

文章编号: 1001-6112(2007)01-0047-05

断陷盆地边缘凹陷类型及其成因

张树林, 费 琪, 叶加仁

(中国地质大学, 武汉 430074)

摘要:断陷盆地中的断陷构造层往往是由众多断块组成,在伸展掀斜过程中,每个块体都是一个相对独立的沉降和沉积单元。由于各个块体所处的构造位置、边界断层走向、以及演化过程中的运动学特点不同,有些块体在整个断陷过程中长期继承性掀斜沉降,成为主力生油气中心的主体凹陷;有些块体在断陷演化过程中被边缘化,表现为沉降幅度较小或剥蚀量较大。根据成因和所起的构造作用,可以将边缘凹陷分为 4 种类型,即废弃型、调节型、过渡型和改造型。

关键词:构造特征;成因类型;边缘凹陷;断陷盆地;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

TYPES AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF BRINK SAGS IN FAULTED BASIN

Zhang Shulin, Fei Qi, Ye Jiaren

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The faulted structural strata are usually constituted by numerous fault-blocks in faulted basin. In the extending process, each fault-block is a comparatively independent sedimentary and subsidence center. In the process of rift-subsidence evolvement, some fault-blocks succession rift and subside for a long period, becoming the host sags of the primary oil source center, and the others show the less range of subsidence or strong denudation, becoming the brink sags, all these just because of the difference in structure position, boundary fault strike, and dynamics characteristics. According to the formation and the function in structural activity, the brink sags can be divided into abandoned-type, adjusted-type, transitional-type, and reconstructed-type.

Key words: structural characteristics; genetic type; brink sag; faulted basin; the Bohai Bay Basin

断陷盆地是一种重要的含油气盆地类型,它可以是多种成因的,在水平拉张、拱张、挤压二次纵张、剪切(特别是拉分)等应力背景下都可以产生断陷盆地。不同成因断陷盆地的形态、块体运动、沉积体和内部结构、构造有所不同,其共同特点是:正断层发育,通过断层上盘下滑产生沉降、以单断半地堑或双断地堑构成多凸多凹的构造格局。由于各个块体所处的构造位置、边界断层走向以及演化过程中的运动学特点不同,有些块体在整个断陷过程中长期继承性掀斜沉降,成为主力生油气中心的主体凹陷^[1];有些块体在断陷演化过程中被边缘化,表现为沉降幅度较小或剥蚀量较大,成为生油气层系单一或生油气量较少的边缘凹陷。从断陷

盆地形成、演化到改造,各个阶段都可产生边缘凹陷,不同成因边缘凹陷的构造特点有所差别。因此,分析边缘凹陷的成因及分布,可以获得断陷盆地成盆动力学和运动学的许多信息^[2]。

1 边缘凹陷类型

在一个断陷盆地中,主体凹陷的边界断层活动量大,是构造张或张扭应力的长期或集中释放带。边缘凹陷的边界断层总体活动量较小,只在一定时期起到重要的应力释放作用,或在长期的伸展、甚至走滑过程中主要起调节作用。因此,根据成因和所起的构造作用,可以将边缘凹陷分为 4 种类型,即废弃型、调节型、过渡型和改造型。

收稿日期:2006-07-31;修订日期:2007-01-05。

作者简介:张树林(1962—),男(汉族),湖北罗田人,博士,教授,主要从事盆地构造与油气成藏研究和教学。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40172051)。

废弃型边缘凹陷在断陷早期是重要的掀斜沉降中心,在后期的断陷过程中被边缘化,逐渐减弱或基本停止断陷,成为被废弃的凹陷。

调节型边缘凹陷往往处于构造枢纽带,在漫长的多旋回断陷过程中,对不同主体凹陷或不同方向构造带之间的差异沉降起调节作用。因此,调节型边缘凹陷沉降作用不稳定,构造反转活动相对比较频繁,沉降中心可能还不断迁移。

过渡型边缘凹陷属于长期被边缘化,一般处于主体凹陷与凸起或主体凹陷与主体凹陷之间,表现为强烈沉降区与凸起之间的过渡性质。

改造型边缘凹陷属于特殊类型,在断陷作用过程中可能是主体凹陷,但在构造反转活动过程中也活动强烈,在反转改造过程中被边缘化,属于残留凹陷的性质。

2 废弃型边缘凹陷

细分被废弃的原因主要有 3 种:一是构造应力在其它构造带得到有效释放,该区不再发生强烈断陷;二是控凹断层倾向与伸展方向不一致,随着与伸展方向一致的断裂联合增强,该控凹断层的活动性减弱;三是随着掀斜伸展作用的加强,控凹断层主断面逐步变缓成为无效结构面,在其下降盘将产生新生陡断面继续起伸展作用,处于 2 条断层之间的部分被废弃成为边缘凹陷。下面分别用典型实例来论述其构造特点。

2.1 构造应力在其它构造带得到有效释放

潍北凹陷处于郯庐断裂带在渤海湾盆地段的南端,为具有拉分性质的菱形断陷,东西两侧断层具有走滑性质^[3,4],南北向剖面具有箕状断陷的特点,表现为北断南超(图 1)。在断陷早期对沿郯庐断裂的扭应力起到重要的释放作用,沉积了巨厚的孔店组;随着渤中和济阳拗陷的强烈伸展,沿郯庐断裂的扭应力得到有效释放,潍北凹陷基本停止断陷沉降,沙河街组到东营组的沉积很薄,成为被废弃的边缘凹陷。

2.2 控凹断层倾向与伸展方向不一致

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,总体构造为东西走向,除北部边界断层追踪利用先期断层呈锯齿状外,凹陷内部构造大多为东西向线性或斜列分布(图 2)。该凹陷被高柳断层分割为 2 个次级洼陷,沙一—沙二段沉积时期,受西南庄和柏各庄断层控制,为北断南超的箕状半地堑,断陷沉积层呈楔状向南减薄;随着南北向伸展作用的进一步增强,沙一段—东营组沉积时期高柳断层和老堡

断层活动加强,沉降中心转移到南部,在高柳断层和老堡断层间形成一个沙一段—东营组的次级地堑,受北西向柏各庄断层和西南庄断层北东向段控制的南堡北部洼陷被逐步边缘化,成为一个被废弃的次级箕状半地堑^[5]。

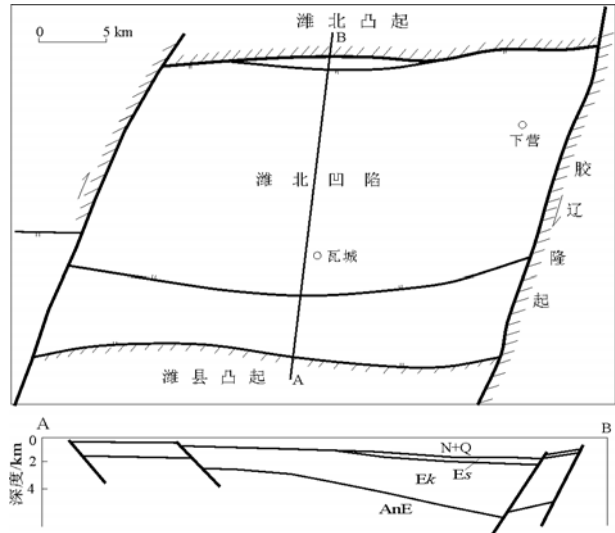


图 1 渤海湾盆地潍北凹陷构造纲要
Fig. 1 Structural sketch map of the Weibei Sag in the Bohai Bay Basin

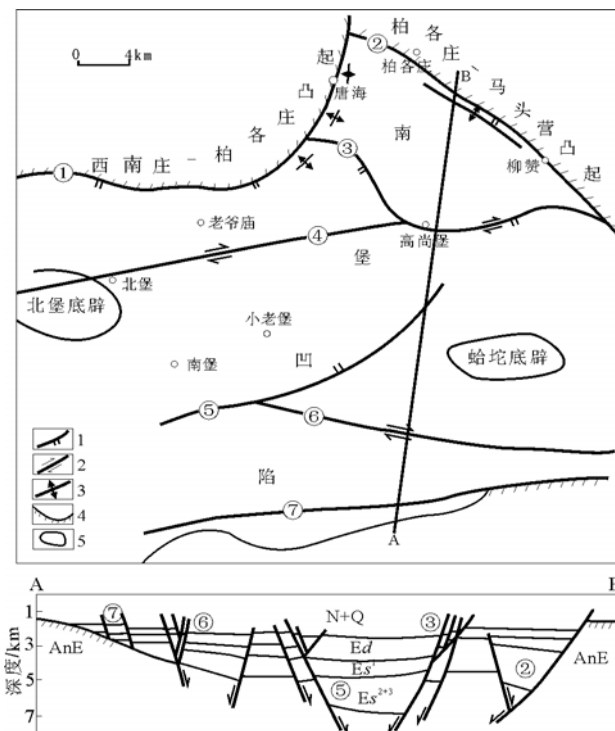


图 2 渤海湾盆地南堡凹陷构造纲要
1. 正断层; 2. 平移断层; 3. 背斜; 4. 超覆线; 5. 底辟构造
①西南庄断层; ②柏各庄断层; ③高柳断层;
④北高断层; ⑤老堡断层; ⑥蛤南断层; ⑦海北断层
Fig. 2 Structural sketch map of the Nanpu Sag in the Bohai Bay Basin

2.3 控凹断层主断面逐步变缓成为无效结构面

滋镇洼陷位于渤海湾盆地惠民凹陷西北部。控凹的基山断层由走向北北东、近东西、近东西弧形和北西 4 段组成,构成总体向北突出的弧形,断层延伸长度达 70 km 以上;倾向总体向南;断面很缓,倾角一般小于 25°。孔店组—沙四段沉积时期,由于宁津凸起的强烈隆升,基山断层强烈断陷伸展,伸展量达 12.18 km,伸展率达 29.52%,伸展速率为 0.61 km/Ma,沉积了巨厚的沙四段—孔店组。临商断层在孔店组—沙四段沉积时期以分段活动为主,没有贯穿为一条整体的控凹断层,沉积体总体为受基山断层控制北厚南薄、跨越滋镇洼陷和临邑洼陷的大型楔状体。从沙三段沉积中期开始,由于基山断层在掀斜断陷过程中不断变缓,所控制的断陷作用萎缩,临商断层连接成一条控制临邑洼陷沉积和构造演化的大断层,并将临邑洼陷从滋镇—临邑大块体中分化出来,沉降中心由基山断层下降盘转移到临商断层下降盘。滋镇洼陷沙三段累计厚度仅 700 m,其伸展量约 3.69 km,伸展率 6.91%,伸展速率为 0.41 km/Ma。沙一段—东营组沉积时期,由基山断层控制的伸展量进一步减小,仅 1.81 km,伸展率为 3.16%,伸展速率为 0.16 km/Ma,滋镇洼陷完全成为被废弃的边缘凹陷(图 3)。

3 调节型边缘凹陷

调节型边缘凹陷在不同断陷旋回都可能产生

强烈沉降,但由于处于构造枢纽带,对不同方向的伸展和反转作出相应的响应,造成凹陷内的沉降中心不断迁移,没有形成一个长期继承性发展沉降中心,加上多期构造反转改造,造成总体沉降幅度不大。如渤海湾盆地临清拗陷北部,受近东西向和北北东向构造的共同影响,对黄骅拗陷、临清拗陷和济阳拗陷的强烈伸展断陷起调节作用。

临清拗陷北部主要发育 NE、近 EW 和 NW 向三组断层,NE 向断层数量多、分布广,是盆地演化的主控断层,也是控制本区东西分带的主要断层;近 EW 向断层主要分布于中北部地区,是控制南北分区的主要断层;NW 向断层数量少,在盆地演化过程中处于从属地位。受同生正断层活动控制,形成德州凹陷、冠县凹陷和莘县凹陷 3 个负向构造单元、以及高唐—堂邑凸起和腰站凸起 2 个正向构造单元^[5]。

3.1 构造迁移

临清拗陷北部新生代各断陷旋回的沉降中心和沉积中心有明显的差异,主要表现在主控断层的变化、造成断块掀斜方向有所不同或沉降中心的位置差异。如莘县凹陷在孔店组—沙四段沉积时期以南东断为主、向北西方向减薄,到沙三段—沙二段沉积时期则相反,以北西断为主、向南东方向减薄(图 4)。德州凹陷南部的冠北洼陷则相反,孔店组—沙四段沉积时期由南东向北西方向减薄,到沙三段—沙二段沉积时期则由北西向南东减薄。这种现象不仅表现在伸展断陷的早期,在渤海湾盆地

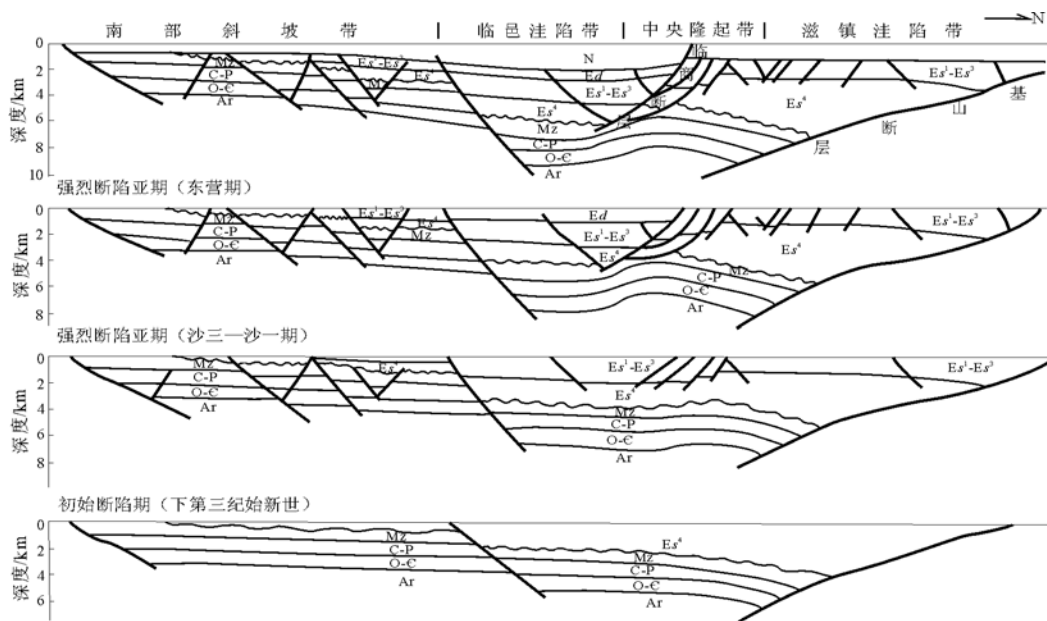


图 3 渤海湾盆地滋镇—临邑洼陷构造演化史

Fig. 3 Structural evolution profile of the Zizheng-Linyi Sag in the Bohai Bay Basin

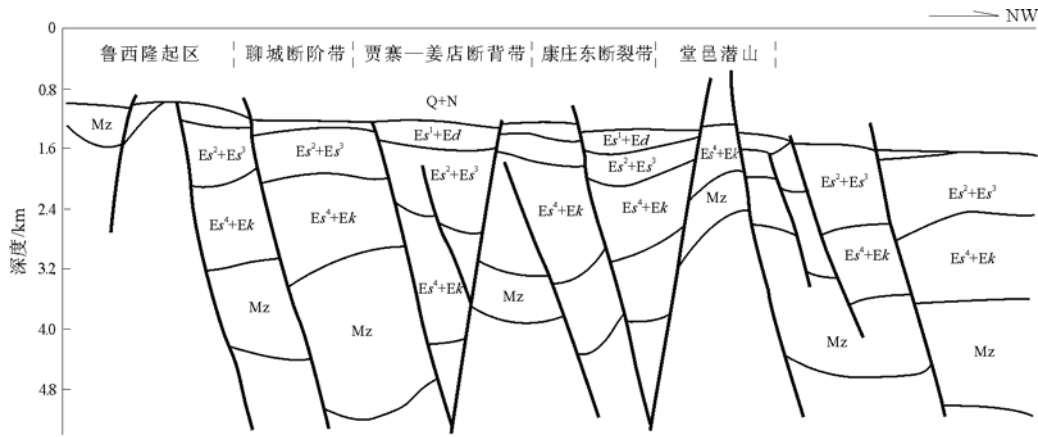


图 4 渤海湾盆地莘县凹陷 1037.2 测线地震解释剖面

Fig. 4 Geological interpretive profile of the seismic line 1037.2 in the Shenxian Sag, the Bohai Bay Basin

主要沉降单元都表现比较稳定的沙二段与沙一段之间,也存在明显的沉降中心迁移现象。这种迁移既有不同伸展体制共同作用的结果,也有在同一伸展体制下断层不稳定活动的结果,都反映出没有形成大规模的主控边界断层,对断裂伸展深度和强度都有重要影响。

从各断陷期地层分布来看,与主体凹陷的主要差异在于几乎见不到随着断陷作用增强沉降中心逐步统一的过程。这种沉降中心及其主控断层的不断迁移,表明本区是重要的构造转换带,但不是主要的应力释放带,不利于形成统一的大型凹陷。

3.2 构造反转

构造反转主要表现在 3 个方面:一是地层厚度变化不协调;二是同沉积正断层的反转活动造成的不协调剥蚀^[6],如在德南洼陷,沙三段沉积前发生的沿控制孔店组—沙四段沉积边界断层的强烈反转活动,使沙四段的剥蚀量向断层附近增大,甚至在边界断层附近被剥蚀到孔店组(图 5);三是明显

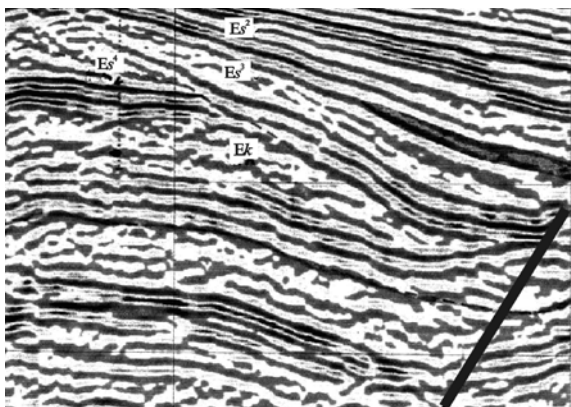


图 5 渤海湾盆地德州凹陷三维地震切片

Fig. 5 3D-seismic section in the Dezhou Sag, the Bohai Bay Basin

的反转构造,正反转构造和负反转构造都很发育。这些构造反转现象在古生界与中生界之间、中生界与新生界之间、不同断陷旋回之间和断陷层与拗陷层之间都存在。总体上,临清拗陷北部的构造迁移南部比北部明显,而构造反转北部比南部强烈。这种多期大范围的构造迁移与反转现象表明:与渤海湾盆地的主要沉降单元相比,在新生代断陷期没有形成明显一致的沉降中心,但构造反转更明显。

4 过渡型边缘凹陷

过渡型边缘凹陷的基本特点是:在长期断陷作用过程中,边界断层一直未发育成深大断层,但在每个断陷旋回都持续活动,成为继承性发育、但总体沉降幅度不大的负向构造单元。如渤海湾盆地富林洼陷处于孤南洼陷与陈家庄凸起之间,阳信洼陷处于东营洼陷与临南洼陷之间。据地震资料反映,阳信洼陷的控洼主断层很可能没有断入结晶基底,深部表现为沿基底不整合面的滑脱,所以,尽管从孔店组沉积时期开始,每个断陷旋回都持续掀斜沉降,但各个断陷旋回的沉降幅度都比较小,成为总体沉降幅度不大的过渡型边缘凹陷。

富林洼陷不仅表现出过渡型边缘凹陷性质,而且由于东侧受北北东向的郯庐断裂体系影响^[8],其沉降中心演化存在迁移过程。富林洼陷无孔店组沉积,沙四段仅几十米,且局限于深洼内。因此,只有沙三段至沙二段沉积时期和沙一段至东营组沉积时期 2 个断陷旋回,断陷沉积层厚 3 000 m 左右,不到临近主体凹陷的一半。

第一断陷旋回是在沾化块体边沿东侧北北东向断层向北走滑、边向北掀斜伸展的背景下断陷,在断陷初期,不同方向和不同规模的断层都有不同

程度的活动,造成湖盆基底被强烈分割。在向北伸展的同时,由于富林地区处于沾化块体边缘,垦东断层的右旋平移引起沾化块体尾端的北东向拉张。因此,在富林洼陷内部形成了 2 个不同方向的断陷槽(沉降中心)。北西向断陷槽受孤西断层控制,为北北东向右旋平移派生的局部拉张的产物;近东西向断陷槽受 2 组近东西向断层控制,其中向北倾断层比对应向南倾断层的活动性更强,主要反映了区域上向北的拉张。北西向和近东西向断层的强烈活动,说明垦利断层是在沾化块体掀斜伸展的背景下,以表壳破裂正断作用为主,富林断块没有发生明显的整体掀斜(图 6a)。

在第二断陷旋回,随着垦利断层活动的进一步加强,富林断块以整体向北掀斜伸展作用为主,北西向断层活动很弱或基本停止。而且,由于处于沾化块体边缘,北北东向右旋平移断层的尾端,北北东向断层的张性明显,富林洼陷形成北东沉降幅度大、向南西逐步减小的单斜构造格局。在垦利断层与垦东 6 和垦东断层交切处的下降盘分别形成 2 个沉降中心(图 6b)。

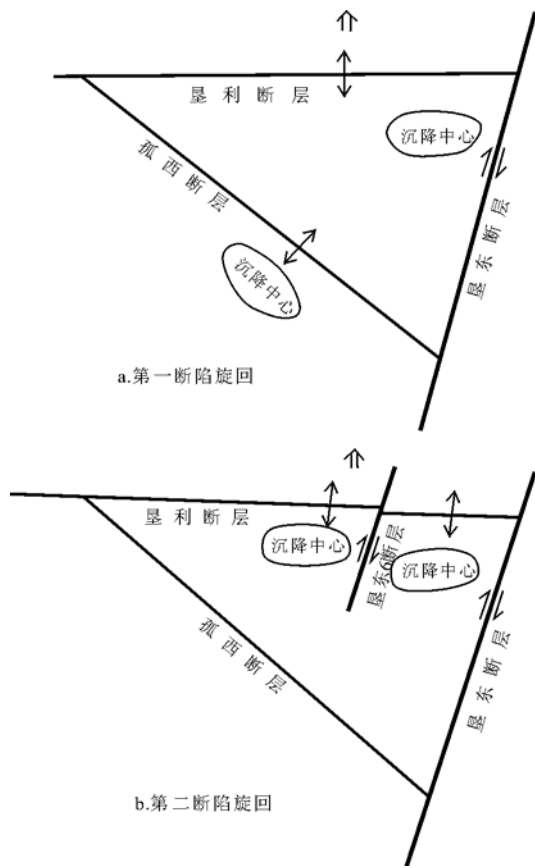


图 6 渤海湾盆地富林洼陷演化机制示意
Fig. 6 Schematic map of evolution mechanism of the Fulin Sag, the Bohai Bay Basin

5 改造型边缘凹陷

改造型边缘凹陷的特点是:成盆期为强烈断陷的主体凹陷,在后期反转改造过程中被强烈剥蚀,现今残存总体厚度不大,反转构造发育,具有多期油气成藏和改造过程。

松辽盆地在东南隆起区的凹陷大部分遭受多期剥蚀改造,以十屋凹陷为例,至少在三期构造反转过程中都经历过整体的强烈剥蚀,原来的深大断陷残存厚度仅 4 000 m 左右,其内的油气藏也经历了大规模的改造,已发现的油气藏基本都是次生和残留的产物^[9]。与松辽盆地其它主体凹陷相比,十屋凹陷属于改造型边缘凹陷性质。

十屋凹陷总体上经历了早期断陷、中期拗陷、晚期反转褶皱的演化阶段。上侏罗统火石岭组沉积时期是十屋断陷的初始形成期,沿多条断层产生了几十个小型的断陷,但断陷的构造平缓,幅度较小,分割性较强。白垩系沙河子组到营城组沉积时期,这些小型断陷逐渐统一为受桑树台断层控制的大型断陷,断陷以比较大的幅度下沉,表现为西断东超、地层西厚东薄(图 7)。登娄库组沉积末期发生反转剥蚀,此后进入拗陷期。在嫩江组沉积末和第三纪的反转期,不仅形成了系列反转褶皱,而且遭到强烈剥蚀,与主体凹陷相比,缺失白垩系四方台组和明水组及第三系。

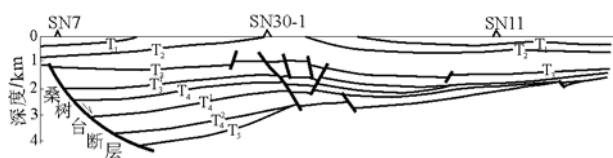


图 7 松辽盆地十屋凹陷 645 测线地震解释剖面
Fig. 7 Geological profile of the seismic line 645 in the Shiwu Sag, the Songliao Basin

断陷构造层的结构比较复杂。根据对 3D 地震剖面反射特征的精细解释和追踪,发现在盆地深层发育有数个小半地堑式断陷,比较典型的有孤家子、八屋、秦家屯等深部断陷。这些小型断陷一般都与凹陷中浅层大型反转背斜发育的位置相对应,反映出二者之间存在的某种成因联系,即晚期反转主要沿早期断陷边界断层活动,很可能在火石岭组和营城组沉积末期已经有过反转剥蚀过程。

参考文献:

1 谢锐杰. 渤海湾盆地东营凹陷北部地区新生代构造演化特征研究[J]. 石油实验地质, 2004, 26(5): 427~431

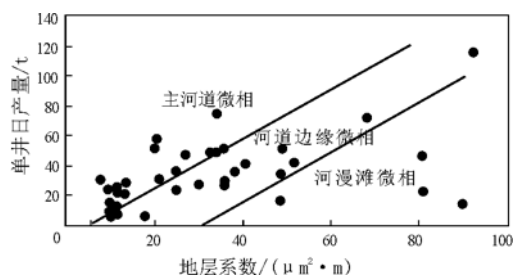


图 5 渤海湾盆地埕岛油田馆上段不同沉积微相单井日产量与地层系数

Fig. 5 Relationship of daily output and formation coefficient of different microfacies of the upper Ng in the Chengdao Oil Field, the Bohai Bay Basin

厚度的乘积,即地层系数决定着油井产量的大小,也是评价沉积微相带开采效果的主要参数(图 5)。

5 结论

1)埕岛油田馆上段相标志呈现出河流相沉积特征,多种河相判别参数表明沉积亚相类型为曲流河沉积,发育主河道微相、河道边缘微相、河漫滩微相、泛滥平原微相等 4 类沉积微相。馆上段沉积时期的古水流方向为南东方向。

2)对不同沉积微相的开发特征和开发效果进行分析表明:地层系数相同的情况下,主河道微相的开采效果最好,其次为河道边缘微相,河漫滩微相的开采效果最差,该微相带是油田挖潜的主要对象。

参考文献:

- 1 陈永红,鹿洪友,曾庆辉等.应用生烃动力学方法研究渤海湾盆地埕岛油田成藏地质时期[J].石油实验地质,2004,26(6):580~583
- 2 周长江.极浅海油田开发技术与实践[M].北京:石油工业出版社,2000
- 3 郑和荣,林会喜,王永诗.埕岛油田勘探实践与认识[J].石油勘探与开发,2000,27(6):1~3
- 4 孙 怡.垦东一埕岛构造带构造物理模拟实验[J].油气地质与采收率,2006,13(2):8~10
- 5 兰朝利,何顺利,门成全.鄂尔多斯盆地靖安油田上三叠统延长组长 6 段沉积相研究[J].油气地质与采收率,2006,13(5):11~14
- 6 袁 静,杜玉民,李云南.惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[J].石油勘探与开发,2003,30(3):103~106
- 7 冯增昭.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,1994
- 8 赖生华,余 谦,麻建明.辽河盆地冷家油田沙三段沉积体系[J].石油实验地质,2004,26(5):469~473
- 9 钱 宁,张 仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987
- 10 中科院地理所.渭河下游河流地貌[M].北京:科学出版社,1983
- 11 Schumm S A. River adjustment to altered hydrologic regimen: Murrumbidgee River and paleochannels, Australia, Professional Paper 598[R]. Washington:USGG,1968
- 12 Schumm S A. The fluvial system[M]. New York:John Wiley,1977

(上接第 51 页)

- 2 张树林,费 琪,叶加仁.渤海湾盆地边缘凹陷的构造意义[J].石油实验地质,2006,28(5):409~413
- 3 王国纯.郟庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造[J].中国海上油气(地质),1998,12(5):289~295
- 4 漆家福,陈发景.辽东湾一下辽河裂陷盆地的构造样式[J].石油与天然气地质,1992,13(3):272~283
- 5 张树林,田世澄,朱水安等.南堡凹陷构造样式及其演化[J].复式油气田,1999,(2):49~53
- 6 刘和甫.伸展构造及其反转作用[J].地学前缘,1995,2(1):113~123
- 7 柳忠泉,徐春华.临清拗陷东部掀斜变动特征[J].复式油气田,1998,(1):52~56
- 8 李家康.渤西地区断裂体系与油气运聚[J].中国海上油气(地质),2000,14(4):233~239
- 9 张玉明,张青林,王明君等.松辽盆地十屋断陷反转构造样式及其油气勘探意义[J].地球学报,2006,27(2):151~156