

萨拉乌苏河地区地层中的碎屑矿物及其 所反映的中更新世末期以来 之气候环境变化

李保生 董光荣 高尚玉 丁同虎 申建友 邵亚军

(中国科学院兰州沙漠研究所)

主题词: 萨拉乌苏河; 第四纪地层; 重矿物; 气候环境

提 要: 文章根据对萨拉乌苏河地区第四纪地层中的碎屑矿物分析结果, 将重矿物按其抗化学风化的能力不同分为不稳定、较稳定、稳定和极稳定四种类型, 不同层位的重矿物类型的百分含量不同, 从而可求出重矿物的风化系数 HW 。不同时期地层的 HW 不同, 而 HW 的大小变化与化学风化的程度有很大关系, 一般来说, 化学风化作用强, HW 相应变小。而化学风化作用的强弱又主要受气候的影响, 从而可推测该时期气候环境的变化。

萨拉乌苏河地区是我国上更新统河湖相标准地层——萨拉乌苏组的最早命名地点。半个世纪以来, 许多学者对该区的第四纪地层、古脊椎动物、古人类等方面进行了研究并取得不少有科学意义的成果。近十年来, 对区内的地层划分、孢粉、地球化学和古人类化石的分析与研究以及对反映沙漠变迁方面的认识也取得一定的进展^[1-6]。本文试图通过该区地层的碎屑矿物分析结果^①, 讨论自中更新世末期以来萨拉乌苏河地区的气候环境变化。

一、萨拉乌苏河地区的第四纪地层

萨拉乌苏河属黄河支流的无定河之上游河段, 位于鄂尔多斯高原东南与陕西黄土高原西北缘丘陵区的交界地带。该河新桥以南的上游河段, 属黄土丘陵-黄土高原区。中下游多为经毛乌素沙漠流砂覆盖的鄂尔多斯高原之东南部洼地。

河流中下游地区前第四纪地层为白垩系紫红色砂岩、页岩与第三系红土。第四纪地层自下而上依次为: 中更新统离石黄土、古土壤和棕黄色风成细砂。上更新统下部萨拉乌苏组为灰绿-灰黄色粉砂至粉砂质细砂为主的河湖相沉积(常夹粘土、细砂和褐色土), 上部城川组为以棕黄色风成细砂为主的砂相沉积。全新统中下部为大沟湾组灰黄-灰绿色粘土、粉砂和细砂等组成的湖沼相, 上部为滴哨沟湾组, 依次为河湖相、黑垆土、次生黄土和现代化风成砂。上更新统城川组中部因普遍发育一层灰绿色湖沼相地层(后经融冻作用, 使其普遍发生卷曲), 又将该组分为上、中、下三部分。该河上游地区主要为中上更新统离石黄土和乌兰黄土。二者间夹有萨拉乌苏组的灰褐-灰黄色的冲积粉砂与粘土层(冲积黄土)。乌兰黄土顶

① 矿物分析结果由甘肃省地矿局中心试验室刘运良等和本所宋锦熙同志完成。

面普遍发育一层黑垆土。

萨拉乌苏河地区的上述第四系以滴哨沟湾地层沉积较为连续 (图1)。该剖面中, 下起属中更新世末期的黄土古土壤, 上至现代毛乌素沙漠的风成砂, 具有明显的风成砂相与古土壤或河湖相交替的沉积旋回。笔者对这一剖面采集21块样品进行了矿物分析。为了便于比较, 对相邻的清水沟湾中更新统黄土下伏的第三系红土、白垩系紫红色砂页岩也采样进行了矿物分析。

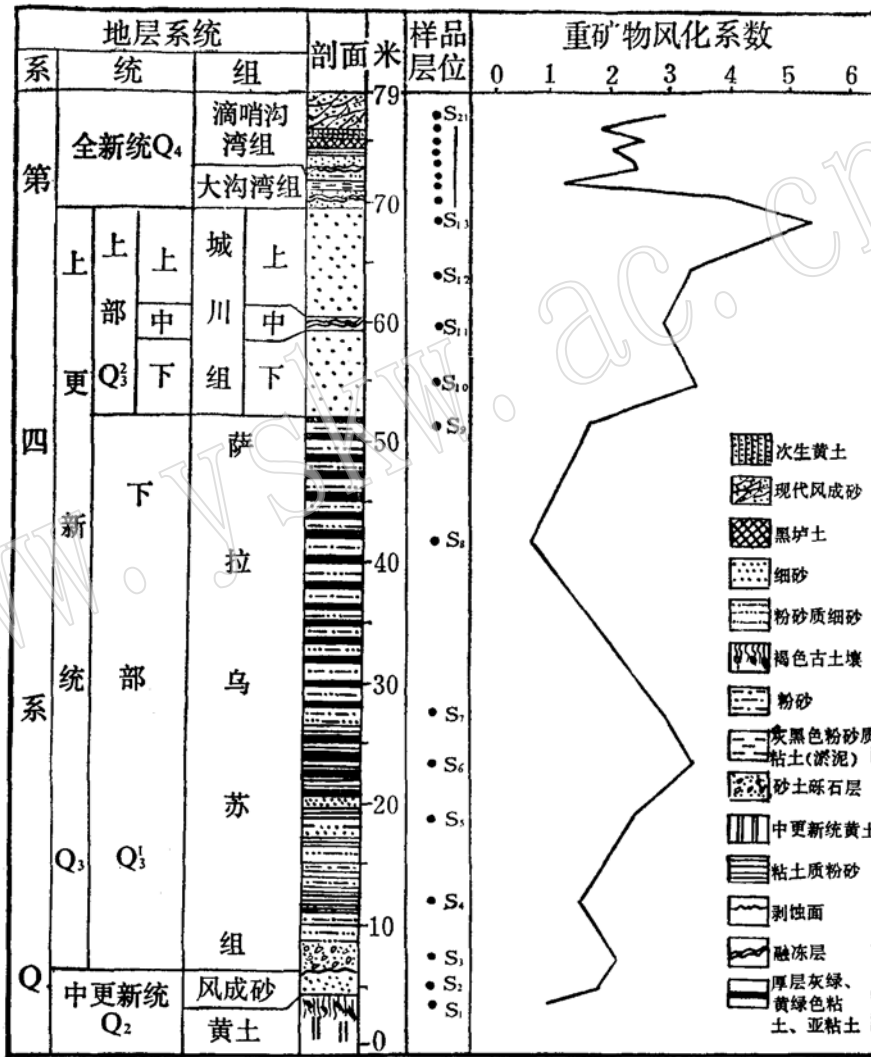


图 1 滴哨沟湾剖面和重矿物风化系数的变化

Fig. 1. Stratigraphic section of Dishaogouwan and variation in weathering coefficients of heavy minerals

二、滴哨沟湾剖面的碎屑矿物分析结果及其所反映的气候环境

滴哨沟湾地层剖面碎屑矿物的分析结果示于图2。由图2可以看出, 该剖面的矿物百分含

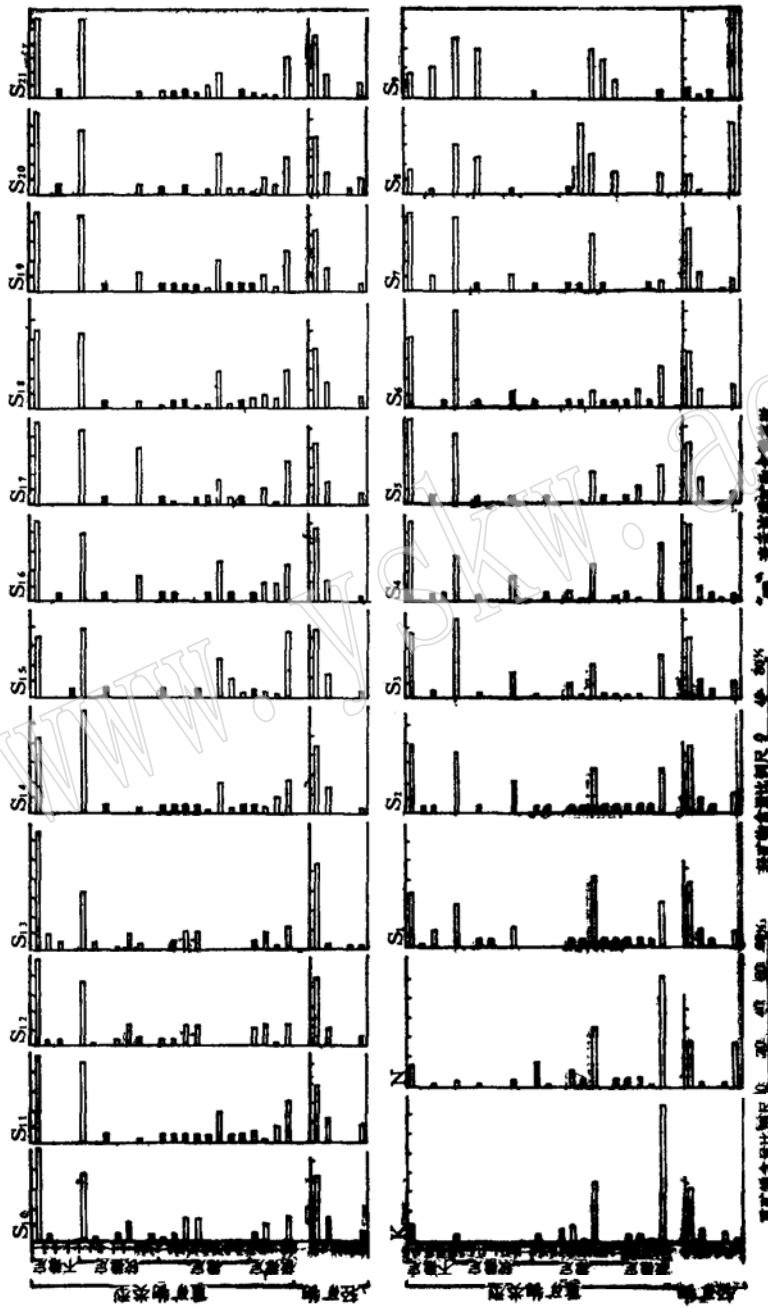


图 2 滴哨沟湾剖面的碎屑矿物分析结果

Fig. 2. Analyses of detrital minerals in Dishaogouwan section

图中, 纵向数字表示: 1-角闪石; 2-辉石; 3-黑云母、白云母; 4-方铅矿; 5-绿帘石; 6-阳起石; 7-砂线石; 8-透闪石; 9-黝帘石; 10-绿泥石; 11-透辉石; 12-磷灰石; 13-榍石; 14-钛铁矿; 15-磁铁矿; 16-白铁矿; 17-赤铁矿、褐铁矿; 18-红柱石; 19-黄铁矿; 20-斜方石; 21-电气石; 22-金红石; 23-石榴石; 24-石英; 25-长石; 26-云母; 27-碳酸盐; 28-岩屑

注: ① 其中, S₁-S₁₁采自第四系, 各样品位置见图1, K、N为清水湾沟第三系红土和白垩系紫红色砂页岩。
② 重矿物中黑云母、白云母含量低, 未分开, 故暂将这两者归入不稳定矿物类型。

量以轻矿物和岩屑占绝对优势,为92.2—99%,其中,石英居于首位,次为长石,余为岩屑、碳酸盐等。重矿物百分含量虽低(0.009—7.8%),但种类较多,可达25种(见图2)。含量较多的有角闪石、绿帘石、石榴石和金属矿物,其余次之或含量甚微。

由剖面的重矿物分析结果来看,尽管不同层位的重矿物其种类、形状及标型特征无较大差异,但按其抗化学风化能力不同而分为不稳定、较稳定、稳定和极稳定四种类型矿物后,则不难看出,不同层位特别是风成砂与古土壤或河湖相地层的矿物类型的百分含量是有变化的,甚至存在较大的变化。求出各层位中的重矿物风化系数 HW ,便可直接看出这种变化(详见图1)。

各不同时期地层的重矿物风化系数(以下称 HW)中,前第四纪地层的数值一般极低,如白垩系砂页岩为0.034,第三系红土为0.077。第四系各层位的 HW 与之相比,均明显增大。除个别小于1外,其余皆大于1。但第四系各层位 HW 彼此间亦不尽相同。从中更新统古土壤至上覆风成砂, HW 增大。萨拉乌苏组各层位 HW 相对较低,平均值小于下伏风成砂而大于黄土古土壤。仅该组个别层位(S_0)出现明显的高峰数值。城川组地层 HW 都较大,中部相对较小。顶部是该剖面的最高峰值,为5.47,全新统大沟湾组中下部, HW 有所降低,尔后一起一伏到现代风成砂时又有所增高。

诸层位 HW 数值的大小变化,除了与物质源区的母岩性质有关外,在较大程度上还显示出物质在搬运过程中和堆积后所经受的化学风化的程度。如果这种风化作用很强,则必然削弱不稳定和较稳定类矿物的含量, HW 亦相应变小。反之,这种作用不强,甚至很弱, HW 则随之变大。而化学作用的强弱,主要受气候的暖湿或干冷程度的约束。

清水沟湾白垩系和第三系地层中的 HW 很小。极稳定矿物(如石榴石、电气石、锆英石与金红石之和)可达50%以上。同时,不稳定和较稳定两类矿物不仅含量低,而且风化剧烈。经镜下分析结果,角闪石被风化成不规则的柱状,许多矿物呈不规则的粒状晶体等。即使轻矿物中的石英、长石由于这种风化作用表面均裹有一层褐红—土红色氧化铁,但重矿物中的极稳定类矿物,如电气石的柱状晶体、锆英石的细小双锥柱状晶体等却有着完好的形态。这反映了白垩纪和第三纪的气候还是比较湿热的。第四纪地层的不稳定和较稳定两类矿物在含量上转为优势, HW 明显增大的现象表明,气候较白垩纪和第三纪已显著变干、变冷。但第四纪地层不同层位上 HW 的大小变化亦反映出在此期间化学风化作用指示的气候冷暖、干湿程度是有变化的。从滴哨沟湾剖面的风成砂与古土壤或河湖相构成的沉积旋回看,往往是后者 HW 小于前者。说明在风成砂沉积时,气候干冷,化学风化作用较弱。而古土壤或河湖相沉积时,气候相对暖湿。因而,剖面 HW 的大小变化基本上与风成砂和古土壤、河湖相具有对应的关系。当然,河湖相地层的 HW 亦有偏大现象,如萨拉乌苏组中的 S_0 ,反映其堆积时也曾出现过短暂的气候波动。

三、区域上的重矿物类型的变化

为验证滴哨沟湾剖面重矿物所反映的上述气候环境,笔者根据包括萨拉乌苏河在内的西

$$\text{●重矿物风化系数} = \frac{\text{不稳定矿物} + \text{较稳定矿物}}{\text{稳定矿物} + \text{极稳定矿物}}$$

北起陶思兔河、东南抵榆林—靖边的长城沿线以南这一广大区域不同时代地层中的重矿物鉴定结果，同样按其抗化学风化能力的稳定程度分为四种类型并绘成三角图（图3）。由图3可以明显地看出：

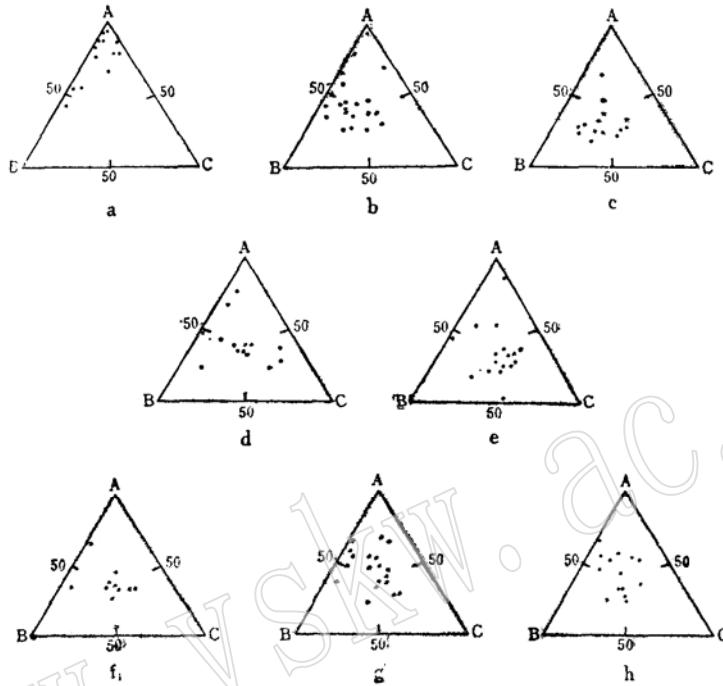


图3 萨拉乌苏河及其相邻的西北和东南部不同时期的重矿物类型

Fig. 3. Heavy mineral types of different periods in the Salawusu River area and its northwest and southeast neighboring areas

1. 区域上的前第四纪地层样品点群绝大部分落在稳定与极稳定矿物之和大于百分之五十的位置上，第四纪地层明显地向不稳定和较稳定矿物方向移动。
2. 第四纪地层中古土壤、河湖相样品相对风成砂和黄土向稳定和极稳定矿物一端偏移。而风成砂和砂黄土则相对向相反方向偏移。
3. 不同时期的河湖相或河湖相与古土壤或不同时期的风成砂样品在三角图上的位置亦不尽相同。

以上这几个方面表明，三角图上不同时期点群有规律地相对移动方向和幅度大小，反映了诸时期化学风化作用的差异，从而揭示出诸时期地层沉积时气候状况的差异。也正因为如此，才使沉积物中重矿物类型在三角图上发生上述一系列变化。对区域上矿物的显微观察中发现，各时期地层矿物的风化程度与滴哨沟湾地层剖面大体相同。各个时期的风积物中的矿物光泽强、表面干净、风化微弱、蝶形坑明显。而各个时期的河湖相沉积物中的矿物光泽不强，角闪石等稳定性差的矿物由于化学风化作用其表面往往形成一层粘土膜（轻矿物的石英、长石表面常见铁染现象，有的被钙胶结）。稳定和极稳定矿物则仍保持完好的晶形。如红柱石的四方柱状、石榴石的五角十二面体都保存完好。直接发育在黄土和风成砂之上的古土壤（包括中更新统古土壤和全新统黑垆土），因受母岩物质的影响，除成土作用较强外，矿物的风化程度一般介于河湖相与风积物之间。

由上所述不难看出,区域上不同时期地层的重矿物类型和风化程度的变化等特点与滴哨沟湾剖面的分析结果基本一致。因此,可以认为滴哨沟湾剖面沉积旋回中 H/W 的大小变化,具有区域上的代表性。

袁宝印认为^[1],萨拉乌苏组下部●为植被繁茂的森林草原,动物群中以温带种属的森林草原动物占优势,气候总体上比较温和适宜。萨拉乌苏组上部●,孢粉、动物化石骤减,气候变为干冷。当时周围存在大片沙漠。大沟湾组出现阔叶树、草本及水生植物花粉,气候暖湿。祁国琴指出^[9],“萨拉乌苏动物群南北方型混杂……,反映了气候有多次小的颤动,自然景观有过反复交替的现象”。由此可见,本区和区域上重矿物类型显示的气候变化与前人研究的结果是比较吻合的。

综上所述,可将本区中更新世末以来的气候环境大致概括如下:

中更新世末,气候温暖湿润,发育黄土古土壤。上覆风成砂出现时,气候变为干冷。萨拉乌苏组沉积时,气候温湿至暖湿。城川组风成砂主要形成于干冷多风的气候条件下,其间出现温凉湿润的气候,发育湖沼相(S_{11})。全新世初,气温回升,在此之后的地层沉积过程中,气候虽有波动,但与城川组风成砂沉积时相比,则明显转为暖湿。毛乌素沙漠现代风成砂沉积时,气候再度变冷。

本区中更新世末以来重矿物类型组合所反映的多次干冷与暖湿相交替的气候旋回,进一步证明了该地区第四纪地层可大致与里斯冰期末、里斯/玉木间冰期、前玉木冰期、玉木间冰期、后玉木冰期、冰后期气候转暖期、气候最佳期、新冰期进行对比的看法^{[3]、[6]}。上述由矿物反映出来的本区气候变化,主要与北半球冰期、间冰期气候波动有关。

参 考 文 献

- [1] 袁宝印, 1978, 萨拉乌苏组的沉积环境及地层划分问题。地质科学, 第3期, 第220—234页。
- [2] 董光荣等, 1981, 河套人化石的新发现。科学通报, 第26卷, 第19期, 第1192—1194页。
- [3] 董光荣等, 1983, 由萨拉乌苏河地层看晚更新世以来毛乌素沙漠的变迁。中国沙漠, 第3卷, 第2期, 第9—14页。
- [4] 高尚玉等, 1985, 萨拉乌苏河第四纪地层中化学元素的迁移和聚集与古气候的关系。地球化学, 第3期, 第269—276页。
- [5] 关有志等, 1986, 萨拉乌苏河地区第四纪地层中的元素分布与古气候。中国沙漠, 第6卷, 第1期, 第32—41页。
- [6] 董光荣等, 1986, 论内蒙萨拉乌苏河沿岸马兰黄土与萨拉乌苏组地层的关系及其环境演化, 柴达木盆地晚新生代地质环境演化。科学出版社, 第104—132页。
- [7] 邵亚军, 1987, 萨拉乌苏河地区晚更新世以来的孢粉组合及其反映的古植被和古气候。中国沙漠, 第7卷, 第2期, 第22—27页。
- [8] 李保生等, 1987, 鄂尔多斯萨拉乌苏河地区马兰黄土与萨拉乌苏组的关系以其地质时代问题。地质学报, 第61卷, 第3期, 第218—230页。
- [9] 祁国琴, 1975, 内蒙古萨拉乌苏河流域第四纪哺乳动物化石。古脊椎动物与古人类, 第13卷, 第4期, 第239—249页。

●、●二者分别相当于本文的萨拉乌苏组和城川组。

The Change in Climatic Environment of the Salawusu River
Area Since the Terminal Stage of Mid-Pleistocene As
Indicated by Detrital Minerals in Quaternary
Sediments

Li Baosheng, Dong Guangrong, Gao Shangyu, Ding Tonghu, Shen Jianyou,
Shao yajun

(Lanzhou Institute of Desert Research, Academia Sinica)

Key words: Salawusu River; Quaternary sediments; heavy mineral; climatic environment

Abstract

Based on analyses of detrital minerals from the Quaternary sediments in the Salawusu River area, the authors discuss the change in climatic environment of that area since the last stage of the Middle Pleistocene. It is pointed out that (1) during the development of loessial palaeosol and the deposition of aeolian sand, the climatic environments were warm-humid and dry-cold respectively; (2) the fluviolacustrine facies of Salawusu formation and the aeolian sand of Chengchun Formation of the late Pleistocene are products of warm-humid and dry-cold climatic conditions respectively, in which the lake-swamp facies of Middle Chengchun Formation was formed under cool and humid climatic condition, and (3) during the deposition of the lake swamp facies of Dagouwan Formation and the fluviolacustrine facies, black soil and secondary loess of Dishagouwan Formation (all belonging to Holocene period), the climate was relatively warm-humid, and during the deposition of modern Maowusu sandy desert, the climate turned dry-cold again.