

砾石钙膜显微纹层定年方法及黄河黑山峡高阶地形成年代厘定

郑文俊, 郭 华, 刘百簏

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:砾石钙膜是一种在干旱—半干旱环境中形成, 反映环境和气候变化的沉积物, 保留了比较完整的环境和气候信息, 可用来分析古气候和测定形成年代. 本文通过砾石钙膜的沉积原理讨论, 认为钙膜中的显微明暗纹层变化反映了气候变化过程, 其明暗度变化曲线可与其它测年方法(深海岩芯氧同位素曲线、黄土剖面粒度曲线、古地磁变化、构造事件等)作对比, 得到其形成年代的信息. 而砾石钙膜形成年代可代表所在地貌面的年龄. 本文以此方法对黄河黑山峡高阶地的形成时代进行了厘定.

关键词:砾石钙膜显微纹层; 明暗度; 高阶地; 年代学; 黄河黑山峡

中图分类号: P315.2, P533 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—0844(2003)03—0233—07

0 前言

第四纪沉积物年代的精确测定是第四纪地质学研究的前缘领域之一, 也是进行活动构造及古地震研究的前提和基础. 近年来随着科学技术的发展, 测年方法也在不断改进, 高精度测年技术将成为今后研究的主要方向. 从某种意义上说, 测年技术的发展决定着第四纪研究及其发展程度. 目前尽管适用于第四纪定年的方法很多, 但每种方法都因受测年样品、被测事件的性质和给出年龄的方式不同而存在某种局限性^[1]. 砾石钙膜作为一种反映环境变化的沉积物标志, 近年来引起了诸多学者的关注. 邢成起等^[2, 3]曾通过对钙膜厚度的测量, 提出并建立了钙膜厚度—发育时间之间的经验关系式, 为所研究地区及相似环境下第四纪粗粒沉积物及其地貌面测年提供了一种新的思路和途径. 本文则通过砾石钙膜纹层的明暗度测量, 在与其它方法对比分析的基础上, 测定砾石钙膜的形成年代, 从而确定相关沉积地貌面的形成年代.

1 砾石钙膜的成因及样品的采集

1.1 砾石钙膜成因

砾石钙膜是在干旱—半干旱环境中, 在河流阶地或冲积扇上砾石表层形成的沉积物, 可代表所属地貌面形成年代并反映气候环境的变化. 当河流下切, 阶地形成后, 在粗碎屑沉积地貌面上随着风成黄土的覆盖和土壤的形成, 水的淋滤作用发生. 淋滤水中的 CaCO_3 就会淀积在砾石的底部, 其沉积的明暗纹层随着时间的增加而增多, 钙膜厚度缓慢增加. 过程中淋滤水量的大小和其中 CaCO_3 及杂质的含量都会随着气候的变化而变化, 淋滤水的微动力环境对于钙膜的明暗纹层结构起着至关重要的作用. 例如: 在干冷的气候中, 淋滤水量小, 水的负荷大, 只能形成极薄的含泥质较多的泥晶或微晶淀积, 因而色暗; 在湿热的气候中, 淋滤水量大, 水的负荷小, 可以形成稍厚的含泥质较少的亮晶层淀积, 因而色亮, 从而形成砾石钙膜的显微纹层结构. 当然还可能形成其它一些微动力结构. 砾石钙膜的纹层结构能够反映地貌形成以后所经

收稿日期: 2002-11-13

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目《大陆强震机理与预测》(G1998040701—04); 中国地震局地震科学联合基金项目(102055);

中国地震局兰州地震研究所青年地震科学基金项目(A0203)共同资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2003033.

作者简介: 郑文俊(1972—), 男(汉族), 甘肃高台人, 硕士, 主要从事活动构造及地貌年代学等方面的研究

历时间的长短和气候条件的变化等, 含有丰富的气候变化信息和年代信息. 这里需要说明的是, 砾石钙膜的发育受诸多因素的影响, 除时间、气候因素、水中 CO_2 的含量及碳酸盐纯度等影响外, 还有当时当地的微地貌环境、地质作用条件、植被条件、围岩性质等, 很显然, 要做到定量确定这些因素与砾石钙膜的发育关系还需要更深入的研究.

1.2 样品采集及制作

砾石钙膜多形成于河流阶地及洪积扇的前缘, 尤其在西北干旱地区, 砾石钙膜在河流阶地上分布较为普遍(图 1). 样品采集时主要考虑以下几个因素: 首先是所在的阶地面上的松散沉积物覆盖层厚度不宜超过 1 m, 实践中发现砾石钙膜沉积在 0.5 m 左右的覆盖层时为最佳, 而大于 1 m 时钙膜的保存不是太好; 其次是钙膜成长应有足够的自由空间, 以确保钙膜形成的完整性和连续性; 另外要考虑成长过程的不间断, 也就是外界环境等因素. 样品制作是用切片机沿钙膜中心部位按不同方向进行切片, 然后刨光. 再将切片(光片和薄片)用普通平板扫描仪进行扫描, 得到其明暗度图像, 然后在计算机中对图像进行处理.

1.3 砾石钙膜纹层结构特征

通过切片和光片观察, 砾石钙膜最显著的特点是具有明显的纹层结构(图 1). 可以分辨出钙膜纹层在大的明暗纹层中还有一些更小的明暗纹层, 反映了更高分辨率的气候变化和年代信息特征, 同时也可能反映了各种事件对钙膜淀积的影响. 在计算机高分辨率图像中可识别出环境因素对其的各种作用的影响的痕迹, 如侵蚀、早期裂隙终止、“不整合”、沉积间断等. 同时还发现其颗粒较粗的沉积层中有分选、磨圆均较好的微小“砾石”. 这些显微结构不仅影响了砾石钙膜纹层淀积的连续性, 同时也影响了其局部的明暗度变化. 初步研究认为, 这些显微结构可能记录着更详尽的年代信息及气候资料, 还可能对大的构造活动有所反映. 这对今后进行古气候特征研究、构造—气候关系研究、局部区域环境变化等都有着非常重要的应用前景.

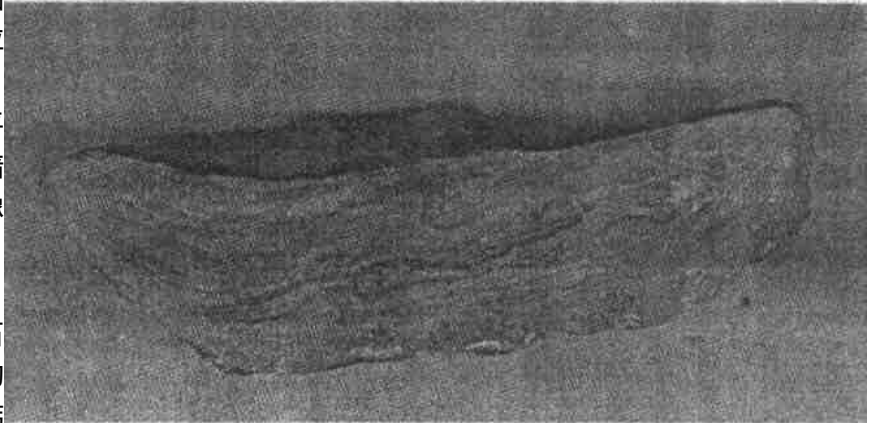


图 1 砾石钙膜显微纹层结构

Fig. 1 Structure of caliche micro-lamination.

征, 同时也可能反映了各种事件对钙膜淀积的影响. 在计算机高分辨率图像中可识别出环境因素对其的各种作用的影响的痕迹, 如侵蚀、早期裂隙终止、“不整合”、沉积间断等. 同时还发现其颗粒较粗的沉积层中有分选、磨圆均较好的微小“砾石”. 这些显微结构不仅影响了砾石钙膜纹层淀积的连续性, 同时也影响了其局部的明暗度变化. 初步研究认为, 这些显微结构可能记录着更详尽的年代信息及气候资料, 还可能对大的构造活动有所反映. 这对今后进行古气候特征研究、构造—气候关系研究、局部区域环境变化等都有着非常重要的应用前景.

2 砾石钙膜明暗度测量的原理及对比定年方法

2.1 砾石钙膜纹层明暗度测量的原理和方法

砾石钙膜在直观上呈现明暗相间的纹层, 并且明暗相间的条纹并不十分均匀. 一般亮层比暗层要厚一些; 另外气候旋回也并非以一个十分精确的周期进行交替的. 所以砾石钙膜纹层与石笋微层、树木年轮有很大的相似之处, 生长表现了一种不均匀性^[4-5]. 因此砾石钙膜的明暗相间的纹层应当与气候的变化存在直接的对应关系. 砾石钙膜中反映其明暗度变化的主要技术指标是碳酸盐的纯度和结晶物的粒度, 这两项指标在普通的光学系统下都能有很好的反映, 并且对明暗度的反映是正叠加(一致)的. 在切片图像中选择适当的、纹层发育比较完全的部位, 垂直层纹沿直线按给定步长, 让计算机自动识别其明暗度, 得到其明暗度变化曲线. 这种方法的依据是: 图像明暗度是反射亮度的一种简化替代, 而反射亮度又是结晶物粒度和纯度的直接反映; 高分辨率扫描和采样过程使一些常规方法下所不能观测到的信息得到了充分的反映. 由于普通的平板扫描仪直接接触钙膜切片样品, 无需额外的光学系统, 避免了放大率非线性失真问题, 而稳定的冷阴极灯管也克服了光源波动产生的干涉噪声, 并且其色调动态范围远好于一些常用的其它系统, 记

录灵敏度高、信息量更丰富;同时扫描仪的使用,简化了一些样品的预处理要求,操作实施较方便。

2.2 砾石钙膜明暗度对比定年

砾石钙膜沉积在相当大的程度上受气候的影响,因而保留了比较完整的环境和气候信息,比较适合用来作古气候分析和所在地貌面年龄的确定,并且可以将以前万年及以上尺度的测年精度提高很多^[9]。在研究过程中,我们将明暗度特征变化曲线与前人的其他年代学研究成果如深海岩芯氧同位素曲线、黄土剖面粒度曲线、古地磁变化、构造事件等^[1,7~11]作对比分析,从而达到定年和分析当时的气候条件的目的^[9]。

砾石钙膜明暗度曲线与深海氧同位素曲线对比发现,砾石钙膜纹层明暗度低时(相当于亮层),对应于深海氧同位素的峰值(奇数段),也就是相当于温度相对较高的暖期,而明暗度相对较高时(相当于暗层),对应于深海氧同位素曲线的谷值(偶数段),也就是温度较低的冷期。把砾石钙膜明暗度曲线分别与黄土粒度曲线、黄土—古土壤序列作对比,其结果是,砾石钙膜纹层明暗度相对低的部分对应于细粒组分含量高的部分,相应地对应于古土壤层位,而明暗度高的部位正好对应于粗粒组分含量高的部分和黄土层。与河湖相沉积的地层对比结果,也吻合的较好。在黄土—古土壤序列中,古土壤的磁性明显增强,对此不同的学者持有不同观点^[1,7~9],而稀释作用假设的解释与前面所提到的其它曲线的气候条件是一致的,我们把砾石钙膜明暗度曲线与黄土磁化率曲线对比发现,其根据稀释作用所解释的变化与该明暗度曲线变化极为吻合,这也为古气候条件的重建提供了又一证据。将该曲线与河湖相沉积的磁化率曲线对比,其吻合程度也非常好。这种吻合也进一步证明了砾石钙膜形成时温度和降水量变化导致其沉积过程中形成明暗纹层,可以用这种明暗纹层的变化来进行古温度条件和降水量状况的反演和模拟。对比详情见文献[6]。

另外,砾石钙膜作为一种所在地貌面形成过程的记录,它的形成必然受到构造、气候、地貌的影响,其明暗纹层必然或多或少地记录了这些信息。经综合对比可以清楚地看出共和运动和昆—黄运动对钙膜沉积纹层的影响,其基本表现为明暗度曲线的相对高值区,并且在这两段区域内明暗度曲线的细微变化非常频繁。这也进一步说明了构造和气候的相互关系:在构造运动剧烈时,气温变化极不稳定。另一方面,冰期和间冰期的气温波动直接造成了沉积物的韵律变化,因此也必然影响到砾石钙膜纹层沉积的变化。研究得出,间冰期所对应的是明暗度相对低的层位(亮层),而冰期所对应的是明暗度相对高的层位(暗层),这与冰期温度明显低于间冰期的这一结论是符合。

这里需要说明的是,由以上方法得出的年代是相对年代,其定年的准确性不仅取决于本研究方法本身,还决定于用于对比的资料的准确性和可靠性。

3 黄河黑山峡高阶地形成年代的厘定

3.1 黄河黑山峡 VI~XI 级阶地形成年代的确定

黄河在黑山峡口一带发育有 11 级阶地^[3,12],其中在 II 级以上阶地表面上都发育有砾石钙膜。我们对其 VI 级以上阶地的砾石钙膜按显微纹层定年方法的原理进行其相对年代的测定(图 2),其结果分别是:VI 级阶地是 637 ka B.P.; VII 级阶地是 694 ka B.P.; VIII 级阶地是 732 ka B.P.; IX 级阶地是 879 ka B.P.; XI 级阶地是 1 660 ka B.P.。X 级阶地是侵蚀阶地,无砾石钙膜发育。

3.2 与前人及其它方法测年结果的对比

黄河黑山峡高阶地的形成年龄已有很多人做过不同方法的测定^[3,12,13],其结果各有不同,与本文结果对比见表 1。

从表 1 可以看出,由砾石钙膜显微纹层所得的定年结果,与韩文峰等^[13]将此处阶地与黄河兰州阶地对比所得年龄数据的结果比较接近,在较高级阶地上(IX 级以上)的定年结果与 ESR 及 CCS 等定年结果也是基本相近。需要说明的是,本方法所测定的 VI~VIII 级阶地形成年代与 ESR 及 CCS 等定年结果有较大差异,主要是因为:① ESR 测定结果是在砾石钙膜最内层取样所测得^[4],但也很难保证所取样品就是最先沉积的薄层,这样就很可能使 ESR 结果偏年轻;② 对于 CCS 方法,本身就是依赖于 ESR 的测年结果所建立的,除本身的统计误差外,还带入了 ESR 的测定误差;③ 我们在试验阶段所采用的是宁夏灵武马家滩

同一地点, 同一位置的两个样品厚度分别为: 1.747 cm 和 2.452 cm 但两个样品的定年结果却很相近^[6], 这就证明了砾石钙膜厚度与形成年代之间的关系并非一个简单的关系, 中间有若干因素的作用. 因此我们认为, 本方法与 ESR 及 CCS 等定年结果有较大差异是可以理解和解释的, 因为二者在对钙膜沉积的理解思路上有本质的区别.

表 1 黄河黑山峡阶地年龄的对比表(单位: ka B. P.)

阶地	韩文峰等, 1993, 铀测定	田勤俭, 1998, OSL 测定	邢成起等 2002, CCS ^④ 测定	ESR(邢成起 等, 2002)	砾石钙膜显微 纹层定年结果
I	4735±50a B. P.	—	—	—	—
II	17920±695a B. P.	—	18	—	—
		68.7±5.1;			
III	50 ^①	91.6±7.2;	94	—	—
		100.3±7.2 ^②			
IV	140~80 ^①	158.9±9.8 ^③	139	—	—
V		—	215	—	—
VI	590 ^①	—	285	285±84 ^⑥	637
VII		—	360	360±131 ^⑥	694
VIII	780 ^①	—	495	—	732
IX	1100 ^①	—	742	638±93 ^⑥	879
X	1300 ^①	—	1072 ^⑤	—	—
XI	1800 ^① (P ₃ 平原面)	—	1570	1570±476 ^⑥	1660

注: ① 与兰州黄河阶地对比所得; ② 三个数据分别是从上到下不同沉积地层的年龄, 最下层的与阶地形成年龄相近;
③ 与南山台子 IV 级阶地对比得到; ④ CCS 是指砾石钙膜沉积速率定年方法; ⑤ 根据相邻阶地的年龄按砾石钙膜沉积速率估算的; ⑥ 邢成起等对砾石钙膜最内层取样进行 ESR 测年所得.

3.3 黄河黑山峡阶地的形成及其与构造运动的关系

黑山峡位于青藏高原东北边缘的甘、宁、蒙三省交界地区, 由于青藏高原的强烈隆起和向外的挤压扩展与侧向滑移, 形成了一系列向北东凸出的弧形构造山地^[3, 14](图 3), 因此形成了一系列级数不同的河流阶地. 而河流阶地的形成不仅构造运动的控制, 同时也受气候变化的影响, 黄河黑山峡阶地(图 3)就是构造运动与古气候作用的共同结果. 自 3.4 Ma B. P. 以来, 中国大陆尤其是西部地区经历了三次比较大的构造运动, 即: 3.4~1.7 Ma B. P. 的青藏运动, 1.1~0.6 Ma B. P. 昆仑—黄河运动, 0.15 Ma B. P. 至今的共和运动^[10, 15]. 这三次构造运动不仅使青藏高原大幅度隆起, 同时也对周边的环境产生了巨大的影响, 使其北部地区气候变得干旱、寒冷, 高原季风开始盛行^[9, 14], 中国北方地区的沙漠和黄土开始形成^[16].

根据黄河黑山峡高级阶地的年代结果以及图 3 反映的各级阶地相对拔河高度, 可以清楚地看出 VI~IX 级阶地形成均受控于 1.1~0.6 Ma B. P. 的昆仑—黄河运动. 这个结果与在这一时期青藏高原东北部地区构造运动变换频繁, 以及黄河在 1.80 Ma B. P. 时已到达兰州地区的结论相符^[14, 15, 17]; 而最高级阶地的测年结果也正与黄河开始形成时的年代相近. 这些都进一步证明了这种测年方法和测年结果的可靠性.

4 结论与问题

通过对砾石钙膜显微纹层的初步研究以及与其它方法的对比, 可以得出以下结论:

- (1) 砾石钙膜作为一种反映环境变化的沉积物, 是一种具有高分辨率年代信息的自然历史档案和定年材料, 也可以获取不同时段的古环境和古气候信息.
- (2) 通过对砾石钙膜显微纹层定年方法的综合研究认为, 利用砾石钙膜显微纹层进行年代的测定是可行的, 有一定的可信度.
- (3) 通过在黄河黑山峡高级阶地的应用, 得出黄河黑山峡 VI~XI 级阶地(不包括 X 级)的形成年代分别是: 637 ka B. P., 694 ka B. P., 732 ka B. P., 879 ka B. P. 和 1 660 ka B. P..
- (4) 砾石钙膜显微结构中包含了宏观构造运动的信息记录, 可以通过砾石钙膜纹层显微结构和构造

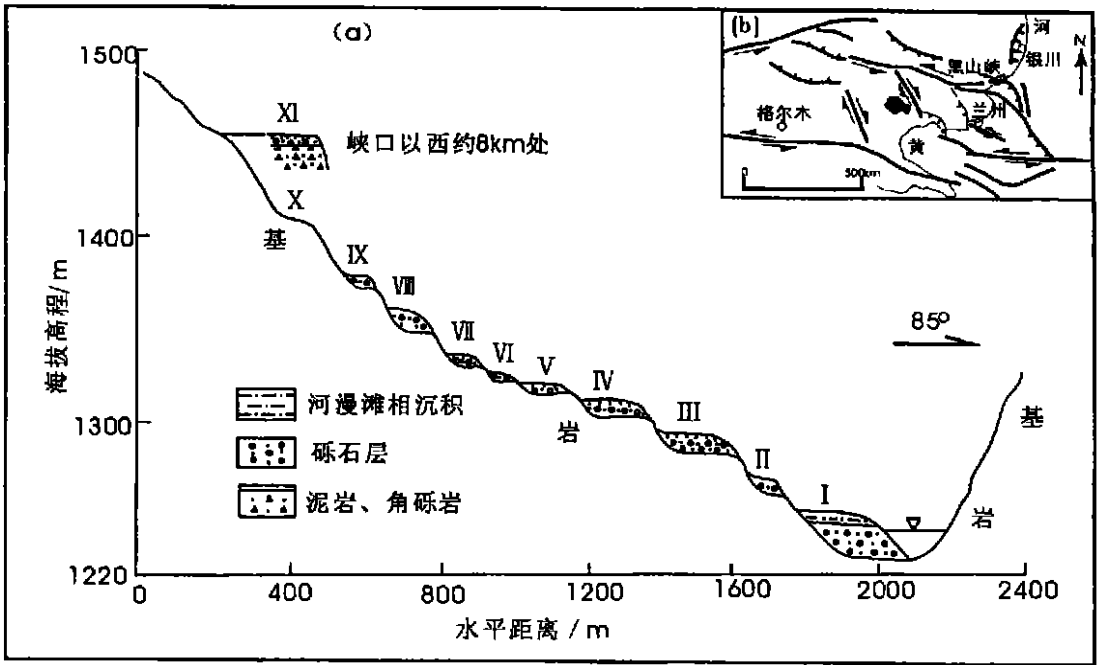


图 3 黄河黑山峡阶地剖面图(据邢成起等, 2002; 田勤俭, 1998)

Fig. 3 Profile of terraces in Heishaxia of Yellow River.

的研究, 获取区域宏观构造运动的有关信息.

但是, 我们在研究过程中也遇到了一些困难和障碍, 主要有: 明暗度的影响因素中, 各自所占的权重、影响程度及方式等如何确定; 采样过程中的损坏、样品自身的裂隙及空穴、样品打磨过程中留下的擦痕等引起的扫描图像的噪声问题; 样品的采集及切片技术、计算机识别过程中采样剖面位置的确定等问题.

砾石钙膜样品的加工处理由中国地震局兰州地震研究所地震学研究室高中强、荣代璐先生协助完成, 在此表示衷心感谢.

[参考文献]

- [1] M A J Williams, D L Dunkerley, P De Deckker et al. 著. 刘东生, 等编译. 第四纪环境[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] 邢成起, 尹功明, 丁国瑜, 等. 黄河黑山峡阶地的砾石 Ca 膜厚度与粗粒碎屑沉积地貌面形成年代的测定[J]. 科学通报, 2002, 43(3): 167—172.
- [3] 邢成起, 丁国瑜, 卢演伟, 等. 黄河中游河流阶地的对比及阶地系列形成中构造作用的多层次性分析[J]. 中国地震, 2001, 17(2): 187—201.
- [4] 王先锋, 刘东生, 梁汉东, 等. 石笋微层物质组成的二次离子质谱初步分析及其气候意义[J]. 第四纪研究, 1991, 11(1): 59—66.
- [5] 谢昆青, 李志尧. 树木年轮研究的扫描图像分析方法及其在环境演变中的应用[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 259—269.
- [6] 郑文俊, 郭华, 刘百箴. 砾石钙膜显微纹层的扫描图像分析及其测年意义[J]. 地震地质, 2003, 25(1): 123—132.
- [7] Liu Tungsheng, et al. Loess and the environment[M]. Beijing: China Ocean Press. 1985.
- [8] Liu Tungsheng, Yuan Baoyin. Paleoclimatic Cycles in Northern China (Luochuan Loess Section and Its Environmental Implications) [A]. See: Aspects of Loess Research[C]. Beijing: China Ocean Press. 1987. 3—38.
- [9] 刘东生, 施雅风, 王汝建, 等. 以气候变化为标志的中国第四纪地层对比表[J]. 第四纪研究, 2000, 20(2): 108—128.
- [10] 施雅风, 李吉均, 李炳元主编. 青藏高原研究丛书: 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998.
- [11] Zhao Songling, Liu Jingpu. Transgressions and Rapid Changes in the Bohai Sea Area Since Late Pleistocene[A]. See: Scientia Geologica Sinica[C]. Beijing: Science Press. 1995. 239—245.
- [12] 田勤俭. 老龙湾拉盆地演化与海原断裂带走滑活动(博士论文) [D]. 1998.

- [13] 韩文峰. 黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
- [14] 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 316—323.
- [15] 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 等. 青藏高原: 全球气候变化的驱动力与放大器Ⅱ. 青藏高原隆起的基本过程[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 160—167.
- [16] 黄汲清, 闵隆瑞. 青藏高原的隆起、沙漠和黄土地的形成、人类的起源与演化[J]. 第四纪研究, 1992, 12(1): 24—28.
- [17] 李吉均. 纪念台维斯侵蚀循环、准平原学说诞生一百周年[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, 35(3): 157—163.

DATING METHOD OF CALICHE MICRO-LAMINATION AND DATING OF HIGH-TERRACES IN HEISHAXIA OF THE YELLOW RIVER

ZHENG Wen-jun, GUO Hua, LIU Bai-chi

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Caliche is the sediment which formed on surface of gravel in drought and semi-drought environment and reflecting environment and climate change. It contains more integral environment and climate information, can be used to analyze palaeo-climate and dating the forming age. In this paper, it is considered that the shades of caliche micro-lamination record the process of climate change through the discussion of sedimental mechanism of the caliche, and it can be compared with other dating methods, such as bathy—oxygen—iso—tope curve, loess-palaeosol sequence, loess-grain curve, palaeo-magnetic curve and tectonic events etc., therefore its forming age can be determined. The age of the caliche represents the age of landform surface where the caliche locates on. By using this method the ages of the high- terraces in Heishanxia, Yellow River, are re-determined.

Key words: Caliche micro-lamination; Various shades; High-terrace; Chronology; Heishanxia of the Yellow River