

塔里木盆地西北缘白垩纪大洋缺氧事件(OAE₂)

宋春晖¹, 张 曼¹, 魏引杰¹, 方小敏², 孟庆泉¹, 席党鹏³

(1. 兰州大学 地质科学与矿产资源学院 & 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国科学院
青藏高原研究所, 北京 100085; 3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘 要:大洋缺氧事件(OAEs)关系到碳-氧循环、古海洋-古气候变化等一系列重大科学问题。本文通过对塔里木盆地西北缘乌恰地区库孜贡苏剖面白垩系地层的沉积和生物特征以及沉积物色度、有机质和碳氧同位素指标的研究,结合前人研究成果,论证并证实该区上白垩统库克拜组存在大洋缺氧事件(OAE₂),并认为该区这次海洋缺氧条件可能存在四次(分别为OAE_{2a}、OAE_{2b}、OAE_{2c}和OAE_{2d}),它与我国西藏南部地区的OAE₂事件构成白垩纪 Cenomanian-Turonian 时期特提斯海伸向我国的南北两个分支,这次大洋缺氧事件可能与同期全球海平面大幅度上升有关。这对丰富我国白垩纪事件研究、查清白垩纪新特提斯洋演化以及塔里木盆地白垩纪古环境和烃源岩大规模形成等具有重要意义。

关键字:白垩纪;大洋缺氧事件;黑色页岩;塔里木盆地

中图分类号: P534.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)04-0541-08

Late Cretaceous Oceanic Anoxic Event (OAE₂) in northwestern of Tarim Basin

SONG Chun-hui¹, ZHANG Man¹, WEI Yin-jie¹, FANG Xiao-min², MENG Qing-quan¹, XI Dang-peng³

(1. School of Earth Sciences & Key Laboratory of Western China's Environment System (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Oceanic Anoxic Events (OAEs) were relative with a series of important science questions, including carbon-oxygen cycle and paleocean-paleoclimatic changes. Combining with previous researches, this paper analysed the depositional feature, sediments' color, organic matter content and carbon-oxygen isotopes changes in Cretaceous Kuzigongsu section, which located in Wuqia area, northwestern margin of Tarim Basin, and confirmed that this area did exist Oceanic Anoxic Event 2 (OAE₂), furthermore, thought this event probably happened four times (OAE_{2a}, OAE_{2b}, OAE_{2c}, OAE_{2d}, respectively) instead of only one. There are two branches stretched into China from Tethys during Cenomanian-Turonian in the Cretaceous, including the south branch where occurred OAE₂ in the Tibetan region, and north branch where existed OAE₂ in the northwestern of Tarim Basin, and OAE₂ may be relative with the corresponding period of global sea surface rising. The conclusions are very important to the studies including Cretaceous events, Cretaceous paleo-environment in Tarim Basin and the large scale formation of source rock.

Key words: Cretaceous; Oceanic Anoxic Events; black shale; Tarim Basin

自1976年 Schlanger and Jenkyns (1976) 和1980年 Jenkyns (1980) 提出“大洋缺氧事件”(Oceanic Anoxic Events, OAEs) 模式用于解释白垩纪全球性

分布的富有机质黑色页岩的成因以来,黑色页岩和大洋缺氧事件成为地学研究热点之一。研究表明,白垩纪地层中存在多次大洋缺氧事件,即大洋底层

收稿日期:2011-06-10

基金项目:国家973重点基础研究发展计划项目(2011CB403000,2010CB833401);国家科技重大专项子课题(2008ZX05008-001-05)和国家基金项目(40872029,40902015)

通讯作者:宋春晖, E-mail: songchh@lzu.edu.cn

水多次处于贫氧乃至缺氧状态,造成富有机质黑色页岩在各大洋盆地广泛分布 (Schlanger and Jenkyns, 1976; Jenkyns, 1980; Bralower et al, 1994),其中白垩纪古海洋分别在 Aptian – Albion、Cenomanian – Turonian 和 Coniacian – Santonian 期间发生的大洋缺氧事件(分别被称为 OAE_1 、 OAE_2 和 OAE_3)先后在世界许多地区得到广泛证实。由于白垩纪大洋缺氧事件关系到碳 – 氧循环、古海洋 – 古气候变化等一系列重大科学问题,经 30 多年的研究,国际上已取得大量成果,同时也引发人们对地球系统中更多科学问题的思考 (Jenkyns, 2006; 黄永建等, 2008)。然而我国白垩纪古海洋“大洋缺氧事件”沉积记录只在西藏喜马拉雅地区发现 (王成善等, 1999; 胡修棉等, 2000)。作为 Cenomanian – Turonian (C – T) 界线之间的 OAE_2 是在白垩纪中最显著的缺氧事件之一,其分布区域极为广泛,例如美国的科罗拉多 Western Interior Seaway (Meyers et al, 2001)、摩洛哥的塔法亚盆地 (Kuhnt et al, 1997)、加拿大西部 (Prokoph et al, 2001) 以及我国的西藏南部 (王成善等, 1999; 胡修棉等, 2000) 等。塔里木盆地西部

地区是我国海相白垩系连续发育并出露良好的少数地区之一,从全球古海洋学角度看,它是受特提斯洋演化的控制 (图 1),同时,赛诺曼中、晚期至土伦期是全球范围内的海进高潮期,但这次事件是否波及到塔里木盆地还不明确。几十年来前人在该区开展了大量的地层研究工作,特别是郝诒纯、郭宪璞等在白垩系地层划分及其与国际典型剖面对比研究方面取得了重要进展 (郝诒纯等, 1982, 2001; 郭宪璞等, 2002),同时郭宪璞和姚培毅 (1995) 曾报道塔里木盆地西部存在中白垩世缺氧事件,但至今对其缺氧事件未见详细研究。本文试图在前人研究基础上,通过塔里木盆地西部地区库孜贡苏剖面典型海相白垩系地层的沉积生物特征以及沉积物色度、有机质和氧碳同位素指标的研究,论证和确认该地区是否存在大洋缺氧事件,这对丰富我国白垩纪事件研究以及进行全球白垩纪大洋缺氧事件对比及其成因机制的探讨、对查清白垩纪新特提斯洋演化以及塔里木盆地白垩纪古环境和烃源岩大规模形成与重大地质事件的联系,都具十分重要的意义。

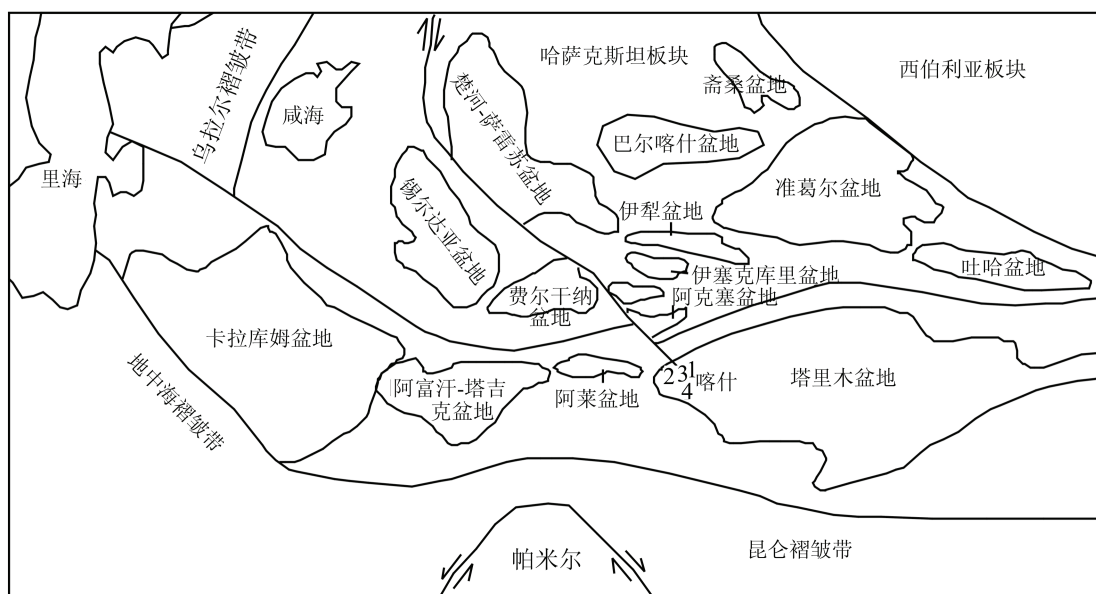


图 1 中亚和中国西部主要沉积盆地分布示意图以及研究剖面位置

1. 库孜贡苏剖面; 2. 巴什布拉克剖面; 3. 康苏剖面; 4. 阿克彻依剖面

Fig. 1 Distribution of the basins in western China and Central Asia and the location of the study sections

1 区域白垩系地层序列和海相地层概况

我国中生代地层绝大部分为陆相沉积,塔里木盆地是我国中生代海相地层发育的少数地区之一。其中塔里木盆地西部白垩纪海相地层发育完

整,海相化石较为丰富,岩石类型多样。经过许多学者几十年的研究,关于塔里木盆地西部白垩系地层划分目前已取得比较统一的认识,即该区白垩系地层自下而上划分为下白垩统克孜勒苏群 (进一步划分为上、下亚旋回),上白垩统库克拜组、乌依塔克

组、依格孜牙组,其地层年代目前广泛接受郝诒纯等(2001)的研究结果(表1)。

郝诒纯等(2001)和郭宪璞(1991)根据在克孜勒苏群下亚旋回上部 and 上亚旋回中发现的有孔虫化石、海相遗迹化石、双壳类化石以及自生海绿石和地球化学等方面的证据,论证了克孜勒苏群中上部存在海相层,并认为塔里木盆地在巴列姆-赛诺曼早期曾受到海侵,海侵范围限于天山山前库孜贡苏地区以西的狭小地带。郭宪璞等(2002)综合研究表明,早白垩世与塔里木盆地西部毗邻的中亚陆间特提斯海开始扩展,海水由塔吉克盆地一直向北向东方方向延伸进入塔里木盆地西部地区(图1)。晚白垩世海侵开始在赛诺曼中期至土伦期形成高潮,特提斯海水通过阿莱海峡,侵入到喀什、叶城与和田等地

区。新鲜海水的侵入为塔里木盆地带来了丰富的海相生物群。经统计有菊石、双壳类(包括特提斯洋特有的固着蛤类)、腹足类、介形类、有孔虫、钙质超微化石、藻类等十几个门类的化石(郭宪璞等,2002),这些化石不仅为准确划分晚白垩世地层,而且为恢复古海洋和古地理提供了可靠佐证。塔里木盆地晚白垩世化石生物群的面貌和性质与中亚地区、欧洲南部、美国、加拿大等国家和地区的十分相近,而且有着共同的属种和代表分子,它们属于同一古生物地理区即特提斯生物区(郝诒纯等,2001;郭宪璞等,2002),因而塔里木盆地晚白垩世的海盆属于特提斯洋的一部分,是深入大陆的海湾(雍天寿和单金榜,1986;郭宪璞等,2002)。

表1 研究区白垩系划分沿革表

Table 1 A historical view of subdivision of Cretaceous in western Tarim Basin

作者 地层	蒋显庭 (1980)	余静贤和张望平 (1980)	郝诒纯等 (1982)	唐天福等 (1982)	茅绍智和 Norris (1984)	何承全 (1984)	钟石兰 (1984)	郝诒纯等 (2001)
上 白 垩 统	依格孜 牙组	马斯特里 赫特早期 - 坎潘期		马斯特里 赫特期 - 赛诺期				马斯特里 赫特期
	乌依塔 克组	土伦期	赛诺期	赛诺期 - 土伦期		赛诺早期 - 土伦期		赛诺期
	库克 拜组	- 赛诺曼期	土伦期 - 赛诺曼期	土伦期 赛诺曼期	康尼亚克 期 - 赛诺 曼期		赛诺曼期 - 阿尔卑期	土伦期 - 赛诺曼中 晚期
下 白 垩 统	克孜勒 苏群							赛诺曼早 期 - 贝利 阿斯期

据郝诒纯等(2001)。

2 研究剖面白垩系地层

在大量考察塔里木盆地西部重点剖面基础上(图1),本文选取位于天山前缘、乌恰县以北约8 km处沿库孜贡苏河白垩系地层出露完整的库孜贡苏剖面。根据地层接触关系、岩性变化和化石组合等,该剖面白垩系地层划分和沉积特点自下而上为(图2):

克孜勒苏群下段(下亚旋回):主要岩性为紫红-砖红砾岩、砂岩夹粉砂岩,具河流和洪积沉积特征,厚度大于400 m,与下伏侏罗系地层呈不整合接触。

克孜勒苏群上段(上亚旋回):主要岩性为紫

红、砖红、灰-浅绿色含海绿石石英砂岩、岩屑石英砂岩、砂砾岩,底部为燧石石英砾岩,厚度为341 m,与下伏克孜勒苏群下亚旋回呈整合接触。该段地层中含有海相遗迹化石、有孔虫和双壳类化石以及海绿石矿物,交错层理发育,颗粒分选和磨圆好,具滨海相沉积特征。郭宪璞(1991, 1995b)根据在邻区康苏剖面下亚旋回上部以及上亚旋回中发现了大量海相遗迹化石、在邻区巴什布拉克剖面的上亚旋回中发现有孔虫化石 *Sacoammina globosa* (主要分布于巴列姆期)和 *Nodosaria* sp.,确定该段地层年代属早白垩世巴列姆-赛诺曼早期。

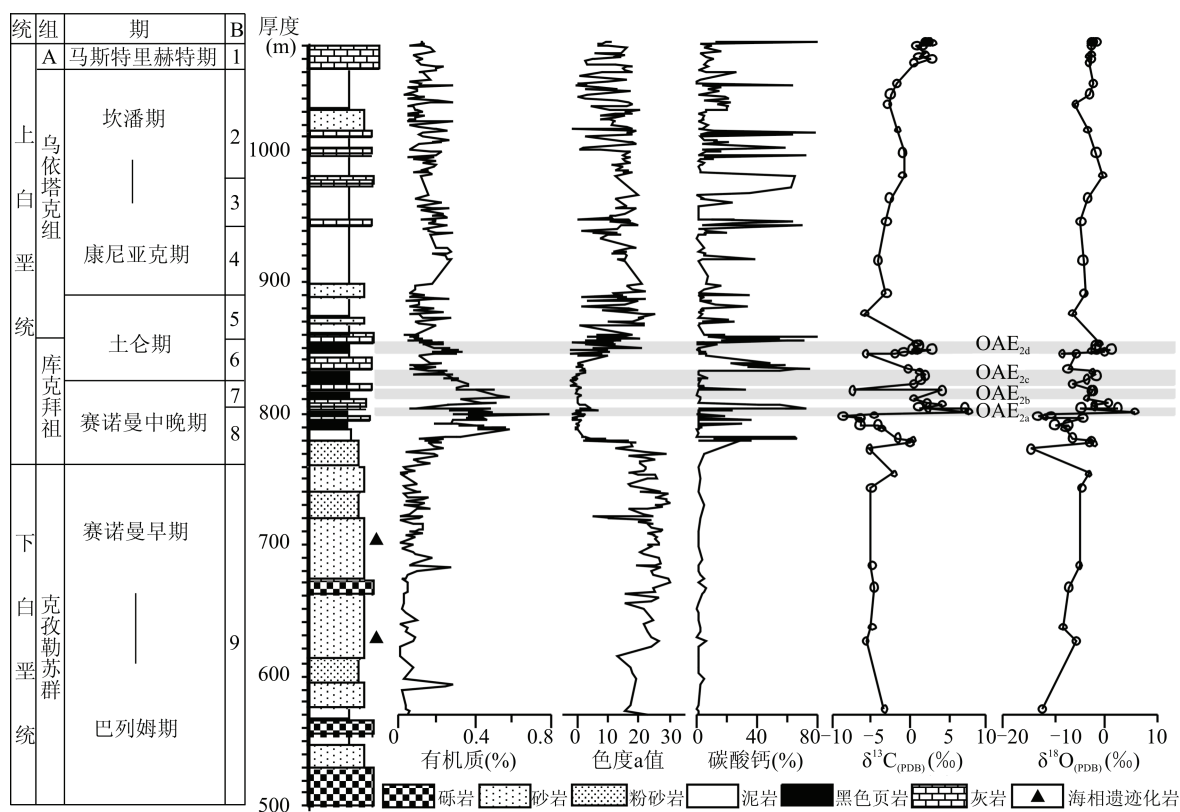


图2 库孜贡剖面白垩系地层划分、有孔虫组合以及沉积物色度、有机质、碳酸盐和碳氧同位素含量变化

Fig.2 Stratigraphic subdivision and the organic matter, color, carbonate, carbon and oxygen isotopes of the sediments in late Cretaceous Kuzigongsu section

A. 依格孜牙组; B. 有孔虫: 1. *Quinqueloculina* - *Triloculina* 组合带, 2. *Quinqueloculina* - *Massilina* 组合带 (邻区阿克切剖面同层位) (据郭宪璞, 1995a), 3. *Cibicidina* - *Quinqueloculina* 组合带 (邻区阿克切剖面同层位) (据郭宪璞, 1995a), 4. *Pararotalia* - *Nonionella* 组合带 (邻区阿克切剖面同层位) (据郭宪璞, 1995a), 5. *Migros* - *Ammobaculites* 组合带, 6. *Archaeoglobigerina* - *Discorbis* 组合带, 7. *Talimuella* - *Ammobaculites* 组合带, 8. *Migros* - *Ammobaculites* 组合带, 9. *Sacoammina globosa* (邻区康苏剖面同层位) (据郭宪璞, 1995b)

库克拜组: 根据岩性可分为三段: 下段为棕红、紫色、棕褐色泥岩、粉砂岩和砂岩, 底部为灰白色 - 棕红色砂质细砾岩, 厚度 17.5 m, 与下伏克孜勒苏群上亚旋回呈整合接触; 中段为灰绿、灰黑色泥岩、粉砂质泥岩与黑色页岩, 夹 4 层灰黄色生物介壳灰岩, 厚度 78.5 m; 上段灰绿、灰红、棕红色泥岩夹灰绿 - 灰黄色泥灰岩和砂岩, 厚度 4 m。该组泥岩中含丰富的有孔虫、介形虫类以及少量颗石藻化石, 灰岩中含丰富的腹足类、双壳类、有孔虫、介形虫、沟鞭藻、菊石、海胆化石, 为一套正常海相沉积地层, 其中黑色页岩段可能属海侵高潮时的产物。根据中段有孔虫组合中下部 *Migros* - *Ammobaculites* 组合带的代表性有孔虫 *Migros spiritensis* (属赛诺曼中晚期)、中部 *Talimuella* - *Ammobaculites* 组合带的代表性有孔虫 *Ammobaculites pacalis* 及 *A. albertensis* (属赛诺曼晚期), 上部 *Archaeoglobigerina* - *Discorbis* 组合带的

代表性有孔虫 *Hedbergella planispira*, *H. cretacea* (属赛诺曼 - 康尼亚克早期) (图 2), 确定该组年代属晚白垩世赛诺曼中晚 - 土仑期 (郝治纯等, 2001)。

乌依塔克组: 主要岩性为棕红、杂色泥岩、粉砂岩夹砂岩、膏泥岩和少量泥灰岩, 厚度为 207 m, 与下伏库克拜组整合接触。该组以沉积物粒度细、部分层位含石膏、发育水平层理、化石种类数量较少 (见少量苔藓虫、双壳类、介形虫、有孔虫和钙质超微化石) 为特征, 结合剖面沉积相序列分析, 该组属潮间 - 潮上带沉积产物。根据郭宪璞 (1995a) 在邻区阿克切剖面同层位从下而上分的四个有孔虫带, 即: ① *Migros* - *Ammobaculites* 组合带 ② *Pararotalia* - *Nonionella* 组合带 (代表有孔虫 *Nonionella austinana* 属康尼亚克期 (即早赛诺期), *Pararotalia* 一属最早出现康尼亚克期, 同时出现的浮游有孔虫有康尼亚克期的 *Conoglobigerina kelleri*、三冬期 (即中赛诺期) 的 *Hedbergella lata* 等)

③ *Cibicidina* - *Quinqueloculina* 组合带(代表有孔虫 *Cibicidina californica* 属坎潘期(即赛诺晚期))

④ *Quinqueloculina* - *Massilina* 组合带(代表有孔虫 *Quinqueloculina simplex*(属赛诺期)),结合 *P. obstiois*、*Cytherella comonchensis*、*Cythereis praetexta*、*Haplocytheridea punctyra*、*Brachycythere taylorensis*、*Pontocypris fragilis*、*Bythocypris luminosa* 等介形虫化石,确定该组年代属晚白垩世坎潘-土伦期,其中土伦期与康尼亚克期的界线位于该组下部的 *Migros* - *Ammobaculites* 组合带与 *Pararotalia* - *Nonionella* 组合带之间。

依格孜牙组:浅灰绿-棕褐红色含砂白云质灰岩、砂质灰岩、砂质泥灰岩和生物灰岩与褐红色砂质膏泥岩、泥岩和粉砂岩不规则互层,偶夹薄层兰灰色砂质泥灰岩,含有孔虫、介形虫、双壳类和藻类化石。厚度为 16.3 m,与下伏乌依塔克组和上覆吐依洛克组地层均呈整合接触。根据岩性和生物特征,该组属潮间-潮上带沉积产物。依据我们在该层位发现的有孔虫 *Quinqueloculina* - *Triloculina* 组合(图 2),结合 *Cytheridea falcoburgensis*、*Cythereis orchidella*、*Cytherella terminopunctata* 等介形虫化石以及郭宪璞(1995c)和郝诒纯等(2001)在邻区阿克切依剖面同层位有孔虫 *Bolivina* 属和双壳类化石固着蛤 *Biradiolites*、*Duramia*、*Sauwagensia* 等属化石(至该组顶部消失),确定该组年代属晚白垩世末马斯特里赫特期。

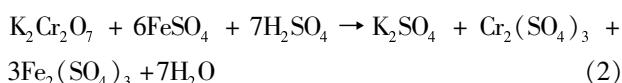
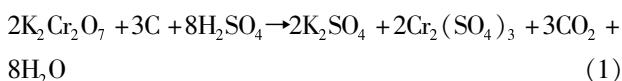
可见,塔里木盆地西部库孜贡苏剖面白垩系地层出露连续、完整,从克孜勒苏群上段至依格孜牙组均属海相沉积,其中库克拜组(赛诺曼中晚-土伦期)为海侵高潮期产物。

3 样品采集与测试

选取研究剖面白垩纪海相沉积的克孜勒苏群上段、库克拜组、乌依塔克组和依格孜牙组(剖面深度为 570~1080 m)(图 2),进行探槽开挖以去掉风化层,按 0.5~2 m 间距进行不同精度采样,共获得样品 387 块。

色度的测量使用日本美能达公司生产的 SPAD-503 土色仪。实验时将研磨好的样品放于白底参照色板上,压实压平后,随机取 3 个区域采用土色仪进行测量,求得 3 个颜色参数的平均值,包括 L-亮度、a-红度和 b-黄度。

有机碳(TOC)采用常用的重铬酸钾-硫酸氧化法测定有机质含量。在加热条件下,用一定量的标准重铬酸钾-硫酸溶液,氧化样品中的有机碳(见公式(1)),剩余的重铬酸钾用硫酸亚铁溶液滴定(见公式(2)),由消耗的重铬酸钾量计算出有机碳量,再乘以一个常数,即为样品所含有机质量(刘光崧,1996)。



对无机碳酸盐进行碳、氧同位素测试:选取无生物扰动和无微裂隙的新鲜样品,在玛瑙研钵中研磨成 200 目以下样品,真空条件下与 100% 纯磷酸在 80℃ 下反应一小时,收集 CO₂ 气体,纯化后引入 MAT 252 型同位素质谱仪进行测试。对照标准为 PDB,重复测样 δ¹³C 值和 δ¹⁸O 值精度均优于 ±0.1‰。该样品测试在中国科学院兰州地质研究所完成。

4 分析与结论

从图 2 清晰显示,研究剖面白垩系海相地层沉积物有机碳、色度、碳酸钙和碳氧同位素含量变化曲线在库克拜组(C-T 界线附近)存在明显异常变化,其变化趋势可划分为下、中、上三段。其中色度 a 值以上段乌依塔克组值高(变化幅度小)、中段库克拜组低值(变化幅度小)、下段克孜勒苏群值高且变化波动较大为特征,三段平均值分别为 13.5、4.3 和 18.5(表 2)。沉积物色度变化主要受所含矿物种类、含量以及沉积环境和气候的控制,当沉积物中矿物种类和含量在物源一定的条件下,与沉积环境和气候变化有关。研究表明,土壤、湖泊、海洋沉积物色度 a 值(红度)与铁氧化物和水化氧化铁聚集呈正相关,氧化环境形成的沉积物主要受含 Fe³⁺ 矿物的影响使 a 值偏高,而缺氧环境形成的沉积物则受含 Fe²⁺ 矿物的影响使 a 值偏低(周伟等,1990;杨胜利等,2001;宋春晖等,2005)。研究剖面 a 值在中段库克拜组(C-T 期)达到低谷区,a 值较低说明地层中的含 Fe²⁺ 矿物较多,指示当时的沉积为缺氧的还原环境,而上下组 a 值处于相对高值,表明其地层中的含 Fe³⁺ 矿物较多,可能代表当时的沉积为氧化环境。

表2 库孜贡剖面白垩系地层沉积物色度、有机质和碳氧同位素含量参数统计

Table 2 A statistics of the sediments' color, organic matter, carbon-oxygen isotope analyses in late Cretaceous Kuzigongsu section

地层	色度 a 值			总有机碳(%)			$\delta^{13}\text{C}$ 值(‰)			$\delta^{18}\text{O}$ 值(‰)		
	Min	Max	平均值	Min	Max	平均值	Min	Max	平均值	Min	Max	平均值
乌依塔克组	2.9	22.8	13.5	0.04	0.27	0.14	-5.8	-0.9	-2.62	-6.4	-0.6	-3.69
库克拜组	-1.7	21.5	4.3	0.03	0.75	0.32	-8.7	7.6	-0.63	-14.6	5.8	-4.26
克孜勒苏群	0.3	30	18.5	0.01	0.56	0.12	-5.7	-2.1	-4.34	-12.3	-3.3	-6.63

有机碳曲线变化趋势为倒“V”形,在上部乌依塔克组和下部克孜勒苏群为低含量和低频低振幅(图2),其变化范围和平均值分别为0.04%~0.27%、0.14%以及0.01%~0.56%、0.12%(表2),而中段库克拜组(C-T期)呈高值的高频高幅度变化特征(图2),其变化范围和平均值分别为0.03%~0.75%、0.32%(表2),并且该段地层是黑色泥岩、页岩(含海相浮游有孔虫)夹双壳类生物灰岩构成3个韵律旋回。大量研究表明,黑色页岩是还原环境条件下的缺氧沉积物,大量有机碳堆积原因与高的海洋生产率和缺氧环境保存条件有关(Farrimond et al, 1990; 胡修棉等, 2000; 万晓樵等, 2003)。海洋生产力高,生物大量繁殖和大批死亡,这些生物遗骸在海底沉积,大大消耗了海底水中溶解的有限浓度的 O_2 ,会造成严重缺氧的还原环境。同时,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提高。因此,库克拜组C-T期有机质高值和含海相浮游有孔虫黑色页岩的出现指示当时的沉积环境为海相缺氧的还原条件,应属 OAE_2 大洋缺氧事件产物。

碳氧同位素分析结果(图2,表2)显示,剖面下部克孜勒苏群 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化小($-5.7\text{‰} \sim -2.1\text{‰}$),平均为 -4.34‰ 。剖面中部库克拜组 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈明显的异常变化($-8.7\text{‰} \sim 7.6\text{‰}$),Cenomanian末期 $\delta^{13}\text{C}$ 值有一次负偏(剖面798.5 m处为 -8.7‰),之后迅速转向正偏,在剖面798.5~802.5 m $\delta^{13}\text{C}$ 值正偏极陡,其上3 m(剖面802.5~805.5 m)达到极大值 $7.6\text{‰} \sim 7.3\text{‰}$ (图2-OAE_{2a}),它与之前的极小值差近16.3‰。最大值之后,C-T界线附近 $\delta^{13}\text{C}$ 值有3次正负偏移旋回(其中正偏移见图2-OAE_{2b}、OAE_{2c}、OAE_{2d})。剖面上部乌依塔克组 $\delta^{13}\text{C}$ 值又回落到平稳变化($-5.8\text{‰} \sim -0.9\text{‰}$),其平均值为 -2.62‰ 。氧同位素变化趋势与碳同位素一致(图2)。因此,塔里木盆地西北缘C-T界线附近层内存在明显的碳同位素正向偏移。海相碳酸

盐与同时期海水保持着同位素平衡,其碳同位素值大体反映同时期海水碳同位素组成。导致全球性碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏移的主要原因是全球性重大地质事件的发生,破坏了原先建立起的生物圈、水圈和大气圈之间的碳同位素动态平衡,导致大气圈、水圈和生物圈内各种含碳物质的碳同位素组成发生明显的变化。研究表明碳同位素偏移往往与缺氧事件存在密切关系,在世界各地C-T界线附近的 OAE_2 缺氧事件层内,无一例外地全岩碳酸盐岩碳稳定同位素均出现了不同程度的正偏(Arthur and Sageman, 1994)。短时期内大规模的迅速海侵造成生物因生存环境的改变而大批死亡和快速埋藏。生物死亡以及有机质不断沉淀和分解则消耗海水中大量的溶解氧,短时期内产生的 CO_2 返回到大气,同期的海洋碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 相对负偏。之后,由于生物分解消耗大量的溶解氧,水体缺氧加重,富含 ^{12}C 有机质的生物得以大量保存,相应大气和海水中将富 ^{13}C ,同期海相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 正偏。另外,生物埋藏后,海底厌氧细菌优先还原海水中溶解的二氧化碳中的 ^{12}C ,使得海水中更富含 ^{13}C ,从而更强化了碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 正偏移。因此,塔里木盆地西北缘C-T界线附近层内明显的碳同位素正向偏移,代表了该区存在 OAE_2 缺氧事件。

另一方面,该区库克拜组(C-T期)生物演化表现为从下部无浮游有孔虫到中上部出现*Hedbergella cretacea*、*H. planispira*、*H. quadrata*、*Gumbelitra cenomana*浮游有孔虫。郭宪璞和姚培毅(1995)发现该组双壳类化石呈“侏儒型”且壳体变薄,例如Oyster牡蛎类在黑色泥岩和页岩夹层的黄灰色生物泥灰岩中个体较大(高为5.4~6 cm),而在黑色泥岩和页岩中个体小(约为0.5~0.6 cm高,0.3~0.4 cm长)。同时他发现底栖有孔虫以胶结壳类型为主,似瓷质壳和钙质微孔壳类型不发育。郝谄纯等(1987)发现*Quadrum gartneri*组合钙质超微化石在库克拜组底部砂岩和泥岩层位(赛诺曼中

期)丰富,由十几个种组成,到赛诺曼后期化石属种减少为2~4个,该组合的兴衰变化反映了该区晚白垩世从赛诺曼晚期到土伦期由较利于钙质浮游植物生存的富氧环境到不利于这类植物生存的缺氧海相环境的演变过程。所以库克拜组中生物化石异常现象也说明了缺氧事件的存在。

上述白垩系地层岩性、色度、有机碳、碳同位素和生物变化特征,证实塔里木盆地西北缘乌恰地区白垩纪库克拜组存在C-T界线附近的OAE₂,同时它与欧洲以及藏南地区白垩纪地层记录的OAE₂具有良好的对比性(Scholle and Arthur, 1980; Farrimond et al, 1990; Voigt and Hilbrecht, 1997; 王成善等, 1999; 胡修棉等, 2000; Wiese and Voigt, 2002; Hasegawa et al, 2003; 万晓樵等, 2003; 李祥辉等, 2005)。由于海水含氧量会影响到海生生物的生存,在缺氧时期生物大量死亡甚至灭绝导致有机碳富集形成黑色页岩,而富氧时期生物繁殖出现生物介壳灰岩沉积。根据库克拜组C-T期黑色泥岩和页岩中夹三层灰黄-浅灰绿色生物灰岩构成韵律型层序,以及该段有机碳、碳酸钙和碳同位素含量变化波动剧烈,即有机碳高值、碳酸钙低值和 $\delta^{13}\text{C}$ 值正偏移对应黑色泥岩和页岩,而有机碳低值、碳酸钙高值和 $\delta^{13}\text{C}$ 值负偏移对应于在黑色页岩中夹的生物灰岩层(图2),推测这一韵律型变化可能反映大洋缺氧的周期性变化,即该区大洋缺氧事件不是一个连续的缺氧过程,而由间断的四次大洋缺氧事件组成,分别用OAE_{2a}、OAE_{2b}、OAE_{2c}和OAE_{2d}表示(图2)。这与胡修棉等(2000)认为大洋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连续的缺氧条件,而是在这段时间内海洋缺氧条件可能多次出现的观点一致。西藏南部地区、塔里木盆地西部作为特提斯海伸向我国的两个分支(郭宪璞, 1991),其南支在西藏南部地区C-T界线附近已证实存在OAE₂(王成善等, 1999; 胡修棉等, 2000; 万晓樵等, 2003; 李祥辉等, 2005),它的北支在塔里木盆地西北缘C-T界线附近也存在OAE₂,说明特提斯东段与西段在白垩纪时期具有大体相似的古海洋条件。白垩纪C-T期全球海平面大幅度上升,发生中生代最大规模的海侵(Haq et al, 1987),当时海平面可能比现在高350 m以上,足以淹没现代陆地面积的35%(Pitman, 1978)。此时特提斯海汹涌的海水沿塔吉克、阿莱进入该区(图1),使该区海水增加、海平面上升,缺氧沉积环境形成库克拜组(C-T期)大量暗色细粒沉积(泥

岩和页岩为主)并有利于有机质的保存。因此,塔里木盆地西北缘乌恰地区白垩纪库克拜组中C-T界线附近的OAE₂可能与同期全球海平面大幅度上升有关。

致谢:野外工作得到了中国地质科学院地质研究所郭宪璞研究员以及中石化石油勘探开发研究院西部分院原总工程师叶留生先生的具体指导,同时野外考察和采样得到孟昌、王雪鹏、杨进云、方小辉、张志高、李仕远等的大力帮助。在此深表谢意。

参考文献

- 郭宪璞. 1991. 新疆克孜勒苏群的沉积环境探讨——兼论塔里木盆地西部白垩纪最低海相层位[J]. *地质学报*, 2: 188-198.
- 郭宪璞. 1995a. 新疆西部乌依塔克组的时代[J]. *地层学杂志*, 19(3): 208-213.
- 郭宪璞. 1995b. 塔里木盆地西部白至纪-古新世有孔虫组合[J]. *地质研究*, 28: 141-152.
- 郭宪璞. 1995c. 塔里木盆地西部白垩纪-古新世有孔虫群落的划分及其环境意义[J]. *地球学报*, 1: 77-86.
- 郭宪璞, 丁孝忠, 何希贤, 等. 2002. 塔里木盆地中新世海侵和海相地层研究的新进展[J]. *地质学报*, 76(3): 299-307.
- 郭宪璞, 姚培毅. 1995. 新疆塔里木盆地西部发现中白垩世缺氧事件[J]. *地质评论*, 41(6): 57.
- 郝治纯, 郭宪璞, 叶留生, 等. 2001. 塔里木盆地西南地区海相白垩系-第三系界线[M]. 北京:地质出版社.
- 郝治纯, 曾学鲁, 郭宪璞. 1987. 新疆塔里木盆地西部海相白垩系及其沉积环境探讨[J]. *地质学报*, 61(3): 205-217.
- 郝治纯, 曾学鲁, 李汉敏. 1982. 塔里木盆地西部晚白垩世-第三纪地层及有孔虫[J]. *地球科学, 地层古生物专辑*, (1): 1-161.
- 何承全. 1984. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世-始新世微体浮游生物的几个新属[J]. *古生物学报*, 23(6): 768-774.
- 胡修棉, 王成善, 李祥辉, 等. 2000. 西藏南部Cenomanian-Turonian缺氧事件:有机地球化学研究[J]. *地球化学*, 29(5): 417-424.
- 黄永建, 王成善, 顾建. 2008. 白垩纪大洋缺氧事件:研究进展与未来展望[J]. *地质学报*, 82(1): 21-30.
- 蒋显庭. 1980. 塔里木盆地上白垩统-第三系介形类组合特征与环境意义[C]. 新疆塔里木盆地石油地质论文集, 156-161.
- 李祥辉, 王成善, 崔杰. 2005. 高分辨率碳氧同位素应用及西藏岗巴地区白垩纪中期Cenomanian-Turonian期碳同位素偏移[J]. *地学前缘*, 12(2): 171-177.

- 刘光崧. 1996. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 中国标准出版社.
- 茅绍智, Norris G. 1984. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世—早第三纪的沟鞭藻及疑源类[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2: 7-22.
- 宋春晖, 白晋锋, 赵彦德, 等. 2005. 临夏盆地 13~4.4 Ma 湖相沉积物颜色记录的气候变化探讨[J]. *沉积学报*, 23(3): 507-513.
- 唐天福, 杨恒仁, 胡兰英, 等. 1982. 塔里木盆地西部晚白垩世—早第三纪海相地层及沉积环境[C]. 中国科学院石油地球科学学术会议论文集, 117-126.
- 万晓樵, 刘文灿, 李国彪, 等. 2003. 白垩纪黑色页岩与海水含氧量变化——以西藏南部为例[J]. *中国地质*, 30(1): 36-47.
- 王成善, 胡修棉, 万晓樵, 等. 1999. 西藏南部中白垩世 Cenomanian—Turonian 缺氧事件研究[J]. *自然杂志*, 21(4): 244-246.
- 杨胜利, 方小敏, 李吉均, 等. 2001. 表土颜色和气候定性至半定量关系研究[J]. *中国科学(D辑)*, 31(S1): 175-181.
- 雍天寿, 单金榜. 1986. 白垩纪及早第三纪塔里木海湾的形成与发展[J]. *沉积学报*, 4(3): 67-75.
- 余静贤, 张望平. 1980. 新疆莎车地区晚白垩世横裂甲藻和疑源类[J]. *中国地质科学院院报*, 2(1): 93-119.
- 钟石兰. 1984. 新疆塔里木盆地西部白垩系库克拜组的颗石藻[J]. *微体古生物学报*, 1(2): 201-206.
- 周伟, 王琦, 赵其渊, 等. 1990. 渤海南部海底沉积物颜色的研究[J]. *海洋科学*, 14(3): 31-35.
- Arthur M A, Sageman B B. 1994. Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22: 499-551.
- Bralower T J, Arthur M A, Leckie R M, et al. 1994. Timing and paleoceanography of oceanic dysoxia/anoxia in the late Barremian to Early Aptian (Early Cretaceous) [J]. *Palaaios*, 9(4): 335-369.
- Farrimond P, Eglinton G, Brassell S C, et al. 1990. The Cenomanian—Turonian anoxic event in Europe: An organic geochemical study [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 7(1): 75-89.
- Haq B U, Hardenbo L J, Vail P R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. *Science*, 235(4793): 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 [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 189(1-2): 97-115.
- Jenkyns H C. 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans [J]. *Journal of the Geological Society*, 137(2): 171-188.
- Jenkyns H C. 2006. Oceanic anoxic events: 30 years on [C]. American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract PP31D-01.
- Kuhnt W, Nederbragt A J, Leine L. 1997. Cyclicity of Cenomanian—Turonian organic-carbon-rich sediments in the Tarfaya Atlantic Coastal Basin (Morocco) [J]. *Cretaceous Research*, 18(4): 587-601.
- Meyers S R, Sageman B B, Hinnov L A. 2001. Integrated quantitative stratigraphy of the Cenomanian—Turonian Bridge Creek Limestone Member using evolutive harmonic analysis and stratigraphic modeling [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 71(4): 628-644.
- Pitman III W C. 1978. Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 89(9): 1389-1403.
- Prokoph A, Villeneuve M, Agterberg F P. 2001. Geochronology and calibration of global Milankovitch cyclicity at the Cenomanian—Turonian boundary [J]. *Geology*, 29(6): 523-526.
- Schlanger S O, Jenkyns H C. 1976. Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences [J]. *Geologie en Mijnbouw*, 55(3-4): 179-184.
- Scholle P A, Arthur M A. 1980. Carbon isotope fluctuations in Cretaceous pelagic limestones: potential stratigraphic and petroleum exploration tool [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64(1): 67-87.
- Voigt S, Hilbrecht H. 1997. Late Cretaceous carbon isotope stratigraphy in Europe: Correlation and relations with sea level and sediment stability [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 134(1-4): 39-59.
- Wiese F, Voigt S. 2002. Late Turonian (Cretaceous) climate cooling in Europe: faunal response and possible causes [J]. *Geobios*, 35(1): 65-77.