

库鲁克塔格地区奥陶系层序地层与海平面变化

程日辉¹, 王璞¹, 孙晓猛¹, 白云风^{1, 2}

(1 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 出露于新疆库鲁克塔格地区的奥陶系揭示出一个完整长周期 (I 级周期) 的海侵-海退沉积序列。这个沉积序列由 9 个 III 级层序和 3 个 II 级层序构成, 反映了短周期 (III 和 II 级周期) 的海平面变化。下奥陶统是在长周期海侵背景下形成的, 为一套主体在次深海环境下形成的层序组合——II 级层序 A; 中奥陶统是在长周期海平面波动的背景下形成的, 为一套主体在次深海-浅海陆棚环境下形成的层序组合——II 级层序 B; 上奥陶统是在长周期海退背景下形成的, 为一套主体在浅海-滨海环境下形成的层序组合——II 级层序 C。库鲁克塔格地区奥陶系层序地层特征及其揭示的海平面变化是盆地形成与转变的构造机制的响应。奥陶纪是早古生代盆地发生盆地类型转化的关键时期, 即从寒武纪-早奥陶世的裂陷盆地, 经中奥陶世的过渡, 转化为晚奥陶世-志留纪的前陆盆地。由于后期的构造变动本区现已成为塔里木盆地东北边缘隆起。

关键词: 层序; 奥陶纪; 原型盆地; 海平面变化; 塔里木盆地; 库鲁克塔格

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2006)03-0283-11

新疆库鲁克塔格地区位于塔里木盆地东北边缘的隆起区, 同时又与南天山构造域相邻 (图 1), 特殊的构造位置为盆地与造山带研究所关注 (周棣康等, 1991; 吴世敏等, 1995; 汪新文和陈发景, 1997; 郭召杰等, 2002; 韩宝福等, 2004)。塔里木盆地是一个叠合盆地, 其盆地原型已发生了多期的变化。在原型盆地分析中的一个关键问题之一是古天山的隆起与盆地发育的关系。盆地地层记录被认为可以提供关于盆地演化的外力驱动的唯一完整记录 (Gupta and Cowie 2000), 这种外力显然与区域造山和洋盆闭合相连。下扬子地区三叠系的海退沉积序列反映出海盆的闭合 (程日辉等, 2004)。包括我国疆域在内的亚洲陆海地区突出之点在于无论在岩石圈特征上, 还是在大陆成长、增生扩大, 以及地壳演化-运动史的一般历程或突出事件、相关的成矿作用上, 都有不少独具的特色 (陈国达, 2005)。出露于新疆库鲁克塔格地区的奥陶系揭示出一个完整的长周期的

海侵-海退沉积序列。具有特色的长周期的海退是否与塔里木盆地原型转化、大的构造变动有关呢? 本文重点讨论层序地层和海平面变化的构造控制, 并探讨相关的盆地原型问题。

1 层序地层

1.1 岩性和岩相

库鲁克塔格地区奥陶系出露于却尔却克、元宝山、南雅尔当山和阳平里北山气象大沟等地 (图 1)。地层序列由巷古勒塔格组、却尔却克组和乌里孜塔格组构成 (图 2), 分别代表奥陶系下、中和上统 (刘万祥和黄智斌, 1999)。

下奥陶统巷古勒塔格组主要出露于南雅尔当山、阳平里北山气象大沟和却尔却克等地, 岩性可分为两段。在南雅尔当山巷一段为一套灰白-灰色含有白云岩的岩性序列, 向上白云岩成分减少, 而泥质成分增加。在该段顶部发育有灰岩夹页岩, 并含有

收稿日期: 2005-11-29 改回日期: 2006-02-24

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 49672124) 和原长春科技大学创新基金 (No. 200003)。

作者简介: 程日辉 (1963-), 男, 博士, 教授 (博导), 从事沉积学和盆地分析研究。Email: chengrh@mail.jlu.edu.cn

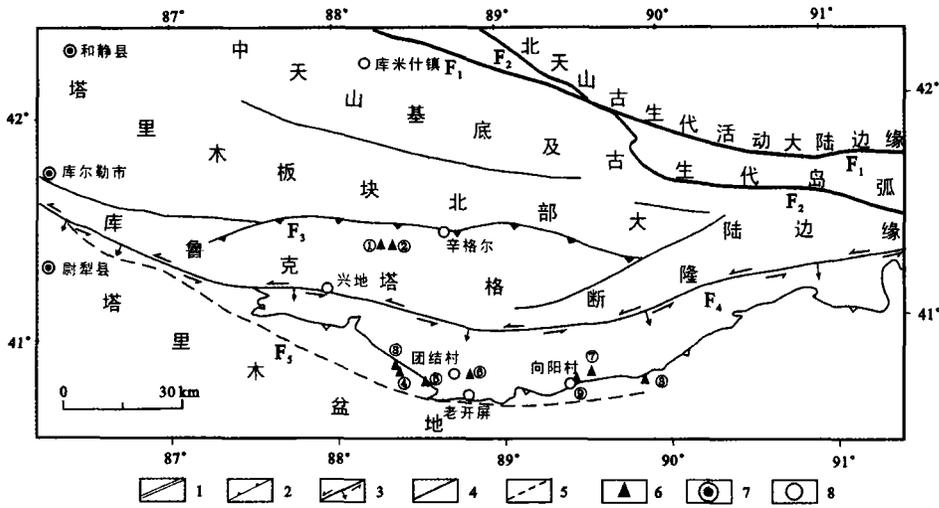


图 1 库鲁克塔格地区及邻区大地构造略图

- 1-板块拼接带; 2-推覆构造; 3-走滑断层; 4-性质未分断层; 5-推测断层; 6-剖面; 7-城市;
- 8-村镇; F₁-博罗科努-阿齐克库都断裂带; F₂-汗腾格里峰-巴仑台-库米什断裂带;
- F₃-辛格断裂; F₄-兴地断裂; F₅-孔雀河断裂; ①-莫合尔山西山沟剖面; ②-莫合尔山北坡剖面;
- ③-却尔却克 5 号剖面; ④-却尔却克 4 号剖面; ⑤-元宝山剖面; ⑥-南雅尔当山剖面;
- ⑦-阳平里山气象大沟剖面; ⑧-罗布泊青山山剖面; ⑨-向阳村剖面

Fig 1 Tectonic map of Kuruktag and its adjacent areas

菱铁矿结核。在阳平里北山气象大沟与本段相当的层位为一套由灰色-深灰色的含笔石页岩和含菱铁矿结核页岩构成的岩性序列,以互层状产出。在却尔却克 5 号剖面巷一段为由瘤状灰岩和页岩构成的岩性序列,表现为中厚层瘤状灰岩夹灰绿色页岩(图版 1、图版 2、图版 3 图版均见正文后),向上过渡为黑色页岩夹菱铁矿结核和硅质页岩。

3 个地区的巷一段在岩性方面的差别反映出其岩相的不同。在南雅尔当山其为碳酸盐台地相,泻湖水由咸水过渡为正常,早期发育蒸发环境。在阳平里北山气象大沟其为次深海盆地相,海水具有闭塞滞留的性质。在却尔却克其也为较深水环境,从台前斜坡-浅海陆棚演变为次深海盆地。

巷二段在南雅尔当山为一套由粉砂岩和泥岩构成的岩性序列,中部泥质含量增加且发育笔石。该序列的颜色由下至上发生了变化,下部为紫灰色,至中部变化为灰色-灰绿色,到上部变为灰色。在阳平里北山气象大沟与本段相当的层位为一套由灰绿色泥岩和灰色灰岩、泥灰岩构成的岩性序列。其下部以泥岩为主;上部为灰绿色薄层泥岩与浅灰色泥质灰岩互层。在却尔却克本段为黑色页岩和硅质岩构成的岩性序列。

三地巷二段的岩性差异是沉积环境的差异所致。南雅尔当山处于台前斜坡或陆架斜坡,但早期

位于氧化界面之上。阳平里北山气象大沟则一直处于陆架斜坡的下部,位于氧化界面之下,而却尔却克位于次深海环境中。

中奥陶统却尔却克组主要出露于却尔却克山(包括 4 号和 5 号剖面)、南雅尔当山和气象大沟等地,岩性分为四段,自下而上分别为却一段、却二段、却三段和却四段。在却尔却克 5 号剖面却一段为砂岩、粉砂岩和泥岩的组合序列。下部为灰绿色的具水平层理的粉砂岩和薄层具丘状层理(图版 4)

的细-中粗砂岩,总体向上变细。中部为灰绿色砂岩和薄层粉砂岩、泥岩,向上泥质成分增加,表现为由粉砂岩与砂岩互层过渡为泥岩与粉砂岩互层夹砂岩。上部为灰-灰绿色砂岩与粉砂岩互层。在南雅尔当山却一段为一套下部为灰色中-厚层灰岩与黑色页岩互层,上部为砂质灰岩的岩性序列。下部灰岩中发育三叶虫化石,黑色页岩中发育笔石;上部砂质灰岩中发育粒序层理和水平层理,可见冲刷面构造。在气象大沟却一段为灰绿色泥岩夹灰岩的岩性序列,与南雅尔当山却一段下部相似,只是灰岩含量稍小而泥岩的颜色较浅。

3 个地区岩性所确定的岩相,显示它们均形成于陆架边缘斜坡-次深海环境。不同地区特色的沉积类型有所差别,在却尔却克发育有碎屑风暴岩沉积;在南雅尔当山发育有碎屑与碳酸盐混积的浊流沉积。相比气象大沟缺少事件沉积类型。

却尔却克组二段在却尔却克为灰色-灰黑色中-薄层灰质砂岩和灰绿色具水平层理的泥岩构成的岩性序列。中部泥质成分增加,表现为泥岩夹灰质砂岩;下部灰质砂岩中发育粒序层理——为浊流沉积;上部灰质砂岩中发育丘状层理——为风暴岩沉积。在南雅尔当山却二段为灰色具粒序层理的灰质砂岩与具水平层理的钙质页岩构成,以互层形式产出。在气象大沟却二段为灰绿色凝灰质砂岩和粉砂

岩构成的岩性序列, 均为薄层状且粉砂岩中发育水平层理。却二段仍然形成在浅海陆棚 - 陆架边缘斜坡 - 次深海环境中。气象大沟却二段的发育受到该区火山活动的影响。

却尔却克组三段在却尔却克为灰绿色粉砂岩、泥岩、灰岩和砂岩构成的向上变粗的岩性序列。下部为粉砂岩、泥岩和灰岩互层, 局部发育砂质灰岩; 中部泥质和粉砂质含量较高; 上部砂岩含量增加厚度加大 (图版 5)。在南雅尔当山却三段具有与却尔却克相似的向上变粗的岩性序列, 下部灰岩与灰绿色页岩互层, 上部为灰绿色粉砂岩、泥岩与中细砂岩互层, 夹有薄层灰岩, 其中粉砂岩和泥岩中发育水平层理。在气象大沟却二段为灰绿色薄层泥岩与浅灰色泥质灰岩构成的岩性序列, 以互层的形式产出。

根据岩性所确定的岩相显示却二段的形成环境有了明显的分异, 在却尔却克环境已演变为局限台地和滨海三角洲环境, 相比南雅尔当山的环境稍深些, 也为局限台地 - 三角洲环境, 但气象大沟仍为陆架边缘斜坡, 虽然水深也有变浅, 表现在浅灰色泥灰岩的形成。

却尔却克四段只在却尔却克 4 号剖面出露, 其它地区均遭受剥蚀。却四段为由灰绿色细和粗碎屑岩构成的岩性序列。下部为灰绿色 - 灰紫色中粗砂岩、细砂岩和粉砂岩构成, 总体向上变细, 粉砂岩中常夹有细砂岩。中部为灰绿色砂岩与粉砂岩互层, 而上部为中厚层中 - 粗砂岩与细砂岩互层, 向上砂岩粒度增加厚度变大。这是一个在浅海 - 滨海环境中形成的三角洲沉积序列。

上奥陶统乌里格孜塔格组主要出露于元宝山和却尔却克等地, 其它地区已遭受剥蚀。元宝山乌里

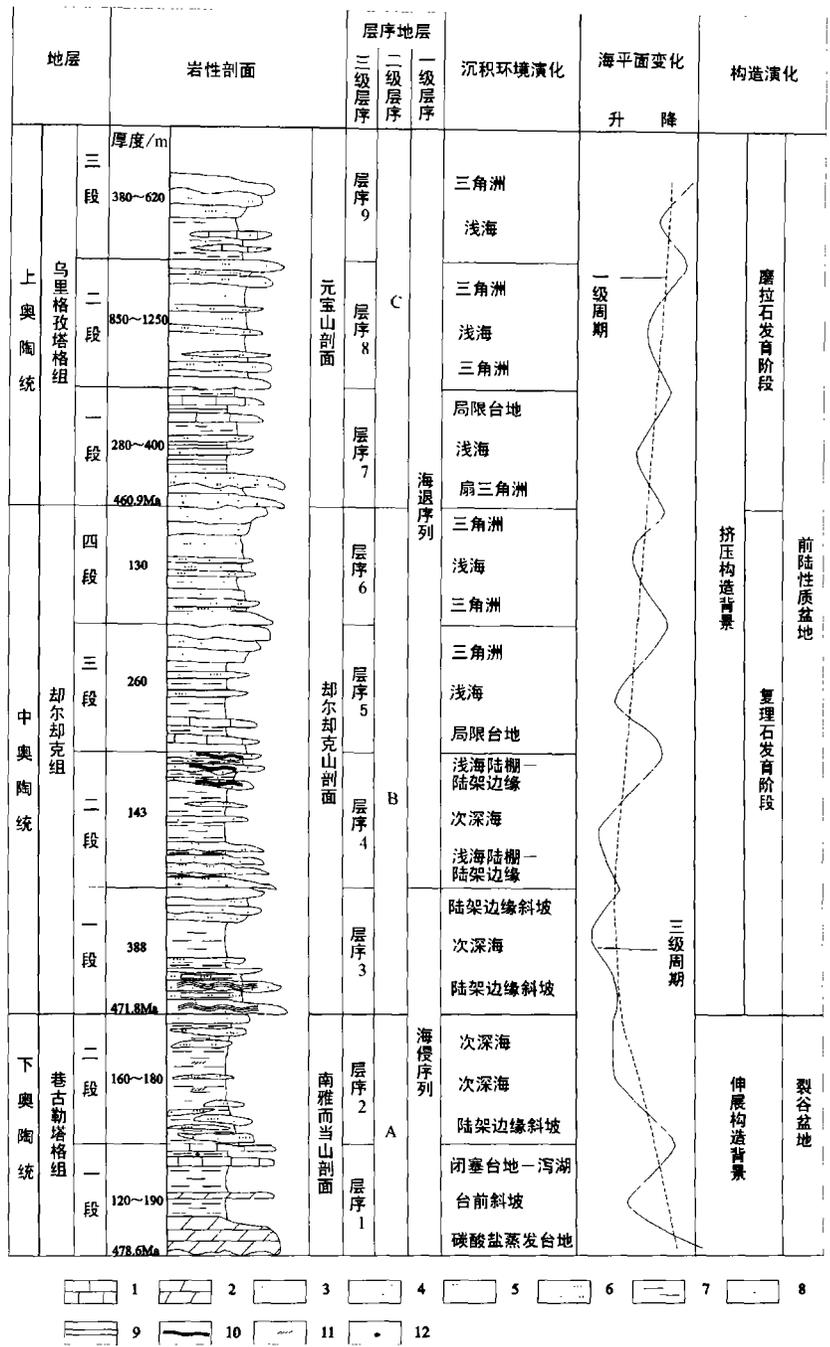


图 2 库鲁克塔格地区奥陶系层序地层柱状图

- 1-灰岩; 2-白云岩; 3-粗砂岩; 4-中砂岩; 5-细砂岩; 6-粉砂岩; 7-泥页岩;
- 8-砂砾岩; 9-水平层理; 10-丘状层理; 11-笔石; 12-菱铁矿

Fig 2 Columnar showing sequence stratigraphy of Ordovician in Kuruktag

格孜塔格组可分为三段, 自下而上为乌一段、乌二段和乌三段。乌一段为砂岩、粉砂岩、泥岩和灰岩夹层构成的岩性序列。下部为杂色中层含砾粗砂岩与灰绿色、灰色具水平层理粉砂岩互层 (图版 6); 中部为灰绿色薄层具水平层理粉砂岩与页岩互层; 上部为灰色具水平层理粉砂岩、页岩夹薄层灰岩, 总体上以

粉砂岩和页岩为主。却尔却克 4 号剖面乌一段为以粗碎屑岩为主构成的岩性序列。下部为杂色砾岩夹黑色泥岩, 向上变为灰色砂岩; 中部为中厚层砂岩与粉砂岩、泥岩互层; 上部为灰绿色、灰色中厚砂砾岩与具水平层理粉砂岩、泥岩互层。根据岩性进行岩相分析显示, 元宝山乌一段是一套在陆架上形成的扇三角洲-浅海-局限台地的沉积序列, 而在却尔却克其是一套扇三角洲-三角洲-浅海-扇三角洲的沉积序列。

乌二段在元宝山为另一套有砂岩、粉砂岩、泥岩构成的岩性序列, 下部为灰绿色具水平层理粉砂岩夹灰质砂岩透镜体, 砂岩中发育爬升层理; 中部为灰色中薄层钙质砂岩与灰绿色粉砂岩互层; 上部为灰色薄层具水平层理粉砂岩夹灰质砂岩透镜体。乌二段在却尔却克是总体向上变粗的岩性序列。下部发育灰色泥岩; 中部为灰色细砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩互层; 上部为灰绿色、紫红色泥岩与砂岩互层。元宝山乌二段是发育于三角洲前缘前部的沉积序列, 砂岩透镜体代表分流河口坝, 而薄层砂岩代表分布在浅海区域的席状或大型舌状砂体, 其类似于现代浅海海域形成的冲淡水沉积。却尔却克乌二段为扇三角洲进积沉积序列, 由浅海沉积通过扇三角洲沉积转变为滨岸平原沉积。

乌三段在元宝山是由碎屑岩及砂质灰岩透镜体构成的向上变粗的沉积序列。下部为灰绿色具水平层理粉砂质泥岩夹砂质灰岩; 上部为灰紫色粉砂岩、细砂岩和粗砂岩, 向上变粗。这是一个由局限台地演变为三角洲的沉积序列。其它地区乌三段缺失。

1.2 层序与类型

根据岩性、岩相的序列特征、界面接触特征、时限特征, 可将库鲁克塔格地区奥陶纪发育的地层划分为 9 个 III 级层序和 3 个 II 级层序 (图 2 表 1)。

层序 1 相当于巷一段, 底界面为与寒武系的沉积间断面、平行不整合面或整合面 (汤良杰, 1997)。在南雅尔当山层序 1 由陆架边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。陆架边缘体系域以潮上碳酸盐台地形成的白云岩及灰质粉砂岩为代表, 海平面与沉积物表面基本一致, 沉积物可能时常处于暴露的状态。海侵体系域以潮间-潮下的台前斜坡形成的页岩夹白云岩为代表。多层白云岩夹层的出现表明海侵过程是动荡的, 使得本地在海侵过程中多次处于潮上环境。高水位体系域以闭塞台地 (泻湖) 环境形成灰色灰岩和页岩为代表。由于闭塞而形成了菱铁矿结核。总体上南雅尔当山的层序是在

近岸环境中海平面变化的产物, 属于 II 型浅水层序。在却尔却克层序 1 仅由海侵体系域和高水位体系域构成。海侵体系域和高水位体系域均是在台前斜坡-浅海陆棚环境中形成的瘤状灰岩和灰绿色泥岩为代表。显然却尔却克层序 1 是特定沉积环境下有特定沉积物类型构成的特殊的层序。

却尔却克层序 1 的瘤状灰岩由“瘤体”和“基质”组成。按照其泥灰含量比值的不同, 瘤状灰岩赋存类型可分为三种: 富灰型、过渡型和富泥型。富灰型瘤状灰岩 (图版 1) 主要发育在巷一段上部。特点是灰岩含量高, 成层产出。灰岩层表面凸凹不平, 布满小丘状凸起。瘤状灰岩层的层厚不等, 薄层约为 10~15cm, 厚层约为 50~60cm。“基质”成层性略差, 顺层追踪可见基质层尖灭现象, 并且“基质”层顺应着“瘤体”的形态而起伏, 呈现“灰包泥”的地层结构特征。过渡型的瘤状灰岩 (图版 2) 主要发育在巷一段下部。特点是作为“瘤体”的灰岩与作为“基质”的页岩含量大致相等。“瘤体”从侧面观察呈长条状和长透镜状, 多数连续分布, 局部地区有压断和溶断现象。与富灰型瘤状灰岩相比, “瘤体”表面较平整, 但层表面也有凸起。瘤状灰岩层厚由 5cm 至 20cm 不等。“基质”层成层性好。富泥型瘤状灰岩 (图版 3) 主要发育在巷一段中部。泥页岩含量大于灰岩含量。“瘤体”呈断续的疙瘩状分布, 略显杂乱。但基本上是沿着“基质”层分布。“瘤体”大小不等, 大者径长可达 30cm, 小者径长仅 3~4cm。“基质”层成层性良好, 顺层连续发育, 在“瘤体”周围呈环绕状, 呈现“泥包灰”的地层结构特征。巷一段瘤状灰岩构成了过渡型-富泥型-富灰型的地层沉积序列-层序 1 (图 3)。

瘤状灰岩的形成是环境中的溶解作用和成岩-压实作用的共同结果 (朱洪发和王恕一, 1992; 孟祥化和葛铭, 1993)。从同生环境的角度, 富灰型瘤状灰岩的原始沉积物形成于台前斜坡, 由海底上升洋流的溶解而形成; 富泥型瘤状灰岩的原始沉积物形成于 CCD 之下的陆架边缘斜坡的底部, 受深度溶解作用改造, 也可以形成在 CCD 之上, 在盆地沉降或海平面上升时到达 CCD 附近遭受溶解而形成; 过渡型瘤状灰岩的形成可能存在上述两种溶解的共同作用, 形成在 CCD 附近。却尔却克的瘤状灰岩的序列由下而上是过渡型-富泥型-富灰型, 反映一个 3 级海平面变化。海侵体系域由过渡型和富泥型瘤状灰岩夹页岩为代表, 富泥型瘤状灰岩夹页岩相当于凝缩段沉积; 高水位体系域由富灰型瘤状灰岩构成。

表 1 库鲁克塔格地区奥陶系层序发育特征

Table 1 Characteristics of sequence stratigraphy of Ordovician in Kuruktag

地层		层序地层					沉积相			
组	段	II 层序	III 层序	体系域与层序类型					特色沉积环境与产物	优势相
				露头剖面位置						
				①	②	③	④	⑤		
乌里格孜塔格组	乌三段	层序 9		缺失				HST TST I S	三角洲	
	乌二段	C 层序 8		HST TST I S				HST TST I S LST	三角洲	
	乌一段	层序 7	缺失	HST TST I S LST	缺失	缺失		HST TST I S LST	泻湖、补丁礁 扇三角洲-局限台地	
却尔却克组	却四段	层序 6		HST TST I S LST					三角洲	
却尔却克组	却三段	B 层序 5	HST TST I S LST		HST TST I S LST	TST I S			泻湖、补丁礁 滨海局限台地	
	却二段	层序 4	HST - TST II S		HST TST II D SMST	HST - TST II D	?		③碎屑风暴岩 ④火山碎屑浊积岩	①浅海陆棚 ③④陆架边缘
	却一段	层序 3	HST TST II D	?	HST TST II D SMST	HST TST II D			碎屑风暴岩、浊积岩	次深海
巷古勒塔格组	巷二段	A 层序 2	HST TST II D SMST		HST - TST II D	HST TST II D			浊积岩	陆架边缘-次深海
	巷一段	层序 1	HST TST II S SMST		HST II D TST	TST II D			①蒸发碳酸盐 ③深水溶解碳酸盐	①滨海 ③④次深海

注: ① - 南雅尔当山北坡; ② - 却尔却克 4 号剖面; ③ - 却尔却克 5 号剖面; ④ - 气象大沟; ⑤ - 元宝山; LST - 低水位体系域; SMST - 陆架边缘体系域; TST - 海侵体系域; HST - 高水位体系域; I S - I 型浅水层序; II S - II 型浅水层; II D - II 型深水层序

总体上却尔却克层序 1 是陆架之下的较深水条件下海平面变化的产物, 属于 II 型深水层序。

在平阳里北山气象大沟出露的地层仅是层序 1 的上部, 为海侵体系域, 以次深海环境形成的深灰色笔石页岩和菱铁矿结核为代表。其与却尔却克层序 1 相似, 也属于 II 型深水层序。

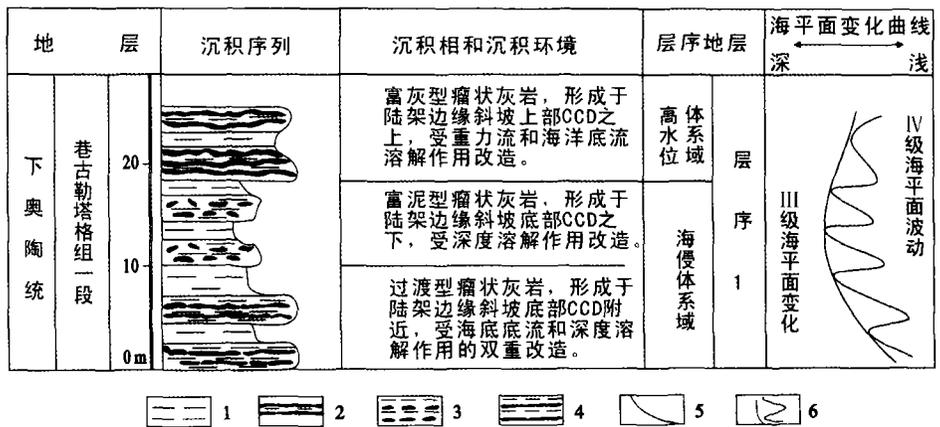


图 3 却尔却克 5 号剖面层序 1 的沉积相和体系域
1 - 页岩; 2 - 富灰型瘤状灰岩; 3 - 富泥型瘤状灰岩; 4 - 过渡型瘤状灰岩;
5 - III 级变化曲线; 6 - III - IV 级变化曲线

Fig 3 Column map showing sedimentary facies and system domains of sequence 1 in the section 5 in Queerqueke

层序 2 相当于巷

二段。界面在南雅尔当山为一平行不整合面,界面下、上沉积物的岩性和颜色发生了变化,由灰色灰岩变为紫灰色泥岩-粉砂岩。界面在阳平里北山气象大沟和却尔却克是整合界面,沉积环境无明显的变化。在南雅尔当山层序 2 由陆架边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。陆架边缘体系域以陆架边缘斜坡的氧化界面之上的环境中形成的紫灰色灰质泥岩和粉砂岩为代表。海侵体系域以陆架斜坡氧化界面之下形成的灰-灰绿色含笔石的页岩和粉砂岩为代表,相当于次深海环境。高水位体系域也形成在次深海环境,只是粉砂岩的夹层增多,代表远源的浊流沉积。在阳平里北山层序 2 由海侵体系域和高水位体系域构成。海侵体系域以陆架斜坡下部-次深海环境形成的灰绿色泥岩和灰色灰岩为代表;而高水位体系域是在次深海-陆架斜坡环境下形成的,所发育的灰岩层数增加,颜色变为浅灰色。在却尔却克层序 2 由海侵-高水位体系域(不易区分)构成,以黑色页岩和硅质岩(图版 7)为代表。层序 2 属于 II 型深水层序。

层序 2 发育时期库鲁克塔格地区总体处于深水环境,说明早奥陶世发生了大规模的海侵,因此高水位体系域仍然由深水沉积所构成。

层序 3 相当于却一段,界面是与巷古勒塔格组之间的平行或角度不整合界面(刘万祥和黄智斌, 1999)。在却尔却克 5 号剖面层序 3 由陆架边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。陆架边缘体系域以形成于陆架边缘斜坡的灰绿色粉砂岩、细砂岩和中-粗砂岩为代表,风暴岩和浊积扇发育。海侵体系域以发育在陆架边缘斜坡下部-次深海环境形成的粉砂岩、泥岩夹细砂岩为代表,由静水泥质沉积和浊流沉积构成。高水位体系域以在陆架边缘形成的灰绿色砂岩和粉砂岩为代表,为多套浊积岩的组合。在南雅尔当山层序 3 由海侵体系域和高水位体系域构成。海侵体系域以含有笔石的黑色页岩和含有三叶虫的灰色灰岩为代表。海侵的过程是动荡的,表现在次深海泥质沉积和斜坡碳酸盐沉积的交替发育。高水位体系域以在次深海-陆架边缘斜坡发育的砂质灰岩、砾屑灰岩和泥岩为代表,碎屑与碳酸盐混积的浊积岩发育。在气象大沟层序 3 的特征与南雅尔当山相似,差别是高水位期的浊流不发育,而且一直处于次深海环境。层序 3 属于 II 型深水层序。

层序 4 相当于却尔却克组二段,界面为一整合界面。在却尔却克 5 号剖面层序 4 由陆架边缘体系

域、海侵体系域和高水位体系域构成。陆架边缘体系域以在浅海陆棚-陆架边缘形成的砂岩和泥岩为代表,浊积岩发育。海侵体系域以在次深海形成的泥岩和钙质砂岩为代表,由静水泥质沉积和浊流沉积构成。高水位体系域以在陆架边缘-浅海陆棚形成的发育有丘状层理的灰质砂岩为代表。在南雅尔当山层序 4 由海侵-高水位体系域构成,其界面不易区分。这个层序主要在浅海陆棚-陆架边缘形成的,以灰色灰质砂岩和钙质页岩为代表。在气象大沟层序 4 形成在陆架边缘-次深海,以灰绿色凝灰质砂岩和粉砂岩为代表,为多套受火山活动影响的浊积岩。该层序由海侵-高水位体系域构成,其界面不易区分。层序 4 在却尔却克和气象大沟属于 II 型深水层序,而在南雅尔当山则为 II 型浅水层序。

层序 5 相当于却尔却克组三段,界面也为整合界面。却尔却克 5 号剖面层序 4 由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。低水位体系域以在局限台地形成的粉砂质泥岩和灰岩、砂质灰岩为代表,由泻湖泥质沉积和补丁礁沉积构成。海侵体系域以浅海粉砂质-泥质沉积为代表;高水位体系域以三角洲沉积为代表,向上变粗。南雅尔当山层序 4 由低水位体系域、海侵-高水位体系域构成。低水位体系域以在局限台地形成灰岩和页岩为代表,也由泻湖泥质沉积和补丁礁沉积构成。与却尔却克相比缺少陆源碎屑的注入。海侵-高水位体系域是在浅海-三角洲环境形成的,主要为较粗的碎屑岩沉积,局部发育碳酸盐沉积。在气象大沟层序 4 仅由海侵体系域构成,以在台前斜坡形成的灰绿色页岩和灰岩为代表。层序 5 属于 I 型浅水层序。

层序 6 相当于却尔却克组四段,界面为侵蚀性不整合-整合界面。在却尔却克 4 号剖面层序 6 由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。低水位体系域以在滨海-浅海环境三角洲进积形成粗碎屑岩为代表。它由多个向上变粗的沉积序列构成,但总体向上变细。海侵体系域以浅海粉砂-泥质沉积夹砂岩为代表,由静水泥质沉积和冲淡水粉砂质沉积以及浊流沉积。高水位体系域也是以三角洲沉积为代表,向上变粗变厚。层序 6 属于 I 型浅水层序。

层序 6 发育时期库鲁克塔格地区基本上处于浅水环境,滨岸沉积占有很大的比例。

层序 7 相当于乌里格孜塔格组一段,界面为一角度不整合-平行不整合。在元宝山层序 7 由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。低水

位体系域以大套的扇三角洲沉积为代表, 由水下扇沉积和扇间沉积构成。海侵体系域以在浅海形成粉砂岩和页岩为代表, 由静水泥质沉积和浊流沉积构成。高水位体系域以在局限台地形成的粉砂岩-页岩和灰岩为代表, 由泻湖泥质沉积和补丁礁沉积构成。在却尔却克 4 号剖面层序 7 由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。低水位体系域以大套的扇三角洲沉积和三角洲为代表, 由进积扇沉积和扇间沉积构成。海侵体系域以在浅海形成粉砂岩和页岩为代表, 由静水泥质沉积和浊流沉积构成。高水位体系域以三角洲沉积为代表, 由进积扇沉积和扇间沉积构成。层序 7 属于 I 型浅水层序。

层序 8 相当于乌二段, 界面为一整合界面。在元宝山层序 8 由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域构成。低水位体系域以三角洲前缘形成的砂岩和粉砂岩为代表。砂岩中发育的爬升层理, 表明低水位阶段物质供给丰富; 海侵体系域为在浅海形成的砂岩和粉砂岩为代表, 由浊流沉积和冲淡水沉积构成。高水位体系域也是以三角洲前缘形成的砂岩和粉砂岩为代表。在却尔却克 4 号剖面层序 8 由海侵体系域和高水位体系域构成。海侵体系域以浅海泥质沉积为代表; 高水位体系域以向上变粗的扇三角洲沉积和滨海砂泥质沉积为代表。层序 8 属于 I 型浅水层序。

层序 9 相当于乌三段, 界面为平行不整合-整合界面。在元宝山层序 8 由海侵体系域和高水位体系域构成。海侵体系域以浅海形成的砂岩和泥岩为代表; 高水位体系域以多套向上变粗的三角洲沉积为代表。层序 8 属于 I 型浅水层序。

II 级层序 1-层序 2 构成了 II 级层序 A, 层序 3-层序 6 构成了 II 级层序 B, 层序 7-层序 9 构成了 II 级层序 C。

2 海平面变化

根据层序地层分析, 库鲁克塔格地区奥陶纪海平面变化存在 3 级变化周期及更次级的波动。对应于 II 级层序或者控制 II 级层序的海平面变化周期为 II 级周期, 为 9 个。对应于 II 级层序的海平面变化周期为 II 级周期, 为 3 个。对应于奥陶系的海平面变化周期为 I 级周期 (图 2)。各级海平面变化周期是叠加在一起的。

在 II 级周期 A 中, 层序 1 是由 II 级海侵过程中的 II 级海平面变化控制形成的。由于南雅尔当山位

势较高而白云岩质发育, 形成 II 型浅水层序, 其它地区则处于次深海环境, 形成 II 型深水层序。层序 2 是在 II 级海退过程中另一个 II 海平面变化控制下形成。虽然有 II 级和 II 海退的复合作用, 本区总体仍处于深水环境, 形成了 II 深水层序, 说明更大级别的海侵正在发生。

II 级周期 B 中, 层序 3 是在 I 级海侵过程中的 II 级海平面变化控制形成的。由于继承性的发展, 层序 3 类型表现为 II 深水层序。层序 4-6 是在 II 级海退过程中形成。虽然存在着 II 海平面的上升, 但层序类型除了层序 4 为 II 深水层序, 层序 5 和层序 6 已转为 I 型浅水层序。这说明更大规模的海退开始发生。在层序 6 结束是本区已处于滨海环境了。

II 级周期 C 中, 层序 7 是在 II 级海侵过程中的 II 级海平面变化控制形成的, 但是基本在滨-浅海的范围内变化。层序 8-9 也是 II 级海退过程中的 II 级海平面变化控制形成的, 由于处于更大海退背景, 本区处于浅水环境。

I 级海平面变化周期的转折点是层序 3 和层序 4 之间, 在层序 2-层序 3 形成期间, 即早奥陶世末-中奥陶世初发生了大规模的海侵。之后本区一直处于海退, 环境发生了明显的变化。

有关塔里木盆地奥陶纪碳酸盐碳、锶同位素的特征 (江茂生等, 1996) 也反映了这一海平面变化。研究的样品来自塔中的一些钻井岩心, 平均取样间距为 15-62m, 因此基本上满足了碳、锶同位素对较长周期海平面变化响应研究的需要。根据塔中 12 井 $\delta^{13}C$ 值和 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值所反映的海平面变化为: 早奥陶世海平面较低, 从早奥陶世向中晚奥陶世过渡, 海平面上升较快, 并且振荡较大; 中晚奥陶世海平面较高。这个海平面由低位通过快速振荡海侵过程达到高位的变化, 与本项研究所得到的长周期的海平面变化基本吻合, 但也存在明显的差距, 主要表现在库鲁克塔格地区中-晚奥陶世存在大规模的海退过程。

3 讨论

奥陶纪发育在库鲁克塔格地区的盆地是属于什么性质的? 与现今的塔里木盆地有什么关系? 这需要对其进行原型盆地分析。层序类型的转化、大规模海平面变化以及环境的变迁为原型盆地提供了地层和沉积记录的线索。

从奥陶纪发育的层序来看, 却二段及其以下的地层, 即层序 1、层序 2、层序 3 和层序 4 的层序类型

为 II 型层序。除了发育在南雅尔当山的层序 1 为 II 型浅水层序外, 其它地区发育的层序均为 II 型深水层序。却三段及其以上的地层, 即层序 5、层序 6、层序 7、层序 8 和层序 9 均为 I 型浅水层序。层序类型的转化, 说明盆地已从深水盆地转变为浅水盆地, 虽然它并不能表明盆地范围的变化。

由沉积物岩性和岩相所反映的的沉积环境特点来看, 本区最深的环境为次深海。次深海环境在却一段或层序 3 发育时期广布, 其上、下层位所揭示的沉积环境均比之浅或分布局限。这表明该时期的 I 级海平面变化的海侵达到了最大, 即是 I 级海平面变化的转折。这样大规模的海平面升降固然会受到全球海平面升降的影响, 但它是否也存在有重大的构造变动的的影响呢?

在具有特色的沉积环境及其产物的分析中可以看出, 事件沉积包括浊流沉积和碎屑风暴岩沉积在却一段和却二段明显地增加。深水中形成浊积岩中包含有大量的浅水的碎屑岩和碳酸盐沉积物, 也含有火山物质。这些大量的事件沉积的出现反映出构造活动性明显地较前期加强了。

以上的层序类型转化、海平面变化、环境变迁和事件沉积增多的事实, 说明奥陶纪库鲁克塔格地区盆地性质在中奥陶世初, 即却一段或层序 3 发育时期开始转变, 由拉张盆地转变为挤压盆地, 或者由裂谷盆地转变为具有前陆性质的盆地。

前陆盆地具有挤压的构造背景。前期的挤压使得盆地变深, 发育复理石沉积序列, 由深水泥质沉积和浊流沉积构成。后期的挤压使得盆地变浅, 发育磨拉石沉积序列, 由三角洲、扇三角洲以及河流和冲积扇沉积构成 (Mail 1984)。

库鲁克塔格地区中奥陶世所形成的沉积序列具有“复理石”性质。早期发生的挤压作用使盆地加深, 因此 I 级海平面变化中海侵过程继续延续到层序 3 的形成时期, 并达到最大。由此形成的层序 3 属于 II 型深水层序。大规模的 I 级海退过程从此开始。处于海退早期的层序 4 (却二段) 仍为 II 型深水层序。由于层序 3 和层序 4 发育时期是构造活动时期, 所以事件沉积极其发育, 风暴岩的形成可能跟地震引发的海啸有关, 或者叠加有海啸和风暴的作用。在层序 5 和层序 6 的形成时期, 盆地已明显变浅, 因此形成了 I 型浅水层序。这说明陆架边缘已经明显地向盆内迁移了, 或者海平面已在原陆架坡折以下了。同时这个时期构造活动相比减弱, 事件沉积减少。

晚奥陶世所形成的沉积序列具有“磨拉石”性

质。持续的挤压作用已是盆地变得很浅, 并有大量的陆源碎屑的注入, 形成扇三角洲和三角洲 - 滨岸沉积, 所形成层序属于 I 型浅水层序。由于下部地层发生一定程度的变形, 因此形成了局部的角度不整合。许效松等 (2005) 的研究也认为塔里木盆地在晚奥陶世的盆地性质为前陆盆地, 但也认为处于水深条件, 因为台地淹没。

早奥陶世的裂谷盆地是寒武纪裂谷盆地的持续发展。塔里木板块在早奥陶世处于陆壳伸展分裂阶段 (李京昌等, 1997), 在塔里木板块的北缘, 中天山地块开始从塔里木板块边缘分裂, 库鲁克塔格 - 满加尔坳拉槽已发育成熟。中、晚奥陶世构造环境逐渐由伸展转为挤压, 盆地性质表现出继承性并有一定的转变 (陈发景等, 1996), 该阶段已进入会聚型主动边缘挤压作用时期。晚奥陶世的具前陆性质盆地与志留纪前陆盆地也是连续发展, 中奥陶纪的盆地应该属于一种过渡性质。汤良杰 (1997) 认为这个时期的构造运动使塔里木盆地由寒武 - 奥陶纪克拉通内拉张盆地转化为志留 - 泥盆纪克拉通内挤压盆地, 也有人认为属于克拉通内挠曲盆地 (陈发景等, 1996)。奥陶纪盆地的转化的构造背景是与南天山洋闭合 (高俊等, 1996) 及昆仑洋的闭合 (潘裕生等, 1996) 有关, 中天山在中奥陶世起具有岛弧性质 (郭召杰和张志诚, 1993)。正是由于库鲁克塔格地区位于挤压作用的前缘抬升, 出现大面积的海退, 而塔中等地却因盆地基底变形加深处于高水位, 台地淹没。

奥陶纪是早古生代盆地发生盆地类型转化的关键时期。由于后期的构造变动本区现已成为塔里木盆地东北边缘隆起。

4 结 论

(1) 库鲁克塔格地区奥陶纪存在 3 个级别的海平面变化周期, II 和 III 周期分别控制了 II 和 III 三级层序, I 级周期控制了整个奥陶系的沉积序列。III 级层序 1 - 层序 2 构成了 II 级层序 A, 层序 3 - 层序 6 构成了 II 级层序 B, 层序 7 - 层序 9 构成了 II 级层序 C。

(2) 层序 1、层序 2、层序 3 和层序 4 的层序类型为 II 型层序。除了发育在南雅尔当山的层序 1 为 II 型浅水层序外, 其它地区发育的层序均为 II 型深水层序。层序 5、层序 6、层序 7、层序 8 和层序 9 均为 I 型浅水层序。层序类型转化表明盆地已从深水盆地转变为浅水盆地。

(3) 库鲁克塔格地区中奥陶世所形成的沉积序列具有“复理石”性质, 晚奥陶世所形成的沉积序列具有“磨拉石”性质。

(4) 早奥陶世的裂谷盆地是寒武纪裂谷盆地的持续发展, 中、晚奥陶世转变前陆性质的盆地, 与南天山洋闭合及昆仑洋的闭合有关。

参考文献:

- 陈发景, 汪新文, 张光亚. 1996 新疆塔里木盆地北部构造演化与油气关系. 北京: 地质出版社, 32-45.
- 陈国达. 2005 自主创新研究亚洲陆海大地构造与成矿学之必要. 大地构造与成矿学, 29(1): 5-6
- 程日辉, 王璞, 刘万洙, 唐华风, 白云风, 孔庆莹, 宋维海. 2004 下扬子区三叠纪层序地层样式对扬子板块与华北板块碰撞的响应. 大地构造与成矿学, 28(2): 134-141
- 高俊, 何国琦, 李茂松, 王学潮, 陆书宁. 1996 新疆南天山大地构造研究新进展. 中国区域地质, (1): 58-63
- 郭召杰, 张志诚. 1993 中天山早古生代岛弧构造带研究. 河北地质学院学报, 16(2): 132-139
- 郭召杰, 张志诚, 廖国辉. 2002 天山东段隆升过程的裂变径迹年龄证据及构造意义. 新疆地质, 20(4): 331-334
- 韩宝福, 何国琦, 吴泰然, 李惠民. 2004 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义. 新疆地质, 22(1): 4-11
- 江茂生, 朱井泉, 陈代钊, 张任祐, 乔广生. 2002 塔里木盆地奥陶纪碳酸盐碳、锶同位素特征及其对海平面变化的相应. 中国科学(D 辑), 32(1): 36-42
- 李京昌, 金之钧, 刘国臣. 1997 塔里木盆地演化的周期性与造山带关系初探. 大地构造与成矿学, 21(2): 154-161
- 刘万祥, 黄智斌. 1999 塔里木盆地库鲁克塔格地区中、下奥陶统接触关系. 新疆石油地质, 20(3): 225-228
- 孟祥化, 葛铭. 1993 内源盆地沉积研究. 北京: 石油工业出版社, 153-161.
- 潘裕生, 周伟民, 许荣华, 王东安, 张玉泉, 谢应雯, 陈挺恩, 罗辉. 1996 昆仑山早古生代地质特征与演化. 中国科学(D), 24(4): 302-307.
- 汤良杰. 1997 略论塔里木盆地主要构造运动. 石油实验地质, 19(2): 108-114
- 汪新文, 陈发景. 1997 塔北-南天山地区震旦-奥陶纪盆-山构造演化及其与油气关系. 现代地质, 11(3): 313-321
- 吴世敏, 卢华复, 马瑞士, 贾东, 蔡东升. 1995 南天山晚古生代岩浆弧的确认及其意义. 大地构造与成矿学, 19(2): 113-120
- 许效松, 汪正江, 万方, 傅恒. 2005 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)), 12(3): 49-57.

周棣康, 周金钟, 赵明. 1991 塔里木盆地东北地区寒武、奥陶纪古大陆边缘沉积与油气. 见: 贾润霄主编. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(第一辑). 武汉: 中国地质大学出版社, 126-137.

朱洪发, 王恕一. 1992 苏南、皖南三叠纪瘤状灰岩、蠕虫状灰岩的成因. 石油实验地质, 14(4): 455-460

References

- Chen Fajing, Wang Xinwen and Zhang Guangya. 1996 The tectonic evolution of and petroleum resources in the north Tarim Basin, Xinjiang. Beijing Geological Publishing House, 32-45 (in Chinese).
- Chen Guoda. 2005 On the necessity of initiating geotectonics and metallogeny study in Asian land and sea areas. *Geotectonics et Metallogenia*, 29(1): 5-6 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Rihui, Wang Pujun, Liu Wanzhu, Tang Huafeng, Bai Yunfeng, Kong Qingying and Song Wehai. 2004 Response of Triassic sequence stratigraphy of lower Yangtze to collision between Yangtze Plate and North China Plate. *Geotectonics et Metallogenia*, 28(2): 134-141 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong, Wang Xuechao and Lu Shuning. 1996 New advances in the study of the tectonics in the South Tianshan Mountains, Xinjiang. *Regional Geology of China*, (1): 58-63 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhaojie and Zhang Zhicheng. 1993 On the early Paleozoic island arc belt of Mt Tianshan Mountains. *Journal of Hebei College of Geology*, 16(2): 132-139 (in Chinese with English abstract).
- Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng and Liao Guohui. 2002 Up lifting process of Eastern Tianshan Mountains: Evidence from fission track age and its tectonic significance. *Xinjiang Geology*, 20(4): 331-334 (in Chinese with English abstract).
- Gupta S and Cowie P. 2000 Processes and controls in the stratigraphy development of extensional basins. *Basin Research*, 20(3/4): 185-194.
- Han Baofu, He Guoqi, Wu Taitian and Li Huimin. 2004 Zircon U-Pb dating and geochemical features of early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang. Implications for tectonic evolution. *Xinjiang Geology*, 22(1): 4-11 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Maosheng, Zhu Jingquan, Chen Daizhao, Zhang Renhu and Qiao Guangsheng. 2002 The characteristics of $\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of Ordovician carbonates and their response to the

- sea level changes *Science in China* (Series D), 32(1): 36–42 (in Chinese with English abstract).
- Li Jingchang, Jin Zhijun and Liu Guochen. 1997. Preliminary investigation of the relationship between Tarim Basin evolutionary periodicity and marginal orogenic belt. *Geotectonica et Metallogenia* 21(2): 154–161 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wanxiang and Huang Zhibin. 1999. The relation between mid- and lower Ordovician in Kuligtag area, Tarim basin. *Xinjiang Petroleum Geology* 20(3): 225–228 (in Chinese with English abstract).
- Maila D. 1984. Principles of sedimentary basin analysis. New York: Springer-Verlag, 421–424.
- Meng Xianghua and Ge Ming. 1993. Study on intrabasin sediments. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 153–161 (in Chinese).
- Pan Yusheng, Zhou Weimin, Xu Ronghua, Wang Dong'an, Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Chen Ting'en and Luo Hui. 1996. Geological characteristics and evolution of early Paleozoic of Kunlun Mountains. *Science in China* (Series D), 24(4): 302–307 (in Chinese with English abstract).
- Tang Liangjie. 1997. An approach to major tectogenesis of Tarim Basin. *Experimental Petroleum Geology* 19(2): 108–114 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xinwen and Chen Fajing. 1997. Sinian-Ordovician tectonic evolution of North Tarim and South Tianshan region and its relation to oil and gas. *Geoscience* 11(3): 313–321 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shimin, Lu Huafu, Ma Ruishi, Jia Dong and Cai Dongsheng. 1995. Establishment of the late Paleozoic magmatic arc in the Southern Tianshan and its significance. *Geotectonica et Metallogenia* 19(2): 113–120 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaosong, Wang Zhengjiang, Wan Fang and Fu Heng. 2005. Tectonic paleogeographic evolution and source rocks of the Early Paleozoic in the Tarim Basin. *Earth Science Frontiers* 12(3): 49–57 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dikang, Zhou Jinzhong and Zhao Ming. 1991. The sediments of paleocontinental margin of Cambrian and Ordovician in the north Tarim basin. In: Jia Runxu (ed). The study of petroleum geology of the north Tarim basin (I). Wuhan: China University of Geosciences Press, 126–137 (in Chinese).
- Zhu Hongfa and Wang Shuyi. 1992. Origin of the Triassic nodular and vermicular limestones in South Jiangsu-South Anhui Provinces. *Experimental Petroleum Geology* 14(4): 455–460 (in Chinese with English abstract).

SEQUENCE STRATIGRAPHY AND SEA LEVEL CHANGES OF ORDOVICIAN IN KURUKTAG, XINJIANG

CHENG Rihui¹, WANG Pujun¹, SUN Xiaomeng¹ and BAI Yunfeng^{1,2}

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, JL 130061, China; 2. College of Natural Resources, China University of Geosciences, Wuhan, HB 430074, China)

Abstract The Ordovician outcropped in Kuruktag, Xinjiang reveals a sedimentary sequence which shows long-term sea level changes. This sedimentary sequence is composed of 9 Rank III and 3 Rank II sub-sequences reflecting short-term (cycle III and cycle II) sea level changes. The lower Ordovician formed during the transgression characterized by long-term sea level change is composed of a set of sub-sequences, i.e., Rank II sub-sequence A developed in bathyal setting. The middle Ordovician formed during the fluctuation characterized by long-term sea level change consists of a set of sub-sequences, i.e., Rank II sub-sequence B developed in bathyal shelf setting. The upper Ordovician formed during the regression characterized by long-term sea level change consists of a set of sub-sequences, i.e., Rank II sub-sequence C developed in shallow sea shore line setting. The characteristics of sequence stratigraphy of Ordovician and related sea level changes are clearly responses to the tectonics during basin formation and transformation. Ordovician is the key period for transformation of the Paleozoic basin in Kuruktag. The rift basin of Cambrian-early Ordovician was transformed into the foreland basin of late Ordovician-Silurian through middle Ordovician. Now, Kuruktag is resulted from the northeast marginal uplift of Tarim basin due to late stage tectonics.

Keywords sequence, Ordovician, original basin, sea level change, Tarim Basin, Kuruktag

图版 Plate



图版 1 富灰型瘤状灰岩
却尔却克五号剖面 GPS: N 40°54' 51.5" E 88°18' 52.2" H 1162m
Plate 1 Lime enriched nodular limestone



图版 2 过渡型瘤状灰岩
却尔却克五号剖面 GPS: N 40°54' 51.5" E 88°18' 52.2" H 1162m
Plate 2 Transition type nodular limestone



图版 3 富泥型瘤状灰岩
却尔却克五号剖面 GPS: N 40°54' 51.5" E 88°18' 52.2" H 1162m
Plate 3 Clay enriched nodular limestone



图版 4 风暴岩丘状层理
却尔却克五号剖面 GPS: N 40°54' 48.5" E 88°18' 49.0" H 1161m
Plate 4 Mound-like bedding of storm rock



图版 5 三角洲沉积
却尔却克五号剖面 GPS: N 40°54' 25.8" E 88°18' 13.0" H 1139m
Plate 5 Delta facies sediments



图版 6 扇三角洲沉积
元宝山剖面 GPS: N 40°46' 29.6" E 88°32' 09.2" H 1023m
Plate 6 Fan delta facies sediments



图版 7 黑色硅质岩
却尔却克五号剖面 GPS: N 40°54' 51.5" E 88°18' 52.2" H 1162m
Plate 7 Black siliceous rock