

文章编号: 1000-0550(2007) 03-0401-08

塔里木盆地志留纪沉积层序构成及充填响应特征

施振生¹ 杨威¹ 郭长敏¹ 朱筱敏² 张林¹ 陈刚¹

(1 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007; 2 中国石油大学资源与信息学院 北京昌平 102249)

摘要 塔里木盆地志留系是由角度不整合面所限定的一个区域性(二级)的沉积层序,其内可划分出 5 个三级沉积层序。总体上显示一个从水进到水退的沉积旋回,可识别出曲流河三角洲—辫状河三角洲、滨外陆棚及较深水盆地、无障碍碎屑滨岸—无障碍碎屑潮坪沉积体系组合,它们代表了二级沉积层序中相对低位、海侵和高位的 3 个沉积体系组合。研究区构造、沉积、古生物和古气候资料表明,层序 1 底界面和层序 5 顶界面是塔里木周缘板块构造挤压、盆地隆升作用的结果;层序 2 底界面是周缘板块强烈挤压、盆地挠曲下降作用结果,同期全球海平面快速上升;层序 3、层序 4 和层序 5 的底界面是在构造作用稳定、全球海平面下降背景之上由相对海平面次一级旋回变化形成的,是古气候变化、沉积物供给及构造沉降共同作用的结果。

关键词 志留纪 沉积层序 古气候 充填响应 塔里木盆地

第一作者简介 施振生 男 1976 年出生 博士 工程师 沉积学与遗迹学 E-mail shizh69@petrochina.com.cn
中图分类号 P512.2 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

志留系是塔里木盆地重要勘探层系之一,盆内已钻遇志留系井有 129 口,其中 9 口获工业油气流,8 口为可动油气,24 口见油气显示。大量研究表明,志留纪塔里木盆地为克拉通内拗陷盆地^[1,2]。当前,克拉通内拗陷盆地的沉积层序构成及其充填响应特征研究仍然是国际地球科学的前沿领域之一^[3,4]。众所周知,构造作用、气候条件、全球海平面变化等是盆地充填演化的主控因素^[5-7]。但在不同背景条件下这些因素的相互作用对盆地沉积充填的控制是极其复杂的,尤其是对于克拉通内拗陷盆地,不同级别的沉积层序和沉积演化具有不同的成因或主控因素。

本文结合大面积出露的野外剖面、地震、钻井及测井等资料综合分析,阐明了志留系沉积层序的构成特征,揭示了主要层序界面和沉积体系构成演化与构造沉降、古气候及全球海平面变化的成因联系。本课题的探讨不仅在克拉通内拗陷盆地层序构成及其动力学成因机制上具有重要意义,而且可为区内的油气资源预测提供参考。

2 地质背景

塔里木盆地北接南天山,南临昆仑山,总体呈东西向展布(图 1)。志留系主要分布于柯坪、巴楚、孔

雀河北岸等露头区和塔北隆起、北部拗陷、中央隆起和西南拗陷麦盖提斜坡等覆盖区及盆地北侧南天山地区,面积达 250 000 km²,总体呈由北向南从老到新,依次超覆,由南向北,从新到老依次剥蚀关系。盆内志留系与上覆泥盆系和下伏奥陶系均呈角度不整合接触,自下而上包括柯坪塔格组、塔塔埃尔塔格组和依木干他乌组,厚度达 1200 m(图 2)。主要由深灰色、紫红色泥岩、粉砂质泥岩和砂岩组成,总体上形成一个从水进到水退的沉积序列。

志留纪前,塔里木盆地为克拉通边缘拗拉槽演化阶段。震旦纪—早奥陶世,塔里木盆地周缘均为被动大陆边缘^[2]。早奥陶世末期,北部古大洋板块开始向中天山地块俯冲,昆仑洋向中昆仑地块俯冲,盆地周缘区域应力场由拉张变为挤压,被动大陆边缘转化为活动大陆边缘。奥陶纪末期,南北缘俯冲活动进一步增强,盆地大面积隆升剥蚀和强烈变形。志留纪,塔里木盆地进入周缘前陆盆地演化阶段,盆地南、北缘均为活动大陆边缘。中晚志留世,盆地南缘由于昆仑洋板块向中昆仑岛弧不断俯冲消减,导致洋壳消亡殆尽,中昆仑岛弧与塔里木大陆焊接在一起,并在大陆板块边缘形成周缘前陆盆地;盆地北缘,由于北部古大洋板块向中天山地块不断俯冲消减,导致洋壳逐渐消亡,中天山地块与准噶尔地块碰撞拼贴,造成强烈的岛弧火山活动及弧后扩张作用,南天山洋得到进



图 1 塔里木盆地构造区划(据顾家裕, 1994)

Fig 1 Tectonic subdivision of Tarim Basin(After Gu Jiayu, 1994)

一步发展^[2]。

志留纪, 塔里木为克拉通内坳陷盆地, 发育塔北前陆隆起、阿瓦提—满加尔凹陷和中央隆起三个次级构造单元。塔北前陆隆起为水上隆起, 地形相对较陡, 海水环绕其从东、西两个方向进入盆地内部; 中央隆起规模较大, 但地势低缓, 构造作用稳定。

3 盆地充填层序单元和构成特征

3.1 层序划分和界面特征

对塔里木盆地志留系的层序划分前人已提出过多种方案^[8-12]。本文依据 7 条盆地西北缘和西南缘的野外露头剖面研究和盆地内部 129 口钻井、测井资料分析, 结合地震剖面追踪, 在区内志留系中划分出 1 个二级层序和 5 个三级层序(图 2)。

层序 1 对应于柯坪塔格组下段, 底界为志留系与下伏奥陶系的分界面。在柯坪露头区铁热克阿瓦提等野外剖面上, 柯坪塔格组下段与下伏奥陶统印干组或其浪组为微角度不整合接触, 沿不整合面发育厚 3 ~ 15 cm 的、横向分布不稳定的灰白色、褐灰色古土壤层, 成分为褐铁矿、方解石和粘土矿物以及铁质结核。地震剖面上, 该界面对应于 Tg_5 反射, 表现为一组强相位、高连续性的特征, 可较清晰地观察到界面之上的上超反射和界面之下的削蚀反射。

层序 2 相当于柯坪塔格组中段, 底界面在盆内主要表现为与下伏上奥陶统(桑塔木组、英买力组)或

中—上奥陶统却尔却克群不整合接触。地震剖面上, 该界面对应于 Tg_4^3 反射, 界面之上可较清晰地观察到底超和上超, 或削截反射。

层序 3 对应于柯坪塔格组上段中下部, 底界面为 Tg_4^2 反射。柯坪露头区, 该层序底部砂砾岩成分单一、分选性和磨圆性好, 呈透镜状与下伏层不整合接触, 构成深切谷水道充填。盆内覆盖区, 该界面为整合面, 可以通过上下地层岩性、颜色、叠置样式和遗迹化石组合类型的突变来识别。

层序 4 相当于柯坪塔格组上段上部和塔塔埃尔塔格组下段。塔中和巴楚地区, 该层序底界面主要通过岩性、颜色和沉积相类型的突变来识别。界面之上, 岩性主要为浅灰色细砂岩、粉砂岩, 中间夹有薄层泥岩, 反映了潮间带砂泥坪沉积环境; 而界面之下则为浅灰绿色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩, 为潮上带泥坪沉积。该界面对应于 Tg_4^2 与 Tg_4^1 反射之间的一组弱振幅平行反射, 在盆地边缘表现为超覆接触。

层序 5 对应于塔塔埃尔塔格组上段和依木干他乌组, 底界面为沉积转换面, 顶界面为志留系与泥盆系之间的区域性不整合面。顶界面对应于强振幅、高连续的 Tg_4 反射, 界面上下上超或削蚀反射明显。

三级层序内据初始和最大海泛面还可划分出低位、海侵和高位体系域。三级层序在整个盆地内可以对比和追踪, 但体系域在横向上的稳定性相对较差, 厚度变化较大。

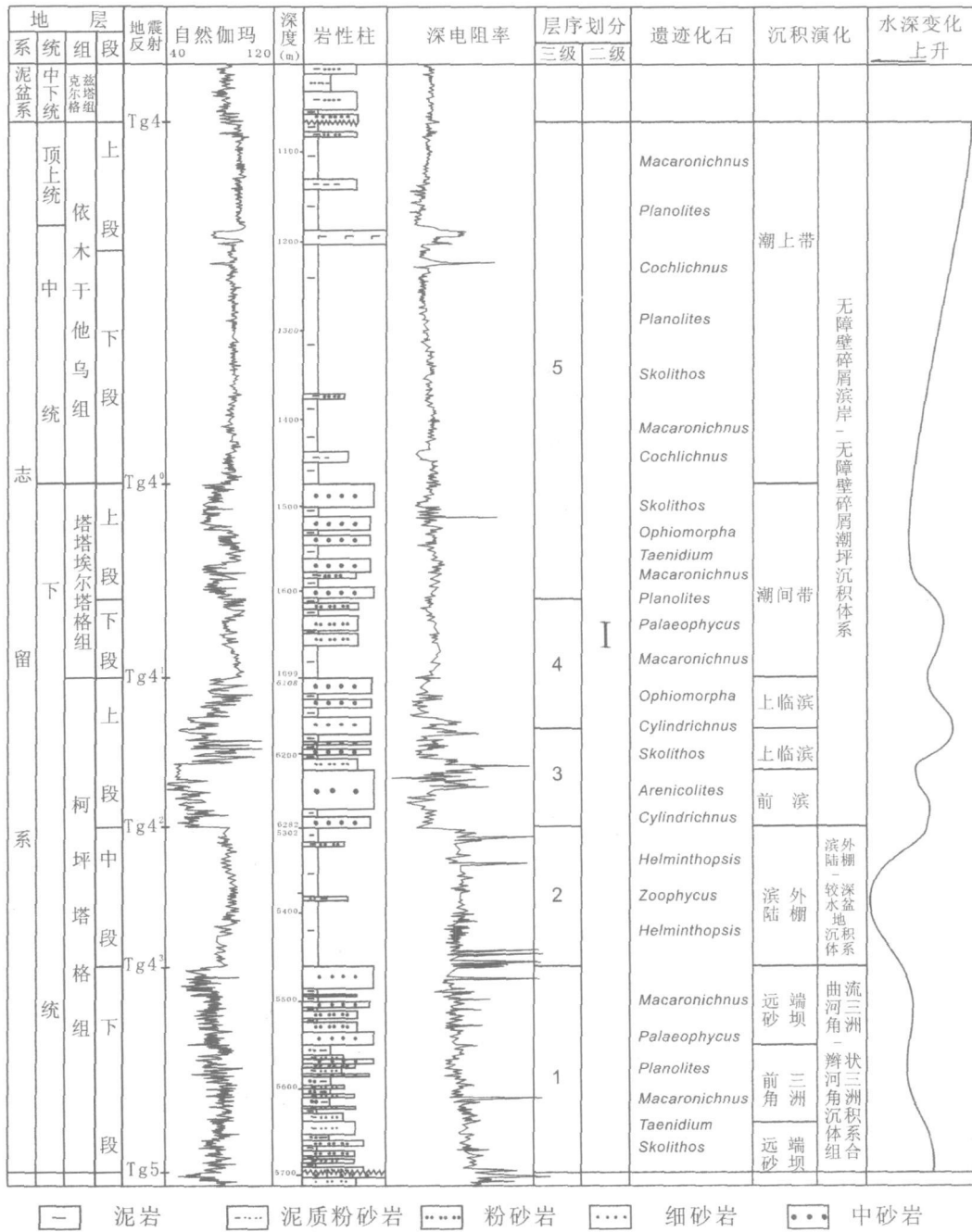


图 2 塔里木盆地志留纪充填序列和层序划分

Fig 2 Filling sequence and sequence stratigraphy division of Silurian in Tarim Basin

3 2 沉积体系分布及其演化

区内志留系主要发育有无障壁碎屑滨岸、滨外陆棚及较深水盆地、无障壁碎屑潮坪、曲流河三角洲及辫状河三角洲等沉积体系^[13-17]。关于无障壁碎屑潮坪沉积体系, 确定依据如下: 塔里木盆地具有较大幅度的构造运动, 在志留系沉积之前, 起伏的地形已趋于剥蚀夷平; 志留纪沉积时期, 塔里木盆地为稳定克拉通内拗陷盆地, 当时的海洋为地势较为平

缓、水体较浅的陆表海; 在钻井、测井资料中尚未发现典型的障壁岛沉积, 在地震反射剖面上也尚未发现反映障壁岛存在的地震相类型^[18]。在不同的盆地演化阶段其发育程度不同, 形成了特定的沉积体系组合。总体上, 可划分出以下 3 个代表盆地不同演化阶段的沉积体系组合。

(1) 早期曲流河三角洲—辫状河三角洲沉积体系组合。主要发育于层序 1 分布范围较小, 盆内仅

局限于满加尔凹陷的东部和塔东地区。塔东地区以分选、磨圆差的砾岩、砂砾岩和粗砂岩沉积为主,满东 1 井层序 1 可见 6~7 个由含砾砂岩—中砂岩—细砂岩组成的韵律层,单层厚 30~60 cm,发育楔状交错层理和平行层理,应为辫状河三角洲平原之辫状河道沉积。与辫状河道相伴生的泛滥平原沉积,砂岩粒度变细、含量降低,泥质含量明显增加,沉积构造以块状层理为主,偶见小型交错层理。而满加尔凹陷东部则以分选、磨圆性较好的浅灰色、灰白色中砂岩、细砂岩和灰绿色粉砂质泥岩和泥质粉砂岩薄互层为主,脉状层理、透镜状层理和波状层理丰富,反映了曲流河三角洲前缘远端砂坝沉积环境。该环境水体能量由于强、弱交替,故有机质丰富,含氧量高,适宜造迹生物生存,留下大量进食潜穴 *Macaronichnus* (通心粉管迹)、*Planolites* (漫游迹)、*Palaeophycus* (古藻迹) 和 *Skolithos* (石针迹) 等。

(2) 中期滨外陆棚—较深水盆地沉积体系组合。主要发育于层序 2。该时期沉积范围明显扩大,满加尔凹陷和塔东地区均有沉积。滨外陆棚和较深水盆地沉积体系分布于满加尔凹陷,沉积物为灰黑色、深灰色的泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩。粉砂岩泥岩和泥质粉砂岩中发育微细波状交错层理、透镜状层理,而泥岩具水平层理和小型波纹层理。实体化石见腕足类、海百合茎、植物化石碎片和完整的蛤化石。粉砂岩和泥岩中遗迹化石属种差异,其中,粉砂岩中进食迹和牧食迹较为丰富, *Taenidium* (枝带迹)、*Planolites* (漫游迹) 等常见,而泥岩中仅见有少量反映低能、弱含氧环境的遗迹化石 *Helmintopsis* (拟蠕形迹) 和 *Zoophycos* (动藻迹)。该时期塔东地区辫状河三角洲沉积体系依然发育,但分布范围变小、砂岩粒度变细、泥质含量增加。

(3) 晚期无障壁碎屑滨岸—无障壁碎屑潮坪沉积体系组合(图 3)。主要发育于层序 3 层序 4 和层序 5。该时期沉积范围进一步扩大,塔中低凸起和巴楚隆起大部分范围均有沉积。无障壁的碎屑滨岸沉积体系发育于塔北隆起和柯坪地区,以中、细砂岩为主,分选和磨圆较好,冲洗交错层理发育。由于水体高能、富氧,故与层面垂直或高角度倾斜的居住潜穴 *Skolithos* (石针迹) 和 *Ophiomorpha* (蛇形迹) 常见。无障壁碎屑潮坪沉积体系主要分布于塔中和巴楚地区,沉积物为波状层理、脉状层理及透镜状层理粉砂岩、细砂岩和紫红色砂质泥岩,反映低能、富氧环境的遗

迹化石 *Cochlichnus* (蜗行迹)、*Palaeophycus* (古藻迹)、*Macaronichnus* (通心粉管迹)、小型 *Skolithos* (石针迹) 和 *Planolites* (漫游迹) 等大量发现^[18~20]。满加尔凹陷依然发育滨外陆棚及较深水盆地沉积体系,但分布范围大幅度缩小,水深变浅。塔东地区仍以辫状河三角洲沉积体系为主,但分布范围稳定。总体上,从层序 3 到层序 5 无障壁碎屑滨岸沉积体系和无障壁碎屑潮坪沉积体系分布范围逐渐扩大,而滨外陆棚和较深水盆地沉积体系分布范围缩小,到晚期完全被潮下带所代替。

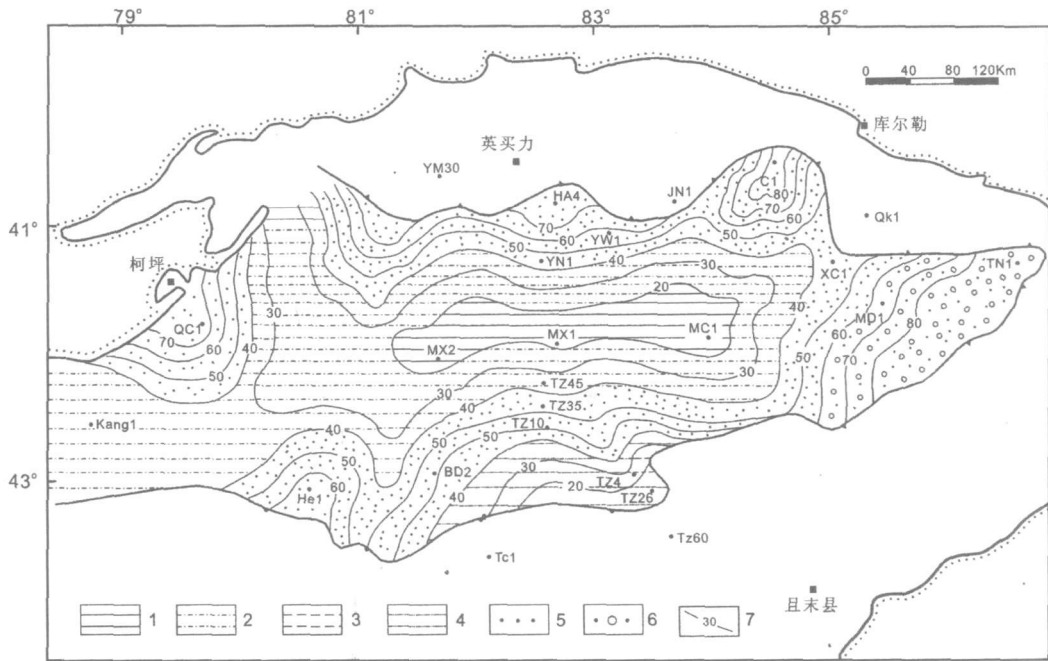
以上 3 个主要的沉积体系组合代表了志留纪塔里木盆地早、中、晚不同阶段的沉积充填。早期的曲流河三角洲—辫状河三角洲沉积体系、中期的滨外陆棚—较深水盆地沉积体系到晚期的无障壁碎屑滨岸—无障壁的碎屑潮坪沉积体系事实上构成了二级层序内相对低位、海侵至高位的沉积体系组合。

3.3 古气候变化

微量元素研究认为,在潮湿气候条件下,沉积岩中 Fe、Mn、Cr、V、Ni、Co 等元素含量较高,而在干燥气候条件下,由于水份蒸发,水介质的碱性增强, Ca、Mn、Sr、Ba、Na 被大量析出形成各种盐类沉积在水底,所以沉积物中它们含量相对较高。可以利用这两类元素的相对比例关系计算出古气候指数“C 值”,根据该值大小研究泥质岩沉积时的古气候。通过对塔里木盆地志留系 18 口取心井 183 块泥岩样品的分析化验表明,整个志留纪,60% 的数据都处于古气候指数大于 0.8 的潮湿古气候环境,15% 的数据属于半潮湿的古气候,另外 15% 属于半干燥—半潮湿的过渡环境,其余的数据处于干燥环境(表 1,图 4)。

平面上,气候最潮湿的地区是北部乔 1 井和东部满东 1 井两个地区,其次是古董 3、满西 2、塔河 1 和满西 1 井等地区。塔中地区气候较前几个地区明显干燥,属于半干燥—半潮湿的古气候。

志留纪古气候变化存在旋回性,其中,层序 1 到层序 3 为第一个气候旋回,层序 4 到层序 5 为第二个气候旋回(图 4)。在第一个气候旋回内部,层序 1 基本上属于半潮湿气候,而层序 2 属于潮湿气候,气候为最潮湿时期。自层序 3 低位时期开始,气候略向半潮湿方向转化,到层序 3 湖侵晚期则出现半干燥气候,直到出现层序 3 高位时期的红色泥岩沉积。层序 4 低位时期,盆地又回到了潮湿气候,而到层序 5 高位沉积时期,气候则变为干燥,出现大套红色泥岩沉积。



1. 较深水盆地, 含砂率 < 20%; 2 滨外陆棚, 含砂率 20% ~ 40%; 3. 潮上带, 含砂率 < 30%; 4 潮间带, 含砂率 30% ~ 40%; 5. 潮下带及滨岸, 含砂率 > 50%; 6 辫状河三角洲, 含砂率 > 60%; 7 含砂率等值线

图 3 层序 3 含砂率分布和沉积体系配置

Fig 3 Map showing the ratio of sand content and the distribution of sedimentary systems in Sequence 3

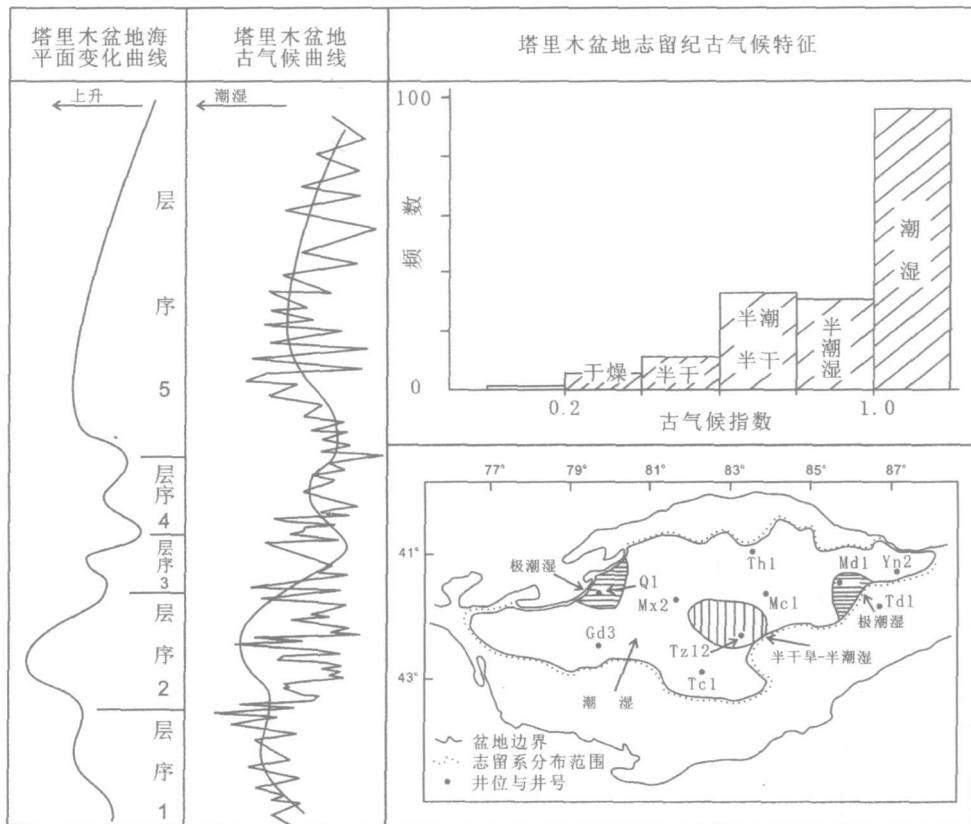


图 4 塔里木盆地志留纪古气候特征

Fig 4 Map showing paleoclimatic characteristics in Silurian Tarim Basin

表 1 塔里木盆地志留系古环境指标

Table 1 Palaeoenvironmental index of Silurian in Tarim Basin

井号	古水深指标 (Ni/ $\times 10^{-6}$)	古气候指数 (C)	古盐度指标				
			Sr/Ba	Sr/Ca	B/Ga	B/ $\times 10^{-6}$	Bc/ $\times 10^{-6}$
巴东 2	32 00	1 39	0.17	49 86	4 9	133.40	329 40
古董 3	28 73	1 52	0.25	246 83	1 8	64.18	2556 56
龙口 1	28 67	1 29	0.20	196 14	3 6	107.00	354 32
满东 1	32 27	4 01	1.14	220 23	7 0	159.91	660 99
满西 2	42 00	1 16	0.16	168 83	1 8	72.00	4182 97
乔 1	19 20	4 77	2.29	293 08	2 6	62.40	178 93
塔河 1	19 32	1 25	0.15	327.60	3 0	93.16	227.58
塔中 11	22 65	1 22	1.83	707.16	2 5	65.39	177.12
塔中 111	41 67	1 05	0.40	525 02	1 9	77.83	187.25
塔中 12	34 42	0 81	0.30	505 98	2 4	80.23	4053 97
塔中 47	36 46	0 61	0.92	1595 34	5 6	147.92	497.07
英买 2	17 33	1 48	0.30	121 64	2 8	58.83	210 24
英南 2	22 50	0 97	0.28	146 08	3 0	72.92	225 16
羊屋 1	23 09	1 07	0.16	261 11	3 2	92.36	258 75

4 盆地充填响应与动力学分析

志留系角度不整合于奥陶系之上,这种关系标志着奥陶纪末期的加里东晚期构造运动(又称艾比湖运动)。艾比湖运动过程中,塔里木板块北缘北部古大洋板块向其南部中天山地块强烈俯冲,出现岛弧火山活动,而南缘昆仑洋向中昆仑地块强烈俯冲,形成中昆仑岛弧和奥陶系祁曼塔格增生俯冲杂岩。盆地内部,由于地壳大幅度隆起抬升,海水从塔里木盆地内部大幅度退却,盆地基底暴露遭受剥蚀。该不整合界面在盆地周缘及内部均有明显表现,在地震上表现为明显的削截反射。这次构造运动对整个塔里木盆地的形成演化起着重要作用:塔里木盆地由震旦纪—奥陶纪拉张盆地为主的阶段转化为志留纪—泥盆纪克拉通内挤压盆地阶段;沉积体系类型发生变化,由奥陶纪的碳酸盐岩沉积为主变为志留纪—泥盆纪的碎屑岩沉积为主;古生物化石组合类型发生突变,界面之下为 *L. balfica* - *T. bergstroemi* 带,而界面之上则为 *Conochitina* sp. 2 带。艾比湖运动之后,由于板内构造应力释放,挤压作用减弱,全球海平面开始上升,接受志留系沉积。

层序 1 形成时期,由于盆地刚刚隆升回返,故沉积范围较小。该时期塔北隆起已露出水面遭受剥蚀,在其周围形成一系列曲流河三角洲沉积;塔东地区由于遭受盆地东南部阿尔金地块的强烈挤压,导致地壳快速沉降和大量沉积物供给,从而形成巨厚的、多个旋回叠置的辫状河三角洲沉积。层序 1 不仅拉开了志留系的沉积序幕,而且板块构造作用也处于强烈挤

压作用后的平静期。

塔里木周缘板块经历了长时期的应力积累,于层序 1 形成晚期又开始强烈挤压,从而形成层序 2 与层序 1 之间的不整合界面。主要证据有:构造研究表明,层序 1 形成之后,塔里木板块北缘由于北部古大洋板块向其南的中天山地块不断俯冲消减,南缘中昆仑洋板块向其南部的中昆仑岛弧不断俯冲,产生构造挤压作用,构造应力场传递到盆地内部,造成塔里木盆地内部挠曲变形,基底快速沉降^[21 22];从 Haq 等所建立的全海平面变化曲线可以看出,早志留纪全球海平面变化总体是上升趋势的,显然不能解释层序 2 与层序 1 之间的分界面^[23];微量元素研究表明,从层序 1 到层序 2 塔里木盆地古气候更趋潮湿,显然,古气候变化不是形成层序 2 底部不整合的主要原因。塔里木周缘板块的构造挤压,对层序 2 的发育产生重大影响,具体表现为:志留系沉积范围扩大,盆内除满加尔凹陷东部和塔东地区继续接受沉积之外,满加尔凹陷大部分地区均有沉积;相对于层序 1,层序 2 的曲流河三角洲沉积体系和辫状河三角洲沉积体系向后快速收缩,形成了一套以滨外陆棚和较深水盆地为主的沉积体系;岩心和露头上的遗迹化石类型发生改变,层序 1 主要发育居住迹和进食迹,常见遗迹化石属种有 *Skolithos* (石针迹)、*Macaronichnus* (通心粉管迹)、*Planolites* (漫游迹) 和 *Palaeophycus* (古藻迹) 等,反映了高能、富氧沉积环境,而层序 2 仅见少量牧食迹 *Helmithopsis* (拟蠕形迹) 和 *Zoophycos* (动藻迹),反映了低能、缺氧的沉积环境;地震剖面上反射同相轴广泛上超接触。

层序 3 层序 4 和层序 5 的底界面是在构造作用稳定、全球海平面下降背景之上相对海平面次一级旋回变化形成的, 是气候变化、沉积物供给及构造沉降共同作用的结果。证据有: 构造研究表明, 层序 2 形成之后, 塔里木板块周缘所受的板块挤压作用减弱, 盆地基底沉积速率降低并趋于稳定, 此时由于全球海平面下降, 各隆起遭受强烈剥蚀, 物源供给充分, 相对海平面下降, 沉积水体变浅以至暴露地表^[24-25];

从 Haq 等所建立的全球海平面变化曲线可以看出, 中晚志留纪全球海平面变化总体下降; 层序 3 层序 4 和层序 5 的相对海平面变化曲线与古气候变化曲线变化趋势非常接近, 进一步证明古气候对层序 3 层序 4 和层序 5 的形成产生重要影响 (图 4); 该时期无障壁碎屑滨岸沉积体系—无障壁碎屑潮坪沉积体系发育, 水深较浅, 各沉积体系在平面上分布稳定, 纵向上变化缓慢, 说明该时期大地构造稳定, 物源供给较少。层序 5 形成晚期, 由于构造缓慢抬升, 气候日趋干燥, 全球海平面整体下降, 故海水在盆地大部分地区均已退却, 只有盆地西部接受少量沉积。

层序 5 顶界面代表了加里东末期构造运动, 在盆地内部表现为泥盆系大面积缺失, 说明以盆地的大幅度隆升为特征。其隆升与塔里木板块西南缘中昆仑岛弧与塔里木大陆发生的碰撞事件及盆地东北缘中天山岛弧向塔里木大陆的仰冲有关。该期构造事件不仅使昆仑洋消亡, 中昆仑岛弧与塔里木大陆板块拼贴在一起, 而且引起塔里木盆地南部 (中央隆起及其以南地区) 强烈逆冲褶皱变形和泥盆系与志留系、奥陶系间的广泛不整合。此次构造运动结束了志留系的沉积, 盆地进入泥盆系发展阶段。

总体上, 志留系是在加里东晚期构造运动基础上形成的, 它主要是受盆地周缘板块构造活动控制的。在板块构造活动控制背景下, 全球海平面变化、气候变化和沉积物供给对层序的形成也产生重要影响, 它们控制着三级层序的形成、沉积体系的形成及分布。

5 结论

(1) 塔里木盆地志留系相当于 1 个二级的沉积层序和 5 个三级沉积层序。从沉积体系组合上可划分为早期曲流河三角洲—辫状河三角洲沉积体系组合、中期滨外陆棚—较深水盆地沉积体系组合和晚期无障壁碎屑滨岸—无障壁碎屑潮坪沉积体系组合。

(2) 志留纪主要为潮湿的古气候环境, 由下至上, 古气候存在明显的旋回性变化, 其中, 层序 1 到层

序 3 形成时期为第一个气候旋回, 层序 4 到层序 5 形成时期为第二个气候旋回。

(3) 层序 1 底界面是塔里木周缘板块构造挤压作用的结果; 层序 2 底界面是周缘板块经历长时期应力积累后再次强烈挤压作用的结果, 此时全球海平面快速上升; 层序 3 层序 4 和层序 5 的底界面是在构造作用稳定、全球海平面下降背景之上相对海平面次一级旋回变化形成的, 是气候变化、沉积物供给及构造沉降共同作用的结果。层序 5 顶界面代表了加里东末期构造运动, 盆地内部大幅度隆升。

参考文献 (References)

- 顾家裕. 沉积相与油气. 北京: 石油工业出版社, 1994. 1-163 [Gu Jiayu. Sedimentary Facies and Petroleum Geology. Beijing Petroleum Industry Press 1996. 1-163]
- 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1-324 [Jia Chengzao. The Tectonic Characteristic and Petroleum Geology of Tarim Basin in China. Beijing Petroleum Industry Press 1997. 1-324]
- Tucker M. E. Sequence stratigraphy of carbonate-evaporite basins: models and application to the Upper Permian (Zechstein) of northwest England and adjoining North Sea. *Journal of Geology Society in London*, 1994. 148. 1019-1036
- 侯明才, 陈洪德, 田景春. 层序充填动力学——层序地层研究的新方向. *地层学杂志*, 2003. 27(4): 358-364 [Hou Mingcai, Chen Hongde and Tian Jingchun. Sequence-filling dynamics—a new study direction on sequence stratigraphy. *Journal of Stratigraphy* 2003. 27(4): 358-364]
- Octavian Cătușeanu. Sequence stratigraphy of elastic systems: concepts, merits and pitfalls. *Journal of African Earth Science* 2002. 35: 1-43
- Edwards M. B. Understanding growth-faulted, intraslope subbasins by applying sequence-stratigraphic principles: examples from the south Texas Oligocene Frio Formation. *AAPG Bulletin* 2006. 90(5): 787-798
- Wellner JS, Sarza kjo S, Logoe M, et al. The late Quaternary stratigraphic evolution of the west Louisiana east Texas continental shelf. *SEPM Special Publication*, 2004. 79. 217-236
- 陈方鸿, 王贵文. 塔里木盆地塔中地区志留系测井层序地层学研究. *沉积学报*, 1999. 17(1): 58-62 [Chen Fanghong, Wang Guiwen. On logging sequence stratigraphy of Silurian Tazhong area Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999. 17(1): 58-62]
- 王毅. 塔里木盆地震旦系—中泥盆统层序地层分析. *沉积学报*, 1999. 17(3): 414-421 [Wang Yi. Sequence stratigraphy of the Sinian-Middle Devonian System in the Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999. 17(3): 414-421]
- 胡少华, 李秀珍, 王庆果. 塔里木盆地志留纪地层分布及其地震层序特征. *石油地球物理勘探*, 2005. 40(增刊): 1-18 [Hu Shaohua, Li Xiuzhen and Wang Qingguo. The distribution and seismic sequence of Silurian in Tarim Basin. *Oil Geophysical Prospecting* 2005. 40 (Suppl): 1-18]
- 朱筱敏, 王贵文, 谢庆宾. 塔里木盆地志留系层序地层特征. *古地*

- 理学报, 2001, 3(2): 64-71 [Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, Xie Qingbin. Sequence stratigraphy of Silurian in Tarim Basin. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(2): 64-71]
- 12 顾家裕. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化. 北京: 石油工业出版社, 1996 1-361 [Gu Jiayu. *The Sedimentary Sequence and Its Evolution*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 1-361]
 - 13 侯会军, 王伟华, 朱筱敏. 塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨. 沉积学报, 1997, 15(3): 41-47 [Hou Huijun, Wang Weihua, Zhu Xiaomin. Study of depositional model of Silurian system in Tazhong area Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(3): 41-47]
 - 14 朱筱敏, 王贵文, 谢庆宾. 塔里木盆地志留系沉积体系及分布特征. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(3): 5-12 [Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, Xie Qingbin. Characteristics and distribution of depositional systems of Silurian in Tarim Basin. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2002, 26(3): 5-12]
 - 15 朱如凯, 罗平, 何东博, 等. 塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组沉积相与沉积模式. 古地学期刊, 2005, 7(2): 197-206 [Zhu Ru-kai, Luo Ping, He Dongbo, et al. Sedimentary facies and models of the Kepingtage Formation of Silurian in Tazhong area, Tarim Basin. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(2): 197-206]
 - 16 钟广法, 彭德堂, 刘绍平, 等. 塔中地区志留系风暴沉积. 江汉石油学院学报, 1997, 19(1): 7-11 [Zhong Guangfa, Peng Detang, Liu Shaoping, et al. A study on Silurian tempestites in Tazhong area Tarim Basin. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 1997, 19(1): 7-11]
 - 17 张翔, 田景春, 彭军. 塔里木盆地志留统塔塔埃塔格组沉积体系及沉积模式. 沉积学报, 2006, 24(3): 370-377 [Zhang Xiang, Tian Jingchun, Peng Jun. Study on sedimentary system and models for Tataertage Formation (Lower Silurian) in Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(3): 370-377]
 - 18 施振生, 朱筱敏, 王贵文, 等. 塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃塔格组潮坪沉积中的遗迹化石. 沉积学报, 2005, 23(1): 91-99 [Shi Zhensheng, Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, et al. Trace fossils of tidal flat Tataertage Formation (Silurian) in Central Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 91-99]
 - 19 施振生, 朱筱敏, 王贵文, 等. 塔里木盆地志留系遗迹化石组合及其沉积环境. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 32-39 [Shi Zhensheng, Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, et al. Silurian ichnoassemblages of Tarim Basin and their sedimentary environments. *Journal of Xi'an Petroleum University (Natural Science Edition)*, 2004, 19(4): 32-39]
 - 20 齐永安, 苏现波. 塔里木盆地早志留世遗迹化石与准层序相组合. 地层学杂志, 1999, 23(1): 42-46 [Qi Yong'an, Su Xianbo. Early Silurian trace fossils of Tarim Basin and parasequence facies associations. *Journal of Stratigraphy*, 1999, 23(1): 42-46]
 - 21 许效松, 汪正江, 万方, 等. 塔里木盆地早古生代构造古地理演化与烃源岩. 地学前缘(中国地质大学(北京); 北京大学), 2005, 12(3): 49-57 [Xu Xiaosong, Wang Zhengjiang, Wan Fang, et al. Tectonic paleogeographic evolution and source rocks of the Early Paleozoic in the Tarim Basin. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 49-57]
 - 22 严俊君, 黄太柱. 塔里木盆地北部构造样式. 地球科学—中国地质大学学报, 1995, 20(3): 264-270 [Yan Junjun, Huang Taizhu. Structural styles of Northern Tarim Basin, Xinjiang. *Earth Science Journal of China University of Geosciences*, 1995, 20(3): 264-270]
 - 23 齐永安, 胡斌. 塔里木盆地志留统塔塔埃塔格组痕迹化石与海进期沉积及海进体系域. 沉积学报, 1998, 16(1): 23-26 [Qi Yong'an, Hu Bin. Trace fossils and transgressive deposits transgressive system tracts in Tataertage Formation (Lower Silurian), Tarim Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1): 23-26]
 - 24 谢晓安, 吴奇之, 卢华复. 塔里木盆地古生代构造格架与沉积特征. 沉积学报, 1997, 15(1): 152-155 [Xie Xiaohan, Wu Qizhi, Lu Huaifu. Tectonic framework and sedimentary feature of the Tarim Basin in Paleozoic. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(1): 152-155]
 - 25 汤良杰. 塔里木盆地构造演化与构造样式. 地球科学—中国地质大学学报, 1994, 19(6): 742-754 [Tang Liangjie. Evolution and tectonic patterns of Tarim Basin. *Earth Science Journal of China University of Geoscience*, 1994, 19(6): 742-754]

Depositional Sequence and Filling Response Characteristics of Silurian in Tarim Basin

SHI Zhen-sheng¹ YANG Wei¹ GUO Chang-min¹ ZHU Xiao-min² ZHANG Lin¹ CHEN Gang¹
 (1 Gas Department, Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang Hebei 065007;
 2 China University of Petroleum, Changping, Beijing 102249)

Abstract Silurian in Tarim Basin, bounded at the top and base by widely spread regional unconformities, can be divided into 1 second-order sequence and 5 third-order sequences. Three kinds of depositional system assemblages, which represent lowstand systems tract, transgressive systems tract and highstand systems of the second-order sequence, are identified in Silurian of Tarim Basin, namely assemblage of meandering river delta and braided river delta depositional systems, assemblage of offshore and slightly deep-water basin depositional systems and assemblage of clastic coastal depositional system with no barriers and clastic tidal depositional system with no barriers. Based on the integrated analysis of data of tectonics, sedimentology, palaeontology and palaeoclimatology, the base boundary of sequence 1 and top boundary of sequence 5 are thought to be originated from the pressure of peripheral plates and up lift of basin base. The bottom boundary of sequence 2 belongs to tectonically compressed unconformity that originates from the pressure of plates and decline of basin base. The bottom boundary of sequence 3, sequence 4 and sequence 5 results from integrated effect of change of climate, sediment source and tectonic activity under falling global eustacy.

Key words Silurian, depositional sequence, palaeoclimate, filling response, Tarim Basin