

文章编号: 1673-1506(2022)06-0034-10

DOI:10.11935/j.issn.1673-1506.2022.06.004

引用:郭勃巍,于福生,李洪博,等.珠江口盆地惠西南地区下文昌组控藏构造要素半定量分析[J].中国海上油气,2022,34(6):34-43.

GUO Bowei, YU Fusheng, LI Hongbo, et al. Semi-quantitative analysis on reservoir-controlling structural elements of lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag, Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2022, 34(6): 34-43.

珠江口盆地惠西南地区下文昌组控藏 构造要素半定量分析*

郭勃巍^{1,2} 于福生^{1,2} 李洪博³ 李 晖^{1,2} 于 颢³ 吴 哲³

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;
3. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司 广东深圳 518000)

摘 要 惠西南地区下文昌组是珠江口盆地重要的富油气勘探区之一,储量丰富,但地质探明率相对较低,缺乏定量综合分析 with 有利成藏区带预测。本文通过对其古隆起、构造脊、断裂、裂缝 4 个构造控藏要素进行定性、半定量分析,并综合预测有利勘探区带。研究结果表明:惠西南地区古隆起、构造脊、断裂与裂缝 4 个要素具有明显的控藏作用,每个要素均具有控藏门限。惠西南地区油气藏绝大部分分布在古隆起坡脚及以上,距构造脊顶点距离为 1 000 m 以内,以断裂为中心 5.5 km 及裂缝发育密度为 4~12 条/m 的位置。利用多要素门限叠合控藏作用原理,对研究区有利勘探区带进行了预测,西江 23 东洼、西江 24 洼、西江 30 洼转换带与惠州 26 洼西南侧斜坡带为惠西南地区下文昌组有利勘探区。

关键词 控藏构造要素;半定量分析;有利区带预测;下文昌组;惠西南地区

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Semi-quantitative analysis on reservoir-controlling structural elements of lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag, Pearl River Mouth Basin

GUO Bowei^{1,2} YU Fusheng^{1,2} LI Hongbo³ LI Hui^{1,2} YU Sa³ WU Zhe³

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing, Beijing 102249, China;
3. CNOOC China Limited, Shenzhen Branch, Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: The lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag is one of the important hydrocarbon-rich exploration areas in the Pearl River Mouth Basin with abundant reserves but relatively low geological proven rate, and there is a lack of quantitative comprehensive analysis and favorable reservoir-forming zone prediction. In this paper, four reservoir-controlling structural elements of paleo-uplift, structural ridge, fault and fracture were qualitatively and semi quantitatively analyzed, and the favorable exploration zones were comprehensively predicted. The results indicate that paleo-uplift, structural ridge, fault and fracture are four obvious reservoir-controlling elements with reservoir-controlling thresholds in southwestern Huizhou sag. It is found that most hydrocarbon reservoirs are distributed on the slope toe of the paleo-ridge and above, with a distance of 1 000 m to the structural ridge, within a rank of 5.5 km from fault center and with a fracture density of 4~12 frac-

*中海石油(中国)有限公司深圳分公司综合科研项目“浅水区古近系‘源-汇-聚’综合评价及大中型油气田勘探方向研究(编号:CCL2020SZPS0143)”部分研究成果。

第一作者简介:郭勃巍,男,博士研究生,现就读于中国石油大学(北京)地质学专业。地址:北京市昌平区府学路18号中国石油大学(北京)地球科学学院(邮编:102249)。E-mail:guobowei@foxmail.com。

通信作者简介:于福生,男,教授,博士生导师,主要从事构造地质学方面的研究。地址:北京市昌平区府学路18号中国石油大学(北京)地球科学学院(邮编:102249)。E-mail:fushengyu@cup.edu.cn。

tures/meter in southwestern Huizhou sag. Based on reservoir controlling function of the superimposed multi-element threshold, the favorable exploration zones in the study area are predicted, and the transform zones of Xijiang 23, Xijiang 24 and Xijiang 30 sags and the southwest slope zone of Huizhou 26 sag are predicted to be favorable exploration zones in the lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag.

Key words: reservoir-controlling structural elements; semi-quantitative analysis; favorable zone prediction; lower Wenchang Formation; southwestern Huizhou sag

控藏要素门限是指临界地质条件控制着油气藏的形成与分布,即控制着油气藏形成与分布的边界、范围和概率^[1]。基于经典油气地质理论,庞雄奇等学者将控制油气成藏的关键要素总结出4类,分别为烃源灶、区域盖层、沉积相、低势区^[1-3],根据主控因素的差异可进一步分为古隆起控油气作用、构造脊控油气作用、断裂带控油气作用、受高孔渗岩性体控油气作用等。

惠西南地区是珠江口盆地重要的富油气勘探区之一,储量丰富,但地质探明率相对较低。深部广泛分布的下文昌组中深湖相暗色泥岩是区内主要的烃源岩,其顶底均夹有砂岩,可作为油气储集层,顶部的湖泛泥岩则可作为区域盖层,所以古近系下文昌组具有近源成藏、旁生侧储的优势^[4-5]。大量的研究表明世界上大型油气田的形成、发育大多数与古隆起背景有关^[6-7],以基底古隆起为背景形成的惠州21潜山披覆构造,在中浅层已发现惠州21油气田,在其深部构造演化活动导致的裂缝体系对储层进行了改造,也是油气成藏的优势区^[8]。惠州凹陷断裂与构造脊分别是油气垂向与侧向运移的主控因素^[9-10]。前人对于惠西南地区油气成藏研究进行的

工作大部分停留在定性层面,开展的定量研究大都集中在某一构造单元,虽然指出了有利勘探方向,但未能定量综合多要素刻画有利区带位置。

针对惠西南地区下文昌组4个构造主控藏因素(古隆起、构造脊、断裂和裂缝)系统地进行单要素特征分析,厘定油气藏与各要素之间的关系,进行半定量统计分析,以油气分布门限为依据进行单要素控藏范围圈定,最终进行多要素叠合刻画有利成藏勘探区带,为揭示惠西南油气分布规律、指明大中型油气田勘探方向提供理论依据。

1 地质概况

珠江口盆地是南海东北部典型的含油气断陷盆地^[8-12]。受印度板块、欧亚板块与太平洋板块的共同作用,盆地的发育经历了复杂的演化过程,中生代受印度板块碰撞挤压以及太平洋板块与欧亚板块的俯冲作用,导致区域发育一系列先存构造,为盆地的形成发育奠定了基础;新生代经历了多期构造作用叠加,形成了下断上拗、先陆后海的演化特征^[11]。惠州凹陷是位于珠江口盆地珠一坳陷中部的一个二级构造单元,西接西江凹陷,东邻陆丰凹陷(图1a)。

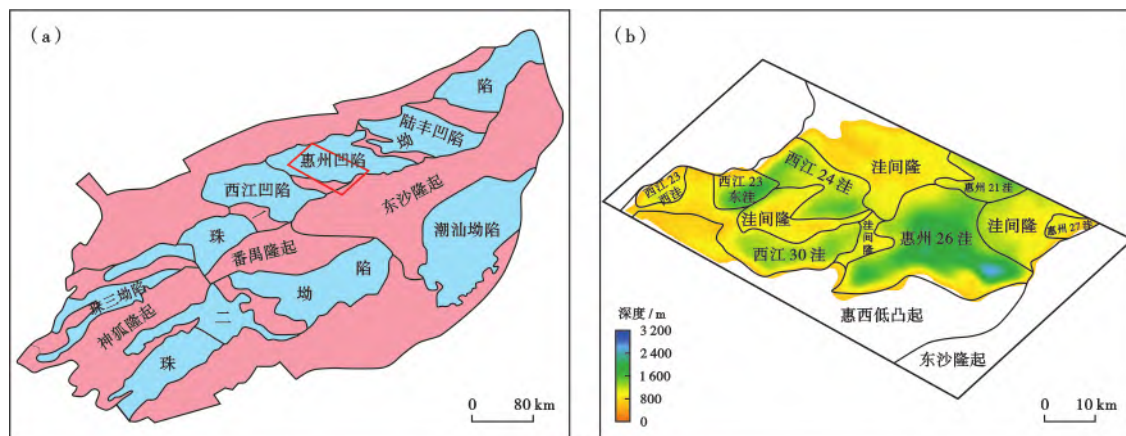


图1 惠西南地区位置(底图据文献[11]修改)(a)和惠西南地区下文昌组洼陷分布(b)

Fig. 1 Location of southwestern Huizhou sag(modified from reference[11])(a) and distribution of sags of lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag(b)

惠西南地区是惠州凹陷最主要的油气富集区之一,发育有西江23东洼、西江23西洼、西江24洼、西江30洼、惠州21洼、惠州26洼等多个受断裂控制的富烃洼陷,南部跟东部分别与惠西低凸起与东沙隆起接壤(图1b)。惠西南地区先后经历了6个区域性的构造事件,包括神狐运动、珠琼运动一幕、珠琼运动二幕、南海运动、白云运动、东沙运动。地层自下而上,分别发育有文昌组与恩平组2套裂陷期沉积层,以及珠海组、珠江组、韩江组、粤海组、万山组和第四系6套裂后期沉积层^[12-13]。

2 控藏构造要素分析及半定量评价

本文针对古隆起、构造脊、断裂与裂缝4方面构造控藏要素,分别分析单个控藏要素特征,定量统计分析各要素与油气藏之间的关系,进而确定各要素平面控藏范围或边界,最终多要素控藏门限叠加复合预测研究区潜在的有利勘探区带。以珠江口盆地惠西南地区为研究对象,具体研究步骤如下:①综合研究区已有资料进行油气地质特征剖析,系统分析下文昌组古隆起、构造脊、断裂与裂缝预测发育分布特征;②统计分析各单一构造要素控藏门限,并建立定量表征模型;③通过叠加复合多要素控藏门限,进而定量预测研究区潜在的有利成藏、勘探区带。

2.1 古隆起控制了油气田发育位置

古隆起代指过去某一地质时期形成的正向构造单元,在随后的地质演化过程中基本以继承发育为主,但也可消失,甚至形成拗陷。古隆起对油气的富集成藏作用一直以来得到了国内外学者的广泛关注。前人通过研究普遍认为:古隆起为油气田勘探的有利区域^[14-15]。庞雄奇等^[16]针对古隆起控油气特征和模式进行了大量的统计分析,建立了定量分析预测古隆起控藏特征模型及古隆起控油气的临界条件。借此对惠西南地区下文昌组古隆起控藏特征进行研究。

根据惠西南地区下文昌组残余厚度、主要地震反射层形态特征以及边界断裂与特定地层等厚线等相关特征,发现惠西南地区主要发育3类隆起,分别为发育在东部与拗陷级别对应的东沙隆起,发育在南部与凹陷级别对应的惠西低凸起以及与洼陷级别对应的洼间隆起(图1b),隆起总体上具有“继承为主、改造为辅”的发育特征。

应用古隆起控藏定量表征方法首先进行成藏期目的层构造图编制,惠西南地区主要烃源岩为文四段与文三段湖相泥岩,在8 Ma~6 Ma左右发生大规模排烃,为主要成藏期,根据现今残余地层厚度与剥蚀量恢复了8 Ma~6 Ma下文昌组的构造等值线图。为方便研究,对古隆起构造等值线先进行归一化处理,选取古隆起的顶点跟底界为原点与边界,分别进行赋值0和1(图2a);将古隆起从原点至边界进行分段划分为0~0.25、0.25~0.50、0.50~0.75、0.75~1.00四段,分别定为坡脚、坡下、坡上与坡顶。因此,所有受古隆起控制下的油气藏及含油构造均分布在0~1的范围内^[17]。

经过统计惠西南地区已发现大中型油气田及含油构造共89个,将统计的数据点投射到归一化分段后的古隆起分布图上,分别对不同分段的数据点进行统计,计算各分段油气藏个数与储量百分比。通过统计数据对比研究发现,从古隆起坡脚到坡顶油气藏的个数及规模逐渐增大;古隆起的坡顶及坡上部位是有利的油气藏(85.26%)与油藏储量(77.71%)分布区,如果将坡下的数据考虑进来,油气藏个数与油气藏储量所占百分比分别可达到96.84%与98.79%(图2b)。根据距古隆起顶点相对距离与油气藏频率关系统计图(图2c),结合数据拟合,将油气藏在古隆起不同部位分布个数转变为控藏概率,最终建立惠西南地区古隆起控藏概率数学模型(式(1))。

$$P_M = 0.21e^{-\left(\frac{X_M+0.318}{0.235}\right)^2} \quad (1)$$

式(1)中: P_M 为古隆起控藏概率,无量纲; X_M 为油气藏与古隆起构造顶点之间的相对距离,无量纲。将上述统计结果应用于惠西南地区下文昌组可预测出古隆起控藏边界及概率分布(图3)。

古隆起控藏可靠性检验主要是根据研究区已经揭示的油气藏以及含油构造进行回代叠合。依据惠西南地区已知含油构造分布,通过叠合分析可知:除极个别较小的含油构造外,绝大部分已知油气藏均分布在古隆起控藏范围内,且具有高概率成藏特征,即坡脚及以上均为成藏的有利区带,可将坡脚定为古隆起控藏门限(图2b)。通过油气藏与古隆起控藏概率图叠加分析表明,惠西南地区92.56%的已知油气藏个数分布在隆控概率0.25~1范围内,据此可认为古隆起是惠西南地区油气聚集成藏主要控制因素之一(图2d)。

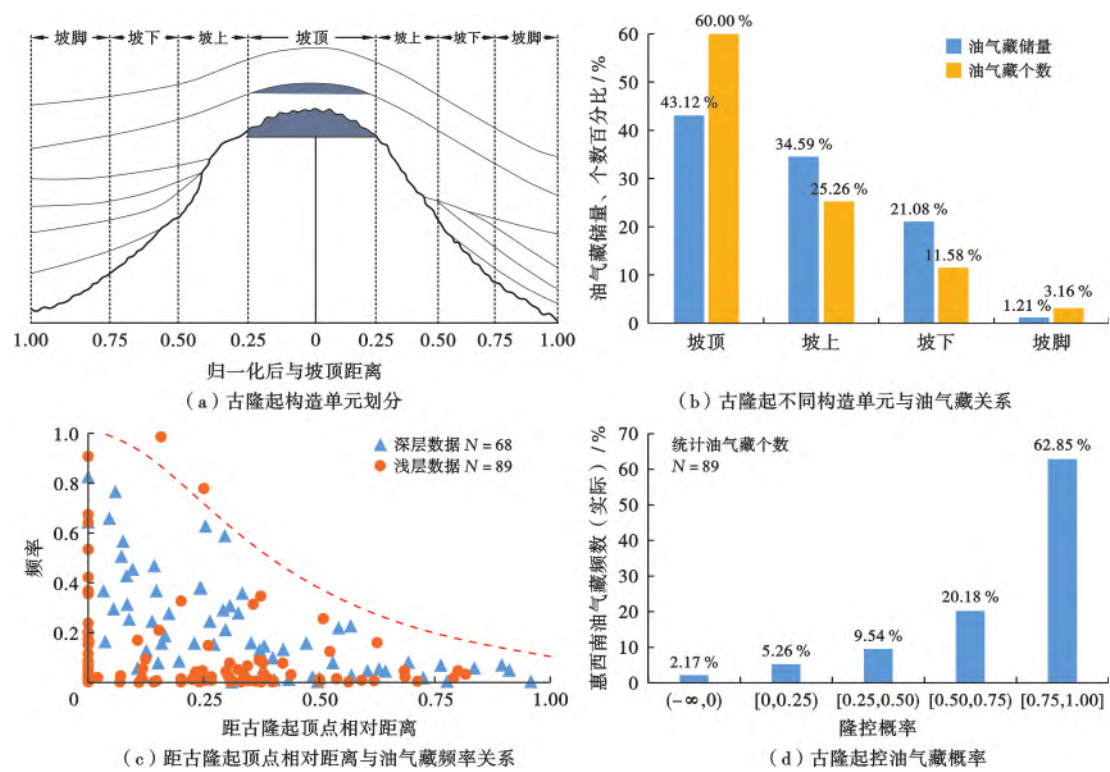


图2 惠西南地区古隆起控藏特征

Fig. 2 Paleouplifts-controlled hydrocarbon characteristics in southwestern Huizhou sag

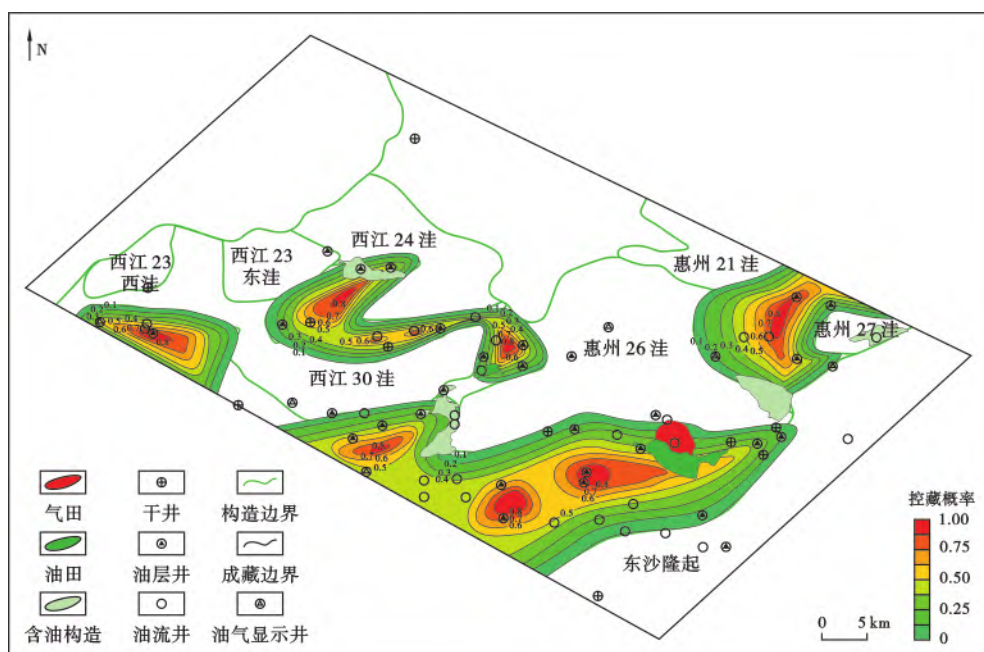


图3 惠西南地区下文昌组古隆起控藏概率平面分布

Fig. 3 Plane distribution of paleouplifts-controlled hydrocarbon probability of lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag

2.2 构造脊控制了油气运聚优势方向

构造脊是一个洼陷构造位置中的相对低势部位,是油气运移的有利指向区。大量研究表明,构造脊的形态展布以及顶面构造形态对油气二次侧向运移具有明显的控制作用,发育在构造脊上的圈闭是油气成藏的有力部位^[18-21]。

惠西南地区下文昌组在东沙隆起、惠西低凸起以及洼陷转换带附近发育三角洲沉积,其较高的含砂率以及横向上良好的连续性,为油气侧向运移提供了优势通道。构造脊高部位的构造低势区是油气聚集的有利指向区,延伸至生烃洼陷的构造脊为油气运移提供了优势方位,油气最终沿着构造脊上的有利砂体运移至有利圈闭富集成藏。根据惠西南地区各

生烃洼陷的分布位置,应用 Trinity 软件刻画出惠西南地区下文昌组构造脊平面展布形态(图 4a),已发现的油气藏分布明显受到构造脊的控制,尤其是洼陷之间转换带位置发育大量的油气藏。通过油气藏距构造脊的距离及其与油气储量的关系,来定量表征构造脊控藏作用^[21]。统计分析表明,现已发现油气藏均分布在距离构造脊顶点 1 000 m 的范围内,随着距离增大,单个油气藏储量逐渐减少(图 4b)。据此可将距构造脊顶点距离为 1 000 m 作为构造脊控藏门限。构造脊在东沙隆起及惠西低凸起附近呈放射状分布,连接到生烃洼陷内部,对油气的运移成藏起到了明显的控制作用,洼陷之间构造脊沿转换带的发育形态多样,同样控制了油气的运移成藏。

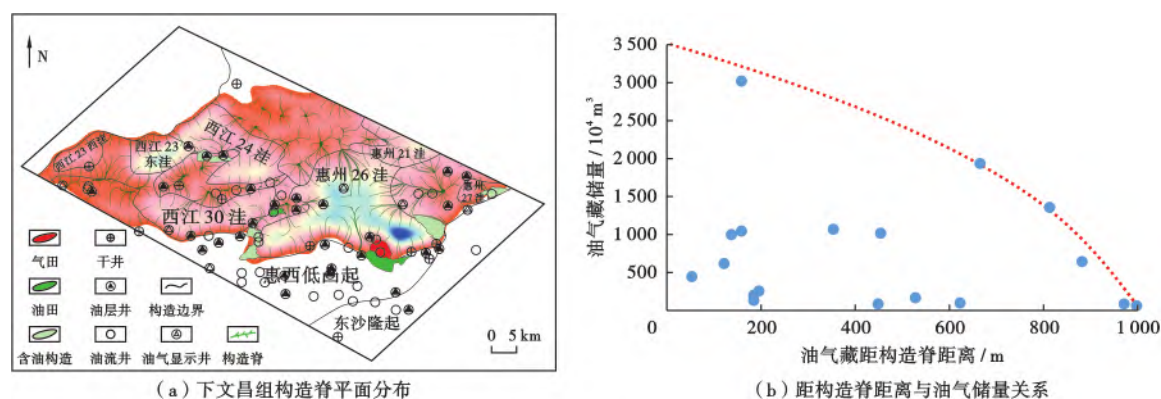


图4 惠西南地区构造脊控藏特征

Fig. 4 Structural-ridges-controlled hydrocarbon characteristics in southwestern Huizhou sag

2.3 断裂带控制了油气运移的优势通道

断裂带也即断层带,指代主干断裂及其周缘的破碎岩体和伴生的次级断裂或者破裂面共同所组成的地带。其发育特征可用断裂的规模(长度)、宽度、断距、滑距与封闭性等来表征^[13]。断裂(带)不仅对盆地以及凹(洼)陷的形成与分布有明显的控制作用,同时也控制了油气藏的形成与分布,断裂是油气运移的主要通道,大多数油气藏发育在断裂带附近。主干断裂控制着次级断裂及构造带的形成与发育,而次级断裂对油气的侧向运移及再分配具有明显的制约作用,进一步控制了油气的形成与分布。油气藏形成过程中,有的断层起封堵作用,有的起输导作用,有的两者兼具,据此马中振等^[22]将与断层有关的油气藏划分为与断层有关的断块油气藏、裂缝油气藏、地层油气藏、岩性油气藏及背斜油气藏。在动态超压系统中,断裂是超压流体集中排放的优势通

道。超压系统的渗透率越高、断裂充注区域越大,释放的流体量越大。断裂带及其伴生的裂缝系统对储层的孔渗性能具有明显的改善作用,尤其是在碳酸盐岩和变质岩储层中可以形成孔缝洞复合的优质储集体。此外,断距与盖层厚度、储层厚度三者的关系对油气藏也有一定的影响,当断裂断距小于盖层厚度或大于储层厚度时,有利于油气藏形成。断距小于盖层厚度时有利于油气的保存,当断距大于储层厚度时有利于油气的充注。圈闭离油源断裂越近时,有利于油气运移成藏。

惠西南地区断裂十分发育,根据区域构造演化及断层的发育活动特征可将研究区断层划分为早期活动断层、晚期活动断层以及长期活动断层^[23]。早期活动断层主要在古近纪发育活动,对深层油气藏起到了控制作用。惠西南地区油气勘探成果表明,90%以上已发现油气藏与断层有关。不同等

级的断裂控制不同级别构造带的形成与分布,进而控制了油气藏的形成与分布,主干断层主要控制了二级构造带的发育,控制了油气形成与分布的区域,次级断层主要对油气藏起到改造作用,对油气的后期保存以及二次运移具有一定的影响作用。研究发现,不同规模断层对油气藏分布范围的控制作用存在差异^[24]。通过对惠西南地区断裂发育个数与长度的统计研究表明,惠西南地区下文

昌组共发育断层 129 条(未考虑边界断层),其中主干断层只有 10 条,其余均为次级断层;断层长度介于 0.2~50 km。通过对惠西南地区油气藏个数、储量以及到断裂平面距离进行了统计分析(图 5),发现油气藏数量及单个油藏储量随着油藏距断裂距离的增大而减少,当油藏距断裂距离大于 5.5 km 时,未发现油气藏发育,从而表明了断裂输导门限的存在。

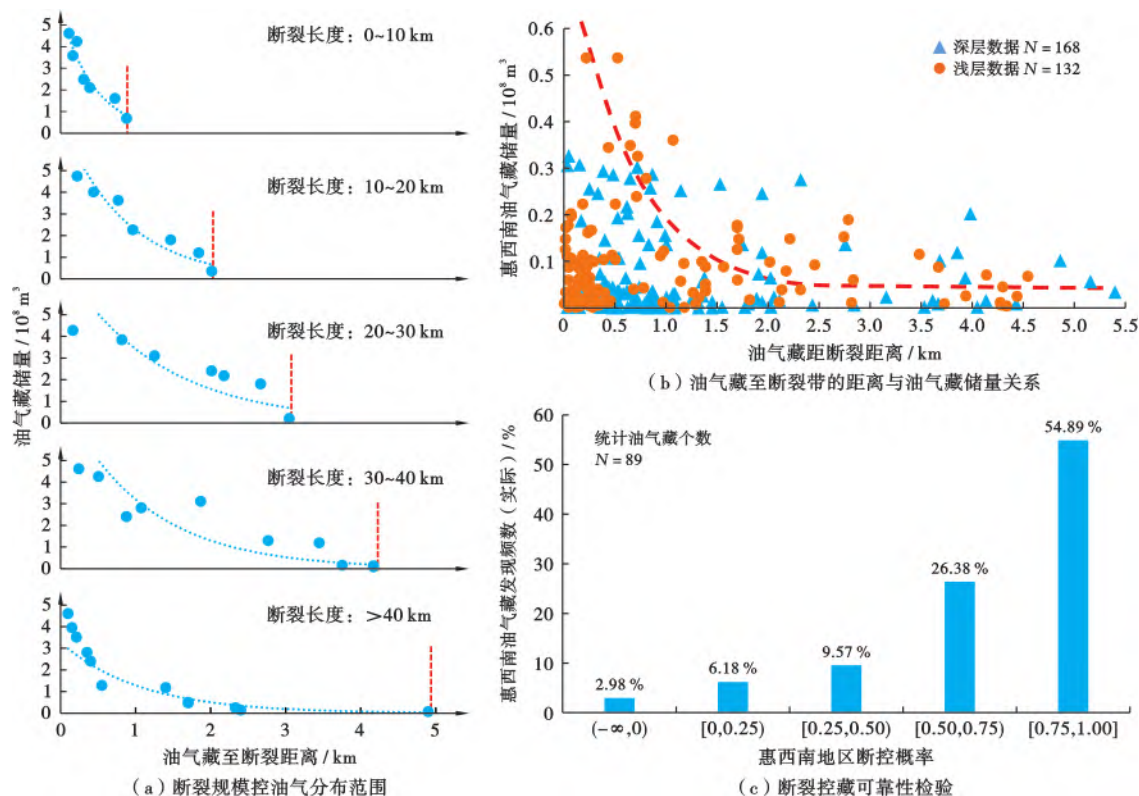


图 5 惠西南地区断裂控藏特征

Fig. 5 Faults-controlled hydrocarbon characteristics in southwestern Huizhou sag

为了深入揭示不同规模断层与门限距离的耦合关系,根据延伸长度将断层划分为 5 个不同的级别,即 0~10 km, 10~20 km, 20~30 km, 30~40 km 和 >40 km。分别对不同级别断层与周边探井油气藏储量的关系进行统计研究。结果表明,油气藏单位储量随着油气藏至断层距离的增大,呈现出逐渐减小的趋势。同时,断层的长度越大,其对油气最大分布范围的控制作用越远(表 1)。根据断层长度及其所控制油气分布的最大范围,可以建立惠西南地区断层规模与油气分布范围的定量表征模型。当获得某一断层的长度数值大小时,就可以定量地分析出其所控制油气分布的边界范围(式(2))。

$$S = 2105.7e^{0.0181L} \quad (2)$$

式(2)中: S 为断层控制油气分布的边界范围, m; L 为断层长度, km。

表 1 断裂控油气分布范围统计

Table 1 Statistics of faults-controlled hydrocarbon distribution

断裂规模/ km	控油气分布范围/ m
0~10	2 267
10~20	2 834
20~30	3 106
30~40	4 287
>40	5 314

在离断裂距离一定的范围之内有利于油气成藏,当距离过大时不利于形成油气藏。随着油气藏至断裂距离的增加,油气成藏的概率逐渐减小(图 5a)。因此,通过统计分析惠西南地区现有探井至断裂带的距离与油气藏储量的关系,可以分析断裂控藏概率。为了增加分析可靠性,将区域内可收集到的相关数据均作为统计分析样本。研究表明,随着油气藏至断层距离的增加,单个油气藏储量呈现出指数减小的趋势(图 5b),据此规律将油气藏至断裂带的距离与油气藏储量的关

系转化为断裂控藏概率分布公式(式(3))。将上述统计规律应用于惠西南地区下文昌组,可预测出断裂控藏边界及概率分布(图 6)。为检验断裂控藏定量预测有利区带的可靠性,将惠西南地区已发现油气藏与断裂控藏范围进行叠加,结果表明 90%以上油气藏分布在断裂控藏概率 0.25 以上的范围内(图 5c)。

$$P_F = 0.98 \times e^{-0.000161J} \quad (3)$$

式(3)中: P_F 为断层带控制下油气成藏概率,无量纲; J 为距断层的距离,m。

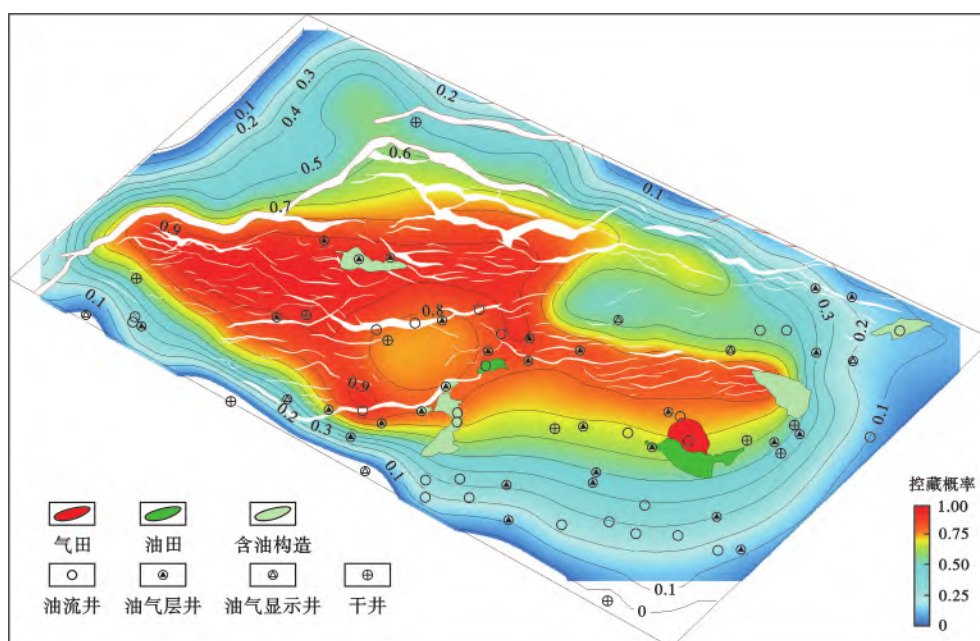


图 6 惠西南地区下文昌组断裂控藏概率平面分布

Fig. 6 Plane distribution of faults-controlled hydrocarbon probability of lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag

2.4 裂缝带改善油气运移通道与储存空间

裂缝既可以作为油气运移的优势通道,也可以改善储集体为油气保存提供场所。不同时期、不同部位形成的裂缝其所起到的作用存在差异,油气成藏之前与成藏时期所形成的裂缝,往往在油气成藏过程中起到输导作用,而在成藏期后形成的裂缝则会对油气的二次运移及改造会起到一定的控制作用。同时,成藏期及成藏期前发育的裂缝对低渗透率致密性砂岩储层也具有明显的改造作用,为油气储存成藏提供充足的空间^[25]。无论是输导作用还是改善储集体的作用,裂缝在油气聚集成藏过程中起到重要的控制作用。惠西南地区下文昌组形成时期,整个珠江口盆地处于裂陷发育期,整体构造活动强烈,形成了大量的断裂与裂缝,为后期成藏提供了

一定的先决条件。由于海上勘探成本较高,研究层位深度较大,所以可利用的有效井位及岩心非常局限。本次研究利用已有的成像测井数据,结合格里菲斯张破裂准则和库伦-莫尔剪破裂准则,引入地层破裂评价指标(F_y)作为裂缝发育的综合指标,其计算公式定义为

$$F_y = \eta a + Rb \quad (4)$$

式(4)中: a 、 b 分别代表张裂缝和剪裂缝在总裂缝数量中所占的比率,可以根据野外数据、岩心、测井资料等确定; η 为张破裂系数; R 为剪破裂系数。

本次研究区内张裂缝和剪裂缝的贡献率分别为 47.26%、52.74%,因此 F_y 可表示为

$$F_y = 47.26\% \eta + 52.74\% R \quad (5)$$

当 $F_y \geq 1$ 时,地层岩石发生破裂,伴随发育裂

缝, F_y 值越大, 岩石破裂程度越大, 进而导致裂缝越发育; 当 $F_y < 1$ 时, 地层岩石未发生破裂, 进而导致不发育裂缝。利用 ANSYS 有限元软件模拟惠西南地区下文昌组裂缝密度发育分布特征(图 7a), 根据预测结果发现全区内均有裂缝发育在研究区

中部地区裂缝最为发育, 裂缝发育密度最高可达 12 条/m。通过统计裂缝发育密度与油气藏个数的关系(图 7b)可知, 92.13% 的油气藏分布在裂缝发育密度大于 4 条/m 的范围内, 可将此定义为裂缝控油气边界。

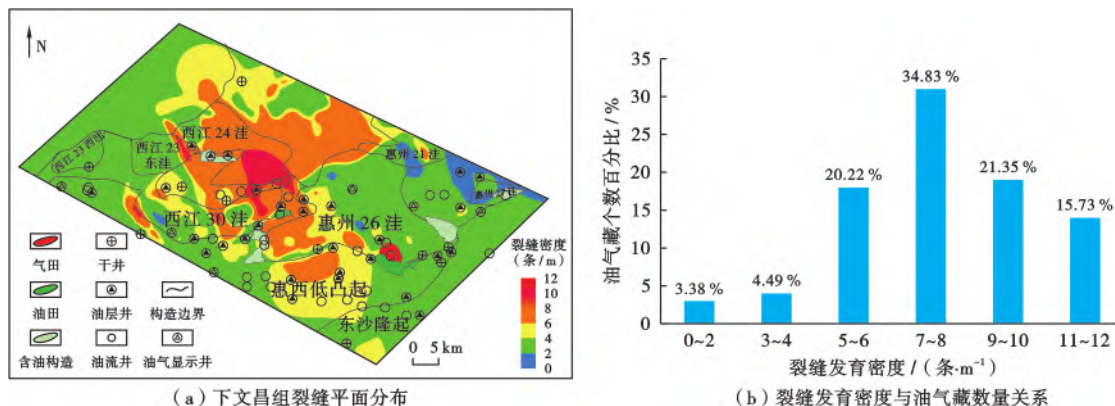


图 7 惠西南地区裂缝控藏特征

Fig. 7 Fractures control hydrocarbon distribution in southwestern Huizhou sag

3 惠西南地区下文昌组有利区带预测

通过分析惠西南地区古隆起、构造脊、断裂带、裂缝 4 个单要素控藏作用, 确定了每个要素控藏门限平面分布图。将上述 4 个单要素进行多要素控藏门限叠合进而确定有利成藏、勘探范围。通过惠西

南地区下文昌组 4 个控藏要素平面的叠加复合确定了 2 个勘探有利区(图 8)。有利区带 1 位于西江 23 东洼、西江 24 洼和西江 30 洼转换带位置, 其位于 3 个富生烃洼陷的交界处, 是构造高部位, 断裂与裂缝十分发育, 构造脊延伸沟通至 3 个洼陷内部。有利区带 2 位于惠州 26 洼西南侧斜坡带上, 惠州 26 洼

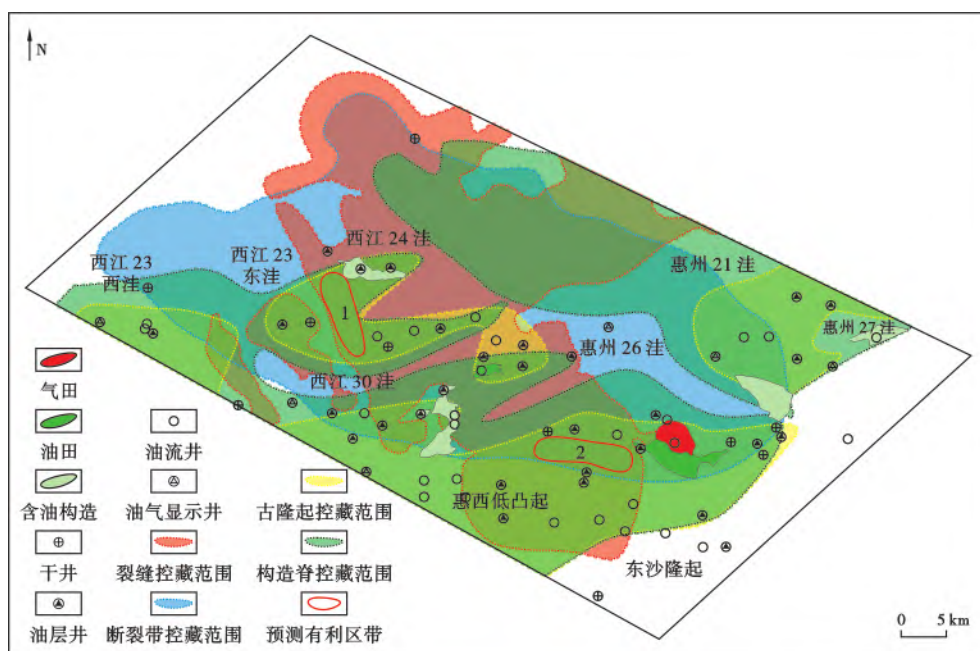


Fig. 8 Favorable hydrocarbon exploration area of lower Wenchang Formation in southwestern Huizhou sag

是区内最大的生烃洼陷为油气成藏提供了充足的物质基础,同样位于构造高部位发育断裂与裂缝,多条构造脊延伸至洼陷内部起到了良好的沟通作用。

上述研究结果表明古隆起、构造脊、断裂带、裂缝4个单要素对惠西南地区油气藏的运聚成藏以及发育部位具有显著的控制作用,通过确定单个要素控藏门限,进而进行多要素叠合定量预测有利成藏、勘探区带具有一定的可行性与可靠性。然而,值得引起注意的是,上述几个控藏要素只是油气聚集成藏部分条件,油气的形成与分布还受到烃源岩生、排烃量、沉积相类型、盖层展布等的控制,叠加成藏要素的种类及数量越多,越能更加精确地预测油气藏分布。

4 结论

1) 惠西南地区下文昌组古隆起、构造脊、断裂带与裂缝4个构造要素具有明显的控藏作用,每个要素均具有控藏门限。惠西南地区油气藏绝大部分分布在古隆起坡脚及以上,距构造脊顶点距离为1 000 m,以断裂为中心5.5 km和裂缝发育密度为4~12条/m的位置。

2) 利用多要素门限叠合控藏作用,对研究区有利勘探区带进行预测,西江23东洼、西江24洼、西江30洼转换带与惠州26洼西南侧斜坡带为惠西南地区下文昌组有利勘探区。

参 考 文 献

- [1] 庞雄奇. 油气分布门限与成藏区带预测[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
PANG Xiongqi. Hydrocarbon distribution threshold and accumulation areas prediction[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [2] BARKER C. Pyrolysis techniques for source-rock evaluation[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(11): 2349-2361.
- [3] LERCHE I, THOMSEN R O. Hydrodynamics of oil and gas[M]. New York: Plenum Press, 1994.
- [4] 王绪诚, 杜家元, 张琴, 等. 惠西南地区古近系转换带型源-汇系统研究及其勘探意义[J]. 中国海上油气, 2020, 32(5): 44-53. DOI:10.11935/j.issn.1673-1506.2020.05.006.
WANG Xucheng, DU Jiayuan, ZHANG Qin, et al. Study of source-sink system of transfer zone type of Palaeogene in southwestern area of the Huizhou sag and its exploration significance[J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(5): 44-53. DOI:10.11935/j.issn.1673-1506.2020.05.006.
- [5] 舒誉, 施和生, 杜家元, 等. 珠一坳陷古近系油气成藏特征及勘探方向[J]. 中国海上油气, 2014, 26(3): 37-42.
SHU Yu, SHI Hesheng, DU Jiayuan, et al. Paleogene characteristics in hydrocarbon accumulation and exploration direction in Zhu I depression[J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(3): 37-42.
- [6] LORANT F, BEHAR F, VANDENBROUCKE M, et al. Methane generation from methylated aromatics: kinetic study and carbon isotope modeling[J]. Energy & Fuels, 2000, 14(6): 1143-1155.
- [7] 熊永强, 张海祖, 耿新华, 等. 正十八烷的裂解及其地球化学意义[J]. 科学通报, 2004, 49(增刊1): 72-75.
XIONG Yongqiang, ZHANG Haizu, GENG Xinhua, et al. Cracking of n-octadecane and its geochemical significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(S1): 72-75.
- [8] 贾培蒙, 张向涛, 陈维涛, 等. 珠江口盆地惠州凹陷惠州21古潜山的形成演化及其对深层油气成藏的控制[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(12): 27-37.
JIA Peimeng, ZHANG Xiangtao, CHEN Weitao, et al. Tectonic evolution of Huizhou 21 buried hill and its control over deep oil accumulations in the Huizhou sag of Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(12): 27-37.
- [9] 黄鑫, 蔡俊杰, 刘杰, 等. 油气立体输导能力定量表征及应用: 以惠州凹陷为例[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(4): 148-152, 155.
HUANG Xin, CAI Junjie, LIU Jie, et al. Quantitative characterization and application of oil and gas stereoconductivity: a case study of the Huizhou depression[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2022, 42(4): 148-152, 155.
- [10] 段威, 田金强, 李三忠, 等. 南海珠江口盆地惠州凹陷东南缘远源凸起带油气成因及来源[J]. 地学前缘, 2022, 29(5): 176-187.
DUAN Wei, TIAN Jinqiang, LI Sanzhong, et al. Crude oil in the uplifts of the Huizhou depression, Pearl River Mouth Basin, South China Sea: source and formation mechanisms[J]. Earth Science Frontiers, 2022, 29(5): 176-187.
- [11] 钟志洪, 施和生, 朱明, 等. 珠江口盆地构造-地层格架及成因机制探讨[J]. 中国海上油气, 2014, 26(5): 20-29.
ZHONG Zhihong, SHI Hesheng, ZHU Ming, et al. A discussion on the tectonic-stratigraphic framework and its origin mechanism in Pearl River Mouth basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(5): 20-29.
- [12] 李平鲁. 珠江口盆地新生代构造运动[J]. 中国海上油气, 1993, 7(6): 11-17.
LI Pinglu. Cenozoic tectonic movement in the pearl river mouth basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 1993, 7(6): 11-17.
- [13] 刘志峰, 吴克强, 柯岭, 等. 珠江口盆地珠一坳陷北部洼陷带油气成藏主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(3): 561-569.
LIU Zhifeng, WU Keqiang, KE Ling, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation in northern subsag belt of the Zhu-1 Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(3): 561-569.
- [14] 汪泽成, 陈孟晋, 王震, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界克拉通坳陷盆地煤成气成藏机制[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 8-12.

- WANG Zecheng, CHEN Mengjin, WANG Zhen, et al. Simulation analysis on formation mechanism of coal-formed gas reservoir in intercratonic depression of the Upper Paleozoic in Ordos Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(1): 8-12.
- [15] 何登发, 周新源, 杨海军, 等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J]. *地质前缘*, 2008, 15(2): 207-221.
- HE Dengfa, ZHOU Xinyuan, YANG Haijun, et al. Formation mechanism and tectonic types of intracratonic paleo-uplifts in the Tarim basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 207-221.
- [16] 庞雄奇, 周新源, 姜振学, 等. 叠合盆地油气藏形成、演化与预测评价[J]. *地质学报*, 2012, 86(1): 1-103.
- PANG Xiongqi, ZHOU Xinyuan, JIANG Zhenxue, et al. Hydrocarbon reservoirs formation, evolution, prediction and evaluation in the superimposed basins[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(1): 1-103.
- [17] JIANG Zhenxue, YANG Haijun, LI Zhuo, et al. Differences of hydrocarbon enrichment between the upper and the lower structural layers in the Tazhong paleouplift[J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 2010, 84(5): 1116-1127.
- [18] HAO Fang, ZOU Huayao, LI Xiaoguang, et al. Migration and occurrence of high wax oils in the Damintun Depression, Northeast, China; Implication for primary controls of petroleum migration pathways in heterogeneous carrier beds[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2009, 67(3/4): 105-115.
- [19] HAO Fang, ZOU Huayao, GONG Zaisheng, et al. Petroleum migration and accumulation in the Bozhong sub-basin, Bohai Bay basin, China; Significance of preferential petroleum migration pathways (PPMP) for the formation of large oilfields in lacustrine fault basins[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24(1): 1-13.
- [20] 邹业初, 陈锡康, 黄宗洪. 从构造脊的研究探讨珠江口盆地(东)油气勘探方向[J]. *中国海上油气(地质)*, 1991, 5(2): 1-7, 64.
- ZOU Yechu, CHEN Xikang, HUANG Zonghong. Discussion on oil & gas prospecting in the eastern pearl river mouth basin from structural ridges study[J]. *China Offshore Oil and Gas(Geology)*, 1991, 5(2): 1-7, 64.
- [21] 彭俊文, 庞雄奇, 李洪博, 等. 基于油气输导门限与组合控藏作用定量预测有利勘探区带的新方法: 以珠一坳陷珠江组下段为例[J]. *石油学报*, 2015, 36(增刊 2): 156-168.
- PENG Junwen, PANG Xiongqi, LI Hongbo, et al. A new method based on hydrocarbon migration threshold and combined reservoir-controlling function for quantitatively predicting favorable hydrocarbon exploration zone; a case study of the lower Member of Zhujiang Formation in Zhu I depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(S2): 156-168.
- [22] 马中振, 庞雄奇, 王洪武, 等. 海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷断层控藏作用[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2009, 31(6): 27-31.
- MA Zhongzhen, PANG Xiongqi, WANG Hongwu, et al. Study on fault controlling hydrocarbon accumulation in Wuershun-Beier sag, Hailaer basin[J]. *Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition)*, 2009, 31(6): 27-31.
- [23] 于水明, 陈雪芳, 梅廉夫, 等. 珠一坳陷断层特征及对油气成藏的作用[J]. *石油天然气学报*, 2012, 34(1): 50-54.
- YU Shuiming, CHEN Xuefang, MEI Lianfu, et al. The effect of fault zone characteristics of Zhu I depression on hydrocarbon accumulation[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(1): 50-54.
- [24] 李建华. 功能要素组合控油气分布模式及其在大民屯凹陷的应用[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2012.
- LI Jianhua. Model of functional elements combination controlling hydrocarbon distribution and its application in Damintun depression[D]. Beijing: China University of Petroleum, Beijing, 2012.
- [25] 吴娟. 珠江口盆地珠一坳陷油气富集规律[D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.
- WU Juan. Enrichment regularity of Zhu I depression, pearl river mouth basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2013.

收稿日期: 2022-01-14 改回日期: 2022-08-22

(编辑: 冯 娜)