

# 粘土矿物在过去环境变化研究中的应用

隆浩<sup>1</sup>, 王晨华<sup>2</sup>, 刘勇平<sup>3</sup>, 马海州<sup>1</sup>

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 3. 青海省第一矿产地质大队, 青海 平安 810600)

**摘要:** 粘土矿物是一种广泛分布于地表的沉积物, 其组合及含量的变化记录了源区过去气候环境变化的信息。因此, 可以根据粘土矿物的含量和组合变化等信息推知其形成时期的气候环境, 重建古环境, 揭示气候环境演变的规律。粘土矿物是一种研究古环境演化重要的代用指标, 在过去气候环境变化研究中有广阔的应用前景。

**关键词:** 粘土矿物; 古环境; 代用指标

中图分类号: P59

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2007) 02-0021-05

环境问题日益成为人们共同关注的话题和研究的热点问题。自然界反映气候环境变化的记录很多, 如深海沉积物、冰芯、黄土、树轮等, 但这些代用指标的区域分布并不均匀。研究表明<sup>[1-6]</sup>, 运用粘土矿物对古气候环境的分析与孢粉、氢氧同位素等所反映的古气候信息吻合。由于粘土矿物在地表分布广泛, 在各种类型的沉积物和沉积岩中普遍存在, 而且其样品的获取简易。因此, 是在缺少冰芯、黄土、树轮等代用资料的区域, 尤其是在干旱荒漠区, 高分辨率气候重建研究比较薄弱, 缺乏提取环境变化信息时的有效方法<sup>[7-8]</sup>, 粘土矿物无疑成为这些区域重建过去气候环境变化的主要代用资料。

## 1 粘土矿物的生成环境及区域变化

粘土矿物是在一定的气候环境条件下形成的, 在各种类型的沉积物和沉积岩中普遍存在。气候环境不同, 粘土矿物的种类和组合特征也不同, 可根据粘土矿物的含量和组合推知其形

成时期的气候环境。

### 1.1 粘土矿物的生成环境

高岭石 $[Al(Si_4O_{10})(OH)_4]$ 是在温暖湿润的气候条件下, 主要由长石在酸性介质作用下经过淋滤作用形成的<sup>[9-10]</sup>。高岭石在酸性介质 $pH=5\sim6$ 条件下稳定存在, 为风化程度极高的矿物, 其存在反映了湿热的气候特征。高岭石主要产于陆地环境而不是海洋环境, 因为海洋岩石内原生水中 $K^+/H^+$ 比率高, 故不能形成高岭石<sup>[11]</sup>, 但在任何一种陆地环境中都有丰富的高岭石, 因为它的生成取决于适合的气候和介质条件。

蒙脱石 $[Al_4Si_8O_{20}(OH)_4]$ 大部分由火山物质和基性火成岩在碱性介质( $pH=7\sim8.5$ )条件下蚀变而成, 在温带半湿润区沉积物中含量比较高。其形成与水解强度有关, 只要有充足的水分, 火山物质就可以分化成蒙脱石<sup>[12]</sup>。南海粘土矿物研究表明, 蒙脱石含量高值区与有孔虫指冷层位对应, 而低值区与指暖层位对应<sup>[5]</sup>。这说明蒙脱石的存在反映了寒冷的气候特征<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2006-10-27

作者简介: 隆浩(1980-), 湖北天门人, 硕士, 主要从事湖泊沉积与环境变化研究。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

绿泥石 $[(Mg, Al, Fe)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8]$ 形成于干燥气候条件下,是在碱性条件下埋藏后经成岩作用形成,尤其是容易在富 $Mg^{2+}$ 的孔隙水中沉淀出来<sup>[13]</sup>,其含量增加代表了逐渐变为干旱的气候条件<sup>[14]</sup>。在高纬和极区以外,绿泥石的含量都很低,这反映了绿泥石在风化期间 $Fe^{2+}$ 极容易氧化,它只能在化学风化作用受抑制的地区(如冰川或干旱区)保存下来<sup>[11]</sup>,含量在成土过程中呈减少的趋势<sup>[15]</sup>。

伊利石 $[K_{2-x}Al_4(Al_{2-x}Si_{6+x}O_{20}(OH)_4)]$ 是弱碱性环境和干燥气候条件下,由钾长石在强物理风化和弱淋滤作用下风化而成,是一种较

稳定的矿物,风化程度比较低,可作为干冷气候的标志<sup>[17]</sup>。伊利石含量变化与 $CaCO_3$ 含量曲线很相似,海洋沉积物中含喜冷有孔虫的层位中伊利石的含量高<sup>[5]</sup>。

综上所述,在 $K^+/H^+$ 比率低的酸性环境中高岭石是稳定的,高岭石的存在反映了湿热的气候特征; $K^+/H^+$ 比率高的水环境中,伊利石是稳定的,其含量的增加代表气候逐渐变干冷的过程;蒙脱石的存在反映了贫 $K^+$ 的弱碱性环境和寒冷的气候特征;绿泥石形成于富 $Mg^{2+}$ 的碱性环境,记录了弱化学风化和强物理风化过程,其含量增加反映了变干燥的气候条件。

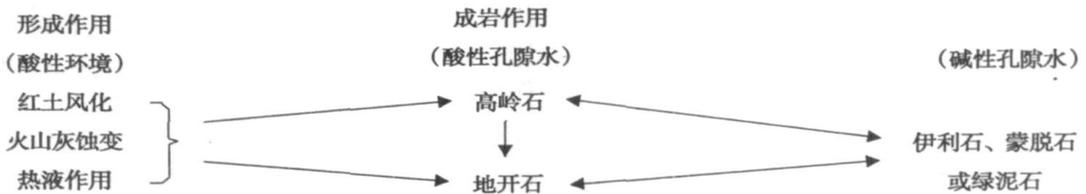


图 1 高岭石形成与转化示意图<sup>[16]</sup>

Fig. 1 Sketch map of kaolinite formation and transformation

## 1.2 粘土矿物的变化

尽管自然界生成粘土矿物的作用有风化作用、热液作用和成岩作用,但大量的粘土矿物主要是在地表风化作用中形成的。地表风化作用中形成的粘土矿物,在沉积作用和埋藏过程中可发生转变,其形成和转化与其所处的环境关系密切<sup>[17]</sup>。在成岩作用过程中粘土矿物的转化主要取决于温度和孔隙水的性质,粘土矿物的含量变化有横向和纵向变化。

横向变化是由于构造运动等因素的影响,不同物源区的矿物,由于岩性、气候、介质条件各异,经过风化、搬运和沉积所形成的粘土矿物,组合及含量各不相同。现代土壤中粘土矿物的含量与气候带之间存在明显的关系<sup>[9]</sup>,高岭石主要分布在低纬地区,绿泥石主要分布在高纬度和沙漠地区<sup>[13]</sup>,蒙脱石在南半球的含量高于北半球,伊利石主要分布在中纬度干旱、半干旱地区。我国西部由于气候干旱,受化学风化的影响小,受成岩作用的改造少,粘土矿物组成主要受物源区岩性和矿物组成的控制,不含

高岭石或含高岭石很低,而东部地区则普遍含有高岭石<sup>[18]</sup>。研究表明,从渤海、东海到南海,沉积物中高岭石含量逐渐增高,伊利石含量则逐渐减少<sup>[5]</sup>,反映了这些区域沉积的粘土矿物有着不同的物源区。

纵向变化是由于随着埋深的增加,压力和地温增高,孔隙水被大部分排出、层间水的释放以及层间阳离子的移出而引起的粘土矿物转化和变化。纵向变化反映了构造旋回、构造运动对粘土矿物组成的影响<sup>[18]</sup>。在成岩作用过程中,粘土矿物的变化除了与温度和压力有关外,更主要的是与介质条件(pH值、离子浓度)有关。在酸性孔隙水中,高岭石将稳定存在,但随着pH值增大,介质从酸性到碱性,高岭石稳定性减小,如果有 $K^+$ 存在,则转化成伊利石,如果有 $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$ 或 $Mg^{2+}$ 存在,则转化成蒙脱石或绿泥石。随着埋藏深度的增加和温度增高,高岭石将转化成地开石(图1)。

深度超过3 048 m和温度增加到100℃左右时,粘土矿物有明显的成岩变化。深度在3 048 m处<sup>[19]</sup>,温度95℃<sup>[19]</sup>时蒙脱石变成蒙脱

石—伊利石混层。随着深度进一步加深,温度在 $137^{\circ}\text{C}$ 时该间层转变成伊利石<sup>[20]</sup>。在深度超过3 658 m时,绿泥石和伊利石逐渐增加,而蒙脱石、伊—蒙混层及高岭石均逐渐降低<sup>[19]</sup>。高岭石在温度接近 $150^{\circ}\text{C}$ 开始分解,绿泥石比例增加<sup>[19]</sup>。在含碱性孔隙水的沉积物中,蒙脱石经脱水作用、离子吸附以及晶格重组等作用而形成蒙脱石—伊利石混层,蒙脱石—绿泥石混层。如果在富 $\text{K}^+$ 环境里,蒙脱石—伊利石(不规则混层)转化成伊利石(规则混层),如果有 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 存在,蒙脱石则通过蒙脱石—绿泥石混层转化成绿泥石(图2),如果孔隙水是酸性,蒙脱石也可以转化成高岭石。

伊利石和绿泥石在埋藏成岩作用过程中,若在酸性介质中二者均不稳定,可以消失或者转化为高岭石;若在碱性孔隙水中,伊利石和绿泥石稳定存在,而且结晶度增加。温暖湿润气候条件下矿物强烈水解,结晶度较低;干旱低温条件下水解比较弱,矿物的结晶度高,因此伊利石的结晶度指数变化有助于区分气候的冷干期与暖湿期<sup>[15]</sup>。



图2 蒙脱石成岩转化示意图<sup>[16]</sup>

Fig. 2 Sketch map of montmorillonite transformation

混层粘土矿物大多数为转化过程中的中间产物,往往起着一种粘土矿物变化的指示作用。伊利石和绿泥石主要是从不规则混层中形成的,吸附 $\text{K}^+$ 进入层间形成伊利石,吸附 $\text{Mg}^{2+}$ 进入层间形成绿泥石。

## 2 粘土矿物所记录的环境信息

粘土矿物主要是母岩在地表风化作用中形成的,在各种类型的沉积物和沉积岩中都有分布,但不同温度、湿度以及水介质条件下形成的粘土矿物,其组合特征和含量各不相同。以粘土矿物的这些特性为依据,可以把粘土矿物作为一项代用指标,对其源区古气候进行重建。

### 2.1 粘土矿物组合及含量变化

粘土矿物组合及含量的波动变化反映了物源区环境随时间的变化序列,记录了古环境变迁的信息。地层中粘土矿物含量出现明显的冰期、间冰期旋回,高岭石在古土壤层中其含量高于黄土层<sup>[3]</sup>。随着埋深的增加,年龄逐渐变老,伊利石和绿泥石的含量总体上在波动中增加,而高岭石和蒙脱石的含量则相应减少。周厚云等<sup>[6]</sup>据粘土矿物的含量及组合特征对珠江口北岸中7 kaB. P. 以来气候环境演化作了分析,其结果与海岸沙丘、海滩岩和海相沉积地层的资料能较好地对应,与孢粉分析结果有较好的一

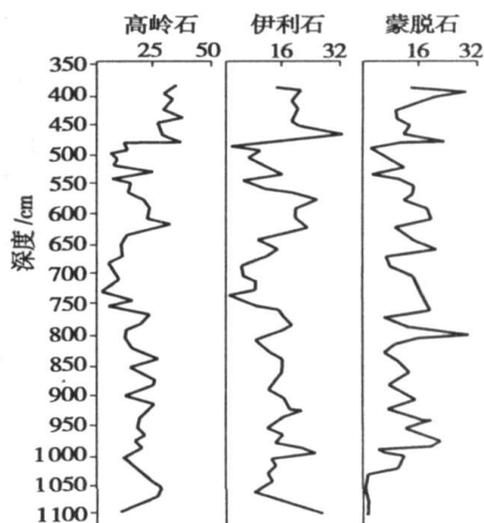


图3 珠江口北岸7.0ka B.P. 以来矿物变化<sup>[6]</sup>

Fig. 3 The change of clay minerals in north bank of Zhujiang mouth since 7.0 ka B. P.

致性,同时指出粘土矿物总量与石英含量之间存在明显的负相关关系,湿热时期沉积物较细,粘土矿物含量也较多,石英则较少,而干凉时期情况相反(图3)。当环境变化时,伊利石和蒙脱石含量的变化趋势相反<sup>[11]</sup>,伊利石和高岭石的含量向着不同的方向变化<sup>[24]</sup>。伊利石与伊利石/蒙脱石混层矿物含量的变化趋势相反(图4),伊/蒙混层矿物表明气候转为潮湿<sup>[23]</sup>,水分条件优越时伊/蒙混层含量增多,水分条件恶劣时会部分或绝大部分变成伊利石<sup>[24]</sup>。伊/绿混层矿物代表了温暖条件下的季节性干旱,伊/绿

混层比值大时,代表该时期为冷湿的气候环境<sup>[25]</sup>。绿泥石和高岭石的含量变化呈消长关系<sup>[15]</sup>,地层中粘土矿物以高岭石为主并含伊利石和绿泥石,可反映气候变冷的环境<sup>[26]</sup>。在干旱条件下形成的蒙脱石,当气候变得温湿时向高/蒙混层矿物转化<sup>[27]</sup>。程捷等<sup>[28]</sup>通过分析黄河源区粘土矿物记录的全新世环境信息(图4),把全新世气候演化分为早全新世干凉期、中全新世大暖期和晚全新世干冷期三个时期,并且在 7.0kaB.P 和 5.0kaB.P. 前后发生了两次较强的降温事件,这与其它代用指标分析的结果有比较好的一致性。总之,粘土矿物与其它代用指标所记录的环境信息一致,可为重建古环境古气候提供新资料。

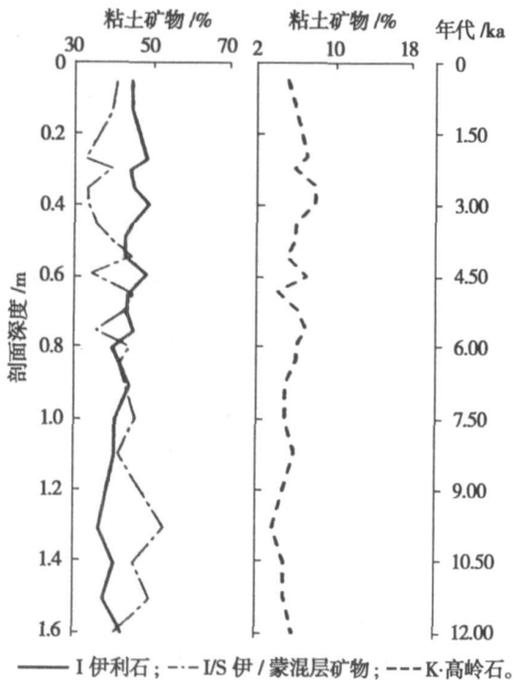


图4 黄河源区全新世粘土矿物含量变化<sup>[28]</sup>

Fig. 4 The change of clay minerals contents from Holocene profile in source area of Yellow River

## 2.2 粘土矿物所记录环境信息的区域

粘土矿物大多数是母岩风化产物,而由胶体  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  直接形成的自生粘土矿物及由火山灰蚀变产生的是比较少见的<sup>[16]</sup>。风化产物或者原地残积下来,或者经过搬运而沉积于其它区域。当陆源粘土矿物被搬运到了海洋沉

积下来时,其化学性质仍保持入海前的特征<sup>[28]</sup>,因为影响粘土矿物化学成分的主要因素是物源区母岩物质的性质和化学环境。如黄河沉积物中伊利石含量高于长江,黄河钙蒙脱石含量高于铁蒙脱石,而长江铁蒙脱石含量高于钙蒙脱石<sup>[28]</sup>,这表明长江与黄河粘土矿物的物源区气候环境不同。因此,残积型和沉积型粘土矿物主要记录了源区母岩的性质和环境,也即侵蚀区的环境,而非沉积区的环境<sup>[12,24]</sup>。史培军等<sup>[29]</sup>在毛乌素沙漠干燥堆积层中发现较高含量的高岭石,这种现象只能说明原沉积物中的高岭石并非本区域形成的高岭石。朱大岗等<sup>[23]</sup>用粘土矿物作为代用指标分析了青藏高原湖泊演化过程,结果显示高岭石含量相对增多时湖面扩张,相对含量减少时湖面收缩,而且湖泊演化的过程和阶段与其它代用指标所记录的信息基本一致。在青藏高原有较高含量的高岭石,只能说明这些高岭石是残积或沉积成因的,记录了物源区气候环境演化的过程。

## 3 结 论

尽管粘土矿物作为一种代用指标在恢复过去气候环境变化仍然具有多解性,如高岭石在冰期含量增高,蒙脱石在间冰期含量增高<sup>[3]</sup>,绿泥石含量变化与高岭石正相关<sup>[29]</sup>,但其含量及组合变化反映了粘土矿物在源区形成时期的气候环境条件,具有一定的旋回性。但随着科技水平和人们认识水平不断提高,粘土矿物作为一种代用指标的多解性会逐步得到解决,在恢复古气候环境时会得到广泛的应用,尤其是在干旱荒漠区其它代用指标不容易获得的情况下,粘土矿物会成为一种不可替代的代用指标,在未来气候环境变化研究中有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] Thiry M. Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits; an outlook from the continental origin [J]. Earth Science Review, 2000, 49(1-4): 201-221.
- [2] 陈涛,王欢,张祖青,等. 粘土矿物对古气候指示作用浅析[J]. 岩石矿物, 2003, 22(4): 416-419.
- [3] 刘志飞, C. Colin, A. Trentesaux, 等. 南海南部晚第四纪东

- 亚季风演化的粘土矿物记录[J]. 中国科学(D), 2004, 34(3): 272-278.
- [4] 孔祥乐, 项海光. 海洋沉积粘土矿物与全球变化研究的探讨[J]. 海洋湖沼通报, 2003(1): 22-25.
- [5] 蓝先洪. 海洋沉积物中粘土矿物组合特征的古环境意义[J]. 海洋地质动态, 2001, 17(1): 5-7.
- [6] 周厚云, 余素华, 郭国章. 珠江口北岸 SX97 孔孔 7kaB. P. 以来的矿物分析[J]. 热带地理, 2000, 20(3): 222-226.
- [7] Chen F. H., Shi Q., Wang J. M. Environmental change documented by sedimentation of Lake Yema in arid China since the last glaciation[J]. Journal of Paleolimnology, 1999, 22(2): 159-169.
- [8] Zhang H. C., Ma Y. Z., Wunnemann B., et al. A Holocene climatic record from arid northwestern China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2000(162): 389-401.
- [9] 鲁春霞. 粘土矿物在古环境研究中的指示作用[J]. 中国沙漠, 1997, 17(4): 456-459.
- [10] 汤艳杰, 贾建业, 谢先德. 粘土矿物的环境意义[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 337-341.
- [11] H. 布拉特, G. V. 米德顿, R. C. 穆雷. 沉积岩的成因. 北京: 科学出版社, 1978.
- [12] 唐松, 邵磊, 赵泉鸿. 南海渐新世以来粘土矿物的演变特征及意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 337-341.
- [13] 刘饮甫, 彭苏萍, 曹代勇, 等. 郑州超化煤矿山西组泥页岩中粘土矿物及地化研究[J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27(6): 9-13.
- [14] Gingele F X, De Deckker P, Hillenbrand C. D. Late Quaternary fluctuations of the Leeuwin Current and palaeoclimates on the adjacent land masses: clay mineral evidence [J]. Aust. J. Earth Sci. 2001, 48(6): 867-874.
- [15] 师育新, 戴雪荣, 李节通. 末次间冰期兰州黄土记录中的粘土矿物及其环境意义探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 7(1): 87-93.
- [16] 曾允季, 夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1986. 125-142.
- [17] 张乃娴, 万国江, 马玉光. 威宁草海沉积物中的粘土矿物及其环境记录[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 206-211.
- [18] 王行信. 盆地形成演化对粘土矿物组成和分布的影响[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(3): 154-158.
- [19] C. E. 威维尔, L. D 普拉德. 粘土矿物化学[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 4-100.
- [20] 姚合法, 林承焰, 侯建国, 等. 苏北盆地粘土矿物转化模式与古温度[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 29-34.
- [21] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学特征及其物源区气候环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336-346.
- [22] Jain M., Andon S. K. Quaternary alluvial stratigraphy and palaeoclimatic reconstruction at the Thar margin [J]. Curr Sci. India, 2003, 84(8): 1048-1055.
- [23] 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错晚更新世以来湖面变化和湖相沉积中粘土矿物显示的环境信息[J]. 地质力学学报, 2004, 10(4): 300-307.
- [24] Yemane K., Kahr G, Kelts K. Imprints of post glacial climates and palaeogeography in the detrital clay mineral assemblages of an Upper Permian fluviolacustrine Gondwana deposit from northern Malawi [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1996, 125(1-4): 27-49.
- [25] Cruz M. Clay mineral assemblages in flysch from the Campo de Gibraltar area (Spain) [J]. Clay Miner, 1999, 34(2): 345-364.
- [26] Gimley D A, Follmer L R, Hughes R E, et al. Modern Sangamon and Yamouth soil development in loess of unglaciated Southwestern Illinois [J]. Quaternary Science. Reviews, 2003, 22(2-4): 225-244.
- [27] 何良彪, 刘秦玉. 黄河与长江沉积物中粘土矿物的化学特征[J]. 科学通报, 1997, 42(7): 730-733.
- [28] 程捷, 唐德翔, 张绪教, 等. 粘土矿物在黄河源区古气候研究中的应用[J]. 现代地质, 2003, 17(1): 47-50.
- [29] 史培军. 地理环境演变研究的理论与实践—鄂尔多斯晚第四纪以来地理环境演变研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 87-93.

(下转第29页)

## Determination of Impurities in Lithium Chloride by Flame Atomic Adsorption Spectroscopy

ZHANG Gui-qin<sup>1,2</sup>, MA Pei-hua<sup>1</sup>

(1. *Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;*

2. *Graduate school of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China*)

**Abstract:** In this paper, the three dominating impurities of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in homemade lithium chloride were determined by flame atomic adsorption spectroscopy. The working conditions were investigated and the interferences of lithium on determination results of the three ions were also discussed. The recoveries of the method proven to be simple, rapid and exact are between 100.7% ~ 103.5%. And the RSD of the results is between 1.0% ~ 4.9%. The determination results are satisfactory.

**Key words:** Flame atomic adsorption spectroscopy; Determination; Lithium chloride; Impurity

(上接第 25 页)

## Application of Clay Minerals in Paleoenvironment Research

LONG Hao<sup>1</sup>, WANG Chen-hua<sup>2</sup>, LIU Yong-ping<sup>3</sup>, MA Hai-zhou<sup>1</sup>

(1. *Qinghai Institute of Salt Lakes, CAS, Xining, 810008, China;*

2. *College of Resource and Environment Science, Lanzhou University, Lanzhou, 730000, China*)

**Abstract:** Clay mineral recording plentiful environmental information of source areas during the course of its formation is one of the deposits distributed extensively on the surface of the earth. According to the contents and assembling changes of clay minerals, the rules of paleoclimate evolution can be inferred, and the paleoenvironment can be reconstructed. So, clay mineral is one of the important proxy indexes for studying the paleoenvironment evolution, the same as loess, ice core and tree ring. In arid region where there are no other proxy indexes such as loess, ice core, tree ring and so on, clay minerals may be the most important proxy to be used to reconstruct paleoclimate. Thus, it can be seen that clay minerals will have a vast application prospect in the future study on paleoenvironment evolution.

**Key words:** Clay minerals; Paleoenvironment; Proxy index