

对苏北含油盆地下第三系古环境和古气候的探讨

费富安

(地质矿产部华东石油地质局)

内容提要 本文从以下几方面探讨苏北含油盆地下第三系古环境和古气候: 主要根据下第三系碳、氧稳定同位素研究成果; 其次根据1. 钙质超微化石; 2. 介形类化石分布特征; 3. 孢粉鉴定结果; 4. 有孔虫出现的特点; 5. E_1^2 、 E_1^4 的有机地球化学条件相互佐证而得出的。通过上述分析, 表明苏北含油盆地下第三系的古环境是以河湖相为主体, 仅在 E_1^2 、 E_1^4 时期曾经受间歇性的海漫, 形成混合型的沉积环境, 使古盐度相对增高。本区下第三系沉积时的古气候属南亚热带的气候, 年平均温度为 21°C 。

主题词 古环境 古气候 间歇性海漫 南亚热带气候 混合型沉积环境

作者简介 费富安 男 55岁 总工程师 石油地质石油有机地球化学

目前, 石油地质界用同位素分析法来确定油、气的性质、组分、成熟度, 进行油、气和它们的母质间的对比, 多半是以有机质组分中的同位素分异规律为依据的。例如: 对确定有机质过去所处的环境究竟是海相还是陆相的探讨, 过去往往采用有机质本身(抽提的或离析的)所含有有机碳中 $\delta^{13}\text{C}$ 的分异规律来确定的。但由于地层中的有机碳分布很广而且形式多样(以生命形式的、转化过程中的、或者化石化了等形式存在)。而人们所要寻找的油气往往是不同类型的混合物, 其源岩又往往是含有几种不同类型干酪根混合物的源岩。并且, 它还要扩散和运移。为此, 对同位素的分析鉴定带来各种复杂因素。

因此, 在本文中, 对鉴别海相环境还是陆相环境的问题, 作者试图从另一方面, 即根据无机物中的碳、氧同位素随环境不同而产生的分异规律, 来鉴别环境。其依据有二:

一是根据海水中的氧同位素值 $\delta^{18}\text{O}$ 随盐度变化而变化的规律。根据同位素测定发现海水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 是随着水中盐度的增加而增加的, 而盐度与 $\delta^{18}\text{O}$ 的关系主要是由于蒸发作用引起的。淡水的组成中 $\delta^{18}\text{O}$ 是贫乏的。海滨水体由于有大量淡水混入, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 的值介于淡水和海水之间(中间值)。因此可以用水中氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 的值来区分海陆相环境。

二是根据水中可溶性碳酸盐中的碳、氧同位素比率随溶液中盐度的变化而分异的规律。

对苏北含油盆地下第三系沉积环境的看法,颇不一致。笔者以碳、氧同位素分析法为主要依据,推断当时的沉积环境。并结合其他方面的证据,进一步论证了当时的古气候。

地质概况

苏北含油盆地下第三系为一套陆相碎屑岩系,厚约七千米。由下而上分为泰州组(E_t),阜宁组(又分 E_f^1 、 E_f^2 、 E_f^3 、 E_f^4 四个段),戴南组(又分 E_d^1 、 E_d^2 二段),三垛组(又分 E_s^1 、 E_s^2 二段)。其中阜宁组的 E_f^2 、 E_f^4 二段是主要生油岩,因而对它们的沉积环境的属性引起人们的特别关注。这套地层中盛产介形虫、螺、蚌、鱼类及孢

表1 苏北含油盆地下第三系碳、氧同位素和Z值数据表

Table 1 $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ and Z data of Lower Tertiary in the North Jiangsu petroliferous basin.

样品编号	层位	岩性	$\delta^{13}C$ PDB	$\delta^{13}CPDB$ (平均值)	$\delta^{18}O$ PDB	Z值	平均Z 值
1	E_s'	灰云质泥岩	-6.447	-6.447	-4.982	111.62	111.62
2	E_f^4	含钙泥岩	0.625	1.95	-2.395	127.39	129.53
3		钙质泥岩	3.274		-4.692	131.67	
4	E_f^3	钙质细砂岩	-7.625	-7.625	-12.425	105.50	105.50
5	E_f^2	钙质泥岩	1.896	-0.725	-5.186	128.60	124.69
6		含云质泥岩	-1.783		-0.614	123.34	
7		泥质灰岩	-1.743		0.359	121.48	
8		云灰岩	-2.756		-1.525	120.90	
9		含泥灰岩	-0.061		-1.842	126.26	
10		泥云岩	-3.168		1.126	121.37	
11		泥质灰岩	0.176		-1.934	126.70	
12		云灰岩	-1.964		0.149	123.35	
13		泥质灰岩	0.987		-2.213	128.22	
14		云质灰岩	0.125		-0.829	127.14	
15		虫管灰岩	-4.168		-5.26	116.14	
16		泥灰岩	2.164		-2.451	130.51	
17		泥灰岩	2.035		-2.408	130.27	
18	钙质泥岩	-1.889	-4.171	121.35			
19	E_f^1	云灰质粉砂岩	-8.2	-4.87	-4.727	108.15	115.01
20		石灰岩	-1.113		-1.241	124.40	
21		钙质含云泥岩	-5.306		-7.932	112.48	
22	E_t	含钙泥岩	-0.770	-2.66	-4.761	123.35	119.35
23		含钙泥岩	-0.957		-4.408	123.14	
24		钙质泥岩	-1.354		-5.682	121.70	
25		含钙泥岩	-3.184		-5.033	118.27	
26		石灰岩	-7.048		-5.315	110.21	

粉等微体古生物化石。一些作者将阜宁组的沉积环境描述为海相河口湾沉积^[1]；另一些作者将其描述成泻湖相环境¹⁾；还有一些作者则认为是“滨海岛湖”的沉积环境^[4]；而在本区工作的绝大多数研究者用大量的实际资料，证实该环境是以河湖相沉积为主体的环境。笔者采用了无机物中碳、氧同位素的分布规律来研究讨论苏北含油盆地地下第三系（特别是阜宁组的E_f²、E_f⁴二段）的古环境及古气候。

苏北含油盆地地下第三系各个组、段中均采了岩样，由瑞士苏黎世理工学院地质系实验室对岩样进行了碳、氧同位素测定，获得分析结果的共计26个样品，详见表1。

结果讨论

(一) 古沉积环境

根据苏北含油盆地地下第三系中所采岩样的同位素分析结果，来观察碳酸盐中碳、氧同位素值随盐度而变化的情况，以此来推断当时的沉积环境。分析所得的碳、氧同位素值绘于图1中。将图1与Mook (1971) 提供的划分各种水体碳、氧同位素比值与盐度之间的关系图(图2)相比。不难看出，本区下第三系绝大多数的点均落在Mook图的河水及湖水的环境范围之内。仅E_f²、E_f⁴二段有较多的点偏向海洋环境的方向集中，但未进入正常的海洋环境内。可见，苏北含油盆地地下第三系的沉积环境的主体，应以湖相及河流相的沉积环境为主体的陆相环境。仅在E_f²、E_f⁴时期盐度较大，说明当时曾

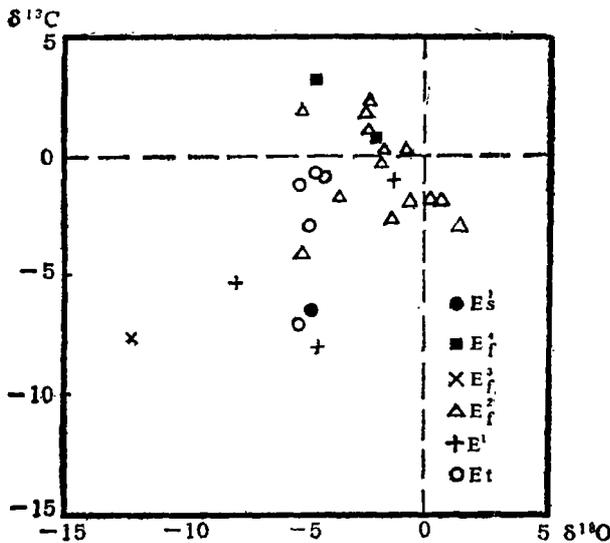


图1 苏北含油盆地地下第三系各组、段中的δ¹³C与δ¹⁸O的含量

Fig. 1 Relationship between the contents of δ¹³C and δ¹⁸O in various members and formations of Lower Tertiary in the North Jiangsu petroliferous basin,

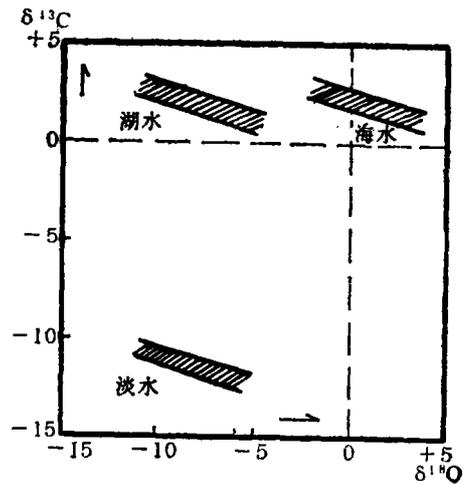


图2 三种不同类型水体内的碳酸盐沉积物的δ¹³C与δ¹⁸O的含量(据Mook, 1971)

Fig. 2 With varying salinity in three different types of waters, the δ¹³C δ¹⁸O correlation of carbonate changes. (Mook, 1971).

1) 李道琪，苏北下第三系阜宁组沉积区划的初步探讨，1980。

发生过间歇性的海漫过程,而使湖水的盐度增加。导致资料点向海洋环境方向集中,但尚未落到正常海洋环境范围内。

另据Keith和Weber(1964)推导出的区分海相灰岩和淡水灰岩的公式,他们将Z值在120以上的灰岩归入海相灰岩,将Z值在120以下的灰岩归入淡水灰岩,而Z值接近120的灰岩则归入未定型(混合型)灰岩^[3]。按此公式,对苏北含油盆地地下第三系的样品进行了计算(表1)。由表1中的平均Z值一栏与上述的Keith和Weber提出的划分不同环境灰岩Z值的界线数据相比,不难看出,苏北含油盆地地下第三系绝大部分层位的(Et、E_f¹、E_f³、E_s¹)Z值没有达到120,说明苏北含油盆地地下第三系的沉积环境主体为陆相环境下的沉积。仅E_f²、E_f⁴二段的Z值超过了120,虽可属海相型的灰岩,但其数值所超过的范围不是很大,尚在120附近。因此仍可视为未定型(混合型)灰岩。反映了E_f²、E_f⁴时的盐度较其他层位要高,这亦证实了在E_f²、E_f⁴时期内发生过间歇性的海漫,促使E_f²、E_f⁴时的盐度增加。与采用Mook的图解法所获结果是一致的。

据Degens(1966)认为,大气中CO₂的含量少,溶解在淡水中的CO₂大部分来自土壤和腐殖质。这二种来源的典型特点是δ¹³C特别贫乏,因而导致湖泊和河流中δC¹³的值很低。所以淡水碳酸盐沉积物中δC¹³值的范围是在-5‰到-15‰之间。而海相灰岩中δ¹³C值的范围是在-5‰到+5‰之间,从主体来看集中在-2‰到+2‰之间。半咸水的δ¹³C值反映了淡水和海水这二种δ¹³C来源的混合,其δC¹³值的范围从-10‰到+1‰之间¹⁾。

本区实测得到的δ¹³C值见表1,从表1中的各层平均δ¹³C值与Degens提供的不同环境的δ¹³C值的条件数据相比,反映出苏北含油盆地地下第三系的沉积环境主体仍然为陆相沉积环境范畴。仅仅E_f²、E_f⁴二段的δ¹³C数值属于海相碳酸盐沉积环境的特征。这个论点与上述的结论基本上是相一致的。说明在E_f²、E_f⁴时期盐度相对较高,是由于受到间歇性的海漫的结果。盐度的改变,使碳同位素值趋于海相的沉积环境。

上述沉积环境的变化还可由微体古生物鉴定结果及最新研究成果中得到进一步的证实。

1. E_f²、E_f⁴二段层位中发现钙质超微化石

据赵政章的研究成果,在E_f²地层中发现的钙质超微化石有: *Discoasten* sp (盘星石), *Thorocosphoera* sp. (胸球石), *Fasciculithus* sp. (簇石), *Pontosphaera* sp. (海石), *Rhaldasphaera* sp. (棒球石)。

在E_f⁴地层中发现的钙质超微化石有 *Sphenolithus* sp. (楔石), 棒石。

这些钙质超微化石局限在苏北含油盆地的E_f²、E_f⁴的地层中,但它恰说明了一个关键性的问题,即这些钙质超微化石是海洋浮游生物的残骸,在非海洋环境中至今尚未发现过这种化石。由此可见,它的出现进一步地说明了当时曾经受过海水的淹漫。

2. 从介形类微体化石的分布来看

苏北含油盆地地下第三系地层中盛产介形类化石。根据介形类化石的简单分异度和古盐度变化关系图(图3)来看,泰州组、阜宁组的二段和四段沉积时的古盐度相对较高,说明E_f²、E_f⁴时曾受到了海水的淹漫,使沉积环境的盐度相对增高及介形类为了

1) J.M.Schopf, 古盐度的测定方法, 地矿部情报所

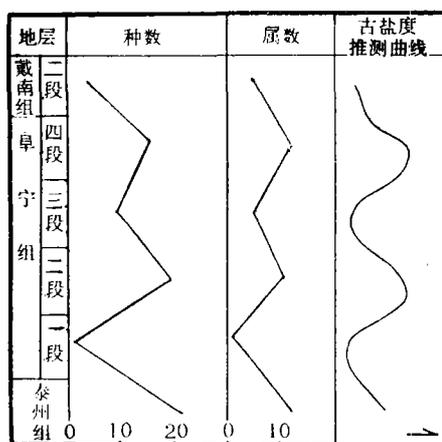


图3 阜宁组各段介形化石简单分异度与古盐度变化关系(包金松, 1980)

Fig. 3 Relationship between the diversity of Ostracoda fossils and various salinity in the Funin Formation

(二) 古气候

Vogel (1959) 提出重碳酸溶液中碳酸钙的缓慢沉淀是一种平衡过程, 固体碳酸盐的同位素成分将由溶解的重碳酸盐中的 $\delta^{13}\text{C}$ 含量、水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 含量和温度来决定的。可见碳、氧同位素的含量和温度之间有一定的关系。因此可采用碳、氧同位素来研究古气候。

按此理由, 作者对本区所测得的碳、氧同位素资料进行整理研究。按照Craig (1965) 研究古温度时所提出的公式¹⁾结合南京气象台的江苏气象资料, 将苏北东台、兴化等七个市县累计近20年实测气温资料, 年均温为 14.6°C ^[6], 因此将Keith和Weber公式修改为: $t = 14.6 - 4.2(\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) + 0.13(\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}})^2$ 。

按上述公式计算出的古温度如下: 泰州组平均温度 21°C , E_f^1 段的平均温度为 19°C , E_f^2 段的平均温度为 22°C , E_f^3 段的平均温度为 22°C , E_f^4 段的平均温度为 21°C , 三垛组的垛一段(E_s^1)的平均温度为 21°C 。苏北含油盆地整个下第三系时的平均温度为 21°C 。

笔者还使用了York (1969) 的方法, 采用最小二乘法来处理碳、氧同位素的数据, 取得了一条适合于穿越数据点的线²⁾。绘制于Mook (1971) 提供的温度范围线图²⁾上, 取得苏北含油盆地地下第三系的平均温度为 20°C 左右。(见图4、5、6)。

按这二种方法所得的温度基本上是一致的。根据中国植被编辑委员会编著的“中国植被”一书中的划分标准, 苏北含油盆地地下第三系在沉积时的年平均温度为 21°C , 应属

适应环境而出现一些新的变异分子。

3. E_f^2 、 E_f^4 二段地层中找到有孔虫在 E_f^2 地层中找到过 *Discorbis* sp.

Protelphidium sp., *Ammonia* sp.

在 E_f^4 地层中找到过 *Discorbis* sp.

这些有孔虫化石仅局限于苏北含油盆地的个别地区、个别井中, 发现的仅是一些个别属种的个体, 这几个属种几乎都是广盐性的。它反映了当 E_f^2 、 E_f^4 沉积时, 曾经受过海水的浸漫。

4. E_f^2 、 E_f^4 的有机地球化学特征

据卢松年等的研究, 苏北含油盆地地下第三系的 E_f^2 、 E_f^4 生油岩有机地球化学的特征是Pr/Ph值最低, 伽玛蜡烷最丰富, 以及明显的偶碳主峰和偶碳优势。他们认为这些特征反映了 E_f^2 、 E_f^4 沉积时的水体盐度很高的还原环境下的产物^[5]。

1) W.G.Mook, 贝壳碳酸盐中碳和氧的稳定同位素的古温度和含氯量, 地矿部情报所。

2) D.Seward, 根据新西兰旺加努伊盆地三个第四纪地层中碳酸盐贝壳的碳、氧同位素确定古盐度和古地温, 地矿部情报所。

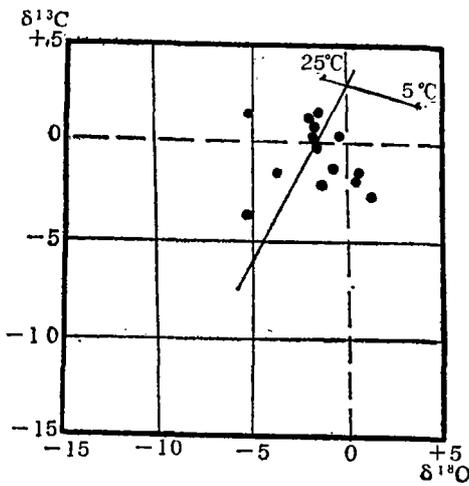


图4 苏北含油盆地E₁⁴段碳、氧同位素最小二乘法线与有温标线的关系, 确定出温度为20—21℃

Fig. 4 Comparison between the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values from E₁² member of the North Jiangsu petroliferous basin and the scaled temperature-line by the least square method

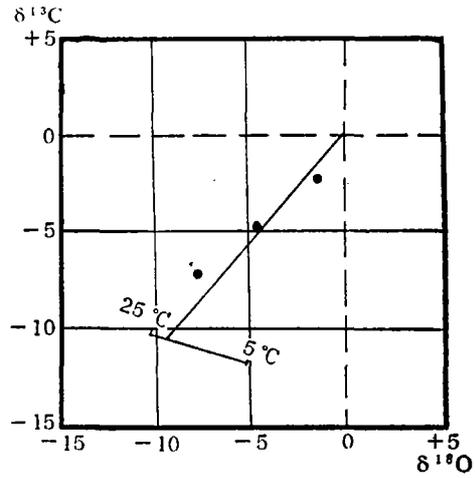


图5 苏北含油盆地E₁¹段碳氧同位素最小二乘法线与有温标线的关系, 确定出温度为20—21℃

Fig. 5 Comparison between the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values from E₁¹ member of the North Jiangsu petroliferous basin and the scaled temperature-line by the least square method

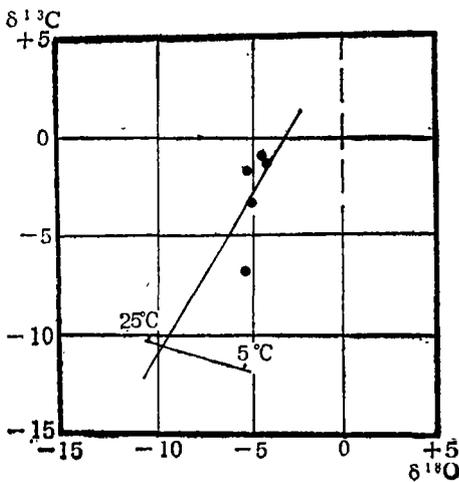


图6 苏北含油盆地E₁组碳、氧同位素最小二乘法线与有温标线的关系, 确定出温度为20—21℃

Fig. 6 Comparison between the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values from E₁ formation of the North Jiangsu petroliferous basin and the scaled temperature-line by the least square method

南亚热带或中亚热带的气候, 较目前的气候要暖。

这一认识亦可由古生物鉴定结果得到进一步的证实:

1. 孢粉鉴定结果

根据孢粉鉴定, 整个阜宁组是以榆科为主, 榆科花粉占绝对优势。次为栎属和一定量的漆属以及少量山地针叶树花粉。并且还常见到忍冬科、山龙眼科、眼子菜属。它们均属于热带—亚热带的气候下生长的植物种属〔2〕。

三垛组是以落叶阔叶森林为主的植物景观。相当繁盛的楝科，主要包括楝属，浆果楝属，山楝属。据“中国楝科志”一文记载，整个楝科为性喜温热潮湿的热带—亚热带气候。在该孢粉组合中常见的楝属则分布十分广泛。多生长于低海拔的旷野湿润地上。而浆果楝属则广布于我国西南各省的亚热带地区。所以楝科植物的繁盛说明三垛组的古气候带属于热带—亚热带的气候〔3〕。

2. 在 E_f^2 、 E_f^4 地层中已发现的钙质超微化石。

按 B. U. Haq 等 (1976) 的意见, *Fasciculithus-Discoastet* 组合为低纬度组合, 生活于热带气候。所以本区下第三系在形成时的古气候是属于南亚热带气候, 是符合盘星石是喜暖浮游类的看法。

本文所用的碳、氧同位素测定资料是由成都地质学院赵霞飞同志带回提供的, 特此致谢。

收稿日期 1986年2月18日

参 考 文 献

- 〔1〕赵霞飞等, 1983, 石油实验地质, 5卷2期, 94—99页。
- 〔2〕江苏省第六普查勘探大队实验室等, 1978, 地层古生物论文集, 第六辑, 77—113页, 地质出版社。
- 〔3〕王宪曾等, 1979, 植物学报, 21卷2期, 149—156页。
- 〔4〕陈焕疆等, 1984, 沉积学报, 2卷4期, 58—63页。
- 〔5〕卢松年等, 1985, 石油与天然气地质, 6卷1期, 38—48页。
- 〔6〕费富安等, 1981, 石油与天然气地质, 2卷1期, 18—27页。

DISCUSSION ON THE PALEOENVIRONMENT AND PALEOCLIMATE OF LOWER TERTIARY IN THE NORTH JIANGSU PETROLIFEROUS BASIN

Fei Fuan

(Bureau of Petroleum Geology of East China,
Ministry of Geology and Minerals)

Abstract

The explorations for the sedimentary environment of Lower Tertiary in the North Jiangsu petroliferous basin are different. No consistent conclusion exists in these explorations.

In order to further study the environment mentioned above, the approach used in this paper can avoid the confusion of multisources of hydrocarbons and indicate directly the salinities of waters in which the carbonate deposits. In this study, the

sedimental environment of this basin is defined by using the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values for the inorganic compounds in the sedimentary environment and other important evidences to identify the paleoenvironment and paleoclimate of Tertiary in the North Jiangsu basin.

A diagram based on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values for members and formations of the basin is compared with Mook's Diagram (by Mook, 1971) of the $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ relationship and the salinities in different waters. (Figs. 1,2). The comparison shows that most of the values fall in the area of lacustrine and fluvial environments in Mook's Diagram, only parts of the values of members E_t^2 and E_t^3 fall in the vicinity of marine environment. Another approach used in this study is the formula of Z datum (by Keith, 1964), by which we can distinguish the marine-limestone from freshwater limestone. The calculated Z data of most members (E_t , E_t^1 , E_t^3 and E_t^4) are less than 120, only the data of members E_t^2 and E_t^4 are a little more than 120. Therefore they can be defined as a mixed type of limestone. Thirdly, the result, obtained by the comparison of the $\delta^{13}\text{C}$ values measured of this area with the $\delta^{13}\text{C}$ for different environments defined by Degens, is good coincident with the results obtained above.

Based on the above reasons, it can be concluded that the sedimentary paleoenvironment of the basin is dominated by lacustrine-fluvial facies. Only the intermittent marine transgressions during the two depositional periods of E_t^2 and E_t^4 resulted in the increase of salinities and the $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ values deviated from nonmarine environment, but the values haven't reached the normal marine environment. It belongs to a mixed sedimentary environment.

The estimation for paleotemperature of the basin during the early Tertiary period is based on two approaches. One is the revised Craig Formula (1965). By the Craig Formula, the calculated mean annual paleotemperature of the basin is 21°C . The other is York's least square method (1969). Plotting the coordinates of calculated $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values by using York's least square method on Mook's diagram for temperature range (1971), we can obtain that the mean annual paleotemperature during that time is about 20°C . The two results agree with each other. Thirdly, according to the zonation of torrid zone and subtropical zone from "China's Vegetation" The paleoclimate of the basin during the early Tertiary should belong to south subtropical zone. Thus, the mean annual paleotemperature at that time is estimated to be 21°C .

The conclusions hereinabove also show good agreement with the evidences of paleontology. The fossils found in this area, such as calcareous super-microscopic fossils, ostracoda, foraminifera and spore-pollens, have fully confirmed the conclusions discussed in this paper.