

小尺度的碳酸盐岩层序地层学分析 ——塔里木盆地桑塔木断垒带奥陶系层序地层学研究

王维纲 吕炳全

(同济大学海洋地质与地球物理系,上海 200092)

提 要 层序地层学理论现已日臻完善,位人们往往被局限在大范围、大尺度的研究领域,包括整个盆地或整个陆架的粗线条描述。那么,小尺度(小范围和次级层序)内的层序格式和沉积样式又是如何的呢?本文将作一阐述。在地层学、沉积学的研究基础上,在区域层序地层学的框架下,将桑塔木断垒带这样一个盆地内的三级局部构造的奥陶系进行层序地层学解剖。由于地震资料分辨率的限制,采用大量的钻井录井资料(岩心、电测等),通过岩性、古生物等特征标志建立相对水深变化曲线,以此来对比划分层序。得出,奥陶系内存在一个I类层序界面,并将其划分为两个四级层序及相应的五级层序。其中,高水位体系域为最佳储层带。其研究方法和结论在对其他局部构造的研究中可起到类比作用。

关键词 层序地层学 奥陶系 碳酸盐岩台地 塔里木盆地

分类号 P 53

第一作者简介 王维纲 男 30岁 博士生 海洋地质学

1 概 述

小尺度层序地层学是相对于研究区范围及次级层序而言的。研究区桑塔木断垒带位于塔里木盆地一级构造单元塔北隆起中段轮台大断裂以南,为轮南低凸起上的一个三级构造单元。被海西早期形成

精度的限制,应用区域地质和钻井资料进行研究变得至关重要。

奥陶系沉积时,塔北隆起基本继承了寒武纪西高东低的沉积格局。海侵范围逐步扩大,沉积了一套浅灰色泥晶藻砂屑灰岩与泥晶灰岩交互为主的开阔台地—台地边缘沉积。至早奥陶世末,海侵达最大范围,之后随着陆源碎屑物的大量注入,海水逐渐退缩,轮南大部分地区逐渐变为混积陆架沉积环境。至奥陶纪末期加里东运动使海水全部退出,纵观塔北地区构造演化,早古生代是一个完整的海进海退旋回。加里东末期,区内出现大面积升降运动,部分地区抬升暴露地表。海西运动早期的南北水平挤压运动使岩层进一步抬升,开始长期的风化剥蚀活动,致使桑塔木断垒带西部及其以北普遍缺失中上奥陶统地层,风化残丘形成。至海西中期,风化地貌沉没,接受上覆沉积,形成潜山。

塔里木盆地整个奥陶系可作为一个完整的三级层序(以 Tg_5 及 Tg_6 代表的不整合面及其相应的整合面为界),根据其特征可将其划分为两个四级层序:一第层序大致为早奥陶世的 Tremadoc 阶、Arenig 阶及 Llanvirn 阶。轮南地区包括三个完整体系域, LST(低水位体系域)为局限台地相灰岩、含泥灰岩, TST(海进体系域)为一套较纯开阔台地相

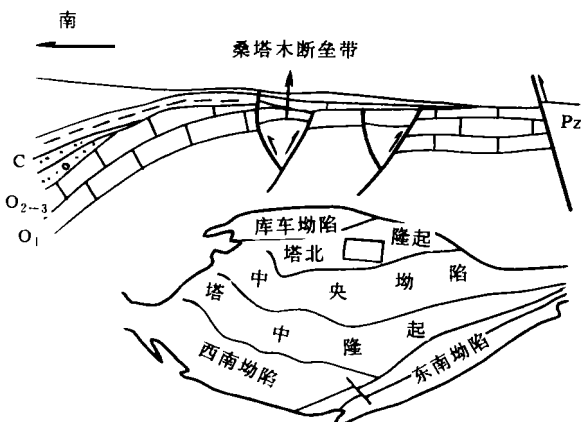


图 1 桑塔木断垒带构造位置图

Fig. 1 Structural location of the Sangtamu horst in the Tarim basin

的“Y”字型断裂所夹持。面积约 58.75 km^2 (见图 1), 在这种小尺度的层序地层学分析中,受地震资料

灰岩, HST(高水位体系域)为鲕滩、粒屑滩、风暴等沉积;第二层序为中晚奥陶世的 Caradoc 阶和 Ashgill 阶, 轮南地区包括低水位体系域和海进体系域, 为一套混积陆棚沉积。

对于桑塔木断垒带, 笔者根据十余口井详细的地层沉积特征分析, 得出奥陶系以 O_1/O_2 为界面补分为两个四级层序: 下奥陶统由部分低水位体系域(蓬莱坝组 O_{1p})、海进体系域(鹰山组 O_{1y})、高水位体系域(大湾沟组 O_{1d})组成。中奥陶统由低水位体系域夹洪泛沉积(吐木休克组 O_{2t})和海进体系域(O_{2q})组成(见图 2)。

2 层序界面确定与层序划分

据 P. R. Vail, 层序特征受四大因素控制^[1]: ①构造沉降(控制沉降物沉积空间); ②海平面升降(控制地层和沉积模式); ③沉积物的多寡(控制沉积物充填及古水深); ④气候(控制沉积物类型), 前三种因素控制了层序的几何形态。但我们发现, 如不严格定义, 这几种因素可以互为因果。于是我们关注的应是相对海平面变化(Relative sea level variation), 即海平面相对下伏原始沉积表面的位置, 它是构造沉降因素及全球海平面变化(Eustasy change of sea level)两种因素的叠加。该区特征是全球海平面上升速率超过了加里东运动造成的构造抬升速率, 总体的叠加效果仍表现为两次相对海平面的升高。但早奥陶世末期, 构造抬升速率大于海平面上升速率, 致使早奥陶统地层暴露形成 I 类层序界面(见图 3)。另外中奥陶世的洪泛沉积使相对海平面有所下降。笔者在地层层序对比工作时, 根据岩性中所含沉积特征确定相对水深变化曲线, 该曲线可与相对海平面变化相对应。

2.1 层序界面的确定

层序地层学研究开始于对海平面变化曲线上的某个拐点的研究(A. Arnaud-Vanneau, 1990)^[2]。层序边界与周期性海平面变化有关, 对应于海现面下降拐点, 其边界的反射特征为不整合面。该区奥陶系均未钻达其底界。而上奥陶统均遭剥蚀, 其内部边界只有 O_1/O_2 , 存在于该区东部(轮南 23 井以东), 为一平行整合, 对应于地震反射界面 T_{es}^* , 位于地矿部系统的 T_{10} 。为 I 类层序界面, 特征为: (1)上下岩性突变, 上覆灰色、棕色含泥纹层泥晶灰岩及大段红色泥岩; 下伏地层为灰色亮晶藻砂屑灰岩。反映了沉积相上的突变, 从砂屑颗粒滩、生屑滩向粒屑泻湖

相突变。(2)奥陶系牙形石⑦~⑧带中种属不连续^[2]。(3)根据电镜及薄片鉴定, 界面附近层位出现石膏晶体、膏模孔和鸟眼构造等暴露标志。(4)由于加里东运动使下奥陶统暴露表地, 第一期有生岩溶作用发生于其顶部层位。(见图 4)。

另外, O_{2-3}/O_1 界面为一明显不整合面, 前已述及, 受加里东和海西运动的影响, 该区中上奥陶统地层遭受严重剥蚀, 且缺失志留、泥盆系地层, 石炭系陆源碎屑沉积直接覆盖在奥陶系古潜山上, O_1/O_2 界面本区均未钻揭, 地震剖面上为一上超面。

2.2 层序划分

O_1/O_2 层序界面, 近来已渐渐被大家公认, 在塔里木盆地, 许多地震剖面反映出中下奥陶统之间存在一个较明显的深切谷和侵蚀面, 有人认为它是个重大的一级怪序界面(徐怀大, 1995)^[3]。ARCO 石油公司编制的古生代全球海平面相对变化曲线也表现出中晚奥陶世之间的海平面有突然下降的情况。这些都使笔者坚信塔北地区中下奥陶统之间并不是连续沉积。如果按照 P. R. Vail 和 Tucker 等人以时段段对层序级别进行划分的方案, 下、中奥陶统内的层序属于第级^[3]。但我们认为该界面(O_1/O_2)仍是以盆地为一层序的四级层序界面, 因为这样不会使地层、沉积相与层序地层格架发生冲突, 使全盆地有一个整体概念, 易于进行盆地内各局部区域间的地研究工作的对比。

该 I 类层序界面确定之后, 即可将奥陶系划分为两个四级层序, 各层序包含相应的体系域。五级层序界面可根据地层对比和相对海平面变化所划定的沉积层序而定。

3 层序分析

奥陶系总体特征为, 纵向上看, 下奥陶统由一引起向上变浅的海相进积层序组成, 包括粒屑泻湖—粒屑台坪、藻屑泻湖—颗粒、鲕粒滩等, 其间可穿插潮汐水道沉积, 中奥陶统为砂屑泻湖、藻屑台坪夹粒屑台坪沉积。中部被泥岩及“疙瘩状”灰岩的泛沉积所切割。

横向上看, 从东南向西北为向陆方向, 由边缘滩相的台缘沉积向各类泻湖、台坪的开阔台地沉积过

① 樊太亮等, 1994, 新疆塔里木盆地北部层序地层学应用研究

② 吕炳全, 王维纲, 1994, 塔里木盆地桑塔木断垒带奥陶系储层分布规律

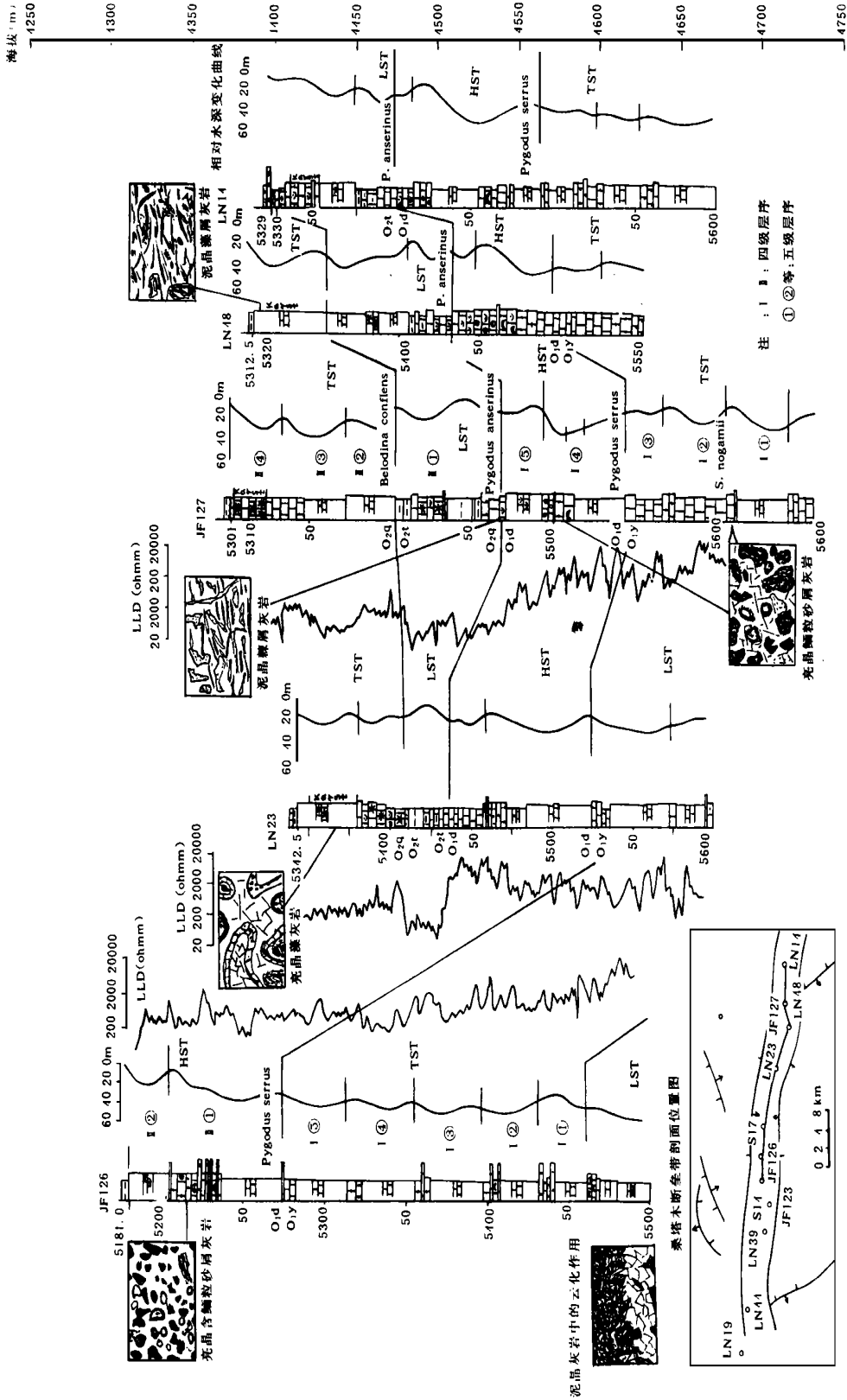


图 2 桑塔木奥陶系层序地层对比剖面图

Fig. 2 Sequence stratigraphic section of the Ordovician in Sangtamu

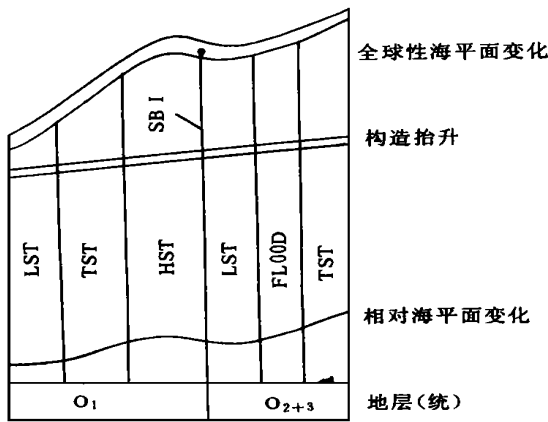


图 3 桑塔木奥陶系层序格架图

Fig. 3 Sequence framework of the Ordovician in Sangtamu

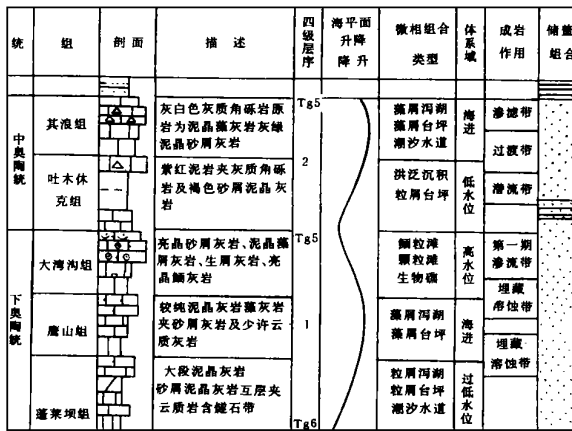


图 4 桑塔木奥陶系层序地层学综合剖面图

Fig. 4 Comprehensive profile of sequence stratigraphy of the Ordovician in Sangtamu

渡,岩性上表现为这晶颗粒灰岩向泥晶灰岩的过渡,由此形成向陆方向逐步上超的地层关系,但至中奥陶世,层序被陆源沉积切割(见图5)。

3.1 层序 1(下奥陶统)

① 低水位体系域: 大部分并未钻遇该体系域据钻遇井资料揭示为一套具准同生白云岩化的泥日灰岩、砂屑泥晶灰岩,多为台地相粒屑泻湖及台坪沉积类型 ② 海进体系域: 分布较广,为泥晶藻屑泻湖及藻屑台坪沉积 ③ 高水位体系域: 全区分布,以加积到前积的几何形态为特征,形成宽阔台地。

缓坡和进积滩 它们是全球海平面上升晚期、静止期和下降早期之间的沉积。台地边缘一般以丘形加积和斜交前积为特点。本区该体系域为并进型(Keepup)^[4],表现为相对快的沉积速率,能够与海平面上升保持一致。特点是台地边缘沉积中早期海底胶结物含量少、富粒、贫泥。底部为加积的粒屑泻湖和粒屑台坪为主,中部由藻、海绵礁体组成。上部由前积的鲕、颗粒浅滩的台地边缘沉积组成,其上为含生物岩隆等沉积。

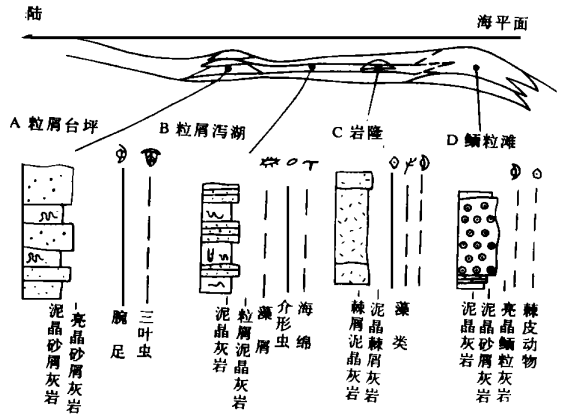


图 5 桑塔木奥陶系层 1 中微相组合类型图

Fig. 5 Microfacies patterns in Sequence 1 of the Ordovician

3.2 层序 2(中奥陶统)

由于相对海平面降低,高水位体系域暴露地表,形成I类层序层面,其上覆盖另一层序的低水位体系域,洪泛沉积及部分海进体系域沉积。

① 低水位体系域: 出现在该区东部, O₁/O₂ 不整合面之上,为低水位时沉积在斜坡上部的自生碳酸盐岩楔,为一套泥晶生屑灰岩及泥晶砂屑灰岩微相组成的砂屑台坪沉积。局部可见石膏晶体和膏模孔。② 洪泛沉积: 当海平面缓慢上升,低水位体系域正在发展时,构造及气候因素的变动使陆源碎屑注入量增加。该套干燥、氧化环境下的紫红泥质洪泛沉积抑制了低水位碳酸盐岩楔的生长,并且改造冲刷下部岩层,造成含泥纹的同生角砾状灰岩(疙瘩状)覆盖在低水位体系域上。它的出现和发育使相对海平面有所下降。③ 海进体系域: 分布于该区东部,相对海平面下降时,淹没了低水位碳酸盐岩楔及洪泛沉积。为一套由富藻屑、藻类的亮晶藻屑灰岩、泥晶藻屑灰岩、泥晶灰岩组成的台地相藻屑泻湖。

湖和藻屑台坪沉积 (见图 6)

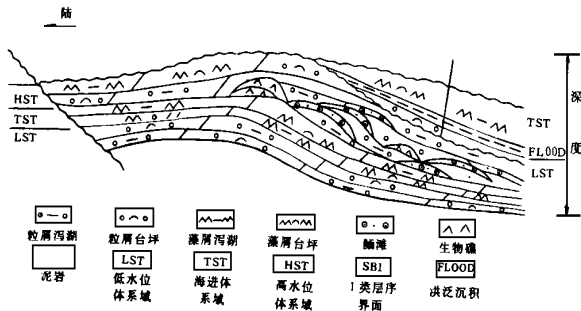


图 6 桑塔木奥陶系层序地层分布型式图

Fig. 6 Sequence distribution pattern of the Ordovician in Sangtamu

3.3 五级层序分析

根据岩性中所含沉积特征如,颜色、粒屑成熟度、粒屑含量、胶结物类型、特征性生物等标志所反映也的水体能量变化,作出相对水深变化曲线(见图 2),该曲线反映的是全球海平面变化与构造抬升的叠加效应。事实上,曲线每一变化周期中对应各下降翼拐点之上具穿时性,因为周期性的海平面变化控制了相对水深的变化,而海平面变动在区域上又是一致的。这些连线所代表的界面是海相岩上超向盆地转移的界面^[6]。曲线中两个大周期对应两个四级层序,各小周期对的层序即为五级层序。

根据代表性的 127井剖面资料(见图 2,图 4),四级层序 1可分为五个五级层序,层序 2可分为四个五级层序,与邻井均可对比。从图 1可以看出,每个五级层序大都是向上变浅的层序,即由底部的粒屑、藻屑泻湖渐变为顶部的台坪或粒屑滩沉积,但四级层序 2中的五有层序由于受洪泛沉积的影响,层序从下向上可表现为由陆相洪泛泥岩变为藻屑泻湖和台坪沉积。四级层序 1中的五级层序的电性特征(LLD曲线)为,层序由底部的掌状正常过渡为反向掌型曲线,周期性较强,至层序 2则无规律可循,电测资料往往受岩性和流体的双重影响,在层序分析中只能作一方面的参考,但在未取芯井段却是重要的可利用资料。

在资料丰富的取芯井段,五级层序也可划分出相应的体系域,如层序 1中层序④、低水位体系域由砂屑泥晶灰岩的粒屑台坪沉积构成;海进体系域由富含生屑的泥晶灰岩、泥晶藻屑灰岩的藻屑泻湖沉积构成;高水位体系域由亮晶粒屑、鲕粒灰岩的

鲕粒滩构成。

4 沉积体系域与储集性能的关系

沉积层序对储集性的控制是层序地层学在石油地质学中的应用,目前在我国的研究程度还很低,这一薄弱环节是阻碍层序地层学发展的一个方面,沉积层序对储集性的控制具体体现在对储层成岩作用的控制上,并且这些成岩作用还必须符合两个条件:应是沉积期成岩作用;应对原岩具选择性^[6]。

4.1 低水位体系域对储集性的控制

时而暴露的浅水环境使准同生白云岩化(蒸发泵白云岩化, Friedman)及沉积期膏化时有发生,前者对储层起到建设作用,后者起破坏作用。

4.2 海进体系域对储集性的控制

相对海平面逐渐升高的藻屑泻湖和藻屑台坪沉积中易发生海底胶结作用及压溶作用,前者为破坏型,后者为建设型。

4.3 高水位体系域对储集性的控制

在晚高水位期,海平面达到最高点后,沉积以台地边缘浅滩、生物礁、岩隆为主,其海底胶结物含量少、富粒、贫泥。其中鲕粒滩沉积原生孔隙性好,晶间孔、粒内孔发育。数次胶结作用后残留的孔隙及礁灰岩中的残余格架使后期溶蚀作用更易进行。在该体系域中主要发生次大的孔隙改造作用:早期大气淡水溶蚀作用,共选择性往往履天颗粒灰岩中。早奥陶世末的表生溶作用使该体系域顶部受到规模较小的风化淋滤作用,产生大量孔、缝。

这些有利于储集的成岩作用结果,虽经后期改造,物性资料表明,现仍具一定的储渗能力。据本区东部各井(LN48、LN14、JF127)资料分析,平均孔隙度为 2.93%~3.58%,平均渗透率为 $2.66 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (常规物性分析,渗透率比实际情况偏小几个数量级),高水位体系域由于其结构成熟度较高及早期成岩作用对其独有的改造,使其成为该区最佳的储层带,表现为沉积层序对储层的分布控制具有一定的影响。

5 结论

小尺度层序地层学与区域层序地层不冥关系符合自然界整体与部分的相似性法则,在大的层序界面界定下,小范围内的次级层通讯卫星分析在岩心、电测、化验分析等钻井资料的辅助下,通过作出

相对水深变化曲线来划分对比更小的层序,从而达到地震方法所无法达到的精度。另一方面,小尺度层序地层学研究,其精度又受资料品质和分析手段的限制。对于碳酸盐岩环境来说,由于相变不如碎屑岩环境明显,层序的划分就比较困难,在利用现有资料、手段建立可信的海平面变化的同时,进行地层的沉积学研究,特别是确立微相组合就更为重要。古生界小尺度层序地层格架模式的建立,使局部与全盆地的层通讯卫星地层学得以统一,使我们能更好地把握某一局部构造中的地层、沉积相和演变特征,并可有效地进行精细储层预测。

参 考 文 献

[1] HW Posamentier, M T Jervey, P R Vail. Eustatic controls on clastic deposition: conceptual framework, in C K Wilgus et

al. Sea Level Changes: An Integrated Approach, 1988, SEPM special publication, 1988, 42: 109-124.

[2] A Amaud-Vanneau. Hauterivian to Lower Aptain Carbonate Shelf Sedimentation and Sequence Stratigraphy in the Jura and Northern Subalpine Chains. 1990, in Carbonate Platform IAS 203-234.

[3] 徐怀大. 如何推动我国层序地层学迅速发展. 地学前缘, 1995, 2: 3-4.

[4] J F Sarg. Carbonate sequence stratigraphy, in C K Wilgus et al. Sea level Changes: An Integrated Approach, 1988, SEPM special publication, 1988, 42: 155-181.

[5] Bilal U Haq, J Hardenbol, P R Vail. Mesozoic-Cenozoic Chronostratigraphy and cycles of sea level change. in C K Wilgus et al. Sea Level Changes: An Integrated Approach, 1988, SEPM special publication, 1988, 42: 71-108.

[6] Clyde H Moore, Carbonate Diagenesis and Porosity. Elsevier Science Publishers, 1989, B: 1-40.

The Small Scale Sequence Stratigraphy of The Ordovician Carbonate of the Sangtamu Horst in The Tarim Basin

Wang Weigang and Lu Bingquan

(Dept. Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract

In this paper, the small scale Ordovician carbonate sequence stratigraphy was discussed based on the analysis of stratigraphy and sedimentology of the Sangtamu horst Block which belongs to the first grade tectonic unit——Tabei Rise Belt in Tarim Basin. The small scale means the local structure of the studied area and the subordinate sequence of the studied range are relatively small.

A large amount of data, such as logging, core, outcrop and paleontology, was utilized to construct variation curve of relative water depth under the circumstance of the restriction of the seismic resolution. The conclusions were as follows: ① The open platform-edge sedimentary system includes ten sedimentary types: algal lagoon, algal flat, oolitic shoal and so on. ② The Ordovician system is classified into two fourth-order sequences in Type I sequence boundary and the corresponding fifth-order sequences are also classified. ③ The highstand systems tract is the best reservoir belt without considering the anadiagenesis factor.

This analysis made it possible to recognize the evolution of strata and facies in local structure and to forecast the distribution tendency of the reservoir. The achievement of this study can be applied in the analogy of other similar structures.

Key Words sequence stratigraphy Carbonate platform Tarim Basin Ordovician