

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0690-06

我国不同气候带黄土中粘土矿物组合特征分析

师育新^{1,2} 戴雪荣² 宋之光¹ 张卫国³ 王立群²

¹(有机地球化学国家重点实验室 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

²(华东师范大学地理系 上海 200062) ³(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

摘要 在兰州黄土和下蜀黄土中粘土矿物的 X 衍射分析基础上,对我国不同纬度和气候带的五个黄土剖面(点)中的粘土矿物组合和空间分布进行了对比分析,并探讨了与古气候的关系。结果表明,黄土中粘土矿物组合具有明显的地带性特征。从西北到东南,随着纬度的逐渐降低,黄土中的粘土矿物组合也发生有规律的变化。主要表现为绿泥石含量的逐渐减少和蛭石含量的逐渐增多。位于温带半干旱区的兰州黄土以伊利石和绿泥石为主要粘土矿物,而位于亚热带湿润区的大港下蜀黄土则以伊利石和蛭石为主要粘土矿物。黄土中含有较多量的绿泥石可作为黄土母质堆积后干冷气候和微弱风化的标志,而蛭石和蛭石-绿泥石混层矿物含量的增加指示了风化强度的增强。因此,黄土粘土矿物组合特征不仅反映物源区古环境信息,而且指示了黄土堆积期后的生物气候环境。

关键词 黄土 粘土矿物 古气候

第一作者简介 师育新 女 1963 年出生 副教授 沉积与环境

中图分类号 P512.2 X141 **文献标识码** A

中国黄土具有分布广,厚度大和地层连续的特点,是世界上最完整的第四纪陆相沉积物。它记录了大约 250 万年以来东亚大陆的古气候、新构造运动、古地理等多方面的变化过程和重大地质事件,同时也记录了与全球古气候、古环境演化过程同步发展的全过程。因此成为记录全球变化的最佳地质信息标志。

在各种类型沉积岩(物)中,均有一定数量的粘土矿物分布,根据沉积物中粘土矿物组合特征来指示古气候,近 30 年来已取得较大进展,不少学者利用此法成功地解释了有关地层的古气候变化特征^[1]。黄土中粘土矿物含量较高,变化范围大约为 15%~25%。在风化、搬运、堆积和成岩作用的各个阶段,由于物理、化学及生物条件的差异,黄土中粘土矿物的成分和结构也会发生相应的变化。因此,研究黄土中的粘土矿物,有助于我们认识和了解黄土的物质来源和堆积区气候和环境。本文在对兰州黄土和下蜀黄土中粘土矿物研究的基础上,分析了不同纬度和气候带黄土(表 1)中粘土矿物的组合和含量的变化以及黄土中粘土矿物的空间分布规律,并探讨了其成因和对气候的指示意义。

1 剖面选取、采样及分析

中国黄土在这里泛指第四纪风成沉积,主要分布

在我国北方,介于北纬 30°~49° 之间,其中又以北纬 34°~45° 之间的地带最发育、厚度最大、地层最全,构成中国黄土的发育中心^[2]。根据这一分布特点本文选取了陇中、陕北、关中盆地、豫北及长江中下游五个地点的黄土剖面(点)作为对比(图 1)。这些剖面所处的具体位置及气候特点见表 1。

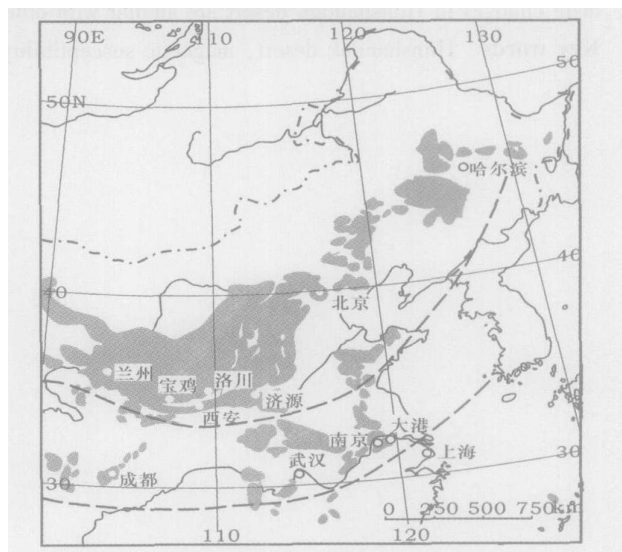


图 1 我国黄土分布及黄土剖面选取

Fig 1 Distribution of Chinese loess and sections

表 1 剖面地理位置及生物气候特征

Table 1 Localities of sections and their bio-climatic features

剖面	地点	地理位置	海拔 /m	年均气温 /	年均降水量 /mm	气候带
兰州皋兰山	甘肃兰州市黄河南	36.03 N, 103.7 E	2129.6	7	450	温带半干旱荒漠草原
洛川黑木沟	陕西洛川	35.46 N, 109.42 E		9.2	623.3	温带半湿润草原
宝鸡	陕西宝鸡	34.38 N, 107.15 E	970	13	700	温带半湿润草原
豫北黄土	河南济源	35.08 N, 112.57 E		13.8	646.4	温带半湿润草原
镇江大港砖瓦厂	江苏镇江	32.2 N, 119.44 E	80	15.4	1066	亚热带湿润森林

陇中黄土以兰州皋兰山剖面为代表,该剖面是在黄土梁顶完全由人工开挖的竖井剖面,深 45m,从上往下可鉴别出 L₀、S₀、L₁、S₁和 L₂顶部。在黄土层和古土层中共选取粘土矿物分析样品 21 个。长江中下游的下蜀黄土选择镇江大港下蜀土剖面,该剖面位于江苏镇江大港镇砖瓦厂内,地处宁镇山丘的东部、长江南岸江边的山坡上。总厚度 22m,沉积连续,不整合覆于白垩纪砂岩之上。根据野外观察到的颜色、沉积结构和土壤学特征,结合室内磁化率测量结果,该剖面可划分出四层古土壤,并可与宁镇地区其它下蜀黄土剖面作很好的对比。在黄土层和古土层中共选取粘土矿物分析样品 30 个。为了便于比较和研究,本文同时还选取兰州尘暴降尘和上海降尘(湿)做了粘土矿物分析。

陕北、关中盆地及豫北各点的黄土分别以洛川黑木沟剖面、宝鸡剖面和采自河南省济源县的黄土为代表,样品数分别为 42 个,142 个和 3 个。资料来源为文献 [3]、[4]、[5]。

粘土矿物分析采用 X 射线衍射仪。为了准确鉴定粘土矿物的种类,一般采用如下方法:对沉降法分离出的 <2 μm 的粘粒制备自然定向片,用 X-衍射

仪测定后,再将该片依次进行乙二醇饱和后测试和加热 550 处理后测试。为了区分绿泥石和蛭石,另需制备钾饱和或铵饱和片进行测试。对鉴定出的粘土矿物根据底面反射强度用权重系数法进行相对含量的半定量计算。比例系数蒙皂石为 1;伊利石为 4;高岭石和绿泥石及蛭石各为 2。

鉴定结果表明,黄土中的粘土矿物主要是 1.4 nm、1.0 nm 和 0.7 nm 矿物。样品经不同的处理后,衍射峰位置发生变化,据此鉴定出以下几种粘土矿物(图 2):

伊利石:自然定向片上有 1.0 nm、0.5 nm、0.33 nm 峰,经各种处理后各衍射峰保持不变。

绿泥石:自然定向片上有 1.4、0.7、0.47 和 0.354 nm 峰,乙二醇饱和后不变,550 加热两小时后 1.4 nm 峰移至 1.38nm,且强度增加。

高岭石:自然定向片上有 0.7 和 0.358 nm (与绿泥石的 0.354 nm 峰形成双峰),乙二醇饱和后不变,550 加热两小时后两峰消失。

蒙脱石:自然定向片上有 1.4~1.5 nm 峰,乙二醇饱和后膨胀到 1.7 nm 左右。

蛭石:自然定向片上有 1.4 nm 峰(较强)和 0.47

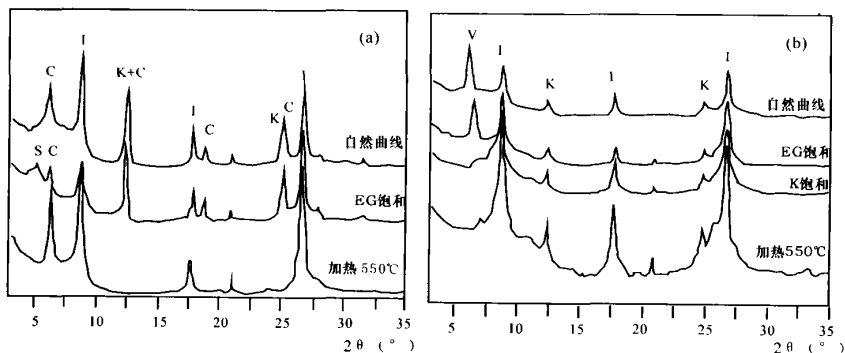


图 2 黄土中典型样品的粘土矿物 X 衍射图谱 (a: I- C - K - S 型; b: I- V - K 型)

Fig 2 X - ray diffraction patterns of clay minerals of typical samples in loess (a: type of I- C - K - S; b: type of I- V - K)

I- 伊利石; C - 绿泥石; V - 蛭石; K - 高岭石; S - 蒙皂石

I- illite; C - chlorite; V - vermiculite; K - kaolinite; S - smectite

nm 峰 (较弱); 550 加热后 1.4 nm 峰消失而 1.0 nm 峰增强 (据此区别于绿泥石), 钾饱和在常温下 1.4 nm 峰收缩为 1.0 nm 峰, 铵饱和后收缩为 1.1 nm 左右。

蛭石/绿泥石间层矿物: 在自然定向片上有 1.4 nm 峰, 钾饱和和片常温下收缩为 1.4 ~ 1.2 nm 的宽散峰, 加热 300 后才收缩为 1.0 nm。

其它间层矿物: 黄土中可能还有少量的伊利石/蒙皂石、绿泥石/蒙皂石、伊利石/蛭石等间层矿物。

2 粘土矿物组成与空间分布

表 2 是 5 个剖面 (点) 的粘土矿物组成和含量。由表中看出, 兰州黄土的粘土矿物组合为伊利石—绿泥石—高岭石—蒙皂石型。以伊利石和绿泥石为主, 其次为高岭石, 还有少量的蒙皂石。

洛川黄土的粘土矿物组合为伊利石—蒙皂石—绿泥石—高岭石型。以伊利石含量最高, 绿泥石、高岭石和蒙皂石三者含量相当, 没有明显的主次之分。与兰州黄土相比, 绿泥石含量明显减少而蒙皂石含量

明显增加。在午城黄土和离石黄土的古土壤中还有可检出量的蛭石^[3]。

豫北平原黄土粘土矿物组合为伊利石—高岭石—蛭石—蒙皂石型, 以伊利石相对含量最高, 其次为高岭石, 蛭石和蒙皂石^[4]。

宝鸡黄土的粘土矿物组合为伊利石—绿泥石/蛭石混层—高岭石—绿泥石—蒙皂石型, 以伊利石为主 (黄土中 68%, 古土壤中 66%), 其次为绿/蛭混层 (黄土中 15%, 古土壤中 16%) 和高岭石 (黄土中 13%, 古土壤中 14%), 另外有少量绿泥石和可检出量的蒙皂石^[5]。

与兰州黄土和洛川黄土相比, 豫北平原黄土和宝鸡黄土中蛭石和蛭石混层矿物明显增多, 而绿泥石和蒙皂石含量明显减少趋于消失。

位于长江下游的大港下蜀黄土粘土矿物组合与上述北方黄土明显不同, 为伊利石—蛭石—高岭石型。以伊利石和蛭石为主, 高岭石为辅。以蛭石含量较高为特征, 并且不含北方黄土中的绿泥石和蒙皂石。

表 2 不同剖面黄土中粘土矿物组成^{*}

Table 2 Content of clay minerals in different loess sections

剖面	样品数	伊利石 (%)	高岭石 (%)	绿泥石 (%)	蛭石 (%)	蒙皂石 (%)
兰州皋兰山	21	65 ~ 68 (66.7)	9 ~ 12 (10.6)	16 ~ 20 (19.7)	-	2 ~ 6 (3.1)
洛川黑木沟 ^[3]	42	60 ~ 72 (67.3)	8 ~ 11 (9.5)	7 ~ 12 (10)	+	9 ~ 19 (13.7)
宝鸡剖面 ^[5]	142	++++	++	+	++ (绿/蛭混层)	微量
豫北黄土 ^[4]	3	66 ~ 70.3 (68.3)	14.5 ~ 15.8 (15)	-	8.1 ~ 11.1 (9.2)	6.9 ~ 8.9 (7.6)
镇江大港砖瓦厂	30	52.8 ~ 70 (62.5)	6.0 ~ 11.1 (8.2)	-	20.6 ~ 38.5 (29.3)	-
兰州尘暴降尘	1	64	13	17	5	
上海降尘 (湿)	2	68	11	18	3	

*表中括弧内数字为平均值; “++++”、“+++”、“++”、“+”和“-”分别表示含量很多、中等、较少、少和未检出; “上海降尘 (湿)”是指当北方发生大范围扬沙天气时上海随雨滴降落的尘土。

上述结果显示, 所处纬度和气候带不同, 各剖面 (点) 中粘土矿物的组成和含量也在发生变化。如果将各剖面 (点) 所处纬度与其中各粘土矿物含量的变化关系做一曲线, 可以发现由西北至东南, 我国黄土中粘土矿物有如下的分布规律 (图 3):

伊利石是黄土中最主要的粘土矿物, 在所有分析剖面 (点) 中含量都较高, 变化范围在 62.5% ~ 68.1% 之间。随着纬度的降低, 其含量变化不大。

高岭石也是在所有分析剖面中都存在的粘土矿物, 变化范围在 8.2% ~ 15% 之间, 在空间上的变化也不大。

绿泥石变化范围在 0 ~ 19.7% 之间, 主要分布在

西北黄土中。以温带半干旱区的兰州黄土中含量最高, 由西北到东南随着纬度的降低, 含量迅速减少, 在豫北平原黄土中已检测不到。

蛭石 (或蛭石的混层矿物) 变化范围在 0 ~ 29.3%, 其变化趋势与绿泥石正好相反, 在兰州黄土中未检出, 由西北至东南随着纬度的降低, 相对含量逐渐增加, 在亚热带湿润区的镇江黄土中含量最高。

蒙皂石变化范围在 0 ~ 13.7%, 存在于兰州、洛川和豫北黄土中。以温带半湿润区的洛川黄土中含量最高, 豫北黄土次之。随纬度的降低总体呈减少趋势。

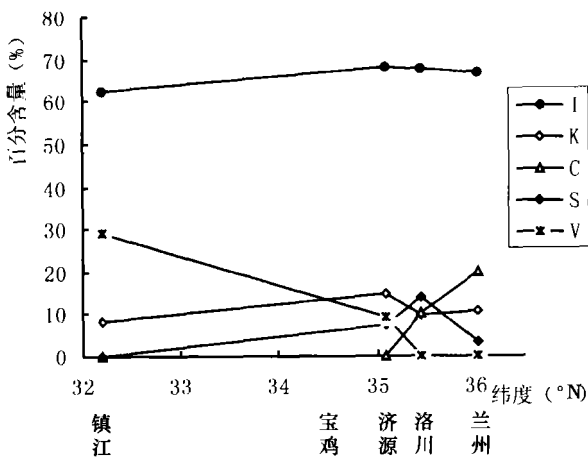


图 3 黄土中粘土矿物含量随纬度的变化

Fig 3 Variation of content of clay minerals with the latitudes

3 粘土矿物成因与古气候意义探讨

粘土矿物的形成、转化和消失受气候(温度、降水量)、母岩性质、地形等多种因素控制,是一个极其复杂的地质作用过程。而黄土作为一种气下堆积物,直接与大气圈相接触,气候对其中粘土矿物的影响是最直接的。

兰州黄土位于温带半干旱区,其粘土矿物以含有较多伊利石和绿泥石为特征,并含有蒙皂石。由主要粘土矿物形成环境^[6]来看,伊利石是在气温较低的环境下,由母质中的硅酸盐矿物风化而来,形成于淋滤作用不强的弱碱性环境。绿泥石形成环境也为弱碱性,其水镁石层内的二价铁容易氧化,所以绿泥石只能在化学风化作用受抑制的地区保存下来。蒙皂石是在富盐基、碱性介质中形成的,它可由云母类矿物或由辉石、角闪石转变过来,气候温凉有利于蒙皂石的积累^[7]。由此看出兰州黄土的粘土矿物组合反映了干冷、偏碱性的气候条件。黄土风成说的观点认为,现代尘暴代表了黄土物质迁移、沉积的过程^[2]。为了探讨黄土中粘土矿物的成因和转化机制。我们对 1993 年 5 月 5 日收集到的兰州特大尘暴沉积物中的粘土矿物进行了研究。结果显示,其粘土矿物组合为伊利石—绿泥石—高岭石—蒙皂石型,与兰州黄土中的粘土矿物组合相同,各矿物相对含量也非常相近(见表 2)。这一结果表明,对于离物源区较近的黄土高原西部来讲,黄土中绝大部分粘土矿物来自母质。因此兰州黄土中的粘土矿物组合反映了原始物质堆积后经历了较弱的风化和淋滤作用,沉积期后的变化很小,其中的粘土矿物主要是碎屑成因的,即是继承

性的或原生的。指示沉积区与物源区气候条件的相似性。这一气候带黄土的粘土矿物组合为伊利石—绿泥石型,绿泥石可作为这一气候带黄土中的标志矿物。

下蜀黄土位于亚热带湿润区,其粘土矿物组合与兰州黄土明显不同,以伊利石和蛭石为主,但不含兰州黄土中的绿泥石和蒙皂石。已有研究表明蛭石是在微酸性(pH 值一般 > 5.6)环境中,经历了淋滤作用, K、Mg 离子淋失的条件下形成的^[8],因此主要分布在温带和亚热带地区排水良好的土壤中。风化作用不十分强烈的土壤普遍含有粘粒蛭石或蛭石与云母或绿泥石形成的混层矿物,它们大多产生于云母和水云母的进一步脱钾,也可以从蒙脱石或绿泥石变来^[7]。因此蛭石是中等风化强度的产物。对长江中下游下蜀黄土,许多研究认为它与我国北方黄土一样是风成沉积的,且与北方黄土同源^[9,10]。研究表明,来自我国西北的沙尘暴南界可到北纬 25 左右。据统计,我国每年越过秦岭抵达长江中下游地区的浮尘日数在五日以上^[11]。对 2000 年 3 月和 2001 年 3 月北方发生沙尘暴天气时,在上海收集到的降尘(湿)中的粘土矿物的 X 衍射分析结果表明,其粘土矿物成分和含量与兰州尘暴降尘极其相似(见表 2,图 2),也为伊利石—绿泥石—高岭石—蒙皂石型。这一结果说明如果下蜀黄土与西北黄土具有相同的成因和物源,那么黄土母质—风扬粉尘由风力搬运到达长江中下游地区的堆积区之初,其中的粘土矿物组成与黄土高原西部的兰州黄土是基本相同的。到达堆积区以后,由于气候条件与物源区相比发生了变化,其中的粘土矿物也发生了转变。随着气温的升高和降水量的增大,风化淋滤和成土作用增强,原有的绿泥石和蒙皂石经不起风化而消失了,同时生成了新生(次生)粘土矿物—蛭石。杨守业等对长江下游下蜀黄土化学风化的研究也表明,由于气候地带性的差异,长江下游地区受海洋性季风气候影响要明显强于西北黄土,降雨量较大,使得下蜀土比西北黄土经历了较强的化学风化过程,而且下蜀土与西北黄土的化学风化趋势一致,暗示风化之处他们具有相似的化学组成^[10]。因此,长江下游下蜀黄土中的粘土矿物除原生的外,还有次生的。蛭石可以做为这一气候带黄土中的标志矿物。

陕北洛川黄土、豫北济源黄土和关中宝鸡黄土位于温带半湿润区,由于处于兰州和镇江两地之间,粘土矿物成分也兼有上述两地的特点而具过渡性,表现

为粘土矿物种类较多。各剖面(点)粘土矿物组合和含量虽然均不相同,但随着纬度的降低,呈现明显的规律性。除伊利石和高岭石相对含量变化不大外,绿泥石含量随着纬度的降低逐渐减少而蛭石含量却逐渐增多。蒙皂石含量则(比兰州黄土)先明显增多,然后又逐渐减少。表明由西北到东南随着生物气候条件的变化黄土物质遭受的风化淋滤和成土作用逐渐增强,其中的粘土矿物受到了不同程度的改造,除大部分为碎屑成因外,尚有一些次生粘土矿物生成(如蛭石和部分蒙皂石),但化学风化的强度比长江下游地区的下蜀黄土低。

4 结论

黄土中的粘土矿物成分比较复杂,有伊利石、绿泥石、高岭石、蒙皂石、蛭石以及间层矿物。以伊利石和高岭石最为常见,在所有分析样品中都能检出。黄土中粘土矿物主要是碎屑成因的,即由母质继承而来;但在风化成土作用过程中也有次生粘土矿物形成。

位于不同纬度和气候带的黄土,由于所处的生物气候条件不同,其中的粘土矿物也不同。从陇中黄土到长江下游的下蜀黄土,随着纬度的逐渐降低,粘土矿物相对含量和粘土矿物组合有规律的变化着。主要表现为绿泥石含量逐渐减少最终消失和蛭石从无到有,相对含量逐渐增多。位于温带半干旱区的兰州黄土以伊利石和绿泥石为主要粘土矿物,而位于亚热带湿润区的长江下游下蜀黄土则以伊利石和蛭石为主要粘土矿物。处于这两地之间的黄土,如洛川黄土、宝鸡黄土和豫北黄土,粘土矿物则兼有上述两地的特征而具有过渡性,表明黄土粘土矿物组合特征不仅反映物源区古环境信息,而且指示了黄土堆积期后的生物气候环境条件。黄土中含有较多的绿泥石可作为黄土母质堆积后干冷气候和微弱风化的标志,而蛭石及其间层矿物含量的增高指示了堆积区温(暖)湿(润)气候和化学风化程度的加深。

参考文献 (References)

- 1 汤艳杰,贾建业,谢先德. 粘土矿物的研究意义. 地学前缘, 2002, 9 (2): 337 ~ 344 [Tang Yanjie, Jia Jianye, Xie Xiande. Environment significance of clay minerals. *Geology Science Frontier*, 2002, 9 (2): 337 ~ 344]
- 2 刘东生等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 14 ~ 27 [Liu Dongsheng, et al. *Loess and the environment*. Beijing: Science Press, 1985. 14 ~ 27]
- 3 郑洪汉. 中国黄土中粘土矿物的古气候记录. 第四纪研究, 1985, 6 (2): 41 ~ 47 [Zheng Honghan. Paleoclimatic records of clay minerals in Chinese loess. *Quaternary Sciences*, 1985, 6 (2): 41 ~ 47]
- 4 唐诵六, 顾新运, 罗家贤. 豫北第四纪沉积物的矿物特征. 土壤学报, 1979, 16 (2): 157 ~ 163 [Tang Songliu, Gu Xinyun, Luo Jiexian. Mineralogical characteristics of the Quaternary sediments in Northern Henan province. *Acta Pedologica Sinica*, 1979, 16 (2): 157 ~ 163]
- 5 Kahn V E, Rutter N W, Rokosh C D. Clay minerals and their paleoenvironmental interpretation in the Baoji loess section, Southern Loess Plateau, China. *Catena* 1996, 27: 49 ~ 61
- 6 陆景冈. 土壤地质学. 北京: 地质出版社, 1997. 14 ~ 23 [Lu Jinggang. *Geopedology*. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 14 ~ 23]
- 7 熊毅. 土壤胶体 (第二册). 北京: 科学出版社, 1985 [Xiong Yi. *Soil Colloid* (Ed 2). Beijing: Science Press, 1985]
- 8 徐凤琳, 李学垣, 黄巧云, 等. 鄂湘两省山地土壤粘粒矿物的研究. 土壤学报, 1990, 27 (3): 293 ~ 300 [Xu Fenglin, Li Xueyuan, Huang Qiaoyun. Studies on the clay minerals of mountain soils in Hubei and Hunan provinces. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27 (3): 293 ~ 300]
- 9 李徐生, 杨达源, 鹿化煜. 镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探. 海洋地质及第四纪地质, 2001, 21 (1): 25 ~ 31 [Li Xusheng, Yang Dayuan, Lu Huayu. Grain-size features and genesis of the Xiashu Loess in Zhenjiang. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21 (1): 25 ~ 31]
- 10 杨守业, 李从先, 李徐生, 等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究. 地球化学, 2001, 30 (4): 402 ~ 406 [Yang Shouye, Li Congxian, Li Xusheng, et al. Geochemical records of chemical weathering of the Xiashu Loess in the Lower reaches of the Changjiang River. *Geochimica*, 2001, 30 (4): 402 ~ 406]
- 11 Lu Huayu, Vandenberghe J F, An Zhisheng. Aeolian and palaeoclimatic implication of the 'Red Clay' (North China) as evidences by grain-size distribution. *Journal of Quaternary Science*, 2001, 16 (1): 226 ~ 232

Characteristics of Clay Mineral Assemblages and Their Spatial Distribution of Chinese Loess in Different Climatic Zones

SHI Yu-xin^{1,2} DAIXue-rong² SONG Zhi-guang¹ ZHANG Wei-guo³ WANG Li-qun²

1(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640) 2(Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062)

3(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract Chinese loess, the Quaternary aeolian deposits in another term, covers a nationwide area from the east China coast to the northwest inland desert. Studies show that the origin of clay minerals bears relation to the formation and evolution of loess. To understand and explain the differences of loess under different climatic conditions, this paper constructs a NWW-SEE cross-section which consists of five representative loess profiles (sites) in central Gansu (Lanzhou), northern Shaanxi (Luochuan), central Shaanxi (Baoji), northern Henan (Jiyuan) and the lower reaches of the Yangtze river (Zhenjiang), respectively. Samples taken from Lanzhou loess and Zhenjiang loess, and also from the present dust-storm deposits were analyzed by using X-ray diffraction system. Preliminary conclusions can be drawn as follows:

In both loess and the dust-storm deposits, a number of clay minerals were examined through X-ray diffraction. They are illite, chlorite, vermiculite, kaolinite, smectite group and mixed layer minerals. In Lanzhou loess illite and chlorite are dominant, but in Zhenjiang loess the clay mineral assemblage is illite-vermiculite type. Comparing with other loess profiles ranging between Lanzhou and Zhenjiang, it is found that the clay mineral assemblage changes gradually from northwest to southeast. Along with the latitude getting lower, the content of chlorite decreases, while the content of vermiculite increases. This implies that clay mineral assemblage must have close reference to the climate. The dry and cold climate favors for the formation of chlorite, the warm and humid climate benefits for vermiculite. Furthermore, the content of vermiculite and its interstratified minerals can also be a proxy of weathering intensity. To conclude, the clay mineral assemblage of loess can be used to trace the source of mother material and understand the post-depositional climate conditions.

Key words loess, clay mineral, paleoclimate