

# 塔里木盆地震旦—泥盆纪古海平面变化再造及形成机理分析

杜小弟<sup>1</sup> 王璞君<sup>2</sup> 匡立春<sup>2</sup> 王东坡<sup>2</sup>

1(中国石油天然气总公司勘探局,北京 100724) 2(长春地质学院能源系,长春 130026)

**提要** 根据对塔里木盆地露头剖面的层序地层学研究,建立了震旦—泥盆纪古海平面变化曲线。详细分析了氧同位素记录与海平面变化之间的关系,得出了:氧同位素值的增大、减小反映着古海平面的下降、上升的变化结论。用氧同位素分析结果验证了根据层序地层分析所建立的海平面变化曲线的正确性。并利用氧同位素分析结果定量计算了古海平面的变化幅度。最后阐述了古海平面变化的形成机理。

**关键词** 塔里木盆地 震旦—泥盆纪 古海平面变化 形成机理

**分类号** p 531, p 534

**第一作者简介** 杜小弟 男 31岁 博士后 副教授 沉积学

由于沉积物的压实作用、上覆沉积物和沉积体重荷引起的地壳均衡响应和地壳运动等原因,使得我们无法获得稳定的参照点,致使海平面变化目前尚无直接测量方法<sup>[1]</sup>。值得庆幸的是海平面变化可引起一系列物理变化和化学变化,这些变化包括:被海水超覆的大陆面积的变化、沉积记录的变化、地壳对上覆海水重量的响应、海水体积的变化和氧同位素值的改变等,因此我们可以利用上述物理变化和化学变化来间接再造古海平面变化。作者利用对塔里木盆地震旦—泥盆纪露头剖面的层序地层学研究和氧同位素值在剖面上的变化特征分析,再造了古海平面变化,并阐述了古海平面变化的控制因素。

## 1 层序地层与海平面变化

层序地层学是通过研究被动大陆边缘周期性的相对海平面变化及由此所形成的旋回性沉积时提出和发展起来的,因此海平面相对变化是形成沉积层序的前提。反之层序界面的性质、层序的特点及空间展布,反映着层序形成时的古海平面变化。作者通过对塔里木盆地新藏公路 100 km 处的克孜苏胡木、恰克马克力克震旦系剖面 and 硕县库都克布拉克—金龙沟寒武系剖面、莎车县西南坎地里克奥陶系剖面、柯坪县印干村西志留系剖面和英吉沙县阿克巴麻扎尔西大沟泥盆系剖面的详细测制和层序地层学研

究,建立了塔里木盆地震旦—泥盆纪的古海平面变化曲线(图 1)。震旦—奥陶纪时期是塔里木盆地海平面逐渐上升的时期,志留—泥盆纪是海平面逐渐下降时期。

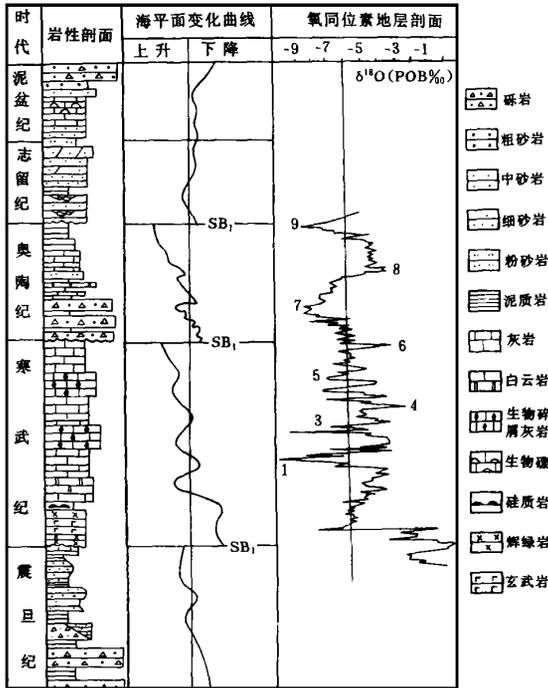
## 2 氧同位素与海平面变化

2.1 海平面变化引起氧同位素记录变化机理分析  
稳定同位素记录中包含着古海平面变化的重要信息,是确定海平面变化的一种重要手段<sup>[1]</sup>。对某一特定地质时期原生海相碳酸盐而言,碳酸盐的同位素组成主要受海水温度、成岩作用和海水的同位素组成这三方面因素的控制<sup>[1]</sup>,其中温度、成岩作用引起同位素分馏相当于同位素的化学热力学分馏和化学动力学分馏。

### 2.1.1 温度因素

海水的温度主要受地表温度和海水深度的控制。我们知道原生海相碳酸盐绝大部分是生物成因的,生物只能生活发育于窄海水温度区间内,不可能存在太高的温度。现代腕足类生活的海水温度小于 30°C (Holland, 1978)。Frakes (1979) 计算白垩纪时期赤道表面的海水温度小于 32°C。而且海水温度随水深加大逐渐变小。因此海水的温度对碳酸盐氧同位素组成的影响是次要的,在剖面上进行垂向分析时,海水温度对各个时期碳酸盐氧同位素的影响程

度可认为是相同的。



注: 氧同位素地层剖面据文献[3]整理而成。图中数字 1—9 代表氧同位素记录的编号, 所对应的海平面变化幅度见表 1

图 1 塔里木盆地震旦—泥盆纪古海平面变化曲线及氧同位素地层剖面

Fig. 1 The sealevel changes curve and oxygen isotope stratigraphic section of sinian period to Devonian period, Tarim Basin

### 2.1.2 成岩作用因素

我们知道成岩作用对碳酸盐同位素组成的影响受时间、温度和埋深的控制。我们所研究的柯坪地区寒武、奥陶系氧同位素剖面上,震旦、寒武和奥陶系之间均为不整合接触,说明震旦纪沉积后,曾抬升至地表遭受剥蚀作用,之后接受寒武纪沉积。这种频繁的构造抬升作用,实际上起到了抵消埋深对成岩作用的影响。

叶德胜(1991)、贾振远(1991)研究表明,柯坪地区寒武、奥陶纪原生碳酸盐的成岩温度相差甚少,因此在纵向对比时,各时期成岩温度对成岩作用的影响程度可认为是相同的。

同时我们在野外采样时,总是在新鲜面上进行,避开裂缝、方解石脉、晶洞及交代作用和热液蚀变等改造强烈的部位。并在送样前对样品进行薄片检查、扫描电镜和阴极发光检查,以确保样品处于封闭体

系,使同位素组成受成岩作用的影响减少到最小。

综上所述成岩作用不是碳酸盐同位素组成的主要影响因素。

因此,海水温度和成岩作用对碳酸盐同位素组成的影响是次要的,碳酸盐的同位素组成主要受海水同位素组成的影响,碳酸盐的同位素组成反映着海水的同位素组成。

### 2.1.3 海平面变化与海水中氧同位素组成

引起海水中氧同位素分馏的主要机制是:海水的蒸发作用<sup>[5,6,7,10]</sup>。蒸发作用强烈地影响着海水的氧同位素组成,因为它使轻氧同位素优先损耗,富集到汽相中,结果使海水中富集重氧同位素,使氧同位素值变大。另外由水蒸汽冷凝以降雨形式或冰川融化形成的淡水富集轻氧同位素,因此由于淡水的注入和混合将使海水中氧同位素值变小。

蒸发作用总是与海平面的下降相伴,淡水的注入则引起海平面的上升,因此氧同位素值在垂向上的变小、增大正好反映着古海平面的上升和下降的变化。

### 2.2 从柯坪地区上震旦统一奥陶系氧同位素剖面看塔里木盆地古海平面变化

#### 2.2.1 研究区震旦—泥盆纪古海平面变化曲线的建立

前面的讨论已得出氧同位素的变化与海平面升降之间的关系,即:海平面的上升,使海水中氧同位素值变小,海平面的下降,使海水中氧同位素值增大。对某一特定时期原生海相碳酸盐而言,它与海水之间的氧同位素分配反应可认为已达到平衡,即:碳酸盐与海水之间已达到平衡分馏,因此碳酸盐的氧同位素组成反映着古海洋中海水的氧同位素组成。

柯坪地区氧同位素剖面(图 1)清楚地反应了塔里木盆地上震旦世—奥陶纪的古海平面变化特点。

从图 1 可以看出由层序地层分析所获得的塔里木盆地古海平面变化曲线与通过氧同位素分析的结果是一致的。且反映了氧同位素对古海平面变化具有很好的记录作用,尤其是对低序次高频海平面变化更显出其优越性。

#### 2.2.2 海平面变化幅度的计算

Shackleton and Opdyke(1973), Fairbanks and Matus(1978)用放射性测量的方法对更新世海平面记录进行标定,给出了海平面每变化 10 m,  $\delta^{18}O$  值变化 0.1‰ 的计算海平面变化的标定值。

据上述计算海平面变化的标定值计算了塔里木

盆地寒武、奥陶纪主要海平面变化事件的幅度如下(表 1)。

表 1 塔里木盆地寒武—奥陶纪海平面变化幅度  
Table 1 The ranges of sealevel changes of Cambrian period and Ordovician period, Tarim Basin

事件编号	类型	时代	海平面变化幅度 (m)
9	最大上升	O <sub>2-3</sub>	326
8	最大下降	O <sub>1</sub>	100
7	最大上升	O <sub>1</sub>	120
6	下降	Є <sub>3</sub>	79
5	上升	Є <sub>3</sub>	110
4	下降	Є <sub>2</sub>	80
3	上升	Є <sub>2</sub>	100
2	下降	Є <sub>1</sub>	130
1	上升	Є <sub>1</sub>	200

注:表中 1-9 为海平面升降变化事件的编号,与图 1 中氧同位素变化事件相对应

### 3 塔里木盆地震旦—泥盆纪海平面变化特点

塔里木盆地震旦纪时期发生 2 次较大的海平面上升,分别发生在早震旦世末期和晚震旦世中期,且早震旦世末期的这次海平面上升幅度较大。在 2 次较大的海平面上升之间是一次较大的海平面下降。震旦纪时期海平面变化具有变化幅度小、变化速度慢的特点,总体上表现为一缓慢的海平面上升过程。

寒武纪时期是塔里木盆地海平面变化的频繁时期,出现了三次较大的海平面上升事件。早、中、晚寒武世各一次,海平面上升幅度分别为 200 m、100 m、110 m。寒武纪时期还有 3 次较大的海平面下降,其中以早寒武世末期的这次海平面下降幅度为最大,达 130 m。尽管存在 3 次海平面的波动,寒武纪时期海平面变化总体上显示为一个逐渐上升的变化过程。

奥陶纪时期由 2 个海平面逐渐上升时期构成,早奥陶世时期为第一个海平面上升时期,在此期间,海平面曾发生多次低序次小幅度的波动,总体上显示为海平面逐渐上升,上升幅度达 120 m。早奥陶世末期海平面发生较大幅度的下降,下降幅度达 100 m。中晚奥陶世为第 2 个海平面上升时期,中奥陶世开始海平面上升,到晚奥陶世达到最大,上升幅度为

327 m。

志留纪由一次较大的海平面上升和下降组成,早期海平面逐渐上升,中晚期海平面逐渐下降。总的来讲,志留纪时期海平面变化速度慢,为一海平面逐渐下降的过程。

泥盆纪时期是在志留纪海平面下降基础上的延续,此时海水已基本撤出塔里木地区,出现大面积陆上冲积扇、扇三角洲和沙漠相沉积。

### 4 海平面变化的形成机理分析

对某一盆地而言,海平面相对变化受全球海平面变化、局部构造作用、区域地球动力学背景、沉积物的供给及气候(冰川作用)等因素的控制,海平面变化是上述各因素综合作用的结果<sup>[8,9]</sup>。但对某一具体盆地的某一特定历史时期而言,各种影响因素对海平面变化的作用程度是有主次之分的。

将图 1 中塔里木盆地震旦—泥盆纪的海平面变化曲线与 I 级全球海平面变化曲线<sup>[8]</sup>对比可以发现:震旦纪、寒武纪和早奥陶世时期塔里木盆地海平面变化与 I 级全球海平面上升变化是一致的,志留纪—泥盆纪时期塔里木盆地逐渐下降的特点与 I 级全球海平面下降变化是一致的。中晚奥陶世时期塔里木盆地为海平面逐渐上升时期,而与 I 级全球海平面下降变化特点是相反的。

震旦纪—早奥陶世时期,是塔里木盆地拉张发展阶段,塔里木地区由于地幔的隆升作用产生大规模的拉伸作用。该时期塔里木盆地受全球海平面上升的影响,使塔里木盆地海平面逐渐上升。同时由于大规模的拉张作用,使盆地变宽,使盆地边缘地区下降,形成海平面相对上升<sup>[1]</sup>。因此震旦纪、寒武纪和早奥陶世时期塔里木盆地海平面上升主要受 I 级全球海平面上升变化和区域拉张作用背景两个因素的控制。

志留—泥盆纪时期,塔里木盆地由于受古昆仑洋板块和南天山洋板块的向下俯冲作用,使塔里木盆地受到挤压,使海水逐渐撤出塔里木盆地,使海平面逐渐下降。同时该时期又是 I 级全球海平面下降时期,因此该时期塔里木盆地海平面下降作用是区域聚敛作用背景和 I 级全球海平面下降作用共同作用的结果。

中晚奥陶世时期塔里木盆地表现为海平面逐渐上升时期,这与塔里木盆地所处的因古昆仑洋板块和南天山洋板块的俯冲作用所形成的区域聚敛作用

背景和I级全球海平面下降变化是相悖的。说明该时期塔里木盆地海平面变化并不受区域聚敛作用背景和全球海平面变化的控制。分析表明该时期的海平面的上升作用主要受局部构造沉降作用和沉积物供应匮乏的控制。沉积物供应的匮乏表现在该时期主要为一套由垂向加积作用形成的黑色泥页岩、泥晶灰岩组成。中晚奥陶世时期是塔里木盆地处于聚敛发展阶段的实期,古昆仑洋板块和南天山洋板块的俯冲作用,仅使塔里木盆地边部隆起,隔阻了与外海的连通,尚未对塔里木盆地内部产生显著影响。因此全球海平面变化和区域动力学背景对海平面变化的影响是次要的。

## 5 结 语

作者根据层序地层学工作和氧同位素的变化特点研究,建立了塔里木盆地震旦—泥盆纪古海平面变化特点,并阐述了海平面变化机理。通过对塔里木盆地柯坪地区氧同位素剖面的研究,作者认为尽管原生海相碳酸盐的氧同位素组成受多种因素的控制,但只要在野外采样时选样正确,方法得当,加上室内分析可靠,用氧同位素来进行古海平面变化研究是可行的。且氧同位素对海平面变化具有很好的记录作用,尤其是对低序次高频的海平面变化更有

其优越性

## 参 考 文 献

- [1] C K 威尔格斯. 层序地层学原理. 徐怀大等译. 北京: 石油工业出版社, 1985, 90~ 95.
- [2] 马世鹏等. 西昆仑山北坡的震旦系. 新疆地质, 1989, 7(4): 50~ 54.
- [3] 白玉雷等. 新疆柯坪地区上震旦统一奥陶系碳氧同位素地层标准剖面, 塔里木盆地油气勘探论文集. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1992, 73~ 76.
- [4] 张恺. 论塔里木盆地类型、演化特征及含油气远景评价. 石油与天然气地质, 1990, 11(1): 1~ 7.
- [5] Epstein S and Mayeda T K. 1953, Variations of the  $O^{18}/O^{16}$  ratio in natural waters, Geochim. Cosmochim. Acta, 1973, 4: 80~ 85.
- [6] Redfield A C and Friedman I. Factors affecting the distribution of deuterium in the ocean. In symposium on marine geochemistry, university of Rhode Is Land, Occasional Publication, 1965, 3: 30~ 35.
- [7] Pau Li Abell, Stanley M. Awramik, Robert H. Osborne and sterling Tomellini. 1982, Plio-Pleistocene lacustrine stromatolites from lake Turkana, Kenya. Morphology, stratigraphy and stable isotopes, sedimentary Geology, 1982, 32(1): 110~ 114.
- [8] Vail, P E, Mitchum, R M and Thompson, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, AAPG, 1977, 26(2): 235.
- [9] Van steenwinkel, M. Sequence stratigraphy from "spot" outcrops-example a carbonate-dominated setting Devonian-Carboniferous transition, Dinant synclinorium (Belgium), Sedimentary Geology, 1990, 69(1): 3~ 4.
- [10] Degens, E T and Epstein S. Relationship between  $O^{18}/O^{16}$  ratio in coexisting Carbonates, Cherts and diatomites, AAPG, 1962, 46(4): 30~ 36.

## The Reconstruction and Origin of Sealevel Changes of Sinian Period to Devonian Period in Tarim Basin

Du Xiaodi<sup>1</sup> Wang Pujun<sup>2</sup> Kuang Lichun<sup>2</sup> and Wang Dongpo<sup>2</sup>

1(Exploration Bureau, China National petroleum cooperation, Beijing 100724)

2(Changchun college of Geology, Changchun 130026)

### Abstract

Based on sequence stratigraphy work for the outcrops in Tarim Basin, The author sets up the Sealevel changes curve of sinian period to Devonian period. Then the author studies the relationship between oxygen isotope and sealevel changes and finds the oxygen isotope ratio's increase and decrease indicating the sealevel's down and up. The correctness of sealevel changes curve is tested and verified by the result of oxygen isotope. The ranges of sealevel changes are calculated. Finally the author elaborates the formation mechanism of sealevel changes of Sinian period to Devonian period in Tarim Basin.

**Key Words** Tarim basin sinian period to Devonian period palaeosealevel changes formation mechanism