

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

论层序地层学与含油气系统在油气勘探中的联系

——以鄂尔多斯中生代盆地为例

屈红军 李文厚 梅志超 陈全红

西北大学大陆动力学教育部重点实验室;西北大学地质系,西安,710069

内容提要 虽然层序地层学与含油气系统理论的各自研究对象和研究方法不同,但由于层序地层学研究对象(沉积岩)是含油气系统研究对象(油气)的载体,二者可以由含油气盆地分析有机的结合起来。层序地层分析包含了对含油气系统的地质要素及成藏作用载体的分析,因而沉积层序的组成单元与含油气系统的地质要素有必然的联系:在一个沉积盆地的数个沉积层序中,成熟烃源岩往往是地史中具一定埋深、分布广、厚度大、有机质含量高的凝缩层,这个凝缩层往往是一个构造超层序的最大海(湖)泛面;储集岩往往是成熟烃源岩之上层序的低水位体系域或紧邻成熟烃源岩的高水位体系域;有效盖层为储集岩之上层序的水进体系域及凝缩层;成熟烃源岩之上的沉积层序为上覆岩层;低水位体系域储集岩有可能沿上倾方向尖灭,被层序界面及其上层序的水进体系域岩性圈闭;除构造裂缝外,低水位体系域下切谷可作为油气向上运移通道;一个含油气系统往往跨越不同的沉积层序甚至构造超层序。

关键词 沉积层序 含油气系统 凝缩层 烃源岩 低水位体系域 储集岩

1 两种理论的要点

层序地层学与含油气系统理论是近年来发展形成的含油气盆地分析的新思路和新方法。层序地层学的研究对象是盆地内的沉积岩;含油气系统的研究对象是盆地内的油气。

1.1 层序地层学

层序地层学是在20世纪80年代后期发展而形成的一种划分、对比和分析沉积岩的新技术,它的基本指导思想是强调地层层序的形成受控于全球海平面升降、构造沉降、气候和沉积物供给等因素,并表现出不同的级别、规模和不同的时间间隔(王鸿桢等,1998)。它是在对沉积作用的控制因素进行综合分析的基础上,将沉积盆地内以不整合面或与之相对应的整合面为边界的具有成因联系的旋回岩性序列,划分为层序,层序按级别又分为大层序(盆地充填序列)、构造超层序、层序(岳文浙等,2000),建立等时年代地层格架,并在这个等时的年代地层格架中分析地层分布型式,将层序根据准层序组的叠置方式及界面特征(层序界面、初次海泛面、最大海泛面)划分为低水位体系域(或陆棚边缘体系域)、水进

体系域和高水位体系域(Posamentier et al., 1988),通过对体系域的空间配置及内部成因分析,预测沉积体系域的展布方向、范围、所含的沉积体系及其赋存位置,进一步预测沉积矿产的有利聚集带及油气的生储盖组合规律,因此,层序地层学是利用时间序列分析沉积体系的空间展布规律。

1.2 含油气系统

含油气系统是20世纪70年代提出、90年代初完善的一种油气地质综合研究方法(Perrodon, 1980; Demaison, 1984; Meissner, 1984; Ulmishek, 1986; Magoon et al., 1994)。含油气系统为一天然的油气地质单元系统,该系统既包括成熟烃源岩和与此相关的所有石油和天然气,同时又包括了油气聚集存在所必须的所有地质要素和成藏作用。地质要素主要包括了烃源岩、储集岩、封盖层和上覆岩层;成藏作用过程包括了圈闭的形成和油气的生成—运移—聚集(Magoon, 1987)。因此含油气系统分析就是在含油气盆地分析的基础上,研究一个盆地内油气聚集存在所必须的所有地质要素的时空配置和演化规律。含油气系统概念的内涵有三点:含油气系统是一个天然的油气地质系统单元;含油气系统

注:本文为陕西省教育厅专向科研基金(编号 03JK095)资助成果。

收稿日期:2002-10-22;改回日期:2003-07-20;责任编辑:周健。

作者简介:屈红军,男,1967年生。1988年毕业于西北大学地质系,1995年在西北大学获硕士学位,2003年在西北大学获博士学位。现为西北大学地质系讲师,主要从事沉积学与层序地层学研究。通讯地址:710069,西安市,西北大学地质系;Email: hongjun@nwu.edu.cn。

是一个仅次于沉积盆地的油气调查层次;含油气系统是一种油气地质综合研究方法(汪时成等,2000)。

2 鄂尔多斯盆地中生界层序划分

鄂尔多斯盆地是在华北克拉通盆地的基础上,由于印支运动的影响,于晚三叠世在华北克拉通盆地西部拗陷而形成的一个大型内陆盆地(赵重远等,1990)。盆地内中生界上三叠统延长组,下侏罗统富县组,中侏罗统延安组、直罗组和安定组,下白垩统志丹群构成了一个完整的盆地充填序列,即大层序。根据界面特征,将该大层序划分为3个构造超层序。

2.1 构造超层序划分

根据对控制层序的主控因素的分析,鄂尔多斯盆地自晚三叠世形成以来经历了三次明显的抬升事件(或明显的沉积间断)和三大沉降阶段的演化,所以将盆地中生界大层序划分为三个构造超层序(图1)。

超层序 I (SS I):上三叠统延长组,下界面为湖盆初始下沉面,上界面为构造运动不整合面,其最大湖泛面(凝缩层)为长₇中部的张家滩页岩。

超层序 II (SS II):下侏罗统富县组,中侏罗统延安组、直罗组和安定组,下界面反映一次明显的抬升剥蚀事件,上界面为一明显的沉积间断。

超层序 III (SS III):下白垩统志丹群,下界面为一明显的沉积间断,上界面反映一次明显的抬升剥蚀事件。

由于超层序 I (延长组)是鄂尔多斯盆地一套主要含油岩系,所以本文作为重点解剖。

2.2 超层序 I (上三叠统延长组)层序划分

延长组的研究程度比较高,朱国华等(1987)、梅志超等(1988)根据岩性、电性及含油性将其从上向下划分为10个油层组(从上向下依次为长₁—长₁₀)。根据构造沉降、湖平面升降及物源供应分析,结合层序界面特征,在延长组内可以划分出4个层序,自下而上分别为:

层序 1 (SS I₁):长₁₀—长₉,为湖盆初始扩张时期沉积。长₁₀的河流—三角洲—扇三角洲相为主的沉积为其低水位体系域;长₉浅湖相沉积为主的李家畔页岩为其最大湖泛沉积即凝缩层。

层序 2 (SS I₂):长₈—长₇,为湖盆扩张到鼎盛时期沉积。长₈的河流—三角洲—扇三角洲相为主的沉积为其低水位体系域;长₇深—浅湖相沉积为主的张家滩页岩为其最大湖泛沉积即凝缩层。

层序 3 (SS I₃):长₆—长₄₊₅,为湖盆萎缩(缩小)时期沉积,也是三角洲的大发展期(梅志超等,1988)。长₆的三角洲相为主的沉积为其低水位体系

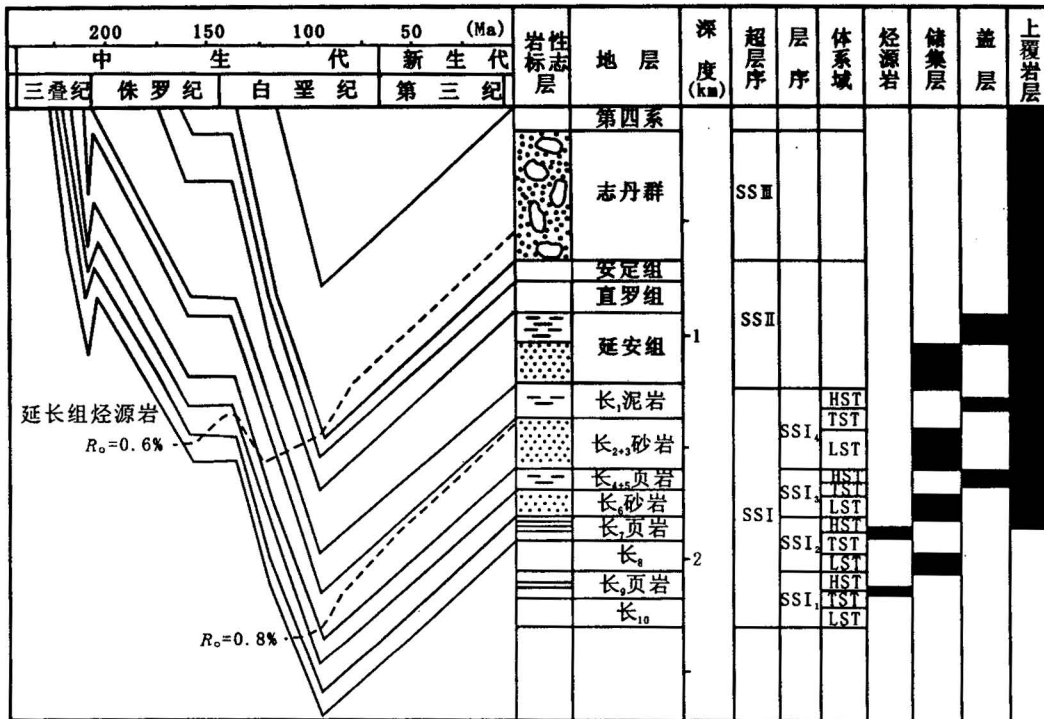


图1 鄂尔多斯中生界盆地含油气系统埋藏史及沉积层序图

Fig. 1 The burial history map of the petroleum system and the sequence stratigraphy of the Mesozoic in the Ordos basin

域;长₄₊₅的滨浅湖相沉积为主的细碎屑岩(细脖子段)为其最大湖泛面。

层序4(SS I₄):长₃₊₂—长₁,为湖盆萎缩消亡时期沉积。长₃、长₂的河流或三角洲平原相为主的沉积为其低水位体系域;长₁底广泛分布的泛滥平原相的泥岩相当于其最大湖泛面。

3 鄂尔多斯盆地中生界含油气系统

3.1 含油气系统基本地质要素

3.1.1 有效烃源岩

超层序 I 最大湖泛期凝缩层——延长组长₇期发育的“张家滩黑页岩”以黑色页岩、油页岩为主,厚度稳定并有规律变化,分布面积约 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$ (胡文瑞, 2000), 构成了盆地内良好的主要生油岩。该页岩在盆地中心厚度大于 100m (环县—华池一带), 在盆地的东北部(延安以北)厚 10 m 左右。

延长组有机碳含量等值线图显示了有机碳含量总体由东北向西南方向增高的趋势, 与深湖相“张家滩页岩”的厚度向西南方向增厚趋势一致, 表明区内有机碳的变化主要受张家滩页岩控制。长₇有机质丰度高(3%~5%), 氯仿沥青“A”平均 0.5% 左右; 总烃含量在 42%~73% 之间, 平均 51% 左右; 生烃母质类型较好, 以 II 型干酪根为主, 生油潜力大。油源岩的正烷烃分布曲线及异戊二烯型烃类相对含量对比的资料指示, 长₂、长₆ 及下侏罗统延安组原油来自同一油源岩, 即与其最为接近的烃源岩张家滩页岩。

3.1.2 储集岩层

鄂尔多斯盆地中生界油气主要储集层为: 层序 SS I₃ 的低水位体系域长₆、层序 SS I₂ 的低水位体系域长₈、层序 SS I₄ 低水位体系域长₂₊₃ 油层组, 超层序 SS II 的低水位体系域中侏罗统延安组的延₁₀、延₉ 油层组。

鄂尔多斯盆地中生界的储集层受到沉积相的控制。晚三叠世鄂尔多斯盆地的主要特征是北高南低、东高西低, 长₇ 沉积期, 鄂尔多斯盆地达到最大湖进演化阶段, 此时形成了志丹—甘泉一线以南的深水盆地及北部浅水台地的古地理格局。随着河流向湖泊的不断推进, 到长₈ 期进入了三角洲建设的高峰期, 在北部台地区开始形成一系列南北向或北东向南或南西伸展的以带状河道砂体为骨架的三角洲体系, 该期发育的三角洲前缘水下分流河道砂体与河口沙坝砂体的多次叠覆, 为该区提供了重要的储集层(朱国华等, 1987); 长₂ 油层组则以河道及三角洲

平原相分流河道为主要的储集层; 在盆地西部及盆地近中心地区长₈ 期发育扇三角洲前缘及湖底扇砂体储层。

晚三叠世后盆地一度抬升遭受剥蚀, 古地貌格局发生变化, 在上三叠统侵蚀面上形成下侏罗统下部的下切河谷河流体系, 接受了各类河道砂体沉积, 成为延长油区下侏罗统的储集层。侏罗系的延₁₀、延₉ 油层组受大型辫状河谷的次级支流河道填充沉积所控制。

3.1.3 盖层

层序 SS I₃ 及层序 SS I₄ 水进体系域及最大湖泛沉积, 即长₄₊₅ 及长₁ 以较细粉砂岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩、泥岩为主两套地层, 它们成为储集层的两套有效盖层。超层序 SS II 水进体系域及最大湖泛沉积的下侏罗统延安组河道间泛滥盆地相泥质沉积及煤层往往形成较大厚度的连续沉积, 在区域一定范围内联成一片也构成区内油气聚集的良好盖层。

3.1.4 上覆岩层

含油气系统的上覆岩层包括了有效烃源岩之上的所有地层, 即超层序 I 最大湖泛期凝缩层张家滩黑页岩之上的所有层序, 包括超层序 I 的层序 3~4、超层序 II、超层序 III。97 Ma 时张家滩黑页岩的上覆岩层厚度达到最大值(张成立, 1999)。

3.2 含油气系统的确定

3.2.1 含油气系统的命名

地质要素分析表明, 长₇ 张家滩页岩为盆地内有效主力生油岩, 长₆ 油层组则构成该区的主要储集岩层。地球化学油—源对比结果揭示, 主要储集层现今所赋存的石油均来自于长₇ 张家滩油源岩。

因此, 鄂尔多斯盆地中生界含油气系统可命名为长₇—长₆(I) 含油气系统。

3.2.2 烃类形成时间及排烃

埋藏史分析表明, 在超层序 I、II、III 沉积完成后, 大约 100Ma 时, 埋深达到最大值后, 长₇ 张家滩油源岩进入生油高峰(图 1), 此时盆地内生油量及生油速率也分别达到最大值。生成的大量油气会导致压力增高, 油气便被排出, 并由具较高压力的生油层向压力较低的储集层运移。在 100Ma 左右时伴随着大量的生油, 导致全区出现短暂的超压, 排烃也进入高峰期。

3.2.3 圈闭

延长组及延安组储集岩主要是地层和岩性圈闭。低水位体系域的长₆ 三角洲前缘水下分流河道与河口沙坝砂体、长₈ 扇三角洲前缘及湖底扇砂体,

常沿上倾方向尖灭,被两侧分流间湾相的细碎屑泥质粉砂岩、泥岩层及其上的盖层水进体系域及最大湖泛沉积的长₄₊₅细碎屑岩圈闭;低水位体系域的长₂河道或分流河道砂体被两侧河道间相的细碎屑泥质粉砂岩、泥岩层及其上的水进体系域及最大湖泛沉积的盖层长₁细碎屑岩圈闭;侏罗系延安组河道间泛滥盆地相泥质沉积和煤层往往形成较大厚度的连续沉积和广大的分布面积,在区域上联成一片可有效地阻止油气向上及两侧运移,形成延安组砂岩储集层的良好圈闭。

3.2.4 油气的运移和聚集

鄂尔多斯盆地中生界油气的运移主要受浮力影响,以垂向为主,横向运移距离小,油气的聚集区域应在接近生油强度中心的地域,低水位体系域高渗未圈闭砂体(如下切谷河道砂体)可作为油气向上运移通道(图2)。特别值得一提的是,侏罗系的延₁₀、延₉油层组大型辫状河谷的一、二级古河道很少有油气聚集,反而是其次级的三、四级支流河道有油气聚集,这说明作为低水位体系域下切谷的甘一陕、宁一陕一、二级古河道仅作为油气运移的通道。由于盖层沉积在100Ma时即可对油气有效地圈闭,所以油气大量的聚集在100Ma左右时出现,同时由于圈闭大多为岩性地层圈闭,因而100Ma时进入储集层的油气就已被捕获聚集。

3.2.5 油气保存条件

由于盆地内大多数油藏为岩性圈闭油气藏,在100Ma左右形成圈闭后,并未发生构造运动引起的强烈形变,虽然发生了盆地的隆升,但由于其以岩性圈闭为主,储集层的非均质性强,早期形成的圈闭未

被破坏,圈闭内的油气也未散失。因此储集层圈闭的油气自100Ma以来至今一直被很好保存。

4 两种理论在油气勘探中的联系

虽然层序地层学与含油气系统理论各自的研究对象和研究方法不同,但由于层序地层学的研究对象(沉积岩)是含油气系统的研究对象(油气)的载体,二者可以由含油气盆地分析有机的结合起来。层序地层分析包含了对含油气系统的地质要素及成藏作用载体的分析,因而沉积层序的组成单元与含油气系统的地质要素有必然的联系:

(1)成熟烃源岩往往是一个沉积盆地数个沉积层序中具一定埋深、分布广、厚度大、有机质含量高的凝缩层,这个凝缩层往往是一个构造超层序的最大海(湖)泛面,这是由凝缩层的沉积环境所决定的(Loutit et al., 1988)。

(2)储集岩往往是成熟烃源岩之上层序的低水位体系域或紧邻成熟烃源岩的高水位体系域。

(3)有效盖层往往是储集岩之上层序的水进体系域及凝缩层。

(4)成熟烃源岩之上的沉积层序为上覆岩层。

(5)低水位体系域储集岩有可能沿上倾方向尖灭,被层序界面及其上层序的水进体系域岩性圈闭。

(6)除构造裂缝外,低水位体系域下切谷可作为油气向上运移通道(图2)。

(7)超层序SS II下部的延安组底部下切谷砂体可以切穿超层序SS I的上部,这样超层序SS I延长组的油气可以沿延安组底部下切谷砂体运移到超层序SS II下部。因此,一个含油气系统往往跨越不

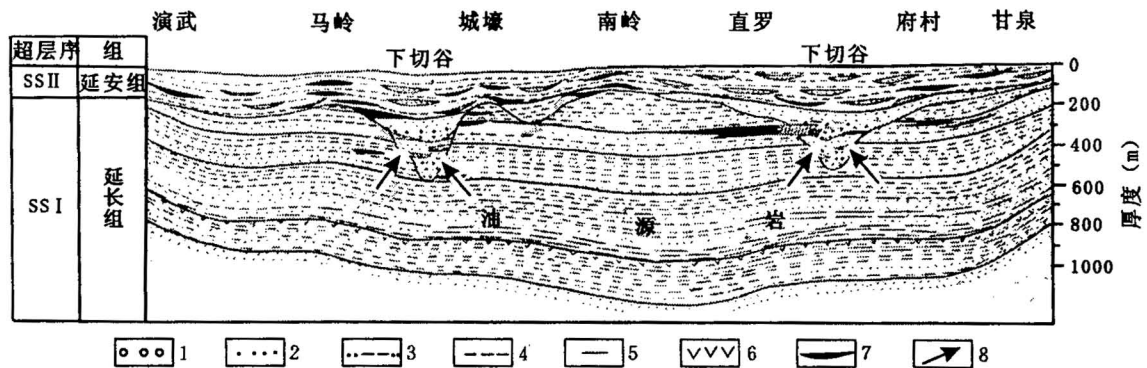


图2 下切谷作为油气运移通道及一个含油气系统跨越两个超层序示意图(据黄第藩等,1981,修改)

Fig.2 Sketch map showing incised vallies are taken as oil migration passages and one petroleum system strides across two super-sequences (revised after Huang Difan et al., 1981)

1—砾岩;2—砂岩;3—粉砂质泥岩;4—泥岩;5—页岩;6—凝灰岩;7—油气层;8—油气运移方向

1—Conglomerat; 2—sandstone; 3—silty mudstone; 4—mudstone; 5—shale; 6—tuff; 7—oil-gas layer; 8—migrating direction of oil-gas

同的沉积层序甚至构造超层序(图2)。

5 鄂尔多斯中生代盆地油气勘探建议

(1)对于侏罗系延安组,由于距离油源岩较远,油气在储层中的充满程度不是很高,其油气藏在明显的油水分离界面,储层的物性不是首要考虑因素,良好圈闭是首要考虑因素。延安组低部低水位体系域下切谷的一、二级古河谷砂体往往不具备良好隔挡及圈闭条件,仅作为油气的运移通道,三、四级及三、四级以上的支流河道砂体往往具有良好隔挡及圈闭条件。因此,由差异压实作用引起的鼻状隆起上发育的三、四级及三、四级以上的支流河道砂体是侏罗系油气的勘探指向。

(2)对于三叠系延长组,由于为自生自储油气藏,距离油源岩较近,其储层处于优先获取油气的位置,低水位体系域的长₃三角洲前缘水下分流河道与河口沙坝砂体储层、长₂扇三角洲前缘及湖底扇砂体储层、长₂河道或分流河道砂体储层的隔挡和圈闭一般不在问题,因而储层的物性是首要考虑因素。因此,长₃三角洲前缘水下分流河道与河口沙坝砂体、长₂扇三角洲前缘及湖底扇砂体、长₂河道或分流河道砂体高效储层的展布方向为三叠系延长组油气的勘探指向。

参 考 文 献

- 黄第藩,王则民,石国世. 1981. 陕甘宁地区印支期古地貌特征及其石油地质意义. 石油学报, 2(2):1~10.
- 胡文瑞. 2000. 鄂尔多斯盆地油气勘探开发理论与技术. 北京:石油工业出版社, 34~40.
- 梅志超,彭荣华,杨华,刘国江,曾少华. 1988. 陕北上三叠统延长组含油砂体的沉积环境. 石油与天然气地质, 9(3): 261~267.
- 王鸿楨,史晓颖. 1998. 沉积层序及海平面旋回的分类级别—旋回周期的成因讨论. 现代地质, 12(1): 1~16.
- 汪时成,周庆凡. 2000. 含油气系统概念的由来及内涵. 石油与天然气地质, 21(3):279~282.
- 岳文浙,丁保良,魏乃颐. 2000. 陆盆层序地层研究的思路. 地质论评, 46(4): 347~354.
- 张成立. 1999. 延长油区盆地构造模拟及含油气系统分析. 西安:西北大学博士学位论文, 40~46.
- 赵重远,刘池洋. 1990. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存. 西安:西北大学出版社, 93~100.
- 朱国华,王文炯. 1987. 论陕北安塞延长组三角洲的油气富集条件. 石油与天然气地质, 8(4):440~447.

References

- Demaison G. 1984. The generative basin concept. In: Demaison G, Murriss R J, ed. Petroleum geochemistry and basin evaluation. AAPG Memoir, 35: 1~14.
- Huang Difan, Wang Zemin, Shi Guoshi. 1981. Paleogeomorphologic features of Shan—Gan—Ning district during the Indo—Sinian stage and its significance to petroleum geology. Acta Petroleum Sinica, 2(2):1~10 (in Chinese with English abstract).
- Hu Wenrui. 2000. Theories and techniques of oil & gas exploration in Ordos basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 34~40 (in Chinese).
- Loutit T S, Hardenbol J, Vail P R, Baum G R. 1988. Condensed sections: the key to age determination and correlation of continental margin sequences. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al., ed. Sea level changes: an intergrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral Spec. Publ., 42:183~213.
- Magoon L B. 1987. The petroleum system—a classification scheme for research, resource assessment, and exploration (abs). AAPG Bull., 71(5):587.
- Magoon L B, Dow W G. 1994. The petroleum system. In: Magoon L B, Dow W G, ed. The petroleum system—from source to trap. AAPG Memoir, 60:3~22.
- Meissner F F. 1984. Petroleum geology of the Bakken Formation, Williston basin, North Dakota and Montana. In: Demaison G, Murriss R J, ed. Petroleum geochemistry and basin evaluation. AAPG Memoir, 35:159~179.
- Mei Zhichao, Peng Ronghua, Yang Hua, Liu Guojiang, Zeng Shaohua. 1988. Sedimentary environment of the oil-bearing sand bodies in the Upper Triassic Yanchang Formation of Northern Shaanxi. Oil & Gas Geology, 9(3): 261~267 (in Chinese with English abstract).
- Perrodon A. 1980. Geodynamique petroliere. Ceneze et repartition desgisements d' hydrocarbures. Paris, Masson-Elf Aquitaine, 381.
- Posamentier H W, Vail P R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition II — Seqence and system stract models. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al., ed. Sea level changes: an intergrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral Spec. Publ., 42:109~124.
- Ulmishek G. 1986. Stratigraphic aspects of petroleum resource assessment. In: Rice D D, ed. Oil and gas assessment-methods and applications. AAPG Studies in Geology, 21:59~68.
- Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. 1998. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles—a discussion on the mechanism of sedimentary cycles. Geoscience, 12(1): 1~16 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shicheng, Zhou Qingfan. 2000. Origin and intension of concept in petroleum system. Oil & Gas Geology, 21(3):279~282 (in Chinese with English abstract).
- Yue Wenzhe, Ding Baoliang, Wei Naiyi. 2000. Thoughts on the study of continental sequence stratigraphy. Geological Review, 46(4): 347~354 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli. 1999. Basin structure modeling and analysis of oil system in Yanchang area. Xi'an: Northwest University Ph. D Dissertation, 40~46 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhongyuan, Liu Chiyang. 1990. The formation and evolution of the sedimentary basins and their hydrocarbon occurrence in the North China craton. Xi'an: Northwest University Press, 93~100 (in Chinese).
- Zhu Guohua, Wang Wenjiong. 1987. A dicussion on delta hydrocarbon accumulation of Yanchang Formation in Ansai, North Shaanxi. Oil & Gas Geology, 8(4):440~447 (in Chinese with English abstract).

Relationship between Sequence Stratigraphy and Petroleum System in Oil and Gas Exploration: An Example in the Mesozoic Ordos Basin

QU Hongjun, LI Wenhou, MEI Zhichao, CHEN Quanhong

*Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education; Department of Geology,
Northwest University, Xi'an, 710069*

Abstract

Despite the differences in research targets and methods between sequence stratigraphy and petroleum system, the two theories are closely related in the analysis of oil- and gas-bearing basin. Because sedimentary rocks, the research object of sequence stratigraphy, is the container of oil and gas, and the research object of petroleum system, the analyses of sequence stratigraphy, includes analyses of necessary geological elements and pool-forming activities of the petroleum system, there is a close relationship between systems tracts, composition of sequence and necessary geological elements and pool-forming activities of petroleum system. Effective hydrocarbon source rocks are usually a condensed section of a sequence with a certain thickness and wide distribution, and overlaid strata of certain thickness in the geological history, and the condensed section is usually the maximum flooding surface of a tectonic supersequence. The main reservoir rocks are always located in the lows-standing systems tract of a sequence above the effective hydrocarbon source rocks or in the high-standing systems tract immediately above the effective hydrocarbon source rock. The blanket is usually the transgressive-standing systems tract and the condensed section of a sequence above the reservoir rock. The reservoir rocks of the lows-standing systems tract are usually terminated upslope, and therefore, lithologically trapped. Beside the fractures in strata, the incised valley sandbody of the low-standing systems tract of a sequence can be the migration passageways. It is usually that a petroleum system exists inter-sequencely, and sometimes even inter-supersequencely.

Key words: sequence stratigraphy; petroleum system; effective hydrocarbon source rock; condensed section; reservoir rock; the low-standing systems tract