

同生逆断层伴生褶皱对冲积扇片状砂砾体及辫状水道沉积的控制

——以准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组为例

夏钦禹^{1,2}, 吴胜和², 冯文杰³, 刘忠保³

[1. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249;

3. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100]

摘要:利用水槽沉积物理模拟再现了同生逆断层伴生褶皱影响下冲积扇的沉积过程,并进一步切片观察,分析了伴生褶皱影响下片状砂砾体和辫状水道的分布特征。在水槽沉积模拟的指导下,综合应用岩心、露头、密井网和地震资料,在同生逆断层伴生褶皱活动强度研究基础上,对准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组下油组(克下组)冲积扇片状砂砾体和克上组辫状水道沉积构型进行识别,并依据露头定量规模和测井曲线标志对地下一构型单元开展解剖,分析了同生逆断层伴生褶皱对片状砂砾体及辫状水道沉积过程、规模、方向以及叠置样式的控制作用。研究表明:近源端不发育伴生褶皱的区域为片状砂砾体优先沉积部位,片状砂砾体由主流方向向两侧迁移,单一片状砂砾体规模较大、侧向叠置程度较低,地下解剖单一片状砂砾体最小宽度约1 000 m,平均宽度1 400 m;在伴生褶皱边部和活动强度较小部位,片流砂砾体及辫状水道沿其绕流,并表现出由斜交物源方向向顺物源方向迁移的特点,单一片状砂砾体规模较小、侧向叠置程度较高,辫状水道呈交织条带状或宽带状,地下解剖单一片状砂砾体宽度最小为450 m,平均宽度1 000 m,单一辫状水道宽度150~350 m,厚1.5~8.1 m;在伴生褶皱活动强度较大部位无片状砂砾体沉积,辫状水道呈孤立窄带状,侧向连续性差,地下解剖单一辫状水道宽度80~120 m,厚1~4 m。

关键词:片状砂砾体;冲积扇;辫状水道;三叠系;沉积构型;同生逆断层伴生褶皱;准噶尔盆地西北缘

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Controlling effects of syn-depositional reverse fault associated folds on the deposition in alluvial fan sheet glutenites and braided channels: A case study of the Triassic Karamay Formation in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin

Xia Qinyu^{1,2}, Wu Shenghe², Feng Wenjie³, Liu Zhongbao³

[1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;

3. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China]

Abstract: This study applied the flume simulation to the deposition of alluvial fan controlled by syn-depositional reverse fault associated folds and conducted a sectional observation on the distribution of sheet glutenites and braided channels in the fan after the simulation. The result was then used as a guidance in an identification of sheet glutenites in the lower Triassic Karamay Formation and braided channels in upper Karamay Formation of the Huwan area in northwestern margin of Junggar Basin that comprehensively took into consideration the core, outcrop, infill well network and seismic data as well as information gained through studies on the intensity of syn-depositional reverse fault associated folds in the area. Individual subsurface single configured unit was also dissected and investigated according to quantitative outcrop scale and well log marks to study the process, scale, direction and superimposing styles of the deposition of sheet glutenites and braided channels under the control of the folds. The results show that sheet glutenites are preferentially deposited in locations near provenance and with underdeveloped folds. They are mostly large in size—at least 1 000 m wide and 1 400 m

收稿日期:2019-02-25;修订日期:2021-02-01。

第一作者简介:夏钦禹(1991—),男,硕士、工程师,油气田开发地质。E-mail: xiaqy-ordos@petrochina.com.cn。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41372116)。

on average. They usually migrate from main stream pathway to both sides and are less laterally superimposed. In locations at the edge of folds or where folds are less active, the sheet glutenties and braided channels would flow around the folds and migrate from an obliquely crossing provenance way to a direction parallel to the provenance way. With the smallest ones of only 450 m in width and an average of 1000 m, the glutenites in these locations are small in size and laterally superimposed. The braided channels in these locations are interlaced or banded and about 150 m to 350 m wide and 1.5 m to 8.1 m thick. In locations where the folds are active, sheet glutenite is not observed and braided channels are narrow isolated bands of about 80 m to 120 m wide and 1 m to 4 m thick.

Key words: sheet glutenite, alluvial fan facies, braided channel, Triassic, sedimentary architecture, syn-depositional reverse fault associated fold, northwestern margin of Junggar Basin

同生断层及其伴生构造对沉积的控制作用近些年来一直是构造-沉积耦合方面研究的热点,然而国内外已有文章大部分研究的是同生正断层^[1]及其伴生构造对沉积的控制作用,特别是对沉积盆地充填和沉积体系发育的控制作用^[2-8],鲜有见到同生逆断层对沉积的控制作用研究。目前,国内外学者更多地关注的是同生逆断层自身构造演化以及同生逆断层活动对宏观冲积扇体的影响,认为同生逆断裂活动的期次、强度与方式制约着扇体的数量、规模与迁移方向^[9-22]。此外,前人论述了同生逆断层组合样式对扇体宏观叠置样式的控制作用^[23]以及同生逆断层伴生构造对地层发育特征、砂泥岩分布的影响^[24-25],在一定程度上揭示了伴生构造对砂体发育程度的影响。但是,对于同生逆断层伴生褶皱对沉积构型的控制作用研究还存在不足^[26-27],特别是对构型单元规模、方向、叠置样式以及沉积过程的研究较为缺乏。因此,本文采用水槽沉积物理模拟再现了同生逆断层伴生褶皱控制下片状砂砾体和辫状水道的沉积过程,并通过切片观察,分析了伴生褶皱影响下片状砂砾体和辫状水道的分布特征。在水槽沉积模拟的指导下,以准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组为例,应用岩心、露头、密井网和地震资料,识别并解剖了冲积扇单一片状砂砾体和辫状水道沉积构型,分析了同生逆断层伴生褶皱对片状砂砾体及辫状水道沉积过程、规模、方向以及叠置样式的控制作用,丰富了构造-沉积耦合方面的研究。

1 区域地质概况

准噶尔盆地西北缘湖湾区位于克乌断裂带的中段,属于克百地区的一部分,呈长条状分布于加依尔山东南部。研究区逆断层广泛发育(图1),且多具有同生(沉积)性质,部分断层上盘发育典型的伴生褶皱构造(图2)。目的层位为三叠系克拉玛依组,可细分为克上组和克下组2个油组。克下组以冲积扇沉积为

主,自下而上分为 S_7 、 S_6 2个砂组,共7个小层、11个单层。克上组以辫状水道沉积为主,自下而上分为 S_5 至 S_1 5个砂组,可进一步细分为8个小层、10个单层。本文重点对克下组 S_7^{3-3} 单层冲积扇内部片状砂砾体和克上组 S_5^{2-2} 单层辫状水道进行沉积构型解剖,分析伴生褶皱对其控制作用。

片状砂砾体发育在冲积扇扇根部位,是由洪水发散后携带的大量粗碎屑物质快速堆积而成,一期洪水形成一个片状砂砾体,在剖面上呈顶凸底平状。片状砂砾体主要由分选差的砾岩、细砾岩组成,混杂堆积(图3a,b)、碎屑支撑,呈块状,砾石磨圆度差,呈棱角状-次棱角状。SP曲线呈箱状较大低幅。辫状水道剖面呈顶平底凸状,可见明显的冲刷面构造。以细砾岩和粗砂岩为主(图3c),分选较好,磨圆中等,常见平行层理、板状和槽状交错层理(图3d),偶见砾石的定向排列现象,具有明显的牵引流特征。垂向上多为正韵律,SP曲线呈钟形(表1)。

2 研究思路及方法

伴生褶皱对冲积扇沉积构型的控制作用分析需要明确两个方面,即伴生褶皱的活动范围、活动强度以及对应时期片状砂砾体和辫状水道的分布特征。

本文利用水槽沉积物理模拟再现冲积扇片状砂砾体和水道的形成过程,并且对模拟结果进行进一步切片观察,分析伴生褶皱影响下内部片状砂砾体和辫状水道的分布特征。以湖湾区三叠系克拉玛依组沉积背景为依据,统计取心井冲积扇岩心粒度分析结果,确定沉积物粒度配比,砾(1.000~2.000 mm)占35%,砂(0.010~0.500 mm)占40%,粉砂(0.005~0.050 mm)占15%,泥占10%。以地层厚度和工区范围为参考确定沉积物供给量等参数^[28-30]。相对冲积扇事件性沉积,伴生褶皱在该较短沉积时期内可认为是相对不活动的,即在冲积扇沉积过程中可认为伴生褶皱是已经

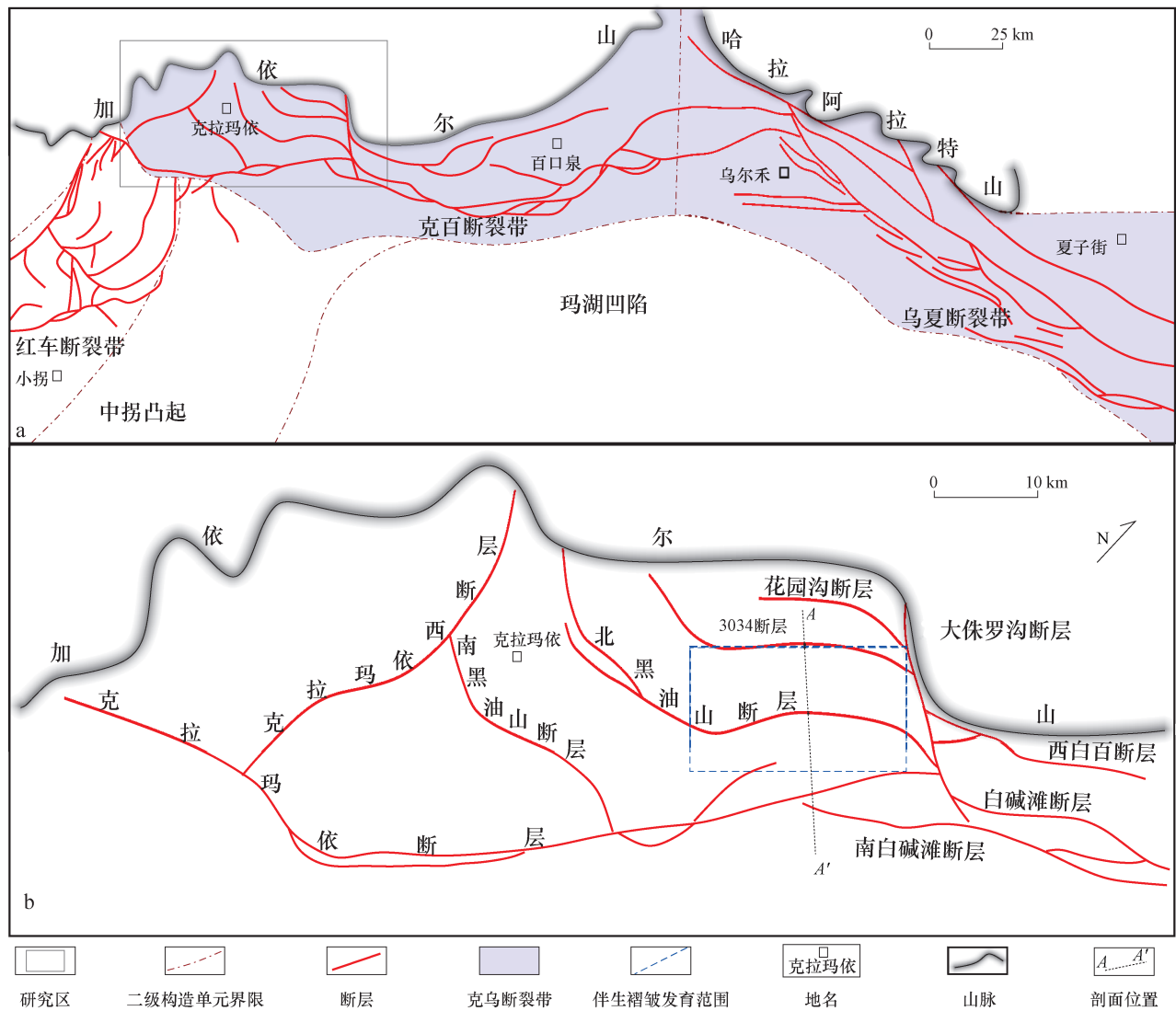


图 1 准噶尔盆地西北缘构造位置与断层分布特征

Fig. 1 Tectonic location and fault distribution in northwestern margin of Junggar Basin

a. 准噶尔盆地西北缘构造平面分区特征; b. 湖湾区断层平面分布特征

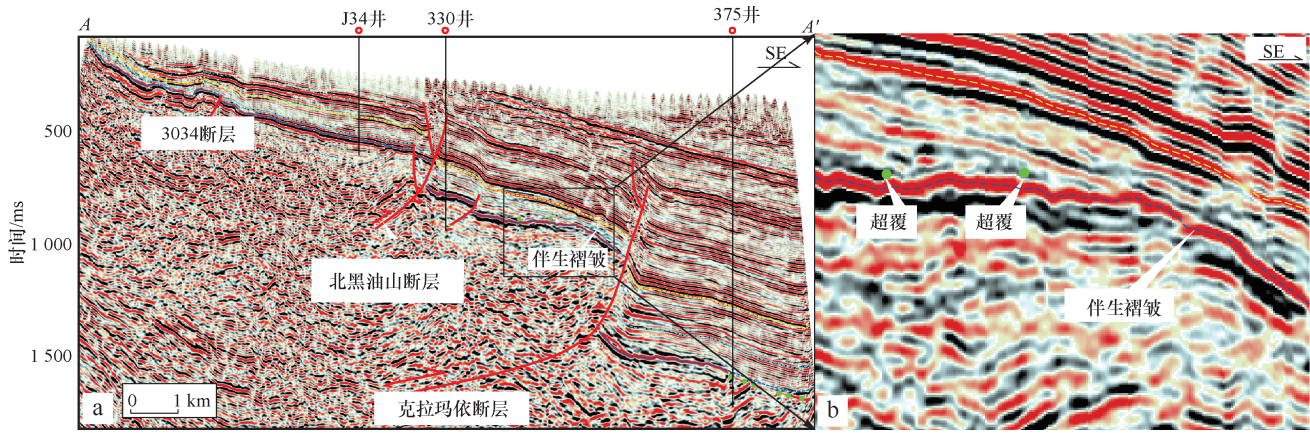


图 2 准噶尔盆地西北缘湖湾区伴生褶皱地震剖面特征(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Seismic section features of associated folds in northwestern margin of Junggar Basin (see Fig. 1 for the section location)

a. 过逆断层及伴生褶皱地震剖面; b. 伴生褶皱局部地震反射特征



图 3 准噶尔盆地西北缘三叠系克拉玛依组冲积扇及辫状水道岩心和露头照片
Fig. 3 Cores and outcrops of alluvial fan and braided channel facies in the Triassic Karamay Formation in northwestern margin of Junggar Basin

a, b. 片状砂砾体, 混杂堆积中砾岩, a 图为 T10193 井, 埋深 720.2 m; c, d. 辫状水道, 分选较好细砾岩, c 图为 T10193 井, 埋深 662.5 m, d 图中见交错层理

表 1 准噶尔盆地西北缘三叠系克拉玛依组冲积扇片状砂砾体及辫状水道特征

Table 1 Characteristics of sheet glutenites and braided channels in the Triassic Karamay Formation in northwestern margin of Junggar Basin		
构型单元	片状砂砾体	辫流水道
岩性	不等粒砾岩、细砾岩	粗砂岩、细砾岩
沉积构造	块状	交错层理、平行层理
韵律性	正韵律	正韵律
电阻率/($\Omega \cdot m$)	60 ~ 300	40 ~ 500
自然电位幅度差	大	大
测井曲线形态	SP Rt	SP Rt

存在的。因此基于这一认识,结合研究区实际伴生褶皱发育位置、范围、起伏高度以及冲积扇沉积厚度和伴生褶皱起伏高度的相对比例,设计伴生褶皱发育位置、面积和抬升幅度。

为了达到以上模拟条件,设计了图 4 的实验装置。水槽大致长 9 m,宽 3 m,深 0.8 m,由沉积区和物源区两大部分组成。设置一个物源出口,由搅拌器将沉积

物搅拌均匀后释放,以模拟砾、砂和泥混杂情况下的重力流搬运特征。实验共设置 5 次冲水 (Run1 至 Run5),每次约 7 min,每期沉积物配比及水量不变,出口处设置阀门,控制洪水量大小。模拟过程采用间歇性放水以模拟冲积扇事件性沉积,水槽边部设置录像和照相装置,对实验过程进行全程记录。根据水槽沉积模拟实验几何相似原理,水平比例约 1 : 10 000,垂向比例约为 1 : 100,模拟冲积扇沉积之前设计伴生褶皱(半椭球状水泥凸起)面积约 0.5 m²,抬升幅度 2.5 cm,置于合适位置。实验中由于工艺条件限制,半椭球体形态是均匀的,表面没有起伏变化,这与实际研究区地下伴生褶皱发育特征存在一定差异,但不影响伴生褶皱控制下片状砂砾体和辫状水道整体沉积过程的观察,特别是伴生褶皱边部其沉积特征的特殊性。

通过水槽沉积物理模拟,对伴生褶皱控制下冲积扇的沉积过程、片状砂砾体和辫状水道的分布特征有了更加清晰直观的认识。在此机理研究的指导下,本文选取湖湾区东部典型伴生褶皱作为实例区,分析其不同时期的活动范围和强度。在地质概况部分已阐述了典型伴生褶皱发育特征,同时为了定量表征伴生褶皱的活动强度,将其活动强度定义为伴生褶皱翼部地

层厚度与发育范围内地层厚度之差再与翼部地层厚度的比值,该值介于0~1,值越大反映伴生褶皱活动越强烈,反之代表其活动越微弱。另一方面,选取包括伴生褶皱在内的密井网区作为解剖区,以露头解剖的构型单元规模为指导(图5),结合测井曲线形态和规模差异^[31]来划分单一构型单元(图6),表征其平面和剖

面特征。平面上,将伴生褶皱活动强度平面图与解剖区沉积构型平面分布图“叠合”,对应分析平面上伴生褶皱的发育情况对沉积构型单元规模、叠置样式的控制作用;剖面上,绘制过伴生褶皱的沉积构型剖面分布图,分析剖面上伴生褶皱顶部和翼部构型单元发育程度和侧向连续性的差异以及构型单元的沉积过程。

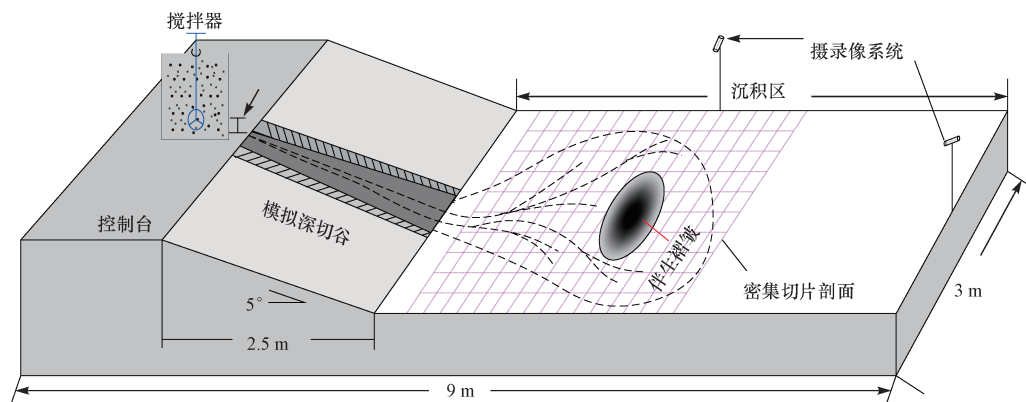


图4 水槽沉积物理模拟实验装置示意图

Fig. 4 Sketch diagram showing the flume simulation apparatus

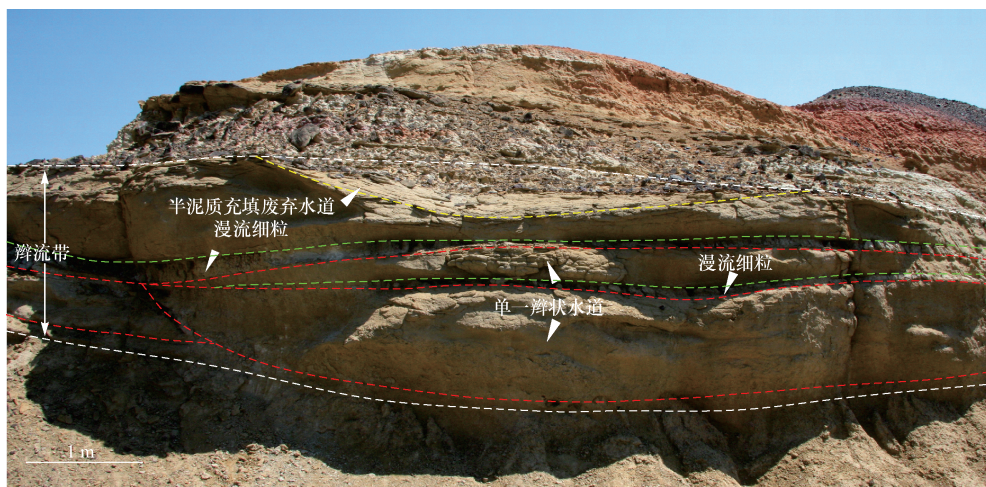


图5 准噶尔盆地西北缘三叠系克拉玛依组辫状水道构型露头解剖

Fig. 5 Outcrop dissection of braided channels in the Triassic Karamay Formation in northwestern margin of Junggar Basin

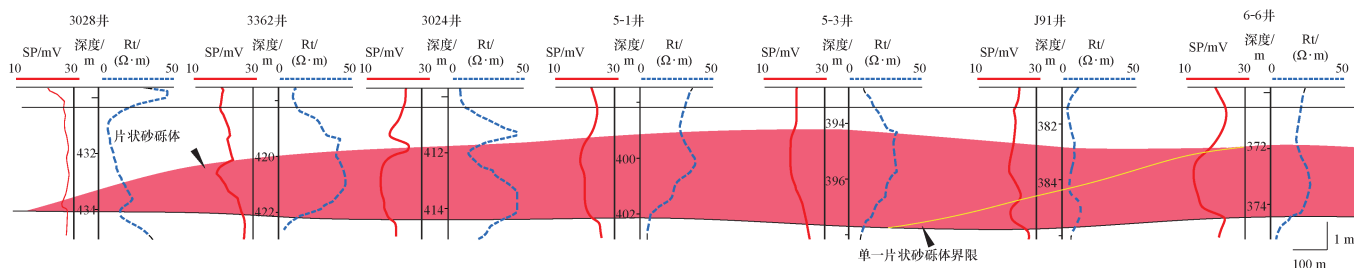


图6 准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组冲积扇单一片状砂砾体识别标志

Fig. 6 Identification markers of single sheet glutenite in the alluvial fan of the Triassic Karamay Formation in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin

3 水槽沉积物理模拟过程

3.1 实验过程描述

Run1 阶段,模拟初期,水流携带大量砾、砂和泥在出口正前方较近部位快速沉积下来,表现为片状砂砾体沉积。随后片状砂砾体逐步向前方进积以及向两侧侧积。该阶段末期片状砂砾体总体呈扇形,与典型的冲积扇沉积相一致,砂砾体周围为漫流细粒沉积。

Run2 阶段,仍以片状砂砾体沉积为主要特征。在 Run1 沉积的片状砂砾体的影响下,水流携带大量沉积物向斜交物源方向搬运,对 Run1 形成的沉积体进行快速冲刷侵蚀,随后沉积物快速堆积下来。该阶段片状砂砾体表现为侧积。Run1 和 Run2 阶段,冲积扇沉积受伴生褶皱影响不甚明显。

Run3 阶段,在 Run2 末期的基础上,随着一侧沉积物快速堆积,水流携带沉积物向另一侧搬运,类似地形成第3期片状砂砾体。在冲积扇扇面沉积物堆积达到临界点后,开始出现水道化特征,即形成主辫状水道。该水道冲刷侵蚀早期沉积物,将第4期片状砂砾体携带至扇体远端、伴生褶皱边部沉积下来。后期水道自身逐步沉积充填。

Run4 阶段,早期表现为片状砂砾体沉积,受伴生褶皱影响,片状砂砾体仅侧向搬运堆积。该阶段末期与 Run3 类似,再次出现水道化特征,在伴生褶皱边部沉积第6期片状砂砾体,末期水道逐步充填。

Run5 阶段,在 Run4 阶段的基础上,该阶段水道由斜交物源方向向顺物源方向迁移,但由于伴生褶皱的阻碍作用,伴生褶皱发育范围内仍不发育冲积扇沉积。

3.2 伴生褶皱对片状砂砾体和辫状水道沉积的影响

片状砂砾体属于冲积扇发育过程中的事件性沉积,搬运距离短,沉积过程受可容空间影响大,往往在可容空间较大部位快速沉积下来。伴生褶皱各部位在平面上活动强度和隆升幅度并不完全一致,因此不同部位可容空间大小也存在相应差异,从而控制了片状砂砾体的沉积过程。水槽沉积模拟实验表明(图7),近源端不发育伴生褶皱的范围内,片状砂砾体的沉积过程呈现由主流方向向两侧迁移的特点,由第1期到第2,3期(图7a—c)。相反,在伴生褶皱长轴方向凸起幅度各部位大致相同条件下,由于隆起地貌的影响,片状砂砾体以绕流方式沉积在伴生褶皱两侧,并表现出由斜交物源方向向顺物源方向迁移的特点,第6期

到第7期(图7e)。

相比水槽沉积模拟概念模型而言,实际地下伴生褶皱不同部位抬升幅度存在差异,而沉积模拟伴生褶皱长轴和短轴方向为理想变化趋势(与背斜类似),与地下实际情况存在差异。因此抬升幅度相对较低的部位成为了片状砂砾体的优先沉积区域,这在沉积模拟实验中并不明显。但伴生褶皱对冲积扇片状砂砾体和辫状水道沉积的总体影响,特别是伴生褶皱边部对其沉积的影响通过水槽模拟实验可以得到较好的还原,与实际研究区地下情况相一致。

辫状水道是冲积扇上除片流砂砾体外另一个重要的沉积构型单元。水槽沉积模拟能够较好再现伴生褶皱控制下辫状水道的沉积演化过程,弥补地下地质分析的不足。模拟结果表明,在冲积扇沉积过程中,水道首先充当粗粒沉积物供给的作用,然后在后期接受沉积。Run1, Run2 阶段,水道不发育,为片流砂砾体沉积。Run3 阶段水道化特征逐步明显,且由于伴生褶皱的阻碍作用,水道存在绕流现象(图7d, e),即明显偏离本来的水流方向。整体上,随着沉积作用的进行,呈现出与片状砂砾体相类似的,由斜交物源方向向顺物源方向迁移的特点。

水槽沉积模拟实验结果表明,无论是辫状水道还是片状砂砾体,其在伴生褶皱边部发育程度明显高于伴生褶皱发育部位。伴生褶皱边部沉积厚度大,片状砂砾体和辫状水道呈垂向叠置或侧向接触式;而伴生褶皱发育部位沉积厚度小,片状砂砾体和辫状水道孤立分布,甚至完全不发育(图8)。

4 准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组地下沉积构型解剖

4.1 伴生褶皱控制下片状砂砾体沉积过程解剖

在水槽沉积模拟实验结果的指导下,结合准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组单井相标志和单一片状砂砾体识别标志,以 S_7^{3-3} 单层为例开展研究区地下片状砂砾体沉积过程分析。研究表明,在伴生褶皱发育范围内,沿伴生褶皱长轴方向,中部活动较弱(图9),隆起幅度较低,可容空间较大;两侧活动较强,隆升幅度较高,可容空间较小。近物源处不发育伴生褶皱的范围内,可容空间较大且不受伴生褶皱遮挡的影响,为片状砂砾体的优先沉积区域。第1期片状砂砾体沉积下来后,后期片状砂砾体向两侧和前方迁移(图10a, b),过渡到伴生褶皱构造发育范围。由于隆升地貌的影响,边部片状砂砾体沿伴生褶皱边部发生

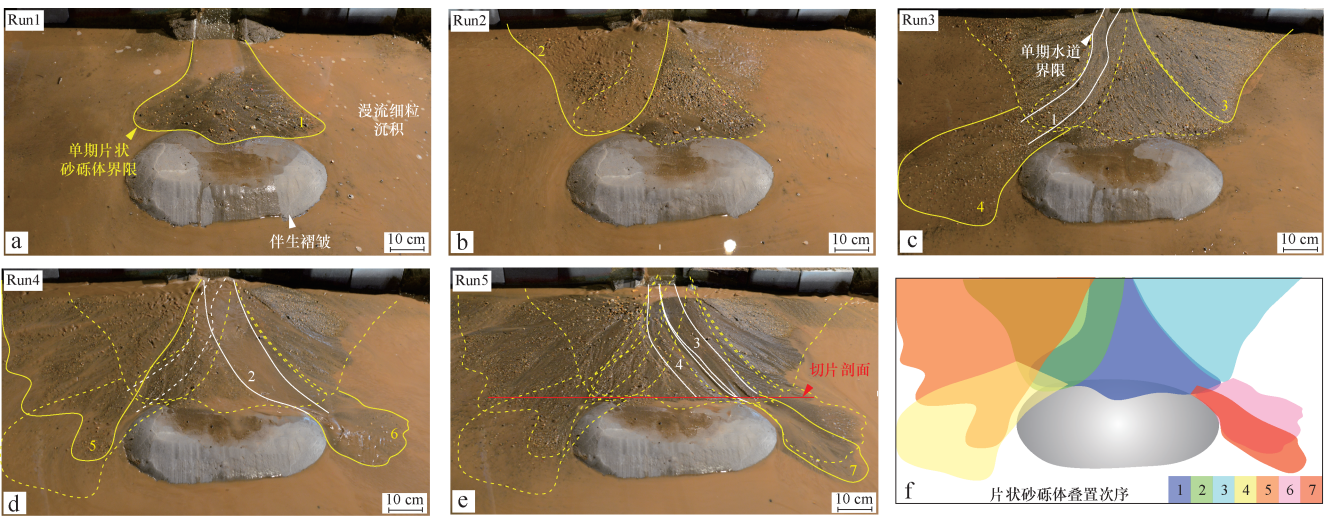


图 7 准噶尔盆地西北缘湖湾区伴生褶皱控制下片状砂砾体及辫状水道沉积过程

Fig. 7 Sedimentary process of sheet glutenites and braided channels controlled by associated folds in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin

a. Run1 模拟阶段; b. Run2 模拟阶段; c. Run3 模拟阶段; d. Run4 模拟阶段; e. Run5 模拟阶段; f. 单一片状砂砾体叠置关系
(注: 图中数字代表单一构型单元的沉积期次序号, 黄色代表片状砂砾体, 白色代表辫状水道, 实线代表本期形成的构型单元, 虚线代表前期形成的构型单元。)

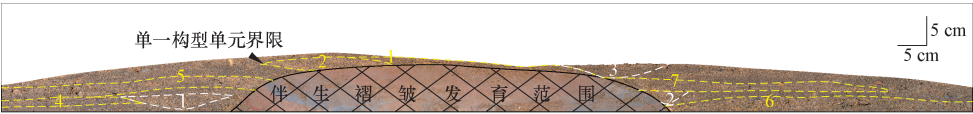


图 8 准噶尔盆地西北缘湖湾区伴生褶皱控制下单一片状砂砾体和辫状水道剖面分布特征(剖面位置见图 7)

Fig. 8 Section distribution of single sheet glutenite and braided channel controlled by associated folds in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin (see Fig. 7 for the section location)

(注: 图中数字代表与图 7 对应的单一构型单元的沉积期次序号, 黄色代表片状砂砾体, 白色代表辫状水道。)

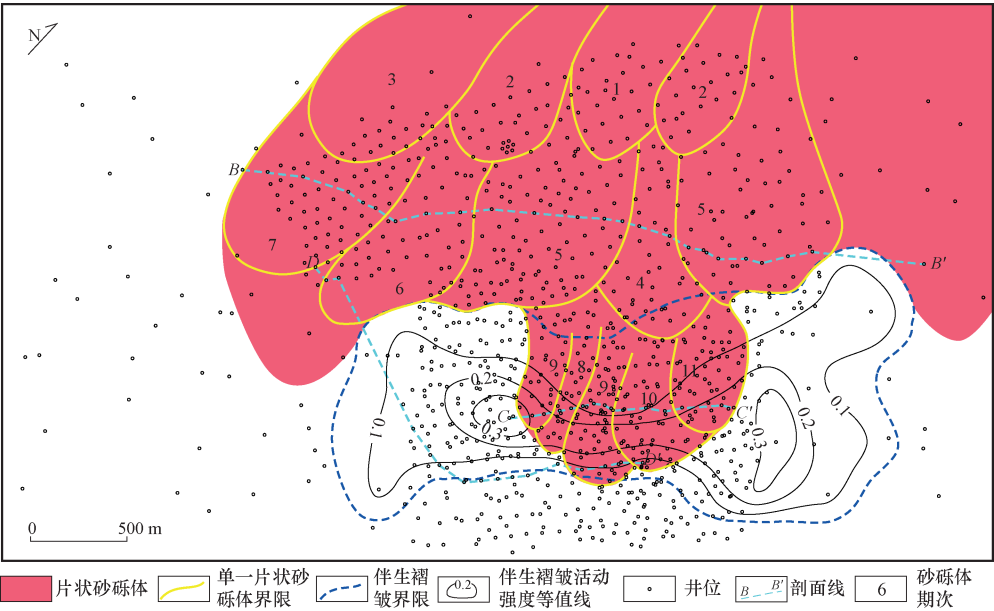


图 9 准噶尔盆地西北缘湖湾区伴生褶皱发育区三叠系克拉玛依组 S_7^{3-3} 单层单一片状砂砾体解剖及沉积期次划分

Fig. 9 Dissection and sedimentary stages of single sheet glutenites in the Triassic Karamay Formation S_7^{3-3} layer in fold development associated area in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin

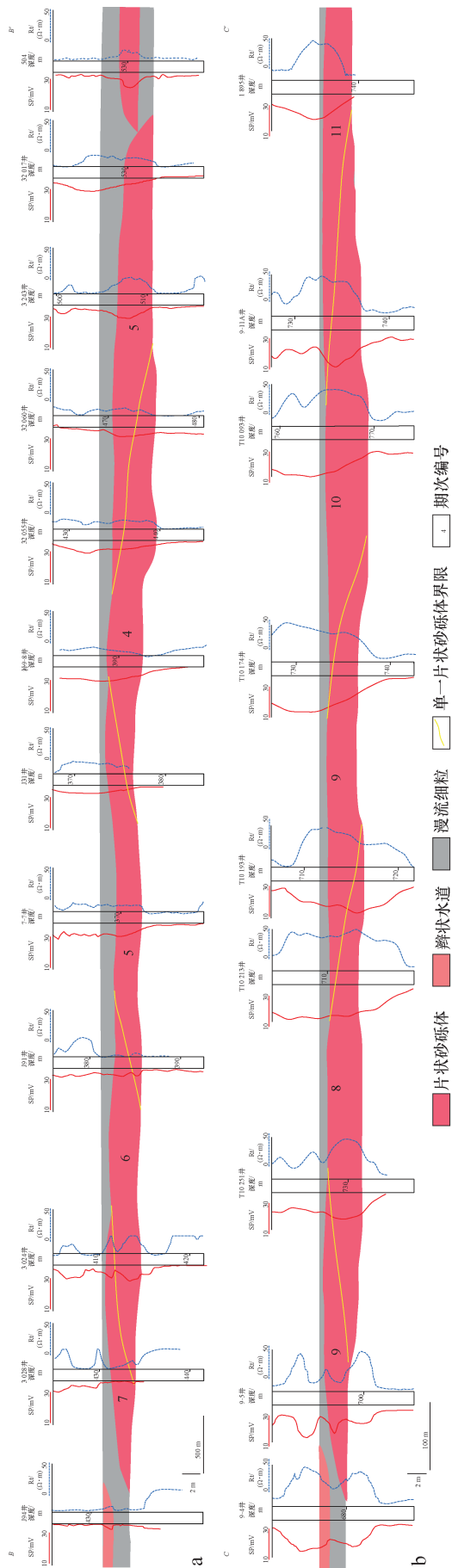


图10 准噶尔盆地西北缘湖湾区三叠系克拉玛依组S₃₋₃单层片状砂砾体沉积期次剖面 (剖面位置见图9)
Fig.10 Cross sections of sheet glutenite sedimentary stages in the Triassic Karamay Formation S₃₋₃ layer in Huwan area,northwestern margin of Junggar Basin
(see Fig.9 for the section location)
a.过伴生褶皱边部剖面; b.过伴生褶皱中部剖面

绕流,沉积在伴生褶皱两侧;同时,中部片状砂砾体受限于两侧的高隆起地貌,在有限的物源供给条件下仅沉积于伴生褶皱中部可容空间较大的限制性区域,并且迁移程度有限。最后,在 S_7^{3-3} 单层先后沉积了共 11 期片状砂砾体。

4.2 伴生褶皱对片状砂砾体规模、叠置样式的控制

研究区 S_7^{3-3} 单层地下沉积构型解剖结果表明,在近物源不发育伴生褶皱范围内,地形开阔,可容空间较大且无明显差异,因此单一片状砂砾体规模较大,最小宽度约 1 000 m,平均宽度 1 400 m;在伴生褶皱发育范围内,存在局部活动较弱、抬升幅度较小的部位,该区域内单一片状砂砾体规模较小,宽度最小为 450 m,平均宽度 1 000 m;在伴生褶皱活动强度较大区域,无片状砂砾体沉积(图 9)。在近物源不发育伴生褶皱构造的范围内,可容空间最大,范围开阔,片状砂砾体沉积侧向叠置程度较低;在伴生褶皱构造发育范围内,局部活动强度较弱的区域,虽然有一定的可容空间但范围有限,导致片状砂砾体沉积侧向叠置程度较高。

4.3 伴生褶皱对辫状水道规模、叠置样式的控制

克上组 S_5^{2-2} 单层辫状水道受伴生褶皱控制作用

较克下组更为明显。整体上,在伴生褶皱中部活动强度较弱或者边部可容空间较大部位,辫状水道宽度、厚度较大(图 11)。在伴生褶皱中部活动强度较大部位,单一辫状水道宽度为 80 ~ 120 m,砂体厚度 1 ~ 4 m;伴生褶皱边部活动强度较低部位,单一辫状水道宽度 150 ~ 350 m,砂体厚度 1.5 ~ 8.1 m。此外,在伴生褶皱的影响下,伴生褶皱中部活动较强部位辫状水道呈相对孤立的窄带状,辫状水道间接触程度较低,侧向连续性差;伴生褶皱边部或伴生褶皱构造不发育的部位活动较弱、抬升幅度较小、可容空间较大,辫状水道呈交织条带状或宽带状,辫状水道侧向连续性好,接触程度高(图 12a,b)。

4.4 伴生褶皱控制下片状砂砾体和辫状水道沉积模式

通过对克下组冲积扇片状砂砾体及克上组辫状水道沉积构型单元的解剖,明确了不同时期冲积扇单一片状砂砾体和单一辫状水道的分布特征、规模大小、叠置样式、展布方向以及片状砂砾体的沉积过程,据此建立了同生逆断层伴生褶皱控制下的片状砂砾体-辫状水道沉积模式(图 13)。

1) 同生逆断层在逆冲过程中,由于挤压作用导致地层挠曲变形,在断层上升盘发育弯曲状背斜,即伴生褶皱构造,褶皱顶部地层厚度小于两翼地层厚度。

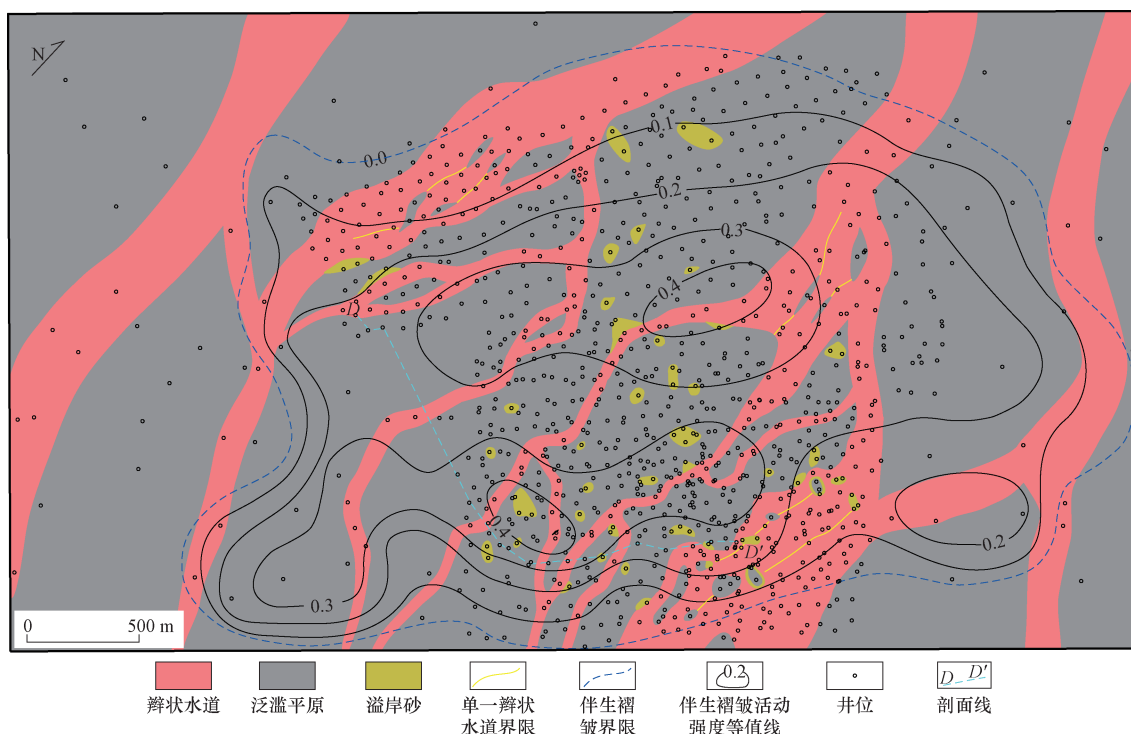


图 11 准噶尔盆地西北缘湖湾区伴生褶皱发育区三叠系克拉玛依组 S_5^{2-2} 单层单一辫状水道解剖及平面展布特征

Fig. 11 Dissection and planar distribution of single braided channel in the Triassic Karamay Formation S_5^{2-2} layer in associated fold development area in Huwan area, northwestern margin of Junggar Basin

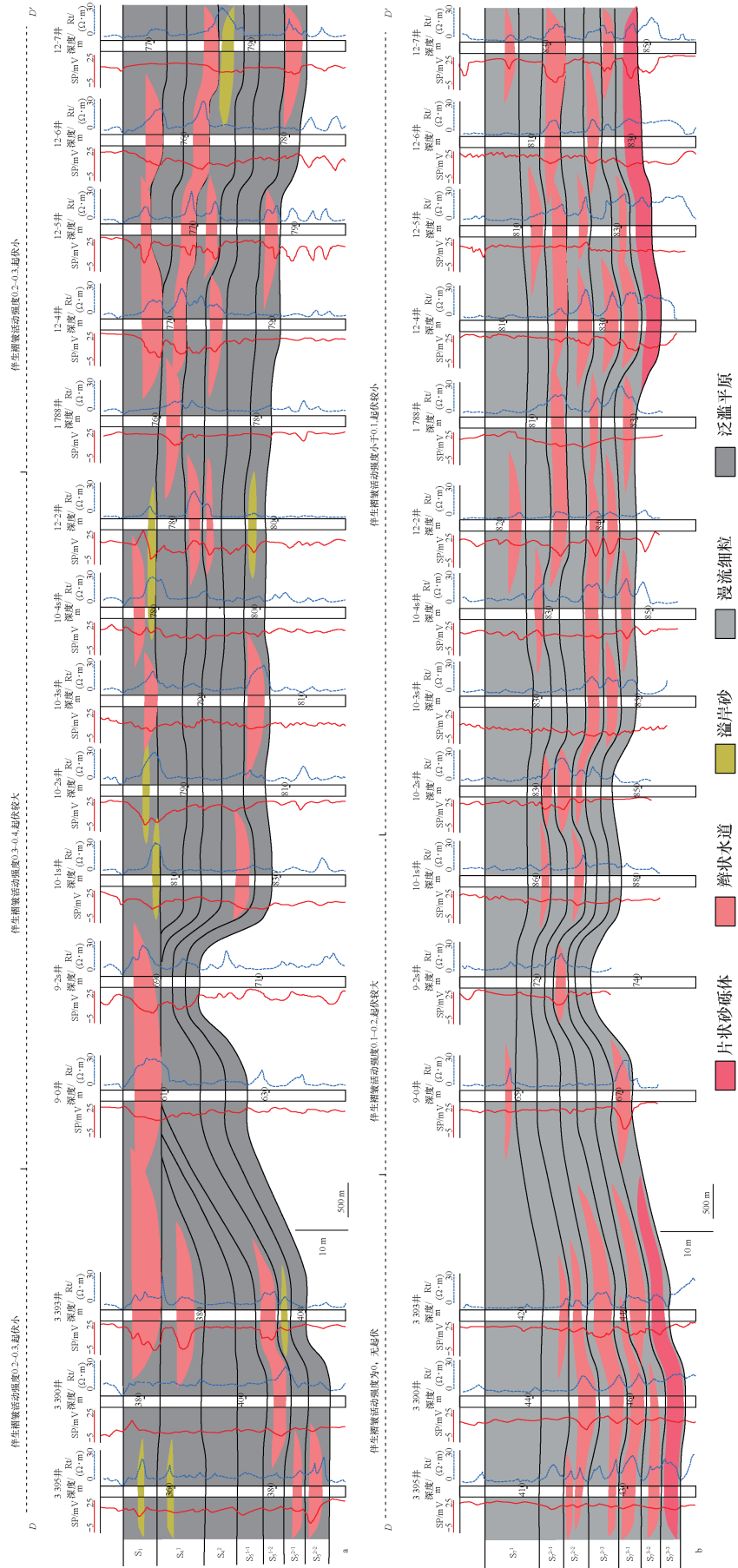


图12 准噶尔盆地西北缘湖湾区过伴生褶皱三叠系克拉玛依组沉积构造剖面图D-D' (剖面位置见图11)
a. 克上组剖面; b. 克下组剖面

Fig.12 Sedimentary architecture section D-D' crossing associated folds in the Triassic Karamay Formation in Huwan area,northwestern margin of Junggar Basin

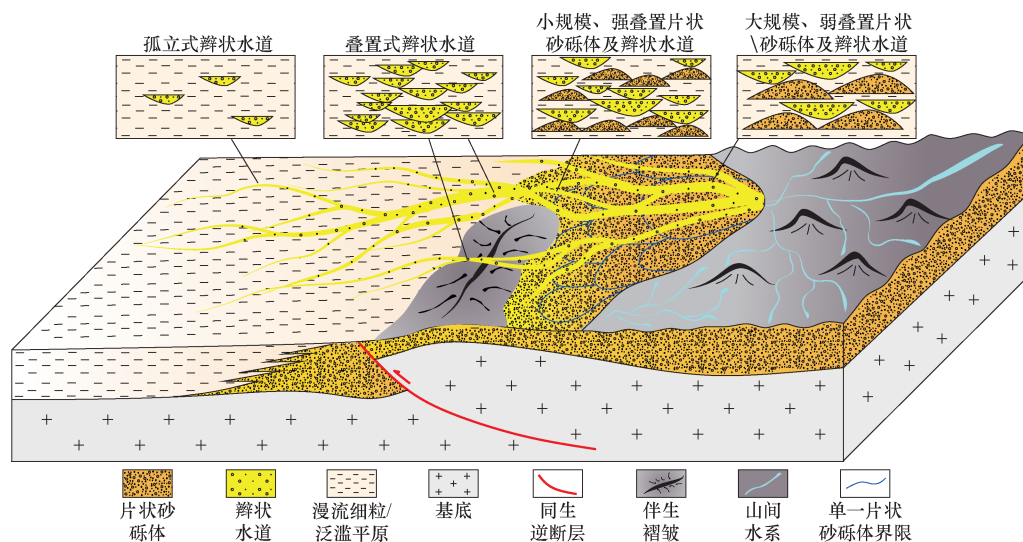


图13 同生逆断层伴生褶皱控制下片状砂砾体及辫状水道沉积模式

Fig. 13 Sedimentary pattern of sheet glutenites and braided channels controlled by syn-depositional reverse fault associated folds

2) 片状砂砾体呈朵状或舌状,多个单一片状砂砾体侧向、垂向叠置组成平面上看似泛连通的片状砂砾体。单一片状砂砾体在山前开阔带规模较大,叠置程度较低,伴生褶皱附近叠置程度增大。由于同生伴生褶皱的遮挡作用,片状砂砾体仅能沉积在伴生褶皱靠近物源一侧或伴生褶皱边部,随着伴生褶皱活动停止,片状砂砾体逐渐超覆于伴生褶皱之上。

3) 伴生褶皱边部和活动强度较小部位辫状水道侧向切割、汇聚分叉频繁,单一辫状水道规模较大,呈宽带状或交织条带状;伴生褶皱活动强度较大以及冲积扇前端漫流细粒沉积为主的区域,辫状水道发育程度低,呈孤立窄带状,甚至不发育。

5 结论

1) 近源处不发育伴生褶皱的区域为片状砂砾体优先沉积部位,片状砂砾体由主流方向向两侧迁移,单一片状砂砾体规模较大、侧向叠置程度较低,地下解剖单一片状砂砾体最小宽度约1 000 m,平均宽度1 400 m。

2) 在伴生褶皱边部和局部低隆起部位,片流砂砾体和辫状水道沿其绕流,随着沉积作用表现出由斜交物源方向向平行物源方向迁移的特点,单一片状砂砾体规模较小、侧向叠置程度较高,辫状水道叠置较为复杂,呈交织条带状或宽带状,地下解剖单一片状砂砾体宽度最小为450 m,平均宽度1 000 m,单一辫状水道宽度150~350 m,厚1.5~8.1 m。

3) 在伴生褶皱高隆起部位无片状砂砾体沉积,而辫状水道呈孤立窄带状,侧向连续性差,地下解剖单一辫状水道宽度80~120 m,厚1~4 m。

感谢审稿专家提出的宝贵修改意见以及期刊编辑的认真审核校对。

参 考 文 献

- [1] Kane K E, Jackson C A, Larsen E. Normal fault growth and fault-related folding in a salt-influenced rift basin: South Viking Graben, offshore Norway [J]. Journal of Structural Geology, 2010, 32 (4): 490-506.
- [2] 单敬福,王峰,孙海雷,等. 蒙古国境内贝尔湖凹陷早白垩世沉积充填演化与同沉积断裂的响应[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(3): 509-518.
Shan Jingfu, Wang Feng, Sun Hailei, et al. The responding to syn-sedimentary fault system for sediment filling evolution in the early cretaceous Bel-Lake Depression of Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(3): 509-518.
- [3] 林畅松,杨海军,刘景彦,等. 塔里木盆地古生代中央隆起带古构造地貌及其对沉积相发育分布的制约[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(3): 306-316.
Lin Changsong, Yang Haijun, Liu Jingyan, et al. The ancient tectonic geomorphology of central uplift and restrict on distribution of sedimentary facies in Paleozoic of Tarim Basin [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2009, 39(3): 306-316.
- [4] 郭涛,辛仁臣,刘豪,等. 同沉积断裂构造对沉积相展布的控制——以黄河口凹陷沙三中亚段沉积相研究为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(1): 14-19.
Guo Tao, Xin Renchen, Liu Hao, et al. Syndepositional fault controls on the distribution of sedimentary facies: An example from the sedimentary facies in the middle submember of the third member of the Shahejie Formation in the Huanghekou Depression, Shandong [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 28(1): 14-19.
- [5] 张建林,林畅松,郑和荣. 断陷湖盆断裂、古地貌及物源对沉积体系的控制作用——以孤北洼陷沙三段为例[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 24-27.

- Zhang Jianlin, Lin Changsong, Zheng Herong, et al. Controlling action of fractures, paleogeomorphology and material sources of rift lake-basin on sedimentation system; Taking Es3 Gubei Subsag as example [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2002, 9(4): 24 – 27.
- [6] 雷宝华, 郑求根, 李俊良, 等. 珠三坳陷珠三南断裂形成演化及其对沉积中心迁移的控制[J]. *石油学报*, 2012, 33(5): 807 – 813.
- Lei Baohua, Zheng Qiugen, Li Junliang, et al. Formation and evolution of Zhu-3 south fault and its control on the depocenter shift in Zhu-3 Depression, Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(5): 807 – 813.
- [7] 王华, 姜华, 林正良, 等. 南堡凹陷东营组同沉积构造活动性与沉积格局的配置关系研究[J]. *地球科学与环境学报*, 2011, 33(1): 70 – 77.
- Wang Hua, Jiang Hua, Lin Zhengliang, et al. Relations between synsedimentary tectonic activity and sedimentary framework of Dongying Formation in Nanpu Sag [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2011, 33(1): 70 – 77.
- [8] 董道涛, 邱隆伟, 马永达, 等. 多断湖盆构造控砂与沉积充填过程——以渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷东部始新统为例[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(4): 653 – 663.
- Dong Daotao, Qiu Longwei, Ma Yongda, et al. Control of tectonics on sedimentation of sandstone and process of sediment filling in multi-fault lacustrine basins: A case study on the Eocene in eastern Zhanhua Sag, Jiyang Depression in Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(4): 653 – 663.
- [9] 徐朝晖. 前陆盆地冲断带调节构造特征及对油气藏的控制作用——以准噶尔盆地西北缘为例[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2008.
- Xu Zhaozhui. The characteristics of accommodation structure in foreland thrust belt and its effect on reservoirs—A case study in northwestern margin of Junggar Basin [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2008.
- [10] 蔚远江, 李德生, 胡素云, 等. 准噶尔盆地西北缘扇体形成演化与扇体油气藏勘探[J]. *地球学报*, 2007, 28(1): 62 – 71.
- Wei Yuanjiang, Li Desheng, Hu Suyun, et al. Fans sedimentation and exploration direction of fan hydrocarbon reservoirs in foreland thrust belt of the northwestern Junggar Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2007, 28(1): 62 – 71.
- [11] 刘华, 陈建平. 准噶尔盆地乌夏逆冲断裂带三叠纪——侏罗纪构造控扇规律及时空演化[J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34(2): 204 – 215.
- Liu Hua, Chen Jianping. Regularities of Triassic-Jurassic structural movements controlling fans development in the Wuxia thrust belt of Junggar Basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2010, 34(2): 204 – 215.
- [12] 侯连华, 邹才能, 匡立春, 等. 准噶尔盆地西北缘克—百断裂带石炭系油气成藏控制因素新认识[J]. *石油学报*, 2009, 30(4): 513 – 517.
- Hou Lianhua, Zou Caineng, Kuang Lichun, et al. Discussion on controlling factors for Carboniferous hydrocarbon accumulation in the Ke-Bai fractured zone of the northwestern margin in Junggar Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(4): 513 – 517.
- [13] Srivastava P, Rajak M K, Singh L P. Late Quaternary alluvial fans and pale soils of the Kangra Basin, NW Himalaya: Tectonic and paleoclimatic implications [J]. *Catena*, 2009, 76: 135 – 154.
- [14] Ocamb R D. Growth Faults of South Louisiana [J]. *AAPG Bulletin*, 1961, 11: 139 – 175.
- [15] Hardin F R, Hardin G C. Contemporaneous normal faults of gulf coast and their relation to flexures [J]. *AAPG Bulletin*, 1961, 45(2): 238 – 248.
- [16] Drew F. Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the upper-indus basin [J]. *Quarterly Journal of the Geological*, 1873, 29: 441 – 471.
- [17] Stanistreet I G, McCarthy T S. The Okavango fan and the classification of subaerial fan systems [J]. *Sediment Geology*, 1993, 85(1 – 4): 115 – 133.
- [18] Decelles P G, Gray M B, Ridgway K D, et al. Controls on synorogenic alluvial-fan architecture, Beartooth Conglomerate (Palaeocene), Wyoming and Montana [J]. *Sedimentology*, 1991, 38: 567 – 590.
- [19] Decelles P G, Tolson R B, Graham S A, et al. Laramide thrust-generated alluvial-fan sedimentation, Sphinx Conglomerate, Southwestern Montana [J]. *AAPG Bulletin*, 1987, 71(2): 135 – 155.
- [20] Bullen M E, Burbank D W, Garver J I. Late Cenozoic tectonic evolution of the northwestern Tien Shan: New age estimates for the initiation of mountain building [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2001, 113(2): 1544 – 1559.
- [21] Arenas C, Millan H, Pardo G, et al. Ebro Basin continental sedimentation associated with late compressional Pyrenean Tectonic (north eastern Iberia): Controls on basin margin fans and fluvial systems [J]. *Basin Research*, 2001, 13: 65 – 89.
- [22] 郑孟林, 田爱军, 杨彤远, 等. 准噶尔盆地东部地区构造演化与油气聚集[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(5): 907 – 917.
- Zheng Menglin, Tian Aijun, Yang Tongyuan, et al. Structural evolution and hydrocarbon accumulation in the eastern Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(5): 907 – 917.
- [23] 蔚远江, 胡素云, 雷振宇, 等. 准噶尔西北缘前陆冲断带三叠纪——侏罗纪逆冲断裂活动的沉积响应[J]. *地学前缘*, 2005, 12(4): 423 – 437.
- Wei Yuanjiang, Hu Suyun, Lei Zhenyu, et al. Sedimentary response to Triassic—Jurassic thrust faulting in the foreland thrust belt of the northwestern Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontier*, 2005, 12(4): 423 – 437.
- [24] 印森林, 唐勇, 胡张明, 等. 构造活动对冲积扇及其油气成藏的控制作用——以准噶尔盆地西北缘二叠系—三叠系冲积扇为例[J]. *新疆石油地质*, 2016, 37(4): 391 – 400.
- Yin Senlin, Tang Yong, Hu Zhangming, et al. Controls of tectonic activity on alluvial fan deposits and hydrocarbon accumulation: A case study of Permian and Triassic alluvial fans in northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2016, 37(4): 391 – 400.
- [25] 印森林, 吴胜和, 李俊飞, 等. 同生逆断层正牵引构造对高频层序地层结构及沉积充填的控制作用[J]. *地质论评*, 2014, 60(2): 310 – 320.
- Yin Senlin, Wu Shenghe, Li Junfei, et al. The controlling effect on high frequency sequence stratigraphic architecture and depositional

- filling by normal drag structure, caused by contemporaneous reverse fault[J]. *Geological Review*, 2014, 60(2): 310–320.
- [26] 冯文杰, 吴胜和, 刘忠保, 等. 逆断层正牵引构造对冲积扇沉积过程与沉积构型的控制作用: 水槽沉积模拟实验研究[J]. *地学前缘*, 2017, 24(6): 1–11.
- Feng Wenjie, Wu Shenghe, Liu Zhongbao, et al. The controlling effects on depositional process and sedimentary architecture of alluvial fan by drag structure caused by thrust fault: Insights from flume tank experiments[J]. *Earth Science Frontier*, 2017, 24(6): 1–11.
- [27] 蔺鹏, 吴胜和, 张佳佳, 等. 尼日尔三角洲盆地陆坡逆冲构造区海底扇分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(5): 1073–1086.
- Lin Peng, Wu Shenghe, Zhang Jiajia, et al. Distribution of submarine fans in the thrust fault zone of continental slope, Niger Delta Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(5): 1073–1086.
- [28] 刘忠保, 龚文平, 张春生, 等. 坡折带上深切谷的形成及发育沉积模拟试验研究[J]. *石油天然气学报*, 2006, 28(6): 32–34.
- Liu Zhongbao, Gong Wenping, Zhang Chunsheng, et al. Simulation on the formation and development of deep valley in slope break zone[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(6): 32–34.
- [29] 张春生. 冲积体系及三角洲物理模拟研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2001.
- Zhang Chunsheng. Physical modeling on alluvial system and delta[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2001.
- [30] Yin X, Huang W, Wang P, et al. Sedimentary evolution of overlapped sand bodies in terrestrial faulted lacustrine basin: Insights from 3D stratigraphic forward modeling[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2015, 1(13): 1–11.
- [31] 伊振林, 吴胜和, 杜庆龙, 等. 冲积扇储层构型精细解剖方法——以克拉玛依油田六中区下克拉玛依组为例[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2010, 40(4): 939–946.
- Yi Zhenlin, Wu Shenghe, Du Qinglong, et al. An accurate anatomizing method for structure of reservoir of alluvial fan: A case study on lower Karamay Formation, Liuzhong area, Karamay oilfield[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2010, 40(4): 939–946.

(编辑 梁 慧)

(上接第400页)

- [18] 姚泾利, 包洪平, 任军峰, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系盐下天然气勘探[J]. *中国石油勘探*, 2015, 20(3): 1–12.
- Yao Jingli, Bao Hongping, Ren Junfeng, et al. Exploration of Ordovician subsalt natural gas reservoirs in Ordos basin[J]. 2015, 20(3): 1–12.
- [19] 包洪平, 邵东波, 郝松立, 等. 鄂尔多斯盆地基底结构及早期沉积盖层演化[J]. *地学前缘*, 2019, 26(1): 33–43.
- Bao Hongping, Shao Dongbo, Hao Songli, et al. Basement structure and evolution of early sedimentary cover of the Ordos Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(1): 33–43.
- [20] 冯增昭, 鲍志东, 康祺发, 等. 鄂尔多斯早古生代古构造[J]. *古地理学报*, 1999, 1(2): 84–91.
- Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Kang Qifa, et al. Palaeotectonics of Ordos in the early paleozoic[J]. *JOPC*, 1999, 1(2): 84–91.
- [21] 李文厚, 陈强, 李智超, 等. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2012, 14(1): 85–100.
- Li Wenhou, Chen Qiang, Li Zhichao, et al. Lithofacies palaeogeography of the Early Paleozoic in Ordos area[J]. *JOPC*, 2012, 14(1): 85–100.
- [22] 解国爱, 张庆龙, 潘明宝, 等. 鄂尔多斯盆地两种不同成因古隆起的特征及其在油气勘探中的意义[J]. *地质通报*, 2005, 24(4): 373–377.
- Xie Aiguo, Zhang Qinglong, Pan Mingbao, et al. Two different genetic types of paleouplift in the Ordos basin and its significance in oil and gas exploration. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(4): 373–377.
- [23] Grimes K G. Syngenetic karst in Australia: A review[J]. *Helveticite*, 2006, 39(2): 27–38.
- [24] 周进高, 付金华, 于洲, 等. 鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩主要储层类型及其形成机制[J]. *天然气工业*, 2020, 40(11): 20–30.
- Zhou Jinggao, Fu Jinghua, Yu Zhou, et al. Main types and formation mechanisms of marine carbonate reservoirs in the Ordos Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2020, 40(11): 20–30.
- [25] 罗清清, 刘波, 姜伟民, 等. 鄂尔多斯盆地中部奥陶系马家沟组五段白云岩储层成岩作用及孔隙演化[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(1): 102–115. doi:10.11743/ogg20200110.
- Luo Qingqing, Liu Bo, Jiang Weimin, et al. Diagenesis and pore evolution of dolomite reservoir in the 5th member of the Ordovician Majiagou Formation, central Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(1): 102–115. doi:10.11743/ogg20200110.

(编辑 董 立)