

西藏南部上白垩统高分辨率全岩碳同位素地层学

李祥辉^{1,2)}, 王成善³⁾, Hugh C. JENKYN⁴⁾, 崔杰²⁾, 胡修棉⁵⁾,
石和²⁾, 赵鹏肖²⁾, 陈曦²⁾, 魏玉帅²⁾, 黄永建²⁾, 赵兵²⁾

- 1) 成都理工大学油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 610059;
2) 成都理工大学沉积地质研究院, 610059; 3) 中国地质大学, 北京, 100083;
4) 牛津大学地球科学系, 英国牛津; 5) 南京大学地球科学系, 210093

内容提要: 西藏南部上白垩统半远洋沉积高分辨率碳、氧同位素实验结果显示: $\delta^{13}\text{C}$ 值在 Cenomanian 末期正偏并形成正偏“高原”, 从 Turonian 期开始总体呈现长期持续负偏, 到 Campanian 早期负偏达到最低值。这种长期变化格局与世界有关地区的碳同位素偏移和同期全球海侵—海退旋回型式匹配性甚好, 印证了晚白垩世 $\delta^{13}\text{C}$ 值长期偏移趋势可作为大区域乃至全球海平面变化的指针。短期 $\delta^{13}\text{C}$ 值波动方面, Cenomanian 末期、Turonian 中—晚期、Turonian—Santonian 界线时期、Campanian 期都存在与世界相关地区的可比性, 但 Coniacian—Santonian 期全球碳同位素偏移型式存在较大差异。

关键词: 碳氧同位素; 同位素偏移; 同位素地层; 高分辨率; 上白垩统; 西藏南部

古代海洋特别是远洋、半远洋沉积物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对而言变化较小 (参见 Schidlowski et al., 1975; Veizer and Hoefs, 1976), 因为沉积期后作用环境下碳酸盐中碳的水岩反应比率较低, 而氧的水岩反应比率较高 (Banner and Hanson, 1990; Banner, 1995)。在这一理论支持下, 近30年来, 全球发表了大量化石和全岩碳、氧同位素数据, 并利用全岩碳同位素偏移形态来分析碳库循环、古气候变化、古海洋缺氧事件和溶解氧等, 其偏移曲线也常作为海平面变化参照、区域乃至全球对比工具 (Scholle and Arthur, 1980; Arthur et al., 1987; Jenkyns et al., 1994; Gröcke et al., 1999) 加以应用。

从已经发表的大量 $\delta^{13}\text{C}$ 值资料来看, 海相全岩碳同位素的应用包括长期的和短期的两个方面。长期的全岩碳同位素值曲线可以是整个显生宙 (Veizer et al., 1999), 也可以是某个代或纪或世; 短期高分辨率碳氧同位素数据集中在中—新生代, 陆地露头中生界的分辨率可以达到分米或万年级, 海洋 DSDP/ODP 新近纪样品则一般可达到厘米或千年级。

晚白垩世是显生宙已知最温暖的时期之一 (如 Frakes et al., 1992), 它蕴含有重要的长期和短期碳

旋回、气候、海平面、海水变化信息。最初, Scholle and Arthur (1980) 就欧洲陆地上海相晚白垩世碳同位素长期变化趋势进行了研究。其后, 在英格兰南部和意大利亚平宁完成了更为详细的碳、氧同位素分析 (如 Jenkyns et al., 1994, Stoll and Schrag, 2000), 并扩展到了西班牙 (Stoll and Schrag, 2000)、北太平洋中部 (Jenkyns et al., 1995)、环太平洋 (Zakharov et al., 1999)、远东 (Hasegawa et al., 2003) 等地区。这些地区在较为准确定年的前提下, 业已证实晚白垩世碳同位素全球范围对比的有效性和潜势 (参见 Scholle and Arthur, 1980; Arthur et al., 1987; Jenkyns et al., 1994; Mitchell et al., 1996; Voigt, 2000)。

然而, 如上所述, 这些全岩碳同位素资料基本来自 DSDP/ODP 和欧洲大陆。鉴于晚白垩世位处特提斯东南的西藏地区由于气候条件恶劣等因素, 有关资料甚少, 只是近期才有少量采样间距较大的白垩纪 (胡修棉等, 2001)、Cenomanian—Turonian 界线过渡层碳氧同位素数据发表 (Wang et al., 2001; Wan et al., 2003a, 2003b)。本文通过大量工作, 获取了较为丰富的西藏南部特提斯喜马拉雅上白垩统数据, 基本建立起了这一地区的高分辨率碳、氧同位素

注: 本文为国家自然科学基金资助项目 (编号 40273014) 和国家自然科学基金重点资助项目 (编号 40332020) 的成果。

收稿日期: 2004-11-22; 改回日期: 2006-02-23; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 李祥辉, 男, 1964年生, 博士, 教授。主要从事沉积学和古海洋学研究与教学。Email: lixh@cdut.edu.cn。

地层格架,并试图探讨与全球有关地区的关系。

1 地层与岩相

西藏南部划分为5个构造—地层分区,由南而北分别为高喜马拉雅、特提斯喜马拉雅、雅鲁藏布江缝合带、日喀则弧前盆地和冈底斯弧(Gansser,1991)。特提斯喜马拉雅又分为南北两个部分,称为北亚带和南亚带(Wang et al.,1996)。本文的两个剖面位于南亚带(图1),即位于印度次大陆北部被动大陆边缘的陆棚带。

研究区白垩系较为系统的生物、岩石地层工作始于上一世纪80年代(如王义刚,1980;万晓樵,1985)。随着研究的不断深入,地层格架基本建立,特别是晚白垩世地层研究取得了较大进展(万晓樵等,2000;Wan,2003b;赵文金,2001;赵文金和万晓樵,2003)。本文进行上白垩统地球化学分析涉及的岩石地层有冷青热组、岗巴村口组和宗山组三个单元。冷青热组主要为钙质页岩夹泥灰岩,岗巴村口组以中薄层泥灰岩、微晶灰岩居优,宗山组则以中—厚层生物灰岩为特征。在定日地区,笔者等重新测制了贡扎剖面(起点: $N24^{\circ}42'27''$, $E86^{\circ}42'11''$; 终点 $N24^{\circ}42'24''$, $E86^{\circ}42'28''$),并通过大量分析处理,获得了上白垩统各有孔虫生物地层格架(图2、图3),识别分辨出 *Rotalipora reicheli*, *R. cushmani*, *Whiteinella archaeocretacea*, *Helvetoglobotruncana helvetica*, *Marginotruncana sigali*, *Dicarinella primitiva*, *D. concavata*, *D. asymetrica*, *Globotruncana elevata*, *G.*

ventricosa 和 *G. falsostuarti* 带,各个带界线之间的分辨率一般在0.5 m 以内。但是,在坎潘阶上部 *Globotruncana calcavata* 带未能获得带化石,尚存疑问,暂时根据 *G. ventricosa* 带的末位和 *G. falsostuarti* 带的首现位置而置于其间,详细的生物和年代地层划分参见石和等(2006)。在岗巴地区,前人工作基础较好,相关的生物地层也都确立,只是马斯特里赫特阶的化石带稍有不同(参见图4)。本文采用的岗巴宗山剖面生物地层资料由万晓樵教授提供。所有岩石地层单元、生物地层单元和年代地层单元的配置关系可参见图2、图3、图4。

西藏特提斯喜马拉雅南亚带白垩系的岩相已有较为详细的研究(余光明和王成善,1990;Willems,1993;Willems and Zhang,1993;Willems et al.,1996;王成善等,2005)。总的来看,定日地区的上白垩统以灰泥质为主,表现为碳酸盐中—深缓坡相,由半远洋泥灰岩、(含)有孔虫生物微晶灰岩组成,局部可见(微晶)有孔虫灰岩;岗巴地区上白垩统下部主体为半远洋泥质成分夹含中薄层泥灰岩和微晶灰岩,或者互层,上部则以陆棚上浅滩灰质组份为特色,多为中厚层生物微晶灰岩和微晶生物灰岩。

2 材料与方方法

进行碳、氧同位素分析的样品均采自野外新鲜露头。在定日贡扎剖面上白垩统290 m 厚露头共采集了700件样品,通过室内检测,去除了部分成岩改造、生物扰动较强以及微裂隙发育的样品,最后在

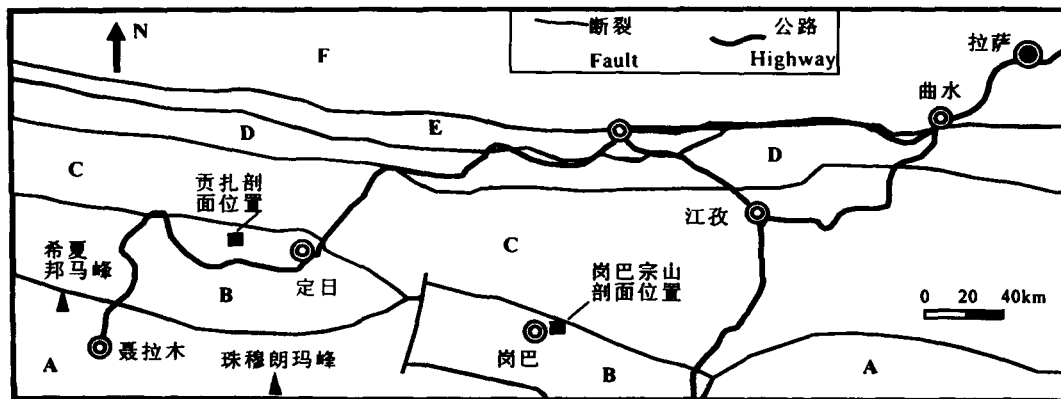


图 1 西藏南部构造—地层划分和剖面位置图

Fig. 1 Tectonic—stratigraphic zonation of South Xizang (Tibet) with locations of cross-sections

A—高喜马拉雅; B—特提斯喜马拉雅南亚带; C—特提斯喜马拉雅北亚带; D—雅鲁藏布江缝合带;

E—日喀则弧前盆地; F—冈底斯弧

A—High Himalayas; B—Southern Tethys Himalayas; C—Northern Tethys Himalayas; D—Yarlung Zangbo

suture; E—Xigaze forearc basin; F—Gangdese magmatic arc

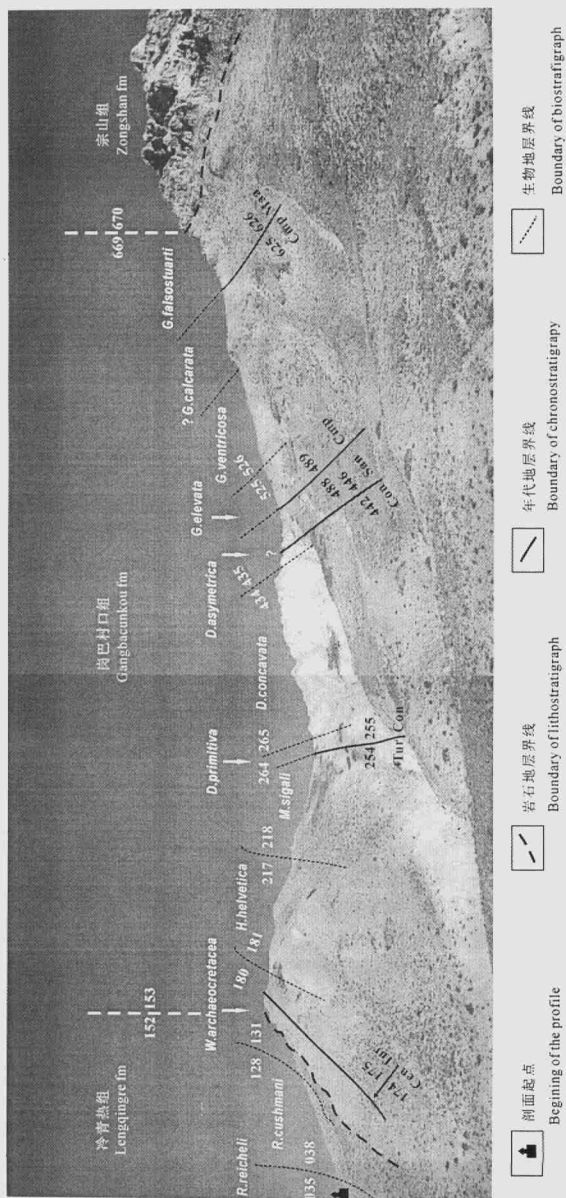


图 2 西藏定日贡扎剖面上白垩统露头照片和岩石、生物、年代地层定位及其关系
at the Gongzha section, Tingri, southern Xizang (Tibet)

注: 各种类型界线上下标体数字为野外采样编号的高写, 其前面均省略了 03GP
10x numbers are abbreviations of samples, and 03GP is omitted for each number front

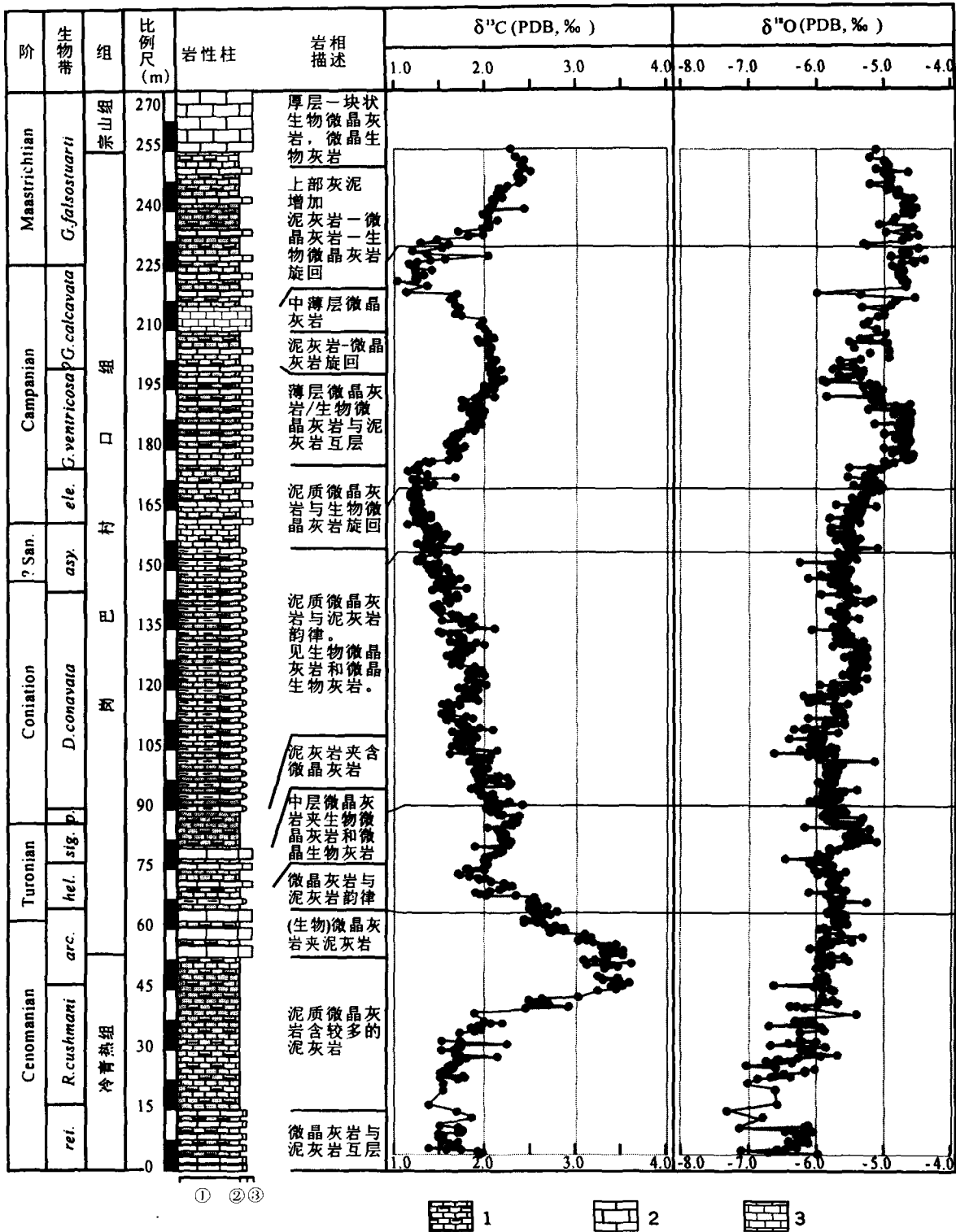


图 3 西藏定日贡扎剖面上白垩统地层格架及碳氧同位素偏移图

Fig. 3 Diagram showing the stratigraphic framework and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ value variations of the Upper Cretaceous at the Gongzha section, Tingri of Tibet

①—灰泥结构;②—微晶结构;③—生物微晶结构和/或微晶生物结构;1—泥质或灰泥质的;2—中层状岩层;3—薄层状岩层
 ①—Marl texture; ②—mudstone texture; ③—wackestone texture; 1—marly; 2—medium-bedded; 3—thin-bedded
rei.—*Rotalipora reicheli*; *arc.*—*Whiteinella archaeocretacea*; *hel.*—*Helvetoglobotruncana helvetica*; *sig.*—*Marginotruncana sigali*;
p.—*Dicarinella primitiva*; *asy.*—*Dicarinella asymetrica*; *ele.*—*Globotruncana elevata*

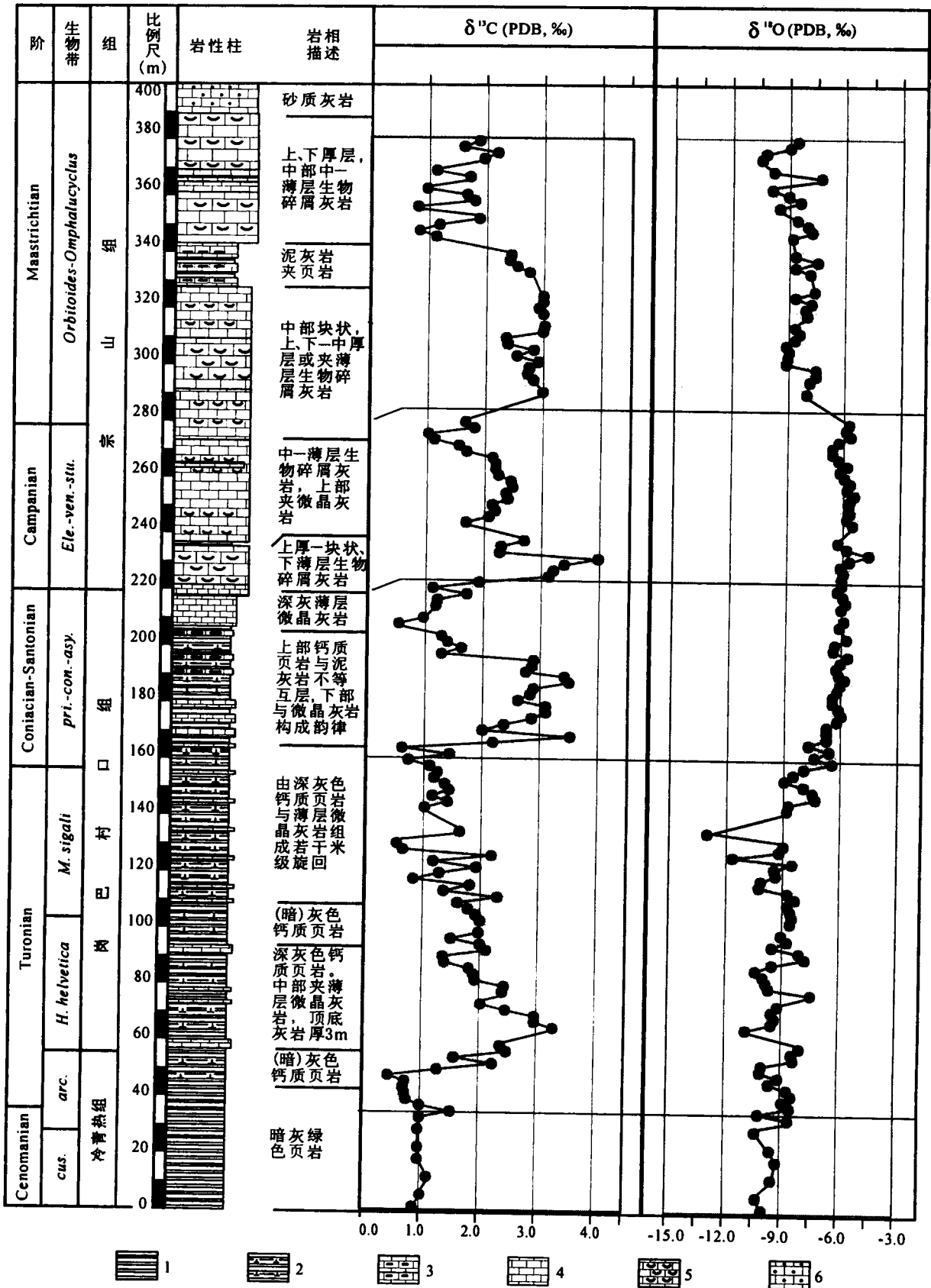


图 4 西藏岗巴宗山剖面上白垩统地层格架及碳氧同位素偏移图

Fig. 4 Diagram showing the stratigraphic framework and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ value variations of the Upper Cretaceous at the Gamba Zongshan section, Tingri, Xizang (Tibet)

1—页岩; 2—钙质页岩; 3—泥灰岩; 4—微晶灰岩; 5—生物碎屑灰岩; 6—砂质灰岩
1—Shale; 2—calcareous shale; 3—marlstone; 4—mudstone; 5—bioclastic wackestone or packstone; 6—sandy limestone
cus. —*Rotalipora cushmani*; pri. —*Dicarinella primitiva*; con. —*Dicarinella concavata*; asy. —*Dicarinella asymetrica*; ele. —*Globotruncana elevata*; ven. —*Globotruncana ventricosa*; stu. —*Globotruncana stuartiformis*

250 m 范围选取了 611 件样品进行碳氧同位素分析。大部分样品采集密度在 30 ~ 40 cm 范围, Cenomanian 阶中部 *Rotalipora reichli* 带上部和 Maastrichtian 阶下部的部分样品采样间距在 40 ~ 100 cm 之间。该剖面的总平均采样间距约为 40 cm, 按照化石带 (*Rotalipora reichli*—*Globotruncana falsostuarti*) 的大致范围和新的地质年龄标准 (Gradstein et al., 2004) 约为 28(96.5~68.5)Ma 计算, 采样间距的时间分辨率平均为 45.8ka(28Ma/611 样品)。岗巴宗山剖面上白垩统厚度 >400 m, 实际在 381 m 厚的剖面分析了 170 件样品, 平均采样间距约为 224 cm, 采样间距的时间分辨率大致为 164.7ka(28 Ma / 170 样品)。这一时间尺度基本上可以满足晚白垩世相对高分辨率连续稳定碳、氧同位素分析需要。

所有定日地区的全岩样品碳、氧同位素分析均在英国牛津大学完成。小于 200 目粉末样品通过直径为 3 mm 的球形钻头高速转动下刮进容器, 分别进行双氧水和丙酮酸浸泡, 60℃ 烘干后送入真定制碳仪并自动连接到 Finnigan-MAT-252 质谱仪。每次分析均插入 3~5 件标样进行检验。实验误差 $\pm 0.04\%$, 所有结果均换算为 PDB 标准。采自岗巴的全岩样品在上海同济大学教育部海洋地质重点实验室完成。样品制备首先通过手工碎样选样, 在玛瑙研钵中研磨成 200 目以下粒度。其他实验过程和结果表示与牛津大学相同。

3 结果

如图 3 所示, 定日贡扎剖面碳同位素比值 ($\delta^{13}\text{C}$ 值) 在 Cenomanian 阶最上部 *Whiteinella archaeocretacea* 带的中下部发生大幅度正偏, 幅度差值达 2.000‰, 并形成了正偏“高原”; 其后, $\delta^{13}\text{C}$ 值持续稳定负偏, 在 Turonian 阶中部与上部之间 (*Marginotruncana sigali* 带) 产生一个负偏凹陷区, 在 Turonian 阶与 Coniacian 阶之间构成中度正偏区; 向上, Coniacian 阶—Santonian 阶 $\delta^{13}\text{C}$ 值连续稳

定负偏, 直到 Campanian 阶底部形成整个上白垩统的负偏最低值; $\delta^{13}\text{C}$ 值在 Campanian 阶底部和顶部出现 2 次负偏, 中部产生较大范围的正偏区, 但幅度较之 Cenomanian 阶最上部要小 (参见图 3)。

岗巴宗山剖面的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化有相同处也存在差异。相同处显现为, $\delta^{13}\text{C}$ 值在 Turonian 阶中—上部持续负偏, 在 Campanian 阶上部和下部有 2 次负偏, 中部为较长时间的正偏。差异表现为, $\delta^{13}\text{C}$ 在 Cenomanian 阶上部基本没有变化, 最大偏移发生在 Turonian 阶下部的 *Whiteinella archaeocretacea* 带上部—*Helvetoglobotruncana helvetica* 带下部过渡带; Coniacian 阶—Santonian 阶偏移波动幅度大, 存在一个较大区间的正偏和负偏旋回 (图 4); 这一旋回性也出现在 Maastrichtian 阶中—下部。

氧同位素比值 ($\delta^{18}\text{O}$ 值) 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值相比, 无论是在定日还是在岗巴, 呈现长期模糊镜像正偏趋势, 但是短期变化效果较差。另一方面, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 总平均值在定日和岗巴剖面分别为 -5.576% 和 -7.969% , 与欧洲相当层位总均值大于 -4.000% (PDB) 相比明显负偏。很显然, 西藏南部晚白垩世氧同位素受到了沉积期后水岩反应较为强烈。

4 讨论与结论

4.1 晚白垩世长期偏移趋势

西藏南部定日地区晚白垩世 Cenomanian 末期形成正偏“高原”之后 Turonian 期开始 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体呈现持续负偏变化 (图 5)。这种长期趋势与世界其他地区的碳同位素偏移型式可以进行比较, 如与同期全球海侵—海退 (T—R) 旋回 (Sliter, 1976)、英国南部全岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (Jenkyns et al., 1994) 和俄罗斯远东陆源有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移曲线 (Hasegawa et al., 2003) 匹配性甚好 (图 5)。前人对于 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化趋势与各种假定条件下的海平面曲线之间的关系已有较为深入的讨论 (如 Scholle and Arthur, 1980; Arthur et al., 1987; Weissert and Lini, 1991)。一般认为, 碳同位素比值的长期变化趋势可以作为大区域甚至全球海平

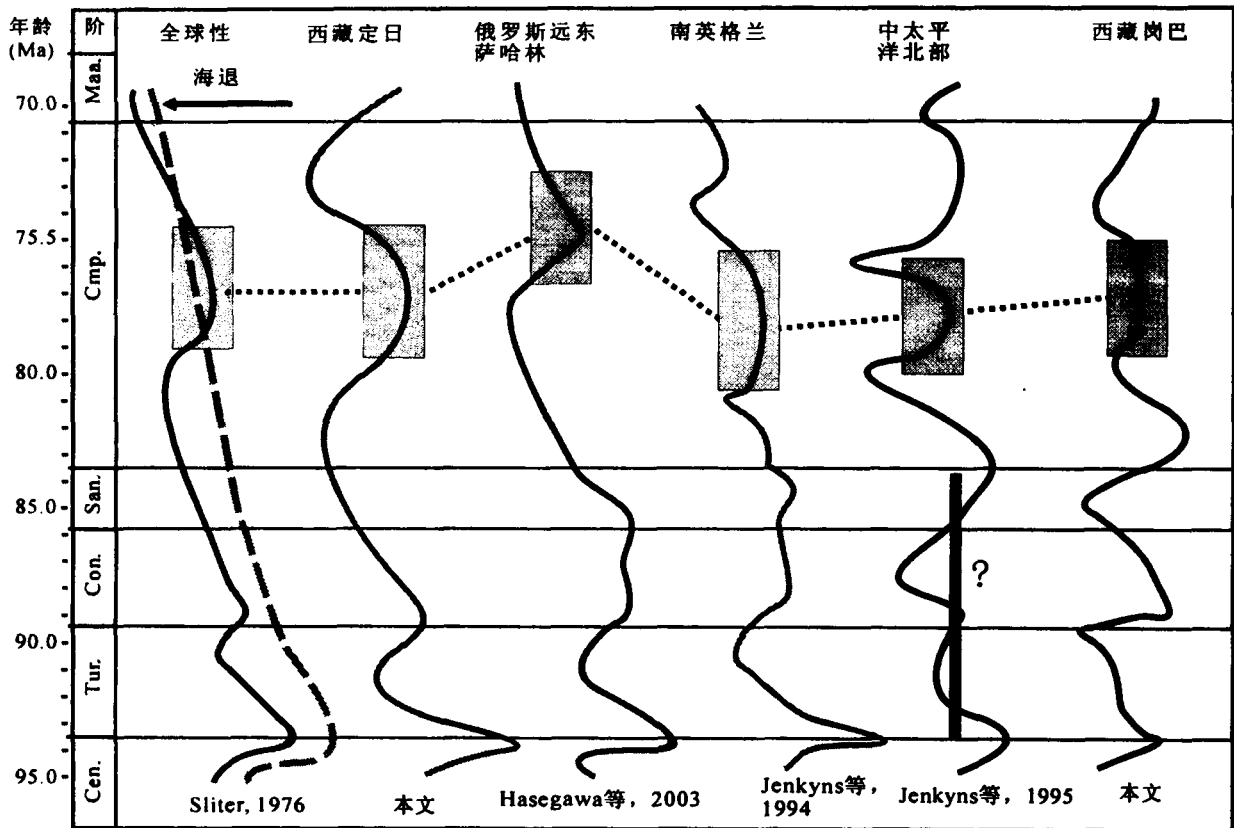


图5 世界有关地区晚白垩世全岩碳同位素平滑偏移曲线和海侵—海退对比图

Fig. 5 Graph correlating the Late Cretaceous long-term carbon isotope excursions and eustatic changes in time scale

来自俄罗斯远东地区偏移曲线为陆源有机碳的同位素。纵向粗断线为一级海侵—海退变化，横向细点线示中Campanian期正偏对比线，长方形灰度区系中Campanian期正偏大致范围

All the curves are derived from smoothed bulk $\delta^{13}\text{C}$ excursions except for the curve of $\delta^{13}\text{C}$ terrestrial organic carbon by Hasegawa et al. (2003). The longitudinal dashed line is a frame of the first-order eustatic sea-level change trend, the latitudinal dot line links the middle Campanian positive $\delta^{13}\text{C}$ values, and the shadow areas highlight the positive excursion limitation of the middle Campanian trend

面变化的对比工具 (Scholle and Arthur, 1980; Arthur et al., 1987; Jenkyns et al., 1994; Gröcke et al., 1999), 短期变化对比性只适用于同一个盆地或同一个大地构造区。定日地区与全球有关地区的良好可比性进一步反映了晚白垩世 $\delta^{13}\text{C}$ 值长期偏移趋势图谱可以作为大区域乃至全球海平面变化的指针。另一方面, 我们注意到这一负偏和海平面下降格局可以进行对比的地区都与广海相连, 岩相也相对单一。

然而, 岗巴地区晚白垩世 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移曲线的长期变化没有显现出这种良好的对比关系。笔者认为, 造成这一问题的原因可以从两个方面来解释: 一是它真实反映了岗巴盆地上白垩统碳同位素的偏移实

际配分型式, 即与欧洲和定日地区存在不同的碳同位素演化过程及幅度; 二是样品制备过程中可能存在偏差, 因为, 通过手工碎样研磨完成的粉末样品制备较难避免肉眼无法识别的微裂隙或生物扰动结构, 而微裂隙常被方解石充填, 生物扰动会改变岩石的均一性。由此, 它们可能改变了该剖面部分碳同位素比值 (李祥辉等, 2005)。考虑全球高分辨率碳同位素的可对比性, 笔者等倾向于第二种是造成岗巴样品碳同位素偏差的主要原因。再者, 岗巴和中太平洋碳同位素曲线长期趋势与上述四地区对比困难, 除了岗巴可能存在制样问题, 还可能是岩相差异和年代控制欠佳的结果。岗巴和中太平洋沉积主要为浅海台地相, 水深不超过 100 m, 因此碳同位素值可能

印记有海水与大气淡水混合的结果。此外,图5还可以看出中太平洋的年代控制尚存疑问。

4.2 短期偏移对比

虽然,定日贡扎剖面和岗巴宗山剖面的晚白垩世各期高分辨率短期 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移趋势并不总能很好地与英格兰南部、意大利平宁、西北太平洋对比,但是,有几个层位存在较好的可比关系,如 Cenomanian 晚期、Turonian 期, Turonian—Coniacian 界线时期和 Campanian 期(图5)。

Cenomanian 晚期(或 Cenomanian—Turonian 界线时期, CTB) $\delta^{13}\text{C}$ 的短期正偏“高原”与欧洲、DSDP—ODP 的结果完全可以对比,这表明,全球这一时期的同位素偏移事件在西藏南部也是存在的。通常认为 CTB 的碳同位素偏移事件与大洋缺氧事件有关,但西藏南部 CTB 的碳同位素偏移是否受到同期大洋缺氧事件的影响尚需进一步工作,因为,缺少对应的富有机质黑色页岩。

Turonian 期长期持续负偏在全球范围有良好的匹配性(图5),与此同时, Turonian 中—晚期出现了两个短期波动的负偏凹陷区(图3和图4),与欧洲中、西部相当层位(Voigt and Hilbrecht, 1997; Wiese and Voigt, 2000, 2002; Stoll and Schrag, 2000)明显可以对比,这说明东、西特提斯此期的碳同位素偏移是可以短期对比的。

Turonian—Coniacian 界线时期在定日和岗巴两地区都可以看到碳同位素较为明显的正偏(图3、4)。虽然正偏的幅度不如 CTB 大,但也十分清楚,而且可与欧洲(Jenkyns et al., 1994)、远东(Hasegawa et al., 2003)、中太平洋(Jenkyns et al., 1995)等短期碳同位素偏移事件对比(图5)。

定日贡扎剖面 Campanian 期的短期 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移趋势与全球海平面变化 Haq 等(1987)曲线可比性极好,与埃及西奈半岛通过层序地层研究获得的海平面曲线(Lüning et al., 1998)相比也有较好的相似性(图5灰度方块区)。

4.3 Coniacian 阶—Santonian 阶差异偏移

如上所述,全球晚白垩世长期 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移趋势对比性良好,短期(第三、四级)偏移曲线大部分也有相似性。但是,无论是长期的还是短期的,各个地区 Coniacian—Santonian 期的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移趋势出现了较大差异(图5),总结起来有三种情况:西藏定日地区的持续负偏型、俄罗斯远东和南英格兰的相对稳定型、中太平洋北部和西藏岗巴地区的波动型。

西藏定日地区 $\delta^{13}\text{C}$ 值的持续负偏与 Sliter

(1976)的 T—R 旋回变化一致,反映了其时该区受全球海平面升降的影响较为强烈,说明有机碳的埋藏速率持续增加,中层水和表层水的生物生产率不断提高,并暗示这一地区可能长期存在上升洋流。对于稳定偏移型有两种解释:一是俄罗斯远东的 $\delta^{13}\text{C}$ 值来自陆源有机质,反应其时西北里亚的古植物类型和大气 $p(\text{CO}_2)$ 较为稳定,即古气候变化较小;二是全岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对稳定的南英格兰和意大利平宁地区,前者一直处于北方区的陆表海,上升洋流可能未曾达到分析区, $\delta^{13}\text{C}$ 值基本上只受台地构造沉降和表层海水循环的影响。在意大利平宁,虽然属于远洋半深海环境,但限于地中海特提斯内部有多个小陆块的阻隔,未必能够获得上升洋流带来大量营养物质以促使生产率增高,同样其 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本上主要受构造沉降和表层海水循环的影响更多一些。

致谢: W. Kuhnt 和万晓樵教授帮助了定日贡扎剖面的有孔虫化石鉴定和时代定位,万晓樵教授还提供了岗巴宗山剖面的化石带资料, J. Luba 参加了部分野外采样工作, M Sarti 对野外工作提供了部分支持。在此一并表示谢忱。

参 考 文 献 / References

- 胡修棉, 王成善, 李祥辉. 2001. 藏南海相白垩纪碳酸盐碳稳定同位素演化与古海洋溶解氧事件. 自然科学进展, 11: 721~728.
- 李祥辉, 王成善, 崔杰. 2005. 西藏岗巴地区海相上白垩统碳氧同位素对比实验结果偏差分析. 矿物岩石地球化学通报, 24(3): 190~194.
- 石和, 李国忠, 赵鹏肖, 等. 2006. 藏南定日县贡扎上白垩统浮游有孔虫生物地层学新资料. 成都理工大学学报(自然科学版), 33(2): 134~140.
- 万晓樵. 1985. 西藏岗巴地区白垩纪地层及有孔虫动物群. 青藏高原地质文集(16). 北京: 地质出版社, 203~228.
- 万晓樵, 赵文金, 李国彪. 2000. 对西藏岗巴上白垩统的新认识. 现代地质, 14(3): 281~285.
- 王成善, 李祥辉, 胡修棉, 等. 2005. 特提斯喜马拉雅沉积地质学和大陆古洋学. 北京: 地质出版社, 1~373.
- 王义刚, 孙东立, 何国雄. 1980. 喜马拉雅地区(我国境内)地层研究的新认识. 地层学杂志, 4(1): 55~59.
- 余光明, 王成善. 1990. 西藏特提斯沉积地质. 中华人民共和国地质矿产部地质专报(三): 岩石·矿物·地球化学, 第12号. 北京: 地质出版社, 1~185.
- 赵文金. 2001. 西藏岗巴晚白垩世有孔虫动物群与海平面变化. 高校地质学报, 7(1): 106~117.
- 赵文金, 万晓樵. 2003. 藏南定日地区 Cenomanian/Turonian 界线附近的生物古海洋事件. 地质科学, 38(2): 155~164.
- Arthur M A, Schlanger S O, Jenkyns H C. 1987. The Cenomanian—Turonian oceanic anoxic event; I, Palaeoceanographic controls on organic-matter production and preservation. In: Brooks J and Fleet A J, eds. Marine Petroleum Source Rocks. Geological Society Special Publications, 26: 401~420.
- Banner J L. 1995. Application of the trace element and isotope

- geochemistry of strontium to studies of carbonate diagenesis. *Sedimentology*, 42: 805~824.
- Banner J L and Hanson G N. 1990. Calculation of simultaneous isotopic and trace element variations during water rock interaction with application to carbonate diagenesis. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 54: 3123~3138.
- Frakes L A, Francis J E, Syktus J I. 1992. *Climate Modes of the Phanerozoic: The History of the Earth's Climate over the Past 600 Million Years*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Gansser A. 1991. Facts and theories on the Himalayas. *Ecologiae Geol. Helv.*, 84: 33~60.
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A J, et al. 2004. A New Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27 (2): 83~100.
- Gröcke D R, Hesselbo S P, Jenkyns H C. 1999. Carbon isotope composition of Lower Cretaceous fossil wood: Ocean-atmosphere chemistry and relation to sea level change. *Geology*, 27: 155~158.
- Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156~1167.
- Hasegawa T, Pratt L M, Maeda H, et al. 2003. Upper Cretaceous stable carbon isotope stratigraphy of terrestrial organic matter from Sakhalin, Russian Far East: a proxy for the isotopic composition of paleoatmospheric CO₂. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 189: 97~115.
- Jenkyns H C, Gale A S, Corfield R M. 1994. Carbon and oxygen isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its paleoclimatic significance. *Geological Magazine*, 131: 1~34.
- Jenkyns H C, Mutterlose J, Sliter W V. 1995. Upper Cretaceous carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of deep-water sediments from the North-central Pacific (Site 869, Flank of Pikinni-Wodejebato, Marshall Island). *Proceeding of ODP, Scientific Results*, 143: 105~108.
- Lüning S, Marzouk A M, Morsi A M, et al. 1998. Sequence stratigraphy of the Upper Cretaceous of south-east Sinai, Egypt. *Cretaceous Research*, 19: 153~196.
- Mitchell S F, Paul C R C, Gale A S. 1996. Carbon isotopes and sequence stratigraphy. In: Howell J A, Aitken J F, eds. *High-Resolution Sequence Stratigraphy: Innovations and applications*. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 104: 11~24.
- Niebuhr B and Joachimski M M. 2002. Stable isotope and trace element geochemistry of Upper Cretaceous carbonates and belemnite rostra (Middle Campanian, north Germany). *Geobios*, 35: 51~64.
- Niebuhr B. 1995. Fazies—Differenzierungen und ihre Steuerungsfaktoren in der höheren Oberkreide von Niedersachsen/Sachsen—Anhalt (N—Deutschland). *Ber. Geowiss. Abh.*, A174: 1~131.
- Schidlowski M, Eichman R, Junge C E. 1975. Precambrian sedimentary carbonates, carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget. *Precambrian Research*, 2: 1~69.
- Schlanger S O, Arthur M A, Jenkyns H C, et al. 1987. The Cenomanian—Turonian oceanic anoxic events, 1. Stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and the marine $\delta^{13}\text{C}$ excursion. In: Brooks J, Fleet A J, eds. *Marine petroleum source rocks*. *Geological Society Special Publications*, 26: 371~399.
- Scholle P A and Arthur M A. 1980. Carbon isotope fluctuations in Cretaceous pelagic limestones: potential stratigraphic and petroleum exploration tool. *AAPG Bulletin*, 64: 67~87.
- Sliter W V. 1976. Cretaceous foraminiferas from the southwestern Atlantic Ocean, Leg 36, Deep Sea Drilling Project. In: Barker P F, Dalziel I W D, et al., eds. *Initial reports Deep Sea Drilling Project, 36*, US Government Print off. Washington DC, 519~537.
- Stoll H M and Schrag D P. 2000. High-resolution stable isotope records from the Upper Cretaceous rocks of Italy and Spain: Glacial episodes in a greenhouse planet? *GSA Bulletin*, 112(2): 308~319.
- Veizer J, Ala D, Azmy K, et al. 1999. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ^{13}C and ^{18}O evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology*, 161: 58~88.
- 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. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 40: 1387~1395.
- Voigt S. 2000. Cenomanian—Turonian composite $\delta^{13}\text{C}$ curve for Western and Central Europe: the role of organic and inorganic carbon fluxes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160: 91~104.
- Voigt S and Hilbrecht H. 1997. Late Cretaceous carbon isotope stratigraphy in Europe: Correlation and relations with sea level and sediment stability. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 134: 39~60.
- Wan Xiaojiao, Wei Mingrui, Li Guobiao. 2003a. $\delta^{13}\text{C}$ values from the Cenomanian—Turonian passage beds of southern Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(8): 861~866.
- Wan Xiaojiao, Wignall P B, Zhao Wenjin. 2003b. The Cenomanian—Turonian extinction and oceanic anoxic event: evidence from South Tibet. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 199(3~4): 283~298.
- Wang Chengshan, Xia Daixiang, Zhou Xiang, et al. 1996. *Field Trip Guide: T121/T387 Geology between the Indus—Yarlung Zangbo Suture Zone and the Himalaya Mountains (Xizang), China*. Beijing: Geological Publishing House, pp. 72.
- Wang C S, Hu X M, Jansa L, et al. 2001. The Cenomanian—Turonian anoxic event in southern Tibet. *Cretaceous Research*, 22: 481~490.
- Weissert H and Lini A. 1991. Ice Age interludes during the time of Cretaceous greenhouse climate? In: Muller D W, et al., eds. *Controversies in Modern Geology*. New York: Academic Press Limited, 173~191.
- Wiese F and Voigt S. 2002. Late Turonian (Cretaceous) climate cooling in Europe: faunal response and possible causes. *Geobios*, 35: 65~77.
- Willems H, Zhou Z, Zhang B, et al. 1996. Stratigraphy of the Upper Cretaceous and Lower Tertiary strata in the Tethyan Himalayas of Tibet (Tingri area, China). *Geol. Rundsch*, 85: 723~754.
- Willems H. 1993. Sedimentary history of the Tibetan Tethys Himalaya continental shelf in South Tibet (Gamba, Tingri) during Upper Cretaceous and Lower Tertiary (Xizang Autonomous Region, PR China), *Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen*, 38: 49~183.
- Willems H and Zhang B. 1993. Cretaceous and Lower Tertiary sediments of the Tibetan Tethys Himalaya in the area of Tingri (South Tibet, PR China). *Ber. FB. Geowiss Univ. Bremen*, 38: 28~47.

Zakharov Y D, Boriskina N, Ignatyev A V. 1999. Palaeotemperature curve for the Late Cretaceous of the northwestern circum-Pacific.

Cretaceous Research, 20: 685~697.

High-resolution Bulk Carbon Isotope Stratigraphy of Upper Cretaceous in Southern Xizang(Tibet)

LI Xianghui^{1,2)}, WANG Chengshan³⁾, Hugh C. JENKYNS⁴⁾, CUI Jie²⁾, HU Xiumian⁵⁾, SHI He²⁾, ZHAO Pengxiao²⁾, CHEN Xi²⁾, WEI Yushuai²⁾, HUANG Yongjian²⁾, ZHAO Bing²⁾

1) *State Key Laboratory of Oil—Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, China*

2) *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, China*

3) *China University of Geosciences, Beijing, China*

4) *Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford, UK*

5) *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, China*

Abstract

Bulk samples of carbon and oxygen isotopes taken from Tingri and Gamba of southern Xizang(Tibet) are analyzed in this study. All the samples were taken as fresh as possible in field, and the samples with much diagenetic overprint, calcite-filled microcrack and bioturbation fabrics are carefully avoided to use for isotope analyses. At last, 611 samples in 250 m thick section from Tingri, ca. 45.8 ka interval between two samples, were analyzed at Oxford University, and 170 samples in 381 m thick section from Gamba, ca. 164.7 ka intervals, were experimented at Tongji University in Shanghai. The results of carbon isotope ratios from Tingri indicate an extreme positive excursion of $\delta^{13}\text{C}$ values occurs at the Cenomanian—Turonian boundary, and afterwards, a secular long-term negative excursion goes on to a lowest horizon at the early Campanian. This long-term $\delta^{13}\text{C}$ change trend is correlative with those in southern England and Russian Far East, and so be with the global transgressive—regressive cycle. However, it is not so compatible by the $\delta^{13}\text{C}$ values from Gamba, which may result from sample preparation.

In aspect of short-term fluctuation, the excursion patterns of $\delta^{13}\text{C}$ values of the Cenomanian—Turonian boundary passage, middle—late Turonian, Turonian—Santonian boundary beds, and Campanian in southern Xizang(Tibet), are similar with the coeval periods in Mediterranean Tethys and Europe. Of them, three patterns of $\delta^{13}\text{C}$ excursion during Coniacian—Santonian are summarized, which could be resulted from different basin and lithofacies; and a long-term positive excursion in the middle Campanian may be a response of highest stand of sea-level or largest transgression since Cenomanian. Other more, three troughs of the $\delta^{13}\text{C}$ values in Tingri occurring at the base of Campanian, middle Lower Campanian, the boundary of Lower and Upper Campanian, may represent three carbon isotope excursion events, and they could correspond to the lowstands of the short-term sea-level fluctuations in globe by the Haq curve.

Key words: carbon- and oxygen- isotope; stable isotope stratigraphy; isotope excursion; high-resolution; Upper Cretaceous; Xizang(Tibet)