

准噶尔盆地特低渗油藏岩相划分与沉积成因 ——以百口泉油田三叠系储层为例

秦子魁, 张 昶, 黄子松, 范钟艺

重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年9月10日; 录用日期: 2025年10月13日; 发布日期: 2025年10月22日

摘 要

本文以准噶尔盆地百口泉油田三叠系储层为例, 系统分析了特低渗油藏的岩相划分与沉积成因。研究首先提出了岩相划分的基本依据, 包括颜色、砾石排列方式、支撑结构、粒度、岩性、磨圆度及分选特征。在此基础上, 对百口泉组、克下组及克上组的岩相类型进行了详细划分, 分别识别出 17 种、若干种以及 35 种岩相类型。研究区岩性以砾岩为主, 砂岩和泥岩次之, 整体表现为分选差、磨圆度低和结构成熟度低的特征。从沉积动力学角度出发, 研究将不同岩相的成因归纳为四类: 重力流成因、高流态牵引流成因、低流态牵引流成因和静水沉积成因。结果表明, 砾岩和砂岩主要形成于重力流及高流态牵引流环境, 而粉砂岩和泥岩则多与低流态牵引流及静水沉积相关。综合分析显示, 研究区的沉积体系主要为干旱环境下的冲积扇沉积体系, 其内部发育复杂多样的岩相组合和沉积构造。本研究不仅明确了不同岩相的类型及沉积特征, 还揭示了其成因机制, 为特低渗油藏储层预测与沉积学研究提供了参考方向。

关键词

特低渗油藏, 岩相划分, 沉积成因, 冲积扇

Lithofacies Classification and Sedimentary Genesis of Ultra-Low Permeability Oil Reservoirs in Junggar Basin

—Taking the Triassic Reservoirs of Baikouquan Oilfield as an Example

Zikui Qin, Chang Zhang, Zisong Huang, Zhongyi Fan

College of Petroleum and Natural Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: September 10, 2025; accepted: October 13, 2025; published: October 22, 2025

文章引用: 秦子魁, 张昶, 黄子松, 范钟艺. 准噶尔盆地特低渗油藏岩相划分与沉积成因[J]. 地理科学研究, 2025, 14(5): 1094-1109. DOI: 10.12677/gser.2025.145105

Abstract

This study systematically analyzes the lithofacies classification and sedimentary genesis of ultra-low permeability oil reservoirs using the Triassic reservoirs of the Baikouquan Oilfield in the Junggar Basin as a case study. The research first establishes the basic criteria for lithofacies classification, including color, gravel arrangement, support structures, grain size, lithology, roundness, and sorting characteristics. Based on these criteria, the lithofacies types of the Baikouquan Formation, Kexia Formation, and Keshang Formation were carefully classified, identifying 17, several, and 35 lithofacies types, respectively. The dominant lithology in the study area is conglomerate, followed by sandstone and mudstone, with overall characteristics of poor sorting, low roundness, and low structural maturity. From the perspective of sedimentary dynamics, the study categorizes the genesis of different lithofacies into four types: gravity flow, high-flow regime traction flow, low-flow regime traction flow, and standing water sedimentation. The results show that conglomerates and sandstones primarily are formed in gravity flow and high-flow regime traction flow environments, while siltstones and mudstones are more commonly associated with low-flow regime traction flow and standing water sedimentation. A comprehensive analysis reveals that the sedimentary system in the study area is primarily an alluvial fan system in an arid environment, with complex and diverse lithofacies associations and sedimentary structures developed within it. This study not only clarifies the types and sedimentary characteristics of different lithofacies but also reveals their genetic mechanisms, providing valuable insights for reservoir prediction and sedimentological research in ultra-low permeability oil fields.

Keywords

Ultra-Low Permeability Reservoirs, Lithofacies Classification, Sedimentary Genesis, Alluvial Fan Systems

Copyright © 2025 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. 区域地质概况

百口泉油田位于距克拉玛依市东约 70 km 处, 地势相对平坦, 自然地貌主要为戈壁砾石, 面积约为 85 km²。研究区块百 21 井区位于准噶尔盆地西北缘克 - 乌逆掩断裂与百 19 井断裂的交汇部位, 油藏构造呈现出自西北向东南倾斜的形态。油藏埋深在 2200~2380 m 之间, 厚度为 160 m 左右。

百 21 井区块位于百口泉油田中部, 克 - 百断裂下盘, 受主控断裂克 - 百断裂和百 19 井断裂所夹持, 地层发育较全。自上而下钻遇的地层有白垩系的吐谷鲁群, 侏罗系的齐古组、头屯河组、西山窑组、三工河组、八道湾组, 三叠系的白碱滩组、上克拉玛依组、下克拉玛依组、百口泉组, 以及二叠系的乌尔禾组、夏子街组、风城组、佳木河组。其中, 白垩系和侏罗系、侏罗系和三叠系、三叠系和二叠系为区域性不整合接触研究区目的层属于下三叠统地层[1]。

百 21 井区的百口泉组油藏构造形态呈现为自西北向东南缓倾的单斜, 地层倾角较小。区域内有三大封闭性逆掩断层: 克乌断裂、百 19 井断裂和 1046 井断裂。克上组油藏构造相对简单, 整体为一自西北向东南缓倾的单斜构造。地层倾角上倾方向 10~11°, 下倾方向 6~7°。各小层沉积稳定, 具有较好的继承性。根据地震资料解释和新、老钻井资料对比, 克下组构造特征与百口泉组相似, 整体为一北东至南西

倾的单斜构造。研究区西部及北部边界为克百断裂与百 19 井断裂搭接而成，断层上盘地层剥蚀较为严重，其二叠系地层剥蚀殆尽，仅残余部分三叠系地层直接覆盖于石炭系之上。下盘为本次解释区块，地层较为齐全，地层倾角 2°~10°，目的层系 S7、S8 均发育齐全[2]。

储层方面，百口泉组储层为冲积扇砂砾岩储层，含油岩性主要是砂砾岩。储层孔隙以受溶解作用形成的次生孔隙为主，通过镜下观察主要为粒内溶孔和剩余粒间孔。整体符合低孔中低渗储层非均质性较差的储层，孔隙度 8%~18%，平均孔隙度 12.5%，有效渗透率 10~400 mD，平均渗透率 66 mD，储层渗透率级差较高。

克拉玛依组研究区储层以砂质砾岩、砾质砂岩为主，岩矿组分以岩屑为主，长石和石英含量比较低，属岩屑砂砾岩类。总体来看，石英含量最大值 32%，主值区间 1%~10%；长石含量最大值 18%，主值区间 1~6%；而凝灰岩岩屑和变质泥岩岩屑含量最大值 74%，主值区间 20%~40%。填隙物主要为泥质胶结物，最大含量 20%，主值区间 4%~15%。

2. 岩相划分依据

岩相是一定沉积环境中形成的岩石或岩石组合，是沉积相的主要组成部分[3]。为进一步指示沉积成因，需对研究区的岩相类型进行划分。为此，以能够指示沉积成因，且能够指导储层预测的原则，根据岩石的颜色，岩石中砾石的排列方式、岩石的支撑结构，粒度、岩性、磨圆和分选等特征对研究区岩相进行划分(表 1)。

Table 1. Basis for lithofacies classification
表 1. 岩相划分依据

颜色	排列方式	支撑	粒度(mm)	岩性	磨圆	分选
灰色	混杂		0.5~2	粗砂	棱角	差
灰黑色	直立	杂基	2~4	细砾	次棱角	较差
红褐色	叠瓦	颗粒	4~16	中砾	次圆状	一般
灰绿色	水平		16~256	粗砾	圆状	较好
						好

通过观察岩心，发现研究区百口泉组岩石颜色以灰色、灰黑色、红褐色和灰绿色为主；砾石的排列方式以混杂排列、直立排列、叠瓦排列和水平排列为主，岩石的支撑结构可以分为杂基支撑和颗粒支撑；岩石的粒度划分为 0.5~2 mm，2~4 mm，6~16 mm 和 16~256 mm 四个级别，分别对应粗砂岩、细砾、中砾和粗砾四种岩性；岩石的磨圆可以分为棱角状、次棱角状、次圆状和圆状；粒度的分选分为差、较差、一般、较好和好五个等级[4]。

3. 岩相类型及特征

3.1. 百口泉组

冲积扇沉积以岩性粗、成分复杂、成份成熟度也相对较低为特点，常含有多种岩屑和杂基。通过深入研究其岩石相及其测井响应特征，进一步分析岩相与储层构型的相关关系。为此，以研究区岩心的观察描述为基础，分析各种岩石类型的沉积特征，并通过岩心标定测井，来建立不同岩石相的测井响应特征图版。

冲积扇沉积的岩石相主要包括砾岩、砂岩和泥岩等，这些岩石的粒度变化范围广泛，从粗粒到细粒均有体现。由于冲积扇沉积的快速堆积和短距离搬运特点，其结构成熟度通常较低，表现为颗粒支撑、

分选性差、磨圆度低等特点(表 2)。

Table 2. Lithofacies classification types of the Baikouquan formation
表 2. 百口泉组岩石相划分类型

大类	亚类	细分类	水流机制
砾岩相	粗砾岩	灰色混杂排列颗粒支撑粗砾岩相	碎屑流
		灰色叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩相	辫流河道
	中砾岩	灰色叠瓦排列颗粒支撑细 - 中砾岩	辫流河道
		红褐色混杂排列颗粒支撑中砾岩	碎屑流
		灰色杂乱排列颗粒支撑中砾岩相	碎屑流
		灰色平行排列颗粒支撑中砾岩相	风浪改造
	细砾岩	灰绿色混杂排列杂基支撑细砾岩相	泥石流
		红褐色混杂排列杂基支撑细砾岩相	泥石流
		灰色平行排列颗粒支撑细砾岩相	风浪改造
		灰色叠瓦排列颗粒支撑细砾岩相	辫流河道
	泥质砾岩	基质支撑块状泥质砂砾岩	漫流
砂岩相		灰色波状层理含砾粗砂岩相	风浪改造
		灰色块状粗砂岩相	径流河道
		灰色粉砂岩相	漫流
泥岩相		红褐色泥岩相	漫流沉积
		灰绿色含砾泥岩相	漫流沉积
		深灰色泥岩相	湖泛

在观察百口泉组取心井岩心后，依据颜色、砾石的排列方式、支撑结构、粒度、岩性、磨圆、分选等特征，划分不同岩相，共识别、划分出了 17 种岩相，明确了不同岩相的特征(表 2)。通过岩心观察显示，研究区百口泉组岩性以粗砾岩为主，分选磨圆差，结构成熟度低，岩性从粗到细，下部以不等粒砾岩、砂砾岩为主，分选差，磨圆以次圆状 - 次棱角状为主；向上逐渐变为中细砾岩、含砾砂岩，泥岩，分选较差，磨圆以次圆状为主。泥岩中存在灰色、灰绿色还原色与褐色、红色等氧化色，同时在沉积物搬运机制中有碎屑流沉积与牵引流沉积共存的现象。综合岩心观察表明，可识别砾石排列方式杂乱排列、叠瓦排列和平行排列三种。分别对应了不同环境下的沉积特征，杂乱排列是碎屑流快速堆积形成的岩石相，叠瓦排列是河道沉积形成的典型岩石相，平行排列则是经过风和波浪改造之后形成的岩石相[5]。综合判断该时期为干旱环境下的冲积扇沉积体系。

(一) 砾岩相

砾岩相在研究区占据主导地位，是研究区主要的储集岩。总体上碎屑的分选呈现出较差的特点。然而，不同粒度的岩性分选情况却有所不同，一个明显的规律是，岩性越粗，碎屑的分选性往往越差。砾石的磨圆程度总体上也较为欠佳，主要表现为次棱角状，部分则为棱角状或次圆状[2]。沉积构造方面展现出了复杂性，涵盖了块状构造、平行层理、板状交错层理等多种形态。一个明显的趋势是，岩性越粗，内部构造越趋向于块状；而岩性越细，层理则越发育。此外，岩石内部砾石的排列方式也存在显著的差异。在粗岩性砾石中，砾石的排列通常显得杂乱无章；而在细岩性砾石中，则可以观察到砾石呈现出定向排列的现象[3]。综合颜色、碎屑大小、泥质含量、支撑类型、排列方式、泥质含量等因素，将本区四个亚类砾岩相进一步细分。

(1) 粗砾岩

岩石中含有较多粗砾石，砾石形态多为次棱角状，分选差，最大砾石直径 30~40 mm，成分以花岗岩为主。块状构造或不显层理，见砾石直立现象，属碎屑支撑类型(图 1)。其搬运机制为碎屑流快速堆积的形成，为一种稀性密度流。但当分选变好，磨圆出现次棱角-次圆状，砾石呈低角度叠瓦状排列时，碎屑搬运机制则从碎屑流向牵引流过渡为辫流河道沉积成因(图 2)。主要有两种类型：灰色杂乱排列颗粒支撑粗砾岩和灰色叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩。



Figure 1. Clast-supported conglomerate with randomly arranged grains
图 1. 杂乱排列颗粒支撑粗砾岩



Figure 2. Clast-supported conglomerate with imbricated grains
图 2. 叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩

(2) 中砾岩



Figure 3. Clast-supported medium-grained conglomerate with imbricated grains
图 3. 叠瓦排列颗粒支撑中砾岩

岩石中砾石含量大于 40%，粒径介于 4~16 mm，砾石分选磨圆较好，且相互接触支撑，一般形成在稳定水动力条件下，颗粒间发育较好的孔隙空间，孔喉连通性好，物性较好[6]。该岩相受河道或风浪改造作用明显，可见砾石叠瓦或平行排列(图 3)，但也有部分仍为碎屑流成因。主要有四种类型：灰色叠瓦排列颗粒支撑细-中砾岩、灰色平行排列颗粒支撑中砾岩相、红褐色混杂排列颗粒支撑中砾岩、灰色杂乱排列颗粒支撑中砾岩相(图 4)。

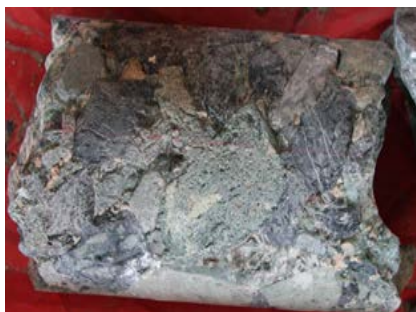


Figure 4. Clast-supported medium-grained conglomerate with randomly arranged grains
图 4. 杂乱排列颗粒支撑中砾岩

(3) 细砾岩



Figure 5. Clast-supported fine-grained conglomerate with imbricated grains
图 5. 叠瓦排列颗粒支撑细砾岩



Figure 6. Reddish-brown clast-supported fine-grained conglomerate with randomly arranged grains
图 6. 红褐色杂乱排列颗粒支撑细砾岩

砾石大小一般为 1~2 mm，砾石呈次棱 - 次圆状，分选较好，杂基支撑与颗粒支撑均可见。颗粒支撑岩石内部可见平行层理、板状交错层理和块状构造，牵引流作用沉积，砾石排列具有一定的定向性，通常为正韵律，偶尔少见反韵律，由于水流能量变化形成的[7] (图 5)。杂基支撑为泥石流作用沉积，砾石排列杂乱无序，块状构造(图 6)。主要有四种类型：灰绿色混杂排列杂基支撑细砾岩相、红褐色混杂排列杂基支撑细砾岩相、灰色平行排列颗粒支撑细砾岩相、灰色叠瓦排列颗粒支撑细砾岩相。

(4) 泥质砾岩

主要由大小不等的砾石组成，包括角砾、圆砾、卵石、砂砾等，其成分复杂，可以包括各种岩屑、矿物、化石等。此外，泥质砾岩中还含有一定量的泥质物质，这些泥质物质可以是粘土、粉砂等。结构通常较为松散，砾石之间的填隙物多为泥质物质，即是砾石之间的基质，也可以是砾石周围的胶结物。颜色多样，有灰色、绿色、褐色、红色等，表示在氧化和还原环境中均可沉积泥质砾岩。形成于泥石流沉积，整体搬运故未见分选和层理结构(图 7)。



Figure 7. Argillaceous sandy conglomerate
图 7. 泥质砂砾岩

(二) 砂岩相

砂岩相在研究区发育较少。根据砾石含量、粒度大小、沉积构造、泥质含量等因素，可将研究区砂岩分为灰色波状层理含砾粗砂岩、灰色块状粗砂岩、灰色粉砂岩。砂岩碎屑颗粒经过搬运和磨蚀作用，其分选和磨圆均优于砾岩，沉积构造主要以块状构造和平行层理为主。块状构造意味着砂岩中缺乏明显的层理或纹理，呈现出相对均匀的结构。而平行层理则表明砂岩中存在一系列平行的纹理或层面，这通常是由于在沉积过程中，水流或风等外力作用形成的。

(1) 灰色波状层理含砾粗砂岩相



Figure 8. Cross-bedded pebbly coarse-grained sandstone with wavy lamination
图 8. 波状层理含砾粗砂岩

颜色为灰色，包括中砂岩与粗砂岩，泥质含量低。粗砂含量高，砾石分选较好，磨圆为次圆状，颗粒支撑，可能受到风浪改造[8]。岩石内部主要为块状构造，略显成层性，可见波状层理，内含泥质条带(图 8，图 9)。



Figure 9. Argillaceous coarse-grained sandstone with wavy lamination
图 9. 含泥波状层理粗砂岩

(2) 灰色块状粗砂岩相

颜色为灰色 - 灰白色，粗砂含量大于 50%，分选较好，磨圆为次圆状，颗粒支撑，块状构造，可见平行层理。内部夹杂细小砾石，沉积环境水动力较强(图 10，图 11)。

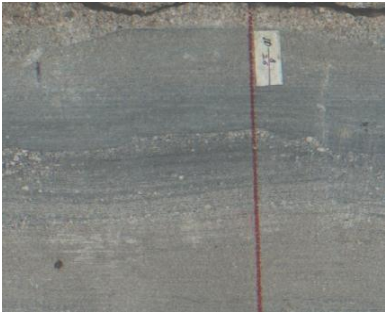


Figure 10. Fine-grained sandstone with parallel lamination
图 10. 含平行层理细砂岩



Figure 11. Massive coarse-grained sandstone
图 11. 块状粗砂岩

(3) 灰色粉砂岩相

颜色为灰色，粉砂含量大于 50%，粒度较细，普遍含泥较多。成层性较好，偶见水平纹层为漫流沉积成因。该类砂岩相物性和含油性均较差，属于非储层岩石相(图 12，图 13)。



Figure 12. Gray siltstone

图 12. 灰色粉砂



Figure 13. Siltstone with horizontal lamination

图 13. 具水平纹层的粉砂岩岩

(三) 泥岩相

通过岩心观察主要发育三类：一种为含砾泥岩，一种为纯泥岩，包括红褐色泥岩和深灰色泥岩，因沉积环境不同而颜色不同。

(1) 含砾泥岩

内部夹杂细小砾石，砾石含量小于 5%，砾石磨圆次圆状，排列杂乱无序，内部未见层理，呈块状构造。可能是河道中的砾石漫溢出河道，进入漫流细粒沉积物或是泥石流沉积的产物(图 14，图 15)。



Figure 14. Gray pebbly mudstone

图 14. 灰色含砾泥岩

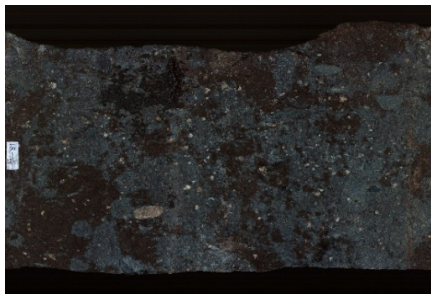


Figure 15. Grayish-green pebbly mudstone
图 15. 灰绿色含砾泥岩

(2) 红褐色泥岩

为纯泥岩相，颜色为红褐色，通过岩心观察发现沉积厚度较大。沉积环境偏氧化，为漫流沉积成因(图 16)。



Figure 16. Reddish-brown mudstone
图 16. 红褐色泥岩

(3) 深灰色泥岩

为纯泥岩相，呈深灰色。沉积厚度较小，常发育在灰绿色含砾泥岩之上。致密、部分含有水平层理，沉积环境偏还原，为湖泛沉积成因(图 17)。



Figure 17. Dark gray massive mudstone
图 17. 深灰色块状泥岩

3.2. 克下组

岩心观察百 21 克下组储层岩性以粗碎屑岩为主，分选磨圆差，结构成熟度低，主要可分为三大类，包括砾岩、砂岩、泥岩三种大岩相(图 18)。

(一) 砾岩相

为研究区克下组最主要岩相类型，按粒度具体分为粗砾岩相、中砾岩相及细砾岩相，克下组以中、

细砾岩沉积为主。砾石磨圆度较差，以次棱－次圆状为主，分选较差－差，反映沉积物搬运距离短，搬运动力强，按其粒径大小和颗粒排列方向，可进一步将砾岩划分为灰色混杂排列颗粒支撑粗砾岩相、灰色叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩相、灰色叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩相、灰色平行排列颗粒支撑中砾岩相、灰色杂乱排列颗粒支撑中砾岩相、灰色叠瓦排列颗粒支撑细－中砾岩、红褐色混杂排列杂基支撑细砾岩相、红褐色混杂排列杂基支撑细砾岩相、灰绿色混杂排列杂基支撑细砾岩相等十种岩相(表 3)。

Table 3. Lithofacies classification results of the lower Karamay formation in the Bai-21 well block
表 3. 百 21 井区克下组岩相划分结果

岩性		岩相划分结果
砾岩	粗砾岩	灰色混杂排列颗粒支撑粗砾岩相
		灰色叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩相
	中砾岩	灰色平行排列颗粒支撑中砾岩相
		灰色杂乱排列颗粒支撑中砾岩相
		红褐色混杂排列颗粒支撑中砾岩
		灰色叠瓦排列颗粒支撑细－中砾岩
	细砾岩	灰色混杂排列颗粒支撑细砾岩相
		灰色平行排列颗粒支撑细砾岩相
		红褐色混杂排列杂基支撑细砾岩相
		灰绿色混杂排列杂基支撑细砾岩相
砂岩	灰色块状层理粗砂岩相	
	灰色粉砂岩相	
	灰色波状层理含砾粗砂岩相	
泥岩	灰绿色泥岩相	
	红褐色泥岩相	

(二) 砂岩相

研究区砂岩发育较少，主要为岩屑砂岩，碎屑颗粒以凝灰岩岩屑为主，次为石英和长石；分选好，多为次圆－次棱角状，按其颗粒粒径和排列方式进一步可划分为灰色块状层理粗砂岩相、灰色粉砂岩相、灰色波状层理含砾粗砂岩相。

(三) 泥岩相

泥岩为静水环境下的细粒沉积，研究区泥岩按其颜色可划分为灰绿色泥岩相、红褐色泥岩相。



Gray Clast-Supported Coarse-Grained Conglomerate Facies with Chaotic Arrangement
灰色混杂排列颗粒支撑粗砾岩相



Gray Clast-Supported Coarse-Grained Conglomerate Facies with Imbricated Arrangement
灰色叠瓦排列颗粒支撑粗砾岩相



Gray Clast-Supported Fine-to-Medium-Grained Conglomerate with Imbricated Arrangement
灰色叠瓦排列颗粒支撑细-中砾岩



Gray Clast-Supported Fine-Grained Conglomerate Facies with Chaotic Arrangement
灰色混杂排列颗粒支撑细砾岩相

Gray Clast-Supported Fine-Grained Conglomerate Facies with Parallel Arrangement
灰色平行排列颗粒支撑细砾岩相

Gray Massive-Bedded Coarse-Grained Sandstone Facies
灰色块状层理粗砂岩相

Figure 18. Petrographic facies characteristics from core observation of the lower K member
图 18. 克下段岩心观察岩石相特征

3.3. 克上组

岩心观察百 21 克上组储层岩性主要可分为三大类，包括砾岩、砂岩、泥岩三种大岩相(图 19)。

(一) 砾岩相

砾岩相是研究区主要的储层岩性。根据碎屑大小和泥质质量分数，可将砾岩相分为中砾岩相、小-细砾岩相、泥质砾岩相。

(1) 中砾岩相(砂砾岩相)

中砾岩相包括中砾岩和中砾质细砾岩。岩石内中砾质量分数大于 30%，砂、砾混杂堆积，分选差，粒级呈多数数分布，基质支撑。砾石形态多为次棱角状，亦见棱角状和次圆状[8]。

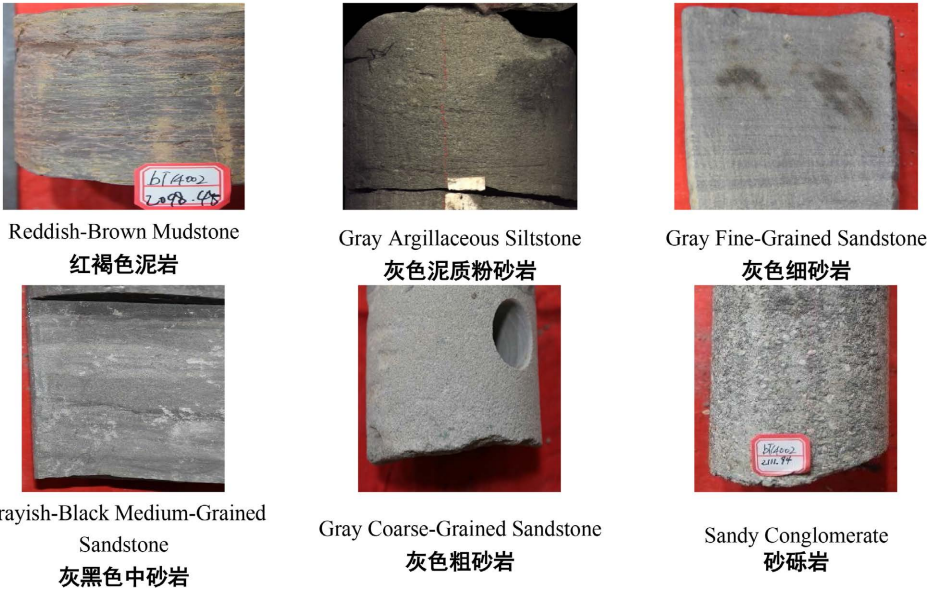


Figure 19. Petrographic facies characteristics from core observation of the lower K member
图 19. 克上段岩心观察岩石相特征

(2) 小-细砾岩相

小-细砾岩相包括含中砾细砾岩、细砾岩和小砾岩。岩石属于碎屑支撑，砾石大小一般为 1~5 mm

[9]。砾石呈次棱角 - 次圆状，分选较好，略显成层性，隐见一些层理。

(3) 泥质砾岩相

这类岩性最大的特征是砾、砂、粉砂、泥混杂堆积，分选极差，泥质(粉砂)质量分数高，其质量分数甚至可大于 50%，砾石多为棱角 - 次棱角状，岩石呈块状[10]。

(二) 砂岩相

砂的沉积通常是由低负载搬运期的终止或稳流阶段沉积物过量补给而导致[11]。相比于砾岩而言，砂岩的分选和磨圆度相对较好。

(1) 中 - 粗砂岩相

包括中砂岩与粗砂岩，泥质质量分数低，有明显成层性。

(2) 粉 - 细砂岩相

粉 - 细砂岩普遍含泥较多，基本为泥质粉 - 细砂岩。岩石中一般含砂和小砾石，分选较差，成层性较好，但内部一般不见层理[12]。

(三) 泥岩相

一般来说，解释泥岩沉积构造形成的物理条件要比解释粗粒沉积物困难得多。它们在埋藏时更易被压实，而压实作用具有歪曲和挤压任何构造的效应，有时甚至达到构造完全被消除的程度[13]。

(1) 具纹理的泥岩相

一般是在较稳定的水动力条件下，由于悬浮补给状况的变动或水动力的变化导致纹理的形成[14]。

(2) 致密纯净泥岩相

泥岩呈块状、致密。其纹理的缺少可能由于以下原因造成：一是原来就没有沉积分层作用，或者是原始分层随后被破坏；二是可能由非常均一且相当快速沉积作用所造成的，或是缺少片状颗粒引起的[15]。

根据以上的岩石相类型划分方案，并结合颜色、砾石的排列方式、支撑结构、沉积构造等，在研究区克上组地层中共精细识别出 35 种岩石相(表 4)。

Table 4. Lithofacies classification results of the upper Karamay formation in the Bai-21 well block
表 4. 百 21 井区克上组岩相划分结果

岩性		岩相划分结果
粗砾岩		灰色混杂排列颗粒支撑粗砾岩相
		灰色弱平行排列颗粒支撑粗砾岩相
		灰色油浸混杂排列颗粒支撑粗砾岩相
		灰色杂乱排列颗粒支撑粗砾岩相
		灰绿色杂乱排列颗粒支撑粗砾岩相
砾岩	中砾岩	灰色平行排列颗粒支撑中砾岩相
		灰色弱叠瓦排列颗粒支撑中砾岩相
		灰色混杂排列颗粒支撑中砾岩相
		杂色混杂排列颗粒支撑中砾岩相
		褐色混杂排列杂基支撑砂质中砾岩相
		红褐色混杂排列杂基支撑中砾岩相
细砾岩		灰黑色混杂排列颗粒支撑细砾岩相
		灰色混杂排列颗粒支撑细砾岩相
		灰黑色混杂排列杂基支撑细砾岩相

续表

砂岩	粗砂岩	灰色块状含砾粗砂岩相
		灰色块状层理粗砂岩相
	中砂岩	灰黑色变形层理中砂岩相
		灰黑色块状层理中砂岩相
	细砂岩	灰色交错层理细砂岩相
		灰色平行层理细砂岩相
灰色块状层理细砂岩相		
粉砂岩	浅灰绿色粉砂岩相	
	浅灰绿色含砾泥质粉砂岩相	
	灰色油浸泥质粉砂岩相	
	棕色块状层理泥质粉砂岩相	
	灰色交错层理粉砂岩相	
	灰色变形层理粉砂岩相	
	灰色块状泥质粉砂岩相	
泥岩	深灰色块状泥岩相	
	红褐色含砾泥岩相	
	黑色块状泥岩相	
	灰黑色块状粉砂质泥岩相	
	红褐色块状泥岩相	
	灰绿色块状泥岩相	

4. 不同类型岩相的沉积成因

依据沉积物流体动力差异划归为 4 类成因，即重力流成因、高流态牵引流成因、低流态牵引流成因、静水沉积成因[16] (表 5)。

根据岩心观察的岩相划分以及划分方案对比，研究区砾岩以重力流成因、高流态牵引流成因为主[17]；砂岩以重力流、高流态牵引流成因为主；粉砂岩及泥岩以低流态牵引流、静水沉积成因为主[18]。

Table 5. Genetic types of lithofacies
表 5. 岩石相成因类型

岩相成因	岩相	结构	成分	分选度	特征
重力流成因	杂基支撑砾岩	杂基支撑	中砾 - 粗砾	极差	反粒序
	块状砾岩	颗粒支撑	中砾 - 粗砾	极差 - 无分选	无粒序
	递变层理砾岩	颗粒支撑	中砾 - 粗砾	极差	递变层理、正粒序
	块状砂岩	颗粒支撑	中砂 - 粗砂	较差	块状构造、无层理
高流态牵引流成因	片流砾岩	颗粒支撑	细砾 - 中砾	较差	正粒序
	叠瓦状排列砾岩	颗粒支撑	中砾 - 粗砾	较差	内部砾石呈叠瓦状排列
	支撑砾岩	颗粒支撑	细砾 - 中砾	较好	正粒序
	“S”型前积层理砾岩	颗粒支撑	细砾 - 中砾	较差	透镜状
	平行层理砂岩	——	细砾 - 中砂	中等偏好	正粒序
	大型交错层理砂岩	——	中砂 - 极粗砂	中等	正粒序

续表

低流态牵引 流成因	小型交错层理砂岩	——	细砂 - 粗砂	中等	正粒序、槽状交错层理
	波纹层理粉砂岩	——	粉砂	较好	顶平底凹的透镜体
静水沉积 成因	块状粉砂岩	——	粉砂 - 细砂	中等	——
	块状泥岩	——	泥岩 - 粉砂	——	透镜体泥岩、厚层块状泥岩

5. 结语

根据取心井岩心观察，结合前人针对冲积扇岩石相的分类，基于颜色、构造、岩性等多条件，将百口泉岩石相分为三大类共计 17 种岩相，克上组共识别出 35 种岩相，主要考虑了岩性、粒度、砾石的排列方式、支撑结构等特征，并深入分析了各类岩石相的成因。其中杂乱排列表示扇根泥石流、碎屑流沉积，叠瓦排列表示河道沉积，平行排列表示河道沉积后受风浪改造，细粉砂岩泥岩表示漫流细粒或湖泛沉积。

参考文献

[1] 刘文锋, 等. 百 21 井区三叠系白碱滩组油藏特征研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(3): 191-192.

[2] 刘文锋, 等. 准噶尔盆地玛湖西北地区 M 井区三叠系克上组构造特征研究[J]. 科技创新导报, 2020, 17(7): 120-121.

[3] 马奔奔, 等. 东营凹陷盐家地区沙四上亚段砂砾岩储层岩相与物性关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(2): 495-506.

[4] 刘显阳, 等. 陆相淡水湖盆细粒沉积成因机制及页岩油储集特征——以鄂尔多斯盆地西南部三叠系延长组长 73 亚段为例[J]. 石油勘探与开发, 2025, 52(1): 84-98.

[5] 李庆, 等. 鄂尔多斯盆地南部三叠系长 7-3 亚段凝灰岩沉积成因及储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(5): 1141-1154.

[6] 谭钦银. 四川盆地震旦系-三叠系白云岩的沉积成因[C]//中国地质学会沉积地质专业委员会, 中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会. 2015 年全国沉积学大会沉积学与非常规资源论文摘要集. 2015: 217-217.

[7] 彭军, 等. 陆相湖盆细粒混积岩的沉积特征与成因机理——以东营凹陷南坡陈官庄地区沙河街组四段上亚段为例[J]. 石油学报, 2022, 43(10): 1409-1426.

[8] 高建, 等. 洪积扇砂砾岩储层岩石相渗流特征及剩余油分布规律[J]. 地质科技情报, 2011, 30(5): 49-53+59.

[9] 伊振林, 等. 克拉玛依油田冲积扇岩石相特征及储层质量分析[J]. 断块油气田, 2010, 17(3): 266-269.

[10] 陶金雨, 张昌民, 朱锐, 等. 玛湖凹陷百口泉组 M15 井砾石岩石相磨圆度及其沉积特征[C]//中国地质学会, 中国石油学会, 中国矿物岩石地球化学学会. 第十四届全国古地理学及沉积学学术会议论文集. 2016: 185-185.

[11] 周恒. 准噶尔盆地玛 18 区块百口泉组沉积特征与砂砾岩储层构型分析[D]: [博士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2024.

[12] 王忠博. 百 21 井区百口泉组储层沉积构型分析及建模研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2019.

[13] 于景维, 等. 准噶尔盆地阜东斜坡区头屯河组岩石物理相特征[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(1): 129-139.

[14] 陈晶莹, 等. 南堡 4 号构造东营组岩石物理相特征及其分类评价[J]. 地球与行星物理理论评(中英文), 2024, 55(2): 248-256.

[15] 王晓. 琼东南盆地梅山组海底扇沉积特征及储集体构型分析[D]: [博士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2024.

[16] 靳军, 等. 砾质辫状河型冲积扇岩相类型、成因及分布规律——以准噶尔盆地西北缘现代白杨河冲积扇为例[J]. 沉积学报, 2019, 37(2): 254-267.

[17] 蒋文琦, 冯有良, 杨智, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 73 段细粒重力流沉积特征及其成因机制[C]//中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会, 国际古地理学会, 中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会, 中国地质学会沉积地质专业委员会. 第十七届全国古地理学及沉积学学术会议摘要集——专题 2 重力流沉积及其油气意义. 2023: 11.

-
- [18] 张少敏, 操应长, 朱如凯. 雅布赖盆地小湖次凹细粒沉积岩岩相特征与沉积成因探讨[C]//中国地质学会沉积地质专业委员会, 中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会. 2015 年全国沉积学大会沉积学与非常规资源论文摘要集. 2015: 284-286.