

松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用

蒙启安¹, 门广田¹, 赵洪文¹, 霍凤龙¹, 江涛², 邵明里²

(1. 浙江大学地球科学系, 浙江杭州 310027; 2. 吉林油田勘探开发研究院, 吉林松源 138000)

摘要: 火山岩储层是松辽盆地深层天然气勘探的主要目的层, 分布上主要受深大断裂控制, 沿断裂成带分布, 不仅分布在山岭地区也广泛分布在断陷盆地的沉积地层中; 储集空间为原生气孔、杏仁体内孔、次生的斑晶溶蚀孔、基质内溶孔和构造溶蚀裂缝; 孔隙结构组合为单一裂缝及斑晶溶蚀孔与裂缝组合而成的孔隙结构; 在成因上分为喷发溢流时形成原生气孔, 喷发间歇期受风化淋滤形成次生孔隙及在埋藏过程中成岩、构造作用的影响 3 个阶段; 裂缝是改善火山岩储层性能的关键因素, 成岩作用既加剧了次生孔隙的充填也加剧了溶蚀孔隙的形成, 压实作用对储层物性没有影响。火山岩在烃源岩中相对独立的分布使其具有得天独厚的成藏条件, 构造运动和后期风化剥蚀是控制储层物性的主要因素, 断裂的发育程度控制了气藏的分布。

关键词: 松辽盆地; 中生界; 火山岩储层; 气藏; 特征; 控制作用

第一作者简介: 蒙启安, 男, 37 岁, 高级工程师(博士生), 石油地质

中图分类号: P168.130.2⁺2 **文献标识码:** A

我国中生界陆相油气盆地中火山岩储层十分发育。渤海湾盆地群以中基性、偏碱性的第三系火山岩为主^[1,2], 二连盆地和开鲁盆地的储层火山岩以下白垩统中基性岩为主、中酸性岩为辅^[3,4]。20 世纪 90 年代以来, 松辽盆地在晚侏罗-早白垩世的火石岭、沙河子、营城组中, 相继发现了许多以中酸性为主的火山岩气藏^[5]。与其他地区的主要以中基性为主的火山岩储层相比, 松辽盆地火山岩主要以中酸性为主^[6,7,8], 且具有独特的储层特征和成藏规律。

1 储层特征

1.1 分布

火山岩主要受深大断裂控制, 沿断裂带成带分布, 中酸性溢流相火山岩是主要含气储层。中国东北地区中生代岩浆侵入和喷出活动频繁而强烈, 是中国东部环太平洋火山岩带的重要组成部分。中生界火山岩在东北地区不仅广泛分布在山岭地区, 也广泛分布在中生界断陷盆地的沉积地层中。火山岩分布主要沿 NW 向和 NE 向基底断裂带分布, 交汇点更为发育(图 1)。发育层位主要是上侏罗统-下白垩统的火石岭组、沙河子组和营城组, 以营城组最为发育。就目前钻遇的火山岩气藏而言, 岩性以中酸性火山岩为主, 气藏主要赋存于流纹岩的溢流相火山岩储层中(表 1)。

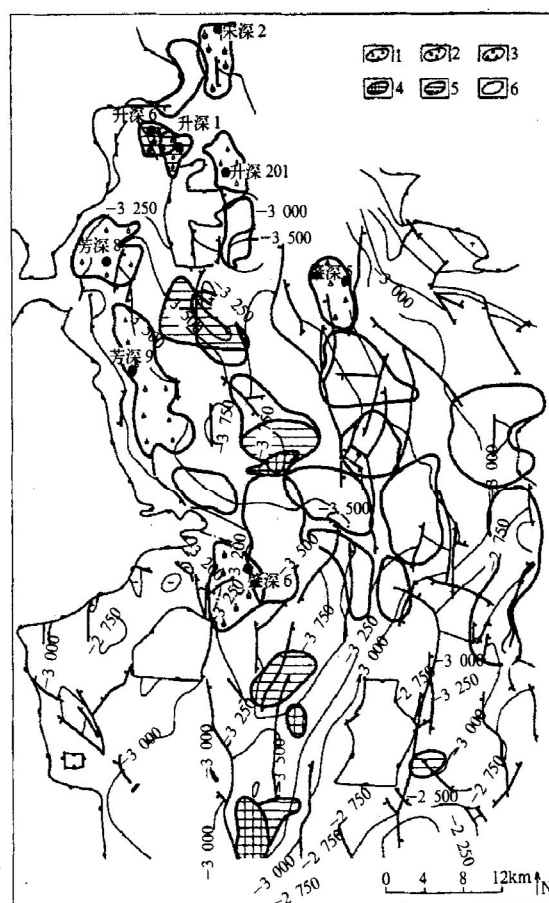


图 1 松辽盆地徐家围子地区火山岩体分布图

Fig. 1 Distribution of volcanic bodies in Xujiaweizi area in Songliao basin

1—获工业气火山岩体; 2—获低产气火山岩体; 3—见气显示火山岩体;
4—沙河子组火山岩体; 5—火石岭组火山岩体; 6—营城组火山岩体

表 1 火山岩气井产能统计表
Table 1 Statistic table for production from volcanic rock gas wells

井号	深度/m	储层岩性	日产气量/m ³ ·d ⁻¹
芳深 6	3 302.0~ 3 325.0	安山岩	13 840
芳深 7	3 380.2~ 3 482.0	流纹岩	214
芳深 701	3 575.8~ 3 612.0	流纹岩	60 682
芳深 8	3 546.0~ 3 723.0	流纹岩	77 359
升深 9	3 602.0~ 3 632.0	流纹岩	50 938
升深 101	2 842.0~ 2 954.4	安山岩	29 361
升深 2	2 880.0~ 2 904.0	流纹岩	112
汪 903	2 962.4~ 3 037.0	流纹岩	50 518
升深 7	3 697.8~ 3 705.0	流纹质凝灰岩	4 417
升深 201	2 929.4~ 3 630.0	流纹岩	2 569

1.2 储集空间类型及组合

火山岩储层储集空间一般可分为 3 类 6 种; 第 1 类为原生孔隙, 包括原生气孔和杏仁体内孔。第 2 类为次生孔隙, 包括斑晶溶蚀孔和基质内溶蚀孔。第 3 类为裂缝, 包括构造裂缝和溶蚀裂缝(图

2)。它们具有孔-缝双重储集介质形成的复杂结构。这种孔缝“双孔介质”火山岩储层的储集性能是原始喷发相带、岩性、构造运动、后期改造等多种因素相互作用的综合结果。

火山岩储集空间组合类型总体上看主要为孔隙与裂缝型组合或纯裂缝型储层。孔缝组合形式主要为基质溶孔与裂缝组合和斑晶溶孔与裂缝组合。

流纹岩储层储集空间是由原生气孔或杏仁体内孔与裂缝组合而成的孔隙结构。裂缝主要作为孔隙与孔隙之间的连通喉道。火山岩岩体内存在的大小不等气孔通常是互不连通独立存在的, 由于构造运动使岩体产生了裂缝, 这些裂缝将相互独立的原生气孔互相连通。流纹岩储层还有一种孔隙结构组合, 即由基质溶孔与裂缝的组合而成的孔隙结构, 这种孔隙结构组合与前者不同的是裂缝形成在先, 而后流体从裂缝通道进入岩层造成岩石内基质长石微晶溶蚀而构成的。

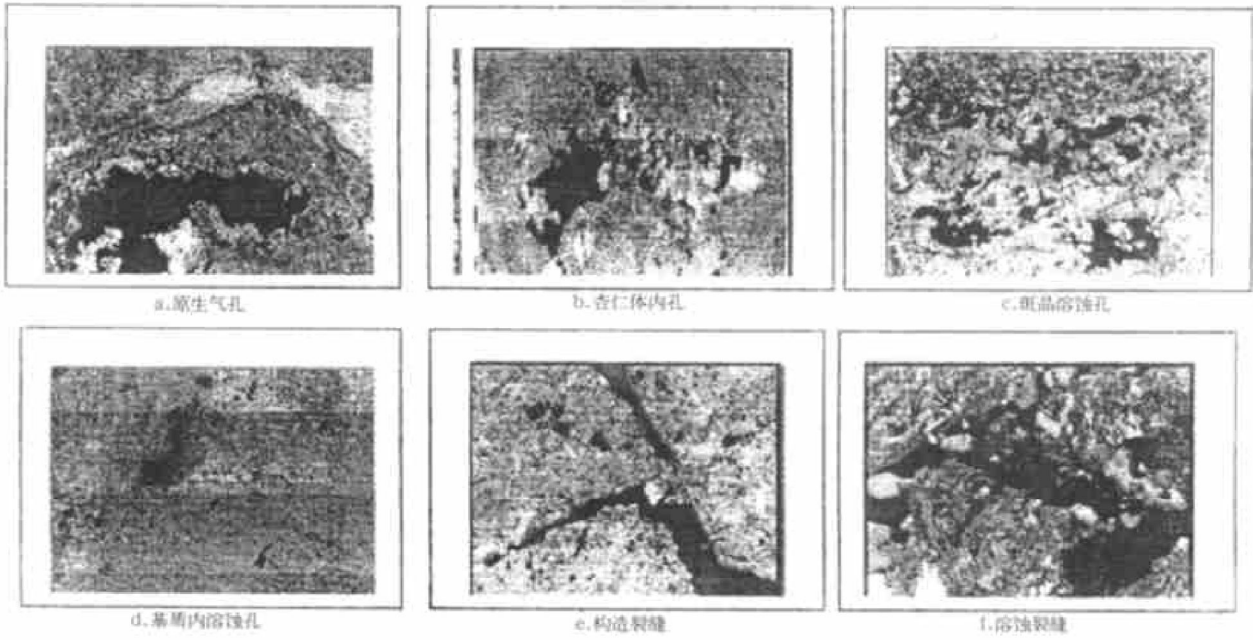


图 2 火山岩储层孔缝结构照片

Fig. 2 photos showing pore fissure structures of volcanic rock reservoir

安山岩储集层的孔隙结构组合有两种: 一是安山岩岩体内全由单一裂缝(平行裂缝、交错裂缝及不规则的网状裂缝等) 构成孔隙组合空间; 二是由斑晶溶蚀孔与裂缝组合而成的孔隙结构, 其成因为基质溶孔与裂缝组合形成的孔隙结构。总的看来, 火成岩储层的孔隙空间和孔隙组合是很复杂的, 气孔直径大小不等(从小于 1 个毫米, 大到数十厘米)、形态极不规则、裂缝宽窄不一, 经过后期改造

后有的连通, 有的不连通。

1.3 阶段

松辽盆地北部晚侏罗-早白垩世经历了多期次火山活动, 可初步划分为几个旋回。从每期火山岩储层孔隙结构特征镜下解剖来看, 可分为 3 个阶段: (1) 火山岩的每一次喷发和溢流, 由于熔浆中所含的气体造成了在原始熔岩中形成气孔, 熔浆冷凝后气体逸出, 从而形成原生气孔, 同时由于火山岩

冷凝的不均一性,往往在厚层火山岩的顶、底部和边部形成冷凝收缩缝,该类裂缝可部分沟通原生气孔(图2a)。(2)在每次喷发间歇期,要经过一个相对长期的地表暴露,受到风化淋滤作用,因而产生次生风化壳型孔隙,主要形成斑晶溶蚀孔(图2c)、基质内溶蚀孔(图2d)、溶蚀裂缝等(图2f),该类孔隙的形成也进一步沟通了原生气孔。(3)火山岩在后期埋藏过程中不仅经历了复杂的成岩演化,也经历了多期构造运动。构造运动对火山岩储层的物性影响主要表现在两个方面,一方面由于成岩作用使部分孔缝被次生矿物充填,形成杏仁体内孔类(图2b),降低了火山岩储层的储集物性;另一方面由于构造运动的影响而产生构造裂缝(图2e),改善了火山岩储层的储集物性,造成了火山岩储层随地质演化过程而逐渐发育的独具特色的火山储层体系。这一体系的特点就是孔-缝结合的双孔介质结构。

1.4 影响因素

裂缝是改善火山岩储集性能的关键因素,其中

主要影响火山岩储层储集性能的是构造裂缝。火山喷发时溢流出的溶浆,冷凝后可形成大面积的熔岩被,虽然有原生气孔存在,可是互不连通,渗透性很差,后期由于强烈的构造运动使得非常致密的火山岩产生了许多裂缝,这些裂缝不但使孤立的原生气孔得以连通,而且还增大了火山岩的储集空间。多次的构造运动导致了裂缝的多期性,常常可以见到早期裂缝被晚期裂缝所切割。松辽盆地北部地区主要发育NNE,NNW两组高角度裂缝(图3)。火山岩裂缝的这种多期性,为油气的运移及储集提供了良好的条件。其他成因的裂缝可归纳为两种,分别是因火山岩冷凝时形成的收缩缝和主要因火山岩遭受风化形成的溶蚀缝,它们也不同程度地改善了火山岩的储集性能。研究证实成岩作用对火山岩储集性能的影响主要表现在两方面:一方面加剧了火山岩原生孔隙的次生充填,形成杏仁体内孔降低了储集性能;另一方面也加剧了溶蚀孔、缝的形成,改善了储集性能。

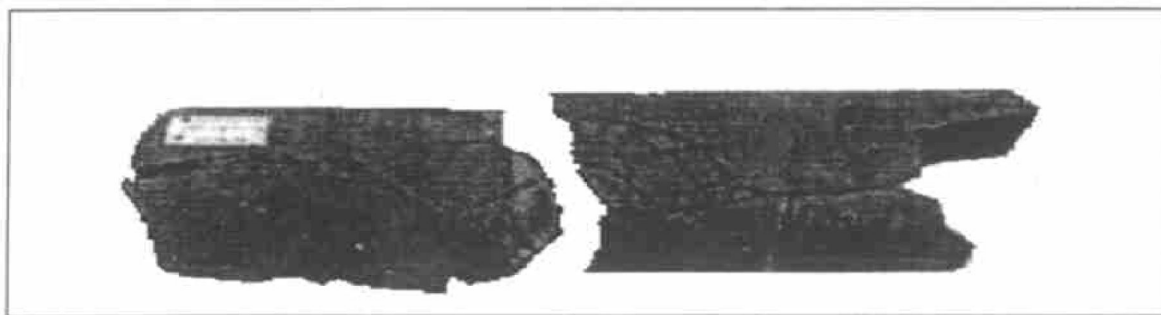


图3 火山岩储层裂缝照片

Fig. 3 Photos indicating fissures of volcanic rock reservoir

火山岩储层物性不受压实的影响,在埋深较大的情况下仍可作为良好的储层。火山岩孔隙发育于溢溶相熔岩刚性体中,分布零散,无规则,不易受压实影响。根据全直径岩芯物性分析,火山岩孔隙度为 $6.3\% \sim 12.8\%$,渗透率为 $0.55 \times 10^{-3} \sim 122.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。火山岩储层储集性能主要取决于原始喷发相带及后期构造运动或风化淋滤形成的裂缝的改造,孔隙度随深度变化不明显(图4),在埋深较大的情况下仍可有较好的孔渗条件,这对于在松辽盆地北部埋深较大、成岩作用较强的情况下寻找有效的储集体具有十分重要的意义。

2 对气藏的控制作用

火山岩分布于深层断陷烃源岩之中且相对独立,具有得天独厚的成藏条件。松辽盆地北部中生

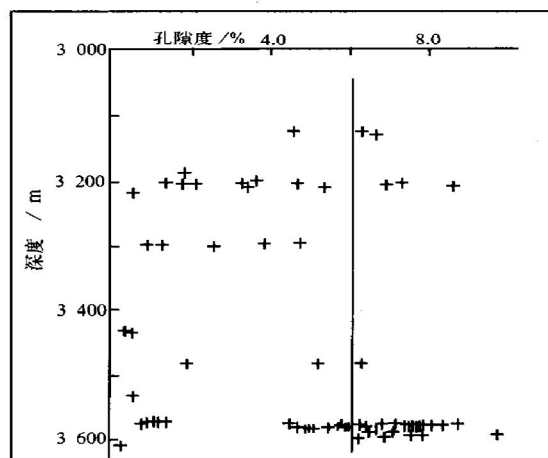


图4 火山岩埋藏深度与孔隙度关系图

Fig. 4 Correlation diagram for the burial depth of volcanic rocks and porosity

代火山岩形成和分布于生气断陷区内,断陷期地层,特别是沙河子组深湖相和煤系暗色泥岩发育,

如徐家围子地区推测最大厚度可达 2 000 m, 有机质丰度较高, 高成熟到过成熟阶段形成大量天然气, 而多期多次喷发的火山岩又夹于沉积岩中呈丘状、层状, 形成了以沉积岩为围岩的相对独立的火山岩岩性圈闭。火山岩储层分布于烃源岩区之中, 烃源岩生排气后, 火山岩圈闭“近水楼台先得月”十分有利于天然气的聚集, 从而形成大面积的火山岩岩性气藏。同时, 火山岩储层邻近深大断裂, 也易于捕集深源无机天然气。因此, 火山岩储层具有得天独厚的成藏条件(图 5), 并对天然气的成藏起着控制作用。

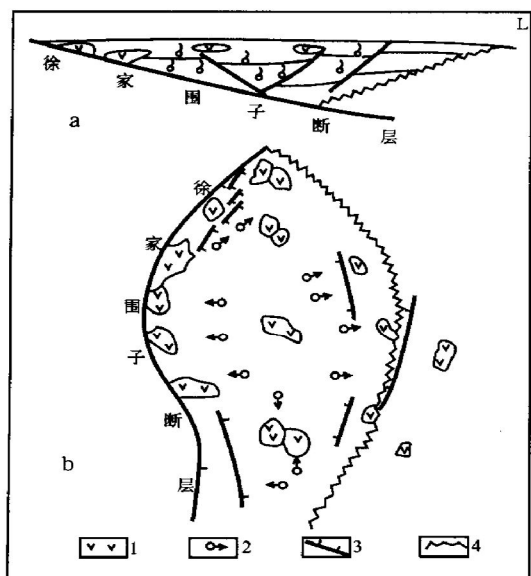


图 5 火山岩气藏成藏模式图

Fig. 5 Gas generation pattern in Volcanic rocks

1—火山岩; 2—运移方向; 3—断层; 4—不整合; a—徐家围子断陷剖面; b—徐家围子断陷平面

从目前已发现的火山岩气藏分布来看, 储层储集物性好、气层产量高的气藏, 集中分布在徐家围子断陷的西部及北部深大断裂、控陷断裂、次生断裂发育地区和长期发育的古基岩凸起之上, 平面上

沿控陷断裂呈带状、串珠状分布的特征, 进一步说明了构造运动和后期风化剥蚀是控制火山岩储层储集物性的主要因素(尤其是构造运动)。因而, 断裂发育的程度不仅控制了优质火山岩储层的分布, 也控制了火山岩气藏的分布, 从而使断裂发育的地区成为火山岩气藏勘探的最有利地区。相对而言, 断陷中部、东部断裂不发育的地区, 火山岩储层物性差, 火山岩储层以干层或产少量气为主, 对火山岩气藏的勘探相对不利。

基于以上的研究认识, 我们在松辽盆地北部徐家围子地区开展了针对深层火山岩体的重点钻探, 在已钻探的 9 个火山岩体中, 共有 4 个获得工业气流, 3 个获得低产气流, 2 个见气显示。获天然气地质储量三百多亿立方米(包括 CO₂ 气), 取得了良好的勘探效益。

参 考 文 献

- 1 杜贤樾, 肖焕钦. 渤海湾盆地火成岩油气藏勘探研究进展[J]. 复式油气藏, 1998, (4): 1~4
- 2 肖尚斌. 渤海湾盆地火山岩及其相关油气藏分类[J]. 特种油气藏, 1999, 6(4): 3~10
- 3 费宝生. 二连盆地阿北安山岩油气藏的勘探[J]. 复式油气藏, 1998, (4): 9~12
- 4 周超, 董庆勇, 许长斌. 龙湾筒凹陷九佛堂组火山岩储层特征研究[J]. 特种油气藏, 1999, 6(3): 13~18
- 5 迟元林, 王璞珊, 单玄龙, 等. 中国陆相含油气盆地深层地层研究——以松辽盆地为例[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2000
- 6 邵正奎, 孟宪禄, 王洪艳, 等. 松辽盆地储层火山岩地震反射特征及其分布规律[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(1): 33~36
- 7 迟元林, 云金表, 庞庆山. 徐家围子断陷 CO₂ 气藏形成地质机制研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(3): 1~3
- 8 蒙启安, 门广田, 张正和. 松辽盆地深层火山岩体、岩相预测方法及应用效果[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3): 21~24

CHARACTERISTICS OF MESOZOIC VOLCANIC ROCKS AND ITS CONTROLLING EFFECT ON GAS RESERVOIR IN SONGLIAO BASIN

Meng Qian¹ Men Guangtian¹ Zhao Hongwen¹ Jiang Tao² Shao Mingli²

(1. Earth Science Department of Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang)

(2. Exploration and Development Institute of Jilin Oilfield, Songyuan, Jilin)

Abstract: Volcanic rock reservoir is a main target layer for deep gas exploration in Songliao basin, controlled chiefly in distribution by deep and major fractures showing widespread in belt along the fracture not only in mountainous areas

(下转第 292 页)

RESERVOIR CHARACTERISTICS FOR VOLCANIC ROCKS FROM MEMBER I, II OF FUNING FORMATION IN NORTHERN MINBEI REGION IN SUBEI BASIN

Ji Guosheng¹ Dai Junsheng¹ Ma Xinben² Wang Zhiyun²

(1 *University of . Petroleum , Dongying, Shandong;*

2. *No. 2 Oil Recovery Plant of Jiangsu Oilfield Administration Bureau, Jintu, Jiangsu)*

Abstract: There are mainly two types of pores (primary and secondary) in the space of volcanic rock reservoirs in northern Mingqiao region of Jinhu depression in Subei basin. The primary pores consisting of intergranular pores, intercrystalline pores, gas pores and primary joints were formed during the accumulation of volcanic rocks and diagenesis. The distribution of the primary pores are mostly isolated and filled. The secondary pores including intra-particle dissolution pores, dissolution pores, seams and caves etc. were formed after the diagenesis of volcanic rocks caused by the effects of weathering, leaching, dissolution and structural stress. The secondary pores can improve reservoir quality greatly especially for structural joints and play very good rule in communicating isolated primary pores. The ratios of porosity and permeability of a rock flow unit in the profile are observed to have a trend of being enlarged gradually from downwards to upwards by analyzing volcanic rock porosity and well log of permeability. Variations of porosity and permeability in a rock flow group correspond to these in a rock flow unit or reveal several repetitions of the same regularity above. The ratio variations of porosity and permeability of east–west in the study area are quite big while ratio variations of south–north are relatively stable. Reservoir qualities of VII–XI rock flow group in 1st member of Funing formation and III rock flow group in 2nd member of Funing Formation are quite good.

Key words: volcanic rock; primary porosity; secondary porosity; rock flow unit; rock flow group

(上接第 288 页)

but also in sedimentary layers in the fault subsidence basins; Space of the reservoir are observed to be primary bubble pores, amygdale interior pores, secondary phenocryst solution pores, matrix dissolution pores, structural solution fissures. Pore structural assemblies are discovered to be pore structures made up of unitary fissures, phenocryst solution pores and fissure assemblies. Three stages can be divided in terms of origin namely; primary bubble pores formed in the period of overflow eruption, secondary pores originated by the process of weathering eluviation in the period of eruption intermittent and diagenesis and structure effects in the burial process. Fissures are key factors for the improvement of property of volcanic rock reservoir, diagenesis either intensified secondary pore fillings or intensified the formation of solution fissures, compaction has no an effect on the reservoir property . Relatively independent distribution of volcanic rocks in hydrocarbon source rocks make it possible for them to have exceptional advantages for the formation of reservoir, tectonic movements and deuteric weathering–erosions are main factors for controlling property of the reservoir , development of fractures controls the distribution of gas reservoir.

Key words: Songliao basin; Mesozoic; volcanic rock reservoir; gas reservoir; characteristic; controlling effect