



(以下分别简称沙四段、沙三段)。其中沙四段主要为冲积扇,沙三段主要为水下扇和扇三角洲<sup>[1]</sup>。本文提到的深层砂砾岩体就是指由沙三、沙四段的水下扇、扇三角洲以及冲积扇所形成的。

东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体处于陡坡前端边缘,近物源、近油源,构造圈闭的形成受陡坡带基底演化和沉积物类型及堆积规模双重控制,沉积相为沿陡坡带发育的冲积扇、扇三角洲、近岸水下扇沉积,这些扇体为多期快速沉积,纵向上多期叠合,平面上交叉叠置展布,形成了复杂的沉积格局。

研究区位于东营凹陷的东北边缘,东靠青坨子凸起,北靠陈家庄凸起,北部陈南断层在本区坡降较小,青西断层地形坡降较缓,既具有陡坡带的一些特征,同时也具有缓坡带的沉积特征。西北边为盐家油田,东南临永安镇油田,西至坨158井。区域构造位置如图1所示。

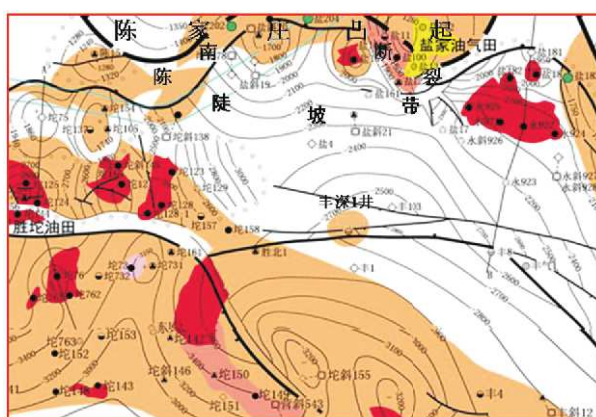


图1 区域构造位置图

Fig.1 Location of regional structure

## 1 沉积学特征

研究区位于古近系沉积时期,陈家庄凸起的南坡为一近东西走向的古断剥面,具有陡坡(15°~35°)、沟梁相间的古地貌特征,由于控制东营凹陷沉积的基岩断裂在发育过程中,受2~3条次级断层持续活动影响,陡坡上发育了高低不平、宽窄不一的断阶,这种特征的构造背景,决定了湖岸至湖盆中心距离短,一般在几至十几千米以内,在边界断层控制的湖盆陡坡带甚至1~2 km范围内就进入深湖区,也决定了该带沉积为近物源、多物源、沉积厚、相变大的特点,这对沿陡坡带沉积的砂砾岩扇体的沉积类型、规模及形态、展布有较强的控制作用。同时,由于受湖平面的升降变化、古气候变迁及母岩区供给物变化等影响,造成北部陡坡带在不同时期,甚至在同一时期的不同部位形成了不同成因类型的砂砾岩扇体。依据钻井剖面分析资料,结合岩性、电性特征及地震响应特征,主要发育成冲积扇、近岸水下扇、扇三角洲、深水浊积扇等4种成因类型的砂砾岩扇体,且各有不同的特征(如表1所示)。

### 1.1 岩心相特征

通过对丰深1井和丰深8井岩心观察发现(如图1所示),膏盐下岩性主要为细砾岩、含砾砂岩、砂岩及泥岩。丰深1井位于山东省垦利县民丰乡杜家屋子西偏南约950 m,构造位置属于济阳拗陷东营凹陷民丰洼陷带西北部丰深1砂砾岩体。丰深1井共取心12次共46.15 m,前9次取的岩心以黑色泥岩为主,局部加少量细砂岩条带,从第10次取心进入沙四下层位,丰深8井共取心12次,前7次取的岩心以黑色泥岩为主,泥岩中裂缝非常常见,在岩心剖面上每厘米约有4条,岩层面普遍泛白,舔舐味咸、苦涩。局部见丰富的黄铁矿薄层;局部加少量细砂岩条带。

表 1 丰深 1 井邻近地区砂砾岩扇体沉积特征表

Tab.1 Table of sedimentary feature of sandstone-conglomerate fans in Fengshen-1 well area

名称	岩性组合	沉积构造	成因	测井曲线	实例
冲积扇	块状混杂砾岩、含砾砂岩	叠瓦状构造、不明显平行层理	洪水携带碎屑物质在山口顺坡向下堆积	电阻率曲线中等幅度，有的表现为带齿边的漏斗形	埕 914 井丰深 1 井（沙四下）
近岸水下扇	厚层砂岩、含砾砂岩夹泥岩	见粒序层理、水平层理及平行层理，单砂层具正粒序	山地河流出谷后直接入湖，在湖盆边缘卸载形成	扇根呈漏斗状或箱状，扇中为钟形	盐家地区盐 18 井（沙三下）
扇三角洲	含砾砂岩为主，夹泥岩、砂岩	交错层理、沙纹层理及变形层理等，内部可见正反层理	断陷早期，冲积扇部分进入水体形成	中到低幅的箱形、漏斗形、下部呈钟形	永北地区（沙四上）
陡坡深水浊积扇	含砾砂岩、块状砂岩夹薄层泥岩	内部具正韵律，可见鲍马序列	盆地深陷期洪流在陡坡深水变缓处迅速堆积形成	齿化的箱形、钟形、低幅指形	盐家地区盐 16 井（沙三下）



图 2 丰深 1 井部分岩心照片  
Fig. 2 Drill core photo of Fengshe-1 Well

### 1.2 测井相特征

不同岩性的岩层具有不同的地球物理特性，所以通过对钻井所测量的测井曲线进行研究可以识别岩性，解释沉积环境，确定砂砾岩扇体的类型<sup>[2]</sup>。需说明的是，对陡坡带砂砾岩扇体的总体岩性识别、沉积环境解释，作为识别的一种标志，目前应用最广的还是自然电位曲线、视电阻率曲线，特别是自然电位曲线。自然电位主要受粒度、分选性和泥质含量的控制，而这些因素又取决于沉积时的水动力能量和物源供给条件，所以自然电位曲线的变化能反映沉积环境。通过对测井曲线的幅度大小、形态、顶底接触关系、光滑程度、包络组合特征的研究，并结合取芯资料分析，建立区内测井相标志，可确定出砂砾岩扇体沉积环境与类型（如表 2 所示）。

### 1.3 地震相特征

丰深 1 井和丰深 8 井砂砾岩体为早期时候的冲积扇体、盆地扩张时冲积形成的近岸水下扇体、扇三角洲沉积，一般厚度 100~300 m，由扇根、扇中和扇端三个亚相组成，以扇中和扇端最发育，其中扇根亚相又分为主槽、侧缘槽、槽洪和漫洪带微相，扇中亚相可分为漫洪带、辫流线、辫流砂岛微相。

表 2 断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体沉积特征表  
Tab. 2 Table of sedimentary feature of sandstone-conglomerate fan in fault-trough lake

名称	岩性组合	沉积构造	成因	测井曲线	
冲积扇	陆上洪积扇	紫红色砂质、泥质砾岩、泥砾岩混杂	块状和粒序层理，呈混杂堆积	山谷出口处，季节性洪水搬运并堆积碎屑物质在水平面上形成	齿化的漏斗形和箱形
	近岸水下扇	厚层砂岩、含砾砂岩夹泥岩	常见粒序层理、水平层理及平行层理，正旋回，单砂层具正粒序	山地河流出口后直接入湖，在湖盆边缘卸载而成	扇根呈漏斗形或箱形，扇中为钟形
三角洲	辫状河三角洲	厚层块状砂岩夹泥岩，其上有时为含砾砂岩，可见碳质页岩	多种交错层理，粒度为反旋回	河流注入湖泊，携大量碎屑在浅水处堆积，平面上呈朵状	大段箱形组合，下部为漏斗形
	扇三角洲	含砾砂岩为主，夹泥岩、砂岩	交错层理、沙纹层理及变形层理等，内部可见正反层理	断陷早期，冲积扇部分进入水体形成	中到低幅的箱形、漏斗形，下部为钟形
浊积扇	陡坡深水浊积扇	含砾砂岩、块状砂岩夹薄层泥岩	内部具正韵律，可见鲍马序列	盆地深陷期，洪流在陡坡深水变缓处迅速堆积形成	齿化的箱形、钟形，低幅指形
	近岸砂体前缘滑塌浊积扇	深湖泥岩中夹砂岩、含砾砂岩	具正粒序，可见粒序层理	外力作用下，砂体前缘再滑塌至深水区形成	中到低幅的齿化箱形、钟形和指形

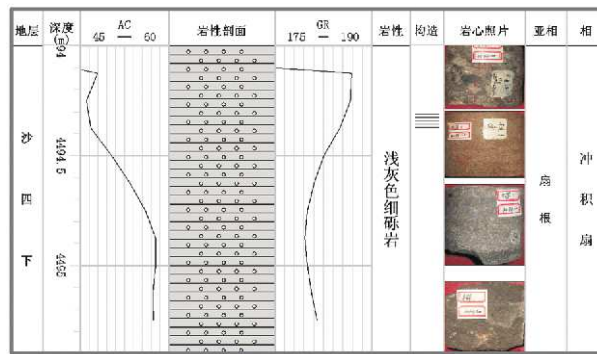


图 3 冲积扇相岩-电响应综合图

Fig. 3 Synthetic graph of rock-electric features of alluvial fan

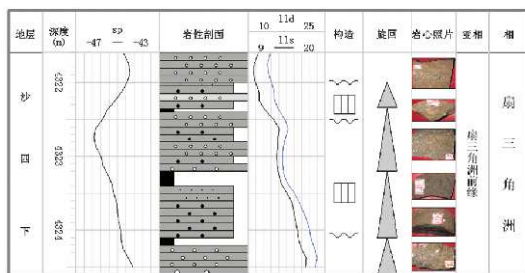


图 4 扇三角洲相岩-电响应综合图

Fig. 4 Synthetic graph of rock-electric features of fan delta

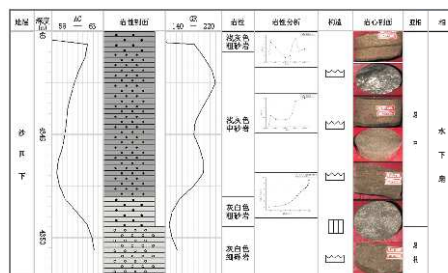


图 5 水下扇相岩-电响应综合图

Fig. 5 Synthetic graph of rock-electric features of subsea apron

扇根亚相由筛积物组成，主要是细砾岩、粗砾岩，位于砾岩体底部。扇中亚相由厚层含砾砂岩、细砾岩夹薄层泥岩组成，反映河道频繁<sup>[3]</sup>。从钻井资料和测井资料看，砂砾岩层厚5~10 m，由多个单砂体组成，一般为10~20个，每个厚度为0.1~2.0 m，内部构造呈块状或正韵律。泥岩夹层0.01~0.1 m，数量少，每百米10~16个。扇端亚相由厚层泥岩与含砾砂岩、粗砾岩互层组成，泥岩厚度0.2~2.0 m，常夹有5~10 cm的砂岩纹层（电测曲线无反映），砂砾岩厚度0.2~1.0 m，正韵律，由底向上从细砾岩递变为含砾砂岩、粗砂岩，一般2~4个砂体重叠，厚1~2 m。从电测曲线与岩心对比剖面上看，0.3 m以下泥岩夹层和0.2 m以下的砂层得不到测井反映，再厚层泥岩中有的0.3~0.5 m的含油砂层在测井解释中容易漏掉。

每一期扇体由北向南为扇根—扇中—扇根—外扇（深湖相泥）相序，反映盆地下降水体扩张，砾岩体多期快速沉积，纵向上多期迭合，平面上向斜坡超覆。整个东辛地区位于东营凹陷的东北部，正处于两个凸起的交界地带<sup>[4]</sup>。总的格局是基底构造相对简单，盖层构造比较复杂。褶皱少、断层多、不同性质、不同级别的正断层组成盆倾断裂体系。其中基底断裂对凹陷的发育演化有明显的控制作用。陈南断层、青西断层和青南断层作为盆地的边界断层始终控制地层沉积和构造演化。

研究区经历了多次构造运动和复杂的地质发展史，成藏复杂，特别是断裂系统复杂，导致块小、油水关系复杂，勘探开发难度大。从剖面可以看出（如图6所示），由于陈南断层中生代后期至早第三纪，活动强烈，落差大，南部断层活动弱，落差小，形成了北陡南缓的箕形断陷盆地。工区被断层所切割，形成复杂的断裂系统。并且区断层大多从沙三中下时期开始发育，中央背斜带沙四上开始时隆起，至济阳运动后期形成复杂的地堑式背斜构造。

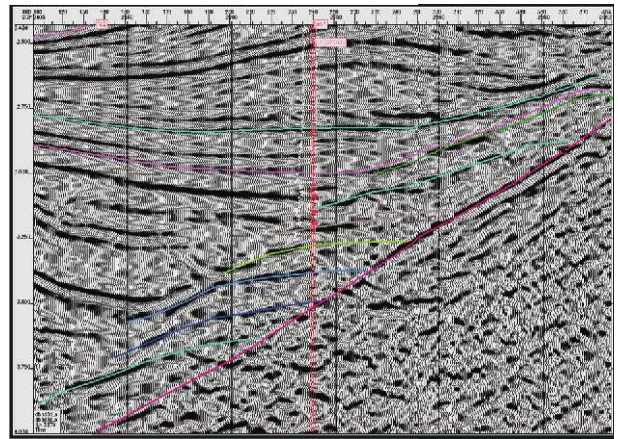


图6 丰深1地区砂砾岩体分布  
Fig. 6 Distribution of sandstone-conglomerate bodies of Fengshe-1 well

下第三系地层作为完成的构造演化旋回沉积序列，决定了盆地凹陷（洼陷）中心湖相体系的纵向演化规律；从滨浅湖—半深湖—深湖—半深湖—滨浅湖—半深湖—深湖—滨浅湖呈旋回式演变。但随着盆地凹陷（洼陷）中心的偏移，湖相体系沉积中心也随之偏移。在此湖相体系的控制下，冲积扇、三角洲、河流、重力流等沉积体系在纵向上逐渐演化相变，并与平面沉积体系相对应。明显的表现为冲积扇沉积系列从早期孔店组沉积至沙三段沿陡坡及缓坡呈退式序列发育，并且平面分布面积变大，但分布宽度变窄。其中陡坡带则呈现洪积扇—水下扇—冲积扇等变化，缓坡带则主要形成洪积扇—水下扇演变过程。三角洲与河流则呈现纵向反旋回式的演变，主要表现在沙三下早期平行轴向三角洲开始发育，在其向前推进的过程中，形成前三角洲—三角洲前缘—三角洲平原，直至发育成河流相沉积的向前、纵向上的推进过程，而重力流沉积系列在湖相、冲积扇、三角洲沉积体系控制下，均分布于半深湖、深湖等较深水部位，在冲积扇、三角洲前缘前方形成纵向有序排列，并与冲积扇、三角洲形成陡坡带—洼陷中心带—缓坡带的沉积模式（如图7所示）。

## 2 控制因素

本区砂砾岩岩体是在复杂的地质背景下形成的，它的形成主要受控于以下几方面因素。

### 2.1 沉积环境

从沉积角度来看，本区砂砾岩岩体一般为近源沉积，以砾岩、砂岩等为主，由于沉积物的搬运距离较短，其成分成熟度和结构成熟度都较低，粒度粗细不均，因此极好型流动单元在研究区内发育较

差,只在局部分布。本区的砂砾岩体,不论何种类型其基本形状都是扇形,最有利的储集和渗流相带都是扇体的中部及前缘。冲积扇是扇中的辫状河道较好;近岸水下扇是中扇的分支河道较好;扇三角洲是水上、水下分支河道和河口坝较好。顺分支(辫状)河道方向连续性很好,而垂直分支(辫状)河道方向连续性很差。所以研究砂砾岩体的连续性和研究河道砂砾体的连续性很相似,关键是砂砾岩体的侧向连续性。

## 2.2 水动力条件和物源

水动力条件和物源是影响和控制丰深1地区砂砾岩体中流动单元分布的主要因素之一,湖水水动力弱;物源供给充足,冲积扇和近岸水下扇得以推进并增长发,流动单元的类型较多。随着湖水水动力增强,物源供给减少,原先形成的砂砾岩体被水淹没遭受侵蚀性破坏、废弃。湖水部分或全部地淹没并冲刷侵蚀原先的砂砾岩,使沉积物重新分布,此时以扇三角洲沉积为主,并形成新的流动单元,随着山间河流和湖泊作用的消长和河口的往返迁移,沉积体系的发育和废弃可重复出现,形成一个由多个单一三角洲组成的叠置体<sup>[5]</sup>,其中流动单元也往往复合和联合,形成更大的流动单元连通体或破坏早先的流动单元,发育流动单元多旋回。

## 2.3 构造活动的控制

本区砂砾岩是受东营凹陷北部陡坡带断层所控制的,使得沉积物源较近,这种复杂的构造格局对本区砂砾岩体的流动单元有重要的控制作用。构造越复杂则流动单元越复杂,平原上流动单元分布范围小,垂向上流动单元变化快。

## 3 小结

(1) 东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩体在地震剖面上表现为扇体沉积,为多期、多套扇体的组合体,其内部结构复杂,地震反射包络线为穿时界面,横向对比性差,其形态受古地形影响。

(2) 扇群的分布与从凸起向南延伸的基岩沟具有对应关系,从东向西依次发育了七条大的基岩沟,每条基岩沟对应着一个扇群,并且基岩沟的规模越大,扇群的规模越大,扇体的数量越多,扇体向南部凹陷深处推进得越远。

(3) 根据扇体与古基岩的相对位置关系,可以将其分为两类,第一类扇体呈裙带状直接超覆在基岩面上,是来自北部凸起上的碎屑物质近岸直接堆积的结果。

(4) 沉积体系的水动力机制划分为:湖泊、三角洲、冲积扇等五大沉积体系,并再细划分为亚相、微相等。北带深层主要包括冲积扇、扇三角洲、近岸水下扇、深水浊积扇系列。各层段形成了多种沉积体系的纵横向展布序列。

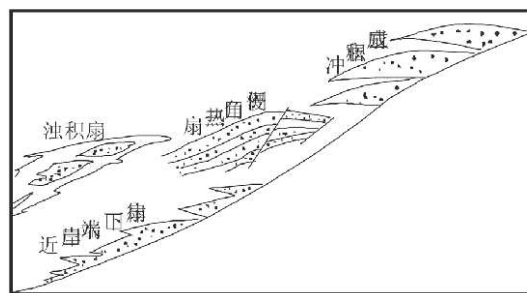


图7 砂砾岩扇体的成因分类示意图  
(据丰深1地区地震剖面)

Fig.7 Sketch map of genetic classification  
sandstone-conglomerate bodies  
(According to seismic profiles of Fengshen1 area)

## [参考文献] (References)

- [1] 孙龙德. 东营凹陷北部斜坡带沙三—四段砂砾岩体与油气聚集[J]. 沉积学报, 2003, 21 (2): 278~282.  
SUN Longde. Sandstone-conglomerate bodies in Sha3~4 members and hydrocarbon accumulation in northern slope of Dongying Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 278~282. (in Chinese)
- [2] 孔凡仙. 东营凹陷北带砂砾岩扇体勘探技术与实践[J]. 石油学报, 2000, 21 (52): 27~31.  
KONG Fanxian. Exploration technique and practice of sandy-conglomeratic fans in the northern part of Dongying Sag[J]. Acta Petroleisinica, 2000, 21(52): 27~31. (in Chinese)
- [3] 王志刚. 东营凹陷北部陡坡构造岩相带油气成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30 (4): 10~12.

- WANG Zhigang. Pooling model of steep slop structure and lithological zone in north Dongying Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 10~12. (in Chinese)
- [4] 冯有良. 断陷湖盆沟谷及构造坡折对砂体的控制作用[J]. 石油学报, 2006, 27 (1): 13~16.
- FENG Youliang. Control of valley and tectonic slope-break zone on sand bodies in rift-subsidence basin[J]. Acta Petroleisnica, 2006, 27(1): 13~16. (in Chinese)
- [5] 程立华, 陈世悦, 吴胜和, 等. 断陷盆地陡坡带扇三角洲模拟及沉积动力学分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 24 (4): 29~34.
- CHENG Lihua, CHEN Shiyue, WU Shenghe, et al. The simulation and sedimentary dynamic analysis of fan delta in the steep slop of fault basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2005, 24(4): 29~34. (in Chinese)