

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0260-08

甘肃临夏盆地新近纪红粘土粒度组成的古环境意义

弓虎军 张云翔 黄雷

(西北大学大陆动力学教育部重点实验室 西北大学地质系 西安 710069)

摘要 临夏盆地十里墩剖面新近纪红粘土粒度组成特征、磁化率值分析表明: 8.2 Ma 以来, 临夏盆地经历了干旱化的逐级发展和东亚冬季风的逐渐加强过程。8.2~7.4 Ma, 东亚冬季风形成, 干旱化已经发生, 风成红粘土开始在盆地沉积; 7.4~6.8 Ma, 亚洲冬季风逐渐加强, 开始影响黄土高原地区, 形成大面积的红粘土堆积, 盆地为半干旱~半湿润的气候环境; 6.8~6.0 Ma 气候与构造稳定, 基本维持了前期的气候特点; 5.9~5.3 Ma, 盆地冬季风强度略有增加, 为干湿与干凉交替的气候环境; 5.3~4.8 Ma 盆地冬季风盛行、干旱化程度强烈, 气候特征为干凉; 4.8~4.0 Ma, 夏季风开始盛行, 气候变的湿润。4.0 Ma 后, 青藏高原开始发生又一次强烈隆升。

关键词 临夏盆地 新近纪 红粘土 粒度组成 古环境

第一作者简介 弓虎军 男 1972 年出生 在读博士研究生 第四纪地质学

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

1 引言

六盘山以东广大黄土高原地区, 普遍发育着下伏于第四纪黄土—古土壤地层的新近纪红色土状堆积。越来越多的证据显示其为风尘成因^[1~7], 而这一成因解释也为大多数学者接受。那么, 6~7.3 Ma B. P 在中国内陆出现大规模的红粘土堆积^[8,9], 其物源区发育的驱动因子、风尘物质长距离搬运的动力及其形成机理等诸多疑问需要广大学者去探讨。近年来, 一些学者认为物源区的形成是由于中国西北为主的亚洲内陆干旱化引起, 并认为青藏高原的隆升是促使亚洲内陆干旱化的主要因子^[10,11]; 也有学者认为北极冰盖的形成是导致中亚干旱化的主要原因之一^[10]。关于红粘土主要由东亚冬季风搬运还是由西风环流搬运的风动力问题也存在分歧^[12,13,14]。因此, 新近纪红粘土的研究对亚洲内陆干旱化的起源、亚洲季风的形成与青藏高原的隆升是否有某种时间上的耦合或成因上的联系等都具有重要的科学意义。

由于临夏盆地位于青藏高原东北边缘的山前拗陷中^[15], 该盆地可以在第一时间接受来自高原风化、剥蚀物的沉积, 高原隆升所激发的气候变化也可以较完整地在盆地沉积物中得到记录。因此, 其更加敏感地反映该时期青藏高原的隆升和盆地更短时间尺度上的气候变化特征。笔者试图通过对该盆地沉积地层磁化率值、粒度组成特征的分析, 探讨临夏盆地红

粘土沉积时的环境记录, 并为亚洲干旱化起源与风动力问题, 特别是这两者与青藏高原阶段性隆升的关系等重要学术问题提供新的资料。

2 剖面描述及样品采集与测量

临夏盆地位于甘肃省东南部, 由青藏高原东北缘雷积山深大断裂、秦岭北深大断裂和祁连山东延余脉马街山围成的一个山前拗陷盆地^[15]。中国科学院古人类与古脊椎动物研究所邓涛等在临夏盆地广河县城关镇南约 2.4 km 处 (N35°27'17", E103°34'22") 十里墩发现一个剖面连续, 沉积时限分界明显, 出产哺乳动物化石的新近纪红粘土沉积剖面。该剖面下部为风成堆积夹河湖相沉积, 其上均为典型新近纪风尘红粘土沉积。整个剖面无从地层颜色、岩性特征、出土化石等方面均与黄河中游地区新近纪红粘土沉积有很好的相似性。我们对该套连接青藏高原与黄土高原的长序列气候记录进行了连续粒度、磁化率采样。笔者等从老沟组^[16]砂砾岩顶部柳树组开始间隔 10 cm 连续采样, 采得样品 1508 块。其中柳树组总计厚度 99.9 m, 采样 999 块; 其上何王家组总厚度为 53.95 m, 除去其底部 3.05 m 砂砾层未采集样品外, 实采样品 509 块; 上覆 4.80 m 的积石组砾岩未采集样品。全部样品在西北大学教育部大陆动力学重点实验室处理测量, 仪器选用英国 Malvern 仪器公司

表 1 临夏盆地新生代地层划分沿革

Table 1 Divisions of the Cenozoic strata in the Linxia Basin

甘肃区测一队, 1965	《甘肃的第三系》, 1984	邱占祥等, 1990、1991	方小敏等, 1995	邓涛等, 2004	
Q ₁ ¹	亚粘土 胶结砾石层	Q 黄土	Q 黄土	Q ₁ ¹ 东乡组下段 N ₂ ² 积石组 N ₂ ¹ 何王家组	Q ₁ ¹ 午城黄土 N ₂ ² 积石组 N ₂ ¹ 何王家组
	临夏组四段	N ₁ 临夏组	N ₁ ³ 临夏组	N ₁ ³ 柳树组	N ₁ ³ 柳树组
N ₂	临夏组三段		N ₁ ² 东乡组	N ₁ ² 东乡组 N ₁ ² 上庄组	N ₁ ² 东乡组
	临夏组二段	N ₁ 野狐城组	N ₁ ¹ 辣子沟组	N ₁ ¹ 中庄组	E ₃ ² 椒子沟组
	临夏组一段	N ₁ 西柳沟组		E ₃ ¹ 他拉组	? E ₃ ¹ 他拉组

生产的 mastersizer2000 型激光粒度仪。磁化率分析使用南京师范大学生产的 MODEL—942 型磁化率仪。

临夏盆地新生代地层的研究由来已久(表 1)。先后有甘肃区测一队、邱占祥等、方小敏等、邓涛等学者对临夏盆地晚新生代地层进行了大量的研究,并对地层进行了古地磁年龄测定(新测定磁性地层年龄另文发表),取得了一系列成果。

十里墩剖面下部为未见底的老沟组河流相灰黄色砂砾岩。其上柳树组下部为红粘土与钙质结核混合层,不能明显分辨出结核与粘土层界线。局部夹杂有小于 2 mm 的磨圆差—中等的砾石,有的粘土层发育小粒石膏。其间存在局部透镜状砂体,一般厚度不大,呈疏松状分布,出土三趾马动物群化石^[16]。中上部星状结核发育,局部地层颜色发灰白、灰绿;何王家组下部为薄层灰绿色底砂砾岩,钙质胶结,出产早上新世化石^[16]。中部为板状成层钙质结核,有的结核颜色发黄、绿,似粉砂岩。上部为典型红粘土,颜色较其下伏的柳树组地层鲜红,更接近黄河中游地区的新近纪红粘土;积石组上覆于何王家组,为泥石流沉积成因的砂砾岩,钙质胶结,颜色呈发灰绿的杂色(图 1)。整个剖面颜色下深上浅,钙质结核发育,呈层状或星状与红粘土互层分布。

上述地层可概括为 22 个层段,岩性情况如下:
 上覆第四纪冲积砂砾层及黄土。
 22 砾岩层,粒径在 1~6 cm 之间,钙质胶结,灰绿色到杂色,为河流、泥石流沉积。 4.85 m
 21. 下段为红粘土与结核互层,其结核与下伏地层相比,数量明显减少,单层厚度减薄,地层颜色鲜红,局部略带棕红;上段地层为棕红色红粘土、未见胶膜。 12.03 m
 20. 红粘土与结核相间,质地坚硬。颜色较下伏地层明显变浅、发黄、成灰红色。 7.9 m
 19. 棕红色红层与灰黄色结核层成互层分布,钙质胶结,结核

直径一般在 6~10 cm 之间,钙质结核分布密度较大。 9.1 m
 18. 大量结核成层分布,板状、星状,有的结核呈灰绿色,似粉砂岩、钙质胶结、质地坚硬。 21.62 m
 17. 下部为红粘土与未固结疏松粉砂层混存,其上为疏松砂层,粉砂层厚 172cm;上部为灰绿色砂砾岩,钙质胶结,有大量挖掘化石的洞坑存在,出产 *Hystrix gansuensis*, *Prmephitis* sp., *Chasmaporthetes* sp., *Hyaenictitherium wongii*, *Cervavitus novoros-siae*, *Palaeotrugus* sp. 和 *Sinotrugus* sp. 等化石,未取样,厚度 305 cm。 4.77 m
 16. 本段厚度较大,岩性较接近,如果把一套结核层与一套粘土层作为一个成壤组合则可分为 12 个成壤组合。本层颜色为棕红色,结核层普遍发黄,粘土层与结核层厚度相当。 18.82 m
 15. 棕红色粘土,有少量结核星状分布,颜色为棕黄色。 3.95 m
 14. 大粒径结核发育,粒径最大可达 60cm,结核之间有碎屑砂砾岩填充。 0.9 m
 13. 红褐色粘土与结核成层状分布,6套结核分布其中,单层厚度在 20~60 cm 之间;中间发育一套 10 cm 左右的灰绿色疏松局部砂层。 6.44 m
 12. 下部为红粘土,结核层不规则分布,厚 1.6 m;中段为厚 5 m 棕红色粘土,结核星状分布;上段为大粒径结核层。 5.35 m
 11. 下段为棕红色粘土、大量结核呈星状分布,只有少量成层分布,结核颜色呈略带红色的土黄色;上段为俗称鸡粪土的灰绿色泥岩,厚 109 cm,结核零星分布。 9.8 m
 10. 下部为局部河道砂,厚 1.0m,岩性为灰绿色疏松砂砾岩、含砾粉砂土;中部为棕红色红粘土,大套灰黄结核层,厚 2.2 m,粒径在 5~20 cm 之间;上部为厚 70cm 的灰绿色疏松砾质砂,从其延伸情况看,为局部砂、呈透镜体状。 3.9 m
 9. 下部有 10 cm 厚的灰绿色局部粉砂岩;其上为结核呈星状分布的红粘土。 4.4 m
 8. 红棕色粘土层,中间夹有厚度为 20cm 的 3 层结核层。 7.05 m
 7. 下段厚度 5.53 m,为棕红、灰红色的红粘土,夹不成层分布结核,在其最下部红粘土中夹有小砾石,无层理;中段为红棕色粘土,少量结核星状分布其中;上部为厚 70cm 结核层。

5.44 m

6 下段为厚 25 cm 的局部沉积的透镜体粉砂岩;其上为浅红褐、浅红发黄色含砾红粘土,厚 70 cm;上段为厚 1.5 m 的灰黄、灰白结核层,平均粒径在 10 cm 左右,含石膏。 2.45 m

5. 结核层与棕红、灰褐色粘土组成,结核粒径较大,在 6~13 cm 之间,结核与粘土混合发育,整层在区域上近于水平。

1.5 m

4. 粘土颜色变浅,呈发黄的浅褐色、浅棕红色,并偶见石膏存在。结核混杂于粘土之中,一般在 5~13 cm 之间,最大可达 30 cm,结核颜色呈带黄的浅褐色。

7.3 m

3. 结核呈带白、绿黄的浅红色,粒径在 2~20 cm 之间;粘土颜色较浅,与结核层没有明显界线。

3.8 m

2 下部为浅红色粘土,未见粘膜,结核颜色呈黄白到灰绿;中部为一大套棕红色粘土,质地均一,厚度为 3.3 m;上部下段为一透镜体的砂砾岩,颜色呈浅黄色到淡绿色,厚度在 10~40 cm 之间,上段为疏松黄绿色粉砂岩,砾质粉砂岩,厚 1.26 m,为局部河道砂体。

4.76 m

1. 浅红色粘土,下部为灰绿色粉砂质泥岩,厚度为 30 cm;中部间有黄绿色粉砂岩,厚度为 32 cm。

0.6 m

老沟组砂砾岩。(不整合)

3 粒度特征分析

前人在研究黄土—古土壤剖面时,把中值粒径作为大致反映冬季风强度相对变化的指标;粗颗粒含量排除了与成壤作用有关的粘土成分,是较好的冬季风代用指标;小于 2 μm 粘土粒与风化作用密切相关,间接地指示了夏季风强度的变化^[17~19]。而红粘土沉积的众数粒级则集中在 5~50 μm 之间。因此,我们选取小于 2 μm 、大于 63 μm 、5~50 μm 、中值粒径、磁化率五组数值绘制与深度的曲线(图 1)作为分析、研究临夏盆地新近纪气候演变规律的基本资料。

3.1 粒度组成

整个剖面粒度特征总体上表现为何王家组中砂级以上含量少见,大于 63 μm 粒级的颗粒均值仅占 0.530%,各粒级百分比含量和中值粒径变化不大;而下部柳树组砂粒级含量变幅较大,大于 63 μm 粒级的颗粒均值达到 1.92%。小于 2 μm 粘土粒级所占百分比相差不大,何王家组为 11.22%,柳树组为 12.17%。其中柳树组中下部 158.75~157.35 m、155.85~154.95 m、151.75~151.65 m、150.05~148.85 m、111.65~111.05 m、105.75~105.05 m 处由于受到暂时性流水的作用,形成 6 段局部、区域性的经后期流水改造后的薄层疏松透镜体砂砾岩层,此 6 段大于 63 μm 粒级的粗颗粒含量较高,分别为 27.24%、30.56%、45.21%、41.75%、15.27%、

68.81%。我们根据剖面粒度及磁化率总体特征将新近纪十里墩剖面划分为六段加以讨论(图 1)。其中以磁化率曲线和小于 2 μm 曲线的分段显示比较清楚,由上而下划分的六段是:第 1 段,4.85~17.25 m,相当于岩性剖面的 21 层组,古地磁年龄为 4.0~4.8 Ma B. P.;第 2 段,17.25~34.25 m,相当于岩性剖面的 20~19 层组,古地磁年龄为 5.8~4.3 Ma B. P.;第 3 段,34.25~55.85 m,在岩性剖面的 18 层组,古地磁年龄为 5.3~6.0 Ma B. P.;第 4 段,58.95~90.85 m,相当于岩性剖面的 13~16 层组,古地磁年龄为 6.0~6.8 Ma B. P.;第 5 段,90.85~122.25 m,在岩性剖面的 8~12 层组,古地磁年龄为 6.8~7.4 Ma B. P.;第 6 段,122.25~158.75 m,相当于岩性剖面的 1~7 层组,古地磁年龄为 7.4~8.2 Ma B. P.;第 1~2 段属于何王家组,3~6 段属于柳树组。

第 1 段中值粒径平均值为 8.07 μm ,介于 13 μm ~6.41 μm 之间;大于 63 μm 的砂粒级百分比为 0.40%,其最大值为 1.23%,最小值为 0.12%;而粉砂粒级 5~50 μm 的含量为 64.62%;小于 2 μm 的颗粒含量均值为 11.97%。

第 2 段中值粒径与大于 63 μm 的砂粒级百分比相对于第 1 段有所增大,均值分别为 9.14 μm 和 0.60%;小于 2 μm 的颗粒含量则减少,为 10.78%;粉砂粒级 5~50 μm 粒级的颗粒含量为 67.43%。

第 3 段粒度特点:该段中值粒径平均值相对变小,而大于 63 μm 的砂粒级百分比增大,分别为 8.66 μm 和 0.58%;小于 2 μm 的粘土粒级含量变化不大,为 10.91%;5~50 μm 粒级的颗粒百分比含量则减少为 66.50%。

十里墩剖面柳树组一个最鲜明的粒度特点是大于 63 μm 的砂粒级百分比相对较高,由砂粒级粗颗粒含量较高层与其百分含量较低互层组成。柳树组第 4 段大于 63 μm 的砂粒级百分比均值为 1.22%,其粒级百分比分布在 0.17%~10% 之间;中值粒径与何王家组相比变化不大,均值为 7.69 μm ;而粉砂粒级的颗粒含量相对降低,5~50 μm 的百分含量为 62.17%;小于 2 μm 的粘土颗粒则达到 11.82%。

第 5 段大于 63 μm 的砂粒级百分比含量均值为 1.86%;中值粒径与小于 2 μm 的粘土颗粒百分比含量变化不大,均值分别为 8.18 μm 、11.63%;粉砂粒级的颗粒百分比含量相对第 4 段有所降低,5~50 μm 的百分含量为 61.99%。

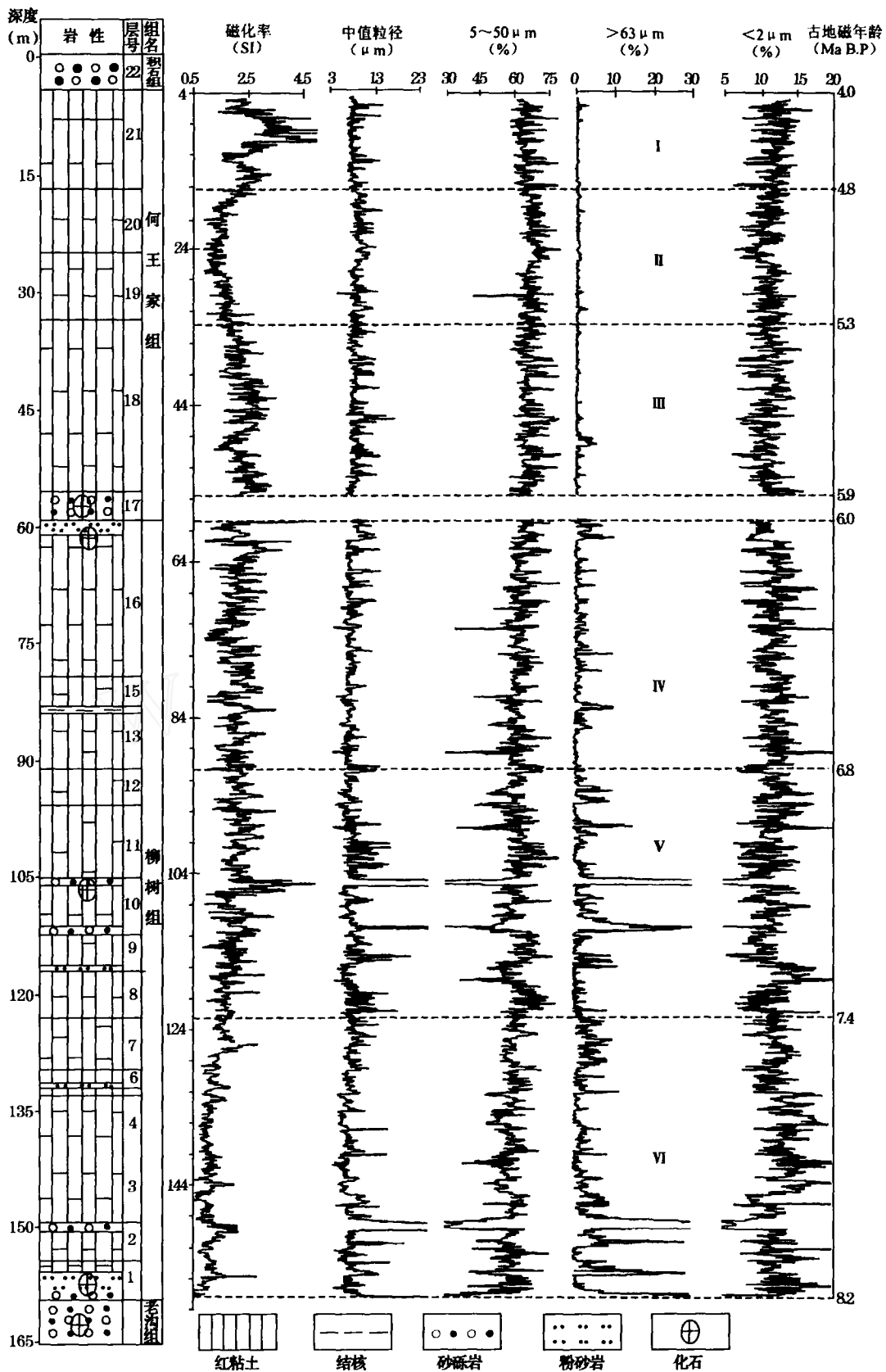


图 1 临夏盆地新近纪红粘土剖面粒度曲线

Fig 1 Grain size curves of Neogene red clay siltstone, Linxia Basin, Gansu Province

第 段中值粒径均值为 $7.70 \mu\text{m}$; 小于 $2 \mu\text{m}$ 的粘土颗粒百分比含量增大而 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 的百分比含量降低, 分别为 11.31% 和 59.07% ; 大于 $63 \mu\text{m}$ 粉砂粒级的颗粒百分比含量达到 2.68% 。

十里墩剖面粒度组成总体上和六盘山以东黄土高原地区的灵台、西峰^[13,20]等剖面有非常好的相似性。从图 1 可看出整个剖面粒级组成总体上偏细, 主要为粉砂和粘土, 以粉土粒级 ($5 \sim 50 \mu\text{m}$, 平均占到 63.63%) 为主; 粘土级颗粒次之 (小于 $2 \mu\text{m}$ 的粘土颗粒含量均值为 11.70%); 小于 $2 \mu\text{m}$ 的粘土颗粒百分比含量和 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 粉砂级百分比含量分布比较稳定; 除部分层段外, 砂 ($>63 \mu\text{m}$) 粒级含量较少, 何王家组较柳树组分布稳定, 红粘土颗粒有比例地分布于各个粒级之中。这些特征表明临夏盆地十里墩剖面与灵台、西峰等剖面有较为相似的成因过程。

3.2 粒度、磁化率曲线特征分析

临夏盆地新近纪红粘土剖面粒度曲线总体上较六盘山以东广大黄土高原地区显示高频变化的特点 (图 1)。大于 $63 \mu\text{m}$ 曲线与中值粒径曲线表现为正相关, 而与小于 $2 \mu\text{m}$ 、 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 为反相关关系。四条粒度曲线在整个剖面中, 第 段变幅最大; 第 段, 四条曲线变幅减小; 第 段、 、 段, 四条粒度曲线变化相对平稳。而磁化率在何王家组第 段处于峰谷, 在何王家组第 段达到峰值。以上曲线特征表明: 临夏盆地在第 段, 构造或气候变化相对剧烈, 而第 段则变化减弱。第 、 、 段, 临夏盆地构造稳定, 在第 、 段气候变化相对加剧。

红粘土磁化率与黄土一样对夏季风所决定的成壤作用有着较好的指示意义^[11]。尽管临夏盆地新近纪红粘土地层为风成堆积夹河湖相沉积, 红粘土中有水成沉积物的加入, 实际上对磁化率的影响是有限的^[11]。依据磁化率测量结果 (图 1), 临夏盆地红粘土磁化率特征表现为: 从晚中新世以来, 磁化率值总体上表现为逐渐增大的趋势; 红粘土由底到顶磁化率值阶段性地波动; 红粘土序列总体上存在两峰两谷的特点, 波谷分别位于第 段和第 段, 波峰位于第 段~第 段和第 段。该区红粘土地层第 段磁化率值从波谷到第 段、 段波峰过渡和缓, 且磁化率波动频率较小, 反映该段红粘土层沉积时气候演化经历了较长时间尺度, 具有渐进性。何王家组沉积时, 磁化率曲线波动频率高, 幅度较大, 说明红粘土沉积后期气候波动幅度较大, 气候具突变性。我们把十里墩剖面磁化率曲线和西峰巴家咀、赵家川、灵台、蓝田

段家坡^[11]磁化率曲线进行了对比, 发现一个共同的特点: 从晚中新世以来, 磁化率值总体上表现为逐渐增大的趋势。特别是本剖面与地理位置上相对靠南的蓝田段家坡剖面的磁化率曲线有很好的一致性, 都表现为上部高频高幅而下部低频低幅的变化特征。这也许说明这些剖面在大尺度范围内, 东亚季风系统的演化在区域上的相似性。

4 结果与讨论

8.2 Ma B. P 前, 柳树组下伏地层中中新世晚期老沟组^[11]在本剖面沉积了一套厚达 50m 的砂砾岩, 尽管由于后期剥蚀程度不同而使各个地点厚度变化较大, 但这一地层在临夏盆地分布十分广泛, 这是青藏高原发生强烈隆升的直接证据。近年来, 许多学者认为青藏高原在 8.0 Ma B. P 之前发生过强烈隆升^[21,22], 其中 Harison, Copeland 等^[23]根据喜马拉雅山和青藏高原南部证据, 认为青藏高原在 8.0 Ma B. P 之前发生过强烈隆升。本区孢粉资料也表明^[24], 8.5 Ma B. P 后, 临夏盆地中旱生、半旱生草本植物开始大量增加。由 Res 等的北太平洋风尘通量变化^[25]可知, 从 12Ma 以来, 北太平洋 $885/886$ 孔的风尘通量从约 8.5 MaBP 开始升高。老沟组^[11]发现的代表气候湿润, 森林环境的铲齿象动物群在柳树组转变为代表半干旱—半湿润的疏林草原环境生存的三趾马动物群。而柳树组下部 (第 段) 所对应的磁化率值也维持在一个低值的范围 (图 1)。这些特征均指示了临夏盆地干旱化开始可能不晚于 8.2 Ma B. P 。干旱化的发生以及由于青藏高原隆升到一定高度而产生的热力差异, 冬季风的形成, 在临夏盆地改变了本区气候由早先形成的以夏季风为主的季风系统、西风环流^[26~28]控制的格局。 8.2 Ma B. P 后, 临夏古湖逐渐萎缩, 由河湖相沉积逐渐转变为在临夏古湖边缘以风尘沉积为主的红粘土沉积。此后, 临夏盆地红色粘土广泛发育, 干旱—半干旱草原植被茂盛, 在草原之上有大片内陆湖泊的景观开始形成。这些证据说明青藏高原的强烈隆升与本区干旱化的发生、冬季风的形成及红粘土的沉积有某种时间上的耦合。因此, 包括中国西北地区在内中亚干旱化的发生、东亚冬季风的形成, 青藏高原的隆升可能是主要的影响因素之一。

第 段 ($8.2 \sim 7.4 \text{ Ma B. P}$), 由于青藏高原已隆升到一定高度, 近地面活动的高度小于 3000 m 的冬季风^[29]开始形成, 但其相对较早前形成的夏季风^[28]

能量较小,还不能影响到六盘山以东广大黄土高原地区。但是,在临夏盆地晚中新世柳树组沉积初期,盆地已经具备了红粘土沉积所需的作为动力的东亚冬季风和因干旱化而形成的大面积物源区,而干旱一半干旱条件下形成的草原环境,或至少是疏林草原环境为柳树组下部第 1 段红粘土的沉积提供了有利的背景条件^[30]。由于第 2 段(8.2~7.4 Ma B. P)沉积时该区夏季风较强,相对后期降雨量较多,河流短促且作用短暂,加之沉积通量较小,物源近,因此,红粘土沉积表现为后期的流水再堆积改造,甚至在 158.75~157.35 m、155.85~154.95 m、151.75~151.65 m、150.05~148.85 m 沉积了四段透镜砂砾岩层,形成风尘沉积夹有河湖相沉积的红粘土堆积。

第 3 段(7.4~6.8 Ma B. P),磁化率及各粒度曲线(图 1)相对高频、高幅的变化特点表明:该段气候变化复杂,地层仍有少量薄层疏松砂砾透镜体沉积。但本段趋于流水作用对粘土沉积的影响减弱,该段大于 63 μm 砂粒级百分含量较第 2 段有所减少,但是,反映成壤作用的小于 2 μm 粘土粒级百分含量降低,中值粒径、2~63 μm 、20~63 μm 、5~50 μm 粒级百分含量均不同程度地增大(前者分别为 7.619 μm 、84.271%、16.066%、59.027%,后者分别为 8.182 μm 、86.512%、16.783%、61.987%)。说明此时冬季风相对加强,盆地气候进一步变干,为半干旱一半湿润的气候环境。此时,冬季风在夏季风整体能量大于冬季风能量的大背景下,进一步得到加强,并且其能量已增大到足以影响整个黄土高原地区,在六盘山以东地区形成大面积的红粘土堆积^[9,11,31]。此外,地层岩性由此前发育层状结核转变为发育大量星散状结核。有资料研究表明,随着降雨量的降低,结核有从层状向星散状结核演化的趋势^[31]。我们把前人研究过的位于黄河中游地区从北往南的府谷、佳县、西峰、洛川、灵台、西安剖面大于 63 μm 的砂粒级百分比含量与临夏盆地十里墩剖面柳树组与何王家组大于 63 μm 的砂粒级百分比含量进行了对比^[13,20],发现其百分比含量分别为 16.7% (府谷)、8.85% (佳县)、2.34% (洛川)、1.92% (临夏柳树组)、0.53% (临夏何王家组)、0.52% (灵台)、0.31% (西峰)、0.16% (西安),说明冬季风对于不同区域剖面粒度的影响呈现出由北、西北到南、东南递减的趋势。当然也不能排除物源、沉积地形等因素对粒度组分的影响。

第 4 段(6.8~6.0 Ma B. P),磁化率曲线和各粒度曲线变化稳定,反映了此时段气候与构造稳定,基

本维持了第 3 段沉积结束时的气候、构造特点。盆地为半干旱一半湿润的气候环境。

第 5 段(5.9~5.3 Ma B. P)下部,该剖面沉积了 3.05m 的河流相底砾岩。在整个临夏盆地,该套底砾岩厚度均不大,有的地方缺失。因此,可以认为该套砂砾岩的沉积是完全由于本区气候因素决定的,而非构造变化造成的。何王家组开始沉积时,夏季风盛行,降雨量增加,造成河流相底砾岩大面积沉积。从图 1 可看出,该段磁化率曲线与小于 2 μm 粘土粒级曲线分别有一明显的波峰和波谷,分别位于深度 43 m、50 m 处,说明该段经历了一个小尺度范围变化的冬季风与夏季风盛行的气候旋回。从第 5 段到第 6 段磁化率曲线变化稳定,而中值粒径、2~63 μm 、20~63 μm 、5~50 μm 百分含量总体上增大(前者分别为 7.687 μm 、86.955%、15.450%、62.169%,后者分别为 8.656 μm 、88.507%、18.812%、66.502%),而小于 2 μm 粒级百分含量减少的变化趋势来看,该段在维持第 5 段气候特征基本不便的情况下,冬季风强度略有增加,为干湿与干凉交替的气候环境。

何王家组第 6 段(5.3~4.8 Ma B. P),磁化率曲线与各粒度曲线相关性最好。磁化率曲线与小于 2 μm 粘土粒级曲线正相关,波谷对应于波谷;而与中值粒径、5~50 μm 、大于 63 μm 粒度曲线反相关,前者波谷分别对应后者波峰。说明该段本区冬季风盛行,干旱化进一步加强,是临夏盆地新近纪沉积以来,冬季风盛行、干旱化程度最强烈的一次。盆地气候特征表现为干凉。

何王家组第 7 段(4.8~4.0 Ma B. P)磁化率值增大,代表夏季风的小于 2 μm 粘土粒级百分含量增加,而中值粒径与代表冬季风的大于 63 μm 粗粒级百分含量降低,夏季风开始盛行。气候变的湿润。4.01 Ma 后,青藏高原急剧隆升,大范围、高强度的积石组砂砾岩开始沉积。此后,可能引起大气环流的重大变化。

总之,临夏盆地从 8.2 Ma B. P 开始沉积风尘成因的红粘土堆积,这也许意味着盆地气候环境发生了重大变化,干旱化已经发生,东亚冬季风开始形成。青藏高原在 8.2 Ma B. P 左右的强烈隆升与临夏盆地新近纪风尘红粘土开始堆积在时代上的耦合,说明青藏高原的隆升可能是包括中国西北地区在内亚洲干旱化开始、东亚冬季风形成的主要影响因素之一。干旱化开始与东亚冬季风形成的时间不迟于 8.2 Ma B. P。至于是否有别的因素影响干旱化发生、东亚冬

季风形成以及它们发生和形成的时间问题,则需进一步研究。

尽管影响红粘土沉积的因素复杂多样,但其磁化率值和粒度曲线仍然能够在一定程度上反映沉积环境和古气候的变化。临夏盆地新近纪红粘土粒度组成总体上与广大黄土高原地区红粘土粒度组成较为相似。根据临夏盆地新近纪红粘土磁化率值和粒度组成曲线的变化规律,揭示了自新近纪以来,包括中国西北地区在内亚洲干旱化的逐级发展和东亚冬季风环流强度的逐渐加强。

野外工作得到中国科学院古脊椎动物与古人类研究所邓涛研究员的大力协助。研究过程中西北大学地质学系岳乐平教授给予了许多有益的意见与建议,在样品测试过程中,得到西北大学地质学系研究生杨利荣热情的帮助,特致谢。

参考文献 (References)

- Zheng H B, An Z S, Shaw J. New contributions to Chinese Plio - Pleistocene magnetostratigraphy. *Physical Earth Planetary International*, 1992, 70: 146 ~ 156
- Sun D H, Liu T S, Chen M Y, *et al* Magnetostratigraphy and paleoclimate of red clay sequences from the Chinese Loess Plateau. *Science in China (D)*, 1997, 40 (4): 337 ~ 343
- Sun D H, Shaw J, An Z S, *et al* Magnetostratigraphy and paleoclimatic interpretation of a continuous 7.2 Ma late Cenozoic eolian sediments from the Chinese Loess Plateau. *Geophysics Research Letters*, 1998, 25 (1): 85 ~ 88
- Ding Z L, Sun J M, Liu T S, *et al* Wind - blown origin of the Pliocene red clay formation in the central Loess Plateau. *China Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161: 135 ~ 143
- Ding Z L, Sun J M, Yang S L, *et al* Preliminary magnetostratigraphy of a thick eolian red clay-loess sequence at Lingtai the Chinese Loess Plateau. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25: 1225 ~ 1228
- 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, 17 (2): 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. *Quaternary Sciences*, 1997, 17 (2): 147 ~ 157]
- 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土—古土壤粘度特征对比—红粘土风成成因的新证据. *沉积学报*, 1999, 17 (2): 226 ~ 232 [Lu Huayi, An Zhisheng. Comparison of grain-size distribution of red clay and loess - paleosol deposits in Chinese Loess Plateau. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (2): 226 ~ 232]
- 杨石岭, 候圣山, 王旭, 等. 涇川晚三化红粘土的磁性地层及其与灵台剖面的对比. *第四纪研究*, 2000, (5): 423 ~ 434 [Yang Shilin, Hou Shengshan, Wang Xu, *et al* Completeness and continuity of the late tertiary red clay sequence in northern China: Evidence from the correlation of magnetostratigraphy and pedostratigraphy between Jinchuan and Lingtai. *Quaternary Sciences*, 2000, (5): 423 ~ 434]
- 孙东怀, 陈明扬, Shaw J, 等. 晚新生代黄土高原风尘堆积序列的磁性地层年代与古气候记录. *中国科学 (D 辑)*, 1998, 28 (1): 79 ~ 84 [Sun Donghuai, Chen Mingyang, Shaw J, *et al* Magnetostratigraphy and Paleoclimate record of Late Cenozoic eolian sequences on the loess Plateau. *Science in China (D)*, 1998, 28 (1): 79 ~ 84]
- 郭正堂, 彭淑贞, 郝青振, 等. 晚第三纪中国西北干旱化的发展及其与北极冰盖形成演化和青藏高原隆升的关系. *第四纪研究*, 1999, (6): 556 ~ 567 [Guo Zhenhtang, Peng Shuzhen, Hao Qingzhen, *et al* Late tertiary development of aridification in northwestern China: Link with the Arctic ice-sheet formation and Tibetan uplifts. *Quaternary Sciences*, 1999, (6): 556 ~ 567]
- 安芷生, 孙东怀, 陈明扬, 等. 黄土高原红粘土序列与晚第三纪的气候条件. *第四纪研究*, 2000, 20 (5): 435 ~ 446 [An Z S, Sun D H, Chen M Y, *et al* Red clay sequences in Chinese loess Plateau and recorder paleoclimate events of the late Tertiary. *Quaternary Sciences*, 2000, 20 (5): 435 ~ 446]
- An Z S, Wang S M, Wu X H, *et al* Eolian evidence from the Chinese Loess Plateau: the onset of the late Cenozoic great glaciation in the Northern Hemisphere and Qinghai-Xizang Plateau uplift forcing. *Earth Sciences (in Chinese)*, 1999, 42 (3): 258 ~ 271
- 安芷生, 刘晓东. 东亚季风气候的历史与变率. *科学通报*, 2000, 45: 238 ~ 249 [An Zhisheng, Liu Xiaodong. The history and change rate of the monsoon climate of East Asia. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45: 238 ~ 249]
- 丁仲礼, 杨石岭, 孙继敏, 刘东生. 2.6Ma 前后大气环流重构的黄土—红粘土沉积证据. *第四纪研究*, 1999, (3): 277 ~ 281 [Ding Zhongli, Yang Shilin, Sun Jimin, Liu Dongsheng. Re-organization of atmospheric circulation at about 2.6Ma over northern China. *Quaternary Sciences*, 1999, (3): 277 ~ 281]
- 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 甘肃临夏盆地新生代地层年代测定与划分. *科学通报*, 1997, 42 (14): 1457 ~ 1471 [Fang Xiaomin, Li Jijun, Zhu Junjie, *et al* Division and age dating of the Cenozoic strata of the Linxia Basin in Gansu, China. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42 (14): 1457 ~ 1471]
- 邓涛, 王晓鸣, 倪喜军, 等. 临夏盆地新生代地层及其哺乳动物化石证据. *古脊椎动物学报*. 2003, 42 (1): 45 ~ 66 [Deng Tao, Wang Xiaoming, Ni Xijun, *et al* Cenozoic stratigraphic sequence of the Linxia basin in Gansu, China and its evidence from mammal fossils. *Vertebrata Palasiatica*, 2003, 42 (1): 45 ~ 66]
- 薛祥照, 鹿化煜, 周杰. 陕西旬邑新近系红土剖面粒度组成的古气候意义. *沉积学报*, 2002, 20 (1): 119 ~ 123 [Xue Xiangzuo, Lu Huayi, Zhou Jie. Paleoclimatic significance of Grain - size composition of Neogene red earth at Xunyi, Shaanxi province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20 (1): 119 ~ 123]
- 鹿化煜, 安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义. *科学通报*, 1997, 42 (1): 66 ~ 69 [Lu Huayi, An Zhisheng. Grain-size composition of Luochuan loess and Paleoclimate implications. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42 (1): 66 ~ 69]
- 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义. *中国科学 (D 辑)*, 1998, 28 (3): 278 ~ 283 [Lu Huayi, An Zhisheng. Paleoclimatic Significance of grain-size composition of loess-Palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau. *Science in China (D)*, 1998, 28 (3): 278 ~ 283]
- 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. *沉积学报*, 2001, 19 (2): 182 ~ 185 [Miao Xiaodong, Sun Youbing, Lu Huayi. Spatial variation of grain - size of the late Pliocene Red Clay, Chinese loess plateau. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19 (2): 182 ~ 185]
- Quade J, Cerling T E, Bowman J R. Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in northern Pakistan. *Nature*, 1998, 342: 163 ~ 166
- Molnar P, England P, Martinod J. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau, and the Indian monsoon. *Reviews of Geophysics*, 1993, 31: 357 ~ 396
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, *et al* Raising Tibet. *Science*,

1992, 255: 1663 ~ 1670

24 李吉均,方小敏. 临夏地区 30.6 ~ 5.0 Ma 红层孢粉植物群与气候演化记录. 科学通报, 1998, 43 (3): 301 ~ 304 [Ma Yuzheng, Li Jijun, Fang Xiaomin. The Pakynoflora of red layer and climatic changes record between 30.6 and 5.0 Ma in Linxia Basin. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (3): 301 ~ 304]

25 Rea D K, Snoeckx H, Joseph L H. Late Cenozoic eolian deposition in the North Pacific: Asian drying, Tibetan uplift & cooling of the Northern Hemisphere. *Paleoceanography*, 1998, 13: 215 ~ 224

26 施雅风,汤懋基,马玉贞. 青藏高原二期隆升与亚洲季风孕育探讨. 中国科学 (D 辑). 1998, 28 (3): 262 ~ 271 [Shi Yafeng, Tang Maoji, Ma Yuzheng. The discussion of Asian monsoon preparation and the second stage uplift of Qinghai ~ Tibet Plateau. *Science in China*, 1998, 28 (3): 262 ~ 271]

27 彭华. 关于青藏高原隆升对中国气候影响的讨论. 干旱区地理. [Peng Hua. The uplift of Qinghai-Tibetan Plateau and its effect on the formation and evolution of China climatic changes. *Arid Land Geography*, 1994, 17 (3): 1 ~ 9]

28 刘东生,郑锦平,郭正堂. 亚洲季风系统的起源和发展及其两极冰和区域构造运动时代耦合性. 第四纪研究, 1998, 8: 194 ~ 203 [Liu Tongsheng, Zhen Jinpin, Guo Zhengtang. Initiation and evolution of the Asian monsoon system timely coupled with the ice-sheet growth and the tectonic movements in Asia. *Quaternary Sciences*, 1998, 8: 194 ~ 203]

29 陈隆勋. 东亚季风. 北京气象出版社, 1991. 1 ~ 262 [Chen Longxun. The monsoon system of East Asia. Beijing meteorological press, 1991. 1 ~ 262]

30 李吉均,赵志军. 德日进“亚洲干极”理论的现实意义. 第四纪研究, 2003, 23 (4): 366 ~ 371 [Li Jijun, Zhao Zhijun. Modern theoretical significance of “the dry pole of Asia” B.Y.P. Teil Hard AE Chardin. *Quaternary Sciences*, 2003, 23 (4): 366 ~ 371]

31 张云翔,岳乐平,陈丹玲,等. 中国北部新第三纪红层划分的岩石学标志及其意义. 地层学杂志, 1997, 21 (1): 63 ~ 67 [Zhang Yunxiang, Yue Leping, Chen Danling, et al. Petrographic marks for stratigraphic division of the Neogene red clay in north China and their significance. *Journal of Stratigraphy*, 1997, 21 (1): 63 ~ 67]

Paleoenvironment Significance of Grain-size Composition of Neogene Red Clay in Linxia Basin, Gansu Province

GONG Hu-jun ZHANG Yun-xiang HUANG Lei

(The Key Laboratory of Northwest University Continental Dynamics, Ministry of Education, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract The Linxia basin is situated in the northeastern part of the Qinghai-Tibet Plateau, and it is a flexural basin bounded by mountains. The weathering and erosion materials that come from Plateau can be deposited in the Basin in the first place, the sediments of the basin completely record the history of the climatic changes brought by the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau. Therefore, the sediments of the Linxia basin can sensitively indicate the uplifting processes of the Qinghai-Tibet Plateau and the climatic changes in a short period of time.

Analytic consequences of the grain-size composition and the magnetic susceptibility of the Neogene Red Clay in Linxia basin show: Since 8.2 Ma, climatic changes undergo Asian aridification periodic evolution and east Asian winter monsoon secular reinforcement processes. During 8.2 ~ 7.4 Ma, east Asian winter monsoon begins to form in this area, early stage Asian aridification results in the formation of eolian dust source, Neogene Red Clay begins to deposit in the basin, especially, aridity or semi aridity grassland environment and/or grassland environment with less forest offer favorable background for the Red Clay deposits. The east Asian winter monsoon that is gradually strengthened begins to influence the Loess Plateau in the east part of the Liupan mountain (7.4 ~ 6.8 Ma), then, mass accumulations of the Red Clay start to deposit in the loess plateau. Meanwhile, the climate of the basin transforms semiaridification into semihumidity. From 6.8 Ma to 6.0 Ma, the climate and the tectonics are fairly stable. During 5.9 ~ 5.3 Ma, climatic changes undergo a period of small scope changes between the winter and summer monsoon intensity in Linxia basin, it indicates a dry wet and dry cool climatic environment. Between 5.3 Ma and 4.8 Ma, the east Asia winter monsoon system prevails, aridification is the strongest in the basin evolution history from 8.2 Ma to 4.0 Ma, climatic characteristics is cool and dry. The summer monsoon begins to strengthen and the climate becomes warm and humid (4.8 ~ 4.0 Ma). After 4.0 Ma B. P., the Qinghai-Tibet Plateau begins to strongly uplift again, which results in the deposits of massive gravel conglomeration named Jishi Formation in the Linxia Basin.

Key words Linxia Basin, Neogene, red clay, grain-size composition, paleoenvironment