

文章编号: 1000-0550(2006)04-0607-09

东营凹陷流体超压封存箱与油气运聚^①

陈中红 查明

(石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 东营凹陷古近系由于压实不均衡和生烃作用导致超压的广泛发育,这些发育程度不同的超压体系可以构成不同级别的超压封存箱系统,控制着油气的运移和聚集。东营凹陷超压封存箱中的地质地球化学特征显示封存箱可以划分为三部分:箱缘成岩地带(封隔层),对油气起着封闭作用;烃类的有利释放带,其中超压得到一定程度释放,烃类较大程度上排出,可以称为排烃的高峰带;烃类滞留带,该带中超压未能得到很好释放,烃类也多滞留于其中,为排烃的不利地带。幕式排液是超压封存箱排液的一种重要排液方式,存在“压力幕”和“构造幕”两类方式。“构造幕”的机制是外部构造活动的破坏,其排烃方式主要是沿着断裂面及构造裂缝运移;“压力幕”的机制是超压体系内部“剩余”能量的积累和释放,其排烃方式主要是沿着压裂形成的微裂缝排放。在发生幕式排液作用的超压体系内,排液效率、烃指数分别较上下层段明显增大和减小。幕式排液具有的高能量、快运移的特征,使得其在油气勘探中具有重要的意义。东营凹陷可以划分为浅层的常压开放性流体动力学系统和中部的超压封存箱流体动力学系统两类流体动力学系统(排除深层滞留系统),分别对应常压开放性它源油气成藏动力学及超压封存箱型自源油气成藏动力学两类不同成藏机制。

关键词 东营凹陷 封存箱 超压 动力学 幕式排液 油气运聚

第一作者简介 陈中红 男 1976年出生 博士 讲师 油气地质

中图分类号 TE122 **文献标识码** A

Hunt根据世界上 180 多个沉积盆地中异常压力的分布,提出了 Abnormally Pressured Fluid Compartment 概念^[1],张义纲^[2]、郝石生^[3]等将其命名为异常压力封存箱。这一概念的提出引起了石油学界的广泛关注。勘探实践表明封存箱理论是一种重要的成藏研究方法,国内一批学者运用该理论对许多盆地的油气分布进行了研究,如四川盆地^[4~7]、酒东盆地^[8]、塔里木盆地^[9,10]、准噶尔盆地^[11]、鄂尔多斯盆地^[12]、莺歌海盆地^[13,14]、东营盆地^[15]。

东营凹陷是中国东部陆相箕状断陷湖盆的典型代表,暗色泥岩主要发育于沙四上、沙三下及沙三中。已有研究表明东营凹陷广泛存在欠压实现象^[16],尤其在主力烃源岩层系(沙三下、沙四上)中普遍发育超压,这些发育程度不同的超压体系形成不同级别的超压封存箱控制着油气的生成、运移及聚集。深刻认识该区超压封存箱对油气运聚的控制作用不仅有着重要的理论意义,也有着积极的实践意义。

1 超压封存箱的形成及分布

多数学者一致认为,除强挤压构造背景外,压实

不均衡和生烃作用是形成规模超压的两种主要机制,其中前者是快速沉降盆地超压发育的主要机制,而生烃作用尤其是生气作用是沉降速率较低的第三系盆地超压发育的主要机制^[17]。东营凹陷的烃源岩具有沉积速度快、连续沉积厚、有机质含量高(沙三下和沙四上烃源岩中有机碳含量一般在 2%~5%之间,有的甚至达到 12%以上)、高地温梯度、高热流(沙三中和沙三下地温达到 106~148℃)的特征,因此东营凹陷烃源岩具有压实不均衡和生烃作用的双向增压效应,使得其中广泛发育超压。

研究资料表明东营凹陷的超压主要分布于沙三中、下段大套泥岩和沙四段灰色膏盐段组成。其压力系统的分布具有一定的结构性特征:平面上呈现环状结构,内环为超高压系统,中环为高压系统,外环为低压—常压系统,并且中环高压系统和内环超高压系统构成了封闭的巨型超压封存箱复合体,而封存箱内产生压力分隔现象,形成了若干个由压力输导系统联系的次级超压封存箱^[18];在剖面上呈现“二段式”,上段为正常压力系统,下段为异常压力系统。超压系统的分布具体表现为:从平面上看,东营凹陷的利津、牛

①国家“十五”重点科技攻关项目(编号:2001BA605A-09-21)。

收稿日期:2005-11-31;收修稿日期:2006-01-08

庄、民丰洼陷的中央部位沙三下亚段、沙四段及孔店组发育区域性超压,压力系数可达 1.3~1.5,利津洼陷沙三中亚段发育局部超压,压力系数为 1.2~1.4,在利津洼陷中央地带,压力系数可达 1.7^[19];从剖面上看,东营凹陷“异常高压生烃泥岩体”包括沙三中、下和沙四上、沙四下灰色膏盐段、孔一段上部杂色膏盐段,压力系数多为 1.5~1.7,最高可达 1.8~1.9 或更高^[20]。

毫无疑问,所谓的超压封存“箱”是一种理想说法,“箱”作为独立的地质体受各种地质因素的影响处于不断变化中,因而是一种动态的客观存在。超压封存箱通过边缘地带的一些有形或无形的“封隔层”(Seal)封闭形成。有形的封隔层指的是边缘地带形成的物性致密层,它可以依靠毛细管压力对油气起着物性封盖作用,阻碍着系统内的超压向外释放。沙三、沙四段的超压体系可以看成是一个巨型封存箱,其上部存在 80~200 m 的过渡带,部分井资料显示其底部及边缘部位也存在过渡带。上部过渡带一般为中厚层暗色泥岩夹钙质泥岩及薄层砂岩,钙质泥岩可以在压实排液过程中形成致密的“壳”,在超压泥岩体四周和底部也可能存在这种“壳”^[20],这些“壳”即成为超压封存箱良好的物性封隔层。这些封隔层的形成与早期沉积及沉积后的成岩作用有关,这些钙质泥岩在压实排液过程中形成致密的“壳”与沉积后的成岩作用关系更为密切^[21~23]。成岩作用有自组织、自加速的过程,产生成岩作用后,沉积物会显得越来越非均质性和各向异性。在封隔层形成过程中,泥质岩中粘土矿物的转化和成岩作用可产生多方面效应,释放的 Si、Ca、Fe、Mg 等离

子富集于泥岩表面形成封闭。

所谓的无形的封隔层指的是一些非物性封隔层,如超压体系中高的孔隙流体压力具有很强的封盖作用,它能阻止包括油气水在内的任何流体的体积流动,岩性因素对它影响较小,从这个角度上说,超压流体似乎对油气的封盖作用更有效。同时当超压体系中的烃类不能排出时,便会以较高的烃浓度阻滞下伏油气向上扩散运移,称为烃浓度封盖。油气受浓度差驱动,从浓度高处向浓度低处扩散,以求达到浓度平衡,从而使得箱内缘中高浓度的油气向下扩散,对向外运移的油气起着一定的阻碍作用^[24,25]。这种无形的封隔层对油气的阻碍作用更是一种动态的过程。

根据超压系统的分布,从流体动力学出发可以将东营凹陷划分为两类流体动力学系统(排除深层滞流系统):浅层常压开放性流体动力学系统及其下的超压封存箱流体动力学系统(图 1)。从图 1 可以看出,超压封存箱顶板的分布同地层界限有着良好的一致性,表明地层岩性因素是形成封隔层的主导因素。各井的声波时差曲线在封存箱内部出现不同程度的波状起伏,说明在同一封存箱流体动力学系统中存在着微观上的流体动力学非均质性,波峰表明超压现今积累到高峰期,波谷表示超压在一定程度上已经得到释放。由于封存箱内的泥岩并非铁板一块,其中夹杂着砂岩,或有断层贯通,造成箱内排烃的非均一性。这些渗透性砂岩、断裂带或盐构造等形成泻压带,使超压得到释放,同时造成箱内压力分隔现象,形成若干个由压力输导系统联系的次级超压封存箱(图 2),刘晓峰等将封存箱的这种分布方式概括为封存箱一

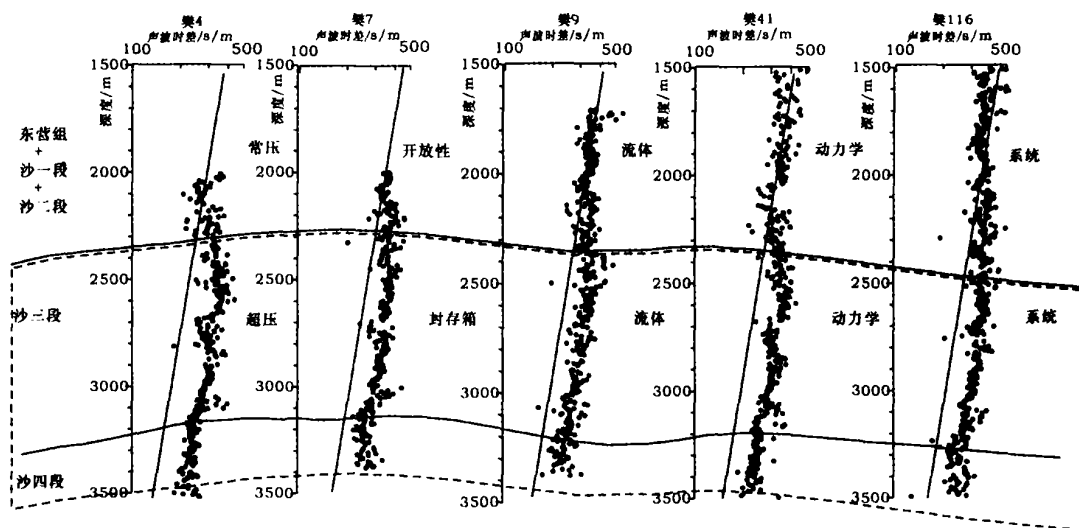


图 1 东营凹陷流体动力学系统纵向分布

Fig. 1. The distribution of fluid dynamics systems in profile.

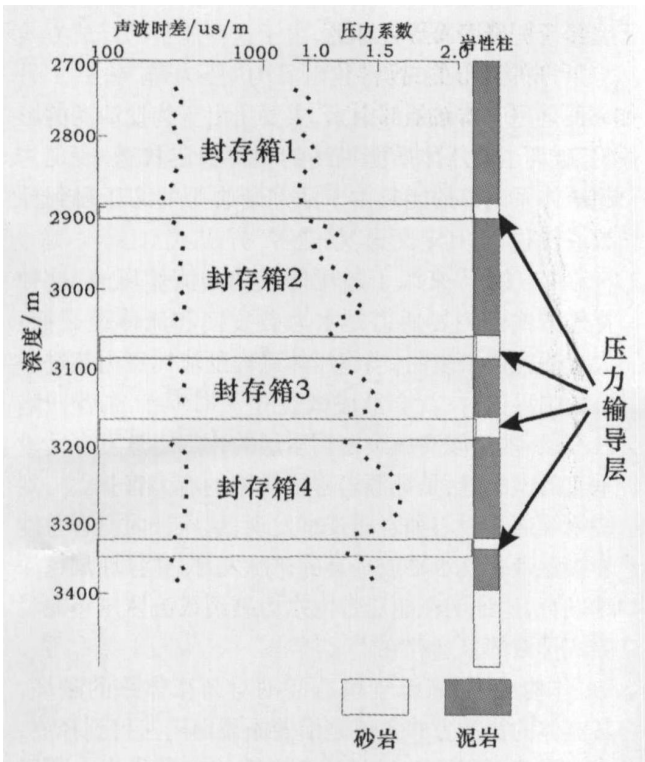


图 2 东营凹陷史 119 井超压封存箱与压力传导系统分布
 Fig. 2 The assemblage of overpressured compartments and pressure conduit systems of the Well Shi-119 from

压力传导系统—封存箱组合模式^[18]。

2 超压封存箱的地质地球化学行为

利用陈中红等^[26]生排烃计算方法考察超压封存箱内的地质地球化学行为, 计算结果表明不同的流体动力学环境孕育着不同的地球化学行为(图 3)。图 3 显示, 在超压封存箱流体动力学系统中, 有机碳含量(TOC)增大(平均值在 4.0 左右), 氢指数(S_1/T_{oc})较高, 基本在 500mg/g 以上, 为富氢型的 I 类有机质。与之相对应, 烃源岩的原始生烃潜能(S_o , 每克岩石的最大产烃量)也较高, 平均在 40 mg/g 左右, 表明超压封存箱内有机质类型好, 产烃潜能大, 同时暗示了这些富氢有机质的生烃作用是东营凹陷超压形成机制的主要原因, 其他学者的研究也表明了这一点^[18, 19]。其它各参数总体上也较上部常压开放性流体系统大。该封存箱内的流体系统大致可以划分为三部分: 2 350~2 450 m 为过渡性箱缘成岩带, 可以看出其中的各地球化学参数呈现过渡性变化特点; 2 450~3 000 m 为(封存箱上部的压实相对充分)烃类有利释放带, 其中各参数的变化较常压开放性流体动力学系统有一定偏高, 但并不显著, 反映该带中压力得到较好释放, 烃类已经得到顺利排出, 尤其是烃

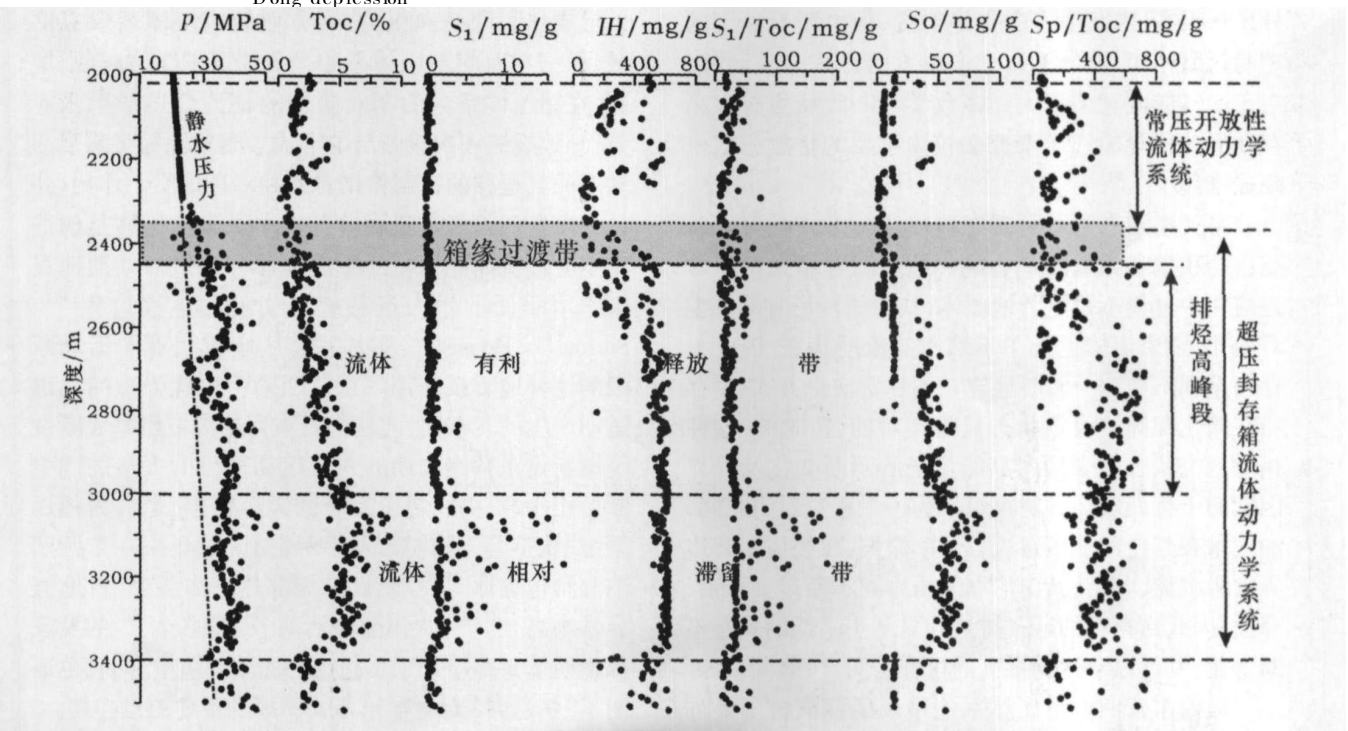


图 3 东营凹陷樊 4 井超压封存箱地质地球化学行为

Fig. 3 The geochemical characteristics of the overpressured compartment of the Well Fan-4 from Dongying depression

源岩的排烃潜力(单位 T_{oc} 的排烃量 S_p/T_{oc} , 反映烃源岩的排烃能力)呈现大肚子高值带(排烃高峰段), 因此将其视为烃类有利的释放带; 3 000~3 400 m 为封存箱下部的欠压实—烃类滞留带, 其中残留有机碳、残留烃量 (S_1)、烃指数 (S_1/T_{oc}) 明显偏高(平均值分别为 5.65%、4.0 mg/g、61.6 mg/g), 在 3050 m 左右出现高峰段(最大值分别为 10.25%、20.67 mg/g、201.8 mg/g), 反映其中超压未能得到顺利释放, 使得烃类滞留其中不能顺利排出, 可以将其视为流体滞留带。很多高温高压准封闭环境下烃类生成的模拟实验^[27~29]及勘探实践^[30, 32]表明超压对有机质的生成和成熟具有一定的抑制或延迟作用, 东营凹陷与莺歌海盆地等相比较而言, 有机质热演化没有出现明显的超压抑制现象^[19]。

3 超压封存箱的排液机制

地下流体存在稳态和瞬态两种流动方式, 稳态流指的是一种连续渗流过程, 瞬态流指的是由于地层的破裂或断层、先存裂隙的突然开启引起的地下流体突然开始快速流动并在短时间内终止的流动过程^[33]。对于封存箱而言, 由于箱内存在剩余压力, 并且所谓的“箱”体只是相对的, 时刻向外进行渗流, 以达到内外压力平衡, 因此稳态流是绝对的, 但由于封隔层的相对封闭作用, 油气多以扩散或水溶方式向外运移, 对于油气成藏意义不大。多数学者一致认为封存箱存在另一种对油气运聚意义较为重要的排液方式—幕式排液^[1, 34~38]。

幕式排液作为一种瞬态流体流动方式是伴随着超压的积累和释放而产生的。超压封存箱是沉积盆地演化中过程不稳定的地质体, 其内能量场时刻发生着变化, 地质流体也处于不均衡的流动状态, 因此封存箱呈现不稳定—暂时稳定—不稳定演化方式; 封存箱在演化期间的稳定状态只是相对的、暂时的, 这种相对稳定状态会受到内部能量场的不断变化及外界因素的干扰而破坏。封存箱作为一个相对封闭空间, 油气水在其内部发生对流、运移、聚集, 矿物质在其边界发生沉淀、胶结, 其内的剩余压力在不断得到积累、释放, 因此封存箱的幕式排液即是从不平衡的状态不断变化、发展以求达到平衡的过程。

根据东营凹陷超压体系能量场的释放机制及方式, 幕式排液主要存在两种机制: 一种是由于超压体系内部能量的积累, 剩余压力超过了岩石的承受能力, 使得封隔层发生破裂, 封存箱内部的剩余能量随

裂缝或压裂面等得到释放, 由于这种能量的释放方式与压力密切相关, 故将其定义为“压力幕”方式。另一种是超压体系外部因素, 主要是由于构造活动的影响, 破坏了超压体系能量场的相对稳定状态, 表现为超压体系内部的能量由于活动断裂等的卸压得到释放或转移, 将其定义为“构造幕”方式。

“压力幕”来源于超压体系内的流体压裂, 这种排液方式的主要通道是水力破裂面和流体压裂面。大量研究成果表明, 当超压体系内的流体压力超过一定的临界值时, 就会形成微裂缝^[1, 34, 37, 39]。东营凹陷沙三段、沙四段高压致密钙质层的顶部附近发育大量垂直的微裂缝, 是烃源岩幕式排液的有力证据^[32], 刘晓峰等通过岩心和岩屑观察发现, 超压带内泥岩与砂岩接触带多具水平或垂直的矿脉发育, 并且埋藏越深越发育, 这证明在超压带内水力破裂或流体压裂的裂隙式排液的普遍存在^[18]。

“构造幕”来源于构造活动对超压体系的破坏, 其流体的排液方式主要是沿着断裂面迅速得到释放, 或者沿着断裂活动引起的微裂隙等向外排出。断层的活动在流体运移过程中起着重要的作用。强烈的垂向构造运动可以使超压体系直接被断开, 从而使油气沿垂向破裂面进行纵向运移。构造运动时期也可以形成强大的横向压力, 一方面使超压体系形成褶皱, 另一方面使超压体系中的孔隙流体压力急剧增高, 在超压体系内的相对脆弱的构造高点产生张应力, 导致裂缝和次级断层的形成。阎福礼等将断裂活动对油气运移的控制作用看成是一种地震泵作用, 并认为东营凹陷复杂断块油气田中烃类的运移是构造稳定阶段流体势驱使的垂向运移和构造活动期地震泵作用驱使的垂向运移相互交替的运移过程^[40]。Sibson^[41]、Hooper^[42]及华保钦^[43]也都强调了活动断裂的这种地震泵作用。东营凹陷中生代强烈的燕山运动产生的北东向、北西向及东西向的三组基底断裂与渐新世东营组末期的东营运动产生的大量的同生断层相沟通, 构成超压系统的卸压渠道, 也成为超压系统“构造幕”式排液的重要通道。近年来在东营凹陷沸腾包裹体^[44, 45]、活跃的深部热流体活动(古地温异常增高)^[46, 47]、火山热液活动^[48]、震积岩^[49]的发现都说明了封存箱处于不稳定的地质环境中, 同时也证明了“构造幕”对封存箱幕式排液的重要驱动作用。

4 超压封存箱与油气运聚关系

勘探实践及研究表明东营凹陷沙三中、下及沙四

上层段的超压泥岩段封存箱既是该凹陷主力烃源岩,同时也富集了众多油藏,但大部分探明储量分布在封存箱上部的沙二段一馆陶组的储集层中。东营凹陷油气的大量生成开始于晚第三纪馆陶组沉积期,与异常高压的产生时期比较匹配,可以推测沙二段一馆陶组中的油气藏多是通过封存箱的幕式排放聚集而形成。实测资料表明,在沙二段及其以上地层的一些油气藏中存在高压异常,李春光对其统计分析后认为,这些高压油气藏是沙三、沙四段高压油气沿断层运移至浅层断块圈闭中形成的次生油气藏^[50],刘晓峰^[51]将这个过程及浅层内的高压分别称为超压传递、传递超压,并认为它是超压沉积盆地中较为普遍的一种现象。

在盆地的不同部位由于流体动力学环境的差异形成不同的油气成藏动力学机制。东营凹陷新近系、第四系及古近系的沙三上至东营组为常压开放性流体动力学系统,油气来自古近系的沙三下、沙四段,故形成了典型的常压开放性它源油气成藏动力学系统;古近系沙三中、下层段及沙四段封存箱系统具有典型的自生自储和超压特征,为超压封存箱型自源油气成藏动力学系统(图 4)。

对于常压开放性它源油气成藏动力学系统而言,油气藏埋深较浅,多为正常压力,但由于超压传递的结果,仍有部分油气藏保存着高压(压力系数为 1.05~1.31)。油气来自下伏层系沙三下、沙四上段,其运移方式主要沿着连通砂体进行的侧向运移和沿着

断裂作垂向运移,新近系与古近系之间不整合面对斜坡地带的油气运移也起着相当重要的作用。张善文等^[52]将新近系馆陶组下段低位域辫状河流相砂岩称为仓储层,聚集于其中的油气称为毯式聚集,将切入烃源岩的油源断裂称为油源通道网,将馆陶组上段、明化镇组的退积域和高位域的曲流河相沉积层称为油气聚集网层,并将这些元素之和及其相互作用称为网毯式油气成藏体系。据此,油气依靠沙三下、沙四上段超压封存箱的幕式排放,沿着“油源通道网”及“仓储层”运移,最后形成“网”式聚集。

超压封存箱型自源油气成藏动力学系统中,油气来自于本系统的泥质烃源岩,储集砂体多为异常高压,形成自生自储型的生储配置关系。油气除了依靠油源断裂及微裂缝等进行幕式排放外,烃源岩在剩余压力的作用下向相邻储集层不断进行排烃、充注。油气进入储集体后进行侧向运移,同时油气也依靠不整合面及页岩的层理面进行侧向运移,这种侧向运移方式在沙四段较沙三下更为明显。在东营凹陷油气藏的分布多以生油洼陷为中心成环状分布^[53,54],而勘探实践表明,油气来自沙三下的油藏多分布于内环,而油气来自沙四上的油藏多靠近外环,这表明沙四段的油气进行了更为明显的侧向运移,而沙三下段的油气主要以垂向运移为主。在该系统中油气多在厚层泥质烃源岩包裹的浊积砂体中形成透镜状砂体岩性油气藏,如在牛庄一六户地区发育很多高压岩性油气藏^[55]。同时,油气在被断层切割的砂体中形成断层

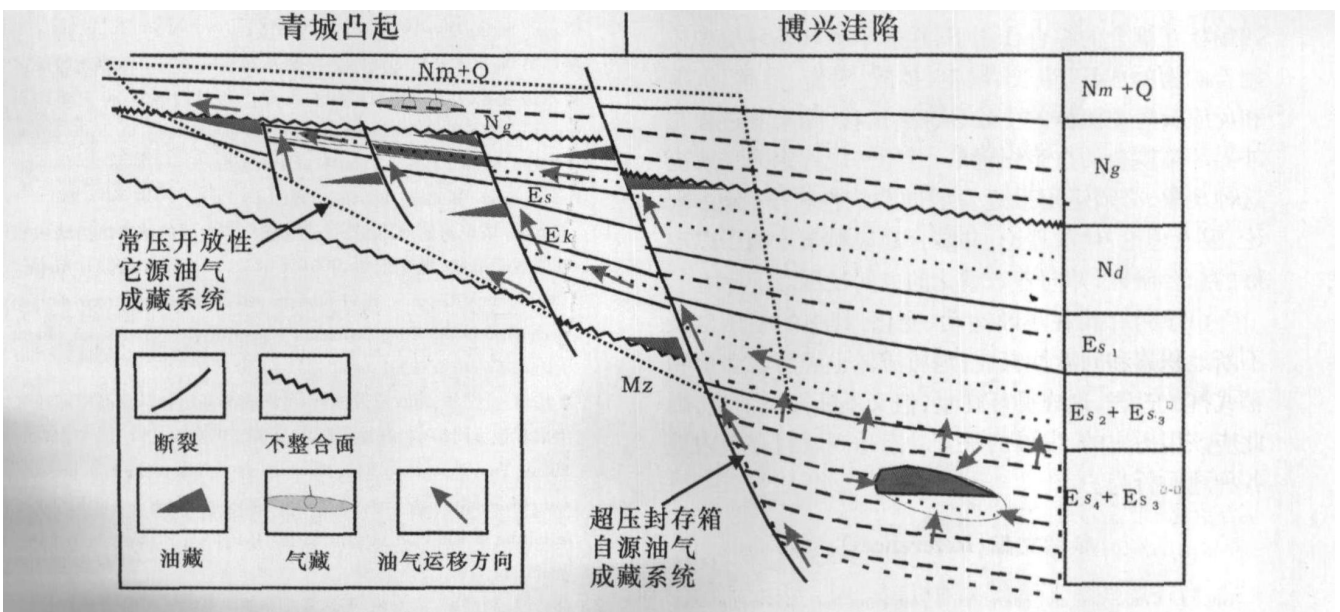


图 4 东营凹陷博兴地区油气成藏动力学系统分布

Fig 4 The distribution of hydrocarbon accumulation dynamics systems in Boxing area from Dongying depression

一岩性复合油气藏,在斜坡带沿不整合面形成地层油气藏。

一个超压体系构成的封存箱不仅是一个封闭的水动力系统,同时也构成一个独立的油气成藏系统,超压体系与油气的分布关系决定于超压体系分布的层位与烃源岩的配置关系、超压形成时间与油气运移期的配置关系^[56]。受封存箱演化史与油气生、排烃史及各油气成藏条件等的制约,可出现箱内成藏、箱缘成藏及箱外成藏等多种成藏模式。以东营凹陷博兴地区为例,油气藏的形成即具有箱内成藏、箱外顶部成藏和箱外边部成藏三种模式^[57]。

5 结语及研究展望

东营凹陷存在两类流体动力学系统(排除深层滞留系统),即浅层的常压开放性流体动力学系统及中部的超压封存箱流体动力学系统,分别对应两种不同的成藏动力学机制:常压开放性它源油气成藏动力学系统、超压封存箱型自源油气成藏动力学系统。

幕式排放是超压封存箱的一种重要的排液机制,存在“压力幕”和“构造幕”两类驱动方式。“压力幕”来源于超压体系内的流体压裂,其排液方式的主要通道是水力破裂面和流体压裂面。“构造幕”来源于构造活动对超压体系的破坏,其流体的排放方式主要是沿着断裂面迅速得到释放,或者沿着断裂活动引起的微裂隙等向外排出。

封存箱是在地下应力场、温度场、化学场、压力场四场相互耦合的综合作用下,在非平衡状态环境中控制着矿物的成核、生长、增生、扩散、对流、溶解、沉淀和反应及烃类流体的生成、成熟、运移、聚集等过程与外界环境耦合的自组织现象,运用常规理论无法解决这种现象,必须运用最近发展的非线性科学、分形理论、混沌理论、耗散理论,并结合地质科学才能予以较好的综合研究,并向着量化的方向发展。

由于封存箱在不断运动、变化,其中的超压也是不断地积累和间歇性释放,地质流体也经历着滞留和幕式排放过程,这样循环往复,但又不断发展前进,因此应该用历史的、发展的眼光动态地观察封存箱内地各种地质行为。

参考文献 (References)

1 Hunt J. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(1): 1~12
2 张义纲. 天然气的生成、聚集和保存. 南京: 河海大学出版社,

1991. 149~154 [Zhang Yigang. Generation, Accumulation and Conservation of Natural Gas. Nanjing: The Publishing House of the Hehai University, 1991. 149~154]

- 3 郝石生. 封存箱. 中国海上油气(地质), 1993, (1): 61~69 [Hao Shisheng. Compartment. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1993, 7(1): 61~69]
- 4 戴金星. 中国天然气分布特征和大中型气田的形成条件. 见: 中国天然气地质理论基础与实践. 北京: 石油工业出版社, 1997. 273~274 [Dai Jinxin. Distributing Characteristic of Gas and Forming Condition of Big or Middle Gas Reservoir in China. In: *Theory Base and Practice of Gas Geology in China*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 273~274]
- 5 詹伟, 唐良, 王辉, 等. 巴什托构造石炭一二叠系流体压力封存箱特征及其油气意义. 河南石油, 1999, 13(5): 7~9 [Zhan Wei, Tang Liang, Wang Hui, et al. Features of fluid pressure compartment in Carboniferous and Permian in Bashituo structure and its significance in petroleum exploration. *Henan Petroleum*, 1999, 13(5): 7~9]
- 6 蒋有录, 张一伟, 冉隆辉, 等. 川东地区志留系一石炭系含气系统天然气运移聚集机理. 石油学报, 2001, 22(1): 25~30 [Jiang Youlu, Zhang Yiwei, Ran Longhui, et al. Migration and accumulation mechanism of natural gas in the Silurian-Carboniferous petroleum system in east part of Sichuan basin. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(1): 25~30]
- 7 徐国盛, 刘树根. 川西上叠统高压封存箱与天然气成藏关系研究. 成都理工大学学报, 1999, 26(4): 411~417 [Xu Guosheng, Liu Shugen. Relationship between the formation of gas reservoir and abnormal pressure compartment in the upper Triassic west Sichuan basin. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1999, 26(4): 411~417]
- 8 陈建平. 酒东盆地异常流体压力及与油气分布关系. 中国科学(D辑), 1996, 26(1): 9~15 [Chen Jianping. Relationship between abnormal pressure and oil(gas) distribution in Jidong basin. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(1), 9~15]
- 9 柳广第. 塔里木盆地的流体封存箱及其油气意义. 石油地球科学技术进展论文集. 北京: 石油工业出版社, 1996. 80~86 [Liu Guangdi. The fluid compartments and its significance for hydrocarbon in Tarim basin. *Thesis Volume of Petroleum Geoscience Technology Development*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 80~86]
- 10 周兴煦. 塔里木盆地库车油气系统中、新生界的流体压力结构和油气成藏机制. 地学前缘, 2001, 8(4): 351~360 [Zhou Xingxi. The Mesozoic-Cenozoic fluid pressure structure and reservoir forming mechanism in the Kuqa petroleum system in the Tarim basin. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(4): 351~360]
- 11 王屿涛, 范光华, 蒋少斌. 准噶尔盆地腹部高压和异常高压对油气生成和聚集的影响. 石油勘探与开发, 1994, 21(5): 1~7 [Wang Yutao, Fan Guanghua, Jiang Shaobin. The effect of the high pressure and abnormally high pressure on the generation and accumulation of petroleum in mid-land Junggar basin. *Petroleum Exploration and Development*, 1994, 21(5): 1~7]
- 12 郝石生, 高耀斌, 黄志龙. 鄂尔多斯盆地中部大气田聚集条件及运聚动平衡. 中国科学(D), 1996, 26(6): 488~492 [Hao Shisheng, Gao Yaobin, Huang Zhilong. The conditions of accumulation for big

- natural field in the middle of Ordos basin and move balance of migration and accumulation. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(6): 488~492]
- 13 龚再升, 陈红汉, 孙永传. 莺歌海盆地流体压力自振荡与天然气幕式成藏的耦合特征. *中国科学(D)*, 1999, 29(1): 68~74 [Gong Zaisheng, Chen Honghan, Sun Yongchuan. The coupling characteristics of fluid pressure oscillation and natural gas episodic accumulation in Yinggehai basin. *Science in China (Series D)*, 1999, 29(1): 68~74]
 - 14 黄志龙, 柳广第, 郝石生. 脉冲式混相涌流——天然气成藏的一种特殊运移方式. *天然气工业*, 1998, 18(2): 7~9 [Huang Zhilong, Liu Guangdi, Hao Shisheng. Pulse miscible phase flow: a special migration pattern of forming gas reservoir. *Natural Gas Industry*, 1998, 18(2): 7~9]
 - 15 祝总祺, 苗建宇, 刘文荣, 等. 论压力封存箱及其对次生孔隙的保护作用. *西北大学学报(自然科学版)*, 1997, . 27(1): 73~78 [Zhu Zongqi, Miao Jianyu, Liu Wenrong et al. The pressured fluid compartment and its preserving to secondary pores. *Journal of Northwest University*, 1997, 27(1): 73~78]
 - 16 郑和荣, 黄永玲, 冯有良. 东营凹陷下第三系地层异常高压体系及其石油地质意义. *石油勘探与开发*, 2000, 27(4): 67~70 [Zheng Herong, Huang Yongling, Feng Youliang. The abnormal pressure system in the Paleogene system in Dongying depression and its significance for petroleum geology. *Petroleum Exploration and Development* 2000, 27(4): 67~70]
 - 17 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展. *地学前沿*, 2000, 17(3): 11~17 [Hao Fang, Zhou Huayao, Jiang Jianqun. Dynamics of petroleum accumulation and its advances. *Earth Science Frontiers* 2000, 17(3): 11~17]
 - 18 刘晓峰, 解习农. 东营凹陷流体压力系统研究. *地球科学—中国地质大学学报*, 2003, 28(1): 78~85 [Liu Xiaofeng, Xie Xinong. Study on fluid pressure system in Dongying depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* 2003, 28(1): 78~85]
 - 19 解习农, 刘晓峰. 超压盆地流体动力系统与油气运聚关系. *矿物岩石地球化学通报*, 2000, 19(2): 103~107 [Xie Xinong, Liu Xiaofeng. Fluid dynamics system and relationship with accumulation of hydrocarbon in overpressured basin. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2000, 19(2): 103~107]
 - 20 胡济世. 异常高压、流体压裂与油气运移. *石油勘探与开发*, 1989, 3(2): 16~23 [Hu Jishi. Abnormal pressure fluid fracturing and migration of oil and gas. *Petroleum Exploration and Development* 1989, 3(2): 16~23]
 - 21 张枝焕, 胡文喧, 曾澍辉, 等. 东营凹陷下第三系流体—岩石相互作用研究. *沉积学报*, 2000, 18(4): 560—566 [Zhang Zhihuan, Hu Wenxuan, Zen Jianhui et al. Study of fluid-rock interactions in Eocene Formation in Dongying Depression, Bohai gulf basin. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000, 18(4): 560~566]
 - 22 宫秀梅, 曾澍辉, 金之钧. 渤南洼陷深层(沙三沙四段)原油—水—岩石相互作用模拟实验研究. *沉积学报*, 2005, 23(3): 420~428 [Gong Xiumei, Zeng Jianhui, Jin Zhijun. Experimental simulation on oil-water-rock interaction in the deep Bonan sub-sag. *Acta Sedimentologica Sinica* 2005, 23(3): 420~428]
 - 23 袁静. 东营凹陷下第三系深层成岩作用及次生孔隙发育特征. *煤田地质与勘探*, 2003, 31(3): 20~22 [Yuan Jing. Diagenesis and secondary pore development in Paleogene deep formation in Dongying sag. *Coal Geology and Exploration*, 2003, 31(3): 20~22]
 - 24 Meissner F. F. Abnormal pressures produced by hydrocarbon generation and maturation and their relation to processes of migration and accumulation. *AAPG Bulletin*, 1981, 65: 2467
 - 25 Plumley W. J. Abnormally high fluid pressure: Survey of some basic principles. *AAPG Bulletin*, 1980, 64: 414~430
 - 26 陈中红, 查明, 王克, 等. 烃源岩生排烃研究方法进展. *地学前沿*, 2003, 10(3): 86 [Chen Zhonghong, Zhang Ming, Wang Ke et al. Advance of the method for the research on hydrocarbon generation and expulsion. *Earth Science Frontiers* 2003, 10(3): 86]
 - 27 Price L. C., Wenger L. M. The influence of pressure on petroleum generation and maturation as suggested by aqueous pyrolysis. *Organic Geochemistry*, 1992, 19: 141~159
 - 28 卢双舫, 赵锡瑕, 黄第藩, 等. 煤成烃的生成和运移的模拟实验研究. *石油实验地质*, 1994, 16(3): 290~301 [Lu Shuangfang, Zhao Xixia, Huang Difan et al. Simulation experiment of hydrocarbon formed from coal generation and migration. *Petroleum Experiment Geology*, 1994, 16(3): 290~301]
 - 29 杨天宇, 王涵云. 岩石中高温高压模拟实验. *石油与天然气地质*, 1987, 8(4): 380~389 [Yang Tianyu, Wang Hanyun. Experimentation of high temperature and high pressure simulation in rocks. *Oil and Gas Geology*, 1987, 8(4): 380~389]
 - 30 Hao Fang, Sun Yongchuan, Li Sitian et al. Overpressure retardation of organic matter maturation and petroleum generation: A case study from the Yinggehai and Qindongnan Basins. *South China Sea AAPG Bulletin*, 1995, 79(4): 551~562
 - 31 Hao Fang, Li Sitian, Sun Yongchuan et al. Characteristics and origin of the gas and condensate in the Yinggehai Basins offshore South China Sea: Evidence for effect of overpressure on petroleum generation and maturation. *Organic Geochemistry*, 1996, 24(3): 363~375
 - 32 查明, 曲江秀, 张卫海. 异常高压与油气成藏机理. *石油勘探与开发*, 2002, 29(1): 19~23 [Zhang Ming, Qu Jiangxiu, Zhang Weihai. Relationship between overpressure and reservoir forming mechanism. *Petroleum Exploration and Development* 2002, 29(1): 19~23]
 - 33 郝芳, 邹华耀, 杨旭升, 王敏芳. 油气幕式成藏及其驱动机制和识别标志. *地质科学*, 2003, 38(3): 403~412 [Hao Fang, Zhou Huayao, Yang Xusheng et al. Episodic petroleum accumulation: its driving mechanisms and distinguishing markers. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 403~412]
 - 34 Roberts S. J., Nunn J. A. Episodic fluid expulsion from geopressed sediments. *Marine and Petroleum Geology*, 1995, 12(2): 195~204
 - 35 Capuano R. M. Evidence of fluid flow in microfractures in geopressed shales. *AAPG Bulletin*, 1993, 77: 1304~1314
 - 36 Cartwright J. A. Episodic basin-wide fluid expulsion from geopressed shale sequences in the North Sea basin. *Geology*, 1994, 22: 447~450
 - 37 Xie Xinong, Wang Chiyuen. Numerical modeling of episodic compac-

- tion and its effecting parameters in geopressed shales. *Journal of China University of Geosciences*, 1997, 8(2): 128~132
- 38 解习农, 刘晓峰, 胡祥云, 等. 超压盆地中泥岩的流体压裂与幕式排烃作用. *地质科技情报*, 1998, 17(4): 59~64 [Xie Xiong, Liu Xiaofeng, Hu Xiangyun, et al. Hydrofracturing and associated episodic hydrocarbon expulsion of mudstone in overpressured basin. *Geological Science and Technology Information*, 1998, 17(4): 59~64]
- 39 Du Rouchets J. Stress field: a key to oil migration. *AAPG Bulletin*, 1981, 65(2): 74~85
- 40 阎福礼, 贾东, 卢华复, 徐光伟. 东营凹陷油气运移的地震泵作用. *石油与天然气地质*, 1999, 20(4): 295~298 [Yan Fuli, Jia Dong, Lu Huaifu, et al. Seismic pumping of hydrocarbon migration in Dongying depression. *Oil and Gas Geology*, 1999, 20(4): 295~298]
- 41 Sibson R H. Seismic pumping—a hydrothermal fluid transport mechanism. *Journal of Geological Sciences*, 1975, 131(6): 653~660
- 42 Hooper E D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments. *Journal of Petrology Geology*, 1991, 4(2): 161~180
- 43 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移. *沉积学报*, 1995, 13(2): 77~85 [Hua Baoqin. Stress field, seismic pumping and hydrocarbon migration. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13(2): 77~85]
- 44 邱楠生, 张善文, 金之钧. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据. *石油实验地质*, 2001, 23(4): 403~407 [Qiu Nansheng, Zhang Shanwen, Jin Zhijun. Migration models of hydrocarbon fluids in the Dongying depression: Evidences from boiling fluid inclusions. *Petroleum Geology and Experiment*, 2001, 23(4): 403~407]
- 45 邱楠生, 金之钧. 油气成藏的脉动式探讨. *地学前缘*, 2000, 7(4): 561~567 [Qiu Nansheng, Jin Zhijun. Study on pulse entrapment of hydrocarbon accumulation. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 561~567]
- 46 金之钧, 杨雷, 曾澹辉, 等. 东营凹陷深部流体活动及其生烃效应. *石油勘探与开发*, 2002, 29(2): 42~44 [Jin Zhijun, Yang Lei, Zeng Jianhui, et al. Deep fluid activities and their effects on generation of hydrocarbon in Dongying depression. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(2): 42~44]
- 47 曾澹辉. 东营凹陷热流体活动及其对水—盐相互作用的影响. *地球科学—中国地质大学学报*, 2000, 25(2): 133~142 [Zeng Jianhui. Thermal fluid activities and their effects on water-rock interaction in Dongying depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(2): 133~142]
- 48 金强, 翟庆龙. 裂谷盆地的火山热液活动和油气生成. *地质科学*, 2003, 38(3): 342~349 [Jin Qiang, Zhai Qinglong. Volcanic activities and hydrocarbon generation. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 342~349]
- 49 陈世悦, 袁文芳, 鄢继华. 济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及其意义. *地质科学*, 2003, 38(3): 377~384 [Chen Shiyue, Yuan Wenfang, Yan Jihua. Discovery and significance of earthquake event deposits of early Tertiary in the Jiyang depression. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 377~384]
- 50 李春光. 试论东营盆地高压油气藏的特征及找油意义. *石油学报*, 1992, 13(1): 37~43 [Li Chunguang. Discussion on the characteristics of high pressured oil and gas reservoirs in Dongying depression and its significance for petroleum exploration. *Acta Petrolei Sinica*, 1992, 13(1): 37~43]
- 51 刘晓峰. 超压传递: 概念和方式. *石油实验地质*, 2002, 24(6): 533~536 [Liu Xiaofeng. Overpressure transference: concept and ways. *Petroleum Geology and Experiment*, 2002, 24(6): 533~536]
- 52 张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷新近系为例. *石油勘探与开发*, 2003, 30(1): 1~10 [Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Shi Dishishi, et al. Mesh work carpet typed oil and gas pool-forming system: taking Neogene of Jiyang depression as an example. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(1): 1~10]
- 53 李春光. 东营盆地油、气藏分布规律与成因探讨. *石油勘探与开发*, 1991, 18(2): 19~24 [Li Chunguang. A discussion on the formation and the distribution of oil and gas pool in Dongying basin. *Petroleum Exploration and Development*, 1991, 18(2): 19~24]
- 54 郝雪峰, 宗国洪, 熊伟, 等. 东营凹陷成藏组合体与油气场环分布对应论. *油气地质与采收率*, 2003, 10(2): 19~21 [Hao Xuefeng, Zong Guohong, Xiong Wei, et al. The reservoir forming assemblage and hydrocarbon field distribution corresponding. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2003, 10(2): 19~21]
- 55 王明明, 濮汉生, 胡见义. 东营凹陷牛庄—六户地区高压油气藏成因与分布. *石油勘探与开发*, 1990, 17(2): 13~21 [Wang Mingming, Qiao Hansheng, Hu Jianyi. Formation and distribution of abnormally high pressure hydrocarbon pools in Niuzhuang-Liuhu area of Dongying depression. *Petroleum Exploration and Development*, 1990, 17(2): 13~21]
- 56 陈中红, 查明, 曲江秀. 沉积盆地超压体系油气成藏条件及机理. *天然气地球科学*, 2003, 14(2): 97~102 [Chen Zhonghong, Chan Ming, Qu Jiangxiu. Conditions and mechanism of hydrocarbon accumulation in overpressured systems in sedimentary basins. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(2): 97~102]
- 57 蒋有录, 谭丽娟, 荣启宏, 等. 东营凹陷博兴地区油气成藏动力学与成藏模式. *地质科学*, 2003, 38(3): 323~331 [Jiang Youlu, Tan Lijuan, Rong Qihong, et al. Dynamics and models of hydrocarbon accumulations in Boxing area of the Dongying depression. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 323~331]

Over-pressured Fluid Compartment and Hydrocarbon Migration and Accumulation in Dongying Depression

CHEN Zhong-hong ZHA Ming

(The University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061)

Abstract Rapid and continuous deposition and large thickness, as well as high heat flow, high geotherm and high content of organic matters characterize source rocks in Dongying depression. Large thickness of mudstones are developed in the main source rock intervals (3rd and 4th of Shahejie Formation). Source rocks are mainly deposited in the forms mudstone in-laid with sandstone, sandstone enclosed within mudstone and pure mudstones. As a result, over-pressured systems are well developed in the main source rock intervals, and episodic expulsion becomes the fundamental mode of hydrocarbon expulsion in Dongying depression. The over-pressured systems form over-pressured fluid compartments (OPC) in vary levels that control the hydrocarbon migration and accumulation. The compartments could be divided into three parts according to the geochemical characteristics: the edge of compartment (seal), which hold up the hydrocarbon migration to outside; the favorable releasing zone for hydrocarbon, in which over-pressure was released to some degree and hydrocarbon was expelled efficiently; the stagnant zone for hydrocarbon, in which the over-pressure remains and the hydrocarbon is stagnant relatively.

The episodic hydrocarbon-expulsion can be classified as “tectonic episode” and “pressure episode” based on the different mechanisms. The mechanism of “tectonic episode” is a destruction caused by tectonic activities, and hydrocarbons migrate along fault planes, while the mechanism of “pressure episode” is the accumulation and release of the “residual energy” in the over-pressured systems, and hydrocarbons migrate along microfissures induced from fracturing. Episodic hydrocarbon-expulsion of OPC has important significance in petroleum exploration in Dongying depression, due to its characteristics of high energy and rapid migration.

With the exception of the stagnant fluid dynamics system, there are two kinds of fluid dynamic systems in Dongying depression: normal-pressured open fluid dynamics system and OPC fluid dynamics system, which results in two accumulation dynamic mechanisms: one was self-sourced and sealed dynamic mechanism, another was outward-sourced and opened mechanism. OPC is moving and changing at all times, so all the geological behaviors should be investigated by historical and developmental eye.

Key words Dongying depression, compartment, over-pressure, dynamics, episodic hydrocarbon-expulsion, hydrocarbon migration