

应用生物标志物评价塔里木盆地地下 古生界沉积物的古环境

范善发 周中毅 潘长春

(中国科学院地球化学研究所广州分部)

(有机地球化学国家实验室)

提要 塔里木盆地柯坪和库鲁克塔格地区寒武系和奥陶系为海相沉积, 咸化泻湖相沉积、淡化泻湖相沉积、浅水陆棚相和下斜坡—陆棚相沉积、浅海斜坡重力流相沉积、深水陆棚相沉积和海底盆地相沉积具有不同的生物标志物分布。伽玛蜡烷指数与水体盐度有关, Pr、Ph 和 β -胡萝卜烷含量与沉积环境的还原程度有关, Pr/Ph 还受浮游动物输入多少的影响。低碳数正烷烃的奇碳优势或偶碳优势以及三环萜烷分布和甾烷分布对下古生界沉积物的古环境评价也具有重要意义。

关键词 塔里木盆地 下古生界 古环境 生物标志物

第一作者简介 范善发 男 47岁 副研究员 有机地球化学

生物标志物分布可用来评价沉积环境(Brassell and Eglinton, 1986; Farrimond, 1987)。一些学者发现, 下古生界沉积物的原油中低碳数正烷烃和烷基环己烷具有奇碳优势(Reed et al. 1986; Fowler et al. 1986), 奥陶系生油岩和原油缺乏姥鲛烷和植烷, 五环三萜烷和甾烷的含量很低 Longman and Palmer, 1987)。

塔里木盆地寒武系—奥陶系海相沉积有广泛分布, 在柯坪地区和库鲁克塔格地区大面积出露。柯坪地区寒武系主要为陆表浅水浅海—滨海相碳酸盐岩沉积, 奥陶系是继寒武系之后连续沉积的一套碳酸盐岩和泥岩, 为深水陆棚相沉积。库鲁克塔格地区寒武系主要为陆缘或陆间海斜坡深水陆棚至盆地相碳酸盐岩沉积, 奥陶系主要为碳酸盐岩和泥质粉砂岩, 为深海槽盆相沉积。

本文研究塔里木盆地柯坪地区和库鲁克塔格地区寒武系和奥陶系沉积物中烷烃馏份生物标志物分布特征, 讨论寒武系和奥陶系生物标志物分布与沉积环境的关系。

一、样 品

按沉积环境, 样品可以分成六组(表1)。柯坪地区沙依里克组(O_2)和吾松格尔组(O_1)灰岩样品1和2为咸化泻湖相沉积。柯坪地区肖尔布拉克组(O_1)和玉尔吐斯组(O_1)灰岩样品3和4属淡化泻湖相沉积。库鲁克塔格地区莫合尔山组(O_2)样品5、6和上却尔却克山组(O_2)样品7—9属较深的浅水陆棚相和下斜坡—陆棚相沉积。柯坪地区上丘里塔格群(O_1)样品10和库鲁克塔格地区突尔沙克塔格组(O_3)样品11—13为浅海斜坡重力流—钙质流、浊流

相沉积。柯坪地区印干组(O₂)样品 14 和萨尔干组(O₂)样品 15 和 16 属深水陆棚相沉积。库鲁克塔格地区下却尔却块(O₁)样品 17—19 和元宝山组(O₃)样品 20—22 为海底盆地相沉积。

表 1 正烷烃, 类异戊二烯烷烃和烷基环己烷参数

Table 1 n-Alkanes, isoprenoid, alkanes and alkylcyclohexanes parameters

样号	沉积环境 ¹	Pr / Ph	Pr / nC ₁₇	Ph / nC ₁₈	正构烷烃		烷基环己烷	
					主峰碳	碳优势范围	主峰碳	碳优势范围
1	1	0.97	0.17	0.19	C ₁₇	—	C ₁₈	C ₁₆₋₂₄
2	1	0.85	0.45	0.76	C ₁₈	C ₁₈₋₂₀	C ₁₈	C ₁₆₋₂₄
3	2	1.36	0.39	0.36	C ₁₇	—	C ₁₇	—
4	2	2.00	0.20	0.12	C ₁₆	—	C ₁₇	—
5	3	0.91	0.44	0.63	C ₁₅	C ₁₅₋₁₇	C ₁₅	—
6	3	0.76	0.52	0.66	C ₂₀	C ₂₀₋₂₄	C ₂₁	—
7	3	1.12	0.60	0.57	C ₁₇	C ₁₈₋₂₀	C ₁₈	—
8	3	1.05	0.40	0.48	C ₁₇	C ₁₇₋₁₉	C ₁₆	—
9	3	1.00	0.49	0.52	C ₁₆	C ₂₃₋₂₅	C ₁₇	—
10	4	1.31	0.35	0.39	C ₁₆	C ₁₆₋₁₈	C ₁₄	C ₁₄₋₂₂
11	4	1.35	0.19	0.16	C ₁₈	C ₁₆₋₁₈	C ₁₈	—
12	4	1.20	0.10	0.25	C ₁₉	C ₁₇₋₁₉	C ₁₈	C ₁₈₋₂₀
13	4	1.16	0.63	0.72	C ₁₇	—	C ₂₄	—
14	5	1.82	0.41	0.14	C ₁₅	C ₁₅₋₁₇	C ₁₈	—
15	5	1.61	0.14	0.08	C ₁₅	—	C ₁₅	—
16	5	1.00	0.25	0.28	C ₁₆	—	C ₁₆	C ₁₆₋₂₀
17	6	0.76	0.16	0.23	C ₁₆	—	C ₁₆	—
18	6	0.51	0.50	0.82	C ₁₈	C ₁₄₋₂₀	C ₂₂	C ₁₄₋₂₄
19	6	0.73	0.49	0.80	C ₁₇	—	C ₁₇	—
20	6	0.55	0.44	0.55	C ₁₉	—	C ₂₂	C ₁₄₋₂₄
21	6	0.62	0.30	0.49	C ₁₇	C ₁₇₋₁₉	C ₂₀	C ₁₄₋₂₂
22	6	0.50	0.34	0.60	C ₁₈	—	C ₂₂	C ₂₀₋₂₂

1. 咸化泻湖相沉积; 2. 淡化泻湖相沉积; 3. 浅水陆棚相和下斜坡-陆棚相沉积; 4. 浅海斜坡重力流相沉积;

5. 深水陆棚相沉积; 6. 海底盆地相沉积。

—: 低碳数范围无奇碳优势或偶碳优势。

二、实验

岩样均采自地表, 除去表层后, 粉碎, 用二氯甲烷/甲醇索氏抽提, 抽提物用硅胶薄层分离。

烷烃色谱分析用 Varin3700 气相色谱仪, DB5 硅毛细管柱 30m × 0.24mm, 80—280℃。

4°C/min, 氮气作载气, 氢火焰离子化鉴定器检测。用 Finnigan MAT 4515 色谱-质谱-计算机联用仪分析烷烃, 色谱柱为 50m × 0.24mm SE54 硅毛细管柱, 电子轰击源, 离子电流 250μA, 电子能量 70eV, 氮气作载气。数据处理用 INCOS 2300 数据处理系统。

三、结果

塔里木盆地柯坪地区和库鲁克塔格地区寒武系和奥陶系六种海相沉积样品的生物标志物分布列于表 1 和表 2。

表 2 萜烷、甾烷和 β-胡萝卜素参数

Table 2 Terpanes, steranes and β-carotane parameters

样号	沉积环境	伽玛蜡烷	$\frac{C_{20+22}}{C_{21+23}}$	T H	胡萝卜素	S H	$C_{27} \cdot C_{29}$	C_{21+22}
1	1	0.34	0.85	0.24	+-	0.29	0.47	-
2	1	0.28	0.63	0.16	++	0.40	0.46	-
3	2	0.07	1.77	0.21	-	0.32	0.75	++
4	2	0.12	2.52	0.74	-	0.29	0.61	++
5	3	0	0.49	1.05	-			-
6	3	0	0.38	1.56	-			-
7	3	0	0.62	1.02	-			-
8	3	0	0.63	0.71	-			-
9	3	0	0.53	2.37	-	0.13	0.79	++
10	4	0.20	0.80	0.28	-	0.63	1.13	-
11	4	0.28	0.76	0.14	+	0.41	0.90	-
12	4	0.20	0.63	0.41	+	0.23	0.75	-
13	4	0.36	0.75	0.10	+	0.11	0.62	-
14	5	0.16	1.18	0.44	-	0.43	1.22	--
15	5	0.04	1.47	1.06	-	2.67	1.32	++
16	5	0.18	1.12	0.95	-	1.85	1.38	+
17	6	0.19	0.63	0.25	++	0.50	0.99	-
18	6	0.18	0.86	0.11	++	0.31	1.06	++
19	6	0.27	1.09	0.19	++	0.16	0.75	+
20	6	0.20	0.89	0.10	++	0.16	0.97	+
21	6	0.22	0.95	0.15	++	0.41	0.73	+
22	6	0.27	1.03	0.31	+	0.10	0.70	+

伽玛蜡烷 伽玛蜡烷 $C_{30}17 \times 21\beta$ 藿烷, C_{20+21} C_{23+24} C_{20} C_{21} C_{23} 和 C_{24} 三环藿烷。

T H 三环藿烷 五环三藿烷, β-胡萝卜素 -不含,+含; ++较丰富; S H 甾烷 五环三藿烷。

$C_{27} \cdot C_{29}$ $C_{27}5 \times 14 \times 17 \times$ 甾烷 $C_{29}5 \times 14 \times 17 \times$ 甾烷; $C_{21}+C_{22}$ C_{21} 甾烷, C_{22} 甾烷, -不含,+含; ++较丰富。

1. 咸化泻湖相沉积

咸化泻湖相灰岩的伽玛蜡烷含量为 0.28—0.34, Pr / Ph 为 0.85—0.97, 反映了高盐度的还原环境。正烷烃呈双峰型分布, 主峰碳数为 C_{17} 或 C_{18} , 低碳数部份呈 C_{18} — C_{20} 偶碳优势。烷基环己烷主峰碳数为 C_{18} , 具 C_{16} — C_{24} 范围的偶碳优势。咸化泻湖相灰岩含较丰富的 β -胡萝卜素, C_{27} 甾烷 / C_{29} 甾烷为 0.46—0.47, 不含 C_{21} 和 C_{22} 甾烷。三环萜烷含量较低, T / H 为 0.16—0.24, 三环萜烷中, C_{20+21} / C_{23+24} 为 0.63—0.85。

2. 淡化泻湖相沉积

淡化泻湖相灰岩的 γ -蜡烷指数为 0.07—0.12, Pr / Ph 为 1.36—2.00, 反映了泻湖淡化, 盐度低于正常海水。正烷烃分布呈单峰型、无碳数选择优势, 主峰碳数为 C_{16} 或 C_{17} 。烷基环己烷主峰碳数为 C_{17} , 无碳数选择优势。淡化泻湖相灰岩不含 β -胡萝卜素, C_{27} 甾烷 / C_{29} 甾烷为 0.61—0.75, C_{21} 和 C_{22} 甾烷含量较丰富。三环萜烷含量较高, T / H 为 0.74—1.21, 三环萜烷中, C_{20+21} / C_{23+24} 为 1.77 为 1.77—2.52。

3. 浅水陆棚相和下斜坡—陆棚相沉积

库鲁克塔格地区雅尔当山中寒武世和中奥陶世的浅水陆棚相和下斜坡—陆棚相沉积以灰岩为主。正烷烃呈双峰型分布, 主峰碳数为 C_{15} — C_{20} , 低碳数部份呈奇碳优势或偶碳优势, 奇碳优势范围为 C_{15} — C_{25} , 偶碳优势范围为 C_{18} — C_{28} 。烷基环己烷主峰碳数为 C_{15} — C_{21} , 无碳数选择优势。Pr / Ph 为 0.76—1.12, 不含 β -胡萝卜素。三萜烷中, 藿烷系列含量很低, 不含 γ -蜡烷, 存在 C_{26} 、 C_{28} 、 C_{29} 等脱甲基藿烷系列。三环萜烷含量很高。甾烷含量普遍低。

4. 浅海斜坡重力流—钙质流、浊流相沉积

库鲁克塔格地区晚寒武世和柯坪地区早奥陶世浅海斜坡重力流—钙质流、浊流相沉积主要为灰岩。 γ -蜡烷指数为 0.20—0.36, Pr / Ph 为 1.16—1.31, 反映了正常海的盐度和还原环境。正烷烃多呈双峰型分布, 主峰碳数为 C_{16} — C_{19} 。烷基环己烷主峰碳数均为偶碳数, C_{14} 、 C_{18} 或 C_{24} 。半数样品具偶碳优势, 偶碳优势范围为 C_{14} — C_{22} 。三环萜烷含量较低, T / H 为 0.10—0.41, 三环萜烷中, C_{20+21} / C_{23+24} 为 0.63—0.80。含 β -胡萝卜素和 C_{21} 、 C_{22} 甾烷, C_{27} 甾烷 / C_{29} 甾烷为 0.62—1.13, S / H 为 0.11—0.63。

5. 深水陆棚相沉积

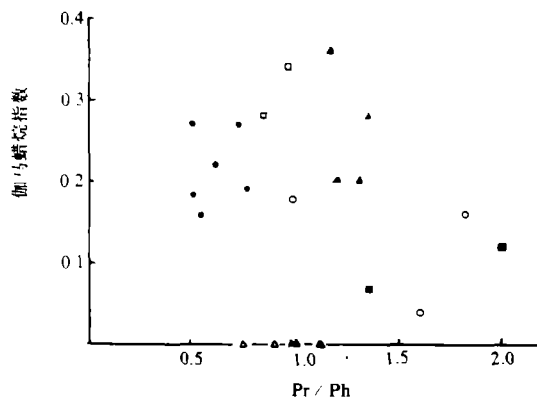
柯坪地区中奥陶世深水陆棚相沉积的 γ -蜡烷指数为 0.04—0.18, Pr / Ph 为 1.00—1.82。正烷烃呈单峰型分布, 主峰碳数为 C_{15} 或 C_{16} , 样品 14 呈奇碳优势, 碳优势范围为 C_{15} — C_{17} 。烷基环己烷主峰碳数为 C_{15} 、 C_{16} 或 C_{18} , 样品 16 有 C_{16} — C_{20} 范围的偶碳优势。三环萜烷的 C_{20+21} / C_{23+24} 为 1.12—1.47。 C_{27} 甾烷 / C_{29} 甾烷为 1.22—1.38, 含较丰富的 C_{21} 和 C_{22} 甾烷。

6. 海底盆地相沉积

库鲁克塔格地区晚奥陶世和早奥陶世广泛分布海底盆地相沉积, 包括海底扇沉积和次深海槽浊流沉积。海底盆地相沉积样品主要为灰岩和泥岩。 γ -蜡烷指数为 0.18—0.27, Pr / Ph 为 0.50—0.76。正烷烃呈双峰型分布, 主峰碳数为 C_{16} — C_{19} , 样品 18 具 C_{14} — C_{20} 范围的偶碳优势, 样品 21 具 C_{17} — C_{19} 范围的奇碳优势, 其余样品无碳优势。多数样品的烷基环己烷有偶碳优势, 偶碳优势范围为 C_{14} — C_{24} 。海底盆地相沉积物的三环萜烷含量较低, T / H 为 0.10—0.31, C_{20} 和 C_{21} 三环萜烷含量较高, C_{20+21} / C_{23+24} 为 0.63—1.09。海底盆地相沉积物含较丰富的 β -胡萝卜素, 含 C_{20} 和 C_{21} 甾烷, C_{27} 甾烷 / C_{29} 甾烷为 0.70—1.06, S / H 为 0.10—0.50。

四、讨论

塔里木盆地柯坪地区和库鲁克塔格地区寒武系和奥陶系六种海相沉积物的生物标志物存在明显的区别,图 1、2、3 可以把六种海相沉积物区分开。



□ 咸化泻湖相沉积; ■ 淡化泻湖相沉积; ○ 浅水陆棚相和下斜坡—陆棚相沉积;
▲ 浅海斜坡重力流—钙质流、浊流相沉积; ○ 深水陆棚相沉积; ● 海底盆地相沉积

图 1 塔里木盆地海相沉积物的伽玛蜡烷指数与 Pr / Ph 的关系

Fig. 1 Plots of gammacerane index vs Pr / Ph in the marine sediments from Tarim Basin

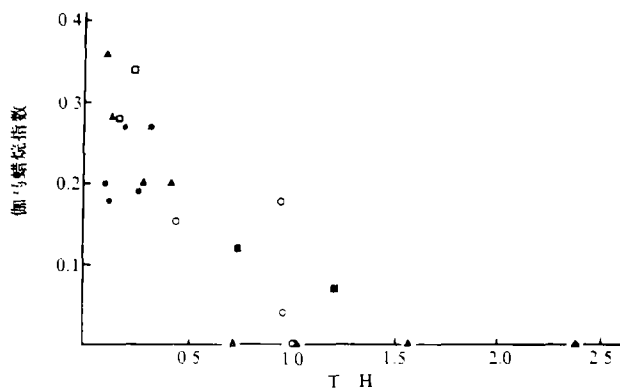


图 2 塔里木盆地海相沉积物的伽玛蜡烷指数与 T / H 的关系(图例与图 1 相同)

Fig. 2 Plot of gammacerane index vs T / H in the marine sediments from Tarim Basin

泻湖按盐度分为咸化泻湖和淡化泻湖。伽玛指数与水体盐度相关,随盐度增加而增加。淡水和超咸介质中伽玛蜡烷指数极微。

咸化泻湖相沉积物和淡化泻湖相沉积物的生物标志物分布有明显区别,这种区别反映了古气候和生物输入的差异。咸化泻湖相沉积环境还原性强,其 $Pr / Ph < 1$, 含较丰富的 β -

胡萝卜烷。淡化泻湖相沉积环境还原性弱, $Pr/Ph > 1$, 不含 β -胡萝卜烷。

· 图 2、3 中, 咸化泻湖相、浅海斜坡重力流相和盆地相的 γ -蜡烷指数和三环萜烷分布比较接近。三者之间最明显的区别是 Pr/Ph , 盆地相沉积物的 Pr/Ph 为 0.50—0.76, 咸化泻湖相沉积物为 0.85—0.97, 浅海斜坡重力流相沉积物为 1.16—1.35(图 1)。盆地相和咸化泻湖相沉积物的 β -胡萝卜烷含量相对较高, 其沉积环境比浅海斜坡重力流相的沉积环境还原性强。除样品 7 外, 盆地相沉积的 C_{20+21}/C_{23+24} 高于咸化泻湖相沉积和浅海斜坡重力流相沉积。咸化泻湖相沉积的 C_{27} 甾烷/ C_{29} 甾烷较低, 不含 C_{21} 和 C_{22} 甾烷。

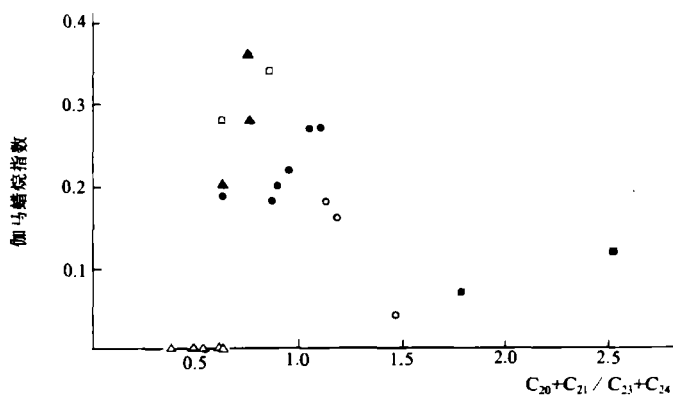


图 3 塔里木盆地海相沉积物的 γ -蜡烷指数与三环萜烷 C_{20+21}/C_{23+24} 的关系(图例与图 1 相同)

Fig. 3 Plot of gammacerane index vs $(C_{20}+C_{21})/(C_{23}+C_{24})$ of tricyclic terpanes in the marine sediments from Tarim Basin

Pr/Ph 比值通常作为沉积环境的氧化还原标志。浮游动物含有丰富的姥鲛烷, 沉积物中浮游动物的输入会使 Pr/Ph 增大。

β -胡萝卜烷的存在反映强还原环境。应用 β -胡萝卜烷含量和 Pr/Ph 判别沉积环境效果较好。海底盆地相沉积物和咸化泻湖相沉积物的 $Pr/Ph < 1$, 含较丰富的 β -胡萝卜烷, 反映了较强的还原环境。淡化泻湖相沉积物和深水陆棚相沉积物(样品 14 和 15)的 Pr/Ph 较高, 为 1.36—2.00, 不含 β -胡萝卜烷, 反映了很弱的还原环境。在这种沉积环境中, 低碳数正烷烃无碳优势, 低碳数烷基环己烷也无偶碳优势。烷基环己烷的偶碳优势反映了还原的沉积环境。在还原环境中, 偶数脂肪酸环化时, 未发生脱羧作用, 直接还原成同碳数的烷基环己烷(Rubinshtein and Strausz, 1979)。

色谱-质谱分析由向同寿、刘智春和李正悦协助完成, 作者在此致以谢意。

参 考 文 献

- (1) Brassell S.C. and Eglinton G., 1986, Molecular geochemical indicators in sediments, *Organic Marine Geochemistry* (Edited by Sohn M.) American Chemical Society, Washington, D.C., p. 10-32.
- (2) Farrimond P., 1987, The Toarcian and Cenomanian / Turonian oceanic anoxic events: an organic geochemistry study, PH. D. thesis, University of Bristol.
- (3) Fowler M.G., Abolins P. and Douglas A.G., 1986, *Org. Geochem.*, V. 10, p. 815-823.
- (4) Longman M.W. and Palmer S.E., 1987, *AAPG Bull.*, V. 71, p. 938-950.
- (5) Reed J.D., Illich H.A. and Horsfield B., 1986, *Org. Geochem.*, V. 10, p. 347-358.
- (6) Rubinstein I. and Strausz O.P., 1979, *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 43, p. 1387-1392.

Application of Biological Markers in the Assessment of Lower Paleozoic Sedimentary Palaeoenvironments of the Tarim Basin

Fan Shafa Zhou Zhongyi Pan Changchun

(Guangzhou Branch of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Cambrian and Ordovician marine sediments are widespread in the Keping and Kylyketake regions of the Tarim Basin. The distribution of aliphatic biomarkers of 22 samples indicate that salified lagoon sediments, freshened lagoon sediments, shallow shelf and lower slope-shelf sediments, gravity flow sediments of shallow sea slope, deep water shelf sediments and sea floor basin sediments are different in the distribution of biomarkers.

The differences between salified and freshened lagoon sediments in the distribution of biomarkers reflect the difference of palaeoclimate and biological input. The former's Pr / Ph ratios < 1, contents of gammacerane are 0.28-0.34, and more abundant β -carotane, while the latter's > 1, 0.07-0.12, containing pregnane and no β -carotane, respectively.

Shallow shelf and lower slope-shelf sediments have the Pr / Ph ratios of 0.76-1.12 and no β -carotane, and are characterized by lower carbon number n-alkanes with odd carbon predominance or even carbon predominance, the contents of hopane series are very lower and demethylated hopanes are present abundantly in the triterpanes.

The gravity flow sediments of shallow sea slope contain β -carotane, pregnane, lower carbon number n-alkanes with odd carbon predominance or even carbon predominance and alkyl cyclohexanes with even carbon predominance.

Gammacerane contents of deep water shelf sediments are 0.04-0.18, Pr / Ph ratios are 1.00-1.82, pregnane is more abundant, cholestane / ethylcholestane ratios are 1.22-1.38.

Sea floor basin sediments are characterized by the Pr / Ph ratios of 0.50–0.75, β -carotane contents are more abundant, gammacerane contents are 0.18–0.27, tricyclic terpanes contents are lower, alkyl cyclohexanes have even preference.

Gammacerane contents are related to salinity. The Pr / Ph ratio and β -carotane content reflect the reduction degree of sedimentary environments. Pr / Ph < 1 and more abundant β -carotane content indicate strongly reducing sedimentary environment. The Pr / Ph ratios are also influenced by the zooplankton input.

Lower carbon number alkanes with odd over even preference or even over odd preference, alkyl cyclohexanes with even over odd preference, tricyclic terpene distribution and sterane distribution are very important for the assessment of palaeoenvironments of Lower Palaeozoic sediments. Tricyclic terpene contents are lower and the $(C_{20}+C_{21}) / (C_{23}+C_{24})$ ratios of tricyclic terpanes are < 1 in salified lagoon sediments, the gravity flow sediments of shallow sea slope and sea floor basin sediments. Tricyclic terpene contents are higher and the $(C_{20}+C_{21}) / (C_{23}+C_{24})$ ratios are > 1 in freshened sediments and deep water shelf sediments.