

熊万林,朱俊章,施 洋,等.珠江口盆地珠一坳陷原油密度分布及其成因[J].海洋地质前沿,2019,35(1):43-52.

珠江口盆地珠一坳陷原油 密度分布及其成因

熊万林,朱俊章,施 洋,杨兴业,郑仰帝,翟普强

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司,深圳 518054)

摘 要:珠一坳陷是珠江口盆地的主要产油区,本次研究选取该区 79 口井共计 261 个原油样品的密度分析数据,剖析了其分布特征,探讨了其成因。研究结果显示:研究区原油密度以轻质油(140 样品)和中质油(57 样品)为主,含有少量凝析油(13 样品)和重质油(51 样品)。其中,轻—中质油在区内各个油田分布广泛;凝析油仅在惠州凹陷惠州 26 油田珠江组上段油层中分布;重质油主要分布在恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷流花油田珠江组上段及其上覆地层,油藏埋深以 $<2\ 000\text{ m}$ 为主,且现今油藏温度低于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。珠一坳陷所发现的凝析油主要为凹陷内浅湖—沼泽相烃源岩成熟阶段产物,其密度偏轻主要受油源所控制;轻—中质油密度主要受油源和成熟度控制,与浅湖—半深湖相原油、混源油及浅湖—沼泽相原油相比,半深—深湖相原油具有相对较高的密度,随着原油成熟度增加,其密度降低趋势明显;重质油密度主要受生物降解和水洗作用控制,生物降解和水洗作用导致原油轻组分丧失,原油密度变大。本研究成果可为珠一坳陷不同区域、不同层析原油类型、油品特征、资源量计算及产能预测提供可靠的基础数据。

关键词:珠一坳陷;原油密度;凝析油;重质油;珠江口盆地

中图分类号:P618.13 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2019.01005

0 引言

油藏中的原油是由烃源岩经过初次运移、二次运移,最终在有效圈闭中聚集而成。珠江口盆地是由多期构造叠加演化形成的复式成盆系统,发育文昌组和恩平组 2 套有效烃源岩,同时存在多期次油气充注与交叉混合变化,再加上后期的改造和降解等次生变化,形成了复杂的烃类流体

系统,从而导致珠一坳陷有油田也有气田,有凝析油、轻质油、重质油和稠油等多种油气类型^[1-8]。前人研究认为原油密度主要受源岩特征、油气运移及后期次生变化 3 方面因素控制^[9-15]。由于前期并未针对珠一坳陷原油密度特征及成因做过系统的研究分析工作,为此,本文将首次系统地探讨珠一坳陷各油藏原油密度在区域上和层系上的变化特征及其控制因素,并以此预测不同构造部位、不同层系原油密度特征,为资源量计算、产能预测以及资源经济性评价提供可靠的基础数据。

1 区域地质背景

珠江口盆地位于中国南海北部广阔的大陆架和陆坡边缘上,东部和西部分别以台湾、海南

收稿日期:2018-07-26

基金项目:“十三五”国家科技重大专项子课题“南海东部海域勘探新领域及关键技术”(2016ZX05024-004)

作者简介:熊万林(1987—),男,硕士,工程师,主要从事油气藏地球化学及含烃流体地质学方面的研究工作。E-mail:xiangwl@cnooc.com.cn

两岛为边界,面积约为 $17.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,是以 NE—SW 向展布的中国近海最大的含油气盆地之一。珠江口盆地大地构造位置位于华南大陆南缘,受太平洋板块、印度洋板块以及欧亚板块交汇作用影响,处于复杂的大陆动力学背景下,

是在古生代及中生代复杂褶皱基底上形成的新生代含油气盆地。珠江口盆地以 NE 向断裂体系为主控,与 NWW 向断裂共同控制了盆地的隆凹格局,具有南北分带、东西分块的构造格局(图 1)^[1-4]。

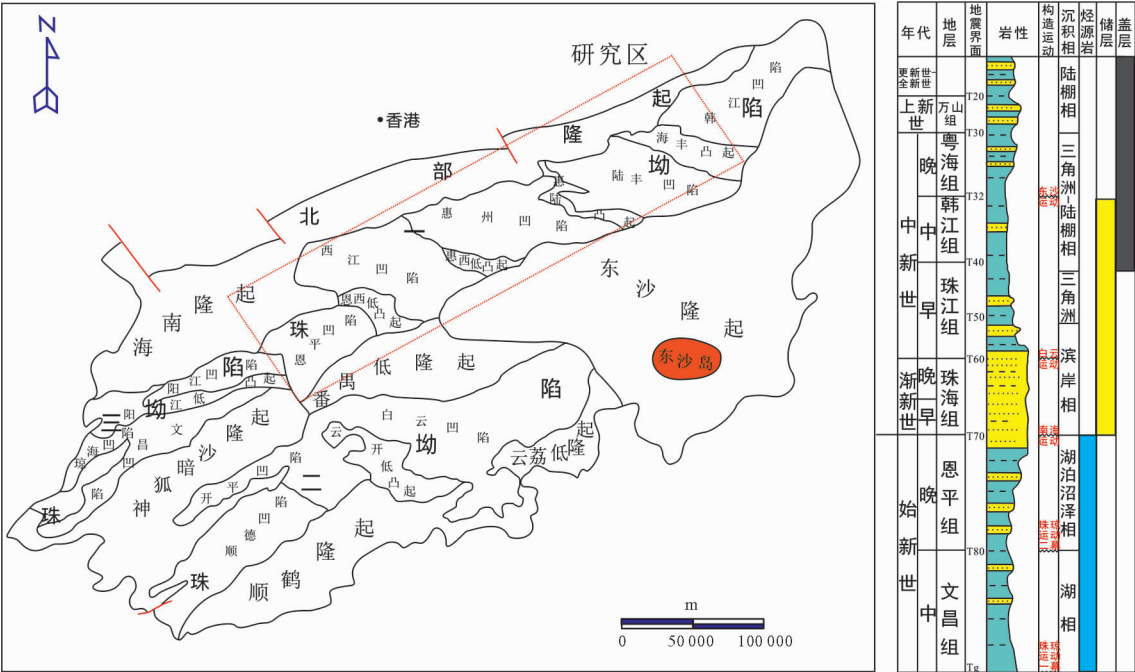


图 1 珠一坳陷平面位置及地层发育特征图
Fig. 1 Location map and stratigraphic column of the Zhuoyi Depression

珠一坳陷是盆地北部坳陷带的一个负向构造单元,走向为 NE 向,且大致与海岸线平行。该坳陷西北邻北部隆起带,东南部东沙隆起及番禺低隆起,西南与珠三坳陷相接,东北毗邻澎湖港隆起。珠一坳陷发育的 NW 向低凸起及 NE 向断裂体系共同控制了内部的凹陷分布格局,由西向东依次发育恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷、陆丰凹陷、韩江凹陷以及恩西低凸起、惠西低凸起、惠陆凸起和海丰凸起(图 1)^[3]。

珠江口盆地在古新世、始新世和早渐新世发育河流相、湖相和沼泽相沉积,此后为三角洲相和开阔海相沉积,具有“陆生海储”的特点^[4](图 1)。珠一坳陷的主力生油层为文昌组和恩平组;产层主要为珠江组上部砂岩层,次为珠江组下部砂岩层,再次为韩江组下部和珠海组砂岩层;珠江组上部及韩江组发育的厚层泥岩分布稳定,为本区的区域性盖层^[5]。

最新珠江口盆地油气资源动态评价结果显示,珠一坳陷是珠江口盆地的主要油气聚集区,坳陷总地质资源量约为 38.7 亿 t,其中石油地质资源量约为 37.4 亿 t,天然气地质资源量约为 1.3 亿 t。油气资源集中分布在少数几个富生烃凹陷,如惠州、西江、陆丰、恩平凹陷,并且具有“多含油层系、多种油藏类型”的特征。纵向上多套含油气层上下叠置,含油气层埋深跨度大,凹陷区含油层位从文昌组—韩江组均有油层分布,隆起区油层主要分布在珠海组—韩江组,并以珠江组—韩江组为主;横向上,相互关联,平面分布广,油气资源相当丰富,并具有明显的不均衡性和成带性^[3-7]。由于各油田分处不同构造位置,供烃洼陷较多,导致各油藏原油来源不尽相同,有机质成熟热演化差异及运移聚集保存条件存在一定差异,导致原油密度差异较大。

2 原油的密度分类

本次研究中密度测试所采用的仪器为数字密度仪,仪器型号为 DMA4500,测试范围为 0~3 g/cm³,测试精度为 0.000 5 g/cm³,实验步骤严格执行标准 ASTM D5002-16(利用数字密度分析仪测原油密度和相对密度的标准方法),测试内容包括密度(20 ℃和 101.325 kPa 条件下的标准密度)、相对密度(20 ℃时石油的质量与 4 ℃时同体积水的质量的比值)以及 API 密度。由于密度测试仪器精密性特征,需保证每次实验过程中温度的稳定性,环境温度变化须控制在±2 ℃以

内,以保证原有充分流动且不引起轻质组分损失和析蜡。此外,每次进行密度测试时,需针对温度计、数字密度仪、密度计等实验涉及的计量仪器进行校验,一般日常每周利用干燥空气和新鲜蒸馏水进行一次校验。原油样品在密度测试之前首先进行样品前处理,主要包括原油脱水和除杂质,之后进行原油含水率测定,根据标准规定,原油含水率≤5%的前提条件下方可进行原油密度测定。

本次研究涉及珠一坳陷 79 口单井共计 261 个原油样品,原油样品覆盖该坳陷主要次级凹陷和隆起区,分布层位从浅层韩江组到深层文昌组均有涵盖(图 2、3)。

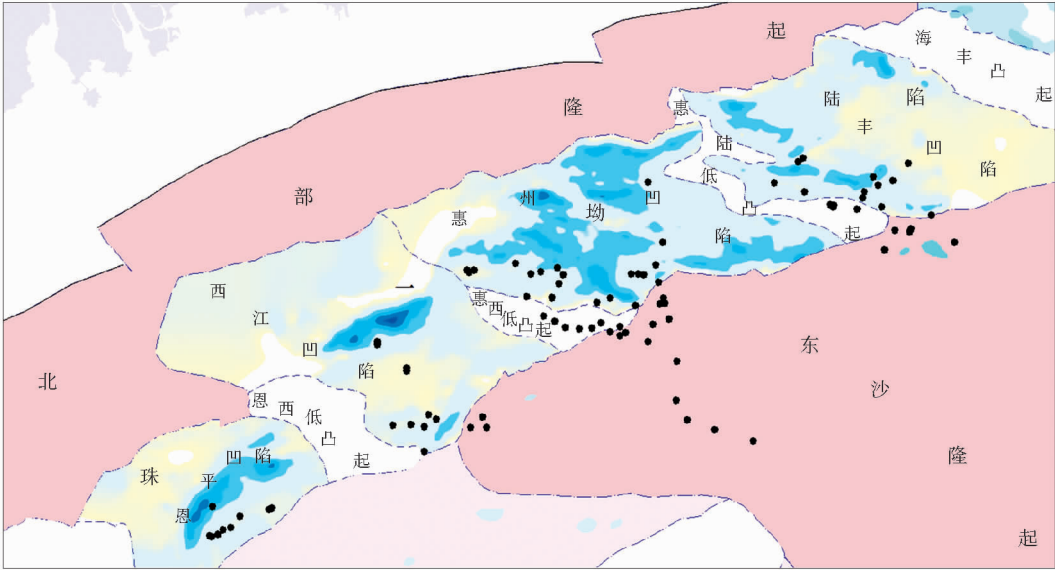


图 2 珠一坳陷原油样品平面位置分布
Fig. 2 Distribution of crude oil samples in the Zhuoyi Depression

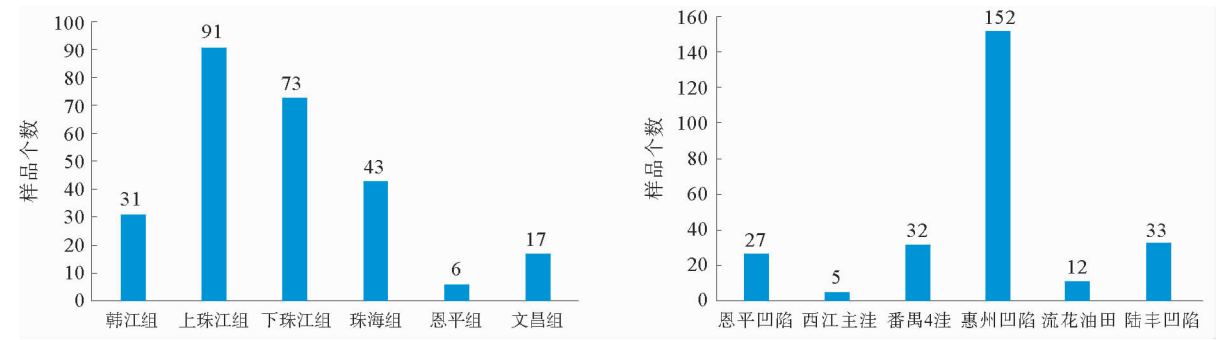
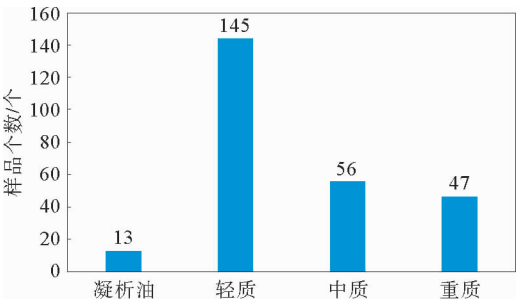


图 3 珠一坳陷原油样品分布区域及层位分布直方图
Fig. 3 Horizon distribution of crude oil samples in the Zhuoyi Depression

根据各样品物性统计数据来看,珠一坳陷原油密度变化范围较大,为 0.73~0.97 g/cm³,平均值为 0.86 g/cm³,主要分布区间为 0.80~0.92 g/cm³,占样品总数的 80%(图 4、5)。从原油密度分布直方图可以看出,研究区原油依据上述密度分类标准可以划分为凝析油、轻质油、中质油和重质油(表 1),并且以轻一中质油为主,占样品总数 77%。



注:此次研究将密度介于 0.80~0.83 g/cm³、油气比低于 200 m³/m³ 原油归入轻质油

图 4 珠一坳陷原油类型分布

Fig. 4 Distribution of crude oil types in Zhuyi Depression

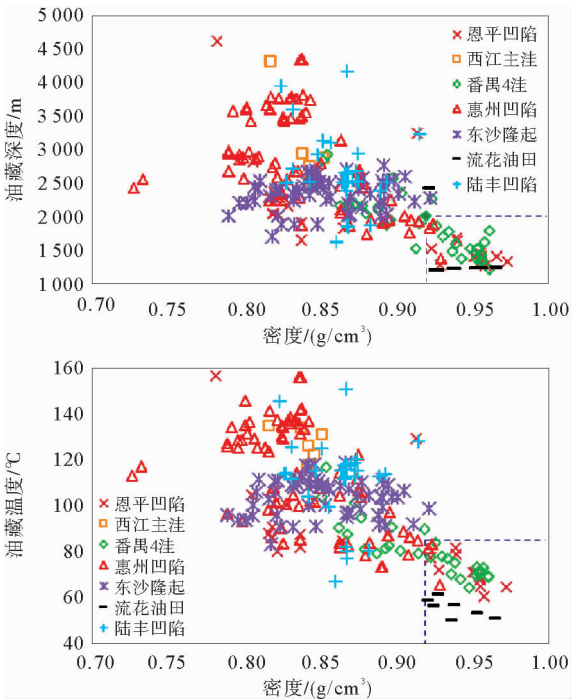


图 5 珠一坳陷原油密度-深度/密度-油藏温度关系
Fig. 5 Relationship between oil density-depth and density-reservoir temperature in Zhuyi Depression

表 1 原油密度分类(据文献[16,17])

Table 1 Classification of crude oil according to density (from references [16,17])

类别	原油密度/(g/cm ³ , 20 ℃)
凝析油	≥0.75~0.80
挥发油	≥0.8~0.83
轻质	≥0.83~0.87
中质	≥0.87~0.92
重质	≥0.92~1.0
超重	≥1.0

注:挥发油地面油气比>210~1 200 m³/m³;密度<0.83 g/cm³;体积系数>1.75

3 原油密度分布特征

珠一坳陷原油密度在垂向上具有较明显的分布规律(图 5),随着油藏埋藏深度增加,油藏温度增加,原油密度变轻趋势明显,同时还可以发现,该坳陷重质原油主要分布在埋深<2 km 且现今温度<85 ℃的油藏内。同时,原油密度平面上也具有一定的分布规律:惠州凹陷原油密度从洼陷区向凸起区密度增加趋势明显,密度由 0.81 g/cm³逐渐增加至 0.91 g/cm³;陆丰凹陷同样存在相同趋势,凹陷区原油密度较轻,平均值为 0.84 g/cm³,凸起区密度较重,为 0.87 g/cm³;西江凹陷和恩平凹陷原油密度数值比较集中,平面分布规律不明显(图 6)。

4 原油密度影响因素

珠一坳陷原油密度分布特征显示,该地区原油密度变化范围较大,而这种差异是油源、成熟度、次生改造等因素共同作用的结果。本文将从原生及次生两方面探讨其对不同类型原油密度的控制作用,其中,原生因素主要包括油源和原油成熟度,次生因素主要考虑蒸发分馏、生物降解和水洗作用。

4.1 凝析油密度控制因素

珠一坳陷凝析油主要分布在惠州凹陷惠州 26 油田浅层珠江组上段储层中,凝析油含量为 247~324 g/m³,凝析油气油比较高,密度相对较低,为 0.73~0.81 g/cm³。大量研究及地质、地球化学证据表明,凝析油主要为以下3种机制

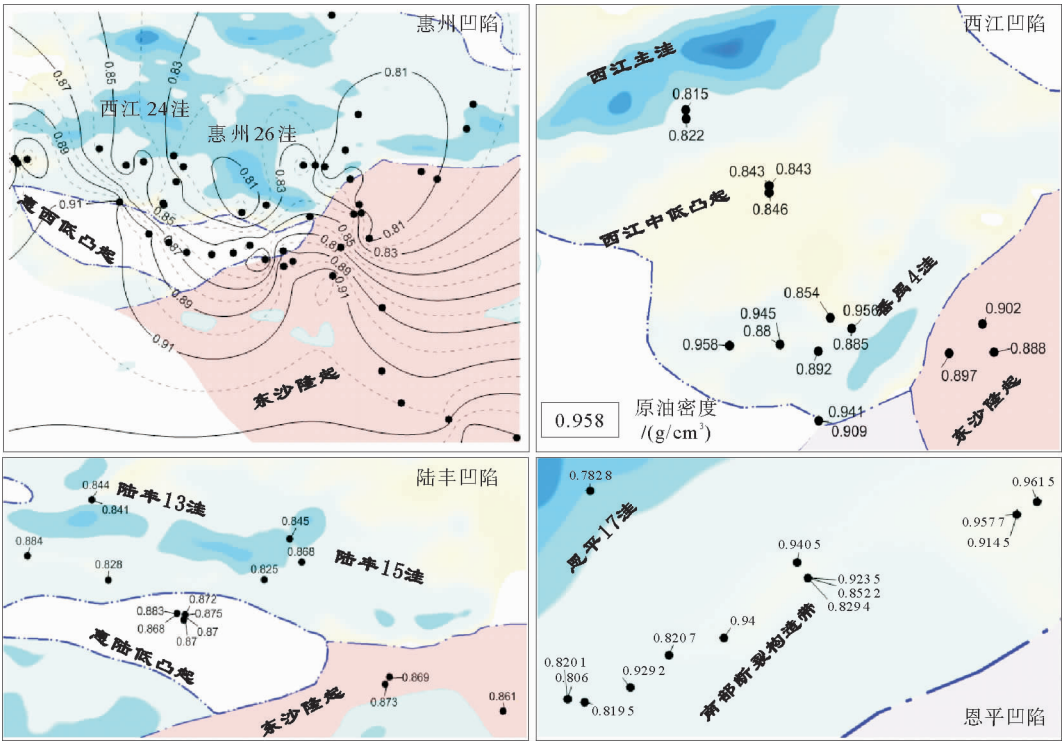


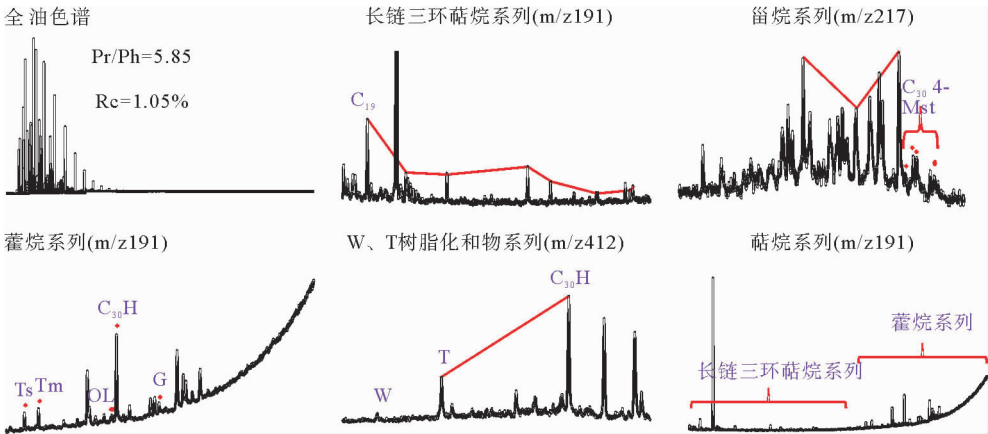
图 6 珠一坳陷原油密度平面分布

Fig. 6 Horizontal distribution of crude oil density in Zhuyi Depression

的产物:①成岩作用晚期高成熟阶段干酪根和已生成烃类发生热裂解生成;②煤系、陆源有机质显微组分于不同阶段形成的未熟、成熟凝析油;③大量天然气进入油藏,在高温高压条件下对已生成的原油进行蒸发分馏作用改造而形成凝析油^[18]。

原油地球化学分析结果显示(图 7),该类凝析油原油具有较高的姥植比,Pr/Ph=5.85,生物

标志化合物中 C₃₀ 4-甲基甾烷含量极低,树脂化合物含量较低,长侧链三环萜烷系列具有强烈的 C₁₉ 三环萜烷优势,低奥利烷;原油甲基菲指数计算成熟度为 1.05%,原油轻烃及正构烷烃系列分布特征显示该油藏气洗或蒸发作用不强烈(图 8)。综合上述分析,认为本地区凝析油为凹陷内浅湖—沼泽相烃源岩成熟阶段产物。



C₁₉ TT: C₁₉, 13β(H), 14α(H)-三环萜烷; C₃₀ 4-Mst: C₃₀ 4-甲基甾烷; Ts: 18α(H)-22,29,30-三降新藿烷; Tm: 17α(H)-22,29,30-三降藿烷; OL: 18α(H)-奥利烷; C₃₀ H: 17α(H), 21β(H)-藿烷; G: 伽玛蜡烷; W: 顺-顺-反-双杜松烷; T: 反-反-反-双杜松烷

图 7 惠州 26 油田凝析油生物标志化合物特征

Fig. 7 Biomarker characteristics of condensate oil in the Huizhou 26 Oilfield

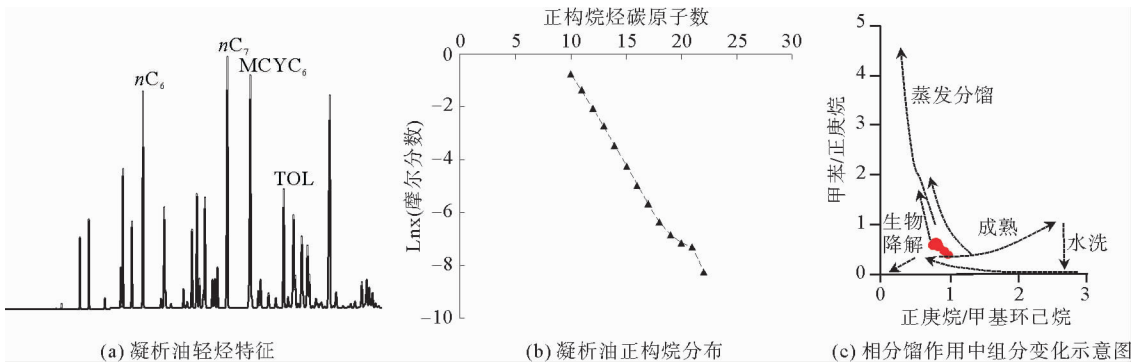


图 8 惠州 26 油田凝析油轻烃及正构烷烃特征(底图据文献[19])

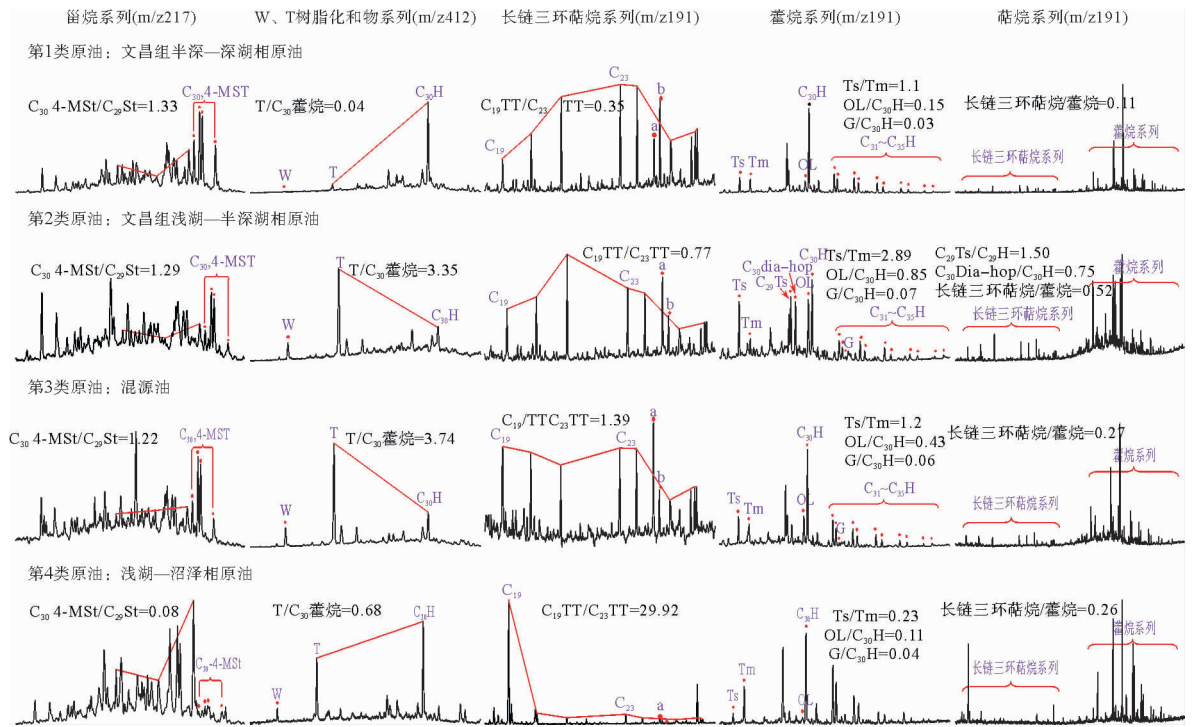
Fig. 8 Characteristics of light hydrocarbons and n-alkanes in condensate oil of Huizhou 26 Oilfield (base map after reference [19])

4.2 轻—中质油密度控制因素

4.2.1 油源差异

前人通过大量研究认为,在烃源岩成熟度相近的情况下,I 型干酪根生成的原油比Ⅲ型干酪根生成的原油密度要偏重。在大量油-源和油-油对比的基础上^[20-23],本次研究依据生物标志化合

物组合特征将本区原油划分为 4 种类型(图 9):第 1 类原油为文昌组半深—深湖相原油,该类原油在各个次级凹陷及隆起上均广泛分布,原油含有丰富的 C₃₀ 4-甲基甾烷,低 C₁₉ 三环萜烷,低 C₂₉ 新甾烷,低重排甾烷,低奥利烷,低树脂化合物,a < b,长侧链三环萜烷系列呈正态分布;第 2 类文昌组浅湖—半深湖相原油,该类原油主要分布在



a: 降 A-奥利烷; b: 未知四环萜烷; C₁₉ TT: C₁₉, 13β(H), 14α(H)-三环萜烷; C₂₃ TT: C₂₃, 13β(H), 14α(H)-三环萜烷; C₃₀ 4-MSt: C₃₀ 4-甲基甾烷; Ts: 18α(H)-22, 29, 30-三降新甾烷; Tm: 17α(H)-22, 29, 30-三降甾烷; C₂₉ Ts: 18α(H)-30-降新甾烷; C₃₀ Dia-Hop: 17α(H)-重排甾烷; OL: 18α(H)-奥利烷; C₃₀ H: 17α(H), 21β(H)-甾烷; W: 顺-顺-反-双杜松烷; T: 反-反-反-双杜松烷

图 9 珠一坳陷不同类型原油生物标志化合物特征

Fig. 9 Biomarker characteristics of different types of crude oil in Zhuyi Depression

惠州凹陷、西江主洼及陆丰凹陷邻近生烃中心的文昌组和古潜山油藏中,该类原油生标组合特征为高 C_{30} 4-甲基甾烷,高树脂化合物,高 Ts/Tm ,高 C_{29} 新藿烷,高 C_{30} 重排藿烷,高奥利烷,长侧链三环萜烷系列含量较高,且主峰碳前移至 C_{19} 或者 C_{21} , $a>b$;第 3 类原油为原油为文昌组半深—深湖相与浅湖—半深湖相混源油,该类原油主要分布在惠州凹陷和陆丰凹陷,且越靠近洼陷,层位越深,混源油特征越明显,原油同时含有丰富的 C_{30} 4-甲基甾烷和树脂化合物, C_{19} 三环萜烷含量较 I 类原油稍高,并有一定丰度的重排藿烷和奥利烷,低 C_{29} 新藿烷低, $a>b$,长侧链三环萜烷系列含量中等且分布特征不统一;第 4 类原油为恩平组浅湖—沼泽相原油,目前仅在惠州凹陷北部构造带发现该类原油,原油 C_{30} 4-甲基甾烷含量极低,树脂化合物含量较低,长侧链三环萜烷系列具有强烈的 C_{19} 三环萜烷优势,规则甾烷呈反“L”型分布,低 Ts/Tm ,低奥利烷,低 C_{29} 新藿烷,低重排藿烷, C_{29} 藿烷含量较高。

珠一坳陷不同类型原油密度分布规律显示(图 10),第 1 类来自于半深—深湖相烃源岩原油密度分布范围为 $0.81\sim0.92\text{ g/cm}^3$,平均值为 0.87 g/cm^3 ;第 2 类来自于浅湖—半深湖相烃源岩原油密度分布范围为 $0.82\sim0.84\text{ g/cm}^3$,平均值为 0.83 g/cm^3 ;第三类混原油密度分布范围为 $0.73\sim0.91\text{ g/cm}^3$,平均值为 0.83 g/cm^3 ;第 4 类来自于浅湖—沼泽相烃源岩原油密度分布范围为 $0.80\sim0.84\text{ g/cm}^3$,平均值为 0.82 g/cm^3 。以上统计数据结果显示,随着烃源岩有机质中陆源高等植物贡献增加,其原油密度从半深—深湖相向浅湖—沼泽相逐渐降低。

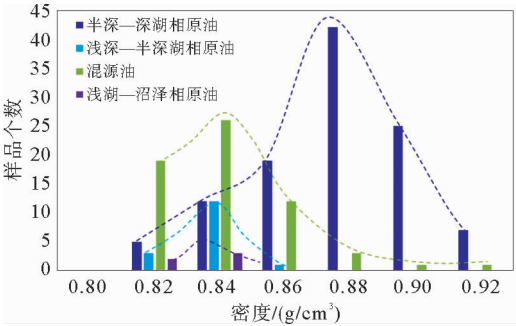


图 10 珠一坳陷不同类型原油密度分布直方图
Fig. 10 Density distribution of crude oils in Zhuyi Depression

4.2.2 原油成熟度差异

烃源岩成熟度越低,生成的原油中非烃组分越丰富,重质烃类比例越高,继承性的生物分子越多,原油密度越大,随着成熟度增加,由于干酪根和已形成的重质烃发生裂解,会生成更多的轻质烃类,非烃组分也随之大大减少,从而引起原油密度变轻。流体包裹体系统分析结果显示:珠一坳陷整体发生 2 期油气充注,成藏时间分别为 $18.1\sim5.0\text{ Ma}$ 和 $5.0\sim0\text{ Ma}$,惠州凹陷、陆丰凹陷、西江主洼隆起区普遍以第 1 期油贡献为主,而洼陷区则同时存在两期油的贡献;西江凹陷番禺 4 注所发现的油气以第 1 期油贡献为主;恩平凹陷所发现的油气主要位于隆起区,整体以第 1 期油贡献为主,但越靠近洼陷区,第 2 期油贡献比例越大。早期生成的原油由于成熟度偏低,导致其密度偏重,随着烃源岩热演化程度增加,第 2 期充注原油密度比第 1 期油明显偏轻,因此,惠州、陆丰、恩平凹陷原油密度随成熟度增加而降低趋势较为明显,而番禺 4 注由于油气成藏时期一致,致使其原油成熟度相差较小,原油密度与成熟度关系不明显(图 11)。

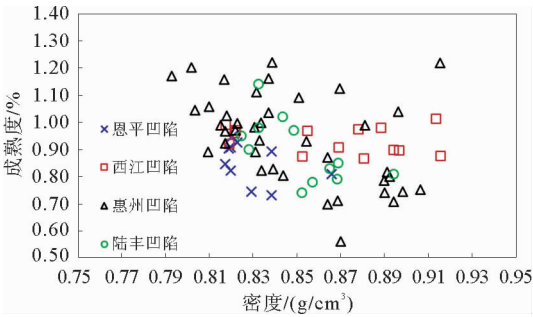


图 11 珠一坳陷原油密度-成熟度关系
Fig. 11 Relationship between density and maturity of crude oil in Zhuyi Depression

4.3 重质油密度控制因素

4.3.1 生物降解

烃源岩生成的油气会在浮力作用下不断向浅部储集层运聚成藏。若油藏现今埋深 $<2\text{ km}$ 并且油藏温度低于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$,富集于浅层的油藏由于温度低且封闭能力较差,油藏便会不断遭受生物降解作用,致使重组分增加,原油密度增大。珠一坳

陷原油生物降解作用主要发生在流花油田、恩平凹陷和番禺 4 洼,少量分布于惠州凹陷。本区该类原油的密度分布范围为 0.92~0.97 g/cm³,平

均值为 0.94 g/cm³,其突出特点是色谱图中正构烷烃消失殆尽,以异构烷烃为主,并且色谱图出现较明显的基线鼓包(图 12)。

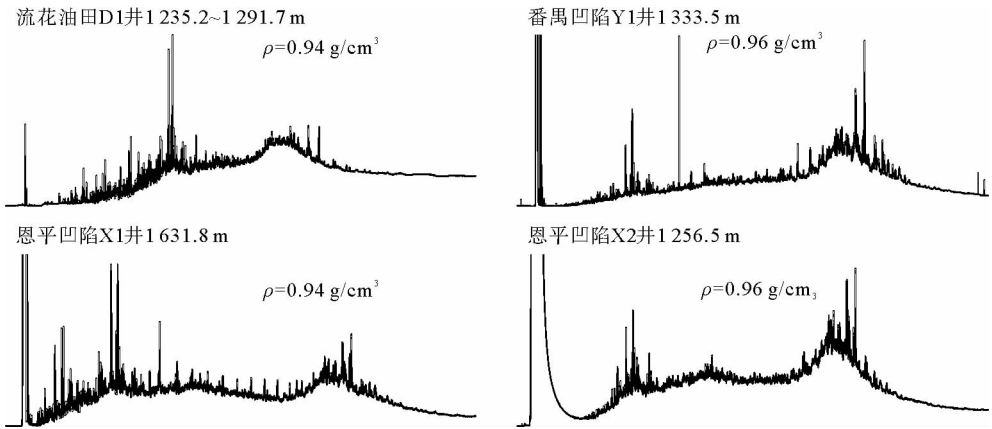


图 12 珠一坳陷典型生物降解原油色谱特征

Fig. 12 Chromatographic characteristics of typical biodegraded crude oil in Zhuyi Depression

4.3.2 水洗作用

原油与油藏边水或底水等静态的地层水体长期接触,其游离氧会对石油中的烃类成分发生溶解与氧化等物理、化学作用,由于低碳数烃类在水中的溶解度高于高碳数烃类,以致原油优先丧失低碳数烃类,而同时水中携带的氧会将原油中的

烃类氧化成非烃成分。因此,水洗作用会导致原油轻烃馏分含量下降,非烃、沥青质馏分含量增加,原油变重、变稠,使油质变差。惠州凹陷仅 A 油田遭受水洗作用较为明显。随着原油含水率增加,其密度增大趋势明显,从不同油藏饱和烃色谱图上可以看出(图 13),遭受水洗的(A1/A2/A4

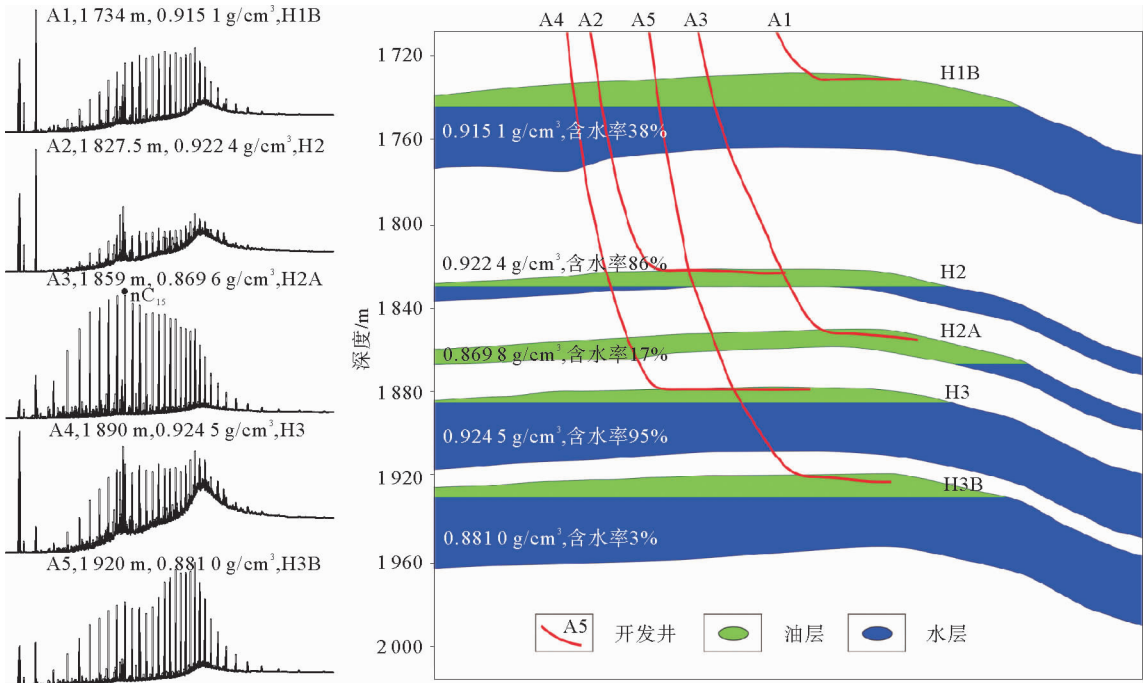


图 13 惠州凹陷 A 油田油藏剖面及原油全烃色谱图

Fig. 13 Reservoir profile and total hydrocarbon chromatogram of A Oilfield in Huizhou Depression

井)油藏与未遭受水洗的油藏(A3/A5井)相比,小于 C_{15} 的轻碳部分损失较为明显,而原油密度也相对较大。

5 勘探意义

目前珠江口盆地珠一坳陷经历了30多年的勘探工作,浅层较好的构造圈闭已悉数钻探完毕,因此,勘探工作被迫开始部分从浅层新近系转入深层的古近系。珠一坳陷近几年在陆丰、惠州、西江、恩平凹陷均有钻井揭示古近系油层,但其商业价值差异性较大,陆丰凹陷在文昌组、西江凹陷在恩平组均获得了日产油超百方的测试结果,同时也存在惠州凹陷、西江凹陷文昌组巨厚油层测试产能极低的现象,因此,产能预测对于勘探工作的重要程度不言而喻。产能预测是对储层产油能力进行综合性评价,也是勘探开发工作者所面临的重要技术难题,其对于油气田的勘探与开发有着极其重要的意义,既是提高勘探开发效益的关键环节,又可为开发方案部署与规划提供重要的科学依据。而储层产能是由储层的自身条件、外部环境以及油气性质等共同决定的。对于不同的凹陷,由于油气性质的不同会导致在外部条件相当的情况下,造成产能差异较大。本文对珠一坳陷原油密度在平面和垂向上的分布特征进行系统分析总结,并归纳出原油密度的主控因素,从而为原油密度的预测提供可靠依据。因此,对于未来重点关注的古近系储层产能预测、经济性评价以及盆地资源量计算也将更加可靠。

6 结论

珠一坳陷近几年取得了丰硕的勘探成果,而这些突破所呈现出来的油气特征均证实了本次研究所得出的油气分布规律及相关控制因素的可靠性,为后期珠一坳陷不同目标区原油类型及油品预测提供了有效证据。

(1)珠一坳陷原油以轻—中质油为主,含油少量凝析油和重质油,原油密度随着油藏埋深、油藏温度增加降低趋势明显。惠州凹陷与陆丰凹陷原油密度从隆起区向凹陷区存在增大趋势,西江、恩平凹陷原油密度平面分布规律不明显。

(2)珠一坳陷所发现的凝析油主要为凹陷内浅湖—沼泽相烃源岩成熟阶段产物,其密度偏轻主要受油源所控制;轻—中质油密度主要受油源和成熟度控制。半深—深湖相原油与浅湖—半深湖、混源油及浅湖—沼泽相原油相比,具有相对较高的密度。原油密度随着原油成熟度增加,密度降低趋势明显。重质油密度主要受生物降解和水洗作用控制,生物降解和水洗作用导致原油轻组分丧失,原油密度变大。

参考文献:

- [1] 赵文智,何登发,瞿辉,等.复合含油气系统中油气运移流向研究的意义[J].石油学报,2001,22(4):7-12.
- [2] 张厚福.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1999:130-150.
- [3] 陈长民,施和生,许仕策,等.珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M].北京:科学出版社,2003:209-212.
- [4] 施和生,朱俊章,姜正龙,等.珠江口盆地珠一坳陷油气资源再评价[J].中国海上油气(地质),2009,21(1):9-14.
- [5] 陈长民.珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探[J].中国海上油气(地质),2000,14(2):73-83.
- [6] 朱伟林,张功成,高乐.南海北部大陆边缘盆地油气地质特征及勘探方向[J].石油学报,2008,29(1):1-9.
- [7] 郭伯举,谢家声,向凤典.珠江口盆地珠一坳陷含油气系统研究[J].中国海上油气(地质),2000,14(1):1-8.
- [8] 黄正吉.珠江口盆地陆相烃源岩与油气生成[J].中国海上油气(地质),1998,12(4):254-261.
- [9] 常俊合,张同周,许书堂,等.白音查干凹陷稠油特征及其成因[J].西安石油学院学报,1998,13(2):21-24.
- [10] 朱光有,金强,周建林,等.济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因探讨[J].石油与天然气地质,2004,25(1):9-13.
- [11] 谢文彦,姜建群,张占文,等.辽河盆地大民屯凹陷油气性质及成因机制研究[J].石油实验地质,2004,26(3):292-297.
- [12] 谢忱,海俊杰,刘正军,等.辽河滩海地区原油物性变化规律研究[J].石油实验地质,2010,32(3):282-284.
- [13] 徐伟,宋国奇,王建伟.东营凹陷南坡东段沙四段原油特征及其地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(2):30-33.
- [14] 张如才,彭文绪,薛艳霞.黄河口凹陷原油物性特征及其影响因素[J].海洋石油,2011,31(3):27-31.
- [15] 汤战宏.济阳坳陷原油物理化学性质的主要影响因素[J].油气地质与采收率,2008,15(3):16-19.
- [16] 中国海洋石油总公司.Q/HS 1026-2007,油气层、油气(藏)田及油气性质分类规范[S].内部标准.
- [17] 中国石油天然气总公司.SY/T 5735-1995,陆相烃源岩地球化学评价方法[S].北京:石油工业出版社,1996.
- [18] 马柯阳.凝析油形成新模式——原油蒸发分馏机制研究

- [J]. 地球科学进展, 1995, 10(6):567-571.
- [19] Thompson K F M. Fractionated aromatic petroleum and the generation of gas-condensates[J]. *Organic Geochemistry*, 1987, 11(6): 573-590.
- [20] 张水昌, 龚再升, 梁狄刚, 等. 珠江口盆地东部油气系统地球化学-I: 油组划分、油源对比及混源油确定[J]. *沉积学报*, 2004, 22(增): 15-26.
- [21] 裴存民, 张明辉, 沈汝浪, 等. 珠江口盆地 C₃₀ 4-甲基甾烷的研究[J]. *石油与天然气地质*, 1991, 12(2): 231-238.
- [22] 李友川, 陶维祥, 孙玉梅, 等. 珠江口盆地惠州凹陷及其邻区原油分类和分布特征[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 830-834.
- [23] 朱扬明, 谢建祥, 孙林婷, 等. 珠江口盆地原油中新二环、四环萜烷的检出及其地球化学意义[J]. *地球化学*, 2015, 44(4): 313-322.

DENSITY DISTRIBUTION OF CRUDE OIL IN THE ZHUYI DEPRESSION OF PEARL RIVER MOUTH BASIN AND CONTROL FACTORS

XIONG Wanlin, ZHU Junzhang, SHI Yang, YANG Xingye, ZHENG Yangdi, ZHAI Puqiang

(Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen 518054, China)

Abstract: The Zhuyi Depression contributes the most of oil reserve in the Pearl River Mouth Basin. In order to confirm the distribution pattern and the control factors of different oil types in the target area, 261 crude oil density data from 79 wells are collected in this paper. Through careful study, it is observed that the density of oil changes in a wide range from light oil (140 samples) to medium oil (57 samples), with a minor of condensate (13 samples) and heavy oil (51 samples). The light to medium is distributed almost in all the oil fields, while the condensate is only distributed in the upper Zhujiang Formation of the Huizhou 26 oil field. Heavy oil is found in the upper Zhujiang Formation and the shallower reservoirs in the Enping Sag, Xijiang Sag and the Liuhua oil field of Huizhou Sag. Although the data covers a long depth range vertically, they are all less than 2000 meters in depth and the reservoir temperature is below 85 °C. The condensate oil is the product of the shallow lacustrine-swamp source rock in a maturity stage and the density is obviously controlled by the type of source rock. Density of light-medium oil is controlled by both the oil types and maturity. Comparing to the shallow-semi-deep lacustrine oil, shallow lacustrine-swamp oil and the mixture of the semi-deep-deep lacustrine oil, the deep lacustrine oil has the heaviest density. Crude oil density declines with the increase in oil maturity. The density of heavy oil is mainly controlled by biodegradation and water washing. Both of the two factors can consume the lighter component of oil, and made it heavier. Through the analysis above, we can predict the oil types of main target formation according to the location and temperatures of the formation. The results could be used for the resource assessment and production prediction.

Key words: Zhuyi Depression; crude oil density; condensate oil; heavy oil; Pearl River Mouth Basin