

# 塔里木盆地构造-沉积波动过程\*

金之钧<sup>①②\*\*</sup> 张一伟<sup>①</sup> 陈书平<sup>①</sup>

①中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;

②中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要** 根据塔里木盆地环满加尔地区的不整合和构造形成时间研究, 以及对典型井沉积充填的“地质滤波”分析, 研究了塔里木盆地的构造-沉积波动演化过程. 典型井的“地质滤波”分析证明, 在时间上, 塔里木盆地演化受控于  $740 \pm, 200 \pm, 100 \pm$  和  $30 \pm$  Ma 的周期性波动过程. 沉积充填、盆地沉降和不整合分析证明盆地沉积相带的趋向呈周期性转换, 沉积中心和沉降中心逆时针迁移, 周期为  $200 \pm$  Ma, 说明波动在空间上的传播. 塔里木盆地的这种波动演化过程对认识盆地的油气成藏规律具有重要意义.

**关键词** 塔里木盆地 构造 沉积 地壳波动 波动过程

盆地波动分析既是地壳波动理论研究内容的一部分, 同时通过盆地波动分析, 可以研究盆地不整合形成过程、隆(起)坳(陷)变迁、沉积相带转换、盆地演化阶段等, 因此对石油勘探也具有重要意义.

早在上世纪初期, Haarmann (1930, 转引自 Jacobs<sup>[1]</sup>和Scheidegger<sup>[2]</sup>)和Bemmelen(1933, 转引自 Jacobs<sup>[1]</sup>和Scheidegger<sup>[2]</sup>)就提出了地壳波动学说. 1962 年, 别洛乌索夫 (转引自 Jacobs<sup>[1]</sup>)曾断言“波动理论是现在成为大地构造核心的一般概念发展线索的开始”. 上世纪 60 年代提出的板块构造理论<sup>[3-5]</sup>给地质学带来了一场革命, 也对其他大地构造学说带来了冲击. 尽管如此, 人们并没有停止对地壳波动性的

探索<sup>[6-11]</sup>. 1982 年, Scheidegger<sup>[2]</sup>曾指出, 尽管波动理论不能完全代替板块构造理论, 但至少在某些方面可以补充板块构造理论的不足. 20 世纪 90 年代以来, 人们对地质事件的波动现象和波动机理有了更深入的认识和探索<sup>[12-20]</sup>, 并认为包括沉积盆地在内的地质事件是各种简谐性周期过程相互叠加干涉的结果, 因此沉积盆地分析, 尤其是陆内盆地的分析应以波动理论为指导<sup>[10,21]</sup>.

盆地波动分析方法主要包括地质学方法、数学方法和盆地模拟法. 地质学分析方法主要包括不整合分析、沉积沉降分析和构造形成时间分析等, 其中不整合分析是关键, 它既是隆坳变迁的记录, 也是层序

2004-03-11 收稿, 2004-11-24 收修改稿

\* 国家重点基础研究发展规划项目资助(批准号: G19990433)

\*\* E-mail: jinzi@pepris.com

地层分析的基础<sup>[22,23]</sup>。盆地模拟法的层序构建发展历史长、方法比较完善<sup>[24-26]</sup>。数学方法主要指新近发展起来的“滑动窗滤波法”或“地质滤波法”<sup>[13,14,21]</sup>，它能依据盆地沉积纪录，分离出控制沉积盆地发育的波动要素，已在盆地演化历史分析中得到广泛应用，并有效地指导了油气勘探。

本文根据不整合分析和沉积资料的“滑动窗滤波”分析，研究了塔里木盆地寒武纪以来盆地发育时间上的周期性和空间上隆(起)坳(陷)的迁移、构造形成时间的变迁等波动特点。

### 1 盆地概况

塔里木盆地位于我国新疆维吾尔自治区南部，面积达 560000 km<sup>2</sup>，四周被山系环绕，北面是天山褶皱系，南边为昆仑褶皱系，东南边为阿尔金断隆。盆地经历了从震旦纪到第四纪的长期的发育历史，经历了不同性质的盆地发育阶段，是一典型的叠合盆

地<sup>[27,28]</sup>。盆地可划分为中央隆起带等七个一级构造单元和塔中凸起等若干个二级构造单元(图 1)。

盆地沉积体系包括震旦系-下二叠统海相-海陆交互相沉积和上二叠统-第四系陆相沉积，沉积层最大残余厚度为 15000 余米，累积最大沉积厚度 25000 余米，残余沉积岩体积 3964000 km<sup>3</sup>，是我国最大的沉积盆地。盆地中油气资源丰富，在我国油气勘探中占有重要地位。

### 2 盆地发育时间上的周期性

盆地发育在时间上的周期性表现在沉积的旋回性、不整合的重复出现等方面。

塔里木盆地地震剖面上可识别各级不整合至少有 14 个(图 2)，从相邻不整合时间间隔看，从 11~230 Ma 都有，其中 30~40 Ma 的时间间隔最为显著，共 7 个，占总数的 54%；其次为 80~100±Ma 的时间间隔，共有两个，占总数的 15%；时间间隔小于 30，40~50

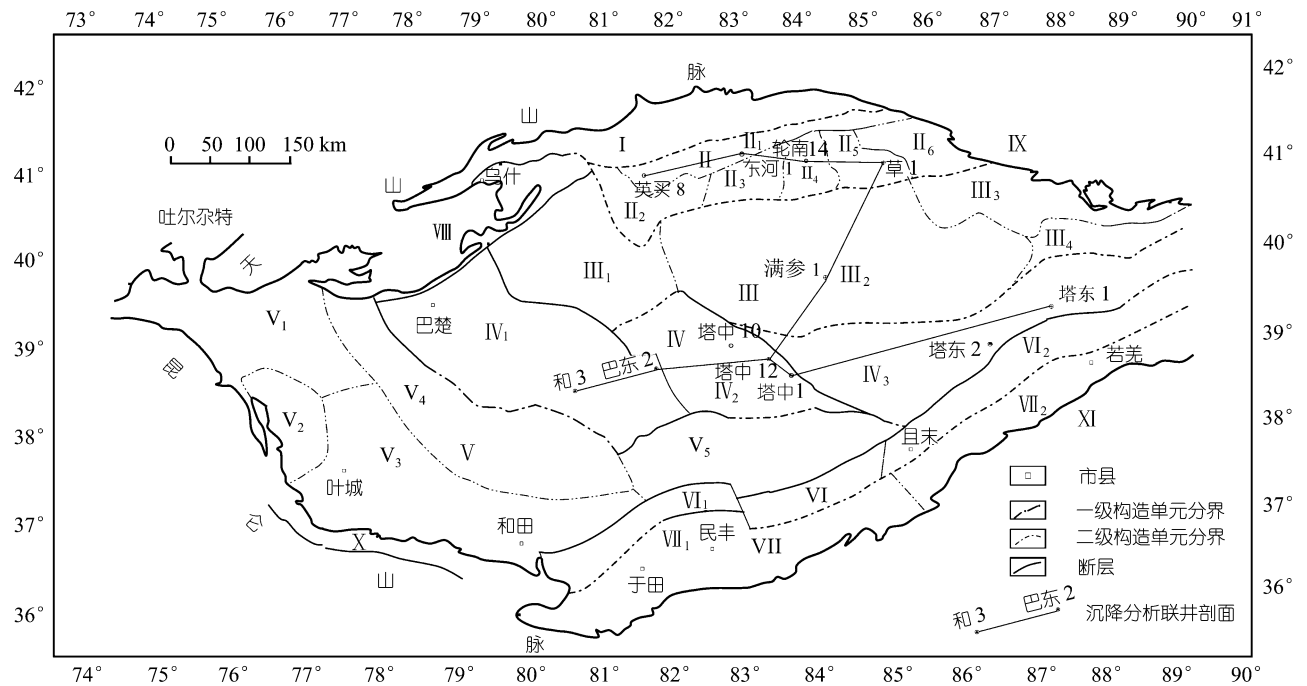


图 1 塔里木盆地构造单元划分图

I-库车坳陷; II-塔北隆起: II<sub>1</sub>-轮台凸起, II<sub>2</sub>-南喀英买力低凸起, II<sub>3</sub>-哈拉哈塘凹陷, II<sub>4</sub>-轮南低凸起, II<sub>5</sub>-草湖凹陷, II<sub>6</sub>-库尔勒鼻隆; III-北部坳陷: III<sub>1</sub>-阿瓦提凹陷, III<sub>2</sub>-满加尔凹陷, III<sub>3</sub>-孔雀河斜坡, III<sub>4</sub>-英吉苏凹陷; IV-中央隆起: IV<sub>1</sub>-巴楚凸起, IV<sub>2</sub>-塔中低凸起, IV<sub>3</sub>-塔东低凸起; V-西南坳陷: V<sub>1</sub>-喀什凹陷, V<sub>2</sub>-齐姆根凸起, V<sub>3</sub>-叶城凹陷, V<sub>4</sub>-麦盖提斜坡, V<sub>5</sub>-塘古孜巴斯凹陷; VI-塔南隆起: VI<sub>1</sub>-民北凸起, VI<sub>2</sub>-罗布庄凸起; VII-东南坳陷: VII<sub>1</sub>-民丰凹陷, VII<sub>2</sub>-若羌凹陷; VIII-柯坪断隆; IX-库鲁克塔格断隆; X-铁克里克断隆; XI-阿尔金山断隆

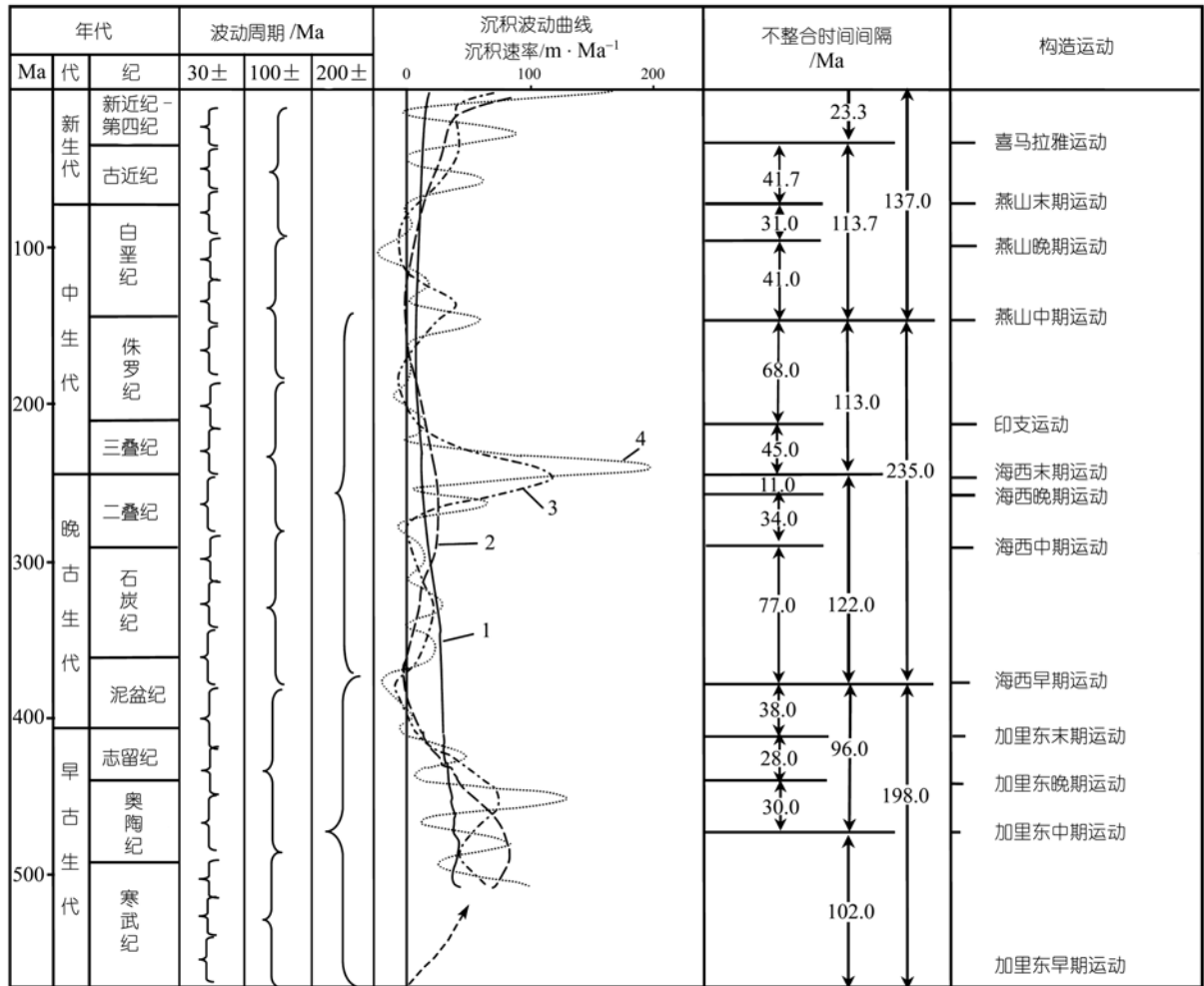


图 2 塔里木盆地构造-沉积波动特征图

沉积波动曲线由两部分组成, 志留纪以来波动曲线为 MC1 井波动曲线, 曲线 1~4 的周期分别为 760, 220, 100 和 30 Ma; 志留纪以前为 TZ30 井波动曲线, 相应曲线的周期分别为 740, 220, 105 和 31 Ma

Ma 之间、60~80 Ma 之间和 230 Ma 的各有一个, 分别占总数的 8%弱。不整合的重复出现从一个侧面反映了盆地沉降和隆起的交替性和旋回性。

以盆地不整合为基础, 并与世界上典型沉积旋回的时间相对比, 可将塔里木盆地沉积充填划分为 6 个巨层序、16 个超层序和 42 个层序<sup>1)</sup>, 这些不同级别的层序代表了盆地不同级别的波动发育过程。

研究证明, 盆地的发育受控于具有不同周期的简谐波动过程, 而单纯从不整合或从沉积层序上很

难得到周期性简谐波动过程或波动要素, 它们只是直观上反映出盆地的旋回式或周期性的发展演化, 要获得这些简谐波动过程, 只有通过一些特殊处理, 如现在一些地质家采用的滑动窗滤波方法或“地质滤波”<sup>[13,14]</sup>。对塔里木盆地环满加尔地区的 30 口井的钻井和测井资料进行的“地质滤波”分析证明, 控制塔里木盆地构造-沉积过程的波动周期分别为 740±Ma (740~760 Ma), 200±Ma (200~235 Ma), 100±Ma (100~110 Ma) 和 30±Ma (图 2)。

1) 石油大学. 塔里木盆地波动过程及对油气形成与分布的控制作用. 1998

图 2 中, MC-1 井志留纪以来波动方程为

$$F(t) = 26 + (15 + 0.021t) \sin \frac{2\pi}{760}(t - 350), \quad (1a)$$

$$G(t) = F(t) + [400e^{-0.25t} + F(t)] \sin \frac{2\pi}{220}(t - 410), \quad (1b)$$

$$L(t) = G(t) + \left[ 15 + 100e^{\frac{-(t-251)^2}{452}} + 30e^{\frac{-(t-135)^2}{200}} \right] \sin \frac{2\pi}{100}(t - 216), \quad (1c)$$

$$M(t) = L(t) + [e^{0.0018t} + |L(t)|] \sin \frac{2\pi}{30}(t - 110), \quad (1d)$$

(1)式中四个波动要素的周期分别为 760, 220, 100 和 30 Ma. 各式左边项代表沉积速率,  $t$  为地质年代.

TZ-30 井寒武纪-志留纪波动方程为

$$F(t) = 13.68 + 0.05t \sin \frac{2\pi}{740}(t - 340), \quad (2a)$$

$$G(t) = F(t) + |F(t)| \sin \frac{2\pi}{220}(t - 210), \quad (2b)$$

$$L(t) = G(t) + (|0.4G(t)| + 5) \sin \frac{2\pi}{105}(t - 200), \quad (2c)$$

$$M(t) = L(t) + (|0.7L(t)| + 6) \sin \frac{2\pi}{31}(t - 18), \quad (2d)$$

(2)式中四个波动要素的周期分别为 740, 220, 105 和 31 Ma. 与(1)式相同, 各式左边项代表沉积速率,  $t$  为地质年代.

740±Ma周期是塔里木盆地的“生命”周期, 代表其从开始形成到结束的全过程, 具有该周期的波动方程, 即((1a)和(2a))式也称能量函数<sup>[14]</sup>.

200±Ma可看作是控制盆地演化的一级周期. 寒武纪以来, 盆地经历了两个完整的一级周期和一个不完整一级周期, 两个完整一级周期分别为寒武纪-中泥盆世<sup>1)</sup>和晚泥盆世-侏罗纪, 一个不完整周期为白垩纪-第四纪.

100±Ma 的周期可认为是二级周期, 寒武纪以来, 盆地演化可划分出 5 个这样的完整二级周期和一个不完整二级周期, 5 个完整二级周期分别为寒武纪-

早奥陶世、中奥陶世-中泥盆世、晚泥盆世-二叠纪、三叠纪-侏罗纪和白垩纪-古近纪, 一个不完整二级周期为新近纪-第四纪. 100±Ma周期级别的波动过程与盆地反转周期<sup>[11]</sup>和生储盖组合发育及烃源岩演化阶段具有很好的对应关系.

拟合和平衡检验<sup>[13,14]</sup>证明, 30±Ma的周期波动过程与其他三级波动过程的叠加((1d)和(2d))式; 图 2, 曲线 4)基本能反映盆地的剥蚀-沉积历史. 在该叠加曲线 4 上(图 2), 曲线右拐代表沉积速率增大, 曲线左拐代表沉积速率减小; 曲线 4 在竖轴右边的部分(波峰)代表沉积, 幅度的大小代表沉积速率的大小, 面积代表沉积体积; 曲线 4 在竖轴左边的部分(波谷)代表剥蚀, 幅度的大小代表剥蚀速度的大小, 与竖轴所夹持的面积代表剥蚀量. 曲线 4(图 2)显示, 寒武纪以来, 盆地经历了三个沉积速率高峰期, 分别是奥陶纪、三叠纪和新近纪. 从波谷看, 比较清楚地反映的大型不整合时代为泥盆纪晚期、二叠纪早期、侏罗纪早期和白垩纪晚期, 分别对应上泥盆统(东河砂岩)与下覆地层、二叠系与下覆地层、侏罗系与下覆地层和古近系与下覆地层之间的不整合, 与地质分析所得到的对塔里木盆地重要不整合的认识吻合.

在地震剖面上能识别的较大规模的不整合还有志留系与下覆地层、三叠系与下覆地层之间的不整合, 但在波动曲线上这两个不整合面并没有清楚地反映, 可能的原因是: ①与所选的 MC-1 井的位置有关, 因为同一次不整合强度在不同地区表现有所差异, 图 2 中曲线所代表的井位处这两次不整合表现的强度弱; ②由于钻井深度有限, 深部数据是参考相邻地区的资料, 误差较大, 因此, 不能充分反映志留系与下覆地层的不整合.

### 3 盆地发育空间上的波动性

#### 3.1 沉积相带旋转式变迁

塔里木盆地从震旦纪到第四纪漫长的发展演化过程中, 沉积经历了从海相到陆相的变迁, 其中震旦系-下二叠统为海相-海陆交互相沉积, 上二叠统-第四系为陆相沉积. 各时期沉积相带的展布具有

1) 东河砂岩划归上泥盆统

明显的方向性,且不同时期的沉积相带发生有规律的转化和迁移(图 3).

寒武系到下奥陶统相带展布为近南北向,沉积相类型主要有盆地相、陆棚相、前缘斜坡相、台地边缘相、开阔台地相、局限台地相和蒸发台地相.中、上奥陶统沉积相带展布早期为南北向、后期为东西向,沉积相类型有盆地相、斜坡相、混积陆棚相、台地边缘相、局限台地相(孤立台地相).志留系沉积相带展布为东西向,沉积相类型主要有盆地相、陆源碎屑陆棚相、陆源碎屑潮坪相和陆源碎屑滨岸相.中、下泥盆统无明显沉积相带趋向.上泥盆统-下二叠统相带趋向为南北向,其中上泥盆统东河砂岩沉积时期,盆地主要表现为无障壁海岸沉积环境,可划分为过渡带沉积体系、临滨沉积体系、前滨沉积体系、后滨沉积体系和泻湖沉积体系;石炭系沉积相类型有三角

洲相、滨岸潮滩相、泻湖相、局限台地相和开阔台地相;下二叠统沉积相有冲积扇、河流相、湖泊相、局限台地相和开阔台地相.上二叠统沉积相带无明显趋向.三叠系沉积相带趋向为东西向,沉积体系由冲积扇、河流、泛滥平原、三角洲和湖泊等沉积体系组成.侏罗系为沿盆地周边分布,相带无明显趋向,其沉积环境可以划分为冲积扇沉积体系、河流沉积体系、泛滥平原沉积体系、扇三角洲沉积体系、三角洲沉积体系、三角洲平原沉积体系、滨湖沉积体系、浅湖沉积体系和浊积体(水下扇).白垩系分布在盆地内部,沉积体系类型有浅湖沉积体系、滨湖沉积体系、冲积扇沉积体系、冲积平原沉积体系、三角洲沉积体系.古近系、新近系和第四系相带为东西向,其中,古近纪早期塔西南地区受海侵的影响沉积了一套海相碳酸盐岩,晚期,塔西南及库车地区以闭塞海湾及

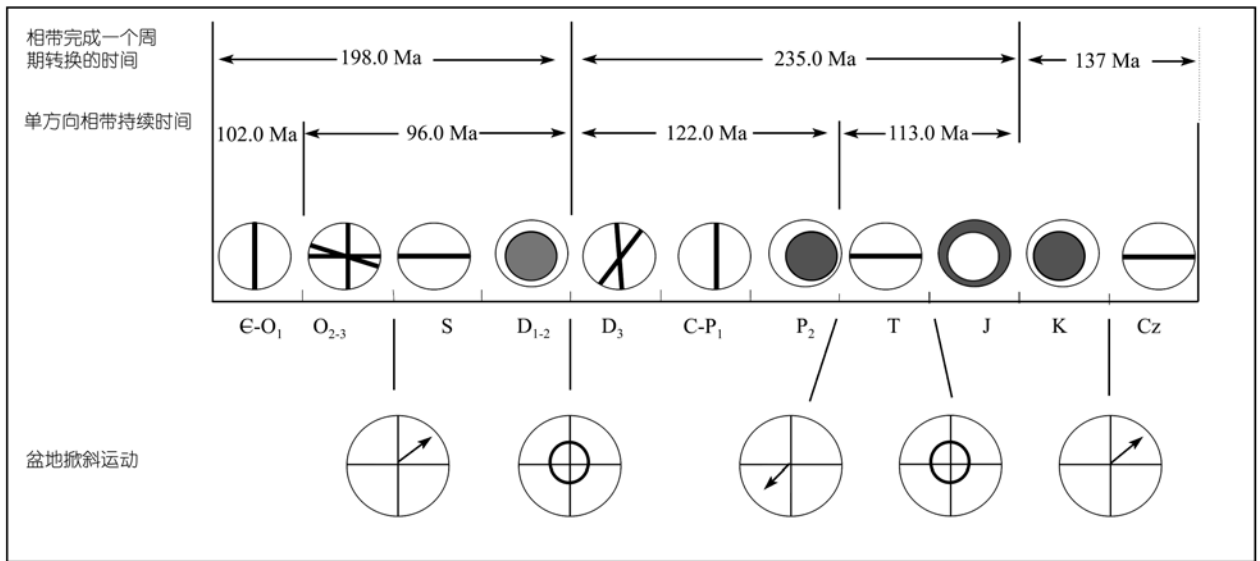


图 3 塔里木盆地显生宙沉积相带趋向转换及主要构造运动时期造成的盆地掀斜运动

泻湖沉积的膏泥岩建造为主, 其他地区以泛滥平原相沉积为主; 新近纪, 塔西南和库车两大前陆盆地发育, 沉积了巨厚的河湖相砂泥岩。

如果把相带趋向从南北-东西-无明显趋向的转化作为一个周期(图 3), 那么, 寒武纪以来, 塔里木盆地经历了两个完整周期的相带转化(寒武纪-中泥盆世和晚泥盆世-二叠纪)和一个不完整周期的转化, 一个完整的相带趋向转化周期为 200 Ma $\pm$ 。在每个完整周期内, 相带单向趋向的持续时间为 100 Ma $\pm$ 。实际上, 相带的转变可能是连续的渐变过程。

### 3.2 沉降中心波动迁移

对典型井的盆地沉降曲线进行“地质滤波”分析, 可以得到与从沉积充填分析所得结果类似的控制盆地发育的周期性波动过程。不同地区沉降波动曲线对比可以发现沉降中心有规律地迁移。在 30 Ma 沉降波动曲线上(图 4), 塔里木盆地寒武纪以来各构造部位可以划分出 5 个可对比的沉降高峰期(塔中地区受局部影响有六个沉降高峰, 渐新世以来的沉降高峰又可分为两个短周期高峰), 但不同地区沉降高峰出现的时间不一样, 它们在东西向和南北向上有规律地变化。

东西方向上, 塔北隆起沉降中心的迁移表现为(图 4(a)):

①自西而东: YM8(540 Ma) $\rightarrow$ DH1(500 Ma) $\rightarrow$ LN14(480 Ma) $\rightarrow$ C1(440 Ma);

②自东而西: C1(370 Ma) $\rightarrow$ LN1 和 DH1(350 Ma) $\rightarrow$ YM8(320 Ma);

③自西而东: YM8 和 DH1(260 Ma) $\rightarrow$ LN14(240 Ma) $\rightarrow$ C1(220 Ma);

④自东而西: C1(160 Ma) $\rightarrow$ LN14(140 Ma) $\rightarrow$ DH1(130 Ma) $\rightarrow$ YM8(110 Ma);

⑤盆地整体快速沉降: 自 50 Ma 以来。

塔中隆起沉降中心的迁移情况与塔北隆起相似, 只是时间上有所差异(图 4(b))。

南北方向上, 环满加尔地区沉降中心的迁移表现为(图 4(c)):

①自南而北: TZ12(520Ma) $\rightarrow$ MC1(490Ma) $\rightarrow$ C1(440 Ma);

②自北而南: C1(370 Ma) $\rightarrow$ MC1(240 Ma) $\rightarrow$ TZ12(320 Ma);

③整体沉降: 220 Ma;

④自北而南: C1(160 Ma) $\rightarrow$ MC1 $\rightarrow$ TZ12(130Ma);

⑤盆地整体快速沉降: 自 50 Ma 以来。

从寒武纪到第四纪, 塔里木盆地完成了 2 个完整周期的沉降中心迁移和最近一个不完整周期的沉降中心迁移。在东西方向上, 前两个周期的沉降中心分别由第一阶段的自西向东(图 4(a), (b), 线 1, 3)和前一阶段的自东向西(图 4(a), (b), 线 2, 4)迁移过程组成。图 4(a)和(b)中线 1 和 3 的时间分别为寒武纪-志留纪和二叠纪-三叠纪, 线 2 和 4 的时间分别为志留纪-石炭纪和侏罗纪-古近纪。新近纪为全盆地沉降速率高峰期, 无明显的沉降中心。

在南北方向上, 前两个周期的沉降中心分别由第一阶段的自南向北(图 4, (c), 线 1, 3)和前一阶段的自北向南(图 4(c), 线 2, 4)迁移过程组成。沉降中心自南向北的两个迁移时间分别为寒武纪-志留纪和二叠纪-三叠纪, 自北向南的两个迁移时间为泥盆纪-石炭纪和侏罗纪-古近纪。最后一个周期的迁移性不明显(图 4(a), (b)和(c), 线 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>)。新近纪也表现为沉降速率高峰期, 沉降中心无明显迁移。这种分析结果与从岩性和沉积相分析得到的沉积中心的迁移情况相似(图 5)。

沉积相带的展布和沉积/沉降中心迁移在时间上的周期性变化与控制盆地演化的波动要素的周期有很好的对应关系, 例如表 1 中, 沉积相带的变化周期、沉积/沉降中心的变化周期与盆地演化的一级周期(200 Ma)对应; 沉积相带的单向趋向时间或沉积/沉降中心的单向迁移时间大致与控制盆地演化的二级周期(100 Ma)相当。

### 3.3 波动构造形成

从地震资料显示的不整合看, 塔里木盆地的典型构造特征之一是盆地的波动掀斜运动(图 3), 这从同一不整合在盆地不同地区表现不同和同一不整合不同地区剥蚀量不同都可以显示出来。

奥陶纪末期, 盆地总体表现为向北东方向掀斜,

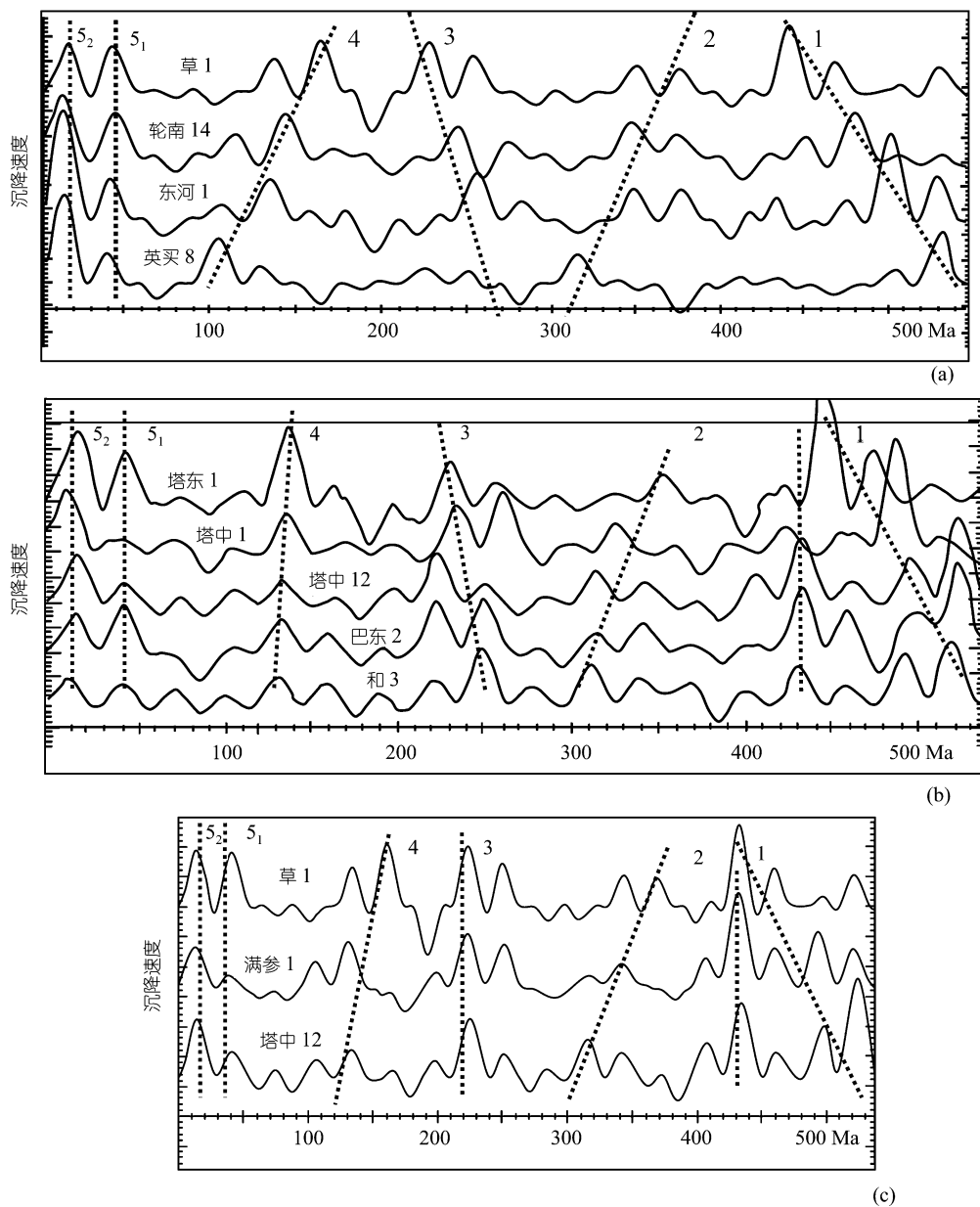


图 4 塔里木盆地 30 Ma 周期波动沉降曲线对比图(剖面位置见图 1)  
 曲线上凸表示沉降, 曲线下凹表示上升。(a) 塔北隆起; (b) 中央隆起; (c) 环满加尔南北向

剥蚀量最大地区分布在巴楚和塔中地区, 塔中地区剥蚀量较大, 最高可达 800~1100 m, 巴楚地区的剥蚀量在 200~300 m 之间, 向北至满参 1 井区变小为 200 m 以下; 塔北隆起受剥蚀范围小, 主要集中在西部, 剥蚀量一般也较小, 但局部地区剥蚀量也可大于 200 m。

中泥盆世末期, 总体表现为抬升, 剥蚀量最大可

达 1000 m 以上, 在塔中地区最大剥蚀量为 1200~1300 m, 塔北隆起最大剥蚀量为 1000 m, 满加尔地区的剥蚀量一般在 200~400 m, 满加尔凹陷的中心地带剥蚀量较小; 巴楚地区剥蚀量一般在 400~600 m。

二叠纪末期表现为向南西掀斜, 塔北隆起大面积遭受剥蚀, 最大剥蚀量在 1200 m 以上, 塔中地区



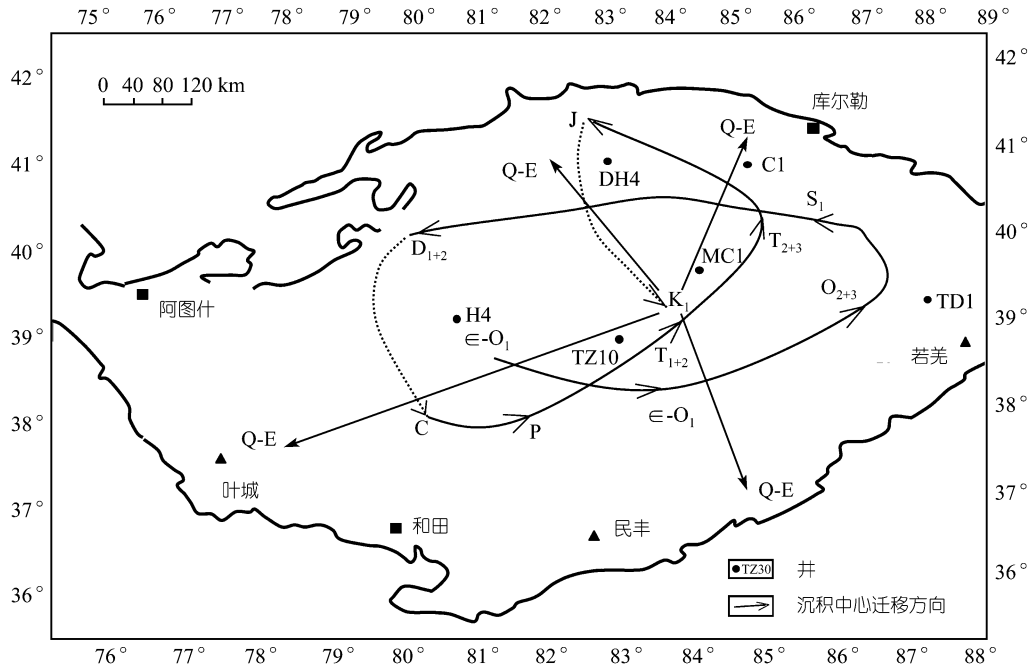


图 5 塔里木盆地寒武纪至现今沉积中心波动迁移轨迹

寒武纪以来, 盆地完成了三个周期的沉积中心的迁移, 分别为从寒武纪到中泥盆世、晚泥盆世到侏罗纪(或白垩纪)和白垩纪(或古近纪)以来。前两个周期的迁移表现为从盆地西南开始, 然后逆时针旋转一周, 最后一个周期表现为沉积中心从盆地内部向盆地边缘迁移

表 1 塔里木盆地波动特点一览表

| 时间间隔/Ma | 地质年代  | 相带展布方向                         | 沉积中心迁移            |             | 沉降中心迁移      |             |
|---------|-------|--------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
|         |       |                                | 东西向               | 南北向         | 东西向         | 南北向         |
| 137.0   | 23.3  | N-Q                            | 整体沉降              |             |             |             |
|         | 113.7 | K-E                            | 盆地边缘<br>↑<br>盆地中心 |             | 东<br>↑<br>西 | 南<br>↑<br>北 |
| 235.0   | 113.0 | T-J                            | 西<br>↑            | 南<br>↑      | 西<br>↑      | 南<br>↑      |
|         | 122.0 | D <sub>3</sub> -P              | 东<br>↑<br>西       | 北<br>↑<br>南 | 东<br>↑<br>西 | 北<br>↑<br>南 |
| 201.0   | 96.0  | O <sub>2</sub> -D <sub>2</sub> | 西<br>↑            | 南<br>↑      | 西<br>↑      | 南<br>↑      |
|         | 105.0 | E-O <sub>1</sub>               | 东<br>↑<br>西       | 北<br>↑<br>南 | 东<br>↑<br>西 | 北<br>↑<br>南 |

最大为 400 m, 巴楚南部最大为 800 m.

三叠纪末期又表现为围绕满加尔凹陷抬升遭受剥蚀, 其中满加尔凹陷东部有最大剥蚀量, 最大在 2000 m 以上, 塔中凸起最大为 400 m, 塔北隆起最大为 800 m.

白垩纪末期表现为向北东掀斜, 塔北隆起几乎没有遭受剥蚀, 巴楚地区最大剥蚀量为 500 m, 塔中

地区剥蚀量大于 100 m. 现今盆地表现为整体抬升.

从圈闭(构造)的形成时间上看(图 6), 明显具有波浪式摆动特点. 中央隆起带塔中凸起构造形成时间最早, 主要形成于加里东晚期运动和海西早期运动, 海西晚期和末期运动是重要的调整期; 塔北隆起带构造主要形成于海西晚期和末期运动, 印支运动是重要的调整期; 喜马拉雅中期运动又使圈闭的形



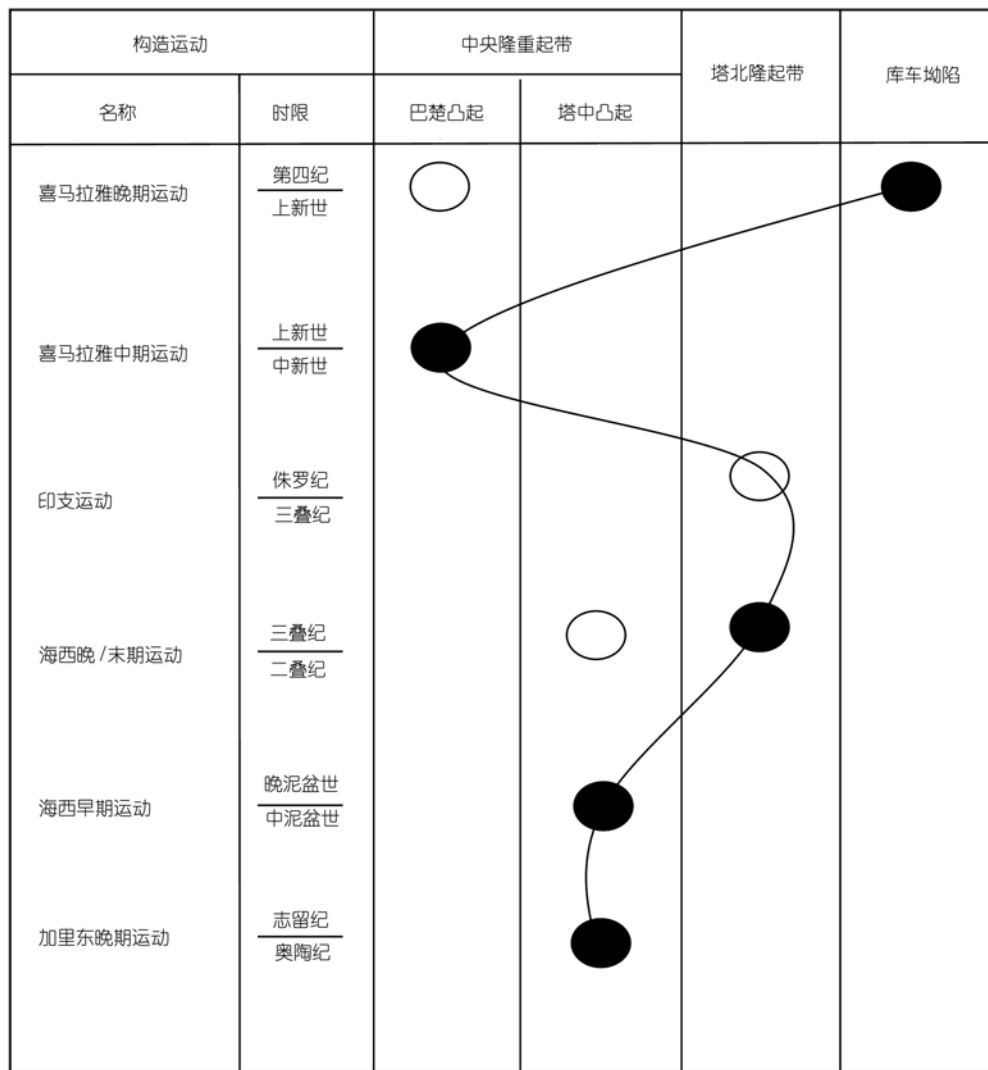


图 6 塔里木盆地主要构造带圈闭形成时间

黑圈表示主要形成期, 白圈为重要叠加改造期

成迁移到中央隆起带的巴楚凸起(受喜马拉雅晚期运动调整), 喜马拉雅晚期运动使圈闭的形成又回到了盆地北部的库车坳陷。

#### 4 结论

塔里木盆地的波动演化过程既表现在时间上, 也表现在空间上。

在时间上, 塔里木盆地构造-沉积过程受 740, 200±Ma(一级)、100±Ma(二级)和 30±Ma(三级)的周期波动过程控制。寒武纪以来, 盆地可划分出 3 个

一级周期、6 个二级周期和若干个三级周期。三级周期波动曲线基本能反映盆地的剥蚀-沉积历史。

在空间上, 塔里木盆地寒武纪以来的沉积相带、沉积/沉降中心都表现出周期性迁移的特点。沉积/沉降中心从盆地西南边开始做周期性逆时针迁移, 完成一次周期性迁移的时间为 200Ma±, 大致对应盆地的一级周期; 单向迁移的持续时间为 100Ma±。不同期构造运动造成盆地波浪状掀斜特点和波浪式构造形成。

盆地在时间域和空间域的波动特点, 对理解塔

里木盆地的油气形成和富集规律、以及在指导进一步油气勘探上具有重要意义。

**致谢** 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院王毅教授、以及中国石油大学盆地与油藏研究中心吕修祥、汤良杰教授和刘国臣、刘银河、李京昌副教授参加了研究工作, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- Jacobs J A, Russell R D, Wilson J T. *Physics and Geology*. New York: McGraw-Hill, 1974. 1~200
- Scheidegger A E. *Principles of geodynamics*. Berlin: Springer, 1982. 1~395
- Wilson J T. A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 1965, 207: 343~347
- McKenzie D, Parker R L. The north Pacific: An example of tectonics on a sphere. *Nature*, 1967, 216: 1276~1280
- Morgan W J. Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. *Journal of Geophysical Research*, 1968, 98: 8275~8291
- 张伯声, 王 战. 中国的镶嵌构造与地壳波浪运动. *西北大学学报*, 1974, 4(1): 1~11
- 张伯声. 中国地壳的波浪状镶嵌构造. 北京: 科学出版社, 1980. 1~90
- 张伯声. 地壳波浪与镶嵌构造研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982. 1~163
- 徐道一, 杨正宗, 张勤文, 等. *天文地质学概论*. 北京: 地质出版社, 1983. 1~284
- 张一伟. 山东西部箕状凹陷形成的探讨——初论地壳波状运动. *石油学报*, 1983, 4(4): 19~25
- 李京昌, 金之钧, 刘国臣, 等. 100 Ma——塔里木盆地演化的重要周期. *地学前缘*, 1997, 4(3-4): 312~317
- Cooper M R. Tectonic cycles in South Africa: *Earth-Science Reviews*. 1990, 28: 321~364[DOI]
- 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*, 1994, 18(6): 1~7
- 金之钧, 张一伟, 刘国臣, 等. 沉积盆地物理分析——波动分析. *地质论评*, 1996, 42(增刊): 170~179
- 史晓颖. 35 Ma——地质历史上一个重要的自然周期: 自然灾害的概念及其原因. *地球科学-中国地质大学学报*, 1996, 21(3): 235~242
- 马宗晋, 莫宣学. 地球节律的时空意义及其动力学. *地学前缘*, 1997, 4(4): 211~221
- 王鸿祯. 地球的节律与大陆动力学的思考. *地学前缘*, 1997, 4(3): 1~12
- 张一伟, 李京昌, 金之钧, 等. 中国含油气盆地波状运动特征研究. *地学前缘*, 1997, 4(3-4): 305~310
- DeCelles P G, DeCelles P C. Rates of shortening, propagation, underthrusting, and flexural wave migration in continental orogenic systems. *Geology*, 2001, 29(2): 135~137[DOI]
- 邱楠生, 金之钧, 李京昌. 塔里木盆地热演化分析中热史波动模型的初探. *地球物理学报*, 2002, 45(3): 398~406
- 金之钧, 李有柱, 李明宅, 等. *油气聚集成藏理论*. 北京: 石油工业出版社, 2000. 1~71
- Vail P R, Mitchum R M Jr, Todd J M, et al. Seismic Stratigraphy and global changes in sea-level. In: Payton C E, ed. *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration*. Mem Am Assoc Geol, 1977, 26: 49~212
- 朱筱民. *层序地层学*. 山东: 石油大学出版社, 2000. 1~38
- Beaumont C, Quinlan G M, Hamilton J. Orogeny and stratigraphy: Numerical models of the paleozoic in the Eastern Interior of North America. *Tectonics*, 1988(3): 389~416
- Kooi H, Beaumont C. Escarpment evolution on high-elevation rifted margins: Insights derived from a surface process model that combines diffusion, advection, and reaction. *Journal of Geophysics Research*, 1994, 99: 12191~12209[DOI]
- 徐怀大, 樊太亮, 韩革华, 等. *新疆塔里木盆地层序地层特征*. 北京: 地质出版社, 1997. 166~191
- 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等. *塔里木盆地油气勘探丛书—盆地构造演化与区域构造地质*. 北京: 石油工业出版社, 1995. 1~70
- 汤良杰. *塔里木盆地演化和构造样式*. 北京: 地质出版社, 1996. 1~40