

文章编号:1004-7824(1999)05-0047-06

陕甘宁盆地奥陶统马家沟组层序 地层与天然气的关系

朱创业

(成都理工学院 地质学系, 四川 成都 610059)

摘要:陕甘宁盆地马家沟组可划分出 3 个层序,每个层序均由海侵体系域及高位体系域所组成,海平面变化是控制层序形成的主要因素。此外,盆地基底构造对层序地层的分布也具有重要的影响,在盆地中部发育浅水层序,在盆地西部及南部则发育较深水层序。在盆地中部浅水层序的高位体系域中,生储盖组合最佳,具有较好的勘探前景。

关 键 词:陕甘宁盆地;马家沟组;层序地层;天然气富集

中图分类号:P539.2 **文献标识码:**A

层序地层学是 80 年代后期发展起来的一门新学科,它通过对控制沉积地层形成的四个要素(构造沉降、全球海平面升降、气候、沉积物供应)的综合分析,建立起一个旋回式的、在成因上有联系的等时层序地层格架,并将层序地层格架中的沉积层序及其体系域的形成与海平面变化有机地联系在一起,较好地解决了沉积体系和沉积相在时、空上的变化及其相互关系问题,层序地层分析也因此而成为一种全面了解和有效预测沉积体系、沉积相带以及生储盖组合在三维空间分布的新方法。本文将采用层序地层学的理论和方法,探讨陕甘宁盆地奥陶统马家沟组层序地层特征与天然气富集关系。

1 地质背景

陕甘宁盆地位于华北地台的西部,其基底由太古代及古元古代变质岩组成。从盆地结晶基底的顶面形态上看,陕甘宁盆地的基底构造可划分为北部伊盟隆起区、东部陕北隆坳相间区、中部庆阳隆起区、西部天环坳陷区和南部渭北隆起区^[1]。基底构造最明显的一个特征是在盆地内存在一个“L”形的庆阳-渭北隆起,其形成可能与中新元古代秦祁贺裂谷系拉张所造成的裂谷肩部隆起有关,并对马家沟组的沉积有明显的控制作用,导致在盆地西部及南部沉积厚度大,主要为开阔台地沉积;而在盆地中部沉积厚度减小,主要为局限台地和蒸发台地沉积(图 1)。

收稿日期:1999-08-03

基金项目:国家“九五”重点科技攻关专题(96-110-01-01-01)部分研究成果

作者简介:朱创业,男(汉族),37 岁,副教授,沉积学、构造地质学专业,从事盆地分析研究

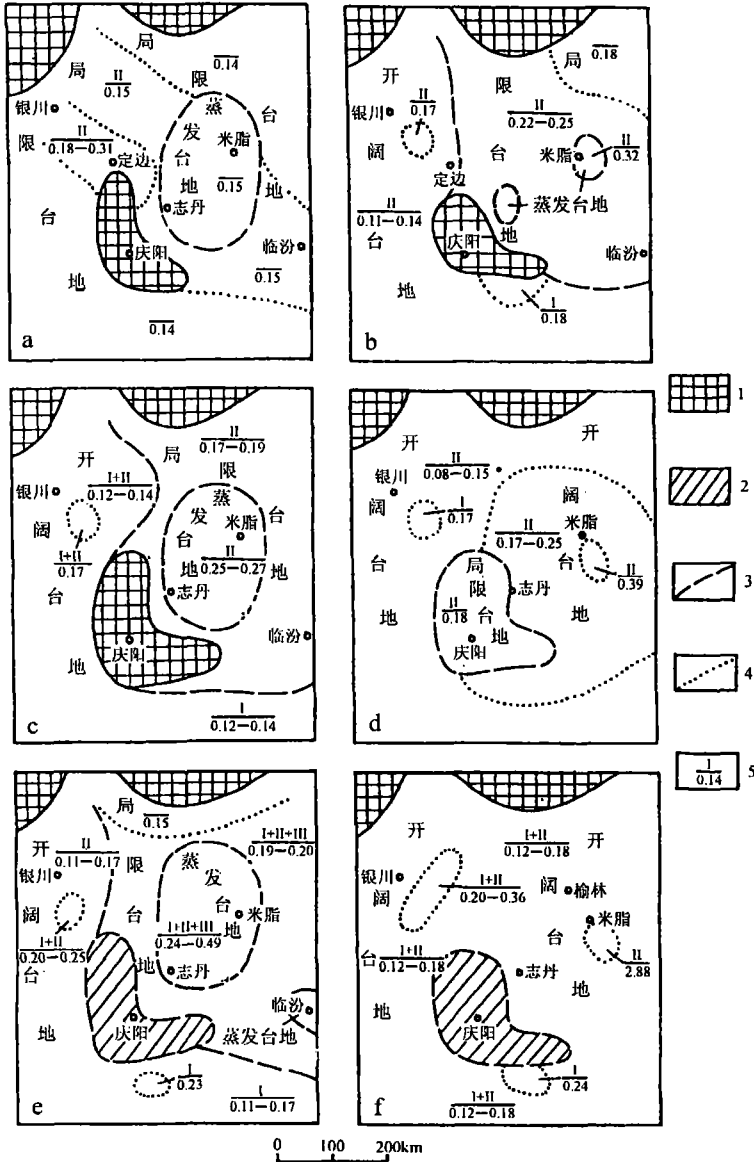


图 1 层序沉积相带分布图

1. 古陆; 2. 暴露区; 3. 沉积相分区界线; 4. 有机碳含量分区界线; 5. 干酪根类型/有机碳含量 ($w(C)/\%$)。a. 层序 1 早期海侵体系域; b. 层序 1 晚期海侵体系域; c. 层序 1 高位体系域; d. 层序 2 海侵体系域; e. 层序 2 高位体系域; f. 层序 3 海侵体系域

Fig. 1 Distribution of the sedimentary facies belts within the Majiagou Formation

1 = ancient land; 2 = exposed area; 3 = sedimentary facies boundary; 4 = organic carbon content boundary; 5 = kerogen type/organic carbon content (in $w(C)/\%$). a represents the early transgressive systems tract in Sequence 1; b represents the late transgressive systems tract in Sequence 1; c represents the highstand systems tract in Sequence 1; d represents the transgressive systems tract in Sequence 2; e represents the highstand systems tract in Sequence 2; f represents the transgressive systems tract in Sequence 3

2 层序划分

层序地层学主要研究地层的旋回性沉积记录与海平面变化的关系。在不同级别的海平面变化周期中形成不同级别的沉积层序。本区在早奥陶世马家沟期经历了 1 个二级海平面升降旋回和 3 个三级海平面升降旋回,相应地可把研究区内马家沟组及其相当地层划分出 1 个超层序和 3 个层序(表 1)。由于本区在早奥陶世处于华北克拉通盆地陆表海环境,具有独特的层序地层特征,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,本区陆表海环境中的层序地层还可以划分出发育于开阔海中的较深水层序(如盆地西部及南部)和发育于局限海中的浅水层序(如盆地中部)两种类型。

根据层序界面的识别标志^[2],研究区内马家沟组中的层序界面有 I 类和 II 类两种类型(表 1)。I 类界面(SB₁)为构造运动造成的地层不整合面,其中马家沟组与亮甲山组之间的不整合面为怀远运动的产物,在马家沟组与下伏不同时代地层之间的界面上常有含砾石英砂岩滞留沉积,界面之下的地层不同程度的发育岩溶作用。另一个不整合面则表现为石炭系与马家沟组之间的不整合接触,在界面之上常有铁、铝质泥岩分布,界面之下的地层则发育强烈的岩溶作用;该不整合面代表了一次长期的隆升过程,为加里东运动的产物。II 类界面(SB₂)为低幅海平面下降所造成的沉积间断面,在界面之下有暴露标志,并发育大气淡水成岩作用。

表 1 马家沟组层序划分
Table 1 Division of the stratigraphic sequences in the Majiagou Formation

地 层		时间 (Ma)	层序界面 及类型	层 序		沉积环境演化		相对海平面 升降	超层序	构造运动
						中部 浅水层序	西部及南部 较深水层序			
中石炭统			SB ₁							加里东运动
下 奥 陶 统	马 家 沟 组	468	SB ₂	高位域	层序 3		局限台地	下 降	超 层 序	
				海侵域		开阔台地	开阔台地	上 升		
		472	SB ₂	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		
				高位域	层序 1	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	开阔台地	上 升		
	476	SB ₁				局限台地 蒸发台地	局限台地			怀远运动
		亮甲山组								

3 层序地层特征

3.1 层序 1

海侵体系域 在该海侵体系域发育的早期,在盆地西部和南部为局限台地(图 1a),发

育云灰岩、泥云岩。在盆地中部米脂—志丹一带为盐湖,在盐湖四周为含膏泥云坪,发育泥质白云岩及膏溶角砾岩。晚期海平面上升幅度加大,使得盆地中部的盐湖范围逐渐缩小,盆地中部沉积环境以局限台地为主(图 1b),发育准同生白云岩。在盆地西部及南部,沉积环境也由局限台地演变为开阔台地(图 1b),出现混合水白云石化成因的成岩白云岩。

高位体系域 随着海平面逐渐下降,盆地中部米脂—志丹一带在干旱蒸发气候条件下又一次形成膏盐湖(图 1c),出现白云岩-蒸发岩组合。在膏盐湖四周为局限台地云坪,发育准同生白云岩。在盆地西部及南部,沉积环境变化不大,仍为继承性开阔台地(图 1c),发育微晶灰岩及成岩白云岩。在南部出现有短暂的水下浅滩。

3.2 层序 2

海侵体系域 随着海平面上升,海水逐渐将庆阳古陆淹没,并在原庆阳古陆范围内形成云坪(图 1d),在庆深 2 井、庆深 1 井中出现有准同生白云岩,具鸟眼构造及石膏假晶。除此之外的广大地区均为开阔台地(图 1d),发育微晶灰岩及混合水白云石化成因的“云斑”。

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,并在盆地中部米脂—志丹一带及临汾一带出现膏盐湖(图 1e),发育盐岩、膏岩夹白云岩。在米脂至绥德一带还形成了含钾盐湖,出现钾石盐、光卤石、钾铁盐等钾盐矿物。在盆地中部的其余地区则为局限台地(图 1e)。在盆地西部、南部仍为继承性开阔台地(图 1e),发育微晶灰岩及混合水白云石化成因的成岩白云岩。

3.3 层序 3

由于加里东运动的影响,层序 3 在大部分地区已被剥蚀,仅在盆地西部及南部保存较好。根据马六段的分布范围及沉积特征,推测研究区内层序 3 的海侵体系域除庆阳地区为暴露剥蚀区外,在盆地中部及西部、南部均有分布,且沉积环境为开阔台地(图 1f),发育泥灰岩及成岩白云岩。而高位体系域则仅残存在盆地西部及南部,为开阔台地及台地边缘环境。

上述研究表明,区内马家沟组层序地层在垂向上的变化明显受海平面变化控制;横向上受“L”形庆阳基底隆起带控制。由于该“L”形隆起带的障壁作用,使其后缘向陆侧形成水体循环不畅的局限台地和蒸发台地,发育浅水层序,而其前方向海侧形成水体较深的开阔台地,发育较深水层序。

4 层序地层格架与油气关系

4.1 层序地层格架与烃源岩分布

通过对层序地层格架中碳酸盐岩的有机碳含量进行统计(表 2),在横向上盆地西部及南部的较深水层序以开阔台地相为主,有机碳的质量分数一般为 0.11%~0.18%;在盆地中部以局限台地相及蒸发台地膏盐湖相为主,有机碳的质量分数相对较高,一般为 0.12%~0.49%。马家沟组碳酸盐岩中有机碳的质量分数均已达到烃源岩下限(大于 0.1%)。在垂向上,在盆地西部及南部的较深水层序中,不同体系域内沉积相及有机碳的质量分数变化不大;在盆地中部的浅水层序中,海侵体系域以开阔台地相及局限台地相为主,而高位体系域则以局限台地相及蒸发台地膏盐湖相为主,且高位体系域中有机碳含量较海侵体系域中有机碳含量高。碳酸盐岩中有机碳含量的这种变化受层序地层格架中沉积相的分布所控制。本区马家沟组碳酸盐岩中有机质的母质类型为腐泥型和混合型,其主源主要来自于藻

类。而藻类主要发育于局限台地和蒸发台地,因此本区中部马家沟组碳酸盐岩中的有机碳含量较西部及南部高。另外,蒸发台地膏盐湖为还原—强还原环境,有机质的保存条件好,因此蒸发台地中有机碳的质量分数最高,为烃源岩形成的有利相带。

表 2 层序地层格架与生、储、盖层关系

Table 2 The relationship between sequence stratigraphic framework and source-reservoir-cap rock associations

层位	层序		层序界面	盆地西部、南部				盆地中部				
				较深水层序				浅水层序				
				沉积相	有机碳含量 (w(C)/%)	储层类型	盖层岩性	沉积相	有机碳含量 (w(C)/%)	储层类型	盖层岩性	
上覆层			SB ₁				云泥岩					铝土质泥岩
马家沟组	层序3	高位域	SB ₂	局限台地		风化壳型						
		海侵域		开阔台地	0.12~0.18	白云岩型		开阔台地	0.12~0.18	风化壳型		
	层序2	高位域	SB ₂	开阔台地	0.11~0.17	层间岩溶带型		蒸发台地	0.24~0.49	风化壳型	膏盐层	
							局限台地	0.19~0.20				
		海侵域		开阔台地	0.08~0.15	白云岩型		局限台地	0.18			
							开阔台地	0.18~0.20				
	层序1	高位域	SB ₁	开阔台地	0.12~0.14	层间岩溶带型		蒸发台地	0.25~0.27	层间岩溶带型	膏盐层	
							局限台地	0.17~0.19				
		海侵域		开阔台地	0.11~0.14	白云岩型		局限台地	0.22~0.25			
							蒸发台地	0.32				
				局限台地	0.14	层间岩溶带型		局限台地	0.14~0.15	层间岩溶带型	膏盐层	
							蒸发台地	0.15				
下伏层			下奥陶统亮甲山组/上寒武统凤山组				下奥陶统亮甲山组					

4.2 层序地层格架与储集层分布

马家沟组中储集层的成因类型有风化壳型、层间岩溶带型及白云岩晶间、粒间(溶)孔型三种(表 2)。层间岩溶带型及风化壳型储层的形成受层序界面控制。由于海平面下降所造成的暴露作用,在层序界面之下的高位体系域中发育准同生白云石化作用及大气淡水溶解作用,容易形成层间岩溶带型及风化壳型储集层。盆地中部气田马家沟组顶部即为风化壳型储层。而白云岩晶间、粒间(溶)孔型储层受较深水层序的混合水白云石化作用及埋藏溶蚀作用控制。盆地西部天 1 井的储层即属此类型。从储集层的分布上看,风化壳型储层主要分布在盆地中部 I 类层序界面之下(马家沟组顶部),层间岩溶带型储层主要分布在区内的 II 类层序界面之下,而白云岩晶间、粒间(溶)孔型储层则主要分布在盆地西部及南部。

4.3 层序地层格架与盖层分布

区内盖层岩类主要有铝土质泥岩、泥岩、蒸发岩,这些岩石都具有较好的封闭能力。从层序地层格架与盖层的关系上看(表2),在盆地中部及东部的陆表海浅水层序中,由于海平面下降,在层序1及层序2的高位体系域中形成膏盐层,构成多套良好的盖层及有利的生、储、盖组合。在盆地西部及南部较深水层序中,区域性盖层主要为中奥陶统泥质岩,而在马家沟组内部由于碳酸盐岩性脆,后期强烈的构造改造易于产生主裂缝,不易构成有效的盖层。因此,在盆地西部及南部有利的勘探层位应放在层序3马家沟组顶部。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] SANG J F. Carbonate sequence stratigraphy[A]. WILGUS C K. Sea-level changes:an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 42.

Sequence stratigraphy and its bearings on the gas accumulation in the Lower Ordovician Majiagou Formation, Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin

ZHU Chuang-ye

(*Department of Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

Abstract: The Lower Ordovician Majiagou Formation, Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin may be divided into three sequences, each of which consists of both transgressive and highstand systems tracts. The sea-level changes are considered to be the main factors controlling the formation of the sequences. In addition, the basal structures of the basin also have important effects on the distribution of sequence stratigraphy in the formation. Broadly speaking, the shallow-water sequences occur in the middle part, whereas the deep-water sequences appear in the western and southern parts of the basin. The source-reservoir-cap rock associations are preferred in the highstand systems tracts of the shallow-water sequences in the middle part of the basin, which indicate significant hydrocarbon potential.

Key words: Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin; Majiagou Formation; sequence stratigraphy; gas accumulation