

滦平盆地沉积—构造演化及高精度层序地层特征

武法东,陈永进,侯宇安,张峰,李寅

中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083

摘要: 为了确切描述扇三角洲各相带空间分布形态与规模,以便与地下相同类型的沉积体进行比较,采用精细露头层序地层学的方法,重点对滦平盆地晚期阶段发育的扇三角洲序列进行了高精度层序划分。在幕式构造作用下,滦平盆地经历了5期火山喷发和构造沉降演化阶段。在分析目前高精度层序划分意见的基础上,提出了以初始水泛面作为划分四级层序界面的观点,建立了若干界面识别标志;提出了划分五级层序的基本原则。按照上述观点,对滦平盆地所研究层段进行了高精度层序划分,共划分了2个层序、15个四级层序和40多个五级层序。剖析了滦平扇三角洲沉积构成,认为它是属同生断裂构造控制的近源陡坡粗粒浅水为主的扇三角洲体系,发育了3种沉积组合,共17种成因相。概括了盆地构造活动性对扇三角洲发育的3种控制模式,即构造平静期干旱气候发育了缓坡浅水型扇三角洲;沉降作用为主的构造活动期发育陡坡半深水—浅水型扇三角洲;盆缘抬升为主的构造活动期则发育陡坡粗粒扇三角洲。研究结论对于中国东部类似盆地的沉积体系类比以及能源勘探开发都具有借鉴意义。

关键词: 高精度;层序地层;沉积构成;盆地演化;河北滦平。

中图分类号: P539.2

文章编号: 1000-2383(2004)05-0625-06

收稿日期: 2004-06-05

Characteristics of Sedimentary-Tectonic Evolution and High-Resolution Sequence Stratigraphy in Luanping Basin

WU Fa-dong, CHEN Yong-jin, HOU Yu-an, ZHANG Feng, LI Yin

School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: In order to describe the spatial distribution and the size of all facies in fan-delta depositional system, and to compare with the same kind of system, the detailed analysis of crop sequence stratigraphy is taken in the Luanping basin. This basin underwent 5 evolution stages including volcanic eruptions and tectonic subsidences under the actions of episode tectonic movements. Based upon the analysis of high resolution stratigraphic sequence units, high-resolution sequence for the fan-delta system which was developed in late phase. The first flooding surface is taken as the fourth order sequence interface and many recognizable marks of the interface are set up. They also elaborate the principle of dividing fifth order sequence. According to the opinions and principles mentioned above, the high-resolution sequence is subdivided in Luanping basin, into 2 sequences, 15 fourth order sequences, and more than 40 fifth order sequences. In addition, the paper describes the model of fan-delta depositional composition. It dominantly was shallow and coarse fan-delta sedimentary system which was controlled by the synsedimentary fault. The system was composed of 3 depositional associations and 17 genetic facies. Furthermore, the paper generalizes three modes of fan-delta development under the control of tectonic activities. When tectonic movement is equable shallow water and slow fan-delta system is formed. During the basin subsidence was dominated, the steep and subdeep-shallow water fan-delta system would be formed. When the tectonic movement was dominated by the uplift of the basin margin, the coarse fan-delta system was developed. The conclusions have a strong analogy and referring value to energy resources' exploration and exploitation in East China's similar basin.

Key words: high-resolution; sequence stratigraphy; sedimentary architecture; basin evolution; Luanping basin.

基金项目: 中国石油天然气集团公司“露头储层精细描述及应用研究”项目。

作者简介: 武法东(1953—),男,教授,博士生导师,主要从事盆地沉积体系及地学信息系统研究。E-mail: wufd@cugb.edu.cn

滦平盆地发育在河北省北部,构造上位于燕山台褶带的北缘,处于尚义—平泉深断裂与丰宁—隆化深断裂之间的楔形地带中。这一地带同期发育了若干相同类型的盆地,构成了中生代陆相火山—沉积盆地群,其中以滦平盆地规模较大,发育时间较长,地层层序齐全。盆地构造演化对沉积体系和层序地层发育的控制作用明显。盆地演化后期阶段发育的扇三角洲体系,由于其出露完整、观测条件好,有利于对其进行深入研究(武法东等,2000;焦养泉等,2000)。这种扇三角洲体系的构造背景、形成条件、沉积构成及相带分布与我国东部中、新生带含能源盆地的情况非常类似,所以对这种盆地构造、沉积演化分析、沉积体系的剖析及高精度层序地层研究,在油气资源日趋紧张的今天,对于指导类似盆地的油气勘探和生产,具有重要的借鉴意义。

1 滦平盆地沉积充填序列

滦平盆地基底为太古代变质岩,自基底形成以来,长期处于暴露剥蚀状态。进入中生代后盆地开始形成,中侏罗世—早白垩世是主要成盆期。这一时期盆地充填了数千米厚的陆相碎屑沉积,以红色和杂色碎屑岩及中性和酸性火山岩共生为特征,可划分为 5 个组(表 1,图 1,2)。

1.1 中侏罗世早期冲积—浅湖沉积

主要为九龙山组沉积。沉积物发育在起伏不平的变质岩基底之上,平面上呈近圆形。盆地西界位于张百湾—陈营—降棚沟—长山峪一带,面积约 90 km²。底部以辫状河流沉积体系为主,局部发育冲积扇。随后,盆地沉降幅度加大,水体逐渐变深,盆地范围亦有扩大,在局部范围内沉积了湖相细碎屑岩,其中含有动、植物化石。在盆地边缘,九龙山组细碎

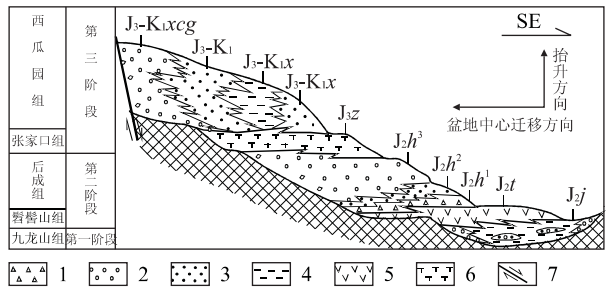


图 1 滦平盆地沉积充填及构造演化格架(据武法东等, 2000)

Fig. 1 Framework of deposition-filling and tectonic evolution in Luanping basin

1. 角砾岩;2. 砂砾岩;3. 砂岩;4. 泥岩;5. 中性火山岩;6. 酸性火山岩;7. 断层

| 地层单位 | 充填序列 | 地层特征 | 沉积环境 | 构造演化 |
|---------------------|--------------------------------------|---|--|------------------------|
| 第四纪 | D | 现代松散沉积物 | | |
| 下白垩统 K ₁ | 西瓜园组 J ₃ -K _{1x} | 一套以砾岩、砂岩、粉砂岩及泥岩、页岩、泥灰岩为主的沉积,具有很强的旋回性。最大厚度 2 500 m | 扇三角洲 浅水湖泊 河流体系 | 第三 裂 陷 阶 段 |
| | 上侏罗统 J ₃ | 张家口组 J _{3z} | 灰紫色、灰绿色粗面质角砾熔结凝灰岩、角砾凝灰岩,粗面岩、流纹岩等,最大厚度 778m | |
| 中侏罗统 | 后城组 J _{2h} | 上部:紫红色复成分砾岩,夹含砾砂岩、砂岩透镜体 中部:灰紫、紫红色砂岩、凝灰质砂岩,夹含砾砂岩透镜体 下部:灰紫、紫红色安山质砾岩和复成分砾岩。厚 1 255 m | 冲积扇— 扇三角洲 河流体系 冲积扇 | 第二 裂 陷 阶 段 |
| | 髻髻山组 J _{2t} | 灰绿、灰紫色安山岩、安山质溶角砾集块岩,夹紫红色泥岩、砂岩薄层。厚 500 m | | |
| | J ₂ | 九龙山组 J _{2j} | 紫红色泥岩,黑色页岩、砂岩、粉砂岩,底部为凝灰质砂砾岩,最大厚度 224 m | |
| 新太古界 | | 黑云角闪斜长片麻岩 | 盆地基底 | 第一裂陷阶段 |

图 2 滦平盆地充填序列(图例同图 1)

Fig. 2 Filling sequence in Luanping basin

表 1 滦平盆地中生代地层

Table 1 Mesozoic stratigraphy in Luanping basin

| 年代地层单位 | | 岩石地层单位 | 沉积体系 | 生物组合带 | |
|--------|-----|--------|-------------|--|---|
| 界 | 系 统 | | | | |
| 中生界 | 白垩系 | 下统 | 西瓜园组 | 冲积扇—扇三角洲 | <i>Ephemeropsis trisetalis</i> - <i>Eosostheria-Lycoptera</i> 组合带 <i>Nestoria</i> 延限带 |
| | | | | | |
| | 侏罗系 | 中统 | 后城组 | 干旱环境河流体系 | |
| | | | 髻髻山组 | 安山岩、角砾岩 | |
| | | 九龙山组 | 冲积扇—河流—湖泊体系 | <i>Rhipidoblattina</i> 组合带, <i>Coniopteris</i> 组合带 | |

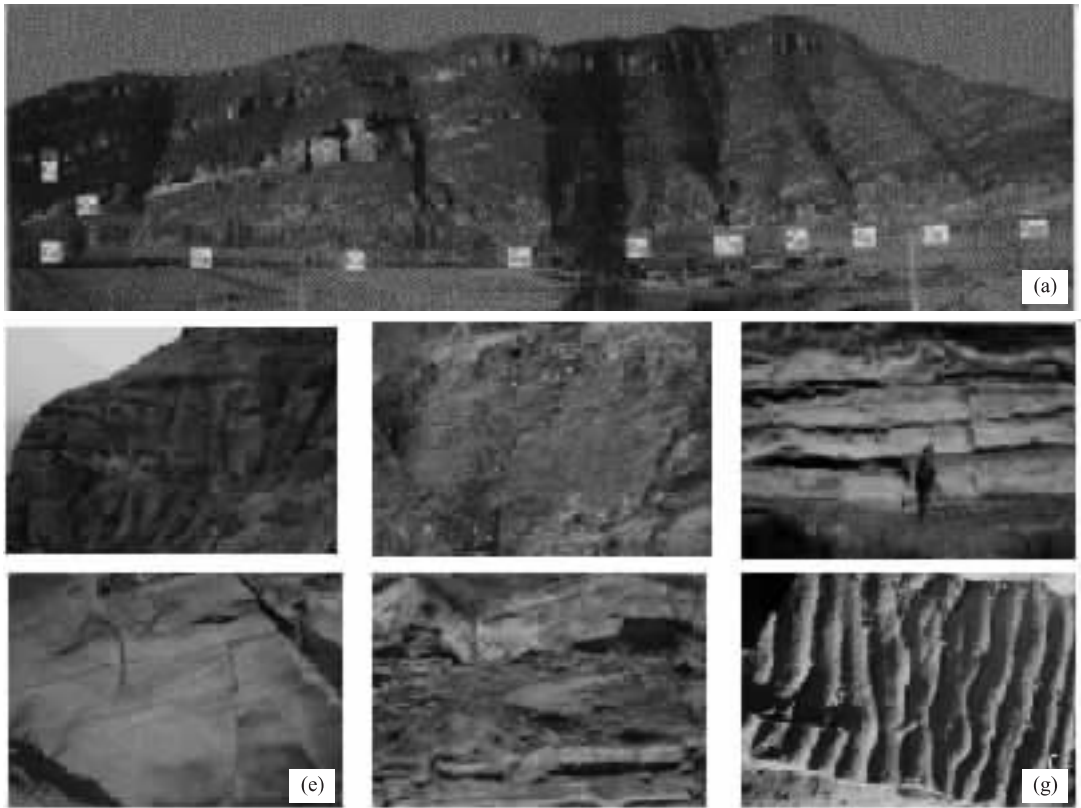


图3 滦平盆地扇三角洲沉积体系中典型的沉积构造

Fig. 3 Typical sedimentary structures in the fan-delta depositional system, Luanping basin

a. 滦平盆地桑园营子公路剖面宏观特征; b. 砾岩中的大型板状、楔状交错层理特征; c. 扇三角洲平原辫状水道中的大型平行层理特征; d. 扇三角洲远端前缘中的粉砂岩、泥岩互层特征; e. 扇三角洲远端前缘河口坝沉积中的液化构造特征; f. 大型水下塌塌构造特征; g. 近于对称的浪成波痕特征

屑岩明显超覆在早期的粗碎屑岩之上。这一时期的沉积物主要分布于滦平盆地东部的周营子、王营子一带。

1.2 中侏罗世中期火山喷发充填

伴随盆地第二裂陷阶段的开始(武法东等, 2000), 盆地火山活动增强, 开始了髻髻山组火山喷溢充填阶段, 以安山岩为主, 夹少量杂色泥岩、砂岩, 代表了火山间歇期的充填。

1.3 中侏罗世晚期冲积体系充填

火山岩喷发之后, 随构造活动强度的降低及热回沉作用, 盆地下沉接受了一套厚达 2 500 余 m 的红色粗碎屑岩沉积, 其特征是分选差, 属于干旱环境下的冲积体系。

冲积扇主要分布在长山峪—降棚沟—西梁一带。在平面上呈由南东向北西展布的扇形分布。每期扇体在空间上都具有岩性的三分性, 沿沉积倾向(由南东向北西), 岩石的结构构造变化规律非常明显。该期河流沉积也较发育, 根据古水流分析, 其流向由

南西西北东, 与扇体倾向近于垂直, 属于径向河流。该阶段沉积物在空间上具有明显的分带性, 自南东向北西依次为扇砾岩、砂岩、粉砂岩、河流砾岩。沉积物以红色为特征, 指示为干旱气候条件。

1.4 晚侏罗世火山喷发充填

至晚侏罗世, 构造活动再次加剧, 导致了大规模酸性火山岩喷发, 形成张家口组火山岩充填。

1.5 晚侏罗世—早白垩世湖泊、扇三角洲体系充填

在 SE—NW 向拉张应力作用下, NE 向的同生断裂控制了盆地的发展和演化。盆地范围和盆地中心随断裂活动由 SE 向 NW 逐渐扩大和迁移, 形成了西瓜园组以典型扇三角洲体系为主的多期沉积。该期沉积物主要分布于滦平盆地的西北侧, 在平面上由 NE 向 SW 出露范围逐渐变宽, 呈楔形展布。

综上所述, 盆地在幕式构造作用之下, 经历了多期的火山喷发和构造沉降作用阶段, 充填了巨厚的火山碎屑岩和以冲积体系为主的陆源碎屑岩。本文进行高精度层序地层研究的层段即是盆地演化后期

发育的西瓜园组的扇三角洲沉积充填序列(图 3a)。

2 高精度层序地层划分及沉积构成

限于工作区研究基础比较薄弱,本研究主要应用层序地层学短期物理事件建立滦平扇三角洲高精度层序地层格架。

2.1 高精度层序地层划分原则

高精度层序地层单元主要是指三级以下的四级、五级层序和体系域,因此四级、五级单元的划分是高精度层序地层研究的前提。

中国陆相湖盆和滨海浅盆地沉积层序的研究表明,四级沉积旋回的水进界面在盆地范围或盆地大部分地区都可以追踪对比,对它们的识别是建立高精度层序格架的关键。目前对四级层序的划分有 2 种意见:一种认为,四级层序界面应以(最大)水进界面为界,因为水进界面是高频沉积旋回变化追踪对比最为可靠和易于识别的标志(林畅松等,2002);另一种观点认为,当四级海平面变化旋回中的下降期较明显时,可以水退界面划分出四级层序(Wagoner *et al.*, 1990; Henry *et al.*, 1992; Cross *et al.*, 1994)。

笔者认为,本文所研究的滦平扇三角洲剖面应将四级层序界面置于水退界面之上,因为沉积序列中的初始水泛面代表了又一个新的沉积旋回的开始。它的物理含义是,由于水深突然或逐渐增大产生的时代较新的岩层(沉积物)与下伏时代相对较老岩层(沉积物)的分界面。

本区识别四级层序的主要标志包括:(1)岩性上,从四级层序界面之下的砾岩、含砾砂岩或砂岩突变为界面之上的泥岩;(2)在扇三角洲平原,四级层序界面之下可以出现暴露或准暴露的标志,如粗大的生物潜穴、植物根穴等;(3)界面之上的泥岩中往往含有生物化石(浮游类、三尾叶肢介等);(4)界面之上的岩性、各种成因标志和沉积特征反映水深逐渐明显加大。

五级层序划分的原则主要考虑次级湖泛面及其岩性的规律组合,在详细研究的桑园营子剖面中共识别、划分出 44~48 个五级层序,包括向上变粗和向上变细 2 种主要类型。由于形成五级层序及控制其变化的因素远比形成四级层序的因素要复杂,因此,五级层序只能在大比例尺条件下才能进行小范围内的划分和对比。在陆源碎屑盆地中,四级层序代

表了碎屑体系一次明显的从水进到水退的沉积过程,这个过程主要受控于区域性湖平面、沉积基准面或同期的构造和气候变化,是属于与沉积过程本身没有直接关系的“它旋回”。而五级层序则代表了一次单一的退积到进积的沉积过程,这种沉积过程主要是沉积体的“自旋回”作用的产物。

2.2 桑园营子剖面高精度层序地层序列划分

依据上述层序地层划分的原则,根据野外对沉积特征的详细观测,在桑园营子公路剖面进行了高频层序单元识别和划分,并最终建立了高频层序地层序列,包括识别了不完整的 2 个层序,其中下部层序是主要的研究对象;共划分了 15 个四级层序、40 多个五级层序(图 4)。

2.2.1 下部层序 未见下部层序的底界面。根据总体湖平面升降变化,下部层序自下而上可分为低水位体系域、水进体系域和萎缩体系域 3 部分。四级层序 S_{15} — S_{13} 属于低水位体系域,总体是干旱条件下

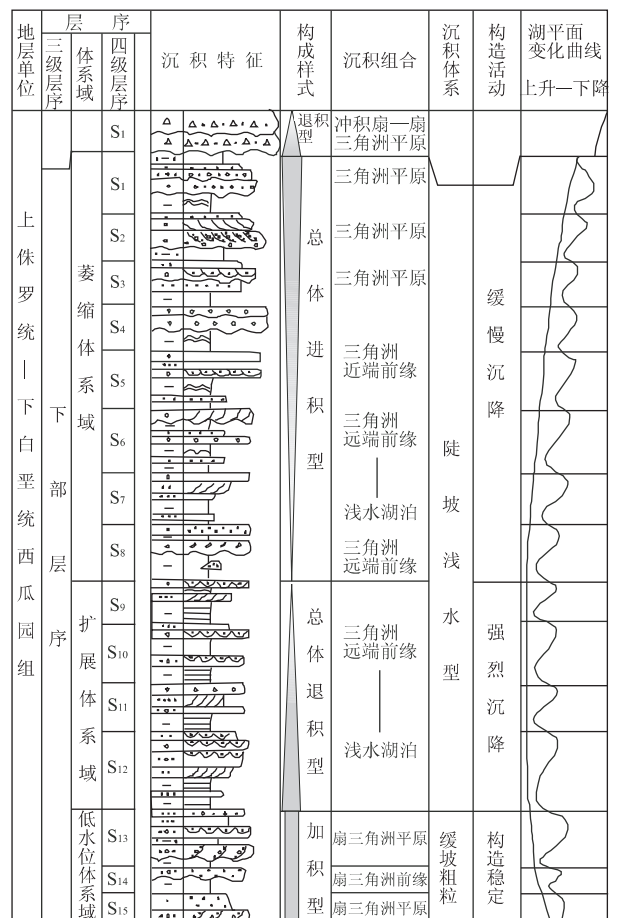


图 4 滦平盆地扇三角洲高频层序地层格架

Fig. 4 Framework of fan-delta high frequency sequence stratigraphy in Luanping basin

以扇三角洲平原为主的粗粒沉积, 由泥石流、辫状水道等杂色的扇三角洲平原沉积组合构成。四级层序 S_{12} — S_9 属湖扩展体系域, 总体特征是以湖泊扩展作用为主, 泥岩中滑塌构造发育, 出现丰度不等的水生生物化石(三尾叶肢介等)。这 4 个四级层序以向上变粗的进积型旋回构成, 砂、泥岩比值总体较高($>40\%$), 以浅湖—扇三角洲远端前缘沉积组合为主。湖萎缩体系域自 S_8 开始至 S_1 结束, 包括 8 个四级层序。四级层序的构成形式与湖扩展体系域的层序类似, 所不同的是: (1) 四级层序中代表湖泊扩展期沉积的泥岩向上逐渐变薄; (2) 代表近端前缘、水下河道沉积的粗碎屑所占比例逐渐增大; (3) 顶部出现扇三角洲平原沉积。

上述特征表明了湖泊逐渐萎缩, 碎屑体逐渐向湖推进的过程。湖萎缩体系域以远端前缘、近端前缘及扇三角洲平原沉积组合为主。

2.2.2 上部层序 上部层序仅见 S_1^+ 四级层序, 构成层序的低位体系域。层序底部界线明显, 以大型辫状水道底部强冲刷面与其下扇三角洲平原细粒沉积区分, 此界面可能为小型不整合面。低位体系域碎屑粒度粗、搬运能量强、沉积厚度大, 属于构造活动期的产物。

2.3 滦平盆地桑园营子剖面的沉积构成

在对滦平盆地西瓜园组露头(图 3a)进行大量野外考察和详细分析的基础上, 认为它属同生断裂构造控制的、湖盆水深变化的、近源粗粒浅水为主的扇三角洲, 可分为 3 种类型: 构造平静期干旱缓坡浅水型扇三角洲(低水位期沉积)、构造活动期(盆地沉降为主)陡坡浅水—半深水型扇三角洲(湖泊扩展期)、构造活动期(盆缘剥蚀区抬升为主)陡坡粗粒扇三角洲(上部层序)。本区扇三角洲的主要特征如下:

(1) 距离物源区近, 扇三角洲平原和扇三角洲前缘中几乎各种成因相的沉积物都表现为以粗粒为主(图 3b, 3c), 且沉积相带变化快; (2) 泥石流沉积物、辫状水道沉积物既可以发育在扇三角洲平原上, 又可以延伸至水下, 也表明从源区到沉积区距离不大, 应属近源搬运沉积; (3) 发育 2 种类型的扇三角洲前缘, 即近端扇三角洲前缘和远端扇三角洲前缘。前者以辫状水道与扇三角洲前缘粗粒沉积逐渐过渡为特征; 后者则以细粒砂质与泥质岩层交互为主(图 3d)。河口坝不发育(典型的河口坝(图 3e)仅见于西杨树沟门剖面); (4) 扇三角洲沉积序列旋回性明显, 以湖泛面为界面的四级层序多呈典型的倒粒序, 且

呈规律的垂向叠置, 表明湖平面升降变化频繁, 或构造活动、碎屑供应具有周期性; (5) 湖相泥岩厚度总体不大(图 3f), 生物化石在部分四级层序底部的泥岩中发育, 表明湖泊水体深浅有变化, 但是以浅水为主; (6) 在许多层位发现不同类型的波痕(图 3g), 表明波浪对沉积物具有一定的改造作用; (7) 由下而上 3 种扇三角洲类型的出现, 表明本区扇三角洲经历了 2 个演化阶段, 即构造活动相对平静、气候干旱、扇三角洲以加积为主的阶段和构造活动相对强烈、气候潮湿、扇三角洲以进积为主的阶段。

综上所述, 滦平扇三角洲为同沉积断层控制的近源粗粒陡坡型浅水扇三角洲。扇三角洲体系内部构成复杂, 由多种成因相在空间上的有机组合构成。依据沉积作用性质、沉积环境的相关性及野外对若干剖面沉积解析研究, 将扇三角洲体系分为 3 种沉积组合, 即扇三角洲平原组合、扇三角洲前缘组合和前扇三角洲—浅湖组合, 共识别了 17 种成因相(表 2)。

3 构造活动对扇三角洲发育的控制

在陆相盆地中, 构造活动是控制盆地沉积的首要因素, 它通过影响盆地覆水深度、沉积古坡度, 并与古气候共同作用于沉积盆地。详细解剖滦平盆地西瓜园组扇三角洲的发育过程, 发现扇三角洲的发

表 2 冲积扇—扇三角洲体系沉积组合及成因相划分
Table 2 Subdivision of alluvial fan-delta system depositional association and its genetic facies

| 沉积体系 | 沉积组合 | 成因相 | 成因相代号 |
|------------|---------------------|----------------|-------|
| 浅水陡坡扇三角洲体系 | 扇三角洲平原(水上砾质、砂质沉积为主) | 粘性泥石流沉积(扇根—扇中) | VDF |
| | | 稀性泥石流沉积(扇中) | SDF |
| | | 辫状水道沉积(扇中—扇端) | BSD |
| | 扇三角洲前缘 | 漫流沉积(扇端) | SFD |
| | | 决口沉积 | CVD |
| | | 水道(扇)间细粒沉积 | IFD |
| | 前扇三角洲 | 水下辫状河道沉积 | SBC |
| | | 近端前缘砂沉积 | PFS |
| | | 远端前缘砂沉积 | DFS |
| | | 河口砂坝沉积 | MBD |
| | | 水下泥石流成因相 | SDF |
| | | 水下滑塌堆积 | SSD |
| 前扇三角洲 | 河道边缘沉积 | CMD | |
| | 砂泥互层沉积 | ID | |
| | 浅水湖泊泥质沉积 | SLM | |
| | 砂质重力流沉积 | SGD | |
| | 浊流沉积 | TD | |

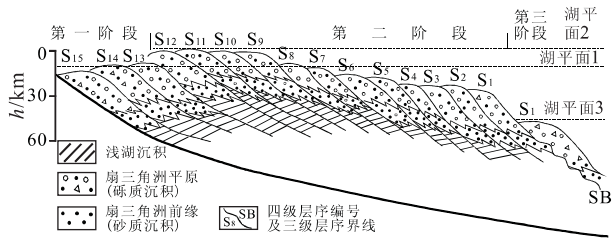


图 5 滦平盆地构造条件控制下扇三角洲沉积体系充填演化模式

Fig. 5 Filling evolution mode of fan-delta depositional system under the tectonic control in Luanping basin

育明显受构造活动的控制(图 4, 5)。

3.1 构造平静期干旱缓坡浅水型扇三角洲(S_{15} — S_{13})

构造活动相对平静,以加积作用为主。在沉积构成上,扇三角洲平原组合比较发育,其中,泥石流沉积少见,辫状水道以厚度小、沉积物粒度细、分布范围广为特征。此外,辫状水道间的细粒沉积物以灰绿色泥岩、粉砂岩为主,少量植物根穴,也见呈水平状发育的粗大的生物活动遗迹(水平潜穴)。

3.2 沉降作用为主构造活动期的陡坡半深水—浅水型扇三角洲(S_{12} — S_1)

包括 2 个阶段:早期构造强烈沉降,表现为水进退积(S_{12} — S_9),湖平面上升;晚期构造缓慢沉降,以水退进积为主,湖平面逐渐下降。该阶段发育的扇三角洲以频繁交互的水进退积—水退进积层序或浅湖—扇三角洲前缘层序为特征。每一次交互以湖泛面为起始面,而后是浅湖、扇三角洲远端前缘到近端前缘沉积。各四级层序都代表了一次湖平面的小规模突然上升,而后逐渐下降的过程。

3.3 盆缘抬升为主构造活动期的陡坡粗粒扇三角洲(S_1^+)

强烈抬升作用为主,湖平面大幅度下降,近物源高能搬运粗碎屑,形成向上变细的扇三角洲平原沉积层序。主要发育泥石流、辫状水道等粗粒沉积物,具有沉积厚度大、混杂结构为主和搬运侵蚀能力强等特点,细粒沉积物所占比例较低。沉积物的搬运和沉积特点集中表明了由于盆缘边界断裂的强烈活动,致使古斜坡变陡,物源供给充足,搬运侵蚀能力增强,从而形成这种岩性粗、结构杂的扇三角洲沉积体。

在上述作用阶段中,对沉积样式起控制作用的首要因素是构造作用,其次是由构造活动控制的碎屑物供应强度和气候因素。这与大陆边缘盆地的沉

积控制因素截然不同(Wu *et al.*, 1999)。

References

- Aitken, J. F., Howell, J. A., 1996. High resolution sequence stratigraphy: Innovations, applications and future prospects. *Geological Society Special Publication*, 104: 1—9.
- Cross, T. A., Baker, M. R., Chapin, M. A., et al., 1994. Application of high resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis. In: Eschard, R., Doligez, B., eds., *Sub-surface reservoir characterization from outcrop observation*. Technip, Paris, 11—33.
- Henry, W. P., Allen, P., James, D. P., 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: Concepts, examples and exploitation significance. *AAPG Bulletin*, 76: 1687—1709.
- Jiao, Y. Q., Wu, F. D., Li, S. T., et al., 2000. Diagenism and thermal fluid episode migration events in Luanping basin. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 615—622 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Liu, J. Y., Liu, L. J., et al., 2002. High resolution sequence stratigraphy analysis: Construction of chronostratigraphic sequence frame work on facies and reservoir scale. *Geoscience*, 16(3): 276—281 (in Chinese with English abstract).
- Wagoner, V. J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M., et al., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. *AAPG Methods in Exploration Series*, 7: 22—50.
- Wu, F. D., Chen, Y. J., Li, Y., et al., 2000. Tectonic evolutions and their control on development of fan-deltic depositional system in the Luanping basin. *Geoscience*, 14(2): 179—184 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. D., Li, S. T., Lu, Y. C., et al., 1999. Tertiary sea level changes and sequence stratigraphic framework in East China Sea shelf basin. *Journal of China University of Geosciences*, 10(2): 178—186.

附中文参考文献

- 焦养全, 武法东, 李思田, 等, 2000. 滦平盆地成岩作用过程及古流体幕式运移事件分析. *岩石学报*, 16(4): 615—622.
- 林畅松, 刘景彦, 刘丽军, 等, 2002. 高精度层序地层分析: 建立沉积学和储层规模的等时地层格架. *现代地质*, 16(3): 276—281.
- 武法东, 陈永进, 李寅, 等, 2000. 河北滦平盆地构造演化及对扇三角洲发育的控制作用. *现代地质*, 14(2): 179—184.