

松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架*

魏魁生 徐怀大 叶淑芬

(中国地质大学, 北京 100083)

郭占谦 徐 宏 任延广 王玉华

(大庆石油管理局勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712)

根据层序地层学的基本原理,提出以“风暴浪基面”或高水位期三角洲体系的“下超坡折”为陆架坡折的参照物,总结了松辽盆地白垩系层序边界的地震、测井及岩石学标志,划分出了时间跨度约为 11.29 Ma 的 7 个二级超层序和时间跨度约为 1.28 Ma 的 47 个三级层序,建立了高分辨率的地层格架。对比基准面升降曲线与海平面升降曲线,二者二级旋回变化趋势相似,唯前者的三级旋回频率高于后者,这是局部构造运动及复杂的气候因素所致。

关键词 非海相沉积 风暴浪基面 高分辨率层序 层序边界 层序地层格架 陆架坡折

第一作者简介 魏魁生 男 39岁 副教授 层序/地震地层学 沉积学

松辽盆地南北长约 820 km, 东西宽约 350 km, 总面积逾 287 000 km², 呈 NNE 向展布^[1]。

白垩系是松辽盆地内主要的沉积岩系, 厚逾 5 000 m, 分布广泛, 包括 8 个含油层、5 套(浅部、上部、中部、下部和深部)含油层系^[2]。本文研究的层段主要为中、下部含油组合, 包括萨尔图、葡萄花、高台子油层及扶余与扬大城子含油层的部分地层, 研究的范围主要为松辽盆地北部^[3], 并以大庆长垣以西的西部斜坡带为重点(图 1)。

1 层序地层学应用的依据

层序地层学自从问世以来^[4,5,6], 始终存在着能否在非海相沉积盆地中应用的难点。近年通过对地震、测井和岩芯资料的观察、解译和综合分析发现: (1) 松辽盆地在青山口组与嫩江组发现了钙质超微化石。结合镜下观察的海绿石、前人发现的沟鞭藻及

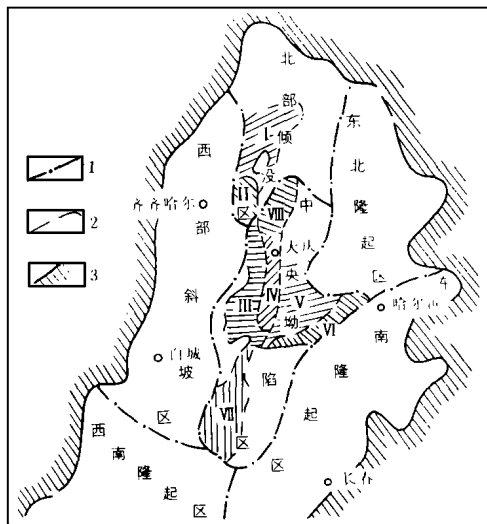


图 1 松辽盆地构造分区图

1—一级构造分区线; 2—二级构造分区线; 3—盆地边界线; I—依安凹陷; II—乌裕尔凹陷; III—齐家-古龙凹陷; IV—大庆长垣; V—三肇凹陷; VI—朝阳沟阶地; VII—长岭凹陷; VIII—黑鱼泡凹陷

* 自然科学基金(49070117)及地质行业基金(92010)资助项目

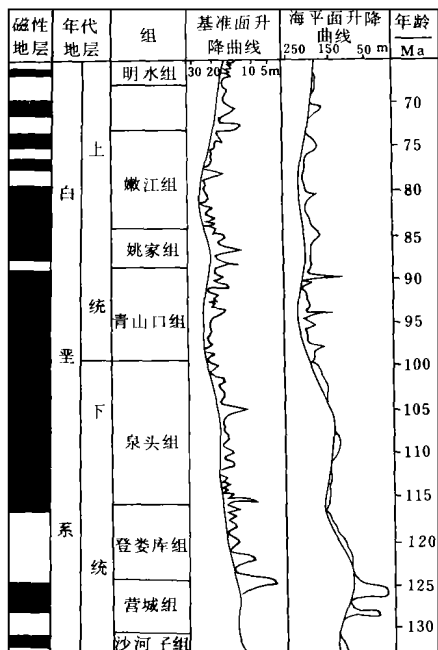


图 2 松辽盆地白垩系基准面升降曲线

层序时,须要考虑更多的因素。

2 “陆架坡折”

非海相沉积盆地,即使是松辽大型内陆盆地,也不可能发育一个规模巨大、源远流长的海底峡谷,因而缺乏理想的陆架坡折。作者曾提出以“风暴面”取代“陆架坡折”^[9,10,11],这在松辽盆地仍然适用。在岩芯观察中作者首次*发现有钙质和砂质风暴岩。松辽盆地三角洲体系发育,产于高水位体系域的三角洲体系的下超坡折(图 3)及小碳酸盐台地的向盆边缘均可作为

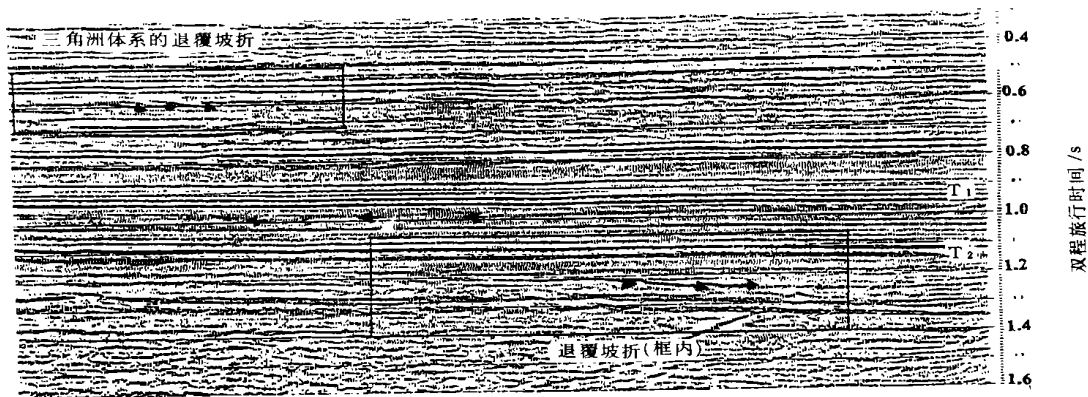


图 3 三角洲体系的退覆坡折(框内),“T₁层序”水进体系域的上超坡折(两框间)

* 魏魁生. 博士后报告内容. 1992

鱼类化石^[3],证明松辽盆地白垩纪时与外海有联系,海水进侵揭示海、湖盆曾发生过近似同期的基准面变化^[17]。(2) 沉积地层普遍具有旋回性、周期性,例如 D432 井某井段 2.3 m 厚的岩芯中具有 5 个砂泥韵律层。层序地层学在理论上的经典是相对基准面或可容纳空间的变化控制了沉积地层的空间分布形式,沉积地层的旋回性或周期性是相对基准面发生升降变化的物质记录。前人工作结果也足以证明,非海相沉积层序仍然受控于构造沉降、气候、物质供应速度和湖平面变化^[8]。(3) 地层中存在着不整合,例如白垩系顶底。同时能够根据长期积累的地震、测井和岩芯资料建立层序地层的空间分布形式。

以上论证表明,层序地层学的基本原理在松辽盆地仍然适用,但是 EXXON 公司的模式^[4]并非完全可以套用^[9]。松辽盆地白垩纪基准面变化趋势与海相者相同,二级周期吻合程度相当高,甚至某些高频部分也近似吻合,不同之处在于三级或四级层序的频率高于海相(图 2),原因是局部构造运动、复杂的气候因素、多物源供应及不同的古地理背景等多元因素所致,所以分析非海相沉积

“陆架坡折”的参照物。

3 超层序

3.1 超层序识别

超层序相当于二级层序, 时代跨度为 9~10 Ma。根据在东部盆地的研究经验, 超层序在地震剖面上易于识别, 层序界面易于追踪。更次一级的层序必须借助于三维或高分辨率反射地震资料, 特别是须要凭借岩芯、测井及露头资料。

超层序的识别是由反射地震资料上的削截、顶超、上超、下超反射结构, 辅以测井、岩芯及露头资料来确定的。超层序的边界往往与构造运动相联系, 削截特征非常明显或比较显著。

3.2 超层序分析

白垩系共识别出 7 个超层序, 每个超层序的时间跨度平均约为 11.285 7 Ma, 与前人划分二级层序年限相当^[6]。这些超层序大体由沙河子组-营城组(SSq1)、登娄库组(SSq2)、泉一段-泉三段中下部(SSq3)、泉三段中上部-姚二段近顶部(SSq4)、姚二段-嫩二段近顶部(SSq5)、嫩二段顶-嫩五段中部(SSq6)、嫩五段上部-明水组(SSq7) 组成(图 4, 5)。

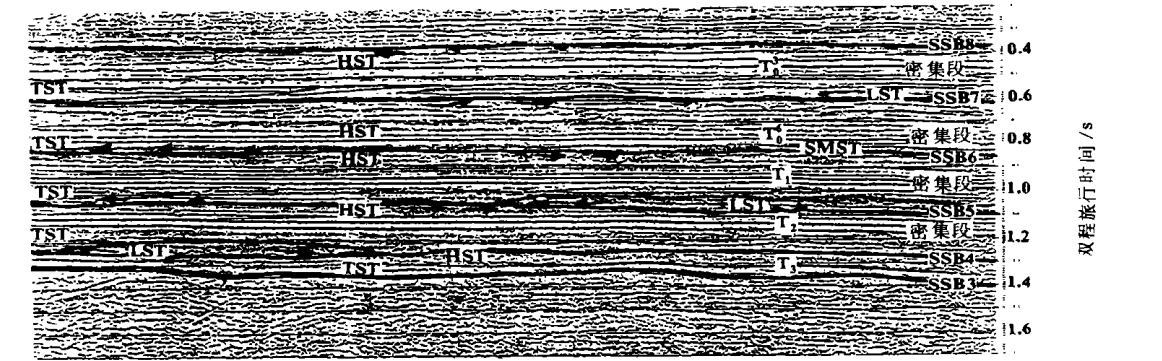


图 4 松辽盆地白垩系超层序分析(T-162)

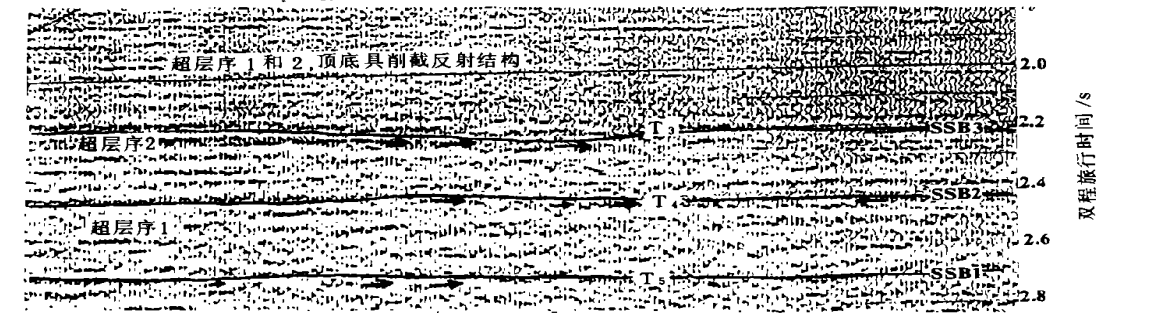


图 5 超层序 1 和 2, 顶底具削截反射结构(92.0 测线)

4 形成沉积层序的影响因素

4.1 构造运动

超层序边界的形成与主要的构造运动幕相联系, 在时间上具有某种意义的一致性或同期

时 代	地 层	波 组	超层序	超层序边界	构造运动	
	第三系					
晚白垩世	明水组	T_0^1	SSq7	SSB8	第四幕	晚期燕山运动
	四方台组	T_0^2				
	嫩江组	T_0^3	SSq6	SSB7	第三幕	
	姚家组	T_1	SSq5	SSB6	第二幕	
	青山口组	T_1^1		SSB5		
			T_2	SSq4		
早白垩世	泉头组	T_3	SSq3	SSB4	第一幕	山早运期燕山运动
	登娄库组	T_4	SSq2	SSB3	第二幕	
	营城组	T_4^1	SSq1	SSB2		
	沙河子组	T_4^2				
晚侏罗世	火石岭组	T_4^3		SSB1		
	基底	T_5			第一幕	

图 6 超层序边界及其与构造运动幕的关系

充分,四周的高山陡地均为物源区。在断陷期(泉头期之前),物质供应活跃,因而发育 I 型层序;在断拗或拗陷早、中期(泉头期之后),地形起伏变小,沉积物供应受到抑制,可容纳空间变化较小,因而有可能发育 II 型层序,例如 SSq6(图 7)。

4.3 气候条件

湖盆基准面的变化与气候因素息息相关,甚至水体深度直接取决于气候变化。松辽盆地白垩纪发生了多次干、湿交替的气候变化。根据孢粉资料的分析结果^[3],由沙河子组到明水组(以组为单元)的气候变化依次为:湿热→干温→湿热→干热→湿凉→湿温热→湿热→干温热→干热湿温(图 7)。在每个组段内也有气候变化的证据,例如明一段为湿热,明二段为干热;再如泉头组,由泉一段到泉二段、泉三段和泉四段分别经历了干热→较湿热的交替过程,即在泉头组沉积时气候发生了三次干热→较湿热的交替变更。盆地的两次最大水进期(青一段和嫩一段)与最高湿度阶段吻合。超层序的边界大体位于气候湿干交替变化的拐点上,温度变化也有相似的规律。对于一个层序而言,由低水位到水进再到高水期的发展,气候可能经历了由干热到湿热再到干温的变化过程。

性。松辽盆地白垩纪含 7 个超层序共 8 个超层序边界(SSB)。其中 SSB1 和 SSB2 大体对应于早燕山运动的第一、二幕,SSB3,SSB5,SSB7,SSB8 分别相当于晚燕山运动的第一、二、三级四幕,SSB4 和 SSB6 分别位于燕山运动第一、二幕与第二、三幕之间(图 6)。

构造沉降是产生可供沉积物沉积的可容纳空间的主要原因。在断陷阶段,虽然盆地范围小,彼此孤立,但是产生了可观的容纳空间,同时由于地形陡峻、高差很大,因而呈现快速沉降、快速充填的格局。在拗陷作用阶段,沉积速率逐渐衰减,最终可容纳空间趋尽于零,盆地消亡。

4.2 物质供应

物质供应速度是可容纳空间增减的一个重要函数。松辽盆地在白垩纪时,物质供应充

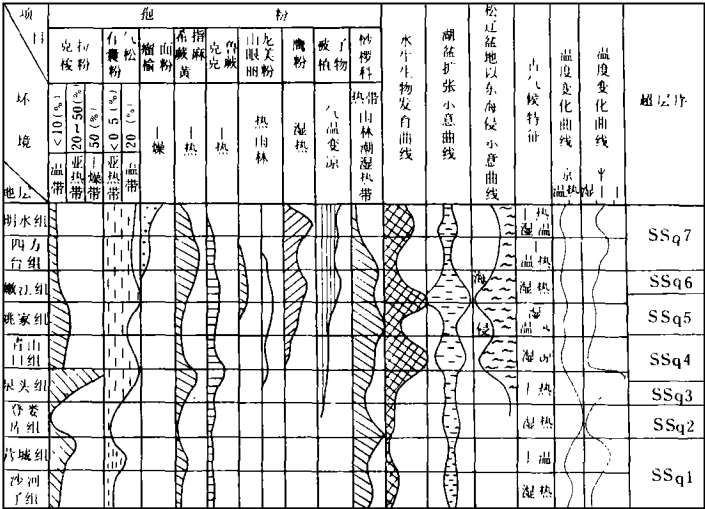


图 7 孢粉、气候变化等与超层序的关系

(据杨万里等修改, 1985)^[3]

盆地的两次最大水进期(青一段和嫩一段)与最高湿度阶段吻合。超层序的边界大体位于气候湿干交替变化的拐点上,温度变化也有相似的规律。对于一个层序而言,由低水位到水进再到高水期的发展,气候可能经历了由干热到湿热再到干温的变化过程。

4.4 基准面变化

基准面变化是导致可容纳空间增减及相对湖平面升降的主要因素之一^[7,9]。长期的河流或灾变性洪水注入, 基准面上升, 可容纳空间增加, 例如在青一段及嫩一段时, 沉积物供应受限, 气候潮湿, 基准面上升, 水体加深, 相对基准面(或湖平面)上升到最高点, 发育深水沉积, 并形成了典型的生油密集段。在气候干旱的条件下, 基准面下降, 湖平面迅速降低, 从而大部分湖区遭受剥蚀, 形成不整合, 随后发育低水位体系域, 例如营城组顶部、泉头组下部及四方台组中、下部形成时气候干燥(图 2, 7)。

4.5 其它因素

松辽盆地白垩纪的超层序边界, 基本对应于盆地扩张与收缩的转换部位。在盆地发育初期, 低水位及水进体系域发育, 高水位体系域不发育(SSq1—SSq3); 中期 3 个体系域均发育; 晚期仅高水位体系域(部分水进体系域)发育, 例如第三系。这说明盆地不同发展阶段或盆地的性质, 对沉积层序分布形式及其类型(Ⅱ型层序形成于拗陷期)有影响作用。白垩纪两个海侵期, 即嫩江组和青山口组沉积时, 与最大水进期同步, 说明可容纳空间及相对基准面的变化还受海水进侵及海洋气候的影响。

古地理位置(例如断陷盆地陡坡与缓坡)、灾变事件、沉积单元的坡降比、物源的多向等因素也会影响层序地层的分布形式^[11]。

5 三级层序及地层格架

应用层序地层学理论和方法, 可以在井少的新区和井多的老区指导油气勘探与开发。在新区, 资料积累少, 研究目的主要为勘探战略服务, 因而层序地层划分以二级为基础。在老区, 各种资料的积累越来越多, 勘探成熟度愈来愈高, 研究的目的转向挖掘油气潜力、提高采收率和开拓新的找油战场, 对分析程度要求越来越精细, 层序划分以三级及内部地层的分布特征(体系域、沉积体系准层序)为基础。

5.1 层序边界的识别标志

5.1.1 岩芯识别特征

由取芯井观察, 松辽盆地白垩系层序边界的表现形式总结如图 8 所示。

这些识别标志是对:(1)层序边界附近有暴露标志及地层剥蚀特征;(2)地层上超;(3)浅水相向深水盆地迁移;(4)滨岸上超(向盆)向下迁移等特征的地层记录的反映。

5.1.2 测井响应特征

5.1.2.1 渐变型式

这是代表一种基准面快速下降随即快速上升的速度突变形式。在测井曲线上, 层序边界之下的

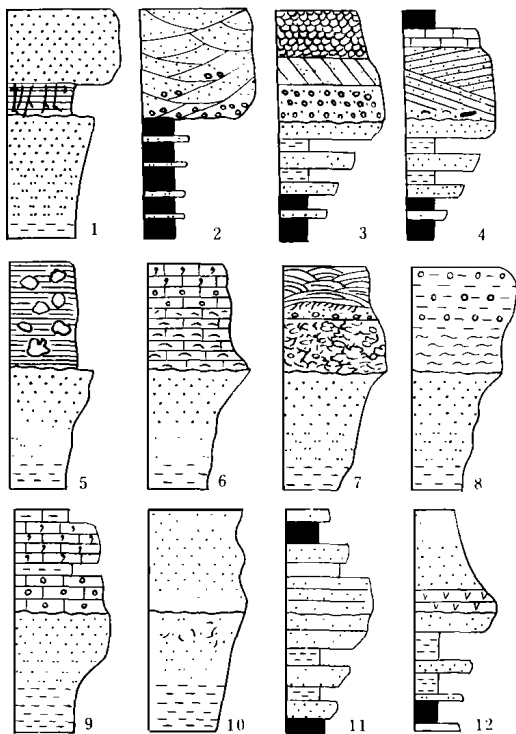


图 8 层序边界部位的岩石学标志

1—根土层; 2—浅水相覆盖在深水相之上; 3—河床滞留砾岩; 4—水进滞留砾岩; 5—钙质结核; 6—上覆风暴岩; 7—上覆洪积岩; 8—上覆滑塌及碎屑流沉积; 9—上覆鲕粒、生物屑灰岩; 10—上覆储集性能好的砂岩; 11—沉积旋回变化; 12—上覆火山岩

准层序组呈前积式,其上的准层序组呈退积式,层序边界往往位于砂岩内部,与传统的以砂岩顶、底为界的方法有根本的区别。在纯砂、泥岩剖面上,层序边界之下的准层序向上变厚,各准层序沉积物粒径向上变大,其上的准层序向上变薄、粒径变小。这种测井响应,其曲线形态特征是在层序边界之下呈漏斗状,在层序边界之上呈钟形。

5.1.2.2 突变型式

层序边界之下的测井响应属泥质沉积的平滑式加积型,其上为砂岩或砂砾岩的箱形加积式、钟形退积式,代表一种水体由相对较深突然变浅并持续了相当久的沉积形式。其地质记录在滨、浅湖地带为砂岩直接覆在杂色(绿、紫、棕、红及其过渡色调)泥岩之上,在半深湖、深湖区为砂岩与下伏暗色泥岩的突变接触。

5.1.2.3 加积/前积型

层序边界之下的地层呈前积型,界面之上的地层呈加积型,代表基准面快速下降接着滞升的沉积形式。推测前期高水位体系域为三角洲类沉积,其后的低水位期为河道、冲积扇或盆底扇类沉积。在 D408 井 885 m 处为这种类型一例,界面之下为三角洲平原、水上分流水道及天然堤类沉积,测井曲线形态为漏斗型;界面之上几乎全部为砂岩,其底面具有河床滞留砾岩及暴露标志,测井曲线形态呈箱形。

5.1.2.4 前积/前积型

层序界面上、下地层的测井响应均为前积型,反映了三角洲体系的穿时现象,例如在 J17 井 1 758 m 处就有这种类型。

5.1.2.5 其它类型

除了上述几种类型外,还可以见到退积/退积型、前积/加积型、加积/加积型、层序界面在泥岩内部而层序边界上、下地层的测井响应均平滑、细齿线形态。

以上层序边界的各种测井响应,以第一种最为常见,其余依序变次。

5.1.3 地震响应

层序边界在反射地震资料上主要依据地震反射的终止方式来识别。I 型层序边界之下具有明显的削截结构及顶超结构,在界面之上具有滨岸上超、深水沉积向斜坡地带的上超及向盆地方向下超(图 4, 5)并具有下切谷。II 型层序边界仅在近岸局部地区见削截结构,无下切谷,主要靠沉积滨线向盆地的迁移来识别。

5.2 层序地层纵向格架

层序地层的纵向格架是由分析沉积地层在时间上的演化规律及旋回而建立的。层序分析由钻井资料开始,在选取井位中首先应该选择坡折带附近,地层全、钻深大的取芯井。由于岩芯获取代价甚高,在一口井钻取整个白垩纪的岩芯状况是罕见的,特别是在坡折带以下地区,深层取芯更少,因而采用建立标准(取芯井段)、横向相接、综合获取信息的方法。

5.2.1 D432 井层序分析

D432 井取芯较长,岩芯中各沉积体系比较齐全,浊积岩、风暴岩均有发现,特别是钙质风暴岩多处可见。在青山口组到嫩江组沉积时,D432 井位于坡折带附近。

根据层序地层 3 个关键界面的性质,密集段由暗色泥岩组成,横向上连续性好,易于识别、对比和追踪,因而首先确认密集段。层序边界和首次洪泛面赋存于密集段之下。在一个完整的层序中,密集段之上的准层序向上变厚、粒径变大,其下的准层序向上变薄、变细。

根据上述基本的变化规律及识别特征,在 D432 井深度 980~1 504 m 共识别出 24 个层序

边界及密集段(表 1)。

5. 2. 2 D408 井层序分析

D408 井在青山口组至嫩江组沉积时, 位置靠近滨岸带, 基底之上出露的地层与 D432 井相当, 但各层序的厚度较薄, 有的地层甚至整个层序缺失, 下部 4 个层序仅由冲积扇体系组成。经分析, D408 井由泉三段至嫩一段划分出 23 个层序边界, 含 22 个层序及相应的密集段。

5. 2. 3 J17 井层序分析

J17 井位于近盆地中央部位, 大体在坡折带之下。由岩芯及电测曲线分析, J17 井的层序可以与 D432 井及 D408 井的层序相对比, 但在相应的地层(泉三段至嫩一段)中, 中部比 D408 井多出一个层序, 相当于泉三段顶部的地层。底部因钻深不够, 少了一个层序。中部多余的层序表明该处曾是一个巨大不整合, 近陆部位的地层被剥蚀掉了或无沉积。

由以上几口井的层序地层分析, 可以初步建立层序地层的纵向格架。由登娄库组到四方台组共含 47 个三级层序, 以下界125 Ma、上界 65 Ma 来计算, 每个层序的时代延限约为 1. 28 Ma, 与国外一些学者标定的年限相符。

5. 3 层序地层横向格架

在纵向上建立了层序地层格架, 只是完成了时间序列分析, 还须去检验, 并与其它井对比, 以便建立层序地层在空间上的分布形式。

本文沿松 I 大剖面, 采用连井综合分析方法, 利用合成记录验证, 由地震剖面控制超层序及确定主要标志层段(T_2 及 T_1 反射层), 岩芯中以膨润土及暗色泥岩为对比标志, 对中、下部含油组合的三级层序进行了横向对比与界面追踪。通过对比, 标定了层序边界的性质, 大多数为 I 型层序, 并剔除了单井分析中的误差(多出或漏掉的层序)。

致谢: 本文承蒙刘光鼎院士审阅, 文中引用了大庆油田和国内外一些学者的部分资料, 在此一并表示衷心感谢!

表 1 D432 井层序边界特征

层序边界	深度/m	界面上沉积形式	界面下沉积形式
SB35	983. 0	加积、前积	加积、退积
SB34	1 014. 4	加积	加积、退积
SB33	1 029. 5	加积、退积	前积、加积
SB32	1 047. 0	退积	前积
SB31	1 079. 0	退积	前积
SB30	1 104. 0	加积、退积	前积
SB29	1 139. 7	加积、退积	前积
SB28	1 160. 0	加积、退积	前积、加积
SB27	1 169. 0	退积、加积	前积
SB26	1 183. 0	退积	前积
SB25	1 204. 0	加积、退积	前积
SB24	1 216. 4	退积	前积
SB23	1 231. 5	加积、退积	加积
SB22	1 248. 3	退积、加积	加积
SB21	1 267. 0	加积、退积	加积、前积
SB20	128. 6	加积、退积	加积、前积
SB19	1 303. 0	加积、退积	加积、前积
SB18	1 326. 5	退积	加积、前积
SB17	1 346. 0	退积	加积、前积
SB16	1 365. 0	退积	加积、前积
SB15	1 394. 0	退积	加积
SB14	1 442. 4	退积	加积
SB13	1 468. 0	加积、退积	加积、退积
SB12	1 504. 0	退积、加积	加积

参 考 文 献

1 杨万里, 王志武, 钟其权等. 松辽陆相盆地石油地质. 北京: 石油工业出版社, 1985. 1~386
2 王行信, 辛国强, 冯永才. 松辽盆地粘土矿物研究. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1990. 1~217
3 杨万里, 高瑞琪, 郭庆福等. 松辽盆地陆相油气生成运移和聚集. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985. 1~329
4 Sangree J B, Vail P R. 层序地层学的应用——地震、钻井和露头资料的层序地层解释. 国外石油地质, 1989, (2): 1~61
5 Wilgus C K, Posamentier H, Hastings B S, et al. 层序地层学原理(海平面变化综合分析). 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东等译. 北京: 石油工业出版社, 1993. 1~515
6 van Wagoner J C, Mitchum R M, Campian K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops:

Concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods in Exploration Series, 1990. (7): 1~52

- 7 魏魁生, 徐怀大. 冀中地区早第三纪海泛特征及其层序地层学意义. 现代地质, 1993, 7(3): 274~284
- 8 Xu Huaida, Wei Kuisheng. Sequence stratigraphic features of nonmarine Mesozoic-Cenozoic sediments in Eastern China. Journal of China University of Geosciences, 1994, 5(1): 55~64
- 9 魏魁生, 徐怀大. 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系. 地球科学, 1993, 18(2): 139~149
- 10 魏魁生, 徐怀大. 二连盆地白垩系非海相沉积层序地层特征. 地球科学, 1994, 19(2): 181~193
- 11 魏魁生, 徐怀大. 中国东部中生代非海相沉积层序地层学特征. 见: 中国博士后首届学术大会论文集. 北京: 国防工业出版社, 1993. 2 073~2 076

HIGH RESOLUTION SEQUENCE STRITIGRAPHIC FRAMEWORK IN CRETACEOUS, SONGLIAO BASIN

Wei Kuisheng Xu Huaida Ye Shufen
(China University of Geosciences, Beijing)

Guo Zhanqian Xu Hong Ren Yanguang Wang Yuhua
(Reaserch Institute of Petrohum Exploration and Development,
Daqing Petroleum Administration, Daqing, Heilongjiang)

Abstract

Based on the fundamental principle of sequence stratigraphy, the storm wave base or of-flap break of initial highstand delta system could be regarded as the reference for the "shelf break" in passive margin.

Accoring to well log and seismic sections of sequence boundaries in cores, seven supersequences and 47 sequences are identified, and high resolution sequence stratigraphic framework is built in Cretaceous of Songliao Basin. The periods for the supersequences and sequences are about 11.29 Ma and 1.28 Ma respectively.

To compare the curves of rise and fall of both the base level and sea level in Songliao Basin, their secondary cyclic variation tendencies are the same, but the frequency of third cyclic variation of the former is higher. This is caused mainly by the factors of local tectonics and complicated climate.