

松辽盆地营城组火山岩 定量储层地质模型及其精细描述

张 斌¹, 王璞珺¹, 丁新², 许中杰¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

2. 大庆油田 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

摘要: 储层地质模型指火山岩的岩性岩相和储层物性的空间分布。通过对营城组火山岩剖面的详细研究, 结合2口钻井的岩心资料, 详细划分对比储层单元, 定量刻画火山岩储层。研究区火山岩相呈喷溢相→爆发相→喷溢相+侵入相→火山沉积相→爆发相→火山通道相+喷溢相的序列特征。爆发相、喷溢相规模最大, 各亚相侧向延伸在400~4 000 m, 单层厚度为2~130 m; 火山通道相、侵入相和火山沉积相的规模较小, 侧向延伸为110~1 500 m, 单层厚度为3~85 m。营下段为I类、III类储层, 营一段为I类、II类储层夹IV类储层, 营二段为I类储层, 营三段为互层的I类、II类、III类储层夹薄层IV类储层。上部亚相、火山颈亚相、内带亚相是最好储层, 下部亚相、隐爆角砾岩亚相为较好储层, 爆发相为中等储层, 中部亚相、火山沉积相为差储层。火山熔岩类物性随埋深增加变化小, 火山碎屑岩类物性随埋深增加变化大, 低孔、低渗岩石的物性随埋深增加变化小。

关键词: 松辽盆地; 营城组; 火山岩储层; 露头; 岩相模型; 储层模型

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1671-5888(2007)06-1232-12

Geologic Model Quantification and Characterization for Volcanic Reservoir of the Yingcheng Formation in Songliao Basin

ZHANG Bin¹, WANG Pu-jun¹, DING Ri-xin², XU Zhong-jie¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract: Here reservoir geologic model refers to the spatial distribution characteristics of lithology, lithofacies and porosity & permeability for reservoir volcanic rocks. Field sections and two drilling wells are studied in detail here, reservoir units are divided and compared, and thus the volcanic reservoirs of the area are finally quantified and characterized. Volcanic facies sequence in the area under study is mainly effusive facies→explosive facies→effusive facies & extrusive facies→volcanic sedimentary facies→explosive facies→volcanic conduit facies & effusive facies. Explosive facies and effusive facies are of the largest scales, with lateral ranging of some subfacies from 400 m to 4 000 m and thickness of a single layer ranging from 2 m to 130 m. Volcanic conduit facies, extrusive facies and volcanic sedimentary facies are smaller, lateral range is from 110 m to 1 500 m and thickness of single layer is from 3 m to 85 m.

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 张斌(1982-), 男, 黑龙江嫩江人, 博士研究生, 主要从事石油与天然气地质勘查研究, E-mail: zhangbindem@163.com

通讯联系人: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质勘查与盆地火山岩储层和沉积学研究, Tel: 0431-88502620, E-mail: wangpj@jlu.edu.cn

According to volcanic reservoir classifying standards, the lower member of the Yingcheng Formation is the first and third grade, the 1st member is the first and second grade, with the fourth grade, the 2nd member is the first grade, and the 3rd member is interbedded by the first, second and third grades with thin layers of the fourth grade. The upper subfacies, volcanic neck subfacies and inner subfacies are the best volcanic reservoirs. The lower subfacies and hydrothermal breccias subfacies are better volcanic reservoirs, the explosive facies is middle, and the middle subfacies and volcanic sedimentary facies are bad volcanic reservoirs. Porosity and permeability of volcanic lavas would be slightly affected by their buried depth, while pyroclastic rocks would be getting worse with increasing buried depth. Volcanic rocks with low porosity and low permeability would be affected little by their buried depth.

Key words: Songliao Basin; Yingcheng Formation; volcanic reservoir; outcrop; lithofacies model; reservoir model

0 前 言

储层地质模型是描述储层的几何形态、内部结构和各项参数在空间上变化和分布的综合量化展示^[1,2]。储层地质模型的研究始于 20 世纪 80 年代中后期^{3~7]}, 之后, 这种储层描述技术在国际和国内受到广泛重视, 得到迅速发展。储层建模是油藏工程技术领域中的一项基础工作, 也是当前油藏描述、勘探目标模拟和评价中的热点^[8]。随着储层研究向量化、精细化的方向发展, 对储层地质研究的要求已经由定性描述转向了定量地质模型的建立^[9]。目前国内外主要从储层的物理特性和空间特征两方面进行储层地质模型研究^[5]。通过野外露头考察、井间地质研究, 结合地震、测井和计算机技术, 采用多学科综合的方法, 建立二维和三维地质模型并进行储层物性特征描述。随着计算机技术的发展, 国内外已经开发出一系列的地质建模软件, 实现了储层在三维空间的可视化显示, 并已应用到油气勘探和开发中。

露头研究是储层精细描述和建模的主要方法和手段之一^[6]。自 20 世纪 80 年代中后期以来, 美国、欧洲等各大石油公司和科研单位不惜重金开展露头精细解剖, 通过露头调查研究建立地质模型的知识库; 在国内, 中国地质大学、北京大学、大庆石油学院、江汉石油学院和一些油田公司, 都为建立地质模型进行了大量的露头研究工作。

随着石油工业的发展和勘探开发的进行, 国内外在火山岩储层中发现了越来越多的油气藏, 火山岩储层的研究越来越受到重视。一直以来, 储层建模研究都是针对碎屑岩储层, 火山岩储层建模的研究还处在探索阶段。火山岩储层比碎屑岩储层具有

更大的复杂性和更强的非均质性, 其研究难度远比碎屑岩储层大^[8]。同碎屑岩储层一样, 火山岩储层建模的目的是要描述和预测火山岩储层的空间分布和物性变化特征。为了精细描述和解剖火山岩储层, 作者以野外露头研究为基础, 通过对火山岩露头的详细研究, 结合钻井岩心资料, 建立火山岩储层地质模型。针对松辽盆地天然气火山岩储层, 作者选取了对庆深气藏贡献显著的下白垩统营城组火山岩为研究目的层, 以松辽盆地东南隆起区九台市城子街镇石场村营城组典型剖面地区为研究区(图 1)。

1 建模思路与研究方法

不同学者从不同角度提出了不同类型的地质模型^[3,9~13]。作者基于野外露头调查与钻井资料相结合的研究工作, 所建模型属于剖面地质模型。

建模方法采用 Damsleth 等^[14]提出的 2 步建模步骤。第一步建立岩相分布模型, 即建筑结构确定。在火山岩相建模过程中, 首先要识别储集空间的地质单元, 即划分可对比的最小火山岩亚相单元, 确定不同火山岩亚相的几何形状。第二步建立不同相的岩石物性模型, 即在岩相分布模型的基础上, 填入物性参数。同一火山岩亚相具有相近的岩石物理性质, 对每一亚相单元赋予储层参数, 利用各种参数预测方法建立储层物性模型。

2 火山岩相剖面模型

2.1 岩相剖面建模

为了精细解剖研究区营城组火山岩地层格架特征与岩性岩相分布情况, 详细测量了 37 条野外地质剖面, 大比例尺描绘了 8 个掌子面, 进行了大量的薄片鉴定与化学成分分析。通过对研究区的野外实地

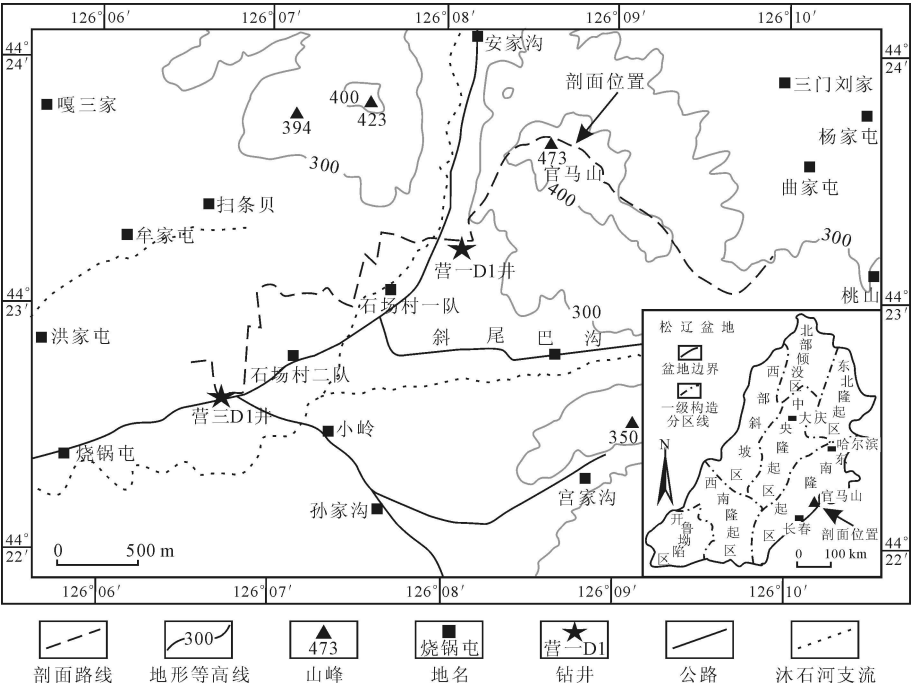


图 1 松辽盆地东南隆起区营城组野外剖面及钻井位置平面图

Fig. 1 The location of the cross sections and wells in the southeast uplift region of Songliao Basin

考察、剖面精细测量、岩性鉴定及描述等工作,并应用照片镶嵌与掌上机大比例尺描绘相结合的手段,详细刻画了官马山—石场村—烧锅屯地区营城组实测地质剖面图,剖面路线位置如图 1 所示。通过剖面岩性分析,解释火山岩岩相亚相,建立地面岩相展布格架。

为了揭示营城组火山岩的地下面貌,在研究区内布置了两口全取心井营一 D1 井和营三 D1 井,完钻深度分别为 207.1 m 和 254.45 m,井的位置如图 1 所示。通过两口井的岩心观察、岩心薄片鉴定及详细描述,分析地下火山岩岩性,解释火山岩岩相亚相,建立地下的岩相建筑结构。通过野外剖面与钻井揭示地面与地下岩相建筑结构的分析、对比,确定不同火山岩岩性岩相的分布范围、厚度变化情况,在此基础上,建立火山岩相剖面模型,如图 2 所示。

2.2 岩性岩相特征

研究区营城组可分为营城组下段、一段、二段和三段^[5],剖面上出露于官马山—石场村—烧锅屯一带。其中,官马山—石场村一队之间出露营城组一段,石场村一队—二队之间出露营城组二段,石场村二队—烧锅屯之间出露营城组三段。其岩性以火山岩和碎屑沉积岩为特征,火山岩极为发育,火山岩相见有 5 相中的 12 种亚相^[19](图 2)。

营城组下段 见于营一 D1 井 171.8~207.1 m 岩心。岩性主要为英安质含角砾岩屑晶屑凝灰岩、玄武质凝灰角砾岩,块状玄武岩、气孔杏仁玄武岩;

岩相为爆发相热碎屑流亚相、喷溢相下部亚相、上部亚相。

营城组一段 在营一 D1 井 78.4~171.8 m 及剖面官马山东侧山脊,主要为流纹质(含角砾)岩屑晶屑凝灰(熔)岩夹流纹质凝灰岩;岩相为爆发相热碎屑流亚相、火山沉积相含外碎屑火山沉积岩亚相。在官马山顶偏东侧出露珍珠岩,为侵出相内带亚相。在营一 D1 井 0~78.4 m 及官马山南侧山脊到石场村一队之间,主要为气孔流纹岩、流纹构造流纹岩、块状流纹岩、松脂岩/珍珠岩;岩相分别为喷溢相上部亚相、中部亚相、下部亚相。

营城组二段 营三 D1 井 205.7~254.45 m 以及石场村一队与二队之间;主要为复成分砾岩、凝灰质含砾砂岩、粉砂质泥岩、流纹质角砾凝灰岩,夹煤线;岩相为火山—沉积岩相含外碎屑火山碎屑沉积岩亚相、再搬运火山碎屑沉积岩亚相、凝灰岩夹煤沉积亚相,爆发相空落亚相、热碎屑流亚相。

营城组三段 在营三 D1 井 0~205.7 m 以及石场村二队西侧至烧锅屯之间,主要为交替互层出现的致密块状玄武岩、气孔/杏仁玄武岩、玄武质角砾/集块熔岩、玄武质隐爆角砾岩,营城组三段顶部岩性变为流纹质隐爆角砾岩、柱状节理流纹岩、流纹质角砾熔岩;岩相有火山通道相火山颈亚相、次火山岩亚相、隐爆角砾岩亚相、爆发相热碎屑流亚相、喷溢相下部亚相、中部亚相、上部亚相。

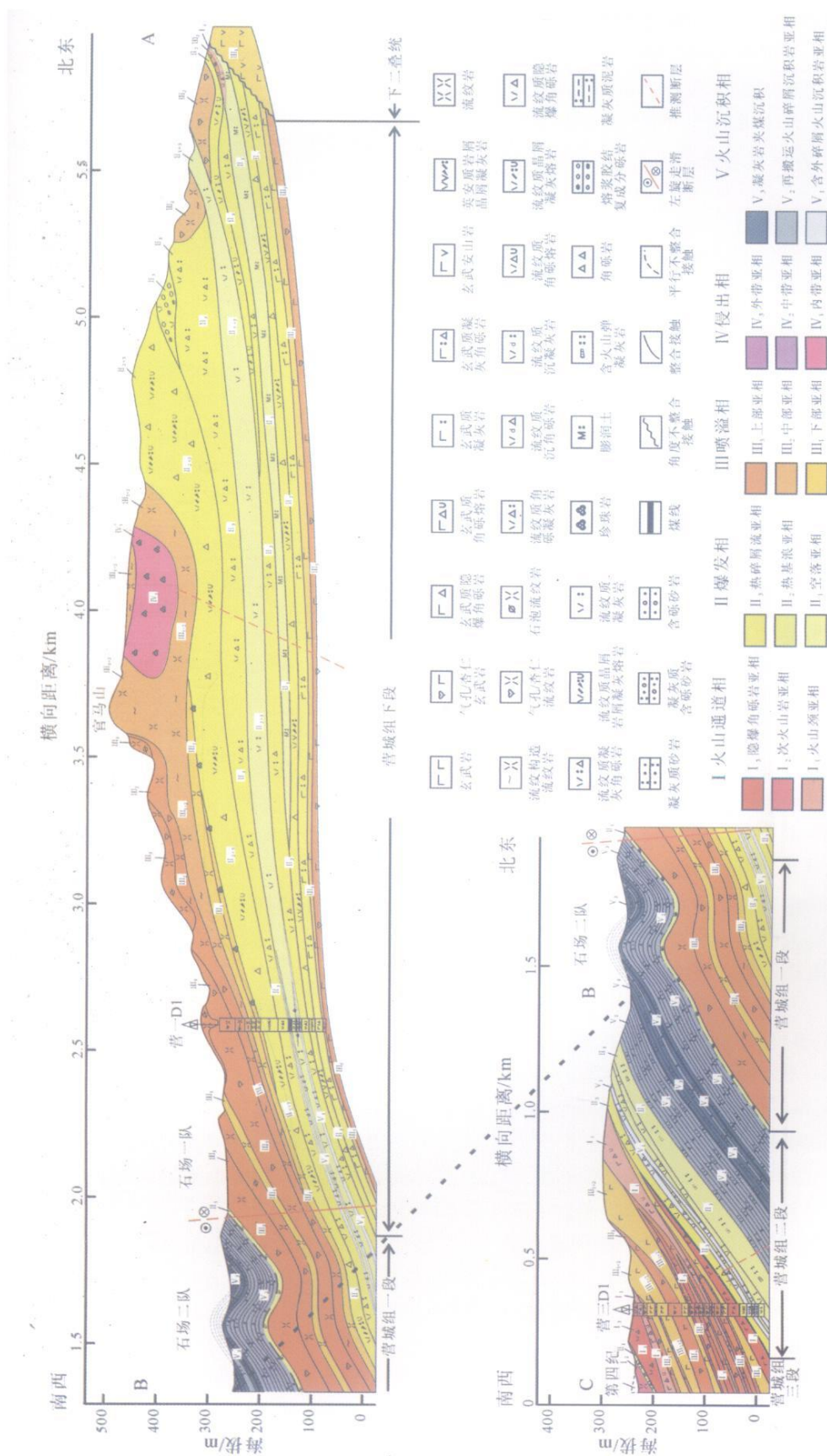


图 2 吉林省九台市城子街镇石场村营城组露头与钻井揭示火山岩相剖面模型
Fig.2 The volcanic facies model of Yingcheng Formation, Shichang, Jiutai, Jilin Province, NE China

表 1 营城组火山岩相/亚相的延伸范围和厚度

Table 1 The outspread rang and thickness of different volcanic facies of Yingcheng Formation

岩相	亚相	营城组下段					营城组一段					营城组二段					营城组三段				
		延伸范围/m		厚度/m		亚相个数	延伸范围/m		厚度/m		亚相个数	延伸范围/m		厚度/m		亚相个数	延伸范围/m		厚度/m		亚相个数
		最大值	最小值	最大值	最小值		最大值	最小值	最大值	最小值		最大值	最小值	最大值	最小值		最大值	最小值	最大值	最小值	
V	V ₃	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	800	700	20	3	3	/	/	/	/	/
	V ₂	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1 100	850	60	10	3	/	/	/	/	/
	V ₁	/	/	/	/	/	1 500	1 300	7	3	3	800	600	10	6	2	/	/	/	/	/
IV	IV ₁	/	/	/	/	/	600	450	85	35	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
III	III ₃	3 500	3 500	30	7	1	2 500	1 300	76	18	2	/	/	/	/	/	700	400	25	3	7
	III ₂	/	/	/	/	/	2 400	1 700	130	10	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	III ₁	3 500	3 500	14	2	1	2 700	1 400	40	15	2	/	/	/	/	/	1 000	500	45	10	3
II	II ₃	3 500	3 500	36	27	1	4 000	3 500	130	20	3	900	550	15	6	2	/	/	/	/	/
	II ₁	/	/	/	/	/	4 000	1 000	40	2	3	850	800	40	30	1	200	150	6	2	1
I	I ₃	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	800	400	35	3	6
	I ₂	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	110	110	35	35	1
	I ₁	/	/	/	/	/	250	200	5	3	1	/	/	/	/	/	1 000	400	70	6	3

注: I. 火山通道相: I₁. 火山颈亚相, I₂. 次火山岩亚相, I₃. 隐爆角砾岩亚相; II. 爆发相: II₁. 空落亚相, II₃. 热碎屑流亚相; III. 喷溢相: III₁. 下部亚相, III₂. 中部亚相, III₃. 上部亚相; IV. 侵入相: IV₁. 内带亚相; V. 火山沉积相: V₁. 含外碎屑火山沉积岩亚相, V₂. 再搬运火山碎屑沉积岩亚相, V₃. 凝灰岩夹煤沉积。

从火山岩相模型(图 2)中可以看出,营城组自下而上,岩性为中基性岩→酸性岩→基性岩→酸性岩的序列特征,岩相为喷溢相→爆发相→喷溢相+侵入相→火山沉积相→爆发相→火山通道相+喷溢相的序列特征。

2.3 火山岩相的范围、厚度精细描述

通过对野外 37 条剖面的详细测量以及两口钻井岩心的分析,结合火山岩相剖面模型不同岩相亚相的展布情况,得出各火山岩相/亚相的延伸范围和厚度,如表 1 所示。

火山通道相主要发育于营三段:火山颈亚相延伸范围主要为 400~1 000 m,厚度为 6~70 m;次火山岩亚相延伸 110 m,厚度 35 m;隐爆角砾岩亚相延伸范围为 400~800 m,厚度为 3~35 m。

爆发相主要发育于营下段、营一段、营二段:营一段、二段中空落亚相延伸范围为 800~4 000 m,厚度为 2~40 m;营下段、一段、二段中热碎屑流亚相延伸范围为 550~4 000 m,厚度为 6~130 m。

喷溢相发育于营下段、营一段、营三段,规模较大:下部亚相延伸范围主要为 500~3 500 m,厚度为 2~45 m;中部亚相延伸范围为 1 700~2 400 m,厚度为 10~130 m;上部亚相延伸范围为 400~3 500 m,厚度为 3~76 m。

侵入相发育于营一段:该相仅发育内带亚相,延伸范围为 450~600 m,厚度为 35~85 m。

火山沉积相主要发育于营二段,营一段规模较小:含外碎屑火山沉积岩亚相延伸范围为 600~1 500 m,厚度为 3~10 m;再搬运火山碎屑沉积岩亚相延伸范围为 850~1 100 m,厚度为 10~60 m;凝灰岩夹煤沉积亚相延伸范围为 700~800 m,厚度为 3~20 m。

3 火山岩储层物性剖面模型

3.1 储层物性剖面建模

火山岩储层物性剖面模型的建立本文采用剖面层状模型^[17]的建立方法,即把同一层岩性亚相体看成一个均质体,在侧向延伸到整个模拟区范围内,每一单元层有统一的孔隙度和渗透率,其孔渗参数由平均值决定,它们皆为常数。

根据两口钻井岩心孔隙度、渗透率的物性测试结果,分析各岩性、岩相/亚相单元的储层物性特征。同时,应用 CoreDBMS 软件对野外剖面岩性照片分类进行面孔率测量,并根据两口钻井岩心面孔率与对应孔隙度的相关关系(图 3),将剖面岩性面孔率测量值折算成相应的孔隙度值。通过钻井物性分析与剖面岩性面孔率的测量,将钻井方面的资料与露

头获取的相关信息相结合, 共同确定不同岩性岩相单元的储层物性参数值。

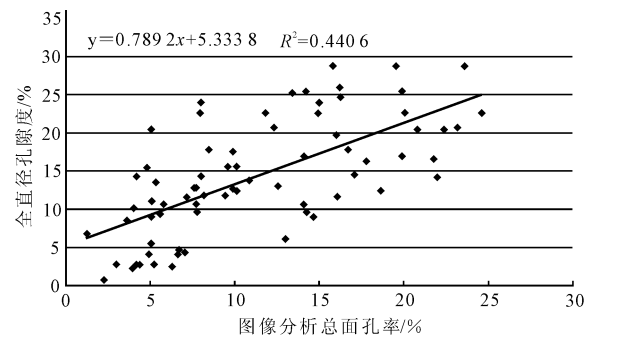


图 3 营一 D1 井、营三 D1 井火山岩岩性面孔率与对应孔隙度关系

Fig. 3 Correlation between porosity both from core measurement and image counting of Ying-1 D1 well and Ying-3 D1 well

根据以上研究思路和参数取值结果, 在火山岩相模型的基础上, 对不同亚相单元分别填入相应的

物性参数, 建立火山岩储层物性剖面模型, 如图 4 所示。

3.2 储层物性分类与储层评价

结合营一 D1 井和营三 D1 井岩石物性资料研究结果, 该区火山岩储层物性可分为 4 个等级^[18, 19] (图 4)。

研究区火山岩储层分为 4 类进行评价。I 类储层: 特高孔特高渗, 特高孔高渗, 高孔特高渗, 高孔高渗, 为好储层; II 类储层: 特高孔中渗, 高孔中渗, 中孔特高渗, 中孔高渗, 为较好储层; II 类储层: 特高孔低渗, 高孔低渗, 低孔高渗, 低孔特高渗, 中孔中渗, 为中等储层; IV 类储层: 中孔低渗, 低孔中渗, 低孔低渗, 为差储层。

3.3 储层物性剖面模型结果及解释

表 2、表 3 详细刻画了物性剖面模型中岩性岩相单元的物理特征, 并与松辽盆地进行对比, 通过分析可以得出:

表 2 营城组下段、一段岩性岩相与储层物性的关系

Table 2 Correlation between lithology and lithofacies and reservoir features of member lower; member 1 of Yingcheng Formation

序 号	层 位	深度 / m	岩性	岩相	平均 孔隙度 / %	平均 渗透率 / 10 ⁻³ μm ²	样 品 数	物性 评价	储层 级别	与盆内同岩性岩相对比 (徐家围子) ^①				
										平均 孔隙度 / %	平均 渗透率 / 10 ⁻³ μm ²	样 品 数	物性 评价	储层 级别
1	K ₁ y ¹	0~ 33.5	气孔流纹岩	喷溢相上部亚相	10.54	0.35	19	中孔 高渗	II 类 储层	9.33	0.45	27	高孔 高渗	I 类 储层
2	K ₁ y ¹	33.5~ 52.8	含少量气孔具流纹构造的流纹岩	喷溢相中部亚相	8.78	0.02	5	中孔 低渗	IV 类 储层	3.71	0.03	19	低孔 高渗	III 类 储层
3	K ₁ y ¹	52.8~ 67.45	流纹构造流纹岩	喷溢相中部+下部亚相	19.90	0.05	1	高孔 中渗	II 类 储层	2.33	0.35	3	特低孔 高渗	III 类 储层
4	K ₁ y ¹	67.45~ 78.4	块状流纹岩、松脂岩/珍珠岩	喷溢相下部亚相	14.55	0.12	4	中孔 高渗	II 类 储层	9.47	0.19	25	高孔 中渗	II 类 储层
5	K ₁ y ¹	78.4~ 133.7	流纹质含角砾晶屑岩屑凝灰(熔)岩、流纹质角砾凝灰岩	爆发相热碎屑流亚相	17.46	0.84	21	高孔 高渗	I 类 储层	7.45	0.13	45	高孔 中渗	II 类 储层
6	K ₁ y ¹	133.7~ 138.55	流纹质沉凝灰岩	火山沉积相含外碎屑火山沉积岩亚相	17.45	0.02	4	高孔 低渗	III 类 储层	4.55	0.18	2	低孔 中渗	III 类 储层
7	K ₁ y ¹	138.55~ 155.25	流纹质凝灰岩	爆发相空落亚相	18.82	0.85	6	高孔 高渗	I 类 储层	3.73	0.07	12	低孔 低渗	IV 类 储层

续表 2

序 号	层 位	深度 / m	岩性	岩相	平均 孔隙度 / %	平均 渗透率 / 10 ⁻³ μm ²	样 品 数	物性 评价	储层 级别	与盆内同岩性岩相带对比 (徐家围子) ^①				
										平均 孔隙度 / %	平均 渗透率 / 10 ⁻³ μm ²	样 品 数	物性 评价	储层 级别
8	K _{1y} ¹	155.25~ 158.3	流纹质沉凝灰岩	火山沉积相含 外碎屑火山沉 积岩亚相	2.30	0.02	2	低孔 低渗	Ⅳ类 储层	4.55	0.18	2	低孔 中渗	Ⅲ类 储层
9	K _{1y} ¹	158.3~ 171.8	流纹质含角砾岩 屑晶屑凝灰岩	爆发相热碎屑 流亚相	22.46	3.08	5	高孔 特高渗	Ⅰ类 储层	7.45	0.13	45	高孔 中渗	Ⅱ类 储层
10	K _{1y} ^下	171.8~ 182.8	英安质含角砾岩 屑晶屑凝灰岩	爆发相热碎屑 流亚相	15.46	0.07	3	高孔 中渗	Ⅱ类 储层	5.92	0.11	11	中孔 中渗	Ⅲ类 储层
11	K _{1y} ^下	182.8~ 198.5	玄武质凝灰角砾 岩	爆发相热碎屑 流亚相	15.10	0.77	2	高孔 高渗	Ⅰ类 储层	4.20	0.03	1	低孔 低渗	Ⅳ类 储层
12	K _{1y} ^下	198.5~ 207.1	块状玄武岩、气 孔杏仁玄武岩	喷溢相下部十 上部亚相	18.08	0.04	5	高孔 低渗	Ⅲ类 储层	/	/	/	高孔 高渗	Ⅲ类 储层

①物性参数为松辽盆地北部徐家围子地区 24 口钻井岩心物性测试结果,“/”表示钻井未见或缺少资料,其物性评价依据文献[20];储层物性分级标准见图 4;“储层级别”为松辽盆地北部徐家围子地区开发阶段火山岩储层评价标准^②:Ⅰ类储层:特高孔特高渗,特高孔高渗,高孔特高渗,高孔高渗;Ⅱ类储层:特高孔中渗,高孔中渗,中孔特高渗,中孔高渗;Ⅲ类储层:高孔低渗,中孔中渗,中孔低渗,低孔高渗,低孔中渗,特低孔高渗,特低孔中渗;Ⅳ类储层:低孔低渗,低孔特低渗,特低孔低渗,特低孔特低渗。

(1)营城组下段,喷溢相下部十上部亚相的玄武岩为高孔低渗,属于Ⅱ类储层,低于盆内(徐家围子)深层同种岩性的储层物性。

根据岩心观察与岩石薄片分析,该岩性段气孔发育,裂缝不发育,并被后期方解石脉充填,导致其连通性不好,储层物性整体较差。

(2)营城组下段上部、营城组一段下部、中部为爆发相的玄武质/英安质/流纹质含角砾岩屑晶屑凝灰岩,夹火山沉积相流纹质沉凝灰岩。这套火山碎屑岩储层物性为高孔特高渗、高孔高渗、高孔中渗,主要为Ⅰ类储层,其次为Ⅱ类储层,比盆内(徐家围子)深层同种岩性的储层物性高很多。

结合表 4 的对比结果看,研究区火山碎屑岩储层物性明显高于盆内(徐家围子)深层的同种岩性。究其原因,爆发相、火山沉积相的(火山)碎屑岩类为压实成岩,其物性随埋深增加变差^[19]。研究区内营城组埋藏较浅,部分地层已经出露地表,颗粒间孔隙非常发育,而盆内(徐家围子)深层火山碎屑岩经过深埋压实成岩作用,储层物性相比较差。

火山沉积相的流纹质沉凝灰岩为高孔低渗和低孔低渗,属于Ⅱ类、Ⅳ类储层,该段岩性致密,成岩作

用较强,其物性与盆内(徐家围子)深层同种岩性具有可比性。

(3)营城组一段上部为流纹质的火山熔岩类,自下而上为喷溢相下部亚相、中部亚相、上部亚相,夹侵入相内带亚相的岩相序列。下部亚相的流纹岩、松脂岩/珍珠岩物性特征为中孔高渗、高孔中渗,属于Ⅱ类储层,这套脆性强的细晶熔岩类裂隙比较发育,形成了较好的储集空间。中部亚相的流纹构造流纹岩为中孔低渗,Ⅳ类储层,孔隙度比较发育,裂缝不发育,渗透率较差。上部亚相的气孔流纹岩为中孔高渗,属于Ⅱ类储层,气孔、裂缝发育,储集空间良好。内带亚相的珍珠岩为中孔高渗,属于Ⅱ类储层,发育大型松散体,是有利的储集空间。

结合表 4 可以看出,该段火山熔岩的物性与盆内(徐家围子)具有可比性,其物性值的量级一致,主要原因是,火山通道相、喷溢相和侵入相的火山熔岩为冷凝胶结成岩,物性与埋深关系不大^[16]。

② 王璞珺,冯志强,郑常青,等.盆地火山岩:岩性·岩相·储层·气藏.勘探.北京:科学出版社,2007.

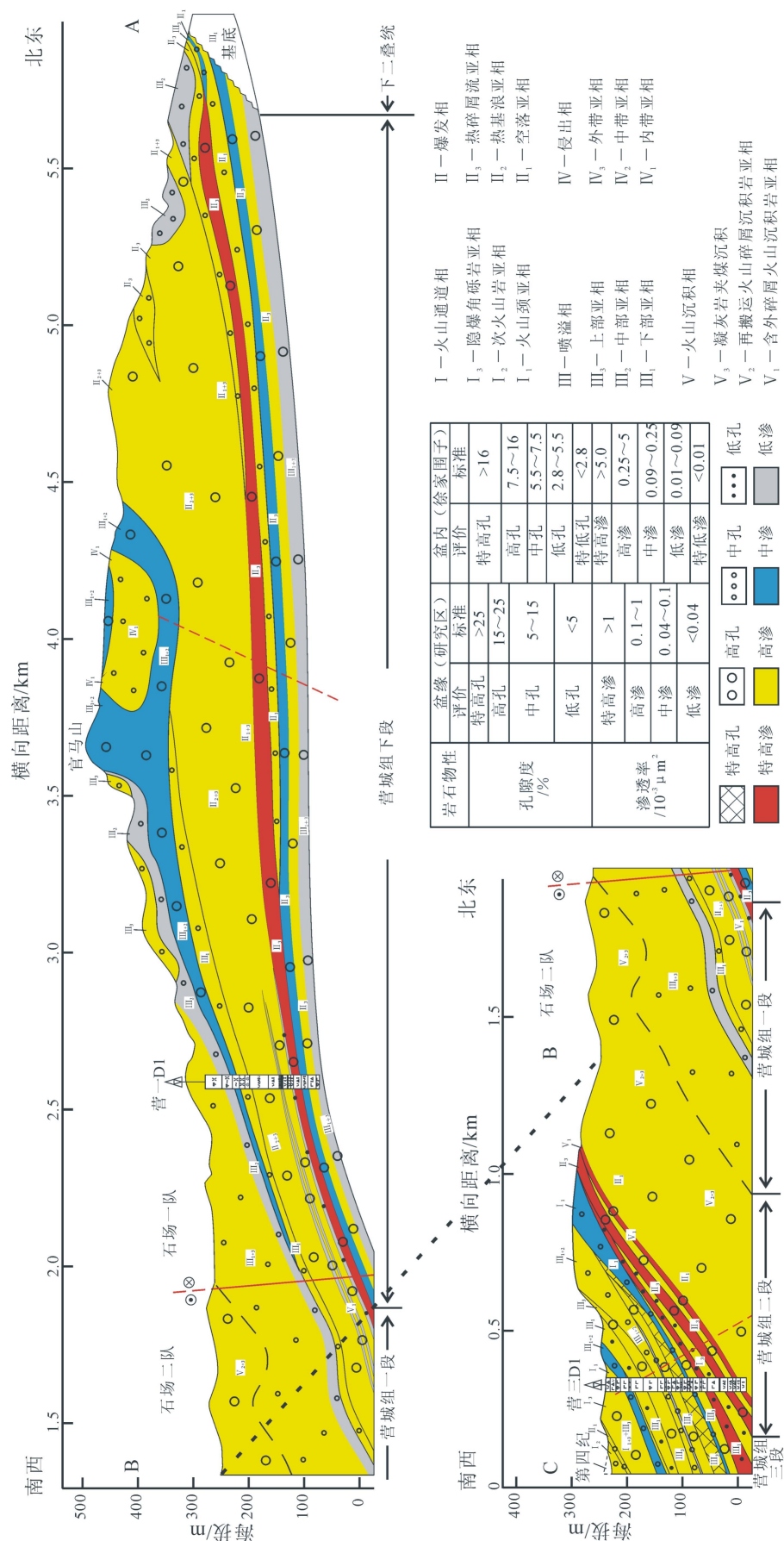


图 4 九台市城子街镇石场村营城组露头与钻井揭示火山岩储层物性模型

Fig.4 The volcanic porosity and permeability model of Yingcheng Formation, Shichang, Jiutai, Jilin Province, NE China

注：图中岩性、构造图例见图2。

表 3 营城组二段、三段岩性岩相与储层物性的关系

Table 3 Correlation between lithology and lithofacies and reservoir features of member 2, member 3 of Yingcheng Formation

序号	层位	深度 / m	岩性	岩相	平均 孔隙度 / %	平均 渗透率 / 10 ⁻³ μm ²	样品 数	物性 评价	储层 级别	与盆内同岩性岩相带对比 (徐家围子) ^①				
										平均 孔隙度 / %	平均 渗透率 / 10 ⁻³ μm ²	样品 数	物性 评价	储层 级别
1	K ₁ y ³	0~6.2	流纹质隐爆角砾岩	火山通道相隐爆角砾岩亚相	20.40	0.83	1	高孔高渗	I类储层	6.68	0.09	6	中孔中渗	III类储层
2	K ₁ y ³	6.2~14.2	玄武质角砾熔岩	火山通道相火山颈亚相	17.65	0.43	4	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
3	K ₁ y ³	14.2~25.4	气孔杏仁玄武岩	喷溢相上部亚相	21.58	0.80	6	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
4	K ₁ y ³	25.4~37.9	玄武岩	喷溢相中部+下部亚相	11.17	0.08	6	中孔中渗	III类储层	10.40	0.06	3	高孔低渗	III类储层
5	K ₁ y ³	37.9~45.9	气孔杏仁玄武岩	喷溢相上部亚相	19.37	0.18	3	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
6	K ₁ y ³	45.9~67	玄武岩	喷溢相下部亚相	4.83	0.78	10	低孔高渗	III类储层	10.40	0.06	3	高孔低渗	III类储层
7	K ₁ y ³	67~91.5	气孔杏仁玄武岩夹块状玄武岩	喷溢相上部+中部亚相	18.78	0.16	12	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
8	K ₁ y ³	91.5~106.25	玄武岩	喷溢相中部+下部亚相	10.23	0.39	6	中孔高渗	II类储层	10.40	0.06	3	高孔低渗	III类储层
9	K ₁ y ³	106.25~110.35	玄武质隐爆角砾岩	火山通道相隐爆角砾岩亚相	9.70	0.04	1	中孔低渗	IV类储层	3.60	0.01	1	低孔低渗	IV类储层
10	K ₁ y ³	110.35~118.85	气孔杏仁玄武岩	喷溢相上部亚相	19.95	0.14	6	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
11	K ₁ y ³	118.85~124.85	玄武质隐爆角砾岩	火山通道相隐爆角砾岩亚相	17.57	0.18	3	高孔高渗	I类储层	3.60	0.01	1	低孔低渗	IV类储层
12	K ₁ y ³	124.85~133.9	气孔杏仁玄武岩	喷溢相上部亚相	25.45	0.52	6	特高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
13	K ₁ y ³	133.9~140	玄武质角砾熔岩	火山通道相火山颈亚相	24.67	0.71	3	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
14	K ₁ y ³	140~151.45	气孔杏仁玄武岩	喷溢相上部亚相	28.60	0.31	6	特高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
15	K ₁ y ³	151.45~153.25	玄武质角砾熔岩	火山通道相火山颈亚相	11.30	0.08	1	中孔中渗	III类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
16	K ₁ y ³	153.25~156.75	玄武质隐爆角砾岩	火山通道相隐爆角砾岩亚相	23.80	0.88	1	高孔高渗	I类储层	3.60	0.01	1	低孔低渗	IV类储层
17	K ₁ y ³	156.75~168.25	气孔杏仁玄武岩	喷溢相上部亚相	21.97	0.28	6	高孔高渗	I类储层	/	/	/	高孔高渗	I类储层
18	K ₁ y ³	168.25~179.5	块状玄武岩夹玄武质隐爆角砾岩	喷溢相下部亚相夹火山通道相隐爆角砾岩岩相	4.06	1.05	5	低孔特高渗	III类储层	10.40	0.06	3	高孔低渗	III类储层
19	K ₁ y ³	179.5~205.7	玄武质隐爆角砾岩	火山通道相隐爆角砾岩亚相	2.86	0.45	7	低孔高渗	III类储层	3.60	0.01	1	低孔低渗	IV类储层
20	K ₁ y ²	205.7~220.9	流纹质凝灰岩夹流纹质凝灰角砾岩	爆发相热碎屑流+空落亚相	19.89	1.23	7	高孔特高渗	I类储层	7.45	0.13	45	高孔中渗	II类储层
21	K ₁ y ²	220.9~229.05	流纹质沉火山角砾岩	火山沉积相含外碎屑火山沉积亚相	20.43	0.86	4	高孔高渗	I类储层	4.55	0.18	2	低孔中渗	III类储层
22	K ₁ y ²	229.05~234.85	流纹质角砾凝灰岩	爆发相空落亚相	16.75	0.23	2	高孔高渗	I类储层	3.73	0.07	12	低孔低渗	IV类储层
23	K ₁ y ²	234.85~240	流纹质沉火山角砾岩	火山沉积相含外碎屑火山沉积亚相	21.97	1.23	3	高孔特高渗	I类储层	4.55	0.18	2	低孔中渗	III类储层
24	K ₁ y ²	240~254.45	流纹质凝灰岩	爆发相空落亚相	18.63	0.12	4	高孔高渗	I类储层	3.73	0.07	12	低孔低渗	IV类储层

①同表 2

表 4 松辽盆地火山岩储层物性与埋深关系
Table 4 Correlation of volcanic reservoir between porosity, permeability and buried depth in Songliao Basin

岩石类型	样品来源	深度/ m	样品 个数	孔隙度/ %			渗透率/ 10 ⁻³ μm ²			
				最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	
火山熔岩	盆缘 (研究区)	营一 D1、营三 D1 (浅层钻井)	0 ~ 207. 1	120	34. 80	0. 30	14. 76	16. 10	0. 01	0. 60
	盆内 (徐家围子)	24 口钻井 (深层钻井)	2 890 ~ 4 261	144	24. 60	0. 20	8. 34	12. 80	0. 01	0. 43
		浅层物性值/ 深层物性值			1. 41	1. 50	1. 77	1. 26	1. 00	1. 40
		变化率 ^①			0. 34	0. 40	0. 55	0. 23	0. 00	0. 39
火山碎屑岩	盆缘 (研究区)	营一 D1、营三 D1 (浅层钻井)	78. 4 ~ 254. 45	61	32. 80	2. 20	18. 41	8. 26	0. 01	0. 93
	盆内 (徐家围子)	24 口钻井 (深层钻井)	3 005 ~ 4 190	55	9. 20	0. 90	4. 66	0. 78	0. 01	0. 09
		浅层物性值/ 深层物性值			3. 57	2. 44	3. 95	10. 59	1. 00	10. 33
		变化率 ^①			1. 12	0. 84	1. 20	1. 66	0. 00	1. 57

①变化率= $\frac{\text{浅层物性值}-\text{深层物性值}}{0.5\times(\text{浅层物性值}+\text{深层物性值})}$ 。

(4)营城组二段主要为沉火山碎屑岩和火山碎屑岩,岩相为火山沉积相和爆发相。营二段下部、中部主要为火山沉积相的砂岩、砾岩,为高孔高渗,属于Ⅰ类储层。营二段上部主要为火山沉积相的流纹质沉凝灰岩、爆发相的流纹质角砾凝灰岩,达到高孔特高渗,属于Ⅰ类储层,是研究区物性最好的储层之一。

由于营城组二段埋藏浅,部分已经出露地表,压实成岩作用弱,其物性比盆地内部深层同种岩性高很多。

(5)营城组三段主要为玄武质火山熔岩,营三段顶部岩性过渡为流纹质火山熔岩,岩相主要为火山通道相和喷溢相交替互层出现。该段孔隙度变化较大,营三段底部为低孔→中孔+高孔→特高孔,营三段中部为中孔→高孔,营三段上部为低孔→中孔→高孔→中孔的变化特征。渗透率变化相对不大,整体以高渗为主,在营三段底部为高渗—特高渗—高渗—中渗的变化特征,在营三段中部主要为高渗,夹薄层低渗,在营三段顶部为中渗—高渗的变化特征。

隐爆角砾岩亚相的隐爆角砾岩见有高孔高渗、低孔高渗、中孔低渗,属于Ⅰ类、Ⅲ类、Ⅳ类储层,储层物性变化较大,主要与岩石角砾间孔和裂缝被后期岩汁岩浆充填程度有关。火山颈亚相玄武质角砾熔岩见有高孔高渗和中孔中渗,属于Ⅰ类、Ⅲ类储层,物性变化也很大。中部、下部亚相玄武岩主要为

低孔高渗、中孔中渗、中孔高渗,属于Ⅱ类、Ⅲ类储层。上部亚相气孔杏仁玄武岩主要为高孔高渗、特高孔高渗,原生气孔最发育,属于Ⅰ类储层,是研究区物性最好的储层之一。

营三段火山熔岩与盆内深层同种岩性物性值的量级一致,也具有可比性。

4 结 论

通过对研究区营城组火山岩相模型、储层物性模型的分析,可以得出以下结论:

(1)营城组火山岩岩性呈中性基岩→酸性岩→基性岩→酸性岩的序列特征,岩相呈喷溢相→爆发相→喷溢相+侵出相→火山沉积相→爆发相→火山通道相+喷溢相的序列特征。

(2)爆发相、喷溢相规模最大,各亚相侧向延伸主要为 400~4 000 m,单层厚度 2~130 m;火山通道相、侵出相、火山沉积相规模较小,侧向延伸 110~1 500 m,单层厚度 3~85 m。

(3)营下段底部为Ⅲ类储层,营下段上部、营一段下部主要为Ⅰ类储层;营一段上部为Ⅱ类储层,夹Ⅳ类储层;营二段为Ⅰ类储层;营三段底部为Ⅱ类储层,中部为Ⅰ类、Ⅱ类储层夹薄层Ⅳ类储层,上部为Ⅱ类、Ⅱ类储层夹厚层Ⅰ类储层。

(4)上部亚相、火山颈亚相、内带亚相物性好且稳定,是最好储层。下部亚相、隐爆角砾岩亚相物性

中等,为较好储层。研究区内爆发相、火山沉积相物性最高,但随埋深增加物性变差,在盆内深层为中、差储层。中部亚相物性最低,为差储层。

(5)火山熔岩类物性随埋深增加变化小,埋深从200 m增加到3 000 m,浅层岩石的孔隙度为深层岩石的1.77倍,渗透率为深层岩石的1.40倍。火山碎屑岩类物性随埋深增加变化大,埋深从200 m增加到3 000 m,浅层岩石的孔隙度为深层岩石的3.95倍,渗透率为深层岩石的10.33倍。低孔、低渗的岩石物性随埋深增加变化小。

参考文献(References):

- [1] 吴元燕,徐龙,张昌民,等.油气储层地质[M].北京:石油工业出版社,1996:323—337.
WU Yuan-yan, XU Long, ZHANG Chang-min, et al. Oil and gas reservoir geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 323—337.
- [2] 吕晓光,王德发,姜洪福.储层地质模型及随机建模技术[J].大庆石油地质与开发,2000,19(1):10—16.
LU Xiao-guang, WANG De-fa, JIANG Hong-fu. Reservoir geologic model and random modeling technique[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2000, 19(1): 10—16.
- [3] 裴亦楠.储层地质模型[J].石油学报,1991,12(4):55—62.
QIU Yi-nan. Geological models of petroleum reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 1991, 12(4): 55—62.
- [4] 林克湘,张昌民,雷卞军,等.地面—地下对比建立储层精细地质模型[M].北京:石油工业出版社,1995:1—7.
LIN Ke-xiang, ZHANG Chang-min, LEI Bian-jun, et al. Establishing detailed reservoir geologic model by ground and underground with the combination of ground surface and subsurface[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 1—7.
- [5] 周江羽,吴冲龙,毛小平,等.含油气盆地储层建模和模拟研究评述[J].地质科技情报,1998,17(1):67—72.
ZHOU Jiang-yu, WU Chong-long, MAO Xiao-ping, et al. Overview about reservoir model and simulation in petroliferous basin[J]. Geological Science and Technology Information, 1998, 17(1): 67—72.
- [6] 裴亦楠,贾爱林.储层地质模型10年[J].石油学报,2000,21(4):101—104.
QIU Yi-nan, JIA Ai-lin. Development of geological reservoir modeling in past decade[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(4): 101—104.
- [7] 李少华,王根朝,张昌民,等.储层地质模型建立方法——以坪北油田延长组长6段为例[J].江汉石油学院学报,2004,26(2):37—40.
LI Shao-hua, WANG Gen-chao, ZHANG Chang-min, et al. Methods for establishing reservoir geological model—by taking Chang 6 section of Yanchang Formation in Pingbei oilfield for example[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26(2): 37—40.
- [8] 李长山,陈建文,游俊,等.火山岩储层建模初探[J].地质前缘,2000,7(4):381—389.
LI Chang-shan, CHEN Jian-wen, YOU Jun, et al. Study on volcanic reservoir modeling[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 381—389.
- [9] Vande Graafe W J E, Ealeg P T. Geological modeling for simulation studies[J]. AAPG, 1989, 73(11): 1436—1444.
- [10] Weber K J, Geuns L C Van. Framework for constructing clastic reservoir simulation models[J]. SPE, 1989, 64: 109—118.
- [11] 姚光庆,马正,赵彦超.储层描述尺度与储层地质模型分级[J].石油实验地质,1994,16(4):403—408.
YAO Guang-qing, MA Zheng, ZHAO Yan-chao. Measures on reservoir description corresponding with the graduation of geological reservoir models[J]. Experimental Petroleum Geology, 1994, 16(4): 403—408.
- [12] 贾爱林.储层地质模型建立步骤[J].地质前缘,1995,2(3/4):221—225.
JIA Ai-lin. The steps of reservoir geological modeling[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3/4): 221—225.
- [13] 于兴河,王德发.陆相断陷盆地三角洲相结构要素及其储层地质模型[J].地质论评,1997,43(3):225—231.
YU Xing-he, WANG De-fa. The architectural elements of the deltaic system in the terrestrial faulted basin and the significance of its reservoir geological model[J]. Geological Review, 1997, 43(3): 225—231.
- [14] Damsleth E, Tjolsen C B, Omre H. A two-stage stochastic model applied to North Sea reservoir[J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 44(4): 402—408.
- [15] 贾军涛,王璞珺,邵锐,等.松辽盆地东南缘营城组地层序列的划分及区域对比[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(6):1110—1123.
JIA Jun-tao, WANG Pu-jun, SHAO Rui, et al.

Stratigraphical sequence and regional correlation of Yingcheng Formation in the Southeast of Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1110—1123.

[16] 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.

WANG Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2003, 33(4): 449—456.

[17] 穆龙新,贾爱林,陈亮,等.储层精细研究方法——国内外露头储层和现代沉积及精细地质建模研究[M].北京:石油工业出版社,2000:64—73.

MU Long-xin, JIA Ai-lin, CHEN Liang, et al. Detailed research methods of reservoir—outcrop reservoir and modern sedimentation between domestic and abroad and geological modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 64—73.

[18] 吴颜雄,王璞珺,曲立才,等.营城组一段及下段岩性岩相和储层物性的精细刻画——基于标准剖面营一D1井全取心钻孔资料[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(6):1192—1202.

WU Yan-xiong, WANG Pu-jun, QU Li-cai, et al. Detailed description of lithology, lithofacies and porosity and permeability of the first and the lower member of Yingcheng Formation: based on the latest data of Ying—1D1 well cores in standard section[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1192—1202.

[19] 闵飞琼,王璞珺,于世泉,等.营城组三段及二段岩性岩相和储层物性的精细刻画——基于标准剖面营三D1井全取心钻孔资料[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(6):1203—1216.

MIN Fei-qiong, WANG Pu-jun, YU Shi-quan, et al. Meticulous depiction of lithology, lithofacies and reservoir physical and property in the third & second member of Yingcheng Formation—based on whole coring Ying—3 D1 well drilled in the standard section[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1203—1216.

[20] 王璞珺,吴河勇,庞颜明,等.松辽盆地火山岩相: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.

WANG Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: sequence, model and the quantitative relationship with porosity & permeability of the volcanic reservoir[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2006, 36(5): 805—812.