

珠江口盆地西江凹陷 XJ-A 构造古近系储层特征 及对油气成藏的影响

冯进^{1,2}, 马永坤^{1,2}, 贾培蒙^{1,2}, 史玉玲^{1,2},
邱欣卫^{1,2}, 牛胜利^{1,2}, 梁浩然³

- 中海石油深海开发有限公司, 广东 深圳 518054;
- 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司, 广东 深圳 518054;
- 油气藏地质及开发工程全国重点实验室(成都理工大学), 成都 610059

[摘要] 西江凹陷位于珠江口盆地北部珠一坳陷西南部, 与紧邻的惠州凹陷相比, 其勘探程度相对较低, 研究工作较为薄弱。近期的研究揭示, 西江凹陷古近系恩平组 and 文昌组也具有足够的生排烃与勘探开发潜力。为了明确西江凹陷古近系储层条件对油气成藏的影响, 本文选择位于西江主洼的 XJ-A 构造, 利用储层物性、沉积相、薄片鉴定及包裹体测试资料等, 对研究区的储层宏观条件和微观特征进行了详细的分析。研究结果表明 XJ-A 构造古近系沉积相以滨浅湖、中深湖和辫状河三角洲相为主, 其中恩平组发育了大套以滨浅湖相为主的泥岩, 文昌组则以辫状河三角洲相的砂岩为主, 形成了“恩平富泥、文昌富砂”的特点; 恩平组砂岩多为长石、石英类砂岩, 而文昌组以长石类砂岩为主; 恩平组砂岩孔隙度集中在 5%~15%, 而文昌组砂岩分布于 10%~15%, 它们的渗透率集中分布在 $(1\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 范围内, 均属于低/特低孔、低渗储层; 储层的成岩作用主要包括压实、自生矿物沉淀、溶蚀、交代和充填作用。结合该地区砂岩储层捕获的包裹体均一温度、有机质镜质体反射率和伊利石/蒙脱石混层中蒙脱石质量分数等, 综合判断 XJ-A 构造的砂岩储层处于中成岩阶段的 A₂ 期。综合分析表明, XJ-A 构造古近系发育有良好的储层条件, 同时古近系砂体也为油气运移提供了有效的横向运移通道, 并且可以与研究区断裂相配合输导油气, 为油气在斜坡带圈闭内聚集成藏提供保障。

[关键词] 砂岩储层; 成岩作用; 油气成藏; 古近系; 西江凹陷

[分类号] TE121; TE822

[文献标志码] A

[收稿日期] 2023-04-24。

[基金项目] 中海石油(中国)集团公司“十四五”重大科技项目(KJGG2022-0403)。

[第一作者] 冯进(1997—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向: 测井综合解释与理论以及珠江口盆地综合成藏, E-mail: fengjin@cnooc.com.cn。

[通信作者] 梁浩然(1991—), 男, 讲师, 博士, 研究方向: 有机地球化学、油气成藏动力学, E-mail: lianghaoran@cdut.edu.cn。

[引用格式] 冯进, 马永坤, 贾培蒙, 等, 2024. 珠江口盆地西江凹陷 XJ-A 构造古近系储层特征及对油气成藏的影响[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 51(3): 392-402+417.

Feng J, Ma Y K, Jia P M, et al., 2024. Conditions of XJ-A structure of the Paleogene reservoir in the Xijiang Depression and their influence on hydrocarbon accumulation[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 51(3): 392-402+417.

Conditions of XJ-A structure of the Paleogene reservoir in the Xijiang Depression and their influence on hydrocarbon accumulation

FENG Jin^{1,2}, MA Yongkun^{1,2}, JIA Peimeng^{1,2}, SHI Yuling^{1,2}, QIU Xinwei^{1,2},
NIU Shengli^{1,2}, LIANG Haoran³

1. CNOOC Deepwater Development Limited, Shenzhen 518054, China;

2. China National Offshore Oil Corporation Shenzhen Branch, Shenzhen 518054, China;

3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The Xijiang Depression is located in the southwest of the Zhuyi Depression in the north of the Pearl River Mouth Basin. It has been poorly explored in research compared with the adjacent Huizhou Depression. Recent research has revealed that the Enping and Wenchang Formations in the Xijiang Depression from the Paleogene have adequate potential for hydrocarbon generation, expulsion, and exploration and development. To clarify the impact of the conditions of the Paleogene reservoir on oil and gas accumulation in the Xijiang Depression, we considered the XJ-A structure located in the main depression of Xijiang, and used data on the physical properties of the reservoir, sedimentary facies, the identification of thin sections, and inclusion testing to analyze its macroscopic and microscopic characteristics. The results showed that the Paleogene sedimentary facies of the XJ-A structure were dominated by shore shallow-lake, middle deep-lake, and braided river-delta facies. The Enping Formation developed a large volume of mudstone that was dominated by shore shallow-lake facies, while the Wenchang Formation was dominated by sandstone from the braided river-delta facies such that the former was rich in mud while the latter was rich in sand. The sandstone of the Enping Formation primarily consisted of feldspar and quartz sandstone, while the Wenchang Formation mainly featured feldspar sandstone. The porosity of sandstone in the Enping Formation ranged from 5%~15%, that of sandstone in the Wenchang Formation ranged from 10%~15%, and their permeabilities ranged from $(1\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$. They all belonged to reservoirs with low/ultra-low porosity and low permeability within the squared-meter range. The diagenesis of the reservoir mainly featured compaction, the precipitation of authigenic minerals, dissolution, and replacement and filling. In conjunction with the homogenization temperature of inclusions captured by the sandstone reservoir in this area, the vitrinite reflectance of organic matter, and the percentage content of montmorillonite in the illite/montmorillonite mixed layer, showed that the sandstone reservoir of the XJ-A structure was in the A₂ stage of intermediate diagenesis. Our analysis showed that the XJ-A structure had suitable reservoir-related conditions for the development of the Paleogene system, and the Paleogene sand body provided an effective pathway for the lateral migration of oil and gas. It also cooperated with faults in the area to transport oil and gas, thus guaranteeing their accumulation in the trap on the slope belt.

Key words: sandstone reservoir; diagenesis; hydrocarbon accumulation; Paleogene; Xijiang Depression

珠江口盆地是中国南海北部陆缘含油气盆地,其北部的珠一坳陷是水深小于 300 m 的浅水区(张宁宁等,2018)。早期珠江口盆地勘探开发主要集中在中浅层地区,油气资源绝大部分在珠

海组及以上地层发现(杨计海等,2019)。现今由于中浅层勘探程度较高,要发现更多新的油气田,亟须向深层古近系开展研究与勘探工作(米立军,2018;陈玮常等,2020)。

与同属珠江口盆地珠一坳陷的各个凹陷构造不同,西江凹陷主洼区位于现今地温梯度相对较低的北部区域,平均现地温梯度仅有 $2.62\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。且因为西江主洼离地幔热源相对较远,基底断裂也不发育,使其形成了与其他凹陷构造不同的低地温半地堑(杜家元等,2008;何敏等,2016)。沉积盆地根据大地热流值和地温梯度的不同可划分为超热盆、热盆、温盆和冷盆共 4 种类型,西江凹陷主洼区属于温盆,同时也是中国东部相对低地温断陷的典型实例。据前人研究及实际勘探成果表明,不同热类型的沉积盆地油气储量规模差异较大,热盆储集的油气规模总体要高于温、冷盆,但温冷型沉积盆地的勘探前景也是现今讨论的热点之一(任战利,1998;张功成等,2010;何敏等,2016)。

自西江凹陷在 4 200 m 以下地层发现高产油流之后,该地区古近系油气勘探便逐步拉开了序幕,但现在仍处于研究工作相对薄弱的阶段(何敏等,2016),仅有少量关于西江凹陷古近系断裂构造、层序地层、油藏地质特征及成藏解剖和烃源岩的研究(国鹏飞,2015;梁杰,2020;栗杰,2020;吴宇翔等,2022;热西提·亚力坤,2022),对储层与油气成藏关系方面的研究则少之又少。本文选取了西江凹陷的 XJ-A 构造,对其古近系储层条件进行了系统研究,并围绕储层条件对油气成藏的影响进行了分析,为该地区下一步油气勘探工作提供地质依据。

1 地质概况

珠江口盆地位于南海北部边缘,整体呈 NE-NEE 向展布。西江凹陷由北部西江 33 洼、西江 28 洼和西江 32 洼组成的西江主洼、中部的西江中低凸起和南部的番禺 4 洼、西江 36 洼组成(单玄龙等,2023)。西江凹陷地处珠江口盆地北部、珠一坳陷的西部,左接恩平凹陷、右邻惠州凹陷,四周由 2 个凸起和 3 个隆起带所包围:西南向为恩西低凸起、东北向为惠西低凸起;西北向为北部隆起带,东南向与东沙隆起带和番禺低隆起相接。本次研究的 XJ-A 构造位于西江主洼(图 1),且根据钻井资料显示,该地区由下而上主要发育了古近系文昌组、恩平组、珠海组,新近系的珠江组、韩江组、粤海组和第四系的万山组共 7 套地层。本次的主要研究对象为古近系的恩平组和文昌组储层。

珠江口盆地共经历了 3 期构造演化:始新世的裂陷期、晚渐新世—中中新世裂后坳陷期和晚中新世—至今的构造活化期。主要经历了 3 次大规模的构造运动,即珠琼运动、南海运动和东沙运动。其中珠琼运动又可分为 2 幕,珠琼运动一幕发生于早—中始新世,约 47.8 Ma,对应了文昌组沉积早期;珠琼运动二幕发生于中—晚始新世,约 38 Ma,对应了恩平组沉积早期。南海运动和东沙运动分别发生于 33.9 Ma 和 10 Ma,对应了珠海组和粤海组的沉积时期(图 2)(Taylor et al., 2010;胡阳,2019)。

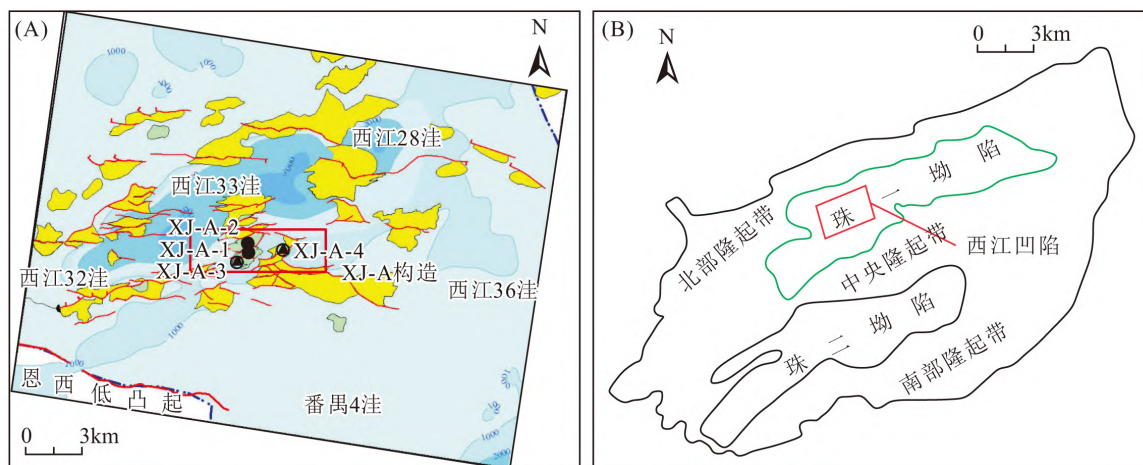


图 1 研究区构造位置图

Fig. 1 Location of the study area

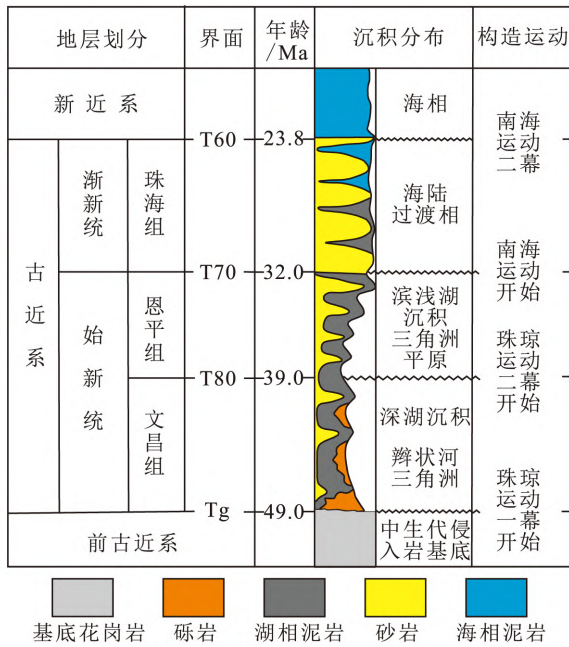


图 2 XJ-A 构造古近系构造—沉积柱状图
Fig. 2 Histogram of sediments of the XJ-A structure from the Paleogene

2 储层沉积相及宏观发育特征

XJ-A 构造古近系恩平、文昌组沉积时是处于水下,属于三角洲前缘沉积亚相,经历多次水进水退,发育了多套砂体(图 3)。

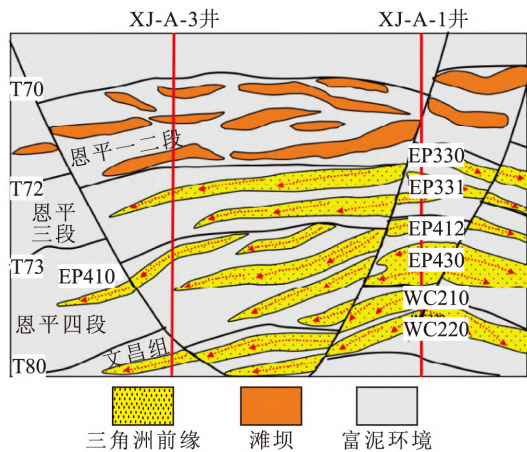


图 3 XJ-A 构造古近系地层沉积模式图
Fig. 3 Modeled map of the stratigraphic sedimentary content of the XJ-A structure from the Paleogene

根据古近系经历一个完整水进水退的沉积旋回来划分层段,可将恩平组细分为恩平一二段、恩平三段和恩平四段,文昌组钻遇地层可细分为文

昌一二段和文昌三段(图 4)。据研究区各井综合柱状图中砂地比的统计,恩平组的砂地比介于 26%~59%之间,且各井位都钻穿了恩平组地层,并由上到下分了 3 层段,依次为恩一二段、恩三段及恩四段;文昌组的砂地比在 11%~86%之间变化,且都钻遇了文一二段地层,但仅有部分井钻遇了文三段地层。恩平组至文昌组的砂地比从上到下呈逐渐增大的趋势。

文昌组砂地比明显大于恩平组,从宏观角度看,XJ-A 构造古近系储层具有“文昌富砂、恩平富泥”的岩性特征,亦表明文昌组储层发育优于恩平组。

此外,本文根据共计 10 口井的钻井录井分层数据及岩性资料,结合研究区古近系储层沉积环境,并主要利用地震伽马数据反演结果编制了 XJ-A 构造所处 XJ 凹陷的宏观沉积相图。

文昌组的文一二段与文三段地层主要发育了 1 套辫状河三角洲沉积相的砂岩,滨浅湖相和深湖相在 XJ-A 构造区发育范围相对面积较小(图 5)。

恩平组的恩四段也主要发育辫状河三角洲沉积相的砂岩,湖相泥岩分布范围较小,到恩三段湖相泥岩分布面积增大,恩一二段则以发育湖相泥岩为主(图 6)。

3 储层岩石学特征及成岩作用

3.1 储层岩石学特征

经过对研究区岩石薄片鉴定及统计后得出,XJ-A 构造恩平组储层以长石和石英类砂岩为主(图 7-A、图 8-A),文昌组以长石类砂岩为主(图 7-B、图 8-B),由此反映出恩平组储层的成分成熟度高于文昌组储层,可能与恩平组辫状河三角洲的物源较远有关。

XJ-A 构造恩平组储层粒度以细粒为主,分选较好,磨圆以次圆和次圆一次棱为主,碎屑颗粒接触方式以点接触为主。黏土矿物质量分数平均值为 16%,以高岭石为主、伊利石次之。填隙物主要以石英和高岭石胶结物 2 种自生矿物为主,杂基含量较少。

文昌组储层粒度以粗粒为主,分选一般,磨圆以次圆和次圆一次棱为主,碎屑颗粒接触方式以线接触为主。黏土矿物质量分数平均值为 13%,比恩平组质量分数稍低,也以高岭石为主、伊利石次之,但

质量分数均比恩平组稍高。填隙物以石英胶结物为主,有机质主要为孔隙与裂缝中充填的沥青。

3.2 储层物性特征

结合 XJ-A 构造各井位的压汞曲线特征综合分析并参考曹勤明(2021)提出的西江凹陷古近系储层分级评价标准,修改之后得出本文使用的西江凹陷古近系储层分级评价标准,如下:

渗透率 $\geq 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度 $> 15\%$ 为 I 类储层;渗透率介于 $(1 \sim < 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,孔隙度在 $10\% \sim 15\%$ 之间为 II 类储层。中国致密砂岩储层评判标准一般为孔隙度 $< 10\%$, 渗透率 $< 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 即 III 类储层及以下为致密储层。III₁ 类储层渗透率介于 $(0.5 \sim \leq 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度在 $10\% \sim 15\%$ 之间,经测试可以

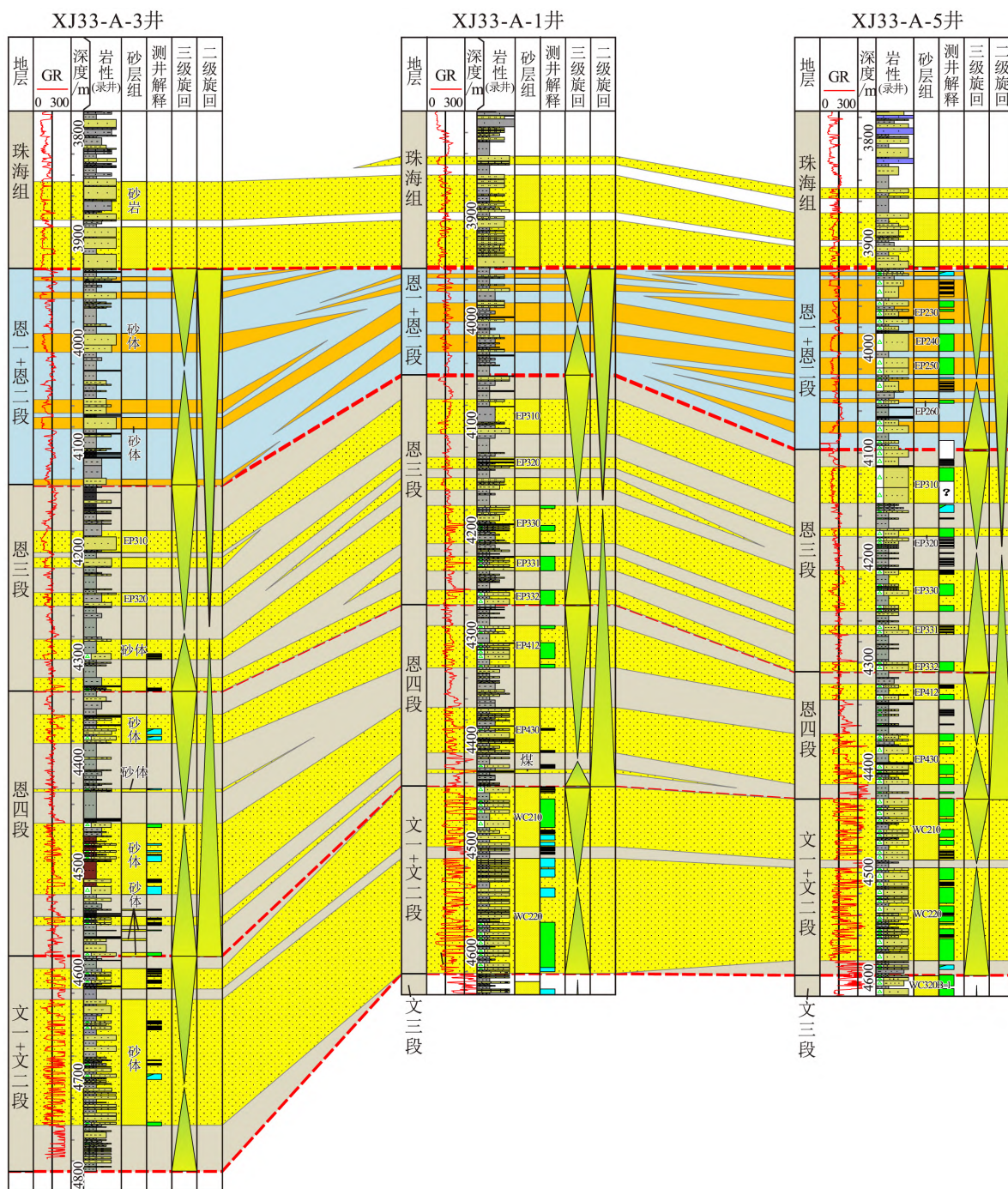


图 4 XJ-A 构造恩平、文昌组连井柱状图

Fig. 4 Histogram of connected wells of the XJ-A structure of the Enping and Wenchang Formations

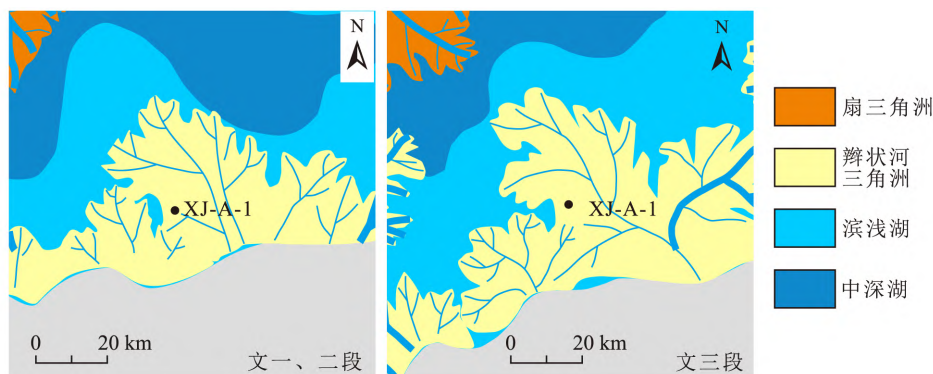


图 5 XJ-A 构造文昌组沉积相平面图

Fig. 5 Sedimentary facies of the XJ-A structure of the Wenchang Formation

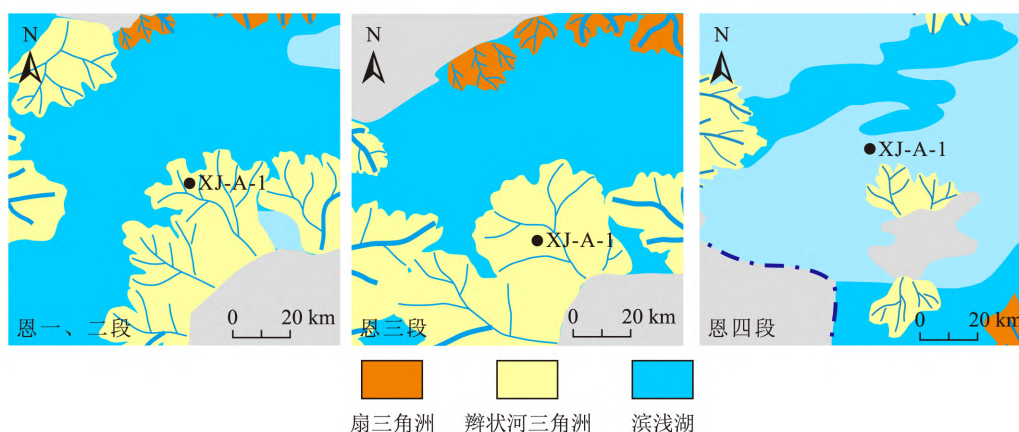
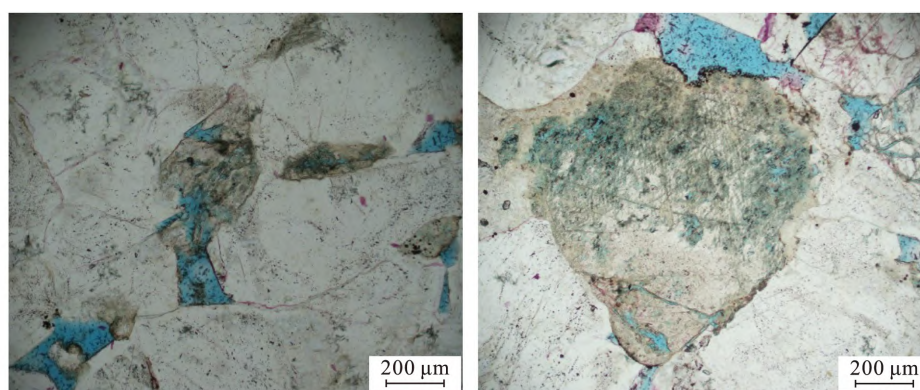


图 6 XJ-A 构造恩平组沉积相平面图

Fig. 6 Sedimentary facies of the XJ-A structure of the Enping Formation



(A)XJ-A-1, 4 455.5 m, 恩平组, 长石石英砂岩 (B)XJ-A-1, 4 584.5 m, 文昌组, 长石砂岩

图 7 XJ-A 构造古近系部分岩石类型薄片

Fig. 7 Thin slices of some rock types from the Paleogene of XJ-A structure

获得自然产能;Ⅲ₂类储层渗透率介于 $(0.1 \sim \leq 5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度在 5%~10%之间,经改造后可获产能;Ⅳ类储层渗透率 $\leq 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 $< 5\%$,改造后也很难获得产能,则Ⅲ₁类及以上级别的储层可作为有效产能储层。

XJ-A 构造古近系恩平、文昌组储层整体物性较好,恩平组平均孔隙度为 10.2%、平均渗透率为 $9.27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;文昌组平均孔隙度为 12.8%,平均渗透率在 $4.91 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以Ⅱ类低-特低孔、低渗储层为主,发育少量Ⅲ类低-特低

孔、特低渗储层和 I 类中孔、中渗储层。

观察 XJ-A 构造恩平组渗透率与深度的关系图(图 9,10)可发现,在深度约 4 200 m 以内时,深度越深孔隙度、渗透率越大,储层物性也就越好,越容易发现并产出油气;而深度超过 4 200 m 时,深度越深孔隙度、渗透率越小,同时也更难获得产

能。那么 XJ-A 构造恩平组相对优质储层埋深下深度约为 4 200 m。同理,虽然文昌组参考数据较少,但同样可以发现在约 4 600 m 深度时,渗透率达到了最大值,超过 4 600 m 深度时,深度越深渗透率越小,则 XJ-A 文昌组相对优质储层埋深下限约为 4 600 m。

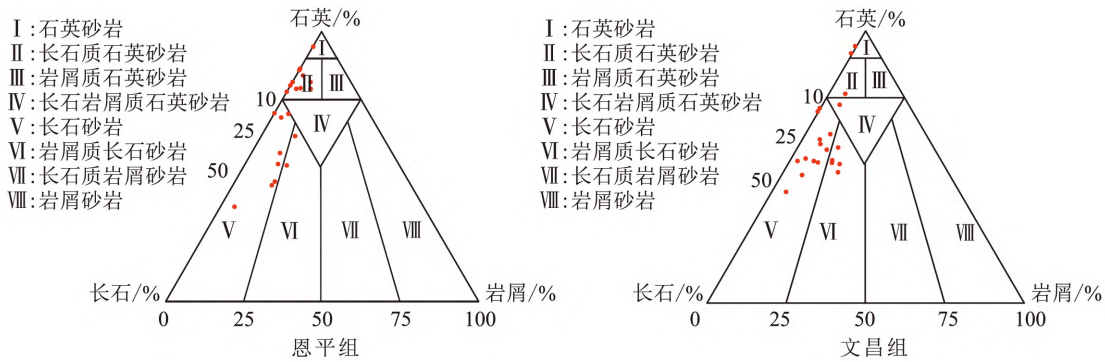


图 8 XJ-A 构造古近系储层岩石类型三角投点图

Fig. 8 Map of triangular projection points of rock types of the XJ-A structure of the Paleogene reservoir

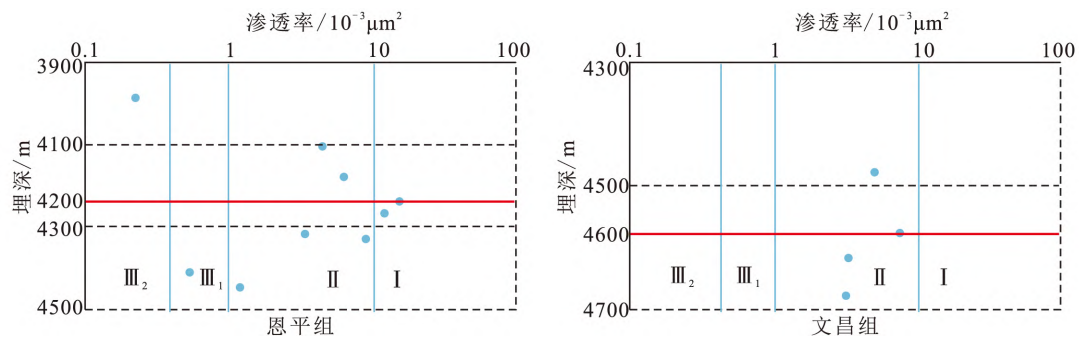


图 9 XJ-A 构造砂体储层渗透率与深度关系图

Fig. 9 Relationship between the permeability and depth of the XJ-A structure

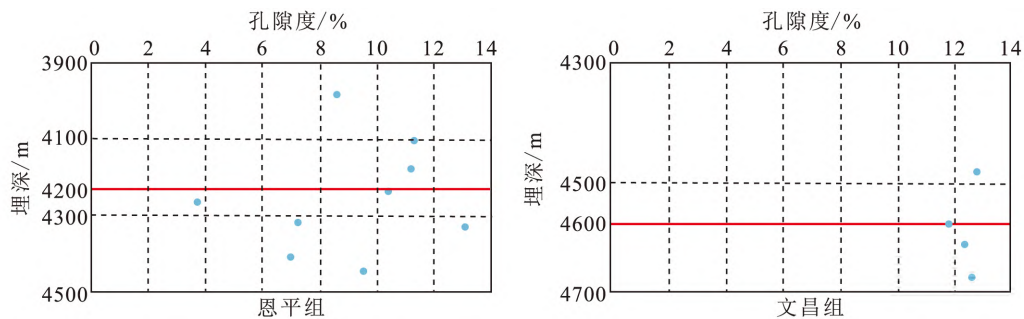


图 10 XJ-A 构造砂体储层孔隙度与深度关系图

Fig. 10 Relationship between the porosity and depth of the sand reservoir in the XJ-A structure

3.3 储层成岩作用及演化特征

本文利用铸体薄片、阴极发光和扫描电镜等多种资料综合分析,发现 XJ-A 构造古近系储层成岩作用主要包括压实作用、自生矿物沉淀作用、

溶蚀作用、交代作用和充填作用(图 11)。

(1) 压实作用

XJ-A 构造古近系压实作用中等,碎屑颗粒之间接触紧密,接触方式大多为线接触,原生粒间孔

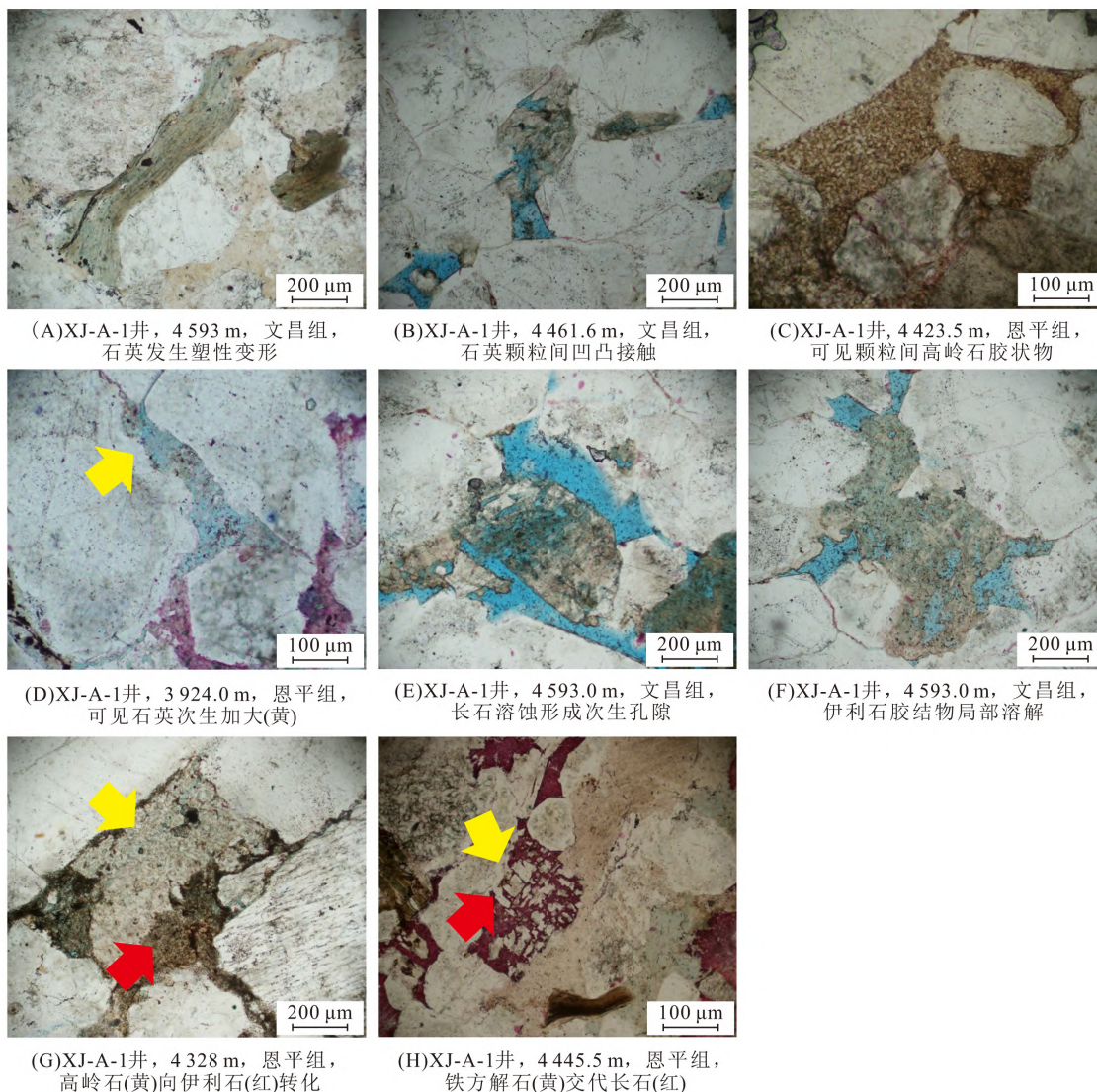


图 11 XJ-A 构造不同成岩作用典型薄片

Fig. 11 Typical thin sections of the XJ-A structure with different diageneses

隙发育,可见云母发生塑性变形(图 11-A,B)。

(2) 自生矿物沉淀作用

XJ-A 构造古近系储层的自生矿物沉淀作用主要有高岭石胶结、碳酸盐矿物沉淀和石英次生加大 3 种。高岭石是 XJ-A 构造古近系砂体内最重要的孔隙填充物,随着埋深的加大,会逐渐向伊利石转化。碳酸盐矿物在砂岩内局部发育,包括方解石、铁方解石,为晚期碳酸盐胶结物充填孔隙,交代碎屑颗粒。还有部分砂岩内的少许石英具有加大边,次生加大属于 II ~ III 级(图 11-C,D)。

(3) 溶蚀作用

溶蚀作用主要包含了长石溶蚀和伊利石胶结物溶解 2 种。XJ-A 构造古近系砂岩内长石保存

较好,仅埋深略大的地层发生长石溶蚀,同时可见伊利石胶结物局部溶解现象(图 11-E,F)。

(4) 交代作用与充填作用

XJ-A 构造古近系储层主要发育有 2 种交代作用:高岭石的伊利石化和铁方解石交代长石。自生伊利石是 XJ-A 构造古近系砂岩内孔隙的次要充填物,主要发育于大于 4 300 m 的地层中,由高岭石转化而来。充填作用则主要是沥青充填于颗粒间孔隙与裂缝中(图 11-G,H)。

根据中石油 2003 年成岩阶段划分标准(中国石油勘探开发研究院实验中心和中国石化江汉油田分公司勘探开发研究院,2003),结合 XJ-A 构造古近系储层成岩演化情况,认为其储层成岩演化阶段处于中成岩阶段 A₂ 期,早期的机械压实

是早成岩阶段 A 期的重要标志,大量自生高岭石开始在酸性介质介导下产生,说明地层已经进入了早成岩阶段 B 期。而长石碎屑的溶解则预示着烃源酸性流体和烃类开始进入储层,地层进入

中成岩阶段 A₁ 期,但随着埋深逐渐增大,温度逐渐升高,酸性慢慢减弱,方解石或铁方解石开始交代长石颗粒,充填孔隙,这表明地层已逐步进入中成岩阶段 A₂ 期(图 12)。

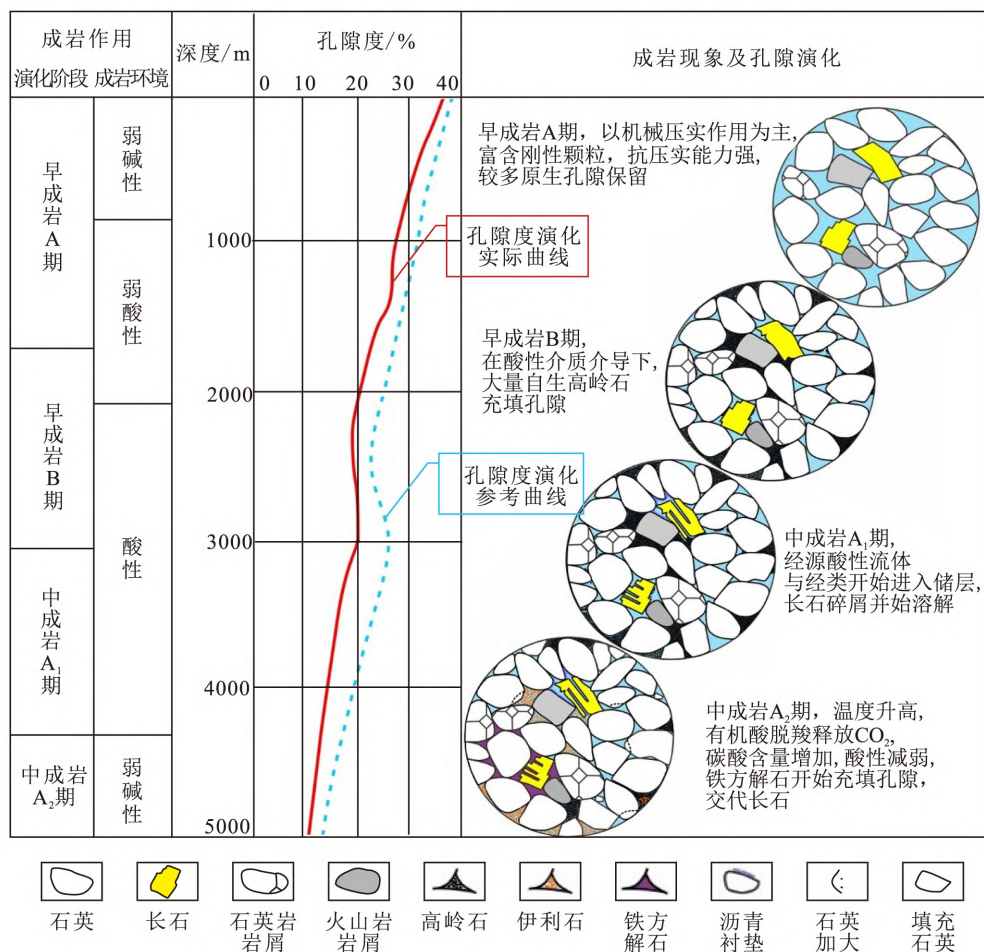


图 12 XJ-A 构造古近系成岩阶段划分及孔隙演化进程

Fig. 12 Division of the stages of diagenesis and evolution of pores of the XJ-A structure from the Paleogene

由于进入中成岩阶段 B 期之后,储层就趋于致密化,而 XJ-A 构造古近系储层仍处于中成岩阶段的 A₂ 期,正在致密化的过程之中。结合 XJ-A 构造古近系油气层的孔隙度、渗透率与深度的关系图(图 9,10)可见,大部分油气层属于 II 类储层,正在向致密储层发育,此类油气储层是同步致密型储层,即为边致密边成藏的储层。还有少部分油气层属于 I 类储层,这类油气储层在进入储层致密化之前就已经完成了油气充注,属于成藏未致密型。

4 储层条件对油气成藏的影响

油气成藏的必要条件包含了烃源条件、储层条件、输导条件、圈闭条件和保存条件等;能产生

大量油气的优质烃源岩、良好的储集层、有效的油气运移通道、能保证油气不四处逸散的圈闭。若形成油气藏这几种条件不可或缺。其中储层条件又主要包括了沉积相、砂地比等宏观特征和岩石学特征、储层物性、成岩作用等微观特征。

4.1 储层条件对油气运移输导的作用

油气输导体系一般是由断层提供的纵向运移通道和储层砂体提供的横向运移通道组成,油气横向运移效率则取决于储层砂体的连通性和储集物性。

XJ-A 构造古近系有着较高的储层物性,孔隙度大多处于 10%~15%,渗透率处于 $(1 \sim <10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要发育了以 II 类为主及少量 III₁ 类的储层,这类储层可以为油气横向运移提供保障。

从宏观沉积相、砂地比及 XJ-A 构造古近系储层横纵向特征(图 13,其中蓝色为泥岩、黄红色为砂岩)可发现,纵向上(图 13-A),如 XJ-A-1 井,古近系储层“恩平富泥、文昌富砂”的特征使得恩平组的含砂率相对较低,储层砂体连通率较差,油

气横向运移效率较低;而文昌组与之相反,整体含砂率较高,储层砂体连通性好。横向上(图 13-B),XJ-A 构造古近系储层砂体连通性较好。整体上,XJ-A 构造古近系储层可为油气运移提供有效的横向运移通道。

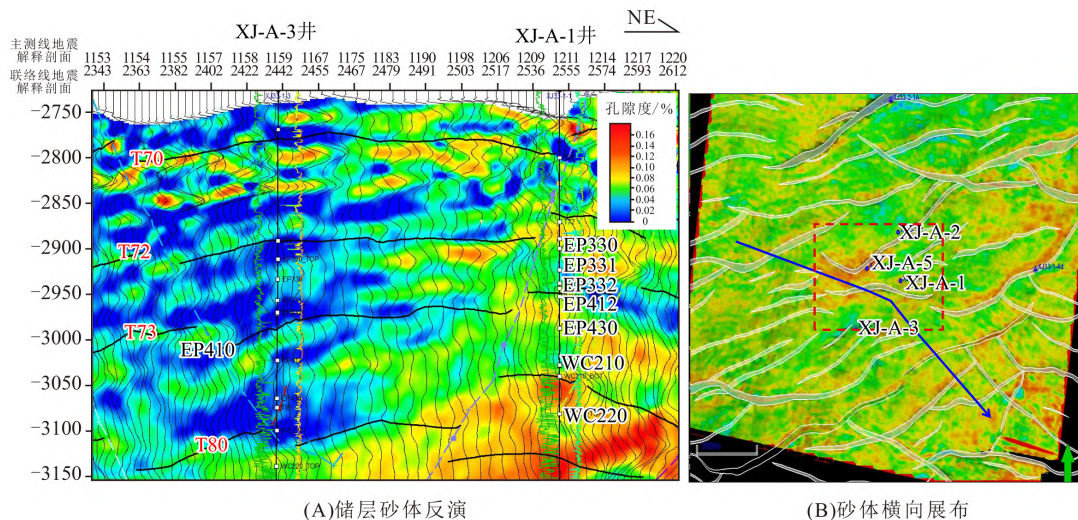


图 13 XJ-A 构造古近系储层纵向与横向特征

Fig. 13 Vertical and horizontal characteristics of the XJ-A structure of the Paleogene reservoirs

4.2 储层条件对油气聚集成藏的作用

XJ-A 构造古近系油气一般通过 2 种方式从烃源岩向斜坡带圈闭运移并聚集成藏,第一种为断层与砂体相结合组成的断、砂联合型网状输导体系,储层砂体为油气运移提供横向运移通道,油

气在运移过程中遇到断层就通过断层纵向向上运移并通过砂体侧向运移直到进入圈闭聚集成藏,如 XJ-A-2 井;第二种为砂体独立性输导体系,油气仅通过砂体横向运移就进入圈闭聚集成藏,如 XJ-A-1 井(图 14)。这 2 种方式使 XJ-A 构造古

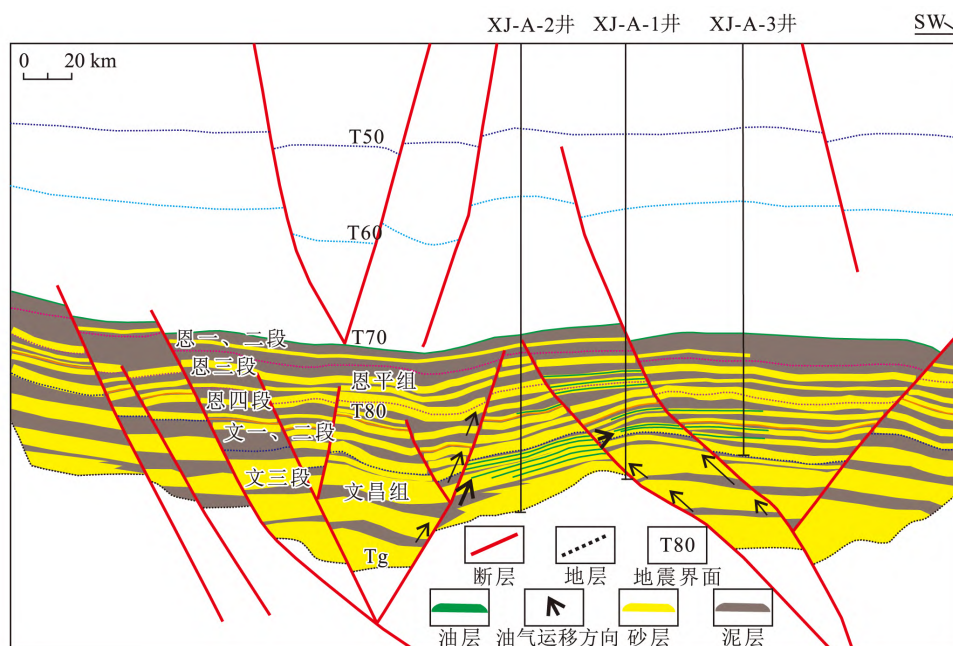


图 14 XJ-A 构造古近系油气输导剖面图

Fig. 14 Profiles of oil and gas transport in the XJ-A structure from the Paleogene

近系油气成藏具有旁生侧储、下生上储的特征。

5 结论

a. XJ-A 构造古近系恩平组、文昌组沉积相都以辫状河三角洲为主、其次为滨浅湖相。且恩平组富泥,岩石类型以长石和石英类砂岩为主,文昌组富砂,岩石类型以长石类砂岩为主,都主要发育了以低—特低孔、低渗为主的 II 类储层。

b. XJ-A 构造主要发育了压实、自生矿物沉淀、溶蚀、交代和充填作用,且整体处于中成岩阶段 A 期的 A₂ 期,油气储层致密化类型较为单一,主要以成藏同步致密型为主,成藏未致密型为辅。

c. 研究区古近系恩平、文昌组相对优质的储层条件不仅有储存油气的能力还为油气运移提供了有效的横向运移通道;宏观上发育的大量以辫状河三角洲沉积相为主的砂体结合“恩平富泥、文昌富砂”的特征,使油气集中向文昌组的砂体聚集。

[参 考 文 献]

- 曹勤明,2021. 珠江口盆地珠一坳陷始新统中-深层砂岩储层形成机理[D]. 成都:成都理工大学档案馆.
- Cao Q M, 2021. Formation Mechanism of Middle-deep Sandstone Reservoir of Eocene in Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin[D]. Chengdu: The Archive of Chengdu University of Technology. (in Chinese)
- 陈玮常,张洪宇,全志臻,等,2020. 珠江口盆地西江主洼古近纪断裂构造与油气成藏[J]. 东北石油大学学报, 44(3):57-69.
- Chen W C, Zhang H Y, Quan Z Z, *et al.*, 2020. Paleogene fault structure characteristics and hydrocarbon accumulation of Xijiang Major Sag in Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 44(3):57-69. (in Chinese)
- 杜家元,施和生,朱明,等,2008. 西江主洼相对低地温条件下油气成藏特征和勘探潜力分析[J]. 中国海上油气, 20(5):287-292.
- Du J Y, Shi H S, Zhu M, *et al.*, 2008. An analysis of hydrocarbon accumulation and exploration potential under a lower geothermal condition in Xijiang sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 20(5):287-292. (in Chinese)
- 国朋飞,2015. 珠 I 坳陷优质烃源岩形成机理及其成藏贡献[D]. 武汉:中国地质大学档案馆.
- Guo P F, 2015. Formation Mechanism of High-quality Source Rock and Its Contribution to Hydrocarbon Accumulation in Zhuyi Depression, Pearl River Mouth Basin[D]. Wuhan: The Archive of China University of Geosciences. (in Chinese)
- 何敏,雷永昌,于水明,等,2016. 南海北部浅水区低地温断陷成藏特征及勘探启示[J]. 中国石油勘探, 21(4):75-84.
- He M, Lei Y C, Yu S M, *et al.*, 2016. Hydrocarbon accumulation features and exploration inspiration of low geothermal rifted basins in shallow water area of northern South China Sea[J]. China Petroleum Exploration, 21(4):75-84. (in Chinese)
- 胡阳,2019. 珠江口盆地珠一坳陷新生代盆地结构与成因演化[J]. 高校地质学报, 25(1):81-92.
- Hu Y, 2019. Basin structure and genetic evolution of the Zhu 1 Depression, during the Cenozoic, Pearl River Mouth Basin, South China[J]. Geological Journal of China Universities, 25(1):81-92. (in Chinese)
- 栗杰,2020. 西江凹陷文昌组—恩平组烃源岩生烃潜力定量分析[D]. 北京:中国地质大学档案馆.
- Li J, 2020. The Characteristics of Cenozoic Fault System in the Eastern Bonan and Its Control on Sedimentation[D]. Beijing: The Archive of China University of Geosciences. (in Chinese)
- 梁杰,2020. 珠江口盆地西江 33 洼古近系油藏地质特征与成藏解剖[J]. 中外能源, 25(4):23-30.
- Liang J, 2020. Geological characteristics and hydrocarbon accumulation mechanism of Paleogene reservoir in Xijiang 33 Subsag, Pearl River Mouth Basin[J]. Sino-Global Energy, 25(4):23-30. (in Chinese)
- 米立军,2018. 认识创新推动南海东部海域油气勘探不断取得突破——南海东部海域近年主要勘探进展回顾[J]. 中国海上油气, 30(1):1-10.
- Mi L J, 2018. Continuous breakthroughs on petroleum exploration of the eastern South China Sea with innovative understanding: Review of recent exploration progress[J]. China Offshore Oil and Gas, 30(1):1-10. (in Chinese)
- 热西提·亚力坤,2022. 西江主洼古近系洼陷结构、岩浆改造和烃源岩分布[D]. 吉林:吉林大学档案馆.
- Re X T · Ya L K, 2022. Paleogene Sag Structure, Magmatic Transformation and Source Rock Distribution of Xijiang Main Sag [D]. Jilin: The Archive of Jilin University. (in Chinese)
- 任战利,1998. 中国北方沉积盆地构造热演化史恢复及其对比研究[D]. 西安:西北大学档案馆.
- Ren Z L, 1998. Comparative Research on Tectonical Thermal History of Sedimentary Basins in North China [D]. Xi'an: The Archive of Northwest University. (in Chinese)

(下转第 417 页)

- 形变质特征[J]. 成都理工学院学报, 21(3): 39—45.
- Wang G Z, Wang D Y, 1994. Metamorphism-deformation characteristics of the mylonite zone in the Baishuihe group, the middle Longmen mountains, Sichuan[J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 21(3): 39—45. (in Chinese)
- 王国芝, 王道永, 林茂炳, 1994. 四川彭县白水河地区蛇纹岩的地质特征[J]. 矿物岩石, 14(2): 26—32.
- Wang G Z, Wang D Y, Lin M B, 1994. Geological characteristics of serpentine in Baishuihe, Sichuan Province[J]. Mineralogy and Petrology, 14(2): 26—32. (in Chinese)
- 许丹阳, 2021. 三星堆文化研究四十年[J]. 中国文化研究, (2): 51—62.
- Xu D Y, 2021. A review of the research on Sangxingdui Culture in the past forty years[J]. Chinese Culture Research, (2): 51—62. (in Chinese)
- 徐速, 2013. 龙门山中段基性-超基性岩类地质特征及成因探讨[D]. 成都: 成都理工大学档案馆: 10—86.
- Xu S, 2013. Geological Characteristics and Genesis of Basic-ultrabasic Rocks in the Middle of the Longmen Mountain[D]. Chengdu: The Archive of Chengdu University of Technology: 10—86. (in Chinese)
- 杨颖东, 陈云洪, 2013. 成都市新都区新繁镇同盟村遗址 M7 出土玉石器分析研究[J]. 南方民族考古, (1): 251—261.
- Yang Y D, Chen Y H, 2013. Analysis and research on the jade and stone objects unearthed from tomb M7 in Tongmeng Village Site, xinfan Town, Xindu District, Chengdu City[J]. Southern Ethnology and Archaeology, (1): 251—261. (in Chinese)
- 余雯蔚, 周武忠, 2007. 五色观与中国传统用色现象[J]. 艺术百家, 23(5): 138—140.
- Yu W W, Zhou W Z, 2007. Five-color theory and the phenomenon of traditional Chinese colors[J]. Hundred Schools in Art, 23(5): 138—140. (in Chinese)
- (责任编辑: 魏 巍)
-
- (上接第 402 页)
- 单玄龙, 热西提·亚力坤, 刘培, 等, 2023. 珠江口盆地西江主洼珠琼运动的沉积响应及构造意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 53(2): 329—342.
- Shan X L, Re X T · Ya L K, Liu P, *et al.*, 2023. Sedimentary response and tectonic significance of Zhuqiong movement in Xijiang main sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 53(2): 329—342. (in Chinese)
- 吴宇翔, 柳保军, 丁琳, 等, 2022. 珠江口盆地西江凹陷南部文昌组层序地层及沉积体系研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 42(1): 146—158.
- Wu Y X, Liu B J, Ding L, *et al.*, 2022. Study on sequence stratigraphy and sedimentary systems of the Wenchang Formation in the southern Xijiang depression of the Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 42(1): 146—158. (in Chinese)
- 杨计海, 杨希冰, 游君君, 等, 2019. 珠江口盆地珠三坳陷油气成藏规律及勘探方向[J]. 石油学报, 40(增刊 1): 11—25.
- Yang J H, Yang X B, You J J, *et al.*, 2019. Hydrocarbon accumulation law and exploration direction in zhu III depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 40(S1): 11—25. (in Chinese)
- 张功成, 朱伟林, 米立军, 等, 2010. “源热共控论”: 来自南海海域油气田“外油内气”环带有序分布的新认识[J]. 沉积学报, 28(5): 987—1005.
- Zhang G C, Zhu W L, Mi L J, *et al.*, 2010. The theory of hydrocarbon generation controlled by source rock and heat form circle distribution of outside-oil fields and inside-gas field in South China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 28(5): 987—1005. (in Chinese)
- 张宁宁, 王青, 王建军, 等, 2018. 近 20 年世界油气新发现特征与勘探趋势展望[J]. 中国石油勘探, 23(1): 44—53.
- Zhang N N, Wang Q, Wang J J, *et al.*, 2018. Characteristics of oil and gas discoveries in recent 20 years and future exploration in the world[J]. China Petroleum Exploration, 23(1): 44—53. (in Chinese)
- 中国石油勘探开发研究院实验中心, 中国石化江汉油田分公司勘探开发研究院, 2003. SY/T 5477—2003, 碎屑岩成岩阶段划分[S].
- Petroleum Geology Research and Laboratory Center, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Jiangnan Oilfield Company, SINOPEC, 2003. SY/T 5477—2003, The Division of Diagenetic Stages in Clastic Rocks[S]. (in Chinese)
- Taylor T R, Giles M R, Hathon L A, *et al.*, 2010. Sandstone diagenesis and reservoir quality prediction: Model, myths, and reality[J]. AAPG Bulletin, 94(8): 1093—1132.
- (责任编辑: 魏 巍)