

# 复合辫状河道期次划分方法与沉积演化过程分析<sup>①</sup> ——以鄂尔多斯盆地苏里格气田西区苏X区块为例

单敬福<sup>1</sup> 张彬<sup>1</sup> 赵忠军<sup>2,3</sup> 李浮萍<sup>2,3</sup> 王辉<sup>4</sup> 王博<sup>4</sup>

(1.长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室 武汉 430100; 2.中国石油长庆油田分公司苏里格气田研究中心 西安 710018;  
3.低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018; 4.新疆油田公司采油一厂 新疆克拉玛依 834000)

**摘 要** 多期截切叠置的河道砂体中各单期河道的解剖向来是砂体建筑结构分析中的重点也是难点。如何从多期叠置的大块砂体中识别出单期河道并进行平面组合,进而完成辫状河的沉积演化过程分析是一个值得探索的课题。研究过程中,笔者充分利用岩芯、测录井、野外露头和现代卫星图片等资料,在标志层拉平基础上,通过“去压实效应邻井单期河道标定法”和“连续取芯验证法”,完成复合河道分期。在河道去压实效应过程中,采用了“松弛回弹技术”对河道进行了复位,为单期划分建立了基础。在垂向单期解剖基础上,结合现代沉积和经典地质概念模式,采用“单期砂厚中心连线法”,完成单期河道平面延伸轨迹的追踪和对比,然后按单期沉积发育顺序,完成复合辫状河道沉积演化过程与历史重建。研究结果表明,该方法将有助于揭示砂体空间叠置与局部砂体富集规律,提高砂体的钻遇率,便于后期水平井的大规模部署与地质导向等工程作业的实施,为油田生产实践提供理论依据。

**关键词** 辫状河 苏里格气田西区 复合辫状河道 单期河道 沉积演化过程

**第一作者简介** 单敬福 男 1977年出生 博士后 副教授 沉积、储层与开发地质学研究 E-mail:shanjingfu2003@163.com

**中图分类号** TE121.3 **文献标识码** A

## 0 引言

苏里格气田现在处于大规模上产阶段,随着滚动开发的进行,钻遇的二叠系盒8段的储层越来越复杂,原本邻井钻遇的是巨厚的河道砂体,但与其附近试钻一口井,却钻遇的是河道间的泥岩,这种相变异常快的特点,对井位设计尤其水平井大规模部署实施,带来了极大的挑战,究其原因,就是厚层的河道砂体空间叠置规律没有搞清楚。实际上这种砂体可能并非单期成因,而是多成因、多期次的河道砂体在空间上纵横交错叠置的结果,其是平面辫状河道砂体厚薄不均与分布规律性较差的主因。砂厚中心往往是多期次河道砂体叠置汇聚中心,因此深入剖析刻画盒8段下部厚层辫状河道砂体,将具有一定实际应用价值。

复合辫状河道期次划分实际上就是辫状河储层构型的一部分,按前人构型理论,辫状河储层构型可分为4个层次(复合河道、单河道、心滩、增生体)<sup>[1]</sup>,本次研究属于第二层次。实际上,国外储层构型研究由来已久,大约始于上世纪80年代<sup>[2]</sup>,以Allen和

Miall为代表的欧美学者对储层构型层次、要素、模式、沉积机理做了开拓性的研究工作。然而国内外学者主要侧重于对河流相露头 and 现代沉积的构型研究<sup>[2-4]</sup>,却忽视对地下储层构型方面研究<sup>[1,5]</sup>。为了进一步丰富地下辫状河储层构型方面内容,本次以苏里格气田西区苏X块为例,着重开展地下辫状河储层构型相关研究工作。

苏里格气田西区苏X区块经过前人大量的基础性研究,认为盒8段的发育的沉积相类型主要是辫状河沉积,这一认识已取得了广泛的认同,代表性观点主要有:刘建新等<sup>[6]</sup>基于多波多分量地震相分析、多属性反演同步结合钻井实测资料,认为盒8段属于典型的辫状河沉积;文华国等<sup>[7]</sup>根据岩芯、分析化验等一手资料的详细研究论证,认为盒8段下部发育辫状河沉积,盒8段上部发育曲流河沉积,即综合论证认为盒8段普遍发育河流相沉积;白振华等<sup>[8]</sup>指出苏里格地区盒8段属于早期辫状河沉积向晚期曲流河沉积逐渐转化的沉积背景。基于上述盒8段主要发育辫状河这一事实,为复合辫状河道砂体建筑结构解剖提供了

<sup>①</sup>国家自然科学基金(批准号:41372125)、湖北省教育厅基金(编号:Q20121210)与中国地质大学(武汉)重点实验室开放基金(编号:TPR-2012-23)项目联合资助

收稿日期:2014-07-09;收修修改稿日期:2014-10-12

研究基础。

苏里格西部地区位于鄂尔多斯盆地二级构造单元伊陕斜坡的西北部,是盆地天然气勘探的重点区域,勘探面积约 13 000 km<sup>2</sup>,自南向北划分为西一区、西二区两个目标区。区域构造为一平缓的近南北向展布、西倾单斜,平均坡降 3~5 m/km。在平缓的单斜背景上发育一系列复式鼻褶,小幅度构造总体上十分平缓。具有生烃强度大、产气层多等特点。该区主要发育岩岩性圈闭气藏,其产出层位主要为上古生界二叠系石盒子组盒8段和山西组山1段,沉积类型属于大型缓坡河流—三角洲,目的层上部盒4段和下部山2段和太原组也有含气层系分布。由于沉积储层类型的差异,导致不同层系有不同的成藏组合,控制因素差异也较大,由此导致了气藏类型的多样性<sup>[9-10]</sup>。本次研究的目的是层下石盒子组盒8下2亚段,累积厚度一般 15~20 m,研究区主要位于苏里格西区的苏48区块东南部和苏47区块东北部,面积约 627 km<sup>2</sup>(图1)。苏X区块的钻井资料和岩芯资料未发现明显的水下沉积标志,也没有明显的三角洲前缘沉积特征,综合前人研究成果,盒8下2亚段主要发育辫状河沉积<sup>[7-8]</sup>。沉积相研究成果中的河道微相一般为复合河

道级别,因此,在沉积微相研究成果基础上,开展复合河道单期河道识别、组合与沉积演化分析。

## 1 研究方法

在复合河道期次厘定过程中,目的层段中的单期河道沉积旋回的识别是基础和关键,如果能有全区全井段取芯,那么通过连续取芯的观察就可以从多期叠置河道中把单期河道识别出来,这当然是最理想情况,然而,实际情况却不甚理想。目前一般很少做到全区全井段连续取芯,而往往更多是有针对性、有选择性的分段取芯,这就给复合河道砂体解剖带来了挑战,为了克服这一不足,笔者以苏里格气田西区苏X区块为例,开展了复合辫状河道砂体解剖研究工作,探索出了一套基于岩芯、测录井、野外露头和现代卫星图片等资料为基础的“去压实邻井单期河道标定法”辅以“连续取芯验证法”的单期河道识别方法。在进行单层平面单一河道组合方面,笔者也提出了结合现代沉积和经典地质理论为指导,采用“单期河道砂厚中心连线法”,来完成单期河道平面上的识别与组合<sup>[11-15]</sup>。这其中技术关键有如下几点:①是否考虑去压实作用,因为深埋在地下几千米的储层,泥岩压实量是很大的,而砂岩则相对要小得多,各井间由于存在差异压实作用,易形成高程差,从而把本来同期的河道上提或下拉,误判为不同期,这就需要消除压实作用的影响,以同期两支河道的对比为例,在忽略两支河道因砂岩成分差异造成微小差异压实条件下,加之对比的目标又是河道砂岩,因此,可以简单把河道砂体近似看作刚性体,把压实校正目标重点放在泥岩背景中,进行压实校正,值得注意的是,这种去压实是相对的消除,而不是绝对的消除,如果绝对去压实恢复到原始沉积状态,就要相应采用另外一种方法了,鉴于上述考虑,本次拟采用“松弛回弹”技术来消除压实影响;②难以用测井曲线进行期次划分的复合辫状河道,在考虑压实作用的基础上,采用去压实邻井单期河道标定法,完成所有单井的单期河道识别,然后将同期的河道的顶底界面进行等时对比,建立单层等时地层格架;③以单层地层单元为成图单元,采用砂厚中心连线法,确定河道单层主河道流线,同时结合平面单一河道井间识别方法,进行平面组合成图;④将单层单一河道平面展布图,按发育期空间叠置,总结不同期次单一河道平面迁移摆动规律,最终实现对复合辫状河道解剖、沉积演化过程再现和历史重建恢复。

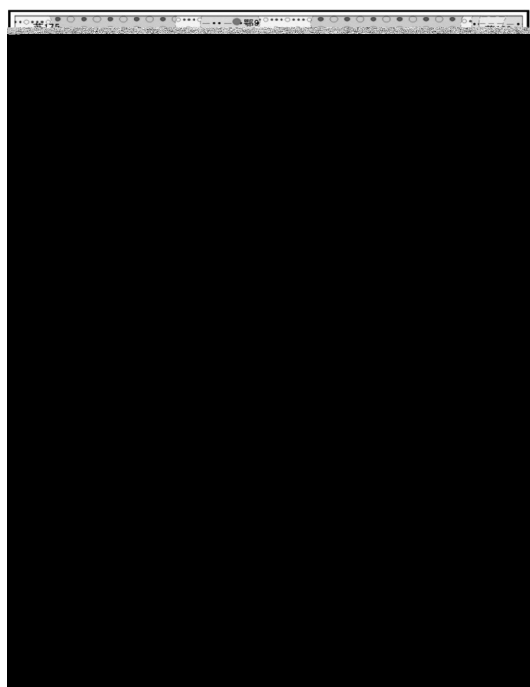


图1 苏里格气田西区苏X区块位置示意图  
(据苏里格气田中心,盒8<sub>下</sub>,2009)

Fig.1 The position of SuX block in western Sulige gas field  
(from Sulige gas field center, 2009)

2 复合河道垂向期次划分

多期辫状河道垂向接触关系无非有 7 种,如图 2 所示,5 大类,分别是孤立式(图 2A,B,)、对接式(图 2C)、切叠式(图 2D)、叠加式(图 2F)和复合式(图 2G),从 G→A,基准面逐渐上升,河道切叠程度逐渐减轻。对于多支河道接触较为紧密型的切叠式(如图 2D)、叠加式(图 2F)和复合式(图 2G),都有可能出现切叠程度较严重、河道期次无法识别的问题。对于单井点而言,上下叠置的两期河道接触模式不外乎 3 种情况(图 3),即:①切叠较轻易识别型,表现为复合箱型或复合钟形,两期旋回厚度接近;②切叠中等可识别型,表现为齿化复合箱型或钟形,两种电测曲线形态勉强可识别,上部单旋回的厚度一般大于或等于下部旋回的厚度;③切叠较重难识别型,整体呈单一旋回的箱型。前两种类型(图 3A,B)期次可以通过旋回特征加以识别,而图 3C 类型则需要借助本次提出的一套复合河道解剖方法进行识别。对于切叠程度较深的复合河道类型期次厘定将是本次研究的重点。值得注意的是:①不同期河道由于古气候,古水动力条件的差异,造成不同期次河道发育的规模不同,因此,各期次河道规模依据上述方法必须分期进行单独提取;②地下深埋储层由于存在压实效应,因此,必须考虑去压实问题;③研究区大地构造背景是沉积期处于克拉通盆地,构造相当稳定,区内几无断层存在,古地貌也相当平坦,因此,可以忽略构造与古地貌的影响<sup>[16-17]</sup>。

2.1 “松弛回弹”技术消除压实影响可行性研究

以盒 8 下 2 亚段沉积时间地层单元为研究对象,进行去压实操作。因压实作用的存在,层段中的泥岩被大量压缩,造成处在大段泥岩中下部位的河道上拉,从而造成原本同沉积期河道存在高程差异,因此,必须消除压实效应的影响,以免误判。

笔者本次研究主要采用“松弛回弹”技术,在层顶拉平的前提下,对处于泥包砂层段底部进行等厚向下拉伸与复位,前提是保证河道砂体厚度不变前提下,使之厚度与待分期大块砂体厚度相等,然后按照高程差异进行河道间追踪对比,在这样操作之前,要基于这样的假设:即同沉积期,由于填平补齐作用,结合现代沉积模式可知,河床与漫滩两种沉积产物厚度一般在相对等时时间范围内,是等高程、厚度近于相等为前提的。但也有不等的特殊情况,如黄河某段中的“悬河”,这是一个极端例子,其是因人类活动,黄

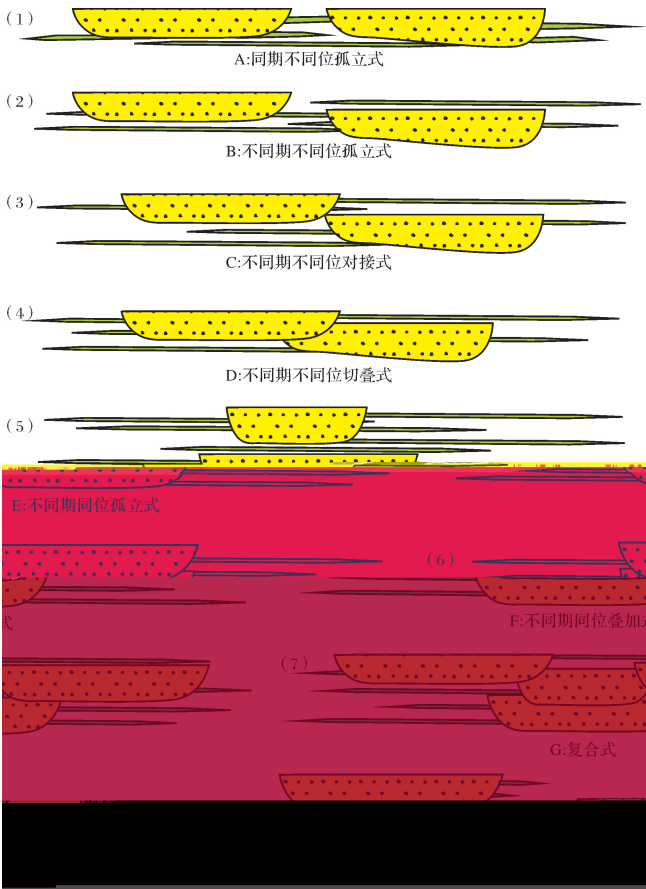


图 2 河道间接触方式分类

Fig.2 Classification of contact types in the inter-channel

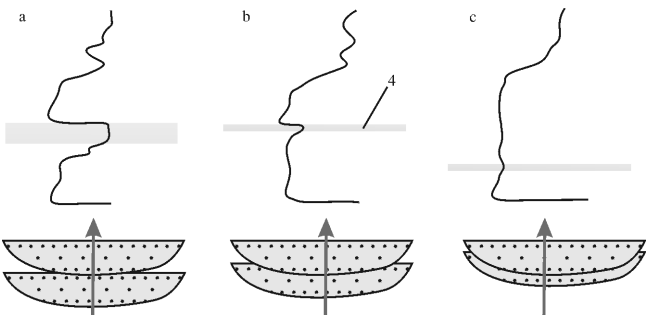


图 3 晚期河道切叠早期河道类型模式图

a. 切叠程度较轻河道界面清晰可识别; b. 切叠程度中等,河道界面测井曲线已远离基线,仍可识别; c. 切叠较为严重,河道界面已难以识别

Fig.3 The model of early riverway stacked by late stage riverway

a. easier to identifiable type in the stacked riverway; b. medium to identifiable type in the stacked riverway; c. difficult to identifiable type in the stacked riverway

土高原水土流失严重,大量泥沙在下游堆积,使河床逐渐於高抬升造成的,这仅仅是个特例,即使这样,从

长期地质演化规律来看,其厚度差异也不会很悬殊,也可以视作近似相等<sup>[18-20]</sup>。此外,有几方面还需要考虑:

(1) 目的层待分期砂体厚度一般小于 20 m,厚度较小,对于深埋地下几千米来说,这种顶底位置的压实效应差异是可以忽略不计的,因此,采用整体拉伸复原技术进行厚度恢复基本上是合理的。

(2) 砂岩和泥岩压实率问题,众所周知,泥岩的压实率远大于砂岩压实率,因此,砂岩自身压实量较小,在忽略砂岩成分不同所导致压实存在微小差异条件下,可以近似把单期河道砂岩简单看作刚性体,泥岩是塑性体,因此,通过对泥岩段等效拉长,使层段整体等厚复位。之所以采用等厚复位,是综合考虑了沉积期克拉通构造背景,平面地层厚度差异不会太大这一地质事实(图 4b)。

(3) 选择邻井问题,之所以选择邻井,是因为邻井与待分期井位同属于一个古水流体系可能性更大,这样有利于保证沉积古水动力学与沉积结果的相似性,便于提高解剖结果的准确率,详细解剖分期思路

见图 4。

2.2 复合河道垂向期次厘定

(1) 基于去压实效应邻井单期河道标定法

根据图 4 复合河道分期方法,对研究区盒 8 下 2 亚段层段切叠严重型的复合河道进行了分期,分期结果表明,该层段主要发育了 3 期河道,识别结果见图 5。

对比过程中,容易出现错误的对比模式干扰(图 6),虽然同样也考虑了去压实效应,但标志层顶拉平后,却出现了两种单层对比模式,其中实线是正确的 2 号单层底界,而虚线 2 号单层底界对比是错误的。笔者认为,之所以出现上述问题,与我们以往对比的多是针对复合河道层次,彼此混淆造成的,如沉积微相中的河道微相就是典型的复合河道<sup>[7-8]</sup>。正确的做法是,考虑去压实效应,按高程差异,结合可分的复合钟形、复合箱型等测井曲线外形特征,采用等厚拉伸复位方法,对盒 8 下 2 亚段其他井位的河道期次进行识别与划分,然后将期次识别结果按发育先后顺序进行统一编号,并统计全层段河道期次个数,建立相同期次河道砂厚数据库,为单层砂厚成图做好数据准备。

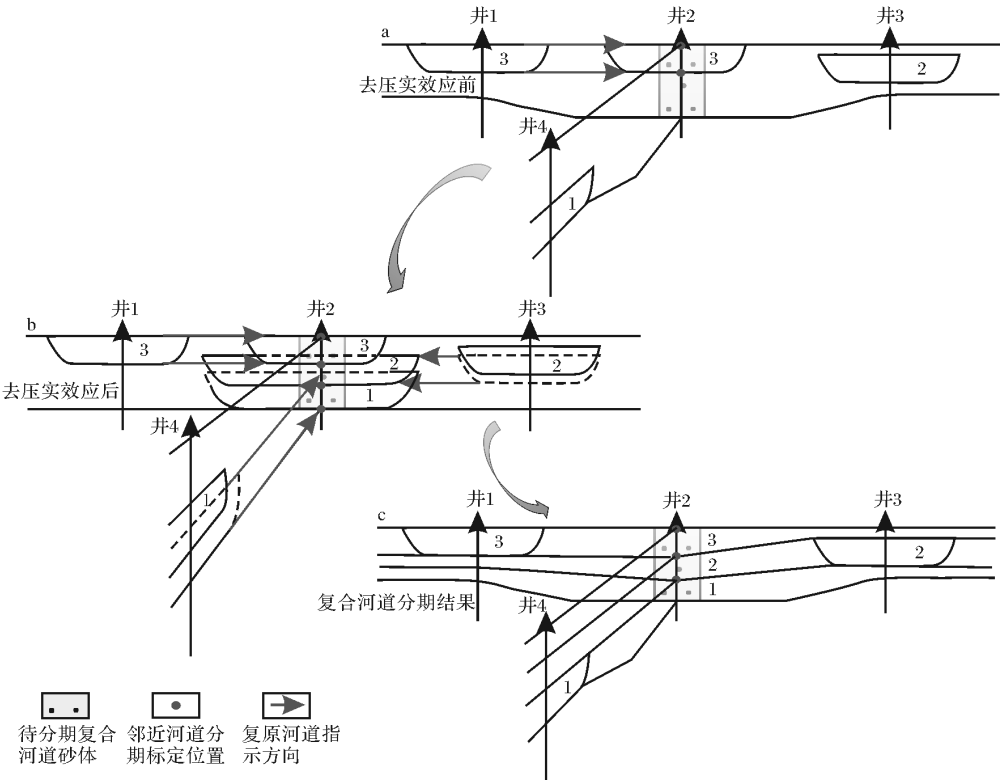


图 4 去压实过程与复合河道砂体分期原理模式图

a. 顶拉平去压实效应前; b. 利用松弛回弹法等厚拉伸恢复去压实后; c. 分期标定结果

Fig.4 Model diagram of staging calibration principle and removal compaction process

a. top leveled before removal compaction effect; b. the section after removal compaction effect by using relaxation-rebound method; c. staging calibration results



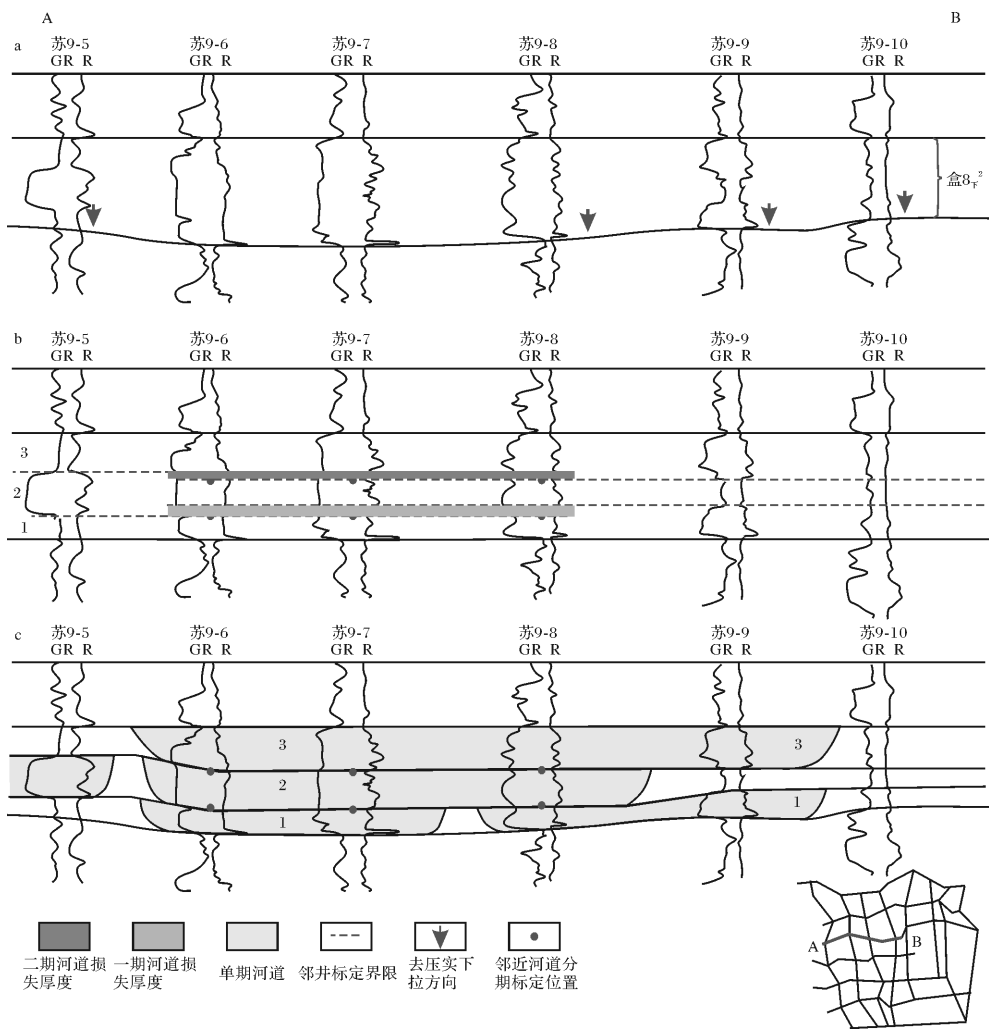


图 5 过苏 9-5—苏 9-10 井连井复合河道分期过程剖面图

Fig.5 The staging process of complex channels from Su9-5 Well to Su9-10 Well section

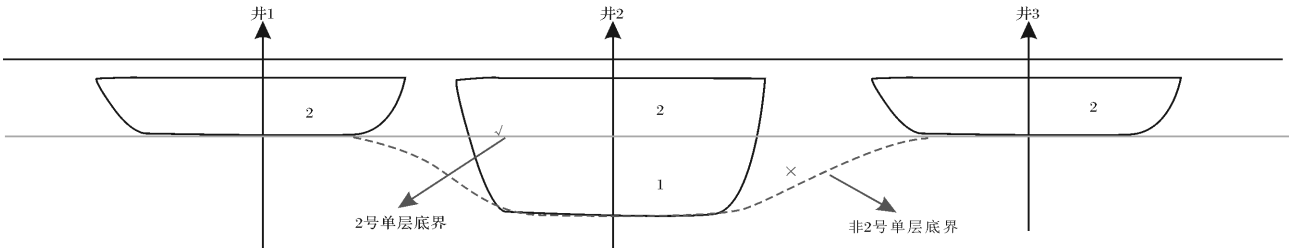


图 6 第 2 号单层底界正确与错误位置追踪对比模式

Fig.6 Right and wrong tracking methods of top-bottom from No.2 single bedding

(2) 连续取芯的相邻河床冲刷面限定法对识别的单期河道进行验证

充分利用连续取芯资料,对基于复合河道期次厘定结果进行验证,如图 7 所示,对研究区西部的苏 9-7 井前期分期结果进行标定。根据沉积发育规律,两期相互叠置的复合河道中,新河道对老河道一般存在不同程度的侵蚀冲刷作用,因此可以通过两期河道的冲

刷面来判别单期河道的规模。根据岩芯资料研究结果显示,苏 9-7 井 3 595.2 m 和 3 601.5 m 两处存在河道底砾冲刷现象,多为含砾中粗砂岩,且层理多为斜层理、平行层理和块状层理,中间岩性单一,层理构造相似,说明中间段为同成因的连续沉积,可以判断为同一期河道沉积产物。据此,基于上述标定结果,判定苏 9-7 井盒 8 下 2 亚段层段前期期次划分结果是合理的(图 7)。

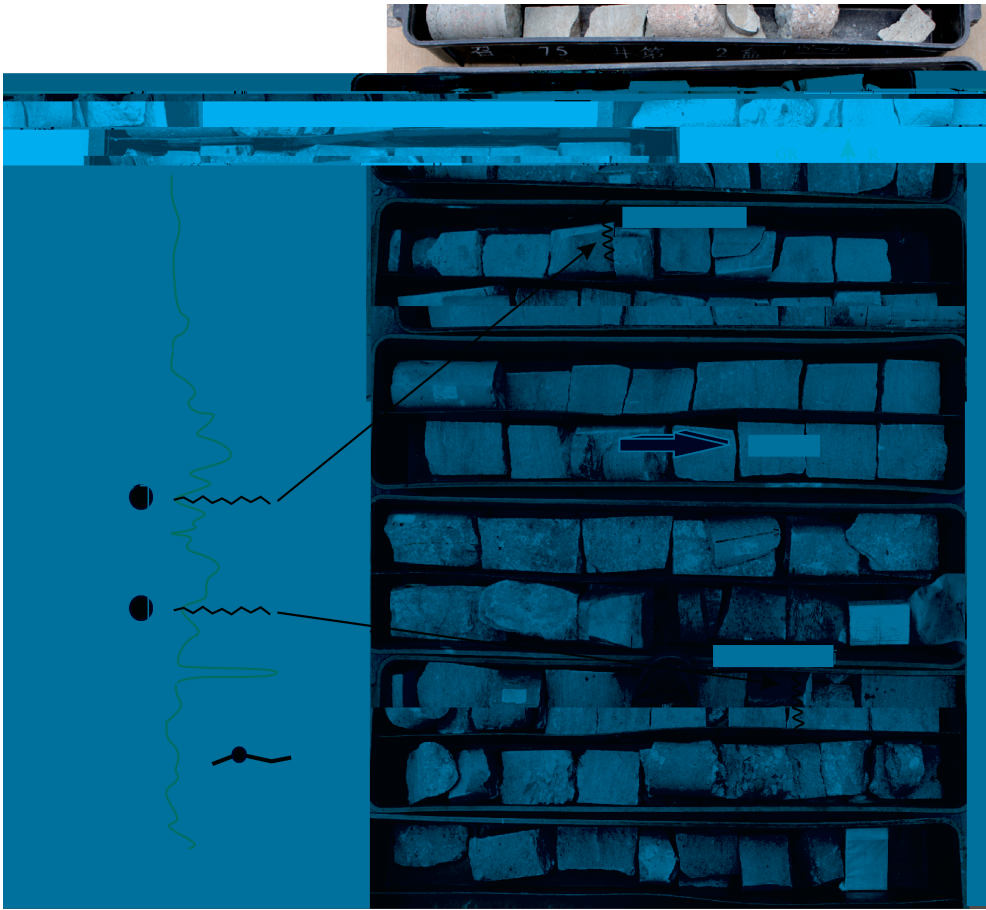


图 7 单期河道连续取芯验证

Fig.7 Verification according to continuous coring of single stage channel

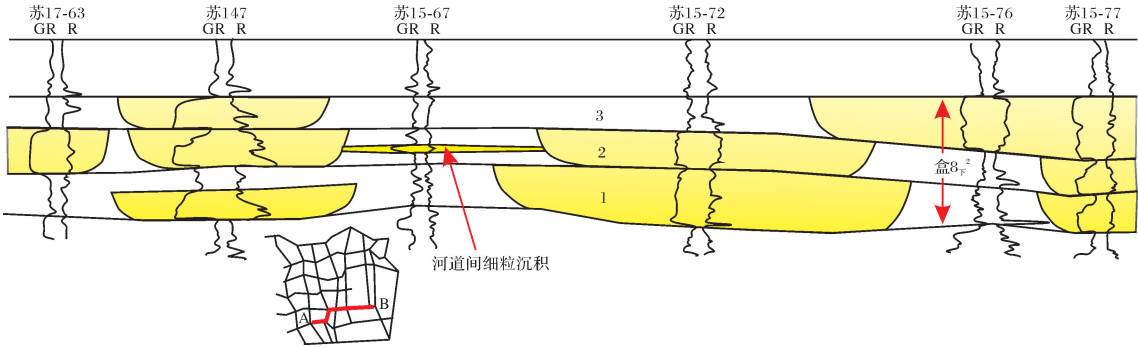


图 8 单一河道识别标志

Fig.8 Identification mark of single channel

3 单层单一河道识别

单层是小层单元的再次细分,相当于单期河道级别,是架构在单期河道基础上的地层单元划分,其强调各井之间单期河道—河间泥—单期河道之间对比的同期性,而单一河道强调的是单一河道平面展布特征,更强调的是平面层次的对比,另外,对于单期河道

而言,更强调的垂向概念,即将复合河道垂向分期,形成多个单期河道。

3.1 单一河道界定

单一河道间的漫滩泥质细粒沉积,是同期两支河道分开明显标志,如图 8 所示,苏 15-5 井第二个单层中钻遇的是河道间泥质细粒沉积,其两侧苏 17-4 井和苏 15-6 井分别钻遇的是河道砂岩,说明左右两支

河道到此尖灭消失,且分属两支不同的河道。因此,利用河道砂体间的泥质细粒沉积,可以辅助识别单一河道。

3.2 单层砂厚中心连线法辅助识别单一河道

以前期单层划分结果为基础,统计每口井单层的河道砂体厚度,注意是单期河道砂体厚度的统计,而非河间薄层砂的累计,即统计河道砂岩数据,然后将砂厚数据,按井点内插法成图。将等值线图上的砂厚中心按图 9a 方法进行圈定,然后将这些识别出的砂厚中心,按河流发育规律,采用“串珠法”依次连接起来,其形成的轨迹指示了河道延伸方向。产生上述认

识有基于如下事实:在辫状河沉积环境中,砂体累积厚度最大的地方为河床中心位置,且多由心滩构成。结合现代沉积模式也认知,心滩一般多位于辫状河道中心,且沿河道流向展布,另外,结合延安宝塔山典型辫状河野外露头(图 9c),也揭示了心滩整体呈丘形,在辫状河道中砂厚累积最大,是辫状河道中最主要的富砂部位,据此推断,按照上述方法,可以有效判断河道主流线。

根据砂厚中心连线法识别的河道主流线,结合单层单一河道识别方法,对盒 8 下 2 亚段 3 个单层的单一河道平面展布特征进行了分析,研究结果表明,盒

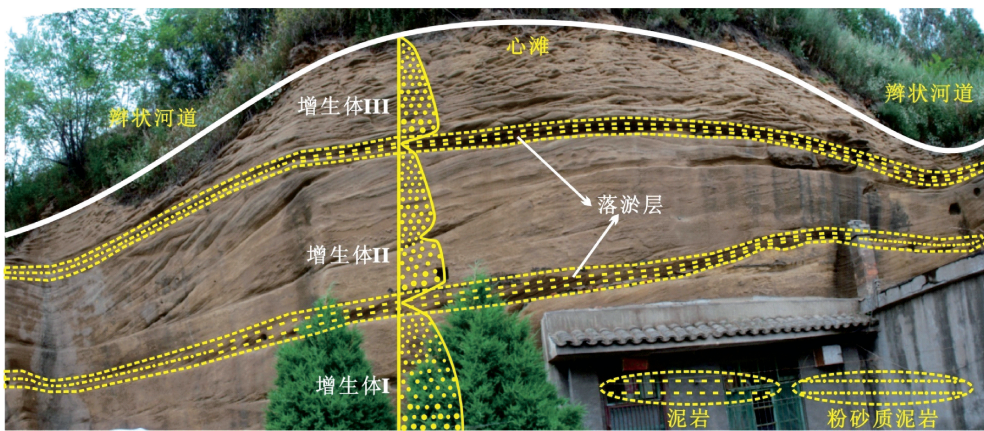
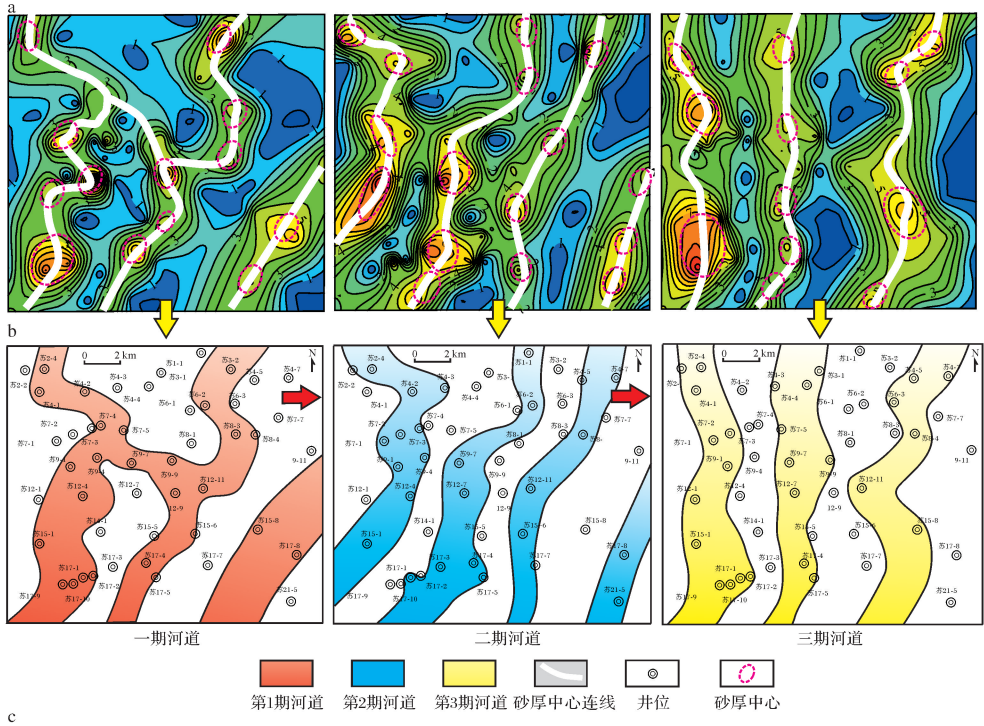


图 9 单层单一河道识别与辫状河心滩野外露头

a. 砂厚中心分布连线图; b. 单一河道平面展布图; c. 延安宝塔山辫状河剖面心滩内部结构

Fig.9 Identification and outcrop of single braided channel from single bedding

a. Wiring diagram of sand thickness center; b. Distribution map of single channel; c. the channel bar inner-structure from Yan'an Pagoda Hill outcrop



8 下 2 亚段地层单元 1 号和 3 号层在平面上主要发育 3 支河道,且自北北东→南南西向,而 2 号层则可识别出有 4 支河道,且流向与另外两个单层相同(图 9b)。

4 动态资料验证

苏里格气田实践证明,干扰试井是检验河道砂体间连通性较为有效的手段,其原理主要是:如果能在观测井中录取到一个从激动井传播过来的“干扰压力”,则说明两口井钻遇的砂体是连通的。在激动井激动时,由于压力在储层中传递时需要时间,因此激动与干扰压力的传递需要时间差,即存在“滞后效应”,见图 10 I,这个滞留时间的长短与储层参数(渗透率 K,井距等)成反比<sup>[21]</sup>。研究区井距一般多为 1 km 左右,实践经验表明,滞留时间按这个井距干扰压力间传递大约需 4~5 天。

盒 8 下 2 亚段层段单期河道—气藏复合剖面分析初步结果揭示,苏 9-1 井和苏 10-1 井第 3 期河道连通且气藏连续性较好,而在苏 9-3 井之间,第 3 期河道尖灭,气层不连续,在苏 9-1 井和苏 9-3 井第二期河道则是连通的(图 10 V),为了验证上述结论,借助干扰试井方法验证其可靠性。干扰试验总共采用 3 种激动监测方式,分别是苏 9-3 井和苏 10-1 井同时

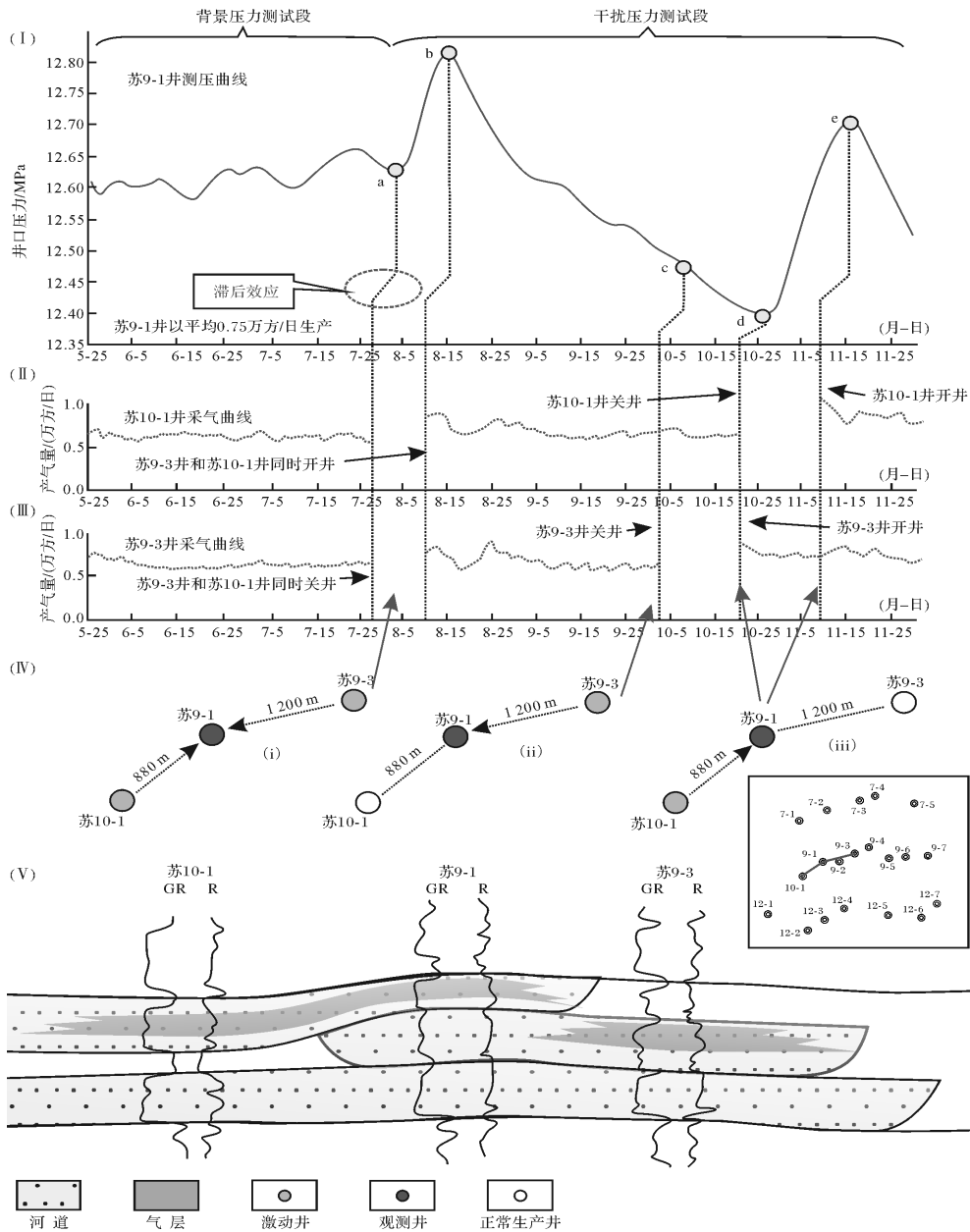


图 10 苏 10-1 和苏 9-3 井开关井时苏 9-1 井压力监测及苏 9-1 测试井组单期河道—气藏复合剖面  
Fig.10 Complex sections of single stage from testing well group Su9-1 Well, Su9-3 Well and Su10-1 Well



激动(图10Ⅳ(i)),苏10-1井单独激动(图10Ⅳ(ii))和苏9-3井单独激动方式(图10Ⅳ(iii))。

在测试前,要对苏9-1井预留大约两个月的时间,记录其背景压力,油田实践经验表明,如果压力值上下波动在 $\pm 0.1$  MPa之间时,该测量的压力值为该井的背景压力(图10Ⅰ),从5月25日~7月28日之间,所测得的井口压力便是背景压力。在7月28日当天,首先以苏9-1井位观测井,两侧邻井苏10-1和苏9-3井同时为激发井,同时关井,考虑激发存在滞留时间,在4天后,在苏9-1井监测到了井口压力值增加幅度达到了0.18 MPa,且呈线性上升(图10Ⅰ),连续观测15天,苏9-1井无任何递减趋势,然后在8月12日同时开井,观测到苏9-1井井口压力迅速递减,由此可以判断这两口激发井对苏9-1井有影响,但还不能确定是同时影响还是其中单独一口井产生的影响,为此,还需要进行下一步测试。在这两口激发井开井持续了一个月零21天之后,即在8月3日对苏9-1井东侧的苏9-3井单独关井,在充分预留17天的情况下(已远大于滞留时间),判定苏9-3井不存在对苏9-1井干扰(图10Ⅲ),因此,利用排除法,可以初步认定苏9-1井西侧的苏10-1井与该井是连通的。后续对d和e两点监测,结果也表明,通过关开苏10-1井,其对苏9-1井干扰明显(图10Ⅱ),从而印证了前面推测的结果,并进一步验证了干扰试井成果的可靠性。

## 5 多期辫状河道沉积过程重建

根据单期辫状河道主流线平面迁移规律的研究,来分析辫状河在不同沉积期,其河道平面迁移摆动特点;对单期河道纵向叠置关系分析,来揭示辫状河晚期河道使如何对早期河道切叠改造的。笔者本次试图从动态沉积演化角度,来重建复合辫状河道沉积演化史。

### 5.1 河道垂向叠置规律

将盒8下2亚段3个单层所揭示的河道按发育先后顺序依次叠置,叠置结果见图11,3期全部重叠的区域,主要分布在苏9-1井—苏12-2井—苏17-9井—苏17-4井区和苏12-11井—苏8-4井—一线展布,平面上呈豆荚状,揭示了该部位是砂体最为发育的区域;1期和2期叠置的区域,主要分布在苏12-4井—苏9-3井—苏4-2井—一线、苏15-6井区和苏17-8井区零散分布;1期和3期重叠区域主要分布在工区的南部,尤其在西南部,井钻遇率较高;2期和3期河

道叠置区域主要分布在苏7-2井区、苏12-7井区和苏4-6井区,呈条带状展布。从以上叠置结果来看,研究区中部是多期河道砂体发育的有利区,这些区域往往是多期河道叠置砂体最为发育的区域(图11)。

### 5.2 河道主流线迁移与演化规律

以刻画单层单期河道平面展布为基础,通过对单一河道主体部分,结合砂厚中心连线,将平面单一河道的主流线提取出来,分期提取结果见图12,总共识别出了4条河道主流线迁移情况,如蓝线指示①河道,在盒8下2亚段沉积期,有整体由东向西迁移摆动特点,尤其在苏7-4井处,摆动幅度最大,其中由于辫状河同期单河道在平面上可以有分叉也有合并现象,因此,在苏7-5井处,发生了河道的交叉现象,顺流向向右摆动,与②河道在苏12-9井处合并,之后河道大幅度向西摆动;黑线指示②河道,该河道在研究区上部摆动幅度较大,而在下部迁移规模较小,河道在此位置相对固定,值得注意的是,该河道在第3单层发育时,有两种可能,一种是河道废弃,演化终止,另外一种河道摆出研究区;绿线指示③河道,其整体有一直向东迁移摆动特点;紫色线指示④河道,在研究区揭示河段范围小,但就仅从揭示的范围看,其有向东迁移的趋势(图12,13)。

## 6 结论

(1) 采用“基于去压实效应邻井单期河道标定法”,对切叠较严重、且无法分期的复合辫状河道进行分期,然后利用连续取芯相邻冲刷面界定法对研究结果进行了验证,验证结果表明,采用“去压实效应邻井单期河道标定法”可以有效地识别和划分复合辫状河道砂体的期次,依据上述方法,将盒8下2亚段地层段内的复合辫状河道砂体分为3期。在进行复合辫状河道分期和单层构建过程中,考虑到压实作用会对分期结果造成很大的影响,本次采用“松弛回弹技术”对因泥岩段的大量压实造成的河道上提下拉作用进行了复位,提高了基于标志层顶拉平和高程差异等时对比有效性和准确性,避免了邻井间河道期次对比的误判。

(2) 单井点处单期河道纵向接触关系,按切叠程度,一般存在3种情况,分别是切叠较轻易识别型、切叠中等可识别型和切叠较重难识别型,对于第三种类型,是本次分期解剖的重点也是难点。对于辫状河型而言,采用单层“砂厚中心连线法”,结合复合辫状河道单期的厘定结果,有效地刻画和再现了单期河道主

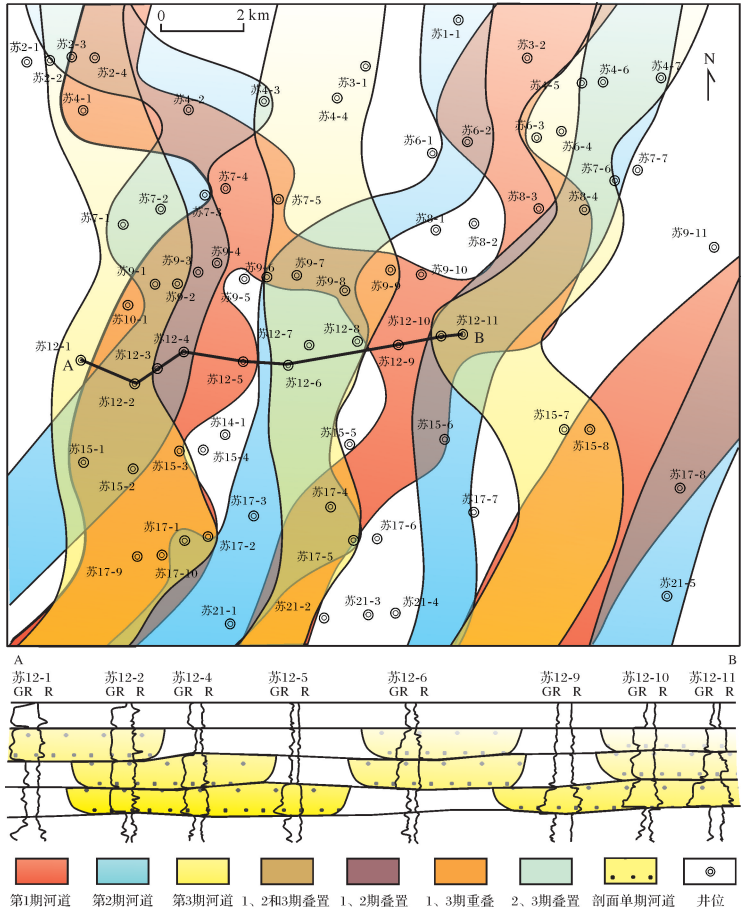


图 11 多期河道叠置图

Fig.11 Stacked map of multi-stage channels

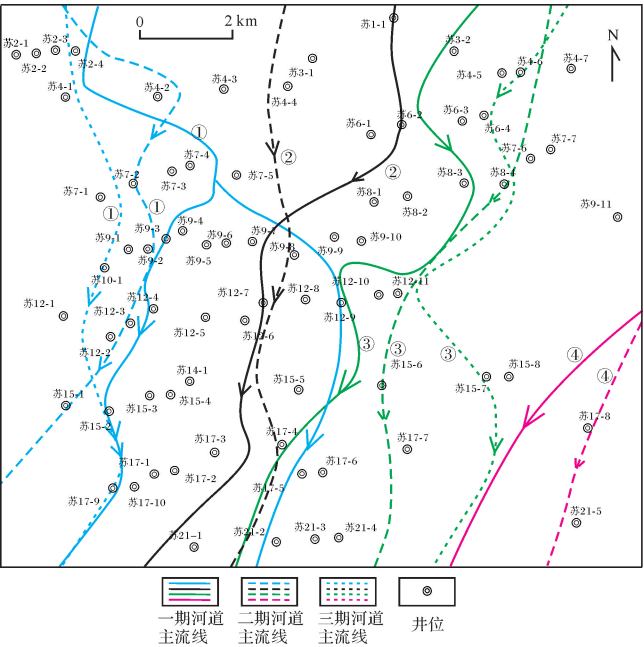


图 12 单期河道主流线迁移规律图解

Fig.12 Migration rule diagram of the mainstream line for single stage channels

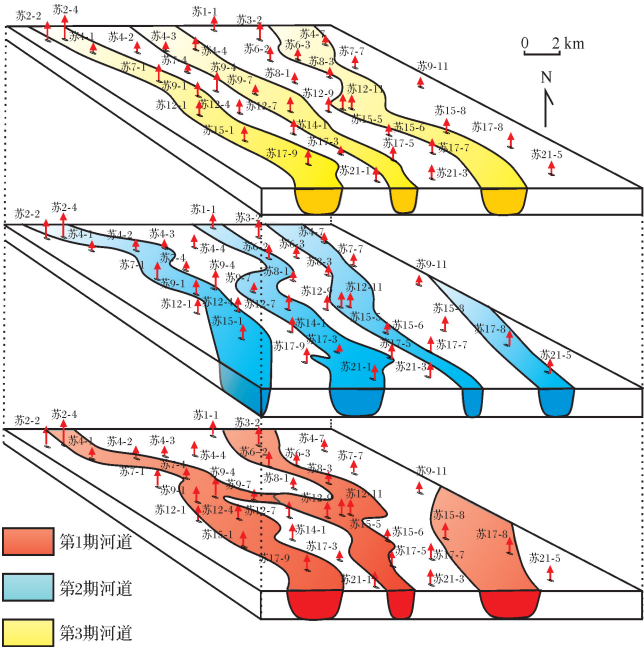


图 13 单层单一河道平面演化三维立体图

Fig.13 Three-dimensional map of channels plane evolution for single channel from single bedding

流线的空间展布特征。

(3) 通过干扰试井对研究结果进行验证,证实了复合辫状河道期次厘定与同期单河道平面展布预测结果是可靠的。

(4) 通过对相邻3个单层单期河道的叠置分析,揭示了流经研究区4条辫状单一河道沉积演化规律:第一条河道有整体由东向西迁移摆动特点,其中由于辫状河同期单河道在平面上可以有分叉也有合并现象;第二条河道有摆动相对静止特点;第三条河道整体有一直向东迁移摆动特点;第四条河道有向东迁移的趋势。

(5) 河道的多期河道迁移摆动结果,是砂体频繁切割和复杂化的主因,并揭示河道砂体叠置程度较深的区域,往往砂体越富集。

### 参考文献 (References)

- 1 吴胜和,岳大力,刘建民,等. 地下古河道储层构型的层次建模研究[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2008,38(增刊1):111-121. [Wu Shenghe, Yue Dali, Liu Jianmin, et al. Hierarchy modeling of subsurface palaeochannel reservoir architecture [J]. Science China (Series D): Earth Sciences, 2008, 38(Suppl.1): 111-121.]
- 2 Miall A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth-Science Reviews, 1985, 22(4): 261-308.
- 3 Miall A D. Architecture and sequence stratigraphy of Pleistocene fluvial systems in the Malay basin, based on seismic time-slice analysis[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(7): 1201-1216.
- 4 Neton M J, Dorsch J, Olson C D, et al. Architecture and directional scales of heterogeneity in alluvial-fan aquifers[J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, 64B(2): 245-257.
- 5 薛培华. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京:石油工业出版社, 1991:51-63. [Xue Peihua. Introduction of Reservoir Model about Meandering River Point Bar [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 51-63.]
- 6 刘建新,雍学善,吴会良,等. 苏里格气田盒8段地震多技术储层沉积相研究[J]. 岩性油气藏,2007,19(2):80-83. [Liu Jianxin, Yong Xueshan, Wu Huiliang, et al. Study on sedimentary facies by seismic multiple techniques in the eighth member of Shihezi Formation, Sulige gas field[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 80-83.]
- 7 文华国,郑荣才,高红灿,等. 苏里格气田苏6井区下石盒子组盒8段沉积相特征[J]. 沉积学报,2007,25(1):90-98. [Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Gao Hongcan, et al. Sedimentary facies of the 8th Member of Lower Shihezi Formation in Su6 area, Sulige gas field[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 90-98.]
- 8 白振华,詹燕涛,王赢,等. 苏里格气田苏14井区盒8段河流相砂体展布与演化规律研究[J]. 岩性油气藏,2013,25(1):56-62. [Bai Zhenhua, Zhan Yantao, Wang Ying, et al. Fluvial sand bodies distribution and evolution of He 8 Member in Su 14 block of Sulige gas field [J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(1): 56-62.]
- 9 刘钰铭,侯加根,王连敏,等. 辫状河储层构型分析[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(1):7-11,17. [Liu Yuming, Hou Jiagen, Wang Lianmin, et al. Architecture analysis of braided river reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum, 2009, 33(1): 7-11, 17.]
- 10 王改云,杨少春,廖飞燕,等. 辫状河储层中隔夹层的层次结构分析[J]. 天然气地球科学,2009,20(3):378-383. [Wang Gaiyun, Yang Shaochun, Liao Feiyan, et al. Hierarchical structure of barrier beds and interbeds in braided river reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 378-383.]
- 11 赵永强. 地下辫状河储层结构划分——以盘40块区馆Ⅲ<sup>7</sup>砂体为例[J]. 石油天然气学报,2010,32(1):51-53,11. [Zhao Yongqiang. Division of reservoir structure in underground braided river——A case study of GuanⅢ<sup>7</sup> sand body in block Pan 40[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(1): 51-53, 11.]
- 12 白振强. 辫状河砂体三维构型地质建模研究[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(6):21-24,3. [Bai Zhenqiang. Study on the 3D architecture geological modeling of braided fluvial sand-body [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2010, 32(6): 21-24, 3.]
- 13 刘钰铭,侯加根,宋保全,等. 辫状河厚砂层内部夹层表征——以大庆喇嘛甸油田为例[J]. 石油学报,2011,32(5):836-841. [Liu Yuming, Hou Jiagen, Song Baoquan, et al. Characterization of interlayers within braided-river thick sandstones: A case study on the Lamadian Oilfield in Daqing[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 836-841.]
- 14 张勇,国景星. 辫状河心滩特征及其与河道充填的识别——以大芦家地区馆三段为例[J]. 石油天然气学报,2011,33(10):25-29,165. [Zhang Yong, Guo Jingxing. Characteristics of channel island in braided river sedimentary facies and difference with channel filling——Taking Dalujia Ng<sub>3</sub> in linpan oilfield for example [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(10): 25-29, 165.]
- 15 刘钰铭,李园园,张友,等. 喇嘛甸油田密井网砂质辫状河厚砂层单砂体识别[J]. 断块油气田,2011,18(5):556-559. [Liu Yuming, Li Yuanyuan, Zhang You, et al. Identification of single sand body in thick sand layer of braided river under the condition of dense well pattern in Lamadian Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(5): 556-559.]
- 16 岳大力,赵俊威,温立峰. 辫状河心滩内部夹层控制的剩余油分布物理模拟实验[J]. 地学前缘,2012,19(2):157-161. [Yue Dali, Zhao Junwei, Wen Lifeng. Physical simulation experiment of remaining oil distribution controlled by interlayer within braided bar of braided river reservoir[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 157-161.]
- 17 郑超,李宝芳,温显端. 秦岭北麓晚二叠世平顶山段辫状河—辫状三角洲沉积体系及其构造涵义[J]. 现代地质,2003,17(4):415-420. [Zheng Chao, Li Baofang, Wen Xianduan. Depositional characteristics of the Late Permian braided channel-braided delta deposits in northern foothills of the Qinling Mountains, China [J]. Geoscience, 2003, 17(4): 415-420.]



- 18 于兴河,王德发,郑浚茂,等. 辫状河三角洲砂体特征及砂体展布模型——内蒙古岱海湖现代三角洲沉积考察[J]. 石油学报, 1994, 15(1): 26-37. [Yu Xinghe, Wang Defa, Zheng Junmao, et al. 3-D extension models of braided deltaic sandbody in terrestrial facies——An observation on deposition of modern deltas in Daihai Lake, Inner Mongolia[J]. Acta Petrolei Sinica, 1994, 15(1): 26-37.]
- 19 廖保方,张为民,李列,等. 辫状河现代沉积研究与相模式——中国永定河剖析[J]. 沉积学报, 1998, 16(1): 34-39, 50. [Liao Baofang, Zhang Weimin, Li Lie, et al. Study on modern deposit of a braided stream and facies model——Taking the Yongding River as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(1): 34-39, 50.]
- 20 葛云龙,逄径铁,廖保方,等. 辫状河相储集层地质模型——“泛连通体”[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(5): 77-79, 5-6, 13. [Ge Yunlong, Lu Jingtie, Liao Baofang, et al. A braided river reservoir geological model——“pan-communicated sandbody”[J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(5): 77-79, 5-6, 13.]
- 21 叶小闯,魏克颖,吕亚博,等. 苏里格气田苏14区块加密井区干扰试井研究[J]. 石油化工应用, 2011, 30(9): 48-55. [Ye Xiaochuang, Wei Keying, Lü Yabo, et al. Research of interference well testing from encryption well area of Su14 block in Sulige gas field[J]. Petrochemical Industry Application, 2011, 30(9): 48-55.]

## Single Stage and Sedimentary Evolution Process Analysis of Braided River: A Case from SuX block of western Sulige gas field in Ordos Basin

SHAN JingFu<sup>1</sup> ZHANG Bin<sup>1</sup> ZHAO ZhongJun<sup>2,3</sup> LI FuPing<sup>2,3</sup> WANG Hui<sup>4</sup> WANG Bo<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, MOE, Yangtze University, Wuhan 430100;

2. Research Center of Sulige Gas Field, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an 710018;

3. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an 710018;

4. First Oil Production Plant in Xinjiang Oilfield, Karamay, Xinjiang 834000)

**Abstract:** Currently, Sulige gas field is in increasing production stage, the reservoir of He8 member in Permian are more and more complex with the rolling exploration in progresses. Originally one well drilled into a thick channel sandbody, but the one of neighboring well was instead of inter-channel mudstone. The characteristics of fast facies transition have brought great challenges for large-scale implementation of horizontal wells. In fact, the main reason is that the overlay rules of sandbody are not clear. The reason of sandbody was not single stage, but multi-stage. The multi-causes, multi-stage and criss-cross stacked channel sandbodies in space were the main reasons which took shape the huge thick braided river sandbody. The center often is made of multi-stage channel sandbodies.

The Suxi block in Sulige gas field has been researched by predecessors who concluded that He8 member mainly developed braided river, and the result has been achieved wide recognition. The target bed thickness generally is 15~20 m. The study area located between the southeastern Su48 block and the northeastern Su47 block whose area is about 627 km<sup>2</sup>. The core and drilling well data can not only show the underwater deposition, but also no obvious delta front sedimentary, and the lower He8<sub>2</sub> sub-member mainly developed braided river deposits. The division time of stage is actually a part of the reservoir configuration. According to the previous configuration theory, braided river reservoir architecture can be divided into four levels (composite channel, single channel, channel bar, hyperplasia body), this study belong to the second level. The braided river of sedimentary micro-facies belongs to level, therefore, the identification of single stage river, compound, and sedimentary evolution analysis from composite channels can be researched based on the result of sedimentary micro-facies.

It is always the emphasis and difficulty of single stage fluvial sandbodies from composite braided riverway in reservoir architecture. Especially, it is the most difficult at the aspect of single stage identification and combinations from multi-stage stacked sandbodies, and the evolution of sedimentary braided river was finished. In the process of the research, the complex river stages were divided through continuous cores verification and “single stage calibration method based on removal compaction effects”, the riverways had been reset by “relaxation rebound techniques” based on removal compaction effects. The single stage riverway were tracked and compared after using “the sand thickness center line connecting method” based on modern sedimentary and geological models and theories, then, the results were

confirmed by interference well testing which can confirm that the time of stage redefinition and the predicted results were reliable. Based on above the evolution and sedimentary history was researched according to the order of sedimentary development. The research result show that these research methods will help to reveal stacked sands, improve the rate of sand drilling, and it is also convenient to carry out large-scale deployment and post-horizontal well geosteering operations and to provide a theoretical basis so on for oil production practice simultaneously.

**Key words:** braided river; western Sulige gas field; composite braid riverway; single stage riverway; sedimentary evolution process

## 《沉积学报》开通微信公众平台

微信作为一种新型通信工具,首次将通信、社交及平台综合到一起,业已成为当前应用最广泛的移动互联网媒体。《沉积学报》2014年10月正式开通期刊微信公众平台,本刊借助微信这一优势,将期刊论文元数据导入微信管理后台,形成了具有学术期刊特色的互联网移动平台——《沉积学报》微站,其拥有一下功能:



- 1.稿件查询:作者可随时查询稿件处理进度;
- 2.网刊阅读:通过微站的当期目录、过刊目录、论文检索等功能,读者可选择多种浏览模式进行摘要和HTML全文浏览;
- 3.引用排行:可查看本刊每年被引次数前10名论文名单;
- 4.动态信息:可及时了解本刊发布的重要信息;
- 5.通过回复功能,为作者、读者、编者三者之间搭建了信息交流及共享的平台。

《沉积学报》微站的开通,不仅拓展了本刊学术交流的窗口,也为互联网在本刊的应用上开辟了一条新渠道,欢迎关注。