

吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩中的 自生粘土矿物特征及其成岩意义

Property and Diagenetic Significance of Authigenic Clay Mineral in Upper and Middle Jurassic Clastic Rock of Tulufan Depression, Xinjiang

刘林玉 柳益群 陈刚

Liu Linyu, Liu Yiqun and Chen Gang

(西北大学地质系, 西安, 710069)

(*Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069*)

摘要 利用岩石薄片和扫描电镜观察以及X-衍射资料研究了吐鲁番坳陷中上侏罗统碎屑岩中的自生粘土矿物特征,发现碎屑岩中的自生粘土矿物主要有五种类型,即蒙脱石、伊利石-蒙脱石混层、伊利石、绿泥石和高岭石。自生粘土矿物的形成和转化取决于碎屑岩原始矿物组分及其成岩环境。蒙脱石的迅速转化和高岭石的大量析出与碎屑岩的大规模溶解有着密切的关系。根据自生粘土矿物的组合特征,可以有效地确定碎屑岩的成岩阶段及其孔隙发育特征。

Abstract The properties of authigenic clay mineral in Upper and Middle Jurassic clastic rock were studied by means of thin sections, scanning electron microscope and X-ray diffraction. It is suggested that the authigenic clay mineral in clastic rock may be classified into five types, named montmorillonite, mixed-layer of illite and montmorillonite, illite, chlorite and kaolinite. The formation and conversion of authigenic clay mineral were dominated by initial mineral components and diagenetic environment of clastic rock. The rapid conversion of montmorillonite and the mass formation of kaolinite are related to large-scale dissolution of clastic rock. The diagenetic stage and pore-evolution properties of clastic rock can be effectively determined according to the assemblage of authigenic clay mineral.

主题词: 碎屑岩; 自生粘土矿物; 成岩作用; 吐鲁番坳陷

Key words: Clastic rock; Authigenic clay mineral; Diagenesis; Tulufan depression

分类号: P588.21

Classific. code: P588.21

• 1997-04-14 收稿, 1998-01-27 改回。

第一作者简介: 刘林玉, 男, 1965 年出生, 讲师, 沉积学专业。

吐哈（吐鲁番-哈密）盆地位于新疆东部，呈东西向延伸，是在海西期褶皱基底上发育起来的中新生代沉积盆地。吐鲁番坳陷位于吐哈盆地的西部，面积约为 28600km²（图 1）。吐鲁番坳陷中上侏罗统地层自下而上为中侏罗统^① 西山窑组、三间房组、七克台组和上侏罗统齐古组、喀拉扎组。西山窑组主要为灰色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩和砂岩夹煤层，是在潮湿气候条件下河流沉积形成的（刘林玉等，1997）。三间房-七房台组主要为灰绿色、灰色、紫色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、砂岩和砂砾岩，是在干旱-半干旱气候条件下滨浅湖、三角洲和扇三角洲沉积形成的（刘林玉等，1997）。齐古-喀拉扎组主要为棕色泥岩、粉砂质泥岩与棕色、杂色砂岩和砂砾岩，是在干旱气候条件下滨浅湖与冲积扇沉积形成的（刘林玉，1997；李文厚，1997）。河道、三角洲前缘和扇三角洲前缘沉积形成的碎屑岩构成了吐鲁番坳陷中上侏罗统地层的油气储集岩，在地质勘探中有很好的油气显示（刘林玉等，1997；刘林玉，1996）。

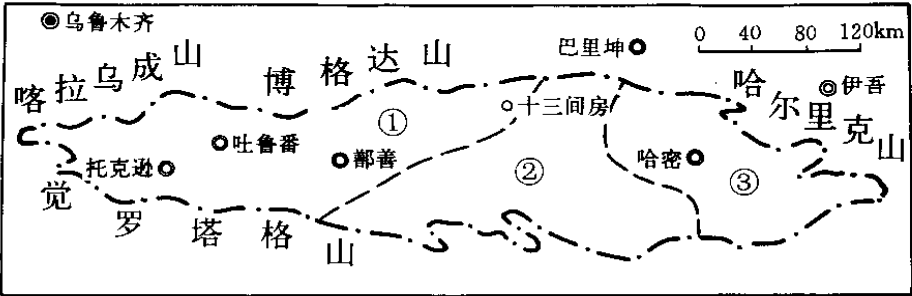


图 1 吐鲁番坳陷位置简图
①吐鲁番坳陷；②墩隆起；③哈密坳陷
Fig. 1 The location of Tulufan Depression

通过分析钻井岩芯，我们发现吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩的岩石类型主要为岩屑砂岩和长石岩屑砂岩（刘林玉，1997），其中粘土矿物是碎屑岩主要的填隙物组分之一。碎屑岩中的粘土矿物包括碎屑粘土矿物（杂基）和自生粘土矿物（胶结物）两部分。自生粘土矿物在扫描电镜下可观察到良好结晶的晶体形态，很容易与碎屑粘土矿物区分。在碎屑岩成岩过程中，粘土矿物随埋深的增大而发生转化是一种常见的成岩变化，其中蒙脱石向伊利石的转变与埋深呈函数关系（Burst，1959）。根据碎屑岩中伊-蒙混层粘土矿物的蒙脱石含量和自生粘土矿物组合特征可以确定碎屑岩的成岩阶段（郑浚茂等，1989；林西生等，1990）。在吐鲁番坳陷的油气勘探开发中，碎屑岩中自生粘土矿物的分析也为储层成岩阶段的划分提供了依据^②。本文在前人研究的基础上，通过分析蒙脱石的成岩转化和自生高岭石的形成，研究了吐鲁番坳陷不同地区中—上侏罗统碎屑岩的成岩特征，发现蒙脱石的迅速转化和高岭石的大量析出是碎屑岩大规模形成溶蚀型次生孔隙的反映，并利用伊-蒙（伊利石-蒙脱石）混层比和高岭石百分比确定了碎屑岩储层的次生孔隙发育区。

① 丘陵油田沉积相研究。
② 丘陵油田储集层研究。

1 自生粘土矿物的类型

研究中我们对 LL 井、SS 井、MM 井和 DD 井中—上侏罗统碎屑岩岩芯样品进行了扫描电镜观察,其中 LL 井碎屑岩岩芯样品采样井段为 1191.84~2893.00m,样品编号为 L₁₋₁、L₁₋₂、L₁₋₃、L₁₋₄和 L₁₋₅。SS 井碎屑岩岩芯样品的采样井段为 3024.73~3933.24m,样品编号为 S₁₋₂、S₁₋₃、S₁₋₄、S₁₋₅、S₁₋₆、S₁₋₇、S₁₋₈和 S₁₋₉。MM 井碎屑岩岩芯样品的采样井段为 2458.00~3550.58m,样品编号为 M₁₋₃、M₁₋₄、M₁₋₅、M₁₋₆、M₁₋₇、M₁₋₈、M₁₋₉、M₁₋₁₀、M₁₋₁₁和 M₁₋₁₂。DD 井碎屑岩岩芯样品的采样井段为 1987.10~3520.80m,样品编号为 D₁₋₁、D₁₋₂、D₁₋₃、D₁₋₄、D₁₋₅、D₁₋₆和 D₁₋₇。

通过扫描电镜观察发现,吐鲁番坳陷中上侏罗统碎屑岩中自生粘土矿物的主要类型为蒙脱石(照片 1, 2)、伊-蒙混层(照片 3)、伊利石(照片 4)、绿泥石(照片 5)和高岭石(F 照片 6)。自生蒙脱石主要出现于上一中侏罗统三间房组碎屑岩中,其中上侏罗统碎屑岩中自生蒙脱石分布非常广泛,多垂直于碎屑表面生长,呈蜂窝状分布。与伊利石相比,自生蒙脱石的 K₂O 含量很低。自生伊利石主要出现于中侏罗统碎屑岩中,其中三间房组—西山窑组碎屑岩中自生伊利石分布较普遍,多呈卷片状或毛发状分布于碎屑颗粒表面形成粘土膜或呈分散状分布于粒间孔隙中呈孔隙式胶结, K₂O 含量高是自生伊利石的重要特征。自生伊-蒙混层在中—上侏罗统碎屑岩中都有出现,其中在中侏罗统碎屑岩中自生伊-蒙混层分布非常广泛,多呈不规则弯曲的片状或含有毛刺的卷片状,常分布于碎屑表面形成粘土膜,自生伊-蒙混层的 K₂O 含量高于蒙脱石但低于伊利石。自生绿泥石在中上侏罗统碎屑岩中含量较低,多呈针叶状、叶片状或花朵状分布于碎屑表面或充填于粒间孔隙中。自生高岭石主要分布于中侏罗统碎屑岩中,其中三间房—西山窑组碎屑岩中自生高岭石分布广泛,是碎屑岩主要自生粘土矿物之一。自生高岭石呈书页状、手风琴状、蠕虫状或假六方板状集合体分布于粒间孔隙中形成孔隙式充填胶结,单个高岭石矿物晶体的大小一般为 1~5 μ m,最大为 10 μ m。

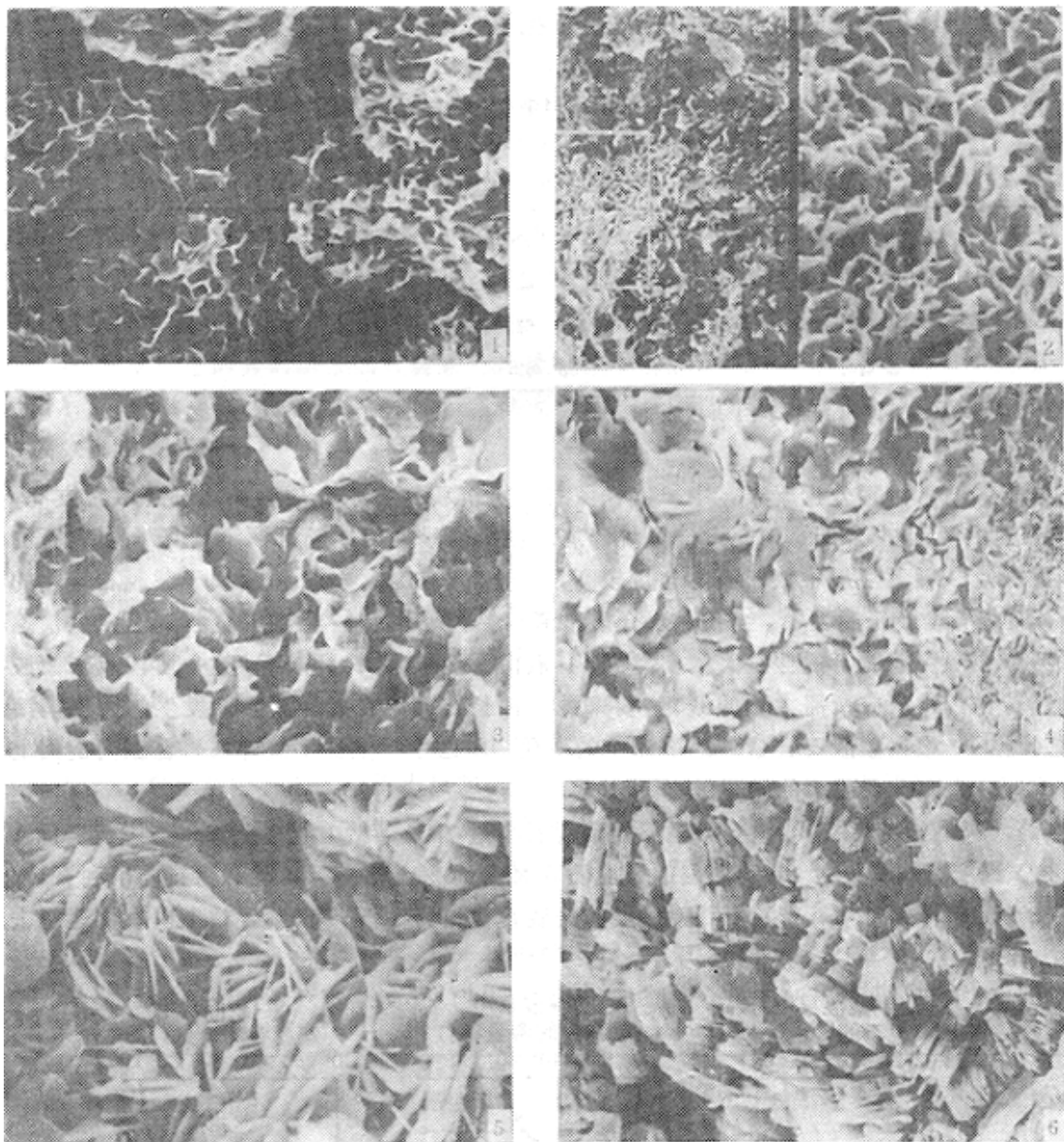
2 自生粘土矿物的成岩特征

碎屑岩中自生粘土矿物的产生取决于碎屑岩原始矿物成分、地层温度、孔隙介质的成分和 pH 值(郑浚茂等, 1989)。吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩为岩屑砂岩和长石岩屑砂岩,碎屑组分中石英碎屑的相对含量一般为 3%~30%,长石碎屑的相对含量一般为 3%~26%,岩屑的相对含量一般为 50%~92%。其中凝灰岩和中酸性喷出岩岩屑的相对含量一般为 35%~75%,它构成了碎屑岩主要的碎屑组分。碎屑岩的岩石学特征决定了在碎屑沉积物的沉积期后变化过程中形成自生粘土矿物的成岩特征。

2.1 自生蒙脱石的成岩转化

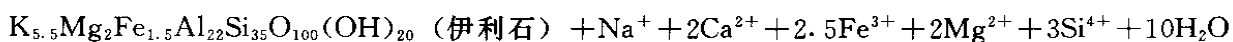
据研究,本区中—上侏罗统碎屑岩中的凝灰岩和喷出岩岩屑在成岩早期发生了强烈的水化水解作用,形成大量的自生蒙脱石(刘林玉, 1997)。水化水解作用产生的 K⁺、Na⁺等离子使孔隙水介质的 pH 值高于 7。

随着埋藏深度的增加,地层温度逐渐升高,碎屑岩中水化水解作用产生的蒙脱石逐渐脱去层间水,晶格重新排列,形成自生伊利石-蒙脱石混层(下简称伊-蒙混层),进而转变为伊



照片说明 1. 自生蒙脱石垂直于碎屑表面生长、呈蜂窝状分布, 扫描电镜, $\times 700$, L_{1-1} 号样, LL井, 齐古组。2. 分布于碎屑表现的自生蒙脱石。扫描电镜, $\times 400$, L_{1-4} 号样, LL井, 七克台组。3. 呈不规则弯曲片状分布的自生伊-蒙混层, 扫描电镜, $\times 5000$, M_{1-3} 号样, MM井, 七克台组。4. 分布于碎屑表面的卷片状自生伊利石, 扫描电镜, $\times 2500$, S_{1-6} 号样, SS井, 三间房组。5. 分布于碎屑表面的叶片状自生绿泥石, 扫描电镜, $\times 800$, M_{1-8} 号样, MM井, 西山窑组。6. 充填粒间孔隙的自生高岭高岭石集合体, 扫描电镜, $\times 2200$, M_{1-5} 号样, MM井, 三间房组。

利石 (郑浚茂等, 1989):



在蒙脱石转化中,粘土矿物的化学成分发生了改变,其中 K_2O 的含量明显升高(表 1)。

表 1 吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩中自生蒙脱石-伊利石的化学成分(%)

Table 1 The chemical composition (%) of authigenic montmorillonite-illite in Upper and Middle Jurassic clastic rock of Tulufan Depression

粘土矿物	分析方法	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	MnO	TiO ₂	FeO+Fe ₂ O ₃
蒙脱石	电子探针分析	1.51	2.64	11.71	65.58	0.74	1.99	0.11	0.80	3.75
伊-蒙混层	电子探针分析	2.61	2.43	19.47	61.01	2.38	0.30	0.09	0.14	5.02
伊利石	能谱分析	4.35	0.60	22.08	62.04	5.91	0.74		0.21	3.95

* 据 CC-1 井、LL-1 井和 QQ-1 井评价报告。

据本区微量元素分析研究,中—上侏罗统地层沉积的古水介质为淡水环境(纪友亮等, 1995),其中 K^+ 含量很低。中—上侏罗统碎屑岩在成岩早期因缺乏 K^+ ,蒙脱石向伊利石的转化非常缓慢,伊-蒙混层中蒙脱石的含量较高,一般高于 50%,这一阶段属于蒙脱石转化的渐变带。在碎屑岩成岩过程中,当孔隙水介质中 K^+ 的含量升高时,蒙脱石向伊利石发生快速转化,伊-蒙混层中蒙脱石的含量大幅度降低,一般由 50%降至 10%以下,这一阶段属于蒙脱石的迅速转化带,反应所需大量的 K^+ 主要来源于钾长石碎屑在成岩成熟期发生的大规模溶解作用(图 2)。根据蒙脱石含量随地层深度的变化,本区中—上侏罗统碎屑岩在纵向剖面上自上而下划分为四个蒙脱石的转化带:

- (1) 蒙脱石带 (I 带): 伊-蒙混层的蒙脱石超过 70%,粘土脱去孔隙水与过量层间水。
- (2) 渐变带 (II 带): 伊-蒙混层的蒙脱石含量为 70%~50%,蒙脱石明显向伊利石转化。
- (3) 迅速转化带 (III 带): 伊-蒙混层的蒙脱石含量为 50%~10%,粘土矿物快速脱去层间水。

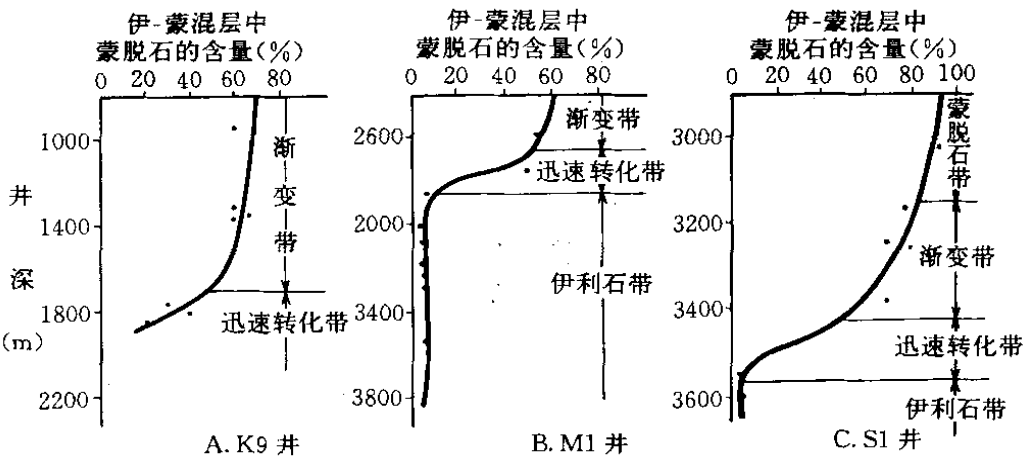


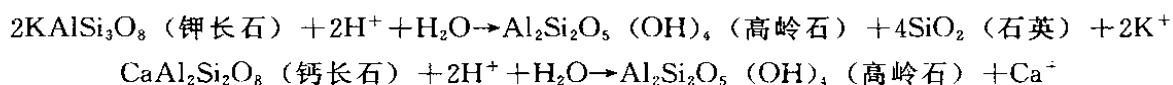
图 2 吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩中蒙脱石的成岩转化
Fig. 2 The diagenetic conversion of montmorillonite in Upper and Middle Jurassic clastic rock of Tulufan Depression

(4) 伊利石带 (Ⅳ带)：伊-蒙混层的蒙脱石超过 10%，蒙脱石逐渐消失。

在吐鲁番坳陷，不同地区中—上侏罗统地层沉积后的古埋深不一致，导致该套地层碎屑岩中蒙脱石的转化程度在不同地区存在着明显的差异，蒙脱石的迅速转化带在不同地区分布的现今埋藏深度很不一致。

2.2 自生高岭石的形成与碎屑岩的溶解作用

在我国含煤沉积盆地的含煤层系碎屑岩中，高岭石的析出与长石等碎屑矿物的溶解关系密切 (赵杏媛等, 1990; 赵杏媛等, 1988)。吐鲁番坳陷西山窑组为含煤地层，有机质丰度较高^①。该套地层中的有机质在成岩过程中分解可产生大量有机酸和 CO_2 ，这些物质运移进入碎屑岩后导致孔隙水介质呈酸性，pH 值大幅度降低。在酸性介质条件下，长石碎屑发生溶解，形成大量自生高岭石：



与其它自生粘土矿物相比较，自生高岭石析出较晚，常分布于碎屑之间或长石溶蚀孔隙内，呈孔隙式充填胶结。自生高岭石的大量生长和蒙脱石的迅速转化处于同一阶段，钾长石的高岭石化析出的 K^+ 促进了蒙脱石的转化。

岩石薄片鉴定资料显示，本区中—上侏罗统碎屑岩的填隙物组分以方解石和粘土矿物为主 (表 2)。自生高岭石的大量析出反映了中—上侏罗统碎屑岩成岩环境的改变。在酸性孔隙介质条件下，除了长石碎屑发生大规模溶解之外，方解石胶结物也发生了大规模的溶解：

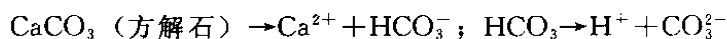


表 2 吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩填隙物的平均含量 (%)

Table 2 The average content (%) of interstitial mineral in Upper and Middle Jurassic clastic rock of Tulufan Depression

层 位	样品数(个)	粘土矿物	方解石	钠长石	石英	铁质	其 它	填隙物总量
齐古组	32	7.98	2.37	2.72	0.42	1.06		14.55
七克台组	25	9.00	7.12	0.20	0.02	0.10	微量	16.44
三间房组	22	2.0	1.30	0.14	1.26	0.05	微量	4.75
西山窑组	16	3.95	4.47	0.28	0.47	0.20		9.37

长石碎屑和方解石胶结物等碎屑岩不稳定组分的大规模溶作用发生于蒙脱石的迅速转化带，碎屑岩溶解作用产生的大量溶蚀孔隙导致蒙脱石的迅速转化带成为本区中—上侏罗统碎屑岩的次生孔隙发育带，高岭石的大量析出是溶蚀型次生孔隙发育的标志。

① 吐哈盆地吐鲁番坳陷 L.L 井生油岩评价报告。

3 自生粘土矿物的成岩意义

自生粘土矿物的形成和转化反映了碎屑岩的成岩环境, 根据碎屑岩中自生粘土矿物的组合特征可以判断碎屑岩的成岩阶段和孔隙发育特征, 据 Schmidt (1982) 的划分方案, 碎屑岩的成岩阶段分为早、中和晚三个阶段, 其中的中成岩阶段划分为未成熟期、半成熟期、成熟期和超成熟期。本区中—上侏罗统碎屑岩在不同的成岩阶段具有不同的自生粘土矿物组合(表 3)。蒙脱石带处于早、中成岩阶段的未成熟期, 碎屑岩的自生粘土矿物以分散状蒙脱石和蒙脱石含量超过 70% 的伊-蒙混层为特征, 碎屑岩以原生孔隙为主。蒙脱石渐变带处于中成岩半成熟期, 碎屑岩的自生粘土矿物以无序伊-蒙混层为特征, 碎屑岩压实作用强烈, 原生孔隙大量减少。蒙脱石迅速转化带处于中成岩成熟期, 碎屑岩的自生粘土矿物以高岭石和部分有序—有序伊-蒙混层为特征, 碎屑岩溶蚀作用较强烈, 溶蚀孔隙较为发育, 属于次生孔隙发育带。钻井取芯资料显示^①, 本区碎屑岩油层以高岭石含量高为特征, 高岭石占粘土矿物总量的百分比一般超过 30%。高岭石的相对含量反映了碎屑岩溶蚀型次生孔隙发育的程度。伊利石带处于中成岩阶段超成熟期, 碎屑岩的自生粘土矿物以伊利石为特征, 碎屑岩非常致密, 原生孔隙和次生孔隙均不发育。

表 3 吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩成岩阶段与自生粘土矿物组合的关系
Table 3 The relationship between diagenetic stage and assemblage of authigenic clay mineral in Upper and Middle Jurassic clastic rock of Tulufan Depression

成 岩 阶 段	镜煤反射率 (%)	伊-蒙混层中 蒙脱石 (%)	伊-蒙混层 转化带	自生粘土矿物组合
早成岩-中成岩未成熟期	<0.35	>70	蒙脱石带	蒙脱石和无序伊-蒙混层为主, 次为绿泥石
中成岩半成熟期	0.35~0.5	70~50	渐变带	无序伊-蒙混层为主, 次为绿泥石和伊利石
中成岩成熟期	0.5~1.3	50~10	迅速转化带	高岭石和部分有序—有序伊-蒙混层为主, 次为绿泥石和伊利石
中成岩超成熟期	1.3~2.5	<10	伊利石带	伊利石为主, 次为绿泥石

根据自生粘土矿物的组合及其演化特征研究发现, 吐鲁番坳陷中—上侏罗统在同一地区不同层位和同一层位不同地区的碎屑岩具有不同的成岩作用特征和孔隙发育特征:

(1) 上侏罗统碎屑岩处于中成岩未成熟期, 全区碎屑岩中自生粘土矿物主要为蒙脱石(照片 1), 属于蒙脱石带。根据 X-衍射分析, 碎屑岩中伊-蒙混层的蒙脱石含量超过 90%。该段碎屑岩比较疏松, 以残余粒间孔隙和填隙物内微孔隙为主, 孔隙连通性较差。

(2) 中侏罗统七克台组和三间房组碎屑岩处于中成岩阶段未成熟期—成熟期。研究中采用了 30 余口钻井岩芯碎屑岩的粘土矿物 X-衍射分析资料, 如 MM 井岩芯碎屑岩粘土矿物的 X-衍射数据(表 4), 据此我们编制了七克台组和三间房组和西山窑组碎屑岩的粘土矿物中高

① 吐哈盆地吐鲁番坳陷 MM 井储集层评价报告。

岭石的百分含量及伊-蒙混层中蒙脱石的百分含量等值线图，以此分析粘土矿物的分布特征。七克台-三间房组碎屑岩的粘土矿物中高岭石百分含量及伊-蒙混层中蒙脱石百分含量等值线图（图 3、4）显示，在吐鲁番坳陷东北区博格达山前一带和南部鄯善县以南一带，七克台组和三间房组碎屑岩处于中成岩阶段未成熟期，自生粘土矿物以蒙脱石（照片 2）为特征，属于蒙脱石带，该带以自生蒙脱石晶间微孔隙为主，孔隙连通性很差。在鄯善县北部至七克台地区和煤窑沟至葡萄沟地区，七克台组和三间房组碎屑岩处于中成岩阶段和成熟期，自生粘土矿物主要为高岭石（照片 6）和部分有序—有序伊-蒙混层，粘土矿物中高岭石的含量一般超过 30%，最高为 59.2%；七克台组碎屑岩中伊-蒙混层主要为部分有序混层，蒙脱石含量为 50%~30%，三间房组碎屑岩中伊-蒙混层主要为有序混层，蒙混石含量为 37%~16%，这两个地区碎屑岩发育溶蚀型次生孔隙，孔隙连通性好，属于七克台和三间房组碎屑岩次生孔隙发育区。除了上述地区之外，吐鲁番坳陷其它地区七克台组和三间房组碎屑岩处于中成岩阶段半成熟期，自生粘土矿物以无序伊-蒙混层为主，处于蒙脱石渐变带，碎屑岩孔隙发育较差。

表 4 吐鲁番坳陷 MM 井碎屑岩据 X 衍射数据粘土矿物含量估算的
Table 4 The X-ray diffraction data of clay mineral in clastic rock
of MM oil well from Tulufan Depression

层 位	样 号	高岭石（%）	绿泥石（%）	伊利石（%）	伊-蒙混层（%）	伊-蒙混层中的蒙脱石（%）
七克台组	M-1X	44	26	19	11	55
	M-2X	56	28	10	6	50
三间房组	M-3X	47	33		20	5
	M-4X	54	26		20	5
西山窑组	M-5X	40	34		26	5
	M-6X	45	32		23	5
	M-7X	41	32		27	5
	M-8X	42	33	25		

（3）中侏罗统西山窑组碎屑岩处于中成岩阶段半成熟—成熟期。西山窑组碎屑岩粘土矿物中高岭石含量及伊-蒙混层中蒙脱石含量等值线图（图 5）显示，吐鲁番坳陷东北区和鄯善县以南地区西山窑组碎屑岩处于中成岩阶段半成熟期，自生粘土矿物主要为无序伊-蒙混层，属于蒙脱石渐变带，碎屑岩有效孔隙不发育。在七克台至煤窑沟一带，西山窑组碎屑岩处于中成岩成熟期，自生粘土矿物以高岭石和有序伊-蒙混层为主，属于蒙脱石迅速转化带，粘土矿物中高岭石含量普遍高于 30%，最高为 60.7%，伊-蒙混层中蒙脱石的含量一般为 3%~41%，该带碎屑岩中溶蚀孔隙比较发育，是西山窑组碎屑岩的次生孔隙发育区，其中部分地区碎屑岩的次生孔隙在压实作用改造下遭到一定程度的破坏。

油气勘探资料^①显示，吐鲁番坳陷主要的油气层分布于中侏罗统碎屑岩的蒙脱石迅速转

① 吐哈盆地吐鲁番坳陷 LL 井和 MM 井储集层评价报告。

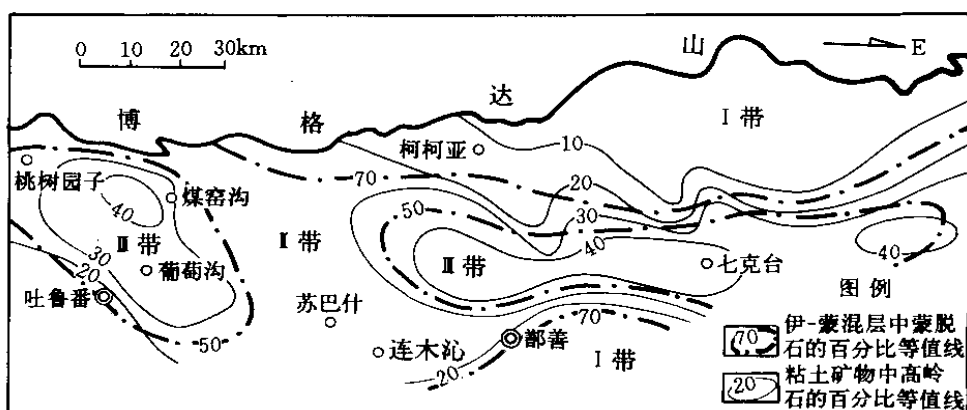


图 3 吐鲁番坳陷七克台组碎屑岩粘土矿物中高岭石的百分含量
及伊-蒙混层中蒙脱石的百分含量等值线图

Fig. 3 The percentage map of kaolinite from clay mineral and montmorillonite from mixed-layer of illite and montmorillonite in the clastic rock of Qiketai Formation in Tulufan Depression

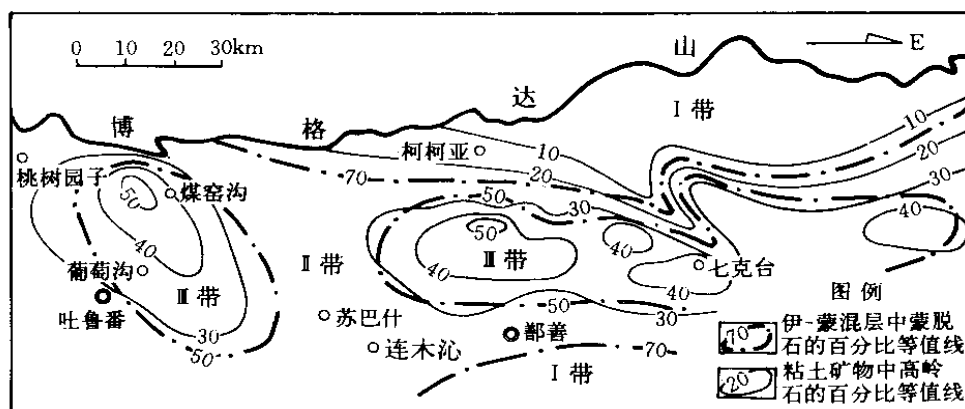


图 4 吐鲁番坳陷三间房组碎屑岩粘土矿物中高岭石的百分含量
及伊-蒙混层中蒙脱石的百分含量等值线图

Fig. 4 The percentage map of kaolinite from clay mineral and montmorillonite from mixed-layer of illite and montmorillonite in the clastic rock of Sanjianfang Formation in Tulufan Depression

化带, 碎屑岩油气层中富含自生高岭石粘土矿物。蒙脱石迅速转化带中较发育的次生孔隙改善了碎屑岩的物理性质, 使其具有较好的孔渗特征, 其中的油气层一般具有较高的产能; 而其它地区的碎屑岩则具有很低的孔隙度和渗透率, 油气储集性能很差 (表 5)。

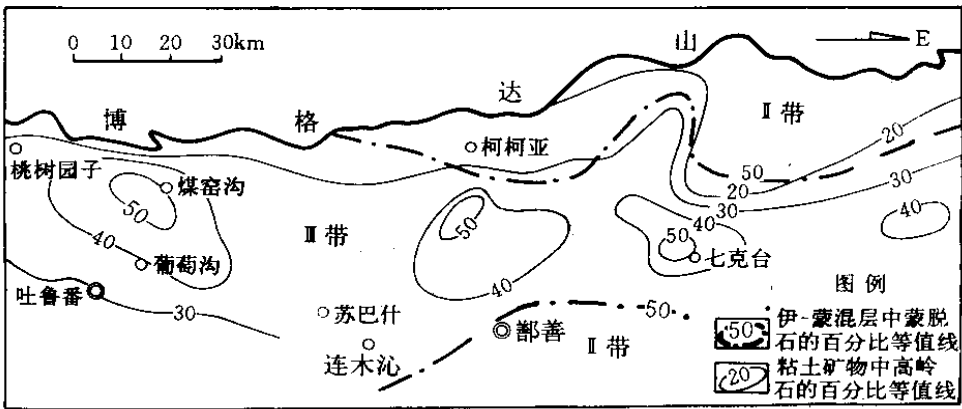


图 5 吐鲁番坳陷西山窑组碎屑岩粘土矿物中高岭石的百分含量
及伊-蒙混层中蒙脱石的百分含量等值线图

Fig. 5 The percentage map of kaolinite from clay mineral and montmorillonite from mixed-layer of illite and montmorillonite in the clastic rock of Xishanyao Formation in Tulufan Depression

表 5 吐鲁番坳陷中—上侏罗统碎屑岩物理性质

Table 5 The physical properties of Upper and Middle Jurassic clastic rock in Tulufan Depression

层 位	地区	蒙脱石转化带	孔隙度 (%)	渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)
喀拉扎-齐古组	坳陷全区	蒙脱石带	4.83~18.6	0.13~6.30
七克台组	坳陷东北区	蒙脱石带-渐变带	5.04~9.5	<0.1~0.44
	七克台地区	迅速转化带	4.5~15.4	0.1~9.22
三间房组	坳陷东北区	蒙脱石带-渐变带	4.7~11.2	0.05~1.18
	七克台地区	迅速转化带	4.5~24.4	17~1145.0
西山窑组	坳陷东北区	渐变带	2.2~9.86	0.01~0.36
	七克台地区	迅速转化带-伊利石带	3.7~18.2	0.5~23.9

综上所述，自生粘土矿物的组合及其转化反映了碎屑岩的成岩环境和成岩作用性质，利用自生粘土矿物特征可以有效地预测碎屑岩的次生孔隙发育区。

参 考 文 献

刘林玉，邸世祥. 1997. 吐鲁番坳陷中侏罗统沉积与储层孔隙发育特征. 石油与天然气地质, 18 (3): 247~260
刘林玉. 1997. 吐鲁番坳陷中上侏罗统储集层成岩作用研究. 石油实验地质, 19 (2): 173~178
刘林玉. 1996. 吐鲁番-哈密盆地中生界砂岩次生孔隙研究. 石油实验地质, 18 (3): 317~324
李文厚. 1997. 吐-哈盆地台北凹陷侏罗系层序地层学研究. 石油与天然气地质, 18 (3): 210~215

- 郑浚茂, 庞明. 1989. 碎屑储集岩的成岩作用研究. 武汉: 中国地质大学出版社. 53~99
- 林西生, 应凤祥, 郑乃萱. 1990. X射线衍射技术分析及其地质应用. 北京: 石油工业出版社. 119~130
- 纪友亮, 冷胜荣, 陈丽华. 1995. 吐哈盆地台北凹陷侏罗系沉积特征研究. 石油大学学报 (自然科学版), 19 (6): 8~15
- 赵杏媛, 张有瑜. 1990. 粘土矿物与粘土矿物分析. 北京: 海洋出版社. 291~309
- 赵杏媛, 陈洪起. 1988. 我国含油气盆地粘土矿物分析特征及控制因素. 石油学报, 9 (3): 28~37
- Schmit V 著, 陈荷立和汤锡元译. 1982. 砂岩成岩过程中的次生孔隙. 北京: 石油工业出版社. 10~90
- Burst J F. 1959. Post diagenetic clay mineral-environmental relationship in Gulf Coast Eocene. Clay and Clay Minerals, 7 (6), 327~341