

华北克拉通几个地区古元古代碳酸盐岩 地层 C-O 同位素特征

宋会侠¹ 杨崇辉¹ 杜利林¹ 任留东¹ 王 昊²

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 山西省地质矿产勘查开发局 214 地质队, 山西 运城 044000)

摘要: 对华北克拉通古元古代辽河群、中条群和湾子群的碳酸盐岩进行了 C、O 同位素研究。辽河群王家沟组条带状大理岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 变化于 -1.02‰ ~ 3.14‰ 之间, 大部分在 0.16‰ ~ 1.79‰ 之间, 平均值为 1.07‰ , 稍高于海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 0.5‰ 。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 变化于 -17.2‰ ~ -10.1‰ 之间, 大部分在 -13.4‰ ~ -10.1‰ 之间, 20 组数据的均值为 -11.9‰ 。中条群余家山组大理岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 变化于 -0.2‰ ~ 0.8‰ 之间, 大部分在 0 ~ 0.3‰ 之间, 前 14 个样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 0.34‰ , 稍低于海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值, 后 16 个样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 0.54‰ , 与海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值基本一致, 其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 变化于 -7.9‰ ~ -6.1‰ 之间, 大部分在 -7.3‰ ~ -6.1‰ 之间, 前 14 个样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为 -6.80‰ , 后 16 个样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为 -6.68‰ , 两个剖面上的 $\delta^{18}\text{O}$ 值没有明显差别。阜平宋家口南湾子群大理岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 变化于 1.0‰ ~ 3.8‰ 之间, 平均值为 2.65‰ , 明显高于海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 0.5‰ , 其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 变化于 -8.8‰ ~ -5.7‰ 之间, 平均值为 -6.97‰ 。研究结果表明所研究的大理岩均形成一个比较稳定而又相对波动的气候环境, 大理岩沉积期间存在海平面和气温旋回变化但没有突变事件。湾子群宋家口剖面大理岩对 Jatulian 事件有响应, 中条群余家山组大理岩对 Jatulian 事件没有响应, 辽河群王家沟组是否存在对 Jatulian 事件响应还不确切。

关键词: 古元古代 碳酸盐岩 碳同位素 氧同位素

中图分类号: P588.24⁺5; P597⁺.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)05-0865-08

Carbon and oxygen isotopic characteristics of several Paleoproterozoic carbonate strata in North China Craton

SONG Hui-xia¹, YANG Chong-hui¹, DU Li-lin¹, REN Liu-dong¹ and WANG Hao²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. No. 214 Geological Party, Shanxi Bureau of Geology Exploration, Yuncheng 044000, China)

Abstract: Carbon and oxygen isotopes of carbonate strata in Liaohe Group, Zhongtiao Group and Wanzi Group were studied in this paper. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values of banded marble in Wangjiagou Formation of Liaohe Group vary from -1.02‰ to 3.14‰ , mostly in the range of 0.16‰ ~ 1.79‰ . The average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ is 1.07‰ , which is higher than the average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ of marine carbonate. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values of Wangjiagou banded marble vary from -17.2‰ to -10.1‰ , mostly in the range of -13.4‰ ~ -10.1‰ . The average $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ is -11.9‰ . The $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values of Yujiashan marble in Zhongtiao Group vary from -0.2‰ to 0.8‰ , mostly in the range of 0 ~ 0.3‰ . The average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ of fourteen samples along one section is 0.34‰ , slightly lower than the average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ of marine carbonate. The average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ of the next sixteen samples along another section is 0.54‰ ,

收稿日期: 2011-04-02; 修订日期: 2011-06-14

基金项目: 中国地质调查局资助项目(1212010611801)

作者简介: 宋会侠(1982-), 硕士, 助理研究员, 从事地质年代学及早前寒武纪地质研究, E-mail: huixiasong@cags.ac.cn。

basically consistent with the average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ of marine carbonate. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values of Yujiashan marble vary from -7.9‰ to -6.1‰ . The average $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ of the first fourteen samples and the second sixteen samples are -6.80‰ and -6.88‰ respectively, with no obvious difference. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values of Songjiakou marble in Wanzi Group vary from 1.0‰ to 3.8‰ , 2.65‰ on average, which is higher than the average $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ of marine carbonate evidently. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values of Songjiakou marble vary from -8.8‰ to -5.7‰ , -6.97‰ on average. The results show that all the studied marbles were formed in a comparatively stable but fluctuating environment. There existed seasonal variations of sea level and climate but no sudden drastic event during the marble sedimentary period. As to the Jatulian event, marbles in Songjiakou Formation showed response but marbles in Yujiashan formation had no response to it. The effect on Wangjiagou Formation is uncertain. This study has also proved that the Jatulian event was a global event that had extensive influence in space but could serve as an eruptive event in time scale.

Key words: Paleoproterozoic; carbonate rock; carbon isotope; oxygen isotope

国内外地质工作者在研究古元古代 C、O 同位素时发现,在 2.33~2.06 Ga 期间存在全球性的 $\delta^{13}\text{C}$ 正向漂移现象及一系列大气圈、生物圈、水圈和岩石圈表层性质的剧变事件,即 Jatulian 事件(Schidlowski *et al.*, 1975; Karhu and Holland, 1996; Melezhik *et al.*, 1999),揭示了该时期可能存在全球性的环境变化。我国部分学者报道的古元古代碳酸盐岩地层或相关矿床的碳同位素数据中有个别数据显示出正异常的信息(陈衍景,1987;芮宗瑶等,1991;陈衍景等,1996,2000;Wang *et al.*, 1998;陈从喜,2000;唐国军等,2004;Jiang *et al.*, 2004;关平等,2009;李延河等,2010),指示了 Jatulian 事件可能对我国该时期的地层和矿床有影响。在我国华北克拉通及其边缘广泛分布的归属于古元古代的辽河群、中条群和湾子群,其中的碳酸盐岩为研究这一事件提供了很好的物质基础。

1 地质背景

辽河群广泛出露于辽东-吉南地区的辽阳、海城、营口、盖县、岫岩、凤城、丹东、宽甸、桓仁和吉林的通化、浑江、集安等地。辽河群地层层序自下而上被划分为浪子山组、里尔峪组、高家峪组、大石桥组和盖县组。浪子山组主要为变质碎屑沉积岩系,岩性为黑云绿泥片岩和石榴十字二云片岩;里尔峪组主要为变质火山-沉积岩系,岩性为变粒岩、浅粒岩、大理岩和斜长角闪岩,其中含硼矿床和磁铁矿矿床;高家峪组主要为变质含炭质沉积岩系,岩性为石墨透闪石岩、黑云变粒岩夹大理岩;大石桥组主要为变质碳酸盐岩沉积,岩性为白云质大理岩、透闪大理

岩、夹二云片岩和炭质板岩,其中含菱镁矿和滑石矿床;盖县组主要为变质碎屑沉积岩系,岩性为千枚岩、十字云母片岩、砂线二云片岩夹石英岩和少量大理岩(金山山等,1996)。1:25万营口幅区域地质图将大石桥组和盖县组均升格为亚群,大石桥亚群从下至上划分为王家沟岩组、华子峪岩组和杨家沟岩组,王家沟岩组以大理岩为主,夹透闪岩;华子峪岩组以片岩为主夹大理岩;杨家沟岩组以白云质大理岩为主夹片岩和千枚岩。全岩 Sm-Nd、Rb-Sr 和单颗粒锆石 U-Pb 法初步限定辽河群的时代为 2.2~1.9 Ga(王集源,1984;姜春潮,1987;张秋生,1988;白瑾,1993)。而 Luo 等(2004)通过辽河群底部碎屑沉积岩中最年轻碎屑锆石年龄 $2\,050 \pm 39$ Ma,限定辽河群的时代在 2.05 Ga 之后。杨崇辉等(未发表资料)利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法在里尔峪组变质火山岩中获得 $2\,177 \pm 5$ Ma 的年龄数据,从而限定辽河群初始沉积时代可能为 2.2 Ga。

中条群广泛出露于中条山地区,主要分布于闻喜-垣曲一带。近年来,中条群的层序划分基本取得了共识,分为上下 2 个亚群共 8 个组,由下至上依次为下亚群的界牌梁组、龙峪组、余元下组、篦子沟组和余家山组及上亚群的温峪组、吴家坪组和陈家山组。中条群下亚群主要为一套陆源碎屑-碳酸盐岩沉积建造。其底部的界牌梁组由变质砾岩、变质含砾长石石英砂岩和变质长石石英砂岩等组成。龙峪组主要以青灰色变质砂岩和板岩为主,夹少量钙质千枚岩。余元下组主要为含电气石变斑晶白云石大理岩和方柱石大理岩夹少量板岩。篦子沟组岩性较复杂,主体为黑色片岩、十字石榴绢云片岩夹薄层不纯大理岩、斜长角闪岩。余家山组是中条群分布最

为广泛的一个地层单位,为中厚层白云质大理岩和含方柱石斑晶大理岩。上亚群主要出露于中条山南段,主要为片岩、石英岩夹大理岩(赵凤清等, 2006)。中条群不整合于绛县群之上,而绛县群铜矿峪亚群变质石英斑岩的年龄为 $2\ 178 \pm 6$ Ma(杨崇辉等未发表资料),中条群篦子沟组底部角闪变粒岩(即变英安质凝灰岩)的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $2\ 059 \pm 5$ Ma(孙大中等, 1993),其顶部被古元古代的担山石群不整合覆盖,而担山石群又被 1.8 Ga 的西洋河群不整合覆盖(孙大中等, 1993),所以推测中条群形成于 2.1~2.0 Ga 间。

湾子群出露于太行山地区的平山-阜平一带,是从原阜平群中解体的一套古元古代地层(程裕淇等, 2004),大体相当于伍家善等(1989)划分的阜平群中亚群部分地层。这套地层层序稳定,是一套沉积特征明显的表壳岩,原岩主要由具有明显沉积韵律的厚层-巨厚层岩屑砂岩、长石砂岩、粉砂岩、泥灰岩和碳酸盐岩组成。岩石组合、原岩建造以及变质变形特征与阜平岩群有着明显的差别。湾子群的下部岩性主要是厚层钾长浅粒岩及磁铁矿浅粒岩、中薄层二长浅粒岩、条带状钾长浅粒岩等。上部岩性以大理岩为主,夹少量变粒岩、斜长角闪岩、钙硅酸盐岩。刘树文等(2002)将大体相当于这套地层的岩石称为湾子层状变质岩系,认为其时代可能属于太古宙。吴昌华等(2000)则认为这套地层是晋蒙高级区古元古代孔兹岩系的等同物。李基宏等(2005)曾测得湾子群碎屑锆石变质增生边年龄为 2.1 Ga,因此认为湾子群应形成于 2.5~2.1 Ga 之间。Xia 等(2006)则认为湾子群表壳岩沉积于 2.1~1.84 Ga 之间。根据岩石组合、变质变形特征和同位素年龄结果,本文倾向于湾子群沉积时代为 2.5~2.1 Ga。

2 分析方法

所研究样品的 C、O 同位素组成由中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部同位素实验室完成。C、O 同位素样品制备采用磷酸法,即在真空系统中,碳酸盐岩样品粉末与 100% 的磷酸于 $50 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 水浴恒温反应 24 h,收集释放出的 CO_2 用于质谱分析,经 MAT-253EM 型质谱仪测定, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 均以 PDB 标准给出, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 采用分馏系数 1.010 66 校正,实验精度 $\sigma = \pm 0.2\%$ 。

研究中存在一个关键问题是碳酸盐岩样品是否

能保留原始 C、O 同位素组成。碳酸盐岩中 $\delta^{18}\text{O}$ 相对于 $\delta^{13}\text{C}$ 更容易发生变化,沉积期后大气和热水流体的影响会使 $\delta^{18}\text{O}$ 值明显降低,因此 $\delta^{18}\text{O}$ 可以用来指示流体蚀变作用的强度,部分研究者建议将 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} > -10\%$ 或 -11% 作为岩石是否经受明显的流体蚀变作用的界限(Derry *et al.*, 1992; Kaufman *et al.*, 1993; Kaufman and Knoll, 1995; 冯洪真等, 2000),认为岩石 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 大于该值才能代表原始 C、O 同位素组成。本文所研究的大理岩除辽河群外,其余 $\delta^{18}\text{O}$ 值均大于 -10% 。

3 辽河群大理岩 C、O 同位素

辽河群大理岩采自艾海新兴滑石矿采场,出露为王家沟组条带状大理岩,剖面连续,采样时尽量选取受后期变形变质影响比较小的岩石,采样起始点经纬度坐标为 $40^\circ 46' 35.1''\text{N}$ 和 $122^\circ 53' 55.2''\text{E}$,从老到新(从北到南)依次采集样品 L69-1~L69-20,每个样品间距约 5 m,采样位置示意图见图 1,测试 C、O 同位素数据见表 1, C、O 同位素变化趋势示意图见图 2。辽河群大理岩 $\delta^{13}\text{C}$ 变化于 -1.02% ~ 3.14% 之间,大部分在 0.16% ~ 1.79% 之间,平均值为 1.07% ,高于海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 0.5% (Schidlowski *et al.*, 1976)。辽河群大理岩 $\delta^{18}\text{O}$ 变化于 -17.2% ~ -10.1% 之间,大部分在 -13.4% ~ -10.1% 之间,除异常低的两组数据,其余 20 组数据的均值为 -11.9% 。

由于沉积后的成岩、变质和热流体蚀变均可造成 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的降低(Veizer and Hoefs, 1976; 蒋少涌, 1987, 1988; Veizer *et al.*, 1999; Jiang *et al.*, 2004; Wan *et al.*, 2006),王家沟组大理岩原始 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 组成应该高于测试值,所以该测试结果可以反映出具有 $\delta^{13}\text{C}$ 的正向漂移。

4 中条群大理岩 C、O 同位素

中条群大理岩样品采于沙金河西余家山组大理岩中,大理岩呈灰白色-浅粉色,部分层位含自形方柱石,局部见黑色条带状大理岩。在余家山组大理岩中从老到新(从西到东)依次采集样品 ZT49-1~ZT49-30 共计 30 个,采样起始点经纬度为 $35^\circ 16' 51.4''\text{N}$ 和 $111^\circ 36' 21.5''\text{E}$,每个样品间隔约 10 m,其中前 14 个样品在一个连续的剖面上,后 16 个样品

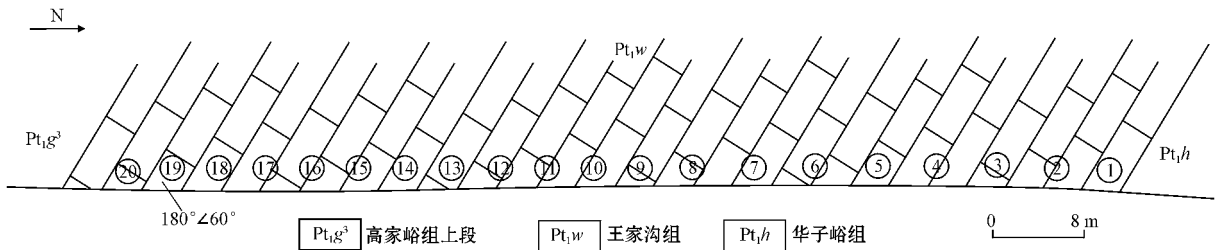


图1 辽河群王家沟组大理岩样品采集位置示意图

Fig. 1 Sketch map showing sampling positions of marble from Wangjiagou Formation in Liaohe Group

表1 辽河群王家沟组大理岩 C、O 同位素数据

Table 1 Data of ^{13}C and ^{18}O from Wangjiagou Formation in Liaohe Group

样品号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$
L69-1	3.141	-10.312
L69-2	1.073	-10.674
L69-3	2.307	-10.655
L69-4	1.477	-12.855
L69-5	2.203	-11.954
L69-6a	1.442	-12.225
L69-6b	1.445	-12.238
L69-7	2.129	-10.209
L69-8	0.91	-13.213
L69-9	1.329	-12.525
L69-10	1.786	-10.961
L69-11	1.307	-12.712
L69-12	0.82	-13.077
L69-13	1.412	-11.548
L69-14	0.163	-12.284
L69-15	0.392	-13.424
L69-16a	1.421	-17.126
L69-16b	1.404	-17.202
L69-17	-0.997	-10.677
L69-18	-0.707	-12.906
L69-19	0.207	-12.551
L69-20	-1.018	-10.115

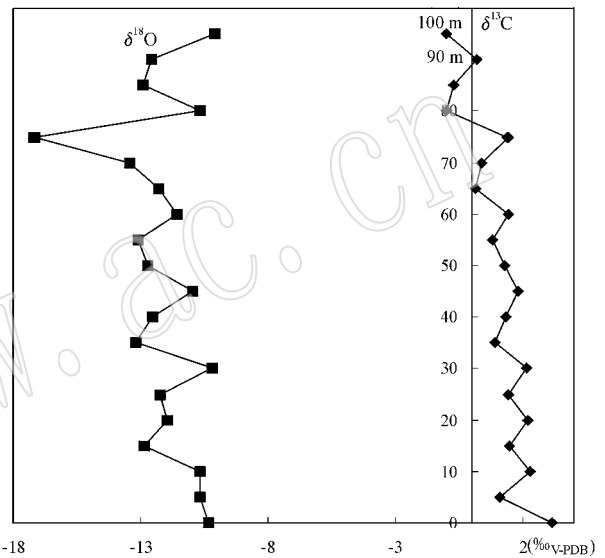


图2 辽河群王家沟组大理岩 C、O 同位素变化趋势示意图

Fig. 2 Variation trend of ^{13}C and ^{18}O in Wangjiagou Formation of Liaohe Group

-6.68‰, 两个剖面上的 $\delta^{18}\text{O}$ 值没有明显差别。

5 湾子群大理岩 C、O 同位素

湾子群大理岩采自宋家口南, 采样起始点经纬度坐标为 $38^{\circ}26'56.4''\text{N}$ 和 $113^{\circ}43'18.12''\text{E}$, 大理岩呈白色, 发育层理, 部分层位含有金云母, 样品 F47-6 和 F47-7 间距为 3 m, F47-13 和 F47-14 间距为 15 m, 其他每个样品间距为 5 m。采样位置示意图见图 5, 测试 C、O 同位素数据见表 3, C、O 同位素变化趋势示意图见图 6。湾子群大理岩 $\delta^{13}\text{C}$ 变化于 1.0‰ ~ 3.8‰ 之间, 平均值为 2.65‰, 明显高于海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 0.5‰。其 $\delta^{18}\text{O}$ 变化于 -8.8‰ ~ -5.7‰ 之间, 平均值为 -6.97‰。

越过第四系覆盖层向东移约 300 m, 在另一个连续的剖面上采集, 采样位置示意图见图 3, 测试 C、O 同位素数据见表 2, C、O 同位素变化趋势示意图见图 4。余家山组大理岩 $\delta^{13}\text{C}$ 变化于 -0.2‰ ~ 0.8‰ 之间, 大部分在 0 ~ 0.3‰ 之间, 前 14 个样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 0.34‰, 稍低于海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 0.5‰, 后 16 个样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 0.54‰, 与海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 0.5‰ 基本一致。余家山组大理岩 $\delta^{18}\text{O}$ 变化于 -7.9‰ ~ -6.1‰ 之间, 大部分在 -7.3‰ ~ -6.1‰ 之间, 前 14 个样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为 -6.80‰, 后 16 个样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为

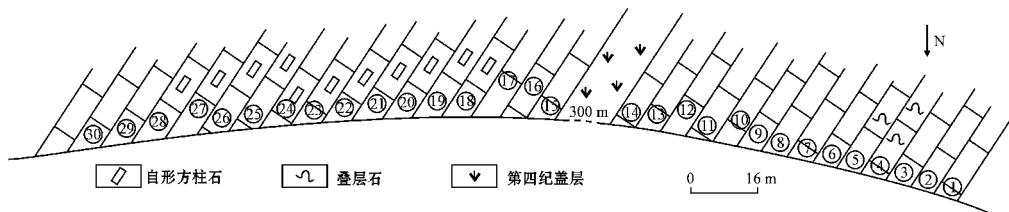


图 3 中条群余家山组大理岩样品采集位置示意图

Fig. 3 Sketch map showing sampling positions of marble from Yujiashan Formation in Zhongtiao Group

表 2 中条群余家山组大理岩 C、O 同位素数据

Table 2 Data of ^{13}C and ^{18}O from Yujiashan Formation in Zhongtiao Group

样品号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$
ZT49-1	0.3	-6.6
ZT49-2	0	-6.8
ZT49-3	0.1	-7.2
ZT49-4	0.4	-6.2
ZT49-5	0.4	-6.9
ZT49-6	0.4	-6.5
ZT49-7	0.1	-6.5
ZT49-8	0.4	-6.4
ZT49-9	0.4	-6.8
ZT49-10	0.7	-6.5
ZT49-11	0.2	-6.8
ZT49-12	0.2	-7.9
ZT49-13	0.7	-6.7
ZT49-14	0.5	-7.3
ZT49-15	0.6	-6.7
ZT49-16	-0.2	-7.3
ZT49-17	0.5	-6.3
ZT49-18	0.7	-6.6
ZT49-19	0.6	-6.9
ZT49-20	0.7	-7
ZT49-21	0.8	-6.2
ZT49-22	0.6	-7.2
ZT49-23	0.4	-7.3
ZT49-24	0.6	-7
ZT49-25	0.4	-6.7
ZT49-26	0.5	-6.5
ZT49-27	0.6	-6.2
ZT49-28	0.7	-6.2
ZT49-29	0.6	-6.7
ZT49-30	0.6	-6.1

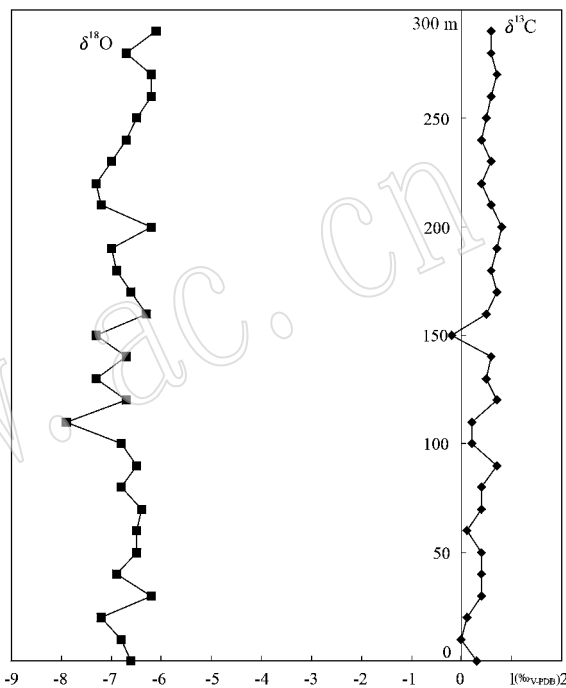


图 4 中条群余家山组大理岩 C、O 同位素变化趋势示意图

Fig. 4 Variation trend of ^{13}C and ^{18}O in Yujiashan Formation of Zhongtiao Group

6 讨论与结论

对显生宙以来海相碳酸盐岩的研究认为,在影响海相碳酸盐岩碳同位素变化的若干因素中,有机碳氧化与相对埋藏量是最重要的因素之一(黄思静,1997;李忠雄等,2001)。由于有机碳往往富集 ^{12}C ,当大量有机碳快速埋藏时,会造成自然界碳库以及与之平衡的海水中无机碳富集 ^{13}C ,从而造成沉积碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 发生正向漂移(沈渭洲等,1987)。海

洋有机碳的埋藏速率明显受海平面变化的控制(田景春等,1995;沈渭洲等,1997),而影响海平面变化的主要因素是温度,温度升高海平面上升时,有机碳埋藏速率大,沉积碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 相应增加(李儒峰等,1996;李玉成,1998a,1998b;王鸿祯等,2000;彭苏萍等,2002),即 $\delta^{13}\text{C}$ 与海平面和温度具有正相关关系。从辽河群王家沟组、中条群余家山组和湾子群宋家口剖面大理岩C同位素的分析结果来看,它们均形成于一个比较稳定而又相对波动的气候环境,大理岩沉积期间有海平面和气温旋回变化但没有突变事件。辽河群王家沟组从老到新存在弱的碳同位素的负漂移,指示了该组在形成过程中气候有逐渐变冷的趋势;中条群余家山组从老到新存在很微弱的碳同位素的正向漂移,指示了该组在形成过

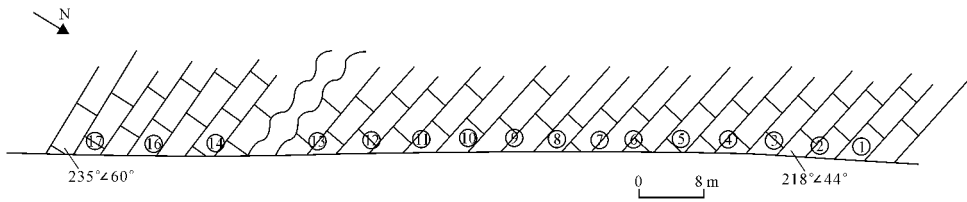


图 5 阜平宋家口南湾子组大理岩样品采集位置示意图

Fig. 5 Sketch map showing sampling positions of marble in Songjiakou Formation of Wanzi Group

表 3 阜平宋家口南湾子组大理岩 C、O 同位素数据
Table 3 Data of ^{13}C and ^{18}O from Songjiakou Formation in Wanzi Group

样品号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}/\text{‰}$
F47-1a	3.338	-8.087
F47-1b	3.367	-8.011
F47-2	3.726	-6.576
F47-3	3.369	-6.300
F47-4	3.807	-5.702
F47-5	3.077	-6.583
F47-6	3.038	-6.588
F47-7	2.975	-6.770
F47-8	2.787	-7.585
F47-9	3.155	-6.256
F47-10	2.750	-7.059
F47-11a	2.498	-5.992
F47-11b	2.470	-6.014
F47-12	1.913	-7.207
F47-13	2.059	-6.791
F47-14	1.169	-7.336
F47-16	1.000	-7.790
F47-17	1.135	-8.750

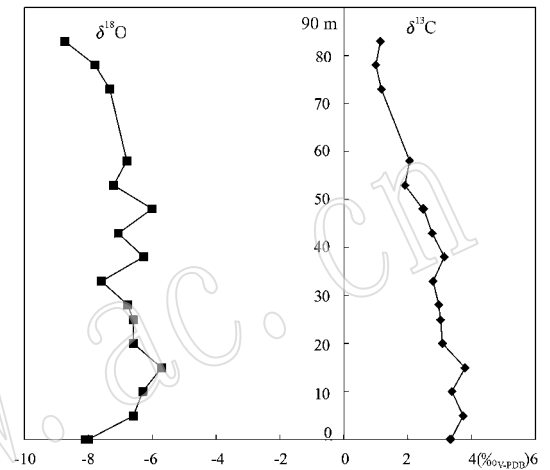


图 6 湾子组宋家口南大理岩 C、O 同位素变化趋势示意图

Fig. 6 Variation trend of ^{13}C and ^{18}O in Songjiakou Formation of Wanzi Group

程中气候环境稳定,可能存在微弱的气候变暖的趋势,湾子群宋家口剖面从老到新存在较明显的碳同位素的负向漂移,指示了该组形成过程中气候有较明显的变冷的趋势。

王家沟组碳酸盐岩可见较弱的 $\delta^{13}\text{C}$ 正向漂移,余家山组大理岩未见 $\delta^{13}\text{C}$ 正向漂移,湾子群宋家口剖面大理岩见显著 $\delta^{13}\text{C}$ 正向漂移。仅从这次工作来看, Jatulian 事件对我国古元古代地层的影响在湾子群宋家口大理岩中有反映,在中条群余家山组大理岩中没有反映,在辽河群王家沟组中的反映不确切。而汤好书等(2008)对辽河群关门山组白云岩研究结果认为存在明显的 $\delta^{13}\text{C}$ 正向漂移,即 Jatulian 事件在辽河群的部分层位有反映,因此可以再次证明 Jatulian 事件从空间上来看是一次影响广泛的全球性事件,从时间上来看是一次突变事件,对该事件前后的地层鲜有影响。

References

- Bai Jin. 1993. Precambrian Geology and Pb-Zn Mineralization of The Northern Margin of North China Craton[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Congxi. 2000. A study of minerogenic system of magnesian non-metallic deposits in early Proterozoic magnesian carbonate formations in eastern Liaoning Province, China[D]. China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 1987. Discussion of the geological environment eruptive before 2 300 Ma[A]. Young Geologist of Nanjing University[C]. 119~125 (in Chinese).
- Chen Yanjing, Liu Congqiang, Chen Huayong, et al. 2000. Carbon isotope geochemistry of graphite deposits and ore-bearing khondalite series in North China: Implications for several geoscientific problems[J]. Acta Petrologica Sinica, 16(2): 233~244 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Yang Qiuqian, Deng Jian, et al. 1996. An important transition of the earth evolution-revelation and signification of the geological environment eruptive before 2 300 Ma[J]. Geology Geochemistry, (3): 106~128 (in Chinese).
- Cheng Yuqi, Yang Chonghui and Wan Yusheng. 2004. Early Precambrian Geology and Rebuilding of Anatexis to Rocks in the Upper

- Crust in Mid-North Section [M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese).
- Derry L A , Kaufman A J and Jacobsen S B. 1992. Sedimentary cycling and environmental change in the Late Proterozoic : evidence from stable and radiogenic isotopes [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 56 : 1317~1329.
- Feng Hongzhen , Liu Jiarun and Shi Guijun. 2000. Records of carbon and oxygen isotopes from the Cambrian and Lower Ordovician Carbonates in Yichang Area , Hubei Province [J]. *Geological Journal of China Universities* , 6(1) : 106~115 (in Chinese with English abstract).
- Guan Ping and Wang Yingjia. 2009. A review on the global Palaeoproterozoic positive $\delta^{13}\text{C}$ excursion : Data analysis and matter comment [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* , 45(5) : 906~914 (in Chinese with English abstract).
- Huang Sijing. 1997. A study on carbon and strontium isotopes of late Paleozoic carbonate rocks in the upper Yangtze platform [J]. *Acta Geologica Sinica* , 71(1) : 45~53 (in Chinese).
- Jiang Chunchao. 1987. Precambrian Geology of Eastern Liaoning and Jilin [M]. Liaoning : Liaoning Science and Technology Publishing House (in Chinese).
- Jiang Shaoyong. 1987. Composing of carbon and oxygen isotopes of carbonate rocks and their application in studying of mineral deposit [J]. *Geologica Sinica of Liaoning Province* , 2 : 73~79 (in Chinese).
- Jiang Shaoyong. 1988. Stable isotope geological characteristics of oxygen , carbon , lead and sulfur and metallogenesis of the Qingchengzi lead-zinc deposit , Liaoning Province [J]. *Geological Review* , 34(6) : 515~523 (in Chinese).
- Jiang S Y , Chen C X , Chen Y Q , *et al.* 2004. Geochemistry and genetic model for the giant magnesite deposits in the eastern Liaoning Province , China [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 20(4) : 765~772.
- Jin Wenshan , Wang Ruzheng , Sun Dazhong , *et al.* 1996. Stratigraphical Lexicon of China-Paleoproterozoic [M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese).
- Karhu J A and Holland H D. 1996. Carbon isotopes and the rise of atmospheric oxygen [J]. *Geology* , 24 : 867~870.
- Kaufman A J , Jacobsen S R and Knoll A H. 1993. The Vendian record of Sr and C isotopic variations in seawater : implications for tectonics and paleoclimat [J]. *Earth and Planetary Science Letters* , 120 : 409~430.
- Kaufman A J and Knoll A H. 1995. Neoproterozoic variations in the C isotope composition of seawater : stratigraphic and biogeochemical implications [J]. *Precambrian Research* , 73 : 27~49.
- Li Jihong , Yang Chonghui , Du Lilin , *et al.* 2005. SHRIMP U-Pb Geochronology evidence for the formation time of the Wanzi Group at Pingshan County , Hebei Province [J]. *Geological Review* , 51(2) : 201~207 (in Chinese with English abstract).
- Li Rufeng and Liu Benpei. 1996. Application of carbon and oxygen isotopes to carbonate sequence stratigraphy : analysis of mapping formation , southern Guizhou Province [J]. *Earth Science* , 31(3) : 261~266 (in Chinese).
- Li Yanhe , Hou Kejun , Wan Defang , *et al.* 2010. Formation mechanism of Precambrian banded iron formation and atmosphere and ocean during early stage of the Earth [J]. *Acta Geologica Sinica* , 84(9) : 1359~1373 (in Chinese with English abstract).
- Li Yucheng. 1998a. Carbon and oxygen isotope stratigraphy of the upper Permian Changhsingian Limestone in Meishan section D. Changxing , Zhejiang [J]. *Journal of Stratigraphy* , 22(1) : 36~41 (in Chinese).
- Li Yucheng. 1998b. The carbon isotope cyclostratigraphic responses to sea level change in upper Permian limestones from South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* , 16(3) : 52~57 (in Chinese).
- Li Zhongxiang and Guan Shiping. 2001. Sedimentary cycle and strontium , carbon , oxygen isotopes of the silurian at luguhu region in Ninglang County of western margin of Yangtze platform [J]. *Journal of Palaeogeography* , 3(4) : 69~76 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shuwen , Li Jianghai , Pan Yuanming , *et al.* 2002. Ancient block of Taihang-Heng Mountains : Constraints from geochronology and geochemistry [J]. *Nature Science Progress* , 12(8) : 826~833 (in Chinese with English abstract).
- Luo Y , Sun M and Zhao G C. 2004. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the Liaohe Group in the Eastern Block of the North China Craton : Constraints on the evolution of the Jiao-Liao-Ji Belt [J]. *Precambrian Research* , 134 : 349~371.
- Melezhik V A , Fallick A E , Medvedev , *et al.* 1999. Extreme $\delta^{13}\text{C}$ carb enrichment in 2.0 Ga magnesite-stromatolite-dolomite ' red beds ' as-association in a global context : a case for the world-wide signal enhanced by a local environment [J]. *Earth-Science Reviews* , 48 : 71~120.
- Peng Suping , He Hong , Shao Longyi , *et al.* 2002. Carbon isotopic compositions of the Cambrian-Ordovician carbonates in Tarim basin [J]. *Journal of China University of Mining & Technology* , 31(4) : 353~357 (in Chinese with English abstract).
- Rui Zongyao , Li Ning and Wang Longsheng. 1991. Lead and Zinc Deposits of Guanmenshan [M]. Beijing : Geological Publishing House , 208 (in Chinese).
- Schidlowski M , Eichmann R and Junge C E. 1975. Precambrian sedimentary carbonates : Carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget [J]. *Precambrian Research* , 2 : 1~69.
- Schidlowski M , Eichmann R and Junge C E. 1976. Carbon isotope geochemistry of the Precambrian Lomagundi carbonate province , Rhodesia [J]. *Geochim Cosmochim Acta* , 40 : 449~455.
- Shen Weizhou , Fang Yiting , Ni Qisheng , *et al.* 1997. Carbon and oxygen isotopic study across the Cambrian Ordovician boundary strata in East China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* , 15(4) : 38~43 (in Chinese).
- Shen Weizhou and Huang Yaosheng. 1987. Geology of Stable Isotopes [M]. Beijing : Atomic Energy Press , 162~164 (in Chinese).
- Sun Dazhong and Hu Weixing. 1993. Precambrian Chronotectonic Framework and Geochronological Crustal Structure of the Zhongtiao Mountains [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~180 (in Chinese).
- Tang Guojun , Chen Yanjing , Huang Baoling , *et al.* 2004. Paleoproterozoic $\delta^{13}\text{C}$ carb positive excursion event : research progress on 2.3 Ga catastrophe [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology* , 24(3) : 103~109 (in Chinese with English abstract).
- Tang Haoshu , Chen Yanjing , Wu Guang , *et al.* 2008. The C-O isotope composition of the Liaohe Group , northern Liaoning Province and its geologic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 24(1) : 129~138 (in Chinese with English abstract).
- Tian Jingchun and Zeng Yunfu. 1995. The evolution pattern of the carbon and oxygen isotopes in the Permian marine carbonate rocks from Guizhou [J]. *Journal of Chengdu University of Technology* , 1(1) : 78~82 (in Chinese with English abstract).

- Veizer J, Ala D, Azmy K, *et al.* 1999. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater[J]. *Chem. Geol.*, 161: 59~88.
- Veizer J and Hoefs J. 1976. The nature of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ secular trends in sedimentary carbonate rocks[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 40: 1387~1395.
- Wan Y S, Song B, Liu D Y, *et al.* 2006. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Palaeoproterozoic metasedimentary rocks in the North China Craton: Evidence for a major Late Palaeoproterozoic tectonothermal event[J]. *Precambrian Research*, 149: 249~271.
- Wang A J, Peng Q M and Palmer M R. 1998. Salt-dome-controlled precipitation of Paleoproterozoic Fe-Cu sulfide deposits, eastern Liaoning, Northeastern China[J]. *Economic Geology*, 93(1): 1~14.
- Wang Hongzhen, Shi Xiaoying, Wang Xunlian, *et al.* 2000. Research of Sequence Stratigraphy in China[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 353~394 (in Chinese).
- Wang Jiyuan. 1984. Isotopic age and time limit of Precambrian Dashiqiao Formation in eastern Liaoning[J]. *Liaoning Geology*, 2: 147~158 (in Chinese).
- Wu Changhua, Li Huimin, Zhong Changting, *et al.* 2000. TIMS U-Pb single zircon ages for the orthogneiss and the paragneiss of Fuping Complex: Implications for existence of the palaeoproterozoic supracrustal rocks in the central basement of North China Craton[J]. *Progress in Precambrian Research*, 23(3): 129~139 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Xu Huifen, *et al.* 1989. Metamorphic geology of Fuping Group[J]. *Journal of Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences*, 19: 219 (in Chinese).
- Xia Xiaoping, Sun Min, Zhao Guochun, *et al.* 2006. U-Pb Age and Hf isotope study of detrital zircons from the Wanzi Supracrustals: Constraints on the tectonic setting and evolution of the Fuping Complex, Trans-North China Orogen[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 844~863.
- Zhang Qiusheng. 1988. Early Crust and Deposit of Eastern Liaoning Peninsula[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhao Fengqing, Li Huimin, Zuo Yicheng, *et al.* 2006. Zircon U-Pb ages of Paleoproterozoic granitoids in the Zhongtiao Mountains, southern Shanxi, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(4): 442~447 (in Chinese with English abstract).
- 关平, 王颖嘉. 2009. 全球古元古代碳同位素异常的数据分析与成因评述[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 45(5): 906~914.
- 黄思静. 1997. 上扬子地台区晚古生代海相碳酸盐岩的碳、锶同位素研究[J]. *地质学报*, 71(1): 45~53.
- 姜春潮. 1987. 辽吉东部前寒武纪地质[M]. 辽宁科学技术出版社.
- 蒋少涌. 1987. 碳酸盐的碳氧同位素组成及其在矿床研究中的应用[J]. *辽宁地质学报*, 2: 73~79.
- 蒋少涌. 1988. 辽宁青城子铅锌矿床氧、碳、铅、硫同位素地质特征及矿床成因[J]. *地质论评*, 34(6): 515~523.
- 金文山, 王汝铮, 孙大中, 等. 1996. 中国地层典-古元古界[M]. 北京: 地质出版社, 1~65.
- 李基宏, 杨崇辉, 杜利林, 等. 2005. 河北平山湾子群的时代: SHRIMP 锆石年代学证据[J]. *地质论评*, 51(2): 201~207.
- 李儒峰, 刘本培. 1996. 碳氧同位素与碳酸盐岩层序地层学关系研究——以黔南马平组为例[J]. *地球科学*, 31(3): 261~266.
- 李延河, 侯可军, 万德芳, 等. 2010. 前寒武纪条带状硅铁建造的形成机制与地球早期的大气和海洋[J]. *地质学报*, 84(9): 1359~1373.
- 李玉成. 1998a. 华南二叠系长兴阶层型剖面碳酸盐岩的碳氧同位素地质[J]. *地层学杂志*, 22(1): 36~41.
- 李玉成. 1998b. 华南晚二叠世碳酸盐岩碳同位素旋回对海平面变化的响应[J]. *沉积学报*, 16(3): 52~57.
- 李忠雄, 管士平. 2001. 扬子地台西缘宁蒗泸沽湖地区志留系沉积旋回及锶、碳、氧同位素特征[J]. *古地理学报*, 3(4): 69~76.
- 刘树文, 李江海, 潘元明, 等. 2002. 太行山-恒山太古代古陆块: 年代学和地球化学制约[J]. *自然科学进展*, 12(8): 826~833.
- 彭苏萍, 何宏, 邵龙义, 等. 2002. 塔里木盆地 C-O 碳酸盐岩碳同位素组成特征[J]. *中国矿业大学学报*, 31(4): 353~357.
- 芮宗瑶, 李宁, 王龙生. 1991. 关门山铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 208.
- 沈渭洲, 方一亭, 倪琦生, 等. 1997. 中国东部寒武系与奥陶系界线地层的碳氧同位素研究[J]. *沉积学报*, 15(4): 38~42.
- 沈渭洲, 黄耀生. 1987. 稳定同位素地质[M]. 北京: 原子能出版社, 162~164.
- 孙大中, 胡维兴. 1993. 中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构[M]. 北京: 地质出版社, 1~180.
- 唐国军, 陈衍景, 黄宝玲, 等. 2004. 古元古代 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ 正漂移事件: 2.3 Ga 环境突变研究的进展[J]. *矿物岩石*, 24(3): 103~109.
- 汤好书, 陈衍景, 武广, 等. 2008. 辽北辽河群碳酸盐岩碳-氧同位素特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 24(1): 129~138.
- 田景春, 曾允孚. 1995. 贵州二叠纪海相碳酸盐岩碳、氧同位素地球化学演化规律[J]. *成都理工学院学报*, (1): 78~82.
- 王鸿祯, 史晓颖, 王训练, 等. 2000. 中国层序地层研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 353~394.
- 王集源. 1984. 辽东前寒武纪大石桥组同位素年龄及其时限问题的讨论[J]. *辽宁地质*, 2: 147~158.
- 吴昌华, 李惠民, 钟长汀, 等. 2000. 阜平片麻岩和湾子片麻岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄-阜平杂岩并非一统太古宙基底的时代学证据[J]. *前寒武纪研究进展*, 23(3): 129~139.
- 伍家善, 耿元生, 徐惠芬, 等. 1989. 阜平群变质地质[J]. *中国地质科学院地质研究所所刊*, 19: 219.
- 张秋生. 1988. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵凤清, 李惠民, 左义成, 等. 2006. 晋南中条山古元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质通报*, 25(4): 442~447.

附中文参考文献

- 白瑾. 1993. 华北陆台北缘前寒武纪地质及铅锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈从喜. 2000. 辽东早元古代镁质碳酸盐岩建造镁质非金属矿床成矿系统研究[D]. 中国地质大学.
- 陈衍景. 1987. 论 23 亿年前地质环境的突变[A]. *南大青年地质学家* C: 119~125.
- 陈衍景, 刘丛强, 陈华勇, 等. 2000. 中国北方石墨矿床及赋矿孔达岩系碳同位素特征及有关问题讨论[J]. *岩石学报*, 16(2): 233~244.
- 陈衍景, 杨秋剑, 邓健, 等. 1996. 地球演化的重要转折——2300 Ma 时地质环境灾变的揭示及其意义[J]. *地质地球化学*, (3): 106~128.
- 程裕淇, 杨崇辉, 万渝生. 2004. 太行山中北段早前寒武纪地质和深熔作用对地壳岩石的改造[M]. 北京: 地质出版社.
- 冯洪真, 刘家润, 施贵军. 2000. 湖北宜昌地区寒武系下奥陶统的碳氧同位素记录[J]. *高校地质学报*, 6(1): 106~115.