}\text{S}$  含量的测定<sup>①</sup>。



1 层纹状含杂卤石硬石膏岩; 2 具干裂的层纹状硬石膏岩; 3 夹清层石盐的层纹状硬石膏岩; 4 含石盐团块硬石膏岩; 5 白云质条纹含盐硬石膏岩; 6 叠层石硬石膏岩; 7 瘤状硬石膏岩, 具肠状构造硬石膏岩; 8 瘤状砂屑白云质硬石膏岩, 藻纹含盐硬石膏岩; 9 藻屑硬石膏岩, 藻层纹白云质硬石膏岩; 10 条纹状盐质硬石膏岩; 12 白云质条纹含盐硬石膏岩; 13 具格架的含盐硬石膏岩; 14 块状粗晶硬石膏岩, 含碎屑的粗晶硬石膏岩; 15 白云质砾屑块状硬石膏岩; 16 块状硬石膏岩, 具纹理的块状硬石膏岩; 17 具帐构造含盐硬石膏岩; 18 具纹理的含盐硬石膏岩; 19 具纹理的粒屑硬石膏岩; 20 条纹状硬石膏岩; 21 透镜状 (眼球状) 硬石膏岩; 22 层纹状含盐硬石膏岩; 23 含石盐团块层纹状硬石膏岩; 24 含膏砾屑的层纹状硬石膏岩; 25 含盐泥的层纹状硬石膏岩; 26 层纹状含盐泥硬石膏岩; 27 夹清层石盐的层纹状硬石膏岩; 28 层纹状硬石膏及泥岩; 29 毫米层纹状硬石膏岩; 30 层纹状硬石膏岩, 层纹状硬石膏及菱镁岩; 31 含藻屑层纹状硬石膏岩; 32 具毫米层纹的白云质硬石膏岩; 33 含砾屑的层纹状硬石膏岩; 34 层纹状砾屑硬石膏岩; 35 白云质砾屑块状硬石膏岩; 36 层纹状白云质硬石膏岩; 37 层纹状硬石膏及白云岩, 砾屑硬石膏岩; 38 生物碎屑 (骨屑) 硬石膏岩; 39 白云质硬石膏岩; 40 鳞片藻纹硬石膏岩; 41 层纹状白云岩及硬石膏岩

图 1 硬石膏盐湖沉积示意图

Fig.1 Diagram of Triassic salina lake for Anhydrite (Gypsum sediments in Sichuan basin)

①样品由中国科学院地质研究所八室分析

## 硫同位素的地层分布

四川盆地中三叠统的雷口坡组和下三叠统的嘉陵江组、飞仙关——大冶组中有厚达 100—500m 的硬石膏沉积。雷口坡组由碳酸盐岩、碎屑岩及蒸发岩组成，划分为四个岩性段，硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  含量 14.5—29.5%，变化幅度较大。雷四段 ( $T_21^4$ ) 硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  含量 14.5—18.9%，其中含硬石膏杂卤石岩 16.3%，含钙芒硝及菱镁矿的硬石膏岩 16.4%，硬石膏及菱镁岩韵律层 16.2%，含杂卤石硬石膏岩 116.7% 等，各类蒸发岩  $\delta^{34}\text{S}$  平均值约 16.5%。雷三段 ( $T_21^3$ ) 中硬石膏岩厚度小，盐岩厚度大，沉积相标志指示较深水盐湖环境。含泥质条纹结晶硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  为 23.2%，结晶硬石膏夹泥质岩为 21.4%，白云质硬石膏岩为 19.7%，平均  $\delta^{34}\text{S}$  为 21.78%，与现代海洋硫酸盐硫同位素值接近。雷一段 ( $T_21^1$ ) 硬石膏岩  $\delta^{34}\text{S}$  值为 27.1—29.5%，变化幅度较小。其上部蒸发岩亚段 ( $T_21^{1-3}$ ) 中的白云质条带硬石膏岩  $\delta^{34}\text{S}$  为 28.3%—29.5%，条带状含盐硬石膏岩为 28.6—28.7%，藻纹硬石膏岩为 28.5%，白云质藻纹硬石膏为 29.4%，平均 28.83%；其下部蒸发岩亚段 ( $T_21^{1-1}$ ) 硬石膏沉积厚度 30—100 米，多半为纹层状硬石膏及纹层状菱镁质硬石膏岩，在盆地中部  $\delta^{34}\text{S}$  为 28.9—29.5%，在盆地东部  $\delta^{34}\text{S}$  则为 27.1—28.12%。

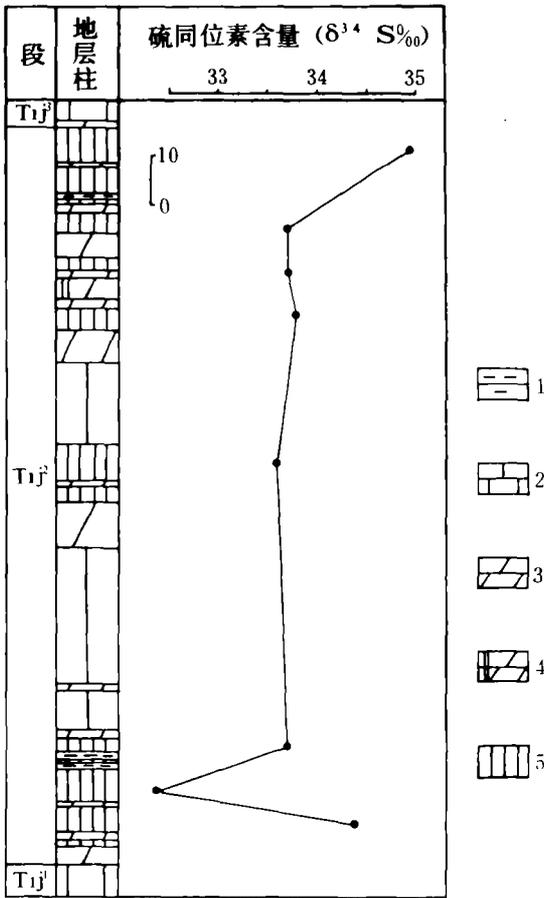
嘉陵江组由碳酸盐岩及蒸发岩组成，分五个岩性段。硬石膏岩  $\delta^{34}\text{S}$  含量很高，但在每个段的剖面上的变化幅度却很小。嘉五段 ( $T_1j^5$ ) 为硬石膏岩、石盐岩之韵律层夹少量白云岩、菱镁岩及杂卤石岩等。各类含硫酸盐岩石的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化是：夹硬石膏薄层的纹层状菱镁岩 28.6%，含粒屑的硬石膏岩 28.2%，纹层状硬石膏岩 26.1—27.8%，瘤（肠）状硬石膏岩 27.5—27.7%，纹层状硬石膏及菱镁岩 27.1—27.7%，藻纹硬石膏岩 27.5%，具纹理的含石盐硬石膏岩 26.9—28.1%，纹层状含杂卤石硬石膏岩 28.1%，石盐岩中的斑块状硬石膏岩 26.1—26.8% 等， $T_1j^5$  段硬石膏岩  $\delta^{34}\text{S}$  值的变化幅度为 26.1—28.6%，平均 27.42%。盆地中部高于盆地东部。嘉四段 ( $T_1j^4$ ) 为白云岩、硬石膏岩及石盐岩的韵律层。块状结晶硬石膏岩  $\delta^{34}\text{S}$  为 28.3—28.8%，具纹理的含白云岩粒屑的硬石膏岩  $\delta^{34}\text{S}$  为 28.4—28.9%，条纹状硬石膏岩为 27.9—28.4%，瘤状硬石膏及白云岩为 32.0%，瘤状硬石膏为 27.9%，层纹状含菱镁矿硬石膏岩为 27.7—28.2%，层纹状菱镁岩及硬石膏岩为 29.3%，含石盐硬石膏岩为 27.4—29.6%，含硬石膏团块石盐岩为 27.1% 等， $T_1j^4$  硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  变化幅度为 27.1—32.0%，平均 27.87%，一般 28.0—28.5%。嘉二段 ( $T_1j^2$ ) 包括三套从碳酸盐岩到蒸发岩的沉积序列。蒸发岩主要为纹层状硬石膏岩，其  $\delta^{34}\text{S}$  值最低为 32.4%，最高为 34.9%，平均 33.78%，出现高异常值（图 2）

## 硫同位素变化规律及其地质意义探讨

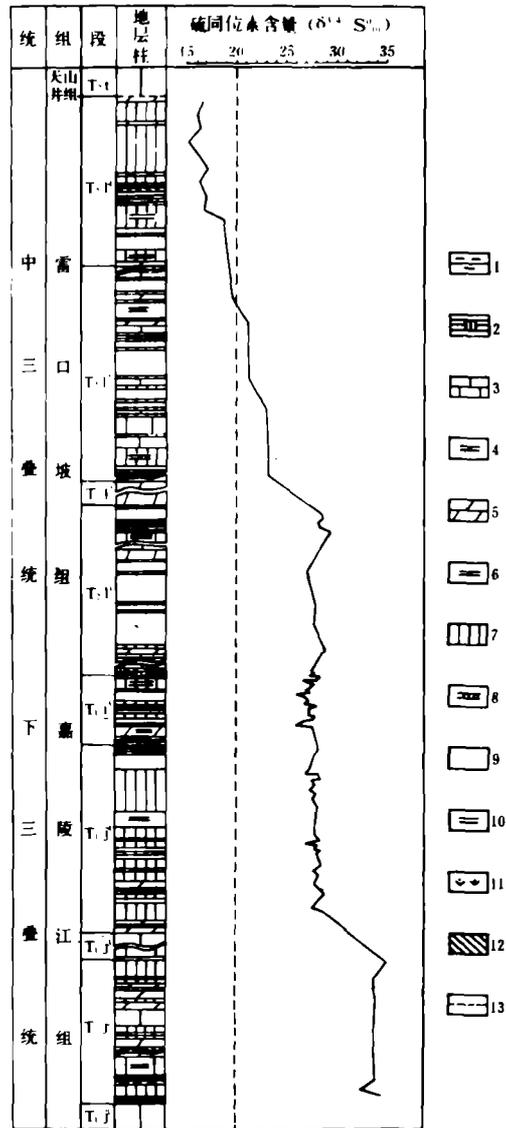
(1) 从四川盆地三叠纪蒸发沉积演化历史可以看出，在同一地质时期的同生层或在一定的沉积盆地中，稳定硫同位素  $\delta^{34}\text{S}$  值在纵向上变化较大，在横向上变化微小，分布稳定，可以进行广泛的区域性对比，甚至全球性对比。四川盆地三叠系稳定硫同位素初步研究说明，稳定硫同位素可以作为地层（特别是蒸发岩地层）划分和地层对比的依据。

(2) 四川盆地三叠系蒸发岩硫同位素地层分布，从早三叠世的嘉二段 ( $T_1j^2$ ) 到中三叠世的雷四段 ( $T_21^4$ )  $\delta^{34}\text{S}$  含量由 34.9% 降为 14.9%，有“递减”演化规律（图 3），说明随着蒸发作用的进行和可溶硫酸盐的沉积消耗，蒸发沉积硫酸盐岩越来越贫  $\delta^{34}\text{S}$ 。

(3) 现代沉积研究认为，蒸发岩中 80% 的硫酸盐  $\delta^{34}\text{S}$  与海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  的差别不大于 1.6%。海水水柱蒸发证明，只有像硫镁矾和光卤石这样一些从残余溶液中结晶出来的矿物才明显比海水硫酸盐的原始同位素组成贫  $\delta^{34}\text{S}$ ，莱因地堑钾盐矿床光卤石沉积阶段的  $\delta^{34}\text{S}$  值降低到 12%。四川盆地安尼期蒸发岩中见有硬石膏、石盐及杂卤石等矿物。 $T_21^4$  时，盆地西部为与大洋



1、泥岩 2、石灰岩 3、白云岩 4、含膏质白云岩 5、硬石膏岩  
 图 2 四川忠县东 8 井岩芯剂剖面硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  值变化图  
 Fig.2 Columnar map of  $\delta^{34}\text{S}$  value excursion along bore section of Dong 8 Hole, Zhongxian county.



1.泥岩 2.绿豆岩 3.石灰岩 4.薄层灰岩 5.白云岩 6.薄层白云岩 7.硬石膏岩 8.薄层硬石膏岩 9.石盐岩 10.薄层石盐岩 11.杂卤石岩 12.钙芒硝岩 13.假整合接触  
 图 3 四川盆地三叠纪蒸发岩地层硫同位素分布图

Fig.3 Columnar map of  $\delta^{34}\text{S}$  value distribution of Triassic evaporite in Sichuan Basin

隔绝的封闭盆地，其蒸发岩  $\delta^{34}\text{S}$  降为 14.5‰后尽管在该层位并未发现更高咸化阶段的钾盐矿物，但却给人以启示，那就是在一定意义上可以说  $\delta^{34}\text{S}$  的递减趋势能指示盐湖的咸化方向，或从最后的硫同位素组成可以看到沉积盆地中可溶硫酸盐的同位素组成变化趋势及可能出现的含钾矿物组合，从而有助于了解其含钾性及找钾方向。当然，重大的造陆地质事件，蒸发盆地远离海岸和淡水的影响也是  $\delta^{34}\text{S}$  降低的重要因素，不可忽视。

(4) 在三叠纪地层柱上令人注目的是嘉陵江组中上部（即  $T_{j4+5}$  段）硬石膏，沉积特别发育，沉积韵律频繁，见有碳酸盐粒屑、间断面及干裂面，多沉积纹层及薄层纹，白云化程度高；

当然，重大的造陆地质事件，蒸发盆地远离海岸和淡水的影响也是  $\delta^{34}\text{S}$  降低的重要因素，不可忽视。

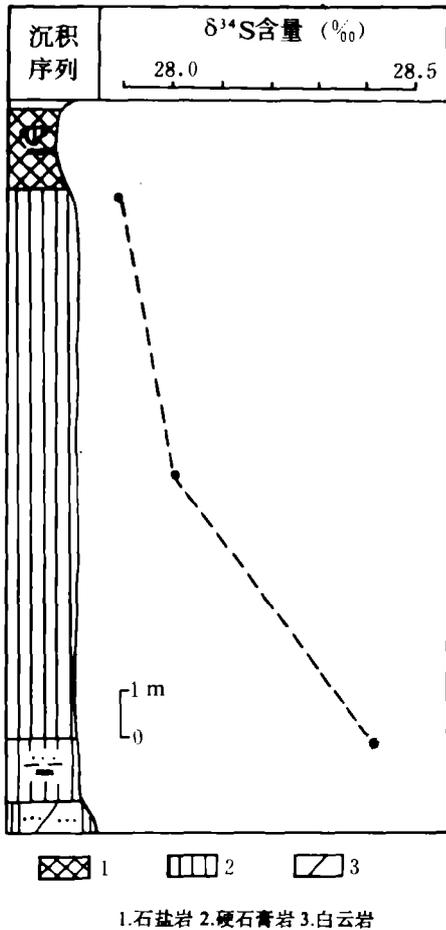


图4 在蒸发沉积过程中硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  的贫化现象  
 Fig.4 Sketch map showing decrease in  $\delta^{34}\text{S}$  value from Anhydrite sedimentary section

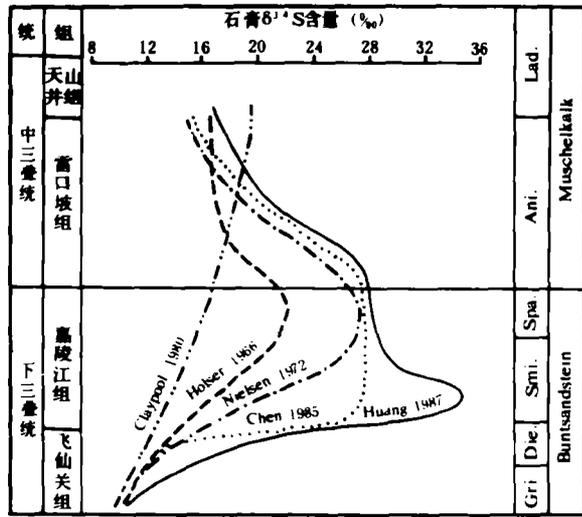


图5 四川盆地与世界三叠纪海相石膏  $\delta^{34}\text{S}$  变化曲线对比图  
 Fig.5 Correlation map of the curve of  $\delta^{34}\text{S}$  value variation of Triassic marine evaporite in Sichuan basin and other region

石盐岩中  $\text{Br} \cdot 10^3 / \text{Cl}$  值一般大于 0.3, 反映动荡、浅水、咸化沉积环境。硬石膏  $\delta^{34}\text{S}$  值始终在 27.5—28.5‰ 区间稳定地摆动着。就其中一个硬石膏层而言,  $\delta^{34}\text{S}$  值也有由高到低的演化趋势。如东 16 井第 155—156 硬石膏下部  $\delta^{34}\text{S}$  为 28.4‰, 中部为 28.0‰, 上部为 27.9‰ (图 4)。

很明显, 这种向上递减的普遍现象及是短暂的封闭盐湖随着蒸发逐渐消耗可溶硫酸盐所致;

而当另一个蒸发沉积序列出现时,  $\delta^{34}\text{S}$  又出现类似的增减循环。这与碳酸盐蒸发岩沉积序列显示的古海水咸化趋势相吻合, 说明海洋硫酸盐海水在源源不断地补给蒸发盆地, 使之有条件不断沉积石膏。同样也说明蒸发盆地的封闭性较差, 或封闭时间甚为短促。这种硫酸盐的蒸发沉积与盐湖沉降、海水的补给之间保持的某种平衡, 致使石膏沉积厚度持续增大, 用回流说可以得到很好的解释。如果是一长期封闭的深的干化蒸发盆地, 那末必然出现硬石膏厚度小、石盐岩厚度巨大的正常沉积序列, 也必然始终呈现明显的  $\delta^{34}\text{S}$  递减梯度差。然而嘉陵江组中上部蒸发岩硫同位素分布的稳定性变化资料则支持浅水盐湖沉积模式的观点, 换言之早三叠世晚期蒸发盐湖常与外海保持一定的水体联系, 是一浅水蒸发沉积环境。

⑤四川盆地早三叠世晚期嘉陵江组中获得的硫同位素数据对世界三叠系硫同位素的研究有很重要的意义。斯特拉霍夫 (1963)、勒斯 (1972)、霍塞尔 (Holser, 1966)、尼尔森 (Nielsen, 1972)、格里年科 (1974)、克勒普 (Claypool, 1980) 和陈锦石 (1981, 1986) 等对世界海相三叠系硫同位素演化已作了深入的研究, 在他们研究的硫同位素地史变化曲线上可以看出, 在国外, 从晚二叠世的  $\delta^{34}\text{S}$  9‰ 到早三叠世早期  $\delta^{34}\text{S}$  为 10—13‰, 早三叠世晚期到中三叠世为 12.2—

21.4%, 最高到 28%, 中三叠世晚期降到 12%; 在国内的研究认为,  $\delta^{34}\text{S}$  的最大值域为 28%, 分布在  $T_1j^4$ — $T_2l^1$  段, 并将  $T_1j^2$  归为同一个组。从笔者的资料看, 四川盆地三叠系  $\delta^{34}\text{S}$  演化曲线也有与世界相似的特征, 但不同的是四川盆地  $\delta^{34}\text{S}$  值更高, 不是个别样品出现异常, 而是整个嘉陵江组及部份雷口坡组  $\delta^{34}\text{S}$  值普遍增高。特别值得一提的是嘉陵江组下部  $T_1j^2$  层位的硫同位素异常数据, 它对世界已经公布的三叠系硫同位素变化曲线是一个重要的补充和修正 (图 5)。对比图说明,  $\delta^{34}\text{S}$  高异常值域并不是出现在下三叠统或嘉陵江组上部和中三叠统雷口坡组下部, 而是出现在嘉陵江组的下部, 比国内外研究的  $\delta^{34}\text{S}$  高值域层位要低得多。初步研究认为, 嘉陵江组特别是其下部的硫同位素高异常可能与沉积盆地的古地理、古构造位置、活动性、盐湖的封闭性、成盐历史、海洋可溶解硫酸盐含量及物质运动过程的物理、化学、生物效应相关, 而此间蒸发沉积盆地远离古陆, 很少受淡水影响, 几无全球性地质事件干扰, 蒸发作用处于相对稳定平静状态, 浅水氧化环境有利于富集  $\delta^{34}\text{S}$  等, 可能是嘉陵江组下部蒸发岩出现硫同位素高异常的重要因素。

地质矿产部第二地质大队总工程师林辉庭同志及化工部化学矿产地质研究院钱自强同志曾惠于审阅文稿, 特此致谢。

收稿日期: 1987年3月27日

### 参 考 文 献

- 格里年科, B.A., 等, 1980 (1974), 硫同位素地球化学, 科学出版社。  
 尼耳森, H., 1983 (1972), 硫同位素和蒸发矿床的形成, 四川人民出版社。  
 陈锦石等, 1986, 地质科学, 4期, 330—338页。  
 Holser, W.T., etc., 1966, Chem. Geol., I, P.93—135。  
 Mueller, G.H., etc., 1966, Geology, I, 3, S. 211—220。  
 Nielsen, H., 1965, Schwefelisotope im Marinen Kreislauf und das  $\delta^{34}\text{S}$  der fruheren Meere. Geolog. Rundschau 55, S. 160—172。

## SULFUR ISOTOPE DISTRIBUTION OF TRIASSIC EVAPORITE AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE IN SICHUAN BASIN

Huang Jianguo      Liu Shiwan

(The Second Geologic Brigade, Ministry of Geology and Mineral Resources)

### Abstract

The evaporite of the sedimentary basin of the upper Yangtze Platform has a wide distribution, which covers an area of  $4 \times 5 \text{ km}^2$  particularly develops in Sichuan Basin. The evaporites occurred from Feixianguan and Jialinjiang Formation of Lower Triassic, Leikoupo Formation of Middle Triassic. The thickness of anhydrite bed is 100—500m.

This paper provides a great deal of data of  $\delta^{34}\text{S}$ , and established a  $\delta^{34}\text{S}$  column of Triassic evaporite in Sichuan Basin by analysing samples from deep bore.

Stratigraphic column of  $\delta^{34}\text{S}$  value indicates that  $\delta^{34}\text{S}$  value of anhydrite in the fourth member of Leikoupo Formation (namely  $T_2l^4$ ) ranges 14.5—18.9%, commonly 16.5%,  $T_2l^3$  19.7—23.2%, average 21.78%, which is close to the isotopic value of sea sulphate. In  $T_2l^1$  27.1—29.5%. In the Fifth member of Jialinjiang For-

mation (namely  $T_{1j}^5$ )  $\delta^{34}\text{S}$  value 26.1—28.6‰,  $T_{1j}^4$  28.0—28.5‰ commonly. But the  $\delta^{34}\text{S}$  value of  $T_{1j}^2$  32.4—43.9‰, shows an abnormal high value.

As mentioned above, the sulfur isotope data are important for geologic research.

(1) In contemporary beds or a certain sedimentary basin,  $\delta^{34}\text{S}$  value varies very limited. So sulfur isotope may serve to stratigraphic division and correlation.

(2)  $\delta^{34}\text{S}$  value in the Triassic column decreases gradually from 34.9‰ at the lower to 14.5‰ at the upper.

(3) According to the view of modern sedimentary the deviation of sulfur isotope between evaporite and sea sulphate varies less than 1.6‰. The evaporation experiments on sea water indicate that in chloride sedimentary stage (such as carnallite etc.) the brine is bare of  $\delta^{34}\text{S}$  evidently. This represents the Salinization trend of the ancient saline lake and suggests that  $T_{2l}^4$  might be the higher deposition stage of salt-mineral.

(4) In the upper and middle part of Jialinjiang Formation  $\delta^{34}\text{S}$  value fix at about 28‰ constantly. In an anhydrite bed,  $\delta^{34}\text{S}$  is poor at some place. While a new sedimentary cycle start,  $\delta^{34}\text{S}$  value shows a new circulation from higher to lower. It may be proved that the dissolved sulphate of the ancient salt lake was supplied constantly. This may give support to the hypothesis of shallow salt lake model. In other words, in the lake of Early Triassic, the evaporative sedimentation of Sichuan Basin was a shallow water environment.

(5) Comparing with sulfur isotopic data worldwide,  $\delta^{34}\text{S}$  value of the marine Triassic evaporite of Sichuan Basin has some character of the high abnormal value, and it is necessary to modify the sulfur isotopic curve prevailing all over the world based on the data provided in the present paper.