

# 砂质辫状河储层隔夹层分布模式及其 对边底水运移的影响

## ——以南苏丹P油田Fal块为例

王敏<sup>1</sup>, 赵国良<sup>1</sup>, 冯敏<sup>1</sup>, 黄奇志<sup>1</sup>, 张元福<sup>2\*</sup>, 江艳平<sup>3</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;  
3. 中国石油大港油田分公司 勘探开发研究院, 天津 300280)

**摘要:** 基于野外露头与南苏丹P油田Fal块砂质辫状河储层的地质特征对比, 选取山西省大同市吴官屯砂质辫状河露头剖面为原始模型, 通过实测地质剖面记录的方法对其进行详细解剖, 明确砂质辫状河储层中隔夹层的成因类型, 建立隔夹层分布模式, 并以此为指导分别从隔层和夹层的角度, 对Fal块边底水油藏中水体的运移规律进行研究。结果表明, 砂质辫状河储层中发育河底滞留泥砾沉积、废弃河道细粒沉积、泛滥平原细粒沉积、落淤披覆泥沉积和侧积泥沉积共5种成因类型的隔夹层。以单期砂质辫状河河道为基本单元, 建立隔夹层分布模式, 即废弃河道细粒沉积与河道砂体互相叠置; 泛滥平原细粒沉积向河道外侧不断延伸; 落淤披覆泥、侧积泥和河底滞留泥砾沉积受后期冲刷改造充填于河道砂体内部。基于建立的砂质辫状河储层隔夹层分布模式, 指出Fal块砂质辫状河储层中以泛滥平原细粒沉积为主的隔层分布是影响底水突进程度的主要因素, 夹层发育频率越高对边水的遮挡作用越强。

**关键词:** 辫状河 隔夹层 成因类型 分布模式 边底水运移 南苏丹P油田

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2017)02-0008-07

## Distribution pattern of intercalations and its impact on migration of edge and bottom water in sandy braided-river reservoirs— A case study of Fal structure in P Oilfield, South Sudan

Wang Min<sup>1</sup>, Zhao Guoliang<sup>1</sup>, Feng Min<sup>1</sup>, Huang Qizhi<sup>1</sup>, Zhang Yuanfu<sup>2</sup>, Jiang Yanping<sup>3</sup>

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing City, 100083, China; 2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing City, 100083, China; 3. Exploration & Development Research Institute, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin City, 300280, China)

**Abstract:** Based on the comparison of outcrops and underground depositions of Fal structure in P Oilfield, South Sudan, outcrops of sandy braided-river reservoirs, found in Wuguantun, Datong City of Shanxi Province, were taken as a prototype model to be analyzed in detail through measuring and recording the actual geological profiles. The genetic types and distribution patterns of intercalations were recognized and summarized. On this basis, the impacts of restraining barrier and intercalation on the migration of edge and bottom water in the target area were discussed. The results show that there are five types of intercalations according to the genesis, including channel lag muddy gravel, fine-grained sediments of abandoned channel, fine-grained sediments of flood plain, fallen-silt overlaid mud and lateral accretion mud. Taking one single braided channel as the basic unit, the distribution patterns of intercalations were established, which are characterized as fine-grained sediments of abandoned channel superimposed with braided sandbodies, fine-grained sediments of flood plain ex-

收稿日期: 2016-12-12。

作者简介: 王敏(1981—), 女, 河北保定人, 工程师, 在读博士研究生, 从事油气田开发地质研究工作。联系电话: (010)83595801, E-mail: wangmin1604@petrochina.com.cn。

\*通讯作者: 张元福(1979—), 男, 吉林辽源人, 副教授, 博士。联系电话: (010)82336594, E-mail: zyf@cugb.edu.cn。

基金项目: 中国石油科技重大专项“南苏丹3/7区大型层状砂岩油藏控水稳油综合调整研究”(2016D-4401)。



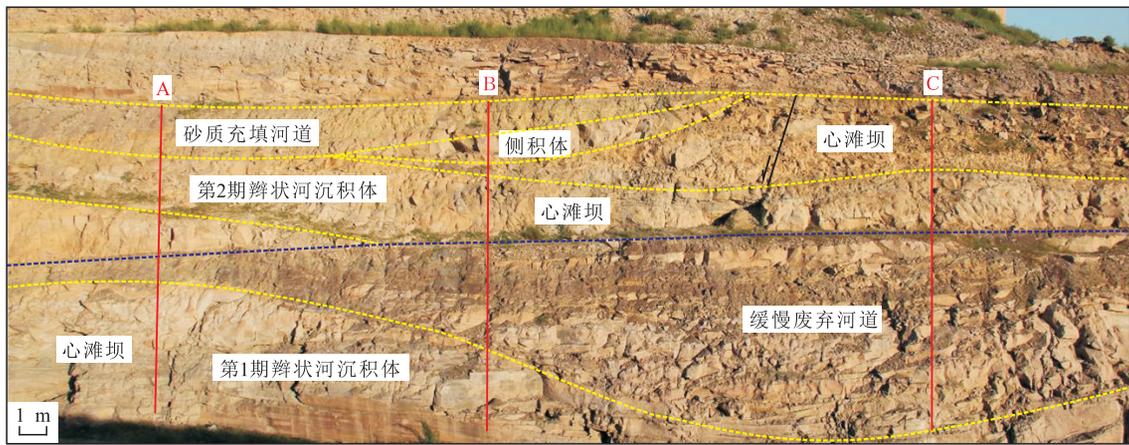
为15 m,露头区单一期次砂体的平均厚度约为10.1 m。依据Miall关于辫状河的分类标准,研究区与原始模型区均属常年流水的深河型砂质辫状河<sup>[14-15]</sup>,故将该露头区作为P油田Fal块的原始模型区进行研究。

山西省大同市云岗镇云冈石窟景区附近出露4条连续性较好的砂质辫状河沉积剖面,分别为石窟剖面、晋华宫剖面、铁路桥剖面和吴官屯剖面;其宽度和厚度规模依次为1 500 m×45 m,350 m×10 m,500 m×5 m和240 m×15 m;其中,前3条剖面与古水流方向近垂直,第4条剖面与古水流方向斜交。前人曾对前3条剖面进行详细研究,而吴官屯剖面为2009年开凿309市道时才得以出露,研究较少。因此,笔者选取吴官屯侏罗系砂质辫状河野外露头剖面为研究对象,其走向为北东—南西向,平均方位

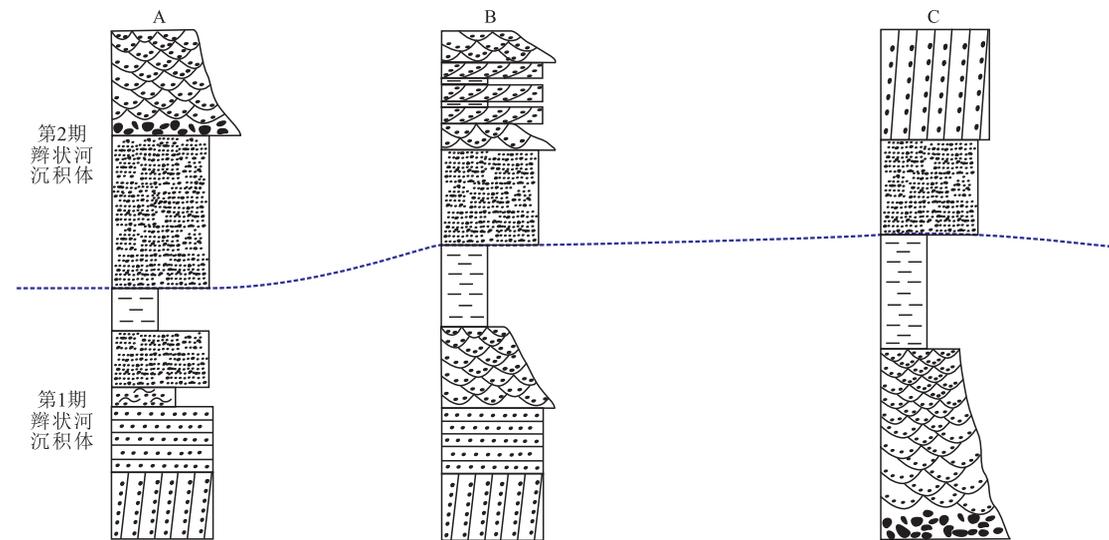
为50°~230°。该剖面最大可见范围为240 m,厚度约为15 m,揭示的岩性、沉积构造、沉积微相类型较多,砂体形态完整。

### 2.1 野外露头区岩相特征

吴官屯剖面中的砂质辫状河河道顶平底凸,发育泥质充填或泥质半充填沉积物。心滩坝呈底平顶凸,内部发育板状交错层理,规模较辫状河河道大,隔夹层发育明显。岩性以中细砂岩—粗砂岩、细砾岩为主,占出露剖面岩石类型的75%以上,还发育部分薄层泥岩。选取吴官屯剖面的一段进行近距离观测,发现剖面沉积物粒度普遍较粗,以含砾中—粗砂岩为主,岩石成分成熟度和结构成熟度中等偏低。依据Miall对河流相储层岩相的划分方案<sup>[14-15]</sup>,对吴官屯剖面共识别出8种岩相,按0.5 m×0.5 m绘制岩相剖面(图2)。



a—野外露头剖面



b—典型岩相剖面

- ▨ 平行层理砂岩    ▨ 块状层理砂岩    ▨ 下截型板状交错层理砂岩    ▨ 槽状交错层理砂岩    ▨ 沉积相界线
- ▨ 块状层理砾岩    ▨ 块状层理泥岩    ▨ 下切型板状交错层理砂岩    ▨ 流水砂纹层理砂岩    ▨ 沉积期次界线

图2 吴官屯侏罗系砂质辫状河野外露头及典型岩相剖面

Fig.2 Outcrops and lithofacies profiles of Jurassic sandy braided-river in Wuguantun

分析吴官屯侏罗系砂质辫状河典型岩相剖面,发现剖面中发育2期辫状河沉积体,自下而上分别命名为第1期和第2期辫状河沉积体。2期辫状河沉积体之间发育薄层泛滥平原沉积物,厚度约为0.2 m。在2期辫状河沉积体内部发育的心滩坝多呈底平顶凸形态,以发育块状和下截型板状交错层理的中—粗砂岩为主,反映为垂积作用,无明显韵律。河道底部见滞留泥砾沉积,向上过渡为槽状交错层理中—粗砂岩,局部可见平行及水平层理中—

细砂岩,反映河道下切、迁移并迅速充填。典型岩相剖面中的A剖面下部心滩坝内部发育薄层落淤沉积物,厚度约为0.3 m;B剖面上部边滩沉积自下而上发育滞留泥砾、槽状交错层理中—粗砂岩、下切型板状交错层理中砂岩、薄层泥岩等,为典型河道侧向加积产物夹薄层侧积泥沉积;C剖面下部泥质半充填河道反映河道迁移后携水量下降,导致细粒悬浮沉积物充填。吴官屯侏罗系砂质辫状河典型岩相剖面中各岩相类型及沉积成因解释见表1。

表1 吴官屯侏罗系砂质辫状河典型岩相剖面岩相类型及沉积成因解释

Table1 Lithofacies types and genetic explanations of typical Jurassic sandy braided-river profiles in Wuguantun

岩 相 类 型	沉 积 成 因 解 释	发 育 位 置
平行层理中—细砂岩	河道冲刷后的堆积作用形成	河道
块状层理细—粗砂岩	机械分异的垂积作用形成	心滩坝
下截型板状交错层理中—粗砂岩	心滩坝内部砂体垂积作用形成	心滩坝
下切型板状交错层理中—粗砂岩	河道内部砂体侧积作用形成	边滩
槽状交错层理中—粗砂岩	河道的冲刷、充填作用形成	河道
块状层理砾岩	河道冲刷上1期泥质沉积物形成	河道底部
流水砂纹层理细砂岩	小型砂纹迁移形成	河道、心滩坝、边滩
块状层理泥岩	水动力条件减弱,细粒悬浮物垂积、填积作用形成	边滩侧积砂体之间、心滩坝堆积砂体之间、河道、泛滥平原

## 2.2 隔夹层成因类型

对于碎屑岩的沉积方式,裘亦楠等将其归纳为8种类型,分别为侧积、垂积、前积、填积、悬积、浊积、漫积和筛积<sup>[16-17]</sup>,不同沉积方式形成沉积砂体的形态、结构不同,砂体内部泥质隔夹层产状亦差别较大,但目前还未形成统一的隔夹层成因分类方案。笔者通过对野外露头的精细观察与分析,认为吴官屯砂质辫状河露头剖面的隔夹层主要为粉砂质、泥质沉积物;结合砂质辫状河沉积作用机理分析,以单一期次辫状河河道为基本单元,依据隔夹层发育位置及形态,将其分为5种不同成因类型,分别为河底滞留泥砾沉积、废弃河道细粒沉积、泛滥平原细粒沉积、落淤披覆泥沉积和侧积泥沉积(图3)。

**河底滞留泥砾沉积** 河底滞留泥砾沉积发育于河道底部,代表河道侧向迁移过程中侵蚀泛滥平原沉积形成的滞留沉积物,呈透镜状产出(图3a)。主要由砂岩和压扁泥砾碎屑组成,无层理构造。野外露头显示河底滞留的泥砾富集层最大厚度达1.9 m,最小厚度小于0.2 m,宽度约为45 m。另外一些规模较小的泥砾层多出现在大型槽状交错层理系的底部,呈孤立状分布。

**废弃河道细粒沉积** 废弃河道细粒沉积主要包括泥质充填或泥质半充填废弃河道和沟道细粒

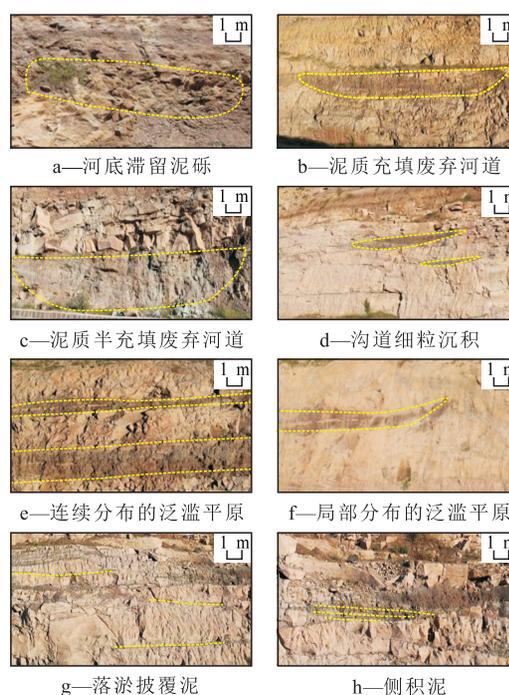


图3 吴官屯侏罗系砂质辫状河野外露头剖面泥质隔夹层照片

Fig.3 Photos of intercalations in Jurassic sandy braided-river outcrops in Wuguantun

沉积充填,相当于Ranie等称为的泥塞,主要为河道废弃后水动力变弱,悬浮细粒沉积物垂积或填积作用而成<sup>[16-17]</sup>。快速废弃时以沉积悬移质为主,间歇性慢速废弃时可夹杂一些砂屑沉积物;该类细粒沉

积物外形类似于原始河道或沟道(图3b,3c),其中废弃河道的最大宽度为河道深泓宽度,最大延伸长度可达砂质辫状河道的整个流程。野外露头显示,废弃河道细粒沉积的岩性主要为含粉砂泥岩和含泥粉砂岩,具有波状层理和平行层理,测量泥质充填河道宽度为12~30 m,厚度为1.5~4.9 m。沟道细粒沉积为洪水期水体漫过心滩坝且相对稳定时,坝体顶部的小型冲沟接受悬浮细粒沉积物而形成;平面上呈不连续的条带状零散分布,剖面上呈顶平底凸形态(图3d),厚度为2.2~3.9 m,宽度为9~45 m,宽厚比较小,一般约为5~11。

**泛滥平原细粒沉积** 泛滥平原细粒沉积是河水漫过堤岸,远离河道,流速下降,悬移质卸载而成,即主要为漫积成因<sup>[16-17]</sup>。其沉积物以粉砂岩和泥岩为主,具有波状层理和块状层理,可见泥裂和植物根系,偶有古土壤(图3e,3f)。野外露头显示层间连续分布的泛滥平原细粒沉积物的厚度约为0.2~1.3 m,局部分布厚度可达12 m。

**落淤披覆泥沉积** 落淤披覆泥沉积为洪泛衰落期在心滩坝顶部、边部、背水面尾部经垂积作用形成的近平行或倾斜的细粒沉积物<sup>[17-18]</sup>。其发育若靠近心滩坝中部则近于水平,若靠近心滩坝边部则有一定倾角(图3g),但一般低于 $20^{\circ}$ <sup>[18]</sup>;落淤披覆泥沉积的厚度较薄,一般小于1 m,大多为0.3~3 m,宽度多为20~110 m,延伸范围不超出心滩坝。

**侧积泥沉积** 由于地形变缓或心滩坝发育导致砂质辫状河河道出现一定的曲率,使侧积作用发生于砂质辫状河沉积体中,特别是在心滩坝的侧缘可发现侧积体和侧积泥的存在<sup>[11,16]</sup>。侧积泥沉积主要指分布于侧积砂体内的不连续的薄泥质夹层,其形成于2次洪泛沉积事件之间,披覆于心滩坝侧积面上,与砂体区域性层面成一定的交角产状,代表侧积作用暂时停止期悬浮沉积物的垂积作用<sup>[16]</sup>。在快速沉积条件下,侧积泥沉积可以完整的保存于砂体内部,否则可能由于干裂、破碎,被下期洪泛冲走而未保存,亦或由于侧积坡度的存在,在重力作用下发生滑移,从而形成滑塌构造。野外露头可见少量侧积泥沉积分布,主要由粉砂岩、泥岩及炭质泥岩组成,呈“S”型披覆于心滩坝侧缘,向上、下分别收敛于层系界面,但上部往往被侵蚀,仅保存向下收敛部分(图3h);侧积泥沉积的厚度较小,约为1~2 mm,其岩性与侧积砂体岩性差别明显,非渐变关系。

### 2.3 隔夹层分布模式

砂质辫状河储层发育的5种隔夹层在辫状河河

道沉积单元中具有特定的发育位置,河底滞留泥砾沉积分布于整个河道底部和心滩坝内部的垂积面上,呈透镜状,其沉积最大厚度受河流最大冲刷深度限制,最大宽度及长度分别受控于主流河道的宽度和长度;废弃河道细粒沉积发育于废弃河道顶部,平面上呈条带状,剖面上呈透镜状,其发育规模受废弃主流河道的限制;泛滥平原细粒沉积是单期河道沉积结束最终覆盖于河道之上的岩相单元,平面上呈不规则片状展布;落淤披覆泥沉积发育于辫状河心滩坝内部加积面之下,具有明显的期次性,呈菱形或椭圆形薄片状,其发育规模受心滩坝规模控制;侧积泥沉积侧向叠置于河道与心滩坝转换处,其发育规模亦受心滩坝规模控制。在砂质辫状河沉积漫长的演化过程中,5种成因类型的隔夹层相互叠置。其中,废弃河道细粒沉积与河道砂体互相叠置,泛滥平原细粒沉积向河道外侧不断延伸,落淤披覆泥、侧积泥和河底滞留泥砾沉积受后期河道的冲刷改造,完整或部分充填于河道砂体内部,形成砂质辫状河独特的隔夹层分布模式(图4)。

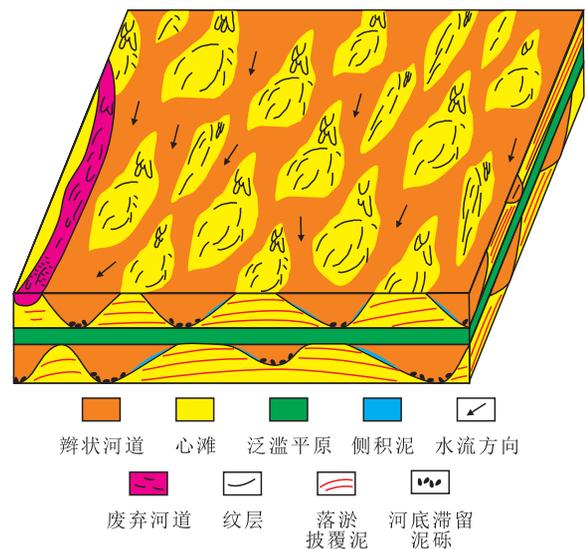


图4 砂质辫状河储层隔夹层分布模式

Fig.4 Distribution patterns of intercalations for sandy braided-river reservoir

泛滥平原细粒沉积是砂质辫状河储层中最主要的隔层类型,基于前人研究成果<sup>[5]</sup>及野外露头剖面观察结果,认为泛滥平原细粒沉积的分布模式有层间连续分布和层间断续分布2种类型。其中,层间连续分布的泛滥平原细粒沉积分布稳定,厚度为0.2~1.3 m,砂体叠置形式为垂向不连通的层状孤立式;对于层间断续分布的泛滥平原细粒沉积,当2期河道侧向叠置时,泛滥平原细粒沉积局部分布于2期河道沉积之间并逐渐尖灭(图3)。而河底滞留泥砾沉积、落淤披覆泥沉积、废弃河道细粒沉积和

侧积泥沉积等是砂质辫状河储层中重要的夹层类型,其整体发育规模较小、连续性差。

### 3 隔夹层对边底水运移的影响

P 油田 Fal 块主力储层 Yabus 砂组属于边底水油藏,影响该类油藏边底水突进的地质因素主要为河流的沉积作用<sup>[17]</sup>,包括沉积砂体的物性差异和砂体内部隔夹层的发育规模、频率等。一般河道砂体与心滩坝主体的渗透性较好,储层内部发育的隔夹层是导致不同井区生产井来水方向不同和水淹速度差异的主要影响因素。基于单井隔夹层识别结果,确定研究区隔层主要为泛滥平原泥质沉积,单井钻遇率超过 95%,井间可对比性好;而夹层则包括废弃河道细粒沉积、落淤披覆泥沉积、侧积泥沉积和河底滞留泥砾沉积等,其分布范围相对较小,井间可对比性差,单井钻遇率小于 60%。

#### 3.1 隔层对边底水运移的影响

研究区目的层段隔层沉积范围较大、厚度较大,其分布模式是影响底水突进程度的最主要因素。研究区砂质辫状河储层中隔层的定量表征结果表明,Yabus 砂组隔层发育较连续,泛滥平原泥质沉积的范围较大,可以有效阻挡底水突进和层间边底水的互相转化,仅在部分地区存在隔层空洞,这些空洞成为层间流体转移的通道,一方面有利于底水驱动底层原油向上运移,另一方面底水进入上层形成次生边水;Samaa 砂组隔层不发育,砂体连续性

好。依据研究区隔层的发育规模和分布特征,将其分布模式分为 2 种类型:①较稳定分布隔层,分布范围占研究区面积的 60% 以上;②欠稳定分布隔层,分布范围小于 40%。

Yabus 砂组各段砂体间发育较稳定隔层,生产井射孔层段基本不受底水的影响,边水主要沿层推进,因此边部水淹程度较高。当各段砂体之间的隔层发育不稳定时,会出现隔层空洞,如 Yabus VIII 与 Samaa I 段、Yabus VII 与 Yabus VIII 段(图 1)。以射孔层段位于 Yabus VII 段的 FH25 和 FS34 井为例,随着底水穿过 FI25 井区的隔层空洞从 Samaa 砂组上窜至 Yabus VIII 段,又经 FI23 井区隔层空洞上升至 Yabus VII 段,形成的次生边水导致 FH25 和 FS34 井区严重水淹。而 Samaa 砂组发育欠稳定分布隔层,底水直接沿生产井锥进,造成油井暴性水淹。

#### 3.2 夹层对边底水运移的影响

由于发育规模、频率不同,夹层对边底水的遮挡作用也不同,且夹层发育越多油水运动越复杂。对 Yabus 砂组层状边水油藏而言,由于泛滥平原泥质沉积隔层的隔挡作用,油藏主要受原生边水与次生边水突进影响,而边水主要沿高渗流带流动,遇夹层受阻后,向夹层不发育区转向(图 5)。不同成因类型夹层对水体的遮挡作用没有明显区别,夹层发育频率越高,其对边水的遮挡作用越明显。如夹层发育频率较高的 FH31 井区比夹层发育频率低但发育规模大的 FG28 井区的综合含水率上升速度明显降低,FG28 井的综合含水率从投产初期的 0.63%

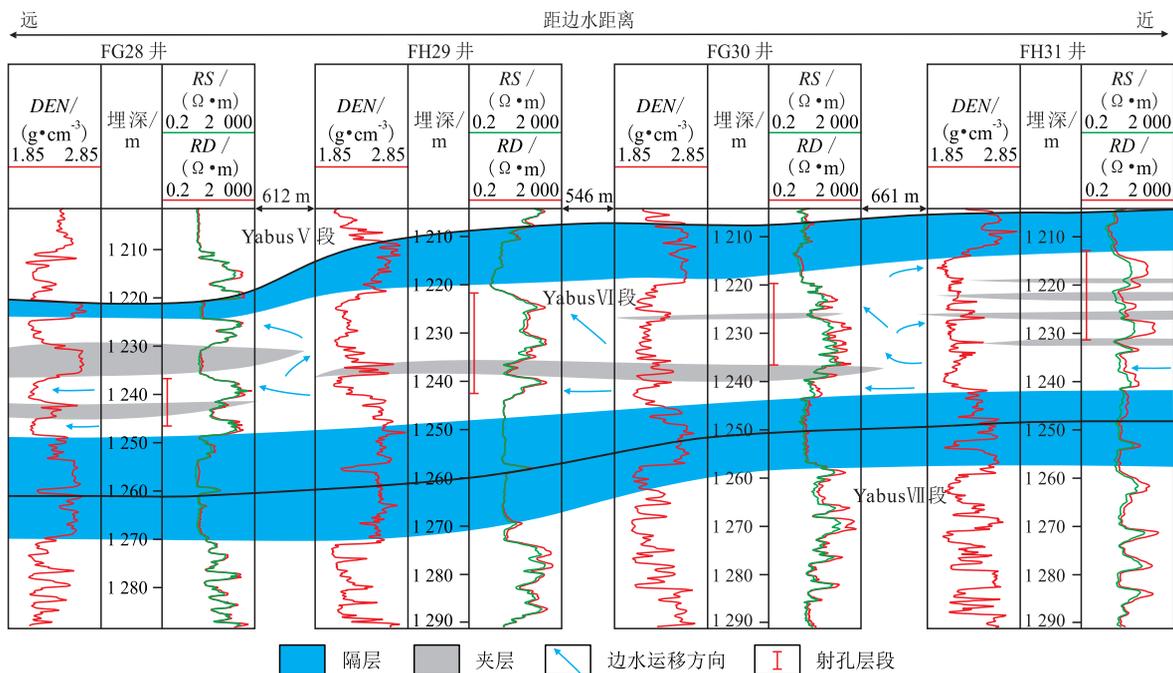


图 5 P 油田 Fal 块 Yabus VI 段隔夹层发育与边水侵入示意

Fig.5 Intercalations development and edge water incursion in Yabus VI interval of Fal structure in P Oilfield

升至2014年9月的82.5%，而FH31井生产至2015年3月综合含水率仅约为75%。对于Samaa砂组块状底水油藏，其夹层发育层数、厚度、密度、频率均小于Yabus砂组，其中Samaa I段夹层厚度约为1.75 m，频率为0.04层/m，密度为0.24 m/m。随着原油逐渐被采出，底水逐渐自下而上呈锥状进入油层，一方面在夹层发育频率低的区域直接沿生产井锥进，造成生产井附近水淹程度较高，油井间水淹程度低；另一方面在夹层发育频率高的区域，受储层内部夹层阻挡以次生边水形式突进油藏内部，使得油井一旦见水综合含水率上升很快。

## 4 结论

通过实测山西省大同市吴官屯野外露头剖面，明确该剖面发育2期砂质辫状河沉积体及8种岩相类型，识别出5种成因类型的隔夹层，分别为河底滞留泥砾沉积、废弃河道细粒沉积、泛滥平原细粒沉积、落淤披覆泥沉积和侧积泥沉积。其中，泛滥平原细粒沉积、落淤披覆泥沉积和侧积泥沉积主要为洪泛事件沉积产物，废弃河道细粒沉积主要为静水环境下的填积作用形成，而河底滞留泥砾沉积则是后期河流对前期泥质沉积物冲刷、改造的产物。建立以单期砂质辫状河河道为单元的隔夹层分布模式，废弃河道细粒沉积与河道砂体互相叠置，泛滥平原细粒沉积向河道外侧不断延伸，落淤披覆泥、侧积泥和河底滞留泥砾沉积受后期河道冲刷、改造，完整或部分充填于河道砂体内部。研究结果表明，研究区隔层分布模式是影响底水突进程度的主要因素，较稳定隔层可有效阻挡底水突进和层间边底水互相转化，欠稳定隔层空洞处是层间流体转移的通道。夹层发育频率越高对边水遮挡作用越强，油井见水较晚，夹层发育频率低处油井水淹程度高。

### 参考文献：

- [1] 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.
- [2] Bridge J S. Fluvial facies models: recent developments [J]. Society for Sedimentary Geology, 2006, 84(1):83-168.
- [3] 吴胜和. 储层表征与建模 [M]. 北京:石油工业出版社, 2010:136-143.  
Wu Shenghe. Reservoir characterization and modeling [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010:136-143.
- [4] 张元福,魏小洁,徐杰,等.北京延庆硅化木公园地质剖面陆相层序地层特征分析[J].地质学前缘,2012,19(1):68-77.  
Zhang Yuanfu, Wei Xiaojie, Xu Jie, et al. Continental sequence stratigraphy analysis of “Fossil Wood” geological park section in Yanqing County, Beijing [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1):68-77.
- [5] 袁新涛,吴向红,张新征,等.苏丹Fula油田辫状河储层内夹层沉积成因及井间预测[J].中国石油大学学报:自然科学版,2013,37(1):8-12.  
Yuan Xintao, Wu Xianghong, Zhang Xinzheng, et al. Sedimentary origin and interwell prediction of interbeds in braided river reservoir, Fula Oilfield in Sudan [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2013, 37(1):8-12.
- [6] 王石,万琼华,陈玉琨,等.基于辫状河储层构型的流动单元划分及其分布规律[J].油气地质与采收率,2015,22(5):47-51,68.  
Wang Shi, Wan Qionghua, Chen Yukun, et al. Flow units division and their distribution law based on braided river reservoir architecture [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5):47-51,68.
- [7] 张维易,李百莹,陈增辉,等.海上层状油藏油井水驱采出程度预测[J].特种油气藏,2016,23(3):118-121.  
Zhang Weiyi, Li Baiying, Chen Zenghui, et al. Waterflooding recovery degree forecast of production wells in offshore layered reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3):118-121.
- [8] 于兴河,马兴祥,穆龙新,等.辫状河储层地质模式及层次界面分析[M].北京:石油工业出版社,2004.  
Yu Xinghe, Ma Xingxiang, Mu Longxin, et al. Analysis of hierarchy bounding surfaces and geological pattern of braided-river reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [9] 李静,韩晨,周汉国,等.多参数表征储层岩性及其对储层物性的影响[J].大庆石油地质与开发,2016,35(2):36-42.  
Li Jing, Han Chen, Zhou Hanguo, et al. Multi-parameter characterization of the reservoir lithologies and their influences on the physical properties [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(2):36-42.
- [10] 贾爱林,何东博,何文祥,等.应用露头知识库进行油田井间储层预测[J].石油学报,2003,24(6):51-58.  
Jia Ailin, He Dongbo, He Wenxiang, et al. Application of outcrop geological knowledge database to prediction of inter-well reservoir in oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(6):51-58.
- [11] 孙天建,穆龙新,赵国良.砂质辫状河储集层隔夹层类型及其表征方法——以苏丹穆格莱特盆地 Hegli 油田为例[J].石油勘探与开发,2014,41(1):112-120.  
Sun Tianjian, Mu Longxin, Zhao Guoliang. Classification and characterization of barrier-intercalation in sandy braided river reservoirs: Taking Hegli Oilfield of Muglad Basin in Sudan as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(1):112-120.
- [12] 党胜国,冯鑫,闫建丽,等.夹层研究在水平井开发厚层底水油藏中的应用——以曹妃甸11-6油田 Massive 砂体为例[J].油气地质与采收率,2015,22(1):63-67.