

辽西下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

陈登辉^{1,2)}, 巩恩普¹⁾, 梁俊红¹⁾, 陈晓红¹⁾

1) 东北大学地质系, 沈阳, 110004;

2) 西安地质矿产研究所, 西安, 710054

内容提要:通过辽西义县盆地下白垩统义县组湖相碳酸盐岩碳氧稳定同位素组成, 分析了赋存热河生物群的义县盆地湖相沉积环境。该地层序列中碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-4.825\text{‰} \sim 6.870\text{‰}$ 之间; $\delta^{18}\text{O}$ 值在 $-16.190\text{‰} \sim -7.143\text{‰}$ 之间, 均呈负值, 这表明当时水文特征趋于封闭, 气候炎热干燥, 湖水温度和盐度均较高, 火山活动可能是影响义县盆地水文状况和区域气候的重要因素。

关键词:湖相碳酸盐岩; 碳氧同位素; 沉积环境; 下白垩统; 义县组

涉及辽西地区义县盆地白垩系热河生物群生存的古地理、古环境、古气候等方面的文献可谓仁智各见(陈丕基等, 1980; 汪筱林等, 1998; 王思恩, 1999; 张立东等, 2001; 巩恩普等, 2007, 2011; 丁秋红等, 2002; Jiang et al., 2007; 陈登辉等, 2009, 2010)。义县组主要由火山凝灰岩以及河湖相碎屑岩组成, 自下而上可划分为马神庙层、老公沟层、业南沟层、鹰窝山-砖城子层、大康堡层、金刚山层等 6 个沉积单元(王五力等, 2004), 典型剖面位置如图 1 所示。其中的马神庙层、鹰窝山-砖城子层、大康堡层和金刚山层中见大量薄层湖相碳酸盐岩(巩恩普等, 2007, 2011; 陈登辉等, 2009, 2010)。笔者通过测试其中稳定碳氧同位素数据, 以此了解当时古湖泊演化史和成就热河生物群特异埋葬条件的特定古水文学信息。

1 岩性特征

辽西义县组中碳酸盐岩夹产于火山-沉积碎屑岩之中, 多呈薄层状, 单层厚度以 $0.30 \sim 0.50\text{ m}$ 居多, 最厚可达 0.80 m ; 共识别出了灰(云)泥岩(A)、颗粒灰泥岩(B)、灰泥颗粒岩(C)、颗粒灰岩(D)、漂浮灰岩(E)、灰砾岩(F)和纹层白云岩(G)等几种碳酸盐岩岩石类型(陈登辉等, 2009, 2010; 巩恩普等,

2011), 其产出位置及与其他碎屑岩之间的分布关系如图 2 所示。

2 稳定碳氧同位素组成

应用碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分析沉积环境, 对于中生代的样品很有效, 但对于中生代以前的样品来说因可能受较强的成岩作用影响, 致使原始沉积物中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值因同位素的交换而会发生变化(邵龙义等, 1991)。一般来说年代越新、遭受后期改造越弱的岩石, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值与原始沉积时 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值越接近。

从老公沟层、王家沟大康堡层、鹰窝山砖城子层和枣茨山金刚山层中共采集 80 余件湖相碳酸盐岩新鲜样品。按照测试的要求从中选取了 15 件(采样位置如图 2 所示), 经清洗、高温烘干、粉碎且研磨至 150 目。应用正磷酸法使样品在真空条件下与 100% 的磷酸进行恒温反应; 灰岩在 $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (24 h)、白云岩在 $50 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (72 h) 进行充分的反应。此后收集气体采用质谱仪(型号为 MAT-253)测试, 分析结果如表 1 所示。

结果显示义县组碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-4.825\text{‰} \sim 6.870\text{‰}$ 之间, 平均值 1.050‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 值均为负值,

注: 本文为教育部高等学校博士学科点专项科研基金(编号 20060145016)资助成果。

收稿日期: 2011-02-11; 改回日期: 2011-04-14; 责任编辑: 周健。

作者简介: 陈登辉, 男, 1980 年生。博士研究生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事沉积学和矿产地质学研究。通讯地址: 710054, 西安市友谊东路 438 号; Email: clay_5@yahoo.cn。

DOI: CNKI: 11-1951/P. 20110517. 1012. 012 网络出版时间: 2011-5-17 10:12

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20110517.1012.012.html>

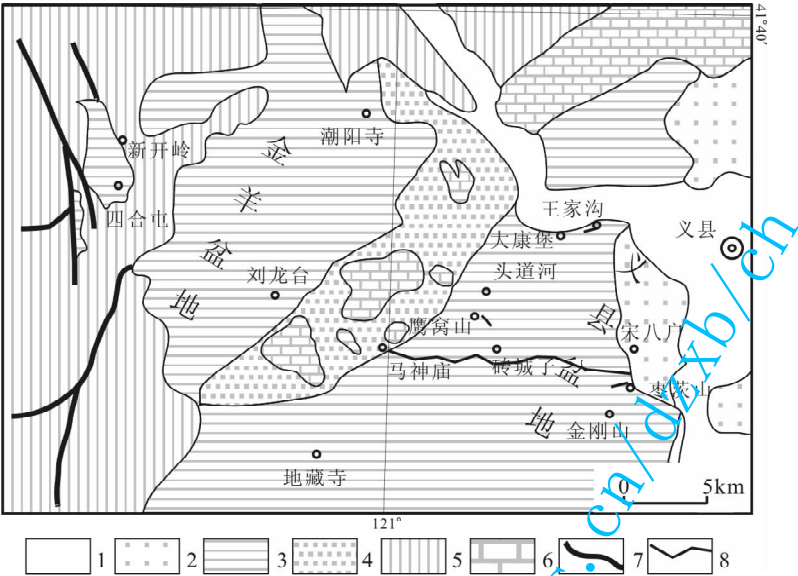


图 1 义县地区义县组分布及剖面位置(据张宏等,2004 修改)

Fig.1 Distribution of the Yixian Formation and studied section in the Yixian areas (modified after Zhang et al. , 2004)

1—第四系;2—九佛堂组;3—义县组;4—王家屯组;5—侏罗系;6—前中生代;7—断层;8—研究剖面位置

1—Quaternary;2—Jiufotang Formation; 3—Yixian Formation; 4—Wangjiatun Formation; 5—Jurassic; 6—Pre-Mesozoic; 7—fault; 8—studied section

在 $-16.190\text{‰} \sim -7.143\text{‰}$ 之间,平均值 -10.178‰ 。除去 $\delta^{18}\text{O}$ 为最小值的样品以外,其他样品 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的相关系数为 0.65,相关性较好。

表 1 义县地区义县组碳酸盐岩
碳氧稳定同位素组成(‰,PDB)

Table 1 Oxygen and carbon isotope compositions (‰,PDB) of lacustrine carbonates in the Yixian area					
层位	样品编号	岩石类型	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Z 值
老公沟层	06-lg-7	A	0.757	-13.277	122.24
	06-lg-13	C	-2.024	-10.458	117.95
鹰窝山 砖城子层	09-yw-9	D	-1.469	-11.332	118.65
	06-yw-12	A	-1.307	-11.105	119.09
	06-yw-21	A	-3.260	-11.093	115.10
	06-yw-24	G	-1.802	-11.262	118.00
	06-yw-26	F	-1.781	-10.591	118.38
王家沟 大康堡层	06-wj-2	D	4.715	-8.843	132.55
	06-wj-4	C	6.870	-8.959	136.91
	08-wj-7-1	B	2.563	-7.471	128.83
	08-wj-7-2	B	2.840	-7.143	129.56
	06-wj-9	A	4.722	-8.913	132.53
寒茨山 金刚山层	06-Zc-23	E	4.150	-16.190	127.74
	06-Zc-25	F	5.603	-10.795	133.40
	06-Zc-30	E	-4.825	-13.24	110.83

注:样品由中国科学院地质与地球物理研究所稳定同位素地球化学实验室测试。

3 碳酸盐岩沉积时的水文环境

开放的淡水湖泊或封闭的咸水湖泊之中均可能

沉积碳酸盐岩(王英华等,1991;夏青松等,2003;李春荣等,2004)。现代开放型淡水湖泊中的原生碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 均为负值,而且 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之间不相关或略有相关性,在以 $\delta^{13}\text{C}$ 为纵坐标、 $\delta^{18}\text{O}$ 为横坐标、0 为原点的坐标系中,主要投在第三象限(图 3),如瑞士格赖芬湖(Greifensee)、美国亨德森湖(Henderson)、和以色列 Huleh 湖(卫克勤等,1995)。而封闭型咸水、半咸水湖泊中, $\delta^{18}\text{O}$ 正负均有, $\delta^{13}\text{C}$ 则基本为正值,其投点大多数落在第 1 和第 2 象限,而且 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 之间有明显的相关关系,封闭性越强,相关系数就越大,如北美大盐湖(Great Salt Lake)、非洲的图尔卡纳(Turkala)、纳特龙-马加迪(Natron-Magadi)等(刘传联等,2001)。

辽西义县组湖相碳酸盐岩碳氧稳定同位素在现代开放型和封闭型湖泊原生碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分区中投影如图 3 所示。前者的碳氧稳定同位素值主要落在第 2 和第 3 象限,说明当时的湖泊水文条件处于开放和封闭之间不断转化的过程。 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 相关系数为 0.65,有较好的相关性,指示湖泊水文条件相对处于比较封闭,且蒸发较强的沉积环境(Talbot, 1990; Bustillo et al. , 2002; Woo et al. , 2004)。由于当时火山活动或构造运动相对比较活跃,这些火山活动或构造运动对湖盆的影响使其水文条件发生了变化。

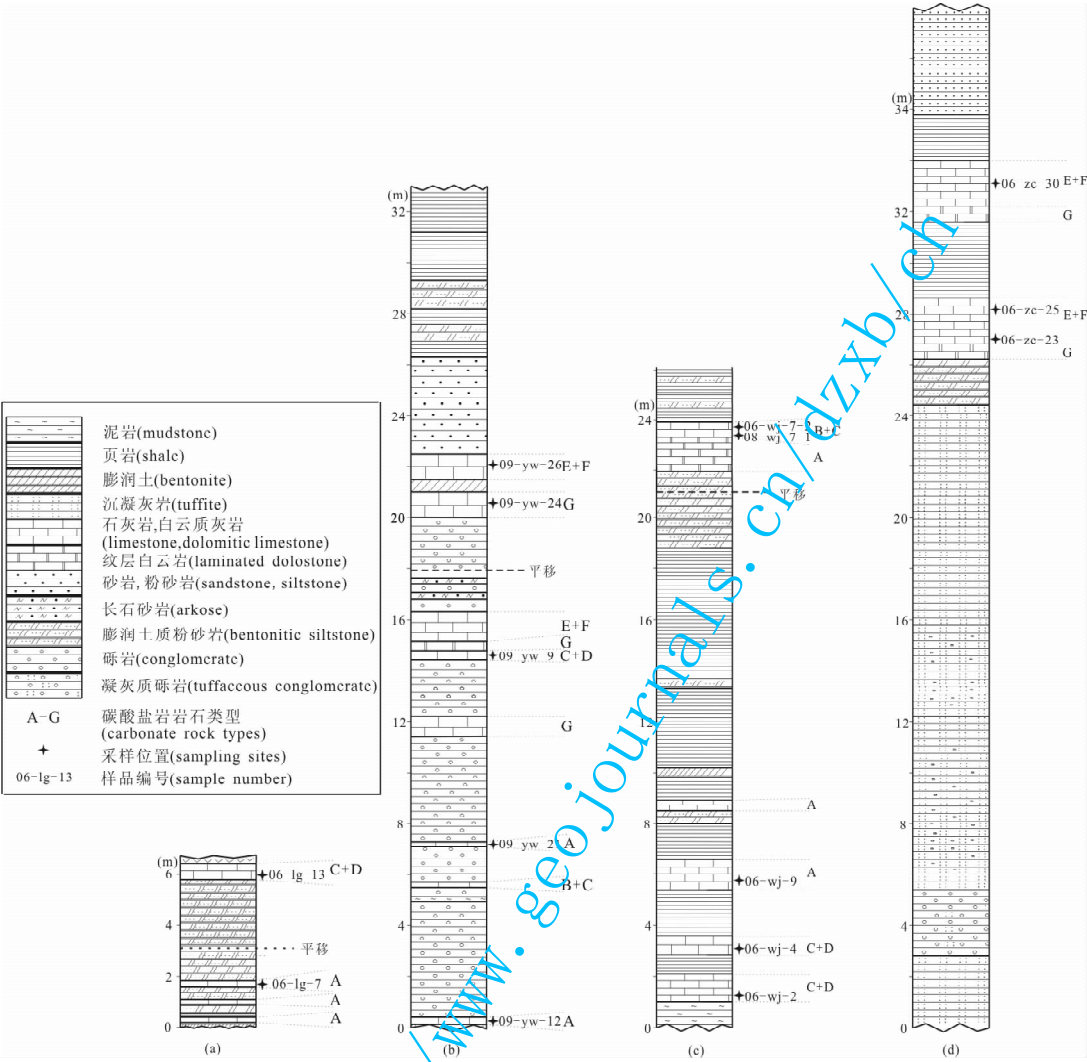


图 2 义县组湖相碳酸盐岩沉积地层示意图(据巩恩普等,2011 修改)

Fig.2 The lithification diagrammatic sketch of lacustrine carbonate from the Yixian Formation (modified after Gong Enpu et al. , 2011)

(a)—老公沟层;(b)—鹰窝山-砖城子层;(c)—大康堡层;(d)—金刚山层

(a)—Laogonggou Member; (b)—Yingwoshan-Zhuanchengzi Member; (c)—Dakangbao Member; (d)—Jingangshan Member

Keith 等(1964)提出了利用碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值区分侏罗纪及时代更新的淡水碳酸盐岩和海相碳酸盐岩的经验公式:

$$Z=2.048\times(\delta^{13}\text{C}+50)+0.498\times(\delta^{18}\text{O}+50)$$

式中, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 均用 PDB 标准。当 Z 值大于 120 时为海相石灰岩, 小于 120 时为淡水石灰岩。但是单独利用碳氧同位素计算的 Z 值来判断海相和淡水碳酸盐岩是不可靠的, 现代陆相咸化湖泊碳酸盐岩碳氧同位素 Z 值都大于 120, 如现代青海湖的碳酸盐岩 Z 值大于 120; 柴达木盆地第三系碳酸盐岩碳氧同位素 Z 值计算表明, 有 25 个样品的 Z 值大于 120, 占总样品的 68% 以上(赵加凡等, 2005); 美国西部地区的盐湖盆地 17 个样品中约

60% 的 Z 值大于 120(中国科学院兰州分院等, 1994), 其他地区现代盐湖的 Z 值也存在类似的情况。

对义县组湖相碳酸盐岩 Z 值计算结果如表 1 所示, Z 值计算结果在 120 左右, 一般在 110~136 之间。15 个样品中 Z 大于 120 的 8 个, 占全部样品的 53.3%。其他的 Z 值也在 110 以上, 基本接近 120, 这说明碳酸盐岩为陆相咸化湖泊沉积。

一般情况下淡水湖泊和河流相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值是很低的, 介于 -5‰ ~ -15‰ 之间; 海相石灰岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则介于 -5‰ ~ $+5\text{‰}$ 之间; 蒸发碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则较海洋的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏大一些(图 4)(周仰康等, 1984; 张秀莲, 1985)。义县组湖相碳酸盐岩的

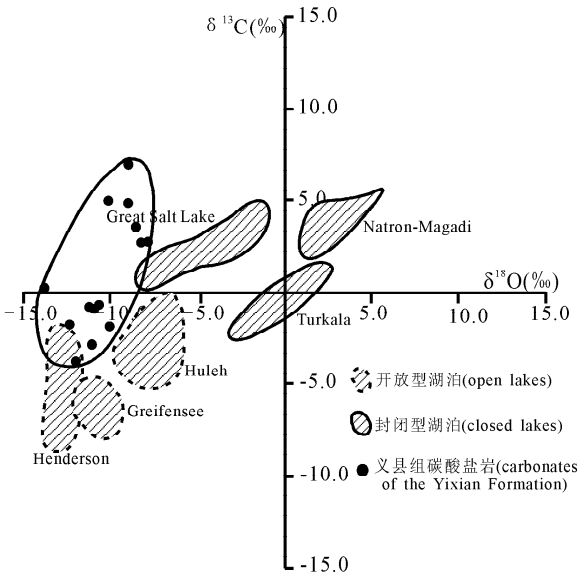


图 3 义县组碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值在现代开放型和封闭型湖泊中原生碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分布区的投影(据刘传联等,2001 修改)

Fig. 3 Plot of average $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of lacustrine carbonate rocks in Yixian Formation and comparison with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ domains of primary lacustrine carbonates in modern open and closed lakes (modified after Liu et al,2001)

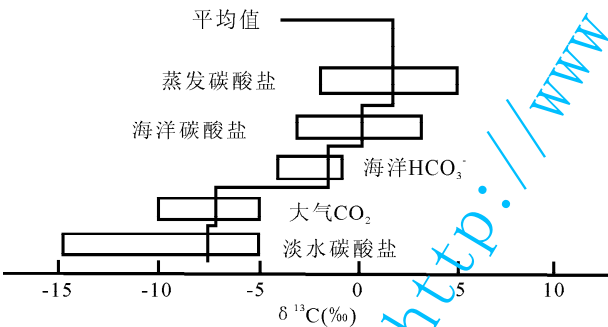


图 4 碳同位素在碳酸盐和有关物质中的分布 (Schopf 据 Degens,1966 年的资料绘制,1980)

Fig. 4 The distribution of carbon isotope in carbonate rocks and related matter compiled by Schopf 1980, based on the materials in 1966 of Degens)

$\delta^{13}\text{C}$ 值含量介于 $-4.825\text{‰} \sim 6.870\text{‰}$ 之间,参照图 4 碳酸盐和有关物质中碳同位素分布,结合 Z 值的计算结果分析,义县组湖相碳酸盐岩应属于蒸发型沉积。虽然在该剖面未见膏盐层,但是在与之相邻的四合屯地区发现与碳酸盐岩相伴产出的薄层膏盐 (Jiang et al.,2007)。

Epstein 等(1956)提出一个计算古水温的经验公式,后经 Craig 得到一个修正式(钱建兴,1984):

$$t=16.9-4.2(\delta_{\text{C}}-\delta_{\text{W}})+0.13(\delta_{\text{C}}-\delta_{\text{W}})^2 \quad (1)$$

式中 δ_{C} 是指由碳酸钙与 100% 的正磷酸在 25℃ 作用释放的 CO_2 气体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{样品}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{PDB}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{PDB}}} \times 1000\text{‰}$),即碳酸盐岩样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值; δ_{W} 是在 25℃ 时与水平衡的 CO_2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,即以 SMOW 为标准的样品形成时的水体 $\delta^{18}\text{O}$ 值。

已知大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在赤道附近接近于零,向高纬度逐渐减小,这就是所谓的“纬度效应”。中国东部的纬度效应约为 -0.21‰ (SMOW)(郑淑蕙等,1986),目前处于北纬 41° 的锦州地区实测大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的年平均值为 -8.54‰ (SMOW),这与计算的值 ($-0.21 \times 41 = -8.61\text{‰}$) 很接近。古地磁结果显示辽西义县和阜新等地区白垩纪以来相对于欧亚大陆既无明显的纬向运动,也无显著的构造旋转运动(朱日祥等,2002)。辽西义县地区的纬度为 42° 左右,依此来计算当时义县地区大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -8.82‰ (SMOW),这个估计的值也许偏高,但是从将今论古的角度分析,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值无论如何不应该低于 -10.0‰ (SMOW)。所以我们以沉积介质(湖水)的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -10.0‰ (SMOW) 为基准(杨卫东等,1993),采用(1)式计算古水温,结果如表 2 所示。

表 2 义县地区义县组古水温结果

Table 2 Water temperature results in the Yixian areas				
层位	样品编号	岩石类型	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$t(^{\circ}\text{C})$
老公沟层	06-lg-7	A	-13.277	32.1
	06-lg-13	C	-10.458	18.9
鹰窝山 砖城子层	09-yw-9	D	-11.332	22.7
	06-yw-12	A	-11.105	21.7
	06-yw-21	A	-11.093	21.6
	06-yw-24	G	-11.262	22.4
	06-yw-26	F	-10.591	19.4
王家沟 大康堡层	06-wj-2	D	-8.843	12.2
	06-wj-4	C	-8.959	12.7
	08-wj-7-1	B	-7.471	7.1
	08-wj-7-2	B	-7.143	6.0
	06-wj-9	A	-8.913	12.5
枣茨山 金刚山层	06-Zc-23	E	-16.190	47.9
	06-Zc-25	F	-10.795	20.3
	06-Zc-30	E	-13.24	31.8

古水温结果在 $6.0 \sim 32.1^{\circ}\text{C}$ 之间,平均温度 20.1°C 。不同层的古水温度有较大差异,最底部的老公沟层平均值为 25.1°C ;鹰窝山-砖城子层平均值为 21.6°C ;王家沟大康堡平均值只有 10.1°C ;枣茨山金刚山层平均值为 33.3°C 。只有王家沟大康

堡层的古水温度较低,并含少量化石,而其他3个层中的古水温都在20℃以上,其中枣茨山金刚山层中最高达到了47.9℃,原因尚不明确,有待进一步研究。这表明当时古气候相对比较炎热,这可能是区域气候造成的,也可能与火山活动有关。王家沟大康堡层碳酸盐岩中凝灰质成分相对较少,该时期火山活动相对较弱,发育少量的生物;老公沟层、鹰窝山-砖城子层和金刚山层中均产出大量的沉凝灰岩、质纯膨润土沉积层和火山岩夹层,这说明或曾有过炙热的火山物质进入湖泊之中。

4 结论

(1)义县盆地义县组湖相碳酸盐岩沉积时可能因火山活动造成相对封闭的水文条件,在产出大量的沉凝灰岩和质纯膨润土沉积层的老公沟层、鹰窝山-砖城子层和金刚山层均有明显表现。

(2) Z 值计算结果介于115~137之间,根据碳酸盐岩稳定碳氧同位素计算的 Z 值特征结合 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布特征分析表明当时可出现湖水蒸发环境。

(3)除王家沟大康堡层中的水温较低以外,其他层位水温较高。

参 考 文 献

陈登辉,巩恩普,梁俊红,李永杰. 2009. 辽西下白垩统义县组湖相碳酸盐岩及其沉积环境研究. 地质论评, 55(6): 897~904.

陈登辉,巩恩普,梁俊红,李永杰,董旭明. 2010. 辽西下白垩统义县组湖相碳酸盐岩中的燧石成因. 地质学报, 84(8): 1208~1214.

陈丕基,文世宣,周志炎,厉宝贤,林启彬,张璐瑾,黎文本,刘兆生,李再平. 1980. 辽宁西部晚中生代陆相地层研究. 中国科学院南京地质古生物研究所所刊, 1: 22~55.

丁秋红,张立东,郭胜哲,张长捷,彭艳东,贾斌,陈树旺,邢德和. 2002. 辽西北票地区义县组古气候环境标志及其意义. 地质通报, 22(3): 186~191.

巩恩普,梁俊红,李小冬,王春红,崔显德. 2007. 辽西早白垩世热河生物群沉积环境及古地理综合研究. 地质学报, 819(1): 1~8.

巩恩普,陈登辉,梁俊红,张永利. 2011. 辽西义县组碳酸盐岩夹层及其环境意义. 地质学报, 85(4): 459~466.

李春荣,陈开远. 2004. 碳、氧同位素分析在潜江组盐湖沉积环境中的应用. 南方油气, 17(1): 20~22.

刘传联,赵泉鸿,汪品先. 2001. 湖泊碳酸盐岩碳同位素的相关性与生油湖类型. 地球化学, 30(4): 363~367.

钱建兴. 1984. 氧同位素古海水温度计与古气候. 海洋通报, 3(5): 86~90.

邵龙义,张鹏飞. 1991. 桂中合山组碳酸盐岩的氧、碳稳定同位素组成及古盐度和古温度. 中国煤田地质, 3(1): 21~26.

王思恩. 1999. 热河生物群的沉积环境——冀北、辽西叶肢介群落古生态与古环境重建. 地质学报, 73(4): 289~301.

王五力,张宏,张立军,等. 2004. 土城子阶、义县阶标准地层剖面及其地层古生物、构造-火山作用. 北京:地质出版社, 301~305.

汪筱林,王元青,王原,徐星,唐治路,张福成,胡耀明,顾昱,郝兆林. 1998. 辽西四合屯周边地区义县组下部地层层序与脊椎动物化石层位. 古脊椎动物学报, 36(2): 81~101.

王英华,周书欣,张秀莲. 1991. 中国湖相碳酸盐岩. 徐州:中国矿业大学出版社, 87~92.

卫克勤,林瑞芬. 1995. 内陆封闭湖泊自生碳酸盐氧同位素剖面的古气候意义. 地球化学, 24(3): 215~224.

夏青松,田景春,倪新锋. 2003. 湖相碳酸盐岩研究现状及意义. 沉积与特提斯地质, 23(1): 105~112.

杨卫东,陈南生,倪师军,南君亚,吴明清,蒋九余,叶健骝,奉新湘,冉勇. 1993. 白垩纪红层碳酸盐岩和恐龙蛋壳碳氧同位素组成及环境意义. 科学通报, 38(23): 2161~2163.

张宏,王五力,李之彤,杨芳林. 2004. 辽西北票和义县地区义县组综合对比研究. 地质通报, 23(8): 767~777.

张立东,郭胜哲,张长捷,彭艳东,贾斌,陈树旺,邢德和,丁秋红,郑月娟. 2001. 辽宁省四合屯—上园地区珍惜化石层的产出特征及其形成环境. 中国地质, 28(6): 10~20.

张秀莲. 1983. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水文的关系. 沉积学报, 3(4): 17~30.

赵加凡,陈小宏,金龙. 2005. 柴达木盆地第三纪盐湖沉积环境分析. 西北大学学报(自然科学版), 35(3): 342~346.

郑淑惠,等. 1986. 稳定同位素地球化学分析. 北京:北京大学出版社, 12~106.

中国科学院兰州分院,中国科学院西部资源环境研究中心. 1994. 青海湖近代环境的演化和预测. 北京:科学出版社, 89~123.

周仰康,何锦文,王子玉. 1984. 硼作为古盐度指标的应用. 见:沉积学和有机地球化学学术会议论文集. 北京:科学出版社, 55~57.

朱日祥,邵济安,潘永信,史瑞萍,施光海,李大明. 2002. 辽西白垩纪火山岩古地磁测定与陆内旋转运动. 科学通报, 47(17): 1335~1340.

Bustillo M A, Arribas M E, Bustillo M. 2002. Dolomitization and silicification in low-energy lacustrine carbonates (Paleogene, Madrid basin, Spain). Sedimentary Geology, 151(1~2): 107~126.

Jiang Baoyu, Sha Jingeng. 2007. Preliminary analysis of the depositional environments of the Lower Cretaceous Yixian Formation in the Sihetun area, western Liaoning, China. Cretaceous Research, 28(2): 183~193.

Keith M L, Weber J N. 1964. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils. Geochimica et Cosmochimica Acta, 28: 1787~1816.

Talbot M R. 1990. A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. Chemical Geology, 80: 261~279.

Woo K S, Khim B K, Yoon H S, Lee K C. 2004. Cretaceous lacustrine stromatolites in the Gyeongsang basin (Korea): records of cyclic change in paleohydrological condition. Geosciences Journal, 8(2): 179~184.

The Carbon and Oxygen Stable Isotopic Compositions and Sedimentary Environment of the Lacustrine Carbonate from the Upper Cretaceous Yixian Formation, Western Liaoning, NE China

CHEN Denghui^{1,2)}, GONG Enpu¹⁾, LIANG Junhong¹⁾, CHEN Xiaohong¹⁾

1) *Geology Department of Northeastern University, Shenyang, 110004;*

2) *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, 710054*

Abstract

The lacustrine sedimentary environment of the Yixian Basin hosting the Jehol Group was discussed using the detailed carbon and oxygen stable isotope compositions of lacustrine carbonatic rock from the Upper Cretaceous Yixian Formation, Yixian, western Liaoning, NE China. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of the lacustrine carbonatic rock range from -4.825‰ to 6.870‰ and from 16.190‰ to -7.143‰ , respectively. The result indicates that the hydrological characteristics tended to be closure, relatively hot and dry paleoclimate, resulting high salinity and temperature. Therefore, volcanic activity may be a key factor affecting hydrological condition and regional climate.

Key words: lacustrine carbonatic rock; carbon and oxygen stable isotope; sedimentary environment; Upper Cretaceous; Yixian Formation