

文章编号:1001-6112(2011)02-0155-05

济阳坳陷碳酸盐岩油藏储层评价及有效厚度研究

鲁国明

(中国石化胜利油田分公司 勘探项目管理部, 山东 东营 257001)

摘要:碳酸盐岩储层非均质性强烈, 储集空间和储层类型复杂多样, 地层结构、组合关系也比较复杂, 给储层分类评价、储量计算的油层有效厚度划分和油藏有效厚度选值带来了很大困难。该文在分析总结济阳坳陷碳酸盐岩潜山储集类型和岩电特征的基础上, 利用常规测井和成像、核磁测井技术对裂缝、溶洞和孔隙进行定性识别和定量解释, 并对其有效性进行评价, 建立了有效厚度划分标准, 形成了一套较为适用的济阳坳陷碳酸盐岩潜山油层有效厚度的评价方法; 结合碳酸盐岩潜山油藏本身的特殊性和钻探特点, 提出了油藏单元有效厚度的选值方法。

关键词:有效厚度; 储层评价; 储量计算; 碳酸盐岩; 济阳坳陷; 渤海湾盆地

中图分类号:TE122.2⁺4

文献标识码:A

Reservoir evaluation and effective pay thickness study of carbonate reservoir in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

Lu Guoming

(Department of Exploration Program Management, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257001 China)

Abstract: Due to strong heterogeneity, various reservoir spaces and types as well as complicated formation structure and combination, it is difficult to evaluate reservoir and divide effective pay thickness for reservoir calculation in carbonate reservoir. Based on analyses of reservoir types and rock-electricity characteristics of carbonate buried-hill in the Jiyang Depression, using normal well-logging and imaging as well as nuclear magnetic logging technology, we qualitatively identified and quantitatively interpreted fracture, cave and pore. The effect of fracture, cave and pore was judged, and the division standard for effective pay thickness was established. A set of evaluation method suitable for the effective pay thickness of carbonate buried hill reservoir in the Jiyang Depression was put forward. Taking into consideration of the particularity and the drilling features of carbonate buried hill reservoir, a method for selecting effective pay thickness of reservoir unit was proposed.

Key words: effective pay thickness; reservoir evaluation; reserve calculation; carbonate; Jiyang Depression; Bohai Bay Basin

碳酸盐岩潜山油藏长期以来始终是济阳坳陷重要的增储领域, 但是由于碳酸盐岩潜山储层低孔、非均质强烈的特殊性, 储层评价和储量计算工作十分困难。一方面, 由于储集空间多样多变, 裂缝、溶蚀孔洞的分布具有很强的各向异性, 储层类型复杂, 存在孔一缝一洞的多种组合, 造成了测井响应的多解性; 同时, 由于储层孔隙度较低, 电阻率测量结果受岩石骨架本身影响大, 反映储层孔隙流体性质的信息变弱, 造成储层流体性质难以判断, 也给储层参数的解释和有效厚度的测井评价带来了困难。另一方面, 碳酸盐岩潜山经历的多期构造运动, 造成潜山的地层结构、组合关系都比较复杂,

目的层地层厚度和油气藏有效厚度平面变化很大, 利用通常的井点有效厚度内插等值线法或算术平均法进行单元有效厚度取值也会存在很大偏差。这些都直接影响了储量计算的精度。

本文结合济阳坳陷碳酸盐岩潜山的储集类型、岩电特征和油藏特点, 简要介绍了碳酸盐岩潜山储层评价及油层有效厚度划分、油藏有效厚度选值方法。

1 储层评价

1.1 储层分类

济阳坳陷碳酸盐岩储集空间以次生裂缝和溶蚀孔隙为主, 储集空间类型多、结构复杂。按成因

收稿日期: 2011-02-14; 修订日期: 2011-03-18。

作者简介: 鲁国明(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 从事储量综合研究和管理工作。E-mail: dzclgm@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2008ZX05006)。

和形态可分孔隙型、孔洞型和裂缝型 3 大类 11 种类型。这 11 种储集空间中,开启裂缝、孔隙、溶洞普遍含油,孔、洞、裂缝是主要的储集空间,裂缝为主要的油气渗流通道^[1-2]。相应地将济阳坳陷的碳酸盐岩储集类型归为 4 种:孔洞型、裂缝—孔洞型、孔洞—裂缝型和裂缝型。

①孔洞型:岩性为奥陶系上、下马家沟组隐晶灰岩、豹皮灰岩,储集空间类型为受次生改造后形成的溶蚀裂缝、洞。

②裂缝—孔洞型:岩性主要为八陡组、马家沟组、冶里—亮甲山组、馒头组下部的微—细晶白云岩,储集空间类型为次生孔隙及中、小、微裂缝^[3]。

③孔洞—裂缝型:主要发育于广饶潜山奥陶系灰岩风化壳。由于长期裸露地表,遭受了强烈的风化、剥蚀、淋滤及溶蚀等作用,使风化壳上孔、洞、缝充分发育。

④裂缝型:岩性主要为古生界方解石和白云石,储集空间主要为构造缝、层间缝、压溶缝等,孔洞欠发育。裂缝既是储集空间,也是油气运移通道。

从宏观上看,济阳坳陷的碳酸盐岩潜山可以分为 2 套储集系统:潜山风化壳和潜山内幕。其中风化壳储层以发育大量高角度构造裂缝、溶蚀裂缝以及溶蚀孔洞为主,有效储层厚度大,具有相对高孔隙度、高渗透率的储集特征;内幕储层则以发育各种裂缝、晶间孔及晶间溶孔为主,物性相对较差。

1.2 储层测井评价

一般情况常规的三电阻率、三孔隙度曲线及划分岩性的自然伽马和井径曲线已经具有划分有利储层的能力^[4]。成像、核磁共振测井技术的发展应用,又为裂缝性油气藏储层评价提供了大量先进的有用信息和分析手段,在识别岩性、评价裂缝类型、发育井段、产状分析、确定地应力方向、判别储层类型、储层物性参数计算、研究潜山内幕构造等诸多方面都获取了一定的地质应用效果^[5-6]。因此可以利用常规测井资料结合成像测井、核磁共振测井、产液剖面测井成果,通过录井、气测及部分取心资料的标定,开展有效储集空间评价,确定储层位置。

1.2.1 溶洞的识别与评价

溶洞具有钻具放空及泥浆漏失现象,井径明显扩径,常规测井双侧向电阻率极低值且正幅度差较大,密度急剧降低,声波时差增大或出现跳跃,中子孔隙度增大,自然伽马较低值,成像测井显示溶洞发育。图 1 为 CB306 井溶洞发育段的四性关系图,图中 14 号层具井径明显扩径、双侧向电阻率极低值、正幅度差较大、密度急剧降低、声波时差增大并出现跳跃、中子孔隙度增大等明显的溶洞发育显示。

1.2.2 裂缝的识别与评价

裂缝是决定储集性能的关键因素,以构造缝、溶蚀缝和压溶缝为主。常规曲线上具有密度降低,中子孔隙度增大,声波时差变化大并常呈现周波跳

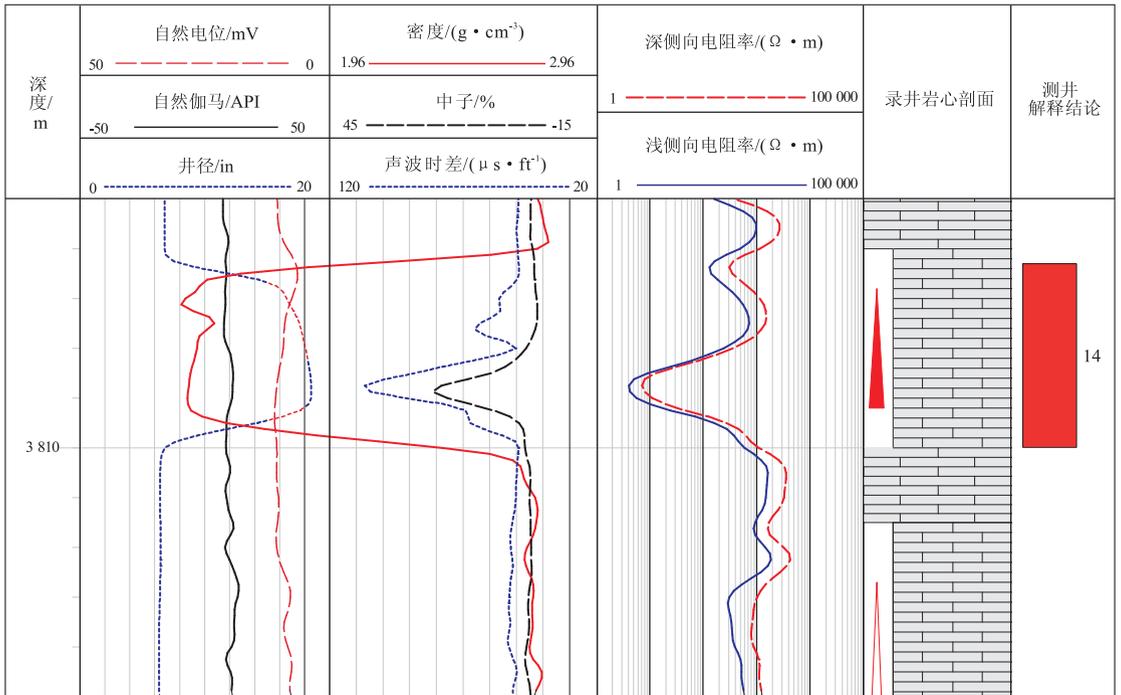


图 1 济阳坳陷 CB306 井溶洞发育段的四性关系

Fig. 1 Four-properties relationship of cave developed segment in well CB306, Jiyang Depression

跃, 双侧向呈现中到较高值并出现差异的特点, 裂缝孔隙度一般采用双侧向测井进行求取。

新方法测井技术中, FMI 成像测井在定性和定量描述裂缝方面有着常规测井无法比拟的优势。利用岩心对成像测井资料刻度, 建立不同类型裂缝的成像识别模式对裂缝进行识别并判断有效裂缝与无效缝^[7]。同时 FMI 成像裂缝定量计算可以提供 5 种参数: 裂缝长度、裂缝密度、裂缝平均宽度、裂缝水动力宽度和裂缝视孔隙度, 依据这些参数可以进行裂缝发育程度的评价和裂缝孔隙度的计算。

1.2.3 孔隙的识别与评价

一般情况下, 相对均匀的孔隙在常规测井曲线上的响应是较明显的。通常测井曲线出现圆滑的“U”形, 测井值出现二高三低特征, 即声波时差、中子孔隙度增高, 电阻率和岩石体积密度及自然伽马降低, 孔隙分布越均匀, 特征越明显。

核磁共振测井可以通过测量地层孔隙中的流体, 提供地层有效孔隙度参数, 而且不受岩性影响。通过核磁共振测井 T₂ 谱的分布直观地判断孔隙及结构, 并能提供较为准确的孔隙度参数。

另外利用浅侧向测井对成像测井 FMI 图像进行标定, 利用孔隙频谱分析 POROSPECT 软件可将 FMI 图像转变成孔隙度图像并进行自动分析(图 2), 能够确定出岩块孔隙与裂缝系统孔隙的比率, 据

此也能够评价基值孔隙和次生孔隙的发育程度。

1.2.4 有效储层的定量评价

对于碳酸盐岩储层来说, 孔隙度是评价储层有效性的一个重要参数。评价孔隙度有多种测井方法, 不同的测井方法反映不同的孔隙度, 其中声波测井反映岩块系统孔隙度, 中子、密度测井反映总孔隙度, 电阻率测井可以反映裂缝孔隙度, 核磁共振测井和 FMI 成像测井对基值孔隙和次生孔隙都有反映^[8-9]。

次生孔隙度一般通过计算总孔隙度和岩块孔隙度的差值得到, 其中总孔隙度由中子密度交会计算, 基质孔隙度由声波时差计算, 随着核磁、成像技术的应用, 可以直观地反映次生孔隙的发育程度^[10]。一方面总孔隙度能够宏观反映有效储层, 另一方面, 裂缝以及与裂缝相连的溶孔的发育也直接影响着储层的有效性。

实际工作中, 在储集层解释标准的基础上, 按照行业标准, 综合了新方法测井的应用, 结合济阳坳陷碳酸盐岩储层的特点, 将有效储层划分为 3 大类:

- ① I 类储层, 高产能, 符合以下条件之一: a) 溶洞为主要储集油、气的空间, 裂缝主要为渗流通道; 孔隙度一般大于 10%, 双侧向极低值, 三孔隙度极大值, 井径扩径明显。 b) 孔隙度一般为 5%~10%, 裂缝发育(裂缝指数大于等于 40 μm/m), 三孔隙度

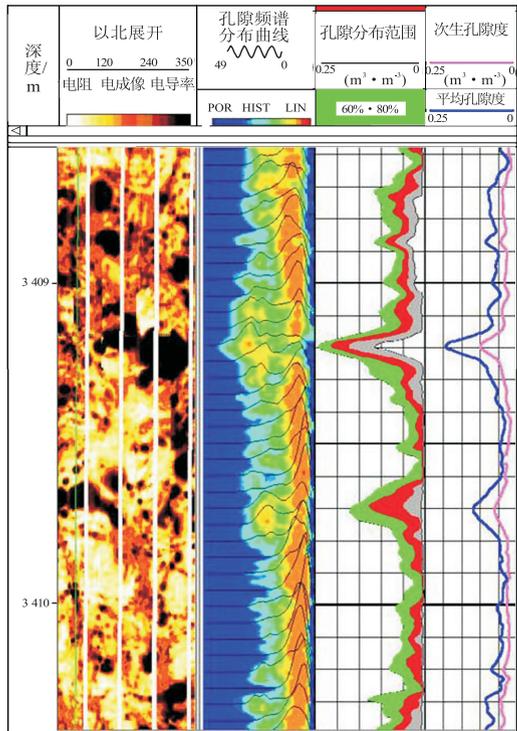
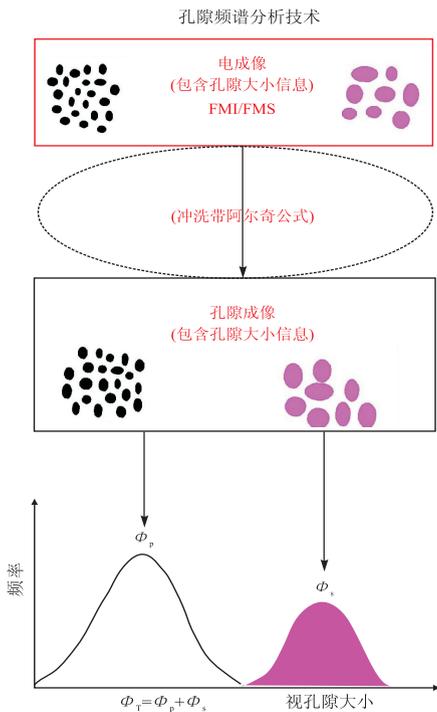


图 2 FMI 孔隙频谱分析图

Fig. 2 FMI pore spectrum analysis

曲线中高值,并径扩径。

② II类储层,中高产能,符合以下条件之一:a)储集空间以溶蚀孔隙及基质孔隙为主,裂缝主要起渗流通道作用。孔隙度一般为 5%~10%,裂缝不发育(裂缝指数小于 40 $\mu\text{m}/\text{m}$),三孔隙度曲线中高值。b)孔隙度一般为 2%~5%,裂缝发育(裂缝指数大于等于 40 $\mu\text{m}/\text{m}$)。

③ III类储层,中低产能,符合以下条件之一:a)储集和渗滤空间都是以各种孔隙为主,孔隙度一般为 2%~5%,裂缝不发育(裂缝指数小于 40 $\mu\text{m}/\text{m}$);b)储集空间和渗滤通道主要由裂缝贡献,其基块孔隙度很低,溶蚀孔洞不发育;孔隙度一般为 1%~2%,裂缝较发育(裂缝指数大于等于 40 $\mu\text{m}/\text{m}$),三孔隙度曲线接近骨架值。

其中 I, II类储层为有效储层,可以作为有效厚度划分的重要依据。

2 有效厚度

2.1 有效厚度划分

碳酸盐岩储集层划分与砂泥岩剖面不同,不仅要考虑测井数值,还要注意曲线形状;不但要使用测井资料,还必须综合地质、钻井、取心、录井、试油等许多方面的资料,具有更强的综合性。有效厚度的标准利用钻井、取心、录井、试油、测井等多方面的资料,通过四性关系研究综合制订。结合近年来济阳拗陷埕岛、富台和桩西等几个主要的潜山油藏,制定了有效储层的划分标准。

2.1.1 岩性及含油性标准

通过桩海 10 等多口取心井试油井段的统计,含油性标准定为荧光(含荧光)以上级别,除了泥质的泥岩、泥灰岩、碳质泥岩、灰质泥岩储集空间不发育,不具备储集性能以外,其它岩类均见到含油显示。

2.1.2 物性标准

依据岩性及含油性标准,利用荧光薄片分析资料和对应的物性资料统计建立,不同岩性的物性下限也不同:白云岩储层含油孔隙度下限定为 2%(图 3),灰岩含油孔隙度下限定为 1%(图 4)。

2.1.3 电性标准

由于潜山一般无单层试油,均为全井段裸眼试油,无法单独制定电性标准。从实际的试油资料来看,试油井段中有荧光级别以上显示的储层深侧向视电阻率一般小于 2 000 $\Omega \cdot \text{m}$,参考其它各种文献资料,深侧向视电阻率标准取 2 000 $\Omega \cdot \text{m}$ 作为界限;三孔隙度测井标准白云岩储层取计算的总孔

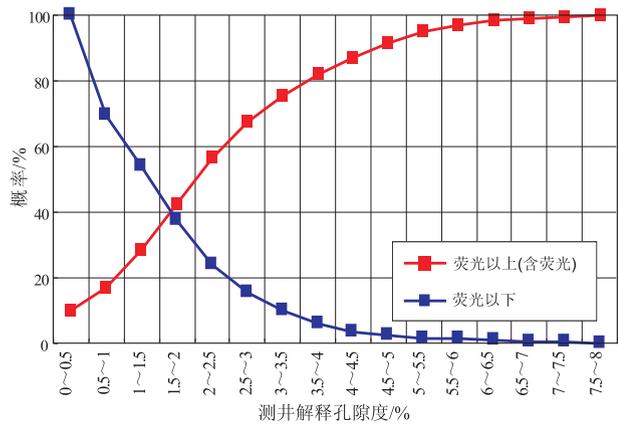


图 3 白云岩物性标准

Fig. 3 Dolomite petrophysical property standard

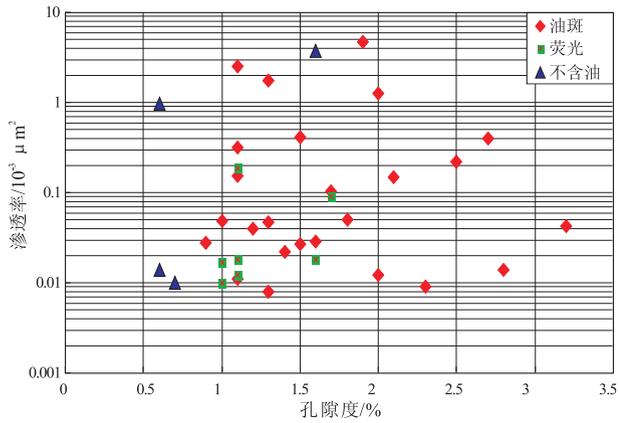


图 4 灰岩物性标准

Fig. 4 Limestone petrophysical property standard

隙度下限 2%,灰岩取计算的总孔隙度下限 1%。

划分有效厚度时,依据建立的标准,成像测井的裂缝、孔洞发育解释和核磁测井的可动流体解释等有效储层划分结果,结合岩心录井的显示、试油情况,综合确定。鉴于碳酸盐岩储层岩电关系的复杂性,可以利用典型井的产液剖面测量结果进一步验证有效厚度划分结果的可靠性^[11-12],提高有效厚度划分的可信度。

2.2 有效厚度选值

济阳拗陷碳酸盐岩潜山一般都经过多期的构造运动,地层结构和组合关系都比较复杂,目的层的地层厚度和油气藏的有效厚度平面变化都很大,利用通常的井点有效厚度内插等值线法或算术平均法进行单元有效厚度取值可能会存在很大偏差。图 5 为济阳拗陷北部 ZG25—CB301 潜山油藏剖面图,图中出现地层倒转重复加厚现象,单井钻遇的有效厚度虽然很大,但这种有效厚度加厚具有明显的方向性和局限性,不能按照常规的方法进行选值,必须考虑构造的形态,否则会出现很大的偏差。

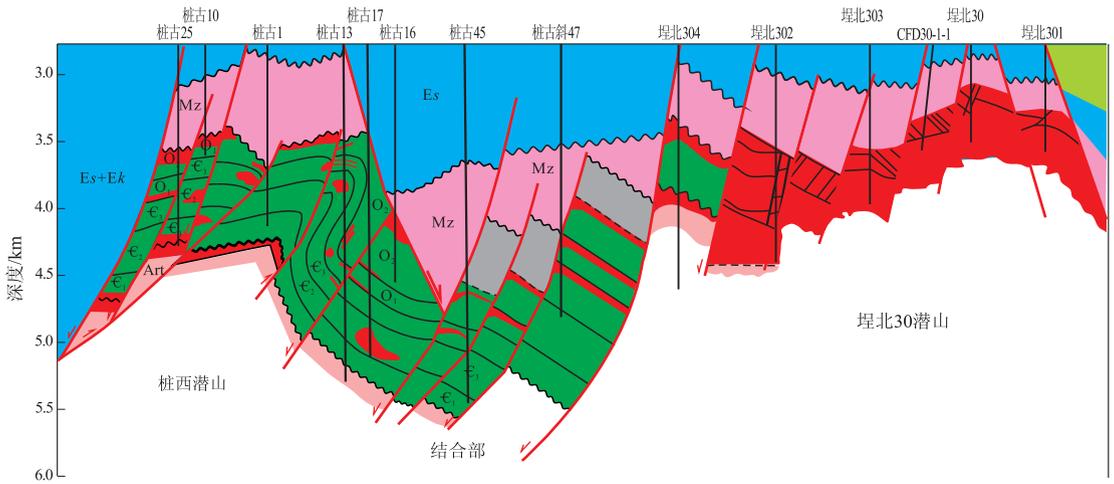


图5 济阳坳陷北部 ZG25—CB301 潜山油藏剖面

Fig. 5 Profile of ZG25—CB301 buried-hill reservoir, northern Jiyang Depression

另外,在 CB304—CB301 潜山带,不同井钻遇潜山地层也不尽相同,部分井还存在钻遇地层不全的现象,按照常规方法进行选值同样会出现很大的偏差。鉴于济阳坳陷碳酸盐岩潜山的诸多特殊性,在油藏平均有效厚度选值时,通常的方法是首先利用钻井资料结合地震研究成果,编制油水界面以上目的层的地层等厚图,然后,根据单井钻遇的有效厚度及钻井部位综合确定目的层净毛比(有效厚度与地层厚度的比值),进而绘出有效厚度等值图,面积权衡后进行有效厚度取值。必须要强调的是目的层净毛比的综合确定也不是简单的全部井点净毛比算术平均,必须注意井点实际钻遇目的层的情况,有时可以利用钻遇目的层不同层段的多口井进行组合取值。

3 结束语

碳酸盐岩储层非均质性强烈,储集空间和储层类型复杂多样,地层结构、组合关系也比较复杂,储层分类评价及油层有效厚度划分、油藏有效厚度选值是碳酸盐岩潜山储量计算的关键环节。针对不同的储层类型,可以利用常规测井和新方法测井不同的响应特征,进行储层有效性的定性识别和定量描述。依据建立的标准,以及成像测井的裂缝、孔洞发育解释和核磁测井的可动流体解释等成果,并结合岩心录井的显示、试油情况,综合确定单井有效厚度。利用典型井的产液剖面测量结果,进一步验证有效厚度划分结果的可靠性。结合具体油藏的特征,通过含油层段地层厚度的定量计算和有效

厚度净毛比的转换,计算油藏单元的有效厚度。上述方法在济阳坳陷多个碳酸盐岩潜山油藏储量计算中得到了应用,取得了很好的效果。

参考文献:

- [1] 李丕龙,张善文,王永诗,等. 多样性潜山成因、成藏与勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2003:44—51.
- [2] 马立驰,王永诗,姜在兴,等. 断陷盆地碳酸盐岩潜山储层模式:以渤海湾盆地济阳坳陷为例[J]. 石油实验地质,2006,28(1):21—24.
- [3] 徐春华,王亚琳,杨贵丽. 渤海湾盆地济阳坳陷冶里—亮甲山组层状储层成因及其影响因素[J]. 石油实验地质,2009,31(4):362—365.
- [4] 罗利,任兴国. 测井识别碳酸盐岩储集类型[J]. 测井技术,1999,23(5):355—360.
- [5] 塞拉 O. 测井解释基础与数据采集[M]. 北京:石油工业出版社,1992:413—428.
- [6] 杨世夺,雷霄,蔡军,等. 随钻电阻率成像测井在北部湾碳酸盐岩储层中的综合应用[J]. 测井技术,2010,34(2):177—182.
- [7] 蔡希源. 现代测井技术应用典型实例[M]. 北京:中国石化出版社,2009:54—67.
- [8] 王端平,张敬轩. 胜利油区埕北30潜山储集性裂缝预测方法[J]. 石油实验地质,2000,22(3):250—255.
- [9] 梁积伟,李宗杰,刘昊伟,等. 塔里木盆地塔河油田 S108 井区奥陶系一间房组裂缝性储层研究[J]. 石油实验地质,2010,32(5):447—452.
- [10] 李善军,汪涵明. 碳酸盐岩地层中裂缝孔隙度的定量解释[J]. 测井技术,1997,21(3):205—214.
- [11] 樊政军,柳建华,马勇. 塔河油田石灰岩洞缝型储层测井评价[J]. 天然气工业,2007,27(7):45—48.
- [12] 赵强,沈启南,余传斌,等. 产液剖面测井技术在碳酸盐油田的应用[J]. 石油仪器,2006,20(2):75—77.