

松辽盆地徐东地区下白垩统 火山岩储层流动单元研究

陈欢庆 胡永乐 靳久强 冉启全

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:以松辽盆地徐东地区营城组一段为例,在建立火山岩储层等时地层格架基础上,选取孔隙度和渗透率这两项参数,运用 SPSS 软件进行聚类分析和判别分析,分析了研究区目的层流动单元时空发育特征。结果表明,孔隙度和渗透率是最能反映储层渗流特征的参数。研究区目的层流动单元可以划分为 I、II、III 和 VI 类等 4 种,其中 III 和 VI 类最发育,II 类次之,I 类最少。在等时地层格架内紧密组合取心井岩心分析物性资料和非取心井精细测井解释物性资料,运用 SPSS 软件进行聚类分析和判别分析,可以实现火山岩储层流动单元表征,为储层有效开发提供依据。

关键词:聚类分析;流动单元;火山岩储层;营城组;徐东地区

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)06-1430-10

流动单元是 Hearn 等(1984)提出的概念,定义为一个纵横向连续的,内部渗透率、孔隙度、层理特征相似的储集带^[1]。本质上,流动单元也可定义为储层内部被渗流屏障界面及渗流差异界面所分隔的具有相似渗流特征的储集单元^[2]。流动单元在深化对储层渗流规律、剩余油分布等认识方面都具有十分重要的作用^[3],对预测油藏开发生产性能具有十分重要的意义^[4],因此从该概念的提出之始至今,一直是油气田开发工作者关注的焦点之一。

在国外,美国经济古生物学家和矿物学家学会 1995 年出版了第 34 期短训课程教材——“油气储层特征-地质格架和流动单元建模”提出基于岩心资料研究流动单元为主流的研究方法^[4]。其他众多学者也对流动单元及其相关研究做了大量卓有成效的工作^[5-13]。国内众多学者也针对流动单元开展了许多富有成果的研究工作^[14-24]。目前,流动单元的研究已发展到定量研究阶段,而且在这一过程中更加重

视地质认识的深化。本文结合火山岩储层发育特征,通过将在碎屑岩中应用较为成熟的聚类分析等研究方法应用于火山岩储层,以期对火山岩气藏有效开发提供地质依据。

1 地质概况

徐深气田位于黑龙江省大庆—安达境内,构造上处于松辽盆地北部徐家围子断陷区^[25],断陷形成于晚侏罗世到早白垩世早期。区内地层自下而上为:上侏罗统火石岭组、下白垩统沙河子组、营城组和登娄库组,以及上白垩统泉头组一、二段。由于火山喷发活动频繁,在营城组发育了大量的火山物质。火山岩储层分布在下白垩统营城组一段和三段中,以酸性喷发岩为主。目前,徐深气田已具千亿立方米天然气储量规模,其中火山岩储集层油气储量占 89.8%,是大庆地区深部天然气开发的主要领域^[26-31]。研究区徐东地区位于徐家围子断陷中部,目前已成为徐

收稿日期:2010-02-21;改回日期:2011-03-15

基金项目:国家科技重大专项“含 CO₂ 天然气藏安全开发与 CO₂ 利用技术”(2008ZX05016-001)、中国博士后科学基金“火山岩储层流动单元定量研究”(20100480344)和中国石油勘探开发研究院中青年创新基金“火山岩气藏储层火山岩体与火山岩相关关系研究”(2009-B-10-03)联合资助。

作者简介:陈欢庆,男,1979 年生,博士,工程师,主要从事储层开发地质研究工作;E-mail:hqchen.1999@yahoo.com.cn。

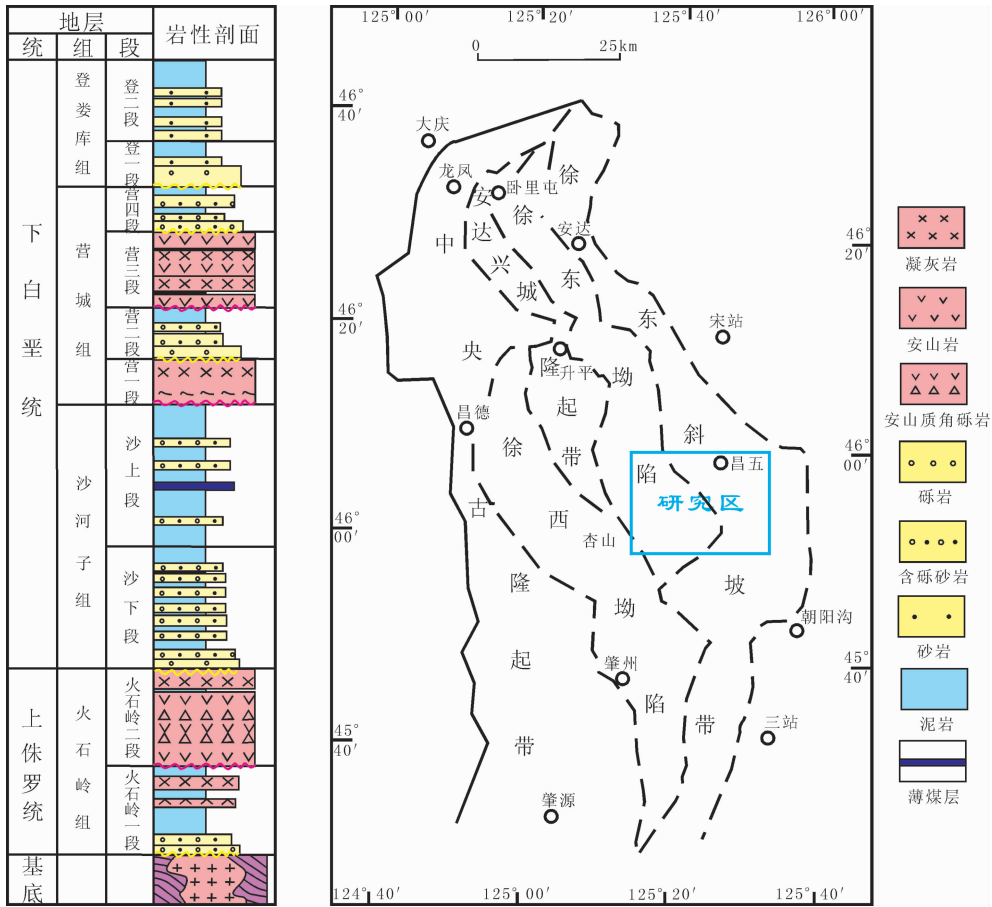


图 1 松辽盆地徐深气田地层划分及构造区划示意图(据于士泉等,2009^[2]修改)

Fig.1 Diagrammatic map of stratigraphic and structural regionalization of the Xushen gas field in Songliao Basin

深气田最重要的天然气目标区之一。

2 研究的思路和参数的选择

2.1 研究思路

首先根据火山岩储层的特点,确定了本文流动单元研究的思路。具体就是结合盆地地质概况和构造发育史,在熟悉火山喷发模式和火山岩储层岩性特征基础上,综合钻井资料和地震资料,建立研究区目的层等时地层格架。在等时层序地层格架内选择控制研究区的 10 口取心井 63 块样品,从中剔除掉 13 块受裂缝等其他地质因素影响的奇异值。最终使用 50 块样品,提取这些样品的孔隙度、渗透率等物性资料。选择 SPSS 聚类分析软件,对岩心分析的物性参数进行聚类分析和判别分析,得到判别公式,应用气田开发生态资料对判别公式进行验证,如果合理则完成判别分析,如不合理,重新进行聚类分析和判别分析,直至获取合理的判别公式。对非取心井精

细解释的物性数据利用判别公式进行判别分析,划分流动单元,最终完成整个研究区目的层流动单元研究工作(图 2)。

2.2 参数的选择

影响储层性质的因素很多,因此如何在众多的参数中找到影响储层渗流特征的关键因素尤为重要。聚类分析和判别分析参数的选择决定着流动单元研究的成败。流动单元的研究不同于储层评价,其研究的重点是表征储层的渗流特征,并不是选择的参数越多越好。例如,如果同时选择渗透率和有效厚度分类,会导致小厚度大渗透率的层和大厚度小渗透率的层分为一类,导致错误的结果。从流动单元最初的定义来看,涉及的主要影响因素还是渗透率和孔隙度,笔者本次选择孔隙度和渗透率这 2 个最能反映火山岩储层流体流动特征的参数来进行聚类分析和判别分析,求取判别公式。此外,这两项参数还具有容易获取的优点。

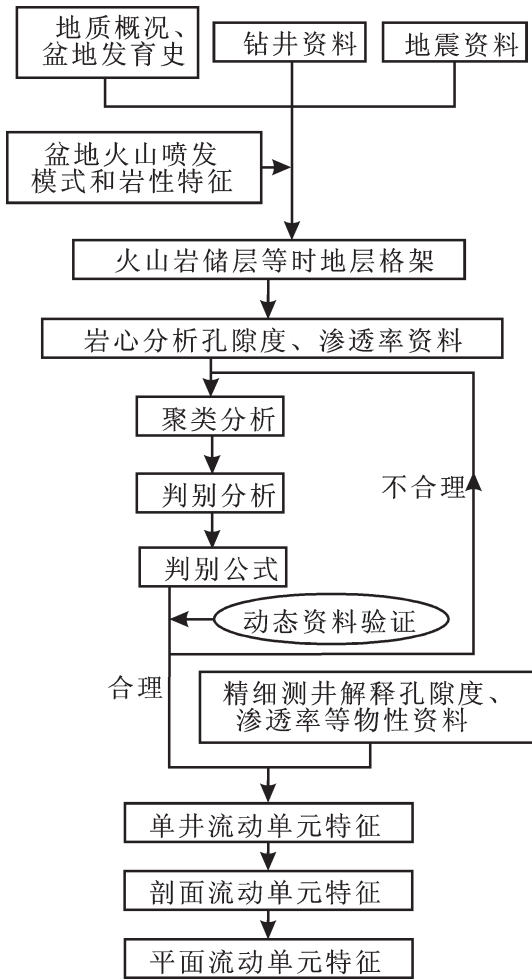


图2 火山岩储层流动单元研究流程图

Fig.2 Flow chart of volcanic reservoir flow unit researches

3 火山岩储层流动单元发育特征

3.1 流动单元聚类分析和判别分析的结果

研究中将徐深气田徐东地区火山岩有效储层流动单元划分为好、中、差以及基本不渗透层4种类型,分别对应I类、II类、III类和VI类(表1,图3)。判别分析是建立在前期的聚类分析基础之上通过SPSS软件对聚类分析所获得的数据进行判别分析,

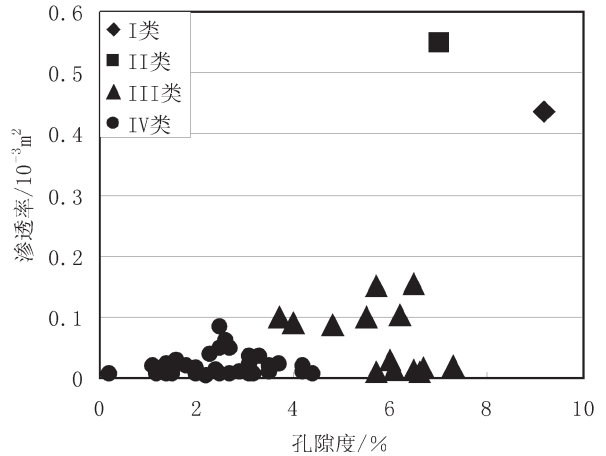


图3 松辽盆地徐东地区营城组一段火山岩储层流动单元聚类分析结果

Fig.3 Results of cluster analysis of volcanic reservoir flow units of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin

获取判别公式,从而推广至非取心井,最终完成全区的流动单元划分。对随机选取的100个点进行分析,本次取心井岩心物性数据判别分析的正判率达到94%。利用试气试采、出水等气田开发动态资料验证,判别公式划分的流动单元规律明显,与生产实际吻合较好,上述工作证明,判别公式可信。

3.2 火山岩储层流动单元剖面特征

利用取心井物性分析获得的判别公式,完成了研究区单井流动单元划分,在此基础上进行剖面流动单元研究(图4)。从中可以看出:I类和II类流动单元主要发育于XS231井、XS23井、XS21井等处,而XS21-5井、XS21-4井和XS21-2等井多发育III类和VI类流动单元。总体上在XS231井、XS21井和徐深21-2井处,储层渗流特征在纵向上差异不明显,而在XS23井、XS21-4井、XS21-1井等处,储层渗流特征在纵向上差异较大,反映储层非均质性较明显。此外,流动单元受火山机构和火山岩体的

表1 松辽盆地徐东地区营城组一段火山岩储层流动单元分类特征
 Table 1 Characteristics of volcanic reservoir flow units of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin

参数	I类		II类		III类		VI类	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
孔隙度/%	—	9.200	9.200	7.000	7.300	3.700	4.400	0.200
渗透率/10 ⁻³ m ²	—	0.437	0.549	0.154	0.154	0.010	0.082	0.004

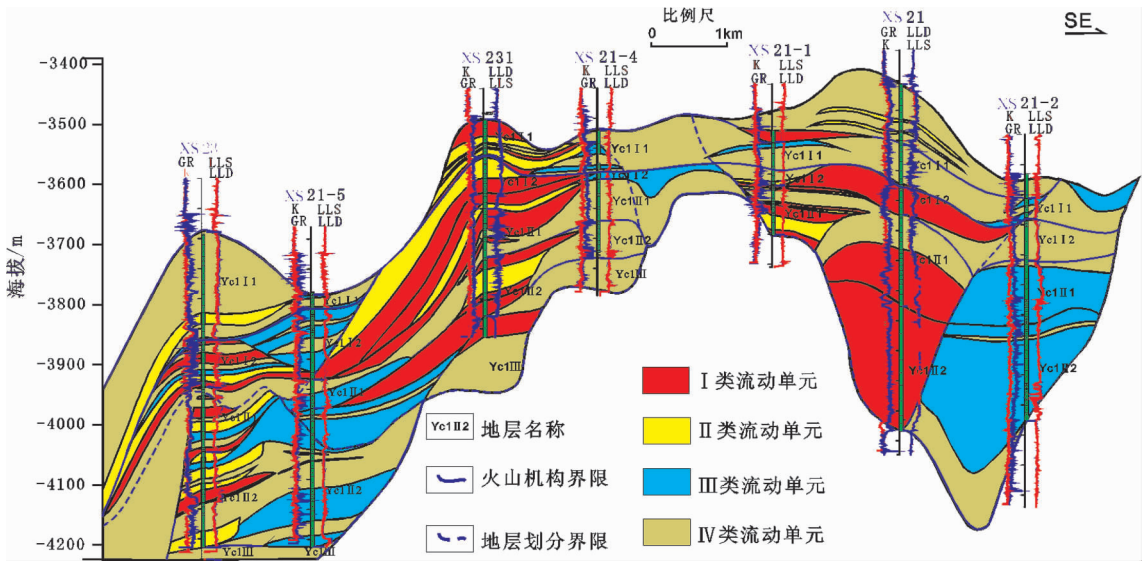


图 4 松辽盆地徐东地区营城组一段火山岩储层流动单元剖面特征

Fig.4 Section characteristics of volcanic reservoir flow units of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin

控制作用明显,只是在局部受火山喷发旋回间歇期的地层水溶蚀以及其他类型的成岩作用等的影响,不同的火山岩体中相同的流动单元相连。I类等好的流动单元主要靠近火山口发育,而远离火山口则以IV类流动单元等为主。

3.3 火山岩储层流动单元平面特征

结合有效储层展布特征和断裂以及火山口发育位置等信息,在单井和剖面流动单元研究基础上绘制了不同小层的流动单元平面图(图5)。小层YC1II2中(图5-d)主要发育II类、II类和IV类流动单元,其中以IV类流动单元为主,II类流动单元主要发育于XS9-1井、XS9井、XS9-3井、XS9-4井、XS28井、XS21-2井和XS21等井处,II类流动单元主要发育于XS21-4井、XS27井和XS25等井处,其余各井处均为IV类流动单元;小层YC1III1(图5-c)中4类流动单元都可见到,以IV类流动单元为主,I类流动单元主要发育于XS9-4井和XS27井处,II类流动单元主要发育于XS903井、XS9-1井和XS9等井处,III类流动单元在徐深21-2井和XS21-4井处可见,其余各井处均为IV类流动单元;小层YC1II2(图5-b)以II类、III类和IV类流动单元为主,I类流动单元较少见到,I类流动单元在XS9-4井和XS12井处,II类流动单元主要发育于XS9-1井、XS14井、XS28井、XS21-3井、XS212井、

XS231井和XS232井等处,III类流动单元主要发育于XS903井、XS302井、XS301井等处,其余各处均为IV类流动单元;小层YC1I1(图5-a)中4类流动单元都可见到,其中IV类流动单元最多,II类和III类流动单元次之,I类流动单元较少见,I类流动单元主要发育于XS9-4井处,II类流动单元主要发育于XS27井、XS212井和XS231井等处,III类流动单元主要发育于XS9-2井、XS9井、XS14-1井和XS25井等处,其余各处均为IV类流动单元。

总体上,由于储层非均质性较强,导致储层渗流特征在局部发生突变。不同类型的流动单元呈“钵状”展布,局部呈现“条带状”。其中I类流动单元只是在局部零星分布,这与徐东地区营城组一段火山岩气藏属于中—低丰度火山岩气藏的地质背景吻合。4个小层中,XS9井和XS231等井处储层渗流特征较好。

4 火山岩储层流动单元发育影响因素分析

4.1 火山机构和火山岩体的影响

火山机构是指在一定时间内喷发出来的火山碎屑物和熔岩围绕火山通道所形成的堆积体^[29]。徐深气田徐东地区营城组一段发育多个火山机构,这些火山机构在不同喷发时期又形成了不同的火山岩

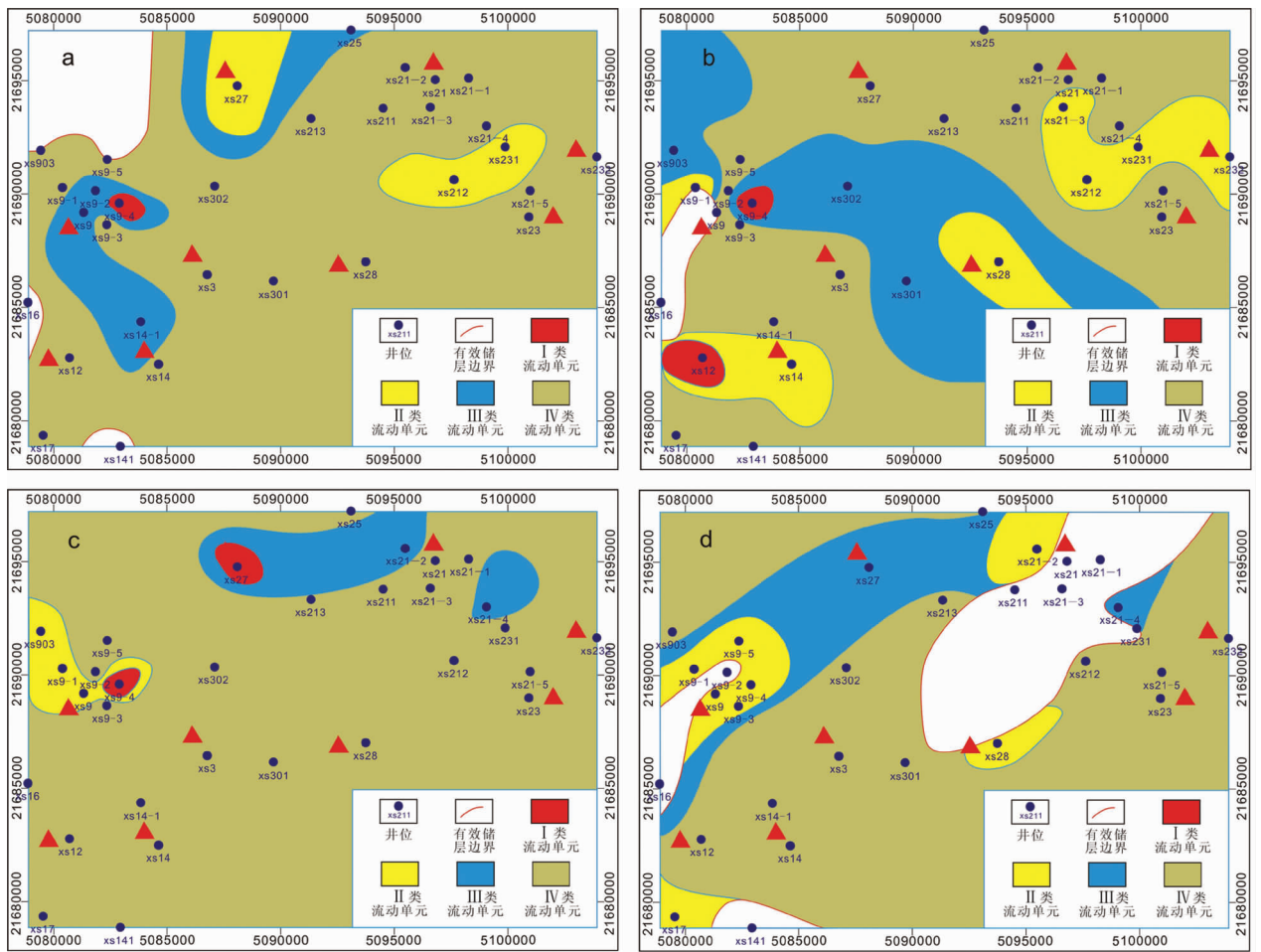


图5 松辽盆地徐东地区营城组一段火山岩储层流动单元平面特征

Fig.5 Plane characteristics of volcanic reservoir flow units of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin

体,不同旋回的火山岩体在空间上相互叠置,共同构成了目的层火山岩地层。火山喷发旋回持续的时间长,相同或类似性质的地层厚度越大,对应相同类型流动单元的地层厚度越大。同时,随着与火山口的距离逐渐变化,火山岩性和岩相发生变化,火山岩储层性质也发生变化,这些储层性质中即包括以孔隙度和渗透率为代表的储层物性。储层流动单元的类型一般在火山岩体的边界处也发生突变,这在横向上表现的比纵向上更为明显(图4)。

4.2 岩性和岩相的影响

徐深气田徐东地区营城组一段火山岩储层为多期次喷发形成的,火山岩岩石类型繁多。通过分析测试资料和显微镜下观察以及 TAS 图等分析(图6)^[2],取心段火山岩岩石类型有火山熔岩和火山碎屑岩2大类、17种岩性。火山熔岩从酸性岩、中酸性岩、中

性岩和中基性岩均有分布,以酸性为主。不同的火山岩性都有其特征的结构和性质,这些都通过储层物性来体现,进而影响流动单元的分类。

同时,徐深气田徐东地区营城组一段火山岩储层分为5种相和16种亚相(图7)。火山岩相类型包括火山通道相(4.55%)、侵入相(1.35%)、爆发相(44.71%)、溢流相(43.40%)和火山沉积相(5.99%),其中以爆发相和溢流相占主导。这些火山岩相又可以细分为16种亚相,特征的岩相对应特征的岩性。因此,岩性和岩相对储层物性具有十分重要的控制作用,进而表现为对储层流动单元的重要控制作用。一般情况下,侧向上火山岩相的边界即为流动单元的边界;垂向上,在火山岩体边界处,由于受火山喷发旋回间歇期的地层水溶蚀以及其他类型的成岩作用等的影响,流动单元的界限会与火山岩相的界限

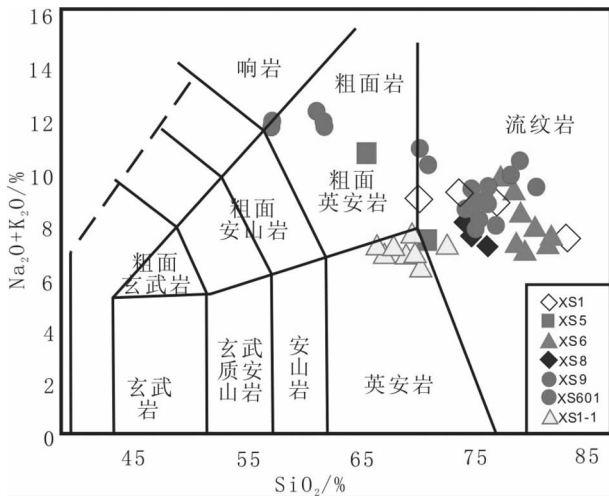


图 6 松辽盆地徐东地区火山岩全碱-二氧化硅图 (TAS 图)(据王拥军等,2007)^[30]

Fig.6 TAS diagram of volcanic rock of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin (TAS diagram) (after Wang Yongjun et al., 2007) ^[30]

有所差异,局部差异明显。

4.3 构造作用影响

构造作用主要通过两个方面来影响储层流动单元的性质,一方面,研究区目的层火山为裂隙-中心式喷发,火山口一般沿大型断裂发育。构造作用形成

的深大断裂附近也就成了火山口的发育区,而这些火山口又控制了火山岩储层的性质变化,一般而言,随着与火山口距离的增加,火山岩储层物性有逐渐变差的趋势。另一方面,构造作用形成一系列大型断裂的同时,也伴生众多的小型裂缝,这些裂缝在一定程度上改善了储层的物性,从而影响到储层流动单元的发育特征(图 8-A,B)。

4.4 成岩作用影响

成岩作用对储层流动单元也具有重要的影响作用,包括积极和消极两个方面的影响。前者主要包括冷凝(却)收缩作用、溶蚀作用、风化作用等;后者主要包括压实作用、充填作用等(图 8-C,D,E)。冷凝(却)收缩作用主要是火山喷发物质冷凝(却)收缩而形成。溶蚀作用则分为颗粒内部部分溶蚀(晶屑内溶蚀、火山角砾岩岩屑内溶蚀)、颗粒全部溶蚀-形成铸模孔-长石斑晶或岩屑溶蚀铸模溶孔、球粒流纹岩基质溶蚀和粒间溶蚀等 4 种。风化作用主要是岩石暴露地表或在近地表遭受各种机械或化学改造作用。火山碎屑物质经过压实固结形成岩石的作用称为压实作用。通过显微镜下观察,研究区目的层的充填作用包括钠长石充填、自生石英充填、绿泥石充填、碳酸盐充填等,其中对储层孔隙结构破坏最大的

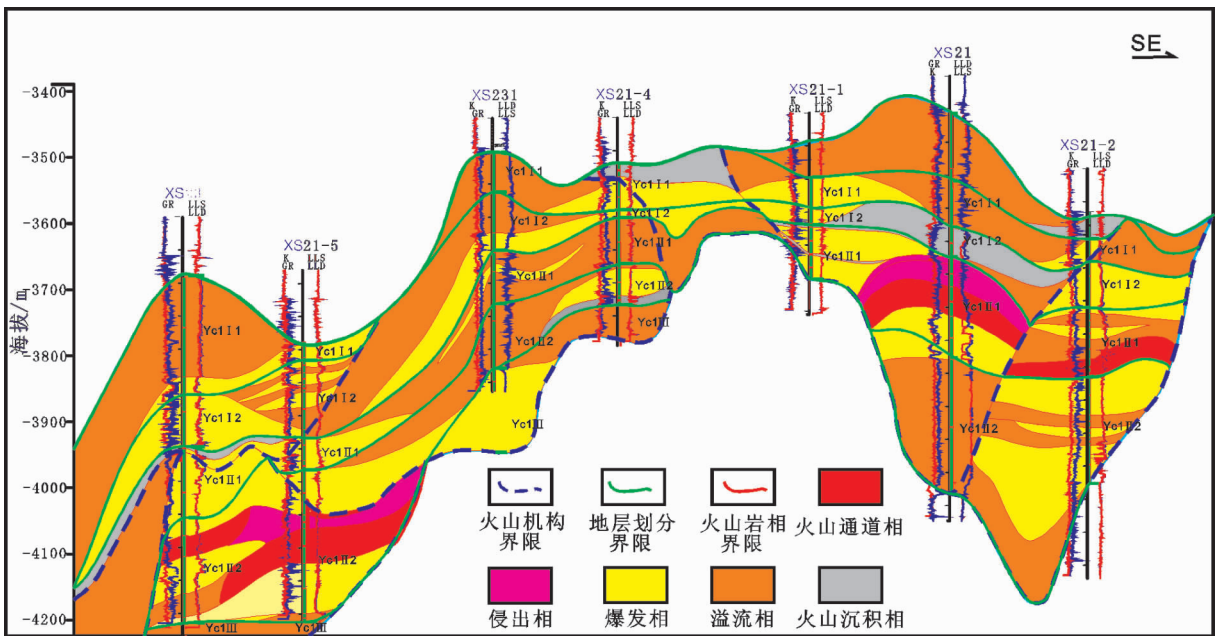


图 7 松辽盆地徐东地区营城组火山岩地层和岩相划分结果

Fig.7 Division results of strata and volcanic lithofacies of volcanic reservoir of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin

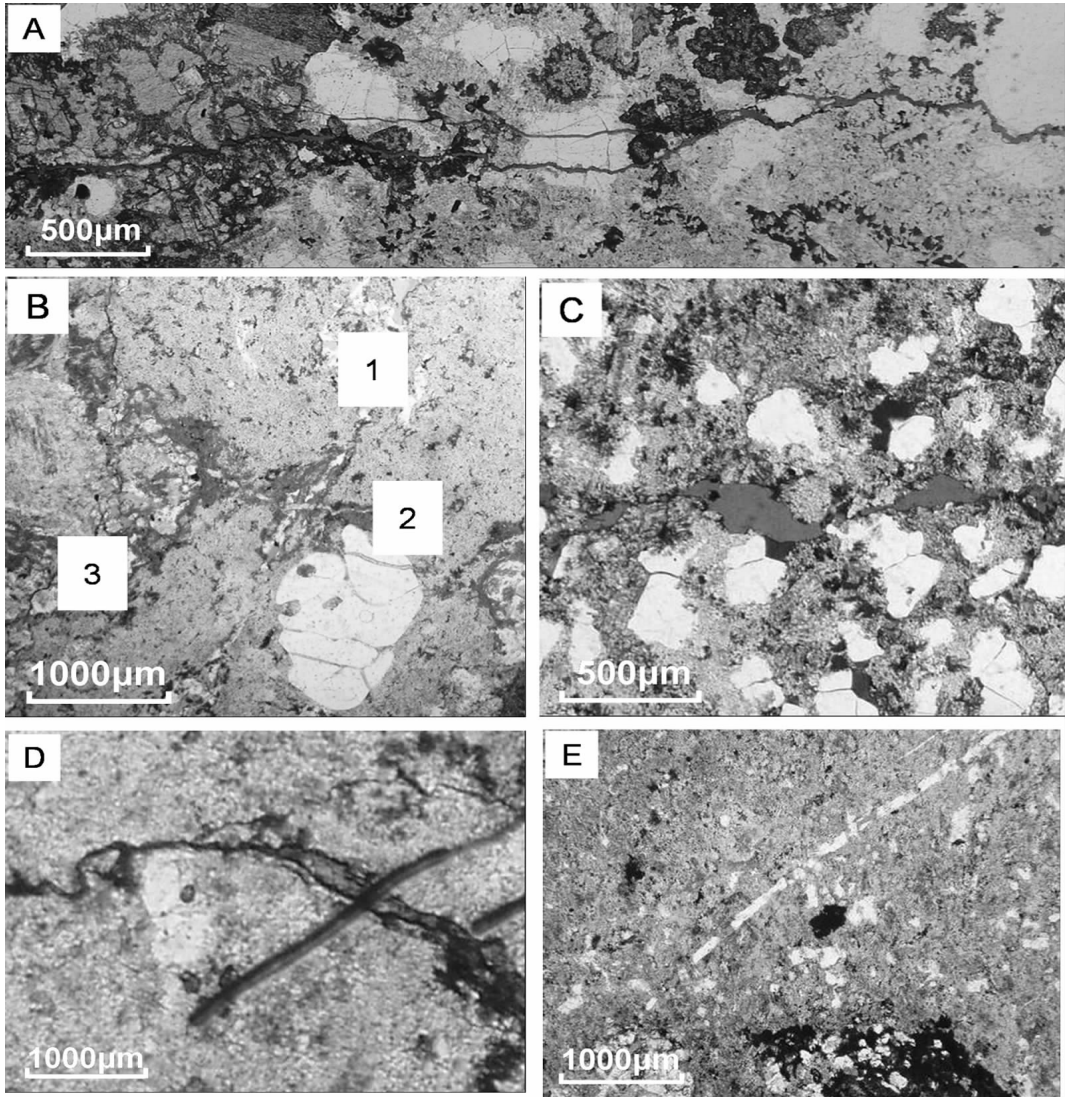


图 8 松辽盆地徐东地区营城组一段构造和成岩作用对储层流动单元影响镜下薄片特征

A—裂缝连通网络,左侧火山角砾岩,右侧流纹岩,碳酸盐充填气孔局部又遭受溶蚀,石英炸裂缝,XS21井,3 731.17 m,(-);B—流纹岩,不同期次构造伴生裂缝发育特征,三期裂缝切割,一期石英充填,二期碳酸盐充填,三期未充填,具石英晶屑炸裂缝,XS12井,3 611.07 m,(-); C—凝灰岩,溶蚀作用,基质高岭石化,XS 21,3 658.66 m,(-);D—流纹岩,绿泥石充填裂缝、气孔及基质微孔,霏细结构,XS 12,3 731.47 m,(-);E—凝灰岩,石英半充填溶蚀裂缝,基质碳酸盐化,XS 23井,3 899.47 m,(-)

Fig.8 Influence of structure and diagenesis on reservoir flow units in microsection of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area, Songliao basin

A—Connected network of fractures, volcanic breccia lying on the left and rhyolite on the right, carbonatite which filled pores and was corroded somewhere, quartz explosion fractures, Well-XS21, 3731.17 m, (-); B— Rhyolite, characterized by fractures formed by tectonic movements?in different periods, in which fractures incised each other, fractures of the first age were filled with quartz, those of the second age were filled with carbonatite and those of the third age were filled with nothing, quartz and crystal fragments explosion fractures, Well-XS12, 3 611.07 m, (-); C—Tuff, dissolution, matrix subjected to kaolinization, Well-XS21, 3 658.66 m,(-); D— Rhyolite, in which fractures and pores and micropores? of the matrix were filled with chlorite, feldsporic texture, Well- XS 12, 3 731.47 m, (-); E— Tuff, corroded fractures half filled by quartz, matrix subjected to carbonatization, Well-XS23, 3 899.47 m, (-)

是绿泥石充填作用。与充填作用相比,压实作用对于储层孔隙结构的破坏要小的多。对比上述的成岩作用,以溶蚀作用和充填作用最常见。

火山岩储层自火山喷发至今,经历了漫长的地

质历史时期,在这段历史中,各种不同的地质作用相互作用,相互影响,共同形成了现今的储层特征。储层的形成过程是一个综合的过程,上述影响流动单元的作用应该是相互影响、共同作用的,只是作用的

贡献量大小有别而已。分析认为,火山岩体、火山岩性和火山岩相为主控因素,构造作用和成岩作用等为次要因素。

5 结论和认识

(1)流动单元是一个纵横向连续的,内部渗透率、孔隙度、层理特征相似的储集带。流动单元在深化对储层渗流规律、剩余油分布等认识方面都具有十分重要的作用。

(2)孔隙度和渗透率是最能反映储层渗流特征的参数。研究区目的层流动单元可以划分为 I、II、III 和 VI 类等 4 种,其中 III 和 VI 类最发育,II 类次之,I 类最少。结合取心井岩心物性分析资料和测井精细解释资料,利用 SPSS 软件进行聚类分析和判别分析划分流动单元,正判率达 94%。

(3)不同类型的流动单元呈“舵状”展布,局部呈现“条带状”。4 个小层中,XS9 井和 XS231 等井处储层渗流特征较好。影响储层流动单元发育的因素包括火山岩体、火山岩性和岩相,构造作用以及成岩作用等,这些因素在不同类型流动单元形成过程中相互影响,共同作用。其中,火山岩体、火山岩性和火山岩相为主控因素,构造作用和成岩作用等为次要因素。

参考文献 (References):

- [1] 吴元燕, 吴胜和, 蔡正旗. 油矿地质学(第三版)[M]. 北京:石油工业出版社, 2005.
Wu Yuanyan, Wu Shenghe, Cai Zhengqi. Petroleum Mineral Geology [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [2] 窦之林. 储层流动单元研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2000.
Dou Zhilin. Research of Reservoir Flow Unit [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000 (in Chinese).
- [3] 魏斌, 毕研斌, 郑浚茂. 高含水油田剩余油分布研究方法及应用[J]. 地球学报, 2003, 24(增刊):270-273.
Wei Bin, Bi Yanbin, Zheng Junmao. The method for studying remaining oil distribution in highly water-bearing oilfield and its application [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(supp.):270-273(in Chinese with English abstract).
- [4] Stoudt E L, Harris P M. Hydrocarbon Reservoir Characterization——Geologic Framework and Flow Unit Modeling [M]. SEPM Short Course No.34 Houston, March 4-5, 1995:1-357.
- [5] (Jeff) Martin A J, Solomon S T, Hartmann D J. Characterization of petrophysical flow units in carbonate reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(5):734-759.
- [6] Rotevatn A, Buckley S J, Howell J A, et al. Overlapping faults and their effect on fluid flow in different reservoir types: A LIDAR-based outcrop modeling and flow simulation study [J]. AAPG Bulletin, 2009,93(3):407-427.
- [7] Larue D K, Legarre H. Flow units, connectivity, and reservoir characterization in a wave-dominated deltaic reservoir: Meren reservoir, Nigeria [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88 (3):303-324.
- [8] Heydari E. Porosity loss, fluid flow, and mass transfer in limestone reservoirs: application to the Upper Jurassic Smackover Formation, Mississippi [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(1):100-118.
- [9] Ehrenberg S N. Porosity loss, fluid flow, and mass transfer in limestone reservoirs: application to the Upper Jurassic Smackover Formation, Mississippi: Discussion [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(9): 1679-1680.
- [10] Jerry Lucia F. Characterization of petrophysical flow units in carbonate reservoirs: discussion [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83 (7): 1161-1163.
- [11] Bhattacharya S, Byrnes A P, W. Lynn Watney et al. Flow unit modeling and fine-scale predicted permeability validation in Atokan sandstones: Norcan East field, Kansas [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(6): 709-732.
- [12] Cheree' Stover S, Ge S, Weimer P, et al. The effects of salt evolution, structural development, and fault propagation on Late Mesozoic - Cenozoic oil migration: A two-dimensional fluid-flow study along a megaregional profile in the northern Gulf of Mexico Basin [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(11):1945-1966.
- [13] 焦养泉, 李思田. 陆相盆地露头储层地质建模研究与概念体系[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4):346-353.
Jiao Yangquan, Li Sitian. Geologic modeling for outcrop reservoir of continental basin and the conceptual systems [J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20 (4): 346-353 (in Chinese with English abstract).
- [14] 吴胜和, 王仲林. 陆相储层流动单元研究的新思路[J]. 沉积学报, 1999, 17(2):252-257.
Wu Shenghe, Wang Zhonglin. A new method of non-marine reservoir flow unit study [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (2): 252-257(in Chinese with English abstract).
- [15] 赵翰卿. 对储层流动单元研究的认识与建议[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3):8-10.
Zhao Hanqing. Understanding and suggestions to flow unit research [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development of Daqing, 2001, 20(3):8-10(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘吉余, 王建东, 吕靖. 流动单元特征及其成因分类 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(4):381-384.
Liu Jiyu, Wang Jiandong, Lv Jing. Features of flow units and their genetic classification [J]. Experimental Petroleum Geology, 2002, 24 (4): 381-384(in Chinese with English abstract).
- [17] 李阳. 储层流动单元模式及剩余油分布规律[J]. 石油学报, 2003, 24(3):52-55.
Li Yang. Flow unit mode and remaining oil distribution in reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(3):52-55 (in Chinese

- with English abstract).
- [18] 靳彦欣, 林承焰, 赵丽, 等. 关于用 FZI 划分流动单元的探讨[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5):130-132.
Jin Yanxin, Lin Chengyan, Zhao Li, et al. Discussions on FZI methodology in flow unit identification and discrimination [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 130-132(in Chinese with English abstract).
- [19] 熊伟, 石志良, 高树生, 等. 碎屑岩储层流动单元模拟实验研究[J]. 石油学报, 2005, 26(2):88-91.
Xiong Wei, Shi Zhiliang, Gao Shusheng, et al. Experiment study on flow unit in clastic reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(2):88-91(in Chinese with English abstract).
- [20] 师永民, 张玉广, 何勇. 利用毛管压力曲线分形分维方法研究流动单元[J]. 地学前缘, 2006, 13(3):129-134.
Shi Yongmin, Zhang Yuguang, He Yong. The study of flow units using fractal and fractal dimension methods of capillary pressure curve [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(3):129-134(in Chinese with English abstract).
- [21] 宋子齐, 杨立雷, 王宏, 等. 灰色系统储层流动单元综合评价方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(3):76-81.
Song Ziqi, Yang Lilei, Wang Hong, et al. Comprehensive evaluation method of reservoir flow unit with grey system [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development of Daqing, 2007, 26(3):76-81(in Chinese with English abstract).
- [22] 彭仕宓, 周恒涛, 李海燕, 等. 分阶段流动单元模型的建立及剩余油预测——以别古庄油田京 11 断块为例[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2):216-221,251.
Peng Shimi, Zhou Hengtao, Li Haiyan, et al. Phased flow unit model establishment and remaining oil prediction; an example from Jing-11 Block in Bieguzhuang Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2):216-221, 251 (in Chinese with English abstract).
- [23] 朱玉双, 柳益群, 赵继勇, 等. 不同流动单元微观渗流特征研究——以华池油田长 3 油藏华 152 块为例 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(1):103-108.
Zhu Yushuang, Liu Yiqun, Zhao Jiyong, et al. A study on the microflow characteristics of different flow units [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(1):103-108 (in Chinese with English abstract).
- [24] 吴河勇, 杨峰平, 任延广, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷徐深 1 井区气藏评价[M]. 北京:石油工业出版社, 2002.
Wu Heyong, Yang Fengping, Ren Yanguang, et al. Gas Reservoir Evaluated of Xushen-1 Well Area of Xujiaweizi Depression in the North of Songliao Basin [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2002(in Chinese).
- [25] 于士泉, 邹慧杰, 门清萍, 等. 松辽盆地徐家围子断陷徐深气田流体相态及物理化学性质[J]. 地质科学, 2009, 44(2):605-613.
Yu Shiquan, Zou Huijie, Men Qingping, et al. Liquid phase and physico-chemical properties of fluids in the Xushen Gasfield, Xujiaweizi Fault-Depression of the Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2009, 44(2):605-613.
- [26] 舒萍, 丁日新, 曲延明, 等. 徐深气田火山岩储层岩性岩相模式[J]. 天然气工业, 2007, 27(8):23-27.
Shu Ping, Ding Rixin, Qu Yanming, et al. Lithologic and lithofacies patterns of volcanic reservoir in Xushen Gas Field [J]. Gas Industry, 2007, 27(8):23-27 (in Chinese with English abstract).
- [27] 黄薇, 邵红梅, 赵海玲, 等. 松辽盆地北部徐深气田营城组火山岩储层特征[J]. 石油学报, 2006, 27(增刊):47-51.
Huang Wei, Shao Hongmei, Zhao Hailing, et al. Characteristics of Yingcheng Formation's volcanic reservoir in Xushen Gas Field in Northern Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(supp.):47-51(in Chinese with English abstract).
- [28] 徐正顺, 王渝明, 庞彦明, 等. 大庆徐深气田火山岩气藏储集层识别与评价[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5):521-531.
Xu Zhengshun, Wang Yuming, Pang Yanming et al. Identification and evaluation of Xushen volcanic gas reservoirs in Daqing [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 521-531(in Chinese with English abstract).
- [29] 王德滋, 周新民. 火山岩岩石学[M]. 北京:科学出版社, 1982.
Wang Dezi, Zhou Xinmin. Volcanic Rock Lithology [M]. Beijing: Science Press, 1982(in Chinese).
- [30] 贺电, 李江海, 刘守偈, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷营城组大型破火山口的发现[J]. 中国地质, 2008, 35(3):463-471.
He Dian, Li Jianghai, Liu Shoujie, et al. Discovery of a giant caldera in the Yingcheng Formation in the Xujiaweizi fault depression, northern Songliao Basin [J]. Geology in China, 2008, 35(3):463-471(in Chinese with English abstract).
- [31] 戴亚权, 罗静兰, 林潼, 等. 松辽盆地北部升平气田营城组火山岩储层特征与成岩演化[J]. 中国地质, 2007, 34(3):528-535.
Dai Yaquan, Luo Jinglan, Lin Tong, et al. Reservoir characteristics and petrogenesis of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Shengping gas field, northern Songliao basin [J]. Geology in China, 2007, 34(3):528-535(in Chinese with English abstract).
- [32] 王拥军, 闫林, 冉启全, 等. 兴城气田深层火山岩气藏岩性识别技术研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(2):78-81.
Wang Yongjun, Yan Lin, Ran Qiquan, et al. Lithology distinguishing technology research of deep layer volcanic gas reservoir in Xushen Gas Field [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(2):78-81(in Chinese with English abstract).

Researches on flow unit of the volcanic reservoir in 1st Member of lower Cretaceous Yingcheng Formation, Xudong area, Songliao Basin

CHEN Huan-Qing, HU Yong-Le, JIN Jiu-Qiang, RAN Qi-Quan

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Exemplified by the volcanic reservoir of 1st Member of Yingcheng Formation in Xudong area of Songliao Basin, the authors studied the characteristics of flow unit spatial-temporal development in the aim strata of the study area. In this process, all work was based on the isochronous framework of stratigraphy. Two parameters were selected and the software of SPSS was used. In addition, cluster analysis and discriminant analysis were carried out. The results indicate that porosity and permeability are two parameters which can well represent the reservoir characteristics. The flow unit in the study area can be classified into four types, i.e., Type I, II, III and IV, in which Type III and Type IV are well developed, Type II possesses the second place, and Type I is poorly developed. Closely combining the well data and seismic data in the isochronous framework of stratigraphy and using the software of SPSS to perform cluster analysis and discriminant analysis prove to be a very efficient way for flow unit study. It can provide substantial foundation for the exploitation of the volcanic reservoir.

Key words: cluster analysis; flow unit; volcanic reservoir; Yingcheng Formation; Xudong Area

About the first author: CHEN Huan-Qing, male, born in 1979, doctor, engineer, mainly engages in the study of volcanic reservoir geology; E-mail: hqchen.1999@yahoo.com.cn.