

珠江口盆地惠州北凹珠海组、珠江组储层发育特征及主控因素

张彦振¹, 覃军¹, 蒋一鸣¹, 姜勇¹, 刘培², 王辉¹, 常文琪¹

1 中海石油(中国)有限公司上海分公司; 2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司

摘要 应用13口钻井的薄片鉴定、粒度分析、扫描电镜、锆石定年、物性等分析化验资料以及录井、测试资料,系统开展了惠州北凹珠海组、珠江组储层的发育特征、主控因素及商业产能下限研究。研究表明:①珠海组、珠江组发育大型海相三角洲—滨浅海沉积,储层主要为三角洲前缘水下分流河道中—粗粒洁净石英砂岩,其具有高成分成熟度和高结构成熟度,储集空间类型以原生粒间孔为主,局部富集次生溶孔、高岭石晶间孔,面孔率较高。②储层发育主要受“优质母源+有利相带+溶蚀作用”三元联控;研究区北部华南地块的变质岩+侵入岩作为优质母源决定了储层为石英含量高的砂岩类型,奠定了优质储层发育的基础;三角洲前缘主水道沉积水动力强,单砂体厚度大,砂岩粒度粗、泥质含量低,储层物性最好;建设性成岩作用(溶蚀作用)在一定程度上具有扩储增孔效应。③结合录井、测试资料确定惠州北凹油层的中—粗粒石英砂岩储层商业产能下限为3 800 m。

关键词 储层特征; 主控因素; 珠海组; 珠江组; 惠州北凹; 珠江口盆地

中图分类号: TE122.3 **文献标识码**: A

引用: 张彦振, 覃军, 蒋一鸣, 等. 珠江口盆地惠州北凹珠海组、珠江组储层发育特征及主控因素[J]. 海相油气地质, 2024, 29(2): 179-187.

ZHANG Yanzhen, QIN Jun, JIANG Yiming, et al. Characteristics and main controlling factors of the reservoirs of Zhuhai Formation and Zhujiang Formation in northern Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2024, 29(2): 179-187.

0 前言

惠州凹陷是珠一坳陷重要的原油生产基地,长期以来针对该凹陷的研究主要集中在惠西南成熟区,而惠州北凹资料少、研究相对薄弱,处于勘探的早期阶段。惠州北凹是惠州凹陷的一个次级构造单元,中海油矿权区面积约为2 000 km²,历经合作、自营两大勘探阶段:在1985—2019年合作阶段,钻探6口井,珠海组油层测试获得商业产能,油源对比显示油来自恩平组湖沼相烃源岩^[1];在2019年至今自营阶段,钻探7口井,珠江组电缆式地层测试获得油样,油源对比表明油来自文昌组半深湖—深湖相烃源岩。惠州北凹钻遇了多套油层(集中分布在珠江组和珠海组)、2套烃源岩(文昌组湖相泥岩和恩平组湖沼相煤系源岩),证实惠州北凹具备良好的石油地质条件,为惠州凹陷重要的富生烃洼陷。

前人主要针对珠一坳陷(或惠州凹陷)整体开展坳(凹)陷结构与构造特征^[2-4]、油气成藏系统与成藏

主控因素^[5-8]、烃源岩特征与资源评价^[9-11]、储层特征与孔隙演化等方面的研究^[12-15],区域研究成果丰硕。惠州北凹的钻井资料揭示珠海组、珠江组储层岩性复杂(粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩均有分布),相近埋深下物性差异大(从高孔高渗到特低孔特低渗均有分布),储层发育主控因素不清。本文结合区域研究成果和钻井录井、测试资料,开展了惠州北凹渐新统珠海组、下中新统珠江组储层基本特征、发育主控因素及商业产能下限研究,以期为研究区珠海组、珠江组的油气勘探提供基础支持。

1 区域地质概况

惠州凹陷位于珠江口盆地珠一坳陷,夹持在北部隆起带和中央隆起带之间(图1),东北部为陆丰凹陷,西南部为西江凹陷,由惠西、惠东、惠北、惠南等4个半地堑(凹陷)和惠中、惠东2个低凸起组成^[16]。凹陷基底主要为中生代侵入岩,沉积层自下而上发育始新统文昌组、恩平组,渐新统珠海组,中

收稿日期:2023-12-26; 改回日期:2024-03-26

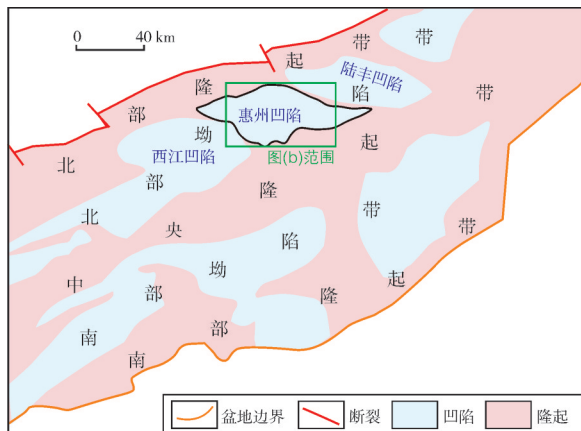
本文受中国海油“十四五”重大科技项目“近海重点潜在富烃洼陷评价技术”(编号:KJGG2022-0301)资助

第一作者: 张彦振, 硕士, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究和储量评价。通信地址:200050 上海市长宁区通协路388号A座805室; E-mail: zhangyzh11@cnoc.com.cn

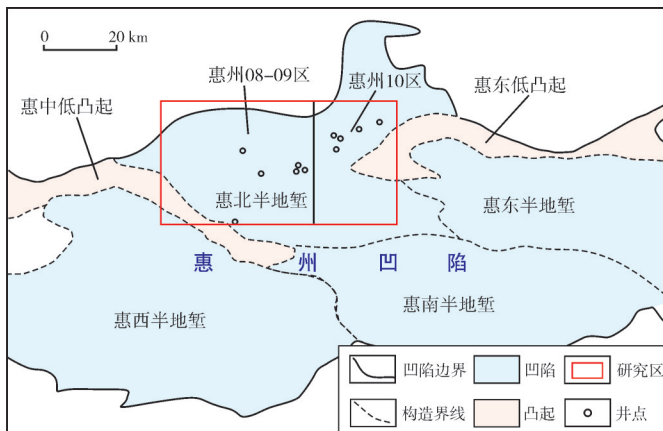
新统珠江组、韩江组、粤海组,上新统及第四系^[17]。

惠州凹陷构造演化可划分为裂陷期和拗陷期两大阶段:裂陷期(始新世),受北部隆起或周边低凸起控制发育湖泊—三角洲沉积体系,发育文昌组半深湖—深湖相泥岩和恩平组湖沼相煤系泥岩2套

重要的烃源岩;拗陷期(渐新世至第四纪),北部隆起或周边低凸起逐渐沉没水下,珠海组、珠江组受北部华南地块大物源控制发育滨浅海—三角洲沉积体系,发育多套由远源三角洲前缘水下分流河道砂、滨岸砂坝与海侵泥岩构成的区域储盖组合。



(a) 惠州凹陷区域构造位置



(b) 惠州凹陷构造单元划分

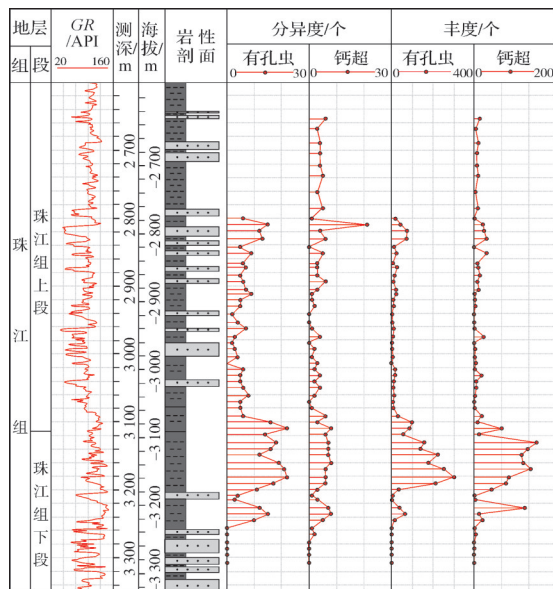
图1 惠州凹陷构造位置及单元划分(据文献[13],有修改)

Fig. 1 Structural location and units of Huizhou Sag (cited from reference [13], modified)

2 沉积特征

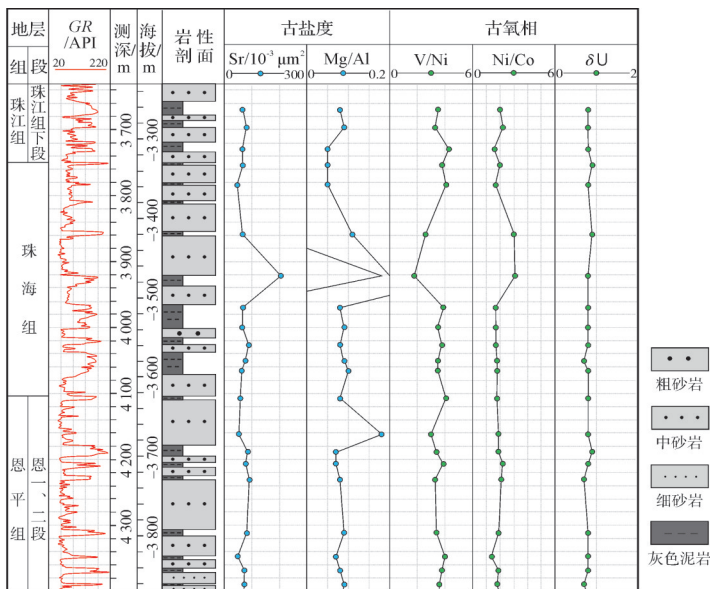
结合前人研究成果,应用古生物、微量元素、特殊矿物等地质资料,综合判别惠州北凹珠海组、珠江组沉积类型。珠海组、珠江组泥岩富集段发育大

量海相有孔虫和钙质超微化石(钙超,图2a),同时宏观壁心和微观薄片照片中均可见大量指示海相环境的特征矿物海绿石;珠海组、珠江组砂岩富集段微量元素Sr含量、Mg/Al值反映水体古盐度低,V/Ni、Ni/Co、 δU 值均反映水体相对富氧(图2b),指示具有大



(a) 古生物特征, 珠江组, HZ09-1井

注: 文中深度数据除了标明MD的为测深, 其他均为海拔垂直深度的绝对值。



(b) 无机微量元素特征, 珠海组, HZ14-1井

图2 惠州北凹珠海组、珠江组储层沉积环境标志

Fig. 2 Depositional environment indicator of the reservoirs of Zhujiang Formation and Zhuhai Pormation in the northern Huizhou Sag

量陆源输入的三角洲沉积物。因此,惠州北凹珠海组、珠江组主要发育浅海—三角洲沉积体系。

录井岩性和粒度分析资料揭示,惠州北凹珠海组、珠江组储层岩性复杂。珠海组储层厚度为43.3~227.3 m,砂地比为32.6%~60.4%,岩性主要为浅灰色中砂岩、(含砾)粗砂岩,局部富集浅灰色细砂岩。珠江组下段储层厚度为60.7~118.6 m,砂地比为25.3%~48.5%,岩性主要为浅灰色中砂岩、细砂岩,局部富集粉砂岩;珠江组上段岩性以海侵泥岩为主,局部发育薄层浅灰色粉砂岩,泥岩厚度为279.2~557.4 m,泥地比为55.0%~79.7%,是一套稳定分布的区域盖层。

惠州北凹珠海组、珠江组沉积期物源主要来自北部华南地块,这决定了三角洲主要发育在凹陷的西北部(图3)。

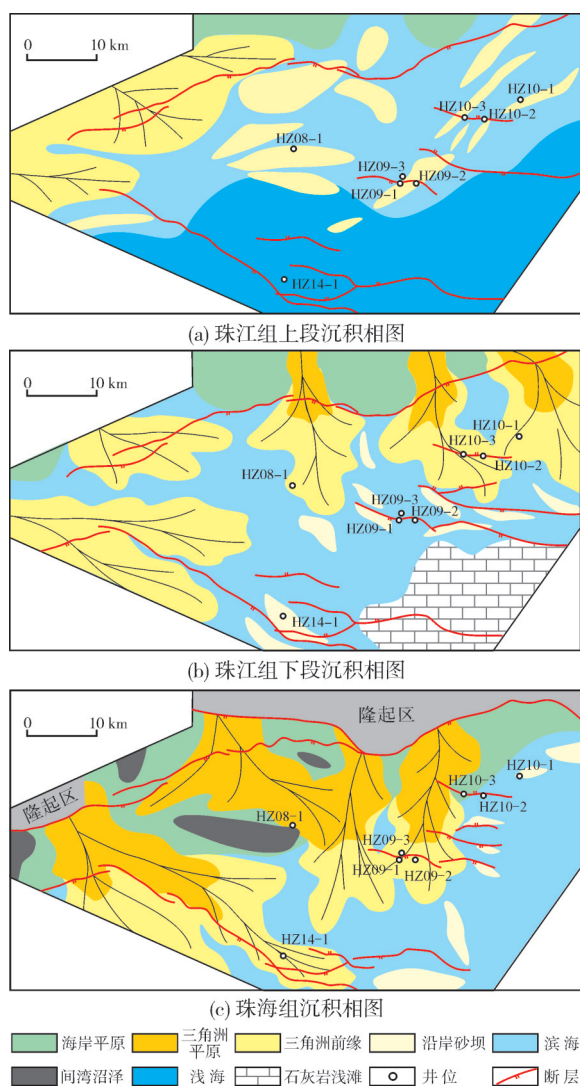


图3 惠州北凹珠海组、珠江组沉积相图
Fig. 3 Sedimentary facies maps of Zhuhai Formation and Zhujiang Formation in northern Huizhou Sag

珠海组沉积期的三角洲规模最大(图3c),自西北部延伸至凹陷中部,覆盖了凹陷70%的面积,三角洲前缘砂体分布范围最广泛;东部以滨浅海泥岩为主。珠江组下段沉积期的三角洲规模变小(图3b),同时北部三角洲向东迁移,此时凹陷南部发育石灰岩浅滩;珠江组上段沉积期总体以滨浅海泥岩为主(图3a),西部发育小规模三角洲,中东部发育部分滨岸滩坝,储层发育规模较珠江组下段和珠海组明显变小。

3 储层特征

3.1 储层岩石学特征

惠州北凹珠海组、珠江组储层以长石石英砂岩、岩屑石英砂岩、长石岩屑石英砂岩为主,岩屑组成以变质岩和侵入岩为主,长石组成以钾长石为主,分选中等—好,磨圆以次棱—次圆为主,成分成熟度和结构成熟度较高。惠州08—09区珠海组石英含量为62.1%~88.9%,平均值为77.8%;珠江组下段石英含量为70.0%~85.0%,平均值为74.4%(图4a)。惠州10区珠海组石英含量为58.0%~80.5%,平均值为72.1%;珠江组下段石英含量为63.5%~84.0%,平均值为73.0%。两者无明显差异(图4b)。

薄片鉴定和扫描电镜资料揭示,惠州北凹储层填隙物杂基以泥质和凝灰质为主,胶结物以碳酸盐矿物和黏土矿物为主。纵向上不同层段、平面上不同区带不同沉积相带的储层填隙物的组成和含量存在显著差异。纵向上,珠江组、珠海组埋藏较浅,杂基含量较高、胶结物含量较低;恩平组、文昌组埋藏较深,杂基含量较低、胶结物含量较高。平面上,惠州08—09区珠海组位于三角洲前缘水道砂主体,杂基以凝灰质为主,平均含量为4.1%,胶结物以黏土矿物为主,平均含量为3.1%(图5a);惠州10区珠海组位于三角洲前缘水道砂侧缘,杂基以凝灰质为主,平均含量为6.1%,胶结物以黏土矿物为主,平均含量为6.1%,较惠州08—09区略高(图5b)。

3.2 储集空间类型

铸体薄片和扫描电镜资料揭示,惠州北凹珠海组、珠江组储层储集空间类型以原生粒间孔、高岭石晶间孔、次生溶孔为主。原生粒间孔是研究区最主要的储集空间类型(图6a—6c),约占总面孔率的75%~80%,形态呈三角形、多边形,孔隙边缘平

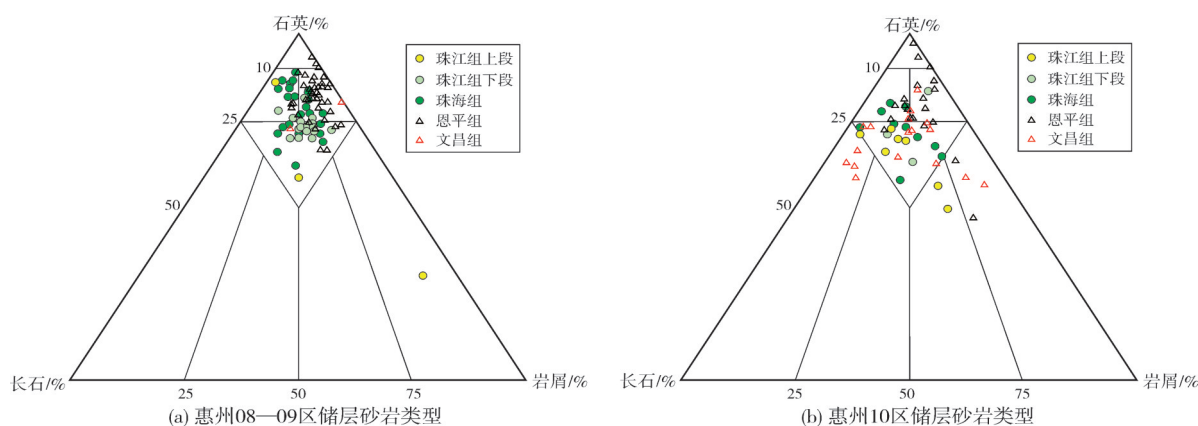


图4 惠州北凹储层砂岩类型

Fig. 4 Classification of sandstones in the northern Huizhou Sag

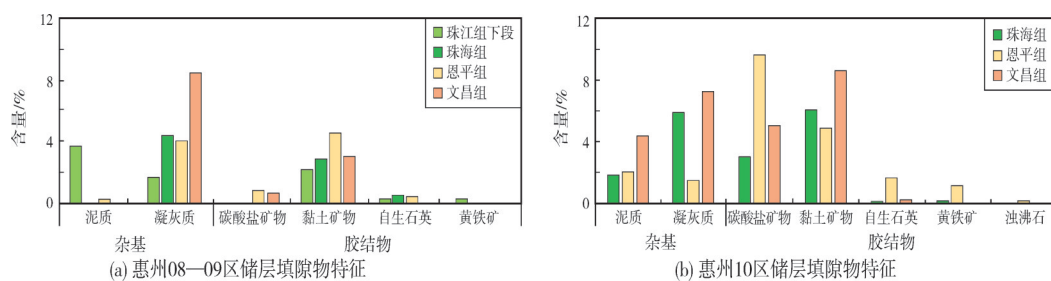


图5 惠州北凹储层填隙物特征

Fig. 5 Characteristics of pore-filling materials of reservoirs in the northern Huizhou Sag

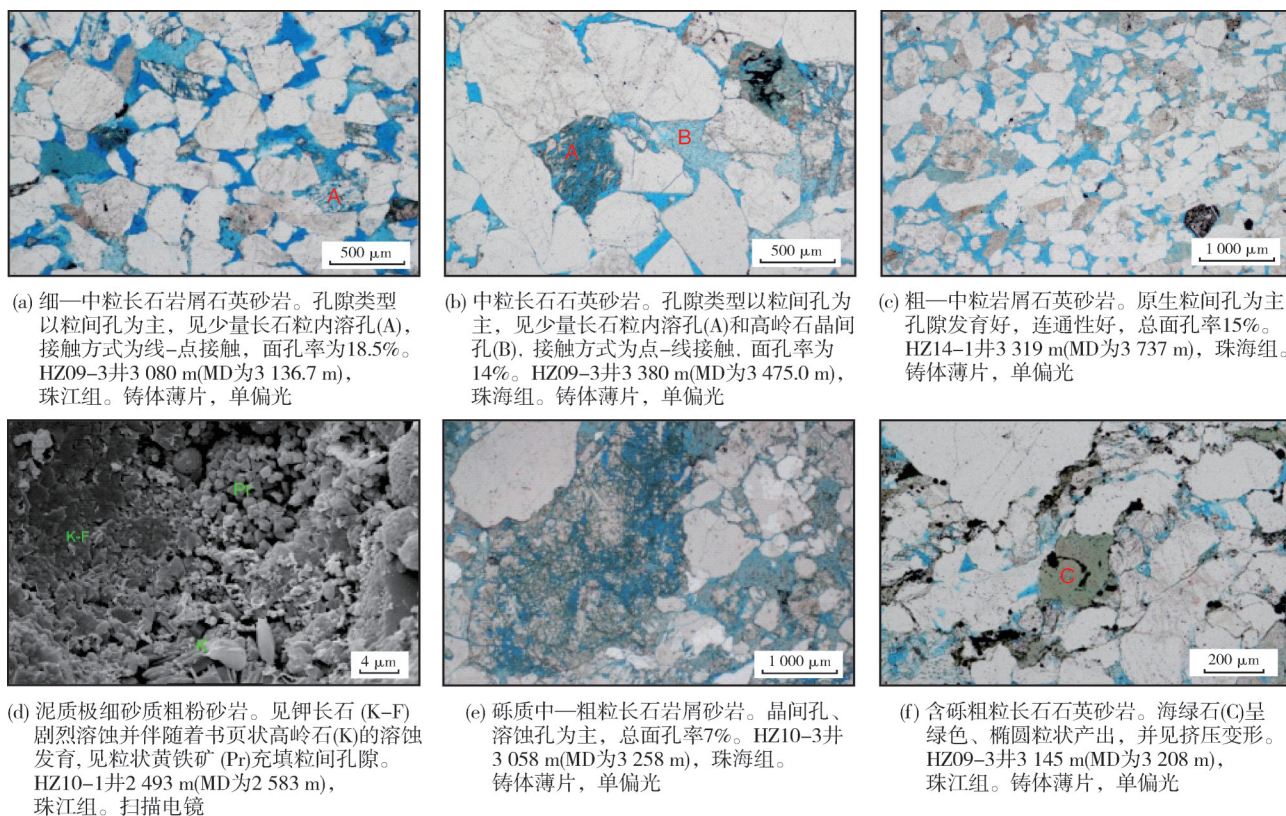


图6 惠州北凹储层岩矿特征及孔隙类型典型照片

Fig. 6 Typical photographs showing rock characteristics and pore types of reservoirs in the northern Huizhou Sag

直,溶蚀现象不明显,分布不均,孔径较小,孔隙连通性好。高岭石晶间孔是研究区重要的储集空间类型(图6d),约占总面孔率的10%~15%,主要是长石矿物溶解产物高岭石就近沉淀形成。研究区次生溶孔可分为粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔,此类孔隙在研究区分布极为不均(图6e,6f),在惠州10区相对发育。

惠州08—09区和10区储层面孔率发育程度及原生孔与次生孔占比明显不同。惠州08—09区珠海组、珠江组储层总面孔率集中分布在10%~15%之间,最大为22.5%;惠州10区储层总面孔率集中分布在8%~10%之前,最大为18.5%。储集空间类型受埋深和有机酸双重影响,总体上浅部地层以原生粒间孔为主,深部地层以高岭石晶间孔和次生溶孔为主。惠州08—09区烃源岩埋深大且烃源岩规模和品质略差,产生有机酸能力较弱,原生粒间孔和次生孔分界在4 000 m,而惠州10区烃源岩埋深浅且烃源岩规模和品质好,可产生大量有机酸,原生粒间孔和次生孔分界在2 850 m,且次生孔更发育。

3.3 储层物性特征

壁心实测物性与地层测试资料显示,惠州北凹储层物性随深度的增加逐渐减小。3 800 m以浅储层,壁心实测孔隙度多分布在15%~20%之间(图7a),渗透率多分布在 $(5\sim50)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图7b)之间,测压流量多分布在 $(1\sim10)\times10^{-3}\mu\text{m}^2/\text{cP}$ 之间(图7c),以中孔、低渗储层为主;HZ09-1井在3 555~3 575 m(MD为3 578~3 598 m)钻杆地层测试产油251 m³/d,储层具备自然产能。3 800 m以深储层,壁心实测孔隙度多分布在10%~15%之间(图7a),渗透率多分布在 $(1\sim10)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间(图7b),以低孔、低—特低渗储层为主;电缆式地层测试几乎无有效点,多为失封点和致密点,HZ09-2井在4 118~4 149 m(MD为4 141~4 172 m)钻杆地层测试未见地层流动响应。基于壁心实测物性、电缆式地层测试、钻杆测试等资料,综合判断惠州北凹油层背景下,中粗粒石英砂岩储层可获得商业产能的深度下限在3 800 m,细砂岩在3 600 m深度已经趋于致密。

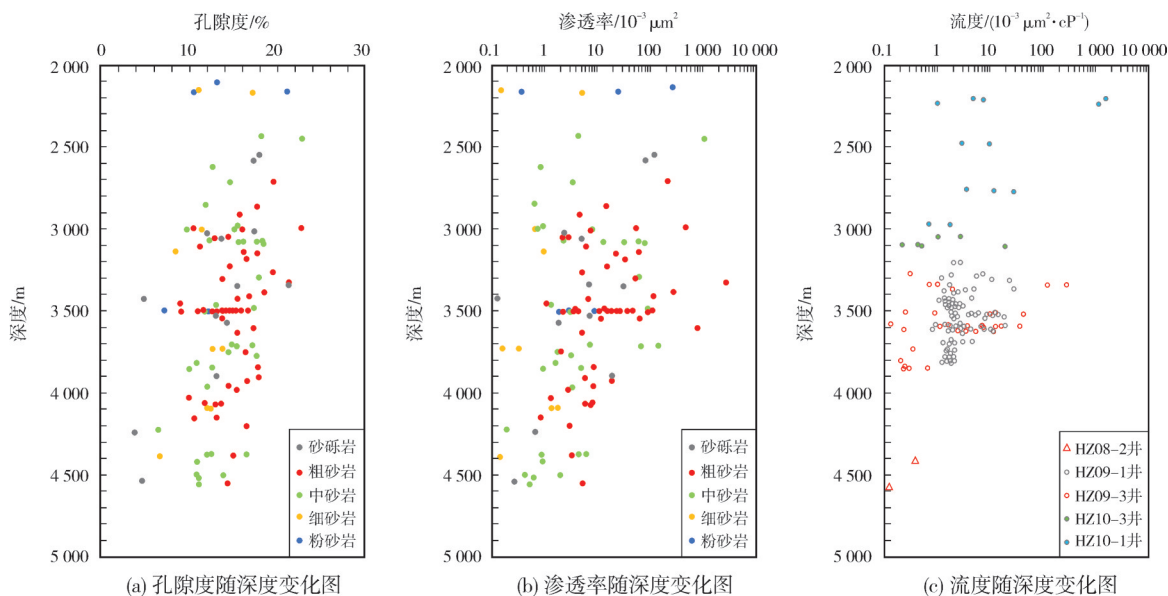


图7 惠州北凹储层物性随深度变化的特征

Fig. 7 Variation characteristics of reservoir physical properties in the northern Huizhou Sag

4 储层发育控制因素

4.1 优质母源类型奠定储层发育的基础

应用锆石U-Pb定年、重矿物组合、岩屑组成等3方面的技术手段分析惠州北凹的物源及母岩类型。相比传统物源分析方法,锆石U-Pb定年技术

具有无需考虑多物源和多期叠合影响,具有分析精度高、使用范围广等优点,在盆地沉积物源示踪方面发挥作用越来越大^[18-19]。碎屑沉积重矿物以强稳定性、抗风化的特点而作为判断物源区母岩类型的重要指示剂。碎屑沉积物中的重矿物组成与源岩类型有很好的对应关系,根据矿物种类及组合可以

判断源岩类型及源区^[20],同时碎屑沉积物中的岩屑成分本身就是母岩特征的直观反映。

对HZ08-1井珠江组(3 132~3 144 m, MD为3 157~3 169 m)和珠海组(3 363~3 375 m, MD为3 388~3 400 m)分别开展锆石U-Pb定年分析(图8a)。其碎屑锆石年龄数据比较分散,主要有3组锆石年龄:第1组以中生代白垩纪(K)、侏罗纪(J)时期的年轻锆石为主,包含少量三叠纪(T)时期的锆石;第2组以古生代奥陶纪(O)、志留纪(S)时期的年轻锆石为主,还包括二叠纪(P)、石炭纪(C)时期的锆石;第3组以元古宙(Pt)时期的古老锆石为主,包含很少量的太古宙(Ar)时期的锆石。总体上,以中生代(Mz)和元古宙(Pt)锆石最多,这与北部华南地块的年龄组成一致,而与北部隆起和周边低凸起以中生代侵入岩为主明显不同。惠州北凹珠海组、珠江组储层的重矿物组合均以稳定

的锆石+钛铁矿组合为主,包含少量磁铁矿、电气石和石榴石等矿物,具有统一的远物源供给(图8b)。结合前文分析,珠海组、珠江组储层砂岩碎屑成分石英含量高,岩屑含量低,且岩屑组成以侵入岩和变质岩为主,亦反映远源侵入岩和变质岩物源供给(图8c)。

因此,渐新世一早中新世沉积期,北部隆起和周边低凸起逐渐沉没水下,供源能力逐渐减弱,惠州北凹主要受北部华南地块大物源控制,华南地块岩性主要为前寒武纪—中生代变质岩和侵入岩,物源类型先天条件好。华南地块变质岩+侵入岩控制惠州北凹珠海组、珠江组发育高含量石英、低含量长石、低含量岩屑的岩屑石英砂岩、长石石英砂岩、长石岩屑石英砂岩储层,储层刚性颗粒含量高,抗压实能力强,从而有利于保存大量的原生粒间孔,奠定了研究区储层发育的基础。

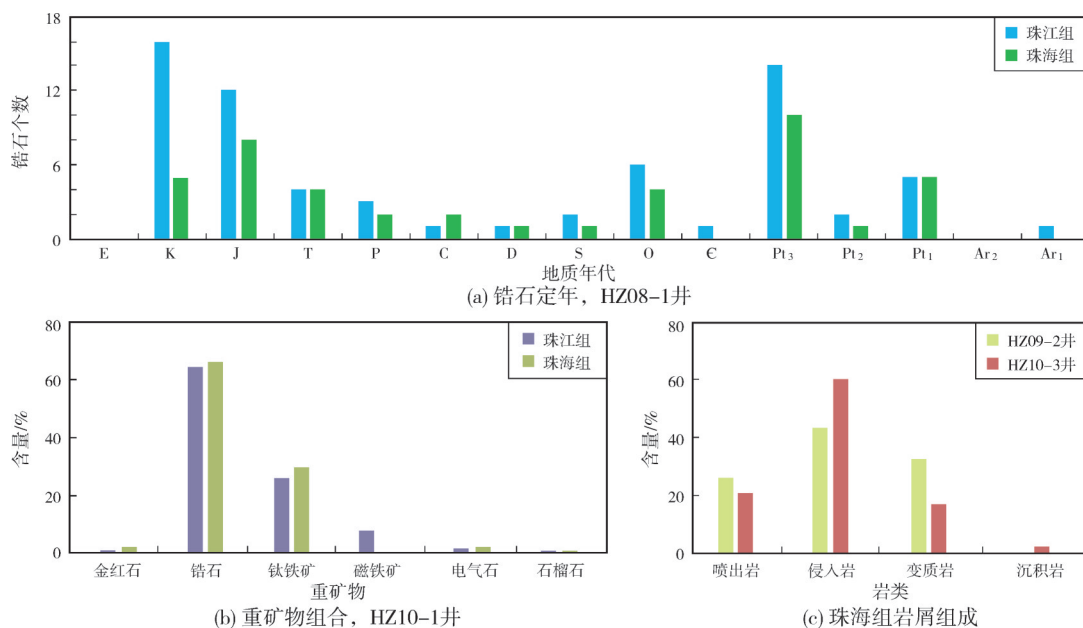


图8 惠州北凹珠海组、珠江组储层锆石定年、重矿物组合及岩屑组分特征

Fig. 8 Zircon age, heavy mineral assemblage and lithic fragments of reservoirs in Zhujiang Formation and Zhuhai Formation in the northern Huizhou Sag

4.2 有利沉积相带控制储层的发育和分布

惠州北凹有利沉积相带三角洲前缘水道砂与滨岸砂坝储层粒度粗、泥质含量低,分选磨圆好,储层物性好。如HZ14-1井珠海组3 320~3 633 m储层集中发育段,位于三角洲前缘主水道(图3a),单砂体厚度为20~25 m,岩性以中粗砂岩为主(图9a),泥质含量为0~2.0%,孔隙度为13.9%~21.3%,渗透率为 $(64.4\sim 2\,837.0)\times 10^{-3}\,\mu\text{m}^2$,发育中孔、中高

渗储层(图9c)。三角洲前缘水下分流河道砂侧缘与滨岸砂坝侧缘,储层粒度偏细,局部富集粉砂岩,泥质含量高,储层物性较差。如HZ10-1井珠江组上段2 100~2 200 m粉细砂岩与泥岩互层段,位于滨岸砂坝侧缘(图3c),单砂体厚度为5~10 m,岩性以粉砂岩、粉细砂岩为主(图9b),泥质含量介于8.5%~40.0%,孔隙度主要为10.6%~21.5%,渗透率主要为 $(0.05\sim 5.31)\times 10^{-3}\,\mu\text{m}^2$,发育中孔、低—特低渗储层(图9c)。

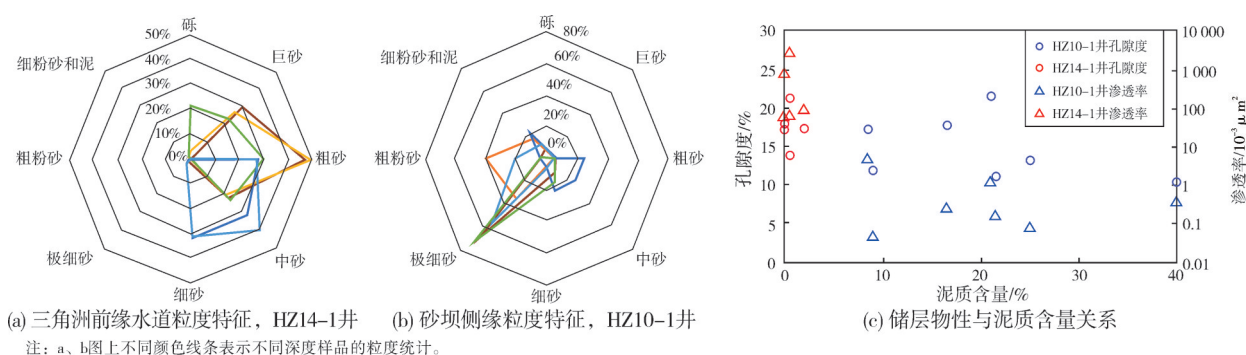


图9 惠州北凹不同沉积微相的粒度与物性差异

Fig. 9 Differences in particle size and physical properties of different sedimentary microfacies in the northern Huizhou Sag

4.3 成岩作用控制储层物性分布

优质母源类型、有利沉积相带控制下的砂体类型、组合和结构决定了惠州北凹储层先天条件较好^[21]。砂体之间的物理作用及砂体与孔隙流体之间的水-岩反应等成岩作用对储层进一步改造,造成储层的特征更加复杂、储层的非均质性更加显著。惠州北凹珠海组、珠江组储层的成岩作用包括破坏性成岩作用(压实作用、胶结作用)和建设性成岩作用(溶蚀作用)2类。

压实作用是降低储层物性的主要成岩作用。通常岩矿组成、粒度和泥质含量的不同会造成砂岩抗压能力的差异性显著。惠州北凹珠海组、珠江组储层埋深适中(2 500~3 500 m),处于早成岩B期—中成岩A期,压实强度中等,压实作用对惠州北凹储层的减孔率为15%。粒度越粗、分选越好、刚性石英颗粒含量越高的砂岩,抗压实能力越强。

胶结作用是研究区的另一主要成岩作用,胶结物的类型及其含量反映了胶结作用的强弱,很大程度上决定了储层物性降低的幅度。惠州北凹储层中常见的胶结物有碳酸盐矿物(主要为方解石、白云石,局部以铁方解石、铁白云石为主)、自生黏土矿物(主要为高岭石),少量自生石英和黄铁矿。碳酸盐胶结物含量在5%以下时对储层物性的影响不明显,但当含量大于5%时,随着碳酸盐胶结物含量的增加,储层物性迅速降低(图10a)。

溶蚀作用是后期改善储层物性的主要因素。惠州北凹储层的溶蚀作用主要表现为长石、岩屑的溶蚀,溶蚀产物部分被流体带走(主要是 K^+),部分就近沉淀形成自生高岭石胶结物,同时形成大量的高岭石晶间孔(图6d)。惠州北凹储层渗透率随黏土矿物(主要为高岭石)含量增加而增大(图10b),反映局部溶蚀作用很强。储层埋深越大,次生溶孔、高岭石晶间孔占比越大。

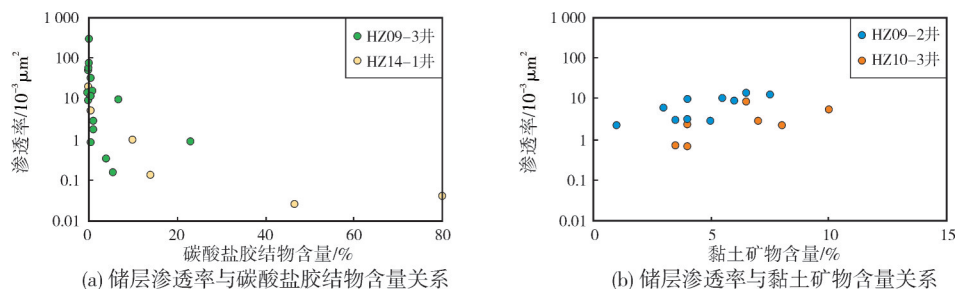


图10 惠州北凹储层渗透率与碳酸盐、黏土胶结物含量关系

Fig. 10 Relationships between carbonate and clay cement content and reservoir permeability in northern Huizhou Sag

5 结论

惠州北凹珠海组、珠江组沉积期发育受北部华南地块变质岩+侵入岩大型物源控制的大型海相三角洲—滨浅海沉积,储层主要为三角洲前缘水下分流河道中—粗粒石英砂岩,具有高成分成

熟度和高结构成熟度;储集空间类型以原生粒间孔为主,局部富集次生溶孔、高岭石晶间孔,面孔率较高;3 800 m以浅储层孔隙度多分布在15%~20%,渗透率多分布在 $(5\sim50)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以中孔、低渗储层为主;油层背景下,中—粗粒石英砂岩储层商业产能深度下限在3 800 m左右。

惠州北凹珠海组、珠江组储层发育主要受“优质母源+有利相带+溶蚀作用”三元联控;华南地块变质岩+侵入岩优质母源决定了储层为高石英含量砂岩类型,奠定了优质储层发育基础;三角洲前缘主水道沉积水动力强,单砂体厚度大,砂岩粒度粗、分选磨圆好、泥质含量低,储层物性最好;溶蚀作用为建设性成岩作用。

参考文献

- [1] 施和生. 论油气资源不均匀分布与分带差异富集:以珠江口盆地珠一坳陷为例[J]. 中国海上油气, 2013, 25(5): 1-8, 25.
SHI Hesheng. On heterogeneous distribution and differential enrichment by zones of hydrocarbon resources: a case in Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. China offshore oil and gas, 2013, 25(5): 1-8, 25.
- [2] 张向涛, 彭光荣, 王光增, 等. 珠江口盆地惠州运动的断裂响应研究: 以阳江东凹为例[J]. 地学前缘, 2022, 29(5): 161-175.
ZHANG Xiangtao, PENG Guangrong, WANG Guangzeng, et al. Fault response to the Huizhou Movement in the Pearl River Mouth Basin: insights from a case study of the Eastern Yangjiang Sag[J]. Earth science frontiers, 2022, 29(5): 161-175.
- [3] 庞雄, 郑金云, 梅廉夫, 等. 先存俯冲陆缘背景下南海北部陆缘断陷特征及成因[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(5): 1069-1080.
PANG Xiong, ZHENG Jinyun, MEI Lianfu, et al. Characteristics and origin of continental marginal fault depressions under the background of pre-existing subduction continental margin, northern South China Sea, China [J]. Petroleum exploration and development, 2021, 48(5): 1069-1080.
- [4] 叶青, 施和生, 梅廉夫, 等. 珠江口盆地珠一坳陷后期断裂作用: 迁移、转换及其动力学[J]. 地球科学, 2017, 42(1): 105-118.
YE Qing, SHI Hesheng, MEI Lianfu, et al. Post-rift faulting migration, transition and dynamics in Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Earth science, 2017, 42(1): 105-118.
- [5] 施和生, 代一丁, 刘丽华, 等. 珠江口盆地珠一坳陷油气藏地质特征与分布发育基本模式[J]. 石油学报, 2015, 36(增刊2): 120-133, 155.
SHI Hesheng, DAI Yiding, LIU Lihua, et al. Geological characteristics and distribution model of oil and gas reservoirs in Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Acta petrolei sinica, 2015, 36(S2): 120-133, 155.
- [6] 米立军, 张向涛, 陈维涛, 等. 珠江口盆地珠一坳陷古近系油气富集规律及下一步勘探策略[J]. 中国海上油气, 2018, 30(6): 1-13.
MI Lijun, ZHANG Xiangtao, CHEN Weitao, et al. Hydrocarbon enrichment law of Paleogene Zhu I Depression and its next exploration strategy in Pearl River Mouth Basin[J]. China offshore oil and gas, 2018, 30(6): 1-13.
- [7] 朱俊章, 朱明, 史玉玲, 等. 珠一坳陷油气成藏组合划分及有利成藏组合预测[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(5): 67-75.
ZHU Junzhang, ZHU Ming, SHI Yuling, et al. Division of hydrocarbon accumulation assemblage and prediction of favorable accumulation assemblage in Zhu I Depression[J]. Marine geology frontiers, 2022, 38(5): 67-75.
- [8] 刘培, 张向涛, 林鹤鸣, 等. 珠江口盆地西江主洼油气差异分布机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2021, 51(1): 52-64.
LIU Pei, ZHANG Xiangtao, LIN Heming, et al. Distribution mechanism of oil and gas in Xijiang main depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Jilin University (earth science edition), 2021, 51(1): 52-64.
- [9] 吴克强, 刘志峰, 王升兰, 等. 珠一坳陷北部洼陷带始新统半深—深湖相烃源岩综合判识[J]. 中国海上油气, 2015, 27(3): 10-15, 24.
WU Keqiang, LIU Zhifeng, WANG Shenglan, et al. Composite recognition of Eocene semi-deep and deep lacustrine facies source rocks in northern subsags belt of Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. China offshore oil and gas, 2015, 27(3): 10-15, 24.
- [10] 高翔, 刘杰, 牛胜利, 等. 珠江口盆地惠北地区文昌期构造—沉积响应及对优质烃源岩的控制[J]. 海相油气地质, 2022, 27(4): 348-359.
GAO Xiang, LIU Jie, NIU Shengli, et al. Tectonic-sedimentary response and influence on high-quality source rocks during the depositional period of Wenchang Formation in the northern Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2022, 27(4): 348-359.
- [11] 赵鹏, 彭光荣, 吴静, 等. 珠一坳陷小型洼陷文昌组烃源岩发育模式与主控因素[J]. 沉积学报, 2022, 40(4): 1109-1121.
ZHAO Peng, PENG Guangrong, WU Jing, et al. Lacustrine source rock deposition model and main controlling factors of the Wenchang Formation in a small-scale sag, Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Acta sedimentologica sinica, 2022, 40(4): 1109-1121.
- [12] 丁琳, 李晓艳, 周凤娟, 等. 珠江口盆地珠一坳陷古近系优质储层差异发育特征及主控因素: 以陆丰地区和惠州地区文昌组为例[J]. 岩石矿物学杂志, 2022, 41(1): 75-86.
DING Lin, LI Xiaoyan, ZHOU Fengjuan, et al. Differential development characteristics and main controlling factors of the Paleogene high-quality reservoirs from the Zhu I Depression in the Pearl River Mouth Basin: a case on Wenchang Formation at Lufeng area and Huizhou area[J]. Acta petrologica et mineralogica, 2022, 41(1): 75-86.
- [13] 龙更生, 施和生, 郑荣才, 等. 珠江口盆地惠州凹陷深部古近系储层特征及发育控制因素[J]. 海相油气地质, 2011, 16(3): 71-78.
LONG Gengsheng, SHI Hesheng, ZHENG Rongcai, et al. Characteristics and development controlling factors of Paleogene deep reservoirs in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2011, 16(3): 71-78.
- [14] 杜家元, 张向涛, 刘培, 等. 珠江口盆地珠一坳陷古近系“源—汇”系统分类及石油地质意义[J]. 地球科学, 2021, 46(10): 3690-3706.
DU Jiayuan, ZHANG Xiangtao, LIU Pei, et al. Classification of Paleogene source-to-sink system and its petroleum geological significance in Zhuyi Depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Earth science, 2021, 46(10): 3690-3706.
- [15] 余烨, 张昌民, 张尚锋, 等. 惠州凹陷新近系珠江组物源方

- 向研究[J]. 断块油气田, 2012, 19(1): 17-21.
- YU Ye, ZHANG Changmin, ZHANG Shangfeng, et al. Research on source direction of Neogene Zhujiang Formation in Huizhou Depression[J]. Fault-block oil and gas field, 2012, 19(1): 17-21.
- [16] 李丙喜, 姜正龙, 朱俊章, 等. 惠州凹陷文昌组—恩平组油气成藏模式[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(6): 36-38.
- LI Bingxi, JIANG Zhenglong, ZHU Junzhang, et al. Hydrocarbon accumulation patterns of Wenchang and Enping Formation, Huizhou Depression[J]. Petroleum geology and recovery efficiency, 2009, 16(6): 36-38.
- [17] 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.
- [18] 杜晓东, 彭光荣, 吴静, 等. 珠江口盆地阳江东凹始新统的源汇过程: 碎屑锆石定年及物源示踪[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(6): 124-137.
- DU Xiaodong, PENG Guangrong, WU Jing, et al. Tracing source-to-sink process of the Eocene in the eastern Yangjiang Sag, Pearl River Mouth Basin: evidence from detrital Zircon spectrum[J]. Marine geology & Quaternary geology, 2021, 41(6): 124-137.
- [19] 刘仲强, 索艳慧, 杜晓东, 等. 南海北部陆缘大陆架科学钻探选址: 珠江口盆地沉积源汇启示[J]. 地质学报, 2022, 96(8): 2775-2787.
- LIU Zhongqiang, SUO Yanhui, DU Xiaodong, et al. Scientific drilling sites of the northern South China Sea margin: insights from sediment source-to-sink in the Pearl River Mouth Basin[J]. Acta geologica sinica, 2022, 96(8): 2775-2787.
- [20] 张媛媛, 张鹏飞, 聂逢君, 等. 鄂尔多斯盆地北部直罗组砂岩重矿物分布特征及其指示意义[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(4): 142-152.
- ZHANG Yuanyuan, ZHANG Pengfei, NIE Fengjun, et al. Distribution characteristics of heavy minerals in the sandstone of Zhiluo Formation of northern Ordos Basin and its implication[J]. Coal geology & exploration, 2021, 49(4): 142-152.
- [21] 肖晓光, 秦兰芝, 张武, 等. 西湖凹陷西斜坡平湖组储层特征及致密化过程分析[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(4): 34-45.
- XIAO Xiaoguang, QIN Lanzhi, ZHANG Wu, et al. Reservoir characteristics and densification process of Pinghu Formation in western slope of Xihu Sag[J]. Marine geology frontiers, 2023, 39(4): 34-45.

编辑:黄革萍

Characteristics and main controlling factors of the reservoirs of Zhuhai Formation and Zhujiang Formation in the northern Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin

ZHANG Yanzhen¹, QIN Jun¹, JIANG Yiming¹, JIANG Yong¹,
LIU Pei², WANG Hui¹, CHANG Wenqi¹

1. Shanghai Branch of CNOOC China Limited; 2. Shenzhen Branch of CNOOC China Limited

Abstract: Huizhou Sag is an important place for crude oil production in the Zhuyi Depression. For a long time, research has been mainly focused on southwestern Huizhou Sag, whereas the study on northern Huizhou Sag is relatively weak and lacks data support, so the northern Huizhou Sag is still in the early stage of exploration. To promote the oil and gas exploration process in northern Huizhou Sag, the characteristics and development controlling factors of reservoirs in Zhuhai Formation and Zhujiang Formation in northern Huizhou Sag were systematically studied by using thin section, grain size analysis, scanning electron microscopy, zircon dating, reservoir properties and other data. The results show that the reservoir sandstone of Zhujiang Formation and Zhuhai Formation in the northern Huizhou Sag is mainly composed of medium to coarse grained quartz sandstone from delta front channels, with high compositional and structural maturity and low argillaceous content. Pores in the sandstone are dominated by primary intergranular pores, locally enriched with dissolution pores and kaolinite micropores. This sandstone has high porosity, and the maximum profitable depth is about 3 800 m. The reservoir quality of Zhujiang Formation and Zhuhai Formation in northern Huizhou Sag is mainly controlled by three factors: high-quality parent rocks, favorable sedimentary facies and constructive diagenetic process. The high-quality metamorphic and intrusive parent rocks in the South China block lead to high quartz content in the sandstone, laying the foundation for the development of high-quality reservoirs. The fluvial energy of delta front channels is high, resulting in the deposition of coarse grained sandstone, with low clay content and the best reservoir properties. Dissolution, as constructive diagenesis, can increase porosity, therefore increase reserves.

Key words: reservoir characteristics; main controlling factors; Zhuhai Formation; Zhujiang Formation; northern Huizhou Sag; Pearl River Mouth Basin

ZHANG Yanzhen, First author, MSc, Senior Engineer, major in petroleum geology and reserves evaluation. Add: Room A805, 388 Tongxie Rd., Changning District, Shanghai 200050, China. E-mail: zhangyzh11@cnooc.com.cn