

文章编号: 1000-0747(2003)01-0001-10

网毯式油气成藏体系

——以济阳拗陷新近系为例

张善文¹, 王永诗², 石砥石², 徐怀民³

(1. 中国石化胜利油田有限公司; 2. 中国石化胜利油田地质科学研究院; 3. 石油大学)

基金项目: 中国石化“十条龙”项目“济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探目标及配套技术研究”(P01013)

摘要: 根据济阳拗陷新近系油气成藏特点, 提出网毯式油气成藏体系概念。该体系为3层结构: 下部为油源通道网层, 中部为仓储层, 上部为油气聚集网层, 这种岩相结构由河流层序发育过程中可容空间的变化速率从小到大所决定。在济阳拗陷北部, 油源通道网层由古近系和断裂网构成, 切入烃源岩的油源断裂起油气向上运移的单向阀作用, 为新近系提供它源油气; 仓储层为新近系馆陶组下段低位域辫状河流相砂砾岩, 连通性好、分布广、厚度大, 蓄积来自古近系的油气形成毯状聚集; 油气聚集网层为新近系馆陶组上段、明化镇组的退积域和高位域沉积, 以曲流河相为主的砂体平面呈树枝状, 剖面呈透镜状, 油气通过砂体-断裂输导网络运移聚集。对网毯式油气成藏体系中石油运移、聚集过程的二维物理模拟实验结果表明, 在油源断裂幕式活动的地震泵作用下, 周期性沿断裂向上输送的油气首先充注仓储层, 呈毯式以放射状方式运移, 通过沟通仓储层与上覆岩层的断裂进入上覆砂层的油在断裂两侧的砂体聚集成藏。济阳拗陷新近系网毯式油气成藏体系已发现3类9种油(气)藏类型, 潜山披覆构造主体及其周围分布构造型油气藏组合, 储量丰度大; 岩性型油气藏组合受河道控制, 分布范围广, 横向变化大, 油水关系复杂; 缓坡构造带分布地层型油气成藏组合。第三纪渤海湾盆地沉降、沉积中心向渤海迁移, 是济阳拗陷新近系油气富集于邻渤海的沾化凹陷的主要原因, 凹陷中受断裂控制形成的低凸起是油气富集的最有利场所。存在巨厚毯状输导层在下、树枝状砂岩透镜体在上的河流层序结构, 是形成网毯式油气成藏体系的前提; 存在油源断裂网和将仓储层与油气聚集网层沟通的断裂网, 是它源油气向上输导的关键; 仓储层与油气聚集网层中存在圈闭, 是形成次生油气藏的核心。具有类似条件的沉积盆地, 可能也存在网毯式油气成藏体系, 这一石油地质新理论为勘探次生油气藏提供了新思路。图16表3参44

关键词: 济阳拗陷; 新近系; 网毯式油气成藏体系; 河流相层序; 油源断裂; 浅层断裂网; 垂向运移; 侧向运移; 浅层次生油气藏; 石油地质学; 新理论

中图分类号: TE112 文献标识码: A

济阳拗陷是渤海湾盆地的富油气拗陷^[1], 新近系已探明石油地质储量占拗陷总储量的31.3%, 其中沾化凹陷新近系探明的石油地质储量占新近系总储量的76%^[2]。这些浅层储量主要分布在沾化凹陷的孤东、孤岛以及浅海水域的埕岛等多个亿吨级的新近系大型潜山披覆构造油藏中^[3-7]。济阳拗陷新近系油气来自古近系^[7,8], 对新近系油气成藏机理的研究相对薄弱。本文提出“网毯式油气成藏体系”理论, 希望能为济阳拗陷下一步的浅层油气勘探提供新的思路。

1 网毯式油气成藏体系概念

“网毯式油气成藏体系”(后文简称“网毯式体系”)是下伏层系的它源油气通过网毯式运聚形成的次生油气藏组合(见图1)。所谓“网”, 指体系下部的油源通道网层(由切至油源层中的油源断裂网和不整合面组成)和上部的油气聚集网层(由被次级断裂网连通的树枝状砂岩透镜体组成); 所谓“毯”, 指稳定分布的巨厚辫状河流相块状砂砾岩(本文称之为仓储层)呈毯状, 以

及通过油源断裂等输送上来的它源油气在其中的蓄积呈“毯状”。由于油源断裂网的活动为幕式, 因此亦多期向仓储层输送它源油气。仓储层各期蓄积的油气可在仓储层中发散运移, 也可沿次级断裂网汇聚式运移进入上部的油气聚集网层, 再沿砂体-断裂三维输导网络运移, 在有圈闭条件的部位形成油气藏。

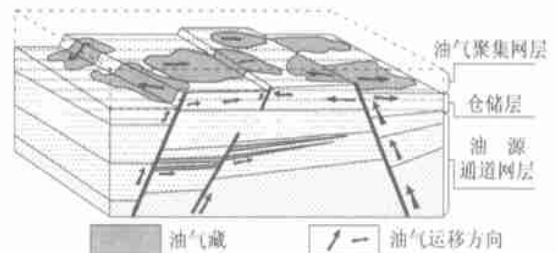


图1 网毯式油气运聚成藏模式图

网毯式体系可分为3个层次^[9](见图2): 一级为油气成藏体系级, 为独立的油气赋存单元, 包含1个或多个油气成藏组合; 二级是油气成藏结构级, 自下而上由油源通道网层、仓储层和油气聚集网层组成; 三级为

成藏关键要素。每个层次各有其自身特殊的控制因素及连接方式,各层次之间有相互作用及联系。

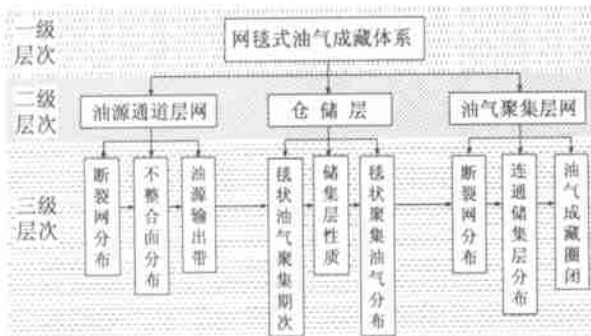


图2 网毯式油气成藏体系层次图

在济阳拗陷,新近系油气来自古近系的烃源岩或已形成的油气藏,油源通道网层由古近系中的断裂和不整合面组成,长期活动的油源断裂规模、活动期次与烃源岩的成烃期次的匹配关系是新近系烃源充足与否的关键;仓储层由新近系馆陶组下段稳定分布的块状砂砾岩(俗称馆陶块砂)组成,主要作用是暂时蓄积被输送上来的古近系油气,如果其中有岩性圈闭,也可形成隐蔽油气藏;油气聚集网层为馆陶组上段—明化镇组,由仓储层输送来的油气以汇聚式方式运移,在被浅层断裂串通的砂岩透镜体中聚集,形成构造或构造-岩性油气藏。

2 网毯式成藏体系的仓储层和储集层

根据地震、录井及测井等资料,济阳拗陷新近系可划分为1个一级层序,馆陶组和明化镇组各为1个二级层序^[4-7, 10-13](见图3)。

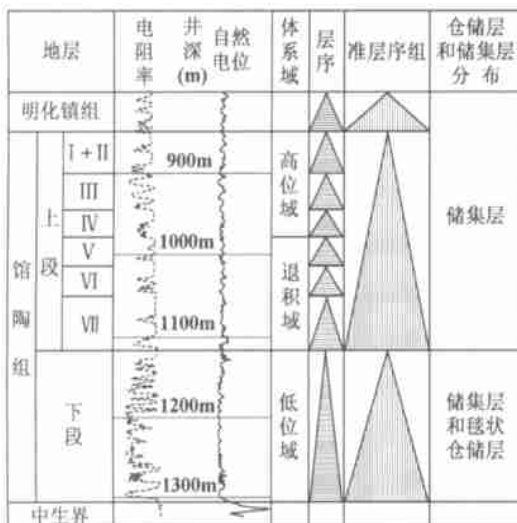


图3 垦东21井层序体系域划分及岩石结构

馆陶组砂岩物性较好。孤东油田馆下段砂岩平均渗透率大于 $1.5 \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为35.3%,馆上段砂岩

平均渗透率为 $1.568 \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为33.3%;孤岛油田馆上段砂岩平均渗透率为 $1.397 \sim 1.840 \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为32.7%~35.1%。明化镇组为洪泛平原沉积,其下部泥岩段中的砂岩透镜体为主要含气储集体。

2.1 仓储层和储集层的垂向结构

河流相沉积垂向结构受河流类型在垂向上(或时间上)变化的控制,而河流类型变化受其流域的坡降控制,河流坡度变化则由基准面变化决定^[14-20]。在1套河流层序的发育过程中,早期基准面很低,可容空间的产生速率比较小,发育连片的辫状河沉积;中期基准面抬升慢,可容空间产生速率较小,发育侧向加积的曲流河沉积;后期基准面抬升很快,可容空间产生速率也较快,河流为孤立分布的网状河。

馆下段为低位体系域,主要为冲积扇、辫状河相含砾砂岩、砾状砂岩夹薄层泥岩,构成巨厚块状地层,在济阳拗陷呈毯状分布。如沾化凹陷馆下段辫状河沉积厚度大(平均厚251m,最厚600m),具下粗上细正韵律,相互叠置的砂砾岩连通性好(见图4),容积大,是重要的油气仓储层。

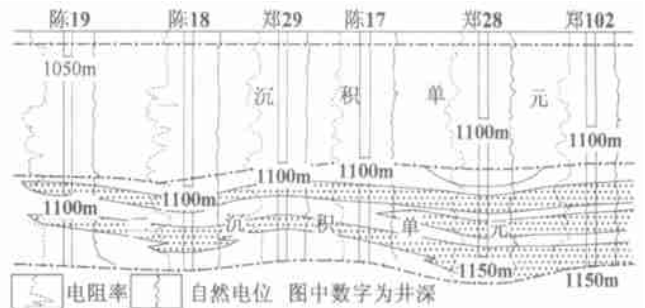


图4 陈家莊地区陈19井—郑102井低位域砂体连通图

馆上段为退积域和高位域沉积,自上至下由砂岩夹泥岩渐变为泥岩夹砂岩或“泥包砂”(见图5),下部VI、V砂层组具辫状河沉积特征,上部IV~I砂层组为曲流河沉积。明化镇组的洪泛平原沉积中,下部泥岩段的透镜状砂岩为主要含气层。

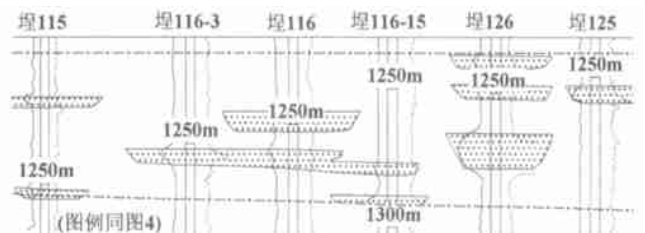


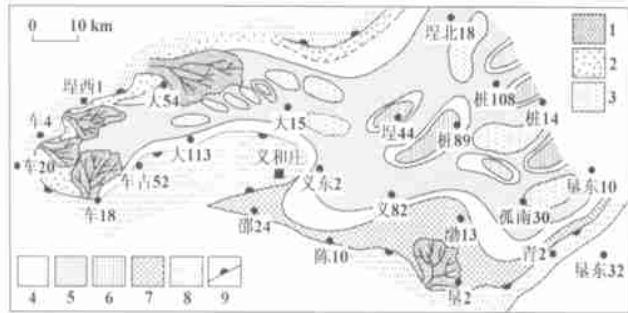
图5 飞雁滩油田埋115井—埋125井高位域砂体连通图

明化镇组和馆陶组顶部的泥岩是区域性盖层,馆上段各砂层组之间的泥岩可作为局部盖层。馆上段和明化镇组的砂体呈透镜状或树枝状处于泥岩之中,构成的岩性圈闭只要有断裂或以冲刷叠加形式与下伏仓

储集层沟通,就能形成油气藏。

2.2 仓储层和储集层的平面分布规律

从物源区向湖盆,一条河流一般由冲积扇→辫状河→曲流河→网状河过渡^[15],但同一河流的不同段或不同发育时期的河道类型可能不同,甚至同一时期同一河段的类型亦有变化^[18]。惠民凹陷位于流域上游,主要发育冲积扇,而沾化凹陷位于中游,地形变缓,主要发育横向迁移快的辫状河砂体(见图6),因此砂体叠置程度高,横向连片,成为容积很大的仓储层。



1—冲积扇; 2—坡积带; 3—心滩微相; 4—河道边缘; 5—河道充填;
6—洪泛平原; 7—河道间; 8—间歇河道; 9—超覆边界

图6 车镇、沾化凹陷低位域(馆下段)沉积微相平面分布图

济阳拗陷退积域和高位域(馆上段)沉积期,侵蚀区和物源区进一步向上游方向迁移,可容空间明显增加。沾化凹陷所在区域地形较缓,馆上段主要为曲流河相,可分为河道充填亚相(相带较窄)、河道边缘亚相、河道间沉积(相带较宽)及心滩(见图7),砂体平面呈树枝状,砂体之间的连通性差。



1—河道充填; 2—曲流河道; 3—心滩; 4—河道边缘;
5—河道间; 6—洪泛平原; 7—废弃河道

图7 车镇、沾化凹陷高位域(馆上段)沉积相平面分布图

2.3 根据河流层序结构预测有利储集层和仓储层

厚度巨大的仓储层只发育在特定区域,该区域必须有充足的物源,位于河流体系的辫状河段,且有便于将黏土杂基等物质携带出流域的河流出口。因此,济阳拗陷不同凹陷的仓储层分布层位不同。

沾化凹陷新近纪具备上述条件,形成了巨厚的馆下段仓储层;惠民凹陷、车镇凹陷与沾化凹陷连通,物源丰富和流域有出口的条件与其相同,但它们位于上

游,冲积扇砂砾岩物性差,不能成为良好的仓储层。

东营凹陷新近纪虽然物源也很丰富,但流域没有出口,黏土杂基等只能与粗碎屑一起沉积下来,冲积扇砂砾岩物性极差,不能成为良好的仓储层。但东营凹陷古近纪沙二段低位域沉积期具备上述仓储层发育条件,沙二段的河流相块状砂岩成为仓储层,沙一段湖侵域和东营组高位域沉积作为油气聚集网层,形成了古近系的沙二段—东营组网毯式成藏体系。

3 断裂在网毯式成藏体系中的作用

油源通道网层中存在将古近系与新近系沟通的油源大断裂,油气聚集网层中存在将透镜状砂体串通的次级断裂网,是济阳拗陷新近系网毯式体系聚集古近系油气成藏的前提和关键(见图8)。

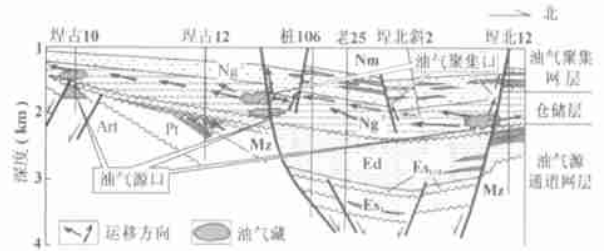


图8 济阳拗陷(埕东斜坡)新近系油气运聚模式图

3.1 存在油源大断裂是成藏的前提

新近系油源大断裂大都继承性活动至明化镇组沉积期,一般向下切入古近系烃源岩,其幕式活动是油气多次进入新近系的动力。这些将新近系与古近系沟通的大断裂类似于单向抽水管,当欠压实烃源岩内的流体压力增加到一定程度时,垂向有效应力降低使断裂开启,古近系的油气便在很短的时间内向断裂快速运移汇集^[21-27],被断裂直接输导至上覆新近系仓储层;一旦古近系流体压力达到新的平衡,断裂停止活动而重新关闭,其“单向阀”作用^[28]阻止流体向古近系回注。古近系烃源岩内的砂体也起“仓储”作用,积蓄原生油气,若砂体与断裂下方连通,砂体在断裂活动期向上释放油气和压力;断裂停止活动后,砂体与周围烃源岩又产生一定压差,油气可再次积蓄于砂体,在下次断裂活动期再被输送到浅部。

存在切入古近系有效烃源岩的油源断裂是形成次生油气藏的前提,否则就很难形成较大规模的次生油气聚集。沾化凹陷大型新近系油气(田)藏以断块型潜山披覆构造为背景,有25条此类断裂沟通深部烃源岩与浅部储集层,并控制潜山披覆构造和滚动背斜、断块、断鼻等的形成与分布,其幕式活动使古近系油气多次被输送到馆下段,仓储层油气源的充足程度取决于断裂活动期与油气成藏期的匹配关系^[7]。渤海湾盆地

许多大油田均有类似的优越油气输导条件,如黄骅拗陷的北大港、孔店油田均存在控制生烃凹陷发育的大断裂^[29],北大港油田的港西、港东、大张坨等二级断裂呈帚状撒开,从港西凸起向东南插入歧口、板桥凹陷,构成向生烃凹陷张口的虹吸管道系统。可见,断裂将深部油气输导到浅层成藏,在渤海湾盆地具有一定的普遍性。

3.2 存在浅层砂体-断裂输导网络是成藏的关键

济阳拗陷馆上段树枝状分布的透镜状砂体连通性差,存在将它们沟通的砂体-断裂输导网络,是网毯式成藏体系形成油气藏的关键。当断裂不活动封闭时,油气在馆下段仓储层内沿不整合面和砂层呈发散式运移,可在仓储层边缘和斜坡带砂体上倾部位聚集;一旦油气聚集网层断裂活动开启,油气运移就转为汇聚式,沿断裂快速向上注入被其串通的不同层段砂体中。

馆陶组内部次级断裂与众多油源断裂是油气垂向运移的主要通道,不整合面与馆下段砂砾岩层则是油气侧向运移的主要通道,它们共同构成油气运移三维网络。断裂的周期性活动导致油气在被其相连的砂体中不断运移,一般断裂活动到哪个层位,油气就能运移到哪个层位,只要具备较好的盖层及封堵条件,就有可能在有利部位形成油气藏。

4 网毯式成藏体系物理模拟

本文通过二维物理模拟实验^[30-31],考察网毯式成藏体系的石油运移和聚集特征。

4.1 实验模型

实验模型尺寸为 500mm×300mm×20mm,根据网毯式油气成藏体系的概念模型设计(见图 9)。模型前为玻璃板,可以直接观察实验中油的运移过程。

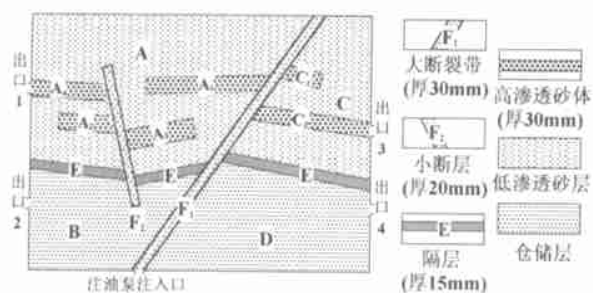


图9 物理实验模型示意图

模型中, F_1 代表沟通下伏油源层的大断裂带,与其下部的注油泵构成油源通道网层; B和D为仓储层,代表馆下段块状砂砾岩; F_2 为将仓储层与上覆层沟通的小断裂,与代表馆上段低渗透砂层(A、C)中的高渗透砂体(A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 和 C_1 、 C_2)构成油气聚集网层; E为分隔

仓储层与上覆层的隔层;在A、B、C、D层设置4个出口(均高于模型40mm)。用沈阳玻璃珠厂生产的纯净白色亲水石英砂(润湿角近 0°)充填各层,孔隙度为32%~35%。A、C层石英砂粒径为0.05~0.1mm,渗透率为 $0.416\mu\text{m}^2$; B、D层和 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 C_1 、 C_2 层石英砂粒径为0.2~0.25mm, A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 C_1 、 C_2 层渗透率为 $2.266\mu\text{m}^2$, B、D层渗透率为 $3.746\mu\text{m}^2$;隔层E用橡胶代替,渗透率视为0。考虑到开启断裂带相当于高渗透体,用高渗透砂体(渗透率为 $47.360\mu\text{m}^2$)代表开启的断裂带。实验用油为中性煤油,密度为 $0.75\text{g}/\text{cm}^3$,黏度(25°C)约 $42\text{mPa}\cdot\text{s}$,用微量天然色素染成棕红色,便于观察运移聚集过程;实验用水为蒸馏水,密度为 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$,黏度(25°C)为 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

4.2 实验条件和方法

考虑到流体沿断裂带幕式运移^[1, 5, 7, 22-27, 30-31],本文进行在压差作用下的幕式(非稳态)充注流体实验。根据沾化凹陷古近系烃源岩与馆陶组深度相差约1km,二者压差约10MPa,确定充注压差约为9545kPa,即模型压力为101kPa(常压),充注压力为9646kPa。在注入用的ISCO泵与实验模型之间设置1个高压容器,每次充注先将高压容器与模型相连的阀门关闭,向高压容器内注入油或水;随着注入量增加,压力逐渐增大,当压力达到9646kPa时打开阀门,在压差作用下,油或水向模型中沿断裂涌流,相当于断裂突然开启,流体突然释放。重复上述过程,直到模型中的注入量等于排出量为止,模型中流体运动达到稳定,用这样的方式模拟断裂幕式(非稳态)活动时流体的幕式(非稳态)运动。实验过程中对油运移的路径和过程进行观察和摄影,记录注入量(见表1)、注入压力以及排水量和排油量。

表1 幕式(非稳态)充注模拟实验条件

编号	充注相态	注入速率	总注入量
实验1	单一油相	45.0mL/次	904.33mL
实验2	油、水两相	油 24.0mL/次 水 25.0mL/次	油 536.53mL 水 559.0mL

4.3 实验结果与讨论

4.3.1 油运移的方式和路径

单一油相和油、水两相幕式充注时油运移的方式和路径基本相同:①首先充注 F_1 下部和隔层之上的仓储层,然后充注 F_1 上部,并在整个仓储层中呈放射状、毯状不断向前推进。②随着注油量不断增加,仓储层中油的运移路径不断加宽,甚至整个仓储层都可成为运移通道,运移速率也较快,油进入 F_2 ,同时充注 F_1 和 F_2 上部两侧高渗透砂体。③随着注油量继续增加,油

沿 F_1 和 F_2 的垂向运移、沿隔层之上高渗透砂体的侧向运移以及沿隔层之下仓储层的侧向运移不断加强,并

在合适的部位聚集成藏,另外一部分油则从出口 1、出口 3 和出口 2、出口 4 排出(见图 10)。

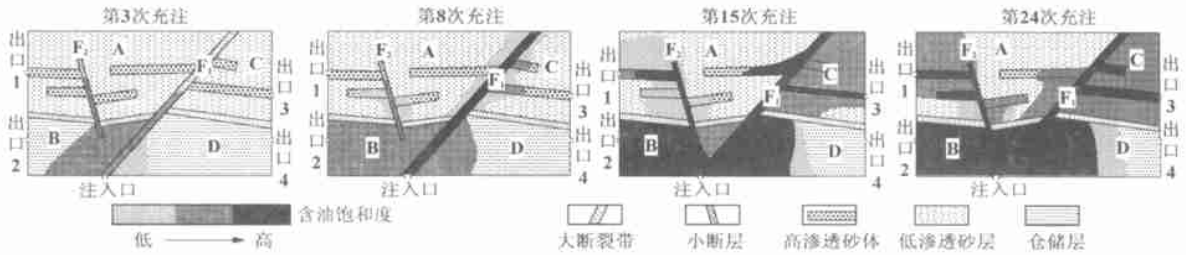


图 10 油、水两相幕式(非稳态)充注条件下油的运移和聚集过程(实验 2)

4.3.2 油在仓储层中的侧向运移量

油在仓储层中的侧向运移量为从出口 2、出口 4 排出的油量以及从出口 1 排出的油量(先沿 F_1 上盘的仓储层 B 侧向运移,然后通过次级断裂进入隔层上部砂层排出)之和。在本文实验条件下,幕式充注的油在仓储层 B、D 中的侧向运移量分别占整个实验模型总运移量的 88% 和 78.4%,证实仓储层下伏地层中的油气沿油源断裂幕式进入仓储层时,首先在仓储层中形成毯式聚集并运移,其运移量很大。

4.3.3 油气聚集网层中油的运移和聚集

大于总注油量 20% 的油通过小断裂 F_2 进入隔层之上,或沿高渗透砂体运移(其中一些砂体含油饱和度很高),或通过出口 1 侧向运移排出实验模型(运移量占整个模型总运移量的 50% 以上)。实验结束时,6 个高渗透砂体均不同程度含油, F_1 两侧的 A_1 、 C_1 和 C_2 平均含油量为 0.135 mL/cm^3 , F_2 两侧的 A_2 、 A_3 和 A_4 亦达到 0.110 mL/cm^3 , 靠近 F_1 和 F_2 两侧的低渗透砂层 A 和 C 均不同程度含油。

5 网毯式成藏体系油气藏类型

济阳拗陷新近系已探明储量中的 80% 分布在馆上段和明化镇组,存在馆下段仓储层油气藏组合和馆上段及明化镇组油气聚集网层的油气藏组合。孤东、孤岛、埕岛等多个亿吨级的大型新近系油藏分布于潜山披覆构造带,陡坡带、凹陷带、中央背斜带、缓坡带也不断发现新近系油气藏^[8]。已发现的新近系油气藏初步分为 3 类 9 种类型^[33](见表 2)。

5.1 构造油气藏

济阳拗陷馆上段和明下段断裂发育,油气易进入断裂网附近的构造圈闭,形成规模不等的次生油气藏,如埕岛的滚动背斜油藏、垦东 53 块断块油藏等。构造油气藏组合多分布于凸起部位,潜山披覆背斜油藏范围大,高产、稳产储量最多,被断裂复杂化的滚动背斜

表 2 济阳拗陷新近系主要油气藏类型

油气藏类型	实例
构造	
披覆背斜构造油气藏	孤东油田(Ng), 桩 11 块(Ng^{F})
滚动背斜构造油气藏	埕北 18(Ng), 埕北 21(Ng)
断块构造油气藏	垦东 53(Ng^{L})
岩性-构造油气藏	垦东 18(Ng^{L})
岩性	
构造-岩性油气藏	老河口油田(Ng^{L})
上倾尖灭岩性油气藏	垦东 25(Ng^{L})
透镜体岩性油气藏	孤岛浅层气藏(Nm)
地层	
地层超覆不整合油气藏	太平油田(Ng^{F})
岩性-地层不整合油气藏	陈家庄油田(Ng^{F})

油藏和断块油藏虽有一定规模,但原油性质较差,产能较低。就单一油藏而言,产能自油藏高部位向低部位逐渐降低。这类油藏的油层单层厚度小但累计厚度大,单砂体面积小而各砂体叠合面积大,油气富集程度受构造幅度及砂体发育程度控制。以埕岛油田^[34](见图 11)为例说明。

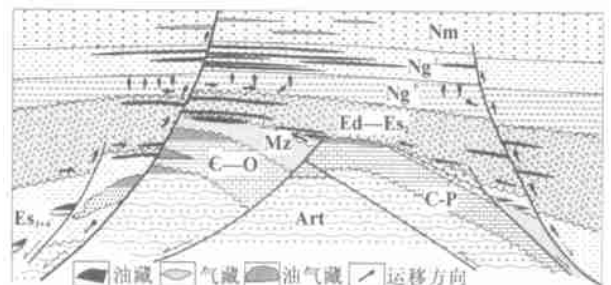


图 11 埕岛油田潜山披覆构造油藏模式

埕岛油田馆陶组油层段埋藏浅(1200~1600m),主力油层为馆上段 3 砂层组和 4 砂层组,其次为 5 砂层组。构造高部位含油层组多、油层厚,油水关系相对简单,向翼部含油层组减少、油层薄,油水关系复杂(见表 3)。油层单层厚度薄,一般 3~10m,埕北 18 井最大单层厚度为 20.5m,薄于 4m 的油层占 53.8%,其中薄于

1m的油砂体占55.6%，单个油砂体厚度和面积都小，但叠合面积达58.5km²。油田北区构造主体部位油砂体分布于200m长的井段内，单井叠合厚度大于40m、平均有效厚度为23.4m。油砂体的物性好，但平面连通性受相带变化影响较大。油田南区3个开发井组的油层连通率，埕北11A井组260~370m井距内为76.4%~88.4%，埕北11D井组300m井距内为61.9%，埕北11E井组400m井距内为79.4%。

表3 埕岛油田馆上段油气控制因素分析表

控制因素	含油层位	代表井	砂岩厚度 (m/层)	油层厚度 (m/层)	油层底部埋深(m)
构造幅度	Ng ^{±1+2}	CFD29-1-1	49.5/12	42.4/9	1481.5
	Ng ^{±6}	SH3	69.5/13	3.6/1	1359
砂岩发育程度	Ng ^{±1+2}	SH1	49.0/7	30.1/5	1427.1
	Ng ^{±4}	SHG2	28.1/4	12.6/2	1427

5.2 岩性油气藏

济阳拗陷新近系隐蔽岩性油气藏组合分布较广。馆下段砂层虽然呈毯式分布，物性好、连通性好，但微相差异或成岩差异可形成局部隔挡；馆上段河道砂体分布广泛，只要与断裂网相连就能成藏。岩性圈闭可以单独成藏，也可以叠加其它因素形成构造-岩性油气藏(如桩106河道砂油藏)、上倾尖灭岩性油气藏(如垦东25馆陶组砂体尖灭油藏)、透镜体岩性油气藏(如孤岛浅层气藏)。其储集层分布受河道控制，横向变化大，油(气)水关系复杂，含油(气)性变化大。以老河口油田和孤岛浅层气藏为例说明。

5.2.1 老河口油田馆上段油藏

老河口油田馆上段0砂层组、1砂层组油层呈透镜状零星分布，油水界面不统一，主要受岩性控制；2砂层组南高北低，北部已见到油水界面；3砂层组油层主要分布在构造的高部位，受断裂控制，无统一油水界面，油藏类型为构造-岩性油藏(见图12)。2¹小层砂体沿河道方向分布比较稳定，连续性好，垂直河道(200~300m宽)方向砂体变化大，向两侧减薄以至尖灭，主河道部位物性最好，远离主河道变差。

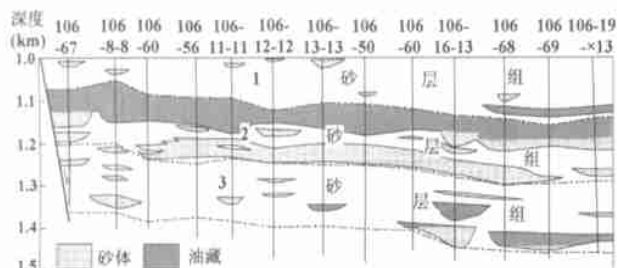


图12 老河口油田馆上段岩性(河道砂)油藏模式

5.2.2 孤岛浅层明化镇组岩性气藏

在天然气相对富集的孤岛油气田中区及南区，有673个明化镇组含气砂岩透镜体，其中523个面积小于0.1km²，气储量占总储量的30.33%；只有1个气砂体含气面积大于1.0km²，地质储量仅占总储量的3.28%。孤岛油田纯气砂体占含气砂体的57.4%，其余为气水同层和含气水层，各砂体的气水界面不同，气水关系复杂，而且气砂体和水砂体纵向上间互出现^[5]。

来自古近系的油气如何进入明化镇组这些“孤立”的小砂体，可能存在3种情况：①“孤立砂体”或多或少与其它砂体相连或叠置，只是目前技术尚不能识别；②“孤立砂体”通过不易识别的微断裂与其它砂体相连；③“孤立砂体”通过周围过渡性岩性(如砂质泥岩、泥质砂岩等)与其它砂体相通，当其它砂体充满油气后，具有一定能量的油气可突破过渡岩性，运移至那些“孤立砂体”中。

5.3 地层超覆油气藏

馆下段仓储层内可形成小型的隐蔽岩性圈闭，也可在斜坡带形成规模较大的不整合圈闭，聚集仓储层内侧向运移的油气。地层超覆油气藏分布受地层、岩性、构造作用控制，如桩12井岩性和低幅度背斜油藏、陈家庄(陈7井)地层超覆油藏等^[8]，其储集层发育受古地貌形态的控制，连续性差，地层超覆边界控制各砂层组含油性，油藏控制因素多，油水关系复杂。以太平油田为例说明(见图13)。

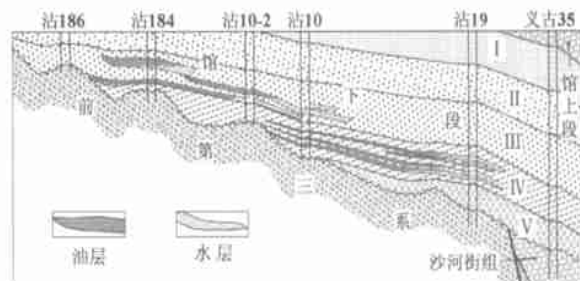


图13 太平油田地层超覆油气藏模式

太平油田前第三系顶面坡度为1°~11°，有3个古构造高点和3个沟槽，沟梁交错呈北东向展布，沟梁的相对高差40~60m，馆下段呈超覆充填式沉积，是主要含油气层系，其厚度与基岩埋深呈线性关系，储集层厚度在沟谷处较大，在古梁处减薄。从构造低部位到构造高部位，依次发育馆下段V、IV、III、II、I砂层组，各砂层组都从低部位向高部位逐层超覆，砂层组内部砂体分布广泛，但连续性较差、相变较快，单个砂体呈透镜状孤立分布。超覆油气藏形成于各砂层组尖灭线附近，主要分布于沾24井—沾30井及沾16井—沾24井

两条沟谷之间和沾5井—沾14井—沾北5井一线低幅度的北东向古梁上,埋深1220~1350m,单层最厚7.0m,最薄0.9m,平均厚5.0m,均有油气分布;平面上叠合连片,呈条带状展布,较高部位形成气藏(沾5、沾13井区),大部分地区发育油藏,位置较低部位则为水层(如沾185、沾25、沾北5井区)。5个砂层组油藏的油水系统独立,没有统一的油水边界,含油层段从构造低部位到高部位由老变新。

6 构造演化与网毯式成藏体系的关系

济阳拗陷古近系油气主要分布于南部的东营、惠民等凹陷,而新近系油气主要分布于东北部的沾化凹陷及滩海地区^[2]。从整个渤海湾盆地来看,新近系油气主要富集于渤海海域及包括沾化凹陷在内的环渤海凹陷。这些凹陷的新近系次生油气藏具有共性,成藏受晚期断裂活动与烃源岩晚期成熟排烃的配置控制。

6.1 新近系油气富集于晚期强烈下陷的环渤海地区

渤海湾盆地中、新生代的演化受伸展与旋转剪切双重地球动力学作用控制^[34-36],发育了巨型冀鲁帚状构造体系(以鲁西隆起为旋转砥柱,以除辽河拗陷以外的渤海湾盆地其余部分为五大旋回层)^[37,38](见图14)。渤海湾盆地的凹陷可分为“早断早衰”型、“继承发展”型和“晚断晚衰”型^[39],古近纪沉降中心由早到晚逐渐向渤海海域迁移,新近纪沉积、沉降中心迁移至渤海和环渤海地区,重要原因之一正是帚状构造具有由收敛端向撒开端发育的规律^[36-39]。

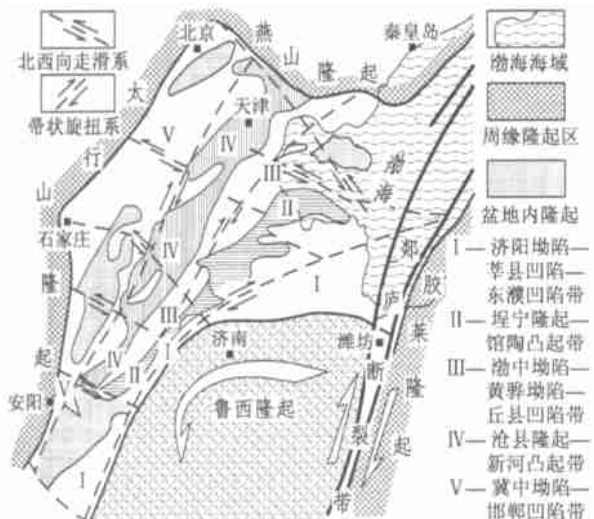


图14 冀鲁帚状构造体系形成与郟庐断裂带走滑关系图

从冀鲁帚状构造收敛部位往撒开部位,孔店组、沙四段依次变薄,而东营组及新近系依次变厚^[40-43]。孔店组—沙四段沉积期的沉降主要发生在盆地西部和中南部地区,如廊固、东濮、潍北、东营、惠民、南皮、沧东

等凹陷,其孔二段和沙四上亚段烃源岩较厚,由它们提供油气形成的沙四段和孔店组油气藏主要分布于上述凹陷区;沙三段—沙二段沉积期全盆地发生裂隙作用,发育了盆地中最重要的沙三段烃源岩,大多数凹陷的油气主要来自这套烃源岩;沙一段—东营组沉积期的沉降作用主要发生在渤海海域及环渤海地区(如渤中凹陷的东营组和新近系厚度大体是东营凹陷相应层位的2~3倍),沙一段至东营组烃源岩构成沙三段之外的第二套主要生油层系;新近纪和第四纪盆地整体拗陷,环渤海地区仍为沉降、沉积中心,新近系和第四系厚度明显比周缘地区大,沙一段至东营组下部烃源岩大部分油气于新近纪末期生成。断裂活动同样具有自早到晚由冀鲁帚状构造收敛部位向撒开部位迁移的规律,如位于收敛部位的东濮凹陷断裂活动基本在古近纪末结束^[44],大多数油气被封盖于沙一段盖层之下,新近系只有零星油气显示;而环渤海地区新近纪和新构造运动期断裂活动十分明显,油气主要富集于新近系。

济阳拗陷环鲁西隆起发育,与莘县凹陷、东濮凹陷共同构成冀鲁帚状构造的内旋回层,旋扭构造应力场的作用尤为明显。在济阳拗陷,从潍北凹陷、惠民凹陷和东营凹陷到沾化凹陷,主力含油气层系由南向北、由西向东依次由老变新(见图15)。

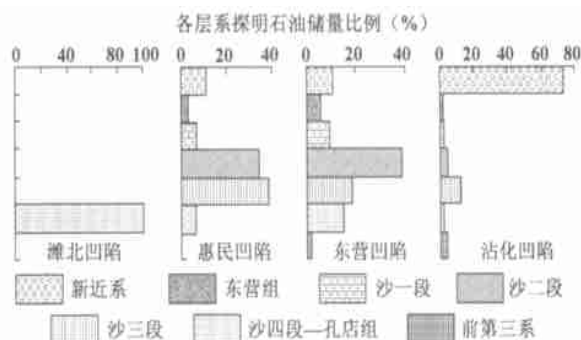


图15 济阳拗陷探明石油储量纵向分布图

6.2 新近系油气主要富集于凹陷中的低凸起区

济阳拗陷古近系含油丰富的东营、惠民凹陷油气来自沙三段及沙四上亚段,在沙一段良好的区域盖层封盖下,油气主要向中央隆起带中、下部层系运移聚集,形成油气富集带,新近系为数不多的油气主要沿新近纪尚有活动的断裂从中、下部层系运移而来,未能形成大规模的油气聚集,且油质往往较重。

济阳拗陷新近系油气丰富的沾化凹陷及滩海地区的地质结构以发育凸起或低凸起为特征,新近系油藏的储量中凸起区的约占80%,尤其是那些低凸起更是油气聚集的有利地带。这些油藏埋藏浅、油稠、气油比低,但含油面积和储量规模较大^[42],说明构造背景控制

着它源油气的运移指向,而且这些油气经历了一定程度的降解作用。

6.3 晚期断裂活动与烃源岩晚期成熟排烃配置良好

沾化凹陷属“晚断晚衰”型凹陷,新近纪大幅度沉降,沙三段、沙四上亚段烃源岩的成熟排烃时间相对较早,馆陶组沉积期末应有一定的油气排出并沿断裂运移,形成早期油气聚集,沙一段至东营组下部烃源岩在明化镇组沉积中、后期逐渐达到成熟门限而大量生、排烃。渤海地区新构造运动活跃,古近纪末期的东营运动不仅使渤海和包括沾化凹陷在内的环渤海凹陷的大断裂再次活动,而且形成了众多次级断裂,成为油气晚期成藏的输导系统^[40-42]。济阳拗陷北部晚期活动断裂与烃源岩晚期成熟相匹配,切割馆陶组储集体的断裂十分有利于油气在浅层运聚,浅层断裂发育区往往是油气富集区,孤岛、埕岛、垦东等新近系油田的形成均与晚期断裂活动关系密切(见图16)。

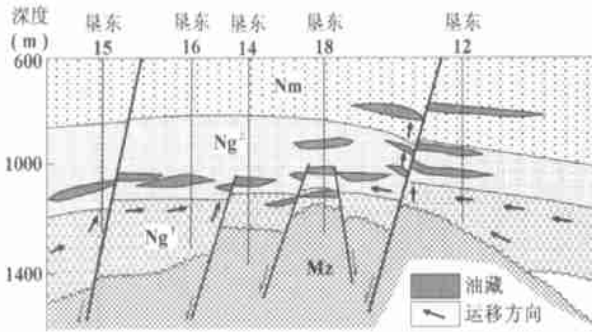


图16 垦东地区油气运聚成藏剖面图

断裂的晚期活动还使已形成油气藏发生调整。如埕北断裂晚期强烈活动破坏了埕岛油田古近系油气藏,油气沿埕北断裂向上运移至馆陶组后,沿大量次级断裂的垂向运移和沿被其串通的透镜状砂体的侧向运移交替进行,形成次生油气藏。分析歧口凹陷多个已钻的新近系逆牵引构造发现,如果与主断裂相交的次级断裂密度大、晚期活动强、断达烃源层,则利于油气运移,反之不利于油气运移^[42]。

7 结论

本文根据济阳拗陷新近系次生油气藏勘探成果和成藏条件,从油气成藏过程分析入手,提出“网毯式油气成藏体系”新理论。物理模拟实验结果证实,在油源断裂周期性的“单向阀”式泵吸作用下,幕式输送到仓储层中的油气首先在油源断裂附近形成毯状聚集,呈放射状侧向发散运移,遇到将仓储层与上覆岩层沟通的断裂网时,便沿断裂网向上垂向运移,在断裂两侧的砂体聚集成藏。网毯式成藏体系的它源油气成藏,前

提是存在将下伏地层中的油气输送到仓储层的油源断裂网,基础是发育有分布稳定、厚度大、物性好的砂砾岩层作为仓储层,关键是存在将仓储层及与上覆岩层沟通的断裂网,核心是仓储层内及上覆岩层存在圈闭。该理论突出了仓储层的特征及成藏作用,扩大了寻找它源型隐蔽油气藏的领域。

在济阳拗陷,古近系油气被油源断裂周期性输送到馆下段巨厚的河流相砂砾岩层,运移量取决于油源通道口(带)附近仓储层蓄积油气的能力,处在浅层砂体-断裂输导网络体系中的圈闭都有可能形成油气聚集。济阳拗陷浅层馆陶组油气藏与明化镇组气藏共生,新近系网毯式成藏体系存在构造油气藏组合、岩性油气藏组合和地层油气藏组合。目前构造油气藏勘探程度较高,岩性油气藏和地层油气藏隐蔽性强,勘探程度低,是今后浅层勘探的重点。

与济阳拗陷新近系地质结构类似的层系或含油气盆地广泛存在,如济阳拗陷的沙二段-东营组、准噶尔盆地的白垩系等,是否也存在类似的网毯式油气成藏体系,有待进一步研究。本文仅希望能起到抛砖引玉的作用,促进次生油气藏研究和勘探工作的深入。

参考文献:

- [1] 帅德福,等. 中国石油地质志,卷六,胜利油田[M]. 北京:石油工业出版社,1993.
- [2] 郭元岭,等. 济阳拗陷探明石油地质储量特点分析[J]. 石油勘探与开发,2001,28(3):33-35.
- [3] 王永诗,张善文,等. 沾化凹陷上第三系油气成藏机理实验及勘探实践[J]. 油气地质与采收率,2001,8(6):32-34.
- [4] 石砥石,王永诗,王大华. 垦东凸起上第三系油气成藏特征及勘探技术[J]. 中国海上油气(地质),2001,15(1):51-55.
- [5] 毕研鹏,陈云井,田波,等. 孤岛油田[A]. 中国陆相大油田[C]. 北京:石油工业出版社,1997.646-654.
- [6] 贾献斌,李开勤,王元安. 孤东油田[A]. 中国陆相大油田[C]. 北京:石油工业出版社,1997.655-665.
- [7] 张善文. 沾化凹陷浅层勘探的思考[J]. 复式油气田,1999,(3):6-7.
- [8] 李丕龙. 济阳拗陷复式油气聚集模式[J]. 复式油气田,1999,(2):1-3.
- [9] 徐怀民. 含油气系统层次特征及研究方法[A]. 国际学术论文集[C]. 东营:石油大学出版社,1998.
- [10] 曾澌辉,王洪玉. 输导层和岩性圈闭中石油运移和聚集模拟实验研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1999,24(2):193-196.
- [11] 曾澌辉. 正韵律砂层中渗透率级差对石油运移和聚集影响的模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发,2000,27(4):102-105.
- [12] 吴静,陈广军. 埕岛地区馆陶组河流相储层油藏描述技术[A]. 胜利油区勘探开发论文集(第一辑)[C]. 北京:地质出版社,1997.67-76.

- [13] 董伟良, 黄保家. 莺歌海盆地流体压裂与热流体活动及天然气的幕式运移[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 36-40.
- [14] 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移[J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 78-85.
- [15] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sedimentary basins[J]. Jour. Petrol. Geol., 1991, 4(2): 161-180.
- [16] 张兴权, 安玉玲. 天然地震与构造裂缝、油气运移的关系研究[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 106-108.
- [17] 李明诚. 石油与天然气运移研究综述[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 3-10.
- [18] 李明诚. 对油气运聚研究中一些概念的再思考[J]. 石油勘探与开发, 2000, 29(2): 13-16.
- [19] 纪友亮, 张世奇, 李红南. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [20] 张世奇, 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学模式探讨[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5): 5-8.
- [21] 纪友亮, 张世奇, 等. 层序地层学原理及层序成因机制模式[J]. 北京: 地质出版社, 1996. 190-193.
- [22] 刘建民, 李阳, 关振良, 等. 孤岛地区馆陶组河流沉积地层的高分辨率层序地层样式[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 31-32.
- [23] 瞿辉, 赵文智. 层序格架在油气勘探中的作用[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 40-43.
- [24] Shanley K W, McCabe P J. Respectives on the sequence stratigraphy of continental strata[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544-568.
- [25] 方石, 等. 河流相层序地层学研究[J]. 世界地质, 2000, 19(2): 132-137.
- [26] 葛云龙, 逯径铁, 廖保方, 等. 辫状河相储集层地质模型——“泛连通体”[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(5): 77-79.
- [27] 王随继, 倪晋仁, 王光谦. 古河型演化模式及其影响因素的沉积体系分析[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 102-105.
- [28] 谢庆宾, 管守锐, 薛培华, 等. 嫩江齐齐哈尔段现代网状河沉积研究[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 106-108.
- [29] 车树立, 王德发. 基准面原理在古地理分析中的应用[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(3): 39-41.
- [30] 张文昭. 中国陆相大油田[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 685-701, 646-654.
- [31] Steven Losh. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, South Eugene Island Block 330 Field, Offshore Louisiana[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(2): 244-276.
- [32] 大港油田科技丛书编委会. 大港油田科技丛书3, 第三系石油地质基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [33] 何海清, 王兆云, 韩品龙. 渤海湾盆地深层油气藏类型及油气分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(3): 6-9.
- [34] 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(5): 1-3, 8.
- [35] 陆克政, 漆家福, 等. 渤海湾盆地新生代含油气盆地构造模式[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [36] 翟光明, 等. 中国石油地质志, 卷一, 总论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 184-191.
- [37] 刘泽容, 王孝陵, 吴乃苓, 等. 帚状构造体系形成机制及其控油规律[J]. 华东石油学院学报, 1982, 3(3): 1-13.
- [38] 刘泽容, 王孝陵. 再论冀鲁帚状构造体系[J]. 华东石油学院学报, 1979, 4(2).
- [39] 刘泽容, 楚泽滔, 王孝陵. 冀鲁帚状构造体系应力场的初步数学模拟[J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(2): 181-191.
- [40] 赵文智, 池英柳. 渤海湾盆地含油气层系区域分布规律与主控因素[J]. 石油学报, 2000, 21(1): 10-15.
- [41] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1-7.
- [42] 邓运华. 渤海湾盆地上第三系油藏形成与勘探[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 163-167.
- [43] 龚再升, 等. 上第三系是渤中凹陷及其周围油气勘探的主要领域[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 145-156.
- [44] 刘秋生, 等. 东濮凹陷上第三系勘探前景分析[J]. 断块油气田, 1997, 4(3): 1-4.

第一作者简介: 张善文(1956), 男, 山东文登人, 胜利油田教授级高级工程师, 获博士学位, 现主要从事胜利油区石油地质综合研究与勘探工作。地址: 山东省东营市, 胜利油田股份有限公司, 邮政编码: 257000。

收稿日期: 2002-09-25

(编辑、绘图 王孝陵)

Meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system — Taking Neogene of Jiyang depression as an example

ZHANG Shan-wen¹, WANG Yong-shi², SHI Di-shi², XU Huai-min³ (1. Shengli Oil Field Ltd. Co., Sinopec, Shandong 257000, P. R. China; 2. Geological Scientific Research Institute SLOF, Sinopec, Shandong 257000, P. R. China; 3. University of Petroleum, Shandong 257061, P. R. China)

Abstract: According to oil and gas pool-forming characters in Neogene of the Jiyang depression, the definition of meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system is put forward. This is of three-layered structure: the lower section is meshwork layer of oil source passage, the middle is storage layer and the upper is meshwork layer of oil and gas accumulation. This kind of petrographic structure is determined by its capacity changing from small to large in the course of fluvial sequence development. In the north of Jiyang depression, the meshwork layer of oil source passage is made of Paleogene and faulted meshwork. The fault of oil source cutting in source rock has a function of a unilateral valve causing oil and gas migrating upward, which provides oil and gas of the other sources for Neogene. Storage layer is glutenite of LST fluvial facies in the lower section of the Guantao Formation of Neogene, with good connecteness, wide distribution and large thickness. This layer accumulates oil and gas from Paleogene and then forms gathering of carpet type. The meshwork layer of oil and gas accumulation is made of TST and HST sediment of the upper section of the Guantao Formation and the Minghuazhen Formation of Neogene. The planes of sand bodies dominated by meandering fluvial facies appear as braches, their section is like lens and oil and gas migrates and accumulates through sand body and fault transporting meshwork. The two-dimensional physical modeling experiment results of oil and gas migration and accumulation course in the meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system of meshwork and carpet type show that under the action of seismic pump, oil and gas

which migrate up periodically along fault and fracture infuses the reservoir layer at first and migrate as carpet type in an emitting way. Oil that enters into overlying sandstone through communicating the fault of reservoir layer and overburden gathers and forms pool in sand body on the two sides of fault. In the meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system in the Neogene of the Jiyang depression, three types and nine kinds of oil (gas) pool have been found. In drape structure of buried hill and its surrounding, there is combination of structural oil and gas pools with large reserves abundance; lithologic combination of oil and gas reservoirs is controlled by fluvial channel with wide distribution, great lateral change and complex relationship of oil and gas; in the ramp structural belt there is combination of stratigraphic oil and gas pools. Migration of depocenter and subsiding center of the Bohai Bay basin to the Bohai sea in the Tertiary period is the main cause why oil and gas in the Neogene of the Jiyang depression gathers in the Zhanhua sag near the Bohai sea. In this sag, low heave caused by faulting is the best location of oil and

gas accumulated. The fluvial sequence structure with the enormously thick transportation layer of carpet type down and sandstone lens body of braches type up, is the premise for forming meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system; the existence of oil source fault meshwork and the fault net connecting the storage layer and oil and gas accumulating net layer, is the key causing oil and gas of the other source migrate upward; traps in the storage layer and oil and gas accumulating net layer are the core for forming secondary oil and gas pools. The sedimentary basins with similar conditions may also have meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system. This new theory of petroleum geology provides new thinking for exploring secondary oil and gas pools.

Key words: Jiyang depression; Neogene; meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system; fluvial facies sequence; oil source fault; shallow fracture network; vertical migration; lateral migration; shallow secondary hydrocarbon pools; petroleum geology; new theory

《油气勘探项目的风险分析与管理》 新近由石油工业出版社出版

石油工业出版社新近出版了由窦立荣等翻译的国际著名油气勘探风险分析专家 Peter Rose 先生编写的《油气勘探项目的风险分析与管理》一书,该书的原版由日本石油公团资助、美国石油地质学家协会(AAPG)于2001年出版。

该专著首次系统论述了含油气系统、成藏组合和圈闭评价的方法、流程和具体的计算技巧,对不确定性条件下的地质评价、勘探成藏组合和目标的风险分析和经济分析、勘探项目的管理以及实际操作中可能存在的地质、技术和人为因素造成的失败等进行了全面的阐述。

自20世纪80年代以来,世界油气勘探的发现规模在逐渐变小,勘探的难度在逐渐加大。勘探作为油公司的一项主要投资活动,其风险分析和管理在国外大中型油公司已经得到广泛的采纳和应用,每个公司都有自己的评价体系和专业人员。如何利用有限的投资最大限度地获得经济储量,将是勘探家面临的重要课题。勘探投资组合和风险分析与管理将成为勘探管理的必不可少的手段,相信本译著的出版对我国国内以及跨国勘探风险分析和经济评价工作能起到借鉴和促进作用。

(梁大新 供稿)