

文章编号: 0379-1726(2000)05-0417-08

# 西藏南部 Cenomanian-Turonian 缺氧事件: 有机地球化学研究

胡修棉<sup>1</sup>, 王成善<sup>1</sup>, 李祥辉<sup>1</sup>, 范善发<sup>2</sup>, 彭平安<sup>2</sup>

(1. 成都理工学院 沉积地质研究所, 四川 成都 610059; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

**摘 要:** 基于藏南中白垩统 Cenomanian-Turonian 缺氧事件沉积的有机地球化学分析, 对黑色页岩的有机质输入及其沉积环境进行了系统研究, 并探讨了特征生物标志化合物与缺氧事件之间的关系。研究表明, 缺氧层内高含量有机碳的黑色页岩与灰绿色页岩、泥灰岩构成二级旋回地层; 有机质的母质输入以海洋生物的菌藻类为主。生物标志物与缺氧事件对应研究表明, Pr/Ph 在剖面上的相对含量是判别氧化还原的良好指标, 胡萝卜烷含量 ( $\beta$ -胡萝卜烷和  $\gamma$ -胡萝卜烷) 是反映藏南地区沉积环境的氧化还原条件变化的敏感特征标志物。还原条件下的缺氧事件层内, 胡萝卜烷含量特别高, 而氧化环境下, 胡萝卜烷含量相对偏低。

**关键词:** 大洋缺氧事件; 有机地球化学; Cenomanian-Turonian; 生物标志物; 胡萝卜烷; 西藏自治区

**中图分类号:** P593 **文献标识码:** A

## 0 引 言

白垩纪时全球广泛分布富有机质的黑色页岩, 因其重要的理论意义和潜在的经济价值而备受全球地学界关注。自 Schlanger *et al.* [1] 首次提出“大洋缺氧事件”模式用以解释白垩纪全球性分布的黑色页岩成因以来, 缺氧事件研究一直是地学界研究热点。迄今为止, 国内外对中白垩世 Cenomanian-Turonian (C/T) 缺氧事件已有较深入的认识和研究。调查表明, C/T 缺氧事件对应于高含量有机碳 [2]、大规模有机碳埋藏 [3]、碳同位素正偏 [4] 和海洋生物大规模绝灭 [5]。

在西藏南部, 中白垩统富有机质的黑色页岩广泛分布于定日-岗巴地区 [6]。前人对这套黑色页岩的沉积学、元素地球化学和微体古生物学等方面的研究表明, 中白垩统 Cenomanian/Turonian 缺氧事件广泛分布于藏南地区, 黑色页岩为一种高度还原环境条件下的缺氧沉积 [7, 8]。

本文在藏南中白垩统缺氧事件沉积的有机地球化学分析的基础上, 对黑色页岩的有机质输入和沉积环境进行系统研究, 并讨论特征生物标志化合物

与缺氧事件之间的关系。在此基础上, 进而探讨东西特提斯域 C/T 缺氧事件的有机地球化学特征及其古海洋意义异同点。

## 1 实验样品与分析方法

### 1.1 实验样品

选择藏南地区岗巴宗山剖面 and 定日贡扎剖面中白垩统岩样为实验样品, 均采自地表, 经去污、粉碎后进行分析。

### 1.2 有机碳分析

岗巴宗山剖面样品有机碳分析由成都理工学院油气藏地质与开发国家重点实验室完成。用 10% 盐酸除去碳酸盐矿物 (无机碳) 后用强氧化剂 ( $\text{CrO}_3$ ) 在酸性溶液中将样品中的有机碳氧化成二氧化碳, 通过测定二氧化碳的数量以求得有机碳的含量, 称之为“直接燃烧法”。

### 1.3 有机质分离

岩样经去污处理后, 粉碎至可过 80 目筛, 采用

收稿日期: 1999-11-23; 修订日期: 2000-07-10

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目 (49625203); 有机地球化学国家重点实验室资助项目 (OGL-9709)

作者简介: 胡修棉 (1971-), 男, 博士研究生, 沉积学与古海洋学专业。

索氏抽提法(72 h),溶剂为三氯甲烷,铜片脱硫,用石油醚沉淀沥青质,硅胶氧化铝(体积比3:1)柱层析进行族组分分离,依次用石油醚冲洗烷烃组分,二氯甲烷冲洗芳烃组分,乙醇冲洗非烃组分。由成都理工学院油气藏地质与开发国家重点实验室完成。

#### 1.4 气相色谱(GC)

饱和烃气相色谱分析由中国科学院广州地球化学研究所完成。美国 HP6890 气相色谱仪,进样温度(Int)290 °C,检测器(FID)温度 300 °C,HP-5 型石英弹性毛细管柱(25 m × 0.32 mm × 0.17 μm),氮气为载气。初温 60 °C 恒温 5 min,升温速率为 4 °C/min,终温 290 °C 恒温 40 min。

#### 1.5 色谱-质谱联用仪分析(GC-MS)

饱和烃色谱-质谱分析由中国科学院广州地球化学研究所完成。Platform II 色谱-质谱仪,离子源温度 180 °C,电子能量 70 eV。HP-5 石英弹性毛细管色谱柱(50 m × 0.32 mm × 0.17 μm)。80 °C 恒温 5 min,8 °C/min 程序升温至 120 °C。2 °C/min 程序升温至 300 °C,恒温 21 min。

## 2 测试结果分析

### 2.1 有机质数量

表征有机质数量的常用指标是有机碳含量(TOC)。沉积物中有机碳的含量与沉积环境条件的关系是极为复杂的,在一定程度上它是原始有机质

丰度、沉积物的沉积速率、介质的物理化学条件以及成岩中有机质的转化程度等因素的综合反映<sup>[9]</sup>。有机碳含量与溶解氧含量密切相关,缺氧环境下有机碳含量明显偏高<sup>[10]</sup>。岗巴宗山剖面中白垩统有机碳含量大部分在 0.4%~1.1% 之间,平均为 0.58% (66 件样品),黑色页岩中有机碳含量最高达 1.68%。沉积学分析表明,沉积岩的颜色和结构不同,有机碳含量呈现规律性变化。本区有机碳含量高的纹层状黑色页岩与有机碳含量相对较低的块状泥灰岩、页岩构成韵律型层序(表 1,图 1)。这一韵律型变化相当于陶然<sup>[7]</sup>划分的中白垩世旋回地层的二级旋回,主要反映大洋缺氧的周期性变化。表 1 中显示的 Cenomanian-Turonian 缺氧事件内部的五次缺氧期,并不是全球性的。它是根据西藏岗巴地区 TOC 含量的高低和岩性的变化来划分的。所谓缺氧事件,并不是指整个事件发生的时间段内全球大洋都经历一个单一的、连续的缺氧条件,而是指这段时间内海洋缺氧条件是多次出现的,从而可能显示出一定的旋回性。因为像这样的缺氧事件内的缺氧期的时间是非常短暂的,它将受到区域性的地质条件影响(如沉积古地理环境和水团等),对于不同的地区,有的整体表现出一一次(多数情况下),有的表现出多次缺氧期。例如,Kaiho *et al.*<sup>[11]</sup>研究表明,日本北海道东北部 Cenomanian-Turonian 缺氧事件划分为两次缺氧期,一次是 C/T 界线前 0.15~0.10 Ma(持续约 5 万年),另一次是界线前 0.03 Ma~界线后 0.15 Ma(持续约 18 万年)。根据 Cenomanian-Turonian 的沉积速率估算,岗巴地区 Cenomanian-Turonian 缺氧事件内部的五次缺氧期持续时间分别

表 1 藏南岗巴地区 Cenomanian-Turonian 有机碳含量(%)

Table 1 Total organic carbon (TOC) (%) of sediments during late Cenomanian-early Turonian in Gamba area, southern Tibet

组	期	层号	厚度(m)	颜色及岩性描述	缺氧期	沉积构造	TOC
夏 吾 除 波 组	Turonian	50	13	浅灰色灰岩夹页岩		块状	0.44(1)
		48~49	41	浅黑色页岩	5	规则纹层	0.53(6)
		44~47	32	黄绿色灰岩夹页岩		不规则纹层	0.40(7)
		42~43	70	浅黑色钙质页岩	4	纹层	0.54(7)
		41	45	黄绿色页岩		块状	0.59(4)
冷 青 热 组	Cenomanian	37~40	33.5	黑色页岩夹灰岩	3	纹层	0.90(6)
		35~36	20.5	浅灰色泥灰岩夹页岩		块状	0.44(13)
		33~34	54.5	黑色钙质页岩夹灰岩	2	纹层	0.59(9)
		32	26	浅灰色页岩/泥灰岩互层		块状	0.56(5)
		28~31	27.1	黑色页岩夹灰岩透镜体	1	纹层	1.03(6)
22~27	74.1	灰色钙质粉砂岩夹灰岩		未见	0.30(2)		

注: TOC 括号内的数字表示测试的样品数。

为 0.9 Ma、2.1 Ma、1.1 Ma、2.3 Ma 和 1.4 Ma (参见图 1)。其中缺氧期 3 即为国际上所称的 Cenomanian-Turonian 界线缺氧事件, 其延时约 0.7~1 Ma<sup>[4]</sup>。各缺氧期有机碳含量分布表明, 缺氧期 1 和 3 比缺氧期 4 和 5 要强一些, 有机碳含量前者要比后者高, 缺氧期 4 和 5 在沉积早期有机碳含量较高。相比之下, 缺氧期 2 最弱, 有机碳含量较低。

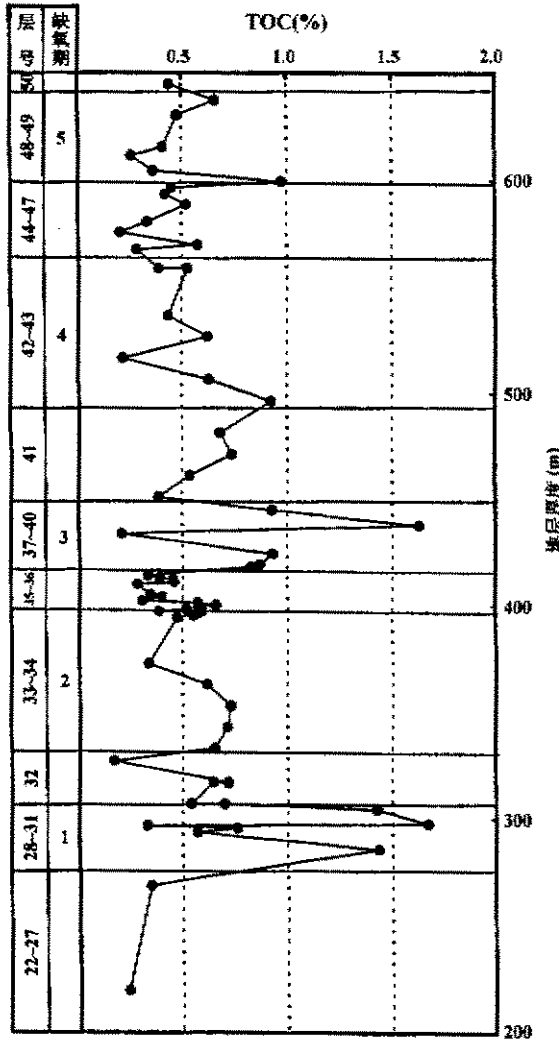


图 1 岗巴地区 Cenomanian-Turonian TOC 的地层分布  
Fig. 1 Stratigraphic distribution of total organic carbon (TOC) of sediments from Cenomanian to Turonian in Gamba area

## 2.2 有机质输入

正构烷烃的碳数分布及其主峰优势与生物输入有直接关系<sup>[12]</sup>。藏南中白垩统样品均出现低碳数的  $nC_{18}$  主峰 (表 2), 在 Cenomanian-Turonian 界线附近出现双峰, 后一主峰为  $nC_{22}$  或  $nC_{25}$ , 峰型为前峰型 (表 2, 图 2)。正构烷烃显示该区有机质输入主要以菌藻类为主。

藏南白垩系样品普遍缺乏奥利烷、羽扇烷等指示高等植物输入的特征标志物。规则甾烷以  $C_{29}$  甾烷明显占优为特征,  $\Sigma C_{27}$  甾烷 /  $\Sigma C_{29}$  甾烷和  $\Sigma C_{28}$  甾烷 /  $\Sigma C_{29}$  甾烷比值分别为 0.26 和 0.64 (表 2)。通常  $C_{29}$  甾烷占优被认为是典型的高等植物输入的结果。但是, 许多事实表明, 藻类也是  $C_{29}$  甾烷的一个重要来源<sup>[13]</sup>。综合其他指标, 藏南甾烷以碳数 29 占优势, 有可能与藻类输入有关。藏南岗巴地区中白垩统样品普遍检出丰富的三环萜烷 (表 2, 图 3a、b)。  $m/z$  191 以  $C_{21}$  为主峰,  $C_{20}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{23}$  呈典型海相地层的倒“V”字型分布, 三环萜烷比五环三萜烷还多, 样品 CT04 的  $C_{23}$  三环萜烷 /  $C_{30}$  藿烷比值为 2.01。定日地区中白垩统地层中存在少量的三环萜烷 (图 3c、d), 其  $C_{23}$  三环萜烷 /  $C_{30}$  藿烷比值仅 0.25 (表 2)。低碳数 ( $\leq 30$ ) 三环萜烷通常被认为来源于原生动物的细胞膜, 是三环己烷异戊二烯烷的降解产物, 其前驱物是三环己烷异戊二烯醇<sup>[14]</sup>。近年来研究表明, 三环萜烷与富含塔斯玛尼亚藻 (Tasmanite) 的岩石有关<sup>[15]</sup>。高含量的三环萜烷有两种来源: (1) 如上所述, 除细菌等微生物输入外, 还与藻类和原生动物等输入有关; (2) 有机质成熟度高, 随着热成熟度升高, 干酪根裂解产生的三环萜烷的比例比藿烷多<sup>[16]</sup>。  $C_{31}$  藿烷的  $22S/(22S + 22R)$  和  $C_{30}$  藿烷 /  $C_{30}$  莫烷比值分别变化在 0.56~0.68 和 6.82~12.78 之间 (表 2);  $C_{29}$  甾烷的  $20S/(20S + 20R)$  和  $C_{29}$  甾烷的  $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha)$  比值分别变化在 0.41~0.43 和 0.51~0.63 之间 (表 2)。并且, 在缺氧层内成熟度并没有明显变化, 在整个剖面纵向上变化不大, 说明该区中白垩统样品有机质经历了相同的、稳定的热演化趋势, 并总体达到成熟—高成熟阶段。

鉴于该区有机质的成熟度在剖面上变化不大, 加之采样间距相对较小, 因此, 高含量的三环萜烷被认为是有机质输入发生变化而引起的。

岗巴地区中白垩统样品甾烷类中低碳数孕甾烷系列十分丰富, 在  $m/z$  217 中以孕甾烷为主峰 (表 2)。样品 CT04 的  $C_{21}$  孕甾烷 /  $C_{29}\alpha\beta\beta$  甾烷比值达 3.97。这种高含量的孕甾烷大量出现是由于成熟度较高引起的还是生物输入上的差异, 迄今还不能确定, 其地质命运和生物来源有待进一步研究。

## 3 特征生物标志物与缺氧事件

运用生物标志化合物判别沉积环境是有机地球

表2 藏南中白垩统样品生物标志物参数一览表

Table 2 Selected biomarker parameters of the mid-Cretaceous samples in southern Tibet

样品编号	岩性	正构烷烃 主峰碳数	HSI	30hop	23/30	SSI	sni-29	27/29st	28/29st	21/29	$\gamma$	Pr/Ph	Pr/17	Ph/18	$\beta$ /17	$\gamma$ /17
GP01-29S4	泥晶灰岩	nC <sub>18</sub>	0.57	6.82	0.31	0.42	0.54	0.08	0.17	0.15	0.48	0.25	0.50	0.18	0.93	0.26
GP01-27S2	泥晶灰岩	nC <sub>18</sub>	0.68	8.69	0.35	0.43	0.58	0.21	0.71	0.10	0.38	0.33	0.75	0.13	14.23	2.99
GP01-27S1	泥晶灰岩	nC <sub>18</sub> , nC <sub>25</sub>	0.62	12.13	0.16	0.43	0.63	0.22	0.69	0.04	0.22	0.19	0.64	0.11	51.70	8.03
GP01-24S1	页岩	nC <sub>18</sub> , nC <sub>22</sub>	0.65	12.78	0.09	0.42	0.62	0.22	0.64	0.04	0.19	0.15	0.47	0.10	27.97	3.49
GP01-23S1	泥晶灰岩	nC <sub>18</sub>	0.56	8.96	0.39	0.42	0.56	0.35	0.79	0.19	0.35	0.19	0.40	0.14	0.64	0.19
GP01-22S2	页岩	nC <sub>18</sub>	0.62	10.45	0.27	0.41	0.51	0.39	0.78	0.19	0.26	0.20	0.44	0.13	1.12	0.42
CT04	黑色页岩	nC <sub>18</sub>	0.60	7.09	2.01	0.40	0.58	0.36	0.73	3.97	0.20	0.37	0.70	1.71	0.46	0.06

注: 1. HSI, C<sub>31</sub> 藿烷 22S/(22S + 22R); 30hop, C<sub>30</sub> 藿烷/C<sub>30</sub> 萘烷; 23/30, C<sub>23</sub> 三环萜烷/C<sub>30</sub> 藿烷; SSI, C<sub>29</sub> $\alpha\alpha$  甾烷 20S/(20S + 20R); sni-29, C<sub>29</sub> 甾烷  $\beta\beta$ /( $\beta\beta$  +  $\alpha\alpha$ ); 27/29st,  $\Sigma$ C<sub>27</sub> 甾烷/ $\Sigma$ C<sub>29</sub> 甾烷; 28/29st,  $\Sigma$ C<sub>28</sub> 甾烷/ $\Sigma$ C<sub>29</sub> 甾烷; 21/29, C<sub>21</sub> 甾烷/C<sub>19</sub> $\alpha\beta$ 20R 甾烷;  $\gamma$ , 伽玛蜡烷/C<sub>30</sub> $\alpha\beta$ 22S 藿烷; Pr/Ph, 姥藿烷/植烷; Pr/17, 姥藿烷/nC<sub>17</sub>; Ph/18, 植烷/nC<sub>18</sub>;  $\beta$ /17,  $\beta$ -胡萝卜烷/nC<sub>17</sub>;  $\gamma$ /17,  $\gamma$ -胡萝卜烷/nC<sub>17</sub>。

2. 样品编号中 GP01 指定日贡扎剖面样品; CT 指岗巴宗山剖面样品; 29 等指层号, S4 指这层内从下而上的第 4 个样品, 其余类推。

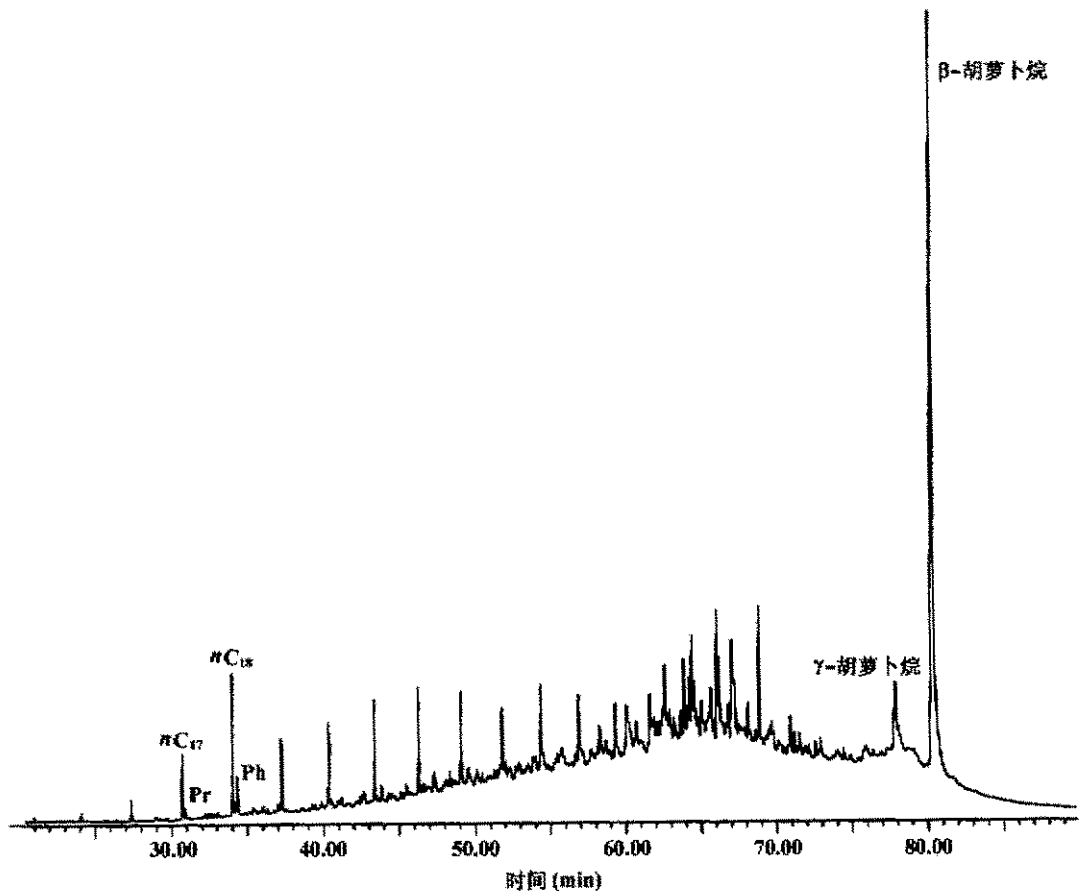


图2 藏南中白垩统缺氧沉积样品 GP01-24S1 重建总离子图

显示强烈的植烷优势和极高含量的胡萝卜烷

Fig. 2 Reconstructed ion chromatograms (RIC) of the sample GP01-24S1 from the Cenomanian-Turonian anoxic sediment in Tingri area, southern Tibet, showing very low Pr/Ph ratio and abundant carotenes

化学家和沉积学家长期以来探求的目标。迄今, 国内外已有不少研究成果<sup>[17]</sup>。近年来研究表明, 沉积环境中氧化还原条件的变化反映在特征生物标志物

上。例如, 缺氧环境可能具有高含量的 28, 30 双降藿烷<sup>[10]</sup>、25, 28, 30- 三降藿烷<sup>[18]</sup>和 C<sub>35</sub> $\alpha\beta$  藿烷<sup>[19]</sup>等。藏南 Cenomanian-Turonian 缺氧事件是否反映在

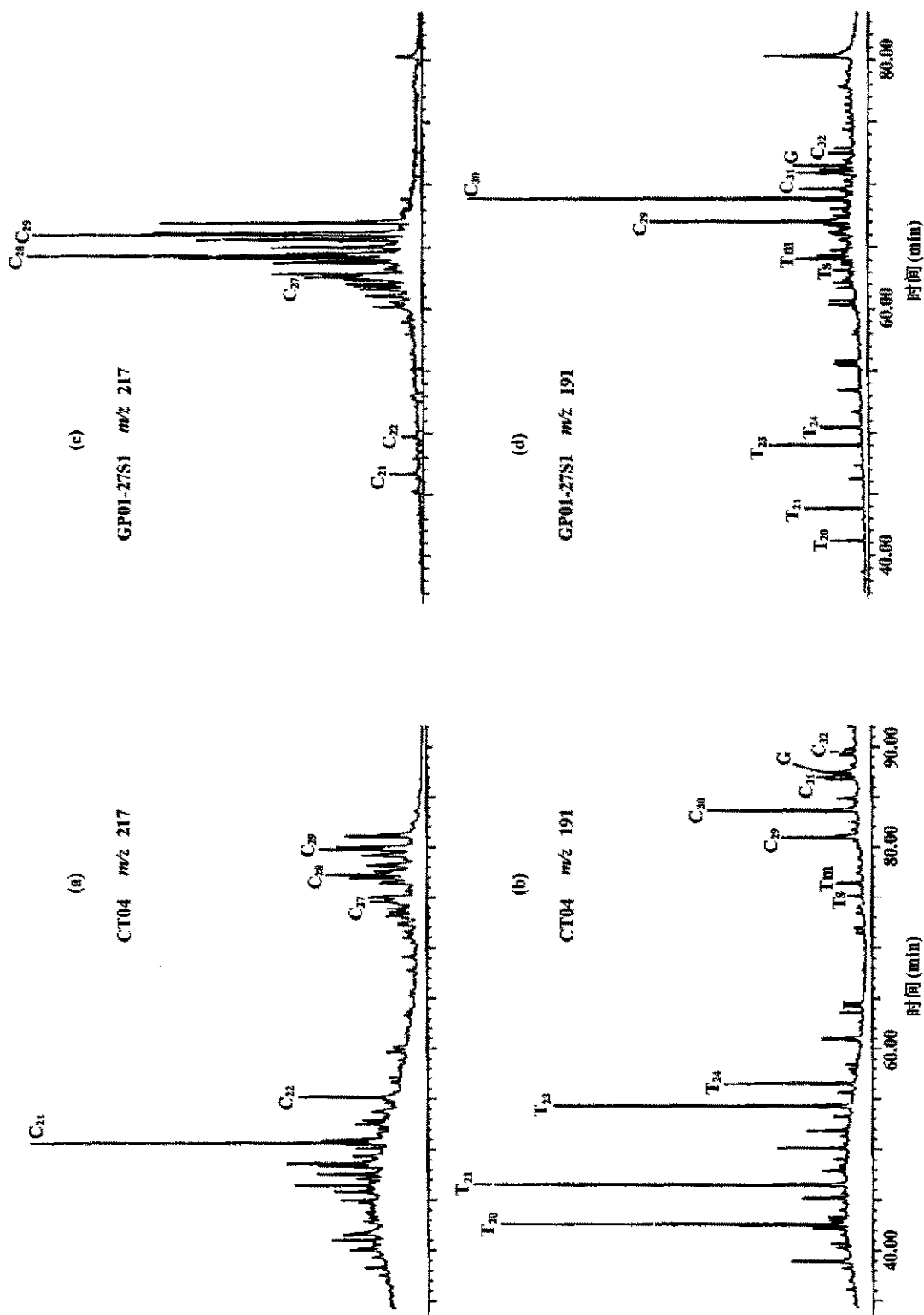


图 3 藏南中白垩统缺氧事件典型样品  $m/z$  191 和  $m/z$  217 质颜色谱图

Fig. 3 Representative  $m/z$  191 (hopane) and  $m/z$  217 (terpane) mass fragmentograms of the Cenomanian-Turonian anoxic sediments in southern Tibet.

a, b. 冈巴 Cenomanian-Turonian 黑色页岩 (样品 CT04); c, d. 定日 Cenomanian-Turonian 泥灰岩 (样品 GP01-27S1).  
部分三环萜烷用“T”和碳数表示, 甾烷用“C”和碳数表示, G 表示伽玛蜡烷, 甾烷用碳数表示。

a, b. the sample CT04 from black shale in Gamba area; c, d. the sample GP01-27S1 from mud in Dingri area.

Selected tricyclic terpanes are labelled with a “T” followed by carbon number. G = gammacerane. Steranes are labelled according to carbon number.

类似的特殊生物标志物变化上,这正是本文试图探讨的问题。

姥鲛烷(Pr)/植烷(Ph)比值常用来表示母源沉积的氧化还原电位。强烈的植烷优势有两种来源,一是植醇在强烈的还原环境下产生植烷;二是嗜盐菌等参加到沉积物有机质中并在成岩过程中被降解,释放出大量的植烷<sup>[20]</sup>。定日贡扎剖面白垩系样品 Pr/Ph 比值整体较低,平均值仅 0.31(13 个样品)。24~27 层 Cenomanian-Turonian 缺氧层内(GP01-24S1 和 GP01-27S1), Pr/Ph 值达最低,为 0.17, Pr/Ph 值的降低指示氧化还原条件的影响大于成熟度的影响;向上 27 层之上, Pr/Ph 值上升,为 0.29(表 2)。Pr/Ph 值在剖面纵向上的相对变化(平均值降低约 0.12)可能是沉积环境氧化还原条件发生变化所致。

高含量胡萝卜烷的存在主要归因于缺氧的、含盐湖沉积的藻类有机质输入<sup>[21]</sup>。对应于世界范围内的侏罗-白垩纪三次明显的缺氧事件的时限<sup>[1,2]</sup>,在本区普遍对应出现高含量的胡萝卜烷。定日贡扎剖面第 24~27 层样品(相当于 Cenomanian-Turonian 缺氧层)的  $\beta$ -胡萝卜烷/ $nC_{17}$  和  $\gamma$ -胡萝卜烷/ $nC_{17}$  平均值高达 39.84 和 5.76,远远高于其上下地层含量(表 2)。另据作者研究,本区早白垩世 Aptian-Albian 缺氧黑色页岩沉积层,  $\beta$ -胡萝卜烷/ $nC_{17}$  和  $\gamma$ -胡萝卜烷/ $nC_{17}$  比值变化于 32.28~42.87 和 5.10~11.01 之间,平均值达 37.58 和 8.06,而其上下地层仅为 1.12~9.88 和 0.42~1.86;侏罗纪 Callovian 阶缺氧黑色页岩沉积层,  $\beta$ -胡萝卜烷/ $nC_{17}$  和  $\gamma$ -胡萝卜烷/ $nC_{17}$  比值变化于 73.14~751.50 和 8.94~99.25 之间,平均值达 320.75 和 43.84,而其上下地层仅为 5.30~10.68 和 1.81~2.20,远远低于缺氧层的含量。因此,胡萝卜烷含量是反映特提斯喜马拉雅藏南地区沉积环境的氧化还原条件变化的敏感特征标志物。还原条件下缺氧事件层内,胡萝卜烷含量特别高,而氧化环境下,胡萝卜烷含量相对偏低。

## 4 讨论与结论

迄今,国际上对 Cenomanian-Turonian 缺氧事件沉积的有机地球化学研究相对深入,但其研究区域主要集中在特提斯域西段,而对特提斯喜马拉雅的藏南地区的缺氧沉积尚未见报道。下面对西藏喜马拉雅地区中白垩统和西特提斯大西洋缺氧沉积作一

简单比较。

藏南 Cenomanian-Turonian 黑色页岩有机碳含量最高为 1.68%,明显低于世界其他地区同期水平。例如, Farrimond *et al.*<sup>[10]</sup> 报道了欧洲及突尼斯 11 个地点 Cenomanian-Turonian 期黑色页岩 TOC 含量,最高达 31.2%,最少 1.3%,大部分样品的 TOC 含量在 3% 以上,相当一部分样品高达 10%~15%。巴西大陆边缘 Cenomanian-Turonian 黑色页岩 TOC 为 2%~5%<sup>[22]</sup>。日本北部 Cenomanian-Turonian 陆相地层中,其 TOC 含量为 0.72%<sup>[23]</sup>。造成藏南黑色页岩 TOC 含量偏低的原因至今尚不完全清楚。推测可能的因素有:(1) 青藏高原自新生代以来的持续隆升,有机质受到风化和破坏;(2) 中白垩世期间藏南气候及海洋条件特殊,影响和决定着有机质的供给和保存;(3) 碳有可能以其他形式存在,包括有机碳的转化;(4) 陆源碎屑物质的大规模输入造成有机质稀释。

藏南中白垩统有机质输入基本上以海相菌藻类为主,陆源有机质极少,这与大西洋黑色页岩相似,显示出 II 型干酪根特征。因此,缺氧事件沉积内高含量的有机质的主要来源是海相菌藻类生物。

伽玛蜡烷通常为高盐度海相和非海相沉积环境的标志<sup>[24]</sup>。藏南中白垩统样品伽玛蜡烷含量整体变化不大,其伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷比值较小,平均为 0.30(7 个样品,表 2),反映了一种低盐度的沉积环境,这与当时藏南处于特提斯海印度开放的被动大陆边缘,与太平洋、大西洋连通性好有关。这同时也说明,本区 Cenomanian-Turonian 缺氧层的成因并非相对封闭的高盐度的沉积环境,而是一种相对开放状态下的溶解氧含量偏低的缺氧状态。

基于以上研究和讨论,本文初步获得以下几点认识。

(1) 岗巴中白垩统缺氧层内高含量有机碳的黑色页岩与灰绿色页岩、泥灰岩构成旋回地层。在五次韵律层中,黑色页岩中有机碳含量最高达 1.68%。缺氧层内黑色页岩中 TOC 含量明显低于西特提斯等世界其他地区的含量。

(2) 藏南中白垩统缺氧层内,有机质输入以海洋生物的菌藻类为主。岗巴地区中白垩统样品普遍检出丰富的三环藿烷和孕甾烷系列。

(3) 生物标志物与缺氧事件对应研究表明, Pr/Ph 在剖面上的相对变化可以判别氧化还原的变化状态, Cenomanian-Turonian 缺氧层内 Pr/Ph 比值仅为 0.17 左右,显示出强烈的植烷优势。定日贡扎剖

面 Cenomanian-Turonian 缺氧层内,  $\beta$ - 胡萝卜烷/ $nC_{17}$  和  $\gamma$ - 胡萝卜烷/ $nC_{17}$  平均值高达 39.84 和 5.76, 远远高于其上下地层含量。对应于世界范围内的侏罗 - 白垩纪三次明显的缺氧事件的时限, 本区普遍对应出现高含量的胡萝卜烷。胡萝卜烷含量 ( $\beta$ - 胡萝卜烷和  $\gamma$ - 胡萝卜烷) 是反映特提斯喜马拉雅藏南地区沉积环境的氧化还原条件变化的敏感特征标志物, 还原条件下缺氧事件层内, 胡萝卜烷含量特别高, 而氧化环境下, 胡萝卜烷含量较低。

### 参考文献:

- [1] Schlanger S O, Jenkyns H C. Cretaceous oceanic anoxic events: Cause and consequence [J]. *Geol Mijnbouw*, 1976, 55: 179 ~ 184.
- [2] Jenkyns H C. Cretaceous anoxic events: From continents to oceans [J]. *J Geol Soc London*, 1980, 137: 171 ~ 188.
- [3] Arthur M A, Dean W, Pratt L M. Geochemical and climatic effects of increased marine organic carbon burial at the Cenomanian/Turonian boundary [J]. *Nature*, 1988, 335: 714 ~ 717.
- [4] Schlanger S O, Arthur M A, Jenkyns H C, *et al.* The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic events; I. Stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and the marine  $\delta^{13}C$  excursion [A]. Brooks J, Fleet A J. *Marine petroleum source rocks* [C]. Geological Society Special Publications 26, 1987. 371 ~ 399.
- [5] Raup D M, Sepkoski J J. Mass extinctions in the marine fossil record [J]. *Science*, 1982, 215: 1 501 ~ 1 503.
- [6] 余光明, 王成善. 西藏特提斯沉积地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1990. 185.
- [7] 陶然. 西藏南部中白垩世古海洋学研究 [D]. 成都: 成都地质学院, 1990.
- [8] Wang Chengshan, Hu Xiumian, Tao Ran, *et al.* The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event in South Tibet [J]. *Earth Planet Sci Lett*, submitted.
- [9] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 154.
- [10] Farrimond P, Eglinton G, Brassell S C, *et al.* The Cenomanian-Turonian anoxic event in Europe: An organic geochemical study [J]. *Mar Petrol Geol*, 1990, 7: 75 ~ 89.
- [11] Kaiho K, Hasegawa T. End-Cenomanian benthic foraminiferal extinctions and oceanic dysoxic events in the northwestern Pacific Ocean [J]. *Palaeogeog P*, 1994, 111: 29 ~ 43.
- [12] Brassell S C, Eglinton G, Maxwell J R, *et al.* Natural background of alkanes in the aquatic environment [A]. Hutzinger O, *et al.* *Aquatic Pollutants: Transformation and Biological Effects* [C]. Oxford: Pergamon Press, 1978. 69 ~ 86.
- [13] Grantham P J. The occurrence of unusual  $C_{27}$  and  $C_{29}$  sterane predominances in two types of Oman crude oil [J]. *Org Geochem*, 1986, 9: 1 ~ 10.
- [14] Aquino Neto F R, Restle A, Connan J, *et al.* Novel tricyclic terpane ( $C_{19}$ ,  $C_{20}$ ) in sediments and Petroleum [J]. *Tetrahedron Lett*, 1982, 23: 2 027 ~ 2 030.
- [15] Azevedo D A, Aquino Neto F R, Simoneit B R T, *et al.* Novel series of tricyclic aromatic terpanes characterized in Tasmania tasmanite [J]. *Org Geochem*, 1992, 18: 9 ~ 16.
- [16] Peter K E, Moldowan J M, Sundararaman P. Effects of hydrous pyrolysis on biomarker thermal maturity parameters: Monterey Phosphatic and Siliceous Members [J]. *Org Geochem*, 1990, 15: 249 ~ 265.
- [17] Fu Jiameo, Sheng Guoying, Xu Jiayou, *et al.* Application of biological markers in the assessment of paleoenvironments of Chinese non-marine sediments [J]. *Org Geochem*, 1990, 16: 769 ~ 779.
- [18] Grantham P J, Posthuma J, DeGroot K. Variation and significance of the  $C_{27}$  and  $C_{29}$  triterpane content of a North Sea core and various North Sea crude oils [A]. Douglas A G, Maxwell J R. *Advances in Organic Geochemistry 1979* [C]. New York: Pergamon Press, 1980. 29 ~ 38.
- [19] Peters K E, Moldowan J M. Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum [J]. *Org Geochem*, 1991, 17: 47 ~ 61.
- [20] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中的分子化石的解释 [M]. 姜乃煌等译. 北京: 石油工业出版社, 1995. 236.
- [21] ten Haven H L, de Leeuw J W, Rullkotter J, *et al.* Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a paleoenvironmental indicator [J]. *Nature*, 1987, 330: 641 ~ 643.
- [22] Mello M R, Koutsoukos E A M, Hart M B. Late Cretaceous anoxic events in the Brazilian continental margin [J]. *Org Geochem*, 1989, 14(5): 529 ~ 542.
- [23] Hasegawa T. Cenomanian-Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan [J]. *Palaeogeog P*, 1997, 130: 251 ~ 273.
- [24] 傅家谟, 盛国英, 许家友, 等. 应用生物标志化合物参数判识古沉积环境 [J]. *地球化学*, 1991, 11 ~ 12.

## Cenomanian-Turonian anoxic event in southern Tibet: A study of organic geochemistry

HU Xiu-mian<sup>1</sup>, WANG Cheng-shan<sup>1</sup>, LI Xiang-hui<sup>1</sup>, FAN Shan-fa<sup>2</sup>, PENG Ping-an<sup>2</sup>

(1. *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*; 2. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*)

**Abstract:** The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event (C/T OAE) is developed in southern Xizang Zizhiqu (Tibet). An organic geochemical study of the Cenomanian-Turonian sediments from Gamba and Tingri areas shows that mid-Cretaceous black shales in southern Tibet are rich in organic carbon content, with values ranging from 0.4% to 1.68%. The latest Cenomanian-earliest Turonian in Gamba area is subdivided into five cyclothems according to the organic carbon content and lithology. Each cyclothem consists of total organic carbon (TOC)-enriched black shale interbedded with TOC-low mudstone/marl. This alteration represents the change from anoxic to oxic depositional condition. The distributions of biomarkers indicate that the Cenomanian-Turonian anoxic sediments are dominated by marine organic matter including algae and bacteria. In Gamba area, the organic matter is characterized by the abundance of tricyclic terpanes and pregnane, which are predominant in *m/z* 191 and *m/z* 217 mass chromatograms. On the basis of molecular maturity parameters, the organic matter is high mature. The pristane/phytane (Pr/Ph) ratios in the C/T OAE sediments are less than 1, with an average of 0.17, demonstrating the domination of phytane. Our study indicates that the Pr/Ph change in the sedimentary profile may reflect the change of redox condition in the depositional environment. The presence of carotenoid compounds can be regarded as a special mark of oxygen depletion in the C/T OAE sediments in the Tethyan Himalayas. In anoxic sediments,  $\beta$ -carotane and  $\gamma$ -carotane are very abundant. The  $\beta$ - and  $\gamma$ - carotane ratios relative to *n*C17 in the Cenomanian-Turonian anoxic sediments vary from 32.28 to 42.87 and from 5.10 to 11.01, respectively. Therefore,  $\beta$ - and  $\gamma$ - carotanes can be considered as sensitive indicators of redox conditions in depositional environments in the Tibetan Himalayas.

**Key words:** oceanic anoxic event; organic geochemistry; Cenomanian-Turonian; biomarker, carotane, Xizang Zizhiqu