

火山岩储层综合评价方法与应用

——以松南气田营城组旋回三为例

单玄龙¹, 陈玉平¹, 唐黎明², 衣 健¹

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国石油化工股份有限公司 东北油气分公司, 吉林 长春 130012)

摘 要:综合利用钻井、测井、地震和产能等资料,通过对松南气田营城组火山岩的岩性、岩相、储层物性和火山机构相带分布等特征的深入分析,建立了研究区营城组火山岩储层综合评价方法。依据影响火山岩储层质量的因素,首先选取了储层评价的 7 个关键参数,然后根据专家经验对参数赋值计算,最后进行了单井储层定量评价,结果表明,研究区营城组旋回三火山岩主要发育 I 类和 II 类储层。结合松南气田营城组旋回三火山岩相和火山机构平面分布特征,对研究区不同类型火山岩储层的分布进行了预测,明确了研究区下一步勘探与开发的重点区块。

关键词:松南气田;营城组;火山岩储层;火山机构相带;综合评价

中图分类号:P618.13

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2011)03-0001-06

Comprehensive Evaluation Method for Volcanic Rock Reservoirs and Its Application: Taking Songnan Gas Field for Example

SHAN Xuanlong¹, CHEN Yuping¹, TANG Liming², YI Jian¹

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

2. Northeast Oil and Gas Branch, SINOPEC, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: According to the volcanic oil and gas reservoirs in Yingcheng formation, Songnan gas field, a comprehensive evaluation method for volcanic reservoirs was established by drilling, logging, seismic and production capacity, etc., and through the deep analysis of volcanic lithology, lithofacies, physical properties of reservoirs and distribution of facies zones of volcanic edifice in Songnan gas field. According to the influence factors on the quality of the volcanic rock reservoirs, the seven key parameters for evaluation of reservoirs were selected. Then, the parameters were assigned according to export experiences. Last, the quantitative evaluation of single well reservoir was made. The results suggested that the type I and type II reservoirs were mainly developed in volcanic rocks of the third cycle of Yingcheng formation of study area. Combined with the plane distributions of volcanic facies and volcanic edifice, different kinds of reservoir distributions were predicted, and the focus blocks of further exploration and development were defined.

Key words: Songnan gas field; Yingcheng formation; volcanic reservoirs; facies zone of volcanic edifice; comprehensive evaluation

自 2003 年松辽盆地徐深气田被发现,火山岩油气勘探已经成为我国油气勘探的重要领域之一。由于火山岩与沉积岩储层具有显著的区别,常规沉积岩储层评价方法难以满足火山岩储层评价的需要。虽然目前

收稿日期:2011-03-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2009CB219306);东北亚生物演化与环境教育部重点实验室项目;吉林大学“211”工程三期建设项目;2009 年教育部基本科研业务经费项目(吉林大学创新团队发展计划)。

作者简介:单玄龙(1969—),男,安徽全椒人,教授,博士生导师,主要从事石油与天然气勘探与开发的教学与研究工作。
E-mail:shanxl@jlu.edu.cn.

综合利用全系列测井资料^[1-3]、录井资料^[4]、重磁电震联合反演、三维切片以及频谱成像等地震识别技术^[5]、钻井岩心描述、薄片鉴定、全岩化学成分分析识别技术等,已经达到了认识火山岩储层的目的^[6-11],但是还不能满足深层火山岩油气勘探与开发的要求。

松南气田位于松辽盆地中央断陷区南部的长岭断陷(图 1),是在古生界基底上发育的断、拗叠置的中新生代盆地。营城组火山岩为深部天然气的主力储层,埋深 3 700 m 左右^[11]。火山岩气藏属于特殊类型气藏,地质条件复杂,岩性岩相变化快,储层微裂缝较发育,物性差,非均质性强,含气性差别大。因此,火山岩气藏的勘探与开发难度大^[12]。目前对火山岩储层评价等问题尚缺乏深入系统的研究,这也是火山岩气藏高效勘探与开发的瓶颈之一。

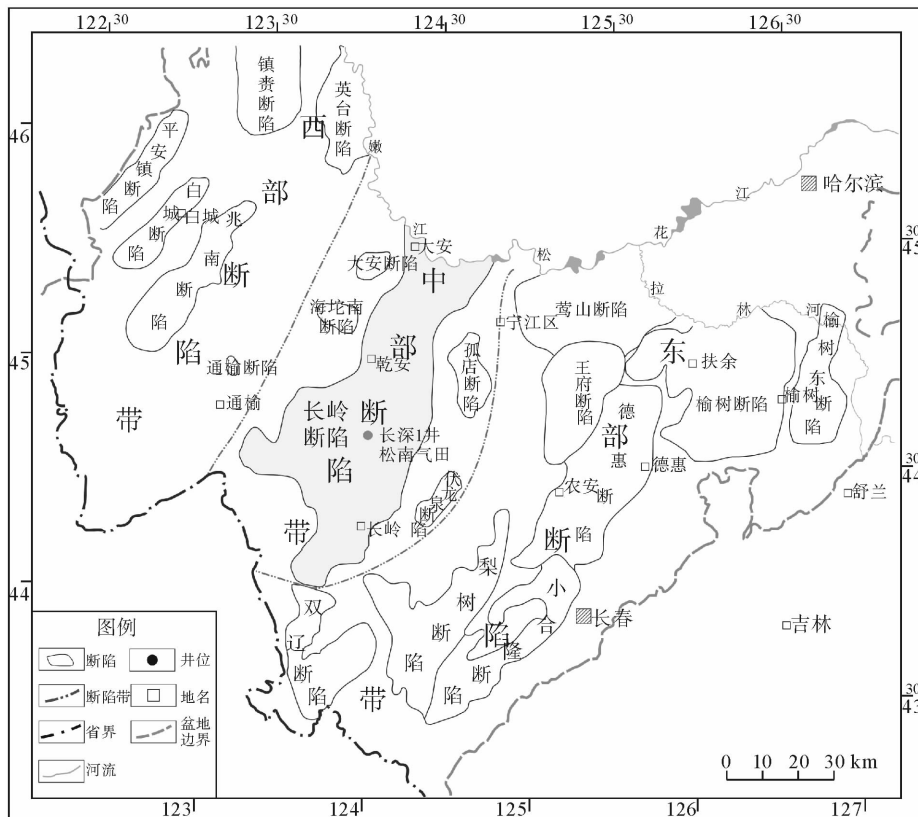


图 1 长岭断陷位置图(据吉林油田研究院 2011 年修改)

Fig. 1 The location of Changling faulted depression(after Jilin oilfield research institute 2011)

本研究借鉴了碎屑岩储层分类评价方法,依据松南气田火山岩储层岩性、岩相、储层物性等特征,初步建立适合研究区的火山岩储层分类评价方法,对研究区火山岩储层进行了分类评价,并研究了不同级别储层的平面分布特征及其控制因素,为研究区火山岩油气勘探与开发提供参考。

1 储层的分类评价方法

火山岩储层目前没有公认的分类评价标准,鉴于火山岩气藏的特殊性,需要建立针对火山岩储层的分类评价方法。参考中国石油天然气行业标准《单井碎屑岩储层评价》(SY/T 5717-95)提出的储层综合评价方法^[13],结合研究区火山岩储层的岩性、岩相、孔渗等特征,初步建立了研究区火山岩储层分类评价方法。该方法分为三步:首先,依据影响火山岩储层质量的因素选择评价参数;然后,根据专家经验对参数赋值,应用钻井和测试数据计算各参数单项得分;最后,计算综合评价指标值(RESI),并进行储层分类评价。

1.1 参数选择与计算单项得分

针对研究区地质条件,选择了本地区储层分类评价的定性、定量参数,包括岩性、岩相、有利岩相厚度、孔隙度、渗透率、储层类型、火山机构相带 7 种参数。结合单井的产能,确定出各关键性参数的最有利值与最不利值^[14]。选定关键性参数后,根据所选参数在评价中的权重进行评议,以 $[0, 1]$ 上的数表示,各项权重系数的和为 1。

用式(1)来计算单项得分,分值越高表示储层性能越好:

$$S_m = \frac{X}{G-P} \quad (1)$$

其中: X —参数的平均值, G —有利参数值, P —不利参数值。

1.2 计算综合评价指标值

综合评价指标(reservoirs evaluation index, REI)为

$$REI = \sum_{i=1}^n S_{mi} \cdot \alpha_i \quad (n \leq 10) \quad (2)$$

REI 的值在区间 $[0, 1]$ 上,结合研究区综合评分与单井产能的对应关系,建立本研究区储层分类评价方案,如表 1 所示。

表 1 研究区储层综合评价指标分类方案表

Tab. 1 The classification scheme of comprehensive evaluation indices for reservoirs in study area

项目 分类	综合评价范围(REI)	评价
I	$0.6 \leq REI < 1$	好
II	$0.4 \leq REI < 0.6$	中
III	$0 \leq REI < 0.4$	差

2 研究区储层分类评价

2.1 评价参数权重系数的确定

参数权重系数第一种取值方法是根据实际地区的地质特征,结合长期在研究区进行火山岩储层研究的大庆油田、吉林油田、东北油气分公司和吉林大学地球科学学院等相关专家的工作经验,与得到的公认经验值类比进行参数评价取值^[6, 15]。另一种方法就是运用相关分析或粗集理论等方法计算权重^[16-17]。本研究应用前一种方法确定各项参数的权重系数。

岩性:岩性和岩相直接决定了火山岩储层的“先天优势”。松南气田以酸性熔岩及火山碎屑岩为主^[18]。依据研究区物性测试和产能数据,不同岩性的储集性能由好到差依次为气孔流纹岩>球粒流纹岩>流纹构造流纹岩、凝灰熔岩、英安岩、角砾熔岩>凝灰岩、角砾凝灰岩>块状流纹岩、沉凝灰岩。因此,岩性作为反映火山岩储层优劣的因素之一,取第一权重 0.2,并确定了不同岩性对储层发育的影响程度,给出了其单项评分(表 2)。

表 2 研究区火山岩岩性、岩相、储层类型、火山机构相带参数评分表

Tab. 2 The parameter assignments of volcanic lithology, lithofacies, reservoir type and facies zone of volcanic edifice

岩性	气孔流纹岩	球粒流纹岩	流纹构造流纹岩	凝灰熔岩	英安岩
评分	4	3	2	2	2
岩性	角砾熔岩	凝灰岩/角砾凝灰岩	块状流纹岩	沉凝灰岩	
评分	2	1	0	0	
岩相	上部亚相	火山颈亚相	热碎屑流亚相	中部亚相	空落亚相
评分	4	3	2	2	1
储集类型	孔隙型	孔隙-裂缝型		裂缝型	
评分	2	1		0	
火山岩相带	火山口-近火山口相带	近源相带		远源相带	
评分	3	2		1	

岩相:通过火山岩岩相与孔渗关系的分析,喷溢相上部亚相、爆发相热碎屑流亚相、火山通道相火山颈亚相为松南气田储层发育的有利岩相带,将其作为第一权重,取权重系数值为 0.2,其单项评分见表 2。

有利岩相厚度:有利岩相的厚度直接决定了储层的厚度,故将其作为第一权重系数,取权重值为 0.2。

孔隙度:孔隙度是反映火山岩储集性能的重要参数,松南气田火山岩的孔隙度和渗透率呈线性关系,孔

隙度增高往往渗透率亦增大,并且高孔隙度层往往对应高产气层,故将其列为第一权重,取值0.2。

渗透率:火山岩渗透率与孔隙度具有较强的相关性,并且通过压裂可以改善火山岩储层的渗透率,故将其列为第二权重,取权重系数0.1。

储层类型:松南气田火山岩储层可以分为孔隙型、孔隙-裂缝型、裂缝型。其中裂缝型储层的孔、渗测试结果可能很高,但其只是局部性质,其储集性能和储层稳定性要远远低于孔隙型储层。在储层分类评价中可以将储层类型参数作为参考,故将其列为第三权重,取权重值0.05,其单项评分见表2。

火山机构相带:松南气田火山岩储层发育程度受相带控制,储层由中心相带向远源相带变差,可将其作为储层分类评价中的参考,列为第三权重,取权重值为0.05,其单项评分见表2。

2.2 有利参数值、不利参数值的确定

依据研究区内7口探井和开发井营城组旋回三火山岩储层特征,确定研究区7项评价参数的有利参数值(G)、不利参数值(P),如表3所示。

2.3 计算单项得分、综合评价指标值(REI)与单井储层评价

由于单井中一个火山旋回内包含有多种岩性、岩相,而有利岩相厚度、储层类型和火山机构等也存在差异,故在计算单项得分时应取其加权平均参数值。在计算单项得分时,因所选择的储层评价参数值越大储层性能越好,故使用式(1)。

表3 研究区评价参数有利参数值、不利参数值表

Tab. 3 The favorable parameter values (G) and unfavorable parameter values(P) for evaluation parameters

参数	岩性		岩相		孔隙度/%		渗透率/ ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)		储集类型	
	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
参数值	4	0	4	0	8	0	0.5	0	2	0
有利岩相厚度/m										
参数	热碎屑流 亚相厚度		上部 亚相厚度		火山颈 亚相厚度		火山机构 相带			
	G	P	G	P	G	P	G	P		
参数值	120.75	0	71.57	0	6.50	0	3	0		

表4 研究区旋回三储层综合评价分数表

Tab. 4 The comprehensive evaluation scores for third cycle of reservoirs

井号	岩性得分	岩相得分	有利岩相 厚度得分	孔隙度得分	渗透率得分	储层类型得分	火山机构 相带得分	综合得分 REI	类别
YS1	0.141	0.085	0.086	0.165	0.100	0.021	0.050	0.647	I
YS101	0.083	0.083	0.094	0.200	0.100	0.021	0.050	0.631	I
YS102	0.082	0.062	0.029	0.153	0.033	0.015	0.033	0.407	II
YP1	0.136	0.151	0.104	0.200	0.100	0.038	0.050	0.779	I
YP3	0.122	0.135	0.172	0.200	0.100	0.034	0.050	0.813	I
YP4dy	0.084	0.074	0.093	0.130	0.070	0.016	0.033	0.500	II
YP7	0.150	0.158	0.089	0.102	0.020	0.039	0.033	0.592	II

计算单项参数得分,再利用式(2),计算综合评价指标值(REI),结果如表4所示。研究区7口钻井揭示的营城组火山岩旋回三均为I类和II类储层,其中YS1、YS101、YP1和YP3四口井的旋回三火山岩为I类(好)储层,而YS102、YP4dy和YP7三口井的旋回三火山岩为II类(中)储层,评价结果与钻井产能相符。

3 营城组火山岩旋回三储层分布与预测

依据研究区钻井营城组旋回三火山岩储层评价结果,结合研究区火山岩岩性、岩相和火山机构的分布特征,进行了松南气田营城组旋回三火山岩储层平面分布预测(图2)。

3.1 旋回三 I 类储层分布

北部区块I类储层发育面积为1.76 km²,主要岩相为喷溢相上部亚相及其组合,岩性以气孔流纹岩为主,

是下一步勘探的重点区块。中部区块 I 类储层发育面积为 9.88 km², 受 YS1、YS101、YP1 和 YP3 等井控制, 主要岩相为喷溢相上部亚相及其组合, 发育两个火山机构, 以火山口-近火山口相带和近源相带为主, 岩性主要以气孔流纹岩和流纹构造流纹岩为主, 是下一步开发的重点区块。

3.2 旋回三 II 类储层分布

II 类储层主要发育在南部, 北部相对发育较少, 主要以喷溢相中下部亚相及爆发相热碎屑流亚相为主, 岩性主要有流纹构造流纹岩和流纹质凝灰岩, 其次是气孔流纹岩, 有少量流纹质晶屑凝灰熔岩, YP7 井位于此区域, 是下一步勘探的潜力区块。

3.3 旋回三 III 类储层分布

III 类储层主要发育在西北部, 以喷溢相下部亚相为主, 也发育少量中上部亚相, 岩性以流纹质凝灰岩和流纹质晶屑凝灰熔岩为主。

总体上, 旋回三火山岩储层物性较好, 与旋回三主要发育大型熔岩火山机构有关。最有利的储集区带分别位于 YS1、YS101、YP1 和 YP3 等井附近。

4 结论

1) 依据松南气田火山岩储层的地质特征, 建立了研究区火山岩储层综合分类评价方法, 并选取火山岩储层评价的 7 个关键参数, 进行了单井储层分类评价, 结果与研究区实际开发情况吻合。

2) 以单井评价为基础, 在火山岩岩相和火山机构控制下进行了研究区营城组旋回三火山岩储层预测。结果表明, 研究区营城组旋回三 I 类储层分布面积较大, 主要分布在火山机构的中心相带, 是研究区下一步勘探与开发的重点地区。

参考文献:

[1] 李冬梅, 陈福利, 李建芳, 等. 常规测井火山岩储层评价新方法[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2010, 12(1): 56-59.
LI Dongmei, CHEN Fuli, LI Jianfang, et al. Conventional logging evaluation new method of volcanic rocks reservoir recognition[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Sciences Edition, 2010, 12(1): 56-59.
[2] 潘宝芝, 李舟波, 付有升, 等. 测井资料在松辽盆地火成岩岩性识别和储层评价中的应用[J]. 石油物探, 2009, 48(1): 48-52, 56.

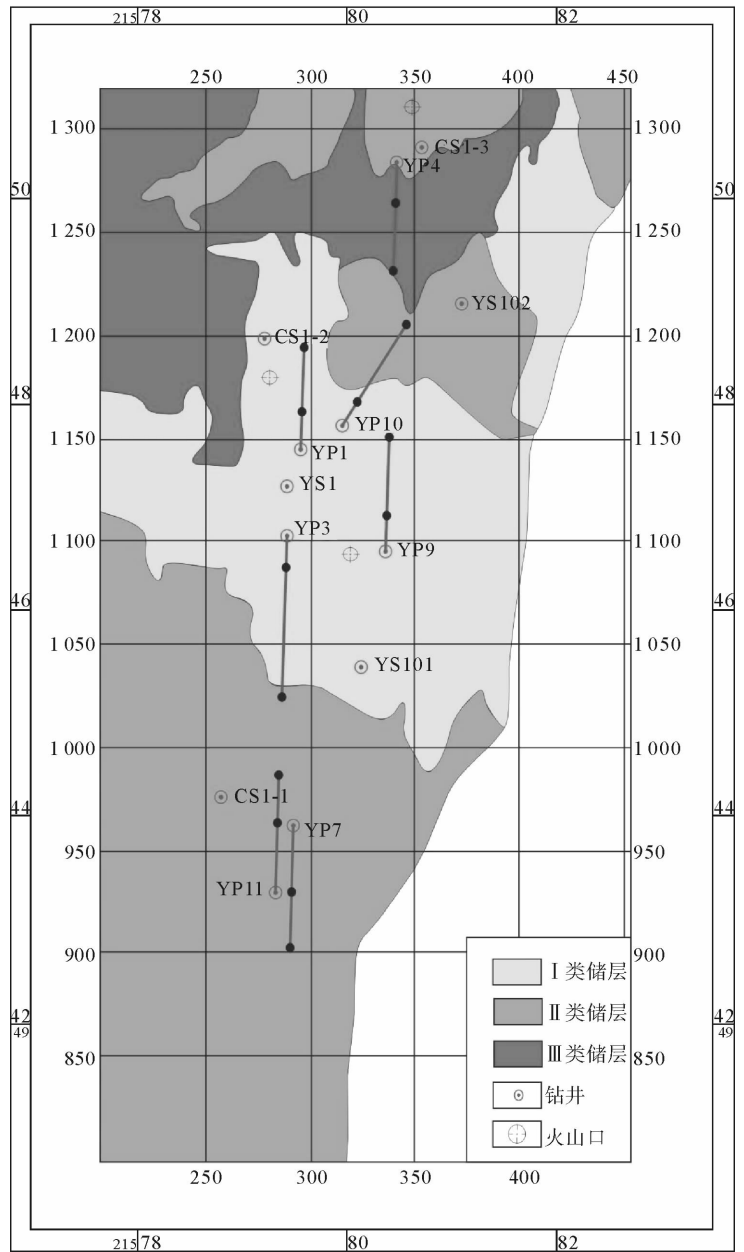


图 2 松辽盆地南部松南气田旋回三储层分类评价预测图
Fig. 2 The classification evaluation prediction of third cycle reservoirs in Songnan gas field in the southern Songliao basin

- PAN Baozhi, LI Zhoubo, FU Yousheng, et al. Application of logging data in lithology identification and reservoir evaluation of igneous rock in Songliao basin[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2009, 48(1): 48-52, 56.
- [3] 冯翠菊, 王敬岩, 冯庆付. 利用测井资料识别火成岩岩性的方法[J]. *大庆石油学院学报*, 2004, 28(4): 9-11.
FENG Cuiju, WANG Jingyan, FENG Qingfu. Distinguishing igneous rock lithology by logging data[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2004, 28(4): 9-11.
- [4] 张谊平. 综合录井钻时参数在火山岩储层评价中的应用[J]. *大庆石油地质与开发*, 2005, 24(增刊): 29-31.
ZHANG Yiping. Application of drilling time parameters of comprehensive logging in evaluation of volcanic rock reservoir [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2005, 24(S): 29-31.
- [5] 王树平, 杨光大, 苗志, 等. 松辽盆地南部深层火山岩识别描述方法研究及应用[J]. *中国石油勘探*, 2009, 13(4): 61-65.
WANG Shuping, YANG Guangda, MIAO Zhi, et al. Method research and application to identify and describe deep volcanic rocks in southern Songliao basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2009, 13(4): 61-65.
- [6] 王璞珺, 冯志强, 刘万珠, 等. 盆地火山岩: 岩性·岩相·储层·气藏·勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] 单衍胜, 张林炎. 松辽盆地南部长深气田深层火山岩储集层特征及有利区预测[J]. *石油地质与工程*, 2008, 22(5): 33-36, 40.
SHAN Yansheng, ZHANG Linyan. Reservoir characteristics of deep volcanic rocks and prediction of favorable areas in Changshen gas field in the south of Songliao basin[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2008, 22(5): 33-36, 40.
- [8] 周波, 李舟波, 潘宝芝. 火山岩岩性识别方法研究[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2005, 35(3): 394-397.
ZHOU Bo, LI Zhoubo, PAN Baozhi. A study on lithology identification methods for volcanic rocks[J]. *Journal of Jiling University: Earth Science Edition*, 2005, 35(3): 394-397.
- [9] LI G X, WANG Y H, ZHAO J, et al. Petrophysical characterization of a complex volcanic reservoir, Yingcheng group, Daqing, China[J]. *Petrophysics*, 2008, 49(2): 113-129.
- [10] WU W S, XIAO L Z, ZHANG L H. Neutron and density logging responses to gas reservoir for well-balanced and under-balanced logging: Gas reservoir of sandstone in a western China field[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(2): 201-206.
- [11] 王颖, 宋立斌, 张东, 等. 松辽盆地南部深层火山岩岩性识别和岩相划分[J]. *天然气技术*, 2007, 1(5): 33-35, 94.
WANG Ying, SONG Libin, ZHANG Dong, et al. Lithologic identification and lithofacies division of deep volcanic rock in the south of Songliao basin[J]. *Natural Gas Technology*, 2007, 1(5): 33-35, 94.
- [12] 王彦祺. 松南气田火山岩气藏水平井钻完井关键技术研究[J]. *钻井工艺*, 2009, 32(4): 23-25.
WANG Yanqi. Research on drilling and completion technology of horizontal wells in Songnan volcanic rock gas reservoir [J]. *Drilling & Production Technology*, 2009, 32(4): 23-25.
- [13] 衣健. 松南气田火山机构精细解剖及火山机构对储层的控制作用[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [14] 赵澄林, 杨丛笑, 周劲松, 等. 单井碎屑岩储层评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [15] 王璞珺, 陈树民, 刘万珠, 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.
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.
- [16] 赵澄林, 胡爱海, 陈碧玉, 等. 油气储层评价方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [17] 王琳. 松辽盆地敖包塔油田南部葡363-茂405区块油藏地质特征研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [18] 陈国利. 松辽盆地南部天然气的分布特征[J]. *新疆石油地质*, 2003, 24(6): 520-522.
CHEN Guoli. Distribution of natural gas in southern Songliao basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2003, 24(6): 520-522.