

# 古河型演化模式及其影响因素的沉积体系分析

王随继<sup>(1)</sup> 倪晋仁<sup>(2)</sup> 王光谦<sup>(1)</sup>

(1)清华大学 (2)北京大学

本文研究得到国家自然科学基金重大项目(批准号59890200)资助

## 引言

现代地表5类主要冲积河型(辫状河流,分叉河流,弯曲河流,网状河流,顺直河流)<sup>[1]</sup>都能形成各具特征的沉积体系和地貌,这些河型空间分布和转化涉及河型由上游向下游发生的变化及其原因。研究者显然不可能眼见全部河型演化史,只能设计各种模型,通过模拟实验来认识。由于实验条件的限制和对自然条件的大幅度简化,常常只能观察到顺直河流向辫状河流、辫状河流向弯曲河流的单向河型转化,过于单调。不过,依据古代沉积地层记录的河型信息,可以研究古代河型演化规律,进而结合Walther相律<sup>[2]</sup>判断现代河型空间分布特征和演化趋势。

古代河流沉积体系垂向变化虽反映地表古河型随时间的演化特征,但要通过露头剖面来揭示其转化模式却几乎不可能,因为很难找到规模巨大的理想剖面。好在不同河型各有独特的沉积单元、沉积构造、沉积组合,加上已有比较系统和完善的研究方法,目前已能判别古代沉积地层中不同河型沉积特征,因此可以参照现代地表冲积河型的空间转化模式来解释古代河型空间分布特征。已总结出的6类古河型演化模式不但可以指导油气以及煤炭等地下重要能源的勘探和开发,还能指导现今的河流治理等人文活动。

## 古河型演化模式的沉积体系分析

沉积学界以往并没有分叉河流这一河型概念,因而缺乏有关其沉积体系的研究报道;另外,顺直河流虽然是一种比较重要的河型,但该河型及其沉积物却并不常见,至今未见有关其沉积体系的报道。因此,本文所讨论的河型转化模式中暂不包括这两类河型。目前可见的主要有弯曲河流、辫状河流、网状河流这三大类沉积体系及与之有关的河型演化。本文总结出3类河型的6种主要转化模式(见图1),结合实例简述。

模式A:辫状体系→曲流体系(braided→meandered fluvial systems)。这是一种比较普遍的河型演化模式,国内外许多研究者都在古代河流沉积体系中发现过由辫状河流向曲流河流的河型演化<sup>[3-5]</sup>。

荷兰中部Deest附近,在晚魏克塞尔冰期沉积层Kreftenheye组顶部,早期和晚期砂质点坝发育于砾质辫状河沉积物的上部。早期点坝层序由小型河道构成,反映了流水的初始河道化,具有辫状河流向曲流河流转变期流量变化造成的沉积特征,黏土质倾斜加积面指示了点坝的侧向加积单元;晚期点坝由一个切入辫状河平原的大河道组成,代表一个发育完全的曲流河型。在阿勒罗德间冰期(距今约 $1 \times 10^4$ a)或早新仙

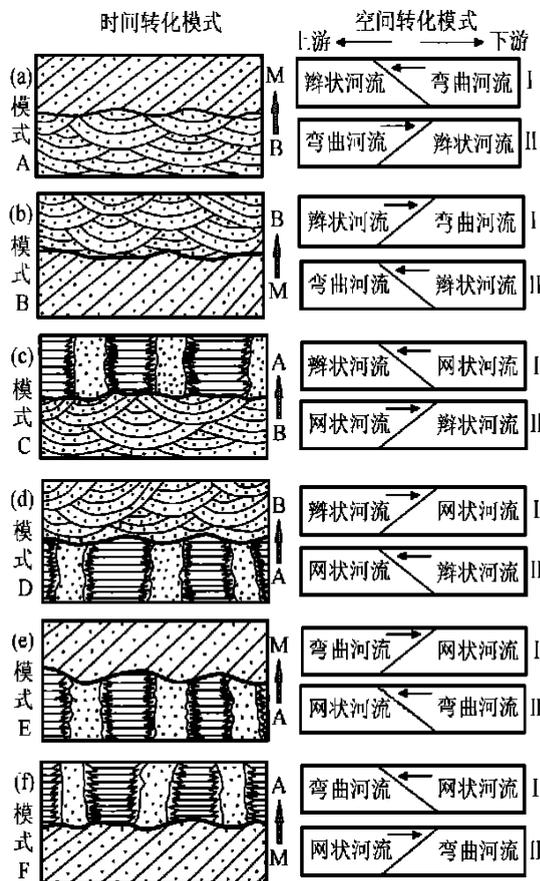


图1 古代河型演化的6类模式及其可能的空间配置方式图

女木期(距今约  $1.05 \times 10^4$  a), 曲流河道被废弃, 充填腐殖黑泥、泥炭和黏土等, 点坝停止发育。最后, 点坝和废弃河道被全新世曲流河体系的泛滥平原沉积物所覆盖<sup>[3]</sup>。

模式 B: 曲流体系 → 辫状体系 (meandered → braided fluvial systems)。美国克罗拉多河第四纪的河型因为气候变化而发生了周期性变化<sup>[6]</sup>。在一个周期中, 湿润气候期的年径流量分布比较均匀, 沿岸林木葱郁, 土层较厚, 带入下游的泥沙较少且粉砂、黏土占相当大比例, 这时发育曲流河型; 当海洋性气候转变为大陆性气候后, 出现洪水的频率加大, 大量破坏流域内植被, 坡面水流的侵蚀作用加强, 同时偶发的稀有洪水会先破坏湿润气候期形成的细粒河漫滩沉积物, 导致河谷下切, 然后越来越多比较粗的泥沙又回淤河谷, 河流的弯曲系数减小, 因此曲流河朝辫状河流发展。到下一个周期, 湿润的气候又使淤积放慢, 河道物质在垂向上自下向上变细, 基流加大, 径流过程趋于均匀化, 河型又恢复为弯曲的河道形态。

荷兰 Maas 河在阿勒罗德期为高弯度曲流河, 但到了新仙女木期却转化为辫状河<sup>[7]</sup>。这一转化的主导因素正是古气候发生了变化。新仙女木期气候比阿勒罗德期显著变冷, 松树林植被线大幅度下降使蒸发率降低, 冰冻层向深部延伸以及发育永冻层使土壤中水容量减少, 所有这些因素的作用使得 Maas 河出现高流量洪峰。高流量洪水引发众多的急流裁弯取直, 老阶地洪泛, 曲流段被大规模废弃, 这种流量变化使曲流河道向辫状河道转化。由于物源区植被线下降, 碎屑物输入量有所减少, 加上高的辫状流量, 使洪泛平原被冲刷而降低。

模式 C: 辫状体系 → 网状体系 (braided → anastomosed fluvial systems)。在新墨西哥州中北部出露的 Cutler 组, 3 个具有不同结构单元和岩相组合的巨厚层序是历时 15Ma (晚宾夕法尼亚世至早二叠世) 河流沉积演化的产物, 其中识别出 8 类结构单元 (包括辫状河起源的大型席状砂岩和网状河起源的大型带状砂岩)<sup>[8]</sup>。下部巨层序 1 形成于半干旱气候, 河道宽而浅, 河间地被席状洪泛流和决口流频繁淹没, 泛滥盆地常见积水洼地; 中部巨层序 2 也形成于半干旱气候 (比巨层序 1 形成时的气候更干旱), 河道变窄, 广阔的洪泛平原和泛滥盆地发育于稳定的河道带间 (其中发育大型钙质壳), 网状河道边缘局部发育决口河道, 并可见大植物化石和脊椎动物化石; 在巨层序 3 形成过程中, 干旱度继续增加, 高地重新抬升, 再次出现限制性较差的宽浅辫状河道型式。

网状河流既常常出现在湿润气候带, 也可以发育在干旱气候区, 因其河道不易侧向迁移, 故其河间地形成的钙质壳能够保存下来; 而在相同气候条件下, 辫状河河道可急剧变化, 洪泛平原不易形成钙质壳, 即使曾经形成也难以保存。因此, 存在大型钙质壳未必表明古气候略干旱些, 当时逐渐干旱化的气候变化幅度很小, 还不足以引起河型调整。河型之所以从辫状河向网状河转化, 主要原因应是当时网状河流河道上植被比较茂盛 (发现了较丰富的大植物化石), 这既有助于加固河岸和稳定河道, 也使流域的来水来沙条件更适于网状河流发育; 当时无暴雨造成急升猛落的洪水夹杂丰富碎屑物入河, 降雨分布情况也有利于网状河流发育。至于后来重新确立辫状河流, 主要原因是构造抬升破坏了河道已有平衡状态, 坡降增大, 流水动能和输沙率也随之增大。这些因素的联合作用有助于填平已有深河道, 冲垮原先的河岸, 洪流漫滩, 冲淤随性, 使网状河流逐渐转化为辫状河流。

澳大利亚中部的 Cooper 河在现代干旱气候条件下为丰富的多河道网状河流系统, 网状河道占整个冲积平原的 3%, 其下部沉积物中的浅埋藏砂席局部有出露。该区河流体系经历了类似上述的由辫状河向网状河的转化, 其主要原因被认为是气候变化<sup>[9]</sup>。通常气候由干旱向湿润变化有利于这种转化, 但该区处于半干旱—干旱气候条件, 此转化过程中干旱度不断增加 (目前年降水量仅为 100 ~ 250mm)。干旱度直接影响着年降雨量, 但降雨量增大, 流域产沙量并非持续增大。据美国一些小流域的实测资料统计<sup>[10]</sup>, 有效降雨量为 300mm 时流域产沙量达到最大值。在无植被的土质疏松地区, 一旦降雨量增大, 流水冲刷土层虽显著增加产沙量, 但土壤中水分也随之增加, 植被将逐渐密集、茂盛, 又会抑制产沙量。显然, Cooper 河发育辫状河时流域产沙量达到最大值, 估计当时年降水量约为 300mm, 且降水多集中在夏季及秋季, 有急涨猛落的洪水, 也适于发育辫状河流; 当年降水量减少到 100 ~ 250mm 后, 更干旱的气候导致流域产沙量大幅度减小, 河道淤积程度减弱, 相同流量的流水对河道的冲刷作用增强, 有利于河道深化。另一方面, 干旱度增大使流域洪水流量相对变小, 溢岸洪流不足以冲垮堤岸, 而越岸流所携带的一部分细粒泥沙沉积于天然堤上, 另一部分更细的被带入泛滥盆地。这些现象不断发生, 会使泛滥盆地中静水条件下沉积的泥质物逐渐加厚, 而以泥质为主的河岸抗冲性显著增强、稳定性增大, 有利于河岸上植被生长发育, 其结果是河道渐渐固定化 (新河道只能由冲裂而形成), 这样便确立了网状河流

体系。

模式 D: 网状体系 → 辫状体系 (anastomosed → braided fluvial systems)。柴达木盆地油砂山上新统的河流沉积体系表明, 该地曾发生过由网状河流向辫状河流的河型转化<sup>①</sup>。网状河发育时, 盆缘山系隆升比先前缓慢, 河流主要受下游湖泊区相对强烈的构造沉降的控制; 后来盆地整体抬升, 盆缘山系隆升增强, 使上游坡降增大, 而河流发育主要受上游构造的控制, 所以网状河逐渐向辫状河转化。可见, 上游构造升降对坡降的控制作用十分明显, 而下游构造运动的影响不够明显, 尤其是构造沉降一般不会导致坡降增大, 因为沉积补偿作用使坡降基本不变, 这正是网状河流得以形成和发育的必要条件。另外, 气候的持续干旱化对该地区河型演化也有影响: 网状河流发育时降雨量基本大于 300mm/a, 其流域产沙量不很大, 加上构造比较稳定、河道比降很小以及流域植被广泛发育等, 这些条件共同决定了发育网状河流; 当降雨量保持在约 300mm/a 且降雨不均时, 植被状态恶化, 流域产沙量猛增, 网状河流便向辫状河流演化。

在加拿大新不伦瑞克省, 厚达 700m 的克里夫屯 (Clifton) 组下部单元主要为红色泥岩, 有很细的砂岩和孤立的中砂岩体; 上部单元是一个侧向连续的砂岩席, 几乎全是中—粗砂岩 (泥岩不足 5%)。下部单元河道砂岩丰度低, 其体积比周围的泥岩要小得多, 还广泛发育钙质壳, 被认为是网状河流沉积体系<sup>[11]</sup>; 上部单元由侧向毗邻和垂向叠置的河道单元组成, 厚达 10m, 具有槽状交错层理和板状交错层理等沉积构造, 底部有侵蚀面, 为典型的辫状河流沉积。该套层序展示发生过由网状河向辫状河的河型转化, 主要原因是气候相对湿润化和上游构造抬升的复合作用。

模式 E: 网状体系 → 曲流体系 (anastomosed → meandered fluvial systems)。在加拿大新斯科舍省乔金斯南部麦卡伦河与拉吉德里夫角之间的剖面, 宾夕法尼亚系坎伯兰群包括 600m 厚向上变粗的层序, 河道砂岩向上大量增加<sup>[12]</sup>。该层系下部厚 500m 的河道砂岩总体上宽厚比很小, 具有阶梯状底面以及大量近于水平的内侵蚀面, 一般具有明显的顶面, 向上粒度不变细, 沉积构造规模也不变小, 侧向加积仅出现在少数河道充填的上部, 是网状河流垂向加积的产物。在其上覆 100m 厚的地层中, 河道砂岩横向展布很宽, 明显向上变细, 底面比较平坦, 侧向加积层理清晰多见, 单层具有典型的下粗上细的侧向加积层, 是曲流河沉积产物。该例的河型曾发生过由网状河向曲流河的河型演

化, 其原因被归结为构造变化 (主要指上游抬升而非下游沉降) 使河道变陡, 水流有足够大的能量去冲刷河岸并且发生侧向迁移。

模式 F: 曲流体系 → 网状体系 (meandered → anastomosed fluvial systems)。在荷兰中部的 Rhine-Meuse 三角洲, 全新世发育了曲流河沉积体系和网状河沉积体系的交替层序<sup>[13]</sup>。由网状体系向曲流体系转化的控制因素前已说明; 由曲流体系向网状体系转化, 条件是要有更为稳定的河岸和更小的河道比降。该三角洲邻海, 海平面上升可以满足这两个条件, 因此这是其曲流河向网状河转化的主要控制因素。内陆地区也可以出现这类河型演化模式, 构造作用以及其它一些因素将是重要的直接影响因素。

## 古河型空间分布特征

Walther 相律<sup>[2]</sup>指出: 在没有大的沉积间断的情况下, 整合垂直层序中产出的相是在横向相邻的沉积环境中形成的, 同时层序中垂直接触的相一定是地理上邻接环境的产物<sup>[14]</sup>。分析古代河流沉积体系而建立河型演化模式, 能揭示特定地区古河型随时间演化的特征, 还能明确反映古河型空间分布特征。

上述 6 种古河型的主要演化模式都可能有两种不同的空间河型分布 (见图 1), 但某一地区某一具体河型演化实例却只能有一种特定的分布, 在根据河型演化模式来判断古河型空间分布特征时, 有必要进行相关研究, 比如古地貌特征、大地构造特征等。在图 1 所示的空间分布模式中, A 类最易发生, 因为其河道比降在相对位于上游的河型较大、在相对位于下游的河型较小, 这基本上反映了河谷纵剖面从上游到下游逐渐趋缓的普遍特性; B 类也能发生, 而这是对流域中某些特殊地貌和地质构造特性等因素的响应。

## 古河型演化的主要影响因素

古河型演化的主要影响因素初步归纳如下。

1. 河道比降。河道比降既会因河流的内因力作用而持续减小, 也会因构造等外力作用而增大或减小。比降增大有利于形成宽浅的河道型式, 减小则有利于形成窄深的河道型式。如果其它因素适宜, 在河道比降由极大向极小的变化过程中, 会发生辫状河 → 曲流河 (分汉河) → 网状河 (直流河) 的系列演化。这是古河型演化的主要影响因素之一。

①王随继, 任明达. 柴达木盆地西部茫崖凹陷上新统网状河流沉积体系, 2000.

2, 河岸及河漫滩物质组成。不同河型的河岸及河漫滩物质可以是由粗粒到细粒的二端元间任一种组成, 因而抵抗流水冲刷的能力各异。如果其它控制因素相同, 则在其组成由全是细粒泥质物向全是粗粒砂质物的渐变过程中, 可以发生网状河(直流河)→曲流河(分汊河)→辫状河的系列演化。

3, 植被覆盖度。在河岸组成物质相同的情况下, 河漫滩及河岸上植被越发育, 河岸抵抗流水冲刷的能力越强, 因此常可见其它条件相似而因植被覆盖度有极大差别所形成的不同河型。

4, 流域来沙量大小及来沙组成。来沙量愈大则河道堆积作用愈强烈; 来沙的粗、细粒相对含量变化对形成河流的河道间区的物质组成有较明显影响。构造以及气候对此有较大影响。

5, 流量变率。洪流愈经常出现, 流量变率愈大, 河道型式愈不稳定; 反之则愈稳定。

6, 气候因素。这是宏观的综合因素, 可直接影响流域的降雨量、植被发育程度、流量及流量变率、产沙量及输沙率等, 因而它的时空变化对河型演化的控制作用明显。

7, 构造因素。在地质时限中, 自然界中河型的发育演化受构造作用控制是显而易见的, 以河道比降最为敏感: 上游抬升会使比降增大; 下游抬升会使比降减小; 局部抬升会使抬升区上游河段比降减小、下游河段比降增大。上述各部位如发生构造沉降, 则会使河道比降朝相反的方向变化。

8, 海平面变化。近年来, 根据海平面升降等因素创立的层序地层学已被广泛引入河流沉积学, 表明河成层序对海平面变化有一定响应。一般认为, 海平面升高会导致原有河型向网状河流转化。这一因素对三角洲地区河型演化意义尤其重大。

上述诸因素对河型演化的影响往往是彼此相关的, 但在不同时期、不同地段, 各因素影响程度会有较大不同, 其中地质构造作用和古气候变化对古河型演化的影响更加明显。

## 结 论

通过对古代河流沉积体系的分析, 可以总结出 6 类主要河型演化模式, 每一类演化模式所反映的古河型可能的空间分布方式都有 I 类和 II 类两种, 且都以前者出现的频率较大, 这分别是对地表流域中普遍性

和特殊性地貌规律的响应。在诸多河型演化影响因素中, 地质构造作用和古气候变化的影响最明显, 可以认为这两个因素是古河型演化的首要控制因素。

## 参 考 文 献

- 1 王随继, 任明达. 根据河道形态和沉积物特征的河流新分类. 沉积学报, 1999, 17(2): 140~146.
- 2 Walther J. Einleitung in die geologie als historische wissenschaft. Bd. 3. Lithogenesis der Gegenwart. Fischer Verlag, Jena 1894. 535~1055.
- 3 Bart Makaske and Ron L Nap. A transition from a braided to a meandering channel facies, showing inclined heterolithic stratification (Late Weichselian, central Netherlands). Geologie en Mijnbouw, 1995, 74: 13~20.
- 4 李思田, 程守田, 杨士恭等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析. 北京: 地质出版社, 1992. 1~12.
- 5 李宝芳, 李祯, 林畅松等. 鄂尔多斯盆地中部下侏罗统沉积体系和层序地层. 北京: 地质出版社, 1995. 137.
- 6 Baker V R and Penteado-Orelana M M. Adjustment of Quaternary climatic change by the Colorado River in Central Texas. J. Geol., 1977, 85: 395~422.
- 7 Kasse C. Younger Dryas cooling and fluvial response (Maas River, the Netherlands) (extended abstract). Geologie en Mijnbouw, 1995, 74: 251~256.
- 8 Eberth D A and Miall A D. Stratigraphy, sedimentology and evolution of a vertebratebearing braided to anastomosed fluvial system, Cutter Formation (Permian-Pennsylvanian), north-central New Mexico. Sediment. Geol., 1991, 72: 225~252.
- 9 Rust B R. Sedimentation in an arid-zone anastomosing fluvial system: Cooper's Creek, central Australia. Journal of Sedimentary Petrology, 1981, 51: 745~755.
- 10 Schumm S A. The fluvial system. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- 11 Rust B R and Legun A S. Modern anastomosing-fluvial deposits in arid central Australia, and a Carboniferous analogue in New Brunswick, Canada. In: Modern and ancient fluvial systems - Int. Assoc. Sedimentol Spec. Publ., 1983, 6: 385~392.
- 12 Rust B R, Gibling M R and Legun A S. Coal deposition in an anastomosed fluvial system; the Pennsylvanian Cumberland Group south of Joggings Nova Scotia, Canada. In: Sedimentology of coal and coal-bearing sequences - Int. Assoc. Sedimentol Spec. Publ., 1984, 7: 217~227.
- 13 Torngvist T E. Holocene alternation of meandering and anastomosing fluvial systems in the Rhine-Meuse delta (central Netherlands) controlled by sea-level rise and subsoilerodibility. J. Sediment. Petrol., 1993, 63: 683~693.
- 14 Reading H G (ed). Sedimentary environments and facies. Blackwell, Oxford, 1978. 4.

第一作者简介 王随继, 男, 34岁, 助理研究员, 博士后, 主要从事沉积学和储集层地质学、地貌学与第四纪地质学、河流动力沉积学等方面的研究工作。地址: 北京市, 清华大学水利水电工程系, 邮政编码 100084; 电话: (010)62777293(h); E-mail: wangsuji@263.net  
收稿日期 1999-05-26

(编辑、绘图 王孝陵)

社会效益。图 2 表 2 参 3(孙景民摘)

主题词 枣园油田 黄原胶 剖面调整 吸水剖面 效果

TE358.3

20000527

法国 IFP 选择性堵水技术[刊]/Coste Jean-Paul, Zaitoun A... //石油勘探与开发.-2000, 27(5).-93~97, 101

重点介绍法国石油研究院的堵水技术(IFP 堵水技术), 开发的堵水剂都是相对渗透率改善剂(Relative Permeability Modifiers, 又称 Disproportionate Permeability Reducer), 对油或气体的相对渗透率影响并不大。IFP 化学溶液满足笼统注入的条件。阐述了 IFP 堵水技术的特性, 分析了 IFP 选井方法和堵水工艺技术; 还介绍了用 IFP 技术堵水的典型现场试验, 包括地下储气库的储气井、开采稠油的水平井、海上的砾石充填井、多层水驱井等。此外也介绍了 IFP 的最新技术发展的两个主要研究方向: ①针对注水井处理, IFP 进行了微凝胶深部调剖剂的研究; 重点是研究对微凝胶的大小及构造的控制。②针对改善笼统注入效果, 进行了预处理转向剂的研究; 该转向剂以高分子聚合物的无稳态滞留现象(称为“桥联吸附”)为基础。图 6 表 2 参 18(Coste Jean-Paul 摘)

主题词 法国 堵水剂 聚合物溶液 选择性封堵 现场试验 相对渗透率改善剂

TE345

20000528

埕北油田沥青质堵塞综合研究[刊]/伍增贵, 鞠斌山... //石油勘探与开发.-2000, 27(5).-98~101

胶质-沥青质在近井带沉淀造成的堵塞是稠油油田开发过程中油井产能下降的重要原因之一。油田动态资料分析和室内实验相结合的研究方法可以提高解除此类堵塞的成功率, 降低有机溶剂解堵(特别是在海上油井作业)的风险性。实验评价和施工结果表明, 有机溶剂 U-01 对这种有机堵塞有很好的清洗作用。两口油井解堵后的液量分别为解堵前的 1.7 倍和 4 倍, 证明研究结果与实际情况基本一致。而合理选井和严格控制施工质量是油井通过有机解堵提高增产油量的

关键。图 1 表 2 参 3(伍增贵摘)

主题词 地层损害 有机堵塞 解堵 胶质 沥青质 生产能力

·综合·

P512.2 P931.1

20000529

古河型演化模式及其影响因素的沉积体系分析[刊]/王随继, 倪晋仁... //石油勘探与开发.-2000, 27(5).-102~105

从古代河流沉积体系中识别出了河型随时间演化的 6 种模式: 辫状体系→曲流体系, 曲流体系→辫状体系, 辫状体系→网状体系, 网状体系→辫状体系, 网状体系→曲流体系, 曲流体系→网状体系。依据具体实例讨论了 3 类河型的 6 种转化模式的特点及其成因, 分析了对应于各演化模式的古河型可能的空间分布特征。系统总结了古代冲积河型演化的一些主要影响因素: ①河道比降; ②河岸及河漫滩物质组成; ③植被覆盖度; ④流域来沙量大小及来沙组成; ⑤流量变率; ⑥气候因素; ⑦构造因素; ⑧海平面变化。认为这些因素对河型的控制往往彼此相关, 但在不同时期、不同地点其影响作用的相对大小有所不同。与现代冲积河型空间转化的影响因素相比, 地质构造作用和古气候变化是古代河型演化的主要控制因素。图 1 参 14(王孝陵摘)

主题词 古代 河流沉积 类型 河流相 沉积模式 演化 空间分布 影响

TE111.3

20000530

嫩江齐齐哈尔段现代网状河沉积特征[刊]/谢庆宾, 管守锐... //石油勘探与开发.-2000, 27(5).-106~108

因为网状河砂体可作为油气的储集体, 所以对网状河沉积特征的研究越来越受到重视。国内许多河流发育网状河段, 作者通过实地挖掘探槽、密集采样, 重点对嫩江齐齐哈尔网状河段沉积特征进行了详细描述和研究。分析认为, 嫩江齐齐哈尔段现代网状河是由不断分汉合并的多河道系统及大片泛滥平原(湿地)组成的一种河流类型; 其中发育网状河道、天然堤、决口扇、河间漫滩、湖泊、沼泽、风成沙丘等微地貌单元; 网

### Depositional system analysis on the evolution model of ancient river type and its controlling factors.

WANG Sui-ji; et al. (Department of Hydraulic and Hydropower Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China). *Shiyou Kantan Yu Kaifa* 2000, 27(5), 102-105. Six models evolved with time have been identified in ancient fluvial depositional systems: (1) braided → meandering system; (2) meandering → braided system; (3) braided → anastomosing system; (4) anastomosing → braided system; (5) anastomosing → meandering system; and (6) meandering → anastomosing system. Characteristics of 6 transformation models of 3 fluvial types and their genesis are discussed according to actual examples. Possible spatial distribution of each evolutionary model of ancient river types are analyzed. All main controlling factors affecting the evolution of ancient fluvial types are summarized systematically: (1) river channel slope; (2) composition of riverbank and flood plain materials; (3) vegetation coverage; (4) amount and composition of sand deposited; (5) rate of change of water current; (6) climate factors; (7) tectonic factors; (8) change of sea-level. It is recognized that these factors relate one another usually; however, the effects of each factor is different at different time and different point. Geological tectonic effects and the change of palaeoclimate will be the main controlling factors as compared with the controlling factors affecting the spatial transformation of modern river fluvial patterns. **Subject heading.** Ancient time, Fluvial deposit, River type, Fluvial facies, Depositional model, Evolution, Spatial distribution, Influence

### Depositional characteristics of the modern anastomosing river in Qiqihar section of Nenjiang river.

XIE Qing-bin; et al. (University of Petroleum, Beijing 102249, P. R. China). *Shiyou Kantan Yu Kaifa* 2000, 27(5), 106-108. Sandbody of anastomosing river can reserve oil and gas, so more and more petroleum geologists have paid attention to researching its depositional characteristics. A lot of rivers have been developed anastomosing river section in China. One of the examples is Qiqihar section, Nenjiang river. The modern anastomosing river in Qiqihar section of Nenjiang river contains low gradient, high aggradation rate, multiple channel and large-area wetland between the channels. Channels, natural levees, crevasse-splay, floodplain, lakes, marshes and eolian dunes are important morphological and

sedimentary units. Anastomosing channel filling sediments are mainly composed of pebbly sand and medium to fine sands. Internally channel sandbody consists mainly of trough cross-strata and oblique bedding. The other morphological units are mainly composed of fine grained sediments. A milieu of subsidence, low gradient, high aggradation rate and easily burst have been the main causes for the anastomosing river in Qiqihar of Nenjiang river. There are obviously differences between the characteristics of the anastomosing river in Qiqihar of Nenjiang river and that of which Smith had described. The characteristics include lateral migration, eolian dunes, bigger width to depth and sandbody alternated as boat shape. **Subject heading.** Recent, Anastomosing river, Depositional feature, Stream channel, Flood plain, Sedimentary facies pattern, Nenjiang river

### N-alkane asphaltene precipitation and the mechanism of their formation.

HU Yu-feng; et al. (University of Petroleum, Beijing 102249, P. R. China). *Shiyou Kantan Yu Kaifa* 2000, 27(5), 109-111, 114. The standard IP-143 method has been used to determine the amount of asphaltene precipitation when the Gudao and Caoqiao crude oils were diluted with various n-alkanes. The results show that the amount of asphaltene precipitation decreases with the molecular weight of n-alkane and increases with the precipitant-to-oil ratio. A new mechanism of asphaltene precipitation has been proposed by using the thermodynamic micellization model. The new mechanism is based on the assumption that most asphaltene molecules exist as micelles in a crude, where the micellar core is the asphaltene associates and the solvated shell consists of resins and the solvent. The influences of the nature of the alkane, the alkane-to-oil ratio, temperature and pressure on the stability of the asphaltene-resin micelles have been analyzed. The trends concerning their effects on the onset of asphaltene precipitation, the amount of asphaltenes precipitated, the mean molecular weight, and the mean particle size have been presented and have been shown to be in good agreement with our experimental results and those reported in the literatures. **Subject heading.** Asphaltene, Resin, Precipitant, Settling mechanism, Precipitating trend

**A study on perforation crushed-zone.** LI Dong-chuan; et al.