

# 准噶尔盆地南缘三工河组和西山窑组 辫状河三角洲水动力条件与砂体分布规模定量分析

陈彬滔<sup>1</sup> 杨丽莎<sup>1</sup> 于兴河<sup>2</sup> 李顺利<sup>2</sup> 谭程鹏<sup>2</sup> 谢 京<sup>2</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083)

**摘要:**不同主控水动力条件的三角洲具有不同的平面形态、砂体分布频率和规模尺寸。为了定量表征陆相三角洲的主控水动力条件,将其按水动力相对强度分为浪控、河流影响型浪控、波浪影响型河控、河控 4 类。实测层段的露头岩心柱状图定量分析结果表明三工河组为河流影响型浪控辫状河三角洲前缘沉积,而西山窑组为波浪影响型河控辫状河三角洲前缘沉积。两类辫状河三角洲前缘均主要发育 3 种类型的砂体,分别为水下分流河道、河口坝、席状砂。但河流影响型浪控辫状河三角洲前缘以席状砂为主,分布频率高达 57%;波浪影响型河控辫状河三角洲前缘以水下分流河道和河口坝砂体为主,分布频率分别为 42%和 33%。河流影响型浪控辫状河三角洲前缘水下分流河道和席状砂的宽厚比均明显大于波浪影响型河控辫状河三角洲前缘相应砂体的宽厚比;河口坝砂体属于残余成因单元,宽厚比定量关系不明确。

**关键词:**准噶尔盆地;辫状河三角洲;砂体类型;定量地质知识库;水动力条件

**中图分类号:**P588.21\*2.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-3657(2012)05-1290-09

陆相湖盆三角洲沉积地层中蕴藏着大量石油、天然气及煤炭资源<sup>[1-3]</sup>,但是受波浪和河流相互作用强弱的影响,其储层非均质性、平面形态及砂体类型和规模常因主控水动力条件不同而发生变化<sup>[4-8]</sup>。前人通过钻测井、岩心及露头资料综合分析,认为准噶尔盆地南缘侏罗系三工河组和西山窑组为典型的陆相湖盆辫状河三角洲沉积<sup>[9-14]</sup>,但是未开展主控水动力条件分析。准噶尔盆地南缘郝家沟和安集海河剖面三工河组和西山窑组地层出露完整<sup>[12-13]</sup>,为主控水动力条件分析及砂体分布频率和规模尺寸的定量研究提供了良好的露头基础资料。因此,本文旨在以三工河组和西山窑组露头实测资料为基础,定量分析其主控水动力条件,探讨不同主控水动力条件下,辫状河三角洲前缘的砂体类型、分布频率和规模尺寸,为油气勘探开发过程中相应层位的地下储层预测提供定量或半定量的经验数据或经验公式。

## 1 露头岩相特征概述

准噶尔盆地南缘郝家沟剖面 and 安集海河剖面完整出露侏罗系三工河组和西山窑组地层,实测的地层厚度分别接近 900 m 和 1 000 m。准噶尔盆地南缘郝家沟剖面与安集海河剖面的三工河组和西山窑组均主要发育以下 8 种典型岩相(表 1)。

**块状层理砾岩相(Gm):**由磨圆较好、分选一般的砾岩组成,砾石最大粒径约 2 cm(图 1-B),块状层理。块状层理砾岩多分布于大型冲刷面之上(图 1-A),厚度通常小于 20 cm,为水下分流河道底部冲刷面之上的滞留砾石沉积。

**槽状交错层理中粗砂岩相(St):**由分选、磨圆较好的中粗砂岩组成,发育大型槽状交错层理(图 1-C),属于高能水流条件下水下分流河道下切、迁移并充填的产物。

收稿日期:2012-02-29;改回日期:2012-08-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41072084)和国家重大专项项目(2008ZX05056-002-02-01)共同资助。

作者简介:陈彬滔,男,1985 年生,助理工程师,主要从事储层预测与储层评价方面的研究工作;E-mail: tobychencugb@foxmail.com。

表 1 准噶尔盆地南缘三工河组与西山窑组露头岩相类型划分及成因解释

Table 1 Division of lithofacies and genetic interpretation of Sangonghe Formation and Xishanyao Formation on the southern margin of Junggar Basin

| 岩相代码 | 岩相          | 成因解释                  |
|------|-------------|-----------------------|
| Gm   | 块状层理砾岩相     | 水下分流河道底部冲刷面之上的滞留砾石    |
| St   | 槽状交错层理中粗砂岩相 | 水下分流河道下切、迁移并充填        |
| Sp   | 板状交错层理中粗砂岩相 | 垂向加积, 辫状水下分流河道的心滩或河口坝 |
| Sw   | 浪成波纹层理细砂岩相  | 波浪淘洗、改造而形成的席状砂或滨浅湖滩沙  |
| Fr   | 流水沙纹层理粉砂岩相  | 漫溢沉积                  |
| Fl   | 水平纹层粉砂岩相    | 低能、稳定水动力条件下悬浮沉积物卸载    |
| C    | 煤层或炭质泥岩相    | 沼泽环境                  |
| M    | 块状层理泥岩相     | 滨浅湖泥岩                 |

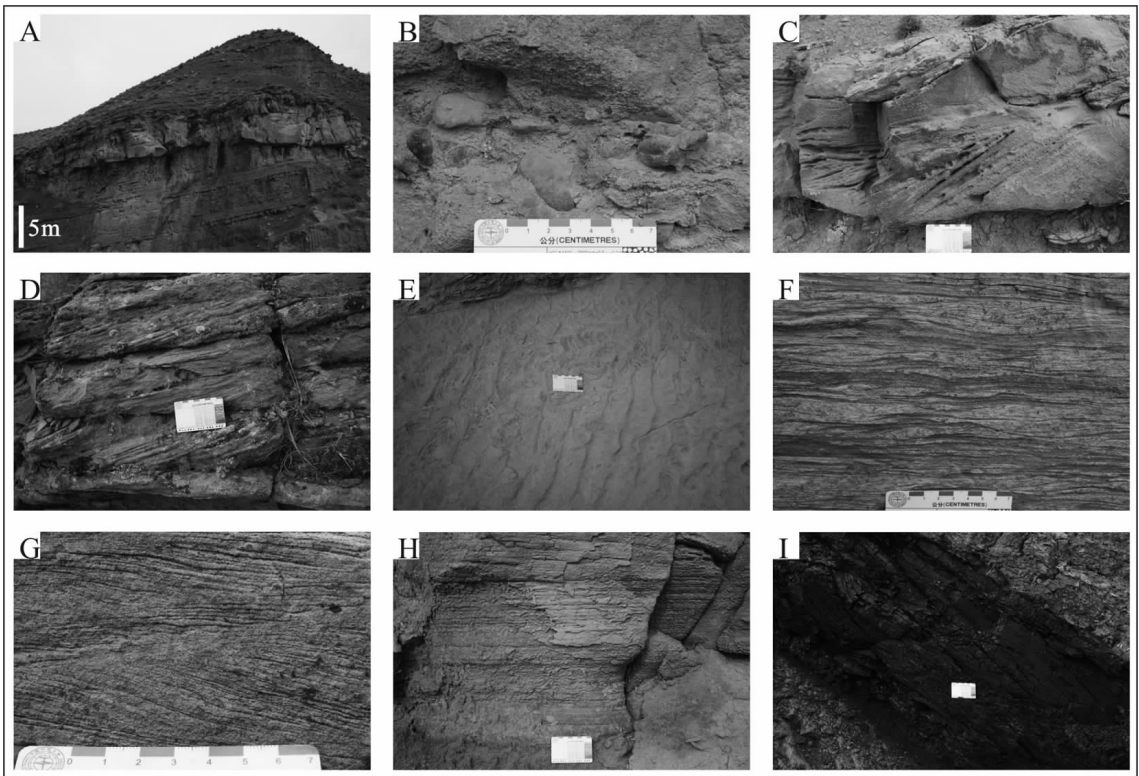


图 1 准噶尔盆地南缘三工河组和西山窑组典型露头照片(注:图中卡片长度为 8 cm)

A—大型水下分流河道冲刷面(三工河组);B—水下分流河道底部滞留砾石(三工河组);C—槽状交错层理中粗砂岩相(西山窑组);D—板状交错层理中粗砂岩相(西山窑组);E—浪成波纹(三工河组);F—浪成波纹层理细砂岩相(三工河组);G—流水沙纹层理粉砂岩相(西山窑组);H—水平纹层粉砂岩相(西山窑组);I—煤层(西山窑组)

Fig. 1 Typical outcrop photos of Sangonghe Formation and Xishanyao Formation on the southern margin of Junggar Basin(Note: the length of the card in the photo is 8cm)

A—Scour surface below large underwater distributary channel (Sangonghe Formation); B—Lag gravel on the bottom of underwater distributary channel (Sangonghe Formation); C—Trough cross bedding, medium-coarse sandstone lithofacies (Xishanyao Formation); D—Planar cross bedding, medium-coarse sandstone lithofacies (Xishanyao Formation); E—Wave ripple (Sangonghe Formation); F—Wave ripple bedding fine sandstone lithofacies (Sangonghe Formation); G—Climbing ripple bedding siltstone lithofacies (Xishanyao Formation); H—Horizontal laminar siltstone lithofacies (Xishanyao Formation); I—Coal bed (Xishanyao Formation)

板状交错层理中粗砂岩相(Sp):由分选、磨圆较好的中粗砂岩组成,发育大型板状交错层理(图 1-D),为较高能条件下、直脊波痕底形迁移的产物,通常发育于垂向加积形成的水下分流河道心滩坝或前积形成的河口坝。

浪成波纹层理细砂岩相(Sw):由分选、磨圆极好的细砂岩组成,发育浪成波纹层理(图 1-E,F),为浪基面以上,三角洲前缘砂体受波浪淘洗、改造而形成的产物,通常组成薄层滩沙或席状砂。

流水沙纹层理粉砂岩相(Fr):由分选、磨圆极好的粉砂岩组成,发育流水沙纹(图 1-G),表现为水流波痕向前迁移并同时向上生长,通常对应于漫溢砂。

水平纹层粉砂岩相(Fl):主要由纹层状细粒沉积物组成(图 1-H),属于低能、稳定水动力条件下悬浮沉积物卸载而形成的产物,通常发育于水下分流间湾环境。

煤层或炭质泥岩相(C):煤层(图 1-I)或含大量植物碎屑的炭质泥岩,形成于静水沼泽或湖湾环境。

块状层理泥岩相(M):暗色厚层块状泥岩,低能、静水条件下,细粒悬浮沉积物卸载形成,通常为滨浅湖泥岩。

三工河组和西山窑组的露头实测剖面具有粒度粗、大型槽状和板状交错层理发育、块状层理砾岩相(Gm)-槽状交错层理中粗砂岩相(St)-板状交错层理中粗砂岩相(Sp)分布频率高、分流河道砂体呈宽板状(无明显二元结构)等特征,结合基于钻测井资料的研究成果<sup>[10-13]</sup>,综合分析认为三工河组下部和

西山窑组中部实测剖面为典型的辫状河三角洲前缘沉积。

## 2 三角洲前缘主控水动力条件分析

三工河组和西山窑组辫状河三角洲前缘沉积的露头岩相类型相似,但是相同类型岩相的分布频率却存在巨大差异,尤其是波浪作用的标志性岩相类型—浪成波纹层理细砂岩相(Sw)。因此,三工河组和西山窑组辫状河三角洲前缘的主控水动力条件可能有所不同。

### 2.1 基于水动力条件的三角洲分类

三角洲的形成、发育和形态特征受控于河流作用及蓄水体能量的相对强度<sup>[15]</sup>,对于陆相地层而言,主要受控于波浪和河流作用<sup>[1,8]</sup>。波浪作用通常对河口砂体起着改造、破坏、再分布的作用<sup>[6]</sup>。三角洲前缘位于波浪作用范围内,因此,其砂体类型和展布形态均可能因主控水动力条件不同而发生变化(图 2)。为了便于定量表征三工河组和西山窑组的水动力条件,本文将陆相三角洲按相对水动力强弱简单划分为 4 类(假定 1 代表完全受波浪作用或河流作用控制),分别为浪控(波浪作用介于 0.75~1),河流影响型浪控(波浪作用介于 0.5~0.75);波浪影响型河控(河流作用介于 0.5~0.75);河控(河流作用介于 0.75~1)。

### 2.2 研究层段主控水动力条件分析

地层沉积时期,不同的主控水动力条件通常会产生产特有的沉积构造<sup>[6,15]</sup>,因此,根据地层中代表特

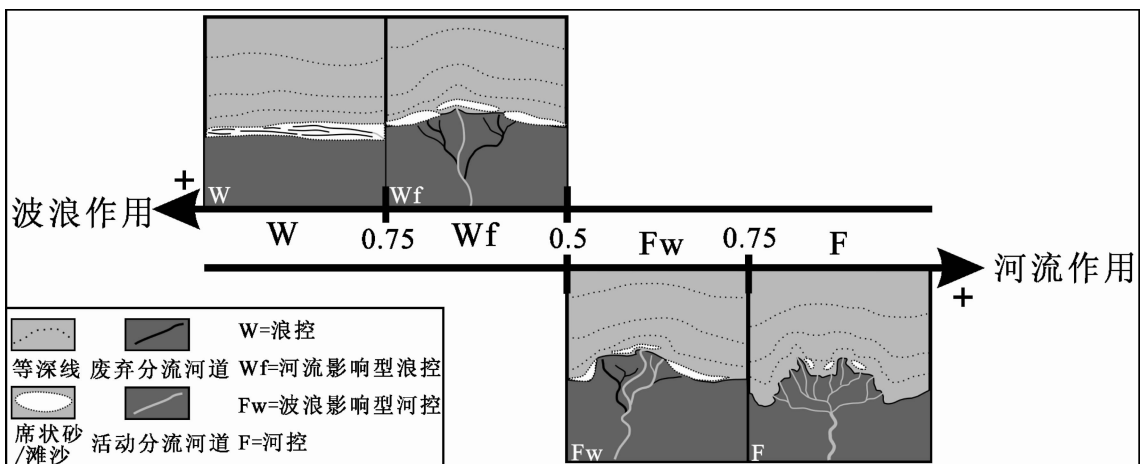


图 2 波浪和河流作用相对强度对三角洲平面形态与砂体类型的影响

Fig.2 The impact of the relative intensity of wave and fluvial action on the morphology and sand body types of delta

定水动力环境的沉积构造(例如冲洗交错层理、浪成波纹层理或平面上的波痕为典型的波浪作用沉积构造)的分布频率,即可定量或半定量表征其沉积时期的主控水动力条件<sup>[6]</sup>。

基于上述原理,对三工河组和西山窑组露头研究层段(辫状河三角洲前缘)的实测岩心柱状图进行了定量分析(图 3)。分析结果表明,三工河组研究层段的实测地层总厚度 100 m,其中仅发育浪控沉积构造(浪成波纹层理)的地层厚 52.4 m,仅发育河控沉积构造(槽状交错层理、流水沙纹层理)的地层厚 47.6 m,浪控沉积地层的分布频率为 0.524(52.4 m/100 m),根据图 2 所示的水动力条件分类方法,三工河组实测层段的沉积亚相属于河流影响型浪控辫状河三角洲前缘。西山窑组研究层段的实测地层总厚度 90 m,其中仅发育浪控沉积构造的地层厚 29.8 m,仅发育河控沉积构造的地层厚 60.2 m,河控沉积地层的分布频率为 0.669(60.2 m/90 m),因此,西山窑组实测层段的沉积亚相属于波浪影响型河控辫状河三角洲前缘。

### 2.3 三工河组与西山窑组不同类型三角洲的发育控制因素

三工河组实测层段和西山窑组实测层段分别属于河流影响型浪控辫状河三角洲和波浪影响型河控辫状河三角洲,两者主控水动力条件之间的差异主要受盆地构造、地形坡度、距物源距离、湖平面变化等因素的影响(表 2)。

三工河组沉积时期,受早期燕山运动的影响,准噶尔盆地以区域性弱伸展构造为主,南缘的基底缓慢沉降,地形坡度平缓<sup>[6]</sup>,在此期间准噶尔盆地经历了两次大规模的湖侵,是盆地湖侵范围最大的时期,南缘边界至少位于现今的后峡以南,实测剖面距离物源相对较远<sup>[7]</sup>;而西山窑组沉积时期,盆地已开始整体缓慢抬升<sup>[6]</sup>,地形坡度逐渐增大,湖平面下降,湖盆面积缩小<sup>[7]</sup>,实测点与物源区的距离相对较近。

整体而言,缓慢的盆地沉降速率、平缓的坡度、相对较远的物源距离和宽广的湖域面积综合作用,造成三工河组实测层段波浪作用相对较强且作用范围较大,属于河流影响型浪控辫状河三角洲;而盆地抬升、地形坡度增大、相对近源、湖平面下降等地质背景导致西山窑组实测层段沉积时期河流坡降面增大,河流作用增强,属于波浪影响型河控辫状河三角洲。

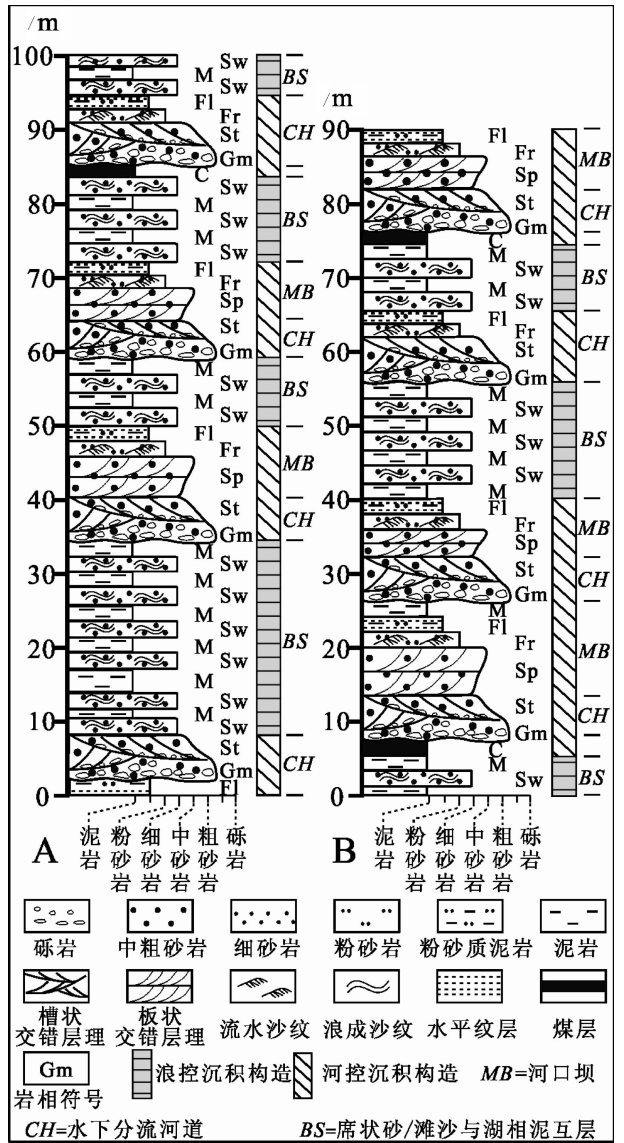


图 3 准噶尔盆地南缘三工河组和西山窑组研究层段水动力条件分析

A—三工河组实测柱状图;B—西山窑组实测柱状图

Fig.3 Analysis of hydrodynamic conditions for study intervals of Sangonghe and Xishanyao Formation on the southern margin of Junggar Basin

A—Measured outcrop columnar section of Sangonghe Formation;

B—Measured outcrop columnar section of Xishanyao Formation

### 3 砂体类型及分布频率

野外露头实测过程中,分别对郝家沟剖面三工河组研究层段和安集海河剖面西山窑组研究层段典型砂体的宽度、厚度进行了测量,并根据砂体的沉积成因和外部几何形态,进行了分类,以便于统计不同

砂体类型的分布频率。

### 3.1 三工河组砂体类型及分布频率

三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘亚相主要发育 3 种类型的砂体，分别为顶平底凹的水下分流河道砂体 (CH)、底平顶凸的河口坝砂体 (MB)、顶平底平的席状砂 (BS)。研究层段共测得各种类型砂体的数据 35 个，其中，水下分流河道砂体 10 个，分布频率约为 29%；河口坝砂体 5 个，分布频率仅为 14%；席状砂 20 个，分布频率高达 57%(表 3)。由此可见，受波浪改造作用的影响，河口坝沉积多已被侵蚀、搬运再沉积而形成席状砂。因此，河流影响型浪控辫状河三角洲前缘以大量发育选积型席状砂为特点，水下分流河道砂体中等，河口坝砂体极少。

### 3.2 西山窑组砂体类型及分布频率

西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘亚相的主要砂体类型与三工河组相似，同样为水下分流河道砂体 (CH)、河口坝砂体 (MB) 和席状砂

(BS)。但是，在研究层段 33 个实测砂体中，水下分流河道砂体占 14 个，分布频率约为 42%；河口坝砂体 11 个，分布频率为 33%；席状砂 8 个，分布频率仅 25%(表 4)。

与三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘的砂体类型分布频率相比，西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘的席状砂分布频率由 57%下降至 25%，而河口坝和水下分流河道的分布频率则相应上升。由此说明，波浪影响型河控辫状河三角洲以水下分流河道和河口坝砂体为主，但席状砂同样发育，其砂体分布频率较为平均；但河流影响型浪控辫状河三角洲前缘以席状砂占主导，水下分流河道和河口坝沉积都或多或少因波浪改造、破坏、搬运、再分布而未能保存。

## 4 砂体规模及宽厚比定量关系

为了开展精细储层表征，必须建立大量的地质

表 2 准噶尔盆地南缘三工河组与西山窑组两类三角洲的发育控制因素对比

Table 2 Comparison of controlling factors between two types of deltas in Sangonghe Formation and Xishanyao Formation on the southern margin of Junggar Basin

| 地层   | 三角洲类型   | 发育控制因素 |      |       |       |
|------|---------|--------|------|-------|-------|
|      |         | 盆地构造   | 地形坡度 | 距物源远近 | 湖平面   |
| 三工河组 | 河流影响型浪控 | 缓慢沉降   | 平缓   | 相对较远  | 最大洪泛期 |
| 西山窑组 | 波浪影响型河控 | 缓慢上升   | 坡度变大 | 相对较近  | 下降期   |

表 3 准噶尔盆地南缘三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘砂体类型及分布频率

Table 3 Sand body types and their distribution frequency in fluvial influenced-wave dominated braided river delta front of Sangonghe Formation on the southern margin of Junggar Basin







| 砂体类型   | 个数 | 分布频率 | 宽度范围/m   | 厚度范围/m  | 宽厚比范围   | 露头剖面几何形态  |
|--------|----|------|----------|---------|---------|---|
| 水下分流河道 | 10 | 29%  | 180~530  | 3.5~7.5 | 50~70   |  |
| 河口坝    | 5  | 14%  | 180~410  | 4~9     | 40~50   |  |
| 席状砂    | 20 | 57%  | 120~2120 | 0.5~2.5 | 250~900 |  |

表 4 准噶尔盆地南缘西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘砂体类型及分布频率

Table 4 Sand body types and their distribution frequency in wave influenced-fluvial dominated braided river delta front of Xishanyao Formation on the southern margin of Junggar Basin

| 砂体类型   | 个数 | 分布频率 | 宽度范围/m | 厚度范围/m  | 宽厚比范围  | 露头剖面几何形态  |
|--------|----|------|--------|---------|--------|---|
| 水下分流河道 | 14 | 42%  | 80~350 | 1.5~6.5 | 37~63  |  |
| 河口坝    | 11 | 33%  | 52~190 | 2.5~7.5 | 12~35  |  |
| 席状砂    | 8  | 25%  | 60~160 | 1~1.5   | 60~107 |  |

知识库,以利用定量或半定量的经验公式或数据,约束地下储层展布<sup>[18-19]</sup>。因此,露头研究过程中,对不同砂体类型的宽度和厚度进行了实际测量和观察,以拟定不同主控水动力条件下,三角洲前缘砂体的规模和宽厚比定量关系。

#### 4.1 水下分流河道

三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘水下分流河道的厚度为 3.5~7.5m,宽度范围为 180~530 m,宽厚比为 50~70(表 3)。总体而言,宽厚比分布较为集中。水下分流河道宽度与厚度的对数拟合关系式为  $y=3.6383\ln(x)-15.83$ (图 4-A),拟合结果的相关系数为 0.7453。

西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘水下分流河道的厚度介于 1.5~6.5m,宽度范围为 80~350 m,宽厚比为 37~63(表 4)。但是,宽厚比分布频率表明(图 5),波浪影响型河控辫状河三角洲前缘的宽厚比主要集中于 35~45 和 45~55,分布频率分别为 19%和 62%,合计达到 81%。因此,其宽厚比可确定为 35~55,水下分流河道宽度与厚度的对数拟合关系式为  $y=3.4796\ln(x)-13.956$ (图 4-B),拟合结果的相关系数为 0.9002。

总体而言,无论河流影响型浪控辫状河三角洲还是波浪影响型河控辫状河三角洲,其水下分流河道的宽度与厚度均具有很好的相关性,拟合公式可信度较高,地下储层预测中可借用上述拟合关系式,利用测井识别的水下分流河道厚度,推测其宽度。但是,西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘水下分流河道的宽厚比(35~55)明显小于三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘水下分流河道的宽厚比(50~70),其原因在于河控辫状河三角洲河流坡降面大、河流下切作用增强、河道厚度增加较快、而

相应的宽度增加较慢,因此宽厚比相对较小。

#### 4.2 席状砂

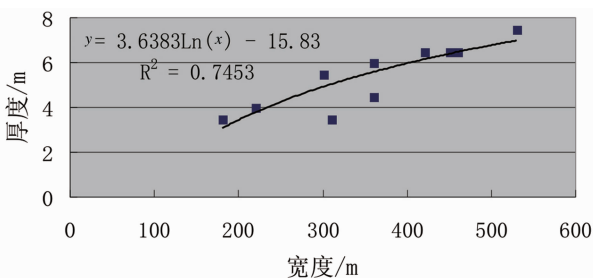
三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘席状砂的厚度为 0.5~2.5 m,宽度范围为 120~2 120 m,宽厚比为 250~900(表 3)。仅从上述统计数据来看,席状砂具有厚度变化小,宽度变化大,宽厚比区间广的分布特点。但是,露头实际观察情况及宽厚比分布频率表明(图 6),厚度小于 1 m(两个测量点)的席状砂侧向快速尖灭,延伸距离相对较短,宽厚比小于 300,而厚度大于等于 1m 的席状砂侧向延伸较远,宽厚比较大,其宽厚比的主要分布区间为 600~700 和 700~800,分布频率分别为 35%和 25%,合计达到 60%。因此,三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘席状砂的宽厚比可大致确定为 600~800。宽度与厚度的对数拟合关系式为  $y=0.6795\ln(x)-3.0796$ ,拟合结果的相关系数为 0.7131。

西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘席状砂的厚度为 1~1.5 m,宽度范围为 60~160 m,宽厚比为 60~107(表 4)。由于数据量有限,未拟合宽厚与厚度的经验关系式。

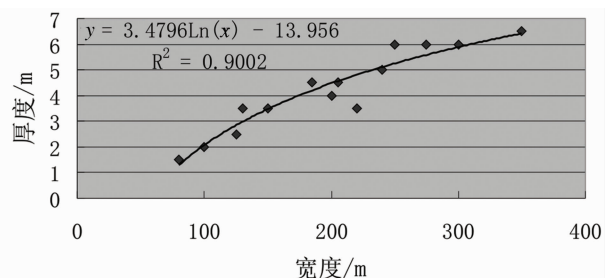
整体而言,西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘席状砂的侧向延伸宽度(60~160 m)和宽厚比(60~107)明显小于三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘席状砂的侧向延伸宽度(120~2 120 m)和宽厚比(250~900)。造成上述现象的主要原因可能在于西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘的波浪改造、破坏、搬运、再沉积作用减弱,河流作用加强,沉积物分布多受控于分流河道,相对较为集中。

#### 4.3 河口坝

三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘河



A 三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘水下分流河道



B 西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘水下分流河道

图 4 水下分流河道砂体宽厚比拟合关系

Fig.4 Fitting relations for thickness/width of underwater distributary channel sand body

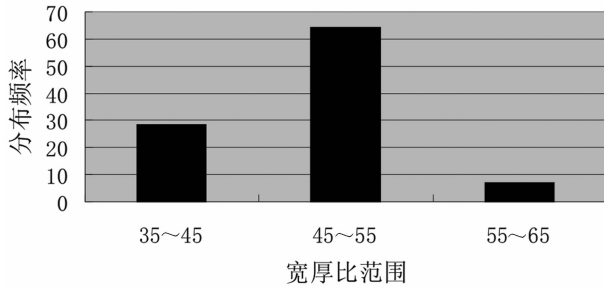


图 5 准噶尔盆地南缘西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘水下分流河道宽厚比分布频率

Fig.5 Distribution frequency of thickness/width range of underwater distributary channel in wave influenced-fluvial dominated braided river delta front of Xishanyao Formation on the southern margin of Junggar Basin

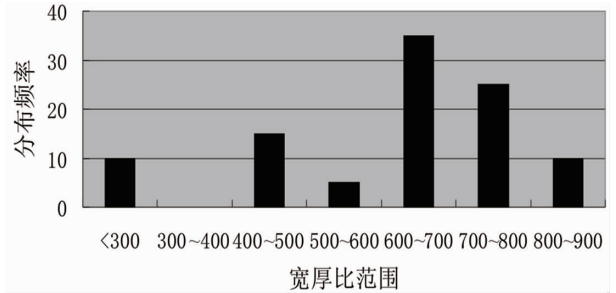


图 6 准噶尔盆地南缘三工河组河流影响型浪控三角洲前缘席状砂宽厚比分布频率

Fig.6 Distribution frequency of thickness/width range of underwater distributary channel in fluvial influenced-wave dominated delta front of Sangonghe Formation on the southern margin of Junggar Basin

口坝的厚度为 4~9 m,宽度范围为 180~410 m,宽厚比为 40~50(表 3),宽厚比分布相对较为集中,但考虑到数据量较少,未进行宽度与厚度的经验公式拟合。

西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘河口坝的厚度为 2.5~7.5 m,宽度范围为 52~190 m,宽厚比为 12~35(表 4)。与水下分流河道相比,其厚度范围相似,但是宽度和宽厚比明显较小。由此说明,西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘虽然发育河口坝,但是其侧向延伸距离远小于水下分流河道,开发过程中仍应重点寻找水下分流河道成因单元。此外,河口坝宽度与厚度的对数拟合关系相关系数极低( $R^2=0.2676$ )。因此,实际地下储层精细解释过程中,很难通过经验公式对其进行预测。河口坝宽度与厚度拟合关系较差的可能原因是:西山窑组研究层段河流作用较强,水下分流河道强烈下切或摆动可能侵蚀前期或同期的河口坝侧翼,进而造成现今保存的河口坝并非完整的原始成因单元,而属于残余成因单元。但是,由于不同沉积部位或不同分流河道的侵蚀作用并非完全相同,导致各原始河口坝成因单元被侵蚀的程度不同,因此,其残余成因单元的宽度和厚度无明显的相关关系。

### 5 结 论

(1)为了定量表征三工河组和西山窑组的水动力条件,将陆相三角洲按水动力相对强度简单分成 4 类,分别为浪控、河流影响型浪控、波浪影响型河控、河控。通过对三工河组和西山窑组露头研究层段的实测岩心柱状图进行定量分析,确定三工河组实

测层段为河流影响型浪控辫状河三角洲前缘沉积,西山窑组实测层段为波浪影响型河控辫状河三角洲前缘沉积。

(2)三工河组河流影响型浪控辫状河三角洲前缘和西山窑组波浪影响型河控辫状河三角洲前缘均主要发育 3 种类型的砂体,分别为水下分流河道、河口坝、席状砂。但河流影响型浪控辫状河三角洲前缘以席状砂为主,分布频率高达 57%,水下分流河道和河口坝都或多或少因波浪改造、破坏而未能保存。波浪影响型河控辫状河三角洲前缘以水下分流河道和河口坝砂体为主,分布频率分别为 42%和 33%,但席状砂同样发育,砂体分布较为平均。

(3)河流影响型浪控辫状河三角洲前缘与波浪影响型河控辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体的宽度与厚度的拟合关系均较好,拟合公式可信度较高。河流影响型浪控辫状河三角洲前缘的水下分流河道和席状砂宽厚比均明显大于波浪影响型河控辫状河三角洲前缘相应砂体的宽厚比。河口坝砂体多属于残余成因单元,其砂体规模及宽厚比定量关系不明确。

致谢:感谢中国石油新疆油田分公司研究院的同仁及中国地质大学(北京)能源学院高峰、许磊等研究生在野外露头实测过程中给予的大量帮助。

### 参考文献(References):

[1] 于兴河,王德发,郑俊茂,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):26-36.

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):26-36 (in Chinese with English abstract).
- [2] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. *地质学报*, 2008, 82(6):813-825.  
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, et al. Formation and distribution of shallow water deltas and central basin sandbodies in large open depression lake basins [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6): 813-825(in Chinese with English abstract).
- [3] 彭雪峰, 田继军, 汪立今, 等. 新疆准噶尔盆地南缘八道湾组沉积特征与聚煤规律分析[J]. *中国地质*, 2010, 37(6):1672-1681.  
Peng Xuefeng, Tian Jijun, Wang Lijin, et al. Sedimentary characteristics and coal-accumulation pattern analysis of Badaowan Formation in southern margin of Junggar Basin, Xinjiang [J]. *Geology in China*, 2010, 37(6):1672-1681(in Chinese with English abstract).
- [4] 张大智, 纪友亮, 韩春元, 等. 饶阳凹陷沙河街组辫状河三角洲沉积特征及储集性[J]. *中国地质*, 2009, 36(2):344-354.  
Zhang Dazhi, Ji Youliang, Han Chunyuan, et al. Sedimentary characteristics and reservoir properties of the Shahejie Formation braided river delta in Raoyang Sag [J]. *Geology in China*, 2009, 36 (2):344-354 (in Chinese with English abstract).
- [5] 高志勇, 郭宏莉, 张水昌, 等. 满加尔凹陷南缘志留系柯坪塔格组上段不同体系域内辫状三角洲砂体与储集性研究 [J]. *中国地质*, 2008, 35(5):951-962.  
Gao Zhiyong, Guo Hongli, Zhang Shuichang, et al. Braided-delta sandstone and its petroleum storage capacities in different systems tracts in the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation on the southern margin of the Manjia'er subbasin [J]. *Geology in China*, 2008, 35(5):951-962(in Chinese with English abstract).
- [6] Ainsworth, R B, Vakarelov B K, Nanson R A. Dynamic spatial and temporal prediction of changes in depositional processes on clastic shorelines; Toward improved subsurface uncertainty reduction and management [J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95(2):267-297.
- [7] 文佳涛, 吴爱成, 但玲玲, 等. 石西地区八道湾组三段辫状河三角洲的识别与沉积特征研究[J]. *中国地质*, 2012, 39(1):54-63.  
Wen Jiatao, Wu Aicheng, Dan Lingling, et al. The identification of the braided fluvial delta in the 3rd member of Badaowan Formation in Shixi area and a study of its sedimentary characteristics [J]. *Geology in China*, 2012, 39(1):54-63(in Chinese with English abstract).
- [8] 宋春晖, 方小敏, 师永民, 等. 青海湖现代三角洲沉积特征及形成控制因素[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(3):112-120.  
Song Chunhui, Fang Xiaomin, Shi Yongming, et al. Sedimentary characteristics of modern lacustrine deltas in Qinghai lake and their controlling factors [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)*, 2001, 37 (3):112-120 (in Chinese with English abstract).
- [9] 柳永清, 李寅. 准噶尔盆地侏罗系露头层序地层及沉积学特征[J]. *地球学报*, 2001, 22(1):49-54.  
Liu Yongqing, Li Yan. Research on the terrigenous outcrop sequence stratigraphy and sedimentology in the Jurassic Junggar Basin [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(1):49-54 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张传林, 赵省民, 文志刚. 准噶尔盆地南缘辫状河三角洲沉积特征及储集性[J]. *新疆石油地质*, 2003, 24(3):202-204.  
Zhang Chuanlin, Zhao Xingmin, Wen Zhigang. Sedimentary characteristics and reservoir quality of braided delta in southern margin of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2003, 24 (3):202-204(in Chinese with English abstract).
- [11] 朱筱敏, 张义娜, 杨俊生, 等. 准噶尔盆地侏罗系辫状河三角洲沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(2):244-251.  
Zhu Xiaomin, Zhang Yina, Yang Junsheng, et al. Sedimentary characteristics of Jurassic braided river delta, the Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(2):244-251.
- [12] 方世虎, 郭召杰, 宋岩, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗纪沉积相演化与盆地格局[J]. *古地理学报*: 2005, 7(3):347-356.  
Fang Shihu, Guo Zhaojie, Songyan, et al. Sedimentary facies evolution and basin pattern of the Jurassic in southern margin area of Junggar Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(3):347-356 (in Chinese with English abstract).
- [13] 鲍志东, 刘凌, 张冬玲, 等. 准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J]. *沉积学报*, 2005, 23(2):194-202.  
Bao Zhidong, Liu ling, Zhang Songling, et al. Depositional system frameworks of the Jurassic in Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23 (2):194-202 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘智荣, 王训练, 周洪瑞, 等. 准噶尔盆地南缘郝家沟剖面下侏罗统三工河组辫状河三角洲沉积特征 [J]. *现代地质*, 2006, 20 (1):77-85.  
Liu Zhirong, Wang Xunlian, Zhou Hongrui, et al. The characteristics of the braided river delta of the Lower Jurassic Sangonghe Formation of the Haojiagou section in the Southern part of the Junggar Basin [J]. *Geoscience*, 2006, 20 (1):77-85(in Chinese with English abstract).
- [15] Galloway W E. Terrigenous clastic depositional systems [M]. New York:Springer-Verlag, 1983, 66-80.
- [16] 蔡忠贤, 陈发景, 贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化 [J]. *地质前缘*, 2000, 7(4):431-440.  
Cai Zhongxian, Chen Fajing, Jia Zhenyuan. Types and tectonic evolution of Junger Basin [J], *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 431-440 (in Chinese with English abstract).
- [17] 方世虎, 郭召杰, 贾承造, 等. 准噶尔盆地南缘中-新生界沉积物重矿物分析与盆地格局演化[J]. *地质科学*, 2006, 41(4):648-662.  
Fang Shihu, Guo Shaojie, Jia Chengzao, et al. Meso-Cenozoic heavy minerals' assemblages in the Southern Junggar Basin and its implications for basin-orogen pattern [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(4): 648-662(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈彬滔, 于兴河, 杨丽莎, 等. 勘探评价早期阶段沉积微相研究



方法探讨——以东濮凹陷前梨园南地区为例 [J]. 石油天然气学报, 2011, 33(8):21-25.

Chen Bintao, Yu Xinghe, Yang Lisha, et al. Research of sedimentary micro-facies at the early stage of exploration evaluation—by taking south Qianliyuan area in Dongpu Depression for example [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(8):

21-25 (in Chinese with English abstract).

[19] 于兴河. 油气储层表征与随机建模的发展历程及展望[J]. 地学前缘, 2008, 15(1):1-15.

Yu Xinghe. A review of development course and prospect of petroleum reservoir characterization and stochastic modeling [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1):1-15(in Chinese with English abstract).

## Quantitative analysis of hydrodynamic conditions and sand body distribution dimensions of the braided river delta in Sangonghe Formation and Xishanyao Formation on the south margin of Junggar Basin

CHEN Bin-tao<sup>1</sup>, YANG Li-sha<sup>1</sup>, YU Xing-he<sup>2</sup>, LI Shun-li<sup>2</sup>, TAN Cheng-peng<sup>2</sup>, XIE Jing<sup>2</sup>

(1. Northwest Branch, PetroChina Exploration and Development Research Institute, Lanzhou 730020, Gansu, China;

2. School of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Deltas, controlled by different dynamical conditions, are characterized by different plane shapes, distribution frequencies and dimensions of sand bodies. In order to quantitatively characterize the major dynamical conditions of lacustrine deltas, the authors divided the lacustrine deltas into four types on the basis of relative strength of hydrodynamic force, i.e., wave dominated, fluvial influenced-wave dominated, wave influenced-fluvial dominated and fluvial-dominated delta respectively. According to the quantitative analysis of measured outcrop columnar section, Sangonghe Formation was assigned to fluvial influenced-wave dominated braided river delta front, while Xishanyao Formation was considered to be of wave influenced-fluvial dominated braided river delta front. Three types of sand bodies were mainly developed in these two kinds of delta front, which are underwater distributary channel, river mouth bar and sheet sand. However, fluvial influenced-wave dominated braided river delta front was dominated by sheet sand, where the distribution frequency was up to 57%; wave influenced-fluvial dominated braided river delta front was dominated by underwater distributary channel and river mouth bar, where the distribution frequency was 42% and 33% respectively. The width/thickness ratio of the underwater distributary channel and river mouth bar in fluvial influenced-wave dominated braided river delta front was obviously larger than that in wave influenced-fluvial dominated braided river delta front. Because river mouth bar sand body is a residual genetic unit, the quantitative relation of its width/thickness ratio remains unclear.

**Key words:** Junggar Basin, braided river delta, sand body type, quantitative geological knowledge database, hydrodynamic condition

**About the first author:** CHEN Bin-tao, male, born in 1985, assistant engineer, mainly engages in the study of reservoir prediction and reservoir evaluation; E-mail: tobychencugb@foxmail.com.