

天然气地质学

准噶尔盆地腹部陆西地区石炭系火山岩储层的物性特征及其与电性的关系

张顺存^{1,2}, 王 凌³, 石新璞³, 方琳浩^{1,2}, 董文举^{1,2}, 孔玉华³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所气体地球化学重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:通过对准噶尔盆地腹部陆西地区石炭系火山岩的研究, 提出了该区的火山岩岩相模式, 即火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相、火山—沉积相等 5 个相。对 156 个实测孔隙度和 104 个实测渗透率数据分析后发现: 不同岩相火山岩的物性不同, 且以爆发相和喷溢相为好; 不同岩性火山岩的物性也有较大的差别, 并以熔渣状玄武岩、杏仁状安山岩、火山角砾岩为好; 在合适的条件下, 加上岩相与岩性的有利组合, 可以形成良好的储层; 不同岩性火山岩的孔隙度和渗透率与不同, 与电性之间的线性相关性亦有较大的差别, 但总体上来说相关性都不大。

关键词:准噶尔盆地腹部; 石炭系火山岩; 储层物性; 岩电关系

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2008)02-0198-06

0 引言

在准噶尔盆地腹部, 已经发现了一批重要的火山岩型油气藏, 如石西油田、石南油田等^[1]。前人在此方面做了许多工作, 包括对火山岩储层物性特征也进行了较多的研究。但是, 对于陆西地区石炭系的火山岩, 虽然已经做了许多工作, 可是由于埋藏深度大, 钻井取芯较少, 火山岩储层的物性特征及岩电关系研究得还是不够。本文拟从该区火山岩储层的物性特征和岩电关系方面做一些探讨, 以期对以后的工作有所裨益。

1 区域概况

准噶尔盆地是我国陆上大型含油气盆地之一, 位于北纬 $43^{\circ}20'$ ~ $46^{\circ}20'$ 和东经 $82^{\circ}30'$ ~ $91^{\circ}30'$ 间, 总体形态呈三角形, 面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$, 四周被褶皱山系所围限^[1]。该盆地具有前寒武纪结晶基底, 与周缘地区经历了晚元古代—早古生代的洋盆开裂与闭合阶段, 二叠纪以来, 准噶尔地块处于板内盆地

发展与改造时期, 经历了复杂的演化过程^[2]。研究区是准噶尔盆地腹部陆西地区, 该区地处陆梁隆起的西南面与中央凹陷相接的部分, 涉及到盆地内众多的二级构造单元^[2-3] (图 1)。在石炭纪时, 研究区发育了大量的火山岩, 而很少见到沉积岩的发育^[4]。在该地区, 钻遇石炭系的钻井有 15 口, 钻井深度由 2 916 m 到 6 010 m 不等, 钻遇石炭系地层累计厚度为 5 380.88 m。

2 火山岩岩相及其岩石类型

火山岩岩相是影响火山岩储层的主要因素之一, 不同的岩相, 其储集性能不同。结合前人资料^[5-10], 将研究区的火山岩划分为 5 种岩相: 即火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相和火山—沉积相 (图 2)。各相的主要岩石类型如下:

2.1 火山通道相

火山通道是岩浆运移到地表的通道, 其顶部出口的地方称火山口。火山通道相位于整个火山机构的中部, 是火山岩浆从地下岩浆房向上运移到达地

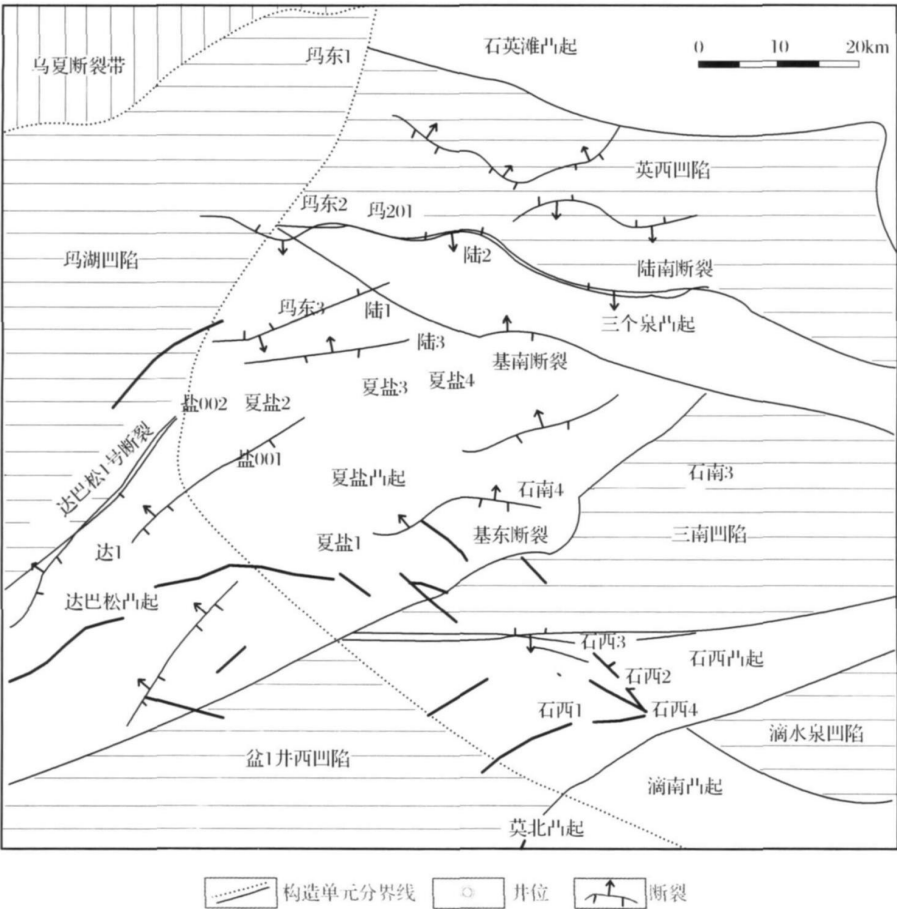


图1 研究区地质构造概略

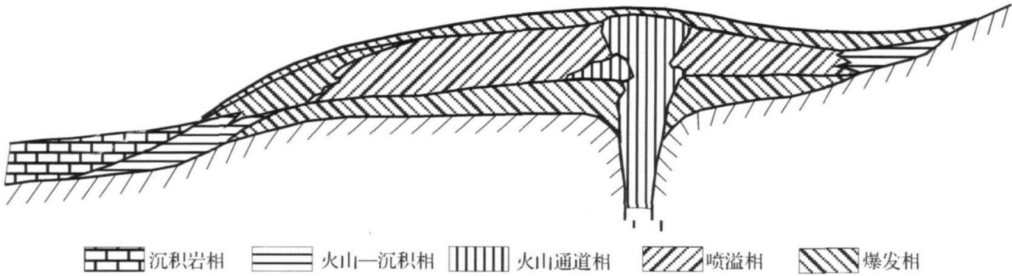


图2 火山岩岩相模式

表过程中滞留和回填在火山通道中的火山岩类组合。虽然火山通道相火山岩可形成于火山喷发旋回的整个过程,但保留下来的主要是经过后期各种火山、构造活动改造的残留物,因此具体判断和识别存在一定难度。其代表岩性为角砾熔岩、凝灰熔岩、熔结角砾岩、熔结凝灰岩等。

2.2 爆发相

由火山强烈爆发形成的火山碎屑在地表堆积而成。爆发相的岩性复杂,基性、中性、酸性的都有,主要为集块岩、火山角砾岩(图3)、凝灰岩、熔结火山碎屑岩等。

2.3 喷溢相

喷溢相形成于火山喷发旋回的中期,是含晶出物和同生角砾的熔浆在后续喷出物推动和自身重力的共同作用下,在沿着地表流动过程中,熔浆逐渐冷凝、固结而形成。喷溢相的岩石往往粘度较小、易于流动,因而形成绳状岩流、块状岩流、自碎角砾岩流、枕状岩流和复合岩流等。组成喷溢相的岩性多样,酸性、中性、基性火山岩中均可见到,尤以基性熔岩更发育。在研究区喷溢相的火山岩分布最为广泛,岩石类型多样,主要有玄武岩(图3)、安山岩、英安岩、流纹岩及少量的粗面岩、霏细岩、辉绿岩等。

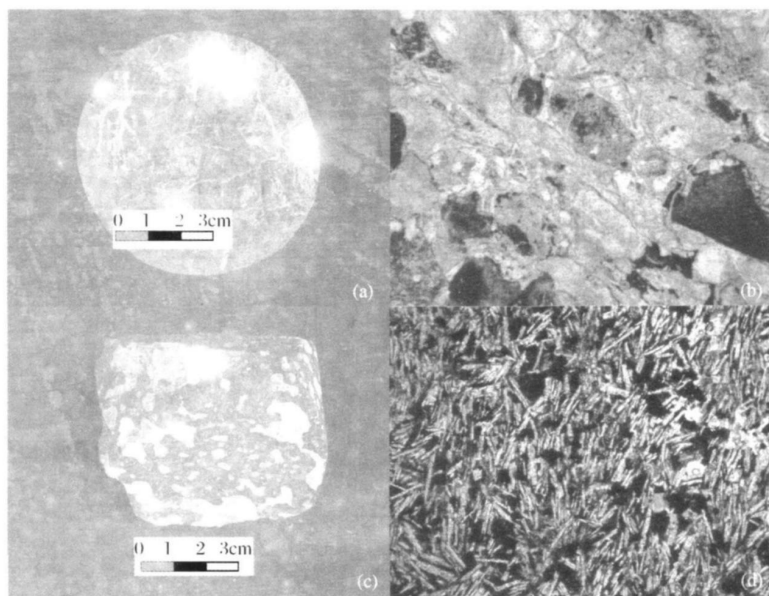


图3 爆发相的火山角砾岩和喷溢相的玄武岩

(a) 陆6井凝灰质火山角砾岩, 2 933.40 m; (b) 石南3井流纹质火山角砾岩, 4 443.80 m, 5 (—);
(c) 玛东3井灰色杏仁状玄武岩, 4 680.30 m; (d) 夏盐3井玄武岩, 交织结构, 5 042.15 m, 2.5 (—)

2.4 侵出相

主要为粘度大的岩浆, 由于不易流动, 主要靠机械力挤出地表, 通常形成于火山喷发旋回的晚期。我国东部中生代酸性岩发育区的珍珠岩、黑曜岩和松脂岩类都属于侵出相火山岩。侵出相岩体外形以穹隆状为主, 岩穹高几十米至数百米, 直径几百米到数千米。在本次研究中没有发现侵出相火山岩。

2.5 火山—沉积相

火山—沉积相是经常与火山岩共生的一种沉积岩相, 可出现在火山活动的各个时期, 但在火山作用平静期更为发育, 它是火山作用和正常沉积作用掺和的产物, 与其他火山岩岩相侧向相变或互层, 分布范围远大于其他火山岩岩相。在火山喷发过程中, 尤其在火山活动的间歇期, 于火山岩隆起之间的凹陷带常可见到火山—沉积相的火山碎屑岩。其岩性主要是含火山碎屑的沉积岩, 碎屑成分主要为火山岩岩屑和凝灰质碎屑以及晶屑、玻屑。所见岩石主要有沉凝灰岩、凝灰质砾岩、砂泥岩等。

3 火山岩储层的物性特征

本次研究中, 用到了 156 个样品的实测孔隙度数据和 104 个样品的实测渗透率数据, 共涉及到岩石 22 种, 分别属于上述 5 种火山岩岩相。

3.1 不同岩性的储层特征

通过研究发现, 随着岩性的不同, 本区的火山岩

的孔隙度和渗透率相差很大, 即使是同一种岩石, 在不同的井中, 其孔隙度和渗透率也有较大的差异。经过统计分析, 平均孔隙度最好的岩石依次是熔渣状玄武岩、杏仁状安山岩、火山角砾岩、凝灰质变晶灰岩、流纹质英安岩、杏仁状玄武安山岩、玄武安山岩、英安岩, 平均孔隙度最差的依次是安山玄武岩、辉绿岩、流纹质角砾岩、粗面安山岩、安山岩、辉绿岩等, 而在本区岩石含量中所占比例前 2 位的玄武岩和凝灰岩的平均孔隙度位于中间位置(表 1)。本区火山岩的渗透率总体上都很低(表 1), 平均渗透率最高的岩石依次是凝灰质火山角砾岩、杏仁状玄武岩、粗面安山岩、杏仁状安山岩, 而其它岩石的平均渗透率大多数都在 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下, 最低的是凝灰质变晶灰岩、玄武岩、辉绿岩。

3.2 不同岩相的储层特征

本次研究中, 有岩石孔隙度和渗透率实测数据的火山岩岩相是火山通道相、爆发相、喷溢相、火山—沉积相 4 种, 各相的物性都不相同。火山通道相只有安山质凝灰熔岩 1 种岩石出现, 2 个样品测得的平均孔隙度是 4.49%。爆发相的岩石出现较多, 有熔渣状玄武岩、火山角砾岩、凝灰岩、含角砾凝灰岩、凝灰质火山角砾岩和流纹质角砾岩。除了熔渣状玄武岩和火山角砾岩孔隙度较高外, 其它几种岩石孔隙度都较低(图 4)。喷溢相的岩石是出现最多的, 除了杏仁状安山岩、流纹质英安岩、杏仁状玄

武安山岩、玄武安山岩、英安岩几种岩石的孔隙度较高外,其它几种很低(图5)。侵入相的岩石在研究区罕见,因此没有孔渗实测数据。而火山—沉积相只有凝灰质变晶灰岩(2个样品,平均孔隙度8.99%)和沉凝灰岩(10个样品,平均孔隙度5.49%)2种岩石。

表1 研究区石炭系火山岩的孔隙度和渗透率

岩石名称	平均孔隙度 (%)	样品 个数	平均渗透率 ($\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)	样品 个数	渗透率小于0.0100 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的样品数	井名
熔渣状玄武岩	21.49	6				石南4
杏仁状安山岩	14.05	6	1.319	6		夏盐4
火山角砾岩	9.27	5	0.150	2		石西2、夏盐1
凝灰质变晶灰岩	8.99	2	0.040	2		夏盐2
流纹质英安岩	8.96	2				石西2
杏仁状玄武安山岩	8.44	5	0.098	4		盐001
玄武安山岩	8.26	8	1.000	5		盐001
英安岩	8.15	6				石西2、陆2
凝灰岩	6.73	3	0.113	3		陆1、夏盐1
碎裂安山岩	6.61	5				石西2
含角砾凝灰岩	6.44	10	0.230	4	4	盐001、石西2
杏仁状玄武岩	5.96	28	16.758	6	21	夏盐1、玛201
凝灰质火山角砾岩	5.85	4	40.615	2		陆6
玄武岩	5.53	13	0.049	8		夏盐3、夏盐2
沉凝灰岩	5.49	10			4	陆2、玛201、夏盐2
安山质凝灰熔岩	4.49	2				石西2
次辉绿岩	4.45	10	0.317	7	3	夏盐2
安山岩	4.41	3				石西2
粗面安山岩	4.24	9	1.696	5		夏盐2
流纹质角砾岩	3.54	7	0.722	6		石南3
辉绿岩	2.51	9	0.056	9		玛东2
安山玄武岩	1.71	3	0.207	3		夏盐3

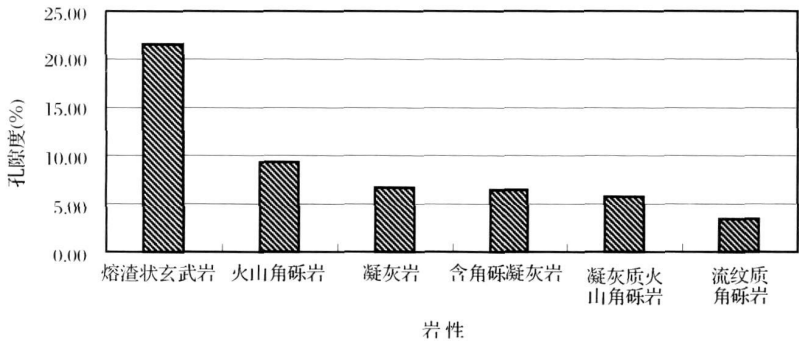


图4 爆发相火山岩的平均孔隙度

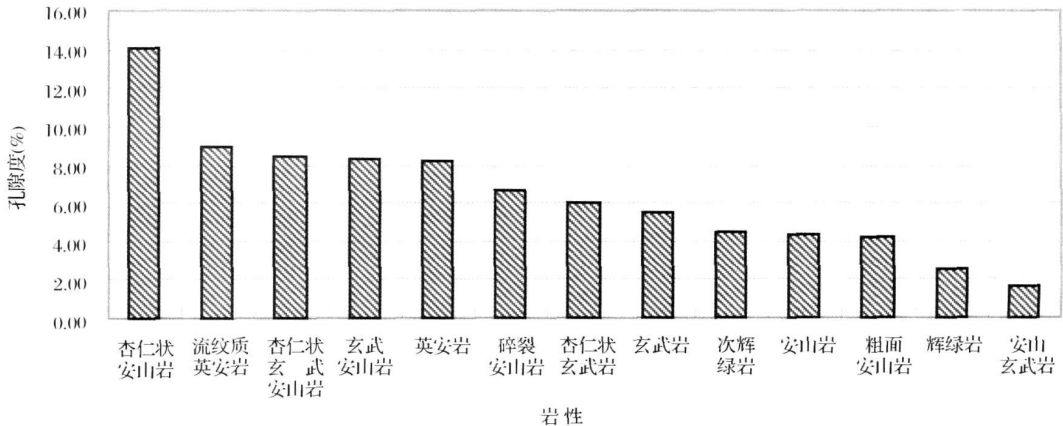


图5 喷溢相火山岩的平均孔隙度

本研究区中,火山岩各岩相的渗透率普遍很低。火山通道相样品无渗透率数据,火山—沉积相只有凝灰质变晶灰岩 2 个样品,平均渗透率为 $0.040 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。爆发相岩石除了凝灰质火山角砾岩 2 个样品平均渗透率达 $40.615 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 外,其他几种岩石的平均渗透率都小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。喷溢相的岩石中,杏仁状玄武岩有 6 个样品的平均渗透率达到了该相的最高值 $16.758 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而另外 21 个样品的渗透率都小于 $0.010 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;其他岩石的平均渗透率从 $0.049 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 到 $1.696 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 不等(表 1)。

4 火山岩物性与电性的关系

由于每口井的岩性比较多,不同的岩性岩石厚度也不一样,加上实测数据的量较少,导致大多数井中某一岩性只有 3~4 个数据,而仅仅用这些数据做相关性分析,结果的可靠程度太差,所以只选取了一部分岩性来进行分析。挑选岩性的时候,在参考前人研究资料的基础上^[11-13],考虑了这样几个因素:一是在该井中该段岩石具有一定的厚度,并且连续分布,因为不连续分布的火山岩可能不是同一期喷发的,它的物性变化可能更大;二是该段岩石的物性实测数据在 5 个以上,因为如果样品的量太少,分析结果与实际可能就会相差很远,没有太大的实际意义;三是考虑到同一种岩性在不同的井中,其物性变化比较大,因此物性与电性的相关性分析并未将不同井中相同的岩石放到一起进行。

经过分析,对于孔隙度来说,本区共有 8 口井共 11 段岩芯符合上述原则,对这 11 段岩芯进行了孔隙度与电性的相关性分析,所涉及到的电性有自然伽玛(GR)、自然电位(SP)、岩石密度(DEN)、声波时差(AC)、深侧电阻率(RT)、浅侧电阻率(RI)、补偿中子(CNL)、井径($CALI$)。结果发现,只有 3 段岩芯的孔隙度与电性有很好的线性相关性,而其它 8 段岩芯的孔隙度与电性之间基本上没有线性相关性。相关性较好的岩芯段分析如下:

(1)石南 3 井,在 4 443.13~4 444.74 m 井段,岩性为灰色流纹质火山角砾岩,7 个样品,平均孔隙度 3.541%。孔隙度与自然电位的相关系数 $R^2 = 0.8236$ (图 6),说明这两者之间的相关性好,孔隙度(Por)与自然电位(SP)之间存在以下关系:

$$Por = 2.1458 \times SP + 79.404 \quad R^2 = 0.8236$$

其它的 R^2 值除了 0.7658(DEN)、0.7622(AC)、0.7573($CALI$)外,都很小。说明这些电性

与孔隙度的相关性不大或者没有线性相关性。

(2)夏盐 2 井,在 5 234.00~5 251.86 m 井段,岩性为褐灰色粗面安山岩,7 个样品,平均孔隙度 2.473%。孔隙度与自然电位的相关系数 $R^2 = 0.8023$,说明这二者的相关性较好,孔隙度(Por)与自然电位(SP)之间存在以下关系:

$$Por = 0.2364 \times SP + 10.263 \quad R^2 = 0.8023$$

其它的 R^2 值除 0.7711(AC)外,都很小。说明这些电性与孔隙度的线性相关性不大或者没有线性相关性。

(3)玛 201 井,在 4 070.56~4 072.76 m 井段,岩性为褐色沉凝灰岩,7 个样品,平均孔隙度 4.743%。孔隙度与自然伽玛的相关系数 $R^2 = 0.9311$,说明这两者之间相关性非常好,孔隙度(Por)与自然伽玛(GR)之间存在以下关系:

$$Por = -0.6189 \times GR + 52.691 \quad R^2 = 0.9311$$

同时,该段岩石的孔隙度与声波时差的相关系数 $R^2 = 0.8876$,说明这两者之间相关性很好,孔隙度(Por)与声波时差(AC)之间存在以下关系:

$$Por = -0.3771 \times AC + 34.5 \quad R^2 = 0.8876$$

其它的 R^2 在 0.0152~0.7361 之间,说明线性相关性不大。

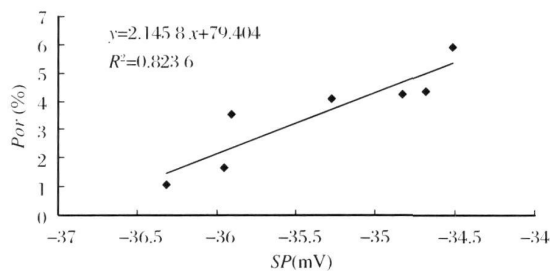


图 6 石南 3 井灰色火山角砾岩孔隙度和自然电位的关系

而对于渗透率来说,只有玛东 2 井、石南 3 井、夏盐 4 井 3 口井的 3 段岩芯符合上述原则,对这 3 段岩芯做了渗透率与电性的相关性分析,所涉及到的电性也是上述 8 种,发现除了夏盐 4 井紫灰色安山岩的渗透率与自然电位的相关性稍好外($R^2 = 0.7626$),与其它电性的相关性都很差($R^2 < 0.5$);另外 2 口井的渗透率与电性的相关性都很差, R^2 都小于 0.5,并且大多数都小于 0.1。

5 结论

(1)本区的火山岩可以分为火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相和火山—沉积相 5 个相。每种岩

(2)不同的岩性,孔隙度和渗透率差别很大,储层物性的非均质性极强。平均孔隙度最高的岩石依次是熔渣状玄武岩、杏仁状安山岩、火山角砾岩、流纹质英安岩、杏仁状玄武安山岩,平均渗透率最高的岩石依次是凝灰质火山角砾岩、杏仁状玄武岩、粗面安山岩、杏仁状安山岩。在合适的条件下,这些岩石可成为较好的油气储层。

(3)不同的岩相,孔隙度和渗透率亦有很大的差别。根据156个样品的实测孔隙度数据和104个样品的实测渗透率数据分析,高的孔隙度和渗透率主要分布在火山爆发相和喷溢相中,而在火山通道相、侵出相和火山一沉积相中,物性普遍较差,因此,火山爆发相和喷溢相有可能成为良好的油气储层。

(4)同一种岩石,它的孔隙度和渗透率与不同的电性之间的相关性不同,不同的岩性,它的孔隙度和渗透率与同一种电性的相关性也不同。在陆西地区,孔隙度和渗透率与电性的线性相关性总体上来说较差,只有灰色流纹质火山角砾岩和褐灰色粗面安山岩的孔隙度与自然电位有良好的线性相关性、褐色沉凝灰岩的孔隙度与自然伽玛及声波时差具有良好的线性相关性。

参考文献:

[1] 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.

[2] 况军.准噶尔盆地古隆起与油气勘探方向[J].新疆石油地质,2005,26(5):502-509.

[3] 杨海波,陈磊,孔玉华.准噶尔盆地构造单元划分新方案[J].新疆石油地质,1994,25(6):686-688.

[4] 潘建国,郝芳,张虎权,等.花岗岩和火山岩油气藏的形成及其勘探潜力[J].天然气地球科学,2007,18(3):380-385.

[5] 颜耀敏,王英民,祝彦贺,等.准噶尔盆地西北缘五八区佳木河组含火山岩系沉积模式[J].天然气地球科学,2007,18(3):386-388.

[6] 张新荣,王东坡.火山岩油气储层特征浅析[J].世界地质,2001,20(3):272-278.

[7] 王芙蓉,陈振林,田继军,等.火山岩储集性研究[J].重庆石油高等专科学校学报,2003,(5):44-47.

[8] 王璞珺,吴河勇,庞颜明,等.松辽盆地火山岩岩相:相序、相模式与储层物性的定量关系[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(5):805-812.

[9] 曲延明,舒萍,王强.兴城气田火山岩储层特征研究[J].天然气勘探与开发,2006,29(3):13-17.

[10] 岑芳,罗明高,姚鹏翔.深埋藏火山岩高孔隙形成机制探讨[J].西南石油学院学报,2005,27(3):8-11.

[11] 慕敦科,吴海波,陈立英,徐家围子火山岩气藏储层测井响应特征[J].测井技术,2002,26(1):52-56.

[12] 唐俊伟,胡建国,陈彩虹,等.储层物性分布统计新方法[J].天然气地球科学,2003,14(6):456-458.

[13] 陈钢花,范宜仁,代诗华.火山岩储层测井评价技术[J].中国海上油气:地质,2000,14(6):423-429.

Physical Characteristics and Their Relations to Logging of the Carboniferous Volcanic Reservoirs in Luxi Area, Junggar Basin

ZHANG Shun-cun^{1,2}, WANG Ling³, SHI Xin-pu³,
FANG Lin-hao^{1,2}, DONG Wen-ju^{1,2}, KONG Yu-hua³

(1. Key Laboratory of Gas Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, 834000, China)

Abstract: This paper analyzes the Carboniferous volcanic rocks of the Luxi area in the hinterland of Junggar basin and establishes the model of volcanic rocks facies. The rocks are divided into five facies: volcanic channel facies, explosive facies, effusive facies, extrusive facies, volcanic-sedimentary facies. The test of 156 samples for the porosity and 104 samples for the permeability shows that different rock facies have different physical properties. The investigation reveals that the explosive and effusive facies are better than the other facies. This investigation also finds that different lithology have different physical properties and the slaggy basalt, the amygdaline basalt and the volcanic breccia have the best physical properties. In a favorable condition, the combination of the rock facies and the lithology may produce good reservoirs. In addition, the relation between porosity and logging is different among different volcanic rocks, yet it is not strong in general.

Key words: Hinterland of Junggar basin; Carboniferous volcanic rocks; Reservoir physical properties; Porosity-logging relation.