

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*

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

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

关键词 白垩纪红层、碳酸盐岩、恐龙蛋壳、同位素组成、古环境

白垩纪是地史中重要的变革时期之一。这一时期的古气候古环境是当今地学界关注的前沿课题。白垩纪的海相记录已被国际上正在开展的“全球沉积地质计划 (GSGP)”列为研究重点。我国白垩纪时主要为陆相沉积, 特别是中国南方广泛发育了陆相红层。这些红层形成于地圈与水圈、大气圈和生物圈的交界面上, 比海相地层更有效地记录了地球表层环境的信息。本文通过广东南雄盆地白垩系红层中碳酸盐岩和恐龙蛋壳碳氧同位素研究, 探讨了它们所反映的古环境信息。

1 地质背景与分析样品

南雄盆地在粤北南雄县和始兴县境内, 是在前白垩纪基底上发展起来的小型断陷盆地, 其中接受了上白垩统至下第三系以红色碎屑岩为主的陆相沉积。

上白垩统称南雄群, 自下而上分为园圃组和坪岭组。园圃组主要是一套紫红色河湖相砂砾岩和粉砂岩, 上部含喷发玄武岩。坪岭组为一套粗细相间浅湖或滨湖相紫红色砂岩、粉砂岩和粉砂质粘土岩, 夹数层薄层微晶灰岩, 含恐龙蛋壳化石。研究样品取自坪岭组中上部, 采样层位与样品描述见图1。为便于对比, 我们还选了两件现代鸡蛋壳样品进行分析。

研究样品经显微结构观察和化学分析检测, 证实后期变化很小(同位素分析结果也证实了这一点)。为确保纯度, 每件样品都经过认真挑选和蒸馏水超声波清洗。同位素分析采用磷酸盐法, 分析误差为 $\pm 0.2\%$ 。

统组	厚度 m	采样层位	样品编号	样品描述
古上新统	上湖组		N92-11	准同生钙质结核
			N92-10	准同生钙质结核
			N92-09-8	恐龙蛋壳
			N92-09-7	恐龙蛋壳
			N92-09-6	恐龙蛋壳
			N92-09-5	恐龙蛋壳
			N92-09-4	恐龙蛋壳
			N92-09-3	恐龙蛋壳
白垩统	坪岭组		N92-09-2	恐龙蛋壳
			N92-09-1	恐龙蛋壳
			N92-08	同沉积微晶灰岩
			N92-07	同沉积微晶灰岩
			N92-06	成岩期方解石脉
			N92-04	同沉积微晶泥灰岩
统组	园圃组			

图1 采样层位与样品描述

1992-12-10 收稿, 1993-05-05 收修改稿。

* 国家自然科学基金和中国科学院地球化学研究所所长择优基金资助项目。

2 结果与讨论

表 1 是碳氧同位素的分析结果。下面就碳、氧同位素组成及所反映的环境信息进行讨论。

表 1 南雄盆地白垩纪红层碳酸盐岩及恐龙蛋壳碳氧同位素组成

样品编号	样品名称	$\delta^{13}\text{C}(\text{PDB})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$
N92-04	微晶泥灰岩	-9.42	23.27
N92-07	微晶灰岩	-9.57	21.56
N92-08	微晶灰岩	-9.18	21.61
N92-10	钙质结核	-8.14	22.17
N92-11	钙质结核	-8.45	21.83
N92-06	方解石脉	-10.31	19.58
N92-09-1	恐龙蛋壳	-9.93	32.05
N92-09-2	恐龙蛋壳	-10.03	31.66
N92-09-3	恐龙蛋壳	-10.01	31.91
N92-09-4	恐龙蛋壳	-10.42	30.95
N92-09-5	恐龙蛋壳	-11.50	31.58
N92-09-6	恐龙蛋壳	-10.73	30.98
N92-09-7	恐龙蛋壳	-10.15	25.71
N92-09-8	恐龙蛋壳	-11.06	29.80
N92-R-1	现代鸡蛋壳	-1.24	26.78
N92-R-2	现代鸡蛋壳	-1.48	26.36

碳酸盐岩样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 -8.14‰ 至 -10.31‰ (PDB 标准,下同)之间,平均为 -9.18‰ 。其中同沉积微晶灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均为 -9.39‰ ;准同生钙质结核的为 -8.30‰ ;成岩方解石脉的为 -10.31‰ 。

恐龙蛋壳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 -9.31‰ 至 -11.50‰ 之间,平均为 -10.48‰ 。与碳酸盐岩比较,稍稍偏低。现代鸡蛋壳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均为 -1.36‰ ,与恐龙蛋壳比较,明显富集 ^{13}C 。

碳同位素组成是判别沉积环境的重要标志之一。据统计,白垩纪海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 $0.50-1.20\text{‰}$ 之间^[1]。另据报道,淡水体系碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低 ($-0.6-15.2\text{‰}$),并被认为主要是由于生物碳($\delta^{13}\text{C} = -23-25\text{‰}$)的影响^[2]。从所研究的沉积碳酸盐岩的碳同位素组成来看,显然说明它们形成于淡水环境。考虑到当时的地质背景,我们认为碳酸盐岩中的碳同位素组成除受地表碳的影响外,还可能受到深源碳的影响。从全球来看,白垩纪时发生了强烈的地幔去气作用^[3];就当地来讲,南雄盆地位于我国东南中新代火山活动带上,且在研究样品的下伏层位就有喷发玄武岩^[4],说明该盆地有与深部物质贯通的通道、有深部物质外泄的历史。此外,更重要的是,本区同沉积微晶灰岩和准同生钙质结核的碳同位素组成与深源碳($\delta^{13}\text{C} \approx -3-9\text{‰}$ ^[5])十分接近。恐龙蛋壳中碳同位素组成基本上继承了环境中的碳同位素组成。稍微偏低的原因可能是微量有机碳的影响。恐龙蛋壳与现代鸡蛋壳碳同位素组成的明显差异,说明二者食物类型和生存环境的不同。碳酸盐岩样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于 19.58‰ 至 23.27‰ (SMOW 标准,下同)之间,平均为 21.67‰ ;恐龙蛋壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 值介于 25.71‰ 至 32.05‰ 之间,平均为 30.08‰ 。两者之间的明显差异,既说明形成的介质条件不同,也说明后期的变化很小(两者经历了相同的地质历史,若后期改造强烈,氧同位素组成应当趋于一致)。所研究的微晶灰岩和钙质结核分别形成于沉积期和准同生期,它们的氧同位素组成取决于环境温度和沉积介质(湖水)的氧同位素组成。

已知大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 在赤道附近接近于零, 往高纬度方向逐渐降低, 这即所谓的“纬度效应”。据报道, 北美地区的纬度效应为 -0.5‰ ^[6] (即每增加一个纬度, $\delta^{18}\text{O}$ 减少 0.5‰); 而我国东部地区的纬度效应约为 -0.21‰ ^[7]。目前处于北纬 23 度附近的广州, 实测大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的年平均值为 -4.9‰ ^[7], 与计算值 ($-0.21 \times 23 = -4.83\text{‰}$) 非常接近。红层的古地磁研究表明, 晚白垩纪南雄盆地的古纬度为北纬 16 度左右^[4], 由此计算出当时南雄盆地大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -3.36‰ 。这个估计值也许偏高, 但从将今论古的角度分析, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值无论如何不应低于 -5.0‰ 。我们以沉积介质(湖水)的 $\delta^{18}\text{O} = -5.0\text{‰}$ (SMOW) 为基准, 分别采用以下两个经验公式对古环境温度进行了计算。

$$\text{公式 I: } t(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2(\delta'_{\text{C}} - \delta'_{\text{W}}) + 0.13(\delta'_{\text{C}} - \delta'_{\text{W}})^{2[2]};$$

$$\text{公式 II: } t(^{\circ}\text{C}) = 19.0 - 3.52(\delta'_{\text{C}} - \delta'_{\text{W}}) + 0.03(\delta'_{\text{C}} - \delta'_{\text{W}})^{2[2]}.$$

公式中, δ'_{C} 是 25°C 时碳酸钙与 100% 磷酸反应所释放出的 CO_2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 值 ($\alpha_{\text{CO}_2-\text{方解石}} = 1.01025$); δ'_{W} 是 25°C 时与水处于同位素平衡的 CO_2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 值 ($\alpha_{\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}} = 1.0412$)。两者都相对于 PDB 标准。

表 2 南雄盆地晚白垩纪沉积环境古温度计算结果表

样品编号	样品名称	$\delta^{18}\text{O}(\text{PDB})^{\text{a)}$	计算温度($^{\circ}\text{C}$)		平均温度($^{\circ}\text{C}$)
			公式 I	公式 II	
N92-04	微晶泥灰岩	-7.36	26.59	26.75	26.66
N92-07	微晶灰岩	-9.02	34.94	32.96	33.95
N92-08	微晶灰岩	-8.97	34.68	32.77	33.73
N92-10	钙质结核	-8.43	31.89	30.73	31.31
N92-11	钙质结核	-8.76	33.59	31.97	32.78

a) 氧同位素 SMOW 标准与 PDB 标准的换算关系为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = 0.970\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} - 29.94$ 。

表 2 是计算结果, 这是关于中国红层古环境温度的首批定量数据。微晶灰岩形成于滨浅湖环境, 计算数据反映了浅层或表层湖水的温度; 钙质结核形成于湖底沉积物表层或近表层, 计算结果代表了底层湖水或孔隙水的温度。由于浅层湖水直接受大气温度的影响, 因此其温度基本上代表了当地的平均气温。

已知现代地表的平均温度为 14°C ; 湖南省的年平均气温为 17.5°C ; 广东省为 19°C ; 靠近北纬 16 度的海南岛, 年平均气温 23°C 左右。从表 2 中的计算结果来看, 显然当时的古温度比现在要高。估计在相同纬度下, 比现在高 3 至 9°C 左右。这就进一步证实了“白垩纪比现在更温暖”的科学论断^[3]。恐龙蛋壳相对富集 ^{18}O , 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值与海相碳酸盐岩不相上下, 这说明恐龙体液较之外界湖水盐度较高。

参 考 文 献

- [1] Veizer, J. et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1980, 44:579.
- [2] 魏菊英等, 同位素地球化学, 地质出版社, 北京, 1991, 145.
- [3] Berner, R. A. et al., *Amer. Journ. Sci.*, 1991, 291: 339.
- [4] 赵资奎等, 古脊椎动物学报, 1991, 29: 1—20.
- [5] Taylor, B. E., *Reviews in Mineralogy*, 1986, 16: 185.
- [6] Yurtsever, Y. et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1975, 39:428.
- [7] 郑淑蕙等, 稳定同位素地球化学分析, 北京大学出版社, 1986, 12—106.