

文章编号: 0253- 9985(2004) 01- 0058- 04

东濮凹陷盐滑脱变形构造及其在油气勘探中的意义

侯艳平, 孙向阳, 任建业

(中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 东濮凹陷北部老第三纪时期发育了巨厚的盐岩沉积, 构成了盐滑脱变形构造发育的物质基础。持续的拉伸应力作用, 导致盐层上覆盖层差异沉降形成伸展型强制性褶皱。同时, 由于盐层下伏层各次级断块的不持续掀斜作用, 盐层下滑剪切应力增大并超过了盐的抗剪强度, 从而引发上覆盖层中犁式滑脱断层发育, 以及在盐滑脱断层的上盘发育滚动背斜。盐滑脱变形构造这一特殊构造组合不仅为油气运移提供了良好的通道, 而且也为油气聚集成藏提供了众多类型的含油气圈闭。如东濮凹陷已发现的断块油气藏、伸展型强制性褶皱拱顶圈闭油气藏、盐滑脱断层下盘圈闭油气藏、反向牵引断层圈闭油气藏及滚动背斜圈闭油气藏等。东濮凹陷北部盐滑脱变形构造的发育, 形成了该凹陷中央隆起区的油气富集区。

关键词: 东濮凹陷; 盐构造; 盐滑脱变形构造; 伸展型强制性褶皱; 滚动背斜

中图分类号: TE112. 4

文献标识码: A

Detached deformational salt structures and the significance in petroleum exploration in Dongpu depression

Hou Yanping Sun Xiangyang Ren Jianye

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract: Thick salt deposits were developed in Paleogene in the northern Dongpu depression. Under sustained stretching stress, extensional forced folds were formed in the overlying formations of salt beds due to their differential subsidence. At the same time, continuous down-tilting of the secondary fault blocks in the underlying formations resulted in increasing of downslide shear stress and even exceeding the shear strength of salt beds, thus listric detached faults were formed in the overlying beds, and rollover anticlines were formed in the upper wall of salt detached faults. The detached deformational salt structures would not only constitute good migration pathway but also provide various traps for hydrocarbon accumulation, such as oil and gas reservoirs in fault block traps, extensional forced fold traps, rollover anticlinal traps, traps in the footwall of the detached faults and reverse drag fault traps in Dongpu depression. The development of detached deformational salt structures led to the formation of hydrocarbon enrichment in the central uplift zone of Dongpu depression

Key words: Dongpu depression; salt structure; detached deformational salt structure; extensional forced fold; rollover anticline

盐构造一般可以划分为盐底辟构造和盐滑脱变形构造两种基本类型。前者主要是由于密度倒置, 盐或其他蒸发岩类底辟上隆, 直至刺穿上覆围岩和盖层过程中所形成的地质变形体; 后者则是由于盐层或其他蒸发岩和软弱层剪切强度低, 在外力作用下发生顺层滑动导致上覆岩层变形而形成的地质变形体。

长期以来, 人们对盐底辟构造的研究已相当

深入, 并且围绕盐底辟构造的油气勘探也取得了巨大的成功^[1, 2]。如在墨西哥湾北部地区^[3]、我国的渤海湾盆地、江汉盆地和塔里木盆地等对盐底辟构造的认识程度都已经相当的高。但是, 与盐底辟相比, 人们对盐盆地中盐滑脱变形构造的研究远远没有引起足够的重视。近年来的研究表明, 在许多含盐盆地中, 除了盐底辟构造外, 盐滑脱变形构造也相当发育, 是油气勘探的重要领域。

例如墨西哥湾北部地区^[3], 苏伊士湾、挪威海域的 Haltenkanken 地区、加拿大东南海域的 Grand 高地的 Jeanne d'Arc 海盆^[4], 我国的库车凹陷^[5]、泌阳凹陷^[6]以及东濮凹陷等^[7,8]。盐滑脱变形构造为油气运移、聚集和保存提供了良好的条件。本文以东濮凹陷的盐构造研究为基础, 研究盐滑脱变形构造的组成要素及其油气地质意义。

1 地质概况

东濮凹陷位于渤海湾盆地南缘, 夹于鲁西隆起和内黄隆起之间, 面积约 5 000 km², 为一南宽北窄的地堑式断陷, 呈北北东—北东向展布。东侧兰聊和西侧长垣断裂控制了凹陷的发生发展(图1), 凹陷定型于早第三纪末。

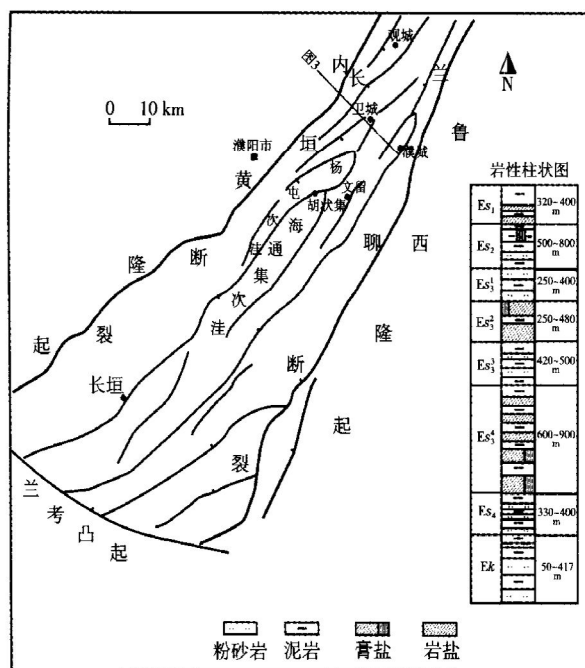


图1 东濮凹陷构造简图

Fig. 1 Structural diagram of Dongpu depression

东濮凹陷是一个新生代断陷盆地, 下第三系厚达 7 000 m。多套巨厚盐岩沉积是东濮凹陷最突出的沉积现象之一^[7,8], 盐岩主要分布在沙河街组三段四亚段(以下简称 Es_3^4 亚段)、沙河街组三段三亚段(以下简称沙 Es_3^3 亚段)、沙河街组三段二亚段(以下简称沙 Es_3^2 亚段)和沙河街组一段(以下简称沙一段)。从整体沉积特征上看, 沙河街组三段(以下简称沙三段)沉积时期发育范围较广的深水盐湖, 盐岩总厚超过 1 000 m, 沉积中心在北

部。 Es_3^4 , Es_3^3 和 Es_3^2 段盐岩是东濮凹陷发育的主要层位。盐层的主体部分主要分布在文留、卫城、濮城、邢庄等地区, 厚度大致呈北厚南薄、西厚东薄的趋势。沙一段盐岩厚度远不如沙三段厚, 但是分布面积大。盐岩性质良好, 区域上形成较好的沉积盖层(图1)。

2 构成要素和变形样式

图2概括了盐滑脱变形构造的基本构成要素和变形样式。在地层结构上, 盐滑脱变形构造一般由上、中、下三层组成。中间层为盐层, 是形成盐构造的主要组成部分; 之上为覆盖层是盐层之上的沉积岩层; 之下为下伏层, 包括盐层之下的所有岩层^[6]。

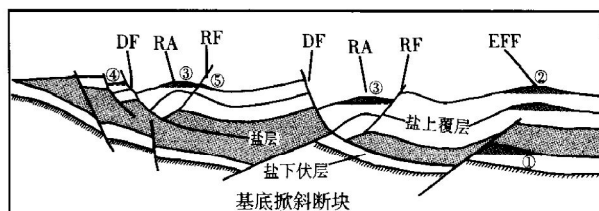


图2 盐滑脱变形构造构成要素及其有利圈闭

Fig. 2 Structural elements of detached deformational salt structures and the favorable traps

DF—滑脱断层; EFF—伸展型强制性褶皱; RA—滚动背斜; RF—反向牵引断层; ①—盐下断块圈闭; ②—伸展型强制性褶皱圈闭; ③—滚动背斜圈闭; ④—盐滑脱断层下盘圈闭; ⑤—反向牵引断层圈闭

盐层以极高的塑性、较强的流动性和较低的剪切应力强度为特征, 是盐滑脱变形构造发育的物质基础, 也是顺层滑脱断层的主要发育部位。在伸展构造背景下, 盐下伏层以断块掀斜运动为特征, 并对盐上覆盖层的变形有控制作用。盐层之上的上覆盖层, 构造变形样式复杂, 主要有以下几种类型。

(1) 盐滑脱断层^[4], 即盐层内的低角度拆离断层。在剖面上以上陡下缓的犁式形态为特征, 陡倾段一般以高角度切穿上覆盖层, 向下滑脱发育在软弱的盐层中, 并顺层消失。

(2) 伸展型强制性褶皱^[9]。发育于盐下断块之上的上覆盖层中。由于盐下断块在拉伸断层作用下, 断层两盘差异沉降, 在不均衡的应力作用下, 断块发生掀斜旋转, 盐层及其上覆盖层被动弯

曲而形成伸展型强制性褶皱。其发育规模,构造部位和样式受盐层下伏盐下断块的控制。如果下伏断块掀斜作用强,旋转角度大,上部伸展型强制性褶皱规模大,变形也较强烈,褶皱内拆离断层发育;如果下伏断块掀斜作用弱,上部构造简单,褶皱内不发育或发育单条拆离断层。

(3) 滚动背斜^[4],发育于犁式盐滑脱断层的上盘。由于盐层的塑性较大,在盐滑脱断层下滑的拖力作用下,地层发生弯曲,形成一种宽缓的短轴背斜,即滚动背斜^[9]。

(4) 反向牵引断层^[4],受犁式断层下滑逆牵引

作用而形成。盐层上覆层脆性较大,地层无法弯曲,在牵引力的作用下,因为重力下掉而形成,往往与滚动背斜同时出现在盐滑脱断层上盘。

图3是东濮凹陷北部的一条主测线剖面(位置如图1)。该剖面所在的部位是东濮凹陷盐层最为发育的地区。东部的兰聊断层是东濮凹陷的主边界断层,控制了其西侧上盘内包括盐层在内的同裂陷期沉积序列。 Es_3^2 亚段到 Es_3^4 亚段是盐层主要发育层段*。沙河街组四段(以下简称沙四段)、中生界和古生界等构成了盐层下伏层。 Es_3^1 亚段到东营组构成了盐层上覆盖层。

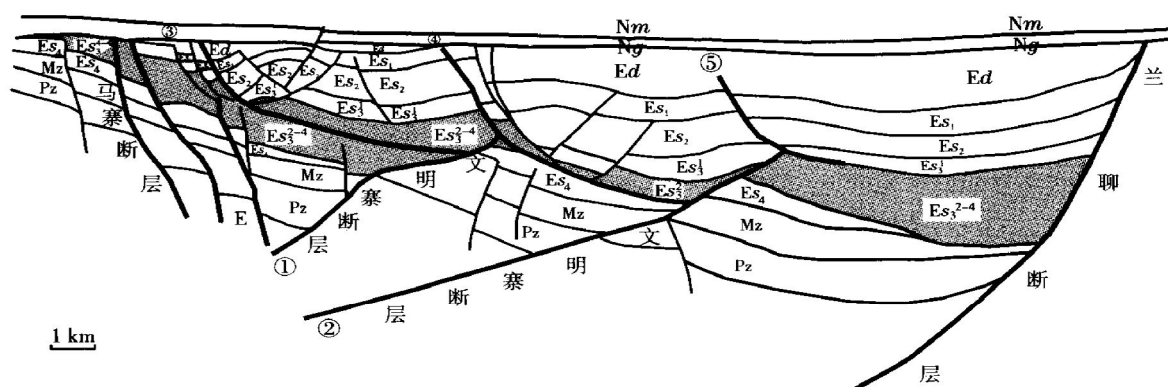


图3 东濮凹陷北部主测线地震解释剖面

Fig.3 Seismic profile along the main line in northern Dongpu depression

下伏层西部为一列向东陡倾的正断层,前人称为六塔断层和马寨断层*,^[10]。这是一套上盘依次下降的阶梯式断层系;中部和东部为向西倾斜的正断层(图3中的文明寨断层①和②),这两条断层的上、下盘掀斜,旋转特征明显,断块之上形成伸展型强制性褶皱。其中,文明寨断层①控制的旋转断块之上的伸展型强制性褶皱由于后期盐滑脱断层及滚动背斜构造的叠加、改造,结构形态不完整。

在盐层及其上覆盖层内发育有3套结构复杂的盐滑脱断层及其拉伸而形成的滚动背斜和“包心菜式”断层系统。中部和西部的断层(图3中的③和④)规模较大、发育层位低。东部的断层(图3中的⑤)规模小、发育层位高。这些盐滑脱正断层有一个共同的特征是切割伸展型强制性褶皱的枢纽部位,上陡($60^\circ \sim 45^\circ$)下缓($25^\circ \sim 10^\circ$),呈铲式形态,最后消失于盐层之中。在这些盐滑脱正断层的上盘一般发育位移向下增加,地层向陆地方向

减薄的滚动背斜。在滚动背斜内部,有许多与滑脱断层反向或同向的断层切割滚动背斜的翼部,形成“包心菜式”构造。这些与滚动背斜有关的正断层有效调节了盐滑脱正断层上盘的部分弯曲应力和拉张应力^[3]。

3 演化模式

第一阶段:物质准备阶段(图4a)。在盆地边界断层控制下,东濮凹陷北部 $Es_3^4 \sim Es_3^2$ 段发育了一套盐岩充填序列,为盐滑脱变形构造的发育准备了物质基础。沙河街组二段(以下简称沙二段)沉积时期,东濮凹陷有一次微弱的挤压作用^[10],对研究区构造影响不大。

第二阶段:伸展型强制性褶皱形成阶段(图4b)。在持续拉伸应力作用下,主断层上盘次级掀斜断块发育,导致上覆盖层差异沉降形成伸展型强制性褶皱。

第三阶段:盐滑脱断层和滚动背斜形成阶段

* 姚书振,叶加仁.东濮凹陷西部斜坡带油气富集规律及勘探方向选择(内部报告).2001

(图4c)。由于拉伸作用的持续和盐下伏层各次级断块的不断掀斜作用, 导致旋转断块之上势能增强, 下滑剪切应力增大并超过了盐的抗剪强度, 从而引发了上覆盖层中犁式滑脱断层发育, 同时在滑脱断层的上盘发育滚动背斜。在拉张应力的持续作用下, 滚动背斜被许多与滑脱正断层同向和反向的断层切割形成“包心菜式”构造(图3)。

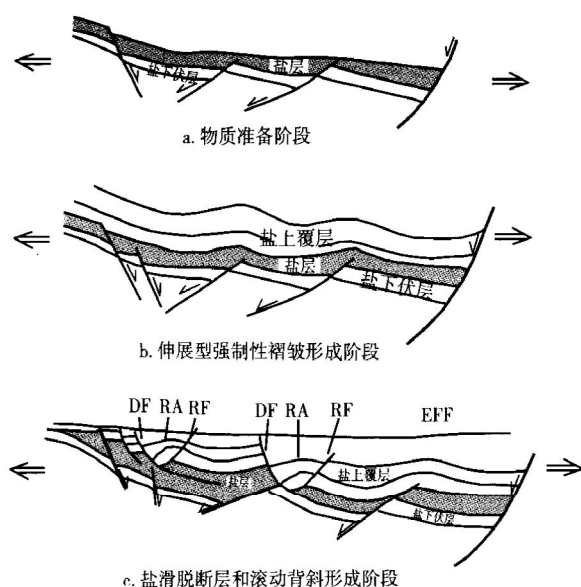


图4 东濮凹陷盐滑脱构造演化模式图

Fig. 4 Evolutional model of the detached

salt structures in Dongpu depression

DF—滑脱断层; EFF—伸展型强制性褶皱;

RA—滚动背斜; RF—反向牵引断层

位移小于盐层的厚度, 盐下断层的下盘断块由于盐层和断层的阻挡而形成盐下基底断块油气圈闭, 如新文88井油藏^[10], 濮深7气藏^[12]以及卫城油田沙三4段的卫东、卫西断块油气藏^[10]; (2) 伸展型强制性褶皱拱顶圈闭, 如文25井沙二2油气藏^[10]; (3) 滚动背斜油气藏, 主要分布在文留构造东翼, 文东断裂上盘和濮城构造西翼濮城断裂和卫东断裂上盘, 都因断裂的逆牵引作用而形成滚动背斜。如濮城构造西翼油气藏, 沙二上段沉积前以断块活动为主, 沙二上段至东营组为逆牵引形成时期, 无断层分割, 为一完整的滚动背斜油气藏, 如桥口沙一段油气藏^[10]。有时背斜被次级断层分割成几个断块油气藏, 如文东文13背斜油气藏和文南文72井断块油气藏^[10]; (4) 盐滑脱断层下盘油气藏, 由于盐滑脱断层的拖曳作用, 在其下盘形成的断层封闭油气圈闭, 如濮卫地区的卫4井油气藏^[10]; (5) 反向牵引断层油气藏, 如文明寨油田反向牵引断层油气藏^[10, 12]。

参 考 文 献

- 1 周江羽, 林忠民, 周凌方, 等. 塔里木盆地北部石炭系盐体塑性形变与油气圈闭[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 216~219
- 2 吴金才, 李旋旋, 叶建中, 等. 塔里木盆地滑脱层与沉积层序的关系[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 81~83
- 3 Rowan G, Jackson P A, Trudgill B D. Salt-related fault families and fault welds in the Northern Gulf of Mexico[J]. AAPG Bull, 1999, 83(9): 1454~1484
- 4 Withjack M O, Callaway J S. Active Normal faulting beneath a salt layer: an experimental study of deformation patterns in the cover sequence[J]. AAPG Bull 2000, 84(5): 627~651
- 5 张朝军, 田在艺. 塔里木盆地库车凹陷第三系盐构造与油气[J]. 石油学报, 1998, 19(1): 6~11
- 6 戈红星, Jackson M P A. 盐构造与油气圈闭及其综合利用[J]. 南京大学学报, 1996, 32(4): 640~648
- 7 杨香华, 陈开远, 石万忠, 等. 东濮凹陷盐湖层序结构与隐蔽油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 139~142
- 8 黄春菊, 陈开远, 杨香华. 盐湖盆地层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 134~139
- 9 刘绍平, 刘学锋. 巴彦浩特盆地的构造类型[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(4): 24~28
- 10 中原油田石油志编辑委员会. 中国石油地质志(卷七): 中原、南阳油田(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 11 刘晓峰, 解习农. 与盐构造相关的流体流动和油气运聚[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 343~349
- 12 胥菊珍, 张孝义, 张虹, 等. 东濮凹陷北部古近系与盐岩有关的油气藏类型[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 152~156

4 与油气运聚的关系

东濮凹陷下第三系主要烃源岩为沙一段、沙三段和沙四段上亚段中的暗色泥岩、油页岩、灰岩、白云质页岩及灰质岩等, 另外, 沙二段上部的浅湖相泥岩和石炭—二叠系中的暗色泥岩与煤层也有一定的生烃能力。东濮凹陷由于盐的存在, 发育了丰富而复杂的盐滑脱变形构造, 包括盐滑脱断层、强制性伸展型褶皱、滚动背斜、滚动背斜断层、反向牵引断层等。丰富而复杂的断裂系不仅为油气的垂直运移提供了良好的通道^[11], 而且也为油气聚集成藏形成众多的构造、地层岩性及其组合型油气圈闭*。

与盐滑脱变形构造有关的常见油气圈闭, 主要有(图2): (1) 盐下断块油气藏, 如果盐下断层的

* 刘晓峰. 东营凹陷盐—泥构造与油气运移和聚集关系研究. 中国地质大学博士学位论文, 2003