

莱州湾凹陷东部走滑带盐相关构造特征

孙和风^{1,2}, 周心怀², 彭文绪², 王德英², 彭 刚²

(1 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249;

2 中国海洋石油有限公司 天津分公司勘探开发研究院, 天津 300452)

摘要: 通过对盐相关构造变形样式的探讨, 证明莱州湾凹陷东部走滑带盐相关构造的形成受到走滑作用和重力流动作用控制, 以盐层沿层流动为主要特征, 由南至北, 盐层逐渐由过成熟底辟向盐枕过渡。莱州湾凹陷东部走滑带盐上构造有盐上断裂背斜、盐撤凹陷、龟背构造、翼部地层超覆和盐体遮挡构造; 盐层构造有枕状底辟、盐株和外来盐席; 推测盐下构造有早期古隆起。盐相关构造经历了发育—调整—成熟—再活动4个主要阶段。盐上构造圈闭控制了莱州湾凹陷东部走滑带的油气聚集。

关键词: 莱州湾凹陷; 郯庐走滑断裂带; 盐相关构造; 油气成藏

中图分类号: P618.130.2 TE122.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)04-0380-05

Characteristics of Salt-related Structures in the Eastern Strike-Slip Zone of Laizhou Bay Sag

SUN He-feng^{1,2}, ZHOU Xin-huai², PENG Wen-xu², WANG De-ying², PENG Gang²

(1. School of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Tianjin Branch of China National Offshore Oil Corporation Limited, Tianjin 300452, China)

Abstract It has been proved that the formation of salt-related structure in the eastern Laizhou bay sag was controlled by strike-slipping and gravitational gliding, according to the drilling data and seismic profiles. The over-mature diapirs gradually transited to salt pillow from south to north in the strike-slip zone. The suprasalt structures include: salt antidiines, salt-collapse basin, turtleback structures, stratigraphic overlaps and screened structures. The main salt bed structures are pillow-like salt diapirs, salt plugs and allochthonous salt sheets. The subsalt structures may be related to basement uplift. The salt-related structures experienced four stages which are generation, adjustment, maturation and reactivation. It has been found that the petroleum accumulation of strike-slip zone was controlled by salt-related traps in the eastern Laizhou bay sag.

Key words: Laizhou bay sag; Tan-Lu strike-slip fault zone; salt-related structure; petroleum accumulation

0 引言

含盐盆地是油气勘探的重要领域, 各国大量研究表明, 盐相关构造与油气聚集有着密切关系, 国外如波斯湾盆地、墨西哥湾盆地, 中国如库车拗陷、东濮凹陷、潜江凹陷等^[1-6]。

笔者对莱州湾凹陷盐岩基本特征、盐相关构造

局部特征及形成机理已做了初步讨论^[7], 存在的问题是对盐相关构造样式的多样性和演化阶段认识不足。

针对这些问题, 这里着重探讨了莱州湾凹陷东部走滑带整体盐相关构造样式和演化特征, 这些研究有助于深化该区油气聚集规律的认识, 为该区下一阶段油气勘探工作打下一定基础。

收稿日期: 2008-03-20

作者简介: 孙和风(1979-), 湖北潜江人, 男, 理学博士研究生, 从事油气勘探研究。E-mail: sunhf@cnooc.com.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1 地质背景

莱州湾凹陷位于渤海南部,区域构造位置处于渤海湾盆地济阳拗陷东部,面积约 $1\,200\text{ km}^2$ 。莱州湾凹陷是受郯庐断裂带控制形成的走滑拉分盆地^[8],凹陷平面形态呈菱形,北断南超,总体呈“两洼夹一岭”的半地堑-半地垒式结构。根据构造特点和分布特征,莱州湾凹陷可以划分为东部走滑构造带、西部走滑构造带、北部陡坡带、北洼、中央构造带、南洼、南部缓坡带等7个次级构造单元,东部走滑构造带、西部走滑构造带呈北北东走向,其余各次级构造均以北东东或东西向为主(图1)。本次研究主要集中在东部走滑构造带垦利11-17区。

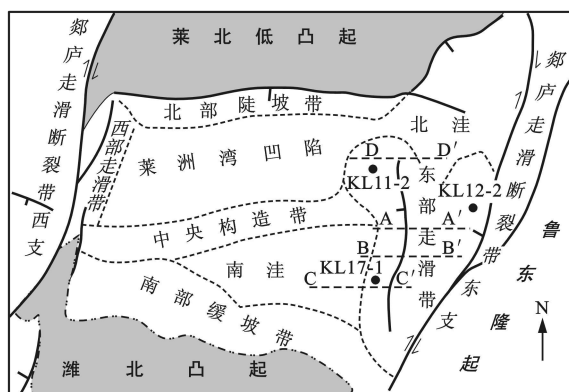


图1 莱州湾凹陷区域位置及构造单元

Fig. 1 Regional Location and the Structural Units in Laizhou Bay Sag

已钻油气勘探证实,在研究区膏盐岩发育在古近系沙四段,已钻遇膏盐岩厚度为 $200 \sim 1\,800\text{ m}$,主要分布在临近沙四段沉积中心的垦利11区^[7],这套盐岩层序主要为盐岩、膏盐及间夹的碎屑岩和碳酸盐岩组成,构成了东部走滑带盐相关构造变形的主要滑脱层系。以古近系沙四段膏盐层为标志层,可将凹陷充填划分为盐上层序和盐下层序,盐上层序由始新统沙三段(E_{2s}^3)、渐新统沙二段与沙一段(E_{3s}^{1+2})、东营组(E_3d)、新近系馆陶组(N_{1g})与明化镇组(N_{1-2m})和第四系平原组(Q)组成,为一套冲积-辫状河三角洲-河流-滨、浅湖相沉积,盐下层序为古近系孔店组(E_{1-2k}),为扇三角洲-一半深湖-滨浅湖相砂砾岩和泥岩沉积。

2 盐相关构造样式

2.1 垦利11-2区盐构造的识别

垦利11-2区由于郯庐断裂带走滑作用较明

显,构造走向呈近南北向,早期是以走滑断裂带模式进行该地区构造的地震剖面解释。2005年垦利11-2区构造高部位钻探了KL11-2-1井,在沙四段钻遇了大套盐岩和石膏,引起了笔者对原先走滑断裂带模式的质疑。最新采集、处理的三维地震测线也显示,垦利11-2区构造应该是一个典型的底辟型盐构造。

KL11-2-1井位于垦利11-2区构造北块,背斜高部位,在盐上层钻遇的地层较全,有明化镇组-沙三段中段地层,结合地震反射特征,垦利11-2区盐构造具有如下特点^[7]:①盐构造顶部地层发育完整,但厚度较翼部明显变薄,向翼部地层厚度大,相反,盐源层在盐丘构造顶部显著增厚,在边缘向斜中减薄;②盐体上覆地层和外围反射连续,盐体上覆界面不易识别,侧翼盐上地层向盐体超覆,根据这些超覆点能清楚刻画出盐体形态;③盐上层发育拱张背斜,分布在盐构造轴部,沿盐体长轴方向展布;④盐上地层一是沿盐体表面滑脱,二是沿盐体上拱伴生断层滑动,断层下盘盐体流动抽空,引起上盘地层向下回填;⑤顶部盐层溶蚀垮塌现象明显,盐岩流动特征明显,由北向南、由东向西流动,发育边缘向斜。

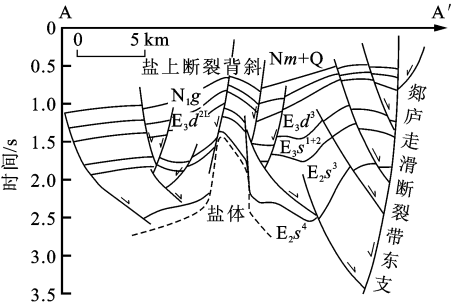
2.2 盐相关构造样式

结合KL11-2区盐构造的识别以及不同部位的地震剖面解释,对研究区盐底辟的顶面形态有了较为清晰的认识。在南部地区,底辟顶面发生了溶蚀塌陷;在中部地区,盐底辟顶面形态比较完整,围岩界面清晰,为盐株特征;在北部邻近北洼地区,盐底辟形态并不典型,盐上地层只是发生了轻微的隆起,更多的是表现为盐枕形态。总体来看,盐构造的形态在不同地区变化较大,东部走滑带内由南向北,逐渐由过成熟底辟向成熟底辟和盐枕过渡。

2.2.1 盐上构造样式

盐上断裂背斜:由渐新统沙二段与沙一段、东营组和新近系组成,沿垦利11-垦利17区发育。盐层向上拱升,盐上地层受到横向引张,地层顺盐层滑脱,发育拱张伴生正断层组,使得垦利11-2区盐上地层构造呈断裂半背斜形态(图2)。

盐相关断层:主要发育阶状反向断层系统和盐上拱伴生断层系统。阶状反向断层系统发育于盐层变形较弱的地区,由一组西倾断裂组成,多错断沙三段-东营组地层,向下沿沙四段盐层滑脱,断



A-A'剖面, 位置见图 1

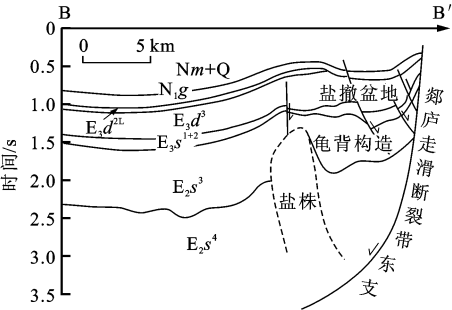
图 2 垦利 11-2 区盐构造特征

Fig. 2 Salt Structures in Kenli 11-2 Area

层消失于盐层内部。盐上拱伴生断层系统发育于盐体顶部和翼部, 呈半“A”或“X”形正断层组, 平面上以盐体核为中心呈环形、放射状分布(图 2)。

盐撤凹陷: 也称微盆地, 是由于盐的流动而形成的小型凹陷, 是在墨西哥湾盐构造研究中提出的概念, 一般为构造平静期盐主动流动而形成的。在图 3 中, 莱州湾凹陷垦利 17-1 区构造和郯庐断裂带之间的地层结构反映出明显的盐流动现象, 在盐体右翼发育盐撤凹陷。

龟背构造: 位于盐底辟构造和盐撤凹陷之间, 地层上拱形似龟背, 是盐底辟从隐刺穿的盐枕向刺穿性的盐株发育过程中, 盐上层初始周边向斜之上叠加第 2 期周边向斜的结果。在垦利 17 区构造以西, 沙三段地层呈较为典型的龟背构造(图 3)。

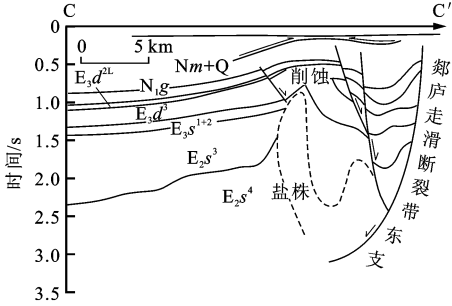


B-B'剖面, 位置见图 1

图 3 垦利 17 区盐撤凹陷和龟背构造形态特征

Fig. 3 Salt-collapse Basin and Turtleback Structure in Kenli 17 Area

翼部地层超覆和盐体遮挡构造: 由盐体刺穿作用而形成。在东部走滑带北部垦利 12 区, 盐体为枕状底辟或丘状底辟, 地层向盐体尖灭, 形成地层超覆构造; 东部走滑带南部垦利 17 区, 盐体呈过成熟底辟或成熟底辟, 沙三段—东三段地层受盐体遮挡, 形成盐体遮挡构造(图 4)。



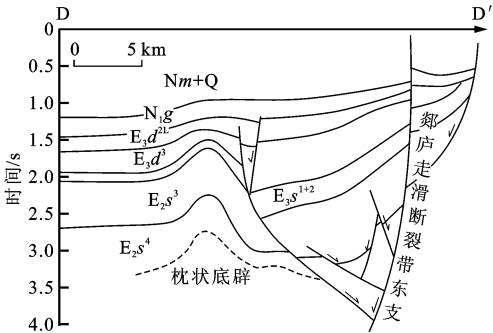
C-C'剖面, 位置见图 1

图 4 垦利 17 区盐上构造特征

Fig. 4 Suprasalt Structures in Kenli 17 Area

2. 2. 2 盐层构造样式

枕状底辟: 由于盐岩塑性流动发生大规模盐聚集, 在局部增厚形成的长条状隐伏盐背斜, 构成了垦利 11-2 区构造核部, 主要分布在东部走滑带北部。受盐体从盐底辟发展成隐刺穿的丘形盐枕的影响, 在盐枕上部对比邻区, 沙三中和沙一、沙二段地层明显减薄(图 5)。



D-D'剖面, 位置见图 1

图 5 垦利 11-2 区枕状底辟

Fig. 5 Salt Pillow in Kenli 11-2 Area

盐株: 是成熟盐底辟, 为刺穿盐体在其顶部形成的圆状盐凸, 在垦利 17 区顶部形态多为丘状、柱状和蘑菇状(图 3、4), 在构造南部局部呈驼峰状。盐体一般刺穿沙三段—东三段地层, 由构造南部往北, 刺穿程度逐渐降低。

外来盐席: 指呈透镜状或席状分布的外来盐体, 这些盐体来自深部沙四段, 在走滑断层活动期间, 沿断层流动和运移、充填而成, 在地震剖面上多为透镜状不连续、低频杂乱反射, 在本区分布局限。

2. 2. 3 盐下构造样式

从地震剖面来看, 盐底辟构造底部的地层典型特征是基本都发生了一定幅度的隆起, 这种盐下构造隆起现象可能由于盐层具有较高速度而引起, 是

一种由于速度差异造成的地层上拉现象。根据代双河等^[9]对盐上厚度与下伏地层上拉幅度关系的研究,垦利11-2区200~1 800 m盐体对下伏地层上拉幅度为30~210 ms,但从地震剖面上显示下伏地层隆起可达500 ms,考虑到未钻遇盐体可能更厚,扣除盐体对速度影响,下伏地层隆起仍可达200 ms左右,同时,拉分作用形成的近东西向中央构造带倾没于垦利11-2区。因此,推测在该构造之下,存在一定幅度的古隆起(图5)。

由于研究区盐下层埋深一般大于3 000 m,受盐体影响和地震分辨率限制,盐下孔店组地层不易追踪,对盐下构造样式还有待进一步认识。

3 盐构造演化特征

莱州湾凹陷东部走滑带盐相关构造的形成与莱州湾凹陷的走滑作用有关^[7]。莱州湾凹陷经历了3个不同的构造演化阶段,即始新世强断陷初始沉降阶段,渐新世弱断陷、强拗陷-热沉降作用为主的断拗阶段和新近系以来区域热沉降背景上新的断陷作用(构造事件)叠加的活化阶段^[8]。结合盐体特征,可将研究区盐相关构造发育划分为前盐构造期(沙四沉积期)—盐构造发育期(沙三段沉积期)—盐构造调整期(沙一、二段沉积期)—盐构造成熟期(东营组沉积期)—盐构造再活动期(明下段、第四系平原组沉积期)。

前盐构造期,随着盆地强烈裂陷,沉积了沙四段盐岩层。盐构造发育期以盐岩流动为特征,沙三段沉积后期,盐层开始大规模流动,在垦利17-12区之间形成了盐撤凹陷,研究区南部、北部沙三段上部地层上超现象明显(图4)。

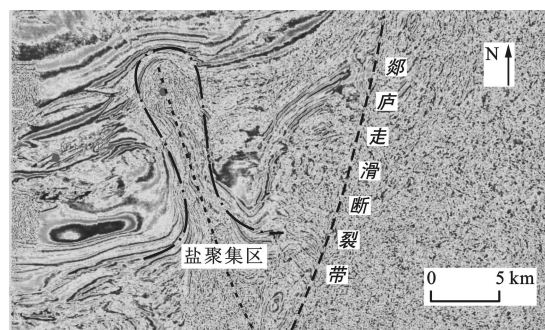
盐构造调整期即沙一、二段沉积期,盐构造活动相对较弱,表现为沙一、二段地层向盐体超覆。

在盐构造成熟期,东营组沉积早期,东部走滑带构造活动强烈,研究区南部,盐体刺穿沙一段—沙三段地层,翼部沙一段—沙三段被东三段明显削截(图4),研究区北部,表现为东三段上超。此期盐构造以盐岩流动和盐岩滑动为特征,局部沙三段形成龟背构造,反映了盐体刺穿形成于东三段沉积期。

盐构造再活动期是受晚期构造运动影响使盐层再次活动,明下段和第四纪地层向盐体顶部减薄,第四纪地层局部被削蚀(图4)。

目前研究已经证实,纯走滑作用对盐构造变形

只有很小的影响,但当扭动作用形成拉张或挤压应力的时候,盐体也可以发生明显地塑性流动。在走滑作用背景下,东部走滑带盐构造发育在走滑断裂的弯曲处,并且盐体聚集增厚区与郯庐走滑断裂带东支呈一定角度的斜交关系(图6),说明郯庐断裂带的最终定位具有重要的影响作用。渤海海域郯庐断裂带活动具有阶段性,经前人研究,在东营沉积时期为海域最后一期强走滑作用^[10],明下段至第四纪在走滑作用影响下的晚期构造运动活跃^[11],与本区盐构造在东营期、明下段至第四纪沉积期活动特征具有很好地关联性,说明走滑作用对盐体的塑性流动过程也产生了重要影响。



1.5 s 时间切片

图6 盐岩聚集区与郯庐断裂走滑带关系

Fig. 6 Relationship Between Salt Accumulation Area and the Tan-Lu Strike-Slip Fault Zone

可以看出,莱州湾凹陷东部走滑带的盐构造是在走滑作用背景下形成的,始新世末期在伸展作用下盐岩开始流动;在渐新世右行走滑阶段^[12],以盐流动为主,盐构造发育成熟至过成熟,成熟、过成熟盐构造样式是盐体长期流动刺穿上覆的结果,其活动时间被侧翼和上覆盐体记录;晚期构造运动使得盐构造再次活化,与前一阶段成熟盐构造相比,后期调整盐构造样式形态变化不大,继承了成熟盐体的构造样式,调整主要体现在由于盐岩流动变形引起上覆地层的减薄或削蚀。整体上,研究区南部、北部盐构造发育早于中部活动;盐构造活动具有长期性,活动强度具有分段性,南部强于北部。

4 盐构造对油气成藏的影响

莱州湾凹陷东部走滑带已在盐上东营组地层发现工业性油流,盐岩层序的沉积及盐相关构造的形成对于油气聚集起着重要控制作用:

(1)盐相关构造形成了大量油气圈闭。受盐岩层流动变形控制,该区圈闭集中在盐上地层,主要

有盐上断裂背斜圈闭、翼部地层超覆和盐体遮挡构造圈闭。垦利 11-2 区构造为盐上断裂背斜圈闭, 呈南北走向, 局部为断块、断鼻和地层超覆圈闭, 该构造已在东营组断裂背斜获得工业油流; 垦利 17-1 区构造为高幅度地层超覆和盐体遮挡构造圈闭, 主要发育在盐构造西部, 南北剖面呈花状构造样式。

(2) 盐相关构造活动形成了油气运移的主要通道: ①与盐构造及走滑相伴生的断裂通道, 断层多集中在盐构造的上方, 平面样式呈环绕盐体的辐射状, 规模较大的断层切割较深, 它可促使流体向盐构造流动、汇聚; ②盐溶解通道, 主要是盐溶解裂隙和垮塌构造等, 与围岩接触断裂的盐体最易发生溶蚀, 产生溶蚀裂缝, 是盐构造中、下部流体流动最活跃的通道; ③与盐构造相伴的不整合面, 由于盐体流动和上拱, 在盐构造上覆层和翼部常发育有不整合面, 流体可沿不整合面向上倾方向(指向盐体)流动聚集; ④渗透性岩层输导通道, 在盐上层, 运移上来的油气通过砂体横向分配; 在盐体侧翼, 常形成侧向封闭的岩性油气藏。

(3) 莱州湾凹陷东部走滑带油藏模式以盐上型油气成藏模式为主, 垦利 11-2 区东营组、明下段油藏为代表, 以盐上东营组砂砾岩为储集层, 油气沿断层注入盐上圈闭形成油气藏。根据盐上成藏模式, 还有大量成藏条件相似的盐上圈闭。显然, 盐上型油气藏是目前该区勘探的重点。此外, 结合盆地演化及对比邻区潍北凹陷^[13], 盐下可能存在孔店组储盖组合, 也是值得进一步探索的领域。

5 结语

(1) 古近系沙四段膏盐层将莱州湾凹陷东部走滑带构造变形划分为盐上构造、盐层构造和盐下构造。该区由南向北, 盐层逐渐由过成熟底辟向盐枕过渡。受盐体分布控制, 盐上构造圈闭从东部走滑带东南至西北逐渐从翼部地层超覆、盐体遮挡构造圈闭向盐上断裂背斜圈闭、翼部地层超覆圈闭过渡。

(2) 莱州湾凹陷东部走滑带盐相关构造的形成受到走滑作用和重力流动作用控制。盐相关构造形成于走滑作用背景下, 其发育过程可划分为前盐构造期(沙四沉积期)—盐构造发育期(沙三段沉积期)—盐构造调整期(沙一、二段沉积期)—盐构造成熟期(东营组沉积期)—盐构造再活动期(明下段、第四系平原组沉积期); 以沙四段盐层流动为主要特征, 具有长期活动的特点, 活动强度具有分段性; 盐构造活动控制了东部走滑带晚期油气成藏。

参考文献:

- [1] 汤良杰, 余一欣, 陈书平, 等. 含盐盆地盐构造研究进展[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 375-383.
- [2] 方志雄. 潜江盐湖盆地盐间沉积的石油地质特征[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 608-613.
- [3] 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(6): 152-156.
- [4] 古维成, 赵其磊, 吕迎红, 等. 河南省濮阳地区古近系沙河油气藏的关系[J]. 古地理学报, 2005, 7(4): 529-534.
- [5] 王秀林, 张孝义, 王运所, 等. 东濮凹陷盐岩成因与油气聚集[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(5): 11-12.
- [6] 陈书平, 汤良杰, 贾承造, 等. 库车拗陷西段盐构造及其与油气的关系[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 30-39.
- [7] 孙和风, 周心怀, 彭文绪, 等. 莱州湾凹陷垦利 11 区盐构造特征及成藏分析[J]. 海洋石油, 2007, 27(3): 46-50.
- [8] 蔡东升, 罗毓辉, 姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 19-25.
- [9] 代双河, 高军, 臧殿光, 等. 滨里海盆地东缘巨厚盐岩区盐下构造的解释方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(3): 19-25.
- [10] 罗毓辉, 蔡东升. 渤海盆地构造演化及成因动力学研究[R]. 天津: 渤海石油公司, 1999.
- [11] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 133-138.
- [12] 吴时国, 余朝华, 邹东波, 等. 莱州湾地区邻庐断裂带的构造特征及新生代演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(6): 101-108.
- [13] 程有义, 李晓清, 汪泽成, 等. 潍北拉分盆地形成演化及其对油气条件的控制[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 32-35.