

# 新疆库车坳陷侏罗系碎屑岩中粘土矿物粒径研究

王琪琪, 吴朝东

(北京大学 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 选取库车坳陷侏罗系阿合组—齐古组的碎屑岩样品, 采用跟进与离心相结合的方式将岩样进行 5 级分离, 对分离后岩样 SEM(EDS) 分析观察到不同粒径粘土矿物的形貌特征。在 20~ 2  $\mu\text{m}$  范围内的样品中, 可见片状碎屑粘土矿物; 在 < 2  $\mu\text{m}$  的样品中可见自生粘土矿物, 以集合体形式存在。对不同粒级的粘土 XRD 分析表明, 该区碎屑岩的主要粘土矿物类型为伊利石、高岭石、绿泥石和伊蒙混层, 伊蒙混层主要出现在 < 0.2  $\mu\text{m}$  范围内。高岭石的含量随着岩样粒度的变粗呈现上升的趋势, 而伊利石则相反。在气候温暖潮湿的早侏罗世和中侏罗世早期, 高岭石的含量相对高; 在气候干旱的中侏罗世晚期及晚侏罗世, 高岭石的含量减少, 伊利石则呈现相反趋势。区分不同成因的粘土矿物可以为进一步研究这一地区的沉积环境、成岩演化历史提供有力依据。

**关键词:** 库车坳陷; 碎屑岩; 粘土矿物; 粒径

中图分类号: P574. 1; P579

文献标识码: A

文章编号: 1000- 6524 (2005) 06- 0648- 05

## Particle sizes of clay minerals from Jurassic clastic rocks in Kuche depression of Xinjiang

WANG Qi-qi and WU Chao-dong

(School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** In this paper, the clastic samples from Jurassic Ahe- Qigu Formations in Kuche depression were collected. Combining the methods of synchronous pick-up and centrifuge based on Stokes Law, the authors separated the samples into five grades, namely above 20  $\mu\text{m}$ , 20~ 5  $\mu\text{m}$ , 5~ 2  $\mu\text{m}$ , 2~ 0.2  $\mu\text{m}$  and below 0.2  $\mu\text{m}$ . The SEM analysis shows different clay characteristics for different particle sizes. In 20~ 2  $\mu\text{m}$ , the existence of flaky clays suggests that the clays are mostly detrital clays; in < 2  $\mu\text{m}$ , the clays are mostly autogenic clays in the form of aggregates. The XRD analysis shows the clay minerals are mostly illite, kaolinite, chlorite and mixed-layer illite/smectite. The mixed-layer illite/smectite is mainly concentrated in < 0.2  $\mu\text{m}$  particles. The amount of kaolinite increases with coarsening lithology. In early Jurassic, the amount of kaolinite is high, but in late Jurassic, when the environment changed from dry to humid, the amount of kaolinite decreased and that of illite increased. An analysis of clays with different geneses contributes to further study of the sedimentary environment and diagenetic process.

**Key words:** Kuche depression; clastic rock; clay mineral; particle size

粘土矿物分析是沉积学重要分支之一, 被广泛用于分析母岩的性质, 粘土矿物组合的变化也是反映沉积环境和古气候演变的重要标志 (Bini and Mondini, 1992; Edoardo *et al.*, 2002)。许多学者针对粘土矿物在塔里木盆地石油地质方面的应用做了很多的探讨, 如赵杏媛 (1994, 1998) 对塔里木盆地的粘土矿物类型作了总结, 查明塔里木盆地共有 11 种类型的粘土矿物 (赵杏媛, 1994; 赵杏媛, 张有瑜, 1998); 孙玉善等 (1998) 讨论了粘土矿物研究在塔里木盆地石油勘探中及在地层对比及储集层研究中的应用 (孙玉善等, 1998)。

1992 年能源部颁布的石油天然气行业标准中针对砂岩和碳酸盐岩中 < 5  $\mu\text{m}$  及粘土岩中 < 2  $\mu\text{m}$  的粘土颗粒, 采用了沉降虹吸分离法。这种方法规定在砂岩和碳酸盐岩中 < 5  $\mu\text{m}$  的颗粒为粘土颗粒, 粘土岩中 < 2  $\mu\text{m}$  的颗粒为粘土颗粒。一般认为粘土矿物的粒径与其成因有关。他生粘土矿物通常为母岩风化产物经搬运沉积形成, 粒径较大。自生粘土矿物为后期成岩作用过程中的自生产物, 粒径通常较小。按粒径范围, 采取多粒级提取的方式, 对不同粒径范围内的粘土矿物进行研究, 才能获得更多的地质信息 (陈忠等, 1999, 1998)。

收稿日期: 2005-03-28; 修订日期: 2005-09-14

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2001CB409804)

作者简介: 王琪琪 (1980-), 女, 汉族, 硕士, 岩石矿物矿床专业。

本文以库车坳陷侏罗系的碎屑岩样品为基础,采取多粒级提取方式提取不同粒径的粘土矿物,并定量分析了不同粒径粘土矿物的相对含量,在此基础上讨论了粘土矿物与岩性及粒径的关系,并且探讨了不同粘土矿物分布与沉积环境的关系,为进一步研究这一地区的沉积环境、成岩演化历史奠定基础。

## 1 不同粒径粘土矿物分离方法

本文样品均来自库车坳陷的库车河剖面,井深为 30~2 050 m,主要为侏罗系碎屑岩,包括阿合组、阳霞组、克孜勒努尔组、恰克马克组、齐古组,分为中、下部煤系地层和上部杂色碎屑沉积两部分。

分离实验根据不同粒径分为两部分,利用同步跟进式提取粘土的方法分离 $> 5 \mu\text{m}$ 的矿物颗粒<sup>①</sup>,利用高速离心机分离 $< 5 \mu\text{m}$ 的矿物颗粒,离心机型号为 HITACHI CR22G,离心杯型号为 R22A2。这样的搭配使得提取的效率更高,效果更好。

选取未受污染的样品,破碎、粗筛,再破碎、细筛,使岩样基本通过 60 目筛。称取大约 50 g 样品,置于已编好的烧杯中,加蒸馏水,充分浸泡搅拌,使之全部分散;利用 Stokes 原理,温度控制在 20℃,采用跟进式方法,分别依次分离出 $> 20 \mu\text{m}$ 和 5~20  $\mu\text{m}$ 的颗粒;将剩余溶液放入离心管中,使用离心机先分离 5~2  $\mu\text{m}$ ,并将剩余的悬浮液倒入另编号烧杯;使用超声波分散离心管中沉淀物,再离心;重复 3 次;再离心 2~0.2  $\mu\text{m}$ ,并重复上述过程。在剩余的悬浮液中加入絮凝剂(1%的  $\text{CaCl}_2$  溶液)3~5 mL,静置 24 h,倒去上澄液;将絮凝后的粘土液倒入离心杯中,在 10 000 r/min 下离心;重复此过程 4 次最后将各级颗粒放入 40℃的烘干箱中烘干,称重。

## 2 粘土矿物形貌特征

通过 SEM(EDS)分析,可以观察到未破碎样品中粘土矿物保持着比较好的形貌,并且可以清楚地看到粘土矿物的分布特征。在破碎后的样品中,粘土粒径范围不同显示出不同的形貌特征。

### 2.1 原样中粘土矿物形貌特征

在原样中可见伊利石、高岭石、绿泥石以及伊蒙混层(图 1)。伊利石主要有两种形貌:一种成片状贴附在粒表、粒间缝中,边缘相对光滑,为陆屑蚀变产物;另一种呈丝带或丝网状分布于孔喉之中,有时呈搭桥状切断孔隙喉道,为自生伊利石。绿泥石主要成片状贴附在颗粒表面,厚度较大。高岭石呈书页状充填于孔隙中,形态完好,说明其为成岩期从孔隙溶液中直接沉淀,为自生成因。可见少量向孔隙方向生长的成卷页状的伊蒙混层。

### 2.2 20~2 $\mu\text{m}$ 粒径粘土矿物

在 20~2  $\mu\text{m}$  粒径内,可见碎屑蚀变生成的伊利石、高岭石和绿泥石(图 2)。伊利石主要呈片状,颗粒边缘有破损痕迹。高岭石呈不规则片状,颗粒边缘有破损痕迹。绿泥石主要呈片状叠加,厚度较大,颗粒轮廓清晰。可以明显看出,在非粘土粒径范围内的样品中,自生粘土矿物少见,因自生粘土矿物颗粒小,被大量分离到更小的粒径范围。大量可见碎屑蚀变生成的粘土矿物中少见完整的晶形,说明这些粘土矿物经过了长期的机械搬运过程。

### 2.3 2 $\mu\text{m}$ 粒径以下粘土矿物

在 $< 2 \mu\text{m}$  粒级内,可见大量自生伊利石与伊蒙混层,也能看见片状的伊利石、绿泥石(图 3)。自生伊利石呈丝状或

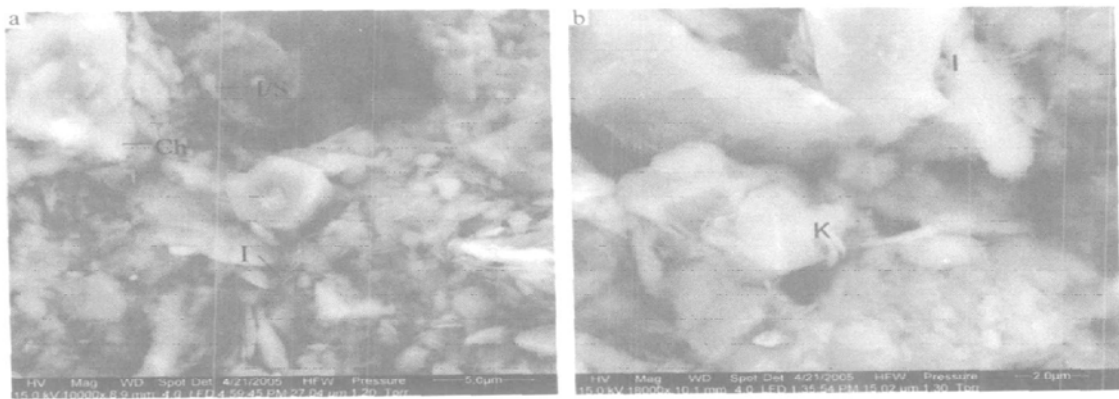


图 1 原样中粘土矿物的形貌特征

Fig. 1 Shape characteristics of clays in samples

a—片状碎屑绿泥石(Ch)、卷页状伊蒙混层(I/S); b—书页状自生高岭石(K)、搭桥状自生伊利石(I)

a—detrital chlorite, mixed\_layer illite/smectite; b—autogenetic kaolinite and illite

①冯雪,吴朝东,王琪琪,等.碎屑岩粘土矿物提取的技术改进(送审中).

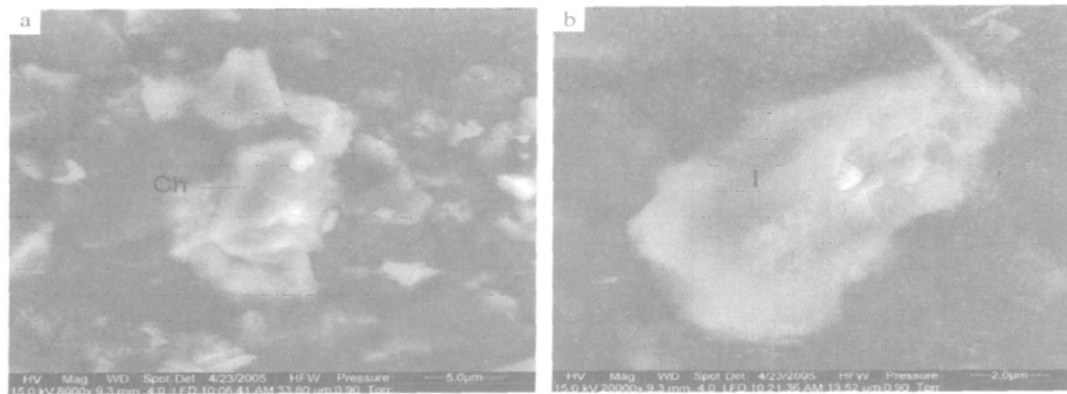


图2 20~2 μm 粒径中粘土矿物形貌特征

Fig. 2 Shape characteristics of clays in sizes of 20~2 μm  
a—碎屑成因的片状绿泥石(Ch); b—碎屑成因的片状伊利石(I)  
a—detrital chlorite; b—detrital illite

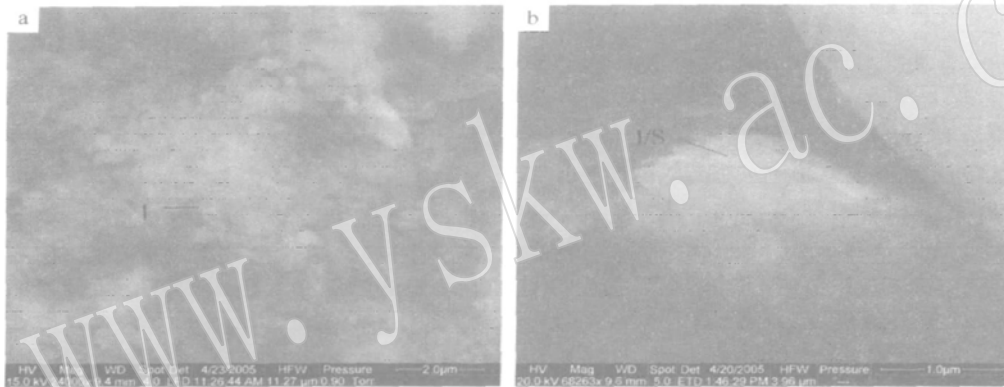


图3 2 μm 粒径以下粘土矿物形貌特征

Fig. 3 Shape characteristics of clays in sizes below 2 μm  
a—自生成因的丝状伊利石集合体(I); b—伊蒙混层(I/S)  
a—autogenetic illite; b—mixed\_layer illite/smectite

丝网状,并形成集合体。片状伊利石、绿泥石边缘模糊不清,可见破碎痕迹,可能为碎屑蚀变形成的矿物受机械力作用所致。总的说来,在粘土粒径范围内的样品中大量存在自生粘土矿物,形成集合体,也存在碎屑蚀变生成的粘土矿物颗粒,有时可见呈卷页状的伊蒙混层。

### 3 粘土矿物粒径分布分析

#### 3.1 不同岩性中粘土矿物粒径与含量分析

对阿合组一下阳霞组的泥质岩、粉砂岩、细砂岩、砂岩和粗砂岩各个粒径范围的矿物颗粒进行XRD分析,发现主要粘土矿物类型为伊利石、高岭石、绿泥石和伊蒙混层。不同粒径、不同岩性粘土矿物相对含量见表2。

##### 3.1.1 粘土矿物含量与粘土矿物粒径的关系

从图4中可以看出各粘土矿物的相对含量并非在各粒径中保持固定,也不随粒径的不同呈现简单的线形关系,但不同

的粘土矿物在不同的粒径范围中具有集中的趋势。粘土矿物中伊利石、高岭石的粒径较大,大量出现在 $> 0.2 \mu\text{m}$ 粒径范围内,而在 $< 0.2 \mu\text{m}$ 粒径范围内,伊利石和高岭石的含量明显减少。伊蒙混层只出现在 $< 2 \mu\text{m}$ 粒径范围内,并且在 $< 0.2 \mu\text{m}$ 粒径范围内含量明显增加。伊蒙混层是后期成岩作用的结果,为自生粘土矿物,这表明自生粘土矿物主要集中在 $< 0.2 \mu\text{m}$ 范围内。

##### 3.2.2 粘土矿物含量与岩性的关系

从图5中可以看出高岭石平均含量在粗砂岩中最高,在粉砂岩和细砂岩中次之,在砂岩和泥岩中较少。与之相反,伊利石平均含量在粗砂岩中最低而在砂岩和泥岩中较高。绿泥石平均含量在各个岩性中差别不大。伊蒙混层在除粗砂岩以外的其余岩性中都有出现。库车坳陷下侏罗统阿合组和阳霞组砂岩储集性能好,为主要的储层发育段。沉积环境以辫状三角洲沉积体系为主,而物源均来自盆地边缘山体的火成岩及变质岩。在古气候、沉积环境和母岩特性及分布基本一致

表 1 粘土矿物粒径与含量  
Table 1 Content of clay minerals in each sample

矿物	岩性	20~ 5 $\mu$ m	5~ 2 $\mu$ m	2~ 0.2 $\mu$ m	< 0.2 $\mu$ m	平均
伊利石	粗砂岩	33	35	32		33
	砂岩	67	67	70	60	68
	细砂岩	44	37	42	34	42
	粉砂岩	44	44	60	46	49
	泥岩	70	61	64	58	63
高岭石	粗砂岩	51	47	51		50
	砂岩	24	23	21	22	23
	细砂岩	37	47	36	33	40
	粉砂岩	37	38	28	29	33
	泥岩	17	22	26	21	22
绿泥石	粗砂岩	16	18	17		17
	砂岩	9	10	9	9	9
	细砂岩	19	16	12	14	16
	粉砂岩	19	18	12	13	16
	泥岩	13	17	11	10	13
伊蒙混层/伊蒙混层比	粗砂岩					
	砂岩			9/35		
	细砂岩			10/35	17/25	
	粉砂岩				12/25	
	泥岩				11/35	

的情况下, 粘土矿物组合的变化和岩性的变化有关系, 即高岭石的分布有随着粒径的变粗大体呈现上升的趋势, 而伊利石呈负相关关系。

3.2 不同层位中粘土矿物含量分析

取 2~ 0.2  $\mu$ m 的样品进行了 XRD 分析, 结果表明在这一地区中此粒径范围内的粘土矿物主要为伊利石、高岭石和绿泥石。伊蒙混层只在 1 个样品中出现, 因其主要出现在粒径更小的范围内。

如图 6 所示, 从克孜勒努尔组上、下部分界线(1 010 m)开始, 下伏地层中的高岭石含量明显比上覆地层中高许多, 并且从克孜勒努尔组上部一齐古组(1 010~ 30 m), 高岭石含量有随着地层厚度的减小而减少的趋势。而伊利石含量变化呈相反趋势, 从克孜勒努尔组上、下部的分界线(1 010 m)开始, 下伏地层中的伊利石的含量明显比上覆地层中的要少。从克孜勒努尔组上部一齐古组(1 010~ 30 m), 随着地层厚度的减小, 伊利石含量有增加的趋势。绿泥石的含量较为稳定, 没有明显的变化规律。

这一地区的粘土矿物组合与沉积环境的改变有密切的关系。在沉积演化中, 库车坳陷侏罗系经历了充填-湖泊变浅的过程。早、中侏罗世为充填期, 发育潮湿条件下的三角

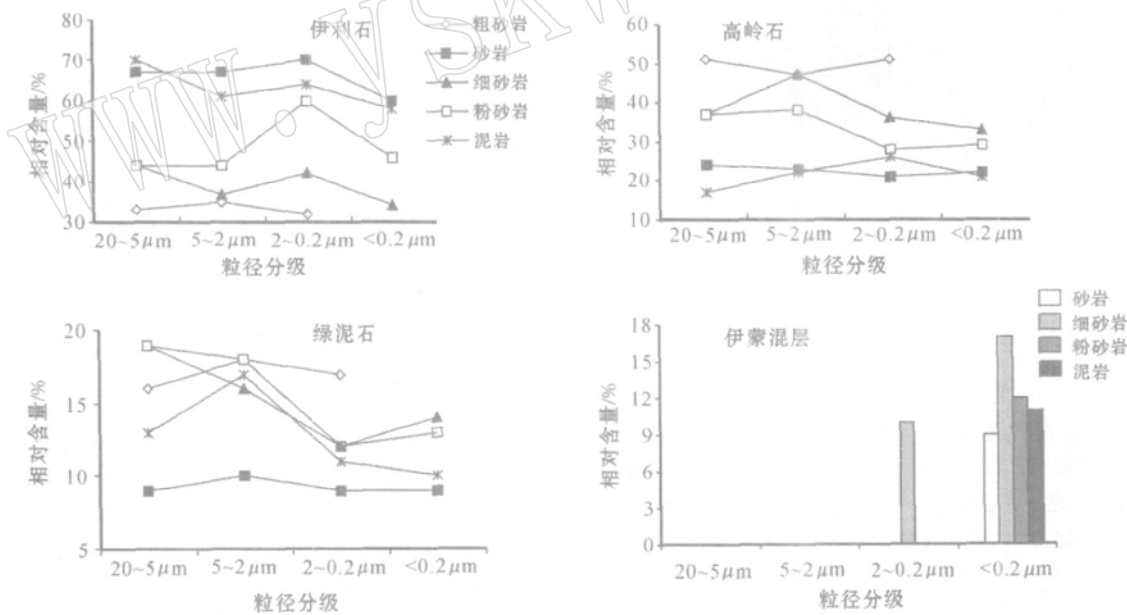


图 4 粘土矿物含量与粘土矿物粒径的关系

Fig. 4 The relative contents of clays with varying particle sizes

洲湖泊体系, 煤系地层大量发育; 到了中侏罗世后期, 气候逐渐由潮湿向干旱转化, 在晚侏罗世湖泊变浅加宽, 发育于干旱条件下的辫状河-三角洲-宽浅湖泊沉积体系(李维锋等, 2000; 吴朝东等, 2002; 何宏等, 2002)。早侏罗世和中侏罗世早期为本区气候最潮湿的时期, 碎屑来源的粘土矿物经过强烈风化淋滤, 易形成高岭石。因此在这一时期, 高岭石的含

量相对高, 伊利石的含量相对低。中侏罗世晚期(恰克马克期)的气候缓慢向干旱变化, 并在晚侏罗世形成漫长的干旱气候, 有利于伊利石广泛发育, 表现为伊利石在恰克马克组和齐古组平均含量相对高, 并且有越来越高的趋势, 而高岭石含量则明显减少。

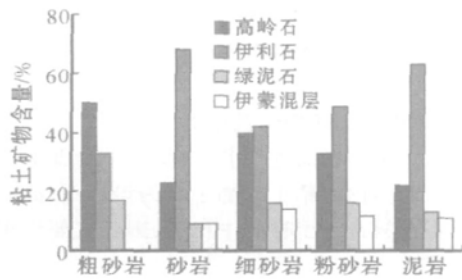


图5 粘土矿物含量与岩性的关系

Fig. 5 The relative contents of clays with varying lithology

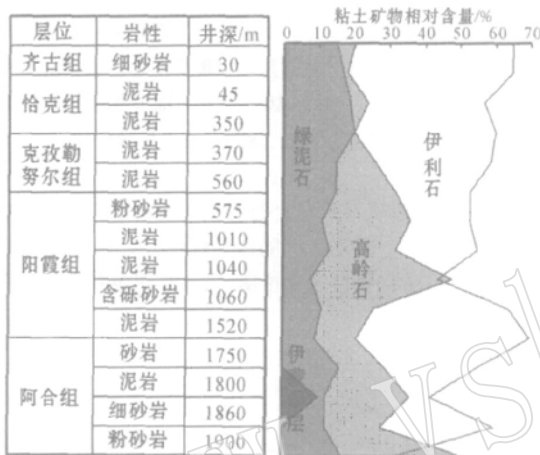


图6 库车河剖面2~0.2 μm 粘土矿物含量变化

Fig. 6 The variation in content of 2~0.2 μm clays along the section of Kuche River

## 4 结论

(1) 在未分离的库车坳陷粘土矿物样品中可以见到碎屑蚀变与自生两种成因粘土矿物。在分离后样品中,粘土矿物由于粒径的不同而呈现不同的形貌特征,20~2 μm 粒径范围内,自生粘土矿物少见,可见大量碎屑蚀变粘土矿物,在<2 μm 粒径范围内,可见大量自生粘土矿物呈集合体。

(2) 粘土粒径范围内的粘土矿物相对含量呈现规律性变化,如伊蒙混层只在<2 μm 的粒径范围中出现,并主要出现在<0.2 μm 范围内;粘土矿物含量与岩性的变化有一定关系,如高岭石的分布有随着岩石粒径的变粗呈现上升的趋势,而伊利石呈负相关关系。

(3) 粘土矿物组合的变化规律与沉积环境的改变有密切的关系。在气候温暖潮湿的早侏罗世和中侏罗世早期,高岭石的含量相对高;在气候干旱的中侏罗世晚期及晚侏罗世,高岭石的含量减少,伊利石则呈现相反趋势。

(4) 通过对不同粒径范围内的粘土矿物分析,对本地区

的粘土矿物有了较全面的了解,并对不同成因的粘土矿物存在的比例以及与粒径的关系进行了讨论。这为后续的同位素年代研究及环境科学研究等提供了有利的实验依据。

## References

- Bini C and Mondini C. 1992. Clay mineralogy of paleosoils at archaeological sites in Mediterranean environment[J]. *Mineralogica et Petrographica Acta*, XXXV(A): 245~ 252.
- Chen Zhong, Shen Daoming, Tang Hongming, *et al.* 1999. Investigation of distribution of fines and clay minerals in  $S_2^{+4}$  formation in Kelamayi[J]. *Mineral Petrol.*, 19(2): 41~ 46(in Chinese).
- Chen zhong, Shen Daoming, Zhao Jingsong, *et al.* 1998. Problems on quantitative analysis of clay minerals[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 16(1): 137~ 139(in Chinese).
- Edoardo A, Constantini C and Damiani D. 2002. Clay minerals and development of Quaternary soils in central Italy[J]. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21: 144~ 159.
- He Hong, Guo Jianhua and Gao Yunfeng. 2002. Jurassic sequence stratigraphy and sedimentary facies in Kuqa depression of Tarim Basin [J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 24(4): 1~ 3 (in Chinese).
- Li Weifeng, Wang Chengshan, Gao Zhenzhong, *et al.* 2000. Sedimentary evolution of Mesozoic Erain Kuche depression, Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(4): 534~ 538 (in Chinese).
- Wu chaodong, Lin changsong, Shen Yanping, *et al.* 2002. Sequence stratigraphy and depositional environments of the Kuche depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(3): 400~ 407 (in Chinese).
- SunYushan and YangFan. 1998. The Effect of Clay Mineral in Stratigraphic Correlation and Reservoirs Study in Tarim Basin [J] *Xinjiang Petroleum Geology*, 19(5): 397~ 400 (in Chinese).
- Zhao Xingyuan and Zhany Youyu. 1994. Some Mineralogical Characteristics of Clay Minerals in China Oil-bearing Basins[J]. *Geoscience*, 8(33): 264~ 272(in Chinese).
- Zhao Xingyuan. 1998. Types Of Clay Minerals in Tarim Basin. [J] *Xinjiang Petroleum geology*, 19(2): 137~ 144 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 陈 忠, 沈道明, 唐洪明, 等. 1999. 克拉玛依油田 S72\_4 储层地层颗粒与粘土矿物分布规律研究 [J]. *矿物岩石*, 19(2): 41~ 46.
- 陈 忠, 沈道明, 赵敬松, 等. 1998. 粘土矿物含量分析中的几个问题[J]. *沉积学报*, 16(1): 137~ 139.
- 李维锋, 王成善, 高振中, 等. 2000. 塔里木盆地库车坳陷中生代沉积演化[J]. *沉积学报*, 18(4): 534~ 538.
- 何 宏, 郭建华, 高云峰. 2002. 塔里木盆地库车坳陷侏罗系层序地层与沉积相[J]. *江汉石油学院学报*, 24(4): 1~ 3.
- 吴朝东, 林畅松, 申延平, 等. 2002. 库车坳陷侏罗纪沉积环境和层序地层分析, *沉积学报*, 20(3): 400~ 407.
- 孙玉善, 杨 帆. 1998. 粘土矿物研究在塔里木盆地地层对比及储集层研究中的作用[J]. *新疆石油地质*, 19(5): 397~ 400.
- 赵杏媛. 1998. 塔里木盆地粘土矿物类型[J]. *新疆石油地质*, 19(2): 137~ 143.
- 赵杏媛, 张有瑜. 1994. 中国含油气盆地粘土矿物的某些矿物学特征[J]. *现代地质*, 8(3): 264~ 272.