

文章编号: 1001-6112(2003)05-0452-06

渤海湾盆地东营凹陷 博兴地区油气藏形成与分布特征

蒋有录¹, 荣启宏², 宋建勇², 苏永进¹, 谭丽娟¹

(1. 石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 胜利油田 纯梁采油厂, 山东 博兴 256504)

摘要: 该文讨论了东营凹陷西南部博兴地区的油气成藏条件、油气藏特征及油气富集规律。受特殊地质背景的影响, 该区成藏条件较为优越, 储集体十分发育, 但油源条件相对不足。油气藏类型丰富多样, 以地层及复合油气藏发育为特色, 油气藏的类型在纵向上和平面上都有一定的展布规律。油气主要富集于受断裂和古隆起控制的正向构造带中, 油气富集层位具有东北部深且相对富油、西南部浅且相对富气的特点, 油气富集层系具有明显的分区性, 构造背景及油气源条件对油气的富集具有重要的控制作用。

关键词: 成藏条件; 油气藏; 油气分布; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

1 地质背景

研究区在构造上处于渤海湾盆地东营凹陷的西南部, 南抵鲁西隆起, 东部和北部分别为东营凹陷的牛庄和利津洼陷, 西与惠民凹陷相接, 包括博兴洼陷

及其周围地区, 简称博兴地区。目前该区已发现 9 个油田和 1 个气田, 是济阳拗陷的重要油气探区(图 1)。

博兴地区的主体部分是博兴洼陷, 其形成演化同东营凹陷具有不可分割性。研究区主要发育了高青、石村、博兴 3 条主要断层, 它们对于该区的构造

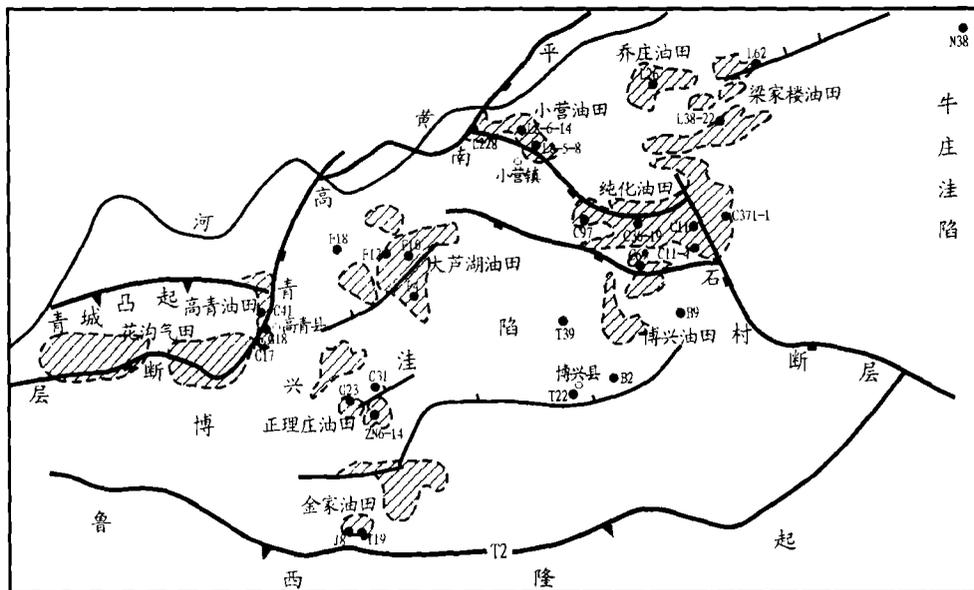


图 1 博兴地区构造地理位置及油气田分布图

Fig. 1 Geographical position of structures and distribution of oil-gas fields in Boxing area

收稿日期: 2002-01-24; 修订日期: 2003-08-18.

基金项目: 中国石化集团公司项目(P02060).

作者简介: 蒋有录(1959—), 男(汉族), 山东章丘人, 教授, 主要从事油气形成与分布、油气成藏机理方面的研究.

演化、地层发育及油气聚集起了至关重要的作用(图 1)。高青大断层是博兴地区西部一条长期继承性活动的基底大断层,为一级铲式边界正断层。它不但控制着青城凸起和博兴洼陷的形成和演化,而且控制着下降盘生油洼陷的展布、同生构造的形成以及上升盘潜山及披覆构造的发育,同时还是重要的油源通道,对油气聚集起着重要作用。

研究区处在油气十分丰富的东营凹陷西南部,成藏条件及油气富集的控制因素较为复杂,具有许多不同于凹陷中北部地区的特征。与东营凹陷中北部地区相比,该区勘探程度相对较低。因此,认识该区的油气藏形成及分布规律,可为进一步勘探提供理论依据,并对研究区及其它类似地区的油气勘探起借鉴作用。

2 油气藏形成的基本条件

博兴地区发育两套烃源岩和多套储集层,发育多套盖层及生储盖组合,圈闭类型多样,具有较为优越的油气藏形成条件。

2.1 油气源条件

博兴地区处在渤海湾盆地油气最富集的生油凹陷东营凹陷的西南部,其油气来源涉及利津、牛庄和博兴 3 个洼陷,其中利津和牛庄洼陷属于生油条件最好的一级洼陷,博兴洼陷属于二级洼陷^[1],油源条件较为优越。

研究区所涉及的 3 个洼陷均发育沙四上亚段和沙三段两套有效烃源岩层。沙四上亚段烃源岩厚度中心位于洼陷中北部,厚为 100~250m,较相邻的利津洼陷、牛庄洼陷薄 50~100m。沙四上亚段烃源岩以灰质泥岩、深灰色泥岩为主,夹薄层油页岩、白云岩、鲕状灰岩等,富含生物化石,层间层理发育,是静水浅湖半咸水型沉积环境的产物。烃源岩有机质含量丰富,有机碳含量一般为 3% 左右,氯仿沥青“A”含量一般大于 0.2%,是富含藻类的腐泥型有机质。从有机质的组成及各项地化指标来看,东营凹陷南斜坡地区沙四上亚段具备生成大量低成熟油及成熟油气的能力^[2]。

在沙四上亚段烃源岩的生物标志化合物中,具有较强的植烷优势,具有丰富的伽马蜡烷, Tm/Ts 值较大。如研究区纯化油田纯 11 井沙四上亚段烃源岩 Pr/Ph 值小于 0.5,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值大于 0.5, Tm/Ts 值为 4.13。因此,植烷优势及较强的伽马蜡烷含量是沙四段烃源岩特有的生物标志化合物特征。

沙三段烃源岩是包括博兴地区在内的东营凹陷最重要的烃源岩,主要集中于沙三中、下段。沙三下亚段烃源岩以灰褐色油页岩夹深灰色泥岩为主,烃源岩围绕利津、民丰、牛庄和博兴 4 个沉积中心广泛分布,厚 200~300m,形成于潮湿、微咸水深水环境。沙三中亚段烃源岩主要为灰色、深灰色块状泥岩夹油页岩,形成于三角洲快速堆积的前三角洲亚相。该套烃源岩厚度大,分布广泛,有机质含量丰富,有机质类型以腐泥型为主,其次为腐殖-腐泥型,有机质演化程度较高,大多数地区的埋深超过生油门限深度 2 200m,可提供大量成熟油气。

根据研究区沙三段烃源岩的地化分析,异戊间二烯型化合物中具有姥鲛烷优势, Pr/Ph 值一般大于 1、最小不低于 0.5,具有微弱的伽马蜡烷含量, γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷值小于 0.2, Tm/Ts 值较小,成熟度较高。因此,姥鲛烷优势及微弱的伽马蜡烷含量是沙三段烃源岩特有的生物标志化合物特征。

根据烃源岩与原油地球化学特征,可将博兴地区已发现的石油大致归为两大类,即“沙三型”和“沙四型”。东北部的梁家楼、乔庄、小营、大芦湖等油田的原油具有姥鲛烷优势及微弱的伽马蜡烷含量,表现出与沙三段烃源岩有着密切的亲缘关系;西部高青油田和东部博兴油田的原油具有高植烷、中高伽马蜡烷的特点,同沙四段烃源岩层相一致;而中南部地区的正理庄、金家油田以及东部的纯化油田,不同层系的原油来源可能不同,沙三、沙四段含油层系中的原油主要来自本层系(图 2)。因此,博兴地区的原油可能来自于沙三段或沙四上亚段烃源岩。很多

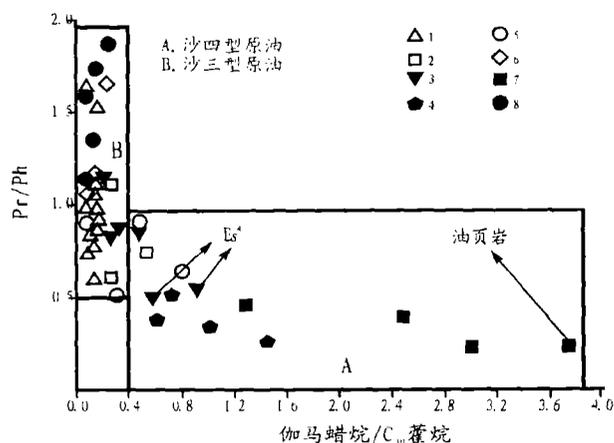


图 2 博兴地区原油、烃源岩的 Pr/Ph 值与伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值关系图

1. 梁家楼、小营、乔庄油田; 2. 正理庄油田; 3. 纯化油田; 4. 博兴油田; 5. 金家油田; 6. 大芦湖油田; 7. 沙四段烃源岩; 8. 沙三段烃源岩

Fig. 2 Relationship between Pr/Ph ratio and Gammacerane / C_{30} -Hopane ratio in the source rocks and crude oil of Boxing area

情况可能是二者的混合,即多数油田的油气具有沙三和沙四两种来源,为沙四上亚段和沙三段的混合型油。

2.2 储集层特征

博兴地区处在凹陷的边缘,粗粒沉积较为发育,各类砂岩储集层非常发育。纵向上层组多,横向上分布范围广,物性中等。从层位上来说,发育有中生界、下第三系孔店组、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组以及上第三系馆陶组等多套储层。在博兴中西部地区,沙河街组发育高青砂体、樊家砂体、正理庄砂体、金家砂体等多个砂岩体,为该区油气聚集提供了充裕的空间。另外,在西部地区还发育火成岩储层。

孔店组储集层主要分布于高青大断层下盘青城凸起以北的超剥带。储集层以厚层块状粉、细砂岩为主,埋深一般浅于 1 300m,埋深浅、压实作用弱,孔隙度、渗透率都较高。

沙四段储集层是纯化、小营、博兴等油田的主力储层,分为砂岩和碳酸盐岩两种类型。砂岩储集层主要为粗粉砂岩和细砂岩,属中低孔隙度、低到中等渗透率储层。碳酸盐岩储层主要分布在纯化油田,岩性为石灰岩、白云岩、泥灰岩等类型,为中等孔隙度、低渗透率储层。

沙三段储集层作为主力储集层主要分布于大芦湖、梁家楼和乔庄等油田,主要储集层是沙三中的浊积砂体,如梁家楼油田沙三中储层为深水浊积砂体,岩性主要为砾岩、不等粒砂岩和砾岩,储集空间以粒间孔为主,属中低渗透率储层。

沙二段和沙一段是博兴地区南部缓坡带的主要储集层,前者主要为三角洲砂体,后者为浅湖相沉积,岩性为细砂岩、粉细砂岩以及砾岩等,储层埋藏较浅、物性好,属中高孔、高渗储层。

东营组是高青油田三大主力储集层之一,主要为三角洲前缘河口坝沉积,储层岩性主要为岩屑粗粉砂岩,储层孔隙度较高,平均为 35.2%,渗透率中等,属高孔、中渗型储层。

火成岩储集层主要分布于博兴西部地区。在高青地区,火成岩储集层岩性主要为玄武岩,有效储集空间的纵横向分布规律与构造位置密切相关。处于不整合面上遭受风化剥蚀的火成岩有一定数量的缝洞,且有大缝大洞存在;而位于不整合面附近同时又处于断裂带上的火成岩,其缝洞发育程度最好。另一类火成岩储层为灰绿岩,以裂缝为储集空间。

2.3 封盖条件

盖层是形成油气聚集的必要条件之一。区域性

盖层对一个盆地或凹陷的油气纵向富集层位有重要的控制作用。博兴地区主要发育了沙三段、沙一段和馆陶组 3 套重要区域盖层。

沙三段泥岩在全区分布广泛。博兴洼陷区的沙三段泥岩厚度均在 350m 以上;梁家楼、乔庄地区的沙三段泥岩厚度较薄,但也在 100m 以上,是该区最重要的一套区域性盖层。大芦湖、纯化、梁家楼、小营、乔庄等油田的沙三、沙四段油藏均以该套泥岩作为区域盖层。

沙一段稳定分布的泥岩可以作为博兴地区沙二段和沙三段油藏的区域盖层。博兴东部、北部地区沙一段泥岩沉积厚度较大,在 100m 以上;小营油田地区沙一段泥岩厚度可达 200m 以上;即使在南部缓坡带的正理庄油田,沙一段泥岩的厚度也在 50m 以上。这套区域性盖层对博兴东部、北部地区油气的富集起了重要的封盖作用。正是由于这套区域性盖层的封盖,使这些地区的油气基本被封盖于这套地层之下。

馆陶组在博兴地区具有重要的作用。晚第三纪馆陶组沉积时期,博兴地区同整个东营凹陷一样,开始发生整体沉降,沉积较厚的馆陶组地层,馆陶组泥岩构成了高青断裂带、青城凸起和南部缓坡带的区域盖层。高青油田主要有东营组、孔店组和中生界 3 套含油气层系,它们均以馆陶组作为直接盖层^[3],馆陶组泥岩直接覆盖于其上,形成了孔店组的地层不整合遮挡油藏、中生界的潜山油藏和东营组的断块油藏及构造—地层复合油气藏。对于南部缓坡带,地层厚度逐渐向鲁西隆起减薄。金家油田的沙一段油气主要集中在剥蚀线附近,上覆的馆陶组地层对油气的聚集起了重要的封盖作用,形成沙一段地层不整合油藏。

馆陶组在南斜坡的沉积厚度在 120m 以上,向北部地区逐渐增大,反映了不断向鲁西隆起超覆的过程。考虑到盖层的有效性,馆陶组盖层在南斜坡及西部地区要真正起到封盖作用,必须在明化镇组沉积中期之后。事实上,南部斜坡区的油气成藏时间较晚,大致在明化镇末期至第四纪。

2.4 生储盖组合关系

根据烃源岩层、储集层和盖层形成的时间关系,可将博兴地区分为连续的生储盖组合和不连续的生储盖组合。前者生、储、盖层为连续沉积,后者生、储、盖层存在沉积间断,如中生界储油、而馆陶组为直接盖层。按照生、储、盖层在空间上的组合关系,可分为自生自储自盖式、下伏式和侧变式等主要类型,以自生自储自盖式组合为主。

油气藏的形成是生、储、盖、圈等静态地质要素和生、运、聚、散等动态地质过程综合的产物。根据东营凹陷油气生成期以及储层流体包裹体的资料^[4], 博兴地区大多数油气藏的形成时期主要发生在晚第三纪明化镇中晚期, 即大规模油气运移聚集完成的时间距今只有 2~3Ma。博兴地区油气成藏的基本要素和成藏过程如图 3 所示。

2.5 圈闭及油气藏类型

博兴地区处在东营凹陷的西南部, 包括洼陷、斜坡、低凸起等多种构造单元, 构造及地层接触关系复杂, 特殊的地质背景造就了该区多种多样的圈闭及油气藏类型。根据圈闭的成因、形态和遮挡条件以及油气聚集的主要控制因素, 可将研究区的油气藏类型分为构造、地层、岩性和复合 4 大类, 进一步分为 9 种基本类型: 背斜、断层、裂缝性、地层不整合覆盖、潜山、砂岩透镜体、岩性上倾尖灭、构造-岩性和构造-地层。

油气藏的类型丰富多样, 断层油气藏占主导地位, 其次是地层油气藏, 构造-地层复合及断层-岩性复合油气藏也占有较大比例。从储集层的岩性来说, 以砂岩油气藏占绝对优势, 另外还发育碳酸盐岩油气藏及火成岩油气藏。如在博兴西部地区孔店组、馆陶组发育以玄武岩为主的火成岩储层, 储集空间主要为气孔和裂缝, 因气孔相互连通性差, 故构造裂缝成为沟通各类储集空间的良好通道。

3 油气富集的主要特征

东营凹陷是渤海湾盆地油气最富集的生油凹

陷, 该凹陷含油气丰富的主要原因是油气源充足、生储盖配置优越、圈闭及后期保存条件好等, 其中油气源充足是先决条件。从整个凹陷来说, 正向构造带控制了油气的富集区带, 有利的生储配置和断裂活动控制了油气的纵向富集层位, 油气在平面上环绕生油洼陷中心呈环带状分布^[5,6]。

博兴地区处在这一油气富集凹陷的西南端, 其油气地质条件与凹陷中北部地区存在较大差异, 油气富集及其控制因素有其独特的特点。从宏观上看, 博兴地区油气集中分布于受断层和继承性古隆起控制的若干个正向构造带中, 形成了以正向构造带为背景的多个油气聚集带, 即中部的金家-正理庄-樊家鼻状构造带、西部的高青-平南断裂带、东部的纯化-小营鼻状构造带以及乔庄-梁家楼地区。这些地区是油气运聚的主要指向区, 具有充裕的油气源条件(图 1)。

3.1 油气在纵向上和平面上的富集特点

油气富集层位及埋深呈现由北向南、由东往西依次抬高的趋势。北部乔庄、梁家楼、大芦湖等油田的油藏埋藏较深, 均以沙三段为富集层系; 小营油田以沙四段为主力含油层系, 主力油层埋深可达 3 000 多米; 向南至中部正理庄油气田, 主力油层变为沙二、沙一段, 油藏埋深也变浅; 至南端的金家地区油藏埋藏更浅, 沙一段为主力层系。由东向西变化规律更明显: 东部纯化、梁家楼油田, 以沙四段、沙三段为主力油层; 中部以沙三、沙二、沙一段为主力油藏; 至西部高青断裂带则以馆陶组泥岩覆盖下的东营组、孔店组为主力油层; 花沟气田更以馆陶组为主要富气层位。油藏埋藏深度由东向西明显变浅。另外

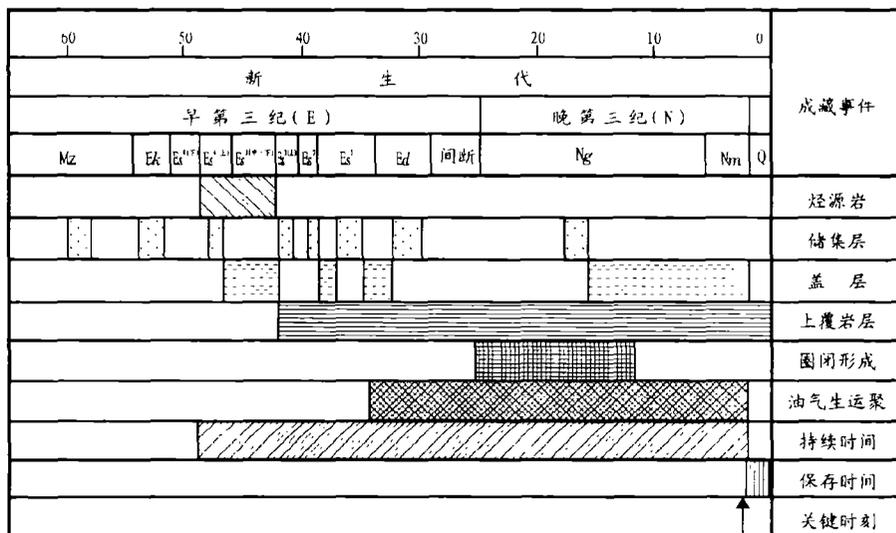


图 3 东营凹陷西南部地区油气成藏事件图

Fig. 3 Events of oil and gas accumulation in the southwestern area of the Dongying Depression

一种现象是：东部富油西部富气，西部游离气富集并形成了气田；北部富油、南部富气，这主要是由于油藏埋藏深度差异以及天然气更易于向浅部高部位运移聚集所致。

不同油田及不同含油层系的石油富集程度悬殊，富集层系具有分区性。博兴地区业已发现的 10 个油气田赋存于 8 套含油气层系中，即馆陶组、东营组、沙一段、沙二段、沙三段、沙四段、孔店组和中生界。不同含油气层系的石油富集程度悬殊，在平面上也存在很大差异(图 4)。

博兴地区最重要的含油气层系有 3 套，即沙四段、沙三段和沙一段，其石油地质储量分别占全区探明石油地质储量的 34.8%、30.7%和 17.8%；其次为沙二段，占 9.1%；东营组、孔店组和中生界的石油地质储量合占 7.5%。这显示了油气在纵向分布层系上的不均匀性。不同油田的石油富集程度差异很大，纯化油田的石油地质储量最大，其次是梁家楼油田和金家油田(图 4)。

多数油田具有多套含油气层系，且主力层系突出。如纯化油田发育沙四段和沙二段含油气层系，主力层系沙四段占 98.4%。只有少数油田含油气层系较单一，如博兴油田都只有沙四段一套含油气层系。

石油富集层系具有明显的分区性。东营组含油气层系主要分布在高青油田和正理庄油田，其中高青油田东营组石油地质储量占本层系总量的

80.8%；正理庄油田东营组占本层系的 19.2%。

沙一段油气主要分布于南部和西部地区，其中金家油田占本层系的 78.5%。沙二段含油气层系在博兴地区分布较广，其中正理庄油田储量最大，占本层系的 43.6%，其次是金家油田，占 24.9%。沙三段油气主要分布于北部和东北部地区，大芦湖和梁家楼两个油田的石油储量占本层系的 89%。沙四段油气集中在东部的纯化、梁家楼、博兴和小营等油田，其中纯化油田沙四段拥有的储量占本层系石油地质储量的 76.5%。孔店组和中生界含油气层系仅分布在博兴地区西部的高青油田，其石油地质储量所占比例较少。

可见，不同层系的油气在平面上有一定的展布规律，油气相对富集区与全区主力含油气层系的分布有良好的对应关系。如纯化、梁家楼地区是博兴地区油气最富集的地区，它们拥有全区近一半的石油储量，主要富集于沙四段和沙三段中，东部地区的沙一段及上覆岩系未发现油气，而中西部地区的沙一、东营、馆陶组为主要的油气富集层系，显示了油气富集的分区性。

3.2 油气藏类型的空间分布特点

博兴地区油气藏的类型丰富多样，而且油气藏的类型有一定的空间展布规律。其中断层油气藏占主导地位，其次是断层—岩性、岩性油气藏，地层油气藏、构造—地层油气藏也具有重要地位。

油气藏的类型在纵向上有一定的展布规律。构

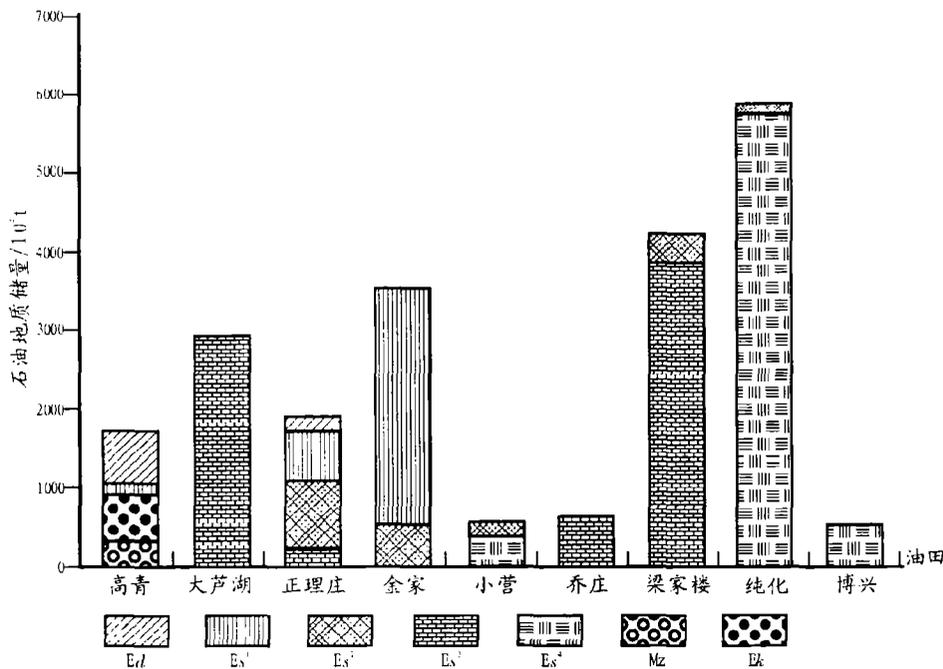


图 4 博兴地区各油田石油地质储量分布直方图

Fig. 4 Distribution histogram of proved oil reserves for each oilfield in Boxing area

造油气藏分布于各个层系,但主要分布于沙四段和沙二段层系中;岩性、断层-岩性油气藏主要出现于沙三段层系,其次是馆陶组;地层油气藏、构造-地层油气藏主要分布于沙一段、沙四段、东营组中。总体上来说,大多数岩性油气藏埋藏较深,地层油气藏埋藏较浅。埋深在2500m以下的多属岩性油气藏,且均为不飽和油藏;地层油气藏埋深多在700~1500m,发育大量飽和或过飽和油气藏;气藏埋深更浅,一般为300~1000m。

由于博兴地区不同油田的主力含油气层系不同,在空间上有一定的展布规律,致使油气藏在平面上也有一定的分布规律。岩性油气藏、断层-岩性油气藏主要分布于洼陷中心的大芦湖地区和东北部的乔庄、梁家楼地区;构造油气藏分布于洼陷中部或边部的正向构造带,如纯化、小营、正理庄等油田;而地层油气藏主要分布于东营凹陷南坡的金家地区、青城凸起北部和高青断裂带,它们被馆陶组泥岩不整合覆盖,埋藏较浅。

4 结论

东营凹陷西南部博兴地区特殊的地质背景使其具有油气源较充足、各类储集体及圈闭较发育等油

气成藏有利条件。与东营凹陷中北部地区相比,该区储层十分发育,但油气源条件相对不足,这是制约该区油气勘探的最重要因素。该区油气藏类型丰富多样,地层和构造-地层复合油气藏具有重要地位,不同类型油气藏在平面上和纵向上有一定的展布规律。油气主要富集于受断层和古隆起控制的正向二级构造带中,油气富集层位具有东、北部深和西、南部浅及东、北部相对富油和西、南部相对富气的特点,主力含油气层系突出,油气富集层系具有明显的分区性,油气的分布主要受构造背景和油气源条件的控制。

参考文献:

- [1] 张春荣. 济阳坳陷下第三系生油洼陷[J]. 复式油气田, 1996, (3): 37-41.
- [2] 张林峰, 张春荣. 低熟油生成机理及成油体系——以济阳坳陷牛庄南斜坡为例[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 5-23.
- [3] 蒋有录, 荣启宏. 高青地区油气成藏模式及富集规律[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 11-19.
- [4] 邱楠生, 等. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 403-407.
- [5] 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 291-308.
- [6] 孙向阳, 等. 东营凹陷地层水化学特与油气聚集关系[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 291-294.

FORMATION AND DISTRIBUTION OF OIL AND GAS POOLS IN BOXING AREA OF THE DONGYING DEPRESSION, THE BOHAIWAN BASIN

JIANG You-lu¹, RONG Qi-hong², SONG Jian-yong², SU Yong-jin¹, TAN Li-juan¹

(1. School of Earth Resources and Information Petroleum University, Dongying, Shandong 257061, China;

2. Chunliang Oil Production Factory, Shengli Oilfield, Boxing, Shandong 256504, China)

Abstract: This paper discussed the formation conditions, types and distribution characteristics of oil and gas pools in the southwestern part of the Dongying Depression, the Bohaiwan Basin. Affected by the special geologic background, the study area has good conditions for pool formation and has a variety of oil and gas pools. There are many excellent reservoirs in the area, but the oil and gas sources are not sufficient. Oil and gas in the area are concentrated in the positive structural belts controlled by faults and paleo-uplifts. The oil and gas reservoirs are deep and relatively oil-enriched in the east and the north parts, and are shallow and relatively gas-enriched in the west and the south parts. The reservoirs of hydrocarbon have obvious zonation, and tectonic background and hydrocarbon-source conditions have important controlling effects on the enrichment of oil and gas.

Key words: pool-forming condition; oil and gas pool; hydrocarbon distribution; the Dongying Depression; the Bohaiwan Basin