

文章编号: 1009-3850(2013)01-0012-06

## 乌裕尔河依安段沉积特征研究

单新<sup>1</sup> 柳成志<sup>2</sup> 楼露<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

**摘要:** 以乌裕尔河依安段沉积体为研究对象, 通过对乌裕尔河依安大桥剖面考察及对依安县境内乌裕尔河沉积体挖探槽、探坑, 结合样品的粒度分析结果, 详细研究了其沉积特征。研究表明, 乌裕尔河依安段为细粒曲流河沉积体, 在垂向上总共形成了3期沉积旋回, 主要发育河道、河漫滩和天然堤3种沉积亚相以及河床滞留沉积、点沙坝、河漫滩和沼泽4种微相。结合粒度分析结果, 乌裕尔河依安段沉积体在C-M图上主要发育三段: 递变悬浮段、均匀悬浮段和悬浮滚动段, 反映了乌裕尔河水动力变化情况及沉积特征。

**关键词:** 乌裕尔河; 高弯度曲流河; 沉积相; 粒度分析; CM图

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

河流是搬运沉积物至最终沉积区的主要通道。河流不仅是侵蚀陆地地形的主要破坏营力, 也是陆地甚至海洋中重要的沉积营力。20世纪50年代地貌学和水动力学实验的发展为河流沉积学的深入研究提供了前提。现在比较流行的河流分类方法是根据河道弯曲度及河道分叉指数将河流分成直流河、曲流河、辫状河及网状河或依据构形要素分析法将河流进行分类<sup>[1-5]</sup>。曲流河中河道及点沙坝沉积是我国重要的油气储层, 但由于其复杂的非均质性, 开发难度较大。曲流河侧向侵蚀能力强, 河道砂体叠置形式复杂, 因此加强对曲流河的认识和预测就显得尤为重要。

乌裕尔河是黑龙江省一条重要的河流, 目前对其沉积特征研究较少。乌裕尔河依安段流域坡度极缓, 河流流速缓慢, 弯曲度较大, 为细粒高弯度曲流河段。本文以乌裕尔河依安段为例, 详细分析了乌裕尔河依安段剖面的沉积特征, 旨在揭示高弯度低能细粒量曲流河的沉积特征并丰富曲流河沉积理论。

### 1 研究区概况

乌裕尔河是黑龙江省最大的内陆河, 位于黑龙江省西部, 发源于小兴安岭山前地带(图1)。

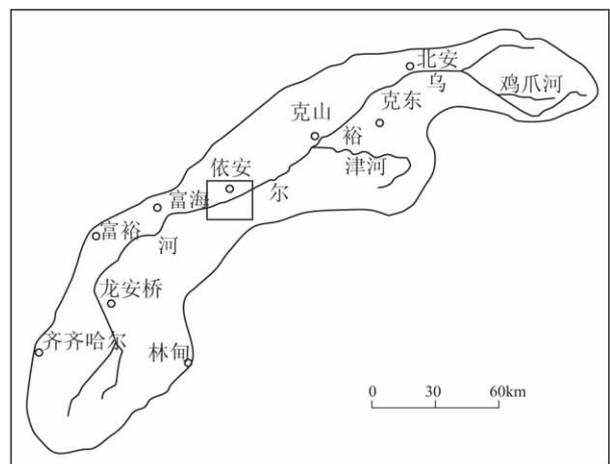


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

该河流经黑龙江省北安、克山、克东、依安、富裕等地, 河流全长576km, 流域面积 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究区段位于黑龙江省依安县境内。

乌裕尔河流域属于寒温带大陆性季风气候, 冬

收稿日期: 2012-04-01; 改回日期: 2012-06-02

作者简介: 单新(1988-), 男, 硕士研究生, 现主要从事沉积学方面的研究。E-mail: shanxin\_2011@qq.com

资助项目: 国家大学生创新性实验计划资助(091022001)

季漫长,春干风大,夏热多雨,秋凉霜早。乌裕尔河流域降水水汽主要来源于太平洋气流,由于受地形变化影响,降水随高程上升而增大,上游山区降水多于下游的低平原。降水年内分配为夏、秋季多,冬、春季少,6~9月的降水量约占全年降水的70%,年平均降水量约450mm。乌裕尔河流域的径流年内、年际径流差异较大。乌裕尔河流域蒸发量主要受气温、水汽、风、辐射和相对湿度的季节性变化的影响,在年际上变化不大,年平均蒸发量约1400mm,其中5月份的蒸发量最为强烈<sup>[6]</sup>。

乌裕尔河的形成发育,与本区域的古构造、古地形和古气候密切相关。乌裕尔河流域位于松辽盆地松嫩平原,基底为前寒武系变质岩系。由于晚古生代海西运动使小兴安岭地区整体抬升,并长期遭受剥蚀,而乌裕尔河西南地区不断沉降,这种构造活动形成了本区东北高、西南低的整体格局,并控制着乌裕尔河的形成、发展和演变。

## 2 乌裕尔河沉积相分析

乌裕尔河发源于小兴安岭西部,由东北向西南流入扎龙湿地。经测量,乌裕尔河依安段平均坡降0.15‰,洪水期最大流速1.5m/s,枯水期最大流速0.5m/s,弯曲度约为1.6,属细粒曲流河。依安段内,乌裕尔河流域坡降缓、河流速度缓慢、水体能量低,沉积物粒度以泥级、砂级为主。河流的弯曲度主要受控于坡降的陡缓,坡降较缓使流速变慢、河道充分发育,不断弯曲蜿蜒,并形成曲流河。悬浮物质沉积物数量的大小是影响河岸稳固程度的主要因素,更是影响河道类型的主控因素<sup>[7]</sup>。乌裕尔河河岸及越岸沉积以细粒物质为主,较为稳固,下游河岸植被发育,抗冲刷剥蚀能力强。

在Allen、Miall、Walker和Cant的经典曲流河沉积模式中,边滩沉积体较宽且较缓<sup>[8-10]</sup>,而乌裕尔河依安段的边滩沉积体较陡且宽度较窄。乌裕尔河依安段天然堤沉积粒度较细,由粉砂质、泥质物质组成,其上布满草本植物,粘结性好。在研究区内还发育有废弃河道沉积,乌裕尔河形成废弃河道的原因主要有两种:第一,乌裕尔河依安段弯度较大,洪水期水动力较强时河水冲过边滩弃弯取直形成废弃河道;第二,洪水期时河流水动力相对较强,侧蚀作用相对强烈,河岸遭受侧蚀作用垮塌形成粘土塞起阻碍作用,使得流水只能越过边滩形成冲槽,最后形成废弃河道。

乌裕尔河依安段无决口现象,亦无决口扇形成。乌裕尔河的沉积亚相包括河道、天然堤、河漫滩亚相。

### 2.1 河道亚相

河道是河流流水通过的地方。在河道中,侵蚀作用主要包括河谷下切和河流侧蚀。河谷下切作用一般情况下是由于一次洪水来临导致河道垂向上被侵蚀,当洪水退却的时候,河道被充填。因此在曲流河沉积剖面的底部往往有冲刷面的痕迹<sup>[11]</sup>。

由于乌裕尔河依安段的坡度较缓,河流破坏作用以侧蚀为主,河道弯度大。河道沉积亚相主要包括河床滞留沉积和边滩沉积。

#### (1) 河床滞留微相

乌裕尔河的河床滞留沉积主要由黄色、灰黄色细砾岩和浅黄色砂岩组成。沉积物主要来源于上游搬运、堤岸的侧蚀垮塌及河谷深切作用产生的物质。河床滞留沉积往往存在于河道的最底部,是在河流流量最高时短距离搬运的产物。在正常流动情况下,由于河水冲刷与分选作用,细粒物质不断被带走,砾石则滞留在河床底部。这类沉积常位于河流沉积剖面底部,其特征明显,可以观察到砾石的定向排列。向上颗粒逐渐变细过渡为边滩沉积。

河床滞留沉积的沉积构造以块状层理为主,在滞留沉积体上部可见不明显的槽状交错层理(图2a)。

#### (2) 边滩微相

乌裕尔河依安段边滩沉积物主要由浅黄色砂岩组成,岩性较为单一,分选好,磨圆中等,沉积厚度在剖面中的比例较大。边滩向上逐渐过渡到厚度较大的天然堤沙泥互层沉积。

边滩沉积是河流侧向加积的产物。曲流河侧向加积是由于泥砂在曲流河弯道受螺旋流控制,引起输砂不平衡,导致在凹岸发生侵蚀,在凸岸接受沉积形成边滩<sup>[12]</sup>。输砂不平衡是由于乌裕尔河流速缓慢,剪切力不大,仅将河流凹岸较为疏松的沉积物侵蚀下来并搬运,沉积物不断在凸岸进行加积,因此形成的边滩沉积物结构成熟度较好。乌裕尔河弯度较大,边滩沉积发育很好。

边滩沉积体下部为大型槽状交错层理、小型槽状交错层理,中部为波状层理及平行层理,上部为爬升层理、平行层理(图2b)。

### 2.2 天然堤亚相

天然堤主要发育在乌裕尔河的凹岸一侧,沉积

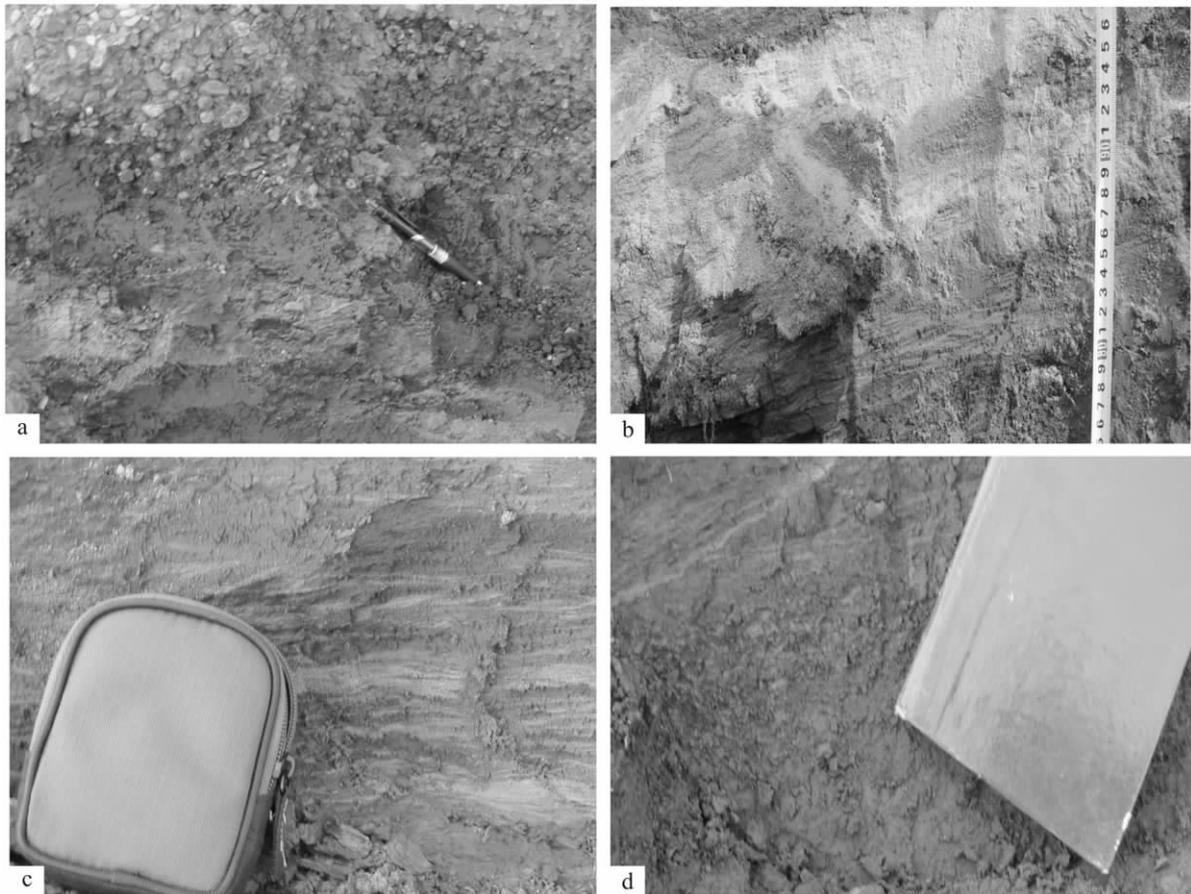


图2 乌裕尔河依安段沉积构造

a. 河床滞留沉积(冲刷面构造); b. 边滩沉积; c. 天然堤沙泥互层沉积(小型爬升层理构造); d. 泛滥平原沉积(铁质结核)

Fig. 2 Sedimentary structures observed in the Yi'an area

a. Scour surface structures in the channel lag deposits; b. Point bar deposits; c. Climbing ripple cross-lamination in the natural levee deposits; d. Ferruginous concretion in the flood plain deposits

物由黑色、黑灰色泥岩、灰色粉砂岩及少量黄色砂岩组成。乌裕尔河下游段天然堤上植被发育,河岸稳固。天然堤沉积物粒度比下覆边滩沉积细,比河漫滩的沉积物粒度稍粗。乌裕尔河的天然堤沉积在平面形态上为高弯度的条带状弯曲体,在纵向剖面上为近等腰三角形,两底角的角度较小。

天然堤沉积体沉积构造以上攀沙纹交错层理、水平层理为主,向上渐变为河漫滩沉积(图2c)。

### 2.3 河漫滩亚相

河漫滩地形平坦。洪水时期河水漫过堤岸,将细粒物质沉积在广大的平原上,是典型的漫积作用产物<sup>[13]</sup>。河漫滩在剖面上位于河道沉积的上部。乌裕尔河的河漫滩沉积物粒度细,以黑色及灰黑色泥质沉积为主,并在其上发育大量植物。在乌裕尔河下游接近扎龙湿地的地区,河漫滩逐渐发展成沼泽沉积,形成大量的有机质堆积,并形成厚层的泥

质沉积。在泛滥平原表层可见红色铁质结核及泥炭层。

河漫滩沉积体以块状层理为主(图2d)。

## 3 依安段沉积特征

在黑龙江省依安县依安大桥西挖探槽、深坑,对样品进行粒度分析,对深槽剖面进行详细分析。乌裕尔河的沉积剖面由3期沉积旋回组成。

任何沉积体都是沉积、破坏作用的共同作用体,乌裕尔河沉积体也不例外。其沉积作用主要为侧向加积和垂向加积,破坏作用主要以深切、侧蚀为主。而搬运作用包括底负载、悬浮负载和风成搬运。风成搬运在形成泛滥平原沉积起贡献作用。乌裕尔河的水动力条件弱,搬运形式以悬浮负载为主、底负载为辅。

### 3.1 乌裕尔河依安段沉积旋回

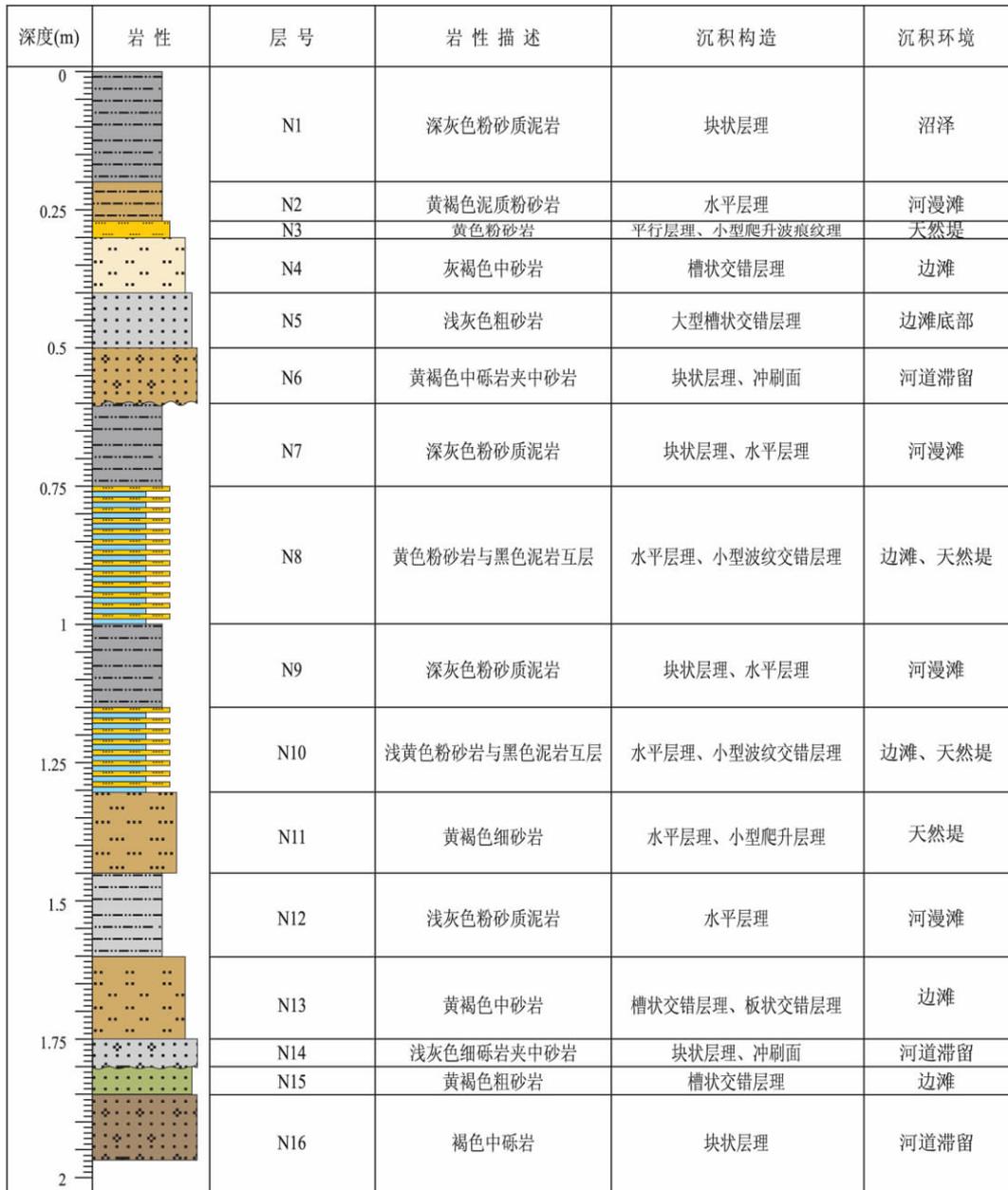


图3 乌裕尔河依安大桥剖面沉积层序图

Fig. 3 Depositional sequence through the Yi'an Bridge section

在对乌裕尔河依安大桥的剖面进行详细研究的基础上,发现乌裕尔河依安段沉积体在垂向上主要由3期沉积旋回组成(图3)。

这3期沉积旋回垂向上递变速率快,厚度最大的中期旋回也仅有1.2m。河道滞留沉积在各个旋回中所占比重都比较小,依次为16.7%、4.2%(底部旋回不完整,未列出),而边滩沉积和泛滥平原沉积所占比重很大。

(1) 底部旋回

只有N16和N15层。由下至上粒度由粗变细,呈现明显的正韵律。其中河道底部砾石层较发育,

以褐色中砾岩为主,向上逐渐过渡为黄褐色粗砂岩。砾石呈明显的定向构造,一般砾石长轴与水流方向垂直。沉积构造由块状层理逐渐变为小型槽状交错层理。沉积物磨圆中等,分选较差。

底部旋回不完整,可能由于洪水来临将上覆的沉积层冲刷剥蚀所致。这种“二元结构”沉积特征产生的最基本原因是由于在不同位置水动力条件不同,导致沉积物的粒度大小及沉积构造产生差异。

(2) 中部旋回

包括N14、N13、N12、N11、N10、N9、N8和N7层。这期沉积旋回发育相对完整,沉积物岩性从浅

灰色细砾岩夹中砂岩、黄褐色中砂岩、浅灰色粉砂质泥岩、黄褐色细砂岩、浅黄色粉砂岩逐渐过渡到深灰色粉砂质泥岩。沉积构造由大型槽状、板状交错层理过渡到小型交错层理,再到水平层理,反映了水动力强度由大变小。

中部沉积层序的 N10 层和 N8 层为厚层的浅黄色粉砂岩、黑色泥岩及黄色粉砂岩与黑色泥岩互层,主要沉积构造为爬升层理、小型波纹交错层理及同生变形构造。其成因是河水的侧蚀作用导致乌裕尔河河道不断摆动,导致了乌裕尔河的边滩沉积与天然堤沉积频繁互层。

### (3) 上部旋回

包括 N6、N5、N4、N3、N2 和 N1 层。岩性由黄褐色中砾岩夹中砂岩、浅灰色粗砂岩、灰褐色中砂岩、黄色粉砂岩逐渐过渡到黄褐色泥质粉砂岩及深灰色粉砂质泥岩。沉积构造由块状层理、大型槽状交错层理至小型爬升波痕纹理再到平行层理,反映了水动力的变化趋势。在 N1 层中夹有泥炭层。在潮湿的条件下,河漫滩沉积环境中植物生长茂盛,进一步发展成沼泽,形成大量有机质堆积,甚至出现泥炭层。

### 3.2 沉积旋回特征分析

乌裕尔河依安段沉积体各个期次的沉积旋回纵向递变速率快,下粗上细特征明显。河道滞留沉积所占比重小,而边滩、天然堤及河漫滩沉积所占比重大。在中部旋回中,边滩沉积与天然堤沉积频繁互层。在依安大桥沉积剖面中及探槽中,无决口扇沉积发育。乌裕尔河是一条细粒高弯度曲流河,堤岸沉积以泥质为主。河岸稳固则河道类型相对稳定并使得边滩发育充分。

控制该沉积体旋回的因素,主要包括构造、海平面变化、沉积物供给及气候。海平面变化控制着可容纳空间,而气候变化控制沉积物的类型,构造作用则影响沉积物的展布形式,沉积物供给控制着沉积体中沉积物的数量。在垂向递变速率这么快的沉积体中,控制其旋回变化的主要的控制作用因素是气候及沉积物供给。在 6~9 月,降水量可达全年降水量的 70%,洪期与早期交替使得此河水面频繁地升降涨落。在正常水位时,该沉积体以侧向加积为主,垂向上在滞留泥砾沉积之上叠置边滩沉积。在洪水期时,河水频繁越过河岸形成天然堤沉积,并与河道砂体重复交叠。

### 3.3 粒度分析及 C-M 图

C-M 图是 Passenga 提出的综合沉积成因图解,其

最能反映介质搬运能力和沉积作用的能力。它是表示沉积物粒度、结构及沉积作用关系的综合图。在黑龙江省依安县大桥西( N47°57.331', E125°18.477', 挖探槽、深坑。在中部旋回不同层段等间距取样 30 个,并做粒度分析,将粒度分析的结果绘制成 C-M 图(图 4)。

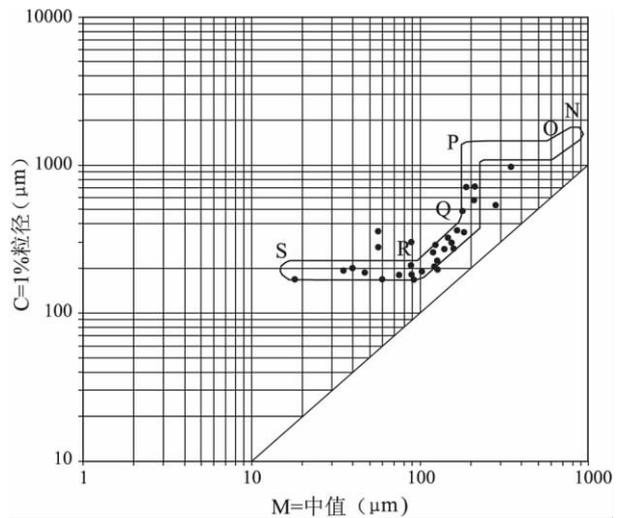


图 4 乌裕尔河依安段取样 C-M 图

Fig. 4 CM patterns for the sediment samples from the Yi'an Bridge section

从冲积扇相到河流相再到三角洲相沉积,从河流的上游到下游以及各种环境的改变,在 C-M 图中都有明显的体现。乌裕尔河依安段沉积体取样分析并绘制成的 C-M 图,样品点主要集中分布于 QR 段及邻近的 RS 段和 PQ 段,代表其沉积物粒度特征以递变悬浮沉积为主,以均匀悬浮和滚动颗粒为辅。递变悬浮搬运是指在流体中悬浮物质由下向上粒度逐渐变细,密度逐渐降低。递变悬浮沉积物的特点是 C 与 M 成线性增加,即 C 值与 M 值相应变化,即使这段图形与 C=M 基线平行。RS 段为均匀悬浮,是粒径与密度不随深度变化的完全悬浮<sup>[14]</sup>。均匀悬浮的沉积物粒度主要为粉砂级和泥级的混合,最粗粒度为细砂。对于曲流河而言,一般以发育滚动悬浮段和递变悬浮段为主,而乌裕尔河依安段沉积体发育均匀悬浮段,反映了乌裕尔河悬浮沉积物较丰富,坡降较缓,水动力条件弱的沉积特征。

## 4 结论

(1) 乌裕尔河依安段为低能量细粒曲流河段,在研究区段内未发现决口现象和决口扇。

(2) 在沉积剖面中乌裕尔河沉积体共发育 3 期

沉积旋回。每期沉积旋回纵向递变速率快,河道滞留沉积所占比重少,边滩沉积、泛滥平原沉积及河漫滩沉积占比重大。

(3) 控制沉积旋回的主要影响因素为气候变化和沉积物供给。

(4) 乌裕尔河依安段水动力较弱,其沉积物粒度较细,在 C-M 图上主要发育递变悬浮段、均匀悬浮段和悬浮滚动段。

#### 参考文献:

- [1] RUST B R. A classification of alluvial channel systems [A]. Miall A D. Fluvial Sedimentology [C]. Can. Soc. Petrol. Geol., Mem., 1978. 187 - 198.
- [2] MIALL A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth Science Reviews, 1985, 22(2): 261 - 308.
- [3] 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, 33(1): 34 - 39.
- [4] 王平在, 王俊玲. 嫩江现代河流沉积层序及沉积模式 [J]. 沉积学报, 2003, 38(2): 228 - 233.
- [5] ALLEN J R L. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments [J]. Sedimentology, 1965, 5(2): 89 - 191.
- [6] 冯夏清, 章光新, 尹雄锐. 乌裕尔河流域径流特征分析 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1286 - 1296.
- [7] ALLEN J R L. Studies in fluvial sedimentation: Six systems from the Lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin [J]. Sedimentology, 1964, 3: 163 - 198.
- [8] WALKER R. G., CANT D J. Sandy fluvial systems [A]. R. G. Walker. Facies Models [C]. Geosci. Can. Reprint Series 1, 1984: 171 - 188.
- [9] MIALL A D. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology [M]. New York: Springer Publications, 2006. 47 - 50.
- [10] READING H G. Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1996. 37 - 61.
- [11] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学(第二版) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 286 - 288.
- [12] 尹燕义, 王国娟, 祁小明. 曲流河点坝储集层侧积体类型研究 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(2): 37 - 40.
- [13] 于兴河, 陈永娇. 碎屑岩系八大沉积作用与其油气储层表征方法 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(6): 517 - 524.
- [14] 薛培华. 河流点坝相储层模式概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 26 - 47.

## Sedimentary characteristics of the Yi'an area along the Wuyur River, Heilongjiang

SHAN Xin<sup>1</sup>, LIU Cheng-zhi<sup>2</sup>, LOU Lu<sup>2</sup>

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. College of Earth Sciences, Northeast China University of Petroleum, Daqing 163318, Heilongjiang, China)

**Abstract:** The sedimentary characteristics are treated in this study for the Yi'an area along the Wuyur River, Heilongjiang. The sediments herein are represented by the fine-grained meandering stream deposits, which vertically display three-phase depositional cycles, i. e. basal, middle and upper cycles, and may be grouped into three sedimentary subfacies, i. e. channel, overbank and natural levee subfacies, and four sedimentary microfacies, i. e. channel lag deposits, point bar, overbank and backswamp microfacies. The CM patterns based on the granulometric analysis of 30 pieces of samples from individual horizons in the middle cycles display three parts of sediment grain size curves, including the fining-upward graded suspension, homogeneous suspension, and roll suspension, respectively.

**Key words:** Wuyur River; high-sinuosity meandering stream; sedimentary facies; granulometric analysis; CM patterns