

江陵凹陷古新世盐湖沉积碳酸盐碳氧同位素组成及其环境意义

王春连¹⁾, 刘成林^{1)*}, 徐海明¹⁾, 王立成¹⁾, 张林兵²⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

摘 要: 江陵凹陷位于江汉裂谷盆地西部, 古新世是该区富钾卤水形成的主要时期, 研究该时期古气候的演化, 对下一步找钾有重要的理论和实际意义。古新统沙市组和新沟嘴组湖相碳酸盐岩分析结果显示, 沙市组沉积碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值介于 -4.8‰ ~ -1.0‰ 之间, 平均值为 -3.4‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值介于 -5.6‰ ~ -0.6‰ 之间, 平均值为 -3.3‰ ; 新沟嘴组碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值介于 -10.8‰ ~ -8.8‰ 之间, 平均值为 -9.3‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值介于 -10.2‰ ~ -6.7‰ 之间, 平均值为 -8.6‰ 。沙市组碳酸盐岩样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 之间具有良好的正相关性, 表明它们发育在蒸发作用明显的相对封闭的咸水湖泊体系中; 而新沟嘴组 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 之间相关性差, 指示该时期是水体滞留时间较短的开放型湖泊系统。碳氧同位素, Sr/Ba 值和 Mg/Ca 值均说明沙市组沉积时期古盐度和蒸发/降雨大于新沟嘴组沉积时期; 古新世的岩相古地理演化说明了沙市组沉积时期古湖水面积小于新沟嘴组沉积时期。江陵凹陷古新统湖泊沉积碳酸盐碳氧同位素组成的变化指示了区域古气候条件由沙市期的干热向新沟嘴期的湿润转变。显示古新统沙市组到新沟嘴组江陵凹陷古气候格局发生了重大变化, 这一变化对于沙市组时期古盐湖演化和成钾十分有利。

关键词: 江陵凹陷; 古新统; 湖相碳酸盐岩; 稳定同位素; 古气候; 古环境

中图分类号: P597.2; P588.245; P532 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.05.07

Carbon and Oxygen Isotopes Characteristics of Palaeocene Saline Lake Facies Carbonates in Jiangling Depression and Their Environmental Significance

WANG Chun-lian¹⁾, LIU Cheng-lin^{1)*}, XU Hai-ming¹⁾, WANG Li-cheng¹⁾, ZHANG Lin-bing²⁾

1) MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083

Abstract: The Jiangling depression is located in the west of Jianghan rift basin, and potassium-rich brine was mainly formed in Palaeocene. The study of the palaeoclimate evolution in Palaeocene has great theoretical and practical significance for further potash survey. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values of carbonate in Shashi Formation of Jiangling depression vary between -4.8‰ and -1.0‰ with an average of -3.4‰ ; the $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values are between -5.6‰ and -0.6‰ with an average of -3.3‰ ; the $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values of carbonate in Xingouzui Formation of Jiangling depression are in the range of -10.8‰ ~ -8.8‰ with an average of -9.3‰ ; the $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values are between -10.2‰ and

本文由国家“973”计划项目(编号: 2011CB403000)、中国地质调查局计划项目(编号: 1212010011808)和国家自然科学基金青年基金(编号: 41202059)联合资助。

收稿日期: 2013-04-27; 改回日期: 2013-07-31。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 王春连, 男, 1983 年生。助理研究员。主要从事盆地沉积矿产研究。E-mail: wangchunlian312@163.com。

*通讯作者: 刘成林, 男, 1963 年生。研究员, 博士生导师。主要从事盐湖与钾盐矿床研究。E-mail: liuchengl@263.net。

-6.7‰ with an average of -8.6‰. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values of micrite in Shashi Formation show good positive correlation, suggesting a relative closed salt lake system with apparent evaporation. However, in Xingouzui Formation, the relationship between $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ is indistinct, implying an open lake system whose water was stagnant only for a short time. The carbon and oxygen isotopes as well as Sr/Ba and Mg/Ca ratios reveal that Shashi Formation had relatively high paleosalinity and evaporation/raining ratio. The paleo-lake surface is higher in Xingouzui Formation than in Shashi Formation. The differences of carbon and oxygen isotope compositions of the Palaeocene lake in Jiangling depression reveal the change from dry-hot climate in Shashi Formation to wet climate in Xingouzui Formation. It is thus inferred that the palaeoclimate changed greatly from Shashi Formation to Xingouzui Formation in Jiangling depression throughout the Paleogene period. This change was favorable for the salt lake evolution and potassium deposition in Shashi Formation.

Key words: Jiangling depression; Palaeocene; lacustrine carbonate rock; stable isotope; palaeoclimate; palaeoenvironment

在过去的三十年里,对湖相碳酸盐岩的研究兴趣日益增加(Dan, 1977; Adams, 1980; Platt, 1989; Armenteros et al., 1997; Khadkikar et al., 1998; Alonso-Zarza, 2003; Ludvigson et al., 2010; Li et al., 2013),因为湖相碳酸盐岩的组成包含了重要的古气候和古环境线索。通过湖相碳酸盐岩的研究,可以重建新生代古气候和古环境方面的变化(Mack et al., 1992; Armenteros et al., 1997; Alonso-Zarza et al., 2000; 覃嘉铭等, 2004; Li et al., 2013)。原生湖相碳酸盐岩稳定同位素组成微小的变化可以广泛用于古气候和古环境重建(Longinelli, 1979; Mckenzie et al., 1993; Arenas et al., 1997; Andrew et al., 2000; Maria et al., 2004; 刘再华等, 2006)。

湖泊碳酸盐沉积物中碳同位素比值的变化受湖水中溶解无机碳同位素成分以及溶解无机碳(TDIC)与碳酸盐沉淀矿物之间分馏效应的控制。湖水中溶解无机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围与碳的来源有关,而 CO_2 与溶解碳之间的分馏效应则是温度的函数。湖水溶解碳同位素丰度不但受碳来源的影响,还会受到湖泊水文状态、水化学以及气候条件的制约(伊海生等, 2007, 2009)。

在陆地湖泊体系中 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值反映湖泊的水文平衡状态,即蒸发量与注入量的变化,这在封闭型湖泊中反映更加明显。一般蒸发作用使湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 增加,这是因为较轻的氧同位素 ^{16}O 分子优先从湖水表面逸出转化为水蒸汽,造成湖水中沉淀的方解石氧同位素相应的变重。在潮湿气候条件下的开放湖泊环境中,降水量远大于蒸发量,湖水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值就接近大气降水的同位素组成。相反,在干旱气候期,蒸发量增加,径流量减少,湖水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值就会升高(Drummond et al., 1995; 刘成林等, 1999)。

目前,未见报道使用碳氧同位素来恢复江陵凹陷古新统时期陆地古气候和古环境。本文使用原生

的碳酸盐岩碳氧同位素重建研究区古新统陆地古气候和古环境。这可以为该区钾盐勘探提供一定的理论指导。

1 地质背景

江陵凹陷是江汉盆地最大的次级负向构造单元,是在侏罗纪末期燕山变形褶皱基底上形成的晚白垩纪—早第三纪的凹陷背景下的断陷盆地,东界为丫角断层,北边有纪山寺断层,西为问安寺断层,南界为公安断层,它们共同控制着江陵凹陷的形成与发展(图 1),以万城断层为界,具有 NW 分带、NE 分块的构造格局(杨长清等, 2003; 刘俊等, 2008)。江陵凹陷古新统由沙市组和新沟嘴组下段底部组成(表 1)。沙市组和新沟嘴组沉积为一套含盐岩系,盐岩层异常发育,单层盐岩最厚达 66 m,盐层累计厚度约 240 m。江陵凹陷在古新统沙市组上段和新沟嘴组下段演变成以石盐为主、固液相并存(有富钾卤水形成; 刘成林, 2013)的综合性盐类矿床,主要

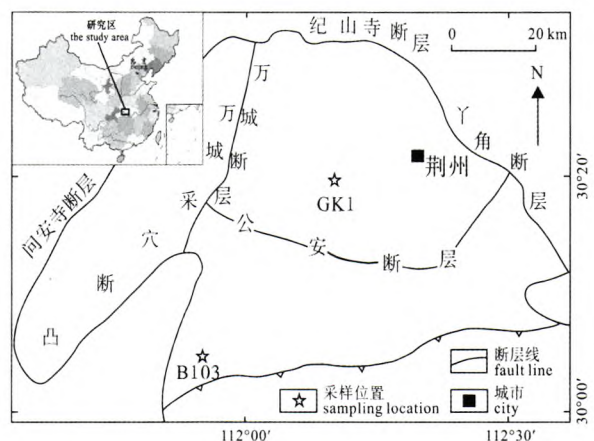


图 1 江陵盐盆构造单元分布和采样位置图
(杨长清等, 2003)

Fig. 1 Structural units and sampling locations of Jiangling salt basin(after YANG et al., 2003)

表 1 江陵凹陷古近系地层简表(据柯小平等, 2009 修改)

Table 1 Composite stratigraphic profile of Paleogene strata in Jiangling depression (modified after KE et al., 2009)

地 层				厚度 /m	剖 面	颜 色	地 层 简 表	沉 积 相			构造旋回	水 盐 体 度 淡→咸	代表井
系	统	组	段					河 流	滨 浅 湖	深 盐 湖			
第四系		平原组		25-150		杂色	杂色砾石层、灰色粘土层。凹陷内普遍存在						
新近系	中新统	广华寺组		300 600	 	黄灰白色	由砂砾岩、粘土岩组成前缘层, 属河流、冲积平原相沉积。与下伏地层呈平行不整合接触				披盖		江深 5 井
						灰绿色	泥岩、粉砂岩夹灰岩、油页岩, 属浅湖相沉积, 普遍遭剥蚀, 只在江口、梅槐桥、资福寺等洼地保存						江深 9 井
古近系	渐新统	荆河镇组	潜一段	500 1500		灰绿色	以灰绿、灰-深灰色泥岩为主, 夹油页岩、薄层泥灰岩、粉砂岩及玄武岩, 潜二、三段油页岩发育, 属深湖、半深湖相沉积, 部分地区顶底遭受剥蚀, 在清水口、资福寺等洼地沉积厚度逾千米				II		陵 68 井
			潜二段			灰绿色							
			潜三段			深灰黑色							
			潜四段			深灰黑色							
古近系	中始新统	荆沙组		600 1200		棕红红色	以棕红、紫红色泥岩为主, 夹粉砂岩、玄武岩。下部部分泥岩含硬石膏, 往上减少。属冲积平原相沉积, 厚度和岩性变化大, 江口、资福寺等洼地较发育				II		江深 5 井
						棕红红色	以棕红、紫红色泥岩为主, 夹粉砂岩、玄武岩。下部部分泥岩含硬石膏, 往上减少。属冲积平原相沉积, 厚度和岩性变化大, 江口、资福寺等洼地较发育						
						棕红红色							
						棕红红色							
古近系	下始新统	新沟嘴组	上段	200 300		棕灰紫色	分上、下段。上段为棕红、灰紫色泥岩夹粉砂岩、玄武岩, 部分泥岩含硬石膏; 下段为砂泥岩互层, 泥岩以灰色为主, 部分含硬石膏、泥灰岩。属三角洲、浅湖-半深湖相, 沉积稳定, 梅槐桥洼地最厚逾千米				II		陵 75 井
			下段	400 600		灰深棕紫色							
						灰深棕紫色							
						灰深棕紫色							
古近系	古新统	沙市组	四段	150 1650		灰深灰色	为一套深灰、灰黑色和棕紫色、含膏泥岩、钙芒硝岩、泥晶灰岩、盐岩夹薄层粉砂岩和玄武岩的浅湖-半深湖、盐湖相沉积。沉积不稳定, 岩性和厚度变化大。下部在资福寺、清水口、裁缝店等洼地以出现紫色泥岩和大量硬石膏、钙芒硝及盐岩为特征, 而上部在凹陷西南盐井-申津渡洼地发育上百米的硬石膏岩、钙芒硝岩和盐岩				II		B 103 井
			三段			灰深灰色							
			二段			深灰紫色							
			一段			深灰紫色							
白垩系	上统	渔洋组		1000 2500		红灰棕色	棕红、棕紫色泥岩、粉砂岩、细-中砂岩夹石膏质、白云质砂岩, 河流、滨浅湖相沉积, 厚度变化大, 江口洼陷最厚达 2000 m				I		鄂深 11 井
		罗镜组				杂色	杂色块状砂砾岩, 洪积相沉积						鄂深 13 井
前白垩系													

砾岩
conglomerate

砂岩
sandstone

粉砂岩
siltstone

泥岩
mudstone

石盐岩
halite

泥质白云岩
argillaceous dolomite

含硬石膏泥岩
gypsiferous

钙芒硝盐岩
glauberite rock salt

钙芒硝岩
glauberite

灰岩
limestone

玄武岩
basalt

盐质钙芒硝岩
salt glauberite rock

盐类矿物为石盐、石膏、钙芒硝及碳酸盐岩等(王春连等, 2012, 2013)。自 20 世纪 70 年代以来, 该区盐间地层的岩性特征及类型一直是争议的焦点和难点问题(李春梅等, 2001; 王春连等, 2012, 2013)。过去认为, 盐间地层岩性多为泥岩。近年来, 通过运用多种现代分析测试手段对盐间地层的岩性及类型进行分析, 认为盐韵律间岩性以泥岩、泥质碳酸盐岩、碳酸盐质泥岩为主, 夹部分泥质钙芒硝岩、硬石膏岩及黄铁矿和菱镁矿等多种矿物组成的复杂混合岩类, 因其不含砂岩, 称之为盐间非砂岩(张永生等, 2003, 2005; 王春连等, 2012, 2013)。

2 样品采集和实验方法

样品采自江陵凹陷 2 个钻孔(B103 和 GK1)的岩芯(图 1, 2), 岩性为泥灰岩和泥云岩。薄片和扫描电镜观察表明, 研究区湖相碳酸盐岩样品碳酸盐矿物颗粒细小, 晶粒粒径小于 5 μm , 方解石晶体呈凝胶

状外貌, 没有发现明显的重结晶现象, 具有原生沉积的特点, 这些样品的同位素成分被认为能够反映古湖泊系统的原始信息(刘传联等, 2001; 伊海生等, 2007)。

用于同位素实验的粉末样品取样在 1.0~2.0 mm 直径范围内, 磨至 200 目, 取样 0.5 ~ 1.0 mg。取样时要避免有晶体充填的微裂缝、脉体和晶洞。实验前 10 小时, 将用于同位素测试的粉末样品放到 60℃ 恒温干燥箱烘干 10 小时。用 70℃ 磷酸与样品反应释放出 CO_2 , 碳氧同位素测量在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室 MAT262 气体同位素质谱计上进行, 分析结果以 $\delta\text{‰}$ 单位表示, 采用 PDB 标准, 测试精度在 0.1‰ 以内, 分析结果如表 2 所示。古新统沙市组碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -5.6‰ ~ -0.6‰, 平均值为 -3.275‰; $\delta^{13}\text{C}$ 为 -4.8‰ ~ -1.0‰, 平均值为 -3.3625‰; 新沟嘴组碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -10.2‰ ~ -6.7‰, 平均值为 -8.57333‰; $\delta^{13}\text{C}$ 为 -10.8‰ ~

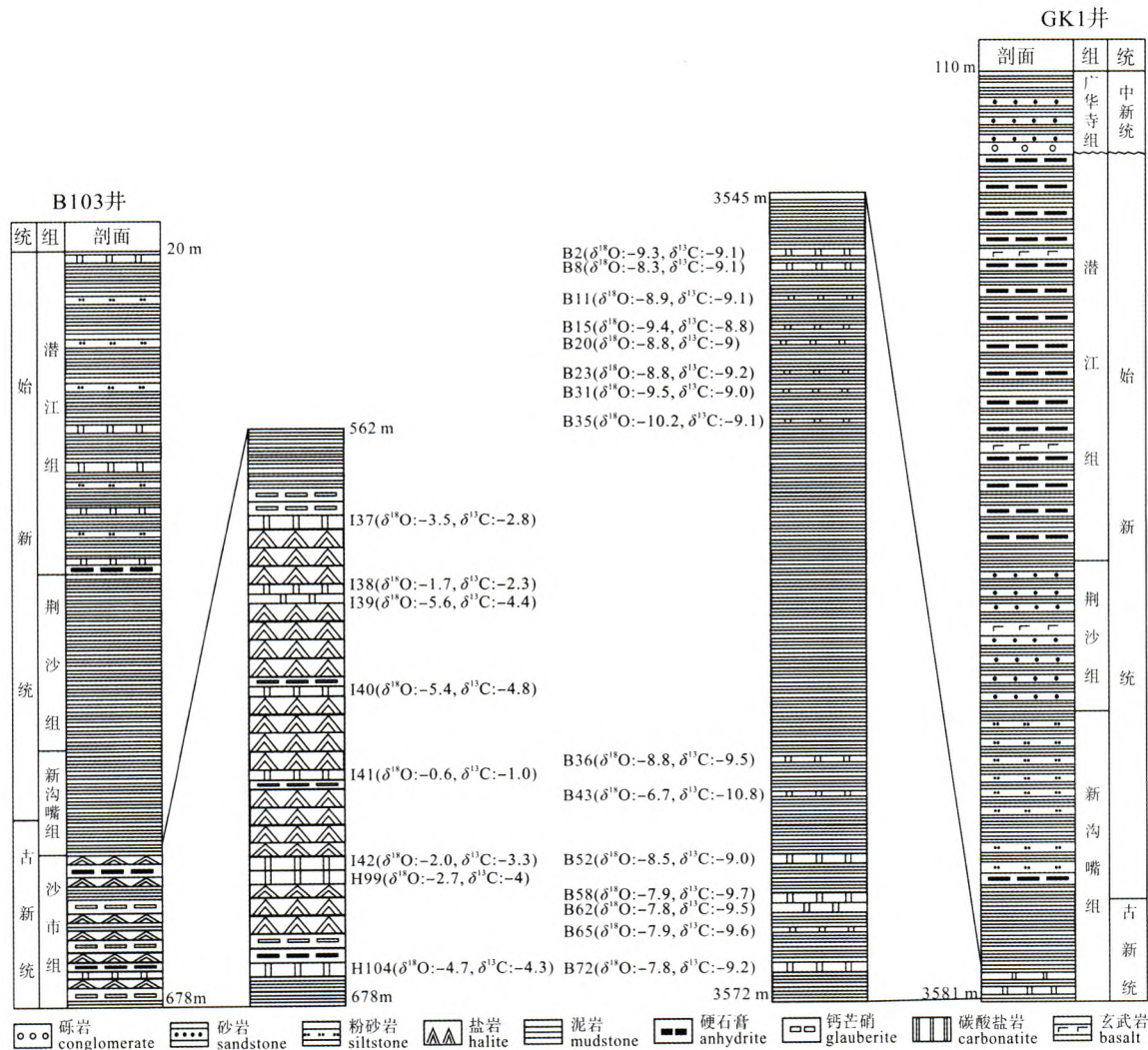


图 2 钻井柱状图和采样位置图
Fig. 2 Columnar sections of drill holes and sampling positions

表 2 湖相碳酸盐岩全岩样品碳氧同位素分析测试结果
(‰, PDB)

序号	样号	层位	岩性	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
1	B2		泥灰岩	-9.1	-9.3
2	B8		泥灰岩	-9.1	-8.3
3	B11		泥灰岩	-9.1	-8.9
4	B15		泥灰岩	-8.8	-9.4
5	B20		泥灰岩	-9.0	-8.8
6	B23		泥灰岩	-9.2	-8.8
7	B31	沟嘴组	泥灰岩	-9.0	-9.5
8	B35		泥灰岩	-9.1	-10.2
9	B36		泥灰岩	-9.5	-8.8
10	B43		泥云岩	-10.8	-6.7
11	B52		泥云岩	-9.0	-8.5
12	B58		泥云岩	-9.7	-7.9
13	B62		泥云岩	-9.5	-7.8
14	B65		泥云岩	-9.6	-7.9
15	B72		泥云岩	-9.2	-7.8
16	I37	沙市组	泥云岩	-2.8	-3.5
17	I38		泥云岩	-2.3	-1.7
18	I39		泥云岩	-4.4	-5.6
19	I40		泥云岩	-4.8	-5.4
20	I41		泥云岩	-1.0	-0.6
21	I42		泥云岩	-3.3	-2.0
22	H99		泥云岩	-4.0	-2.7
23	H104		泥云岩	-4.3	-4.7

注: 样品由中国地质科学院矿产资源研究所同位素室测试。

-8.8‰, 平均值为-9.31333‰。

3 碳酸盐岩沉积时的古湖泊环境

使用湖泊沉积物稳定同位素作为工具来解释古环境和古气候条件, 这种方法十分有效(Molenaar et al., 1985; Janaway et al., 1989; Platt, 1989; Cojan et al., 2000)。本文采用湖泊沉积物碳氧稳定同位素探讨了古新世时期湖泊的封闭性和开放性, 结合研究

区的岩相古地理和微量元素分别探讨了研究区古湖水面大小和古盐度的高低。

3.1 湖泊的封闭性与开放性

以 $\delta^{13}\text{C}$ 为纵坐标、 $\delta^{18}\text{O}$ 为横坐标的坐标系中, 江陵凹陷古新统沙市组和新沟嘴组碳酸盐岩碳氧稳定同位素都投在第三象限(图 3), 新沟嘴组的点落在瑞士格赖芬湖(Greifensee)开放型湖泊范围内或者附近(刘传联, 1998)。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间不相关或略有相关性, 相关系数 r 为 0.77, 是较为开放的环境(图 4); 而封闭型咸水、半咸水湖泊中, $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 更接近 0 或者为正值, 其投点大多数落在第 1、第 2 象限

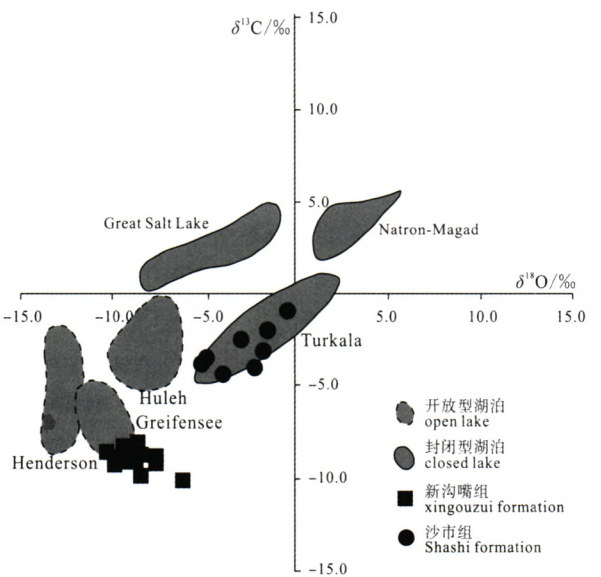


图 3 不同地层单元湖相碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值在现代开放型和封闭型湖泊中原生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 分布区的投影(据 Talbot, 1990; 刘传联, 1998; 刘传联等, 2001; 伊海生等, 2007)

Fig. 3 Plot of average $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of lacustrine carbonate rocks in different stratigraphic units in comparison with $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ domains of primary lacustrine carbonates in modern open and closed lakes (after Talbot, 1990; LIU, 1998; LIU et al., 2001; YI et al., 2007)

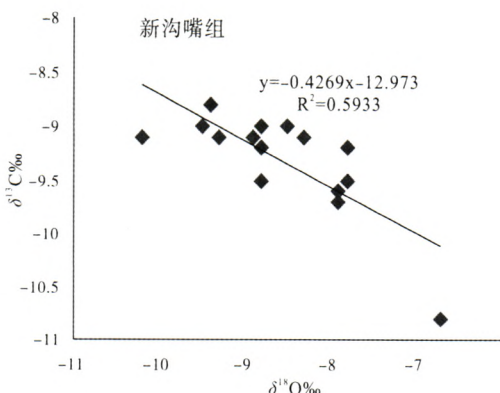
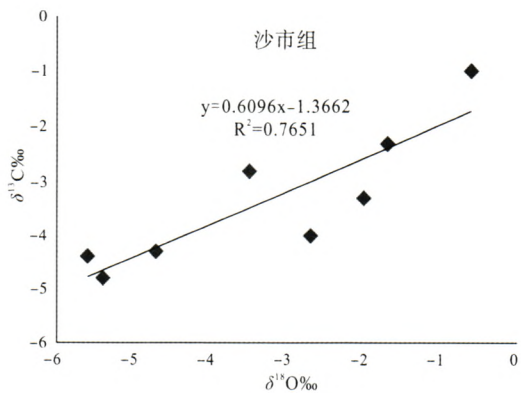


图 4 古新统 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 分布
Fig. 4 Scatter plot of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of Palaeocene

或原点附近(图 3), 而且 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 之间有明显的相关关系, 相关系数 r 为 0.87, 相关系数大, 封闭性强, 处于蒸发较强的沉积环境(Smoot, 1983; Bustillo et al., 2002), 沙市组点落在非洲的图尔卡纳(Turkala)封闭型湖泊范围内(陈登辉等, 2011)。

3.2 古盐度

水体盐度升高或降低是通过蒸发/降雨量的变化来调节的。所以根据氧同位素值同样可以推测古盐度的变化, 其趋势与蒸发/降雨的变化趋势是一致的, 即新沟嘴组沉积时期小于沙市组沉积时期。碳酸盐岩的微量元素分析也可以用来推测古盐度。 Sr/Ba 比值和 Mg/Ca 常用来作为区分淡水和咸水沉积的参数(Raiswell et al., 1988), 通常 $\text{Sr/Ba} > 1$ 表示咸水, $\text{Sr/Ba} < 1$ 表示淡水; $\text{Mg/Ca} < 0.25$ 表示微咸水, Mg/Ca 介于 0.25~0.5 表示半咸水, Mg/Ca 介于 0.5~1 表示咸水, $\text{Mg/Ca} > 1$ 表示盐湖环境(王春连等, 2012)。依据上述 Sr/Ba 比值和 Mg/Ca 与水体盐度的关系, 研究区的沙市组沉积岩中的 Sr/Ba 比值介于 0.43~9.1 之间, 均值 3.38(表 3); Mg/Ca 的比值范围为 1.14~2.59, 均值 1.65。新沟嘴组沉积岩中的 Sr/Ba 比值介于 0.15~0.23 之间, 均值 0.195; Mg/Ca 的比值范围为 0.06~0.61, 均值 0.21。因此, 从 Sr/Ba 比值和 Mg/Ca 比值可以认为江陵凹陷古新统沙市组水介质主要为盐湖环境; 新沟嘴组水介质主要为微咸水环境。江陵凹陷古新统沙市组到新沟嘴组湖泊的盐度总体呈现逐渐降低的趋势。

3.3 古湖水面和古湖水深度

从古新统沙市组的岩相古地理图可知(图 5), 沙

市组沉积时期仅有北部少量的淡水注入, 受到当时沉积环境的影响, 整个沉积环境是较为封闭的盐湖沉积体系, 在凹陷中南部沉积了大量的石盐。沙市组的古湖水面就是当时石盐沉积的湖面。而新沟嘴组沉积时期(图 6), 北部淡水注入逐渐增大, 石盐沉积结束, 整个凹陷都被微咸水浸没, 沉积物以灰黑色泥岩、灰白色泥膏岩和灰色膏泥岩为主, 水体相对较深, 在纵向上新沟嘴组由下至上膏盐岩逐渐减少, 泥岩逐渐增加, 盐度逐渐降低。这反映古湖水面的变化趋势为: 沙市组沉积时期小于新沟嘴组沉积时期。

4 结论

1)沙市组泥晶灰岩类样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间具有良好的正相关性, 表明它们发育在蒸发作用明显的相对封闭的咸水湖泊体系中; 而新沟嘴组 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间相关性差, 指示该时期是水体滞留时间较短的开放型湖泊系统。

2)古新统沉积时期古湖泊的特征变化如下: 蒸发/降雨: 沙市组沉积时期>新沟嘴组沉积时期; 古湖水面: 沙市组沉积时期<新沟嘴组沉积时期。江陵凹陷古新统湖泊沉积碳酸盐碳氧同位素组成的变化指示了区域古气候条件由沙市期的干热向新沟嘴期的湿润转变。

3)通过碳氧同位素, 结合 Sr/Ba 值和 Mg/Ca 值可以认为江陵凹陷古新统沙市组水介质主要为盐湖环境; 新沟嘴组水介质主要为微咸水环境。江陵凹陷古新统沙市组到新沟嘴组湖泊的盐度总体呈现逐渐降低的趋势。

表 3 古新统沉积物常量、微量元素组成
Table 3 Composition of major elements and trace elements of the samples from 4th member of Palaeocene

样号	层位	常量、微量元素				比值	
		Mg/%	Ca/%	Sr/ 10^{-6}	Ba/ 10^{-6}	Mg/Ca	Sr/Ba
G3	新沟嘴组	1.73	2.4	121	524	0.61	0.23
G7		0.37	3.45	80.5	521	0.09	0.15
G26		1.18	2.97	122	601	0.33	0.20
G33		1.07	3.52	95.3	528	0.11	0.18
G35		0.625	2.44	113	494	0.06	0.23
G37		0.618	2.49	105	596	0.07	0.18
H32	沙市组	8.29	2.69	747	55.9	2.59	13.36
H46		12.69	5.97	3117	365	1.79	8.54
H48		11.72	6.60	2903	305	1.49	9.52
H49		20.96	5.87	4766	447	1.25	10.66
H80		5.60	4.13	3429	727	1.14	4.72

注: 常量、微量元素由核工业北京地质研究院分析测试中心测试; 详细的分析方法和分析误差见参考文献(张会琼等, 2011)。

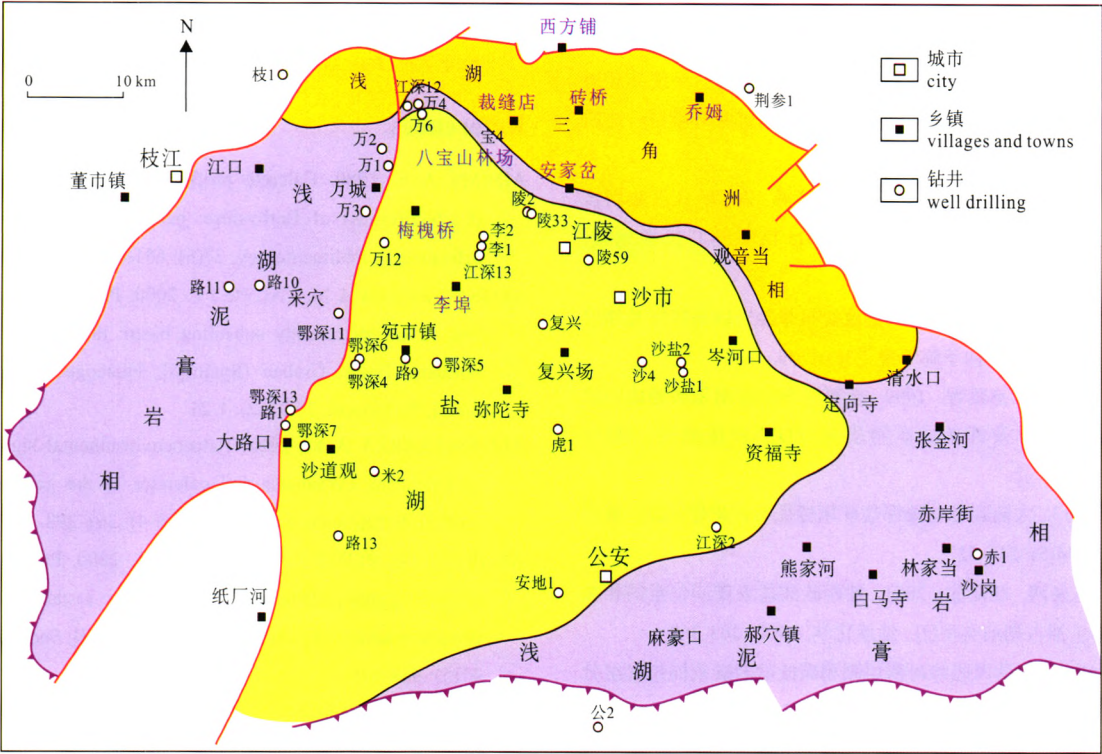


图 5 江陵凹陷沙市组沉积岩相图
Fig. 5 Sedimentary facies map of Shashi Formation in Jiangling depression

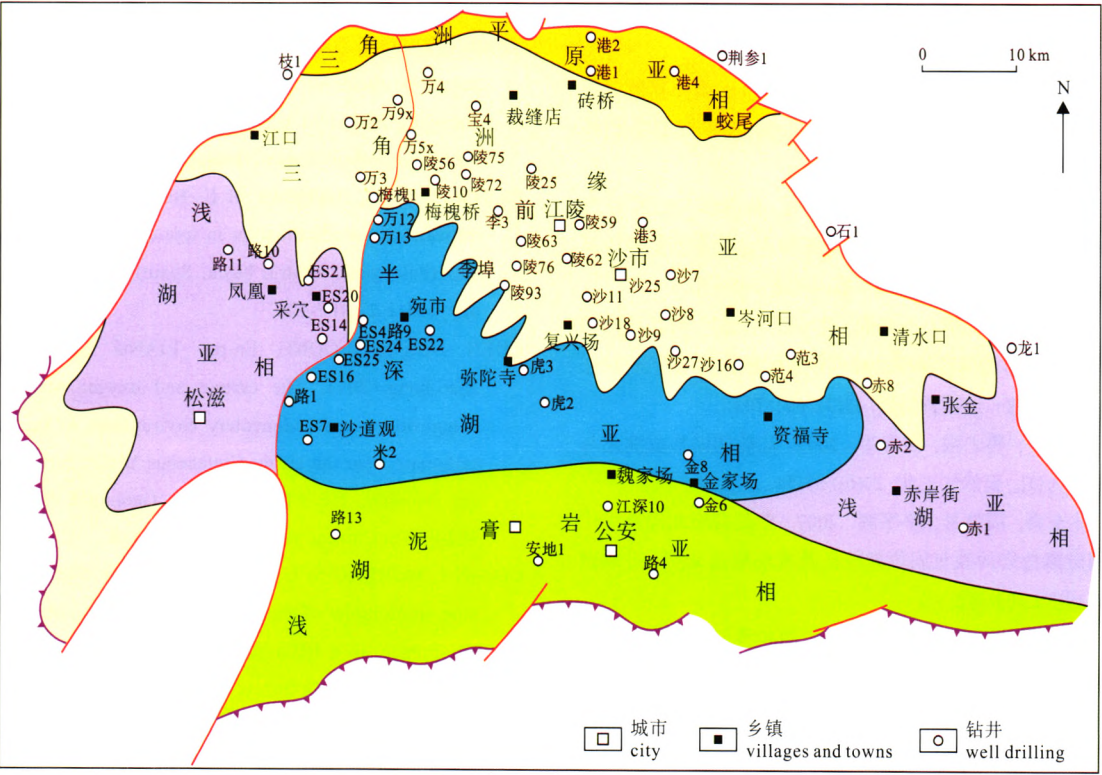


图 6 江陵凹陷新沟嘴组沉积岩相图
Fig. 6 Sedimentary facies map of Xingouzui Formation in Jiangling depression

4)古新统沙市组到新沟嘴组,江陵凹陷湖相碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 $\delta^{13}\text{C}$ 具有变小、变轻的演化趋势,这不但反映了古湖泊系统经历了一个封闭到开放的过程,而且说明古新世古气候格局发生了重大变化。这一变化表明江陵凹陷沙市组时期的古气候对古盐湖演化和成钾十分有利。

参考文献:

- 陈登辉, 巩恩普, 梁俊红, 陈晓红. 2011. 辽西上白垩统义县组湖相碳酸盐岩碳氧稳定同位素组成及其沉积环境[J]. 地质学报, 85(6): 987-992.
- 柯小平, 覃建雄, 李余生, 黄克难, 刘岫峰. 2009. 江汉盐湖盆地盐间白云岩特征及成因分析[J]. 沉积与特提斯地质, 29(3): 1-8.
- 李春梅, 何可. 2001. 江汉盐湖盆地盐间非砂岩储层特征及储层类型[J]. 江汉石油学院学报, 23(3): 6-9.
- 刘成林, 王弭力, 焦鹏程. 1999. 新疆罗布泊盐湖氧锶硫同位素地球化学及钾矿成矿物质来源[J]. 矿床地质, 18(3): 268-275.
- 刘成林. 2013. 大陆裂谷盆地钾盐矿床特征与成矿作用[J]. 地球学报, 34(5): 515-527.
- 刘传联, 赵泉鸿, 汪品先. 2001. 湖相碳酸盐氧碳同位素的相关性与生油古湖泊类型[J]. 地球化学, 30(4): 363-367.
- 刘传联. 1998. 东营凹陷沙河街组湖相碳酸盐岩碳氧同位素组成及其古湖泊学意义[J]. 沉积学报, 16(3): 109-114.
- 刘俊, 卢明国, 童小兰, 吴朝东. 2008. 江陵凹陷构造演化与含油气系统关系研究[J]. 地球学报, 29(1): 89-94.
- 刘再华, 李红春, 游镇峰, 万乃容, 孙海龙, 刘香玲. 2006. 云南白水台现代内生钙华微层的特征及其古气候重建意义[J]. 地球学报, 27(5): 479-486.
- 覃嘉铭, 袁道先, 程海, 林玉石, 张美良. 2004. 贵州荔波董歌洞 D3 石笋碳氧稳定同位素及微量元素记录的环境变化[J]. 地球学报, 25(6): 625-632.
- 王春连, 刘成林, 胡海兵, 毛劲松, 沈立建, 赵海彤. 2012. 江汉盆地江陵凹陷南缘古新统沙市组四段含盐岩系沉积特征及其沉积环境意义[J]. 古地理学报, 14(2): 165-175.
- 王春连, 刘成林, 徐海明, 王立成, 沈立建. 2013. 湖北江陵凹陷古新统沙市组四段硫酸盐硫同位素组成及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 43(3): 691-703.
- 杨长清, 陈孔全, 程志强, 詹海军. 2003. 江陵凹陷形成演化与勘探潜力[J]. 天然气工业, 23(6): 51-54.
- 伊海生, 林金辉, 周恩恩, 李军鹏. 2007. 青藏高原北部新生代湖相碳酸盐岩的碳氧同位素特征及古环境意义[J]. 古地理学报, 9(3): 303-312.
- 伊海生, 时志强, 惠博, 夏国清. 2009. 湖相叠层石纹层的碳氧同位素特征及其生长节律的古环境意义[J]. 地学前缘, 16(6): 168-176.
- 张会琼, 王京彬, 王玉往, 王莉娟, 龙灵利, 廖震. 2011. 内蒙古大井锡多金属矿床脉岩的成矿与找矿意义[J]. 地质与勘探, 47(3): 344-352.
- 张永生, 王国力, 杨玉卿, 漆智先. 2005. 江汉盆地潜江凹陷古近系盐湖沉积盐韵律及其古气候意义[J]. 古地理学报, 7(4): 461-470.
- 张永生, 杨玉卿, 漆智先, 乔悦东, 袁鹤然. 2003. 江汉盆地潜

江凹陷古近系潜江组含盐岩系沉积特征与沉积环境[J]. 古地理学报, 5(1): 29-35.

References:

- ADAMS A E. 1980. Calcrete profiles in the Eyam Limestone (Carboniferous) of Derbyshire: petrology and regional significance[J]. Sedimentology, 27(6): 651-660.
- ALONSO-ZARZA A M, CALVO J P. 2000. Palustrine sedimentation in an episodically subsiding basin: the Miocene of the northern Teruel Graben (Spain)[J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 160(1-2): 1-21.
- ALONSO-ZARZA A M. 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record[J]. Earth-Science Reviews, 60(3-4): 261-298.
- ANDREW J E, PEDLEY M, DENNIS P F. 2000. Palaeoenvironmental records in Holocene Spanish tufas: a stable isotope approach in search of reliable climatic archive[J]. Sedimentology, 47(5): 961-978.
- ARENAS C, CASANOVA J, PARDO G. 1977. Stable-isotope characterization of the Miocene lacustrine systems of Los Monegros (Ebro Basin, Spain): palaeogeographic and palaeoclimatic implications[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 128: 133-155.
- ARMENTEROS I, DALEY B, GARCIA E. 1997. Lacustrine and palustrine facies in the Bembridge Limestone (Late Eocene, Hampshire Basin) of Isle of Wight, southern England[J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 128(1-4): 111-132.
- BUSTILLO M A, ARRIBAS M E, BUSTILLO M. 2002. Dolomitization and silicification in low-energy lacustrine carbonates (Paleogene, Madrid basin, Spain)[J]. Sedimentary Geology, 151(1-2): 107-126.
- CHEN Deng-hui, GONG En-pu, LIANG Jun-hong, CHEN Xiao-hong. 2011. The carbon and oxygen stable isotopic compositions and sedimentary environment of the lacustrine carbonate from the Upper Cretaceous Yixian formation, western liaoning, NE China[J]. Acta Geologica Sinica, 85(6): 987-992(in Chinese with English abstract).
- COJAN I, MOREAU M G, STOTT L E. 2000. Stable carbon isotope stratigraphy of the Paleogene pedogenic series of southern France as a basis for continental-marine correlation[J]. Geology, 28(3): 259-262.
- DAN J. 1977. The distribution and origin of nari and other lime crusts in Israel[J]. Israel Journal Earth-Science, 26: 68-83.
- DRUMMOND C N, PATTERSON W P, WALKER J C G. 1995. Climatic forcing of carbon-oxygen isotopic covariance in temperate-region marl lakes[J]. Geology, 23(11): 1031-1034.
- JANAWAY T M, PARNELL J. 1989. Carbonate production within the Orcadian Basin, northern Scotland: a petrographic and geochemical study[J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Pa-

- laecoecol, 70(1-3): 89-105.
- KE Xiao-ping, QIN Jian-xiong, LI Yu-sheng, HUANG Ke-nan, LIU Xiu-feng. 2009. Characteristics and genesis of the inter-salt dolostones in the Jiangnan basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 29(3): 1-8(in Chinese with English abstract).
- KHADKIKAR A S, MERH S S, MALIK J N, CHAMYAL L S. 1998. Calcretes in semiarid alluvial systems: formative pathways and sinks[J]. *Sedimentary Geology*, 116(3-4): 251-260.
- LI Chun-mei, HE Ke. 2001. Characteristics and types of inter-salt non-sandstone reservoir in Jiangnan salt-lake basin[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 23(3): 6-9(in Chinese with English abstract).
- LI Xian-hui, XU Wen-li, LIU Wei-hong, ZHOU Yong, WANG Yin, SUN Yong, LIU Ling. 2013. Climatic and environmental indications of carbon and oxygen isotopes from the Lower Cretaceous calcrete and lacustrine carbonates in Southeast and Northwest China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 385(1): 171-189.
- LIU Cheng-lin, WANG Mi-li, JIAO Peng-cheng. 1999. Hydrogen, Oxygen, Strontium and Sulfur isotopic geochemistry and potash-forming material sources of lop salt lake, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 18(3): 268-275(in Chinese with English abstract).
- LIU Cheng-lin. 2013. Characteristics and Formation of Potash Deposits in Continental Rift Basins: A Review[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5): 515-527(in Chinese with English abstract).
- LIU Chuan-lian, ZHAO Quan-hong, WANG Pin-xian. 2001. Correlation between carbon and oxygen isotopic ratios of lacustrine carbonates and types of oil-producing paleolakes[J]. *Geochimica*, 30(4): 363-367(in Chinese with English abstract).
- LIU Chuan-lian. 1998. Carbon and Oxygen Isotopic Compositions of Lacustrine Carbonates of the Shahejie Formation in the Dongying Depression and their Paleolimnological Significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 16(3): 109-114(in Chinese with English abstract).
- LIU Jun, LU Ming-guo, TONG Xiao-lan, WU Chao-dong. 2008. Correlation between structure evolution and petroleum system of the Jiangling depression[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(1): 89-94(in Chinese with English abstract).
- LIU Zai-hua, LI Hong-chun, YOU Zhen-feng, WAN Nai-rong, SUN Hai-long, LIU Xiang-ling. 2006. Thickness and stable isotopic characteristics of modern seasonal climate controlled sub-annual travertine laminae in a travertine depositing stream at Baishuitai, Southwest China: Implications for paleoclimate reconstruction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 27(5): 479-486(in Chinese with English abstract).
- LONGINELLI A. 1979. Isotope geochemistry of some Messinian evaporites: paleoenvironmental implications[J]. *Paleogeogr. Paleoclim. Paleocool*, 29: 95-124.
- LUDVIGSON G A, JOECKEL R M, GONZALEZ L A, GULBRANSON E L, RASBURY E T, HUNT G J, KIRKLAND J I, MADSEN S. 2010. Correlation of Aptian-Albian carbon isotope excursions in continental strata of the Cretaceous foreland basin, eastern Utah, U.S.A[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 80(11): 955-974.
- MACK G H, JAMES W C. 1992. Calcic paleosols of the Plio-Pleistocene Camp Rice and Palomas Formations, southern Rio Grande rift, USA[J]. *Sedimentary Geology*, 77(1-2), 89-109.
- MARIA A B, VINICIO M, STEFANO L, MARCO R, ANTONIO L, FRANCO R L, MARIO B. 2004. Paleoenvironmental significance of Messinian post-evaporitic lacustrine carbonates in the northern Apennines, Italy[J]. *Sedimentary Geology*, 172(1-2): 1-18.
- MCKENZIE J A, HOLLANDER D J. 1993. Oxygen-isotope record in recent carbonate sediments from Lake Greifen, Switzerland(1750-1986): Application of continental isotopic indicator for evaluation of changes in climate and atmospheric circulation patterns[J]. *Geophysical Monograph Series*, 78: 101-111.
- MOLENAAR N, DE FEYTER A J. 1985. Carbonates associated with alluvial fans: an example from the Messinian Colombacci Formation of the Pietrabbia Basin, Northern Marche, Italy[J]. *Sedimentary Geology*, 42(1-2): 1-23.
- PLATT N H. 1989. Lacustrine carbonates and pedogenesis: sedimentology and origin of palustrine deposits from the Early Cretaceous Rupelo Formation, W. Cameros Basin, N. Spain[J]. *Sedimentology*, 36(4): 665-684.
- QIN Jia-ming, YUAN Dao-xian, CHENG Hai, LIN Yu-shi, ZHANG Mei-liang. 2004. The Stable Isotope and Trace Element Records on Environmental Change of D3 Stalagmite in Dongge Cave, Libo, Guizhou[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(6): 625-632(in Chinese with English abstract).
- RAISWELL R, BUCKLEY F. 1988. Degree of pyritization of iron as a palaeoenvironmental indicator of bottom water oxygenation[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58(5): 812-819.
- SMOOT J P. 1983. Depositional subenvironments in a arid closed basin—the Wilkins Peak Member of the Green River Formation (Eocene), Wyoming, USA[J]. *Sedimentology*, 30(6): 801-827.
- TALBOT M R. 1990. A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates[J]. *Chemical Geology*, 80(4): 261-279.
- WANG Chun-lian, LIU Cheng-lin, HU Hai-bing, MAO Jin-song, SHEN Li-jian, ZHAO Hai-tong. 2012. Sedimentary characteristics and its environmental significance of salt-bearing strata of the Member 4 of Paleocene Shashi Formation in southern margin of Jiangling Depression, Jiangnan Basin[J]. *Journal of Pa-*

laeogeography, 14(2): 165-175(in Chinese with English abstract).

WANG Chun-lian, LIU Cheng-lin, XU Hai-ming, WANG Li-cheng, SHEN Li-jian. 2013. Sulfur isotopic composition of sulfate and its geological significance of Member 4 of Paleocene Shashi Formation in Jiangling Depression of Hubei Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 43(3): 691-703(in Chinese with English abstract).

YANG Chang-qing, CHEN Kong-quan, CHENG Zhi-qiang, ZHAN Hai-jun. 2003. Constituent evolution and exploration potential in Jiangling Depression[J]. Natural Gas Industry, 23(6): 51-54(in Chinese with English abstract).

YI Hai-sheng, LIN Jin-hui, ZHOU Ken-ken, LI Jun-peng. 2007. Carbon and oxygen isotope characteristics and palaeoenvironmental implication of the Cenozoic lacustrine carbonate rocks in northern Qinghai, Tibetan Plateau[J]. Journal of Palaeogeography, 9(3): 303-312(in Chinese with English abstract).

YI Hai-sheng, SHI Zhi-qiang, HUI Bo, XIA Guo-qing. 2009. The oxygen and carbon isotopic signatures of laminations in lacustrine stromatolites and palaeoenvironmental significances of growth rhythmites[J]. Earth Science Frontiers, 16(6): 168-176(in Chinese with English abstract).

ZHANG Hui-qiong, WANG Jing-bin, WANG Yu-wang, WANG Li-juan, LONG Ling-li, LIAO Zhen. 2011. The mineralization and prospecting significance of dykes of Dajing tin-polymetallic deposit, Inner Mongolia[J]. Geology and Exploration, 47(3): 344-352(in Chinese with English abstract).

ZHANG Yong-sheng, YANG Yu-qing, QI Zhi-xian, QIAO Yue-dong, YUAN He-ran. 2003. Sedimentary characteristics and environments of the salt-bearing series of Qianjiang Formation of the Paleogene in Qianjiang sag of Jiangnan basin[J]. Journal of Palaeogeography, 5(1): 29-35(in Chinese with English abstract).

ZHANG Yong-sheng, WANG Guo-li, YANG Yu-qing, QI Zhi-xian. 2005. Rhythms of saline lake sediments of the Paleogene and their Paleoclimatic significance in Qianjiang Sag, Jiangnan Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 7(4): 461-470(in Chinese with English abstract).



西藏地质找矿突破研讨会在拉萨召开

2013年7月28—31日，由西藏自治区地质矿产勘查开发局与中国地质科学院联合主办的西藏地质找矿突破研讨会在拉萨山水宾馆召开。会议开幕式由中国地质科学院王小烈书记主持，西藏自治区人大副主任、国土资源厅总工程师、中国工程院院士多吉，西藏自治区地质矿产勘查开发局局长苑举斌及中国地质科学院董树文副院长分别致辞，正式代表和列席代表约80余人参加了会议。会上共有35位专家做了学术报告，中国科学院院士许志琴、中国工程院院士郑绵平、中国工程院院士多吉、中国地质科学院董树文研究员、中国科学院青藏高原研究所丁林研究员、中国地质大学(北京)魏文博教授和成都地质矿产研究所李光明研究员等7位专家作特邀报告。

本次会议报告涉及印度与亚洲大陆板块碰撞、青藏高原地质构造与演化、深部探测研究、青藏高原成矿理论与找矿技术方法、西藏矿产资源勘查评价、蛇绿岩与铬铁矿成因、西藏盐湖资源及产业化、青藏高原地热资源及调查评价、西藏油气地质构造保存条件、野外现场分析测试技术等热点问题及最新研究成果。

研讨会内容丰富，学术氛围浓厚，专家学者讨论热烈，积极为西藏找矿突破建言献策，对推动青藏高原地学创新研究与资源能源勘查评价起到了良好的促进作用。

本刊编辑部 采编