

# 南堡凹陷高柳地区深层岩性油藏成藏条件研究

张敬艺, 卿颖, 程丹华, 刘学超, 文雯, 薛林

(中国石油冀东油田分公司勘探开发研究院, 河北唐山 063004)

**摘要:**南堡凹陷高柳地区油气资源丰富,具有良好的构造背景,沙河街组三角洲前缘砂体发育,储层物性主要为中孔-中低渗透层,沙三<sup>2</sup>亚段顶部发育稳定的厚层泥岩段,北东走向断层是油气垂向运移的主要通道,油气运移方式以阶梯状运移方式和“T”形或网状运移方式为主,具有形成下生上储三角洲前缘砂岩岩性油藏的物质基础。古近系东营组地层沉积末期,该区构造运动减弱,断层不发育,具有良好的保存条件。区内发育4种典型的砂岩岩性油藏成藏模式,分别是砂体上倾尖灭油藏、透镜体油藏、不整合遮挡油藏和断层-岩性油藏。研究认为沙河街组分流河道砂岩油藏的形成与分布主要受烃源、构造和岩性三重因素控制。

**关键词:**南堡凹陷;高柳地区;岩性油藏;成藏模式;沙河街组

**中图分类号:**TE112.322

**文献标识码:**A

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷的东北部,北面紧邻燕山褶皱带,是一个在华北地台基底上经中、新生代断块运动而形成的,具有北断南超结构的典型陆相断陷盆地箕状凹陷构造特征<sup>[1]</sup>,是渤海湾盆地北侧一个小型的油气富集区。高柳地区位于南堡凹陷北部,由2个正向构造单元(高尚堡构造和柳赞构造)和1个负向构造单元(拾场次凹)组成<sup>[2-3]</sup>,总面积约200 km<sup>2</sup>。高柳地区深层主要指沙三段地层,自1979年N27井在沙河街组发现工业油流以来,先后在构造主体部位的始新统沙河街组三段各亚段地层中发现多套含油层系,并获得高产工业油流,累计探明石油地质储量近亿吨<sup>[4]</sup>。重新认识该地区的成藏条件,认为以往勘探以构造油藏为主要的勘探对象,而在主体构造翼部、高柳斜坡区的勘探程度较低,特别是沙河街组沙三段,以三角洲前缘砂岩沉积为主,与断层有机配置,具有形成大量岩性与构造-岩性油藏的良好条件。近两年通过转变勘探思路,实现了由构造油藏向岩性油藏、由构造高部位向构造斜坡的转变<sup>[5]</sup>,积极开展沙三段砂岩岩性油藏的勘探,形成了千万吨级的储量规模,取得了新发现。

## 1 沙河街组岩性油藏成藏条件

### 1.1 构造条件

南堡凹陷北部和东北部边缘分别为西南庄断裂和柏各庄断裂,断裂活动时间长、继承性强、断距大,控制着盆地的形成和发展,凹陷南缘逐步过渡为较

缓的斜坡。总体上,南堡凹陷为一个北深南浅、北断南超的箕状凹陷。高柳断裂带为凹陷内最重要的一条南北分区性断裂,控制着凹陷南北两侧的沉积和构造演化。

新生代以来,南堡凹陷进入了主要的成盆时期,早渐新世沙河街组沉积时期,受柏各庄断裂的影响,断陷基本上呈NW向的半地堑式展布,分布范围小,以现今的拾场次凹为主,并向南西方向超覆。由于高柳断层开始活动,在前古近系地层中派生一系列北东走向和近东西向断层,形成了北西向展布的基岩隆起上逐渐形成的潜山披覆背斜构造带。

高北主体部位是一个复式油藏富集带,被北东向、北西向两组断层切割形成多个小断块,背斜高部位发现多个沙一段、沙三段断块型油藏,且含油连片。高北斜坡构造相对简单开阔,地层总体上呈南抬北倾、西抬东倾的构造形态,地层厚度由低向高上倾减薄。

### 1.2 烃源岩条件

高柳地区紧邻拾场生烃次凹,具有良好的油气供给条件。南堡凹陷是一个典型的陆相淡水湖泊沉积盆地,形成了半深湖-深湖相暗色泥岩和油页岩等优质烃源岩,自下而上发育沙三段、沙一段、东三

收稿日期:2013-06-28

作者简介:张敬艺,工程师,1981年生,2007年毕业于西北大学地质学系构造专业,获硕士学位,现在从事物探解释工作。

基金项目:中国石油股份公司科技攻关专项基金资助项目“南堡凹陷中深层勘探潜力及有利目标评价技术研究”(2011D-0704)。

段3套烃源岩,油气资源丰富<sup>[6]</sup>。各层段烃源岩中,以沙三<sup>4</sup>亚段烃源岩最为发育,该套烃源岩呈纹层状结构,形成于湖盆发育鼎盛时期的最大水深期,即沉积速率低、粒度细,对应于最大欠补偿沉积段,湖盆可容空间最大时期。主要由灰色、深灰色、灰黑色泥岩、钙质泥岩、油页岩组成,夹有薄层砂岩。地层厚度在400~900 m,泥岩厚度大于300~400 m,暗色泥岩厚度在200~300 m,油页岩厚度在20 m左右,且分布范围广,TOC一般大于2%,多数为2.5%~5%,部分高达8%以上,R<sub>o</sub>大于1.4%,是一套优质的烃源岩。

### 1.3 沉积条件

古近系沙河街组沙三段沉积时期,受柏各庄断裂的影响,断陷基本上呈NW向的半地堑式展布,分布范围小,沉积中心位于拾场次凹西南部,高柳地区形成了三角洲相沉积体系,区内物源主要来自北东方向柏各庄断层上升盘的柏各庄凸起,以扇三角洲沉积为主。沙三<sup>1</sup>-沙三<sup>3</sup>亚段地层岩石组合为灰、灰绿色泥岩与浅灰、灰白色砂岩及杂色含砾砂

岩,沙三<sup>4</sup>亚段岩性以泥岩为主,夹细砂岩、页岩、油页岩,该层段是主力烃源岩层。据岩心观察,平行层理、交错层理、水平层理、块状层理较发育,底冲刷现象不甚明显,底砾岩不发育。通过对8口取心井的岩石薄片、铸体薄片鉴定资料统计分析,石英含量为25%~35%,平均为26%,岩屑含量为30%~45%,平均为39%,砂岩类型以岩屑质长石砂岩、长石质岩屑砂岩为主,说明成分成熟度较低,概率累积曲线以上拱三段式、三段式、两段式为主,反映牵引流与重力流搬运的双重机制中,重力流特征较为明显,这说明本区沉积物的分选性适中。在沉积相带的平面展布上,沙三段沉积时期(图1)该区为扇三角洲前亚相沉积环境,主物源方向为北东,发育水下分流河道砂、远砂坝、浊积砂储层,这些储层横向分布范围较小,一般呈北东向延伸,随着河道多期次的摆动,砂体纵向上相互叠置,平面上相互隔离。受北东方向主物源影响,在高位域时期发育一系列前积砂体,这种岩性体被北东向断层切割形成主断层控制的上倾尖灭或侧向尖灭油藏。

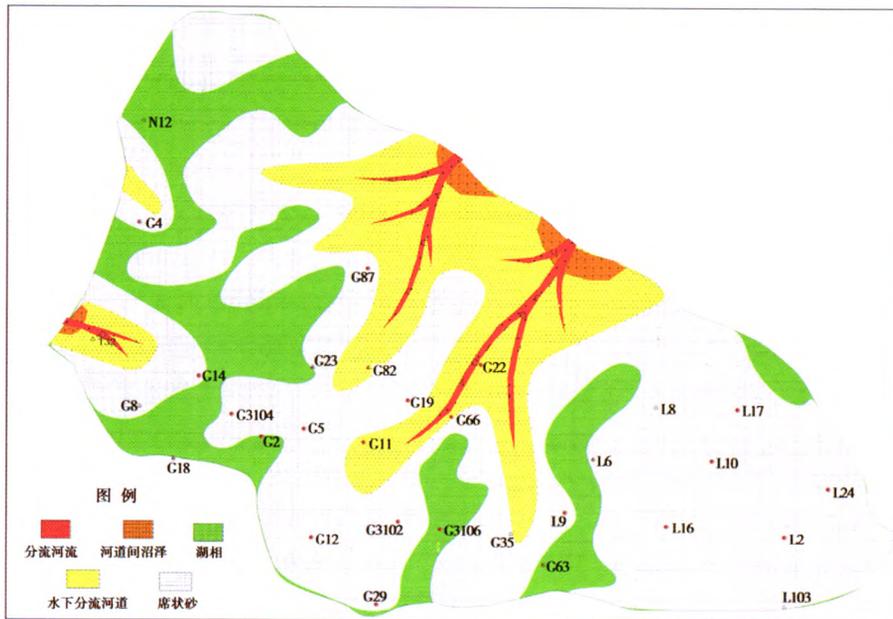


图1 高柳地区 E<sub>3s</sub><sup>3</sup> III 油组沉积微相分布

### 1.4 储集条件

根据前人研究成果<sup>[7]</sup>,岩石类型以岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主,还有少量岩屑砂岩和长石砂岩。主要组成矿物为石英、长石和岩屑,砂岩中石英的含量为25%~35%,平均为26%;岩屑的含量为30%~45%,平均为39%;长石的含量为20%~45%,平均为35%。填隙物主要为方解石和黏土,其次为硅质增生。随着埋深的加大,自生石英

和长石呈次生加大式。黏土矿物多充填孔隙,砂岩总体上呈孔隙式和孔隙-接触式胶结。由于研究区离北部燕山造山带物源较近,砂岩的结构成熟度和成分成熟度较差,分选一般,次尖棱状-中等磨圆,颗粒细-中-粗粒都有。对高柳地区43口井1235个测井孔隙度数据、35口井1636个测井渗透率数据进行统计,其结果表明高柳地区沙三段储层孔隙度介于3.22%~47.54%,平均孔隙度16.31%;渗

透率介于  $(0.2 \sim 1496) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $45.97 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 为中孔中渗到低孔-低渗储层。

### 1.5 保存条件

高柳地区沙三段为扇三角洲前缘亚相沉积, 沙三<sup>3</sup>亚段砂体发育, 具有良好的储集性能, 为主要含油层系。上覆沙三<sup>2</sup>亚段顶部主要发育一套稳定的深湖相泥岩, 分布广泛, 厚度大、连续性好, 泥岩厚 150~200 m 左右, 对高柳地区沙三<sup>3</sup>亚段油气藏的形成和保存起到区域盖层的作用。水下分流河道砂体横向变化快, 常与滨浅湖相泥岩形成侧向接触。在岩性剖面上, 沉积岩以泥岩、粉砂岩和细砂岩为主, 有效储集砂体厚度占地层厚度的 20%~40%, 是一种泥包砂特征, 因此有利于在斜坡部位形成分流河道砂岩上倾尖灭圈闭的良好侧向封堵条件。高北斜坡区发育一系列北东走向正断层, 断距较大, 下降盘上覆泥岩恰好与上升盘下伏分流河道砂岩形成对接, 封堵几率大, 并且泥岩与地层厚度比值大于 50%, 断层面上泥质涂抹可能形成有效的侧向封堵。高柳地区在古近系东营期油气聚集成藏后, 构造运动减弱, 断层不发育。因此, 早期形成的油藏受后期构造破坏的程度弱, 具有比较好的保存条件。

### 1.6 输导体系

油气输导体系是连接烃源灶和油气藏的桥梁和通道, 直接影响油气的运移方向和聚集部位, 决定着油气的散失量和运聚效率, 只有在运移通道上的圈闭, 才能对油气聚集有利。研究区主要输导体系类型有断层型、砂体型、阶梯型三种, 以断层型和阶梯型输导体系为主。

#### 1.6.1 断层型输导体系

断裂对油气运移成藏起着非常重要的作用, 断裂的展布、封闭性及断层的活动时期等各种因素都影响着油气运聚, 它不仅可以作为油气运移的有效通道, 也可以有效地封堵油气。

研究区内断层十分发育, 规模大小不一, 以北东东向、近东西向断层为主, 均为形成于古近纪、长期继承性发育的生长断层, 不仅控制了研究区构造和沉积特征, 还可连接油气源与储集层, 控制着油气的富集规律。

从目前发现的油气藏分布特征来看, 油气主要分布在近北东走向主断层两侧, 北东东走向的断层对油气控制程度较弱。北东走向座椅状主控断层与其倾向相反的次级断层构成油气垂向运移通道, 油气富集于主断层下降盘, 东西走向的座椅状断层油气主要富集在中深层, 铲式主控断层与其倾向相反

的次级断层构成油气垂向运移通道, 油气富集于长期活动断层两侧的圈闭中。

#### 1.6.2 阶梯型输导体系

在砂泥岩层系中, 横穿断层面的运移主要决定于断层两盘并置的岩性, 如果砂岩层与泥岩层并置, 那么横穿断层面的运移将很难发生, 此时断层主要起圈闭作用。如果断距比较小或是砂岩层很厚, 断层两盘仍有砂岩层相通则有横穿断层面的二次运移。

阶梯型输导体系是由断层和骨架砂岩组成的油气由低势区向高势区运移的连续输导系统。断裂活动使砂泥岩地层在断层两盘重新配置。烃源岩生成的油气就可以横穿断层面运移到砂岩中去; 如果砂岩另一端又被泥岩层封堵, 则可能在砂岩层一侧形成一定数量的油气聚集; 当超过断层面封闭的临界高度时, 则油气可沿断层面垂直运移。所以断层是形成圈闭的主要因素, 又是油气垂直运移的重要通道。正是由于断裂活动造成两盘不同岩性的地层对置, 使油气发生横穿断层面和沿断层面的运移, 结果形成了油气呈“阶梯状”运移的模式。

## 2 油气成藏模式及主控因素

### 2.1 主要油气成藏模式

高柳地区沙河街组沙三段岩性油藏为典型的下生上储型油藏。受油源断层、河道砂体侧向变化以及遮断层挡等因素的控制, 易于形成多种形式的岩性、构造-岩性圈闭<sup>[8-9]</sup>。根据其空间配置方式, 建立了四种典型的油气成藏模式(图 2)。

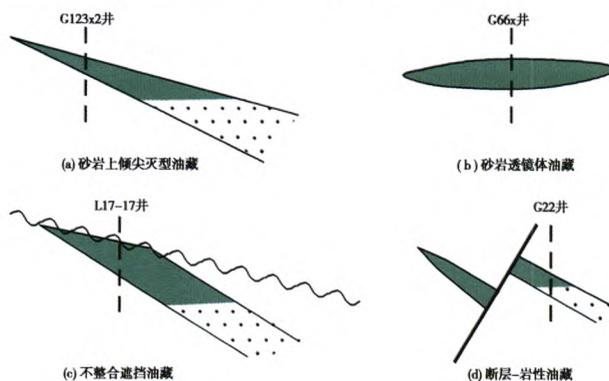


图 2 高柳地区古近系岩性油藏类型

#### 2.1.1 砂岩上倾尖灭型油藏模式

在斜坡背景上当储层沿上倾方向尖灭, 由渗透性岩层变为非渗透性岩层时, 就容易形成岩性上倾尖灭圈闭。沙三段早中期高柳地区表现为北东高南西低的构造格局, 水体变化快, 古近系高位域扇三角

洲前缘进积形成的砂体末端往往是前三角洲泥岩,由于后期高柳断层活动及柏各庄控凹断层活动加剧的影响,使得高柳地区构造发生反转,原本下倾的砂体倾向发生改变形成上倾尖灭的岩性圈闭。泥岩在砂岩上倾方向的封堵作用易形成砂岩上倾尖灭圈闭油气藏。位于高深北区主体部位的高5井区沙三段已钻探证实发育砂岩上倾尖灭型油藏,并进入开发阶段。砂岩上倾尖灭油藏将是高北斜坡带今后勘探的主要类型之一。

### 2.1.2 砂岩透镜体油藏模式

形成这类圈闭油气藏的砂体往往是下切河道或盆底扇,高柳地区毗邻燕山褶皱带,坡型较陡,河道下切作用强烈,为形成河道型透镜体状油气藏创造了良好的条件。另外,扇三角洲前缘一般不太稳定,极易滑塌形成一些重力流水道、浊积扇或盆底扇砂体,在上覆湖相泥岩的封盖下也可形成一些透镜体油气藏,该类油藏有利发育区为洼陷内较低洼处,由于处于生油岩包围之中,因而可能形成较好的油藏,目前在高66x3井已发现此类油藏。砂岩透镜体油藏是今后在高柳斜坡带低部位岩性油藏勘探重要类型。

### 2.1.3 不整合遮挡油气藏模式

地层不整合油藏形成于不整合面之下,储集层以层状砂岩为主,砂岩储集层上下发育泥岩顶、底板层。受构造运动影响,不整合面之下的地层发生不均抬升并遭受剥蚀,使地层产状与不整合面斜交形成地层不整合圈闭。该类油藏的形成主要取决于油气运移通道和不整合面的封闭性,区域上主要分布于构造运动强烈、抬升较高的斜坡高部位、凸起带和古潜山翼部。现今在拾场次凹内的高北斜坡带和柳西斜坡上已发现此类油藏,生产效果良好。

### 2.1.4 断层-岩性圈闭油气藏模式

近岸水下扇、浊积扇砂岩体在上倾方向被断层切割,可形成一些断层岩性圈闭油气藏,该类隐蔽圈闭的侧向封堵主要依赖于泥岩。在本地区对油气封堵有重要意义的高柳断层、高北断层、高22井北断层等,这些地方都可以形成断层-岩性圈闭油气藏。

## 2.2 油气成藏主控制因素

岩性油藏形成的石油地质条件和其他常规油藏无本质区别,都需要具备一定的动态和静态过程<sup>[10]</sup>。根据高北斜坡带已发现油气藏分布特征分析,结合近两年的勘探成果,认为构造背景、有效储层分布及断层是研究区油气富集的重要影响因素。

### 2.2.1 油气运移聚集受构造背景影响

油气的运移聚集依附一定的构造背景,油气自洼槽生烃中心生成以后,由高势区向低势区运移,这是油气运移的总规律。高柳地区在沙三段早中期为南倾的斜坡,沉积中心位于拾场次凹西南侧,在沙三<sup>2</sup>末期由于柏各庄断层活动加剧,经历构造反转,形成现今南高北低斜坡构造。前人研究结果表明,拾场次凹沙三<sup>4</sup>烃源岩大量排烃期为东营期,此时高柳斜坡区构造定型,断裂活动较弱,是油气最佳的运移指向区,有利于捕集油气;高柳构造主体内断层比较发育,形成一系列断块油藏,斜坡部位由于沙三段沉积期处于三角洲前缘相带,发育一系列高位域前积砂体,由于构造反转,现今表现为大量上倾尖灭的砂岩体,为油气的聚集提供了众多的储油气场所。

### 2.2.2 砂体物性对油气聚集起到控制作用

砂岩储层物性常常受多种因素控制,如沉积条件以及岩石在埋藏过程中所经历的一系列成岩作用如压实、胶结、溶解和交代等作用,之所以能够储集油气,是由于具备了两个基本特性——孔隙性和渗透性。孔隙性的好坏直接决定岩层储存油气的数量,渗透性的好坏则控制了储集层内所含油气的产能<sup>[11]</sup>。

对于岩性圈闭砂体储集物性对含油性的控制作用,曾溅辉(2000)、邱楠生(2003)在进行砂岩透镜体成藏实验时,发现只有当砂体的粒径达到一定的临界值后,其内部才能聚集油气<sup>[12-13]</sup>。通过统计南堡凹陷高柳地区沙三段储集物性与含油性的关系,发现含油砂体的储集物性存在一个临界值,即当砂体的孔隙度大于13%,渗透率大于 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,砂体内才能有流体聚集,当孔储集砂体孔隙度大于15%、渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时具备工业油气产业能力,随砂体物性条件变好自然产液能力有变高的趋势。因此,物性的好坏直接影响着岩性圈闭的含油气性,物性越好,储集性能越好,储集空间的孔隙结构越好,越有利于烃源岩中生成的油气排出而进入砂岩体内。

### 2.2.3 断层对油气的分布起到关键作用

断裂是断陷盆地的主要构造表现形式,长期多次的断裂活动不仅控制着盆地构造格局和沉积发育,而且对油气的生成、运移和聚集都有重要的控制作用<sup>[14]</sup>。因此,从某种意义上说,断裂活动是断陷盆地内控制油气聚散的主导因素。控凹断层(西南庄大断层和柏各庄大断层)的活动控制着南堡凹陷的形成与演化,控洼断层(高柳断层)和控凹断层一

起控制了拾场洼陷的形成与演化,并决定了储层分布发育和生储盖组合条件,而控带断层(高北断层等)是控洼断层的次级或伴生断层,局限于二级构造带内,对局部沉积作用和构造带的油气聚集有重要影响,决定了研究区的构造格局和油气分布。

在油气的运聚成藏过程中,断层起到了重要的运移通道和遮挡双重作用,正是因为断层开启与封闭的双重性,使得油气沿断层富集。研究区内断层比较发育,它既可作为油气运移的通道,又可遮挡油气形成与断层有关的油气藏。高北断层对本区的影响最大,它们控制了研究区地层的发育和分布,同时对油气的富集特征也起了很大的控制作用。勘探证实距大断裂越近,含油层系越多,油层累计厚度越大,油气越富集。造成油气藏在垂向上有两种典型的分布模式:断裂构造带上的垂向叠合分布和边缘斜坡上的阶梯式分布。

### 3 勘探实践

通过对高柳地区古近系沙河街组沙三段扇三角洲前缘岩性油藏成藏条件与主控因素的研究,以钻井资料为基础,利用目标区新处理的地震资料结合测井约束反演,采用井震联合的方法开展岩性圈闭识别与评价,并优选出有利目标进行钻探,取得了良好的勘探效果。从2011年至今,在高北斜坡带上针对沙河街组岩性圈闭先后钻探了G66x1井、G3104-5等5口井,均获得成功,目前已投产井的初期日产油均在20 t以上,初步落实了规模储量,为后续开发提供优质产能建设区块奠定了基础。

### 4 结论

(1)南堡凹陷高柳地区沙河街组具有继承性发育的构造背景,紧邻拾场生烃次凹,具备良好的油气供给条件。

(2)高柳地区受北东向物源影响,沙河街组发育一系列高位域前积砂体,受后期构造反转影响,形成上倾尖灭岩性油藏和构造-岩性油藏。

(3)通过成藏条件的综合分析,建立了高柳地区沙河街组扇三角洲前缘分流河道砂岩油藏成藏模式,对下步油气勘探具有指导意义。

(4)近两年在高北斜坡区针对沙三段下生上储型岩性油藏相继钻探了多口井,均获得了高产工业

油流,为南堡陆地油田增储上产提供了新领域。

### 参考文献

- [1] 周海民,魏忠文,曹中宏,等. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系[J]. 石油与天然气地质,2008,30(2):10-14.
- [2] 张文才,李贺,李会军,等. 南堡凹陷高柳地区深层次孔隙成因及分布特征[J]. 石油勘探与开发,2008,35(3):308-312.
- [3] 周天伟,翟瑞国. 渤海湾盆地南堡凹陷构造样式成因与控油作用试验研究[J]. 石油天然气学报,2007,25(1):90-97.
- [4] 张继春,彭仕宓,刘大昕,等. 高尚堡油田构造式样及油气分布规律[J]. 特种油气藏,2005,12(1):7-9.
- [5] 卿颖,张敬艺,郭颖,等. 南堡凹陷高柳地区古近系岩性油气藏控制因素[J]. 复杂油气田,2012,21(3):6-11.
- [6] 刚文哲,仵岳. 渤海湾盆地南堡凹陷烃源岩地球化学特征与地质意义[J]. 石油实验地质,2012,34(1):57-65.
- [7] 赵颖,张文才,杜春辉,等. 南堡凹陷高柳地区深层储层特征及影响因素分析[J]. 石油地质与工程,2009,23(3):23-26.
- [8] 张文才,杨枫波,冯友良,等. 南堡凹陷高柳地区古近系坡折带类型及隐蔽圈闭分布特征[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(6):15-19.
- [9] 潘建国,谭开俊,杨志东,等. 准噶尔盆地侏罗系岩性油气藏成藏条件及控制因素[J]. 石油地质与工程,2007,21(1):1-4.
- [10] 杜金虎,易士威. 二连盆地岩性地层油气藏成藏条件与油气分布规律[J]. 中国石油勘探,2004,9(3):219-222.
- [11] 祝厚勤,庞雄奇,林世国,等. 东营凹陷岩性油藏主控因素及成藏模式[J]. 沉积与特提斯地质,2006,26(1):74-80.
- [12] 曾灏辉,金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京:石油工业出版社,2000:207-210.
- [13] 邱楠生,万晓龙,金之钧,等. 渗透率级差对透镜状砂体成藏的控制模式[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):48-52.
- [14] 李宏义,姜振学,董月霞,等. 渤海湾盆地南堡凹陷断层对油气运聚的控制作用[J]. 现代地质,2010,24(4):755-761.

编辑:吴官生