

塔里木盆地北部寒武纪 海平面变化研究

于炳松

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002)

提 要 在以往的沉积学研究中, 常常用剖面中的相对水深变化来讨论海平面的变化规律。本文通过对塔里木盆地北部寒武纪上超点变化曲线与肖尔布拉克地区寒武系露头剖面中相对水深变化曲线的对比研究发现, 上超点变化曲线与相对水深变化曲线具有明显的差异, 前者在寒武纪呈持续上升趋势, 而后者除早期有一快速上升外, 总体呈持续下降趋势, 这说明相对水深变化虽与海平面变化存在着本质的联系, 但单凭露头剖面中相对水深变化的研究是难以对海平面变化作出正确估价的, 还必须综合考虑基底沉降、沉积物供给等多种因素的影响。计算机模拟结果也证实了, 在碳酸盐台地的浅水处, 当基底沉降速率较低时, 无论是海平面上升还是下降时期, 相对水深均呈现持续下降趋势。为了能从露头剖面的地层层序中来了解海平面的变化规律, 本文应用作者改进后的 Fischer 图解和数学方法对肖尔布拉克寒武系剖面进行了海平面变化的重建, 结果发现, 它们与上超点变化曲线的变化趋势完全一致。这充分说明了海平面变化对沉积层序的控制作用, 同时也告诉我们, 不能简单地利用露头剖面中的相对水深变化来研究地质历史时期的海平面变化规律。只有在排除了不同沉积背景上基底沉降速率和沉积物供给速率对沉积层序的控制效应后, 才能从露头剖面的地层层序中获取正确的海平面变化信息。

关键词 海平面变化 上超点变化 相对水深变化 寒武纪 塔里木盆地北部

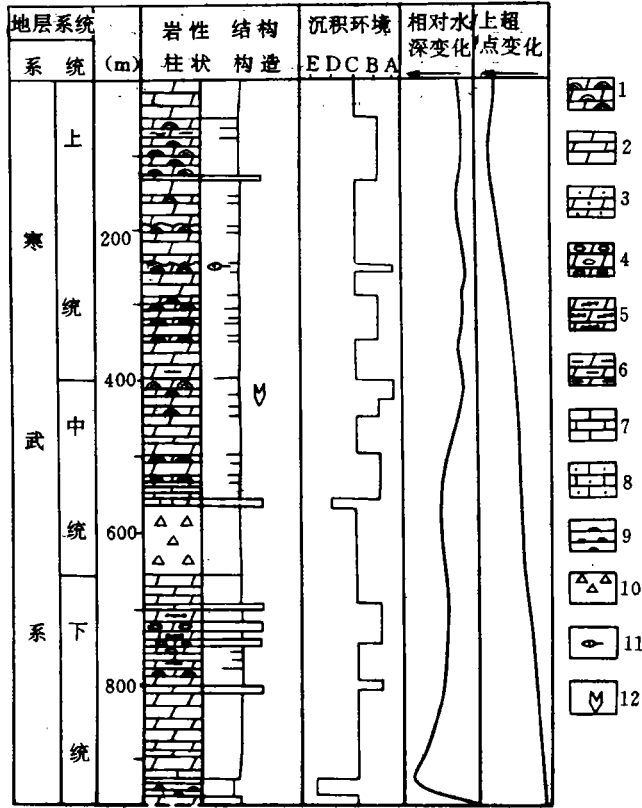
第一作者简介 于炳松 男 32 岁 博士后 沉积学、层序地层学和沉积地球化学

地质历史中的海平面变化研究是沉积学和古海洋学研究的重要内容之一, 它也是近年刚刚兴起的一门新兴学科—层序地层学的重要理论基础和核心内容。随着地球系统科学的发展, 使全球海平面变化研究成为当今重要的前沿课题。在以往的沉积学研究中, 常常用露头剖面中的相对水深变化来讨论海平面的变化规律。本文试图通过对塔里木盆地北部(以下简称塔北)一个寒武系露头剖面和塔北地区地震剖面中上超点变化曲线的研究, 来探讨塔北地区寒武纪海平面变化的规律性。

1 上超点变化曲线与相对水深变化曲线的对比

上超点变化曲线是通过地震资料上反射不连续性的研究所求得的, 它反映的是海平面的相对变化。塔北寒武纪上超点变化曲线见图 1。从图中可以看出, 塔北整个寒武纪的相对

海平面呈持续上升趋势^①。在塔北肖尔布拉克地区所测的寒武系露头剖面中,我们通过详细的沉积学和古生态学研究建立了该区寒武纪的相对水深变化曲线(图1)。从图中可见,该区寒武纪的相对水深变化,早期有一快速上升,此后,相对水深呈持续下降趋势。



1. 藻粘结白云岩 2. 白云岩 3. 砂屑白云岩 4. 砾屑白云岩 5. 瘤状白云岩
6. 泥质白云岩 7. 微晶白云岩 8. 砂屑灰岩 9. 磷块岩 10. 角砾岩 11. 鸟眼构造
12. 石膏假晶 A. 潮上带 B. 潮间带 C. 局限台地 D. 潮下浅水 E. 盆地

图1 肖尔布拉克地区寒武纪相对水深变化曲线与塔北寒武纪上超点变化曲线对比图

Fig. 1 Diagram showing the comparison between the relative change of water depth of Cambrian in the Xiaerbulake region and that of coastal onlap in northern Tarim Basin

从上述上超点变化曲线和肖尔布拉克地区相对水深变化曲线的对比中可以清楚地看到,露头剖面中的相对水深变化曲线与上超点变化曲线(示相对海平面变化)之间,存在着明显的差异。这主要是因为相对水深不仅仅受海平面变化所控制,它还受制于盆地基底的沉降速率和沉积物供给速率(产率)。因此,在相同的海平面变化条件下,由于盆地内不同地区基底沉降速率和沉积速率的差异,相对水深的变化就会呈现出明显的差异。即使在基底沉降速率一致的前提下,也会由于各处沉积速率的不同,相对水深的变化也不一致。不过,我们通过仔细研究发现,虽然露头剖面中的相对水深变化趋势与上超点变化趋势明显不

^① 刘金辉, 1993, 塔里木盆地北部地震层序格架及三叠系沉积体系研究, 中国地质大学(北京)博士学位论文。

同,但在露头剖面中,寒武系中三级层序的发育特征及组合规律,与上超点变化曲线中的短周期变化基本吻合^①。这说明,海平面变化对本区三级层序的形成具有明显的控制作用。那么,为什么在大的变化趋势上会出现如此巨大的不一致呢?我们通过区域岩相古地理分析和计算机模拟证实,这主要是由于我们所测剖面位置的沉积背景所决定的。露头剖面位于阿克苏肖尔布拉克。而阿克苏—柯坪地区当时位于碳酸盐台地的极浅水处^②,水深浅,碳酸盐产率高,基底沉降又较缓慢,碳酸盐物质的产率随时都能跟上由于海平面上升和基底沉降所产生的新增可容纳空间的增长速率,呈现出并进(keep up)碳酸盐体系的特征,从而导致了相对水深的持续下降。计算机模拟的结果也证实了,在碳酸盐台地的浅水处,无论海平面是上升还是下降,相对水深将呈现持续下降^②。从这里,我们可以看到,海平面变化虽是控制层序形成的主要因素,但是单凭某一地点露头剖面或钻井的分析所获得的相对水深变化曲线,是难于对全盆或全球海平面变化作出正确估价的。

2 从露头剖面中求解海平面变化

从上述分析可知,相对水深变化曲线与海平面变化曲线之间存在着明显的差异。但从露头剖面的沉积学分析中,通常只能对相对水深变化作出估价,而无法直接判断海平面的变化。因此,如何从露头剖面的地层层序中来求解海平面的变化,就成了摆在我们面前的一个难题。本文尝试着用数学和图解方法,从肖尔布拉克寒武系露头剖面出发,对其海平面变化进行了重建。

2.1 用数学方法求解海平面变化趋势

在均衡条件下,海平面 $L(t)$ 、沉积物厚度 $S(t)$ 和水深 $H(t)$ 随时间 t 的变化率具以下关系(Cinse 等, 1984):

$$\frac{dL}{dt} - \left(\frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_m} \right) \frac{dS}{dt} - \left(\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_m} \right) \frac{dH}{dt} = 0 \quad (1)$$

式中 $\rho_m = 3300 \text{ kg/m}^2$ 、 $\rho_s = 2100 \text{ kg/m}^2$ 及 $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^2$ 分别是地幔、碳酸盐沉积物及海水的密度。

碳酸盐岩沉积物堆积强烈地依赖于水深和与深度相关的环境条件^①。据现代碳酸盐岩环境的判断,最大沉积速率的深度可能不会超过 10 m ^①。若我们研究的碳酸盐岩环境的最大水深超过这一最大沉积速率深度不太大,则可用下列线性逼近式求得沉积速率对水深的关系^①:

$$\frac{dS}{dt} = CH \quad (2)$$

式中 C 是该特定环境的深度相关频率。在一般的讨论中,可以假定 C 在单个地层剖面中不随时间发生变化。Cinse 等人(1984, 1985)通过研究北美东部和中部中奥陶统地层中两层同时性的火山灰层之间的碳酸盐产率与深度的关系证实,在沉积速率与深度加大之间,基本上是一种线性关系。经过进一步的分析,他们得出了 $C \approx 3/\text{Ma}$ 的结论^①。

按离散的时间间隔重写(1)式得:

① 于炳松, 1994, 新疆塔里木盆地北部古生代层序地层及其沉积学研究, 中国地质大学(北京)博士学位论文。

② 于炳松, 碳酸盐岩层序形成的计算机模拟, 沉积学报(待刊)。

$$\Delta L(j) = \left(\frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_m} \right) \Delta S - \left(\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_m} \right) \Delta H(j) \quad 1 \leq j \leq n \quad (3)$$

式中 j 为样点, n 为剖面中所要计算的样点总数, $\Delta L(j) = L(j) - L(j-1)$, $\Delta H(j) = H(j) - H(j-1)$ 。同时还把 $L(0) \equiv 0$ 定义为在特定剖面中测量海平面的人为零点。这样, 通过对(3)式求和到样点 j , 得出时间 $t(j)$ 处的相对海平面 $L(j)$:

$$L(j) = \sum_{i=1}^j \Delta L(i) \quad 1 \leq j \leq n \quad (4)$$

我们本次工作中对寒武系露头剖面相对海平面的求解, 不是以等时间间隔来进行, 而是以三级层序为单位。根据对肖尔布拉克地区寒武系露头剖面所进行的详细的层序地层和沉积学研究结果, 可获得该剖面三级层序的划分结果、层序编号、层序厚度及三级层序的时限等方面的数据^①, 因此, 适合于我们的(3)式需改写成:

$$\Delta L(j) = \left(\frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_m} \right) \Delta S(j) - \left(\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_m} \right) \Delta H(j) \quad 1 \leq j \leq n \quad (5)$$

综合(5)式和(2)式, 即可对我们露头剖面进行相对海平面变化的重建。对肖尔布拉克剖面寒武系海平面变化重建的计算结果见表1。从表中可以清楚地看出, 该时间内, 相对海平面高程不断增加, 充分显示了它的持续上升趋势。

表1 塔北肖尔布拉克寒武系海平面变化计算结果表

Table 1 Calculating results of sea-level change of Cambrian in the Xiaorbulake region, northern Tarim Basin — to be continued

层序	层序编号	层序厚度 (m)	层序底界年龄 (Ma)	层序延续时间 (Ma)	平均沉积速率 (m/Ma)	平均水深 (m)	水深增量 ΔH (m)	海平面高程增量 ΔL (m)	相对海平面高程 (m)
17	SB4.2	48.49	(505) 508	3	16.30	5.43	-0.4	17.50	271.14
16	SB4.1	69.93	512	4	17.48	5.83	-12.39	16.79	253.64
15	SB3.5	54.65	513	1	54.65	18.22	7.70	25.23	236.85
14	SB3.4	63.14	515	2	31.57	10.52	3.53	25.42	211.62
13	SB3.3	41.91	517	2	20.96	6.99	2.33	16.86	186.20
12	SB3.2	27.96	519	2	13.98	4.66	0.78	10.71	169.34
11	SB3.1	34.95	522	3	11.65	3.88	-4.66	9.46	158.63
10	SB2.4	51.26	524	2	25.63	8.54	3.21	20.88	149.17
9	SB2.3	47.95	527	3	15.98	5.33	1.22	18.28	128.29
8	SB2.2	36.95	530	3	12.32	4.11	1.44	14.44	110.01
7	SB2.1	40.1	535	5	8.02	2.67	-1.96	13.21	95.57

① 于炳松, 1994, 新疆塔里木盆地北部古生代层序地层及其沉积学研究, 中国地质大学(北京)博士学位论文。

续表 1 continued

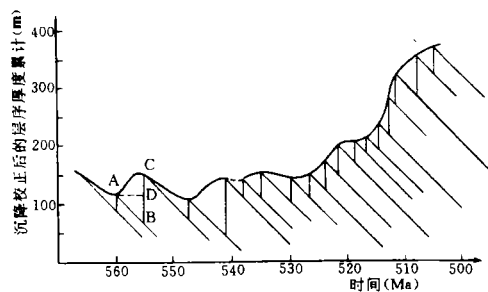
层序	层序编号	层序厚度 (m)	层序底界年龄 (Ma)	层序延续时间 (Ma)	平均沉积速率 (m/Ma)	平均水深 (m)	水深增量 ΔH (m)	海平面高程增量 ΔL (m)	相对海平面高程 (m)
6	SB1.1	41.68	538	3	13.89	4.63			82.36
5	?		541						
4	SA3.2	97.18	547	6	16.20	5.4	4.14	38.22	82.36
3	SA3.1	29.44	555	8	3.68	1.23	-4.93	7.27	44.14
2	SA2.2	92.39	560	5	18.48	6.16	4.7	36.87	36.87
1	SA2.1	26.33	566	6	4.39	1.46			0

2.2 应用改进的 Fischer 图求解海平面变化

Fischer 图是根据潮缘浅水环境中形成的碳酸盐岩层序来求海平面变化的一种图解。其理论依据是：在潮缘浅水环境中，碳酸盐产率很高，在任何时候，由相对海平面上升所增加的可容纳空间，随时都能被新产生的碳酸盐物质所充填。因此，在相同周期的海平面变化过程中所形成的碳酸盐岩旋回的厚度，间接地反映了该周期相对海平面升降的幅度⁽³⁾。其作图方法是：假设在一定的基底沉降速率的前提下，取横坐标为时间坐标，纵坐标为厚度坐标。

根据在露头剖面中所识别的认为是同一级别的旋回厚度，在时间轴上，按旋回周期等时间间隔地求解旋回厚度与基底沉降之间的差值，据此来求解海平面的升降变化趋势。由于在露头剖面中，难以保证所识别的碳酸盐岩旋回完全是同一级别的，因此，在本项研究中，我们按照 Fischer 图解的原理，对其作图方法进行了改进。我们的作图单位是在详细的层序地层研究基础上的层序（三级），而不是认为是同一周期的旋回。在时间坐标上，不是等时间间隔地来求解，而是以经过严格时限标定的层序的延续时间为单位，在假设一定基底沉降速率的前提下，用作图法求取每一层序形成时间内层序厚度与基底沉降的差值，据此来求解海平面的变化趋势。

改进后的方法，在作图单位时限的标定上，较传统的 Fischer 图更为精确，故求得的海平面变化趋势，较传统的作图法更为可靠。塔北肖尔布拉克地区寒武系的 Fischer 图见图 2。从图中我们可以清楚地看到，其海平面变化呈持续上升趋势，与上超点变化趋势完全吻合。



A. C 代表沉积物表面高程 AB 为基底沉降
BC 为基底沉降 BC 为层序延续时间

图 2 塔北肖尔布拉克地区寒武系 Fischer 图解

Fig. 2 Fischer plot of Cambrian in the Xiaoerbulake region, northern Tarim Basin

3 结 论

本文通过对塔北上超点变化曲线和露头剖面中相对水深变化曲线的研究和对比,发现两者之间存在着明显的差异。这就告诉我们,单凭露头剖面的相对水深变化是难以对海平面变化情况作出正确估价的。通过用数学和图解方法对肖尔布拉克地区寒武系剖面中海平面变化的重建发现,其海平面变化趋势与上超点变化曲线完全一致。这充分说明了海平面变化对沉积层序的控制作用。同时也告诉我们,不能简单地利用露头剖面中的相对水深变化来研究地质历史时期的海平面变化规律。只有在排除了不同沉积背景上基底沉降速率和沉积物供给速率对沉积层序的控制效应后,才能从露头剖面的地层层序中获取正确的海平面变化信息。

收稿日期 1994-12-10

参 考 文 献

- [1] (美)C. K. 威尔格斯等著,层序地层学原理(海平面变化综合分析),徐怀大等译,1993,北京:石油工业出版社,1988。
- [2] 贾润胥主编,中国塔里木盆地北部油气地质研究,第一辑:地层沉积,武汉:中国地质大学出版社,1991。
- [3] Read, J. F. and Goldhammer, R. K., Use of Fischer plots to define 3rd order sea-level curves in peritidal cyclic carbonates, Ordovician, Appalachians. *Geology*, 1988, 16(10): 895-899.

Study on Sea—level Change of Cambrian in Northern Tarim Basin

Yu Bingsong

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002)

Abstract

The study on sea—level change in geological history is one of the most important aspects in sedimentology and paleoceanography, and it is also the theoretical basis and key content of sequence stratigraphy. With the development of geoscience toward system science, the study of global sea level change has become an important frontier problem. In the study of sedimentology, we used to discuss the sea level change with the relative change of water depth in outcrop section, but the evidence from the study of seismic stratigraphy and sedimentology of Cambrian in northern Tarim Basin indicates that the relative change of water depth in outcrop section is quite different from the relative change of coastal onlap reflecting the relative sea level

change. The relative change of coastal onlap got from the seismic stratigraphic research shows steady rising in Cambrian, but the relative change of water depth in outcrop section is gradually falling. Thus, it can be seen that although the relative change of water depth got from the study of outcrop section has a great deal to do with sea level change, it can not stand for sea level change completely. The reason is that the relative change of water depth is not only controlled by sea level change, and it is also controlled by basement subsidence and sediment supply, so under the condition of the same sea level change, the relative change of water depth will be quite different in the different site with different velocity of basement subsidence and sediment supply. Even if the basement subsidence is uniform in the basin, it will also change from place to place because of the different velocities of sediment supply (or productivities). Computer simulating results confirm that it is entirely possible that whether sea level is rising or falling, the water depth will decrease on the very shallow carbonate platform where the basement subsidence is relatively slow. This is because the carbonate productivity is very high and the production of carbonate sediments can keep pace with the increase of accommodation at all time, and even can exceed it at some time. As a result, the keeping-up carbonate system will generate, resulting in the decrease of water depth. In order to understand the rule of sea-level change from the outcrop section, the tendency of sea-level change has been reconstructed with the mathematical method and the developed Fischer Plot, and the results show that the reconstructed tendency of sea-level change is the same as that of the change of coastal onlap reflecting the relative change of sea-level change, which proves that the sea-level change has an important control over depositional sequences, but it is difficult to evaluate the sea-level change only on the relative change of water depth from outcrop section. It is only after removing the effects of basement subsidence and sediment productivity that the correct information of sea-level change can be obtained from the outcrop section.

Key Words: sea-level change relative change of coastal onlap relative change of water depth Cambrian