

文章编号: 1009-3850(2014)02-0018-11

基于沉积微相的野外露头剖面准层序分析 ——以鄂尔多斯盆地奥陶系临汾晋王坟剖面马家沟组为例

王千遥¹, 冯乔², 王太元³, 韩波², 赵伟², 周书昌², 刘阵², 姜文娟²

(1. 中国煤炭科工集团西安研究院, 地震所, 西安 710077; 2. 山东科技大学, 地质科学与工程学院, 青岛 266510; 3. 中国煤炭科工集团重庆研究院, 岩土所, 重庆 400050)

摘要: 鄂尔多斯盆地奥陶系为广泛的陆表海碳酸盐岩沉积, 其东部马家沟组岩相特征、岩石组合类型和旋回性丰富多样。通过对本区临汾晋王坟剖面的奥陶系马家沟组地层进行精细测量, 笔者从剖面的沉积特征入手, 进行沉积环境和沉积微相的分析, 并以沉积微相的纵向演变规律为基础, 结合准层序向上变浅的本质特征, 识别划分野外露头剖面的准层序。研究区马家沟组共识别出32个准层序, 可分为两种类型: 准层序类型 I 跨越若干微环境, 相变向上为浅; 准层序类型 II 沉积于同一个微环境, 向上有层厚的渐变趋势。两种类型准层序的形成取决于沉积物供给、短周期海平面升降和地层沉降三者之间的关系和相互作用。研究区内的准层序类型 I 发育广泛, 较为常见, 类型 II 则发育较少。

关键词: 沉积微相; 准层序; 马家沟组; 奥陶系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

1 前言

微相最早由 Brown 提出, 用来表示岩石薄片在显微镜下所呈现的鉴别标志^[1]。经多年发展^[2-5], 微相现已被总结为利用各种观测方法, 根据岩石颗粒组分、微观结构、生物化石等对沉积岩进行识别与分类的研究手段。碳酸盐岩由于内源沉积在矿物组成、结构和成因等方面的特殊性, 使得微相分析方法在碳酸盐岩的沉积学研究中显得尤为重要^[1]。长庆油田的部分研究人员按矿物组成、微观结构和生物化石组成特征, 对鄂尔多斯盆地东部马家沟组进行微相的分析与划分, 并通过微相类型的突然变化、特殊微相类型、特殊显微标志进行层序界面的识别^[6], 但未能对准层序进行深入研究。本文立足于野外露头剖面的厘米级精细测量, 从岩石特征上对研究区进行微相的识别和划分, 为后续的准层序研究铺垫。

准层序是一个向上变浅的米级旋回, 最早认识到这种序列的是 Weller (1930)、Wilson (1975) 等, Wilson 指出划分这种沉积序列的海泛面具有年代地层意义^[7]。后人把这些单元称为“准层序”, 认为这样保存了 Vail 等人所用“旋回”一词的经典含义。近年来, 随着含油气盆地开发的加深, 国内对于准层序的研究不断发展, 如对地层进行准层序的划分, 将其作为基础性研究资料, 从而进行更高级别的旋回研究^[6-14]。如周劲松、赵澄林在研究鄂尔多斯盆地中部马五段地层时, 以关键界面为主要标志, 并辅以岩性组合、岩石电性特征和沉积微相, 进行准层序的划分, 共识别出8个准层序^[12]。但由于研究区域较小, 准层序类型较为单一, 未能充分反映准层序的特征和成因过程。Isabel P. Montanez、David A. Osleger 等把内华达州南部 Bonanza King 组 Bander Mountain 段的准层序分为潮缘准层序和

收稿日期: 2013-05-20; 改回日期: 2013-08-08

作者简介: 王千遥(1986-), 男, 硕士, 矿产普查与勘探专业。E-mail: qianyao1986@163.com

潮下准层序两种类型^[8],划分尺度较大,未能体现出陆表海碳酸盐岩准层序的丰富多样。本文的准层序研究基于沉积微相的划分和识别,对不同表现形式的准层序进行分类归并,并对不同类型准层序的形成过程进行深入分析,从致使准层序形成的基本要素入手,探讨其成因机制。

本文研究对象为位于鄂尔多斯盆地东缘的山西临汾晋王坟剖面。奥陶纪时,研究区为陆表海碳酸盐岩沉积,海平面变化显著,沉积微相类型较为丰富,旋回相当发育。

前人对于该地区及邻近地区的研究多注重于相和微相的识别与分类上,而透过相类型涉及到层序甚至准层序的研究则相对较少,未能将两者进行紧密结合。本次研究相当于前人研究的继承和深入,笔者通过对剖面沉积特征进行分析,结合前人关于陆表海的沉积相模式以及对于该区域的相关

研究^[2,6,15,16],对研究区进行了沉积环境的分析和微相类型的划分。由于仅从岩石组合类型入手,在研究方法的多样性上未及前人。然而以此为基础,重点进行的准层序的研究较为细致,共划分了32个准层序,分为两种类型,并进行了一定的成因探讨。

2 研究区剖面概述

山西临汾晋王坟剖面位于鄂尔多斯盆地东缘,该剖面奥陶系地层自下而上为:冶里组,出露不完整、未见底;亮甲山组,底部与冶里组整合接触,顶部为怀远运动造成的区域性不整合面,与上伏马家沟组不整合接触;马家沟组,分为6段,岩性上表现为3个蒸发岩-碳酸盐岩的旋回,顶部马六段因加里东运动而抬升剥蚀,与上覆石炭系铝土层不整合接触。马家沟组是本次研究的重点(图1)。

马家沟组一至六段剖面特征概述如下:

石炭系:浅紫红色铝土层。

----- 不 整 合 -----

马六段:沉积厚度为17.25m,与下伏马五段地层整合接触。岩性主要为深灰色厚层块状灰泥石灰岩。

马五段:沉积厚度为150.03m,与下伏马四段地层整合接触。岩性主要为岩溶垮塌角砾岩、灰色泥晶灰岩、膏岩、灰泥石灰岩与准同生白云岩互层。

马四段:沉积厚度为71.56m,与下伏马三段地层整合接触。岩性主要为斑状粉晶白云岩、云斑灰岩,虫迹大量发育。

马三段:沉积厚度为56.89m,与下伏马二段地层整合接触。岩性主要为浅灰色中薄层准同生白云岩与钙质泥岩互层,含部分角砾状膏岩。

马二段:沉积厚度为92.95m,与下伏马一段地层整合接触。岩性主要为灰、浅灰色中-厚层泥晶灰岩,下部含有大量角砾状灰岩,局部含颗粒灰岩。整体上可分为五部分,冯增昭称之为三厚夹两薄。

马一段:沉积厚度为41.18m,与下伏亮甲山组地层不整合接触。岩性主要为浅灰黄色、浅黄白色中薄层钙质泥页岩,灰色、浅灰色泥晶白云岩,角砾状膏岩、角砾状泥岩,底部有磨圆较好的石英砂砾层。

----- 不 整 合 -----

亮甲山组:沉积厚度为67.67m,岩性主要为浅绿灰色、浅灰色中厚-块状晶粒白云岩,含大量硅质条带和团块。

研究区马家沟组为典型的陆表海碳酸盐岩沉积,海进海退频繁出现,沉积物的旋回性和韵律性发育^[15],形成丰富的碳酸盐岩微相类型和多个准层序。

3 野外露头剖面的沉积相分析

碳酸盐岩沉积相带的宽度和复杂程度因地而异。在陆棚狭窄、边缘陡峭的地方,相带分布窄而规则;在台地和陆棚区宽阔的地方,相带分布较宽而复杂。研究区属于后者,并且是典型的陆表海沉积。笔者在前人碳酸盐岩沉积相模式的基础上,结合野外剖面的沉积特征,对剖面的沉积微相类型进行了分类、识别和划分(表1、图1)。

研究区马家沟组沉积主要表现为蒸发台地、局

限台地、开阔台地3个亚相。其内部叠置关系为:蒸发台地亚相自上而下包括萨勃哈微相、含膏云坪微相、云坪微相;局限台地亚相自上而下包括云灰坪微相、泻湖微相;开阔台地亚相自上而下包括浅水碳酸盐滩微相、灰坪微相、台内洼地微相(图2)。

3.1 蒸发台地

蒸发台地亚相是在气候干旱炎热、水体循环严重受限的条件下形成的,主要发育以蒸发盐类矿物为主或与之相关的岩石组合,常见干裂、鸟眼等。研究区剖面的马一、马三、马五段多以石膏层或者含石膏假晶的泥质白云岩和准同生白云岩为主。

萨勃哈是蒸发台地最上部的微相类型,位于潮汐作用带潮上带内部与浅海不相连通的低洼地带,积水形成盐水沼泽,仅大潮和风暴潮才能影响到该

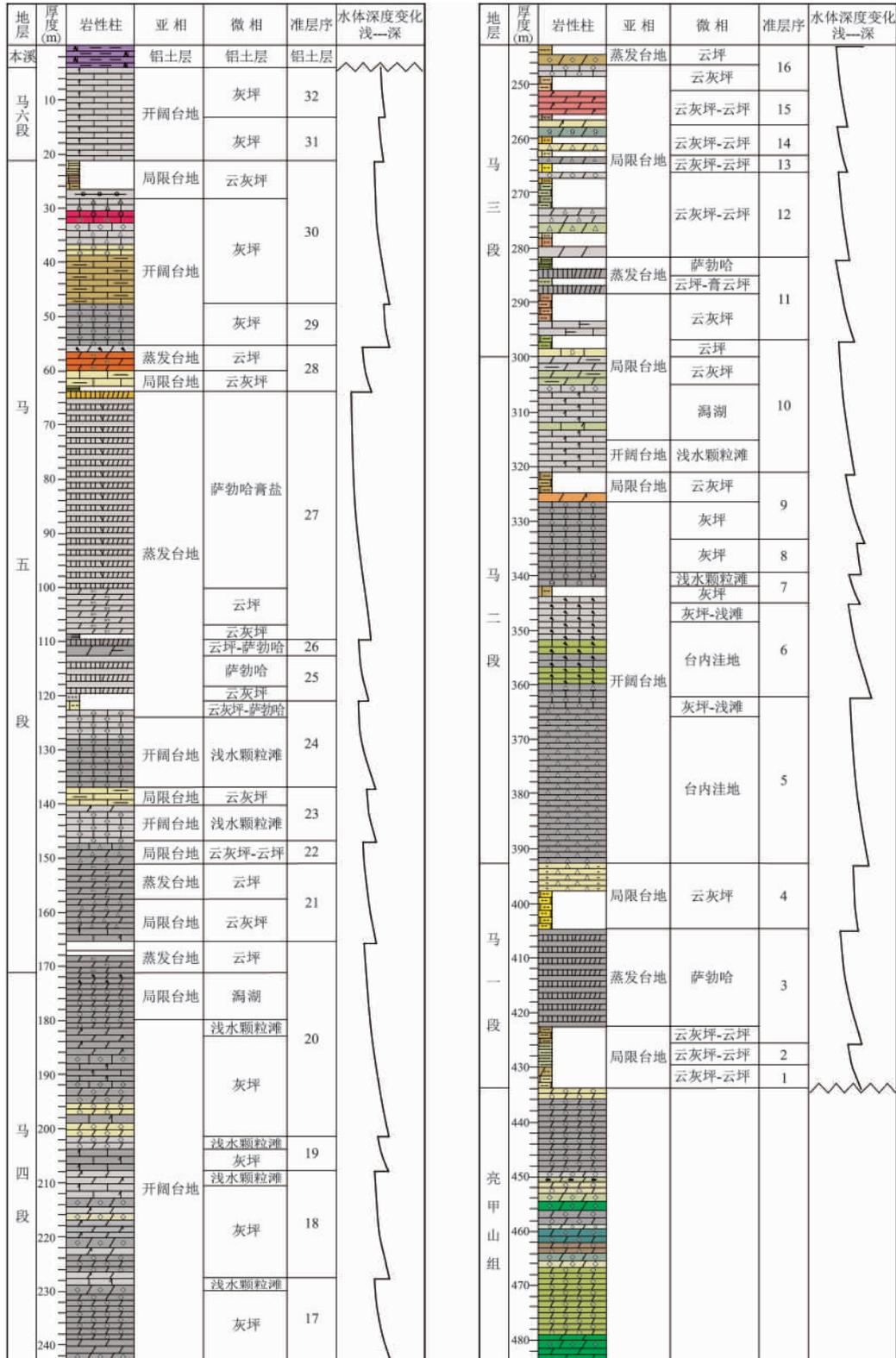


图1 研究区马家沟组综合柱状图

Fig.1 Generalized sedimentary subfacies and microfacies column through the Majiagou Formation

表 1 研究区沉积微相分类表
Table 1 Classification of the sedimentary microfacies in the study area

相	亚相	微相	岩性特征	沉积特征
台地相	蒸发台地	萨勃哈	盐岩、石膏层	纹理、结核、干裂、鸟眼、虫孔(垂直)、石盐石膏假晶、叠层石
		膏云坪	含膏(膏质)白云岩	
		云坪	泥晶白云岩(准同生)	
	局限台地	云灰坪	泥质(灰质)白云岩、云灰质泥岩	纹层、鸟眼、虫孔(倾斜)、小型递变层理
		泻湖	粉-细晶白云岩	
	开阔台地	浅水颗粒滩	颗粒灰岩(生物碎屑、内碎屑)	中-薄层、虫孔(水平)、生物扰动强烈、高能环境下发育交错或波状层理
		灰坪	泥晶灰岩、云斑灰岩、灰质泥岩	
		台内洼地	含泥泥粉晶灰岩、角砾状灰岩	

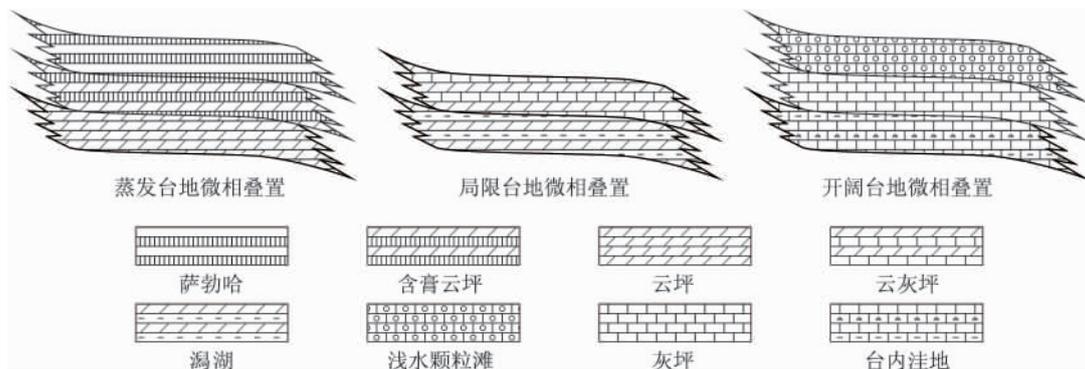


图 2 马家沟组微相类型及其叠置关系

Fig. 2 Sedimentary microfacies types and their stacking patterns in the study area

位置。由于长期与广海隔绝,加之环境干燥炎热,水体咸度较高,发育大套石膏层和盐岩等蒸发岩类。研究区晋王坟剖面马一段中部和马五段第四亚段均发育厚层膏岩,厚度在 15~20m 之间(图 3a)。

膏云坪和云坪也是强蒸发环境,但间歇性暴露,在此环境下刚沉积不久的碳酸盐岩表层沉积物,由于强烈的蒸发作用使得粒间水含盐度增大,石膏等蒸发盐类矿物发生沉淀,导致粒间水或表层水 Mg/Ca 比率大大提高,形成大面积泥晶白云岩,是准同生白云岩形成的主要场所。两者的不同之处在于膏云坪位于萨勃哈与云坪之间,位置上更靠陆,岩性上表现为含有大量蒸发岩及其假晶;而云坪更靠海,主体部分在潮间带,岩性上以准同生白云岩为主,此处蒸发岩因其易溶解而含量较少。晋王坟剖面马三段发育含石盐假晶的泥质白云岩和白云质泥岩,马五段第十至六亚段发育含大量石膏假晶的准同生白云岩(图 3b)。

3.2 局限台地

局限台地亚相是在水体与广海沟通不畅、循环受阻的区域形成的,岩性以白云岩为主,含少量泥质。该亚相在研究区内马二段较为发育。

云灰坪位于局限台地内地势平坦、水体稍浅的

靠陆一侧,虽处于浪基面之上,但波浪和潮汐的能量大部分被消耗,是一个低能环境,沉积以泥质白云岩、灰质白云岩、云灰质泥岩为主,晋王坟剖面的马一、三、五段多处均有体现。

泻湖发育于障壁复合体之后,位于局限台地的浅水洼地之中,不同于潮上环境与海水长期隔绝的盐水沼泽。这里与开阔海的连通较差,海水的盐度和温度等与正常海都有较大差异。岩性上主要表现为粉-细晶白云岩,多为后期白云化作用所致。

3.3 开阔台地

开阔台地亚相是在与广海相连且水体循环畅通的环境下形成的,沉积以灰岩为主。研究区内马四段和马六段较为发育。

浅水颗粒滩是位于浪基面之上的高能环境,发育浅滩或局部斑点礁,不同于台地边缘的大型礁滩复合体。沉积物多为颗粒亮晶灰岩,泥质极少。剖面内马二段可见局部的生物碎屑灰岩(图 3c)。

灰坪是开阔台地沉积的主体,这里与广海连通良好,水循环通畅,顶部处于透光层之内,是灰岩的主要沉积场所,岩性以泥晶石灰岩为主。

台内洼地是开阔台地内的深水洼地环境,其两侧肩部类似小型斜坡,较容易发生局部滑塌,形成小规模角砾状碳酸盐岩,它的形成比较局限,并

非所有开阔台地都发育台内洼地。因研究区内含有水下深洼环境,故将其作为开阔台地最底部的沉

积相类型,如马二段下部小规模的角度砾则较为发育(图3d)。

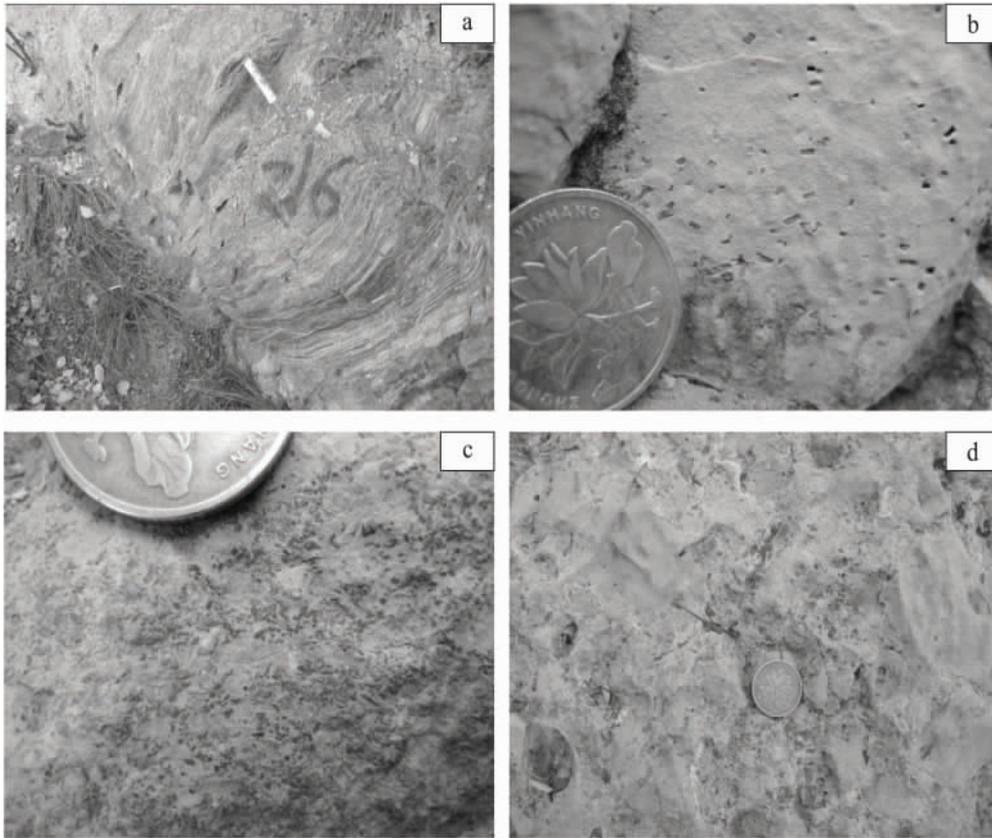


图3 研究区内典型沉积微相岩石类型

a. 角砾状膏岩; b. 石膏假晶; c. 生屑灰岩; d. 灰岩角砾

Fig. 3 Rock types in representative sedimentary microfacies in the study area

4 野外露头剖面的准层序研究

准层序是一个以海泛面或与之对应的面为界、由成因上有联系的层或层组构成的相对整合序列^[17]。越过相邻两个准层序的界面会有水体突然加深的证据。水体的突然加深是准层序形成的先决条件,它为准层序的发育提供了必要的水体空间,其后的向上变浅过程,则为一个完整准层序的形成过程。受沉积物供给、短周期海平面升降和地层沉降三者的影响,准层序可分为两种类型,其可进一步衍生成若干种类的微相组合。

4.1 准层序的识别

准层序的特征主要表现在两个方面:①准层序顶底以海泛面为标志;②准层序内部表现为向上变浅的沉积序列。前人的研究受限于剖面的测量精度,多以海泛面的识别为基础,只进行准层序的划分,而未能对其内部进行细致分析。本次研究得益于剖面测量精度较高,多以厘米~分米级进行分层

记录。笔者在此基础上,以沉积特征所反映的沉积环境和沉积微相为参考,进行准层序内部结构的分析,并结合准层序向上变浅的特征,识别、划分准层序。

通过沉积环境和沉积微相的分析,在研究区马家沟组共划分出了32个准层序(表2、图1)。

表2 研究区马家沟组准层序划分统计表

Table 2 Statistics of the parasequence types in the Majiagou Formation

地层	准层序编号	准层序数
马六段	31-32	2
马五段	21-30	10
马四段	17-20	4
马三段	11-16	6
马二段	5-10	6
马一段	1-4	4
合计		32

4.1.1 在马一段共识别出4个准层序,其沉积环境整体为局限台地和蒸发台地。

准层序1-2:下部由薄层-中层状灰质泥岩组成,发育水平纹层,灰质泥岩内部自下而上层厚渐厚,为云灰坪沉积;上部由薄板状泥晶白云岩组成,是强蒸发环境下形成的准同生白云岩,发育水平纹理,为云坪沉积。准层序内部从下往上由局限台地的云灰坪过渡到蒸发台地的云坪,反映沉积水体向上逐渐变浅的过程。

准层序3:下部同准层序1;上部为19m厚的角砾状膏岩,含少量泥质,形成于蒸发台地的萨希哈膏岩湖环境。厚层膏岩的局部含有泥晶白云岩砾石,说明存在少量膏云坪沉积。准层序内部从下至上经历了云灰坪、膏云坪、萨勃哈膏岩的渐变,反映了沉积水体向上变浅的过程。

准层序4:下部为7m厚的灰质泥岩;上部为角砾岩,砾石成分以灰质泥岩为主,由于下部为不含砾的厚层泥岩,而上部含砾,说明砾石的形成并非下伏地层膏岩岩溶所致。笔者在分析了马二早期的岩石组合后,推测马二段早期存在水下深洼,其发育可能在马一段的末期已经开始,因此准层序上部的砾岩可能来自洼地的形成过程。准层序4整体是云灰坪沉积,由下至上没有明显的相态变化,虽在层厚上有向上渐厚的趋势,但对于沉积水体向上变浅的指示较弱。

4.1.2 马二段共识别了6个准层序,沉积环境整体为开阔台地和局限台地。

准层序5-6:下部为角砾状泥晶灰岩,砾石分选磨圆差、与围岩同源,且表现出明显的正粒序性和期次性,笔者认为此处的砾岩是深水洼地两侧肩部小斜坡发生滑塌所致;中部为灰坪环境的泥晶灰岩沉积;上部为60~80cm厚的生屑灰岩,颗粒之间亮晶胶结,为高能浅水颗粒滩环境的产物。准层序由下部的深水洼地过渡到上部的灰坪和浅水颗粒滩,反映了沉积水体向上变浅的过程。

准层序7:下部为灰质泥岩(含砾),颜色较深,是快速海侵时的产物,此时碳酸盐岩的产率较低,沉积以泥岩为主,环境是较深水的灰坪;上部为生屑灰岩,亮晶胶结,是浅水颗粒滩沉积。准层序内部由灰坪过渡到浅水颗粒滩,反映了水体向上变浅的过程。

准层序8:整体为灰坪沉积,下部为含泥质条带的泥晶灰岩,系高频海平面快速上升所致,代表了一次海泛;上部为泥晶灰岩,是正常的灰坪沉积,且

层厚向上渐厚。准层序发育于同一微环境中,对于水体向上变浅的指示较弱。

准层序9:下部同准层序8;上部为灰质泥岩和白云质泥岩,为云灰坪沉积。准层序内部由下至上从灰坪发展到云灰坪,反映水体向上变浅的过程。

准层序10:包含的微相类型较多,底部为泥晶白云质灰岩,含大量生物碎屑,虫孔发育,为浅水颗粒滩沉积;下部为泥粉晶白云质灰岩,层厚向上渐厚,为泻湖沉积;上部为具有氧化色的泥质白云岩和白云质灰岩,为云灰坪沉积;顶部为云坪环境形成的准同生白云岩。准层序内部由下至上经历了浅水颗粒滩→泻湖→云灰坪→云坪4个微环境,反映沉积水体逐渐变浅的过程。

4.1.3 马三段共识别出了6个准层序,沉积环境整体为局限台地和蒸发台地。

准层序11:下部为泥质灰岩、灰质泥岩组成的韵律层,属云灰坪沉积环境;中部为准同生白云岩向泥岩、含膏白云岩过渡,为云坪-膏云坪沉积;上部为数米厚的膏岩层。准层序内部从下至上经历了云灰坪→云坪→膏云坪→萨勃哈的微环境变迁,反映了沉积水体向上变浅的过程。

准层序12-16:下部为泥质灰岩、灰质泥岩组成的韵律层,由于蒸发强烈,沉积物中含有蒸发岩类,导致局部有岩溶形成的角砾,整体为云灰坪沉积环境;上部为云坪环境形成的准同生白云岩。准层序内部由下至上从局限台地的云灰坪过渡到蒸发台地的云坪,反映了沉积水体向上变浅的过程。

4.1.4 马四段共识别了4个准层序,沉积环境整体为开阔台地和局限台地。

准层序17-19:下部为泥粉晶斑状灰岩或白云岩,生物扰动强烈,为灰坪沉积;上部为颗粒碳酸盐岩,含大量生物碎屑,为浅水颗粒滩沉积。准层序内部由灰坪过渡到浅水颗粒滩,反映了水体向上变浅的过程。

准层序20:类似于17-19准层序,底部为灰坪沉积;下部为浅水颗粒滩沉积;但上部为泻湖沉积,发育粉晶白云岩,含少量泥质,局部有球粒,向上有层厚渐厚的趋势;顶部为云坪沉积的准同生白云岩。准层序内部经历了灰坪→浅水颗粒滩→泻湖→云坪4个微环境,反映了沉积水体向上变浅的过程。

4.1.5 马五段共识别了10个准层序,沉积环境多样,涵盖了开阔台地、局限台地和蒸发台地。

准层序21-22:下部为白云质灰岩、泥质白云

岩和岩溶垮塌的角砾状白云岩,为云灰坪沉积;上部为云坪沉积的准同生白云岩。准层序内部从云灰坪过渡到云坪,反映沉积水体向上变浅。

准层序 23:下部为泥晶灰岩,含生屑,层厚向上逐渐变厚,为浅水颗粒滩沉积;上部为云灰坪沉积的泥质灰岩和灰质泥岩。准层序内部由浅水颗粒滩过渡到云灰坪,反映沉积水体向上变浅。

准层序 24:下部是泥晶灰岩,含生屑,为浅水颗粒滩沉积;中部为云灰坪沉积;顶部发育数米厚的萨勃哈膏岩。准层序内部经历了浅水颗粒滩→云灰坪→萨勃哈,反映沉积水体向上变浅。

准层序 25-26:下部为云灰坪沉积的白云质泥岩、灰质泥岩;上部为干旱、强蒸发环境下沉积的厚

层萨勃哈膏岩。准层序内部由云灰坪过渡到萨勃哈,反映沉积水体向上变浅。

准层序 27:下部是白云质泥岩、灰质泥岩,为云灰坪沉积;中部为云坪沉积的准同生白云岩;上部为厚层萨勃哈膏岩。准层序内部经历了云灰坪-云坪-萨勃哈,反映沉积水体向上变浅。

准层序 28:下部为云灰坪沉积的白云质泥岩;上部为云坪沉积的准同生白云岩。准层序内部由云灰坪过渡到云坪,反映沉积水体向上变浅。

准层序 29:整体为开阔台地的灰坪环境,以泥晶灰岩沉积为主,局部含少量生屑,准层序底部含有泥质条带,代表一次海泛,其上为近等厚的中层状泥晶灰岩。准层序发育于同一个微环境,对于沉

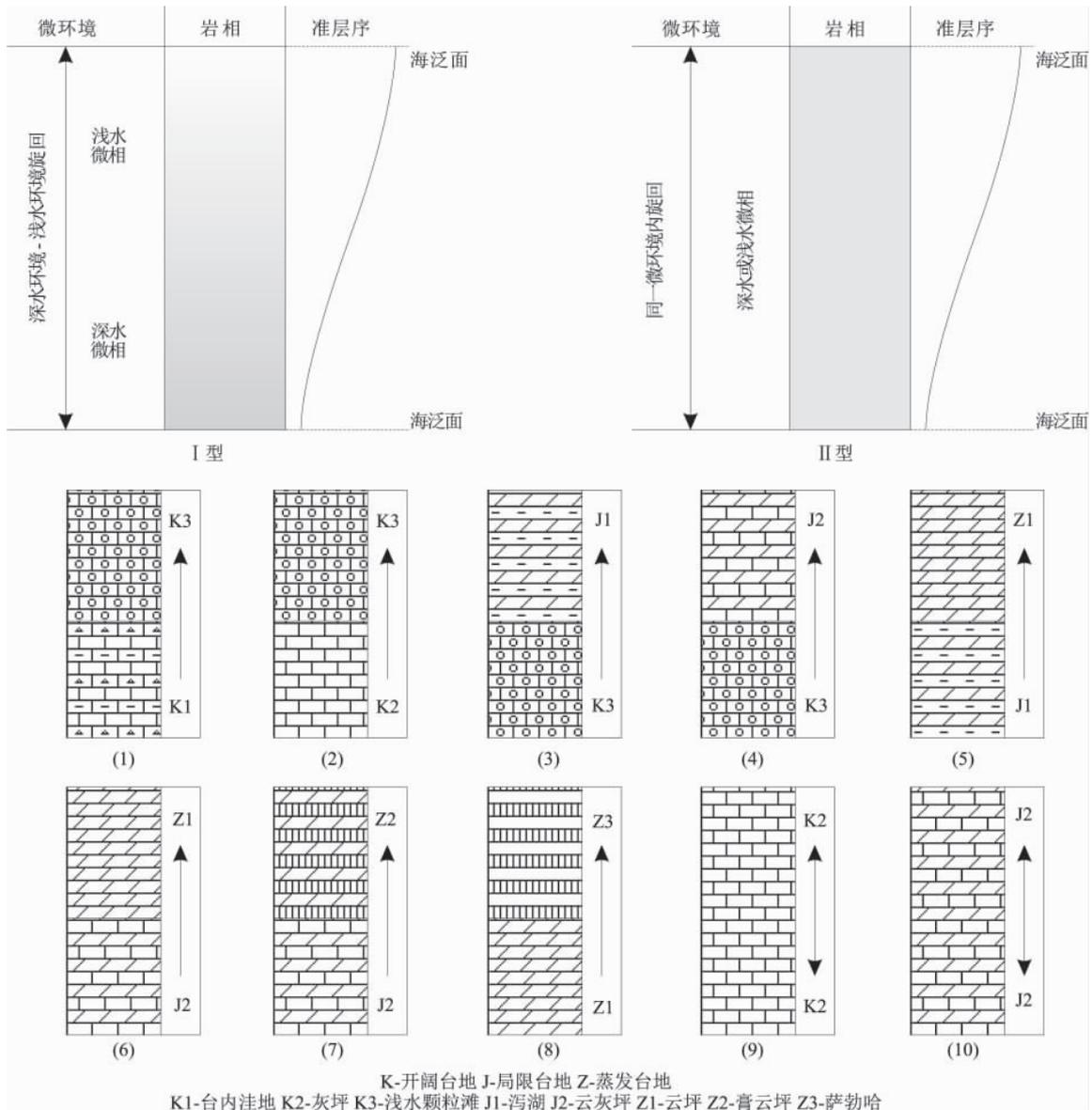


图4 马家沟组准层序类型图

Fig. 4 Classification of the parasequence types in the Majiagou Formation

积水体的向上变浅指示较弱。

准层序 30: 下部同准层序 29 ,为灰坪沉积; 上部为云灰坪沉积的灰质泥页岩,层厚向上渐厚。准层序内部由灰坪过渡到云灰坪,反映沉积水体向上变浅。

4.1.6 马六段只残留少许地层,共识别了 2 个准层序,整体为开阔台地相沉积。

准层序 31 - 32: 为灰坪沉积的泥晶灰岩,底部表现为薄层泥晶灰岩与泥质灰岩互层,为海平面快速上升所引起的环境加深效应所致^[9],层厚向上有渐厚的趋势。准层序发育于同一微环境,对于沉积水体向上变浅的指示较弱。

4.2 准层序的分类

研究区马家沟组的 32 个准层序,根据沉积微相的叠置方式可分为 8 种,而从微相向上的变化规律来看,可划分为两种类型(图 4)。

(1) I 型准层序

准层序的下部为较深水沉积环境,向上过渡至较浅水沉积环境,沉积环境由深至浅的变化,反映了沉积水体向上变浅的过程。此种类型准层序最大的特点就是准层序内部向上发生了沉积微相的变化,研究区内衍生出了 8 种相变类型: 台内洼地→浅水颗粒滩; 灰坪→浅水颗粒滩; 浅水颗粒滩→泻湖; 浅水颗粒滩→云灰坪; 泻湖→云坪; 云灰坪→云坪; 云灰坪→膏云坪; 云坪→萨勃哈。相邻的准层序之间的界面以微相的突变为表征,界面之上伴随有少量海泛滞留沉积,多以富含泥质的沉积层为主。

(2) II 型准层序

准层序始终沉积于同一个水体环境,沉积水体的深度未发生明显变化,内部岩石特征整体保持一致,仅在层厚方面有向上渐厚或者近等厚的变化趋势,对于沉积水体的向上变浅指示程度较弱。此种类型的准层序在研究区内可见两种模式: 灰坪→灰坪; 云灰坪→云灰坪。准层序界面多为正常沉积的中厚层灰岩与含泥质条带薄层泥晶灰岩的分界面。

两种类型准层序在沉积相方面的区别在于向上是否发生了微相类型的变化。

4.3 准层序的成因浅析

一般来说,准层序的形成是沉积物供给、短周期海平面升降运动^[18]、地层沉降三者共同作用的结果。沉积物供给影响沉积充填,而海平面升降和地层沉降影响可容空间的变化。因此上述 3 个因素所揭示的本质为沉积物充填 C 和可容空间变化 R,两者可分别用沉积充填速率 V_C 和可容空间增长速率

V_R 来表示。而 V_C 和 V_R 之间的相互关系则决定了形成何种类型的准层序。

笔者通过分析沉积充填和可容空间的变化规律及其相互关系,认为准层序的形成可划分为两个阶段: 突变阶段和渐变阶段。在这两个阶段中,沉积充填和可容空间都是同时存在且密不可分的,在第一个阶段中两者表现为相生相克,第二阶段中则表现为相辅相成(图 5)。

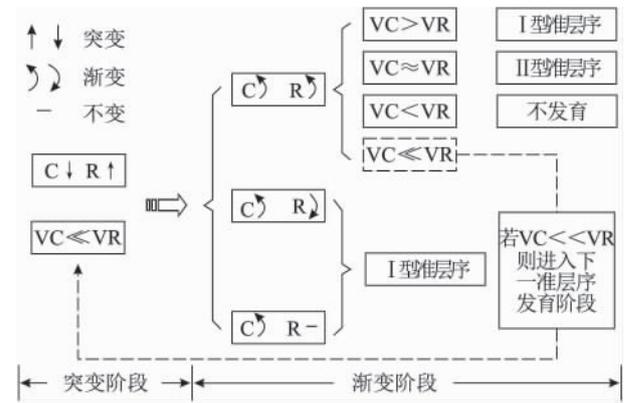


图 5 准层序的形成过程及其类型

Fig. 5 Formation and types of the parasequences in the Majiagou Formation

4.3.1 突变阶段

该阶段以可容空间的生长为主,沉积充填被抑制。

准层序发育伊始,可容空间的迅速形成是其必要条件,这是一个突变的沉积过程,主要表现为构造沉降和海平面快速上升所引起的水体突然加深,即可容空间的迅速增大。与此同时,碳酸盐岩的沉积充填受到环境突变的影响而被暂时性抑制,表现为极其缓慢的沉积或者沉积间断,形成海泛滞留沉积。在这一过程中,沉积物的充填速率 V_C 远小于可容空间的增大速率 V_R ,沉积充填量 C 和可容空间大小 R 均是突变的。

4.3.2 渐变阶段

该阶段沉积充填与可容空间相辅相成。

沉积充填从被抑制转而开始逐渐恢复,标志着准层序的形成进入了实质性阶段,这是一个渐变的沉积过程,主要表现为沉积物的正常充填,并伴随着负荷沉降和海平面缓慢下降所引起的可容空间缓慢变化。这一阶段持续时间较长,且决定了准层序的类型。可容空间的缓慢变化可分 3 种情况,现分述如下:

(1) 负荷沉降 > 海平面下降,可容空间缓慢

增大

a. 当沉积充填速率 $V_c >$ 可容空间增长速率 V_R 时, 沉积充填占主导地位, 沉积作用除了抵消可容空间的增长外, 还能使水体不断变浅, 沉积体表现为微相类型向上变浅, 形成 I 型准层序(图 5、图 6)。

b. 当沉积充填速率 $V_c \approx$ 可容空间增长速率 V_R 时, 沉积充填与负荷沉降相互抵消, 保持着边沉积边沉降的状态, 沉积体微相类型向上几乎不变。但受沉积物充填速率不断恢复的影响, 层厚有向上渐厚的趋势, 形成 II 型准层序(图 5、图 6)。

c. 当沉积充填速率 $V_c <$ 可容空间增长速率 V_R 时, 由于可容空间相对于沉积来说增长过快而使得沉积不断被抑制, 形成长时期的沉积间断, 准层序不发育; 当两者之间的差距过大即 $V_c \ll V_R$ 时, 则形成新的准层序界面, 从而进入下一个准层序的发育阶段(图 5)。

(2) 负荷沉降 \leq 海平面下降, 可容空间缓慢减小或不变

上述讨论的前提是可容空间缓慢增大, 而对于可容空间缓慢减小或不变的情况则比较简单。此

种情况下, 水体环境不变或不断变浅, 加之沉积充填的作用, 只能形成 I 型准层序(图 5)。

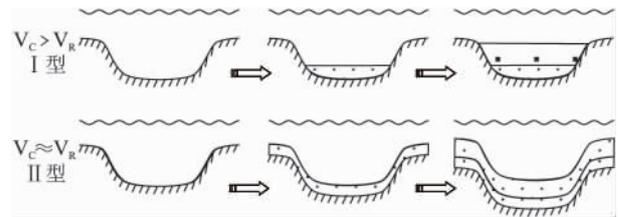


图 6 两种类型准层序形成示意图

Fig. 6 Sketch to show the formation of the parasequence types in the Majiagou Formation

总体来说, 准层序的形成分为两个阶段, 突变阶段较为固定, 渐变阶段变数较多, 是准层序定型的时期。对于影响准层序的两个因素, 沉积物的充填比较规律, 前期为迅速下降, 后期为缓慢上升; 可容空间的变化则比较多样, 前期为突然增加, 后期为缓慢增加、缓慢减小或保持不变。两者的共同作用在前期为准层序的形成提供了必要的水体空间, 在后期决定了准层序的形成及其类型(图 7)。

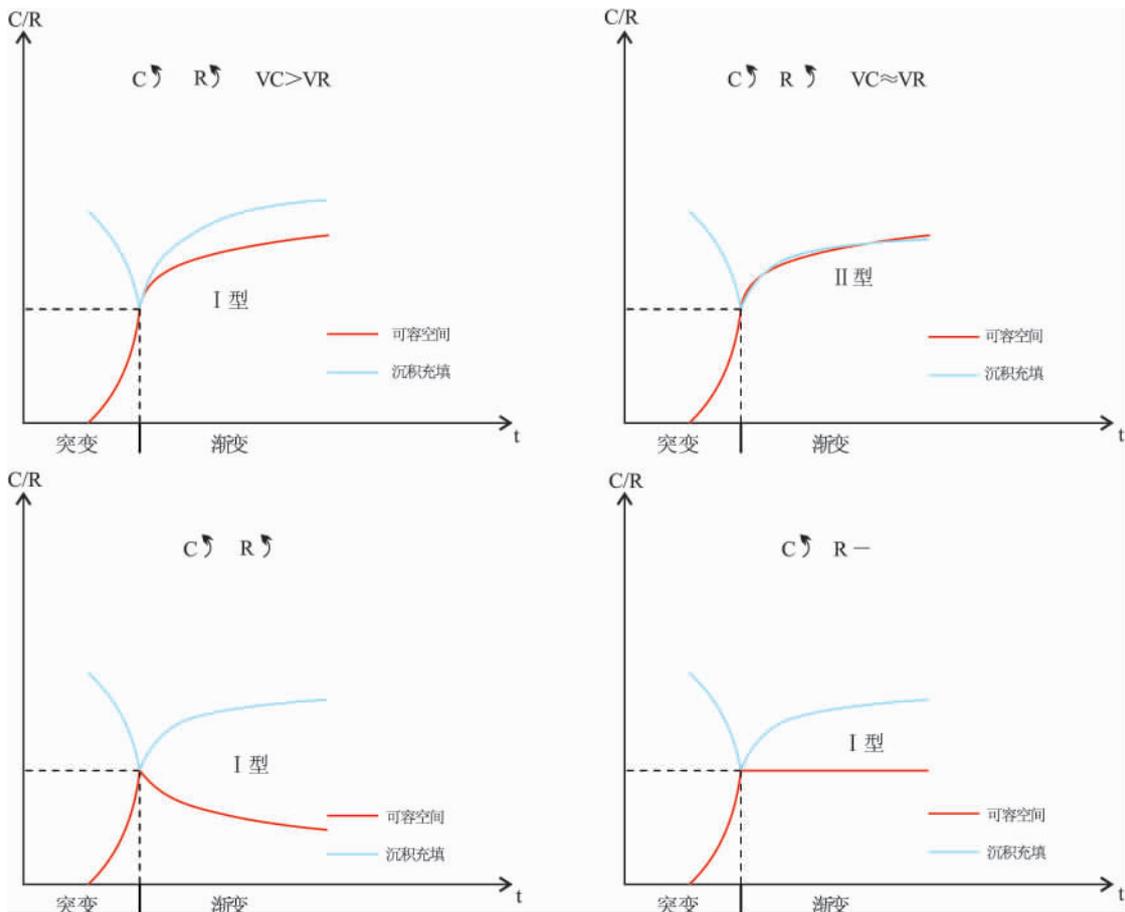


图 7 沉积充填与可容空间之间的关系

Fig. 7 Relationship between sediment filling and accommodation spaces

5 结论

(1) 研究区马家沟组整体为陆表海碳酸盐岩台地沉积,根据剖面沉积特征,本次研究识别出台内洼地、灰坪、浅水颗粒滩、泻湖、云灰坪、云坪、膏云坪、萨勃哈共 8 种微相类型。

(2) 根据微相的叠置关系,结合准层序向上变浅的特征,在马家沟组中共识别了 32 个准层序,可归结为两种类型: I 型准层序内部向上相变为浅, II 型准层序内部为同一微环境沉积,向上没有微相的变化。

(3) 准层序的发育受沉积物供给、短周期海平面升降和地层沉降 3 个因素的影响,其形成过程可分为突变和渐变两个阶段。突变阶段海平面快速上升与地层沉降共同为准层序的发育提供必要的水体空间,同时沉积物的供给则由于水体的突然加深而被抑制;渐变阶段沉积物供给逐渐恢复正常,是准层序发育的实质性阶段,这时由海平面缓慢下降与地层沉降共同控制的容空间的变化和沉积物供给之间的关系则决定了形成何种类型的准层序。

参考文献:

- [1] 杨承运,卡罗兹 AV. 碳酸盐岩实用分类及微相分析[M]. 北京:北京大学出版社,1988.
- [2] 冯增昭. 碳酸盐岩岩相古地理学[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [3] Flugel E 著;曾允孚译. 石灰岩微相[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [4] 马永生译. 碳酸盐岩微相-分析、解释及应用[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [5] MALIVA R G, DICKSON J A G. Maricofacies and Diagenetic Controls of Porosity in Cretaceous/Tertiary chalks, Eldfisk Field, Norwegian North Sea [J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(11): 1825 - 1838.
- [6] 包洪平,杨承运. 碳酸盐岩层序分析的微相方法-以鄂尔多斯东部奥陶系马家沟组为例[J]. 海相油气田地质, 2000, 5(1-2): 153 - 157.
- [7] 陈中强. 高分辨率层序地层学的研究基础-准层序的识别[J]. 地层学杂志, 1995, 19(1): 36 - 46.
- [8] 马永生,刘波,梅冥相等译. 碳酸盐岩层序地层学-近期进展及应用[M]. 北京:海洋出版社,2003.
- [9] 梅冥相. 华北地台北缘奥陶系亮甲山组的碳酸盐复合海平面变化旋回层序[J]. 岩相古地理, 1995, 15(5): 33 - 42.
- [10] 吴兴宁,赵宗举. 塔中地区奥陶系米级旋回层序分析[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 310 - 315.
- [11] 李儒峰,鲍志东. 鄂尔多斯盆地中部马五¹亚段高分辨率层序地层格架中风化成岩模式和储层特征[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 390 - 395.
- [12] 周劲松,赵澄林,余丙俊等. 陕甘宁盆地中部马五段上部准层序划分及其特征[J]. 沉积学报, 1999, 17: 747 - 751.
- [13] 谢传礼,蔡俩. 靖边气田马五段碳酸盐岩层序地层研究[J]. 断块油气田, 2006, 13(1): 17 - 20.
- [14] J. W. Mulholland, 郭玲瑄. 准层序[J]. 国外油气勘探, 1999, 11(4): 435 - 438.
- [15] 史基安,邵毅,张顺存等. 鄂尔多斯盆地东部地区奥陶系马家沟组沉积环境与岩相古地理研究[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 316 - 324.
- [16] 侯方浩,方少仙,赵敬松等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境模式[J]. 海相油气地质, 2002, 7(1): 38 - 47.
- [17] 朱筱敏. 层序地层学[M]. 北京:中国石油大学出版社,2006.
- [18] OCTAVIAN CATUNEANU. Principles of Sequence Stratigraphy [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2006.

Parasequence analysis of the field outcrop sections based on the sedimentary microfacies analysis: An example from the Ordovician Majiagou Formation in Linfen , eastern Ordos Basin

WANG Qian-yao¹ , FENG Qiao² , WANG Tai-yuan³ , HAN Bo² , ZHAO Wei² , ZHOU Shu-chang² , LIU Zhen² , JIANG Wen-juan²

(1. *Seismic Institute , Xi'an Research Institute , China Coal Technology and Engineering Group Corp. , Xi'an 710077 , Shaanxi , China*; 2. *College of Geological Sciences and Engineering , Shandong University of Sciences and Technology , Qingdao 266510 , Shandong , China*; 3. *Geotechnical Institute , Chongqing Research Institute , China Coal Technology and Engineering Group Corp. , Chongqing 400050 , China*)

Abstract: On the basis of the precise measurement of the Ordovician Majiagou Formation strata and sedimentary microfacies analysis of the Jinwangfen section in Linfen , eastern Ordos Basin , 32 parasequences have been discriminated for the Majiagou Formation , and may be classified into the following two categories. The parasequence I spanning a number of micro-environments displays the shallowing-upward facies transition whereas the parasequence II deposited in a single micro-environment displays a thickening-upward trend of the sequences. The former is wide-spread while the latter is seldom in the study area. The formation of the above-mentioned types of parasequences tends to depend on the relationship and interaction of sediment supply , short-term sea-level fluctuations and stratigraphic subsidence.

Key words: sedimentary microfacies; parasequence; Majiagou Formation; Ordovician; Ordos Basin