

山西二叠系河流沉积特征

柯保嘉 陈志明

黄家宽 陈昌明 汪寿松

(中国科学院地质研究所)

陈安宁

(长庆油田勘探开发研究院)

提要 山西西部二叠系沉积环境以河流为主,除曲流河外,还有为数不多的辫状河与交织河。曲流河以发育曲流沙坝、洪泛平原和决口扇为其特征。辫状河发育河道沙坝沉积,洪泛平原沉积不太发育。交织河以河道稳定为特征,伴有沼泽沉积,是理想的成煤环境。

关键词 山西二叠系 曲流河 辫状河 交织河

第一作者简介 柯保嘉 男 36岁 助理研究员 沉积学

引 言

在陆相环境中,由于河流一方面是沉积物的主要搬运者,另一方面又是一些煤田和砂金矿的赋存体,故受到了许多地质工作者的重视。五十年代时,就有 Sundborg (1956) 对河流作用过程, Leopold 和 Wolman (1957) 对河道型式的研究。六十年代, Allen (1964) 和 Middleton (1965) 等人对河流的纵向序列、沉积构造和水动力学作了经典性的解释,为识别河流(主要是曲流河)沉积奠定了基础。七十年代可以说是河流沉积学研究的盛世,其代表性事件是1977年10月在 Calgary 召开的第一届国际河流沉积学大会。在这十年中,不仅曲流河沉积研究得到了进一步的充实,而且还对辫状河进行了一些研究,提出了许多相模式 (Friend, 1978; Miall, 1978; Rust, 1978a; Cant, 1978; Boothroyd and Nummedal, 1978; Heward, 1978)。七十年代末、八十年代初,一种新型河流——交织河 (anastomosing river) 受到了重视和研究 (Smith and Smith, 1980; Smith and Putnam, 1980), 丰富了河流沉积的研究内容。八十年代中叶, Miall (1985) 提出了以河流结构元素 (architecture elements) 分析法替代纵向序列分析法来研究河流的构思, 受到了一些研究者的赞同 (如 Johnson, 1987)。

笔者近年来曾在山西柳林县和兴县详细地测制过两条石炭系—二叠系剖面。该区的二叠系以河流沉积为主, 类型丰富, 样式多变, 包括了高、低弯度河和交织河沉积。这里对它们的沉积特征作一讨论, 以引起同行的兴趣。

一、高弯度（曲流）河沉积特征

图1是本区高弯度河的几种纵向沉积序列。它们的共同特点是具有发育的二元结构，即下部粗碎屑质的河道沉积和上部细碎屑质的洪泛平原沉积。洪泛平原沉积与河道沉积的厚度比介于1—5.2之间。

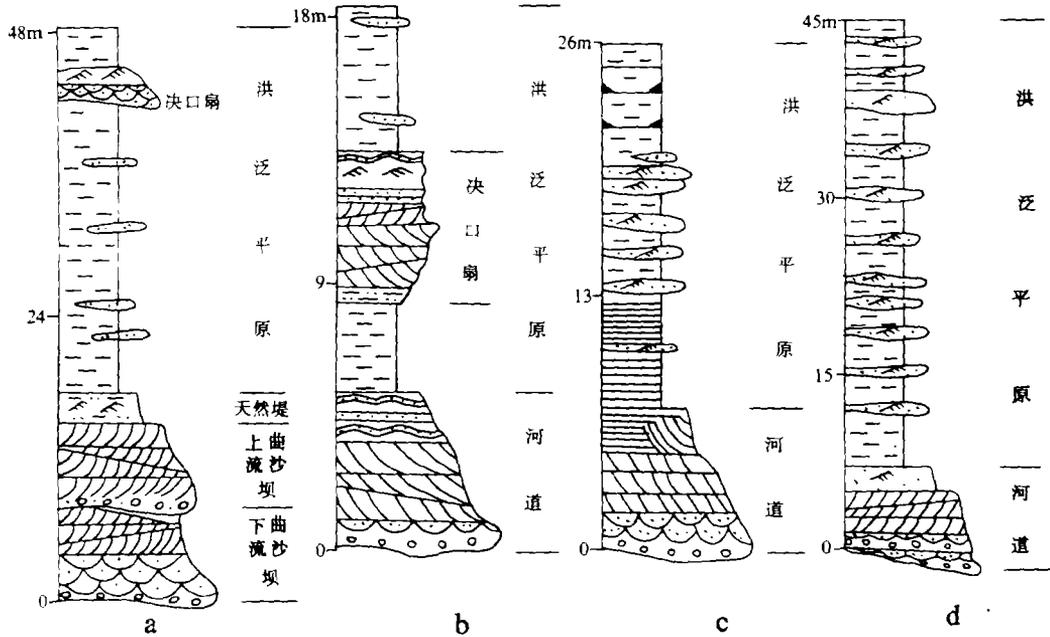


图1 山西西部二叠系高弯度河的纵向沉积序列

Fig. 1 Depositional sequences of high sinuous river in Permian, Western part of Shanxi Province.

图1-A是柳林县二叠系石盒子组中的一个曲流河纵向序列。序列可明显地分为两部分：下部为粗碎屑质的河道沉积，上部为细碎屑质的洪泛平原沉积。整个序列厚达48.5m，其中下部厚17.5m，上部厚31m。

序列底部是一层不连续分布的河道滞留沉积，成分为细砾岩，厚度通常不足1m。其上是数米厚的、层面一般相互平行的砂质沉积，发育大、中型交错层理，是一套下曲流沙坝(lower point bar)沉积，由砂坝侧向加积而成。

在河道沉积中部，发育一些深2—3m，宽几米到20余米的冲刷侵蚀面，属Miall(1986)河流侵蚀面分类中的二级侵蚀面。在这些侵蚀面上沉积了以砂质为主并具大型交错层理的沉积物。它们是上曲流沙坝(upper point bar)中的流槽坝(chute bar)沉积，是大洪水、高水位期间的产物，碎屑粒度可粗于下曲流沙坝。在本序列中，常于这些沉积的底部见到细小的砾石。上曲流沙坝的地理位置比下曲流沙坝高，随着河道的侧向迁移，最终便覆盖于下曲流沙坝之上。

河道沉积上部主要为细、粉砂岩, 具板状交错层理。它们是河道上部较低流态的产物。

河道沉积之上有一套厚约 2.7m 的泥质粉砂岩, 具小水流波痕及波状层理, 是河床旁侧的天然堤沉积。

天然堤以上是以泥质为主的沉积物, 局部发育粉—细砂岩薄层。它们是河床以外的低洼地——洪泛平原沉积。根据沉积物和沉积方式的不同, 可将它们分为二类。

一类基本由泥质组成, 有时含少量具水平纹层的薄层粉砂, 它们由洪水期漫岸水流带来。由于漫岸水流能量低, 故携带物以泥质为主。泥质在水体中呈悬浮状态搬运, 当水流停集于洪泛平原后, 它们便以垂向加积的形式堆积下来, 形成在洪泛平原中占主导地位的具水平纹层的细粒沉积物。

另一类由粉—细砂岩加少量泥质组成 (图 1-A 近顶部), 粒度明显向上变细, 这套沉积的下部具小型槽状交错层理, 上部为小波痕层理。它产于上下均为泥质物的洪泛平原环境中, 且具有水流能量逐渐减弱的特点, 暗示其为一次事件性沉积, 故无疑属决口扇沉积。

如果洪水越岸后只是产生漫流, 则多成片 (席) 状, 能量较低, 只在洪泛平原中形成以泥质为主的沉积物。在大洪水期间, 洪水若冲决河岸而出, 则可形成较集中的水流, 具有较高的能量, 可携带细砂甚至更粗的碎屑质。水流从决口泻出后, 由于没有现成的水道, 水体所受约束较小, 很快就形成扇状水流, 使得能量大减, 沉积物迅速堆积下来。于是在洪泛平原中形成呈扇状分布的决口扇沉积。由于在一次决口事件中, 溢岸水流的能量是渐次减弱的, 故形成的沉积物层序往往具有下粗上细, 下部沉积构造大于上部的特点。

但是, 有时也会出现例外的情况。如在序列 1-B 中, 决口扇的下半部就具有粒度向上变粗的特征, 可能反映了在这些碎屑物沉积期间, 越岸水流是逐渐增强的。

决口扇沉积形成于洪水期间。在干燥气候条件下, 洪水消退后, 决口扇沉积物暴露于大气下, 其顶部的泥质沉积物常常形成干裂构造。在图 1-A 的决口扇顶部, 就有这种构造。

图 1-C 所展示的河流沉积序列比较简单, 未见流槽坝沉积, 可能反映了河流比较窄小。其河道沉积由底部薄层滞留沉积和粒度向上变细、沉积构造向上变小的曲流沙坝沉积构成, 未见天然堤沉积。推测天然堤尚未发育, 河道便遭废弃, 故在曲流沙坝之上直接覆盖了泥质沉积, 是为废弃河道粘土塞。事实上, 这种粘土塞与其后沉积的洪泛平原泥质物混为一体, 在垂向序列上很难将二者区分开。

与上述几个序列不同的是, 图 1-D 所示的河流沉积序列, 洪泛平原沉积极为发育, 其与河道沉积的厚度比达 5.2。这种现象暗示: (1), 河道侧向迁移能力较弱, 一旦河道游离此地, 该处便长期被洪泛平原所占据; (2), 在正常水流条件下, 净沉积量很少, 因此河道沉积不发育; 最后, 洪水事件频频发生, 而且洪水中细粒沉积物含量颇丰。在笔者所测的剖面中, 就可以见到 11 个小型决口扇。一次又一次的洪水事件, 为洪泛平原带来了大量沉积物, 形成了厚达 38m 的洪泛平原沉积。

在现代河流环境中, 风成沙丘比比皆是。但在古代河流中, 风成沉积却鲜见报道。这至少有两种原因: 一是河流中的风成物可能不易保存, 二是对它们的鉴别还存在困难。

在测区二叠系的河流洪泛平原中, 时可见及 2—3m 厚的、发育大型板状交错层理或侧向加积层理的砂岩。其沉积构造与决口扇中的不同。在决口扇中, 一般多发育小型交错层理、爬升波痕纹层和水平层理, 在水道切割处可见大型交错层理和充填构造。而这里所见到的砂岩, 底面无明显侵蚀现象, 小型波痕层理不发育。其上下的围岩为紫红色泥质岩, 常含

钙质结核,反映当时气候较干燥。这些现象,使笔者有理由认为其属河流环境中的风成沉积。沉积物是被风从河床中吹扬至此地的。

二、低弯度(辫状)河沉积特征

根据河道的弯曲度, Leopold 等(1964)将河流分为曲流河和直流河+辫状河。十几年后, Rust (1978b)提出了一种新的分类系统。在该系统中,除了继续使用弯曲度外,还引进了分叉参数(braiding parameter),根据这两项参数,他将河流分为直道河、曲流河、辫状河和交织河。这两种分类,对于现代河流来说均不难应用。当研究地史时期的河流时,在绝大多数情况下,继续使用上述参数就行不通了。因为对于地史时期的河流,就目前的研究水平而言,既无法确定其弯曲度,也不能厘定分叉参数。

对现代河流的研究表明,辫状河多位于河流上游,坡降通常比曲流河大,沉积物较曲流河粗(Friedman and Sanders, 1978)。河道内的碎屑物主要靠河间砂坝的侧向和垂向加积而沉积下来。砂坝迁移性极强,砂坝之间的相互切割、侵蚀现象十分显著。尤其特征的是,辫状河的天然堤和洪泛平原通常不发育。因此最后形成的沉积序列中,上部缺乏细粒沉积物。曲流河多位于河流中下游,河道沉积主要依靠曲流砂坝上的碎屑物向凹岸的加积而实现。由于天然堤发育,河道较固定。又由于洪水季节越岸细粒物的屡次出现,其所形成的沉积序列富含泥质层段。因此,砂体形态、沉积构造和沉积序列中的砂岩段与泥岩段之厚度比,就成了研究者们在实际工作中区分辫状河与曲流河的主要标准。

山西西部二叠系中的辫状河不甚发育,只在关家崖地区的山西组和下石盒子组中偶尔见及。

图2是该区的两个辫状河沉积序列。序列上部细粒沉积与下部粗粒沉积厚度比介于0.25—0.5之间。粗粒沉积以中—粗砂为主,靠近底部层段可出现数十厘米至1—2米厚的砂砾岩。砾石大小为1—2cm,磨圆度较高。在粗粒沉积的上部含为数不少的硅化木,大者直径达50cm,长逾2m,是洪水期的产物。

辫状河河道沉积形成于河间砂坝,这些砂坝由具有各种底形的沙波构成,最常见的是曲脊波痕和舌形波痕。由这种底形形成的沉积物,往往发育各种规模的槽状交错层理,有时甚至出现“一槽到顶”(即河道沉积从底到顶均具槽状交错层理)的现象。交错层理的规模为分米—米级。只在河道沉积的上部出现小于分米级的小型槽状交错层理。

辫状河洪泛平原沉积相对曲流河来说发育较差,在整个河流沉积序列中所占的比重较小。尤其有意思的是,决口扇在辫状河中很不发育,这与本区曲流河中决口扇屡屡出现形成了鲜明的对比。这种现象,可以用它们所处的地理位置和河道形态解释。

辫状河多出现于河流的上游,曲流河则处于河流的中下游(Reineck, *et al.*, 1980, p.257)。在一个河流系统中,通常只有一条曲流河,但却可以有多条辫状河。洪水季节,单个辫状河的携水量有限,加之河道较直,洪水可以直泻而下,因此洪水决堤而出的可能性较小。位于其下的曲流河,由于同时接受若干条辫状河注入的水流,流量短期内大增。当这种汹涌的水流顺河而下时,在曲流河的转弯处就对河岸形成了很大的压力,当压力超过了河岸的坚固程度,水流就决口而出,在洪泛平原中形成决口扇沉积。这就造成了决口扇沉积在曲流河序列中。见不鲜,而在辫状河序列中极为少见的状况。

在关家崖剖面，还见到这样的河流沉积序列。在这些序列中，河道和洪泛平原沉积均发育（图 3）。河道沉积中发育槽状交错层理，缺乏天然堤沉积，具有辫状河的特点。有趣的是，它们的洪泛平原沉积发育，厚度超过河道沉积，二者厚度比为 1.5—2。这与辫状河中洪泛平原沉积通常不发育的特点不尽相符。

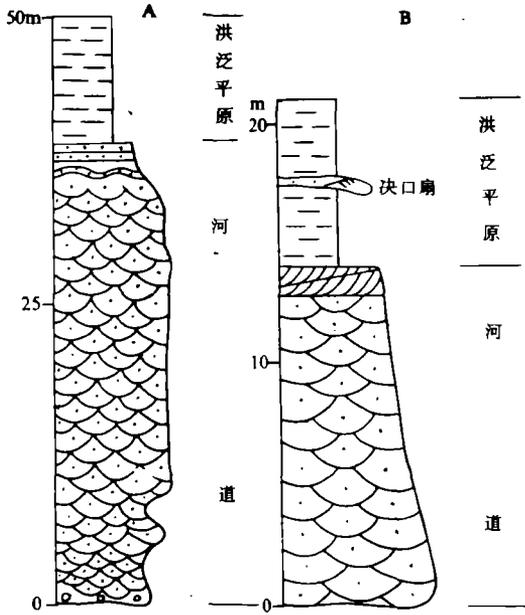


图 2 山西西部二叠系低弯度河的纵向沉积序列
Fig. 2 Depositional sequences of low sinuous-river in Permian, western part of Shanxi Province.

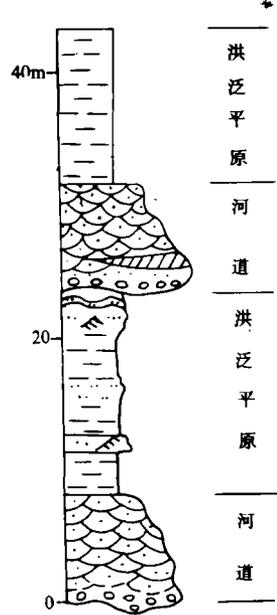


图 3 山西西部二叠系辫状型曲流河的纵向沉积序列
Fig. 3 Depositional sequence of braided-meandering river in Permian, western part of Shanxi Province.

笔者推测这可能是一种辫状型曲流河沉积。即整个河道为曲流型，但被河间砂坝分隔成多条次级河道，呈现出辫状形态（图 4）。河道沉积主要由河间砂坝的活动形成，故具有辫状河特点。但由于这种河流可能出现于中下游，河床为曲流型，洪泛平原仍可较发育。于是其沉积序列便具有上述特点。

三、 交织河沉积特征

虽然“交织河”并非新名词（Schumm, 1968），但将其作为河流的一个大类并引起研究者广泛兴趣，却是八十年代的事（Smith and Smith, 1980; Smith and Putnam, 1980）。

交织河指的是其河道分枝成若干条次级河道，流经一段数倍于河道宽度的距离后又重新汇合的那类河流（Collinson, 1986）。它们的一个重要特征是，河道一旦形成便极为固定。只有当河岸发生冲裂作用时，河道才发生迁移（Smith, 1983）。交织河出现的地段地势十

分平坦，常有沼泽与其共生。它们的河岸亦十分固定，常常植被繁茂。不管是河道还是河漫滩，碎屑物均以垂向加积为主的形式沉积下来。由于这些特点，其河道和洪泛平原沉积在空间上便具有十分固定的位置，不易发生侧向迁移。

在工区的成家庄剖面，于山西组下部见一河流沉积序列。该序列的河道和洪泛平原沉积均十分发育，前者厚 19.3m，后者厚达 29.3m (图 5)。

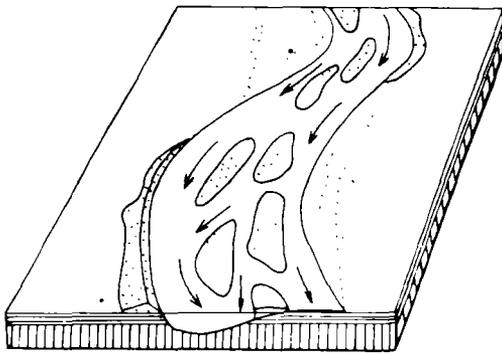


图 4 辫状型曲流河模式示意图
Fig. 4 A sketched model for braided-meandering river.

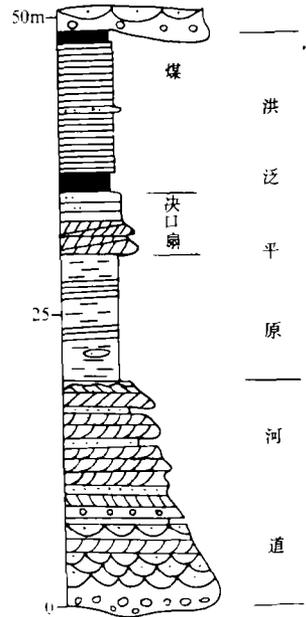


图 5 山西西部二叠系交织河的纵向沉积序列
Fig. 5 Depositional sequence of anastomosing river in Permian, western part of Shanxi Province.

这套沉积的独特之处在于：(1) 河道沉积由多套向上变细的砂体组成。这种现象虽然在曲流河或辫状河中亦可出现，但不及此处的重复次数多。由于交织河河道固定，不易迁移，河道砂体沉积下来后不象其它河流那样，可以在较短的时期内被洪泛平原沉积覆盖，避免被以后的强水流侵蚀，而是继续存在于河道中，受水流的侵蚀和被其后的河道砂体覆盖，形成多套砂体相互叠置的现象。(2) 洪泛平原中发育煤层。从测区沉积环境递变顺序来看，这套河流沉积直接覆于太原组海岸沉积之上，表明此时它是一条滨海河流，所处地势可能十分平缓，正是发育交织河的良好环境。如前所述，交织河洪泛平原中常出现沼泽。而交织河各种次级环境的不易迁移性，则通常使这些沼泽成为有利的成煤区域。于是在测区的洪泛平原中就形成了具开采价值的沼泽型煤层 (图 5)。

小 结

根据纵向沉积序列和沉积物特征的不同, 山西西部二叠系的河流沉积被分为曲流河、辫状河和交织河三大类。

曲流河以发育曲流砂坝和洪泛平原沉积为特征。曲流砂坝可单个出现, 也可以上、下曲流砂坝叠覆的形成出现, 二者之间以一冲刷面接触。上曲流砂坝的碎屑物有时可粗于下曲流砂坝者。在层理类型上, 除近底部具槽状交错层理外, 其他部分发育各种板状交错层理。洪泛平原沉积在曲流河中占据的比重很大, 厚度超过下部的河道沉积。决口扇沉积在洪泛平原中十分常见, 通常呈透镜体产出, 发育中小型交错层理。

辫状河的河道沉积十分发育, 构成了整个沉积序列的主体, 碎屑物一般较曲流河的粗, 层理类型以槽状交错层理为主, 只在河道沉积顶部可能出现少量其他类型的交错层理。除天然堤沉积很不发育外, 洪泛平原沉积亦不甚发育, 且在其中缺乏或少见决口扇沉积。

在交织河中, 河道和洪泛平原沉积均很发育。河道沉积的下部发育槽状交错层理, 上部以板状交错层理为主, 且以多个砂体相互叠复的形式出现。在洪泛平原沉积中具可开采的煤层, 是交织河沉积的一大特点。本区交织河发育于毗邻海岸处。

参加过本文工作的还有长庆石油勘探开发研究院的王世禄和范振平同志, 谨此向他们致以衷心的感谢。作者还衷心感谢长庆石油勘探开发研究院对本项工作的大力支持。

收稿日期: 1989年2月28日

参 考 文 献

- Allen J.R.L., 1964, Studies in fluvial sedimentation: Six cyclothems from the Lower old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. *Sedimentology*, V.3, p.163—198.
- Boothroyd J.C and Nummedal D., 1978, Proglacial braided outwash: a model for humid alluvial fan deposits. In: Miall A.D (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petrol.Geol.Mem.5, p.641—668.
- Cant D.J., 1978, Development of a facies model for sandy braided river sedimentation: comparison of the South Saskatchewan River and the Battery Point Formation. In: Miall, A.D (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petrol.Geol.Mem.5, p.627—639.
- Collinson J.D., 1986, Alluvial sediments. In: Reaech H.G (ed), *Sedimentary Environments and Facies*, Blackwell Scientific Publications, p.20—62.
- Friedman G.M and Sanders J.E., 1978, *Principles of Sedimentology*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto.
- Friend P.F., 1978, Distinctive features of some ancient river systems. In: Miall A.D (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petrol.Geol.Mem.5, p.531—542.
- Heward A. P., 1978, Alluvial fan sequence and megasequence models, with examples from Westphalian D—Stephanian B Coalfields, northern Spain. In: Miall A.D (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petrol.Geol.Mem.5, p.669—702.

Johnson S.Y. 1987, Sedimentology and paleogeographic significance of six fluvial sandstone bodies in the Maroon Formation, Eagle Basin, Northwest Colorado. U.S.Geol.Surv.Bull.1787-A-C, p.1—18.

Leopold L. B, and Wolman M. G, 1957, River channel patterns: braided, meandering and straight. U.S.Geol.Surv.Profess.Papers 282-B, p.39—85.

Leopold L.B *et al.* 1964, *Fluvial Process in Geomorphology*, Freeman: San Francisco, London.

Miall A.D, 1985, Architectural—element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, p.261—308.

Miall A.D, 1985, 柯保嘉译, 1986, 一种新的河流沉积分析法——结构要素分析法, 《国外地质》, 第3期, 1—6页。

Middleton G. V. 1965, *Primary Sedimentary Structures and Their Hydrodynamic Interpretation*. Spec.Publ.Econ.Paleont.Mineral. 12, Tulsa.

Reineck H.E, *et al.*, 1980, *Depositional Sedimentary Environments: with Reference to Terrigenous Clastics*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Rust B. R, 1978a, Depositional models for braided alluvium. In: Miall A. D (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petrol.Geol.Mem.5, p.605—525.

Rust B. R, 1978b, A classification of alluvial channel systems. In: Miall A. D (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petrol.Geol.Mem.5, p.187—198.

Schumm S. A. 1968, Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. *Geol.Soc.Am.Bull.*79, p.1573—1588.

Smith D.G and Smith, N.D. 1980, Sedimentation in anastomosed river systems: Examples from alluvial valleys near Banff, Alberta. *Jour.Sedi.Petrol.*, V.50, p.157—164.

Smith D.G and Putnam, P.E, 1980, Anastomosed river deposits: Modern and ancient examples in Alberta, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, V.17, p.1396—1406.

Smith D. G. 1983, Anastomosed fluvial deposits: Modern examples from Western Canada. In: collinson, J.D and Lewin, J (eds), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. Spec.Publ.IAS 6.3.5, p.155—168.

Sundborg A. 1956, *The River Klaralven: A study of Fluvial Processes*. *Geograf. Ann.*38, p.125—316.

Characteristics of Fluvial Deposits in Permian, Shanxi

Ke Baojia Chen Zhiming Huang Jiakuan

Chen Changming Wang Shousong

(Institute of geology, Chinese Academy of Sciences)

Chen Anning

(Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oilfield)

Abstract

The Permian System of Western Shanxi has now recognized that it mainly consists of fluvial sediments, and the ancient rivers in this area can be divided into three main types as meandering, braided and anastomosed.

The depositional sequences of meandering river are typified by the development of point bars, flood plains and crevasse-splays. Lower and upper point bars with erosive contacts between them have been found in the Permian. In extreme circumstances deposits of crevasse-splays can be found as many as 11 layers within a single depositional sequence of the meandering river which indicates a very frequent occurrence of floods. Possible sand dune deposits have been suggested in some of the meandering rivers.

The depositional sequences that are rich in sandstones are believed to form in braided rivers. Flood plain sediments are much thinner than the channel's and their thickness is in the ratio of 0.25-0.5. The sequences are normally poor in crevasse-splays and levee deposits.

Braided-meandering rivers are proposed the environment for those depositional sequences which are both rich in channel and flood plain sediments, but lack of natural levee and crevasse-splay deposits. Various scales of trough cross bedding prevail in channel sediments in these sequences.

The repeatedly overlapping of channel sand bodies and the development of coal in marshes or bogs are used as the evidences of anastomosed river in the area. While the sediments overlaying just above coastal deposits, indicate the once existed flat plain when anastomosed channel was developing.