

文章编号: 1000-0550(2009)03-0518-07

吕梁山西麓红粘土和水成堆积物之间的关系^①

李建星^{1,2} 岳乐平¹ 徐永¹ 孙勃¹ 孙蒨¹ 王晓勇²

(1 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西安 710069; 2 中国地质调查局西安地质调查中心 西安 710054)

摘要 通过对吕梁山前(西)山西保德剖面和柳林剖面的野外考察,结合前人研究成果,研究了新近纪地层的组成及空间分布。新近纪地层自下而上可以分为三段:下段为水成砂砾石层,上段为风尘堆积的红粘土,中部则为二者的过渡带。柳林剖面的详细研究揭示了水成堆积物与红粘土的细部特征:粗粒的砾岩和砂岩常切穿红粘土层,而粒度与红粘土相近的泥岩则常与红粘土平行产出。野外调查结合区域资料分析表明新近系各组成成分空间分布具有明显的规律性:靠近吕梁山(保德剖面)下部水成堆积物粒度较粗且厚度较大,红粘土厚度相对较薄;背离吕梁山下部水成堆积物逐渐变细且厚度减薄(柳林剖面、府谷剖面)直至尖灭(佳县剖面),与之伴生的是红粘土厚度逐渐增大;中间过渡带中水成堆积物与红粘土的比例与此相似,即区域上吕梁山前的水成堆积物呈楔状“侵入”于红粘土的中下部。红粘土与水成堆积物的关系的确立为更好的理解红粘土的成因、吕梁山的新生代隆升历史及恢复新近纪晚期的古气候演变具有重要意义。

关键词 吕梁山 红粘土 水成堆积物 关系

第一作者简介 李建星 男 1977年出生 在读博士 构造地质学 E-mail: ljianxing2005@163.com

中图分类号 P512.2 P534.63 文献标识码 A

中国北方广布的红粘土因其含有丰富的古生物化石和古气候、古环境信息而倍受广大学者的关注。红粘土研究的焦点主要集中于粒度、磁化率、组成矿物等能记录古气候信息的各项指标和成因、磁性地层学等几个方面^[1-14]。红粘土记录古气候环境信息的前提是红粘土与上覆的黄土—古土壤序列一样是风尘堆积^[13, 15-22]。但是不少学者注意到在红粘土的底部常可见有河湖相沉积物与之共生^[23-26]且在红粘土中赋存有大量的三趾马动物化石^[27-29],因此红粘土的风成说一直也受到质疑^[23-26, 28-31]。红粘土风成成因之所以受到质疑是红粘土、再搬运的红粘土与水成堆积物中(尤其是粒度与红粘土相近的泥岩)三者空间上关系不明所致。事实上,早有学者意识到红粘土与水成堆积物空间关系的重要性并通过不同的手段初步讨论了中国黄土高原地区黄土、红色粘土与湖相堆积物之间的关系^[32, 33]。但具体到二者的接触关系,目前尚无专门的文献论述。柳林剖面中水成堆积物中夹杂了大量的风尘堆积,尤其是剖面的中下部,是研究红粘土与水成堆积物关系的良好地段。本文通过对该剖面的精细的沉积学研究,辅以重点层位的

走向追索,揭示水成堆积物与红粘土在露头尺度乃至填图尺度的关系,并结合前人研究成果,对区域尺度的红粘土与水成堆积物的关系加以探讨。

1 剖面概况及水成堆积物的空间分布特征

吕梁山是一近南北走向的巨大山系,其主体以及支脉构成黄河与汾河的分水岭。吕梁山西部前新生代基岩之上不整合覆有薄层的新生代地层,包括新近纪晚期保德组、静乐组以及第四纪黄土—古土壤序列。其中上部的黄土—古土壤序列和静乐组红土被认为是风尘堆积,保德组一般为三分:上段为棕红色粘土与棕黄色钙质结核互层;中段棕黄和浅棕红色粘土、灰白和棕黄色泥灰岩、灰岩及少量的粉砂岩、砂岩、粗砂透镜体;下段为砂砾石层。野外调查表明上部为典型风成粘土,中部为红粘土与水成泥岩互层段,下部为典型的水成砾石层。

柳林剖面位于山西省柳林县高家沟乡卫家洼村(图 1),剖面控制厚度约 100 m 下部未见底。剖面下部水成物、上部风成物两分的特征非常明显,下部

① 国家重点基础研究发展规划项目(批准号: 2003CB214607)、教育部长江学者和“油气盆地”创新团队发展计划项目(编号: RT0559)、国家自然科学基金项目(批准号: 40372202)、中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(批准号: SKLLQG0511)和中国地质调查局项目(编号: 20022307 1212010610313)共同资助。

收稿日期: 2008-06-04 收修改稿日期: 2008-09-16

水成物厚约 40m, 上部风成物厚约 60m。下部水成堆积物的砾岩、砂岩与泥岩三者在上部为过渡关系, 垂向上组成总体自下而上变细的沉积序列, 其中砾岩中发育叠瓦构造和递变层理, 向上过渡为砂砾岩, 发育平行层理和交错层理; 上部泥岩中可见有水纹层和泥裂, 自下而上组成的沉积层序与冲积扇相的沉积层序相同, 与紧邻吕梁山的水成堆积物(保德剖面)相比, 柳林剖面中细粒堆积物较多, 且沉积组合表明该剖面总体处于冲积扇的扇端亚相。

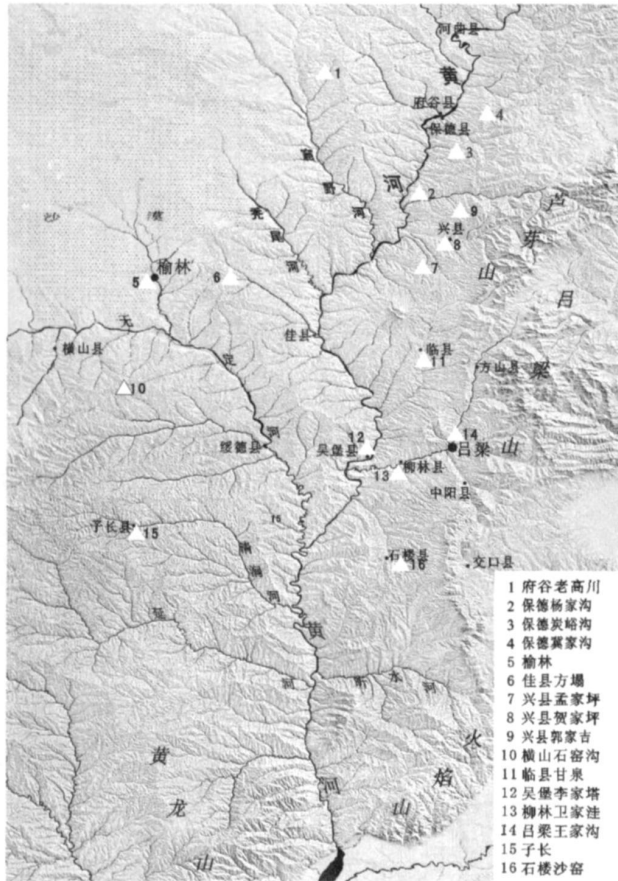


图 1 研究区地理位置

Fig 1 Location of the study area

2 剖面上红粘土与水成堆积物之间的关系

2.1 砾岩与红粘土的关系

剖面中所见的砾石层分别呈层状和透镜状产出。层状产出的砾石层位于剖面的底部, 又可分为上下两层, 厚度均为约 1.5m。区域上砾石层往往过渡为砂岩层。砾石层为青灰色砂砾岩, 风化为凸出的陡壁, 砾石层未胶结, 较为松散, 砾石含量为 30%~40%。

粒径变化较大, 大者为 3~5cm, 最大的超过 10cm, 小者仅为数毫米, 具双峰特征。砾石磨圆度较好, 大多为圆状、次圆状, 分选性较差, 砾石的球度较高, 呈近圆状, 但扁平状砾石大都具叠瓦特征, 显示古水流方向应来自北东方向。砾石成分较为复杂, 主要为灰岩, 占 60%~70%, 且各个粒径均有分布。其次为砂岩, 主要为附近(底部)的三叠统砂岩。透镜状产出的砾石层分布于剖面的中部及上部, 其厚度不大, 横向变化大, 呈透镜状产出在沙层或泥岩层中。顶部砾石夹层, 厚度小于 1cm, 粒径较小, 一般小于 5mm, 与动物化石共生。

砾岩走向上延伸较远, 可追踪对比, 宏观上砾岩与红粘土及钙质结核层似乎呈谐和的层状产出, 实质上砾石层以小角度切割红粘土层和钙质结核层(图 2-1)。到细部则可见二者的接触界面并非呈平面状, 而是波状起伏甚至为锯齿状起伏的不规则界面。在红粘土作为底板的界面中, 波状起伏的界面为瞬间水流改造冲刷已经堆积的红粘土的沉积界面。高流态的洪水冲击早期堆积物形成凹凸不平的冲刷面, 因此该界面以整体凹凸不平且粗粒的砾岩直接堆叠在红粘土和钙质结核上为特征。在红粘土作为顶板的接触界面中, 二者的界面揭示了洪水退去之后, 红粘土逐渐堆积其上的过程。由洪水退去到后期粘土堆积是一个缓慢的过程, 而且洪水期堆积物形成自下而上由粗变细的沉积序列, 在一定程度上起到了“削高填低”的作用, 因此二者的接触界面相对于红粘土作为底板的界面较为平直, 仅在厘米尺度上可见起伏面。该界面以相对较为平直且少量的砾石(多为砂泥质)与红粘土直接接触为特征(图 2-2)。

2.2 砂岩与红粘土的关系

剖面中控制的砂岩厚度不大, 但可见数层呈层状、透镜状、豆荚状夹杂于红粘土与砂砾岩中。走向上延伸不稳定, 砂层为当地农民的建筑材料, 现已被挖掘成为一个个孤立的砂洞。砂层厚度不等从十厘米到两、三米均可见, 砂层中发育有交错层理、平行层理, 横向上过渡为砾岩和泥岩, 动物化石往往保留在砂层中。

宏观上, 砂岩和红粘土的接触关系与砾岩相同, 小角度切割红粘土层。不同的是砾岩厚度一般比较稳定, 总体呈现层状, 而砂岩除了呈层状外, 更多地呈现透镜状、豆荚状, 这也是当地老乡挖沙后留下来的砂洞大都为孤立的原因。砂岩的空间分布决定了砂岩与红粘土的界面与砾岩相同为凹凸不平。露头尺

度上,可见红粘土以不同的产状产出在砂层中,在靠近砂层的顶部红粘土呈“层状”(长透镜状)平行于砂层平行层理产出(图 2-3),指示了早期堆积的红粘土或同时旁侧堆积的红粘土团块落入水流之中,形成平行层理的高能量的水流将其“理顺”纳入平行层理的砂岩之中,但未将红粘土完全冲蚀。在砂层中部不具有平行层理的砂层中,可见红粘土呈团块状产出(图 2-3),也可见在红粘土中有砂岩的团块(图 2-4),这

两种产态都是在主体沉积的同时,客体坍塌落入主体之中,不同的是红粘土落入砂层之后经水流改造而形态总体较为规整而砂层块体落入红粘土之后后期改造作用较小而整体形态较为不规则。

2.3 泥岩与红粘土的关系:

在探讨泥岩与红粘土的关系之前,首先讨论泥岩和红粘土的定义。从岩石学意义上看,二者均为粒度最细的沉积岩。我们认为泥岩是与砾岩、砂岩同一系

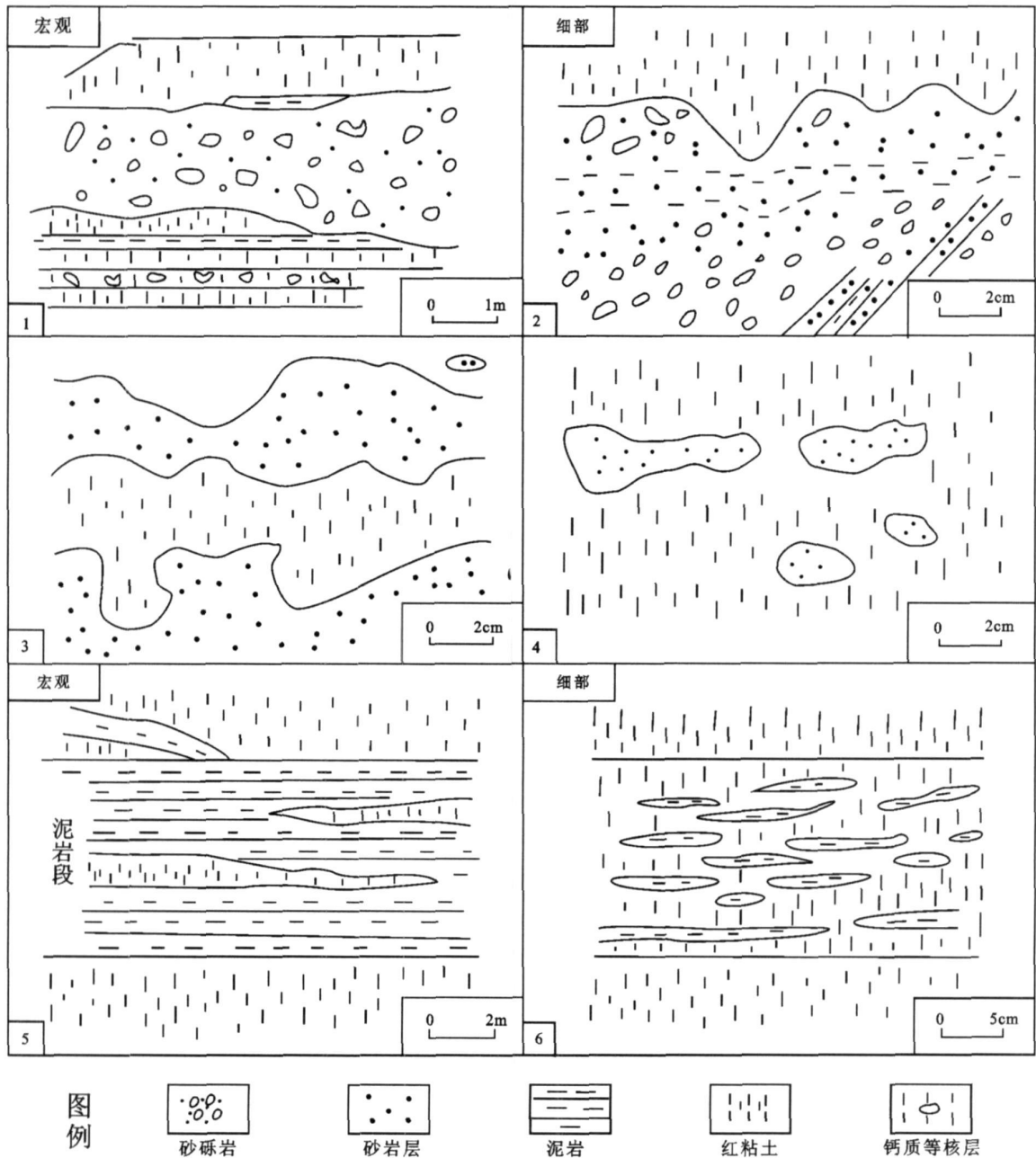


图 2 剖面中红粘土与水成堆积物的关系。

Fig 2 The relation between red clay and aqueous accumulation in section scale

列的水成堆积的细粒产物。而红粘土则是特指中国北方大面积分布的细粒红色粘土物质, 一般认为是风成产物。在这种定义下红粘土应该特指风力搬运沉积后未经水流改造的物质; 红粘土水成说中的红粘土已经不是真正的红粘土, 应为经过水流改造的红粘土。正如我们用沉积岩系列的名词(砾岩、砂岩和泥岩)定义经过剥蚀搬运的花岗岩一样, 经过水流搬运的红粘土同样应该给予沉积岩的系列名称。野外调查结果也证明了这种定义是正确的, 最近的野外调查中发现了经过搬运的钙质结核砾石层、红粘土砾石层等(另文报道), 且这些物质具有明显的水成堆积物所具有的自下向上变细的粒序层。弓虎军通过对比水成黄土、化石骨架围岩红粘土(以上所列均为经过河流搬运)和阶地沉积物的磁化率各向异性度的结果也表明水成黄土、化石围岩骨架红粘土的特征与阶地沉积物更为趋同^[30]。在这里, 应用反证法来证明红粘土的风成成因: 假如红粘土是水成的, 根据其组成物质的粒度应该属于泥岩范畴。沉积相是指形成于特定古沉积环境的一套有规律的岩石特征和古生物组合, 沉积相在空间的横向变化称为相变。在鄂尔多斯地区广泛分布的如此细粒的物质在空间上没有相变显然是很难理解的。之所以出现认识分歧是因为对风成粘土和水成泥岩的定义差异所致。我们认为其物源、搬运作用的差异不应该是成因差异的主导因素, 决定成因差异的应该是后期的沉积作用, 换句话说, 只要最后沉积作用是在水动力作用下进行的, 均属于水成堆积的产物。

从宏观上看, 红粘土与泥岩的关系与粗粒的砾岩和砂岩不同, 总体为顺层产出(图 2-5)。走向上常可见数千米稳定产出, 剖面中所见的泥岩层厚度稳定, 延伸较远可作为区域对比的标志层。整体的泥岩段中可见有红粘土层呈饼状、层状、扁透镜状产出。该区泥岩部分是和砾岩、砂岩共生的水成堆积物, 部分则是水流对已有红粘土改造而来, 这部分泥岩在外貌上与红粘土更相似。被水流改造的红粘土虽然有红粘土的外貌, 但在磁化率、沉积学特征上与水成泥岩更为趋同^[30]。细部上也可见泥岩斜切红粘土层, 主要表现为在以红粘土为主体的地段可见泥岩以透镜状产出, 而在泥岩为主体的地段可见红粘土呈夹层产出。在以红粘土为主体的地段可见厚度为毫米级的泥岩呈碟状密集产出(图 2-6), 其与围岩的有明显的色调差异, 极易区别, 该泥岩为主河道的分流河道类似于小型决口扇沉积, 以垂向上和横向上密集共生但

互不相连为特征。

3 区域上红粘土与水成堆积物之间的关系

在山西境内, 新近纪红粘土以及下伏的砂砾石层一般被划为下部保德组和上部的静乐组。《中国地层典》第三纪分册把吕梁山以西的保德组可以明显的分为上中下三段, 上段为棕红色粘土与棕黄色钙质结核互层; 中段棕黄和浅棕红色粘土、灰白和棕黄色泥灰岩、灰岩及少量的粉砂岩、砂岩、粗砂透镜体; 下段为砂砾石层。保德组上部的静乐组总体为一套颜色较红的粘土夹钙质结核。事实上, 保德组下部为典型的水成砂砾岩, 中部以水成的砂泥岩为主, 夹有少量的红粘土, 顶部以及静乐组为典型的风尘堆积。在这里为方便起见我们将中下两段都作为水成堆积来讨论区域上红粘土与水成堆积物的关系。该套地层延入陕西境内被命名为蓝田组。蓝田组在鄂尔多斯盆地地区主体为红粘土, 局部可见下部有少量薄层的砂泥质堆积物。与东部的保德组相比, 显然下部的水成堆积物在逐渐减少。在吕梁山前自北向南选择 5 个东西向剖面进行统计(表 1), 统计结果表明砾石层有自东向西厚度减小的趋势, 而红粘土正好与此相反。结合区域资料可以得出吕梁山山前的水成堆积物(尤其砾石层)的空间分布具有如下特征: 1) 堆积物在平行于吕梁山方向延伸很长, 基本与吕梁山如影相随, 而在垂直于吕梁山走向延伸方向不远, 粗粒的堆积物(尤其是砾岩)一般不越过黄河谷地; 2) 这些堆积物都具有自吕梁山往西逐渐变细、厚度减小的特征, 整体上呈一楔形; 3) 各地堆积物的碎屑尤其是粗颗粒的碎屑组成相对单一, 主要为毗邻地区组成吕梁山主峰基岩区物质。这种特征不论在局部还是在区域上都很明显。

区域研究结果表明红粘土总体位于水成堆积物之上, 在靠近吕梁山的部位, 由于吕梁山的阶段性隆升, 常见有水成的砂砾石与其共生。自吕梁山主峰向西砾石层厚度减小, 红粘土厚度增加。图 2 显示了红粘土与水成堆积物之间的关系, 选择不同的剖面即可得到不同的关系。由图中可以看出, 保德剖面由于靠近吕梁山, 底部以砾石为主, 夹有少量的红粘土; 柳林剖面距离吕梁山稍远, 则砾石层可明显的分为上下两层; 府谷剖面远离吕梁山, 仅可见薄层的水成堆积物。佳县和榆林剖面距离吕梁山最远, 则未见下部的水成堆积物。

表 1 吕梁山西麓红粘土与砾石层的厚度一览表

Table 1 Thickness of red clay and gravel in the west part of Lü liang M ountains

		府谷老高川		保德杨家沟 ^[34]		保德炭峪沟 ^[34]		保德冀家沟 ^[11]	
		52.6	1	41.4	<1	34.7	11	25	20
榆林 ^[32]		佳县方塌 ^[11]		兴县孟家坪*		兴县郭家吉*			
60	0	61.3	0	45	12	25	5	15	3
横山石窑沟				临县甘泉村*					
50	0			6	11.5				
		吴堡李家塔		柳林卫家洼		离石王家沟*			
		16	0	40	3	16.6	13.6		
子长				石楼沙窑					
70	1-5			70	16.4				

(表中第一个数值为红粘土厚度, 第二个数值为砾岩厚度, *表示数据来自于 1:20 万区调报告, 未出版)

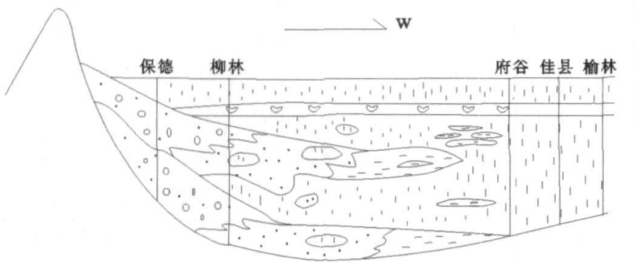


图 3 吕梁山前红粘土与水成堆积物关系模式图 (图例同图 2)

Fig 3 The model shows the relation between red clay and aqueous accumulation in the western part of Lü liang Mountain

4 讨论与结论

通过对保德剖面 and 柳林剖面中红粘土与水成堆积物 (尤其是粗粒的砂砾石层) 关系的系统研究可以得出在露头尺度上粗粒的砂砾石层横向上往往切穿红粘土及钙质结核层, 纵向上红粘土与水成堆积物接触面起伏不平; 而粒度与红粘土相近的泥岩横向上平行于红粘土及钙质结核层, 纵向上常与红粘土为逐渐过渡, 无截然界线。区域上红粘土总体位于水成堆积物之上, 水成堆积物呈不对称的楔形楔入红粘土中下部, 靠近吕梁山厚度较大, 向西逐渐尖灭。

红粘土与钙质结核平行共生是中国北方新近纪晚期的沉积特色, 与上覆的黄土—古土壤序列相同, 都是大面积分布、区域上变化小、不发育任何沉积构造及沉积序列、晚期地层与早期地层之间的关系不具超覆或退覆特征, 更具披挂特征。从这几个方面反推, 红粘土不属水成堆积物的范畴, 其与水成堆积物在空间上共生正如火山喷发物质与正常堆积物在空间上共生相同不足为奇, 更不足以成为怀疑红粘土风成堆积的依据^[31]。赋存三趾马化石的红粘土可能是经过水流搬运的红粘土, 不属于风成堆积物的范畴。应用在风尘堆积中记录气候环境变迁的各向指标在

水成堆积物中不再适用或另有解释。若在同一剖面中同时有二者共存, 在恢复地质历史时期古气候演变时需注意不同成因物质对各指标的适用性。

吕梁山前水成堆积物呈楔形, 靠近吕梁山厚度较大, 向西逐渐尖灭, 与山前冲积扇特征相似, 是吕梁山新生代隆升的产物。但水成粗粒堆积物没有合适的方法进行年代学研究, 其上的红粘土是古地磁定年的优选对象, 结合古地磁定年可为约束吕梁山新生代的隆升剥蚀史提供依据。

参考文献 (References)

- 1 汶玲娟, 鹿化煜, 强小科. 新近纪黄土高原红黏土粒度和沉积速率的空间变化及其揭示的古大气粉尘传输动力 [J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(8): 739-747 [Wen Lingjuan, Lu Huayu, Qiang Xiaoke. Changes in grain-size and sedimentation rate of the Neocene Red Clay deposits along the Chinese Loess Plateau and implications for the palaeowind system [J]. Science in China Series D, 2004, 34(8): 739-747]
- 2 苗晓东, 孙有斌, 鹿化煜. 黄土高原晚上新世红粘土粒度的空间变化 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 182-185 [Miao Xiaodong, Sun Youbin, Lu Huayu. Spatial variation of grain-size of the late Pliocene red clay, Chinese loess plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 182-185]
- 3 薛祥煦, 岳乐平, 周杰, 等. 陕西旬邑晚新生代红土—黄土序列磁化率特征与环境变迁 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(1): 103-108 [Xue Xiangxu, Yue Leping, Zhou Jie. Susceptibility of the late Cenozoic red earth-loess sequence in Xunyi, Shanxi province and environmental variation [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(1): 103-108]
- 4 孙有斌, 安芷生, 孙东怀, 等. 灵台红粘土—黄土—古土壤序列频率磁化率的古气候意义 [J]. 高校地质学报, 2001, 300-306 [Sun Youbin, An Zhisheng, Sun Donghuai et al. Paleoclimatic implication of frequency dependent magnetic susceptibility of red clay-loess-paleosol sequences in the Lingtai Profile [J]. Geological Journal of China University, 2001, 300-306]
- 5 强小科, 安芷生, 常宏. 佳县红粘土堆积序列频率磁化率的古气候意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 91-96 [Qiang Xi-

- aoke An Zhisheng Chang Hong Paleoclimatic implication of frequency-dependent magnetic susceptibility of red clay sequences in the Jiaxian profile of northern China [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology* 2003 23(3): 91-96
- 6 彭淑贞, 郭正堂. 风成三趾马红土与第四纪黄土的粘土矿物组成异同及其环境意义 [J]. *第四纪研究*, 2007 22(02): 277-285 [Peng Shuzhen Guo Zhengtang Clay mineral composition of the Tertiary red clay and the Quaternary loess-paleosols as well as its environmental implication [J]. *Quaternary Sciences* 2007 22(02): 277-285]
- 7 谢巧勤, 陈天虎, 季峻峰, 等. 甘肃灵台黄土-红粘土序列中坡缕石 的分布及其古气候意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2005 24(6): 653-658 [Xie Qiaolin Chen Tianhu Ji Junfeng et al The distribution of palygorskite in Lingtai section of Chinese Loess Plateau and its paleoclimate significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* 2005 24(6): 653-658]
- 8 陈秀玲, 方小敏, 安芷生, 等. 黄土高原 8 Ma 以来方解石记录的 夏季风演化 [J]. *中国科学: D 辑*, 2007 37(1): 61-70 [Chen Xiuling Fang Xiaomin An Zhisheng Loess Plateau 8 Ma calcite record since the summer monsoon evolution [J]. *Science in China Series D* 2007 37(1): 61-70]
- 9 岳乐平, 邓涛, 张云翔, 等. 保德阶层型剖面磁性地层学研究 [J]. *地层学杂志*, 2004 (1): 48-51 [Yue Leping Deng Tao Zhang Yunxiang Magnetostratigraphy of stratotype section of the Baode stage [J]. *Journal of Stratigraphy* 2004 (1): 48-51]
- 10 杨石岭, 侯圣山, 王旭, 等. 泾川晚第三纪红粘土的磁性地层及其 与灵台剖面的对比 [J]. *第四纪研究*, 2000 20(05): 423-434 [Yang Shiling Hou Shengshan Wang Xu Completeness and continuity of the late Tertiary red clay sequence in northern China Evidence from the correlation of magnetostratigraphy and pedostratigraphy between Jingchuan and Lingtai [J]. *Quaternary Sciences* 2000 20(05): 423-434]
- 11 宋友桂, 方小敏, 李吉均, 等. 六盘山东麓朝那剖面红粘土一年代 及其构造意义 [J]. *第四纪研究*, 2000 457-463 [Song Yougui Fang Xiaomin Li Jijun et al Age of red clay at Chana section near eastern Lipan mountain and its tectonic significance [J]. *Quaternary sciences* 2000 457-463]
- 12 刘进峰, 郭正堂, 郝青振, 等. 甘肃秦安糜子湾剖面中新世风尘堆 积的磁性地层学研究 [J]. *第四纪研究*, 2005 25(04): 503-509 [Liu Jinfeng Guo Zhengtang Hao Qingzhen et al Magnetostratigraphy of the Mizivian Miocene eolian deposits in Qin'an county (Gansu province) [J]. *Quaternary Sciences* 2005 25(04): 503-509]
- 13 丁仲礼, 孙继敏, 杨石岭, 等. 灵台黄土-红粘土序列的磁性地层 及粒度记录 [J]. *第四纪研究*, 1998 (01): 86-94 [Ding Zhongli Sun Jimin Yang Shiling et al Magnetostratigraphy and grain size record of a thick red clay-loess sequence at Lingtai the Chinese loess plateau [J]. *Quaternary Sciences* 1998 (01): 86-94]
- 14 Guo Z T, Ruddiman W, Hao Q Z Onset of Asian desertifications by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature* 2002 (416): 159-163
- 15 李丰江, 吴乃琴, 裴云鹏, 黄土高原西部秦安新近纪风尘堆积的 蜗牛化石证据 [J]. *第四纪研究*, 2005 25(04): 510-515 [Li Fengjiang Wu Naiqin Pei Yunpeng Terrestrial mollusk evidence for the origin of a late Tertiary loess-paleosol sequence at Qin'an in the western Chinese loess plateau [J]. *Quaternary Sciences* 2005 25(04): 510-515]
- 16 安芷生, 王苏民, 吴锡浩, 等. 中国黄土高原的风积证据—晚新生 代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动 [J]. *中国科学: D 辑*, 1998 48(06): 481-490 [An Zhisheng Wang Sumin Wu Xi hao et al Loess Plateau in China's wind-proof Late Cenozoic the northern hemisphere and the beginning of the Ice Age uplift of the Qinghai-Tibet Plateau Drive [J]. *Science in China Series D* 1998 48(06): 481-490]
- 17 Lu H Y, Vandenberghe J, An Z S A eolian origin and paleoclimatic implications of the "Red Clay" (North China) as evidenced by grain-size distribution [J]. *Journal of Quaternary Science* 2001 16(1): 89-97
- 18 Yang S L, Ding Z L Comparison of particle size characteristics of the Tertiary "red clay" and Pleistocene loess in the Chinese Loess Plateau implications for origin and sources of the "red clay" [J]. *Sedimentology* 2004 51(1): 77-93
- 19 丁仲礼, 孙继敏, 朱日祥, 等. 黄土高原红粘土成因及上新世北方 干旱化问题 [J]. *第四纪研究*, 1997: 147-157 [Ding Zhongli Sun Jimin Zhu Rixiang et al Eolian origin of the red clay deposits in the loess plateau and implications for Pliocene climatic changes [J]. *Quaternary Sciences* 1997: 147-157]
- 20 裴云鹏, 吴乃琴, 李丰江. 晚第三纪红黏土成因和沉积环境的生 物学证据: 蜗牛化石记录 [J]. *科学通报*, 2004 49(13): 1294-1298 [Pei Yunpeng Wu naiqin Li Fengjiang Neogene red clay sedimentation and environmental causes of the biological evidence snail fossil record [J]. *Science and Communications* 2004 49(13): 1294-1298]
- 21 杨石岭, 丁仲礼. 晚中新世以来中国北方风成沉积的磁性地层学 和沉积学研究及其古气候意义 [J]. *中国科学院研究生院学报*, 2002 19(2): 202-208 [Yang Shiling Ding Zhongli Magnetostratigraphy and sedimentology of the eolian deposits since the Late Miocene in Northern China and the paleoclimatic implications [J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences* 2002 19(2): 202-208]
- 22 梁美艳, 郭正堂, 顾炎炎. 中新世风尘堆积的地球化学特征及其 与上新世和第四纪风尘堆积的比较 [J]. *第四纪研究*, 2006 26(04): 657-664 [Liang Meiyao Guo Zhengtang Gu Zhaoyan Geochemical characteristics of the Miocene eolian deposits and comparison with the Pliocene and Quaternary eolian deposits [J]. *Quaternary Sciences* 2006 26(04): 657-664]
- 23 王卫华, 彭淑贞, 赵庆海. 黄土高原晚第三纪红土的形态学和地 球化学特征及其环境指示意义 [J]. *山东科技大学学报: 自然科 学版*, 2000 43-47 [Wang Weihua Peng Shuzhen Zhao Qinghai Geochemical and morphological character of the Late Tertiary red earth at the loess plateau and its environmental implications [J]. *Journal of Shandong University of Sciences & Technology Natural Science* 2000 43-47]

- 24 刘艳霖, 岳乐平, 帕拉提. 黄河中游新近系红粘土粒度特征及其古环境——以陕西府谷老高川为例 [J]. 沉积与特提斯地质, 2004 24(1): 78-83 [Liu Yanlin Yue Leping Palati Grain-size distribution and palaeoenvironmental significance for the Neogene red clay in the middle reaches of the Huanghe River: An example from the Laogaochuan section in Fugu Shaanxi [J]. Sedimentary Geology and Tethys 2004 24(1): 78-83]
- 25 Evans M E Wang Y Rutter N et al Preliminary magnetostratigraphy of the red clay underlying the loess sequence at Baoji China [J]. Geophysical Research Letters 1991 18(8): 1409-1412
- 26 Mo D Derbyshire E The depositional environment of the late Pliocene "red clay," Jing-Le Basin Shanxi Province China [J]. Sedimentary Geology 1991 70(1): 33-40
- 27 张勇, 李吉均, 赵志军, 等. 中国北方新近系红土成因的古生物化石讨论 [J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2007 22(3): 13-16 [Zhang Yong LI Jijun Zhao Zhijun et al Discussion on the Neogene Red Earth Origin by Mammalian Fossils in Northern China [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology Natural Science Edition 2007 22(3): 13-16]
- 28 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群化石的埋藏特点及该地区“三趾马红层”的成因 [J]. 科学通报, 1995 40(19): 1782-1784 [Zhang Yunxiang Xue Xiangxu Gansu Wudu Long Ravine Hippo fauna fossils buried in the area and characteristics of the "three-toe red layer" the causes of Science Bulletin 1995 40(19): 1782-1784]
- 29 张云翔, 陈丹玲, 薛祥煦. 陕西北部三趾马红粘土的形成环境 [J]. 沉积学报, 1998 16(04): 50-54 [Zhang Yunxiang Chen Danling Xue Xiangxu The paleoenvironment of hippo red clay in north part of Shanxi province [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1998 16(04): 50-54]
- 30 弓虎军, 张云翔, 岳乐平, 等. 甘肃灵台新近纪红粘土磁组构特征的沉积学意义 [J]. 沉积学报, 2007 25(3): 437-444 [Gong Hujun Zhang Yunxiang Yue Leping et al Sedimentological significance of the magnetic fabric of the Neogene red clay in Lingtai Gansu province [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2007 25(3): 437-444]
- 31 张勇, 李吉均, 赵志军, 等. 中国北方晚新生代红粘土研究的进展与问题 [J]. 中国沙漠, 2005 25(5): 722-730 [Zhang Yong LI Jijun Zhao Zhijun et al Advanced in research of the Late Cenozoic red clay in North China [J]. Journal of Desert Research 2005 25(5): 722-730]
- 32 岳乐平, 张云翔, 王建其, 等. 山西静乐和陕西榆林地区红色土与黄土—古土壤序列之关系 [J]. 中国区域地质, 1999 18(1): 69-72 100 [Yue Leping Zhang Yunxiang Wang Jianqi et al The relationship between the red soil and loess-paleosol sequence in Jingle Shanxi province and Yulin Shanxi province [J]. Regional Geology of China 1999 18(1): 69-72 100]
- 33 岳乐平. 黄土高原黄土、红色粘土与古湖盆沉积物关系 [J]. 沉积学报, 1996 14(04): 148-153 [Yue Leping Depositional Relation between the Loess Red Clay and Sedimentation of the Lake basin in the Loess Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1996 14(04): 148-153]
- 34 李长江. 晋陕蒙交界地区晚第三纪沉积特征与地貌演化 [J]. 水土保持研究, 2003 10(3): 120-124 [Li Changjiang Neogene Sediments and Geomorphic Evolution in the Border Area between Shanxi Shaanxi and Inner Mongolia [J]. Research of Soil and Water Conservation 2003 10(3): 120-124]
- 35 强小科, 安芷生, 李华梅, 等. 佳县红粘土堆积的磁学性质及其古气候意义 [J]. 中国科学: D 辑, 2004 34(7): 658-667 [Qiang Xiaoke An Zhisheng Li Huamei et al Jiashan red clay accumulation of the magnetic properties of ancient climate and its significance [J]. Science in China Series D 2004 34(7): 658-667]

Relationship Between Red Clay and Aqueous Accumulation in the west part of Luliang Mountain

LI Jian-xing^{1,2} YUE Le-ping¹ XU Yong¹ SUN Bo¹ SUN Lu¹ WANG Xiao-yong²

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics Northwest University Xi'an 710069

2 Xi'an Centre of Geology Survey China Geology Survey Xi'an 710054)

Abstract On the basis of field geological investigation in Liulin and Baode in Shanxi province together with other researcher's results, the spatial distribution and material composition of Neogene strata were studied. Neogene strata can be divided into three parts in vertical. The bottom is mainly composed of aqueous deposits, the top is aeolian red clay, the middle part is transitional layer. Further research on Liulin Section reveals the detail characteristics of red clay and aqueous deposits: coarse grain sandstone and gravel cut through red clay, but the fine mudstone parallel to red clay. The character of spatial distribution and material composition of Neogene strata are as follows: the size and thickness of aqueous deposits is large and thickness of red clay is small near to Luliang Mountain (such as Baode section). The size and thickness of fluvial deposits decrease from Luliang Mountains to Ordos Basin, on the contrary thickness of red clay increase. Proportional change of red clay and aqueous accumulation transitional layer is the same, which means aqueous deposits wedge red clay base like an asymmetric wedge. The relation between red clay and aqueous accumulation can help us understand the cause of red clay and recover the uplift history of Luliang mountain and paleoclimate evolution.

Key words Luliang mountain, red clay, aqueous accumulation, relation