

中国陆源碎屑盆地层序地层与储层展布*

邓宏文 王洪亮 翟爱军 徐长贵

(中国地质大学能源系, 北京 100083)

不同类型盆地的层序充填样式、展布特征存在较大差异。前陆盆地的层序发育主要受控于逆冲挠曲变形和负载释放的交替作用, 层序展布上表现为极度的不对称; 克拉通盆地因地形平坦, 海平面升降对层序发育起主要控制作用, 层序特征在较大的范围内表现出很好的一致性; 断裂不同规模、不同级别的幕式活动控制了陆内裂谷盆地层序各级次旋回的发育, 因此, 盆地层序往往具有多级旋回的特征; 大型拗陷盆地由于水体广阔, 层序特征可与被动陆缘类比; 山间拗陷盆地的层序发育主要受幕式构造活动、古气候以及物源等因素的影响; 山前断陷盆地的层序发育则主要受走滑拉分作用的控制。上述这些差异必然会导致不同盆地的生储盖类型及其配置关系有较大差别。就一般而言, 各级次旋回中由上升到下降的转换位置是烃源岩发育的位置; 上升半旋回和下降半旋回中形成的各类砂体是主要的储集体。

关键词 陆源碎屑 层序地层 沉积体系 储层分布

第一作者简介 邓宏文 女 52岁 教授 沉积学与层序地层学

长期以来石油地质家对储集层的成因类型、发育特征及时空分布的研究是依据沉积相与沉积体系分析来进行的, 而以沉积学为基础的储层分布的研究必须在层序地层格架中进行才能保证储层预测的准确性。盆地的层序地层特征、地层结构和沉积体系构成与盆地的成因类型紧密相关, 而盆地成因类型又受控于其所处的大地构造背景。因此, 本文意在通过不同构造背景下的盆地的层序地层发育特征分析, 研究各类陆源碎屑盆地储层分布规律, 以指导油气勘探。

1 前陆盆地

前陆盆地在我国主要分布在中、西部。西部中、新生代前陆盆地的构造应力来源于印支-燕山期古印度大陆与古亚洲大陆间的海槽逐渐关闭及远源碰撞作用, 如塔里木盆地库车-拜城(T-J)、喀什-叶城(J)、塔北(K)、柴达木北缘(J-K)、准噶尔南缘(J-E)、酒泉盆地南缘(J₃-N)等。与典型的前陆盆地相比, 我国中、新生代前陆盆地在形成之前大多没有经历被动大陆边缘发展阶段, 因而只能称为类前陆盆地^[1]。我国中部前陆盆地的形成

与扬子板块和周缘板块的缝合作用有关, 如鄂尔多斯、四川、楚雄等盆地, 由于逆冲作用在造山带前缘形成了一系列前陆盆地。

1.1 层序地层特征

典型前陆盆地的充填沉积演化大致可分为三个阶段。第一阶段为响应逆冲作用早期盆地挠曲变形的充填沉积阶段。该阶段由于盆地边缘初始挤压变形, 在山前地带提供的沉积物可容纳空间相对较小。沉积物源以冲断块一侧单方向物源为主, 多发育粗碎屑体系, 如冲积扇、扇三角洲-湖相体系等。前陆隆起区仍为水下隆起。第二阶段为响应逆冲带负载释放充填沉积阶段。该阶段由于盆地基底快速下降, 产生较大的可容纳空间, 沉积物在山前快速堆积。与此同时, 前陆隆起区也上升为陆, 遭受剥蚀, 形成盆地的另一物源区。第三阶段为下一次逆冲负载-挠曲变形阶段。前陆盆地的发生、发育、演化与充填作用就是通过这三个阶段的交替出现而进行的^[2]。下面以川西北上三叠统为例说明其层序发育特征(图1)。

(1) 前陆盆地结构的不对称性决定了盆地两侧层序形成与发育的控制因素存在较大的差异, 陡坡一侧层序受造山带逆冲构造作用控制明显; 而缓坡一侧则受构造沉降、物源供给、湖水面变化的共同影响。

* 国家“九五”攻关项目“中国重点含气盆地储盖层展布规律与预测”(96-110-08-02-02)

收稿日期: 1998 12 22

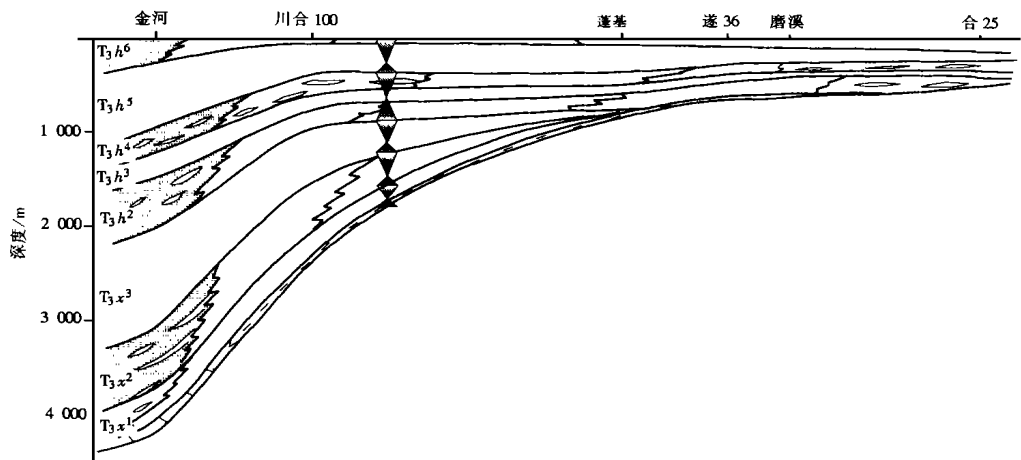


图 1 前陆盆地序地层模式——以四川盆地中西部上三叠统为例

Fig. 1 Sequence stratigraphic model of foreland basin—cite Upper Triassic of midwest Sichuan Basin as an example

(2) 盆地两侧层序特征明显不一致。山前陡坡一侧层序沉积厚度大, 沉积物较粗, 沉积体的几何形态多呈楔形, 沉积相侧向变化快, 相带窄, 很快向较深湖相过渡。短期旋回堆积样式多呈进积或加积叠加特征; 前陆隆起区层序厚度薄, 向缓坡方向上超特征明显, 沉积物粒度相对较细, 沉积相带过渡性明显, 湖泊相带宽。

(3) 层序发育早期充填地层具明显不对称结构。物源补给以逆冲推覆带前陡坡一侧为主, 主要发育粗碎屑冲积扇或扇三角洲—较深水湖体系, 沉积中心位于陡坡一侧。中晚期层序结构的对称性明显, 缓坡一侧由于前陆隆起部位的上升也构成物源, 具双向物源体系, 但两侧沉积体系类型存在差异, 沉积中心逐渐向缓坡一侧迁移。

1.2 有利储集相带分布

(1) 储集层主要为基准面上升早期的冲积扇、扇三角洲、辫状三角洲砂岩体, 除作为构造油气藏的主要储层外, 尚可与水进期形成的烃源岩组成岩性油气藏。基准面下降期的进积三角洲、河流相也为重要储集层类型。基准面上升与下降转换期湖泛(或洪泛期)形成的泥质岩为良好的区域盖层。

(2) 前陆盆地发育早期基底的不对称结构和以单向物源为主的特征, 决定了层序发育早期储层主要存在陡坡一侧的粗碎屑砂岩体内。中晚期随着沉积中心由坳陷区向前陆斜坡区的迁移, 有利储集相带和生储盖组合也发生同向迁移。

(3) 前陆盆地在演化过程中, 由于沉积中心逐渐向缓坡地带迁移上超, 很易形成地层上翘尖灭。如有足够的沉积物补给, 明显的岩性变化或储层物

性存在显著的变化, 则会在尖灭带处形成有利于天然气聚集的地层圈闭。这类圈闭常形成在层序界面附近。

2 克拉通盆地

我国克拉通盆地主要位于中东部, 包括四川盆地、鄂尔多斯盆地、华北古生界等盆地。

2.1 层序地层特征

我国古生代克拉通盆地一般包括两个巨构造层序, 即以陆表海碳酸盐岩为主的下古生界构造层序和以海陆过渡相、河湖相陆源碎屑岩为主的上古生界构造层序。以鄂尔多斯盆地和华北古生界为例说明上古生界层序地层特征。

上古生界早期的陆表海含煤盆地, 由于加里东运动后的长期风化剥蚀和准平原化, 地形十分平坦, 因此, 控制层序形成与发育的主要因素为海平面升降和沉积物补给, 而盆地的基底沉降和古气候条件为相对次要的因素。内陆表海海平面变化有两个特点: 高频变化和突发式海侵。高频变化使含煤层系的海陆交替性质和垂向上旋回性十分明显。突发式海侵控制了层序界面、洪泛面的形成以及沼泽发育程度和成煤环境的变化^[3]。由于克拉通盆地基底沉降速率较低, 古地形平缓, 海平面的升降可以引起海岸线大规模的进退和岩相上的频繁交替, 因此, 古地理环境和水动力条件在相当大的范围内具有一致性。加之气候潮湿, 在北陡南缓, 西北为陆、东南为海的古地理格局上形成了煤系地层广布的石炭系和上二叠统滨海相和海岸平原相为主的含煤盆地, 特征是构成中期基准面旋回上升半

旋回早期的低位体系域不甚发育,而是以上升半旋回晚期水进体系域的碳酸盐台地相、潮汐相和基准

面下降半旋回的滨岸滩坝相为主(图 2 下部中期旋回)。

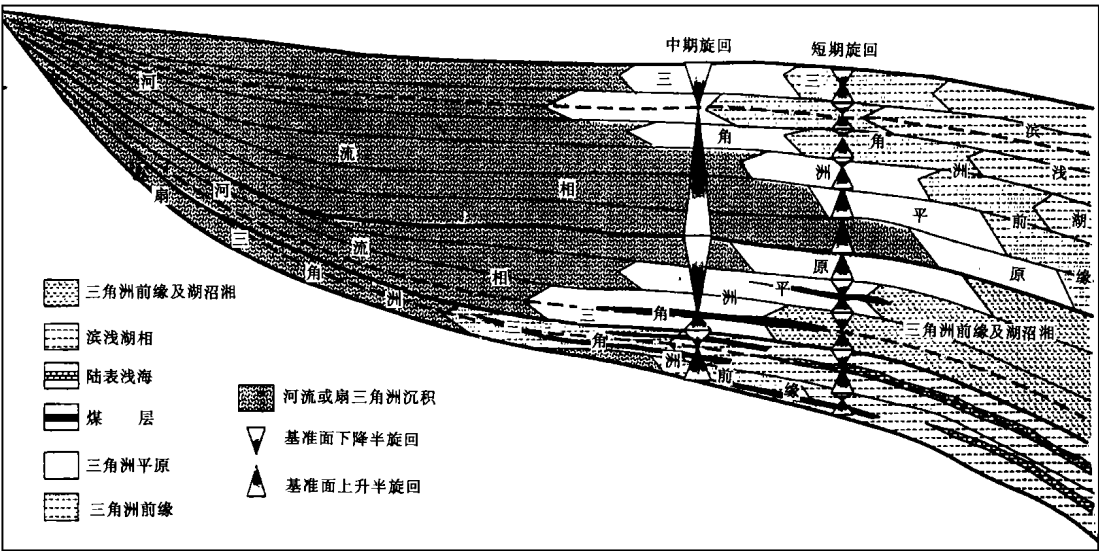


图 2 克拉通盆地层序地层模式——以鄂尔多斯盆地上古生界为例

Fig. 2 Sequence stratigraphic model of cratonic basin—cite the Upper Paleozoic Era of Ordos Basin as an example

二叠纪,海水退出盆地,开始了陆相盆地发育阶段,以三角洲-湖相、河流-冲积平原-湖沼相为主。构造运动和沉积物补给对层序发育的控制作用明显。盆地北部被来自北缘的冲积扇和河流-三角洲体系进积充填。中期基准面旋回发育完整,基准面上升半旋回主要以底部冲刷面为界的分支河道砂岩相开始,以分支间洼地相薄煤层或泛滥平原相泥岩告终;基准面下降半旋回中决口扇、决口河道发育。随着区域基准面旋回的下降,至二叠纪晚期,由于基底的抬升,可容纳空间的降低及河流三角洲向盆地的推进,中期基准面旋回以河流冲积平原相为主的基准面上升半旋回更为发育(图 2 中上部中期旋回)。

2.2 有利储集相带分布

(1) 陆表海发育阶段:气源岩主要为滨岸沼泽、泥炭坪煤层、暗色泥质岩和可能的海进期台地碳酸岩。其层序地层位置在垂向上多处于各级次基准面旋回上升和下降转换期最大可容纳空间发育处。该时期通常缺乏层序界面之上的下切河谷充填储集体、斜坡扇或浊积扇砂岩储集体等有利于天然气聚集的相带。储集层主要为中期基准面下降期内短期基准面上升半旋回晚期形成的水进型障壁岛、潮沟、潮道相和基准面下降期形成的河口坝、滩坝砂。多次海进海退导致叠置的短期旋回形成多套生储盖组合。这些砂体与基准面旋回中部海进期

的泥质烃源岩或与其邻近的煤层构成上生下储、下生上储的储盖组合。滨海平原和三角洲平原相区是气源岩最为发育的有利相带,有利储集层的平面分布位置多位于或邻近烃源岩分布区。近物源地带,多为冲积扇、扇三角洲砂体;远源部位,为发育于古隆起两侧的障壁岛、滩坝。堡坝砂的平面分布位置随海平面升降而发生游动。

(2) 克拉通盆地以陆相为主要发育阶段,有利储层多为发育在中期基准面上升半旋回下部的三角洲分支河道、冲积平原河道砂体,粒度较粗、均质性较强、物性较好,与旋回中部发育的分支间洼含煤烃源岩构成上生下储的良好生储盖组合。

3 陆内裂谷盆地

裂谷盆地主要分布在我国东部地区,包括渤海湾盆地新生界裂谷系、中生界裂谷系和松辽盆地中生界裂谷系。

3.1 层序地层特征

裂谷盆地充填地层大致都可以划分为两个构造层序,即断陷构造层序和坳陷构造层序(一些盆地断坳转化构造层序比较清楚)。对断陷发育期而言,盆缘同生正断事件是构造运动的主要形式。断层活动中应力的积累与释放产生断层的幕式活动,其结果导致断块基底沉降的阶段性及可容纳空间的周期性变化。断层幕式活动的规模、幅度、强度

则控制着可容纳空间的大小及变化速率。具区域规模的断层高级次的幕式活动形成长期地层旋回, 其间产生的次级幕式活动则形成级次较小的地层

旋回, 由此形成断陷盆地充填地层的多级次旋回特征。断陷期层序地层发育特征主要表现为以下几个方面(图 3)。

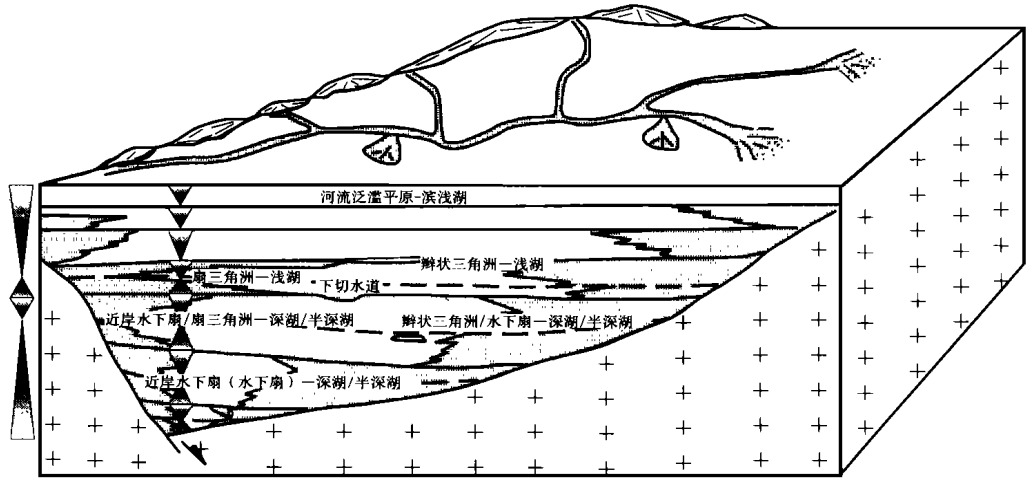


图 3 裂谷盆地(单断箕状)层序地层模式——以陆东凹陷为例

Fig. 3 Sequence stratigraphic model of half graben-like rift basin—cite Ludong Sag as an example

(1) 较大规模的湖泛作用受长期基准面旋回升降的控制。湖盆在断陷期可发生至少两次较大的湖泛作用, 但湖水最深、湖泊水域最广的湖泛作用发生在盆地强烈断陷期。该时期由于陡坡一侧断层的强烈活动, 基底下沉, 产生了足够的可容纳空间, 形成 $A/S > 1$ 的条件, 断陷期陡坡一侧至湖盆中心由于非补偿作用沉积了厚层暗色泥岩夹油页岩, 成为盆地主要生烃层段。稳定断陷期湖盆可再一次发生湖泛作用, 但由于基底沉降作用减弱, 往往湖盆水域范围较广, 但湖水较浅, 形成盆地次要生烃岩。

(2) 单断箕状盆地湖盆沉积中心具相对稳定性。由于陡坡一侧边界大断层发育早、活动时间长、断距大、延伸距离也长, 盆地断陷发育期沉降中心一直偏向陡坡一带, 最大沉积厚度、沉积中心也出现在陡坡较深水湖区。与此对应, 缓坡一侧则为斜坡发育区。双断地堑型盆地沉积中心受两侧盆缘断层活动幅度的控制偏于主控断层一侧, 盆缘主控断裂活动时间和空间位置的变化常导致盆地沉积中心的时空迁移。

(3) 单断箕状盆地发育双物源不对称沉积体系。在盆地断陷期充填过程中, 由于基底的不对称结构, 陡坡和缓坡各自形成成因类型不同的沉积体系。湖盆强烈断陷期, 陡坡一侧发育近岸水下扇群, 直接伸入较深水湖区, 形成以碎屑流、浊流为主的沉积。该类沉积体系活跃, 粒度粗、相带窄、横向

变化快, 楔状或扇体形态十分明显; 缓坡一侧发育水下扇或辫状三角洲, 粒度较细、相带较宽、辫状水道和前缘席状砂较为发育。湖盆稳定沉降期由于地形趋于平缓, 大面积浅水-较深水湖相发育, 在陡坡局部地区发育扇三角洲体系, 缓坡以辫状三角洲体系为特征。双断地堑型盆地基底结构的对称性决定了盆地的充填演化过程中两侧控盆断裂均为沉积物充填堆积提供了主要物源, 但由于断层活动强度、活动时间的差异性, 其沉积体系规模、分布范围、亚相组成等均有区别。

3.2 有利储集相带分布

(1) 有利储集层的分布与烃源岩段密切相关。裂谷盆地一般至少发育两套烃源岩, 分别发育在强烈断陷期和稳定断陷期, 但以强烈断陷期的烃源岩为主。湖盆强烈断陷期由于构造活动强烈, 物源补给充分, 储层较湖盆稳定沉降期发育, 与湖盆鼎盛期形成的生油岩组合成有利油气储层, 从而成为盆地主要含油层系。

(2) 就储层成因类型而言, 近岸水下扇、扇三角洲由于与湖相生油岩邻近或处于其包围之中, 常成为有利储集体。其中水下扇中辫状水道与扇缘席状砂和扇三角洲前缘易成为有利储集相带。

(3) 从层序地层角度分析, 强烈断陷期长期基准面旋回下降半旋回形成的三角洲、扇三角洲、近岸进积水下扇砂砾岩体中, 特别是三角洲、扇三角洲砂岩与下伏基准面转换期形成的湖泛泥岩烃源

岩层组成良好的下生上储式组合,易形成构造-岩性油气藏。强烈断陷期基准面旋回上升半旋回储层在东北中生代裂谷盆地中主要发育冲积扇、近岸水下扇、浊积扇砂砾岩体,其上覆为旋回转换期发育的湖泛泥岩生油层,生储盖配置良好,特别是伸入湖区的扇前缘部分易形成岩性油气藏。但由于这类砂砾岩体堆积迅速,分选较差,而且在一些盆地中这类砂砾岩富含凝灰质,加之埋藏较深,成岩作用强,物性差。

(4) 中生代裂谷盆地稳定断陷期经历时间较短,总体厚度较薄。主要储层为辫状河道砂、三角洲分支河道砂或滨岸砂。当裂谷盆地的拗陷期发育时,冲积河流相或三角洲相砂岩发育,储集体物性好,其下有断陷期两个长期基准面旋回形成的两套生油岩,如具备良好通道与圈闭,可形成油气藏,

如松辽盆地东南隆起区泉头组。

4 山间(地块)拗陷盆地

除吐哈盆地侏罗系外,该类盆地还应包括柴达木盆地东部第四系拗陷。

4.1 层序地层特征

山间拗陷盆地层序形成和发育过程中,盆地所处构造演化阶段的幕式构造运动、古气候和沉积物的补给是重要控制因素。在含煤层序发育的盆地中,幕式构造运动中基底较为稳定的沉降背景和气候潮湿与干燥的旋回交替又是层序形成与发育的主要控制因素。

吐哈盆地中、晚侏罗世含煤层序就形成于这种区域地质条件(图 4)。主要沿短轴方向多物源、近物源、双向物源补给。基准面上升早期,由于构造

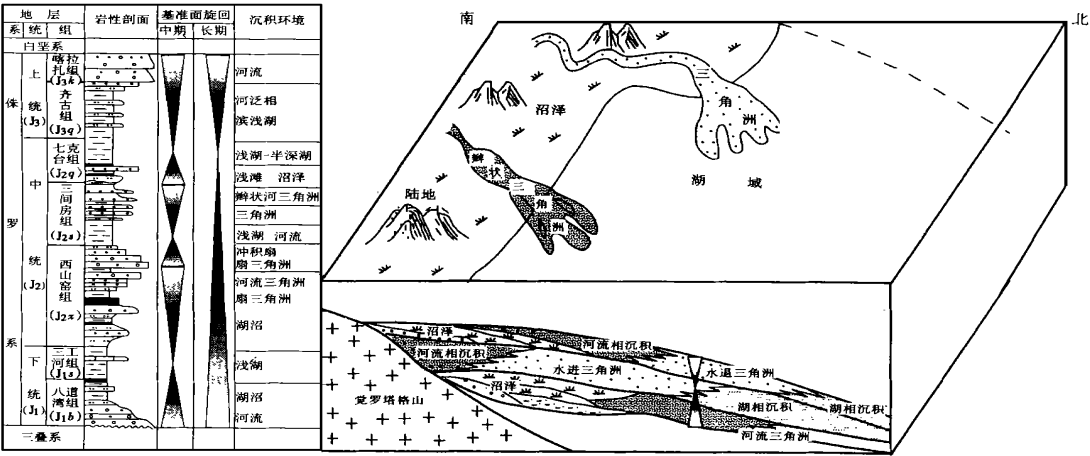


图 4 山间(地块)拗陷层序地层模式——以吐哈盆地侏罗系为例

Fig. 4 Sequence stratigraphic model of intermontane depression —cite the Jurassic System in Turpan-Hami Basin as an example

条件较为稳定,基底未发生强烈构造沉降,即使在很低的可容纳空间条件下,多数层序底部并未形成 Vail 层序地层模式中的下切河谷、斜坡扇或盆底扇的沉积体系,除边缘地区发育河流三角洲外,大面积地区在 A/S 比值大致等于 1 的动态条件下,由于气候暖湿,广泛形成了河流三角洲及湖沼环境,或滨浅湖滩坝砂和滨岸沼泽环境。在基底下降较为强烈的情况下,较陡的地形条件形成了较强的河流冲刷侵蚀作用,进积的河流三角洲体系发育。随着基准面的进一步上升,湖沼环境渐被湖相环境代替,在最大可容纳空间位置,气候潮湿时,水体较深,湖相暗色泥页岩发育;气候较为干旱时,水体较浅,滨浅湖杂色泥岩沉积。基准面逐渐下降时,在

潮湿的气候条件下,随可容纳空间的减小,开始时也易形成湖沼相含煤沉积。基准面下降晚期,由于可容纳空间迅速降低,在 A/S 小于 1 的动态条件下,进积的扇三角洲或河流三角洲发育。

柴达木盆地东部第四纪拗陷形成过程中也具备构造条件相对稳定,干湿交替的气候条件。基准面上升与下降期,南北短轴双向物源冲积扇-三角洲体系发育;但由于气候较为干燥,最大水进期充填沉积物类型在干旱时以盐沼相为主,在较潮湿时以湖沼相、浅水湖相碳质泥岩、暗色泥质岩为主。由于气候较为干燥,三角洲河流作用弱,入湖砂体多被水进期湖水改造成滩砂而成为盆地东部第四系生物气的主要储集相带。

4.2 有利储集相带分布

山间(地块) 拗陷盆地储层主要分布在各旋回基准面上升早期和基准面下降晚期的沿短轴分布的扇三角洲、辫状河流三角洲及滨浅湖滩等砂砾岩体中。其中, 缓坡一侧的辫状河流三角洲、三角洲前缘砂体, 三角洲平原相分流河道砂体分布面积广, 物性条件较好, 为最有利的储集体。

5 大型内陆拗陷盆地

大型内陆 拗陷盆地以松辽盆地最为典型(图 5)。类似的盆地还有准噶尔盆地腹部的晚二叠世及三叠-侏罗纪盆地。

5.1 层序地层特征

发育完善的大型拗陷盆地水域辽阔, 水体较

深。湖盆古地形分异明显, 存在着较明显的类似海盆的沉积滨线坡折带, 因而层序发育特征与被动大陆边缘层序模式有可类比性。大型拗陷盆地的沉积模式一般表现为由盆地边缘向盆地中心为冲积扇相—河流三角洲相—滨浅湖相—较深水、深水湖相, 呈环带状分布。

在基准面旋回变化过程中, 基准面上升早期, 盆地边缘坡折带以上冲积扇、冲积河流体系发育, 具下切谷充填作用; 坡折带以下的较深水湖区, 发育浊积沉积体系。基准面上升到最大可容纳空间位置, 湖泛作用发生, 三角洲前缘席状砂、滨浅湖滩砂发育, 也见风暴成因砂、浊积砂形成。物源补给障壁区, 还可出现小型碳酸盐台地粒屑灰岩沉积。

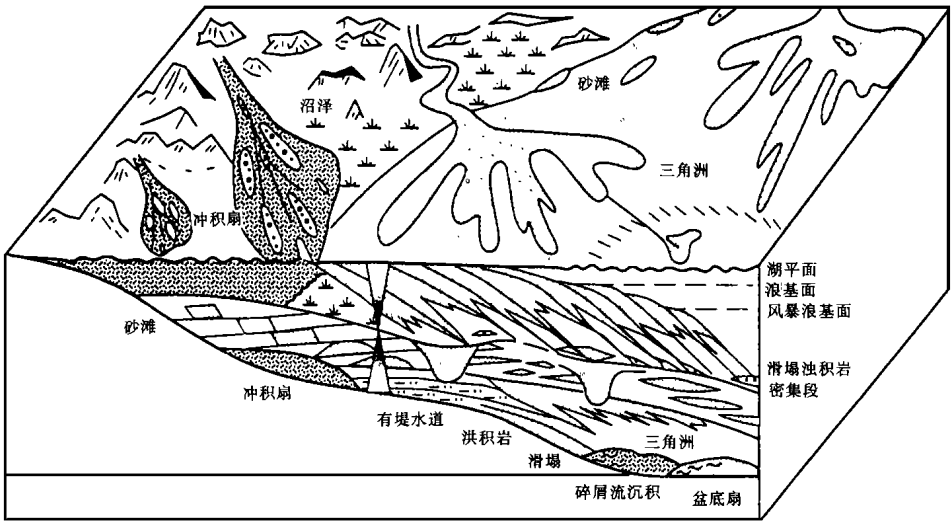


图 5 陆内拗陷盆地层序地层模式——以松辽盆地白垩系为例

Fig.5 Sequence stratigraphic model of inland depression —cite Cretaceous System in Songliao Basin as an example

基准面下降期, 形成典型的呈进积叠加样式的扇三角洲、三角洲体系(图 5)。

5.2 有利储集相带分布

有利的储集体类型较丰富, 包括河流三角洲、滩坝砂、浊积砂和下切谷充填等。其中, 基准面旋回下降期形成的各类三角洲砂体是最有利的储集体。三角洲前缘河口坝、三角洲水下分支河道常是最有利的储集相带, 常与构造圈闭相结合形成油气藏。基准面上升早期形成的各类砂体, 包括下切谷充填、河道砂岩等, 常呈透镜体形式出现, 易与围岩和水进期烃源岩组合形成岩性圈闭, 今后勘探中应引起注意。

6 山前断陷盆地

山前断陷盆地, 特别是在走滑拉张应力场背景下形成的断陷盆地, 其层序地层发育模式与沉积特征尚研究不够。该类盆地主要发育在我国西部, 如阿尔金山走滑作用断裂带两侧, 包括柴达木北缘断陷盆地西段冷湖地区侏罗系、盆地西北缘的茫崖地区侏罗系及塔里木盆地东南缘。这类盆地在张扭作用力产生的拉分作用下, 沉降深, 厚度大, 断陷分割性强, 以独立断陷为单元沉积了一套巨厚的河湖相陆缘碎屑建造。

我国含油气盆地类型众多, 不同的大地构造位置盆地的结构迥异。同一盆地不同时代、不同演化阶段、不同的构造单元, 盆地的性质也不同。在原

型盆地的基础上三叠纪以来又经历了印支运动、燕山运动和喜山运动的改造作用,导致不同盆地和相同盆地不同演化阶段盆地结构、层序发育特征及其所控制的沉积体系、沉积相展布的明显差异性和层序分析的复杂性。因此,上述总结显然还缺乏普遍性,尚有待进一步完善、补充、改正。

参 考 文 献

1 靳久强. 中国中西部前陆盆地的油气勘探. 石油勘探与开发,

1997, 24(4): 11~ 14
2 赵玉光, 许效松, 刘宝珺. 克拉通边缘前陆盆地动力层序地层学. 岩相古地理, 1997, 17(2): 1~ 9
3 李增学, 李守春, 魏久传. 内陆陆表海含煤盆地层序地层分析的思路和方法. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 1~ 7

SEQUENCE STRATIGRAPHY AND RESERVOIR DISTRIBUTION
IN CHINA'S TERRIGENOUS CLASTIC BASINS

Deng Hongwen Wang Hongliang Zhai Aijun Xu Changgui
(Resources Department, China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

Sequences of different basins differ considerably in depositional pattern, distribution characteristics. The sequences of foreland basins are mainly dominated by alternation of thrust-flexure deformation and unloading, and their distribution is very asymmetric; the sequences in cratonic basins are mainly controlled by eustasy, and coincident in broad extent; the sequences of inland rift basins are controlled by different scales and different orders of episodic fracture movements, thus resulting in multicycle sequences; sequences of large depressions are similar to those of passive continental margins; those of intermontane basins are related to episodic movement, paleoclimate and source materials; those of piedmont fault-depressed basins are related to strike-slip and pull-apart movements. The above mentioned differences are bound to cause considerable differences in types and collocation of source-reservoir-cap rock association. In general, the turning positions between rising and downing processes of the cycles are favourable places for source rocks; the sand bodies formed in semi-rising and semi-downing cycles are the main reservoirs.

Key words: terrigenous debris sequence stratigraphy depositional system reservoir distribution