

塔里木柯坪地区奥陶系层序地层与同位素 地球化学响应特征

胡明毅^{1,2}, 钱 勇¹, 胡忠贵¹, 王延奇³, 向 娟¹

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 2. 长江大学 油气资源与勘察技术教育部重点实验室, 湖北 荆州 434023; 3. 中国石油大港油田分公司 勘探开发研究院, 天津 300280)

摘 要: 塔里木盆地柯坪地区奥陶系发育浅水碳酸盐岩台地、深水陆棚-盆地两大类沉积体系和局限台地、开阔台地、陆棚和盆地等 4 种相类型。通过露头剖面的详细观察, 在该区识别出局部暴露不整合和淹没不整合两类层序界面, 以此为依据将该区奥陶系划分为 9 个三级层序。通过对层序格架内碳同位素和元素地球化学组成分析表明, 不同层序界面及层序内不同体系域的 $\delta^{13}\text{C}$ 和元素地球化学组成有明显的差异, 并呈现出有规律性变化, 反映出该区奥陶纪发生了多次海平面升降变化。研究表明同位素和地球化学特征可以作为层序地层学研究的辅助标志。

关键词: 柯坪地区; 奥陶系; 层序地层; 同位素地球化学响应

中图分类号: P539.2; P597+.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)02-0199-07

Carbon isotopic and element geochemical responses of carbonate rocks and Ordovician sequence stratigraphy in Keping area, Tarim Basin

HU Ming-yi^{1,2}, QIAN Yong¹, HU Zhong-gui¹, WANG Yan-qi³ and XIANG Juan¹

(1. Faculty of Earth Science, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Dagang Oil Field Company, Petrochina, Tianjin 300280, China)

Abstract: The Ordovician strata in Keping area of Tarim Basin are dominated by a series of stable carbonate and clastic rocks and can be divided into shallow platform and deep water depositional systems and then subdivided into four different facies types, namely, restricted platform, open platform, neritic shelf and basin. Based on detailed outcrop geological research, the authors found two different kinds of sequence boundaries, i. e., partially exposed unconformity sequence surface and drowned unconformity sequence surface. The partially exposed unconformity sequence surfaces are mainly developed in Lower Ordovician Penglaiba Formation and Yingshan Formation. In this period, shallow-water carbonate platform was mainly developed in the study area, and small-scale sea-level fall could result in partial exposure and erosion, thus forming sedimentary discontinuity surface. As for the causes, such partially exposed unconformity sequence surfaces belong to Type II sequence boundary. Drowned unconformity sequence surfaces were mainly developed in Middle-Upper Ordovician, and there were mainly developed two types of surfaces in the study area, i. e., platform drowned and neritic shelf drowned unconformity sequence surfaces. Based on the above study, the authors divided the Ordovician strata into 9 third-grade sequences according to an analysis of the sequence stratigraphic framework. Among them, the Penglaiba

收稿日期: 2009-07-04; 修订日期: 2009-11-23

基金项目: 国家“十一”重大科技专项资助项目(2008ZX05007-002-001) 中国石油化工股份有限公司海相前瞻项目资助(YPH08114)

作者简介: 胡明毅(1965-), 男, 汉族, 博士, 教授, 长期从事沉积学、层序地层学和石油地质学等方面的研究工作, E-mail: humingyi

65@163.com

Formation is comparable with two third-grade sequences, the Yingshan Formation is also comparable with two third-grade sequences, the Dawangou Formation is comparable with one third-grade sequence, the Saergan and Kanling Formations are also comparable with one third-grade sequence, the Qilang Formation is comparable with two third-grade sequences, and the Yingan Formation is comparable with one third-grade sequence. The average age of the third-grade sequence is 3.67 Ma, which constituted nine times of obvious rise and fall of the sea-level. C isotopic and element geochemical compositions of those sequences suggest that $\delta^{13}\text{C}$ values and element geochemical compositions show obvious differences and regular variations in different sequence boundaries and different sequence system tracts. The $\delta^{13}\text{C}$ values in the sequence interface are on the whole low. In the Internal sequence, the $\delta^{13}\text{C}$ values change from low to high and then to low again, ranging from the transgressive system tract to the highstand system tract, and the C isotope values reach the maximum within the maximum flooding surface. It is suggested that the rise and fall of sea-level occurred many times. In the study area, element geochemical features and sedimentary sequences have a good response relationship. Invariable elements and trace elements are both low in the phase region of shallow water. With the deepening of the water, Fe, Mn, Sr and Ba values show a rising trend. In the phase region of deep water, the response characteristics of element geochemical features and the sedimentary sequences are obvious. As a result, C isotope and element geochemistry can provide some quantitative geological and geochemical evidence for analyzing the Ordovician sequence.

Key words: Keping area; Ordovician; sequence stratigraphy; isotopic and element geochemical response

层序地层学研究全球海平面变化过程中沉积地层的分布样式及其内部成因联系,层序地层的形成发育与全球海平面的变化有密切的联系,海平面的变化控制着沉积地层发育的结构和样式。近年来研究表明,碳酸盐岩中碳、氧、锶等稳定同位素以及微量元素地球化学组成和变化特征与沉积环境及海平面变化有密切的联系,均可以用来分析研究全球海平面变化、古气候和古环境演化过程,进而可以作为层序地层划分和对比的一种辅助性标志(谢渊等,2002;刘建清等,2007)。柯坪地区奥陶系地层剖面是国际奥陶系辅助层型剖面,前人对该区沉积环境、层序地层开展过较为详细的研究(朱莲芳等,1991;胡明毅,1994),同时对该区碳氧同位素特征也开展过一些研究(王宗哲等,1994),但是将层序地层划分与同位素地球化学特征两者结合起来的研究尚不充分。本文在对柯坪地区奥陶系沉积环境和层序地层分析的基础上,结合碳同位素和微量地球化学分析测试结果,探讨了同位素地球化学的组成变化与海平面变化、层序地层形成演化的关系,研究表明该区碳同位素及元素地球化学组成与层序地层及海平面变化有很好的耦合关系,可以作为层序地层划分和海平面变化研究的辅助标志。

1 地层及沉积背景

研究区位于塔里木盆地西北缘,该区奥陶系露

头分布于叶尔羌河以北、托什干河以南、阿克苏以西的柯坪塔格、印干山一带(图1)。该区奥陶系底与下伏寒武系为整合接触,与上覆志留系呈平行不整合接触。实测奥陶系地层剖面位于大湾沟和石灰窑一带,奥陶系地层厚度 541.9 m,自下而上分为下统蓬莱坝组和鹰山组、中统大湾沟组和萨尔干组、上统坎岭组、其浪组和印干组。柯坪地区奥陶系各组地层岩性和沉积特征(朱莲芳等,1991;胡明毅,1994)如下。①蓬莱坝组 地层厚 120 m,主要为一套藻纹层白云岩、泥晶白云岩夹角砾状白云岩,生物化石稀少,仅见腹足类化石 *Maclurites crassus*,含牙形石 *Paroistodus proteus* 属局限台地相沉积。②鹰山组:地层厚约 163.2 m,主要为一套浅灰色中层泥晶灰岩、亮晶砂屑灰岩、含砾砂屑灰岩和砂屑生物屑灰岩沉积,局部夹硅质条带,富含三叶虫 *Megalaspides* sp.、介形虫、腹足类、藻屑、棘皮屑等化石,属开阔台地相沉积。③大湾沟组 地层厚 25.1 m,主要为灰色中到薄层瘤状生屑砂屑及泥屑灰岩、泥质泥晶灰岩,底部含海绿石自生矿物,见头足类 *Dideroceras wahlenbergi*、三叶虫化石 *Nileus liangshanensis* 属浅海陆棚相沉积。④萨尔干组 地层厚 13 m,为黑色页岩夹灰黑色薄层或透镜状泥屑灰岩,局部层段有少量硅质条带,富含笔石化石 *Nemagraptus gracilis*,属盆地相沉积。⑤坎岭组 地层厚约 18 m,下部为中薄层泥晶灰岩,上部主要为紫红色薄层瘤状泥屑灰岩,化石有头足类 *Trilacinoceras discors*、三叶虫

Nileus convergens, 属浅海陆棚相沉积。⑥其浪组: 厚约 167.3 m, 下部为薄层黑色页岩夹泥晶灰岩, 上部为薄层灰色泥晶灰岩、瘤状泥晶灰岩及灰绿色钙质、粉砂质页岩韵律性互层, 含笔石 *Climacograptus spiniferus*、三叶虫 *Birmanites* sp.、头足类化石 *Michelinoceras elongatum*, 属陆棚-盆地相沉积。⑦

印干组: 地层厚 35.3 m, 分布于柯坪印干村一带, 主要为黑色及深灰色碳质、钙质和粉砂质页岩和泥屑灰岩, 含丰富的笔石和胞石化石 *Belonechitina seriespinosa*、*Calpichitina lata*、*Cyathochitina macastysi*, 并有少量三叶虫和腕足类化石, 属盆地相沉积。

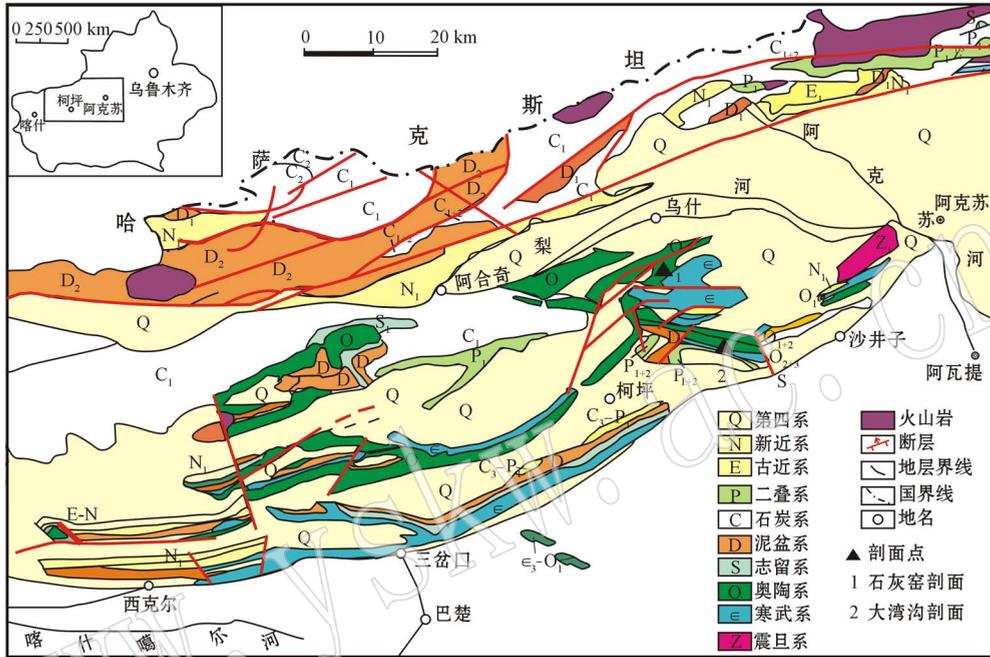


图 1 研究区剖面位置图

Fig. 1 Location of the section in the study area

2 层序地层划分

2.1 层序界面类型

层序界面的识别是层序地层划分与对比的基础。Vail(1977, 1988)根据海平面下降和构造沉降二者之间的相对关系将被动大陆边缘型盆地划分为 I 和 II 两种基本类型的层序界面。在对碳酸盐岩层序界面的研究过程中, 人们发现除存在传统的与海平面下降有关的层序界面外, 还存在由于海平面迅速上升而形成的淹没不整合层序界面, 并称之为 III 型层序界面(Schlager, 1989; 蔡忠贤等, 1997)。研究区奥陶纪早期为一套浅水碳酸盐岩台地沉积, 中奥陶世时期开始该区海平面快速上升, 形成了一套淹没台地沉积, 因此该区主要发育局部暴露不整合和淹没不整合等两种类型的层序界面。

2.1.1 局部暴露不整合层序界面

局部暴露不整合层序界面主要见于下奥陶统蓬莱坝组 and 鹰山组地层中。由于该时期研究区主要为一套浅水碳酸盐岩台地沉积, 小规模的海平面下降即可形成局部的暴露和大气淡水溶蚀作用, 形成一些不连续的沉积间断面。从成因上来讲该类层序界面属 II 型层序界面。根据柯坪地区奥陶系地层沉积发育特征, 该区局部暴露不整合层序界面有以下 3 种表现形式: ①层序界面之下为潮上坪藻纹层白云岩、角砾状白云岩, 界面之上为潮间坪泥晶白云岩, 由于潮上带局部暴露侵蚀发生角砾岩化作用形成角砾状白云岩(图 2a), 该类层序界面形成于局限台地潮坪沉积环境; ②层序界面之下为局限台地潮上坪藻纹层白云岩, 发育鸟眼构造和层状晶洞构造, 由于暴露侵蚀作用使得鸟眼和层状晶洞被溶蚀, 形成一些溶蚀孔洞, 界面之上为开阔台地泥晶灰岩沉积(图 2b), 该类层序界面形成于局限台地-开阔台地环境; ③层序界面之下为浅滩亚相亮晶生屑砂屑灰岩沉

积,由于局部暴露溶蚀作用形成了一些粒内溶孔等选择性溶孔,界面之上为滩间海泥晶灰岩沉积(图 2c),该类层序界面形成于开阔台地沉积环境。

2.1.2 淹没不整合层序界面

淹没不整合层序界面最早由 Schlager(1989)提出,随后国内一些学者在研究过程中也发现了该类层序界面的存在(蔡忠贤等,1997)。淹没不整合层序界面主要是由于海平面上升速度超过了碳酸盐岩沉积速率,从而抑制碳酸盐岩的生长而形成的一种淹没不整合沉积间断面。研究区淹没不整合层序界面有两种表现形式:①台地的淹没不整合界面,主要发育在鹰山组顶界面和大湾沟组底界面之间。该界面为一岩性和岩相转换界面,界面之下为高能浅滩

相中厚层亮晶含砾砂屑灰岩,界面之上为浅海陆棚相薄层泥晶灰岩、含生屑海绿石泥晶灰岩(图 3a)。该界面反映了海平面快速上升、由开阔台地快速过渡到富含海绿石的正常浅海陆棚相沉积,反映了碳酸盐台地的被淹没和消亡的过程。上述事件不仅在柯坪地区发育,在整个塔里木台地、扬子台地以及北美地区都有发育,反映了一次全球海平面快速上升的事件。②陆棚淹没不整合界面,主要见于大湾沟组、坎岭组和其浪组的顶部。该界面平整,界面上下为岩性和岩相突变界面,界面之下为陆棚相薄层状泥质泥晶灰岩,含大量角石生物化石,界面之上为深水盆地相黑色碳质页岩沉积(图 3b),反映了一次海平面快速上升的事件。

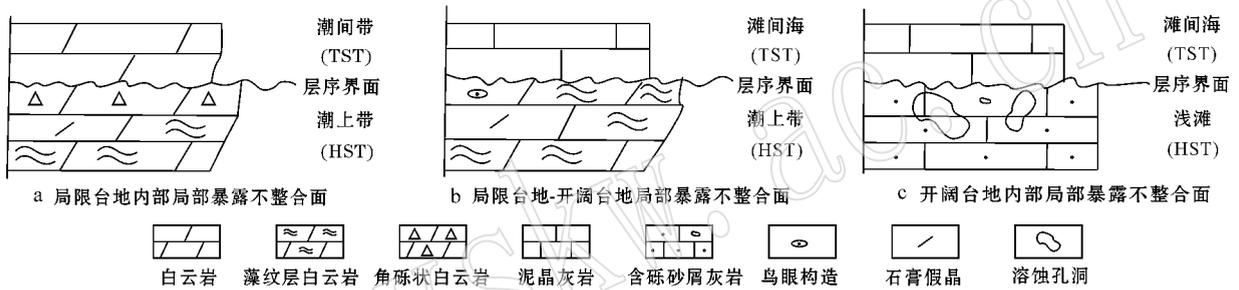


图 2 局部暴露不整合层序界面的构成特征

Fig. 2 Constitution characteristics of locally exposed unconformity sequence surfaces

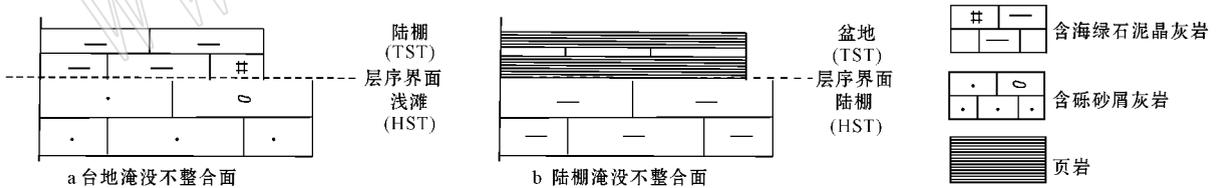


图 3 淹没不整合层序界面的构成特征

Fig. 3 Constitution characteristics of drowned unconformity sequence surfaces

2.2 层序地层划分

以柯坪地区奥陶纪地层出露较全的印干村大湾沟剖面和石灰窑剖面为基干剖面,通过野外露头剖面观察和层序地层界面的追索识别,对研究区奥陶系进行了层序地层划分。研究表明柯坪地区下奥陶统为一套浅水碳酸盐岩台地相沉积,发育 4 个较为明显的局部暴露不整合层序界面,据此划分为 4 个三级层序(对应于 $Sq_1 \sim Sq_4$)。该划分方案与前人划分方案存在一定的差异性,其中下奥陶统蓬莱坝组划分方案与前人划分方案相同,而下奥陶统鹰山组的划分方案与前人有明显不同。陈明等(2004)将鹰

山组划分 4 个三级层序,本次观察过程中在鹰山组内部仅发现 2 个局部暴露不整合界面,据此将鹰山组划分为 2 个三级层序。研究区下奥陶统 $Sq_1 \sim Sq_2$ 为一套局限台地相沉积,层序内部发育海侵体系域和高位体系域,其中海侵体系域主要由潮间坪泥-粉晶白云岩沉积组成,高位体系域主要由潮上坪藻纹层白云岩沉积组成,发育鸟眼构造。 $Sq_3 \sim Sq_4$ 为一套开阔台地相沉积,层序内部海侵体系域主要由滩间海亚相的泥晶灰岩沉积组成,高位体系域主要由浅滩亚相潮上坪藻纹层白云岩沉积组成,发育鸟眼构造。

从中奥陶世大湾沟组时期开始,该区海平面快速上升发育一套深水陆棚-盆地相沉积,其内部发育 5 个较为明显的淹没不整合层序界面,构成了 5 个三级层序,对应于 Sq5~Sq9(图 4)。Sq5 主要为一套陆棚相沉积,层序内部海侵体系域初期发育具海绿石泥晶灰岩沉积,随后海水逐渐加深,为一套深陆棚相沉积,高位体系域为陆棚相泥晶灰岩沉积组成。Sq6 主要为盆地-陆棚相沉积组成,层序内部海侵体系域为盆地相黑色页岩沉积,高位体系域为陆棚相泥质泥晶灰岩沉积组成。Sq7~Sq8 为一套陆棚相-盆地

相沉积,依据其层序内部准层序的构成不同可分为海侵体系域和高位体系域。

以层序界面的识别为主要依据,结合层序内部准层序的构成及体系域发育特征,将柯坪地区奥陶系划分为 9 个三级层序,其中蓬莱坝组划分为 2 个三级层序,鹰山组划分为 2 个三级层序,大湾沟组构成 1 个三级层序,萨尔干组和坎岭组构成 1 个三级层序,其浪组分为 2 个三级层序,印干组为 1 个三级层序,每个三级层序的平均时限为 3.67 Ma,构成了 9 次较为明显的海平面升降过程。

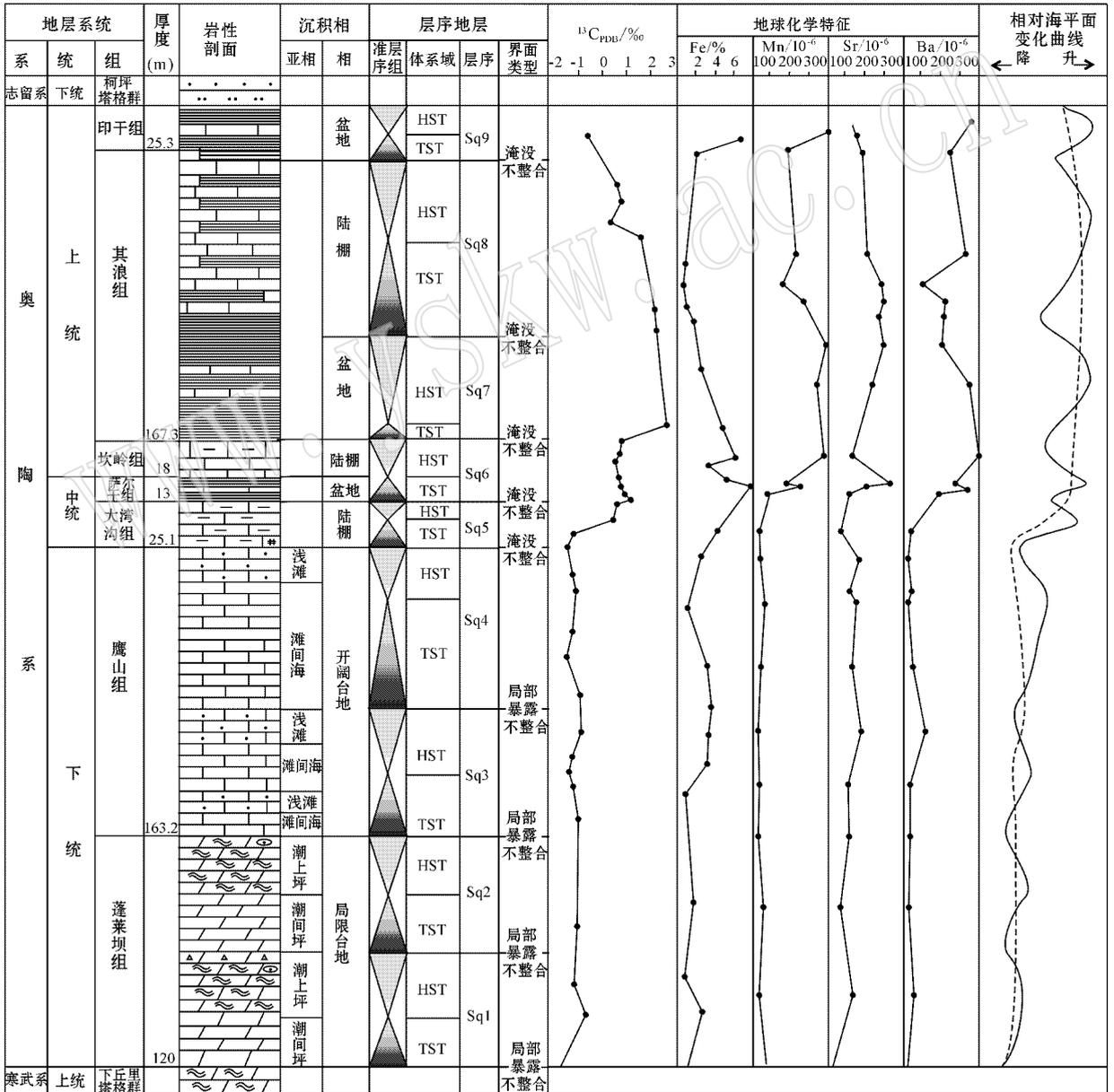


图 4 柯坪地区奥陶系层序地层划分及同位素地球化学响应特征

Fig. 4 Carbon isotopic and element geochemical response of carbonates in Ordovician sequence stratigraphy, Keping area

3 层序地层的同位素及地球化学响应

3.1 同位素及地球化学组成的影响因素

地质历史中海相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值尽管呈现波动性变化,但不存在随地质年代的明显的单向演化趋势,这可能表明碳酸盐岩碳同位素组成受成岩作用的影响不明显,而主要受沉积时期的环境因素所控制。一般认为,沉积水介质盐度的增高会引起碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值变大,大气降水和陆源淡水的注入会使 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。氧化条件下有机质中 ^{13}C 的氧化消耗并以 CO_2 形式回到海水使碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低;还原条件下富 ^{12}C 的有机质快速埋藏而导致碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值增大。生物发育时消耗海水中富 ^{12}C 的 CO_2 和 H_2CO_3 ,并经快速埋藏,从而使碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高;生物贫乏时海水中 CO_2 和 HCO_3^- 消耗量减少,加之有机质埋藏速率降低,均会导致碳酸盐岩更富 ^{12}C ,使 $\delta^{13}\text{C}$ 值减少。由于海平面的升降变化在很大程度上影响了沉积环境中水介质的物理、化学及生物等条件的变化,因而碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化可以反应海平面升降的变化(张秀莲,1985;李儒峰等,1996;朱炳泉,1998)。

大量研究表明,元素地球化学组成与沉积岩的结构和环境有密切关系(胡明毅,1994;郑荣才等,1997)。如铁离子的富集程度与沉积环境关系密切,在滨岸带氧化铁常较富集,在斜坡带和陆棚环境则减少,在深海盆地由于火山活动造成铁离子的富集。微量元素锶、钡等对于环境和水体的深浅反映较为敏感,一般在浅水台地沉积环境其含量较低,在深水环境较为富集,因此元素地球化学组成的变化可以反映海平面的变化。

3.2 层序地层的同位素及地球化学响应特征

柯坪地区奥陶纪碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-1.52\text{‰} \sim +2.64\text{‰}$,不同层序及其不同体系域中碳酸盐岩具有明显的同位素差别。该区下奥陶统蓬莱坝组-鹰山组为一套浅水碳酸盐岩台地相沉积,该时期水体较浅,海平面的升降幅度较小,其对应的碳同位素值在 $-1.52\text{‰} \sim -1.19\text{‰}$,表明其碳总体呈低富值的特点。该区下奥陶统主要发育局部暴露不整合层序界面,共识别出4个三级层序,除 Sq_3 外,在 Sq_1 、 Sq_2 和 Sq_4 中随着相对海平面的上升,碳同位素值有明显增加的趋势,并且在最大海泛面附近达到最大,反映了碳同位素值与相对海平面升降有较好的响应特

征。研究区从中奥陶统大湾沟组开始,海平面快速上升,形成了一套淹没台地沉积,具体发育一套陆棚-盆地相沉积。受海平面快速上升影响,该时期碳同位素值明显加大,其变化区间在 $-1.29\text{‰} \sim 2.64\text{‰}$ 之间,平均值为 0.89‰ 。研究区中上奥陶统主要发育有淹没不整合层序界面,共识别出5个三级层序($\text{Sq}_5 \sim \text{Sq}_9$),该时期在层序界面附近其碳同位素值一般相对较低,在最大海泛面附近其碳同位素值明显增加,并且在 Sq_7 其浪组下部盆地相带碳同位素值达到最大,其碳同位素值为 2.64‰ 。

对柯坪地区奥陶纪地层剖面不同层位、不同相带进行了系统采样,在采样过程中尽可能采取新鲜样品,样品经过破碎,由中国地质大学分析测试中心采用等离子光谱仪进行测定,其元素地球化学特征如图4所示。从图4中可以看出:①无论是常量元素 Fe 还是微量元素 Mn、Sr、Ba 含量在下奥陶统浅水台地相区都相对较低,在中上奥陶统深水陆棚-盆地相区其含量明显增加。以微量元素 Sr 为例,从浅水局限台地→开阔台地→陆棚→盆地相,其平均值分别为 $105.3 \times 10^{-6} \rightarrow 105.3 \times 10^{-6} \rightarrow 226.8 \times 10^{-6} \rightarrow 248.7 \times 10^{-6}$ 。②随着海平面上升其元素含量有明显增加的趋势,从 Sq_5 开始无论常量还是微量元素明显快速增加,并且在 Sq_6 的最大海泛面附近达到最大,该时期研究区由碳酸盐岩台地演化为淹没台地,随着海平面快速上升,其元素 Fe、Mn、Sr、Ba 等表现出明显增加的趋势。

总之,研究区各层序内部从海侵体系域到高位体系域,碳同位素组成呈现低→高→低有规律性的变化,碳同位素值变化与海平面升降变化总体上具有较好的响应关系,并且不同幅度的海平面升降变化在碳同位素值上也有明显的体现,研究区 $\text{Sq}_1 \sim \text{Sq}_4$ 海平面升降幅度较小,碳同位素值的变化也较小, $\text{Sq}_5 \sim \text{Sq}_9$ 海平面升降幅度较大,碳同位素值的变化幅度也较大。研究区元素地球化学特征与层序地层在浅水台地沉积响应特征不明显,但在深水相区其响应特征较为明显。

4 结论

(1)塔里木柯坪地区奥陶系下部为一套浅水碳酸盐岩台地沉积体系,中上部为一套深陆棚体系-盆地沉积体系,该区发育有局部暴露不整合和淹没不整合两种不同类型的层序界面,进一步可细分为五

种表现形式。

(2)以层序界面为主要依据将柯坪地区奥陶系划分为9个三级层序,每个三级层序的平均时限为3.67 Ma,对应于9次海平面升降变化旋回。

(3)研究区碳同位素与海平面升降变化有良好响应关系,一般在层序界面处碳同位素值较低,在层序内部由海侵体系域到高位体系域碳同位素呈现出由低到高再变低的变化规律,并且在层序内部最大海泛面附近碳同位素值达到最大,因此碳同位素值的变化规律可用于层序地层界面识别和层序划分的辅助标志。

(4)研究区元素地球化学特征与沉积层序有良好的响应关系,在浅水相区无论常量还是微量元素均较低,随着水体加深,Fe、Mn、Sr、Ba等表现出明显增加的趋势,在深水相区元素地球化学特征与层序地层响应特征明显。

References

- Cai Zhongxian and Jia Zhenyuan. 1997. Discussions about sequence boundaries on carbonate platforms[J]. *Earth Science*, 22(5): 456~459 (in Chinese with English abstract).
- Chen Ming, Xu Xiaosong, Wan Fang, et al. 2004. Study on Outcrop Sequence Stratigraphy of the Lower Middle Ordovician Strata in Keping Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(1): 110~116 (in Chinese with English abstract).
- Hu Mingyi. 1994. Geochemical characters and environmental significance of Ordovician carbonate rocks in Keping area, Tarim basin[J]. *Oil and Gas Geology*, 15(2): 158~163 (in Chinese with English abstract).
- Hu Mingyi. 1999. Analyzing sedimentary environment using geochemical indicators—An example from north margin of Middle Yantze Platform in Last Sinian[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 26(6): 39~41 (in Chinese with English abstract).
- Li Rufeng and Liu Benpei. 1996. Application of carbon and oxygen isotopes to carbonate sequence stratigraphy: Analysis of Maping formation, southern Guizhou province[J]. *Earth Science*, 21(3): 261~266 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianqing, Jia Baojiang, Yang Ping, et al. 2007. The Application of carbon oxygen and strontium isotopes to the study of Middle-Upper Jurassic sequence stratigraphy in Longweicuo area, Qiangtang Basin[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 28(3): 253~260 (in Chinese with English abstract).
- Schlager W. 1989. Drowning unconformities on carbonate platforms[A]. Crevello P D, Wilson J L and Read J F. Control on Carbonate Platform and Basin Development[C]. Tulsa: Special Publication, Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, 44: 15~25.
- Vail P R. 1988. Sequence stratigraphy workbook, fundamentals of sequence stratigraphy[A]. Bally A W. AAPG Annual Convention Short Course Sequence Stratigraphy Interpretation of Seismic

Stratigraphy Interpretation Procedure[C].

- Vail P R, Mitchum R M and Thompson S. 1977. Global cycles of relative changes of sea level[A]. Payton C E. Seismic Stratigraphy Application to Hydrocarbon Exploration[C]. AAPG Memoir 26: 99~116.
- Wang Zongzhe and Yang Jiedong. 1994. Features of the carbon isotope changes in the Early Palaeozoic rocks of the Keping area, Xinjiang and their significance[J]. *Journal of Stratigraphy*, 18(1): 45~52 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yuan, Wang Jian, Liu Jiaduo, et al. 2002. Carbon, oxygen and strontium isotopic responses of carbonate rocks and the Middle Jurassic sequence stratigraphy in the Nadigangri area, Qiangtang Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(2): 188~196 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiulian. 1985. Relationship between carbon and oxygen stable isotope in carbonate rocks and paleosalinity and paleotemperature of seawater[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 3(4): 17~30 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai and Chen Hongde. 1997. Geochemical characteristics of trace and rare earth elements of paleokarst-reservoirs in Huanglong Formation of Eastern Sichuan[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 24(1): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan. 1998. Isotope Theory and Its Application in Geoscience[M]. Beijing: Science Press, 247~257 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Lianfang and Ma Baolin. 1991. The sedimentary environment of Cambrian-Ordovician in the Aksu and Keping areas of Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 9(2): 55~61 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡忠贤, 贾振远. 1997. 碳酸盐岩台地三级层序界面的讨论[J]. *地球科学*, 22(5): 456~459.
- 陈明, 许效松, 万芳, 等. 2004. 塔里木盆地柯坪地区中下奥陶统碳酸盐岩露头层序地层学研究[J]. *沉积学报*, 22(1): 110~116.
- 胡明毅. 1994. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩地球化学特征及环境意义[J]. *石油与天然气地质*, 15(2): 158~163.
- 胡明毅. 1999. 利用地球化学标志识别沉积环境[J]. *石油勘探与开发*, 26(6): 39~41.
- 李儒峰, 刘本培. 1996. 碳氧同位素演化与碳酸盐岩层序地层学关系研究[J]. *地球科学*, 21(3): 261~266.
- 刘建清, 贾保江, 杨平, 等. 2007. 碳、氧、锶同位素在羌塘盆地龙尾槽地区层序地层研究中的应用[J]. *地球学报*, 28(3): 253~260.
- 王宗哲, 杨杰东. 1994. 新疆柯坪地区早古生代地层的碳同位素变化特征及其意义[J]. *地层学杂志*, 18(1): 45~52.
- 谢渊, 王剑, 刘家铎, 等. 2002. 羌塘盆地那底岗日地区中侏罗世层序地层与碳、氧、锶同位素响应[J]. *沉积学报*, 20(2): 188~196.
- 张秀莲. 1985. 碳酸盐岩中氧、碳同位素与古盐度、古水温的关系[J]. *沉积学报*, 3(4): 17~30.
- 郑荣才, 陈洪德. 1997. 川东黄龙组古岩溶储层微量和稀土元素地球化学特征[J]. *成都理工学院学报*, 24(1): 1~7.
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中的同位素体系理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 247~257.
- 朱莲芳, 马宝林. 1991. 塔里木盆地阿克苏-柯坪地区寒武系—奥陶系的沉积环境[J]. *沉积学报*, 9(2): 55~61.