

文章编号 :1000-0550(2000)02-0221-06

网状河比较沉积学研究

尹寿鹏 谢庆宾 管守锐

(石油大学地球科学系 北京昌平 102200)

摘要 根据比较沉积学原理,论述了现代网状河沉积的沉积过程、沉积韵律特征、平面形态及其环境背景,进而对古代相关沉积类型进行了比较研究,对网状河的形成机制进行探讨和总结,以指导地下同类沉积砂体的油气勘探和开发。

关键词 比较沉积学 网状河 沉积模式 非均质性

第一作者简介 尹寿鹏 男 1966年出生 博士 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 引言

比较沉积学是一门在地貌学、沉积学和沉积岩石学等学科基础上发展起来的边缘学科,其核心是利用现代沉积环境所建立的沉积模式对地层单元的古地理环境进行综合解释。这类研究的意义早在19世纪就由瓦尔特(J. Walther)提出,并命名为《比较岩石学》,随后前苏联学者一直沿用此名,西欧各国则大多已改称为《比较沉积学》。

在大量古、现代沉积研究的基础上,很多学者对河型进行了划分^[1-5]。其中关于网状河的名称,目前叫法不一,有网结河、交织河和分汊河等名称^[3,6-13],甚至有的学者就叫辫状河。Collinson把网状河定义为:河道分枝成若干次级的河道,流经一段数倍于河道宽度的距离后又重新汇合的一种河流类型,其特征是河道一旦形成就极为稳定^[14]。Galloway曾指出:当一条河流同时分成几枝围绕永久性的、通常有植物生长的岛屿或在被分割成若干块的泛滥平原迂回流动时便形成网状河^[15]。尽管不同学者对此类河流类型有不同的认识,但网状河这种特殊的河流类型在自然界中是确实存在的。

沉积学的研究从一开始就强调现代沉积物和古代地层解释之间的比较研究,因此才为地质学奠定了基础。沉积学家在做了大量的古代及现代的沉积物研究后,进行比较沉积学的研究是有重大意义的。在油气储层沉积学研究中,一般采用Rust根据弯曲度和分汊性参数所做出的分类^[16],本文所指河型指河流平水期河床的平面组合形态。近十几年来,比较沉积学的方法在油田沉积相的研究中得到了广泛的应用。

2 现代网状河沉积

现代沉积环境下的网状河沉积为人们认识网状河提供了基础,我国江西鄱阳湖盆地、黑龙江齐齐哈尔段、珠江三角洲地区以及河北滦河流域都有网状河沉积类型。根据作者对嫩江齐齐哈尔的研究,现代网状河的沉积学特征叙述如下。

2.1 自然地理特征

嫩江齐齐哈尔段网状河体系位于平原地区,因地势平坦宽阔,有足够的空间供河流分汊和在横向上扩展。所以网状河体系的规模较大,分汊系数一般较高,约为3~5,河道的平均宽深比为10~15,坡降为0.014%,弯曲度为1.48。网状河沉积的速率较高,¹⁴C测年的结果为:河道17~47 cm/百年,天然堤为23~165 cm/百年。

2.2 沉积环境及相

网状河沉积常见的亚相和微相类型有网状河道、天然堤、决口扇、河间漫滩、湖泊和沼泽等(图1)。

该体系中网状河道发育,规模不一。有常年流水的主河道,宽度可达350 m,也有季节性流水的河道,最小宽度仅10 m,还有常年干涸的废弃河道。这些河道平面上交织呈网状,本身被天然堤控制,河道之间为广泛发育的河间漫滩。主河道为粗粒沉积,以含砾中粗砂和砂砾为主,季节性河道以中细砂沉积为主,局部为含砾砂。我们对三条季节性网状河道探槽进行了详细描述,截至目前河道沉积的砂体厚度仅1 m,砂体内部见多次冲刷现象,砂层多具大型槽状交错层理,尤以上部层理最为发育,单个层系厚度可达13 cm,单个纹层最厚为2 cm。粒度的差异显示了纹层的变化。粒



图1 嫩江齐齐哈尔网状河流体系地貌单元
Fig.1 Qiqihaer anastomosed fluvial system morphologies of in Nenjiang river

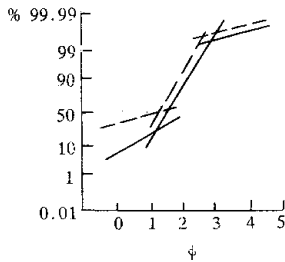


图2 网状河道砂粒度概率曲线
Fig.2 Grain-size probability diagram of the anastomosed channel deposition

度概率曲线多为三段式,含有一定的滚动组分(图2),与Fisher认为的一般河道砂不含滚动组分有区别。砂体中间夹有薄泥层,含有生物碎屑和有机质,该泥层和天然堤中的厚泥层相连,向河道中部倾斜减薄至尖灭,为洪水末期的落淤沉积物(图3)。

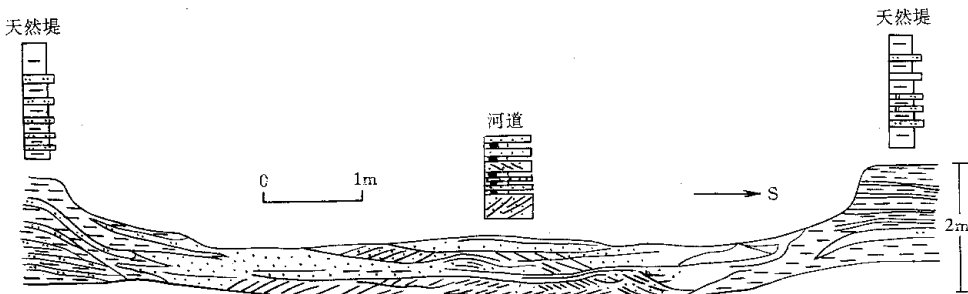


图3 嫩江网状河道探槽剖面
Fig.3 A anastomosed channel cross-section in Nenjiang river

河道两侧十分发育的天然堤可与天然堤不发育的辫状河和只在凹岸发育天然堤的曲流河相区别。天然堤高出河道1~4m,宽度从几米到几十米,其上植被茂密,以泥质沉积为主,间夹薄层粉砂,泥层最厚可达30cm,具水平层理,常见植物根和叶,生物扰动强烈。河道砂体在此呈船形尖灭。

决口扇在嫩江网状河流体系中也较常见,由洪水引起的决口在齐齐哈尔段非常普遍。据史料记载,近200年来嫩江较大洪水就有30多次。决口扇以细粒沉积为主,大多数决口扇由于被堵塞或水流梯度的降低丧失了水力效率而消亡,也可演化成新的网状河道或岸后湖泊。

河间漫滩(江心洲)是嫩江网状河流体系中最发育的地貌单元,属湿地环境,面积占整个河流体系的85%,沉积物以细粒为主。这些河间漫滩在网状河道之间被河道分割包围,一般具有平原地貌,其上以草本植物为主并在局部生长灌木及高大乔木。在这些漫滩上发育了网状河的典型环境,如季节性河道、废弃河道、决口扇、天然堤、湖泊和沼泽等。

浅湖和天然池塘是河流体系中常见的地貌单元。湖盆面积较小,5000~20000m²,其形状各异,有圆形、椭圆形和不规则形,常发育于天然堤的外侧。湖泊周围常伴随大片沼泽(泥炭沼)。沉积物以泥质为主,洪水季节性接受粉砂级细粒沉积物。

沼泽常与湖泊、河道以及废弃河道伴生,位于湖泊周围或天然堤外侧,沼泽并不季节性排水,大部分沼泽上部沉积物为富含水的黑色淤泥,富含有机质,沼泽下部的沉积物为河道或湖泊沉积物,说明其为河湖演化的产物。

2.3 结论

嫩江齐齐哈尔段网状河具有低坡降、宽深比小、加积速度快、河道交织成网状且侧向迁移不大等特点,其间发育网状河道、决口扇、河间漫滩、湖泊和沼泽等地

貌单元。从区域钻孔资料看,嫩江网状河的基底是辫状河沉积,河间漫滩是辫状河心滩逐渐发育而成的。由于该地区坡降较低,沉积速率加快,心滩逐渐露出水面,其上滋生植物,接受洪水期细粒漫溢沉积,变得十分稳定。区域的相对沉降背景、低的坡度和高的加积速率以及大量细粒悬浮物质的沉积被认为是该区网状河形成的重要条件。

3 古代网状河沉积

井下网状河沉积的相带划分往往受到井网密度的影响,不象现代环境中那样可划分出很多的微相类型,一般在开发程度较高的地区开展网状河的研究才具有较强的操作性。通过近年来的研究,在青海柴达木盆地尕斯库勒油田和黄骅坳陷段六卜油田发育了网状河沉积类型^[17]。

3.1 沉积特征

网状河沉积砂体以细、中砂岩为主,以细砂岩为主,砂岩成熟度较高;沉积构造以槽状交错层理为主,另见波状和水平层理,岩性组合垂向呈正韵律,自然电位为钟形,粒度概率曲线主要表现为三段式,与现代网状河沉积粒度曲线相比存在一定的差异,悬移组分含量较高,可能受到了后期成岩的影响,C-M图一般呈两段式,由QR和RS段组成(图4),为完全递变悬浮。

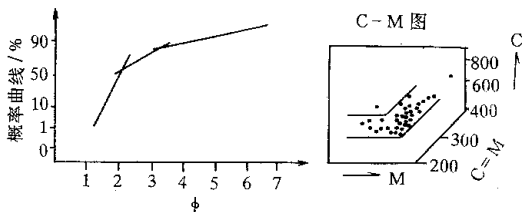


图 4 网状河砂体粒度特征

Fig. 4 Grain-size characteristics of anastomosed river sand body

3.2 储层砂体

根据青海油田网状河砂体的研究,网状河砂体由于岩性细,分选比较好,砂体的孔隙度和渗透率比较高。砂体剖面呈透镜状,上平下凹,厚度15 m不等,宽度变化在30~60 m之间。这种砂岩韵律层厚度一般较大(2~3 m),发育斜层理和槽状交错层理。

3.3 沉积相研究

网状河流相分为网状河道、网状汉道和河间低地三种微相类型(图5)。

(1)网状河道微相

是网状河流相的主要微相类型,也是其主要的砂

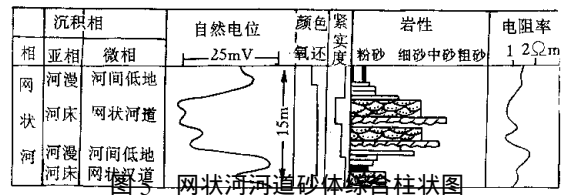


Fig. 5 Column of anastomosed river channel sand bodies

体类型。一般呈灰色、灰白色。岩性多为中、细砂岩,发育斜层理和槽状交错层理,垂向一般为薄的正韵律互相叠置,正韵律层之间为侵蚀冲刷面,总体上河道微相呈垂向加积的沉积特征。呈高负偏的钟形、窄箱形的自然电位曲线,泥质含量低,物性较好。

(2)网状汉道微相

这种微相零星分布于网状河道的周围,是河道持续时间较短的次要水流沉积的产物。沉积特征类似于网状河道砂体,但厚度小,约2 m。自然电位呈低负偏的钟形或指状形态,正韵律,由细砂岩、中砂岩组成。

(3)河间低地微相

这是网状河道之间的泥质沉积,偶尔也发育薄层砂岩。河间低地类似于现代沉积环境中的沼泽、湖泊或池塘等环境。

3.4 相组平面展布

井下网状河成因砂体的平面展布受井网密度影响很大,黄骅坳陷段六卜油田井网密度达200 m左右,为河流平面形态的研究提供了条件。平面上各相带呈网状分布,河道砂体分布窄,呈条带状,河道间为半永久性的冲积岛、泛滥平原或沼泽(图6)。

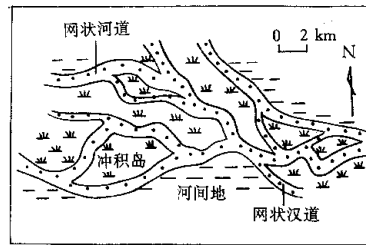


图 6 网状河河道平面形态图

Fig. 6 Plane distribution of anastomosed river channels

因此,网状河成因的砂体其特征表现为:岩性细,以中砂岩、细砂岩为主,砂体横剖面呈厚而窄的透镜体,平面上呈鞋带状,多条河流呈网状交织。网状河沉积由多条互相交叉又互相连接的低能砂岩复合而成,以垂向加积为主,层序上表现为向上变细,但分带不明显的正韵律沉积,由多个粗韵律层组成,缺少曲流河点坝沉积的完整正韵律层。

4 网状河沉积模式

网状河的古现代沉积之间既存在相似性又存在差异性,这种差异受到很多因素的影响,其中成岩作用的影响较大。尽管存在上述差异,但网状河沉积所固有的沉积特征或受沉积环境限定的宏观特征是一致的。根据古、现代网状河沉积研究结果,网状河沉积具有以下特征。

(1)环境条件,网状河出现在坡度很低的地区(坡度小于 0.5),在地形坡度很平缓的冲积平原上网状河十分常见,在这些地方沉积物快速地加积,具有很高的堆积速度,为了维持这种河道样式,来自上升区的物源供给是很快的。同时为了保持较小的沉积斜坡还需要有迅速的沉降作用。网状河的特征是有两条或更多的稳定河道,其弯曲度可高可低,这些河道分叉又合并,形成一系列复杂的网状河道。在网状河网内各个河段可以是顺直的也可以是弯曲的。河道的稳定性是由于两岸的植被造成的,河道之间往往是一些泥质沉积,在潮湿环境内为湿地、泥炭沼泽和泛滥平原池塘环境。在干旱地区有时也可见到网状河沉积。

(2)流水过程,网状河的流水样式与辫状河相似,因此区分这两种河流类型是很重要的。辫状河以高宽深比为特征,而且是极不稳定的,而网状河是有较低的宽深比,其河道是稳定的。网状河的特点受环境的影响,其水流呈单向流动而且变率较小,很少发生侧向迁移,以垂向的连续加积为主要特点,河道的稳定性因网状河潮湿阶地上的开阔湿地和植被而得到加强。在干旱地区,这种河流的稳定性主要是由大的加积速度和小的坡度造成的。

(3)沉积特征,由于网状河的河道不是横向迁移而是垂向加积,所形成的沉积层最突出的特点是相之间近乎垂直接触,具有排列比较完好的空间三维组合,具有较低的宽深比,砂体内部一般有多层侵蚀面,缺乏明显的侧向加积层,具有明显的顶界面。Smith 等人对现代温湿气候下的网状河体系的研究表明它们具有多层叠置、侧向稳定的砾质、砂质河道,平均 10/1 的宽深比,天然堤和决口扇紧挨河道,向远端过渡到植被丰富的湿地,它们占据了泛滥平原 80% 的范围^[10-12]。在潮湿温带环境中,可鉴别出六种独立的沉积相,即河道相沉积、天然堤沉积、决口扇沉积、沼泽沉积物、泥炭沼泽和湖相沉积。

网状河沉积由于以垂向沉积为主,缺少横向迁移作用,因此分选作用较差,垂向层序粒度变化不大,在河道内部可发育多层叠置的板状交错层系,反映了与河道加积有关的洪泛旋回。在一系列垂向上叠置的网

状河沉积物中,粒度变化不明显,既可出现正粒序也可出现反粒序变化,但大量的研究表明网状河沉积仍以不很明显正韵律的层互相叠置沉积为主。

在上述环境背景下,网状河沉积的沉积模式可概括为如图所示(图 7)。

5 网状河的形成机制及在油气研究中的意义

关于网状河的成因现在有不同的意见^[5,6,9,10,18,19]。由于此类河型发育地区各异,因此不同学者强调的因素也不同,概括地讲认为网状河发育与低坡度、河流下游基准面上升、海平面升降和底土的

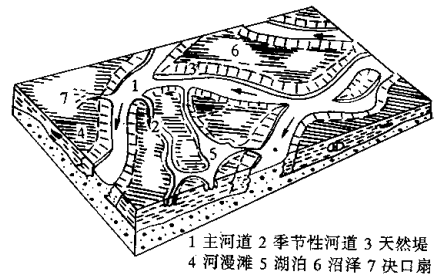


图 7 网状河沉积模式图

Fig. 7 Sketch of depositional model of anastomosed river

抗蚀能力以及洪水有关,或者认为是辫状河与曲流河的一种过渡类型。

网状河的形成环境比较特殊,由于在干旱和潮湿地区都可出现,因此其形成背景受到了很多因素的控制。根据古现代的实例研究作者认为,网状河一般都和侵蚀基准面(均衡剖面或地貌面)有关,网状河常发育在沉积速度和构造下沉速度平衡的地区,而且植被都比较发育。另外,根据嫩江的研究可以看出洪水的发育在网状河的形成和发育过程中起到了很大的作用,洪水的发育有助于河道的分叉及网状河流体系的形成。网状河的发育从垂向地层叠置关系看,可以从辫状河演化而来。

网状河的沉积演化与曲流河不同,曲流河平面相带的演化是和河道的侧向侵蚀、废弃、截弯取直以及洪水泛滥密切相关的,其垂向的正韵律层序是河道自身演化造成的,而网状河由于河道的相对稳定,在演化过程中以垂向的加积或不明显的侧积为主,只有在洪水时期或湖侵、海侵的情况下才在河道沉积之上覆盖细粒沉积物,因而,在垂向上韵律层不完整、平面上环境相对稳定,造成网状河砂体垂向厚度大而横向延展性较差的特点。

从现实主义原则出发,立足于作用沉积学、沉积作

用—非均质响应和比较沉积学的理论和方法,开展网状河流沉积古现代研究,其目的是用于指导与网状河流沉积有关的地下矿产资源。随着人们认识的深入,网状河沉积砂体已成为一种重要的储集岩,结合油藏地质和油藏工程知识系统地对其进行详细研究对油气开发有重要的实际意义。

从沉积学角度讲,网状河成因的油气藏在勘探或开发时,应考虑以下影响因素。

(1)几何形态 河道受河岸控制,河道充填主要沿河岸进行,主河道充填物一般为极细砂、粉砂和粘土,也可出现很粗的沉积物,砂体的横剖面形态为高大的透镜状,河道砂体在空间上呈连通的网结状或鞋带状,其间被小的伸长状泛滥盆地沉积所分隔。另外,决口扇砂体和天然堤砂体也比较发育。

(2)连通性 泥质相保存较多和渗透性河道充填相的孤立,使网状河沉积成为地层圈闭勘探的理想目标。砂体侧向连通性差,往往被丰富的泥质岩、煤或根土岩包围。网状河砂体在垂向表现为不很明显的正韵律层叠置,韵律层之间的细粒沉积物成为隔挡层。在可渗透的饱和油气的砂体顶部,地形会显示明显的起伏,这种起伏通常因差异压实作用和披盖作用而更加明显,成为有益的指相标志。

(3)非均质性 网状河道砂体非均质性较强一些,砂体呈窄而厚的透镜状或鞋带状,其中的油水运动具有明显的方向性,顺砂体从上游朝下游流动。由于网状河砂体宽深比,要对准注采井的射孔位置是很困难的,但一旦将注采层位布置在同一河道砂体中,将会取得极好的驱油效果。

参 考 文 献

- 1 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社,1987.
- 2 钱宁. 关于河流分类及成因问题的讨论[J]. 地理学报,1985,40(1):1~10.
- 3 尤联元,洪笑天,陈志清. 影响河型发育的几个主要因素的讨论[A]. 第二届河流泥沙国际学术讨论会论文集[C],1983,622~670

- 4 Bridge J S. Paleochannels patterns inferred from alluvial deposits: A critical evaluation[J]. J. Sedi. Petrol.,1985,55(4):579~589.
- 5 Miall A D. Fluvial sedimentology[M]. Canadian society of petroleum geologists, Calgary, Alberta, Canada, 1977.
- 6 陈代钊,张鹏飞. 三角洲平原上网络河的发展与聚煤规律[J]. 沉积学报,1996,14(3):103~112.
- 7 冯增昭,中国沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,1994.
- 8 Brice G C. Stream channel stability assessment[R]. Rep. No. FH-WA/RD 82/021, U.S. Federal Highway Administration, 42 1982
- 9 Schumm S A. Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation[J]. Bull. Geol. Soc. Am., 79:1968 1573~1578,
- 10 Smith D G. Putnam P E. Anastomosed river deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada[J]. Can. J. Earth Sci., 1980, 17:1396~1406
- 11 Smith D G. Anastomosed fluvial deposits: modern examples from Western Canada[C]. Spec. Publs. Int. Ass. Sedi. 6, 1983. 155~168,
- 12 Smith D G, Smith N D. Sedimentation in anastomosed river system examples from alluvial valleys near Banff, Alberta[J]. J. Sedi. Petrol., 1980, 50(1):157~164.
- 13 Rust B R. Sedimentation in an arid-zone anastomosing fluvial systems: Cooper's Creek, Central Australia[J]. Jour. Sedi. Petro., 1981, V. 51, 745~755
- 14 Collinson J D, Lewin J. Modern and ancient fluvial systems: an introduction[C]. Spec. Publs. Int. Ass. Sedi., 1983. 6:1~2,
- 15 WE 盖洛韦,DK 霍布德,顾晓忠,顾家裕,高延新译. 陆源碎屑沉积体系—在石油、煤炭和铀勘探中的应用[M]. 北京:石油工业出版社,1989
- 16 Rust B R, A classification of alluvial systems[A]. In: Miall A D, ed. Fluvial Sedimentology[C]. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 1978, 5, 187~188
- 17 尹寿鹏,任明达,王随继. 河流比较沉积学与河流砂岩油藏开发[J]. 应用基础与工程科学学报,1998,6(1):26~36
- 18 Tornqvist T E, Van Ree M H M, Faessen E L J H. Longitudinal facies architectural changes of a Middle Holocene anastomosing distributary system (Rhine-Meuse delta, Central Netherland), In: Fielding C R, ed. Current research in fluvial sedimentology[J]. Sedimentary Geology, 1993, 85: 203~209
- 19 Cooper G. Sedimentation in a river dominated estuary[J]. Sedimentology, 1993, 40: 979~1017

Study on Anastomosed River with Comparative Sedimentology

YIN Shou-peng XIE Qing-bin GUAN Shou-ru

(Department of Geoscience ,University of Petroleum Beijing 102200)

Abstract

Based on the theory of comparative sedimentology , this paper gives the detailed description of both the modern anastomosed river (Qiqihaer Nenjiang section) and the corresponding ancient ones (Huanghua depression and Qaidam basin). The paper presents the depositional processes , characteristics of sedimentary rhythm , geometry and heterogeneity of the modern anastomosed river with a reference material home and abroad , and generalizes the depositional model.

The river in Qiqihaer has the following features , that is , low slope gradient , small width/depth ratio , fast aggradation rate , the channel anastomosed , and confined lateral migration , and soon. The river can be divided into six sub-facies such as anastomosed channel , natural levee , crevasse splay , river beach , inter-river lake , and swamp. All provide the basis for the analysis of ancient corresponding reservoir quality sand bodies.

The ancient anastomosed river , influenced by post-depositional physical or chemical reaction such as diagenesis , presents relative difference compared with the modern one , but both have similar sedimentary characteristics in morphology , environments , sand body structure , rhythm , and so on. It is this similarity that provides the basis of comparative sedimentology and its application.

The authors discuss the formation mechanism on the anastomosed river so as to put forward a general discipline as a direction for further study. The river 's formation is controlled by various factors , the authors explore that it is related to the low slope gradient , massive vegetation , flood development , and the uniform development. Sometimes the anastomosed river can be transformed from braided river.

With the knowledge and comparative study on both the modern and ancient anastomosing river , we can analyse geometry , continuity , and heterogeneity of underground related sand bodies , which is very important in the course of exploration and development of petroleum.

Key words comparative sedimentology anastomosed river depositional model heterogeneity