

西藏南部中白垩世旋回地层学^①

陶然

(铁道部第二勘测设计院)

曾允孚 王成善

(成都理工学院 成都 610059)

提 要 根据旋回特征可把西藏南部的中白垩纪地层分为四个等级。第一级旋回主要是大套的碎屑岩与碳酸盐岩的交替,以及生物种类的变化,表现了当时海平面周期性变化。第二级旋回代表了古生产率和氧化还原的韵律性变化,通过对 CaCO_3 含量的 AR-FFT 处理得出的周期(ZMa)与 Berger 等人所计算的理论周期基本相符。因此,可以认为这种旋回根本原因是因轨道参数变化所引起的古环流改变所造成,如地中海型环流与河口型环流的互换,必将导致古生产率以及海洋水体性质的改变。第三级旋回表现为层偶的变化,如泥岩与灰岩互层以及黑色页岩与灰岩互层,在本区主要有三个周期:4.3、5.2和9.2万年,它们分别相当于斜率(ϵ)和偏心率(C)的理论周期值,旋回的周期主要是因为气候的变化引起陆源物质的稀释作用发生周期性变化,气候的周期性变化是由于轨道参数的改变而引起,因此,这种旋回具有全球的可对比性。第四级旋回是由于海水呈季节性变化所引起的纹层状层理。

关键词 旋回地层学 缺氧事件 轨道参数 层偶 中白垩世

第一作者简介 陶然 男 29岁 沉积学

旋回地层学(Cyclostratigraphy)是研究由行星轨道参数的变化而引起的地层韵律性变化的一门学科,这种地层韵律不仅包括岩性的韵律(层偶)而且还包括了古生物、化学、矿物和沉积的振荡变化^[1]。旋回地层学是随着研究第三纪和第四纪的冰川作用的轨道控制论而发展起来的,它的理论基础已经形成。但这种理论是否同样适用于更新世以前的地层?一定的沉积序列能否记载了轨道变化的信息?在沉积相和时间上这些信息如何分布?又怎样研究和鉴别它们?这些问题都需要对前更新世地层进行广泛深入的研究才能获得。为此,本文尝试在这方面作些工作,旨在回答上述问题积累证据和资料。

研究区位于我国西藏南部(图1),所涉及的层位为白垩纪。该区有良好的呈东西向的带状分布、连续性好、后期改造弱的海相白垩纪地层,为了消除沉积物中的一些地区性的因素或噪音影响,我们选择了形成于不同的沉积—构造背景的岗巴和江孜两地区的剖面作了对比性研究。

1 旋回的划分

研究区在白垩纪时位于印度板块北缘,属于喜马拉雅被动陆缘盆地和低分水岭深海沉积盆地^[2]。前人对该区曾进行过一些工作,我们在这些工作基础上并结合我们的工作,对该区的中白垩世地层进行了详细的划分并计算了各时期的沉积速率和古生产率(表1)。

① 国家自然科学基金资助项目(编号 0487005)

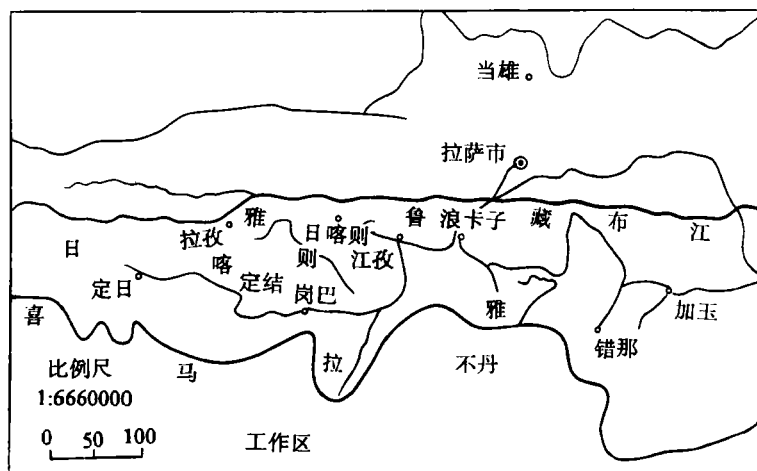


图 1 工作区示意图

Fig. 1 Sketch map showing the study area

表 1 岗巴地区中白垩世地层划分、沉积速率和古生产率

Table 1 Classification, Sedimentation rates and palaeoproductivity of Mid-Cretaceous strata in Gamba area

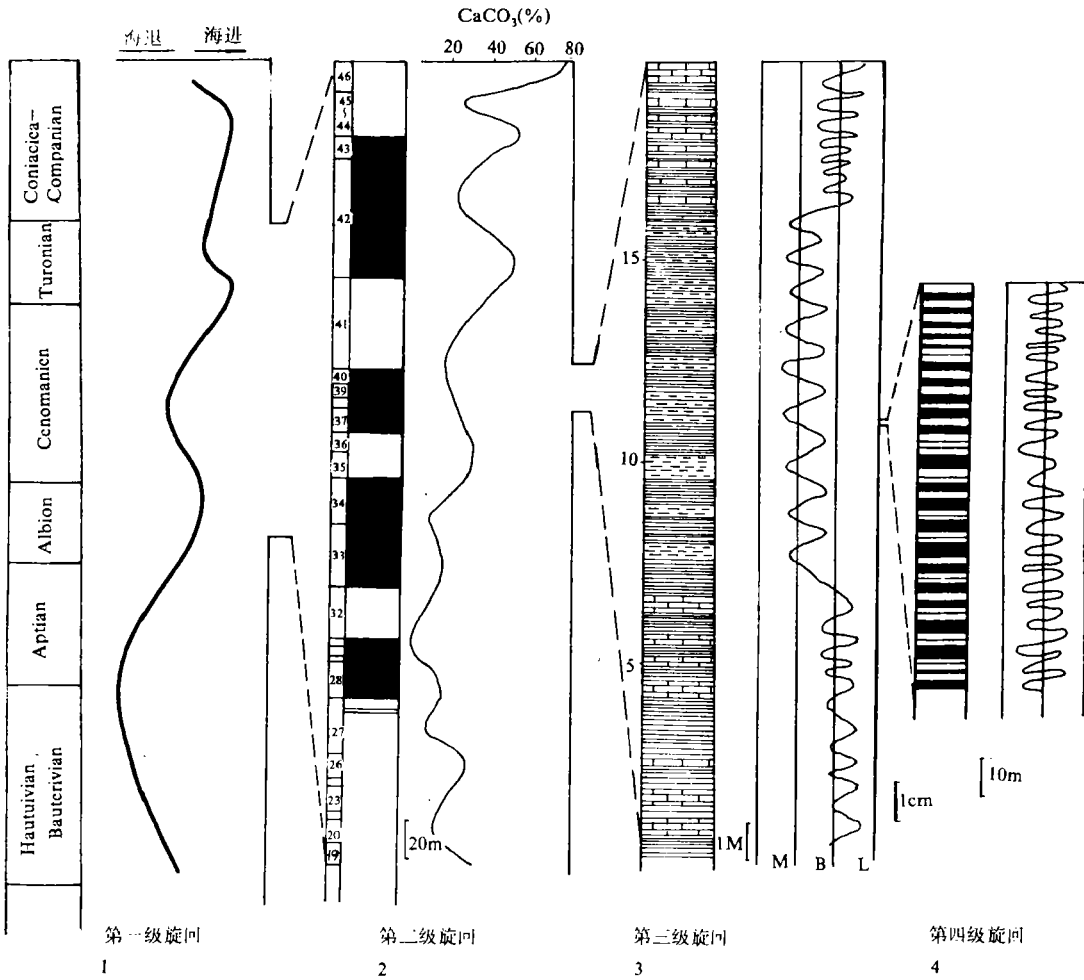
层号*	期	厚度 (m)	持续时间 (Ma)	沉积速率 (cm/10 ³ ·Y)	平均古生产率 (g/m ² ·Y)
50~44	Turonian	87	2.0	4.33	34.0
43~42	Cenomanian~ Turonian 界线处	70	1.0	7.0	56.0
41~28	Cenomanian	198	6.0	3.30	35.0
27~15	Albian	187	15.5	1.20	11.5

* 野外实测剖面的层号

正如前述,地层中的旋回包括多种沉积特征的韵律,而这在西藏南部中白垩世地层中表现得非常突出,根据这些不同的沉积特征可以把这套地层中所存在的旋回划分成四级(图2)。其中第一级旋回主要表现为几百米厚的碎屑岩与碳酸盐岩的大套更替,在古生物上为游泳、浮游生物与底栖、固着生物的交替,但由于资料有限,现在还不可能对这一级旋回进行详细研究。第四级旋回在本区表现为一种颜色上深浅不同的纹层状层理,这种纹层状层理发育很广。根据计算这种纹层状的周期在100年至150年之间。

第二级旋回主要反映在岗巴地区 Cenomanian 至 Turonian 期的黑色页岩相和泥岩相的互层上,在此期间发育着五套黑色页岩相和泥岩相的沉积,周期分别在 1.2Ma 至 2.4Ma 之间,平均为 1.8Ma,本区的旋回性还表现在 CaCO₃ 含量及古生产率变化上(图3)。CaCO₃ 和古生产率的周期主要在 1.2Ma 至 2.2Ma,平均为 1.85Ma,这与岩相互层所得出的平均值相近。

第三级旋回表现出一种层偶性变化,主要是泥岩与页岩以及页岩与灰岩互层。泥岩与页岩互层主要分布在江孜地区,旋回周期在36千年至60千年之间,平均为46千年。另通过



第一级旋回: 原因: 海平面变化; 第二级旋回: 周期 2Ma±, 原因: 环流变化;
 第三级旋回: 周期 4.3、5.2 和 9.2 万年, 原因: 气候的改变;
 第四级旋回: 周期 100~150 年, 原因: 古生产率的季节性变化

图 2 西藏南部中白垩世旋回地层等级图

Fig. 2 Cyclicity in the Mid-Cretaceous Strata of Southern Tibet, China

对岗巴地区泥岩与灰岩互层的计算表明, 它们周期在 40~100 千年之间, 这与江孜地区的旋回周期基本相同, 也与欧美的情况类似^[3]。

2 产生旋回原因的讨论

2.1 第一级旋回

它对应着本文所划分出的第一级旋回, 所以本级旋回反映了一种海平面的变化, 经王乃文 (1979)^[16] 的研究, 在白垩纪东特提斯经历了三个海退期与两个海侵期, 其中尤以 Cenomanian 中期所发生的海侵规模最大。

2.2 第二级旋回

在中白垩世海洋中,尤其是特提斯海域广泛存在着大洋缺氧事件^(4,5)。

由于热盐底层水的作用导致了贫氧层的扩大和膨胀,这样就有利于高有机碳黑色页岩的沉积,但这种缺氧事件并不能长期地持续下去,一旦某个因素破坏(如气候从温暖转变为干旱以及海平面的波动)就要停止贫氧层的扩大,恢复到正常水平。根据 Arthur 等人(1987)⁽⁶⁾对中白垩纪的黑色页岩研究表明,当时的缺氧事件表现为一种频繁而历时很短的过程,根据我们的研究,属于浅海陆棚环境的岗巴地区在 Cenomanian 至 Turonian 期至少经历了五次缺氧事件(表 3)。

从表 3 可以看出本区的缺氧事件所持续的时间显然高于远洋地区的缺氧事件(据 Schlanger 的研究表明,远洋地区的缺氧事件所持续的周期一般在 0.5Ma 左右⁽⁶⁾)。浅海陆棚区缺氧事件的周期较长,这可能与古生产率高稳定有关。如在岗巴地区 Al_2O_3 和 TiO_2 堆积速率的变化与古生产率的变化基本趋于一致(图 4),这说明陆源物质的增加给海洋生物带来了充分的养料,有利于缺氧层持续的扩大。除此之外,由于海岸上涌区,也可导致缺氧周期变长。

从前述可知,第二级旋回主要反映了大洋缺氧的周期性变化。在下面将讨论这种周期性变化在很大程度上受轨道因素所控制。

2.3 第三级旋回

在泥岩与页岩的互层中,泥岩大都呈浅灰色,生物扰动强烈;页岩呈黑色,大都是纹层状,无生物扰动,并且很少见到遗迹化石,若有也只分布一些均分潜迹(Chondrite)(表 4)。

从以上分析可知,造成这种旋回的根本原因是由于洋底海水氧含量周期性的变化。氧含量的减少就有利于有机质的保存,底栖动物的灭绝,从而形成高有机碳含量的纹层层黑色页

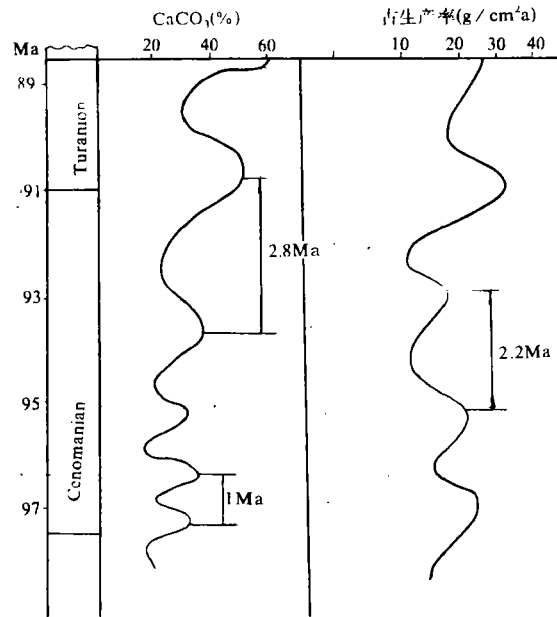


图 3 岗巴地区 Cenomanian 至 Turonian 期的 $CaCO_3$ 含量和古生产率的周期性变化
Fig. 3 Cyclicity of Palaeoproductivity and $CaCO_3$ Content from Cenomanian to Turonian in Gamba area

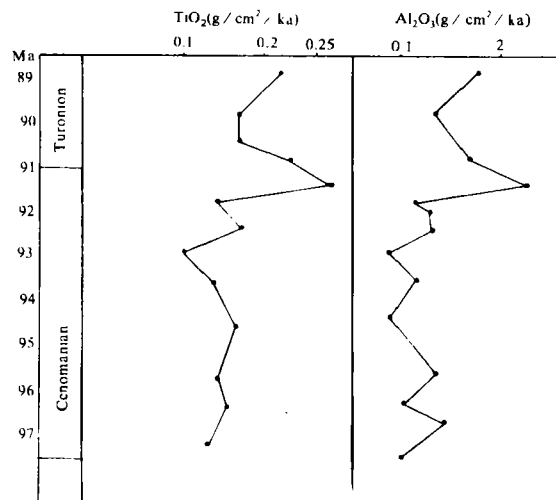


图 4 岗巴地区在 Cenomanian 至 Turonian 期的 TiO_2 和 Al_2O_3 的堆积速率
Fig. 4 TiO_2 and Al_2O_3 accumulation rates from Cenomanian to Turonian in Gamba area

岩,反之就有利于形成泥岩。

对于形成泥岩与灰岩层偶的直接机制有以下二种:①原生或准同生的作用过程;②成岩后生作用;对后一种作用过程可以排除,这有以下原因:

(1)在本区未见压溶所产生的缝合线结构;

(2)灰岩中的有孔虫保存完整,无任何溶蚀现象;

(3)根据扫描电镜分析可知,本区的 CaCO_3 主要来自于生物,很少见到后生胶结形成的 CaCO_3 ;

(4)在野外所见的瘤状灰岩是平行于纹层,纹层绕过灰岩,这说明它是准同生的。

表3 岗巴地区 Cenomanian 至 Turonia 的缺氧周期

Table 3 Anoxic periods of Cenomanian—Turonian in Gamba area

数 目	1	2	3	4	5
厚度(m)	27.1	54.5	33.5	70.0	41.0
周期(Ma)	0.82	1.65	1.02	1.00	0.97

因此,可以肯定灰岩与泥岩的互层是由于原生沉积作用所形成的。G. Ein sele(1982)认为形成灰岩与泥岩层偶的直接机制有以下几个^[6]:

(1)碳酸钙的生产率周期性波动(生产力韵律);

(2)陆源物质的供给周期性增加(稀释韵律);

(3)碳酸钙的周期性溶解(溶解韵律)。

由于本区是浅海环境,所以可以不考虑溶解韵律。一般认为,灰岩与泥岩的厚度比率(L/m)大致可以说明形成旋回的主要机制是什么^[6]。如 $L/m > 1$,认为是由于生产韵律,而 $L/m < 1$,则认为是稀释韵律。

岗巴地区的灰岩与泥岩的厚度比值一般在0.1~0.4,远小于1。因此,我们可以初步肯定造成这种层偶的一个重要原因是稀释作用,即陆源物质供给呈周期性地变化,如当陆源物质供给减少时,造成 CaCO_3 的大量沉积形成灰岩;当陆源物质增加时,主要形成泥岩。

影响陆源物质供给主要有以下几个因素:(1)海平面变化(这里假定短期内构造是稳定的,这也与实际相符);(2)气候。

据现代最新研究表明,造成短期内海平面变化的主要原因是冰川作用,但中白垩纪在全球范围内无冰川作用表现^[19]。对渐新世的研究表明,当气候从温暖和潮湿的气候转为寒冷和部分干旱气候时有以下结果:碳酸盐的生产力减少以及陆源物质供给增加(由于失去了植被保护)^[18]。因此,本区层偶的成因应该主要受气候因素的影响,在下一节中将详细讨论造成气候韵律性变化的原因。

表4 泥岩与页岩的沉积特征比较

Table 4 Comparison between blackshale and mudstone

岩 性	泥 岩	黑色页岩
特 征		
颜 色	浅灰—浅黑	黑色
沉积构造	块状	纹层状
生物扰动	强烈	无
硫化物	无	黄铁矿结核
有机碳含量(%)	0.30	1.16
遗迹化石	钻孔	均分潜迹

黑色页岩中的有机碳含量远高于泥岩。

2.4 第四级旋回

纹层状主要是由于供给物中至少是某种物质组份发生变化而引起的⁽⁷⁾。根据研究表明, 黑色页岩中的纹层状是一种韵律性的沉积过程, 反映了浮游生物种类的季节性变化, 据薄片观察, 这种纹层往往由富放射虫和贫放射虫互层表现出来。泥岩中的纹层状是一种持续的陆源物质供给, 加上季节性的有机质和 CaCO_3 来源, 这反映了古生产率季节性变化。

3 轨道参数与岩性层偶

前述中讨论了四级旋回的特征以及它们的成因, 但这些成因并不是第一位 (First-order) 机制。为此, 我们研究了轨道参数与本区旋回周期的关系, 发现第二、第三级旋回明显受到轨道参数的控制。

表 5 地球运动长期变化三个重要参数的主要理论周期以及藏南旋回周期

Table 5 The cyclic periods of three important theoretical orbital parameters and southern Tibet, China

	西藏南部	Hays ⁽⁴⁰⁾	Imbrie ⁽⁸⁾	Berger ⁽⁹⁾
偏心率(e)	9.2	8.7~12.2	10	41.29, 9.49, 12.33, 9.96
斜率(ε)	4.3, 5.2	3.8~4.7	4.3	4.10, 3.97, 5.36, 4.05, 4.3
岁差(p)	1.69	2.3~2.4 1.9~2.1	2.4, 1.9	2.37, 2.24, 1.90, 1.92

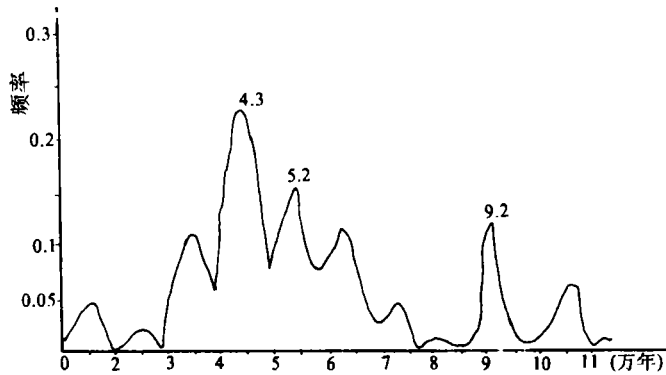


图 5 年代频率曲线图

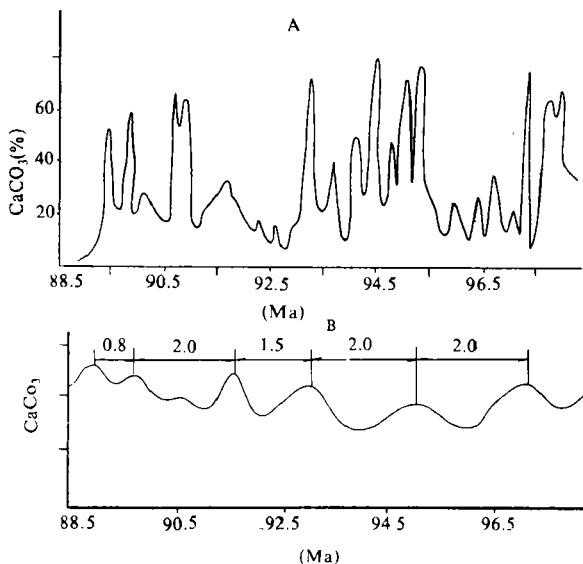
Fig. 5 Frequency curve of ages in Mid-Cretaceous

为了分析轨道参数变化对中白垩纪旋回地层的影响, 我们对江孜、岗巴两地区的层偶周期(第三级旋回)用频率分析方法进行了处理(图 5), 通过分析得出两地区主要有五个时间周期: 3.5、4.3、5.2、6.4 和 9.2 万年, 这与 Berger 等人^(4,21,22)理论计算的斜率(ε)、偏心率(e)值是相当吻合的(表 5)。其中 4.3 万年和 5.2 万年相当于 ε 值的 4.1 万年和 5.36 万年, 而 9.2 万年相当于 e 的 9.49 万年, 但这里缺少了岁差周期, 虽然在图上有 1.6 万年的周期, 但它表现不是很明显。

由以上分析可知, 影响本区层偶的轨道参数主要是斜率和偏心率, 其中尤以偏心率的影响最大(40%), 轨道变化将影响气候的更替, 而气候的旋回将反映在沉积物的记录上。气候

的变化将影响陆源物质的供给,从而沉积物的组份发生变化。如在岗巴地区泥岩与灰岩互层以及泥(灰)岩与粉砂岩互层。当气候从温暖、潮湿转变为寒冷、半干旱时,沉积物中的 CaCO_3 含量减少,粘土含量增加,有机质含量减少。此外,还表现在底栖动物的种类和数目减少,而动物的习性也将改变。这一切现象在藏南地区中白垩纪的旋回中有所反映。

CaCO_3 含量在岗巴剖面的 Cenomanian 至 Turonian 期的变化具有周期性(图 5),虽然在第二章中已初步分析了它的周期,但这种方法带有很大的的人为因素,不够正确,为了分析 CaCO_3 含量的正确周期,对 CaCO_3 含量进行自回归—快速傅里叶变换,这种方法也叫 AR—FFT 功率谱(简称 AR)(见图 6)。根据 AR 所得出的结论可知, CaCO_3 含量具有明显的旋回性,它发育着五个旋回,周期分别是 0.8、2.0、1.5、2.0 和 2.0 Ma。2Ma 的周期与 Berger(1984)^[9] 理论计算的结果(2.03Ma)具有很好的一致性。这说明偏心率一岁差的复合变化对本区的第二级旋回有所影响。这有可能表现在一种环流性质的改变上,与现代相比,白垩纪的整个时期无冰川作用。因此,它的环流主要是一种热盐底层水,它来源于热带和亚热带的蒸发海水^[6]。因此,当轨道参数变化时,将影响到中低纬度的气候变化,从而改变整个海洋的环流,这主要表现在河口型和地中海型环流的互相转换上。



A. CaCO_3 含量变化 B. AR 功率谱

图 6 岗巴剖面 Cenomanian 至 Turonian 期的 CaCO_3 含量的功率谱分析图

A. Curve of CaCO_3 contents B. AR power spectrum

Fig. 6 Power spectrum of CaCO_3 contents from Cenomanian to Turonian in Gamba area

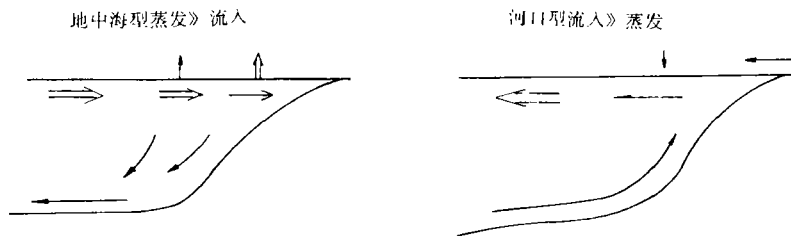


图 7 地中海型环流与河口型环流

Fig. 7 Marine circulation of Mediterranean and Estuary

在河口型环流中,淡水从陆地流入并在表层流动,深层水上涌并向上混合(图 7),由于陆源带入的养分高,使生产率提高,并且导致了贫氧层的扩大,造成富有机碳沉积。但在地中海型环流中,恰与河口型相反,水从开阔大洋流入,后由于受蒸发下沉,并在流入的表层流之

下作为深层水流出,即形成一种热盐底层水,由于养分不高,生物生产率低,因此盆地含氧量高,使盆地沉积物中 CaCO_3 丰富而有机质贫乏,此种现象在藏南地区还表现在古生产率的旋回上。

4 讨 论

西藏南部中白垩纪(Cenomanian 至 Turonian)地层中存在的韵律性变化与地球轨道参数的变化具有很大的一致性,从而说明了地层的旋回性是受行星轨道的控制。斜率和岁差的复合影响反映在当时古海洋的性质上就表现为生物生产率以及缺氧的周期性变化,通过对岗巴剖面的 CaCO_3 含量进行 AR 功率谱的分析表明,在 Cen. 至 Tur. 期存在以 2Ma 左右的周期性变化。但在野外更加直观的表现是米兰科维奇旋回(层偶),即第三级旋回,它的周期主要有三个:4.3、5.2 和 9.2 万年,它们分别相当于斜率(ϵ)和偏心率(c)的理论周期值。由于轨道的影响,导致了气候周期性的更替,这将引起古生产率、陆源物质稀释作用发生周期性变化。

从以上可知,对于地球轨道的运转与地层旋回性肯定存在着某种联系,但由于资料有限,我们不可能对此进行大量的定量描述,而大都局限于一种定性的描述、推测和假说阶段,这需要我们今后作进一步的研究,尤其是第二级旋回的成因,虽然我们提出了环流的改变来解释这种现象,但轨道参数是直接还是间接地影响环流呢?对此的机理我们所知还很少。对于这种长周期的复合影响,一般可以用冰川所引起的海平面变化来解释,但白垩纪是一个无冰川时期。因此,需要我们从另外的角度来解释这一现象。

收修改稿日期:1993-5-25

参 考 文 献

- [1] Fischer A. G., De Bore P. L., Silva I. P., 1990, Cyclostratigraphy in: Ginsburg R. N. and Beaudoin Bernard (ed.) Cretaceous Resources, Events and Rhythms, Background and Plans for Research, NATO ASI Series, 139~172, Netherland.
- [2] 余光明,王成善等,1989. 西藏地区特提斯中生代沉积特征及盆地演化,中国科学, B 辑, (9): 35~39.
- [3] Fischer A. G., 1986, Climatic rhythms recorded in Strata. Ann. Rev. Earth Plan. Sci. 14, 351~376.
- [4] 王成善,陶然等,1991, 中白垩世大洋缺氧事件(OAE)在沉积物中的反映,中国西部特提斯构造演化及成矿作用学术论文集,地质矿产部成都地矿所主编,电子科大出版社,208.
- [5] Schlanger S. D., Arthur M. A., et al., 1987, The Cenomanian - Turonian Oceanic Anoxic Event, I. Stratigraphy and Distribution of organic-rich beds and the marine $\delta^{13}\text{C}$ excursion. In: Marine Petroleum Source Rocks J. Brooks and A. Fleets (eds.). Geological Society of London, Spec. Publ. 26, 371~399.
- [6] Einsele G., 1982, Limestone-marl-cycles (periodites): diagnosis, Significance, Causes—a review; In: Cyclic and event stratification, Einsele G and Seilacher A (eds) Springer (Berlin), 8~53.
- [7] Wetzel A. 1982, Cyclic and discyclic Black shale Formation, 同(6), 431~455.
- [8] Imbrie J. and Imbrie J. I., 1980, Modelling the Climatic response to the orbital variations, Science 207, 843~953.
- [9] Berger A. L., Imbrie J., Hays J., Kukla G. and Salzman B. (eds), 1984, Milankovitch and Climate Dordrecht/Boston/bancaster, Reidel.
- [10] Hays J. D., Imbrie J. and Shackleton, IV. J., 1976, Variations in the Earth's orbit; pacemaker of the Ice ages. Science, 194, 1121~1132.

Cyclostratigraphy of Mid—Cretaceous in Southern Tibet

Tao Ran

(The Second Surveying and Designing Institute, Ministry of Railway)

Zeng Yunfu Wang Chengshan

(Chengdu College of Geology)

Abstract

Cycles of mid — cretaceous in southern Tibet are divided into four orders by cyclic characteristics. The first order is shown in the up — and — down of sea level. The second order is represented by palaeoproductivity and redox, and five cycles of which periods (2Ma) obtained by the method of AR — FFT corresponding to theoretically orbital parameter (2.03Ma) calculated by Berger (1988) are due to rhythmical changes of palaeocurrent. The third cycle is represented by couplets (Limestone/Marl and black shale/limestone), and three important periods of cycles are 43, 52 and 92 thousand years respectively, which corresponds to the periods of obliquity and eccentricity and were originated from palaeoproductivity and dilution by climatic variations which are resulted from the changes of orbital parameters. The fourth order cycle is represented by fine horizontal laminations caused by seasonal variations.

Key words: Cyclostratigraphy, Anoxic Event, Orbital Parameter, Couplets, Mid — Cretaceous.