



沟组( $N_2^3$ )、上油砂山组( $N_2^2$ )和下油砂山组( $N_2^1$ )。储集层埋藏深度自地表至地下约2 000 m,岩石颗粒总体偏细,颜色以灰色为主,岩石成分混杂,泥质、灰质和砂质均较多。由于粒度偏细,成分混杂,镜下鉴定难以区分,使得岩性定名非常困难。该区在新近纪 $N_2^3-N_2^1$ 时期,主要发育浅湖—半深湖相和盐湖相沉积物,物源较远,气候干旱,碎屑物质输入较少,沉积物粒度普遍较细。已有的研究<sup>[1-8]</sup>认为该区岩石包含碳酸盐岩和碎屑岩,岩性有泥晶灰岩、藻灰岩、颗粒灰岩、细砂岩、粉砂岩、泥岩等。由于该区岩性自上而下均以灰色为主,外观无颗粒感,类似泥岩和灰岩的混合,因此在实际工作中,习惯上通称为“泥灰岩”或“灰泥岩”。

## 1 岩性分类

该区岩石从外观上观察主要包括二类:一类是具有水平或波状微细纹层的灰色岩石,部分岩石纹层相当发育,极易沿纹层面裂开,部分岩石纹层不发育,呈块状。埋藏浅的岩石较疏松,成岩性差;埋藏深的岩石较为致密,成岩性相对较好。此类岩石镜下鉴定一般认为是泥岩、泥晶灰岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩等(图2a);另一类是具有扰动构造或变形层理的灰色岩石(图2b、c)。由于常含有生物碎屑、核形石等,一般认为是藻灰岩<sup>[1,2,7]</sup>或颗粒灰岩<sup>[3]</sup>。张宁生<sup>[6]</sup>、罗芳等<sup>[8]</sup>认为该区岩石为碎屑岩和碳酸盐混合沉积形成的“混积岩”,具有变形层理构造的岩石可能为生物(主要是藻类)成因或风暴成因的混合沉积。

本次研究,通过大量岩芯观察、薄片镜下鉴定,结

合X射线全岩分析和化学方法测定碳酸盐含量对岩性重新分类,提出分类方案。从岩石矿物组合上看(表1),该区石英和长石含量、碳酸盐含量及黏土矿物含量平均均没有超过50%。化学分析碳酸盐含量与X衍射全岩分析碳酸盐含量虽然有所差异,但总体上具有较好的一致性。将石英长石类矿物、碳酸盐矿物和黏土矿物三者含量作三角图(图3),可分为A、B、C和D四个区域。其中A区碳酸盐含量大于50%,岩性可划归为是碳酸盐岩;B区石英和长石含量之和大于50%,岩性可划归为砂岩;C区黏土矿物含量大于50%,岩性可划归为泥岩。D区域属于混合区,三种类型的矿物含量均不超过50%,对于此区域内的岩石,难以定名为砂岩,也难以定名为碳酸盐岩或泥岩。

从三角图中可以看出,落在D区域的点子相对较多,说明柴西北区新近系岩性混杂,具有混合沉积的特征。如果仅从矿物成分上看,对于处于中间D区域的岩石似乎用“混积岩”定名更为适合。1990年杨朝青等<sup>[9]</sup>提出“混积岩”(hunji rock)一词,指出混合沉积主要是指陆源碎屑与碳酸盐(包括异化粒等)在沉积上的混合,认为组成混积岩的岩石颗粒必须存在内源(碳酸盐)颗粒和外源(陆源)颗粒,这两种颗粒可以在不同环境下混合,强调组成岩石的颗粒的异源性。由于混合沉积仅表示沉积岩的一种成因类型,如用“混积岩”进行岩石命名则无法反映岩石的结构组分,且过于笼统,给研究带来不便,因此在岩性定名上一般不采用“混积岩”作中心词。

董桂玉等<sup>[10]</sup>在考虑混合沉积岩石的分类命名

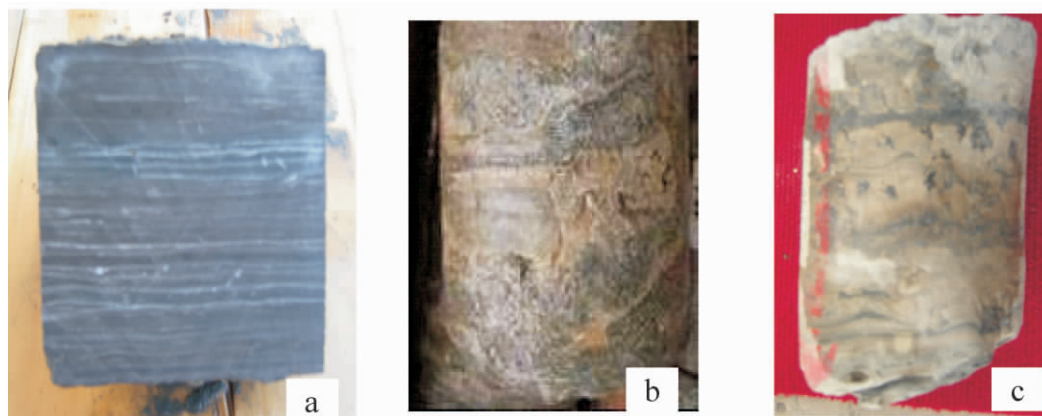


图2 柴西北区不同岩性典型岩石照片

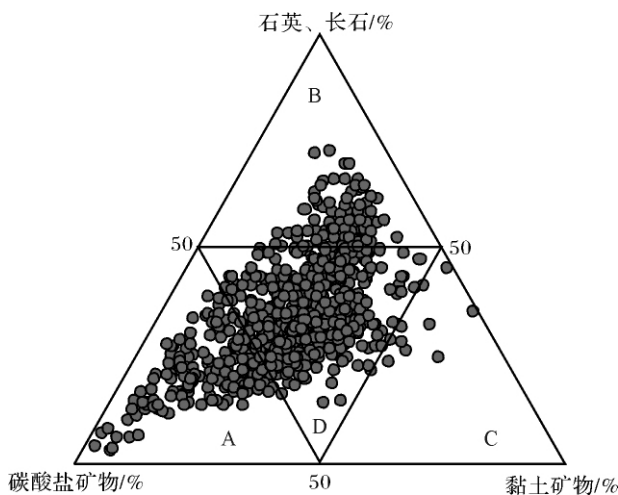
a. 南翼山,南4井,813.5m,  $N_2^2$  含灰泥岩,水平纹层发育; b. 油泉子,油8井,715.2m,  $N_2^1$  颗粒灰岩,具变形层理构造; c. 南翼山,南浅1-04井,1558.0m,  $N_2^2$  颗粒灰岩,具变形层理构造

Fig. 2 Photos showing different rock in the northwest part of Qaidam Basin

表 1 柴西北新近系储层岩石矿物统计

Table 1 Mineral contents of Neogene reservoir in the northwestern part of Qaidam Basin

构造	X 射线衍射全岩矿物含量/%					化学分析碳酸盐	
	样品数/块	石英及长石	碳酸盐矿物	黏土矿物	其它	样品数/块	含量/%
南翼山	509	35.1	35.4	22.4	7.1	933	36.4
油泉子	176	41.5	29.6	20.8	8.1	157	39.5
小梁山	133	26.0	35.4	30.7	7.9	803	27.7
咸水泉	36	42.9	29.1	19.7	8.3	64	41.4
总体	854	35.3	33.9	23.3	7.5	1957	33.3

图 3 柴西北区新近系储集层岩石矿物成分三角图  
(依据 X 衍射全岩资料)Fig. 3 Triangular diagram of mineral contents of Neogene reservoir in the northwestern part of Qaidam Basin  
(by X-ray analysis)

时,提出了采用“陆源碎屑和碳酸盐”两端元进行岩石命名,“混积岩”一词可不作为中心词。一般情况下,内陆湖泊环境下沉积形成的岩石,其中的黏土矿物大多来自母岩风化产物,是以悬浮方式搬运至盆地的,属于机械方式沉积而成,并非盆地内形成的自生黏土矿物或由火山碎屑物质蚀变形成的黏土矿物,因此从黏土矿物形成机理方面考虑,应该将黏土矿物归入到陆源碎屑岩中,这样就可将混合沉积的岩石在“陆源碎屑和碳酸盐”两端元上进行分类。

X 射线衍射分析表明,柴西北区新近系储层岩石中的黏土矿物以伊利石为主,其次为伊/蒙混层矿物。该区储层岩石中的伊利石实际上是陆源风化产物形成的水云母或绢云母,是由钾长石风化而来,因为它们的(001)衍射峰 d 值都小于 10Å,而非蒙脱石转化而来。该区储层岩石中几乎不存在蒙脱石,高岭石含量也很低,这是因为陆源风化远远没有达到斜长石风化为蒙脱石的条件,也很难能形成高岭石。

叶爱娟等<sup>[11]</sup>指出,柴达木盆地在第三纪位于北纬干燥气候带上,在西部缺乏源远流长的河流,仅有短暂性洪水型河流补给水源,形成了常年性内陆封闭咸水湖盆。研究区在新近纪  $N_2^3-N_2^1$  时期属于干燥少雨的大陆性气候,物源区的岩石应以物理风化为主,而化学风化相对不发育。通过镜下观察,此类岩石中的石英、长石、黏土矿物、灰屑、碳酸盐矿物等多是陆源风化产物,主要为弱水流搬运或季节性搬运而来的,在静水条件下堆积,是弱水或静水条件下的递变悬浮沉积,因此可将黏土矿物看作陆源碎屑,按照“陆源碎屑和碳酸盐”两端元划分岩石类型是合理的。

本文结合柴西北区  $N_2^3-N_2^1$  储层岩石的矿物成分、颗粒大小及岩石结构等,在已有研究的基础上,遵循既简单明了又能客观反映岩石特点、且与通常的岩石命名方法相一致的原则,提出了表 2 中的岩石命名分类方案。首先根据岩石矿物含量将石英及长石含量之和、黏土矿物含量和碳酸盐含量大于或等于 50%,将岩石分为泥岩、砂岩和碳酸盐岩三种类型。其次,对于上述三种矿物成分均在 50% 以内,即处于矿物三角图中间 D 区域的混合沉积类岩石,按照“陆源碎屑和碳酸盐两端元”分类原则进行细分,按照砂质含量和泥质含量相对大小将岩石可分为含碳酸盐(碳酸盐含量 < 25%)或碳酸盐质(碳酸盐含量 25%~50%)砂岩或泥岩。按表 2 中的分类方案,对柴西北区新近系 854 块 X 衍射全岩矿物分析样品进行岩性分类,分类结果也列于表 2 中。此种分类结果涵盖了柴西北区已得到认可的各种岩石类型,符合目前对该区的地质认识,且此方案相对简单,使该区岩性更加明确。

## 2 不同岩性微观结构及成因分析

### 2.1 泥岩

泥岩主要由黏土矿物组成,黏土含量应大于 50%。柴西北区新近系储集层岩石中真正的泥岩很

表 2 柴西北区新近系储层岩石岩性分类方案及分类结果

Table 2 Lithology classification of Neogene reservoir in the northwestern part of Qaidam Basin

岩性分类	分类方案	分类结果 / %
泥岩	黏土矿物 $\geq 50\%$	1.1
碳酸盐岩	碳酸盐含量 $\geq 50\%$	15.7
砂岩	石英和长石含量之和 $\geq 50\%$	16.8
混合沉积类	含泥含灰(云)砂岩 碳酸盐含量 $< 25\%$ 石英、长石等碎屑含量与黏土矿物含量之比大于 1	12.3
	含泥灰(云)质砂岩 碳酸盐含量 $25\% \sim 50\%$ 石英长石等碎屑含量与黏土矿物含量之比大于 1	32.1
	含砂含灰(云)泥岩 碳酸盐含量 $< 25\%$ 石英长石等碎屑含量与黏土矿物含量之比小于 1	5.3
	含砂灰(云)质泥岩 碳酸盐含量 $25\% \sim 50\%$ 石英长石等碎屑含量与黏土矿物含量之比小于 1	16.7

少 统计仅占 1.1%。此类岩石具泥质结构(图 4a),纹层不发育,具块状构造,由于埋藏深度不同,颜色有浅灰色、灰色和深灰色,物性差,一般为非储层。

该区除黏土矿物含量大于 50% 真正的泥岩外,还存在混合沉积成因的泥岩,此类岩石外观一般具有微细水平层理,镜下观察具有显微粒序层理和泥质结构。岩石矿物成分中灰质、砂质和泥质混杂分布,在矿物三角图中处于中间 D 区域内。由于此类岩石颗粒较细,且同时含有砂质、泥质和灰质成分,镜下难以分清那种成分占多数,导致岩石定名颇具争议。按照前述岩性分类,根据 X 衍射全岩矿物分析和镜下薄片鉴定,可以很好地将此类岩石加以区分。结果表明,柴西北区新近系储集层岩石中,含砂含灰(云)泥岩和含砂灰(云)质泥岩分别占 5.3% 和 16.7%。

具混合沉积成岩的泥岩,岩石一般具泥质结构,但砂质、泥质和灰互层分布,具粒序层理和砂泥交互层理构造。砂质一般由石英和长石组成,多为细砂、极细砂和粉砂。从结构和构造上看,此类岩石应形成于静水环境下的浅湖一半深湖悬浮沉积。由于砂、泥、灰的互层,沉积或成岩时因矿物组成的差异和构造应力的作用,岩石内常具有顺层微裂缝,岩石极易沿层面裂开,层面可观察到陆源碎屑云母矿物,有时还可观察到因成化结晶出的硬石膏晶体,此类岩石储层物性较差。图 4 中 b 和 c 是此类岩石典型的显微照片。

## 2.2 碳酸盐岩

碳酸盐岩主要是由沉积的碳酸盐矿物组成,其碳酸盐含量应不少于 50%。按照表 2 的分类方案,该区有 15.7% 的岩石属于碳酸盐岩。根据镜下鉴定按结构可分为颗粒灰(云)岩和泥晶灰(云)岩(或泥灰岩)两种类型。

颗粒碳酸盐岩具有颗粒结构,颗粒包括鲕粒、藻屑、核形石、砾屑、砂屑、植物碎屑等,岩石常具有扰动或变形层理构造,因此认为是滨浅湖相中的高能环境

下的颗粒滩及藻丘相沉积<sup>[1~3,7]</sup>。由于颗粒碳酸盐中的颗粒既有碳酸盐质的也有泥质的,因此也不能排除在浅湖一半深湖区由风暴或波浪改造形成的。具有变形层理或扰动构造的岩石,常与下伏及上覆岩石界面明显,呈突变接触,可以认为是一种底面构造,这与风暴或波浪高能水体的事件性沉积有关<sup>[10,12]</sup>。赵澄林等指出<sup>[13]</sup>,在内碎屑颗粒灰岩中分布一种竹叶状砾屑是在浅水海洋或湖泊环境中,半固结或已固结的碳酸盐岩,经强大水流、潮汐或风暴作用发生破碎、磨蚀、搬运堆积而成,与风暴作用有关。颗粒碳酸盐岩常具有粒间孔和溶蚀孔,一般储层物性较好,为有效储层。图 4 中 d~f 是此类岩石的典型显微照片。

泥晶灰(云)岩不具颗粒结构,由灰(云)泥组成,由于常混有砂质和泥质,因此岩石也具有少量层间微裂缝,但微裂缝不发育,岩石常具有水平微细纹层构造,物性较差。

## 2.3 砂岩

砂岩是柴西北区新近系储层岩石的主要类型,主要为细砂、极细砂和粉砂。按照前述分类方案,该区储集层岩石的砂岩(石英长石含量  $> 50\%$ )占 16.8%。此类砂岩应属于陆源碎屑沉积的常规砂岩,颗粒以石英、长石为主,少量泥质和灰质,分选较差,具砂质结构,孔隙或基底式胶结(图 4g)。

该区除常规砂岩外,还含有较多具有混合沉积类型砂岩储层,包括含泥含灰(云)砂岩和含泥灰(云)质砂岩,按表 2 中的分类统计,其含量分别占 12.3% 和 32.1%。此类砂岩岩石颗粒较细,多以粉砂为主,且含有较多的泥质和灰质,岩石内砂质、泥质和灰质交替出现,水平纹层发育,具较多层间微裂缝,微裂缝顺层分布(图 4h)。此类岩石在宏观上很少单层出现,多与泥质、灰质互层出现,形成砂、泥、灰薄互层构造,层厚度一般为几个毫米。碳酸盐含量对此类岩石影响较大,当碳酸盐含量较高时,岩石较致密,微裂缝不发育;当碳酸盐含量较少时,岩石较疏松,层间缝

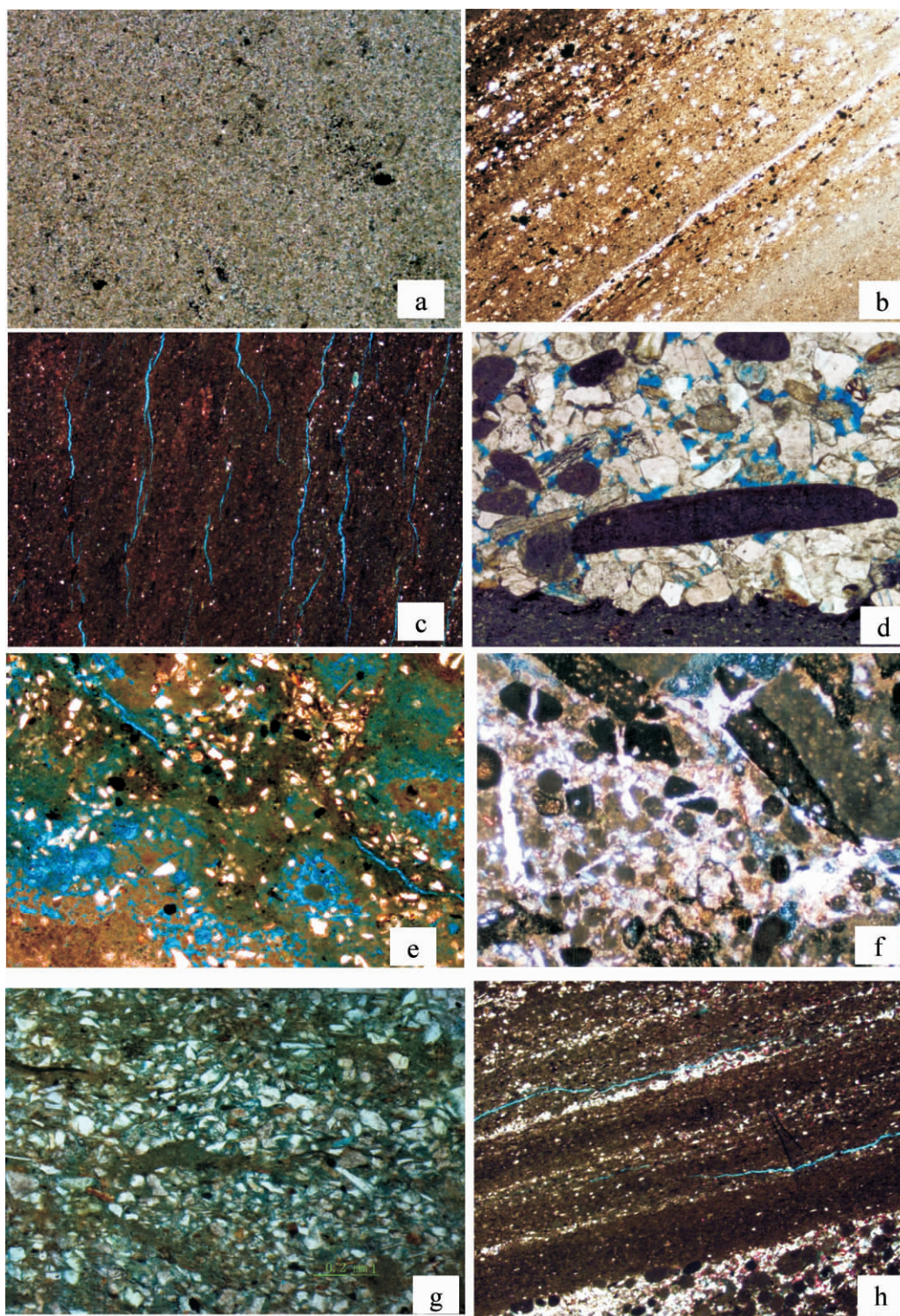


图 4 柴西北区新近系不同储集层岩石典型显微照片

a. 南浅 233 井 374.26 m, 含灰泥岩, 主要由黏土矿物和灰泥组成,  $\times 50$ ; b. 咸 19<sup>#</sup> 839.85 m, 含粉砂含灰泥岩, 微层理发育,  $\times 25$ ; c. 南 102 井 1626.0 m, 含粉砂灰质泥岩, 层间缝呈半充填,  $\times 25$ ; d. 南浅 233 井 412.7 m, 砂质含砾屑(竹叶)灰岩, 颗粒结构。见溶蚀孔、粒间孔,  $\times 50$ ; e. 南浅 3-6 井 1589.16 m, 泥晶团块灰岩, 具溶蚀孔和溶蚀缝, 溶孔中方解石重结晶及硬石膏充填,  $\times 50$ ; f. 油 109 井 504.7 m, 核形石灰岩, 由核形石及陆屑等组成,  $\times 50$ ; g. 梁 101 井 1397.07 m, 含灰含泥粉砂岩, 粉砂较均匀分布, 粒间孔及微孔发育,  $\times 100$ ; h. 梁 101 井 1294.54 m, 含灰泥质粉砂岩, 砂、泥层状交互分布, 微孔发育, 顺层微缝未充填,  $\times 25$ ;

Fig. 4 Typical microphototos of different reservoir rocks in Neogene reservoir of the northwestern Qaidam Basin

表3 柴西北区不同岩性储集层物性分布及储集空间类型

Table 3 Physical properties and pore types of different rocks of Neogene reservoir in the northwestern part of Qaidam Basin

岩性分类	孔隙度分布/%	渗透率分布/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	储集空间	储层分类
泥岩	2~15	<0.1	微孔隙	IV
碳酸盐岩	颗粒灰(云)岩	5~25	溶蚀孔、溶蚀缝、微孔隙	I
	泥晶灰(云)岩	5~20	晶间微孔、微裂缝	III
混合沉积	砂岩	5~25	粒间孔、微孔隙	I
	含泥含灰(云)砂岩	5~30	粒间孔、微孔隙、微裂缝	II
	含泥灰(云)质砂岩	5~30	粒间孔、微孔隙、微裂缝	II
	含砂含灰(云)泥岩	5~30	微孔隙、微裂缝	III
	含砂灰(云)质泥岩	5~30	微孔隙、微裂缝	III

发育,岩石易裂开,形成类似“千层饼”状形态。

### 3 储集空间

柴西北区新近纪  $N_2^3 \sim N_2^1$  地层岩石储集空间类型多种多样,通过大量岩芯观察和薄片镜下鉴定,分析认为该区储集空间类型包括原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、晶间微孔、晶间溶孔、基质内微孔、微裂缝等。总体而言,该区储层物性较差。根据储集空间类型和物性大小,将该区储层类型划分成 I~IV 四类。I 类和 II 类分别代表好和较好储集层,III 类和 IV 类分别表示较差和差(或非)储集层。表 3 为该区不同岩性储集层物性分布及储集空间类型一览表。

在统计的柴西北区新近系储层岩石中,真正的泥岩(黏土矿物 >50%) 为 1.1%, 此类岩石一般仅含有微孔隙,其它孔隙或裂缝不发育,一般为差储层或无效储集空间,储层类别划分为 IV 类。而含砂含灰(云)泥岩和含砂灰(云)质泥岩虽为泥质结构,但岩石中砂质、泥质、灰(云)质互层分布,纹层发育,此类岩石储集空间除微孔隙外,还存在较多微裂缝,具双重孔隙介质类型(图 4b、c)。储层具中孔隙度、低渗透率特点,微裂缝是此类岩石的主要渗流通道。微裂缝一般为水平层间缝,为成岩作用形成,微裂缝形成了地下流体渗流的主要通道。

研究区碳酸盐岩包括颗粒灰(云)岩和泥晶灰(云)岩,其中颗粒灰(云)岩为有效储集层,物性相对较好,孔隙结构相对复杂,发育粒间孔隙、溶蚀孔隙和溶蚀缝、构造微缝等(图 4d、e、f); 泥晶灰(云)岩主要发育晶间微孔及少量微裂缝,物性相对较差,一般为差储集层或无效储集层。

该区砂岩包括机械成因的常规砂岩和混合沉积的含泥含灰(云)砂岩及含泥灰(云)质砂岩。砂岩颗粒大小一般为粉砂和极细砂,且含有大量泥质和灰质。此类岩性储集空间为微孔隙和粒间孔隙及少量

微裂缝,储层物性相对较差,属中低孔、低渗储集层。

### 4 储集层控制因素分析

#### 4.1 压实作用

统计柴西北区南翼山、油泉子、咸水泉和小梁山四个含油构造  $N_2^3 \sim N_2^1$  储集层 3 260 块岩石物性分析资料,储集层表现出中低孔隙度和低渗透率特点。孔隙度分布在 1.0%~36.2% 之间,平均 15.6%; 渗透率分布在  $0.01 \times 10^{-3} \sim 166.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,平均  $3.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由于岩石颗粒细小,灰泥成分较多,石英、长石等刚性颗粒少,因此受压实作用影响较大,埋藏浅的岩石物性明显好于埋藏深的岩石,孔隙度和渗透率随埋深增加下降幅度明显(图 5)。尤其是孔隙度与深度之间存在较为明显的负相关,其关系式为:

$$\phi = -0.00708 D + 24.03730, \text{相关系数 } R^2 = 0.25255.$$

式中:

$\phi$ —岩石孔隙度, %

$D$ —岩石埋藏深度,  $\mu\text{m}$

按上述关系式可以计算当埋深自地表至地下 2 000 m 时,其孔隙度损失达 58.8%, 可见仅压实作用引起了储层岩石孔隙度的大幅度降低。

渗透率随深度增加也存在下降趋势,但关系不明显,这与该区储层岩石存在一定数量的微裂缝有关。因为岩石渗透率数据的测量均为地面条件下测得,岩石从地下取到地面后,在地下几乎闭合或张开程度很小的微裂缝,由于压力的释放会使裂缝微微张开,且岩石在地面因干燥缩水也会产生一些收缩缝,使得实验室内在常压下测得的岩石渗透率偏大,无法真实反映地层岩石的实际渗透率大小。

为进一步考察压实作用对岩石渗透率的影响,选取该区部分样品进行覆压下渗透率测定。考虑到柴

西北区  $N_2^3-N_2^1$  储集层埋藏深度自地面至地下约 2 000 m, 因此上覆压力设定在 2.5 MPa、5 MPa、10 MPa、15 MPa、20 MPa 和 25 MPa, 分别代表不同的埋藏深度。实验分析表明, 随着上覆压力增加, 岩石渗透率出现了不同程度地下降。统计南翼山构造 13 块样品覆压渗透率测试结果, 在上覆压力增加至最大 25 MPa 时, 渗透率损失率在 15.9% ~ 98.4%, 平均 76.1%; 小梁山 5 块样品在上覆压力增加至最大 25 MPa 时, 渗透率损失率在 86.7% ~ 99.8%, 平均达 93.6%。

由于研究区大部分储集层岩石中微裂缝是主要的渗流通道, 且这些微裂缝多为顺层的成岩层间缝, 压实作用将使这些微裂缝产生不同程度地闭合, 极大地降低了渗流能力。一般在较低覆压时, 裂缝的闭合趋势最明显, 渗透率随应力的改变而迅速改变<sup>[14]</sup>。

该区实验分析表明, 当上覆压力自初始的 2.5 MPa 增加至 10 MPa 时, 岩石渗透率下降很快, 随后逐渐增加压力至最高压力点 25 MPa 时, 渗透率缓慢下降。然后逐渐卸去上覆压力, 渗透率有增加趋势, 当上覆压力恢复到初始的 2.5 MPa 时, 渗透率难以恢复到初始状态, 说明具有较强的应力敏感性, 应力敏感引起的渗透率损失在 77% ~ 93% 之间, 平均为 83%。

图 6 是该区两块典型样品的渗透率与上覆压力关系曲线。此图表明自起点上覆压力为 2.5 MPa 时, 岩石渗透率分别为  $7.14 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $6.83 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 随后增加上覆压力至最大 25 MPa 时, 两块样品的渗透率分别下降为  $0.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $0.28 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 渗透率损失率为 94.6% 和 95.9%; 当逐渐降低上覆压力至初始 2.5 MPa 时, 样品的渗透率分别为  $1.27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $0.48 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 无法恢复至起点

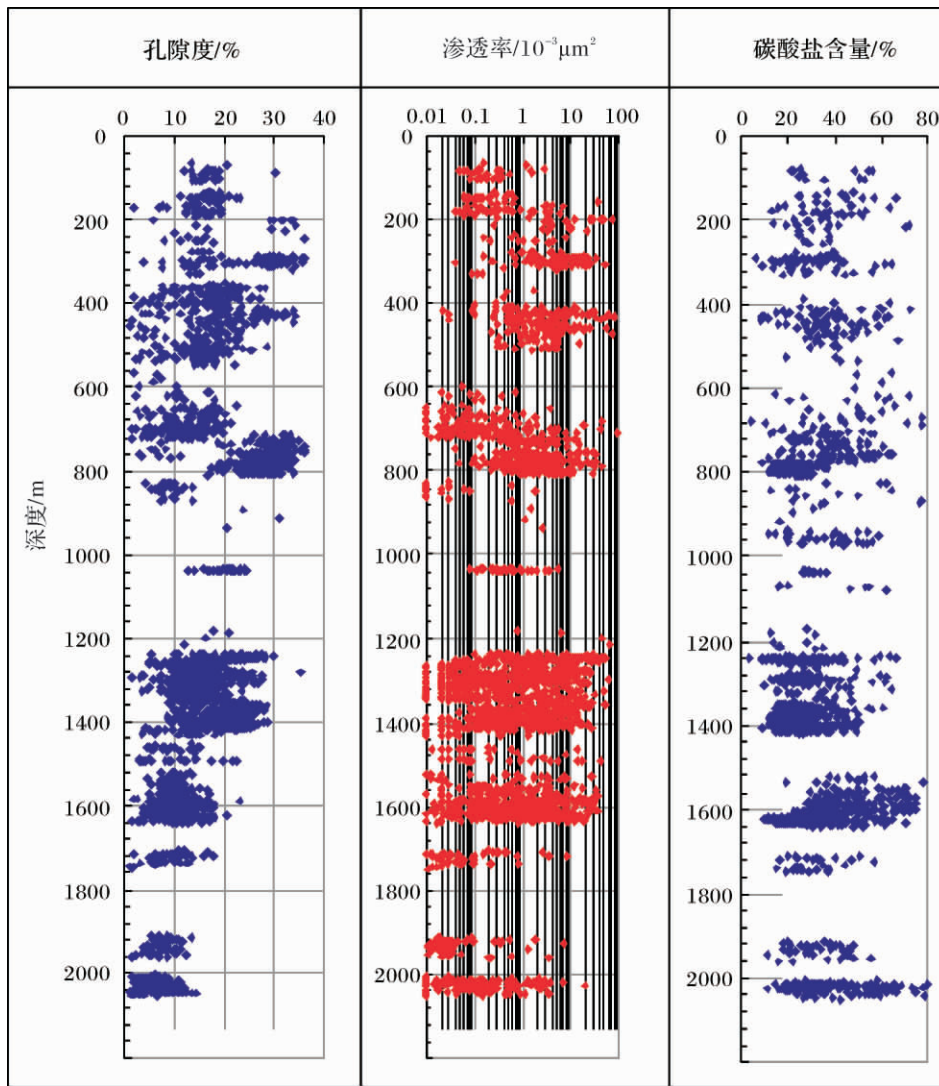


图 5 柴西北区新近系储集层岩石物性与埋藏深度关系

Fig. 5 The relationship between depth and physical properties of Neogene reservoir in the northwestern part of Qaidam Basin

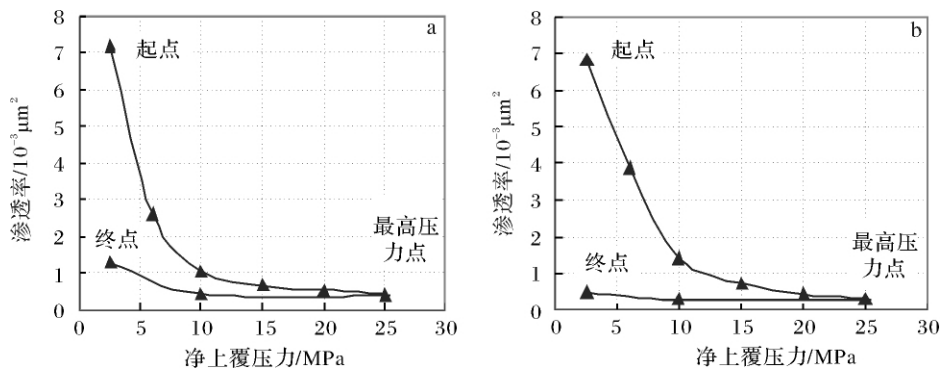


图 6 柴西北区新近系储层岩石渗透率随上覆压力变化关系

(a) 南翼山, 南浅 3-09 井, 1586.53 m,  $N_2^1$ , 含极细粒砂泥晶灰岩; (b) 小梁山, 梁 101 井, 773.73 m,  $N_2^3$ , 含砂灰质泥岩

Fig. 6 The relationship between permeability and overburden pressure of Neogene reservoir in the northwest part of Qaidam Basin

的初始值, 应力引起的渗透率损失率分别为 82.2% 和 93.0%。

微裂缝在柴西北新近系储层岩石中起着非常重要的作用, 是地层流体主要的渗流通道。刘晓旭等指出<sup>[15]</sup> 随着地下流体的采出, 裂缝系统内流体的压力必然随之下降, 储层岩石的有效应力增加, 裂缝的被压缩造成开度下降, 甚至闭合, 而这些裂缝闭合后在卸压过程中很难再张开, 尤其是水平层间裂缝的闭合更是难以恢复。因此造成储层渗透率大幅度降低, 表现为储层具有较强的应力敏感性。

上述分析表明, 该区压实作用对储集层物性具有明显的控制作用, 压实使得岩石孔隙度和渗透率均有很大程度的降低。从岩性上看, 砂岩和颗粒灰岩存在颗粒支撑, 且存在相对较多的粒间孔隙和溶蚀孔隙, 顺层成岩缝相对较少, 因此压实作用相对较弱; 而纹

层发育的泥质砂岩、灰质砂岩、泥晶灰岩等由于基本无颗粒支撑, 压实使得微裂缝失效, 压实作用对储层物性影响较强。

#### 4.2 溶蚀及胶结充填作用

溶蚀和胶结充填作用在柴西北区新近系储层岩石中普遍发育。该区岩石碳酸盐矿物含量高, 方解石矿物的溶蚀作用较为明显, 但由于沉积环境处于干旱咸化湖盆环境, 受季节影响非常明显, 水体深浅变化较为频繁, 碳酸盐含量在剖面上的变化较大(图 5), 从而使得溶蚀和胶结作用交互发生。

岩芯观察和镜下鉴定表明, 溶蚀作用多发生于碳酸盐含量较高的颗粒灰岩及泥晶灰岩中。此类岩石碳酸盐含量高, 存在粒间孔隙和微裂隙, 孔隙水可以进入这些原有孔隙和裂缝中, 部分碳酸盐矿物溶蚀使得孔隙及裂缝扩大形成溶蚀孔和溶蚀缝等(图 7a)。

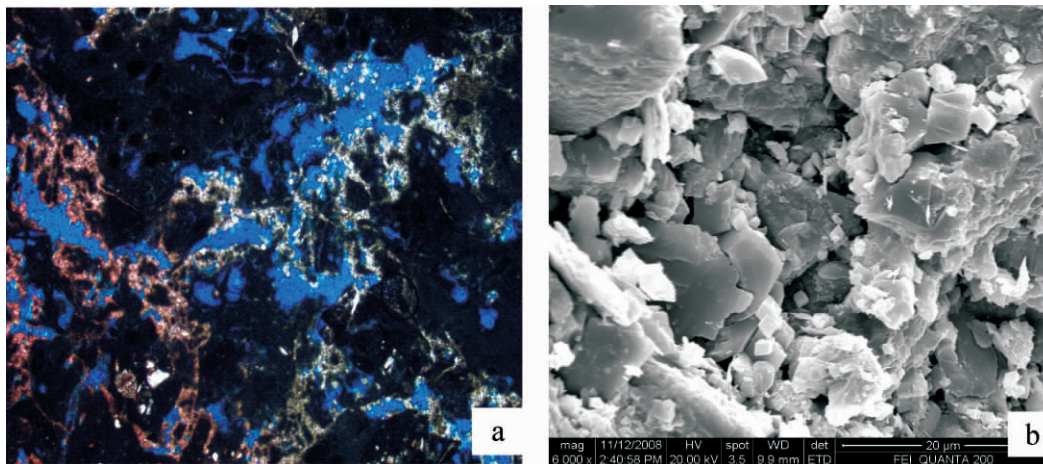


图 7 柴西北区新近系储层岩石典型溶蚀及胶结充填现象

a. 小梁山, 梁 101 井, 789.34 m,  $N_2^3$ , 藻泥晶灰岩, 溶蚀现象明显, 见晶间孔、微孔发育,  $\times 50$ , 单偏光, 铸体薄片;

b. 油泉子, 油 116 井, 658.22 m,  $N_2^2$ , 含砂灰质泥岩, 孔隙中自生方解石充填,  $\times 6000$ , 扫描电镜

Fig. 7 Typical phenomenon of corrosion and cementation in Neogene reservoir of the northwest part of Qaidam Basin



泥岩和砂岩溶蚀作用不发育,泥岩本身孔隙较少,孔隙水无法进入,砂岩孔隙内可溶解的物质较少,因此溶蚀作用不发育。胶结充填作用不仅发生在颗粒灰岩中,也发生于砂岩和泥岩中。当气候干旱处于枯水期时,因地表径流减弱,陆源供给量降低,此时孔隙及裂缝内的孔隙水将析出碳酸盐或硫酸盐而发生胶结充填作用,使得孔隙和裂缝丧失其储集和渗流能力,极大地破坏了储层(图7b)。该区储层岩石的胶结充填矿物大多为方解石和白云石,其次为硬石膏和方沸石等。

纵向上看,柴西北区新近系在上部狮子沟组( $N_3^1$ )碳酸盐含量相对较低,以陆源砂、泥沉积为主,岩性多为泥岩和砂岩,碳酸盐岩相对较少,因此溶蚀作用和胶结充填作用不强,加之埋藏浅,压实作用不强,岩石相对疏松,成岩性较差。在下部下油砂山组( $N_2^1$ )储层岩石中,水体相对较大,碳酸盐岩较发育,溶蚀作用和胶结作用均较强,加之埋藏深,压实作用较强,岩石成岩性较好。

## 5 结论

柴西北区新近系储集层岩性混杂,孔隙类型多样、储层物性较差,属于典型非常规低渗储集层。该区在新近纪  $N_2^3 \sim N_1^2$  时期广泛发育滨浅湖—较深湖相沉积,为碳酸盐岩的形成提供了沉积背景。但由于该时期气候较干旱,阵发性或季节性洪水时常注入湖盆,加之沉积区离物源相对较远,将细粒的泥质和粉砂质带入该区,这是该地区储层岩性变化大、形成陆源碎屑与碳酸盐岩混合沉积的主要原因。储集层岩石颗粒偏细,泥质、灰质和砂质混杂分布,具有混合沉积的特征,仅靠镜下薄片鉴定对岩性定名非常困难。借助X衍射全岩矿物分析,提出了“陆源碎屑”和“碳酸盐”两端元命名方案,可以很好地将该区岩性划分为泥岩、砂岩、碳酸盐及混合沉积四种类型,对于具有混合沉积特征的岩石又可进一步细分为含泥含灰(云)砂岩、含泥灰(云)质砂岩、含砂含灰(云)泥岩和含灰(云)砂质泥岩。该区储集层岩石储集空间类型多样,包括原生粒间孔、粒间溶蚀孔、层间缝、溶蚀缝、微孔隙等几种类型,储集层物性属于中低孔、低渗性质。

压实作用、溶蚀和胶结充填作用是控制该区储集层性质的主要因素,尤其是压实作用影响明显。孔隙度随埋藏深度增加出现明显的下降趋势,由于储层中微裂缝是主要的渗流通道,压实对岩石渗透率影响也

很大,储集层岩石存在较强的应力敏感性。对较深层位储层而言,压实作用是储集层物性变差的主要因素。该区溶蚀作用和胶结充填作用交互发生,是影响储层性能的主要因素。

## 参考文献(References)

- 1 寿建峰,邵文斌,陈子料,等.柴西地区第三系藻灰(云)岩的岩石类型与分布特征[J].石油勘探与开发,2003,30(4):37-39 [Shou Jianfeng, Shao Wenbin, Chen Ziliao, et al. Lithological types and distribution features of Tertiary algal-limestone in Chaixi area, Qaidam Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 37-39]
- 2 赵贤正,陈子料,陈宏德,等.柴达木盆地西部地区第三系湖相藻(蓝细菌)灰岩储层成因类型[J].沉积学报,2004,22(2):216-224 [Zhao Xianzheng, Chen Ziliao, Chen Hongde, et al. Genetic types of Tertiary lacustrine algal(cyanobacteria) limestones reservoirs in the western Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 216-224]
- 3 崔俊,陈登钱,姚熙海,等.南翼山油田浅层颗粒灰岩孔隙类型及成岩作用分析[J].特种油气藏,2008,15(4):58-62 [Cun Jun, Chen Dengqian, Yao Xihai, et al. Analysis of pore type and diagenesis of shallow grain limestone in Nanyishan Oilfield [J]. Special Oil & Gas Reservoir, 2008, 15(4): 58-62]
- 4 甘贵元,魏成章,常青萍,等.柴达木盆地南翼山湖相碳酸盐岩油气藏特征及形成条件[J].石油实验地质,2002,24(5):413-417 [Gan Guiyuan, Wei Chengzhang, Chang Qingping, et al. Characteristics and forming condition of lacustrine carbonate-rock oil and gas pool in the Nanyishan Structure of the Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(5): 413-417]
- 5 刘伟,林承焰,王国民,等.柴西北地区油泉子油田低渗透储层特征与成因分析[J].石油学报,2009,30(3):417-421 [Liu Wei, Lin Chengyan, Wang Guomin, et al. Characteristics of low permeability reservoir and its origin in Youquanzi Oilfield in the northwest part of Qaidam Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 417-421]
- 6 张宁生,任晓娟,魏金星,等.柴达木盆地南翼山混积岩储层岩石类型及其与油气分布的关系[J].石油学报,2006,27(1):42-46 [Zhang Ningsheng, Ren Xiaojuan, Wei Jinxing, et al. Rock types of mixed sedimentite reservoirs and oil-gas distribution in Nanyishan of Qaidam Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 42-46]
- 7 任晓娟,魏金星,康有新,等.柴西南翼山地区藻灰岩层储层特征及成因分析[J].沉积学报,2006,24(2):217-222 [Ren Xiaojuan, Wei Jinxing, Kang Youxin, et al. Characteristics and genetic analysis on algal limestone reservoirs, Nanyishan, Western Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(2): 217-222]
- 8 罗芳,牟中海,罗晓兰,等.柴达木盆地南翼山构造油砂山组混积沉积相特征[J].石油地质与工程,2009,23(6):5-8 [Luo Fang, Mu Zhonghai, Luo Xiaolan, et al. Mixed sedimentary facies of Youshanshan Formation in Nanyishan structure of Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(6): 5-8]
- 9 杨朝青,沙庆安.云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境:一种陆

- 源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积[J]. 沉积学报, 1990, 8(2): 59-66 [Yang Chaoqing, Sha Qingan. Sedimentary environment of the middle Devonian Qujing Formation, Qujing, Yunan Province: A kind of mixing sedimentation of terrigenous clastics and carbonate [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8(2): 59-66]
- 10 董桂玉, 陈洪德, 何幼斌, 等. 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考[J]. 地球科学进展, 2007, 22(9): 931-939 [Dong Guiyu, Chen Hongde, He Youbin, et al. Some problems on the study of the mixed siliciclastic-carbonate sediments [J]. Advance in Earth Science, 2007, 22(9): 931-939]
- 11 叶爱娟, 朱扬明. 柴达木盆地第三系咸水湖相生油岩古沉积环境地球化学特征[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(5): 472-480 [Ye Aijuan, Zhu Yangming. Geochemical and sedimentary features of Tertiary saline lacustrine source rocks in Qaidam Basin [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2006, 37(5): 472-480]
- 12 陈辉, 田景春, 蒋裕强, 等. 川中地区须二、四段湖相风暴岩沉积特征及其意义[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(5): 581-584 [Chen Hui, Tian Jingchun, Jiang Yuqiang, et al. Lacustrine tempestite sediment feature and significance in the second and fourth members of Xujiahe Formation, Upper Triassic in middle of Sichuan Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(5): 581-584]
- 13 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 151-160 [Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 151-160]
- 14 蒋海军, 鄢捷年. 裂缝性储集层应力敏感性实验研究[J]. 特种油气藏, 2000, 7(3): 41-46 [Jiang Haijun, Yan Jienian. Experimental study on stress sensibility of fractured reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoir, 2000, 7(3): 41-46]
- 15 刘晓旭, 胡勇, 朱斌, 等. 储层应力敏感性影响因素研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(3): 18-21 [Liu Xiaoxu, Hu Yong, Zhu Bin, et al. Influential factor analysis of reservoir stress sensitivity [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2006, 13(3): 18-21]

## Characteristics and Controlling Factors of the Unconventional Low Permeability Reservoir of Neogene in the Northwest of Qaidam Basin

ZANG Shi-bin ZHAO Wei-yong CHEN Deng-qian DENG Wen LU Yan-ping  
YANG Hong-mei ZHANG Xiao-bo

(Research Institute of Exploration and Development, Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202)

**Abstract:** The lithology of Neogene reservoirs in the northwest part of Qaidam Basin is very complex. The rock minerals contain terrigenous materials such as quartz and feldspar as well as lacustrine materials such as carbonate and clay minerals. In addition, the grain size of the sediment is very fine. As a result, the rocks can not be denominated easily by means of thin section examination. This paper mainly discusses four oil structures of the area, including Nanyishan, Youquanzi, Xiaoliangshan and Xianshuiquan. Based on core observation and thin section examination, with the help of X-ray diffraction analysis, the sediments of the reservoirs are considered to be mixed deposition which is composed of terrigenous clastic materials and bio-chemical carbonate minerals. A triangular graph is drawn according to the contents of clay minerals, carbonate minerals, and quartz and feldspar. So a lithology classification is put forwards and the rocks can be classified as mudstone, sandstone, carbonatite, and mixing deposited rocks. The physical properties of the reservoirs are poor, and the pore types include intergranular solution pores, micro-fractures and micro-pores. Compaction, corrosion and cementation are main factors controlling the characteristic of the reservoir.

**Key words:** north-west part of Qaidam Basin; low permeability reservoir; lithology classification; pore type; compaction