

塔中地区寒武—奥陶系层序地层格架 与沉积演化特征

陈新军^{1,2}, 蔡希源³, 徐旭辉¹, 朱建辉¹, 唐大卿⁴

(1.中石化勘探开发研究院无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151;2.同济大学,上海 200092;

3.中国石油化工集团公司,北京 100027;4.中国地质大学,湖北 武汉 430074)

摘要:通过层序地层学的划分与对比,将塔中地区寒武—奥陶系划分出8个超层序,其中寒武系包含3个超层序,奥陶系包含5个超层序,下奥陶统2个,中上奥陶统3个。塔中地区寒武—奥陶系沉积相具有典型的分层结构,沉积相在纵向演化上,由下部的蒸发台地、局限台地相、开阔台地相,向上变为台地边缘相、浅水陆棚相、混积陆棚相及斜坡相,代表了海水向上持续增深过程。

关键词:层序地层;沉积相;寒武—奥陶系;塔中地区

塔里木盆地的石油地质条件十分复杂,勘探难度非常大,在油气地质条件与油气成藏规律等多个方面,仍存在着许多认识不清或有待深入研究的问题。就塔中地区而言,由于隆起带复杂的地质结构特点,致使进一步的油气勘探遇到了困难。其中,地层基础研究方面突出的问题表现在:地层格架及沉积层序。地层格架是寻找非构造油气藏的基础,沉积层序研究有利于寻找有利储集相带和岩性油气藏。基于以上问题,笔者运用层序地层学理论与方法技术,对塔中地区寒武—奥陶系层序地层及沉积相等进行了细致的研究。

1 层序地层格架的建立

正确识别、划分和对比不同级别的层序界面是建立层序地层格架的关键。在塔中地区寒武—奥陶系的钻井上主要有以下几种类型的层序界面标志:

侵蚀沉积间断面 此类界面在钻井上表现为侵蚀,对应的电测曲线均出现突变接触关系。从地震剖面上看,在界面上下可见削截、上超、顶超等特征,表现出不整合面的特征。塔中地区寒武—奥陶系发育有几期大的不整合面,因此,此类界面较常见,有砂岩直接覆盖在泥岩之上的,也有寒武系白云岩直接覆盖在基底岩浆岩之上的。

沉积环境转换面 表现为沉积相的突然变化,在层序边界处常常伴有沉积相的突变现象,例如浅水沉积物直接覆盖在深水沉积物之上。钻井揭示,上寒武

统与中下寒武统间存在着明显的沉积环境转换,中下寒武统为一套中厚层灰色白云岩、灰色云质膏岩和膏质云(泥)岩,为蒸发台地相产物,且由下至上沉积水体有逐渐变浅的趋势;上寒武统为巨厚层的浅灰、深灰、褐灰色白云岩,为局限台地相沉积,沉积水体向上逐渐加深。

地层叠加型式转换面 在垂向剖面上岩相类型或相组合转换的位置,即水体向上变浅的相序或相组合向着水体逐渐变深的相序或相组合的转换处。其电测曲线表现为曲线组合型式的转换,如视电阻率曲线表现为由低值到高值再由高值到低值的转换,即由进积型转换为退积型。

依据上述层序界面标志,结合地震反射特征,在塔中地区寒武—奥陶系自下而上可以识别出SB1~SB9共9个层序界面。

2 层序地层格架

层序地层格架的建立是以单井层序划分为基础的。本文运用 EXXON 公司的层序地层学理论,与 T A Cross 的基准面旋回分析方法进行层序划分^[1~3]。通过对各种地质资料的分析,建立了本区的层序地层格架,在塔中地区寒武—奥陶系共识别出8个超层序(图1)。

寒武系和4井、塔参1井完整地揭示了寒武系,可将其分为3个超层序,7个三级层序。第一个超层序(SSq1)大致对应于下寒武统,包含了2期潮上-

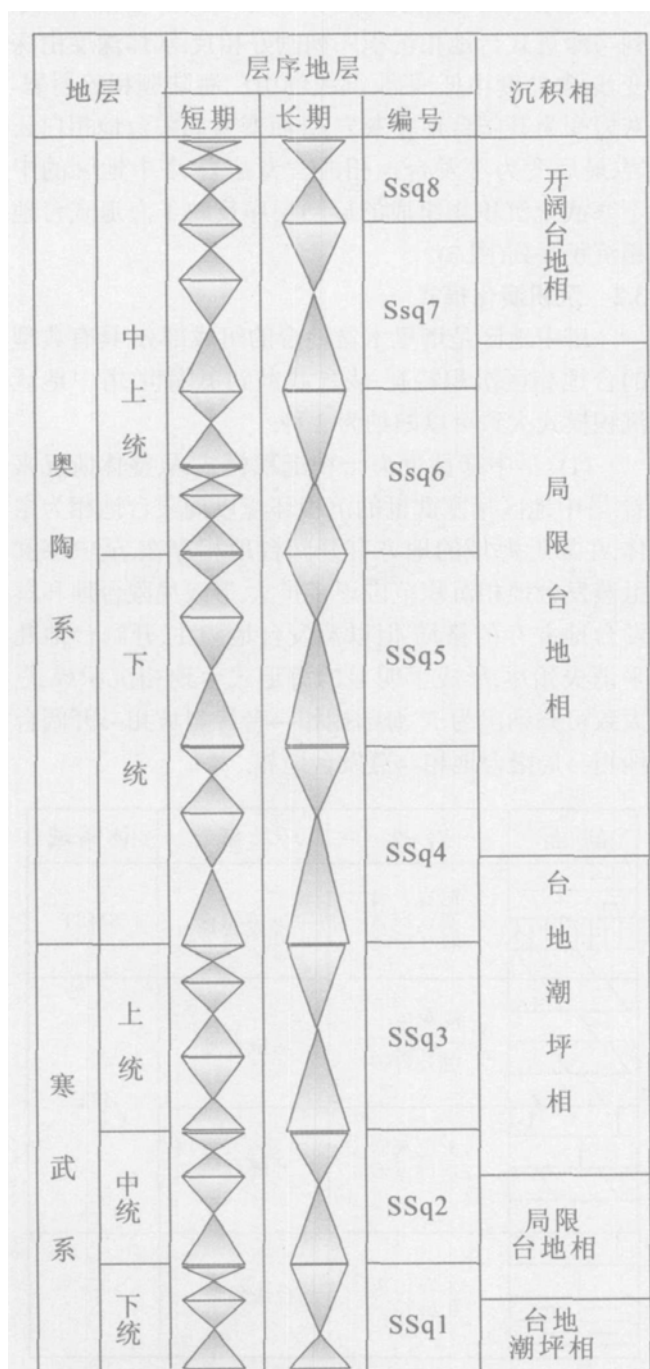


图 1 塔中层序格架图

Fig.1 The sequence frame map in the center of Tarim Basin

潮间相带交替旋回,因而有 2 个次级层序。在塔中地区超层序 SSq1 发育于潮坪、湖沼环境,主要由深灰色粉晶云岩、泥粉晶云岩与褐色含膏云岩、膏质云岩组成,局部夹薄层灰色云质膏岩。根据 3 期旋回的叠加关系,最大水泛期发育于早寒武世晚期,表现为一个不对称旋回,以海平面的上升占主导地位,而降期持续时间较短。

第二个超层序(SSq2)大致对应于中寒武统,内部包含着两个短期旋回。在塔中地区该层序主要发育于

潮上亚相,岩性为中层状深灰色亮晶砂屑云岩与深灰色粉-细晶云岩交替互层。该层序为一个近于对称的旋回。

第三个超层序(SSq3)由 3 个三级旋回组成,总体形成于海平面上升背景。由下部的潮上带向上变为潮间带。岩性仍以深灰色白云岩为主,局部夹有灰质云岩或浅灰色含云泥灰岩。另外,寒武系中夹有两期火成岩。

综合上述分析,塔里木盆地在寒武纪发生了 3 期海平面变化旋回,但海平面升降变化幅度不大。塔中地区整体上以局限台地-蒸发台地相的潮坪、泻湖环境为主,发育厚层深灰色白云岩和暗色泥质膏岩。

奥陶系 奥陶系包含了 5 个超层序(SSq4~SSq8),其中下奥陶统 2 个,中上奥陶统 3 个。

超层序 SSq4 对应于下奥陶统下部,包含 2 个三级层序。沉积旋回总体显示出不对称的特点,以海平面上升过程为主,而海平面下降过程持续时间较短。和 4、塔中 1、塔参 1 井发育中厚层深灰色白云岩、针孔状白云岩,以及褐灰色泥质云岩,上部夹有薄层云质灰岩,形成于潮间-云坪环境;超层序 SSq5 对应于下奥陶统上部,仍以海平面持续上升为特征,内部包含 2 个次级沉积旋回。在塔中 1 井,岩性与超层序 SSq4 相似,仍以灰褐色白云岩、深灰色泥质白云岩为主,夹有云质泥岩,为台地云坪环境产物。在塔参 1、和 4 等井,以厚层褐灰色粉晶、泥晶灰岩为主,局部发育浅灰、褐色灰质云岩,代表局限台地背景下的潮间、台内滩亚相的沉积特点。

根据上述分析,下奥陶统的两个层序总体上发育于海平面的上升背景下,沉积环境由下至上从台地潮坪、局限台地相逐步演变到开阔台地相,主要为克拉通内拗陷控制的台地相沉积^[8],地层岩性也从厚层灰褐色白云岩为主演变为以厚层褐灰色灰岩为主。

中上奥陶统可分为 3 个超层序(SSq6~SSq8),但在许多钻井中 3 个层序发育或保存不全。超层序 SSq6 大致对应于中奥陶统下部,在满加尔拗陷的几个钻井(如塔东 1、塔东 2、群克 1 等)中揭示较完整。在台地相区的塔中地区基本缺失,只有塔北英买力、轮南等地区该层序发育。

3 层序格架内的沉积演化特征

塔里木盆地塔中地区寒武—奥陶系沉积相具有典型的分层结构。在纵向上,总体反映为海平面的持续上升过程,只是到上奥陶统晚期,海平面开始下降。

因而在沉积相纵向演化上,由下部的蒸发台地、局限台地相、开阔台地相,向上变为台地边缘相、浅水陆棚相、混积陆棚相及斜坡相,代表了海水向上持续增深的过程^[4]。

3.1 沉积序列

塔中地区广泛发育了台缘斜坡相、开阔台地相、局限台地相和蒸发台地相等各种类型的沉积物^[5-7],各种沉积相类型所具有的沉积序列特征也各不相同。通过横向、纵向上的分析、对比,结合层序地层学研究成果,归纳出它的沉积序列:

海进式台地相沉积序列 塔中地区寒武—奥陶系广泛发育了海进式台地相沉积序列,如上寒武统至下奥陶统就是一个非常典型的海进式台地相的沉积序列。上寒武统属局限台地亚相的白云岩沉积,向上逐渐有灰质云岩、云质灰岩出现,最后变成下奥陶统的开阔台地亚相的灰岩沉积。说明当海水受到海底地势的障壁作用与外海不畅通时,海水的含盐度有所增高,水体中镁离子比例增加,因此在局限台地的亚环境中出现了白云岩沉积。当海平面上升,局限台地区内的水体加强了与外海海水的流通,但不完全畅通,只能在海水流通较畅时沉积少量灰岩,夹于白云岩中,出现灰质白云岩沉积。当海平面进一步上升,海水大量涌入台地,使原来与外海不太畅通的水体得以与外海畅通,台地内海水的含盐度趋于正常,因而大量灰岩沉积取代了白云岩沉积,出现白云质灰岩。当海水再进一步上升,就只有灰岩沉积了。这使原来的局限台地环境变成了开阔台地环境,其沉积序列的变化过程如图2所示。

剖面	岩性	环境解释	体系域
	黑灰色泥岩夹灰岩	台缘斜坡	SMST
	灰色、深灰色灰岩	开阔台地	HST
	浅灰色、灰色白云岩	局限台地	TST
	紫红色页岩与膏岩互层	台地潮坪	CS

图2 海进式台地相沉积序列

Fig.2 The mesa facies sediment list of transgression

海退式台地相沉积序列 海退式台地相沉积序列与海进式台地相沉积序列刚好相反。水体深度由深变浅,含盐度由低变高,沉积物由广海陆棚相碎屑岩-灰岩变为开阔台地相灰岩,进而变为局限台地相白云岩,最后变为蒸发台地相的含膏盐岩。塔中地区的中下寒武统沉积物组成的旋回层序反映了海退式台地相沉积序列(图3)。

3.2 沉积演化模式

塔中地区是塔里木盆地台的组成部分,具有典型的台地相区沉积特征。从寒武世到奥陶世,塔中地区沉积模式大致可以归纳为3种:

(1) 早中寒武世为一种沉积模式。从整体情况来看,塔中地区早寒武世的沉积环境以局限台地相为主体,在靠近海域的地方有开阔台地相存在,至中寒武世蒸发台地相沉积范围逐步扩大,形成局限台地和蒸发台地并存的格局,但以蒸发台地为主,开阔台地几乎消失殆尽,形成了明显的海退式台地相沉积模式。大致可归纳出为:广海陆棚相→台缘斜坡相→开阔台地相→局限台地相→蒸发台地相。

剖面	岩性	环境解释	体系域
	泥岩、膏岩、白云岩互层	蒸发台地	SMST
	浅灰色、灰色白云岩	局限台地	HST
	灰色灰岩、白云岩	开阔台地	
	泥岩、灰岩互层	台缘斜坡	CS

图3 海退式台地相沉积序列

Fig.3 The mesa facies sediment list of regression

(2) 晚寒武—早奥陶世是另一种沉积模式。晚寒武世海水开始侵入,到早奥陶世,塔中地区内海水深度加大,原来的蒸发台地相已被海水淹没,使区内沉积环境由蒸发台地相和局限台地相并存转变为开阔台地相和局限台地相并存的环境,但以开阔台地相为主,沉积物以灰岩为主,生物繁盛,化石丰富,在塔中地区形成了较完整的海进式台地相沉积模式(图4)。大致可归纳为:混积陆棚相→台缘斜坡相→开阔台地相→局限台地相。

(3) 中奥陶世早期,塔中地区依然以开阔台地相沉积为主,中奥陶世晚期,塔中地区发生大的构造运动,地层被抬升剥蚀。晚奥陶世该地区发生大规模海侵,碳酸盐岩台地因海水的淹没而消失,转变为大面积的混积陆棚相沉积。

3.3 沉积相展布规律

寒武—早奥陶世,塔中隆起主体区以蒸发台地和局限台地相为主,向南、北两侧演化为开阔台地-台缘、斜坡相^[5-7]。从早寒武世到中寒武世是一个海退的过程,随着海水的下降,蒸发台地相成为塔中地区的

主要沉积相,向西南、东北两侧逐渐发育半局限-局限台地相。晚寒武世海水开始上升,塔中主体部位为局限台地相沉积,向东北依次发育开阔台地相、台缘相、斜坡相和半深海-深海相。至早奥陶世随着海平面的进一步上升,并且上升较快,振荡较大^[9],塔中地区沉积格局稍有变化,中央隆起带主体部位为局限台地相,其两侧为开阔台地相,至满加尔坳陷方向,逐渐演化为台缘斜坡相和半深海相(图 5)。

中奥陶世,塔中大部分地区出露水面,接受剥蚀,到晚奥陶世早期海平面开始上升,晚奥陶世海平面较

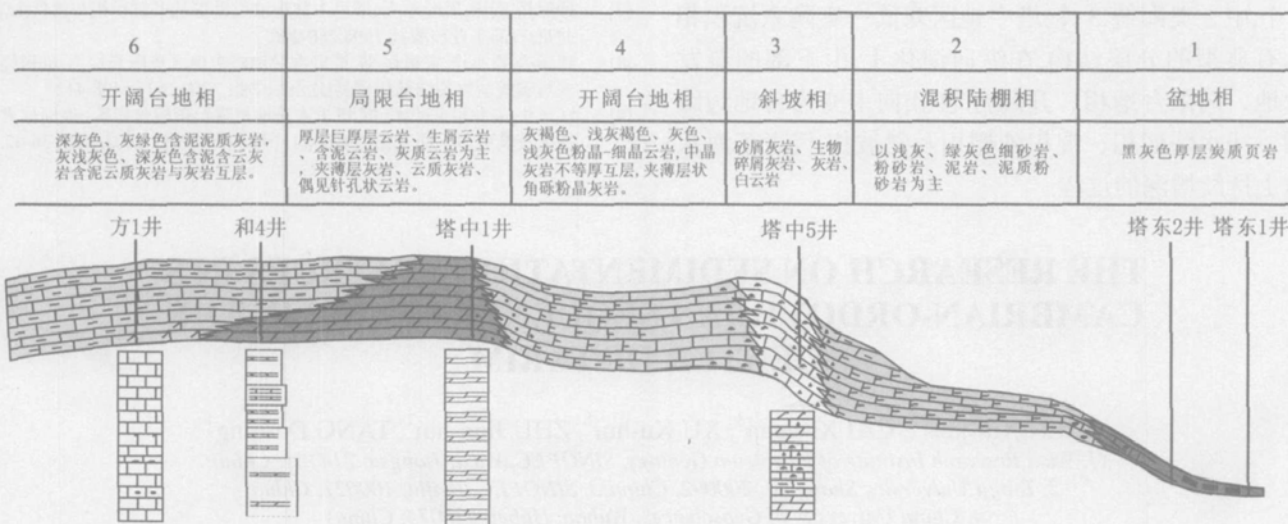


图 4 塔中地区上寒武统一奥陶统斜坡型台地沉积模式

Fig.4 The slope mesa sediment mode of upper Cambrian~lower Ordovician in the center of Tarim

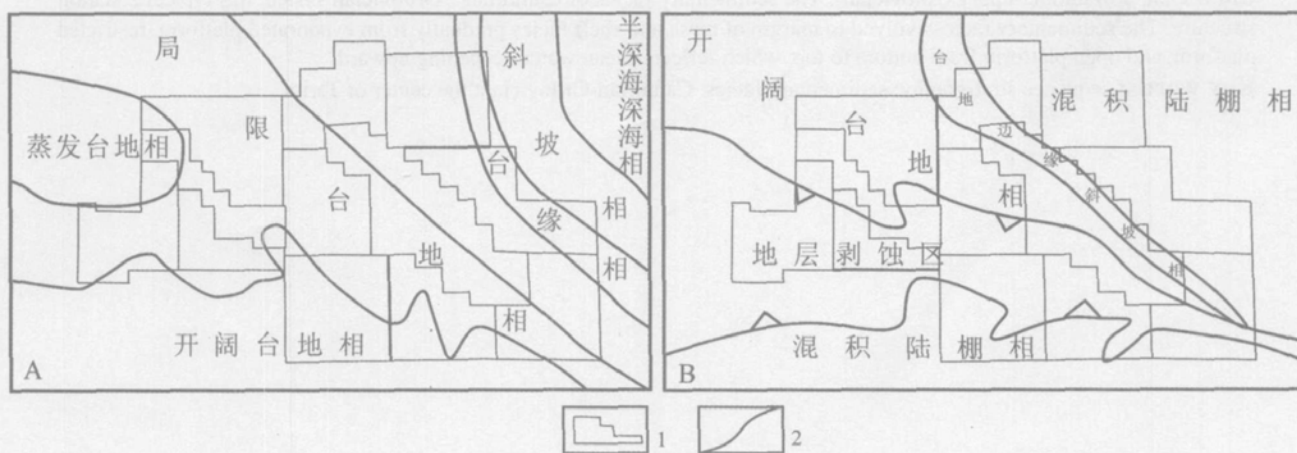


图 5 塔中地区沉积相平面图

Fig.5 The sedimentary facies ichnography in the center of Tarim

1.区块边界;2.相带边界

A——下奥陶;B——中奥陶

高,且保持相对稳定^[9]。塔中剥蚀区迅速缩小,塔中地区以开阔台地相为主,具有局限台地-开阔台地-台缘-斜坡-开阔陆棚的沉积格局(图5)。

晚奥陶世中晚期,随着海平面的进一步上升,台地范围明显收缩,以混积陆棚相为主,沉积格局演变为开阔台地→混积陆棚→浅(深)海盆地。

4 结论

通过对钻井、测井资料及地震等资料的分析,将塔中地区寒武—奥陶系划分出8个超层序,寒武系包含3个超层序,奥陶系包含5个超层序。其中下奥陶统2个,中上奥陶统3个。塔中地区寒武—奥陶系沉积相具有典型的分层结构,在纵向演化上,由下部的蒸发台地、局限台地相、开阔台地相,向上变为台地边缘相、浅水陆棚相、混积陆棚相及斜坡相,代表了海水向上持续增深的过程。

参考文献

- [1] Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum R M, et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions [A]. Sea Level Changes: An Integrated Approach[C]. SEPM Special Publication 1988, 42: 39-45.
- [2] Cross T A, Baler M R, Chapin M A, et al. Application of high resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[A]. Subsurface Reservoir Characterization from Outcrop Observations[C]. Paris: Editions Technip, 1993, 11-33.
- [3] 邓宏文,王洪亮.层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用[J].石油天然气地质,1996,17(3):178-184.
- [4] 陈新军,蔡希源,高志前,等.寒武、奥陶纪海平面变化与烃原岩发育关系——以塔里木盆地为例[J].天然气工业,2005,10(25):18-20.
- [5] 顾家裕.塔里木盆地沉积相与油气[M].北京:石油工业出版社,1993,128-172.
- [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,1996,95-297.
- [7] 顾家裕,阎火,周经才,等.塔里木盆地油气勘探丛书沉积相与油气[M].北京:石油工业出版社,1994,280-286.
- [8] 魏国齐,贾承造,宋惠珍,等.塔里木盆地塔中地区奥陶系构造-沉积模式与碳酸盐岩裂缝储层预测[J].沉积学报,2000,3(18):408-412.
- [9] 江茂生,朱井泉,陈代钊,等.塔里木盆地奥陶纪碳酸盐岩碳、银同位素特征及其对海平面变化的响应[J].中国科学(D辑),2002,2(32):36-42.

THE RESEARCH ON SEDIMENTATION FEATRUES IN S CAMBRIAN-ORDOVICIAN SEQUENCE FRAME IN THE CENTER OF TARIM

CHEN Xin-jun^{1,2}, CAI Xi-yuan³, XU Xu-hui¹, ZHU Jian-hui¹, TANG Da-qing⁴

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu, 214151, China;

2. Tongji University, Shanghai, 200092, China; 3. SINOPEC, Beijing, 100027, China

4. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074, China)

Abstract: According to division and comparison of sequence stratigraphy, the Cambrian ~ Ordovician in the center of Tarim can be divided into 8 super sequences in which 3 super sequences are in Cambrian, 5 are in Ordovician (2 in lower Ordovician, 3 in middle-upper Ordovician). The sedimentary facies of Cambrian ~ Ordovician system has typical zonation structure. The sedimentary facies evolved to margin of mesa and shelf facies gradually from evaporated platform, restricted platform, and open platform from bottom to top, which reflects ocean water deepening upward.

Key words: sequence stratigraphy; sedimentary facies; Cambrian-Ordovician; the center of Tarim