

文章编号: 1000-0550(2000)01-0057-06

# 陕甘宁盆地下奥陶统马家沟组 层序沉积有机相特征及其烃源岩分布<sup>①</sup>

朱创业

(成都理工学院 成都 610059)

**摘要** 沉积有机相是具有相似沉积环境、生物组合、成岩环境、氧化—还原条件以及相近有机质特征的地层单元,其分布受沉积盆地中层序地层格架所控制。因此,层序沉积有机相分析可成为确定和预测烃源岩分布的一种有效工具。本文采用层序地层分析与沉积有机相分析相结合的方法,将陕甘宁盆地下奥陶统马家沟组划分为三个层序,并探讨了每个层序中沉积有机相的分布特征。研究表明,沉积有机相在层序地层格架中的分布呈显出一定的规律性,在盆地西部及南部的较深水层序中,沉积有利相类型主要为开阔台地C相,在垂向上变化不大,有机碳含量为0.08%~0.18%。在盆地中部浅水层序中,海侵体系域的沉积有机相类型主要为开阔台地C相及局限台地D相,有机碳含量为0.12%~0.25%,而高位体系域的沉积有机相类型主要为局限台地D相和蒸发台地E相,有机碳含量为0.17%~0.49%,反映出盆地中部浅水层序中的高位体系域是烃源岩分布的最有利地带。

**关键词** 陕甘宁盆地 马家沟组 层序地层 沉积有机相 烃源岩

**作者简介** 朱创业 男 1961年5月生 教授 沉积学

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

## 1 沉积有机相的概念

近十多年来,有机相的研究越来越受到重视,并迅速成为石油有机地球化学研究的一个新领域<sup>[1,2,3]</sup>。但不同的学者对有机相的理解不完全相同。Rogers首先提出有机相的概念,他认为有机相类似于沉积相,需从有机质含量、来源和沉积环境三方面来确定<sup>[1]</sup>。与此同时,一些学者更着重从有机质的角度,采用孢粉相、干酪根相等类似概念和术语用于有机相的研究。Jones等将有机质的产烃潜力、地球化学特征和有机质的原始输入量与沉积环境和岩石学特征联系在一起,建立了A—D七个有机相。我国学者郭迪孝等也认为,生油层中有机质的数量、类型、古生物、岩石结构、构造特征等都是沉积环境的反映,并将有机相称之为沉积有机相以示区别<sup>[2]</sup>。实际上,地层中有机质的丰度、类型及有机质演化特征受沉积环境、生物组合、成岩环境及氧化—还原条件的控制,因此,将有机相的概念扩大为沉积有机相可更好地反映沉积地层中有机质的成因特征。鉴于此,可将沉积有机相定义为具有相似沉积

环境、生物组合、成岩环境、氧化—还原条件以及相近有机质特征的地层单元。

笔者认为,一方面沉积相控制了生物组合的形成,生物组合控制了有机质的来源,沉积环境、成岩环境、氧化—还原条件控制了有机质的形成与有机质热演化。另一方面,有机质的显微组分反映了沉积环境中有机质的母质类型,有机质的化学组成则包含了母质类型与成岩过程中有机质热演化的综合影响。因此,本文在前人研究的基础上,根据沉积环境、生物组合、成岩环境、氧化—还原条件以及有机质的成因特征,对海相碳酸盐岩的有机相类型提出如表1所示的初步分类方案(表1)。

沉积有机相作为具有相似沉积相、生物相、成岩相、氧化—还原条件以及相近有机质特征的地层单元,其空间配置无疑受含油气盆地中层序地层格架的控制。因此,将沉积有机相分析与层序地层分析相结合,不仅可以弥补仅仅依据数量有限的有机地球化学参数的统计进行油气资源评价的不足,而且还可以更有效地预测和确定三维空间内烃源岩的分布。为此,本文采用层序地层分析与沉积有机相分

① 国家“九五”重点科技攻关专题(96—110—01—01—05)部分研究成果

收稿日期: 1998-11-26 收修改稿日期: 1999-01-02

表1 海相碳酸盐岩沉积有机相类型

Table 1 Types of sedimentary organic facies in marine carbonate rocks

有机相 相标志		A	B	C	D	E
沉积环境		盆地、深水陆棚、	台地边缘滩、礁相、斜坡	开阔台地	局限台地	蒸发台地
生物组合		浮游生物	珊瑚、腕足、珊瑚、棘皮	软体动物、腕足、藻类	藻类、腹足类、有孔虫、介形虫	藻类
成岩环境		深埋藏成岩环境	海水成岩环境、大气淡水成岩环境	浅埋藏成岩环境、海水成岩环境	浅埋藏成岩环境、海水成岩环境	海水成岩环境、大气淡水成岩环境
氧化—还原条件		还原	弱还原—弱氧化	弱氧化	还原	强还原
有机质 特征	有机质来源	浮游生物、疑源类	生物碎屑、造礁生物	底栖生物、藻类	底栖生物、藻类、陆生植物碎屑	藻类
	有机碳含量/%	0.2~0.5	<0.1	0.1~0.2	0.1~0.3	0.04~0.3
	母质类型 (据显微组分指标)	腐泥型	腐泥型	腐泥型、混合型	腐泥型、混合型	腐泥型
	干酪根类型 (据化学组分指标)	I型	I型、II型	I型、II型	I型、II型	I型
	主要产物	油	少量油气	油、气混合	油、气混合	气

注：沉积有机相类型采用沉积环境+有机相复合命名

表2 马家沟组层序划分

Table 2 Division of sequences in Majiagou Formation

地层	时间/ Ma	层序界面 及类型	层序		沉积环境演化		对海平面升降	超 层 序	构造运动		
					中部及东部 浅水层序	西部及南部 较深水层序					
中石炭统		SB1							加里东运动		
下 奥 陶 统	马 家 沟 组	468	SB2	高位域	层序 3		局限台地		超 层 序	怀 远 运 动	
				海侵域		开阔台地	开阔台地				上升
	472	SB2	高位域	层序 2	蒸发台地	局限台地	开阔台地	下降			
			海侵域		开阔台地	开阔台地	上升				
	476	SB1		层序 1	高位域	蒸发台地	局限台地	开阔台地			下降
					海侵域	开阔台地	局限台地	上升			
						局限台地	局限台地				
亮甲山组					蒸发台地	局限台地					

析相结合的方法,探讨陕甘宁盆地中奥陶统马家沟组层序沉积有机相特征及其对烃源岩分布的控制。

## 2 层序沉积有机相分布特征

### 2.1 层序划分

根据层序地层学的理论和分析方法<sup>[4]</sup>,本区在早奥陶世马家沟期经历了三个三级海平面升降旋回,相应地可将陕甘宁盆地马家沟组及其相当层

划分出三个层序(表2)。由于本区在早奥陶世处于华北克拉通盆地陆表海环境,每个层序仅由海侵体系域和高位体系域组成,缺少低位体系域和陆棚边缘体系域。此外,盆地基底构造对层序地层的分布也具有重要的影响,在庆阳隆起内侧的盆地中部及东部发育形成于局限台地和蒸发台地中的浅水层序,在庆阳隆起外侧的盆地西部及南部则发育形成于开阔海中的较深水层序。

### 2.2 层序沉积有机相特征

#### 2.2.1 层序 1 沉积有机相分布

**海侵体系域:** 该海侵体系域发育时期是怀远运动之后区内发生的第一次海侵过程。由于海平面缓慢上升, 早期在研究区内主要形成局限台地, 生物以藻类为主, 干酪根类型为 II 型, 沉积有机相类型为 D 相(图 1a), 其中的有机碳含量为 0.14%~0.15%,

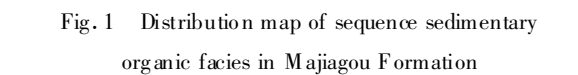
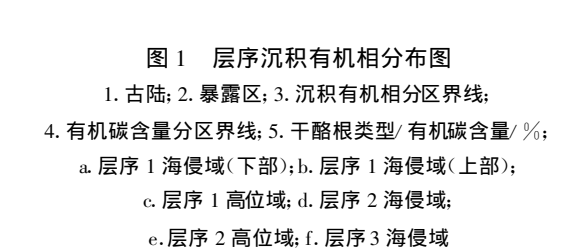
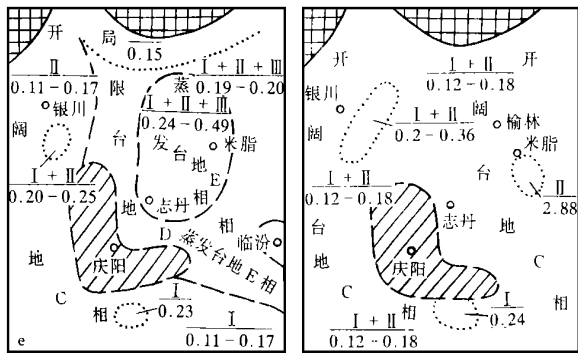
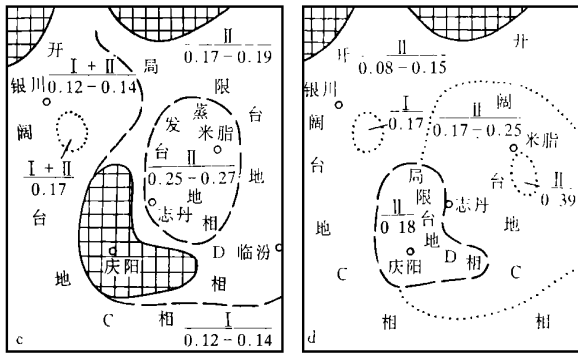
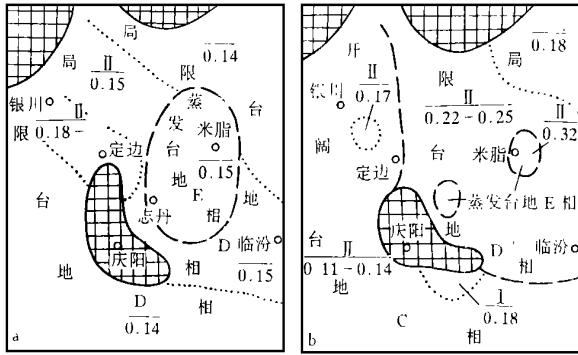


图 1 层序沉积有机相分布图

- 1. 古陆; 2. 暴露区; 3. 沉积有机相分区界线;
- 4. 有机碳含量分区界线; 5. 干酪根类型/有机碳含量/%;
- a. 层序 1 海侵域(下部); b. 层序 1 海侵域(上部);
- c. 层序 1 高位域; d. 层序 2 海侵域;
- e. 层序 2 高位域; f. 层序 3 海侵域

Fig. 1 Distribution map of sequence sedimentary organic facies in Majiagou Formation

变化不大。但在天深 1 井至城川 1 井一带有一较高值区, 有机碳含量可达 0.18%~0.31%。在盆地中部米脂—志丹一带有一蒸发台地膏盐湖, 沉积有机相类型为 E 相, 有机碳含量为 0.15%。

随着海平面的进一步上升, 晚期在盆地西部及南部形成开阔台地, 海水深度加大,  $S^{-2}$  为 0.16%~0.27%, 为弱还原环境, 干酪根类型为 I 和 II 型, 沉积有机相类型为 C 相(图 1b)。开阔台地中菌藻发育程度不及局限台地, 有机碳含量略为减少, 为 0.11%~0.14%, 但在盆地南部的耀参 1 井和西部的天深 1 井, 有机碳含量相对较高, 为 0.17%~0.18%。在盆地中部, 随着海水的侵入, 原来的米脂—志丹膏盐湖的范围也大幅度缩小, 在蒸发膏盐湖相中有机碳含量可达 0.32%, 沉积有机相类型为 E 相, 干酪根类型为 II 型。在膏盐湖四周的盆地中部及东部, 则仍为局限台地, 海水深度较浅,  $S^{-2}$  为 0.10%~0.13%, 为弱氧化—弱还原环境, 沉积有机相类型为 D 相, 干酪根类型为 II 型, 有机碳含量为 0.2%~0.25%, 但在盆地东北面, 有机碳含量减少为 0.18%(图 1b)。

**高位体系域:** 由于海平面下降, 在盆地中部米脂—志丹一带又出现膏盐湖, 沉积有机相类型为 E 相(图 1c), 干酪根类型为 II 型, 有机碳含量为 0.25%~0.27%。在盆地中部的其余地区则为继承性局限台地, 但海水更为变浅,  $S^{-2}$  为 0.10%~0.13%, 为弱氧化—弱还原环境, 沉积有机相类型为 D 相(图 1c), 有机碳含量为 0.17%~0.19%。在盆地西部及南部, 高位体系域的沉积环境为开阔台地,  $S^{-2}$  为 0.14%, 为弱还原环境; 沉积有机相类型为 C 相, 干酪根类型为 I 和 II 型, 有机碳含量为 0.12%~0.14%。

#### 2.2.2 层序 2 沉积有机相分布

**海侵体系域:** 该海侵体系域海侵范围最大, 原庆阳古陆被淹没形成局限台地, 沉积有机相类型为 D 相(图 1d), 干酪根类型为 II 型, 有机碳含量为 0.18%。其余地区均为开阔台地。在盆地中部  $S^{-2}$  为 0.07%~0.11%, 为弱氧化—弱还原环境, 沉积有机相类型为 C 相, 干酪根类型为 II 型, 有机碳含量为 0.17%~0.20%。在榆 9 井有机碳含量较高, 可达 0.39%。在盆地西部及南部, 沉积有机相类型也为 C 相, 干酪根类型为 I 和 II 型, 有机碳含量变化较大, 为 0.08%~0.15%(图 1d)。

**高位体系域:** 随着海平面下降, 庆阳一带又露出

海面成为暴露剥蚀区。在盆地中部的米脂—志丹一带为膏盐湖相,  $S^{-2}$  为 0.357%~0.59%, 为一还原环境, 沉积有机相类型为 E 相, 干酪根类型为 I、II 和 III 型, 有机碳含量较高, 为 0.24%~0.49% (图 1e)。在盆地中部的其余地区则为局限台地,  $S^{-2}$  为 0.09%~0.45%, 为弱氧化—弱还原环境, 沉积有机相类型为 D 相, 干酪根类型为 I、II 和 II 型, 有机碳含量为 0.19%~0.20%, 但靠近伊盟古陆有机碳含量为 0.15%。在盆地西部及南部为开阔台地,  $S^{-2}$  为 0.09%~0.23%, 为弱氧化—弱还原环境, 沉积有机相类型为 C 相 (图 1e), 干酪根类型为 I 和 II 型, 有机碳含量为 0.11%~0.17%, 在西部的天深 1 井和南部的永参 1 井, 有机碳含量可达 0.20%~0.23% (图 1e)。

### 2.2.3 层序 3 沉积有机相分布

层序 3 海侵体系域形成于开阔台地, 沉积有机相类型为 C 相 (图 1f), 干酪根类型为 I 和 II 型, 有机碳含量一般为 0.12%~0.18%。但在中部榆 9 井马六段灰黑色泥岩中有机碳含量高达 2.88%; 在西部天深 1 井至布 1 井一带, 有机碳含量也可达 0.2%

~0.36%。由于加里东运动的影响, 层序 3 高位体系域在大部分地区已被剥蚀, 仅在盆地西部及南部保存较好, 在西部任 3 井中有机碳含量可高达 0.85%; 在盆地南部耀参 1 井中有机碳含量为 0.20% 左右。

## 3 层序沉积有机相带与烃源岩分布

### 3.1 沉积有机相类型与烃源岩形成

通过对层序地层格架中沉积有机相的研究表明, 本区马家沟组碳酸盐岩中有机碳含量变化范围为 0.08%~0.49%, 大部分已达到长庆油田所划分的烃源岩下限<sup>[5]</sup>, 且干酪根类型以 I 和 II 型为主, 有机质成熟度较高 (表 3), 属有机质丰度偏低、类型较好、成熟度高的烃源岩, 具有一定的生烃潜力。但从不同沉积有机相类型中碳酸盐岩的有机碳含量变化上看 (表 4), 沉积有机相类型对烃源岩的形成有明显的控制作用。本区马家沟组有机质的母质类型为腐泥型和混合型, 其生源主要来自于藻类。而藻类主要发育于局限台地和蒸发台地, 因此局限台地 D 相和蒸发台地 E 相中的有机碳含量较开阔台地 C

表 3 层序地层格架中沉积有机相特征

Table 3 The characteristics of sedimentary organic facies in stratigraphic framework

地层	层序	体系域	盆地西部、南部较深水层序				盆地中部浅水层序			
			沉积有机相	有机碳含量/%	干酪根类型	有机质成熟度	沉积有机相	有机碳含量/%	干酪根类型	有机质成熟度
马六段	层序 3	海侵域	开阔台地 C 相	0.12~0.18	I II	成熟、 高成熟	开阔台地 C 相	0.12~0.18		
马五段	层序 2	高位域	开阔台地 C 相	0.11~0.17	I II	成熟、 高成熟	蒸发台地 E 相	0.24~0.49	I II III	高成熟
局限台地 D 相							0.19~0.20			
马四段	层序 2	海侵域	开阔台地 C 相	0.08~0.15	I II	高成熟	局限台地 D 相	0.18	II	高成熟
开阔台地 C 相							0.18~0.20			
马三段	层序 1	高位域	开阔台地 C 相	0.12~0.14	I II	成熟	蒸发台地 E 相	0.25~0.27	II	高成熟
局限台地 D 相							0.17~0.19			
马二段	层序 1	海侵域	开阔台地 C 相	0.11~0.14	I II	成熟、 高成熟	局限台地 D 相	0.22~0.25	II	过成熟
蒸发台地 E 相							0.32			
马一段	层序 1	海侵域	局限台地 D 相	0.14	II	成熟	局限台地 D 相	0.14~0.15		
蒸发台地 E 相							0.15			

表 4 不同沉积有机相类型中的有机碳含量(%)

Table 4 Organic carbon content of different sedimentary organic facies(%)

沉积有机相类型	开阔台地 C 相	局限台地 D 相	蒸发台地 E 相
有机碳含量变化范围/ %	0.08 ~ 0.36	0.13 ~ 0.25	0.14 ~ 0.49
有机碳含量平均值/ %	0.17	0.18	0.29
样品数	435	91	173

相高。另外,蒸发台地中的膏盐湖为还原—强还原环境,有机质保存条件好,因此有机碳含量相对最高。从总体上看,蒸发台地 E 相及局限台地 D 相为最有利的生烃相带。

### 3.2 沉积有机相在横向上的分布控制了烃源岩的平面展布

从图 1 中可看出,开阔台地 C 相主要分布在盆地西部及南部的较深水层序中,而局限台地 D 相及蒸发台地 E 相则主要分布于盆地中、东部的浅水层有利烃源区,其中尤以米脂—志丹一带生烃潜力最好。陕甘宁盆地中部已发现特大型气田也说明了这一点。

### 3.3 沉积有机相在垂向上的分布控制了烃源岩发育的层位

从表 3 中可看出,在盆地西部及南部陆表海较深水层序中,沉积有机相类型在垂向上变化不大,有机碳含量也较稳定。但在盆地中部的陆表海浅水层序中,沉积有机相的类型在垂向上有明显的变化,在海侵体系域中以开阔台地 C 相为主,局限台地 D 相次之。而在高位体系域中则发育蒸发台地 E 相及局限台地 D 相。因此,在垂向上盆地中部浅水层序

高位体系域的生烃潜力优于海侵体系域,陕甘宁盆地中部气田的产层也主要分布在盆地中部浅水层序 2 的高位体系域中。

上述表明,层序沉积有机相对烃源岩的形成和分布有明显的控制作用,深入开展层序沉积有机相的研究,不仅在生产实践中可有效地评价烃源岩的生烃潜力及预测烃源岩的分布,而且在理论上也可作为烃源岩的研究及评价提供一种新的思路及研究方法。

### 参 考 文 献

- 1 Rogers M A. Application of organic facies concepts to hydrocarbon source rock evaluation[R]. 10th world Petr. Cong., 1979. 25~30
- 2 郭迪孝, 胡民. 陆相盆地沉积有机相分析[A]. 石油与天然气地质文集, 第 2 集[C]. 北京: 地质出版社, 1989. 191~199
- 3 郝芳, 陈建渝. 沉积盆地中的有机相研究及其在油气资源评价中的应用[A]. 矿物岩石学论丛(9)[C]. 北京: 地质出版社, 1993. 101~109
- 4 Sang J F. Carbonate sequence stratigraphy[A]. In: Wilgus C K, ed. Sea level changes — an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988. 42
- 5 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十二, 长庆油田)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 62~64

## Characteristics of Sequence Sedimentary Organic Facies and Distribution of Source Rocks of Majiagou Formation, Lower Ordovician, Ordos Basin

ZHU Chuang-ye

(Chengdu University of Technology Chengdu 610059)

### Abstract

A sedimentary organic facies is defined as a stratigraphic unit, in which there are the similar characteristics of depositional environment, biological assemblage, diagenetic environment, reduction—oxidation condition, and the genetic type of organic matter. As the distribution of sedimentary organic facies is controlled by sequence stratigraphic framework in sedimentary basin, sequence sedimentary organic facies analysis can become a very useful tool to determine and predict the distribution of source rocks. Based on the analysis of sequence stratigraphy and sedimentary organic facies, Majiagou Formation of Lower Ordovician in Ordos basin

is divided into three sequences and the distribution of sedimentary organic facies in each sequence is discussed in this paper. The results indicate that the distribution of sedimentary organic facies in sequence stratigraphic framework of Majiagou Formation present a certain regularity. In the western and southern part of the basin, the sedimentary organic facies of deeper—water sequence are mainly composed of open platform C facies from bottom to top, in which the content of organic carbon is 0.08% ~ 0.18%. In the middle of the basin, the sedimentary organic facies of transgressive system tract of shallow—water sequence are mainly composed of open platform C facies and restricted platform D facies, in which the content of organic carbon is 0.12% ~ 0.25%, whereas the sedimentary organic facies of highstand system tract are composed of restricted platform D facies and evaporation platform E facies, in which the content of organic carbon is 0.17% ~ 0.49%. The best source rocks are mostly distributed over highstand system tract of shallow—water sequence in the middle of the basin

**Key words** Ordos basin Majiagou Formation sequence stratigraphy sedimentary organic facies source rocks

---

(Continued from page 49)

type and wave—dynamic type. The boundaries of meter—scale cyclic sequence are marked by instantaneous punctuated surface formed by non—deposition resulted from high—frequency sea—level changes, which include instantaneous exposed punctuated surface and drowned punctuated surface as well as their correlative surface. The development of instantaneous punctuated surface used as the boundary of meter—scale cyclic sequence lead to the limiting of Walther's Law that is used to explain facies distribution in time and space, and reaffirm the importance of Sander's Rule on analysis of stratigraphical records. These noncontinue surfaces could be traced in long distance and some be correlative in same basin range. The study on meter—scale cyclic sequences and their regularly vertical stacking patterns in long—term sequence indicate that the research on cyclicity of stratigraphic records is a useful way to get more regularity from stratigraphic records that are frequently complex as well as non—integrated.

**Key words** genetic types fabric features of facies—succession meter—scale cyclic sequences