

# 川中地区上三叠统须四段砂体成因 及对油气运移影响分析

谢武仁 杨 威 李熙喆 谢增业 金 蕙 朱秋影 沈珏红

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

**摘要:**川中地区上三叠统须四段砂体沉积过程中,由于构造活动强弱的变化,导致物源供应速率与可容纳空间增长之间关系的变化,须四段厚层砂体自下而上由水退式、加积式和水进式 3 种不同成因类型的砂组纵向叠合而成。水退式砂组主要由高能削截式河道、削截式河口坝和远砂坝组成,加积式砂组主要包括冲蚀下切式河道和高能削截式河道,水进式砂组主要包括低能河道、低能削截式河道、完整式河口坝和下缺式河口坝。不同砂组中砂体类型不同,颗粒大小分异不同,水动力强弱的差异,不同成因砂体间形成了不同的成岩相和储集相,加积式砂组以绿泥石衬边和溶蚀成岩相为主,物性好,为好的储集体;水进式砂组由压实和胶结相为主,物性较差;水退式砂组中溶蚀相和胶结相发育,物性较好,为中等的储集体。须四段三种成因砂组中,加积式砂组中发育高能削截式河道,形成了在平面上广泛分布的高能水道,砂体厚度大,延伸长,发育有利的成岩相,物性较好,为油气的富集提供了足够的空间;同时加积式砂组与水退式砂组呈沉积不整合相接触,呈现相嵌关系,对天然气的运移起到通道作用,加积砂组向上的水进式砂组容易发生储层致密化,形成有利的盖层,使加积式砂组发育区成为川中天然气富集的有利部位。

**关键词:**川中地区;上三叠统;须四段;砂体成因;河道砂体;砂体组合

**中图分类号:**P588.21\*2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)02-0387-10

川中地区位于四川盆地中部,面积大,其上三叠统具有物源多、沉积范围广的特点,发育须二段、须四段、须六段 3 套储集体。通过对该地区已发现气藏分布特点分析,发现该地区须四段大套厚层砂岩控制了气藏的分布。杨克明<sup>[1]</sup>、杨晓萍<sup>[2]</sup>、李登华<sup>[3]</sup>等对气藏的形成规律、储层特征进行了研究,李书兵<sup>[4]</sup>、朱彤等<sup>[5]</sup>研究了晚三叠世河道、三角洲砂体和天然气富集的关系。基于前人的研究工作,笔者通过对须四段进行砂组成因分析,发现其大套砂岩自下而上由水退式、加积式和水进式三种不同成因类型的砂组纵向叠合而成,三者之间的相互叠置,促使了天然气的富集。因此对须四段砂体成因进行研究,有利于下一步的油气勘探。

## 1 砂体成因与组合类型

### 1.1 砂体沉积类型及基本特征

川中地区上三叠统须四段砂体厚度 30~90 m,沉积稳定,根据野外露头剖面和岩心观察,川中地区须四段是近源辫状河三角洲沉积<sup>[6-9]</sup>,主要发育(水下)分流河道、河口坝、席状砂、分流间湾等微相。岩心薄片鉴定分析,须四段储层岩石学特征呈现结构成熟度中等,成份成熟度中等的特点,反映出近物源区的三角洲沉积特征。砂岩内部平行层理、交错层理发育,生物少见,纵向上旋回特征清楚,旋回底部具有底砾成份(图 1)。岩石以岩屑质石英砂岩、长石岩屑砂岩和长石石英砂岩为主,石英含量 50%~70%,

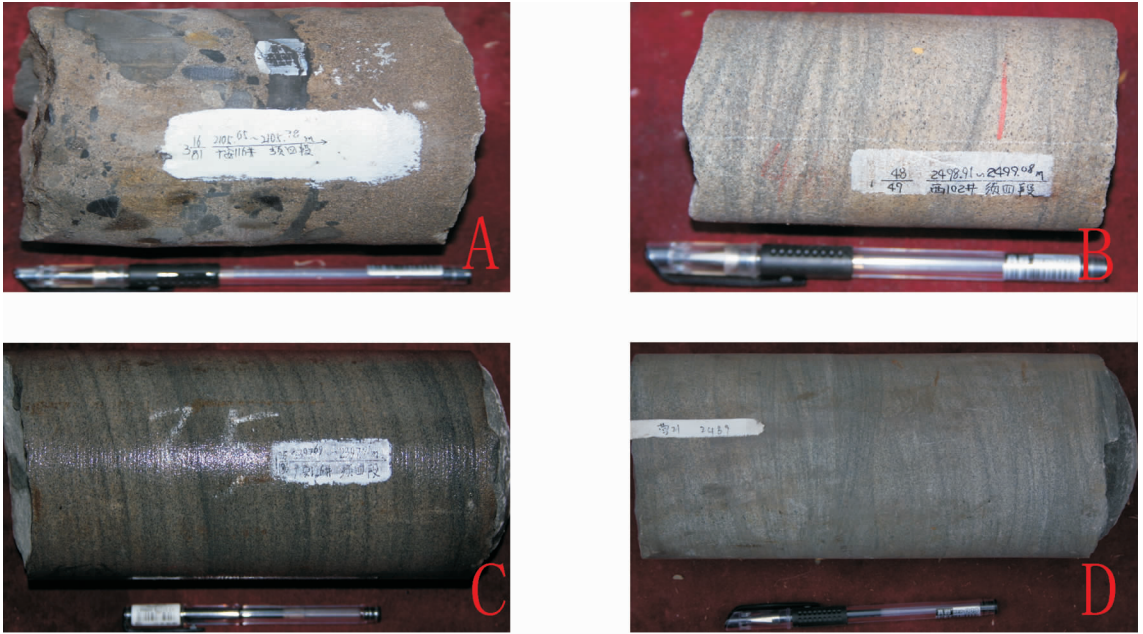


图 1 须四段岩心照片

A—广安 116 井, 2105.65 m, 典型的河道滞留沉积, 发育大块砾石; B—西 102 井, 2498.91 m, 楔形交错层理, 河道正韵律沉积; C—广安 126 井, 2397.69 m, 平行层理, 砂体粒度较小; D—营 21 井, 2489m, 底部大型楔形交错层理, 典型河道正韵律沉积

Fig.1 Core photographs of Xu 4 Formation

A—Well Guangan 116, 2105.65 m, typical river sediments, with the development of large gravels; B—Well Xi 102, 2498.91 m, wedge-shaped cross bedding and positive rhythm river sediments; C—Well Guangan 126, 2397.69 m, parallel bedding and small-sized sand body; D—Well Ying 21, 2489 m, at the bottom of a large wedge-shaped cross bedding and positive rhythm typical river sediments

平均 60.2%; 长石含量 6%~31%, 主要为正长石, 次为微斜长石; 岩屑含量 5%~36%, 平均 18.7%, 以千枚岩、燧石、石英岩屑等变质岩岩屑为主。研究区须四段储层平均孔隙度为 6.7%, 最小 0.001%, 最大 21.9%; 储层平均渗透率为  $6.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 最小  $0.0001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 最高可达  $11900 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  以上 (裂缝发育时)。渗透率平均值相对较高主要是在磨西、广安地区有裂缝存在, 有些渗透率值很高, 导致最后平均渗透率相对较高。孔隙度主要分布在 4%~8% 的范围内, 渗透率分布在  $0.01 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的范围内, 总体上储层物性较差, 属低孔、低渗储层, 局部发育有少量中孔、中渗储层, 储层孔隙主要是残余原生粒间孔和次生溶蚀孔为主, 原生孔隙比例较大, 次生孔隙发育。

## 1.2 砂体成因类型分析

不同沉积环境形成的砂体具有不同的几何形态, 沉积特征及其空间展布规律, 构造活动的强弱变

化, 控制了可容纳空间的变化, 也制约了砂体的沉积组合的变化。构造相对活跃期形成的砂体的横向连续性好, 结构成熟度和成分成熟度均较低。而在构造活动的相对衰退期, 砂体横向连续性较差, 成分成熟度和结构成熟度较高。川中须四段沉积时期受构造开始加强、稳定和衰退的影响, 导致物源供应速率与可容纳空间增长之间关系的变化, 自下而上形成了水退式、加积式及水进式 3 种砂组叠置方式 (图 2)。这 3 种砂组为不同成因类型的砂组, 砂体的粒度、分选以及储集物性都不相同。

下部水退式砂组为进积湖退三角洲沉积条件下形成的, 构造作用加强, 物源供应加强, 单层砂体厚度大, 砂层之间夹有薄层泥岩, 说明沉积时期湖平面升降频繁。该套砂组主要由水下分流河道、河口坝及席状砂组成, 下部从褐色泥岩逐渐变为泥质粉砂岩, 再向上变为中细粒砂岩, 层理由下部的水平、波状层理渐变为中部的水平、波状变形层理, 至上部出现板

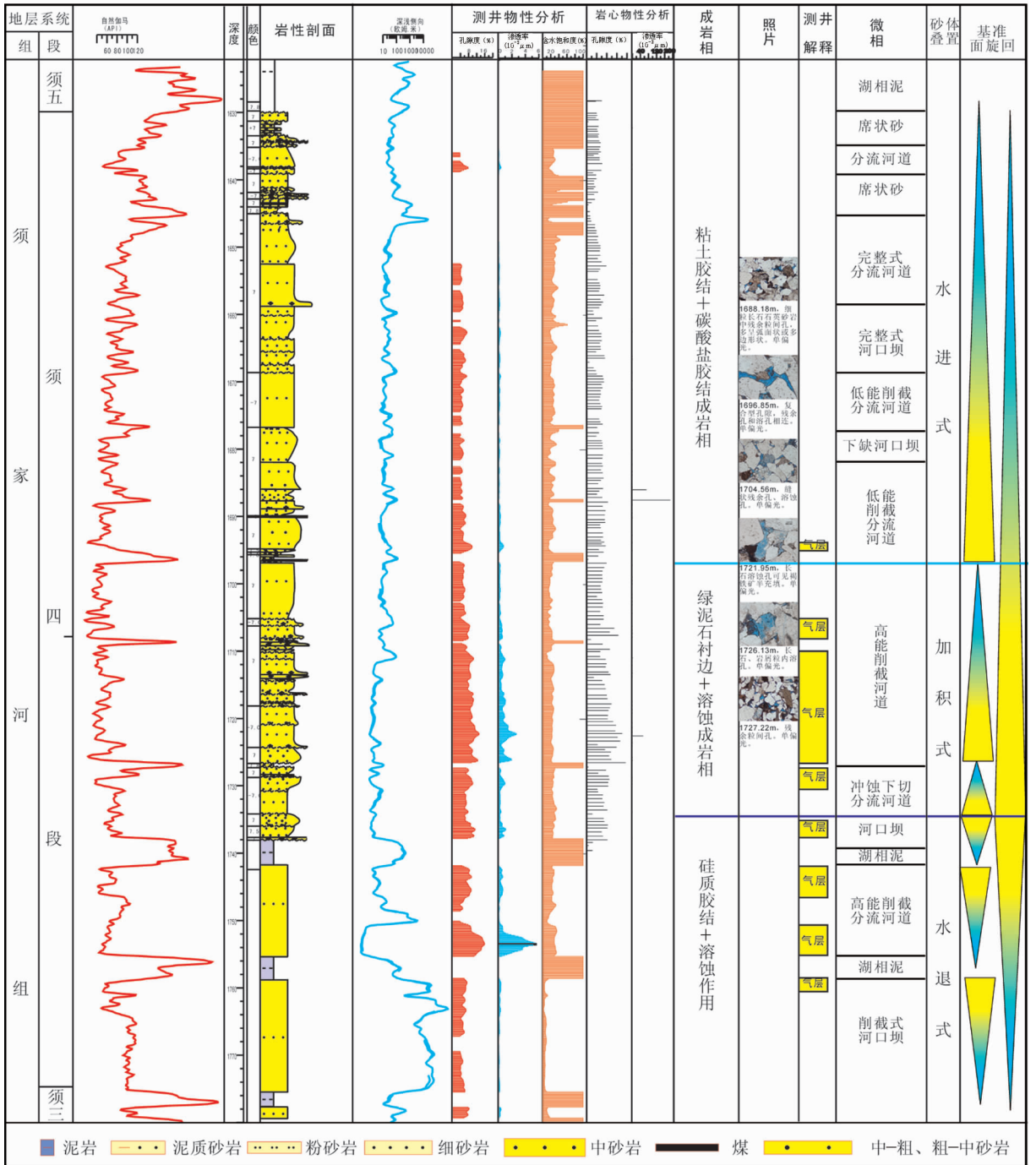


图 2 包浅 001-11 井须四段砂组叠置关系及物性  
 Fig.2 Superimposition relation of sand body groups and physical properties of Xu 4 Formation in Baoqian 001-11

状交错层理、槽状交错层理。在自然伽马曲线上呈现明显的进积形态,齿状反映多期水退的特点。

中部加积式砂组为湖水退到最低点时期形成的,构造作用经历了前阶段的活动趋于稳定,此段时间内

湖平面平稳,陆上河流作用的加强,导致物源供应加大,主要为三角洲河道砂体沉积而成。这段沉积时期相对较短,砂体厚度不大,一般为 20~30 m,由 1~3 期主河道砂体叠置而成,粒度较粗,底部有些地方出现滞留

沉积(一般 0.2 m 厚),砾石磨圆度较低,近源沉积特点。自然伽马曲线一般为箱型,呈现加积的形态。

上部水进式砂组为退积湖进的三角洲沉积条件下形成的,构造减弱,物源供应不足,砂层厚度变薄,砂地比降低,粒度变细,水下分流河道主要发育在砂组的底部,由于湖水的变迁过快,河口坝保存不易。砂体表现为下粗上细的正韵律沉积,下部以分流河

道砂为主,上部为湖相粉砂和泥,自然伽马曲线呈现退积的特点。

沉积分异作用导致广安 109 井形成了 3 套砂体,这 3 套砂体物性有较大的差别:水退式砂体平均孔隙度 5.9%,渗透率  $0.047 \times 10^{-3} \mu m^2$ ;加积式砂体平均孔隙度 11.3%,渗透率  $0.94 \times 10^{-3} \mu m^2$ ;水进式砂体:平均孔隙度 7.8%,渗透率  $0.076 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。

表 1 川中地区须家河组砂组组合特征  
Table 1 Characteristics of sand body combination in Upper Triassic Xu 4 Member of central Sichuan basin

含气性	岩性特征	沉积构造	沉积过程	基准面升/降和 可容空间变化	砂组组合类型	砂组
差	具沉积构造的砂岩内段	底部伴有冲蚀,块状砂岩出现	水退三角洲进积晚期	下降 A=S	低能截式河道	水退式
较好	向上变粗的砂泥岩	高角度交错层和板状交错层理等	水退三角洲进积早期	下降 A<S	高能截式河道 截式河口坝	
无	泥岩与粉砂岩段	平行层理砂岩,具水平层理褐色泥岩	湖泛湖	上升-下降 A>>S	远砂坝	
较差	砂泥岩互层/中细砂为主	波纹层理,平行层理交错层理,斜层理	水进三角洲退积	上升 A<S	完整式河口坝 低能完整式河道	水进式
					下缺式河口坝 低能截式河道	
好	中粗砂为主	底部冲蚀较弱,低角度斜层理发育	水道内快速沉积	上升 A=S	高能截式河道	加积式
较差	厚层滞留沉积	块状,底部有强烈冲蚀下切,底砾岩	河道下切	下降-上升 A<<S	冲蚀下切式河道	

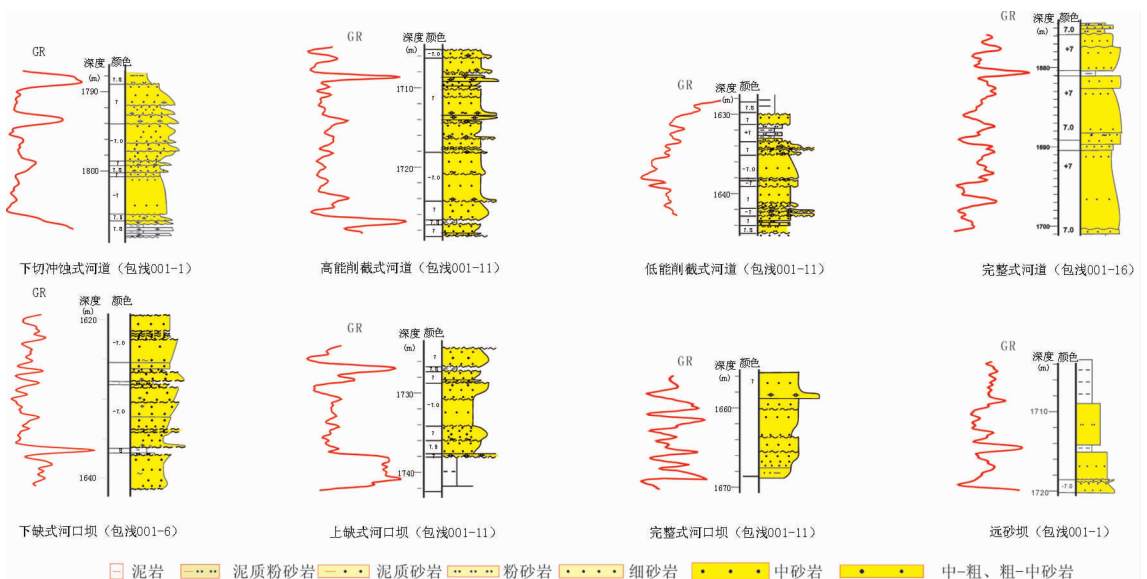


图 3 不同成因砂体类型  
Fig.3 Different genetic types of sand stond

### 1.3 不同组合中的砂体类型

对该地区岩心观察,该地区厚层储集体中不同的砂体成因类型中的砂体组合类型也不相同,主要有 4 种河道砂体组合,3 种河口坝砂体组合,1 种远砂坝砂体组合。水退式砂组主要由高能削截式河道、削截式河口坝和远砂坝组成,加积式砂组主要包括冲蚀下切式河道和高能削截式河道组成,水进式砂组主要包括低能河道、低能削截式河道、完整式河口坝和下缺式河口坝组成(表 1、图 3)。

冲蚀下切式河道主要发育在低位下切初期阶段,底部有强烈的冲刷面,滞留沉积十分发育,一般为 20 cm 厚,厚度较大的可达 50 cm,一般都是定向排列的泥砾岩,有时出现暴露和风化面的特征,其上是厚层的块状中粗砂岩,一般为多次叠置。

高能削截式河道主要发育在水退进积初期和低位下切末期,底部有较明显的冲刷面,滞留沉积部发育,有些地方可以见到砾石滞留,一般为小砾,岩性以中砂岩为主,发育块状和交错层理,有时可见低角度斜层理和板状交错层理,厚度大,内部结构较均一。

低能完整式河道在水进退积末期和湖泛阶段出现,该时期水动力能量较低,各种层理、结构保存较好,河道系列的顶部出现泥岩,该类砂体单层厚度小,一般为 4 m 左右。

低能削截式河道发育在水进退积早期和高位进积中早期,底部冲刷部明显,在沉积系列中出现具有平行层理的细砂岩,有时还可以出现水纹层理的泥质砂岩,砂体厚度较小,内部均一性变差。

完整式河口坝主要发育在水进退积中晚期,结构完整,从下到上有前三角洲泥岩-远砂坝-细粒席状砂,再到块状厚层中粗砂岩组成的反粒序沉积,厚度一般较大,在 5 m 以上。

削截式河口坝主要发育在水退进积中晚期,由于沉积时期水动力强度较大,顶部的厚层块状中粗砂岩被上覆的河道沉积给冲刷,反粒序保存不完整。

下缺式河口坝主要发育在水进退积早期,受此时物源和沉积水动力条件的影响,河口坝下部的粉细砂岩保存不完整,主要是上部的块状厚层砂岩发育,厚度部大,相对完整式和削截式河口坝厚度小,主要是受湖水进退频繁影响。

远砂坝主要发育在水进退积晚期和水退进积中晚期,与三角洲前缘的泥质砂岩伴生,呈现反粒序的块状砂岩沉积,厚度不大,一般不超过 10 m。

## 2 不同砂体组合成岩分异作用

### 2.1 成岩改造对储层的影响

储层的改造前期主要受构造、沉积等因素影响,后期主要受成岩改造影响导致了储层分异,砂体的不同部位成岩作用也不相同。砂体在成岩改造过程中,整个砂体旋回顶底部由于杂基含量相对较高,容易发育碳酸盐胶结作用,但对大套厚层砂岩的物性影响不大,对薄层砂体影响较大。在连续沉积的砂体内部硅质胶结发育,主要受控于砂体旋回沉积的连续性,影响储集体均值性,硅质含量高的砂体成为盖层,促使油气的成藏,硅质含量低的砂岩为储层,成为油气聚集的场所。

研究区主要发育早期的压实与晚期的胶结作用破坏性成岩作用和溶蚀作用及破裂作用等建设性成岩作用。压实作用存在于沉积岩成岩作用的全过程,十分强烈,所损失的孔隙度普遍在 20% 以上。大量塑性碎屑被挤压形成填隙状,孔隙、细喉道的孔隙结构类型常见,颗粒之间常呈线接触,边缘常见压溶现象。石英、长石等刚性颗粒被压裂、压碎现象常见(图 4-A)。

须家河组砂岩中胶结物成分多样,其中以硅质、方解石、白云石为主,其次有伊利石、少量绿泥石、(含)铁方解石、(含)铁白云石及菱铁矿(图 4-B、C、D)。硅质胶结以次生加大边和充填孔隙的自生石英两种形式存在,据薄片观察,加大石英的含量平均 4% 左右,最高可达 8%;加大边宽度多为 0.05~0.3 mm,最多可见到三期加大现象。该区碳酸盐胶结作用主要为方解石和白云石。早期主要以方解石胶结为主,晚期碳酸盐胶结物主要为亮晶方解石、铁方解石及白云石和铁白云石,具较好的自形晶形,可见其对碎屑颗粒的强烈交代。

研究区内溶蚀作用普遍发育,主要发生长石、岩屑及杂基的溶蚀作用,溶蚀作用从刚沉积时一直持续到成岩晚期,须家河组砂岩经历溶蚀作用形成次生孔隙,大大改善储层储集性能(图 4-E、F)。研究区破裂作用形成的裂缝和微裂缝可有效地改善致密砂岩的储集性能。研究区破裂作用主要为两期,即燕山晚期和喜山期,而喜山期的破裂最为发育。薄片中间观察到的微裂缝宽度以 0.01~0.02 mm 为主,小于 0.01 mm 次之,少量 0.02~0.1 mm。

### 2.2 不同砂体组合成岩差别

研究区有着不同的砂体组合方式,发育着不同

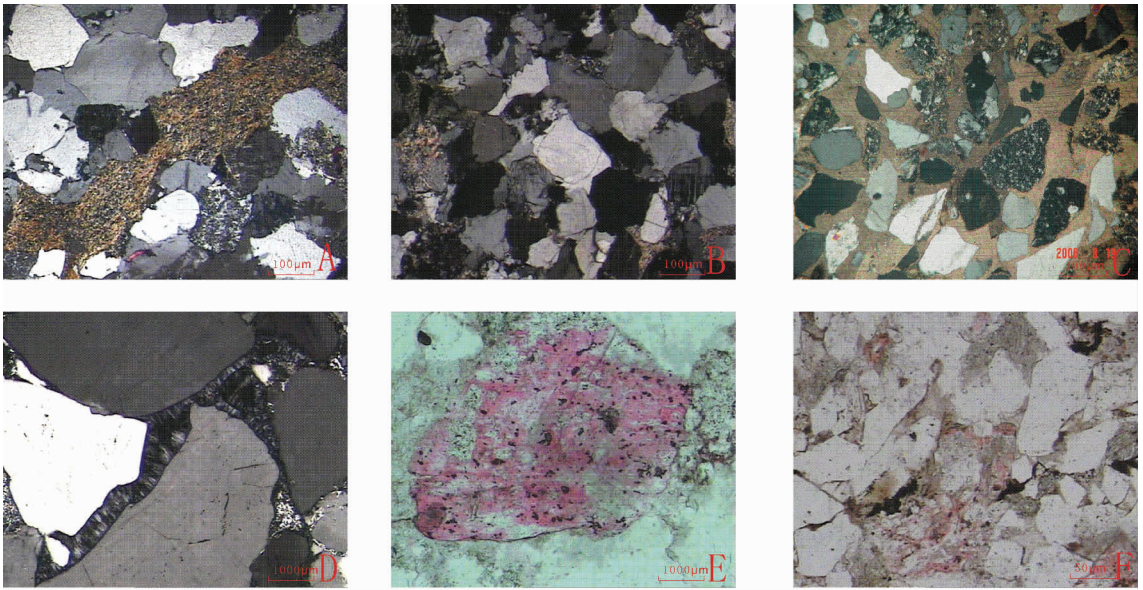


图4 典型成岩作用

A—广安1井, 1902.6 m, 岩屑挤压变形(+); B—莲花3井, 2674.97 m, 强烈硅质胶结(+); C—广安107井, 2308 m, 碳酸盐胶结(+); D—广安5井, 2391.17 m, 绿泥石胶结颗粒边缘(+); E—营24井, 2796.9 m, 长石溶孔(-); F—角57井, 3115.53 m, 岩屑溶蚀(-)

Fig. 4 Typical diagenesis

A—Well Guangan 1, 1902.6 m, debris extrusion deformation; B—Well Lianhua 3, 2674.97 m, intense siliceous cementation; C—Well Guangan 107, 2308 m, carbonate cementation; D—Well Guangan 5, 2391.17 m, fibrous chlorite cement particle edge; E—Well Ying 24, 2796.9 m, feldspar dissolution pore; F—Well Jiao 57, 3115.53 m, corroded debris

类型的砂体,因此其成岩改造的因素也不同。研究区厚层砂岩3种不同的砂体组合,其岩石类型、砂岩粒度,沉积微相组合都不同,其储集砂体的成岩作用也不相同。整个须家河厚层砂岩砂组主要由4种河道、3种河口坝、1种远砂坝组成,这些砂组的岩性特征有着明显的差别,像河道主要为中粗砂岩为主,而河口坝则以中细砂岩为主,这些差别导致它们在沉积过程中其颗粒结构不同,颗粒之间的充填物不同,形成了不同的抗挤压能力,不同的被溶蚀能力。

加积式砂组主要是中粗粒的高能削截式河道和冲蚀下切式河道砂体组成,沉积时水动力强,砂体沉积稳定,单层砂体厚度大,含水饱和度相对较低,颗粒结构支撑,压实作用不强烈,原生孔隙保存好,溶蚀现象较发育;同时该砂组颗粒之间主要为岩屑充填,受到烃源岩演化产生有机酸的影响,溶蚀作用较强烈,次生孔隙发育,并含有较多的微裂隙,大孔—粗喉组合,孔喉连通性较好,该砂体组合以建设性成岩作用为主,物性较好,为好的储集体。只是在整套砂体的顶部和底部,出现碳酸盐胶结,在冲蚀下切式

河道的下部发育硅质胶结。

水进式砂组主要由完整式河口坝、低能完整式河道、下缺式河口坝和低能削截式河道组成,该砂组沉积时期可容纳空间较大,水动力强度较小,砂体单层厚度小,延伸范围小,以中细砂岩沉积为主,分选较差,杂基充填较多,因此该砂组压实作用较为强烈,原生孔隙保存较差,粒间孔相对少,中小孔—细喉组合,孔喉连通性中等,因此次生孔隙的发育决定此砂组的储集性能。该砂组中的低能削截式砂体底部滞留沉积发育,碳酸盐胶结很严重,底部的孔渗较差,中上部受硅质胶结的影响,孔渗条件受影响;该砂体中粘土矿物的含量较高,主要为三角洲前缘环境沉积,容易形成粘土矿物的沉积条件,促使砂体低孔低渗。该砂组以细砂岩为主,同时河口坝中频繁出现粉砂岩夹泥岩,因此该砂组胶结作用十分发育,以破坏性成岩作用为主。

水退式砂组主要由低能削截式河道、高能削截式河道和削截式河口坝组成,其中低能削截式河道和高能削截式河道主要为中粗粒砂岩沉积,分选较

好,石英含量较高,抗压实能力强,抑制压实、压溶作用,使原生孔隙得以较好得保存,杂基充填较多,容易产生粒间、粒内溶蚀孔隙,构成复合型孔隙网络,中孔-中喉组合,孔喉连通性中等,同时河口坝的粒度相对较细,胶结作用发育,导致物性变差<sup>[10-11]</sup>,因此该砂组建设性与破坏性成岩作用都发育。

### 3 砂体成因与物性关系及油气运移富集的影响

#### 3.1 砂体组合成因与物性关系

不同沉积体系砂体由于水动力的条件的差异,不同的沉积砂体微相,导致不同的砂体组合类型。川中地区厚层砂体主要有 3 种不同叠置类型的砂组组成,它们沉积的微相不同,不同的成岩环境,不同的岩石粒度,从而它们的储集性能也不同。根据川中地区粒度与物性关系发现,粒度越粗储层物性越好(以广安 15 井为例)。储层物性以粗砂岩为最好,平均孔隙度可达 9.8%;其次为中砂岩,平均孔隙度为 7.4%;细砂岩储层物性较差,平均孔隙度为 2.8%;粉砂岩物性很差,平均孔隙度仅为 0.8%,仅少数石英粉砂岩中见有孔隙。因此像高能削截式分流河道、低能削截式分流河道和削截式河口坝起砂岩粒度较粗,颗粒支撑结构,物性一般相对较好;低能完整式、完整式、下缺式河口坝砂岩粒度相对较细,压实作用和胶结作用容易出现,物性相对一般;冲蚀下切式河道虽然砂体粒度粗,由于滞留沉积频繁出现,泥质含量较容易充填,胶结作用较容易出现,导致物性较差(图 5)。

加积式砂组主要有高能削截式河道和冲蚀下切式河道组成,单层沉积厚度大,分选一般,粒度较粗,但底部滞留沉积发育的地方,颗粒分选很差,孔隙度

不好。在水退式和水进式砂组中,沉积时湖平面的波动较加积式频繁,因此砂组中出现粉细砂岩夹层,孔隙度变差。因此加积式砂组的储集性能优于水进式砂组和水退式砂组;水进式砂组主要完整式、下缺式河口坝和低能削截式河道组成,其砂组储集性能差于水退式砂组,主要是水进时湖平面一般频繁波动,导致砂组中夹多层薄层泥岩,为中细颗粒支撑,沉积物压实作用强,导致物性变差<sup>[12-13]</sup>,同时水进式砂组中碳酸盐胶结物相对发育,导致其孔隙被充填,物性下降。比较这 3 种类型砂组,加积式砂组单层平均厚度最大,水进式与水退式单层砂组较小,在相同沉积条件下,一般单层砂体厚度越大,物性条件也越好,横向分布越远。在这 3 种类型中,河道型砂组中溶蚀作用较强烈,次生孔隙较发育,绿泥石衬边也比较发育。绿泥石衬边的形成会显著提高岩石的机械强度和抗压实能力,抑制石英次生加大,有利于保存孔隙度<sup>[14-16]</sup>。

#### 3.2 砂体组合中的高能水道

川中地区须家河组厚层砂岩其砂体成因不同,有着不同的砂体组合类型,从而影响了油气的聚集。3 种不同成因类型的砂体组合形成川中地区须四段厚层的砂体,以辫状河三角洲平原分流河道和前缘水下河道砂体为主,并有滨湖浅滩、河口坝砂体沉积。3 种成因砂体,它们的单层厚度有差别,加积式主要由下切式河道和高能削截式河道组成,加积式砂组这套砂体厚度相对水退式和水进式砂组较厚,沉积稳定,延伸广,在平面上分布较广,砂体均质性强,同时随着地形及物源供应变化而迁移,形成了厚砂体中的高能水道。砂体有效厚度的大小在一定程度上可以反映储层储存能力的大小,同时决定了油

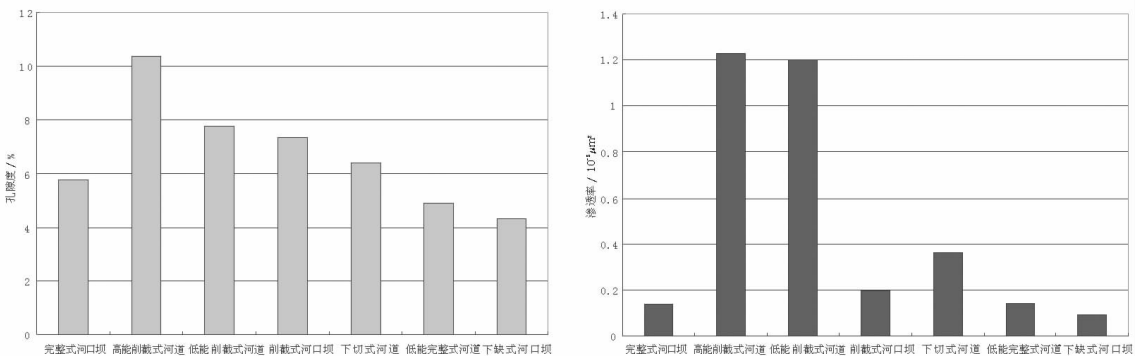


图 5 不同成因类型的砂体储集性能

Fig.5 Physical property of different genetic types of sand bodies

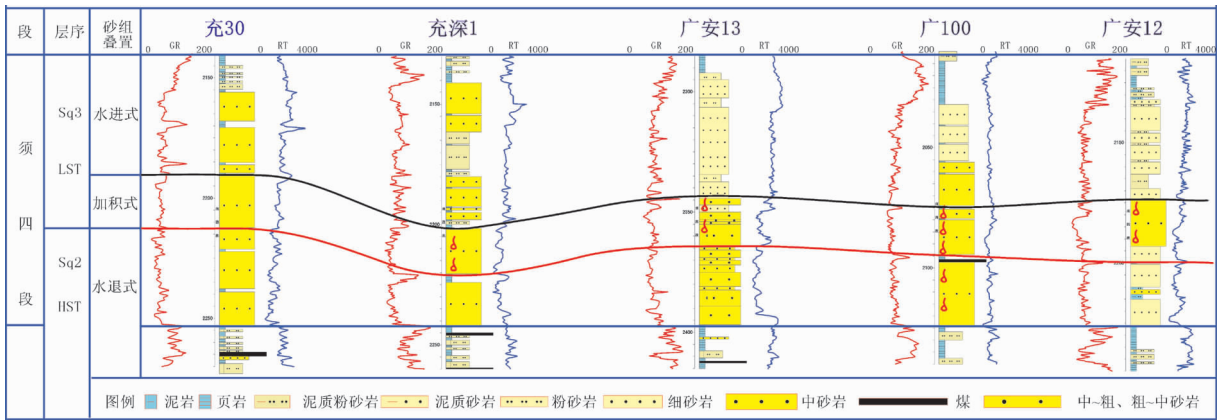


图6 川中地区须四段砂岩叠置方式及油气富集部位

Fig.6 Superimposed sand body groups and position of oil and gas enrichment in thick bed sandstone of Xu 4 Formation

气产能,在油像充足的情况下,有效厚度越大,油气越富集<sup>[17-18]</sup>,因此像加积式砂组的单砂体厚度最大,也决定了其油气聚集的能力强。像加积砂组中的高能削截式河道位于层序界面的上部,砂体发育的初期,沉积可容纳空间最小,沉积速率最大,沉积水动力强,沉积物粒度粗,沉积物抗压生作用强,保留的原生孔隙多,因而后期的有机酸性水可以更多地进入,溶蚀作用强烈,优质储层发育,厚度一般为20~40 m,孔隙度为6%~15%,为最有利的储层。水退与水进式砂组主要是由低能河道、低能削截式河道、完整式河口坝和下缺式河口坝等组成,细砂岩多,中间泥质与粉细砂岩隔层较多,导致油气的流动被阻挡,不利于油气的运移和聚集。这3种砂体的有序的组合,加积式砂组和水退式砂组之间存在一个不整合界面,油气可以通过不整合界面运移到加积式砂组中聚集成藏。因此当高能水道处在合适的古构造下,有利于油气的聚集。从图6中看出,广安地区的须四段油气主要聚集在加积式砂组中。

### 3.3 砂组成因组合对油气富集的影响

川中地区须四段3种成因砂组的叠置形式,促使了天然气富集区主要分布在层序界面上的加积式砂组中,产气井大部分分布在河道式砂体发育区。加积式砂组中发育的高能水道,物性好,成为优质的储集体,可以为油气富集提供空间;纵向上加积式砂组与水退式砂组呈沉积不整合相接触,并且水退式砂组和泥岩直接接触,呈现相嵌关系,对天然气的运移

起到通道作用;向上的水进式砂组发生储层致密化,形成有利的盖层,促使加积式砂组发育区成为川中天然气富集的有利部位。川中地区为多物源沉积,结合研究区单井和连井油气剖面对比,发现油气的富集一般在河道交汇叠置区域(图7)。主要因为河道交汇区域,砂体厚度大,同时水动力较强,分选好,粒度较粗,整体储集物性好,有利于油气的富集。

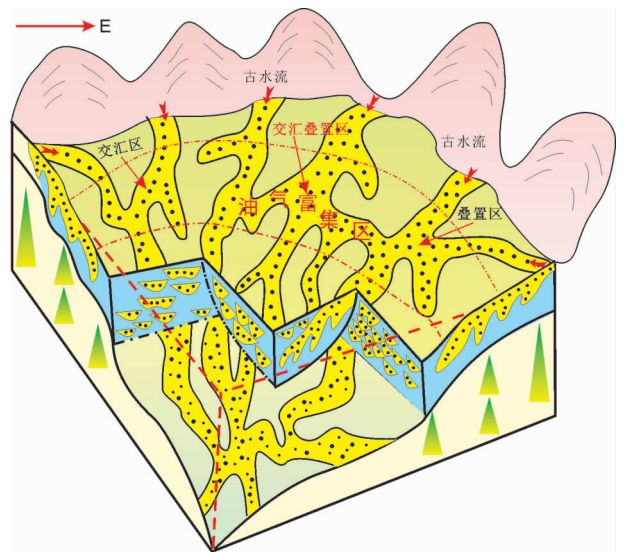


图7 川中地区天然气高产富集区分布示意图  
Fig.7 Sketch map showing the distribution of gas-enrichment areas in central Sichuan basin



## 4 结 论

(1)川中地区须四段为大套厚层近源三角洲砂体沉积,受构造活动强弱变化影响,导致物源供应速率与可容纳空间增长之间关系的变化,自下而上形成了水退式、加积式及水进式 3 种砂组叠置方式。水退式砂组主要由高能削截式河道、削截式河口坝和远砂坝组成,加积式砂组主要包括冲蚀下切式河道和高能削截式河道组成,水进式砂组主要包括低能河道、低能削截式河道、完整式河口坝和下缺式河口坝组成。

(2)不同的砂组中砂体类型不同,颗粒大小分异不同,水动力强弱的差异,导致成岩作用也有很大的区别。加积式砂组以绿泥石衬边和溶蚀成岩相为主,物性好,为好的储集体;水进式砂组由压实和碳酸盐胶结相为主,物性较差;水退式砂组中溶蚀相和胶结相发育,物性较好,为中等的储集体。

(3)须四段 3 种成因砂组中,加积式砂组为最有利的砂组。加积式砂组由高能削截式河道和冲蚀下切河道组成,形成了在平面上广泛分布的高能水道,砂体厚度大,延伸长,发育有利的成岩相,物性较好,同时和水退、水进式砂组形成良好的生储盖组合关系,成为天然气富集的最有利部位。

### 参考文献 (References):

- [1] 杨克明, 叶军, 吕正祥. 川西坳陷上三叠统须家河组天然气分布及成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5):511-516.  
Yang Keming, Ye Jun, Lv Zhengxian. Characteristics of gas distribution and reservoiring in Upper Triassic Xujiahe Formation in Western Sichuan depression [J]. Oil and Gas Geology, 2004, 25(5): 511-516(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨晓萍, 邹才能, 李伟. 四川盆地中部三叠系香溪群储层特征及成岩孔隙演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(1):55-59.  
Yang Xiaoping, Zou Caineng, Li Wei. The characteristics and the evolution of the diagenetic porosity in the oil-gas reservoir of the Upper Triassic Xiangxi Formation in the Central Sichuan Basin [J]. Bulletin of Mineralogy-Petrology and Geochemistry, 2006, 25(1): 55-59(in Chinese with English abstract).
- [3] 李登华, 李伟, 汪泽成, 等. 川中广安气田天然气成因类型及气源分析[J]. 中国地质, 2007, 34(5): 829-836.  
Li Denghua, Li Wei, Wang Zecheng, et al. Genetic type and source of gas in the Guang'an gasfield, central Sichuan [J]. Geology in China, 2007, 34(5): 829-836(in Chinese with English abstract).
- [4] 李书兵, 叶军, 陈昭国. 川西坳陷碎屑岩大中型气田形成条件[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 2(1):41-46.  
Li Shubing, Ye Jun, Chen Zhaoguo. Formation conditions of middle to large clastic gas fields in West Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2005, 2(1):41-46(in Chinese with English abstract).
- [5] 朱彤, 叶军. 川西坳陷致密碎屑岩气藏类型划分及特征 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(6):537-544.  
Zhu Tong, Ye Jun. Types and characteristics of tight clastic rock gas pools in the west Sichuan depression [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2004, 26(6):537-544(in Chinese with English abstract).
- [6] 张金亮, 王宝清. 四川盆地中西部上三叠统沉积相 [J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2000, 15(2):1-7.  
Zhang Jinliang, Wang Baoqin. Sedimentary facies of Upper Triassic in Western Sichuan Basin [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 2000, 15(2):1-7(in Chinese with English abstract).
- [7] 库丽曼, 刘树根, 张长俊, 等. 川中地区上三叠统须家河组二段和四段沉积相[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(2):35-37.  
Ku Liman, Liu Shugen, Zhang Changjun, et al. Study on sedimentary facies in second and fourth members of Xu jiahe Formation of upper Triassic in central Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14 (2):35-37 (in Chinese with English abstract).
- [8] 赵强, 赵路子, 田景春. 川中、川南过渡带须家河组储集砂体成因类型及特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2):74-81.  
Zhao qiang, Zhao luzi, Tian Jingchun, et al. The genetic types of the reservoir sandstones from the Xujiahe Formation in the central-southern Sichuan transitional zone [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27 (2):74-81 (in Chinese with English abstract).
- [9] 周康, 彭军, 耿梅. 川中—川南过渡带致密砂岩储层物性主控因素分析[J]. 断块油气藏, 2008, 15(2):8-11.  
Zhou Kang, Peng Jun, Geng Mei. Analysis on main controlling factors of physical property of tight sandstone reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15 (2):8-11 (in Chinese with English abstract).
- [10] 朱筱敏, 孙超, 刘成林, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田储层成岩作用与模拟[J]. 中国地质, 2007, 34(2):276-282.  
Zhu Xiaomin, Sun Chao, Liu Chenglin, et al. Reservoir diagenesis and fluid-rock interaction simulation of the Sulige gas field in the Ordos basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (2):276-282 (in Chinese with English abstract).
- [11] 曾联波, 李跃纲, 张贵斌, 等. 川西南部上三叠统须二段低渗透砂岩储层裂缝分布的控制因素[J]. 中国地质, 2007, 34(4):622-627.  
Zeng Lianbo, Li Yuegang, Zhang Guibin, et al. Controlling factors for fracture distribution in the low-permeability sandstone reservoir of the Second Member of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the south of western Sichuan [J]. Geology in China, 2007, 34(4): 622-627(in Chinese with English abstract).
- [12] 曾大乾, 李淑珍. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. 石油学报, 1994, 15(1):38-46.

- Zeng Daqian, Li Shuzhen. Types and characteristics of low permeability sandstone reservoir in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1994, 15(1):38-46(in Chinese with English abstract).
- [13] 郑浚茂, 应凤祥. 煤系地层的砂岩储层特征及成岩模式[J]. *石油学报*, 1997, 18(4):19-24.
- Zheng Junmao, Ying Fengxiang. Reservoir characteristics and diagenetic model of sandstone intercalated in coal-bearing formation (acid water medium)[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1997, 18(4):19-24(in Chinese with English abstract).
- [14] 黄思静, 谢连文, 张萌, 等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系 [J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 31(3):273-282.
- Huang Sijing, Xie Liangwen, Zhang Meng, et al. Formation mechanism of authigenic chlorite and relation to preservation of porosity in nonmarine Triassic reservoir sandstones, Ordos Basin and Sichuan Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2004, 31(3):273-282 (in Chinese with English abstract).
- [15] 杜业波, 季汉成, 吴因业, 等. 前陆层序致密储层的单因素成岩相分析[J]. *石油学报*, 2006, 27(2):48-52.
- Du Yebo, Ji Hancheng, Wu Yinye, et al. Single factor diagenetic facies analysis of tight reservoir in western Sichuan foreland basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(2):48-52(in Chinese with English abstract).
- [16] 杨晓萍, 赵文智, 邹才能, 等. 低渗透储层成因机理及优质储层形成与分布[J]. *石油学报*, 2007, 28(4):57-61.
- Yang Xiaoping, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. Origin of low-permeability reservoir and distribution of favorable reservoir[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28 (4):57-61 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李金鹏. 储层非均质特征对油气富集程度的影响[J]. *内蒙古石油化工*, 2007, 33(6):110-111.
- Li Jinpeng. Influence of reservoir characteristics of sandstone body on fill degree [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2007, 33 (6):110-111(in Chinese).
- [18] 闫长辉, 陈青, 张善文, 等. 博兴洼陷储层非均质性对油气充满度的影响[J]. *断块油气田*, 2007, 15(3):19-21.
- Yan Changhui, Chen Qing, Zhang Shanwen, et al. Influence of reservoir characteristics of sandstone body on fill degree [J]. *Falut-block Oil & Gas Field*, 2007, 15(3):19-21(in Chinese with English abstract).

## The genesis of the Triassic Xu 4 Member sand body in central Sichuan and its influence on oil and gas migration

XIE Wu-ren, YANG Wei, LI Xi-zhe, XIE Zeng-ye,  
JIN Hui, ZHU Qiu-ying, SHEN Jue-hong

(Langfang Branch of Institute of Geology for Petroleum Exploration and Development, Langfang 065007 Hebei, China)

**Abstract:** As a result of changes in the strength of tectonic activity, the sand bodies of Upper Triassic Xu 4 Member in central Sichuan basin had different accommodation space /sedimentary supply values in the process of sedimentation. The Xu 4 Member sand bodies consist from bottom to top of three vertical superimposed types, namely regression, aggradation and transgression. The regressive sand body mainly includes high energy truncation style channel, truncation style mouth bar and far-bar sand groups. The aggradation sand body mainly comprises erosion style channel and high energy truncation style channel, and the transgressive sand body is mainly composed of low-energy channel, low-energy truncation channel, complete mouth bar and lower breached mouth bar. Different sand body combinations have different styles of sand bodies, particles are of different sizes, and strong and weak hydrodynamic activities have different features. Hence sand bodies of different geneses formed different diagenetic facies and reservoir facies. The aggradation sand body is of corrosion facies and lining chlorite facies with high porosity, so it constitutes a good reservoir; the transgressive sand body is of compaction and binder facies with unsatisfactory physical properties; and the transgressive sand body is of corrosion and binder facies with relatively good physical properties, so it serves as a medium-sized reservoir. Of these sand groups of three different geneses, the aggradation sand body has developed the high energy truncation style channel and formed widely distributed high-energy water channels in the plane, the sand body is thick, the extension is long with the development of favorable diagenetic facies, the physical properties are relatively good, and hence it can provide sufficient space for oil-gas enrichment. In addition, the sedimentary contact between the channel model and the regressive model is unconformable and shows a mosaic relation, so it can act as the channel way for gas migration. The transgressive sand body reservoir at the top tends to become tight and form a favorable cap rock, thus constituting a favorable position for oil and gas enrichment in central Sichuan basin.

**Key words:** central Sichuan basin; Upper Triassic; Xu 4 Member; genesis of sand body; channel sand; combination of sand bodies

**About the first author:** XIE Wu-ren, male, born in 1980, engineer, engages in the study of sequence stratigraphy and reservoir; E-mail: xwr69@petrochina.com.cn.