

# 阿姆河盆地右岸区块卡洛夫 - 牛津阶 储层特征及主控因素研究

张俊\*, 胡忠贵#

长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年5月15日; 录用日期: 2022年6月21日; 发布日期: 2022年6月28日

## 摘要

阿姆河盆地是中亚地区最重要的含油气盆地之一。研究区发育蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘等6种沉积相类型, 储层主要分布在台地边缘礁、台地边缘浅滩和台内礁滩沉积。储集岩以颗粒灰岩和礁灰岩物性最好, 总体上属于低孔低渗储层。储集空间类型以剩余原生粒间孔、生物礁骨架孔和粒间溶孔、粒内溶孔为主, 次为铸模孔、晶间孔、晶间溶孔和超大溶孔的组合。卡洛夫 - 牛津阶储层发育严格受岩性、沉积相和成岩作用控制, 生物礁和颗粒灰岩储集物性最好, 台地边缘生物礁和台地边缘浅滩相为最有利储层发育的相带, 多期溶蚀作用是卡洛夫 - 牛津阶碳酸盐岩成岩过程中最为普遍和重要的成岩作用, 是储层孔隙发育的基础。

## 关键词

阿姆河盆地右岸区块, 卡洛夫 - 牛津阶, 沉积特征, 储层特征, 储层主控因素

# Analysis of Reservoir Controlling Factors and Characters of Callovian-Oxfordian Stage in the Right Bank Block of Amu Darya Basin

Jun Zhang\*, Zhonggui Hu#

School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张俊, 胡忠贵. 阿姆河盆地右岸区块卡洛夫 - 牛津阶储层特征及主控因素研究[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(6): 900-912. DOI: 10.12677/ag.2022.126086

## Abstract

The Amu Darya Basin is one of the most important petroliferous basins in Central Asia. There are six sedimentary facies types in the study area, including evaporate platform, restricted platform, open platform and platform edge, and the reservoirs are mainly distributed in platform edge reef, platform edge shoal and platform inner reef deposits. Granular limestone and reef limestone are the best reservoir rocks with low porosity and low permeability. The main types of reservoir space are the residual primary intergranular pores, reef skeleton pores, intergranular dissolution pores and intragranular dissolved pores, and the secondary are the combination of mold pores, intergranular pores, intergranular dissolution pores and super-large dissolution pores. Callovian-Oxfordian Stage reservoir development is strictly controlled by lithology, sedimentary facies and diagenesis, reefs and grain limestone reservoir physical property is the best, platform margin reefs and platform edge shoal facies are the most beneficial facies zone of reservoir development, multiphase dissolution is the most common and important diagenesis of Callovian-Oxfordian in the process of carbonate rock diagenesis, is the foundation of the reservoir pore development.

## Keywords

Right Bank Block of the Amu Darya Basin, Callovian-Oxfordian Stage, Sediment Characteristics, Reservoir Characteristics, Reservoir Controlling Factors

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

阿姆河右岸区块位于土库曼斯坦东部阿姆河盆地, 阿姆河与土库曼斯坦 - 乌兹别克斯坦边界之间, 面积  $1.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区块地势南高北低, 东南部为山区, 向西北部逐步过渡到戈壁[1]。地表为分布灌木和土丘的沙地, 阿姆河流向由东南向西北。阿姆河右岸区块含气层系为上侏罗统卡洛夫 - 牛津阶碳酸盐岩, 碳酸盐岩之下的中 - 下侏罗统为一套海岸平原 - 潟湖沼泽相的含煤泥岩和薄煤层建造, 属于优质烃源岩系[2] [3] [4], 碳酸盐岩内部断裂发育, 形成了垂向运移通道, 同时在碳酸盐岩之上覆盖了厚层膏盐岩层, 因此, 区块内具备优越的天然气生、储、盖组合[5] [6] [7] [8]和下生、中储、上盖的封闭式圈闭与油气运移聚集成藏条件。本文通过结合研究区卡洛夫 - 牛津阶储层沉积相特征, 对各层位有利储层发育区进行了评价和预测。

## 2. 区域地质背景

阿姆河盆地位于图兰地台东部, 是中亚地区面积和油气储量最大的沉积盆地[9], 含有极其丰富的石油和天然气资源[10], 其中中 - 上侏罗统卡洛夫 - 牛津阶具备非常优越的油气生、储、盖组合和成藏条件。近年来, 众多石油地质学家通过钻井岩心描述和测井、地震资料分析, 以及地质建模等技术方法, 对该

盆地卡洛夫 - 牛津阶盆地沉积相特征、储层特征[11] [12] [13]、生物礁和滩相储层的识别, 及孔隙和裂缝演化与分布规律等方面[14] [15] [16] [17] [18]进行了详细研究, 根据岩性和构造特征, 通常将盆地划分为基底、过渡层和地台盖层三个构造层。基底为古生界火成岩和变质岩, 埋深变化大, 最浅处不足 2000 m (卡拉库姆隆起), 最深达 14,000 m 或更深。根据基底构造形态, 阿姆河盆地分为科佩塔格山前坳陷、中央卡拉库姆隆起和阿姆河台向斜等大型构造单元(图 1)。



Figure 1. Tectonic and geological structure section of Amu Darya Basin

图 1. 阿姆河盆地构造地质结构剖面

盆地内主要发育北西向和北东向的两组断裂, 控制了构造格局和沉积盖层的分布特征, 在基底之上广泛沉积了二叠 - 三叠系陆源碎屑岩过渡层, 过渡层厚度变化很大, 由北向南变厚, 在盆地南缘的科佩塔格山前坳陷沉积充填最大厚度可达到 12,000 m [19], 盆地的沉积盖层广泛发育[20], 由中生代侏罗系、白垩系和古近系的砂、泥岩、煤层、碳酸盐岩和蒸发岩互层组成(图 2)。其中中下侏罗统为陆相和海陆交互相含煤碎屑岩建造。上侏罗统地层岩性比较复杂, 包括浅海陆棚相的碳酸盐岩、蒸发台地潟湖 - 潮坪相的膏盐岩, 以及滨岸相的陆相碎屑岩等[21], 与下伏中侏罗统为超覆不整合接触, 按岩性特征可细分为三个岩性段: 下段为巴统阶上部 - 卡洛夫阶下部, 下部为浅水相的碎屑岩, 上部为泥灰岩和碎屑灰岩等, 厚度 280 m~360 m; 中段包括卡洛夫阶上部、牛津阶、启莫里阶和提通阶下部, 其下部为一套不同成因类型的深水相 - 浅海相灰岩, 厚度约 330 m~410 m, 为储层主要发育段, 上部为启莫里 - 提通阶下部膏盐岩, 称为高尔达克组, 厚度变化较大, 由北部的 160 m 增加到南部的 750 m~1200 m, 为区域上最重要的第一套有效盖层发育层位; 上段为提通阶上部, 分布在盆内的坳陷中, 下部为鲕状灰岩夹白云岩、硬石膏和红色泥层, 上部粉砂质粘土和砂岩层, 厚度 180 m~230 m, 也为区域性盖层发育层位(图 2)。

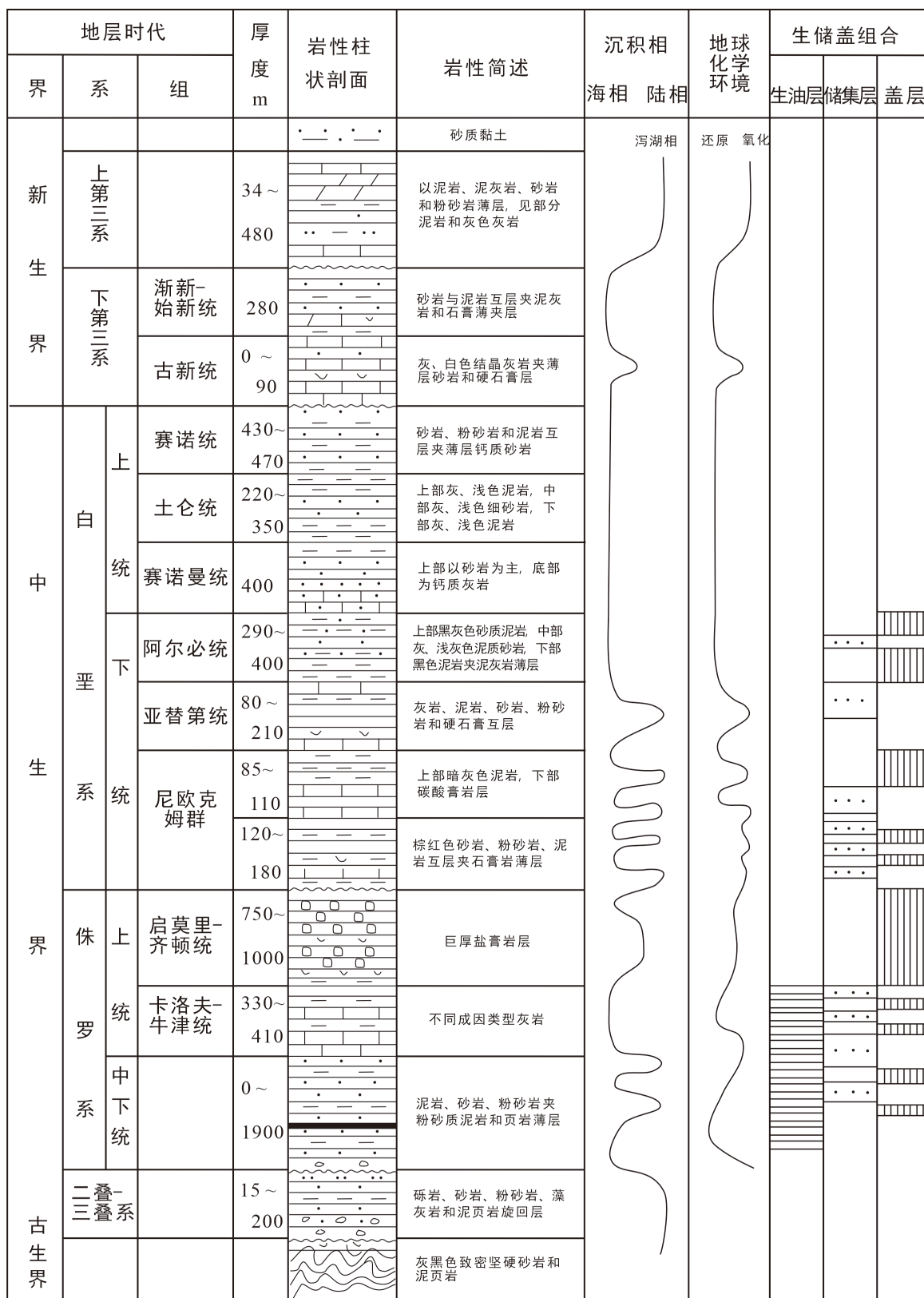
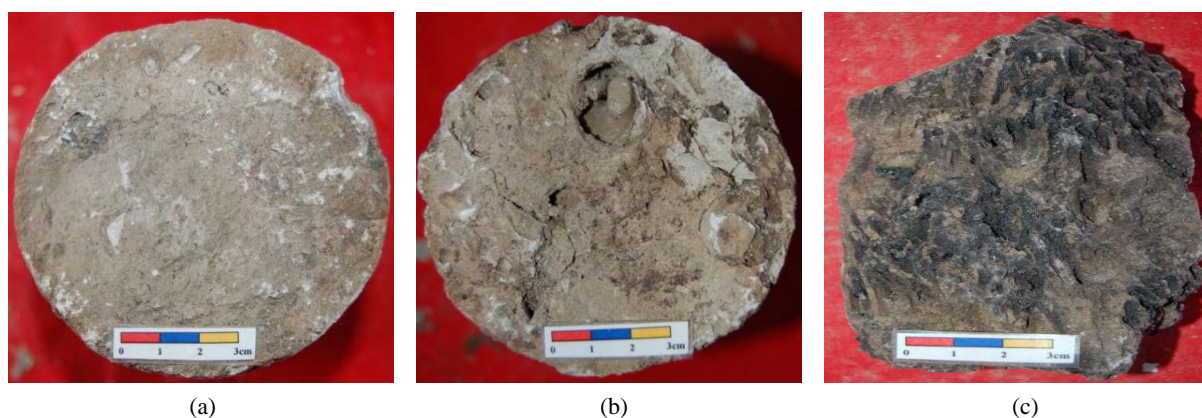


Figure 2. Comprehensive stratigraphic histogram of the right bank of the Amu Darya Basin  
图 2. 阿姆河盆地右岸地层综合柱状图

### 3. 沉积特征

研究区卡洛夫 - 牛津阶岩石类型以灰岩为主, 包括颗粒灰岩类、(含)颗粒微晶灰岩类、礁灰岩类、粘结藻灰岩等类型, 见微晶灰岩和颗粒灰岩局部发生轻微白云岩化和硬石膏化现象。阿姆河盆地卡洛夫 - 牛津阶生物中除含大量厚壳蛤、珊瑚、层孔虫等造礁生物化石外, 其它附礁生物也非常丰富, 其中尤其是以海百合、有孔虫、棘皮、苔藓虫、腹足等最为丰富, 总体上以浅水底栖的造礁生物和各类窄盐度附礁生物及生物碎屑为主, 广泛分布于台地边缘生物礁、滩和开阔台地的台内浅滩、点礁等相带中, 反映正常浅海环境特征。其中造礁生物主要为厚壳蛤类, 珊瑚、层孔虫等次之(图 3), 关于碳酸盐岩台地沉积相特征、台内滩类型及组合、储层特征及成因、分布规律及控制因素等方面研究, 国内外学者进行了大量论述, 并取得了丰硕成果。但目前关于阿姆河盆地台内滩沉积特征[22] [23] [24]、储层分布及主控因素鲜有人报道。



(a) 灰黄色生物屑灰岩, 发育粒间孔和粒间溶孔、溶洞, 台地边缘浅滩微相, 萨曼杰佩 Sam53-1 井, 6-53/61, 2443.01 m; (b) 黄灰色有孔虫 - 厚壳蛤礁灰岩, 生物骨架孔、体腔孔和溶蚀孔、洞非常发育, 台地边缘生物礁 - 礁核微相, 萨曼杰佩 Sam53-1 井, 4-61/80, 2414.72 m; (c) 灰色、黄灰褐色珊瑚礁灰岩, 以大型群体丛生状珊瑚为主, 生物骨架孔、骨架间溶孔、溶洞极为发育, 台地边缘生物礁 - 礁核微相, 萨曼杰佩 Sam53-1 井, 8-46/62, 2466.29 m。

**Figure 3.** Paleontological characteristics of main rock-limestone cores of Callovian-Oxfordian Stage

**图 3.** 卡洛夫 - 牛津阶主要岩石类型及古生物发育特征

以沉积相标志为基础, 卡洛夫 - 牛津阶的沉积相类型主要发育: 蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘、前缘斜坡和盆地等沉积相类型[25] [26] [27] [28] [29]。局限台地相以沉积石膏、石盐、白云岩及灰岩, 根据岩性不同, 进一步可分为萨勃哈、潮坪和潟湖三种亚相, 在上侏罗统卡洛夫 - 牛津阶顶部为硬石膏灰岩互层, 属于萨勃哈亚相。开阔台地相主要由潮下静水泥和台内浅滩[30]组成, 局部发育有点礁带; 潮下静水泥岩性主要为灰色微晶灰岩夹微晶生物屑灰岩和砂屑灰岩组合; 台内浅滩主要发育粒屑滩, 岩性为灰色、深灰色生物屑微晶灰岩, 砂屑微 - 粉晶灰岩。台地边缘相分为生物礁和浅滩亚相, 生物礁相主要厚壳蛤类造礁生物。台地边缘浅滩亚相又分粒屑滩、滩间和点礁三种沉积微相(图 4), 岩性为深灰色、灰褐色微晶生物屑灰岩、生物屑微晶灰岩、含生物屑微晶灰岩、砂屑鲕粒灰岩或微晶砂屑虫屑灰岩, 生物屑以厚壳蛤碎片为主, 次为海百合和有孔虫, 少量腹足类等, 粒间孔和粒间溶孔、溶洞非常发育, 由于该类沉积体形成于较强的水动力条件下, 所以其中发育大量的粒间孔及少量生物体腔孔, 是有利于储层形成与演化的沉积相带。滩间为台地边缘浅滩之间相对较深水的潮下低能灰泥坪沉积区, 因受到浅滩的保护而能量低, 沉积物粒度细, 岩性以粉 - 微晶灰岩为主, 呈灰 - 深灰色, 重结晶明显, 含少量海百合和双壳类化石, 局部含泥质较重, 偶夹少量砂屑灰岩、藻团粒灰岩。

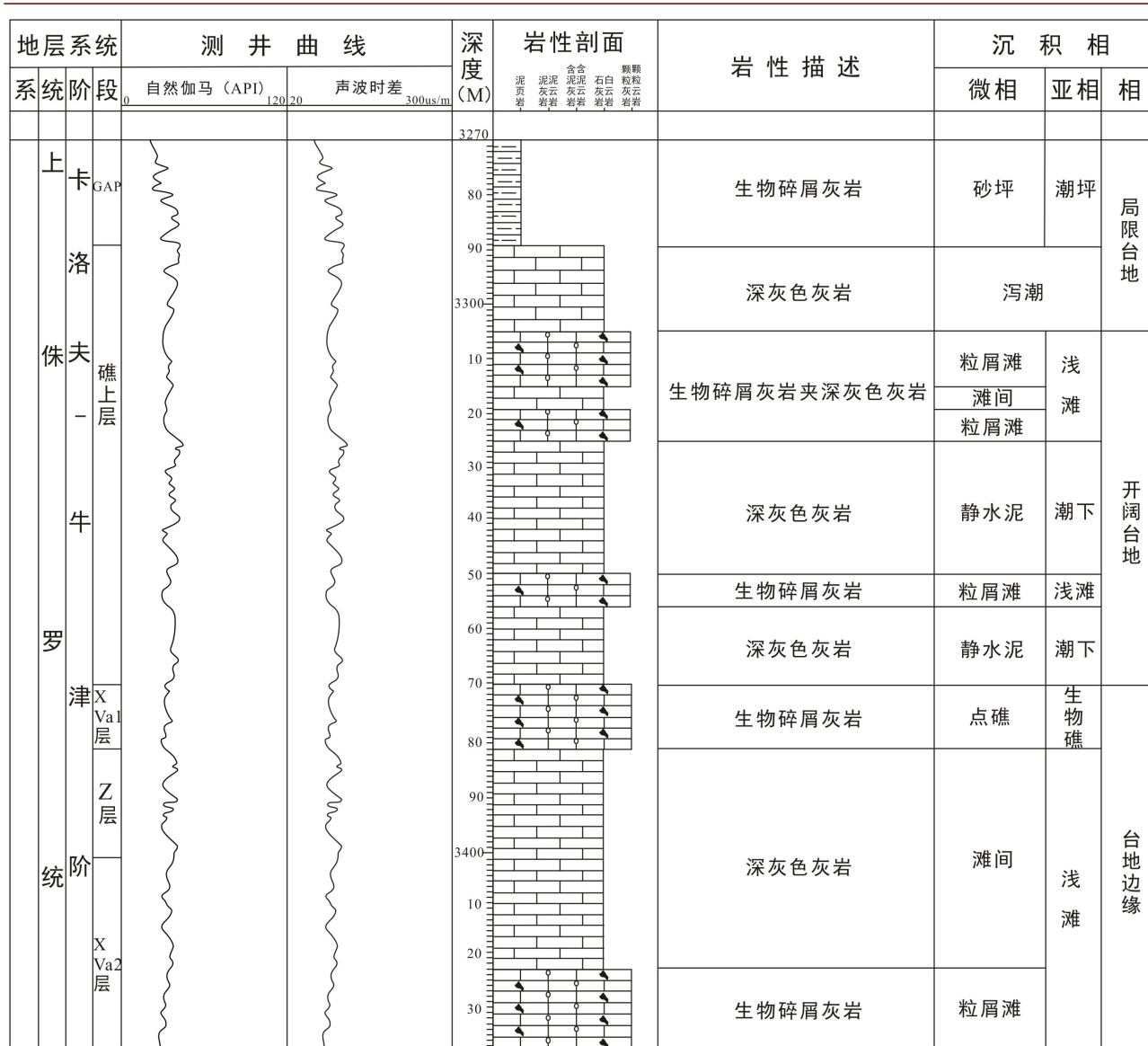


Figure 4. Sedimentary facies structure of Yas1-1# platform edge shoal, reef open, limited platform  
 图 4. 亚希尔杰佩 1-1 井台地边缘浅滩、生物礁 - 开阔、局限台地沉积相剖面结构

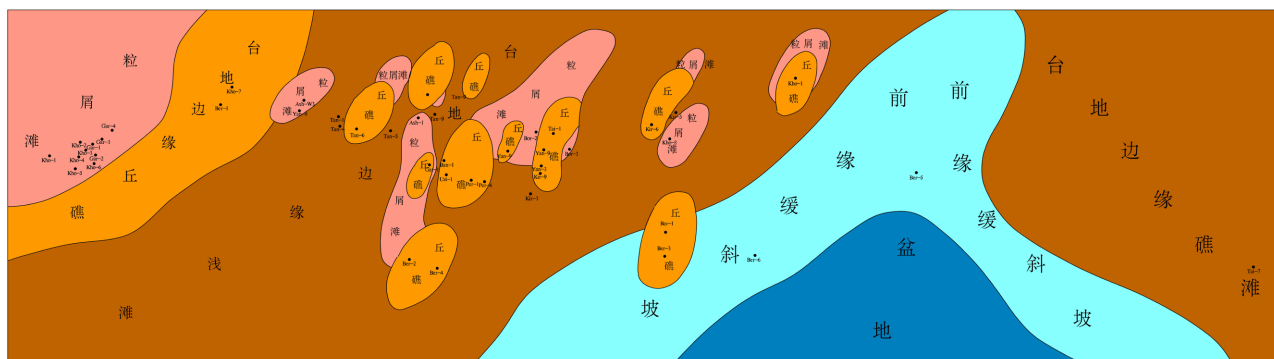


Figure 5. The distribution of Callovian-Oxfordian platform edge shoal, reef in the study area  
 图 5. 研究区卡洛夫 - 牛津阶台地边缘滩、礁展布图

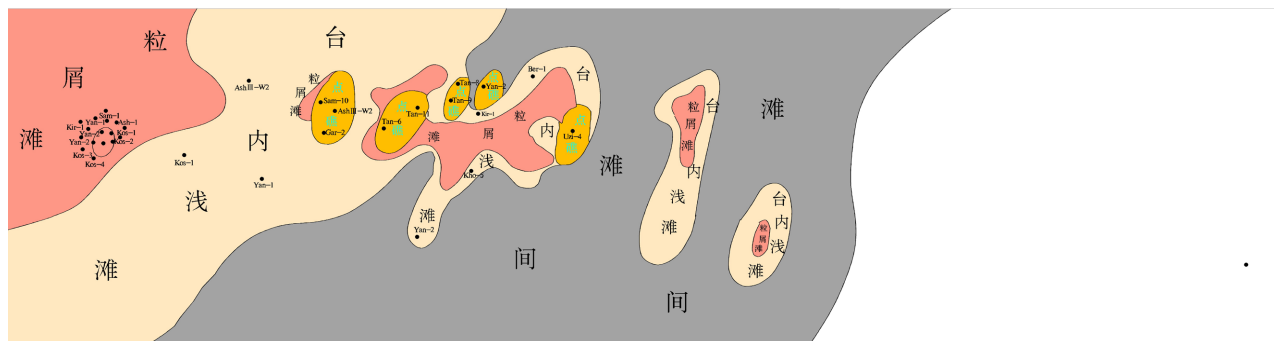


Figure 6. The distribution of Callovian-Oxfordian open platform inner shoal, reef in study area

图 6. 研究区卡洛夫 - 牛津阶开阔台地内滩、礁展布图

研究区卡洛夫 - 牛津阶台地边缘浅滩主要分布于别希尔-1井 - 霍贾姆巴兹-5井 - 召加麦尔根-7井西部前缘缓斜坡以西、以北的广大研究区西部和召加麦尔根-7井东部前缘缓斜坡以东、以南的地区(图 5)。台地边缘生物礁主要为丘礁, 受台地边缘的控制, 呈丘礁群状近东西方向展布(图 5), 其中萨曼杰佩及其北地区为最大的生物礁发育区。开阔台地浅滩呈近东西向的带状主要分布于扬古伊以西的地区(图 6), 位于 A 区块的萨曼杰佩地区厚度是主要的开阔台地浅滩发育区; 在亚希尔杰佩 III-W2 井区、科舍互利-1井和扬古伊-1 井区为开阔台地浅滩发育区。台内点礁沉积呈零星点状分布(图 6), 主要位于 A 区块的萨曼杰佩-10 井井区、亚希尔杰佩 III-W2 井 - 加拉别克-2 井区、坦克库杜克-11 井 - 坦克库杜克-6 井区、坦克库杜克-8 井 - 坦克库杜克-9 井区、扬古伊-2 井区和乌兹恩库杜克-4 井区。

## 4. 储层特征

### 4.1. 储层岩石学及储集空间特征

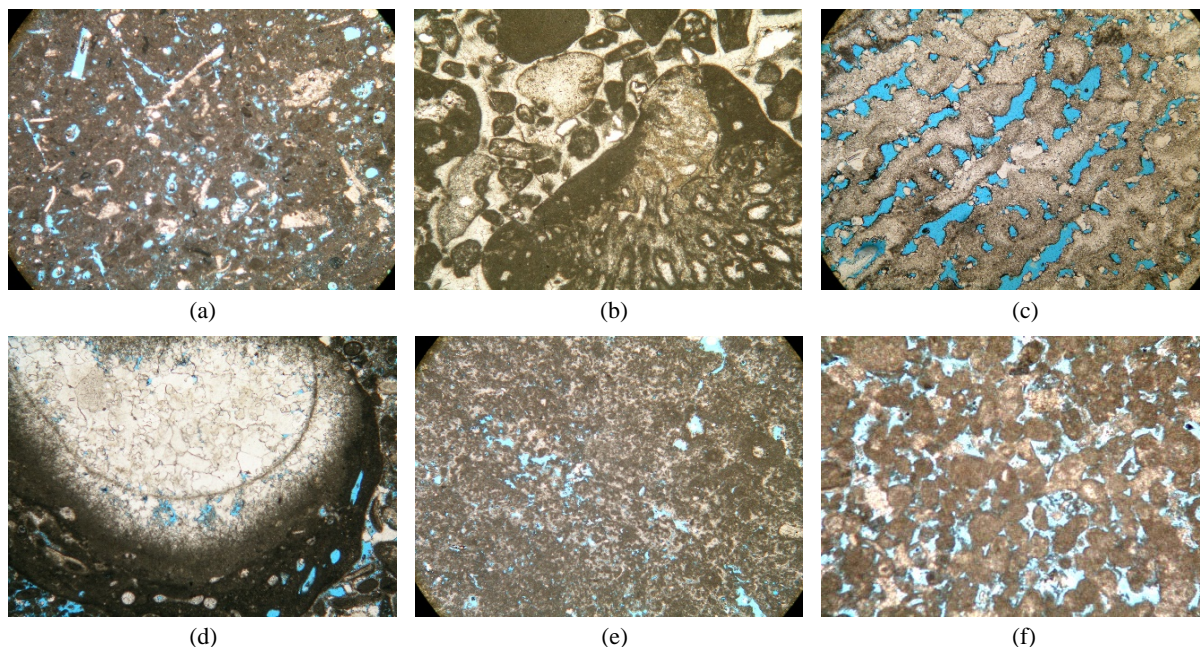
据岩心观察描述和岩石薄片鉴定成果, 结合前人的研究成果, 阿姆河右岸卡洛夫 - 牛津阶储层岩石类型多样, 主要有颗粒灰岩类、礁灰岩类和少量的白云岩类, 其中以颗粒灰岩类储层最丰富, 颗粒类型包括生物屑、砂砾屑、鲕粒、藻屑、藻团块和球粒等, 其中又以生物屑类型最多, 计有厚壳蛤、珊瑚、苔藓虫、有孔虫、腕足、棘屑、绿藻等。此外, 厚壳蛤和珊瑚生物礁灰岩广泛也是研究区卡洛夫 - 牛津阶储层的一大特点, 按礁灰岩的结构可分为骨架岩和粘结岩等。根据研究区取心薄片的岩石孔隙类型统计, 研究区碳酸盐岩储层主要发育在生物(礁)灰岩和颗粒灰岩中。孔隙类型有粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、晶间溶孔、晶间孔、超大溶孔和溶蚀缝, 从各种孔隙类型统计数量反映出有效的储集空间主要为粒内溶孔和粒间溶孔, 其次为超大溶孔和溶蚀缝, 在局部白云岩化灰岩中发育少量晶间孔和晶间溶孔。

泥 - 微晶生物屑灰岩(或云质灰岩): 由各种生物碎屑, 如腕足、棘皮、苔藓、有孔虫等组成(图 7(a)), 并常含有造礁生物海绵、厚壳蛤、珊瑚等, 含量一般在大于 50%。灰泥支撑, 局部也偶见有微亮晶胶结, 形成于水体能量较弱的浅滩边缘环境。该类岩石局部可见白云石化现象, 白云石晶间孔较发育, 溶蚀作用和溶缝和溶孔较发育, 孔隙度 10%~16%, 对储层贡献较大。

亮晶生物屑灰岩: 也由各种生物碎屑, 如腕足、棘皮、苔藓、海绵、有孔虫、珊瑚、厚壳蛤、藻等组成(图 7(b)), 并常含有造礁生物海绵、珊瑚、厚壳蛤等, 含量一般大于 80%, 亮晶胶结, 局部见少量微晶胶结, 形成于水体能量较强的浅滩环境。

礁灰岩: 主要由珊瑚和厚壳蛤组成, 少量层孔虫, 造架生物为和厚壳蛤和珊瑚含量>50%, 以厚壳蛤为主, 次为珊瑚, 偶见层孔虫和海绵类(图 7(c)、图 7(d))。珊瑚和厚壳蛤骨架由粉晶方解石组成, 且见其体腔内软组织被溶蚀的现象。这种以厚壳蛤和珊瑚为主的骨架和粘结礁灰岩在高压水体中具有很强的

抗浪性, 骨架间局部被亮晶方解石胶结。该类岩石的溶蚀作用非常强, 溶蚀孔非常发育, 孔隙度超过 15%, 为最有利储层发育的岩石类型。



图片说明: (a) 泥晶生屑灰岩, 发育棘屑、腕足, 薄壳双壳等生屑, 铸模孔发育, Sam53-1 井, XVm 层, 2485.5 m, 照片对角线长 4 mm (-); (b) 亮晶砂屑生屑灰岩, 含包壳有孔虫、厚壳蛤、棘屑等, Sam53-1 井, XVhp 层, 2517.7 m, 照片对角线长 4 mm (-); (c) 层孔虫礁灰岩, 发育溶蚀体腔孔(粒内溶孔), Sam53-1 井, XVm 层, 2454.4 m, 照片对角线长 4 mm (-); (d) 厚壳蛤礁灰岩, 厚壳蛤体腔由亮晶方解石组成, 粒内溶孔、铸模孔发育, Sam53-1 井, XVm 层, 2454.8 m, 照片对角线长 4 mm (-); (e) 藻屑灰岩, 岩石由暗色的斑点藻群体组成, 粒间溶孔较发育, Sam53-1 井, XVm 层, 2476.6 m, 照片对角线长 4 mm (-); (f) 亮晶含生屑球粒灰岩, 主要为球粒, 少量有孔虫、棘屑及腕足等生物碎屑, 发育大量原生粒间孔和粒间溶孔, Sam53-1 井, XVp 层, 2398.7 m, 照片对角线长 1.8 mm (-)。

**Figure 7.** Main reservoir rock types and reservoir space characteristics of Callovian-Oxfordian stage

**图 7.** 卡洛夫 - 牛津阶主要储集岩类型及储集空间特征

藻屑或藻粘结灰岩: 在 Sam53-1 井 2476.61 m 井段发育藻屑灰岩(图 7(e)), 在 GAURDAK 生物礁见到藻粘结生物屑灰岩, 该类岩石由暗色的斑点藻群体组成, 形成于弱动荡环境。

复合颗粒灰岩: 该类灰岩颗粒含量一般在 50%~80%, 最高可达 90% (图 7(f)), 类型有微 - 亮晶砂屑生物屑灰岩, 微 - 亮晶生物屑砂屑灰岩, 微 - 亮晶砂砾屑生物屑灰岩, 微 - 亮晶球粒灰岩(图版 IV-1)以及微 - 亮晶颗粒灰岩。通常在亮晶颗粒灰岩中粒间无灰泥或仅有少量灰泥, 胶结物为亮晶方解石, 部分亮晶灰岩中可见到二世代胶结。第一世代胶结物往往为等厚环边的纤状或栉壳状方解石, 第二世代胶结物为等轴粒状或连生方解石。此类岩石的粒间溶孔、颗粒内溶孔较发育, 孔隙度大于 5%, 为有利储层发育的岩石类型。

#### 4.2. 储层物性特征

阿姆河右岸地区 24 口井的物性资料分析结果, 孔隙度分布范围为 0.13%~12.1%, 平均值为 3.2%, 以 0.13%~3% 样品居多, 占全部样品的 61%; 渗透率分布范围为  $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 1043 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均值为  $5.97 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 渗透率以  $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  样品居多, 占全部样品的 85%, 样品中渗透率大于  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的样品仅为 3% (图 8)。由上述的孔渗数据可知, 研究区卡洛夫 - 牛津阶储层总体上属



于低孔低渗储层。

由阿姆河右岸地区卡洛夫 - 牛津阶储层孔隙度与渗透率相关图, 反映孔隙度与渗透率呈弱正相关性(图 9), 相关系数为 0.25, 说明孔喉对储层渗流能力仍有较大影响, 但在同一孔隙度范围内, 渗透率的变化可达 2~3 个数量级, 说明裂缝对改善储层的渗流能力起关键作用, 与镜下可见较发育的溶缝吻合。

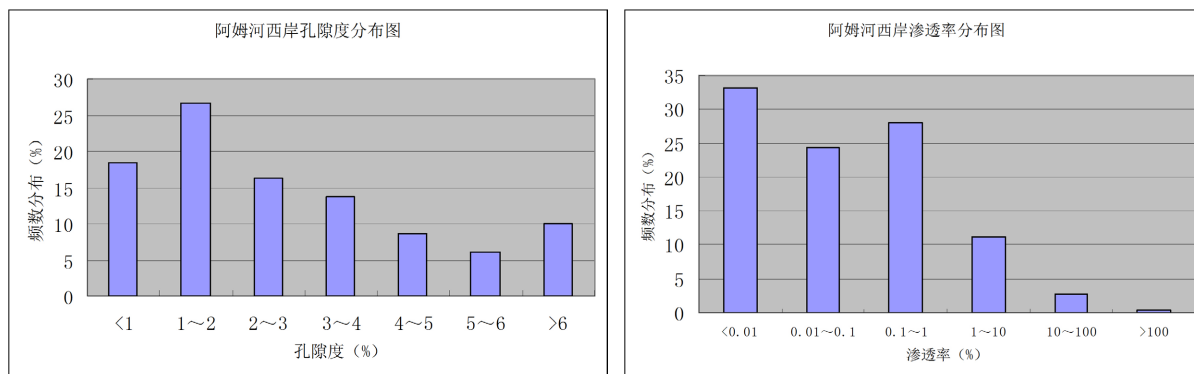


Figure 8. Histogram of porosity (left) and permeability (right) distribution of the Callovian-Oxfordian reservoir

图 8. 卡洛夫 - 牛津阶储层孔隙度(左)和渗透率(右)分布直方图

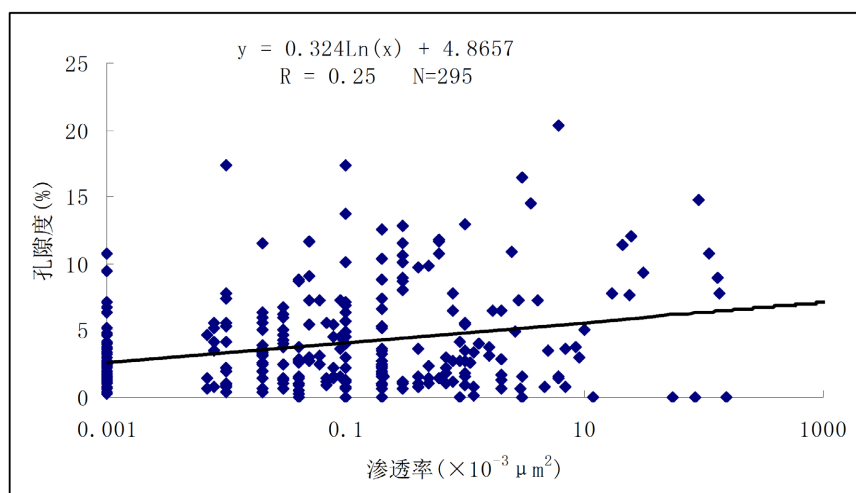


Figure 9. Correlation diagram of porosity and permeability of Callovian-Oxfordian reservoir in the right bank of Amu Darya

图 9. 阿姆河右岸地区卡洛夫 - 牛津阶储层孔隙度与渗透率相关图

### 4.3. 成岩作用及成岩演化

卡洛夫 - 牛津阶碳酸盐岩储层有丰富的成岩作用类型, 分别为以白云岩化作用、溶蚀作用和破裂作用为主的建设性成岩作用和以压实、压溶作用及胶结作用为主的破坏性成岩作用。此外, 还有众多与储层发育关系不甚密切的重结晶和膏化、天青石化、硅化、黄铁矿化等成岩作用。其中, 建设性成岩作用中以溶蚀作用对储集空间形成意义最大。溶蚀作用主要发生于中 - 深埋藏时期。大多数岩石微观研究的结果表明, 溶蚀作用有明显的选择性。礁、滩复合体中各种骨屑的溶蚀, 其溶蚀程度极不相同, 这与骨屑壳质原始组分密切相关。溶蚀作用以有孔虫、珊瑚、厚壳蛤、苔藓虫溶解最为常见, 多形成粒内溶孔和铸模孔; 而在颗粒灰岩和生物屑灰岩中的棘屑、腕足等生物保存完好, 说明生物的溶蚀有明显的选择性, 孔隙的面孔率在 10%~20%。

根据成岩作用特征和充填孔隙的碳化沥青  $R_o$  反射率测定数据分布范围为 0.56%~0.74%，平均为 0.63%，地温梯度为 3.2°C/100 m 的资料，可初步确定研究区卡洛夫 - 牛津阶碳酸盐岩的成岩温度为 90°C~100°C。埋藏深度最大可达到 3500 m~3600 m，成岩强度仅达到中成岩阶段晚期，结合成岩演化过程的成岩作用方式和组合特征，提出同生成岩阶段、早成岩阶段、中成岩阶段的划分方案和演化序列(图 10)。

序号	成岩作用	成岩阶段			
		同生成岩阶段	早成岩阶段	中成岩阶段	晚成岩阶段
1	早期纤状及放射状文石、高镁方解石海底胶	—————			
2	文石向低镁方解石转化		—————		
3	早期硅化(微晶石英交代泥晶方解石和生物骨)		—————		
4	准同生白云岩化	—————			
5	泥晶基质新生变形		—————		
6	早期浅埋压溶	—————	—————		
7	早期局部石膏		—————		
8	浅-中埋藏白云岩化	—————	—————		
9	埋藏期亮晶方解石胶结		—————		
10	埋藏期礁灰岩溶蚀作用和形成溶孔、铸模孔		—————		
11	中期粗晶白云石充填		—————	—————	
12	中期晚时埋藏压溶			—————	
13	铁方解石充填晶间孔、溶孔、溶缝			—————	
14	中期晚时硅化			—————	
15	烃类成熟进入成藏				—————

**Figure 10.** Callovian-Oxfordian stage diagenetic division and evolutionary sequence  
**图 10.** 卡洛夫 - 牛津阶成岩阶段划分及演化序列

按照成岩作用阶段和演化序列的划分，可将孔隙形成和演化按先后顺序分为三个阶段，不同阶段形成的孔隙类型有着很大的差别。

#### 1) 同生期 - 早成岩阶段孔隙演化

该阶段以压实和胶结作用和原生孔隙的缩减为主，按压实强度多为二级和 5%~8% 的胶结物负孔隙度计算，由压实和胶结作用造成的原生孔隙损失在 20%~25% 之间，因此，储层以发育剩余原生粒间孔和生物骨架孔为主，可保存的孔隙度在 10%~15% 之间。此外，仅在 Sam53-1 井 XVhp 层 2521 m 井段的准同生微 - 粉晶白云岩中发育有少量晶间孔，面孔率为 3%~5% (Sam53-1 井)。

#### 2) 中成岩阶段早时孔隙演化

由中 - 深成岩埋藏阶段的溶蚀作用，在此阶段形成了大量的次生溶蚀孔隙、溶蚀空洞、溶蚀裂缝和铸模孔。该类孔隙类型主要发育在生物礁灰岩和颗粒灰岩中，面孔率为 10%~15%，经溶蚀作用改造的储层孔隙度可增加到 15%~20% 之间。

### 3) 中成岩阶段晚时孔隙演化

成岩晚期阶段形成的孔隙主要为中期成岩阶段形成的溶蚀空洞以及裂缝进一步扩大, 次生孔隙发育, 并且在溶蚀洞和溶蚀缝内充填晚期形成的石英和方解石, 并且在溶蚀空洞壁以及裂缝壁内残余有机质, 经再次溶蚀作用改造的储层孔隙度可继续增加到 20%~25%, 同时由于晚期的石英和方解石的充填作用, 往往使储层孔隙度重新缩小为 15%~20%, 但该时期的构造破裂作用对改善储层的渗透性起重要作用。

## 5. 储层主控因素分析

### 5.1. 岩性与储层发育的关系

根据储层薄片鉴定和物性分析资料, 储层主要发育在灰岩中, 以生物灰岩和颗粒灰岩储层最发育, 而微晶灰岩、泥灰岩、白云质灰岩、砂质泥岩等岩性孔隙普遍不发育。据区域上已有的岩性与储层物性分析资料, 灰岩孔隙度分布在 0.13%~12.1%之间, 平均值为 2.86%, 以 0.13%~2%样品居多, 占全部灰岩样品的 75%, 样品中孔隙度大于 6%的样品仅为 10%, 为储层发育的主要岩性; 泥岩孔隙度分布在 0.13%~11.75%之间, 平均值为 1.79%, 以 0.13%~2%样品居多, 占全部泥岩样品的 79.6%, 样品中孔隙度大于 6%的样品仅为 5.8%, 泥岩不利于储层发育。在各类不同岩性储层的孔隙度分布统计, 灰岩样品以生物灰岩和颗粒灰岩孔隙度最高, 分布在 0.6%~7.8%之间, 平均值为 3.2%。从各类岩性孔隙度综合分析可知, 孔隙度由高到低依次为: 颗粒灰岩 > 泥灰岩 > 白云质灰岩 > 砂质泥岩 > 泥岩。其中生物灰岩和颗粒灰岩的孔隙度相对较高, 具有较好的储集性能。

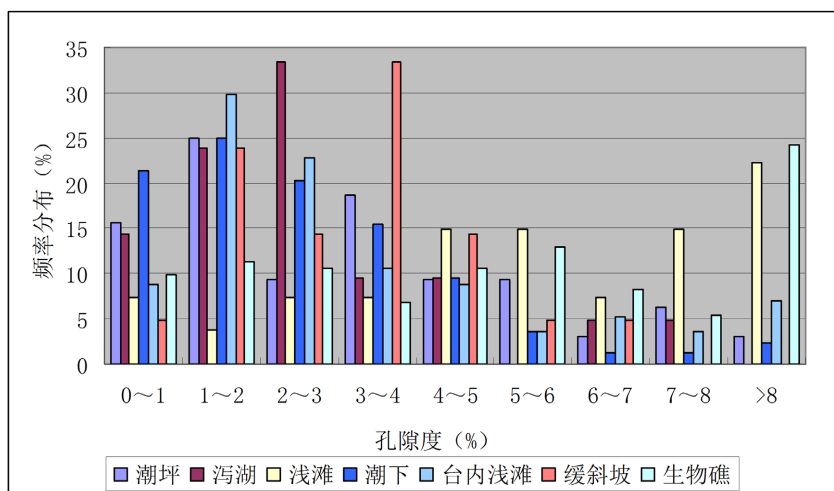


Figure 11. Histogram of porosity distribution of reservoir rocks of different sedimentary microfacies in Callovian-Oxfordianstage reservoir

图 11. 卡洛夫 - 牛津阶储层不同沉积微相储集岩孔隙度分布直方图

### 5.2. 沉积微相与储层发育的关系

生物灰岩和颗粒灰岩的物性特征整体最好, 而这种岩石类型的发育和分布显然是受沉积相的控制。根据阿姆河右岸地区沉积相特征分析可知, 研究区内卡洛夫 - 牛津阶沉积微相主要有台地边缘生物礁、台地边缘浅滩、台内生物礁和浅滩, 以及潮坪、泻湖、潮下静水泥和缓斜坡等几种类型, 通过不同沉积微相与物性的相关资料统计, 显示具有如下几点特征: 不同沉积微相的储集岩孔隙度分析(图 11)可知, 台地边缘生物礁灰岩平均孔隙度为 5.91%, 台地边缘浅滩平均孔隙度为 5.74%; 台内浅滩平均孔隙度为 4.45%, 潮坪平均孔隙度为 3.53%, 泻湖平均孔隙度为 2.67%, 潮下静水泥平均孔隙度为 2.51%, 缓斜坡

平均孔隙度为 3.10%，孔隙度由高到低依次为：台地边缘生物礁 > 台地边缘浅滩 > 台内浅滩 > 潮坪 > 潟湖 > 潮下静水泥，显然台地边缘生物礁和浅滩及台内浅滩孔隙度明显高于其他微相类型，为有利储集微相类型。

### 5.3. 建设性成岩作用与储层发育的关系

由破裂作用形成的各类裂缝大幅度地提高了储层的可渗透性而非常有利于油气的运移，聚集、成藏。溶蚀作用在研究区卡洛夫 - 牛津阶生物礁、滩中普遍较发育，也是对储层发育贡献最大的成岩作用，按溶蚀孔隙成因类型和发育的先后顺序，可将卡洛夫 - 牛津阶的溶蚀作用与储层的发育关系划分为如下几个阶段：

1) 早成岩阶段溶蚀作用：主要发生在近地表环境，礁、滩复合体由于受淡水影响，发生明显的选择性溶蚀作用，礁、滩复合体中各种骨屑的溶蚀程度很不相同，溶蚀度序次与骨屑壳质原始成分密切相关。该阶段以发育剩余原生粒间孔和生物骨架孔为主。

2) 中成岩早期溶蚀作用：主要为非选择性溶蚀，即对全岩进行溶蚀。该时期的溶蚀作用主要发生在礁灰岩和颗粒灰岩中，是对储层有利的成岩溶蚀作用阶段，以形成大量次生溶蚀孔隙为主；也可见到压溶缝或破裂缝溶蚀扩大形成的溶缝，溶缝与孔洞连接，局部形成“炭渣状溶孔”。

3) 中成岩晚期溶蚀作用：该时期发育的溶蚀作用和构造破裂作用可对储层进行进一步改造，孔、洞、缝被溶蚀扩大，储层渗透性变得更好。但在该阶段也往往随着埋藏温度升高，石英、方解石等矿物呈半充填状态充填于孔洞缝中，对储层具有一定的破坏性作用，同时也随着有机质的成熟，溶蚀孔、洞、缝的内壁往往充填残余沥青。

## 6. 结论

1) 研究区卡洛夫 - 牛津阶发育蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘、前缘斜坡和盆地等沉积相带，储层主要分布在台地边缘礁、台地边缘浅滩和台内礁滩沉积。

2) 储集岩主要为颗粒灰岩类、礁灰岩类、藻灰岩和(含)颗粒微晶灰岩类等，以颗粒灰岩和礁灰岩物性最好，总体上属于低孔低渗储层；储集空间类型以剩余原生粒间孔、生物礁骨架孔和粒间溶孔、粒内溶孔为主，次为铸模孔、晶间孔、晶间溶孔和超大溶孔的组合。

3) 卡洛夫 - 牛津阶储层发育严格受岩性、沉积相和成岩作用控制，生物礁和颗粒灰岩储集物性最好，台地边缘生物礁和台地边缘浅滩相为最有利储层发育的相带；溶蚀作用是卡洛夫 - 牛津阶碳酸盐岩成岩过程中最为普遍和重要的成岩作用，是储层孔隙发育的基础。

## 参考文献

- [1] 崔瑾, 郑荣才, 王强, 等. 阿姆河盆地卡洛夫-牛津阶碳酸盐岩储层沉积学特征[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(4): 792-804.
- [2] 王红军, 张良杰, 陈怀龙, 等. 阿姆河右岸盐下侏罗系大中型气田地质特征与分布规律[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(4): 52-64.
- [3] 张婷, 王强, 刘斌. 阿姆河右岸中下侏罗统沉积相及平面展布[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2014, 36(6): 27-38.
- [4] 常海亮, 郑荣才, 王强. 阿姆河盆地中-下侏罗统砂岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(6): 985-993.
- [5] 张长宝, 罗东坤, 魏春光. 中亚阿姆河盆地天然气成藏控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(5): 766-773.
- [6] 余一欣, 殷进垠, 郑俊章, 等. 阿姆河盆地成藏组合划分与资源潜力评价[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(6): 750-756.
- [7] 郭永强, 刘洛夫, 朱胜利, 等. 阿姆达林盆地含油气系统划分与评价[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 515-520.

- [8] UImishkek, G.F. (2004) Petroleum Geology and Resources of the Amu-Darya Basin, Turkmenistan, Uzbekistan, Afghanistan, and Iran. USGS, Reston, 1-38.
- [9] 徐树宝, 王素花, 孙晓军. 土库曼斯坦油气地质和资源潜力[J]. 石油科技论坛, 2007(6): 31-38.
- [10] 张兵, 郑荣才, 刘合年, 等. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田卡洛夫-牛津阶碳酸盐岩储层特征[J]. 地质学报, 2010, 84(1): 117-125.
- [11] 郑荣才, 刘合年, 吴蕾, 等. 阿姆河盆地卡洛夫-牛津阶碳酸盐岩储层地球化学特征和成岩流体分析[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 961-970.
- [12] 文华国, 宫博识, 郑荣才, 等. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田卡洛夫-牛津阶碳酸盐岩沉积-成岩系统[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(4): 991-1002.
- [13] 刘石磊, 郑荣才, 颜文全, 等. 阿姆河盆地阿盖雷地区牛津阶碳酸盐岩储层特征[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 57-63.
- [14] 董霞, 郑荣才, 吴蕾, 等. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田储层成岩作用与孔隙演化[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 54-61.
- [15] 徐文礼, 郑荣才, 费怀义, 等. 土库曼斯坦阿姆河盆地卡洛夫-牛津阶沉积相特征[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 954-964.
- [16] 徐文礼, 郑荣才, 费怀义, 等. 土库曼斯坦阿姆河右岸卡洛夫-牛津阶裂缝特征及形成期次[J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 33-38.
- [17] 王玲, 张研, 吴蕾, 等. 阿姆河右岸区块生物礁特征与识别方法[J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 30-33.
- [18] 曾忠玉, 陈发景, 陈昭年, 等. 阿姆河右岸 AS 区块卡洛夫-牛津组生物礁层正演模拟[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(2): 201-203.
- [19] 徐剑良, 程绪彬, 吴蕾, 等. 阿姆河右岸区块构造演化与成藏条件[J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 18-20.
- [20] 聂明龙, 童晓光, 刘群明, 等. 土库曼斯坦阿姆河右岸地区盐下碳酸盐岩气藏类型及油气富集因素[J]. 石油实验地质, 2016, 38(1): 70-75.
- [21] 聂明龙, 吴蕾, 徐树宝, 等. 阿姆河盆地别什肯特坳陷及其邻区构造成因与勘探意义[J]. 天然气工业, 2013, 33(11): 45-50.
- [22] Vail, P.R., Mitchum, R.M. and Thompson, S. (1977) Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 3: Relative Changes of Sea Level from Coastal On-Lap. In: Clayton, C.E., Ed., *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Memoir 26, 63-81.
- [23] Gao, Z.Q., Ding, Q. and Hu, X.L. (2015) Characteristics and Controlling Factors of Carbonate Intra-Platform Shoals in the Tarim Basin, NW China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **127**, 20-34. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2015.01.027>
- [24] 胡晓兰, 樊太亮, 于炳松, 等. 塔里木盆地柯坪地区奥陶系鹰山组台内滩储层地层特征对比研究: 以石灰窑和大湾沟剖面为例[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 339-346.
- [25] Hamon, Y. and Merzeraud, G. (2008) Facies Architecture and Cyclicity in a Mosaic Carbonate Platform: Effects of Fault-Block Tectonics (Lower Lias, Causes Platform, South-East France). *Sedimentology*, **55**, 155-178.
- [26] Verwer, K., Portag, D., Merino-tom, O., et al. (2009) Controls and Predictability of Carbonate Facies Architecture in a Lower Jurassic Three-Dimensional Barrier-Shoal Complex (Djebel Bou Daher, High Atlas, Morocco). *Sedimentology*, **56**, 1801-1831. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2009.01058.x>
- [27] AL-Awwadsf, C. (2013) Carbonate-Platforms Scale Correlation of Stacked High-Frequency Sequences in the Arab-D Reservoir, Saudi Arabia. *Sedimentary Geology*, **294**, 205-218. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.05.015>
- [28] Grotzinger, J. and Al-Rawahi, Z. (2014) Depositional Facies and Platform Architecture of Microbialite Dominated Carbonate Reservoirs, Ediacaran Cambrian Ara Group, Sultanate of Oman. *AAPG Bulletin*, **98**, 1453-1494. <https://doi.org/10.1306/02271412063>
- [29] 任影, 钟大康, 高崇龙, 等. 川东及其周缘地区下寒武统龙王庙组沉积相[J]. 古地理学报, 2015, 17(3): 335-346.
- [30] 吕功训, 刘合年, 邓民敏, 等. 阿姆河右岸盐下碳酸盐岩大型气田勘探与开发[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 1-378.