

# 云南楚雄盆地波动特征及构造沉积演化

李儒峰<sup>1</sup>, 马永生<sup>2</sup>, 汤良杰<sup>1</sup>, 郭彤楼<sup>2</sup>, 李建明<sup>1</sup>

1. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249

2. 中石化南方油气勘探开发分公司, 云南昆明 650021

**摘要:** 云南楚雄盆地是扬子板块西南缘的中新生代含油气盆地, 具有复杂的构造、沉积演化历史。应用沉积波动过程分析方法, 研究了楚雄盆地演化过程中的主要周期, 得出楚雄盆地存在3个一级沉积波动周期(220 Ma)、6个二级沉积波动周期(100 Ma)、9.5个三级沉积波动周期(45 Ma)以及高频波动周期(10 Ma、5 Ma)。通过对不同波动单元的波动曲线对比, 得出楚雄盆地构造沉积演化规律: 在古生代沉积中心位于盆地东部的云龙凹陷; 中生代早期, 沉积中心具有自西南向东北, 由盆地边缘向中心迁移的规律, 晚期受构造运动影响, 沉积中心有自东北向西南回迁的趋势。

**关键词:** 沉积波动特征; 波动周期; 构造沉积演化; 楚雄盆地; 云南省。

中图分类号: P512.2; P618.13

文章编号: 1000-2383(2004)03-0309-08

收稿日期: 2003-09-14

## Wave Characteristics and Tectonic-Sedimentation Evolution of Chuxiong Basin in Yunnan Province

LI Ru-feng<sup>1</sup>, MA Yong-sheng<sup>2</sup>, TANG Liang-jie<sup>1</sup>, GUO Tong-lou<sup>2</sup>, LI Jian-ming<sup>1</sup>

1. Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. SINOPEC Southern E&P Company, Kunming 650021, China

**Abstract:** Chuxiong basin is a Mesozoic-Cenozoic petroleum basin in the southwestern margin of the Yangtze plate, which has a complex tectonic and sedimentation history. By using the analysis method of wave processes, major evolution cycles of the Chuxiong basin have been studied. This study shows that there are three first-order sedimentary cycles (220 Ma), six second-order sedimentary cycles (100 Ma), nine and a half third-order sedimentary cycles (45 Ma) and high-frequency cycles (10 Ma, 5 Ma). By comparison of the wave curves in different wave units, we gained the tectonic-sedimentation regularity: the sedimentation center in Paleozoic was in the Yunlong Depression in the eastern part of the basin. Early in the Mesozoic, the sedimentation center migrated from southwest to northeast and from basin margin to basin center. In late Mesozoic, the sedimentation center displayed a reversed migration trend from northeast to southwest.

**Key words:** sedimentary wave characteristics; wave cycle; structural sedimentary evolution; Chuxiong basin; Yunnan Province.

沉积盆地的波动过程分析是指通过分析一般的、似周期的、非周期的地质现象, 用特殊的工作方法分解出有规律的波动过程, 并建立波动方程, 从而达到定量预测的目的。波动过程分析方法是由前苏联学者(Мясникова 和 Шпиллман, 1989; Мясникова, 1991)建立的, 在后来近十年的研究中,

国内学者从波动过程分析软件开发、高频、露头剖面波动过程分析、波动特征与层序地层相关性研究以及沉积盆地波动过程与油气的关系等方面完善、丰富和发展了这一方法和理论, 基本形成了一套新的含油气盆地研究方法(刘国臣和李京昌, 1994; 金之钧等, 1996, 1998<sup>①</sup>; 李儒峰和刘振峰, 2000<sup>②</sup>; 汤良杰

基金项目: 国家“973”项目(G19990433)。

作者简介: 李儒峰(1962—), 男, 副教授, 主要从事层序地层学和储层沉积学的研究。E-mail: jianming97@sina.com

①金之钧, 吕修祥, 王毅, 等, 1998. 塔里木盆地波动过程及其对油气形成与分布的控制作用。“九五”国家重点科技攻关项目成果报告。

②李儒峰, 刘振峰, 2000. 华北奥陶系波动特征及与层序地层相关性研究。石油大学基础研究项目成果报告。

和李儒峰, 2002<sup>③</sup>).

波动过程分析方法是综合利用野外剖面、综合录井、测井和地震等资料, 在开展地层古生物、不整合及沉积环境研究的基础上, 建立各研究小区不同时间的沉积速率直方图, 借助数学、物理方法及计算机手段, 拟合出波动曲线, 使之能够代表该区的沉积—剥蚀过程, 进而利用其分析盆地演化阶段, 恢复无沉积记录时间段的沉积—剥蚀过程, 研究不整合的时空间展布、成因、计算其剥蚀量, 分析沉积、沉降中心迁移规律.

楚雄盆地是扬子板块西南缘的中新生代含油气盆地, 面积约为  $3.65 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 受多期构造运动的影响, 具有复杂的构造、沉积演化历史(朱夏, 1986; 黄汲清等, 1980; 马永生等, 2000<sup>④</sup>). 本文将沉积盆地波动过程分析这一新的研究方法应用于楚雄盆地研究中, 根据对井和典型剖面进行波动过程分析, 定量地重塑盆地的沉积—剥蚀空间分布, 分析波动特征与构造沉积演化阶段的内在联系, 揭示沉积波动特征与构造运动、沉积沉降中心变化规律的相关性, 从全新的角度探讨楚雄盆地构造沉积演化规律.

### 1 楚雄盆地波动过程分析

#### 1.1 楚雄盆地低频波动过程分析

从地层发育完整程度分析, 本文将楚雄盆地划分为 4 个波动单元(图 1). 波动单元 I、III 和 IV 主要发育中、新生界, 古生界零星出露, 没有完整的露头剖面, 因此, 在上述 3 个波动单元内不具备进行低频波动过程分析(波动周期大于 10 Ma)的条件, 但可以在中、新生界进行高频波动过程分析(波动周期  $\leq 10 \text{ Ma}$ ); 波动单元 II 内, 地层出露较全, 而且有合适的露头剖面 and 云参 1 井完整的钻井资料, 既可以开展低频波动过程分析, 也可以进行高频波动过程分析. 根据波动过程分析原理, 频率越低(或周期越大), 其控制区域相对越大, 一定的波动周期(100 Ma)可以控制整个盆地的构造演化发育史, 由此可以把在波动单元 II 求出的低频波动方程推广到其他波动单元中去, 同时结合沉积环境、地震和盆地构造演化史分析, 采用加权平均的方法, 求出楚雄盆地的波动方程.

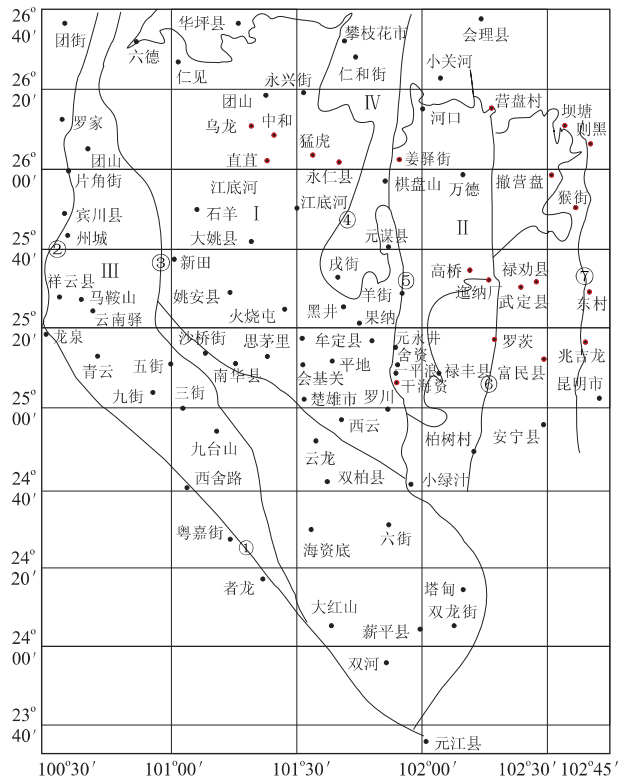


图 1 楚雄盆地波动单元分区

Fig. 1 Wave units subarea in Chuxiong basin

断裂编号: ①. 红河断裂; ②. 程海断裂; ③. 渔泡江断裂; ④. 元谋冲断裂; ⑤. 绿汁江断裂; ⑥. 易门断裂; ⑦. 普渡河断裂. 波动单元名称及代号: I. 中部波动单元; II. 东部波动单元; III. 西部波动单元; IV. 元谋凸起波动单元

本文在前人研究的基础上(陈跃昆等, 2000<sup>⑤</sup>), 结合标准国际地层时代表(王鸿祯和李光岑, 1990), 首先建立楚雄盆地地层年龄格架. 在云参 1 井、云龙凹陷和东山凹陷工作的基础上, 结合其他地质资料, 采取加权平均的方法, 对整个楚雄盆地的波动过程做了分析, 其中各组厚度取各地区厚度的平均值, 对不同时期的沉积速率建立沉积速率直方图进行周期波分解, 以得出控制盆地沉积—剥蚀过程的周期波的存在, 寻找控制盆地演化的不同级别的波动周期. 波动方程的建立采用正、反演结合的方法, 即首先通过反演(滑动过程)寻找出控制该区的主要周期后, 通过正演调整初相和振幅变化规律及周期的“微调”, 最后找到一组周期曲线, 使其能在不同的级别上代表楚雄盆地的沉积—剥蚀过程, 拟合出楚雄盆地波动曲线(图 1), 并建立了波动方程:

③ 汤良杰, 李儒峰, 2002. 楚雄盆地波动过程分析及其对油气形成与分布的控制作用. 中石化南方海相油气勘探项目经理部.

④ 马永生, 何治亮, 王津义, 等, 2000. 南方海相 2001 油气勘探部署研究报告. 中石化南方海相油气勘探项目经理部.

⑤ 陈跃昆, 黄绍甫, 王志鹏, 2000. 云南楚雄盆地油气资源评价研究报告. 中石化滇黔贵油田分公司勘探开发研究院.

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

$$g(t) = [1.20 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \times (t - 140)/220];$$

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

$$l(t) = [1.15 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \times (t - 60)/100];$$

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

$$m(t) = [1.30 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \times (t - 25)/45];$$

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

从波动方程可以看出, 760, 220, 100, 45 Ma 是控制楚雄盆地构造沉积演化的主要周期. 其中 760 Ma 的周期受天文因素控制, 代表该区地质历史时期的总体升降趋势; 220 Ma 的周期波受太阳绕银河系旋转周期的控制, 它控制着盆地从形成到消亡的全过程 (Мясникова and Шпиллман, 1989; Мясникова, 1991); 100 Ma 的周期与板块演化的阶段性有较好的对应关系, 即构成多期叠合的楚雄盆地的不同发育阶段; 45 Ma 的周期则代表盆地构造—沉积环境的改变.

综合分析楚雄盆地沉积波动曲线 (图 2) 可以得出: 震旦纪灯影期至寒武纪波动特征曲线位于沉积—剥蚀基准线右侧, 结合沉积速率直方图, 反映出盆地震旦纪灯影期至寒武纪以沉积为主, 但沉积速率较低, 平均为 13 m/Ma, 其中龙王庙—陡坡寺期沉积速率最低, 平均为 3 m/Ma, 波动曲线上表现为波谷. 寒武系与奥陶系之间存在一不整合, 波动曲线上表现为位于沉积—剥蚀基准线左侧的波谷, 反映该时期以剥蚀作用为主, 剥蚀厚度为 100~300 m.

奥陶纪波动特征曲线位于沉积—剥蚀基准线右侧, 结合沉积速率直方图, 反映出奥陶纪以沉积为主, 沉积速率与寒武纪相比有所提高, 平均为 18 m/Ma, 晚奥陶世至志留纪研究区一直处于抬升剥蚀状态, 波动曲线表现为位于沉积—剥蚀基准线左侧的波谷, 反映中奥陶统与泥盆系之间的不整合.

泥盆纪波动和沉积速率特征都反映出较高的沉积速率, 平均为 19 m/Ma, 晚泥盆世至二叠纪研究区总体表现为剥蚀状态, 形成不整合, 但从波动过程分析可以看出, 早石炭世晚期至晚石炭世曾经发生过沉积, 波动曲线表现为位于沉积—剥蚀基准线右

侧的波峰.

二叠纪仅发生局部短时的沉积事件, 平均沉积速率 2 m/Ma, 二叠系与上三叠统之间的不整合, 在波动曲线上表现为位于沉积—剥蚀基准线左侧明显的波谷. 晚三叠世至侏罗纪是楚雄盆地形成的重要时期, 波动曲线和沉积速率特征都反映出高速沉积, 平均沉积率为 62 m/Ma. 晚侏罗世至晚白垩世, 波动曲线又表现为位于沉积—剥蚀基准线左侧的波谷, 反映了它们之间的不整合. 晚白垩世至始新世盆地以沉积为主, 波动曲线表现为位于沉积—剥蚀基准线右侧的波峰. 始新世至今楚雄盆地总体上处于剥蚀期, 波动曲线表现为位于沉积—剥蚀基准线左侧的波谷. 通过对楚雄盆地进行波动过程分析, 定量地反映和预测了楚雄盆地的沉积—剥蚀演化规律.

## 1.2 楚雄盆地三叠系高频波动过程分析

三叠系是楚雄盆地有利生油层和储集层, 其分布范围广, 沉积厚度大, 详细研究其沉积波动过程意义重大. 本文在低频波动过程分析的基础之上, 对位于波动单元 II 南部的双柏安龙堡剖面三叠系进行了高频波动过程分析. 在对安龙堡剖面三叠系层序地层分析的基础之上, 确定了高频波动过程分析所需精度的各准层序的绝对年龄. 在舍资组划分出 22 个准层序、干海子组划分出 23 个准层序、普家村组划分出 58 个准层序, 标定了三叠系各组的绝对年龄 (Suasser, 1991; 许效松和尹福光, 1998<sup>⑥</sup>; 李儒峰和鲍志东, 1999; 汤良杰和李儒峰, 2002<sup>⑦</sup>). 在岩性统计及地层绝对年龄格架建立的基础上, 建立了安龙堡剖面的原始资料数据 (深度、顶界、底界绝对年龄、原始厚度和沉积速率), 并应用高频波动过程分析程序软件对安龙堡剖面做了高频波动过程分析, 建立了该区波动方程, 其表达式如下:

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

$$g(t) = [1.20 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \cdot (t - 140)/220];$$

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

$$l(t) = [1.15 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \cdot (t - 60)/100];$$

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

$$m(t) = [1.30 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \cdot (t - 25)/45];$$

⑥许效松, 尹福光, 1998. 楚雄盆地中生界沉积层序地层剖面综合研究. 中石油南方新区油气勘探项目经理部.

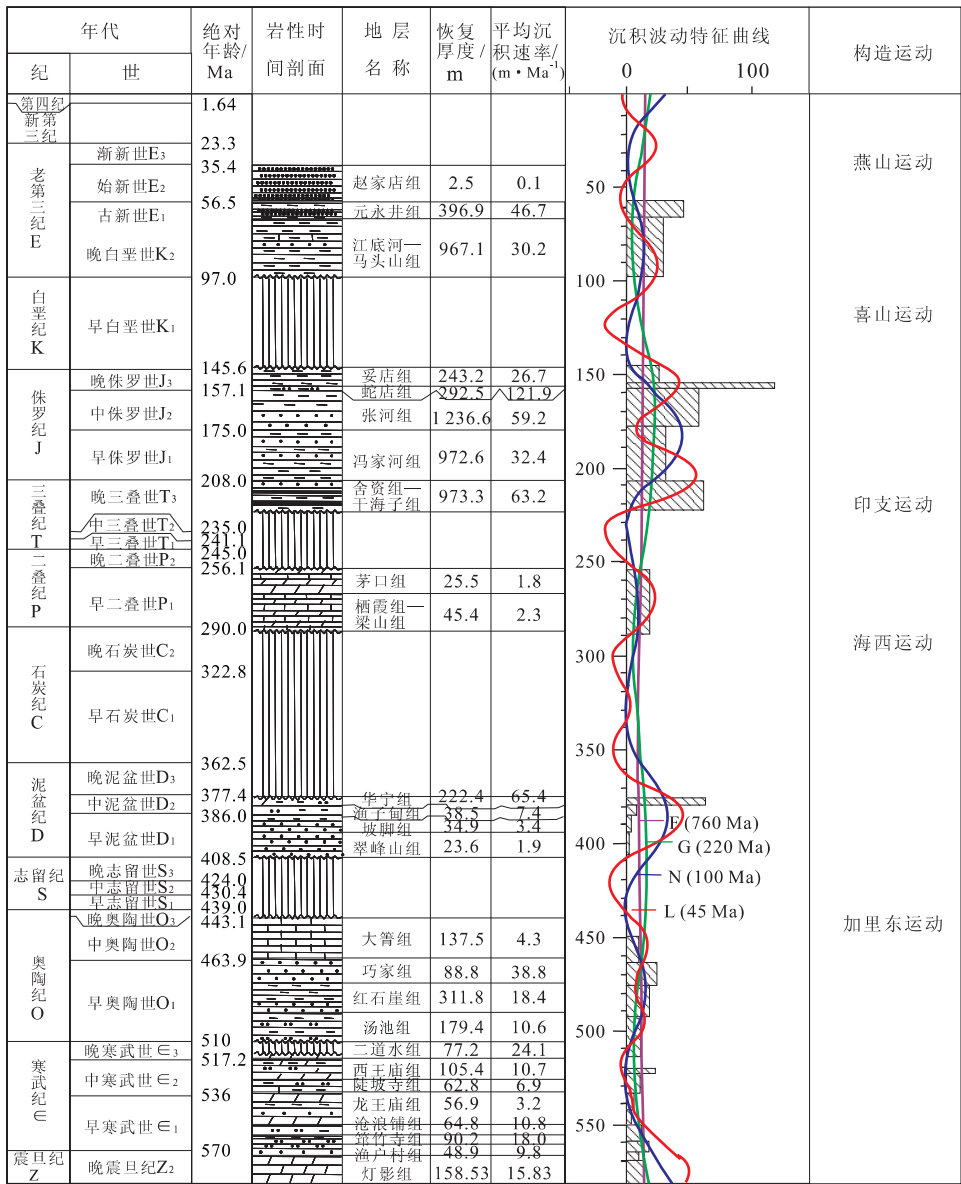


图 2 楚雄盆地波动过程分析

Fig. 2 Analysis of wave process in Chuxiong basin

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

$$n(t) = [1.30 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \cdot (t - 8.6) / 10.0];$$

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

$$y(t) = [1.23 \cdot \text{abs}F(t)] \cdot \sin[2 \times 3.1415926 \cdot (t - 0.9) / 5.0].$$

从高频波动方程的表达式可以看出 10 Ma 和 5 Ma 是楚雄盆地的 2 个高频波动周期. 结合岩性特征、沉积相和层序地层分析, 发现 10 Ma 的高频波动曲线与海陆沉积环境的变迁密切相关, 而 5 Ma 的高频波动曲线则较好地反映出沉积体系域的特征. 从 10 Ma 的高频波动曲线分析: 普家村组—干

海子组沉积时期波动曲线表现为由波谷—波峰—波谷完整的波动旋回, 反映了盆地由海相—海陆交互相—陆相的完整沉积演变过程; 舍资组沉积时期波动曲线表现为由波谷开始的不完整波动旋回, 反映盆地进入了湖相—三角洲相—河流相沉积演变过程. 从 5 Ma 的高频波动曲线分析: 在由普家村组构成的层序中, 低位体系域和高位体系域沉积速率较高 (150~200 m/Ma), 反映了低位期斜坡扇和高位期滨浅海相沉积特征; 海进体系域沉积速率较低 (50~100 m/Ma), 反映了海进期半深海相沉积特征. 在由干海子组构成的层序中, 低位体系域不发育, 高位体系域沉积速率较高 (150~200 m/Ma), 反

映了高位期三角洲相沉积特征;水进体系域沉积速率较低(70~100 m/Ma),反映了水进期湖相沉积特征.在舍资组构成的层序中,低位体系域和高位体系域均不发育,水进体系域沉积速率为 80~170 m/Ma,反映了水进期稳定的湖相沉积特征.上述分析表明:高频波动特征与盆地的沉积环境和岩相特征具有很好的对应关系,证明高频波动曲线是盆地构造升降、海(湖)平面变化和沉积物供给的综合反映.

## 2 楚雄盆地波动周期与沉积构造演化相关性分析

### 2.1 一级沉积波动周期

楚雄盆地波动过程分析结果得出控制其构造沉积演化的低频波动周期有 220,100 和 45 Ma 3 个级别的周期波,它们共同控制着楚雄盆地的升降运动,进而控制盆地沉积—剥蚀过程.其中一级波动周期(220 Ma)有 3 个,第 1 个为 580~409 Ma 的波动周期,其主体与加里东构造运动期相吻合;第 2 个为 409~189 Ma 的波动周期,其与海西、印支构造运动期相吻合;第 3 个为 189 Ma 至今的波动周期的大部,其与燕山和喜山构造运动期相吻合(图 2).

### 2.2 二级沉积波动周期

楚雄盆地二级沉积波动周期(100 Ma)有 6 个(图 2),与盆地 4 个演化阶段有着较好的对应关系:震旦纪灯影期—志留纪包含了 2 个二级波动周期,该阶段盆地处于被动大陆边缘构造环境,形成一套台地型碳酸盐岩夹碎屑沉积.

泥盆纪—二叠纪包含了 1.5 个二级波动周期,大致相当于活动大陆边缘演化阶段,构造体制转化为挤压性质的活动大陆边缘,多有间歇性的海侵发生,该时期沉积与剥蚀速率都较低,盆地周边出露的古生代地层之间多以不整合接触,是由楚雄盆地频繁的差异升降运动造成的.

三叠纪—早白垩世包含了 1.5 个二级波动周期,早中三叠世楚雄盆地处于隆升剥蚀阶段,晚三叠世拉丁至诺利早期,康滇隆起进一步抬升的同时,楚雄盆地所处的扬子准地台西缘发生强烈沉降,沉积了云南驿组—罗家大山组(普家村组)深海(半深海)—浅海相深灰色泥质岩夹泥灰岩.随后海水撤退,沉积了干海子组海陆过渡相含煤建造,盆地东部此时大部分时间处于剥蚀状态,表现出明显的以元

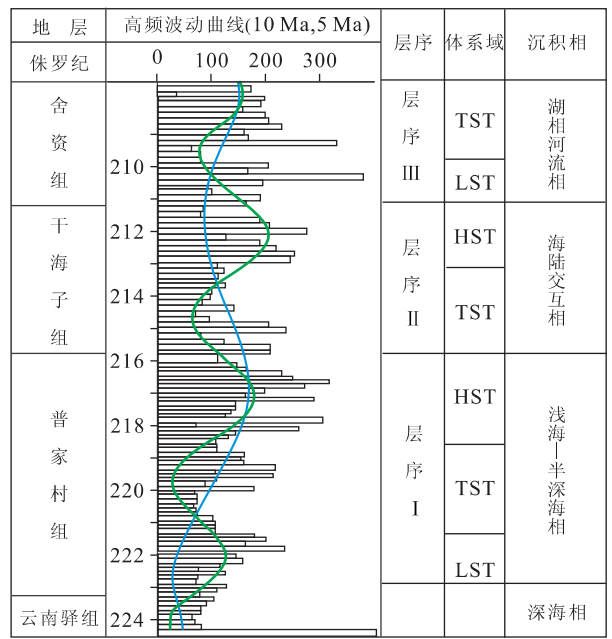


图 3 安龙堡剖面高频波动过程分析

Fig. 3 Analysis of high frequency wave process in Anlongbao Section

谋隆起带为界的東西差异,诺利中晚期的印支运动,使楚雄盆地性质发生变化,形成前陆凹陷,发育舍资组磨拉石建造,在波动曲线上也表现为较高的沉积速率(图 2).该时期沉积中心在西部前陆凹陷区,但超覆前缘已经越过元谋隆起到达东部浅凹陷,导致楚雄盆地东西部地层有一定的相似性,但在厚度上存在较大差异.在燕山运动影响下,盆地频频震荡沉降,沉积中心向东迁移,沉积范围也不断扩展,早、中侏罗世沉积了内陆湖相砂泥岩夹泥晶灰岩,代表湖盆鼎盛期沉积.晚侏罗世为红色粗碎屑沉积.侏罗纪末期的燕山运动三幕使盆地重新抬升剥蚀,造成早白垩世仅在盆地西部有残留地层,东部缺失该期地层,其沉积中心也同时向西迁移.

晚白垩世—第三纪包含了 1 个二级波动周期,对应于盆地的一个新的演化阶段,早白垩世末期的燕山运动四幕是一次较为重要的构造运动,随着太平洋板块自东向西俯冲加剧,同时受到盆地东南面华南板块的挤压,楚雄盆地形成了自东向西的挤压逆冲,并伴随南北向走滑,这一构造运动使得晚白垩世沉积地层以明显的角度不整合覆盖于下伏地层之上.沉积特点和构造面貌均发生显著变迁,盆地进入内陆凹陷发展阶段.这段时间盆地东西部都有沉积,主要为滨浅湖相红色砂泥岩夹膏盐岩.



### 2.3 三级沉积波动周期

三级沉积波动周期基本上相当于盆地演化的三级旋回,持续的时间间隔约为 45 Ma,楚雄盆地自震旦纪(580 Ma)以来存在约 9.5 个沉积速率具波峰—波谷—波峰特征的三级沉积波动周期(图 2)。从 45 Ma 的波动曲线分析,晚震旦灯影期至早寒武世,楚雄盆地整体主要处于沉积状态;寒武纪晚期盆地整体隆升,遭受剥蚀,根据波动曲线分析,古生代沉积中心位于云龙凹陷,推测古生代云龙凹陷区可能是一水下凹陷,造成现今云龙凹陷早寒武世沉积地层较全较厚,而东山凹陷早寒武世沉积地层较薄。结合地震、地质资料综合分析,盆地中西部的偏北地区可能仍有古生界残留地层。

早奥陶世楚雄盆地整体进入沉积高峰期,从波动曲线分析云龙和东山凹陷均是由剥蚀转入沉积,自中奥陶世开始到晚志留世,东部整体处于剥蚀期,志留纪没有沉积,这与现今盆地缺失整个志留系的实际情况相吻合。进入早泥盆世以后,东部又进入一个沉积高峰期,其沉积中心仍然偏向于云龙凹陷区,沉积持续时间较长,直到早石炭系才开始遭受剥蚀。进入晚三叠世以后,楚雄盆地整体进入了沉积高峰期,其中在中侏罗世(180 Ma 左右)沉积速率最大。晚三叠世至中侏罗世,云龙、东山凹陷的沉积速率相当,中西部沉积速率较大,这与楚雄盆地在该期整体下降接受沉积的地史吻合。晚侏罗世至早白垩世整个东部进入了剥蚀阶段,经过短暂的剥蚀过程后,东部又进入沉降阶段。

通过分析楚雄盆地沉积波动曲线可以得出:在整个沉积过程中,寒武系有利于烃源岩沉积和保存,泥盆系局部有利于烃源岩沉积,晚三叠世有利于烃源岩发育。

## 3 沉积波动过程时空迁移规律

楚雄盆地经历了漫长的地质发育史,多期构造运动的叠加使得盆地沉降沉积区和隆起剥蚀区发生多次迁移,从而控制了楚雄盆地不同时期沉积—剥蚀强度及分布范围的变化。因此,搞清盆地构造演化过程中构造运动的特点,揭示其对地层发育的影响和控制作用,并结合波动过程分析,研究盆地波动过程时空迁移规律,将会提高分析盆地的沉积沉降中心时空迁移规律的准确性。

将波动曲线进行对比研究,有利于提高对盆地

沉积中心迁移规律的认识。本次研究选择楚雄盆地从西到东 7 个剖面点的 5 Ma 周期的高频波动曲线进行了对比分析(图 4),从波动曲线对比图中可以看出:进入三叠纪以后,西部地区(小青坡剖面)开始接受地层沉积的时间比中、东部早,从剖面分析,在 240 Ma 西部地区就已经开始接受沉积,到 238 Ma 西部地区达到了其第 1 个沉积高峰,主要沉积了云南驿组,随后西部地区进入了持续沉积期,进入早侏罗世以后,沉积速率有所减缓。其地球动力学机制为:随着构造形变的加剧,位于逆冲推覆带部位的西部地区逐渐抬升,可容空间逐渐缩小,导致沉积速率逐渐下降。

随后较早接受沉积的是中部地区,从中部的双柏安龙堡、乌龙口和元谋洒芷剖面高频波动曲线可以看出,双柏较早于洒芷,洒芷较早于乌龙口接受沉积。在 223.8 Ma 双柏地区开始接受沉积,到 222 Ma 双柏地区达到了其第 1 个沉积高峰,主要沉积的是普家村组,随后双柏地区进入了持续沉积期,沉积速率较高。晚三叠世后期主要沉积了干海子组和舍资组。元谋洒芷地区从 222.7 Ma 开始接受沉积,到 221 Ma 达到了第 1 个沉积高峰,沉积速率高于乌龙口和黑井地区的沉积速率。乌龙口在 222 Ma 开始接受沉积,在 220.8 Ma 左右达到了其第 1 个沉积高峰,推测乌龙口下部仍有晚三叠世沉积。但其后期(晚侏罗世以后)受构造运动影响有明显抬升,并遭受剥蚀。总体来看,中部地区在上三叠统发育较好,双柏地区沉积速率一直比较高。当早期挠曲构造形变较缓时,沉积中心与沉降中心一致,从西南向东北、自盆地边缘向中心迁移。后期沉积中心受构造形变影响,沉积沉降中心从北东向西南边缘回迁。

黑井凹陷位于盆地中部,毗邻元谋隆起,处于隆起的西斜坡位置,受构造高位影响,大概到 216.6 Ma 左右,黑井凹陷才开始接受沉积,其沉积速率一直不高,后期又遭到剥蚀,导致现今残留地层厚度较薄。盆地东部的东山凹陷和云龙凹陷开始接受沉积的时间要明显滞后于中、西部。东山凹陷在 214.5 Ma 左右开始接受沉积,云龙凹陷在 211 Ma 左右开始接受沉积。在 212.7 Ma,东山凹陷达到了其第 1 个沉积高峰,较高的沉积高峰出现在 205 Ma;云龙凹陷在 209.8 Ma 达到了其第 1 个沉积高峰,最高的沉积高峰出现在 204 Ma。但云龙和东山 2 个凹陷高速沉积持续的时间较短。进入早侏罗世晚期沉积速率明显减低,小于盆地中部地区该时期的沉积速率。

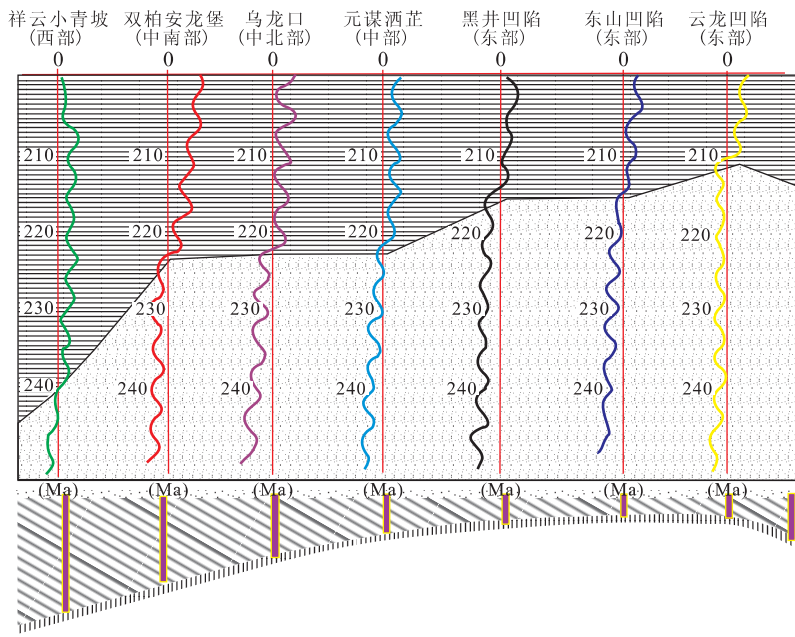


图 4 楚雄盆地三叠系高频波动对比

Fig. 4 Correlation of high frequency wave process of Triassic in Chuxiong basin

综上所述,在楚雄盆地构造变形强烈时期(卡尼—诺利早期),沉积速率高,沉积厚度大,沉积中心与沉降中心不一致;构造形变较缓时(诺利晚期),沉积中心与沉降中心变化趋势大致相符,由盆地边缘向中心迁移,从西南向北东迁移,但沉积中心有明显的滞后性;构造形变再度变强时(瑞替期),沉积中心又由盆地中心向边缘迁移,自北东向西南回撤。

### 4 结论

通过对楚雄盆地井和剖面开展系统的波动过程分析,得出了控制盆地构造沉积演化的低频和高频波动周期,认为盆地存在 3 个一级沉积波动周期(220 Ma),分别与加里东、海西—印支和燕山—喜山旋回等 3 个旋回对应较好;6 个二级沉积波动周期(100 Ma),与盆地 2 个沉积高峰期(晚三叠世—侏罗纪、晚白垩世—第三纪)、2 个剥蚀高峰期(晚奥陶世—志留纪、早白垩世)和 1 个升降交替期(泥盆纪—二叠纪)有着较好的对应关系;9.5 个三级沉积波动周期(60~45 Ma),与盆地不同时期沉积—剥蚀过程有较好的对应关系,对上三叠统进行了高频波动过程分析,分解出了 10 Ma 和 5 Ma 高频波动周期,其与沉积环境和沉积体系域密切相关,具有较好的对应关系。

通过对不同波动单元波动曲线对比,认为楚雄

盆地波动迁移规律在古生代和中生代有明显的差异。古生代沉积中心位于盆地东部的云龙凹陷,虽略有变动,但迁移距离不大;中生代早期,沉积中心迁移方向与沉降中心相符,具有自西南向北东,由盆地边缘向中心迁移的规律,晚期受构造运动影响,沉积中心又有自北东向西南回迁的趋势。

### References

Huang, J. Q., Ren, J. S., 1980. The tectonic evolution in China. Science Press, Beijing (in Chinese).

Jin, Z. J., Zhang, Y. W., Liu, G. C., et al., 1996. Physical analysis of sedimentary basin—Analysis of wave processes. *Geological Review*, 42 (Suppl.): 170—180 (in Chinese with English abstract).

Li, R. F., Bao, Z. D., 1999. Diagenesis model and reservoir characteristics within high resolution sequence stratigraphic framework in the Mawu-1 submember in Ordos basin, China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(3): 390—396 (in Chinese with English abstract).

Liu, G. C., Li, J. C., 1994. Collection and sorting out of analysis data in wave geology. *Journal of University of Petroleum*, 18: 1—7 (in Chinese with English abstract).

Suasser, A., 1991. Lagoonal-peritidal sequence in carbonate environments: Autocyclic and allocyclic processes. In: Einsle, G., et al., eds., *Cycles and events in stratigraphic*

phy. Springer-Verlag, 709—721.

Wang, H. Z. , Li, G. C. , 1990. The contrasting table of international stratum age. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Zhu, X. , 1986. The statement of structure in oil and gas bearing basin in China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

Мясникова, Т. П. , 1991. Динамика развития осадочных как основа оценки их нефтегазоносности. Автореферат докторской диссертации. М.

Мясникова, Т. П. , Шпилльман, В. И. , 1989. Волновая эволюция осадочных бассейнов Труды Запсибнигни. Тюмень.

附中文参考文献

黄汲清,任纪舜,1980. 中国大地构造演化. 北京:科学出版社.

金之钧,张一伟,刘国臣,等,1996. 沉积盆地物理分析——波动分析. 地质论评, 42(增刊): 170—180.

李儒峰,鲍志东,1999. 鄂尔多斯盆地中部马五 1 亚段高分辨率层序地层格架中风化成岩模式和储层特征. 沉积学报, 17(3): 390—396.

刘国臣,李京昌,1994. 波动地质学研究中资料的收集与整理. 石油大学学报, 18: 1—7.

王鸿祯,李光岑,1990. 国际地层时代对比表. 北京:地质出版社.

朱夏,1986. 论中国含油气盆地构造. 北京:石油工业出版社.

\*\*\*\*\*

(上接 268 页)

tion Monitoring Center. Chapman & Hall, London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 192—265.

He, W. H. , Feng, Q. L. , Gu, S. Z. , et al. , 2004. Changhsingian (Upper Permian) radiolarian fauna from Meishan D Section, Changxing, Zhejiang in China and its possible paleoecological significance. *Journal of Paleontology* (in press).

Heywood, V. H. , 1995. Global biodiversity assessment. Cambridge University Press, Cambridge, 201—258.

Jin, Y. G. , Wang, Y. , Wang, W. , et al. , 2000. Pattern of marine mass extinction near the Permian-Triassic boundary in South China. *Science*, 289: 432—436.

Paul, S. M. , Steadman, D. W. , 1999. Prehistoric extinctions on islands and continents. In: Ross, D. E. MacPhee, ed. , Extinctions in near time-causes, contexts, and consequences. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 17—50.

Sheldon, N. D. , Retallack, G. J. , 2002. Low oxygen levels in earliest Triassic soils. *Geological Society of America* , 30(10): 919—922.

Smith, F. D. M. , May, R. M. , Pellew, R. , et al. , 1993. How much do we know about the current extinction rate? *Tree*, 8(10): 375—378.

Wang, Y. , Cao, C. Q. , Jin, Y. G. , 2001. Analysis of the con-

fidence intervals of marine fossils around the Permian-Triassic boundary in Meishan, Zhejiang. *Acta Palaeontologica Sinica* , 40(2): 244—251 (in Chinese with English abstract).

Yang, Z. Y. , Wu, S. B. , Yin, H. F. , et al. , 1991. Permo-Triassic events of South China. Geological Publishing House, Beijing, 1—166 (in Chinese).

Yang, Z. Y. , Yin, H. F. , Wu, S. B. , et al. , 1987. Permian-Triassic boundary stratigraphy and fauna of South China. Geological Publishing House, Beijing, 147—168 (in Chinese).

Yin, H. F. , 2000. Sustainable development from the viewpoint of organism evolution. *Geoscience* , 14 (3): 363—365 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

王玥,曹长群,金玉环,2001. 浙江长兴煤山二叠纪末大灭绝化石记录的置信区间分析. 古生物学报, 40(2): 244—251.

杨遵仪,吴顺宝,殷鸿福,等,1991. 华南二叠—三叠纪过渡期地质事件. 北京:地质出版社, 1—166.

杨遵仪,殷鸿福,吴顺宝,等,1987. 华南二叠—三叠系界线地层及动物群. 北京:地质出版社, 147—168.

殷鸿福,2000. 从生物演化看可持续发展. 现代地质, 14(3): 363—365.