

文章编号: 1009-3850(2011)04-0020-08

惠民凹陷西部沙四下亚段冲积扇沉积类型与成因分析

张鑫¹, 张金亮²

(1. 中海油研究总院, 北京 100027; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 本文在岩心观察和描述的基础上, 结合地震、测井等资料及平面上砂体的分布形态, 对惠民凹陷西部沙四下亚段的沉积特征及成因进行了研究。认为研究区沙四下亚段主要发育冲积扇沉积的泥石流扇和辫状河扇两种类型, 共识别出了6种沉积微相。宁南断层和无南断层下降盘发育大面积的辫状河扇沉积。砂体垂直岸线分布, 延伸距离较远。平面上分布呈扇形, 沉积相带分异不明显, 主要沉积微相为辫状河道、河道砂坝与河道间沉积。邻近齐广断层断崖处发育泥石流扇沉积, 砂体不甚发育, 与辫状河扇相比, 该沉积类型砾岩富集, 扇体规模较小。相带变化比较明显, 主要沉积微相为泥石流沉积、河道沉积与漫流沉积。该沉积体系的形成主要受构造活动、古地貌、物源区性质与古气候等因素的影响, 断裂活动是该沉积体系形成的决定性因素。

关键词: 惠民凹陷; 泥石流扇; 辫状河扇; 地震相; 沉积模式

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

引言

国内外对冲积扇沉积的研究比较多^[1-3], Stanistreet 和 McCarthy(1993) 将冲积扇按照其成因划分成3种主要类型: 泥石流扇, 主要由泥石流作用形成的冲积扇, 即通常所说的干扇; 辫状河扇, 主要由辫状河作用形成的冲积扇; 低弯度曲流河扇, 主要由曲流河作用形成的冲积扇^[4]。许多经典研究的冲积扇都可以归到这3种类型之中。惠民凹陷西部沙河街组四段下部是一套分布广泛的红色或紫红色砂泥岩互层沉积, 该套红层过去认为是冲积扇成因或洪水-漫湖沉积^[5-7]。笔者对惠民凹陷西部沙四下亚段进行了沉积学的系统研究, 同时结合该地区的区域构造及古气候特征, 认为该套红层存在泥石流扇和辫状河扇两种沉积类型。

1 地质背景

惠民凹陷是济阳坳陷中最大的次一级的构造单元, 长轴大致呈 NNE 走向, 面积约 7000km², 属

中、新生代断陷盆地。西部为临清坳陷, 东部与东营凹陷相通, 南以齐河-广饶断裂与鲁西隆起相接, 北以陵县-阳信断裂与埕宁隆起相邻^[8]。凹陷北部宁南断层、无南断层和南部齐广断层控制了惠民凹陷的发育。3条控凹断层均在孔店组时期开始活动, 南北两侧断层同时活动使惠民凹陷成为济阳坳陷内唯一具有“双断”特征的凹陷^[9]。由于断层活动的差异性, 孔店组时期盆地的沉积沉降中心位于现今惠民凹陷的南斜坡, 沉积充填外形为向北西方向减薄的楔形体^[10]。沙四段沉积时期, 北部宁南断层活动剧烈, 盆地表现为北断南超, 沉积沉降中心位于北东向同生断层的下降盘。持续的拉张作用, 使沙四段沉积时期北部旋转半地堑转变为滚动半地堑^[11], 孔店组与沙四段之间有明显跷跷板现象。

2 沉积相分析

2.1 泥石流扇

1. 地震相特征

惠民凹陷西部沙四下亚段沉积时期泥石流扇主

收稿日期: 2011-02-08; 改回日期: 2011-04-09

作者简介: 张鑫(1980-), 男, 博士, 综合地质工程师, 沉积学专业。E-mail: zhxouc@126.com

资助项目: 国家高技术研究发展计划 863 项目专题(2006AA09Z336) 资助

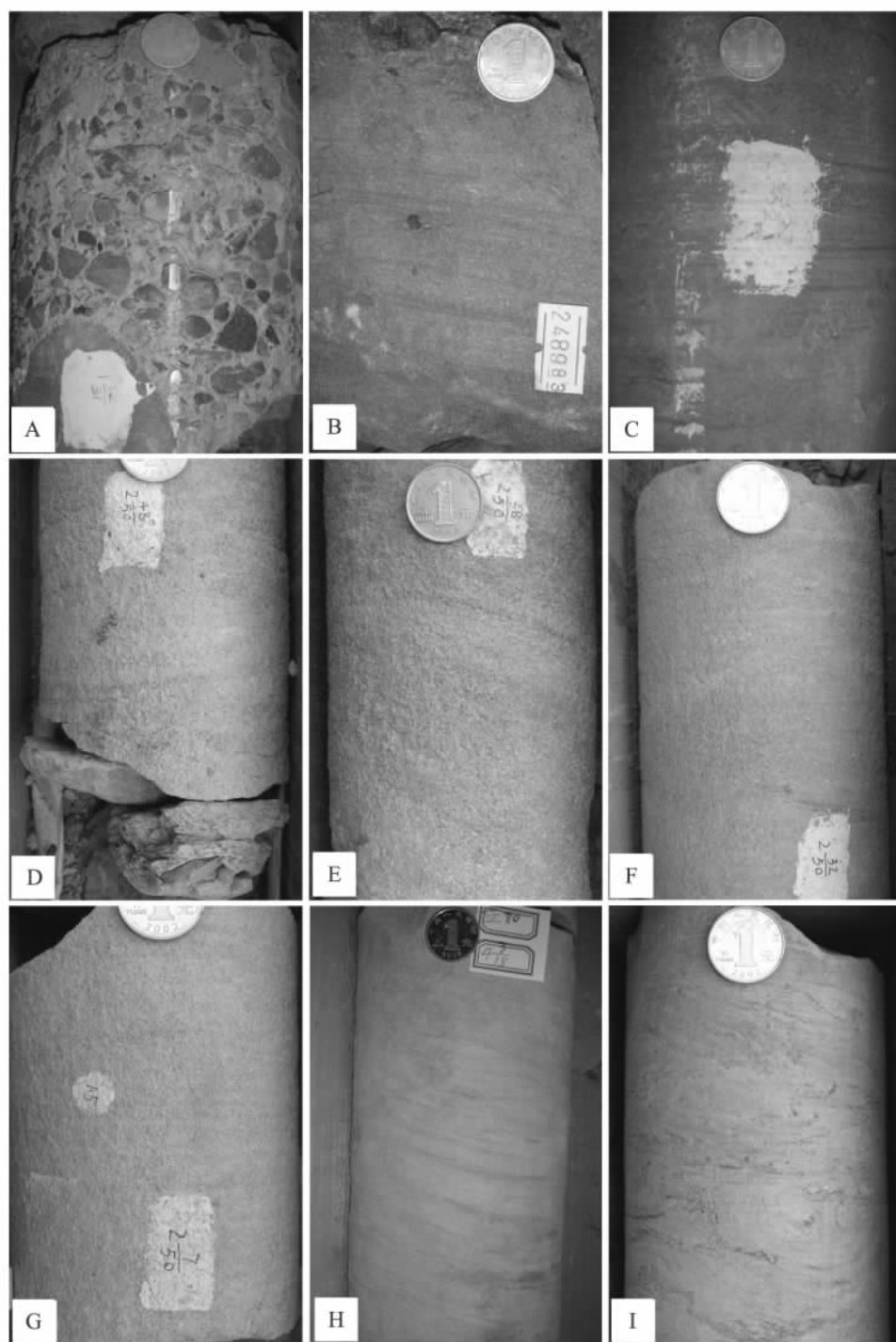


图1 各沉积相沉积构造特征

泥石流扇: A. 钱斜 14, 杂乱砾石; B. 钱斜 14, 低角度交错层理; C. 钱斜 10, 平行层理; 辫状河扇: D. 临 57, 河道底部冲刷; E. 临 57, 槽状交错层理; F. 临 57, 低角度交错层理; G. 临 57, 平行层理; H. 盘 80, 水流沙纹层理; I. 临 57, 生物扰动构造

Fig.1 Sedimentary structures in individual sedimentary facies

Debris flow fan: A. Chaotic gravels through the Qianxie-14 well; B. Low-angle cross-beddings through the Qianxie-14 well; C. Parallel beddings through the Qianxie-10 well. Braided stream fan: D. Channel basal scouring through the Lin-57 well; E. Trough cross-beddings through the Lin-57 well; F. Low-angle cross-beddings through the Lin-57 well; G. Parallel beddings through the Lin-57 well; H. Current ripple lamination through the Pan-80 well; I. Bioturbation structures through the Lin-57 well

要分布在紧邻齐广断层下降盘一侧,以剥蚀充填为主,可分为扇根、扇中和扇端3种亚相。在纵贯扇体地震剖面上扇体为楔形反射,在横切扇根或扇中地震剖面上为宽缓的丘形反射。扇体的扇根部分厚度相对较小,而在扇中部位向湖盆方向加厚。内部反射结构在扇体的不同亚相特征又有所不同,其中扇根和扇端亚相为空白和杂乱反射,而扇中亚相为低频的亚平行或发散结构。在垂直物源方向的地震剖面上,地震反射特征主要表现为楔形前积、楔状乱岗-前积、丘状乱岗反射或透镜状反射,振幅强弱多变,连续性中-差。

2. 沉积特征

该区泥石流扇扇根分布于邻近齐广断层断崖处的顶部地带,其特征是沉积坡度角大,常发育有单一的或2~3个直而深的主河道,流程一般较短。据岩心观察,扇根岩性主要是由分选极差的泥支架的砾岩、砂砾岩所组成的河床充填沉积及泥石流沉积组成(图1A、B),砾石间为砂、粉砂和泥质充填,一般无层理结构或呈块状构造。但有时也可见到低角度交错层理与平行层理等(图2a)。

扇中以辫状分支河道和漫流沉积为主,与扇根相比,砂/砾比值较大,岩性以砂岩、砾状砂岩为主,

粒度分选性较差,反映了载荷能力大、堆积速度快的堆积过程。可见辫状河流形成的不明显的平行层理和交错层理(图1C),河道冲刷-充填构造发育。漫流沉积主要为棕色泥岩,反映了陆上沉积环境的特征(图2b)。

扇端出现于泥石流扇的趾部,由于地形平缓,沉积坡度角低,沉积类型以漫流沉积为主,沉积物较细,通常由砂岩夹粉砂岩、泥岩组成,分选较好,泥岩颜色为棕色。砂岩可见平行层理、交错层理、冲刷-充填构造等(图2c),砂体单层厚度小,物性差。

2.2 辫状河扇

辫状河扇多以相互叠加的砾石质辫状河形式出现,也即由辫状河组成的辫状平原。其特征是沉积坡度角比泥石流扇要小,河道多、切割频繁,而且河道不固定,流程一般较远,因此其沉积作用及其类型与泥石流扇的沉积作用及类型有所不同。

1. 地震相特征

惠民凹陷西部在宁南断层和无南断层下降盘发育辫状河扇沉积体系。此地震相具有顶平底凸上超充填的特点,呈现弱振幅、弱连续、亚平行状的

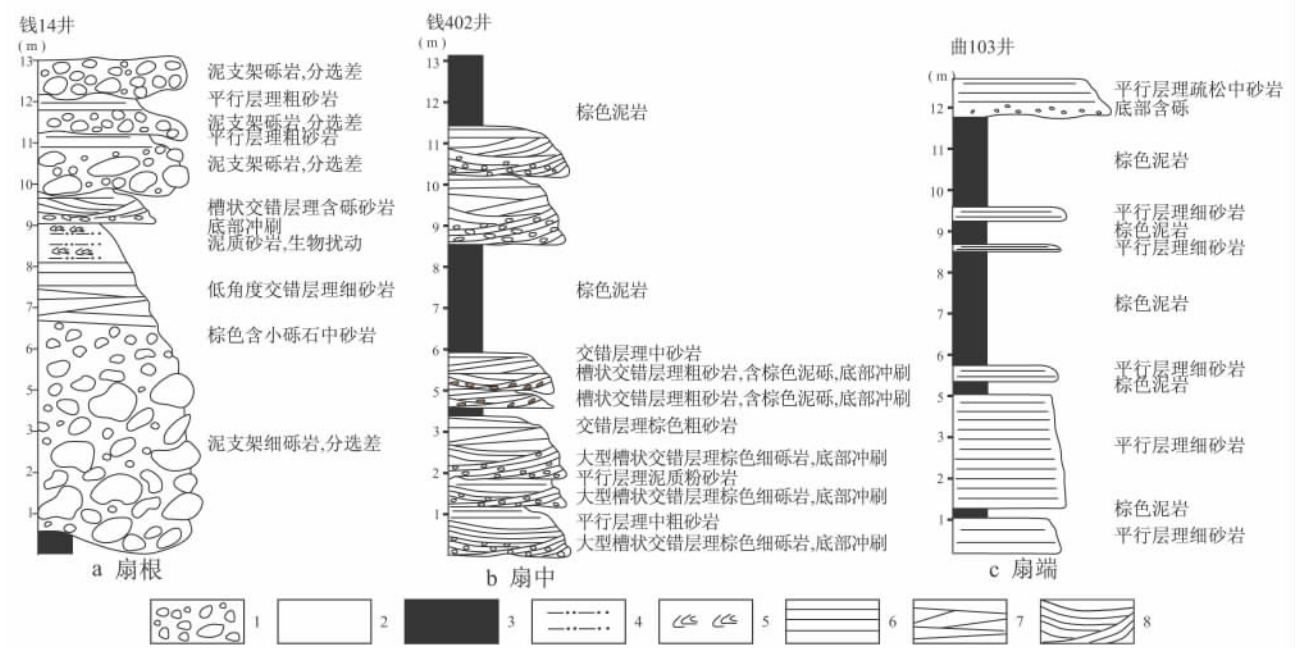


图2 惠民凹陷西部沙四下亚段泥石流扇沉积层序

1. 砾岩; 2. 砂岩; 3. 泥岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 生物扰动构造; 6. 平行层理; 7. 低角度交错层理; 8. 槽状交错层理

Fig. 2 Vertical sequences of the debris flow fan deposits in the lower submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

a. Proximal fan; b. Mid-fan; c. Terminal fan. 1 = conglomerate; 2 = sandstone; 3 = mudstone; 4 = muddy siltstone; 5 = bioturbation structure; 6 = parallel bedding; 7 = low-angle cross-bedding; 8 = trough cross-bedding

反射结构。河道切割第三系基底顶面,形成明显的下凹地貌,河道内部沉积物的充填作用表现为来自凸起沉积物侧向叠置的侧积式充填,向上河道逐渐变浅、填平,可出现向两侧的双向上超反射。

根据地震反射特征,可进一步划分出河道砂体和泛滥平原沉积体。河道砂体在走向剖面上的反射形态多呈席状、低连续的亚平行反射。倾向剖面上底界呈明显的凹形,具有明显的切割现象,其底面常形成一个局部的侵蚀面。反射界面沿河道底界面层层上超,其上部弱波状反射层是低速泥岩反射。泛滥平原地震剖面上表现为弱振幅,同相轴较为紊乱,呈现杂乱-亚平行状地震反射特征,连续性

较差,频率较高。

2. 沉积特征

辫状河扇内部环境极不稳定,河道迁移频繁,河道砂坝时而被侵蚀,时而又建立,而河道间泛滥平原沉积和决口扇沉积不太发育,沉积相带分异不明显,主要微相为辫状河道、河道砂坝和分流间沉积。

辫状河扇的河道通常终年有水,洪水期流量增大,枯水期流量减小。层序内部具有冲刷面,冲刷充填构造频繁出现,垂向上表现为正韵律和复合韵律,发育砾岩、砾状砂岩和砂岩,槽状交错层理、低角度交错层理、平行层理及水流沙纹层理等发育,

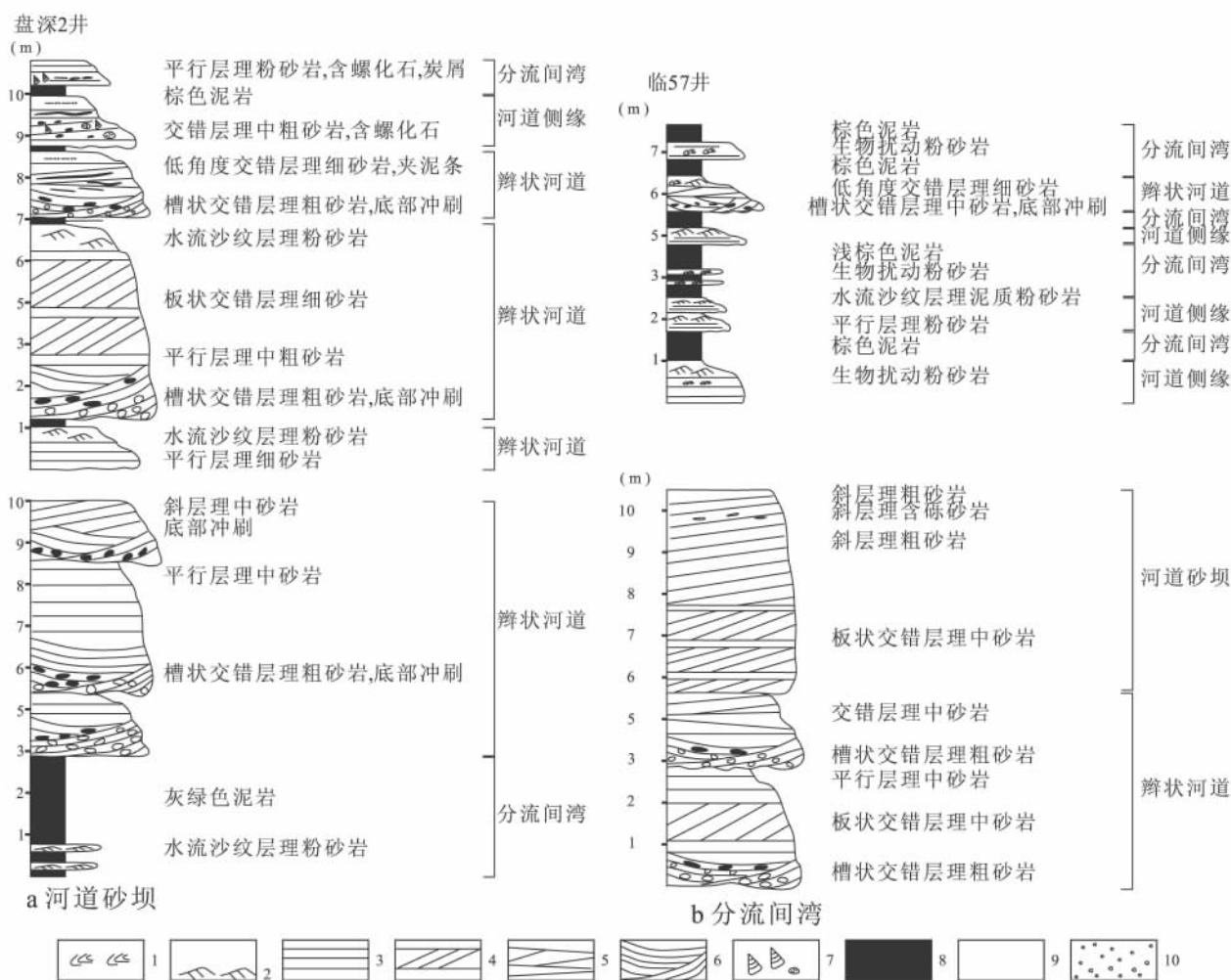


图3 惠民凹陷西部沙四下亚段辫状河扇沉积层序

1. 生物扰动构造; 2. 水流沙纹层理; 3. 平行层理; 4. 板状交错层理; 5. 低角度交错层理; 6. 槽状交错层理; 7. 壳类化石; 8. 泥岩; 9. 砂岩; 10. 含砾砂岩

Fig. 3 Vertical sequences of the braided stream fan deposits in the lower submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

a. Channel sandbar; b. Interdistributary bay. 1 = bioturbation structure; 2 = current ripple lamination; 3 = parallel bedding; 4 = tabular cross-bedding; 5 = low-angle cross-bedding; 6 = trough cross-bedding; 7 = shell; 8 = mudstone; 9 = sandstone; 10 = gravel-bearing sandstone

可见生物扰动构造(图1)。辫状河道微相常由数个单河道复合而成,在垂向上表现为多个小韵律层叠置成较厚的复合韵律层(图3a、b)。在横向上也表现为河道频繁迁移而形成广泛分布的辫状河道复合体。

河道砂坝主要由向上变细的中-粗砂岩组成,局部可出现含砾砂岩,厚度变化较大,单层厚度一般为3~5m,且具有粒度较粗的砂坝砂体厚度较大,而粒度较细的砂坝砂体厚度较薄的特点。砂层内部主要发育板状交错层理、低角度交错层理和平行层理等(图3b)。

分流间湾发育在辫状河道之间的低洼地区,沉

积作用以悬浮沉积为主,岩性一般为杂色或棕色泥岩、含粉砂泥岩及含泥粉砂岩。多以砂岩和泥岩的韵律性交互为特点,交互层具平行层理、波状层理和流水沙纹层理等(图3a、b)。

3 沉积相分布特征

惠民凹陷西部沙四下沉积时期北部宁南断层为主要控盆断裂,该时期盆地整体水域较小,在靠近边界断层临近物源区,季节性和阵发性水体所携带的碎屑物汇入盆地形成了泥石流扇和辫状河沉积。辫状河扇沉积主要沿宁南断层和无南断层分布,砾岩含量相对较少,砂体含量大部分在30%~60%

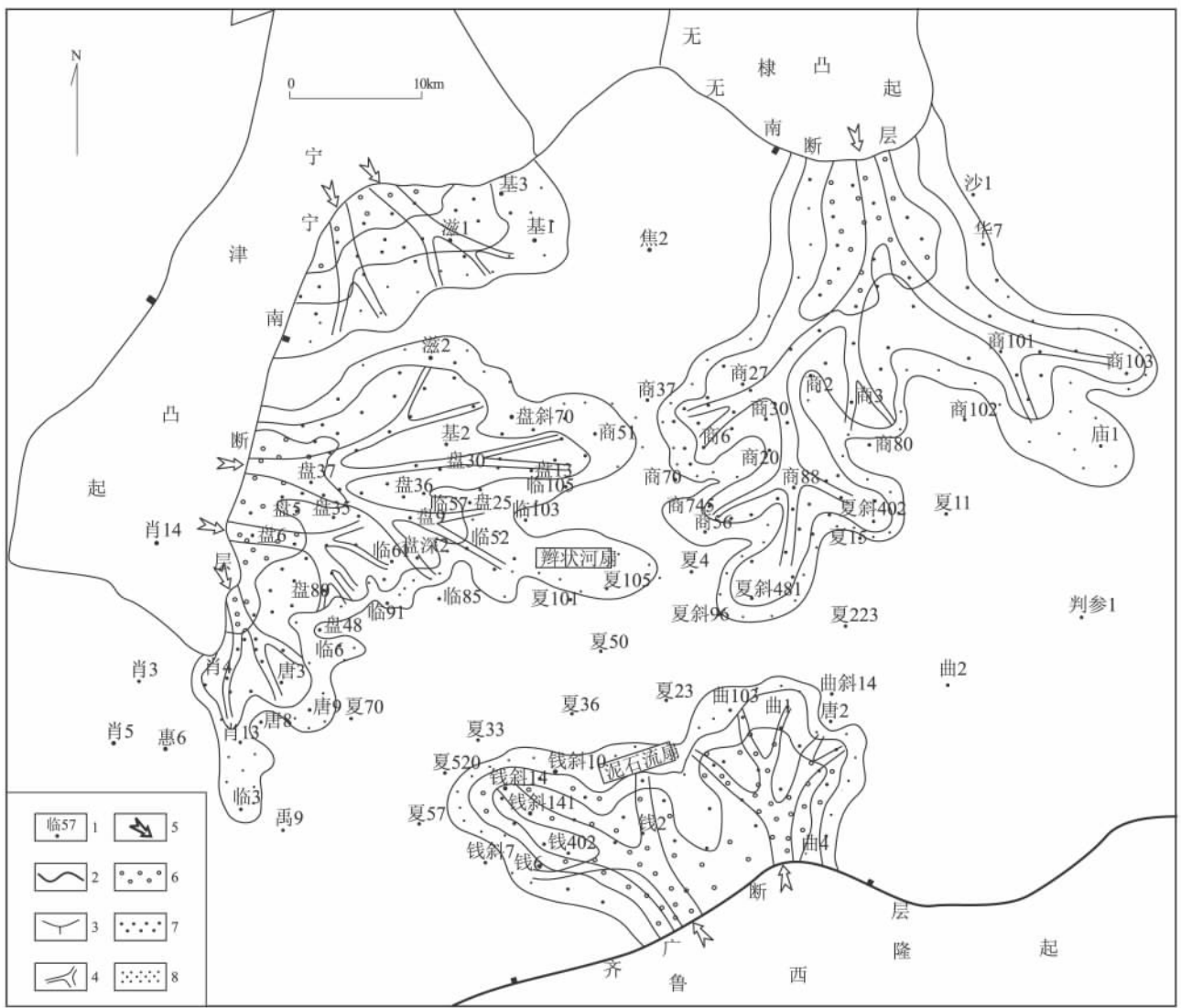


图4 惠民凹陷西部沙四下亚段沉积相分布平面图

1. 井位与井号; 2. 相带边界; 3. 断层; 4. 辫状河道; 5. 物源方向; 6. 砾岩; 7. 粗-细砂岩; 8. 粉砂岩

Fig. 4 Planar distribution of the sedimentary facies in the lower submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

1 = well site; 2 = facies boundary; 3 = fault; 4 = braided channel; 5 = provenance; 6 = conglomerate; 7 = coarse- to fine-grained sandstone; 8 = siltstone

之间。与辫状河扇相比,泥石流扇砾岩含量比较高,河道延伸距离较短,扇体规模小(图4)。

4 沉积模式

惠民凹陷西部南斜坡发育泥石流扇沉积,在横向上,从扇顶向扇端的粒度与厚度的变化总是呈现从粗到细、从厚到薄的特点。泥石流沉积和筛积多分布在上部。河道沉积在整个扇内发育,主要分布在中下游地区。再向外,冲积扇则过渡为内陆盆地和泛滥平原。纵向上,伴随着边缘断层的活动,泥石流扇不断迁移,不同时期或相邻的冲积扇也相互切割或叠置,从而形成巨厚复杂的层序和旋回。

惠民凹陷西部宁南断层、无南断层下降盘发育辫状河扇沉积,辫状河扇的沉积层序是由一些规模不等相互重叠的砂砾岩层和砂层组成的巨厚的粗碎屑层系,其厚度从数米至数十米。层序下部的砂砾岩层和中粗砂层占整个层序的大部分,层序上部的中细砂岩及粉砂岩均为较薄而不稳定的夹层,代表洪水期在河道砂坝或废弃河道表面淤积的披盖层或河道间沉积。单个砂体垂向上的粒度变化可显示向上变细的正旋回,总体上向上变细或变粗的层序均可出现(图5)。在空间分布上,从上游至下游,辫状河扇流沉积物随坡度减小粒度逐渐变细,厚度逐渐变薄,砂质层增多变厚,河道形态及河道砂坝类型也呈现相应的变化。

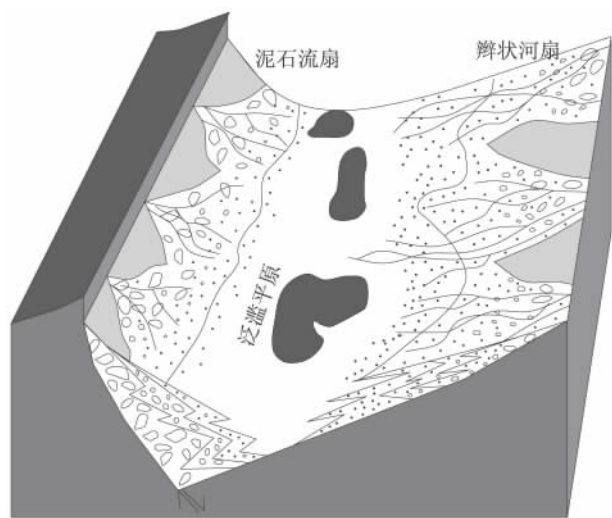


图5 惠民凹陷西部沙四下亚段沉积模式图

Fig. 5 Sedimentary model for the lower submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

5 成因分析

古地形、古构造运动、古母岩区及古气候等特

征是山麓古冲积扇形成的主要控制因素^[2]。惠民凹陷古近纪的沉积背景属陆相断陷湖盆沉积,而陆相断陷湖盆的形成、发育是由于断裂活动的结果。在惠民凹陷西部沙四下亚段沉积期,控制沉积物形成、发育和分布的主要因素是构造活动、古地貌和古气候等。

5.1 构造活动

惠民凹陷西部古近系断裂活动十分活跃,主控断层为宁南断层、无南断层和齐广断层。齐广断裂是孔店期盆地的南部边界,对沉积有控制作用^[3]。孔店组-沙四段沉积期,齐广断层活动强烈,该断层的剖面形态为板式断层,断层北倾,断层倾角 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 不等,具较高角度,控制了沙四下亚段下降盘泥石流扇的形成。宁南断层南倾呈弧形,为大型铲形基底滑脱断层,上部倾角可达 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$,向下迅速变缓,断层面倾角约 30° 。宁南断层控制了惠民凹陷西部的构造演化及沉积特征。无南断层与宁南断层的地理位置相邻、发育时间相同,产生和发育的地质背景也很相似,所以它们的构造特征很相似。断层总体向南倾斜,下部倾角比较平缓(约 20°),该断层基本限定了整个惠民凹陷的东北部边界。

5.2 古地形

对陡坡带砂砾岩扇体的研究表明,古地貌对砂砾岩扇体的发育起着重要的控制作用:古凸起和古断层剥蚀面上的冲沟对应着凹陷内砂砾岩体的发育,大沟对大扇,小沟对小扇。所以,详细分析古地貌发育特征,可以预测陡坡带砂砾岩扇体的发育位置和规模^[4]。惠民凹陷的基底由华北地台古生界海相及海陆交互的碳酸盐岩、碎屑岩及煤系地层和中生界碎屑岩和煤系地层组成。由盘河西北、基山、郑店南-商河、阳1惠民四个大型鼻状构造或古梁将陵县-阳信大型的拆离断面分为南北延伸的“四梁四沟”的构造格局,这一构造格局控制了古近系宁南-无南断层以南地区的沉积体分布。

5.3 物源区性质

惠民凹陷构造活动强烈,凹陷中沉积物基本上来源于四周的凸起。但凸起上的老地层在不同位置被剥蚀的状况不尽相同,物源剥蚀区的母岩性质对凹陷中的沉积物有较大影响,中生界火山岩、碎屑岩和太古界花岗片麻岩经风化剥蚀产生大量碎屑物质,进入盆地形成各种砂砾岩体沉积。研究区沙四下亚段沉积期,沉积物供给量大,陡坡带在边界断层的下降盘形成冲积扇沉积,在相对较缓带形

成辫状河沉积。

5.4 古气候

孢粉分析表明,惠民凹陷沙四下亚段麻黄属、榆粉属、杉粉属及蕨类含量较高,反映当时为干旱—半干旱气候^[13]。由于当时处于干旱半干旱的气候条件下,湖水水位受季节性洪水补给的影响强烈。洪水期的高水位面和枯水期的低水位面相差较大,具备了形成冲积扇的古地理条件。在洪水注入高峰期,由于洪水流的冲刷、充填,从而形成不同类型的冲积扇沉积。从目前凹陷中南部(盘河、临邑及商河一带)的钻井资料上看,基本上是辫状河扇沉积;南部斜坡齐广断层至曲堤地垒为泥石流扇沉积。

6 结论

(1) 惠民凹陷西部沙四下亚段发育冲积扇沉积的泥石流扇和辫状河扇两种类型,共识别出6种沉积微相。其中,宁南断层和无南断层下降盘沙四下亚段发育大面积的辫状河扇沉积。砂体垂直岸线分布,形态平面上为扇形,延伸距离较远。河道间泛滥平原沉积和决口扇沉积不发育,沉积相带分异不明显,沉积微相以辫状河道与河道砂坝为主。

(2) 惠民凹陷西部沙四下亚段邻近齐广断层断崖处发育泥石流扇沉积。与辫状河扇相比,泥石流扇砾岩含量高,扇体规模较小,相带变化比较明显。共识别出了泥石流沉积、河道沉积与漫流沉积3个微相。泥石流沉积多分布在扇根地区,河道沉积在整个扇内发育,主要分布在扇中地区。

(3) 该区沉积体系的形成主要受构造活动、古地貌、物源区性质及古气候等因素的影响。沙四下沉积时期气候干旱,具备了形成冲积扇沉积的古地理条件。研究区断裂活动十分活跃,断层坡度控制了冲积扇的沉积类型。此外,沟梁相间的构造格局控制了该区沉积体的分布。

参考文献:

- [1] 罗来,向芳,田馨,等. 浙江丽水老竹盆地白垩系沉积特征及沉积环境 [J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(2): 19–25.
- [2] 柏道远,高峰,马铁球,等. 洞庭盆地澧县凹陷第四纪沉积特征与古地理演化 [J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(4): 10–21.
- [3] 兰亚萍,李勇,丘东洲,等. 黄骀凹陷孔南地区孔店组冲积扇沉积特征及地质意义 [J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(4): 22–28.
- [4] STANISTREET I G, MCCARTHY T S. The Okavango Fan and the classification of subaerial fan systems [J]. Sedimentary Geology, 1993, 85(1): 115–133.
- [5] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [6] 袁静. 济阳凹陷南部古近系洪水—漫湖沉积 [J]. 中国地质, 2005, 32(4): 655–622.
- [7] 杨剑萍,操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙四段下部洪水—漫湖沉积特征 [J]. 石油大学学报, 1993, 2002, 26(6): 17–20.
- [8] 杨剑萍,许正豪,姜在兴,等. 山东惠民凹陷中央隆起带古近系沙河街组层序地层特征及控制因素研究 [J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 670–674.
- [9] 郑德顺,吴智平,李凌,等. 惠民凹陷中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用 [J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 6–12.
- [10] 陈洁. 济阳孔店转型期识别标志及盆地特征 [J]. 地球物理学进展, 2004, 19(1): 108–112.
- [11] 张鑫,张金亮. 惠民凹陷中央隆起带沙四上亚段滩坝与风暴岩组合沉积 [J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 246–253.
- [12] 刘疆,白志强. 广西横县六景古近纪冲积物研究 [J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(3): 89–95.
- [13] 谭明友. 渤海湾盆地东营—惠民凹陷孔店期原型盆地分析 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 25(4): 348–352.
- [14] 陈萍. 泌阳凹陷陡坡带砂砾岩体预测 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 198–200.
- [15] 袁静,赵澄林,张善文. 东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式 [J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 114–118.

Types and genesis of the alluvial fans in the lower submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Huimin depression, Shandong

ZHANG Xin¹, ZHANG Jin-liang²

(1. *Research Institute, CNOOC, Beijing 100027, China*; 2. *College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Two types of depositional systems are identified for the lower submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Huimin depression, Shandong, including the debris flow fan and braided stream fan. The braided stream fan deposits are well developed on the downthrown sides of the Ningnan fault and Wunan fault. In a planar view, they display the fan shape, and extend over a wide range of scale. The interchannel flood plain and crevasse splay deposits are less developed, and the sedimentary facies belts are less differentiated. The channel lag deposits and channel sandbar deposits are interpreted as the main sediment types. The debris flow fan deposits occur near the fault scarp of the Qiguang fault, and consist of the proximal fan, mid-fan and terminal fan subfacies. In comparison with the braided stream fan deposits, the debris flow fan deposits are characterized by the enrichment of conglomerate, smaller scales of fans, and sharp facies changes. The controlling factors for the formation of this type of depositional systems contain tectonism, palaeogeomorphology and palaeoclimates, especially active faulting.

Key words: Huimin depression; debris flow fan; braided stream fan; seismic facies; sedimentary model