

文章编号: 1009-3850(2009)02-0001-07

饶阳凹陷马西地区古近系层序地层与隐蔽油气藏勘探

张大智^{1,2}, 纪友亮³, 顾家裕¹, 初丽兰⁴, 季丽丹¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 3. 中国石油大学, 北京 102249; 4. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 利用地震、测井、岩相等资料, 对饶阳凹陷马西地区古近系进行了层序地层学研究, 将其划分为 3 个二级层序和 10 个三级层序。层序 VIII、IX、X 为河流层序, 可划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域; 层序 I、II、III、IV、V、VI 和 VII 为湖泊层序, 每个层序可划分为低位体系域、湖侵体系域和高位体系域。在层序地层研究的基础上, 认为马西地区同沉积构造坡折带的存在控制了砂体的展布、烃源岩的发育以及油气的运聚, 因而对该地区隐蔽油气藏的形成起控制作用。建立了隐蔽油气藏在不同体系域中的发育模式, 并提出了下一步勘探的有利方向。

关键词: 饶阳凹陷; 马西地区; 古近系; 层序地层; 隐蔽油气藏

中图分类号: TE121.3^{1,4} **文献标识码:** A

层序地层学在我国东部陆相断陷含油气盆地研究和隐蔽油气藏勘探中已得到广泛的应用。国内学者对陆相断陷盆地层序形成的动力学机制、层序界面的识别标志、层序的级次划分、体系域构成以及隐蔽油气藏的勘探方法等都做了深入的探讨, 并有效地指导了隐蔽油气藏的勘探, 取得了良好的效果^[1~7]。对于饶阳凹陷这个已经进入勘探成熟期的老油田来说, 寻找隐蔽油气藏是提高产量、促进油田可持续发展的有效途径。本文运用层序地层学的基本理论, 对饶阳凹陷马西地区古近系地层进行了分析, 并提出了下一步的勘探方向。

1 地质背景

饶阳凹陷是渤海湾盆地冀中坳陷中的一个次级构造单元。该凹陷位于冀中坳陷中部, 北接霸县凹陷, 南临新河凸起, 东与献县凸起相邻, 西至高阳低凸起, 面积约 6300 km², 其是冀中坳陷内最大的凹陷, 也是油气最富集、勘探成效最高的凹陷^[8]。马

西地区位于饶阳凹陷东北部, 勘探面积约 700 km², 是一个总体为近南北向展布、东断西超的箕状断陷, 自东向西发育有陡翼断阶带、中央洼槽带和西部斜坡带(图 1)。在洼槽东西两侧分别发现了以南马庄和任丘古潜山高产油气田、砂岩断块油气田为主体的复式油气聚集带, 展现了良好的油气形成条件和勘探前景。但马西洼槽的勘探程度并不均衡, 其陡缓两侧的勘探程度较高, 内部的勘探程度较低, 尤其是各种非构造圈闭, 还未受到足够的重视^[9,10]。构造上, 马西断层下降盘发育一系列小断层, 形成众多的断块圈闭, 经钻探证实存在断块油藏, 但其规模较小, 已发现的资源量与生油洼槽区生长断层下降盘的资源规模不相称。因此, 该区应有较发的勘探前景。

2 层序地层划分及识别标志

2.1 层序的划分

在陆相断陷盆地中, 影响和控制层序发育的因

收稿日期: 2008-06-15

作者简介: 张 大 智 (1981—), 男, 博士研究生, 主要从事沉积与储层研究。E-mail: zhangdazhi123@163.com

资助项目: 国家“十五”科技攻关项目(编号: 2004BA616A-04-02)

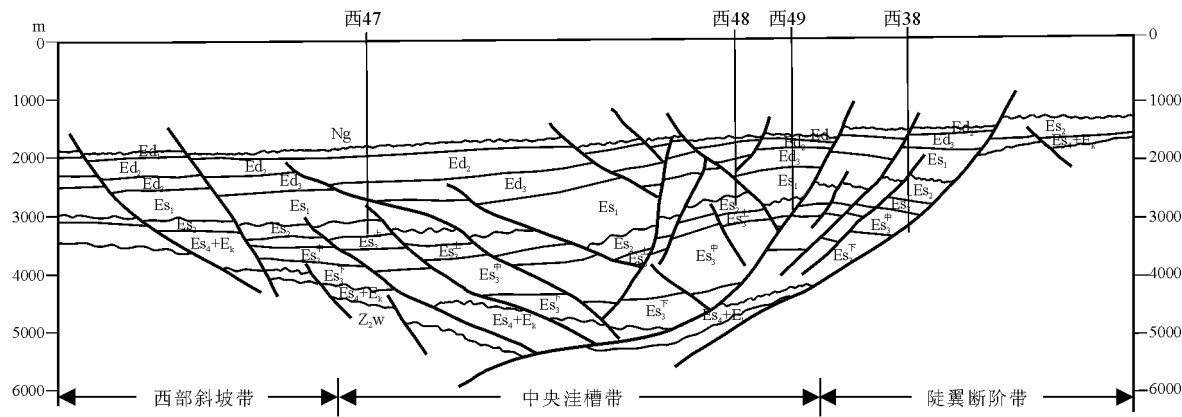


图 1 马西地区构造特征图
Fig 1 Simplified structural map of the Maixi region

素较多,除一些高级别的区域性不整合(二级层序边界)和部分三级层序边界在地震剖面上易于识别外,其它低级别的层序只能借助测井、录井资料来划分^[2 11]。综合地震、测井、岩相等资料,并借鉴前人对饶阳地区层序的划分成果^[8],本文将马西地区古近系划分为三个二级层序,十个三级层序(表 1)。

表 1 层序地层划分及对比结果
Table 1 Sequence stratigraphic division and correlation in the Maixi region

地层			层序		地震反射界面	与下伏地层接触关系
系	组	段及亚段	二级	三级		
古近系	馆陶组	馆下段			T ₂	角度不整合
	东营组	东一段	第三层序	X	T ₃₋₁	整合
		东二段		IX	T ₃₋₂	整合
		东三段		VIII	T ₃	局部上超
	沙河街组	沙一段	第二层序	VII	T ₄	上超
		沙二段		VI	T ₅	局部不整合
		沙三上亚段		V	T ₆₋₁	不整合
		沙三中亚段		IV	T ₆₋₂	不整合
		沙三下亚段		III	T ₆	不整合
		沙四段	第一层序	II	T ₇	角度不整合
	孔店组	孔店段		I	T ₈	不整合

2.2 层序界面的识别标志

层序是以不整合和与之相对应的整合面为界的一套有成因联系的地层序列。层序界面的形成代表了某一时间段在一定地区的沉积间断,其上下沉积层序在地震、岩相及测井曲线上都会产生相应的响应,为识别层序边界的良好标志^[2 11 12]。

1. 地震剖面标志

层序界面在地震剖面上的反射终止类型多表现

为上超、顶超和削截,可以通过对这些反射特征的识别来决定层序界面。对于反射终端结构不明显部位,则可根据地震相特征差异及层位解释的闭合情况来识别层序界面,如第 IV 层序底界面上部为弱振低连杂乱反射结构,界面下为中强振低连楔形反射结构(图 2)。

2 岩相标志

岩性的变化是比较容易识别的,它反映了连续的沉积发生变化或者重大环境条件的变化。重大环境变化常与大的构造变换相伴生,引起岩性突变,因而这样的岩性突变面往往就是层序界面。如马 96 井,层序 VI 与层序 VII 的界面之下广泛发育紫红色泥岩沉积,与细砂岩交互分布,属于河流相或辫状河三角洲平原相沉积环境,而界面之上广泛发育灰色泥岩段,与细砂岩互层,反映的是滨浅湖相及辫状河三角洲前缘相沉积环境(图 3)。

3 测井相标志

层序界面在测井曲线上往往也有明显的反映,除自然电位曲线和视电阻率的绝对值有差异外,其测井曲线的形态特征也有明显的变化。如马 19 井,层序界面之下一般呈漏斗型组合,而界面之上则以钟型组合为特征,其曲线幅度多呈突变关系(图 3)。

4 准层序组类型

在层序边界的交接部位,准层序组的叠加样式往往不同。在层序边界上部,一般为加积或退积式准层序组,而在层序边界下部,一般为进积式准层序组(图 3)。

5 体系域的划分

在陆相断陷湖盆中,体系域为同期沉积体系的组合,是构成层序的基本单位。根据不同的层序类型及每个层序中湖平面变化的相对位置,可将其划

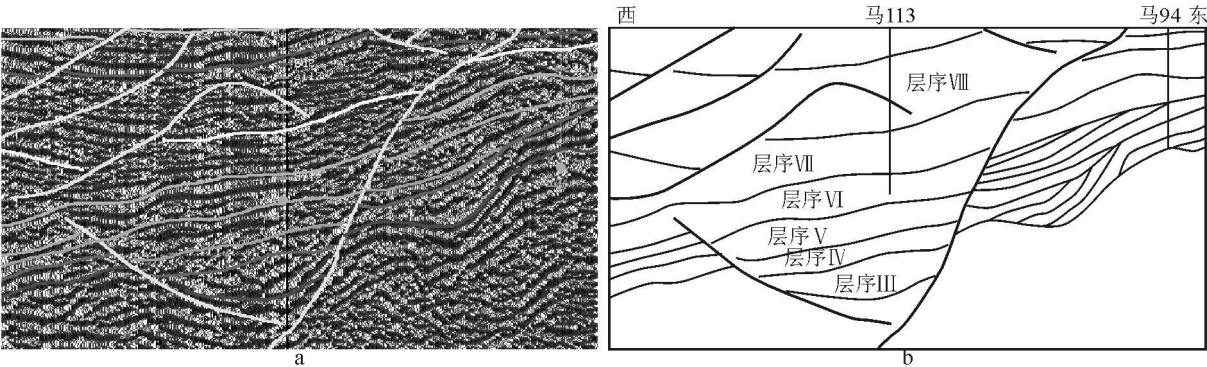


图 2 马西地区马 113 井-马 94 井(投影井)地震剖面及地质解释

a:地震剖面; b:地震剖面解释结果

Fig 2 Seismic profile (a) and geological interpretation (b) of the Ma113—Ma94 wells in the Maxi region

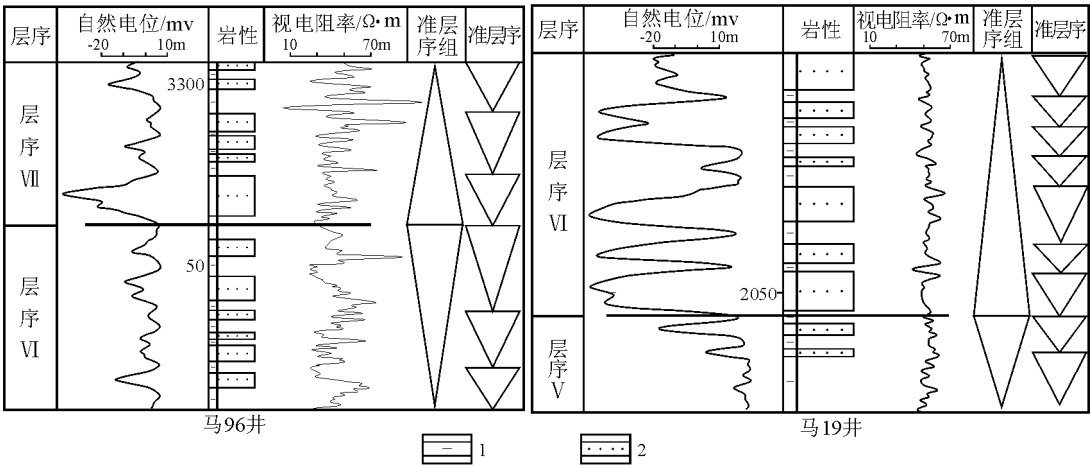


图 3 马西地区层序界面岩性及测井特征

1 泥岩; 2 细砂岩

Fig 3 Lithology and well logs around the sequence boundaries in the Maxi region

1= mudstone 2= fine-grained sandstone

分为不同的类型。对于饶阳凹陷马西地区, 研究认为层序 I、II、III、IV、V、VI 和 VII 为湖泊层序, 每个层序可划分为低位体系域、湖侵体系域和高位体系域 (图 4); 层序 VIII、IX、X 为河流层序, 在每个层序中可划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域。

3 层序地层格架与油气聚集规律

一个三级层序的低位体系域、湖侵体系域和高位体系域发育在层序形成的不同阶段, 所包含的沉积体系是盆地构造运动、气候变化和沉积物供给速率等因素综合作用的结果^[11]。因此, 不同类型体系域的发育特征对于油气成藏有着不同意义。

3.1 湖侵体系域

油气源是形成油气藏的重要前提和基础, 无论

对构造油气藏还是对隐蔽油气藏都是至关重要的^[9]。根据层序地层学的基本原理^[2 11 13], 湖侵时期, 由于湖泊范围大, 水体深, 深湖-半深湖相发育, 形成的泥岩、油页岩和钙质页岩是良好的烃源岩, 有机质丰度高, 为油气聚集提供了丰厚的物质基础。马西洼槽主要发育层序 IV 和层序 VI 两套主力烃源岩, 在断陷期主要是层序 IV 段烃源岩, 发育于湖泊大规模扩张时期, 主要分布在马西大断层的下降盘, 沉积中心烃源岩累积厚度为 600~1000m, 并向西部任丘斜坡超覆、尖灭。沙三晚期以后, 本区经历了多次挤压抬升作用, 加之马西断层附近抬升强烈, 最终使部分烃类向陡缓两侧运移。层序 VII 段烃源岩形成于该地区第二次大规模湖侵时期, 所生油气是东营组河流环境储集层的主要油气来源。因此, 本区具有

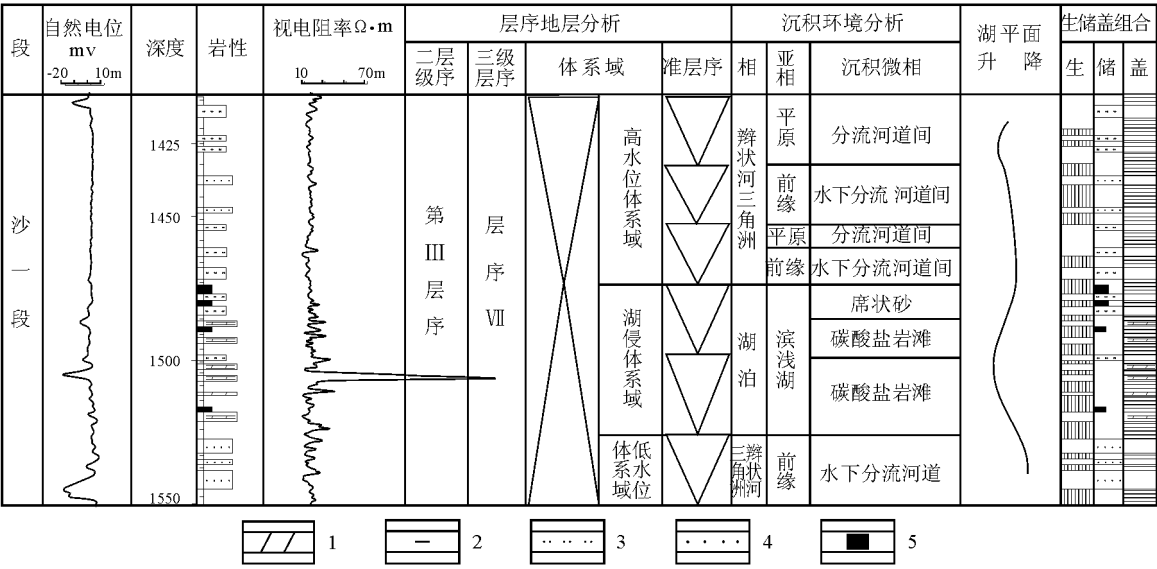


图 4 西 20井层序 VII综合分析

1. 白云岩; 2 泥岩; 3 粉砂岩; 4 细砂岩; 5. 油浸

Fig 4 Interpretation of Sequence VII through the Xi20 well

1= dolomite; 2= mudstone; 3= siltstone; 4= fine-grained sandstone; 5= oil immersion

充足的油气源条件,这已被钻探结果所证实。

3.2 低位体系域和高位体系域

低位体系域及高位体系域发育的各类砂体为油气聚集提供了良好的储层,在良好的圈闭和有利的生储盖条件下易于形成油气藏。在马西地区,层序 VI 的三角洲前缘砂体和层序 III、IV、V 的辫状河三角洲、扇三角洲以及水下扇砂体为油气藏的形成提供了良好的储层。而发育众多的北东向次级断层和近东西向小断层,其断距大小不一,形态多变,可形成良好的岩性 构造圈闭和岩性圈闭。同时,马西地区盖层条件与生储盖组合匹配条件也非常好。在纵向上,层序 VII 上部和层序 VIII 属同一套河流环境下的红色泥岩沉积,层序 VII 下部发育有厚 50~150m 的油页岩,它们均属马西洼槽的区域性盖层,具有良好的封盖能力,洼槽东西两侧南马庄及任丘油气聚集带的形成与这套区域性盖层的存在着密切的关系。而层序 VII 下部的油页岩,既是马西洼槽主力生油层,也是良好的盖层,与其下部砂岩形成一套良好的生储盖组合。此外,在洼槽中西部,层序 VI 上部发育厚 50~150m 的红色泥岩段,它与层序 VI 下部储集层也可以形成良好的储盖组合,而层序 IV 又发育了优质烃源岩,提供了有效的油气来源。储集层内部的泥岩夹层,也具有一定的封盖能力,尤其对断块层状油气藏的封盖作用比较明显。

3.3 层序界面

断陷盆地不整合面和沉积间断的存在,有利于

形成沿不整合面上下分布的地层圈闭,如果这些圈闭与生油岩之间通过不整合面或断层等油气运移通道进行有效沟通,就可以形成地层超覆油气藏或不整合遮挡油气藏^[13,14]。马西地区的勘探实践表明,已经发现的油气藏主要赋存在层序界面附近,马西断层及一系列补偿断层的存在为油气运移提供了有效的通道,尤其在层序 I 与 II、层序 IV 与 V、层序 VI 与 VII 的界面附近,油气更为富集^[9]。

4 隐蔽油气藏勘探

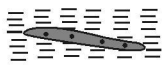
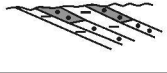
按照隐蔽圈闭特征和成因,马西地区的隐蔽油气藏可分为岩性油气藏、地层油气藏和复合油气藏三大类(表 2)。

4.1 成藏模式

马西地区隐蔽油气藏的形成受构造活动影响很大,断层的活动使得洼槽东西两侧发育同沉积断裂构造坡折带,主要有两种类型:陡坡平行状坡折带和缓坡平行状坡折带^[15]。前者形成于马西洼槽陡坡带,马西断层及一系列小平行断层在剖面上呈断阶状,构成阶梯地貌单元,在上台阶主要发育粗砂岩及砾岩,下台阶发育含砾砂岩和砂岩,储层物性好。后者形成于马西洼槽缓坡带,与陡坡平行状坡折带特征基本相同,只是发育在缓坡地区,砂体总体厚度较陡坡区薄,粒度较陡坡区细。

同沉积断裂构造坡折带的存在影响了层序 III 至

表 2 马西地区隐蔽油气藏类型
Table 2 Classification of subtle hydrocarbon accumulations in the MaXi region

隐蔽油气藏类型		剖面模式图	特 点	分 布 规 律	有利井区
岩性油气藏	上倾尖灭		砂岩上倾方向变为泥岩, 岩性尖灭线与构造等高线相交, 层状油气藏为主	纵向上, 各层序均有发育, 平面上主要分布于斜坡带	马78井区 (层序VI)
	透镜体		砂岩透镜体四周为泥岩, 自成独立的油气水系统	纵向上主要分布在各层序的湖侵体系域, 平面上主要在深洼带及斜坡上的扇三角洲前缘相迤	马96井区 (层序III)
地层油气藏	地层超覆		上超砂岩与不整合覆盖在不同时代老地层上, 不整合线与构造线相交	纵向上, 各层序均有发育, 平面上主要分布在洼槽边缘	马78井区 (层序III)
	不整合遮挡		同一朝代新地层覆盖在不同时代老地层上, 不整合线与构造线相交	纵向上, 各层序均有不同程度发育, 平面上主要分布在洼槽边缘	马78井区 (层序VI)
复合油气藏	断层+岩性		断层遮挡与岩性封闭相配套, 岩性尖灭线与构造等高线相交, 层状油气藏为主	主要分布在洼槽边缘坡折带上	西40井区 (层序III)
	断层+地层		受构造、地层两因素控制, 层状油气藏为主	主要分布在洼槽边缘坡折带上	西47井区 (层序IV)

层序 V 的砂体特征与沉积演化。层序 III 沉积时期, 断层构造活动最强烈, 马西洼槽下沉, 可容空间急剧加大, 水体加深, 湖域扩大。洼槽东侧地层强烈隆升, 遭受剥蚀, 成为马西地区主要沉积物源; 西部任丘潜山构造活动较弱, 提供物源较少。在低位域及高位域陡坡带发育扇三角洲沉积, 缓坡带发育辫状河三角洲沉积及滩坝沉积, 湖侵域陡坡带发育扇三角洲及水下扇沉积, 缓坡发育扇三角洲沉积。层序 IV 沉积时期, 构造活动开始减弱, 在低位域及湖侵域早期, 缓坡带以辫状河三角洲砂体为主, 次为滩坝砂体, 陡坡带以扇三角洲沉积为主; 而在湖侵域发育晚期及高位域早期, 马西地区湖泊范围达到最大, 水体达到最深, 沉积了一套以油页岩为主的特殊岩性段; 高位域沉积晚期, 陡坡带以扇三角洲沉积为主, 缓坡带以辫状河三角洲砂体为主, 次为滩坝砂体。层序 V 沉积时期, 构造活动逐渐减弱, 任丘潜山逐渐消失, 东部陡坡带为马西洼槽提供沉积物源, 碎屑物质快速向湖盆伸展, 砂体规模大, 但厚度不大, 砂体成因相对单一, 以辫状河三角洲平原前缘亚相砂体为主。

下面以层序 IV 各体系域隐蔽油气藏的发育特征来探讨隐蔽油气藏的成藏模式。该层序在构造坡折的控制下发育了较厚的低位体系域砂体; 在湖侵体系域以及高位体系域早期发育优质烃源岩, 既是低位域砂体的盖层, 也是直接的油源岩; 高位体系域也

发育了良好的储集砂体, 它们一起构成了良好的生储盖组合。同时, 构造坡折在活动期可以作为油气向上运移的输导系统, 成为坡折两侧的砂体与油源层沟通的通道; 在宁静期又可以作为油气藏的封堵断层, 极有利于油气成藏。因此, 该层序在低位体系域部位可以形成断层-地层复合油气藏和地层油气藏, 前者以扇三角洲砂体为储集层, 以坡折断层为封闭面, 后者以低位扇为储集体, 不整合面为遮挡面。湖侵体系域部位由于烃源岩发育, 油气就近运移在坡折带附近的砂体中, 形成丰富的油气藏类型, 如以扇三角洲前缘分流河道砂体为储集层, 以上超面为封闭面而形成的地层超覆型油气藏; 以扇三角洲前缘分流河道砂体为储集层, 以坡折断层为遮挡面形成的断层-地层复合油气藏; 以扇三角洲水下分流河道或河口坝砂体、前缘滑塌浊积砂体形成的砂岩透镜体油气藏等。高位体系域部位可形成以扇三角洲分流河道砂体为储层, 层序界面为封闭面的地层不整合油气藏, 以及由于岩相变化形成的上倾尖灭油气藏等(图 5)。

4.2 勘探方向

同沉积断裂构造坡折的发育控制了马西地区隐蔽油气藏的形成, 因此, 处于构造坡折之下的层序 III、IV、V 是下一步勘探的重点方向。在坡折带之下的洼槽位置, 广泛发育水下扇砂体及扇三角洲砂体(图 6), 其向东北方向快速变细, 具有岩性侧向封堵

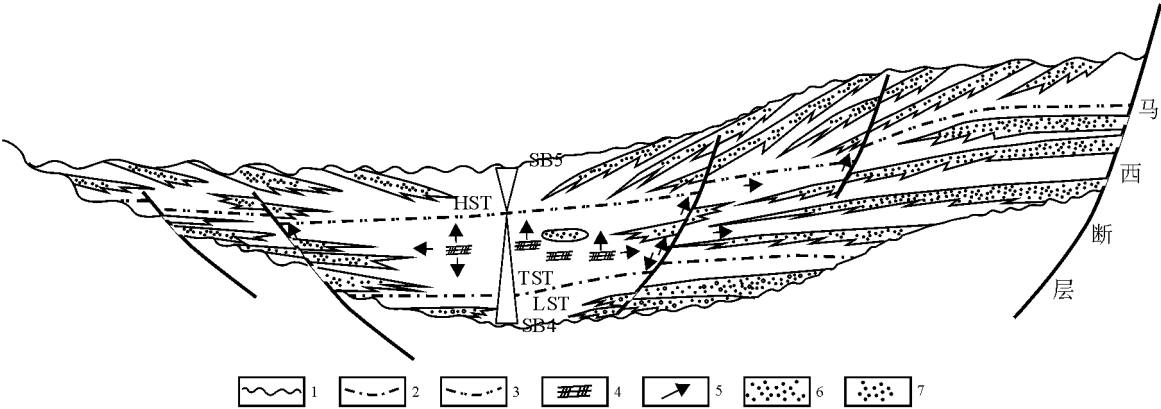


图 5 层序IV隐蔽油气藏发育模式图

1 层序边界; 2 初始湖泛面; 3 最大湖泛面; 4 优质烃源岩; 5 油气运移方向; 6 砂体; 7 油气藏

Fig 5 Model for the development of subtle hydrocarbon accumulations in Sequence IV in the Maxi region

1= sequence boundary; 2= initial flooding surface; 3= maximum flooding surface; 4= source rock; 5= migration direction of hydrocarbons; 6= sandstone; 7= hydrocarbon accumulation

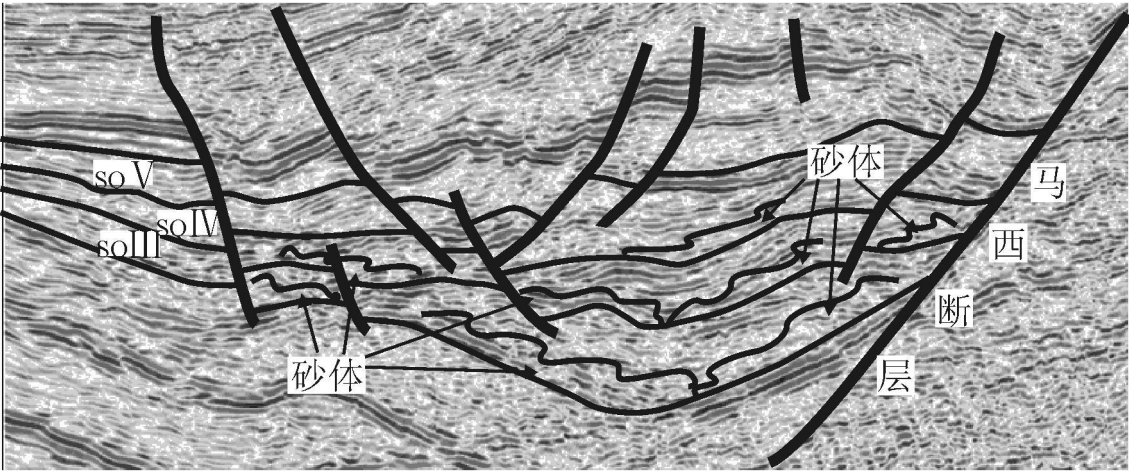


图 6 马西洼槽东西向地震层序解释剖面 (line 609)

Fig 6 Seismic profile through the E-W-oriented sequences in the Maxi region (line 609)

条件。同时,砂体中部具有较好的构造背景,可形成构造岩性油藏。目前,层序IV下部已见到良好的油气显示,并在西9井大段烃源岩层中发现轻质油层。因此,在沙三段坡折带控制之下的水下扇及扇三角洲发育区进行钻探有望获得突破。

5 结 论

通过对饶阳凹陷马西地区古近系系层序地层研究,可以得到以下认识:

(1)在综合分析地震、测井、岩相等资料基础上,可将马西地区古近系地层划分为三个二级层序,十个三级层序。层序I、II、III、IV、V、VI和VII为湖泊层序,每个层序可划分为低位体系域、湖侵体系域

和高位体系域;层序VIII、IX、X为河流层序,在每个河流层序中可划分为基准面上升体系域和基准面下降体系域。

(2)在层序地层格架中,湖侵体系域控制了油气的来源,低位和高位体系域控制了储层的发育,而层序界面上下易于形成油气藏。

(3)根据马西地区断裂发育的特点,认为该地区发育两种坡折带类型,即陡坡平行状同沉积断裂构造坡折带和缓坡平行状同沉积断裂构造坡折带,前者形成于马西洼槽陡坡带,后者形成于马西洼槽缓坡带。

(4)同沉积断裂坡折带的存在控制了砂体的展布和体系域的发育,进而控制了隐蔽油气藏的形成。

在低位域发育构造 地层复合油气藏, 湖侵域发育地层超覆型油气藏、构造 地层复合油气藏以及砂岩透镜体油气藏等, 高位域发育地层不整合油气藏以及由于岩相变化形成的上倾尖灭油气藏等。

(5)处于同沉积断裂坡折之下的Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ等层序, 发育优质储集砂体, 具备隐蔽油气藏成藏的有利条件, 可以作为下一步勘探的方向。

参考文献:

- [1] 顾家裕. 陆相湖盆层序地层学模式[J]. 石油勘探与开发, 1995 22(4): 12—17.
- [2] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷盆地层序地层学[J]. 北京: 石油工业出版社, 1996 1—74.
- [3] 魏魁生, 徐怀大, 叶淑芬, 等. 松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架[J]. 石油与天然气地质, 1997 18(1): 7—13.
- [4] 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. 构造坡折带—断陷湖盆层序和油气预测的重要概念[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000 25(3): 260—267.
- [5] 冯有良, 李思田, 解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式[J]. 地学前缘, 2000 7(3): 119—132.
- [6] 冯有良, 李思田. 东营凹陷沙三段层序低位域砂体沉积特征

- [J]. 地质论评, 2001 47(3): 278—286
- [7] 冯有良, 邱以刚. 高精度层序地层学在济阳拗陷古近系隐蔽油气藏勘探中的应用[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 49—52
- [8] 张文朝, 崔周旗, 韩春元, 等. 冀中拗陷老第三纪湖盆演化与油气[J]. 古地理学报, 2001 3(1): 45—49.
- [9] 邓述全, 洪月英, 彭平安, 等. 马西地区隐蔽圈闭预测[J]. 石油地球物理勘探, 2005 40(增刊): 117—120.
- [10] 洪月英, 杜远生, 邓述全, 等. 马西洼槽中南部区带综合评价[J]. 石油地球物理勘探, 2006 41(增刊): 86—92
- [11] 蔡希源, 李思田, 陈开元, 等. 陆相盆地高精度层序地层学: 隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践. 基础理论篇[M]. 北京: 地质出版社, 2003 45—87.
- [12] 操应长, 姜在兴. 陆相断陷湖盆层序地层单元的划分及界面识别标志[J]. 石油大学学报, 1996 20(4): 1—5
- [13] 冯友良, 李思田, 邹才能. 陆相断陷盆地层序地层学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006 165—168
- [14] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏形成条件与分布规律, 中国石油地质年会论文集(2004), 北京: 石油工业出版社, 2005 100—108
- [15] 冯友良, 徐秀生. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用—以渤海湾盆地古近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2006 33(1): 22—24

Palaeogene sequence stratigraphy and subtle hydrocarbon exploration in the Maxi region, Raoyang depression, Hebei

ZHANG Da-zhi², JI You-liang¹, GU Jia-yu¹, CHU Li-lan¹, JI Li-dan¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. Hangzhou Research Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Daqing Oil Field Company, Daqing 163712, Heilongjiang, China)

Abstract: The Palaeogene sequence stratigraphy in the Maxi region, Raoyang depression may be classified, on the basis of seismic data, well logs and sedimentary facies, into 3 second-order sequences and 10 third-order sequences. The third-order sequences VIII, IX and X are assigned to the fluvial sequences including the base level rising systems tract and base level falling systems tract. The third-order sequences I, II, III, IV, V, VI and VII represent the lacustrine sequences, each of which consists of lowstand systems tract, transgressive systems tract and highstand systems tract. The syndepositional structural breaks in the Maxi region have exercised a major control on the distribution of sandstones, development of source rocks, migration of hydrocarbons, and accumulation of subtle hydrocarbons in this region. The model for the accumulation of subtle hydrocarbons shows that Sequences III, IV and V below the structural breaks may be regarded as the targets for the further exploration of hydrocarbons.

Key words: Raoyang depression; Maxi region; Palaeogene; sequence stratigraphy; subtle hydrocarbons