

文章编号: 1000-0550(2004)01-0110-07

塔里木盆地柯坪地区中下奥陶统碳酸盐岩露头层序地层学研究

陈明^{1,2} 许效松² 万方² 楼雄鹰² 汪正江² 傅恒²

1(成都理工大学沉积地质研究所 成都 610059) 2(成都地质矿产研究所沉积与能源研究室 成都 610082)

摘要 在前人岩石地层、生物地层、年代地层研究基础上,作者运用层序地层学理论结合沉积微相分析,对柯坪地区中下奥陶统露头碳酸盐岩进行了层序地层解剖。研究区共识别出二种界面类型(暴露层序不整合界面和淹没层序不整合界面)、三种准层序组特征(潮坪、浅滩和滩下陆棚)和两种主要类型的体系域构成(海侵体系域和高位体系域),在此基础上把该套碳酸盐岩划分为 7 个三级层序,其中 Sq1~2 对应于蓬莱坝组地层、Sq3~6 对应于鹰山组地层和 Sq7 对应于大湾沟组地层。Sq1~2 三级层序由潮坪旋回的藻纹层白云岩、细粉晶白云岩和灰岩组成;Sq3~4 三级层序由潮坪旋回的藻纹层灰岩和颗粒灰岩组成;Sq5~6 三级层序由潮下浅滩相旋回的颗粒灰岩组成;Sq7 三级层序由滩下陆棚环境藻灰岩和泥质瘤状灰岩组成。

关键词 层序地层 层序不整合面 准层序 体系域

第一作者简介 陈明 男 1963 年出生 副研究员 博士 沉积盆地分析与层序地层学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

层序地层学是地层学与沉积学相结合而产生的一门分支学科,建立的理论基础是海平面相对周期性变化所产生的一系列不连续面-时间线关系,研究对象是以这些不连续面所限定的、具有成因联系的并可置于年代地层框架内的沉积组合体,目的是建立区域乃至全球等时对比格架。通过多年的发展和完善,层序地层学已进入成熟发展阶段^[1],并在生产实践中取得了丰硕成果^[2~4]。本文在前人^[5~8]岩石地层、生物地层和年代地层研究基础上,运用层序地层理论结合沉积微相分析,对柯坪地区露头较好的大湾沟剖面、鹰山北坡剖面、蓬莱坝水库剖面和阿克苏水泥厂采石场剖面等进行了野外系统解剖。通过层序界面标定、准层序组特征及其叠置序列和体系域构成等方面的研究,对该区碳酸盐岩进行了三级层序划分。

1 基础地质概况

柯坪地区位于塔里木盆地西北缘,中下奥陶统为碳酸盐岩沉积,岩性单一,化石丰富,现已建立了比较完整的生物序列^[6]。作者依据 2002 年 6 月在柯坪大湾沟剖面建立的国际辅助剖面-上丘里塔格群归为中下奥陶统地层,同时采用周康康等^[5]的细分方案,把上丘里塔格群细分为蓬莱坝组、鹰山组和大湾沟组。通过野外研究和室内分析,研究区碳酸盐岩为一套缓

坡相潮缘体系沉积:蓬莱坝组为潮坪相藻纹层白云岩、细粉晶白云岩和灰岩组成;鹰山组下部为潮坪相藻纹层灰岩和颗粒灰岩组成,上部为浅滩相颗粒灰岩为主组成;大湾沟组为浪基面之下的陆棚相灰岩组成。

1.1 蓬莱坝组

为潮坪相碳酸盐岩沉积。由潮下高能带亮晶砂屑灰岩、藻鲕灰岩(藻破碎而成的砂屑灰岩,特征是成分单一,颗粒大小均匀,磨圆度高)、潮道砂砾屑灰岩和潮间潮上带准同生期^[9,10]藻纹层微泥晶白云岩组成旋回性沉积,发育潮汐层理和鸟眼构造,藻纹层白云岩遭受不同程度的淋滤溶蚀。由于后期白云石化改造,部分沉积期的灰岩和准同生期的微泥晶白云岩重结晶为粉-细晶白云岩,仅保存其残余结构。

该组底部以一层灰白色结晶灰岩与上寒武统下丘里塔格群白云岩分界,上部见有相当于华北下奥陶统冶里组、扬子下奥陶统桐梓组或南津关组的带化石^[7]。因此蓬莱坝组相当于下奥陶统两河口阶地层。

1.2 鹰山组

为灰岩沉积,底部具少量的白云石化。下部为潮坪相藻纹层灰岩发育序列;上部为潮下浅滩相颗粒灰岩发育序列。

潮坪相藻纹层灰岩发育序列:由潮下砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩和潮间潮上带藻纹层灰岩、不显纹层的藻泥

微晶灰岩组成旋回性沉积,单个旋回厚 60~80 cm 不等,底部常有不平整的海侵面,部分海侵面之上见透镜状的砾屑灰岩薄层。发育鸟眼构造和溶蚀孔洞,砂屑灰岩段可见平行层理和斜层理。

浅滩相序列:由亮晶砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩夹鲕粒灰岩和少量的泥微晶藻灰岩组成,内部可见两种变浅序列:由下部的砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩和上部的泥微晶藻灰岩、少量的藻纹层灰岩组成向上变浅的旋回性沉积;由下部的泥微晶藻灰岩与上部的砂屑灰岩组成旋回沉积。颗粒灰岩段见斜层理。

本组产有三叶虫、牙形石等相当于扬子区红花园组和大湾组常见属种化石^[7],因此鹰山组下部对应于红花园阶地层,上部对应于大湾阶地层。

1.3 大湾沟组

为浪基面以下的一套低能灰岩沉积。下部由深灰色薄层状藻泥晶灰岩、藻粘结灰岩、含海绿石微晶灰岩夹硅质条带组成;上部由含泥质微晶灰岩、瘤状生物微晶灰岩及瘤状泥质灰岩组成。含三叶虫、角石、腕足、牙形石等相当于牯牛潭阶生物^[7]。该组从下到上泥质含量逐渐增多,生物化石特别是游泳的角石在顶部大量出现为特征,该组之上为中奥陶统萨尔干组黑色页岩覆盖。

2 层序划分依据

层序的正确建立依赖于相对海平面变化所控制的层序内部沉积体发育及其空间展布特征和几个关键界面,即层序界面的识别和准层序组特征及其在不同体系域中准层序叠置样式的规律性变化^[3,11]。因此层序的划分主要是通过地层层序界面的标定、相序变化特征以及准层序、准层序组的叠置序列和空间产出状态等来实现的。

2.1 层序界面的标定

通过对柯坪地区大湾沟剖面、鹰山北坡剖面、蓬莱坝水库剖面和阿克苏水泥厂采石场剖面的研究,发现中下奥陶统碳酸盐岩不仅存在相对海平面快速下降形成的暴露层序不整合界面,还存在着相对海平面快速上升形成的淹没层序不整合界面。

2.1.1 暴露层序不整合界面

见于蓬莱坝组和鹰山组地层。界面之上可见碳酸盐岩的古风化壳,厚度一般在 3~10 cm 不等,以蓬莱坝组底部与下丘里塔格群(上寒武统)接触面最厚。风化壳内有灰岩的改造残块、褐色碳酸盐岩古土壤层及其铁质风化壳;风化壳之上为海侵砂砾屑灰岩超覆;界面之下依据岩类组合和沉积环境差异,可分为 潮间

潮上带准同生期藻纹层白云岩(蓬莱坝组),部分藻纹层白云岩遭受淋滤溶蚀(图 1-A)。潮间潮上带藻纹层灰岩(鹰山组下部地层),发育鸟眼构造、溶蚀孔洞以及孔洞内的灰绿色泥质充填(图 1-B)。浅滩相的高能亮晶颗粒灰岩(鹰山组上部地层),见溶蚀孔洞以及孔洞内的泥质充填(图 1-C)。

2.1.2 淹没层序不整合界面

该界面最早由 Schallager 提出^[12],主要发育于碳酸盐台地,成因为沉积环境的改变抑制了碳酸盐岩生长,致使相对海平面上升速度超过了碳酸盐岩沉积速度。特征为相对深水的凝缩段直接覆盖于层序界面之上。研究区可细分为台地淹没和陆棚灰岩淹没两类。

台地淹没不整合面:见于鹰山组顶部(图 1-D),界面平整,不见陆上暴露和下部灰岩溶蚀痕迹,但界面上下岩性、岩相和岩层的单层厚度突变:界面之下为中厚层状浅滩相的亮晶砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩及少量的鲕粒灰岩;界面之上为薄层状滩下陆棚相的泥晶藻粘结灰岩、含海绿石泥晶藻灰岩、含生物屑微晶灰岩超覆。该界面上下岩类组合类似于北京西山地区中寒武统徐庄阶与张夏阶接触的淹没层序界面上下组合^[13]

陆棚灰岩淹没层序不整合:见于大湾沟组顶部(图 1-E),界面平整、稳定,界面上下岩性、岩相突变,即界面之下为陆棚相薄层状泥质瘤状灰岩,含大量角石等游泳生物和生物钻孔构造;界面之上为深水盆地相黑色含钙质碳质页岩超覆。

2.2 准层序组特征及其叠置序列

准层序是层序地层的基本组成单元,它是以海泛面或与之相当的面为界、相对整合、彼此有成因联系的层或层组,代表一次小规模海平面旋回,其特征为一套向上变浅的沉积组合。对准层序内部组特征及其纵向演化序列进行研究,有助于判别准层序的叠置序列和体系域构成。通过该套碳酸盐岩准层序的岩类组合和沉积微相研究,发现不同沉积序列,准层序的内部结构不同。

2.2.1 潮坪序列中准层序组特征

见于蓬莱坝组和鹰山组下部层位,常具有二元结构或三元结构(图 2B、C、D、E),即下部由潮下亮晶砂屑灰岩、含砾砂屑灰岩和微晶砂砾屑灰岩组成,可见平行层理和斜层理;上部由鸟眼构造发育的潮间潮上带藻纹层灰岩或不显纹层的藻灰岩组成。在蓬莱坝组,准层序的上部为藻纹层泥微晶白云岩、白云质灰岩。部分准层序的底部见一层厚度约 3~10 cm 的透镜状砾屑灰岩,可能为海侵初期的滞留砾屑灰岩层。准层序顶底界面通常为不平坦的海侵面。

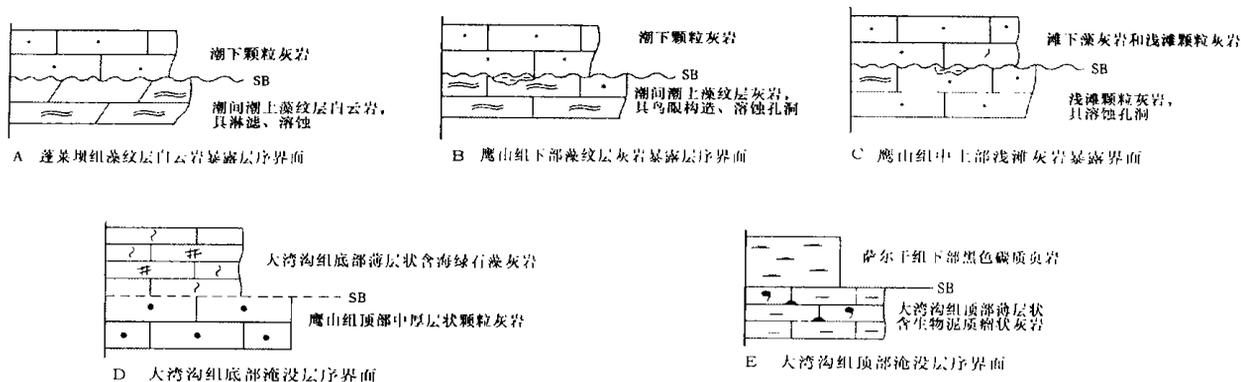


图1 层序界面类型

Fig. 1 Types of sequence surfaces

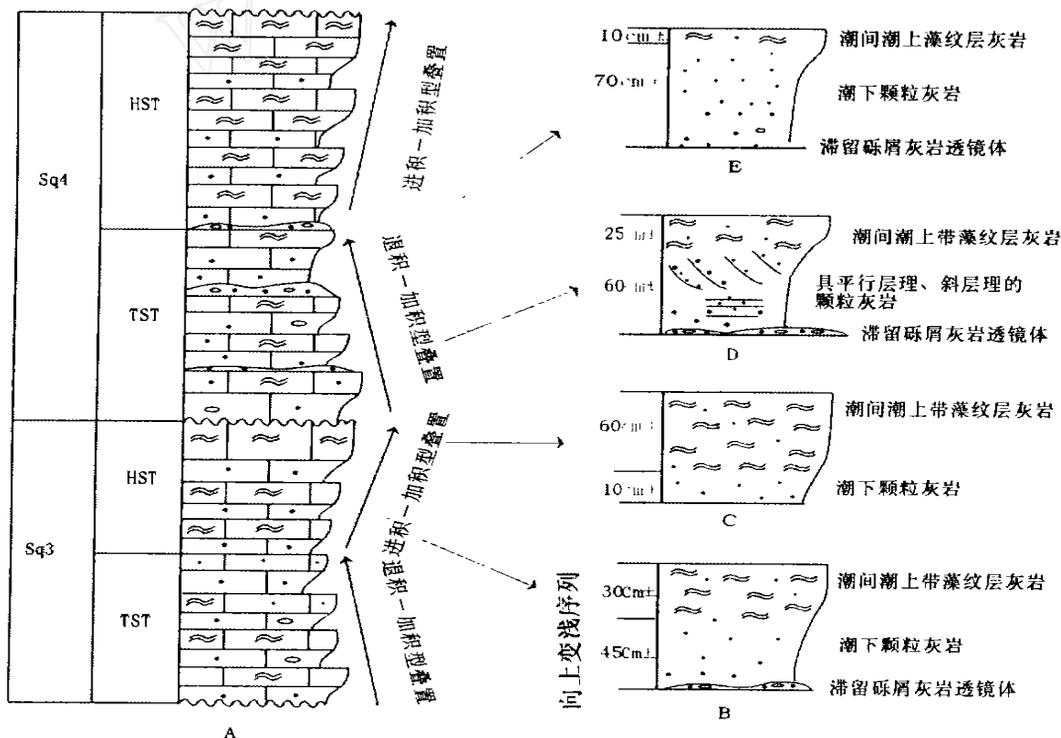


图2 潮坪序列准层序组特征及叠置序列

Fig. 2 Forming characteristics and stacking patterns of parasequence in tidal flat systems

2.2.2 浅滩序列中准层序组特征

可见两种准层序类型：一种为下部的亮晶砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩和上部的微晶粉屑灰岩、断续的藻纹层泥晶灰岩等组成(图3A),但以下部的高能带颗粒灰岩沉积为主,上部的泥微晶藻纹层灰岩厚度较薄,常夹有藻生命活动过程中粘结的颗粒灰岩。另一种为下部的泥微晶灰岩、含砂屑泥微晶灰岩和上部的亮晶砂砾屑灰岩组成(图3B),同样以上部的高能沉积的颗粒灰岩为主。两种浅滩相准层序底部均可见海侵初期的透镜状砾屑灰岩滞留层。

从上述准层序结构来看,浅滩序列灰岩并非全为

高能带沉积的颗粒灰岩,主要是由于海平面高频震荡和沉积相带的迁移所致。但岩类组合以高能浅滩沉积为主。

2.2.3 陆棚序列中准层序组特征

为浪基面以下的低能沉积,受海平面旋回变化影响较弱,沉积物以垂向加积为主,因此准层序的内部结构不明显,仅在大湾沟组下部层位见有少量的准层序上下结构特征。该类准层序底部未见透镜状砾屑灰岩滞留层,仅为下部的泥微晶灰岩、含泥质含生物屑的泥微晶灰岩和上部的含砂屑微晶藻灰岩、微晶砂屑灰岩组成(图3C)。

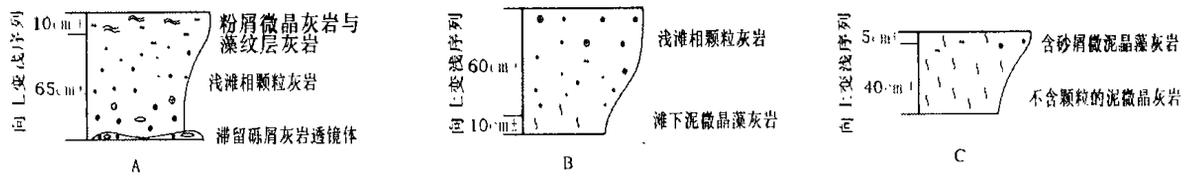


图 3 浅滩和陆棚序列准层序组特征

Fig. 3 Forming characteristics of parasequence in shoal and shelf systems

2.2.4 准层序叠置序列

准层序的垂向叠置方式反映了受海平面变化控制的体系域特征,研究方法主要是通过准层序内部组构特征在纵向上的变化来实现。随着海平面升降周期变化和沉积相带迁移,准层序内部上下单元的构成及其各单元的厚度比例发生相应变化。

进积型叠置序列:沉积速率/ 可容空间增长率 < 1 。主要表现为准层序下部单元的比例逐渐减少,上部单元的比例逐渐增加(图 2-A)。如鹰山组第一、二层序(Sq3、Sq4)的高位体系域,可见到准层序下部的潮下颗粒灰岩厚度逐渐变薄,上部的潮间潮上藻纹泥晶层灰岩的厚度逐渐变厚(图 2-B 到 C)。

退积型叠置序列:沉积速率/ 可容空间增长率 > 1 。主要表现为准层序内部上下单元厚度比例在垂向上变化,即准层序下部单元的厚度比例逐渐增大,上部单元的厚度比例逐渐减少(图 2-A)。如鹰山组第一、二层序的海侵体系域,可明显见到准层序下部的潮下颗粒灰岩厚度逐渐增大,上部的潮间潮上藻纹泥晶层灰岩的厚度逐渐变薄(图 2-D 到 E)。

加积型叠置序列:沉积速率/ 可容空间增长率 = 1。准层序的内部结构在垂向上不发生明显的变化。研究区碳酸盐岩的海侵体系域和高位体系域均有出现,通常与进积、退积型序列共生。

2.3 体系域构成特征

一个完整的三级层序,内部组成应包括三个体系域。通过准层序叠置序列和沉积微相研究,研究区碳酸盐岩三级层序主要以发育海侵体系域和高位体系域为主,低位或陆棚边缘体系域难以识别,可能是由于长周期海平面升降旋回与短周期升降旋回的叠加效应,导致层序内体系域的岩相配置发生改变或相序不连贯,从而形成复合体系域。

柯坪地区中下奥陶统为潮坪向潮下演化序列,直到碳酸盐岩被淹没,处于长周期海平面上升半旋回。在此背景下的短周期海平面下降沉积特征不明显,通常表现为海侵体系域直接超覆于层序不整合界面之上。

研究区的体系域构成在蓬莱坝组和鹰山组台地相

灰岩中,存在着颗粒灰岩的侧向迁移和垂向旋回性变化,容易判别准层序叠置方式,即海侵体系域准层序(图 2-A)以加积、退积方式叠置为主;高位体系域准层序(图 2-A)多以进积、加积方式叠置。少量见有退积方式叠置,可能是由于复合海平面变化的结果。因为三级海平面升降旋回内包含有高频旋回,同时又受控于二级周期海平面变化旋回的影响,因此导致体系域内局部地段的准层序叠置方式发生改变。然而在位于波基面以下的大湾沟组陆棚灰岩中,由于对海平面升降变化的反映较弱,同时台地灰岩侧向迁移进入深水陆棚区的物质极少,从而导致对准层序组构及其准层序叠置序列难以判别,仅从岩性的逐渐变化和海平面逐渐变深来看,该组灰岩的体系域构成应为加积和退积沉积。

3 三级层序的划分

柯坪地区中下奥陶统碳酸盐岩为一套缓坡型潮缘体系沉积,自下而上由潮坪相藻纹层白云岩、泥微晶藻纹层灰岩和砂砾屑灰岩演化为浅滩相颗粒灰岩和陆棚相泥质瘤状灰岩,依据生物地层划分为四个阶(两河口阶、红花园阶、大湾阶和牯牛潭阶),时间跨度 30 Ma^[7]。通过层序界面标定和准层序叠置序列及其体系域构成等方面的研究,研究区中下奥陶统地层划分为 7 个三级层序(图 4),每个三级层序平均时限 4.28 Ma。其中 Sq1~2 层序对应于蓬莱坝组地层,时间跨度 10 Ma;Sq3~6 层序对应于鹰山组地层,时间跨度 14.5 Ma;Sq7 层序对应于大湾沟组地层,时间跨度 4.5 Ma。各三级层序的特征如下。

Sq1:对应于蓬莱坝组下段地层。底部为灰岩超覆于寒武系下丘里塔格群顶部暴露面之上;顶部为潮上暴露溶蚀。层序下部以潮下灰白色厚层状亮晶砂砾屑灰岩为主夹藻粘结灰岩、藻泥微晶灰岩和成岩后生期的细粉晶白云岩,内部可见一系列向上变浅的准层序以加积、退积方式叠置,据此把这段潮下砂砾屑灰岩为主的地层作为海侵体系域;层序上部以潮间潮上带灰色、黄灰色藻纹层泥晶白云岩、成岩后生期的细粉晶白云岩为主组成,发育鸟眼构造和淋滤溶蚀,据此把这段

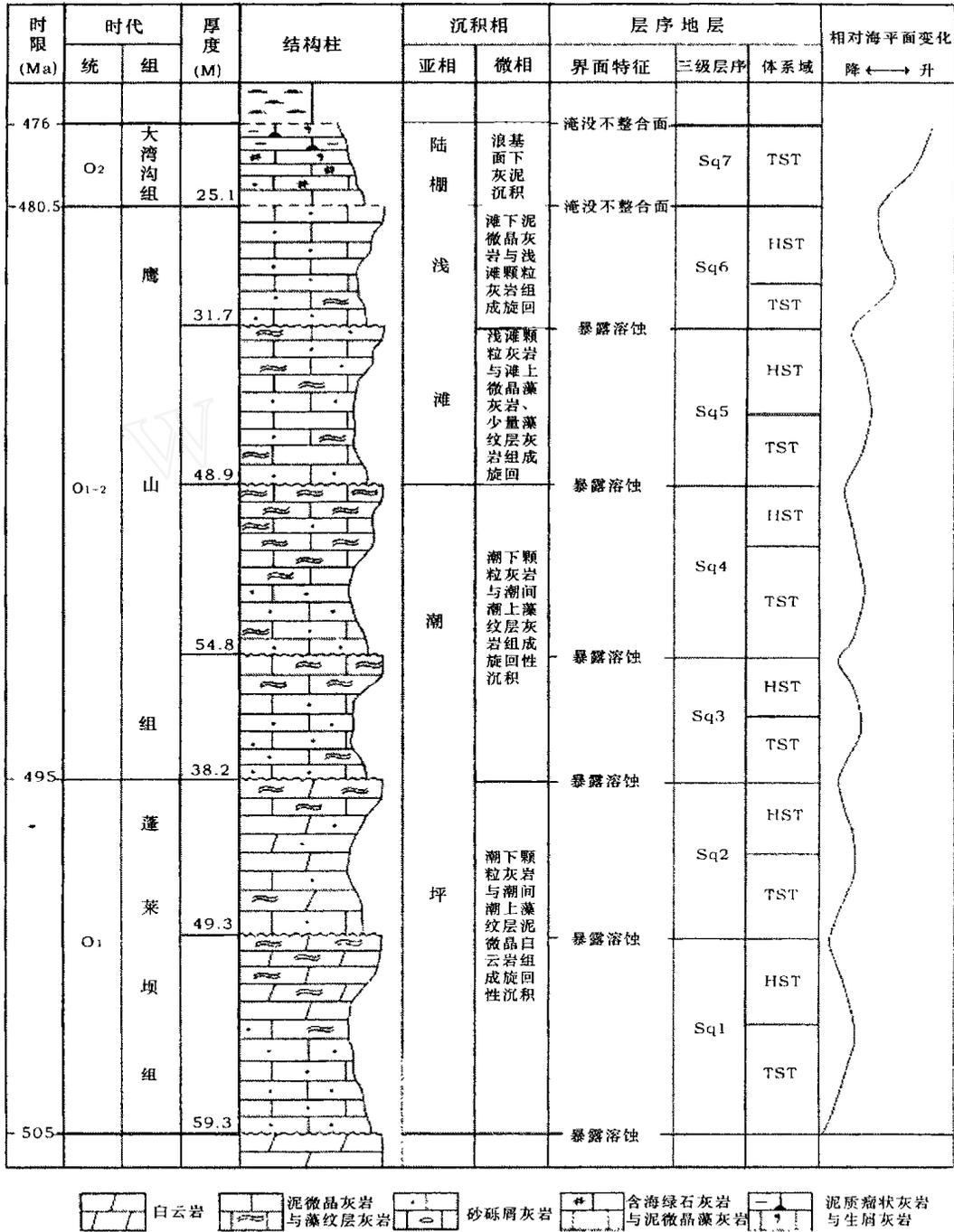


图4 柯坪印干村中下奥陶统层序地层综合柱状图

Fig. 4 Column of sequence stratigraphy of Lower - Middle Ordovician, Yingan village, Keping

地层作为高位体系域。

Ssq2: 对应于蓬莱坝组上段地层。该层序成岩后生期白云石化作用较强, 原岩多被重结晶为细粉晶白云岩, 但从一些残余结构来看, 海侵体系域以潮下具砂砾屑残余结构的细粉晶白云岩夹砂砾屑灰岩为主组成; 高位体系域以潮间潮上带藻纹层泥微晶白云岩、成岩后生期的细粉晶白云岩为主组成, 顶部具暴露和古土壤化。

Ssq3: 对应于鹰山组底部地层, 层序顶界面为暴露

溶蚀。该层序下部为潮下砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩沉积为主夹潮间潮上藻纹层微晶泥灰岩组成, 内部由一系列向上变浅的准层序叠置而成。但从下到上准层序内部的组成结构发生明显的变化: 早期的准层序由下部具较薄的砂砾屑灰岩和上部具较厚的藻纹层灰岩、藻泥微晶灰岩构成; 向上准层序下部的砂砾屑灰岩逐渐增厚而上部的藻泥晶灰岩逐渐变薄, 直至全为潮下砂砾屑灰岩组成, 显示了海平面逐渐上升的加积、退积型叠置特点, 据此把这套加积、退积型叠置序列作为海侵

体系域。层序上部由潮间潮上坪藻纹层泥晶灰岩、不显纹层的泥微晶藻灰岩为主夹潮下砂砾屑灰岩组成,鸟眼构造和藻的腐解溶蚀孔洞发育,顶部具大量暴露溶蚀及其溶蚀孔洞被灰绿色泥质充填现象。其内同样可见到一系列向上变浅的准层序叠置,但准层序内部结构在纵向上的变化与海侵体系域相反,因此把这套向上变浅的加积、进积型叠置序列作为高位体系域。

Sq4:相当于鹰山组下部地层(图 4),层序顶界面为暴露溶蚀。海侵体系域由潮下砂砾屑灰岩、藻鲕灰岩为主夹潮间潮上藻纹层灰岩、藻泥微晶灰岩组成,内部同样可见到一系列向上变浅的准层序以加积、退积方式叠置而成。部分准层序的底部见有一层厚度约 3 - 10 cm 不等砾屑灰岩透镜体,其上再为下部的砂砾屑灰岩和上部的藻纹层灰岩组成。高位体系域以鸟眼构造发育的藻纹层灰岩、藻灰岩为主夹少量的砂砾屑灰岩组成,且砂砾屑灰岩主要出现于该体系域的下部,向上演变为溶蚀孔洞发育的藻纹层灰岩、藻灰岩。

Sq5:对应于鹰山组上部地层,层序顶界面为滩顶暴露。层序下部由潮下浅滩相的亮晶砂砾屑灰岩、鲕粒灰岩夹少量的泥微晶藻纹层灰岩组成。内部的准层序由下部的砂砾屑灰岩灰岩和上部的藻纹层灰岩、泥微晶藻灰岩组成,但准层序上部的藻纹层灰岩不发育,底部通常可见海侵初期的滞留砾屑灰岩透镜体,准层序以加积、退积方式叠置,显示了海平面上升,据此把这套变深序列作为海侵体系域。层序上部由浅滩相的砂砾屑灰岩和潮间潮上带藻纹层灰岩组成,该段藻纹层灰岩厚度比 Sq3、Sq4 薄,但比海侵体系域厚,准层序以加积、进积方式叠置,据此把这套进积加积灰岩作为高位体系域。

Sq6:相当于鹰山组顶部地层,层序顶界面为海侵淹没。海侵体系域由浅滩相的亮晶砂砾屑灰岩、鲕粒灰岩夹少量藻纹层灰岩组成,藻纹层灰岩主要分布于该层序的下部,向上演变为亮晶砂砾屑灰岩。该体系域的准层序内部结构逐渐由下部的砂砾屑灰岩和上部的藻纹层灰岩组成演变为下部的藻泥晶灰岩灰岩和上部的砂砾屑灰岩,中间准层序全为砂砾屑灰岩组成,它可能为准层序结构的转换部位。高位体系域由浅滩相亮晶砂砾屑灰岩、鲕粒灰岩夹少量的泥微晶藻灰岩组成。泥微晶藻灰岩位于准层序下部,准层序上部由亮晶砂砾屑灰岩组成,准层序以加积、进积方式叠置。

Sq7:层序底部以一套薄层状泥晶藻灰岩、藻粘结灰岩超覆于鹰山组亮晶砂屑灰岩之上,其上为含海绿石泥晶藻灰岩,上部为含泥质、产大量角石生物的泥质瘤状灰岩,顶面为碳酸盐沉积终结面,显示了海平面逐渐变深过程,因此该层序以海侵体系域发育为特征(图

4),难以分辨出高位体系域,可能是由于浪基面以下灰泥的低速沉积和长周期海平面上升作用所至。该段灰岩准层序内部的上下结构不发育,仅底部见有少量的泥微晶灰岩和砂屑泥微晶灰岩组成旋回,上部的泥质瘤状灰岩类似于扬子区的宝塔灰岩,以发育游泳生物化石和生物扰动构造为特征,难以分辨出沉积旋回性。层序顶底界面均为碳酸盐岩淹没不整合面。

该段灰岩的演化序列类似于越南中新世碳酸盐台地^[14]和中国珠江口盆地下中新世碳酸盐岩台地顶部淹没^[15]的演化序列。不同之处在于本文把碳酸盐岩淹没到碳酸盐沉积终结这一过程的深水灰岩作为一个三级层序处理。主要是因为该套灰岩与上下地层之间存在明显的物性突变面。层序顶界面具有区域性特征,通过作者对塔西南的巴楚地区野外观察,发现该界面特征明显,仅表现形式不同而已。在巴楚一间房剖面上,对应于大湾沟组地层为同时异相的一间房组下部海绵礁灰岩;对应于萨尔干组黑色碳质页岩地层为同时异相的一间房组上部薄层陆棚相微泥晶藻灰岩。该套灰岩的时间跨度为 4.5 Ma^[7],已满足一个三级层序的时间跨度。作为一个三级层序划分,可突出碳酸盐岩淹没是一个漫长的过程,且分阶段完成。因此本文把这套变深序列作为一个三级层序。

4 结论

(1) 研究区为一套陆表海背景下的潮缘碳酸盐岩序列,从下到上由潮坪相白云岩、灰岩演化为潮下浅滩相颗粒灰岩再到浪基面以下的泥质瘤状灰岩,直至碳酸盐沉积终结。在此演化序列背景下识别出暴露层序不整合界面和淹没层序不整合界面 2 种界面类型。

(2) 准层序的内部结构在不同沉积环境有所不同。研究区识别出潮坪、浅滩及滩下三种类型的准层序结构,且随着海平面周期性变化,准层序内部结构发生相应的变化。

(3) 在层序界面标定和准层序叠置序列研究基础上,研究区划分出 7 个三级层序,并对各三级层序的特征进行了详细阐述。

参考文献(References)

- 徐强,姜伟,董伟良,等.中国层序地层研究现状和发展方向.沉积学报,2003,21(1):155~167[Xu Qiang, Jiang Ye, Dong Weiliang et al. Research status and development direction of sequence stratigraphy in China. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1):155~167]
- 陈洪德,王成善,刘文均,等.华南二叠纪层序地层与盆地演化.沉积学报,1999,17(4):529~535[Chen Hongde, Wang Chengshan, Liu Wenjun, et al. Jianxiang. Permian sequence stratigraphy and basin evolution in South of China. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17

- (4): 529 ~ 535]
- 3 王训练. 露头层序地层学研究中的几个基本理论问题. 中国科学(D辑), 1999, 29(1): 22 ~ 30 [Wang Xunlian. Some theoretic problems in studies on outcrop sequence stratigraphy. Science in China (Series D), 1999, 29(1): 22 ~ 30]
 - 4 史晓颖, 雷振宇, 阴家润. 珠穆朗玛峰北坡下侏罗统层序地层及沉积相研究. 地质学报, 1996, 70(1): 73 ~ 83 [Shi Xiaoying, Lei Zhenyu, Yin Jiarun. Lower Jurassic sequence stratigraphy and sedimentary facies on northern slope of the Mount Qomolangma. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(1): 73 ~ 83]
 - 5 周棣康, 王君奇, 叶德胜. 塔里木盆地北部奥陶纪地层及沉积特征. 见: 蒋炳南主编. 中国塔里木盆地北部油气勘探与开发论文集. 北京: 地质出版社, 2000. 11 ~ 23 [Zhou Dikang, Wang Junqi, Ye Desheng. Stratigraphy and sedimentary characteristics. In: Jiang Binnan, ed. Symposium on Oil - Gas Exploration and Development in Northern Tarim Basin, China. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 11 ~ 23]
 - 6 赵治信, 张桂芝, 肖继南. 新疆古生代地层及牙形石. 北京: 石油工业出版社, 2002. 1 ~ 88 [Zhao Zhixing, Zhang Guizhi, Xiao Jinan. Paleontological Stratigraphy and Conodont. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 1 ~ 88]
 - 7 徐怀大, 樊太亮. 新疆塔里木盆地层序地层特征. 北京: 地质出版社, 1997 [Xu Huaida, Fan Tai liang. Characteristics of Sequence Stratigraphy in Tarim Basin, Xingjiang. Beijing: Geological Publishing House, 1997]
 - 8 周志毅. 塔里木盆地各纪地层. 北京: 科学出版社, 2001. 39 ~ 80 [Zhou Zhiyi. All Period Stratigraphies. Beijing: Science Press, 2001. 39 ~ 80]
 - 9 叶德胜, 李正芬, 王君奇. 塔里木盆地北部寒武 - 奥陶系碳酸盐岩储层特征. 见: 蒋炳南主编. 中国塔里木盆地北部油气勘探文集. 北京: 地质出版社, 2000. 36 ~ 47 [Ye Desheng, Li Zhengfen, Wang Junqi. Reservoir characteristics of Cambrian-Ordovician in North Tarim basin. In: Jiang Binnan, ed. Symposium on Oil - Gas Exploration and Development in Northern Tarim basin, China. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 36 ~ 47]
 - 10 叶德胜. 塔里木盆地北部丘里塔格群(寒武系至奥陶系)白云岩的成因. 沉积学报, 1992, 10(4): 77 ~ 86 [Ye Desheng. The Origin of the Qiulitage Group Dolomite (Cambrian to Ordovician) in Northern Tarim basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(4): 77 ~ 86]
 - 11 王成善, 陈洪德. 中国南方二叠纪层序地层划分与对比. 沉积学报, 1999, 17(4): 499 ~ 509 [Wang Chengshan, Chen Hongde. Characteristics and correlation of Permian depositional sequences in South China. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 499 ~ 509]
 - 12 Schlager W. Drowning Unconformities on Carbonate Platforms. In: Crevello P D, Wilson J L, Read J F, eds. Control on Carbonate Platform and Basin Development. Special Publication, Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Tulsa. 1989, 44: 15 ~ 25
 - 13 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993 [Mei Mingxiang. Carbonate Cycles and Sequences. Guiyang: Guizhou Sciences and Technology Press, 1993]
 - 14 Emery D, Myers K J. Sequence Stratigraphy. Oxford: Blackwell Science Ltd., 1996. 211 ~ 237
 - 15 Erlich R N, Barrett S F, Guo Baiju. Seismic and geological characteristics of drowning events on carbonate platforms. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1523 ~ 1537

Study on Outcrop Sequence Stratigraphy of the Lower-Middle Ordovician Strata in Keping Tarim Basin

CHEN Ming^{1,2} XU Xiao-song² WAN Fang²
 LOU Xong-ying² WANG Zheng-jiang² FU Hen²
 1(Institute of Sedimentary, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)
 2(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082)

Abstract Based on pioneer studies of lithostratigraphy, biostratigraphy and chronostratigraphy, authors analysed sequence stratigraphy and sedimentary microfacies of the Lower-Middle Ordovician. Two sorts of sequence surfaces are discerned-exposing sequence unconformities and drowning sequence unconformities. Three kinds of parasequence moulds are summarised as the tidal flat parasequences, the shoal parasequences and the shelf parasequences. Two main types of system tracts are formed by stacking patterns of parasequences-transgressive systems tract and high-stand systems tract. Based on these studies, Lower-Middle Ordovician strata can be divided into 7 three-grade sequences. Among these, The Sq1-2 three-grade sequences are comparable with Penglaiba formation, the Sq3-6 three-grade sequences are comparable with Yingshan formation and the Sq7 three-grade sequence are comparable with Dwangou formation. The Sq1-2 three-grade sequences are composed of penecontemporaneous dolostones and carbonates tidal flat cycles, and the Sq3-6 three-grade sequences are composed of tidal flat cycles and shoal cycles and the Sq7 three-grade sequences are composed of shelf facies carbonates.

Key words sequence stratigraphy, sequence unconformity surface, parasequence, systems tract