

# 塔里木盆地早、中志留世沉积序列及其对构造—海平面变化的响应:以柯坪露头区为例

邢凤存<sup>1</sup>, 白振瑞<sup>2,3</sup>, 李 祯<sup>2</sup>, 李思田<sup>2\*</sup>

1. 中国地质大学海洋学院, 北京 100083

2. 中国地质大学能源学院, 北京 100083

3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083

**摘要:** 志留纪是晚加里东运动对塔里木盆地古地理和古构造格局产生重要影响的构造变格阶段, 以全盆地规模的不整合面为界, 前志留纪以海相碳酸盐岩沉积为主的古环境转变为志留纪以海相碎屑岩沉积为主的古环境。开展志留纪沉积充填序列及岩矿特征研究, 有助于进一步认识塔里木盆地该变格阶段构造运动特征及其沉积充填响应。为此, 精选柯坪露头区志留系出露连续、完整的大湾沟及四石场剖面, 进行了露头精细沉积学观察采样及室内分析测试工作, 描述和重建了早、中志留世沉积环境、沉积序列及其所反映的海平面变化, 在此基础上划分了层序地层单元。下、中志留统可识别出陆棚、三角洲和潮汐影响的海岸等沉积体系类型, 大型三角洲的存在则是柯坪露头区的特色。通过砂岩碎屑组分构成研究, 并与 Dickinson 的砂岩组构大地构造背景模式图解对比, 揭示该区早、中志留世砂岩沉积物主要来自碰撞造山带和前陆隆起区以及大陆块的物源区, 该结果反映了志留纪早期, 受晚加里东运动影响, 塔里木周缘发生汇聚碰撞, 并由此造成塔里木地块南部和北部构造抬升并形成剥蚀区的背景。综合分析揭示早、中志留世沉积序列对构造和海平面变化响应特征。受晚加里东运动影响, 早期(柯坪塔格组沉积期)构造活动较强, 海平面波动明显, 在陆棚基础上发育有大型三角洲沉积, 其砂岩岩屑含量高、成分成熟度低, 总体反映了构造活动期快速抬升导致大量物源注入的特点; 后期(柯坪塔格组上部—依木干他乌组沉积期)构造活动逐渐减弱并趋于稳定, 海平面低幅度波动, 主要以潮坪、潮道、小型三角洲和泻湖沉积为主, 砂岩成分成熟度高, 细粒沉积物比例加大。总体上, 早、中志留世沉积序列反映了构造活动由强逐渐减弱并对凹陷区逐渐填平补齐的演化特征。

**关键词:** 塔里木盆地; 志留系沉积序列; 砂岩组构; 构造。

**中图分类号:** P539.2; P542

**文章编号:** 1000-2383(2011)03-0541-14

**收稿日期:** 2010-11-10

## Early-Middle Silurian Sedimentary Successions and Their Response to Tectonism and Eustatic Fluctuations: A Case Study from the Outcrops in Keping Area, Tarim Basin

XING Feng-cun<sup>1</sup>, BAI Zhen-ru<sup>2,3</sup>, LI Zhen<sup>2</sup>, LI Si-tian<sup>2\*</sup>

1. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China

**Abstract:** The Silurian, influenced by the Late Caledonian movement, is a significant change stage of palaeoenvironments and palaeotectonics in Tarim basin. The transformation from Pre-Silurian marine carbonate dominant deposits into Silurian marine clastic dominant deposits is bounded by the basin-scale unconformity surface at the bottom of Silurian. It is important to recognize the character of the tectonic movement and its depositional response by studying the sedimentary successions and mineral and lithological feature of sandstone in this period. Therefore, the outcrops in Keping area, where the Silurian depositional sequence is continuous and of perfect exposure, were selected for this study. Based on the detailed outcrop observation, sampling

**基金项目:** 中石化前瞻性项目“塔里木盆地台盆区古构造古环境及其动态演化”(No. YPH08114)。

**作者简介:** 邢凤存(1978—), 男, 博士后, 主要从事沉积学、层序地层学及油气储层的研究工作。E-mail: xingfengcun@163.com。

\* **通讯作者:** 李思田, E-mail: lisitian@263.net

and laboratory tests, the sedimentary environments and successions of the Early-Middle Silurian, and its responses to sea-level changes are reconstructed, and then sequence stratigraphy units are divided. Continental shelf, deltas and tidal influenced shoreline etc. are recognized from the Lower-Middle Silurian in Keping area. Large scale deltas deposits have been founded in the Lower Silurian. The study results of sandstone framework mineralogy composition, compared with Dickinson's framework modes, reveal that the Early-Middle Silurian sandstone were mainly derived from the provenance of collision orogenes, fore-bulge, and continental block. It directly reflects that the orogene around the Tarim plate's impact was due to the Late Caledonian compression during the Early Silurian. As a result, the north and the south of the Tarim plate were uplifted and a large denudation area was formed. Sedimentary successions analysis reveals the tectonics and eustatic fluctuation in the period of the Early-Middle Silurian. During the early stage (Kepingtage stage) of the Early-Middle Silurian, tectonic activity was intensive and eustatic fluctuation was obvious under the influence of the Late Caledonian movement. As a result, large scale delta systems with lower maturity and higher lithic content sandstone on the background of continental shelf environments developed, which reflects that as a result of rapid uplifting, there was an abundance of source input from the north of Tarim block. During the later stage of the Early-Middle Silurian, tectonic activities decreased and got stabilized, and low-amplitude eustatic fluctuation was dominant. Tidal action was obvious, and tidal flat, tidal channel, small deltas, and lagoon were developed, which sandstone was characterized by higher maturity and lower lithic content. Sedimentary successions of the Early-Middle Silurian indicate that tectonic activities decreased, and the depression area was filled with sediments.

**Key words:** Tarim basin; Silurian sedimentary successions; sandstone fabric; tectonics.

志留纪是晚加里东运动对塔里木盆地古地理和古构造格局产生重要影响的构造变格阶段, 沉积和气候背景均发生了重大的变化, 以全盆地规模的不整合面为界, 前志留纪以海相碳酸盐岩沉积为主的

古环境转变为志留纪以海相碎屑岩沉积为主的古环境(图 1)。研究这种地质背景下构造、沉积及海平面变化之间的响应关系, 有助于进一步认识该变格阶段构造运动性质及塔里木盆地的沉积充填响应, 同

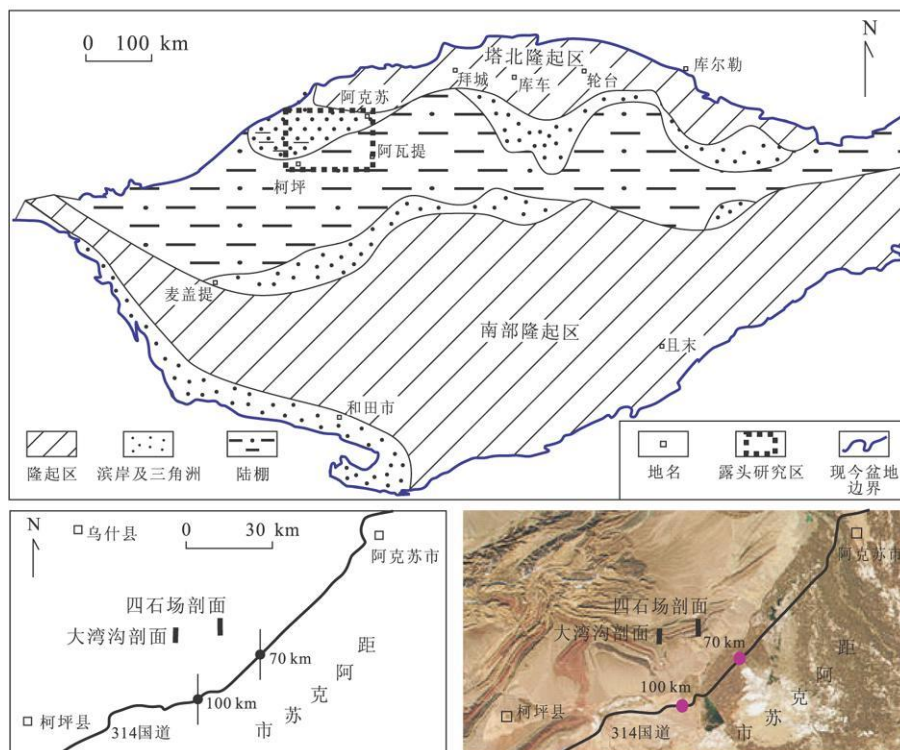


图 1 塔里木盆地早志留世柯坪塔格组沉积期构造古地理背景及研究区露头剖面位置(构造沉积环境图参考何登发(2004, 内部资料), 经允许修改发表)

Fig. 1 Tectonic palaeogeographic setting during the Early Silurian Kepingtage stage and the location of the study outcrops, Tarim basin

助于指导志留系油气勘探中的储集体预测。

文中选取志留系出露完整、连续的阿克苏市四石场剖面(下文简称四石场剖面)和柯坪县印干村大湾沟剖面(下文简称大湾沟剖面)(图2)开展野外露头精细沉积学观察及室内薄片分析等研究工作,进一步探讨这种特定背景下早、中志留世的海相碎屑岩物源区大地构造背景,并探讨沉积序列特征及其对构造和海平面变化的响应。

### 1 区域地质背景

柯坪露头区位于塔里木盆地西北缘,构造单元上归属于柯坪断隆。柯坪断隆主要形成于新生代(张臣等,2001)。该区震旦系—二叠系地层出露较完整,可与盆地内各构造单元的地层进行很好的对比,是塔里木盆地重要的组成部分,亦是研究塔里木盆地的重要窗口。

震旦纪—早奥陶世塔里木板块处于区域伸展构造背景,板块中昆仑地块、中天山地块从塔里木板块分离,分别形成昆仑洋、南天山洋和北部古大洋。中晚奥陶世区域应力场由拉张转变为挤压,震旦纪—早奥陶世的被动大陆边缘转为活动大陆边缘(贾承造等,2004)。晚奥陶世—志留纪的晚加里东运动使

得塔里木板块南北缘俯冲活动剧烈,北缘出现岛弧火山活动,岛弧系隆起发展(Kang and Kang, 1996),塔里木南缘发育祁曼塔格增生俯冲杂岩(贾承造等,2004)。

塔里木盆地晚震旦—奥陶纪主要以碳酸盐岩或深水泥、页岩沉积为主,志留纪则快速转变为水体较浅的陆棚—潮坪等海相碎屑岩沉积环境。下志留统由柯坪塔格组和塔塔埃尔塔格组构成,中志留统由依木干他乌组构成,上志留统由克兹尔塔格组构成(图3,图4)。柯坪露头区志留系以下、中统出露为主,且出露完整,柯坪塔格组可进一步分为下砂岩段、中泥岩段和上砂岩段;塔塔埃尔塔格组可进一步分为下泥岩段和上砂岩段;依木干他乌组则主要以泥岩沉积为主。

### 2 沉积体系类型及层序构成

#### 2.1 沉积体系类型构成

柯坪露头区柯坪塔格组—依木干他乌组主要可识别出陆棚、三角洲及潮汐影响的海岸等沉积体系类型(图3,图4)。

陆棚沉积主要在柯坪塔格组发育,以泥岩沉积为主,发育水平层理,见铁质结核,可见笔石和多种

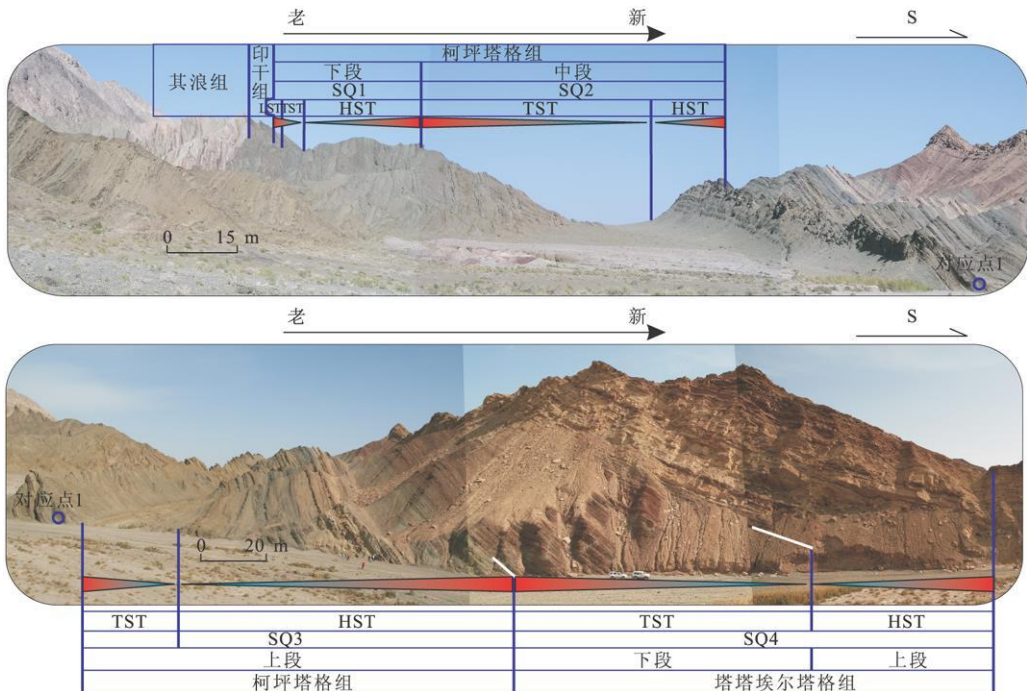


图2 阿克苏四石场剖面下志留统地层宏观沉积序列照片

Fig.2 Outcrop macrographs and interpretation of sedimentary successions of the Lower Silurian on the Sishichang outcrop in Keping area

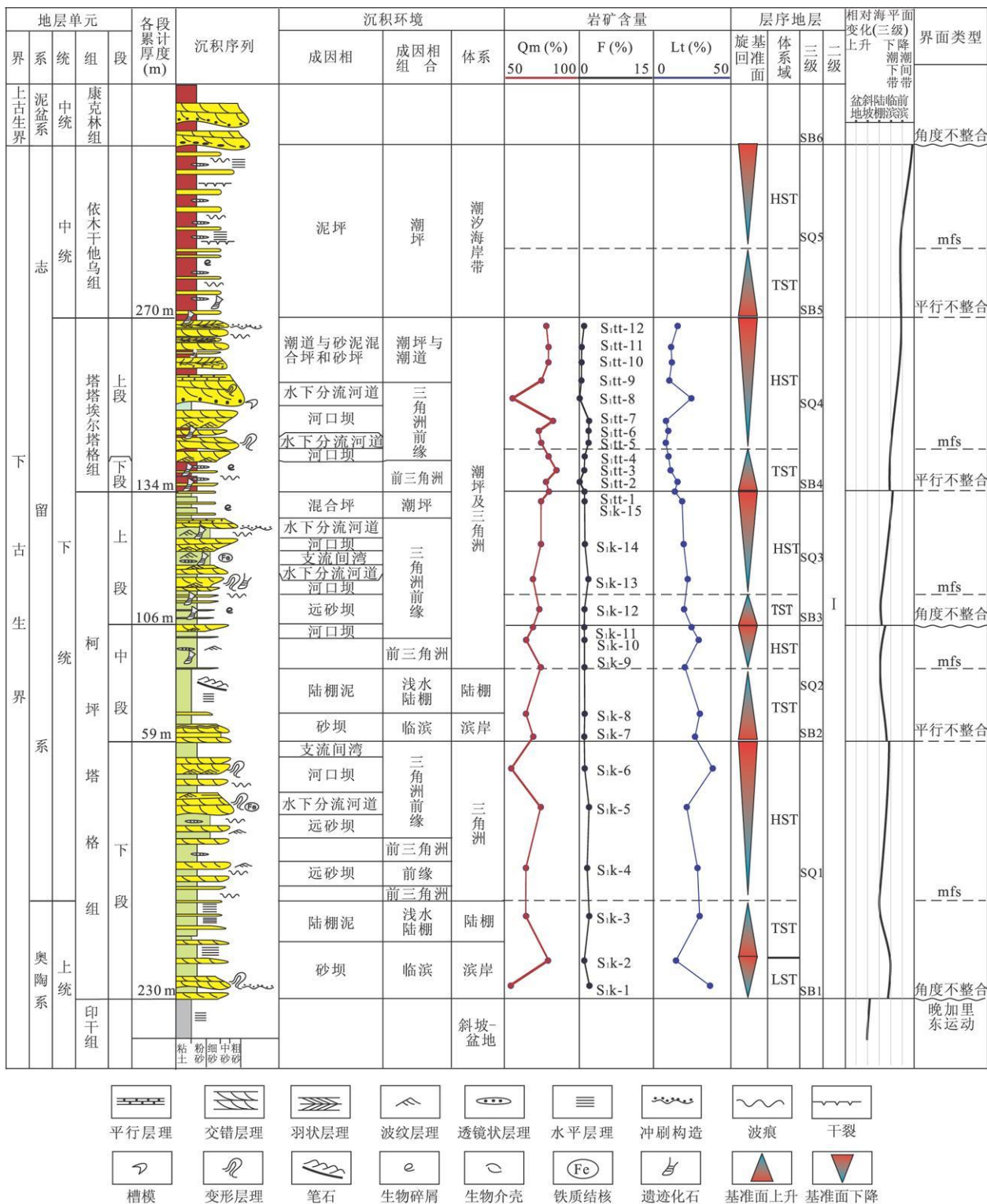


图 3 阿克苏四石场剖面下、中志留统地层沉积序列综合柱状图

Fig. 3 Composite columnar section for sedimentary successions of Lower-Middle Silurian on Sishichang outcrop in Keping area  
沉积环境及岩性横向有变化, 仅代表测量剖面岩性及沉积环境; Qm-单晶石英; F·单晶长石颗粒; Lt·岩屑总量

生物遗迹化石(白忠凯等, 2008; Jiang *et al.*, 2009)。

海岸沉积在该区不同层位具有差异性, 总体上

柯坪塔格组下段以临滨沉积为主, 砂体较发育, 可见大型板状、槽状交错层理及浪成波痕; 柯坪塔格组上段至依木干他乌组则主要为潮坪影响的海岸环境,

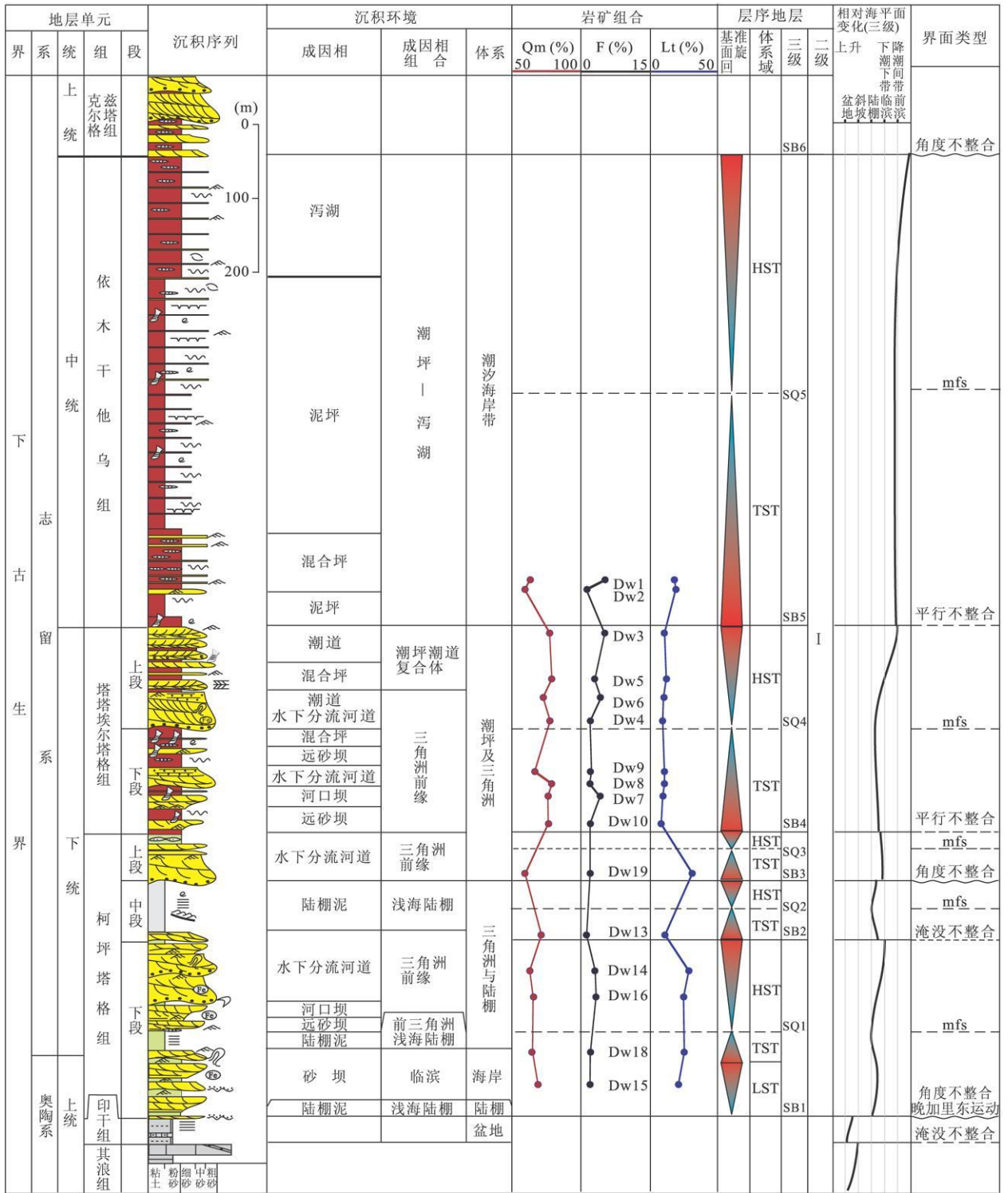


图4 柯坪地区大湾沟剖面下、中志留统地层沉积序列综合柱状图

Fig. 4 Composite columnar section for sedimentary successions of the Lower-Middle Silurian on Dawangou outcrop in Keping area  
沉积环境及岩性横向有变化, 仅代表测量剖面岩性及沉积环境; Qm·单晶石英; F·单晶长石颗粒; Lt·岩屑总量

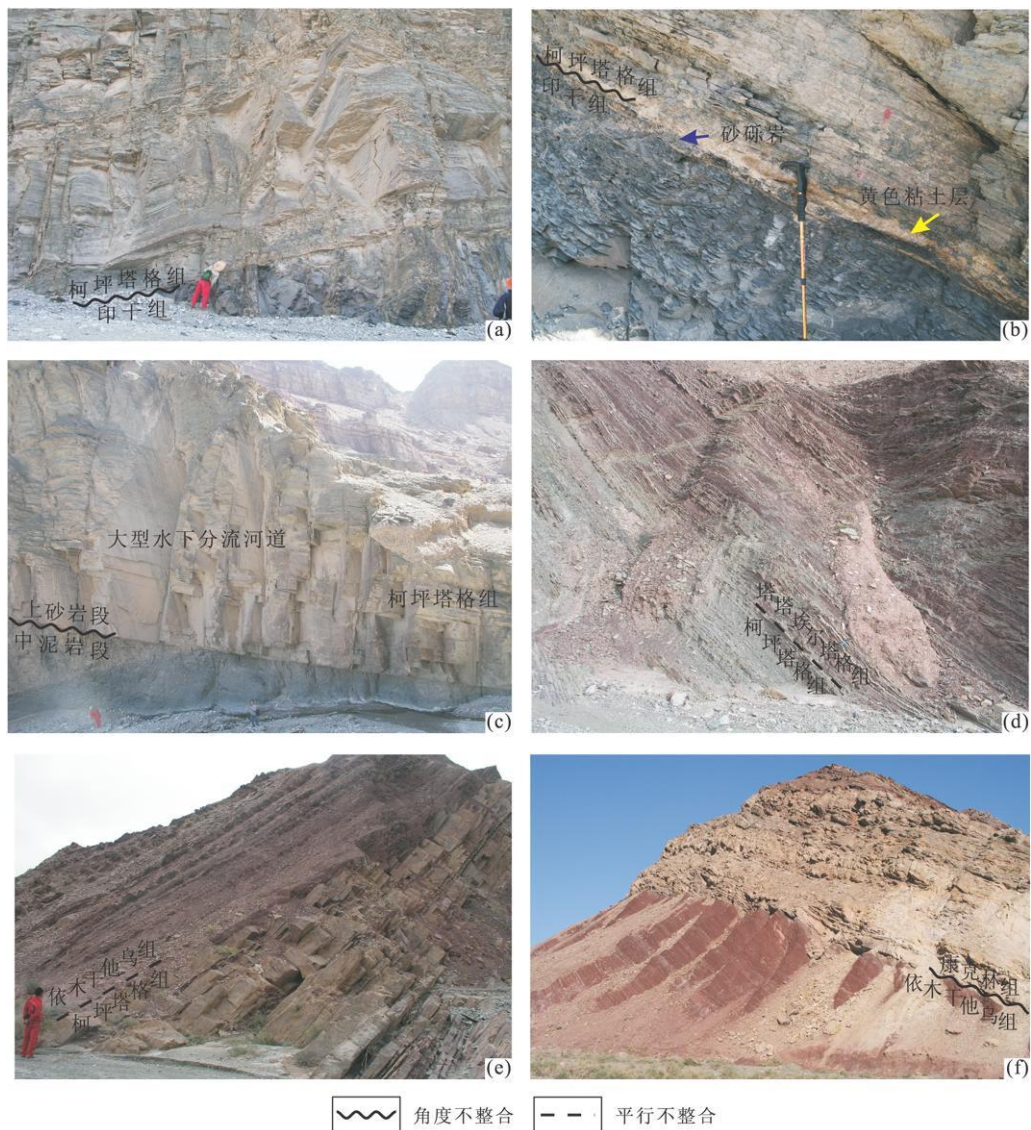


图5 柯坪地区志留系典型界面野外照片

Fig.5 Typical outcrop photographs showing interfaces in the Silurian in Keping area

a. 柯坪塔格组砂岩与下伏印干组深灰色泥岩突变接触;b. 柯坪塔格组与下伏印干组分界面处的黄色粘土层和砂砾岩;c. 柯坪塔格组上砂岩段大型水下分流河道砂岩与下伏中泥岩段深灰色泥岩突变接触;d. 塔塔埃尔塔格组紫红色泥岩与下伏柯坪塔格组灰绿色泥岩突变接触:e. 依木干他乌组紫红色泥岩与下伏塔塔埃尔塔格组砂岩接触关系:f. 康克林组砂砾岩与下伏依木干他乌组紫红色泥岩角度不整合接触;a、b、c. 大湾沟剖面照片;d、e、f. 四石场剖面照片

可识别出砂坪、泥坪、砂泥坪以及潮道(图3,图4)和潮沟等沉积环境,羽状交错层理、板状交错层理、潮汐双粘土层及再作用面普遍(Boer *et al.*, 1989; Johnson and Level, 1995; Brettle *et al.*, 2002),生物遗迹化石发育(图3,图4)(张师本等, 2003; 白忠凯等, 2008)。

研究区除普遍发育的海岸沉积外,还发育三角洲体系,向上表现为明显的反旋回结构(Brettle *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2007),可识别出前三角洲、远砂坝、河口坝、水下分流河道及支流间湾等沉积,

发育大型槽状交错层理、板状交错层理、波状层理及平行层理等,液化变形发育(图3,图4)。该区柯坪塔格组下段三角洲主要表现为河流作用为主,发育规模大,受一定的波浪影响的特点;而柯坪塔格组上部一塔塔埃尔塔格组三角洲则受潮汐影响明显,常与潮坪沉积环境共存(图3,图4),且发育规模较小。

## 2.2 层序地层结构

下、中志留统沉积旋回结构清晰(图2~4),综合沉积旋回及气候环境变化特点,结合前人层序地层研究成果(郭少斌和洪克岩, 2007; 施振生等,

2007),共识别出6个层序界面,由下向上用SB1~SB6表示(图3,图4),其中SB1和SB6是二级层序界面,其余均为三级层序界面.两剖面除SB3界面和SB6界面上下接触关系存在明显沉积差异外,其余界面的特征相近.SB1为柯坪塔格组与印干组分界面(图5a,图5b),界面处见黄色粘土层和砂砾岩,同时界面上下存在明显的水体向上快速变浅的特点,由下伏上奥陶统印干组的深灰色泥岩的盆地沉积向上突变为柯坪塔格组的灰色、灰绿色泥岩或砂岩的陆棚沉积;SB2主要为界面之下的进积与界面之上的退积沉积旋回结构的转换,无明显的突变界面;SB3为柯坪塔格组上砂岩段与中泥岩段的分界面,大湾沟剖面主要表现为大型水下分流河道砂岩与下伏陆棚相泥岩的突变接触面(图5c),而四石场剖面则主要表现为水体变深特点;SB4主要表现为由界面下部绿色泥岩向上突变为紫红色泥岩(图5d),全盆该界面普遍有类似的颜色突变,推断与气候变化有关,可能由潮湿环境快速转变为干旱环境.SB5为塔塔埃尔塔格组和依木干他乌组分界面,界面上下砂岩含量明显变化,下部塔塔埃尔塔格组顶部砂岩发育,而依木干他乌组的底部则主要表现为砂泥岩的薄互层或泥岩为主的沉积特征(图5e).SB6界面上下地层接触关系在两个露头区有所出入,四石场剖面依木干他乌组(SQ5)与上覆二叠系康克林组角度不整合接触(图3,图5f),大湾沟剖面依木干他乌组(SQ5)则与上覆上志留统克兹尔塔格组角度不整合接触(图4).在6个层序界面识别基础上,将柯坪塔格组—依木干他乌组划分为5个三级层序.其中,柯坪塔格组划分为3个三级层序,分别对应于下段(SQ1)、中段(SQ2)和上段(SQ3);塔塔埃尔塔格组(SQ4)和依木干他乌组(SQ5)各作为一个三级层序(图2~4).除SQ1可识别出低位体系域外,其余4个层序均由海侵和高位体系域构成(图3,图4).

### 3 砂岩碎屑组分及大地构造背景分析

#### 3.1 样品选取

考虑到砂岩对物源区、海平面变化及构造特征响应较明显,本次选取的样品均为新鲜的砂岩样品.样品选取时考虑了如下因素:(1)选取样品主要以沉积环境及岩性垂向波动明显的柯坪塔格组和塔塔埃尔塔格组为主,而依木干他乌组稳定的沉积环境已经能够很好地反映该沉积时期的构造和环境的稳定性,因此,仅少量取样;(2)取样时充分考虑到沉积旋

回及海平面变化特征,兼顾样品点的垂向密度及间距问题(图3,图4);(3)为了能够更充分地反映该区间下、中志留统地层中砂岩组构的垂向变化,选取了石灰窑和大湾沟两条下、中志留统出露完整的剖面进行系统取样,以求分析数据的正确性、科学性及对比性.

#### 3.2 砂岩结构及碎屑组分总体特征

志留系砂岩以岩屑砂岩为主,其次是含岩屑砂岩,也可见石英砂岩.砂岩结构特征总体上表现为岩性致密,颗粒以点—线接触为主,棱角一次圆状不等(图6),杂基主要为泥质,含量不高,一般小于9%,平均在4.5%;胶结物主要为方解石(图6f)和石英次生加大边(图6c,图6h),柯坪塔格组方解石胶结物含量在0~15%之间,平均为0.9%,塔塔埃尔塔格组在0~15%之间,平均为5.5%;两剖面石英次生加大边较普遍,一般在0~10%之间.总体上塔塔埃尔塔格组方解石及石英次生加大胶结物比柯坪塔格组有所增加,且涉及的样品比例增多.

对柯坪露头区四石场剖面和大湾沟剖面43个样品的碎屑成分进行了鉴定统计分析(表1).

从两剖面柯坪塔格组砂岩21个样品鉴定分析结果(表1,表2)可以看出,单晶石英含量在55%~80%之间,平均为68.1%,其中,四石场剖面平均含量68.9%,大湾沟剖面平均含量66.2%;沉积燧石含量在0~7%之间,平均为2.3%,其中四石场剖面平均含量2.7%,大湾沟剖面平均含量1.5%,总体上单晶石英和沉积燧石的含量四石场剖面略高于大湾沟剖面.长石含量较低,但较稳定,在1%~3%之间,平均1.5%,其中斜长石含量高于钾长石含量,两剖面类似.岩屑总含量(包括沉积燧石、沉积岩屑、变质岩屑和火山岩屑)在9%~37%之间,平均为25%,其中大湾沟剖面平均含量在24.7%,四石场剖面平均在25.2%,总体上两剖面含量相近.岩屑成分中沉积岩屑主要由泥岩岩屑、粉砂岩岩屑及细砂岩岩屑等构成,火山岩岩屑主要为凝灰质燧石岩屑,变质岩岩屑主要为板岩岩屑.综上表明,柯坪塔格组岩屑含量普遍偏高,且长石含量较低,总体上,反映了砂岩成分成熟度较低的特点(图3,图4,表1,表2).

塔塔埃尔塔格组20个薄片鉴定样品分析结果(表1,表2)可以看出,单晶石英含量在67%~85%之间,平均为76.8%,两个剖面单晶石英含量相近,大湾沟剖面平均为76.5%,四石场剖面平均为77.0%,均较柯坪塔格组明显增加;沉积燧石含量在

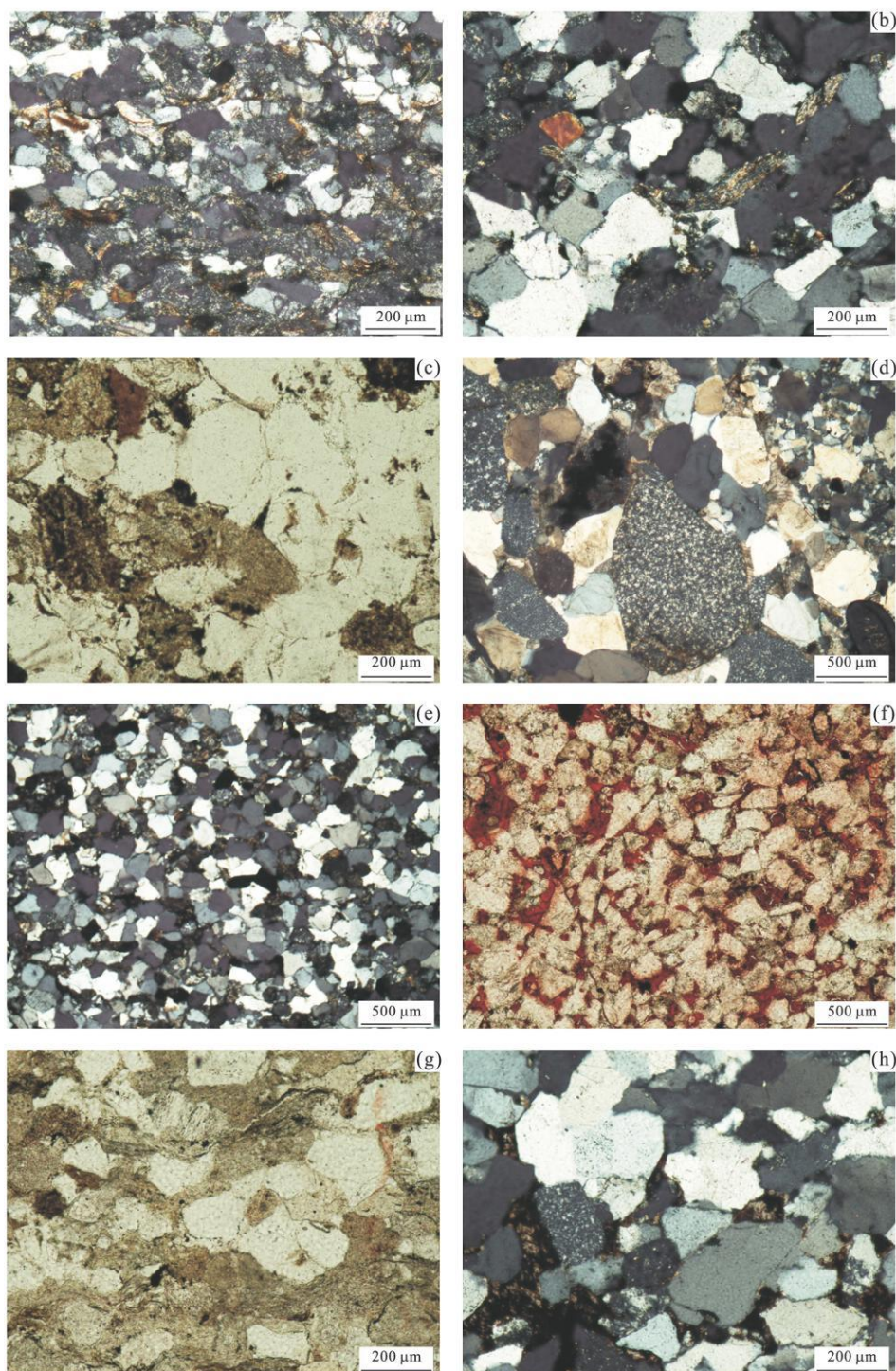


图 6 柯坪露头区四石场剖面下志留统砂岩岩石薄片镜下典型照片

Fig. 6 Typical thin-section photomicrographs showing rock textures of the Lower Silurian sandstones on Sishichang outcrop in Keping area

a. S1k-1, 岩屑砂岩, 颗粒分选中等, 次棱角一次圆状, 孔隙泥质和沥青充填, 见石英次生加大, 正交偏光; b. S1k-15, 岩屑砂岩, 颗粒分选中等, 次棱角一次圆状, 泥质和铁质胶结, 石英次生加大边发育, 正交偏光; c. S1k-6 岩屑砂岩, 颗粒分选中等, 次棱角状, 见石英次生加大和铁质胶结, 单偏光; d. S1tt-5 岩屑砂岩, 颗粒分选中等, 次棱角一次圆状, 粒间主要为方解石胶结, 见石英次生加大边, 正交偏光; e. S1k-8 含岩屑砂岩, 颗粒分选好, 次棱角状, 具石英次生加大, 见铁质胶结, 孔隙内见沥青充填, 正交偏光; f. S1tt-6 钙质砂岩, 颗粒分选中等一好, 磨圆次棱角一次圆状, 粒间主要为方解石胶结, 可见铁质胶结, 单偏光; g. S1k-10 岩屑砂岩, 颗粒分选中等, 次棱角一次圆状, 粒间为为泥质和沥青充填, 见石英次生加大, 单偏光; h. S1tt-10 含岩屑砂岩, 颗粒分选中等, 次圆状, 粒间主要为沥青及泥质充填, 见方解石胶结, 石英次生加大发育, 正交偏光



表1 柯坪地区下、中志留统砂岩碎屑组分含量

Table 1 Detrital mineral contents of sandstones in the Lower-Middle Silurian of Keping area

样品编号	层位	剖面	岩石定名	砂岩碎屑组分含量(%)										
				Qt	Qm	Qp	F	K	P	Lv	Lm	Ls	L	Lt
DW1	依木干他乌组	大湾沟	细—粉砂岩	64	64	0	5.0	2.0	3.0	0	0.0	19.0	19.0	19.0
DW2	依木干他乌组	大湾沟	细—粉砂岩	60	60	0	1.0	0.0	1.0	0	0.0	20.0	20.0	20.0
DW3	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细砂岩	80	79	1	5.0	2.0	3.0	10	0.0	0.0	10.0	11.0
DW5	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细砂岩	82	80	2	3.0	1.0	2.0	8	2.0	1.0	11.0	13.0
DW6	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细砂岩	76	74	2	4.0	2.0	2.0	8	2.0	0.0	10.0	12.0
DW4	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细—中砂岩	82	78	4	2.0	0.0	2.0	6	0.0	0.0	6.0	10.0
DW9	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细—中砂岩	70	67	3	2.0	0.0	2.0	8	0.0	0.0	8.0	11.0
DW8	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细砂岩	82	80	2	2.0	0.0	2.0	0	1.0	9.0	10.0	12.0
DW7	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	粗—中砂岩	79	77	2	4.0	2.0	2.0	8	0.0	0.0	8.0	10.0
DW10	塔塔埃尔塔格组	大湾沟	细砂岩	80	77	3	2.0	1.0	1.0	5	1.0	0.0	6.0	9.0
DW19	柯坪塔格组	大湾沟	细砂岩	62	60	2	2.0	0.0	2.0	0	3.0	27.0	30.0	32.0
DW13	柯坪塔格组	大湾沟	细砂岩	72	72	0	1.0	0.0	1.0	10	1.0	0.0	11.0	11.0
DW14	柯坪塔格组	大湾沟	细砂岩	66	64	2	3.0	1.0	2.0	0	0.0	28.0	28.0	30.0
DW16	柯坪塔格组	大湾沟	细砂岩	69	66	3	3.0	1.0	2.0	0	3.0	20.0	23.0	26.0
DW18	柯坪塔格组	大湾沟	细砂岩	67	65	2	2.0	1.0	1.0	0	3.0	21.0	24.0	26.0
DW15	柯坪塔格组	大湾沟	细砂岩	70	70	0	2.0	0.0	2.0	0	0.0	23.0	23.0	23.0
S <sub>1</sub> tt-12	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	81	78	3	1.0	0.5	0.5	0	1.0	11.0	12.0	15.0
S <sub>1</sub> tt-11	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	84	80	4	0.5	0.0	0.5	0	0.5	6.0	6.5	10.5
S <sub>1</sub> tt-10	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	84	80	4	0.5	0.0	0.5	2	1.0	4.5	7.5	11.5
S <sub>1</sub> tt-9	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	79	75	4	0.5	0.0	0.5	0	0.0	5.5	5.5	9.5
S <sub>1</sub> tt-8	塔塔埃尔塔格组	四石场	不等粒砂岩	66	56	10	0.0	0.0	0.0	5	0.0	10.0	15.0	25.0
S <sub>1</sub> tt-7	塔塔埃尔塔格组	四石场	细砂岩	83	83	0	2.0	0.0	2.0	0	0.0	7.0	7.0	7.0
S <sub>1</sub> tt-6	塔塔埃尔塔格组	四石场	不等粒砂岩	78	74	4	2.0	0.0	2.0	0	0.0	5.0	5.0	9.0
S <sub>1</sub> tt-5	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	78	75	3	2.0	0.5	1.5	0	0.0	4.0	4.0	7.0
S <sub>1</sub> tt-4	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	87	80	7	1.0	0.5	0.5	0	0.0	2.0	2.0	9.0
S <sub>1</sub> tt-3	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	92	85	7	1.0	0.5	0.5	0	1.0	2.0	3.0	10.0

续表 1

样品编号	层位	剖面	岩石定名	砂岩碎屑组分含量(%)											
				Qt	Qm	Qp	F	K	P	Lv	Lm	Ls	L	Lt	
S <sub>1</sub> tt-2	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	88	78	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	5.0	5.0	15.0
S <sub>1</sub> tt-1	塔塔埃尔塔格组	四石场	细—中砂岩	84	80	4	1.0	0.0	1.0	0	2.0	7.0	9.0	9.0	13.0
S <sub>1</sub> k-15	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	78	75	3	1.0	0.0	1.0	0	2.0	13.0	15.0	15.0	18.0
S <sub>1</sub> k-14	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	79	75	4	1.0	0.0	1.0	0	3.0	12.0	15.0	15.0	19.0
S <sub>1</sub> k-13	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	72	70	2	2.0	0.0	2.0	0	3.0	17.0	20.0	20.0	22.0
S <sub>1</sub> k-12	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	75	74	1	1.0	0.0	1.0	0	0.0	18.0	18.0	18.0	19.0
S <sub>1</sub> k-11	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	72	70	2	1.0	0.0	1.0	1	2.0	19.0	22.0	22.0	24.0
S <sub>1</sub> k-10	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	67	65	2	1.0	0.5	0.5	6	4.0	17.0	27.0	27.0	29.0
S <sub>1</sub> k-9	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	78	75	3	1.0	0.5	0.5	0	2.0	15.0	17.0	17.0	20.0
S <sub>1</sub> k-8	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	69	65	4	1.0	0.5	0.5	0	11.0	15.0	26.0	26.0	30.0
S <sub>1</sub> k-7	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	73	70	3	1.0	0.5	0.5	2	5.0	17.0	24.0	24.0	27.0
S <sub>1</sub> k-6	柯坪塔格组	四石场	细砂岩	58	55	3	1.0	0.0	1.0	0	0.0	36.0	36.0	36.0	39.0
S <sub>1</sub> k-5	柯坪塔格组	四石场	细砂岩	78	75	3	2.0	1.0	1.0	0	3.0	15.0	18.0	18.0	21.0
S <sub>1</sub> k-4	柯坪塔格组	四石场	细砂岩	65	65	0	1.5	0.5	1.0	0	2.0	26.5	28.5	28.5	28.5
S <sub>1</sub> k-3	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	72	65	7	2.0	1.0	1.0	0	0.0	23.0	23.0	23.0	30.0
S <sub>1</sub> k-2	柯坪塔格组	四石场	细—中砂岩	83	80	3	1.0	0.0	1.0	0	2.0	9.0	11.0	11.0	14.0
S <sub>1</sub> k-1	柯坪塔格组	四石场	细砂岩	55	55	0	2.0	0.0	2.0	0	0.0	37.0	37.0	37.0	37.0

注:薄片由中国地质大学(武汉)黄思骥老师鉴定。Qt. 稳定石英颗粒, 其中包括 Qm(单晶石英)和 Qp(多晶石英, 主要为燧石); F. 单晶长石颗粒, 包括 P(斜长石)和 K(钾长石); L. 不稳定复晶岩屑, 包括 Lv(火山岩屑)、Ls(沉积岩屑)和 Lm(变质岩屑), Lt. 岩屑总含量, 包括 Qp 和 L.

表2 柯坪地区下志留统砂岩碎屑组分含量统计

Table 2 Statistical list of detrital mineral contents of sandstones in the Lower Silurian of Keping area

层位	剖面名称	单晶石英含量(Qm)(%)			长石含量(F)(%)			岩屑总含量(Lt)(%)		
		范围	平均值	综合平均值	范围	平均值	综合平均值	范围	平均值	综合平均值
柯坪塔格组	大湾沟	60~72	66.2	68.1	1~3	2.2	1.5	9~32	24.7	25.0
	四石场	55~80	68.9		1~2	1.3		14~37	25.2	
塔塔埃尔塔格组	大湾沟	67~80	76.5	76.8	2~5	3.0	1.8	9~13	11.0	11.5
	四石场	74~85	77.0		0~2	1.0		7~25	11.8	

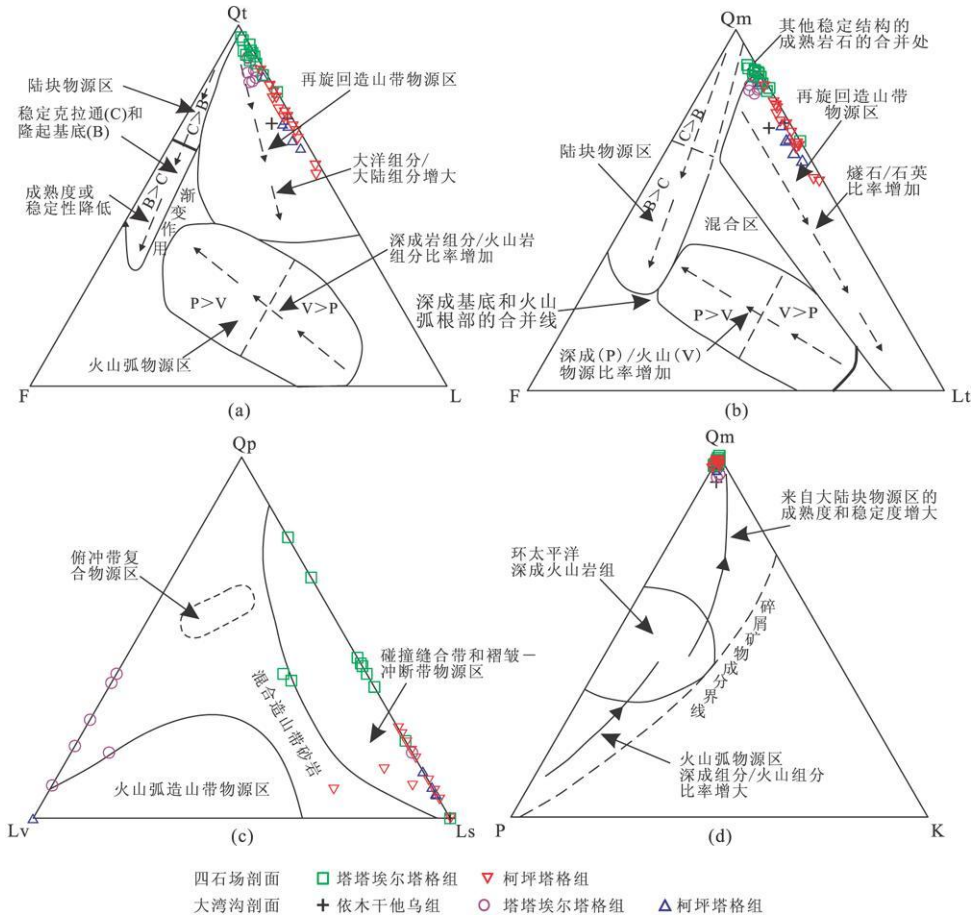


图7 柯坪地区下、中志留统砂岩大地构造背景分析三角图(据 Dickinson and Suczek, 1979; Dickinson, 1985)

Fig.7 Ternary diagrams showing the tectonic settings of the Lower-Middle Silurian sandstones in Keping area

B. 隆起基底; C. 稳定克拉通; P. 深成岩; V. 火山岩

1%~10%之间, 平均为4%, 其中, 四石场剖面略高, 平均为5%, 大湾沟剖面平均为2.4%, 也均较柯坪塔格组略有增加. 单晶长石含量在0~5%之间, 平均为1.8%, 与柯坪塔格组相近, 总体上斜长石含量高于钾长石, 大湾沟剖面含量略高于四石场剖面. 两剖面塔塔埃尔塔格组岩屑总量在7%~25%之间, 25%含量点仅有一个样品, 其余均在7%~15%之间, 平均为11.5%, 其中, 四石场剖面平均含量11.8%, 大湾沟剖面平均为11.0%, 两剖面岩屑含量相近, 但总体上均明显低于柯坪塔格组砂岩的岩

屑含量, 具体到各类岩屑类型含量, 除沉积燧石含量(平均为3.95%)略高于柯坪塔格组外, 其他类型岩屑含量均明显降低, 总体上岩屑成分类型构成与柯坪塔格组类似.

综上所述, 与柯坪塔格组相比, 塔塔埃尔塔格组单晶石英、沉积燧石含量均有所增加, 而岩屑含量明显减少, 成分成熟度明显增高.

### 3.3 物源区大地构造背景分析

Dickinson(1976, 1985), Dickinson and Suczek(1979)在对世界上近百个已明确大地构造性质地区

的大量数据分析基础上,对不同大地构造背景的碎屑岩的碎屑组分构成特征进行了统计分析及区域的划分,并编制了4个判别砂岩物源区的模式图版,该模式图解已经在大地构造背景分析方面取得了较好的应用(Khudoley *et al.*, 2001;姜在兴,2003;张金亮和张鑫,2007).柯坪露头区志留系砂岩薄片样品胶结物及泥质含量均低于25%,达到了通过碎屑组分来分析大地构造背景的基本条件(姜在兴,2003).

通过编绘 Dickinson 的 Qt-F-L、Qm-F-Lt、Qp-Lv-Ls 及 Qm-P-K 四种图解,对柯坪露头区下、中志留统砂岩的物源区的大地构造背景进行了分析探讨(图7).总体上,早、中志留世各组沉积期砂岩的来源具有一致性,从 Qt-F-L、Qm-F-Lt 图解显示主要来自再旋回造山带物源区,通过 Qp-Lv-Ls 图解可以进一步识别出碰撞造山带和前陆隆起区物源区,同时, Qm-P-K 显示了来自大陆块的物源区.其中,大湾沟塔塔埃尔塔格组除以上物源来源外,还有来自混合造山带的物源.以上大地构造背景特征说明早、中志留世塔里木板块北部发生了碰撞抬升.

## 4 海平面变化特点

三级层序格架下的沉积演化序列能较好地反映海平面变化(图3,图4).

SQ<sup>1</sup> 层序底部与上奥陶统印干组突变接触,由深水盆地相向上快速过渡为陆棚相, SQ<sup>1</sup> 下部(LST)由陆棚沉积向上过渡为临滨沉积,同时出现三角洲远端沉积,具相对海平面向上变浅特点.海侵阶段(TST)快速水进,发育陆棚泥质沉积.高位期(HST)海平面下降,水体变浅,物源供给加强,逐渐发育前三角洲和三角洲前缘沉积.总体上,四石场剖面较大湾沟剖面砂体略不发育.

SQ<sup>2</sup> 早期(TST)海平面快速上升,四石场和大湾沟剖面沉积环境基本相似,又发育了陆棚泥质沉积.高位期(HST)海平面下降,四石场剖面逐渐出现三角洲前缘沉积组合,而大湾沟剖面则仍以陆棚沉积为主,总体上较四石场位置水体略深.

大湾沟剖面 SQ<sup>3</sup> 底部与 SQ<sup>2</sup> 的陆棚或前三角洲灰色泥岩突变接触,形成明显下切的大型水下分流河道沉积,具水下分流河道与河口坝组合,随后,海平面上升,以泥质沉积为主;而在四石场剖面层序下部并无明显的沉积突变,主要以潮下带砂坪或前三角洲泥和远砂坝沉积为主.高位期(HST)大湾沟剖面主要为潮坪沉积,而四石场剖面主要以潮间带

和潮下带或前三角洲—三角洲前缘远端沉积组合为主,两剖面总体水体向上变浅.

SQ<sup>4</sup> 露头沉积环境相近.早期(TST)发生海侵,主要为紫红色浅水陆棚泥岩或前三角洲泥岩沉积,高位期(HST)海平面下降,逐渐发育潮汐影响的三角洲及潮道和潮坪复合体,主要为潮下带—潮间带砂坪、砂泥混合坪及潮道沉积,或者为潮汐影响的三角洲前缘和前三角洲沉积组合.三角洲前缘之上紫红色泥岩虽然反映了较强的氧化环境,但未见典型的三角洲平原沉积标志,一般发育潮间带的砂坪、砂泥混合坪及潮道沉积.总体上,该层序内由潮下带沉积向上逐渐过渡为潮间带沉积.

SQ<sup>5</sup> 沉积较稳定,两个露头剖面均以潮坪—泻湖沉积为主,海平面变化幅度不大.

综上所述,早志留世海平面波动明显,向上逐渐变得不明显,到中志留世已趋于稳定,海平面总体向上变浅,可容纳空间总体也具有向上减少的特点.

## 5 沉积序列对构造的响应特征分析

沉积序列演化、砂岩碎屑成分和结构变化及海平面波动特征均能较好地反映构造的演化特点.

### 5.1 柯坪塔格组沉积期

志留纪早期柯坪塔格组沉积期海平面变化频繁且变化幅度较大(图3,图4),由3个三级沉积旋回构成,分别对应 SQ<sup>1</sup>、SQ<sup>2</sup> 和 SQ<sup>3</sup>,具有层序界面上下沉积环境突变接触,层序内部环境变化明显的特点.由印干组的盆地相沉积快速转变为柯坪塔格组的陆棚—三角洲沉积,水体快速变浅,界面附近具有明显的黄色粘土及灰色砂砾岩冲刷面,反映了晚加里东运动明显的构造抬升活动;在柯坪塔格组上段与中段分界处出现明显的沉积环境突变,由下部稳定陆棚环境向上突变为三角洲大型水下分流河道沉积组合,反映了晚加里东运动构造的幕式活动特点(图3,图4).沉积环境及砂岩矿物组分构成变化明显与三级层序旋回周期性变化(图3,图4)相吻合,出现陆棚与三角洲及前三角洲与三角洲前缘的垂向频繁转换,与之相对应,砂岩的碎屑成分也具有明显的波动性,早期的岩屑含量较高,最高可达到37%,后期逐渐减少.

总体上柯坪塔格组向上呈现出水体变浅,砂岩岩屑含量减少、石英含量增高及成分成熟度逐渐增加的特点.以上沉积特征说明柯坪塔格组沉积期受晚加里东构造运动影响,志留纪早期构造活动仍较

活跃,挤压构造背景使得北部造山带抬升剥蚀,物源供给增加,受幕式构造活动及相应的海平面变化影响,物源供给及沉积特征出现明显的波动性。

## 5.2 塔塔埃尔塔格组沉积期

塔塔埃尔塔格组沉积期主要为潮坪及潮汐影响的三角洲沉积环境,与柯坪塔格组相比,总体上沉积环境相对稳定,海平面的变化幅度有所减弱,砂岩碎屑组分也逐渐趋于高成熟度,虽然仍有些岩屑存在,但岩屑主要为沉积燧石及凝灰质燧石等抗风化搬运的产物,单晶和多晶石英含量可达到92%,总体上反映了构造活动的幕式性及构造强度逐渐减弱,物源区的远退或物源区造山带削平的特点。

## 5.3 依木干他乌组沉积期

依木干他乌组总体上沉积环境已趋于稳定,且海平面变化不明显,主要为潮间—潮上带甚至泻湖沉积环境,沉积物供给与可容纳空间的增加量相近,说明该沉积阶段构造活动已趋于稳定,基本无明显较强的构造活动记录。

## 5.4 早、中志留世沉积序列及其对构造影响特征讨论

综合以上沉积及海平面的构造响应可以看出,早志留世构造活动活跃,具幕式性,而到中志留世构造活动已趋于稳定。总体上,早、中志留世沉积特征主要表现为向上水体逐渐变浅,海平面变化幅度由明显过渡到不明显,沉积环境由早期的突变接触到晚期的渐变接触,以及砂岩成分成熟度总体向上增高的特点(图3,图4),反映了构造活动由强逐渐减弱并对凹陷区逐渐填平补齐的演化特征。

需要指出的是,志留纪沉积序列也表现出明显的气候变化,由奥陶纪的海相碳酸盐岩及深水泥、页岩为主的沉积向上快速转变为志留纪海相碎屑岩沉积,由柯坪塔格组灰色—灰绿色的潮湿沉积环境向上突变为塔塔埃尔塔格组的棕红色干旱沉积环境,均表现出气候环境的变化特点。这也与志留纪全球范围以温暖或燥热的气候环境为主的特点(金之钧等,2003)相吻合。

## 6 结论

(1)柯坪露头区早、中志留世砂岩沉积物主要来自再旋回造山带物源区的碰撞造山带和前陆隆起区物源区及大陆块物源区,反映晚加里东运动塔里木板块北部挤压背景下构造抬升剥蚀的特点。

(2)早、中志留世主要发育陆棚、三角洲及潮汐

影响的海岸等沉积体系类型。沉积序列清楚,波动明显,向上由陆棚向潮坪环境演化,水体变浅,砂岩成分成熟度逐渐增强,可容纳空间总体向上减少,总体上反映了逐渐填平补齐的特点,说明构造活动的幕式特点和构造活动由强到弱再到稳定的演化过程。

致谢:野外工作得到了中石化西北分公司陈跃同志的帮助,岩石薄片主要由中国地质大学(武汉)黄思骥老师鉴定完成,胡华蕊同学参与了基础数据整理工作,在此对他们一并表示感谢。

## References

- Bai, Z. K., Hu, B., Qi, Y. A., et al., 2008. Trace fossils in the Silurian Kepingtage Formation in the Kalping area, Xinjiang. *Acta Geologica Sinica*, 82(9): 1161—1168 (in Chinese with English abstract).
- Boer, P. L., Oost, A. P., Visser, M. J., 1989. The diurnal inequality of the tide as a parameter for recognizing tidal influences. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59(6): 912—921. doi: 10.1306/212F90B1-2B24-11D7-8648000102C1865D
- Brettell, M. J., McIlroy, D., Elliott, T., et al., 2002. Identifying cryptic tidal influences within deltaic successions; an example from the Marsdenian (Namurian) interval of the Pennine basin, UK. *Journal of the Geological Society*, 159: 379—391. doi: 10.1144/0016-764901-070
- Dickinson, W. R., 1976. Plate tectonic evolution of sedimentary basins. AAPG Continuing Education Course, 1—56.
- Dickinson, W. R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G. G., ed., *Provenance of arenites. NATO Advanced Study Institutes Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences*, 148: 333—361.
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A., 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bulletin*, 63: 2164—2182.
- Guo, S. B., Hong, K. Y., 2007. Silurian-Devonian sequence stratigraphy and favorable reservoir distribution in Tarim basin. *Acta Petrolei Sinica*, 28(3): 44—50 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., et al., 2004. Plate tectonics and continental dynamics of Tarim basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 77 (in Chinese).
- Jiang, Z. X., 2003. Sedimentology. Petroleum Industry Press, Beijing, 128—130 (in Chinese).
- Jiang, Z. X., Wang, Y., Wei, C. G., 2009. Hemipelagic deposition of the Silurian Kepingtage Formation in Tarim

- basin and its sedimentologic significance. *Journal of Earth Science*, 20(6): 921—931. doi:10.1007/s12583-009-0079-z
- Jin, Z. J., Lü, X. X., Wang, Y., et al., 2003. Flunctuate history and its controlling rule in Tarim basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 53 (in Chinese).
- Johnson, H. D., Levell, B. K., 1995. Sedimentology of a transgressive, estuarine sand complex; the Lower Cretaceous Woburn Sands (Lower Greensand), southern England. *IAS Special Publication*, 22: 17—46. doi:10.1002/9781444304091.ch2
- Kang, Y. Z., Kang, Z. H., 1996. Tectonic evolution and oil and gas of Tarim basin. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 13(3—5): 317—325.
- Khudoley, A. K., Rainbird, R. H., Stern, R. A., et al., 2001. Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian basin of southeastern Siberia. *Precambrian Research*, 111(1—4): 129—163.
- Lee, K., Gani, M. R., McMechan, G. A., et al., 2007. Three-dimensional facies architecture and three-dimensional calcite concretion distributions in a tide-influenced delta front, Wall Creek Member, Frontier Formation, Wyoming. *AAPG Bulletin*, 91(2): 191—214. doi:10.1306/08310605114
- Shi, Z. S., Yang, W., Guo, C. M., et al., 2007. Depositional sequence and filling response characteristics of Silurian in Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(3): 401—408 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C., Zheng, D. M., Li, J. H., 2001. Attribute of Paleozoic structures and its evolution characteristics in Keping fault-uplift. *Oil & Gas Geology*, 22(4): 314—318 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. L., Zhang, X., 2007. Element geochemistry of sandstones in the Silurian of central Taim basin and the significance in provenance discrimination. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2990—3002 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. B., Ni, Y. N., Gong, F. H., et al., 2003. A guide to the stratigraphic investigation on the periphery of the Tarim basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 28—32 (in Chinese).

### 附中文参考文献

- 白忠凯, 胡斌, 齐永安, 等, 2008. 新疆柯坪地区志留系柯坪塔格组的遗迹化石. *地质学报*, 82(9): 1161—1168.
- 郭少斌, 洪克岩, 2007. 塔里木盆地志留系—泥盆系层序地层及有利储层分布. *石油学报*, 28(3): 44—50.
- 贾承造等著, 2004. 塔里木盆地板块构造与大陆动力学. 北京: 石油工业出版社, 77.
- 姜在兴, 2003. 沉积学. 北京: 石油工业出版社, 128—130.
- 金之钧, 吕修祥, 王毅, 等, 2003. 塔里木盆地波动过程及其控油规律. 北京: 石油工业出版社, 53.
- 施振生, 杨威, 郭长敏, 等, 2007. 塔里木盆地志留纪沉积层序构成及充填响应特征. *沉积学报*, 25(3): 401—408.
- 张臣, 郑多明, 李江海, 2001. 柯坪断隆古生代的构造属性及其演化特征. *石油与天然气地质*, 22(4): 314—318.
- 张金亮, 张鑫, 2007. 塔中地区志留系砂岩元素地球化学特征与物源判别意义. *岩石学报*, 23(11): 2990—3002.
- 张师本, 倪寓楠, 龚福华, 等, 2003. 塔里木盆地周缘地层考察指南. 北京: 石油工业出版社, 28—32.