

# 古城油田泌125区块核三段V油组 边际储层界限识别方法

黄金山

(中国石化股份公司油田事业部,北京 100728)

**摘要:**古城油田泌125区块核三段V油组存在泥岩低自然伽马现象,有效储层的自然伽马值范围宽,且与无效储层自然伽马值范围交叉;油藏埋藏浅,地层水矿化度低,自然电位幅度异常小,有效储层自然电位范围宽,且与无效储层自然电位范围交叉;2种主要岩性识别曲线相继失效或部分失效,使得研究区有效储层识别困难。根据目的层段无法给出有效储层确定性测井下限的现状,剖析了产生这种复杂现象的地质因素,结合实际资料,综合多种测井信息,经过去伪存真处理,建立了适合研究区特点、包含多种测井信息的自然伽马幅度异常边际界限模型、自然电位幅度异常边际界限模型和无效储层剔除界限。应用建立的边际储层识别模型,重新解释了研究区108口井,新增解释油层37层共26.4 m;剔除误解油层18层共15.6 m;修正了原来解释油层的厚度。建立的复杂岩性岩石边际储层识别模型,适用于快速沉积的扇三角洲体系,有望推广至冲积扇、水下扇等快速沉积体系。

**关键词:**扇三角洲 低自然伽马泥岩 有效储层 边际储层界限识别 古城油田

**中图分类号:** TE112.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)03-0028-05

具有储油能力的岩石称为有效储层,不具备储油能力的岩石称为无效储层。略高于储油界限的储层称为边际储层<sup>[1-2]</sup>。普通原油、稠油均存在储层边际界限。目前,多数研究者一般给出某油田的有效储层下限。试油、试采资料证明确定性下限不能完全反映油田实际,常可见低于声波时差界限的干层试油后出油,自然伽马幅度异常小的岩石储油,实践证明储层有效性识别非常复杂。砂岩尤其是泥质含量高的砂岩储层,其有效性难以准确判断,成为当前储层研究难点。古城油田泌125区块核三段(H3)V油组油藏埋深为650 m,总矿化度为9 320 mg/L,地面原油粘度为700~6 868 mPa·s。受沉积环境和原油性质双重因素影响,自然伽马和自然电位岩性识别曲线失效或部分失效,有效储层难以识别,生产上只能依靠取心、录井资料划分确定有效储层。鉴于此,笔者根据研究区油藏的沉积环境、岩性特征、原油性质、油气聚集规律和岩电响应特征,提出了应用测井学理论识别该区边际储层的方法。

## 1 沉积特征

古城油田泌125区块位于泌阳凹陷北部斜坡带

西段,北部为社旗凸起,东南部为桐柏山区。南部栗园大断裂的发育使泌阳形成南深北浅的箕状凹陷。晚始新世核三段沉积时期是凹陷主要沉积期,湖盆范围最广,水体最深,沉积中心位于东南部安棚一带。该区为扇三角洲沉积,物源来自西北方向。

泌125区块核三段岩石的颜色多为浅灰色、灰色、灰白色、灰褐色、棕色、褐色。这表明研究区目的层段形成于气候干燥的浅水沉积环境。粒度概率累积曲线有2种类型:①三段式,由滚动、跳跃和悬移组分组成,粒径范围变化大,粗粒组分含量高,为强牵引河道沉积<sup>[3]</sup>;②两段式,由跳跃和悬浮总体组成,水流强度相对弱。沉积环境决定了沉积物的岩性特征,近源快速沉积的必然结果是颗粒相对粗、砂岩中泥质含量较高。

研究区核三段V油组可划分为5个层,其中V-2—V-5层为油层,V-2和V-3层均可进一步划分为3个小层。

## 2 岩石成分与含油性

### 2.1 岩石成分

矿物组分中石英含量为33%~73%,长石含量

收稿日期:2014-03-07。

作者简介:黄金山,男,高级工程师,从事油田开发技术及管理工作。联系电话:(010)59968519,E-mail:huangjs@sinopec.com。

基金项目:国家自然科学基金项目“火山活动背景下优质储层发育机制——以海拉尔盆地贝中地区为例”(41302095)。

为17%~29%,岩屑含量为6.2%~42.8%。碎屑颗粒中值多为0.1~0.35 mm,主要为细砂岩和中粗砂岩(表1)。按照骨架颗粒和填隙物组分比例可将砂

泥岩剖面中具有储集性能的岩石分为2类,即骨架颗粒含量高、填隙物含量低的纯砂岩,以及骨架颗粒含量相对低、填隙物含量相对高的泥质砂岩<sup>[4-5]</sup>。

表1 古城油田泌125区块储集岩矿物成分统计

井号	样品数/个	碎屑含量, %				胶结物含量, %		胶结类型	磨圆度	分选
		石英	长石	岩屑	其他矿物	泥质	碳酸盐			
古4108	14	73	20	6.2	0.8	3.1	5.4	孔隙	棱角	中
泌126	67	33	22	42.8	2.2	4.8	9.1	孔隙	次尖	中
古4305	10	39	17	24	20	16.4	2	孔隙	次尖	中
古4104-2	13	40	19	40.5	0.5	6.7	5.7	孔隙	次尖	中
古4907	9	61	29	10	0	4.9	3.3	孔隙	次尖	中

### 2.2 含油性特征

岩心观察表明,纯砂岩储集性能好,含油性通常能达到饱含油和油浸级别。泥质砂岩的含油性则变化较大,中粗颗粒、分选性好的砂岩,即使泥质含量相对高,也仍然具有良好的储集性能。细砂、粉砂岩在泥质含量高时便失去储油能力,甚至失去储集性能。

## 3 岩石复杂测井响应特征

正常三角洲中砂岩的泥质含量低,岩电响应特征符合一般规律,如砂岩的自然伽马、自然电位幅度异常大,孔隙度高时声波时差大,孔隙度低时声波时差小,油层电阻率高<sup>[6-8]</sup>,水层电阻率低,各种曲线匹配程度高,砂岩容易识别。泥岩无自然伽马和自然电位幅度异常、声波时差大、电阻率低,电性特征明显。

研究区受沉积环境、岩石成分、地层水、原油性质等因素影响,岩石测井响应特征复杂。其中复杂的岩石学特征是电测响应特征复杂的根本原因。

### 3.1 泥岩或砂质泥岩自然伽马幅度异常大

泥岩自然伽马幅度异常小为一般规律,但研究区存在泥岩或砂质泥岩自然伽马幅度异常大的现象。如古4304井H3V-3-1小层(图1),自然伽马幅度异常值为-57%,但无自然电位幅度异常,电阻率低,判断为无效储层。临近的H3V-3-2小层自然伽马幅度异常值只有-47.5%,然而,自然电位幅度异常大,电阻率高,判断为有效储层(图1)。H3V-3-1小层除自然伽马幅度异常较大外,其他电测响应特征接近砂质泥岩。究其原因:初步认为研究区属于近源快速沉积环境,沉积过程中砂泥机械分异不充分,常见为砂泥混合的岩石<sup>[8-10]</sup>。当泥质物快速沉积时,来不及吸附放射性元素,从而表现为自

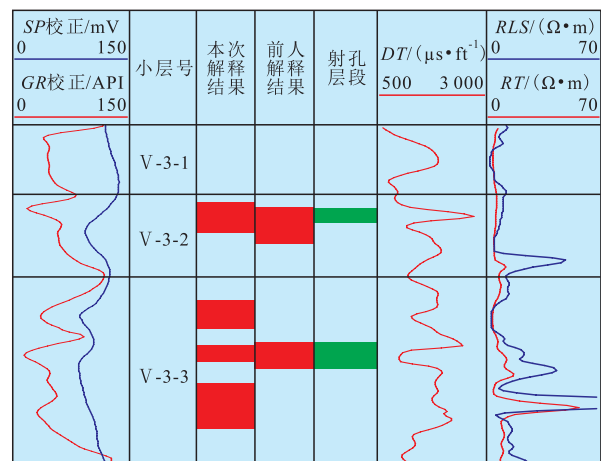


图1 古4304井H3V-3层测井响应特征

然伽马幅度异常大的特征。

### 3.2 有效储层自然伽马幅度异常小

有效储层自然伽马幅度异常通常较大,但研究区已投产井证实部分油层自然伽马幅度异常小<sup>[9]</sup>。如古4508井H3V-2-1小层,自然伽马幅度异常值仅为-41.2%,自然电位幅度异常值为-36.1%,电阻率为26.4 Ω·m(图2)。该小层除自然伽马幅度异常较小之外,其他电性特征指示为油层。

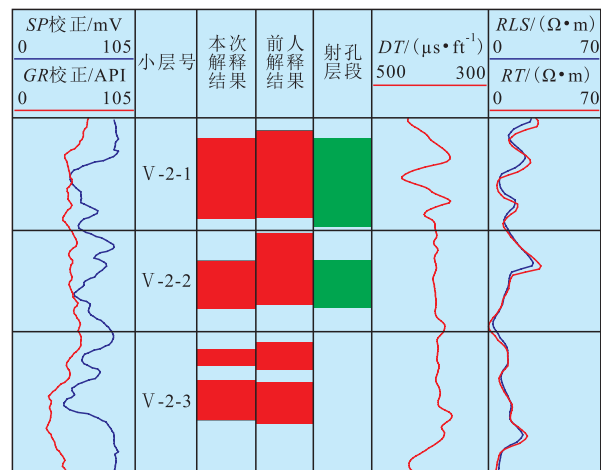
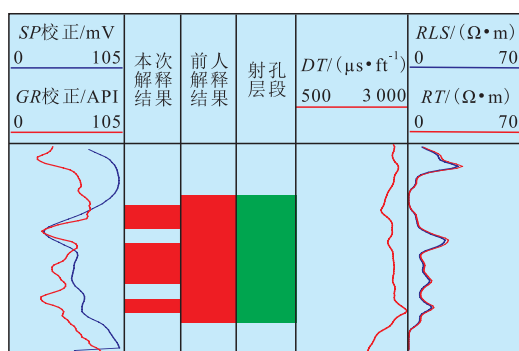


图2 古4508井H3V-2层测井响应特征

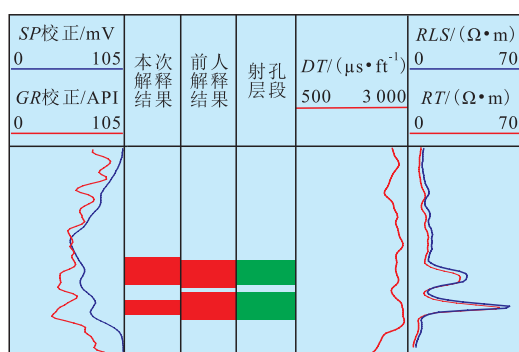
自然伽马幅度异常小的砂岩能够储油是研究区又一特殊现象,推测为粒度较粗、孔渗性好的砂岩,在快速沉积过程中伴随有一定泥质物,导致自然伽马幅度异常小,但这些泥质物不足以使储层的渗透性完全丧失,因而,储集原油后又表现为高电阻特征。

### 3.3 自然伽马、自然电位幅度异常大的无效储层

自然伽马和自然电位幅度异常大、声波时差大,通常认为是好储层,而研究区存在自然伽马和自然电位幅度异常大却为无效储层的现象,表现为低电阻特征。如古4310井H3V-3-3小层,下部层段的自然伽马幅度异常值为-59.2%,自然电位幅度异常值为-45.6%,电阻率为 $25.3 \Omega \cdot \text{m}$ ;上部层段自然伽马幅度异常值为-54%,自然电位幅度异常值为-49.6%,电阻率仅为 $11.9 \Omega \cdot \text{m}$ (图3)。根据电阻率变化,下部高电阻部分判断为有效储层,上部低电阻部分判断为不能储集原油的无效储层。该小层为正韵律砂体,初步判断上部低电阻部分碎屑颗粒细、物性差,粘度较高的原油不能进入,且自然伽马幅度异常不够准确,砂岩中泥质含量较高。



a—古4709井



b—古4310井

图3 古4709和古4310井H3V-3-3小层低声波时差油层

### 3.4 有效储层声波时差低于下限标准

有效储层存在声波时差下限,通常给出确定性下限<sup>[10-12]</sup>。研究区为埋藏浅的高渗透稠油油藏,一般认为声波时差的确定性下限为 $325 \mu\text{s}/\text{m}$ ,但也存在低于声波时差下限的油层。如古4709井H3

V-3-3小层底部油层的声波时差为 $312 \mu\text{s}/\text{m}$ ,古4310井H3V-3-3小层底部油层的声波时差为 $316 \mu\text{s}/\text{m}$ 。

声波时差下限常被作为有效储层判别的重要依据,低于声波时差下限的储层被判断为无效储层。生产中时常见到具有较大自然伽马和自然电位幅度、高电阻特征的砂岩,声波时差低于有效储层下限。将这类储层归于干层不合理,归于油层声波时差下限又不够,但投产后出油证明这类层属于油层。因此,推测其声波时差小的原因可能是岩石的岩性纯、相对致密、孔隙度相对小,但喉道半径大、孔隙连通程度高、渗透率高。

### 3.5 油层电阻率差异大

油层电阻率差异大是研究区又一重要特征,电阻率最高值为 $745 \Omega \cdot \text{m}$ ,最低值为 $10 \Omega \cdot \text{m}$ 。根据油气聚集规律分析以及试采结果证实,电阻率超过 $10 \Omega \cdot \text{m}$ 的储层多为油层。如古4709井H3V-3-3小层电阻率为 $11.8 \Omega \cdot \text{m}$ (图3a)。

电阻率是研究区相对稳定的测井曲线,油层电阻率高、水层电阻率低的特征明显。但油层内部也存在大于 $10 \Omega \cdot \text{m}$ 的无效储层。如古4310井H3V-3-3小层上部无效储层的电阻率达到 $11.9 \Omega \cdot \text{m}$ (图3b)。

油层下限为 $10 \Omega \cdot \text{m}$ ,但油层内部无效储层的电阻率又大于 $10 \Omega \cdot \text{m}$ ,无效储层和有效储层电阻率界限存在交叉现象。

## 4 边际储层界限

根据岩心观察、试油、试采、投产资料统计,有效储层自然伽马幅度异常值多小于-50%,平均值为-62.5%;有效储层自然伽马幅度异常小的上限值为-36.7%;无效储层自然伽马幅度异常较大,最大值为-100%。自然电位幅度异常值上限一般为-10%,平均幅度异常值为-31.3%;部分有效储层自然电位幅度异常值上限为-2%。该区自然电位幅度异常值为-10%~-2%的油层有74层,占总油层数的比例为7.77%。声波时差下限一般大于 $325 \mu\text{s}/\text{m}$ ,油层声波时差平均值为 $367 \mu\text{s}/\text{m}$ ,但也存在低于声波时差下限的油层,该区25个油层的声波时差为 $306 \sim 325 \mu\text{s}/\text{m}$ 。电阻率下限一般大于 $10 \Omega \cdot \text{m}$ ,油层电阻率平均值为 $23.84 \Omega \cdot \text{m}$ ,电阻率为 $10 \sim 15 \Omega \cdot \text{m}$ 的相对低电阻油层数为365个,占总油层数的比例为38.3%。

鉴于有效储层各种电测界限的巨大差异,以及



无效、有效储层的相关电测指标交叉重叠,测井解释标准难以确定,有效储层识别成为该区的研究难题。以前以取心井、岩屑录井、试油、试采井资料为基础识别有效储层,但对于资料丰度较低的井有效储层识别不够准确,部分无效储层被误解为油层,部分油层又作为无效储层漏解。如古4304井的H3 V-3-3小层,原来解释1层油层,此次解释3层油层(图1)。

测井曲线从不同侧面反映出岩石的岩性、物性和含油性特征,大量实践证明了测井学基本原理的科学性和实用性。纯岩性岩石测井响应特征清楚,依据各类测井曲线就能正确划分出有效储层。快速沉积环境下混合岩性岩石,某种或几种测井信息不够准确,而依据系列不全的测井信息又不能准确划分出有效储层。于是,探索性开展了混合岩性边际储层的测井识别方法研究,思路是综合应用多种测井系列,从中提取有效信息,经过去伪存真处理,建立有效储层识别模型。

由于不同测井仪器的测量精度和刻度存在差异,建立有效储层识别模型之前,需要对研究区测井曲线进行标准化处理。对自然电位曲线进行基线偏移校正后,全部转化为-100%~0的刻度范围,即-100%时曲线的幅度异常最大,0为泥岩基线位置。自然伽马曲线在消除个别异常测量值后,将自然伽马计数率和标准的API刻度测井数据全部转化为-100%~0的刻度范围,即-100%为自然伽马的最大幅度异常,0为泥岩基线位置。经过以上处理,将岩石的自然电位和自然伽马幅度异常刻度进行统一,为建立边际储层测井识别模型奠定了基础。声波时差和电阻率曲线的测井差异,通过读取目的层段纯泥岩的电阻率和声波时差值,平面上经过趋势面校正,消除不同时期、不同测井系列的测量误差。

#### 4.1 自然伽马幅度异常边际界限

研究区有效储层自然伽马幅度异常的范围为-100%~-36.7%。据实际资料统计,部分砂体自然伽马幅度异常值大于-65%即为无效储层,部分砂体自然伽马幅度异常值仅为-36.7%却具有储油能力,因此,单纯按照自然伽马幅度异常大小判断有效储层无效。

高电阻层多为油层,因此,将电阻率因素纳入到有效储层自然伽马幅度异常值上限的判别式中,势必将提高有效储层判断的准确率;另一方面,致密砂岩也具有高电阻特征,高层必须具有渗透性才可能是有效储层,为此,将自然电位幅度异常也

纳入到有效储层自然伽马幅度异常值上限的判别式中。若储层具有渗透性且电阻率高,判断为油层正确性概率将进一步提高。

电阻率和自然电位幅度异常在自然伽马下限中所占的比例,是此次建立模型的一个难点,其中,模型的数学形式、参数的取值合理性是建立的模型能否适应研究区情况的关键。

根据油层判别的原则,电阻率越高,判断为油层的可能性越大,则允许自然伽马幅度异常值上限值越大,即自然伽马幅度异常上限值与电阻率成反比。但油层电阻率差异很大,采用线性比例不能满足对有效储层的判断,故将电阻率因素设置为对数形式。自然电位幅度异常表征了储层渗透性差异,与自然伽马幅度异常也成反比关系,同样为了满足有效储层判断,将其设置为指数形式。模型中参数 $a, b, c, m$ 和 $n$ 的数值根据实际资料反复验证后确定,模型表达式为

$$GR_{\text{界限}} = a + b(-SP)^m + c \ln(1 + R)^n \quad (1)$$

式中: $GR_{\text{界限}}$ 为自然伽马幅度异常上限值,其值为负,%; $a, b, c$ 为系数,其值分别为-95, 3.5, 5; $SP$ 为自然电位幅度异常值,其值为负,%; $m$ 和 $n$ 为指数,其值分别为0.5和1.2; $R$ 为电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

依据建立的模型计算,自然伽马幅度异常上限值不再是固定值,而是随着储层电阻率和自然电位幅度异常值的变化而变化。

#### 4.2 自然电位幅度异常边际界限

研究区的有效储层自然电位幅度异常值为-92.3%~-2%。据实际资料统计,部分砂体自然电位幅度异常值大于-10%即为无效储层,部分砂体自然电位幅度异常值仅为-2%却具有储油能力,因此,单纯按照自然电位幅度异常大小判断有效储层无效。

尽管研究区部分泥岩、砂质泥岩具有自然伽马幅度异常大的情况,但并不影响岩性较纯的砂岩具有较大的自然伽马幅度异常,换句话说,具有较大自然伽马幅度异常的砂岩极有可能是有效储层;而自然伽马幅度异常小的砂岩仍然多属于无效储层。因此,模型设置自然电位幅度异常上限值与自然伽马幅度异常值成反比,即自然伽马幅度异常值越小,自然电位幅度异常值越大,才有可能有效储层,模型表达式为

$$SP_{\text{界限}} = a + b \ln(101 + GR)^m + c \ln(1 + R)^n \quad (2)$$

式中: $SP_{\text{界限}}$ 为自然电位幅度异常上限值,其值为负,%; $GR$ 为自然伽马幅度异常值,其值为负,%;

$a, b, c$ 的值分别为 $-7, -2, 3.6$ ;  $m$ 和 $n$ 的值均为 $1.2$ 。

根据研究区有效储层电性响应特征,自然伽马幅度异常和自然电位幅度异常上限值界限均比较宽泛,任何一种上限值模型都不能单独判断出有效储层,2个上限值模型的交集部分才能判断为有效储层。

#### 4.3 无效储层剔除界限

油层内部常存在电阻率差异,按照储层物性与含油性关系判断,高粘原油进入高渗透层段呈现高电阻特征,原油未能进入的低渗透层段则呈现低电阻特征。渗透性的差异在测井信息中反映出来,如高渗透层段自然伽马、自然电位幅度异常大、声波时差较大,低渗透层段则相反。但研究区油层的电阻率信息与自然伽马、自然电位幅度异常、声波时差大小的关系不符合一般规律。自然电位、自然伽马和声波时差未能完全有效地反映出储层的渗透性信息。如古4310井H3V-3-3小层(图3),下部储层电阻率为 $30 \Omega \cdot m$ ,声波时差为 $330 \mu s/m$ ,上部储层电阻率为 $12 \Omega \cdot m$ ,声波时差为 $335 \mu s/m$ ,而自然电位和自然伽马幅度异常相差不大。

为了准确识别出有效储层、剔除无效储层,以油层电阻率平均值的80%作为剔除无效储层界限,层段电阻率低于油层电阻率平均值80%的储层为无效储层,剔除无效储层的电阻率上限设置为 $15 \Omega \cdot m$ ,以免错误地将无效储层当作有效储层。

## 5 应用效果

泌125区块核三段V油组已投入开发十几年,积累了大量试油、试采、投产、补孔等资料,投产的油层相对落实,油层分布规律清楚。以油田实际资料为依据,建立了有效储层边际界限模型,经现场资料反复检验,证明边际界限模型合理,基本解决了研究区储层岩性复杂、有效储层电性界限宽、有效与无效储层界限相互交叉、难以给出确定性下限的难题。而且应用储层物性与含油性的基本原理,成功剔除了油层内部的无效储层,进一步提高了有效储层识别的准确率。

应用建立的储层识别模型,重新解释了研究区的108口井,新增解释油层37层共26.4 m;剔除误解油层共18层15.6 m。根据最新研究成果,2013年11月26日优选了古4807井H3V-4-1小层新增解释

油层补孔,增产油量为2 t/d,油井月产油量由35 t提高到2013年12月的90 t。

## 6 结束语

根据目的层段无法给出储层确定性测井下限的现状,研究中剖析了产生这种复杂现象的地质因素,结合实际资料,综合多种测井信息,经过去伪存真处理,建立了适合研究区储层特点、包含多种测井信息的自然伽马、自然电位幅度异常边际界限模型和无效储层剔除界限。联合使用这些模型,使研究区有效储层测井解释得以实现,扭转了过去只能依靠取心、录井方法识别有效储层的不利局面。

建立的复杂岩性岩石边际储层识别模型,适用于快速沉积的扇三角洲体系,也有望推广至冲积扇、水下扇等快速沉积体系。

#### 参考文献:

- [1] 王友净,林承焰,董春梅,等.乐安油田草4块沙四段储层沉积特征与非均质性研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(3):7-12.
- [2] 张振国,李瑞,周洪义,等.辽河盆地沙三段水下扇沉积模式[J].特种油气藏,2013,20(2):52-55.
- [3] 孙铭赫,程璐,田继军.古城油田泌123和泌124区块核三段IV砂组沉积微相[J].油气地质与采收率,2013,20(2):34-38.
- [4] 马艳萍,刘立.大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征[J].沉积学报,2003,21(4):607-613.
- [5] 宁士华,肖斐,束宁凯.沾化凹陷馆上段湖相沉积砂体特征[J].油气地质与采收率,2013,20(2):45-47.
- [6] 张晋言.非均质稠油油藏储层测井响应特征与评价[J].油气地质与采收率,2013,20(3):41-45.
- [7] 程东风,耿秋红,贾福东,等.低渗透油藏储层识别及有效厚度下限的确定[J].钻采工艺,2013,36(3):62-65.
- [8] 袁可红,李艳晓,诸克军.基于粗集约简的群智能算法的储层识别[J].湖南工业大学学报,2008,22(5):46-48.
- [9] 李高仁,郭清娅,石玉江,等.鄂尔多斯盆地高自然伽马储层识别研究[J].测井技术,2006,30(6):511-515.
- [10] 范宜仁,李虎,丛云海,等.测井资料标准化方法适用性分析与优选策略[J].特种油气藏,2013,20(2):8-11.
- [11] 王艳忠,操应长.车镇凹陷古近系深层碎屑岩有效储层物性下限及控制因素[J].沉积学报,2010,28(4):752-760.
- [12] 袁新涛,彭仕宓,林承焰,等.分流单元精确求取储层渗透率的方法[J].石油学报,2005,26(6):78-81.