

文章编号: 1000-0550(2007) 03-0437-08

甘肃灵台新近纪红粘土磁组构特征的沉积学意义

弓虎军¹ 张云翔¹ 岳乐平¹ 张睿² 王微¹

(1 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质学系 西安 710069 2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

摘要 对第四纪典型风成马兰黄土、受成壤作用影响较大的第五层古土壤、新近纪红粘土、埋藏化石的红粘土围岩层的磁组构分析表明: 新近纪红粘土的磁组构参数 R_F 值界于马兰黄土—第五层古土壤与经流水改造的化石围岩之间, L 均值与风成黄土相当, Q 均值接近于水成红粘土化石围岩, 而在事件性沉积方面又类似于风成马兰黄土、第五层古土壤; 磁组构参数 $F-L-P-Q$ 组合图位于马兰黄土—第五层古土壤与经流水改造的化石围岩过渡带。反映红粘土沉积物既具有风成原地堆积物的磁组构参数特征, 又有经历了后期流水改造的化石围岩的特点, 是风成原地堆积与风动力搬运而来的母质颗粒经后期流水改造共同作用的产物。

关键词 灵台 红粘土 磁组构 成因

第一作者简介 弓虎军 男 1971 年出生 博士研究生 第四纪地质学 E-mail: hujingong@163.com

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

1 引言

中国北方黄土高原地区, 完整的黄土剖面往往下伏有厚度不等的新近纪红色土状堆积, 刘东生等 (1985) 称其为红粘土。近年来, 学者们基于不同手段, 对红粘土成因方式提出了不同的解释。主要有: 残积成因说^[1]、风成说^[2~4]、水成说^[5]、早期水成, 晚期风成说^[6]、早期与地下水作用有关, 晚期风成^[7] 等假说。这些成因解释, 分别在特定剖面与层段, 都得到了相关证据的支持, 但对于同一地质体, 这些成因解释又相互矛盾重重。特别是近年来, 随着诸多红粘土剖面磁性地层年龄的确定, 已基本建立了晚第三纪红粘土堆积的地层年龄框架, 使得编制具有绝对年龄的气候代用指标序列成为可能, 于是许多学者纷纷将粒度、磁化率、地球化学等运用到环境气候的研究中, 并逐渐将这些指标所反映的气候信息同粉尘动力学、青藏高原隆升、北极冰盖的发展、亚洲季风的形成等影响第四纪地形、地貌、气候变化的全球环境演变相联系。而对红粘土成因方式的不同解释, 这些气候代用指标具有不同的意义。因此, 在探讨红粘土序列的古环境意义之前, 研究新近纪红粘土准确的成因方式, 具有重要意义, 还有待做多方面的工作。

近年来, 岩石磁组构的研究, 已经应用于未成岩与弱固结的沉积物^[8~11], 中国学者把磁组构研究应

用到河湖相沉积物^[12~14]、第四纪黄土^[15~18] 中, 用于推断其沉积物的沉积类型和成因方式, 取得了很好的效果。如果将磁组构分析方法应用到新近纪红粘土的研究中, 或许可作为研究其成因的有效方法。研究已表明, 新近纪红粘土的主要磁性矿物同第四纪黄土—古土壤基本一致^[19], 由磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿组成, 赤铁矿、磁赤铁矿相对含量很少, 特征剩磁的主要载体是磁铁矿, 而磁铁矿受形状各向异性的影响。因此, 笔者试图通过对第四纪典型风成马兰黄土、受成壤作用影响较大的第五层古土壤、新近纪红粘土、埋藏化石的红粘土围岩层及管状化石的粘土充填物的磁化率各向异性分析对比, 结合沉积物粒度、动物群化石埋藏学分析, 从而得出对新近纪红粘土成因方式进一步的认识。

2 样品采集及实验方法

灵台剖面位于甘肃省灵台县城以南 13Km 的任家坡村, 现代地貌属黄土残塬区。由于河流强烈侵蚀, 地层出露良好。整个剖面由第四纪黄土—古土壤和新近纪红粘土序列组成, 地层连续沉积, 剖面自上而下依次为全新世黑垆土, 马兰黄土, 离石黄土, 午城黄土和红粘土, 总厚 296 m, 底部不整合于第三纪棕红色湖相砂岩之上。其中黄土厚 170 m, 红粘土厚 126 m。灵台任家坡剖面黄土与红粘土界线 (松山 /

教育部高等学校博士学科点专项基金 (编号: 20050697016) 《中国西北地区三趾马动物群及其年代》资助; 国家自然科学基金项目 (批准号: 40372202) 资助

收稿日期: 2006-07-03 收修改稿日期: 2006-09-08

高斯界线)之下 110m 处埋藏桃花沟动物群^[20]。

本研究分别在灵台马兰黄土、第五层古土壤间隔 25 cm 取样, 分别得到定向样品 30 块和 16 块, 粉样 30 袋与 17 袋; 在新近纪红粘土埋藏化石的长达 300m 的洞穴中, 间隔不等取得化石骨架围岩定向样品 77 块, 粉样 10 袋; 126 m 厚的新近纪红粘土剖面上间隔 1 米上下取得定向样品 145 块, 粉样 140 袋; 在化石层管状化石的充填物中取得粉样 10 袋。全部样品在西北大学大陆动力学国家重点实验室测定, 磁化率各向异性的测量选用捷克生产的卡帕桥 (KLY-4S) 磁化率仪, 粒度测量选用英国产的 Mastersize 2000 激光粒度仪。

3 实验结果与讨论

3.1 磁组构参数量值

沉积物磁组构分析的基本原理是假定磁性矿物定向排列与造岩矿物的定向排列一致, 而矿物在磁场中沿不同方向被磁化的难易程度用磁化率各向异性表示, 反映了岩石或弱固结沉积物磁性颗粒优势排列方向^[21-22]。因此, 引起单个磁性颗粒具有磁化率各向异性的根本原因是磁性颗粒不同方向能被磁化的难易程度不同^[12]。一般来说, 铁磁性矿物长轴方向比短轴方向易于磁化, 磁性颗粒的长轴、中轴和短轴与磁化率椭球体的长轴 (K_{max})、中轴 (K_{int}) 和短轴 (K_{min}) 是一一对应的^[17]。就水成和风成沉积物而言, 磁性颗粒的定向排列是引起沉积物磁化率各向异性的主要原因。因此, 分析样品的磁化率各向异性, 可以了解沉积颗粒的有序化排列方式, 从而可以研究沉积物的沉积环境和成因方式。沉积物的成因信息利用各种磁组构参数来获取。

实验结果表明, 灵台剖面不同样品类型沉积物磁组构参数测试平均值如表 1:

表 1 灵台剖面各类型样品磁组构参数统计平均值

Table 1 The statistic average value of magnetic fabric parameters of samples from Lingtai section

样品类型	样品数 / 个	L	F	P	Q
马兰黄土	30	1.001	1.005	1.006	0.270
第五层古土壤	16	1.001	1.005	1.006	0.268
红粘土	145	1.001	1.011	1.013	0.148
化石围岩	77	1.002	1.021	1.023	0.106

(1) 磁化率各向异性度 $P = K_{max} / K_{min}$ ^[12, 23], 反映

沉积物中颗粒排列的有序化程度, 其数值大小反映了沉积环境的稳定性和沉积动力的强度。风成马兰黄土、第五层古土壤磁各向异性度 P 平均值均为 1.006 其数据特征相似, 靠近坐标原点分布 (图 1), $1.001 < P < 1.012$, 其中 P 小于 1.01 的样品占全部分析样品的 94%; 红粘土化石骨架围岩磁各向异性度 P 值远离坐标原点, $1.008 < P < 1.045$, 其中 P 值大于 1.01 的样品占全部分析样品的 96%。磁各向异性度 $P = 1.01$ 将风成第四纪马兰黄土—第五层古土壤与红粘土化石围岩分成两个不同的集合体。化石围岩 P 平均值明显大于风成马兰黄土、第五层古土壤, 达到 1.023 反映了化石骨架围岩层沉积动力强度与稳定性较风成马兰黄土、第五层古土壤高; 而新近纪红粘土磁各向异性度 $1.002 < P < 1.04$, 平均值为 1.013 居于风成马兰黄土—第五层古土壤与化石骨架围岩层之间, 磁各向异性度 P 值小于 1.01 的样品占全部红粘土样品的 30%, 且这些样品大多位于灵台红粘土剖面顶部以下 74m 到 89m 的层段内, 其它层段与磁各向异性度 P 值大于 1.01 地层间隔出现。

(2) 磁面理度 $F = K_{int} / K_{min}$ ^[12, 23], 反映沉积颗粒呈面状分布的程度, 沉积物中微细层理构造发育得好, F 值大, 反之, F 值小, 因而其量值大小取决于沉积动力强度及沉积环境稳定状况。新近纪红粘土化石骨架围岩磁面理度 F 值最大, 平均值达到 1.021, 明显大于黄土、第五层古土壤 (平均值为 1.005)。说明化石骨架围岩的微细层理较风成黄土发育。而新近纪红粘土层的微细层理发育情况则介于马兰黄土与化石骨架围岩之间, F 平均值均为 1.011。

(3) 磁线理度 $L = K_{max} / K_{int}$ ^[12, 23], 反映颗粒长轴呈线状排列的程度, 受控于搬运介质流动方向的单一性及沉积动力强度。流体流动持续而稳定, 颗粒排列有序度高, 则 L 值大, 反之, L 值小。从表 1 来看, 新近纪红粘土化石骨架围岩层磁线理度 L 值最大, 平均值为 1.002 大于马兰黄土、第五层古土壤及新近纪红粘土层 (平均值均为 1.001)。反映红粘土化石骨架围岩搬运介质流动方向的单一性及沉积动力强度、颗粒长轴呈线状排列的程度高。而马兰黄土、第五层古土壤及新近纪红粘土层的磁线理度 L 接近, 反映其沉积物稳定性较差, 颗粒长轴呈线状排列的程度低。

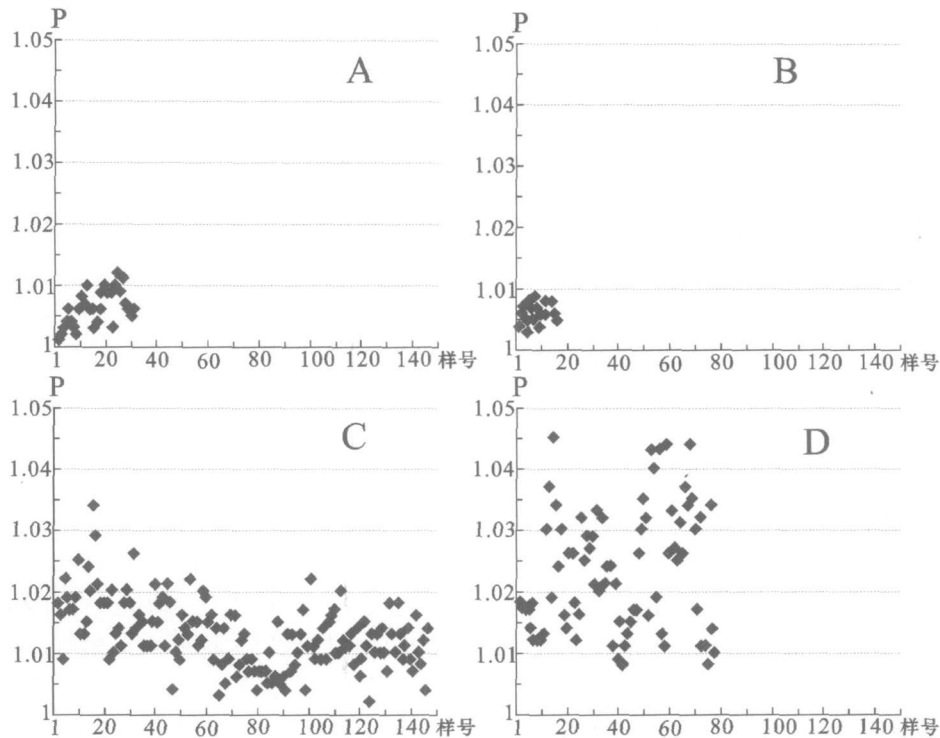


图 1 灵台剖面样号与沉积物磁化率各向异性度值关系图

注: A: 马兰黄土; B: 第五层古土壤; C: 新近纪红粘土; D: 红粘土化石骨架围岩

Fig 1 The correlation pbt of numbers of the samples from Lingtai section and the degree of an isotropy
A: M alan loess B The fifth layer of paleosol C: The Neogene Red Clay D: Red clay matrix of the petrified skeletons

(4) 磁基质颗粒度 $Q = 2(K_{max} - K_{min}) / (K_{max} + K_{min} - 2K_{in})$ ^[12, 23], 量值大小是沉积物沉积动力状况的反映。搬运介质能量衰减快, 颗粒在非正常重力分异作用下快速沉降, 粗细混杂, 则 Q 值高, 指示事件性沉积; 介质能量衰减缓慢, 颗粒分选好, Q 值低。新近纪红粘土化石骨架围岩 Q 平均值仅有 $0.106 < Q < 0.299$, 反映其沉积过程稳定。马兰黄土、第五层古土壤 Q 值相对最大, $0.14 < Q < 0.707$, 平均值为 0.270 而红粘土 Q 平均值为 $0.148 < Q < 0.763$, 说明红粘土沉积过程较马兰黄土、第五层古土壤稳定, 但沉积过程均有事件性沉积发生。

新近纪化石骨架围岩磁组构参数 P 、 F 、 L 明显大于风成马兰黄土、第五层古土壤, 而反映事件性沉积发生的磁基质颗粒度 Q 小于风成马兰黄土、第五层古土壤。以 $P = 1.01$ 将风成马兰黄土—第五层古土壤与化石骨架围岩分成两个截然不同的集合体, 预示着它们的成因方式存在差异。前人研究表明^[9], 水成沉积物的磁化率各向异性度 P 、磁面理度 F 均大于 1.02 , 磁基质颗粒度小于 0.5 。显然, 新近纪埋藏化石的化石骨架围岩红粘土具有水成沉积物的磁组构

特征。

由于空气的密度远小于水的密度, 在流速接近的情况下, 风的动能远小于水的动能, 因而风的搬运能力远小于水的搬运能力, 故风成沉积物磁化率各向异性度 P 、磁线理度 L 、磁面理度 F 值均低而稳定。化石围岩由于经过流水改造, 沉积物搬运动力强而稳定, 从而使其 P 、 L 、 F 显著变高, 磁基质颗粒度 Q 较小。马兰黄土与第五层古土壤均为风动力搬运就地堆积而成, 其沉积过程中, 由于受到地貌、风力大小、风向等诸多条件的制约, 沉积环境的稳定性和沉积能量均较水动力沉积形成的红粘土化石围岩层差, 因此, 磁组构参数 P 、 L 、 F 均较小, 而较大 Q 值表现为有不稳定的事件性沉积发生。新近纪红粘土沉积物磁化率各向异性度 P 、磁面理度 F 均介于马兰黄土—第五层古土壤与经水动力改造的化石围岩层之间, 以 $P = 1.01$ 为界线分别与它们各有重叠。磁线理度 L 平均值与马兰黄土—第五层古土壤相当, 磁基质颗粒度 Q 平均值接近于水成红粘土化石围岩层, 而在事件性沉积方面又类似于风成马兰黄土、第五层古土壤。因此, 红粘土沉积既有风成原地堆积物的磁组构参数特

征,又有经历了后期流水改造的化石围岩沉积物的特点,反映了红粘土的成因方式既不完全相同于风成马兰黄土,也不完全相同于经流水改造后形成的埋藏化石的红粘土层,而可能的方式是沉积物经流水改造与颗粒就地堆积共同作用的结果。此前报道过的南京下蜀黄土^[12]、甘肃白草原黄土、古土壤^[18],其磁化率各向异性度 P 均小于 1.0。而河流沉积物、海岸沉积物^[9],磁化率各向异性度均大于 1.0。

为了进一步证实红粘土化石骨架围岩沉积物经历了后期流水的改造,笔者等对灵台纵深长达 300 m 的化石洞中埋藏的化石进行了化石埋藏学特征分析。尽管笔者等没有对该动物群进行属种鉴定,但从埋藏化石的层位,化石的分布特点来看,该动物群应与此前报道过的灵台桃花沟动物群相当^[21]。研究显示,该动物群的埋藏特点是:化石围岩及管状化石充填物岩性与其它层位红粘土没有区别;化石比较完整,有完整头骨、下颌骨、肢骨、脊椎等。长骨断口有水平、阶梯状断裂等类型;长骨是动物群材料的主要部分,占整个动物群材料的 70% 左右。它们在地层中展布具有明显定向性。基本以 $200^{\circ} \sim 230^{\circ}$ 方向展布,其中以 $210^{\circ} \sim 220^{\circ}$ 为主;骨骼倾角较小,一般在 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 左右,倾向在 $270^{\circ} \sim 300^{\circ}$ 之间;骨骼基本分散保存,仅有少量头骨、环椎、肢骨远端相互关节在一起;骨骼表面风化痕迹差别比较明显,多数风化痕迹较弱,风化级别 0~1 级,出现骨干裂隙或呈片状脱落;管状骨内腔被泥质充填;动物群中个体大小虽有区别,但以大型动物的牙齿、中型动物的肢骨和小型动物的头骨、下颌骨为主,构成了个体与类型的梯形沉积组合。

化石埋藏特点的形成实质上是环境因素对生物遗体作用的结果,是埋藏过程和埋藏环境的直接反映。从上述化石埋藏特点来看,骨骼的定向排列说明动物死后,经历了流水搬运。一般来说,在水流的作用下,不同形态的骨骼展布形式有一定规律,以求在水流冲刷下达到最稳定状态,如长骨长轴多平行于

流水方向,最大扁平面指向水流的上游。该动物群的弱分选性,说明动物骨骼被搬运的距离较短,搬运介质能量较小。化石材料较弱的风化痕迹显示在埋藏前地表暴露时间不长,说明化石经历了快速埋藏,而其断裂类型基本属于发生在骨骼失水之后的水平状和阶梯状断裂。管状骨的充填物质也是反映埋藏过程及早期成岩作用的良好标志,该动物群各类动物的管状骨均充满了泥质,成分与围岩一致,而泥质充填多出现在较安静的水湾环境。因此,灵台新近纪红粘土化石骨架围岩沉积物是在较弱水力条件作用下,携带动物遗体,经流水短距离搬运后快速沉积的结果。

笔者等对灵台剖面各类型样品进行了沉积学粒度特征分析,得出与前人对第四纪黄土—古土壤、新近纪红粘土沉积动力学研究^[3,24]非常一致的结论,即它们的粒度沉积学特征非常相似。灵台剖面第四纪马兰黄土、第五层古土壤及新近纪红粘土、红粘土下部化石骨架围岩及管状化石的粘土充填物粒度分析表明:除管状化石充填物粗颗粒含量较多外,其余样品的粒度组成特征非常相似(表 2)。中值粒径集中在 $10 \mu\text{m}$ 上下;粒度以 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 粒径含量为主,其体积百分比均超过 60%;小于 $10 \mu\text{m}$ 粒级所占百分含量较大,为大于 40%;而大于 $20 \mu\text{m}$ 粒级所占百分含量次之,一般在 30% 左右; $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 粒级为过渡,百分含量在 20% 上下;大于 $63 \mu\text{m}$ 粗颗粒百分含量较小,均不大于 5%。红粘土下部化石骨架围岩粗颗粒含量较多,可能的原因是在其受到流水作用而沉积后,由于受到管状化石的保护,其受到后期地层沉积物的压实、成壤作用相对较弱。所有样品类型的概率累积曲线表明(图 2),曲线主体呈两段式,拐点出现在 4~5 之间,截距在 3~4 之间,以悬移组分($5 \sim 50 \mu\text{m}$)主,缺乏滚动和跃移总体。这些特点是由于风成物质的搬运形式简单,以悬浮总体为主造成的,其形态明显不同于河流相沉积物的曲线特征。

表 2 灵台剖面不同样品类型粒度组成

Table 2 The compositions of particle size of different kinds of samples

样品类型	样品数量	$< 10 \mu\text{m}$	$10 \sim 20 \mu\text{m}$	$> 20 \mu\text{m}$	$5 \sim 50 \mu\text{m}$	$> 63 \mu\text{m}$
马兰黄土	30	40.86	21.56	37.59	67.82	3.28
第五层古土壤	17	50.98	21.03	27.99	64.41	1.86
红粘土	140	53.89	20.70	25.41	61.56	1.97
化石骨架围岩	10	46.04	24.14	29.8	68.81	1.41
管状化石充填物	10	41.09	20.17	38.74	64.97	5.61

尽管包括化石围岩在内的新近纪红粘土部分层段发生了后期流水的改造,但由于组成新近纪红粘土、埋藏化石的化石骨架围岩的母质颗粒,其物质来源相似于第四纪马兰黄土—第五层古土壤,同为风力搬运的结果,加之改造红粘土的水动力较弱,搬运距离短,因此,并未引起沉积物沉积学特征的变化。显然,由于新近纪红粘土的部分层段经历了后期流水的改造,从而引起磁各向异性参数相对风成原地堆积物的变化,形成类似于经水动力改造的化石围岩层的磁组构参数特征;而未经流水改造的风成原地堆积物形成的红粘土的磁组构参数特征变化较小,其特征与风成马兰黄土、第五层古土壤相似。

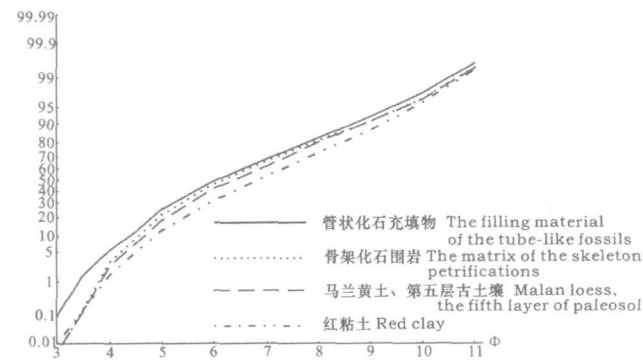


图 2 灵台剖面沉积物概率累积曲线

Fig 2 The probability cumulative curve of the sediments in Lingtai section

对灵台剖面各类型样品的磁组构测试数据而言,灵台马兰黄土与包括化石围岩在内的新近纪红粘土磁组构参数,类似于前人研究的风成与水成沉积物的差异,但其差异性又远不如马兰黄土与现代水成沉积物的磁化率各向异性特征明显。如前人把各向异性度 P 值等于 1.02 作为风成沉积物与现代水成沉积物的分界线^[12],而本文各向异性度 $P = 1.01$ 将风成马兰黄土与水成化石骨架围岩数据明显分成两个分布区域。究其原因,笔者认为,尽管新近纪红粘土经历了后期流水的改造,但其物质来源与第四纪马兰黄土、第五层古土壤相同,均为风力搬运的结果,其沉积物母质颗粒的磁背景值相差不大,加之改造红粘土母质颗粒流水的水动力条件较弱,搬运距离较短;研究表明,沉积物沉积后,成壤作用、生物扰动会使磁化率各向异性参数变小^[9];实验所用的磁各向异性仪器是捷克生产的最新型号卡帕桥 KLY-4S 磁化率仪,其测试的灵敏度及数据的精度较高。

3.2 磁组构参数组合特征分析

多个磁组构参数比单一参数更能准确地反映沉积物的成因类型。近年来,刘锈铭、张家强等学者利用多个磁组构参数组合特征反映沉积物的沉积动力状况,表明风成沉积物与水成沉积物在不同的磁组构参数组合图上有不同的分布区域。在 $F-I$ 、 $P-Q$ 组合图上(图 3),马兰黄土—第五层古土壤、新近纪红粘土、骨架化石围岩集中分布在 A、B、C 三个区域。马兰黄土、第五层古土壤样品分布在靠近原点的 A 区,反映风成沉积物的沉积动力较弱;磁基质颗粒 Q 变化范围较大,说明风成马兰黄土、第五层古土壤沉积过程中经历过少数事件性沉积;骨架化石围岩红粘土集中于远离坐标原点的 C 区,数据具有 P 高值 Q 低值的特点,反映其沉积动力强而稳定,具有典型水成沉积物的特点;而新近纪红粘土样品数据点位于 A 区与 C 区的过渡带 B 区,数据点与黄土—古土壤、化石围岩数据均有重叠,其中少部分数据点与马兰黄土—第五层古土壤相交,大部分数据点集中在靠近化石围岩样品的 C 区,样品的 P 、 Q 值从低到高均有分布,反映其沉积动力和稳定性变化较大。这种特征说明红粘土并非经历了单一的成因方式,其沉积过程既有风动力直接的作用,部分层段又有后期水动力的参与。

此外,我们对灵台剖面各样品类型数据作了 $P-F$ 组合关系图,并对每一成因类型数据作了线性趋势回归分析(图 4)。各类型样品的 P 和 F 均为线性相关,化石围岩红粘土数据远离原点, P 和 F 相关性最好, R^2 达到 0.981,具有水成沉积物的特点;而沉积动力较弱的风成马兰黄土、第五层古土壤样品数据靠近坐标原点分布, P 和 F 相关性相对较差, R^2 为 0.859,新近纪红粘土数据仍然位于过渡带,相关性接近于化石围岩, R^2 为 0.963。从各类型样品数据的拟合方程来看,新近纪红粘土数据的拟合方程更接近于化石围岩的特点,说明红粘土的沉积过程中,水动力参与沉积的作用较风成作用更具优势。

由于灵台剖面新近纪红粘土化石围岩及管状化石充填物岩性与其它层位红粘土没有区别,说明新近纪红粘土沉积与化石围岩及管状化石充填物的成因方式有相似之处。事实上,埋藏化石的红粘土经历了后期流水的改造,并不是由于化石的存在,而是与古地貌、古气候密切相关。在整个黄土高原新近纪红粘土地层中,只有部分层段埋藏化石,从而沉积形成磁组构参数较风力搬运而来的原地堆积物发生显著变化的水成化石骨架围岩层。而新近纪红粘土大部分

层段, 由于这样或那样的原因, 并没有形成化石的埋藏或使得动物遗体成为化石, 这并不预示着这些层段没有经历流水的后期改造。红粘土沉积期我国没有明显的大流域外流水系(岳乐平等, 1997), 在当时准平原化的红粘土沉积面之上, 雨水对大气搬运而来的

粉尘物质的改造从来没有停止。笔者等曾在青藏高原东北缘的临夏盆地晚第三纪红粘土地层中, 发现有大量夹杂于红粘土层中的水成砂岩透镜体, 有的红粘土层中, 夹杂有少量砾石, 有明显经后期流水改造的痕迹。

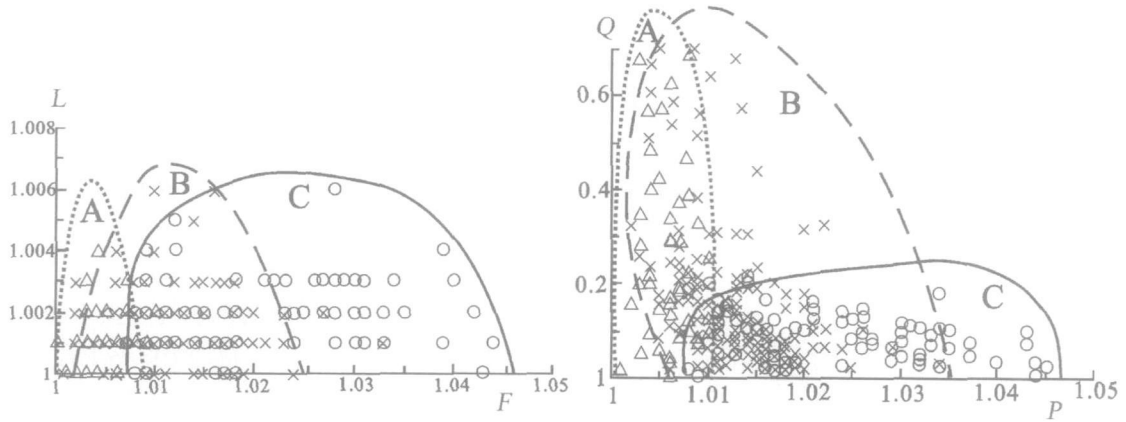


图 3 灵台剖面马兰黄土、第五层古土壤、红粘土、化石围岩 F—L、P—Q 组合关系图

△: 马兰黄土、第五层古土壤; ×: 红粘土; ○: 化石围岩; A: 黄土—古土壤; B: 红粘土; C: 化石围岩

Fig 3 The F—L and P—Q combination and correlation plot of Ma Lan loess, the fifth layer of paleosol, Red Clay of the shrouding rock of fossils of Lingtai section

△: Ma lan loess, the fifth layer of paleosol ×: Red clay ○: A: Loess-paleosol B: Red clay matrix C: The matrix

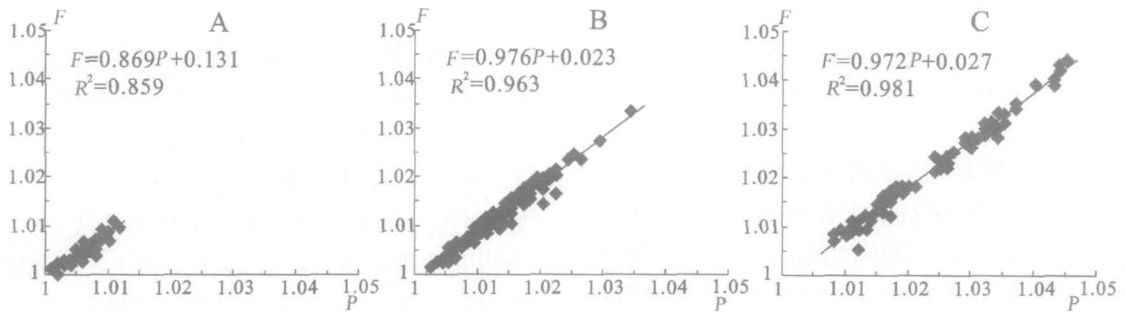


图 4 灵台剖面马兰黄土—第五层古土壤、红粘土、化石围岩 P—F 组合关系图

A: 黄土—古土壤; B: 红粘土; C: 化石围岩

Fig 4 The assembled diagram of P—F of Ma lan loess and the fifth layer of paleosol, red clay and the matrix in Lingtai section

A: Loess-paleosol; B: red clay; C: matrix

4 结论

埋藏化石的红粘土围岩层与第四纪风成马兰黄土、第五层古土壤, 磁组构参数及参数组合特征明显不同, 其磁组构参数具有水成沉积物的特征, 反映其经历了后期流水的改造。

新近纪红粘土磁组构参数及参数组合特征界于第四纪风成马兰黄土、第五层古土壤与埋藏化石的红粘土围岩层之间, 反映其沉积物既有风成原地堆积

物, 又有风动力搬运而来的母质颗粒经历了后期流水改造的产物, 是风成与后期流水改造共同作用的结果。

参考文献 (References)

- 1 M o D W, Derbyshire E. The depositional environment of the Late Pleistocene Red clay Jing-Le Basin, Shanxi Province, China. *Sedimentary Geology* 1991, 70: 33-40
- 2 Liu X M, Liu T S, Xu T C, et al. The primary study on magnetostatigraphy of the loess profile in Xifeng area, Gansu province. *Geo-*

- physical of A stronomy, 1988, 92: 345-348
- 3 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比—红粘土风成成因新证据. 沉积学报, 1999, 17(2): 226-232 [Lu Huayu An Zhisheng. Comparison of grain-size distribution of red clay and bess-palosol deposits in Chinese Loess Plateau. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 226-232]
 - 4 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. 第四纪研究, 1997, (2): 147-157 [Ding Zhongli Sun Jinli Zhu Rixiang et al. Eolian origin of the red clay deposits in the bess plateau and implications for Pliocene climatic changes. Quaternary Sciences, 1997, 17(2): 147-157]
 - 5 张云翔, 弓虎军. 甘肃灵台上新世哺乳动物化石埋藏学. 古生物学报, 2003, 42(3): 460-465 [Zhang Yunxiang Gong Hujun. Taphonomy of Pliocene Mammalian fossils from Lingtai, Gansu. Acta Palaeontologica Sinica, 42(3): 460-465]
 - 6 Evans S M E, Wang Y, Rutter N, Ding Z L. Preliminary magnetostratigraphy of the Red Clay underlying the bess sequence at Baoji, China. Geophysical Research Letters, 1991, 18(8): 1409-1412
 - 7 Guo Z T, Peng S Z, Hao Q Z, et al. Origin of Miocene Red-Earth Formation at Xifeng in Northern China and implications for Paleoenvironments. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 2001, 170: 11-26
 - 8 Kissel C, La j C, Lehman B, et al. Changes in the strength of the Iceland-Scotland overflow water in the last 200,000 years: evidence from magnetic anisotropy analysis of core. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 152: 25-36
 - 9 Hus J J. The magnetic fabric of some bess/palosol deposits. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28: 689-699
 - 10 Zhu Rixiang, Liu Qingsong, Jackson M, et al. J. Paleoenvironmental significance of the magnetic fabrics in Chinese bess-palosols since the last interglacial (< 130 ka). Earth and Planetary Science Letters, 2004, 221: 55-69
 - 11 Lagroix France, Banerjee Subir K. Cryptic post-depositional reworking in aeolian sediments revealed by the anisotropy of magnetic susceptibility. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 224: 453-459
 - 12 陈庆强, 李从先, 丛友滋. 沉积物磁组构与其动力沉积特征对应关系研究. 科学通报, 1998, 43(10): 1106-1109 [Chen Qingqiang Li Congxian Cong Youzi. The study of relation between magnetic fabric of sediment and character of dynamic deposit. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(10): 1106-1109]
 - 13 张玉芬, 李长安, 阎桂林, 等. 长江中游地区洪泛沉积物与正常河流沉积物磁组构特征对比研究. 地球物理学报, 2004, 47(4): 639-645 [Zhang Yufen, Li Chang'an, Yan Guilin et al. A comparative study of magnetic fabric characters between flooded sediments and normal river sediments. Acta Geophysica Sinica, 2004, 47(4): 639-645]
 - 14 Bao Zhu Liu, Yoshiki Saito, Toshitsugu Yamazaki. Paleocurrent analysis for the Late Pleistocene-Holocene incised valley fill of the Yangtze delta, China by using anisotropy of magnetic susceptibility data. Marine Geology, 2001, 176: 175-189
 - 15 刘秀铭, 许同春, 刘东生. 中国黄土磁化率各向异性与成因及其对第四纪研究的意义. 中国科学(B), 1989, (4): 441-448 [Liu Xiuming Xu Tongchun Liu Dongsheng. The anisotropy and genesis of the magnetic susceptibility of Chinese loess and its meaning in the quaternary science. Science in China (Series B), 1989, (4): 441-448]
 - 16 吴汉宁, 岳乐平. 风成沉积物磁组构与中国黄土区第四纪风向变化. 地球物理学报, 1997, 40(4): 487-494 [Wu Hanning Yue Leping. The anisotropy of magnetic susceptibility of aeolian dust sediment. The paleowind field in Chinese Loess Plateau. Acta Geophysica Sinica, 1997, 40(4): 487-494]
 - 17 张家强, 李从先, 丛友滋. 水成沉积与风成沉积及古土壤的磁组构特征. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(2): 85-94 [Zhang Jiaqiang Li Congxian Cong Youzi. Magnetic fabric characteristics of hydraulic deposit, eolian deposit and paleosol. Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19(2): 85-94]
 - 18 黄孝刚, 孙继敏. 末次间冰期以来黄土—古土壤序列的磁组构特征及其指示的古风向. 第四纪研究, 2005, 25(4): 515-522 [Huang Xiaogang Sun Jinli. Study of the magnetic fabrics in Chinese bess-palosols since the last interglacial: implication of the paleowind direction. Quaternary Sciences, 2005, 25(4): 516-522]
 - 19 朱日祥, 潘永信, 丁仲礼. 红粘土的磁学性质研究. 第四纪研究, 1996, (3): 232-237 [Zhu Rixiang Pan Yongxin Ding Zhongli. Magnetic property of red clay. 1996, (3): 232-237]
 - 20 张云翔, 岳乐平, 曹红霞. 黄河中游新近纪三趾马动物群生态序列. 科学通报, 2001, 46(14): 1196-1199 [Zhang Yunxiang Yue Leping Cao Hongxia. The ecological series of Neogene Hipparion fauna of the middle-yellow river. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(14): 1196-1199]
 - 21 Hrouda. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. Geophysical Surveys, 1982, 5: 37-82
 - 22 Tarling D H, Hrouda F. The Magnetic Anisotropy of Rocks. Chapman & Hall, New York, 1993, 217
 - 23 Jelinek V. Characterization of the magnetic fabrics of rocks. Tectonophysics, 1981, 99: 63-67
 - 24 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. 第四纪研究, 1998, (1): 86-94 [Ding Zhongli Sun Jinli, Yang Shiling et al. Magnetostratigraphy and grain size record of a thick red-bess sequence at Lingtai—the Chinese loess plateau. Quaternary Sciences, 1998, (1): 86-94]

Sedimentological Significance of the Magnetic Fabric of the Neogene Red Clay in Lingtai, Gansu Province

GONG Hu-jun¹ ZHANG Yun-xiang¹ YUE Le-ping¹ ZHANG Rui² WANG Wei¹

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

2 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The analysis of magnetic fabric of the Malan loess, the fifth layer of paleosol which is well-known for its intensity of weathering and pedogenesis, red clay and matrix indicates that the magnetic fabric parameters P , F of Neogene Red Clay are between Malan loess-the fifth layer of paleosol and matrix with the overlapping boundary as the equation " $F = 1.01$ ". The average value of L is equal to that of the eolian loess while the average value of Q , which is similar to that of the eolian Malan loess from the aspect of event deposition, approximately corresponds with that of the matrix red clay of hydraulic genesis and is in the transition area when it is in the assembled diagram of magnetic fabric parameters. All above show that the red clay deposits have the similar characters of magnetic fabric values resembling those of eolian deposits without experiencing transportation and also the features of shrouding rock of the fossils undergoing the hydraulic reconstruction, thus the conclusion can be reached that red clay is the product of the primary aeolian particles which go through the post-depositional hydraulic process.

Key words Lingtai red clay, magnetic fabric, genesis