Vol.36 No. 6 Dec.2018

文章编号:1000-0550(2018)06-1169-08

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2018.107

## 湖南茶陵盆地晚白垩世古降水氧同位素

刘芮岑,李祥辉,胡修棉南京大学地球科学与工程学院,南京 210023

摘 要 在岩相、阴极发光分析基础上,对湖南茶陵盆地戴家坪组成壤钙质结核进行了碳、氧同位素测试,重建了该区晚白垩世古降水的氧同位素。分析结果显示,戴家坪组发育钙质古土壤,背景岩性以洪积扇环境下形成的副砾岩为特征;钙质结核主要由棕红色微晶方解石基质和浅红色方解石脉构成,前者的阴极发光呈微弱橘红色或不发光,后者发光呈明亮橘黄色;钙质结核的 $\delta^{18}$ O值(VPDB)介于-7.96‰~-11.35‰之间, $\delta^{13}$ C值(VPDB)为-7.30‰~-8.24‰。综合方解石构成、阴极发光和氧同位素表明,钙质结核存在两期方解石沉淀作用。依据氧同位素分布特征,在样品 CL-11C4的  $\delta^{18}$ O值(VPDB)中识别出 2条大气方解石线(MCLs),分别为(-9.04±0.18)‰和(-8.03±0.11)‰。进一步根据古纬度和地表温度,估算出茶陵地区晚白垩世晚期的大气降水 $\delta^{18}$ O。值(VSMOW)为-5.76‰~-6.80‰,与北美近似纬度地区同期的降水一致,为白垩纪水文循环模型及古大气环流模拟提供了基础参考数据。

关键词 氧同位素;大气降水;成壤钙质结核;晚白垩世;茶陵盆地

第一作者简介 刘芮岑,男,1993年出生,硕士,沉积学,E-mail: leunju@ 126.com

通信作者 李祥辉,男,教授,E-mail: leeschhui@126.com

中图分类号 P532 文献标志码 A

### 0 引言

近几十年来氧同位素温度指针对古气候的定量研究起到了关键作用。然而,利用该指针对水文循环及其与气候系统相互作用的研究甚少[1]。近期对成壤碳酸盐、成壤菱铁矿、化石牙齿磷酸盐等氧同位素研究已有了古水文方面的典型研究实例[2-8],而通过成壤碳酸盐 $\delta^{18}$ O数据来探讨北美白垩纪阿普第期—阿尔布期的水文循环,推算大气水 $\delta^{18}$ O<sub>w</sub>组成[5-9],则是新近古水文与古气候相结合的代表性成果,为古降水的氧同位素研究提供了先例,也为进行古水文研究开启了新的视野。

华南晚中生代广泛发育陆相沉积盆地,记录有大量的古土壤,其中,东南地区主要为钙质古土壤<sup>[10]</sup>。湖南茶陵盆地是白垩纪华南地区代表性陆相盆地之一,本次工作在其上白垩统发现了较为丰富的钙质古土壤。本文在进行钙质古土壤岩相和成壤钙质结核的阴极发光分析基础上,对钙质结核进行了碳氧同位素测试和大气方解石线(MCLs)甄别,以重建晚白垩世晚期低纬度的大气水氧同位素组成,为约束矫正同期全球水文循环模型提供重要基础数据。

## 1 地质背景

中国东南地区中生代陆相沉积盆地经历了三个演化阶段:晚三叠世一早侏罗世类前陆盆地、中侏罗世裂谷盆地和晚侏罗世—白垩纪(可延伸到古近纪)断陷盆地<sup>[11-12]</sup>。其中,白垩纪时期的沉积盆地规模较小,多为数百平方千米,以裂谷盆地和/或断陷盆地为主<sup>[13]</sup>。

茶陵盆地位于湖南东南地区,是燕山期形成的北北东向长条形断陷山间盆地。盆地中主要发育上白垩统戴家坪组和古新统枣市组(图1),其间呈假整合接触<sup>[14-15]</sup>。盆地东翼岩层厚度比西翼大,但西翼地层较东翼出露较完整、连续(图1)。总体而言,戴家坪组以山麓洪积相与河流相为主,枣市组以湖相沉积为主<sup>[16]</sup>。

本次工作的对象为戴家坪组( $K_2d$ ),因产恐龙蛋化石 O"olithes sp. ①,故被认为属于晚白垩世晚期地层;它以副砾岩—粉砂质泥岩构成的旋回为特征。

## 2 材料和方法

观测剖面位于茶陵县西南方向约 10 km 处的新田村附近(图 1),起始点 GPS 坐标为 26°43′43″N,113°31′48″E,发育古土壤段的地层厚约 118 m。本次

工作对该套地层进行了野外详细地层和岩相观察描述,在两套典型古土壤层中采集了大型成壤钙质结核2件样品(CL11-C2、CL-11C4),用于碳氧同位素测试分析。室内将样品清洗烘干后切割成相邻贴合的0.5 mm 厚薄片和2~3 mm 厚切片(图2)以备阴极发光照射和碳氧同位素粉末取样之需。

薄片阴极发光测试在美国堪萨斯地质调查中心阴极发光实验室完成,测试仪器为 Reliotron Ⅲ冷阴极发光仪,样品为不大于 10 cm×10 cm 的标准阴极发光薄片,束电压为 10 kV,束电流为 0.5 mA,样品仓内保护气为氦气,气压为 50 μmHg。

切片磨平用于粉末取样。在微钻取样时,单个点

取样直径限制在 1~1.5 mm 范围内,样品重一般 0.5 ~1.0 mg。切面观察显示,钙质结核主要由两部分组成:浅红色和棕红色方解石。本次工作对 2 件钙质结核共取 33 个点粉末样品,即在 CL11-C4 和 CL-11C2 样品中各取 15 和 18 点粉末样品。其中,CL11-C4 样品在浅灰色和棕红色(图片上分别显示浅灰和深灰)区域各采集了 9 个点,CL-11C2 样品分别采集了 5 和 10 个点(图 2)。

碳酸盐粉末样品的碳氧同位素分析在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成。实验仪器为 Finnigan 公司的 Delta Plus XP 连续流质谱仪。碳氧同位素的结果以δ<sup>13</sup> C和δ<sup>18</sup> O同位素比

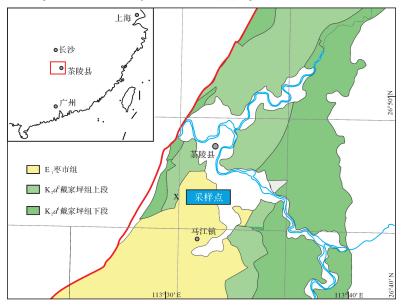


图 1 茶陵盆地地质略图及采样位置(地质底图据湖南省地质局区测队,1966<sup>①</sup>简化)

Fig.1 Geological sketch of Chaling Basin and observed section location (geological map simplified from Hunan Geological Survey, 1966<sup>©</sup>)

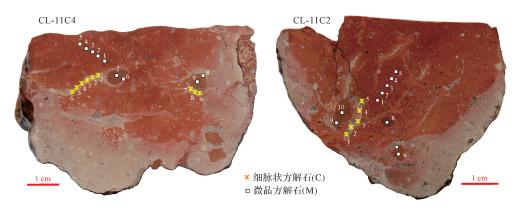


图 2 大型成壤钙质结核切片及微钻粉末取样点位置图

Fig. 2 Section images of large pedogenic calcrete samples and microdrilling locations

①湖南省地质局区测队.中华人民共和国区域地质调查报告报告,1:20 万茶陵幅,1966.

值 VPDB 标准化表示,精度高于 0.2‰;计算出的大气水 δ<sup>18</sup>O 以维也纳海水(VSMOW)标准化表示。

### 3 结果

#### 3.1 岩相与阴极发光

发育钙质古土壤层的背景岩石主要为杂基含量较高的副砾岩,其杂基含量一般可达 20%~30%,表明其形成于重力流条件,沉积于山麓洪积扇。在此岩相基础上的成壤作用形成了多套古土壤层,并以钙质古土壤为主,呈紫红色、紫灰色;钙质结核含量高,大多超过 20%,甚至达 50%以上;单个结核大,直径平

均 5~10 cm,少数可达 20 cm;形状多呈姜状(图 3a); 部分层位土壤层中淋滤构造发育,具白色碳酸钙斑点 和条带(图 3b)。大多钙质结核由棕红色微晶方解石 基质和浅红色方解石细脉(图 2)两部分构成。

阴极发光结果显示:构成钙质结核主体的棕红色微晶方解石微弱发光呈橘红色,泥质含量较高者一般不发光;而裂隙中充填的浅红色细脉状方解石发光呈亮橘黄色(图 4)。两种不同阴极发光可能指示方解石的沉淀时间差异,即存在先后顺序。这一特征在两件样品 CL-11C4 和 CL-11C2 中表现均极其相似。





图 3 茶陵盆地新田村剖面戴家坪组钙质古土壤野外照片

a.背景为副砾岩中发育的紫红色古土壤及钙质结核;b.古土壤层中的淋滤构造。注:淋滤层中见丰富的钙质结核;地质锤长 29 cm

Fig.3 Field photographs showing calcisols of the Daijiaping Formation in the Xintian Section, Chaling Basin a. reddish-purple paleosol and pedogenic calcretes within the paraconglomerate host; b. leaching structure within paleosol layer. Note: abundant calcretes found in leaching layer; hammer 29 cm in length

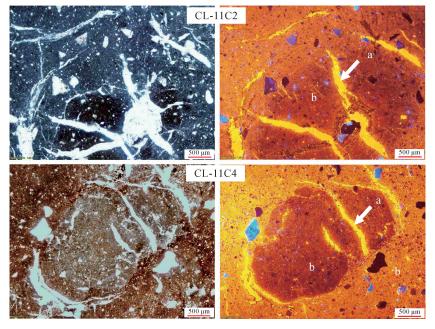


图 4 茶陵新田村剖面大型钙质结核 CL-11C2 和 CL-11C4 透射光(左)和阴极发光(右)图像 a.发光明亮橙黄色的细脉状方解石;b.发光微弱橘红色或不发光的基质

Fig.4 Matching transmitted light images (left) and cathodoluminescence (CL) images (right) from large calcrete samples CL-11C2 and CL-11C4 at Xintian Section, Chaling Basin

a. CL bright orange vein calcite; b. CL dully or non-luminescence matrix

#### 3.2 碳、氧同位素

33 个样品点测试结果显示, $\delta^{18}$ O(VPDB)最大值为-7.96‰,最小值为-11.35‰; $\delta^{13}$ C(VPDB)最大值为-7.30‰,最小值为-8.24‰。

样品 CL-11C4 的棕红色(图 2 中深灰色)基质区域以较稳定的  $\delta^{18}$  O 值和  $\delta^{13}$  C 值为特征。其中,点 M1~M5 和 M6~M9 的  $\delta^{18}$  O 值可识别出 2 条"大气方解石线" (meteoric calcite lines-MCLs)  $^{[5,17-18]}$ ,分别为 (-9.04±0.18)‰, VPDB 和(8.03±0.11)‰, VPDB(图 5、表 1)。浅红色(图 2 中浅灰色)方解石脉区域的碳氧同位素结果相对复杂,  $\delta^{18}$  O (VPDB) 偏轻,介于 -9.16‰至-11.16‰。这种同位素分布趋势同样会出现在现代土壤的成壤方解石中 $^{[19]}$ 。

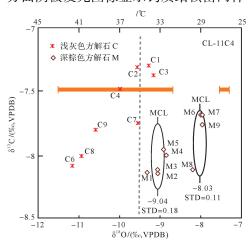
样品 CL-11C2 的稳定同位素分布模式存在类似特征:棕红色基质区域  $\delta^{18}$  0 值 (VPDB) - 9.21‰ ~ -8.03‰,较浅红色区域重,且较样品 CL-11C4 相对分散。其中,点 M1~M10 方差较大,为 0.84,高于识别 MCLs 的最小标准差 0.58 要求 (表 1),因此 CL-11C2 样品中难以辨识出 MCLs;浅红色区域方解石  $\delta^{18}$  0 值 (VPDB) 为 - 9.2‰ ~ -11.35‰,而点 C3~C5 的  $\delta^{18}$  0 与棕红色区域接近。

总体来看,两件样品棕红色与浅红色区域的  $\delta^{13}$ C 值未显示明显差异(图 5)。

## 4 讨论与结论

#### 4.1 钙质结核的两期方解石沉淀

如前,一方面阴极发光图像显示钙质结核由两种



发光特性的组份组成,即发光呈微弱橘红色的微晶方解石基质和亮橘黄色方解石脉(图 4);另一方面虽然碳同位素结果指示钙质结核这两个部分没有明显不同(图 5),均属成壤成因范围<sup>[20-22]</sup>,但是氧同位素有一定的差别,这表明钙质结核存在先后两期的方解石结晶沉淀。

形成钙质结核的内因是在成壤条件下富集的 CaCO<sub>3</sub>和古土壤 BK 层本身多孔性、易渗透性的特性, 外因则是大气水淋滤作用。因此其形成机理可能是 古土壤在富含 CO<sub>2</sub>的地表径流和地下水的作用下, CaCO<sub>3</sub>被淋滤溶解,沿着古土壤疏松的结构下渗,并 在垂向层面中留下痕迹(图 3b);当气候干旱蒸发作用强时会促使富 CaCO<sub>3</sub>的孔隙水在渗流带产生沉淀。

钙质结核通常分布在沉积界面以下几米至几百米深<sup>[23-25]</sup>。戴家坪组成壤钙质结核的棕红色基质微弱发光呈橘红色甚至基本不发光,说明其时孔隙水中富游离氧,流体中 Mn<sup>2+</sup>浓度较低。因此,我们认为这一期的方解石沉淀发生在离地表很近的古土壤层中,这个深度(古土壤 BK 层)可能是离地面不到 10 m的渗流带上部到顶部的位置。

而结核裂缝中充填的方解石脉形成时间稍晚<sup>[9,26]</sup>,可能为构造沉降作用所致,并受到新的沉积物充填、气候变化的影响。无论成因如何,原先位处渗流带顶部的古土壤层埋藏深度发生了变化,且其深度可能较深或许可到达潜水面致使游离氧缺失、Mn<sup>2+</sup>进入方解石晶格进而沉淀,使得方解石呈亮橘黄色发光特征<sup>[9,27]</sup>。虽然脉体组分8<sup>18</sup>0更贫化的趋势对应

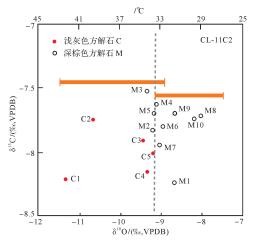


图 5 茶陵盆地戴家坪组成壤钙质结核方解石碳氧同位素相关图

取样点见图 2。图中灰色纵向虚线大致分隔了图 2 中棕红色和浅红色区域样品的同位素分布;横向粗实线段代表两种成分推算出的温度分布范围;STD 为标准差

Fig.5 C-O isotope crossplots of calcites of pedogenic calcretes of the Daijiaping Formation in the Chaling Basin Microdrilling numbers refer to Fig.2. Gray short lines roughly separate isotope ranges of reddish-brown and light red spaces in Fig.2. Coarse orange solid lines represent temperature ranges of two components; STD means standard deviations

准同生期埋藏作用,而 2 件样品 δ<sup>13</sup>C 值(VPDB)分别 为(-7.86±0.22)‰和(-7.82±0.24)‰,仍然属于古土壤范畴<sup>[20-22]</sup>。因此,我们认为第二期方解石沉淀仍然与大气、生物呼吸和地表径流有联系,即与成壤作用有较大关系,其沉淀深度可能在渗流带内,或许仍然在渗流带的中上部。

#### 4.2 古降水氧同位素

古气候重建中往往涉及气候与水文交互过程,其重要内容是查明关键带(Critical zone)的"大气水—古土壤"水—岩系统,目标之—是重建参与水—岩体系交互反应的成岩流体和大气降雨的 $\delta^{18}O_w$ 组成。但是,传统的氧同位素温度计方法需要矿物生长温度和氧同位素  $\delta^{18}O^{[28]}$ 则较难实现这一目标,新的方法则可根据矿物的氧同位素  $\delta^{18}O$  值通过古纬度和方解石中 MCLs 值来求取并予以表征。Suarez et al. [5] 首先尝试通过古纬度重建了北美白垩纪时期的古温度,进而推算了当时古降雨的 $\delta^{18}O_w$ 值。这为我们进一步实施华南近于同期的古降水 $\delta^{18}O_w$ 值。这为我们进一步实

通常,古土壤在接受淋滤过程中大气水的  $\delta^{18}$  O<sub>w</sub>信息会以 MCLs 的形式记录下来<sup>[7,17]</sup>。研究区戴家坪组上部钙质结核内部两种不同碳酸盐组分形成于两个阶段,其中第一阶段棕红色的基质部分可能真正记录了大气水的氧同位素信息<sup>[9]</sup>。如前述结果,钙质结核样品 CL-11C4 基质部分识别出 2 条的 MCLs,分别为( $-9.04\pm0.18$ )‰,VPDB 和( $-8.03\pm0.11$ )‰,VPDB(图 5),与 Suarez et al. <sup>[5]</sup> 北美近似纬度 18~19°N的 MCLs 值近似(表 1),表明该样品基质部分的 $\delta^{18}$  O值符合进行推算古降水氧同位素的条件<sup>[17]</sup>,而CL-11C2 的基质部分碳氧同位素分布较为分散,不能识别出 MCLs(图 5)(表 1 中以删除线表示)。

表 1 "大气方解石线"(MCLs)值比较
Table 1 Comparison of the Cretaceous mteoric
calcite lines values

	δ18 Ο 平均值/‰	标准差/‰
CL-11C4	-9.04	0.18
CL-11C4	-8.03	0.11
CL-11C2	-9 <del>.23</del>	0.84
$12a(Suarez\ et\ al.\ ,\ 2009)$	-7.66	0.08
27(Suarez et al., 2009)	-8.71	0.17
WN. 1.5 ( Ross et al., 2017)	-8.39	0.58
PRC-23 (Ludvigson et al., 2010)	-8.1	0.16

要获取古降水的氧同位素,首先要获取低温矿物

方解石形成时的地表古温度。该温度一般利用 Spicer *et al.*<sup>[29]</sup>基于叶片化石地貌学数据<sup>[30]</sup>建立的温度 纬度梯度经验公式<sup>[3]</sup>来获得。

$$t=30.25-0.202\ 5l-0.000\ 6l^2$$
 (1)  
其中, $t$  代表温度( $^{\circ}$ C), $l$  代表古纬度。此公式选择运用陆相叶片化石建立的温度梯度,一方面是考虑植物是直接与大气环境相接触的自然指标,所处环境与古土壤是一致的;另一方面,此公式是摒弃模型的纯经验公式[ $^{51}$ ]。

虽然湖南茶陵盆地目前没有古纬度数据,但是因茶陵盆地与南雄盆地的距离和相对位置在晚白垩世时和现在基本没有变化(两地现今纬度差约  $1.4^{\circ}$ )。所以,借助广东南雄盆地晚白垩世的古纬度  $16^{\circ}$ N<sup>[31]</sup>推测茶陵盆地的古纬度大致为  $17.4^{\circ}$ N。基于叶片化石地貌学经验公式(1),求得茶陵盆地的年平均气温(MAT)为  $26.4^{\circ}$ C。

由此,可基于氧同位素分馏方程和"方解石—水"分馏系数  $\alpha^{[32]}$ 来估算获取大气水同位素组成:

1 000 
$$\ln\alpha = 2.78 \left( \frac{10^6}{T^2} \right) - 3.40$$
 (2)

$$\delta_{\rm B} = \delta_{\rm A} - 1 \ 000 \ \ln\alpha \tag{3}$$

公式(2)中T为开尔文温度(T+273)。公式(3) 反映了氧同位素分馏与结晶矿物和大气降水的氧同位素关系,亦即由于 MCLs 值反映的是大气水结晶分馏产生的方解石  $\delta^{18}$  O<sup>[17]</sup>(即  $\delta_A$ ),故在求得古 MAT的前提下可通过 MCLs 的值  $\delta_A$  反推大气水同位素组成  $\delta^{18}$  O<sub>w</sub>(即  $\delta_B$ )。

由于样品 CL-11C4 存在 2 条 MCLs,其  $\delta_{\Lambda}$ ( $\delta^{18}$ O) (VPDB)分别为-7.30‰和-8.24‰,代入公式(3),从而估算出茶陵盆地晚白垩世晚期的大气降雨的  $\delta^{18}$ O<sub>w</sub>(VSMOW)组成分别为-5.76‰和-6.80‰。该结果与北美近似古纬度位置( $18^{\circ} \sim 19^{\circ}$ N)获得的大气降雨  $\delta^{18}$ O<sub>w</sub>(VSMOW)结果-5.09‰ ~ -6.40‰[5]近于一致(图 6),与 Poulsen et al. [33]提出的模型中模拟的大气水  $\delta^{18}$ O<sub>w</sub>( $-4.0‰ \sim -7.0‰$ , VSMOW)也较匹配,但与 Ufnar et al. [3]最初拟合的北美地区中纬度—中高纬度的大气水—纬度的曲线(图 6)趋势相比,本文样品的  $\delta^{18}$ O<sub>w</sub>贫化了~4.0‰(图 6),原因可能是研究区当时存在更强的降雨效应(rainout effect)或者蒸发作用 [5],使得大气水表现为轻的氧同位素更为集中。

基于上述估算的  $\delta^{18}$  O<sub>w</sub> 大气水组成,可以反过来 验证钙质结核脉体方解石组分的准同生期埋藏作用。 由于两期方解石形成深度差距不大,假定准同生成岩 过程中孔隙水有着类似的  $\delta^{18}$  O 组成,根据氧同位素 温度计公式(2)和(3)可以演算反推,浅红色方解石脉体分馏时的古温度范围大致为  $32 \, \mathbb{C} \sim 43 \, \mathbb{C}$ 。可见在埋深水文条件改变后,潜水面附近地层可能埋藏温度比地表高  $6 \, \mathbb{C} \sim 17 \, \mathbb{C}^{[7,9]}$ (图 5),但不排除孔隙水也可能有少量其他较轻来源的流体混入。

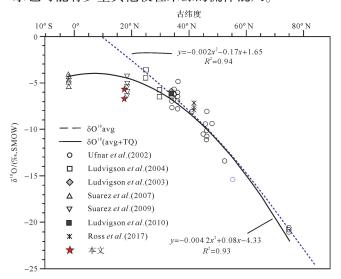


图 6 白垩纪中—晚期大气降水 δ<sup>18</sup>O<sub>w</sub>纬度梯度曲线 (据 Suarez *et al.*<sup>[5]</sup>和 Ludvigson *et al.*<sup>[8]</sup>综合)

虚线及公式为 Ufnar et al. [3] 基于大气菱铁矿线 MSL 值拟合出的二次曲线;实线及公式则是前人所有数据加上本文成壤或早期成岩方解石 MCL 值拟合的二次曲线[3,5,7,9,34-36]

Fig. 6 Latitudinal gradient curves of meteoric water  $\delta^{18}O_w$  during the mid-late Cretaceous (composed from Suarez et al. [5] and Ludvigson et al. [8])

the orange dashed curve and equation fit to the MSL (meteoric sphaerosiderite line) by Ufnar *et al.*<sup>[3]</sup>; the black curve and equation fit to the MCLs of pedogenic or early diagenetic calcite by the published data plus this work

由上估算过程及讨论我们认为,湖南茶陵盆地上白垩统上部戴家坪组中钙质结核不仅记录了古土壤的成壤信息,反映了生物作用(植物呼吸)、古大气、降雨、地表径流的综合效应,而且稳定氧同位素指针也揭示了其时北半球低纬度(~17.4°N)的古降水氧同位素值及其分馏信息,可为白垩纪中低纬度水文循环模型及古大气环流模拟提供数据参考,也可进一步约束前人的经验模型。

致谢 张朝凯博士、王旌羽参加了野外工作,相 关实验得到了南京大学内生金属矿产成矿机制国家 重点实验室的沈海燕老师和美国堪萨斯大学的 ROSS 博士帮助和支持,在此一并表示感谢!

#### 参考文献(References)

- Chahine M T. The hydrological cycle and its influence on climate
   Nature, 1992, 359(6394): 373-380.
- [2] Barrick R E, Fischer A G, Showers W J. Oxygen isotopes from turtle bone: applications for terrestrial paleoclimates? [J]. PALAIOS, 1999, 14(2): 186-191.
- [3] Ufnar D F, González L A, Ludvigson G A, et al. The mid-Cretaceous water bearer; isotope mass balance quantification of the Albian hydrologic cycle [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2002, 188(1/2); 51-71.
- [4] Ufnar D F, González L A, Ludvigson G A, et al. Evidence for increased latent heat transport during the Cretaceous (Albian) green-house warming [J]. Geology, 2004, 32(12); 1049-1052.
- [5] Suarez M B, González L A, Ludvigson G A, et al. Isotopic composition of low-latitude paleoprecipitation during the Early Cretaceous [J]. Geological Society of America Bulletin, 2009, 121(11/12): 1584-1595.
- [6] Suarez M B, González L A, Ludvigson G A. Estimating the oxygen isotopic composition of equatorial precipitation during the mid-cretaceous[J]. Journal of Sedimentary Research, 2010, 80(5): 480-491.
- [7] Ludvigson G A, Joeckel R M, González L A, et al. Correlation of Aptian-Albian carbon isotope excursions in continental strata of the cretaceous Foreland Basin, eastern Utah, U.S.A. [J]. Journal of Sedimentary Research, 2010, 80(11/12): 955-974.
- [8] Ludvigson G A, Lez L A G, Fowle D A, et al. Paleoclimatic applications and modern process studies of pedogenic siderite 2013 [J].
  New Frontiers in Paleopedology and Terrestrial Paleoclimatology.
  SEPM Special Publication, 2013, 104: 79-87.
- [9] Ross J B, Ludvigson G A, Möller A, et al. Stable isotope paleohydrology and chemostratigraphy of the Albian Wayan Formation from the wedge-top depozone, North American Western Interior Basin[J]. Science China Earth Sciences, 2017, 60(1): 44-57.
- [10] 李祥辉, 陈斯盾, 曹珂, 等. 浙闽地区白垩纪中期古土壤类型与古气候[J]. 地学前缘, 2009, 16(5); 63-70. [Li Xianghui, Chen Sidun, Cao Ke, et al. Paleosols of the mid-Cretaceous: a report from Zhejiang and Fujian, SE China[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(5); 63-70.]
- [11] Shu L S, Faure M, Wang B, et al. Late Palaeozoic-Early Mesozoic geological features of South China: response to the Indosinian collision events in Southeast Asia [J]. Comptes Rendus Geoscience, 2008, 340(2/3): 151-165.
- [12] Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Southeast China Block; new insights from basin analysis [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(3): 376-391.
- [13] Chen Q M, Dickinson W R. Contrasting nature of petroliferous Mesozoic-Cenozoic basins in eastern and western China[J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(3): 263-275.
- [14] 高红湘. 湖南茶陵盆地"红层"的划分[J]. 古脊椎动物与古人类,1975,13(2): 89-95. [Gao Hongxiang. Paleocene mammal-

- bearing beds of Chaling Basin, Hunan[J]. Vertebtrata Palasiatica, 1975, 13(2); 89-95.]
- [15] 储澄. 湖南攸县、茶陵一带红色岩系[J]. 地层学杂志,1978,2 (2):146-151. [Chu Cheng. Red beds of the Youxian-Chaling area in Hunan Province[J]. Acta Stratigraphica Sinica, 1978, 2(2): 146-151.]
- [16] 段嘉瑞,彭恩生,魏州龄. 湖南茶永盆地白垩—第三系红层岩相研究[J]. 大地构造与成矿学,1978,2(2):13-41. [Duan Jiarui, Peng Ensheng, Wei Zhouling. Study on the Cretaceous to Paleogene red beds facies in Cha Yong basin, Hunan[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1978, 2(2):13-41.]
- [17] Lohmann K C. Geochemical patterns of meteoric diagenetic systems and their application to studies of paleokarst [M]. New York: Springer, 1988: 58-80.
- [18] Choquette P, James N. Limestones-the burial diagenetic environment[J]. Diagenesis: Geoscience Canada, Reprint Series, 1990, 4: 75-111.
- [19] Mintz J S, Driese S G, Breecker D O, et al. Influence of changing hydrology on pedogenic calcite precipitation in Vertisols, Dance Bayou, Brazoria County, Texas, U.S.A.; implications for estimating paleoatmospheric pCO<sub>2</sub>[J]. Journal of Sedimentary Research, 2011, 81(6); 394-400.
- [20] Cerling T E, Quade J. Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates [M]. Washington D.C.: American Geophysical Union, 1993: 217-231.
- [21] Alonso-Zarza A M. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record[J]. Earth-Science Reviews, 2003, 60(3/4): 261-298.
- [22] Li X H, Xu W L, Liu W H, et al. Climatic and environmental indications of carbon and oxygen isotopes from the Lower Cretaceous calcrete and lacustrine carbonates in Southeast and Northwest China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2013, 385: 171-189.
- [23] Dix G R, Mullins H T, Mozley P S, et al. Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions: an overview-discussion and reply[J]. Journal of Sedimentary Research, 1993, 63 (5): 1007-1008.
- [24] 庞谦,李凌,胡广,等. 川北地区下寒武统筇竹寺组钙质结核特征及成因机制[J]. 沉积学报,2017,35(4):681-690. [Pang Qian, Li Ling, Hu Guang, et al. Characteristics and genetic mechanism of calcareous concretions in the early Cambrian Qiongzhusi formation of northern Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(4):681-690.]
- [25] Bojanowski M J, Barczuk A, Wetzel A. Deep burial alteration of early-diagenetic carbonate concretions formed in Palaeozoic deep marine greywackes and mudstones (Bardo Unit, Sudetes

- Mountains, Poland) [J]. Sedimentology, 2014, 61(5): 1211-1239.
- [26] Raiswell R. The growth of Cambrian and Liassic concretions [J]. Sedimentology, 1971, 17(3/4): 147-171.
- [27] Boggs S, Jr, Krinsley D. Application of cathodoluminescence imaging to the study of sedimentary rocks[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006; 165.
- [28] Urey H C. The thermodynamic properties of isotopic substances
  [J]. Journal of the Chemical Society (Resumed), 1947; 562-581.
- [29] Spicer R A, Corfield R M. A review of terrestrial and marine climates in the Cretaceous with implications for modelling the 'Greenhouse Earth' [J]. Geological Magazine, 1992, 129(2): 169-180.
- [30] Wolfe J A, Upchurch G R Jr. North American nonmarine climates and vegetation during the Late Cretaceous [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1987, 61: 33-77.
- [31] 杨卫东,陈南生,倪师军,等. 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[J]. 科学通报,1993,38(23): 2161-2163. [Yang Weidong, Chen Nansheng, Ni Shijun, et al. Carbon and oxygen isotopic compositions of the carbonate rocks and the dinosaur eggshells in the cretaceous red beds and their implication for paleoenvironment[J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38 (23): 1985-1989.]
- [32] Friedman I, O'Neil J R. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest[M]. Washington D.C.; US Government Printing Office, 1977; 12.
- [33] Poulsen C J, Pollard D, White T S. General circulation model simulation of the  $\delta^{18}$ O content of continental precipitation in the middle Cretaceous: a model-proxy comparison[J]. Geology, 2007, 35 (3): 199-202.
- [34] Suarez M, González L A, Ludvigson G A, et al. Pedogenic sphaerosiderites from the Caballos Formation (Aptian-Albian) of Colombia: a stable isotope proxy for Cretaceous paleoequatorial precipitation [C]//Joint South-Central and North-Central Sections, both conducting their 41st annual meeting. Lawrence, Kansas: Geological Society of America, 2007: 75.
- [35] Ludvigson G A, Ufnar D F, González L A, et al. Terrestrial paleoclimatology of the Mid-Cretaceous greenhouse: I. cross-calibration of pedogenic siderite & calcite δ<sup>18</sup> O proxies at the Hadley cell boundary[C]//2004 Denver annual meeting. Denver, Colorado: Geological Society of America, 2004: 305.
- [36] Ludvigson G A, Gonzalez L A, Ufnar D F. The enigma of polar warmth in greenhouse worlds: insights from the Mid-Cretaceous terrestrial paleoclimatology of North America [C]//North-Central Section-37th annual meeting. Kansas City, Missouri: Geological Society of America, 2003; 52.

# Late Cretaceous Oxygen Isotope of Paleoprecipitation in Chaling Basin, Hunan Province

LIU RuiCen, LI XiangHui, HU XiuMian

School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China

Abstract: Based on the analyses of lithofacies and cathodo luminescence (CL) images, we measured the carbon and oxygen isotopic ratios of pedogenic calcretes from the Late Cretaceous Daijiaping Formationin Chaling Basin, Hunan province and estimated the paleoprecipitation-oxygen isotopes. Results show that the Daijiaping Formation is characterized by calcisols with in paraconglomerates, which were deposited in an alluvial fan environment along the mountain foot. Calcretes mainly consist of a reddish-brown calcite matrix and light-red calcite vein, corresponding to dull reddish-orange CL or non-luminescence and bright orange CL, respectively.  $\delta^{18}$  O values range from -7.96%, VPDB to -11.35%, VPDB, and  $\delta^{13}$ C values from -7.30%, VPDB to -8.24%, VPDB. The integration of calcite composition, CL, and oxygen isotopes indicates two stages of calcite precipitation have ever been experienced by the calcretes. From the oxygen isotope data, two meteoric calcite lines (MCLs) of  $\delta^{18}$ O values are recognized as  $(-9.04\pm0.18)\%$ , VPDB and  $(-8.0\pm0.11)\%$ , VPDB from the sample CL-11C4. Subsequently, the  $\delta^{18}$ O<sub>w</sub> values of the Late Cretaceous paleoprecipitation are estimated from -5.76%, VSMOW to -6.80%, VSMOW at low paleolatitude ( $\sim 17.4$ °N) for the Chaling Basin, consistent with those from the similar latitude in North America and providing basic reference data for the Cretaceous greenhouse hydrologic cycle model and paleoatmospheric circulation simulation.

Key words: oxygen isotope; paleoprecipitation; pedogenic calcrete; Late Cretaceous; Chaling Basin

## 第一届"青年沉积学家论坛"会议简讯

为了探讨沉积学科学前沿,凝练重大科学问题,加强学科交叉融合,提供青年人才交流的平台,促进青年人才快速成长,加速沉积学科学共同体的建设,由沉积学/沉积地质学专业委员会和16个国家重点实验室(含试点国家实验室)共同主办、生物地质与环境地质国家重点实验室和专委会共同承办的第一届"青年沉积学家论坛"于2018年11月10日在中国地质大学(北京)国际会议中心举行。来自国内41家科研、生产单位和高校的150余名专家、同行参加了本次论坛。

经过专委会委员、国家重点实验室推荐及大会学术指导委员会委员遴选,本届论坛 共特邀 16 名国内优秀的青年沉积学家做大会报告。专委会副主任委员兼秘书长林畅 松教授主持开幕式。中国地质大学(北京)校长邓军教授向全体参会人员致欢迎辞,欢 迎中国沉积学家们齐聚北京,探讨沉积学科学前沿。

国家自然科学基金委员会副主任侯增谦院士代表基金委祝贺论坛顺利开幕,指出沉积学是地质学的一个重要分支学科,经历了百余年的历程,逐步发展到当代兼容多学科知识的一门综合性学科。沉积学对寻找资源、保护环境、全球变化预测等方面起到了不可替代的作用。基金委通过明确资助导向、改进评审方式、优化学科结构、完善体制等改革举措,会继续大力支持沉积学相关学者从国家需求、科学前沿、学科交叉三个维度上梳理重大科学问题,在"深地"和"深海"研究中发挥更大的作用。

16 位特邀报告人分别做了精彩的学术报告,涉及到沉积过程、沉积古地理、古环境和古海洋重建、沉积动力学机制、成岩作用、天文沉积旋回等学科基础与研究前沿。 专

委会主任委员、《沉积学报》主编王成善院士对报告人表示祝贺,并感谢 16 个国家重点实验室对此次论坛的大力支持。王成善院士根据文献资料统计指出沉积学是地球科学领域的核心学科之一,回顾了 2017 年举办的第六届全国沉积学大会的盛况,并指出我国近年来在国际期刊上发表沉积学研究论文快速增长的趋势,显示出我国沉积学研究蒸蒸日上的大好形势,但是与地学其他学科相比,沉积学的年轻杰出人才还相对较少,仍有极大的提升空间,寄望于通过举办此次论坛,为青年人才提供交流的平台、促进青年人才快速成长并加速沉积学科学共同体的建设。

第二届"青年沉积学家论坛"将于 2020 年在同济大学海洋地质国家重点实验室举办。论坛结束后,参会的专委会委员投票评选出"孙枢国际 青年沉积学家奖"候选人。

