

火成岩储层物性参数模型及油层判识

——以准噶尔盆地车排子凸起石炭系为例

朱勇¹,余一欣²,王双³,汪勇¹

[1. 中国石化胜利油田分公司油气勘探管理中心,山东东营257000; 2. 中国石油大学(北京),北京102249; 3. 中国石化胜利油田分公司现河采油厂,山东东营257000]

摘要:准噶尔盆地车排子凸起石炭系发育火成岩油藏,但其储层岩性和物性特征十分复杂。运用岩性鉴定、岩心实测、成像测井、常规测井和试油测试等资料,总结出该区石炭系火成岩孔隙-裂缝储集空间组合特点与规律,即总孔隙度为基质孔隙度和裂缝孔隙度之和,总渗透率为基质渗透率和裂缝渗透率之和,对于裂缝不发育的储层总渗透率近似为基质渗透率。以岩心实测为约束,运用三孔隙度曲线多元回归和FMI成像测井识别有效裂缝等方法,分别建立了基质、裂缝和总体的储层参数测井解释模型。与实测储层物性对比验证,模型合理,为车排子凸起火成岩储层物性评价提供新手段,对其它地区火成岩油藏储层评价提供了借鉴。以储层参数测井解释模型为基础,结合多项钻井、录井和试油资料,建立了车排子地区石炭系火成岩油藏油层判识标准。

关键词:储层物性参数;测井解释模型;油层判识;火成岩;车排子凸起;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Investigation of igneous rock reservoir petrophysical parameter model and oil reservoir identification standard: A case study on the Carboniferous samples of the Chepaizi Uplift in the Junggar Basin

Zhu Yong¹, Yu Yixin², Wang Shuang³, Wang Yong¹

[1. Oil and Gas Exploration Management Centre, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China; 2. China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Xianhe Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China]

Abstract: Igneous rock oil reservoir distributed in the Carboniferous system of Chepaizi uplift in the Junggar Basin, but its reservoir lithology and petrophysical characteristics is very complex. Firstly, taking method of petrology, lithology identification, core measurement, oil testing, imaging and conventional logging, the pore and fracture characteristics of the igneous rock reservoir were summarized. The total petrophysical property is the matrix porosity, permeability and porosity. The total permeability of the reservoir is contributed by both fracture permeability and matrix permeability, while the permeability of un-fractured reservoir roughly equals matrix permeability. Secondly, using tri-porosity curve regression and FMI effective fracture identification with the constraints from core measurement, a model have been established to calculate the physical parameters of matrix, fracture and bulk reservoir of the igneous rock. Data is compared with core measurements. The model is proved to be reasonable and practical when applied to igneous rock reservoir physical property evaluation in the Chepaizi Uplift. This method can also be used to evaluate other areas. At last, based on the model of reservoir physical parameter, together with analysis on drilling, mud logging and oil testing data, a standard for igneous rock oil reservoir diagnose in the Chepaizi Uplift has been established.

Key words: reservoir physical parameter, logging interpretation model, oil reservoir identification, igneous rock, Chepaizi Uplift, Junggar Basin

收稿日期:2017-06-18;修订日期:2017-09-21。

第一作者简介:朱勇(1984—),男,硕士、工程师,油田地质勘探。E-mail: rffjue@163.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05002-002)。

近年来,随着国内常规油气勘探难度增大,火成岩油气藏作为一个重要的勘探领域越来越受到重视。准噶尔盆地西北缘石炭系是火成岩油气富集区,石油地质储量可观^[1-3]。位于该区的车排子凸起已有多口探井在石炭系火成岩段钻遇油气显示,部分探井获得商业油气流,展示了良好的勘探前景。与沉积岩相比,火成岩在岩性、矿物成分、储集空间和储层非均质性上都存在更强的多样性和复杂性^[4]。因此如何定量求取火成岩孔隙度、渗透率等物性参数,如何建立火成岩测井解释模型,如何有效判识火成岩油层,是火成岩油气藏评价中的难点。本次在岩石学、岩心及流体实测、岩电实验基础上,利用岩心物性与三孔隙测井多元回归方法、电成像测井计算有效裂缝方法,对储集物性及含油性参数进行研究,力求建立研究区内火成岩测井解释模型和油层判识标准。

1 地质概况

车排子凸起在区域构造上属于准噶尔盆地西部隆起前缘推覆构造带(图1),西北与扎伊尔山相连,西南与四棵树凹陷相邻,东以红车断裂与昌吉凹陷连接,同

时位于昌吉和四棵树两个生烃凹陷有利油气运聚指向区^[5]。车排子凸起经历过多起构造活动,形成于晚海西期,并在印支和燕山运动期经历了较为剧烈的抬升,而在喜马拉雅运动期减缓抬升,并转为缓慢沉降阶段^[6-9]。车排子凸起石炭系整体受东西向主应力作用的影响,发育的大断裂多呈南北走向,总体呈现西北高、东南低的单斜形态,石炭系顶面遭受强烈剥蚀,为火成岩构造成缝、风化剥蚀、淋滤提供了条件^[10]。本次研究区主要位于车排子凸起东北部,区内石炭系火山岩岩性类型复杂多样,取心段岩性类型主要有火山熔岩和火山碎屑岩,区域上岩性、物性、原油分布均较复杂,测井响应特征变化也较大。

2 火成岩储层特征

2.1 岩石学特征

对研究区内10余口探井在石炭系350余m岩心和薄片鉴定成果进行梳理,依据岩石所含的矿物成分以及结构构造的差异,将研究区内石炭系火成岩划分为火山熔岩和火山碎屑岩两大类。

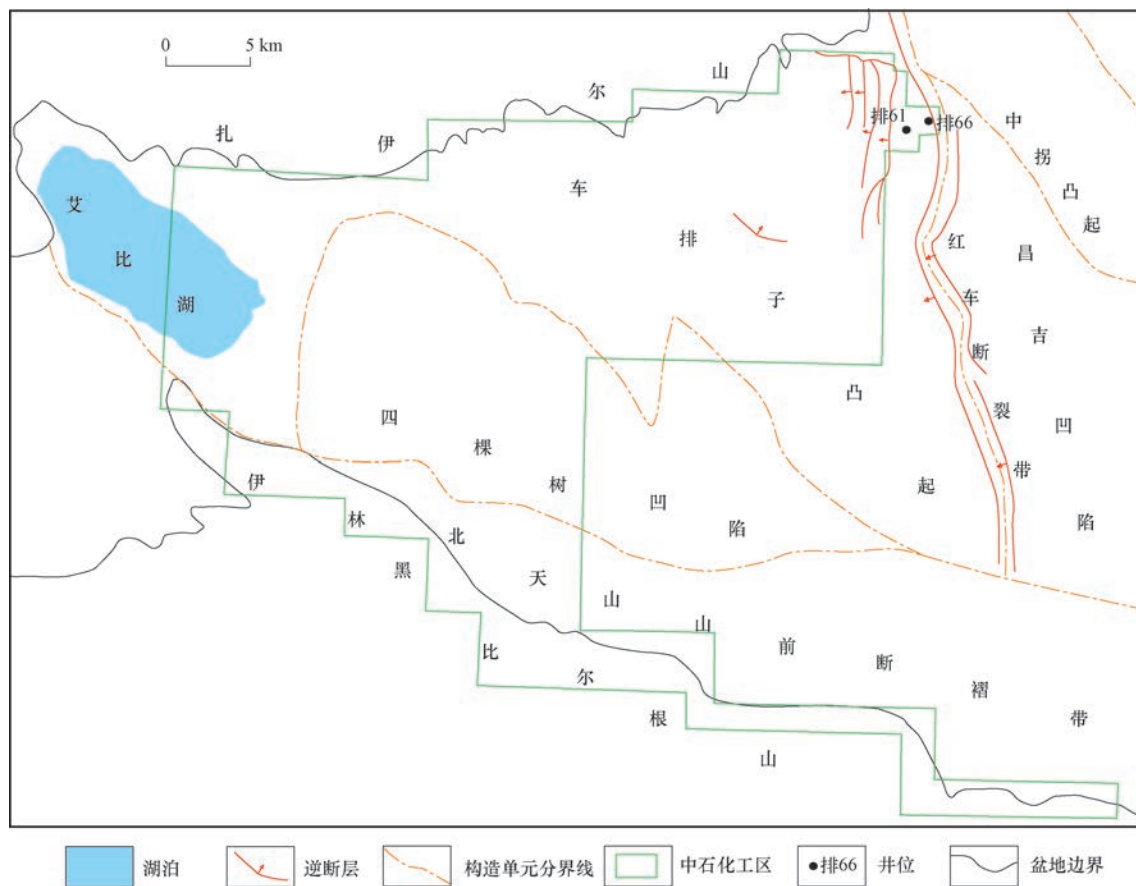


图1 车排子地区构造纲要

Fig. 1 Structural outline of the Chepaizi Uplift

火山熔岩发育基性-中基性的玄武岩、安山岩、安山玄武岩以及具有气孔构造的气孔玄武岩和气孔安山岩。

火山碎屑岩发育玄武质集块熔岩、安山质集块熔岩、玄武质角砾熔岩、安山玄武质角砾熔岩、安山质角砾熔岩、玄武质角砾岩、安山质角砾岩、安山质凝灰熔岩和凝灰岩等岩性。

其中安山岩、安山玄武岩、玄武岩、玄武质角砾熔岩、玄武质角砾岩和凝灰岩平面分布广、钻遇厚度大,普遍见油气显示,为该区6种优势储集岩性。

2.2 储集空间特征

2.2.1 基质孔隙度和渗透率

根据10口探井岩心和井壁取心,共计500多个样品点的实测孔隙度和渗透率数据进行分析,得到火成岩储层物性参数表(表1),可以看出,岩心分析基质孔隙度平均值为9.69%,岩心分析基质渗透率平均值为 $0.16 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,仅统计基质储集空间是属于高孔特低渗储层。但是基质孔隙的通道主要通过裂缝连接,火成岩储集空间是孔隙-裂缝多种空间相互组合^[11-12]。

2.2.2 裂缝段孔隙度和渗透率

从微电阻率成像测井(FMI)上能很好地观察到岩石裂缝的发育情况^[13](图2),一般高阻矿物充填的闭合缝在电成像上表现为亮色的正弦曲线,而开启缝与

低阻矿物充填的闭合缝在电成像上均表现为暗色的正弦曲线。据此可以确定井壁上缝洞的发育情况和定量计算缝洞参数。

分别对排61,排66,排661,排662,排664,排665,排666和排668等8口井的成像资料进行人机交互解释。统计得出裂缝段孔隙度均较小,绝大部分小于0.1%,裂缝段渗透率的变化范围虽然较大,平均裂缝段渗透率普遍大于 $6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中排664、排665、排666和排668等井的裂缝段平均渗透率甚至大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表2)。

2.2.3 总孔隙度和总渗透率

火成岩为孔隙-裂缝双介质模型,因此总孔隙度(Φ)应为基质孔隙度(Φ_b)和裂缝孔隙度(Φ_f)之和:

$$\Phi = \Phi_b + \Phi_f \quad (1)$$

总渗透率(K)为基质渗透率(K_b)与裂缝渗透率(K_f)之和:

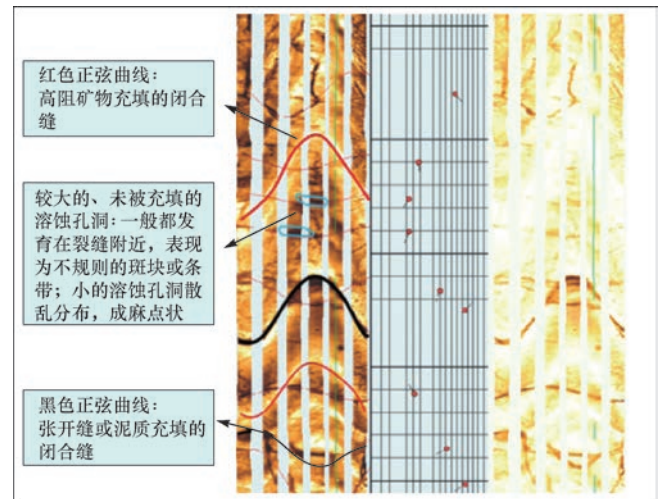


图2 车排子凸起火成岩成像测井特征
(排666井埋深983~987 m)

Fig. 2 Image logging feature of Igneous rock the Chepaizi Uplift
(in Well P666 983~987 m)

表1 车排子地区石炭系火成岩储层物性参数

Table 1 Reservoir physical parameter of Carboniferous igneous rocks in the Chepaizi Uplift

物性参数	样品个数	最大值	最小值	平均值
岩心分析基质孔隙度/%	514	35.80	1.60	9.69
岩心分析基质渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	496	89.30	0.006 5	0.16
相对密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	438	2.737	1.690	2.467

表2 车排子凸起石炭系火成岩裂缝段渗透率分布范围

Table 2 Fracture permeability distribution range of igneous rock in the Chepaizi Uplift

井号	深度/m	岩性	裂缝渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		
			最小值	最大值	平均值
排61	904.3~924.0	凝灰岩	0.03	80.58	7.95
排66	1 028.5~1 059.0	玄武质角砾岩	0.03	202.71	6.66
排661	1 119.0~1 125.0	玄武质角砾熔岩	0.01	151.86	6.07
排662	1 087.0~1 094.6	安山玄武岩	0.02	186.90	6.61
排664	908.5~914.5	凝灰岩	1.19	3 478.97	220.95
排665	846.5~847.7	凝灰岩	0.65	2 572.44	196.14
排666	982.6~122 5.0	安山岩、玄武岩	0.01	2 374.35	100.39
排668	1 129.0~1 136.0	安山岩	0.37	1 022.69	31.60

$$K = K_b + K_f \quad (2)$$

在裂缝不发育的储层总渗透率近似为基质渗透率,而在裂缝发育的储层,渗透率明显增大。

3 储集参数测井解释模型

对于孔隙-裂缝双介质的火成岩,储层物性参数是孔隙和裂缝双重孔隙介质的总和,优势岩性是物性的主要控制因素^[14-16]。对研究区内6种优势岩性:玄武岩、玄武质角砾熔岩、玄武质角砾岩、安山玄武岩、安山岩和凝灰岩,以区内10余口取心井,共计取心350 m,460多个岩心样品实测岩性和物性为约束分别建立双介质储集物性参数测井解释模型(表3)。

3.1 孔隙度模型

3.1.1 基质孔隙度

在岩心分析实验选取样品时,为避免岩石松散,一般选取无裂缝的岩石基质部分,因此实验所测结果视为基质物性参数。三孔隙度测井对岩石孔隙度响应比较敏感,因此,在研究电性与物性关系的基础上,以岩心实测数据为约束,利用交会图先分别计算出岩心孔隙度与声波时差、岩心孔隙度与中子孔隙度、岩心孔隙度与密度等数据参数之间的关系式(图3)。

在此基础上,运用多元回归的办法,将岩心分析孔隙度与声波时差、中子和密度三孔隙度测井数据进行综合计算,得到不同岩性基质孔隙度模型。6种优势岩性其相关系数 R 均大于0.8,较单一三孔隙度数据计算的基质孔隙,准确率有所提高,为后期孔隙度模型提供可靠的基础和依据[公式(3)—公式(8)]。

6种优势岩性基质孔隙度模型如下。

玄武岩:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.2175AC + 0.3652CNL - \\ &4.2022DEN - 1.1053 \\ R &= 0.9021 \end{aligned} \quad (3)$$

安山岩:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.4113AC + 0.4124CNL + \\ &8.0295DEN - 45.3468 \\ R &= 0.8091 \end{aligned} \quad (4)$$

安山玄武岩:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.169AC + 1.4679CNL + \\ &45.757DEN - 148.361 \\ R &= 0.8791 \end{aligned} \quad (5)$$

玄武质角砾熔岩:

$$\Phi = 0.2181AC + 0.6371CNL -$$

$$7.4062DEN + 3.1725$$

$$R = 0.9118 \quad (6)$$

玄武质角砾岩:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.0857AC + 0.3733CNL - \\ &17.1141DEN + 42.1113 \\ R &= 0.9427 \end{aligned} \quad (7)$$

凝灰岩:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.02785AC + 0.16862CNL - \\ &12.0367DEN + 31.6595 \\ R &= 0.8364 \end{aligned} \quad (8)$$

3.1.2 裂缝孔隙度

电成像测井(FMI)采样密度高,在井眼高覆盖率的情况下,能够用于识别裂缝、划分裂缝类型、确定裂缝发育层段^[17]。FMI图象交互解释,能够用于裂缝的定量分析,计算裂缝参数,提供裂缝密度、裂缝长度、裂缝视孔隙度和平均水力宽度等多项解释成果。研究区内8口井有成像测井,且成像图质量比较高,所以裂缝孔隙度采用成像测井的解释结果。

裂缝视孔隙度(FVPA)指的是在单位面积井壁上裂缝的视开口面积,简称为裂缝孔隙度(Φ_{fz} ,%)。计算公式为:

$$\Phi_{fz} = \frac{\sum L_i W_i}{2\pi rCH} \quad (9)$$

式中: L_i 为某一深度段内第 i 条裂缝的长度,mm; W_i 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,无量纲; H 为评价井段长度,m。

3.1.3 总孔隙度

火山岩为双孔隙介质模型,所以总孔隙度为基质孔隙度和裂缝孔隙度之和,而一般情况下裂缝孔隙度较小,总孔隙度在数值上可近似等于基质孔隙度。

3.2 渗透率模型

火成岩储层渗透率直接受到孔隙大小、几何形态和地层流体性质影响,同时还受到裂缝等因素的控制,是一个受很多因素影响的参数,因此火成岩储层渗透率分基质孔隙渗透率和裂缝孔隙渗透率两个部分^[18]。

3.2.1 基质渗透率

在分岩性研究孔隙度和渗透率关系的基础上,用岩心分析孔隙度和渗透率回归算法建立基质渗透率

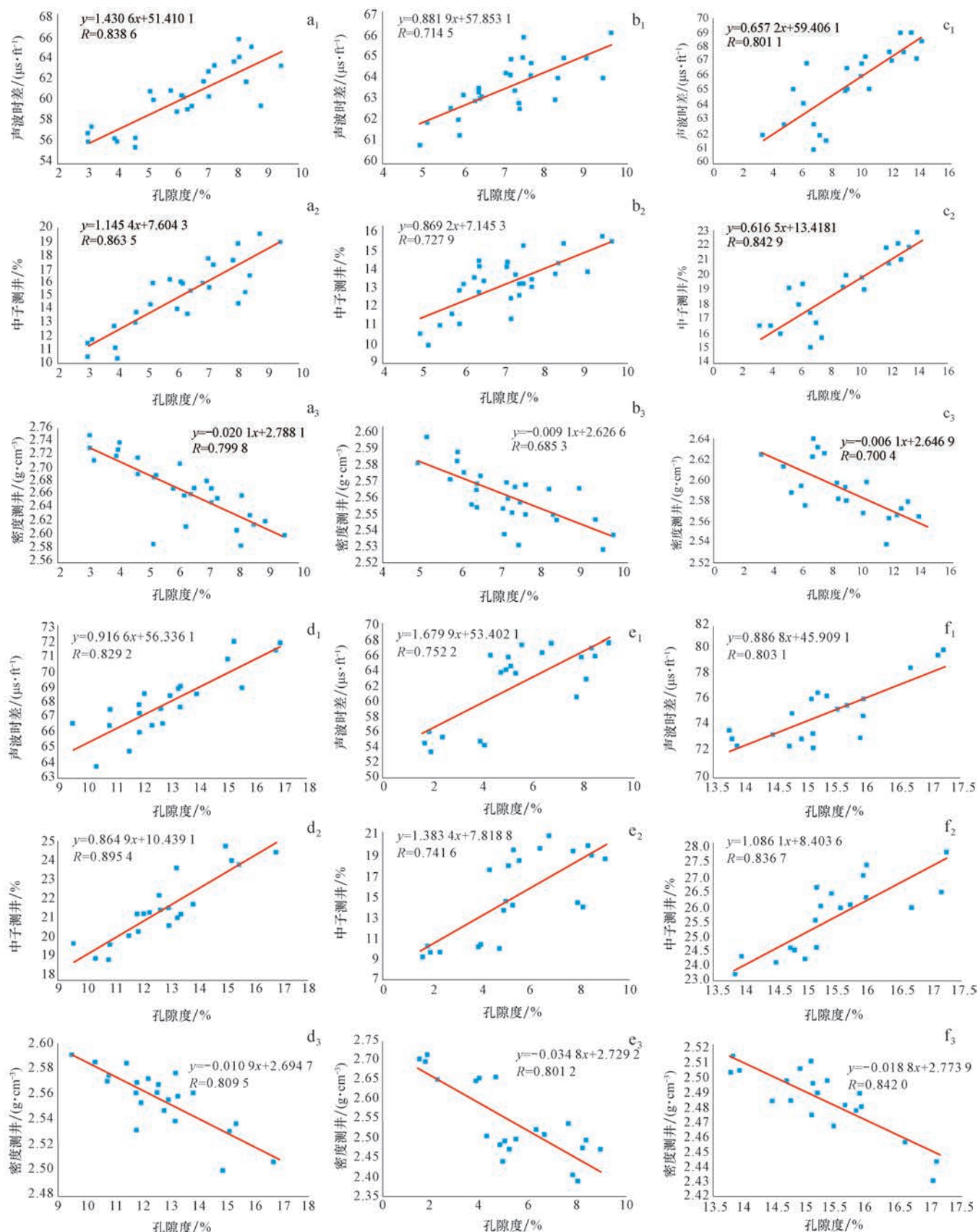


图3 车排子凸起火成岩岩心孔隙度与AC,CNL和DEN交会图

Fig.3 AC,CNL and DEN cross plots with igneous rock core porosity in the Chepaizi Uplift

a₁—a₃. 玄武岩;b₁—b₃. 安山岩;c₁—c₃. 安山玄武岩;d₁—d₃. 玄武角砾熔岩;e₁—e₃. 玄武角砾岩;f₁—f₃. 凝灰岩

表 3 车排子凸起火成岩岩心物性分布范围

Table 3 Core physical property distribution range of Igneous rock in the Chepaizi Uplift

岩性	孔隙度/%		渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	
	范围	均值	范围	均值
玄武岩	2.0 ~ 12.2	6.567	0.007 ~ 0.985	0.102
安山岩	3.0 ~ 9.7	6.980	0.031 ~ 0.570	0.098
安山玄武岩	3.4 ~ 13.4	8.067	0.046 ~ 0.613	0.149
玄武质角砾熔岩	6.1 ~ 17.9	12.653	0.025 ~ 1.464	0.287
玄武质角砾岩	10.0 ~ 21.7	15.313	0.043 ~ 7.760	1.046
凝灰岩	1.6 ~ 8.4	4.714	0.024 ~ 0.689	0.125

模型。从计算的结果看,火山碎屑岩的准确率较高,而火山熔岩较低,公式如下。

玄武岩:

$$K = 0.015 2e^{0.34} \Phi, \quad R = 0.788 1, \quad N = 27 \quad (10)$$

安山岩:

$$K = 0.024 3e^{0.1105} \Phi, \quad R = 0.651 0, \quad N = 2 \quad (11)$$

安山玄武岩:

$$K = 0.026 0e^{0.1564} \Phi, \quad R = 0.888, \quad N = 19 \quad (12)$$

玄武质角砾熔岩:

$$K = 0.000 5e^{0.4888} \Phi, \quad R = 0.802 2, \quad N = 22 \quad (13)$$

玄武质角砾岩:

$$K = 0.000 3e^{0.4894} \Phi, \quad R = 0.736 5, \quad N = 20 \quad (14)$$

凝灰岩:

$$K = 0.016 1e^{0.2237} \Phi, \quad R = 0.77, \quad N = 20 \quad (15)$$

3.2.2 裂缝渗透率

利用裂缝孔隙度和张开度与裂缝渗透率经验公式计算裂缝渗透率(K_f),公式如下:

$$K_f = 0.833 3\Phi_L \varepsilon^2 \quad (16)$$

式中: Φ_L 为裂缝孔隙度,%; ε 为裂缝张开度,mm,可由成像测井获得。

3.2.3 总渗透率

总渗透率为基质渗透率与裂缝渗透率之和,在裂缝不发育的储层总渗透率近似为基质渗透率,而在裂缝发育的储层,渗透率明显增大。

3.3 含油饱和度模型

原始含油饱和度是指油层在未开采时的含油饱和度 S_{oi} ,一般先确定油层束缚水饱和度 S_{wi} ,然后通过 $1 - S_{wi}$ 求得原始含油饱和度。利用岩心直接测定、测井资料解释、毛管压力计算等方法能确定含油饱和度。对于孔隙—裂缝性双介质火山岩油藏的饱和度解释较为困难,是因为受到裂缝发育程度和分布多变的影响。到目前为止,还没有成功的方法,因此饱和度的解释仅仅是一种估算。本次研究采用双介质模型先分别计算基质含油饱和度和裂缝含油饱和度,再通过孔隙度加权平均计算总含油饱和度。

3.3.1 基质含油饱和度

基质含油饱和度通过阿尔奇公式计算,储层岩石电阻率 R_t 和地层水电阻率 R_w 是阿尔奇公式中两个重要的参数。在实际计算中,采用深感应电阻率近似作为基质电阻率,而地层水电阻率是通过等效 NaCl 矿化度查图版获得。

根据研究区内 9 口探井取样水分析,共有 16 个样品资料,并按 NaCl 型水型进行矿化度等效换算,在地层温度条件下计算出地层水电阻率 R_w 范围为 $0.1 \sim 0.32 \Omega \cdot \text{m}$ 。

根据研究区 12 块岩石样品的岩电实验数据,对不同火山岩岩性计算了岩电实验参数。

对于裂缝、孔隙双重介质的火山岩储层,井内钻井液柱压力大于原始地层压力,在钻井过程中,泥浆滤液对裂缝性储层会造成侵入,泥浆侵入带能较深的侵入井眼周围地层。因此要获得基岩原状地层的电阻率,需要进行裂缝侵入校正。

深侧向测井和浅侧向测井都测量的钻井液、冲洗带及原状地层的电阻,即深(浅)侧向测井测量的视电阻率是井内钻井液电阻率、冲洗带电阻率和原状地层电阻率的加权平均,根据这一原理可获得两个方程式。

$$R_{LLD} = \left(\frac{K_d}{2\pi h_o} \ln \frac{d_c}{d_o} \right) R_m + \left(\frac{K_d}{2\pi h_o} \ln \frac{d_{xo}}{d_c} \right) R_{x_o} + \left(1 - \frac{K_d}{2\pi h_o} \ln \frac{d_c}{d_o} - \frac{K_d}{2\pi h_o} \ln \frac{d_{xo}}{d_c} \right) R_t \quad (17)$$

$$R_{LLS} = \left(\frac{K_s}{2\pi h_o} \ln \frac{d_c}{d_o} \right) R_m + \left(\frac{K_s}{2\pi h_o} \ln \frac{d_{xo}}{d_c} \right) R_{x_o} + \left(1 - \frac{K_s}{2\pi h_o} \ln \frac{d_c}{d_o} - \frac{K_s}{2\pi h_o} \ln \frac{d_{xo}}{d_c} \right) R_t \quad (18)$$

式中: R_{LLD} 为深侧向电阻率, $\Omega \cdot m$; R_{LLS} 为浅侧向电阻率, $\Omega \cdot m$; K_d 为深侧向测井仪电极系数, 无量纲; K_s 为浅侧向测井仪电极系数, 无量纲; R_m 为井内钻井液电阻率, $\Omega \cdot m$; R_{xo} 为冲洗带电阻率, $\Omega \cdot m$; R_l 为原状地层电阻率, $\Omega \cdot m$; d_c 为井眼直径, m ; d_o 为仪器直径, m ; d_{xo} 为冲洗带直径, m ; h_o 为电流层厚度, m 。

两个方程联立, 可获得双侧向测井侵入校正公式:

$$R_l = \frac{K_s}{K_s K_d} R_{LLD} - \frac{K_d}{K_s K_d} R_{LLS} \quad (19)$$

其中, 斯伦贝谢公式使用的双侧向测井电极系数是: $K_d = 0.89$, $K_s = 1.45$, 代入式中, 获得:

$$R_l = 2.589 R_{LLD} - 1.589 R_{LLS} \quad (20)$$

通过表 4 的岩-电参数, 利用阿尔奇公式计算基质含水饱和度 S_{wb} , 其解释模型为:

$$S_{wb} = \sqrt[n]{\frac{abR_w}{R_{lb}\Phi_B}} \quad (21)$$

$$S_{ob} = 1 - S_{wb} \quad (22)$$

表 4 车排子地区火成岩 a, b, m 和 n 取值

Table 4 Parameter of a, b, m, n for igneous rock in the Chepaizi Uplift

岩性类	a	b	m	n
玄武岩类	1.012 1	1.012 9	1.718 0	2.203 0
安山岩类	0.845 0	1.010 3	1.754 0	2.646 0
玄武质角砾熔岩	1.285 9	1.008 4	1.625 1	2.386 0
玄武质角砾岩	1.793 7	1.024 9	1.461 5	2.228 0
凝灰岩类	0.850 0	1.870 0	1.820 0	1.080 0

注: a, b 为常数; m 为孔隙度指数; n 为饱和度指数。

式中: S_{wb} 为基质含水饱和度, %; S_{ob} 为基质含油饱和度, %; R_w 为地层水电阻率, $\Omega \cdot m$; R_{lb} 为裂缝侵入校正后的基质电阻率, $\Omega \cdot m$; a, b 为常数; m 为孔隙度指数; n 为饱和度指数。

3.3.2 裂缝含油饱和度

对于火山碎屑岩, 连通的孔隙-裂缝双重介质共同构成了中低孔、高渗的储集空间; 对于基性岩, 如玄武岩, 气孔、溶孔、张开缝构成了中低孔、高渗的储集空间。根据国内外其它油田的经验, 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%, 火山角砾岩和火山角砾熔岩裂缝含油饱和度为 70%, 安山岩、玄武岩和安山玄武岩裂缝的含油饱和度为 85%。

3.3.3 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:

$$S_{ot} = (S_{ob}\Phi_B + S_{of}\Phi_{fz}) / (\Phi_B + \Phi_{fz}) \quad (23)$$

式中: S_{ot} 为总含油饱和度, %; S_{of} 为裂缝含油饱和度, %; Φ_{fz} 为裂缝孔隙度, %; Φ_B 为基质孔隙度, %。

3.4 效果分析

用不同岩性储层参数测井解释模型计算总孔隙度与 6 口井岩心分析孔隙度相比较验证储层参数测井解释模型的效果(表 5; 图 4)。计算结果表明, 孔隙度平均绝对误差 1.30%, 平均相对误差 15.3%, 总体误差满足储层物性评价要求的误差范围之内。

表 5 车排子凸起石炭系火成岩测井解释孔隙度误差分析

Table 5 Analysis of porosity error in well logging interpretation of igneous rock in the Chepaizi Uplift

井号	井段/m	岩性	岩心孔隙度/%	解释总孔隙度/%	绝对误差/%	相对误差/%
排 60	696.0 ~ 704.1	凝灰岩	2.86	3.34	0.47	16.50
排 61	904.3 ~ 908.5	玄武质角砾岩	12.80	17.24	4.44	34.75
排 61	913.7 ~ 924.0	凝灰岩	7.54	6.83	0.70	9.33
排 66	102.8.5 ~ 103.3.0	玄武质角砾岩	17.80	15.46	2.33	13.14
排 66	105.5.0 ~ 105.9.7	玄武质角砾岩	14.93	16.18	1.25	8.39
排 661	111.9.0 ~ 112.5.0	玄武质角砾熔岩	14.14	14.30	0.16	1.14
排 665	846.5 ~ 847.7	凝灰岩	5.30	8.62	3.32	62.79
排 666	982.6 ~ 987.6	安山岩	8.05	7.43	0.61	7.61
排 666	990.0 ~ 995.5	安山岩	6.73	6.51	0.21	3.17
排 666	105.3.5 ~ 105.7.7	玄武质角砾熔岩	12.07	12.40	0.32	2.72
排 666	108.7.7 ~ 108.9.2	安山玄武岩	7.35	8.86	1.51	20.54
排 666	112.6.0 ~ 112.8.8	安山玄武岩	8.45	7.49	0.95	11.28
排 666	122.0.5 ~ 122.5.5	玄武岩	8.44	7.76	0.68	8.05
平均			9.72	10.19	1.30	15.30

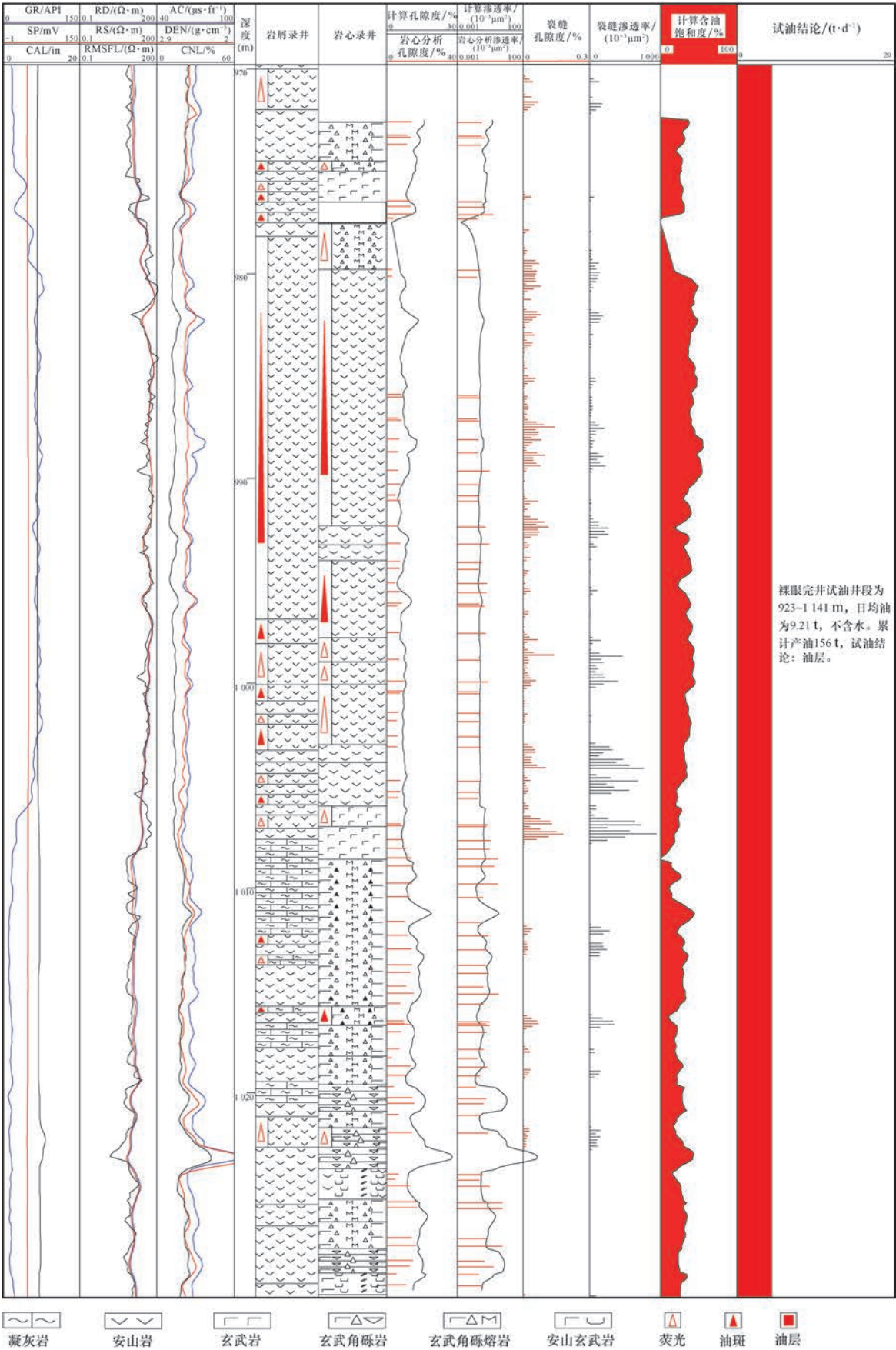


图 4 测井解释模型验证(排 666 井 972.6 ~ 1 029.86 m 井段)
Fig. 4 Logging interpretation model validation(in Well P666 972.6 ~ 1 029.86 m)

另将储层参数测井解释模型以综合解释与排 666 井 972.6 ~ 1 029.86 m 井段连续取心段 79 个样品实测的对比关系较好,相对误差为 5.56%,说明建立的双介质孔隙度解释模型是合理、可靠的。

4 火成岩油层判识

在储层参数测井模型的基础上,结合录井、荧光薄片和试油等含油性分析,建立了车排子地区石炭系火成岩油层的综合判识标准。

4.1 物性标准

首先需根据实钻井岩心、常规测井及电成像测井资料,将孔隙-裂缝双介质火成岩储层分有裂缝储层和无裂缝储层,分别确定其含油的物性下限标准。对于无裂缝的储层,基质孔隙度的大小是含油与否的关键,通过已钻井油层、差油层、干层、水层与基质孔隙度和基质渗透率模型[公式(3)—公式(15)]计算结果进行交会,确定无裂缝储层含油的孔隙度下限为 7.5%,渗透率下限为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。对于有裂缝的储层,裂缝渗透率的大小成为储层含油的决定因素,通过油层、差油层、干层、水层与裂缝渗透率模型[公式(16)]计算结果进行交会,将裂缝渗透率在 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上作为其储层含油的物性标准。

4.2 含油性标准

根据研究区试油资料,确定各含油区块的油水界面,以此作为划分大段油层范围的依据;在油水界面之上,重质油见岩心油斑及以上显示;岩石热解地化录井中 S11, S21, S22, 和 S23 分别在临界值 0.22, 1.24, 0.77 和 0.13 (单位:mg/g) 以上;定量荧光强度在 400 (未稀释) 以上、含油浓度在 800mg/L 以上,并结合含油饱和度模型[公式(21),公式(22)],将解释油层的含油饱和度下限确定为 25%。

4.3 电性标准

研究区内火成岩种类和岩石矿物成分复杂,不同岩性的电性变化较大,这里仅对六种优势岩性依据含油性参数与电性参数的统计,提供一个经验关系。总体上,当 RD 介于 $125 \sim 428 \Omega \cdot \text{m}$,且 AC 在 $62 \sim 76.3 \mu\text{s}/\text{ft}$ (或 CNL 在 15.7% ~ 21.9%,或 DEN 分布在 $2.296 \sim 2.433 \text{ g}/\text{cm}^3$) 可判定为油层。此外,油层在 FMI 测井、核磁测井、多极子声波测井上也有一定响应。由于研

究区试油取心段内安山岩全部含油,其电性分布范围仅作参考;安山玄武岩几乎不含油,其电性特征不具有代表意义,因此对其含油性的判识需结合其它标准综合判断。

5 结论

1) 车排子凸起石炭系火成岩储集空间是孔隙和裂缝的相互组合,储层物性参数是孔隙和裂缝双重孔隙介质的总和。岩心实测和测井解释均证实基质孔隙度明显高于裂缝孔隙度,而裂缝渗透率变化范围虽然较大,但是明显大于基质渗透率,裂缝发育段为储层提供了主要的渗流能力。

2) 火成岩储层的孔隙度、渗透率、含油饱和度测井解释模型必须以岩性为主要控制因素。采用岩心实测物性为约束,运用常规测井三孔隙度曲线多元回归计算结合 FMI 成像测井识别有效裂缝的方法,可以建立火成岩发育区储层物性参数模型,经验证准确度较高,对其它地区火成岩储层评价也具有借鉴意义。

3) 储层参数测井解释模型为基础,结合多项钻、录、试资料,建立了车排子地区石炭系火成岩油层判识标准。

参 考 文 献

- [1] 邹才能,赵文智,贾承造,等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J]. 石油勘探与开发,2008,35(3):257-271.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 257-271.
- [2] 侯连华,罗霞,王京红,等. 火山岩风化壳及油气地质意义:以新疆北部石炭系火山岩风化壳为例[J]. 石油勘探与开发,2013,40(3):257-265,274.
Hou Lianhua, Luo Xia, Wang Jinghong, et al. Weathered volcanic crust and its petroleum geologic significance: A case study of the Carboniferous volcanic crust in northern Xinjiang[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 257-265, 274.
- [3] 姚卫江,党玉芳,张顺存,等. 准噶尔盆地西北缘红车断裂带石炭系成藏控制因素浅析[J]. 天然气地球科学,2010,21(6):917-923.
Yao Weijiang, Dang Yufang, Zhang Shuncun, et al. Formation of carboniferous reservoir in Hongche fault belt, northwestern margin of Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(6): 917-923.
- [4] 董国栋,张琴,朱筱敏,等. 火山岩储层研究现状及存在问题[J]. 石油与天然气地质,2012,33(4):512-519.
Dong Guodong, Zhang Qin, Zhu Xiaomin, et al. Current status and

- problems of volcanic reservoir study: An example from the Lower Permian volcanic rocks in Ke-Xia area of Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*. 2012, 33(4): 512–519.
- [5] 王振奇, 郑勇, 支东明, 等. 车排子地区石炭系油气成藏模式[J]. *石油天然气学报*, 2010, 32(2): 21–25.
Wang Zhenqi, Zheng Yong, Zhi Dongming, et al. Hydrocarbon accumulation patterns of carboniferous formation in chepaizi area [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2010, 32(2): 21–25.
- [6] 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱—冲断层样式[J]. *地质学前沿*, 1995, 2(3–4): 59–68.
Liu Hepu. Classification of foreland basins and fold thrust style [J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3–4): 59–68.
- [7] 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 等. 中国西北叠合盆地的主要构造特征[J]. *地质学前沿*, 2003, 10(s1): 118–124.
Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. The main tectonic characteristics of superimposed basins, north west China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(s1): 118–124.
- [8] 胡秋媛, 董大伟, 赵利, 等. 准噶尔盆地车排子凸起构造演化特征及其成因[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(4): 556–564.
Hu Qiuyuan, Dong Dawei, Zhao Li, et al. Tectonic evolutionary characteristics and their causes of Chepaizi Uplift in the Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*. 2016, 37(4): 556–564.
- [9] 金鑫, 陆永潮, 卢林. 准噶尔盆地车排子地区中、新生界沉降史分析[J]. *海洋石油*, 2007, 27(3): 51–56.
Jin Xin, Lu Yongchao, Lu Lin. Analysis of the Mesozoic-Cenozoic subsidence history in Chepaizi Area, Junggar Basin [J]. *Offshore Oil*, 2007, 27(3): 51–56.
- [10] 宋明水, 赵乐强, 吴春文, 等. 准噶尔盆地车排子地区石炭系顶部风化壳结构及其控藏作用[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(3): 313–321.
Song Mingshui, Zhao Leqiang, Wu Chunwen, et al. Structure and reservoir-controlling of top Carboniferous weathering crust in Chepaizi area, Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*. 2016, 37(3): 313–321.
- [11] Mao Z G, Zhu R K, Luo J L, et al. Reservoir characteristics, formation mechanisms and petroleum exploration potential of volcanic rocks in China [J]. *Petroleum Science*, 2015, 12(1): 54–66.
- [12] 高山林, 李学万, 宋柏荣. 辽河盆地欧利坨子地区火山岩储集空间特征[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(2): 173–177.
Gao Shanlin, Li Xuewan, Song Bairong. Features of volcanic reservoirs spaces in Oulituozi Region, Liaohe Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(2): 173–177.
- [13] 柳建华, 蔺学旻, 张卫锋, 等. 塔河油田碳酸盐岩储层有效性测井评价实践与思考[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(6): 950–958.
Liu Jianhua, Lin Xuemin, Zhang Weifeng, et al. Logging evaluation of carbonate reservoir effectiveness in Tahe oilfield, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*. 2014, 35(6): 950–958.
- [14] 王璞珺, 陈树民, 刘万洙, 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 reservoir in Songliao Basin [J]. *Oil and Gas Geology*, 2003, 24(1): 18–23.
- [15] Tang Hong, Ji Hancheng. Incorporation of spatial characters into volcanic facies and favorable reservoir prediction [R]. SPE 90847, 2004.
- [16] Luo Jinglan, Morad S, Liang Zhizhang, et al. Controls on the quality of archean metamorphic and Jurassic volcanic reservoir rocks from the Xinglongtai buried hill, Western depression of Liaohe Basin, China [J]. *AAPG Bulletin*, 2005, 89(10): 1319–1346.
- [17] 童凯军; 程奇; 聂玲玲, 等. 变质岩潜山储集层有效性评价[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(5): 780–958.
Liu Jianhua, Lin Xuemin, Zhang Weifeng, et al. Logging evaluation of carbonate reservoir effectiveness in Tahe oilfield, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*. 2014, 35(6): 950–958.
- [18] 孟元林, 胡越, 李新宁, 等. 致密火山岩物性影响因素分析与储层质量预测——以马朗—条湖凹陷条湖组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(2): 244–252.
Meng Yuanlin, Hu Yue, Li Xinling, et al. Controlling factors on physical property of tight volcanic rocks and reservoir quality prediction: a case study of the Tiaohu Formation in Marlang-Tiaohu Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(2): 244–252.

(编辑 张玉银)