

沉积波动过程分析在地层层序分析中的应用 ——以塔里木盆地为例

刘国臣

(石油大学 北京 102200)

摘要 沉积波动过程是地壳波状运动的具体表现,它是各种天文因素、地质因素共同作用的结果,沉积波动过程的时空演化控制着地层层序的时空展布特点。在介绍沉积波动过程分析概念、技术思路、工作方法的基础上,利用沉积波动曲线在剖面上的预测功能及对沉积—剥蚀过程起止时间、不整合的研究成果,分析了塔里木盆地震旦系至第四系各主要构造层的地层展布特征,并对其形成过程及成因进行了分析,在理论和方法研究方面,试图将沉积波动特征的研究与层序地层学的研究结合起来,提出了地层格架—沉积波动特征连井对比图的概念和编制方法,该类图件能直观地反映多期不整合的存在及不整合间断的时间,并能直观地反映各层序的时空分布,而且能够解释地层格架的形成过程,进而进行成因分析,是沉积波动过程分析方法与层序地层学结合的一种具体、有益的尝试。

关键词 沉积波动过程 地层层序 滑动窗口 周期

作者简介 刘国臣 男 36岁 博士 副教授 盆地构造分析

1 引言

沉积波动过程是指地应力、质点运动及质点状态在时空上有规律地扩散的过程,在扩散过程中如果振幅及周期是不变的,这种过程为线性波动过程,反之为非线性波动过程^[1]。由于构造演化的长期性和复杂性,我们无法从单一的地质剖面上直接得到控制盆地演化的周期波,但地质事件在时间及空间上存在着内在的联系。从复杂的多种多样的地质现象中去揭示那些相对简单的、有周期的地质现象是波动过程分析的主要任务。通过波动过程分析可以解决以下几方面的地质问题:①研究区是由哪几个级别的波动过程控制的,求出控制该区演化的主要周期过程,同时可以从天文、地球演化等方面探讨这些周期波的成因及其对盆地构造演化阶段的控制作用;②恢复地史时期的主要沉积期与剥蚀期,计算沉积与剥蚀的速率,确定沉积与剥蚀过程的起止时间,这对于解释地层格架及不整合的时空分布及形成过程至关重要,进而可以结合区域构造背景进行地层格架及不整合的成因分析;③研究沉积、沉降中心及隆升、剥蚀过程的迁移规律^[2]。

本文仅就如何利用波动过程分析方法研究地层

格架及不整合的时空分布、形成过程,结合塔里木盆地的研究实例加以讨论。

2 波动过程分析的技术思路

Г.И. 姆斯妮科娃和 В.И. 施比伊曼在 80 年代末至 90 年代初建立了沉积波动过程分析方法^[1]。该方法综合利用野外、岩芯、录井、测井、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,找到一条曲线,使之能够代表该区的沉积—剥蚀过程,然后利用这条曲线分析盆地演化阶段,恢复无沉积记录时间段的沉积—剥蚀过程,研究不整合的空间展布、成因,计算剥蚀量,研究抬升、剥蚀过程及沉积、沉降中心迁移规律,建立沉积埋藏史精细模型,在完成上述分析的基础上,研究波动过程与油气的关系(图 1)。

分析过程中重要的工具是应用了不同尺度的滑动窗口(图 2)。在滑动的时候从时间坐标的零点开始,每次移动一个时间单位(时间单位的长短视研究精度而定)依次下滑,这样就得到一系列沉积速率平均值的点,将这些点连接后,就得到一条圆滑的曲线 G (低频),无疑这条曲线消除了周期小于该窗口尺

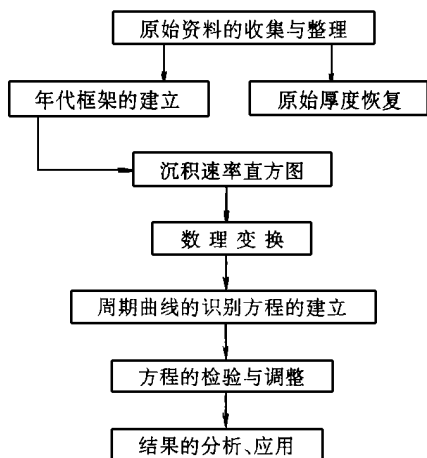


图 1 波动过程分析流程图

Fig. 1 Flowchart for analysis method of wave processes

次回代, 就可以得到代表沉积—剥蚀过程的高频曲线的波动方程^[3]。当然, 从地质剖面上分解周期波是一个复杂的过程, 往往经过多次反复调整窗口的长度, 两个窗口长度的搭配不合适, 分解出的两条曲线的差值就不是周期波, 此外, 不同尺度的窗口还有一个互相衔接的问题, 即寻找长周期时的小窗口应为寻找相邻周期时的大窗口。

图 3 是按上述步骤建立的草 1 井的波动过程剖面图, 利用该图可以分析研究区的沉积—剥蚀过程, 分析控制盆地演化的周期过程, 计算不整合的剥蚀量等, 由于该剖面的建立综合考虑岩心、钻井、录井等地质资料, 并进行了拟合检验与剖面平衡检验, 因此能较好地反映研究区的沉积—剥蚀过程。

3 年代地层格架—沉积波动特征连井对比图

3.1 地层格架的概念

地层格架是指盆地内不同地层在垂向上或时间上的排列次序及各时代地层在盆地范围内的展布状况, 即盆地内部的沉积实体—地层的几何形态及其分布规律。地层格架的建立需在了解沉积盆地地层发育特征、建立地层层序并进行盆地范围内的地层对比基础上进行。在地层对比之前, 要通过地震、测井等资料搞清楚盆地内区域不整合的分布范围、不整合面上下地层的岩性、不整合面下伏地层的保存情况, 划分出构造层。然后在同一构造层中寻找是否存在局部不整合, 并确定它的分布范围。完成了这些工作, 就为地层对比搭起了框架。

3.2 地层格架—沉积波动特征连井对比图的特点

从塘北 2—提 1 井年代地层格架—沉积波动特征连井对比图(图 4)可以看出, 该图有如下特点: ①以地质年代为纵坐标、井间的距离为横坐标, 较好地反映了各层序的时空展布特点。在编制过程中进行了沉积相分析, 反映了岩相时空变化; ②直观地反映多期不整合的存在及不整合间断的时间; ③不仅直观地反映了各层序的时空分布, 而且能够解释地层格架的形成过程, 进而进行成因分析。如图中上泥盆统一石炭系与下伏志留系及奥陶系不整合的形成, 可以看出在志留纪末以前从塘北 2—提 1 井一线均为以沉积为主的过程。但从志留纪末期开始, 在轮南地区剥蚀强烈, 形成石炭系与下奥陶统直接接触, 而在满加尔凹陷至塔中 18 井区则表现为上泥盆统与志留系接触, 这是由于在该地区加里东末期

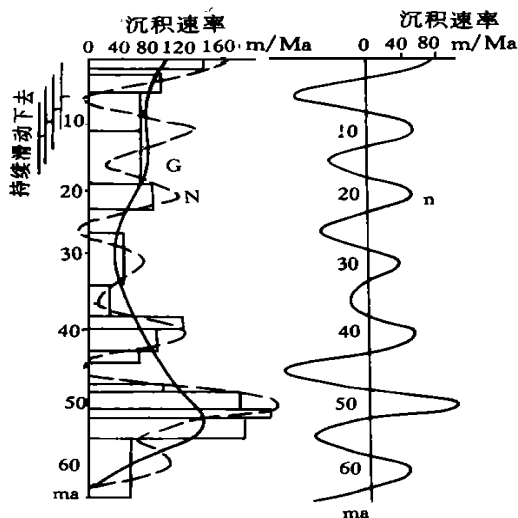


图 2 滑动窗口使用方法示意图

Fig. 2 A sketch map showing the use of sliding window

寸的波。改变窗口尺寸又可以得到另一条曲线 N (高频)。如果所做出的两条曲线之差是周期波 n (周期波 n 的周期直接观察得到, 振幅有多种变化情况, 或者是时间的函数, 或者为上一级别波动曲线振幅的函数, 一般可通过回归分析找出振幅与时间的关系式, 这样就不难建立 n 的方程), 则曲线 N 的方程为 $N = G + n$ 是时间的函数。如果所做出的两条曲线之差不存在周期波, 则改变滑动窗口的尺寸, 直至找到这样一个周期波为止。改变窗口的大小, 重复以上过程, 可以将 G 曲线依次分解, 一般来讲, 经过三四级分解之后可以得到一条简单的曲线, 它是控制盆地演化的最大周期, 受天文因素控制, 我们称之为能量函数, 它的方程很容易通过观察建立, 依

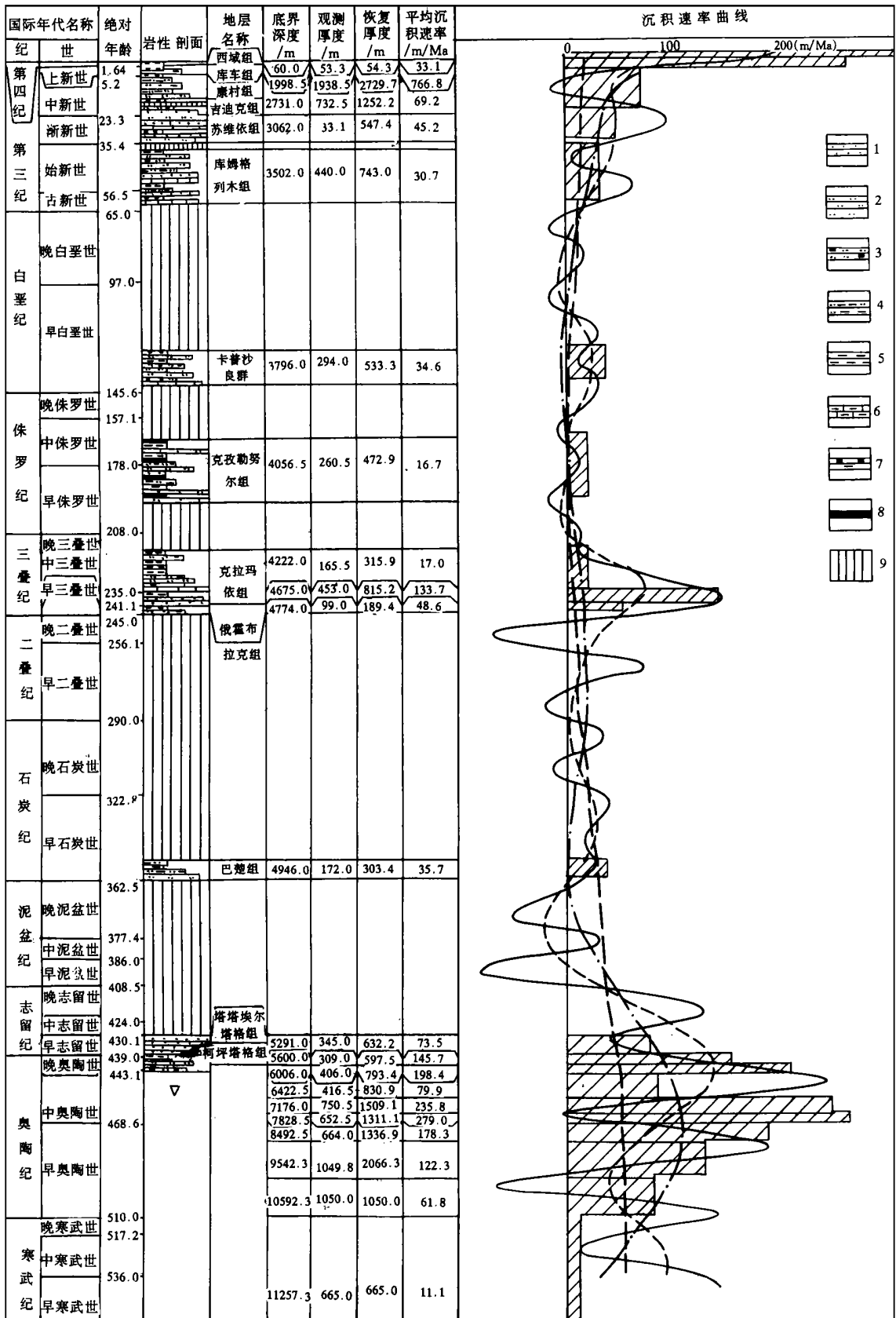


图3 塔里木盆地草1井区沉积-剥蚀过程分析图

1. 砂岩; 2. 粉砂岩; 3. 泥质粉砂岩; 4. 粉砂质泥岩; 5. 泥岩; 6. 泥质灰岩; 7. 碳质泥岩; 8. 煤层; 9. 地层缺失

Fig. 3 Analytic map of depositional and erosional process of Chao-1 region in Tarim Basin

至早海西期剥蚀较弱所致。我们可以进一步通过分析各井的剖面波动特征, 分析地层格架的形成过程及控制因素。因此, 该图较之层序地层学中的 Vail 图解内容更加丰富, 为寻找沉积波动过程与层序地层格架的内在联系提供一种有益的手段; ④该图虽然不是构造剖面, 但能醒目地发现大型断裂带的存在及其位置, 断裂性质及断裂对沉积的控制作用。

4 塔里木盆地地层格架分析

塔里木盆地从震旦系到第四系可以划分为 7 个构造层, 构造层顶、底界面均为区域性不整合面, 各构造层内的亚构造层之间的不整合往往是局部的^[4]。通过对区内主干地震剖面主要井区沉积波动特征综合剖面及沉积波动特征连井对比图的分析, 不仅可以描述目前构造层的时空展布, 还可以解释各构造层的形成过程进而结合区域构造背景分析其成因。

4.1 震旦系—奥陶系构造层

震旦系是塔里木盆地基底形成以来的第一套沉积盖层。在盆地边缘库鲁克塔格、柯坪及铁克力克等地区均有出露。下震旦统分布较局限, 主要分布在盆地边缘地区, 盆地内部的震旦系厚度不稳定, 主要分布在满加尔的东北部地区, 上震旦统分布广泛, 厚度变化不大, 一般在 400 ~ 1 000 m, 震旦系与上覆寒武系为微角度不整合关系。

寒武系一下奥陶统除库车拗陷、塔南拗陷以及铁克力克断隆局部缺失外, 盆地内均有分布, 厚度变化为 400 ~ 3 400 m, 厚度变化表现为中部厚, 东西两侧较薄, 厚度最大的地方位于塘古孜巴斯地区和阿瓦提地区。

从波动曲线的分析可以看出, 中—上奥陶统由于剥蚀作用分布范围较寒武系一下奥陶统明显缩小, 主要分布在北部拗陷和塘古孜巴斯拗陷地区, 明显表现出东厚西薄的地层特征, 沉积中心位于满加尔拗陷的东部, 最厚达 3 500 m。该层序与上覆志留系为不整合—假整合接触。

塔北隆起和塔中隆起在寒武纪和志留纪时, 以沉积过程为主, 但沉积速率较大(图 4), 直到志留纪末开始进入剥蚀状态, 从 SN420 测线可以看出, 志留系与奥陶系之间有较长的沉积间断, 二者呈下削、上超接触, 塔中及塔北隆起带表现尤为清楚。从 SN520 测线可看出, 奥陶系与志留系之间有较长时间的沉积间断, 在塔中隆起北坡及塔北隆起, 可见志

留系削截奥陶系。

4.2 志留系一下、中泥盆统构造层

由志留系一下、中泥盆统组成的构造层主要分布在北部拗陷和塔西南拗陷, 塔北隆起和塔东南拗陷大部分地区都缺失该构造层。该构造层是一套以滨浅海相—陆相碎屑岩为主的沉积地层, 顶底均以广泛的区域不整合分别与上覆地层与下伏地层为界。

志留系主要分布在盆地的东部, 塔西南可能大部分缺失, 波动分析表明, 志留纪末期盆内大部分地区开始进入剥蚀状态, 早中泥盆世为剥蚀高峰期, 塔北大部分地区剥蚀至下志留统, 轮南地区剥蚀更加强烈, 剥蚀至中上奥陶统的底部。塔中大部分地区剥蚀至中志留统, 塔中 18、塔中 10 井区剥蚀较少, 保留有砂岩透镜体存在, 东部尖灭线在塔中 4 井和塔中 1 井之间。下中泥盆统在盆内主要分布在塔西南和北部拗陷区, 其残余地层厚度一般在 200 ~ 1 300 m。

总体来看, 该构造层东北厚, 西南薄, 沉积中心有三个, 一个位于满加尔拗陷东部, 最厚 2 400 m, 一个位于塔西南拗陷, 最厚 1 200 m, 还有一个位于阿瓦提地区, 最厚亦达 1 200 m。从时代归属看, 塔东地区主要为志留系沉积, 而塔西南地区的地层则可能主要属于泥盆系, 反映出这一时期沉积中心逐渐由东向西部转移。

4.3 上泥盆统一二叠系构造层

由上泥盆统一二叠系组成的构造层在盆内分布广泛, 顶底以区域性不整合与上覆和下伏构造层分开。

上泥盆统一二叠统分布极为广泛, 除塔北隆起轴部、库车拗陷局部、盆地东部以及塔南隆起和东南拗陷东部缺失外, 盆内均有分布。上石炭统与下二叠统大量缺失, 上二叠统也有一定的缺失。石炭系目前存在的状况从时间上来讲(图 4), 塔中地区经历的时间长, 而塔北地区存在的时间短, 这是由于晚石炭世和早二叠世的剥蚀在塔北地区强烈, 而在塔中地区微弱所致。上二叠统主要分布在塔中地区和满加尔拗陷的西部, 与三叠系整合接触, 下二叠统主要分布在塔中地区和满加尔拗陷及塔北西部地区, 其中满加尔拗陷的大部分地区和塔北西部地区与三叠系呈角度不整合接触。这是由于晚石炭世—早二叠世的剥蚀过程在塔中地区结束的早(多数地区在 280 ~ 270 Ma), 而在塔北地区结束晚(一般在

270 Ma, 塔北东段直到二叠纪末, 即 245 Ma) 造成在塔北地区的东段三叠系直接覆盖在石炭系之上。

4.4 三叠系构造层

三叠系组成一个独立的构造层, 分布较为局限, 主要分布在塔中东段、北部拗陷、塔北隆起南部及库车拗陷北部地区, 其中塔中地区普遍缺失上三叠统, 塔北地区有上三叠统存在, 向塔中方向层位逐渐降低, 在满加尔凹陷的北部地区有上三叠统存在而南部则无上三叠统地层, 这是由于早侏罗世这期剥蚀在塔中和塔北地区强弱差异造成的。

4.5 侏罗系构造层

侏罗系分布局限, 主要分布于库车拗陷、塔北隆起及北部拗陷东北部的天山山前地带、喀什—叶城—和田—民丰—线的西昆仑山前地带, 与下伏地层为角度不整合接触。这是由于盆地大部分地区早侏罗世处于剥蚀状态所致, 此时的沉积过程在塔北地区从西向东逐渐抬高, 在草湖凹陷侏罗系沉积持续的时间较长, 向满加尔凹陷很快尖灭。

4.6 白垩系构造层

白垩系分布范围明显比侏罗系分布范围大, 主要分布在阿克苏—民丰—线以东和喀什—和田—线的西昆仑山前地带, 从波动过程的演化进程来看, 侏罗纪—白垩纪为升降运动交替期。据“八五”地层研究结果, 时代限定为早白垩世早期, 早白垩世晚期和晚白垩世虽有过沉积过程, 但后期剥蚀的结果使早白垩世沉积的地层遭到一定程度的剥蚀, 保留了现在称之为卡普沙良群这套地层, 而中央隆起的西段自三叠纪至白垩纪末期处于隆升为主导趋势的振荡运动过程。

4.7 第三系—第四系构造层

第三纪以来盆地演化进入又一个沉积高峰期(图4), 下第三系第四系沉积广泛, 仅在盆地周边局部地区有些缺失。

上第三系至第四系厚度巨大, 西南拗陷最厚, 一般 2 000~10 000 m, 阿瓦提拗陷、库车拗陷最大厚度达 6 000~7 000 m。民丰拗陷厚 2 000~6 000 m, 若羌拗陷厚 2 000~3 500 m, 而巴楚断隆、塔中隆起和塔东隆起厚度较小, 一般为 1 000~2 500 m, 明显表现出沿周边山系厚, 向盆地中央减薄的特征。

在进行下第三系地层年代框架标定时, 我们依据苏维依组和库姆格列木群普遍存在不整合的事实, 确定始新世末—渐新世(38.6~35.4 Ma)为沉积间断, 通过波动研究, 我们在南喀1—草1井年代

地层格架—沉积波动特征连井对比剖面上可以看出, 此次间断在塔北隆起从东向西层位逐渐抬高, 反映出抬升剥蚀过程的平面迁移。

5 几点认识

(1)地层层序的旋回性是地壳波状运动的表现形式之一。不同级次地层层序的旋回性分别或综合地受海平面变化、构造沉降、气候变化、物源条件及天文因素等周期性变化控制。地质过程时间上的旋回性是普遍存在的, 在空间上的旋回性有时因为局部因素的干扰而表现不明显。

(2)塔里木盆地震旦系—第四系沉积盖层可以划分为7个构造层, 各构造层顶、底界面均为区域性不整合面, 各构造层内的亚构造层之间的不整合往往是局部的。构造层的划分与盆地演化阶段相对应, 表明盆地背景和构造演化进程对盆地地层层序的发育具有控制作用。

(3)沉积波动过程是地壳波状运动的具体体现, 它是各种天文因素、地质因素共同作用的结果, 沉积波动过程的时空演化控制着地层层序的时空展布特点, 因此从构造演化对沉积作用控制方面来讲, 地壳波状运动理论是对板块构造理论一种有益的补充, 板块构造的演化控制板缘或板间盆地类型的演化, 而沉积波动过程更好地描述了板内构造的演化(特别是升降运动及其迁移过程)及其对沉积过程的控制作用。

(4)层序地层学的研究表明, 低水位体系域、水进体系域和高水位体系域发育在各层序下部、上部一定的位置, 因此进一步研究沉积波动过程的相位与沉积体系域的内在联系, 对预测水进体系域的凝缩层暗色泥灰岩、泥页岩和炭质泥岩的发育特征, 寻找盆地的主要生油层系具有重要的理论意义和实践意义。

(5)地层格架—沉积波动特征连井对比图较好地反映了各层序的时空展布特点, 不整合的存在及不整合间断的时间, 更有意义的是能够恢复沉积—剥蚀的具体过程, 确定其起止时间, 解释目前地层格架的形成过程, 进而进行成因分析, 因此, 可以说该图是探讨沉积波动过程分析方法与层序地层学结合的一种具体、有益的尝试。

致谢: 参加研究工作的还有张一伟、金之钧、齐永安、李京昌、刘银河等同志, 论文完成过程中得到塔里木石油勘探开发指挥部地质研究中心的大力帮

助,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Г. П. Мясчпко и И. В. И. Шпигман волновая эволюция осадочных бассейнов Таримы ЗапСибирии, Тюмень, 1989. 11~12
- 2 В. И. 施比伊曼, 张一伟, 金之钧等. 波动地质学在黄骀坳陷演化

分析中的应用—再论地壳波动状运动. 石油学报, 1994, 15(sup) 24~25

- 3 刘国臣, 李京昌, 金之钧等. 波动地质学研究中资料的收集与整理. 石油大学学报(自然科学版), 1994, 18: 1~7
- 4 贾承造, 魏国齐, 姚慧君等. 盆地构造演化与区域构造地质. 北京: 石油工业出版社, 1995. 23~34

The Applications of Sedimentary Wave Processes in the Analysis of Stratigraphic Sequences — Case Study of Tarim Basin

Liu Guochen

(Petroleum University, Beijing 102200)

Abstract

The wave process of sedimentary basin is a form of earth's crust movement, which is controlled by both cosmogony and earth evolution. The distribution of stratigraphic sequence in time and space is determined by the evolution of sedimentary wave processes. Based on the discussion of the theory of sedimentary wave processes, technique approach and working method, the distribution and formation of stratigraphic sequences of Sinian—Quaternary was studied by using the predictive function of the sedimentary wave curves, studying the starting and ending time of deposition and erosion, and the erosional quantity of the unconformities. In the aspects of theory and method, the author was trying combining the sedimentary wave processes of the study of sequence stratigraphy, and put forward the concept of the well connected correlation figure of stratigraphic framework and sedimentary wave processes and its making steps. The figure reflects the position and the forming time of unconformities, the distribution of the stratigraphic sequence, and interprets the forming processes of the stratigraphic framework preserved, as well as its origin. It is a helpful attempt to study the connection of sedimentary wave processes and the sequence stratigraphy.

Key words sedimentary wave process stratigraphic sequence sliding window period