

塔里木盆地志留系层序地层特征及其勘探意义

任康绪¹, 肖中尧¹, 张丽娟¹, 黄智斌¹, 吴金才², 马志远³

(1 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院)

(2 吉斯克能源技术有限公司; 3 中国石化国际石油工程公司)

摘要 基于塔里木盆地典型露头剖面及钻揭地层的系统研究,建立了各区块志留系层序地层基准剖面。志留系可划分出 SQ₁—SQ₅ 五个层序,不同地区因残留程度不同而层序划分有所差别。志留系层序边界除 SB₁ 全盆易于追踪外,其他均不易追踪。根据地震相响应特征,志留系各个层序内部进一步划分体系域均比较困难。SQ₁、SQ₃ 为基准面上升半旋回型层序, SQ₂、SQ₄ 为基准面下降半旋回型层序, SQ₅ 为完整基准面升降旋回型层序。低位域盆底扇、海进域滨岸砂体、高位域前积复合砂体是塔里木盆地海相碎屑岩最有利的储盖组合类型。SQ₂ 和 SQ₄ 为重点勘探层序,滨岸砂体是主要勘探对象。

关键词 塔里木盆地; 志留系; 海相地层; 层序地层; 地层基准剖面; 地层圈闭; 岩性圈闭

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

塔里木盆地是一个经历多期演化而形成的大型复杂叠合盆地^[1],由于面积广阔的台盆区构造圈闭不太发育,近年来油气勘探的难度越来越大,因此寻找地层岩性勘探目标是今后的主攻方向,而开展层序地层学的工业化应用研究是在这一过程中实现油气勘探新突破的希望。以往对塔里木盆地开展的层序地层学研究多集中在对层序的划分与形成机制方面,研究目的不同,内容也各不相同,研究成果总体上缺乏系统性。为便于盆地各区块的统一和成果对比,有效指导生产,本文将结合油田的勘探现状,选择各区块有代表性的基准剖面(井)建立志留系层序地层标准柱状图,剖析层序界面特征和地震响应特征,讨论有利勘探方向。

1 区域地质背景

塔里木盆地台盆区志留系主要为一套陆源滨浅海相碎屑岩沉积^[2],在盆地内分布十分广泛,如塔北隆起、北部坳陷、塔中隆起、巴楚隆起等地区均有钻遇(图 1)。塔里木盆地志留系残留厚度变化比较大,最大地层厚度在北部坳陷满加尔凹陷东部,可达

1500 m 以上,阿瓦提凹陷最厚也在 1000 m 以上,其他地区厚度通常在几十到数百米不等,总体上具有西薄东厚的特点^[3-5]。

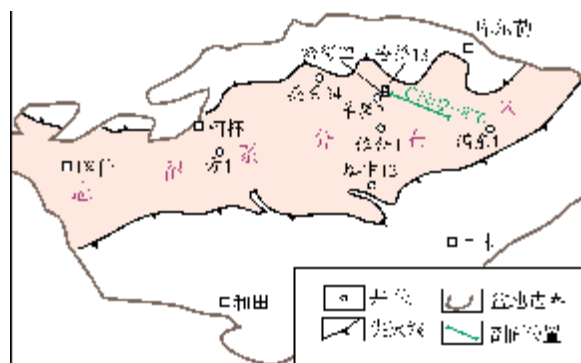


图 1 塔里木盆地志留系分布图

志留系沉积时的古地理格局总体南高北低,地层向南顶剥底超明显,昆仑山—阿尔金山为古隆起,轮台凸起西部也可能为古隆起。塔东地区和塔中及其以南地区为志留系主要物源区。主要海侵方向由北西向南东。志留系残留部分自下而上包括三个组,分别是柯坪塔格组、塔塔埃尔塔格组和依木干他乌组。

收稿日期: 2010-09-17

任康绪: 1972 年生, 2005 年毕业于北京大学岩石学专业, 博士, 高级工程师。通讯地址: 841000 新疆库尔勒; 电话: (0996) 2172085

柯坪塔格组底部陆棚暗色泥岩主要分布在塔北及柯坪地区,向塔中地区超覆尖灭,在塔东地区相变为辫状河三角洲沉积。柯坪塔格组上部在塔北和柯坪地区为滨岸相,在塔中以潮坪相为主夹滨岸相。塔塔埃尔塔格组下段主要分布在柯坪、塔北和塔中地区,向塔东相变成潮坪相砂泥岩;塔塔埃尔塔格组上段以潮坪相为主。依木干他乌组以红色泥岩为主,广泛分布在柯坪—巴楚—塔中西部一带,为潮上泥坪沉积。

2 基准剖面及其特征

结合油田勘探现状,本文优选了柯坪大湾沟露头剖面以及巴楚隆起、塔中隆起、塔北西部、轮南和塔东地区有代表性的5口井,以建立志留系基准剖面,总结盆地各区块志留系层序地层基本特征。

2.1 柯坪大湾沟层序基准剖面

该剖面志留系下统出露较好,中上统缺失。柯坪塔格组分为两个段,岩性主要为细砂岩、粉砂岩以及泥岩互层,其中下段主要为一套灰绿色泥岩,砂岩不发育。本组划分为两个层序。

层序1(SQ₁)相当于柯坪塔格组下段,该层序为基准面上升的高可容纳空间环境下产物。海进域较厚,具正韵律沉积特征,准层序呈退积叠加样式;高位域稍薄,准层序呈前积叠加样式。

层序2(SQ₂)相当于柯坪塔格组上段,为基准面下降的低可容纳空间环境下产物,主要发育高位域,具有反韵律沉积特征,其准层序呈退积叠加样式。海进域较薄,具正韵律沉积特征,反映从高能到低能的一个水进过程。

塔塔埃尔塔格组为一套细砂岩夹粉砂岩及泥岩,泥岩厚度横向变化大,偶夹砾岩及含砾不等粒砂岩,可划分两个层序。

层序3(SQ₃)相当于塔塔埃尔塔格组下段,为基准面上升半旋回占优势的高可容纳空间环境下产物,主要发育海进域,其准层序呈退积叠加样式。高位域较薄,表现为反韵律沉积特征,准层序呈前积叠加样式。

层序4(SQ₄)相当于塔塔埃尔塔格组上段,是在基准面升降平衡环境下形成的一完整地层旋回,海进域和高位域均比较发育。海进域体系的准层序呈退积叠加样式,高位域发育的准层序呈前积叠加样式(图2)。

2.2 巴楚隆起方1井层序基准剖面

方1井位于巴楚隆起北部,志留系中、下统均比较发育,在该地区有较好的代表性。该基准剖面志留系共可划分出5个层序(SQ₁—SQ₅)。

层序1(SQ₁)和层序2(SQ₂),岩性为陆棚相的泥岩与粉砂岩互层,属基准面上升半旋回型层序。层序1相当于柯坪塔格组下段,为基准面上升半旋回占优势的高可容纳空间环境产物,其海进域发育、高位域较薄;层序2相当于柯坪塔格组上段,是在基准面升降平衡环境下发育的一完整地层旋回,海进域和高位域均发育。

层序3(SQ₃)和层序4(SQ₄),岩性为泥岩、粉砂岩,属完整基准面升降旋回型层序。层序3相当于塔塔埃尔塔格组下段,该层序海进域和高位域均发育;层序4相当于塔塔埃尔塔格组上段,该层序为基准面上升的高可容纳空间环境下的产物,海进域发育,高位域较薄。

层序5(SQ₅)相当于依木干他乌组,岩性为泥岩与泥质粉砂岩呈不等厚互层,为基准面下降的低可容纳空间环境产物,海进域较薄,主要发育高位域。

2.3 塔中隆起塔中12井层序基准剖面

塔中12井位于塔中隆起的中东部,志留系中、下统发育较好,具有较好的代表性。本井志留系可划分4个层序(SQ₂—SQ₅),柯坪塔格组下段缺失。

层序2(SQ₂)相当于柯坪塔格组上段,岩性为一套滨岸相砂、泥岩互层,是在基准面升降平衡环境下发育的一完整地层旋回,海进域和高位域均发育。

层序3(SQ₃)相当于塔塔埃尔塔格组下段,岩性主要以泥岩为主,为基准面上升的高可容纳空间环境下产物,海进域发育,高位域较薄。

层序4(SQ₄)相当于塔塔埃尔塔格组上段,岩性为砂岩夹泥岩,该层序为基准面上升和下降形成的一完整地层旋回,海进域和高位域均发育。

层序5(SQ₅)相当于依木干他乌组,岩性为泥岩与粉砂质泥岩呈不等厚互层,为基准面升降平衡环境下形成的一完整地层旋回,海进域和高位域均发育。

2.4 塔北西部英买34井层序基准剖面

塔北隆起西部志留系发育不齐全,具有“底超顶剥”特征。英买34井区不仅有重要的油气发现,其地层特征在塔北西部也比较典型。根据岩性、电性组合特征,英买34井区志留系目前仅存下统的柯坪塔格

砂岩夹泥质粉砂岩,准层序呈前积叠加样式,海进域较薄,为滨岸相砂岩与泥岩互层,准层序呈退积叠加样式。

2.5 轮南地区羊屋2井层序基准剖面

羊屋2井位于塔北隆起轮南低凸起南部,志留系可划分出3个层序(SQ_1 — SQ_3),塔塔埃尔塔格组上段和依木干他乌组均缺失,与上覆泥盆系呈不整合接触。

层序1(SQ_1)相当于柯坪塔格组下段,该层序为基准面上升的高可容纳空间环境产物,海进域发育,高位域较薄。海进域由一大套陆棚相泥岩夹泥质粉砂岩和灰质粉砂岩构成,准层序呈退积叠加样式。高位域岩性仍为一大套陆棚相的泥岩夹泥质粉砂岩,但准层序呈前积叠加样式。

层序2(SQ_2)相当于柯坪塔格组上段,该层序在基准面升降平衡环境下,发育了一完整的地层旋回,海进域和高位域均发育。海进域由滨岸相含砾砂岩、中—细砂岩及粉砂岩组成一个正韵律沉积。高位域岩性为含砾粗砂岩、中砂岩夹粉砂岩及泥岩,具有反韵律沉积特征,准层序呈前积叠加样式。

层序3(SQ_3)相当于塔塔埃尔塔格组下段,该层序为基准面下降半旋回占优的低可容纳空间环境产物,海进域较薄,高位域发育。海进域为滨岸相临滨发育的中—细砂岩、粉砂岩与泥岩等厚互层,具有正韵律特征;高位域岩性为砂岩与泥岩呈不等厚互层,具有反韵律沉积特征。

2.6 塔东地区满东1井层序基准剖面

满东1井位于北部拗陷满加尔凹陷东部,志留系可划分5个层序(SQ_1 — SQ_5),由滨岸相的大套砂岩构成。

层序1(SQ_1)相当于柯坪塔格组下段,为基准面上升高可容纳空间环境产物,海进域发育,高位域较薄。海进域发育大套滨岸相前滨砂岩,准层序呈退积叠加样式;高位域也是大套前滨砂岩,但准层序呈前积叠加样式。

层序2(SQ_2)相当于柯坪塔格组上段,为基准面下降半旋回型层序。该层序海进域较薄,为滨岸相砂岩夹少量泥岩,准层序呈退积叠加样式;高位域发育,岩性为砂岩夹泥岩,电测曲线总体呈漏斗形,准层序呈前积叠加样式。

层序3(SQ_3)相当于塔塔埃尔塔格组下段,该层序为基准面下降半旋回型层序,高位域发育,海进域较薄。高位域岩性为砂岩夹泥质粉砂岩,准层序呈前积叠加样式;海进域由滨岸相砂岩夹泥岩构成,准层

序呈退积叠加样式。

层序4(SQ_4)相当于塔塔埃尔塔格组上段,该层序高位域发育,海进域较薄。高位域岩性为砂岩和泥岩,准层序呈前积叠加样式;海进域岩性为砂岩夹泥岩,准层序呈退积叠加样式。

层序5(SQ_5)相当于依木干他乌组,为基准面下降低可容纳空间环境下的产物。海进域较薄,岩性由大套滨岸相前滨泥岩夹粉砂岩构成,准层序呈退积叠加样式;高位域发育,岩性为砂岩和泥岩,电测曲线总体呈漏斗形,准层序呈前积叠加样式。

3 层序及界面特征

塔里木盆地各区块层序基准剖面的特征表明,盆地志留系主要发育5个三级层序界面(SB_1 — SB_5): SB_1 对应柯坪塔格组下段底,在露头上表现为与下伏奥陶系层序呈不整合接触。 SB_2 对应柯坪塔格组上段底,野外露头观察表明是一个沉积作用转换面,界面之下为陆棚相沉积,界面之上为滨岸相沉积。电测曲线上层序边界 SB_1 、 SB_2 均呈突变形态。地震剖面上 SB_1 表现为 $T_{S,k}$ 的反射,该界面是一个重要界面,其上超下削特征明显,可以全盆追踪对比。 SB_2 在地震剖面上反射较弱,追踪起来比较困难(图3)。

层序边界 SB_3 为塔塔埃尔塔格组下段底,在露头上表现为与下伏 SQ_2 呈不整合接触。界面之下为滨岸、陆棚相沉积,界面之上为河流、沿岸平原相沉积,为明显的沉积作用转换面。层序边界 SB_4 对应塔塔埃尔塔格组上段底,在露头剖面上表现为一沉积作用转换面,界面之下为沿岸平原相沉积,界面之上为河流相沉积。电测曲线上层序边界 SB_3 、 SB_4 均呈突变形态。地震剖面上层序边界 SB_3 表现为 $T_{S,t}$ 的反射,该界面在地震剖面上反射较弱,追踪起来比较困难。 SB_4 在地震剖面上反射很弱,追踪起来也很困难(图3)。

层序边界 SB_5 相当于依木干他乌组底,地震剖面为 $T_{S,y}$ 反射,其同相轴横向变化较大,在觉马1井以南地区反射振幅很强,其他地区反射较弱,不易追踪(图3)。

从层序特征方面来看,层序 SQ_1 相当于柯坪塔格组下段,主要为一套泥岩沉积。层序中部常发现大型密集段,代表最大海泛面的存在。电性曲线上表现为高电位、高电阻,构成一个完整地层旋回。该层序在地震剖面上为 T_{S,k_1} — T_{S,k_2} 之间的反射,可见2~3个低频宽相位、较弱振幅、较连续的反射。层序内部反射特征不明显,进一步划分体系域比较困难。从盆地沉积演化来

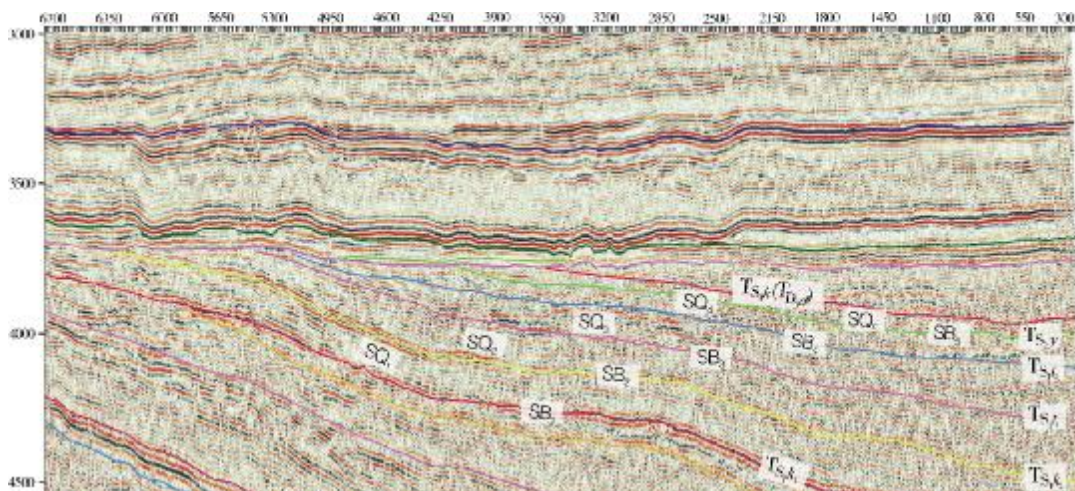


图3 塔里木盆地 CN02-870 线志留系层序地层解释剖面(剖面位置见图1)

TS_{k1} 柯坪塔格组第一段; TS_{k2} 柯坪塔格组第二段; TS_{t1} 塔塔埃尔塔格组第一段; TS_{t2} 塔塔埃尔塔格组第二段;
TS_y 依木干他乌组; TS_k 克兹尔塔格组; TD_d 东河塘组

看, SQ₁沉积时期主要为缓坡背景,不具备发育大型低位域条件,主要以海进域和高位域为主(图3)。

层序SQ₂相当于柯坪塔格组上段,主要为一套滨岸砂岩沉积。自然伽马曲线呈不规则参差状,中高幅值,由下向上变大,到上部又变小。在地震剖面上为TS_{k1}—TS_{t1}之间的反射,总体表现为2~3个低频宽相位、中振幅、连续的反射,进一步划分体系域较困难;从沉积背景看,低位域不发育,以海进域和高位域为主(图3)。

层序SQ₃相当于塔塔埃尔塔格组下段,为一套滨岸砂泥岩沉积。自然伽马曲线呈不规则的参差状、中—高幅值的钟型特征。在四石厂剖面,该层序底面为一沉积作用暴露面。在地震剖面上为TS_{t1}—TS_{t2}之间的反射,总的表现为2~3个弱波组,但在塔中地区表现为两个低频、中—强振幅、较连续的层状反射。与下伏地层呈超覆不整合接触关系(图3)。

层序SQ₄相当于塔塔埃尔塔格组上段。在电性曲线上表现为高电位、高电阻特征,构成一个完整地层旋回。在大湾沟剖面该层序下部发育一套基准面上升半旋回沉积,上部为一套基准面下降半旋回沉积。在地震剖面上对应TS_{t2}—TS_y之间的反射。与层序SQ₃相比,层序SQ₄在地震剖面上振幅明显变弱,底部边界表现为1~2个弱波组反射(图3)。

层序SQ₅相当于依木干他乌组,依木干他乌组下部为一套紫红色泥岩,向上发育鲕粒灰岩沉积。这套沉积为一完整基准面升降旋回的产物。在地震剖面上为TS_y—TS_k(TD_d)之间的反射。层序顶部剥蚀特征明显。层序上部地震反射多为弱—中振幅、中—高

频、连续性差,下部泥质重,反射能量较强,连续性变好。平面上SQ₅分布与SQ₄相比有所缩小。该层序在盆地东部地区主要以较强低频—空白反射为主,往西多以弱—中等中高频较连续反射为主(图3)。

4 有利勘探组合分析

通过对盆地地下古生界层序的系统研究,认为低位体系域盆底扇、海进体系域滨岸砂体、高位体系域前积复合砂体是塔里木盆地海相碎屑岩最有利的储盖组合类型。志留系层序SQ₁—SQ₅为陆棚—滨岸相沉积,其岩性主要为一套砂泥岩互层。这类层序体系储集体发育部位主要是海进域的海岸上倾尖灭砂体和高位域的前积复合砂体(图3)。志留系层序SQ₂、SQ₄沉积时为一个水体相对变浅的环境,海进域相对不发育,厚度较小,而高位域相对发育,厚度较大,为基准面下降半旋回型层序,层序总体上表现为以滨岸砂沉积为主,泥岩相对不发育,是寻找地层岩性圈闭目标的重要领域(图4a)。层序SQ₁和SQ₃沉积时水体相对变深,海进域相对发育,厚度较大,而高位域相对不发育,厚度较小,为基准面半旋回型层序,层序总体上为一套偏泥的沉积,以泥岩为主,砂岩相对不发育(图4b)。综合所述,志留系层序SQ₁(柯坪塔格组下段)和SQ₃(塔塔埃尔塔格组下段)的泥岩构成了区域的封盖层,而层序SQ₂(柯坪塔格组上段)和SQ₄(塔塔埃尔塔格组上段)的砂岩则是最好的储层。在后期因构造掀斜作用,这一储盖组合因地层倒转易于形成良好的地层岩性圈闭(图4c)。

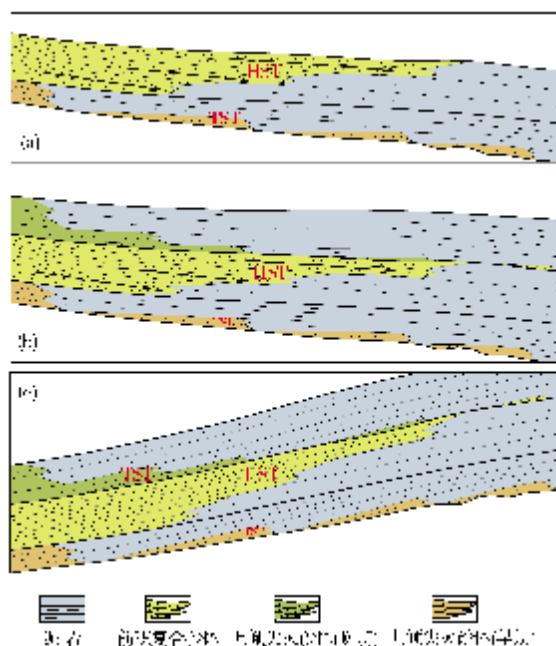


图4 塔里木盆地志留系有利储集体发育模式图
HST 高水位体系域; TST 海进体系域

5 讨论

前文针对志留系储盖组合发育模式进行了论述,据此对盆地志留系有利于形成地层岩性圈闭的区域进行搜索,认为塔北隆起哈得逊周缘地区是比较有利的区域之一。该地区志留系只保存了 SQ_1 — SQ_3 ,其中 SQ_2 为重点勘探层序。在哈得 18—哈得 22 井区一带,志留系滨岸砂岩尖灭带为截断尖灭,要形成有利

圈闭,必须要有构造高与之配合。在依合 4 井区,志留系滨岸砂岩尖灭带为层序 SQ_2 底部的低位域砂体,该砂体在层序底部边界上表现为双向下超,具盆底扇特征,是地层岩性圈闭发育的有利区带。依合 4 井的钻探表明了该地层岩性圈闭的存在,在 5773~5787 m 井段见 3 层共 9 m 的沥青砂岩,证实此地早期曾经发育古油藏,但在后期构造活动中被调整破坏,储层经历改造而物性变差,孔隙度一般仅 7%~8%,以致后期丧失再次捕获油气和成藏的可能性。

从塔里木盆地总的沉积背景来看,志留系沉积期间由于缺乏大规模的海侵事件,因此没有发育有效的区域性盖层,局部发育的圈闭经历早期成藏后,在后期常被调整破坏,储层也在这种调整过程中物性变差,油气成藏模式变得复杂。因此,进行地层岩性圈闭勘探,除了开展圈闭搜索外,还需要加强储层演化和复杂成藏方面的综合研究。

参考文献

- [1] 郭少斌,洪克岩. 塔里木盆地志留系—泥盆系层序地层及有利储层分布[J]. 石油学报,2007,28(3):44-50.
- [2] 赵文光,蔡忠贤,周波,等. 塔里木盆地台盆区志留系层序划分及其特征[J]. 新疆石油学院学报,2003,15(4):9-12.
- [3] 朱筱敏,王贵文,谢庆宾. 塔里木盆地志留系层序地层特征[J]. 古地理学报,2001,3(2):64-71.
- [4] 顾家裕,朱筱敏,贾进华,等. 塔里木盆地沉积与储层[M]. 北京:石油工业出版社,2003:2-78.
- [5] 刘金华,张世奇,魏垂高,等. 塔里木盆地志留系可容空间变化特征及其与油气成藏的关系[J]. 石油勘探与开发,2006,33(6):702-706.

编辑:金顺爱

Silurian Sequence Stratigraphy and Exploration Implications in Tarim Basin

Ren Kangxu, Xiao Zhongyao, Zhang Lijuan, Huang Zhibin, Wu Jincai, Ma Zhiyuan

Abstract: In view of the systemic study of the whole basin, the authors established Silurian criterion sections in different areas in Tarim Basin. For the Silurian rudimental strata, 5 sequences (SQ_1 — SQ_5) can be distinguished and different sequences are classified in different areas owing to their eroded extent. Except for the sequence boundary 1 (SB_1), the other Silurian sequence boundaries are generally hard to trace in the whole basin. According to the seismic phase responses for the Silurian sequences, it is hard to subdivide the system tract in the inner of them. The sequences SQ_1 and SQ_3 are ones of ascending semi-cycles of the base-levels and the SQ_2 and SQ_4 represent ones of descending semi-cycles. The SQ_5 is an integrated eustatic cycles sequence. The basin floor fans in LST, the coastal sandbodies in TST, and the progradational compound sandbodies in HST are the most favorable reservoir-seal rock assemblages for marine clastic reservoirs in Tarim Basin. It is suggested that The important prospecting sequences are SQ_2 and SQ_4 and the main exploration targets are the shoreline sandbodies.

Key words: Silurian; Marine formation; Sequence stratigraphy; Criterion section; Stratigraphic trap; Lithologic trap; Tarim Basin

Ren Kangxu; male, Doctor, Senior Engineer. Add: Exploration and Development research Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang, 841000 China