

文章编号:1000-0550(2017)01-0001-09

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.01.001

河流辫一曲转换特点与废弃河道模式

李胜利¹, 于兴河¹, 姜涛², 梁星如³, 苏东旭¹

1.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083

2.中国石油新疆油田公司勘探开发研究院,新疆克拉玛依 830013

3.中国石油华北油田分公司,河北任丘 062552

摘要 通过总结河流变迁规律,明确了辫一曲转换特征,建立了辫一曲过渡型河流的沉积序列;通过分析弯曲度与废弃河道沉积特征的相互关系,提出不同类型河流中存在分叉分流、串沟取直及颈项截直三类废弃河道,并提出三类废弃河道的分类依据,进而建立了相应的沉积模式。通过解剖北京西山军庄二叠系河流相野外露头,分析了辫状河、以曲流河及其过渡型河流的沉积特征与演变特点,识别出该露头中发育的废弃河道,进而明确该露头中产生辫一曲转换的地质因素是不同气候条件下,由于沉积供源的差异导致河道类型的变化。

关键词 河流辫一曲转换;沉积序列;废弃河道;二叠系河流相

第一作者简介 李胜利,男,1971年出生,博士,副教授,储层沉积学,E-mail: slli@cugb.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

虽然河流分类有许多种方法,但最为人们称道并经常使用的还是根据弯曲度(sinuosity)与分岔指数/辫流指数(braided degree)作为划分依据的分类方案^[1-3],也即直流河(straight river)、辫状河(braided river)、曲流河(meandering river)及网状河(anastomosing)。Schumm^[4]曾经提出辫状河与曲流河两类河流之间存在过渡类型的河流,这种过渡类型河流与地形坡度、粒度、流速、沉积物载荷及水流强度有关。但有关辫一曲过渡型河流的沉积序列特点尚没有充分研究。

Walker^[5]提出两种类型的河道废弃过程,即串沟取直与颈项截直;而Toonen *et al.*^[6]又提出了两种类型的废弃河道构型模式,即串沟与分叉废弃,实际上他把串沟取直与颈项截直归为了一种类型。这两种分类方案共同之处都强调了串沟取直的情况,但Walker^[5]的模式没有考虑弯度相对低易产生河道分叉的情况,因此不易解释Toonen *et al.*^[6]所提出的由于冲决作用(Avulsion)而产生的分叉废弃(Bifurcation)的情况。然而,Toonen^[6]的模式中又忽略了极高弯度情况的颈项截直的情况。

本文结合河流辫一曲转换的沉积特征,总结了颈项截直、串沟取直及分叉分流三种成因废弃河道的沉

积特点与模式;从废弃过程、弯曲度范围、砂/泥值、废弃特点及主要发育的河流类型等5个方面来明确它们的识别特征与标准;进而结合典型河流相露头沉积学研究,明确了辫一曲转换的过程与地质成因,识别出了其中发育的废弃河道。

1 河流辫一曲转换特征

Friend *et al.*^[7]描述了现代沉积中辫状河、曲流河及过渡型河流共存的实例,利用卫星航片,通过直接测量,通过提出的相关参数对印度境内的三条河流进行河型分析,认为它们分别属于辫状河、曲流河及辫一曲过渡型河流。同时,自然界中也存在同一河道带中发育辫状河、曲流河及两者之间的过渡型河流^[8]。辫一曲过渡型河流既具有辫状河的特征,也具有曲流河(低弯或高弯型)的特征,但一般弯曲度不会超过2.0,因为弯度曲大于2.0的河道通常为细粒的特高弯曲流河或网状河^[9]。河道弯曲度是指河道长度与河谷长度之比,按弯曲度可将河流划分为低弯度(弯曲度<1.5)与高弯度(弯曲度>1.5)^[2];而Schumm^[4]把河流按弯曲度分为高、中、低弯曲度河流,其中弯曲度小于1.05为直流河;弯曲度大于1.05而小于1.26为低弯曲度河;大于1.26的河流归为高弯曲度河;同时在论述河流底负载、混合负载及悬浮负载

收稿日期:2015-11-16; 收修改稿日期:2016-03-04

基金项目:国家自然科学基金项目(41572080,41272132);中石油华北油田重大科技专项(HBYT-YJY-2015-JS)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41572080, 41272132; Science and Technology Projects of Huabei Oilfield Company, CNPC, No. HBYT-YJY-2015-JS]

特点时,又把弯曲度 1.3 做为一个关键数据^[4]。综合考虑河道弯曲度的情况对河流按弯曲度进行分类(表 1),其中高弯与低弯的界限定在 1.3,而超高弯河的弯曲度大于 2.0,当弯曲度大于 1.3 时,河流已比较弯曲了(图 1)。这一分类方案有利于解释多河道共存的辫—曲过渡型河流及网状河的沉积特点。

表 1 河流按弯曲度的分类

Table 1 Channel classification according to sinuosity

	顺直型 (S:1~1.05)	低弯型 (S:1.05~1.3)	高弯型 (S:1.3~2.0)	特高弯型 (S>2.0)
单河道	顺直河	低弯曲流河	高弯曲流河	特高弯曲流河
多河道	辫状河	辫—曲过渡型河		网状河

注:S表示弯曲度。

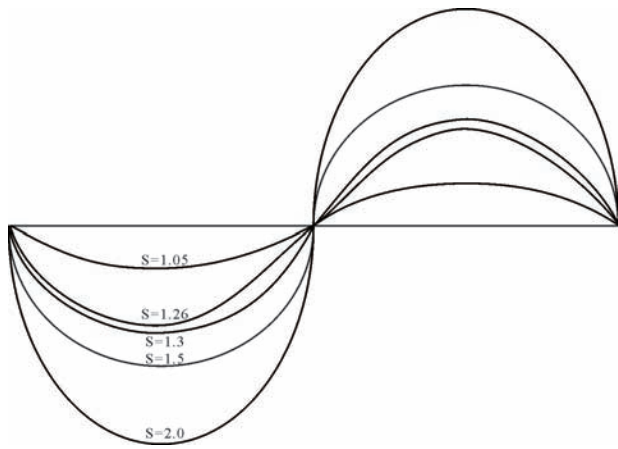


图 1 河道弯曲度示意图

Fig.1 Schematic diagram showing sinuosity of channel

如前所述,从辫状河到曲流河通常不是截然变化,而是存在一种过渡类型。辫状河通常表现为多河道,弯曲度较小,心滩坝使河道呈辫状形态;曲流河常表现为单河道特点(多次河道迁移可形成曲流河道带),河道弯曲度通常较大,导致点坝比较发育;而辫—曲过渡型河流兼具辫状河与曲流河的特征,表现为心滩坝与点坝一起出现的特点(图 2A,B,C)。

从河道沉积充填的砂/泥值^[10]或负载类型(底负载、混合负载及悬浮负载,可以用来大致判断河流的类型^[9])。这种负载类型的差异体现在三种河道的沉积序列的不同(图 2D,E,F)。从辫状河到辫—曲过渡型河再到曲流河,河道弯曲度逐渐增大,分叉指数逐渐减小,沉积水动力条件呈逐渐减弱,砂/泥值逐渐减小。砂岩中交错层理的规模与角度也呈现逐渐减小的趋势。尤其表现在槽状交错层理与板状交错层理的规模与纹层倾角逐渐变小。辫状河中槽状交错层理规模大且多层叠加,板状交错层理以高角度下截型为主(图 2D);辫—曲过渡型河在沉积序列主要呈现下辫上曲的特点(图 2E);而曲流河中槽状交错层理集中发育在河道中下部,向上大多过渡为低角度下切型板状交错层理(图 2F)。从辫状河到辫—曲过渡型河再到曲流河,总体上沉积作用从垂向加积逐渐向侧向加积变化,河道能量也逐渐减弱。

辫—曲过渡型河流的沉积序列(图 2E)中中期河道叠加特征明显,中下部常表现为大规模槽状交错层

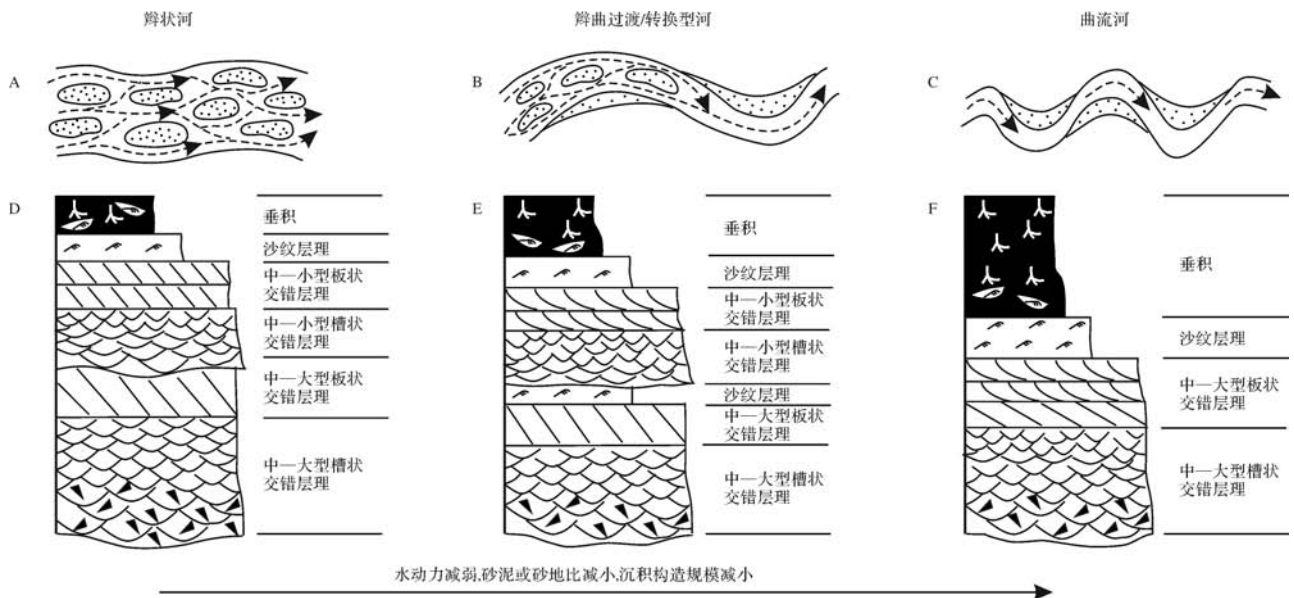


图 2 辫状河—辫曲转换河—曲流河沉积特征示意图

Fig.2 Sedimentary characteristics of different types of river channel

理与高角度下截板状交错层理组合,为辫状河道的特征;而上部水动力能量开始减弱,中小规模的槽状交错层与低角度下切型板状交错层理发育,顶部粉细砂及泥岩沉积也有一定的规模,表现出曲流河的特征。

2 废弃河道类型与特点

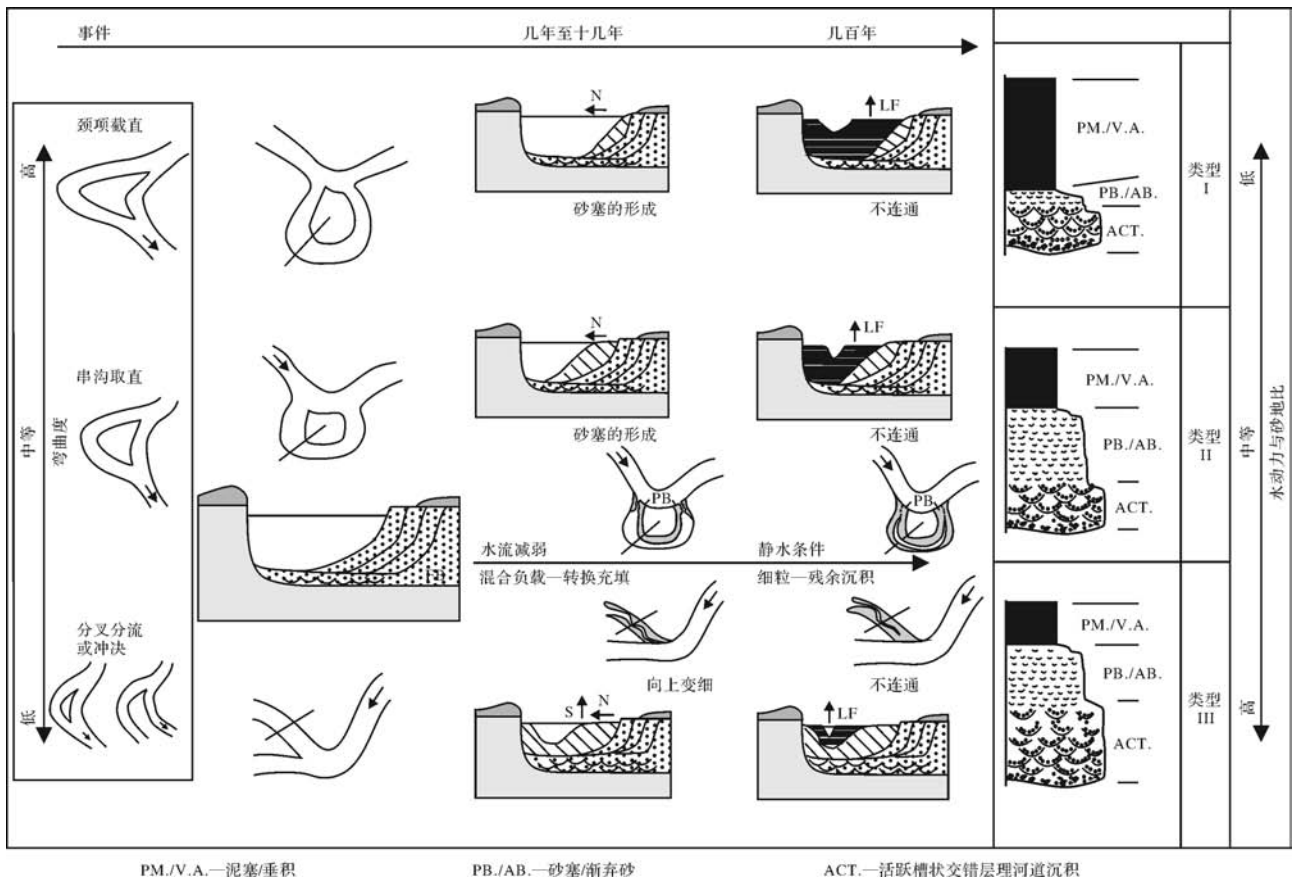
河道的废弃与河流弯曲度与能量密切相关。事实上,废弃河道的平均长度与河流的弯曲度多呈指数正比关系^[10]。随着水动力的减弱,废弃河道常被后期的泛滥平原所覆盖^[11]。Walker^[5]明确了曲流河废弃河道的产生有两种主机制,即颈项截直(Neck Cutoff)与串沟取直(chute cutoff),并提出了相应的沉积

序列模式图。而 Schumm^[4]在研究河道变化时,把曲流河道的变迁归结为颈项截直、河曲变化及决口作用,其中前两者最易形成废弃河道。决口(Auvlsion)主要是河流水体高位时暂时性冲决堤岸,这种决口作用使河道产生分叉,新的河道既可与原河道汇流,也可以形成完全新的河道路径或决口扇,老河道因之可以产生部分或完全废弃,但这种废弃比较易于复活^[3]。由于河流可以从辫状河逐渐过渡到曲流河,这种变化过程中弯曲度也在发生变化,导致废弃河道的产生与废弃特点也会有所不同,据此本文总结出了三种废弃过程,也即三种类型的废弃河道(表 2、图 3)。

表 2 不同弯曲度河流的废弃河道特征表

Table 2 Sedimentary characteristics of abandoned channel with different sinuosity

废弃过程	弯度(S)范围	废弃河道砂泥比	废弃特点	主要发育的河流类型
III 型:河道分叉为主	1.05<S<1.3	砂/泥高,泥塞规模小,砂塞明显	高能缓慢废弃,易复活	低弯型曲流河—曲过渡型河 (包括三角洲曲流型分流河道)
II 型:串沟取直为主	1.3<S<2.0	砂/泥中等,泥塞规模中等,砂塞可发育。	逐渐废弃,能量中等,可复活	高弯型曲流河
I 型:颈项截直为主	S>2.0	砂/泥低,泥塞为主,砂塞不够发育	低能快速废弃,难复活	特高弯型曲流河 (包括三角洲网状分流河道)



PM/V.A.—泥塞/垂积

PB./AB.—砂塞/渐弃砂

ACT.—活跃槽状交错层理河道沉积

图 3 废弃河道沉积特征与沉积模式(据 Toonen et al., 2012; Walker, 1982 修改)

Fig.3 Sedimentary characteristics and patterns of three abandoned channel types

随河流弯曲度由低到高,主要废弃过程从河道分叉变为串沟取直和颈项截直;砂/泥值从高到低,砂塞从比较明显过渡到不发育,泥塞则从小规模变化到以泥塞为主。其中 I 型为颈项截直型废弃河道,河道弯曲度大于 2.0,其砂/泥值低,在沉积剖面上常表现为底部薄层砂砾岩沉积迅速变为泥岩沉积;这种废弃河道中以泥塞为主,砂塞不够发育,主要发育在特高弯曲度的曲流河与网状河之中,也包括三角洲中的网状分流河道,反映低能快速废弃的特征,这种河道废弃之后常难以复活。II 型为串沟取直为主,河道弯曲度多在 1.3~2.0 之间,其砂/泥值中等,在沉积剖面上常表现为砂泥岩厚度大致相近,甚至泥岩相对略薄;这种废弃河道中砂塞比较发育,泥塞也同时出现,主要在高弯型的曲流河中出现,反映河道能量中等,逐渐废弃,其废弃后可以复活。而 III 型为河道分叉型废弃河道,河道弯曲度多在 1.05~1.3 之间,其砂/泥值高,在沉积剖面上常表现为厚层的砂砾岩向上变为相对较薄的泥岩沉积;这种废弃河道砂塞明显,泥塞相对不太发育,多发育在低弯的曲流河与辫—曲转换型河流之中,也包括三角洲平原中的曲流型分流河道,反映河道能量较强,废弃过程较慢,且很容易复活。

河道废弃过程并不是只出现在特定类型的河道中,但这一分类可以反映不同河型中主要可能出现的废弃河道类型。尤其是当辫—曲转换迅速,河道变化快速从低弯变为高弯及特高弯河道时,低能的颈项截直型废弃河道也会出现在这种辫—曲转换型河道之中。

颈项截直使废弃曲流环快速关闭,从而缺少粗碎屑物质沉积,相对静水条件下的泥质沉积物开始充填。因此这种类型的废弃河道能量较低,砂/泥值也

比较低。串沟取直作用比颈项截直作用更普遍^[12-14],特别是辫—曲流过渡型河流的点坝顶部比较容易容易出现串沟^[15],反映串沟的形成需有相对较强的水动力条件。

颈项截直和串沟取直与河岸侵蚀或泛滥平原的切蚀有关,而并不一定是洪水期或高峰水位的产物^[16];而冲蚀作用产生的河道分叉则多为高峰河水冲决堤岸而形成。因此,这三者在水动力条件上有差别,从颈项截直到串沟取直再到分叉分流,水动力条件逐渐增强(图3)。河道产生截直或分叉之后,老的河道一般不会直接废弃形成所谓的牛轭湖,通常是要形成细粒(中细—粉细砂)的砂坝(Sand bar)或坝塞(Plug bar),然后才逐渐形成泥塞,最后才成为牛轭湖^[5,16]。而分叉分流的产生通常由于高能水动力条件有关,新河道形成后,可与老河道共存而不废弃;也可发生缓慢废弃,新产生的河道可与老河道发生交汇,也可完全另辟新径(图3)。

把上述三种废弃河道与粒度、弯曲度相结合,可以分析不同类型废弃河道主要出现在哪种类型的河流之中。分叉分流型废弃河道多出现于高水动力的砾石质河流,与低弯度曲流河及辫—曲过渡型河相关,当然在砂质河流中也比较容易出现,尤其是三角洲分流河道之中易出现,因为三角洲分流河道常分叉频繁。串沟取直型废弃河道最常见于砂质河流,且在砾质、砂质及粉砂质河流中也比较容易出现,大多与相对高弯曲度的曲流河有关,也可在辫—曲过渡型河流中出现,是最常见的废弃河道类型,尤其是在现代沉积沉积经常可以见到。而颈项截直型废弃河道在低水动力的粉砂质或泥质河流中比较常见,在砾质与砂质河流中均发育较少(图4)。颈项截直型废弃河道

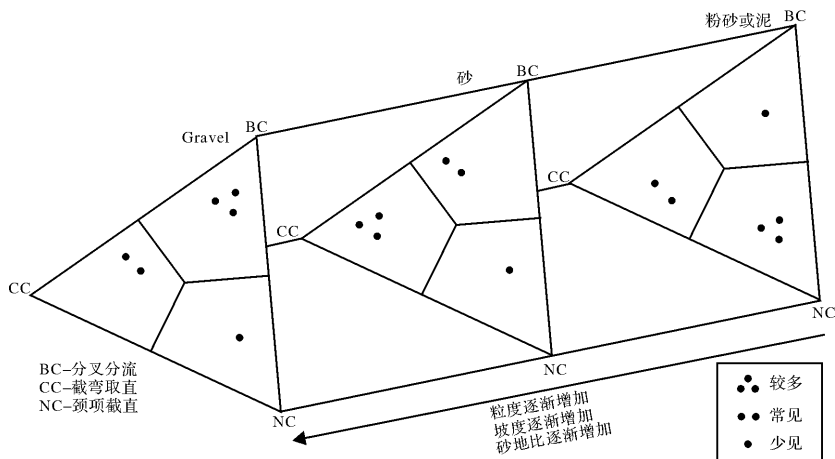


图4 废弃河道分类图

Fig.4 Classification of abandoned channels

由于能量较低,废弃迅速,因此一旦形成就比较容易得到保留,因此在古代河流的露头中与地下地质体中易见到。

3 露头河流相解剖

露头剖面位置位于北京市门头沟区军庄镇曹家沟的火车站东侧(图5)。出露地层为中二叠统下部的红庙岭组^[17-19],大致对应中国华北地区中二叠统上石盒子组^[19]。

红庙岭组沉积期,气候逐渐由湿热转为干热;露头剖面岩性组合包括肉红色、灰白色或浅灰绿色砂砾岩、砂岩、细砂岩,黑色页岩,棕红色—深黄色粉砂岩或泥质粉砂岩等;岩石中大型交错层理十分发育;植物化石的组合以楔叶纲、真蕨纲及种子蕨纲为主,反映地质时代为二叠纪。因此,该露头剖面总体反映了河流沉积环境^[19]。

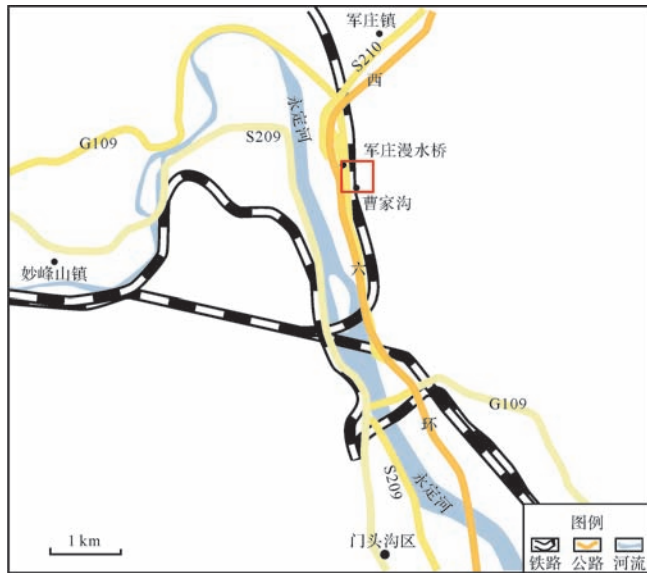


图5 露头区位置示意图

Fig.5 Location of the outcrop

3.1 沉积演变规律

该露头砂砾岩与砂岩十分发育(图6,7),总体砂地比值达80%;以露头上标记的i点界,下部地层砂地比值达85%,上部砂地比值75%左右(图6A)。若从河道底部开始计算,即去除标记的a点与b点的溢岸与洪泛平原沉积(应属早一期河流沉积),那么从b点到i点,砂地比值将高达90%。砂岩或砂砾岩底部多见冲刷面(图6A,B,C、图7a,c),冲刷面附近砾石多集中分布,且总体多呈向上变细的粒序,反映多为不同期次的河道沉积。单期河道底部多以砂砾岩为主,发育规模较大的槽状层理(图7f);向上可过渡为

板状交错层理(图6D;图7d)或平行层理;上部可见沙纹层理(图7b),然后逐渐过渡为粉砂岩与泥岩沉积(图6A)。多期河道大多呈相互切割叠置的特点,而泥岩沉积相对孤立。这些现象说明下部地层为一套辫状河沉积序列。

从i点到m点,剖面上反映出多套砂、泥互层结构,泥岩沉积表现出色浅(灰黄色—紫红色)质杂(泥岩中多含粉细砂)的特点,砂砾岩的比例较小,且砂岩中砾石含量也相对i部下部的地层减少,多期河道叠置程度也降低了,在剖面上可识别出一套串沟(Chute)沉积(图6C,j点与k点所对应的地层之中),这些现象都说明上部沉积的河流类型有别于下部地层,为典型的曲流河沉积。

对比i点上、下两套沉积地层,也可以发现下部地层中岩石粒度比上部要粗,砂砾岩及粗砂岩含量更高,且下部地层中单砂层与复合砂层的厚度要比上部地层更大(图6A,C、图7a~j),反映搬运沉积物的水动力条件更强一些。

露头剖面的下部地层呈砂包泥特征,而上部总体上呈砂泥间互特征(图6A,C、图7k~r)。下部地层泥岩颜色以灰黑色为主;而上部泥岩以灰黄色—紫红色为主。这种泥岩颜色的变化正好反映了沉积期气候从湿热转变为干热。

通过上述有关该露头的基本沉积特征,我们可以确定该露头剖面的下部沉积为早期湿热条件下砂包泥的沉积结构,主要反映辫状河道的沉积;而上部沉积为后期干热条件下砂泥间互的沉积结构,主要反映了曲流河的沉积序列。该露头剖面也反映了从辫状河过渡到曲流河的变化,即中间有辫—曲转换的过程,从露头剖面标记的f点到k点(图6A,C)恰好是这种转换期的沉积。该段沉积粒度逐渐减小,砂地比值也开始减小;而泥岩颜色从灰黑色转变为灰黄色,砂岩中槽板状交错层理规模也开始减小(图6C)。

该露头揭示的这种辫—曲转变过程是在不同气候条件下,由于沉积物供源的差异(粒度大小、沉积物多少及底负载量等)导致河道类型的变化。因为潮湿的气候常使河流径流量大且携砂砾的能力强,所以形成的沉积岩粒度也相对更粗且砂砾含量更高,易于不稳定的辫状河形成;而干旱气候则正相反,由于河流径流量相对较小导致携砂砾的能力减小,沉积的粒度也就相对小一些,易于形成曲流河沉积。正是由于气候从潮湿向干旱变化,导致了该露头河流类型也从辫状河向曲流河转变。

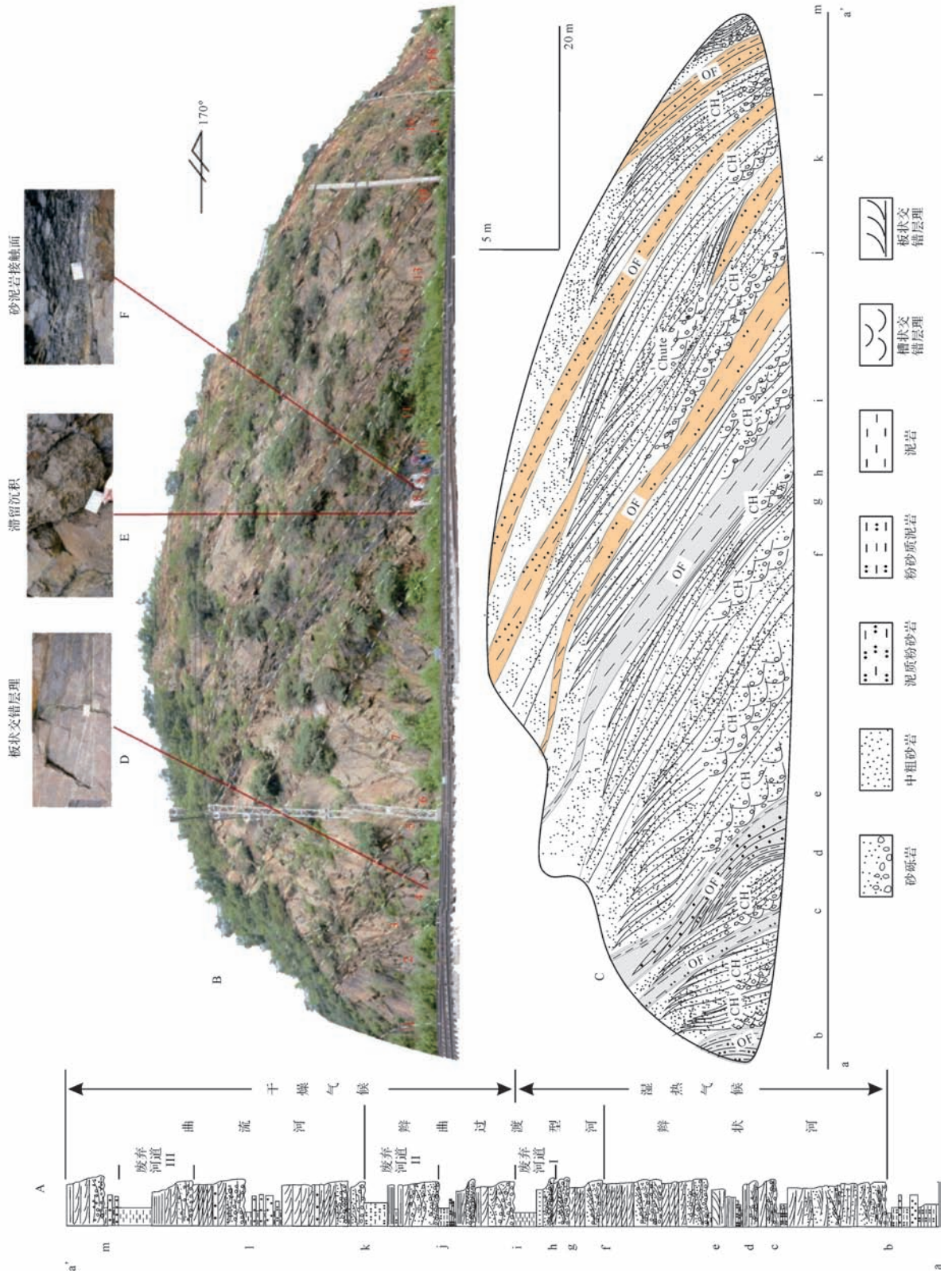


图6 北京西山军庄火车站东侧二叠系河流相露头剖面沉积特征解释

露头剖面呈南北走向分布,地层倾角约40度;岩性柱状剖面(A)总长(地层厚度)78 m;露头(B)总长约150 m(照片由于拼接略有变形);沉积解释剖面(C)从j点到m点长度略有压缩(同样由于照片拼接变形的原因)。

Fig.6 Sedimentary explanation on the fluvial outcrop in the suburb of Beijing, China

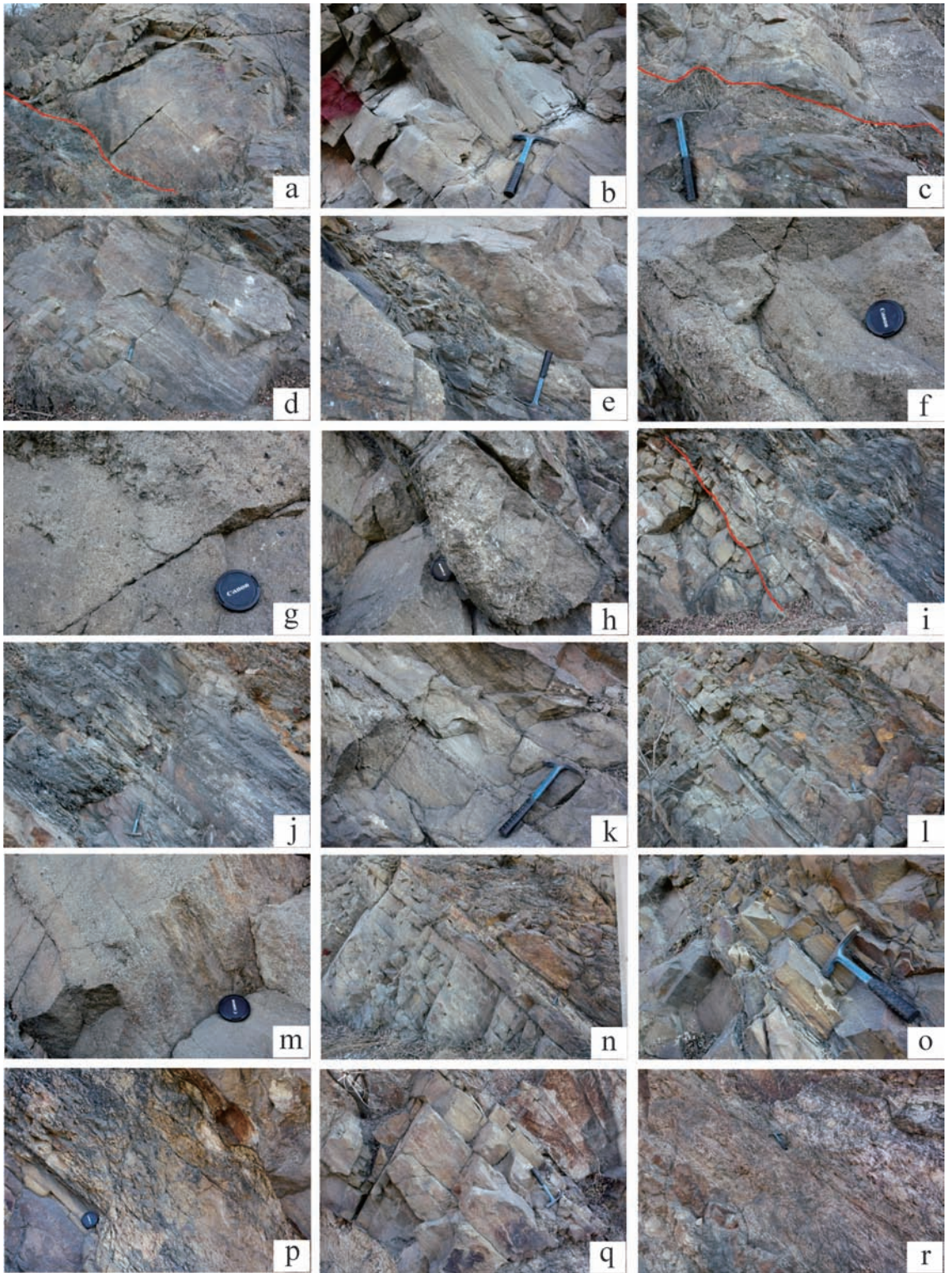


图7 露头典型照片(照片位置在图6B露头照片下部已标记)

a.含砾中—粗砂,底具冲刷面;b.沙纹层理;c.砂泥突变面,中见冲刷面;d.砂砾岩,具下截型板状交错层理;e.砂岩夹灰黑色薄层泥岩;f.砂砾岩,具槽状交错层理;g.厚层砂砾岩;h.废弃河道底部滞留沉积;i.废弃河道,砾、砂、泥从下至上迅速变化;j.废弃河道中上部灰黑色泥岩;k.中薄层含砾粗砂岩与中—细砂岩;l.灰黑色泥岩与灰黄色泥岩过渡;m.中薄层砂砾岩与含砾中—细砂岩互层;n.灰黄色泥质粉砂岩;o.灰色粉砂岩;p.灰黄色泥岩与灰色粉砂岩;q.灰色中—细砂岩,具低角度板状交错层理;r.灰黄色—紫红色泥岩。

Fig.7 Some typical pictures of the outcrop (The position of each picture is shown at the bottom of Fig.6B)

3.2 废弃河道识别

如前所述,从辫状河向曲流河演化过程中,河流弯曲度增加,废弃河道因之易于产生。在该露头的辫—曲过渡型河段与曲流河段可以识别出3个废弃河道,从下至上分别为废弃河道 I、废弃河道 II、废弃河道 III(图 6A)。以废弃河道 I 最为典型,在剖面中标记的 h 点与 i 点之间,其下部发育明显薄层状滞留砂砾岩沉积,底部具明显冲刷面并切蚀其下砂体(图 6E;图 7h),向上迅速变为中—薄层状中—细砂岩,为砂塞沉积(图 6F;图 7h, i),最后演变为静水沉积的灰黑色泥岩,为泥塞沉积(图 6F、图 7i),该套泥塞沉积向上倾方向迅速减薄并尖灭(图 6C),反映从废弃河道向曲流河点坝沉积的快速变化。这种沉积特征恰好反映了前文所论述的颈项截直型废弃河道的沉积序列(图 3),即最初为活跃河道冲刷充填沉积,然后形成砂塞坝,再形成泥塞,直至最终废弃。

从沉积序列看,废弃河道 I 应为颈项截直型废弃(图 3、表 2),这在辫曲转换型河道中比较鲜见,推测是由于从其下的辫状河迅速转换成曲流河,能量迅速减弱,导致曲流河部分弯曲度迅速加大进而形成颈项截直而废弃。这也反证了河流在地质历史中发生了辫曲转换过程。

废弃河道 II 为典型的串沟截直型,发育在剖面的 j 点与 k 点之间,如前所述为明显的串沟沉积(图 6C),这一串沟切蚀到了早期的河道之中,并且向两侧迅速发生减薄,外形呈小型下切河道的特征;而废弃河道 III 发育中剖面的 l 点到 m 点之间(图 6A),根据前文所论述的 III 种类型的废弃河道沉积序列看,也应属于串沟取直型,只不过串沟沉积在露头区并未保存下来。

4 结论

(1) 河流变迁可形成辫—曲过渡型河道。这种类型的河道兼具辫状河与曲流河的特点,心滩坝与点坝在垂向上可叠加,而平面上它们可同时出现。辫—曲转换存在两种情况,即迅速转换与缓慢转换。

(2) 河流的废弃过程与废弃河道类型有三类,即颈项截直、串沟取直及分叉分流。它们具有不同的沉积序列,尤其是在砂塞与泥塞发育程度上有明显不同。不同类型废弃河道形成机制也不同,与河流类型、弯曲度等因素有关。

(3) 露头剖面中揭示的现象印证了废弃河道的形成不是直接由泥塞导致废弃,而是先有砂塞,再有

泥塞,才最后发生废弃。需要说明的是由于露头保存条件,判断废弃河道类型仍存在不确定性。

参考文献 (References)

- [1] Brice J C. Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska[R]. Professional Paper 422-D, 1964: 41.
- [2] Rust B R. A classification of alluvial channel systems[M]//Smith N D, Rogers J. Miall A. Fluvial Sedimentology. Calgary, Alberta, Canada: Canadian Society of Petroleum Geologists, 1977: 187-198.
- [3] Reading H G. Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy[M]. 3rd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1996: 688.
- [4] Schumm S A. Patterns of alluvial rivers[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1985, 13(1): 5-27.
- [5] Walker R G. Facies Models: Geosciences Canada Reprint Series 1 [M]. Ontario, Canada: Geological Association of Canada, 1980: 211.
- [6] Toonen W H J, Kleinans M G, Cohen K M. Sedimentary architecture of abandoned channel fills[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2012, 37(4): 459-472.
- [7] Friend P F, Sinha R. Braiding and meandering parameters[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1993, 75(1): 105-111.
- [8] Bridge J S, Tye R S. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wireline-logs and cores[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1205-1228.
- [9] Schumm S A. The Fluvial System[M]. New York: Wiley-Interscience, 1977: 338.
- [10] Constantine J A, Dunne T. Meander cutoff and the controls on the production of oxbow lakes[J]. Geology, 2008, 36(1): 23-26.
- [11] Viseras C, Soria J M, Durán J J, et al. A large-mammal site in a meandering fluvial context (Fonelas P-1, Late Pliocene, Guadix Basin, Spain): sedimentological keys for its paleoenvironmental reconstruction[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2006, 242(3/4): 139-168.
- [12] Brice J C. Lateral migration of the middle Sacramento River, California[R]. Water-Resources Investigations Report. US Geological Survey, Water Resources Division, 1977: 51.
- [13] Lewis G W, Lewin J. Alluvial cutoffs in Wales and the Borderlands [M]//Collinson J D, Lewin J. Modern and Ancient Fluvial Systems. United Kingdom: International Association of Sedimentologists Special Publication, 1983: 145-154.
- [14] Gagliano S M, Howard P C. The neck cutoff oxbow lake cycle along the lower Mississippi River[C]//Elliot C M. River Meanders: Proceedings of the Conference Rivers 1983. New Orleans: American Society of Civil Engineers, 1984: 147-158.
- [15] Ghinassi M. Chute channels in the Holocene high-sinuosity river deposits of the Firenze plain, Tuscany, Italy[J]. Sedimentology, 2011, 58(3): 618-642.
- [16] Hooke J M. River channel adjustment to meander cutoffs on the

- River Bollin and River Dane, northwest England[J]. *Geomorphology*, 1995, 14(3): 235-253.
- [17] 胡雨帆, 萧宗正. 关于北京西山红庙岭组之地质时代[J]. *地质论评*, 1987, 33(6): 559-562. [Hu Yufan, Xiao Zongzheng. On the age of the Hongmiaoling Formation in Xishan, Beijing[J]. *Geological Review*, 1987, 33(6): 559-562.]
- [18] 汪曾荫, 刘汉男, 唐锦秀, 等. 华北地台晚古生代含煤地层多重划分[J]. *华北地质矿产杂志*, 1996, 11(1): 9-23. [Wang Zengyin, Liu Hannan, Tang Jinxiu, et al. The multiple classification of Late Palaeozoic Stratigraphy of North China platform[J]. *Journal of Geology & Mineral Resources of North China*, 1996, 11(1): 9-23.]
- [19] 周园园, 邵龙义, 贺聪, 等. 北京西山潭柘寺地区石炭—二叠纪层序地层与聚煤作用研究[J]. *中国煤炭地质*, 2011, 23(3): 5-10. [Zhou Yuanyuan, Shao Longyi, He Cong, et al. Permo-Carboniferous sequence stratigraphy and coal accumulation in Tanzhesi Temple area, Western Hills, Beijing[J]. *Coal Geology of China*, 2011, 23(3): 5-10.]

Meander-braided Transition Features and Abandoned Channel Patterns in Fluvial Environment

LI ShengLi¹, YU XingHe¹, JIANG Tao², LIANG XingRu³, SU DongXu¹

1. School of Energy Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield, PetroChina, Karamay, Xinjiang 830013, China

3. Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552, China

Abstract: Based on summing up the great variability and dynamic behavior of rivers, we analyzed the meander-braided transition characteristics and constructed its sedimentary sequence. According to the relationship between sinuosity and abandoned channels, we divided abandoned channels into three patterns which are avulsion, chute cutoff- and neck cutoff- abandoned channel, respectively, and each pattern has its particular sedimentary sequence model. Furthermore, by analyzing the sedimentary characteristics from a Permian fluvial outcrop located in Beijing western suburbs, we clarified the evolution of braided, meander-braided transition and meandering channels and distinguished three abandoned channels. We reached the conclusion that the main factor leading to meander-braided transition in the study area is the change of sediment supply caused by different climate conditions.

Key words: meander-braided transition of river; sedimentary sequence; abandoned channel; fluvial environment in Permian