

文章编号:0253-9985(2012)01-0019-11

渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征

金春爽¹, 乔德武¹, 淡伟宁²

(1. 国土资源部 油气资源战略研究中心, 北京 100034;

2. 中国石油 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

摘要:渤海湾盆地经历了中、新生代两个裂陷旋回, 伴随了很强的中酸性和中基性岩浆活动。通过系统总结盆地内中、新生界火山岩分布及其油气藏类型, 火山岩油气藏发育特征及规律, 探讨了渤海湾盆地火山岩油气藏的勘探潜力。研究认为: 区内中生界火山岩主要分布在盆地东部, 以早白垩世为主; 新生代岩浆活动可以分为4期, 即孔店—沙四期、沙三期、沙二—东营期和馆陶期。盆地火山岩油气藏主要有3种类型: 潜山型、断块型和地层—岩性。中生代火山岩主要发育潜山型油气藏, 孔店—沙四期火山岩多发育断块型火山岩油气藏, 沙三期火山岩所探明的油气储量最多, 地层—岩性火山岩油气藏是新生界火山岩中较常见的油气藏类型, 溢流相是最有利相带。除沙三期火山岩外, 中生代、孔店—沙四期和海域的沙二—东营期火山岩也具有较大的勘探潜力。

关键词: 中生代; 新生代; 火山岩; 油气藏; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin

Jin Chunshuang¹, Qiao Dewu¹ and Dan Weining²

(1. Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034, China;

2. Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: Bohai Bay Basin underwent two rifting cycles during the Mesozoic and Cenozoic era, accompanied by intense neutral-acidic and neutral-basaltic magmatism. Based on comprehensive research of the Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and their reservoir types, characteristics and patterns, this paper discusses the exploration potential of volcanic hydrocarbon reservoirs in Bohai Bay Basin. The Mesozoic, especially the Early Cretaceous volcanic rock is mainly distributed in the east of the basin; the Cenozoic magmatism may be divided into four stages: Kongdian-Sha⁴, Sha³, Sha²-Dongying, Guantao. There are three types of volcanic hydrocarbon reservoirs in the basin, i. e. buried-hill, fault block and stratigraphic-lithologic hydrocarbon reservoirs. The first type is mainly developed in the Mesozoic volcanic rocks; the second type is mainly developed in the volcanic rocks of Kongdian-Sha⁴ stage; the third type is common in the Cenozoic volcanic rocks, of which the effusive facies are the most favorable for reservoir formation. The Sha³ volcanic rocks contribute to the greatest volume of proven reserves. In addition to the Sha³ volcanic rocks the Mesozoic, Kongdian-Sha⁴ and offshore Sha²-Dongying volcanic rocks also show great potential for petroleum exploration.

Key words: Mesozoic, Cenozoic, volcanic rock, volcanic hydrocarbon reservoir, Bohai Bay Basin

渤海湾盆地经历了中、新生代两个裂陷旋回, 形成了大量的中酸性和中基性火山岩, 在很多地

区发现了火山岩油气藏(图1;表1)。火山岩油气藏主要发育在辽河拗陷热河台、欧利坨子、大洼地

收稿日期: 2011-04-12; 修订日期: 2012-01-15。

第一作者简介: 金春爽(1974—), 女, 教授级高级工程师, 石油地质。

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价项目(XQ-2006-01)。

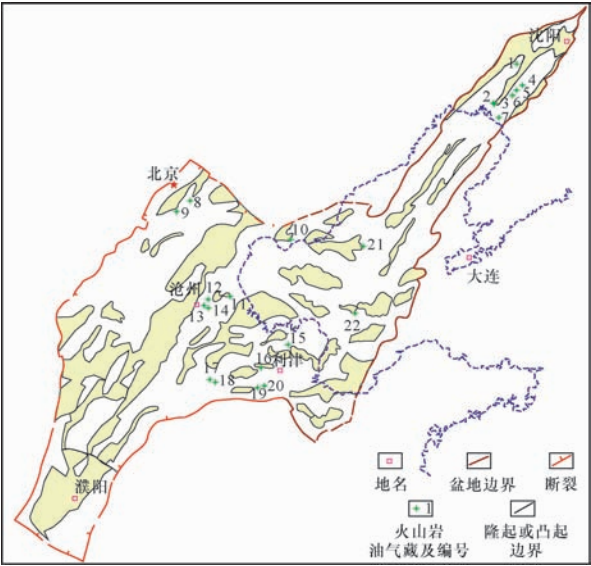


图 1 渤海湾盆地典型火山岩油气藏分布示意图
Fig. 1 Schematic map showing distribution of typical volcanic hydrocarbon reservoirs in Bohai Bay Basin
(油气藏名称及特征见表 1)

区^[1-3], 黄沙坨地区^[4], 牛心坨地区^[5], 荣兴屯地区^[6]; 冀中拗陷廊固凹陷^[7]; 黄骅拗陷南堡凹陷^[8]、

风化店地区^[9], 枣北地区^[10-12]; 济阳拗陷惠民凹陷中部^[13-17]、东营凹陷^[15,18-19]和沾化凹陷南部^[20]。本文在论述中新生代渤海湾盆地的裂陷旋回与岩浆活动总体特征基础上, 总结盆地内中、新生界火山岩分布及其油气藏类型、发育特征及规律, 探讨渤海湾盆地火山岩油气藏的勘探重点和方向。

1 盆地裂陷作用与岩浆活动

1.1 中、新生代裂陷作用

渤海湾盆地是一个大型中、新生代断陷盆地, 发育两个裂陷旋回: 中生代(侏罗纪—白垩纪)和新生代。

侏罗纪以来, 本区由相对稳定的地台发育阶段转入活动性较强的裂谷盆地发育阶段。进入晚侏罗世, 在太平洋板块俯冲作用和深部软流圈大规模上涌活动的影响下, 岩石圈发生减薄、软流圈相应上涌、幔源岩浆增生到地壳底部发生侵入作用, 在这两种机制的联合作用下, 渤海湾盆地进入第一个裂陷演化阶段, 发生了大规模的裂陷作

表 1 渤海湾盆地典型火山岩油气藏特征
Table 1 Characteristics of typical volcanic hydrocarbon reservoirs in Bohai Bay Basin

编号	油气藏(地区/井)	层位	岩性	储集空间类型	油气藏类型	拗陷
1	坨 32	中生界	流纹岩	裂缝-孔隙型	潜山型	
2	洼 609	中生界	凝灰岩	孔隙-裂缝型	潜山型	
3	洼 7	房身泡组	玄武岩	孔隙-裂缝型	含油	
4	黄沙坨	沙三段	粗面岩	孔隙-裂缝型	地层-岩性、断块型	辽河拗陷
5	欧利坨子	沙三段	粗面岩	裂缝-孔隙型	地层-岩性、断块型	
6	热河台	沙三段	粗面岩、玄武岩	裂缝-孔隙型	地层-岩性、断块型	
7	荣 76	中生界	安山岩	裂缝-孔隙型	潜山型	
8	京 126	沙四段	玄武岩	孔隙-裂缝型	含油	冀中拗陷
9	曹 6 井	沙四段	辉绿岩	裂缝-孔隙型	含油	
10	北堡 12-3	沙二段	玄武岩	裂缝-孔隙型		
11	扣村	沙一段、中生界	辉绿岩、粗安岩	裂缝-孔隙型	断块型	
12	枣北	沙三段	玄武岩、火山碎屑岩	孔隙-裂缝型	地层-岩性	黄骅拗陷
13	风化店	中生界	流纹岩	孔隙-裂缝型	潜山	
14	王官屯	沙三段	玄武岩	孔隙-裂缝型	断块型	
15	罗 151	东营组、馆陶组	辉绿岩	孔隙-裂缝型	地层-岩性	
16	滨南	沙三段、沙四段	玄武岩	孔隙-裂缝型	地层-岩性?	
17	商 741	沙一段、沙三段	火山碎屑岩、辉绿岩	孔隙-裂缝型	地层-岩性	济阳拗陷
18	临 41-14	沙三段	玄武岩	孔隙-裂缝型		
19	高 42	孔店组	玄武岩	孔隙-裂缝型	断块型	
20	纯西	沙三段	辉绿岩	孔隙-裂缝型	地层-岩性	
21	秦皇岛 36-1	中生界	安山岩	孔隙-裂缝型	潜山型	渤海海域
22	渤中 22-2	中生界	安山岩?		潜山型	

用^[21-24]。渤海湾盆地西界断层——太行山东断层在该时期已经形成,由于太平洋板块的 NNW 向俯冲,使得 NNE 向的郯庐断裂发生大规模的左旋走滑,黄骅-聊城-兰考断裂也开始活动。

郯庐断裂带的左旋走滑平移、以及受张家口-蓬莱断裂带和齐广断裂的共同作用,渤海湾中部地区形成了 NE、NW 和近 WE 向的黄骅裂陷、五号桩裂陷和惠民-东营裂陷;在盐山-歧口-新港-兰考-聊城断裂以西、太行山东断裂以东的地区,受左旋走滑影响较弱,主要发育 NE 和 NNE 向断陷盆地,形成了北京-保定-石家庄裂陷盆地群:包括北京、大厂、葛渔城、石家庄、饶阳、临清裂陷;NNE 向的辽河拗陷区和郯庐断裂中段拗陷区则属郯庐断裂带内部的走滑拉张盆地^[25-27](图 2)。在这些裂陷盆地中,沉积了较厚的下侏罗统一上白垩统,并伴有强烈的火山活动,形成了广泛发育的中酸性系列的岩浆作用。至晚白垩世,渤海湾盆地进入拗陷发育阶段,逐步结束了中生代裂陷旋回。

新生代早期应力场从 NW-SE 南东向的挤压转为拉张,渤海湾盆地开始了第二个裂陷旋回,经历了古近纪裂陷沉降阶段和新近纪—第四纪后裂

陷热沉降阶段。古近纪裂陷作用具有幕式渐进发展的特征,进一步可以划分为 3 个裂陷期,分别与孔店组-沙河街组四段(以下简称沙四段)(断陷初期)、沙河街组三段(以下简称沙三段)(强烈断陷期)、沙河街组一段(以下简称沙一段)-东营组(断陷晚期)3 套沉积层的发育期相对应,沙河街组二段(以下简称沙二段)沉积时期可能为强烈断陷与晚期断陷的过渡时期。自西向东形成了冀中拗陷带、沧县隆起带、黄骅拗陷带、内黄-埕宁隆起带、东濮-济阳拗陷带、下辽河-辽东湾拗陷带^[29-31]。新生代盆地一定程度上继承了中生代盆地特征,东部、西部构造走向以 NNE 向为主,中部地区则以 NE、NW 和近 WE 向为特征。

1.2 中、新生代火山活动

渤海湾盆地中、新生代的两个裂陷旋回构成了两个大规模的火山活动旋回:中生代火山活动以中酸性的火山岩为主,新生代的火山活动以中基性火山岩为主(图 3)。新生代火山活动通常划分为华北 I 幕(古近纪)和华北 II 幕(新近纪-第四纪)^[32],本文将其称为亚旋回 II₁ 和亚旋回 II₂,亚旋回 II₁ 火山岩较亚旋回 II₂ 的火山岩发育。

中生代火山旋回可以划分为两期:侏罗纪火山活动以形成安山岩类为特征,白垩纪火山活动以形成流纹岩类为特征;古近纪火山活动可划分为三期:分别为沙四—孔店期、沙三期和沙二—东营期。新近纪火山活动主要发生在馆陶期。

中生界火山岩主要由一套碱性-偏碱性火山熔岩-火山碎屑岩组成,以中酸性流纹岩、安山岩为主要岩石类型,火山碎屑岩主要为火山集块岩、火山角砾岩和火山凝灰岩。

古近纪(沙四—孔店期)渤海湾盆地处于裂陷初期,构造活动强烈,华北 I 幕火山活动在全盆地范围内表现都很突出,特别是沙四末期为古近纪以断裂为主的构造活动最强烈时期,大断裂的剧烈活动形成了沿其呈裂隙式喷发而广泛分布的火成岩,岩性主要为以中基性为主的玄武岩系列和辉绿岩等次火山岩;沙三期为裂谷盆地发育全盛期,块断作用强烈,火山活动活跃,因而在渤海湾盆地普遍发育该期火山岩,既有火山喷发作用,又有火山侵入作用和侵出作用,岩性主要为玄武岩、辉绿岩、粗面岩和粗面斑岩。沙二—东营期,构造活动已明显减弱,但由于一些断裂仍有较强

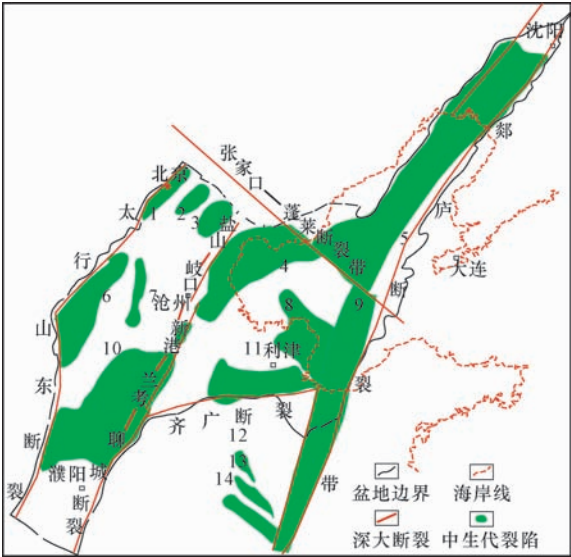


图 2 渤海湾地区晚侏罗世—早白垩世原型盆地及深大断裂分布示意图^[28](据胡居文,1989,修改)

Fig. 2 Schematic diagram of the Late Jurassic-Early Cretaceous prototype basins and major faults in Bohai Bay area (modified from Hu Juwen, 1989)

盆地名称:1. 北京;2. 大厂;3. 葛渔城;4. 黄骅;5. 下辽河;6. 石家庄;7. 饶阳;8. 五号桩;9. 郯庐断裂中段;10. 临清;11. 惠民-东营;12. 莱芜;13. 蒙阴;14. 平邑

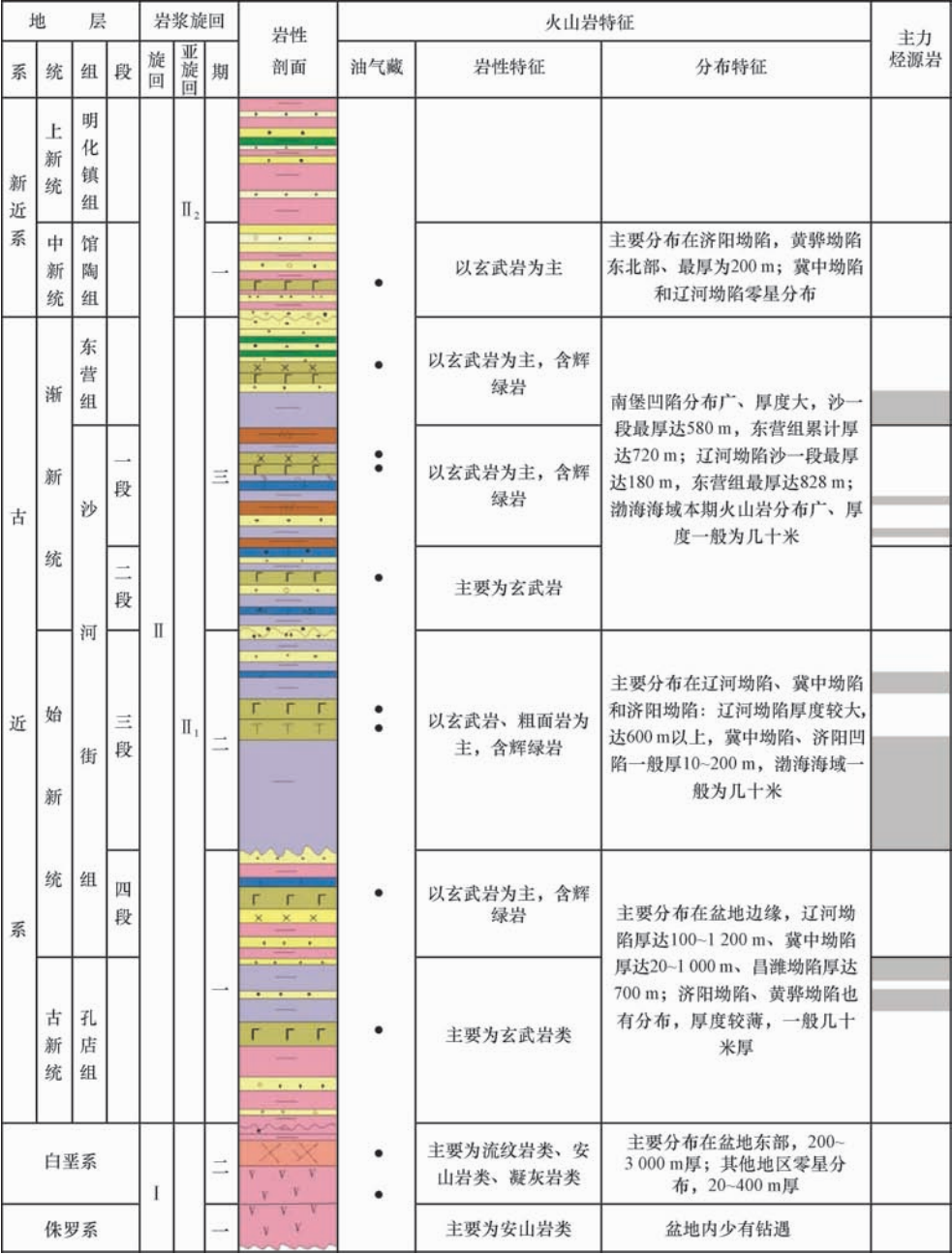


图 3 渤海湾盆地中、新生界火山岩地层综合柱状图及油气藏

Fig. 3 Stratigraphic column of the Meso-Cenozoic volcanic rocks and hydrocarbon reservoirs in Bohai Bay Basin

活动性, 因而造成火山岩局限分布的特点, 岩性以玄武岩为主。华北 I 幕从孔店期至东营期的火山岩分布的变化, 表明了盆地构造发展旋回随断裂由整体活动变为局部性, 火山活动逐渐演变为以中心式喷发和侵入为主。由于构造活动的迁移性, 使火山活动也随之迁移。

新近纪渤海湾盆地进入坳陷发展阶段, 构造活动强度明显减弱, 华北 II 幕(新近纪—第四纪)的火山活动也明显减弱, 主要发育在济阳坳陷、黄

骅坳陷; 馆陶期岩浆以裂隙式喷发为主, 部分地区大面积分布, 明化镇期火成岩为中心式活动的特点, 呈零星分布。

渤海湾盆地中、新生代两个裂陷构造旋回不仅形成了两大火山旋回, 两大旋回火山岩的岩性也有显著差异, 中生代以中酸性火山岩为主, 新生代以中基性火山岩为主, 表明了盆地裂陷作用的构造发展演化历史与火山活动强度及其分布密切相关, 裂陷作用的不同阶段, 火山活动强度及岩性的变化也

反映了渤海湾盆地的构造发展演化历史的变迁。

2 火山岩分布特征

2.1 中生界火山岩

中生界火山岩主要分布在渤海湾盆地东部,包括辽河拗陷和渤海海域;在黄骅拗陷、冀中拗陷、济阳拗陷也有少量分布(图4)。

在辽河拗陷及其周缘,中生界火山岩分布广泛。在盆地外围,下侏罗统兴隆沟组火山岩主要分布于辽西朝阳朱杖子、北票、兴隆沟—三宝之间局部地区;上侏罗统火山岩主要见于辽西地区以及赤峰以北大兴安岭西南部地区。在辽河拗陷,中生界火山岩主要分布在西部凹陷、大民屯凹陷的西侧及东部凹陷东侧,白垩系火山岩较侏罗系火山岩更为发育;在西部凹陷和大民屯凹陷,火山岩位于白垩系义县组中,在高升地区、宋家洼陷、

牛心坨等地区该组都比较发育,沈208、高2、宋14、坨3等钻井中都钻遇了较厚的火山岩地层,钻井揭示该套火山岩以中酸性火山岩系为主,由灰色、绿灰、深灰色和紫色安山岩、蚀变安山岩,流纹岩,安山质、流纹质的角砾岩、凝灰岩等组成,其次还有少量的中基性熔岩;在东部凹陷,火山岩位于白垩系小岭组中(与西部凹陷中的义县组相当),界3、湾2、佟2等井中均钻遇较厚的火山岩,岩性主要为紫红色安山岩、灰红色流纹岩、灰白色、灰绿色凝灰岩为主,上部偶夹绿灰色蚀变玄武岩。总体上,东部与西部岩性类似,但西部中生代火山岩厚度更大,达1 000~3 000 m。

在渤海海域,中生代有比较强烈的火山活动,时代为晚侏罗世—早白垩世,以早白垩世为主。上侏罗统火山岩仅在石臼坨凸起钻遇,白垩系火山岩主要分布在埕北凸起及歧南断裂带、莱北低凸起、石臼坨区和辽东湾地区的渤东低凸起区,海20、BZ7、QHD30-1-1和PL7-1-1等井都钻遇

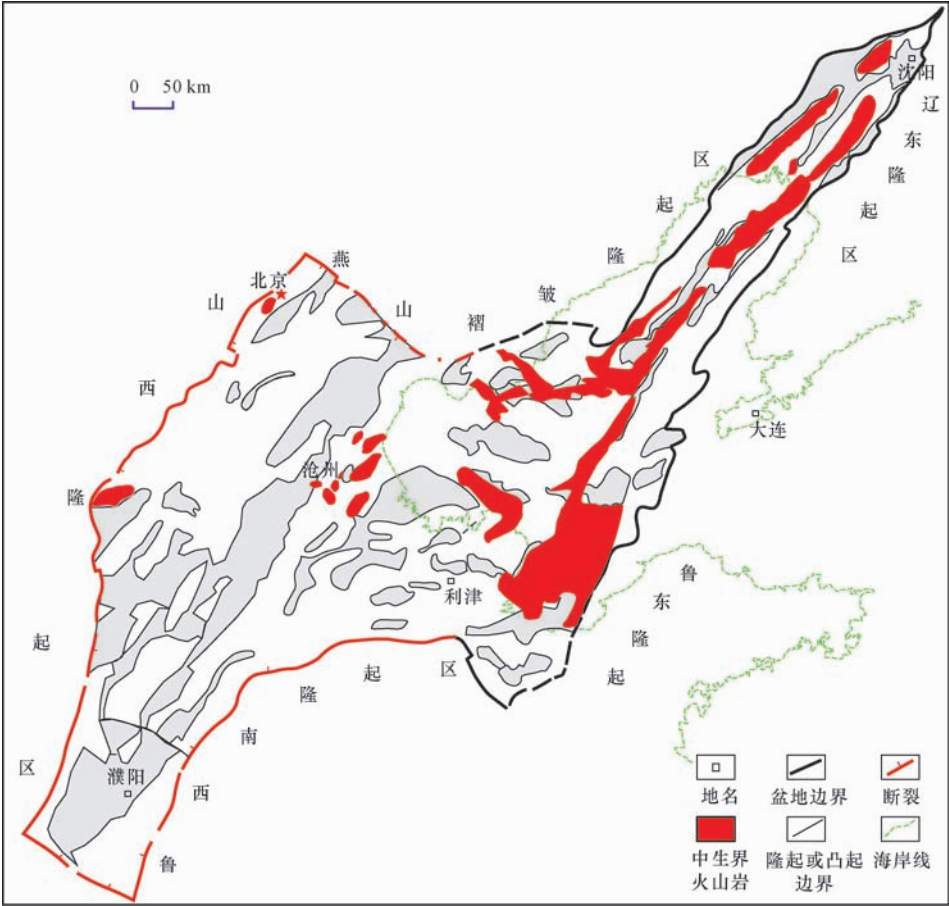


图4 渤海湾盆地中生界火山岩分布略图

Fig. 4 The Mesozoic volcanic rock distribution in Bohai Bay Basin

了较厚的白垩系火山岩,岩性以安山岩、凝灰岩、火山角砾岩为主,含有少量玄武岩、英安岩等。因此,渤海海域南段是渤海海域中生代火山活动最强烈地带^[33-34],莱北低凸起区的 13B5-1 井钻遇了厚度达 1 536.4 m 的中生界火山岩。

在黄骅坳陷,中生代火山岩主要分布在中南部前古近纪隆起区,时代为晚白垩世,岩性以中性-碱性过渡类型的粗安岩,厚度为几十米到 200 m^[35]。

在冀中坳陷,中生代火山岩主要分布在白垩系辛庄组中,在丰台、无极、石家庄等地揭露较完整,丰参 2、极 5 井揭露的辛庄组火山岩以暗紫红色、灰色安山岩为主,夹凝灰岩、玄武岩,厚度达到 420 m^[36]。

在济阳坳陷,下白垩统西洼组下部发育中性火山岩,主要分布在济阳坳陷东北部,岩性以浅灰色安山岩类为主,夹灰绿色凝灰岩^[37]。

郯庐断裂带内部及其以西地区中生界火山岩的广泛分布,显示了中生代郯庐断裂带极为活跃;

盆地中部的黄骅-聊城-兰考断裂和西部的太行山前断裂此时活动相对较弱,火山活动也相对较弱。中生界火山岩多呈 NEE 向展布、中部地区呈 NW 向展布,与渤海湾盆地中生代断裂的走向一致,反映了火山活动以裂隙式喷发为主的特征。

2.2 新生界火山岩

渤海湾盆地新生界火山岩,平面上具有东多西少、北多南少的特点(图 5),在孔店-沙四期、沙三期、沙二-东营期、馆陶期 4 个主要活动期中,以孔店组、沙三段、沙一段、馆陶组 4 个层位火山岩相对更为富集,但各时代火山岩分布变化较大。

2.2.1 孔店-沙四期火山岩

孔店-沙四期(辽河坳陷称为房身泡-沙四期)火山岩主要分布在盆地边缘,多呈 NNE 向展布,主要分布在辽河坳陷、冀中坳陷、昌潍坳陷、济阳坳陷东南部、东濮凹陷东南部,此外在黄骅坳陷

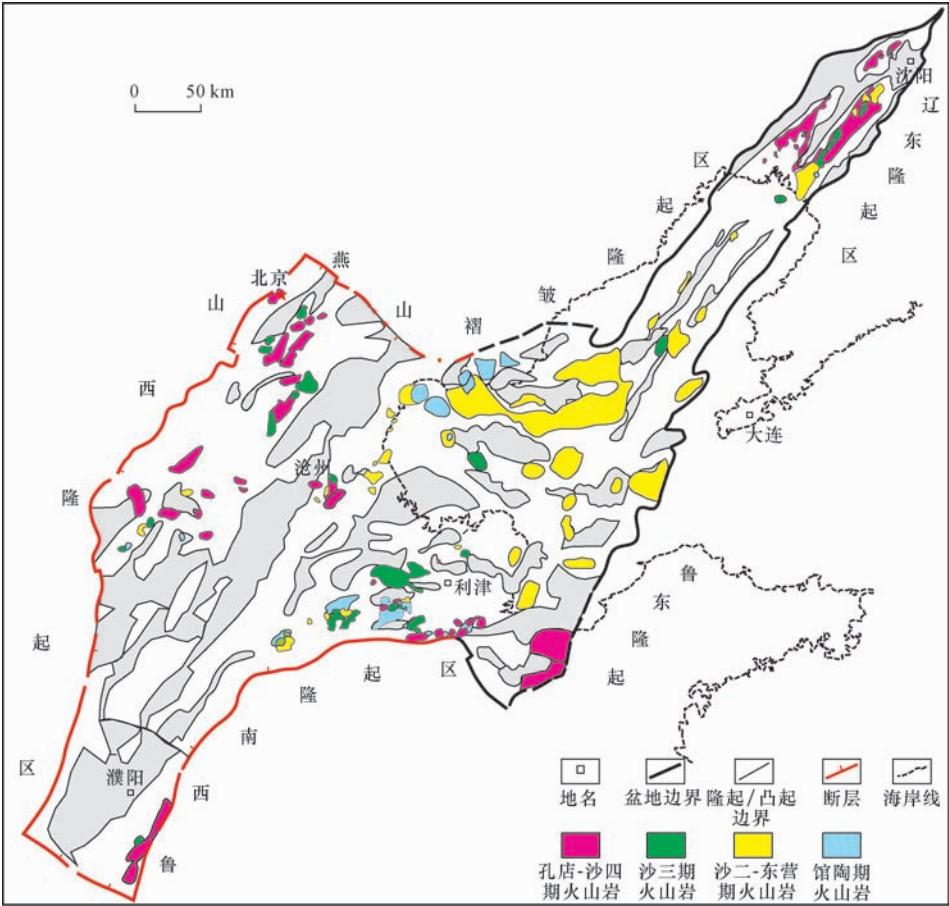


图 5 渤海湾盆地新生界火山岩分布略图

Fig. 5 The Cenozoic volcanic rock distribution in Bohai Bay Basin

孔店构造带也有分布。

在辽河拗陷,房身泡组时期是火山活动最强烈的时期,火山岩在全区广泛分布,呈NNE向展布,以玄武岩系列为主、含部分凝灰岩,西部凹陷主喷发中心位于高升地区,钻井揭示最大厚度为1 204 m未穿(高参1井)^[2],从中心向四周减薄并分为3支向南北延伸。西支位于西部斜坡带,火山岩厚100~200 m;北支向北延伸不远,厚度较薄;东支位于台安大洼断裂带上,呈带状断续分布,延至大洼地区,洼7井揭示房身泡组火山岩厚度169.55 m。东部凹陷以小龙湾地区为主喷发中心,小3井揭示火山岩厚度为1 123.39 m(未穿),向北延展至四方台附近,向南延展至荣兴屯附近。

在冀中拗陷,本期火山岩分布范围也较广,总体展布方向为NNE向,主要分布在拗陷的北部和中南部。北部的北京凹陷、大厂凹陷、廊固凹陷、霸县凹陷内均有孔店-沙四期的玄武岩、辉绿岩,厚度在20~200 m左右;中南部本期火山岩也以玄武岩为主,包括饶阳凹陷南部、保定凹陷南部、刘村低凸起一带、无极-叶城低凸起一带,厚度在30~300 m左右,局部较厚,刘村-深泽低凸起泽古16井沙四段玄武岩累计厚度达1 027 m。

在济阳拗陷,孔店-沙四期火山岩主要分布在拗陷东南部的金家-草桥一带,在林樊家、高青、滨县一带也有分布,岩性以玄武岩为主,高42井钻遇孔店组玄武岩厚38.4 m、滨618井钻遇14.2 m沙四段玄武岩^[18],整体呈近EW向展布^[38]。

在昌潍拗陷沂沭断裂带内,广泛分布孔店组玄武岩,厚度较大,据昌6、昌8和昌11等井资料,玄武岩厚500~700 m^[39]。在东濮凹陷分布局限,仅在桥口、白庙地区局部出现沙四段厚层灰色玄武岩^[40]。

2.2.2 沙三期火山岩

沙三段沉积时期渤海湾盆地进入强烈断陷期,火山活动相对孔店-沙四期明显减弱,分布范围减小,但发现的火山岩油气藏很多。火山岩主要分布在辽河拗陷、冀中拗陷和济阳拗陷,岩性以玄武岩和次火山岩为主,在辽河拗陷东部凹陷中部地区发育粗面岩类。

在辽河拗陷,沙三期火山岩主要分布在东部凹陷黄沙坨、欧利坨子、热河台地区和牛居-青龙台地区,南部喷发中心位于热河台地区,火山岩厚

度在600 m以上,北部喷发中心位于青龙台至茨53井区,西部凹陷的陈家乡地区和大民屯北部地区也有分布。

在冀中拗陷,沙三期火山岩主要分布在北部的大厂凹陷、廊固凹陷的旧州-固安构造带、霸县凹陷的苏桥和文安斜坡区,火山岩厚10~200 m;南部晋县凹陷也有分布,赵28井沙三期玄武岩厚174 m。

在济阳拗陷,火山岩主要分布在几条近EW向断裂带附近,夏口断裂带东部商河南、阳信断裂带东部阳信-滨县一带、高青-金家一带,主要岩性为玄武岩,B358井玄武岩厚达168 m^[41],此外辉绿岩等次火山岩也很发育,在商741井等发现了次火山岩油藏。

此外,在渤海海域CFD16-3-1、CFD23-1-1和LD16-3-1三口井中钻遇了沙三期玄武岩,厚度分别为15.5、76.5和63.0 m;黄骅拗陷孔店构造带发育该期的玄武岩和火山角砾岩,但总体为零星分布。

2.2.3 沙二—东营期火山岩

本期火山岩在沙一段和东营组中富集,岩性以玄武岩为主,在渤海海域的渤中拗陷、黄骅拗陷东北部、济阳拗陷东北部以及辽河拗陷段均广泛发育,此外,在辽河拗陷东部凹陷的南部和北部地区,在黄骅拗陷张西、扣村地区,济阳拗陷夏口断裂带附近,冀中拗陷南部地区也有分布。

在南堡凹陷,本期火山岩不仅分布广,厚度也大,沙一段最大钻遇玄武岩厚度达578.5 m;东营组三段火山岩最大钻遇厚度120 m;东营组一段火山岩最大钻遇厚度600 m^[42]。在辽河拗陷东部凹陷本期火山活动也较强烈,且南部喷发强度比北部大得多,南部沙一段火山岩最厚为181 m(于34井),喷发中心位于黄金带地区,北部喷发中心位于茨榆坨地区;东营组火山岩最厚达828 m(桃6井),南部喷发中心位于沟沿-红星一带,北部位于茨榆坨地区。渤海海域本期火山岩分布广,但厚度不大,BZ34-5-2井钻遇沙一段火山岩厚度51 m,BZ19-2-1井钻遇东营组火山岩厚度54 m。

2.2.4 馆陶期火山岩

馆陶期火山岩在渤海湾中部南北两边大面积分布,主要集中在济阳拗陷的南部、黄骅拗陷的东

北部,此外在冀中拗陷和辽河拗陷也有零星分布,岩性主要为玄武岩。济阳拗陷本期火山岩厚度较薄,主要沿夏口断裂带分布,肖庄、商河、林樊家地区分布较广,南部的高青、金家和乐安一带也有分布。黄骅拗陷的北塘凹陷、南堡凹陷和乐亭凹陷均有较大分布,南堡凹陷最大钻遇厚度为 200 m。

综上所述,新生代火山岩总体分布特征为:孔店—沙四期火山岩分布范围较广,包括冀中拗陷、辽河拗陷、济阳拗陷东南部、东濮凹陷东南部,本期火山岩主要分布在盆地边缘;沙三期火山岩活动相对孔店—沙四期明显减弱,分布范围减小,火山岩向盆地内部迁移,主要分布在济阳拗陷、冀中拗陷和辽河拗陷;沙二—东营期火山岩主要分布在渤海海域,在渤海海域最为发育;进入新近纪,随着构造活动强度减弱,岩浆活动较弱,火山岩零星分布,馆陶期火山岩主要分布在盆地中部的南北两侧。新生界火山岩从老到新,从盆地边缘向中心、再向盆地边部迁移的趋势(图 5)主要受制于控制火山活动的深部断裂组系在各时期的发育和演化。

3 火山岩油气藏特征

在渤海湾盆地,由于火山岩广泛分布于不同时代,并紧邻沙三段、沙四段、孔店组以及东营组有效烃源岩(图 3),生成的油气可就近运移到火山岩储集体中聚集成藏,在所有的火山岩层段中都发现了油气藏(图 3),储层的岩石类型主要有玄武岩、流纹岩、安山岩、辉绿岩、火山角砾岩、凝灰岩,裂缝和孔隙均为主要储集空间。操应长等对渤海湾盆地古近系火山岩油气藏油气地质储量的统计,表明沙三段火山岩聚集的油气地质储量最多^[14]。沙三段火山岩具有最优越的油气储聚、成藏条件,主要是因为沙三段发育巨厚的有效烃源岩;另一方面,沙三期发育的火山岩多为水下喷发,岩浆遇水冷凝形成了大量的冷凝收缩缝,这种以自碎角砾岩为主的火山岩原生裂缝、气孔、溢气孔等原生储集空间相当发育,为成藏奠定了良好的储集条件。说明了近油源、富油源与优质储集条件相匹配是火成岩成藏的重要条件。

勘探成果表明,渤海湾盆地火山岩油气藏主要有 3 种类型:潜山型火山岩油气藏、断块型火山岩油气藏、地层—岩性油气藏(图 6)。

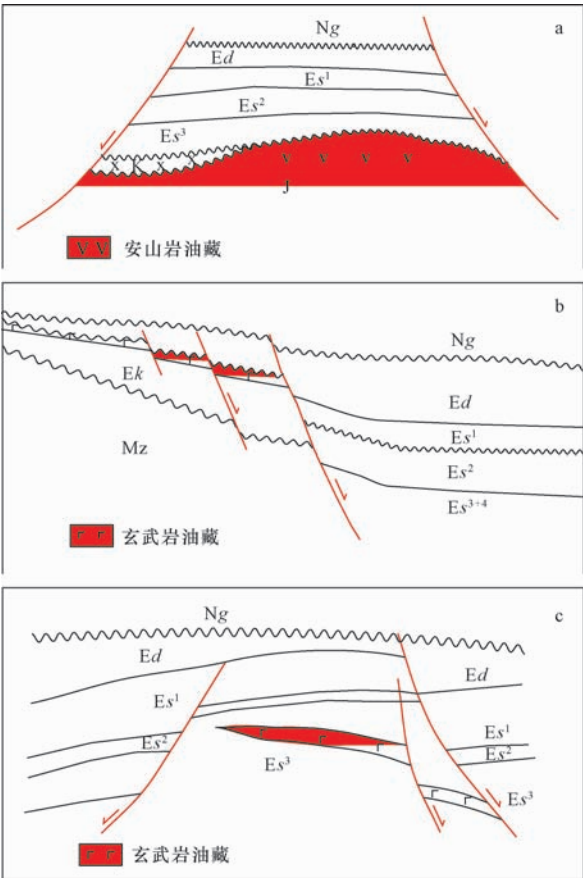


图 6 渤海湾盆地火山岩油气藏成藏模式示意图
Fig. 6 Hydrocarbon accumulation models in the volcanic reservoirs in Bohai Bay Basin

a. 秦皇岛 36-1 中生界潜山型火山岩油藏模式;b. 高青孔店组断块型火山岩油藏模式;c. 热河台沙河街组三段地层—岩性型火山岩油藏

(Mz 为中生界,Ek 为孔店组,Es⁴ 为沙河街组四段,Es³ 为沙河街组三段,Es² 为沙河街组二段,Es¹ 为沙河街组一段,Ed 为东营组,Ng 为馆陶组)

3.1 潜山型火山岩油气藏

潜山型火山岩油气藏是指油气储聚在具有潜山形态的火山岩体内形成的油气藏。在渤海湾盆地,发现的潜山型火山岩油气藏有:兴隆台火山岩油气藏、洼 609 井区中生界火山岩油气藏、秦皇岛 36-1 火山岩油气藏(图 6a)、风化店流纹岩油气藏。这类油气藏主要发育于中生界火山岩不整合面之下,由于风化作用或火山间歇喷发作用形成的不整合面、边界断层以及渗透性地层是油气运移的良好通道,与火山岩体邻近的生油洼陷内的油气在地层压力、浮力及水动力等油气运移驱动力作用下,沿着连通砂体、断面、不整合面向上倾

方向火山岩体的风化壳圈闭中运移聚集形成油气藏。油气藏多位于火山岩体的顶部;通常爆发相上部为有利相带,岩性以中酸性的凝灰岩、火山角砾岩及熔岩为主;火山岩储层的储集空间主要为气孔,风化淋滤作用形成的溶蚀孔、洞、缝,以及断裂作用形成的构造裂缝。

3.2 断块型火山岩油气藏

断块型火山岩油气藏是指主要由断层控制的火山岩油气藏,火山岩呈层状或块状形态,通常位于凹(洼)陷的斜坡区或凹(洼)内高地内,形成抬斜断块、断鼻或地垒断块型圈闭,油气沿断层和渗透性地层运移至圈闭中成藏。当火山岩体顶部发育不整合面时,不整合面也是油气运移的主要通道。

在渤海湾盆地,发现的断块型火山岩油气藏有:高青孔店组火山岩油藏(图6b)、小22井区沙三段火山岩油藏、扣22井区沙一段辉绿岩油藏、官187井区沙三段火山岩油藏、大平房地区东营组火山岩油藏。此类油气藏主要发育在新生代孔店-沙四期,火山岩油气藏顶部常发育不整合面;岩性以玄武岩、次火山岩为主,位于斜坡区的溢流相和浅层侵入岩体外带为有利相带;构造裂缝、原生收缩缝和溶蚀孔隙为储层的主要储集空间,当火山岩体顶部发育不整合面时,溶蚀作用形成的孔、洞、缝和构造裂缝是储层最重要的储集空间。

3.3 地层-岩性火山岩油气藏

地层-岩性火山岩油气藏是新生界火山岩中较常见的油气藏类型,油气藏发育在烃源岩内部或邻近部位,非均质性极强。生油洼陷内的油气近距离沿渗透性地层运移至火山岩体(或次火山岩体)高部位储集空间发育区聚集成藏。

在渤海湾盆地,发现的地层-岩性火山岩油气藏有:枣78井区沙三段玄武岩油藏、欧利坨子沙三段粗面岩油藏、热河台沙三段玄武岩油藏(图6c)、张7井区沙一段辉绿岩油藏、商741辉绿岩火山岩油藏。水下喷发的溢流相顶部和浅层侵入岩体外带因原生作用形成的裂缝极其发育,成为火山岩储层的有利相带,这些自碎裂缝、气孔、溢气管成为储层最重要的储集空间。

另外,致密的火山岩作为侧向遮挡,可形成诸多与火山岩伴生的碎屑岩油气藏,这种类型油气

藏不在本文讨论之内。总之,中生代火山岩中多发育潜山型火山岩油气藏;孔店一沙四期火山岩多发育顶部具有不整合面的断块型火山岩油气藏;沙三期、沙二一东营期和馆陶期火山岩多发育断块型火山岩油气藏和地层-岩性油气藏,沙三段火山岩油气藏最为发育。

4 结论

渤海湾盆地中、新生界火山岩主要分布及岩浆活动强度的变化实际上是渤海湾盆地构造发展演化历史的反映。优越的烃源条件和储层条件的良好配置,致使沙三段火山岩中发现的油气地质储量最多。中生界火山岩和部分孔店一沙四期火山岩分布很广,特别是中生界火山岩因为经历了长时间的风化淋滤和断裂作用作用改造,次生孔隙发育,在近烃源地区,应具有很大的油气勘探潜力;在渤海海域,沙二一东营期火山岩也很发育、加之埋藏浅,但勘探和研究程度相对较低,发现火山岩油气藏的潜力也较大。

致谢:本文在研究渤海海域火山岩分布时,参考了《华北前第三系油气资源战略调查与评价》项目的相关成果资料,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] 任作伟,金春爽. 辽河坳陷洼609井区火山岩储集层的储集空间特征[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 54-56.
Ren Zuowei, Jin Chunshuang. Reservoirs spacefeature of the volcanic rocks in the area of Well Wa-609, Liaohe depression [J]. Petroleum Exploration And Development, 1999, 26(4): 54-56.
- [2] 赵澄林,孟卫工,金春爽,等. 辽河盆地火山岩与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 1999: 1-101.
Zhao Chenglin, Meng Weigong, Jin Chunshuang, et al. The volcanic rocks and petroleum [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 1-101.
- [3] Chen A, Yan H, Li J, et al. Relationship between Tertiary volcanic rocks and hydrocarbons in the Liaohe basin, Peoples Republic of China[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(6): 1004-1014.
- [4] 张新培,邓宏文,张吉昌,等. 辽河坳陷东部凹陷欧-黄地区火山岩储集层特征及有利储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 370-376.
Zhang Xinpei, Deng Hongwen, Zhang Jichang, et al. Characteristics of volcanic rock reservoirs in Ou-Huang area of the eastern sag in Liaohe depression and prediction of favorable reser-

- voirs[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(3): 370-376.
- [5] 慕德梁, 李成, 柳锦云. 辽河坳陷牛心坨地区中生界火山岩预测技术与勘探效果[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 67-69.
Mu Deliang, Li Cheng, Liu Jinyun. Mesozoic igneous reservoir forecast and exploration achievements in Niuxintuo Area, Liaohe Depression[J]. Petroleum Exploration And Development, 2005, 32(3): 67-69.
 - [6] 李明生, 朱红梅, 邸秀莲. 荣兴屯地区中生界火山岩储层特征及其地球物理响应研究[J]. 断块油气田, 2007, 14(2): 1-4
Li Mingsheng, Zhu HongMei, Di Xiulian. Study on Mesozoic volcanic reservoir characteristics and geophysical responses in Rongxingtun area, Liaohe Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007, 14(2): 1-4.
 - [7] 梁宏斌, 降栓奇, 杨桂茹, 等. 冀中坳陷北部天然气类型、成藏模式及成藏条件研究[J]. 中国石油勘探, 2002, 7(1): 17-33.
Liang Hongbin, Long Shuanqi, Yang Guiru, et al. The natural gas types, reservoirs forming models and conditions in the northern of Jizhong depression[J]. China Petroleum Exploration, 2002, 7(1): 17-33.
 - [8] 肖军, Kamaye T, 王华, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷火山岩特征及其有利成藏条件分析[J]. 地质科技情报, 2004, 23(1): 52-56.
Xiao Jun, Kamaye T, Wang Hua, et al. Characteristics of igneous rocks and their favorable pool-forming conditions in Nanpu Sag, Bohai Bay[J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(1): 52-56.
 - [9] 罗静兰, 张成立. 风化店中生界火山岩油藏特征及油源[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 357-360.
Luo Jinglan, Zhang Chengli. Characteristics and oil source for Mesozoic volcanic pools in Fenghuadian region[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 357-360.
 - [10] 郑亚斌, 王延斌, 冉启全. 枣35断块火山岩储层特征研究[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 54-58.
Zheng Yabin, Wang Yanbin, Ran Qiquan. Investigation on characteristics of volcanic reservoir in Zao 35 Block[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 54-58.
 - [11] 王振升, 陈智宇, 王书香, 等. 枣北地区火山岩油藏勘探历程及开发实践[J]. 特种油气藏, 2003, 10(1): 55-58.
Wang Zhensheng, Chen Zhiyu, Wang Shuxiang, et al. Exploration history and development practice in volcanic reservoirs of Zaobei area, Huanghua depression[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2003, 10(1): 55-58.
 - [12] 杨立民, 邹才能, 冉启全. 大港枣园油田火山岩裂缝性储层特征及其控制因素[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(1): 86-91.
Yang Liming, Zou Caineng, Ran Qiquan. The Zaoyuan oil field, Dagang, Tianjin: Crack-type volcanic reservoirs[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(1): 86-91.
 - [13] 李春光. 山东惠民凹陷火成岩原生油气藏[J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(1): 8-12.
Li Chunguang. The primary oil-gas reservoirs of igneous rocks within Huimin depression, Shandong province[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1994, 16(1): 8-12.
 - [14] 操应长, 姜在兴, 邱隆伟, 等. 渤海湾盆地第三系火成岩油气藏成藏条件探讨[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(2): 6-10.
Chao Yingchang, Jiang Zaixing, Qiu Longwei, et al. Study on forming conditions for oil and gas reservoirs of Tertiary igneous rock in Bohai bay basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2002, 26(2): 6-10.
 - [15] 肖焕钦, 许建华, 孙锡年. 东营凹陷滨南地区火成岩油藏勘探技术[J]. 新疆石油学院学报, 2002, 14(2): 15-19.
Xiao Huanxin, Xu Jianhua, Sun Xinian. Exploration Technology of Igneous Rock Reservoir in Binnan Area, Dongying Sag[J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2002, 14(2): 15-19.
 - [16] 刘超英, 闫相宾, 徐旭辉, 等. 应用流体包裹体研究惠民凹陷南斜坡油气充注史[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 507-510, 542.
Liu Chaoying, Yan Xiangbin, Xu Xuhui, Zhou Qingfan, Qin Weijun. Application of fluid inclusion to the study of hydrocarbon charge history of the south slope in the Huimin Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 507-510, 542.
 - [17] 初宝杰, 向才富, 姜在兴, 等. 济阳坳陷西部惠民凹陷第三纪火山岩型油藏成藏机理研究[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2): 201-208.
Chu Baojie, Xiang Caifu, Jiang Zaixing, et al. Study on forming mechanism of the Tertiary igneous rock type oil reservoir in Huimin depression in the east part of Jiyang Sag[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(2): 201-208.
 - [18] 李春光. 东营、惠民凹陷与火山岩相关的油气藏[J]. 中国石油勘探, 1997, 2(1): 29-32.
Li Chunguang. Oil and gas related to the volcanic rocks in Dongying and Huimin depressions[J]. China Petroleum Exploration, 1997, 2(1): 29-32.
 - [19] 董艳蕾, 朱筱敏, 滑双君, 等. 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 98-107.
Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Hua Shuangjun, et al. Genetic types and evolutionary model of mixed clastic carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 98-107.
 - [20] 徐义卫. 济阳坳陷八面河地区古近系孔店组油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 352-359.
Xu Yiwei. Characteristics of hydrocarbon accumulation in the Paleogene Kongdian Formation of Bamianhe area, the Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 352-359.
 - [21] 吴振明, 刘和甫, 汤良杰, 等. 中国东部中、新生代主要裂谷盆地的演化及评论[J]. 石油实验地质, 1985, 7(1): 60-69.

- Wu Zhenming, Liu Hepu, Tang Liangjie, et al. Evaluation and evolution of the major rift valley of Meso-Cenozoic in eastern China[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1985, 7(1): 60 – 69.
- [22] 杜旭东, 李洪革, 陆克政, 等. 华北地台东部及邻区中生代(J–K)原型盆地分布及成盆模式探讨[J]. *石油勘探与开发*, 1999, 26(4): 5 – 9.
- Du Xudong, Li Hongge, Lu Kezheng, et al. Distribution of prototype basins in Huabei platform and its neighboring region and a discussion of basin formation model[J]. *Petroleum Exploration And Development*, 1999, 26(4): 5 – 9.
- [23] 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论[J]. *地学前缘*, 2003, 10(S1): 199 – 206.
- Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng, et al. Conspectus on Mesozoic basins in Bohai bay province[J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 2003, 10(S1): 199 – 206.
- [24] 段秋梁, 谭未一, 杨长春, 等. 华北东部晚中生代伸展构造作用[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(2): 403 – 410.
- Duan Qiuliang, Tan Weiyi, Yang Changchun, et al. A review on the late Mesozoic extensional tectonics on the eastern North China Craton[J]. *Progress in Geophysics*, 2007, 22(2): 403 – 410.
- [25] 吴智平, 侯旭波, 李伟. 华北东部地区中生代盆地格局及演化过程探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(4): 385 – 399.
- Wu Zhiping, Hou Xubo, Li Wei. Discussion on Mesozoic basin patterns and evolution in the eastern north China block[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(4): 385 – 399.
- [26] 赵俊峰, 刘池洋, 刘永涛, 等. 南华北地区上古生界热演化史恢复[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 64 – 74.
- Zhao Junfeng, Liu Chiyang, Liu Yongtao, et al. Reconstruction of thermal evolutionary history of the Upper Paleozoic in the southern North China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(1): 64 – 74.
- [27] 范柏江, 刘成林, 庞雄奇, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对油气成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 192 – 198, 206.
- Fan Bojiang, Liu Chenglin, Pang Xiongqi, et al. Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, the Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(2): 192 – 198, 206.
- [28] 胡居文. 华北地区中生代盆地与油气[J]. *石油与天然气地质*, 1989, 10(4): 378 – 392.
- Hu Juwen. Mesozoic basins in north China and their oil potential[J]. *Oil & Gas Geology*, 1989, 10(4): 378 – 392.
- [29] 漆家福, 陆克政, 张一伟, 等. 渤海湾盆地新生代构造与油气的关系[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 1995, 19(S1): 7 – 13.
- Qi Jiafu, Lu Kezheng, Zhang Yiwei, et al. Relationship between tectonics and hydrocarbon in Bohai bay basin province[J]. *Journal of the University of Petroleum, China* 1995, 19(S1): 7 – 13.
- [30] 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等. 中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 2004, 29(5): 583 – 588.
- Lin Changsong, Zhang Yanmei, Li Sitian, et al. Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in eastern China[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5): 583 – 588.
- [31] 杨占宝. 郑庐断裂带中生代演化与含油气盆地形成分布综述[J]. *地质力学学报*, 2006, 29(1): 43 – 48.
- Yang Zhanbao. Meso-Cenozoic evolution of the Tanlu fault and formation and distribution of petroliferous basins[J]. *Journal of Geomechanics*, 2004, 29(5): 583 – 588.
- [32] 肖尚斌. 渤海湾盆地火成岩及其相关油气藏的分类[J]. *特种油气藏*, 1999, 6(4): 6 – 10.
- Xiao Shangbin. Classification of igneous and its related reservoir in Bohai gulf basin[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 1999, 6(4): 6 – 10.
- [33] 徐贵忠. 渤海裂谷中生代火山岩特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 1986, 2(1): 81 – 90.
- Xu Guizhong. Characteristics of the Mesozoic volcanic rocks in Bohai rift and their geological significance[J]. *Acta Petrogica Sinica*, 1986, 2(1): 81 – 90.
- [34] 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探: 东部油气区(第三卷)[M]. 北京: 地质出版社. 石油工业出版社, 1999: 635 – 638.
- Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng. Petroleum exploration in China: the Eastern petroleum province(volume III)[M]. Beijing: Geological Publishing House. Petroleum Industry Press, 1999: 635 – 638.
- [35] 大港油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷四)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 32 – 42.
- Dagang oil field petroleum geology editorial committee. Petroleum geology of China(Volume IV)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 32 – 42.
- [36] 华北油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷五)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 26 – 57.
- Huabei oil field petroleum geology editorial committee. Petroleum geology of China(Volume V)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 26 – 57.
- [37] 胜利油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷六)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 29 – 31.
- Shengli oil field petroleum geology editorial committee. Petroleum geology of China(Volume VI)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 29 – 31.
- [38] 陈海云, 林春明, 张云银, 等. 济阳拗陷新生代火成岩的识别[J]. *石油地球物理勘探*, 2005, 40(6): 663 – 669.
- Chen Haiyun, Lin Chunming, Zhang Yunyin, et al. Identification of Cenozoic igneous rocks of Jiyang depression[J]. *OGP*, 2005, 40(6): 663 – 669.

- exploration targets in south-Tianshan block[J]. West China Petroleum Geosciences, 2007, 3(1): 22-26.
- [18] 吕修祥, 周新源, 李建交, 等. 塔里木盆地塔北隆起碳酸盐岩油气成藏特点[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1057-1064.
- Lv Xiuxiang, Zhou Xinyuan, Li Jianjia, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics of the carbonate rock in the northern uplift of the Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(8): 1057-1064.
- [19] 张朝军, 贾承造, 李本亮, 等. 塔北隆起中西部地区古岩溶与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(3): 263-269.
- Zhang Chaojun, Jia Chengzao, Li Benliang, et al. Ancient karsts and hydrocarbon accumulation in the middle and western parts of the north Tarim uplift, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(3): 263-269.
- [20] 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄. 塔北地区下奥陶统白云岩热液重结晶作用及其油气储集意义[J]. 中国科学(地球科学), 2010, 40(2): 156-170.
- Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan. Hydrothermal recrystallization of the lower Ordovician dolomite and its significance to reservoir in northern Tarim Basin[J]. Science China (Earth Science), 2010, 40(2): 156-170.
- [21] 徐开礼, 朱志澄. 构造地质学(第二版)[M]. 地质出版社, 1989.
- Xu Kaili, Zhu Zhicheng. Structure Geology(II)[M]. Geological Publishing House, 1989.
- [22] 杨勇, 查明, 洪太元, 等. 不整合分类研究进展与新型分类方案[J]. 地层学杂志, 2007, 31(3): 288-295.
- Yang Yong, Zha Ming, Hong Taiyuan, et al. Types of unconformities and their classification[J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(3): 288-295.
- [23] 邓自强, 林玉石, 张美良, 等. 略论古岩溶不整合-以广西阳朔白沙堡晚白垩世岩溶为例[J]. 广西地质, 1994, 7(2): 61-70.
- Deng Ziqiang, Lin Yushi, Zhang Meiliang, et al. Preliminary discussion on Palaeo karst unconformity-illustrated by late Cretaceous karst in baishabao, yangshuo county, Guangxi[J]. Guangxi Geology, 1994, 7(2): 61-70.
- [24] 汤良杰, 金之钧, 张一伟, 等. 塔里木盆地北部隆起负反转构造及其地质意义[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 93-98.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun, Zhang Yiwei, et al. Negative inversion structures and geological significance of northern uplift, the Tarim Basin, northwestern China[J]. Geoscience, 1999, 13(1): 93-98.
- [25] 汤良杰, 金之钧. 塔里木盆地北部隆起牙哈断裂带负反转过程与油气聚集[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 302-309.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun. Negative inversion process and hydrocarbon accumulation of yaha fault belt in northern uplift, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 302-309.
- [26] 薛巨丰. 不整合的控藏作用[J]. 西部探矿工程, 2010(2): 96-99.
- Xue Jufeng. Study on unconformity controlling hydrocarbon accumulation[J]. West-China Exploration Engineering, 2010(2): 96-99.
- [27] 王建功, 卫平生, 杨建礼. 松辽盆地西南部青山口组三段底界不整合面与油气分布[J]. 地质论评, 2005, 83(5): 78-88.
- Wang Jiangong, Wei Pingsheng, Yang Jianli. The unconformity below the cretaceous qingshankou formation and distribution of oil and gas in the southwestern Songliao Basin[J]. Geological Review, 2005, 83(5): 78-88.
- [28] 陈发景, 张光亚, 陈昭年. 不整合分析及其在陆相盆地构造研究中的意义[J]. 现代地质, 2004, 18(3): 269-275.
- Chen Fajing, Zhang Guangya, Chen Zhaonian. Unconformity analysis and its significance in the study of continental basin tectonics[J]. Geoscience, 2004, 18(3): 269-275.

(编辑 董立)

(上接第29页)

- [39] 程有义, 梁书义, 丘东洲. 淮北凹陷中生代层序地层的沉积模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 21-27.
- Cheng Youyi, Liang Shuyi, Qiu Dongzhou. Models for Mesozoic sequence stratigraphy of the north Weifang depression[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2001, 21(4): 21-27.
- [40] 中原油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷七)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 23-31.
- Zhongyuan oil field petroleum geology editorial committee. Petroleum geology of China (Volume VII)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 23-31.
- [41] 金强, 翟庆龙, 万从礼. 裂谷盆地烃源岩中的火成岩及其活动模式-以东营凹陷为例[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(3): 231-237.
- Jin Qiang, Zhai Qinglong, Wan Congli. Igneous rock and its active mode in source rocks of rift basin-an example of Dongying sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(3): 231-237.
- [42] 董月霞, 周海民, 夏文臣. 南堡凹陷火山活动与裂陷旋回[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 304-307.
- Dong Yuexia, Zhou Haimin, Xia Wenchen. Volcanic activities and rift-subsidence cycles in Nanpu sag[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 304-307.

(编辑 张亚雄)