

从露头剖面层序中求解海平面变化

于炳松

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

〔内容提要〕 海平面变化规律是层序地层学研究核心内容之一。在露头剖面的沉积学研究中, 通常只能对水深变化作出估价, 而难以直接判断海平面的变化情况。因此, 如何从露头剖面的地层层序中来求解海平面的变化, 是摆在我们面前的一个难题。本文介绍了用数学方法和改进后的 Fischer 图解来求解在特定沉积背景下形成的地层层序所反映的海平面变化情况, 并用上述方法对塔里木盆地北部肖尔布拉克地区寒武纪露头剖面进行了海平面变化的重建, 得到了良好的结果。

关键词: 海平面变化 相对水深变化 露头剖面 塔里木盆地北部 寒武纪

层序地层学是通过识别由海平面周期性变化所产生的沉积特征来划分、对比地层、定年和解释地质记录的新方法。在露头剖面的沉积学和层序地层学研究中, 通常只能对相对水深变化作出估价, 而难于直接判断海平面变化情况, 因为相对水深变化不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。由此可见, 从露头剖面的沉积之研究中所获得的相对水深变化, 它虽然与海平面变化存在着内在的必然联系, 但相对水深变化通常并不能代表海平面的变化。塔里木盆地北部肖尔布拉克地区寒武系露头剖面的情况就是一个很好的例证(图1)(于炳松, 1994)^①。该区寒武系露头剖面中的相对水深变化曲线, 除早期有一快速上升外, 总体呈现持续下降趋势。而通过地震地层研究所得的反映塔北地区相对海平面变化的上超点变化曲线, 则呈现持续上升的趋势(刘金辉, 1993)^②, 两者差异明显。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。本文尝试着用数学方法和改进后的 Fischer 图解两种方法, 对形成于潮缘浅水环境中的碳酸盐岩层序进行了海平面变化的重建, 并将其应用于塔里木盆地北部肖尔布拉克寒武系剖面中, 得到了良好的效果。

1 用数学方法求解海平面变化

1 方法原理

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 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。

③ 本文 1994 年 12 月 19 日收稿。

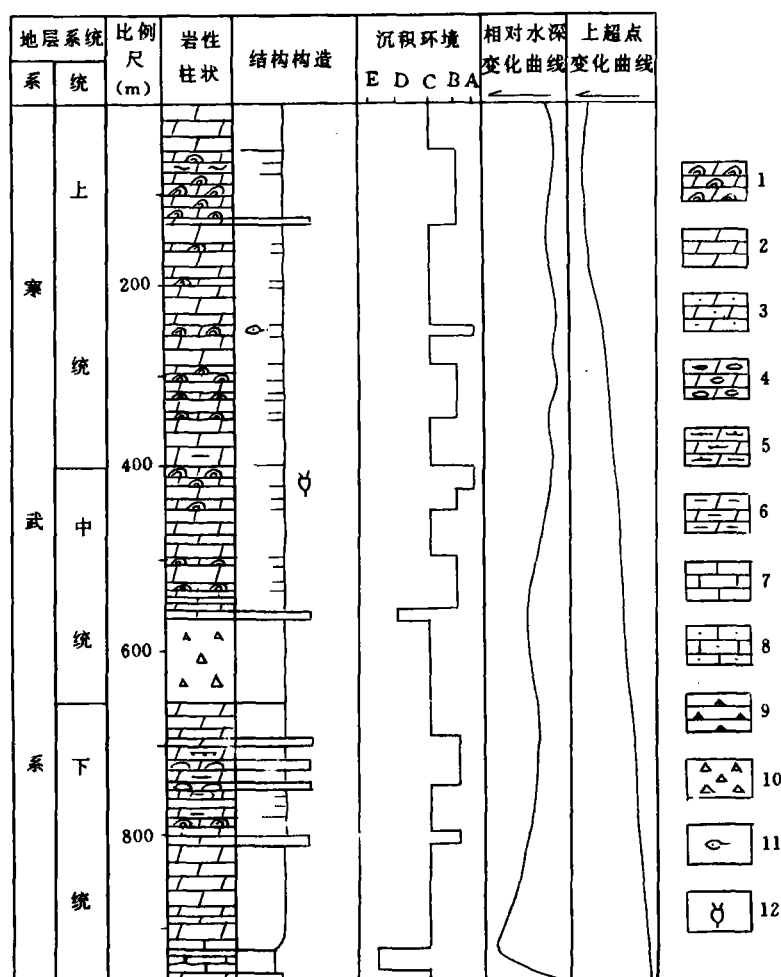


图1 肖尔布拉克地区寒武纪相对水深变化曲线
与塔北寒武纪上超点变化曲线对比图

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. 微晶灰岩, 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

Fig. 1 Comparison of the relative changes in water depth in the Xiao'erbulake region with the changes in the coastal onlaps in northern Tarim Basin during the Cambrian

= algal boundstone, 2=dolostone, 3=dolarenite, 4=dolorudite, 5=knobby dolostone, 6=muddy dolostone;
7=micritic limestone, 8=calcarenite, 9=phosphorite, 10=breccia, 11=bird's-eye structure,
12=gypsum pseudomorph, A=supratidal zone, B=intertidal zone, C=restricted platform,
D=subtidal shallow-water zone, E=basin

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 (Cisne 等, 1984, 威尔克斯等, 1988):

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

式中 $\rho_m = 3300 \text{ kg/m}^3$, $\rho_s = 2100 \text{ kg/m}^3$ 及 $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ 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(据 Schlager, 1981, 见威尔克斯等, 1988)。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 10m (Ginsburge 和 James, 1974)。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相关关系(Cinse 等, 1984):

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

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, 他们得出以 $C \approx 3/\text{Ma}$ 的结论(威尔克斯等, 1988)

按离散的时间间隔重写(1)式得:

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

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 $L(j)$:

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

综合(4)式和(2)式, 即可对露头剖面进行相对海平面变化的重建。

1.2 塔北肖尔克拉克寒武系剖面海平面变化计算结果

本次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, 三级层序的时限已通过生物地层和层序地层进行了标定(于炳松, 1994), 因此, 适合于我们的(3)式需改写成:

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

综合(2)式、(4)式和(5)式, 对塔北肖拉克寒武系剖面海平面变化进行了重建计算。由于我们所取的参数 $C = 3/\text{Ma}$ 并不是我们工作区的深度相关频率, 因此, 计算结果并不反映工作区相对海平面变化的真正幅度, 而只是反映一种变化趋势。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, 海平面高程不断增加, 充分显示了它的持续上升趋势。

2 应用改进的 Fischer 图求解海平面变化

2.1 方法原理

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(Read, et al., 1988)。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

表 1 塔北肖尔布拉克寒武系海平面变化计算结果表

Table 1 Calculations of the sea-level changes in the Cambrian strata in the Xiaoe'rbulake region

层序	层序编号	层序厚度 (m)	层序年界年龄 (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)	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	64.65	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
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

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,我们在本次工作中,按照 Fischer 图的原理,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,较经典的 Fischer 图更为精确,故求得的海平面变化趋势较经典的作图法更为可靠。

2.2 塔北肖尔布拉克寒武系剖面海平面变化重建结果

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,其平面变化呈持续上升趋势,与上超点变化曲线的变化趋势完全吻合。

3 结论

一般来说,从露头剖面的沉积学研究中的关于沉积地层形成时相对水深的变化与海平面变化之间存在着明显的差异。本文介绍了两种方法来对潮缘浅水地区形成的碳酸盐岩层序进行相对海平面变化的重建。这两种方法在塔里木盆地北部肖尔布拉克寒武系露头剖面中的应用说明,对于在一定的沉积背景条件下形成的沉积层序,通过适当的方法来恢复其形成时的海平面变化历史是可能的,而且,这也进一步说明了海平面变化对沉积层序的控制作用。

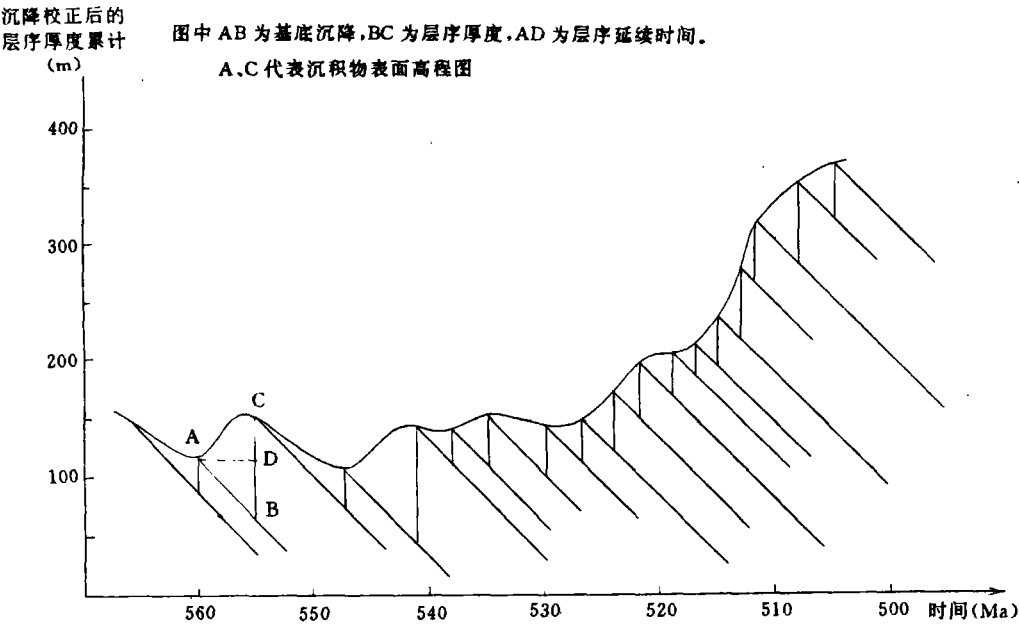


图 2 塔北肖尔布拉克地区寒武系 Fischer 图解

Fig. 2 The Fischer plot of the Cambrian strata in the Xiao'erbulake region, northern Tarim Basin

主要参考文献

贾润胥主编, 1991, 中国塔里木盆地北部油气地质研究, 第 1 辑: 地层沉积; 第 2 辑: 构造与油气, 中国地质大学出版社。

(美) C. K. 威格斯等著 (1988), 徐怀大等译, 1993, 层序地层学原理 (海平面变化综合分析), 石油工业出版社。

Read, J. F. and Goldhammer, R. K., 1988. Use of Fischer plots to define 3rd order sea-level curves in peritidal cyclic carbonates, Ordovician, Appalachians. *Geology*, Vol. 16, 985

RECONSTRUCTION OF SEA-LEVEL CURVES BASED ON OUTCROP SEQUENCES

Yu Bingsong

Institute of Geochemistry, Academia Sinica

ABSTRACT

The regularity of sea-level changes is one of the most important aspects of sequence stratigraphy. Usually, only the relative changes in water depth can be assessed; the sea-level changes are difficult to be understood directly from the study of outcrop sequences. So how to extract the information of sea-level changes from the outcrop sequences becomes a very difficult problem confronting us. The methods of mathematics and developed Fischer Plots have been introduced in this paper to reconstruct the sea-level changes based on the stratigraphic sequences deposited in the shallow peritidal environments. The sea-level changes in the Cambrian strata in the Xiao'erbulake region of northern Tarim Basin have been reconstructed with the aid of these methods, and the results are satisfactory.

Key words: sea-level change, relative change in water depth, outcrop sequence, northern Tarim Basin Cambrian.