

芒崖凹陷干旱气候背景下网状河流 沉积体系及演化*

王随继

任明达

(清华大学水利水电工程系,北京)(北京大学城市与环境学系,北京)

摘 要 通过对柴达木盆地芒崖凹陷上新统露头的结构单元分析和对钻井剖面上砂岩、泥岩的空间分布关系及岩相转换的 Markov 链模式等方面的研究,得出研究区中-上新统是网状河流沉积体系并在上新统转化为辫状河流沉积体系这一新认识。孢粉化石资料、深干裂以及钙质结核等指示网状河流发育在干旱气候背景下。网状河流向辫状河流的演化主要受到盆地基底的沉降速率及与气候密切相关的植被覆盖程度等因素的控制。
关键词 网状河流 沉积特征 干旱气候 上新统 芒崖凹陷

网状河流(anastomosing river)是由发育植被的河间地分开的、比降较小、中等弯曲、相互连通的河道组成的稳定的多河道体系,河间地是从连续的泛滥平原上切割而成的,其规模远大于河道的尺寸^[1]。Nanson 等注意到网状河流是广义的“分汊河流”范畴中的粒度细、动能低的子集团,而河流分汊可以出现在多种河流体系中^[2]。虽然广义的“分汊河流”最初是与单河道河流并列的概念,但是随着辫状河流和网状河流先后从中分出,所剩的狭义的分汊河流是和网状河流、辫状河流并列的不同河型^[3]。由于油气勘探开发的需要,人们对不同地区的网状河流的沉积特征进行了较多研究,所见的许多实例中仅有库珀溪(Cooper's Creek)^[4]和红溪(Red Creek)^[5]发育在现代干旱气候带,其他的都形成于现代或古代湿润气候区。这里报道的芒崖凹陷上新统网状河流沉积体系则是干旱气候条件下发育网状河流的一个典型的古代例证。该实例的发现表明干旱气候背景下沉积盆地中可以形成网状河道砂岩储层,从而为油气的勘探开发开辟了一个新的研究领域。

图 1 研究区位置图

Fig. 1 The location of study area

1 剖面位置及研究背景

研究剖面位于柴达木盆地西部的芒崖凹陷中,其中露头剖面位于油砂山,钻井剖面位于跃进二号油田(图

* 教育部重点科学技术项目资助
第一作者:王随继,男,1966 年生,博士后,从事沉积学和地貌学研究,邮编:100084

1)。上新统是该研究的核心层段,有人认为上新统是三角洲沉积体系^[6]。作者在对研究区上新统露头剖面的研究中利用结构单元分析法、对钻井资料进行了岩相转换的 Markov 链模式对比和连井剖面的砂体形态对比,在综合研究的基础上得出下—中上新统为网状河流沉积体系、上上新统为辫状河流沉积体系的新认识。

2 露头沉积物结构单元分析

上新统沉积物的露头比较局限,难以进行侧向追踪,但可以根据局部出露的沉积物特征进行结构单元分析,从而为沉积相的判别提供必要的证据。结构单元分析是 Miall^[7]首创的研究露头碎屑沉积物的一种有效方法,对于河流沉积体系的露头研究已经比较成熟。其研究要点为构成河流沉积物的一些常见要素,这有利于区分河流和其他环境中形成的沉积物,对于不同河型沉积物的判别也有重要意义。通过对油砂山上新统沉积岩露头的野外考察,共识别出以下 7 种结构单元:①河道滞留单元——常见细砾岩和泥砾,分布在冲刷面上,分选极差;②宽浅河道单元——出现在露头顶部,因被剥蚀其层状展布往往中断。以粗、中砂岩为主,夹不连续的薄粉砂岩条带,大型槽状交错层理发育。为不完整的正韵律叠加而成,单韵律层厚 0.3~2.0 m 不等,其顶部的细粒沉积物薄或局部缺失。具有辫状河道沉积特征;③窄深河道单元——横剖面上砂岩呈透镜体,上平下凹,厚 2~5 m 不等,宽度多为 60~80 m,以中细砂岩为主,正韵律明显,宽/厚比为 10~15。具有网状河道沉积特征;④决口河道单元——以中细砂岩为主,呈小型透镜体产出,具有小型槽状交错层理、波状层理、爬升沙纹层理等,为网状河流的决口河道沉积体;⑤侧向加积单元——以中细砂岩为主,侧积层清晰,其加积面上可见不连续的泥质层。但侧向延伸幅度有限。在该区的带状和席状砂岩中都有发现,但在前者中更常见,它是局部河段的网状河道或辫状砂坝局部侧向迁移过程中形成的;⑥砂泥纹层单元——为极细砂岩、粉砂岩与泥岩互层的天然堤沉积物;⑦越岸泥质单元——以泥岩为主,含粉砂岩薄层,形成于河间地或泛滥平原上。其中钙结层发育,Rust^[4]认为这是干旱区河间地中的典型沉积物,抵抗流水冲刷的能力强。

3 钻井剖面沉积特征

3.1 岩性垂向转换特征

柴达木盆地油气探井的岩芯都进行了时代对比分层,为我们研究不同时代的地层提供了可能。对跃进二号油田中南部的二十多口钻井的 N_1 — N_2^1 与 E_3^1 地层分别进行了岩相转换的 Markov 链分析,发现 N_1 — N_2^1 与 E_3^1 明显不同(图 2)。前者主要显示中砂岩~泥岩的正韵律(河道沉积)泥岩~极细砂岩的反韵律(决口扇或决口河道沉积)泥岩与粉砂岩的交互韵律(泛滥平原沉积);后者以复合韵律和交互韵律为主,反映了三角洲沉积体系的基本特征。

3.2 地下沉积物特征对比

由于油砂山露头比较局限,难以追踪河道砂体的侧向展布,因此,借助岩芯及测井资料对目标地层的沉积特征做进一步研究是非常有益的。芒崖凹陷跃进二号油田的井间距较小,一般为 400 m 左右,可以满足用测井资料来勾绘河道砂体的需要^[7]。在露头实测的古流向平均为 105° ,与之基本垂直的 A'-A 剖面可作为研究古河道砂体的横剖面(图 3)。

河流沉积体系中同期形成的砂体总是表现为河道砂体最厚、决口河道和决口扇砂体相

对较薄这一特点,古河道的展布特征可以用平面图中河道砂体骨架的展布来恢复。研究区属于中、下上新统的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ油层组的砂体共划分为38个小层,将同一小层的平面图上砂体厚度大于2.0 m的相邻钻井井位围圈起来,基本反映了古河道的展布特征。这些小层的河道砂体平面图与Ⅰ-2小层中的基本相似(图3),都呈鞋带状。



图2 河流(A)和三角洲(B)沉积体系岩相转换的Markov链模式比较

Fig.2 The comparison of Markov Chain models between fluvial(A) and delta(B) depositional systems

图3 芒崖凹陷跃进二号油田Ⅰ-2砂层河道砂体平面分布特征及剖面A'-A位置图示
Fig.3 Channel sandstone distribution ofⅠ-2 sheet and the location of cross section A'-A at Yuejin 2[#], Mangya Depression



图4 A'-A 钻井横剖面中河流砂体空间分布特征

Figure 4 The channel sandstone distribution characteristics of drilled well cross section A'-A

如图 4 所示 , 连井横剖面 A'—A 的特点是 : 下部(中上新统) 河道砂体彼此孤立 , 其间为泥岩 , 呈现网状河流的沉积特征 ; 上部(上上新统) 河道砂体侧向延伸很远 , 宽厚比大 , 呈现辫状河流的沉积特征。

通过露头剖面的结构单元分析、钻井岩芯的岩相转换的 Markov 链模型和河道砂体的平面及剖面分布特征等可以看出 , 研究区上新统存在网状河流沉积体系。其主要证据为 : 河道砂体呈一个个孤立的透镜状 , 宽厚比小(10~15) , 河道砂体在横向及垂向都被泥质、粉砂质沉积物所隔开。泥质沉积物发育 , 常见干裂构造和钙质胶结物。尤其是识别出了带状砂岩体这一网状河道的典型沉积体。在网状河流沉积体系的上部是辫状河流沉积体系。

4 古网状河流的形成条件及河型演化分析

4.1 地质构造演化特征

柴达木盆地经历了中生代的断陷期(T_3 —K) , 早第三纪的断陷—拗陷过渡期(E_1 — E_3^1) 和晚第三纪的拗陷期(E_3^2 — N_2^2) , 此后为回返褶皱期(N_2^3 — Q_2) 。渐新世晚期(E_3^2) , 盆地边界断裂强烈活动 , 使得盆地整体稳定下沉。至早中新世(N_1^1) , 湖盆进一步扩大 , 由于西部的阿尔金山不断抬升 , 湖盆中心逐渐向东迁移。至早上新世(N_2^1) 时 , 沉积中心移至芒崖拗陷东部和小梁山凹陷 , 盆地稳定沉降一直持续到中上新世(N_2^2) 末^[8]。喜马拉雅山当时的海拔高度仅为 3500 m 左右 , 与青藏高原大面积隆起相对应的是昆仑山以北盆地的大面积持续沉降^[9]。显然 , 柴达木盆地当时的海拔高度远比现今的小。至晚上新世(N_2^3) , 随着印度板块向欧亚板块俯冲 , 使青藏高原强烈隆起 , 盆地边缘山系急剧抬升 , 青藏高原整体上抬升到 4500 m 左右^[9] , 盆地海拔也明显升高^[8]。可见 , 上新世网状河流发育在盆地稳定沉降的构造背景下 , 盆地海拔高度远小于现今的高度。

4.2 盆地晚第三纪古气候环境分析

响应盆地的构造演化 , 古气候也有较明显的阶段性变化。由孢粉资料^[10]确定的古气候变化如下 : 中新世(N_1) 为亚热带温暖干旱气候 , 植被以草原和灌木为主 ; 早上新世(N_2^1) 为亚热带较温暖干旱气候 , 植被仍以草原和灌木为主 , 有一定的水域 , 对应于盆地稳定沉降阶段 ; 中上新世(N_2^2) 为亚热带干旱气候 , 景观为

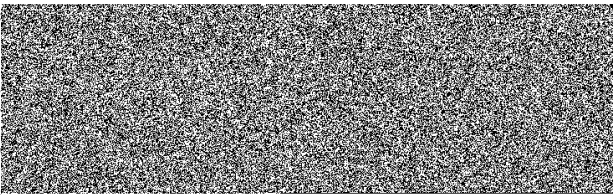


图 5 芒崖凹陷上新统网状河流的沉积模式 (A) 及河型演化模式示意图 (B)

Fig. 5 Anastomosed fluvial depositional model (A) and channel pattern transformation of Pliocene Series (B) , Mangya Depression

荒漠及草原类型,水域面积减小,晚上新世(N_2^3)为寒冷干旱气候。

4.3 网状河流形成及演化原因讨论

芒崖凹陷位于柴达木盆地的西部,其构造和气候演变同上,因此,其上新世网状河的出现并非偶然。①早、中上新世研究区持续稳定下沉,这是网状河发育的基本条件^[11,12];②凹陷区上新世时的地面坡降约为 $0.5\% \sim 0.74\%$ ^[6],而河道比降应略小于该值,这同加拿大 Alexandra 网状河段的河道比降 0.6% ^[13]基本接近;③干旱古气候使得降雨量年际分布不均匀,但森林、草原的存在可以调节流域来水来沙量,使得河水涨落缓慢、来沙均匀偏细且悬移质比例大,有利于稳定河道的形成;④河岸带可以发育更加茂密的草本或乔、灌木,以及悬移质在河岸和河道间区的大量沉积使得河道的稳定性增大,加上干旱气候下可能出现的钙结层,使得河道难于侧向迁移^[12,13]。上述因素综合作用导致了早—中上新世发育网状河流。

露头 and 钻井剖面都显示出辫状河流沉积体系上覆于网状河流沉积体系,显然,研究区曾发生过辫状河流替代网状河流的事件。其原因在于:从上新世以来,虽然凹陷的长轴方向的地面坡降没有明显增大,可随着盆地西部南侧的祁曼塔格山和西北侧的阿尔金山的抬升,从盆地南缘和北缘向凹陷中心的坡降有明显增大的趋势,这有利于大量粗碎屑物由南、北两侧向网状河区输送。随着古气候的逐渐变冷和更干旱化,森林、草原等植被逐渐退化,使得洪水流量的变幅和变率逐步增大、流域的产沙率逐渐增加,相应地,流水施加于河岸的冲刷力也增大,河岸的抗冲能力明显削弱,河道开始发生迁移,这又导致了同是干旱气候下形成的钙结层难以连续分布,因而它阻止河道侧向迁移的能力大幅度减小。网状河流因之失去了稳定存在的条件而渐趋消亡,代之以适应其时气候、构造和水、沙条件的辫状河流(图5)。

5 结 论

柴达木盆地芒崖凹陷下、中上新统为网状河流体系,上上新统为辫状河流沉积体系。盆地基底的持续沉降和干旱温暖的古气候及与之相适应的较茂密的植被和比较连续的钙结层导致了网状河流的形成和发展,而盆地基底的相对上升和干旱寒冷的古气候及其引起的稀疏的植被导致了网状河流的消亡和辫状河流的形成。网状河流沉积体系的发现是该区油气储层研究方面的新进展,对于该区砂岩储层中油气的勘探和开发具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 Knighton A D and Nanson G C. Anastomosis and the continuum of channel pattern. *Earth Surf. Procs. Landforms*, 1993, 18: 613~625.
- 2 Nanson G G And Knighton A D. Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surf. Procs. Landforms*, 1996, 21: 217~239.
- 3 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): 240~246.
- 4 Rust B R. Sedimentation in an arid-zone anastomosing fluvial system: Cooper's Creek, central Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1981, 51: 745~755.
- 5 Schumann R R. Morphology of Red Creek, Wyoming, an arid-region anastomosing channel system. *Earth Surf. Procs. Landforms*, 1989, 14: 277~288.
- 6 雷卞军,林克湘,张昌民等.柴达木盆地油砂山湖盆网状河三角洲沉积特征. *石油与天然气地质*, 1997, 18(1): 70~75.
- 7 Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies appied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.*, 1985, 22:

261~308.

8 黄杏珍,邵宏舜,顾树松等.柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向.兰州:甘肃科学技术出版社.1993.

9 陈焕疆.中国大陆板块构造和盆地演化.见(朱夏主编):中国中生代盆地构造和演化.北京:科学出版社.1983, 29~38.

10 青海石油管理局勘探开发研究院,中国科学院南京地质古生物研究所编著.柴达木盆地第三系孢粉学研究.北京:科学出版社.1985.

11 Smith D G. Anastomosed fluvial deposits: modern examples from western Canada. In: J D Collinson and J Lewin(eds.). Modern and ancient fluvial systems. Spec. Publ. Int. Ass. Sediments. Blackwell, London. 1983, 155~168.

12 王随继,黎劲松,尹寿鹏.网状河流的基本特征及影响因素.地理科学,1999(5):422~427.

13 Smith D G and Putnam P E. Anastomosed river deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 1980, 17: 1396~1406.

Anastomosed Fluvial Depositional System Formed in Arid Climate Background and Its Evolution , Mangya Depression

Wang Suiji

Ren Mingda

(Department of Hydraulic Engineering , Tsinghua University) (Department of Geography , Peking University)

Abstract The sediments of Pliocene Series at Mangya Depression of Qinghai Province were deposited by fluvial sedimentation according to the outcrop data and Markov Chain analysis of lithofacies transitions of drilled well cores. According to the analysis of lithofacies and achitectural-element of this Pliocene Series , anastomosed depositional system exists in the lower-middle Pliocene Series and braided depositional system exists in upper Pliocene Series. The sporomorphs , deep desiccation crack and calcareous concretion all indicate that the anastomosing fluvial system formed and developed in warmer arid climate which suitable for plants to grow exuberantly. The evolution from anastomosing to braided fluvial systems was influenced mainly by the subsidence rate of Basin basement , colder arid climate and distinct decrease of vegetation.

Key words Anastomosed fluvial Sedimentary characteristics Arid climate Pliocene Series Mangya Depression