

塔里木盆地沉积剥蚀过程与油气关系

李京昌 金之钧

(石油大学 北京 100083)

提 要 塔里木盆地典型井的周期分析表明,塔里木盆地在其地质历史时期 100 Ma 左右的周期是很明显的,自寒武纪以来共经历了 4 个完整的周期,每一完整周期都由正相位和负相位两个半周期所组成。而第三纪为第 5 个周期的正相位阶段。该周期控制了盆地内的沉积与剥蚀的过程及成藏旋回。对沉积与剥蚀过程的控制作用表现在周期波正相位和负相位分别对应于沉积期和剥蚀期,这在地质年代序列中表现为沉积与间断的互为消长的演化进程。对含油气系统的控制作用表现在:第 1 个周期波构成以早古生代地层为主体的含油气系统,第 2 个周期波至第 4 个周期波构成以晚古生代至中生代地层为主体的含油气系统,第 5 个周期的正相位阶段构成以第三纪地层为主体的含油气系统。

关键词 年代格架 周期 沉积速度 滑动窗口 成藏旋回

第一作者简介 李京昌 男 32 岁 讲师 构造地质学

1 引言

塔里木盆地是我国最大的沉积盆地(图 1),盆地沉积岩最大残余厚度 16 000 余米,累积最大沉积厚度 25 000 余米,残余沉积岩体积 400 多万平方公里,沉积体系包括震旦系至下二叠统海相—海陆交互相和上二叠统至第四系陆相沉积两套沉积岩系。如果我们将塔里木盆地沉积层序放到地质年代框架之中(图 2)就会发现寒武纪以来塔里木盆地的地层仅仅是地质历史的二分之一的记录,地质历史的另二分之一是沉积间断的时间。塔中 4 井—草 1 井剖面是塔里木盆地的主干剖面(图 1),因此,我们所得到的这一点认识是塔里木盆地的共同特征。进一步分析这一剖面,可见自寒武纪到现在,沉积层的分布在时间序列上是一种交替式关系,这一交替式消长的周期是本文要探讨的重要内容。

2 分解周期

地质上的“旋回性”、“韵律性”、“周期性”、“等距性”、“脉动性”都是地质体波状运动的表现形式。早在本世纪初至 70 年代,葛利普、白默伦、乌索夫、哈菌等著名的地质学家,或是从地球的收缩膨胀,或是从深部的岩浆活动等观点论述地壳运动的波动性。

在国内张伯声教授^[1]也提出了“波浪镶嵌构造”的观点。但是由于地质历史的长期性(多期性)、波动的多样性,形成今天十分复杂的构造面貌,造成了我们对地壳波状运动认识的困难。如何分析和恢复地质波动过程的多期性、干涉性是解决这一问题的关键。

前苏联学者 ШИЛВМАН^[2], МЯСНИКОВА^[3]在对西西伯利亚盆地沉积速度研究时认为,沉积速度的变化受不同的周期波控制,几种严格周期过程的叠加(干涉)将产生不严格的周期现象,也就是说,我们所获得的随时间变化的沉积速度曲线是由若干个有一定周期和振幅的波动过程叠加的结果。在此基础上,形成了沉积盆地沉降分析的新方法——波动分析方法。这一方法借鉴了物理学中波的概念,认为地质领域里的波动过程是指地应力、质点运动、质点状态在地质时间和空间中有规律地转移、扩散过程。同样它也有着周期(T)、波长(λ)、振幅(A)和初始相位(t_0),这可以用正弦曲线方程来表达:

$$W = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} - t_0\right)$$

如何从沉积速度曲线中找到这一周期波,是该方法重点解决的问题,这里应用了滑动平均的办法对沉积速率直方图进行处理。

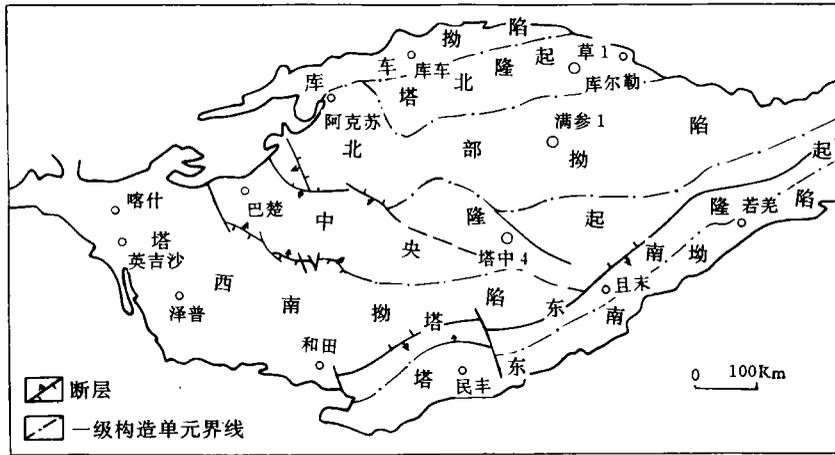


图1 塔里木盆地构造单元划分与井位分布

Fig. 1 Tectonic unit division and well locations in Tarim Basin

2.1 塔中4井、满参1井、草1井年代的标定

通过生物组合、磁性地层等地层年代信息的综合分析以及与国际地质年代表的对比,笔者对塔中4井-草1井剖面做了年代标定(图2)。塔中4井钻遇的最老地层为下奥陶统上丘里塔格群,满参1井钻遇的最老地层为下志留统塔塔埃尔塔格组,草1井钻遇的最老地层为中上奥陶统柯坪塔格组。从这条联井剖面上可以看出,中上志留统及泥盆系的绝大部分都缺失;上泥盆统与石炭系之间为连续沉积;石炭系与二叠系之间又有较长时间的沉积间断;二叠系与三叠系的接触关系在不同的井表现不一样,在塔中4井为连续沉积,而在满参1井则有一定的沉积间断,草1井的二叠系全部缺失;上三叠统及侏罗系在塔中4井及满参1井全部缺失,仅在草1井钻遇侏罗系;白垩系在连井剖面上均有分布,且与上下地层均有较大的沉积间断;下第三系内部地层的苏维依组(E_{3s})与库姆格列木群(E_{1-2k})之间也有一定量的缺失;其上地层为连续沉积。

2.2 残余地层原始厚度的恢复方法

塔里木盆地第三纪以来的地层用连续压实模型计算地层原始厚度是可行的,而对第三纪沉积前的地层,由于其间沉积间断较多,我们通过收集实测孔隙度进行恢复。

连续压实剖面模型为:

$$\varphi_i(h) = (\varphi_0 - \varphi_1)e^{-kh} + \varphi_1$$

其中: φ_i 为某一深度处的孔隙度(%), h 为地层埋

深(m), k 为压实系数, φ_0 为地表孔隙度, φ_1 为压实极限孔隙度。

根据全区六口探井(C1、SK1、XC1、LN15、MC1、TZ4)声波测井资料,研究层速度与总孔隙度的关系,最后确定出用于原始厚度恢复的具体参数:

$$\text{砂岩 } \varphi_0 = 45 \quad \varphi_1 = 8 \quad k = -0.85 \times 10^{-3}$$

$$\text{泥岩 } \varphi_0 = 55 \quad \varphi_1 = 9 \quad k = -0.58 \times 10^{-3}$$

原始厚度(h)的计算公式为:

$$h = h_i \frac{(1 - \varphi_i)}{(1 - \varphi_0)}$$

其中: φ_i 为某一地层现埋深处平均总孔隙度, φ_0 为地表孔隙度, h_i 为现今地层观测厚度。

由此我们可以分别对砂岩和泥岩进行恢复,在具体恢复某一层位残余层原始厚度时,有四种情况应分别对待:

(1)当某一组、段的整个岩层为薄泥岩层与薄砂岩层互层或砂岩、泥岩以夹层形式出现时,应分为两种情况:①该组、段的总厚度小于300 m时,则计算所采用的埋藏深度取该组、段厚度的中央位置所处的深度,泥岩、砂岩的观察厚度分别按泥岩、砂岩的百分含量取值,如总厚度为100 m,泥岩含量为60%,则泥岩厚60 m,砂岩厚40 m。②该组、段的总厚度大于300 m时,就要将其划分开,然后按①的方法恢复原始厚度。

(2)如果某一组、段内部岩性差别较大或泥岩及砂岩各自的单层厚度较大,则要将其划分为若干

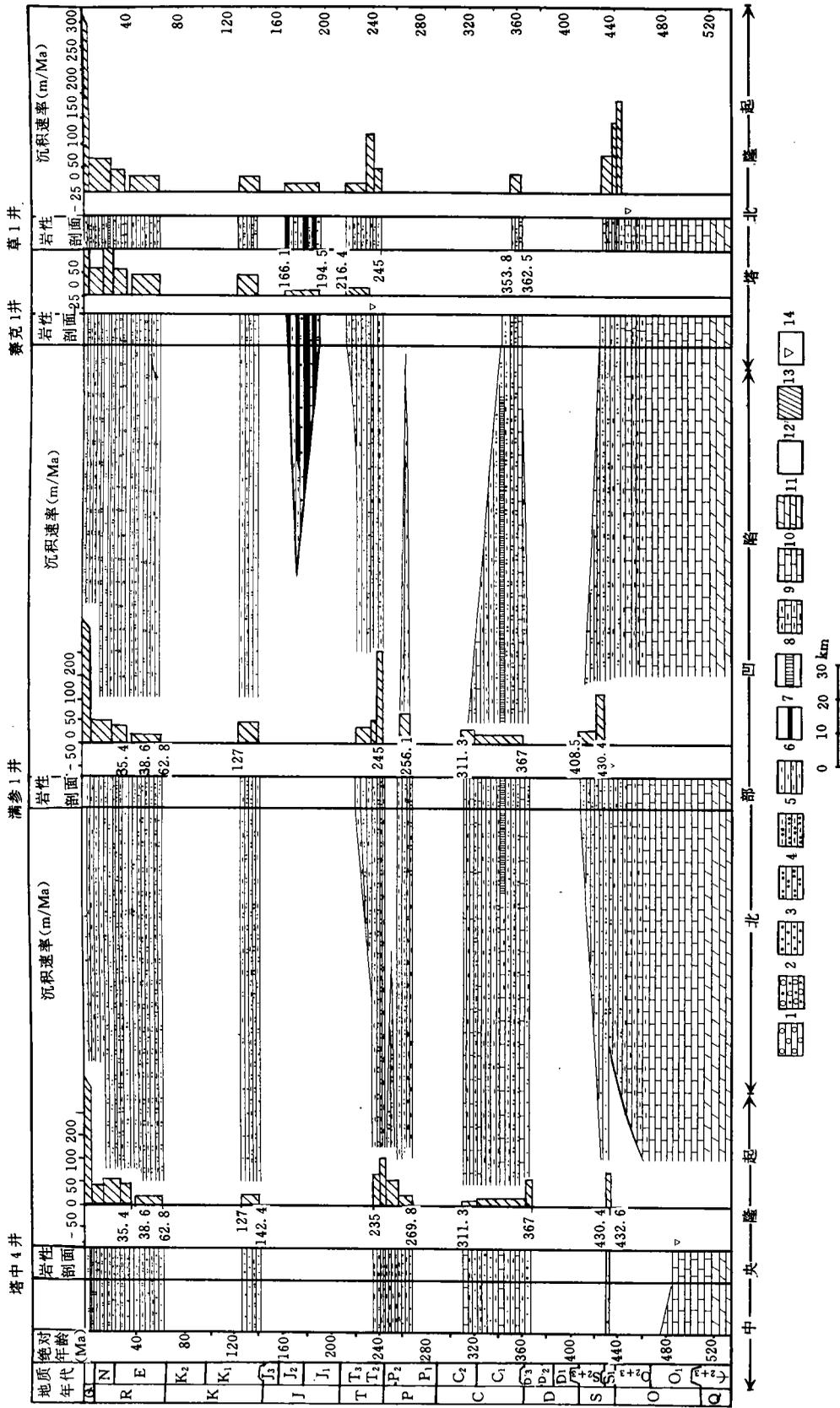


图2 塔中4井—草1井联井地层对比

1. 砾岩; 2. 砂砾岩; 3. 砂岩; 4. 粉砂岩; 5. 粉砂质泥岩; 6. 泥岩; 7. 煤层

8. 石膏; 9. 泥灰岩; 10. 灰岩; 11. 白云岩; 12. 地层缺失; 13. 沉积速率直方图; 14. 完井位置

Fig. 2 Chronostratigraphic correlation between Tazhong 4 and Chao 1 Wells of Tarim Basin

层,分别恢复其原始厚度。这时对泥岩含量的统计也应分层进行,各层原始厚度的计算方法同(1)。

(3)对灰岩、膏盐层不需进行原始厚度恢复,因为这类岩性成岩过程较快。

(4)火成岩的厚度应扣除,因为它不代表沉积过程。

2.3 滤波处理

将各组、段的原始厚度除以各组、段的沉积时间,可以获得各组、段沉积速率,以横坐标作为沉积速率、纵坐标作为时间,便可绘制出各组、段的沉积速率直方图。但仅仅从沉积速率直方图上观察不出有规律的波动特征,为此,必须对沉积速率直方图进行数学处理,这里我们应用滑动平均的办法,即设定一个滑动窗口,对窗口内不同组、段的沉积速率取平均值,并将这一平均值记录在窗口中央所对应的位置上,现以满参1井为例说明这一过程(图3)。

先用140 Ma的滑动窗口滑动,在滑动的时候从时间坐标的零点开始,每次移动10 Ma,这样就得到一系列沉积速率平均值的点,将这些点进行三次样条插值圆滑处理后,就得到曲线G(低频),无疑这条曲线消除了周期小于该窗口尺寸的波。改变窗口尺寸为40 Ma继续滑动,又可以得到另一条曲线N(高频),从图3可见,这时所做出的两条曲线之差

的曲线n为分解出来的严格周期波,其周期为100 Ma左右,初始相位为215 Ma,振幅现暂设为 A_n ,则波的表达式为: $n = A_n \sin \frac{2\pi}{100}(t - 215)$

如果所做出的两条曲线之差不存在周期波,则变换滑动窗口的尺寸,直至找到这样一个周期波为止,而对于 A_n 则可以用二元回归的方法求出,本文暂不做介绍。

分别对草1井、塔中4井用140 Ma和50 Ma滑动窗口滑动同样可以找到100 Ma左右的周期波。

3 沉积剥蚀过程时空分布规律

从图3中可以看出,由于滑动窗口本身以及钻井深度的限制,可以分解出的周期波大约在70 Ma至370 Ma区间内(图3中n波实线),在这一区间内,周期为100 Ma左右是很明显的,利用这一周期向外分别延伸到0~70 Ma和370~500 Ma两个区间内(图3中n波虚线),可见在0~500 Ma区间内共有4个完整的周期和第三纪半个周期,每一完整周期都由正相位和负相位两个半周期所组成,并分别与沉积期与剥蚀期相对应。以下分述其对应于盆地的九个演化阶段。

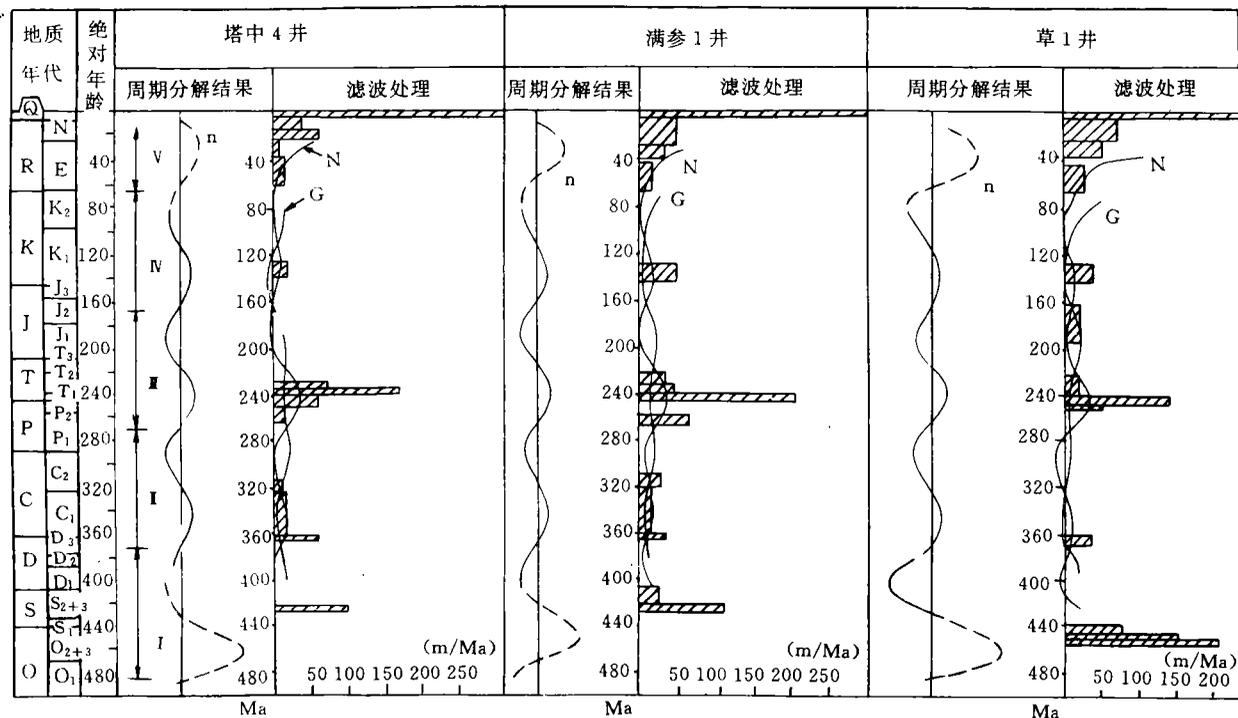


图3 塔里木盆地典型井构造运动的周期性分析

Fig. 3 Periodic analysis of the tectonism in typical wells of Tarim Basin

3.1 寒武纪—早奥陶世(沉积期)

这时寒武纪—早奥陶世盆内主要存在满加尔、阿瓦提、塘古孜巴斯三个拗陷和轮南—英买力、塔中、塔西南三个隆起。其中满加尔为一深拗陷,接受欠补偿深海一次深海盆地相沉积。为这一时期的沉积中心,沉积速率平均大于100 m/Ma。而阿瓦提与塘古孜巴斯为浅拗陷。塔北和塔中广泛发育台地相碳酸盐岩建造。整个塔里木盆地的基本构造格局明显表明了东深西浅的特征,三个隆起则具有低隆的基本特征(即长期潜入水面以下)。

3.2 中奥陶世—晚泥盆世早期(剥蚀期)

在塔中和塔北表现最为明显,反映为强烈的上升隆起、块断活动和剥蚀作用,塔中低隆定型,塔北隆起进一步抬升,晚泥盆世晚期东河塘组角度不整合于下伏不同时代地层之上,并导致盆地沉积中心由满加尔往西迁移至西南地区。

3.3 晚泥盆世晚期—晚石炭世早期(沉积期)

石炭纪地层沉积时,其沉积中心与早古生代相比发生了本质的差异,由东深西浅的基本格局转变为西深东浅。这一时期盆内主要存在塔西南,阿瓦提、满加尔三个拗陷和塔东南、塔北、巴楚三个隆起,其中巴楚为一低隆,沉积中心位于塔西南拗陷。总的来说,该阶段沉积速率较低(20~40 m/Ma)。

3.4 晚石炭世晚期—早二叠世早期(剥蚀期)

在塔北隆起表现明显,地壳抬升,遭受剥蚀,并伴有强烈的断裂、褶皱作用和岩浆活动。经过志留纪末到中泥盆世的构造运动,改变了下古生代基本的构造格局。

3.5 晚二叠世—晚三叠纪早期(沉积期)

三叠纪地层沉积时已完全改变了古生代的构造面貌,真正转入了内陆盆地演化阶段,基本构造格局除了东西向差异继续存在以外,南北向差异的特征亦很明显。这一时期的沉积中心位于库车,沉积表现出北深南浅的基本特征。盆内主要存在库车、塔里木中部两个拗陷,塔北北部隆起和塔西南隆起。早中三叠世时沉积速率较大(草湖1井沉积速率130 m/Ma以上,塔中可达200 m/Ma以上),这可能是二叠纪时期的火山活动,使古地温梯度增高后在三叠纪冷却收缩沉降,增大了容纳空间所致。

3.6 侏罗纪(剥蚀期)

盆地大部分地区隆起剥蚀使侏罗系地层退缩到塔西南和塔北等局部地区,并使塔里木盆地出现了准平原化的构造面貌。

3.7 早白垩世(沉积期)

这一时期,在沉积区内可见许多受正断层控制的沉积体,说明其沉降机制并非由于边界断裂强烈逆冲的挤压体制下的挠曲变形,而是沿断裂的伸展陷形成的。这一时期反映出内陆盆地由小向大的扩展发育,沉积中心多元化,反映出盆地具分割性的特征,这一时期盆内主要存在塔东北、库车、塔南三个拗陷和塔西、塔北北部两个隆起。

3.8 晚白垩世(剥蚀期)

塔里木盆地大面积缺失上白垩统,表现为老第三系不整合于下伏中生界之上,这在盆地中西部表现极为明显。

3.9 第三纪—现今(沉积期)

形成了塔里木统一的内陆盆地。天山和昆仑山强烈挤压缩短,大幅度隆升,并向塔里木盆地逆冲推覆,在盆缘形成前陆褶皱-冲断带。盆地强烈沉陷,发育厚达10 000 m以上的陆相碎屑岩,沉积速率高达350 m/Ma。整个塔里木盆地表现出南北两侧沉积厚度大而中部浅的基本特征,盆内主要可划分为北部、塔西南、民丰-且末三个拗陷和巴楚、塔东南两个隆起”。

4 沉积剥蚀过程与油气分布规律

上述分析表明,在漫长的地质历史时期,塔里木盆地经历过多期沉降与隆升剥蚀的转换过程,相应地对烃源岩的生排烃史及油气藏形成演化都具有十分重要的影响,因此从沉降与隆升过程来探讨油气藏形成破坏与其分布规律是很有必要的。塔里木盆地从寒武纪到现今在时间尺度上可划分为三个含油气系统:第一个周期波构成以早古生代地层为主体的含油气系统;第二个周期波至第四个周期波构成以晚古生代至中生代地层为主体的含油气系统;第五个周期的正相位阶段构成以新生代地层为主体的含油气系统。

第一个含油气系统具有快速沉积、快速成藏及自生自储的特点。寒武至奥陶系生油岩在志留纪时广大地区都已经进入生油门限,满加尔地区已进入高成熟阶段,这些油气在志留系及其以下地层的有利部位中聚集成藏。满加尔南、北西斜坡及塔中、塔北古隆起是该成藏期的有利聚集带,是寻找该含油气系统原生油气藏的有利地区。泥盆纪中晚期的早海西运动使塔中、塔北进一步隆升遭受剥蚀,剥蚀量大,使塔北、塔中、塔东部分原生油气藏受到破坏(如

哈1井志留系的沥青砂以及塔中地区广泛分布的志留系沥青砂岩,便是这一期破坏作用留下的产物)。该剥蚀面裸露出来的 ϵ 、 O_1 、 O_{2+3} 碳酸盐岩经过风化淋滤作用,储层性能明显变好,为后期潜山油气藏的形成创造了有利条件。

第二个含油气系统具有下生上储的特点,即奥陶系生油岩二次生烃在东河砂岩及其上部的有利部位聚集成藏,从我们现在发现的东河砂岩层位的油气藏分布规律来看,有的位于东河砂岩与奥陶系或薄层志留系、泥盆系直接接触的部位,也有的位于断裂将奥陶系与东河砂岩连通的地区。当然二次生烃必须满足两个条件:第一奥陶系生油岩有一定的生烃潜力,第二生油岩受热温度达到或高于剥蚀前最大受热温度。

第三个含油气系统的突出特点是晚第三纪以来沉积速率加快,最大沉积速率大于 300 m/Ma ,这一过程为 D_3 — J 含油气系统生油岩的成熟及 ϵ — S 含油气系统生油岩的三次成烃创造了有利条件。因此油气来源既有盆地内第三次排烃高峰期提供的油气,同时也有早期形成的油气藏在调整过程中,沿断层向上运移的油气。这一阶段实际是新油气藏形成与部分前期油气藏调整的过程。所以该旋回成藏特征有:多油气源、多期形成的圈闭、多层位成藏、成藏期短、保存条件好、成藏有效性高,现今发现的油气

储量中属该期成藏的比例很高。是塔里木盆地的一次重要成藏期。

6 结论

塔里木盆地内部为周期性拗陷—隆起盆地,其拗陷—隆起的周期为 100 Ma 左右。在地质历史时期塔里木盆地的沉积并不是经久不衰的,它受地壳波动的控制。地壳波动的结果使地壳既不会处于永远的沉降状态,也不会处于永远的抬升状态,而是沉降与抬升的交替。当半周期处于正相位时与盆地的沉积阶段对应,当半周期处于负相位时盆地以抬升剥蚀为主。这两个半周期构成了一个完整的拗陷旋回,塔里木盆地自寒武纪—早奥陶世以来共完成了四个拗陷旋回,第三纪为第五个周期的正相位阶段的沉积期。地壳的抬升造成早期原生油气藏破坏,但后期的沉降为早期烃源岩的二次乃至三次生烃创造了条件,从这一点来看塔里木盆地是一个极具生烃潜力的含油气盆地。

参 考 文 献

- 1 张伯声. 地壳波浪状运动——形成镶嵌构造的主要因素. 张伯声论文集, 西安, 陕西科学技术出版社, 1962. 103~109
- 2 Шильман В И. Количественный прогноз нефтегазоносности. М., Недра, 1982. 42~66
- 3 Мясникова Г П. Динамика развития осадочных бассейнов. как основа оценки их нефтегазоносности. Автореферат докторской диссертации, М. 1991. 1~10

Relationship between the Oil-Gas and Process of Deposition-Erosion in Tarim Basin

Li Jingchang Jin Zhijun
(University of Petroleum, Beijing 100083)

Abstract

Based on the periodic analysis for the typical wells of Tarim Basin with the method of wave analysis, the period of 100 Ma was obviously seen. Since Cambrian, there are four complete periods and each of them is composed of two half-periods of positive phase and negative phase. Tertiary is the positive phase of the fifth period. All of the processes of deposition and erosion, and entrapment cycles are controlled by the 100 Ma period. The controlling effects of the period for the process of deposition and erosion are confirmed by that the positive and negative phases are corresponding to the depositional and erosional ages, respectively. The controlling effects of the period for petroleum system are known by that the petroleum system of the Early Paleozoic is made up of the first periodic wave, the petroleum systems from the Late Paleozoic to the Mesozoic consisted of the second to fourth periodic waves, and the petroleum system of Cenozoic is made up of the positive phase of the fifth period.

Key Words chronological framework . period sedimentation rate slipping window entrapment cycle