文章编号:1673-5005(2017)03-0031-11

# 准噶尔盆地 PX 地区石炭系火山岩储层储量参数研究

汪 勇<sup>1,2</sup>,杨少春<sup>1</sup>,樊爱萍<sup>3</sup>,张学才<sup>2</sup>,王 军<sup>2</sup>, 庄文山<sup>2</sup>,曹海防<sup>2</sup>,郑绪刚<sup>2</sup>,朱 勇<sup>2</sup>,马雪团<sup>4</sup>

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院,山东青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田分公司油气勘探管理中心,山东东营 257017;
 3. 山东科技大学地球科学与工程学院,山东青岛 266590; 4. 胜利油田测井公司,山东东营 257017)

摘要:准噶尔盆地车排子地区石炭系火山岩油藏勘探取得重要发现,但针对该区的火山岩储层尚未开展系统的储量 参数研究。综合运用岩心、岩屑、试油、测井和地震资料,采用岩性约束"孔隙-裂缝"双介质模型方法,对准噶尔盆地 PX 井区石炭系火山岩岩性、储集空间及储层储量参数进行分析,并针对不同岩相建立火山岩双介质储层物性参数定 量解释模型,定量计算火山岩储层的物性参数和含油饱和度。结果表明:研究区火山作用形成的岩石主要有凝灰 岩、火山角砾岩、玄武岩和安山岩,可划分为爆发相、溢流相及火山沉积相3种岩相类型;孔隙和裂缝是准噶尔盆地 PX 井区重要的储集空间,测井综合识别裂缝方法适用于火山岩裂缝型储层预测;岩性约束的"孔隙-裂缝"双介质 模型适用于火山岩储层储量参数的优选和储量计算。

关键词:火山岩储层;储量参数;双介质模型;准噶尔盆地;石炭系

中图分类号:TE 122.2 文献标志码:A

**引用格式:**汪勇,杨少春,樊爱萍,等. 准噶尔盆地 PX 地区石炭系火山岩储层储量参数研究[J]. 中国石油大学学报 (自然科学版),2017,41(3):31-41.

WANG Yong, YANG Shaochun, FAN Aiping, et al. Reserves parameters of Carboniferous volcanic rock reservoirs in PX Block, Jungger Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017,41(3):31-41.

## Reserves parameters of Carboniferous volcanic rock reservoirs in PX Block, Jungger Basin

WANG Yong<sup>1,2</sup>, YANG Shaochun<sup>1</sup>, FAN Aiping<sup>3</sup>, ZHANG Xuecai<sup>2</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, ZHUANG Wenshan<sup>2</sup>, CAO Haifang<sup>2</sup>, ZHENG Xugang<sup>2</sup>, ZHU Yong<sup>2</sup>, MA Xuetuan<sup>4</sup>

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Petroleum Exploration Management Center of Shengli Oilfield Company of SINOPEC, Dongying 257017, China;

3. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

4. Well Logging Company of ShengLi Oilfield, Dongying 257017, China)

Abstract: A great deal of oil reservoirs was discovered in the Carboniferous volcanic rocks in the PX block, Jungger Basin. However, systematic researches on reserves parameters of the volcanic rock reservoirs are still very few. Based on analyses of cores, rock fragments, oil testing, well loggings and seismic data, the present contribution of the lithology, reservoir space and reserves parameters of the Carboniferous volcanic reservoirs were studied by using a 'lithology constraint porosity-fissure two-medium model '. A two-medium model of quantitative interpretation of volcanic rocks was constructed according to different types of volcanic rocks, and the physical parameters and oiliness of volcanic rock reservoirs were quantitative calculated. The results show: the volcanic eruption gemerated rocks in this area include tuffs, volcanic breccias, basalt and andesite; volcanic lithofacies is divided into 3 types of eruption facies, overflow facies and volcanic sedimentary facies; pores and fissures are important reserve space in the PX Block, Jungger Basin; method of fissure identifying based on multiple loggings is

收稿日期:2016-06-16

基金项目:"十三五"国家重大科技专项(2017ZX05009-001)

作者简介:汪勇(1979-),男,高级工程师,博士研究生,研究方向为油气资源勘探理论、方法和技术。E-mail:420260511@ qq. com。

available for forecasting of fissured volcanic rock reservoirs; and the lithology constrained two-medium model is suitable for preference of reserves parameters and reserves calculation of volcanic rock reservoirs.

Keywords: volcanic rock reservoirs; reserves parameters; two-medium model; Jungger Basin; Carboniferous

火成岩油气藏已成为油气田勘探开发的重要领 域之一<sup>[1-2]</sup>,准噶尔盆地车排子凸起石炭系发现了一 批火成岩油藏<sup>[3-5]</sup>,表明该区具有巨大的勘探潜力。 前人针对该区的研究多侧重于火成岩油气储层特 征、油气成藏条件与成藏主控因素<sup>[6-9]</sup>,尚无针对该 区火山岩储层系统的储量参数研究。储量是指导油 气田开发方案和确定投资规模的重要依据,但火山 岩油藏的复杂性增加了储量计算的难度<sup>[10-11]</sup>。笔 者以 PX 井区为例,利用火山岩油藏岩心、岩屑、测 井和地震等资料,识别岩性岩相,划分储量计算单 元;研究裂缝的测井响应和储层"四性关系",求取 关键储量参数,建立该区火山岩的"孔隙-裂缝"双 介质测井解释模型。

### 1 研究区地质概况

PX 井区位于准噶尔盆地西北缘车排子凸起东 北部,构造上属于车排子推覆构造前缘带,东以红车 断裂带与昌吉凹陷相邻(石炭系顶面构造图见图 1)。区内整体为一北西高、南东低的单斜构造,发 育多条断裂,以北西向和北东向为主,有少量近东西 向断裂,形成了断块构造格局<sup>[12-14]</sup>。



Fig. 1 Carboniferous top surface structure of PX well area

研究区地层自下而上发育石炭系、侏罗系、白垩

系、古近系和新近系,目的层石炭系为研究区钻井揭 示的最古老地层,全区广泛分布,与上覆地层呈角度 不整合接触。钻井揭示最大厚度约2000 m(未钻 穿),据地震资料推测厚度大于5000 m。准噶尔盆 地西缘分区的石炭系包括下统太勒古拉组、包古图 组和上统希贝库拉斯组。该区石炭系钻遇地层均为 上统希贝库拉斯组(图2),也是研究的目的层段,总 体为一套陆相—浅海相沉积,主要岩性为厚层的火 山岩、火山沉积岩及少量沉积岩互层。图2为研究 区 X9 井石炭系火山岩剖面相图(其中,RD 为深侧 向电阻率;GR 为自然伽马;RMSL 为微球形数字聚 焦电阻率;AC 为声波时差;DEN 为密度;CNL 为补 偿中子孔隙度)。

### 2 PX 井区油气成藏特征

PX 井区石炭系储层以火山岩为主,发育有火山 熔岩、火山碎屑岩和火山沉积岩。火山熔岩以玄武 岩和安山岩为主,可占全部岩性的 40%;火山碎屑 岩以火山角砾岩和凝灰岩为主,凝灰岩占据主导,可 占全部岩性的 42%;火山沉积岩较少,以凝灰质泥 岩为主。储层储集空间以溶蚀孔、杏仁孔、原生裂缝 和溶蚀缝为主,储层以裂缝-孔隙型储层为主,可占 所有储层厚度的 63%,其次为溶蚀孔洞型和孔隙 型,分别占 23% 和 14%,纯裂缝型储层最少,只在安 山岩中发育,占储层总厚度的 2%。

PX 油田的原油密度为 0.937 8 g/cm<sup>3</sup>,以重质 原油为主要特征。油藏地层压力为 10.68 ~ 12.25 MPa,压力系数为 1.07 ~ 1.08,油层中部温度 36 ~ 41 ℃,地温梯度 2.25 ℃/100 m,为常压低温系统。

区内油气自东南部昌吉凹陷二叠系和侏罗系烃 源岩生成后,通过骨架砂体、不整合和断层进入浅部 石炭系火山岩储层,其中大断层为烃源岩油气垂向 运移通道,派生出的一系列以逆断层为主的次级调 节断层对油气的横向运移起到输导作用;不整合和 骨架砂岩使得油气长距离侧向运移,并最终在石炭 系顶相对高孔渗储层的断块圈闭中成藏,是典型的 远源成藏及新生古储油气组合,组合模式见图 3。 根据石炭系构造、储层特征、试油资料及油水分布特 点,认为本区石炭系各断块具有独立的油水系统,油 藏类型为带底水的断块油藏。





Fig. 2 Sectional phase diagram of Carboniferous volcanic rocks for well X9



图 3 X2 井-X8 井-X14 井剖面油气组合及岩相分布 Fig. 3 Oil and gas combination and lithofacies distribution of X2-X8-X14 well profile

#### 储量计算方法与单元划分 3

#### 3.1 储量计算方法

油气储量计算方法包括类比法、容积法、产量递 减法、统计模拟法等[15],其中容积法在中国油气储 量计算中应用最为广泛,适用于单一裂缝系统油气 藏、断块油气藏和复杂圈闭油气藏<sup>[16]</sup>。根据 PX 井 区强非均质性、断层多、油藏复杂的地质条件和前期 动态资料较少的勘探实际,利用容积法对目的层进 行储量参数计算。容积法计算储量的公式如下:

 $N = 100Ah\varphi(1-S_{wi})\rho_o/B_{oi}$ . (1)式中,N为石油地质储量,10<sup>4</sup> t;A为含油面积,km<sup>2</sup>; h为有效厚度,m; $\varphi$ 为有效孔隙度; $S_w$ 为原始含水饱 和度; $\rho_{o}$ 为地面原油密度,g/cm<sup>3</sup>; $B_{o}$ 为原始原油体 积系数。

#### 3.2 火山岩岩性识别与期次划分

研究区储层岩性较为复杂,不同岩性储渗性能 差别较大,结合岩心和镜下薄片鉴定,以及常规测井 响应特征、测井资料交会图法、Fisher 判别法和微电 阻率成像测井响应等测井资料进行岩性识别。与测 井响应特征相对应,绘制密度-自然伽马(DEN-GR)、地层电阻率-自然伽马(Rt-GR)的交会图,找 出火山岩对应的测井曲线数值范围,对岩性进行识 别,识别结果见图 4。根据测井曲线数值和 DEN- GR、Rt-GR 交会图可较好地区分火山熔岩、火山碎 屑岩和火山沉积岩大类,但对于具体某种岩性的识 别能力相对较差,因此要准确地识别火成岩岩性必 须与其他方法相结合。选取测井参数时选用对岩性 比较敏感的6条曲线(GR、AC、Rt、DEN、CAL(井 径)、CNL),利用 Fisher 判别函数进一步对岩性进行 识别,从而得到各类岩性判别函数:

$$\Phi_{A} = -0.2106R - 0.145\Delta t + 239.384\rho - 0.419R_{t} + 3.816\varphi_{CNL} + 23.113d - 451.200.$$
(2)  
$$\Phi_{V} = -0.085GR + 0.004\Delta t + 236.810\rho - 0.497R_{t} + 3.585\varphi_{CNL} + 26.0d - 431.778.$$
(3)  
$$\Phi_{T} = -0.039GR - 0.077\Delta t + 249.279\rho - 0.464R_{t} + 3.966\varphi_{CNL} + 23.592d - 443.747.$$
(4)

$$3.966\varphi_{\rm CNL} + 23.592d - 443.747.$$
 (4)

 $\Phi_{\rm B} = -0.302 GR - 0.143 \Delta t + 263.745 \rho - 0.525 R_{\rm s} +$ 

$$3.\ 640\varphi_{\rm CNL} + 28.\ 240d - 503.\ 051.$$

式中,  $\Phi_{x}$  为安山岩岩性判别函数;  $\Phi_{y}$  为火山沉积 岩岩性判别函数;  $\Phi_{T}$  为凝灰岩岩性判别函数;  $\Phi_{R}$ 为玄武岩岩性判别函数; GR 为自然伽马, API;  $\Delta t$ 为声波时差, $\mu$ s/m;R,为地层电阻率, $\Omega$ ・m; $\rho$ 为密 度测井值,g/cm<sup>3</sup>;  $\varphi_{CNI}$  为中子孔隙度测井值; d 为 井径值.m。

利用该判别函数对原 196 个样品数据进行自身 检验,对火山熔岩以及火山沉积岩类识别效果达 90%以上,对薄层火山碎屑岩判对率为74.7%,主 要因其对薄层的不均一蚀变的安山岩识别效果差造 成判对率偏低。而微电阻率成像测井图像纵、横向 分辨率高,经过地质刻度,可以较精细地识别岩 性<sup>[17-18]</sup>。由此,将常规测井资料与成像测井资料相结合,对研究区石炭系火山岩岩性进行综合识别,可细分出5种具体类型(图4)。



图 4 研究区火山岩岩性综合识别

Fig. 4 Comprehensive identification of lithology of volcanic rocks in research area

在岩性识别基础上,依据试井、测井和地震等方 面资料综合分析,将 PX 井区石炭系火山岩岩相划 分为爆发相、溢流相及火山沉积相3种类型,自下而 上可细化为3个期次:期次一在研究区的西北及东 南部主要发育爆发相,在研究区的西南部主要发育 溢流相,东北部主要发育火山沉积相;期次二以爆发 相和溢流相的分区分布为特征;期次三以爆发相为 主(图3)。不同期次的火成岩体,因为有不同的油 水系统,并且该区3个期次均获得工业油流,故在 储量计算中将该区火山岩油藏按岩相期次划分为3 个单元进行计算。

#### 3.3 储量计算单元划分

平面上,研究区 PX 断层、PX 南断层、P1-1 断 层、P666 断层和 P633 南断层将油藏分成 X10、X1、 X9 和 X13 4 个计算单元(图 1)。由此,该区按区块 和期次分别进行储量参数的计算。

### 4 火山岩储层有效厚度判定

#### 4.1 火山岩油气储集空间识别

火山岩储层中,裂缝既是储集空间,又是连通储 集空间的通道,裂缝的发育有利于储层的次生改 造,对油气的产出具有决定意义。研究表明,不能简 单地把火成岩裂缝归为构造裂缝<sup>[19-20]</sup>,且构造裂缝 能否构成火成岩有效的储集空间还得具体分析,因 此裂缝识别是有效厚度划分的关键。

4.1.1 常规测井识别

运用声波时差-有效光电吸收截面指数(AC-PE)和自然伽马-深侧向-浅侧向电阻率交会图(GR -(RD-RS))区分玄武岩、凝灰岩和安山岩的裂缝 区。在此基础上,分岩性选择多种测井曲线,明确四 性关系,结果如图 5 所示(图中,SP 为自然电位; RMSL 为微球形数字聚焦电阻率;DTC 为纵波时差; DTS 为横波时差;DTST 为斯通利波时差)。采用贝 叶斯判别法建立了研究区凝灰岩、安山岩和玄武岩 中裂缝和非裂缝的判别公式<sup>[21-22]</sup>。

4.1.2 成像测井识别

常规测井对裂缝是一个综合响应,不能分辨裂缝的产状和形态,且常规测井资料主要反映高导缝的发育情况,而高阻缝在常规测井上没有明显的反映。

成像测井资料井壁覆盖面积大(可达井壁 80%),纵向分辨率高,因此可以利用地层微电阻率 扫描成像(FMI)成像测井资料确定裂缝(图5),并 定量计算裂缝倾向和倾角,判断天然有效裂缝发育 状况及诱导缝的产生程度<sup>[23]</sup>。成像测井解释数据 表明,研究区裂缝以斜交缝为主,倾角在 30°~70° 的裂缝占 79.45%, 倾角大于 70°的裂缝占 11.1%,

而倾角小于 30°的裂缝占 9.45%。



图 5 X5 井四性关系图 Fig. 5 Four characters of well X5

#### 4.1.3 核磁共振测井识别

核磁共振测井直接反映岩石孔隙中的流体,测量结果几乎不受岩石骨架矿物的影响<sup>[24-26]</sup>,尤其是火山岩不含铁磁物质时,核磁共振测井信号不受影响,因而能够有效地反映火山岩的孔隙结构<sup>[27]</sup>。结合研究区石炭系核磁测井资料与岩心观察、常规和成像测井资料进行储集空间类型研究,结果表明本区块裂缝--孔隙型 *T*<sub>2</sub>(横向弛豫时间)特征值基本在20 ms 以上(图 6)。

#### 4.2 有效厚度判定标准与计算结果

PX 区块多数井为大段试油,通过试油段内的岩 心、岩屑油气显示结果与测井数据相标定,识别出岩 性、物性、电性、含油性"四性"关系(图 5),划定四 性标准,在此基础上划分有效厚度。对于复杂的火 成岩油藏,通过细分岩性建立油水干层的识别标准。 研究区分岩性识别油、水、干层效果差,因此依据试 油、测井解释和油田开发实际,分区块做油层、干层、 水层的电性与含油饱和度的交会图,最终优选出了 深侧向电阻率、声波时差和岩石密度3项参数,作为 常规测井评价储层含油性的敏感参数(图 7)。FMI 成像测井图上显示储层溶蚀孔洞或裂缝十分发育, 而裂缝对斯通利波的影响受流体在裂缝中流动影





响,因此斯通利波识别的仅仅是开口裂缝,通过微电 阻率扫描成像测井与多极子声波测井相配合,可以 有效地识别排除诱导缝及充填缝。图5中第一道为 多极子声波测井,有效储层的纵波、横波和斯通利波 时差都有明显增大的趋势,由此可对有效储层进行 合理的筛选。 稠油层和水层在核磁测井的差谱和移谱信息响 应上有差别。PX 井区油质较稠,在差谱信息上,稠 油在1s内基本上已完全极化,无或有弱的差谱信 号显示,而水层在1s的短等待时间内,大孔径中的 水信号没有完全极化,有明显的差谱信号显示;从移 谱测井看,当可动流体是油时,长回波间隔的 T<sub>2</sub> 谱 比短回波间隔的 T<sub>2</sub> 谱短,可动峰前移,相差2~4倍, 无论水层还是稠油储层,其 T<sub>2</sub> 谱右边界均表现为前 移趋势,但稠油层 T<sub>2</sub>峰值前移程度要远低于水。

综合以上多项测试技术,建立 PX 井区石炭系

火山岩储层有效厚度划分标准:岩心显示含油性在 油斑以上;录井资料显示含油性在荧光以上;常规测 井曲线上主要表现为低电阻率、高声波时差的特点; FMI 成像测井图上显示裂缝或溶蚀孔洞发育;核磁 测井上,油层 T<sub>2</sub> 谱分布范围比水层要窄,谱峰幅度 明显大于干层,无或弱的差谱信号显示,移谱上 T<sub>2</sub> 谱的右边界表现为前移趋势;多极子声波测井资料 显示纵波、横波和斯通利波能量均有较大程度的衰 减,相对于无效储层表现为3种时差的增大。



图 7 X8区块和 X5区块测井评价与储层含油性参数分布



根据确定的有效储层,结合岩性厚度分布趋势 和含油面积分布,采用内插法编制有效厚度平面图, 最后利用面积加权平均,确定各期次和各油区块的 有效厚度(表1)。

表1 PX 区块储层物性参数

Table 1 Reservoir physical properties in PX area

期次	油区块	有效厚度/ m	有效孔隙度/ %	含油饱和度/ %
3	X8	14.34	0.099	0. 522
	X5	13.25	0.152	0.589
	X9	6.27	0.063	0.486
	X13	6.20	0.107	0.472
2	X8	19.77	0.081	0. 551
	X5	18.81	0.169	0.508
	X9	40.75	0.065	0.474
1	X9	4.95	0.032	0.457

### 5 采用双介质模型优选储量参数

从储集空间结构入手,提出了针对研究区的岩 性约束的"孔隙、裂缝"双介质模型优选储量参数, 综合岩心分析、成像测井解释实现了火山岩孔隙度 和含油饱和度的定量计算。

#### 5.1 有效孔隙度的求取

油层有效孔隙度的确定以实验室直接测定的岩

心分析数据为基础,对于未取岩心的井采用测井数 据求取有效孔隙度,并与岩心分析数据对比,以提高 其精度。密度、中子测井预测的为储层总孔隙度,由 于双侧向预测裂缝孔隙具有局限性,所以要运用地 层微电阻率成像测井资料确定裂缝孔隙度,总孔隙 度减去裂缝孔隙度即为基质孔隙度。

5.1.1 总孔隙度解释模型

由于研究区储层基本不含气,在凝灰岩和安山 岩段,密度、中子孔隙度可以近似反映总孔隙度,采 用密度、中子孔隙度综合回归建立总孔隙度模型;在 玄武岩段中子孔隙度可以近似反映总孔隙度,利用 中子孔隙度建立玄武岩总孔隙度模型;在火山角砾 岩段,声波孔隙度近似反映总孔隙度,利用声波孔隙 度建立火山角砾岩总孔隙度模型。

凝灰岩:

- $\varphi_{t} = 0.2039\varphi_{CNL} 20.3108\rho + 55.1979, R = 0.85.$  (6) 安山岩:
- *φ*<sub>1</sub>=0.3418*φ*<sub>CNL</sub>-22.2259*ρ*+60.4202,*R*=0.92.(7) 玄武岩:

$$\varphi_{t} = 0.237 \varphi_{CNL} + 5.0125, R = 0.9511.$$
 (8)  
火山角砾岩:

$$\varphi_1 = 0.773 \, 1\Delta t - 39.204 \, R = 0.98.$$
 (9)

式中, $\varphi_1$ 为总孔隙度。

利用上述方法,对车排子地区 X3 井石炭系安 山岩地层孔隙度进行计算,计算结果与岩心实验孔 隙度(图 8)相比相对误差达 5%,相关系数达 0.94, 两者匹配良好,计算精度满足地质储量计算需要。



5.1.2 裂缝孔隙度解释模型

双侧向计算裂缝孔隙度的模型只适用于特低孔 或致密地层,且不同模型计算的裂缝孔隙度的绝对 值大小存在显著的差别<sup>[28]</sup>,可利用地层微电阻率成 像测井资料求取裂缝孔隙度<sup>[29]</sup>。研究区储量计算 单元内7口井都有成像测井,裂缝孔隙度 *φ*fa采用成 像测井解释结果,计算公式为

$$\varphi_{\rm fz} = \frac{\sum l_{\rm i} w_{\rm i}}{2\pi r C H}.$$
 (10)

式中,*L<sub>i</sub>*为某一深度段内第*i*条裂缝的长度,mm;*w<sub>i</sub>*为第*i*条裂缝的宽度,mm;*r*为井眼半径,m;*C*为FMI 井眼覆盖率,其数值随井眼半径的增大而减小;*H*为评价井段长度,m。

5.1.3 基质孔隙度

总孔隙度与裂缝孔隙度之差即为基质孔隙度,

 $\varphi_{\rm B} = \varphi_{\rm t} - \varphi_{\rm fz}.$  (11) 式中, $\varphi_{\rm R}$ 为基质孔隙度。

研究认为当储层测井综合解释结果为油层或油 水同层时,储层孔隙度才为有效孔隙度,而解释结果 为干层、水层或含油水层时,储层孔隙度不计入有效 孔隙度统计中。根据测井解释的有效层平均孔隙度 分期次、分断块计算出各区块的有效孔隙度值,并将 地面孔隙度校正为地层条件下的孔隙度。

#### 5.2 含油饱和度的计算

含油饱和度可用岩心直接测定、测井资料解释、 毛管压力计算等方法来确定<sup>[30-31]</sup>。根据研究区石 炭系没有密闭取心和岩电实验数据的实际情况,此 次含油饱和度通过测井资料解释求取,考虑到裂缝 发育程度和分布多变给饱和度解释造成很大误差, 通过孔隙度加权平均校正总含油饱和度<sup>[32]</sup>。

5.2.1 基质含油饱和度

建立阿尔奇解释模型计算基质含油饱和度,用 深感应电阻率近似作为基质电阻率 *R*<sub>tb</sub>,而地层水电 阻率 *R*<sub>w</sub>通过查等效 NaCl 矿化度图版获得。

用阿尔奇公式计算基质含水饱和度 S<sub>wb</sub>,其解释 模型为

$$S_{\rm wb} = \sqrt[n]{\frac{abR_{\rm w}}{R_{\rm tb}\varphi_{\rm B}^m}}, \ S_{\rm ob} = 1 - S_{\rm wb}.$$
 (12)

式中, $S_{ob}$ 为基质含油饱和度; $a \ b$ 为常数;m为孔隙 度指数;n为饱和度指数( $a \ b \ m \ n$ 由岩电实验数据 得出)。

表3 不同岩性a、b、m、n 取值

#### Table 3 Values of a, b, m, n of different lithologies

岩性	a	b	m	n
玄武岩	0. 243 4	1.013	1.702	1.509
安山岩	0.9	1.060	2.030	1.940
凝灰岩	0.85	1.870	1.820	1.08

#### 5.2.2 裂缝含油饱和度

火山碎屑岩的裂缝和与之连通的孔隙共同构成 了双重介质中低孔、高渗的部分;玄武岩中大缝和与 之连通的气孔构成了双重介质中低孔、高渗部 分<sup>[33-34]</sup>。根据国内外其他油田的经验,结合研究区 裂缝发育和稠油的特点,确定凝灰岩裂缝含油饱和 度为60%,火山角砾岩裂缝含油饱和度为70%,安 山岩裂缝的含油饱和度为85%。

5.2.3 总含油饱和度

总含油饱和度应等于在总的孔隙体积中油所占 的比例,计算公式如下:

 $S_{ot} = (S_{ob}\varphi_{B} + S_{of}\varphi_{fz})/(\varphi_{B} + \varphi_{fz}).$  (13) 式中,  $S_{ot}$ 为总含油饱和度;  $S_{of}$ 为裂缝含油饱和度。

### 6 储量计算参数效果评价

研究区关键井储层参数误差分析表明,孔隙度 平均绝对误差为0.132%,平均相对误差为5.56%, 所求的孔隙度误差总体上在所要求的误差范围之 内;将计算出的总含油饱和度与相邻同层位油藏 CF3 区块类比进行选值(含油饱和度55.9%),该区 平均选值50.7%和55%,计算结果较为合理,由此 说明建立的双介质孔隙度解释模型是合理、可靠的。 本文中提出的非均质火山岩储集层储量计算方法能 为其他区块火山岩储集层的测井解释提供借鉴,目前该方法已经在新疆准噶尔盆地火山岩储量评价中 开始试用,并且取得了较好的应用效果。

### 7 结 论

(1)本文中储量计算充分利用火成岩油气藏的 各种静、动态资料,在测井参数解释结果的基础上, 基于研究区的岩性约束的"孔隙-裂缝"双介质模型 方法优选储量参数,实现了火山岩孔隙度和含油饱 和度的定量计算,通过储量计算效果评价发现计算 结果符合地质规律,表明该方法适用于火山岩裂缝 型储层预测和储层参数定量评价。

(2)研究区火山作用形成的岩石主要有凝灰 岩、火山角砾岩、玄武岩和安山岩;可划分为爆发相、 溢流相及火山沉积相3种岩相类型;储集空间包括 孔隙和裂缝;基质和裂缝的孔隙度平均绝对误差为 0.132%,平均相对误差为5.56%,总体上在所要求 的误差范围之内。

#### 参考文献:

- [1] 肖尚斌,姜在兴,操应长,等.火成岩油气藏分类初探
  [J].石油实验地质,1999,21(4):324-327.
  XIAO Shangbin,JIANG Zaixing,CAO Yingchang, et al. A preliminary approach to the classification of oil and gas reservoirs in igneous rocks[J]. Experimental Petroleum
- [2] 李军,张军华,韩双,等.火成岩储层勘探现状、基本特 征及预测技术综述[J].石油地球物理勘探,2015,50 (2):382-392.

Geology, 1999, 21(4): 324-327.

LI Jun, ZHANG Junhua, HAN Shuang, et al. A review: exploration status, basic characteristics and prediction approaches of igneous rock reservoir [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2015,50(2):382-392.

 [3] 张枝焕,刘洪军,李伟,等. 准噶尔盆地车排子地区稠 油成因及成藏过程[J]. 地球科学与环境学报,2014, 36(2):18-32.

> ZHANG Zhihuan, LIU Hongjun, LI Wei, et al. Origin and accumulation process of heavy oil in Chepaizi area of Junggar Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2014,36(2):18-32.

[4] 董大伟,李理,王晓蕾,等. 准噶尔盆地西缘车排子凸 起构造演化及断层形成机制[J]. 吉林大学学报(地 球科学版),2015,45(4):1132-1141.

> DONG Dawei, LI Li, WANG Xiaolei, et al. Structural evolution and dislocation mechanism of Western Margin Chepaizi Uplift of Junggar Basin[J]. Journal of Jilin Uni

versity (Earth Science Edition), 2015, 45 (4): 1132-1141.

- [5] 陈萍,张玲,王惠民. 准噶尔盆地油气储量增长趋势与 潜力分析[J]. 石油实验地质,2015,37(1):124-128.
  CHEN Ping, ZHANG Ling, WANG Huimin. Reserves growth trend and potential analysis of Junggar Basin[J].
  Petroleum Geology and Experiment, 2015, 37(1):124-128.
- [6] 洪太元,王离迟,孟闲龙,等. 准噶尔盆地西缘车排子 地区油气成藏的主控因素[J]. 新疆地质,2007,25 (4):389-393.
  HONG Taiyuan, WANG Lichi, MENG Xianlong, et al. The main control factors of the oil and gas accumulation in the Chepaizi area of the western Junggar Basin[J]. Xin-

jiang Geology,2007,25(4):389-393.

- [7] 支东明,贾春明,姚卫江,等. 准噶尔盆地车排子地区火山岩油气成藏主控因素[J]. 石油天然气学报, 2010,32(2):166-169,404.
  ZHI Dongming, JIA Chunming, YAO Weijiang, et al. The major control factors of volcanic reservoir forming law in Chepaizi area of Junggar Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010,32(2):166-169,404.
- [8] 张枝焕,李伟,孟闲龙,等.准噶尔盆地车排子隆起西 南部原油地球化学特征及油源分析[J].现代地质, 2007,21(1):133-140.

ZHANG Zhihuan, LI Wei, MENG Xianlong, et al. Petroleum geochemistry and oil source analysis in the southwest of Chepaizi Uplift, Junggar Basin[J]. Geoscience, 2007,21(1):133-140.

[9] 苗春欣,傅爱兵,关丽,等. 车排子地区火山岩储集空间发育特征及有利区带预测[J]. 油气地质与采收率,2015,22(6):27-31.
 MIAO Chunxin, FU Aibing, GUAN Li, et al. Reservoir

space characteristics and favorable area prediction of volcanic rocks in Chepaizi area, Junggar Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015,22(6):27-31.

[10] 张玲,史建忠,游秀玲. 缝洞型潜山油藏储量计算方法研究[J]. 石油大学学报(自然科学版),2005,29
 (6):11-15.

ZHANG Ling, SHI Jianzhong, YOU Xiuling. Studies on reserve calculation method for fractured-vuggy reservoir of buried hill[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science), 2005,29(6): 11-15.

[11] 张玲,王志强,张丽艳,等.火成岩油气藏储量计算有
 关问题探讨[J].石油与天然气地质,2009,30(2):
 223-229.

ZHANG Ling, WANG Zhiqiang, ZHANG Liyan, et al. A discussion on certain issues concerning reserve calculation of igneous reservoirs [J]. Oil and Gas Geology, 2009,30(2):223-229.

 [12] 胡宗全. 淮噶尔盆地西北缘车排子地区油气成藏模 式[J]. 断块油气田, 2004,11(1):12-15.
 HU Zongquan. Hydrocarbon reservoir formation model of Chepaizi area in northwest edge of Junggar Basin[J].

Fault-Block Oil and Gas Field, 2004,11(1):12-15. 陶国亮,胡文瑄,张义杰,等. 准噶尔盆地西北缘北西

 [13] 陶国亮,胡文瑄,张义杰,等. 准噶尔盆地西北缘北西 向横断裂与油气成藏[J]. 石油学报,2006,27 (4): 23-28.

> TAO Guoliang, HU Wenxuan, ZHANG Yijie, et al. NW-trending transverse faults and hydrocarbon accumulation in the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006,27(4):23-28.

[14] 冯玉辉,于小健,黄玉龙,等. 辽河盆地新生界火山喷 发旋回和期次及其油气地质意义[J]. 中国石油大学 学报(自然科学版),2015,39(5):50-57.

FENG Yuhui, YU Xiaojian, HUANG Yulong, et al. Eruption cycles and stages of Cenozoic volcanic rocks and their significance to hydrocarbon accumulations in Liaohe Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(5):50-57.

- [15] 陈元千,郝明强,李飞.油气资源量评估方法的对比 与评论[J].断块油气藏,2013,20(4):447-453.
  CHEN Yuanqian, HAO Mingqiang, LI Fei. Comparison and review of estimating methods of oil and gas resources
  [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2013,20(4):447-453.
- [16] 杨通佑,范尚炯.石油及天然气储量计算方法[M]. 北京:石油工业出版社,1998:32-56.
- [17] 许风光,邓少贵,范宜仁,等.火成岩储层测井评价进展综述[J]. 勘探地球物理进展,2006,29(4):239-243.

XU Fengguang, DENG Shaogui, FAN Yiren, et al. Progress of log evaluation for igneous reservoir [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2006, 29(4):239-243.

- [18] 李宁,乔德新,李庆峰,等.火山岩测井解释理论与应用[J].石油勘探与开发,2009,36(6):683-692.
  LI Ning, QIAO Dexin, LI Qingfeng, et al. Theory on logging interpretation of igneous rocks and its application [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(6):683-692.
- [19] 周自立.山东车镇凹陷义北油田中生代煌斑岩侵入 体油藏孔隙研究[J].石油与天然气地质,1987,8
   (2):145-152.
   ZHOU Zili Study on the reservoir porosity in Mesozoic

ZHOU Zili. Study on the reservoir porosity in Mesozoic

Lamprophyric intrusive body, Yibei oil field [J]. Oil and Gas Geology, 1987, 8(2):145-152.

[20] 王志欣,赵澄林.阿北油田火山岩岩相及其储集性能 [J].石油大学学报(自然科学版),1991,15(3):15-21.

> WANG Zhixin, ZHAO Chenglin. Volcanic lithofacies and their petrophysical properties in Abei oil feld [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1991, 15(3):15-21.

[21] 刘华,蒋有录,叶涛,等.沾化凹陷渤南洼陷超压裂缝的测井响应特征与预测[J].中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(6):50-56.

LIU Hua, JIANG Youlu, YE Tao, et al. Logging response of overpressure fractures and their prediction in Bonan sag, Zhanhua depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39 (6):50-56.

[22] 邹友龙,谢然红,郭江峰,等. 致密储层数字岩心重构 及核磁共振响应模拟[J]. 中国石油大学学报(自然 科学版),2015,39(6):63-71.
ZOU Youlong,XIE Ranhong,GUO Jiangfeng, et al. Reconstruction of digital core of tight reservoir and simula-

tion of NMR response[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2015, 39(6): 63-71.

- [23] 邓攀,陈孟晋,高哲荣,等.火山岩储层构造裂缝的测 并识别及解释[J].石油学报,2002,23(6):32-36.
  DENG Pan, CHEN Mengjin, GAO Zherong, et al. Log response and explanation of structural fractures in volcanic rock reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002,23 (6):32-36.
- [24] 赵文杰,谭茂金,宋相辉,等. 胜利油田核磁共振测井 技术应用、回顾与展望[J]. 地球物理学进展,2008, 23(3):814-821.

ZHAO Wenjie, TAN Maojin, SONG Xianghui, et al. Review and prospect on NMR logging application in Shengli Oilfield [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23 (3):814-821.

[25] 刘卫,肖忠祥,杨思玉,等.利用核磁共振(NMR)测 并资料评价储层孔隙结构方法的对比研究[J].石油 地球物理勘探,2009,44(6):773-778.

> LIU Wei, XIAO Zhongxiang, YANG Siyu, et al. Comparative studies on methods of evaluation of reservoir pore structure by using NMR (nuclear magnetic resonance) well logging data [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009,44(6):773-778.

[26] 司马立强,赵辉,戴诗华.核磁共振测井在火成岩地 层应用的适应性分析[J].地球物理学进展,2012,27 SIMA Liqiang, ZHAO Hui, DAI Shihua. Analysis of adaptability of application of NMR logging in igneous rock reservoirs[J]. Progress in Geophys, 2012, 27(1):145-152.

- [27] 毛克宇. 2015. 火成岩核磁共振数值模拟与影响因素 分析[J]. 地球物理学进展,2015,30(4):1755-1762.
  MAO Keyu. Analysis on influence factors based on NMR simulation in igneous rocks[J]. Progress in Geophysics, 2015,30(4):1755-1762.
- [28] 谭宁川. 苏里格气田苏 10 区块储能与产量评价[D]. 青岛:中国石油大学,2008.

TAN Ningchuan. The reserves and deliverability evalution of Su 10 block of Sulige gas field [D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2008.

- [29] 李会军,张文才,朱雷.苏里格气田优质储层控制因素[J].天然气工业,2007,27(12):16-18.
  LI Huijun, ZANG Wencai, ZHU Lei. Factors controlling reservoirs with high quality in giant Sulige gas field [J]. Nature Gas Industry,2007,27(12):16-18.
- [30] 赵辉,石新,司马立强. 裂缝性储层孔隙指数、饱和度 及裂缝孔隙度计算研究[J]. 地球物理学进展,2012, 27(6):2639-2645.

ZHAO Hui, SHI Xin, SIMA Liqiang. Study on porosity exponent, saturation and fractureporosity for fractured reservoirs[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(6): 2639-2645.

[31] 张莹,潘保芝. 基于 FMI 的 3 种火山岩储层裂缝孔隙 度求取方法[J].测井技术,2012,36(4):365-369. ZHANG Ying, PAN Baozhi. On three calculation methods of volcanic reservoir fracture porosity based on FMI data[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(4):365-369.

[32] 刘惠民,张鹏飞,宋国奇,等. 鲁西地区太古界裂缝类
 型与发育规律[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(5): 34-40.
 LIU Huimin, ZHANG Pengfei, SONG Guoqi, et al.

Fracture types and distribution of Archaean rocks in west Shandong, China[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2014, 38(5): 34-40.

[33] 高兴军,冉启全,肖毓祥,等.火成岩双重介质油藏测 井参数评价技术[J].特种油气藏,2006,13(1):32-35,104.

> GAO Xingjun, RAN Qiquan, XIAO Yuxiang, et al. Logging interpretation technique for double media reservoir of igneous rock [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2006, 13(1):32-35,104.

[34] 张奎华,林会喜,张关龙,等.哈山构造带火山岩储层 发育特征及控制因素[J].中国石油大学学报(自然 科学版),2015,39(2):16-22.

> ZHANG Kuihua, LIN Huixi, ZHANG Guanlong, et al. Characteristics and controlling factors of volcanic reservoirs of Halaalate mountains tectonic belt[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(2):16-22.

> > (编辑 修荣荣)

<sup>(1):145-152.</sup>