

# 现代渭河西安段沉积体沉积相与岩相特征<sup>①</sup>

郭岭<sup>1,2</sup> 贾超超<sup>2</sup> 朱毓<sup>2</sup> 任文波<sup>2</sup> 段锦川<sup>2</sup>

(1.西北大学大陆动力学国家重点实验室 西安 710069;2.西北大学地质学系 西安 710069)

**摘要** 以渭河西安段草滩沉积体为例,通过剖面 and 探槽的详细研究,结合野外密集采样及样品的分析结果,对现代渭河草滩沉积体的粒度特征、沉积相、岩相、地层层序及沉积模式进行了综合研究。结果表明,现代渭河草滩河流沉积体主要由砂质、泥质和少量砾质沉积物组成,是一个由三期沉积旋回组成的曲流河沉积体。在现代渭河草滩沉积体内部,共识别出6种岩相,即平行层理含砾粗砂岩相、槽状交错层理中细砂岩相、平行层理中细砂岩相、块状层理含砾中砂岩相、交错层理含砾中砂岩和块状层理泥岩相;3种沉积微相,即河床滞留沉积、边滩和泛滥平原,这些沉积微相构成了草滩沉积体内部垂向上三套不同的沉积层序:下部为含砾粗砂和中砂组成的河床亚相层序,砂质沉积厚度较大;中部为一个完整的曲流河沉积层序,由滞留沉积、边滩和泛滥平原沉积构成;上部则主要为边滩和泛滥平原沉积层序。粒度分析结果表明河床滞留沉积物中的砂体粒径多分布在0.2~1.2 mm,边滩沉积物中砂体粒径多分布在0.1~1.0 mm,两者均是良好的砂矿体,是建筑用砂的良好来源。

**关键词** 现代沉积 渭河 岩相 沉积相 粒度特征 砂矿体

**第一作者简介** 郭岭 男 1983年出生 博士 讲师 沉积学与储层地质学 E-mail: guoling@nwu.edu.cn

**中图分类号** TE122.2 **文献标识码** A

## 0 引言

河流一方面是人类赖以生存的重要的淡水来源,另一方面也是航运、渔业等行业的重要载体。对现代河流沉积的研究兴起于20世纪50年代末和60年代初,近几十年来,人们在曲流河、辫状河和网状河的沉积模式及其环境演化模式等方面取得了众多成果<sup>[1-9]</sup>。近年来,随着油气勘探的进一步深入,岩性油气藏日益成为勘探重点。曲流河河道砂体的物性好,储油量大,在油气藏勘探中占有重要地位<sup>[10]</sup>。曲流河河道横向变化快、砂体分布不集中,油气勘探难度大,主要是因为缺少对曲流河沉积相的精细描述。众多学者对历史时期渭河河道变迁、洪水变化、河流侵蚀和流量的相对变化等进行了许多研究<sup>[11-13]</sup>。然而国内以往对渭河沉积相及岩相特征的研究很少,也缺少以露头沉积体为依据的研究。本文在详细的野外考察基础上,根据野外露头及深挖的探槽资料,研究了现代渭河西安段草滩沉积体岩相、沉积相与沉积模式等。这一研究对现代渭河的治理、开发具有重要的意义,另一方面对寻找古代曲流河岩性油气藏也会有

重要的启示意义。

## 1 研究区自然地理概况

渭河发源于甘肃省渭源县乌鼠山,流经陇西、天水、宝鸡、咸阳、西安、渭南、潼关等县市,于潼关港口注入黄河,流域面积134 766 km<sup>2</sup>,其中在陕西省有33 548 km<sup>2</sup>,渭河全长818 km,在陕西省境内长450 km,宝鸡峡以上为上游,宝鸡峡至咸阳为中游,咸阳以下为下游<sup>[11]</sup>。渭河西安段东西长约40 km,南有沔河、灞河等注入,北有泾河相汇。所处地貌单元主要为关中平原,南与秦岭山前洪积扇及黄土台塬相邻,北与渭北台塬相接,平均海拔360~450 m,南北宽50~80 km。研究区渭河河道宽浅,多边滩沉积,枯水期河宽50~100 m,洪水期河宽100~200 m。研究区位于西安城北的草滩镇(图1),海拔高度360 m左右,剖面及探槽地处东经109°00.3186'~109°00.1069',北纬36°24.0742'~36°26.0017'。通过野外调查和剖面对比,我们在西安渭河草滩大桥西侧,选择了8个保存较好的代表性剖面 and 探槽作为研究对象。这些剖面 and 探槽高出现代河面水位15 m左右,剖面多为天然陡坎,或

<sup>①</sup>国家自然科学基金(批准号:41302076)、西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项经费(编号:BJ14266)、陕西省自然科学基金(编号:2014JQ5191)联合资助

收稿日期:2014-05-30;收修改稿日期:2014-08-26

建筑挖砂留下来的坑,此外对部分剖面的底部垂直下挖 0.5~1.0 m,以期更好的显示完整的沉积旋回。



图1 研究区地理位置图

Fig.1 The geographical location map of the study area

## 2 渭河西安段草滩沉积体沉积特征

### 2.1 沉积物粒度特征

沉积物的粒度特征能够反映水体的搬运性能,是判别沉积时的自然地理环境以及水动力条件的良好标志,此外沉积物固结成岩后形成的碎屑岩的储油物性与其粒度有密切相关,因此粒度分析是沉积物(沉积岩)研究的一个重要方面<sup>[14]</sup>。本次研究,对研究区8个剖面点的15块样品进行了粒度分析,表1为部分样品的岩性、位置等信息。样品由西北大学大陆动力学国家重点实验室测试完成,测试仪器为英国MALVERN公司生产的MS-2000激光粒度分析仪。

碎屑颗粒的粒度分级,目前有着各种不同的划分方案,本次研究按照赵澄林等人提出的十进制的划分方案<sup>[15]</sup>,即颗粒直径2~10 mm为细砾,1~2 mm为巨砂,0.5~1 mm为粗砂,0.25~0.5 mm为中砂,0.25~0.1 mm为细砂,0.05~0.1 mm为粉砂,<0.05 mm为泥。不同的水动力条件所能搬运的颗粒大小不同,对于碎屑岩来讲,碎屑物质在流水中的搬运通常分为三种组

分;即悬浮搬运组分,其颗粒大小一般小于0.05 mm;跳跃搬运组分,其颗粒大小一般在0.05~2 mm。滚动搬运组分,颗粒大小通常大于2 mm<sup>[15]</sup>。按照以上划分方案,研究区河流沉积体主要由三种类型沉积物组成:砂质、泥质和砾质沉积,并以砂质沉积和泥质沉积为主,沉积物固结程度弱—中等,其中砂质和砾质沉积体固结程度相对较强,而泥质含量高的泛滥平原沉积体固结程度相对较差。图2展示了研究区三种不同类型粒度累积曲线特征,结合上述赵澄林等人对不同粒度沉积物搬运方式的划分,对各个样品的沉积物颗粒组分和搬运方式特征进行分析。由图2粒度累积曲线可以看出,采自剖面3的样品WXS3中,颗粒小于0.05 mm的约占5%,0.05~2 mm约占94%,大于2 mm约占0.5%,表明该样品中跳跃组分占主体,少量悬浮和滚动组分;剖面7的样品WXN7-1中,颗粒小于0.05mm的约占6%,0.05~2 mm约占94%,表明该样品中跳跃组分最多,其次为悬浮组分。剖面5的样品WXM5,颗粒小于0.05 mm的约占4%,0.05~2 mm约占97%,表明该样品中跳跃组分最多,其次为悬浮组分;剖面7的样品WXN7-2中,颗粒小于0.05 mm的约占5%,0.05~2 mm约占95%,同样表明该样品中跳跃组分最多,少量悬浮组分。剖面4的样品WXM4-2中,颗粒小于0.05 mm的约占70%,0.05~2 mm约占30%,表明该样品中主要为悬浮组分,少量跳跃组分。剖面7顶部样品WXN7-6中,颗粒小于0.05 mm的约占60%,0.05~2 mm约占40%,表明该样品中沉积物主要为悬浮组分,少量的跳跃组分。

### 2.2 沉积微相发育类型及特征

渭河西安段现代沉积物发育多种类型的沉积构造,如雨痕、泥裂、冲刷面、波痕、水平层理、平行层理、槽状交错层理、块状层理等,根据这些沉积构造结合沉积物粒度等特征对研究区沉积相进行了划分,认为研究区河流沉积体主要为曲流河沉积,共识别出河床

表1 研究区部分样品岩性、位置信息表

Table 1 Lithology and location of some selected samples in the study area

样品编号	采样地点	岩性	GPS 位置
WXS3	西安草滩	浅灰色含砾中粗砂岩	N:34°25.8504', E:109°00.1630', H:360m
WXM4-2	西安草滩	灰白色泥岩	N:34°26.0117', E:109°00.2353', H:361m
WXM5	西安草滩	浅灰色中细砂岩	N:34°25.9891', E:109°00.1576', H:363m
WXN7-1	西安草滩	浅灰色含砾中粗砂岩	N:36°24.0742', E:109°00.3186', H:358m
WXN7-2	西安草滩	浅灰色中细砂岩	N:36°24.0742', E:109°00.3186', H:359m
WXN7-6	西安草滩	灰白色粉砂质泥岩	N:36°24.0742', E:109°00.3186', H:362m
WXM1	西安草滩	浅灰色中细砂岩	N:34°25.8860', E:109°00.1469', H:363m
WXM4-1	西安草滩	浅灰色中细砂岩	N:34°26.0117', E:109°00.2353', H:362m
WXM2	西安草滩	浅灰色中细砂岩	N:34°25.8872', E:109°00.1543', H:361m

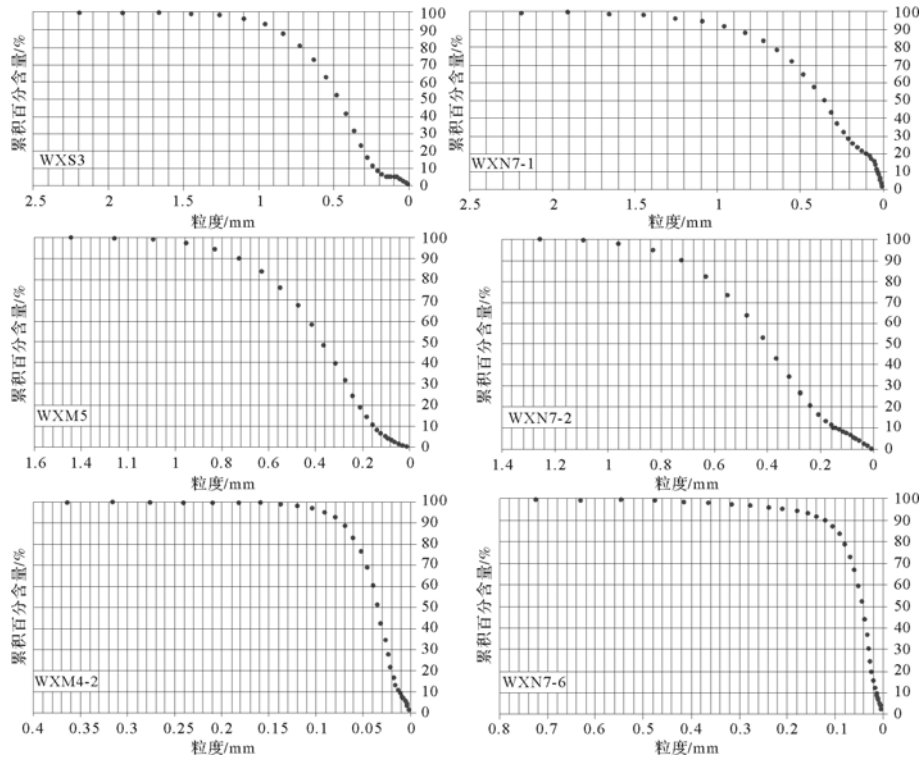


图2 研究区样品粒度累积曲线图

Fig.2 Particle size cumulative curves of selected samples in the study area

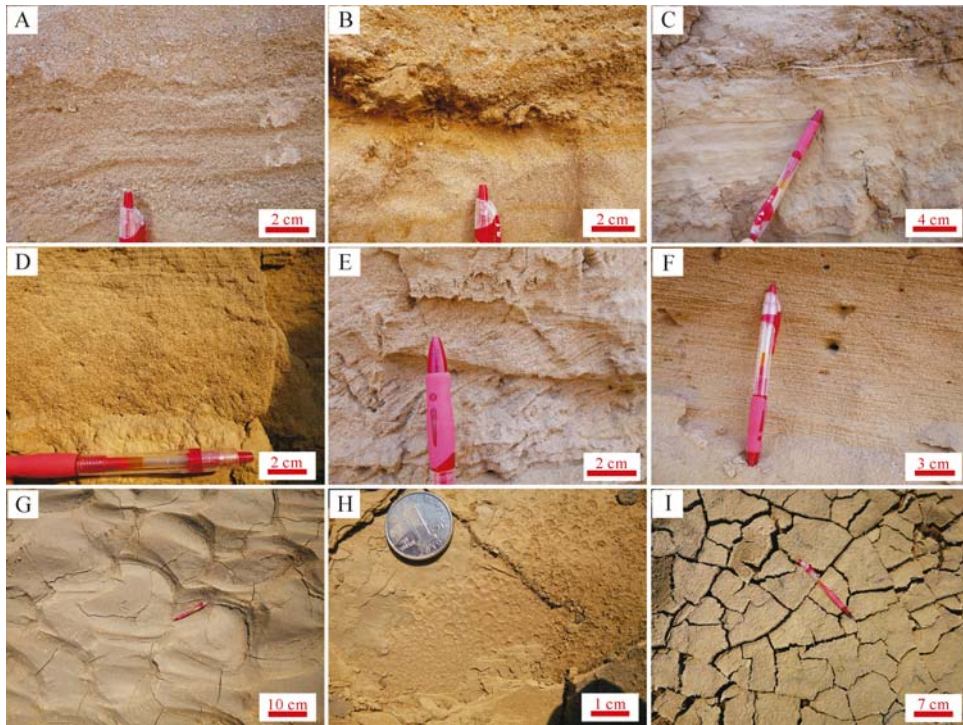


图3 渭河西安段沉积体沉积构造特征

A.灰色含细砾粗砂岩(固结程度中等),冲刷构造,平行层理,剖面7;B.灰色含泥砾中砂岩(弱固结),冲刷构造,剖面4;C.底部灰色细砂岩(弱固结),中部浅灰色泥岩(弱固结),顶部灰色含细砾粗砂岩(弱固结),冲刷构造,剖面7;D.底部浅灰色泥岩(弱固结),上部灰色中粗砂岩(固结程度中等),冲刷构造,剖面4;E.浅灰色中粗砂岩(弱固结),交错层理,剖面8;F.浅灰色中砂岩(弱固结),平行层理,剖面7;G.灰色粉砂质泥岩(未固结),波痕,点11;H.浅灰色粉砂质泥岩(弱固结),雨痕,剖面10;I.浅灰色泥岩(未固结),泥裂,点12。

Fig.3 Characteristics of sedimentary structures of Weihe River in Xi'an

滞留沉积、边滩和泛滥平原三种沉积微相。

### 2.2.1 河床滞留沉积

河床亚相包括河床滞留沉积和边滩两种沉积微相,河床是河谷中经常流水的地方,即平水期水流所占的最低部分,河床亚相又称为河道亚相<sup>[14]</sup>,在渭河草滩沉积体内,河床滞留沉积和边滩沉积体均广泛发育。

河流中从上游搬运来的以及就地侵蚀的物质,细粒物质被带走,粗粒物质被留下来堆积成不连续的透镜体,称为河床滞留沉积<sup>[14,16]</sup>,河床滞留沉积在渭河草滩沉积体中广泛发育。其沉积厚度较薄,单层厚度一般在0.5~1.0 m。由于探槽深度的限制,在可观测的深度内,共发现两层含有泥砾和石英质砾石的河床沉积,岩性类型主要为含砾粗砂岩、含泥砾中砂岩和细砂岩,土黄色泥砾发育(图3B)。研究区河床滞留沉积中发育多种类型的沉积构造,如平行层理、冲刷构造等(图3A~D),高健等人指出原生沉积构造,特别是层理的研究,有助于恢复古代沉积物沉积时的水动力状况<sup>[17]</sup>。平行层理和冲刷构造的发育显示了研究区该时期较强的水动力条件,从样品WXS3和样品WXN7-1粒度分析结果来看(图2),该沉积环境下的样品中跳跃组分占主体,同样显示了较强的水动力条件,研究区冲刷构造发育的地层可能是阵发性的洪积形成的沉积地层。

### 2.2.2 边滩

边滩是河床沉积物侧向加积的结果<sup>[15]</sup>。该微相在草滩曲流河沉积体内广泛发育,是构成研究区河流沉积的主体部分,其位于河道沉积的上部,岩性以中细砂为主。垂向上由多个由粗到细的旋回组成,多呈向上变细的正粒序,下部为中粗砂沉积物,发育有槽状交错层理和平行层理(图3E,F),向上过渡为细砂、粉砂质泥和泥。样品WXS5和WXN7-2是取自该环境下的样品,由图2粒度累积曲线图可以看出,该环境下主要为跳跃组分的沉积物,同河床滞留沉积中的沉积物相比,颗粒较大的滚动组分含量明显减少。边滩沉积体是渭河草滩段的主体,从剖面 and 探槽的分析结果来看,边滩在该地区发育的厚度一般在1.5~3 m。

### 2.2.3 泛滥平原

细粒的低负载和悬浮物质沉积物在洪水期向河泛区漫溢形成泛滥平原<sup>[14,16]</sup>。研究区泛滥平原沉积物以泥和粉砂为主,厚度约10~80 cm,样品WXM4-2是剖面4所取样品,由图2可以看出,粒度累积曲线

的斜率很大,说明粒度分布集中,颗粒分选好,同时颗粒小于0.1 mm的约占97%,小于0.05 mm占70%,其它粒径颗粒很少,说明该沉积物主要为泥,少量粉砂。研究区泛滥平原沉积中发育三种类型的可显示当时沉积环境的沉积构造,即雨痕、泥裂和波痕(图3G,H,I)。雨痕是雨滴在柔软的沉积物表面撞击出的小坑<sup>[16]</sup>,研究区雨痕发育在弱固结的泥质沉积物中,上覆沉积物厚度约0.5 cm(偶然的一次揭露表面弱固结的上覆层时发现了保存完好的雨痕构造);泥裂是沉积物露出水面时因暴晒干涸所发生的收缩裂缝<sup>[16]</sup>,研究区泥裂主要发育在泛滥平原中形成的小型已废弃河流的边缘地带。波痕是在波浪或水流等作用下,沉积物表面所形成的一种波状起伏的痕迹<sup>[11]</sup>,研究区波痕发育在距离河道不远的已废弃河道或干涸的小型河漫湖泊中,Galloway *et al.*<sup>[16]</sup>认为这种河漫湖泊是高潜水面的情况下,在泛滥平原环境中形成的,研究区泛滥平原上河漫湖泊的形成可能有两个方面的原因,一方面当渭河上游河水供给量增大时,河流水体表面抬升,高出距离河道不远(几十米)的泛滥平原上的洼地,造成潜水面抬升;另一方面水量的增加造成河道的短期决口,水从决口水道流入河漫湖泊。研究区现代渭河沉积物中发育的波痕构造(图3G),就位于泛滥平原上小型的河漫湖泊中,距离河道的距离仅几十米,其形态主要为弯曲状,波高在1~2 cm,说明水动力条件较弱。

## 2.3 沉积层序与沉积模式

### 2.3.1 沉积层序

在对渭河西安段草滩沉积体沉积特征研究的基础上,对草滩沉积体垂向层序进行了详细的分析,以剖面7为例,该剖面垂向上主要由3套沉积组成,每一套沉积体均具有典型的河流“二元”沉积结构(图4):

底部:主要包括N1、N2和N3层,总的特点是由下至上为明显的正韵律,底部为40~60 cm厚的灰褐色含砾粗砂岩,发育平行层理,砾石主要为石英砾,少量泥砾,砾石直径一般为2~7 mm,向上逐渐变为平行层理发育的浅灰色粗砂岩和中细砂岩,反映了水动力条件逐渐减弱的过程。

中部:包括N4、N5和N6层,底部为交错层理发育的含砾中砂岩,厚度20 cm左右,向上变为中细砂岩,该套层序的顶层为40 cm左右的灰白色泥岩,含少量的植物根茎,该套层序发育较差,厚度薄,在部分探槽中没有发现该层,或仅发育薄层的中细砂岩。

顶部:包括N7、N8和N9层,同样由下到上粒度

变细,底部为厚约 50 cm 的浅灰色细砂岩,该套细砂岩较为纯净,为一套边滩沉积体,向上变为厚度约 80 cm 的灰白色泥岩,反映了水动力条件的逐渐减弱过程,顶层泥岩已经土壤化,表层含有丰富的植物根。

通过对沉积构造、结构特征及沉积环境的演化过程分析,笔者认为这 3 套地层的形成主要与沉积速率、可容空间变化、气候及河岸的性质等因素有关。

首先河流搬运的碎屑物质要沉积下来,需要有足够的沉积空间:盆地或河谷可以提供沉积物沉积的可容空间,若没有足够的可容空间,河流就有可能达到平衡状态,致使沉积物不能够保存下来<sup>[18]</sup>,影响可容空间大小的潜水面的高低受到气候、上游供水量等条件的制约,当处于干旱气候条件下时,地下水水位可能较低,造成潜水面降低,在湿润的气候条件下时,地下水水位可能较高,形成较高的潜水面,这也是泛滥平原上小型河漫湖泊形成的一个重要原因。研究区 3 套地层的形成,应证了这一点:受到可容空间变化、沉积物的供给速度以及河岸性质等的影响,在底部层序中粗粒沉积物供给相对充足,可容空间大,河流携带的粗粒物质沉积下来形成了厚度较大的河床滞留沉积和边滩沉积体,上部两套地层粗粒沉积物供给相对减少,形成的河床沉积物较薄。同时在底部地层中,河床滞留沉积物中含有大量的泥砾,这反映了沉积时的水动力是阵发性的洪积,造成沉积物分选极

差,其在河水的快速冲蚀下,并迅速堆积在河道中,进而形成了泥砾沉积,而后期的两套沉积体中泥砾物质含量很少。

### 2.3.2 沉积模式

沉积模式是对一定环境中的现代沉积物的物理、化学、生物特征综合研究的基础上概括出的沉积环境及其沉积物的物化模型<sup>[16,19]</sup>。本次研究通过对现代渭河西安草滩沉积体的沉积构造、沉积物粒度、沉积微相和沉积层序等特征的分析,建立了渭河草滩沉积体的沉积模式(图 5),结果认为现代渭河西安段为曲流河沉积,主要发育河床滞留沉积、边滩和泛滥平原三种类型的沉积微相。

## 3 岩相类型

按照 Miall<sup>[1]</sup>提出的河流相岩相分类方案,结合草滩河流沉积体的具体特征,研究区内共划分出了 6 种岩相类型:

(1) 平行层理含细砾粗砂岩相(石英砾为主):平行层理和较大颗粒沉积体通常是河道等较强水动力条件下沉积的产物<sup>[17,20]</sup>,主要分布在每一期河流沉积的底部,从研究区垂向沉积剖面图中可以看出,平行层理含细砾粗砂岩相主要发育在层 N1 和 N4,这两层为两期河流沉积旋回的开始(图 4)。砾石主要为灰白色的石英砾,磨圆较好。



图4 渭河西安段草滩沉积体沉积特征(剖面7)

Fig.4 Characteristics of sedimentary body of Weihe River in Xi'an (Section 7)

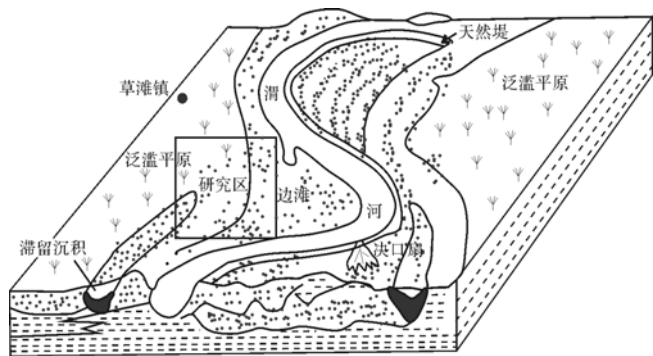


图5 渭河西安段沉积体沉积模式

Fig.5 Depositional model of Weihe River in Xi'an

(2) 槽状交错层理中细砂岩相: 主要分布在 N3 和 N7 层段, 由图 4 可以看出, 这三期河流沉积中(由于探槽深度的限制, 未能见底, 只能观察到三期河流沉积旋回), 底部第一期沉积时间较长, 水动力相对较大, 沉积了较厚层的砂质沉积, 在第一期地层的顶部(N3 层段) 发育较厚层的槽状交错层理中细砂岩相。

(3) 平行层理中细砂岩相: 一般位于垂向上每一期河流沉积的中部, 主要由中砂岩和细砂岩组成, 部分层段含有粉砂和泥, 层理主要由较小规模的纹层组成, 角度通常较低, 主要分布在 N3 和 N5 层段。

(4) 块状层理含砾中砂岩相: 发育较为局限, 只在部分剖面 and 层段发育, 主要为沉积物快速沉积的条件下形成, 研究区发育的块状层理含砾中砂岩可能是河流短期决口时在决口扇中形成的沉积体(图 6A)。

(5) 交错层理含砾中砂岩相: 主要分布在 N1 层段底部第一期沉积旋回中, 其水动力强度相对较大, 颗粒分选较差(图 6B)。

(6) 块状层理泥岩相: 通常发育在每期旋回的顶部, 和块状层理的粉砂质泥岩通常伴生, 其中含少量植物根茎, 颜色通常为灰白色(图 6C)。



图6 渭河西安段沉积体岩相特征

Fig.6 Characteristics of lithofacies of Weihe River in Xi'an

## 4 讨论

现代河流沉积学的研究, 一方面是河流沉积学的基础研究, 识别河流的各个沉积亚相、微相, 建立河流的沉积模式; 另一方面是为人类更好的开发和保护自然资源提供依据, 如利用现代河流沉积特征去了解古代河流的沉积特征, 进而为储存在河流砂体中的石油、天然气等资源的开发提供模型支持, 此外也可以为河流资源的保护、治理和开发利用等服务<sup>[21-22]</sup>。河流可提供的资源多种多样, 如水资源、生物资源和矿产资源等。20 世纪末, 世界各地进行了许多河流的开发工作, 美国田纳西河流域便是河流开发的成功典范<sup>[23]</sup>。本研究识别出了河床滞留沉积、边滩和泛滥平原三种沉积微相, 建立了渭河西安草滩沉积体的沉积模式, 该模式的建立为古代河流沉积的识别提供了一个对比和参考; 此外渭河河流沉积物中可见砂金, 是一种可以利用的矿产资源。

目前我国大多数地区的建筑用砂主要是取自河道<sup>[24]</sup>, 本研究的粒度分析结果表明, 河床滞留沉积物中的砂粒粒径多分布在 0.2~1.2 mm, 边滩沉积物中砂体粒径多分布在 0.1~1.0 mm, 两者皆可作为建筑用砂<sup>[25]</sup>。然而本次研究在踏勘过程中发现有采砂留下的矿坑, 部分矿坑内被垃圾等填埋, 这种采矿方式势必会影响该区的生态环境以及下游水体的水质, 因此在渭河资源开发过程中, 不能忽视对资源和环境的保护。

## 5 结论

(1) 现代渭河西安段草滩沉积体是一个由多期河道组成的曲流河沉积体, 主要发育 3 种沉积微相, 即河床滞留沉积、边滩和泛滥平原; 6 种岩相, 即平行层理含细砾粗砂岩相、槽状交错层理中细砂岩相、平行层理中细砂岩相、块状层理含砾中砂岩相、交错

层理含砾中砂岩相和块状层理泥岩相。

(2) 现代渭河西安段草滩沉积体在垂向上可见3个沉积旋回,每一期沉积体均具有典型的河流相“二元”结构,反映了水动力是一个由强变弱的过程。

(3) 现代渭河西安草滩段沉积体沉积模式的建立为识别古代河流研究提供了对比模型,如砂体展布、砂泥的厚度及叠置关系等。沉积特征的研究对寻找砂矿、地下水等具有一定的指导意义,同时在采矿和抽取地下水的过程中需要注意对生态环境的保护。

### 参考文献 (References)

- Miall A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. *Earth-Science Reviews*, 1985, 22(4): 261-308.
- Smith D G. Anastomosed fluvial deposits: modern examples from Western Canada[M]// Collinson J D, Lewin J. *Modern and Ancient Fluvial Systems*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1983: 155-168.
- 廖保方,张为民,李列,等. 辫状河现代沉积研究与相模式——中国永定河剖析[J]. *沉积学报*, 1998, 16(1): 34-39. [Liao Baofang, Zhang Weimin, Li Lie, et al. Study on modern deposit of a braided stream and facies model-Taking the Yongding River as an example[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1): 34-39.]
- 王多云. 沼泽环境中的河流类型及其侧向演化模式[J]. *沉积学报*, 1993, 11(3): 1-5. [Wang Duoyun. Types and lateral evolution models of swamp rivers[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(3): 1-5.]
- 尹寿鹏,谢庆宾,管守锐. 网状河比较沉积学研究[J]. *沉积学报*, 2000, 18(2): 221-226. [Yin Shoupeng, Xie Qingbin, Guan Shourui. Study on anastomosed river with comparative sedimentology[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 221-226.]
- Miall A D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: Anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado[J]. *Sedimentary Geology*, 1988, 55(3/4): 233-240, 247-262.
- 郭峰,郭岭,姜在兴,等. 潮白河现代沉积特征与沉积模式[J]. *大庆石油学院学报*, 2010, 34(2): 7-10. [Guo Feng, Guo Ling, Jiang Zaixing, et al. Sedimentary characteristics and depositional model of modern Chaobai River[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2010, 34(2): 7-10.]
- 王在平,王俊玲. 嫩江现代河流沉积层序及沉积模式[J]. *沉积学报*, 2003, 21(2): 228-233. [Wang Zaiping, Wang Junling. Sedimentary sequence and model of modern Nenjiang River[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 228-233.]
- 谢庆宾,朱筱敏,管守锐,等. 中国现代网状河流沉积特征和沉积模式[J]. *沉积学报*, 2003, 21(2): 219-227. [Xie Qingbin, Zhu Xiaomin, Guan Shourui, et al. Depositional characteristics and models of the modern anastomosing river in China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 219-227.]
- 史建南,郑荣才,韩永林,等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长8油层组岩性油藏成藏机理研究[J]. *岩性油气藏*, 2009, 21(3): 129-133. [Shi Jiannan, Zheng Rongcai, Han Yonglin, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism of lithologic reservoir of Chang 8 member in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 21(3): 129-133.]
- 甘枝茂,桑广书,甘锐,等. 晚全新世渭河西安段河道变迁与土壤侵蚀[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(2): 129-132. [Gan Zhimao, Sang Guangshu, Gan Rui, et al. Watercourse changes and soil erosion of Weihe River along Xi'an reaches in the Late Holocene[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(2): 129-132.]
- 史念海. 黄河流域诸河流的演变与治理[M]. 西安:陕西人民出版社, 1999: 315-320. [Shi Nianhai. *Change of the Rivers in Yellow River Catchment and Administration*[M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1999: 315-320.]
- 赵景波,周晓红,孙贵贞. 咸阳渭河高漫滩沉积洪水变化研究[J]. *沉积学报*, 2007, 25(4): 597-602. [Zhao Jingbo, Zhou Xiaohong, Sun Guizhen. Research on flood change indicated by deposit in high valley flat profile of Weihe River in Xianyang[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(4): 597-602.]
- 姜在兴. *沉积学*[M]. 北京:石油工业出版社, 2003. [Jiang Zaixing. *Sedimentology*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.]
- 赵澄林,朱筱敏. *沉积岩石学*[M]. 3版. 北京:石油工业出版社, 2001. [Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary Petrology*[M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.]
- Galloway W E, Hobday D K. *Terrigenous Clastic Depositional Systems*[M]. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 1996.
- 高健,严钦尚,许世远. 滦河中游现代河流沉积构造与水动力的关系[J]. *沉积学报*, 1983, 1(1): 27-41. [Gao Jian, Yan Qinshang, Xu Shiyuan. The relationship between sedimentary structures and hydrodynamics in the middle reach of the Luan River, Hebei province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1983, 1(1): 27-41.]
- 郭岭,姜在兴,徐杰. 现代潮白河岩相与沉积相特征[J]. *岩性油气藏*, 2011, 23(1): 57-61. [Guo Ling, Jiang Zaixing, Xu Jie. Sedimentary facies and lithofacies characteristics of modern Chaobai River[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2011, 23(1): 57-61.]
- 李永胜. 饶阳凹陷留楚油田东营组沉积微相研究[D]. 青岛:中国石油大学, 2011. [Li Yongsheng. *The study on the sedimentary microfacies of Dongying Formation in Liuchu oilfield, Raoyang depression*[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2011.]
- 于兴河. *碎屑岩系油气储层沉积学*[M]. 2版. 北京:石油工业出版社, 2008. [Yu Xinghe. *Sedimentology of Clastic Rock Series of Oil and Gas Reservoir*[M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.]
- 曾允孚,覃建雄. 沉积学发展现状与前瞻[J]. *成都理工大学学报*, 1999, 26(1): 1-7. [Zeng Yunfu, Qin Jianxiong. Development and future of sedimentology[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1999, 26(1): 1-7.]
- 刘宝珺,韩作振,杨仁超. 当代沉积学研究进展、前瞻与思考[J]. *特种油气藏*, 2006, 13(5): 1-9. [Liu Baojun, Han Zuozhen, Yang Renchao. Progress, prediction and consideration of the research of modern sedimentology[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2006, 13

- (5): 1-9.]
- 23 张兴平. 宁夏黄河干流流域开发初探[J]. 干旱区资源与环境, 1993, 7(3/4): 454-457. [Zhang Xingping. A preliminary study on the development of the Yellow river's main stream basin in Ningxia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1993, 7(3/4): 454-457.]
- 24 尹飞龙, 欧阳东, 温喜廉, 等. 海砂与河砂、尾砂作为建筑用砂的比较研究[J]. 混凝土, 2011(12): 73-78. [Yin Feilong, Ouyang Dong, Wen Xilian, et al. Comparative study of sea sand, river sand and tailing sand which using as building sand[J]. Concrete, 2011(12): 73-78.]
- 25 曹雪晴, 谭启新, 张勇, 等. 中国近海建筑砂矿床特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 26(2): 165-170. [Cao Xueqing, Tan Qixin, Zhang Yong, et al. Characteristics of construction marine sand deposits in offshore area of China[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 26(2): 165-170.]

## Characteristics of Sedimentary Facies and Lithofacies of Modern Weihe River in Xi'an

GUO Ling<sup>1,2</sup> JIA ChaoChao<sup>2</sup> ZHU Yu<sup>2</sup> REN WenBo<sup>2</sup> DUAN JinChuan<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

**Abstract:** Taking modern deposit of Weihe River at Caotan, Xi'an, as an example, particle size, sedimentary facies, sedimentary sequences and depositional model were studied based on outcrops and trench observation, and test results of selected samples. The results indicate that modern Weihe River in Xi'an is a meandering river which composed by three sedimentary cycle, and sediments in the river include sandy and argillaceous sediments, and only a little of gravely sediments. There are 6 kinds of lithofacies identified in Caotan deposit of modern Weihe River, and they are coarse sandstone with some fine gravel (parallel bedding) lithofacies, medium to fine (trough cross bedding) sandstone lithofacies, medium to fine sandstone (parallel bedding) lithofacies, medium sandstone (massive bedding) lithofacies, medium sandstone with some gravel (cross bedding) lithofacies and mudstone (massive bedding) lithofacies. Three kinds of sedimentary microfacies developed well, including channel lag deposit, point bar and flood-plain microfacies, and three sedimentary sequences were composed by these sedimentary microfacies. Lower sedimentary sequence with large thickness of sandstone was composed mainly by coarse and medium sandstone. Middle sedimentary sequence is a whole meandering river sedimentary body, and is composed by channel lag deposit, point bar and flood-plain deposit. Upper sedimentary sequence is dominantly composed by point bar and flood-plain deposit. Grain size analysis show that diameter of particles in channel lag deposit is 0.2~1.2 mm, and 0.1~1.0 mm in point bar, and they are favorable sand orebody which used for building sand.

**Key words:** modern deposit; Weihe River; lithofacies; facies; characterisite of grain size; sand orebody