

文章编号:0253-9985(2010)05-0632-08

鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类型及成因模式

陈昭佑^{1,2}, 王光强³

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 中国石油化工股份有限公司 华北分公司 石油勘探开发研究院, 河南 郑州 451200; 3. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要:根据岩心资料、录井资料及测井资料,对鄂尔多斯盆地大牛地气田二叠系山西组的砂体组合类型及成因进行了仔细研究,认为山西组砂体成因类型包括水下分流河道砂体、河口坝砂体、远砂坝砂体和席状砂体;山西组为一套辫状河三角洲前缘沉积砂体组合,发育4种砂体组合类型,分别是叠覆冲刷水下分流河道砂体组合、叠置河口砂坝砂体组合、水下分流河道-河口砂坝砂体组合、远砂坝-席状砂体组合。同时认为,沉积物的供给方式、供给量及可容纳空间升降是控制大牛地气田山西组沉积时期不同成因砂体组合时空分布规律的主要因素。基于以上研究认识,建立了研究区进积式——可容纳空间降低模式和退积式——可容纳空间上升模式两种砂体成因模式。结合油田实际情况,综合分析认为水下分流河道及分流河口砂坝砂体仍为山西组下一步勘探最具潜力的目标。

关键词:三角洲前缘;砂体组合类型;砂体成因模式;山西组;大牛地气田;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Assemblage types and genetic models of the Shanxi sandbodies in Daniudi gasfield, the Ordos Basin

Chen Zhaoyou^{1,2} and Wang Guangqiang³

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC North China Company, Zhengzhou, Henan 450006, China; 3. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)

Abstract: According to core and logging data, this paper examines the origins and assemblage types of sandbodies in the Permian Shanxi Formation in Daniudi gasfield, the Ordos Basin. We believe that the genetic types of sandbodies in the Shanxi Formation include underwater distributary channel sands, mouth bar sands, distal bar sands and sheet-like sands. The Shanxi Formation consists of 4 types of braided river delta front sandbody assemblages, including superimposed and scoured underwater distributary channel sands, overlapped mouth bars, underwater distributary water-mouth bar sands and distal bar sands-sheet-like sands. Ways and volume of sediment input and change of accommodation are the key factors that control the temporal and spatial distribution patterns of sandbody assemblages of different genetic types during the deposition of the Shanxi Formation in Daniudi gasfield. Based on these results, we set up two genetic models of sandbodies for the study area, one being prograding accommodation decreasing model and the other being retrograding accommodation enlarging model. It is proposed that underwater distributary channel sands and distributary mouth bar sands are the potential exploration targets in the Shanxi Formation.

Keywords: delta front, sand assemblage type, sand genetic model, Shanxi Formation, Daniudi gasfield, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地跨陕甘宁蒙晋五省区,一直被认为是中国乃至东亚最稳定的构造单元之一,具有整体抬升、斜坡宽缓、背斜微弱、地层水平和接触整合

的特点^[1,2]。大牛地气田位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东北部(图1),区域构造为一平缓的西倾单斜。大牛地气田钻井揭露的地层有第四系、白垩系、

收稿日期:2010-07-01。

第一作者简介:陈昭佑(1956—),男,教授级高级工程师,气田开发。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX05009-002);国家“十一五”油气重大专项(2008ZX05009-002)。

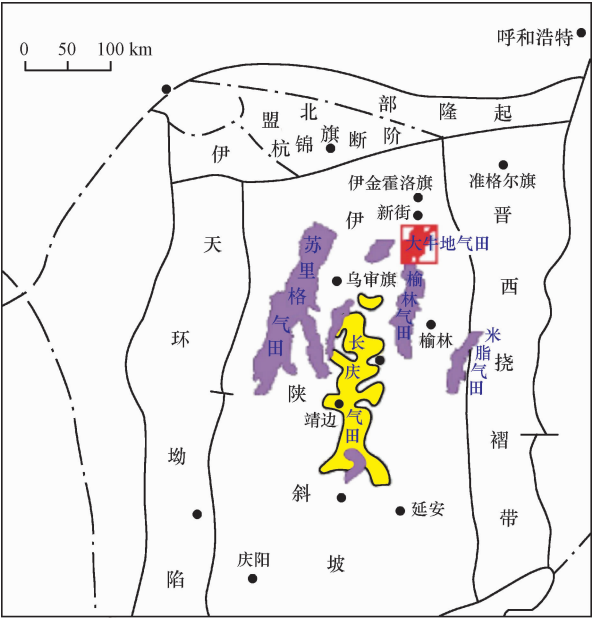


图1 大牛地气田构造位置

Fig.1 Map showing the location of Daniudi gasfield

侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系、奥陶系上马家沟组。二叠系山西组是区内天然气勘探的主要目的层段,根据沉积旋回和古生物资料,将山西组划分为两段,山一段和山二段。山西组整体属于辫状河三角洲前缘沉积,该组储集砂体主要来自北部的伊盟隆起辫状河三角洲,该三角洲总体上从北缘向南西方向延伸,直抵大牛地西南的凹陷区,呈南北向的长舌状分布,是目前二叠系的主力含气层段和勘探目的层。前人对山西组砂体的沉积环境研究认识不一,有人认为是辫状河三角洲平原亚相的分流河道沉积^[3,4],辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积^[5],也有学者认为以水下分流河道为主,局部出现分流河口砂坝沉积^[6]。从目前已经获得的砂体展布图来看,这种呈长舌状分布的砂体确实具有辫状河三角洲上河道沉积的特征,但是这种认识其实并不符合沉积规律,为了进一步认清其砂体类型及其宏观展布规律,有必要从进行沉积特征砂体的成因类型、组合样式及其时空分布模式的研究。

1 沉积特征

1.1 颜色

颜色是沉积岩的重要宏观特征之一,它与自身的成分和形成环境密切相关。岩石的原生颜色对形成岩石时水体的物理化学条件有良好的反

映。一般说来,水体较浅或氧化环境中所形成岩石的颜色为浅色及氧化色,在水体较深或还原环境中所形成的颜色为深色^[7]。本区山西组岩石类型中细砾岩、含砾砂岩、粗砂岩及中、细砂岩以灰色、灰白色为主;粉砂岩多为灰色、灰黑色;泥岩颜色复杂多样,以黑色、深灰色、灰色、灰绿色等为主,此外也不同程度的出现杂色和紫红色。反映研究区沉积作用经历了水上到水下的过渡,但是总体以水下为主的沉积环境。

1.2 岩性特征

通过研究区12口井钻井岩心观察及显微薄片鉴定,宏观上山西组主要由细砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、中细砂岩、泥岩和煤岩组成。微观上构成区内主要储积砂体的岩石类型有岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和少量石英砂岩。石英含量44%~92%,平均为71.7%;长石含量0~11%,平均为2.3%;岩屑含量8%~53%,平均为25.5%。颗粒分选中等或好,磨圆主要呈次圆状和次棱角状。岩石为颗粒支撑,孔隙式胶结,颗粒以点-线、线-线接触为主。颗粒分选说明沉积环境对沉积物具有一定的改造作用,较高的粗碎屑岩含量,总体较高的成分及结构成熟度说明沉积物是高能环境下沉积的产物,并具有较长时间水动力改造的特点。

1.3 沉积构造

沉积构造直接反映沉积时占优势的沉积介质和能量条件,它是碎屑岩最重要的成因标志之一^[8]。大牛地气田山西组层面构造中底冲刷非常发育,砂体底部常见大型底冲刷构造,冲刷面起伏不平,其上可见石英砾石与泥砾组成的定向排列构造,指示单向水流发育特征,反映低流态水流条件下的小波痕层理很少见,层理构造也非常发育,尤其在含砾中-粗粒岩屑砂岩中以反映高流态沉积特征的槽状交错层理、块状层理为主,板状交错层理、平行层理和粒序层理次之(图2),以上沉积构造充分反映了能量较高的河流沉积特征,表明水下分流河道沉积确实是存在的。岩心中也常见反映具有双向水流特征的楔状交错层理(图2),以及冲洗层理等,在沉积相序上反序砂岩常见,表明除了分流河道外,还具有分流河口砂坝、远砂坝、分流河口席状砂等海-河共同作用带的沉积。



图 2 大牛地气田山西组沉积构造

Fig. 2 Sedimentary structure of the Shanxi Formation in Daniudi gasfield

a. 冲刷面 (D21, 2 733. 14 m); b. 槽状交错层理及含碳屑暗色泥岩隔层 (D17, 2 582. 3 m); c. 楔状交错层理 (D51, 2 839. 6 m); d. 块状层理 (D27, 2 687 m); e. 平行层理 (D27, 2 721 m); f. 粒序层理及碳屑层 (D27, 2 716 m)

除此之外在砂岩及其夹层中还可以见到一些碳屑状植物化石 (图 2), 植物碳屑常成破碎状, 以分散状及炭质波状纹层等状态产出, 隔层中的泥岩一般为暗色泥岩, 表明这些碳屑及与其相关的砂岩是主要在水下环境中, 在水体改造下分选、集中沉积而成, 常见于分流间湾沉积中。

2 砂体成因类型及特征

大牛地气田山西组主体处于辫状河三角洲前缘, 发育水下分流河道、河口坝、席状砂、远砂坝、分流间湾等微相 (图 3)。其中水下分流河道、分流河口砂坝、远砂坝等都是有利的储集体, 各成因砂体的具体特征如下。

2.1 水下辫状河道砂体

水下辫状分流河道是平原辫状河道在水下的延伸部分, 沉积构造较发育, 由下至上发育有冲刷面、槽状交错层、板状交错层及平行层理。砂体底部常见冲刷面, 且含砾石, 砾石成分主要为燧石、泥砾。水下分流河道同河道一样, 具有向上变细变浅的特点, 且在每个正旋回中, 从下到上由含砾不等粒砂岩、粗砂岩、中-细砂岩变为泥质砂岩, 向上泥质含量增高。由于河道砂频繁交互, 平面上三角洲前缘广泛连片, 剖面上则形成多层楼式正韵律的含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩组成的叠合砂体。自然伽马曲线总体上表现为顶底突变的箱形曲线的多次叠加, 且在每个箱形曲线中, 自然伽马曲线由下至上幅值逐渐降低 (图 3)。

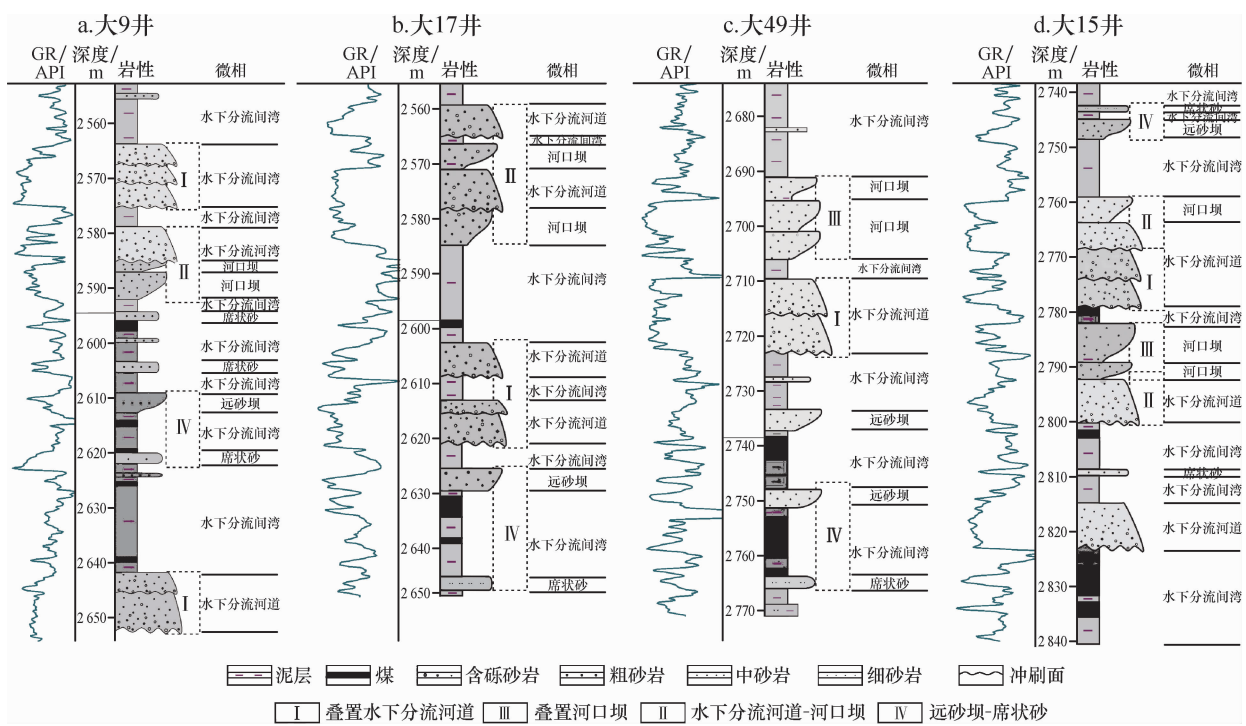


图3 大牛地气田山西组砂体类型及组合演化

Fig. 3 Genetic types and assemblages of sandbodies in the Shanxi Formation of Daniudi gasfield

2.2 河口坝砂体

分流河道入湖后,砂质物质由于湖水的顶托作用而在河口处沉积下来,形成分流河口砂坝。然而,对于水流能量较强的辫状河三角洲来说,分流河道入湖后往往并不马上发生沉积作用,而在水下继续延伸一段距离^[9],因此,河口坝很少见于入湖的河口处,而大多发育于离湖岸线较远处(水下分流河道的端)。另外,由于辫状河三角洲通常由湍急洪水控制,水下河道迁移性较强,河口不甚稳定,难以形成像正常三角洲前缘那样稳定的大型河口坝。在本区,河口坝砂体主要分布在山西组山二段($P_1s^{(2)}$)和山一段($P_1s^{(3)}$)的中上部。其岩性主要以中粗砂岩为主,也可见含砾砂岩和粉砂岩,具有典型的粒度向上变粗,泥质含量减少的反粒序特征。砂体中以槽状交错层理、冲洗层理等为主,亦可见平行层理和波痕。河口坝砂体的自然伽马曲线呈中-低幅度的漏斗状,常见弱齿化。在水进背景下形成的河口坝砂体的完整序列在自然伽马曲线上表现为漏斗状的组合,厚度变化大,多在2~8 m之间(图3)。

2.3 远砂坝

远砂坝砂体主要是由于前缘主砂体(河口砂坝和分流河道)受潮流或弱波浪作用改造,部分细粒砂质发生再次搬运而在坝间、坝前甚至前三角洲沉积而成的。由于潮流或波浪能量较弱,砂体并未连片,分布面积有限,呈孤立的透镜状或与主砂体相连。通常呈夹于泥岩中的薄层砂,厚度一般在1~4 m,以细砂岩为主,并有少量粘土和中砂,砂体垂向韵律不明显,发育小型交错层理、波状层理。自然伽马和电阻率曲线呈低幅的枣核状,上下渐变或突变为泥岩基线(图3)。

2.4 席状砂

砂体为三角洲前缘连片分布的砂体,形成于波浪作用较强的沉积环境。先期形成的分流河道、河口坝等砂体被较强的波浪改造,发生侧向迁移,使之呈席状或带状连片分布于三角洲前缘。砂体岩性为分选较好的细砂岩及粉砂岩,砂质纯,分选、磨圆相对较好。垂向上具反韵律或均质韵律,常发育波状及小型交错层理,向岸方向加厚,向深湖方向减薄。自然伽马曲线表现为中幅尖峰状或指状,厚度介于0.5~2 m之间(图3)。

3 砂体组合类型

在稳定的沉积环境中,上述各成因砂体可以发育成完整的单砂体,但研究区沉积时期构造活动显著,湖进湖退频繁,河道横向迁移发育,各成因砂体常常相互叠置构成不同的组合形式^[10,11],依据沉积学原理和岩电关系,三角洲前缘中可识别出以下几种成因砂体组合形式:叠置水下分流河道砂体组合、叠置河口砂坝砂体组合、水下分流河道-河口砂坝砂体组合和远砂坝-席状砂体组合。

3.1 叠覆冲刷水下分流河道砂体组合

该类型砂体组合样式为多期不完整的水下分流河道砂体叠加而成,砂体横向相互切割,连通分布,纵向上相互叠置。单期水下分流河道砂体表现为向上粒度逐渐变细的正旋回特征,底部为河流下切侵蚀的冲刷面。根据砂体叠置特征还可以进一步划分为两种形式^[12,13],即连续削截叠置模式(图3a,d),河道砂体紧密地叠置在一起,不发育河道沉积的“二元”结构,其形成机制早期的水下分流河道砂体顶部被下一期的水下分流河道侵蚀、冲刷,造成前一期水下分流河道砂体发育不完整;间歇性完整叠置模式(图3b),各期分流河道都发育完整的“二元”结构,整体呈箱形,两期河道之间为分流间湾泥质沉积。

3.2 水下分流河道-河口砂坝砂体组合

由水下分流河道砂体和河口坝砂体垂向上叠加而成。依据砂体垂向的配置关系可分为两类:①下部水下分流河道-上部河口坝组合砂体(图3c,d),在剖面上表现为下部发育完整的水下分流河道砂体,上部叠置了河口坝砂体,剖面结构为向上变细再变粗的完整旋回,为水进期退积沉积模式下的产物;②下部河口砂坝-上部水下分流河道(图3a,b),此类成因与前者正好相反,为水退期进积沉积模式下的产物,剖面上为下部反粒序、上部正粒序的沉积结构,为早期的河口坝砂体演变为水下分流河道砂体所形成的砂体组合,河道砂体和河口坝砂体的相对比例受河道作用的强度和河道作用时间以及早期河口坝的原始厚度控制,一般河道作用越强,下部的河口坝越不易保留,甚

至完全被河道冲蚀。

3.3 叠置河口砂坝砂体组合

河口砂坝砂体也是三角洲前缘重要的沉积体,依据砂体分布特征可分为两种组合样式,即孤立河口坝砂体和叠加河口坝组合砂体。孤立河口坝砂体为没有叠加的单一河道发育期在河口形成的孤立砂体,在自然伽马和电阻率曲线上表现为孤立的漏斗状特征;叠加河口坝组合砂体由两个或多个孤立河口坝垂向叠加而成,组成多个向上变粗的反粒序连续重复出现,为多期河道在同一河口处间断卸载形成(图3c,d)。

3.4 远砂坝-席状砂体组合

此类砂体组合主要分布于三角洲前缘末端,垂向上有与水进水退相对应两种组合类型:①下部远砂坝-上部席状砂组合砂体(图3a,d),为水进、三角洲前缘向湖岸迁移退积下的产物;②下部席状砂-上部远砂坝组合砂体(图3b,c),为水退、三角洲前缘向湖中心迁移进积条件下的产物。实际该类组合并不是真正意义上的组合砂体,因为他们之间常常都有较厚的湖泥或间湾泥隔层,但是该类砂体组合的识别对认识整个砂体的空间分布规律具有指导意义。

4 砂体成因模式

砂体的平面展布与垂向演化密切相关,都受物源供给、湖平面升降及基底沉降所控制。鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组成因砂体组合样式伴随着可容纳空间的动态变化,在不同的阶段出现规律性变化,按照可容纳空间的下降和上升总体上划分为两种模式^[10,14]。

4.1 进积式——可容纳空间降低模式(图4a)

在物源供给充分、湖平面持续下降,可容纳空间持续下降,三角洲向湖盆进积的沉积过程中,水下分流河道砂体分布广泛,而分流河口砂坝砂体只在分流河道末端发育,在垂向上形成总体向上变粗的剖面结构。

在可容空间下降的初期,水下坡折线以下地带的水体较深,沉积物在此发生分异作用,从而形成了分流河口砂坝砂体。随可容纳空间继续下

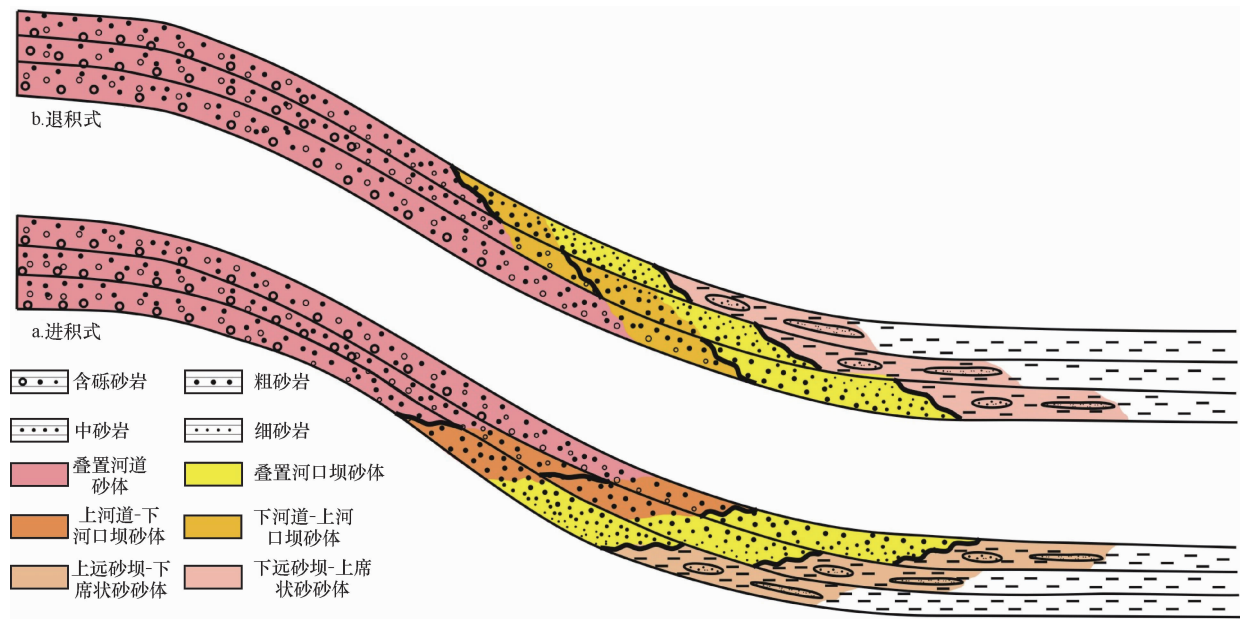


图4 大牛地气田山西组砂体成因演化模式

Fig. 4 Genetic models of sandbodies in the Shanxi Formation of Daniudi gasfield

降,坡折带区可容空间相对较低,水下分流河道沉积能力较弱甚至“过而不沉”,高能量的水下分流河道对先期沉积于坡折线附近的河口坝砂体造成一定程度的侵蚀,厚度较小的水下分流河道砂体叠加在被侵蚀的河口坝砂体上;坡折带下方可容纳空间相对较高,沉积厚层河道砂体,河道砂体与先期河口坝砂体均保持各自的完整性,二者相叠加。

可容纳空间下降的中期,沉积物供给充分,辫状河水下分流河道发育,组成多套水下分流河道叠置的成因砂体组合。

晚期伴随着可容空间向湖方向的退缩,沉积形成的河口坝砂体叠置在前期的残余河口坝之上,形成垂向上叠置的河口坝砂体组合。而在更靠近前三三角洲区域,沉积物供给量不足,处于欠补偿或饥饿状态,因此沉积形成有泥岩夹层的远砂坝-席状砂砂体组合。本模式是研究区较发育的模式,水下分流河道和河口坝较发育,砂体的相互叠置总体遵循从下往上依次为远砂坝、河口坝、分流河道的顺序。

4.2 退积式——可容空间上升模式(图4b)

在物源供给减弱、湖平面上升,三角洲向陆退积,河道、河口坝较发育,在垂向上形成总体向上变细的剖面结构。

在湖平面上升过程中,有效可容空间向湖岸方向迁移,三角洲前缘水下分流河道沉积区可容空间增加,随着上游沉积物的供给,在靠近水下坡折带附近沉积了厚度较大的砂岩。伴随可容纳空间上升,可容空间呈递变速率增加,而沉积物的供给量则较小,也就是可容空间的增加量远大于沉积物的供给量,三角洲前缘向湖岸迁移,粗粒物质向上游移动,在破折带前方附近区域则沉积较细的物质,因而沉积物在垂向上表现出向上变细的特点,形成底部为完整式水下分流河道砂体,向上演变为河口坝砂体的完整旋回的成因组合样式。

在可容纳空间上升的晚期,沉积物补给量不足,主要为远砂坝和席状砂沉积,形成下部远砂坝-上部席状砂体组合样式。此模式在研究区不甚发育,其特点就是河口坝砂体相对进积式而言厚度较小,砂体的相互叠置总体遵循从下往上依次为分流河道、河口坝、远砂坝的顺序。

总之,由于研究区储层沉积物供给及可容纳空间升降过程中的规律变化,导致了该区三角洲前缘不同成因的砂体类型有规律的分布(图3)。

5 沉积相展布及平面砂体组合

山西组地层发育时期,全区气候湿润,湖平面

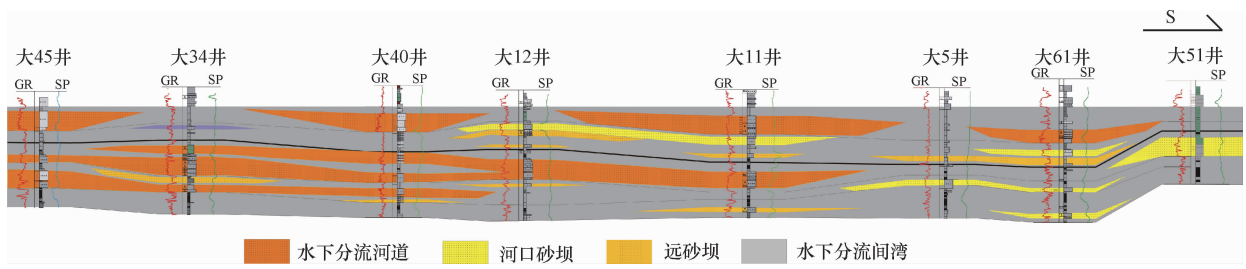


图6 大牛地气田山西组沉积微相剖面

Fig.6 Profile of sedimentary microfacies of the Shanxi Formation in Daniudi gasfield

6 结论

大牛地气田二叠系山西组发育了辫状河三角洲前缘水下分流河道、河口坝、席状砂和远砂坝四种砂体成因类型,它们在空间上常常不断复合叠加形成叠覆冲刷水下分流河道砂体组合,水下分流河道-河口坝砂体组合,叠置的河口坝砂体组合,席状砂-远砂坝砂体组合。

成因砂体组合的时空分布规律受沉积物供给及可容纳空间升降的控制,可容纳空间降低,沉积物供给量逐渐增多,砂体在垂向上自下往上出现远砂坝-席状砂组合向叠加削截式水下分流河道组合砂体转化;可容纳空间增大,沉积物供给量逐渐减少,垂向上自下而上出现叠加削截式水下分流河道组合砂体向细粒的远砂坝-席状砂组合砂体转化,从而导致了该区三角洲前缘不同成因的砂体类型有规律分布。

山西组砂体在成因上总体以进积式-可容纳空间降低模式为主,受其影响砂岩在平面及纵向上的分布并不仅仅出现水下分流河道,砂岩也具有以三角洲前缘水下分流河道、分流河口砂坝、远砂坝以及席状砂等为主要成因类型的特征。其中水下分流河道砂体及分流河口砂坝砂体厚度大且连通性好,能够形成有效的储层,是研究区主要的勘探目标。

致谢:文章在写作过程中得到了中国石油大学(华东)地球资源与信息学院邱隆伟教授的帮助,在此致以最诚挚的感谢!

参 考 文 献

气地质特征与勘探前景[J]. 石油实验地质,2003,25(6):708~720

2 郝蜀民,惠宽洋,李良. 鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):762~768

3 唐海发,赵彦超,于广赢. 精细气藏描述中的沉积物微相研究——以大牛地气田山一段地层为例[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2004,19(2):5~8

4 尤欢增,赵俊兴,陈洪德,等. 大牛地气田东北地区山西组一下石盒子组沉积特征及发育模式[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2007,34(4):401~406

5 罗东明,谭学群,游瑜春,等. 沉积环境复杂地区地层划分对比方法——以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):38~44

6 罗东明. 大牛地气田沉积相类型与岸线控藏特征[J]. 油气地质与采收率,2009,16(3):56~59

7 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003

8 Cullers R L. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies[J]. Lithos,2000,51(3):181~203

9 周丽清,吴胜和,熊琦华,等. 吐哈盆地 WM 油田辫状河三角洲前缘砂体分析[J]. 沉积学报,2000,18(2):248~252

10 田建锋等. 下二门油田上层系三角洲前缘砂体成因组合和分布规律[J]. 石油地质与工程,2008,22(5):18~24

11 李凤杰,王多云,王峰,等. 坳陷湖盆三角洲前缘储层砂体成因研究[J]. 石油实验地质,2007,29(1):63~68

12 郭书元,张广权,陈舒薇,等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田晚石炭—早二叠世地层划分[J]. 石油与天然气地质,2009,30(6):697~703

13 王峰,王多云,高明书,等. 陕甘宁盆地姬源地区三叠系延长组三角洲前缘微相组合及特征[J]. 沉积学报,2005,23(2):218~224

14 董昭雄,沈昭国,何国贤,等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田山1段储层与沉积微相的关系[J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):162~167

(编辑 董立)