

鄂尔多斯盆地苏里格气田辫状河体系带特征

郭智,贾爱林,何东博,唐海发,刘群明

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:鄂尔多斯盆地苏里格气田上古生界气藏石盒子组8段、山西组1段主体为河流相沉积,河道多期切割、叠置,形成了规模较大的“辫状河体系”。根据沉积条件和沉积特征的差异,可分为叠置带、过渡带和体系间3个辫状河体系带。研究深化并发展了辫状河体系带的概念及沉积内涵,建立了沉积相-辫状河体系-辫状河体系带的多级沉积格架,提出了辫状河体系带的多参数定量划分标准。综合分析岩心、测井、钻井等资料,认识到辫状河体系带对沉积微相展布和规模、砂体的叠置样式、有效砂体的类型和集中程度具有较强的控制作用,是控制气田沉积、储层的关键地质因素。叠置带心滩发育频率高,规模大,砂体多期叠置,有效砂体富集,是气田开发的主力相带单元,过渡带河道充填发育,有效砂体以孤立型分布为主,辫状河体系间砂体零星发育,开发潜力较差。分别针对叠置带、过渡带建立了水平井地质目标优选标准,优化了井轨迹,为水平井随钻地质导向提供了更可靠的地质依据。

关键词:有效砂体;沉积微相;辫状河体系;致密砂岩气;苏里格气田;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Characteristics of braided river sedimentary system zones in Sulige gasfield, Ordos Basin

Guo Zhi, Jia Ailin, He Dongbo, Tang Haifa, Liu Qunming

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: The 8th Member of the Shihezi Formation and the 1st Member of the Shanxi Formation of the Upper Paleozoic in Sulige gasfield are mainly of fluvial facies, and the crosscutting and superimposition of multiple-stage channels resulted in a large “braided river system” in geologic history. According to different sedimentary environments and sedimentation characteristics, the braided river system can be divided into superimposed zone, transitional zone and inter-channel zone. This study deepens and develops the concept and deposit connotation of the braided river system, establishes a sedimentary hierarchy of sedimentary facies-braided river system-braided river system zone, and proposes multiple-parameter quantitative classification standards for Sulige’s braided river system. Through integrated analysis of core, logging and drilling data, it is concluded that braided river system zone is the key geological factor for sedimentation and reservoir characteristics of Sulige gasfield, as it strongly controls the sedimentary microfacies distribution and scale, sand bodies’ superimposition style and effective sand bodies’ type and centralization. The superimposed zones of the braided river system feature in highly developed and large channel bars, superimposition of multiple stage sand bodies and clustering of effective sand bodies, thus is the favorable facies zone for gas production. In transitional zone, channel filling is more developed and effective sand bodies are mainly distributed in isolation in space. In contrast, the inter-channel zone is characterized by scattered and sparse sand bodies, thus its exploitation potential is poor. In addition, the criteria of geological target selection for horizontal wells are set up for the superimposed zone and transitional zone of braided river system respectively, and horizontal well trajectory is optimized, providing a more reliable basis for geo-steering while drilling of horizontal wells.

Key words: effective sand body, sedimentary microfacies, braided river sedimentary system, tight sand gas, Sulige gasfield, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地苏里格气田是我国致密砂岩气田的典型代表,也是我国已开发的最大气田。上古生界气藏盒8段、山1段主体沉积环境为宽缓构造背景下形

成的辫状河沉积^[1],河道改道、迁移频繁,相变快,储层连续性差。在沉积和成岩双重控制下^[2],气田砂体及有效砂体呈“砂包砂”二元结构^[3],有效砂体为普遍低

收稿日期:2014-07-21;修订日期:2015-11-20。

第一作者简介:郭智(1986—),男,博士,油气田开发地质。E-mail:a349261981@163.com

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05047)。

渗的砂体背景下相对高渗的“甜点”^[4],多富集在心滩和河道底部等粗砂岩相,物性、含气性相对较好(孔隙度 $>5\%$,渗透率 $>0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含气饱和度 $>45\%$),但厚度薄,规模小。从全区看,有效砂体在空间高度分散,70%以上的有效砂体为孤立型,有效砂体累计厚度仅占砂体厚度的 $1/4 \sim 1/3$ 。从单砂体入手,沉积微相及有效砂体的分布规律将难以认识,气田规模有效开发面临的严峻挑战。

本文在充分吸收前人研究成果的基础上,探讨了“辫状河体系”及“辫状河体系带”的概念、规模及划分方法,建立了“区域沉积体系—辫状河体系—辫状河体系带—沉积微相”的沉积层级序列。与传统的“沉积体系—沉积相—沉积亚相—沉积微相”沉积层级相比,更侧重于将辫状河沉积做为整体进行系统分析,这样更能表现辫状河沉积体系的统计学特征。研究表明,砂组级别的辫状河体系带对小层及单砂体级别的沉积微相展布和有效砂体分布具有较强的控制作用。辫状河体系带是分析辫状河相致密砂岩气藏沉积、储层特征的关键地质参数,应加强重视和研究。考虑到不同辫状河体系带的储层规模、结构、连续性和连通性的差异,分别针对叠置带、过渡带等进行了水平井开发方式的讨论。

1 辫状河体系带概念的提出及划分

辫状河的概念在1978年由B. R. Rust提出,一般是指弯度指数小于等于1.5,河床不稳定,宽深比大于40的河流沉积^[5]。苏里格地区的辫状河沉积具有特殊性,距离物源近,坡降缓($4 \sim 10 \text{ m/km}$),水动力强,辫状河道多期迁移、叠置,形成规模较大的辫状河复合体系(辫状河复合体),在平面上呈片状分布。

苏里格辫状河沉积体系的形成是地质历史时期物源、水动力、古地形、可容空间以及沉积物供给等地质因素共同作用的结果^[6],是一定地层规模的沉积环境和沉积物的总和。按照其空间演化所表现出的区域性的差异,可分为辫状河体系叠置带、辫状河体系过渡带和辫状河体系间3个相带(图1)。不同辫状河体系带成因和储层特征差异很大,从辫状河体系叠置带、过渡带到辫状河体系间,沉积水动力由强到弱,可容空间由大到小,沉积物岩性由粗到细,砂体叠置期次由多到少,砂体连通性和连续性由好到差。

叠置带处于剖面上古地形最低洼处,坡降相对最大,水动力较强,古河道持续发育,可容空间大,A/S值(可容空间/沉积物供给)低^[7],纵向上多期河道反复切割叠置形成厚层砂岩,砂地比值较高,泥岩夹层基本不发育,横向上砂岩连续性和连通性较强。叠

置带以心滩的厚层粗砂岩和河道充填的薄层中、粗砂岩呈互层状出现,岩相总体较粗,以含砾粗砂岩、粗砂岩为主,常发育槽状交错层理、板状交错层理等指示强水动力的沉积构造,测井曲线表现为光滑或微齿状箱形。

过渡带处于剖面上古地貌中等低洼处,类似于河流地貌一级阶地,只有洪水到达中等或中等以上水位时候才会发育河道砂岩沉积,低水位期暴露不沉积或沉积泥岩,剖面岩性呈现砂泥岩互层。相比于叠置带,过渡带发育的砂体规模小,连续性差,侧向迁移快,岩性粒度粗到中等,可形成频繁出现的单层粗砂岩,测井曲线表现为齿化箱形或中—高幅钟形。

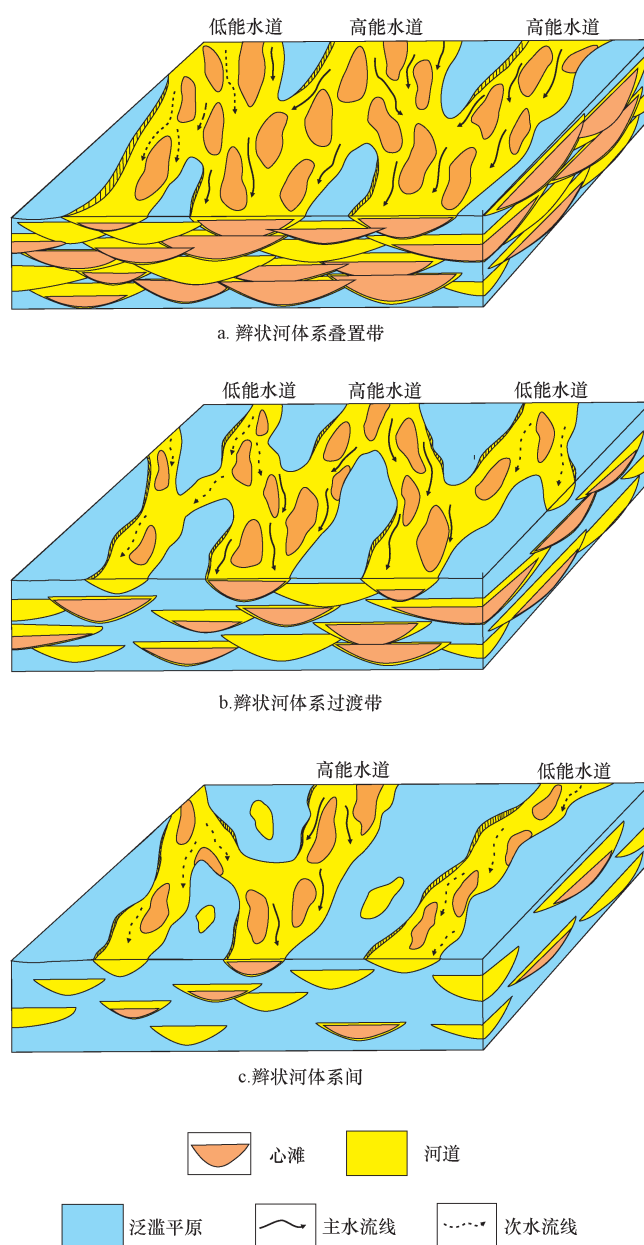


图1 辫状河体系带储层沉积模式^[6]

Fig. 1 Reservoir sedimentary patterns of braided river sedimentary system zones^[6]

表 1 苏里格气田辫状河体系带划分标准

Table.1 Classification criteria of braided river sedimentary system zones in Sulige gasfield

辫状河体系	厚度/m		厚度比例		叠置层数		侧向连通率	
	砂体	有效砂体	砂地比	净毛比	砂体	有效砂体	顺物源	垂直物源
叠置带	>16	>6	>0.6	0.3~0.6	≥3	≥2	>0.8	0.7~0.8
过渡带	6~16	1~6	0.2~0.6	0.1~0.4	2~3	1~2	>0.6	0.5~0.6
体系间	<6	<1	<0.2	<0.1	<2	≤1	<0.5	<0.5

注:砂体连通率=砂体连通层数/砂体发育层数。

辫状河体系间处于剖面上古地貌最高处,类似于河流地貌二级阶地,洪水到达高水位或特高水位时偶尔发育河道砂岩沉积,可容空间小,A/S 值持续较高,剖面以发育泥岩为主,砂体零星分布,有效砂体基本不发育。辫状河体系间发育的岩性以泥岩、粉砂质泥岩为主,岩性粒度细,所含沉积微相类型主要为泛滥平原,偶尔可见小型河道粗砂岩相发育,测井曲线表现为低幅钟形。

从因果逻辑关系来讲,辫状河体系带的沉积条件是“因”,不同辫状河体系带内的沉积特征是“果”。同一辫状河体系带内的沉积物在岩性、物性等方面具有一定的相似性和关联性,不同辫状河体系带的沉积特征在宏观上具有差异性。由“因”生“果”,由“果”也能反推“因”^[8-9]。从沉积特征结果推测辫状河体系带的分布和边界,是一种广义上的反演。辫状河体系带对应砂组级别地层,包含 2~3 个开发小层。

沉积环境对储层发育的规模、结构、连续性和连通性影响较大,选取储层厚度、厚度比例、垂向叠置率、侧向连通率等 4 类 8 个参数,以层次界面与结构单元为理论指导,通过岩心、单井、层面的相互标定,统计辫状河体系叠置带、过渡带、辫状河体系间的参数特征,建立了各体系带的多参数定量划分标准(表 1),避免了单因素判识造成的误差。以此划分标准对取心段的辫

状河体系带进行回判计算,其正确率达到 88.3%,说明建立的辫状河体系划分标准是可靠的。

以辫状河体系带定量划分标准为依据,对苏里格气田辫状河体系带进行了识别和划分。从山西组 1 段(山 1 段)到石盒子组 8 段上亚段(盒 8^上亚段),辫状河体系带的分布呈现出规律性变化。山 1 段水动力弱,叠置带分布范围相对较小,叠置带分布面积占研究区总面积的比例小于 30%,体系间规模较大。盒 8^下亚段为研究区最好的层段,砂体大面积发育,叠置带分布范围最广,连续性最强,叠置带、过渡带和体系间分布面积占研究区面积的比例分别为 58%,35%和 7%。盒 8^上亚段,受物源、水动力和古地貌的控制,叠置带有一定程度的萎缩,过渡带和体系间规模有扩大的趋势,盒 8^上亚段叠置带分布面积占研究区面积的比例约为 40%,过渡带与体系间面积之和占比约为 60%。

辫状河体系带对应区域沉积体系和沉积微相之间的沉积层级(图 2),相比于经典沉积学中河床、堤岸等沉积亚相的概念及内涵,更侧重将一段地质历史时期内的辫状河沉积做为整体进行系统研究,更能反映辫状河沉积在垂向上和平面上储层优势相带的发育及分布情况,更能突显辫状河沉积的地质学和统计学特征。辫状河体系带概念的提出,填补了相关研究领域的空白,为利用“分级构型”的原理建立地质模型,筛选有

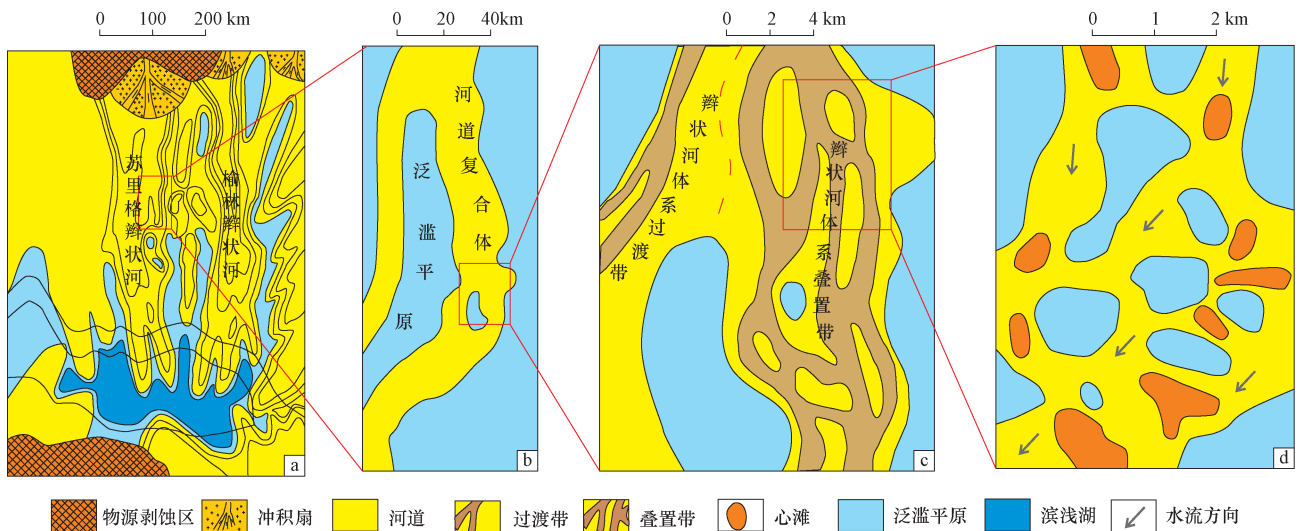


图 2 苏里格气田沉积层级结构

Fig.2 Sedimentation hierarchy structure of Sulige gasfield

a. 河道沉积体系;b. 辫状河体系复合带;c. 辫状河体系带;d. 沉积微相

表 2 苏里格气田不同沉积层级对比
Table 2 Comparison of different sedimentation levels in Sulige gasfield

沉积层级	辫状河复合体系	辫状河体系带	沉积微相
识别方法	砂、泥岩分布,地震相	砂体厚度、厚度比例、储层连续性	岩心、测井相
平面尺度	十千米级	千米级	十米-百米级
垂向尺度	多个砂层组	砂层组	小层
有利储层分布	富集区	叠置带	心滩

利区,布水平井提供了基础。从区域沉积体系、辫状河复合体系到辫状河体系带、沉积微相,沉积级别依次降低,对应规模尺度不断减小,可利用的资料逐渐丰富,研究精度不断提高。具体来说,在平面尺度上,辫状河体系复合带对应十千米或几十千米级地层,辫状河体系带对应千米级地层,而沉积微相对应十米至百米级地层。在垂向尺度上,辫状河体系复合带对应多个砂层组地层,辫状河体系带对应一个砂层组,而沉积微相对应小层或单砂体(表 2)。

2 辫状河体系带对沉积微相的控制

沉积微相是描述开发小层或单砂体沉积特征的沉积概念^[10]。不同的沉积微相具有不同的储层参数分布特征,沉积微相在空间的变化会引起孔隙度、渗透率等储层参数的相应变化。通过沉积微相展布来预测储层参数分布,是相控建模的基本原理。但在苏里格气田复杂的地质条件下,沉积微相的空间分布本身就是难以描述和预测的,具有很强的不均一性。举例来说,心滩在河道的某些区带,发育频率高,规模大,在某些区带又基本不发育,规模也相对小。

辫状河体系是描述辫状河在一定空间内叠置、切割和迁移的沉积概念,是辫状河沉积在三维空间的组

合,叠置带为高能环境下辫状河的叠合,过渡带为高能、低能辫状河间互的叠合。辫状河体系相比于辫状河沉积相和心滩、河道充填等沉积微相,对应更高的沉积级别和更大的地层尺度。

通过对比辫状河体系带与沉积微相(图 3),反映出小层级别的沉积微相展布在整体上受砂组级别的辫状河体系控制,两者在物源方向、河道走向等大体趋势上呈现关联性,而沉积微相又在局部展现出了细节变化。辫状河体系带是揭示沉积微相分布规律的关键沉积要素,它对沉积微相的约束主要体现在沉积微相的发育类型、发育频率和发育规模等几个方面。根据苏里格气田苏 6 加密区 48 口井 675 个单砂体的数据统计,分析了辫状河体系带对沉积微相的控制作用。

从沉积微相的发育类型和发育频率来看(表 3),叠置带主要沉积心滩,各层位心滩发育比例 45% ~ 70%,平均为 57.9%,为过渡带心滩发育频率的近 2 倍。过渡带以河道沉积为主,各层位河道充填平均发育比例为 71.8%。体系间以大面积的泛滥平原沉积为主。

沉积物理模拟实验表明形成于强水动力条件下的叠置带,水流分布范围广,携砂能力强,形成砂体规模大,延伸距离远。形成于中等水动力条件下的过渡带,水流沿主河道分布。辫状河体系间水动力弱,水流沿原有河道发育细粒沉积,砂体分布范围局限。从沉积微相的发育规模来看(表 4),叠置带的心滩相比于过渡带,前者比后者厚 0.3 ~ 0.5 m,比后者宽 70 ~ 80 m,比后者长 100 ~ 200 m。叠置带内的河道充填沉积与过渡带相比,规模相差不大,单砂层厚度接近,多期叠置后比后者宽 10 ~ 50 m,比后者长 130 ~ 200 m。

综上所述,心滩在河道内不是按照固定比例均匀分布的,在叠置带内发育频率高,规模大,在过渡带内发育频率低,规模也相对小。通过辫状河体系带研究

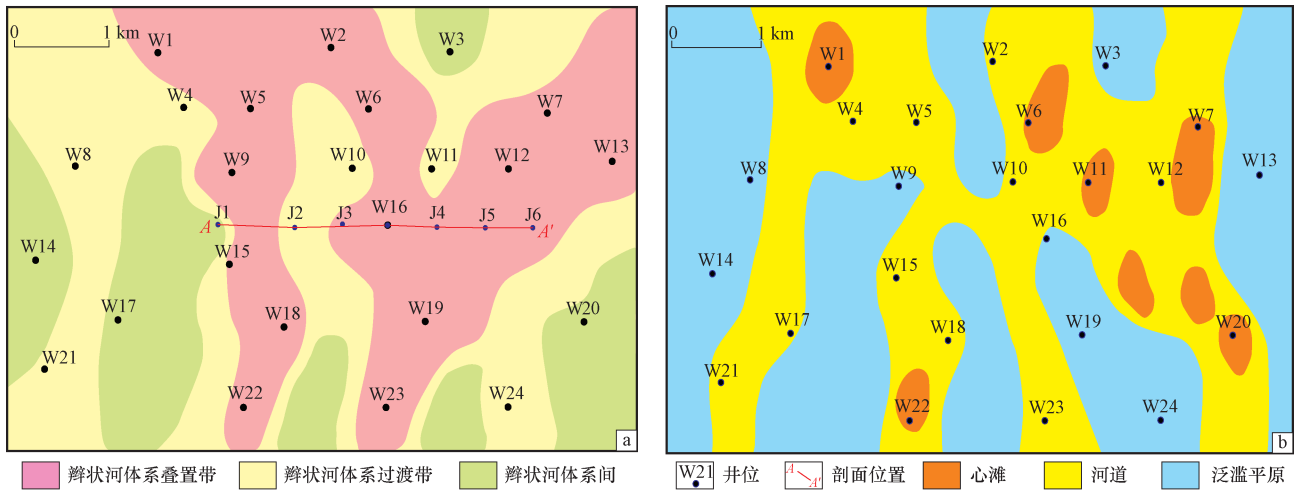


图 3 苏里格气田辫状河体系与沉积微相对比

Fig. 3 Correlation of braided river system with sedimentary microfacies in Sulige gasfield

a. 盒 8^上 亚段辫状河体系; b. 盒 8^上 亚段 1 小层沉积微相

表 3 苏里格气田叠置带与过渡带心滩、河道充填发育频率
Table 3 Ratio comparison of channel bar and channel filling between superimposed zone and transitional zone of Sulige gasfield

层位	辫状河体系叠置带		辫状河体系过渡带	
	心滩发育频率/%	河道充填发育频率/%	心滩发育频率/%	河道充填发育频率/%
盒 8 ^{上(1)}	59.04	40.96	21.77	78.23
盒 8 ^{上(2)}	59.56	40.44	36.02	63.98
盒 8 ^{下(1)}	63.52	36.48	33.15	66.85
盒 8 ^{下(2)}	72.10	27.90	28.12	71.88
山 1 ¹	43.62	56.38	23.65	76.35
山 1 ²	62.73	37.27	34.59	65.41
山 1 ³	45.00	55.00	19.99	80.01
平均	57.94	42.06	28.18	71.82

表 4 苏里格气田叠置带与过渡带心滩、河道充填发育规模对比
Table 4 Scale comparison of channel bar and channel filling between superimposed zone and transitional zone of Sulige gasfield

辫状河体系带	心滩规模/m			河道充填规模/m		
	厚	宽	长	厚	宽	长
叠置带	5.9 ~ 6.1	440 ~ 460	880 ~ 920	4.3 ~ 5.3	440 ~ 550	1 200 ~ 1 500
过渡带	5.5 ~ 6.0	360 ~ 390	680 ~ 740	4.4 ~ 5.1	430 ~ 540	1 070 ~ 1 350

可以刻画和描述沉积微相在空间分布的不均一性,可为建立沉积微相控制下的三维地质模型提供更合理的地质约束^[11-12]。受辫状河体系约束的沉积微相模型(图 4a)与沉积微相平面图(图 3b)对应效果较好,心滩在局部区带分布集中,规模较大,而不受辫状河体系约束的沉积微相模型中(图 4b),心滩在河道内以均一的概率、几乎均等的规模分布,不可避免

地淡化了沉积相在空间展布的固有的非均质性^[13-14],效果不好。

另一方面,心滩微相对应苏里格气田最有利的储层,叠置带与过渡带内发育的心滩具有不同的分布规律,决定了叠置带与过渡带的储层质量也有不小的差异。

从沉积相(区域沉积体系)到沉积微相的研究,再从沉积微相到辫状河体系带的总结,地层尺度由粗到细,再由细到粗。由粗到细,展现了沉积学的学科理论发展;由细到粗,体现了油气开发地质的实践诉求。理论和实践两者相互促进、补充和完善,推动了地下地质条件认识程度的不断加深。

3 辫状河体系带与有效砂体的关系

苏里格气田先致密后成藏,储层沉积后遭受了强烈的压实、胶结、溶蚀等成岩作用,深刻改造了储层面貌。在沉积和成岩双重控制下,有效砂体高度分散^[15],为普遍低渗背景下的高渗单元,在空间分布以孤立型为主,少部分呈垂向叠置型和横向局部连通型。区内有效砂体多富集心滩中下部和河道底部等粗砂岩相,这是由水动力条件、沉积物的粒度、组分、岩性、物性特征、砂体结构特征以及成岩改造等多因素造成的。分流河道底部、心滩等粗砂岩相沉积水动力强,分选好,岩性为较纯的石英砂岩。储层物性好,分布稳定,连续性及连通性强。石英等刚性颗粒含量高,在深埋藏状态下原生孔隙得以最大程度的保存。较好的储层连通性、原生孔隙的保存为溶蚀作用提供了流体运移的通道。鉴于沉积微相在空间分布具有较强的不均一性和多期成岩作用的复杂性,使得单砂体级别的有效砂体分布规律难以认识和把握。

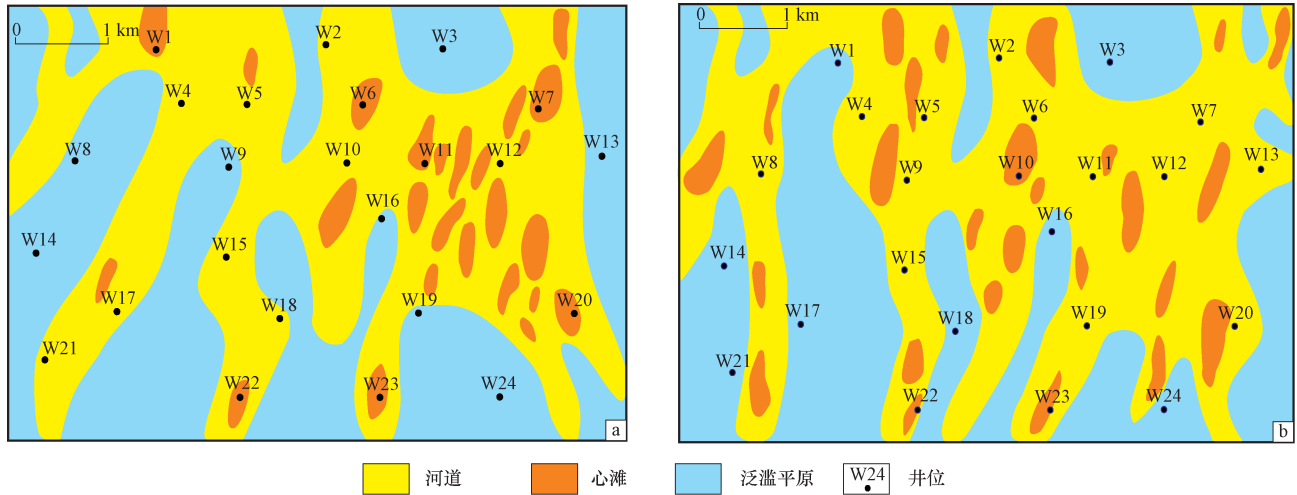


图 4 两种方法建立的沉积微相模型对比

Fig. 4 Comparison of sedimentary microfacies model established with two modeling methods in Sulige gasfield
a. 受辫状河体系约束的沉积微相模型;b. 不受辫状河体系约束的沉积微相模型

然而,在砂组级别的地层尺度上,辫状河叠置带、过渡带、辫状河体系间有效砂体的集中程度和叠置样式具有明显的差别。叠置带内砂体通过多期叠置形成规模较大的泛连通体,宽度可达1 000~1 500 m,长度可达2 000 m以上,大规模的砂体发育为沉积后遭受成岩改造形成有效砂体提供了物质基础。叠置带水动力强,岩相粗,储层岩石颗粒分选好,岩性纯,物性好,心滩较发育,因此有效砂体分布也相对集中。钻井、试井、生产动态数据表明,苏里格有70%以上的有效砂体分布在叠置带。叠置带多期叠置型和块状厚层型有效砂体分布比例相对高,为水平井部署和气田的高效开发提供了较有利的地质条件。过渡带水动力条件中等,岩性较叠置带细,砂泥岩间互出现,有效砂体较薄,带内2/3以上的有效砂体仍为孤立型,有效砂体占全区有效砂体比例为25%。辫状河体系间水动力弱,有效砂体基本不发育,占全区有效砂体的比例不到5%。辫状河体系带展布与有效砂体分布具有明显的对应关系(图5,对应图3中的A—A'剖面),认为从叠置带、过渡带这样的地层尺度去研究有效储层分布规律、有利开发区是较为科学的。

4 辫状河体系对应的水平井开发方式

辫状河体系是控制苏里格气田沉积微相展布和有效砂体分布的关键地质因素,不同的辫状河体系带内发育的沉积微相类型、规模和储层的结构、空间组合样式不同,同样也对开发方式造成很大影响。

水平井技术近年来做为致密砂岩气藏高效开发的关键技术手段^[16],在提高单井产量、提高气田开发效果等方面发挥了重要作用。苏里格气田水平井根据开发效果可分为Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ3类,其中Ⅰ类井开发效果最

好,Ⅲ类井开发效果最差。水平井钻遇的地质模型可分为5类:厚层块状孤立型(A型)、具物性夹层的垂向叠置型(B型)、横向切割连通性(C型)、具泥质隔层的垂向叠置型(D型)和横向串糖葫芦型(E型)。

统计表明,苏里格气田所有已完钻的水平井都布在了辫状河体系叠置带、过渡带,其中叠置带内井数占比84%,过渡带16%。叠置带内砂体多期叠置,储层稳定性强,有效砂体富集,水平井主要为Ⅰ+Ⅱ类,水平井模型以A型、B型为主,含少部分C型,属高产模型。在井网井距允许的情况下(>600 m×1 600 m),叠置带内水平井宜以整体式开发为主。过渡带储层质量一般,砂体连续性相对局限,水平井主要为Ⅱ+Ⅲ类,水平井模型以D型和E型为主,为低产模型。因此,建议过渡带在优选富集区的基础上,进行水平井甜点式开发。辫状河体系间砂体发育零星,开发风险大,不宜部署水平井开发,可根据地质条件优选有利区部署直井开发。

基于水平井分类评价指标、水平井钻遇地质模型的参数特征以及不同辫状河体系带的沉积及储层差异,分别针对叠置带、过渡带等水平井部署的两大主力相带,建立了水平井地质目标优选标准(表5),包括地震资料、构造幅度、储层及有效储层品质、相邻直井情况、储量富集程度及丰度^[17],并对水平井的初期产量和无阻流量做了预测,总计7类15个参数。该地质目标优选标准建立在近300口水平井的动、静态资料的统计基础上,数据样本较大,可靠性较强。

需要指出的是,在叠置带、过渡带内优选水平井地质目标时应有所差异。叠置有效砂体相对富集,应侧重于整体评价区块的储层厚度、储量富集程度等参数,而过渡带有效砂体分散,宜侧重于隔夹层描述、相邻直井分析等局部“甜点”研究。

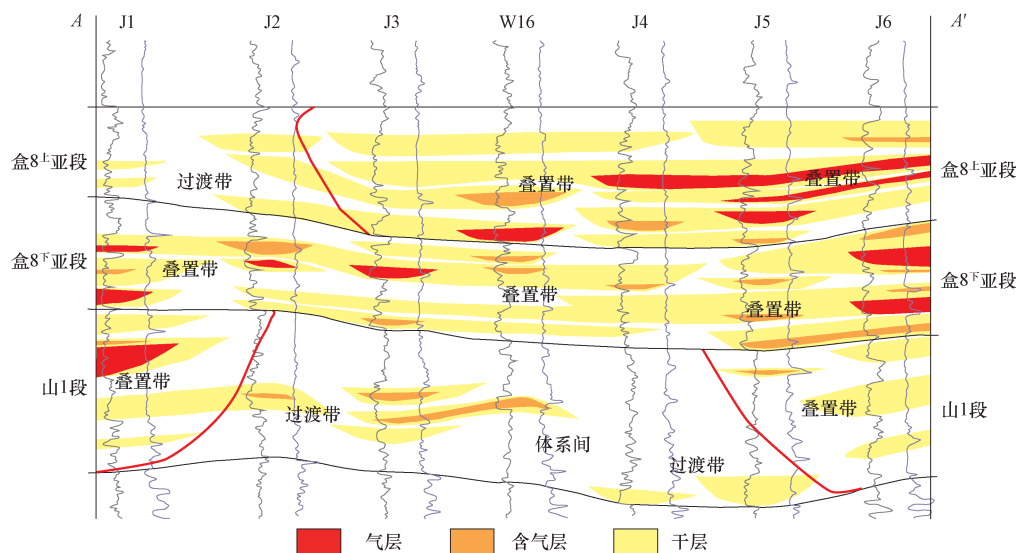


图5 苏里格气田辫状河体系带与有效砂体配置关系

Fig. 5 Allocation of effective sand bodies in different braided river system zones of Sulige gasfield

表 5 苏里格气田叠置带和过渡带水平井地质目标优选标准

Table 5 Geological target selection criteria of horizontal wells in superimposed zone and transitional zone of Sulige gasfield

类型	参数	辫状河体系叠置带	辫状河体系过渡带
地震	AVO、异常振幅属性	含气有利区	
构造	主要气层顶底构造	构造平缓,坡降 3 ~ 5 m/km	
储层	砂岩厚度	主力砂组平均 > 20 m	主力砂组平均 > 15 m,局部 > 20 m
	隔夹层	以物性夹层为主, < 3 m	以泥质隔层为主,单层 < 3 m 或累计 < 4 m
	井间储层延伸	> 800 m	> 700 m
有效储层	有效储层厚度	单层 > 6 m 或累计 > 8 m	单层 3 ~ 6 m,累计 > 6 m
	有效储层延伸	> 600 m	> 450 m
相临直井	曲线形态	高幅平滑箱形	中高幅齿化箱形
	日产气	平均 > 1.2 × 10 ⁴ m ³ /d	大部分 > 1 × 10 ⁴ m ³ /d
	I + II 类井比例	> 75 %	> 60 %
储量	储量富集程度	主力层 > 70 %	主力层 > 50 %
	储量丰度	> 0.8 × 10 ⁸ m ³ /km ²	> 0.7 × 10 ⁸ m ³ /km ²
动态预测	水平井初期产量	> 7 × 10 ⁴ m ³ /d	> 4 × 10 ⁴ m ³ /d
	水平井无阻流量	> 40 × 10 ⁴ m ³ /d	> 20 × 10 ⁴ m ³ /d

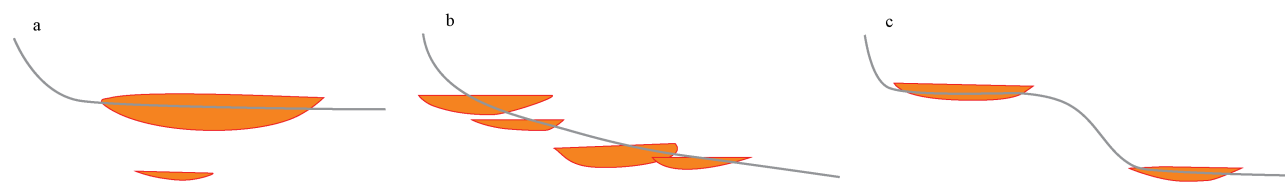


图 6 苏里格气田水平井井轨迹设计模式

Fig. 6 Horizontal well trajectory design patterns in Sulige gasfield

a. 厚层块状储层 - 平直型井轨迹; b. 多层叠置型储层 - 大斜度型井轨迹; c. 分段薄层型储层 - 阶梯型井轨迹

针对辫状河体系叠置带、过渡带不同的砂体叠置样式,优化了水平井井轨迹。叠置带内储层以厚层块状孤立型和多层叠置型为主,储量较集中,分别对应平直型井轨迹(图 6a)和大斜度井轨迹(图 6b);过渡带储层厚度薄,有效砂体稳定性差,相对孤立,泥岩夹层频繁出现,储量分散,设计阶梯型井轨迹(图 6c)。当然过渡带有效砂体相对集中段,也可设计平直型井轨迹。文中展现的是概念化的井轨迹模式,实际工作时应根据井区的实际砂体叠置样式,调整井轨迹设计方案。

建议在新的评价区块,首先划分叠置带、过渡带、体系间等辫状河体系带,即而在辫状河体系带约束下,建立精确的相控地质模型,并优先对叠置带、过渡带展开评价,结合建立的水平井地质目标优选标准,优选水平井有利地质目标,进行合理的井轨迹设计,以期获得最优的开发效果。

5 结论

1) 在宽缓的构造背景下,苏里格上古气藏盒 8 段、山 1 段辫状河沉积多期叠置,形成规模较大的辫状河体系,可分为叠置带、过渡带和体系间等 3 个区带。

砂组地层级别的辫状河体系带对小层级别的沉积微相展布和有效砂体分布有较强的控制作用,同样也影响到了开发方式。叠置带储层稳定,心滩发育频率和发育规模相对较大,有效砂体富集,水平井开发以“整体式”为主;过渡带河道充填发育,有效砂体呈孤立状,水平井以“甜点式”开发为主;体系间砂层较薄,开发风险大,建议选择性的进行直井开发,不宜进行水平井开发。

2) “沉积体系—辫状河体系复合带—辫状河体系带—沉积微相”的研究思路与经典的沉积学相比,有继承和借鉴,也有差异和发展。使辫状河体系带研究在苏里格型致密砂岩气田开发中发挥更积极的作用,仍有很长的路要走。建议进一步加强辫状河体系带的成因、期次、对储层的控制、对开发方式的影响等研究,形成在辫状河体系带地质约束下的富集区优选及水平井设计的参数规范和工作流程,为气田规模效益开发提供更准确的地质依据。

参 考 文 献

[1] 何自新,付金华,席胜利,等. 苏里格大气田成藏地质特征[J]. 石油学报,2003,24(2):6-12.
He Zixin,Fu Jinhua,Xi Shengli,et al. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field[J]. Acta Petrolei Sinica,2003,24(2):

- 6-12.
- [2] 何东博,贾爱林,田昌炳,等. 苏里格气田储集层成岩作用及有效储集层成因[J]. 石油勘探与开发,2004,31(3):69-71.
He Dongbo, Jia Ailin, Tian Changbing, et al. Diagenesis and genesis of effective sandstone reservoirs in the Sulige gas field[J]. Petroleum Exploration and development,2004,31(3):69-71.
- [3] 李会军,吴泰然,马宗晋,等. 苏里格气田优质储层的控制因素[J]. 天然气工业,2004,24(8):12-13.
Li Huijun, Wu Tairan, Ma Zongjin, et al. Research on the basic characteristics and control factors of high-quality reservoir in Sulige gas field[J]. Natural Gas Industry,2004,24(8):12-13.
- [4] 罗东明,陈舒薇,张广权. 大牛地气田上古生界沉积相与天然气富集规律的再认识[J]. 石油与天然气地质,2011,32(3):368-374.
Luo Dongming, Chen Shuwei, Zhang Guangquan. New understandings of the Upper Paleozoic sedimentary facie sand Gas accumulation patterns in Daniudi gasfield[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(3):368-374.
- [5] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003,283.
Jiang Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003,283.
- [6] 何东博,贾爱林,冀光,等. 苏里格大型致密砂岩气田开发井型井网技术[J]. 石油勘探与开发,2013,40(1):79-89.
He Dongbo, Jia Ailin, Ji Guang, et al. Well type and pattern optimization technology for large scale tight sand gas, Sulige gas field[J]. Petroleum Exploration and development,2013,40(1):79-89.
- [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.
Weng Huaguo, Zheng rongcai, Cao Hongcan, et al. Sedimentary facies of the 8th member of the lower Shihezi formation in Su6 area, Sulige gas field.
- [8] Jia A. The Development strategies for gas fields of low permeability, low abundance and in heterogeneity[C]//International Oil & Gas Conference and Exhibition in China. Beijing: Society of Petroleum Engineers,2006.
- [9] 孙龙德,方朝亮,李峰,等. 中国沉积盆地油气勘探开发实践与沉积学研究进展[J]. 石油勘探与开发,2010,37(4):385-396.
Sun Longde, Fang Chaoliang, Li Feng, et al. Petroleum exploration and development practices of sedimentary basins in China and research progress of sedimentology[J]. Petroleum Exploration and development,2010,37(4):385-396.
- [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,2003,21(6):51-53.
Jia Ailin, He Dongbo, He Wenxiang, et al. Application of ourcrop geological knowledge database to predication of inter-well reservoir in oil-field[J]. Acta Petrolei Sinica,2003,21(6):51-53.
- [11] 贾爱林. 中国储层地质模型 20 年[J]. 石油学报,2011,32(1):181-188.
Jia Ailin. Research achievements on reservoir geological modeling of China in the past two decades[J]. Acta Petrolei Sinica,2011,32(1):181-188.
- [12] 李志鹏,林承焰,董波,等. 河控三角洲水下分流河道砂体内部建筑结构模式[J]. 石油学报,2012,33(1):101-105.
Li Zhipeng, Lin Chengyan, Dong bo, et al. An internal structure model of subaqueous distributary channel sands of the fluvial-dominated delta[J]. Acta Petrolei Sinica,2012,33(1):101-105.
- [13] Matheron G, Beucher H, de Fouquet C, et al. Conditional simulation of the geometry of fluvio-deltaic reservoirs[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas,1987.
- [14] Strebelle S B, Journel A G. Reservoir modeling using multiple-point statistics[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana,2001.
- [15] 田景春,张兴良,王峰,等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及分布定量刻画[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):737-742.
Tian Jingchun, Zhang Xingliang, Wang Feng, et al. Quantitative characterization of superimposition relationship and distribution of reservoir sandbodies in the Upper Palaeozoic of Gaoqiao region, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(6):737-742.
- [16] 卢涛,张吉,李跃刚,等. 苏里格气田致密砂岩气藏水平井开发技术及展望[J]. 天然气工业,2013,33(8):38-43.
Lu tao, Zhang Ji, Li Yuegang, et al. Horizontal well development technology for tight sandstone gas reservoirs in the Sulige gas field, Ordos basin[J]. Natural Gas Industry,2013,33(8):38-43.
- [17] 许杰,董宁,朱成宏,等. 致密砂岩地震预测在水平井井轨迹设计中的应用[J]. 石油与天然气地质,2012,33(6):909-913.
Xu Jie, Dong Ning, Zhu Chenghong, et al. Application of seismic data to the design of horizontal well trajectory in tight sandstone gas reservoirs[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(6):909-913.

(编辑 董立)