

火山岩储层微观孔隙结构分类评价

——以准噶尔盆地东部西泉地区石炭系火山岩为例

马尚伟¹, 罗静兰¹, 陈春勇², 何贤英², 代静静¹, 许学龙², 汪冲¹

(1. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学), 西安 710069; 2. 中国石油新疆油田公司准东采油厂, 新疆阜康 831511)

摘要: 基于准噶尔盆地西泉地区火山岩储层特征研究较薄弱的现象, 通过 25 口井的岩心观察、铸体薄片、扫描电镜及高压压汞等分析, 以产能大小为依据, 将火山岩储层分为 4 类, 对火山岩储集空间类型及组合、微观孔隙结构特征进行分类评价。根据研究区火山岩储层面孔率及优势储集空间组合关系: I 类为气孔+溶蚀扩大孔、溶蚀孔+裂缝型, II 类为气孔+构造缝(溶蚀缝)型, III 类为气孔+溶孔型, IV 类为孤立小孔隙型, 面孔率依次降低。火山岩储层不同类型微观孔隙结构特征表明: I 类储层发育大孔隙、粗喉道, 为优势储集层; II 类和 III 类储层发育大—中孔隙, 中—细喉道, 为较好到中—差储层; IV 类储层发育小孔隙、细喉道, 为致密储层。在此基础上, 结合测井资料, 建立了研究区火山岩储层分类评价标准。

关键词: 储集空间组合; 孔隙结构; 分类评价; 火山岩储层; 西泉地区; 准噶尔盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Classification and evaluation of micro pore structure of volcanic rock reservoirs:

A case study of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, eastern Junggar Basin

Ma Shangwei¹, Luo Jinglan¹, Chen Chunyong², He Xianying², Dai Jingjing¹, Xu Xuelong², Wang Chong¹

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Zhundong Production Plant, Xinjiang Oilfield Company Ltd, PetroChina, Fukang, Xinjiang 831511, China)

Abstract: The studies of the characteristics of volcanic reservoirs in Xiquan area of the Junggar Basin are relatively weak. The pore types and pore assemblages as well as the micro pore structural features of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area were classified and evaluated in this paper according to hydrocarbon yield, and also based on the observation and description of cores from 25 drilling wells, and the identification and quantifying of casting thin sections under microscope, measurement of SEM, porosity and permeability and capillary pressure. Four types of volcanic reservoirs were identified based on the thin-section porosity and the superior pore assemblage. The type I pore assemblage is the vesicles+enlarged dissolution vesicles and dissolution pores+fractures. The type II includes vesicles+structural fractures+dissolution fissures. The type III is vesicles+dissolution pores, while only isolated fine pores developed in the type IV reservoir. The thin-section porosity reduces in turn from the type I to the type IV. Different micropore structure of the volcanic reservoirs indicated that the type I is an excellent reservoir with well-developed large pores and coarse throats. The type II and type III are better to medium favorable reservoirs with developed large to medium pores and medium to fine throats. While the type IV is a tight reservoir due to its fine pores and fine to micro throats. Finally, a volcanic reservoir classification and evaluation criterion for the study area was established on the basis of the above study and integrated with well logging data.

Key words: reservoir pore assemblage; pore structure; classification and evaluation; volcanic reservoir; Xiquan area; Junggar Basin

火山岩作为一种非常规油气储层, 在国外已有 120 年的勘探历程。近年来我国已先后在松辽盆地、二连盆地、准噶尔盆地等火山岩的勘探中获得

重大突破^[1], 特别在新疆北部准噶尔盆地中已发现多个火山岩油气藏, 显示出巨大的开发潜力^[2]。火山岩储层特征的研究是我国火山岩油气藏研究

收稿日期: 2017-03-08; 修订日期: 2017-07-18。

作者简介: 马尚伟(1985—), 男, 博士研究生, 主要从事油气地质学研究。E-mail: mashangwei123@163.com。

通信作者: 罗静兰(1957—), 女, 教授, 主要从事储层沉积学、火山岩油气藏岩相学、储层特征及成岩作用研究。E-mail: jlluo@nwu.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“东西部火山岩储层与鄂尔多斯盆地长 7 致密砂岩储层成岩演化序列与有利储层评价”(2011ZX05001-002-008)资助。

的核心问题和难点之一。诸多学者在火山岩储层方面的研究主要集中在储集空间类型^[3-4]、成岩作用^[5-6]、微观孔隙结构^[7-8]、储层的物性变化特征^[9]等方面,而对火山岩储层分类评价的研究十分薄弱,缺乏成熟有效的评价方法。与碎屑岩相比,火山岩储层类型多,成藏地质条件更加复杂,评价参数与标准的选取尚没达成一致,必须在火山岩物性、含油性、孔喉结构研究基础上,充分考虑火山岩的岩性与岩相特征、储集空间组合、电性等参数的分类评价,才能有效地指导火山岩有利储集带的预测和火山岩油气的勘探与开发。

为进一步识别有效储层及有利储集带,采用铸体薄片镜下观察鉴定与定量统计、扫描电镜、图像孔喉分析、压汞等分析手段,以试油产能为约束,分类评价火山岩储层的岩性、储集空间组合、微观孔隙结构特征,结合测井资料,建立适合西泉地区火山岩储层分类评价标准。

1 区域特征

西泉地区位于新疆准噶尔盆地东部隆起西缘的北三台凸起内部,其东西分离阜康凹陷与吉木萨尔凹陷,南北分割沙奇凸起与阜康断裂带(图 1)。北三台凸起是一个自石炭纪海西期构造运动开始发育的凸起,其形成演化经历了晚海西、印支、燕山及喜马拉雅 4 次大的构造运动,整体表现为东北断隆,向西倾没,围绕凸起形成了较为复杂的断裂系统。西泉地区石炭系与上二叠统不整合接触,自下而上划分为下石炭统的塔木岗组和滴水泉组,上石炭统的巴塔马依内山组。其中,巴塔马依内山组火山岩分布广泛,油气资源丰富,目前已在 45 口探井

中钻遇火山岩,其中,10 口井试油产量达 10~48.06 t/d,显示出巨大的开发潜力。

2 火山岩储层的基本特征

2.1 火山岩储层的岩石类型

西泉地区火山岩岩性复杂、岩石类型较多,通过 25 口井的岩心观察、岩石薄片鉴定、全岩主量元素分析等多种识别方法,依据 1989 年国际地科联火成岩分类方案,将西泉地区石炭系火山岩分为火山熔岩、火山碎屑熔岩、火山碎屑岩和沉火山碎屑岩 4 类。其中,火山熔岩包括玄武岩、安山岩和英安岩;火山碎屑熔岩包括火山角砾熔岩和凝灰熔岩;火山碎屑岩包括火山角砾岩和凝灰岩;沉火山碎屑岩主要为沉凝灰岩。

2.2 火山岩储层的储集空间类型

不同学者对不同地区火山岩储集空间类型的划分方案不一,大致归为以下 4 类:(1)根据形态特征将火山岩孔隙类型分为孔隙和裂缝 2 大类^[4,10-11];(2)根据岩心宏观孔隙类型将火山岩分为孔隙、洞穴、裂缝 3 大类^[12];(3)根据成因将火山岩孔隙类型分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝 3 类^[13-14];(4)根据成因将火山岩孔隙类型分为原生储集空间、次生储集空间 2 类^[15]。通过西泉地区 25 口井岩心观察、铸体薄片镜下观察及电镜扫描等多种分析方法,本文对研究区火山岩孔隙类型的划分基本沿用上述第 4 种分类方案,将西泉地区石炭系火山岩的储集空间类型划分为原生储集空间和次生储集空间 2 大类。进一步根据形态特征,将原生储集空间细分为原生孔隙和原生裂缝,次生储集空间细分为次生孔隙和次生裂缝。

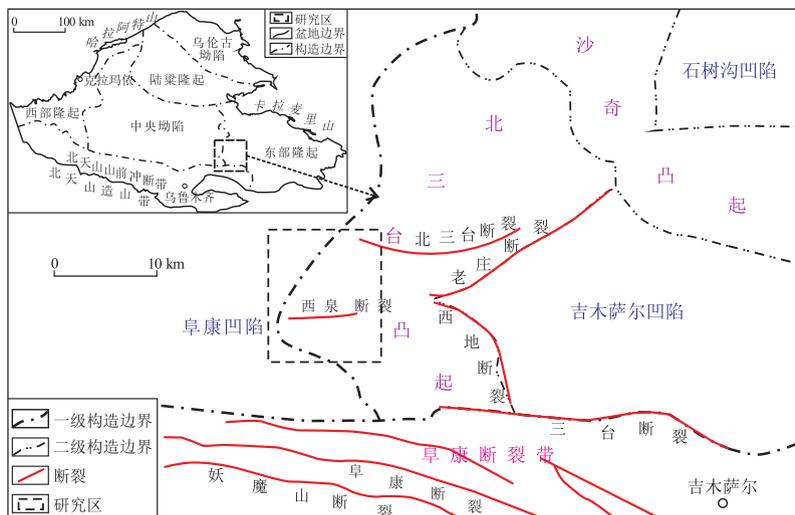


图 1 准噶尔盆地西泉地区构造位置

Fig.1 Tectonic units of the Junggar Basin and location of Xiquan area

(1)原生孔隙。包括气孔和残余气孔,主要发育在火山熔岩和火山碎屑熔岩中,是岩浆喷出地表后在凝固过程中由于压力骤降挥发组分逸散形成的孔隙,气孔多呈圆形、椭圆形(图2a,b)、不规则形(图2c),部分气孔经分化淋滤溶蚀扩大形成扩大孔(图2d);部分气孔常被成岩演化过程中产生的次生矿物半充填形成残余气孔。

(2)原生裂缝。包括节理缝或者炸裂缝,是岩浆上涌过程中,已结晶矿物因压力骤降和温度变化胀裂或者熔岩体内部高压爆破形成的,研究区较少出现此类裂缝。

(3)次生孔隙。包括火山熔岩中的斑晶溶孔(图2e)、基质溶孔(图2f)和火山碎屑岩中的粒间溶孔(图2g)、粒内(晶内)溶孔(图2h),是火山岩在成岩演化过程中斑晶内部和颗粒内部以及基质或颗粒之间因成岩流体等作用发生的一系列溶蚀作用形成的孔隙,孔隙形状不规则,多呈孤立状。

(4)次生裂缝。包括溶蚀缝和构造裂缝,发育在各类火山岩中,溶蚀缝多与风化淋滤作用有关,多由充填构造裂缝边缘经过溶蚀而形成的,缝面多呈弯曲状或分叉(图2i,j);构造裂缝多为近平直状,可切穿颗粒和斑晶,延伸较远(图2k,l)。

3 火山岩储层分类评价

火山岩的储集空间受岩性与岩相、风化淋滤作用、成岩作用及构造作用等因素的影响,具有孔隙、

裂缝双重介质特征。本文根据研究区24口井试油产能的大小,以大于10 d/t,5~10 d/t,0~5 d/t和干层(或水层)为界,将火山岩储层分为I,II,III,IV类,选取这4类不同储层的岩石样品,配套完成反映储层储渗能力的图像孔喉分析和压汞曲线实验,对不同岩性储集空间组合、物性、孔喉半径、含油饱和度、电性等参数进行分类评价,定量表征不同分类的火山岩储层的有效性和渗流能力。

3.1 储集空间组合特征

由于各类储集空间一般不单独存在,都是以某种组合形式出现^[16],因此,采用图像孔喉分析测量40个不同岩性储集空间的类型和总面孔率,以优势储集空间组合^[17-18]为依据,评价4类不同岩性储集空间组合(表1):

(1) I类:主要发育气孔+溶蚀扩大孔和溶蚀孔+裂缝,面孔率大于3%(表1),气孔+溶蚀扩大孔常见于气孔安山岩和火山角砾熔岩中,其位于不整合面附近,经历长期风化淋滤作用,使孔隙溶蚀扩大并彼此连通,形成最有利的储集空间组合;溶蚀孔+裂缝见于火山角砾岩中,溶孔为粒间溶孔和粒内溶孔,占总面孔率80%以上,裂缝不仅形成油气储集空间,同时连通溶孔增大渗流通道,形成优势储集空间组合。

(2) II类:主要发育气孔+构造缝(溶蚀缝),面孔率2%~3%,常见于气孔玄武岩和凝灰熔岩中,气孔占总面孔率30%~90%(表1),裂缝(溶蚀缝)

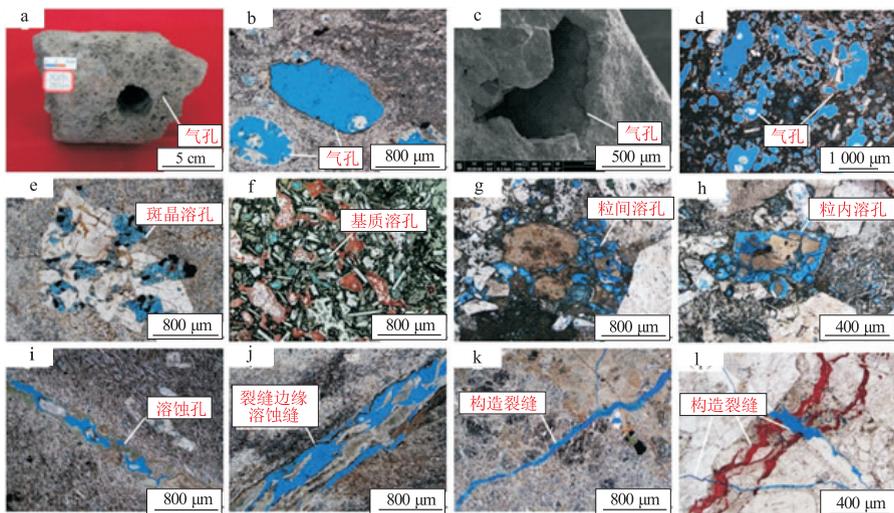


图2 准噶尔盆地西泉地区石炭系火山岩孔隙类型照片

a.安山岩中的气孔,岩心,西泉092井,2 503.6 m; b.安山岩中的气孔,单偏光,西泉092井,2 503 m; c.安山岩中气孔,扫描电镜,西泉1井,1 967.9 m; d.凝灰熔岩中的气孔,单偏光,西泉104井,2 255.9 m; e.安山岩中斑晶溶孔,单偏光,西泉092井,2 598.8 m; f.玄武岩基质溶孔,单偏光,西泉8井,2 508.3 m; g.火山角砾岩中粒间溶孔,单偏光,西泉104井,2 048.6 m; h.火山角砾岩中粒内溶孔,单偏光,西泉104井,2 048.6 m; i.安山岩中的溶蚀缝,单偏光,西泉3井,2 354.1 m; j.安山岩中的溶蚀缝,单偏光,西泉092井,2 601.9 m; k.火山角砾熔岩中构造缝,单偏光,西泉9井,2 789.5 m; l.安山岩中2期构造裂缝,单偏光,西泉17井,3 705.0 m

Fig.2 Pore types of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

表 1 准噶尔盆地西泉地区石炭系火山岩储集空间组合分类评价

Table 1 Classification and evaluation of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

岩石类型	岩性		储集空间类型与含量/%	平均面孔率/%	主要的储集空间组合	储集性能评价
火山熔岩	玄武岩	气孔玄武岩		2.72	气孔+构造缝	II
		致密玄武岩		0.36	构造缝	IV
	安山岩	气孔安山岩		6.60	气孔+溶蚀扩大孔	I
		致密安山岩		1.00	基质溶孔、溶蚀缝	IV
	英安岩	英安岩		1.54	气孔+溶孔	III
火山碎屑熔岩	火山角砾熔岩			3.60	气孔+溶蚀扩大孔	I
	凝灰熔岩			2.57	气孔+溶蚀缝	II
火山碎屑岩	火山角砾岩			3.67	溶孔+裂缝	I
	凝灰岩			1.00	气孔+溶蚀缝	IV
沉火山碎屑岩	沉凝灰岩				溶孔、溶蚀缝	IV

形成渗流通道连通气孔,形成较好储集空间组合。

(3) III类:主要发育气孔+溶孔,面孔率在 1%~2%之间,常见于英安岩和少部分安山岩中,储集空间以气孔、斑晶溶孔和基质溶孔为主,占总面孔率 90.8%(表 1),孔隙之间彼此连通性差,渗流能力变差,多为差储集空间。

(4) IV类:整体上以孤立状小孔隙为主,面孔率小于 1%,主要发育在凝灰岩、沉凝灰岩、致密安山岩和致密玄武岩中,彼此不连通,多为致密层。

3.2 微观孔隙结构分布特征

火山岩储层喉道成因较沉积岩更加复杂,储集层具有不同的微观孔隙结构特征,深入研究储层微观孔隙结构特征对储层的储集能力和渗流机理具有指示意义。根据 64 个样品的压汞曲线,分析 4 类火山岩储层微观孔隙结构特征及渗流能力^[19]。

I类(气孔+溶蚀扩大孔和溶蚀孔+裂缝):以西泉 092 井 2 503.0 m 处样品为例,排驱压力 0.04 MPa,中值压力 2.09 MPa,最大进汞饱和度 90.4%(图 3a),孔喉半径分布呈多峰型,主要分布在 1~100,0.1~1 和 0.01~0.1 μm 3 个区间,分别占总孔喉体积的 36.5%、28.0%和 35.5%(图 3b),1~100 μm 之间的孔喉半径提供了 95%以上的渗透贡献能力(图 3c),说明对渗透率的贡献主要取决于粗喉道。粗喉道所占的比例越高,渗透率越好。

II类(气孔+构造缝(溶蚀缝)):以西泉 3 井 2 382.1 m 处样品为例,排驱压力 1.03 MPa,中值压力 12.5 MPa,最大进汞饱和度 66%(图 3a);孔喉半径分布呈单峰型且分选范围较宽,分布在 0.01~1 μm ,0.1~1 μm 的孔喉半径占总孔喉体积的 73.3%(图 3b),并贡献了 95%以上的渗流能力(图 3d)。

III类(气孔+构造缝或溶蚀缝):以西泉 092 井 2 600.9 m 处样品为例,排驱压力为 1.04 MPa,中值压力为 19.0 MPa,最大进汞饱和度为 52%(图 3a);孔喉半径分布呈双峰型且小孔喉分布较多,分布在 0.1~1 μm 和 0.01~0.1 μm 之间,分别占总孔喉体积的 40%和 60%(图 3b),位于 0.1~1 μm 之间的孔喉渗透率贡献达 95%以上(图 3e),小于 0.1 μm 孔喉虽有储集能力,但对渗透率贡献较小。

IV类(孤立的小孔隙为主):以西泉 114 井 2 537.5 m 处样品为例,排驱压力和中值压力较大,最大进汞饱和度为 21%(图 3a);孔喉半径分布呈双峰型,分布在 0.1~0.5 μm 和 0.01~0.1 μm 之间(图 3b),分别占总孔喉体积的 54%和 46%,对渗透率的贡献取决于 0.1~0.5 μm 之间的喉道(图 3f)。

3.3 孔隙结构参数分布特征

根据 4 类火山岩储层微观孔隙结构特征,分析微观孔隙结构参数(表 2),从 I 类到 IV 类储层,其孔隙度、渗透率、最大孔喉半径、中值半径和最大进汞饱和度整体呈跳跃式减少,而排驱压力和中值压力呈跳跃式增大(图 4)。

I类储层有效孔隙度大于 24%,渗透率大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大孔喉半径 1~20 μm ,进汞饱和度大于 80%,排驱压力小于 0.7 MPa,中值压力小于 8 MPa,说明该类储层发育大孔隙、大喉道,对油气储集和渗流能力贡献较大,为优质储层。

II类储层有效孔隙度 18%~24%之间,渗透率在 $(0.1 \sim 1.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,最大孔喉半径 0.3~5 μm ,进汞饱和度 65%~80%,排驱压力 0.2~1.5 MPa,中值压力 4~15 MPa,发育大一中孔隙、中孔喉,储集能力和渗流能力较 I 类差,为较好储层。

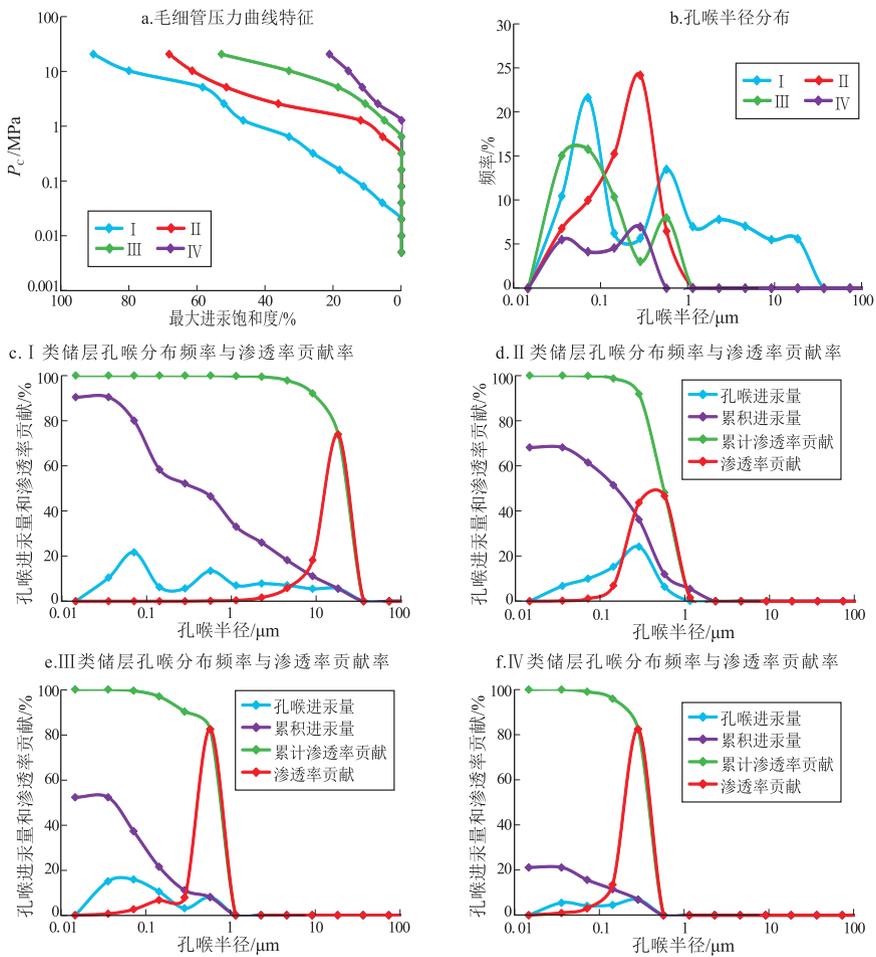


图 3 准噶尔盆地西泉地区石炭系不同火山岩储层类型微观孔隙结构特征

Fig.3 Pore structural characteristics of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

表 2 准噶尔盆地西泉地区石炭系不同火山岩储层类型的微观孔隙结构参数

Table 2 Pore structure parameters of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

储层类型	I 类	II 类	III 类	IV 类
样品个数	14	12	15	23
有效孔隙度/%	23.5~30.6 27.6	17.6~22.9 20.2	12.2~17.9 14.9	0.1~13.2 4.9
渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	0.24~6.50 2.93	0.08~1.02 0.37	0.02~1.58 0.42	0.016~0.200 0.07
最大孔喉半径/ μm	1.19~19.42 5.79	0.33~4.56 1.38	0.17~2.06 0.75	0~0.58
进汞饱和度/%	80.0~95.5 86.2	64.6~79.5 72.8	50.0~64.1 58.3	10.3~42.9 22.0
中值半径/ μm	0.10~0.35 0.19	0.018~0.200 0.07	0.018~0.200 0.07	0.018~0.200 0.07
排驱压力/MPa	0.04~0.62 0.32	0.20~1.47 0.88	0.52~2.69 1.47	
中值压力/MPa	2.09~8.00 4.49	4.29~14.26 9.12	10.12~18.97 14.86	

注: $\frac{0.018 \sim 0.200}{0.07}$ = 最小值~最大值
平均值

III类储层有效孔隙度在 12%~18%之间,渗透率 $(0.05 \sim 1.6) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,最大孔喉半径 0.15 ~

2 μm ,进汞饱和度 50%~65%,排驱压力 0.5~3.0 MPa,中值压力10~20MPa,发育中孔隙、中—细孔

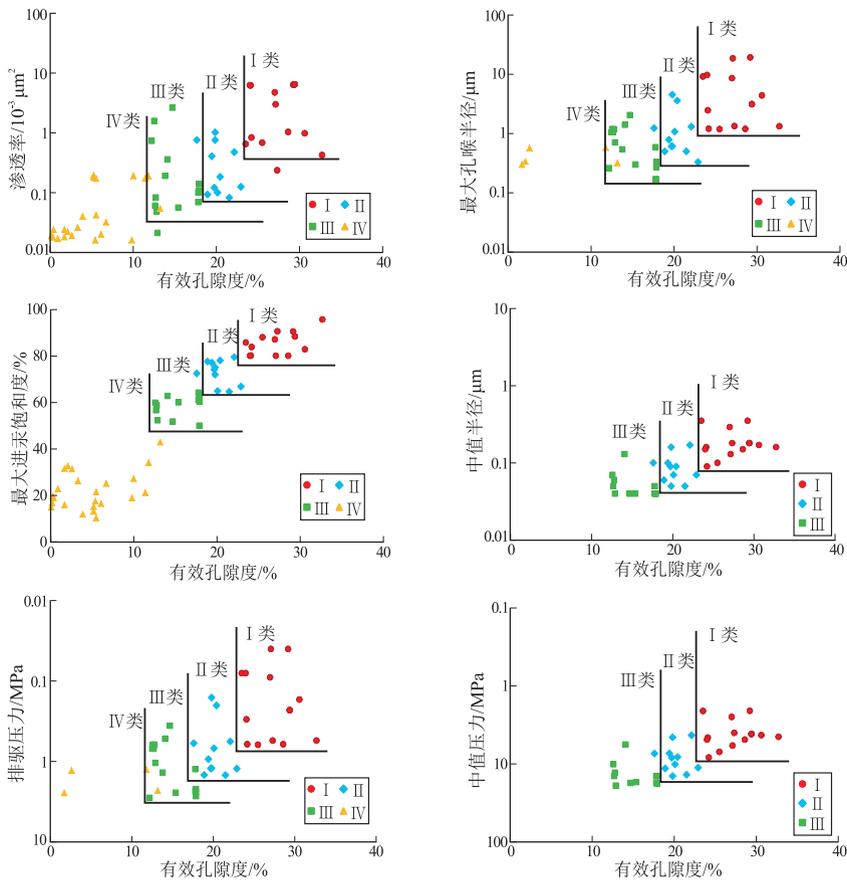


图 4 准噶尔盆地西泉地区石炭系不同火山岩储集层孔隙结构参数分布特征

Fig.4 Distribution of pore structural parameters of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

喉,储集空间和渗流能力明显变差,为中—差储层。

IV类储层有效孔隙度小于12%,渗透率在 $(0.01 \sim 0.2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,进汞饱和度小于50%,该类储层为小孔隙和细喉道,几乎没有储集能力和渗透能力,为致密储层。

综上所述,大孔隙、中—粗喉道,是决定火山岩优质储层的重要因素。

3.4 火山岩储层分类评价标准

笔者在上述储集空间组合及微观孔隙结构分类评价的基础上,根据分析样品与测井曲线的关

系,分别建立试油结论 AC-DEN 交会图(图 5a)、不同类型 AC-DEN 交会图(图 5b),试油结论中含油下限和 III类储层下限相吻合。综合岩性、储集空间组合、微观孔隙结构特征、电性及含油性等参数,建立了西泉地区石炭系火山岩储层分类评价标准(表 3)。

该分类评价标准以产能大小为依据,充分考虑火山岩储层的岩性、储集空间组合、物性、电性、含油性等参数,有效指导有利区预测。而工程压裂、实验分析误差等可能造成试油产量偏小和实验结

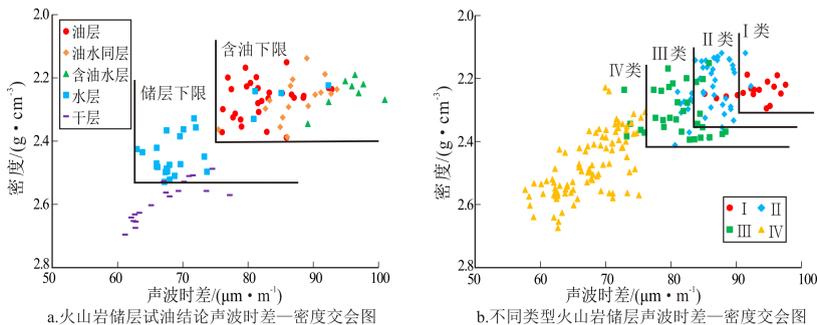


图 5 准噶尔盆地西泉地区火山岩储层声波时差—密度交会图与试油产能关系

Fig.5 Relationship between acoustic time-density and oil yield of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

表3 准噶尔盆地西泉地区石炭系火山岩储层分类评价参数与标准

Table 3 Classification and evaluation parameters and criteria for the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

评价参数		储层分类评价标准			
标准名称	参数	I类	II类	III类	IV类
产能标准	产量/(t·d ⁻¹)	>10	5~10	0~5	干层/水层
物性标准	有效孔隙度/%	>24	18~24	12~18	<12
	渗透率/10 ⁻³ μm ²	>0.5	0.08~0.50	0.05~0.08	<0.05
含油性标准	含油饱和度/%	>80	65~80	50~65	<50
孔隙结构参数	喉道半径/μm	>1	>0.5	>0.1	<0.1
电性参数	密度/(g·cm ⁻³)	<2.30	2.30~2.35	2.35~2.40	>2.40
	声波时差/(μs·m ⁻¹)	>90	82~90	75~82	<75
储集空间组合	孔隙类型	气孔+溶蚀扩大孔 溶蚀孔+构造缝	气孔+构造缝 气孔+溶蚀缝	气孔+溶孔	孤立孔隙
岩石类型	火山岩类	气孔安山岩 火山角砾熔岩 火山角砾岩	气孔玄武岩 凝灰熔岩	英安岩	致密玄武岩、 致密安山岩、 (沉)凝灰岩

果偏差,导致分类错误,可能忽略部分有效储层;对于不同盆地,如果勘探程度较低、试油数据较少,同时主控因素差异造成储集空间组合和孔隙结构不同的其他类型火山岩,可能不适合该分类评价。

4 火山岩储层平面分布预测

依据火山岩储层分类评价标准,结合试油试采,绘制出西泉地区石炭系火山岩储层平面分布图(图6)。其中,I类储层分布区域较小,主要集中在研究区南部中间区域,是本区主要的产油区;II类储层

分布较广,主要集中在研究区南部中间围绕I类分布,以及研究区东南部和西北部,是研究区主要的开发区;III类储层主要分布在研究区南部中间围绕II类分布,以及研究区东北部,物性和产量均较差;IV类储层分布最为广泛,为水层或致密储层。

5 结论

(1)依据产能大小,结合火山岩储层面孔率及优势储集空间组合关系,将西泉地区火山岩储层分为4类:I类为气孔+溶蚀扩大孔、溶蚀孔+裂缝型,II类为气孔+构造缝(溶蚀缝)型,III类为气孔+溶孔型,IV类为孤立小孔隙型。

(2)微观孔隙结构特征显示,从I类到IV类储层,面孔率、孔隙度、渗透率、最大孔喉半径、最大进汞饱和度及中值半径依次降低,排驱压力和中值压力依次增大。I类储层发育大孔隙,粗喉道,为优势储层;II类和III类储层发育大—中孔隙,中—细喉道,为较好到中—差储层;IV类储层发育小孔隙、细喉道,为致密储层。

(3)综合试油产能、岩性、储集空间组合、储层孔隙结构,储层电性等参数,建立了西泉地区石炭系火山岩储层分类评价标准,在此基础上,预测了西泉地区石炭系有利火山岩储层储集地带。

参考文献:

[1] 柳双权,张顺存,戴龙,等.准噶尔盆地石炭系火山岩优质储层特征及主控因素[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(6):786-794.

Liu Shuangquan,Zhang Shuncun,Dai Long,et al.Characteristics and main controlling factors of high quality Carboniferous volcanic reservoirs in Junggar Basin[J].Journal of Lanzhou University (Natural Sciences),2014,50(6):786-794.

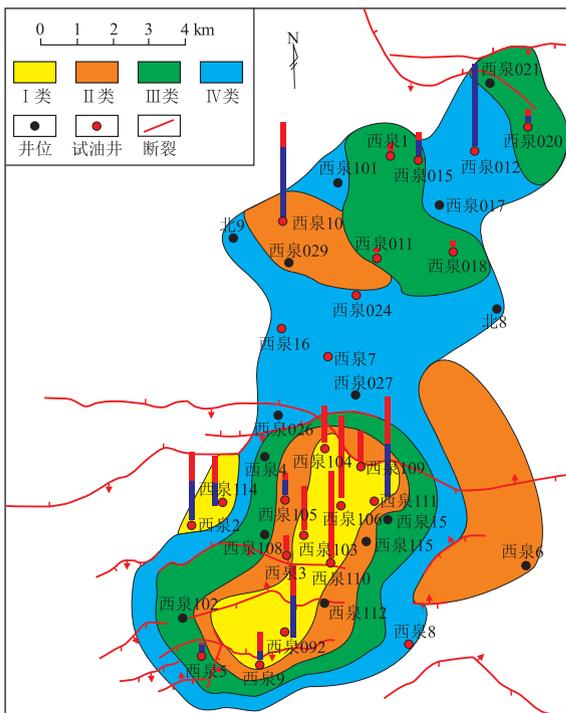


图6 准噶尔盆地西泉地区石炭系火山岩储层平面分布

Fig.6 Horizontal distribution of the Carboniferous volcanic reservoirs in Xiquan area, Junggar Basin

- [2] 王洛,李江海,师永民,等.准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩储集性能分布规律研究[J].岩石学报,2016,32(3):877-891.
Wang Luo, Li Jianghai, Shi Yongmin, et al. Study on distribution patterns of reservoir property of Carboniferous volcanic rocks in Dixi area, Junggar Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(3): 877-891.
- [3] 李兰斌,朱卡,李华明,等.三塘湖盆地石炭系火山岩储集空间类型及储层特征[J].地质科技情报,2014,33(3):71-77.
Li Lanbin, Zhu Ka, Li Huaming, et al. Reservoir space type and reservoir characteristics of Carboniferous volcanic in Santanghu Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(3): 71-77.
- [4] 熊益学,郝爱华,冉启全,等.准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩储集空间特征及其分布[J].高校地质学报,2012,18(1):164-173.
Xiong Yixue, Xi Aihua, Ran Qiquan, et al. Characteristics and distribution of reservoir spaces of the Carboniferous volcanic rocks in Dixi area, Junggar Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(1): 164-173.
- [5] 陈薇,司学强,智凤琴,等.三塘湖盆地卡拉岗组火山岩储层成岩作用[J].西南石油大学学报(自然科学版),2013,35(4):35-42.
Chen Wei, Si Xueqiang, Zhi Fengqin, et al. Diagenesis of volcanic rock reservoir in Kalagang Formation of Carboniferous, Santanghu Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2013, 35(4): 35-42.
- [6] 王盛鹏,林潼,孙平,等.两种不同沉积环境下火山岩储层成岩作用研究[J].石油实验地质,2012,34(2):145-152.
Wang Shengpeng, Lin Tong, Sun Ping, et al. Influences of diagenetic effects on volcanic rock reservoirs under two different sedimentary environments [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 145-152.
- [7] 陈欢庆,蒋平,张丹锋,等.火山岩储层孔隙结构分类与分布评价:以松辽盆地徐东地区营城组一段火山岩储层为例[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(4):1453-1463.
Chen Huanqing, Jiang Ping, Zhang Danfeng, et al. Pore structure of volcanic reservoir classified and distribution characteristics evaluated: Taking Member 1 of Yingcheng Formation in Xudong area in Songliao Basin as an example [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(4): 1453-1463.
- [8] 刘之的,苗福全,罗晓芳,等.火山岩裂缝型储层应力敏感性实验研究[J].天然气地球科学,2012,23(2):208-212.
Liu Zhidi, Miao Fuquan, Luo Xiaofang, et al. Experiment of stress sensitivity for igneous fractured reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(2): 208-212.
- [9] Sruga P, Rubinstein N. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén Basins, Argentina [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(1): 115-129.
- [10] 刘为付,朱敏敏.松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化[J].石油实验地质,2005,27(1):44-49.
Liu Weifu, Zhu Xiaomin. Reservoir space evolution of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi Fault Depression, the Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(1): 44-49.
- [11] 王洛,李江海,师永民,等.准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩储集空间及主控因素分析[J].地学前缘,2014,21(1):205-215.
Wang Luo, Li Jianghai, Shi Yongmin, et al. Analysis of the reservoir spaces and their main controlling factors of Carboniferous volcanic rocks in Dixi area, Junggar Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(1): 205-215.
- [12] 毛振强,陈凤莲.高青油田孔店组火山岩储集特征及成藏规律研究[J].矿物岩石,2005,25(1):104-108.
Mao Zhenqiang, Chen Fenglian. Research on the characteristics of the reservoir and oil concentration in the volcanic rocks of the Kongdian Formation in the Gaoqing Oilfield [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2005, 25(1): 104-108.
- [13] 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):18-23,27.
Wang Pujun, Chen Shumin, Liu Wanzhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18-23, 27.
- [14] 何辉,李顺明,孔垂显,等.准噶尔盆地西北缘二叠系佳木河组火山岩有效储层特征与定量评价[J].中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(2):1-12.
He Hui, Li Shunming, Kong Chuixian, et al. Characteristics and quantitative evaluation of volcanic effective reservoir in Jiamuhe Formation of Permian, northwestern margin of Junggar Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2016, 40(2): 1-12.
- [15] 余淳梅,郑建平,唐勇,等.准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩储集性能及影响因素[J].地球科学(中国地质大学学报),2004,29(3):303-308.
Yu Chunmei, Zheng Jianping, Tang Yong, et al. Reservoir properties and effect factors on volcanic rocks of basement beneath Wucaiwán Depression, Junggar Basin [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2004, 29(3): 303-308.
- [16] 曲延明,舒萍,纪学雁,等.松辽盆地庆深气田火山岩储层的微观结构研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(4):721-725.
Qu Yanming, Shu Ping, Ji Xueyan, et al. Micro-fabrics of reservoir volcanic rocks in the Qingshen Gas Field of the Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(4): 721-725.
- [17] 吴颜雄,王璞珺,边伟华,等.松辽盆地深层火山岩储集性能[J].石油与天然气地质,2012,33(2):236-247.
Wu Yanxiong, Wang Pujun, Bian Weihua, et al. Poroperm characteristics of deep volcanic reservoirs in Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 236-247.
- [18] 吴颜雄,王璞珺,吴艳辉,等.火山岩储层储集空间的构成:以松辽盆地为例[J].天然气工业,2011,31(4):28-33.
Wu Yanxiong, Wang Pujun, Wu Yanhui, et al. Components of volcanic reservoir space: A case study from the Songliao Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 28-33.
- [19] 魏丽,王震尧,冯强汉,等.靖边气田北部奥陶系马五₁亚段碳酸盐岩成岩作用及其孔隙结构特征[J].天然气地球科学,2015,26(12):2234-2244.
Wei Li, Wang Zhengyao, Feng Qianghan, et al. Diagenesis in carbonate reservoir and pore structure characteristic from the Ordovician Ma₅₁ sub-member reservoir in the northern Jingbian gas field [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(12): 2234-2244.