

王晨杰, 张新涛, 徐春强, 等. 渤中凹陷 428 构造中生界火山岩优质储层主控因素[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(2): 69-75.

WANG Chenjie, ZHANG Xintao, XU Chunqiang, et al. Main controlling factors of high-quality Mesozoic volcanic rock reservoirs in the Structure 428 of Bozhong Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(2): 69-75.

渤中凹陷 428 构造中生界火山岩优质储层主控因素

王晨杰, 张新涛, 徐春强, 于娅, 郭瑞

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要:渤海湾盆地中生界火山岩广泛发育, 岩性变化快, 储层非均质性强, 优质储层主控因素认识不清。为探索火山岩优质储层控制因素, 充分利用岩芯、薄片、实验等数据, 系统分析了研究区火山岩储层岩性特征、储集空间特征及储层控制因素。分析表明: 研究区火山岩主要发育安山岩、玄武岩、火山角砾岩和凝灰岩 4 种岩石类型, 储集空间类型为“裂缝-孔隙型”。火山岩优质储层主要受岩性岩相、旋回界面和构造运动共同控制, 其中岩性岩相控制了火山岩优质储层的纵向分布, 旋回界面控制了火山岩优质储层的垂向分布, 构造运动可以对火山岩储层进行再改造。

关键词: 岩性-岩相; 优质储层; 孔隙类型; 控制因素

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.141

0 引言

近年来, 随着国内火山岩研究的不断深入, 火山岩油气藏勘探也不断获得突破, 尤其是随着松辽盆地和准格尔盆地一系列火山岩大型油气藏的发现, 火山岩油气勘探也越来越受到石油地质界的关注^[1-4]。相比陆上油田, 渤海海域中生界油气勘探起步较晚, 成效一直不太理想。随着近些年立体勘探、精细勘探理念的不断深入, 渤海油田在火山岩勘探也逐渐取得一些成绩, 尤其是近期在渤中探区旅大 25-A 构造火山岩油藏测试获得了千方的产能, 促使渤海火山岩油气藏的研究和勘探不断深入, 也将成为渤海油田新的勘探领域和重要储量增长点。

渤海海域中生界火山岩地层分布范围广, 地层厚度大, 成藏条件优越, 是火山岩油气勘探的有利区带。目前渤海火山岩勘探程度较低, 前人的研究也基本上局限在岩性岩相方面。尤其火山岩储层

物性变化快, 非均质性强, 优质储层主控因素认识不清, 难以预测。因此, 本文在前人研究^[5-10]的基础上, 通过岩芯观察、薄片鉴定、测井数据和分析化验等资料, 结合该区三维地震资料, 重新落实研究区火山岩岩性岩相特征, 明确优质储层的储集空间类型和孔隙结构特征, 分析火山岩优质储层形成的主控因素和分布规律, 进而指导下一步的火山岩油气勘探。

1 地质概况

研究区位于渤海中部海域, 渤中探区石臼坨凸起的东倾末端, 被秦南凹陷和渤中凹陷所夹持(图 1)。潜山构造形态上在东西向表现为 2 个基底古隆起的背斜特征, 分为 428 西和 428 东(图 2), 南北向上被 2 条长期活动的边界断裂所切割。20 世纪 70 年代, 428 构造共钻探了 20 口井, 其中 428 西构造以中生界为主要目的层在高点钻探了 12 口井, 单井揭示火山岩厚度 136~458 m 不等, 未钻穿中生界。通过岩性特征和锆石测年显示, 为白垩纪义县组火山岩地层。岩性发育安山质火山角砾岩、安山岩、玄武岩和凝灰岩 4 种不同类型的岩性组合。428 东构造高部位未钻遇中生界, 为古生界及太古界地层。

收稿日期: 2020-09-24

资助项目: 中海石油(中国)有限公司“七年行动计划”重大专项课题“渤海油田上产 4000 万吨新领域勘探关键技术”(CNOOC-KJ 135ZDXM 36 TJ 08 TJ)

作者简介: 王晨杰(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质综合研究工作。E-mail: wangchj34@cnooc.com.cn

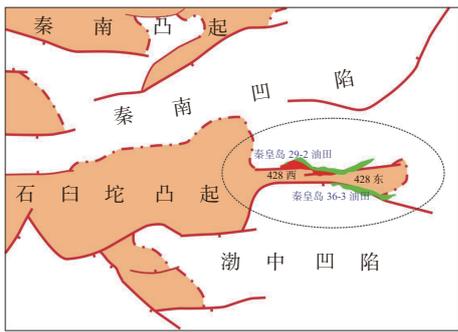


图1 428构造位置

Fig.1 Location of Structure 428

2 火山岩岩性岩相

2.1 火山岩岩性特征

通过岩芯观察和薄片鉴定显示,研究区中生界火山岩岩性主要为安山质火山角砾岩、安山岩、玄武岩和凝灰岩4种岩石类型(图3)。火山岩按成因分为火山熔岩和火山碎屑岩^[11]。研究区火山熔岩类主要为中性安山岩和基性玄武岩,安山岩主要为斑状结构和弱交织结构,发育少量气孔,裂缝较为

发育;玄武岩主要为块状结构,气孔发育,但大多被充填,裂缝不发育。通过岩石主量元素分析认为基性玄武岩占主要部分(约45%),中性安山岩次之(约30%)。火山碎屑岩类研究区主要为火山角砾岩(约15%)及凝灰岩(<10%)。

2.2 火山岩岩相特征

火山岩岩相揭示了不同火山岩岩石类型之间的成因联系及空间展布规律。因此,火山岩岩相的研究和划分是评价和预测火山岩储层的基础。王璞珺等^[12]根据火山岩的“岩性-组构-成因”,并结合松辽盆地火山岩特点和油气勘探需要,将火山岩相分为火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相和火山沉积相5种岩相类型。根据已钻井和地震资料分析,研究区主要发育火山通道相、爆发相和溢流相,偶见火山沉积相。火山通道相岩性主要为火山角砾岩,地震上表现为杂乱反射,中-强振幅蘑菇状穿时反射特征;爆发相岩性主要为火山角砾岩和凝灰岩为主,地震上表现为席状披覆连续强反射地震相特征;溢流相主要为安山岩和玄武岩,地震上表现为楔状-亚平行中等连续反射夹乱岗状反射地震

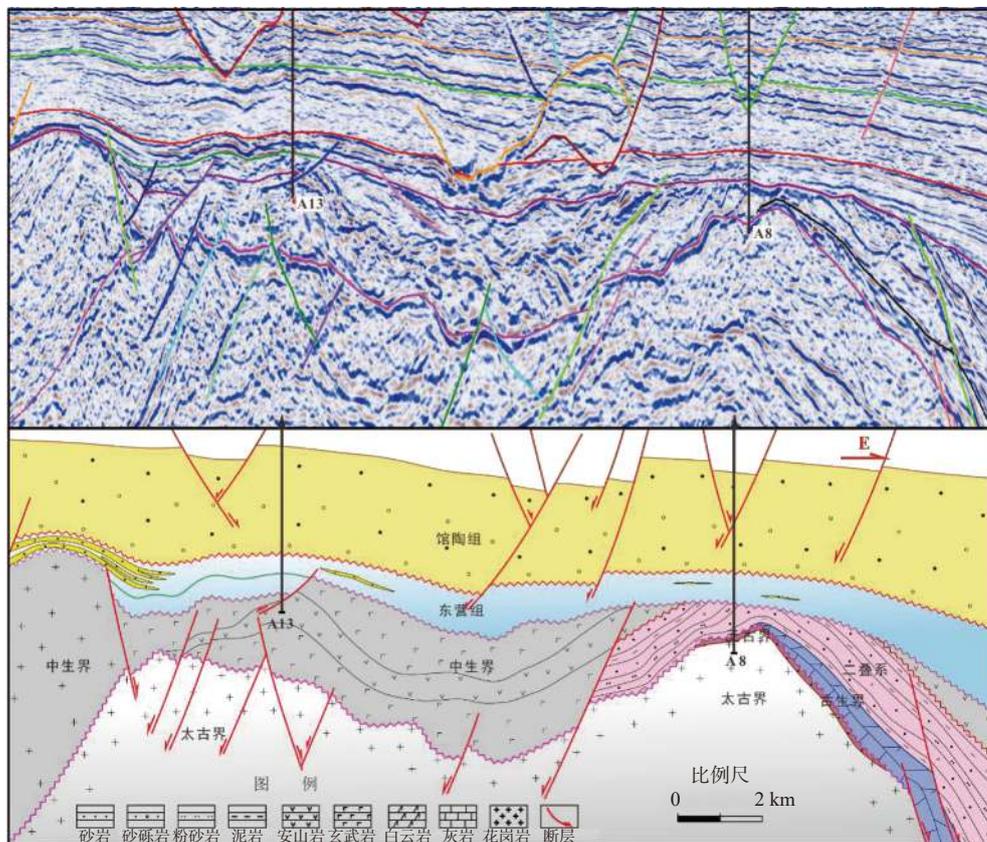
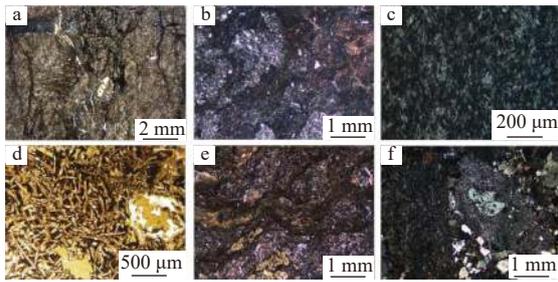


图2 428构造地层结构剖面

Fig.2 A stratigraphic section crossing the Structure 428



(a)安山质隐爆角砾岩(A13-1, 2 953.2 m); (b)安山质角砾熔岩(A13-1, 2 975.5 m); (c)安山岩(A13-2, 2 854.0 m); (d)玄武岩(A13-2, 2 862.0 m); (e)安山质溶结凝灰岩(A13-1, 3 030.0 m); (f)砂质凝灰岩(A13-2, 2 992.0 m)

图 3 428 构造火山岩岩性特征

Fig.3 Lithologic characteristics of the volcanic reservoir rocks 相特征(图 4)。

3 火山岩储层特征

3.1 火山岩储层空间类型

火山岩岩石成分、结构、构造等方面的不同,也会导致储集空间类型和组合的差异,孔隙结构十分复杂^[13]。通过统计不同岩性储集空间类型的面孔率认为(图 5),研究区原生孔隙不发育,次生孔隙是主要的储集空间,裂缝仅占了储集空间的少量部分,因此,研究区火山岩储集类型为裂缝-孔隙型。

3.1.1 孔隙发育特征

孔隙作为火山岩储层的主要储集体,其发育程度直接决定了火山岩的产出能力,也是测试获得高产的基础。按照成因可以进一步将火山岩发育的孔隙类型分为原生气孔、次生溶蚀孔、砾间孔和脱玻化产生的微孔隙等,一般来说,各类孔隙并不是

单独存在的,而是以某种的组合形式存在。

通过岩芯观察和薄片鉴定,研究区不同岩性的孔隙类型差异较大。玄武岩中原生气孔较为发育,但大多被方解石充填,后期溶蚀作用较弱,见少量基质溶孔和晶内溶孔,整体孔隙不发育;火山角砾岩和安山岩原生气孔不发育,但后期遭受构造运动及强烈溶蚀作用,次生溶蚀孔隙发育,主要为晶内溶孔、基质溶孔和脱玻化孔;凝灰岩主要发育基质溶孔和脱玻化孔(图 5、6)。

3.1.2 裂缝发育特征

火山岩裂缝可分为原生裂缝和次生裂缝,原生裂缝包括冷凝收缩缝和解理缝,研究区整体不发育;次生裂缝包括构造缝、溶蚀缝和炸裂缝,对储层起改善作用的主要为构造裂缝和溶蚀缝。研究区裂缝所占储集空间的比例不足 20%,对储集空间的贡献不大,但是可将不同尺度的孔隙连通,构成油气流动的主要通道。

通过对岩芯观察和薄片鉴定,不同岩性的裂缝发育程度也存在较大差异。玄武岩裂缝不发育,储层物性较差;安山岩和火山角砾岩裂缝较为发育,岩石碎裂严重,主要以构造缝和溶蚀缝为主,裂缝之间形成了不同方向相互切割的缝网,部分裂缝被方解石和白云石充填,但后期遭受强烈的溶蚀作用形成了大量的溶蚀缝(图 5、6)。

3.1.3 储层物性特征

火山岩岩石成分、结构、构造等方面的不同,也会导致储集空间类型和组合的差异,孔隙结构十分复杂^[13-15]。储集空间按照形态可划分为孔隙和裂缝 2 大类,一般而言,裂缝对储集空间的贡献不足 10%,但裂缝可将不同尺度的孔隙连通,构成油气流

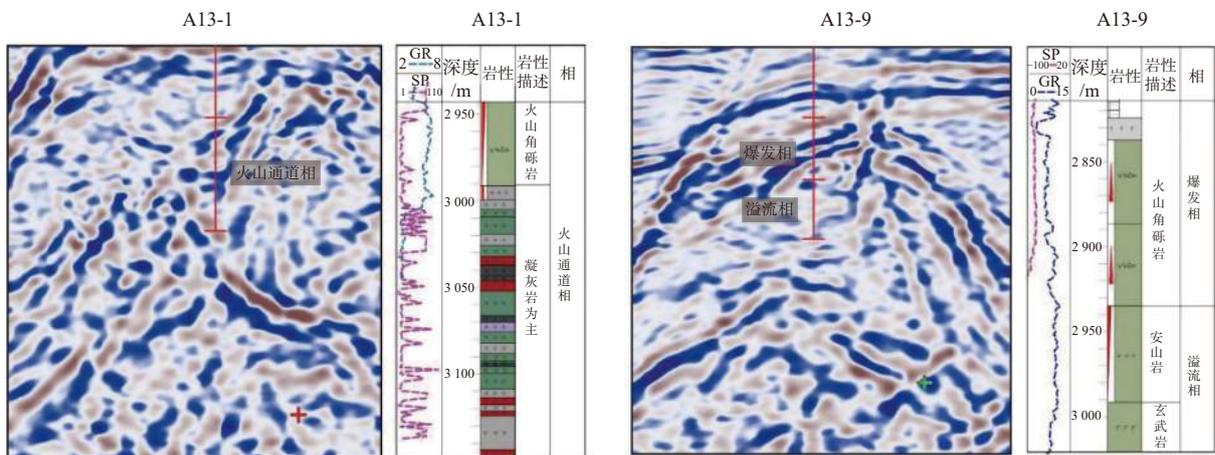


图 4 不同火山岩相地震反射特征

Fig.4 Seismic reflection characteristics of different volcanic facies

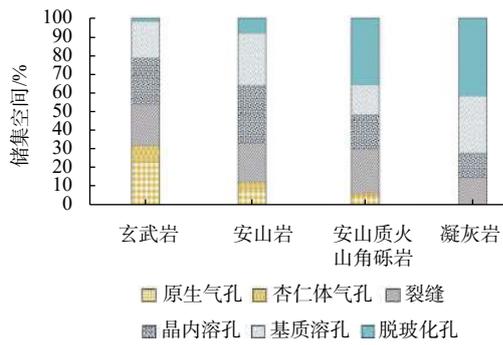


图5 不同火山岩岩性储集空间类型面孔率分布

Fig.5 Distribution of plane porosity in different volcanic rocks

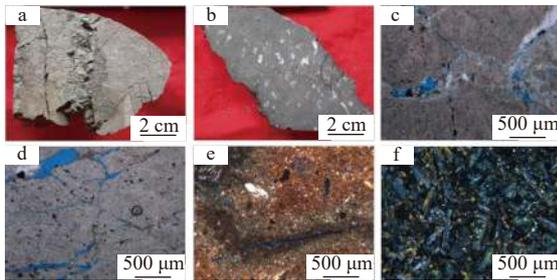


图6 428构造裂缝-孔隙结构分布

图6 428构造裂缝-孔隙结构分布

Fig.6 Distribution of pores and fractures in the volcanic rock reservoirs of Structure 428

动的主要通道。通过实测物性资料统计,研究区火山岩储层孔隙度分布在4.4%~22.8%,渗透率分布范围为(0.1~60.8)×10⁻³ μm²(图7),总体属于中—低孔、低渗—特低渗储层。并且不同火山岩类型的储层物性也存在较大差异,火山角砾岩是研究区最好的储层,孔隙度为7.5%~22.8%,渗透率为(1.6~60.8)×10⁻³ μm²;中性安山岩次之,孔隙度为5.5%~

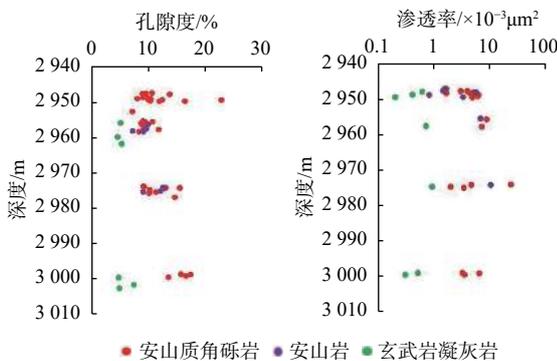


图7 孔隙度和渗透率分布

Fig.7 Porosity and permeability distribution in various reservoir rocks

15.6%,渗透率为(0.8~9.8)×10⁻³ μm²;基性玄武岩和凝灰岩较差,孔隙度为<5.0%,渗透率为<1.0×10⁻³ μm²。

4 火山岩优质储层主控因素分析

火山岩储层储集性能的好坏取决于储层中孔隙和裂缝的发育程度及其匹配关系^[16],研究区储集空间主要为“裂缝-孔隙型”。火山岩形成之后遭受风化淋滤作用和构造活动改造,产生裂缝和次生溶蚀孔缝,有利于优质储层的形成。通过对研究区火山岩储集层综合分析认为,火山岩储层的发育程度受火山岩岩性岩相、旋回界面和构造运动等因素的影响。

4.1 岩性岩相控制火山岩优质储层的发育和分布

岩性是优质储层发育的基础,但是不同火山岩类之间的成储能力不同,所经受后期改造的能力也存在差异^[17],因此,不同火山岩岩性的储集空间类型及结构也变化较大。根据渤海已钻遇火山岩岩性的物性数据统计(图8),一般来说,成分从基性、中性到酸性岩类,原生孔隙逐渐减少,但中酸性岩类更容易产生溶蚀,次生溶蚀孔隙和脱玻化孔快速增加;并且与基性岩类相比,中酸性岩体在相同应力条件下更容易发生剪切破裂,产生裂缝,可有效的改善火山岩储层的有效性。因此,中酸性火山岩是优质储层发育的岩性基础。

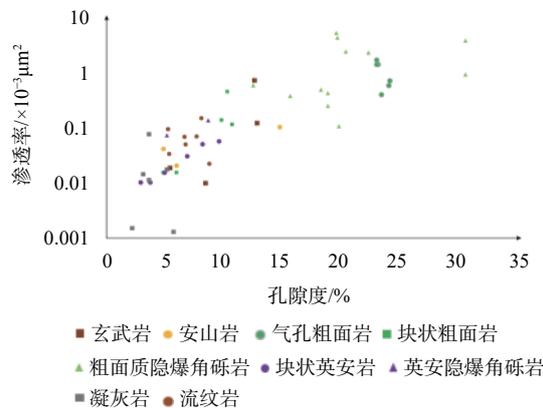


图8 渤海地区已钻遇火山岩岩性孔渗分布

Fig.8 Lithologic control over the porosity and permeability distribution of volcanic rocks in the Bohai Sea area

从油气的分布情况来看,主要分布在近火山口的火山通道相和爆发相之中(图9),其原因在于研究区火山通道沿着断裂分布,断裂活动导致火

山通道附近岩石较为破碎, 裂缝发育; 其次, 火山角砾岩易发育原生砾见孔, 为火山岩储层提供原始贡献。

4.2 火山旋回界面控制优质储层发育的纵向位置

对多数火山岩来讲, 孔隙发育程度与风化淋滤作用密切相关, 风化淋滤不但可以使岩石破碎, 也可以使岩石的化学成分发生显著的变化^[18]。研究区火山岩储层原生气孔不发育, 储集空间主要以次生溶蚀孔隙和裂缝为主, 表明后期遭受了强烈的风化淋滤作用, 从而改善了火山岩储层的储集物性。A13-1 井的实测物性数据显示, 旋回界面顶部孔隙度最为发育, 物性最好, 向下逐渐减小; 油气主要分布在旋回界面处(图 9), 这是由于旋回界面处风化淋滤作用最强, 形成的次生孔隙最为发育, 火山岩储集物性也最好, 是优质储层发育的有利部位, 火山喷发通常是多期次形成的, 因此可以垂向上形成多个旋回界面。

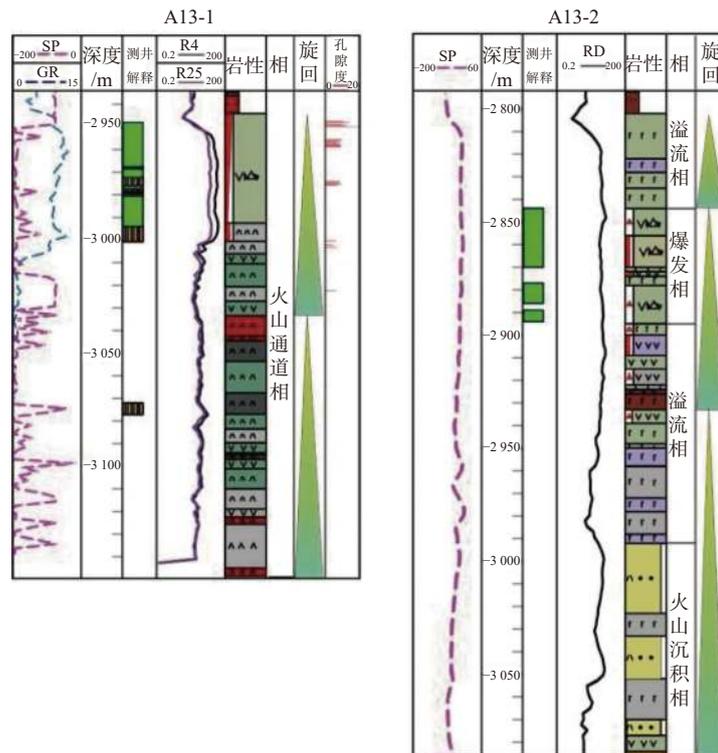
4.3 构造运动改善火山岩储层的有效性

通过统计研究区裂缝所占的面孔率来看, 不同岩性裂缝所占储集空间的的比例在 10%~20% 之间不等(图 5)。通过岩心及薄片显示(图 6), 研究区发育多期裂缝相互切割, 表明研究区受多期构造运动影响, 产生的裂缝一方面可以成为储集空间,

更重的是可以沟通火山岩中已存在的孔隙, 从而改善火山岩储层的渗透性, 使之成为有效储层。此外, 断裂活动使得火山岩在构造应力下产生的断层及伴生裂缝, 共同组成了火山岩内部流体疏导体系, 增加了火山岩储层的储集空间及渗流能力, 成为油气运移的通道。

4.4 优质主控因素综合分析

综上所述, 岩性-岩相、旋回界面和构造运动共同控制了火山岩优质储层的发育, 但三者之间又相互联系和互相影响, 对储集空间发育表现出叠加和互补的特征。相较于中基性岩类, 中酸性火山岩更易发生溶蚀, 形成次生溶蚀孔缝, 而近火山口附近的火山通道相和爆发相更有利于储层的发育; 旋回界面处由于长期遭受风化淋滤, 有利于溶蚀孔缝的形成, 并且火山喷发往往是多期次的, 往往可以形成多个旋回界面; 此外, 火山的喷发往往伴随着断裂的活动, 而构造运动也可以产生构造缝, 大大增加火山岩储层的渗透率(图 10)。综合分析认为, 岩性岩相、旋回界面和构造运动共同控制了火山岩优质储层的发育。其中有利的岩性岩相控制了火山岩有效储层平面分布; 旋回界面则决定了火山岩储层垂向分布; 构造运动可以产生的裂缝改善了火山岩储层的有效性, 并造成储层内部的物性差异。



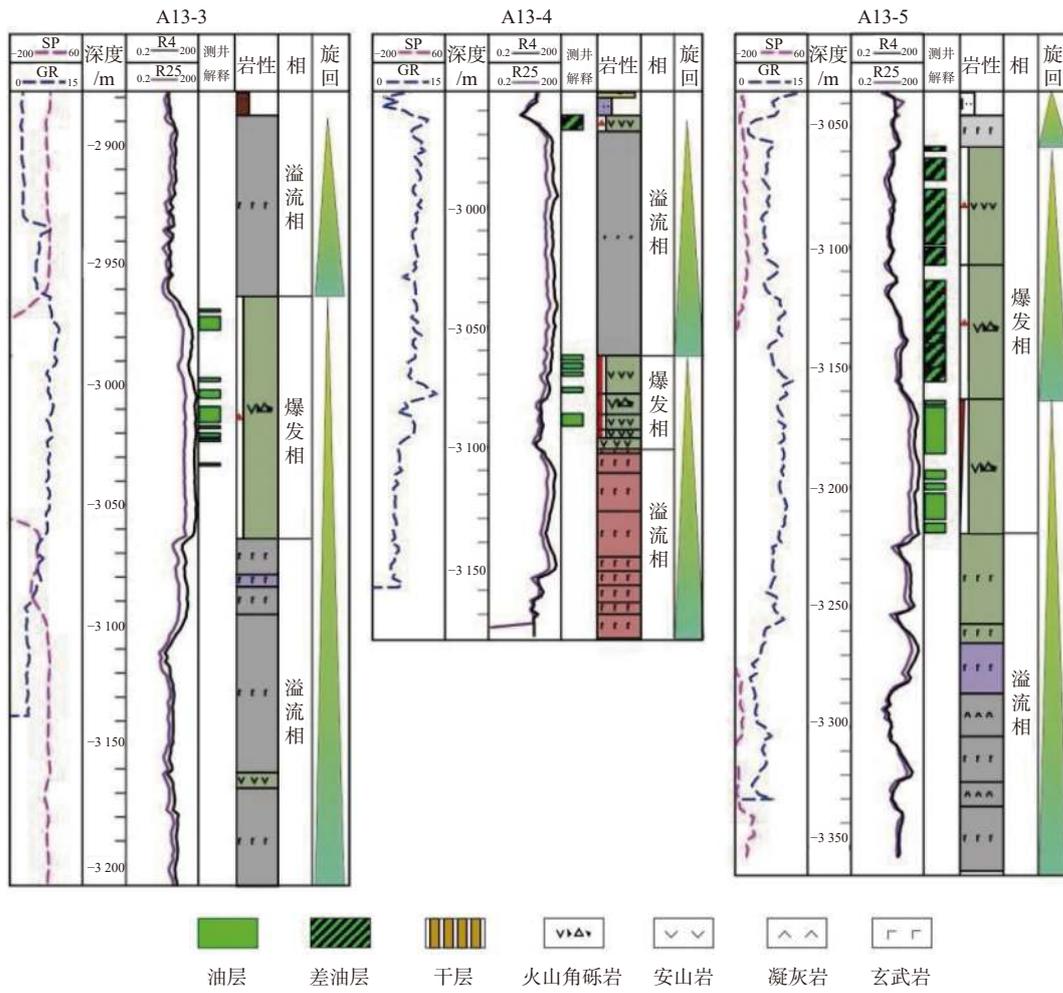


图9 火山岩旋回界面划分及油气分布特征

Fig.9 Interfaces of volcanic rock cycles and their relation with hydrocarbon distribution patterns

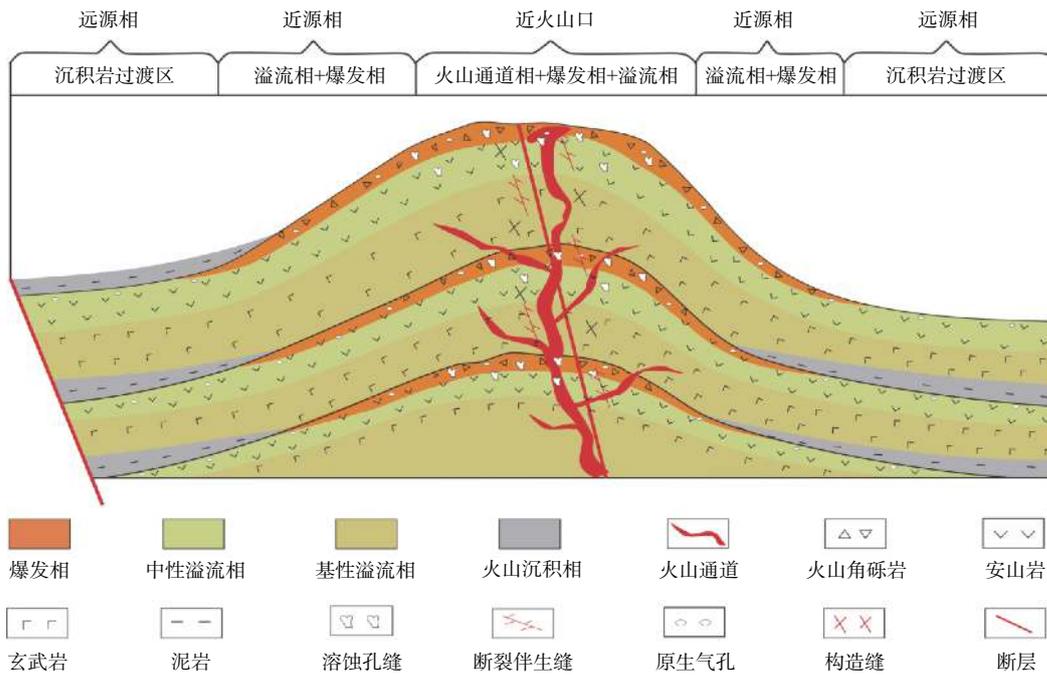


图10 火山岩优质储层发育模式

Fig.10 Development model of high-quality volcanic rock reservoirs

5 结论

(1) 研究区中生界火山岩岩性以安山质角砾岩、安山岩、玄武岩和凝灰岩为主, 储集空间类型为“裂缝-孔隙型”。

(2) 研究区中生界火山岩岩相主要有火山通道相、爆发相和溢流相, 其中火山通道相和近火山口的爆发相是优质储层发育的最有利相带。

(3) 研究区优质储层的发育主要受岩性岩相、旋回界面和构造运动共同控制。

参考文献:

- [1] 邹才能, 赵文智, 贾承造, 等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(3): 257-271.
- [2] 唐华凤, 边伟华, 王璞珺, 等. 松辽盆地地下白垩统营城组火山岩喷发旋回特征[J]. *天然气工业*, 2010, 30(3): 35-39.
- [3] 叶涛, 韦阿娟, 祝春荣, 等. 渤海海域基底“改造型火山机构”特征及油气成藏意义[J]. *石油学报*, 2016, 37(11): 1370-1378.
- [4] 唐华凤, 孔坦, 刘祥, 等. 松辽盆地地下白垩统沉火山碎屑岩优质储层特征和形成机理[J]. *石油学报*, 2016, 37(5): 631-641.
- [5] 徐春强, 张震, 王晨杰, 等. 渤海海域428潜山地层结构特征及勘探潜力[J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(11): 52-58.
- [6] 刘万洙, 王璞珺, 门广田, 等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(1): 28-31.
- [7] 王保全, 王志萍, 汤国民, 等. 渤海海域中部地区中生界火山岩储层特征及主控因素[J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(8): 36-42.
- [8] 赵海玲, 刘振文, 李剑, 等. 火成岩油气储层的岩石学特征及研究方向[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(6): 609-612.
- [9] 郭维, 王少鹏, 田晓萍, 等. 黄河口凹陷B油田古近系火山岩岩性识别及发育模式[J]. *海洋地质前沿*, 2018, 34(2): 16-22.
- [10] 高有峰, 刘万洙, 纪学雁, 等. 松辽盆地营城组火山岩成岩作用类型、特征及其对储层物性的影响[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2007, 37(6): 1251-1258.
- [11] 陈庆春, 朱东亚, 胡文璋, 等. 试论火山岩储层的类型及其成因特征[J]. *地质论评*, 2003, 49(3): 286-281.
- [12] 王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2003, 33(4): 449-456.
- [13] 李伟, 何生, 谭开俊, 等. 准噶尔盆地西北缘火山岩储层特征及成岩演化特征[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(6): 909-916.
- [14] 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: 64-90.
- [15] 王璞珺, 陈树民, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(1): 18-23.
- [16] 侯启军. 松辽盆地南部火山岩储层主控因素[J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 749-756.
- [17] 庞彦明, 毕晓明, 邵锐, 等. 火山岩气藏早期开发特征及其控制因素[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 882-886.
- [18] 张斌. 松辽盆地南部张强凹陷县组火山岩储层特征及成藏规律[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(4): 508-515.

Main controlling factors of high-quality Mesozoic volcanic rock reservoirs in the Structure 428 of Bozhong Sag

WANG Chenjie, ZHANG Xintao, XU Chunqiang, YU Ya, GUO Rui

(Tianjin Branch of CNOOC(China)Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: The Mesozoic volcanic rocks, characterized by sharp lithological change, strong reservoir heterogeneity and variable controlling factors, are widely distributed in the Bohai Bay basin. In order to explore the controlling factors of the high-quality volcanic reservoirs, cores, thin sections and laboratory testing data are fully used to reveal lithological characteristics, reservoir space characteristics so as to clarify the controlling factors of the volcanic reservoirs. The data shows that the volcanic rocks in the study area are mainly composed of andesite, basalt, volcanic breccia and tuff, and the reservoir space is dominated by dissolution pores and fractures. The high-quality volcanic reservoirs are mainly controlled by lithology, lithofacies, cyclic interface and structural displacement and deformation. Lithology and lithofacies control the longitudinal distribution of high-quality volcanic reservoirs, cyclic interface controls the vertical distribution of high-quality volcanic reservoirs, and structural displacement and deformation control the reformation of the reservoirs in later stages.

Key words: lithology-lithofacies; high-quality reservoirs; pore types; controlling factors