

文章编号:1000-0550(1999)增-0747-05

陕甘宁盆地中部马五段上部准层序划分及其特征

周劲松¹ 赵澄林² 余丙俊² 孔维芳³

1(中国石油天然气勘探开发公司 北京 100011) 2(石油大学(北京)地科系 北京 102200)

3(辽河石油勘探局研究院 辽宁盘锦 124010) 4(长庆石油勘探局钻井三处 宁夏灵武 751100)

摘要 根据多种资料在陕甘宁盆地中部马五段上部划分出8个准层序,对每个准层序作了详细的描述,它们大多与自然伽玛曲线对应良好,且均为米级规模,顶部多为含膏云坪微相,反映持续暴露的证据充分,认为它们是由他旋回作用形成的。受海平面升降的控制,准层序内 $\delta^{13}\text{C}$ 值先升后降,并且由于其形成的早期和晚期石膏和石盐含量各不相同准层序内孔隙度和残余含盐量逐渐升高。准层序内泥质和有机质的含量变化也导致酸不溶物含量逐渐降低。岩石的高孔隙带多分布于暴露型准层序的上部或顶部。

关键词 陕甘宁盆地中部 马五段上部 准层序 特征

第一作者简介 周劲松 男 1973年出生 博士 石油地质综合研究

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

陕甘宁盆地中部在奥陶纪马家沟期为广阔的碳酸盐陆表海沉积,以白云岩为主的马家沟组第五段上部已构成中部气田下古生界的主力产层。众所周知,陕甘宁盆地腹地未经历强烈的构造运动,地层平缓。勘探表明,在奥陶系碳酸盐岩中没有发现大的构造圈闭,而是以隐蔽性的岩性圈闭为主。从层序地层的角度来研究该层段内有利储气层和遮挡岩的位置和成因,将对气田内岩性圈闭的寻找开辟一个新的思路。本文将对主力含气层段马五₁—马五₁小层内的准层序特征进行描述。有关的区域地质资料,这里不再赘述。

1 准层序划分

研究区长约100 km,宽约250 km,位于陕甘宁盆地腹地。我们对分布于其中的40多口井进行了横向对比、分析化验等大量研究工作,在此基础上提出准层序的识别和划分的主要依据:(1)关键界面,包括短期地表暴露面和沉积微相突变面;(2)岩性组合;(3)岩石电性特征,主要为自然伽玛测井曲线;(4)沉积微相。综合多口井资料,共在研究区内识别出8个准层序,这些准层序在研究区具有广泛的代表性。

1.1 准层序1

相当于马五₂小层上部至马五₁小层,厚约11~

13 m。岩石类型为膏岩、含膏云岩、泥质云岩、泥晶云岩、藻纹层云岩及孔洞云岩。由两个层组组成,与自然伽玛曲线对应良好(图1)。准层序下部由膏岩、含膏云岩和泥质云岩组成,自然伽玛曲线呈高值,为潮间泻湖和泥云坪沉积。上部为藻纹层云岩、泥粉晶云岩和孔洞云岩,具石膏假晶和鸟眼构造,反映上潮间和潮上的藻泥云坪和含膏云坪环境。从底至顶,水体逐渐变浅,直到出现潮上暴露环境。层组A顶部见鸟眼构造,其上又为云坪覆盖,反映一次水体变深的过程。

1.2 准层序2

相当于马五₃小层,厚6~13 m。岩石类型有含膏云岩、泥质云岩、泥粉晶云岩等,各井中岩性序列不尽一致。下部为大套含膏云岩,上部为泥质云岩,形成了从潮间泻湖过渡到泥云坪的变浅序列。各井中准层序下部沉积厚度较大,岩性单一,反映海泛后水体深度增加较多,沉积环境相对稳定,碳酸盐产率较高。

1.3 准层序3

相当于马五₃小层,厚5~8 m,由两个岩组组成。层组A下部为深灰色泥质云岩,上部为含灰云岩,二者构成准层序的下部,为潮间带泥云坪至上潮间藻泥云坪环境。层组B构成准层序的上部,其下部为薄层的泥质云岩和泥岩,为海平面短暂上升的

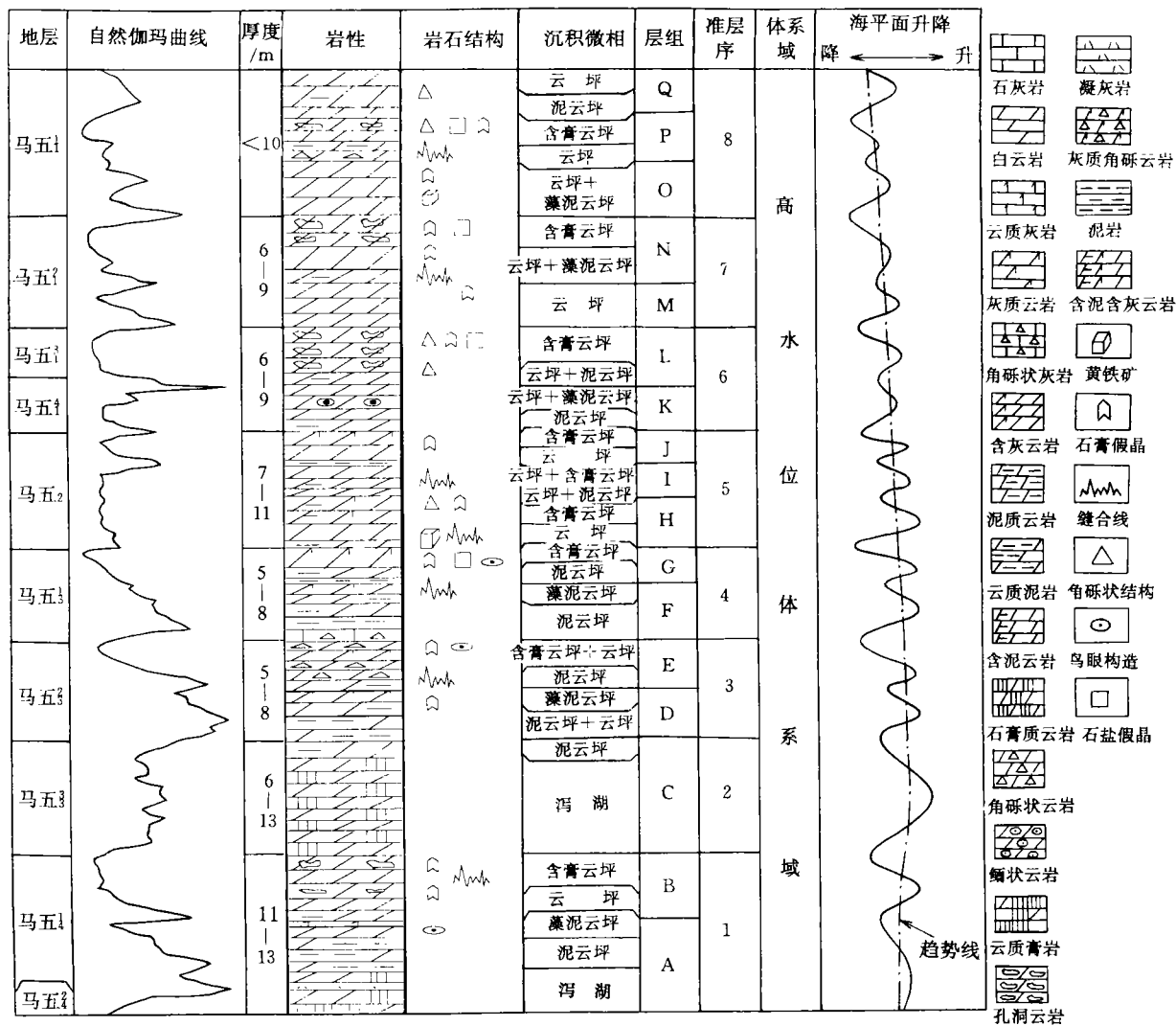


图 1 陕甘宁盆地中部马五段上部准层序划分

Fig. 1 Parasequence division of the Upper Ma5 Member, Central Ordos Basin

产物;上部为盐溶角砾云岩,顶部含石膏假晶和鸟眼构造,反映沉积环境由泥云坪快速过渡至云坪和含膏云坪。

1.4 准层序 4

相当于马五₃小层,厚约 5~8 m,由两个层组组成。层组 A 下部为潮道中沉积的角砾岩,然后潮道演变为封闭洼地,沉积了薄层泥岩和上部的大套泥质云岩。层组 B 下部为薄层的泥岩和泥质云岩,上部为含膏盐假晶和鸟眼构造的泥粉晶云岩和角砾云岩,反映其形成晚期处于潮上暴露环境。准层序 4 的形成反映了沉积环境由潮间潮道和泥云坪向潮上含膏云坪过渡、水体逐渐变浅的过程。

1.5 准层序 5

相当于马五₂亚段,厚约 7~11 m,由三个层组

组成。层组 A 下部为薄层的含黄铁矿黑色泥岩和含泥云岩,对应于高幅自然伽玛曲线,为潮间洼地沉积,向上变为含膏云坪微相的含泥泥粉晶云岩,自然伽玛曲线呈低值。层组 B 下部为云岩和含泥云岩,上部为角砾云岩和云岩,反映水体逐渐变浅,沉积微相由潮间云坪、泥云坪变为云坪和含膏云坪。层组 C 下部为黑色泥岩和云岩,向上变为含石膏假晶的角砾云岩和含灰云岩,为潮间洼地到云坪并最终变为含膏云坪序列的产物。该准层序下部海侵期沉积相对较薄,上部较厚,反映早期海平面上升较快,而后沉积物才加积到海平面处。

1.6 准层序 6

相当于马五₄—马五₃小层,厚约 6~9 m,包括两个层组,在自然伽玛测井曲线上有良好反映。层组

A 下部为深灰色泥质云岩,形成于潮间泥云坪环境,向上变为云坪云岩和潮沟,至顶部又恢复为云坪环境。层组 B 下部黑色薄层泥岩覆盖于层组 A 顶部,为短期海进的产物,随后沉积环境又恢复为潮间云坪,最终演变为潮上含膏云坪,沉积了大套含膏云岩,经大气淡水淋滤成中部气田的主力产层。

1.7 准层序 7

相当于马五₂ 小层,厚约 6~9 m,分为两个层组,与自然伽玛曲线对应较好。层组 A 底部为一薄层泥岩,向上变为深灰色云岩,上部含石膏假晶,表明水体愈来愈浅。层组 B 下部亦为一薄层泥岩,对应高的自然伽玛值,向上变为潮间云岩,上部为盐溶角砾岩。顶部过渡为孔洞云岩,反映水体变浅,暴露程度越来越高,直到以潮上环境为主。

1.8 准层序 8

相当于马五₁ 小层,受风化剥蚀的影响,厚度一般小于 10 m,分为三个层组。层组 A 下部为大套泥粉晶白云岩,顶部为含泥云岩、含石膏假晶的角砾云岩,表明水体逐渐变浅。层组 B 下部为深灰色云岩,向上过渡为盐溶角砾云岩,顶部为孔洞云岩,含大量膏盐假晶,至顶部含石盐假晶,为下潮间—潮上沉积序列。层组 C 下部为潮沟颗粒云岩,并逐渐过渡为浅灰色泥云坪含泥云岩,上部为浅灰色角砾云岩和泥粉晶云岩,表明水体能量趋弱、暴露程度趋高的过程。

准层序 8 上覆峰峰组泥晶灰岩,其中含完整的介壳化石,表明水体环境有较大改变,是下一三级层序海进体系域的产物。

2 准层序的形成机制

从以上的描述可以看出,每个准层序厚度均不大,且准层序内部组成特征相似,表明这些准层序可能形成于同一种机制下。一般情况下,台地相的沉积层序是由潮汐作用形成向上变浅的旋回所构成,这种米级旋回叠置机制的解释主要有两种模式,即他旋回模式和自旋回模式[1],二者的重大差别在于其顶部暴露面的性质。自旋回顶部一般没有持续的暴露,而他旋回则正好与之相反。他旋回模式以高频和小规模的海平面升降为特征。海平面上升导致海泛面的产生,并在随后的数千年的持续时间内海水深度足以使碳酸盐生产得以进行,并且其生产和沉积速率都相当快,直到最后千年之后沉积表面堆积到潮间带为止,然后是潮上环境下的持续暴露。暴露时

间可能占海平面变化旋回周期的一半,该时期暴露面之下的上潮间沉积物形成古风化壳,上覆于旋回下部的下潮间或浅潮下沉积之上[2]。由于海平面下降仅有数米,将难以产生明显的暴露起伏面和大气淡水循环。

在研究区的层序地层学研究中,准层序均为米级规模,顶部多为含膏云坪微相,反映持续暴露的证据充分,显然可以用他旋回模式加以解释。

3 准层序内稳定碳同位素的分布模式

对 6、7、8 三个准层序内的碳、氧同位素分析表明,每个准层序内 $\delta^{13}C$ 值呈规律性分布:以相对低的 $\delta^{13}C$ 值开始,向上逐渐增高,然后又逐渐降低(图 2)。如准层序 6 底部 $\delta^{13}C$ 值为 -3.0‰,向上渐变为 -0.7‰,最后渐变为 -1.7‰。由于准层序在整个三级层序中的位置不同, $\delta^{13}C$ 平均值可能有所差异,如准层序 6—准层序 8 中, $\delta^{13}C$ 平均值愈来愈低,即层序内下部的 $\delta^{13}C$ 平均值高于上部的平均值。氧同位素值由于岩石年龄太久远意义不大。

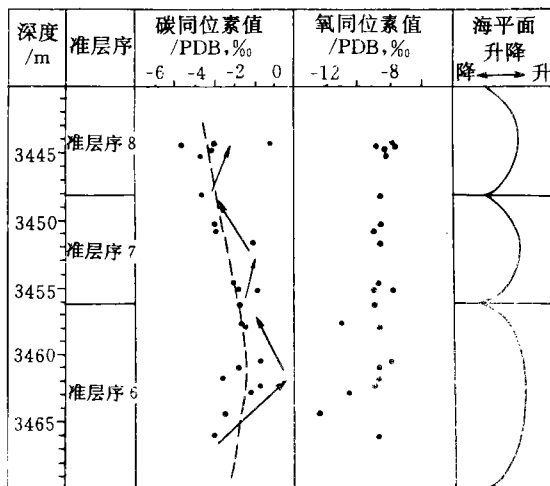


图 2 准层序 6~8 内碳、氧同位素值分布
Fig. 2 Distribution of carbon and oxygen isotope in parasequence No. 6~8

导致 $\delta^{13}C$ 值在准层序内如此分布的原因在于准层序的形成是海平面先上升后下降的结果。准层序形成时期,海水从浅变深,此间生物活动较为繁盛,而生物在其生命活动中大量吸收海水中的 C^{12} 构成自身机体组成部分,使 C^{12} 不断以有机质的形式保存于海底沉积物中。有机碳埋藏速率高,有机碳受氧化机会逐渐减少,因此 $\delta^{13}C$ 值逐渐升高。而准层序形成晚期,海水由深变浅,沉积环境中有机碳埋藏速

率降低,氧化机会增大,导致 $\delta^{13}C$ 值逐渐降低^[3]。

4 准层序内某些参数的分布规律

笔者曾设想在研究区这样一个碳酸盐蒸发潮坪上,海平面的变化导致海水深浅往复和暴露程度的差异,前者在泥质和有机质含量上会有所表现,后者则在含盐量上体现出来。基于此,笔者作了进一步的研究工作。考虑到水基泥浆钻井可能会溶解一些盐类因而对岩石含盐量分析结果产生影响,研究工作选取了陕34井和林5井两口油基泥浆取芯井作为研究对象。

对这两口井的孔隙度、残余含盐量和酸不溶物含量与深度分别作图(图3,图4)。可以看出,两口井的各曲线演化趋势吻合良好,表明在中部气田中区这一区域内,用此参数可以进行准层序对比。准层序内三项参数均呈规律性变化。岩石残余含盐量曲线的演化趋势与孔隙度曲线十分相似,孔隙度与含盐量呈正相关,二者均受海平面变化的影响。残余含盐量的分布基本能反映原始含盐量的分布规律。准层序内从下至上含盐量逐渐升高。

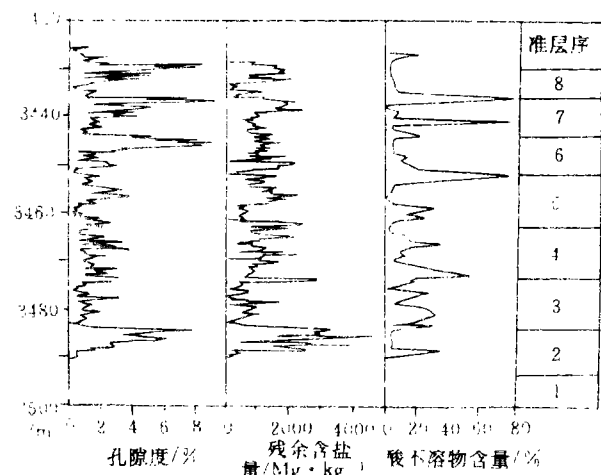


图3 林5井各准层序内孔隙度、残余含盐量和酸不溶物含量分布图

Fig. 3 Diagram of porosity, content of remnant salt and content of non-dissolved matter in acid vs. depth in parasequences of Well Lin5

本区处在强蒸发条件下,准层序上部或顶部都不同程度地发育了含膏云坪或藻泥云坪微相,在原始沉积物中多含石膏或石盐沉积。而准层序下部形成于相对深水环境,缺乏这些易溶矿物,因此准层序内含盐量逐渐升高。在准层序形成后持续的暴露时

间里,其顶部的易溶矿物将在多次的降雨过程中全部或部分溶解掉形成选择性溶蚀孔,在后期成岩作用的影响下使大部分准层序内上部或顶部的孔隙度高于下部。

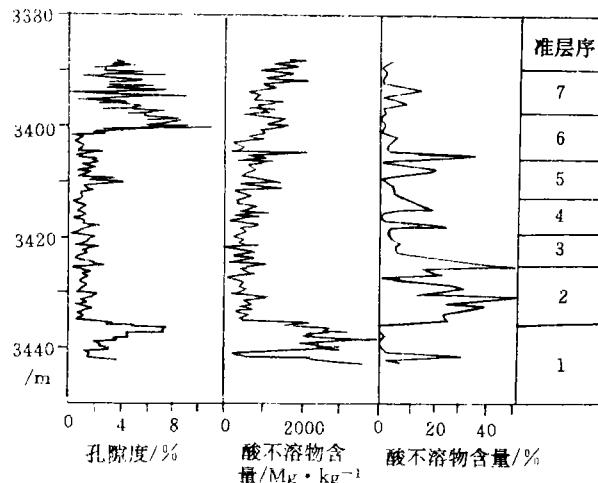


图4 陕34井各准层序内孔隙度、残余含盐量和酸不溶物含量分布图

Fig. 4 Diagram of porosity, content of remnant salt and content of non-dissolved matter in acid vs. depth in parasequences of Well Shan34

酸不溶物含量的分布规律正好与孔隙度和残余含盐量相反。准层序界面处的酸不溶物含量明显低于中下部,这是因为准层序由一次相对突然的海水变深形成。在其形成早期,海水相对变深,由潮上或上潮间突变为下潮间或浅潮下,沉积环境由潮上含膏云坪或上潮间藻泥云坪等变为泥云坪,沉积物中的泥质含量和有机质含量较高。而准层序形成晚期,海水逐渐变浅,沉积环境为潮上或上潮间带,泥质含量和有机质含量相对较低,因此导致酸不溶物含量的分布形式为准层序中下部为高值,而上部则为低值。

5 意义和结论

根据多种资料在研究层段内划分出8个准层序,认为它们是他旋回作用的结果。准层序内稳定碳同位素值先升后降,孔隙度和残余含盐量逐渐升高,而酸不溶物含量则逐渐降低。这些参数的变化都与海平面升降有着密切的联系,对类似地区准层序的划分提出了新的见解。岩石的高孔带多分布于暴露型准层序的上部或顶部,这对有利天然气储层的寻找具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 李儒峰. 华北中新元古代及奥陶纪层序地层和油气——兼论碳酸盐岩层序地层和储层中碳氧同位素地球化学模式[R]. 石油大学(北京)博士后出站报告, 1997
- 2 Strasser A. Lagoonal-peritidal sequences in carbonate environments; autocyclic and allocyclic processes[A]. In: Einsele G W, Ricken, Seilacher A, eds. Cycles and Events in Stratigraphy[C]. Springer Verlag, Berlin, 1991. 709~721
- 3 李儒峰, 刘本培. 碳氧同位素演化与碳酸盐岩层序地层关系研究——以黔南马平组为例[J]. 地球科学, 1995, 21(3): 261~266

Identification and Description of Parasequences in Upper Ma5 Member, Central Ordos Basin

ZHOU Jin-song¹ ZHAO Cheng-lin² YU Bin-jun³ KONG Wei-fang⁴

1(China Oil & Gas Exploration And Development Corporation Beijing 100011)

2(Department of Geosciences, University of Petroleum, Beijing, 102200)

3(Institute of Exploration & Development, Liaohe Oil Exploration Bureau, Panjin Liaoning 124010)

4(No. 3 Drilling Company, Changqing Oil Exploration Bureau, Lingwu Ningxia 751100)

Abstract

Based on various information, total 8 allocyclic parasequences are identified in Upper Ma5 Member, Central Ordos Basin and most of them are in good coincidence with the Gamma Ray logging curves. In this paper, each parasequence is described in detail. The upper parts of these meter-scale parasequences are mostly deposited in dolomite flat enriched with gypsum, which abound in various evidences of durable exposure. Controlled by sea-level fluctuation, $\delta^{13}\text{C}$ values in each parasequence ascend and follow by reduction. As shown in parasequence No. 6, $\delta^{13}\text{C}$ value varies upward from -3.0% to -0.7% , and finally reaches to -1.7% . But because each parasequence is located at the different part of the third-order sequence, the averages of $\delta^{13}\text{C}$ values may change. These changes in higher-order sequence show a similar rule as that in parasequences. Different levels of sea-level fluctuation shaped sequences of different levels or even parasequences, thus indicated the similar rules in sequences and parasequences. On the basis of numerous test data, the content of gypsum and salt precipitated in different period of the formation of parasequences seem to change regularly, leading to the porosity and content of remnant gypsum steadily increase. While content of material which can not be dissolved in acid gradually descend, as it was mainly constituted by mud and organic matters. High porosity zone mostly distributes at the top or upper part of exposed parasequences.

Key words Central Ordos Basin Upper Ma5 Member parasequence characteristics