

安徽宿县夹沟寒武-奥陶系界线附近 生物群演变及地球化学特征

方一亭 沈渭洲

(南京大学地球科学系, 南京 210008)

内 容 提 要

对宿县夹沟地区跨寒武系与奥陶系的三山子组的碳、氧同位素和微量元素地球化学的研究表明, 寒武-奥陶系界线附近有 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的负异常, 亲铁元素、亲铜元素的正异常。这些异常与生物群面貌的变化在时间上是同步的。据此认为研究区在寒武纪末可能存在灾变事件。同时, 考虑到寒武纪末和奥陶纪初生物群面貌的重大差异, 综合国内、外有关研究, 认为寒武纪末期可能存在全球性的重大地质事件。

关键词 寒武-奥陶系界线 碳、氧同位素 微量元素地球化学

同位素和微量元素地球化学研究已成为研究生物集群绝灭等重大地质事件的主要手段之一。我国已经在晚前寒武-寒武系(陈锦石等, 1992)、奥陶-志留系(汪啸风等, 1990)、泥盆-石炭系(柴之芳等, 1989; 白顺良等, 1990)、二叠-三叠系(陈锦石等, 1984)、白垩-第三系(钟筱春等, 1993)等界线附近有生物大量绝灭的同时, 还发现有碳(氧)同位素和(或)微量元素异常。说明生物集群绝灭与当时的地球化学背景的剧变有密切的关联。

寒武-奥陶系界线, 一般置于 Tremadocian 之底, 此界线附近生物群面貌发生了巨大的变化(Newell, 1967; 赵靖舟, 1990), 在美国俄克拉何马州 Arbuckle 寒武-奥陶系灰岩中发现有碳、氧、锶同位素异常(Gao and Land, 1991)。这说明寒武纪末期很可能存在生物集群绝灭事件。但是 Raup 和 Sepkoski (1982) 则持相反观点, 认为寒武纪末生物绝灭量不大, 排除在地史上5次最明显的集群绝灭事件之外。作者认为奥陶纪的生物群面貌与寒武纪有明显不同, 寒武纪末期很可能有重大地质事件发生, 促使了生物群的更迭。为此, 笔者在完成1:5万区域地质填图的同时, 选择测区内三山子组进行系统的碳、氧同位素和微量元素研究。

地质背景

三山子组分布于淮北、徐州一带, 是一个寒武-奥陶系的跨时岩石地层单位。所研究的夹沟镇赵集剖面位于赵集乡西约2km的韩家附近, 露头出露良好。安徽区调队(1988, 1989)作过详细研究。三山子组与下伏上寒武统凤山组为整合接触, 与上覆下奥陶统贾汪组呈假整合接触。凤山组顶部由深灰色中薄层豹皮状白云质微晶灰岩夹灰色中厚层细晶白云岩透镜体组成。灰岩中含有大量垂直虫管, 产三叶虫 *Anderssonella granulosa*, *Tellerina* sp., *Changia* sp. 等。贾汪组由灰黄色微层至薄层白云质微晶灰岩、灰黄色、紫红色钙质粉砂岩与粉砂质页岩互层, 底

部有一层浅黄色薄层含砾钙质粉砂岩。三山子组自下而上可分3层,第1层原66.13m,由灰黄色微层—薄层细晶白云岩、泥质细晶白云岩和中层细晶白云岩组成,产三叶虫 *Coreanocephalus anhuiensis* Chu et Zhou, *Anderssonella jiagouensis* Chu et Zhou, *Mictosaukia callisto* (Walcott), *Changia chinensis* Sun, *Haniwa sosanensis* Kobayashi, *Pseudagnostus* sp.; 腕足类 *Lingulella* sp., *Obolus luanhsiensis* Grabau; 笔石 *Dendrograptus erectus minor* Lin。第2层由灰黄色中薄层细晶至中晶白云岩构成,产腕足类 *Lingulella* sp.; 牙形刺 *Oneotodus nakamurai* Nogami; 第3层由灰白色中厚层含燧石条带细晶白云岩,表面具刀砍状溶沟,燧石条带风化后呈黄白色,大致顺层延伸,夹薄层竹叶状细晶白云岩,产头足类 *Cyrtovaginoceras* sp., *Oderoceras* sp., *Kaipinoceras* sp.。

化石资料表明,三山子组第1层富产寒武纪常见的三叶虫,属寒武纪无疑,而第3层出现了奥陶纪头足类,属奥陶纪无疑。第2层中未见第1层中所产寒武纪常见的重要化石,牙形刺面貌已趋近于奥陶纪。所以前人将第1层与第2层间的界线作为寒武系与奥陶系的界线。界线上下的生物群面貌有明显差异。

样品和分析方法

对夹沟赵集部面三山子组系统采集了16个样品。样品新鲜,无蚀变。碳、氧同位素分析采用磷酸法(黄耀生等,1985),质谱测定由 MAT-250 质谱计完成。对同位素标准“北大7901”测定的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为2.62‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值为-5.47‰。样品分析精度优于0.1‰。微量元素采用 ICP 法测定,分析结果见表1和插图1,2。

碳氧同位素

三山子组白云岩是成岩过程中交代作用的产物。凤山组中交代成因白云岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为0.60‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为21.92‰,交代残留灰岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为0.41‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为22.21‰,两者在实验误差范围内是一致的。这表明白云岩化过程中,灰岩的碳、氧同位素组成没有发生实质性的变化。因此,现今测定的白云岩的碳、氧同位素组成可以代表灰岩形成时的同位素组成。

如表1和插图2所示,三山子组白云岩的碳、氧同位素组成具有如下特点。

1). 晚寒武世三山子组第1层中下部(样品号9201—9204)白云岩的碳同位素组成变化小, $\delta^{13}\text{C}$ 值为-0.17‰—0.51‰,平均为0.09‰,十分接近正常海相碳酸盐岩石的平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值(Keith and Weber, 1964)。但从样品号9205向上至第2层分界处(样品号9210),白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值从0.58‰连续降低至-1.39‰,样品以富 ^{12}C 为特征。

2). 早奥陶世三山子组中上部(第2层和第3层),白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-0.54‰—-1.12‰,同样显示出以 ^{12}C 相对富集为特征。

3). 在寒武-奥陶系界线附近,即三山子组第1层与第2层分界附近(样品号9208—9212),白云岩的碳同位素组成不仅波动起伏明显,而且以 ^{12}C 最为富集。

4). 三山子组白云岩的氧同位素组成变化不大,除少数几个样品外, $\delta^{18}\text{O}$ 值为24.18‰—24.77‰,平均为24.62‰,十分接近于寒武-奥陶纪正常海相碳酸盐岩石值(Lohmann and Walker, 1989)。这表明三山子组白云岩自成岩以来并未明显受到雨水(热液)同位素交换作

表 1 安徽宿县夹沟三山子组白云岩的碳、氧同位素和微量元素组成
Composition of isotopes and trace elements from Sanshanzi Formation in Jiagou, Suxian, Anhui

样号	距离 (m)	$\delta^{13}\text{C}, \%$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}, \%$ (SMOW)	Cr	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Ba	Be	Li	Mn	Nb	P	Sr	Ti	V
9201	-43.5	-0.17	23.80															
9202	-30.5	-0.08	24.65															
9203	-21.5	0.09	24.76															
9204	-12.8	0.51	24.42	23.03	9.98	35.49	107.48	926.82	1131.30	1.31	<0.0001	4.88	155.52	1.44	240.06	96.03	333.06	9.37
9205	-8.1	-0.58	24.53	<0.005	2.44	<0.01	11.49	54.85	56.29	23.28	0.30	2.59	92.66	1.92	198.02	75.99	510.64	11.07
9206	-5.0	-0.86	24.18	<0.005	2.53	<0.01	9.82	42.86	44.89	20.47	0.28	1.89	111.91	4.66	197.11	75.70	413.14	5.56
9207	-2.5	-0.72	24.64	<0.005	2.42	1.30	7.53	26.55	22.18	29.15	0.38	3.14	108.91	4.75	253.53	76.31	585.26	8.81
9208	-1.8	-1.39	24.75	<0.005	2.71	2.98	9.82	75.38	39.10	18.03	0.30	2.88	111.41	2.88	201.29	76.37	452.40	6.93
9209	-0.9	-1.14	24.77	18.01	6.34	24.15	53.64	467.40	1127.16	<0.001	<0.0001	4.88	123.98	<0.002	124.85	80.98	467.74	9.37
9210	-0.15	-1.20	24.44	<0.005	2.44	1.41	31.21	181.49	199.62	25.92	0.32	2.97	103.33	6.19	245.52	81.99	625.56	9.81
9211	0.5	-1.11	23.72	0.57	2.42	3.30	11.60	62.60	56.83	41.05	0.42	4.85	118.07	2.54	268.27	75.38	909.74	13.78
9212	1.5	-1.62	23.42	<0.005	2.28	<0.01	14.50	72.45	112.12	19.25	0.28	2.48	106.98	2.93	231.32	82.76	423.28	6.80
9213	2.8	-1.11	24.47	<0.005	2.73	2.02	20.25	113.01	130.66	24.50	0.30	2.63	119.25	5.11	220.77	81.83	660.92	9.09
9214	4.7	-1.00	24.61	<0.005	3.32	2.69	14.67	65.94	68.00	18.60	0.28	2.16	158.26	2.71	182.18	79.10	385.06	8.18
9215	7.5	-0.54	24.52	2.26	3.28	4.01	9.50	36.29	32.81	41.33	0.45	7.14	116.90	5.40	209.48	86.43	1133.08	14.74
9216	11.0	-1.16	24.47															
海相碳酸盐岩石		0.56	25.9	11	0.1	20	4	9	20	10	0. n	5	1100	0.3	350	610	400	20

注:1). 碳、氧同位素和微量元素由南京大学地球科学系中心实验室测试;2). 深海碳酸盐岩石的微量元素组成数据 K. Turkian 和 K. Wedepohl(1961); $\delta^{13}\text{C}$ 值据 Keith 和 Weber(1964); $\delta^{18}\text{O}$ 值据 Lohmann 和 Walker(1969)。

用的影响。但在寒武-奥陶系界线附近,白云岩的氧同位素组成变化明显,从样号9209—9212, $\delta^{18}\text{O}$ 值发生陡降,变化幅度达1‰以上。而且如插图2所示,氧同位素组成的变化,显示出与碳同位素组成变化协调一致的特点。

5). 三山子组白云岩碳同位素组成的变化特征,与美国俄克拉何马州寒武-奥陶系 Arbuckle 灰岩碳同位素组成的变化特征非常相似,后者在寒武-奥陶系界线处 $\delta^{13}\text{C}$ 值从0‰陡降至-2.0‰(Gao and Land, 1991)。这表明,由 $\delta^{13}\text{C}$ 值突然下降所暗示的寒武-奥陶纪交界时期发生的重大地质事件有可能是全球性的。

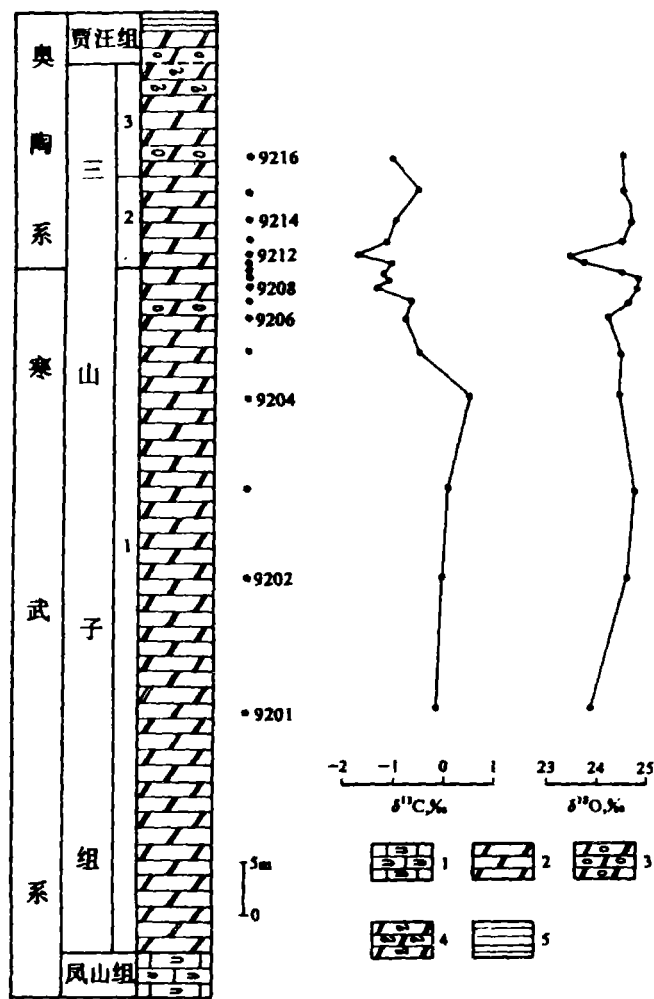


插图1 宿县夹沟寒武-奥陶系界线附近碳、氧同位素组成
Profile curves showing the isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ and O
from Cambrian-Ordovician boundary section
in Jiagou, Suxian County

1. 豹皮状微晶灰岩, 2. 白云岩, 3. 竹叶状白云岩
4. 含燧石条带白云岩, 5. 页岩

微量元素特征

1. 亲铁元素镍、钴、铬

如表 1 所示,与海相碳酸盐岩石的平均丰度值相比,虽然三山子组白云岩的亲铁元素含量显示出不同的变化特征,即镍、铬含量偏低,而钴含量偏高。但在寒武-奥陶系界线附近它们无一例外地显著升高,呈正异常(插图2)。

2. 亲硫元素铜、铅、锌

与海相碳酸盐岩石的平均丰度值相比,三山子组白云岩中亲硫元素铜、铅、锌的含量均显著升高(表 1)。其富集程度,铜最高达28倍,铅达100倍,锌达55倍。与亲铁元素一样,在寒武系-奥陶系界线附近,均呈现明显的正异常(插图2)。

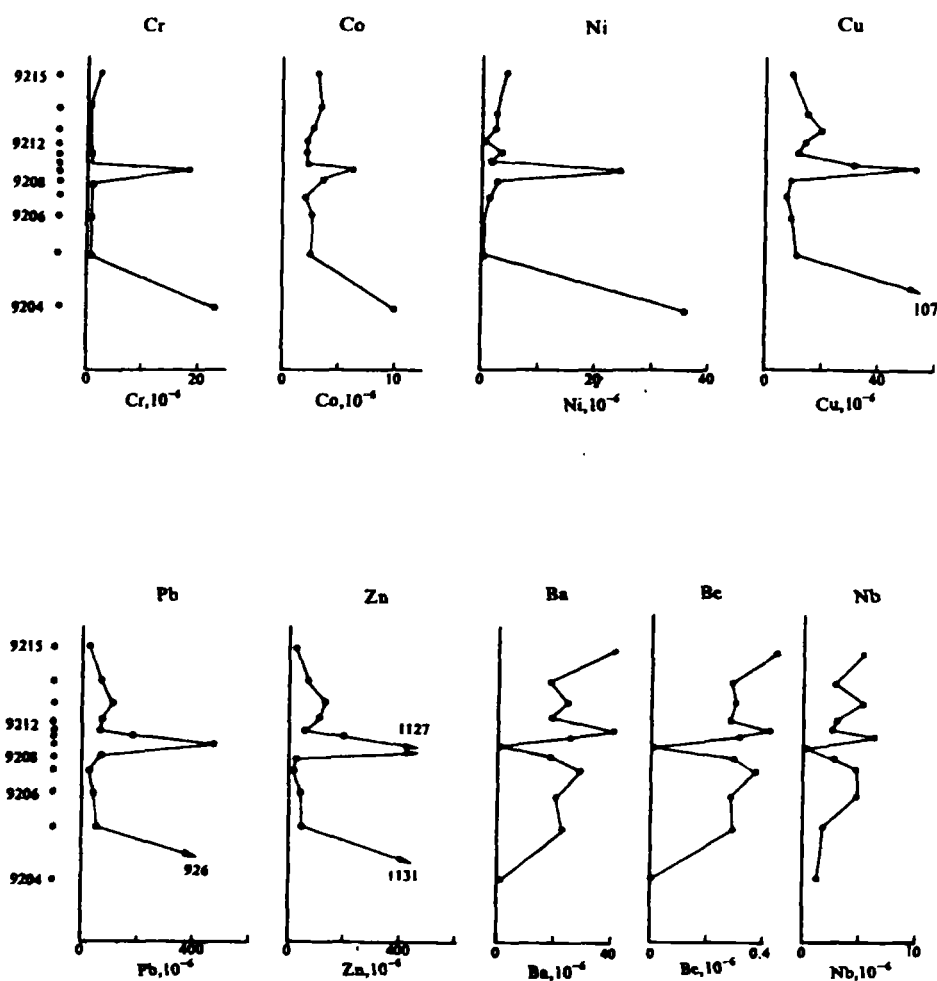


插图2 宿县夹沟寒武-奥陶系界线附近微量元素特征

Characteristics of trace elements across Cambrian-Ordovician boundary at Jiagou, Suxian, Anhui

3. 亲石元素

本次工作所分析的亲石元素包括钡、铍、铌、锂、锰、锶、钛、钒等。如表 1 所示,除钡、铍、铌外,其它元素的含量都低于海相碳酸盐岩石平均值,变化幅度小且不规则。钡、铍和铌 3 个元素虽然在寒武-奥陶系界线附近均显示负异常特征,但变化幅度也小,异常的清晰程度不如亲铁和亲硫元素。

上述碳、氧同位素和微量元素分析结果的研究表明,夹沟赵集寒武-奥陶系界线(即三山子组第 1 层与第 2 层分界)附近,白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 值发生陡降,呈负异常,而亲铁元素与亲硫元素含量明显升高,呈正异常。这种变化特征与已被证实属生物集群绝灭事件的浙江长兴二叠-三叠系界线(陈锦石等,1984;柴之芳等,1986)和广西黄茆上泥盆统上部(柴之芳等,1989;白顺良等,1990)所观察到的极为相似,表明在寒武纪与奥陶纪界线附近也可能存在一次生物灾变事件。从美国俄克拉何马州寒武-奥陶系界线附近碳、氧和锶同位素组成也呈异常变化来看,寒武纪与奥陶纪交替时期发生的灾变事件有可能是全球性的。

上已述及,寒武纪末期是否存在生物集群绝灭事件尚有不同看法。从夹沟镇赵集剖面来看,三山子组下部(第 1 层)和上部(第 2 和第 3 层)生物面貌有很大差异,可以说寒武纪末至奥陶纪初是生物更迭时期。从一个地区的研究结果,笔者不敢断言寒武纪末期存在全球性的集群绝灭事件,但至少又提供了一份值得注意的资料。另外,从生物集群绝灭对生物进化的效应来看,“Sepkoski(1985)认为有两个最基本的效应,其一是绝灭造成种系的终结,即种的基因和复合基因的消灭;其二是绝灭为新的成种作用创造了条件”(陈旭等,1990)。奥陶纪初期确是新生门类明显增加的时期,也就是说,在此之前似理应有大规模的生物绝灭事件。可能正是由于夹沟地区寒武纪末的生物大量绝灭,造成了较强还原沉积环境,使亲铁元素和亲硫元素大量沉淀富集。同时,大量死亡的生物不可能都被及时埋藏,它们在氧化、分解的过程中释放出富 ^{12}C 和 ^{16}O 的 CO_2 气体,后者与海水中的溶解碳(HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 及 CO_2 气体)产生同位素交换,导致沉积碳酸盐岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 值明显下降。

关于灾变事件的起因,目前有地内说和地外说两种假说。地内说认为海平面变化、地壳运动、气候异常等都会导致生物大量死亡,其中海平面变化说较为流行(Magaritz and Stemmerik, 1989; Compton *et al.*, 1990)。地外说认为,由于地外星体撞击地球产生的炽热冲击波、大量尘埃使地球表面的气候条件发生急剧变化,导致生物的大量绝灭(Alvarez *et al.*, 1980; Alvarez *et al.*, 1982)。

夹沟地区三山子组白云岩在寒武-奥陶系界线附近显示出 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 值发生陡降,呈明显的负异常,而亲铁元素和亲硫元素含量发生陡增,呈明显的正异常。这一特征与已经肯定由外事件引起的泥盆-石炭系(柴之芳等,1989;白顺良等,1990)、白垩-第三系界线(Palme, 1982)所显示的变化十分相似。因而笔者倾向性地认为,夹沟寒武纪末的灾变事件有可能是由地外事件引起的。这一推断尚需进一步研究,如研究界线附近贵金属元素铌、金含量及其变化特征,在样品中寻找是否存在微球粒与冲击成因矿物等标志。

最后还需指出,从表 1 和插图 2 可看出,样品 9204 具有异常高的亲铁元素和亲硫元素含量,但其 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 值却无异常显示,对于该样品的碳、氧同位素与微量元素之间的不协调关系的原因以及所具有的地质意义,也还有待于作进一步研究。

参 考 文 献

- 白顺良、王大锐、杨家键,1990: 碳稳定同位素在泥盆-石炭纪及弗拉阶-法门阶界线层远距离地层对比的应用。北京大学学报(自然科学版),**26**(4):497—505。
- 毕德昌,1965: 淮北震旦、寒武、奥陶系的研究。地质学报,**45**(1):12—29。
- 汪啸风、柴之芳,1989: 奥陶系与志留系界线处生物绝灭事件及其与铍和碳同位素的关系。地质学报,**63**(3):255—264。
- 陈旭、戎嘉余,1990: 集群绝灭的基本概念及奥陶纪晚期的实例剖析。理论古生物学文集,第91—120页。南京大学出版社。
- 陈锦石、邵茂茸、霍卫国、姚御元,1984: 浙江长兴二叠系和三叠系界限地层的碳同位素。地质科学,(1)88—93。
- 陈锦石、钟华、储雪蕾,1992: 中国前寒武系-寒武系界线的碳同位素地层学研究。科学通报,**37**(6):540—542。
- 项礼文等,1981: 中国的寒武系。中国地层,4。地质出版社。
- 赵靖舟,1990: 地球灾变作为生物进化一个重要动因的实证与机制。地质论评,**36**(6):518—527。
- 姚伦淇、王新平,1978: 淮北、苏北地区“三山子灰岩”的生物群及其地质时代的讨论。北京大学学报(自然科学版),**14**(4):111—132。
- 柴之芳、马淑兰、毛雪瑛、孙亦因、徐道一、杨正宗,1986: 浙江长兴二叠系-三叠系界线剖面的元素地球化学特征。地质学报,**60**(2):139—150。
- 柴之芳、毛雪瑛、马淑兰、白顺良、周瑶琪、马建国、宁宗善,1989: 广西广茆泥盆系-石炭系界线地层的元素地球化学异常。地质学报,**63**(1):50—58。
- 黄耀生、黄志诚、沈谓洲、周建平、刘燕,1985: 碳酸盐的碳、氧同位素分析及其在地质上的应用。南京大学学报(自然科学版),**21**(2):361—370。
- 安徽省区域地质调查大队,1988: 安徽省地层志,寒武系分册。安徽科学技术出版社。
- 安徽省区域地质调查大队,1989: 安徽省地层志,奥陶系分册。安徽科学技术出版社。
- Alvarez, L. W. Alvarez, W. Asaro, F. and Michel, H. V. 1980: Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. Science, **208**:1095—1108.
- Alvarez, W. Alvarez, L. W. Asaro, F. and Michel, H. V. 1982: Current status of the impact theory for the terminal Cretaceous extinction. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **190**:305—315.
- Compton, J. S. Snyder, S. W. and Hodell, D. A. 1990: Phosphogenesis and weathering of shell sediments from the southeastern United States: Implications for Miocene $\delta^{13}\text{C}$ excursions and global cooling. Geology, **18**:1227—1230.
- Gao Guoqiu and Land, L. S. 1991: Geochemistry of Cambro-Ordovician Arbuckle limestone, Oklahoma: Implications for diagenetic $\delta^{18}\text{O}$ alteration and secular $\delta^{13}\text{C}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variation. Geochim. Cosmochim. Acta., **55**:2911—2920.
- Keith, M. L. and Weber, J. N. 1964: Carbon and Oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils Geochim. Cosmochim. Acta., **28**:1787—1816.
- Lohmann, K. C. and Walker, J. C. G. 1989: The $\delta^{18}\text{O}$ record of Phanerozoic abiotic marine calcite cements. Geophys. Res. Lett., **16**:319—322.
- Newell, N. D. 1967: Revolutions in the history of life. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **89**:63—91.
- Magaritz, M. and Stemmerik, L. 1989: Oscillation of carbon and oxygen isotope compositions of carbonate rocks between evaporative and open marine environments, Upper Permian of East Greenland. Earth Planet Sci. Lett., **93**:233—240.
- Raup, D. M. and Sepkoski, J. J. 1982: Mass extinction in the marine fossil record. Science, **215**:1501—1503.
- Palme, H. 1982: Identification of projectiles of large terrestrial impact craters and some implications for the interpretations of Ir-rich Cretaceous/Tertiary boundary layers. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **190**:223—233.

〔1993年5月10日收到〕

EVOLUTION OF BIOTA ACROSS CAMBRIAN-ORDOVICIAN BOUNDARY AT JIAGOU, SUXIAN, ANHUI AND ITS GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS

Fang Yi-ting and Shen Wei-zhou

(Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210008)

Key words Cambrian-Ordovician boundary, carbon and oxygen isotopes, trace elements

Summary

A systematical study is made on the fauna, isotopes and trace elements of the Late Cambrian-Early Ordovician Sanshanzi Formation in Jiagou, Suxian, Anhui. Isotopic analyses of 16 dolomite samples from the Sanshanzi Formation document that at the Cambrian-Ordovician boundary (between Beds 1 and 2 of the Cambrian-Ordovician section in Jiagou), $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values abruptly decrease but the elements Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, etc. abruptly increase. These anomalies of isotopes and trace elements coincide with the change in organism from Late Cambrian to Early Ordovician, indicating a possible heavy geological event occurring in the Late Cambrian in Jiagou area.

Gao Guoqiu and L. S. Land (1991) also found isotope anomalites at the Cambrian-Ordovician boundary in Oklahoma, United States. This indicates that the geological event in Late Cambrian-Early Ordovician might be common in the world.

中国古生物学会第六届理事会名单

荣誉理事(新增): 王鸿祯 李星学 周明镇 郝诒纯 盛金章

理事长: 张弥曼

常务副理事长: 曹瑞骥

副理事长: 项礼文 殷鸿福 安泰庠

秘书长: 穆西南

常务理事(以姓氏笔划为序): 王建华 毛邦倬 叶得泉 邢裕盛 安泰庠 汪品先 吴浩若

张弥曼 周志毅 赵喜进 项礼文 殷鸿福 曹瑞骥 曾学鲁 穆西南

理事(以姓氏笔划为序): 文世宣 王 振 王乃文 王开发 王成源 王建华 尹恭正

毛邦倬 叶得泉 史晓颖 孙东立 孙巧缙 朱 敏 邢裕盛 安泰庠 汪品先 苏养正

沈光隆 陈 旭 陈丕基 陈挺恩 陈源仁 李作明 李承森 吴浩若 吴贤涛 张 维

张弥曼 张银运 尚冠雄 林英铄 杨 群 杨恒仁 杨基端 周志炎 周志毅 郑 卓

赵治信 赵资奎 赵喜进 欧阳舒 项礼文 钱 逸 姚益民 徐钦琦 殷鸿福 曹瑞骥

曾 勇 曾学鲁 程延年 董得源 雷新华 潘华璋 薛祥煦 穆西南

副秘书长: 赵喜进 夏广胜 姚建新 张克信 白志强

学会办公室主任: 夏广胜