

文章编号:1009-3850(2014)01-0036-11

## 鄂尔多斯盆地旬邑地区延长组砂质碎屑流 沉积特征及其风暴成因探讨

葛毓柱, 钟建华, 曲俊利, 孙宁亮, 王桂林

(中国石油大学地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:**鄂尔多斯盆地南部延长组长8-长6油层组沉积相为曲流河三角洲-半深湖、深湖,重力流沉积发育。以前认为这些重力流沉积物是浊流沉积。本文通过对旬邑地区延长组岩心、测井资料的研究,认为研究区长8-长6油层组发育砂质碎屑流沉积。岩心中常见大段块状砂岩、面状碎屑组构、顶底突变接触、漂砾、底部剪切带及滑塌变形构造等,相应测井曲线特征以箱型为主。砂质碎屑流为风暴诱因,可见丰富的风暴沉积特征,如侵蚀构造、底模、浪成沙纹层理、波痕、生物逃逸迹等。研究区理想的风暴沉积单元由下向上可概括为:块状层理段(A);滞留沉积段(B);平行层理段(C);丘状交错层理或浪成沙纹层理段(D);泥页岩段(E)。根据岩心风暴沉积特征总结出风暴岩的3个垂向沉积序列组合。砂质碎屑流及风暴作用的研究对于研究区油气勘探及古地理、古气候研究具有重要意义。

**关键词:**旬邑地区;延长组;砂质碎屑流;风暴成因

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

深水沉积具有重要的研究价值和经济价值,越来越受到沉积学家和石油学家的关注。关于深水沉积的研究工作始自19世纪70年代,主要研究成果表现为:鲍马序列的建立及基于鲍马序列的多个深水沉积扇模式。但是随着深水沉积研究的进一步发展,深水沉积的成因变得多元化,一些沉积学家对经典的深水鲍马序列及深水扇模式提出了质疑和否定,以Shanmugam, G为代表的沉积学家提出了砂质碎屑流的新认识,用以解释深水区发育的砂体沉积<sup>[1-2]</sup>。上三叠统延长组沉积期,鄂尔多斯盆地南部发育三角洲-半深湖、深湖沉积,形成了延长组主要烃源岩,而且鄂尔多斯盆地深水砂体发育,为油气聚集和成藏提供了有利条件。鄂尔多斯盆地深水砂体的认识和研究,有效地指导了西峰、镇原、姬塬及华庆等油田的发现。但前人针对深水砂体的研究多集中在浊积岩方面<sup>[3-6]</sup>,近年来研究认

为深水砂体为砂质碎屑流沉积产物,李相博、邹才能、陈飞等<sup>[2,7-10]</sup>先后对鄂尔多斯盆地砂质碎屑流的沉积特征、沉积模式、油气意义等进行了研究。综合前人研究成果和旬邑地区岩心观察,本文认为研究区长8-长6油层组沉积岩中明显发育有砂质碎屑流沉积,并且认为系风暴成因导致,这对研究区长8-长6油层组的重力流沉积认识和油气勘查具有参考价值。

### 1 地质背景

鄂尔多斯盆地是一个多构造体系、多旋回演化、多沉积类型的大型盆地<sup>[11]</sup>,根据盆地的地质演化史及中生界地质构造特征,可划分为伊盟隆起区、伊陕斜坡、渭北隆起、晋西褶曲带、天环拗陷和西缘逆冲带6个构造单元。鄂尔多斯盆地上三叠统延长组时期沉积了一套由湖相-三角洲相组成

收稿日期:2013-09-15;改回日期:2013-10-19

作者简介:葛毓柱(1990-)男,硕士,主要从事沉积学与储层地质学研究。E-mail:xiannizhike@163.com

资助项目:渭北隆起延长组油藏地质特征研究"项目(yesy2013ky-A-01)资助

的约 1000m 的碎屑岩建造。根据岩性及古生物组合,可将延长组分为 5 段,并根据油层纵向分布规律自上而下划分为长 1-长 10 等 10 个油层组(图 1)。长 10 湖盆初始形成阶段,长 9-长 7 期为湖盆扩张阶段,长 6-长 1 期为湖盆萎缩充填阶段,构成了湖盆从发生、发展到消亡的全过程<sup>[7]</sup>。

研究区位于鄂尔多斯盆地南部,构造单元上属于渭北隆起(图 2)。前人研究认为,鄂尔多斯盆地南部地区在长 8-长 6 油层组沉积时期为曲流河三角洲-半深湖、深湖沉积<sup>[12-44]</sup>。结合前人研究成果及本区岩心观察发现,研究区沉积特征为三角洲前缘-半深湖沉积。沉积物为细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和大段黑色泥页岩,岩石组分中包含大量的白云母和炭屑,可见黄铁矿。重力流沉积特征发育,且保存情况良好。

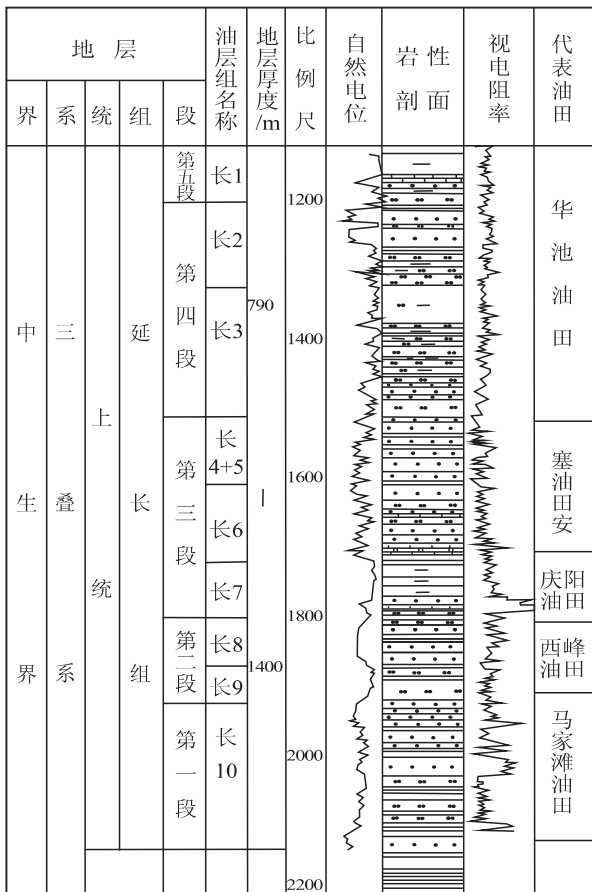


图 1 鄂尔多斯盆地综合柱状图<sup>[10]</sup>

Fig.1 Generalized stratigraphic column through the Yanchang Formation in the Ordos Basin (Zou Caineng et al., 2009)

## 2 砂质碎屑流沉积特征

砂质碎屑流代表粘性流和流体流之间的连续

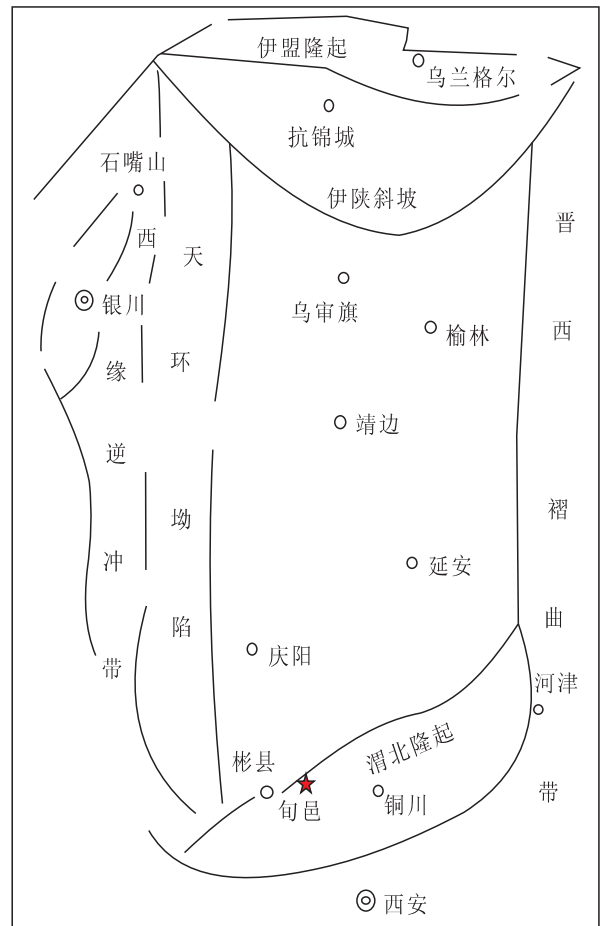


图 2 鄂尔多斯盆地旬邑地区位置简图

Fig.2 Location of the Xunyi region, Ordos Basin

作用过程,从流变学特征来看属于塑性流。沉积物支撑机制包括基质强度、分散压力和浮力,顶部具有或不具有紊流云团。流动特征表现为层状流,颗粒浓度中等至较高,泥质含量低至中等,没有准确的颗粒浓度和基质含量数据,因为它们随着颗粒粒度和组分的变化而变化<sup>[15-16]</sup>,沉积物呈连续的塑性块体状态被搬运,并呈“冻结式”沉积。

结合前人研究成果与认识,研究区岩心观察中发现了大量砂质碎屑流沉积特征,从而认为旬邑地区沉积物中发育砂质碎屑流沉积,其沉积特征主要表现为:

- (1) 岩心中多见大套块状砂岩(图 3a),岩性为岩屑长石细砂岩,杂基含量高,可达 20%,高杂基含量体现了砂质碎屑流的高浓度和重力流特征;
- (2) 块状砂岩底部可见冲刷面,冲刷面上分布有泥砾,泥砾直径最大可达 8cm,多呈定向排列,部分泥砾呈“S”形展布(图 3b)。冲刷面指示在砂体底面上曾发生高速滑动和强烈侵蚀作用,“S”形泥砾表明了块状流体运动过程中对下伏沉积物的剪切作用;

(3) 块状砂岩层底部附近有漂浮的泥砾和泥岩撕裂屑集中存在现象(图 3c) 指示搬运流体具有很高的基质黏度和屈服强度,且向上富集的泥砾及泥岩撕裂屑具有逆粒序性,可代表原始沉积物整体“冻结式”沉积过程。此外岩心中常见巨大的漂砾(图 3d) 体现了砂质碎屑流高密度和塑性特征;(4) 定向分布的板条状泥岩撕裂屑和泥砾的存在(图 3b、

c) 表现了层状流动的特征;(5) 块状砂岩与上、下泥岩呈突变接触,接触面平整(图 3e、f),为“冻结式”沉积特征;(6) 测井曲线上可见块状砂岩所对 SP、GR 曲线处呈箱型展布,声波时差值  $240\mu\text{s}/\text{m}$  左右(图 4)。地震剖面上砂质碎屑流沉积呈丘状体形态,内部呈混乱或圆丘状反射,侧向尖灭<sup>[15]</sup>。岩心中砂质碎屑流特征总结如图 5 所示。

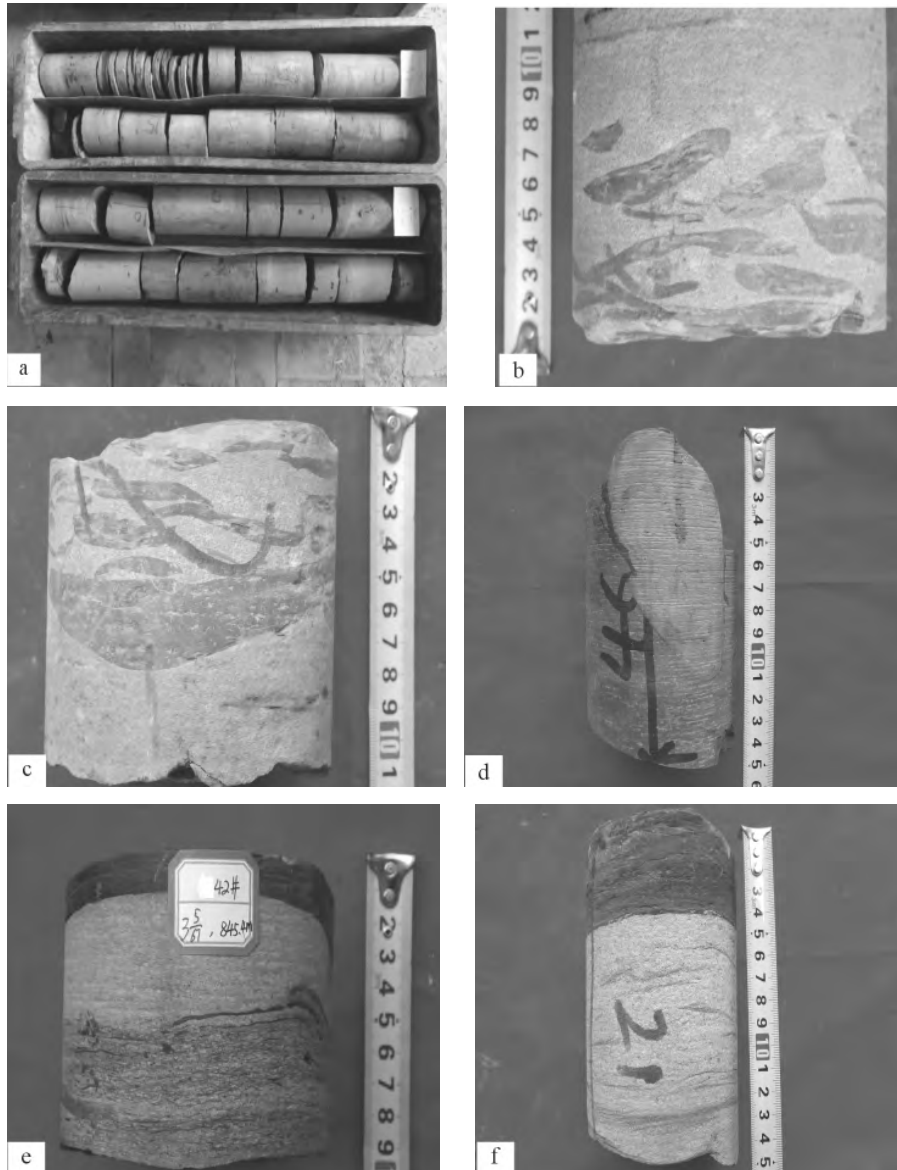


图 3 长 8-长 6 段岩心砂质碎屑流沉积特征

a. 岩心中大段块状砂岩, N40 井, 1042m~1046m; b. 底部具冲刷面的块状砂岩, 泥砾基本定向排列, 部分呈“S”形展布, N40 井, 1070.3m; c. 块状砂岩顶部泥砾、泥岩撕裂屑集中分布且定向排列, N40 井, 1069.8m; d. 砂岩中直立的漂砾, 是砂质碎屑流的重要特点之一, N41 井, 1068.3m; e、f. 块状砂岩与上、下泥岩呈突变接触, N44 井, 1246.6m; N42 井, 845.4m

Fig. 3 Sandy debris flow deposits in the cores from the Chang-8 to Chang-6 oil reservoirs of the Yanchang Formation

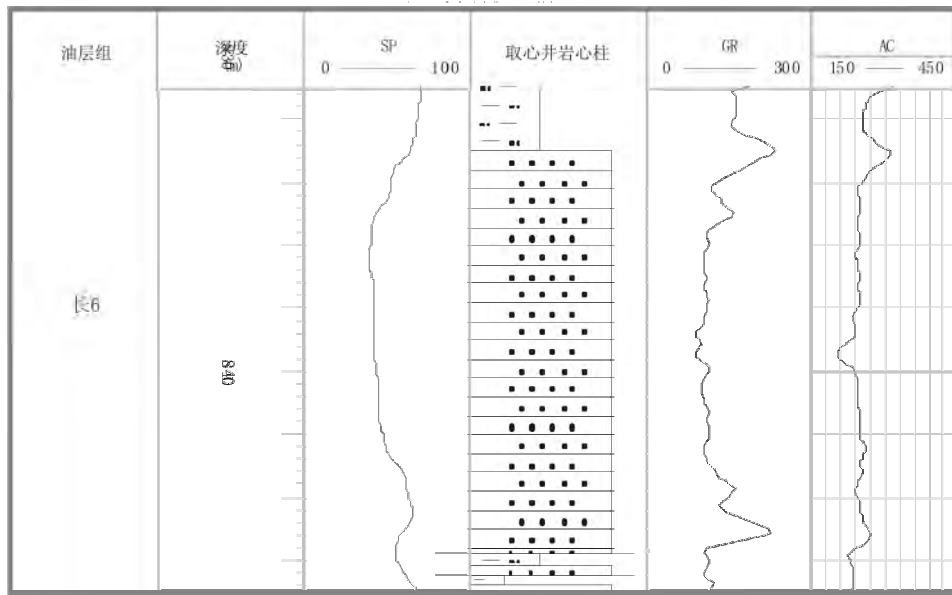


图 4 N42 井块状砂岩测井曲线特征

Fig. 4 Well logs for the massive sandstones from the N42 well

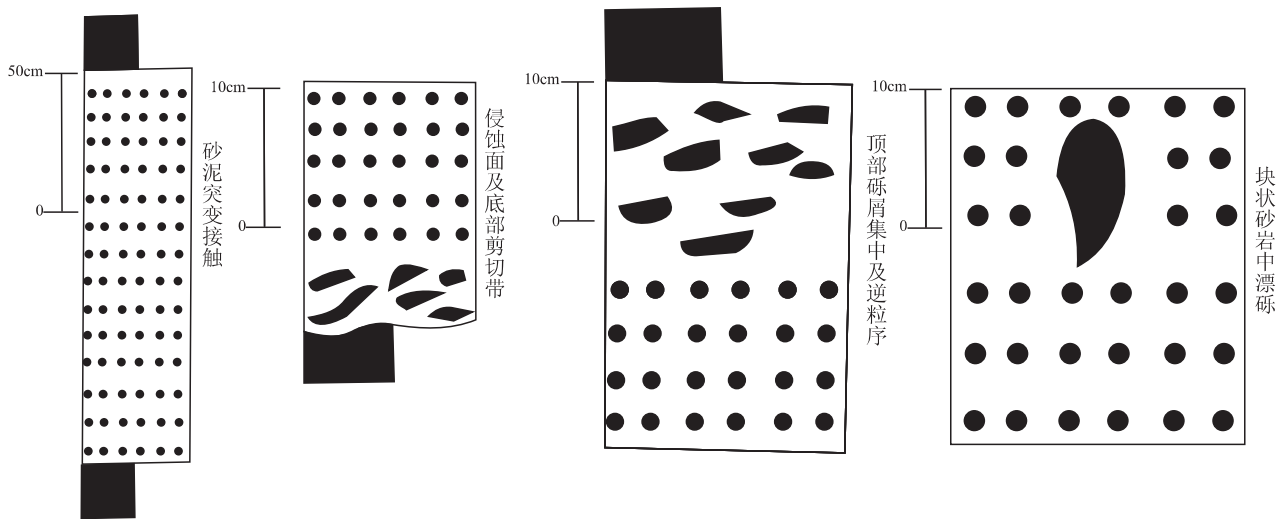


图 5 研究区砂质碎屑流岩心特征

Fig. 5 Outline of the cores of the sandy debris flow deposits

### 3 砂质碎屑流成因机制探讨

作为重力流的一种类型,砂质碎屑流的产生需要一定的触发机制。岩心观察中发现,研究区同时期沉积物中有许多风暴成因的沉积特征,故认为砂质碎屑流沉积为风暴诱因。现将岩心观察中有关风暴沉积特征详述如下。

#### 3.1 准同期侵蚀构造

风暴流具有很强的冲刷、侵蚀作用,因此会在沉积物中形成丰富的侵蚀构造。本区常见的侵蚀构造包括渠模构造、冲刷面构造、截切构造和底模

构造。

##### 3.1.1 渠模构造

在风暴高潮期,强大的风暴涡流和风暴冲刷流在下伏沉积物中侵蚀形成类似“口袋”形状的构造,称为渠模构造,又叫口袋构造。在形成的“口袋”中,会沉积粗粒沉积物,如粗砂、泥砾等。岩心观察中可见渠模构造,内部填充灰白色中砂,渠模壁深约为 3cm,坡度约为 60°~70°(图 6a)。渠模渠壁的深度和坡度可用来判别风暴能量的强弱<sup>[17]</sup>。

##### 3.1.2 冲刷面构造

岩心观察中,冲刷面构造多见。风暴作用下,

当强水流经过沉积物表面时会形成各类冲刷构造。基于水流冲刷作用的强弱,冲刷面表现为波状、槽状、冲坑及其它复杂形状。此外,岩心中冲刷面以上的泥砾可见“V”字形分布(图6b),表现为风暴特征,这不同于单一定向水流下泥砾的定向排列特征。

3.1.3 截切构造

截切构造是指一种看起来好像是“泥冲砂”的构造(图6c)。砂泥接触面不平整,一侧高出而另一侧向下变平,看起来好像泥质沉积物对砂质沉积物发生了侵蚀作用。实际上砂泥接触面是泥质沉积

物沉积之前,风暴对砂质沉积物侵蚀、冲刷所致。后期风暴作用停止,在较深水条件下,泥质沉积物沉积覆盖在早期侵蚀面之上,形成截切构造。这是风暴流影响湖底沉积物的证据<sup>[17]</sup>。

3.1.4 底模构造

底模构造多见沟膜和槽模(图7a,c)。还可见金尼亚构造<sup>[18]</sup>(图7b),产生于粉砂质泥岩表面,形态类似“微型波痕”,其形态规模和发育岩性不同于沟膜构造。发育的底模构造为风暴作用侵蚀、冲刷成因。

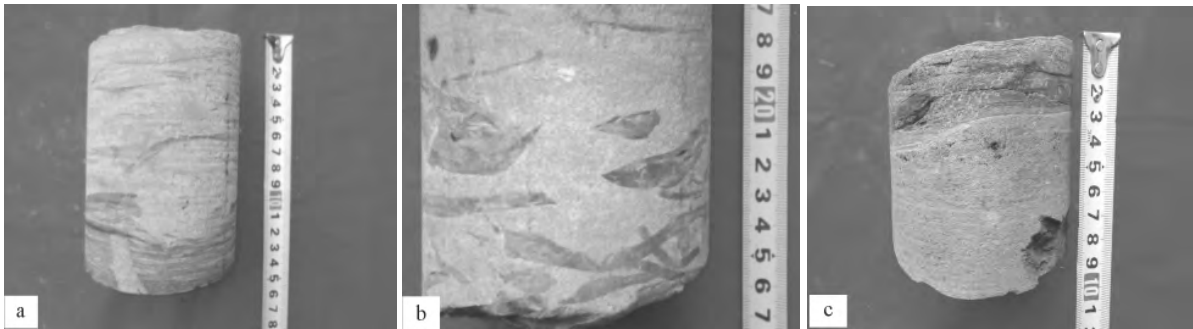


图6 准同期侵蚀构造

a. 渠模构造, N40井, 1163.4m; b. 侵蚀面及其上泥砾见“V”形分布, N40井, 1070.3m; c. 截切构造, N52井, 1214.8m

Fig.6 Penecontemporaneous erosional structures

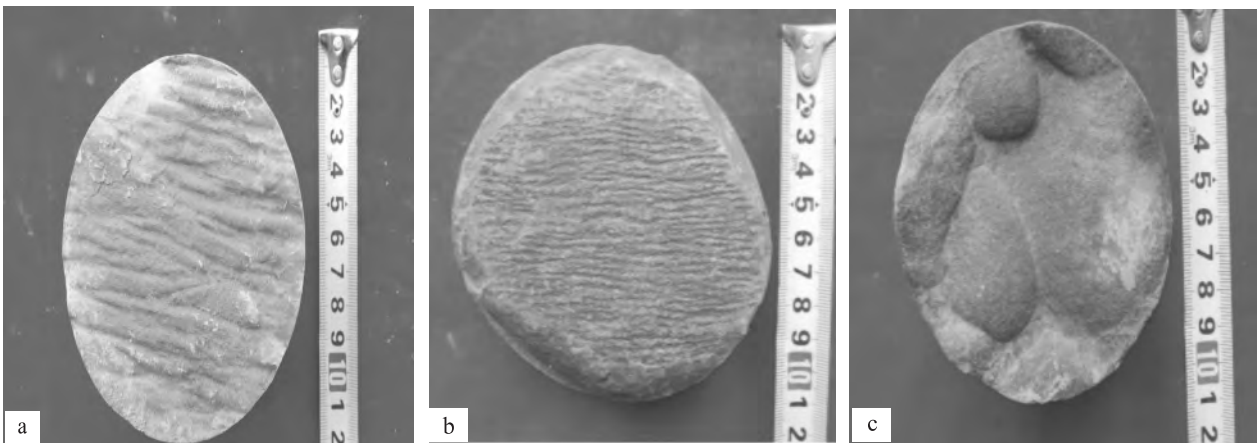


图7 底模构造

a. 沟模构造, N42井, 846.9m; b. 金尼亚构造, N52井, 1217.4m; c. 槽模构造, N51井, 925.8m

Fig.7 Sole cast structures

a. Groove casts, 846.9 m, N42 well; b. Kinneya structure, 1217.4 m, N52 well; c. Flute casts, 925.8 m, N51 well

这类侵蚀构造形成于风暴作用早期的剪切性水流和非定向底流条件下,表现了风暴流较强的剪切力,使风暴前的沉积物遭受强烈的冲刷侵蚀,反映了风暴高潮期较强的水动力条件<sup>[17,18]</sup>。

3.2 风暴滞留层段

风暴滞留层段形成于风暴搅动作用。风暴作用下,风暴流侵蚀下伏沉积物形成,形成冲刷面。同时,将下伏的未固结或弱固结的沉积物(沙、泥等)搅动起来,形成砂泥混积的搅动层(图8)。

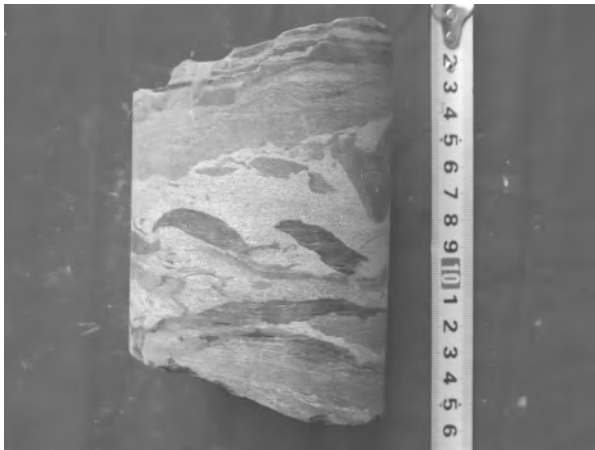


图8 风暴滞留层段 ,N41 井 ,1012.5m  
Fig.8 Storm lag deposits ,1012.5 m ,N41 well

### 3.3 丘状交错层理与浪成沙纹层理

岩心观察中见丘状交错层理与浪成沙纹层理。其中,丘状交错层理层纹层上凸下凹,上下纹层两端收敛相交,上下纹层中夹有透镜状砂体,自下向上纹层倾角逐渐减小(图9a)<sup>[19]</sup>;浪成沙纹层理层系界面波状起伏,层系内部细层之间相互平行,相邻层系之间前积层倾向相反(图9b)形成于风暴作用减弱期振荡的水体环境中。

### 3.4 波痕和生物逃逸迹

波痕是波浪活动最常见的鉴别标志,是风暴砂岩顶部的典型构造之一。Aigner(1982)所提出的理想风暴层序与浊流层序的主要区别就在于此<sup>[17 20]</sup>。岩心中可见波痕构造(图10a、b),波长为4~6cm,波高为0.4~0.6cm,呈“峰尖谷圆”特征。此外,泥岩中多见虫孔构造,开口处垂直层面,被粉砂质充填(图10c、d),垂向上可见呈“U”字形构造。这类生物遗迹反映了风暴作用下沉积物快速堆积条件下生物的逃窜作用,即生物逃逸迹。

### 3.5 同生变形构造

岩心观察中常见火焰构造、包卷层理、滑塌构造、泄水构造、砂岩脉等同生变形构造(图11)。同生变形构造在各种重力流沉积中常见,其中包卷层理被认为可能与风暴浪和沉积物相互作用有关。

### 3.6 风暴流发生的条件

三叠世延长组沉积时,鄂尔多斯盆地处于北纬30°~25°附近,相当于现在的江浙地区。在宝鸡所发现的三叠世海相化石说明晚三叠世早期本区与海有一定的连通,中晚期虽然与海有一定的距离(约100km),但受到强台风或风暴作用完全是可能的<sup>[21]</sup>。而且,长8-长6沉积期,鄂尔多斯盆地湖体发育正值顶峰,湖广水深,有利于风暴作用的发生及其沉积物的保存。

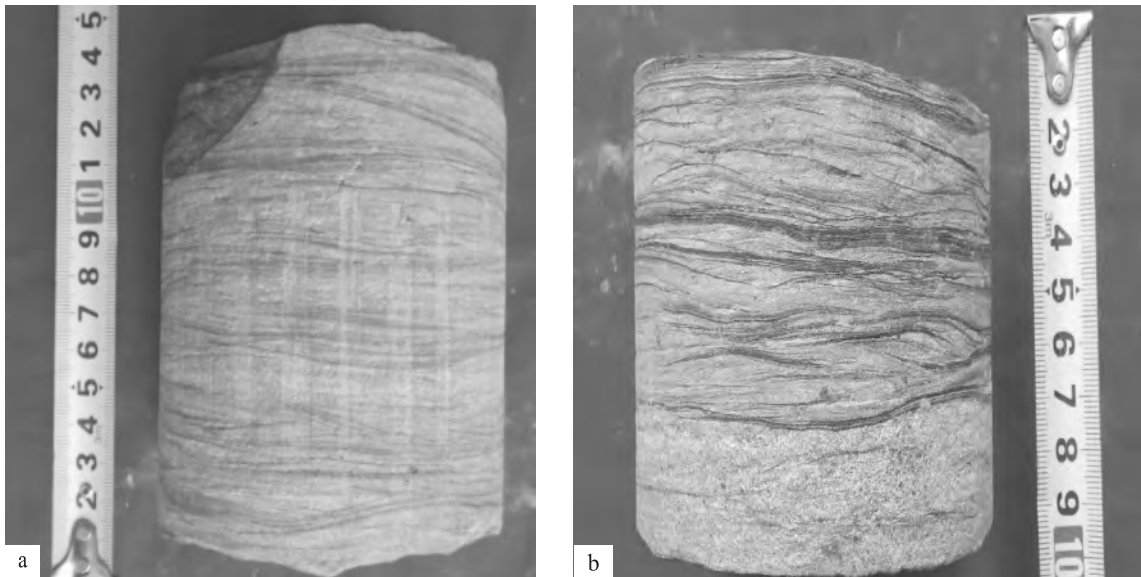


图9 丘状交错层理和浪成沙纹层理  
a. 丘状交错层理 ,N40 井 ,1170.3m;b. 浪成沙纹层理 ,N40 井 ,1169.6m  
Fig.9 Hummocky cross-beddings and wave ripple laminations

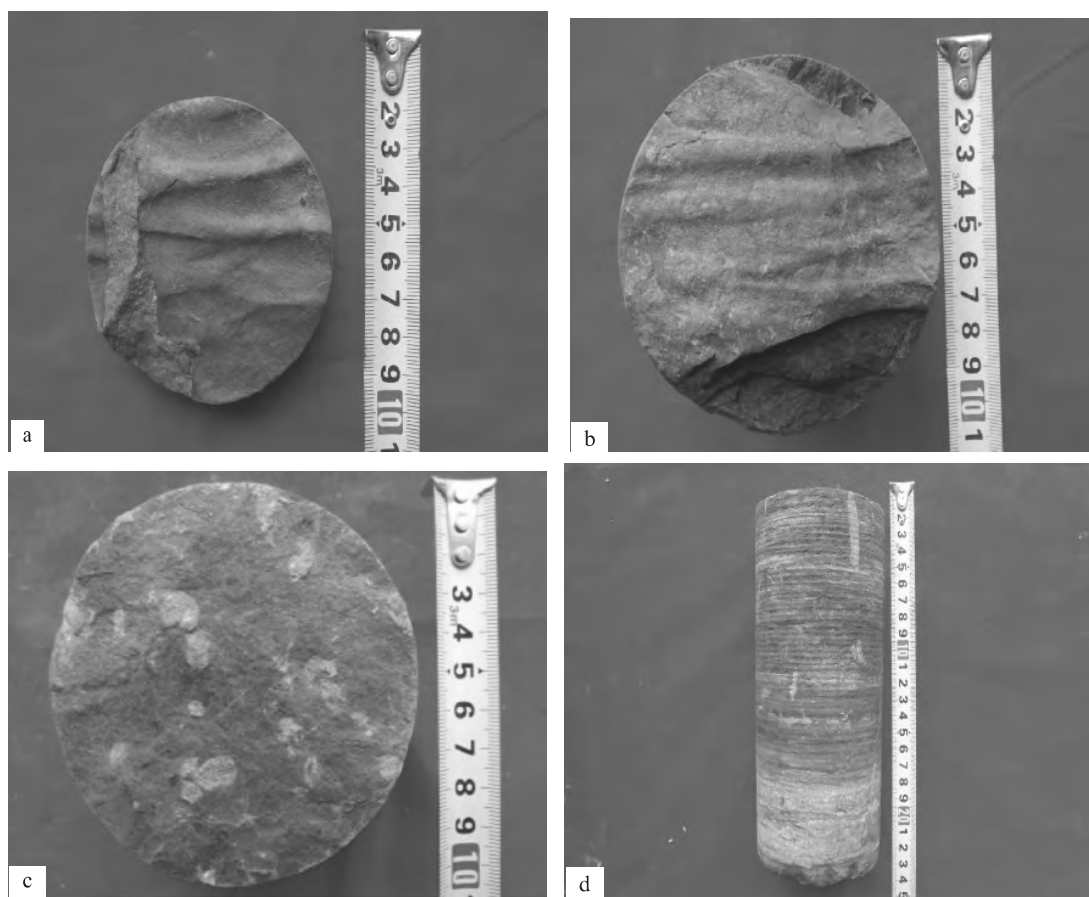


图 10 波痕和生物逃逸迹

a、b. 波痕 N55 井 968.5m; N55 井 968.6m; c、d. 生物逃逸迹 N51 井 1047.0m

Fig. 10 Wave marks and biological escape traces

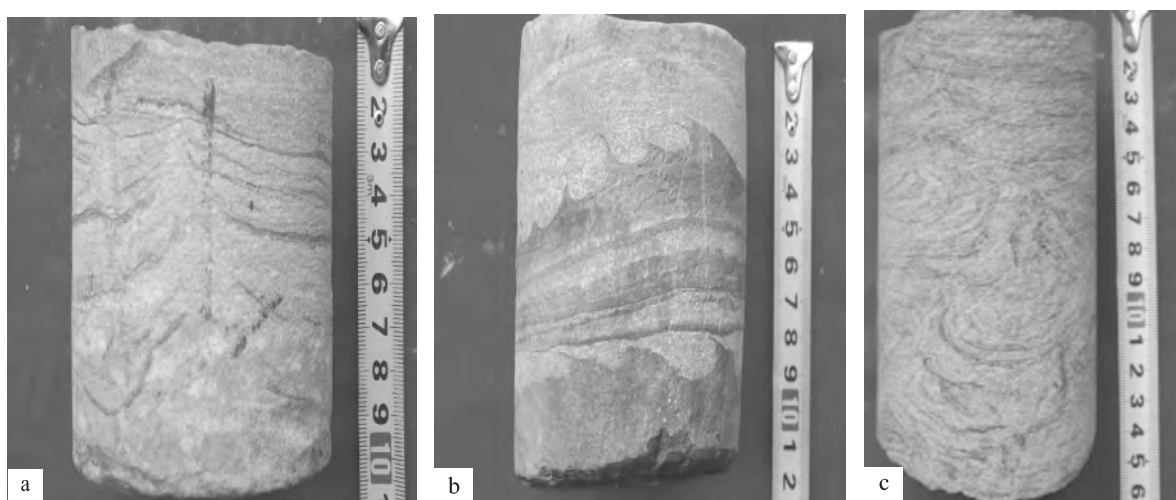


图 11 同生变形构造

Fig. 11 Contemporaneous deformational structures

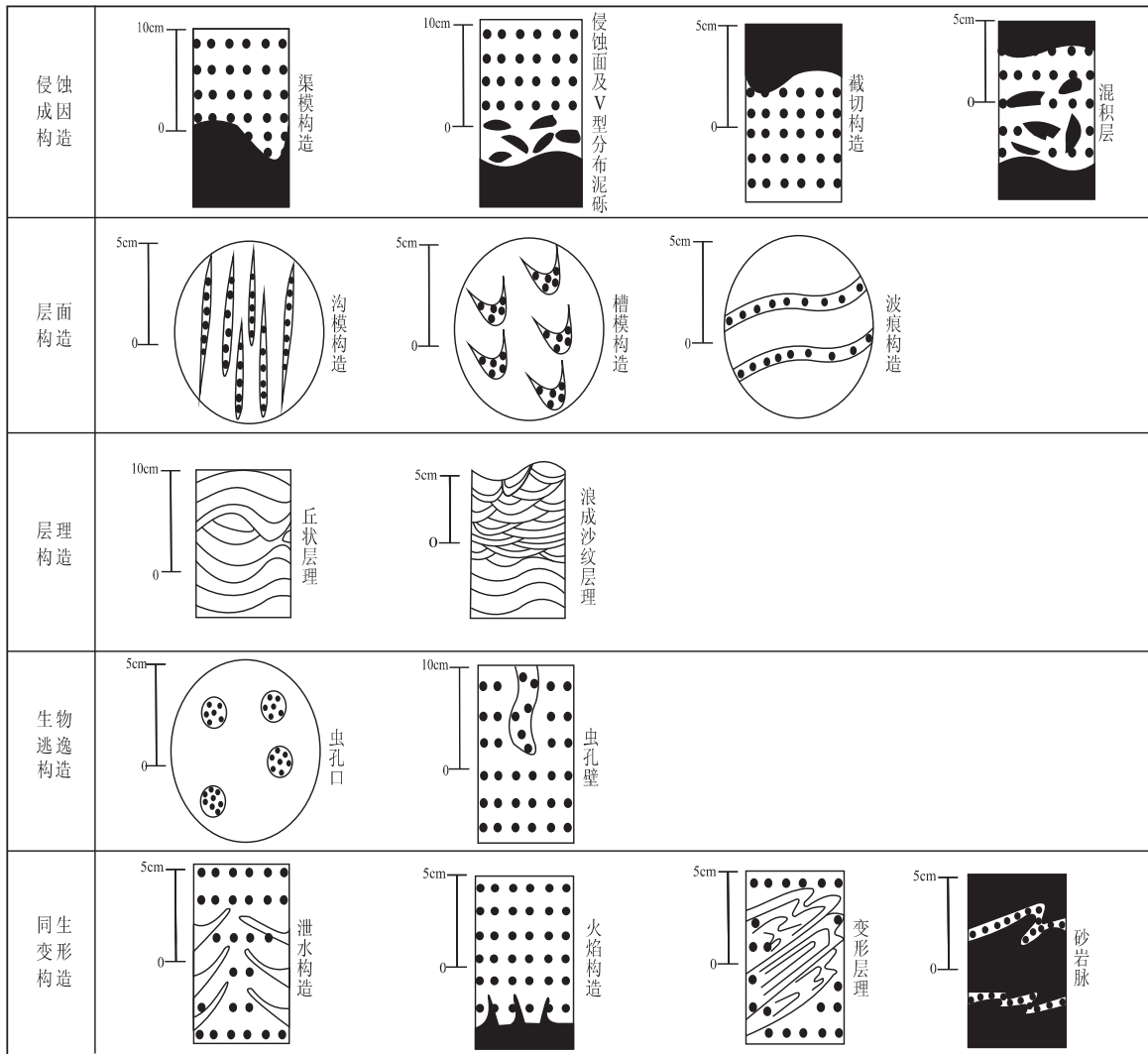


图 12 研究区岩心中风暴沉积特征

Fig. 12 Sedimentary characteristics of the storm deposits in the study area

### 3.7 垂向序列特征

根据岩心观察,研究区岩心风暴作用沉积特征总结如图 12 所示。结合前人研究成果<sup>[22-24]</sup>,研究区长 8-长 6 段风暴垂向序列概括为以下 5 个组成部分:块状层理段(A);粒序层或滞留沉积段,有侵蚀的底(B);平行层理段(C);丘状或洼状交错层理及浪成交错层理段(D);泥岩段和页岩段 构成似鲍马序列层序(E)。通常,风暴沉积是一个向上变细的旋回,由于后期的破坏作用和保存条件的限制,难以见到完整的风暴沉积旋回,往往只能见到旋回部分发育。上述风暴岩的 5 个组成部分在岩心中表现为以下 3 个沉积序列组合(图 13):

(1)序列 1:由块状层理段(A)和泥页岩段(E)组成。块状层理段主要发育在砂岩中,砂岩内部泥砾的分布既有定向分布、平行层面或与层面相交,也有“V”字形分布。砂岩底部见冲刷面,顶部与泥

岩接触处突变,接触面平直或为截切构造。该序列代表风暴涡流作用-风暴过后的快速沉积形成的沉积序列,属原地风暴岩沉积。

(2)序列 2:由块状层理段(A)或滞留沉积段(B)、平行层理段(C)和泥页岩段(E)组成。块状层理段或滞留沉积段底部见冲刷面或渠模构造,此段内部泥砾多平行层面分布,平行层理段见于细砂岩中,含炭质纹层。该序列代表风暴涡流-风暴剪切侵蚀形成的沉积序列,属近源风暴岩沉积。

(3)序列 3:由块状层理段(A)、丘状层理或浪成沙纹层理段(D)和泥页岩段(E)组成。块状层理段发育特征同序列 1。丘状层理见于粉砂岩中,规模小,应为大型丘状层理的一部分,浪成沙纹层理见于细砂岩和粉砂岩中。该序列代表风暴涡流-风暴浪作用-风暴悬浮沉积形成的沉积序列,属近源风暴岩沉积,但相对序列 2,水体深度加大。



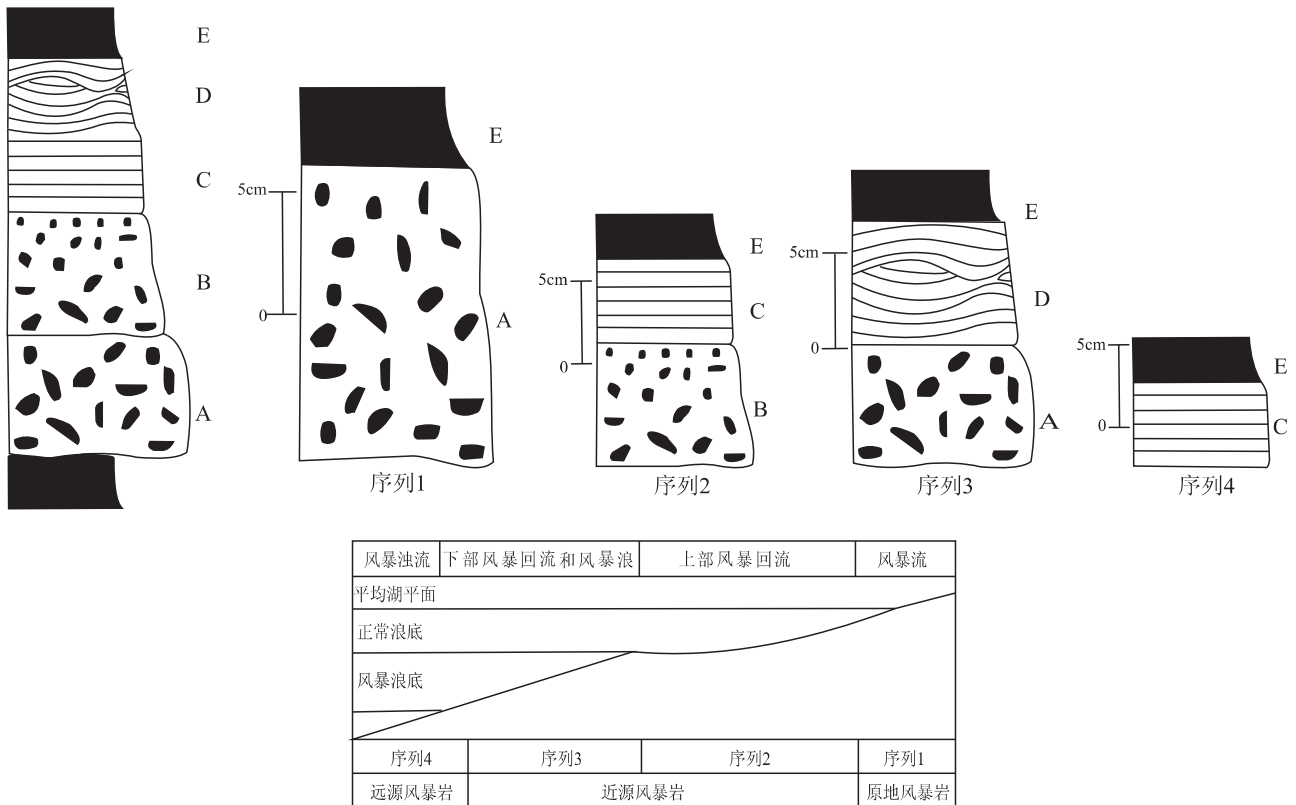


图 13 研究区长 8-长 6 段风暴岩垂向序列及其沉积模式

Fig. 13 Vertical sequences and sedimentary models for the tempestites from the Chang-8 to Chang-6 oil reservoirs in the study area

(4) 序列 4: 由平行层理粉细砂岩段 (C) 和泥页岩段 (E) 组成。此时由于位于风暴浪基面附近, 风暴流能量减弱, 向风暴浊流转化, 该序列代表风暴浊流形成的沉积序列, 属远源风暴岩沉积。

#### 4 研究意义

相对于浊流沉积体, 一般认为砂质碎屑流沉积环境相对较浅, 所形成的块状砂岩虽然具有较好的孔隙度和渗透性, 而且岩心观察中也常见到块状砂岩含油, 含油级别为油侵, 但砂质碎屑流作为塑性流体, 无固定水道, 形成的砂体往往不如浊积砂体连续, 常形成局部不规则的朵叶状, 因此其勘探难度相对浊流砂体较高而且经济价值也不如人们早先的预期<sup>[18]</sup>。但随着勘探程度的不断加大, 砂质碎屑流所形成的岩性油气藏不断被发现, 其地域为重要的油气勘探和发展目标。砂质碎屑流的发现和时空分布特征对研究区油气产量的突破和提升具有重要意义。另外, 风暴作用的发现表明, 旬邑地区当时处于低纬度风暴作用带内, 这可以为分析华北板块的向北迁移提供证据<sup>[25]</sup>。风暴作用和砂质碎屑流多认为发生在水下斜坡处, 这可能与秦岭-大别造山作用及渭北隆起的早期发育有关<sup>[26]</sup>。因此,

风暴作用的研究对于研究区古地理、古气候的研究和恢复具有重要意义<sup>[27]</sup>。

#### 5 结论

(1) 旬邑地区延长组长 8-长 6 沉积时期发育砂质碎屑流沉积。

(2) 研究区砂质碎屑流沉积表现以下特征: 大套块状细砂岩、面状碎屑组构、顶底突变接触、漂砾、底部剪切带及滑塌变形构造等, 这些沉积特征体现了砂质碎屑流高密度、层状流动、整体“冻结式”沉积的特征。且砂质碎屑流相应测井曲线特征以箱型为主, 地震剖面特征表现为丘状体形态, 内部呈混乱或圆丘状反射, 侧向尖灭。

(3) 认为砂质碎屑流为风暴诱因, 风暴沉积特征表现为: ①准同期侵蚀构造, 包括渠模构造、冲刷面构造、底模构造; ②风暴滞留层段; ③丘状交错层理或浪成沙纹层理; ④波痕和生物逃逸迹。长 8-长 6 沉积期, 鄂尔多斯盆地湖体发育正值顶峰, 湖广水深, 有利于风暴沉积物的保存。

(4) 研究区理想的风暴沉积序列自下向上总结为: A. 块状层理段; B. 滞留沉积段; C. 平行层理段; D. 丘状交错层理或浪成沙纹层理段; E. 泥页岩段。

根据岩心观察,研究区风暴沉积可归纳出3个序列:序列1:由块状层理段(A)和泥页岩段(E)组成;序列2:由块状层理段(A)、丘状层理或浪成交纹层理段(C)和泥页岩段组成;序列3:由块状层理段(A)或滞留沉积段(B)、平行层理段(D)和泥页岩段(E)组成。

(5)砂质碎屑流的成因研究对其时空分布特征及相关油气勘探具有指导意义,且风暴作用的发现对研究当时的古地理和古气候具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 秦建华. 砂质碎屑流和底流改造——部分传统浊积岩成因新解[J]. 四川地质学报, 1999, 19(4): 266-272.
- [2] 李相博, 卫平生, 刘化清, 等. 浅谈沉积物重力流分类与深水沉积模式[J]. 地质论评, 2013, 59(4): 608-614.
- [3] 陈全红, 李文厚, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组浊积岩体系及油气勘探意义[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 657-663.
- [4] 赵俊兴, 李凤杰, 申晓莉, 等. 鄂尔多斯盆地南部长6和长7油层浊流事件的沉积特征及发育模式[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 390-394.
- [5] 庞军刚, 李文厚, 石硕, 等. 鄂尔多斯盆地长7段浊积岩沉积演化模式及石油地质意义[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 74-77.
- [6] 张世懋, 丁晓琪. 鄂尔多斯盆地延长组浊积岩特征及其影响因素[J]. 测井技术, 2011, 35(6): 595-598.
- [7] 陈飞, 胡光义, 孙立春, 等. 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统延长组砂质碎屑流沉积特征及其油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2012, 30(6): 1043-1052.
- [8] 李相博, 刘化清, 完颜容, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组砂质碎屑流储集体的首次发现[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 19-21.
- [9] 李相博, 付金华, 陈启林, 等. 砂质碎屑流概念及其在鄂尔多斯盆地延长组深水沉积研究中的应用[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 287-294.
- [10] 邹才能, 赵政璋, 杨华, 等. 陆相湖盆深水砂质碎屑流成因机制及分布特征[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1066-1075.
- [11] 罗建强, 何忠明. 鄂尔多斯盆地中生代构造演化特征及油气分布[J]. 地质与资源, 2008, 17(2): 136-138.
- [12] 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 309-315.
- [13] 陈飞, 樊太亮, 高志前, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组物源方向与沉积体系分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2009, 24(6): 25-28.
- [14] 曹红霞. 鄂尔多斯盆地晚三叠世沉积中心迁移演化规律研究[D]. 陕西西安: 西北大学, 博士论文, 2008.
- [15] SHANMUGAM G, BLOCH R B, MITCHELL S M, et al. Basin-floor fans in the North Sea: sequence stratigraphic models vs sedimentary facies[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(4): 477-512.
- [16] 傅文敏. 高密度浊流还是砂质碎屑流? [J]. 岩相古地理, 1998, 18(2): 63-70.
- [17] 吝文, 姜在兴, 向树安, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田下二叠统下石盒子组盒2及盒3段风暴岩研究[J]. 古地理学报, 2008, 10(2): 168-174.
- [18] BHATTACHARYA H N, BIPLAB BHATTACHARYA, JNDRANIL CHAKREBORTY, et al. Sole marks in storm event beds in the Permian-Carboniferous Talchir Formation, Raniganj Basin, India [J]. Sedimentary Geology, 2004, 166: 209-222.
- [19] DOTT JR R H, BOURGEOIS J. Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences [J]. Geological Society of America Bulletin, 1982, 93(8): 663-680.
- [20] 陈世悦, 杨怀宇, 李文涛, 等. 贵州紫云地区上泥盆统风暴重力流沉积特征及地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84(1): 128-132.
- [21] 高山林, 陈海泓, 龚伟坦, 等. 鄂尔多斯盆地延长组的湖泊风暴沉积[J]. 沉积学报, 1999, 17(增刊): 759-762.
- [22] XUAN LIU, JIANHUA ZHONG, RODNEY GRAPES, et al. Late Cretaceous tempestite in northern Songliao Basin, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 56: 33-41.
- [23] ZHICHENG ZHOU, WILLEMS H, YUE LI, et al. A well-preserved carbonate tempestite sequence from the Cambrian Gushan Formation, eastern North China Craton [J]. Palaeoworld, 2011, 20: 1-7.
- [24] AIGNER T. Storm Depositional Systems. Lecture Notes on Earth Sciences 3 [M]. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1985. 174.
- [25] 张哲, 杜远生, 毛志超, 等. 湘东南桂阳莲塘上泥盆系风暴岩特征及其古地理、古气候意义[J]. 沉积学报, 2008, 26(3): 370-375.
- [26] 王建强, 刘池洋, 闫建萍, 等. 鄂尔多斯盆地南部渭北隆起发育时限及其演化[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(4): 22-29.
- [27] 李华启, 姜在兴, 邢焕清, 等. 四川盆地西部上三叠统须家河组二段风暴岩沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 81-86.

## **Sedimentary characteristics and storm origin of the sandy debris flow deposits from the Yanchang Formation in the Xunyi region , Ordos Basin : An approach**

GE Yu-zhu , ZHONG Jian-hua , QU Jun-li , SUN Ning-liang , WANG Gui-lin  
(*School of Geosciences , China University of Petroleum , Qingdao 266580 , Shandong , China*)

**Abstract:** The Chang-8 to Chang-6 oil reservoirs from the Yanchang Formation in the southern part of the Ordos Basin belong to the meandering delta-bathyal to abyssal lake deposits with developed gravity flow deposits. These gravity flow deposits were once reported as the turbidity current deposits and sandy debris flow deposits. The latter are supported by the authors on the basis of cores and well logs for the Yanchang Formation in the Xunyi region. These sandy debris flow deposits are originated from the storm processes , and characterized by the storm deposits such as erosional structures , sole casts , wave ripple laminations , wave marks and biological escape traces. The idealized depositional units of storm deposits in the study area consist of the intervals of massive beddings ( A ) , lag deposits ( B ) , parallel beddings ( C ) , hummocky cross-beddings and/or wave ripple laminations ( D ) , and argillutite ( E ) , which are involved into three vertical depositional sequences. The approach to the sandy debris flow deposits and storm processes herein is significant to the study of palaeogeography and palaeoclimates and petroleum exploration in the study area.

**Key words:** Xunyi region ; Yanchang Formation ; sandy debris flow deposits ; origin of storms