

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

## 塔里木地区早古生代海平面波动特征： 来自地球化学及岩溶的证据

鲍志东<sup>1)</sup>，金之钧<sup>1)</sup>，孙龙德<sup>2)</sup>，王招明<sup>2)</sup>，王清华<sup>2)</sup>，张清海<sup>1)</sup>，时晓章<sup>1)</sup>，  
李伟<sup>1)</sup>，吴茂炳<sup>1)</sup>，顾乔元<sup>2)</sup>，武新民<sup>1)</sup>，张宏伟<sup>1)</sup>

1) 中国石油大学，北京，102200； 2) 中国石油塔里木油田分公司，新疆库尔勒，841000

**内容提要：**下古生界是塔里木盆地内最有潜力找到大油气田的层位。通过盆地内48口钻至下古生界钻井的沉积层序与沉积相分析、9800km地震剖面的地震相分析、大量Sr、C同位素及微量元素分析，并结合相关资料，开展了寒武纪—奥陶纪的以世或期为单位的岩相古地理研究，定性探讨海平面变迁。在此基础上，运用沉积地球化学定量探讨海平面的波动。分析表明，早古生代塔里木地区经历了两次大规模的海侵与海退过程，寒武纪和奥陶纪各经历了一次。每个海侵与海退过程内各包含了两个较高频的海平面升降旋回，即早寒武世早期海侵—早寒武世中期至中寒武世晚期海退、中寒武世末期海侵—晚寒武世晚期海退、早奥陶世早期至中奥陶世中期海侵—中奥陶世晚期海退、晚奥陶世早期海侵—晚奥陶世中至晚期海退。在上述2次大规模的海侵与海退以及4个较高频的海平面升降旋回中，两次大的海侵分别发育于早寒武世早期以及晚奥陶世早中期，三次较大的海退出现于中寒武世晚期、晚寒武世末期、晚奥陶世早期。岩溶在地层格架中的发育支持了上述结论。

**关键词：**海平面波动；沉积地球化学；岩溶；塔里木盆地；早古生代

塔里木盆地是我国西部最重要的含油气盆地之一，下古生界是盆地内最有潜力找到大油气田的层位。恢复塔里木地区早古生代海平面波动，对于预测盆地内有利生储盖层展布及原生油气藏勘探具有重要意义。

塔里木盆地下古生界发育了寒武系的下统、中统、上统和奥陶系的下统红花园阶、两河口阶、中统的牯牛潭阶、大湾阶以及上统的庙坡阶、宝塔阶、五峰阶、临湘阶。本次研究工作分别以早寒武世、中寒武世、晚寒武世、早奥陶世的红花园阶—两河口阶、中奥陶世的牯牛潭阶—大湾阶、晚奥陶世的庙坡阶、宝塔阶、五峰阶—临湘阶为单位开展岩相古地理及沉积地球化学分析，构建上述期间的海平面波动曲线。

海平面波动的重建是沉积学及石油地质学中研究的热点也是难点之一，因其涉及诸多的基础地质理论问题，目前尚处于探索阶段。岩相古地理研究是定性探讨海平面变迁的重要手段。近年新兴的层序地球化学研究表明，每个旋回形成的沉积层序均具

有特定的沉积地球化学样式(Richter et al., 1992; Montanez et al., 1996; Ruppel et al., 1996; 鲍志东等, 1998; Bao et al., 1998)。相应地，沉积地球化学样式中寓含了海平面的波动格式。通过塔里木盆地48口钻至下古生界钻井的沉积层序与沉积分析、9800km地震剖面的地震相分析、72块Sr同位素样品及55块C同位素样品分析、65块微量元素样品分析并结合盆地周边的露头资料和区域地质与石油地质资料，开展了塔里木地区早古生代沉积相古地理及海平面波动研究，重构了塔里木地区早古生代的海平面波动史。研究中的锶同位素分析由中国科学院地质研究所陈锦石教授协助完成，微量元素分析由中国石油勘探开发研究院分析测试中心完成。

### 1 塔里木盆地早古生代古地理特征

#### 1.1 塔里木盆地早古生代构造古地理演化

早古生代塔里木区域构造主要经历了三个演化阶段，即寒武纪至中奥陶世大湾期和牯牛潭期的整体拉张阶段、晚奥陶世庙坡期至五峰期的北昆仑洋

注：本文为国家“973”重点基础研究发展规划项目(编号G19990433)资助的成果。

收稿日期：2005-11-14；改回日期：2005-12-15；责任编辑：周健。

作者简介：鲍志东，男，1964年生，博士，教授。主要从事沉积学及油气形成与分布的研究。通讯地址：102200，北京昌平区，中国石油大学资源与信息学院；电话：010-89733312；Email:baozhd@cup.edu.cn。

俯冲阶段和晚奥陶世五峰期末至志留纪的北昆仑洋闭合阶段(关士聪,1984;邓万明,1995;姜春发等,2000),其整个演化过程参见图1。

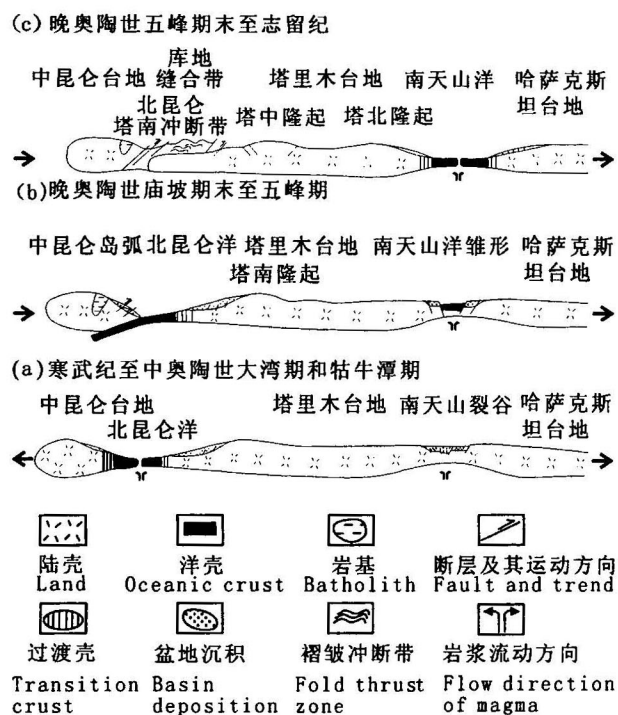


图1 塔里木盆地早古生代构造演化史  
Fig.1 Tectonic evolution of Tarim area during Early Paleozoic

(1)整体拉张阶段(图1a):在塔里木地区南部,从震旦纪开始,中昆仑地体就逐渐从塔里木地块南缘分离,并在北昆仑地区形成裂谷;至寒武纪至中奥陶世大湾期和牯牛潭期,北昆仑地区由裂谷进一步演化成为北昆仑洋;塔里木南部坎地里克等地古陆的存在,与裂谷期的裂谷肩部均衡翘升有关。在塔里木地块内部,沉积环境稳定,形成了巨厚的海相碳酸盐岩。因海水整体较浅,寒武系主要沉积准同生白云岩和膏盐岩。在塔里木北部的南天山地区,寒武纪至中奥陶世大湾期和牯牛潭期形成南天山裂谷。

(2)北昆仑洋俯冲阶段(图1b):在晚奥陶世庙坡期至五峰期,区域构造环境发生了重大转变,即中奥陶世大湾期和牯牛潭期的拉张环境开始向挤压环境转变。北昆仑洋壳向中昆仑地体之下俯冲消减,造成塔里木地块的南部和中部发生不同程度的挤压抬升和断裂,形成了塔南隆起和塔中-巴楚隆起的雏形。在晚奥陶世庙坡期至五峰期,塔里木北部的南天山裂谷进一步发育,形成了南天山洋的雏形。

(3)北昆仑洋闭合阶段(图1c):在晚奥陶世五

峰期末期,北昆仑洋闭合,中昆仑地体与塔里木地块南缘发生碰撞,形成以库地-苏巴什蛇绿岩为标志的缝合带。此次闭合造山,在西昆仑台地北缘和塔里木地块南缘形成新的剥蚀区,寒武系和奥陶系均遭受不同程度的剥蚀。在塔里木地块内部,挤压抬升作用和断裂作用不断加剧,原先形成的塔南隆起和塔中-巴楚隆起进一步成型,并遭受剥蚀。同时,区域性的挤压作用还波及塔北地区,形成塔北隆起的雏形。在晚奥陶世五峰期末至志留纪,塔里木地区北部的南天山洋开始形成。

## 1.2 塔里木盆地早古生代岩相古地理演化

在早寒武世,塔里木地区古地理格局具以下特征:①塔里木地区西北部主要为海,南部和东南部主要为陆。海域广阔,陆零星分布于海域。②在海中,台盆相间分布,狭长的南天山-塔东盆地把大面积的塔里木台地和中天山台地分割开;盆地属欠补偿盆地;塔里木台地为碳酸盐岩台地。本期海侵特征明显。

塔里木地区中寒武世古地理格局与早寒武世类似,以台地为主,与台盆近南北相间分布,台和盆的性质变化也不大,但海水总体变浅。至晚寒武世,塔里木碳酸盐岩台地内和4井区膏岩泻湖被较深水局限台地替代。即晚寒武世盆地的水体变得更深更滞留,台地经历了一次中等规模的海侵。

至早奥陶世两河口期-红花园期:古地理格局变化较大,陆地消失,海域面积和盆地面积增大,且滩极为发育,表明有了大的海侵出现。

中奥陶世大湾期-牯牛潭期:碳酸盐岩台地只有滩,没有坪。南天山-塔东盆地进一步扩大,塔东地区仍为欠补偿的深水滞留盆地,南天山盆地则由原来的欠补偿的滞留盆地转为复理石沉积盆地。海平面经历了高水位向低水位的演替。

晚奥陶世庙坡期,塔里木主要为开阔台地沉积,颗粒滩不发育。南天山盆地范围缩小;除南天山-塔东盆地外,西昆仑海大规模发育。塔里木地区早古生代出现第二次较大规模的海侵;宝塔期主要为开阔台地沉积,且亮晶颗粒滩很发育。在塔里木东南部发育碎屑台地沉积;至临湘期-五峰期:原塔里木碳酸盐岩台地全部演化为碎屑岩台地(顾家裕,1996;Bao Zhidong, 1998;冯增昭等,2003,2005;于炳松等,2005)。

综观塔里木地区早古生代各期构造与古地理演化史,可以看出:早寒武世早期出现较大规模的海侵,随后是较长时间的海退,至晚寒武世又经历了一

次中等规模的海侵;早奥陶世两河口期和红花园期再度海侵,至中奥陶世中期最盛;中奥陶世牯牛潭期末的区域性构造运动使海侵作用受到了一定限制,到晚奥陶世庙坡期至五峰期海水再度加深随后出现较高海平面。晚奥陶世五峰期末则发生海退。总体上,塔里木地区早古生代经历了两次大型的海侵—海退过程。

## 2 海平面波动的沉积地球化学响应

海水及海相碳酸盐沉积物中的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值受控于锶的主要来源。其中 $^{87}\text{Sr}$ 主要来自海相碳酸盐岩、地壳及上地幔岩石的风化作用, $^{86}\text{Sr}$ 则主要来自海底扩张和岩浆作用。由于进入海洋中的锶元素在瞬间即可达到浓度均衡,所以锶同位素在海洋中的分布是均匀的,并且以 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值等于或近于0.7090为特征。在不同地质历史时期,风化作用的类型及岩浆作用的类型均有所变化,从而造成海洋及其沉积物中的Sr同位素组成的变化。海洋中锶同位素 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,基本上是大陆表面和海洋盆地中暴露于化学风化作用之下的各种岩石及其表面积的综合反映,其比值变化与海平面升降呈负相关。

海相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化是由两个碳储库,即氧化碳储库和还原碳储库相对比例变化引起的。氧化碳储库主要是碳酸盐岩沉积物,以富 $^{13}\text{C}$ 为特征。还原碳储库主要是含细分散沉积有机质的页岩。海平面的升降控制着氧化碳和还原碳的转化。在海平面上升期,生物有机碳的埋藏量增加,而古陆氧化面积减少,因剥蚀而带入海洋的有机碳显著减少,这样溶于海水中的二氧化碳富 $^{13}\text{C}$ ,此时与海水相平衡的碳酸盐也富 $^{13}\text{C}$ ,即 $\delta^{13}\text{C}$ 值增高;反之,在海平面下降期,大陆面积增大,由于氧化剥蚀进入海洋的有机碳的数量增加,加之还有其中的生物作用减弱,这样海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。因此,碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化与古水深变化呈正相关。

在上述沉积相研究基础上,本次工作将锶同位素法引入塔里木地区早古生代海平面波动分析,并辅以碳同位素及微量元素分析进行校验。

### 2.1 塔北地区早古生代海平面波动地球化学

从塔北牙哈5井下一中寒武统取10个样品进行锶同位素分析,探讨塔北地区早、中寒武世的海平面变化。样品从中寒武统取样8块,下寒武统下泥粉晶藻白云岩顶部和底部各取样1块,采样深度5800~6126.2m。样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 最大值为0.7148,最小值为0.7092,平均值为0.7120。样品分析表明(图2),

在塔北牙哈地区早寒武世晚期,海平面逐渐下降,水体变浅;中寒武世海平面又逐渐上升,到泥晶白云岩段沉积时期,水体相对较深。中寒武世晚期,海平面降低,水体又逐渐变浅。本次样品的锶同位素比值比正常海水环境沉积的碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值大,说明了早寒武世末期到中寒武世,塔北牙哈地区的海平面总体相对较低。

为了通过碳同位素探讨奥陶纪的海平面波动,在英买201井和英买3井中分别取样29个和8个进行 $\delta^{13}\text{C}$ 分析,参见图3。英买201井的碳同位素样品主要分布于鹰山组至吐木休克组的底部,采样深度5838~6107.86m。样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 最大值为1.12‰,最小值为-1.28‰,平均值为-0.604‰。英买3井的碳同位素样品主要分布于鹰山组顶部至吐木休克组底部,采样深度从6235.7~6388.85m。样品 $\delta^{13}\text{C}$ 最大值为2.32‰,最小值为-0.8‰,平均值为0.66‰。分析表明,在早中奥陶世和中奥陶世塔北海平面逐渐上升;中奥陶世晚期出现一次突然的海平面下降,此后海平面又逐渐上升。

### 2.2 塔中地区早古生代海平面波动地球化学

对塔中地区塔中12、塔中29、塔中30和巴东2等四口井奥陶系碳酸盐岩取样50件进行 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分析。这几口井的所有碳酸盐岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 均在0.706~0.710之间,属于正常范围。50件样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 平均值0.7082。以0.7082为塔中奥陶纪平均海平面标准值,超过此值反映海平面降低,低于此值反映海平面上升。

中奥陶统宝塔阶下部的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化范围较大,平均值为0.7081,说明海平面变化幅度大且较早奥陶世两河口期—红花园期晚期有明显上升。宝塔阶上部 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值比较稳定,多介于0.7080~0.7082之间,说明海平面持续上升。两河口阶—红花园阶下部的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值波动较大,显示期间海平面升降较为频繁。两河口阶—红花园阶上部 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值较为稳定,除一件样品,其余值均大于0.7082,说明此时海平面水位较低。

塔中12井微量元素地球化学分析表明,地层由下往上,Mn、V、Cr含量总体呈增加趋势。在两河口阶—红花园阶元素含量较低;在中上奥陶统元素含量从下到上明显增高。这些表明早奥陶世两河口期—红花园期古水深较浅,海平面波动频繁。中晚奥陶世早期古水深明显加大,海平面迅速上升(图4)。

塔北牙哈—英买力及轮南地区和塔中地区早古生代海平面变化具显著可比性。早奥陶世海平面先

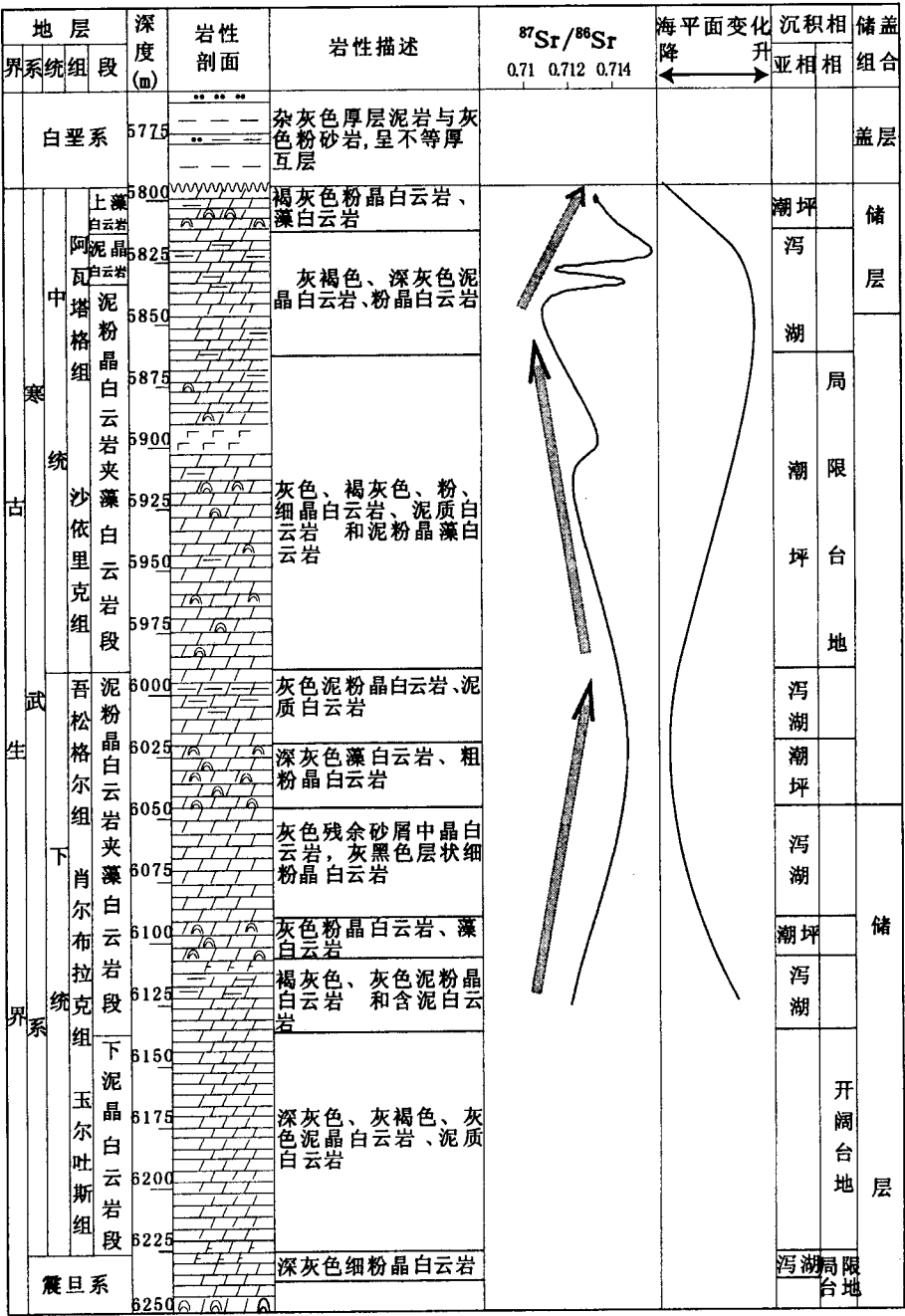


图 2 塔北牙哈 5 井区寒武系海平面升降变化图

Fig. 2 Sea-level fluctuation of northern Tarim area during Cambrian

降后升,中奥陶世早期古水深开始变深,海平面上升。中奥陶世中晚期海平面又一次下降,晚奥陶世古水深又逐渐变深。在这两次海平面下降时期之间,两个地区地层沉积厚度基本一致:塔中地区沉积厚度约 100m,轮南地区沉积约 120m。

3 海平面波动的岩溶发育响应

碳酸盐沉积物或碳酸盐岩的岩溶作用是由于其

中的孔隙水的性质发生变化而引起碳酸盐矿物或其他成分发生溶解。如果孔隙水能长期处于不饱和且又具有流动性,这样碳酸盐矿物就会不断地被溶解和带出,从而形成大量的溶蚀孔隙。

岩溶作用在塔里木下古生界碳酸盐岩中普遍发育,在塔北英买 1 井、英买 2 井、英买 3 井、英买 4 井、英买 6 井、英买 7 井、玉东 2 井、红旗 2 井等井区和牙哈地区等井中均可见到岩溶角砾和渗流粉砂等

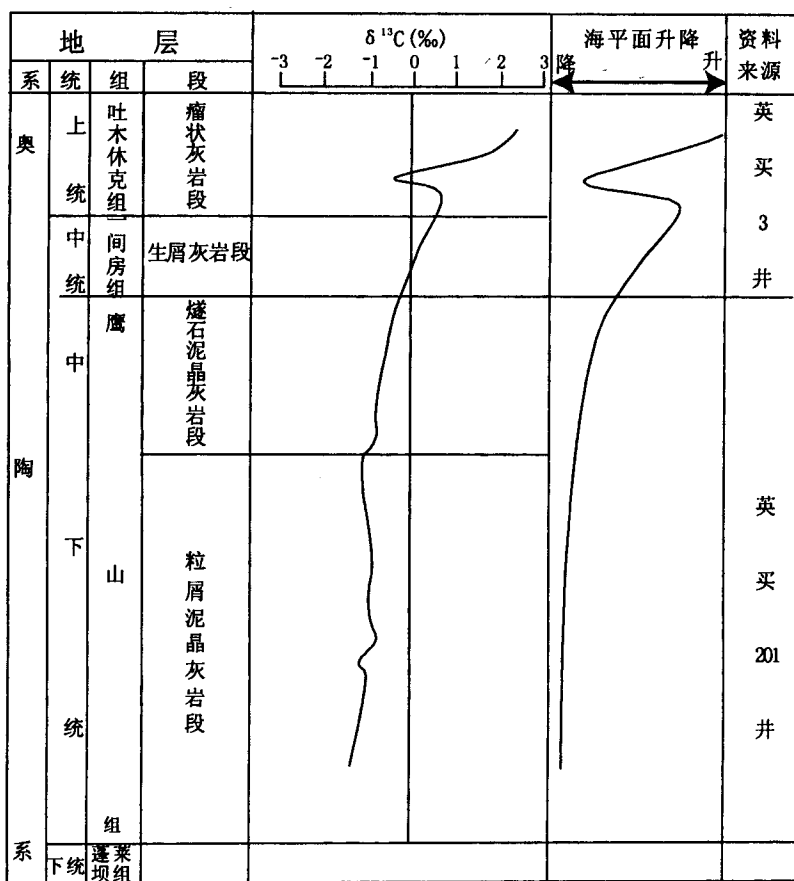


图 3 塔北英买力地区奥陶系海平面升降变化图

Fig. 3 Sea-level fluctuation of northern Tarim area during Ordovician

岩溶作用的产物。根据岩溶作用的时期可将其划分为同生岩溶、埋藏岩溶和风化壳岩溶。

### 3.1 同生岩溶

同生岩溶作用发生于同生期或准同生期的大气淡水成岩环境中。在海平面波动过程中,碳酸盐岩潮坪和颗粒滩等浅水沉积区,随海平面的下降而出露海面处于淡水透镜体中,受到富含  $\text{CO}_2$  的大气淡水淋滤,发生沉积期同生溶蚀作用。

在宏观上,同生岩溶可表现为钻井过程中钻时加快、井漏、井喷、钻井放空等现象。在微观上,同生岩溶的识别标志包括:①在潮坪环境沉积的颗粒石灰岩非选择性溶蚀形成的溶孔中,可见渗流粉砂。如英买 10 井 5274.3m 处溶孔、溶洞、溶缝中的渗流粉砂沉积。②发育悬垂型和新月型等大气淡水方解石胶结物。如英买 201 井 6058.6m 处亮晶颗粒灰岩中的悬垂状亮晶方解石胶结。③选择性溶蚀形成的铸模孔、粒间溶孔、粒内溶孔、泥晶套等与非选择性溶蚀形成的溶缝与溶孔并存。如牙哈 7X1 井 5833m 处

粉晶白云岩中的鲕粒铸模孔、粒间溶孔与非选择性溶蚀形成的溶孔,其原岩为亮晶鲕粒灰岩。牙哈—英买力地区探井取心段同生岩溶储层的分布层位和储集特征参见表 1。

由上表可以看出,英买力地区和牙哈地区的同生岩溶储层有较大差异。英买力地区的同生岩溶型储层主要见于英买 3 井、英买 1 井、英买 202 井、英买 201 井、英买 10 井和英买 6 井等,同生岩溶发育的主要层位在达西库木组的底部。牙哈地区的同生岩溶型储层主要见于牙哈 7X1 井和牙哈 3 井中。其层位主要发育于中、上寒武统。

钻井取心资料已经揭示,牙哈—英买力地区至少在以下两个层位发育同生岩溶型储层:①一间房组和吐木休克组之交,在一间房组的顶部和吐木休克组的底部发育同生岩溶型储层;②上寒武统和中寒武统之交,代表较长时间台地暴露的沉积间断面。牙哈 7X-1 井、牙哈 3 井滩相亮晶颗粒灰岩已发育成暴露浅滩型储层。这两个同生岩溶发育层位恰好与塔北地区在寒武纪和奥陶纪内两次相对海平面升降旋回的最低点相吻合(图 5)。

### 3.2 同生岩溶与埋藏岩溶及风化壳岩溶耦合关系

同生岩溶型储层受到海平面升降的控制,一般发育于海平面下降期,主要发育于潮坪相以及台地内的滩相等浅水环境。海平面的暂时性下降可以导致浅水沉积的未固结沉积物暴露地表,接受同生期的大气淡水的淋滤,从而形成同生岩溶型储层。在英买力地区,这类储层主要分布在其南部的英买 1 井、英买 2 井和英买 3 井区,纵向上主要分布于中奥陶统与上奥陶统之间的吐木休克组中,这与该时期的海平面突然下降是一致的。

风化壳岩溶型储层是后期构造运动导致地层抬升接受晚期大气淡水的淋滤而形成的。塔北风化壳岩溶储层主要分布在英买力的英买 4 井、玉东 2 井和红旗 2 井等井区,其原始沉积环境包括局限台地以及台内滩和障壁滩相。白云岩型风化壳岩溶主要分布在牙哈地区和英买力的东部地区,其原始沉积环境为台地滩、障壁滩或者局限台地。其分布层位为

表 1 牙哈—英买力地区寒武纪—奥陶纪同生岩溶型储层分布表

Table 1 Contemporary karst reservoirs distribution of the Cambrian and Ordovician in Yaha and Yingmaili regions, Tarim basin

| 井号     | 分布层位    | 原岩及储集岩            | 储集空间          | 主要的成岩作用      | 沉积环境  |
|--------|---------|-------------------|---------------|--------------|-------|
| 英买 3   | 吐木休克组底部 | 均为泥晶灰岩            | 溶孔为主,少量溶缝     | 早期大气淡水淋滤     | 局限台地相 |
| 英买 101 | 吐木休克组底部 | 均为生屑泥晶灰岩          | 溶孔、溶洞、溶缝      | 早期大气淡水淋滤     | 局限台地相 |
| 英买 1   | 吐木休克组底部 | 均为泥晶灰岩            | 溶孔、溶洞、溶缝      | 早期大气淡水淋滤     | 局限台地相 |
| 英买 202 | 吐木休克组底部 | 均为泥晶灰岩            | 溶孔、溶洞、溶缝      | 早期大气淡水淋滤     | 局限台地相 |
| 英买 201 | 吐木休克组底部 | 均为泥晶灰岩            | 溶孔、溶洞、溶缝      | 早期大气淡水淋滤     | 局限台地相 |
| 英买 10  | 吐木休克组底部 | 均为泥晶灰岩            | 溶孔、溶洞、溶缝      | 早期大气淡水淋滤     | 局限台地相 |
| 英买 6   | 蓬莱坝组顶部  | 原岩为亮晶鲕粒灰岩;储集岩为白云岩 | 粒间溶孔          | 白云化作用;早期淡水淋滤 | 障壁滩   |
| 牙哈 7X1 | 中寒武统顶部  | 原岩为亮晶鲕粒灰岩;储集岩为白云岩 | 粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔 | 白云化作用;早期淡水淋滤 | 障壁滩   |
| 牙哈 3   | 上寒武统底部  | 原岩为亮晶鲕粒灰岩;储集岩为白云岩 | 粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔 | 白云化作用;早期淡水淋滤 | 障壁滩   |

中寒武统顶部、上寒武统顶部、奥陶系的蓬莱坝组顶部和鹰山组顶部(徐国强等,2005;顾家裕等,2001)。

埋藏岩溶型储层受埋藏期深部成岩作用的影响,其储层分布与深埋热液的活动范围相关。在平面上,该类储层的分布范围与白云岩型风化壳岩溶储层的分布大体一致,主要分布在英买力地区的英买 7 井和英买 4 井以东的地区以及整个牙哈地区;这类储层主要受深部流体的流动范围的控制,而深埋热液的流体通道则包括同生岩溶空隙、古潜山面及裂缝系统等。这类储层往往有较高的孔隙度和渗透率,以基质同生岩溶孔叠加后期再溶蚀空洞为特征,均质性相对较好。

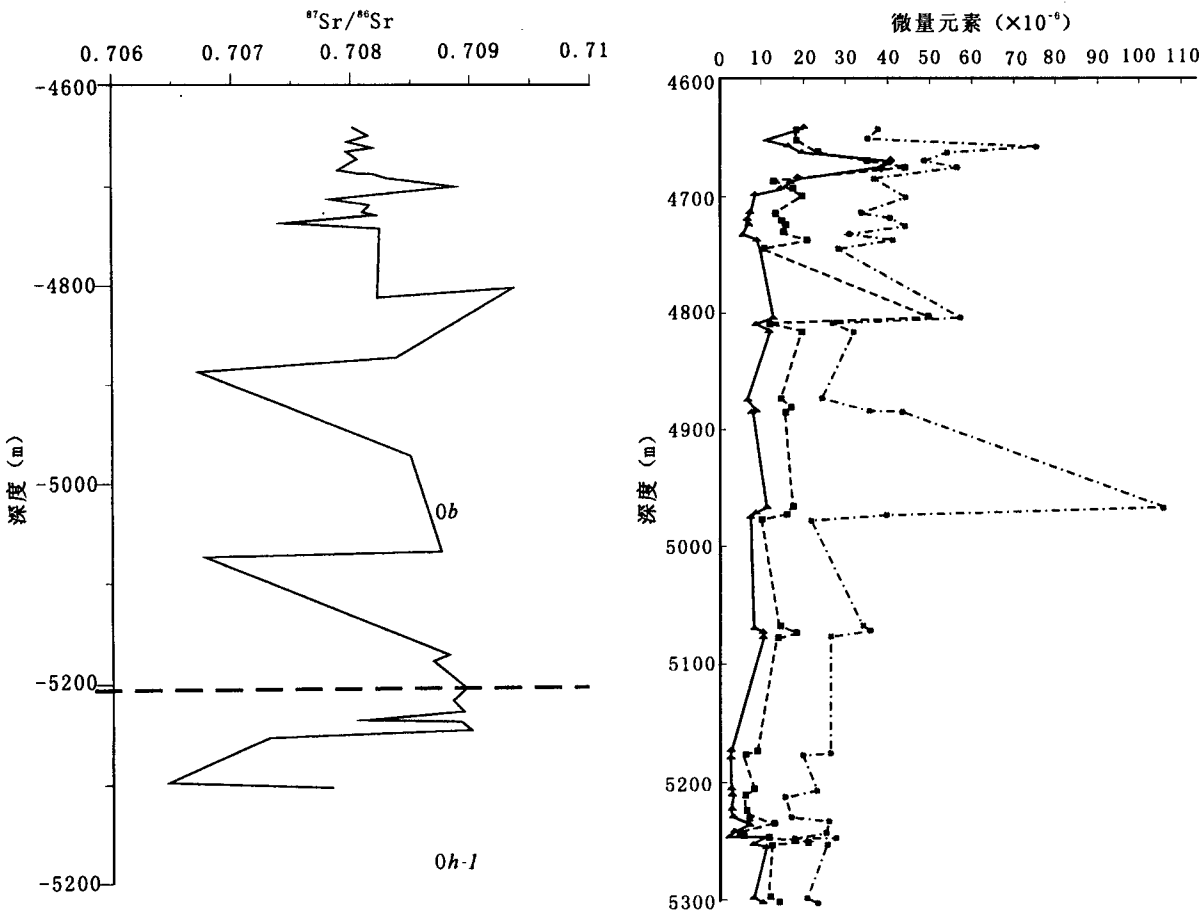


图 4 塔中地区塔中 12 井早古生代海平面波动地球化学

Fig. 4 Sedimentary geochemistry of the Early Paleozoic in well TZ 12, middle Tarim



综上所述,塔里木地区下古生界各类岩溶具有复杂的耦合关系。同生期岩溶为后期的埋藏岩溶准备了基础通道;随后发育的埋藏及风化壳岩溶则是继承并叠加早期同生岩溶通道而发育,最终成为潜在的优质储层。

#### 4 塔里木地区早古生代海平面波动特征

基于上述分析,并结合相关研究成果,做出了塔里木地区早古生代海平面波动图(见图5)。

沉积相和海平面波动综合分析显示,塔里木地区在晚震旦世沉积水体较浅,为潮坪和泻湖;早寒武世早期,水体突然上升,牙哈地区在原来局限台地(潮坪、泻湖)的基础上变成开阔台地。早寒武世晚期,水体逐渐变浅,为潮坪和泻湖交替沉积。中寒武

世早期,海平面逐渐上升;从中寒武世晚期开始,海平面又开始下降,水体逐渐变浅。晚寒武世,海平面降到最低。整个中寒武世和晚寒武世,牙哈地区为潮坪和泻湖交替出现;早奥陶世至中奥陶世,水体开始上升;中奥陶世晚期和晚奥陶世早期,出现一次骤然的的海平面下降,而后,海平面快速上升,陆源碎屑开始注入,塔里木碳酸盐岩台地变为混积陆棚,在陆棚内缓坡上有瘤状灰岩沉积;晚奥陶世晚期,水体开始逐渐下降,陆源物质停止注入,混积陆棚逐渐变为开阔台地。

#### 5 结论

(1)早古生代塔里木地区经历了两次长尺度大规模的海侵与海退过程,寒武纪和奥陶纪各经历了一次。每个海侵与海退过程内各包含了两个较高频的海平面升降旋回,即早寒武世早期海侵—早寒武世中期至中寒武世晚期海退、中寒武世末期海侵—晚寒武世晚期海退、早奥陶世早期至中奥陶世中期海侵—中奥陶世晚期海退、晚奥陶世早期海侵—晚奥陶世中至晚期海退。

(2)在寒武纪和奥陶纪2次长尺度的海侵与海退以及4个较高频的海平面升降旋回中,两次大的海侵分别发育于早寒武世早期以及晚奥陶世早中期,三次较大的海退出现于中寒武世晚期、晚寒武世末期、晚奥陶世早期。

(3)岩溶型储层在塔里木盆地早古生代地层格架中的发育特征,从反演角度支持了上述海平面波动结论。

致谢:本“973”项目的研究工作是在冯增昭教授的直接指导下完成的。陈践发教授、张水昌教授、塔里木油田公司的江同文教授级高工、杨文静高工、孙玉善高工、潘文庆高工、张丽娟高工、杨帆高工、胡剑风高工等专家给予研究工作宝贵的支持。王毅教授和吴胜和教授在论文修改过程中提出的建设性建议使文稿增色不少。在此一并致谢!

#### 参 考 文 献

- 鲍志东,朱井泉. 1998. 塔里木盆地奥陶系层序地球化学研究. 地质科技情报, 17(4): 43~47.
- 邓万明. 1995. 喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义. 岩石学报, 11: 98~111.
- 冯增昭,彭勇民,金振奎,鲍志东. 2003. 中国中奥陶世岩相古地理. 古地理论, 5(3): 263~278.
- 冯增昭,鲍志东,金振奎,吴茂炳,等. 2005. 塔里木地区早古生代岩相古地理. 北京:地质出版社.
- 顾家裕. 1996. 塔里木盆地沉积储层特征及其演化. 北京:石油工业出

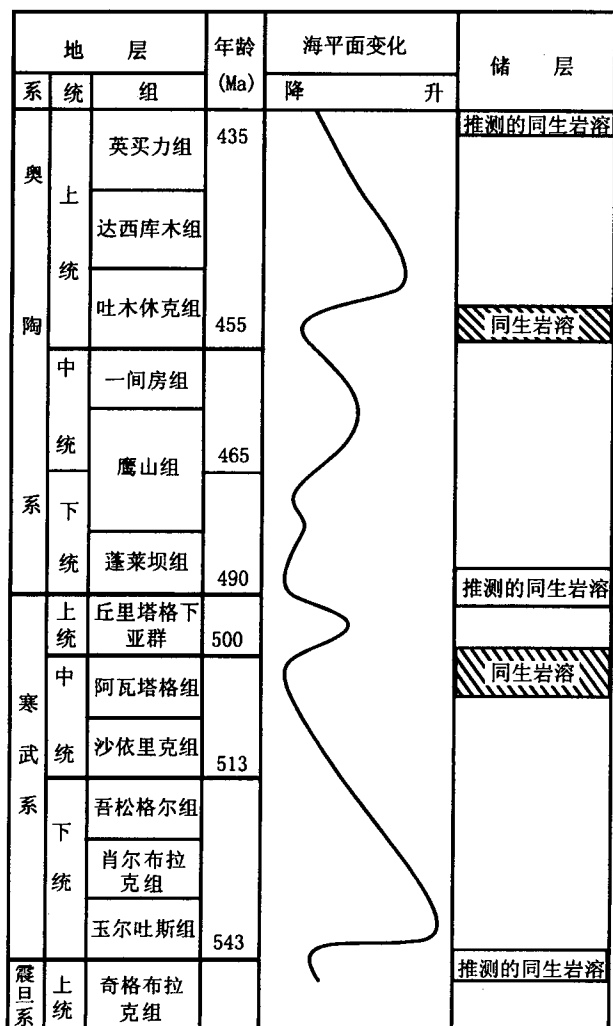


图5 牙哈—英买力地区早古生代海平面波动图

Fig. 5 Sea-level fluctuation of northern Tarim area during Early Paleozoic

- 版社.
- 顾家裕,周兴熙. 2001. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律. 北京:石油工业出版社.
- 关士聪. 1984. 中国海陆变迁海域沉积相与油气. 北京:科学出版社.
- 姜春发,王宗起,李锦轶. 2000. 中央造山带开合构造. 北京:地质出版社, 10~170.
- 徐国强,李国蓉,刘树根,武恒志,田纳新,李智武. 2005. 塔里木盆地早海西期多期次风化壳岩溶洞穴层. 地质学报, 79(4): 557~568.
- 于炳松, Dong Hailiang, 陈建强, 李兴武, 林畅松. 2005. 塔里木盆地寒武统底部层位硅质岩微量元素和稀土元素地球化学特征及其成因意义. 地质学报(英文版), 79(2): 215~224.
- Bao Zhidong. 1998. Continental slope limestones of Lower and Middle Triassic, South China. *Sedimentary Geology*, 118(1~4): 77~93.
- Bao Zhidong, Zhu Jingquan, Jiang Maosheng, Xia Yong. 1998. Strontium isotope evolution: Responding with sea-level fluctuation—an example of Ordovician in middle Tarim area. *Scientia Geologica Sinica*, 7(3): 329~333.
- Montanez I P, Banner J L, Olseger D A, Borg L E, Bosserman P J. 1996. Integrated Sr isotope variation and sea-level history of Middle to Upper Cambrian platform carbonates: Implications for the evolution of Cambrian seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . *Geology*, 24(10): 917~920.
- Richter F M, Rowley D B, DePaolo D J. 1992. Sr isotope evolution of seawater: the role of tectonics. *Earth and Planetary Science Letters*, 109: 11~23.
- Ruppel S C, James E W, Barrick J E, Nowlan G, Uyeno T T. 1996. High-resolution  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  chemostratigraphy of the Silurian: Implications for event correlation and strontium flux. *Geology*, 24(9): 831~834.

## Sea-Level Fluctuation of the Tarim Area in the Early Paleozoic: Response from Geochemistry and Karst

BAO Zhidong<sup>1)</sup>, JIN Zhijun<sup>1)</sup>, SUN Longde<sup>2)</sup>, WANG Zhaoming<sup>2)</sup>, WANG Qinghua<sup>2)</sup>, ZHANG Qinghai<sup>1)</sup>,  
SHI Xiaozhang<sup>1)</sup>, LI Wei<sup>1)</sup>, WU Maobin<sup>1)</sup>, GU Qiaoyuan<sup>2)</sup>, WU Xinmin<sup>1)</sup>, ZHANG Hongwei<sup>1)</sup>

1) *China University of Petroleum, Beijing, 102200*

2) *Tarim Oilfields Company, CNPC, Korla, 841000*

### Abstract

The Paleozoic is the most favorable horizon for exploring giant hydrocarbon reservoirs in the Tarim Basin, northwestern China. Lithofacies and paleogeography of the Early Paleozoic in the basin was researched based on 48 wells which reached or penetrated the Paleozoic, 9800 km seismic profiles, a large amount of isotopes and trace elements composition analyses and other relevant data. Eight samples of lithofacies and paleogeography of the Cambrian and Ordovician in the basin were filed with the unit of epoch and age in order to discuss the sea-level change characteristics qualitatively. Furthermore, the sea-level fluctuation during the Early Paleozoic in the basin was studied quantitatively with the help of sedimentary geochemistry. The study reveals that there were two long-termed regressions and retrogressions during the Early Paleozoic in the basin with one in the Cambrian and the other in the Ordovician. Each regression and retrogression consists of two high-frequency sea-level fluctuations. The biggest regressions occurred in the early Early Cambrian and the early to middle Late Ordovician respectively, and the biggest retrogression occurred in the late Middle Cambrian, the end of the Late Cambrian, and the early to middle Late Ordovician respectively. From the development of the karsts in stratigraphic frameworks we can draw the same conclusion as above.

**Key words:** sea level fluctuation; sedimentary geochemistry; karst; Tarim basin; Early Paleozoic