

渤海湾盆地潜山油气富集特征与主控因素

蒋有录¹, 叶涛², 张善文³, 刘华¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452;
3. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257015)

摘要:以渤海湾盆地潜山油气勘探实践为基础,综合前人研究成果,系统对比分析不同凹(坳)陷潜山油气成藏条件、油气富集差异性,并探讨其主要控制因素。研究表明:前古近纪构造演化造就了 I、II、III 型三类基底,新生代构造差异演化形成了早期型、继承型和晚期型三类凹陷,凹陷演化的差异性控制了烃源岩层系由盆地外围早期型凹陷到中心晚期型凹陷逐步变浅,由 I 类基底向 III 类基底,优质储层规模逐渐减小,输导条件逐步变差;潜山油气的宏观分布受前古近纪与新生代演化共同控制,主要富集在 I、II 类基底与继承型、早期型耦合的富油气凹陷中;潜山油气的富集程度受凹陷的富油气性、烃源岩层系、优质储层发育规模以及供油窗口等综合因素控制;对不同成藏条件进行量化,建立潜山油气藏形成的“源-储-导”三元耦合控藏模式,储集条件为首要控制因素。

关键词:潜山油气藏;成藏条件;富集特征;控制因素;定量评价;渤海湾盆地

中图分类号:TE 122.1 **文献标志码:**A

引用格式:蒋有录,叶涛,张善文,等. 渤海湾盆地潜山油气富集特征与主控因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2015,39(3):20-29.

JIANG Youlu, YE Tao, ZHANG Shanwen, et al. Enrichment characteristics and main controlling factors of hydrocarbon in buried hill of Bohai Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(3): 20-29.

Enrichment characteristics and main controlling factors of hydrocarbon in buried hill of Bohai Bay Basin

JIANG Youlu¹, YE Tao², ZHANG Shanwen³, LIU Hua¹

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. China National Offshore Oilfield Corporation Limited-Tianjin, Tianjin 300452, China;
3. Shengli Oilfield Company Limited, SINOPEC, Dongying 257015, China)

Abstract: Based on exploration results and previous studies, the hydrocarbon accumulation conditions were summarized and the differences were compared in different sags of the Bohai Bay Basin. The results show that the pre-Cenozoic tectonic evolution created three types of basement. Evolution of the Cenozoic formed three types of sags: basin of early rift, basin of inheritance rift and basin of lately rift. Evolution differences controlled the distribution of source rock in the sag. The source rock gradually migrated to shallow depth from the periphery to the center of basin. The distribution of reservoir and transport condition became poor gradually from type I basement to type III basement. Hydrocarbon enrichment is controlled by the pre-Cenozoic and Cenozoic evolution. Hydrocarbon mainly gathered in those sags with type I or type II basement and also with evolution type of inheritance or early rift basin. The hydrocarbon enrichment is controlled simultaneously by the source rock horizon, the scale of high quality reservoir and the formation of oil supplying window. Our study quantifies different hydrocarbon accumulation conditions, and suggests that three factors, including "source-reservoir-migration" which couple with each other, control the mode of the buried hill reservoirs, and the reservoir conditions are the main controlling factors.

Keywords: buried hill reservoir; formation condition; enrichment characteristic; controlling factor; quantitative evaluation; Bohai Bay Basin

收稿日期:2014-11-20

基金项目:国家油气重大专项课题(2011ZX05006-003)

作者简介:蒋有录(1959-),男,教授,博士,博士生导师,主要研究方向为油气藏形成与分布规律。E-mail:jiangyl@upc.edu.cn。

在陆相断陷盆地中,油气分布主要受富生烃区、储盖配置以及输导体系等因素控制,不同层系油气富集的主控因素存在差异^[1-2]。潜山油气藏作为渤海湾盆地中重要的油气藏类型,一直是油气勘探的重点领域^[3-7]。1975 年任丘潜山油气藏的发现掀起了渤海湾盆地潜山勘探的高潮,1995 年之后又逐步陷入了低谷^[8]。近年来,前古近系潜山油气勘探再次取得重大突破,如 2005 年在辽河西部凹陷兴隆台地区埋深 2500 m 沉积岩以下发现大型太古界变质岩潜山油气藏^[5,9],2010 年在霸县凹陷深度大于 6 000 m 超深碳酸盐岩潜山中取得重大突破^[10],2012 年渤中地区发现中生界亿吨级花岗岩潜山油气藏^[11]。不同层系、不同岩性大型潜山油气藏的不断发现,显示出渤海湾盆地前古近系潜山油气勘探的良好前景。前人对渤海湾盆地多个凹陷重点潜山油气藏的形成条件、富集规律及主控因素做了大量研究,普遍认为潜山油气具有差异富集的特征,且油气富集受烃源岩展布、储集物性以及供油等条件的优劣控制明显^[3,6,12-14],但针对渤海湾盆地开展不同凹(坳)陷潜山油气宏观成藏条件、富集特征差异性的对比研究还较少。笔者基于渤海湾盆地潜山油气勘探实践,综合前人研究成果,系

统对比分析不同凹(坳)陷潜山油气成藏条件、富集差异性,并探讨其主控因素,以期丰富陆相断陷盆地油气成藏理论,并对研究区潜山油气藏的深化勘探具有借鉴意义。

1 潜山油气成藏地质背景

渤海湾盆地是在中、新元古代—古生代地台型沉积盖层基础上叠置发育的中、新生代陆相沉积盆地,经历了中—晚元古代、古生代地台、晚侏罗世—古近纪断陷和新近纪拗陷 4 个发育阶段^[15]。其中印支运动与燕山运动(中生代隆起阶段)为重要的两期成山阶段^[16-17],两期成山作用打破了之前的稳定沉积背景,形成了坳隆相间的构造格局,时空上坳隆发育的差异性控制了基底地层发育的多样性。

以构造演化为基础,将渤海湾盆地前古近系基底划分为 3 类。Ⅰ型基底:中新元古界以及早古生界碳酸盐岩底层残留厚度较大,中生代燕山期主要为隆起区,早期沉积的地层隆起遭受了强烈的风化剥蚀,中生界、上古生界缺失或仅有零星残留,如饶阳凹陷(图 1(a))。Ⅱ型基底:下古生界残留厚度大,侏罗纪—早白垩纪沉积较厚,晚白垩世遭受抬升

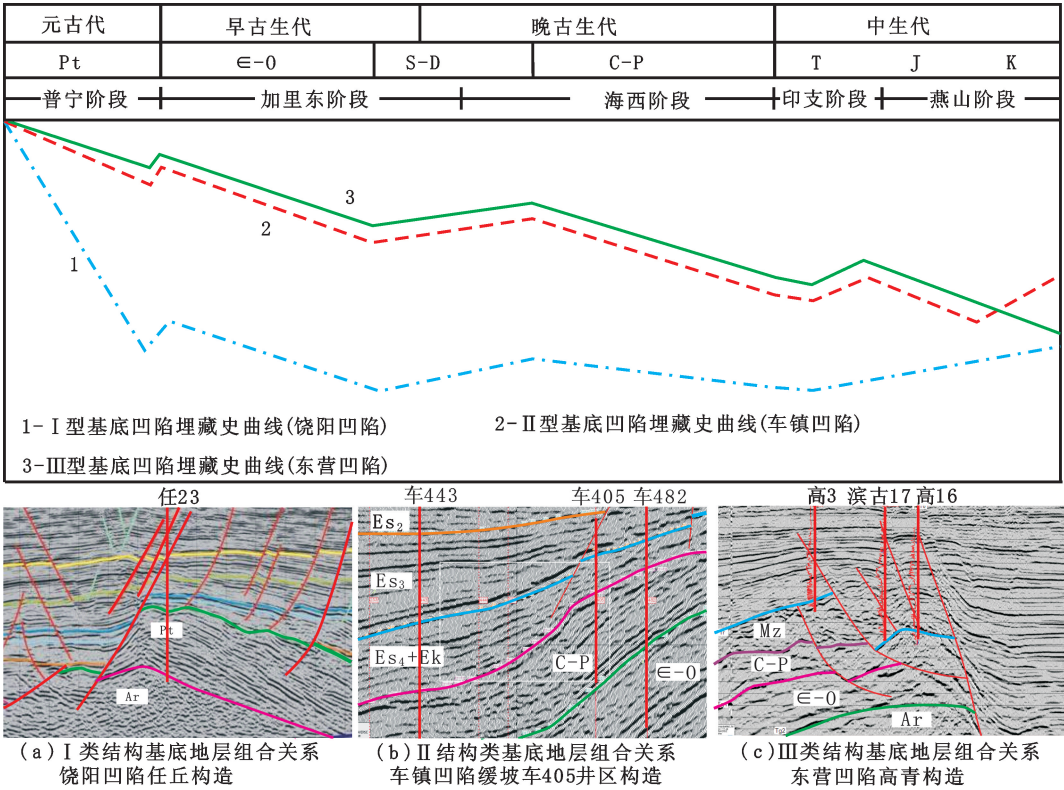


图 1 渤海湾盆地不同基底结构凹陷沉积埋藏史及其地层组合关系

Fig. 1 Depositional and burial history and assemblage characteristics of strata of different basement structure depressions in Bohai Bay Basin

剥蚀,中生界基本剥蚀殆尽或仅有零星残留,但上古生界保存较好,残留厚度较大,如车镇凹陷(图1(b))。Ⅲ型基底:结构与Ⅱ型基底结构早期构造演化背景相似,但中生代沉积期存在差异,此类基底往往位于燕山运动形成的拗陷区,基底以沉降为主,中生代地层残留厚度大,以东营凹陷为典型代表(图1(c))。

渤海湾盆地新生代构造演化主要经历了初始裂陷阶段、强裂陷阶段以及拗陷阶段3大阶段^[18]。初始裂陷阶段为孔店组至沙四段沉积期,其裂陷及沉积中心主要分布在盆地外围凹陷以及大型隆起的附近,如保定凹陷、潍北凹陷、沧东-南皮凹陷等;强裂陷阶段为沙三段至东营沉积期,该阶段裂陷及沉积中心主要分布在盆地中部地区,如饶阳凹陷、东营凹陷、惠民凹陷等;拗陷阶段对应于新近纪至今,其沉积中心主要为环渤海海域。构造的迁移性控制了早期型、继承性以及晚期型3类凹陷的形成^[22],早期

型凹陷主要分布在盆地的外围,晚期型主要分布在环渤中拗陷带,继承型主要分布在两者之间的盆地中环带(图2)。

渤海湾盆地发育的孔店组、沙四段、沙三段、沙一段以及东三段等多套烃源岩层系,是潜山油气的主要来源,早古生代海相碳酸盐岩以及晚古生代煤系地层可在部分地区为潜山提供天然气来源。渤海湾盆地前古近系自下而上发育太古界变质岩、中新元古界及下古生界碳酸盐岩以及上古生界—中生界碎屑岩(火山岩)3套潜山储集层系,其中前二者为潜山主力含油层系。勘探实践表明,潜山油气主要来源于古近系沙河街组烃源岩,油气通过油源断裂、不整合、连通砂体以及裂缝系统组成的三维输导网络进入优质潜山储集层中聚集成藏^[19-20]。古近系沙河街组泥岩为良好的区域性盖层,同时上古生界—中生界致密碎屑岩、中新元古界及下古生界中的泥质夹层也可以形成局部盖层。

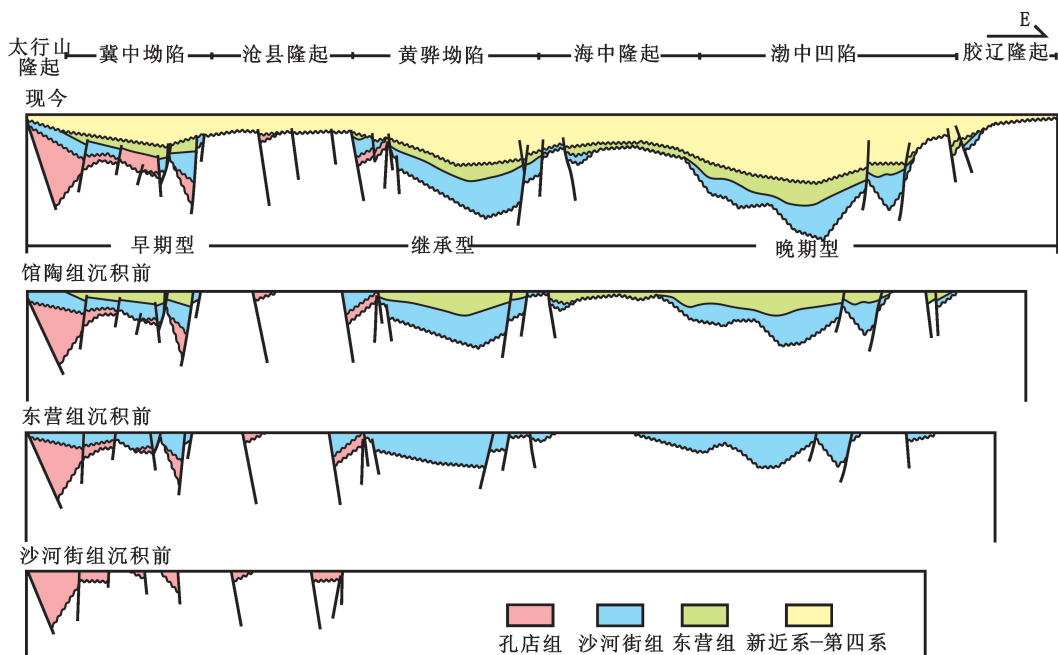


图2 渤海湾盆地冀中-渤中拗陷新生代构造演化

Fig. 2 Cenozoic structural evolution of Jizhong-Bozhong Depression, Bohai Bay Basin

2 潜山油气富集特征

平面上,潜山油气藏主要分布在冀中拗陷与辽河拗陷,具有潜山油气田数量多,储量规模大的特点,其中冀中拗陷已探明潜山油气储量占总油气储量的50%以上,辽河拗陷潜山油气储量约占总油气储量的20.3%;黄骅拗陷、济阳拗陷与渤中拗陷次之,储量占总油气储量的3%~5%;临清拗陷目前尚无规模性潜山油气田的发现。

统计分析渤海湾盆地主要含油气凹陷的最新勘探成果,计算不同凹陷(含与该凹陷油气来源有关的凸起区潜山油气藏,后同)潜山油气储量百分数,将潜山油气储量百分数大于10%的凹陷定义为“潜山油气高富集”凹陷,潜山油气储量百分数为5%~10%的凹陷定义为“潜山油气中富集”凹陷,潜山油气储量百分数小于5%的凹陷定义为“潜山油气低富集”凹陷。分析表明,潜山油气主要分布于盆地外围的富油气凹陷中,其中“潜山油气高一中富集”

凹陷主要包括饶阳、束鹿、深县、霸县、廊固、大民屯、辽河西部、仓东-南皮、车镇等凹陷,而环渤海海域带整体以“潜山油气低富集”凹陷为主(图 3)。

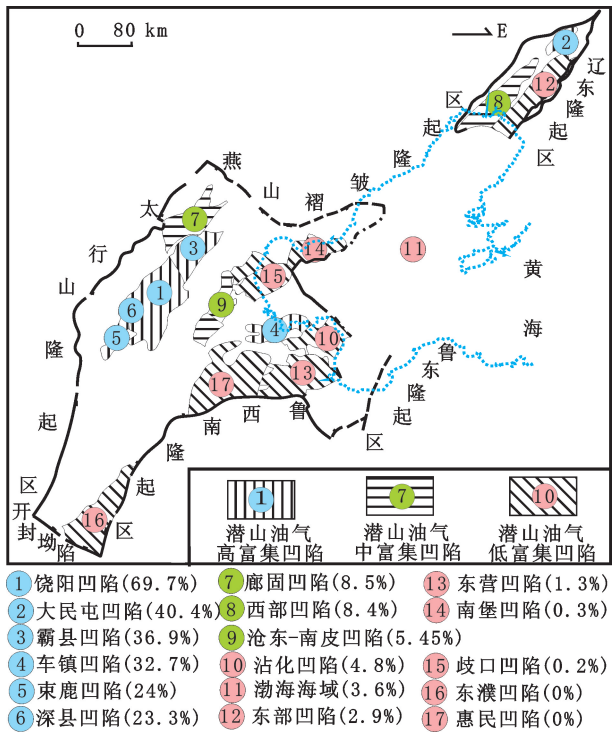


图 3 渤海湾盆地潜山油气不同富集程度凹陷平面分布
Fig.3 Plane distribution of buried hill reservoirs in Bohai Bay Basin

纵向上,中新元古界一下古生界以碳酸盐岩储层为主,潜山油气富集程度最高,探明储量约占潜山油气总储量的 80% 以上;太古界变质岩储层次之,储量约占总储量的 12%;上古生界及中生界潜山油气分布最少,储集岩主要为火山岩以及碎屑岩,油气储量仅约占总储量的 5%。即潜山油气在纵向上主要富集于基底地层的中一下部层系。

3 潜山油气富集主控因素

3.1 构造演化控制油气的宏观富集

渤海湾盆地不同凹陷潜山油气富集程度受控于不同时期构造活动的叠合关系,基底类型与新生代凹陷类型耦合共同控制了潜山油气的富集程度。在早期型与继承型凹陷中,断层晚期活动弱,烃源岩层位深,油气难以运移至浅层成藏,以中—深部层系聚集为主,而 I 型基底凹陷储层剥蚀时间长、质量好,若油气来源充足,两者耦合潜山油气富集程度最高,往往形成潜山油气富集高程度凹陷,潜山油气储量百分数大于 20%。继承型凹陷与 II 型基底耦合潜山油气富集程度中等,潜山油气储量百分数 5% ~ 20%。晚期

型凹陷与 II 型基底以及 III 型基底耦合潜山油气富集程度最低,往往只能形成潜山油气低富集程度凹陷,潜山油气储量百分数小于 5% (图 4)。

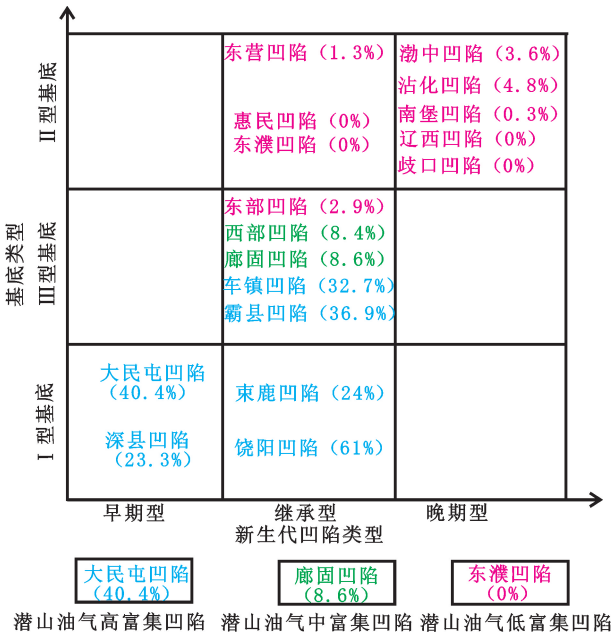


图 4 渤海湾盆地前新生代—新生代构造运动与潜山油气富集关系

Fig.4 Relationship between pre-Cenozoic and Cenozoic structural evolution and enrichment of buried hill reservoir in Bohai Bay Basin

3.2 富烃凹陷控制油气的平面展布

一个含油气凹陷往往被分割为若干个洼槽,只有那些相对大而深的洼槽才具备良好的生烃条件,即生油洼槽控制了油气的分布^[21]。受不同凹陷(洼陷)烃源岩体积、质量及埋深演化差异性控制,不同地区生烃能力差异很大。以各凹陷最新资源评价资料为基础,划分了 III 类生烃区; I 类以及 II 类生烃区烃源岩体积大,质量好,油气资源量大,资源量丰度高,为典型的富油气凹陷,此类凹陷中潜山油气藏发育数目多,储量规模大,潜山油气藏围绕着富生烃区附近紧密分布(图 5); III 类生烃区油气资源量小,资源量丰度低,潜山油气探明储量丰度较低。

潜山油气藏主要分布于富油气凹陷中,但同为富油气凹陷,潜山油气富集规模差异较大。渤中、饶阳凹陷油气资源丰度分别为 $64.67 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 、 $20.89 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,但渤中凹陷潜山油气储量仅占总储量的 3.6%,而饶阳凹陷则可约占到 60%,表明潜山油气藏虽然围绕富油气凹陷分布,但潜山油气富集程度同时受其他因素综合控制。

凹陷中烃源岩生成的成熟油气通过输导网络向潜山圈闭运移聚集,因此主力烃源岩层系的纵向分

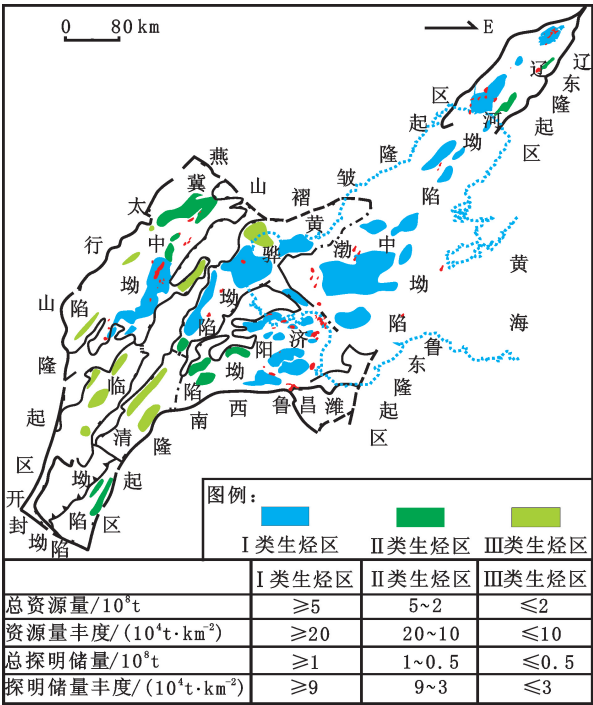


图5 渤海湾盆地不同级别生烃区与潜山油气藏分布关系

Fig. 5 Relationship between source rock of different grade and distribution of buried hill reservoirs in Bohai Bay Basin

布一定程度上控制了油气的波及范围以及油气富集层系。主力烃源岩层系老,油气较易在深部潜山储层中聚集成藏,烃源岩层位浅,油气则往往易于聚集

在浅部储集层中。统计表明,以古近系中下部烃源岩为主力油气来源的凹陷,潜山油气富集程度高,如饶阳凹陷、大民屯凹陷等,而随着古近系中上部烃源岩油气来源的增加,潜山油气富集程度逐步降低,如渤中、南堡、歧口等凹陷(图6)。

3.3 优质储层控制油气的富集样式

在生烃条件良好的凹陷中,深层基岩储集物性是决定潜山能否成藏并富集的主要控制因素,优质储层控制了潜山油气藏的形成与分布^[22-23]。优质储层孔渗性好,是潜山油气的有利运聚区。前古近系岩层受沉积环境、形成时代、本身性质的差异以及后期遭受改造程度的不同,优质储层的发育程度以及分布模式不尽相同。

渤海湾盆地潜山优质储层主要为中新元古界一下古生界碳酸盐岩,构造演化的差异性控制了优质储层的展布范围与分布。中生代晚三叠世以及晚白垩世存在两期挤压作用,研究区形成了隆坳相间的构造格局,隆起区基底地层遭受强烈的剥蚀改造,优质储层具有“满凹分布”的特征,坳陷区巨厚的中生界使得深部下古生界及新生元古界改造较弱,仅在凹陷边缘以及构造位置更高的凸起区发生了较强程度的改造,具有“凹缘分布”以及“凹间分布”的特点。富油气凹陷油气源充足,潜山油气藏具有与优质储层展布相似分布模式(图7)。中生代盆地外

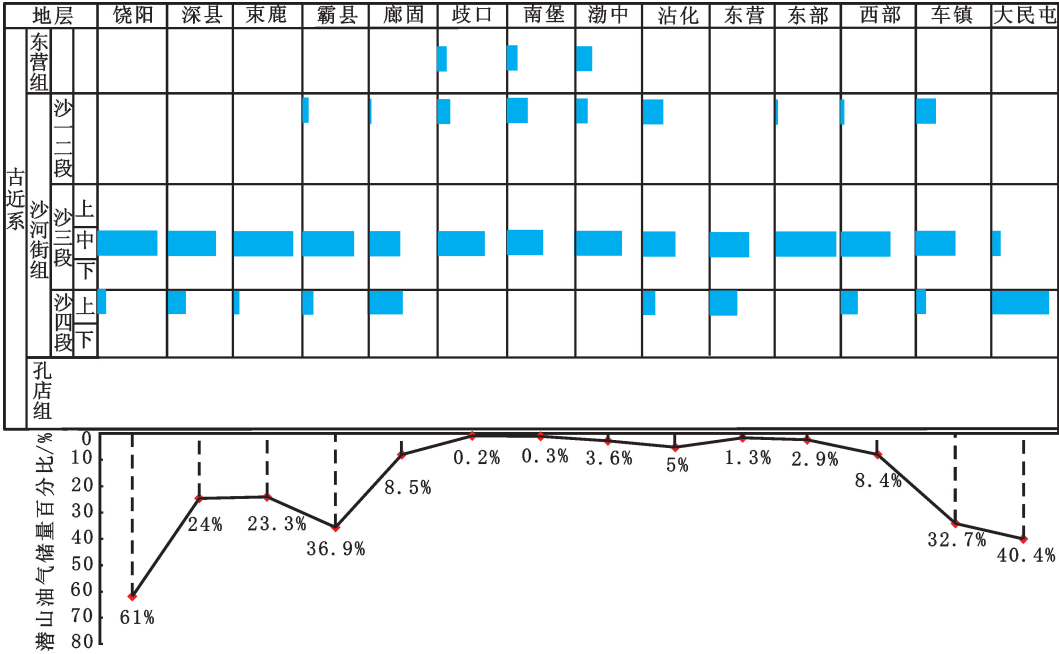


图6 渤海湾盆地典型凹陷不同层系烃源岩贡献与潜山油气探明储量百分数关系

Fig. 6 Relationship between source rocks and percentage of hydrocarbon reserves of buried hill of typical depressions in Bohai Bay Basin

围凹陷主要为隆起区,此类凹陷潜山油气藏以“满凹分布”型为主,如饶阳凹陷、大民屯凹陷等;环渤中凹陷带中生代以坳陷为主,潜山油气主要分布在凹陷与凹陷之间的凸起带(凹间分布),而盆地中环带的凹陷则往往有“凹缘分布”的特点(图 7)。

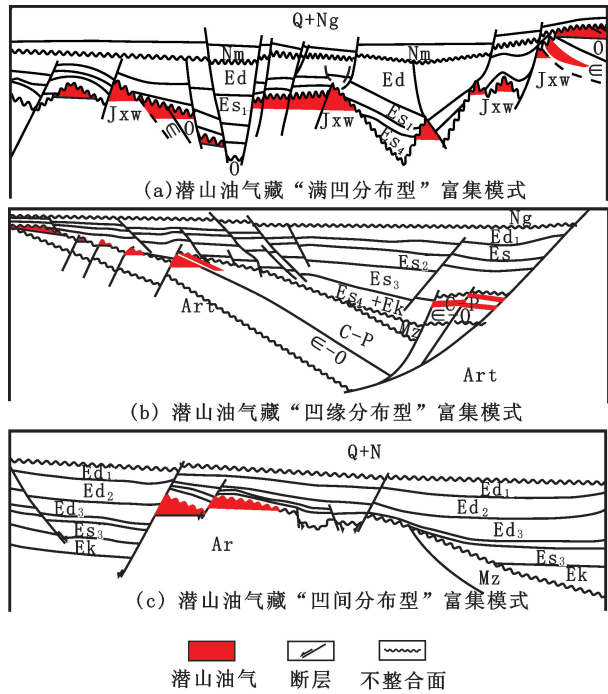


图 7 渤海湾盆地潜山优质储层分布模式
Fig.7 Distribution pattern of high-quality reservoir of buried hill in Bohai Bay Basin

不同凹陷优质储层发育层系具有明显的差异性。I 类基底结构凹陷中生代整体以隆升为主,风化淋滤时间最长,潜山储层主要为中新元古界一下古生界碳酸盐岩,部分凹陷太古界变质岩也是优质储集层,如大民屯凹陷;II、III 类基底结构凹陷主要以下古生界碳酸盐岩为主。统计表明,I 类基底结构凹陷潜山优质储集岩性普遍占整个凹陷的 50% 以上,如饶阳凹陷,其潜山优质储层可占整个凹陷的 90% 以上;II 类基底结构凹陷基底遭受风化剥蚀强度中等,储层改造时间相对较短,潜山优质储集岩性较为发育,约占 20% ~ 50%;III 类基底结构凹陷由于中生代晚期以沉降为主,剥蚀强度不大,潜山优质储层发育规模较小,优质储集层均小于 20% (图 8)。

潜山优质储集岩性百分数与潜山油气储量百分数关系表明,凹陷内优质储集岩性面积控制了潜山油气的富集程度:I 类基底结构凹陷潜山优质储集

岩性分布广泛,潜山油气储量百分数普遍较高,均大于 10%,饶阳凹陷可达 61%;II 类基底结构凹陷潜山油气富集规模次之,潜山油气百分数均大于 5%;III 类基底结构凹陷优质储集岩性分布规模最小,潜山油气富集程度低,几乎均小于 5% (图 8)。

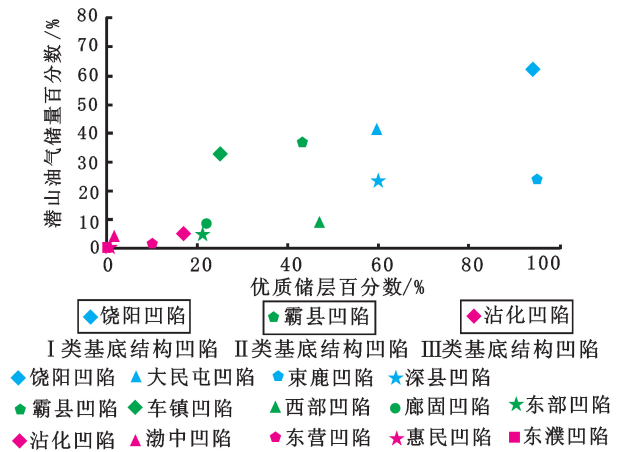


图 8 渤海湾盆地典型凹陷潜山优质储层百分数与潜山油气储量百分数关系
Fig.8 Relationship between percentage of high-quality buried hill reservoir and percentage of hydrocarbon reserves of buried hill of typical depressions in Bohai Bay Basin

3.4 供烃能力控制油气的富集规模

油气输导能力的影响因素众多,断层活动性、不整合结构、砂体的储集物性及连通性均在一定程度上控制油气的输导运移。渤海湾盆地潜山圈闭多为断块山,新生界的成熟油气能否进入潜山圈闭形成规模性油气聚集,是否存在“供油窗口”及其大小是关键,本文中提出“源-储封隔体厚度”,即古近系源岩之下非烃层系与潜山优质储集岩系之上的岩层厚度之和,来定量表征古近系烃源岩向潜山供烃的能力,封隔体厚度越大,古近系油气越难以进入潜山储层中聚集成藏。

不同凹陷“源-储封隔体厚度”不同,饶阳凹陷最小,平均厚度约 250 m,东营凹陷厚度最大,平均厚度约为 3 600 m;整体而言,饶阳、大民屯等盆地外围 I 类基底凹陷“源-储封隔体”较小,整体小于 1 000 m,对潜山油气输导有利,而渤中、东营等盆地中部和内部以 II、III 类基底为主的凹陷“源-储封隔体厚度”较大,一般大于 1 000 m,对潜山油气的输导不利(图 9)。

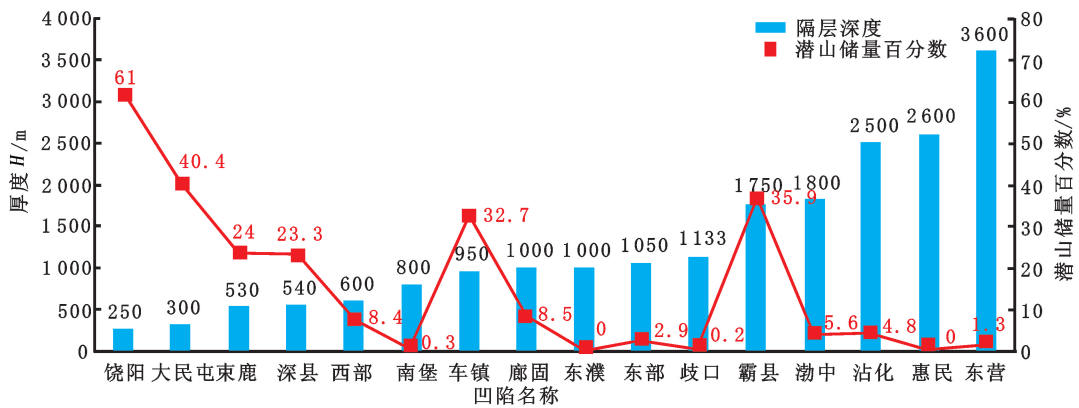


图 9 渤海湾盆地“源-储封隔体厚度”与潜山油气富集关系

Fig. 9 Relationship between percentage of hydrocarbon reserves of buried hill and thickness of "source-reservoir" of typical depressions in Bohai Bay Basin

4 潜山油气富集主控因素定量评价

油气的富集程度是多因素共同作用的结果,多因素定量评价可以确定不同控制因素的作用大小,有利于认识主要矛盾。为了更好地表征各成藏要素对潜山油气富集的控制作用,笔者对油气源条件、储层条件、输导条件进行定量化表征,建立渤海湾盆地不同凹陷潜山油气富集程度控制因素的定量表征关系,其中储层条件、输导条件分别利用“优质储层百分数”和“源-储封隔体厚度”进行表征,烃源岩条件则主要针对富油气凹陷,提出“烃源岩供烃差异系数”进行表征。

成熟烃源岩中生成的油气以浮力或超压为驱动,向浅部进行运移,在适合的圈闭中聚集成藏。凹陷烃源岩层位深,供烃量大,向浅部供烃范围广,则潜山圈闭成藏潜力高。渤海湾盆地已发现的潜山油气藏其上覆层主要以古近系为主,新近系通常由于孔渗性好,难以对潜山形成良好的封盖,故有效烃源岩生成的油气主要向覆盖古近系的潜山圈闭运移聚集。假定各凹陷 Es_4 、 Es_3 、 Es_2 、 Es_1 、 Ed 不同层段厚度均为 h ,则 $Ek-Es_4$ 烃源岩生成的油气可以为上部 $5h$ 范围内的潜山圈闭供烃,同理, Es_3 、 Es_1 以及 Ed 则分别可以为上部 $4h$ 、 $2h$ 以及 $1h$ 范围内的潜山圈闭供烃,以此为基础,提出“烃源岩供烃差异系数”(hydrocarbon supplying deference coefficient)的概念(图 10),定义

烃源岩供烃差异系数(I_{HSDC})为
$$I_{HSDC} = 5S(Ek-Es_4) + 4S(Es_3) + 2S(Es_1) + S(Ed).$$
其中 $S(Ek-Es_4)$ 、 $S(Es_3)$ 、 $S(Es_1)$ 、 $S(Ed)$ 分别表示为凹陷对应层段烃源岩排烃量百分数。

通过以上分析,厘定了单因素烃源岩条件、储集

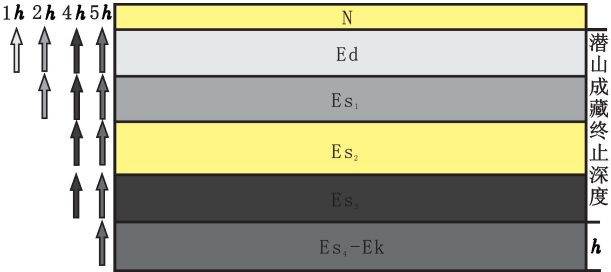


图 10 烃源岩供烃差异系数模型

Fig. 10 Model of hydrocarbon supplying deference coefficient

条件、供油条件与潜山油气储量百分数的关系(图 11(a)、(b)、(c))分别为

$$F_1 = 0.0456 \exp(0.0129x_1), R^2 = 0.2209; \quad (1)$$

$$F_2 = 0.5086x_2, R^2 = 0.6433; \quad (2)$$

$$F_3 = -17.5 \ln(x_3) + 136.84, R^2 = 0.4292. \quad (3)$$

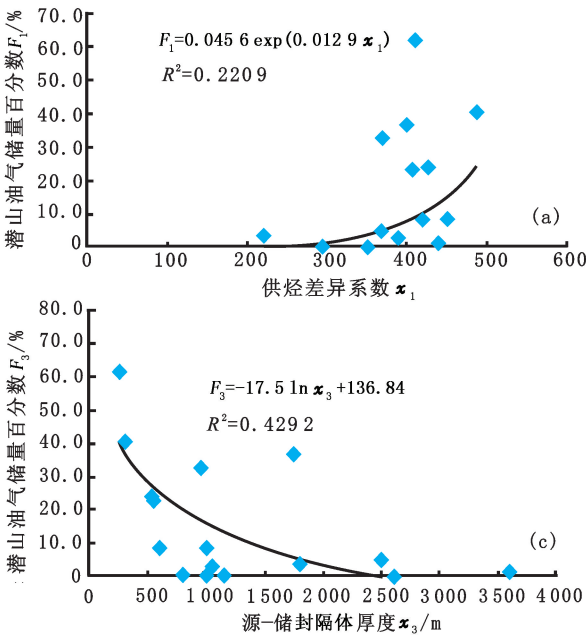
式中, F_1 为供烃差异系数单因素预测的潜山油气储量百分数; F_2 为优质储层百分数单因素预测的潜山油气储量百分数; F_3 为源-储封隔体厚度单因素预测的潜山油气储量百分数; x_1 为供烃差异系数; x_2 为优质储层百分数; x_3 为源-储封隔体厚度, m。

潜山油气富集程度与供烃差异系数以及潜山优质储层百分数成呈正相关关系,与“源-储封隔体”厚度呈负相关关系(图 11)。 R^2 可以反映出不同成藏要素对凹陷潜山油气富集程度影响的强弱顺序,其中储集条件相关性最好,输导条件次之,烃源岩条件相对最差,表明在具有充足油气来源的凹陷中,潜山油气成藏的首要控制因素为储集条件,输导条件次之,富油气凹陷中烃源岩条件对其控制作用相对较弱。

潜山油气藏储量百分数是多个因素互相影响、互相制约的参数,每一个影响因素(参数)都不可能

完全起控制作用,即单因素与潜山油气藏储量百分数的拟合程度不会很高。但将这些互相影响的单因素公式共同带入综合预测模型中,就会产生良好的效果。以单因素分析为基础,通过多元线性回归的方法,建立各成藏条件与潜山油气藏储量百分数(反映凹陷级别潜山油气富集程度)的定量表征模型:

$$F = -0.263F_1 + 0.484F_2 - 0.351F_3 + 48.197. \quad (4)$$



$F' = 1.291F - 8.356, R^2 = 0.772.$ (5)

式中, F 为综合模型预测潜山油气储量百分数; F' 为实际潜山油气储量百分数。

整体来说,拟合的公式具有较高的相关性,实际值与计算值的误差相对较小,其误差一般小于 10%,整体上误差在允许范围之内,证明模型建立合理、可靠,表明潜山油气富集主要受“源-储-导”三元耦合共同控制,而储集条件为首要控制因素。

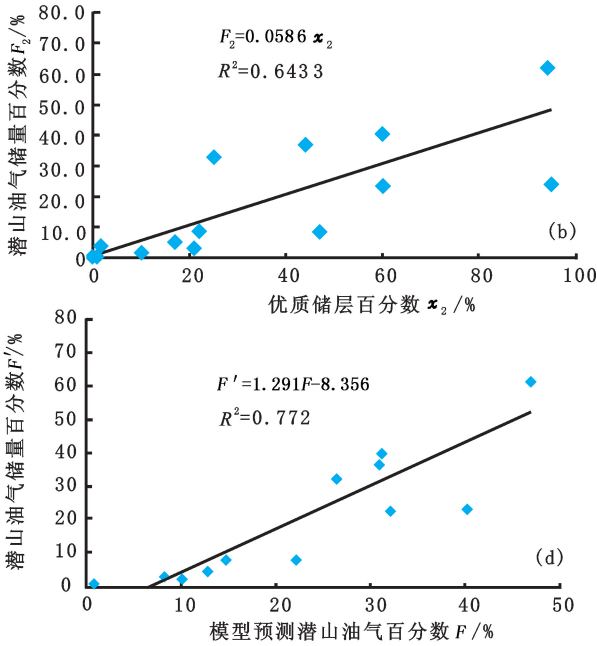


图 11 渤海湾盆地潜山油气藏富集程度单一因素分析图及误差分析

Fig. 11 Single factor analysis and error analysis of enrichment degree of buried hill reservoir in Bohai Bay Basin

5 结 论

(1)渤海湾盆地前古近纪与新生代构造演化差异性明显,前古近纪印支运动、燕山运动是潜山圈闭形成的两期重要运动,共同控制了 I、II、III 类基底的形成,新生代盆地的迁移性控制早期型、继承型与晚期型 3 类凹陷的差异性分布。不同凹陷潜山油气成藏条件差异性明显,由早期型凹陷至晚期型凹陷,烃源岩供烃层位逐步变浅,由 I 类基底凹陷至 III 类基底凹陷,潜山油气富集层位逐步变浅,优质储层规模逐步减小,输导能力逐步变差。

(2)宏观上,潜山油气主要富集在 I、II 类基底与继承型、早期型耦合的富油气凹陷中;已发现的潜山油气藏主要分布于油气资源量大,资源量丰度高的富生烃区附近,富生烃区控制了潜山油气藏的宏观分布格局;烃源岩层位老、基底风化剥蚀时间长,“源-储封隔体”厚度小,供烃窗口易于形成的凹陷中,潜山油气富集程度高。

(3)潜山油气富集受烃源岩条件、储集条件以及输导条件耦合控制,储层条件是首要控制因素,其次是输导条件,对于富油气凹陷而言,烃源岩条件影响相对较小。

参考文献:

[1] 蒋有录,卢浩,刘华,等. 渤海湾盆地饶阳凹陷新近系油气富集特点与主控因素[J]. 石油学报,2011,32(5):791-796.

JIANG Youlu, LU Hao, LIU Hua, et al. Enrichment characteristics and major controlling factors of hydrocarbons in the Neogene of Raoyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011,32(5):791-796.

[2] 蒋有录,刘培,刘华,等. 渤海湾盆地不同凹陷新近系油气成藏条件差异性及聚集模式[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2014,38(1):14-21.

JIANG Youlu, LIU Pei, LIU Hua, et al. Difference of reservoir forming conditions of different depressions and accumulation models of Neogene hydrocarbon in Bohai

- Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(1): 14-21.
- [3] 华北油田勘探开发设计研究院. 潜山油气藏[M]. 北京: 石油工业出版社, 1982.
- [4] 杨明慧. 渤海湾盆地潜山多样性及其成藏要素比较分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 623-631.
- YANG Minghui. Diversity of buried-hills and comparison of their hydrocarbon-pooling factors in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 623-631.
- [5] 孟卫工, 陈振岩, 李湃, 等. 潜山油气藏勘探理论与实践——以辽河坳陷为例[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 136-143.
- MENG Weigong, CHEN Zhenyan, LI Pai, et al. Exploration theories and practices of buried-hill reservoirs: a case of Liaohe Depressions[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2): 136-143.
- [6] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究——以济阳坳陷为例[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 28-31.
- LI Peilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, et al. Multiplex buried-hill genesis and pool-forming in rifted basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 28-31.
- [7] 邓运华, 彭文绪. 渤海锦州 25-1S 混合花岗岩潜山大油气田的发现[J]. 中国海上油气, 2009, 21(3): 145-150.
- DENG Yunhua, PENG Wenxu. Discovering large buried-hill oil and gas fields of migmatitic granite on Jinzhou 25-1S in Bohai sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(3): 145-150.
- [8] 李欣, 闫伟鹏, 崔周旗, 等. 渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力及方向[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 140-144.
- LI Xin, YAN Weipeng, CUI Zhouqi, et al. Prospecting potential and targets of buried-hill oil and gas reservoirs in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 140-144.
- [9] 庞雄奇, 谢文彦, 孟卫工, 等. 辽河断陷沉积岩之下 0 ~ 1 600 m 变质岩中大油气田的发现及其意义[J]. 地质论评, 2011, 57(4): 541-548.
- PANG Xiongqi, XIE Wenyan, MENG Weigong, et al. Discovery of a large oil and gas field within metamorphic rocks 0-1 600 m below sedimentary rocks in Liaohe fault-depression and its significances[J]. Geological Review, 2011, 57(4): 541-548.
- [10] 赵贤正, 金凤鸣, 王权, 等. 渤海湾盆地牛东 1 超深潜山高温油气藏的发现及其意义[J]. 石油学报, 2011, 32(6): 915-925.
- ZHAO Xianzheng, JIN Fengming, WANG Quan, et al. Niudong 1 ultra-deep and ultra-high temperature subtle buried hill field in Bohai Basin: discovery and significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 915-925.
- [11] 邓运华. 渤海大中型潜山油气田形成机理与勘探实践[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 256-261.
- DENG Yunhua. Formation mechanism and exploration practice of large-medium buried-hill oil fields in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 256-261.
- [12] 孟卫工, 李晓光, 刘宝鸿. 辽河坳陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 584-588.
- MENG Weigong, LI Xiaoguang, LIU Baohong. Main factors controlling the formation of interior reservoirs in the metamorphic palaeo-buried hills of the Liaohe Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 584-588.
- [13] 高先志, 吴伟涛, 卢学军, 等. 冀中坳陷潜山内幕油气藏的多样性与成藏控制因素[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(3): 31-35.
- GAO Xianzhi, WU Weitao, LU Xuejun, et al. Multiplicity of hydrocarbon reservoir and accumulation controlling factors within buried hills in Jizhong depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(3): 31-35.
- [14] 李晓光, 郭彦民, 蔡国刚, 等. 大民屯凹陷隐蔽型潜山成藏条件与勘探[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 135-141.
- LI Xiaoguang, GUO Yanmin, CAI Guogang, et al. Subtle buried hill reservoir accumulation conditions and exploration in Damintun Sag, Liaohe Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 135-141.
- [15] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(6): 845-851.
- HOU Guiting, QIAN Xianglin, CAI Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. Journal of Beijing University (Natural Science), 2001, 37(6): 845-851.
- [16] 周建生, 杨长春. 渤海湾地区前第三系构造样式分布特征研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(5): 1416-1426.
- ZHOU Jiansheng, YANG Changchun. A study of pretertiary structural characteristics and evolution in the Bohai Bay region[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(5): 1416-1426.
- [17] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾盆地新生代构造演化[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1995, 19(增): 1-6.

- QI Jiafu, ZHANG Yiwei, LU Kezheng, et al. Cenozoic tectonic evolution in Bohai Bay Basin Province [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1995, 19(sup): 1-6.
- [18] 池英柳, 杨池银, 周建生. 渤海湾盆地新生代断裂活动与含油气系统形成[J]. 勘探家, 2000, 5(3): 41-48.
- CHI Yingliu, YANG Chiyin, ZHOU Jiansheng. Cenozoic faulting and its influence on the formation of petroleum systems in Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Explorationist, 2000, 5(3): 41-48.
- [19] 赵贤正, 金凤鸣, 崔周旗, 等. 冀中坳陷隐蔽型潜山油藏类型与成藏模拟[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 137-143.
- ZHAO Xianzheng, JIN Fengming, CUI Zhouqi, et al. Types of subtle buried-hill oil reservoirs and their accumulation simulation in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 137-143.
- [20] 卢鸿, 王铁冠, 王春江, 等. 黄骅坳陷千米桥古潜山构造凝析油气藏的油源研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 17-21.
- LU Hong, WANG Tieguan, WANG Chunjiang, et al. Hydrocarbon sources of high waxy condensate oil and gas pools in Qianmiqiao buried-hill zone of Huanghua depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(4): 17-21.
- [21] 赵文智, 邹才能, 汪泽成, 等. 富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 5-13.
- ZHAO Wenzhi, ZOU Caineng, WANG Zecheng, et al. The intension and signification of "sag-wide oil-bearing theory" in the hydrocarbon-rich depression with terrestrial origin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 5-13.
- [22] 赵贤正, 王权, 金凤鸣, 等. 冀中坳陷隐蔽型潜山油藏主控因素与勘探实践[J]. 石油学报, 2012, 33(1): 71-79.
- ZHAO Xianzheng, WANG Quan, JIN Fengming, et al. Main controlling factors and exploration practice of subtle buried-hill hydrocarbon reservoir in Jizhong depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(1): 71-79.
- [23] 王拥军, 张宝民, 王政军, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷奥陶系潜山油气地质特征与成藏主控因素[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 51-58.
- WANG Yongjun, ZHANG Baomin, WANG Zhengjun, et al. Geological characteristics of Ordovician buried hill and main factors of oil/gas accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, China [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(1): 51-58.

(编辑 徐会永)