

文章编号: 0253-9985(2005)05-0680-08

楚雄晚三叠世前陆盆地沉积-剥蚀特点

周 雁¹, 金之钧¹, 汤良杰², 李儒峰²

(1 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083 2 中国石油大学, 北京 102200)

摘要: 运用沉积波动分析等技术, 对楚雄盆地的祥云小青坡、安龙堡、元谋洒苴、禄丰一平浪以及乌龙 1 井、云参 1 井等典型剖面进行了沉积-剥蚀特征分析, 并分别建立了沉积波动方程。经分析, 楚雄晚三叠世前陆盆地主要存在 4 种沉积-剥蚀类型, 即界面型、早沉积晚剥蚀型、沉积型和早剥蚀晚沉积型。4 种沉积-剥蚀类型与前陆盆地结构有很好的对应关系, 造山带、逆冲推覆带、前陆凹陷带和前陆隆起带分别为界面型、早沉积晚剥蚀型、沉积型和早剥蚀晚沉积型沉积-剥蚀分布区。

关键词: 前陆盆地; 波动地质学; 沉积-剥蚀; 楚雄盆地

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

Characteristics of deposition and erosion in Chuxiong Late Triassic foreland basin

Zhou Yan¹, Jin Zhijun¹, Tang Liangjie², Li Rufeng²

(1 Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing; 2 Chinese University of Petroleum, Beijing)

Abstract Depositional wave analysis technique has been used to analyze the deposition and erosion characteristics of several typical profiles in Chuxiong basin, such as Xiaoqingpo in Xiangyun, Anlongbao, Sazhi in Yuanmou, Yipinglang in Lufeng, Wulong 1 well and Yuncan 1 well, and to establish their wave equations. There are mainly 4 deposition-erosion types in Chuxiong Late Triassic foreland basin, including boundary type (SB type), early deposition-late erosion type (T type), deposition type (TH type) and early erosion-late deposition type (H type). These four deposition-erosion types are in good correlation with the architecture of foreland basin. The boundary type (SB type), early deposition-late erosion type (T type), deposition type (TH type) and early erosion-late deposition type (H type) are distributed in orogenic belt, overthrust belt, foreland hollow zone and foreland uplift zone, respectively.

Key words foreland basin; wave geology; deposition-erosion; Chuxiong basin

三叠系是楚雄盆地分布最广的含油气层系, 盆地西部三叠系层位较全, 向东主要为上三叠统。西部上三叠统包括卡尼期的云南驿组、诺利期的罗家大山组和花果山组、瑞替期的白土田组; 中部缺失卡尼期的云南驿组; 元谋地区缺失云南驿组和普家村组; 东部地区的云龙凹陷缺失云南驿组、普家村组和干海子组。楚雄盆地主要有 3 口井: 乌龙 1 井、云参 1 井和楚参 1 井, 其中楚参 1 井没有钻到三叠系。

1 研究方法及参数选择

沉积盆地的波动过程研究是指通过一些周期

的、似周期的、非周期的地质现象, 应用特殊的工作方法分解出一些有规律的波动过程, 并建立波动方程, 从而达到定量预测的目的。所谓波动过程是指地应力、质点运动、质点状态在地质空间中有规律的转移、扩散的过程。这种方法主要是由缅甸尼科娃和施比伊曼创立^[1], 由张一伟、金之钧^[2]引入中国, 并应用于山东和塔里木盆地中, 取得了良好的效果。该方法的主要步骤是在详细整理地质资料的基础上, 将地层剖面转化成沉积速率剖面, 并通过使用频谱分析和周期波叠加理论分解出一系列周期波, 确定出它们的周期、振幅和零相位, 并建立沉积沉降剥蚀(波动)方程 $F(t)$ 。

基金项目: 国家 973 项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”(G19990433)

第一作者简介: 周雁, 男, 38 岁, 高级工程师(博士), 石油地质

收稿日期: 2005-04-30

该方法的优点是除给出量化的概念外,还能研究构造和地层的形成过程,即沉积过程或剥蚀过程的起止时间。对于那些无沉积记录的层段,可以推测沉积-剥蚀过程^[2~4]。

1.1 原始厚度恢复

由于楚雄盆地构造复杂,断层较多,地层重复现象比较常见,如果不加以处理就会对研究结果产生较大的影响。因此,研究过程中结合钻井、测井和地震资料综合分析,在统计现今地层厚度时扣除重复地层厚度,最大限度地消除地层重复对沉积沉降剥蚀过程分析造成的影响。另外,根据地震分析研究,本区大部分断裂都是后期发育的,沉积沉降剥蚀过程分析研究的是地层沉积当时的过程,所以断裂本身对沉积沉降剥蚀过程分析的影响不大。

原始地层厚度的恢复是根据其压实状态分不同岩性进行。主要恢复砂岩和泥岩的原始厚度。灰岩、白云岩类成岩较早,孔隙度小,胶结致密,厚度变化小,一般不作原始厚度恢复,即用现今厚度代替原始厚度。火山活动作为一种突发事件,持续时间短,沉积快,一般在计算原始厚度时将火山岩厚度扣除。

按照上述恢复地层原始厚度的工作方法,进行了野外露头采样,目的是弥补物性资料,建立楚雄盆地孔隙度参数,提高沉积沉降剥蚀分析的精确度。在恢复地层原始厚度时,把粉砂岩、泥质粉砂岩等非纯砂岩处理为砂岩,把粉砂质泥岩、灰质泥岩等非纯泥岩处理为泥岩,这样便于进行原始厚度的恢复。根据物性分析结果,建立了砂岩的深度-孔隙度关系和泥岩深度-孔隙度关系。

楚雄盆地东部砂岩地表孔隙度为 48%,压实系数为 -0.765×10^{-3} ,压实极限孔隙度为 7%。泥岩地表孔隙度为 56%,压实系数为 -0.551×10^{-3} ,压实极限孔隙度为 9%。

中西部砂岩地表孔隙度为 43%,压实系数为 -0.832×10^{-3} ,压实极限孔隙度为 8%。泥岩地表孔隙度为 55%,压实系数为 -0.573×10^{-3} ,压实极限孔隙度为 9%。

某埋深处孔隙度的计算公式为

$$\phi(h) = c[(\phi_0 - \phi_1)e^{-kh} + \phi_1] \quad (1)$$

式中 ϕ 为某深度处的孔隙度,%; ϕ_0 为地表孔隙度,%; ϕ_1 为压实极限孔隙度,%; k 为压实系数; c 为校正系数; h 为地层埋深, m。考虑该区地层实

际孔隙度受胶结作用、充填作用等的影响,结合实际资料,求得校正系数 c 为 0.125。

原始厚度的计算公式为

$$H = H_i(1 - \Psi_1)/(1 - \Psi_{100}) \quad (2)$$

式中 Ψ_1 为某一地层现今埋深处平均总孔隙度,%; Ψ_{100} 为地下 100 m 深处的孔隙度,%; H_i 为现今地层观测厚度, m。

需要说明的是,样品实测孔隙度重复性较差,尤其是分选程度低、磨圆度差的石英粗砂岩、岩屑砂岩以及石英长石砂岩等相互间差异较大,可能是样品的非均质性造成的结果。研究中为减小这些影响,采用与声波时差所求值相结合,主要采用石英砂岩孔隙度,剔除差异极大点,保留有效点的方法,最终通过统计拟合求得地表孔隙度和压实系数。非均质性、胶结作用和充填作用是造成样品孔隙度的实测值较声波时差所求孔隙度值偏低的主要原因。

压实极限孔隙度系指在机械压实作用下砂岩或泥岩的最小极限孔隙度。它一般为—理论实验值,在压实作用下、岩石颗粒破碎前,砂泥岩的最小孔隙度一般为 5% ~ 10%。其中砂岩的极限孔隙度常受其颗粒大小、磨圆度和分选性的影响;泥岩极限孔隙度则主要受颗粒排列方式的影响。极限孔隙度变化范围一般不大。黄骅坳陷砂、泥岩压实极限孔隙度分别为 7% 和 8%,塔里木盆地砂、泥岩压实极限孔隙度分别为 8% 和 9%。

1.2 地层顶、底界绝对年龄

在前人研究的基础上,结合标准国际地层时代表,主要运用中国南方古生物资料、测年数据及分析化验资料,建立了楚雄盆地地层年龄格架,标定了地层顶、底界限的年代。舍资组/白土田组顶界年龄为 208.0 Ma 底界年龄为 211.6 Ma 干海子组/花果山组顶界年龄为 211.6 Ma 底界年龄为 215.8 Ma 普家村组/罗家大山组顶界年龄为 215.8 Ma 底界年龄为 223.4 Ma 云南驿组顶界年龄为 223.4 Ma 底界年龄为 239.5 Ma(表 1)。

1.3 沉积速率

在分析沉积沉降剥蚀过程中,沉积速率的计算相当关键,而沉积速率的计算需要恢复地层原始厚度和各个沉积地层持续沉积的绝对时间(地层顶、底界绝对年龄之差),有了前两个参数就可以求取地层的沉积速率。由此可见,沉积速率的准确与否主要取决于地层原始厚度恢复和顶底界年龄标定的精确性。

表 1 楚雄盆地晚三叠世地层划分对比和年代标定

Table 1 Stratigraphic division, correlation and dating of Late Triassic strata in Chuxiong basin

年代地层			西部	中部	元谋	东部	年龄标定 /Ma
代	纪	世					
中生代	J	早	冯家河组	冯家河组	冯家河组	冯家河组	178.0
							208.0
		瑞替期	白土田组	舍资组	舍资组	舍资组	209.5
							215.8
		诺利期	花朵山组	干海子组	干海子组	舍资组 干海子组	223.4
			罗家大山组	普家村组			235.0
		卡尼期	云南驿组				245.0
		中					256.1
		早					
古生代	P	晚				峨眉山组	

是否缺失地层不确定

缺失地层

不整合

组界限时限不确定

2 典型剖面

2.1 祥云小青坡

祥云小青坡剖面位于楚雄盆地西部逆冲推覆区带上,是西部区的一个典型剖面。主要沉积三叠系云南驿组及部分侏罗系,主要出露三叠系云南驿组。

在岩性统计及地层绝对年龄格架标定的基础上,建立了该区沉积沉降剥蚀方程(图 1),波动方程为

$$F(t)=14.3+0.01t\sin[2\times3.1415926(t-650)/760]$$
(3)

$$g(t)=[1.20abF(t)]\sin[2\times3.1415926(t-140)/220]$$
(4)

$$G(t)=F(t)+g(t)$$
(5)

$$l(t)=[1.15abF(t)]\sin[2\times3.1415926(t-60)/100]$$
(6)

$$L(t)=G(t)+l(t)$$
(7)

$$m(t)=[1.30abF(t)]\sin[2\times3.1415926(t-25)/45]$$
(8)

$$M(t)=L(t)+m(t)$$
(9)

$$n(t)=[1.5abF(t)]\sin[2\times3.1415926(t-2.2)/5.0]$$
(10)

$$N(t)=M(t)+n(t)$$
(11)

$$y(t)=[3.2abF(t)]\sin[2\times3.1415926(t-2.7)/3.0]$$
(12)

$$Y(t)=N(t)+y(t)$$
(13)

式中 $F(t)$ 是能量函数,代表具有天文意义的周期波。 $g(t)$, $l(t)$, $m(t)$, $n(t)$ 和 $y(t)$ 分别是盆地沉积-剥蚀不同的周期波函数。 $G(t)$, $L(t)$, $M(t)$, $N(t)$ 和 $Y(t)$ 分别是盆地沉积-剥蚀不同周期的波动方程, m M a t 为时间, M a abs 表示取绝对值。

可以看出, 5Ma及 3Ma是祥云小青坡地区两个高频沉积沉降剥蚀周期。从周期为 5Ma的沉积沉降剥蚀曲线上看, 该区在 232Ma时处于快速

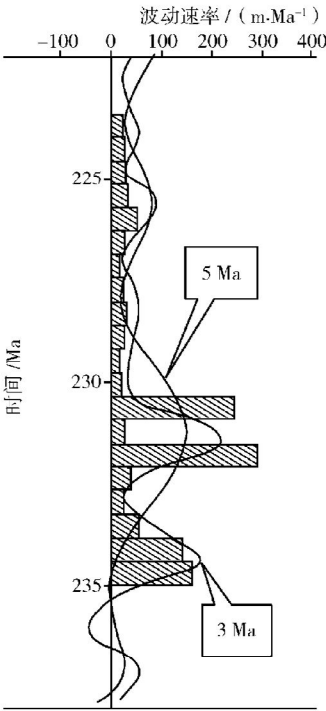


图 1 小青坡剖面波动过程分析图
Fig. 1 Map showing wave process analysis of X iaqingpo profile

沉降、接受沉积状态;到约 224 Ma 时沉积速率减小,变化范围主要集中在 20~100 m/Ma (图 1),最大可达 290 m/Ma。与中、东部地区相比,该地区地层沉积高峰期明显超前。整体看来,该区晚三叠世云南驿组早期沉积速率较高,沉积地层较厚。

2.2 安龙堡

双柏安龙堡剖面三叠系出露的主要为晚三叠世的普家村组、干海子组和舍资组。波动方程为

$$F(t) = 14.3 + 0.01t \sin [2 \times 3.1415926 (t - 650) / 760] \quad (14)$$

$$g(t) = [1.20abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 140) / 220] \quad (15)$$

$$G(t) = F(t) + g(t) \quad (16)$$

$$l(t) = [1.15abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 60) / 100] \quad (17)$$

$$L(t) = G(t) + l(t) \quad (18)$$

$$m(t) = [1.30abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 25) / 45] \quad (19)$$

$$M(t) = L(t) + m(t) \quad (20)$$

$$n(t) = [3.1abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 8.6) / 10.0] \quad (21)$$

$$N(t) = M(t) + n(t) \quad (22)$$

$$y(t) = [1.23abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 0.9) / 5.0] \quad (23)$$

$$Y(t) = N(t) + v(t) \quad (24)$$

可以看出,10 Ma 和 5 Ma 是安龙堡地区的两个高频沉积沉降剥蚀周期 (图 2)。10 Ma 周期的高频沉积沉降剥蚀曲线反映普家村组沉积时 (223.4~215.8 Ma), 沉积速率由低到高, 反应水体由深变浅; 干海子-舍资组沉积时 (215.6~208 Ma), 沉积速率由高到低再到高, 但沉积沉降剥蚀幅度不大, 反应水深变化不大。从 5 Ma 周期的沉积沉降剥蚀曲线上看, 安龙堡地区进入晚三叠世以后开始持续沉降, 接受沉积。其沉积速率变化范围大致为 60~400 m/Ma, 平均沉积速率为 120 m/Ma。其中晚三叠世晚期和早侏罗世沉积速率最快, 变化范围多集中在 120~400 m/Ma, 为持续快速沉积阶段。

2.3 元谋洒芷

洒芷剖面紧邻黑井凹陷, 处于楚雄盆地的中部次隆起内。三叠系可划分为上统的舍资组、干海子组和普家村组。波动方程为

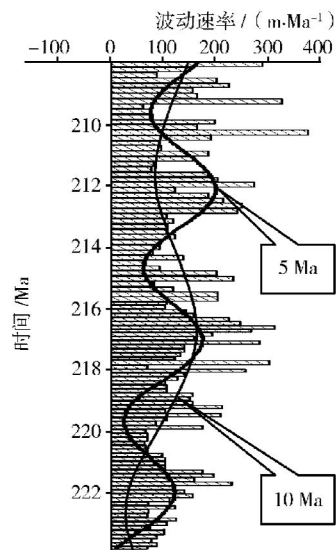


图 2 安龙堡波动过程分析图

Fig. 2 Map showing wave process analysis of Anlongbao profile

$$F(t) = 14.3 + 0.01t \sin [2 \times 3.1415926 (t - 650) / 760] \quad (25)$$

$$g(t) = [1.20abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 140) / 220] \quad (26)$$

$$G(t) = F(t) + g(t) \quad (27)$$

$$l(t) = [1.15abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 60) / 100] \quad (28)$$

$$L(t) = G(t) + l(t) \quad (29)$$

$$m(t) = [1.30abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 25) / 45] \quad (30)$$

$$M(t) = L(t) + m(t) \quad (31)$$

$$n(t) = [1.32abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 1.3) / 5.0] \quad (32)$$

$$N(t) = M(t) + n(t) \quad (33)$$

可以看出,5.0 Ma 是元谋洒芷地区高频沉积沉降剥蚀周期,从周期为 5.0 Ma 的沉积沉降剥蚀曲线上看,该区在晚三叠世以前主要处于剥蚀状态,造成现今残留普家村组不整合覆盖于震旦纪地层之上;到晚三叠世 (约 223.4 Ma) 开始接受沉积,随后进入了一个快速沉降阶段。其沉积速率变化范围大致为 80~400 m/Ma, 平均沉积速率为 140 m/Ma, 最大可达 432.9 m/Ma (图 3)。到早侏罗世,该区地层沉积速率减小,后期又遭受剥蚀,导致现今侏罗系残留较薄。与安龙堡地区相比,洒芷地区地层沉积高峰期滞后;与乌龙 1 井地区晚三叠世沉积高峰期相比,其高峰期要比乌龙 1 井地区靠前。整体看来,元谋洒芷地区晚三叠世

沉积速率较高, 沉积地层较厚, 是一个有利于油气成藏时期。

2.4 禄丰—平浪

禄丰—平浪剖面三叠系为晚三叠世干海子组和舍资组。波动方程为

$$F(t) = 14.3 + 0.01t \sin [2 \times 3.1415926 (t - 650) / 760] \quad (34)$$

$$g(t) = [1.20abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 140) / 220] \quad (35)$$

$$G(t) = F(t) + g(t) \quad (37)$$

$$l(t) = [1.15abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 60) / 100] \quad (38)$$

$$L(t) = G(t) + l(t) \quad (39)$$

$$m(t) = [1.30abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 25) / 45] \quad (40)$$

$$M(t) = L(t) + m(t) \quad (41)$$

$$n(t) = [3.1abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 8.6) / 5.3] \quad (42)$$

$$N(t) = M(t) + n(t) \quad (43)$$

$$y(t) = [2.6abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 3.5) / 1.8] \quad (44)$$

从高频沉积沉降剥蚀方程的表达式可以看出 5.3 Ma 和 1.8 Ma 是一平浪剖面的两个高频沉积沉降剥蚀周期。结合其他资料, 绘制了一平浪剖面沉积沉降剥蚀过程分析图 (图 4)。从周期为 5.3 Ma 的沉积沉降剥蚀曲线上看, 黑井凹陷地区进入晚三叠世晚期, 大概是在 216.6 Ma 左右才开始有部分地层沉积, 其沉积速率一直不高, 变化范围为 50~300 m/Ma, 平均沉积速率为 110 m/Ma。

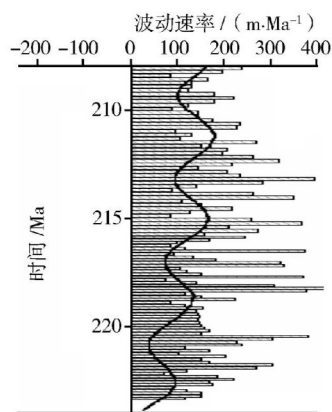


图 3 元谋洒芷剖面波动过程分析图

Fig. 3 Map showing wave process analysis of Sazhi profile in Yuamou

晚期又遭受剥蚀, 残留地层厚度较薄。与安龙堡地区相比, 一平浪地区三叠系沉积地层薄, 沉积高峰期比安龙堡地区滞后, 沉积速率与安龙堡地区相比相对要小。

2.5 乌龙 1 井

乌龙 1 井处于楚雄盆地中部的北部次凹陷内。钻遇地层从上到下依次为侏罗系和三叠系, 其中三叠系为晚三叠世的干海子组和舍资组。波动方程为

$$F(t) = 14.3 + 0.01t \sin [2 \times 3.1415926 (t - 650) / 760] \quad (45)$$

$$g(t) = [1.20abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 140) / 220] \quad (46)$$

$$G(t) = F(t) + g(t) \quad (47)$$

$$l(t) = [1.15abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 60) / 100] \quad (48)$$

$$L(t) = G(t) + l(t) \quad (49)$$

$$m(t) = [1.30abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 25) / 45] \quad (50)$$

$$M(t) = L(t) + m(t) \quad (51)$$

$$n(t) = [4.2abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 1.3) / 6.3] \quad (52)$$

$$N(t) = M(t) + n(t) \quad (53)$$

$$y(t) = [2.6abF(t)] \sin [2 \times 3.1415926 (t - 0.5) / 2.1] \quad (54)$$

$$Y(t) = N(t) + y(t) \quad (55)$$

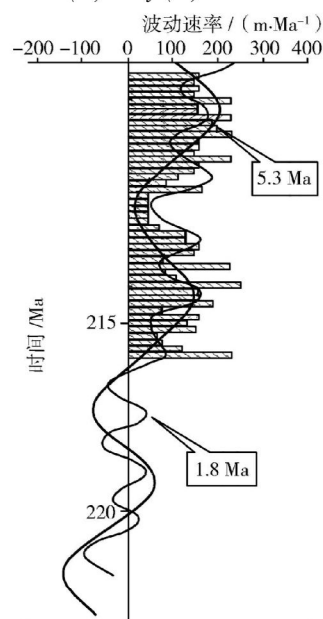


图 4 禄丰—平浪剖面波动过程分析图

Fig. 4 Map showing wave process analysis of Yipinglang profile in Lufeng

从沉积沉降剥蚀方程的表达式可以看出, 6.3 Ma 及 2.1 Ma 是乌龙 1 井高频沉积沉降剥蚀周期。从周期为 6.3 Ma 的沉积沉降剥蚀曲线上看(图 5), 乌龙 1 井地区在晚三叠世早期沉积速率较低, 晚三叠世晚期沉积速率较高。乌龙 1 井未钻穿干海子组, 但从高频沉积沉降剥蚀曲线分析, 推测乌龙 1 井干海子组之下应有地层沉积。干海子组沉积期以后, 整个乌龙口地区进入了一个持续快速沉降、接受沉积阶段, 其沉积速率变化范围大致为 100~400 m/Ma, 最大可达 439 m/Ma。这一快速沉积势头一直持续到早侏罗世, 随后该区沉积速率逐渐减小。与安龙堡地区相比, 乌龙 1 井地区三叠系沉积高峰期明显滞后, 晚三叠世晚期的沉积速率与安龙堡地区相比相对较大, 导致沉积地层较厚。

2.6 云参 1 井

云参 1 井处于楚雄盆地东部。钻遇地层从上到下依次有第三系、白垩系、侏罗系、三叠系、泥盆系、奥陶系和寒武系, 其中三叠系为上三叠统舍资组。波动方程为

$$F(t) = 6.5 + 0.015t \sin[2 \times 3.1415926 (t - 350)/760] \quad (56)$$

$$g(t) = [1.2ab \sin F(t)] \sin[2 \times 3.1415926 (t - 10)/220] \quad (57)$$

$$G(t) = F(t) + g(t) \quad (58)$$

$$l(t) = [0.6ab \sin F(t)] \sin[2 \times 3.1415926 (t - 60)/65] \quad (59)$$

$$L(t) = G(t) + l(t) \quad (60)$$

$$m(t) = [1.5ab \sin F(t)] \sin[2 \times 3.1415926 (t - 12)/35] \quad (61)$$

$$M(t) = L(t) + m(t) \quad (62)$$

$$n(t) = [13.5ab \sin F(t)] \sin[2 \times 3.1415926 (t - 35)/60] \quad (63)$$

$$N(t) = M(t) + n(t) \quad (64)$$

$$y(t) = [1.13ab \sin F(t)] \sin[2 \times 3.1415926 (t - 13)/20] \quad (65)$$

$$Y(t) = M(t) + y(t) \quad (66)$$

从沉积沉降剥蚀方程的表达式可以看出, 6 Ma 及 2 Ma 是云参 1 井两个高频沉积沉降剥蚀周期。从周期为 6 Ma 的沉积沉降剥蚀曲线上看, 云参 1 井地区在晚三叠世晚期(约 210.4 Ma)才开始有部分地层沉积。其沉积速率变化范围大致为

20~200 m/Ma, 平均沉积速率为 80 m/Ma(图 6)。与中西部的安龙堡、元谋、乌龙 1 井地区相比, 云参 1 井地区晚三叠世沉积速率小, 持续时间短, 沉积地层薄。多数时间处于剥蚀状态, 但它有可能形成有利的储集层或做为油气运移通道。

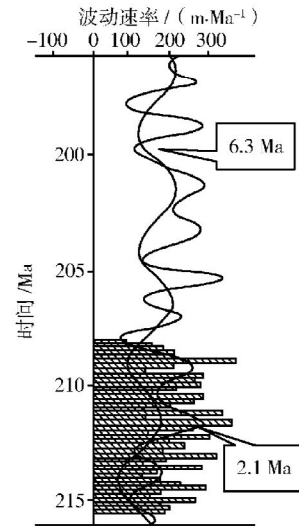


图 5 乌龙 1 井区波动过程分析图

Fig. 5 Map showing wave process analysis of sediments in Wulong 1 well block

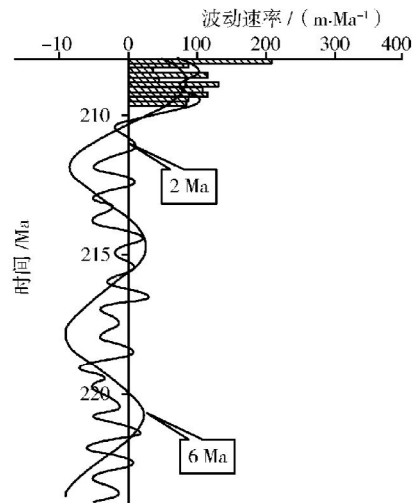


图 6 云参 1 井区波动过程分析图

Fig. 6 Map showing wave process analysis of sediments in Yuncan 1 well block

3 沉积-剥蚀类型

3.1 界面型(SB型)

沉积-剥蚀曲线主要位于平衡线左侧, 振幅主要为负值。虽然剥蚀幅度有强有弱, 呈旋回性变化, 但主要表现为持续剥蚀为主, 无三叠系沉积物保存, 形成明显的沉积-剥蚀界面, 如角度不整合、平行不整合等。由于持续剥蚀, 这一地区经常作

为盆地沉积的物源。界面型主要出现在持续隆升造山、无三叠系沉积区。由于没有三叠系保存,因此只能根据上下地层分析沉积-剥蚀特点。

界面型经常出现河床滞留沉积、古土壤及根土岩和钙质结核等,在测井曲线上有明显的变化,在地震剖面上反射波阻特征清楚。当造山隆升作用远大于海平面的升降作用时,盆地抬升、地层变形并发生隆升侵蚀,造成与上覆沉积物间的角度不整合接触。这种类型与区域构造运动界面经常一致,并具有如下特点: 1)界面上下地层存在角度不整合关系; 2)界面上下常出现超过一个世,甚至一个纪的时间间断; 3)界面以上地层,超覆于前期不同年代地层之上,表明前期造山运动的存在; 4)界面以上地层,可能出现连续的上超关系,表明这个界面是穿时的。

这些特点表明,这种沉积-剥蚀类型的形成,与区域的构造活动(简单的隆升活动或褶皱造山运动)有关,并成为不同盆地演化阶段的界面。如早三叠世末,古特提斯洋向北俯冲关闭,扬子与印支板块发生碰撞,楚雄盆地发生大量中、酸性岩浆侵入和喷发,上扬子区大面积分布的与火山产物有关的绿豆岩沉积等都与这一碰撞造山事件有关。同时,楚雄盆地性质发生改变,由大陆边缘盆地演变为前陆盆地。

3.2 早沉积晚剥蚀型(T型)

沉积-剥蚀曲线早期主要位于平衡线右侧,振幅为正值;晚期位于左侧,振幅为负值。主要表现为早期以沉积为主,晚期以剥蚀为主。沉积物表现为旋回性叠加、冲刷侵蚀面明显的正粒序,缺乏明显的反粒序沉积组合。从层序结构分析,海侵体系域沉积优势明显,缺乏高位体系域沉积,主要为T型层序。海平面变化旋回不完整,主要为上升半旋回,呈漏斗型叠置,缺乏下降半旋回。如祥云剖面主要发育上三叠统下部云南驿组,主要为细砂岩与页岩互层,夹中粗粒长石石英砂岩和煤层,常构成下粗上细的多个沉积旋回,属沿岸滩坝和滨海沼泽环境。

3.3 沉积型(TH型)

沉积-剥蚀曲线在平衡线两侧摆动,正振幅与负振幅旋回性变换叠置,表现为以沉积为主。沉积物呈现为正粒序与反粒序沉积组合旋回性叠加。从层序结构分析,海侵体系域沉积和高位体系域沉积都有,并且优势互不明显,表现为TH型

层序。海平面变化旋回完整,主要为正弦曲线型或过渡型。如西舍路剖面和双柏剖面,西舍路剖面上从下向上发育了云南驿组、普家村组、干海子组和舍资组,三叠系上统沉积较全;双柏剖面上主要发育上三叠统普家村组、干海子组和舍资组。两条剖面都以砂泥质沉积为主,由粗变细再变粗的旋回性沉积明显。

3.4 早剥蚀晚沉积型(H型)

沉积-剥蚀曲线早期主要位于平衡线左侧,振幅为负值;晚期位于右侧,振幅为正值。主要表现为早期以剥蚀为主,晚期以沉积为主。沉积物表现为旋回性叠加、冲刷侵蚀面明显的反粒序,缺乏明显的正粒序沉积组合。从层序结构分析,高位体系域沉积优势明显,缺乏海侵体系域沉积,主要为H型层序。海平面变化旋回不完整,主要为下降半旋回,呈圣诞树型叠置,缺乏上升半旋回。如云参1井发育上三叠统上部舍资组,下部主要为泥岩、泥质砂岩,上部主要为砂岩,构成下细上粗的多个沉积旋回,属湖泊沉积环境。

4 空间分布

前陆盆地结构研究一直是前陆盆地研究热点、难点和前沿^[5-8]。由于印支晚期开始形成的楚雄前陆盆地是印支板块向中国板块俯冲最为显著的区域,并且油气资源丰富,因此备受关注,但地层缺失一直是影响盆地结构研究的难点^[6-13]。研究认为,受前陆盆地沉积演化及构造改造的控制,上述沉积-剥蚀类型分布具有规律性(图7)。

在造山带,由于晚三叠世楚雄盆地西侧哀牢山和四川盆地北部大巴山及米苍山持续抬升,沉积作用停止,剥蚀作用强烈。沉积-剥蚀曲线主要位于平衡线左侧,虽然剥蚀幅度有强有弱,呈旋回性变化,但振幅为负值,形成明显的沉积-剥蚀界面,如角度不整合、平行不整合等,为界面型(SB型)沉积-剥蚀分布区。

在楚雄盆地西部逆冲推覆带,晚三叠世早期构造沉降迅速,沉积速度较小,可容空间不断增大,具备沉积条件。祥云剖面上云南驿组沉积时沉降幅度为1552m,沉积速率为241m/Ma,干海子组沉降幅度为2224m,沉积速率为259m/Ma,沉积-剥蚀曲线主要位于平衡线右侧,振幅为正值;晚三叠世晚期,随着逆冲推覆的东进,沉积中

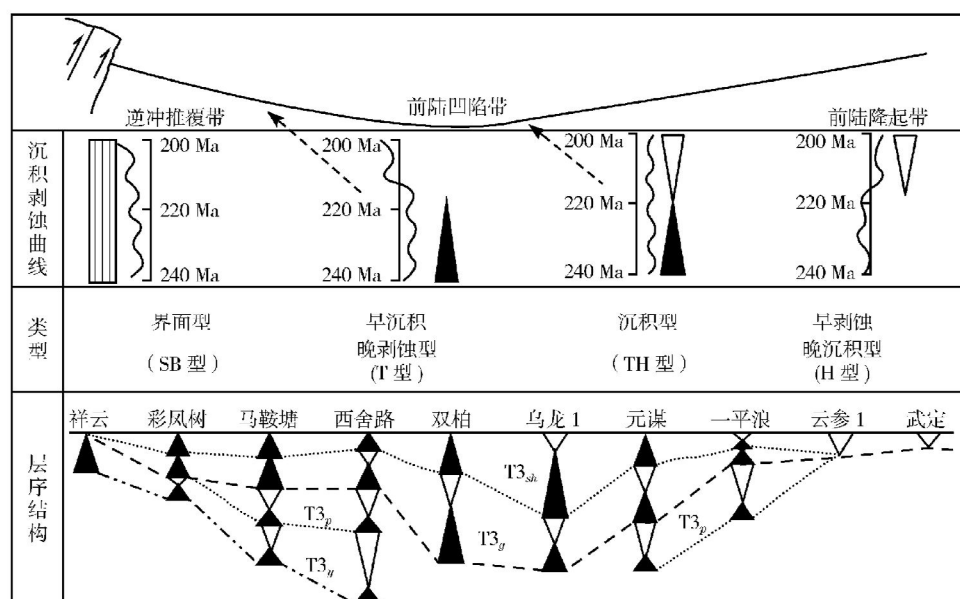


图 7 前陆盆地沉积-剥蚀的主要类型及空间分布示意图

Fig. 7 Sketch map showing the main deposition-erosion types and spatial distribution in foreland basin

心迅速东移, 构造沉降速率迅速降低, 但沉积速率却变大, 可容空间不断变小, 甚至为负值。如祥云剖面上舍资组构造沉降为 204 m, 而沉积速率为 400 m Ma 沉积-剥蚀曲线位于左侧, 振幅为负值。如祥云剖面主要发育上三叠统下部云南驿组, 沉积物表现为旋回性叠加、冲刷侵蚀面明显的正粒序, 缺乏明显的反粒序沉积组合。海侵体系域沉积优势明显, 缺乏高位体系域沉积, 主要为 T 型层序。海平面变化旋回不完整, 主要为上升半旋回, 呈漏斗型叠置, 缺乏下降半旋回, 为早沉积晚剥蚀型 (T 型) 分布区。

在楚雄盆地前陆凹陷带, 构造沉降与沉积速率基本平衡, 如乌龙 1 井干海子组构造沉降为 237 m, 沉积速率为 252 m Ma 舍资组构造沉降为 567 m, 沉积速率为 341 m Ma 沉积可容空间相对稳定, 海平面变化旋回完整, 主要为正弦曲线型或过渡型。沉积-剥蚀曲线在平衡线两侧摆动, 正振幅与负振幅旋回性变换叠置, 表现为以沉积为主。沉积物呈现为正粒序与反粒序沉积组合旋回性叠加。海侵体系域沉积和高位体系域沉积都有, 并且优势互不明显, 表现为 TH 型层序, 为沉积型 (TH 型) 沉积-剥蚀分布区。

在楚雄盆地前陆隆起带, 晚三叠世早期为古陆状态, 主要为剥蚀作用; 随着西部逆冲推覆作用的东进, 沉积沉降中心不断迁移, 到晚三叠世晚期才具备沉积条件。海平面变化旋回不完整, 主要

为下降半旋回, 呈圣诞树型叠置, 缺乏上升半旋回。因此, 沉积-剥蚀曲线早期主要位于平衡线左侧, 振幅为负值; 晚期位于右侧, 振幅为正值, 表现为早期以剥蚀为主, 晚期以沉积为主。沉积物表现为旋回性叠加、冲刷侵蚀面明显的反粒序, 缺乏明显的正粒序沉积组合。高位体系域沉积优势明显, 缺乏海侵体系域沉积, 主要为 H 型层序, 为早剥蚀晚沉积型 (H 型) 沉积剥蚀分布区。

参 考 文 献

- 1 施比伊曼 B·, 张一伟, 金之钧, 等. 波动地质学在黄骅拗陷分析中的应用 [J]. 石油学报, 1994(专刊): 19~27
Vladimir Shpilman B·, Zhang Yiwei, Jin Zhijun, et al. The application of wave geology in basin analysis in Huanghua depression [J]. Acta Petroli Sinica, 1994, 15(supplement): 19~27
- 2 金之钧, 张一伟. 沉积盆地物理分析——波动分析 [J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 170~180
Jin Zhijun, Zhang Yiwei. An analysis of depositional basin wave analysis [J]. Geological Review, 1996, 42(S0): 170~180
- 3 金之钧, 王清晨. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34(增刊 1): 1~12
Jin Zhijun, Wang Qingchen. New progress researching to typical superposed basin and its petroleum form in China: an example from Tarim basin [J]. Science in China (Series D Earth Sciences), 2004, 34(S1), 1~12
- 4 李景明, 魏国齐, 李东旭. 中国西部叠合盆地天然气勘探前景 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 1~6

(下转第 702 页)

- Wang Xibin, Liu Chuanxi, Zheng Xiangke et al. Quantitative description of remaining gas distribution in low and extremely low permeability gas reservoir [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 401-403
- 2 古莉, 于兴河, 李胜利, 等. 低效气藏地质特点和成因探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 577-581
- Gu Li, Yu Xinghe, Li Shengli et al. A discussion on geologic features and genesis of low-efficiency gas reservoir [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 577-581
- 3 李文厚, 魏红红, 马振芳, 等. 苏里格庙气田碎屑岩储集层特征与天然气富集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 387-391
- Li Wenhui, Wei Honghong, Ma Zhenfang et al. Characteristics of detrital reservoirs and regularity of gas concentration in Sulige miao gas field [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 387-391
- 4 李宏伟, 袁士义, 朱怡翔, 等. 河流相地层相分异与沉积物体积分配规律 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 356-360
- Li Hongwei, Yuan Shiyi, Zhu Yixiang et al. Facies differentiation and sedimentation volume partition of fluvial strata [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 356-360
- 5 试井手册编写组. 试井手册 (下) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 48-49
- Compiler group. Well-test handbook (下) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992, 48-49
- 6 林加恩. 实用试井分析方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996, 17-18
- Li Ji'en. Applied well-test interpretation methods [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996, 17-18
- 7 牟学益, 刘永祥. 低渗透油田启动压力梯度研究 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(5): 58-59
- Mou Xueyi, Liu Yongxiang. The research of starting pressure gradient [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(5): 58-59
- 8 周克明, 李宁, 袁小玲. 残余水状态下低渗储层气体低速渗流机理 [J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 103-106
- Zhou Kaming, Li Ning, Yuan Xiaoling. Gas percolation mechanism of low permeability reservoir with low speed under residual water condition [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(6): 103-106
- 9 吴凡, 孙黎娟, 乔国安, 等. 气体渗流特征及启动压力规律研究 [J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 82-84
- Wu Fan, Sun Lijuan, Qiao Guo'an et al. A research on gas flow property and starting pressure phenomenon [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(1): 82-84
- 10 张建国, 雷光伦, 张艳玉. 油气层渗流力学 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1997, 125-129
- Zhang Jianguo, Lei Guanglun, Zhang Yanyu. Percolating mechanics in oil & gas reservoirs [M]. Dongying: Shandong Petroleum University Press, 1997, 125-129

(编辑 高 岩)

(上接第 687 页)

- Li Jingning, Wei Guoqi, Li Dongxu. Natural gas exploration prospects in superposed basins western China [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 1-6
- 5 康竹林, 翟光明. 中国的前陆盆地与油气聚集 [J]. 石油学报, 1995, 16(4): 1-8
- Kang Zhulin, Zhai Guangning. Foreland basins and their hydrocarbon potential in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1995, 16(4): 1-8
- 6 何登发, 吕修祥, 林永汉, 等. 前陆盆地分析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996, 1-212
- He Dengfa, Lu Xiuxiang, Lin Yonghan et al. Foreland basin analysis [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996, 1-212
- 7 贾承造, 何登发, 雷振宇, 等. 前陆冲断带油气勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000, 1-351
- Jia Chengzao, He Dengfa, Lei Zhenyu et al. Oil and gas prospecting in foreland basins [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000, 1-351
- 8 De Celles P G, Giles K A. Foreland basin system [J]. Basin Research, 1996, 8: 105-123
- 9 马力, 支家生. 中国南方油气勘探的主要问题与勘探方向 [J]. 南方油气地质, 1994, 1(1): 15-29
- Ma Li, Zhi Jia sheng. The main problem and prospecting direction of oil and gas in southern China [J]. Southern Oil & Gas Geology, 1994, 1(1): 15-29
- 10 王根海. 中国南方海相地层油气勘探现状与建议 [J]. 石油学报, 2000, 21(5): 1-6
- Wang Genhai. Present situation and proposal for prospecting petroleum in marine sequences in southern China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5): 1-6
- 11 马新华, 魏国齐, 钱凯, 等. 我国中西部前陆盆地天然气勘探的几点认识 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 114-117
- Ma Xinhua, Wei Guoqi, Qian Kai et al. Recognition of natural gas exploration in foreland basins of central west China [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 114-117
- 12 金之钧, 汤良杰, 杨明慧, 等. 陆缘和陆内前陆盆地主要特征及含油气性研究 [J]. 石油学报, 2004, 25(1): 8-18
- Jin Zhijun, Tang Liangjie, Yang Minghui et al. Geological characteristics and hydrocarbon potential in epicontinental and intracontinental foreland basins [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 8-18
- 13 尹福光, 许效松, 万方, 等. 楚雄前陆盆地的油气特征 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 308-312
- Yin Fuguang, Xu Xiaosong, Wan Fang et al. Hydrocarbon features of foreland basin in Chuxiong [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 308-312

(编辑 高 岩)