

文章编号: 1000-0550(2012)02-0274-09

# 东营凹陷沙四下亚段沉积环境特征及沉积充填模式<sup>①</sup>

王健<sup>1</sup> 操应长<sup>1</sup> 刘惠民<sup>2</sup> 高永进<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院 山东青岛 266555; 2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257000)

**摘要** 沉积盆地中沉积环境特征控制了砂体沉积成因类型及盆地沉积充填模式。通过对东营凹陷丰深2井、官112井及梁120井沙四下亚段泥质沉积物系统取样,进行全岩X衍射分析和常量及微量地球化学元素分析,在此基础上对东营凹陷沙四下亚段古气候和古盐度指标进行分析。结果表明,古气候指标Rb/Sr比值与石英+长石含量、Cr元素含量及P元素含量呈正比,含量增加反映了气候相对潮湿,与古盐度指标碳酸盐+硫酸盐含量呈反比,其含量增加反映了气候相对干旱。东营凹陷沙四下亚段沉积时期气候干湿交替频繁,气候潮湿时期相对湖平面上升,湖水盐度降低;气候干旱时期相对湖平面下降,湖水盐度升高,使得此时期湖泊呈现为高频振荡性盐湖特征。气候潮湿时期以沉积碎屑沉积物为主,包括冲积扇、浅水型三角洲、滨湖滩坝及近岸水下扇沉积,由于湖水盐度较低,洼陷带主要沉积泥岩、灰质泥岩、含膏泥岩和少量泥质膏岩;气候干旱时期相对湖平面下降,湖泊水体盐度升高,洼陷带以沉积膏盐岩为特征,垂向上具有含膏泥岩、泥质膏岩、膏岩和盐岩的演化序列,平面上表现为由湖泊边缘向湖泊中心发育灰质泥岩、含膏泥岩、泥质膏岩、膏岩和盐岩的环带状结构特征。

**关键词** 沉积环境 沉积模式 膏盐层 红层 东营凹陷

**第一作者简介** 王健 男 1985年出生 在读博士研究生 沉积学和层序地层学 E-mail: wangjian8512@yahoo.com.cn

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

东营凹陷是济阳拗陷的一个次级构造单元,具有北断南超、北陡南缓的基本构造格局。古近系主要发育孔店组、沙河街组和东营组,其中沙河街组自上而下又分为沙河街组一段、二段、三段和四段。沙四段下亚段沉积时期,缓坡带发育了一套统称为“红层”的砂泥岩互层剖面,与红层同时发育的为位于盆地洼陷带—陡坡带的巨厚的膏盐岩层。对于东营凹陷沙四下亚段沉积时期的沉积环境和砂体及膏岩层的沉积特征,很多学者进行了大量研究,认为沙四下亚段( $E_{s4k}$ )沉积时期气候干旱,蒸发作用强烈<sup>[1-4]</sup>,然而,并没有对沙四下亚段沉积时期的古气候特征及古气候控制下的相对湖平面变化及湖泊盐度变化等沉积环境特征和湖盆沉积充填模式进行深入研究。沉积物中含有的常量元素、微量元素及其中某些元素的比值已经被广泛用于恢复古气候和判别沉积环境<sup>[5-7]</sup>。岩石中所含元素的性质一方面受控于其本身的物理、化学性质,另一方面又受到古气候和古环境的影响,这是利用特征元素相对含量及其比值恢复古气候的科学依据<sup>[8]</sup>。通过对东营凹陷丰深2井、官112井和

梁120井取芯井段系统取样,进行全岩X衍射分析和常量及微量地球化学元素分析,在此基础上分析了沙四下亚段沉积时期古气候和古盐度指标,并对沉积环境特征和湖盆沉积充填模式进行了探讨。

## 1 古气候和古盐度指标

在第四纪的古环境研究中,古气候指标的研究相对比较成熟。一般常用的古气候指标有:孢粉、碳酸盐的含量和碳、氧同位素、湖泊粘土沉积物的磁化率、湖泊沉积物的粒度变化、伊利石结晶度指数(I值)、高岭石伊利石蒙脱石的比例以及一些地球化学指标,如Rb/Sr、Mg/Ca、Sr/Mg、Sr/Ca、Ca/Si+Al、 $\sum Ce/\sum Y$ 、Nb/Ta、碎屑型沉积元素/化学型沉积元素、 $(Fe+Al+Mn+Cr+Co+Ni)/(K+Na+Ca+Mg+Sr)$ 、地球化学淋溶系数 $((CaO+MgO+Na_2O+K_2O)/Al_2O_3)$ 等<sup>[9-13]</sup>。由于研究区的丰深2井、官112井和梁120井沉积物中碳酸盐明显具有程度不等的重结晶现象,难以利用碳酸盐及碳、氧同位素的方法来确定古气候的变化。研究区古生物资料较为

<sup>①</sup>国家油气重大专项(编号:2009ZX05009-003);国家自然科学基金项目(批准号:40972080);教育部新世纪优秀人才支持计划(编号:NCET-06-0604)联合资助。

收稿日期:2011-03-10;收修改稿日期:2011-06-02

贫乏,且孢粉分析只适用于长周期和大尺度的地层分析,对丰深 2 井、官 112 井和梁 120 井沙四下亚段的精细研究敏感程度太低,也难以应用。本次研究采用应用较为广泛的 Rb/Sr 比值来分析东营凹陷沙四下亚段沉积时期的古气候特征。

在陆相盆地中,潮湿条件下的化学风化作用强烈,Rb 大量析出而被黏土吸附,但这些黏土不会残留在原地,而主要被剥蚀搬运进入湖泊沉积;同时进入湖盆的溶解  $Sr^{2+}$  一般则是在偏干旱时候与碳酸盐类质同象而沉积,所以就造成了潮湿环境下 Rb/Sr 比值的加大。因此,在陆相盆地中,Rb/Sr 比值的含义实际上是和海相条件下相反的<sup>[14]</sup>,即 Rb/Sr 比值高代表偏潮湿的气候环境;Rb/Sr 比值低代表偏干旱的气候条件<sup>[15]</sup>。泥页岩中大都含有石英和长石极细粉砂,而粗碎屑进入湖盆主要通过入湖水流,在小尺度的沉积旋回中,当泥页岩中的极细粉砂含量明显增多时,表明入湖的水流增强、湖水的循环性变好,其沉积背景是气候潮湿。图 1a 中 Rb/Sr 比值与长石 + 石英含量具有正相关性,即 Rb/Sr 与入湖水流强弱的相关性比较明显,Rb/Sr 增大反映了气候相对潮湿。因此,Rb/Sr 比与古气候干湿变化具有良好的对应关系。

用地球化学的方法推断古盐度是最常用的也是

效果较为理想的一种方法。指示古湖泊沉积时的古盐度指标有很多,常用的有碳酸盐稳定同位素法(Z 值)、相当 B 元素法、元素比值法(如 B/Ga、Sr/Ca、Sr/Ba、Mn/Fe 等)。但 B/Ga、Sr/Ca、Sr/Ba 等盐度指标在样品含有较多碳酸盐、石膏、石盐等盐类矿物时对古盐度的反映很不敏感<sup>[16,17]</sup>。在第四纪古湖泊的研究中,沉积物中的碳酸盐含量常常作为盐度或水体矿化度变化的指标。本次研究的丰深 2 井、官 112 井和梁 120 井取芯段沉积物中普遍含有不定量的石膏和碳酸盐,而且这些石膏和碳酸盐均为原生(尽管碳酸盐普遍经过了重结晶作用)。因此,采用沉积物中盐类物质的含量来近似地代表沉积水体的古盐度。用碳酸盐及硫酸盐含量的百分比作为样品沉积时的古盐度指标,不仅仅可以指示古盐度的相对高低,而且还可以反映古盐度在古水体中的保持时间:膏盐的含量越高,沉积时湖水高盐度保持的时间也就越长,盐类的沉积厚度也就越大。

丰深 2 井、官 112 井和梁 120 井沉积物中作为盐度指标的碳酸盐 + 硫酸盐含量与古气候指标 Rb/Sr 比具有明显的负相关性(图 1b),硫酸盐 + 碳酸盐含量与泥页岩中的石英 + 长石极细粉砂的含量明显负相关(图 1c),亲碎屑元素 Cr 含量与碳酸盐 + 硫酸盐

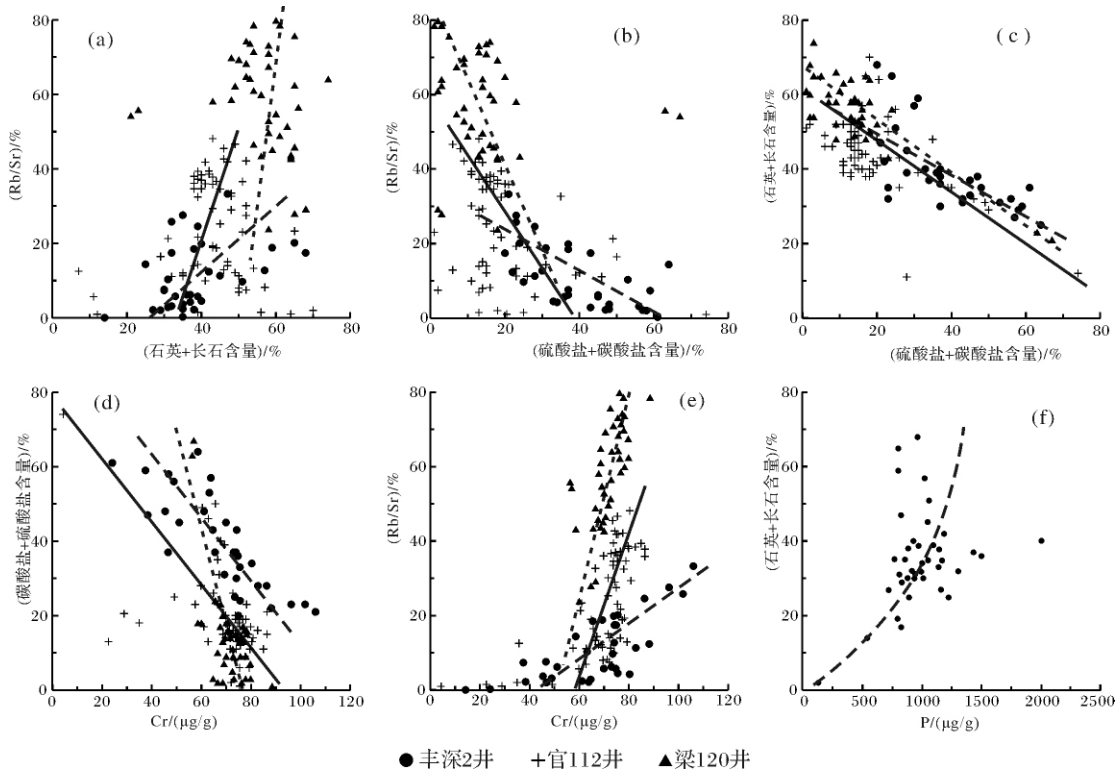


图 1 东营凹陷丰深 2 井、官 112 井和梁 120 井沙四下亚段古气候和古盐度指标相关关系图

Fig. 1 Correlation of paleoclimate index and paleosalinity index of Well Fengshen 2, Guan 112 and Liang 120 of  $E_{s4x}$  in Dongying Depression

含量呈负相关关系(图1d), Rb/Sr 比值与 Cr 元素含量呈明显的正相关关系(图1e)。由此表明, 气候潮湿时期, 携带大量石英、长石等极细粉砂的入湖水流量增大, 湖盆水体盐度降低, 盐类矿物含量减少; 气候干旱时期, 入湖水流量减少, 蒸发作用使湖盆水体盐度增高, 石英、长石等极细粉砂含量降低, 盐类矿物含量增高。从这个角度说明, 古气候对古盐度变化起着明显的控制作用。

石英 + 长石含量与 P 元素含量呈正相关关系(图1f)。P 元素主要来源于水生生物, 水生生物的繁盛与否, 与营养物质的多少密切相关。对于明显分层的平静水体, 营养物质主要来源于入湖水流以及底层湖水的上涌。而底层湖水的上涌, 在盐度分层的情况下, 一般与湖水的淡化和入湖水流对湖水的扰动有关。

综上所述, 丰深2井、梁120井和官112井中的石英、长石主要是在气候转为相对潮湿时期, 由入湖水流携带进入湖盆的, 同时使得湖盆水体盐度明显降低, 盐类矿物含量减少; 而盐类矿物则是在气候转为干旱、入湖水流减少、湖水水位降低的情况下沉积的。

## 2 沉积环境特征

泥岩颜色是沉积环境的良好反映标志, 灰色、深灰色等还原色一般反映了气候潮湿条件下的半深湖—深湖沉积环境, 而紫红色、红色、棕红色、杂色等氧化色一般反映了气候干旱条件下的陆上、滨湖等沉积环境, 灰绿色、绿色等过渡色一般反映了气候相对较为干旱条件下的滨湖—浅湖等沉积环境。统计东营凹陷沙四下亚段泥岩沉积物颜色表明, 泥岩颜色主要以紫红色、红色、杂色等氧化色为主, 灰色、深灰色等还原色含量极少, 分布极为有限, 主要分布在盆地洼陷带及陡坡带的部分地区(图2)。由此表明, 东营凹陷沙四下亚段沉积时期气候干旱, 且湖盆水体相对较为封闭, 湖盆盐度高达 40 g/L 以上<sup>[18]</sup>, 为典型的干旱气候下的盐湖沉积环境。

在古气候和古盐度指标分析的基础上, 对丰深2井、官112井和梁120井取芯井段古气候特征进行分析。丰深2井取芯井段岩性主要为灰色泥岩、页岩、灰质泥岩、白云质泥岩、白云质页岩和含膏泥岩。垂向上, 石英 + 长石含量及 Cr 元素含量与 Rb/Sr 比值具有明显的同向变化特征, 而碳酸盐 + 硫酸盐含量与 Rb/Sr 比值、石英 + 长石含量及 Cr 元素含量呈明显的反向关系。Rb/Sr 比值的增大反映了气候相对潮

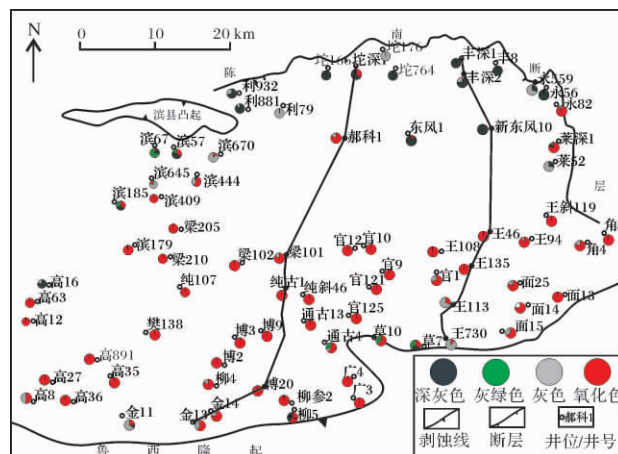


图2 东营凹陷沙四下亚段泥岩颜色分布图

Fig. 2 Distribution of color of mudstones of Es<sub>4x</sub> in Dongying Depression

湿, 此时入湖水体流量增大, 相对湖平面上升, 水体盐度降低, 碳酸盐 + 硫酸盐含量明显降低, 石英、长石等极细粉砂含量增加, 以沉积灰色泥岩、页岩沉积为主; Rb/Sr 比值的降低反映了气候相对干旱, 此时入湖水体流量明显降低, 由于蒸发作用强烈, 相对湖平面快速下降, 水体盐度增大, 碳酸盐 + 硫酸盐含量明显增高, 石英、长石等极细粉砂含量降低, 以沉积灰色灰质泥岩、白云质泥岩、白云质页岩及泥质膏岩为主(图3a)。丰深2井沙四下亚段取芯井段沉积时期古气候干湿变化非常频繁, 在厚度仅为 14 m 的地层内就可识别出多个气候干湿交替变化旋回。

官112井取芯井段岩性主要为紫红色、杂色及灰绿色泥岩、灰质泥岩、白云质泥岩及泥质白云岩。垂向上石英 + 长石含量、碳酸盐 + 硫酸盐含量、Rb/Sr 比值及 Cr 元素含量变化特征与丰深2井一致(图3b)。官112井16m取芯井段地层内石英 + 长石含量、碳酸盐 + 硫酸盐含量、Rb/Sr 比值及 Cr 元素含量变化非常频繁, 表明沉积时期古气候干湿交替频繁。气候潮湿时期入湖水流流量增大, 湖平面上升, 湖水盐度降低, 以沉积泥岩为主; 气候干旱时期入湖水流流量明显减少, 蒸发作用强烈, 相对湖平面快速下降, 湖水盐度增大, 以沉积灰质泥岩、白云质泥岩和泥质白云岩为主。

梁120井取芯井段岩性主要为灰色泥岩、白云质泥岩、泥质白云岩及粉砂质泥岩和紫红色及少量灰绿色泥岩、灰质泥岩、含膏泥岩。垂向上石英 + 长石含量、碳酸盐 + 硫酸盐含量、Rb/Sr 比值及 Cr 元素含量变化特征与丰深2井及官112井一致, 即古气候指标

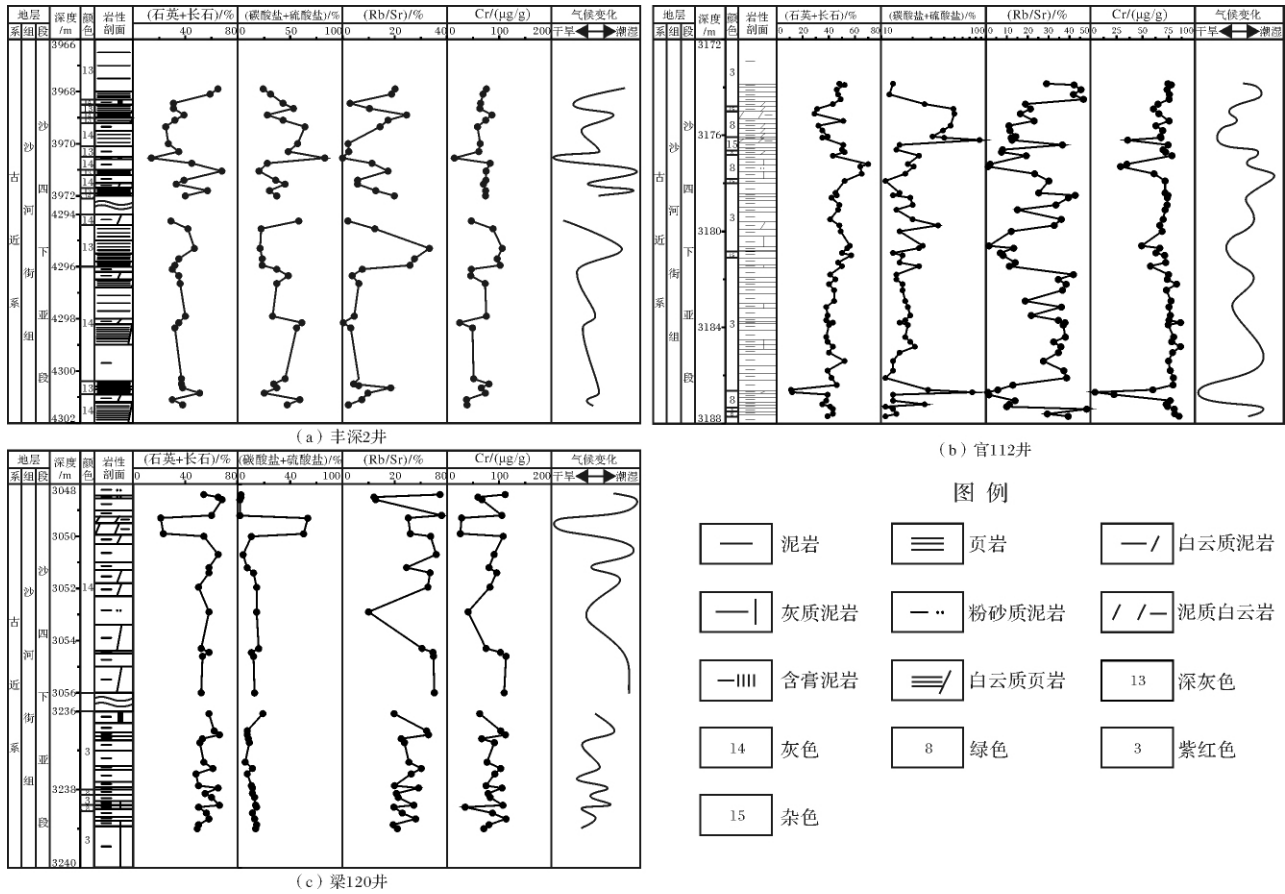


图 3 东营凹陷丰深 2 井、官 112 井和梁 120 井沙四下亚段矿物、元素及古气候变化特征  
 Fig. 3 Characteristics of minerals , elements and paleoclimates of Es<sub>4x</sub> of Well Fengshen 2 , Guan 112 and Liang 120 in Dongying Depression

Rb/Sr 比值、石英、长石等极细粉砂含量及 Cr 元素含量与古盐度指标碳酸盐 + 硫酸盐含量呈明显反比关系(图 3c)。梁 120 井 12 m 取芯井段地层内石英 + 长石含量、碳酸盐 + 硫酸盐含量、Rb/Sr 比值及 Cr 元素含量变化非常频繁,反映了沙四下亚段沉积时期古气候干湿交替变化非常频繁。气候潮湿和干旱时期相对湖平面及湖水盐度变化特征与丰深 2 井和官 112 井基本一致,在气候潮湿时期以沉积泥岩和粉砂质泥岩为主,而在气候干旱时期以沉积白云质泥岩和泥质白云岩为主。

通过上述泥岩颜色分布特征及丰深 2 井、官 112 井和梁 120 井取芯井段古气候变化特征表明,东营凹陷沙四下亚段沉积时期古气候以干旱为主,呈现出频繁的干湿交替变化特征,气候相对潮湿时期,携带大量碎屑物质的入湖水流增多,相对湖平面上升,湖泊水体盐度明显减低;而在气候相对干旱时期,入湖水流流量明显减少,蒸发作用强烈,湖平面快速下降,湖

泊水体盐度增大,膏盐岩沉积发育。因此,东营凹陷沙四下亚段沉积时期湖泊水体范围变化非常频繁,气候潮湿时期湖泊水体范围增大,气候干旱时期湖泊水体范围迅速减小。在干湿交替变化的气候条件控制下,沙四下亚段沉积时期东营凹陷湖泊具有明显的高频振荡性特征,气候潮湿时期以沉积砂体为主,气候干旱时期以沉积碳酸盐岩和膏盐岩为主。

### 3 砂体成因类型及沉积物分布规律

#### 3.1 砂体成因类型

东营凹陷沙四下亚段沉积时期气候干湿交替频繁,湖盆表现为高频振荡性特征,湖平面的升降变化主要受气候控制下的阵发性入湖水流控制,导致沉积作用类型复杂多样,沙四下亚段沉积时期缓坡带既发育水上沉积作用又发育水下沉积作用,既发育重力流沉积作用又发育牵引流沉积作用。因此,沙四下亚段沉积时期缓坡带砂体沉积成因类型多样,主要发育冲

积扇沉积、浅水型三角洲沉积和滨湖滩坝沉积,陡坡带靠近断层位置发育了规模一定的近岸水下扇沉积。

冲积扇沉积主要发育在缓坡带盆地边缘部位,岩性总体较粗,主要为棕红色、杂色或灰色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩、砂岩以及红色泥岩等,冲积扇沉积中既发育反映重力流性质的泥石流及洪水水道沉积,又发育具有牵引流性质的辫状水道沉积。泥石流沉积主要为块状堆积的砾岩沉积,层理构造不发育,粒序特征不明显或表现为粒度变化相对不明显的正粒序特征,底部冲刷充填构造发育;洪水水道沉积主要为砾岩、含砾砂岩,正粒序特征明显,冲刷充填构造发育;辫状水道沉积是研究区相对较为发育的冲积扇沉积微相类型,沉积物主要为砾岩、含砾砂岩、粗砂岩等,砾石具有定相排列特征,平行层理、正粒序层理发育,底部发育冲刷充填构造,垂向相序上呈多个正序旋回叠加的特征(图4)。

浅水型三角洲沉积主要发育在盆地缓坡带,河流作用明显,箱状、指状河道砂岩发育,同时也发育漏斗状的河口坝砂岩和尖峰状席状砂,泥岩颜色呈现红色、灰绿色和灰色<sup>[19-21]</sup>。东营凹陷沙四下亚段沉积时期,湖盆地形平缓,气候相对干旱,湖盆水体较浅,整体处于浪基面以上,浅水型三角洲较为发育。浅水型三角洲中沙纹交错层理、交错层理、平行层理等广泛发育,反映了正常牵引流作用,钻井岩芯中常可见到冲刷面、泥岩撕裂屑、泥砾等,反映了河流沉积作用。垂向上常表现为多个正序旋回的叠加,正旋回底部常发育冲刷充填构造,为典型的分流河道沉积特征,岩性一般为中细砂岩,可见含砾砂岩或含泥砾砂岩,发育平行层理、交错层理等(图4)。

东营凹陷沙四下亚段沉积时期气候干湿交替频繁,湖平面表现为高频振荡性特征,缓坡带水体较浅,整体处于浪基面以上,且间歇性暴露出水面,在缓坡带内侧发育了一定规模的滨湖滩坝沉积,并可进一步划分为滩脊、滩席、坝主体和坝侧缘微相<sup>[22]</sup>。滨湖滩坝主要由沿岸流和波浪对附近的浅水型三角洲砂体改造而成。由于砂体经过波浪长时间的冲刷改造,分选性较好,粒度较细,主要为粉细砂岩,矿物成熟度和结构成熟度都较高。岩性主要为灰色、灰绿色、棕红色粉砂岩、泥质粉砂岩与棕红色泥岩、粉砂质泥岩互层。沉积构造类型多样,常见平行层理、沙纹层理、交错层理等,其中块状层理多由生物扰动所致,常见生物潜穴切穿层理中纹层及层系,使之呈断续状。垂向上常表现为多个反序旋回的叠加,常可见沉积物粒度

由细变粗再变细的复合相序,另外局部地区可见正序旋回,可能是波浪对浅水型三角洲水下分流河道砂体改造不彻底所致(图4)。

近岸水下扇沉积主要发育在陡坡带的局部地区,岩性以灰色砾岩、含砾砂岩为主,厚度相对较大,层理构造相对不发育,主要为块状砾岩沉积,冲刷充填构造发育,垂向上表现为多个正序旋回的叠加。

### 3.2 沉积物分布规律

东营凹陷沙四下亚段沉积时期,由于气候干湿交替变化频繁,湖平面振荡频繁,在沙四下亚段沉积地层内可识别出多个反映气候由潮湿到干旱的变化旋回,同一变化旋回内盆地不同位置发育不同成因类型的沉积物,具有不同的相序特征,并且这些变化旋回在盆地的不同位置具有不同的叠加样式(图5和图6)。在盆地边缘主要发育冲积扇沉积和浅水型三角洲沉积,为气候相对潮湿条件下携带大量碎屑沉积物的入湖水流作用下的产物,旋回的底部常发育砾岩、含砾砂岩等,并且具有冲刷—充填构造,向上沉积物粒度逐渐变细,砂体厚度逐渐变薄,泥岩发育在旋回的顶部,厚度较小,向盆地内部顶部泥岩厚度逐渐增大,为气候干旱条件下入湖水流流量减少所致;在冲积扇沉积和浅水型三角洲沉积之间常发育以紫红色、杂色泥岩沉积为主的冲积平原沉积;向盆地内部,沉积物叠加样式逐渐呈现为底部发育气候相对潮湿时期形成的滨湖滩坝沉积和气候干旱时期形成的紫红色灰质、白云质泥岩沉积和含膏泥岩及膏盐岩沉积;在盆地洼陷带,气候相对潮湿时期,以沉积含膏泥岩、泥质膏岩和灰质泥岩为主,而气候干旱时期由于蒸发作用,湖水盐度增高,主要发育泥质膏岩、膏岩和盐岩沉积。气候干旱时期盆地不同位置形成的膏盐岩类型不同,在洼陷带边缘主要发育含膏泥岩和泥质膏岩沉积,向洼陷中心逐渐演变为膏岩沉积;在洼陷中心部位,常表现为由膏岩向盐岩演化的沉积序列。因此,膏盐岩沉积常具有环带特征,垂向上常呈现为由含膏泥岩向泥质膏岩、膏岩和盐岩演化的序列<sup>[23]</sup>。盆地陡坡带局部地区发育近岸水下扇沉积,其垂向变化特征常表现为底部发育气候潮湿时期形成的近岸水下扇沉积,顶部发育气候干旱时期形成的含膏泥岩、泥质膏岩和膏岩沉积。

因此,由上述的沉积环境及沉积物分布规律表明,沙四下亚段沉积时期,东营凹陷为干湿气候交替控制下的高频振荡性盐湖环境。气候相对潮湿时期,入湖水流流量增大,相对湖平面上升,入湖水流携带

大量的碎屑沉积物在盆地缓坡带广泛地区和陡坡带局限地区堆积。缓坡带由盆地边缘向盆地内部分别发育冲积扇、冲积平原、浅水型三角洲和滨湖滩坝沉积。陡坡带主要发育规模较小的近岸水下扇沉积。洼陷带由于入湖水流的影响,湖泊水体盐度降低,以发育泥岩、灰质泥岩、含膏泥岩和少量泥质膏岩沉积。

气候干旱时期,入湖水流流量减少,蒸发作用强烈,相对湖平面下降,湖水盐度增高,缓坡带气候潮湿时期发育的沉积物部分暴露出水面。由于碎屑物质供应量减少,湖盆边缘砂质沉积物一般欠发育,以泥岩沉积为主。湖泊洼陷带膏盐岩沉积物极为发育,垂向上表现为自下而上发育含膏泥岩、泥质膏岩、膏岩和盐

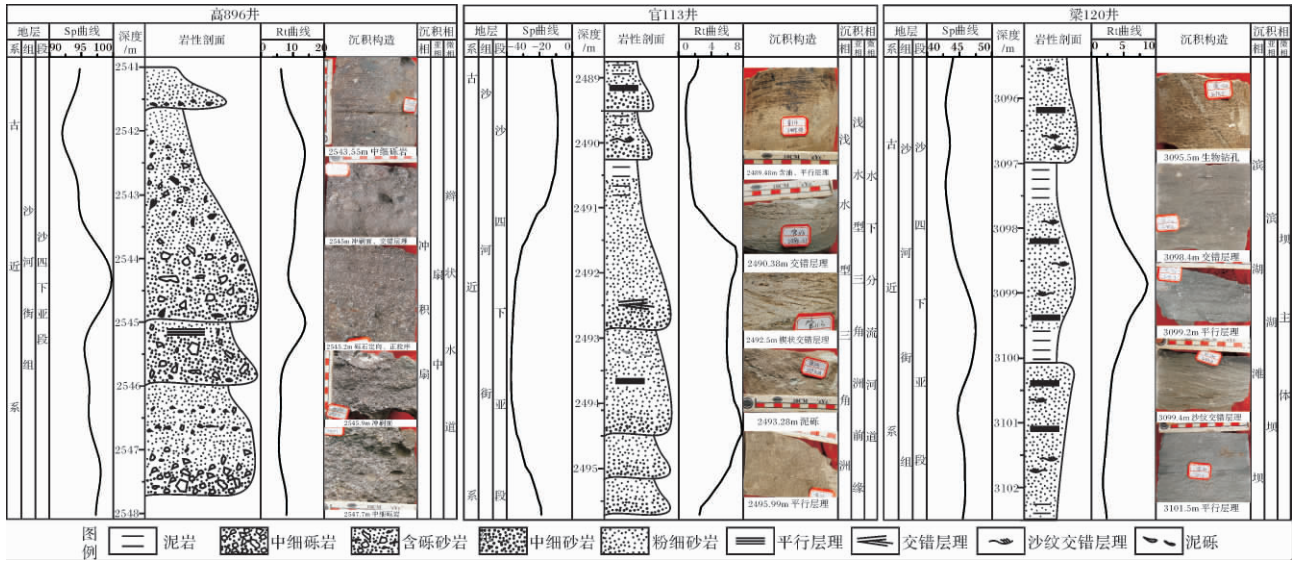


图 4 东营凹陷高 896 井、官 113 井和梁 120 井沙四下亚段单井沉积学分析

Fig. 4 Sedimentological analysis of Well Gao 896 ,Guan113 and Liang 120 of Es<sub>4x</sub> of Dongying Depression

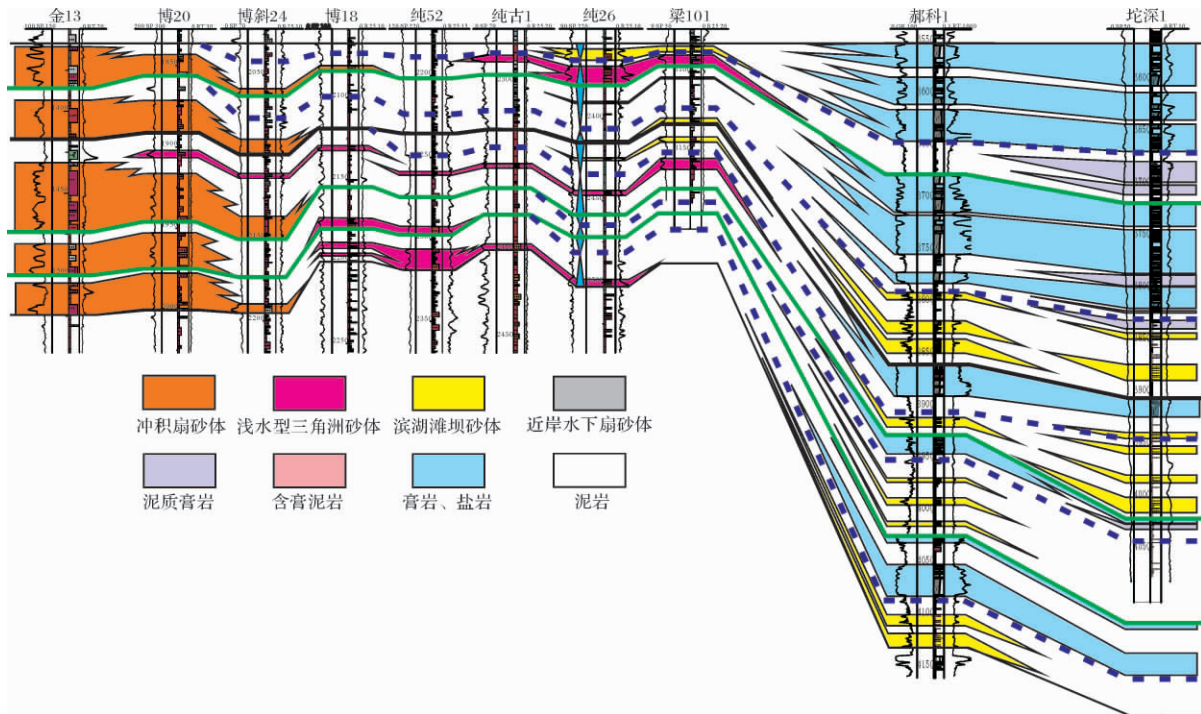


图 5 东营凹陷过金 1 3 井—坨深 1 井沙四下亚段连井对比剖面(位置见图 2)

Fig. 5 Correlation profile of crossing Well Jin13 and Tuoshen 1 of Es<sub>4x</sub> in Dongying Depression

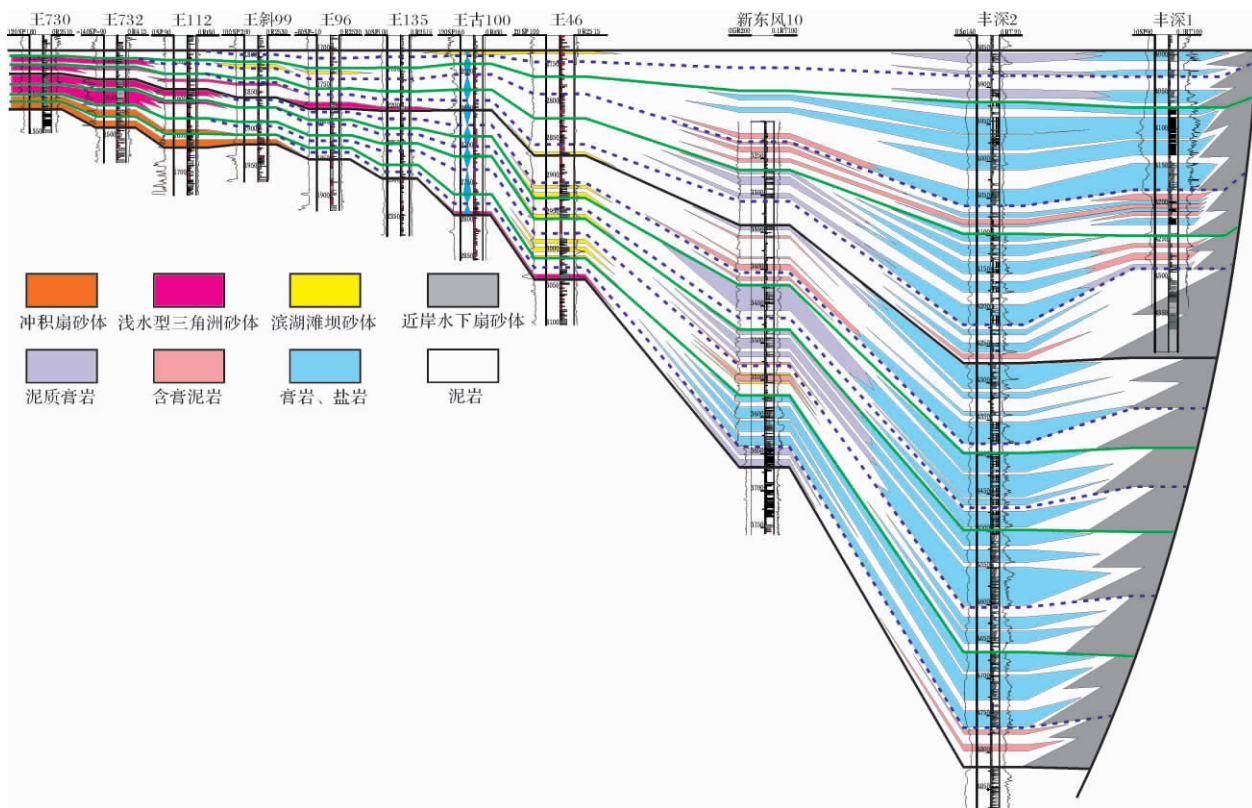


图6 东营凹陷过王730井—丰深1井沙四下亚段连井对比剖面(位置见图2)

Fig. 6 Correlation profile of crossing Well Wang 730 and Fengshen 1 of  $Es_{4x}$  in Dongying Depression

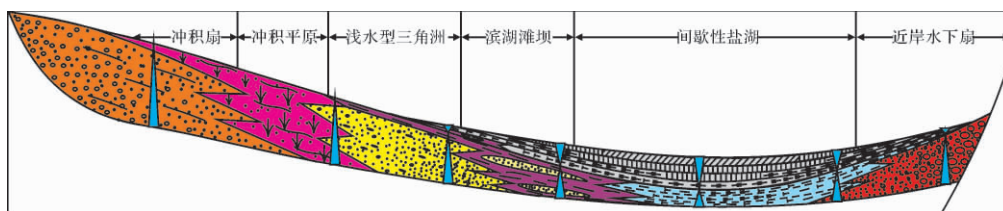


图7 东营凹陷沙四下亚段高频振荡性盐湖沉积充填模式

Fig. 7 Sedimentary filling model of high frequency oscillatory salt lake of  $Es_{4x}$  of Dongying Depression

岩的演化序列, 平面上表现为由湖泊边缘向湖泊中心发育灰质泥岩、含膏泥岩、泥质膏岩、膏岩和盐岩的环带状结构特征(图7)。

#### 4 结论

(1) 东营凹陷沙四下亚段沉积时期古气候相对较为干旱, 古气候和古盐度指标分析表明, 古气候呈现频繁的干湿交替特征, 气候潮湿时期湖平面上升, 盐度降低, 气候干旱时期湖平面下降, 盐度升高, 湖泊呈现出明显的高频振荡性特征。

(2) 东营凹陷沙四下亚段沉积时期由于湖泊受气候控制的阵发性水流作用控制, 沉积作用类型多

样, 水上沉积作用和水下沉积作用并存, 重力流沉积与牵引流沉积并存。缓坡带发育了规模不等冲积扇沉积、浅水型三角洲沉积和滨湖滩坝沉积, 陡坡带发育了一定规模的近岸水下扇沉积, 洼陷带主要发育膏盐岩沉积。沙四下亚段沉积地层内可划分出多个气候由潮湿到干旱的变化旋回, 盆地不同位置具有不同的垂向叠加特征。

(3) 在古气候和沉积物分布规律研究的基础上, 建立了东营凹陷沙四下亚段高频振荡性盐湖沉积充填模式。气候潮湿时期, 相对湖平面上升, 湖泊水体盐度降低, 湖盆缓坡带主要沉积冲积扇、浅水型三角洲和滨湖滩坝, 陡坡带局部沉积近岸水下扇, 洼陷带

主要沉积泥岩、灰质泥岩、含膏泥岩和少量泥质膏岩沉积; 气候干旱时期相对湖平面下降, 湖泊水体盐度升高, 沉积作用主要发生在洼陷带, 以沉积膏盐岩为特征, 垂向上具有含膏泥岩、泥质膏岩、膏岩和盐岩的演化序列, 平面上表现为由湖泊边缘向湖泊中心发育灰质泥岩、含膏泥岩、泥质膏岩、膏岩和盐岩的环带状结构特征。

### 参考文献 (References)

- 王建伟, 赵勇生, 田海芹. 东营惠民凹陷孔店组层序地层学研究[J]. 石油大学学报, 2001, 25(6): 1-4 [Wang Jianwei, Zhao Yongsheng, Tian Haiqin. Primary study on sequence stratigraphy of Kongdian Formation in Dongying Huimin Sag[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2001, 25(6): 1-4]
- 吕明才, 张立强, 史文东, 等. 东营凹陷南斜坡孔店组冲积体系碎屑岩储层特征及评价[J]. 西安石油大学学报, 2004, 19(6): 5-9 [Lu Mingcai, Zhang Liqiang, Shi Wendong, et al. Characteristics and evaluation of the clastic reservoirs in Kongdian Member in the southern slope belt of Dongying Sag[J]. Journal of Xi'an Shiyu University, 2004, 19(6): 5-9]
- 袁静. 济阳拗陷南部古近系洪水-漫湖沉积[J]. 中国地质, 2005, 32(4): 655-662 [Yuan Jing. Paleogene flooded lake sediments in the southern part of the Jiyang depression[J]. Geology in China, 2005, 32(4): 655-662]
- 徐磊, 操应长, 王艳忠, 等. 东营凹陷古近系膏盐岩成因模式及其与油气藏的关系[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 30-36 [Xu Lei, Cao Yingchang, Wang Yanzhong, et al. Genetic model of salt-gypsum rock of Paleogene in Dongying Depression and its relationship with hydrocarbon reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(3): 30-36]
- 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993 [Deng Hongwen, Qian Kai. Analyses of Sedimentary Geochemistry and Environment [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Publishing House, 1993]
- 李明慧, 康世昌. 青藏高原湖泊沉积物对古气候环境变化的响应[J]. 盐湖研究, 2007, 15(1): 63-72 [Li Minghui, Kang Shichang. Responses of lake sediments to paleoenvironmental and paleoclimatic changes in Tibetan plateau[J]. Journal of Salt Lake Research, 2007, 15(1): 63-72]
- 宋春晖, 詹新川, 邢强, 等. 临夏盆地晚新生代沉积物元素特征与古气候变迁[J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 409-416 [Song Chunhui, Lu Xinchuan, Xing Qiang, et al. Late Cenozoic element characters and palaeoclimatic change of the lacustrine sediments in Linxia basin, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(3): 409-416]
- 徐兆辉, 汪泽成, 胡素云, 等. 四川盆地上三叠统须家河组沉积时期古气候[J]. 古地理学报, 2010, 12(4): 415-424 [Xu Zhaohui, Wang Zecheng, Hu Suyun, et al. Paleoclimate during depositional period of the Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(4): 415-424]
- 陈英玉, 蒋复出. 环境磁学在第四纪气候与环境研究中的应用[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2007, 25(6): 34-37 [Chen Yingyu, Jiang Fuchu. The applications of environmental magnetism of Quaternary climate and environment changing[J]. Journal of Qinghai University, 2007, 25(6): 34-37]
- 曹军骥, 张小曳, 程燕, 等. 晚新生代红粘土的粒度分布及其指示的冬季风演变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 99-106 [Cao Junji, Zhang Xiaoye, Chen Yan, et al. Size distribution of the lake Cenozoic red clay and the winter monsoon variations[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(3): 99-106]
- 冯启, 冯庆来, 于吉顺, 等. 广西东攀剖面二叠系顶部粘土矿物特征及古气候意义[J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 365-371 [Feng Qi, Feng Qinglai, Yu Jishun, et al. Characteristics of clay minerals from the Upper most Permian in Dongpan Section, Guangxi Province and its significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(3): 365-371]
- 李建如. 有孔虫壳体的 Mg/Ca 比值在古环境研究中的应用[J]. 地球科学进展, 2005, 20(8): 815-822 [Li Jianru. The application of foraminiferal shell Mg/Ca ratio in paleo-environmental studies[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(8): 815-822]
- 王冠民, 高亮, 马在平. 济阳拗陷沙河街组湖相页岩中风成粉砂的识别及其古气候意义[J]. 地质学报, 2007, 81(3): 413-418 [Wang Guanmin, Gao Liang, Ma Zaiping. Identification of aeolian silty sand in lacustrine shale of the Shahejie Formation in the Jiyang Depression and its indication to paleoclimate[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(3): 413-418]
- 申洪源, 贾玉连, 李徐生, 等. 内蒙古黄旗海不同粒级湖泊沉积物 Rb/Sr 组成与环境变化[J]. 地理学报, 2006, 61(11): 1208-1217 [Shen Hongyuan, Jia Yulian, Li Xusheng, et al. Environmental change inferred from distribution of Rb and Sr in different grain size fractions from lacustrine sediments in Huangqihai Lake, Inner Mongolia[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(11): 1207-1217]
- 沈吉, 张恩楼, 夏威岚. 青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录[J]. 第四纪研究, 2001, 21(6): 508-513 [Shen Ji, Zhang Enlou, Xi Weilan. Records from lake sediments of the Qinghai Lake to mirror climatic and environmental changes of the past about 1000 years[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(6): 508-513]
- 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 167-170, 193-203 [Sun Zhencheng, Yang Fan, Zhang Zhihuan, et al. Sedimentary Environment and Hydrocarbon Generation of Salty Lake of Cenozoic in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 167-170, 193-203]
- 李进龙, 陈东敬. 古盐度定量研究方法综述[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(5): 1-3 [Li Jinlong, Chen Dongjing. Summary of quantified research method on paleosalinity[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(5): 1-3]
- 钱凯, 王素民, 刘淑范, 等. 东营凹陷早第三纪湖水盐度的计算[J]. 石油学报, 1982, 3(4): 95-102 [Qian Kai, Wang Sumin, Liu Shufan, et al. Evaluation of salinity of lake water in Tertiary of the Dongying Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 3(4): 95-102]
- 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 Xi-aomin, Zhang Yina, Yang Junsheng, *et al.* Sedimentary characteristics of the shallow Jurassic braided river delta, Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 244-251]
- 20 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流拗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]
- 21 操应长, 韩敏, 王艳忠, 等. 济阳拗陷车镇凹陷沙二段浅水三角洲沉积特征及模式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 576-582 [Cao Yingchang, Han Min, Wang Yanzhong, *et al.* Sedimentary characteristics and models of shallow-water delta deposits in the second member of the Shahejie Formation in the Chezhen Sag, Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 576-582]
- 22 操应长, 王健, 刘惠民, 等. 东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的沉积特征及模式[J]. 中国石油大学学报, 2009, 33(6): 5-10 [Cao Yingchang, Wang Jian, Liu Huimin, *et al.* Sedimentary characteristics and models of beach-bar sandbodies in the upper part of the fourth member of Paleogene in the south slope of Dongying depression[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2009, 33(6): 5-10]
- 23 金强. 柴达木盆地西部第三系蒸发岩微量元素组成及其地球化学特征[J]. 石油大学学报, 2003, 27(2): 1-5 [Jin Qiang. Geochemistry characteristics of trace elements in evaporates of the Tertiary in western Qaidam Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2003, 27(2): 1-5]

## Characteristics of Sedimentary Environment and Filling Model of the Lower Submember of the Fourth Member of Shahejie Formation, Dongying Depression

WANG Jian<sup>1</sup> CAO Ying-chang<sup>1</sup> LIU Hui-min<sup>2</sup> GAO Yong-jin<sup>2</sup>

(1. School of Geosciences of China University of Petroleum, Qingdao Shandong 266555;

2. Institute of Geology, Shengli Oil Field Company, SINOPEC, Dongying Shandong 257000)

**Abstract:** The genetic type of sandbodies and sedimentary filling models were controlled by characteristics of sedimentary environment in sedimentary basin. According to the systematic sampling of argillaceous sediments of Es<sub>4x</sub> of Well Fengshen 2, Guan 112 and Liang 120 in Dongying Depression, whole rock X-ray diffraction and macroelements and microelements were analyzed, based on which the paleoclimate indexes and paleosalinity indexes of Es<sub>4x</sub> of Dongying Depression were studied. It turned out that the paleoclimate index Rb/Sr was direct proportion to content of quartz and feldspar, element Cr and element P and inversely proportional to paleosalinity index content of carbonate and sulphate. The increasing ratio of Rb/Sr reflected relatively damp climate, while the increasing content of carbonate and sulphate reflected relatively arid climate. The characteristics of the climate of the period of Es<sub>4x</sub> of Dongying Depression were frequent damp climate alternate with arid climate. At the period of damp climate, the relative lake level rise and the salinity of lake water decline, while the relative lake level decline and the salinity of lake water rise at the period of arid climate. The characteristics of climate made the lake of Es<sub>4x</sub> of Dongying Depression have the character of high frequency oscillatory salt lake. Clastic sediments were the main deposits at the period of damp climate, including alluvial fan sediments, shallow water delta sediments, lakeshore beach-bar sediments and nearshore subaqueous fan sediments, and the sag belt mainly deposited mudstone, lime mudstone, gypseous mudstone and a small quantity of argillaceous gypsum rock. At the period of arid climate, the deposition was mainly developed in sag belt and was characterised by gypsum and salt sediments, which have the evolutive sequence of gypseous mudstone, argillaceous gypsum rock, gypsum rock and salt rock upward and the zonal structure with lime mudstone, gypseous mudstone, argillaceous gypsum rock, gypsum rock and salt rock from the margin to the center of the lake in the plane.

**Key words:** sedimentary environment; sedimentary model; gypsum salt beds; red beds; Dongying Depression