

# 浙江江山灯影组碳、氧同位素特征

彭花明<sup>1,2</sup>, 朱志军<sup>1</sup>, 姜勇彪<sup>1</sup>, 郭福生<sup>1,2</sup>, 严兆彬<sup>1,2</sup>, 杨志<sup>1</sup>, 黄国华<sup>1</sup>

(1. 东华理工学院核资源与环境教育部重点实验室, 江西抚州 344000; 2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074)

**摘要:**通过测试分析了浙江江山灯影组碳酸盐岩的碳、氧同位素特征。结果显示  $\delta^{13}\text{C}$  值在  $-2.11\text{‰}$  ~  $2.71\text{‰}$  之间, 底、顶部表现为负异常, 主体部分比较平稳, 变化频率不大, 呈微弱的降低趋势;  $\delta^{18}\text{O}$  值在  $-3.52\text{‰}$  ~  $-8.76\text{‰}$  之间变化, 整体比较平稳, 从底到顶呈略降低的变化趋势。浙江江山碳、氧同位素的特征与国内外同期地层非常相似, 具有全球可对比性, 反映浙江江山地区在灯影初期海平面短暂下降, 随后海洋环境相对稳定, 直到灯影末期, 与全球古环境发生强烈变化一样, 本区海洋环境也发生了强烈变化。

**关键词:**碳、氧同位素; 灯影组; 古环境; 浙江江山

中图分类号: P597+.2; P588.2

文献标识码: A

中图分类号: 1000-6524(2006)06-0499-06

## Carbon and oxygen isotope characteristics of Dengying Formation in Jiangshan, Zhejiang Province

PENG Hua-ming<sup>1,2</sup>, ZHU Zhi-jun<sup>1</sup>, JIANG Yong-biao<sup>1</sup>, GUO Fu-sheng<sup>1,2</sup>, YAN Zhao-bin<sup>1,2</sup>, YANG Zhi<sup>1</sup> and HUANG Guo-hua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, Ministry of Education, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China; 2. State key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper has discussed composition characteristics and variation tendency of carbon and oxygen isotopes from carbonates in Dengying Formation. The  $\delta^{13}\text{C}$  values of the carbonates are between  $-2.11\text{‰}$  and  $2.71\text{‰}$ , and negative anomalies are existent at the top and the bottom whereas the main part is relatively stable, with an insignificant decreasing tendency. The  $\delta^{18}\text{O}$  values are between  $-3.52\text{‰}$  and  $-8.76\text{‰}$ , being relatively stable on the whole with a slight decreasing tendency from bottom to top. The composition characteristics and variation tendency are similar to those of the strata of the corresponding period in the world and hence have worldwide correlation significance. The variations of the isotopic content show that the sea level got lowered for a short span at the early stage of Dengying period and then became steady. At the end of Dengying period, the ocean environment in Jiangshan changed intensely, similar to things of the global paleoenvironment in the corresponding period.

**Key words:** carbon and oxygen isotopes; Dengying Formation; paleoenvironment; Jiangshan in Zhejiang Province

收稿日期: 2006-01-29; 修订日期: 2006-07-04

基金项目: 东华理工学院核资源与环境教育部重点实验室 2005 年开发基金项目(051101)地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题(GPMR0508)

作者简介: 彭花明(1965-), 女, 汉族, 硕士, 副教授, 矿物岩石地球化学专业, E-mail: thmpeng@126.com。

灯影组是扬子地区震旦系最末的一个地层单位,顶部与寒武系底部地层邻接,这一时期已识别有大洋缺氧、浊流、生物灭绝及外星撞击等重大地质事件发生(郭成贤等,1999)。近年来,碳、氧同位素已成为研究前寒武系的重要手段之一,研究灯影组碳、氧同位素特征,探讨其形成环境特点将对这一时期地球演化特征和重大地质事件的认识具有重要意义。

浙江江山位于扬子地台东南缘,东南以江山-绍兴断裂为界与华夏古陆毗邻。灯影组出露厚度为 79.3 m,顶、底完整,主要岩性为灰质白云岩、叠层石白云岩,与下伏陡山沱组整合接触,与上覆荷塘组平行不整合接触。前人对该组地层进行过详细的剖面测定(许玩宏等,1990)并做了沉积相及古地理研究(梁鼎新,1990),但在碳、氧同位素方面还有人涉足。本文沿灯影组剖面系统采集了样品,详细分析了浙江江山灯影组碳、氧同位素特征,探讨了当时古海洋环境特点,力图从碳、氧同位素的角度对灯影组及灯影期该区的地质演化历史有一较好的认识。

### 1 地层剖面

本次采样剖面位于江山市以北 10 km 的新塘坞至碓边一带,它整合于下伏的陡山沱组之上,并且与上覆的荷塘组平行不整合接触,与周边同期地层在岩性和化石上具有较好的可比性,厚度 79.3 m。地层剖面描述如下:

上覆地层:下寒武统荷塘组灰色含胶磷矿砾屑白云岩、

黑色结核状磷块岩

----- 平行不整合接触 -----

灯影组 79.3 m

4. 灰色厚层状白云岩 15.0 m

3. 灰色、深灰色块状叠层石白云岩,产叠层石 *Baicalia baical*, *Linella* cf. *simnica*, *Gymnosolen* sp., 微古植物 *Liosphaeridia* sp., *Protosphaeridium* sp., *Brocholaminaria* sp. 等。 24.9 m

2. 浅灰色、灰色中厚层状层纹白云岩,块状叠层石白云岩,水平纹层发育,产叠层石 *Conophyton dirulus*, *C.* sp., 微古植物 *Leiosphaeridia* sp., *Protosphaeridium* sp., *Brocholaminaria* sp. 及少数似磷灰质的锥形形。 25.9 m

1. 灰色风化面为灰白色中厚层状白云岩,产微古植物 *Leiosphaeridia* sp. 等 13.5 m

————— 整合接触 —————

下伏地层 陡山沱组浅灰色中厚层白云岩

### 2 样品采集及分析方法

样品沿剖面从底到顶依次采集,选取地层新鲜部位,避开方解石脉、黄铁矿晶体和节理等,样品新鲜,基本未受后期地质作用影响。首先将样品磨成粉末(200 目),用双氧水与样品反应,除去有机碳,取样品残渣在烘箱中烘干,然后在真空系统中于 72℃ 温度下,与 100% 正磷酸反应 4 h。收集 CO<sub>2</sub> 气体,在 MAT-253 质谱仪上测试 C、O 同位素组成。测试过程中每隔 7 个样品插入 1 个 04405 标样。分析结果采用 PDB 标准,测试精度为 0.1‰。样品分析结果见表 1 和图 1。

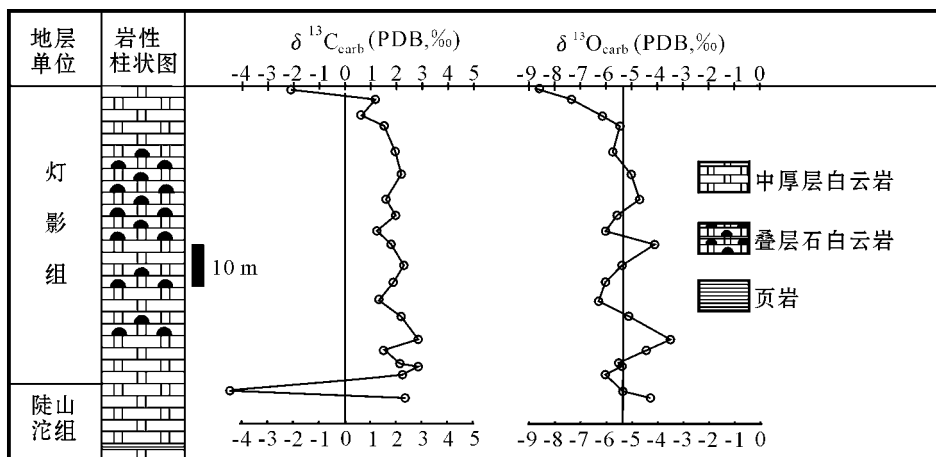


图 1 浙江江山灯影组碳酸盐岩碳、氧同位素地层变化曲线图

Fig. 1 Column showing carbon, oxygen isotopic variations of carbonate rocks in Dengying Formation, Jiangshan area, Zhejiang Province

表 1 浙江江山灯影组样品分析结果

Table 1 Data of Dengying Formation in Jiangshan, Zhejiang Province

地层单位	序号	样号	岩石名称	地层厚度	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	平均值/ $\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	平均值/ $\text{‰}$	Mn/Sr	阴极发光特征
荷塘组	25	J02104	灰岩		-4.26		-13.28			
	24	J02101	磷质白云岩		-1.80		-8.65			
灯影组	23	Jdy21	白云岩	15.0m	-2.11		-8.76			发昏暗的光
	22	Jdy20	白云岩		1.16		-7.42			
	21	Jdy19	白云岩		0.61		-6.21			
	20	Jdy18	白云岩		1.50		-5.46			
	19	Jdy17	叠层石白云岩	24.9m	1.92		-5.68			
		18	Jdy16	叠层石白云岩		2.10		-5.01		
		17	Jdy14	叠层石白云岩		1.64		-4.65		
		16	Jdy13	叠层石白云岩		1.85		-5.62	1.32	
		15	Jdy12	叠层石白云岩		1.29		-5.97	0.976	不发光
		14	Jdy10	白云岩	25.9m	1.74		-4.13		
		13	Jdy09	白云岩		2.21		-5.36		
		12	Jdy08	叠层石白云岩		1.81		-6.01		不发光
		11	Jdy07	白云岩		1.29		-6.21		
		10	Jdy06	叠层石白云岩		2.13		-5.14	1.56	不发光
	陡山沱组	9	Jdy05	白云岩		2.71		-3.52		
8		Jdy04	白云岩	13.5m	1.70		-4.38			
7		Jdy03	白云岩		2.14		-5.52			发昏暗的光
6		Jdy02	白云岩		2.69		-5.43			
5		Jdy01	白云岩		2.42		-6.01		2.04	
4		Jd35	白云岩		-4.62		-4.82			不发光
3		Jd34	白云岩		-3.97	-4.52	-5.78	-5.37		
2		Jd33	条带状白云岩		-4.98		-5.52			
1	Jd32	白云岩		2.43		-4.29			不发光	

碳氧同位素由东华理工学院核资源与环境教育部重点实验室严兆彬测试, Mn、Sr 由东华理工学院分析测试中心周跃明分析, 其中 Mn 采用氧化钨火焰原子吸收分光光度法分析, Sr 采用原子吸收光谱法测定。

### 3 分析结果

#### 3.1 后期地质作用影响分析

灯影组白云岩形成于 5 亿多年前, 在这 5 亿多年的时期内, 它们是否受到后期地质作用的影响以及受影响的程度, 都将影响到其同位素比值能否代表当时海洋的原始同位素信息, 因此在应用这些同位素数据之前要检验测试样品是否受到了强烈的后期地质作用影响。本文利用显微镜观察、阴极发光分析、Mn/Sr 比值、氧同位素组成特征和  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的相关性 5 种方法进行了判别。在显微镜下观察, 样品没有发生明显的蚀变, 无方解石脉和黄铁矿; 在阴极发光显微镜下, 含 Mn 高的碳酸盐矿物发亮黄色的光, 含 Mn 低的碳酸盐矿物发昏暗的光或不发光。本批样品在阴极发光镜下多数不发光, 少数发昏暗的光(表 1), 说明样品含 Mn 量不高; Mn/Sr 比值是判别海相碳酸盐岩蚀变程度的一个灵敏指标

(Kaufman and Knoll, 1995), 当沉积碳酸盐岩受成岩期和/或成岩期后的影响, 特别是受循环的大气降水的影响时, 岩石会发生 Sr 的丢失和 Mn 的加入。一般情况, 当岩石 Mn/Sr < 10, 表明碳酸盐岩未遭受强烈的蚀变, 其碳同位素组成可以代表原始沉积记录(李任伟等, 1999)。浙江江山灯影组碳酸盐岩 Mn/Sr 比值均 < 6(表 1), 说明本批碳酸盐岩样品未遭受强烈的蚀变, 其碳同位素数据可以反映沉积时的原始组成。Kaufman 等(1995)认为  $\delta^{18}\text{O} < -5\text{‰}$  的碳酸盐岩可能已经遭受蚀变, 当  $\delta^{18}\text{O} < -10\text{‰}$  时, 岩石已发生了强烈的蚀变, 同位素数据不能使用。本批灯影组样品的  $\delta^{18}\text{O}$  的值均大于  $-10\text{‰}$ (表 1), 表明同位素数据可以使用。另外,  $\delta^{13}\text{C}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  二者是否存在线性相关关系也是判断样品是否遭受后期改造的一个判别标准, 若二者存在线性相关关系, 说明样品受到后期改造, 同位素数据不能使用(Qing Hairuo et al., 1994; Williams, 1988; 王大锐等, 2002)。本批样品的  $\delta^{13}\text{C}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  存在一定的正线性相关关系

(图 2),说明样品受到一些成岩后期作用的影响。综合以上结果说明,这批样品曾遭受到一定后期作用的影响,但其碳、氧同位素数据能够反映当时海洋的原始同位素信息。

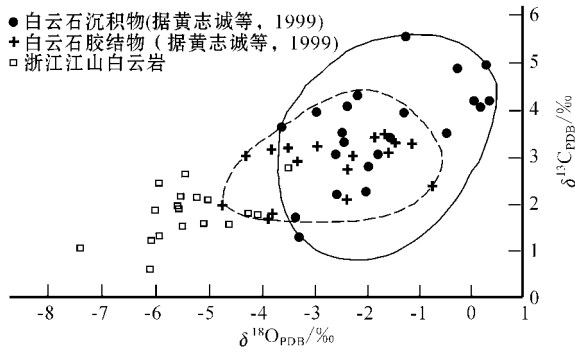


图 2 中国南方几省和浙江江山灯影组碳、氧同位素组成分布图

Fig. 2 Distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values in Dengying Formation in some areas of southern China and Jiangshan

### 3.2 碳、氧同位素特征

从表 1 和图 1 可以看出:浙江江山灯影组碳酸盐岩的  $\delta^{13}\text{C}$  值在  $-2.11\text{‰} \sim -2.71\text{‰}$  之间,底、顶部表现为负异常,主体部分比较稳定,呈微弱的降低趋势; $\delta^{18}\text{O}$  值在  $-3.52\text{‰} \sim -8.76\text{‰}$  之间变化,整体比较稳定,从底到顶呈略降低的变化趋势。

## 4 结果讨论

### 4.1 国内外同期地层碳、氧同位素对比

湖北宜昌峡东地区是国内灯影组碳酸盐岩同位素研究程度最高的地区,Lambert 等(1987)王宗哲等(1996) Yang 等(1999)王伟等(2002)陈孝红等(2003)张同钢等(2004)都在那里做过研究。将浙江江山灯影组碳酸盐岩碳、氧同位素年代曲线(图 3)与峡东地区的曲线进行对比可以看出,它们在总体特征和变化趋势上都非常一致。云南晋宁王家湾

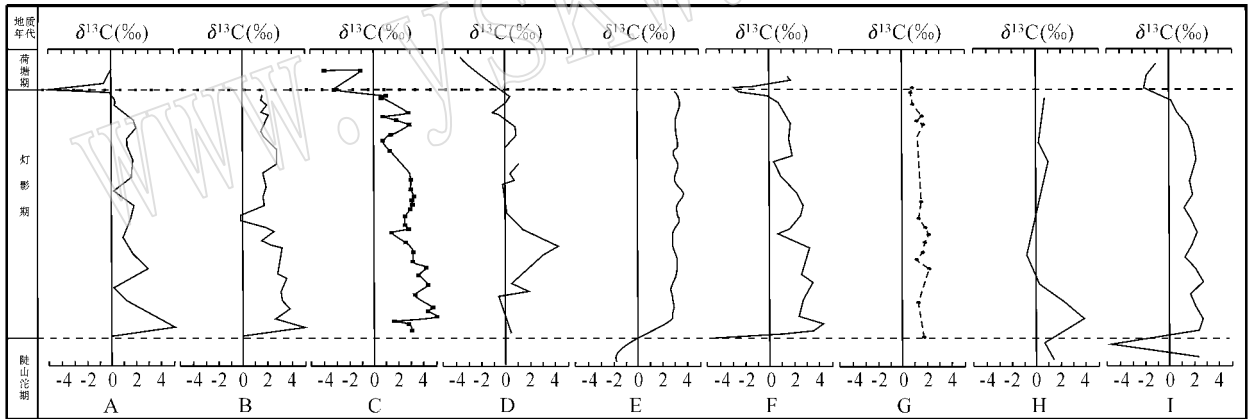


图 3 灯影组碳酸盐岩碳同位素年代特征曲线综合对比图

Fig. 3 Correlation of carbon isotopic compositions in carbonates of Dengying Formation

A—宜昌石牌-漣沱 (Lambert 等,1987);B—宜昌石牌-漣沱 (Yang 等,1999) C—宜昌华鸡坡-计家坡 (张同钢等,2004);D—云南晋宁王家湾 (Shen 2002);E—湖北宜昌(王宗哲等,1996);F—湖北宜昌雾河(王伟等,2002) G—宜昌四溪(陈孝红等,2003);H—湖南大庸田坪(杨瑞东等,2003);I—浙江江山(本次研究)

A—Shipai-Liantuo in Yichang (Lambert *et al.*, 1987); B—Shipai-Liantuo in Yichang (Yang *et al.*, 1999); C—Huajipo-Jijiapo in Yichang (Zhang Tonggang *et al.*, 2004); D—Wangjiawan in Jinning, Yunnan (Shen 2002); E—Yichang in Hubei (Wang Zongzhe *et al.*, 1996); F—Wuhe in Yichang (Wang Wei *et al.*, 2002); G—Sixi in Yichang (Chen Xiaohong *et al.*, 2003); H—Dayong-Tianping in Hunan (Yang Ruidong *et al.*, 2003); I—Jiangshan in Zhejiang (this study)

灯影组碳酸盐岩 (Shen 2002) 湖南大庸田坪剖面灯影组  $\delta^{13}\text{C}$  特征(杨瑞东等,2003)(图 3)也与浙江江山灯影组碳酸盐岩  $\delta^{13}\text{C}$  特征基本相同(图 3)。将浙江江山灯影组碳酸盐岩的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值投入黄志诚等(1999)绘制的包括江苏句容、南京市幕府山、湖

北京山惠亭山和四川峨眉山灯影组海相碳酸盐岩的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分布图中,可以看出:浙江江山灯影组碳酸盐岩的  $\delta^{13}\text{C}$  值与中国南方几个地区的数值相比要偏小一些,南方几个地区  $\delta^{13}\text{C}$  的平均值大约在  $3\text{‰}$ ,而江山地区的平均值大约在  $2\text{‰}$ ; $\delta^{18}\text{O}$  值也比

南方几个地区的明显偏小,南方几个地区  $\delta^{13}\text{C}$  的平均值大约在  $-2\%$ ,而江山地区的平均值大约在  $-5.5\%$ (图2)。

从以上分析可以知道:浙江江山灯影组碳酸盐岩的碳同位素组成与中国南方其他地区的基本相同,变化趋势非常一致,但  $\delta^{18}\text{O}$  值偏小。

国外也有许多专家对这一时期碳酸盐岩的碳、氧同位素进行了研究,Derry等(1992)给出了全球古海水碳同位素组成,从600 Ma到震旦系与寒武系的交界处  $\delta^{13}\text{C}$  值由  $+4\%$  逐渐降低到  $0\%$ 。浙江江山灯影组碳酸盐岩的  $\delta^{13}\text{C}$  值处在这个范围之内,变化总体趋势也基本相同。

总之,浙江江山灯影组碳酸盐岩同位素特征与国内外同期地层相似,具有全球可对比性。

#### 4.2 成因分析及形成环境讨论

海相碳酸盐岩  $\delta^{13}\text{C}$  值主要受当时生物产率、有机质的埋藏与氧化两个因素控制(王可法,1994;陈锦石等,1995;黄思静,1997;李忠雄等,2001;彭苏萍等,2002),生物产率、有机质的埋藏与氧化又主要受当时海洋环境影响,所以  $\delta^{13}\text{C}$  值也是当时海洋环境的一种反映。

灯影组底部(与陡山沱组交界附近)  $\delta^{13}\text{C}$  值出现负异常。Knoll等(2000)曾提出,在陡山沱组与灯影组交界时期地球出现“后 Marinoan”冰期,海平面下降,原沉积的有机质暴露氧化,海洋中溶解无机碳减少。浙江江山陡山沱组顶部部分地区见紫红色粉砂质泥岩,盆底为弱氧化环境(梁鼎新,1990),也说明在灯影组底部时期,该区出现海平面下降,所以灯影组底部(与陡山沱组交界附近)  $\delta^{13}\text{C}$  值的负异常应该是当时该区海平面下降的反映。在灯影组顶部与寒武系的分界时期,全球古环境发生强烈变化(Magaritz *et al.*, 1986;许靖华等,1986;Lambert *et al.*, 1987;Brasier *et al.*, 1990;Knoll *et al.*, 1992;Kaufman *et al.*, 1995;Shen *et al.*, 2000;郭庆军等,2004;张同钢等,2004),生物大量死亡,海洋中溶解无机碳减少,浙江江山顶部  $\delta^{13}\text{C}$  值短暂的负异常就是当时古环境发生强烈变化的反映。而浙江江山灯影组碳酸盐同位素年代曲线主体平稳,变化不大,说明当时海洋环境相对稳定。

## 5 结论

(1)浙江江山灯影组碳酸盐的  $\delta^{13}\text{C}$  值在

$-2.11\%$ ~ $2.71\%$ 之间,底、顶部表现为负异常,主体部分比较平稳,变化频率不大,呈微弱的降低趋势; $\delta^{18}\text{O}$  值在  $-3.52\%$ ~ $-8.76\%$ 之间变化,整体比较平稳,从底到顶呈略降低的变化趋势。

(2)浙江江山灯影组碳酸盐碳、氧同位素与国内外同期地层在组成特征和变化趋势上都非常相似,具有全球可对比性。

(3)碳同位素组成变化反映浙江江山地区在灯影初期海平面短暂下降,随后海洋环境相对稳定,直到灯影末期,与全球古环境发生强烈变化一样,本区海洋环境也发生了强烈变化。

## Reference

- Brasier M D, Magaritz M, Corfeld R, *et al.* 1990. The carbon and oxygen-isotopic record of the Precambrian-Cambrian boundary interval in China and Iran and their correlation[J]. *Geo. Mag.*, 127(4):319~332.
- Chen Jinshi, Wen Chuanfen, Zhong Hua, *et al.* 1995. Carbon isotope variation of Paleozoic marine carbonate sequences[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 30(4):338~347 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xiaohong, Li Huaqin, Chen Lide, *et al.* 2003. Carbon and oxygen isotope features of the sinian carbonate strata in the three gorges region[J]. *Geological Review* 49(1):66~73 (in Chinese with English abstract).
- 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 Cosmochimica Acta*, 56(3):1317~1329.
- Guo Chengxian, Xiao Chuantao, Zhu Zhongde, *et al.* 1999. Event stratigraphy near Sinian-Cambrian Boundary in Central Yangtze area[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute* 21(2):5~8 (in Chinese with English abstract).
- Guo Qingjun, Liu Congqiang, Harald Strauss, *et al.* 2004. Isotopic investigation of Late Neoproterozoic and Early cambrian carbon cycle on the northern Yangtze Platform, South China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(2):151~156 (in Chinese with English abstract).
- Hsu K J, Oberhansli H, Gao Jiyuan, *et al.* 1986. Strangelove ocean before the Cambrian explosion[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 21(1):1~5 (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 Geol Sinica* 71(1):45~53 (in Chinese with English abstract).
- Huang Zhicheng, Chen Zhina, Yang Shouye, *et al.* 1999. Primary  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values in marine carbonates and the sea water temperature of Dengyingxia age in south china[J]. *Journal of Palaeogeography*, 1(3):1~7 (in Chinese with English abstract).
- Kaufman A J and Knoll A H. 1995. Neoproterozoic variations in the C-isotope composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications[J]. *Precambrian Res.*, 73(1~4):27~49.
- Knoll A H. 2000. Learning to tell Neoproterozoic time[J]. *Precambrian Res.*, 100(1~3):3~20.

- Knoll A H and Walter M R. 1992. Latest Proterozoic stratigraphy and earth history [ J ]. Nature, 356( 6371 ): 673-678.
- Lambert I B, Water M R, Wenlong Z, *et al.* 1987. Palaeoenvironment and carbon isotope stratigraphy of the upper Proterozoic carbonates of the Yangtze Platform [ J ]. Nature, 325( 6100 ): 140-142.
- Li Renwei, Chen Jinshi and Zhang Shukun. 1999. Carbon and oxygen isotopes component of carbonate rocks in Wumishan Formation and Sea-level changes in Middle Proterozoic [ J ]. Chinese Sci. Bull., 44( 16 ): 1697-1702 ( in Chinese with English abstract ).
- Li Zhongxiang and Guan Shiping. 2001. Sedimentary cycle and strontium, carbon, oxygen isotopes of the Silurian at Lugu region in Ninglang county of western margin of Yangtze platform [ J ]. J Palaeogeogr., 3( 4 ): 69-76 ( in Chinese with English abstract ).
- Liang Dingxin. 1990. The Study of Sinian Sedimentary Facies and Paleogeography in Jiangshan District Zhejiang [ J ]. Journal of East China College of Geology, 13( 4 ): 49-56 ( in Chinese with English abstract ).
- Magaritz M, Holser W T and Kirschvink J L. 1986. Carbon isotope events across the Precambrian/Cambrian boundary on the Siberian Platform [ J ]. Nature, 320( 6059 ): 258-259.
- 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 ).
- Qing Hairuo and Veizer J. 1994. Oxygen and carbon isotopic composition of Ordovician brachiopods: Implications for coeval seawater [ J ]. Geochim Cosmochim Acta, 58( 20 ): 4429-4442.
- Shen Y. 2002. C-isotopic variations and palaeoceanographic changes during the late Neoproterozoic on the Yangtze Platform, China [ J ]. Precambrian Research, 113( 1-2 ): 121-133.
- Shen Y and Schidlowski M. 2000. New C isotope stratigraphy from southwest China: Implications for the placement of the Precambrian-Cambrian boundary on the Yangtze Platform and global correlations [ J ]. Geology, 28( 7 ): 623-626.
- Wang Darui and Feng Xiaojie. 2002. Research on carbon and oxygen geochemistry of lower Paleozoic in North China [ J ]. Acta Geol Sinica, 76( 3 ): 400-408 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Kefa. 1994. Carbon isotopic composition of marine carbonate and its significance [ J ]. Geology-Geochemistry, 22( 5 ): 50-54 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Wei, Matsumoto Ryo, Wang Haifeng, *et al.* 2002. Isotopic Chemostratigraphy of the Upper Sinian in Three Gorges Area [ J ]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 19( 4 ): 382-388 ( in Chinese with English abstract ).
- Wang Zongzhe, Chang Jiedong and Sun Weiguo. 1996. The change of the carbon isotopic of the seawater of the Sinian System on Yangtze Platform [ J ]. Geological Journal of China University, 2( 1 ): 112-120 ( in Chinese with English abstract ).
- Williams D F. 1988. Isotope Chronostratigraphy: Theory and Methods [ M ]. California: Academic Press, 39-68.
- Xu Wanhong and Zhang Jingli. 1990. New Advances in the Studies of the Sinian System in Jiangshan Area, Zhejiang [ J ]. Journal of East China College of Geology, 13( 4 ): 1-9 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang J D, Sun W G, Wang Z Z, *et al.* 1999. Variations in Sr and C isotopes and Ce anomalies in successions from China: evidence for oxygenation of Neoproterozoic seawater? [ J ]. Precambrian Research, 93: 215-233.
- Yang Ruidong, Wang Shijie, Dong Limin, *et al.* 2003. Sedimental Geochemical Characteristics of the Sinian Cap Carbonate from the Upper Yangtze Region [ J ]. Geological Journal of China University, 9( 1 ): 72-80 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Tonggang, Chu Xuelei, Zhang Qirui, *et al.* 2004. The sulfur and carbon isotopic records in carbonates of the Dengying Formation in the Yangtze Platform, China [ J ]. Acta Petrologica Sinica, 20( 3 ): 717-724 ( in Chinese with English abstract ).

## 附中文参考文献

- 陈锦石, 闻传芬, 钟华, 等. 1995. 古生代海洋碳同位素演化 [ J ]. 地质科学, 30( 4 ): 264-271.
- 陈孝红, 李华芹, 陈立德, 等. 2003. 三峡地区震旦系碳酸盐岩碳氧同位素特征 [ J ]. 地质论评, 49( 1 ): 66-73.
- 郭成贤, 肖传桃, 朱忠德, 等. 1999. 中扬子地区震旦—寒武纪界线附近事件地层学 [ J ]. 江汉石油学院学报, 21( 2 ): 5-8.
- 郭庆军, 刘丛强, Harald Strauss, 等. 2004. 晚震旦世至早寒武世扬子地台北缘碳同位素研究 [ J ]. 地球学报, 25( 2 ): 151-156.
- 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.
- 黄志诚, 陈智娜, 杨守业, 等. 1999. 中国南方灯影峡期海洋碳酸盐岩原始  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  组成及海水温度 [ J ]. 古地理学报, 1( 3 ): 1-7.
- 李任伟, 陈锦石, 张淑坤. 1999. 中元古代雾迷山组碳酸盐岩碳和氧同位素组成及海平面变化 [ J ]. 科学通报, 44( 16 ): 1697-1702.
- 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.
- 梁鼎新. 1990. 浙江江山震旦纪沉积相及古地理研究 [ J ]. 华东地质学院学报, 13( 4 ): 49-56.
- 彭苏萍, 何宏, 邵龙义, 等. 2002. 塔里木盆地  $\epsilon\text{-O}$  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.
- 王大锐, 冯晓杰. 2002. 渤海湾地区下古生界碳、氧同位素地球化学研究 [ J ]. 地质学报, 2002, 76( 3 ): 400-408.
- 王可法. 1994. 海相碳酸盐岩同位素组成及其意义 [ J ]. 地质地球化学, 22( 5 ): 50-54.
- 王伟, 松本良, 王海峰, 等. 2002. 长江三峡地区上震旦系稳定同位素异常及地层意义 [ J ]. 微生物学报, 43( 4 ): 382-388.
- 王宗哲, 畅杰东, 孙卫国. 1996. 扬子地台震旦纪海水碳同位素变化 [ J ]. 高校地质学报, 2( 1 ): 112-120.
- 许靖华, 奥伯亨斯利 H, 高计元, 等. 1986. 寒武纪生物爆发前的死劫难海洋 [ J ]. 地质科学( 1 ): 1-5.
- 许玩宏, 张敬礼. 1990. 浙江江山地区震旦系研究新进展 [ J ]. 华东地质学院学报, 13( 4 ): 1-9.
- 杨瑞东, 王世杰, 董丽敏, 等. 2003. 上扬子区震旦纪南沱冰期后碳酸盐岩帽沉积地球化学特征 [ J ]. 高校地质学报, 9( 1 ): 72-80.
- 张同钢, 储雪蕾, 张启锐, 等. 2004. 扬子地台灯影组碳酸盐岩中的硫和碳同位素记录 [ J ]. 岩石学报, 20( 3 ): 717-724.