

# 塔里木盆地碳酸盐岩层序地层特征及其控油作用

樊太亮<sup>1</sup>, 于炳松<sup>2</sup>, 高志前<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 寒武纪—奥陶纪塔里木盆地经历了 4 种不同类型的碳酸盐岩台地结构型式的演变。不同台地区带的碳酸盐岩层序结构特征显著不同, 柯坪地区寒武系—奥陶系为一套碳酸盐岩为主的地层, 发育 7 种不同特征的碳酸盐岩层序构型。库鲁克塔格地区层序总体表现为半深海—深海盆地相背景下的海底扇沉积。相带和层序界面对储层发育具有重要影响, 不同级别的层序界面对其下碳酸盐岩储层的发育具有重要的控制作用, 并对埋藏条件下的流体具有输导作用。流体对埋藏岩溶型储层的形成具有重要的改造作用, 风化壳岩溶型储层受风化淋滤带和层序界面的控制, 白云岩储层和礁滩型储层主要受沉积相和成岩相控制。

**关键词:** 塔里木盆地; 台地结构; 层序构成型式; 体系域; 岩溶储层

**中图分类号:** TE121.3<sup>+</sup>4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8527(2007)01-0057-09

## Characteristics of Carbonate Sequence Stratigraphy and Its Control on Oil-gas in Tarim Basin

FAN Tai-liang<sup>1</sup>, YU Bing-song<sup>2</sup>, GAO Zhi-qian<sup>1</sup>

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Tarim Basin goes through the evolution of four different carbonate platform structure types. The structure characteristics of carbonate sequences have distinct diversities in different zones. A set of carbonate strata is developed in Cambrian-Ordovician in Keping area and could be divided into 7 kinds of carbonate sequence constituting patterns, while sequence in Kuluketage area mainly is sea floor fan deposition in half deep-sea to deep-sea background. Phase belt and sequence boundary have important impact on reservoir development, and sequence boundaries with different scales have controlled the development of carbonate reservoir under these boundaries and have transportation function on fluid under burial conditions. Fluid has reconstructed the formation of burial karst reservoir, and sequence boundary and weathering-leaching zone have controlled the development of weathering crust karst reservoir. Dolomite reservoir and reef flat reservoir are controlled by sedimentary facies and diagenetic facies.

**Key words:** Tarim Basin; platform structure; sequence constituting pattern; tract system; karst reservoir

## 0 引言

到 2002 年底, 全球共发现 877 个大油气田, 其中碳酸盐岩大油气田 283 个。这些碳酸盐岩大油气田的油气可采储量达  $1.330 \times 10^8$  t 油当量,

占大油气田可采总储量的 47.09%。世界碳酸盐岩储层的油气产量约占世界油气总产量的 60%。中东地区的石油产量约占全世界产量的 2/3, 其中, 80% 的含油层产于碳酸盐岩<sup>[1-2]</sup>。由此可见, 碳酸盐岩在油气勘探中占重要的地位, 而研

收稿日期: 2006-07-15; 改回日期: 2006-10-30; 责任编辑: 孙义梅。

基金项目: 国家“973”项目(2005CB422103); 教育部“高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划”。

作者简介: 樊太亮, 男, 教授, 博士生导师, 1961 年出生, 石油地质学专业, 主要从事层序地层方面的研究工作。

Email: tlfan@263.net

究碳酸盐岩层序对指导碳酸盐岩油气勘探具有重要的意义。

### 1 碳酸盐岩台地结构与层序形成背景

区域地震和钻井资料对比表明，塔里木盆地寒武纪—奥陶纪经历了 4 种不同的碳酸盐岩台地结构型式的演变，包括：(1)早、中寒武世缓坡型碳酸盐岩台地；(2)晚寒武世—早、中奥陶世弱镶边斜坡型碳酸盐岩台地；(3)晚奥陶世早期孤立型碳酸盐岩台地；(4)晚奥陶世中、晚期淹没型碳酸盐岩台地(图 1)。不同类型的碳酸盐岩台地在其剖面结构、台地边缘斜坡特征、沉积相构成等方面有着显著的差异，它控制了不同区域沉积相类型和特征，并决定了源岩层、储集岩和区域性盖层的发育条件和展布规律<sup>[3]</sup>。

#### 1.1 缓坡型台地的结构特征

碳酸盐岩缓坡型台地没有明显的台缘坡折，表现为一个区域性缓倾斜坡，其倾斜角一般小于 1°；沉积坡度多小于 5<sup>[4-5]</sup>。碳酸盐沉积物由近滨岸的高能浅滩颗粒灰岩向海方向逐渐变成较深水碳酸盐沉积物并最终成为盆地泥质岩类。沿离岸方向逐渐相变到深水，泥质物相对较多，缺乏联壁生物礁。

寒武纪，塔里木盆地缓斜坡区带沿着草 1—满参 1—塔东 2 井一带分布，环绕着满加尔坳陷呈向西凸的马蹄形(图 2)。斜坡带以西分布着广阔的碳酸盐台地，其地层岩性主要包括云质灰岩、灰质云岩、云岩、泥质云岩及膏质泥岩。在沉积相构成上，主要发育蒸发台地相、局限台地相和开阔台地相；斜坡带以东，在尉犁—塔东 1 井一带为盆地相沉积，岩性以暗色泥质泥晶灰岩、钙质泥岩为主，含深水颗粒藻化石。在平面上，以满参 1 井为界，北部地区斜坡坡度较陡，地层厚度变化较快，而南部地区斜坡坡度平缓，地层厚度变化缓慢。

在塔里木盆地寒武系中、下统地震反射剖面上，斜坡转折带发育斜交前积结构及其后缘的丘状杂乱地震反射，向着斜坡前方过渡到倾斜的平行反射，向着斜坡的后方演变为平行连续反射。根据前积结构的组合方式，中、下寒武统可明显地分为两期组合，代表着上、下两个层序的台缘—斜坡地层结构特征，这种两期组合特点在塔东北地区的台缘相带相当典型。在盆地的不同地区，台缘—斜坡区的剖面结构特点有所不同。塔东北地区地层前积特征清晰，倾角相对较陡，而满参 1 井以南则前积层角度平缓，特征比较模糊。

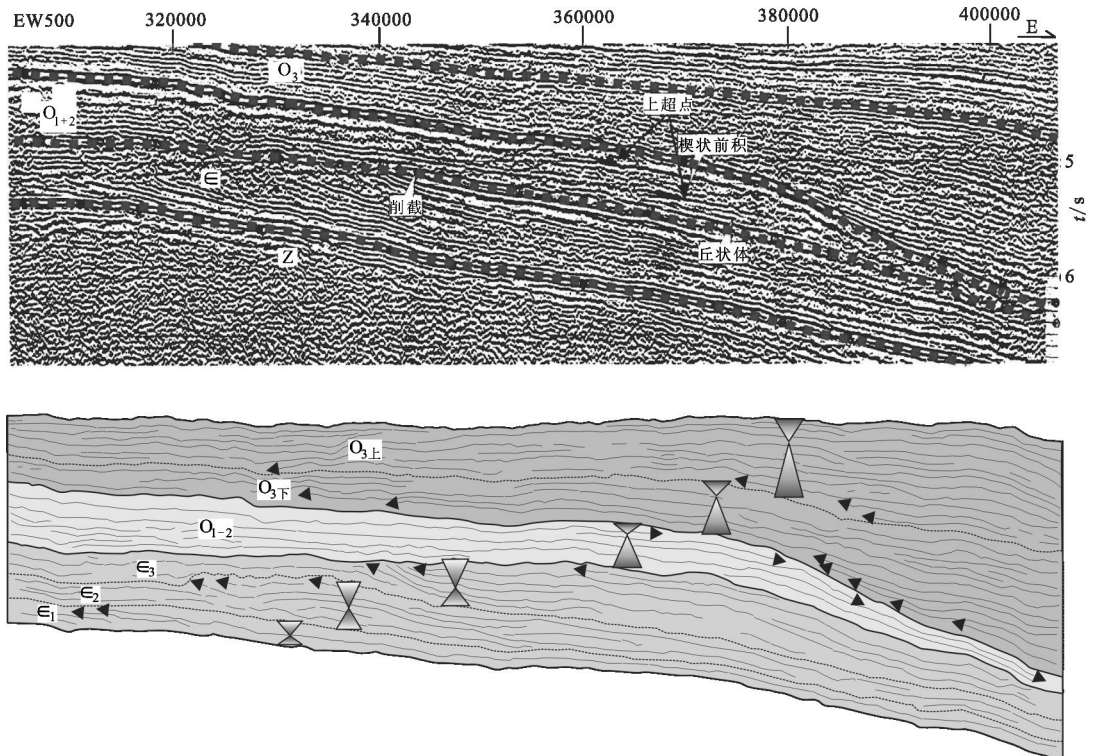


图 1 寒武纪—奥陶纪碳酸盐岩台地结构与层序模式

Fig. 1 Platform structure and sequence mode of carbonate rock in Cambrian-Ordovician

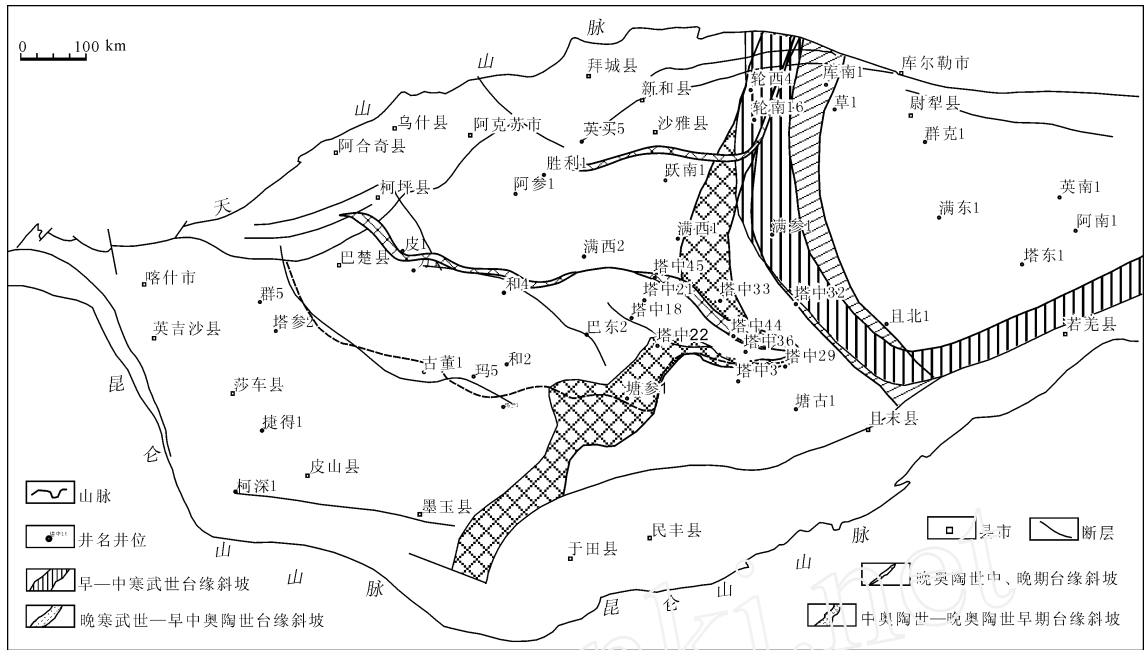


图 2 寒武纪-奥陶纪不同时期的台地边缘斜坡分布图  
 Fig. 2 The distribution of platform edge slope in different phases of Cambrian-Ordovician

### 1.2 镶边斜坡型台地的结构特征

在早、中寒武世台地展布格局的基础上，晚寒武世—早、中奥陶世台地斜坡逐步发生迁移。这种迁移作用主要出现在满参 1 井以南地区，由早期的向东南塔东 2 井方向延伸改为向南延伸，使原来呈弧形展布的斜坡带演变为近南北向展布，同时，斜坡变陡，斜坡带的宽度明显缩小，由缓斜坡逐渐演变为弱镶边斜坡(图 1 和图 2)。从地层厚度分布上看，上寒武统在满参 1 井以北斜坡坡度较陡，沿着草 3 井—塔河 1 井—满参 1 井一带分布；向南则变得比较平缓，由满参 1 井—塔中 32—且末方向延伸。下奥陶统继承早期的斜坡展布特点，但斜坡坡度明显增大，尤其是在满参 1 井以南地区变化显著。

在地震剖面上，上寒武统发育角度明显的前积结构，前积层分二个期次，每个期次由退积—进积组合而成。在台地边角，地层厚度明显加大，并沿着斜坡带伸展，这一地层加厚带可能与台缘礁滩相的分布相对应(图 1)。在远离斜坡带的台地相区，发育角度平缓的前积结构以及向着台缘礁滩高部位的超覆沉积。在下奥陶统，地层厚度由台地向斜坡下部迅速减薄，构成一个楔形体。在层序的底部由台地和斜坡两侧向着台缘礁滩高部位形成逐层超覆反射，层序内部以平行反射结构为主，台地相的局部地区出现低角度的叠瓦状前积现象，可能与台内滩迁移有关。在中、下奥

陶统上部，地层反射由斜坡带向着台缘区逐层退覆，形成退积结构，这与早、中奥陶世晚期海平面快速上升，台地被逐渐淹没，致使地层分布收缩有关，是台地淹没不整合的典型特征。

### 1.3 孤立型台地的结构特征

晚奥陶世孤立型碳酸盐岩台地存在两种类型的台缘结构型式：一种是塔中地区断崖型台地边缘结构；另一种是塔北地区陡坡型台地边缘结构(图 2)。

塔中地区塔中 45 号断裂造成的断阶型陡倾斜坡构成了孤立台地的边缘。沿着断崖型斜坡，发育岩崩与滑塌成因的巨砂—粗砾级角砾云岩，夹有碎屑流成因的中、细粒云岩和斜坡静水沉积的薄层灰质粉晶云岩，滑动、滑塌及变形构造发育。由塔中 45 井向北至轮南地区，孤立台地边缘为陡倾斜坡型。这种陡倾斜坡是在早、中奥陶世海平面快速上升过程中淹没型台地建造形成的，更与早、中奥陶世鹰山组末期满加尔坳陷的剧烈沉降有关。在地震剖面上，斜坡相区上奥陶统碎屑岩大规模超覆，形成规模宏大的海底扇沉积，而斜坡之上的台地相区，则发育灰岩沉积，形成了碳酸盐岩孤立分布的格局。

### 1.4 淹没型台地的结构特征

晚奥陶世早期发育的孤立碳酸盐台地—混积陆棚体系的沉积格局，在随后的海平面快速上升过程中，很快发生了改变。孤立碳酸盐台地被淹

没而收缩,直至消亡,取而代之的是面积广阔的混积陆棚沉积体系。

混积陆棚相主要发育于盆地中、西部上奥陶统桑塔木组,以陆源碎屑沉积为主,夹有碳酸盐岩沉积。风暴和风暴流作用明显,笔石、放射虫等浮游生物发育。同时,盆地东部强烈沉降,接受了巨厚的、复理石式陆源碎屑沉积物,导致东部和中、西部的沉积特征反差明显。

## 2 碳酸盐岩层序地层发育特征

### 2.1 层序界面特征

综合分析露头剖面和钻井资料,可以识别出 3 种类型的层序界面。

(1)构造不整合面:是地层抬升暴露的标志,有明显的地层缺失和角度不整合关系,对应于较大级别的层序界面。如塔里木盆地奥陶系与志留系之间的不整合面,即是一较高级别的层序界面。

(2)沉积间断面:在连续沉积的地层中,依靠准层序或准层序组在纵向上从进积—退积的叠置方式的转换面。这种准层序或准层序组叠置方式的转换面,反映了沉积基准面的相应变化,故是层序识别的主要依据之一。

(3)事件性沉积界面:在相对深水的陆棚环境中,可根据发育特征的低水位体系域盆底扇颗粒灰岩来划分层序。颗粒灰岩通常呈透镜状,底部具冲刷构造,内部具正粒序。

### 2.2 层序的纵向演化

根据层序界面的纵向分布序列,可在露头和钻井剖面上将寒武系—奥陶系划分为 8 个超层序, 17 个三级层序,其中对应于中奥陶统的超层序 Ssq6 在中央隆起带普遍缺失(图 3)。尽管不同地区的钻井在地层发育与保存状况上存在差别,层序的具体个数不尽相同,但在超层序和层序规模上是完全可以对比的。不同沉积相区的层序对比表明:台地相区和斜坡相区中,寒武系层序和下奥陶统层序发育齐全,旋回特征明显;而陆棚—盆地相区中,中、上奥陶统层序发育较齐全,层序内部构成较具代表性。

在纵向上,寒武系各层序特征稳定,可对比性强,盆地不同沉积相区可在三级层序级别上进行追踪和比较;下奥陶统的两个层序差别显著,台地相区层序厚度巨大,而盆地相区由于沉积速率极低而厚度很小,在层序特征上可对比性差;中、上奥陶统的 3 个超层序及 6 个三级层序在不

同相区以及同一相区不同钻井中变化明显,这些变化要么是由中奥陶统(特别是一间房组)沉积缺失而引起,要么是由上奥陶统顶部地层遭受侵蚀未能保存而引起。尽管在地层发育过程中存在着复杂多变的沉积、保存等影响层序划分与对比的因素,但在超层序与三级层序级别上各个相区及各口钻井的层序是可以统一的,其特征也是可以对比的,而且与盆地西缘及东北缘的露头层序分析结果相一致。

### 2.3 不同区带的层序结构特征

#### 2.3.1 柯坪地区寒武纪—奥陶纪主要层序构成型式

柯坪地区寒武系—奥陶系为一套碳酸盐岩为主的地层,由发育在不同沉积背景上的碳酸盐岩组成,包括浅水碳酸盐岩台地、台地边缘浅滩、台地边缘生物礁、台地前积斜坡、陆棚和盆地等不同相带的碳酸盐岩。这些碳酸盐岩层序由于发育在盆地的不同相带和盆地发育演化的不同阶段中,其沉积背景和构造背景明显不同,故控制这些碳酸盐岩层序形成的主导因素也有较大的差异,从而形成了一系列不同特征的碳酸盐岩层序。

通过分析,在寒武系—奥陶系可识别出 7 种不同特征的碳酸盐岩层序构成型式,它们具有不同的界面特征和内部体系域构成样式。

(1)发育在蒸发台地背景上的层序构成:层序结构表现为 HST+HST,主要发育阿瓦塔格组,以紫红色—杂色蒸发泻湖云泥岩—膏盐沉积和盐坪沉积为主要特征。体系域构成主要以高位体系域叠置高位体系域为特征,低位体系域及水进体系域不发育。此类层序的主控因素是气候条件的变化。

(2)发育在局限台地背景上的层序构成:层序结构表现为 TST+HST,主要发育在肖尔布拉克组和下丘里塔格群,由白云岩、泥质白云岩、灰质白云岩、白云质灰岩、藻粘结白云岩、藻叠层白云岩等组成。以海进体系域(TST)和高位体系域(HST),或以高位体系域叠置高位体系域为特征,海进体系域发育不典型,厚度通常较薄,低位体系域不发育。此类层序的主导控制因素是海平面变化和碳酸盐产率。

(3)发育在开阔台地背景上的层序构成:层序结构特征为 TST+HST,主要发育在上丘里塔格群,岩性由泥晶灰岩、颗粒泥晶灰岩、泥晶颗粒灰岩、亮晶颗粒灰岩、藻粘结灰岩、生物礁灰岩等组成。体系域构成特点表现为海进体系域和高



位体系域均发育良好。控制层序形成的主导因素是海平面变化和碳酸盐产率。

(4)局限浅水陆棚背景层序构成：层序结构表现为 TST+CS+HST, 主要形成于寒武系玉尔吐斯组, 水进体系域岩性由薄层硅质岩、硅质灰岩、黑色页岩组成, 高位体系域岩性由白云质瘤状灰岩组成, 而密集段则为黑色页岩。

(5)碳酸盐岩陆棚背景层序构成：层序结构为 HST+CS+TST, 主要发育于寒武系的吾松格尔组和奥陶系的其浪组。由不等厚的瘤状灰岩、颗粒灰岩与灰绿色页岩组成加积、进积、退积型准层序组, 并组成对称性明显的 TST—CS—HST结构, 密集段由页岩和泥晶灰岩组成。在此类层序结构中, 海平面的升降变化是层序发育的主控因素。

(6)发育低位楔的陆棚层序构成：由瘤状灰岩、泥晶灰岩与(黑色)页岩组成加积、弱进积、弱退积型准层序组, 并组成对称性的 TST—CS—HST结构, CS由黑色页岩组成, 主要发育于奥陶系大湾沟组、萨尔干组、坎岭组、印干组。

(7)碳酸盐岩陆棚—盆地层序构成：层序结构为 HST+CS+TST+LST, 由瘤状灰岩、颗粒灰岩与灰绿色页岩不等厚组成加积、进积、退积型准层序组, 并组成对称性明显的 TST—CS—HST结构, CS由页岩和泥晶灰岩组成, LST由具粒序层理碎屑流颗粒灰岩组成。

总体上, 寒武系发育于相对浅水的碳酸盐岩台地环境, 奥陶系形成于台地—相对深水的陆棚、盆地环境。在相对浅水的碳酸盐岩台地环境中, 沉积速率是层序发育的主控因素, 层序以 HST/HST或 HST/TST为主要构成特征, 而在相对深水的陆棚—盆地环境中, 海平面变化则成为主控条件, 层序以 HST—CS—TST 或 HST—CS—TST—LST为主要构成单元。

### 2.3.2 库鲁克塔格地区寒武纪—奥陶纪主要层序构成型式

库鲁克塔格地区在寒武纪、奥陶纪总体处于盆地的陆棚至盆地相区, 水体较深, 海平面的升降变化对沉积环境、地层岩性影响较小<sup>[6-7]</sup>; 而构造环境和盆地性质的变化, 造成了寒武系层序和奥陶系层序发育特征明显不同。反映在层序结构上, 则在寒武系内部的各个层序之间、奥陶系内部的各个层序之间的特征差异不大, 而寒武系和奥陶系之间的层序特征却有着明显的不同。

寒武系划分为 3 个超层序和 7 个层序。层序

的低位域特征不甚明显或不发育, 而海进体系域和高位体系域均发育良好。每个层序均具有良好的对称性旋回, 旋回的下部多发育灰色、深灰色中—薄层微晶砂屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、亮晶砾屑灰岩等, 代表着海平面低位期的浅水陆棚沉积特征; 在最大海进期和高位体系域, 对应于中、下寒武统的 4 个层序发育深灰色厚层纹层状泥晶泥质灰岩、暗色泥岩与瘤状灰岩互层; 对应于上寒武统的 3 个层序发育深灰色薄层条带状泥灰岩与薄层条带状微晶灰岩韵律层、浅紫色薄层泥质灰岩与深灰色薄层条带状微晶灰岩韵律层, 代表着深水陆棚环境中岩性的构成特点。

库鲁克塔格地区却尔却克奥陶系露头剖面可识别出 4 个超层序和 8 个三级层序, 这些层序总体为半深海—深海盆地相背景下的海底扇沉积。比较各个层序内部的结构特征以及层序之间的异同性, 可以发现以下特点。

(1)奥陶系下、中统对应于 6 个三级层序, 地层岩性具有三单元结构特点, 即灰绿色细粒砂岩和粉砂岩、灰绿色—深灰色微晶砂质灰岩和深灰色页岩。3 类岩性出现于层序的不同部位: 细粒砂岩和粉砂岩主要发育于层序的下部, 对应于低位期海底扇沉积; 页岩形成于海进期和最大海泛面附近, 此时物源区收缩, 陆源供给能力低; 而微晶砂质灰岩则形成于高位体系域。

(2)奥陶系上统对应于 2 个三级层序, 地层岩性主要为灰绿色泥质粉砂岩、钙质中—细砂岩与中厚层状泥岩互层, 碳酸盐岩不发育。低位域砂岩单层厚度较大, 粒度相对较粗, 发育细砂岩; 高位域则以粉砂岩和泥岩互层为特征。

(3)各个三级层序具有明显的不对称旋回结构特点。其中, 海平面上升半旋回明显大于下降半旋回, 说明该地区总体以深水沉积环境为主, 海平面下降过程对沉积作用影响较弱。

## 3 碳酸盐岩层序的控油作用特征

### 3.1 层序界面对储层的控制作用

随着层序地层研究的不断深入, 关于碳酸盐岩岩溶储层的研究发现, 无论是形成于向上变浅的米级旋回顶部的岩溶, 还是由于局部性大地构造作用或海平面下降使得大部分碳酸盐岩台地暴露于大气淡水作用带下形成的局部性岩溶, 以及与在区域性或全球性大地构造事件作用下形成的区域性不整合面有关的大型风化壳古岩溶, 它们

均发育在不同级别的层序界面以下。这些现象说明，层序地层格架对碳酸盐岩岩溶储层的发育具有重要的控制作用。

3.1.1 层序形成与岩溶储层发育关系

在碳酸盐岩中，层序的发育主要受海平面变化、构造沉降、沉积物供给和气候 4 个因素控制。而以上 4 个因素对于岩溶作用的发生同样具有十分重要的影响<sup>[8-9]</sup>。大量研究表明：对于同生期岩溶作用和古风化壳岩溶作用，均需要大气淡水的渗入，促进其溶蚀作用发生。这就需要相对海平面下降到足够低的位置，使碳酸盐岩暴露出水面从而接受大气淡水淋滤、风化作用，从而形成溶蚀孔洞。同样在碳酸盐岩沉积过程中，只有当沉积物供给速率与相对海平面变化速率保持在一定范围时，同生期岩溶作用才可能发生。不同类型的气候条件在沉积过程中可以控制碳酸盐岩沉积物的类型，决定其溶蚀程度。一般来讲，潮湿的气候条件对于碳酸盐岩岩溶作用的发生更为有利。

从层序界面的识别来看，对于三级层序界面识别标志主要是不整合及其与之可以对比的整合面，而四级、五级等高频层序界面的识别标志是沉积作用转换面。不同强度的构造抬升或不同幅

度的海平面变化是形成不同级次层序界面的实质性原因。通常情况下以不整合面作为标志的三级和更高级别的层序界面下往往发育风化壳岩溶，这主要是由于碳酸盐岩层遭受风化剥蚀、地表径流、地表水的渗滤及地下潜水活动对碳酸盐岩的溶解作用形成的。在三级层序内部，次级的相对海平面下降形成了四级、五级等高频层序界面，导致了碳酸盐岩的暴露或者由深水环境转入了浅水环境，前者使其受到大气淡水淋滤风化作用，后者使其发生了成岩环境改变。因此，在高频层序界面附近往往也易发生风化壳岩溶作用和成岩作用改造，只不过其比三级层序界面附近的岩溶作用强度较弱。

3.1.2 不同级别的层序对岩溶储层发育的控制作用

塔里木盆地寒武系—奥陶系发育不同级别的多个层序界面，不同级别的层序界面对其下碳酸盐岩储层的发育均具有重要的控制作用(图 4)。

在碳酸盐岩高频层序向上变浅的序列顶部，常常是岩溶发育的主要层段。塔里木盆地寒武系—奥陶系浅水碳酸盐岩台地背景上发育的几种代表性高频层序类型中，均显示了这一岩溶发育特点。在下寒武统肖尔布拉克组中，高频层序主要由薄层含燧石团块和条带的微晶—细晶白云岩构

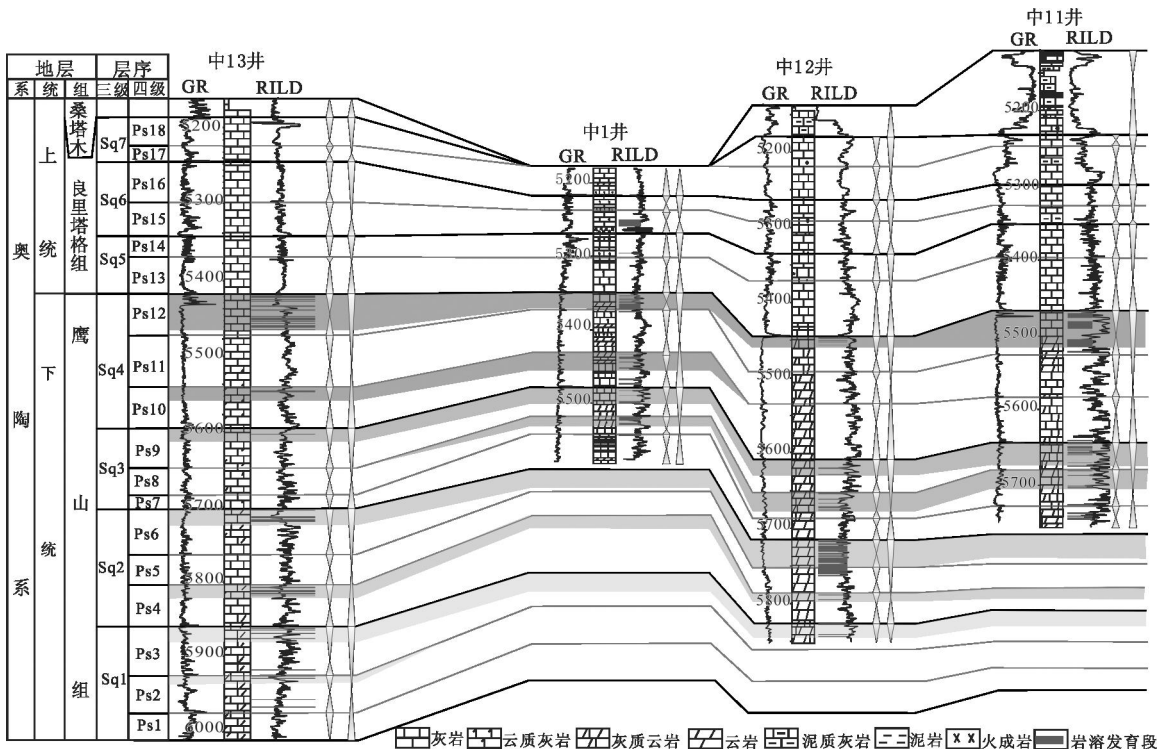


图 4 塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩层序界面对岩溶储层的控制作用

Fig. 4 Control function of sequence boundary on karst reservoir in Cambrian-Ordovician in Tarim Basin

成旋回层的下部单元,其岩溶相对不发育,少量溶孔顺层分布,且相互孤立,连通性差;上部单元由厚层细晶—中晶白云岩组成,其溶孔发育,单个孔洞较小,但孔洞发育密集,呈蜂窝状,孔洞间连通性较好。通常,高频旋回中上部单元之溶孔发育段的厚度为30~80 cm,且随着高频旋回纵向上的进积式叠置而向上有增厚趋势。在上寒武统下丘里塔格组中,发育有两种不同构成型式的高频层序:一种是由下部薄层微至粉晶白云岩和上部中厚层中至粗晶白云岩构成,其中的岩溶发育也主要集中在高频层序的顶部,且也随着高频层序的进积式叠置,顶部单元的厚度和岩溶发育层段的厚度有增厚的趋势;另一种是由底部为薄层泥质白云岩、中部为中至厚层状粉细晶白云岩、顶部为藻叠层白云岩或藻粘结白云岩构成的高频层序,其中的岩溶发育层段也集中在顶部。下奥陶统上丘里塔格群中的高频层序主要由下部薄层泥质白云岩、薄层微晶白云岩与上部中厚层至块状微晶至细晶白云岩组成。岩溶层段的发育也出现在其顶部,向下逐渐减弱。

受三级海平面变化的控制,在碳酸盐岩台上的粒屑滩、潮坪等极浅水沉积区,在海退沉积序列中,伴随海平面的周期性相对下降,这些碳酸盐沉积物时而出露海面或处于淡水透镜体内。在潮湿多雨气候条件下,受到富含 $\text{CO}_2$ 的大气淡水的淋滤,发生选择性和非选择性溶蚀。这种溶蚀作用既可以发生于 $\text{CaCO}_3$ 未饱和的大气水渗流带,也可以出现在渗流带之下未饱和的潜流带。这种岩溶作用在塔北和塔中均普遍发育。塔中地区上奥陶统发育的几个淡水成岩透镜体均在某一层序界面以下。这说明层序界面对同生期淡水成岩透镜体发育有控制作用。层序界面形成时的海平面下降,导致台地边缘礁滩相的碳酸盐岩暴露水面接受大气淡水淋漓而促成同生期大气淡水成岩透镜体的发育。研究发现,塔中奥陶系的岩溶发育具有溶蚀孔洞小而多、常呈蜂窝状,溶孔发育呈层状、单层厚度薄、在纵向上频繁出现等特点。这些特点与露头剖面中所观察到的高频层序中的岩溶发育特征相吻合。结合精细的层序地层分析发现,单层溶孔发育层厚度较大,层间叠置较紧密。岩溶规模相对较大的岩溶发育层与基准面下降—上升的转换面对应,即发育在相应的三级层序界面下,说明了三级层序界面下的暴露对岩溶发育的控制作用。

二级或一级层序界面通常与盆地发育演化过程中的大型不整合面对应。塔里木盆地奥陶系发育多期与高级别层序界面相对应的不整合面岩溶,岩溶作用的强度受层序界面(不整合面)暴露时间和古岩溶地貌的控制。加里东期和海西期的岩溶作用对奥陶系储层影响最大。塔里木盆地下、中奥陶统和上奥陶统之间存在着一个明显的大型不整合面,即所谓的加里东期不整合面。该不整合面代表了古生代中的一个大型一级层序界面。塔北、塔中和巴楚隆起区受此加里东期不整合面岩溶影响强烈,导致在下奥陶统裸露区溶蚀孔洞发育,与裂缝一起构成复杂的孔、缝、洞系统。研究发现,在塔河和塔中地区该一级层序界面以下,溶蚀孔洞都很发育,反映了该不整合面对其下岩溶发育的控制作用。

由此可见,不同级别的层序界面对其下碳酸盐岩储层的发育具有重要的控制作用。高频层序、三级层序界面导致的碳酸盐岩的周期性暴露形成了多期次的岩溶发育段,且随着基准面的降低,呈进积型叠置的高频层序顶部的岩溶发育段的规模有增大的趋势,由此决定了与二级或一级高级别层序界面所对应的大型不整合面是控制塔里木盆地碳酸盐岩岩溶储层发育的关键。

### 3.2 体系域构成对储层的控制作用

不同特征的碳酸盐岩层序构型,具有不同的界面特征和内部体系域构成样式,其体系域的构成样式决定着沉积相带的展布特点和展布规律。油气成藏和分布则不同程度地受体系域控制。如高位体系域有利烃源岩的发育,而低位体系域则是寻找良好储层的有利场所。

塔里木盆地碳酸盐岩油气藏的形成和分布明显受有利构造背景下的体系域和沉积相控制<sup>[10]</sup>。由于海相碳酸盐岩层系勘探最关键的问题是储集层,因此,油气分布的核心控制因素是成岩相。对于碳酸盐岩油气藏,有利的构造条件主要是古隆起,其控制作用表现在对有利相带、生储盖组合发育、圈闭形成和运聚成藏的控制<sup>[11]</sup>。克拉通内部继承性发育的古隆起与台缘是礁滩等原始高能沉积相带和风化壳等次生储集体发育的有利地带。发育多套优质储盖组合,大型隆起带及其围斜部位形成多类型圈闭,是油气运聚的长期指向区。该区接受多期油气汇聚,为最重要的勘探目标区。塔里木盆地上奥陶统时期,由于受沉积相和成岩相的控制,有利储集区带主要是环塔中、

塔北等古隆起分布的台缘礁滩相带。

在碳酸盐岩油气成藏和富集的关键性条件中，有利的沉积相是台缘的生物礁滩；有利成岩相包括次生孔隙发育带、白云岩化带和风化淋滤带等。古隆起顶部碳酸盐岩储集层受风化淋滤带的控制，内幕储集层（包括白云岩和礁滩体等）主要受沉积环境和成岩作用控制。

### 3.3 埋藏条件下层序界面对流体的输导作用

不整合面对于其下伏岩溶带的发育具有明显的控制作用，但在远离不整合面的地层中，同样可以发育有多个岩溶带，从溶蚀孔洞的发育特征来看，多具有埋藏溶蚀深部缓流带的特征，这种岩溶带发育具成层性的特点并与层序发育具有密切的相关性。但这类岩溶带发育的规模远不如不整合面岩溶带，分析认为岩溶带主要位于高频层序界面以下。由于其暴露时间相对较短，因此其高频层序界面形成期岩溶作用也相对较弱，但是在埋藏作用过程中，鉴于碳酸盐岩具特低孔、低渗的特点，高频层序界面与裂缝共同组成了沟通孔隙流体流动的输导系统。埋藏有机酸流体沿层序界面和裂缝向古隆起区流动，从而控制了其下伏地层中埋藏岩溶作用的发生，形成复合岩溶带。由此可见，不同级别的层序界面，其形成时的暴露溶蚀导致了不整合面岩溶的发生，而且，在后期的埋藏过程中，这些层序界面以及早期的溶蚀孔洞又成为了埋藏期岩溶作用发生所必需的流体流动的通道。这些层序界面通过控制流体的输导和运移，进而控制岩溶储层的发育。

## 4 结 论

(1) 寒武纪—奥陶纪时期塔里木盆地经历了早、中寒武世缓坡型碳酸盐岩台地，晚寒武世—早、中奥陶世弱镶边斜坡型碳酸盐岩台地，晚奥陶世早期孤立型碳酸盐岩台地以及晚奥陶世中晚期淹没型碳酸盐岩台地 4 种不同的碳酸盐岩台地结构型式的演变。

(2) 不同区带的碳酸盐岩层序结构特征显著不同，柯坪露头区寒武系—奥陶系为一套以碳酸盐岩为主的地层，发育 7 种不同特征的碳酸盐岩层

序构成型式。库鲁克塔格露头区层序总体表现为半深海—深海盆地相背景下的海底扇沉积。

(3) 相带和层序界面是影响碳酸盐岩储层发育的主导因素，不同级别的层序界面对其下碳酸盐岩储层的发育具有重要的控制作用，风化淋滤带的发育强度和层序界面的级别决定着岩溶型储层发育程度，而沉积相和成岩相则控制着白云岩储层和礁滩型储层的发育。

(4) 层序界面为流体流动提供了输导通道，而埋藏有机酸流体沿层序界面和裂缝的流动，控制了其下伏地层中埋藏岩溶作用的发生，从而决定了埋藏岩溶的发育程度。

### 参考文献：

- [1] 白国平. 世界碳酸盐岩大油气田分布特征 [J]. 古地理学报, 2006, 8(2): 241 - 250.
- [2] 范嘉松. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 23 - 30.
- [3] 高志前, 樊太亮, 焦志峰, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征 [J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 19 - 27.
- [4] Loucks R G, Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy: recent developments and applications [J]. AAPG, Memoir 57, 1993: 1 - 515.
- [5] Ganqing Jiang, Nicholas Christie-Blick, Kaufman A J, et al. Carbonate platform growth and cyclicity at a terminal Proterozoic passive margin, Infra Krol Formation and Krol Group, Lesser Himalaya, India [J]. Sedimentology, 2003, 50: 921 - 952.
- [6] 顾家裕. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [7] 樊太亮, 刘金辉, 韩革华, 等. 新疆塔里木盆地北部应用层序地层学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [8] 陈方鸿, 谢庆宾, 王贵文. 碳酸盐岩成岩作用与层序地层学关系研究——以鄂尔多斯盆地寒武系为例 [J]. 岩相古地理, 1999, 19(1): 20 - 24.
- [9] 刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 103 - 109.
- [10] 邹才能, 陶士振, 薛叔浩, 等. “相控论”的内涵及其勘探意义 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 7 - 12.
- [11] 夏义平, 柴桂林, 汪昌贵, 等. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩储层的控制因素分析 [J]. 现代地质, 2000, 14(2): 185 - 190.