

文章编号: 1009-6248 (2002) 01-0028-13

松辽盆地徐家围子裂陷式盆地的 层序发育特点

赵国连¹, 何顺利²

(1. 石油大学, 北京 102200; 2. 北京众博达石油科技有限公司, 北京 102200)

摘 要: 关于层序地层学在陆相湖控条件下的适用性探讨一直在不断地进行着, 尤其是陆相油气盆地占优势的中国, 陆相层序地层学的研究已处于世界先进的行列。其中对松辽盆地层序地层的研究引人注目。层序地层学理论对于陆相盆地适用性问题的探讨, 产生了众多层序地层学学派。笔者总结探讨了层序控制的基本因素与盆地类型的关系, 在此基础上研究了断陷期层序地层发育特点。首次对晚侏罗世—早白垩世的松辽盆地徐家围子裂陷盆地阶段的地层——火石岭组、沙河子组与营城组, 进行了层序地层分析, 对可容空间变化与充填情况进行了研究, 划分了超层序, 对其中的火山岩地层、沉积岩地层分别进行了研究, 并总结了火山作用与沉积作用的相互关系。从可容空间概念出发, 把火山岩地层纳入层序框架, 并对层序控制下的生储盖组合及油气勘探远景进行了评估。

关键词: 断陷盆地; 层序控制因素; 地层框架; 生储盖组合

中图分类号: P534 **文献标识码:** A

1 引言

关于陆相盆地层序地层的研究, 虽然颇多争论, 但国内外的学者基本上认可了被动大陆边缘层序充填模式对陆相盆地沉积序列的适用性^[1]。我国的许多陆相盆地都包含了断陷与凹陷 2 个阶段, 这两者的关系如何, 在层序上又有什么不同之处, 及造成这种不同的根本原因, 都是新的课题, 尤其是断陷盆地, 有火山喷发, 又有沉积作用。目前有许多人在研究中把火山岩纳入层序的框架中, 这在理论研究与实际应用中都是一种新的探索。本文主要探讨断陷式盆地层序的发育特征, 并对上述问题进行探讨。

2 盆地的类型及控制层序发育的根本因素

关于层序控制因素, 从最先的地震地层学中关于海平面变化作为主要的控制因素及后来的现代层序地层学中的四因素说的提出^[2], 表明关于层序受控因素的讨论是层序地层学的基础。

收稿日期: 2001-03-21; 修回日期: 2001-10-03

基金项目: 国家基金委与大庆石油管理局联合资助的“九五”重大项目成果之一。

作者简介: 赵国连 (1966-), 男, 博士, 从事沉积储层与地球化学的研究。

本而首要的任务。海相层序受以下 4 个因素的影响: ①气候类型。②构造活动。③沉积物供应。④海平面变化。这 4 种因素相互间有一定的交叉, 因此, 作者认为分清其主次及交叉影响是我们应该考虑的。关于可容纳空间的变化及相对应的 4 个体系域的划分, 就是对以上 4 个因素作用的表述。

层序的控制因素随盆地类型而变化, 从海相盆地到陆相盆地, 从凹陷盆地到断陷盆地, 控制因素是有差异的, 不同类型的盆地层序发育有其自身的特点。一个盆地在发育过程中, 各种层序控制因素的作用力大小应该是有变化的, 因而据此可以划分出不同的盆地类型。

纪友亮曾提出层序地层在闭流盆地中以气候控制为主, 而敞流盆地主要受构造因素的控制。这种划分方法, 就是考虑了盆地类型与受控因素的关系。中国学者在探讨针对被动大陆边缘层序提出的原理与方法应用于陆相盆地的可能性时, 更多的是探讨盆地的类型与层序受控因素及层序的风格之间的关系。

裂陷盆地中的层序与凹陷型盆地中的层序有着本质的区别。以松辽盆地为例, 裂陷盆地发育期, 因切割明显, 浊流发育, 砂砾岩少见, 在砾石种类上, 沉积岩、岩浆岩与变质岩都可能出现, 粒度变化很大, 从 10 cm ~ 3 mm 不等, 分选性较差; 凹陷层序, 其中砾岩中的砾石的种类以沉积岩为主, 分选性较好; 泥岩的情况也不例外, 断陷中的泥岩, 黑色的含煤层的泥岩, 以沼泽相、深湖相为主, 而且常常有泥砾岩出现。笔者认为裂陷期层序应该叫做构造超层序, 主要受控于沉积物源与构造活动两种因素。凹陷盆地发育期, 因为盆地下凹, 范围扩大, 以曲流河沉积为主, 有冲积扇、曲流砂坝等沉积。砾岩中, 以石英砾岩为主, 颜色以灰色为主, 砂岩的粒度也变细; 泥岩以杂色、浅绿、红色为主, 能反应环境的气候, 因而叫做气候超层序。再向上, 以嫩江组为主的湖控超层序, 为湖水作用环境下的产物, 其上为明水组等后隆起超层序和粗碎屑沉积, 叫做沉积物流超层序, 也受构造影响。这 4 个阶段说明了裂隙盆地发育的一般模式, 说明盆地的发育有四分性。同样, 组成盆地的最基本单位——三级层序, 也有四分性, 因而特别提出与 4 个体系域相对应的 4 个阶段, 即单旋回盆地有四分性, 基本层序单元也有四分性。综上所述, 层序的发育是与盆地的大地构造位置及盆地的发育阶段息息相关, 在进行盆地层序发育过程的研究中, 往往需要先分析盆地的类型, 不同盆地的层序特点是不一样的, 其根本原因就是不同的盆地类型, 具有不同的层序主控因素^[3]。

徐家围子断陷式盆地中的火山喷发, 与没有火山喷发的断陷盆地的情况是有区别的, 因而其中的难度可想而知, 但在油气二次创业与东部油田保持稳产的形势下, 深层气的勘探日益紧迫, 而其中的火山岩又是最有潜力的, 因而这种类型的断陷盆地, 值得深入研究。

3 松辽盆地徐家围子裂陷期层序的特征及划分

本文所说的徐家围子断陷, 位于松花江的北边, 其东为肇东—朝阳沟背斜带与莺山断陷带, 西为安达—肇州背斜带, 北为明水斜坡。它有很好的生烃潜力, 北部有理想的储层, 其中三维地震网密布, 是自然科学基金油储“九五”重大项目的目标区。本文主要涉及的地层是: 火石岭组、沙河子组、营城组, 是目前的研究热点区。

3.1 裂陷期地层框架及古生物、古气候、古地磁及同位素年龄背景资料

该区裂陷期的地层发育, 包括了火石岭组、沙河子组、营城组, 其主要岩性情况见地层

剖面图。火石岭组以火山岩为主，少见沉积岩；营城组也见火山岩。

3. 1. 1 同位素年龄

本次收集了裂陷期地层的 15 个同位素年龄数据^[5]，从表中可以看出 3 个层位的年龄差别是比较明显的。火石岭组在 145 Ma 以上，沙河子组大约在 120 ~ 135 Ma 内，而营城组在 120 ~ 131 Ma 变化（表 1）。

表 1 裂陷期地层同位素年龄数据
Tab. 1 Data of isotopic age of synrift stratigraphy

井 号	井 深 (m)	层 位	岩 性	同位素年龄 (Ma)
宋深 3	3 204. 04	营城组	凝灰岩	124. 3 ± 4. 3
宋深 3	3 204. 04	营城组	凝灰岩	120. 8 ± 5. 4
宋 3	2 987. 17	营城组	凝灰岩	128. 8 ± 5. 7
宋深 2	3 188. 72	营城组	凝灰岩	133. 5 ± 6. 1
宋深 2	2 984. 57	营城组	橄榄斜长岩	131. 3 ± 5. 9
卫深 4	3 103. 05	营城组	凝灰岩	124. 6 ± 4. 6
德深 1	2 150. 00	沙河子组	凝灰质砂岩	120. 0
德深 1	2 660. 00	沙河子组	凝灰质砂岩	130. 0
讷 7	323. 00	沙河子组	凝灰质砂岩	134. 0
尚深 1	3 109. 53	火石岭组	角闪安山岩	147. 7 ± 6. 2
升深 101	2 955. 39	火石岭组	角闪安山岩	145. 7 ± 6. 2
杜 13	17 210. 00	火石岭组	灰绿色凝灰岩	158. 4
同深 1	3 907. 00	火石岭组	凝灰岩	150. 0
庄深 1	3 044	火石岭组	安山岩	157. 8 ± 7. 3

注：据大庆油田内部资料。

3. 1. 2 裂陷期古植被、古气候演变规律^[5]

①植物的发育：沙河子组沉积时期，植物群以蕨类-银杏-松柏为主；营城组沉积时期，以真蕨-苏铁-松柏为主。②湿度变化：沙河子组沉积时期的蕨类及银杏含量高，营城组喜干的希指蕨增加而喜湿的银杏减少。③植物的耐寒、耐热的特点：沙河子组暖温带、温带的成分多；营城组喜热成分的含量有所增高。④古气候变化：根据孢粉记录、岩石学特征分析，认为沙河子组属湿温气候，营城组也是类似的气候特点，但稍偏干热。

3. 1. 3 裂陷期磁性地层的划分与对比

据方大均、高瑞祺等人（1986）的研究，营城组下部含煤段反极性带延伸近百余米，对应于白垩系的 Hunterivian 阶底部，相当于 Peckerski 称为 Shirabadskaya 反极性带或海洋磁条带代号为 M₃ 反极性带，两者特征相似。该带同位素年龄为 125 ~ 131 Ma，营城组火山岩同位素年龄为 120 ~ 126. 2 Ma，故该组磁性地层对比较符合实际情况，营城组的地质时代接近于 Hauterivian 期。

沙河子组正、反相间的极性带可与 Berriasian- Valanginian 期混合极性段对比。上侏罗统 Callovian 阶（海洋磁条带归入中侏罗统）至 Hanterivian 阶为混合极性段，沙河子组与其上部 Barriasian- Valanginiell 阶相当。

3. 1. 4 裂陷期地层的框架

据超层序划分的主要标准: ①超层序须包括一系列层序。②持续时间足够长, 20 ~ 40 Ma。③以角度不整合或相应地层界面为界。

本区的火石岭组与营城组出现了火山岩, 是否火山岩也可以当作层序进行划分? 目前, 许多学者已经将火山岩当作层序看待。例如: 火石岭组, 营城组的火山岩, 都被当作超层序来处理, 因此裂陷期盆地包括 3 个超层序: 超层序 (火石岭组), 超层序 (沙河子组), 超层序 (营城组)。

地幔上涌, 地壳被撕裂, 直接的现象就是断裂活动, 构造盆地开始形成, 因而低洼地进一步演化为盆地, 开始出现了断陷, 可容纳空间扩大, 并以火山的喷发相伴生, 裂陷盆地开始发育。沉积相以水下扇、辫状河扇三角洲、半深湖沼泽相为主。

3.2 火山岩超层序

现代层序地层学从海相扩大到陆相, 并非机械的套用, 而是从两者各自的特点出发, 提出了可容纳空间的变化概念, 作为层序分析的理论依据。断陷期的火山岩不过是一种由特殊机制 (火山喷发) 提供了物源, 部分地遵循沉积规则 (火山碎屑岩), 而大部分熔岩以自成规律来充填断陷盆地, 同样, 它们也在充填着可容纳空间, 并改变其大小, 所以, 划分出火山岩超层序是不可避免的, 它代表着裂陷发育之初, 裂谷火山喷发作用充填盆地的过程。该区在断陷期主要有 2 期火山作用。

3.2.1 火石岭期的火山岩

火山岩的喷发期次是根据岩性、岩石化学的特点划分的。火石岭组的火山岩有人分为 2 期, 有人分为 3 期^[6], 笔者把该组火山岩分为 3 期。

在升深 101 井中 (图 1), 可以明显地看出 3 次喷发次旋回: 第一次只见顶, 以中酸性岩, 酸性凝灰熔岩为主; 再向上为第二旋回, 为厚安山玄武岩、玄武岩, 是新的喷发旋回的开始, 并继以 250 m 的中酸性熔岩; 第三旋回以玄武岩层结束。

升深 6 井主要有 2 个旋回, 下部旋回为英安岩, 英安质角砾凝灰岩, 向上为复成分砾岩, 砾石成分为中酸性火山岩、花岗质砾石; 上部旋回以绿灰色安山岩, 安山质角砾凝灰岩, 安山质英安岩与英安岩互层, 其上为角砾凝灰岩、细屑凝灰岩。总体上为陆相火山-沉积建造, 具喷发韵律特征; 缺失顶部旋回。由此看来, 本区的火石岭组, 可能有 3 期火山活动次级旋回。在火石岭组, 盆地发育初期裂陷发育时, 有 3 次脉动的火山、构造作用, 火山岩中含较多的火山角砾岩及正常沉积夹层, 并夹少量薄煤层, 可见火山作用与沉积作用共存, 并相互影响。

3.2.2 营城组火山岩

主要发育在升深 201、汪 903、宋深 2、宋深 3、升深 1、升深 4、卫深 3 等井区, 代表性的并有升深 201 井、宋深 3 等井 (图 2)。

营城组总的分为 2 个喷发期次 (分别为 Y_1 、 Y_2): 营城早期 (Y_1) 火山活动, 主要发育在升深 201 井、汪 903 井, 以中、酸性流纹岩与霏细岩为主。例如升深 201 井, 厚 380 m, 主要为流纹岩、霏细岩; 营城组晚期 (Y_2) 火山活动, 发育于宋深 2 井、宋深 3 井、宋深 1 井。例如宋深 1 井, 总厚 508 m, 底以灰紫色安山玄武岩、酸性凝灰熔岩、紫色安山岩为主, 夹中性凝灰岩、安山岩; 向上为灰绿色酸性凝灰熔岩、灰色酸性熔岩 (霏细岩)、酸性凝灰熔岩、凝灰质砂岩, 随后变为灰色酸性熔岩、灰绿色酸性凝灰岩、灰色流纹岩、酸性熔岩、中酸性角砾凝灰熔岩; 顶部为凝灰岩。基本上可分 2 个次级旋回, 第一旋回, 中性熔岩 酸性凝灰岩

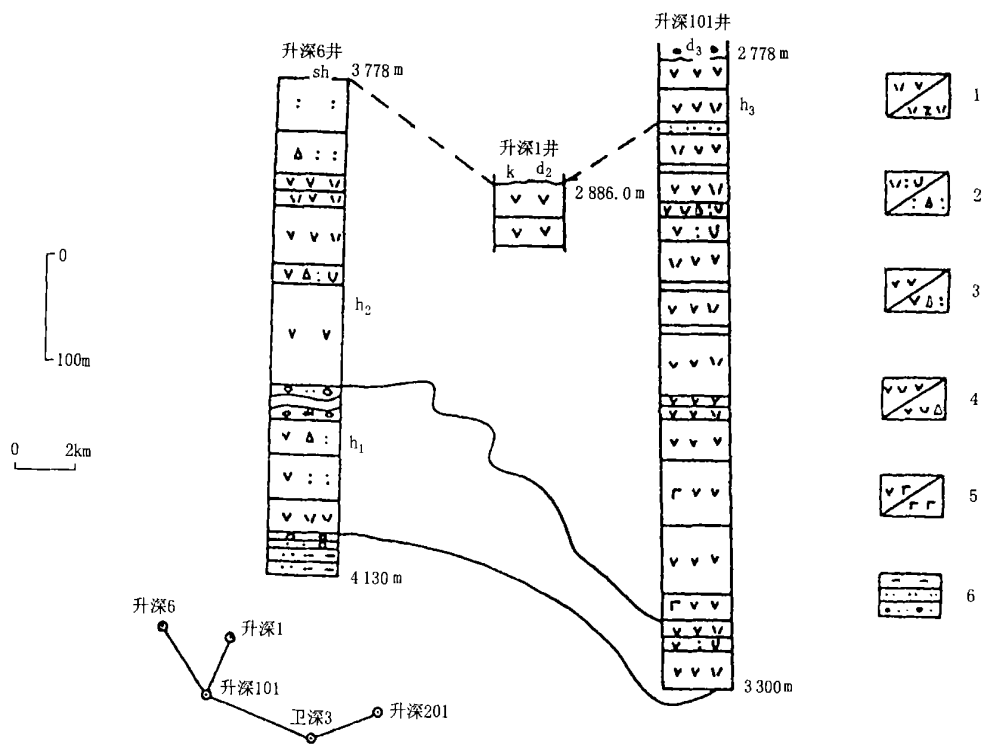


图 1 升平汪家屯地区火石岭期火山岩剖面图

Fig. 1 Diagram of volcanic rocks of Huoshiling period of Shengping-Wangjiatun

1. 英安岩; 2. 英安质凝灰熔岩; 3. 安山岩、安山质角砾凝灰熔岩; 4. 中酸性熔岩及角砾凝灰岩;

5. 安山玄武岩; 6. 复成分砾岩; h_1 . 火石岭期第一旋回; h_2 . 火石岭期第二旋回; h_3 . 火石

岭期第三旋回; sh. 沙河子组; d_3 . 登娄库组三段

沉积火山岩; 第二旋回为酸性-沉积凝灰岩组合。

宋深 2 井, 总厚 371 m, 第一旋回从井深 3 315 m 或至井深 2 983 m, 从底向上依次为: 黑色玄武岩、安山玄武岩、灰绿色安山质角砾凝灰岩、安山质英安岩、安山岩、安山质凝灰岩与晶屑凝灰岩。向上为安山质英安岩、暗紫色凝灰岩、安山岩、酸性凝灰熔岩、酸性凝灰熔岩与凝灰砂岩互层, 基本上呈现从中基性岩-中酸性岩的变化趋势; 第二旋回, 从 2 983 m 至 2 904 m, 灰绿色安山玄武岩、暗紫色安山岩、安山玄武岩, 顶上为厚暗紫色凝灰岩。

该井火山岩分 2 个旋回, 每个旋回从基性、中基性熔岩开始, 至凝灰熔岩、凝灰岩结束。

宋深 3 井, 仅见安山岩、中酸性熔岩, 可能是第一旋回的部分火山岩。

鉴于火山岩的发育过程、成因都是独特的, 作者将火山岩当作超层序划分, 是一种新的尝试。

3.3 沉积岩地层层序分析

沉积地层在本区以沙河子组最发育。笔者经过岩芯观察, 并与沉积相分析及与传统的地质层序分析相结合, 认为沙河子组基本可分为 2 个三级层序 (图 3)。

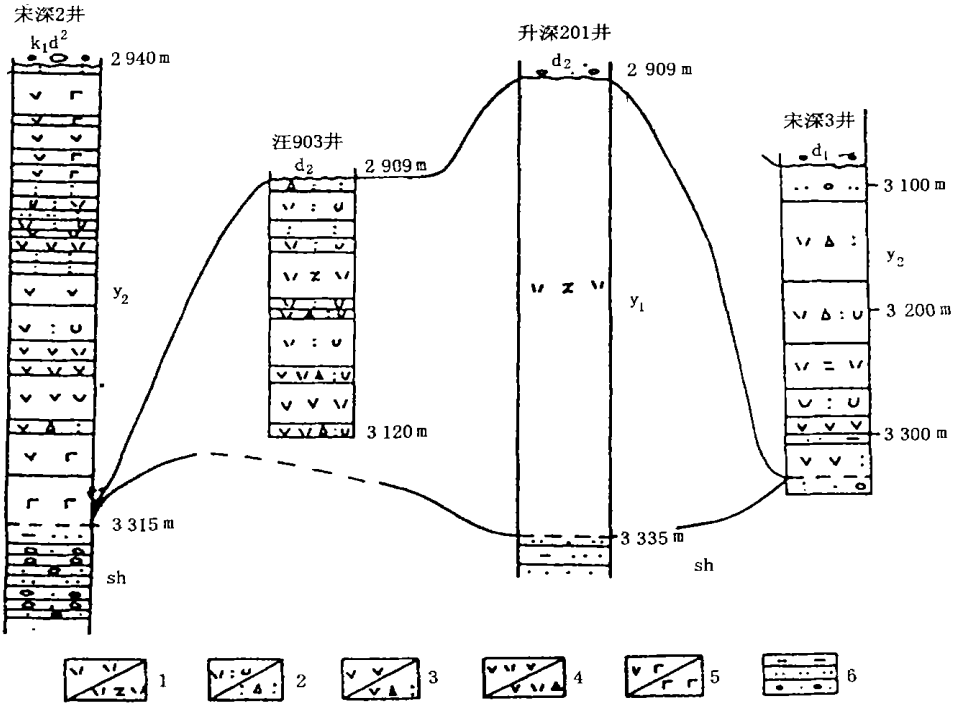


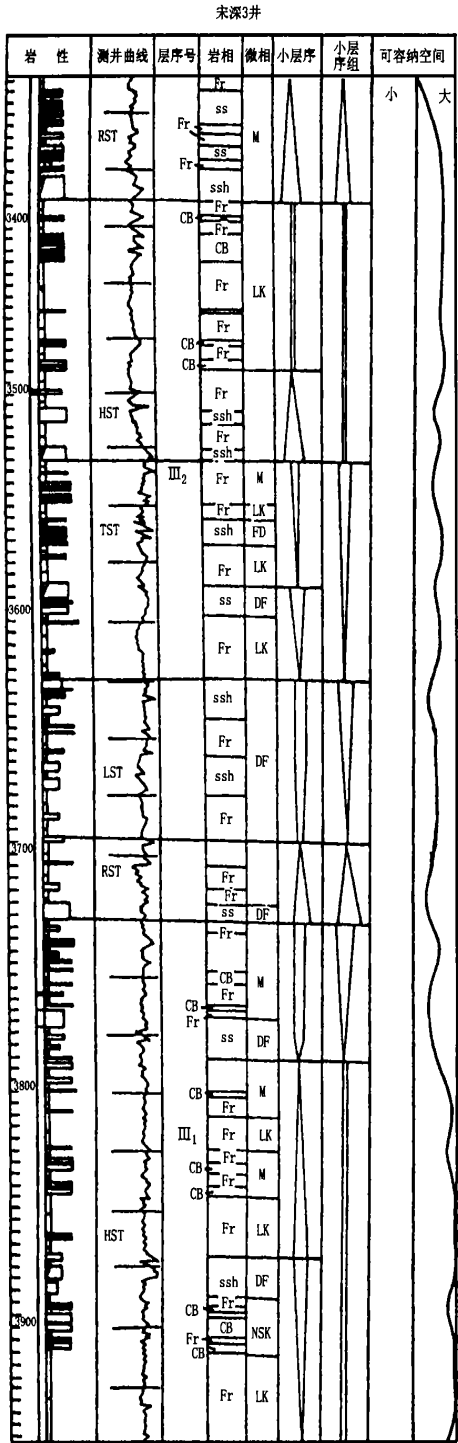
图 2 升平汪家屯地区营城组火山岩剖面图

Fig.2 Diagram of volcanic rocks of Yingcheng period of Shengping- Wangjiatun

1. 流纹岩、霏细岩；2. 酸性凝灰熔岩及其碎屑岩；3. 安山岩、安山质角砾凝灰岩；4. 中酸性熔岩及角砾凝灰熔岩；
5. 安山玄武岩，玄武岩；6. 正常沉积岩类，未分；k₁d₂：（d₂）下白垩统登娄库组；y₁：营城期第一旋回；y₂：
营城火山喷发第二旋回

3. 3. 1 沉积相分析

该区深层有以下几种沉积相：①水下扇沉积相。在断陷阶段，盆地基底起伏很大，陡崖发育，是构造活跃期，早期火山活动，局部只填补了一些凹陷。由此看来，本区的断陷盆地有先成型的特点，也兼有同生盆地的特点。地形对沉积作用影响较大，由于凹陷深，高差大，地形陡，有些岩块，与不远处塌下来的岩屑，从河床及河岸搬来的沉积物，它们一起以脉动的方式搬运到断陷盆地中，可能主要呈沿岸陡崖扇方式沉积下来，辫状河扇三角洲的堆积物在突然活动的地壳运动、风暴作用下，形成了近崖水下扇沉积，可以明显地分出扇根、扇中、扇顶。扇顶带又与浅湖相互层，并过渡为半深湖相。②滨岸沼泽相：火山与沉积作用交替，使某些浅湖区成为沼泽，植物比较茂盛，但因火山、地震等灾害事件，将植物群埋葬而成煤。③深湖相：以泥岩、含煤泥岩交互层为主，如宋深3井的沙河子组比较发育。④过渡型水下扇：由于地壳渐趋稳定，仍有过渡型水下扇沉积，此时的扇中砾石成分不复杂，砾石有一定磨圆，为较正常水下扇沉积，受水动力控制，受湖平面影响，粒序上变化有规律，能反应沉积环境。基本上属水下扇，河口坝，浅湖相交替沉积的环境。⑤三角洲相：由于地壳进一步趋于稳定，又因火山、构造作用的频率渐渐减低，在河湖交界相互作用处，形成了三



岩相: ss. 粉砂岩
ssh. 水平层理粉砂岩
Fr. 泥岩
CB. 煤层沉积构造:
h. 水平层理;
r. 波纹层理;
DF. 三角洲前缘亚相
FD. 前三角洲亚相
NSK. 滨浅湖、潮泽相
LK. 浅湖相
M. 潮泽相
1. 1号三级层序
2. 2号三级层序
LST. 低水位体系域
TST. 海进体系域
HST. 高水位期体系域
RST. 海退体系域

图 3 升平汪家屯地区裂陷期沉积层序划分图

Fig. 3 Diagram of sedimentary sequence of rift period of Shengping- Wangjiatun

三角洲沉积序列,基本上以湖退三角洲相为主,主要为逆粒序。⑥河流相:由分流河道、河道沉积作用形成,沉积层理发育有规律,一般以冲刷面开始,底部有含砾砂岩、平行层理,向上为大型交错层理砂岩,再向上为小型交错层,并向泛滥平原相过渡,皆见波状层理的泥岩层。⑦决口扇、天然堤:以薄的砂岩组成天然堤,在洪水期,可以决口而形成决口扇,以泥岩、粉砂岩沉积为主,偶而有细砂夹层。

3.3.2 沉积岩综合层序地层分析

在沉积相、古生物、测井曲线及层序地层体系域划分方案综合对比基础上,笔者将沙河子组分为 2 个三级层序,其结果见图 3。

有些层序可见完整的 LST、TST、HST、RST 旋回,有些只见部分体系域,这是资料所限,有的也是由于地壳运动、侵蚀作用破坏而造成的。

沙河子组下段:①₁相当于 LST,可以很厚,达 320 m (升深 6),水下扇单元最厚可达 70 m,平均为 20 m;TST 厚为 85 m,水下坝单元砂层最厚达 15 m;最大泥岩层为 8 m 左右;HST 发育的厚度为 100 m 左右;RST 厚为 20 m 左右,沙河子组下段常见缺失。②₂相当于沙河子组上段:LST 比较薄,仅 250~70 m,由单个扇体组成,砾石比₁段的 LST 砾石分选、磨圆都好;TST:170~250 m,单个扇体的沉积厚度最大可达 25 m,平均 15 m;HST:280 m,比₁HST 明显要厚;RST:20~150 m 最大单层砂体厚 20 m。可见,₂最大可容纳空间明显大于₁,这是区分₁与₂的较好的办法。在宋深 3 井分析得出的结果,即₂是宋深 3 井处于非补偿环境,因而可容纳空间比较大。这是 HST 体系域内不常有的现象。

3.3.3 Fisher 点图分析

为了验证上述的分析,本文对宋深 3 井的沙河子组沉积层进行 Fisher 点图的研究。此方法始用于碳酸盐盆地,适用前提是:①潮缘水环境中的盆地呈线性沉降;②潮缘浅盆地中碳酸盐产率高,新增加空间随时被产生的碳酸盐充填,碳酸盐岩的厚度基本反映了海平面升降的幅度^[7]。

虽然本区沙河子组构造背景属断陷期,但沙河子组基本没有火山喷发等剧烈的地质作用,而且沙河子组一套沉积地层相对稳定,岩性变化不大,尤其是宋深 3 井揭露的井段,几乎没有什么岩性变化,都是砂泥岩、煤层的互层,是沙河子组一定时间内构造平稳的记录,可以当作线性沉降的时段。而其物源补偿充足,滨浅湖潮泽相的物源,在断陷期内,仍是比较丰富的。当时地形高差大,风化、搬运来的物质源源不断地进入盆地。

笔者曾尝试过将深度代替时间作横坐标,因二者各自是等距,且相关,这一替代不会引起图形的歪曲。图 4 就是本次作的 Fisher 点图。

从图 4 可以看出,宋深 3 井的沙河子组可以分为 2 个大的旋回,其分界线与地层、沉积相分析得到的界线很相近,这样也可以将 2 个大的旋回作为三级层序,而且每个三级层序的四分性比较明显。

分析宋深 3 井 Fisher 点图,可以得出以下几个结论:①Fisher 点图在划分沉积旋回、分组与地层对比上有一定的应用前景。②Fisher 点图只记录了构造、物源与沉积速率诸因素的综合表现,可能代表了可容纳空间的变化,但它很大程度上只记录可容纳空间被占用时情况。只有在相近类型的沉积物在相似环境中沉积,才可能利用 Fisher 点图。③本区的₂煤层形成在可容纳空间相对正常、HST 较小的时段内,这有可能是因为本层的煤是直接由在灾变事件中被

突然埋藏的植物经煤变作用形成,而非通常条件下缓慢沉积成因的高有机质泥岩,而是直接来自植物迅速埋藏的残体变质而来。煤层位于补偿过剩的时段,是比较少见的,因为它往往被划分为浓缩层。④所谓浓缩层,在陆相沉积地层中,其普遍性及可对比性值得探讨。陆相中泥岩层的类型多,成因多,有湖相泥岩、沼泽相泥岩、河漫滩泥岩、泛滥平原泥岩和决口扇泥岩。并不是所有泥岩都是浓缩层,应该加以区别。但有一点可以证明,作为浓缩层的泥岩段所在的层段是最高水位,而且它有一定的滞后,从最大泥岩段往后一点的时间段都是HST,它们所代表的可容纳段空间在本层序段是最大的。Fisher图揭示出的沉积旋回与沉积相分析、地层划分得出的结果很相似,Fisher点图可用性、可信性较高,目前在进行盆地内、盆地外的分析中都得到了较好的效果。

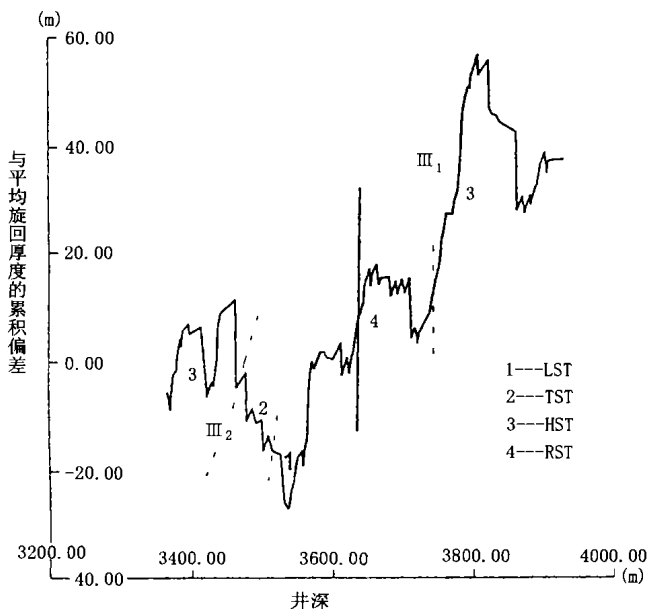


图4 宋深3井沙河子组Fisher点图

Fig.4 Fisher point diagram of Shahezi

Formation in Well Songsheng 3

1. LST. 低水位体系域; 2. TST. 水进体系域;
3. HST. 高水位体系域; 4. RST. 水退体系域

4 火山作用与沉积作用的相互关系

4.1 井震约束下的综合层序分析

4.1.1 火山岩地震反射相

利用地震剖面上火成岩地震相的外部形态、内部反射结构、振幅、频率、连续性,可以识别出火成岩体。本区的火成岩地震相有以下几种:

(1) 塌陷状地震相: 该区升深101井区有明显的火山口,其地震反射特征具明显幅度的火山口塌陷现象,火山口的形态呈向内凹的圆盆状,附近为火山锥,火山口平缓,火山锥向西翼陡,顺着火山锥产状逐渐平缓。据池秋鄂(1994)研究,这样的构造一般在磁场图上表现为局部正异常。

(2) 弧状反射地震相: 地震反射呈弧形,常由1~2个较强振幅的同相轴组成,波组两端中断干脆,弧形有一定的弯度,两翼基本对称,常斜交或穿过正常波,可能反映有一定幅度火山锥体或岩浆上拱侵入浅部地层形成的反射。如升深101井附近的火石岭组火山岩,火石岭组火山岩底界年龄163 Ma,顶界年龄144.0 Ma(图5)。

(3) 板状反射地震相: 板状或层状分布的火成岩,产状与围岩一致,呈近似平行的一组

同向轴, 强反射波组与围岩反射形成明显的对比, 这种板状反射地震相多反映喷溢熔岩流, 或顺层侵入岩, 火成岩多呈似整合状夹于沉积岩层之间 (图 5)。

4.1.2 火成岩的同位素年龄资料

营城组的最小年龄是宋深 3 井 2 671.00 m 处流纹岩中测出: $120 \pm 5.4 \text{ Ma}$; 最老年龄是营城剖面, 流纹岩中的年龄值, 即 $135.1 \pm 5.8 \text{ Ma}$ 。在研究区内, 在宋深 1 井 2 123.79 m 处, 测得流纹岩中的年龄为 $125.1 \pm 5.0 \text{ Ma}$, 宋深 2 井的 2 984.57 m 处的橄榄斜长石岩、3 188.72 m 处辉石安山岩分别获得 $131.3 \pm 5.9 \text{ Ma}$ 、 $133.5 \pm 6.1 \text{ Ma}$ 的年龄。宋深 3 井的 3 204.04 m 处的凝灰岩测得同位素年龄 $124.3 \pm 4.3 \text{ Ma}$ 。总之, 营城组应该在 120.8 Ma 至 135.1 Ma 的范围内。

火石岭组的年龄, 有人认为底界是 163 Ma , 顶界年龄 144.0 Ma , 从笔者收集的数据看, 火石岭组的最老年龄为杜 13 井深 1 721.0 m 处的灰绿色凝灰岩, 其同位素年龄为 158.4 Ma ; 最新的年龄值是升深 101 井深 2 599.39 m 处的角闪安山岩, 其年龄为 $145.7 \pm 6.2 \text{ Ma}$ 。因此, 火石岭组时代介于 $163 \text{ Ma} \sim 144.0 \text{ Ma}$ 之间 (表 1)。

4.2 沉积岩的地震层序研究

对于沙河子组, 笔者经过研究, 认定其前积楔状体, 强振幅, 属三角洲相的沉积; 湖相表现为弱振幅水平反射层, 系统分析了地震反射结构, 发现沙河子组可以分为上、下 2 个三级层序。

在研究区内, T_s 反射层代表的是基底起伏的情况, 其上覆盖了火石岭组火山岩、沙河子组的沉积岩, 是一个明显的角度不整合。主要表现为上超与下超, 而削截现象不明显, 这说明 T_s 主要是由构造上升引起的沉积间断造成。

火石岭组的弧状反射层、板状反射层、丘形反射层及杂乱反射层, 都是火山岩特有的。火石岭组与基底、沙河子组、登娄库组之间存在着明显的不整合界面, 基本上可识别出上超、下超、削截等证据, 而且地震反射面貌上有极大的改变。

沙河子组基本上可以分为两大反射类型: 一是稳定的弱振幅连续平行反射, 代表了湖相沉积; 二是前积楔状反射, 代表水下扇或扇三角洲的沉积 (图 5)。

营城子组以水平层状反射为主, 同向轴粗短, 中断突然。

4.3 沉积作用与火山作用的相互关系

沉积作用受火山作用的影响, 这是断陷盆地最明显的特征之一。

(1) 火山岩的分布影响了沉积物展布空间的大小、分布。例如, 升深 101 井区, 由于火山作用堆积了巨厚的火山岩, 可能在火山口附近形成了高大的火山岩堆积地形, 成为该区火山岩的隆起区, 因而该井区缺失了沙河子组。

(2) 火山岩为沉积岩提供一定的物源, 因此在沉积岩中, 常见到火山岩夹层, 在巨厚沉积岩层中常发现火山碎屑岩层, 可见火山岩在充填过程中, 也受可容纳空间影响。

(3) 火山作用作为一种灾变事件, 可能改变煤层沉积特征。在火山沉积盆地中, 煤层很发育。但煤层往往又被当作浓缩层, 正如火山灾变引起突变性的植物体死亡, 从而堆积成煤, 其补偿程度很高, 没有表现出可容纳空间大、沉积速率很低的浓缩层段的特点。

笔者研究后认为, 断陷式盆地的充填主要受气候、构造、沉积、物源与火山作用等几种因素影响。诸因素在不同阶段里各自表现不一样。

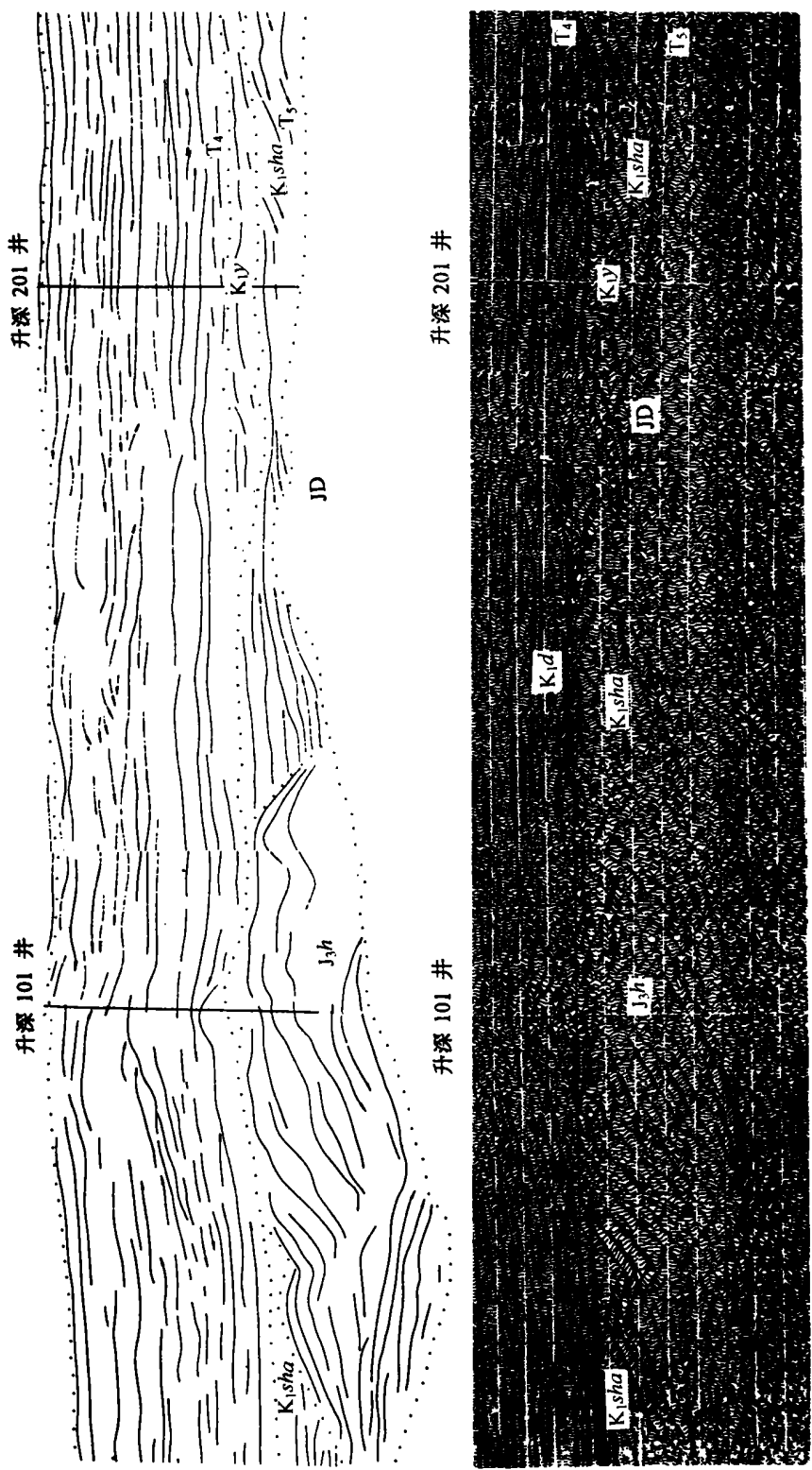


图 5 研究区典型连井剖面的解释

Fig. 5 Interpretation of typical seismic of study area

JD. 基底; J_{3h}. 上侏罗统火山石岭组; K_{1sha}. 下白垩统登娄库组; K_{1y}. 下白垩统营城组; T₄. 下白垩统营城组与下白垩统登娄库组之间的地震界面; T₅. 基底与上侏罗统火山石岭组之间的界面; T₄与 T₅在图上全用点线表示

在侏罗纪的构造样式、火山作用控制下, 最初的火石岭组以 3 个旋回的火山岩, 分别从中基性向酸性发展, 并以火山碎屑岩结束, 中酸性岩浆粘滞性较大, 可以就地堆成火山锥, 使本地成为地形高点, 此处的沉积就难以连续进行, 只有等别的地方填平补齐后方能接受沉积。在低地中, 可以形成沉积地层, 不时地被火山岩夹层所打断。

沙河子组以半浅湖相火山盆地内火山碎屑岩-煤系地层、近岸水下扇、三角洲等环境相为主, 发育 2 套三级层序。火山岩机构通过改变地形影响了沉积物的分布, 火山喷发形成的熔岩、火山碎屑岩都大大影响了沉积岩层的物源。因为火山岩占据一定的空间, 所以火山岩也可以直接影响可容纳空间, 使沉积岩层中夹有许多火山熔岩、火山碎屑岩的夹层。在分析可容纳空间、物源等地层控制因素时, 应该考虑火山岩的影响, 其中因中酸性可以有自己的地形, 所以情况较复杂; 而基性岩因粘滞性小, 且可以随盆地地形从高往低迁移, 也近似地受可容纳空间的控制。从上述分析可以得出如下结论: 在凹陷深处, 火山岩与沉积岩一起充填在可容纳空间内, 火山岩所属的体系域, 可以据附近的泥岩与砂岩的发育情况及整个层序发育的情况, 以确定火山岩段的层序归属。

同样, 沉积岩形成的层序地层也有较大的差异, 在正常地区, 层序地层旋回很清楚, LST、TST、HST、RST 较典型。而该区, 往往由于火石岭期、营城期火山喷发, 有些地方因为火山碎屑的颗粒突然增多, 往往会导致原来的沉积层序中断。例如宋深 1 井的₂, 就因为火山作用而使正常的沉积作用突然中止。在有火山岩的影响地区, 局部地段相变剧烈, 如由水下扇陡变成含煤沼泽, 也可由原来河流三角洲相陡变成粗碎屑辫状河相。

5 结论

(1) 断陷式盆地形成之初, 层序的发育受火山作用与沉积作用的共同影响, 火山作用可以占主导地位, 并可以控制地形, 直接占用可容纳空间, 提供一些物源, 沉积作用只是被动地在一个可容纳空间中充填, 与其说层序是受 4 种因素影响, 还不如说层序的发育与盆地类型有关。

(2) 本区断陷期可以分为火石岭超层序、沙河子超层序、营城超层序。其中沙河子超层序为沉积岩超层序, 可以分为 2 个三级层序, 火山岩超层序未进一步划分。

(3) 笔者认为断陷盆地在层序发育上有别于传统的被动大陆边缘, 尤其是火山岩直接控制了可容纳空间。煤系地层并不能用传统的“浓缩层”来描述, 而应充分研究其成因及补偿程度后再确定。

(4) 火山岩纳入地层框架的意义在于: 可以说明不正常地层中断的原因, 为特殊地层对比提供了依据, 同时, 火山岩与沉积岩相互耦合, 造成新的油气系统, 把火山岩与沉积岩结合起来考虑, 利于找到新的油气藏。

参考文献:

- [1] 顾家裕, 邓宏文, 朱筱敏主编. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用论文集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-50.
- [2] Vail P R, Mitchem R M Jr & Thompson S. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level,

Part 4: Global Cycles of Relative Changes of Sea Level, In: Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration, (Ed. by C. E. Payton) [J]. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 1977, 26 (5): 83-97.

- [3] 纪友亮, 张世奇, 等. 陆相断陷盆地层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [4] 胡华光, 等. 根据同位素年龄讨论侏罗纪、白垩纪火山岩系地层的时代 [J]. 地质学报, 1982, 56 (4): 315-323.
- [5] 李思田, 杨士恭, 林畅松. 论沉积盆地的等时地层格架和基本建造单元 [J]. 沉积学报, 1992, 10 (4): 11-12.
- [6] 王东坡, 刘招君, 刘立. 松辽盆地的演化与海平面升降 [M]. 北京: 地质出版社, 1994, 130-157.
- [7] 赵国连. 大庆徐家围子凹陷登娄库组三段层序地层旋回分析 [J]. 岩相古地理, 1999, 19 (4): 35-41.

Sequence characteristics of rifting basin of Xujiaweizi in Songliao Basin

ZHAO Guo-lian¹, HE Shun-li²

(1. *Petroleum University, Beijing 102200, China*; 2. *Beijing Zhongboda Petroleum
Science and Technique Company, Beijing 102200, China*)

Abstract: The applications of the principle and method of sequence of rifting basin is being researched by many workers. Especially the research of sequence of Songliao Basin in China where the continental oil and gas dominate in energy resources draws more and more attention from geologists. Some schools are formed for theory of sequence, such as tectonic theory, climate theory and comprehensive theory. This paper discusses relationship between sequence types and basin types, and then the oil and gas promising and sequence of rifting basin, and analyzes strata of Late Jurassic and Early Cretaceous period of rifting basin, i. e. Huoshiling Formation, Shahezi Formation and Yingcheng Formation. According to analysis of sequence of these strata, the changes of accommodation space and its filling process were investigated, and then divided the ultra sequence. The relationship between sedimentation and volcanism was investigated. From the concept of accommodation space, volcanic rocks were put into the frame of sequence, and the system of hydrocarbon-reservoir-cover controlled by sequence and the oil and gas exploration potential were evaluated.

Key words: rifting basin; control factors of sequence; sequence frame; source-reservoir-cover complex