

doi: 10.12029/gc20210422

李洪楠, 高荣锦, 张海栋, 李子敬, 王贵文, 田志. 2021. 辽河拗陷大洼地区中生界火山岩储层特征及成藏模式[J]. 中国地质, 48(4): 1280–1291.
Li Hongnan, Gao Rongjin, Zhang Haidong, Li Zijing, Wang Guiwen, Tian Zhi. 2021. Characteristics and hydrocarbon accumulation models of Mesozoic volcanic reservoirs in the Dawa area of Liaohe depression[J]. Geology in China, 48(4): 1280–1291(in Chinese with English abstract).

辽河拗陷大洼地区中生界火山岩储层特征 及成藏模式

李洪楠¹, 高荣锦¹, 张海栋¹, 李子敬¹, 王贵文^{2,3}, 田志¹

(1. 中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010; 2. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 3. 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:大洼地区毗邻大型生油洼陷—清水洼陷, 多级断裂及多期不整合面构成复合油气输导体系, 成藏条件优越。但本区火山岩储层岩性岩相复杂、喷发环境多变。为进一步明确储层发育特征及油气成藏主控因素, 本次研究利用 15 口井 107.73 m 的岩心、270 块薄片及测井资料综合分析, 认为大洼地区 Mz-I 段形成于水下喷发环境, 发育溢流相玻质碎屑岩亚相玄武质火山角砾岩及溢流相熔岩亚相玄武岩; Mz-II 段形成于水上喷发环境, 发育爆发相凝灰岩相流纹质凝灰岩及溢流相熔岩亚相安山岩。其中玄武质火山角砾岩储集性能最好, 平均孔隙度 19.3%, 平均渗透率 $6.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 玄武岩物性最差, 平均孔隙度 9.2%, 平均渗透率 $0.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据录测井及地震资料分析, 认识到大洼地区中生界火山岩具有良好源储配置关系且发育多期次断裂及不整合面组成的复合油气输导体系。结合试油试采资料进一步确定油气藏的分布, 明确成藏主控因素, 建立油气成藏模式。研究表明, 储层品质受控于岩性岩相、火山喷发环境及构造活动, 油气成藏主要受控于源储配置关系及输导体系, 油藏类型为构造—岩性复合型油藏, 西侧近油源且近台安—大洼断层的有利岩性岩相带为有利勘探目标区。

关键词:储层特征; 成藏模式; 主控因素; 火山岩; 中生界; 油气勘查工程; 大洼地区; 辽河拗陷
中图分类号: TE122.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2021)04-1280-12

Characteristics and hydrocarbon accumulation models of Mesozoic volcanic reservoirs in the Dawa area of Liaohe depression

LI Hongnan¹, GAO Rongjin¹, ZHANG Haidong¹, LI Zijing¹, WANG Guiwen^{2,3}, TIAN Zhi¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin 124010, Liaoning, China; 2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The Dawa area is adjacent to the Qingshui large oil-generating sag, where the composite hydrocarbon migration system constituted by multi-stage faults and unconformities provides a favorable condition for hydrocarbon accumulation. However, the

收稿日期: 2019-09-17; 改回日期: 2020-12-25

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“辽河油田千万吨稳产关键技术研究与应用”(2017E-16)资助。

作者简介: 李洪楠, 男, 1988 年生, 硕士, 工程师, 主要从事综合地质研究; E-mail: honeylee5599@126.com。

volcanic lithology and lithofacies are complex with changeable eruption environment in this area. In order to clarify the reservoir characteristics and the main controlling factors of hydrocarbon accumulation, based on 107.73 m core, 270 thin sections and logging data from 15 wells, the volcanic lithology and lithofacies are classified. It is suggested that the Mz- I Member was formed in underwater eruption environment with overflow hyaloclastite subfacies basaltic volcanic breccia and overflow lava subfacies basalt. The Mz- II Member was developed in abovewater eruption environment with explosive tuff subfacies rhyolitic tuff and overflow lava subfacies andesite. Among the volcanic lithofacies, the basaltic volcanic breccia shows the best physical property with porosity of 19.3% and permeability of $6.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, and the basalt shows the worst physical property with porosity of 9.2% and permeability of $0.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Based on the logging and seismic data, it is recognized that the Dawa area possesses a favorable source-reservoir matching and composite hydrocarbon migration system constituted by multi-stage faults and unconformities. The hydrocarbon reservoir distribution is determined by production test data to definite the main controlling factors of hydrocarbon accumulation and establish accumulation models. The study shows that the reservoir quality is controlled by lithology, lithofacies, volcanic eruption environment and tectonic movement. The hydrocarbon accumulation is mainly controlled by source-reservoir configuration and migration system. The reservoir type is structural-lithologic composite reservoir. The favorable exploration target area is on the west side of the study area which develops favorable lithology and lithofacies and locates near oil source and Dawa fault. The west side of the study area and localities near oil source and Dawa fault are the priority prospects for exploration, where favorable lithology and lithofacies are developed.

Key words: reservoir characteristics; hydrocarbon accumulation models; main control factors; volcanic rocks; Mesozoic; oil and gas exploration engineering; Dawa area; Liaohe depression

About the first author: LI Hongnan, male, born in 1988, master, engineer, engaged in the study of comprehensive geology; E-mail: honeylee5599@126.com

Fund support: Supported by Major science and technology project of CNPC "Research and application of key technology of ten million tons stable production in Liaohe Oilfield" (NO.2017E-16).

1 引言

沉积盆地常见火山岩发育(Einsele, 2000; 王洛等, 2015), 在传统油气地质理论中, 火山岩往往被认为难以聚集油气。但近年研究表明, 火山岩不但自身可以作为储集层, 同时在一定条件下火山活动对于油气生成、油气运移及油气藏的保存都有积极的作用(刘诗文, 2001; 周动力等, 2010; 刘嘉麒等, 2010)。目前, 火山岩油气储量占世界探明油气储量的比例还很小, 但是在某些国家或地区已展现出良好的油气前景(王伟锋等, 2012), 尤其在日本(Kawamoto, 2001)和阿根廷(Sruoga et al., 2007)等国家, 油气资源主要来自火山岩油气藏, 另外在美国西海岸、印度尼西亚和墨西哥等 100 多个国家和地区均发现了火山岩油气藏(姜洪福等, 2009; 赵文智等, 2009; 孙粉锦等, 2010; 冯志强等, 2011; 付茜, 2017)。近年来, 中国东部的松辽盆地(陈孔全等, 2011)、渤海湾盆地(金春爽等, 2012)、西部的准噶尔盆地(袁丹等, 2013)、三塘湖盆地(郑曼等, 2013)、塔里木盆地(汤良杰等, 2012)等地区也均发

现了大规模的火山岩油气藏, 因此火山岩油气资源正逐步成为油气勘探的一个新的重要领域。

近年在辽河东部凹陷和西部凹陷的多个层系均发现了不同规模的火山岩油气藏(任作伟等, 1999; 陈振岩等, 2011; Luo et al., 2012; 王岩泉等, 2013; 张江涛等 2014; 高鹏程等, 2015; 孟卫工等, 2015; 刘宗利等, 2018)。根据储量分布情况, 大洼地区中浅层目前勘探程度已经很高, 相比之下, 中深层还处于低勘探阶段。其中, 中生代地层显示出良好的油气勘探潜力, 从成藏条件来看, 大洼地区紧邻清水洼陷, 油源供给充足, 大洼断裂带以及不整合面为油气运移提供了良好的通道。同时, 该区发育多种储层类型, 具备复式圈闭条件, 油气成藏条件十分优越。但针对该区中生界储层评价及油气成藏方面的研究仍然比较薄弱, 研究精度远远满足不了该区油气勘探的需求。因此, 本文以大洼地区中生界火山岩油气藏为研究对象, 着重论述研究区的火山岩储层特征以及油气成藏, 分析储层控制因素, 建立成藏模式, 为大洼地区中生界火山岩油气勘探提供依据。

2 地质背景

辽河西部凹陷在构造上可以划分为大小洼构造带、海外河构造带、清水洼陷区、双台子构造带、盘山洼陷区、陈家洼陷区、兴隆台构造带、冷家压扭构造带、牛心坨台安洼陷区、牛心坨反转构造带以及西部斜坡区等11个构造单元。研究区中生界主要分布在台安—大洼断层东侧上升盘的大小洼构造带上(图1),西与清水洼陷区相临,北与冷家构造带相接,南侧为海外河构造带,勘探面积约200 km²。

储量分布情况表明,大洼地区中生界存在大量储量空白。20世纪90年代以后,该区在中酸性火山岩中上报探明石油地质储量 223×10^4 t,并投入开发。在这之后,该区中生界的勘探工作就一直停滞不前。究其原因,一是大洼地区中生界地层厚度较

大,纵向上研究精度不够;二是储层岩性复杂,非均质性强,评价难度大;三是成藏主控因素不清。

因此,本次研究首先将巨厚的中生代地层进行精细划分。中生代地层在大洼地区残留厚度变化较大,地层厚度从200 m到2200 m不等,前人研究都是将中生代地层作为一个层系单元进行研究,评价精度较低。本次研究将中生代地层进行三段式划分(图2)。其中,Mz-I段地层上部主要发育基性火山岩,主要包括玄武质火山角砾岩、玄武岩,下部主要发育砂砾岩;Mz-II段地层主要发育中酸性火山岩及砂砾岩,火山岩类型主要包括安山岩和流纹质凝灰岩;Mz-III段地层上部主要发育大套的砂砾岩,下部主要为角砾岩。研究认为,Mz-I段基性火山岩及Mz-II段中酸性火山岩油气显示活跃,储层品质和产能情况相对较好,是本次研究主要目

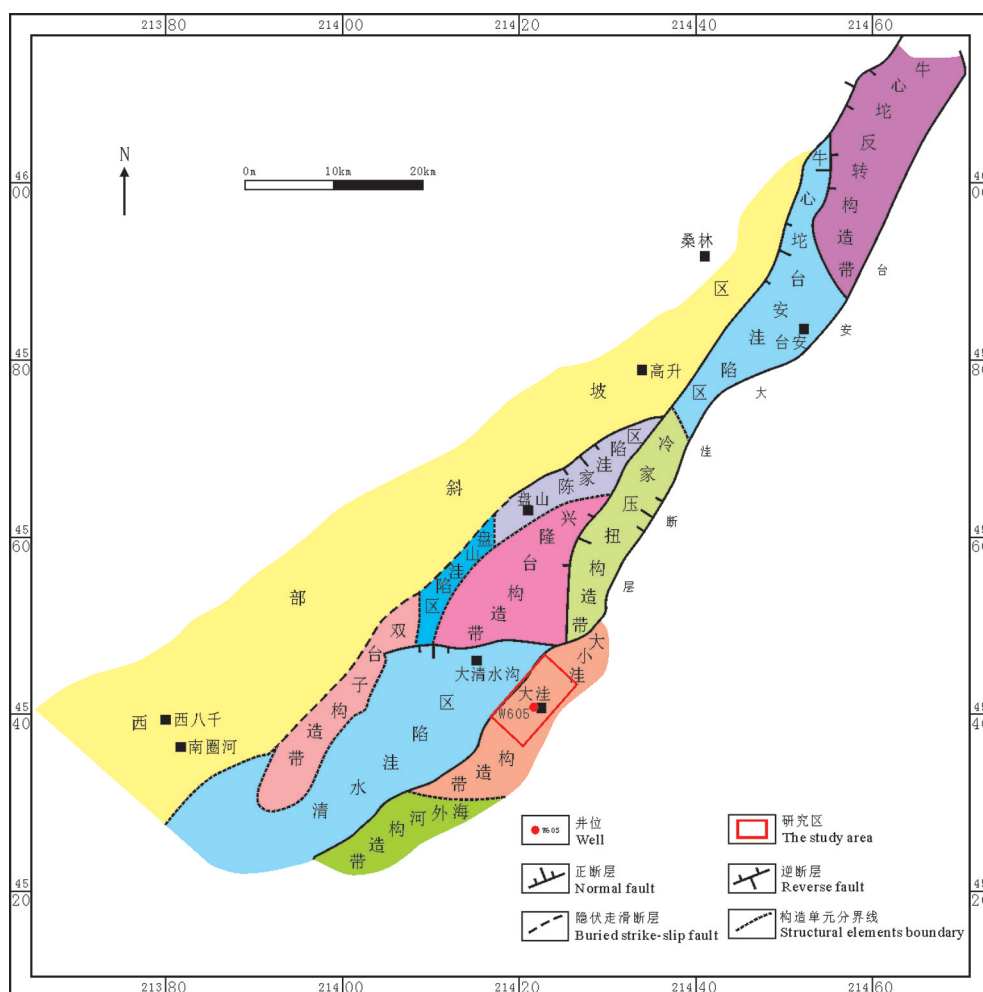


图1 西部凹陷构造分区图

Fig.1 Tectonic division of the Western Depression

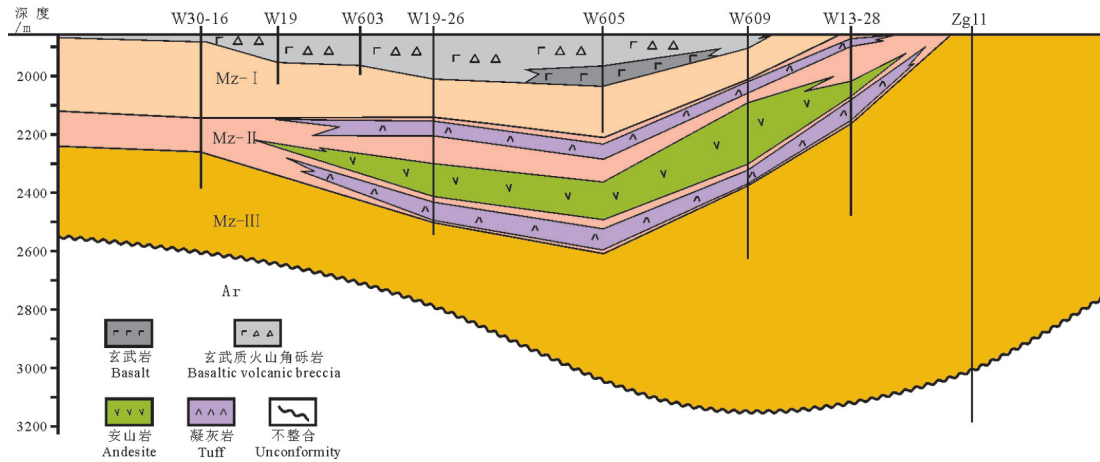


图2 大洼地区中生界地层划分联井剖面

Fig.2 Well-connected profile of stratigraphic division of the Mesozoic in the Dawa area

的层。通过岩石测年及地层对比分析,本区中生界 Mz- I 段基性火山岩地层属晚白垩世时期, Mz- II 段中酸性火山岩地层属早白垩世时期。

3 储层特征与主控因素分析

3.1 岩性特征

本区中生界火山岩岩性较为复杂,根据 15 口井 107.73 m 的岩心及 270 块薄片观察鉴定,将大洼地区中生界火山岩分为 2 大类、4 种岩石类型,分别为火山熔岩类玄武岩、安山岩及火山碎屑岩类玄武质火山角砾岩、流纹质凝灰岩(表 1)。

3.1.1 玄武岩

主要分布在 Mz- I 段,岩心呈深灰色,蚀变后多为黄绿色。部分玄武岩气孔发育,多被碳酸盐岩充填,形成杏仁构造(图 3a)。镜下呈斑状结构,块状构造,斑晶含量平均值为 12%,暗色矿物含量平均值 11%,蚀变中等—强。基质以微晶斜长石及辉石为主,长石随机或半定向排列,长石格架间充填辉石、磁铁矿等细小晶体,局部可见斑晶绿泥石化蚀变,碳酸盐交代(图 3b)。

3.1.2 安山岩

主要分布在 Mz- II 段,岩心较为致密,颜色为红色、灰绿色、灰色等,多为块状,可见小气孔,裂缝较为发育,可见沿裂缝面发育的溶蚀孔,局部裂缝被充填(图 3c)。镜下多呈斑状结构,斑晶为自形、半自行结构,斑晶类型主要为板状、针状斜长石及条状角闪石,斑晶含量为 20%~35%,斑晶间多为玻璃质充填,基质为交织结构,多被碳酸盐交代(图 3d)。

3.1.3 玄武质火山角砾岩

玄武质火山角砾岩在本区普遍发育,主要分布在中生界顶部 Mz- I 段,具有较强的可对比性,为本区主要的储集岩。宏观上多呈灰绿色、灰黑色,火山角砾结构,角砾成分为玄武岩,粒径 2~64 mm,火山角砾含量普遍大于 80%,结晶较差,宏观裂缝、气孔和溶蚀孔洞较为发育,孔、洞、裂缝中普遍含油(图 3e),镜下呈角砾状结构,角砾多为棱角状,部分角砾间被绿泥石或碳酸盐矿物充填(图 3f)。

3.1.4 凝灰岩

本区凝灰岩主要分布在 Mz- II 段,岩心呈灰褐色和深灰色,岩心分析表明 SiO₂ 含量较高,根据岩

表 1 大洼地区中生界火山岩岩石分类

Table 1 Classification of Mesozoic volcanic rocks in the Dawa area

岩类	亚类	岩性	主要特征
火山岩	火山	玄武岩	暗色矿物含量高,蚀变深,绿泥石化,碳酸盐交代
	熔岩	安山岩	暗色矿物含量低,斑晶斜长石为主,次为少量碱性长石
	火山	玄武质火山角砾岩	角砾为玄武岩块,结晶差,角砾见方解石充填为主,偶见硅质等
	碎屑岩	流纹质凝灰岩	以塑变玻屑为主,少量晶屑、岩屑

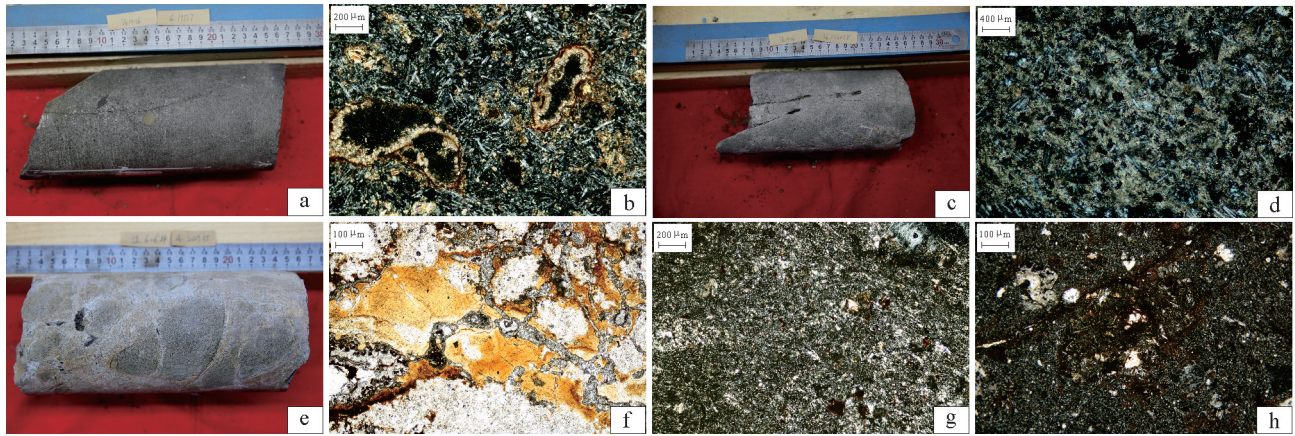


图3 火山岩岩石类型

a—玄武岩, W19-26井 1977.7 m; b—玄武岩, 气孔杏仁构造, 斑晶绿泥石化, W603井 2180.25 m; c—安山岩, W19-26井 2388.98 m; d—安山岩, 交织结构, W19-26井 2390.98 m; e—玄武质火山角砾岩, W606井 2029.35 m; f—玄武质火山角砾岩, 砾石间碳酸盐及绿泥石充填, W603井 2178.78 m; g—流纹质熔结凝灰岩, 熔结凝灰结构, 假流纹构造, ZG7井 1906 m; h—流纹质复屑凝灰岩, 复屑熔结结构, 假流纹构造, 铁质浸染, W51井 1975.6 m

Fig.3 Types of volcanic rocks

a—Basalt, well W19-26, 1977.7 m; b—Basalt, air pore and almond structure, chloritization in phenocryst, well W603, 2180.25 m; c—Andesite, well W19-26, 2388.98 m; d—Andesite, interwoven structure, well W19-26, 2390.98 m; e—Basaltic volcanic breccia, well W606, 2029.35 m; f—Basaltic volcanic breccia, gravels intervals filled with carbonate and chlorite, well W603, 2178.78 m; g—Rhyolitic fused tuff, fusion structure, pseudo rhyolite structure, well ZG7, 1906 m; h—Rhyolitic fragments tuff, fragments fusion structure, pseudo rhyolite structure, ferruginies dissemination, well W51, 1975.6 m

石微观特征可进一步划分为流纹质熔结凝灰岩及流纹质复屑凝灰岩。其中, 流纹质熔结凝灰岩镜下呈熔结结构, 假流纹构造, 成分以玻屑为主, 岩屑较少, 局部蚀变(图3g)。流纹质复屑凝灰岩镜下呈复屑熔结结构, 假流纹构造, 成分以玻屑为主, 其次为长石晶屑及岩屑, 由于受长时间的风化淋滤作用, 岩屑和晶屑发生不同程度的蚀变作用, 部分已经泥化, 局部可见铁质(图3h)。

3.2 储层特征

3.2.1 孔隙类型

根据110块岩石铸体薄片分析结果, 大洼地区中生界火山岩储层孔隙类型较为多样, 大小相差悬殊。Mz-I段的基性火山岩中玄武质火山角砾岩储集空间类型包括孔隙和裂缝两大类。孔隙包括原生孔隙和次生孔隙, 原生孔隙主要有角砾间残余孔(图4a)、气孔(图4b)等, 次生孔隙主要有砾间溶蚀孔、砾内溶蚀孔等(图4c)。由于研究区临近台安一大洼断层, 断裂较为发育, 因此裂缝主要为构造裂缝, 包括粒内缝、粒缘缝和穿粒缝(图4d)。Mz-II段中酸性火山岩储集空间类型主要为孔隙, 也包括原生孔隙和次生孔隙两大类, 原生孔隙主要为气孔, 次生孔隙主要为杏仁体溶蚀孔、基质溶蚀孔(图

4e)以及晶内溶蚀孔(图4f)。喉道类型以片状、弯片状喉道(图4g), 以及管束状喉道(图4h)为主。

3.2.2 储层物性

大洼地区中生界123块火山岩岩心常规物性分析资料表明, 岩心分析孔隙度主要分布于5.3%~25%, 平均16.6%; 渗透率主要分布于 0.012×10^{-3} ~ $6.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $3.45 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔、低渗—特低渗储层。根据孔隙度与渗透率关系分析, 孔隙度与渗透率具有一定的正相关关系, 但相关性较差, 说明储层存在一定储集空间, 但孔隙类型复杂, 连通性较差, 局部存在异常高渗数据点, 主要是裂缝发育提高了储层渗透能力(图5)。

3.2.3 孔隙结构

研究区W19、W39、W603、W609四口重点井36块岩心柱塞样的压汞测试结果表明, 本区火山岩储层排驱压力主要分布在0.214~14.939 MPa, 平均4.428 MPa; 最大连通孔喉半径主要分布在0.049~3.445 μm , 平均0.423 μm ; 饱和度中值孔喉半径主要分布在0.024~0.058 μm , 平均0.031 μm ; 饱和度中值压力主要分布在12.73~30.076 MPa, 平均24.598 MPa; 孔喉半径均值变化范围0.031~0.377 μm , 平均0.078 μm ; 退汞效率变化范围较大, 分布于12.38%

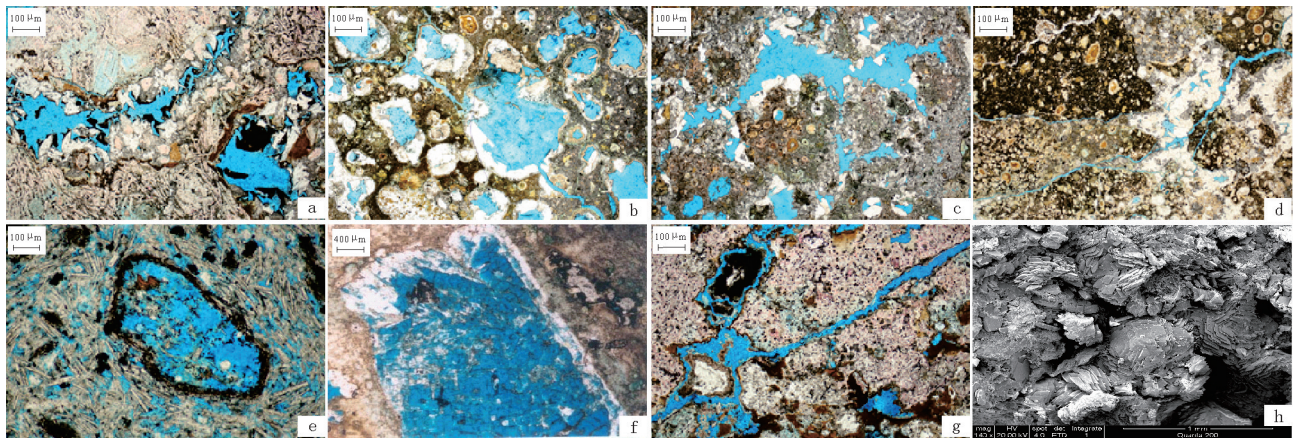


图4 火山岩储集空间类型

a—角砾间残余孔, W19井 2402.02 m; b—气孔, W7井 1826.65 m; c—角砾间溶蚀孔, W7井 1825.6 m; d—裂缝, W7井 1821.05 m; e—安山岩气孔及基质溶蚀孔, W19-26井 2389.98 m; f—凝灰岩晶内溶孔, W609井 1991.70 m; g—片状及弯片状喉道, W603井 2179.18 m; h—管束状喉道, W7井 1815.75 m, 扫描电镜

Fig.4 Types of storage space of volcanic

a—Inter breccia residual pores, well W19, 2402.02 m; b—Air pores, well W7, 1826.65 m; c—Inter breccia dissolution pores, well W7, 1825.6 m; d—Fractures, well W7, 1821.05 m; e—Andesite, air pores and matrix dissolution pores, well W19-26, 2389.98 m; f—Tuff, intracrystal dissolution pores, well W609, 1991.70 m; g—Sheet throat and bent sheet throat, well W603, 2179.18 m; h—Tube shaped throat, well W7, 1815.75 m, scanning electron microscope

~61.39%, 平均 29.58%, 退汞效率较低, 说明储层孔喉连通性较差; 分选系数分布在 0.006~0.701, 孔喉分选较差; 偏态变化范围在 0.394~4.116。总体本区中生界火山岩储层孔隙结构表现出细小孔隙、微喉道、细歪度、孔喉连通性及分选都较差的特征。

3.3 储层主控因素分析

本区火山岩储层储集空间具有孔隙—裂缝双重介质的特点, 岩性、岩相组合及喷发环境控制储层孔隙的发育, 构造作用则控制了储层裂缝的发育。

3.3.1 岩性、岩相组合及喷发环境控储

火山岩储集层的储集性能及储集空间类型与

岩性、岩相及喷发环境密切相关(张斌等, 2013), 研究表明大洼地区 Mz-I 段火山岩形成于水下喷发环境, 发育溢流相玻质碎屑岩亚相玄武质火山角砾岩及溢流相熔岩亚相玄武岩; Mz-II 段形成于水上喷发环境, 主要发育爆发相凝灰岩亚相流纹质凝灰岩及溢流相熔岩亚相安山岩。玄武质火山角砾岩储集物性最好, 流纹质凝灰岩及安山岩储集性能也相对较好, 可形成优质储层; 玄武岩物性较差, 难以形成有效储层(图6)。

玄武质火山角砾岩与常规的基性火山岩不同, 其具有很好的储集性能, 岩心分析平均孔隙度 19.3%, 平均渗透率 $6.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 主要原因是该套玄武质火山角砾岩形成于水下喷发环境, 主要证据有三点: (1) 砾石边缘见玻璃质冷凝边、存在玻璃质火山角砾(图 7a、b); (2) 角砾间填隙物成分以碳酸盐、硅质为主, 少量内碎屑(图 7c); (3) 泥岩隔层发育, 颜色普遍以深灰色为主(图 8)。这种特殊的环境下, 使得玄武岩熔浆在喷发之后直接与水体接触, 经淬火炸碎后快速堆积而成, 大量发育残余角砾间孔、气孔。

与此同时, 水下成岩环境中易于形成碳酸盐胶结物充填火山角砾间孔隙, 同时也会充填气孔, 形成杏仁构造而降低储层储集性能, 但这些碳酸盐胶

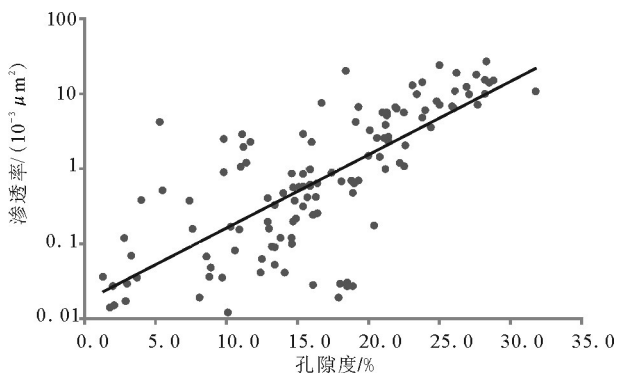


图5 研究区火山岩储层物性特征

Fig.5 Physical properties of volcanic rocks in the study area

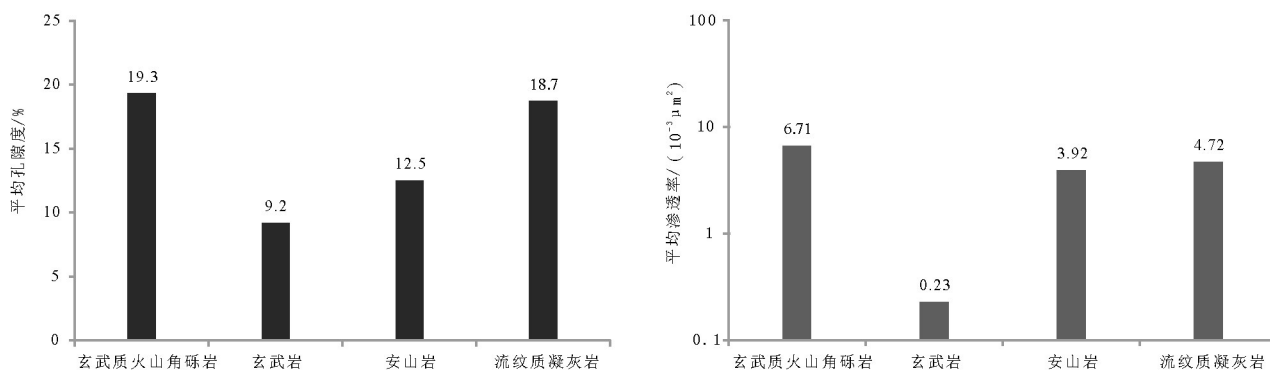


图6 研究区不同类型火山岩储层物性特征

Fig.6 Physical properties of different types of volcanic rocks in the study area

结物在后期改造作用下也可形成溶蚀孔隙,从而在一定程度上改善储集物性。酸性水体作用下,在角砾边缘形成砾缘溶蚀缝,增加储集空间以及储层的渗流能力。

流纹质凝灰岩储集性能也相对较好,平均孔隙度18.7%,平均渗透率 $4.72 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其喷发出地表之后空落于火山口周围,后遭受风化淋滤作用,使得岩石中大量发育次生溶蚀孔,另外凝灰岩在脱玻化过程中形成脱玻化孔也可有效改善储集性能。

安山岩储集性能中等,平均孔隙度12.5%,平均渗透率 $3.92 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,岩浆喷出地表后在后续岩浆推动及自身重力的作用下沿地表流动冷凝而成,挥发组分向上运移在安山岩顶部形成大量原生气孔,后期遭受酸性流体溶蚀形成杏仁体溶蚀孔及基质溶蚀孔,改善储集性能。

溢流相玄武岩物性最差,平均孔隙度9.2%,平均渗透率 $0.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,本区Mz-I段火山岩虽形成于水下喷发环境,但局部仍存在溢流相玄武岩,

该类玄武岩淬火作用不明显,其喷发之后以板状熔岩流的形式溢流至火山口周围,岩石十分致密,局部发育气孔,但多被水体环境中形成的碳酸盐胶结物充填形成杏仁构造且连通性差,后期裂缝改造后可以具有一定的储集及渗流性能,但总体上难以形成有效储层。

3.3.2 构造作用控储

裂缝的发育程度及分布规律对指导火山岩油气勘探具有重要意义(刘国平等,2016),本区临近台安一大注断裂带,构造活动强烈,这使得断裂带附近储集层当中构造裂缝十分发育,同时形成角砾内的微裂缝,而形成裂缝型储层;裂缝还可以提高储层的渗透性,火山岩中存在的大小不等的气孔都是互相不连通而独立存在的,另外部分原生角砾间孔也是不连通的,由于本区构造活动强烈而产生的裂缝将原生气孔及角砾间孔互相连通起来,从而改善储层物性,形成裂缝—原生孔隙型储层;酸性水体沿裂缝方向溶蚀作用增强,更易于形成溶蚀孔



图7 研究区玄武质火山角砾岩微观特征

a—玻璃质冷凝边, W19井2401.55 m; b—玻璃质火山角砾, W19井2401.55 m; c—角砾间碳酸盐胶结物, W603井2178.78 m

Fig.7 Microcosmic characteristics of the basaltic volcanic breccia in the study area

a—Glassy chilled border, well W19, 2401.55 m; b—Glassy volcanic breccia, well W19, 2401.55 m; c—Inter breccia carbonates cements, well W603, 2178.78 m

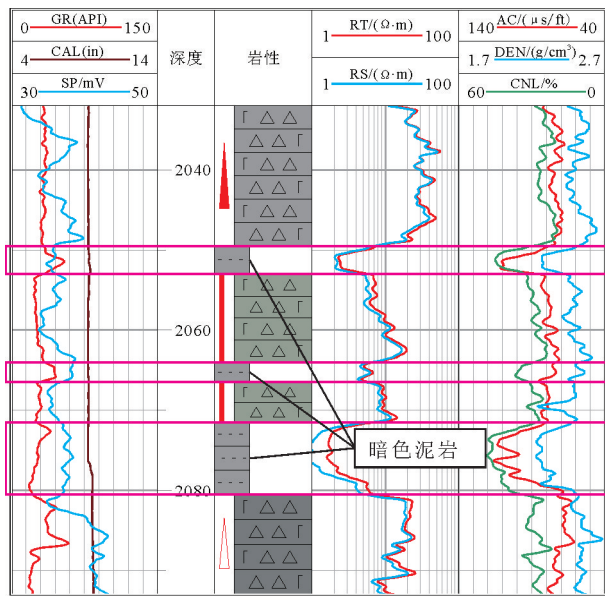


图8 暗色泥岩隔夹层
Fig.8 Dark mudstone sandwich

隙,包括沿裂缝形成的基质溶蚀孔、斑晶溶蚀孔及杏仁体溶蚀孔,从而进一步改善储集条件,形成裂缝一次生孔隙型储层。

另外,本区构造运动具有多期性的特点,这也导致本区裂缝的多期性和多向性,早期裂缝被晚期裂缝切割而形成网状缝,增加油气输导能力及储层渗透率。本区沙三段沉积时期构造活动最为剧烈,也是构造裂缝形成的主要时期,而本区主要成藏期为东营期(图9),这也使得构造裂缝主要起到改善储层物性的作用而未破坏油气藏。

4 油气成藏

4.1 成藏主控因素

4.1.1 源储配置关系控制油气富集

大洼中生界火山岩位于生油岩一侧,其西侧临近西部凹陷最大的生油洼陷—清水洼陷,南侧与W77块洼陷对接,两个洼陷古近系底界埋深超过6000 m,生油潜力巨大。洼陷内发育沙三、沙四两套烃源岩,厚度大,分布面积广,有机质丰度高,其中沙四段烃源岩厚度为200~400 m,以I型干酪根为主,沙三段烃源岩厚度为400~900 m,以II_A型干酪根为主。储层物性受岩性控制明显,溢流相玄武岩、溢流相安山岩、爆发相流纹质凝灰岩、火山通道相玄武质火山角砾岩,储层物性依次变好,随着物

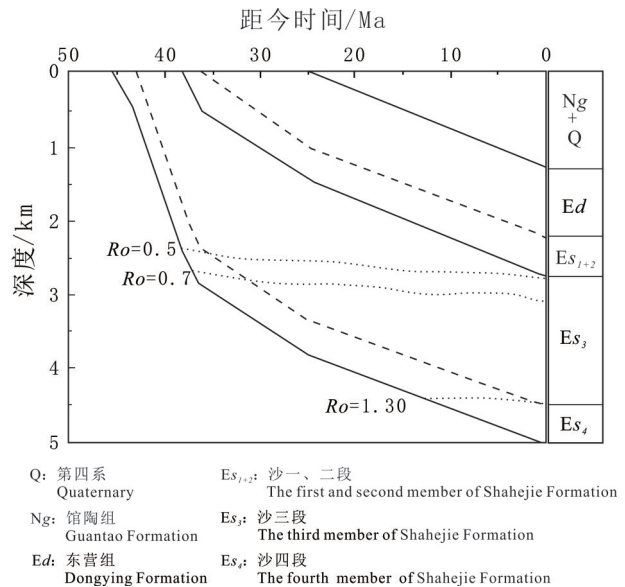


图9 研究区埋藏史及生烃史
Fig.9 Burial history and hydrocarbon generation history of the study area

性变好,岩心含油级别升高。研究表明,本区火山岩有效储层与优质烃源岩侧向直接对接,烃源岩大量排烃发生于东营组沉积时期,烃源岩与早期形成的有效储层构成有效的时空配置关系,油气从侧向运移到火山岩储层中成藏。同时,火山岩与烃源岩的侧向接触关系使得火山作用在有机质的成熟度方面起到积极作用。

试油情况表明,研究区西侧近油源区W121井、W603井玄武质火山角砾岩储层发育,试油均获得工业油流,W121井在玄武质火山角砾岩1930.4~1976 m试油,地层测试日产油12.1 m³;W603井在玄武质火山角砾岩2166.1~2177.9 m试油,压后日产油5.63 m³;W19-26井流纹质凝灰岩及安山岩储层段投产后产能效果较好,累产油2348 t。东侧远油源区W127井玄武质火山角砾岩储层也较为发育,但在2192.5~2220.6 m井段试油,压后日产水(压裂液)2.4 m³,无油无气,试油结果为干层。南侧W30-16井虽与南侧W77块生油洼陷对接,但储层岩性为玄武岩,储层品质差,未见油气显示(图10)。

4.1.2 复合输导体系是油气成藏的关键

西部凹陷经历多期构造运动在中生代时期形成多期次、多角度断裂体系,同时在中生界顶部、底部均发育大型区域不整合,断裂体系及不整合面构成了复合油气输导体系,为研究区油气成藏提供了

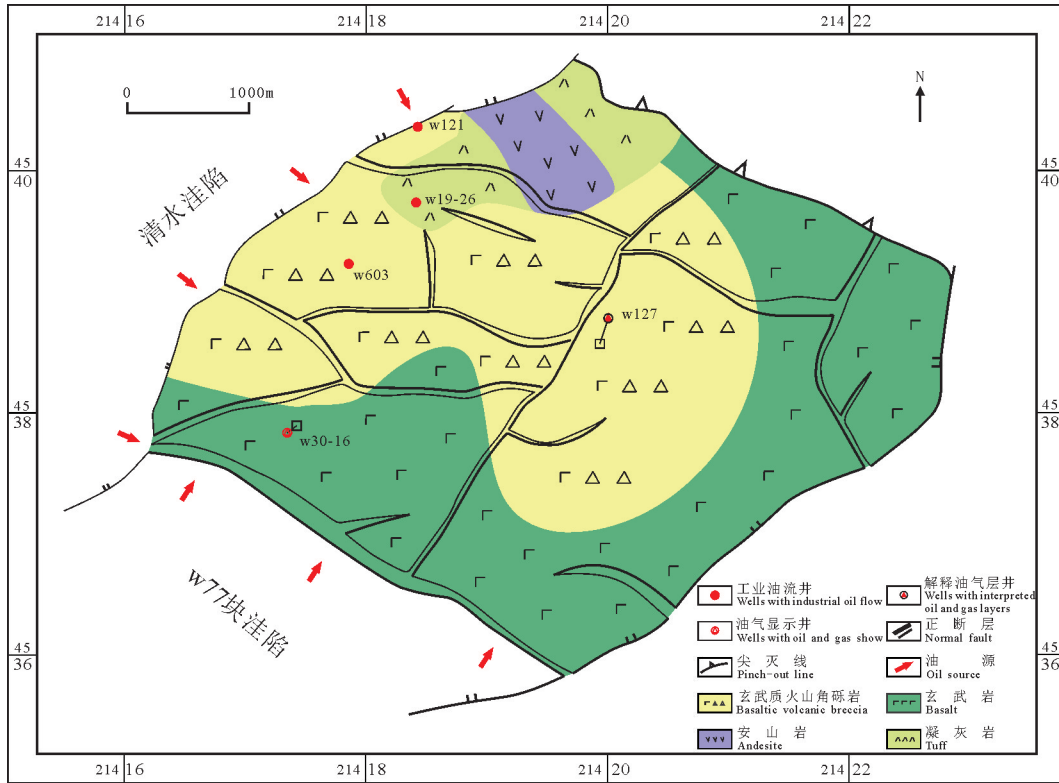


图10 研究区源储配置关系及试油结果

Fig.10 Source-reservoir configuration and oil test result of the study area

丰富的油气运移通道。

台安一大洼断层是西部凹陷的一条控盆断层，也是本区最重要的油气运移通道，平面上油气沿大洼断裂带呈条带状分布特征明显(高先志等,2008;慕德梁等,2009)。台安一大洼断层一直延伸到沙

三段、沙四段湖相泥岩中,与下降盘一侧优质烃源岩直接对接,同时沟通上升盘一侧中生代地层,油气可沿台安一大洼断层直接运移至火山岩储层或就近向火山岩储层做二次运移。

研究发现,台安一大洼断层的长期活动,使得

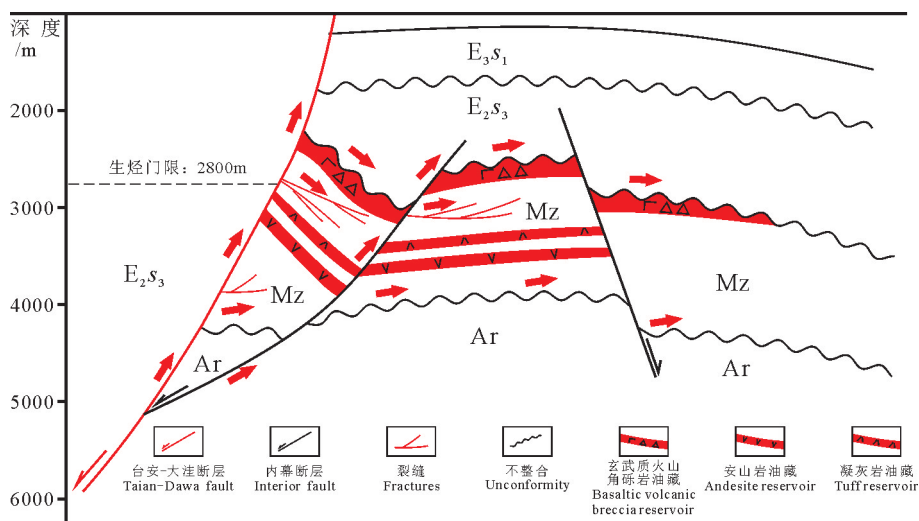


图11 研究区油气运移通道

Fig.11 Oil and gas migration channels in the study area

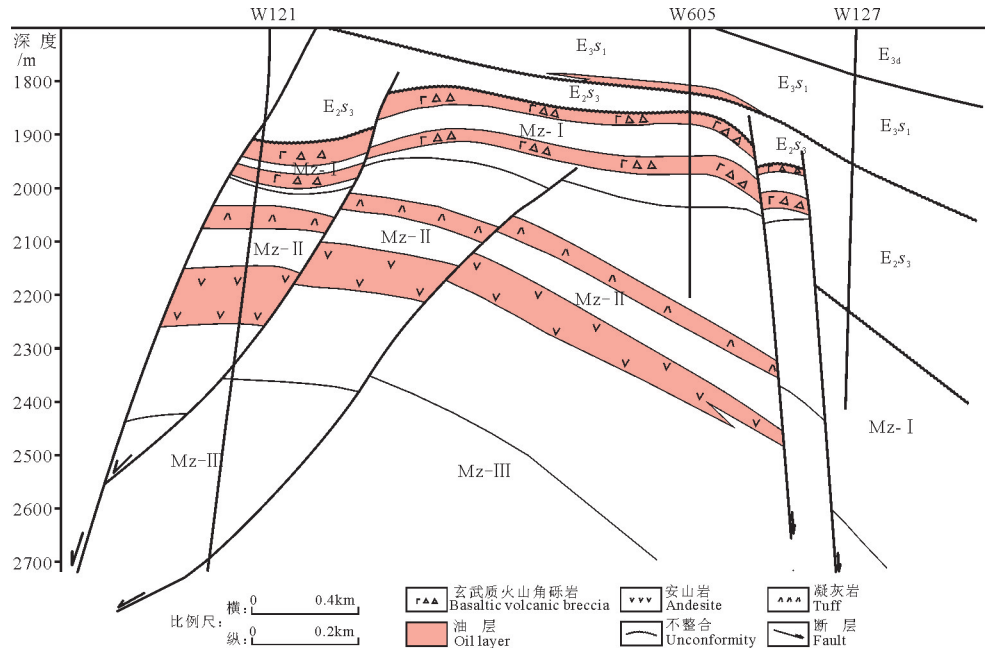


图12 研究区火山岩油气成藏模式

Fig.12 Oil and gas accumulation model of volcanic rocks in the study area

在其附近常伴生有多条次级断裂,与台安一大洼断层组合形成“Y”字型断裂组合。次级断裂的存在使得油气沿断裂运移至中生界内幕,形成内幕油气藏。同时,沿台安一大洼断层的断层面发育大量裂缝,也可以作为油气运移的通道,尤其对于潜山内幕油气藏,这是一种很重要的方式,油气沿着裂缝运移,在火山岩储集层中聚集成藏。除此之外,研究区发育中生界、太古宇两大区域性不整合面,下伏地层在长期风化剥蚀作用下形成大量溶蚀孔洞和微裂缝,可作为良好的油气运移通道,油气沿台安一大洼断层垂向运移再通过不整合面下的风化剥蚀带进行侧向运移(图11)。

4.2 成藏模式

大洼地区中生界火山岩油藏类型为构造-岩性复合型油藏。中生界有效储层通过断裂及不整合面与清水洼陷及南侧生油洼陷烃源岩相互对接,具备双向供源的特征,形成了良好的源储配置关系,是典型的“新生古储”型油藏,有效储层与侧向及上覆的沙三、沙四段大套泥岩接触形成区域性储盖组合。油气藏受构造与岩性共同控制:台安一大洼断层是重要的火山喷发通道,火山岩沿台安一大洼断层呈裂隙式喷展布,火山岩储集层被伴生断层断开形成断块,部分内幕小断层未与台安一大洼断层

沟通,形成局部封堵断层,油气沿断层及不整合面进入火山岩体中集聚形成油藏,火山岩向北侧逐渐变薄直至尖灭,油气藏分布范围受火山岩分布范围控制。此类油藏具有构造油藏和岩性油藏的双重性质(图12)。

5 结论

(1)大洼地区残留中生界地层自上而下可以进一步划分成Mz-I、Mz-II、Mz-III三段,火山岩主要分布于Mz-I及Mz-II段。Mz-I段主要发育溢流相玻质碎屑岩亚相玄武质火山角砾岩及溢流相熔岩亚相玄武岩;Mz-II段主要发育爆发相凝灰亚相流纹质凝灰岩及溢流相熔岩亚相安山岩。

(2)大洼地区中生界火山岩储层整体属中孔、低渗-特低渗储层;孔喉细小,孔隙连通性较差;水下喷发玄武质火山角砾岩为最有利储集层,其次为流纹质凝灰岩及安山岩,玄武岩难以形成有效储层;另外,本区构造活动形成大量构造缝及沿裂缝形成的溶蚀孔洞也能够改善储层储集性能。

(3)源储配置关系在根本上控制油气富集,断层与不整合面组成的复合输导体系也是油气成藏的关键因素;油气成藏受构造及岩性共同控制而形成“新生古储”型构造-岩性复合型油藏。

References

- Chen Kongquan, Lu Jianlin, Zhang Xi, Bi Hailong. 2011. Volcanic reservoir features and exploration potential of Changling faulted depression in the southern Songliao Basin, China[J]. Geological Bulletin of China, 30(2/3): 228–234(in Chinese with English abstract).
- Chen Zhenyan, Qiu Jintao, Wang Pujun, Li Pai, Zhang Peixian, Liu Xin, Hao Tao, Nie Guimin. 2011. Relationship between volcanic rocks and hydrocarbon accumulation during dominant period of basin formation in Liaohe Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 29(1): 798–808(in Chinese with English abstract).
- Einsle G. 2000. Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget[M]. Berlin: Springer-verlag, 64–65.
- Feng Zhiqiang, Liu Jiaqi, Wang Pujun, Chen Shumin, Feng Zihui, Tong Ying. 2011. New oil and gas exploration field: Volcanic hydrocarbon reservoirs—enlightenment from the discovery of the large gas field in Songliao basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 54(2): 269–279(in Chinese with English abstract).
- Fu Qian. 2017. Status and prospect of igneous oil and gas exploration and development in China[J]. Oil Drilling & Production Technology, 39(1): 25–32(in Chinese with English abstract).
- Gao Pengcheng, Bian Weihua, Liu Xin, Chang Wenzong, Huang Yulong, Wang Yanquan, Geng Qi. 2015. Characteristics of volcanic rocks from Dongying Formation and their sealing effects in eastern depression of Liaohe Basin[J]. Global Geology, 34(2): 445–453(in Chinese with English abstract).
- Gao Xianzhi, Li Jianhai, Zou Zhiwen, Liu Feng. 2008. Effect of faults on the migration and accumulation of the petroleum in Dawa Oilfield, Liaohe Subbasin [J]. Geoscience, 22(4): 613–618(in Chinese with English abstract).
- Jiang Hongfu, Shi Yongmin, Zhang Yuguang, Fan Zhengping, Shi Feng, Kou Yu, Wang Lei. 2009. Potential of global volcanics—hosted oil and gas resources[J]. Resources & Industries, 11(3): 20–22(in Chinese with English abstract).
- Jin Chunshuang, Qiao Dewu, Dan Weining. 2012. Meso—Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 33(1): 19–36(in Chinese with English abstract).
- Kawamoto T. 2001. Distribution and alteration of the volcanic reservoir in the Minami—Nagaoka gas field[J]. Japan. Ass. Petroleum Tech., 66(1): 46–55.
- Liu Guoping, Zeng Lianbo, Lei Maosheng, Zu Kewei, Wang Fei, Liu Qi, Li Wenfang. 2016. Fracture development characteristics and main controlling factors of the volcanic reservoir in Xujiaweizi fault depression[J]. Geology in China, 43(1): 329–337(in Chinese with English abstract).
- Liu Jiaqi, Meng Fanchao, Cui Yan, Zhang Yutao. 2010. Discussion on the formation mechanism of volcanic oil and gas reservoirs[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(1): 1–13(in Chinese with English abstract).
- Liu Shiwen. 2001. Characteristics and favorable reservoir forming conditions of igneous reservoir in Liaohe Basin[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 8(3): 6–9(in Chinese with English abstract).
- Liu Zongli, Wang Zhuwen, Liu Jinghua, Zhao Shuqing, Ou Weiming. 2018. Logging response characteristics and reservoir significance of volcanic rocks in the Eastern Sag of Liaohe Depression[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 48(1): 285–297 (in Chinese with English abstract).
- Luo Jinglan, Sadoon Morad, Liang Zhigang, Zhu Yushuang. 2012. Controls on the quality of Archean metamorphic and Jurassic volcanic reservoir rocks from the Xinglongtai buried hill, western depression of Liaohe basin China [J]. AAPG Bulletin, 33(1): 19–36.
- Meng Weigong, Chen Zhenyan, Zhang Bin, Hu Yingjie, Zhang Ziming, Hui Yuting. 2015. Key technology for exploration of igneous reservoirs in Liaohe Basin[J]. China Petroleum Exploration, 20(3): 45–57(in Chinese with English abstract).
- Mu Deliang, Meng Weigong, Li Cheng, Li Xiaoguang, Liu Jinyun, Wang Zhanzhong. 2009. Structural style and hydrocarbon accumulation in the steep slope zone of faulted basin: An example from the western sag of the Liaohe Depression, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 30(5): 635–642(in Chinese with English abstract).
- Ren Zuowei, Jin Chunshuang. 1999. Reservoirs spacefeature of the volcanic rocks in the area of Well Wa—609, Liaohe depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 26(4): 54–56(in Chinese).
- Sruoga P, Rubinstein N. 2007. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquen basins, Argentina[J]. AAPG Bulletin, 91: 115–129.
- Sun Fenjin, Luo Xia, Qi Jingshun, Shao Mingli, Zeng Fuying, Jiang Xiaohua, Hao Cuiguo. 2010. Controlling effects of volcanic rocks upon gas pools[J]. Oil & Gas Geology, 31(2): 180–186(in Chinese with English abstract).
- Tang Liangjie, Huang Taizhu, Qiu Haijun, Cui Zehong, Wan Guimei, Jin Xianmei, Yang Suju. 2012. The tectonic characteristics and hydrocarbon accumulation of late hercynian volcanic rocks in the Tahe Area, Tarim Basin. [J]. Acta Geologica Sinica, 86(8): 1188–1197(in Chinese with English abstract).
- Wang Luo, Li Jianghai, Shi Yongmin, Zhao Yue, Ma Yinsheng. 2015. Review and prospect of global volcanic reservoirs[J]. Geology in China, 42(5): 1610–1620(in Chinese with English abstract).
- Wang Weifeng, Gao Bin, Wei Pingsheng, Pan Jianguo, Li Fei, Yi Zejun. 2012. Research of volcanic reservoir characters and hydrocarbon accumulation model[J]. Progress in Geophysics, 27(6): 2478–2491(in Chinese with English abstract).
- Wang Yanquan, Hu Daqian, Cai Guogang, Wang Pujun, Yu Xiaojian. 2013. Characteristics and controlling factors of Cenozoic volcanic reservoirs in Liaohe Basin, NE, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 34(5): 896–904(in Chinese with English abstract).

- Yuan Dan, Xi Aihua, Liu Wen, Xiong Yixue, Zhou Hui, Liu Jiangyu. 2013. Characteristics of volcanic explosive facies and factors influencing reservoir performance in Dixi area, Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 40(2): 414-422(in Chinese with English abstract).
- Zhang Bin. 2013. Characteristics and hydrocarbon accumulation patterns of volcanic rocks in the Yixian Formation Zhangqiang depression, southern Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 34(4): 508-515(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiangtao, Wu Zhiping, Lü Mingzhen, Yu Qianqian. 2014. Tectonic activity difference and its control on hydrocarbon accumulation of volcanic rock reservoir in eastern and western sags of Liaohe Depression[J]. *Geoscience*, 28(5): 1032-1040(in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Li Jianzhong, Feng Zhiqiang, Zhang Guangya, Hu Suyun, Kuang Lichun, Zhang Yan. 2009. Comparative study on volcanic hydrocarbon accumulations in western and eastern China and its significance[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 36(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- Zheng Man, Wu Xiaozhi, Li Jianzhong, Chen Xiaoming, Zheng Min. 2013. Characteristics of volcanic reservoir and process of petroleum entrapment in Santanghu Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 48(4): 1246-1257(in Chinese with English abstract).
- Zhou Dongli, Wang Yong, Zhang Xiubo. 2010. Analysis on favorable reservoir and accumulation model of igneous reservoir[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 17(5): 6-10(in Chinese with English abstract).
- 金春爽, 乔德武, 淡伟宁. 2012. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征[J]. *石油与天然气地质*, 33(1): 19-36.
- 刘国平, 曾联波, 雷茂盛, 祖克威, 王菲, 刘奇, 李文芳. 2016. 徐家围子断陷火山岩储层裂缝发育特征及主控因素[J]. *中国地质*, 43(1): 329-337.
- 刘嘉麒, 孟凡超, 崔岩, 张玉涛. 2010. 试论火山岩油气藏成藏机理[J]. *岩石学报*, 26(1): 1-13.
- 刘诗文. 2001. 辽河断陷盆地火山岩油气藏特征及有利成藏条件分析[J]. *特种油气藏*, 8(3): 6-9.
- 刘宗利, 王祝文, 刘菁华, 赵淑琴, 欧伟明. 2018. 辽河东部凹陷火山岩相测井响应特征及储集意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 48(1): 285-297.
- 孟卫工, 陈振岩, 张斌, 胡英杰, 张子明, 回宇婷. 2015. 辽河拗陷火成岩油气藏勘探关键技术[J]. *中国石油勘探*, 20(3): 45-57.
- 慕德梁, 孟卫工, 李成, 李晓光, 柳锦云, 王占忠. 2009. 断陷盆地陡坡带构造样式与油气聚集——以渤海湾盆地辽河拗陷西部凹陷陡坡带为例[J]. *石油与天然气地质*, 30(5): 635-642.
- 任作伟, 金春爽. 1999. 辽河拗陷洼609井区火山岩储集层的储集空间特征[J]. *石油勘探与开发*, 26(4): 54-56.
- 孙粉锦, 罗霞, 齐景顺, 邵明礼, 曾富英, 姜晓华, 郝翠果. 2010. 火山岩体对火山岩气藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 31(2): 180-186.
- 汤良杰, 黄太柱, 邱海峻, 崔泽宏, 万桂梅, 金仙梅, 杨素举. 2012. 塔里木盆地塔河地区海西晚期火山岩构造特征与油气成藏[J]. *地质学报*, 86(8): 1188-1197.
- 王洛, 李江海, 师永民, 赵越, 马寅生. 2015. 全球火山岩油气藏研究的历程与展望[J]. *中国地质*, 42(5): 1610-1620.
- 王伟锋, 高斌, 卫平生, 潘建国, 李飞, 易泽军. 2012. 火山岩储层特征与油气成藏模式研究[J]. *地球物理学进展*, 27(6): 2478-2491.
- 王岩泉, 胡大千, 蔡国刚, 王璞君, 于小健. 2013. 辽河盆地东部凹陷火山岩储层特征与主控因素[J]. *石油学报*, 34(5): 896-904.
- 袁丹, 郗爱华, 刘文, 熊益学, 周慧, 刘虹瑜. 2013. 准噶尔盆地滴西地区火山岩爆发相特征及储集性能影响因素[J]. *中国地质*, 40(2): 414-422.
- 张斌. 2013. 松辽盆地南部张强凹陷义县组火山岩储层特征及成藏规律[J]. *石油与天然气地质*, 34(4): 508-515.
- 张江涛, 吴智平, 吕明针, 于倩倩. 2014. 辽河拗陷东、西部凹陷构造活动差异性对火山岩油气成藏的控制作用[J]. *现代地质*, 28(5): 1032-1040.
- 赵文智, 邹才能, 李建忠, 冯志强, 张光亚, 胡素云, 匡立春, 张研. 2009. 中国陆上东西部地区火山岩成藏比较研究与意义[J]. *石油勘探与开发*, 36(1): 1-11.
- 郑曼, 吴晓智, 李建忠, 陈晓明, 郑民. 2013. 三塘湖盆地胡搜含有油气藏特征与成藏过程分析[J]. *地质科学*, 48(4): 1246-1257.
- 周动力, 汪勇, 张秀波. 2010. 火成岩有利储层与油气成藏分析[J]. *油气地质与采收率*, 17(5): 6-10.
- 陈孔全, 陆建林, 张玺, 毕海龙. 2011. 松辽盆地南部长岭断陷火山岩储层的特征与勘探潜力[J]. *地质通报*, 30(2/3): 228-234.
- 陈振岩, 仇劲涛, 王璞君, 李湃, 张培先, 刘鑫, 郝涛, 聂桂民. 2011. 主成盆期火山岩与油气成藏关系探讨[J]. *沉积学报*, 29(1): 798-808.
- 冯志强, 刘嘉麒, 王璞君, 陈树民, 冯子辉, 童英. 2011. 油气勘探新领域: 火山岩油气藏——松辽盆地大型火山岩气田发现的启示[J]. *地球物理学报*, 54(2): 269-279.
- 付茜. 2017. 中国火成岩油气勘探发现现状及展望[J]. *石油钻采工艺*, 39(1): 25-32.
- 高鹏程, 边伟华, 刘鑫, 常文宗, 黄玉龙, 王岩泉, 庚琪. 2015. 辽河盆地东部拗陷东营组火山岩特征及油气封盖作用[J]. *世界地质*, 34(2): 445-453.
- 高先志, 李建海, 邹志文, 刘峰. 2008. 断裂对辽河西部凹陷大洼油田油气成藏和分布的控制作用[J]. *现代地质*, 22(4): 613-618.
- 姜洪福, 师永民, 张玉广, 范正平, 师锋, 寇彧, 王磊. 2009. 全球火山岩油气资源前景分析[J]. *资源与产业*, 11(3): 20-22.

附中文参考文献