

歧口凹陷古近纪同沉积断裂 对层序和沉积体系的控制

陈莹¹, 林畅松², 余宏忠^{1,3}, 崔永刚¹

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学地质实验中心, 北京 100083;
3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 340052)

摘要: 通过对歧口凹陷古近纪的构造格架和主要同沉积断裂的构成和特征分析, 指出区内的主要同沉积断裂及其形成的断裂坡折带对古近纪层序和沉积体系的分布起重要控制作用。 F_1 断裂带和东北部盆缘断裂带北段共同控制着北部深洼的沉积充填; 东北部盆缘断裂带南段的活动性决定着北次洼的发育; 南次洼的发育主要与低凸起周缘断裂带的活动有关。东北部盆缘陡坡断裂坡折带控制了近岸水下扇和扇三角洲体系的发育; 西南断阶带的 F_2 断裂坡折控制了辫状三角洲和滨浅湖沉积体系的发育, F_1 断裂坡折控制低位扇和深湖、半深湖沉积发育以及向凹陷中心方向共生的前三三角洲滑塌浊积体系; 低凸起南缘断坡带在古近纪早期控制南次洼的扇三角洲或小型水下扇的发育。西南断阶带和 F_1 断裂与东北盆缘断裂交汇处是寻找砂岩油气藏的有利区域。

关键词: 同沉积断裂; 断裂坡折带; 层序格架; 沉积体系分布

中图分类号: TE121.2, P534.61⁺1

文献标识码: A

0 引言

陆相断陷盆地内的构造活动强烈, 多期次、多成因的构造活动给石油勘探带来复杂性, 但也扩大了潜在的油气勘探领域^[1], 作者研究了不同构造背景下的构造样式与沉积体系的对应关系。在层序地层框架内, 着眼于同沉积构造活动尤其是同沉积断裂所形成的古地貌, 研究沉积体系发育分布的控制因素, 是近年来国际上构造地层学研究的一个热点^[2-5]。

歧口凹陷是渤海海域西部的重要的油气勘探开发区。渤海中、新生代地质的显著特征是同沉积生长断层严格地控制了中、新生代的沉积, 沉积作用与构造活动密切相关^[6]。本文从层序地层学、构造地层和沉积体系分析等方面入手, 研究同沉积构造背景下的沉积体系发育和分布规律, 揭示同沉积断裂的控制作用, 有效地预测油气藏的分布。

收稿日期: 2006-02-20

基金项目: 国家自然科学基金渤海湾盆地第三纪构造坡折带与砂体预测(40072039)项目资助。

作者简介: 陈莹(1975-), 女, 山东长清人, 博士研究生, 矿产普查与勘探专业, 主要研究方向为沉积地质与层序地层学研究。E-mail: chenying_546@sohu.com

1 区域地质概况

歧口凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷东部, 是古近纪以来形成的新生代陆内伸展盆地。通过测井资料对比和地震剖面的解释, 建立了歧口凹陷古近纪层序地层格架 (图 1), 共划分为 3 个二级层序和 8 个三级层序, 二级层序为孔店二级层序、沙河街三段二级层序、沙河街二段—东营组一段二级层序, 三级层序分别为沙河街三段下亚段层序、沙河街三段中亚段层序、沙河街三段上亚段层序、沙河街二段层序、沙河街一段层序、东营三段层序、东营二段层序、东营一段层序等。二级层序以与大的区域构造作用有关的不整合面为界, 三级层序一般以层序底部发育的下切水道、沉积转换面或高位域的顶超面或上超面为界。

地层	年龄 Ma	岩相柱	湖平面 升	层序划分			沉积体系组合
				层序界面	三级	二级	
新近系							
馆陶组	24.6						
古近系	渐新统	东营组	一段	SB ₃ ¹	东一 (d1)	沙二段—东一段二级层序	河流
				SB ₃ ²	东二 (d2)		辫状三角洲 浅湖、半深湖
				SB ₃ ³	东三 (d3)		辫状三角洲 浅湖、半深湖
		沙河街组	沙一段	SB ₄	沙一 (s1)		辫状三角洲、 扇三角洲、 局部湖底扇、 浅湖、半深湖
			沙二段	SB ₅	沙二 (s2)		辫状三角洲、 湖底扇、 浅湖、半深湖
	始新统	沙河街组	上亚段	SB ₆ ¹	沙三上 (s3u)	沙三段二级层序	扇三角洲、 辫状河三角洲、 半深湖、深湖
			中亚段	SB ₆ ²	沙三中 (s3m)		扇三角洲、 湖底扇、深湖、 近岸水下扇
			下亚段	SB ₆ ³	沙三下 (s3l)		扇三角洲、 辫状三角洲、 半深湖、深湖
		孔店组		SB ₈	孔店 (kd)	孔店二级层序	河流、冲积扇
前古近纪	65						

图 1 歧口凹陷古近纪层序地层划分及沉积体系组合

Fig.1 Sequence stratigraphic classification and depositional systems association in the Paleogene Qikou depression

在歧口凹陷内识别了多种沉积体系,主要包括扇三角洲、辫状河三角洲、湖底扇、前三角洲浊积扇、滨浅湖、湖滩砂坝或边缘砂坝、深湖—半深湖泥质沉积。

2 构造古地貌和主要的同沉积断裂

2.1 构造古地貌

歧口凹陷古近纪以广泛发育的张性同沉积断裂为主要构造特征,次级构造单元的划分主要受这些同沉积断裂发育的控制。歧口凹陷以南部凸起和东北部凸起为界,由西南向东北方向依次划分为东南缘缓坡带、西南断阶带、南次洼、中央低凸起、北次洼、东北缘陡坡带以及北部深洼等7个次级构造单元(图2)。

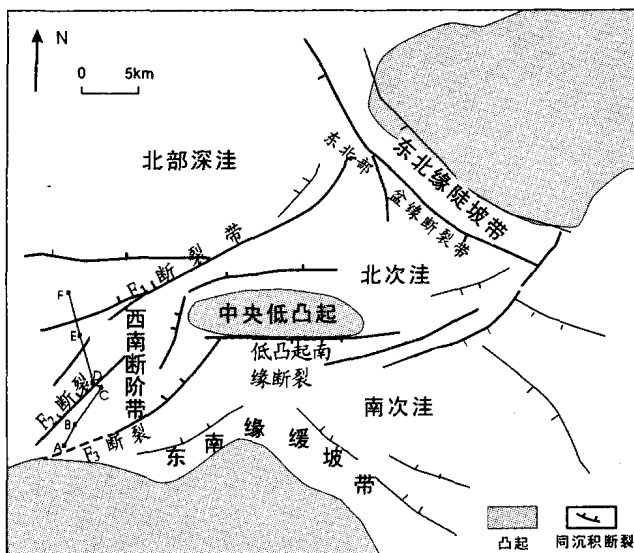


图2 歧口凹陷古近纪构造格架示意图

Fig.2 Schematic map of the Paleogene tectonic framework of the Qikou depression

东南缘缓坡带背靠南部凸起,发育少量北倾次级断裂,同时也是南次洼半地堑掀斜上超的边缘。西南断阶带分布于歧口凹陷西南缘,主体呈NE向展布,是一缓坡断阶带。凹陷东北缘主体为一陡坡带,受东北部凸起盆缘断裂的控制,古近纪早期为一快速沉降的盆缘断裂带,晚期地层向凸起上超,该陡坡带变成一超覆边缘,成为盆内断裂坡折带。中央低凸起近EW走向,分隔了南、北次洼,总体上东低西高、北低南高,沙河街三段下亚段沉积早期开始发育,沙河街二段沉积时期为水下低凸起,后期被东营组披覆。北部深洼为凹陷内沉降最深的沉降带,其南、北及东北边界分别为NE向及NW向的大型断裂带所限。南、北次洼均为北陡南缓的半地堑结构,沉降幅度相对较小。

2.2 主要的同沉积断裂及断裂坡折带

研究区内主要的同沉积断裂有 F_1 、 F_2 、 F_3 断裂、东北部盆缘断裂和低凸起南缘断裂等。不同断裂带的活动时间和活动强度存在差异(图3),在古近纪主要表现为张性或张扭性断裂。这些同沉积断裂长期活动形成断裂坡折带^[7],在盆地不同发育阶段构成古构造单元的分界,决定着盆地构造格架的基本样式,对层序发育和沉积体系分布起到重要控制作用。

西南断阶带由3条NE向同沉积断裂 F_1 、 F_2 和 F_3 组成,与北部深洼共同构成逐级北掉

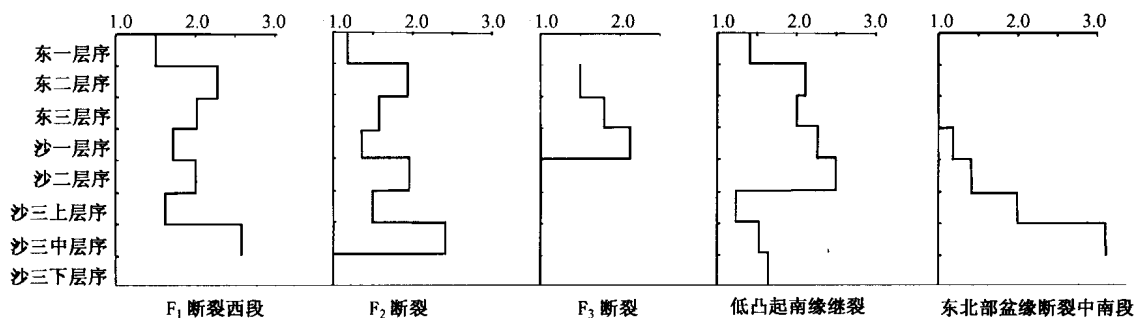


图3 歧口凹陷主要同沉积断裂的生长系数直方图

Fig.3 Bar diagrams showing growth indexes of syndimentary faults in Qikou Depression

注：F₁ 断裂和东北部盆缘断裂在沙三下层序发育时期为盆缘断裂

的具有3级断裂坡折的断阶带，是歧口深洼沉降区与南缘斜坡的过渡带。断阶带上每1条同沉积断裂都由几条主干断裂和一系列次级伴生断层构成，呈斜列断阶状，向NE方向合并和收敛。F₁断裂可划分为东、西两段，西段走向NE，断面陡、断距大，活动性强；东段呈NNE向展布，断面缓，活动性相对弱，断裂的发育具有由西向东扩展的特点。F₁断裂长期活动，沙河街三段下亚段沉积期为凹陷边缘断裂，沙河街三段中亚段和东营二段沉积期为强烈活动期。F₂断裂带的主干断裂面为犁形，向北倾，在沙河街三段中亚段时期开始明显活动，古近纪时期与F₁断裂西段活动性相似。F₃断裂构成歧口凹陷南部凸起与西北部沉积区的分界，断裂面北倾，断距小，活动强度小，活动较晚，对沙河街一段及以后的沉积有控制作用。

东北部盆缘断裂带构成东北部凸起与歧口凹陷的西北边界。断面南倾，呈犁形，断距大，深切盆地基底。伴生断裂为小型的同向或反向的调节断裂，局部具有马尾状组样式。古近纪早期为盆缘断裂，沙河街三段中亚段时期地层向凸起上超，在断裂带的东段形成明显的断阶构造，东营组沉积期断裂对沉积不具控制作用。

低凸起南缘断裂带由2~3条主干断裂组成，向南倾。在沙河街三段下亚段已开始活动，但活动较弱，在沙河街二段—东营沉积时期活动相对强烈，控制了南次洼的发育，构成南次洼的北缘陡坡带。

3 同沉积断裂对层序和沉积体系发育分布的控制

3.1 同沉积断裂对层序厚度的控制

研究古近纪各层序的地层厚度分布与主要同沉积断裂的关系表明，凹陷内各洼陷的沉积中心和沉降中心在古近纪发生了明显的分异和迁移，这些变化受控于区内主要同沉积断裂的差异活动和演化。以沙河街三段中亚段三级层序为例（图4），F₁断裂带和东北部盆缘断裂带北段在古近纪一直明显活动，共同控制着北部深洼的沉积充填；东北部盆缘断裂带南段的活动性决定着北次洼在沙河街三段中亚段三级层序发育、在东营组二段层序时期消失；而南次洼的发育主要与低凸起周缘断裂带的活动有关。

裂陷初始期，沙河街三段下亚段层序沉积范围局限，F₁断裂构成此时盆地的主要沉积边界，断裂活动剧烈，其下降盘为凹陷的沉降中心之一，层序厚达700~800m。东北部盆缘断裂带西北段活动强烈，控制着另一近NNW向展布的最大沉降带，沉积物快速堆积，沉积

中心紧靠盆缘断裂分布，最大沉积厚度在 1000m 以上。

强烈裂陷期，沙河街三段中、上亚段层序沉积范围明显南扩，地层向南上超。F₁ 断裂以北、东北盆缘断裂以南仍然构成了歧口凹陷的最大沉降和沉积中心。区内开始广泛发育同沉积断裂，差异沉降变得明显，逐步形成了南、北次洼被中央低凸起分隔的古构造格局，形成 2 个次级沉积中心。沙河街二段—沙河街一段沉积时期，凹陷整体构造活动减弱，但此时低凸起南缘断裂明显活动，低凸起南缘断裂带控制的南次洼向西扩展，南次洼东部沉降加大。

裂陷中、晚期（东营组三段—东营组一段沉积时期），构造活动相对较弱，尤其是东北部盆缘断裂带南段已不具同沉积性，所控制的北次洼消失；F₁ 断裂西段和 F₂ 断裂在东营组二段沉积期曾经强烈活动，使北部深洼区仍然沉降较大，F₁ 断裂和东北部盆缘断裂带北段仍控制着北部深洼的沉积中心，但原位于各自断裂带根部的 2 个沉积中心逐渐汇合，整体向凹陷中部迁移。

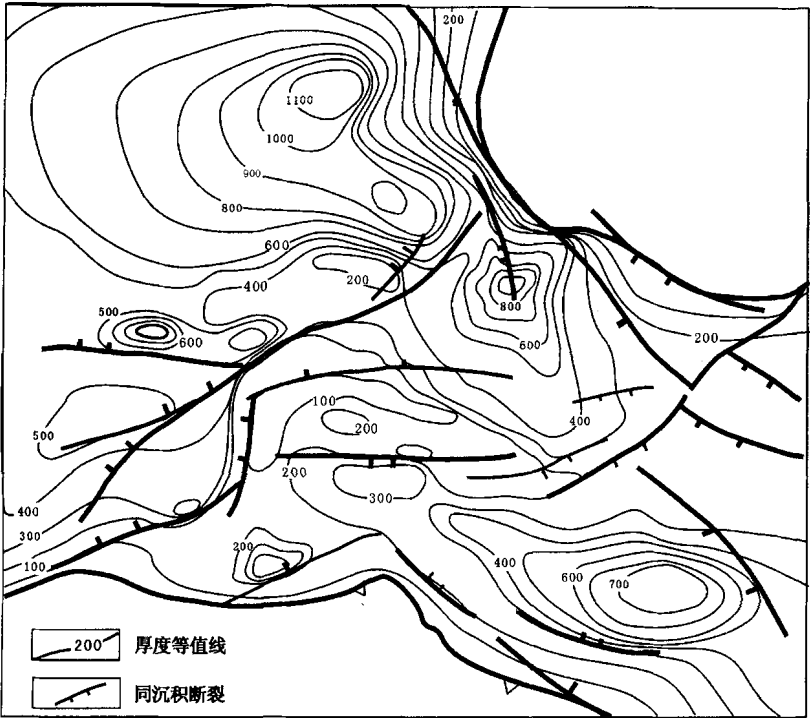


图 4 沙河街三段中亚段三级层序厚度与同沉积断裂关系图
Fig.4 Relationship of the thickness of the Middle Submember of
the Third Member of the Shahejie Formation and syndepositional faults

3.2 断裂坡折带与沉积体系的分布

在以伸展构造为主的陆相断陷盆地中，同沉积断裂形成的断裂坡折带是沉积古地貌变化的主要控制因素，是地形坡度突变的部位，也是沉积区域的边界和水深的突变部位，控制着沉积相带的总体展布^[7]。

3.2.1 西南断阶缓坡带 西南断阶带是发育多个断阶的缓坡带，不同位置的断裂坡折和不同期次活动的同沉积断裂分别控制着不同类型的沉积体系分布（图 5）。总体上，F₁ 断裂形成斜坡与深洼区边缘的断裂坡折带，长期构成深湖与浅湖沉积的分界。F₂ 断裂坡折带一般

控制着扇三角洲或辫状河三角洲前缘砂质沉积中心或加厚带。 F_3 断裂形成凸起边缘断裂坡折带, 构成凸起与斜坡的分界。

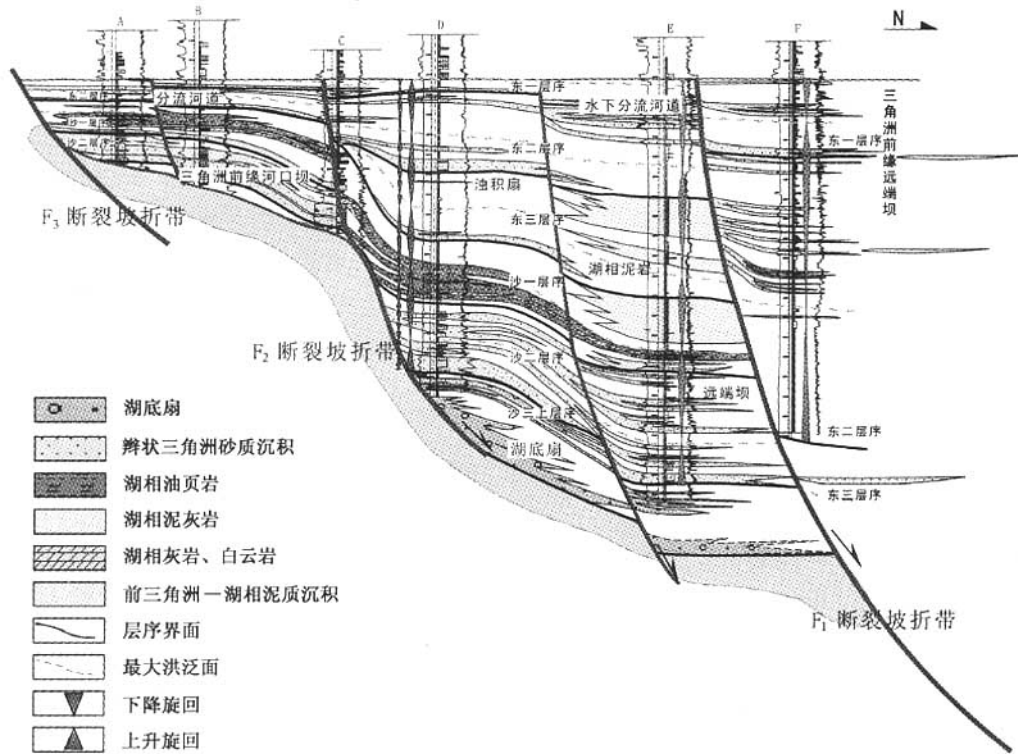


图5 西南断阶带对沉积层序发育分布的控制 (连井剖面位置见图2)

Fig.5 Growth and distribution of depositional sequences controlled by the southwest fault step zone (see Fig. 2 for the location of the section)

古近纪裂陷初期至沙河街三段下亚段层序发育期, F_1 断裂坡折之下可观察到具有发散、前积结构的楔状沉积体, 代表沿断裂边缘早期发育的冲积扇或扇三角洲沉积, 断裂坡折以下为深洼区, 控制着沙河街一段三级层序和沙河街三段中亚段三级层序时期主体烃源岩的发育位置; 同时, 由于三角洲前缘和前三三角洲沉积的重力滑塌再搬运, 可在断裂坡折下形成三角洲远端的浊积扇体。沙河街三段中亚段—沙河街一段层序沉积期, 由于 F_2 断裂形成并明显活动, F_2 形成的断裂坡折构成沙河街三段时期扇三角洲体系的沉积边界, 并控制沙河街一段层序时期半深湖体系的发育及烃源岩的发育位置。紧靠 F_2 断裂坡折带之下发育辫状河三角洲前缘砂质沉积加厚带, 坡折之下沉积旋回和沉积厚度明显增多。在低水位期, 辫状河三角洲向盆地方向推进, F_2 断裂坡折的下斜坡形成低水位的进积扇三角洲沉积体, 断裂坡折之上暴露于地表, 主要发育下切谷充填、三角洲平原河道砂沉积; 在高水位期, 沿陡的扇三角洲前缘—前三三角洲带的重力滑动产生再搬运, 可发育浊积湖底扇沉积。

进入东营组二、三段层序深水湖盆发育阶段, F_2 、 F_3 断裂坡折之下是半深湖沉积体系, 控制着湖底浊积扇和巨厚的泥岩、泥灰岩沉积, 此时 F_2 断裂坡折之上的小型次级同沉积断裂也能控制局部沉积中心的形成。东营组一段层序时期是盆地裂陷晚期, F_2 、 F_3 断裂基本不活动, 对沉积控制不明显, F_1 作为靠近洼陷边缘的断裂坡折仍然活动, 控制着歧口北部

深凹的沉积中心, 辫状三角洲从盆地边缘一直向前推进, 在 F_1 断裂坡折下沉积了加厚三角洲前缘远砂坝沉积。

3.2.2 东北缘断裂陡坡带 东北缘断裂陡坡带的沉积层序发育与主干同沉积断裂的活动历史和组合样式有关。裂陷初始一强烈活动期断裂陡坡带一直构成盆地边界, 沿下降盘一侧发育垂向加积的粗碎屑体系; 裂陷中、晚期地层向凸起上超, 原来的盆缘断裂构成深洼陷区与凸起之间的二阶断裂坡折带, 沉积边缘由新的盆缘断裂限制 (图 6)。

东北缘断裂带在孔店—沙河街三段期间活动强烈, 形成坡度较陡的简单断裂坡折, 坡折之上遭受剥蚀, 坡折之下沉积物卸载。随着湖水的加深, 边缘扇从早期的冲积扇向扇三角洲、深水扇三角洲或湖底扇演化, 可观察到杂乱或乱岗状反射结构沉积体, 或具有发散、前积结构的楔状沉积体。从沙河街三段上亚段沉积开始, 地层向凸起上超, 该陡坡带成为盆内的断裂坡折带, 但仍然控制着粗碎屑体系的沉积中心或加厚带。沿坡折带可观察到多期高位或低位域三角洲的前积结构。低位域期间, 断裂坡折以上发育较为明显的侵蚀不整合, 主要发育下切谷充填及三角洲平原沉积。

3.2.3 低凸起南缘断裂带 低凸起南缘断裂带与低凸起相伴生, 是低凸起南侧陡坡边界, 由一组 NE 向斜列状展布的同沉积断裂组成。低凸起在古近纪早期为水上隆起; 沙河街二段地层上超, 成为水下低凸起, 在低水位期可能部分出露地表, 在低凸起下斜坡或断坡发育水下河道、小型的低位扇三角洲或滩坝砂等碎屑沉积体系; 在南缘陡坡带一侧发育扇三角洲或小型水下扇。

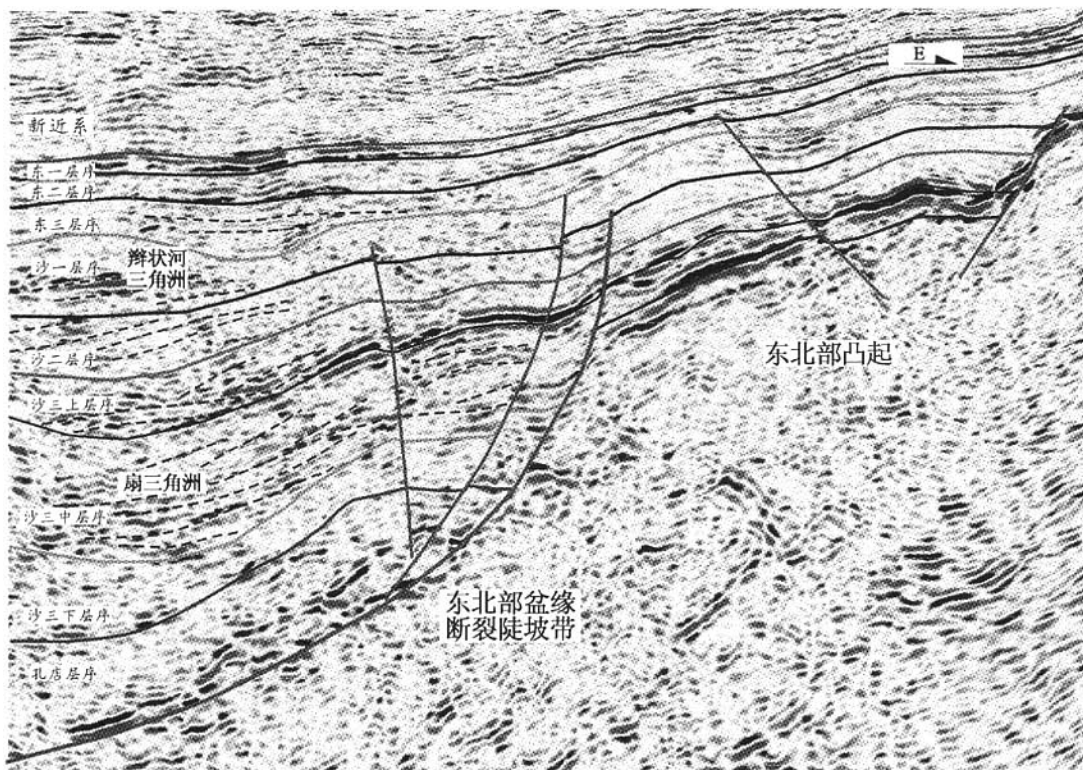


图 6 东北缘断裂陡坡带对沉积层序发育分布的控制

Fig.6 Analysis of seismic sequence stratigraphy showing distribution and development of depositional sequences controlled by the steep slope break at the northeast edge of the depression

4 砂岩油气藏预测

通过以上综合研究,着重从同沉积构造对沉积体系和有利储集相带展布的控制的角度出发,结合成藏条件分析,认为区内有两个有利的砂岩储集相带。

(1) 西南缓坡断阶带

西南断阶带通过对沉积中心和粗碎屑体系的控制,达到对烃源岩和储层的控制。沙河街三段中亚段层序是最主要的烃源岩发育期, F_1 断裂的持续活动形成了强烈的沉降带,沉积厚度约 1000m,控制着区内主要的烃源岩发育区。西南断阶带的各级坡折之下控制着加厚的三角洲前缘沉积中心或低位扇体都是有利的砂岩储集体。沙河街组一段的油页岩、湖相泥岩以及东营组期间沉积的巨厚泥岩层都是良好的区域盖层。长期活动的 F_1 、 F_2 断裂是断阶带油气来源的重要运移通道,而断阶带则成为长期油气运移的指向区带。同时,主干同沉积断裂往往侧向封堵性好,极易在断层两侧形成构造—岩性圈闭。目前已发现油田多沿这一断裂带分布。

(2) F_1 断裂与东北部盆缘断裂交汇处

该部位的西侧与歧口深洼相临,具有与西南断阶带相似的油源条件和油气运移条件。从构造古地貌上分析,该区位于歧口凹陷向东延伸的一个喇叭型地貌,东北缘陡坡带的扇三角洲和辫状河三角洲同时向南和向西推进,通过 F_1 断裂坡折带向歧口深洼充填,广泛发育有扇三角洲和晚期的辫状河三角洲前缘沉积砂体。沙河街一段层序、沙河街二段层序有利砂体与东营三段层序的湖进期泥岩构成良好的储盖组合,形成岩性油气藏。

5 结论

1) 受 F_1 、 F_2 、 F_3 断裂带、东北部盆缘断裂带、低凸起南缘断裂带等主要同沉积断裂带的控制,在歧口凹陷的西南缓坡断阶带、东北部陡坡带及中央低凸起南缘发育有断裂坡折带。

2) 区内主要的同沉积断裂控制了各洼陷沉积和沉降中心的分布。 F_1 断裂带和东北部盆缘断裂带北段在古近纪一直明显活动,共同控制着北部深洼的沉积充填;东北部盆缘断裂带南段的活动性决定着北次洼在沙三中发育,在东二时期消失;而南次洼的发育主要与低凸起周缘断裂带的活动有关。

3) 凹陷内主要的断裂坡折带控制着古近纪沉积相带的总体展布。东北部盆缘陡坡坡折带控制了近岸水下扇和扇三角洲体系的发育;西南断阶带的 F_2 断裂坡折控制了辫状三角洲和滨浅湖沉积体系的发育, F_1 断裂坡折主要控制低位扇和深湖、半深湖沉积发育以及向凹陷中心方向共生的前三角洲滑塌浊积体系;低凸起南缘断坡带早期控制扇三角洲或小型水下扇的发育。

4) 与生油凹陷相临的断裂坡折带上具备形成油气藏的各种有利条件,其中西南缓坡断阶带和 F_1 断裂与东北部盆缘断裂交汇处都是研究区内砂岩油气藏勘探的有利区带。

参 考 文 献

[1] 姚超, 焦贵浩, 王同和, 等. 中国含油气构造样式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.

- [2] 林杨松, 郑和荣, 任建业, 等. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (11): 1025 ~ 1036.
- [3] 任建业, 陆永潮, 张青林. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制 [J]. 地球科学, 2004, 29 (5): 596 ~ 602.
- [4] L Frank Brown Jr. Loucks Robert G. Trevino Ramon H. Hammes Ursula. Understanding growth-faulted, intraslope subbasins by applying sequence-stratigraphic principles: Examples from the south Texas Oligocene Frio Formation [J]. AAPG Bulletin. 2004, 88 (11): 1501 ~ 1522.
- [5] P. B. WIGNALL and J. L. BEST. Sedimentology and kinematics of a large, retrogressive growth-fault system in Upper Carboniferous deltaic sediments, western Ireland [J]. Sedimentology, 2004, 51 (11): 1343 ~ 1358.
- [6] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 16 (3): 201 ~ 206.
- [7] 林杨松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念 [J]. 地球科学, 2000, 25 (3): 260 ~ 266.

CONTROLS OF PALEOGENE SYNDEPOSITIONAL FAULTS ON THE SUCCESSIONS AND DEPOSITIONAL SYSTEMS IN THE QIKOU DEPRESSION, BOHAI BAY

CHEN Ying¹, LIN Chang-song², YU Hong-zhong^{1,3}, CUI Yong-gang¹

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Laboratory Center of Geosciences, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Tianjin Branch, CNOOC, Tianjin 340052)

Abstract: This paper systematically analyzes the Paleogene tectonic framework and organization and pattern of major syndepositional faults in the Paleogene Qikou depression and notes that the major syndepositional faults and fault slope breaks in the study area exerted important controlling effects on the Paleogene successions and distribution of depositional systems. Fault F_1 and the north segment of the northeastern basin-marginal fault controlled depositional filling of the deep northern depressed part of the depression; the activity of the south segment of the northeastern basin-marginal fault determined the development of the north subbasin and the development of the south subbasin is mainly related to the activity of the low rise peripheral fault zone. The northeastern basin-marginal steep slope break controlled the development of the inshore subaqueous fan and fan delta system; the slope break fault F_2 in the southwest fault step zone controlled the development of the growth of the braided delta and lakeshore and shallow-lake deposition systems; and the slope break of fault F_1 controlled the deposition and development of the lowstand fan and deep and hemi-deep lake deposition and the prodelta fluxoturbidity system; the southern low rise peripheral slope break zone controlled the development of the fan delta or small subaqueous fan in the southern subbasin at the early stage. The southwest fault step zone and the position of intersection of fault F_1 and the northeast basin-marginal fault are favorable sites for looking for potential sandstone reservoirs.

Key words: syndepositional fault; slope-break zone of fault; sequence framework; distribution of depositional system; Paleogene Qikou depression